



www.viserdata.com

# 水电科技

月刊

HYDROELECTRIC SCIENCE & TECHNOLOGY

■ 主办单位 : Viser Technology Pte.Ltd.

■ ISSN: 2630-5291(online) 2717-5383(print)

中国知网 (CNKI) 收录期刊

RCCSE 权威核心学术期刊

2025 **12**

第8卷 总第60期

## COMPANY INTRODUCTION

# 公司简介

维泽科技文化有限公司(Viser Technology Pte. Ltd. )成立于新加坡，是一家科技与文化高度融合的创新型企业。我们拥有一支具有较高文化素质、管理素质和业务素质的团队，聚焦于国际开源中英文期刊、体现文化含量与学术价值图书的出版发行。秉承“传播科技文化，促进学术交流”的理念，与国内外知名院校，科研院所及数据库建立了稳定的合作关系。坚持开拓创新，实施“跨越-融合”的发展战略，立足中国、新加坡两地，辐射全球，并于中国设立河北和重庆两个分部。我们将紧紧围绕专业化、特色化的发展道路，不断营造“有情怀，有视野，有梦想”的企业文化氛围，独树一帜，做一家“有血、有肉、有温度”的创新型出版企业。

Viser Technology Pte. Ltd. was founded in Singapore with branch offices in both Hebei and Chongqing, China. Viser focuses on publishing scientific and technological journals and books that promote the exchange of scientific and technological findings among the research community and around the globe. Despite being a young company, Viser is actively connecting with well-known universities, research institutes, and indexation database, and has already established a stable collaborative relationship with them. We also have a group of experienced editors and publishing experts who are dedicated to publishing high-quality journal and book contents. We offer the scholars various academic journals covering a variety of subjects and we are committed to reducing the hassles of scholarly publishing. To achieve this goal, we provide scholars with an all-in-one platform that offers solutions to every publishing process that a scholar needs to go through in order to show their latest finding to the world.



# 水电科技

Hydroelectric Science & Technology

2025年·第8卷·第12期(总第60期)

主办单位: Viser Technology Pte. Ltd.

I S S N: 2630-5291(online)

2717-5383 (print)

发行周期: 月刊

出版时间: 12月

数据库收录: 中国知网收录期刊

RCCSE权威核心学术期刊

期刊网址: www.viserdata.com

投稿/查稿邮箱: viser-tech@outlook.com

地 址: 195 Pearl's Hill Terrace, #02-41,  
Singapore 168976

学术主编: 余 亮

责任编辑: 金 星

学术编委: 丁 飞

罗 超

杜永纯

古彦华

王 超

美工编辑: 李 亚 Anson Chee

印 制: 北京建宏印刷有限公司

定 价: SGD 20.00

## 本刊声明

本刊所载的所有文章均不代表本刊编辑部观点; 作者文责自负, 如有侵犯他人版权或者其他权利的行为, 本刊概不负连带责任。

版权所有, 未经许可, 不得翻译、转载本刊所载文章。

警告著作权人: 稿件凡经本刊使用, 如无电子版或书面的特殊声明, 即视为作者同意授权本刊及本刊网络合作媒体进行电子版信息网络传播。

## 目 录

### CONTENTS

#### 水利工程

深覆盖层地基上水利工程防渗墙施工技术 .....	章燕子 1
水利工程施工中边坡开挖支护技术应用概述 .....	万谋丹 4
信息化技术在水利工程建设管理中的应用研究 .....	
.....	罗广超 7
水利技术创新背景下的水利管理方法研究 .....	陈付友 10
水利工程施工中边坡开挖支护技术中的应用 ....	张春太 13
水利工程建设管理模式与实践研究.....	阿依古丽·艾尼 16
水利工程施工现场标准化管理实施路径探讨 ....	田 蜜 19
水工混凝土裂缝成因与修补技术探析 .....	
.....任月娟 余刘辉 唐家宏 邓 超 肖雨欣 22	

#### 水文水资源

水利枢纽工程运行管理与水资源的可持续利用分析 .....	
.....	段自成 26
裂隙水渗流特性与含水层划分方法研究 .....	聂龙龙 29
水利工程运行管理与区域水资源可持续利用研究 .....	
.....	阿卜力米提·赛麦提 32

#### 水土保持

农田水利河道治理护岸防护技术探讨 .....	
.....	艾孜买提·阿布都热衣木 35

#### 节水灌溉

灌区灌溉水利用系数测算分析研究 .....	马 菊 38
面向精准管控的农田水利工程建-管-用协同优化研究 .....	
.....	李美蓉 41
农业水利工程中高效节水灌溉的技术关键点分析 .....	
.....	韩林艳 44
农田排水系统优化设计及其对土壤改良的影响分析 .....	
.....	钟小青 47

#### 勘测规划

新时期农村供水工程规划设计问题探讨 .....	朱长江 51
-------------------------	--------

## 电力工程

配电网电力工程技术及施工安全措施研究 .....	吴珂哲	54
提高高低压配电柜安装质量的有效措施 .....	林乃平	57
输配电线路固定翼无人机隐患前端识别系统研究及应用 .....	唐 锐 谢亚婕 崔家瑞 姚 平 刘 鑫	60
智能电力技术在智能配电系统设计中运用 .....	张孟雷	63
基于区域生态特征的输电线路鸟害防治研究——以孔雀河畔为例 .....	道 杰 冉 涛 魏强国 刘明敬 高新宇	66
35 千伏变电站熔断器更换登高风险防控路径研究——以快速门型可拆卸式设备应用为核心 .....	马月贵 王洪新 玉素甫 迪力夏提	69

## 能源动力工程

智能化技术在风电场电气设计中的应用与优化研究 .....	艾茂叶	72
余热锅炉超温超压事故案例分析与防范措施 ....	张靖衍	75

## 水电建设

水利水电工程中混凝土裂缝的防治措施研究 ....	王永刚	78
水利水电工程基础处理施工技术应用 .....	朱 雷	81
抽水蓄能电站高强度钢焊接质量控制技术研究 .....	张俊峰 戴国华	84
水利水电工程施工信息化管理技术应用研究 ....	尚 昆	87
现代化水利水电施工技术管理应用研究 .....	周鲁鹏	90

## 自动化技术与应用

智慧水利背景下泵站自动化控制系统设计 .....	宋 扬 左廷萍	94
--------------------------	---------	----

## 技术解决方案

水电站压力钢管漏水诊断、成因分析及处理技术研究 .....	尤军波	97
变压器常见故障诊断与智能化检测技术研究 .....	关萌洋	102
水闸渠首工程金属结构腐蚀防护技术研究与应用 .....	武 艺	106

## 运行维护

火电厂机组运行安全风险识别与防控研究 .....	刘 翔 郑 浩 苗晏玮 傅 金 崔清博	110
水利工程生产运行管理体系优化与实践研究 ..	刘子怡	113
火力燃煤电厂集控运行节能优化研究 .....	张 力	117
火电厂电气一次设备状态检修的有效措施分析 .....	苗晏玮 傅 金 崔清博 刘 翔 郑 浩	120

## 综合研究

智能电网背景下电力营销信息化建设策略研究 .....	赵永强	123
乡村振兴战略下水电工程移民后续发展思路初探 .....	杨雨川	126

## 深覆盖层地基上水利工程防渗墙施工技术

章燕子

阿拉尔市塔里木公路养护有限责任公司，新疆 阿拉尔 843300

**[摘要]**在深覆盖层地基开展水利工程防渗墙施工，其技术有着不容忽视的工程实践价值以及理论层面的意义。就深覆盖层地基来讲，其中土层的厚度是比较大的，透水性呈现出复杂的状况，而且地下水位的变化也比较明显，在这样的情况下，传统的防渗措施往往很难充分地发挥出应有的作用，进而使得渗漏的风险有所增加，对工程的安全性以及使用寿命都会产生影响。防渗墙能够形成连续的防渗屏障，以此来有效地对渗流路径加以控制，进而改善地基的稳定性以及坝体的安全性。文章全面且细致地梳理防渗墙技术当下的发展状况，深入分析深覆盖层地基所具有的各类特征以及施工过程中诸多的影响因素，重点探讨成槽工艺、材料配比、防止塌孔与止水处理、墙体衔接以及施工质量控制等一系列的关键技术问题。

**[关键词]**深覆盖层；水利工程；防渗墙；施工技术

DOI: 10.33142/hst.v8i12.18475

中图分类号: TV543

文献标识码: A

## Construction Technology of Anti-seepage Wall for Hydraulic Engineering on Deep Cover Foundation

ZHANG Yanzi

Alaer Tarim Highway Maintenance Co., Ltd., Alaer, Xinjiang, 843300, China

**Abstract:** The construction of anti-seepage walls in hydraulic engineering on deep cover foundation has significant engineering practical value and theoretical significance that cannot be ignored. In terms of deep cover foundation, the thickness of the soil layer is relatively large, and the permeability presents a complex situation. Moreover, the changes in groundwater level are also quite obvious. In such cases, traditional anti-seepage measures are often difficult to fully play their due role, which increases the risk of leakage and affects the safety and service life of the project. The anti-seepage wall can form a continuous anti-seepage barrier to effectively control the seepage path, thereby improving the stability of the foundation and the safety of the dam body. The article will comprehensively and meticulously review the current development status of anti-seepage wall technology, deeply analyze the various characteristics of deep cover foundation and the many influencing factors in the construction process, and focus on a series of key technical issues such as trenching technology, material ratio, prevention of collapse and waterproofing treatment, wall connection, and construction quality control.

**Keywords:** deep cover layer; water conservancy engineering; anti-seepage wall; construction technology

### 引言

随着水利工程规模变得越来越大，施工条件也变得越来越复杂，在这样的情况下，地基条件对于整个工程安全所造成的影响一天比一天明显起来。深覆盖层地基有着土层厚度比较大的特点，其结构也比较复杂，而且含水量颇高，透水性的差异还很大，这无疑成为了防渗设计以及施工过程中的一大难点所在。防渗墙在阻断渗流方面能够起到关键作用，同时还能提升坝体的稳定性，所以它属于一项极为重要的措施，而针对其施工技术展开优化与创新就显得格外重要。自 20 世纪开始，防渗墙就在国内外的水利工程当中获得了广泛的应用，它能够通过形成连续的防渗体，有效地减少渗漏情况的发生，对地下水的流动加以控制，并且还能提高整体结构的稳定性。不过，深覆盖层地基给施工设备的适应性提出了更高的要求，同时也对成槽精度、材料选择以及质量控制等方面都提出了更为严格的要求。

### 1 防渗墙技术优缺点及适用条件

防渗墙防渗技术。防渗墙技术优点：结构可靠、施工

简便、持久性好。防渗墙适用于修建在松散透水性或石坝中，在国内外水利工程中得到了广泛应用。缺点：受地质环境因素影响，施工有局限性，混凝土防渗强度较低，墙体厚，工期长、成本高。适用于各种大坝、水库等。防渗墙在深覆盖层地基这种情况下，其可对渗流通道的扩展予以有效控制，让地下水对工程结构所造成的影响得以减小，进而起到加固以及稳定地基这样的作用。不过要是处在厚层砂砾、卵石还有强透水性地层当中，那么成槽的难度就会变得很大，对于施工质量控制的要求也会相应提高，此时就需要把先进的施工工艺同新型防渗材料相结合起来，这样才能确保工程具备安全性和耐久性。所以说，防渗墙技术在不同的地质环境里，有着颇为明显的适用性方面的差异，得依据地基的具体条件、渗透的相关特征以及工程的规模来合理地选用并加以优化设计。

### 2 深覆盖层地基特征与防渗需求

深覆盖层地基一般而言是指那种土层厚度颇大的情况，其构成是由砂、砾、卵石、黏土或者它们相互混合之

后形成的复合土体。在这类地基当中，层间的界面呈现出较为复杂的状况，土体的颗粒级配也并不均匀，而且其透水性会随着所处的深度以及不同层次而发生明显的变化。因为地基的覆盖层比较厚重，所以地下水的流动路径也会变得相当复杂，其中局部存在的高透水层又或者是弱承载层，就很容易形成渗流通道，进而使得坝基或者渠道对于防渗的要求变得更加严格起来。与此深覆盖层地基的物理力学性质存在着很大的差异，像含水量、压缩性以及强度等都会随着深度的不同而出现明显的变化，所以在施工以及后续的运行过程之中，就容易出现沉降、液化或者局部变形等一系列的问题，最终还会使得工程面临渗漏的风险不断增加。鉴于这些特点，水利工程在开展防渗设计的时候，就必须满足多种多样的需求：防渗墙需要在深层的土体当中构建起连续且密实的屏障，以此来有效地阻断地下水的渗透路径；墙体的结构还应当拥有足够强大的抗渗以及抗变形的能力，能够去应对深覆盖层地基那种复杂的应力状态；防渗所采取的措施还得把施工的可行性以及经济性都考虑进去，在确保工程安全的基础之上，对施工工艺以及材料选用等方面加以优化。

### 3 深覆盖层地基对防渗墙施工的影响因素

#### 3.1 地质结构与土层厚度的影响

地质结构以及土层厚度，这两者是作用于深覆盖层地基之上防渗墙施工时最为直接的影响因素。就厚层砂、砾还有卵石这类地层而言，其颗粒之间存在的间隙是比较大的，并且透水性的程度也较强。在开展成槽作业的时候，就特别容易出现槽壁发生坍塌的情况，又或者会出现泥浆大量流失的现象，如此一来，便使得施工的难度大大增加，同时安全方面所面临的风险也随之增多了。从另一个角度来看，粘土或者是软土层，虽说它的黏结性能是比较好的，然而当其厚度达到一定程度的时候，就会呈现出比较大的压缩性以及变形的潜在可能性。在施工实施的过程中，要是没有及时地去采取相应的支护或者加固方面的举措，那么就很容易致使槽体产生变形的情况，墙体也会出现不均匀固化的状况，进而对防渗的效果造成不利影响。在复合地层这样的环境之下，不同的土层界面之间存在着渗透系数方面的差异，渗流往往会沿着这些界面去形成潜在的通道，这样一来，无疑会增加防渗墙出现渗漏的风险。所以，在正式开始施工之前，务必要去做详尽的地质勘察工作，要依据勘察结果来合理地去设计墙体的深度、厚度以及成槽的方式，从而能够很好地去适应不同土层所具有的特性，以此来切实保障防渗墙的结构能够做到连续、密实并且稳定的状态。

#### 3.2 地下水位与水文动力条件的影响

地下水位以及水文动力条件对于深覆盖层地基上防渗墙的施工有着极为重要的影响。高水位不但会加大施工排水方面的难度，而且会对槽壁的稳定性构成威胁。水流出现波动以及地下水压力发生变动的情况下，成槽过程里

泥浆或者支护系统极有可能遭受冲刷，进而致使墙体出现局部不均匀沉降或者是塌孔的情况，最终使得防渗墙的整体连续性以及抗渗性能都受到影响。除此之外，地下水流速以及流向呈现出的不均匀特性在地基当中容易形成潜在的渗流通道，要是防渗墙没有能够与地基实现充分的结合，那么就会存在渗漏的风险。为了保障施工的安全性以及防渗效果，在施工期间必须要对地下水位展开监测并且加以控制，采取排水、降水或者加固等相关措施，合理安排施工时间以及施工顺序，促使防渗墙能够在稳定的水文环境之下形成完整且防渗效果优良的结构。与此在设计阶段同样需要充分考量长期水文变化给墙体所带来的影响，以此来确保防渗墙在整个运行周期里面都能够保持稳定可靠的状况。

### 4 深覆盖层地基上防渗墙施工关键技术

#### 4.1 成槽工艺与施工设备选择

成槽工艺以及施工设备的选择，这在防渗墙施工当中属于极为关键的核心环节，它会直接对墙体的连续性、密实性还有施工安全产生影响。在那种有着深覆盖层的地基条件下，土层的厚度是比较大的，而且颗粒级配情况也比较复杂，一般的常规机械很难去满足施工方面的要求，所以得依据具体的地质条件来选用像液压抓斗、旋挖桩机或者泥浆墙成槽这样的设备，并且要和支护系统、防护板以及泥浆护槽技术相互结合起来，以此来保证槽壁能够保持稳定的状态。成槽工艺需要按照土层的实际特性来进行相应的优化处理，要对成槽的深度、宽度以及倾角加以控制，从而让墙体可以很好地和地基紧密地结合到一起，进而形成连续的防渗屏障。在施工实施的过程当中，设备的操作精度、作业的速度以及维护管理的情况，这些都会直接对成槽的质量以及后续浇筑的效果产生影响，所以必须要严格把控施工管理以及监测工作，要确保施工设备可以在如此复杂的环境状况下高效且稳定地运行，最终切实保证防渗墙的施工质量以及其长期的稳定性。

#### 4.2 防渗材料性能与配合比优化

在深覆盖层地基防渗墙施工期间，防渗材料性能以及配合比的优化属于极为关键的核心环节，其对于保障墙体的抗渗性以及耐久性有着十分重要的意义。材料一方面要拥有足够的抗渗强度，另一方面在施工进程当中还需维持良好的流动性、可操作性以及均匀性，唯有如此才能够确保墙体能够形成连续且密实的防渗屏障。就不同的地质条件与土层特性而言，借助科学试验来确定水泥、砂、掺合料以及其他添加剂的合理配比，如此便能够切实有效地提升材料的抗压性能、渗透系数以及收缩控制能力。在施工进程中，材料配合比得结合温度、湿度以及施工工艺展开动态调整，以此来适应现场出现的各种变化，进而保障墙体固化之后的密实性以及结构稳定性<sup>[1]</sup>。除此之外，复合防渗材料的应用能够进一步强化墙体的耐久性以及适应性，让墙体即便处于复杂的水文条件之下并且受到长期地

下水的作用，依旧能够保持出色的防渗性能，最终确保整个防渗系统的可靠性以及工程寿命。

#### 4.3 防塌孔与止水措施

防塌孔以及止水方面的措施在深覆盖层地基防渗墙施工环节当中发挥着极为关键的作用，这与墙体的连续性以及防渗效果有着直接的关联。在成槽的操作过程当中，因为土层的厚度偏大、颗粒结构较为复杂，并且还受到地下水压力的作用，所以槽壁特别容易出现局部塌落或者泥浆流失的情况，进而致使墙体呈现出不均匀或者间断的状态，对防渗性能造成了十分严重的影响<sup>[2]</sup>。为了防止出现塌孔的问题，就需要把支护结构、泥浆护槽技术以及分段施工策略相互结合起来，依靠维持槽壁处于稳定的状态并且对泥浆的黏度加以控制，以此来达成槽体连续且稳定的目的。与此止水措施的落实，像排水降水、设置临时挡水板以及对水压进行控制等这些举措，能够有效地降低地下水给施工带来的影响，避免在墙体固化期间出现渗水或者是塌孔方面的问题。在施工的过程当中，应当对成槽的状态以及地下水位的变化予以密切的监测，依据实际情况及时地对施工工艺以及辅助措施做出相应的调整，以此来保证墙体能够形成连续、具备防渗功能并且稳定的结构，进而提升深覆盖层地基上防渗墙的施工质量以及长期的可靠性。

#### 4.4 墙体与基础衔接处理技术

墙体与基础衔接处理在深覆盖层地基防渗墙施工中属于极为关键的环节，这一环节的质量状况会直接对防渗墙的整体防渗成效以及结构稳固程度产生影响。要是墙体和基础地基之间出现缝隙或者接触得不够良好，那么就极有可能会形成潜在的渗流通道，如此一来，防渗墙的功能性也会相应地有所降低。所以在整个施工过程当中，务必要借助地基加固手段、墙体底部预先埋设钢筋的做法、设置止水条以及采用土浆或者混凝土填充等方式，以此来促使墙体与地基能够紧密贴合到一起。在施工期间，还得把控墙体底部浇筑的具体顺序以及振捣的操作工艺，进而确保其具备足够的密实度与连续性，并且要充分考虑到地基土体的应力实际状态，防止出现局部沉降或者是发生变形的情况<sup>[3]</sup>。合理的衔接处理一方面能够将潜在的渗漏点彻底消除掉，另一方面还能够让防渗墙对于地基不均匀沉降以及地下水压力的适应能力得以增强，最终确保处在深覆盖层地基之上的防渗墙能够在长时间的运行过程当中维持住自身的稳定性和安全性。

#### 4.5 施工质量控制与监测技术

施工质量控制以及监测技术在整个深覆盖层地基防

渗墙施工期间都贯穿其中，这可是保障防渗墙防渗效果以及工程安全极为关键的手段。在施工进程当中，得借助在线监测的方式来对成槽深度、墙体垂直度、泥浆密度还有浇筑质量等诸多参数加以监测，如此一来便能达成对施工状态的实时掌控。与此在防渗墙施工告一段落后，还需要去做密实度检测、渗透性试验以及材料固化效果评估等方面的工作，以便能够及时察觉并修正那些潜在的缺陷。施工质量控制还涵盖了施工工序管理、施工环境监测以及养护管理等内容，从而保证施工条件和设计要求能够高度契合。现代施工能够引入智能监测技术，像是地下水位传感器、墙体应力监测以及三维扫描检测等，进而实现对施工全过程的数字化管理以及精确控制。凭借系统性的施工质量控制与监测举措，可以有效地降低渗漏的风险，让深覆盖层地基上的防渗墙能够达成预期的设计效果，并且在运行阶段也能维持长期的可靠性。

### 5 结语

在现代水利工程建设当中，深覆盖层地基上防渗墙施工技术有着不容忽视的重要价值。本文先是概要性地介绍了防渗墙技术，接着深入分析了深覆盖层地基所呈现出的特征以及其相应的防渗需求，还对施工过程中可能存在的影响因素展开了探讨，并且较为详尽地阐述了成槽工艺、材料配比方面的优化措施、防塌孔以及止水处理办法、墙体与基础衔接方式以及施工质量控制等一系列关键技术要点。通过科学合理的施工设计与严谨细致的施工管理工作，能够构建起连续性良好、密实度达标且防渗效果十分优异的墙体，以此来有效地对地下水的渗流加以控制，进而提升地基自身的稳定性以及整个工程的安全性。在未来的发展进程中，需要进一步去优化施工工艺流程，同时结合智能监测手段以及数字化管理模式，以此来提升防渗墙的性能表现以及施工的效率水平，从而促使水利工程朝着安全可靠、经济合理以及可持续发展的方向不断迈进。

### 【参考文献】

- [1] 凌东园.浅谈水利工程防渗技术[J].河北水利,2023(5):46-47.
- [2] 蒋琪.水利工程中防渗墙施工技术与质量控制研究[J].中国新技术新产品,2023(4):79-81.
- [3] 刘铭瑞.水利工程施工中的混凝土防渗墙施工技术[J].建材发展导向,2025,23(6):55-57.

作者简介：章燕子（1989.3—），毕业院校：塔里木大学，所学专业：土木工程，当前就职单位名称：阿拉尔市塔里木公路养护有限责任公司，职称级别：工程师（水利水电）。

## 水利工程施工中边坡开挖支护技术应用概述

万谋丹

江西省水投建设集团有限公司, 江西 南昌 330006

**[摘要]**在水利工程施工时,合理应用边坡开挖支护技术是保证工程安全、提升施工质量的关键,所以文中系统地阐述了该技术在水利工程的重要性以及它在施工中的应用情况。通过对地质条件、水文特性和施工工艺等边坡稳定性影响因素加以分析,探讨了分层开挖法、台阶式开挖法、逆作法这些常见边坡开挖技术于不同地质环境下的适用情形和技术特征,并且着重研究了锚杆支护、喷射混凝土支护、格构式支护、土钉墙支护、抗滑桩支护等主要支护技术的工作原理、施工工艺和适用范围。此外,拿工程实例来分析边坡开挖支护技术在不同类型水利工程的应用成效并总结出技术应用期间的问题和改进办法。研究显示,科学选取边坡开挖支护技术、优化施工工艺、强化监测预警能有效提升水利工程边坡的稳定性,文章对合理选择与应用水利工程施工中边坡开挖支护技术有参考意义,可给提高水利工程施工质量和安全性提供技术支持。

**[关键词]**水利工程; 边坡开挖; 支护技术; 施工安全; 稳定性分析

DOI: 10.33142/hst.v8i12.18458

中图分类号: TV551.4

文献标识码: A

## Overview of Slope Excavation and Support Technology Application in Water Conservancy Engineering Construction

WAN Moudan

Jiangxi Water Investment Construction Group Co., Ltd., Nanchang, Jiangxi, 330006, China

**Abstract:** Reasonable application of slope excavation and support technology is the key to ensuring project safety and improving construction quality in water conservancy engineering construction. Therefore, this article systematically expounds the importance of this technology in water conservancy engineering and its application in construction. By analyzing the factors affecting slope stability such as geological conditions, hydrological characteristics, and construction techniques, this study explores the applicability and technical characteristics of common slope excavation techniques such as layered excavation, stepped excavation, and reverse excavation in different geological environments. The study focuses on the working principles, construction techniques, and scope of application of major support technologies such as anchor rod support, shotcrete support, lattice support, soil nail wall support, and anti slip pile support. In addition, using engineering examples to analyze the application effectiveness of slope excavation and support technology in different types of water conservancy projects, and summarizing the problems and improvement methods during the technical application period. Research has shown that scientifically selecting slope excavation and support technologies, optimizing construction processes, and strengthening monitoring and early warning can effectively improve the stability of water conservancy engineering slopes. This article has reference significance for the rational selection and application of slope excavation and support technologies in water conservancy engineering construction, and can provide technical support for improving the quality and safety of water conservancy engineering construction.

**Keywords:** water conservancy engineering; slope excavation; support technology; construction safety; stability analysis

### 引言

国家基础设施的重要构成部分是水利工程建设,近些年来它于防洪减灾、水资源调配以及生态环境保护等诸多领域施展出了无可取代的效用,统计显示到2023年时我国各类水利工程的建成数量超百万座且大中型水利工程的数量一直在增加从而给经济社会发展提供了强有力的保障,不过水利工程的施工环境很复杂且边坡开挖与支护技术的运用跟工程的安全性、稳定性直接相关,若边坡失稳不但会造成施工延误和经济损失,还可能引发严重地质灾害威胁人员生命安全,所以在水利工程方面边坡开挖支护技术的研究和应用成了学术界和工程界的热门问题,近

年随着施工技术不断进步、监测手段完善,边坡开挖支护技术朝着精细化、智能化慢慢发展但依据具体工程条件挑出合适的技术方案依旧是急需解决的难题。

边坡开挖支护技术对工程整体稳定性起着决定性作用,这体现了该技术的重要性,因为水利工程往往地质条件复杂且水文特性多变,这对边坡稳定性是严峻考验,像软弱岩层、高地下水位、地震活动之类的情况都有可能使边坡失稳,并且施工工艺的选择也对边坡的力学性能和长期稳定性有明显影响,另外分层开挖法、台阶式开挖法、逆作法等技术在不同地质环境中适用性不一样,得根据现场实际状况做优化设计,而且锚杆支护、喷射混凝土支护、

格构式支护等支护技术合理运用能有效提升边坡整体强度与抗滑能力,通过分析近些年好多水利工程实例可知,科学选取边坡开挖支护技术并在施工过程中强化动态监测可大大提高工程安全性和施工效率,所以本文打算系统探究边坡开挖支护技术的工作原理、适用范畴以及优化举措,给水利工程领域技术实践给予理论支撑和技术指引。

## 1 边坡开挖技术在水利工程中的应用

### 1.1 分层开挖技术的实施与效果

在水利工程施工里常见的边坡开挖方法是分层开挖技术,其要诀是把边坡划分成多个层级逐级进行开挖来减小对地质结构的整体干扰,这些年随着我国水利工程规模持续扩张,这一技术在高陡边坡施工方面获得了广泛运用,统计显示2022年全国大型水利工程大概有45%的项目用了分层开挖技术,主要是因为这技术能有效把控开挖时的应力释放以及岩土体变形情况,实际操作的时候支护措施往往跟分层开挖一块进行,像每层开挖完就马上喷射混凝土或者做锚杆支护以此保证边坡稳定,并且分层开挖技术适应性很强,复杂地质环境尤其是软弱夹层多的地方特别适用,合理设计好分层厚度与开挖顺序能大大降低边坡失稳的风险,某大型水库工程的实践表明,用上分层开挖技术之后边坡位移量相比传统办法减少了30%以上,并且施工效率也提高了20%,所以分层开挖技术不但提高了施工安全性,而且给后续支护工作顺利开展打下了根基。

分层开挖技术的实施需严格遵循既定的施工规范与流程。在施工准备阶段,需对施工现场进行详尽的地质勘察,明确边坡的地质结构、岩土体性质以及地下水分布等关键信息,为分层设计提供科学依据。根据勘察结果,合理确定分层厚度,一般而言,分层厚度应根据岩土体的稳定性、开挖设备的性能以及支护措施的有效性等因素综合确定,以确保每层开挖后边坡能够保持相对稳定。

### 1.2 台阶式开挖技术的应用案例分析

台阶式开挖技术在水利工程边坡施工里有着重要地位,因为其稳定性与经济性都不错,它是把边坡划分成好多水平台阶一步步往下开展开挖工作来分散整个边坡的荷载并让滑坡的风险减小。某水电站建设项目在山区,地质情况复杂且岩石节理发育厉害,传统单一开挖方式达不到施工要求,用台阶式开挖技术把边坡分成三级台阶且每级高度在8~10m间再加上抗滑桩支护措施就成功控制了边坡稳定,监测数据表明施工时边坡最大水平位移才12mm,比设计允许值低不少<sup>[1]</sup>。台阶式开挖技术在经济性上也有很大优势,行业数据表明,相比其他开挖方式它能让施工成本降低大概15%~20%,大规模水利工程里经济效益更突出。不过,应用台阶式开挖技术得充分考虑地形地貌和水文条件的影响,像地下水多的地方就要加强排水措施防止渗流让边坡失去稳定,总的来说台阶式开挖技术性能很好,是水利工程边坡施工的重要选择之一。

### 1.3 预裂爆破技术在坚硬岩层中的应用优势

预裂爆破技术是一种针对坚硬岩层的高效开挖方法,其通过预先在设计边坡轮廓线上形成裂缝,从而减少主爆破对边坡岩体的破坏,近年来随着我国西部地区大型水利工程的不断推进,预裂爆破技术于坚硬岩层当中的应用变得愈发广泛,研究显示此技术可于确保开挖精准度之际,最大程度维护边坡岩体的完备性,在某大型引水隧洞工程里运用预裂爆破技术之后,边坡的超欠挖量被控制在正负10cm以内并且岩体表面的平整程度大幅提高。另外预裂爆破技术能够切实降低爆破振动给周边环境带来的影响契合绿色施工的理念,据2021年统计数据爆破振动速度在使用预裂爆破技术的水利工程中平均降低了40%,然而该技术对施工参数的精确控制要求较高,包含孔距装药量以及起爆顺序等需要依据具体的地质条件展开优化调整,尽管如此预裂爆破技术凭借其独特的优势,为坚硬岩层条件下边坡开挖给予了可靠的技术支撑。

### 1.4 机械开挖与人工开挖技术的选择依据

在水利工程边坡施工里,选择机械开挖还是人工开挖技术是个关键决策环节且这对施工效率和安全性有着直接的影响<sup>[2]</sup>。机械开挖技术在地质条件比较单纯、开挖规模较大的情况下适用,因为速度很快且成本低,例如某个平原地区的河道整治工程用挖掘机挖边坡,施工周期一下子缩短了百分之三十多。而在地质情况复杂或者空间受限的地方,人工开挖就更有灵活劲儿,尤其在软弱土层或者有地下管线的时候,人工开挖能更好地把控开挖范围以防止周边环境被破坏。2020年行业调查数据显示机械开挖和人工开挖的比例大概是七比三,不过,这个比例会随着工程种类和地区不同而变,所以选开挖方式的时候还得综合工期要求、设备是否好用以及施工队伍的经验等因素,只有科学合理地选择开挖技术才能提高施工效率并且有效保证边坡稳定从而让水利工程安全运行有强有力保障。

## 2 边坡支护技术在水利工程中的应用

### 2.1 锚杆(索)支护技术的设计与应用

水利工程里,锚杆(索)支护技术是边坡稳定的很重要手段且近年来在复杂地质条件下应用越来越广泛。锚杆把拉力传给深层稳定岩体就能有效控制边坡变形,而锚索承载能力强所以常用于大型水利工程<sup>[3]</sup>。设计的时候要综合考量边坡的地质构造、水文特性和施工环境才能合理确定锚固深度、间距和预应力值。拿近五年的数据来说,国内某个大型水库用了锚杆支护之后,边坡位移量大概降了40%整体稳定性提高了不少。锚杆(索)的施工有钻孔、注浆、张拉这些环节,注浆质量跟支护效果直接相关,所以得严格把控材料配比和施工精度。再者,锚杆(索)支护技术对付软弱夹层、断层破碎带这类地质问题挺有适应性的,不过它的长期耐久性还得进一步研究。监测数据结合起来看,锚杆(索)支护效果要靠科学设计和精细施工

来保证, 这能让水利工程安全运行更有保障<sup>[4]</sup>。

## 2.2 喷锚支护体系在不同地质条件下的适应性

喷锚支护体系在水利工程边坡支护里很重要, 因为它有着快速施工、高效加固的特性, 它靠喷射混凝土和锚杆协同作用形成整体性比较强的支护结构, 能有效应对多种复杂地质情况, 像在岩质边坡上, 喷锚支护能把岩面很快封闭起来防止风化剥落, 而在土质边坡中, 锚杆被用来加强土体抗剪强度让其更稳定, 近五年行业数据表明中小型水利工程里喷锚支护的应用占比超 60%, 不过地质条件影响着它的适应性, 碰到高含水量或者膨胀性土体就得用辅助排水办法或者改良土体性质, 并且喷射混凝土厚度和配合比设计对支护效果很关键, 太薄可能防护不够而太厚会增加经济成本, 实际工程里喷锚支护体系常常跟其他支护形式一起用才能充分发挥长处从而满足不同地质条件下支护的需求。

## 2.3 挡土墙支护结构的优化设计

挡土墙这种传统又有效的支护结构在水利工程建设中用于边坡稳定与防洪保护, 由于设计理念不断更新且技术也在进步, 挡土墙优化设计成了研究热点, 调整墙体形状、精心选材以及合理处理基础能大大提高其承载能力与抗滑性能, 像加筋土挡土墙既可降低材料成本又能增强整体结构稳定性且在软土地基条件下尤为适用, 近五年统计数据显示优化设计后挡土墙使用寿命平均延长超 20%, 而且新型复合材料的应用让挡土墙支护结构有了更多可能, 例如纤维增强混凝土抗裂性和耐久性都很出色, 需要注意的是挡土墙设计要充分考量水文条件影响并设置好排水系统以减少水压力对墙体的破坏, 优化设计既能提升挡土墙性能又能给水利工程的安全性与经济性提供强大支撑。

## 2.4 生态型支护技术在水利中的创新应用

近年来, 在水利工程里生态型支护技术逐渐兴起, 其核心要义是既要确保边坡稳定又要达成生态环境的修复和保护, 像植被混凝土支护技术, 把植物种子和营养基质掺进混凝土后, 不但让边坡抗冲刷能力得以增强而且促使植被生长起来, 近五年的数据表明, 使用生态型支护技术的水利工程数量每年平均增长率超 15%, 格构式生态支护把钢筋混凝土框架和植被覆盖的优点相结合, 既能给高强度支护又能使景观效果得到改善, 不过生态型支护技术的应用还面临着不少挑战, 例如植物生长周期跟施工进度的协调、极端气候条件下植被存活率等问题, 但生态型支护技术可持续且环境友好, 正一步一步地变成水利工程边坡支护的重要发展趋向, 从而给实现生态保护与工程建设双赢的目标带来新的想法。

## 2.5 综合支护技术在复杂地质条件下的实践

综合支护技术把多种支护形式组合应用后, 在复杂地

质条件下优势明显, 就像某个大型引水工程, 把锚杆、喷射混凝土和抗滑桩结合起来就成功解决了高陡边坡稳定性的难题, 而且近五年来的统计表明, 综合支护技术在复杂地质条件下应用的比例超 70%, 这一技术核心是按照不同地质特点合理安排支护形式功能, 例如用锚杆控制深层滑动、喷射混凝土封闭表层裂缝、抗滑桩承受主要水平荷载, 并且引入实时监测技术给综合支护提供重要支持, 通过动态分析边坡变形、应力分布这些参数来及时调整支护方案, 虽然综合支护技术成本高, 但在复杂地质条件下可靠性与适应性强, 所以成为水利工程边坡支护首选方案从而给工程安全提供坚实保障。

## 3 结论

水利工程施工时, 边坡开挖支护技术的运用跟工程安全和施工质量直接挂钩且近些年在水利工程实践里其重要性越发突显<sup>[5]</sup>。近五年的数据表明, 全球水利工程事故里边坡失稳造成的占 20% 之多, 而且地质条件复杂的区域该比例还更高, 所以系统若分析边坡稳定性的影响因素以及支护技术的特点就能明白不同支护技术在特定地质环境下适用与否的情况, 就像锚杆支护在岩质边坡下性能很好而土钉墙支护更适宜土质边坡加固这种情况一样。从工程实例来看, 科学选支护技术和优化施工工艺既能大幅提升边坡稳定性又能减少施工成本和安全风险, 不过现在技术应用时监测预警还是不够且施工工艺也不够精细等状况存在, 得靠加强技术研发和工程实践相结合来解决。研究显示, 选择边坡开挖支护技术得综合地质条件、水文特性还有施工工艺并加上实时监测与动态调整策略, 这既给水利工程行业提供重要的技术支持也给未来相关领域研究指方向, 由于水利工程规模不断变大并且技术要求越来越高, 所以深入边坡开挖支护技术的研究和应用会成为保障工程安全和质量的关键。

## 【参考文献】

- [1] 李涛, 陈敬江, 王震, 等. 水利工程施工中边坡开挖支护技术[J]. 绿色环保建材, 2020(1):241.
- [2] 赵建梅. 边坡开挖支护技术在水利工程施工中的应用[J]. 水上安全, 2024(13):183-185.
- [3] 李汉臣. 水利工程施工中边坡开挖支护技术的应用研究[J]. 四川水泥, 2019(11):272.
- [4] 居佳佳. 水利工程施工中边坡开挖支护技术[J]. 居舍, 2020(11):48.
- [5] 杨正平. 边坡开挖支护技术在水利工程施工中的应用[J]. 石材, 2023(12):94-96.

作者简介: 万谋丹 (1981.11—), 男, 毕业于南昌大学, 专业工程管理, 中级工程师, 职务施工项目部总工。

# 信息化技术在水利工程建设管理中的应用研究

罗广超

泰安市宏信水利工程建设监理有限公司, 山东 泰安 271000

**[摘要]**随着信息技术迅猛发展,水利工程建设管理正从传统经验型管理逐渐转变为数字化、信息化以及智能化管理。信息化技术在水利工程建设整个过程广泛运用,既提高了工程管理效率,又在工程质量、安全控制还有投资成本管理等方面起到关键作用。文中分析信息化技术在水利工程建设管理应用价值,全面梳理当下水利工程建设管理信息化应用状况,着重探讨信息化技术在工程前期以及施工阶段具体应用形式,同时对BIM技术和物联网技术在工程管理作用展开分析。依据实际问题给出提升水利工程建设管理信息化水平对策建议,期望为水利工程建设管理数字化转型给予参考。

**[关键词]**信息化技术; 水利工程; 工程建设; 工程管理

DOI: 10.33142/hst.v8i12.18459

中图分类号: TV51

文献标识码: A

## Research on the Application of Information Technology in Water Conservancy Engineering Construction Management

LUO Guangchao

Tai'an Hongxin Water Conservancy Engineering Construction Supervision Co., Ltd., Tai'an, Shandong, 271000, China

**Abstract:** With the rapid development of information technology, the management of water conservancy engineering construction is gradually shifting from traditional experiential management to digital, information-based, and intelligent management. Information technology is widely used in the entire process of water conservancy engineering construction, which not only improves the efficiency of engineering management, but also plays a key role in engineering quality, safety control, and investment cost management. The article analyzes the application value of information technology in water conservancy engineering construction management, comprehensively sorts out the current situation of information technology application in water conservancy engineering construction management, focuses on exploring the specific application forms of information technology in the early stage and construction stage of the project, and analyzes the role of BIM technology and Internet of Things technology in engineering management. Based on practical problems, provide suggestions for improving the informatization level of water conservancy engineering construction management, hoping to provide reference for the digital transformation of water conservancy engineering construction management.

**Keywords:** information technology; water conservancy engineering; engineering construction; engineering management

### 引言

水利工程属于国家基础设施体系里的关键部分,其呈现出投资规模颇为可观、建设周期相对漫长、技术复杂性较高以及社会影响波及范围较广等特性。工程建设管理的水平如何,会直接影响到工程质量状况、安全运行情况以及投资效益的实现与否。传统的水利工程建设管理模式,在信息传递、过程控制以及协同管理等诸多方面都存在着一定的局限性,如今已经很难契合现代水利工程要达成高质量建设所提出的要求了。在信息技术持续朝着成熟方向发展的这样一个背景之下,把信息化技术充分融入到水利工程建设管理的过程当中,已然成为提高管理科学化程度以及精细化水准的一条极为重要的路径。所以说,针对信息化技术在水利工程建设管理方面的应用展开系统的探究,有着较强的实际意义以及实践方面的价值。

### 1 信息化技术在水利工程建设管理中的价值分析

#### 1.1 提升工程管理的效率

水利项目的复杂性和专业性要求管理工作的严谨性

和高效性。要重视水利工程建设与管理,将其视为核心任务,重视信息收集、处理和传递等环节,以确保各部门协同顺畅,整体效率得以提升,从而推动水利项目的顺利实施。同时应建立完善的信息反馈机制,使管理过程中的问题能够及时被发现和解决。借助信息技术和软件技术,实现信息的快速共享,大幅缩短了信息搜集周期,从而显著提高管理效率。

#### 1.2 推动水利管理模式的构建

在当今水利项目管理中,信息技术的应用已成为不可或缺的一部分。随着产业融合的深化,信息技术已广泛应用于各个领域并取得显著成果,标志着水利管理进入了高度现代化的新阶段。对水利工程项目管理来说,整合管理至关重要,以优化整体管理水平。如果能借助信息技术来实现这一目标,将极大地提高工作流程的效率,并能够确保水利工程建设的平稳推进。

#### 1.3 强化工程质量与安全控制

水利工程施工环境颇为复杂,其施工工序繁多,并且

彼此之间关联得极为紧密,只要任何一个环节出现些许问题,就极有可能给工程的质量以及施工的安全带来不利的影响。信息化技术得以应用之后,工程质量与安全管理便实现了在建设全过程当中的动态监控。凭借信息系统来针对施工进程中那些关键工序、重要的结构部位还有安全风险点展开实时的记录以及跟踪操作,如此一来能够切实提升质量管理所具有的规范性以及透明度。与此依靠信息化平台对安全巡查的情况、隐患排查的状况以及整改落实的情形加以统一化的管理,这对于实现风险的及时预警以及快速处置是很有帮助的,可降低因人为疏忽而产生的安全隐患,进而为水利工程建设给予更为可靠的质量与安全保障。

#### 1.4 提高投资与成本管控能力

水利工程的建设,其投资规模往往颇为可观,资金流动也极为频繁,投资以及成本管理是贯穿于整个工程建设过程当中的。信息化技术在投资与成本管控方面加以应用之后,使得工程的资金管理变得更加科学且更为透明了。通过去建立工程投资管理的信息系统,针对合同管理、工程计量、资金支付还有变更费用等方面来实施集中管理以及动态分析,如此一来便能够达成对工程成本的全过程控制。该信息系统能够实时反映出实际成本和计划成本之间存在的偏差情况,进而为管理决策给予数据方面的有力支撑,以此有效地防范出现超概算、超预算等诸多问题,提升水利工程资金的使用效率以及投资所取得的效益。

### 2 水利工程建设管理信息化应用现状

当下,信息化技术于部分水利工程建设管理当中已然有所应用,不过整体而言其水平依旧需要进一步提升。有一部分工程已经开始运用信息管理平台来推进进度、质量以及安全方面的管理事宜,达成了工程数据的集中存放与共享目的,在相应程度上促使管理效率得以提升。然而从总体层面来讲,水利工程建设管理信息化的发展情况仍然呈现出不平衡的状态,不同地区以及不同项目之间信息化应用所涉及的深度存在着颇为显著的差异,部分工程依然主要依靠传统管理方式来进行操作,信息系统所具备的功能较为单一,并且数据的利用率也并不高,还没有充分地将信息化技术在工程建设管理当中的综合效益发挥出来。

### 3 信息化技术在水利工程建设管理中的具体应用

#### 3.1 工程前期阶段的信息化管理

在工程起步阶段,信息化技术在项目立项、方案比选、设计管理以及前期论证这些关键环节都有所应用。利用信息系统来对工程基础数据、勘测资料还有设计成果加以集中整合并进行统一管理,这有利于提高前期决策的科学性与准确性,防止因为信息分散或者数据存在不一致情况而出现决策偏差。信息化手段可以达成设计资料的标准化存储以及快速查询,能降低信息在传递过程中出现失真与延误的情况,提升工作衔接的效率<sup>[1]</sup>。与此依靠信息化管理平台强化建设单位、设计单位以及

相关管理部门之间的沟通协作,能够切实提升前期管理的整体效率与透明度,为施工组织优化以及工程顺利开展打下坚实的基础。

#### 3.2 工程施工阶段的信息化管理

施工阶段在水利工程建设管理里属于极为关键的环节,它对于工程质量、安全以及进度有着重要影响,所以这一阶段信息化技术的应用显得格外重要且必不可少。借助施工管理信息系统来对工程进度、施工质量、安全管理还有资源配置加以集中且统一的管理,如此便能达成对施工全过程实施动态监控以及实时调整的目的,以此保证各项施工任务能够依照计划高效地向前推进。该信息系统可实时反映出施工现场实际的进展状况,给管理人员科学制定施工计划、合理安排施工资源给予可靠的数据方面的支撑<sup>[2]</sup>。与此通过对施工过程数据进行实时采集、分析与整合,能够及时察觉到潜在的风险与问题,方便采取有针对性的举措去做出调整与优化,进而提升施工管理的精细化程度,减少安全隐患,确保水利工程可按照预期的时间节点顺利推进,并且满足设计质量的要求,为整个工程的高效运转以及长期使用筑牢坚实的保障。

### 4 水利工程建设管理信息化关键技术分析

#### 4.1 BIM 技术在水利工程建设管理中的应用

BIM 技术凭借构建起工程的三维数字模型,达成了工程信息的高度整合以及系统化的管理模式,给水利工程建设管理赋予了直观、高效的科学技术手段。在工程建设过程中, BIM 模型能够直观展示工程结构和施工流程,辅助管理人员进行施工组织和方案优化<sup>[3]</sup>。同时 BIM 技术有助于加强设计与施工之间的协同,减少设计变更和施工冲突,提高工程建设的整体效率和质量管理水平。

#### 4.2 物联网技术在施工现场监测中的应用

物联网技术借助于在施工现场布置各类传感器以及智能监测设备,达成对环境条件、施工进度、关键工序参数还有设备运行状态展开实时数据采集的目的,进而为水利工程建设管理给予较为完备且精准的数据信息方面的支撑。在施工进程当中,物联网技术可对施工现场的温度、湿度、风速、水位等环境要素,以及大型施工设备的运行状况与施工人员的安全情形予以持续监测,使得管理人员能及时知晓现场的动态情况,实现针对施工过程的全方位且动态化的管控。凭借数据的实时传输以及分析操作,管理人员能够迅速察觉到潜在的安全隐患以及施工偏差,并且采取行之有效的举措来做出调整与优化处理,如此一来便能降低事故发生的概率,提升施工的安全程度。与此物联网技术还能助力质量管理工作,针对关键施工环节实施在线监控,保证施工标准能够得到严格遵守执行,由此切实提高水利工程建设的质量以及效率,为工程按时、高标准地完成给予可靠的保障,并且为后续的运维管理累积下精准的数据根基。

## 5 提升水利工程建设管理信息化水平的对策建议

### 5.1 完善信息化管理制度与技术标准

健全的信息化管理制度以及建立起统一的技术标准,这二者乃是推动水利工程建设管理信息化能够顺利推进开展的根基所在,同时也是达成工程管理科学化、规范化以及精细化这一目标的关键前提条件。在实际展开管理工作的过程之中,务必要全面且细致地结合水利工程建设所具有的具体特点以及实际存在的各类需求,去制定并进一步完善那些与工程建设、施工组织、进度控制、质量管理、安全监测等诸多环节都能够相互契合的制度规范,要清晰明确各个参与建设的单位在信息化管理当中的具体职责以及相应权限,以此来保证信息系统可以在整个工程管理的过程当中都能够获得规范化的应用<sup>[4]</sup>。与此还得着力强化技术标准体系方面的建设工作,针对信息采集、数据格式、传输接口、系统操作还有数据安全等多个不同方面做出统一的规定,进而实现工程数据的标准化管理以及高效的共享,促使不同系统与平台之间能够具备更好的兼容性以及更强的协同能力。借助于建立严格意义上的制度约束以及技术标准,是能够有效地防止出现信息孤岛这类现象的,可以对信息化技术在工程决策、进度控制、质量监督以及成本管理等环节当中的应用加以规范,提升工程管理的科学性以及可操作性程度,进而为水利工程建设能够高效、精细并且安全的实施给予稳固有力的保障。

### 5.2 加强信息化平台集成与数据共享

水利工程建设管理包含设计、施工、监理、质检、安全、投资等诸多业务环节,还涉及建设单位、施工单位、设计单位、监理单位等多个管理主体,所以在实际管理过程中,信息资源呈现分散态势,数据存在不一致性,信息孤岛现象也较为明显。强化信息化平台的集成建设,对于整合各类数据资源、达成信息共享以及实现业务协同有着不容忽视的重要意义。借助构建统一且标准化的工程信息管理平台,可以把设计数据、施工进度、质量检测、安全监控、投资成本等各种信息予以集中管理,促使不同系统与部门之间实现数据的互联互通,进而打破信息壁垒,让各参建单位能够实时获取到所需的信息,以此提高管理效率并增加工作透明度。信息化平台的集成还能够支撑多维度的数据分析以及可视化展示,为管理者给予全面、精准、科学的决策依据,助力在进度安排、资源调度、质量控制、风险预警以及成本管理等诸多方面开展精细化管理,由此大幅度提升水利工程建设管理的协同水准以及整体管理效能,推动工程建设朝着高效、智能且科学化的方向不断发展。

### 5.3 提升水利工程管理人员信息化能力

信息化技术要得以有效运用,少不了那些有着专业素养并且具备信息化能力的管理人员。水利工程建设方面的管理人员得把信息系统操作给熟练掌握了,还得对数据分析的方法较为熟悉,并且要能很好地使用工程管理软件,如此一来,才能够在实际开展工作的过程当中,让信息化技术充分地发挥作用。所以说,应当着重强化针对管理人员所开展的信息化培训工作,以此来提高他们对于信息系统的应用能力,同时也要增强他们的数据分析意识,要让他们可以凭借实时的数据来进行科学的决策,进而实现精细化的管理,进而促使信息化技术能够更为深入地融入到工程管理的实际实践当中去,充分地发挥出它在工程进度把控、工程质量保证、工程安全管理以及工程成本控制等诸多环节当中的综合效能,从而为水利工程建设管理水平的提升筑牢人才方面的保障。

### 5.4 推进智慧水利与数字化建设管理

在信息化建设已然开展的基础上,再接再厉地推进智慧水利以及数字化管理相关事宜,这无疑构成了水利工程建设管理后续发展的关键指向。借助于信息技术同工程管理加以深度融合并应用于实际当中,进而促使管理模式不断推陈出新,如此一来便能够助力达成水利工程建设管理的智能化状态以及精细化程度,从而为水利工程迈向高质量发展赋予强有力的支撑。

## 6 结语

信息化技术的应用给水利工程建设管理开辟了新的发展途径。借助合理利用信息化手段,能够切实提高工程管理的效率,强化对质量以及安全的把控,改进投资与成本方面的管理。在后续的日子里,需要在完善相关制度、强化技术应用以及提升管理能力等各个层面不断努力,促使水利工程建设管理朝着更为科学、更为高效并且更加智能的方向去发展,为实现水利工程的可持续发展和长期稳定运行提供坚实保障。

## [参考文献]

- [1]吴娅.信息化技术在水利工程建设与管理中的应用[J].水上安全,2024(15):64-66.
- [2]王青青.信息化技术在水利工程建设管理中的应用[J].城市建设理论研究(电子版),2024(17):202-204.
- [3]郭杰.信息化技术在水利工程建设管理中的应用[J].工程技术研究,2023,8(13):162-164.
- [4]丁新贤.信息化技术在水利工程建设管理中的应用研究[J].智能建筑与智慧城市,2022(8):102-104.

作者简介: 罗广超 (1994.5—), 毕业院校: 山东建筑大学, 所学专业: 土木工程, 当前就职单位: 泰安市宏信水利工程建设监理有限公司。

## 水利技术创新背景下的水利管理方法研究

陈付友

安徽省临泉县水利局, 安徽 临泉 236400

**[摘要]**随着人口持续增长、城市化进程不断加快以及气候变化带来的影响,水资源供需方面存在的矛盾以及水利管理所面临的压力变得日益显著起来。传统的依靠经验来开展的管理模式,已经很难契合现代社会的需求了。水利技术方面的创新,对于提高水资源配置的效率、确保水利工程的安全性、优化风险管理举措以及推动管理模式走向智能化等方面,都给予了极为重要的支撑作用。文中着眼于水利管理当下所面临的诸多挑战,较为系统地对技术创新在水利监测工作、调度操作、防洪预警环节以及流域管理工作当中的具体应用状况展开分析,并且深入探讨了它对于管理方法所产生的推动作用,同时还提出了有关智能化管理方法以及数字化决策支持体系建设的相关对策。

**[关键词]**水利技术创新; 水利管理; 智慧水利

DOI: 10.33142/hst.v8i12.18455

中图分类号: TV2

文献标识码: A

## Research on Water Management Methods under the Background of Water Conservancy Technology Innovation

CHEN Fuyou

Anhui Linquan County Water Conservancy Bureau, Linquan, Anhui, 236400, China

**Abstract:** With the continuous growth of population, accelerated urbanization process, and the impact of climate change, the contradiction between water resources supply and demand, as well as the pressure faced by water management, have become increasingly prominent. The traditional management model that relies on experience is no longer suitable for the needs of modern society. Innovation in water conservancy technology has played an extremely important supporting role in improving the efficiency of water resource allocation, ensuring the safety of water conservancy projects, optimizing risk management measures, and promoting intelligent management models. The article focuses on the many challenges currently faced by water management, systematically analyzes the specific application of technological innovation in water monitoring, scheduling operations, flood warning, and watershed management, and deeply explores its driving role in management methods. At the same time, relevant countermeasures for intelligent management methods and digital decision support system construction are also proposed.

**Keywords:** water conservancy technology innovation; water management; smart water conservancy

### 引言

水利管理属于保障社会经济发展、生态安全以及人民生活的关键基础性工作范畴,然而我国水资源分布呈现出极不均衡的状态,部分地区水资源还极度紧缺,再加上极端气候事件频繁发生,这就使得水利管理的难度持续攀升。传统的水利管理大多依靠经验以及局部调度来开展,很难达成科学决策以及跨区域之间的协调。借助技术创新这一途径,能够达成水资源调度更为精细、工程运行更加安全以及管理模式走向智能化的目标。本文着重分析水利技术创新在现代水利管理当中的具体应用情况及其所产生的推动作用,同时还会给出与之相应的管理方法以及对策。

### 1 水利管理面临的挑战

全球性的水资源短缺成为阻碍社会经济发展的问题之一,对农业灌溉、城市用水、生态环境稳定以及国家安全格局都存在重要影响,在我国很多地区,干旱及半干旱地区更是如此,水资源供需矛盾愈加突出。同时由于工业化、城市化进程的加快,人们对水的需求量逐渐增大,过

去传统的方式难以满足对水量、水质以及供水安全的需要,再加上一些区域非常严重地依赖地下水资源开采,出现了水位下降、地面沉降、水体盐化等一系列问题,进一步加剧了水资源系统自身的脆弱程度。在水利管理中,从某种意义上讲,全球水资源短缺是属于管理问题而不是资源问题,其中主要是因为资源分布不均衡和需求结构不合理之间的差距过大而导致的矛盾。就我国不同区域而言,不同区域水资源配置调节的余量并不大,一方面通过跨流域调水,另一方面采用非常规水的使用和节水技术的应用等是当前缓解水资源短缺情况的有效办法。

### 2 水利技术创新及其应用

#### 2.1 物联网技术在水利监测与管理中的应用

物联网技术于水利管理方面所起的作用日益变得重要起来,其借助对水文环境以及水利设施展开的实时监测活动,达成了对水资源状况较为精准的感知效果。物联网系统可将传感器、数据采集终端以及通信网络予以整合,针对河流流量、水库蓄水量、地下水水位还有水质参数等

展开连续不断的采集工作，并且会把所采集到的数据实时地传送到管理中心，以此给调度决策给予可靠的依据。此项技术一方面提升了数据获取方面的效率，另一方面也明显强化了水利设施运行状态的透明程度，促使管理人员可以在出现异常状况的时候及时做出响应。就好比在干旱时节，凭借物联网开展实时监测水库水位以及灌区用水量的操作，管理部门便能科学地去调整供水方案，达成水资源的精细化分配目的；而在防洪期间，对河道流量以及雨量信息实施实时采集的行为，能够为洪水预警以及应急调度提供基础数据，进而降低洪涝灾害的风险。除此之外，当物联网技术同云计算以及数据分析相互结合起来之后，便能让历史数据派上用场，用于趋势预测以及风险评估等方面，由此提升水利管理的科学性以及前瞻性，为水资源的可持续利用给予技术层面的有力支撑。

## 2.2 大数据分析提升水利决策科学性

大数据技术于水利管理方面的应用，重点在于对数量众多的水文数据、气象数据还有社会用水数据加以整合并展开分析。借助构建起的数据模型以及决策支持系统，可为管理者给予科学层面的依据。以往的传统水利管理，很大程度上依靠的是经验以及历史数据，通常情况下很难去处理那些复杂且具有多维特性的信息。然而大数据分析却能够把流量、水位、降雨量、水质以及用水需求等诸多来源不同的数据实时地融合到一起，从中探寻出潜在的规律以及风险的发展趋势。比如，经由对多年积累下来的水文数据以及气象数据展开分析，便能够建立起水资源供需预测的模型，进而达成对未来供水所面临的压力以及洪涝风险的预测目的，如此一来便可对调度方案以及工程运行计划予以优化。与此大数据分析还具备识别区域用水模式的能力，能够对水价以及调度策略做出优化调整，以此提升资源在配置方面的效率。在防洪以及应急管理工作当中，大数据同机器学习算法相互结合起来，能够实现对洪水的预测以及风险等级的划分，给防灾减灾工作提供科学方面的指导，使得管理决策的精准性以及可靠性得以大幅度提升。凭借大数据所提供的支持，水利管理已经从单纯依靠经验的操作方式转变成了由数据来驱动的管理模式，这无疑增强了水资源利用在科学性、经济性以及可持续性等方面的程度。

## 2.3 人工智能在水利调度与防洪预警中的作用

人工智能在水利管理里，主要用于智能调度、水文预测以及防洪预警等方面。借助深度学习与模型优化，可达成对复杂水利系统的高效管控。传统调度依靠人工分析与经验判断，易受主观因素干扰，人工智能却能针对多源数据展开自动分析，模拟各类调度方案的效果，并且在短期内给出最优方案。比如在水库群调度当中，人工智能模型能够兼顾降雨预测、流域来水量、下游用水需求以及生态保护目标，完成多目标优化管理。在洪水预警方面，凭借

人工智能的预测模型，可对降雨和流量变化进行迅速分析，及时察觉潜在洪水风险，并且向管理部门和公众发出预警信息，进而提前施行防护举措。人工智能还可通过持续学习历史数据与运行经验，不断优化调度算法与风险评估模型，提升系统应对复杂环境与极端事件的能力。把人工智能技术引入水利管理，不但提升了决策效率与准确性，还促使管理模式朝着智能化、自动化方向推进，为现代水利治理给予了技术保障。

## 3 水利技术创新对管理方法的推动作用

### 3.1 提升水资源配置的科学性与精细化水平

水利技术创新在提升水资源配置科学性方面起到了关键作用，让管理者能够在复杂的水文状况以及多样化的用水需求之下达成精细化调控。传统水资源调度常常依靠经验以及较为粗略的预测，没办法处理供需波动所带来的不确定性，然而物联网、大数据还有人工智能技术相互融合之后，对水库、水网以及灌区展开实时监控就变得可行起来。通过对降雨量、流量、水质、用水量等多种来源的数据加以综合分析，管理部门能够精准地判断各个区域水资源短缺的具体情况以及调配的潜力，进而实现跨流域、跨区域的科学分配。与此技术创新还支撑着动态调整供水策略，比如说在干旱或者洪涝这样的极端情形之下，可以根据预测数据来优化水量分配以及确定优先级，以此兼顾农业、工业、城市以及生态用水的平衡状态。精细化管理一方面提升了水资源利用的效率，另一方面也降低了出现浪费以及冲突的风险，为可持续发展给予了技术方面的保障，促使水利管理从粗放型调度朝着智能化、科学化的方向去转变。

### 3.2 强化水利工程运行安全与风险管理能力

水利技术创新给水利工程的安全管理以及风险控制带来了颇为深远的影响。过去，水利工程在运行之时，大多依靠人工去巡检，再加上凭借历史经验来开展相关工作，如此一来，便存在着监测方面存在盲区以及响应速度较为滞后的种种问题。然而有了传感器网络以及实时数据采集手段之后，就能够针对水库、泵站、闸门还有河道设施展开连续不断的监控操作，进而能够及时察觉到其中出现的异常情况以及潜在的各类隐患<sup>[1]</sup>。比如说，对水位、水流速以及结构应力等方面的数据展开实时分析，这样便能够在一定程度上提前识别出像坝体出现泄漏、管道发生破损这类的风险状况。管理部门能够快速地采取诸如调度、加固或者排险等相关措施，从而切实有效地将事故发生的概率降下来。与此再结合风险预测模型以及应急调度算法来看，技术创新是能够模拟极端事件有可能给工程安全所带来的影响情况的，这无疑为风险分级管理以及资源优化配置提供了具有科学性的依据。总体来讲，水利技术的应用一方面提升了工程运行所具备的可靠性以及安全性，另一方面也强化了面对突发事件时的预判能力以及应对能力，

促使水利工程管理从原本的被动应对状态逐步转变为更加主动的防控状态。

### 3.3 推动水利治理体系现代化与协同化

技术创新给水利治理体系带来了现代化与协同化的有力支撑,让不同管理部门以及各个区域得以高效地展开协作。现代水利治理所涉及的范围不仅仅涵盖水资源调度,而且还包含防洪、生态保护、水质管理以及用水保障等諸多方面的任务内容,传统的那种单一部门管理模式是很难去满足这些实际需求的<sup>[2]</sup>。借助信息化平台以及智能管理系统,各类相关的数据便可以实现实时的共享,不同的部门也能够同步地获取到水文、水质还有工程状态等方面的信息,进而能够更为科学地去制定调度以及应急方面的方案。技术创新同时也对跨区域水资源统筹给予了支持,结合流域模型以及预测算法,达成上下游供水以及生态用水的协调一致,促使水利治理从原本的分散管理朝着系统化、协同化以及科学化的方向去实现转变。

### 3.4 管理模式从经验型向智能型转变

随着物联网、大数据以及人工智能等技术的应用情况,水利管理正在逐步地从依靠经验判断还有人工操作的传统模式朝着智能化并且是数据驱动的管理模式去转变。智能化管理包含有自动监控、实时调度以及预测分析等内容,而且更加着重于决策的科学化以及精准化方面<sup>[3]</sup>。管理者能够依照实时数据来展开动态调度,以此减少人为因素所产生的影响,并且借助预测性调度以及预防性维护等方式,达成风险提前加以干预以及资源实现优化分配的目的。信息共享和跨部门协同相结合起来,促使水利管理从单一的操作环节向着综合决策体系的方向不断发展,既提升了管理的效率,又降低了相关的成本,还为现代水利管理给予了新的理念以及方法方面的有力支撑。

## 4 水利技术创新背景下的管理方法与对策

### 4.1 智能化水利管理方法设计

智能化水利管理方法属于技术创新范畴内的一种方式,它对于提升管理效率以及决策科学性而言,堪称是极为关键的手段。它的主要目标是要借助信息化以及智能化来达成对水资源、水利工程还有运行过程的实时管理效果。该方法依靠物联网传感器去监测水位、流量、水质以及设施的状态,然后把所获取的数据都汇集到管理平台当中。与此还会结合大数据分析以及人工智能来开展异常识别、风险评估以及资源优化等相关工作。凭借这些技术,管理部门便能够实现动态调度、预警发布以及科学决策等事宜。在系统设计方面,着重强调可扩展性和适应性,确保管理体系不管是在不同的流域、不同的季节亦或是处于极端气候条件之下,都能够高效地运作起来,进而切实保障水资

源得以合理利用、工程保持安全状态以及生态环境维持稳定状况,有力推动管理模式从单纯依靠经验逐步向着科学化、精细化以及可持续发展的方向去转变。

### 4.2 数字化决策支持与信息反馈体系建设

数字化决策支持以及信息反馈体系属于水利技术创新给予管理方法的关键支撑范畴。借助构建起统一的信息平台,可达成数据共享、智能分析还有决策闭环等方面的效果。此体系把水文、水资源、工程运行以及用水需求等諸多来源的数据加以整合,依靠算法模型展开预测与优化操作,进而为管理者给出科学且量化的决策依据。与此信息反馈机制能够保证管理措施实施之后可以实时对效果予以监测,针对水资源调度、工程运行以及生态保护展开动态调整,由此形成闭环管理的局面。数字化决策支持体系不但提高了水利管理的透明度与科学性,而且还为跨区域、跨部门的协调事宜提供了技术方面的支撑,进而实现流域的整体治理以及资源的最优配置目标。该体系着重关注数据安全、平台的可扩展性以及用户友好性这些方面,使得管理部门在面临复杂的水文条件、极端的气象事件以及多样化的用水需求情况时,能够快速并且精准地做出管理决策,推动水利管理朝着现代化与智能化的方向不断发展前行。

## 5 结束语

水利管理所面临的挑战一天比一天更为复杂起来,传统的那种依靠经验来开展工作的模式,已经越来越没办法契合现代水资源调度方面的需求了,同样,在工程安全管理这块儿,它也难以满足相应的要求。水利技术方面的创新给管理方法开拓出了全新的途径,借助物联网、大数据还有人工智能等一系列的技术手段,达成了水资源配置朝着科学化的方向去推进的目标,也让工程运行能够实现安全化,并且使得管理模式迈向了智能化的状态。在未来,需要持续不断地强化技术与管理方法之间的融合程度,进一步完善信息共享以及协同机制的相关事宜,推动水利管理朝着科学、高效、智能并且可持续的方向不断发展前行,从而为保障水安全以及维护生态环境筑牢坚实的支撑。

## 【参考文献】

[1] 孙诚.水利技术创新背景下的水利管理方法研究[J].水上安全,2025(17):39-41.

[2] 宋艳芬.水利技术创新背景下的水利管理方法研究[J].水上安全,2024(14):31-33.

[3] 丘克强.对水利技术创新背景下的水利管理探索[J].居舍,2021(11):152-153.

作者简介: 陈付友 (1975.10—), 男, 汉族, 本科学历, 就职于安徽省临泉县泉河河道管理所, 从事水利工程管理工作。

## 水利工程施工中边坡开挖支护技术中的应用

张春太

山东大禹水务建设集团有限公司, 山东 济南 250000

**[摘要]**在水利工程施工进程里,边坡开挖支护技术属于极为关键的一个环节,其对于保障工程的安全性、工程质量以及施工效率都有着不容小觑的作用。随着当下工程规模持续扩大,复杂程度不断加深,传统的边坡支护手段已然很难契合现代施工方面的实际需求了,所以针对边坡开挖支护技术展开的相关研究以及具体应用就变得格外重要起来。本文紧扣水利工程施工的实际状况来展开论述,着重从浅层支护、深层支护、还有新型支护材料以及智能施工技术等诸多方面展开较为系统的剖析,并且还结合施工管理方面的诸多策略,像施工前的各项准备工作、设计方面的优化举措、安全方面的管理事宜、进度方面的把控工作、质量方面的监管事项、爆破技术的应用情况以及环境保护相关事宜等内容,进而提出具有一定科学性与合理性的应用策略。通过将理论知识同实际操作相互结合起来的方式,本文希望能够给水利工程施工给予一定的参考依据,达成施工安全得以保障、工程质量能够得到保证并且环境可以实现可持续发展的目标。

**[关键词]**水利工程; 边坡; 开挖; 支护技术

DOI: 10.33142/hst.v8i12.18452 中图分类号: 文献标识码: A

## Application of Slope Excavation and Support Technology in Water Conservancy Engineering Construction

ZHANG Chuntao

Shandong Dayu Water Construction Group Co., Ltd., Ji'nan, Shandong, 250000, China

**Abstract:** In the construction process of hydraulic engineering, slope excavation and support technology is an extremely critical link, which plays an important role in ensuring the safety, quality, and construction efficiency of the project. With the continuous expansion of engineering scale and increasing complexity, traditional slope support methods are no longer able to meet the practical needs of modern construction. Therefore, research and specific applications related to slope excavation support technology have become particularly important. This article focuses on the actual situation of water conservancy engineering construction and conducts a systematic analysis from various aspects such as shallow support, deep support, new support materials, and intelligent construction technology. It also combines various strategies in construction management, such as pre construction preparation work, design optimization measures, safety management matters, progress control work, quality supervision matters, application of blasting technology, and environmental protection related matters, and proposes application strategies with certain scientificity and rationality. By combining theoretical knowledge with practical operation, this article hopes to provide certain reference basis for water conservancy engineering construction, achieve the goals of ensuring construction safety, engineering quality, and sustainable development of the environment.

**Keywords:** water conservancy engineering; slope; excavation; support technology

### 引言

水利工程一般会建造在地形状况复杂且环境条件颇为严苛的区域,在施工进程当中,边坡的稳定情况和工程的安全性以及施工效率紧密关联着。边坡开挖支护属于施工环节里极为重要的一部分,同时也是用来保障工程质量、防范事故的发生的关键技术举措。近些年来,随着水利工程规模变得越来越大,施工环境也日益复杂起来,传统的边坡支护方法在实际施工进程中存在着诸多隐患,像是有安全隐患存在等情况,这些都使得其很难契合现代工程方面的要求。所以说,深入研究并且加以应用那些科学、合理且具创新性的边坡开挖支护技术,这对于提高施工质量、确保工程安全、削减施工成本而言,有着不容忽视的重要意义。本文在归纳整理现有技术经验之际,还结合了施工

管理方面的策略,全方位地对水利工程施工里面边坡开挖支护技术的应用展开探讨,从而能够给工程实践给予一定的参考依据。

### 1 水利工程施工中边坡开挖支护重要性

水利工程施工中,边坡开挖是一个非常重要的环节,其支护必不可少。(1) 保证工程施工进度: 边坡开挖支护是水利工程施工的重要环节,边坡支护的好坏直接影响工程的施工进度。(2) 维护水利工程安全: 水利工程通常建于山区、峡谷等自然环境中,边坡开挖对环境稳定性的影响十分显著。未经合理支护的边坡容易发生滑坡、塌方等事故,严重威胁到水利工程的稳定性和安全性。(3) 提高工程质量: 合理的边坡开挖支护能够保证土体结构稳定,防止坍塌、变形等问题的发生。(4) 减少环境破坏: 水利

工程施工场地通常靠近山区、河流等自然环境,未经合理支护的边坡开挖容易引起环境破坏,如水源污染、土地沉降等问题,对环境造成不利影响。因此,合理的边坡开挖支护是水利工程施工中必不可少的环节,能够保证水利工程的安全性和质量,减少环境破坏。

## 2 边坡开挖支护施工技术

### 2.1 浅层支护技术

浅层支护技术主要适用于土质边坡或者坡高较低且土体稳定性比较好的施工环境,其核心目的在于借助表层支护措施维持边坡土体的稳定性,进而确保施工安全以及施工效率。浅层支护一般包含锚杆支护、喷锚支护以及排桩或者临时挡土墙等举措。锚杆支护是通过在边坡表层安装锚杆并和土体形成结合,以此提升土体抗剪强度,进而降低滑移变形的情况。喷锚支护把喷射混凝土和钢筋网相结合,能够在较短的时间内形成连续支护面,对于局部土体不均匀变形有着不错的约束作用。排桩或者临时挡土墙通过形成刚性支护结构来支撑边坡土体,防止在施工过程中出现局部坍塌的现象。浅层支护技术的优点在于施工速度较快、成本相对偏低,并且在施工过程中便于调整与维护,适合应用于河道整治、小型水库边坡以及其他中低坡度的施工场合,不过其承载能力以及适用范围受到土质条件以及边坡高度的限制,所以在实际施工当中需要结合地质勘察的结果展开科学设计与施工。

### 2.2 深层支护技术

深层支护技术主要适用于高边坡或者岩土混合结构较为复杂的水利工程施工环境,该技术着重借助深层支护方面的举措来强化边坡的整体稳固性。深层支护一般涵盖桩基支护、锚索加固、喷射混凝土支护以及分级爆破开挖等一系列的技术手段。其中,桩基支护是通过设立深层桩体的方式,把边坡土体或者是岩体同坚固层相互连接起来,进而形成一个完整的支撑体系,如此一来便能大幅度提升边坡的承载能力,而且还能有效地抵御土体出现滑移情况以及发生局部破坏的现象。锚索加固要是和桩基或者喷射混凝土相互结合起来的话,那么就能够进一步对深层土体加以约束,从而防止边坡出现整体滑移的情况,在施工过程当中还能够凭借张拉力调节的方式来达成应力优化的目的。喷射混凝土在深层边坡当中的运用,是依靠快速形成坚固且连续的支护面,以此来有效地遏制边坡表层以及次生裂隙不断扩展的趋势,并且在不良地质条件之下还能够起到额外的防护作用。分级爆破开挖属于岩石边坡施工当中极为重要的一种方法,它是通过分层逐步进行开挖的方式,以此来对爆破振动加以控制,进而减少边坡受到的扰动,降低施工所面临的风险,同时也能够避免对周边的结构以及环境造成破坏。深层支护技术在大型水库、尾水坝还有峡谷地段施工环节当中显得格外重要,其实际应用不但能够确保施工的安全性,而且还能为后续工程能够实现长期稳定的运行打下了坚实的基础,不过其施工成本以及技术方面的要求都比较高,所以必

须要严格依照设计规范以及施工工艺来进行操作,并且要结合施工监测数据及时地对支护方案做出相应的调整,从而切实保障边坡的安全以及施工的质量。

### 2.3 新型支护材料及智能施工技术

随着施工技术不断发展,新型支护材料还有智能施工技术在水利工程边坡开挖方面得到了广泛运用。新型支护材料有高强度混凝土、纤维增强材料、可调节锚索以及轻质高韧性支护板等,这些材料一方面提高了支护结构的承载能力以及耐久性,另一方面也降低了施工重量以及对环境的影响。智能施工技术主要包含施工过程监测系统、边坡变形在线监测、施工机器人辅助以及数字化施工管理平台,借助实时数据采集与分析,可以达成边坡稳定性预测、施工工序优化以及施工质量控制的目的。这些技术与材料相结合加以应用,既提升了施工效率与安全性,又能实现施工过程的智能化管理,减少人为失误,提高水利工程施工的科学性与可持续性。

## 3 边坡开挖支护施工管理与应用策略

### 3.1 施工前准备工作

施工前的准备工作在边坡开挖支护施工里属于极为关键的一个环节,其重点就在于要保证施工的各项条件都能够完备无缺,让施工人员对于技术方面的要求能够十分清楚,而且施工设备以及相关材料也都得准备妥当。在施工开始之前,必须要去完成地质方面的勘察工作以及针对边坡稳定性的相应分析,从而将土层具体的分布情况、岩石所具有的性质以及存在潜在风险的区域都给明确清楚了,进而能够为后续的施工设计给予科学且合理的依据。与此还应当制订出详尽细致的施工方案以及应急预案,要对施工人员开展技术层面的交底工作并且进行安全方面的培训,以此来确保每一个参与到施工当中的人员都能够对施工的流程、操作的关键要点以及安全的相关规范都熟悉掌握。除此之外,还需要对施工设备展开全面细致的检查并进行相应的调试工作,要保证支护材料能够依照设计方面的要求及时到场,并且还要对施工的区域做好清理以及标识等相关事宜,从而为施工能够顺利开展创造良好的条件。

### 3.2 施工图设计优化与流程管理

施工图设计的优化以及流程管理,这两者对于保障边坡开挖支护施工能够顺利开展而言极为关键。借助对施工图加以优化这一举措,能够清晰明确地确定支护结构的具体布置情况、支护所应达到的深度、所用材料的规格类型以及施工时的操作顺序,如此一来便能够在很大程度上减少设计环节出现的误差给施工带来的影响。流程管理着重于依照科学且合理的施工顺序还有操作规范来组织开展施工相关事宜,以此防止出现多个工序相互交叉或者操作过程中产生冲突等状况,进而促使施工效率得以提升,施工安全也获得有力保障。在实际进行施工活动的过程中,将设计优化与流程管理相结合起来的做法,可有效地减少施工方面存在的各类风险,同时也能够使施工成本有所降低,并且能够

充分保证施工质量能够切实达到设计所规定的要求。

### 3.3 安全管理与监督措施

在边坡开挖支护施工期间,安全管理和监督举措有着极为关键的作用。施工现场有必要构建起完备的安全管理制度,这里面涵盖了施工操作方面的规范、针对危险区域所设置的警示标识、安全防护设施的具体布置情况以及应急预案等相关内容。借助现场的监督活动以及定期开展的检查工作,能够及时察觉到潜在存在的安全隐患,并且随即采取相应的纠正办法,以此来保障在施工进程当中人员以及设备都能够处于安全的状态<sup>[1]</sup>。安全管理不仅仅涉及到物理层面的防护措施,而且还得综合施工过程当中监测数据,去评估边坡稳定性方面所发生的变化,进而有效防范突发事故的出现,达成施工全程都有安全保障的目标。

### 3.4 施工计划控制与进度管理

科学且合理的施工计划控制以及进度管理,无疑是保障水利工程施工能够高效推进的关键手段。施工计划要充分结合边坡的地质条件状况、所采用的施工方法以及施工资源的具体情况,来妥善安排施工的先后顺序以及各个时间节点,并且借助设定分阶段的目标来对施工进度加以控制<sup>[2]</sup>。与此得建立起施工进度的动态管理系统,以此实时对施工过程中出现的各类偏差以及延误情况予以跟踪,及时地去调整施工的相关安排,从而保证工程能够按时完成。在开展边坡开挖支护施工期间,进度管理一方面会影响工程最终完成所需的时间,另一方面还和施工安全以及资源的合理利用有着极为直接的关系。

### 3.5 深基坑支护质量控制

深基坑边坡支护的质量控制属于极为关键的一环,其对于施工安全以及工程稳定而言都意义重大。要想做好质量控制,那就要从多个方面来着手开展工作,像是材料选取、施工工艺确定、施工精度把控以及施工监测实施等,只有这样才能够保证每一个支护环节都能够严格契合设计所提出的要求<sup>[3]</sup>。在施工正式展开的过程中,针对支护结构必须要开展现场检测以及监测相关工作,如此一来便能够及时察觉到可能出现的裂缝情况、发生变形的情况或者存在沉降异常的情况,并且在此基础上迅速采取相应的补救举措。与此还应当去建立起一套施工质量验收方面的制度,另外也要同步构建起相关的记录档案,进而达成施工全过程都能够具备可追溯性的目标,以此来切实有效地保障深基坑支护所应有的安全性和可靠性。

### 3.6 爆破施工的合理应用

在岩石边坡或者高边坡展开施工的时候,合理地运用爆破施工技术,能够在很大程度上提升开挖的效率,降低人工劳动的强度,并且可以有效地控制边坡受到扰动的范围。爆破施工必须严格按照设计所给出的各项参数以及相关操作规范来执行,要科学地去安排炸药的具体数量、装

药的方式以及爆破的顺序,从而防止出现那些没有必要的裂隙以及振动等情况,进而避免这些情况对边坡的稳定性产生不利的影响。与此还需要综合参考监测所获取的数据以及现场的实际施工条件,对爆破方案做出相应的调整,以此达成安全且高效的岩石开挖目标。

### 3.7 环境勘测与生态保护

水利工程的施工往往处于生态较为敏感的区域,在此期间,环境勘测以及生态保护均属于施工管理当中的关键构成部分。在正式施工之前,需要细致地开展地形方面的勘测工作,还要对植被状况予以勘测,水文情况以及生态环境也都得纳入勘测范围之内,通过这些勘测来对施工可能给周边环境带来的潜在影响做出科学评估。在整个施工进程当中,应当采取一系列防护举措,像是设置支护结构以实现排水功能、对沉降情况进行有效控制、着力保护好植被并且妥善管理施工废弃物等,以此尽可能地降低对环境所造成的破坏程度,达成施工与生态能够协调发展的良好态势。与此还应当建立起环境监测的相关制度,定期去评估施工所产生的影响,并且依据评估结果采取与之相应的保护以及修复方面的措施。

## 4 结语

边坡开挖支护技术于水利工程施工业当中,有着无可取代的重要作用,其具体应用涵盖了施工安全、工程质量、进度把控等诸多方面。合理地去选择浅层与深层支护技术,科学且严谨地落实测量放线以及技术交底相关事宜,与此广泛地推广并应用新型支护材料以及智能施工技术,这无疑为现代水利工程施工给予了强有力的技术保障。通过进一步完善施工管理方面的各项策略,像施工前的各项准备工作、设计环节的优化处理、安全方面的监督工作、进度方面的管理工作、质量方面的控制举措、爆破施工的具体操作,能够切实有效地提升施工效率,使得风险得以降低,进而达成安全、高效并且可持续的施工最终目标。在未来的发展进程中,随着新材料、新技术以及数字化施工管理等相关领域不断取得新的进展,边坡开挖支护技术在水利工程施工里将会发挥出更为关键的作用,从而为工程建设给予更加稳固可靠的保障。

## 参考文献

- [1]梁玉冰.边坡开挖支护技术在水利工程施工中的应用[J].工程建设与设计,2025(5):193-195.
  - [2]赵建梅.边坡开挖支护技术在水利工程施工中的应用[J].水上安全,2024(13):179-181.
  - [3]王悍,王曦,张佳伟,等.水利工程施工中边坡开挖支护技术的应用[J].中国住宅设施,2024(2):187-189.
- 作者简介: 张春太 (1994.9—), 毕业院校: 中国海洋大学, 专业: 工程管理, 当前就职单位: 山东大禹水务建设集团有限公司, 职务: 职员, 职称级别: 助理工程师。

## 水利工程建设管理模式与实践研究

阿依古丽·艾尼

新疆维吾尔自治区塔里木河流域叶尔羌河水利管理中心提孜那甫河上游管理站，新疆 喀什 844900

**[摘要]**水是生命之源、生产之要、生态之基。对于深处亚欧大陆腹地、降水稀少而蒸发强烈的西北地区而言，水资源是维系绿洲存续、保障农业发展、支撑经济增长和守护生态安全的命脉。历史上，这片土地上的先民便创造了适应干旱环境的卓越水利智慧。进入新时代，面对经济社会发展与生态保护对水资源提出的更高要求，传统的水利工程建设与管理模式正经历深刻变革。重大水利枢纽陆续建成，现代化灌区改造广泛实施，与此同时，水资源管理体制改革持续深化，社会资本通过创新模式积极涌入。文章旨在系统分析该区域水利工程建设管理的现状、比较不同管理模式、剖析关键问题，并提出面向未来的优化实践路径，以期为提升区域水治理能力提供参考。

**[关键词]**水利工程；建设管理；干旱区；DBFOT 模式；数字孪生；水资源调配

DOI: 10.33142/hst.v8i12.18443 中图分类号: TV51 文献标识码: A

## Research on Management Mode and Practice of Water Conservancy Engineering Construction

AYIGULI Aini

Tizinafu River Upstream Management Station of Xinjiang Yarkand River Water Conservancy Management Center in Tarim River Basin, Kashgar, Xinjiang, 844900, China

**Abstract:** Water is the source of life, the necessity of production, and the foundation of ecology. For the northwest region deep in the Eurasian continent, where precipitation is scarce and evaporation is strong, water resources are the lifeline for maintaining oasis survival, ensuring agricultural development, supporting economic growth, and safeguarding ecological security. In history, the ancestors of this land have created outstanding water conservancy wisdom that adapts to arid environments. In the new era, facing the higher requirements of economic and social development and ecological protection for water resources, the traditional construction and management mode of water conservancy projects is undergoing profound changes. Major water conservancy hubs have been built one after another, and modernization of irrigation areas has been widely implemented. At the same time, the reform of water resources management system continues to deepen, and social capital actively flows in through innovative models. The article aims to systematically analyze the current situation of water conservancy engineering construction management in the region, compare different management models, analyze key issues, and propose optimization practice paths for the future, in order to provide reference for improving regional water governance capabilities.

**Keywords:** water conservancy engineering; construction management; arid region; DBFOT mode; digital twin; water resources allocation

### 引言

水利工程对于防洪、灌溉、供水以及发电等方面是不可缺少的存在，必须进行更高级别的建设管理，才能为促进国民经济发展打下坚实的基础。近年来，政府为了提高水利工程建设管理水平发布了《关于水利工程建设项目代建制管理的指导意见》（水建管〔2015〕91号）等一系列文件，明确了代建制的概念、代建单位资格条件及有关各方的责任等，成为指导水利工程代建管理的重要参考。可以认为对工程代建管理模式在水利工程建设中的应用有着十分积极的意义，有利于水利工程建设管理模式的改革创新，实现水利工程建设整体效益的同时也使水利事业持续稳定发展。

### 1 区域水利工程建设管理现状分析

当前，该区域水利工程建设与管理正处在从分散走向集中、从粗放迈向精细的转型期。其核心是顶层设计的强

化与流域管理体制的重塑。为破解水资源管理存在的分割现象，近年来实施了系统性改革。水利基础设施建设呈现出规模大、进度快、融资活的特点。过去一年，该区域完成的水利固定资产投资增速显著，新开工项目数量与投资规模均创下新高。工程目标也日趋综合，从单一灌溉或防洪，转向兼顾供水、发电、生态补水等多重效益。然而，尽管管理体系不断完善，水资源固有的时空分布不均矛盾依然尖锐。河流发源于高山冰川，消失于荒漠，水资源上下游、左右岸、生产生活生态之间的竞争始终存在。如何通过更高效的工程布局和更精细的管理手段，将有限的水资源分配到最需要的环节，成为当前最为核心的议题。

### 2 水利工程建设管理模式比较

#### 2.1 传统集中管理模式

长期以来，以政府及其所属职能部门为主导的集中管

理模式,是该区域水利工程建设与管理的主要形式。这种模式适用于公益性突出、投资规模巨大或关系流域整体安全的重大战略性工程。政府角色是全方位的:既是项目的决策者和发起者,也是资金的主要提供者,同时还是建设过程的组织者和建成后的运营管理或主要监管者。传统模式的优势在于能够最大限度地体现政府意志,保障工程建设的公共利益导向,在协调跨行政区划的水资源分配、实施大规模生态补水等任务时,具有较强的权威性和执行力<sup>[1]</sup>。例如,在推进塔里木河流域的统一调度与组织实施生态应急输水等行动中,这种自上而下的行政指挥体系发挥了不可替代的作用。但是,这种模式也日益暴露出局限性。首先,它给地方财政带来巨大压力。其次,建设和运营效率有时面临挑战。由于缺乏市场竞争和明确的绩效激励,项目在设计优化、成本控制和长期运维方面可能存在提升空间。最后,管理职能的过于集中可能导致基层和用水户的参与不足。

## 2.2 市场化参与模式

为缓解政府投资压力、引入先进管理经验并提升项目全生命周期效率,引入社会资本的市场化参与模式近年来得到了积极探索。其中最引人注目的是“设计-建设-融资-运营-移交”(DBFOT)这一“募投建管一体化”运作模式。以大石峡水利枢纽工程为例,政府方出资代表与社会资本方共同组建项目公司,由其负责从工程设计、投融资、建设到运营维护的全链条业务,并在长达数十年的特许经营期后,将项目移交给政府。这种模式的核心在于建立“利益共享、风险共担”的长期合作机制。为吸引社会资本,政府方面进行了创新制度设计,例如在股权结构中明确不参与盈利分红,将经营收益全部让利于社会资本方,并设置超长特许经营期。而社会资本方为了在漫长的运营期内获得稳定回报,也有更强的内在动力去优化工程设计、采用先进技术、严格控制建设质量和降低长期运营成本。市场化模式成功激活了建设管理的活力,它不仅直接引入了巨额的社会资本,减轻了财政负担,更重要的是,它通过契约关系将工程的长期效益与社会资本的回报紧密绑定,推动了工程项目在全生命周期内的效益最大化。当然,这种模式并不意味着政府监管的缺位,相反,政府需要转向制定更完善的监管制度,以履行其行业监管职责。

## 3 干旱区水利工程建设管理的关键问题

### 3.1 水资源调配与工程布局

在干旱区,水资源调配是水利工程管理的首要逻辑起点。关键问题在于如何通过科学的工程布局和精准的系统调度,破解“春旱夏涝、秋缺冬枯”的天然水文困境,实现水资源在时间上的削峰填谷和在空间上的优化配置。尽管重大枢纽工程极大提升了流域的调蓄能力,但水资源竞争依然激烈。农业灌溉、工业生产、城镇生活、生态修复等各领域用水需求持续增长,而水资源总量刚性约束却不断加强<sup>[2]</sup>。尤其是在流域上下游、不同行政区域之间,水

权界定不清、调配机制不够灵活等问题,可能导致水资源无法流向边际效益最高的用途。同时,工程布局需要与不断变化的水资源情势相适应。过去建设的一些工程体系,在面对气候变化和新型产业发展时,可能显现出滞后性。如何构建一个“引得进、蓄得住、排得出、可调控”的现代化、网络化水利工程体系,实现骨干水源工程、输配水通道与田间末端渠系的高效衔接,是当前工程布局面临的重大挑战。

### 3.2 工程建设与生态保护协调

在生态环境本底脆弱的干旱区,任何大规模水利工程建设都可能对河流廊道、地下水系统、自然植被和野生动物栖息地产生深远影响。因此,如何最大限度地减少工程建设的生态干扰,并主动发挥工程的生态修复功能,是一个不容回避的关键问题。过去“重工程、轻生态”的倾向正在被扭转,但实践中仍存在平衡难度。一方面,工程自身的建设可能改变河流的自然流态,影响下游绿洲和湿地的水源补给。另一方面,一个设计和运营理念先进的工程,又可以成为生态保护的强大工具。例如,大石峡水利枢纽专门设置了生态放水孔,可根据下游需求精准调节下泄水量。问题的核心在于,如何将生态流量保障、水生生物保护等目标,从工程规划设计的初始阶段就作为刚性约束条件予以内化,并建立长效的生态调度机制和效果监测评估体系。

### 3.3 运行维护与长期可持续性

“重建轻管”是水利行业长期存在的痼疾,而在干旱区,水利工程的运行维护与长期可持续性面临着更为严峻的考验。风沙侵蚀、冻融循环、高盐碱度地下水腐蚀等恶劣自然条件,对水工建筑物、输水管道、闸门机电设备等造成了严重损耗<sup>[3]</sup>。许多建于上世纪的灌区工程老化失修,“跑冒滴漏”严重,渠系水利用系数低下。确保工程长期可持续运行,需要解决“谁来管、有钱管、怎么管好”的问题。对于数量庞大、分布广泛的田间水利设施和农村供水工程,管护责任往往难以落实,专业化的维护队伍更是缺乏。其次,可持续的运行维护需要稳定的资金保障。许多水利工程,水费收入难以覆盖全部运行成本和折旧费用,长期依赖财政补贴,而补贴机制的不健全可能导致工程带病运行。

### 3.4 技术适应性与管理创新

干旱区特殊的地理气候条件对水利工程技术提出了独特要求。例如,在高地震烈度区修建高坝、在深厚覆盖层上建设基础等,都是一系列世界级的技术挑战。同时,面对辽阔的管理区域和复杂的水情工情,传统依赖人力和经验的管理方式已力不从心,管理创新势在必行。技术创新与管理创新相辅相成。大石峡工程应用的“3D打印”式智能筑坝技术、基于北斗系统的无人驾驶碾压技术,都是技术适应性的典范。而精河灌区通过“数字孪生”平台,将实体灌区映射为虚拟模型,实现了需水预报、配水预演、调度预案和用水监控的“四预”功能,则代表了管理创新

的方向。然而,这些新技术、新模式的推广应用仍面临成本、人才和既有管理惯性的制约。如何让先进适用技术真正“落地生根”,并与本土化的管理需求深度融合,是当前面临的重要课题。

#### 4 管理模式优化与实践路径

##### 4.1 多层次协同管理机制

优化水利工程管理模式,首要任务是构建和完善一个覆盖宏观、中观、微观的多层次协同管理机制。在宏观层面,必须坚持和强化流域统一管理这一根本制度。要继续深化水资源管理体制改革成果,充分发挥各级党委水资源管理委员会的决策协调作用,真正实现跨行政区、跨兵地、跨行业的水资源统筹调配。在中观层面,要积极探索“统一管理、条块结合、分级负责”的具体实现形式。对于大型灌区,可借鉴“提级管理、系统调配、每周调度”的工作机制,强化灌区管理单位的权威和协调能力。同时,要清晰界定政府、流域机构、灌区管理单位、基层用水组织等各主体的权责边界<sup>[4]</sup>。在微观层面,关键是激活基层和用水户的参与活力。积极培育和发展农民用水合作组织,将田间工程的使用权和管护权赋予他们,实现“自己的工程自己管”。政府则通过技术培训、资金奖补等方式进行扶持。这种自上而下的统筹与自下而上的参与相结合,方能形成治水兴水的强大合力。

##### 4.2 生态友好型工程管理策略

必须将生态友好理念贯穿于水利工程规划、设计、建设、运行的全过程。在规划与设计阶段,要严格执行生态环境影响评价制度,将保障河道基本生态流量、维持河流纵向连通性等作为项目立项的否决性指标。工程设计应主动融入生态元素,如建设鱼道、设置分层取水口等。在建设期,要实施最严格的环境监理和水土保持措施,减少施工活动对植被、土壤和水体的破坏。更重要的是,要建立工程的“生态调度”运行策略。这意味着水库等调控性工程的运行方式,必须将下游生态系统的需水规律纳入调度模型。要制定并执行基于科学的生态流量泄放方案,通过工程的有序调度,主动修复受损的河流生态系统。

##### 4.3 技术集成与信息化应用

面向未来,必须坚定不移地走科技兴水之路,大力推进水利工程与现代信息技术的深度融合。首要路径是全面建设“数字孪生”水利体系。以物理工程为蓝本,在数字空间构建一个高保真的虚拟模型,这个模型能够实时映射工程的运行状态,并借助历史数据和算法模型进行趋势预测和模拟仿真。从而实现从“事后应对”到“事前预警、事中智能处置”的转变。其次,要推动感知监测网络的广覆盖与智能化。综合利用卫星遥感、无人机、地面传感器等,构建“天空地水工”一体化的立体监测体系。对水库大坝的位移、渗流,对渠道管网的水量、水质,对农田的土壤墒情,进行全天候、自动化监测和数据采集。再者,

要积极探索人工智能、区块链、物联网等前沿技术的应用场景。例如,利用AI算法优化水库群联合调度;利用区块链技术实现重要建材的全流程质量溯源;利用物联网实现闸门的远程自动控制和精准计量。技术集成的最终目的,是打造一个“能看、能算、能预警、能决策”的智慧水利大脑。

##### 4.4 社区参与与利益协调

水利工程,尤其是直接关系民生的灌区改造和农村供水工程,其成功与否最终取决于广大用户的认可与参与。因此,必须建立有效的社区参与和利益协调机制。在工程规划和设计初期,就应通过听证会、村民代表座谈等形式,广泛听取社区群众特别是末端用水户的意见和建议,了解他们的真实需求和关切。在水价改革、用水定额分配等涉及群众切身利益的关键决策上,更要保证过程的公开透明和民主协商。要让农民用上“明白水”,清楚知道水价是如何构成的,用水量是如何计量的。通过手机APP等便捷工具,让用户可以实时查询用水情况、接收供水通知,从而增强他们的主人翁意识和节水积极性。对于工程建设与运营中可能产生的利益受损问题,必须依法依规制定公平合理的补偿方案。要建立畅通的投诉、反馈和纠纷调解渠道,及时化解矛盾。最终,要通过建立权责利相统一的用水秩序,让所有利益相关者都能从水利工程的建设和水资源的可持续利用中公平受益。

#### 5 结束语

本研究通过对我国西北干旱区水利工程建设管理模式的系统审视,揭示了其向市场化、精细化、智能化协同治理转型的图景。通过深化改革和创新模式,在破解资金瓶颈、提升管理效率上取得了进展;水资源调配的结构性矛盾、工程建设与生态保护的协调难题等,依然是重大课题。根本出路在于坚持系统治理、综合治理的思维。这意味着必须将流域作为一个有机的生命共同体,统筹山水林田湖草沙各要素。未来的管理模式优化,必须沿着多层次协同、生态友好、技术赋能和社区共治的路径前进。

#### 【参考文献】

- [1]赵燕.节水型农田水利工程建设与管理模式创新[J].农机市场,2025(9):95-97.
  - [2]龙其昌.水利工程质技术监督管理模式探讨[J].城市建设理论研究(电子版),2025(24):211-213.
  - [3]张合生.新农村中的小型农田水利工程管理模式探讨[J].农机市场,2025(6):65-67.
  - [4]林万光,陈天潇,郭起焦.工程代建管理模式在水利工程建设中的实施探讨[J].工程建设与设计,2025(1):227-229.
- 作者简介: 阿依古丽·艾尼 (1997.9—), 毕业院校: 塔里木大学水利与建筑工程学院, 所学专业: 农业水利工程, 当前就职单位名称: 新疆维吾尔自治区塔里木河流域叶尔羌河水利管理中心提孜那甫河上游管理站, 就职单位职务: 干部职工, 职称级别: 工程师。

## 水利工程施工现场标准化管理实施路径探讨

田 蜜

新疆阿拉尔上游水利水电工程有限责任公司，新疆 阿拉尔 843300

**[摘要]**水利工程建设是国民经济基础建设中的一部分，而项目的施工现场管理水平又影响着整个工程的质量、安全及效益问题。随着工程项目体量的增大以及施工工艺的发展，传统的项目管理模式越来越无法适应当前水利工程建设项目高效率，高质量以及绿色可持续发展的要求，基于对施工现场标准化管理存在的现状及存在问题进行剖析的前提下，提出了相应的实施策略即建立健全各项规章制度及标准体系、落实工序标准化、提高管理人员素质以及信息化、智慧化管理等措施，并对其推进过程中可能存在的难点给出解决对策，以此来给水利工程施工现场管理工作带来一定的实践借鉴意义和理论依据。

**[关键词]**水利工程；施工现场管理；标准化管理；实施路径

DOI: 10.33142/hst.v8i12.18438

中图分类号: TV5

文献标识码: A

## Discussion on the Implementation Path of Standardized Management in Water Conservancy Engineering Construction Sites

TIAN Mi

Xinjiang Alaer Upstream Water Conservancy and Hydropower Engineering Co., Ltd., Alaer, Xinjiang, 843300, China

**Abstract:** Water conservancy engineering construction is a part of the national economic infrastructure construction, and the construction site management level of the project affects the quality, safety, and efficiency of the entire project. With the increase of project volume and the development of construction technology, traditional project management models are increasingly unable to meet the requirements of high efficiency, high quality, and green sustainable development in current water conservancy construction projects. Based on the analysis of the current situation and problems of standardized management on construction sites, corresponding implementation strategies are proposed, including establishing and improving various rules and regulations and standard systems, implementing process standardization, improving the quality of management personnel, and implementing information and intelligent management measures. Solutions are also provided for possible difficulties in the promotion process, in order to provide practical reference and theoretical basis for water conservancy construction site management work.

**Keywords:** water conservancy engineering; construction sites management; standardized management; implementation path

### 引言

近年来我国水利工程的发展迅速，建设项目的施工现场管理工作也越来越繁重，涉及土建、机电、灌排、调水以及安全环保等方面，管理对象广泛而且量大，缺少规范化的管理就难免会出现工程质量及建设工期拖延甚至还会经常发生一些安全事故。标准化管理以管理制度、工作程序和技术标准的统一来达到对施工现场进行科学化、精细化、高效化的管理目的，但当前还存在着管理制度不够健全、落实不到位及信息技术应用率低等问题。文章试图针对如何开展施工现场标准化管理工作，提出了制度、流程、人员及信息技术四大方面的具体措施，为提高施工单位管理水平提供理论依据和实践经验。

### 1 水利工程施工现场标准化管理概述

水利水电工程施工现场标准化管理就是在施工的过程中，制定出一系列相同的规章制度、工作流程、管理规范等来达到施工行为的系统化、可控化、持续化。它既包含了工程质量与安全问题，又兼顾了施工效率、资源使用率及环境问题等各方面协调统一的问题。而水利工程施工

又存在着规模巨大，时间跨度较长，施工工序复杂，涵盖学科众多的特点，所以在对其进行管理的时候就需要有一套清晰的责任分工和具体的操作准则，保证各种类型的施工作业都能有章有循顺利进行。而标准化管理就是利用一系列规定、程序来对施工现场的各种工作进行合理安排组合，让管理工作可以有迹可循有据可依。除此之外标准化管理还能建立起一套精细化的指标体系用来量化考评工作人员的行为举止，各个施工步骤的落实状况以及安全环保措施的实施程度等一系列问题，从而实现施工现场管理工作的闭环管控。在当前水利工程建设中，标准化管理不再是单纯的行政命令，更是成为了保证质量、规避风险、优化资源的有效方法。而通过标准化手段进行管理的建设单位在保障工程品质的基础上还能节约开支、加快进度，并促进施工现场管理朝数字化智慧化的方向迈进，为水利项目的优质高效建设保驾护航。

### 2 水利工程施工现场标准化管理现状与问题分析

#### 2.1 施工现场管理现状

当前我国水利工程建设施工现场管理在规范化、程序

化、标准化以及信息化方面有一定的基础，大部分施工企业都具备了基础性规章制度与施工方案管理制度，一些大型水利工程中使用了信息化技术来提高工作效率等。然而总体而言还不够规范、不够细化、不够信息化，施工企业的生产率与安全性需要进一步改善。

## 2.2 施工现场标准化管理存在的主要问题

虽然施工管理制度日渐完善，在具体实施中还是暴露出了诸多问题。一是管理制度有空缺，有些施工单位缺少完善的标准管理体系，相关制度出现漏洞或者重复，造成对施工行为缺少统一的行为准则；二是施工程序混乱，有些施工步骤缺乏具体的操作规定以及程序指导，施工工序及操作方式任意性大，易出现施工过程的相互干扰、重复劳动或者延时等状况；三是安全及环保问题突出，部分工地对于安全管理力度不够，环境治理措施薄弱，存在着安全风险及环境危害，影响到整个项目的质量和长远效益。四是工作人员业务水平差距较大，尤其是第一线施工人员不了解或者不能完全领会标准化的理念以及技术水平有限，制约着施工管理的质量；五是信息化程度低，工地现场的数据记录、检测及整理方法落后，信息传递缓慢，影响了管理者制定决策时的准确度与时效性。上述问题的存在都致使施工现场的标准化管理水平不佳，需要进行全方位的提升。

## 2.3 现状问题的成因分析

对于建设工地出现的标准化管理问题其成因也是比较复杂的。管理制度方面的问题主要是由于施工单位忽视了建设工地标准化管理的重要性，在顶层设计以及统筹规划方面做的不到位，使得相关的管理制度以及管理文件不够全面或者不够合理。施工工序不标准主要是因为建设工地管理人员的经验不足以及施工过程的复杂性和相关部门衔接不到位等原因造成的。一些安全及环境问题的发生是因为工地安全文化以及环境保护意识淡薄再加上监管不到位造成的。人员能力和培训欠缺是因为有些施工单位缺少系统的培训机制，工作人员的知识技能老旧，工作岗位责任划分不清楚等原因导致的。信息技术落后指的是施工单位对信息技术的应用较少，信息系统的采集、运算以及决策模块不够完善，因此建设工地还是依靠传统的经验管理模式，缺乏科学的实时监测和智能化管控方式。总之，上述问题都是由规章制度以及工作流程的问题造成的，也可能是人员以及技术因素造成的，所以在推进标准化管理实施方案的时候应从制度、流程、人员还有信息技术等方面入手进行全面分析。

## 3 水利工程施工现场标准化管理实施路径

### 3.1 制度建设与标准体系完善

要达到水利工程施工现场标准化管理的目的，首先要构建完整管理制度和标准体系。制度建设不仅仅是统一的施工管理条例、操作流程、质量要求，而是应该包含安全措施、环境措施、设备使用、材料消耗等各个方面，使整个施工现场的工作事事有规可循，件件有据可依。而标准体系的建设，则要求各施工单位根据工程实际，把国家规

定，行业准则和自身的企业制度加以整合，形成一套系统全面、便于实施的标准文本体系，用以指导具体的施工作业。通过制定规章制度能够确立各级管理者和施工人员的任务分工、岗位责任、权力范围以及绩效评定方法等，保证了工程项目的施工行为能够依照相关制度规定顺利展开。另外，完善的规章制度还需要奖惩政策配套，对于推行标准化管理表现突出的班组和个人予以奖励，对于违反规定的现象加以限制甚至惩罚，从而建立起一个自律与他律并重的约束激励体制。最后制度建设和标准体系建设不仅是为施工现场管理提供了理论基础，更为具体的施工管理活动指明方向，是施工现场达成标准化管理的重要保障。

### 3.2 推进施工流程规范化

施工流程标准化也是达成水利工程建设施工现场标准化管理的有效方式之一。施工流程标准化指的是对施工工序、工作方式、材料选用以及施工步骤等方面进行合理安排与统筹规划，使得各个环节间连接紧凑、处理得当。通过对施工流程的标准化管理，可以使施工单位大大降低施工过程中的工序冲突、重复劳动和延迟的可能性，加快工程进度并提升项目质量水平。在流程的设计上要充分兼顾施工场地的具体状况，综合土建施工、机电安装、灌溉排水等多个方面的工作环节来编制具体的操作手册和作业规程，然后在工地现场组织学习与模拟实践，保证每个参与施工建设的人都清楚了解流程细则并且在实际工作中严格遵守其各项规定。还应当设置施工工序的监管和报告制度，实施巡查、实地考察、收集统计数据等一系列举措，以实时掌握施工进展和各道工序落实的情况，一旦发现有违规之处就立即予以整改。同时施工工序标准化也使施工现场的管理工作变得更加有序化、可控制，同时也为将来信息化管理乃至智慧化的决策分析提供可信的数据来源和行为依据。

### 3.3 提升施工现场人员素质

人的素质是水利工程施工现场是否推行标准化管理的重要条件。高水平的施工管理者及施工作业者才能够领会并实施标准化管理的规定，确保施工现场各个项目依照步骤依次进行。提高人员素质不仅体现在技术层面的学习，还要加强安全意识、环保理念、团队精神等方面教育。建筑公司要制定规范化培训方案，对工作人员经常展开业务知识讲座、实际模拟练习、安全生产与环境保护课程等，采用“理论+实操”的模式来强化从业人员的操作水平。除此之外也要确立职务范围，让每一个管理者和劳动者的任务一目了然，责任到个人，以此降低疏忽管理和违章作业的发生概率。奖励措施也是必不可少的一环，只有制定了职位绩效考评、技术水平认证、奖惩办法等，才可以让劳动者积极主动地投入到标准化管理工作中，发挥出个体作用。经过一系列的人才教育和监督管理，施工现场工作人员的个人素养会得到质的飞跃，从而更好地推进标准化管理的有效落实。

### 3.4 推进信息化与智能化管理

信息化、智能化管理也是当前水利工程建设施工现场

标准化管理发展趋势之一，在施工现场引入信息化管理方式可以使施工企业的施工数据能够及时记录上传并分析处理，有助于管理者做出合理决策。可考虑在施工现场安装智能监控设备，对于工程项目的施工进度，工程质量，施工安全，环境保护等方面进行实时监测，以便全面掌握工程施工情况。利用大数据，信息平台等可以对工程施工中存在的风险加以预警并对施工中使用的各种资源加以优化配置，利用智能化手段对施工现场加以协调以加快施工速度。另外信息化与智能化管理还能使施工现场与公司的项目管理部门连接起来，这样就可以远程监督施工现场并做出远程决策并分享信息资料，从而使施工现场的管理工作变得更加科学公开化有效率。与此同时在建设信息化管理系统时需要重视系统的便利性通用性和信息安全等问题，保证信息技术的应用切实为施工企业服务。而信息化智能化的使用也使得施工现场管理更为精细，更是成为了水利工程建设标准化管理不断优化调整的技术保障。

#### 4 水利工程施工现场标准化管理优化建议

##### 4.1 制度完善与持续改进

健全完善及持续优化是实现水利工程建设项目建设项目现场标准化管理有效性的长效举措。建设单位要时常检视现有的各项管理制度以及标准，针对施工过程中存在的问题和新技术的要求及时调整完善相关规定，让管理制度始终是合理有效的；并需制定动态调整规则，把工程经验和施工体会、法律法规等融入其中，保证标准化管理始终与施工同步发展<sup>[1]</sup>。而持续优化又不仅仅限于制度本身的优化，更是指管理过程中的PDCA模式，通过巡检、督查、考评将管理制度贯彻到每个施工细节上，保证每项施工作业都达到规定标准。制度健全和持续优化可以构建起制度与实践相辅相成的管理闭环，提升施工现场管理的科学化水平、规范化程度和持久生命力，为水利工程建设的质量及安全保驾护航。

##### 4.2 技术应用与智能化升级

技术应用及智能化提升是对现场施工管理的有效改善方式。建设单位应当积极利用信息技术、传感设备、大数据、人工智能调度等技术，对施工现场加以精细控制与合理化选择<sup>[2]</sup>。借助技术力量能够实现实时监督施工项目的质量和安全性及其工程进度，及时预警避免损失的发生，降低项目在施工途中产生的危险状况及工期延迟情况。此外要强化技术和业务流程相结合的理念，将智能化融入到施工流程当中，达成数据支撑下的判断选择及人员物料的合理调配。智能化的引入不仅提高了施工现场管理的精确性和时效性，而且为标准化管理持续优化创造了动力，促成了管理模式的现代化转变。

##### 4.3 人员管理与文化建设

人员管理和企业文化是完善施工过程现场标准化管理的关键步骤。现场管理不只是依靠规章制度和技术，而

是需要靠人的自觉管理行为及管理意识来完成。建筑公司应该重视构建合理的人才培养机制以及奖励政策，对工作人员进行一系列教育培训、技能证书考试以及职务考核等以提高人员素质及其责任感。此外还应当在施工现场树立一种崇尚标准、注重安全环保的企业氛围，让每一个工地上的建设者都能自发地遵守管理制度。良好的企业文化能够增强队伍整体的向心力和管理执行力，能让标准化管理的理念内化于心，进而保证施工现场的每一项工作能够及时有效的顺利开展，真正做到管理理念与公司文化的有机结合。

#### 4.4 长期管理评价与监督机制

长效管控评价及监控制度是保证标准化工地落实以及不断完善的基础。建设单位应当制定健全的监管制度，针对工地现场制度落实、工作流程、人员资质以及信息技术使用等各方面开展日常性的巡查、考评工作，构建起常态化反馈及提升的工作模式。借助于制定具体的量化评分标准及考核系统，可以客观准确地测评施工现场管理水平状况，并依照考评成绩实施相应的奖罚及升级<sup>[3]</sup>。此外需要引入独立第三方监督检查以及内部稽核制度，以使得各项管控举措公开化、透明化且易于施行。长效管控评价及监控制度既有利于及时发现并整改施工现场存在的各类不足，也是标准化工地不断升级完善的动力来源，促进水利工程施工现场管理迈向高效化、精益化时代。

#### 5 结语

本篇文章以水利工程施工现场标准化管理的实施路径为主题展开深入的研究，通过一系列对管理的概念、现状以及存在问题的剖析，给出了从管理制度、施工工序标准化到人员素质再到信息化及智能化管理等一系列的综合实施措施，在此基础上给出了相应的完善方案即管理制度不断完善，技术不断智能化，管理人员及文化构建，定期评估和监管。而标准化管理的应用可以极大程度提高施工现场的管理水平，保障工程的质量、安全和进度，使施工管理走向科学化、规范化和现代化。今后伴随施工技术水平以及信息技术的发展，整个水利工程施工现场的标准化管理将会朝着更加数字化、智能化和精细化的趋势进一步迈进，为水利工程建设优质高效地完成保驾护航。

#### 【参考文献】

- [1]徐海涛.水利工程建设安全生产及运行标准化管理分析[J].水上安全,2025(5):142-144.
- [2]陈晓睿.水利工程安全生产特征分析及标准化管理[J].河南水利与南水北调,2020,49(2):70-71.
- [3]刘鹤鹏.水利工程施工现场管理存在的问题及措施[J].绿色环保建材,2021(2):175-176.

作者简介：田蜜（1989.6—），毕业院校：塔里木大学，所学专业：农田水利工程，当前就职单位名称：新疆阿尔上游水利水电工程有限责任公司，就职单位职务：技术员，职称级别：工程师。

# 水工混凝土裂缝成因与修补技术探析

任月娟 余刘辉 唐家宏 邓超 肖雨欣

长江三峡技术经济发展有限公司, 北京 101100

**[摘要]**水工混凝土结构作为水利枢纽、泵站、水闸等基础设施的核心承载体, 其长期安全与稳定运行直接关系到防洪、灌溉、供水及发电等综合效益的发挥。然而, 混凝土材料固有的非匀质性、施工过程的复杂性以及服役环境的严酷性, 共同导致了裂缝问题的普遍性与多样性。裂缝不仅是结构外观缺陷的体现, 更是引发渗漏、加速材料劣化、降低结构耐久性乃至威胁整体安全的重要诱因。本文立足于工程实际, 系统梳理了水工混凝土裂缝的分类体系与形态特征, 从材料物理化学特性、环境温湿度作用、设计理论模型、施工工艺控制及运行荷载历史等多个维度, 深入剖析了裂缝的生成机理与发展规律。

**[关键词]**水工混凝土结构; 裂缝成因; 温度应力; 碳化锈蚀

DOI: 10.33142/hst.v8i12.18453

中图分类号: TU755

文献标识码: A

## Exploration on the Causes and Repair Techniques of Cracks in Hydraulic Concrete

REN Yuejuan, YU Liuhui, TANG Jiahong, DENG Chao, XIAO Yuxin

Yangtze Three Gorges Technology & Economy Development Co., Ltd., Beijing, 101100, China

**Abstract:** As the core carrier of infrastructure such as water conservancy hubs, pump stations, and water gates, the long-term safety and stable operation of hydraulic concrete structures are directly related to the comprehensive benefits of flood control, irrigation, water supply, and power generation. However, the inherent heterogeneity of concrete materials, the complexity of construction processes, and the harshness of service environments collectively contribute to the prevalence and diversity of crack problems. Cracks are not only a manifestation of structural appearance defects, but also an important cause of leakage, accelerated material degradation, reduced structural durability, and even a threat to overall safety. This article is based on engineering practice, systematically sorting out the classification system and morphological characteristics of hydraulic concrete cracks. From multiple dimensions such as material physical and chemical properties, environmental temperature and humidity effects, design theoretical models, construction process control, and operating load history, the generation mechanism and development law of cracks are deeply analyzed.

**Keywords:** hydraulic concrete structure; cause of crack formation; temperature stress; carbonization corrosion

水利工程是国家基础设施建设的重要组成部分, 水工混凝土以其优异的抗压性能、良好的可塑性与相对经济的成本, 在其中扮演着无可替代的角色。然而, “无裂不混凝土”的特性在此领域表现得尤为突出。裂缝的出现, 打破了混凝土结构的连续性与完整性, 其危害性具有显著的时变与发展特征。初期, 微细裂缝可能仅影响观感; 但随着时间推移, 在水压力、冻融循环、侵蚀介质等因素的耦合作用下, 裂缝可能扩展为贯穿性通道, 导致严重渗漏, 引发溶蚀、冻胀、钢筋锈蚀等一系列连锁性病害, 最终显著削弱结构承载力与耐久性。因此, 对水工混凝土结构裂缝的形成原因进行科学诊断, 对其危害性进行准确评估, 并采取及时、有效的修补与加固措施, 是保障工程长期安全、发挥工程预期效益的关键技术环节, 具有重要的学术研究价值与工程应用意义。

### 1 水工混凝土裂缝的主要类型与特征

#### 1.1 按裂缝成因分类

基于裂缝产生的根本原因, 可将其划分为荷载裂缝与非荷载裂缝两大类, 这是进行裂缝诊断与责任界定的基础。荷载裂缝直接源于外部荷载作用效应超过材料或构件抗

力, 其形态与受力状态密切相关。例如, 受弯裂缝垂直于主拉应力方向, 出现于受拉区, 呈楔形, 中部宽两端细; 受剪裂缝则表现为斜向的枣核状裂缝; 而轴心受拉构件则产生贯穿截面的横向裂缝。非荷载裂缝则占实际工程裂缝的绝大部分, 成因更为复杂多样, 主要包括: (1) 温度裂缝, 因水泥水化热或环境温差引起约束变形所致, 是大体积混凝土的典型病害; (2) 收缩裂缝, 源于混凝土硬化过程中水分蒸发与胶凝材料水化引起的体积缩减, 受干燥环境与约束条件影响显著; (3) 耐久性裂缝, 由混凝土碳化、氯离子侵蚀导致钢筋锈蚀膨胀、碱-骨料反应、冻融破坏等引起, 通常具有明显的时间累积效应与环境依赖性; (4) 地基变形裂缝, 由于基础不均匀沉降, 导致上部超静定结构产生附加内力而开裂; (5) 施工裂缝, 因配合比不当、浇筑顺序不合理、振捣不密实、养护不及时或模板变形等因素造成。

#### 1.2 按裂缝形态与分布特征分类

为便于工程检测、描述与危害性评估, 常依据裂缝的宏观几何形态与分布特点进行分类。按裂缝走向可分为水平裂缝、垂直裂缝、纵向裂缝、横向裂缝及斜向裂缝; 按

空间分布形态可分为网状裂缝(龟裂)、放射状裂缝等。按裂缝活动性可分为:(1)死缝,其宽度与长度已稳定,不再发展;(2)准稳定裂缝,宽度随季节或荷载呈周期性变化;(3)不稳定裂缝,宽度与长度持续发展,危险性高。最为关键的是按裂缝对结构的影响深度进行分类:(1)表面裂缝,深度浅,仅存在于表层;(2)浅层裂缝,深度有限,未达受力钢筋;(3)深层裂缝,延伸至结构断面内部,部分切断截面;(4)贯穿裂缝,穿透整个构件截面,严重影响结构整体性与防渗性。此外,还可按裂缝宽度( $\delta$ )进行划分,不同规范对不同环境、不同构件类型的裂缝宽度限值有明确规定,是评估裂缝危害性与确定修补标准的重要量化指标。

## 2 水工混凝土裂缝的成因分析

### 2.1 材料因素

混凝土是一种多相复合材料,其原材料的品质与配合比设计的合理性从根本上决定了其抗裂性能。水泥的品种、细度、矿物组成直接影响水化热释放速率与总量。采用早强高热水泥,易导致早期温升过快过高。骨料的粒径、级配、含泥量、泥块含量以及岩石本身的弹性模量与热膨胀系数,不仅影响混凝土的强度,也显著影响其收缩与热变形特性。砂率过高或细骨料过细,会增加用水量与收缩值。拌合用水的水质与用量(水灰比)是决定混凝土强度、密实度和收缩率的关键参数,过高的水灰比是导致塑性收缩与干燥收缩加大的主要原因。外加剂(如减水剂、缓凝剂、膨胀剂)与掺合料(如粉煤灰、矿渣粉)的使用,若能科学配伍,可有效改善工作性、降低水化热、抑制收缩,但若选用不当或质量不合格,则可能引入不利影响。

### 2.2 环境与温度应力因素

温度应力是水工大体积混凝土结构产生裂缝的首要原因,其作用贯穿施工期与运行期。施工期温度应力主要来源于水泥水化热。混凝土导热性能差,浇筑后内部热量积聚,形成内外温差。内部高温膨胀受外部已冷却混凝土及地基约束,产生压应力;后期内部降温收缩时,则受外部约束产生拉应力,当此拉应力超过混凝土龄期抗拉强度时,便产生裂缝。夏季高温施工加剧了入仓温度与环境温度,冬季低温施工则增加了内外温差与降温梯度。运行期,结构物暴露于自然环境中,季节更替、昼夜温差、日照辐射、寒潮袭击等引起结构温度场不断变化,在边界约束条件下同样会产生温度应力,可能导致后期裂缝的产生与发展。

### 2.3 设计、施工与荷载因素

设计层面的不足是裂缝产生的潜在诱因。结构形式复杂、截面突变处易产生应力集中;配筋设计不当,如钢筋间距过大、保护层过厚或配筋未能有效抵抗温度应力与收缩应力;构造措施不足,如未合理设置伸缩缝、后浇带或缺乏足够的抗裂钢筋;对特殊荷载(如温度荷载、地基不均匀沉降)考虑不周或计算模型失真。施工过程是裂缝产

生的直接环节。混凝土配合比现场控制不严、搅拌不均匀、运输时间过长导致坍落度损失;浇筑顺序不当、分层过厚、振捣不充分或过度振捣;模板支撑刚度不足、拆模时间过早;养护措施不到位,未能及时保温和保湿,导致表面失水过快或温差过大。运行期的荷载因素包括超出设计标准的水位、地震作用、冰压力、泥沙压力等,以及长期荷载作用下材料的疲劳与徐变效应。

## 3 水工混凝土裂缝的修补技术

### 3.1 表面封闭法

该方法适用于处理宽度较细(通常 $\delta < 0.2\text{mm}$ )、深度较浅且稳定的非活动性表面裂缝,主要目的是恢复结构表面完整性、防止水分和侵蚀介质侵入、提高耐久性。常用工艺包括表面涂抹与粘贴法。表面涂抹是采用高渗透性、高黏结力的柔性涂料,如聚合物水泥基防水涂料、弹性环氧胶泥或刚性材料,如水泥基渗透结晶型材料直接涂刷于裂缝表面,形成连续防水膜<sup>[1]</sup>。粘贴法则采用纤维复合材料,如玻璃纤维布、碳纤维布配合专用树脂浸渍胶,粘贴于裂缝表面,既能封闭裂缝,又能起到一定的补强作用,尤其适用于混凝土表面抗拉能力不足的区域。

### 3.2 压力注浆法

这是处理具有一定宽度( $\delta > 0.2\text{mm}$ )的深层裂缝、贯穿裂缝以及恢复结构整体性的主要方法。其原理是利用压力将低粘度、高强度的灌浆材料注入裂缝内部,使其填充饱满,胶结固化后恢复构件的整体性、密实性和承载能力,具体如图一所示。根据注浆压力可分为低压慢注和高压注浆。常用的灌浆材料包括:(1)环氧树脂类浆液:粘结强度高、收缩小、力学性能优异,适用于结构性补强加固;(2)聚氨酯类浆液:具有良好的弹性、遇水膨胀性和渗透性,特别适用于有水裂缝的防渗堵漏;(3)水泥基灌浆材料:成本较低,适用于对强度要求不高但宽度较大的裂缝填充。施工时需沿裂缝走向设置注浆嘴,并严格进行清缝、封缝、压气试漏等准备工作。

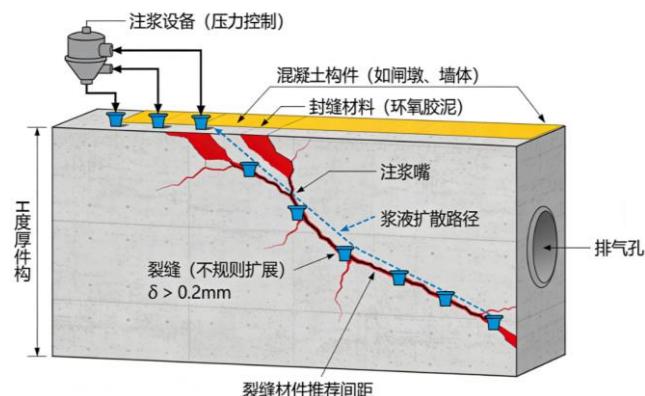


图1 压力注浆法修补混凝土裂缝施工示意图

### 3.3 结构加固法

对于因裂缝发展导致构件承载力严重不足,或裂缝本

身即为承载力不足表征的情况，必须进行结构加固。此法不仅处理裂缝，更旨在提升构件乃至结构的整体安全储备，具体如图2所示。常用方法包括：（1）粘贴钢板加固法：将钢板通过高性能结构胶粘贴于混凝土构件受拉区或薄弱部位，使其与原有构件共同受力，大幅提高抗弯、抗剪能力。（2）粘贴纤维复合材料（FRP）加固法：采用碳纤维布、玄武岩纤维布等，具有轻质高强、耐腐蚀、施工便捷的优点。（3）增大截面加固法：在原有构件外包钢筋混凝土，增大其截面尺寸和配筋，从根本上提高承载力与刚度。（4）预应力加固法：采用体外预应力钢束或碳板，对结构主动施加预应力，改变其内力分布，抵消部分外荷载效应。

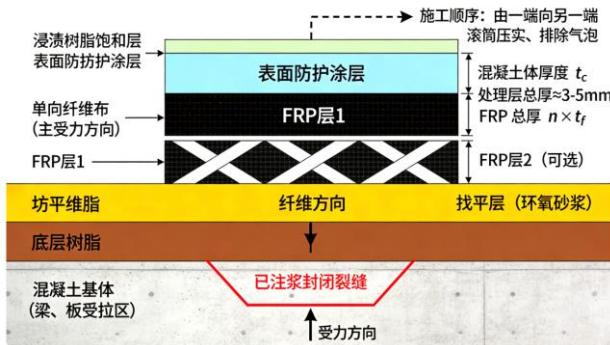


图2 粘贴纤维复合材料(FRP)加固混凝土裂缝区域施工示意图

### 3.4 裂缝修补材料的选择

修补材料的选择是决定修补效果成败的关键，需综合考虑裂缝性质、修补目的、环境条件及施工可行性。选择原则包括：（1）相容性：修补材料应与基层混凝土具有良好的物理（热膨胀系数、弹性模量）和化学相容性；（2）耐久性：能长期抵抗环境介质的侵蚀，性能衰减慢；（3）力学性能：满足设计要求的强度、粘结力与变形能力（例如，活动裂缝需选用柔性材料）；（4）施工性能：适宜的粘度、可操作时间、固化条件等；（5）环保性。实践中常进行材料性能对比试验，并结合工程经验做出最优选择。

## 4 裂缝修补施工工艺与质量控制

### 4.1 修补前的调查与评估

科学、全面的调查评估是制定有效修补方案的前提，必须遵循严格的程序。首先应进行详细的现场勘查，绘制裂缝分布图，精确量测裂缝宽度、长度、深度及走向。需利用超声波检测、取芯验证等手段判断裂缝的深度与是否贯通<sup>[2]</sup>。同时，必须系统收集与裂缝可能相关的设计图纸、施工记录、材料报告、运行历史及环境资料。

### 4.2 修补工艺要点

不同的修补方法有其特定的工艺核心。对于表面封闭法，基层处理至关重要，必须彻底清除浮浆、油污、松动颗粒，并保持干燥（特定材料要求湿润基层除外）。涂刷或刮抹需均匀、无遗漏，多层施工时应待前一层表干后进行。对于压力注浆法，其关键工艺环节包括：（1）裂缝处

理：沿缝开V型或U型槽，或采用专用封缝材料进行表面封闭；（2）埋设注浆嘴：根据裂缝情况合理布置间距；（3）密封检查：待封缝材料固化后，进行压气或压水试验，检查密封效果；（4）浆液配制：严格按照产品说明配制，控制好可操作时间；（5）注浆施工：由下至上、由一端向另一端循序渐进，控制注浆压力，直至相邻注浆嘴出浆且稳压片刻；（6）封口处理：注浆结束后及时封堵注浆嘴。对于结构加固法，如粘贴FRP，其工艺要点在于混凝土基底打磨平整、转角处处理成圆弧、涂刷底层树脂、找平材料填补凹陷、浸渍树脂饱和浸渍纤维布、多层粘贴的时机控制以及最终表面防护。

### 4.3 修补后质量检验

修补工程完成后，必须进行严格的质量检验，以评估修补效果是否达到预期目标。检验方法包括：（1）外观检查：检查封闭层是否平整、密实、无脱落，注浆口是否封堵完好<sup>[3]</sup>；（2）粘结强度测试：对表面封闭或加固层，可进行拉拔试验，检验其与基材的粘结强度是否满足设计要求；（3）密实性检查：对于防渗堵漏为主的修补，可进行蓄水试验或压水试验，观察有无渗漏；（4）无损检测：可采用超声波法或雷达法，对比修补前后裂缝区域的声学或电磁波信号，间接评估内部填充质量；（5）对于重要结构的重大修补，可考虑在修补区域预埋传感器，进行长期的应变、温度等监测。

### 4.4 预防性维护建议

修补处理是“治已病”，而系统的预防性维护则是“治未病”，对于延长水工混凝土结构寿命更为经济有效。建议包括：（1）建立定期巡检制度：对易裂部位（如大体积混凝土表面、结构突变处、闸墩、桥梁等）进行定期目视检查与仪器监测，记录裂缝发展情况。（2）加强运行期环境控制：对于室内或廊道结构，注意通风除湿；对于水位变动区，采取防冲刷、防冰冻措施。（3）建立结构健康监测系统：对特大型或重要工程，集成传感器网络，实时监测应变、温度、裂缝开合度、渗漏等参数，实现预警。（4）周期性维护：定期对结构表面保护层（如涂料、防腐层）进行维护更新，阻隔侵蚀介质。（5）档案管理：完善工程全生命周期的技术档案，为后续的评估、维修与改造提供完整数据支持。

## 5 结语

水工混凝土结构的裂缝问题是材料特性、结构行为与环境作用共同交织的复杂产物。对其成因的分析需秉持系统观，从微观的材料反应到宏观的结构响应，从瞬时的施工状态到长期的服役环境，进行多尺度、全过程的综合研判。本文系统阐述了裂缝的类型学特征，深度剖析了材料本身、温度场效应以及设计施工荷载等多重致裂因素，其中温度应力的精细化仿真分析与碳化深度的随机模型预测，为裂缝的机理研究与预测提供了现代技术手段。在修

补技术层面,已形成从表面封闭、内部灌浆到整体加固的系列化技术体系,其成功应用关键在于基于精准评估的“对症下药”与严格受控的工艺实施。然而,裂缝的完全杜绝既不经济也不现实,未来的研究与实践应更加注重于:基于全寿命周期成本分析的裂缝控制标准优化,智能传感与物联网技术在裂缝实时监测与预警中的应用,自修复混凝土等新型智能材料的研发,以及基于大数据与人工智能的裂缝诊断与决策支持系统的构建。唯有通过设计、施工、材料、监测、维护等多环节的协同创新与精细化管理,才能最终实现水工混凝土结构长寿命、高安全性与低维护成本的目标。

#### [参考文献]

- [1]林荣峰.水工混凝土裂缝成因与修补技术探析[J].山东水利,2025(10):34-36.
- [2]常旭东,何鑫,孙西文.水利工程混凝土裂缝成因机理及控制措施[J].水泥,2025(9):116-119.
- [3]张井军.水利工程混凝土裂缝问题分析与控制措施[J].黑龙江水利科技,2022,50(1):162-164.
- 作者简介:任月娟(1993—),女,汉族,山西省吕梁市兴县人,硕士,工程师,长江三峡技术经济发展有限公司,研究方向:水工混凝土;余刘辉(1985—),男,汉族,湖北省荆州市人,硕士,高级工程师,长江三峡技术经济发展有限公司,研究方向:水工金属结构与机电设备;唐家宏(2000—),男,汉族,安徽省铜陵市枞阳县人,硕士,助理工程师,长江三峡技术经济发展有限公司,研究方向:水工混凝土;邓超(1996—),男,汉族,江西省抚州市临川区人,硕士,工程师,长江三峡技术经济发展有限公司,研究方向:水工混凝土;肖雨欣(1998—),女,汉族,湖北省宜昌市人,硕士,工程师,长江三峡技术经济发展有限公司,研究方向:水工混凝土。

# 水利枢纽工程运行管理与水资源的可持续利用分析

段自成

新疆维吾尔自治区塔里木河流域吉音水利枢纽管理中心，新疆 和田 848000

**[摘要]**文章以新疆吉音水利枢纽工程为具体研究对象，探讨水利枢纽工程运行管理在水资源可持续利用中的核心作用。文章首先概述水利枢纽运行管理的基本内涵与工程概况，随后深入分析运行管理与水资源可持续利用之间的内在联系，涵盖水资源配置与调控、防洪抗旱与供水安全、生态环境影响与保护等多个维度。针对当前运行管理中存在的调度机制不完善、生态流量保障不足、监测与信息化水平不高、管理体制协同性欠缺等突出问题，提出优化多目标联合调度机制、强化生态流量保障与修复措施、推进智慧水利技术应用、完善跨部门协同管理机制等具体对策。

**[关键词]**水利枢纽；运行管理；水资源；可持续利用；调度机制

DOI: 10.33142/hst.v8i12.18470 中图分类号: TV697 文献标识码: A

## Analysis of Operation Management and Sustainable Utilization of Water Resources in Water Conservancy Hub Projects

DUAN Zicheng

Xinjiang Tarim River Basin Jiyin Water Conservancy Hub Management Center, Hotan, Xinjiang, 848000, China

**Abstract:** This article takes the Jiyin Water Conservancy Hub Project in Xinjiang as the specific research object, and explores the core role of water conservancy hub project operation and management in the sustainable utilization of water resources. The article first outlines the basic connotation and engineering overview of water conservancy hub operation management, and then deeply analyzes the inherent connection between operation management and sustainable utilization of water resources, covering multiple dimensions such as water resource allocation and regulation, flood control and drought resistance and water supply safety, ecological environment impact and protection. Specific measures are proposed to address prominent issues in current operational management, such as incomplete scheduling mechanisms, insufficient ecological flow assurance, low monitoring and information technology levels, and lack of coordination in management systems. These measures include optimizing multi-objective joint scheduling mechanisms, strengthening ecological flow assurance and restoration measures, promoting the application of smart water conservancy technology, and improving cross departmental collaborative management mechanisms.

**Keywords:** water conservancy hub; operation management; water resources; sustainable utilization; scheduling mechanism

### 引言

水利枢纽工程作为调控水资源时空分布的重要基础设施，其运行管理水平直接关系到区域水安全、生态平衡与经济社会发展。随着我国水资源短缺问题日益凸显，如何通过高效的水利枢纽运行管理实现水资源的可持续利用，已成为当前水利领域研究的焦点议题。新疆吉音水利枢纽工程位于和田地区于田县境内的克里雅河干流吾格也克河上，距于田县城约 120 公里，是一项以灌溉、防洪为主，兼顾发电的综合性水利工程，总库容 0.82 亿  $m^3$ ，调节库容 0.60 亿  $m^3$ ，电站装机容量 24MW，年发电量 1.032 亿 kW。该工程控制灌溉面积 70.73 万亩，改善灌溉面积 45.43 万亩，并将下游防洪标准由 3 年一遇提高到 20 年一遇，具有显著的综合效益。本文基于吉音水利枢纽的实际运行数据与管理实践，系统分析其运行管理对水资源可持续利用的支撑作用，识别当前管理中存在的主要问题，并提出针对性改进措施，以期为类似水利工程的优化运行提供理论参考与实践借鉴。

### 1 水利枢纽工程运行管理概述

水利枢纽工程运行管理是指通过科学调度与规范维护，确保工程安全、高效发挥设计功能的一系列技术与管理活动。吉音水利枢纽工程管理中心根据国家相关法律法规如《中华人民共和国水法》《中华人民共和国防洪法》以及《水库调度规程编制导则》等技术规范，结合历年运行经验，制定了年度灌溉供水调度方案，明确水库调度的目标、原则与具体措施。该工程主要建筑物包括拦河坝、表孔溢洪洞、底孔泄洪冲沙放空洞、发电引水洞及地面厂房等，设计洪水标准为 100 年一遇，校核洪水标准为 2000 年一遇，地震设计烈度为 VIII 度。运行管理的主要任务包括灌溉供水、防洪减灾、发电运行与生态保护，其中灌溉供水是首要任务，需根据下游昆仑灌区 68.89 万亩耕地的用水需求，进行水资源调蓄与分配。2025 年预测克里雅河为平水年，年径流量 6.16 亿  $m^3$ ，吉音水库可向下游灌区供水量 6.87 亿  $m^3$ ，通过库水位调度过程线实现蓄放水控制，起调水位 2505.11m，6 月底降至死水位 2470.00m，8

月下旬蓄至正常蓄水位 2509.00m。运行管理还涉及生态流量保障,坝址断面最小生态流量 10 月至 3 月为  $1.91\text{m}^3/\text{s}$ 、4 月至 9 月为  $5.72\text{m}^3/\text{s}$ , 确保下游河道不断流。工程监测设计涵盖大坝变形、渗流、地震反应及泄洪发电系统运行状态, 为管理决策提供数据支持。这些管理活动体现了水利枢纽运行管理在保障工程安全、优化资源配置、维护生态平衡方面的重要作用。

## 2 水利枢纽运行管理与水资源可持续利用的关系

### 2.1 水资源配置与调控

水利枢纽运行管理通过科学调度实现水资源时空再分配, 直接支撑水资源可持续利用目标的实现。吉音水利枢纽根据克里雅河平水年径流预测数据, 年内分配不均, 6 月至 8 月水量占全年 67.02%, 1 月至 3 月仅占 7.0%, 通过水库调节库容 0.60 亿  $\text{m}^3$ , 在灌溉期 2 月至 5 月向下游供水量 1.49 亿  $\text{m}^3$ , 满足春灌需水 1.10 亿  $\text{m}^3$ , 非灌溉期通过电站基荷运行下泄生态流量, 缓解来水与用水时空矛盾。运行管理还依据供水调度线进行判别, 当库水位在农业灌溉供水调度线与正常蓄水位之间时按需供水, 低于调度线时打折供水, 保障灌溉保证率 75%, 特枯年份供水量不低于 70%。这种动态调控机制提高了灌溉水利用效率, 缓解春旱缺水问题, 促进克里雅河下游灌区耕地生产稳定。同时, 运行管理协调发电与灌溉用水关系, 电站多年平均发电量 1.058 亿  $\text{kW}$ , 为和田电网提供清洁能源, 支持区域经济发展。通过水资源优化配置, 运行管理不仅满足当前用水需求, 还为未来水资源可持续利用奠定基础, 体现工程在区域水安全中的核心地位。

### 2.2 防洪抗旱与供水安全

水利枢纽运行管理在防洪抗旱与供水安全方面发挥关键作用, 通过水库调蓄削减洪峰、保障供水, 降低极端水文事件对经济社会的影响。吉音水利枢纽设计洪水位 2509.12m, 校核洪水位 2510.76m, 汛限水位 2506.5m, 通过泄洪建筑物如表孔溢洪洞设计泄量  $505.00\text{m}^3/\text{s}$ 、底孔泄洪冲沙放空洞设计泄量  $342\text{m}^3/\text{s}$ , 将 100 年一遇洪水洪峰流量  $927\text{m}^3/\text{s}$  削减至  $847\text{m}^3/\text{s}$  以下, 使下游防洪能力达到 20 年一遇。在抗旱方面, 运行管理根据来水预测与灌区需水制定供水计划, 2025 年冬季灌溉 11 月至 12 月需水 0.79 亿  $\text{m}^3$ , 吉音水库可供水量 0.54 亿  $\text{m}^3$ , 不足部分由于田县开启抗旱应急机井补充, 防止大面积旱情发生。供水安全还体现在调度原则中坚持电调服从水调, 优先满足灌溉任务, 确保下游 68.89 万亩耕地用水权益。这些措施显著提升区域防洪抗旱能力, 保障供水安全, 为于田县社会经济可持续发展提供水利支撑, 体现运行管理在水资源可持续利用中的减灾增效功能。

### 2.3 生态环境影响与保护

水利枢纽运行管理通过生态调度减少工程对生态环境的负面影响, 促进水资源开发与生态保护协调。吉音水利枢纽根据环境影响报告书要求, 坝址断面最小生态流量

10 月至 3 月为  $1.91\text{m}^3/\text{s}$ 、4 月至 9 月为  $5.72\text{m}^3/\text{s}$ , 保证率 100%, 防止下游河道断流。运行管理在灌溉期根据灌区用水需求下泄水量, 非灌溉期通过电站最小发电引水流量  $1.91\text{m}^3/\text{s}$  维持生态基流, 保障河道生态健康。同时, 水库 6 月至 7 月低水位排沙运行, 减少泥沙淤积, 维护河流地貌稳定。工程还通过监测系统跟踪水质变化, 据努努买买提兰干水文站数据, 年平均离子总量  $341\sim689\text{mg/L}$ ,  $\text{pH}$  值 8.24, 略偏碱性, 运行管理需控制污染物排放, 防止水质恶化。这些生态保护措施体现运行管理在维护河流生态完整性、生物多样性方面的责任, 支持水资源可持续利用的生态维度, 实现工程效益与环境保护的双赢。

## 3 当前水利枢纽运行管理中存在的主要问题

### 3.1 调度机制不完善

当前水利枢纽在运行管理的调度机制方面存在诸多不足之处, 主要体现在多目标协调不够灵活, 应急响应能力相对较弱, 吉音水利枢纽虽然制定了灌溉供水调度方案, 但是其调度线判别条件较为简单, 仅仅按照平水年来进行设计, 并没有充分考虑到在丰枯变化情况下的动态调整, 比如在 2025 年冬季, 灌溉供水量仅为 0.54 亿  $\text{m}^3$ , 而实际需水量达到了 0.79 亿  $\text{m}^3$ , 存在明显的供水不足的情况, 需要依靠外部进行补充, 这反映出调度预案对于极端情景的覆盖并不全面, 调度机制还缺少和发电、生态等目标的深度融合, 电调服从水调的原则在实际操作过程中容易引发冲突, 对综合效益的发挥产生影响。除此之外, 调度过程高度依赖历史数据, 像采用努努买买提兰干水文站 51 年系列统计结果, 预测精度会受到气候变化的影响, 可能会导致出现供水短缺或者资源浪费的情况。

### 3.2 生态流量保障不足

生态流量保障在运行管理环节并未获得足够关注, 其实施力度以及监测能力均有待提升。吉音水利枢纽虽说设定了最小生态流量, 然而其调度方式主要是依照电站基荷运行来开展, 在非灌溉期, 下泄流量仅为每秒  $1.91\text{m}^3$ , 仅仅满足了基本要求而已, 并且缺乏针对生态峰值流量或者季节性需求做出响应的能力, 就像鱼类繁殖期间需要更高的流量, 可当前的管理并未涉及到这一点。生态流量监测主要依靠水文站的数据, 比如努努买买提兰干站所记录的实测资料, 不过这些站点的覆盖范围有限, 在坝址至渠首河段, 对于生态状况的实时监控存在不足, 这可能会引发违规下泄或者出现生态退化的情况。与此运行管理把优先保障灌溉与防洪放在前面, 生态调度在资源分配当中处于较为次要的地位, 容易在缺水期遭到挤压, 进而对河流生态健康产生影响。这些不足之处会弱化生态流量保障的效果, 对水资源可持续利用的生态基础构成威胁。

### 3.3 监测与信息化水平不高

水利枢纽在运行管理方面, 其监测以及信息化程度普遍不高, 所具备的数据采集与处理能力也难以充分支撑起精细调度相关工作。就吉音水利枢纽来讲, 虽说设置了像

大坝安全监测、渗流监测还有边坡位移监测等一系列系统，然而这些系统的监测点分布情况并不均匀，就好比塌滑体 TH2、TH1 以及崩塌体 BT5 的变形监测仅仅只是对部分区域进行了覆盖，如此一来便很难完整且准确地反映出整个工程的实际状态。像水位、流量这类运行数据大多依靠人工来进行记录，而信息化平台在整合数据方面做得也不够到位，这就使得调度决策往往会出现滞后的情况。举例来说，2025 年的灌溉供水方案是需要依据实际状况做出相应调整的，可偏偏实时数据获取的速度比较慢，这无疑对响应速度产生了影响。除此之外，监测所采用的技术还停留在传统阶段，缺少物联网、大数据等较为智慧的手段，所以没办法达成预测性维护或者优化调度的目的，进而致使管理效率有所降低。上述这些问题的存在，对运行管理朝着数字化、智能化方向进行转型形成了限制，同时也对水资源可持续利用水平的提升造成了阻碍。

## 4 提升水利枢纽运行管理促进水资源可持续利用的对策

### 4.1 优化多目标联合调度机制

就调度机制存在不完善这一情况而言，应当着手建立起多目标联合调度方面的模型，把灌溉、防洪、发电以及生态等各项需求都加以整合起来，进而达成动态层面的优化效果。吉音水利枢纽能够依据像平水年、丰水年、枯水年这类多种不同的情景来进行来水预测工作，就好比 P 等于 25%、50%、75% 所对应的那些流量数据一样，去开发出智能调度的相关系统，从而可以实时地对库水位以及下泄量做出调整操作。比如说，在春季开展灌溉活动的时候，起调水位是 2505.11m，这个水位就可以结合气象预报的情况来动态地予以设定；而到了冬季，如果出现灌溉用水不足的情形，那么就要提前去启动应急水源。调度机制还得把生态目标纳入其中，要设置具有一定弹性的生态流量范围，以此来响应各个季节不同的需求，进而将保证率提升至 100% 这样一个程度。通过引入风险决策方面的理论，能够进一步增强对于极端事件的应对能力，以此确保调度方案在保证安全的同时还能高效实施，从而有力地支持水资源实现可持续的利用状态。

### 4.2 强化生态流量保障与修复措施

为了解决生态流量保障不足的问题，运行管理需要强化生态调度的实施以及相关监测工作，大力推广各类修复举措。吉音水利枢纽能够对生态流量下泄设施加以完善，举例来讲，可以借助底孔泄洪洞来辅助下泄操作，以此确保在非灌溉期间，流量不会低于每秒  $1.91\text{m}^3$ ，并且要增设生态峰值调度，在像鱼类洄游这样的关键时期提升流量。在监测环节，要对水文站点进行扩建，运用远程传输技术对坝址下游的生态状况展开实时监控，同时结合水质数据，比如离子总量处于每升  $341\sim689\text{mg}$  这个范围，来对生态效果予以评估。与此还要实施河流修复项目，像是开展植被恢复或者对栖息地进行改善等工作，以此对工程产生的

影响给予补偿。这些举措能够强化生态流量保障所具有的刚性约束作用，推动河流生态实现恢复，进一步巩固水资源可持续利用的生态基础。

### 4.3 推进智慧水利技术应用

提升监测以及信息化的水平，需要积极去推进智慧水利技术的应用，进而构建起数字孪生平台。吉音水利枢纽能够把物联网、大数据还有人工智能进行集成，以此来对监测系统加以升级，达成像大坝变形、渗流量、边坡位移等这类数据的自动采集以及预警效果，就好比借助现有的监测设计去拓展实时传感网络一样。要建设水库调度云平台，将来的水预测、用水需求以及生态数据加以整合，从而支持模拟仿真以及优化决策，比如依据平水年径流量  $6.16\text{亿 m}^3$  来对供水过程进行动态调整。除此之外，还要推广无人机巡检以及远程控制，以此提高管理的效率。凭借着数字化的转型，运行管理能够实现精准化、自动化，水资源调控的能力也能得到明显提升，进而推动其可持续利用。

## 5 结语

水利枢纽在运行管理方面的情况，它是达成水资源可持续利用极为关键的一种手段，在资源的配置、防洪抗旱以及生态保护这些领域当中，它所发挥出来的是无可取代的重要作用。吉音水利枢纽在实际的运作过程当中，具体实践情况说明，借助科学合理的调度方式以及规范严谨的管理举措，是能够切实有效地提高水资源的利用效率的，进而也能够充分保障所在区域的水安全。不过就目前而言，其依旧面临着诸如调度机制方面、生态保障方面、监测水平方面以及管理协同等方面存在的种种挑战。在未来的发展过程当中，需要将关注的焦点集中到多目标联合调度相关事宜上、生态流量强化的相关事宜上、智慧技术的应用相关事宜上以及跨部门协同的相关事宜上，要持续不断地对运行管理的策略加以优化和完善，以此来促使水利工程从原本单一的功能逐步朝着综合服务的方向去实现转型转变。

## 【参考文献】

- [1] 史益鲜. 望亭水利枢纽防御超标洪水运行的实践与思考 [J]. 水利建设与管理, 2021, 41(7):67-71.
- [2] 潘美筠, 王强, 陈臻隆. 二级坝水利枢纽水闸工程运行管理技术归纳 [J]. 治淮, 2021(12):71-73.
- [3] 程麒安, 曹春阳. 引滦枢纽工程安全运行管理水平提升初探 [J]. 海河水利, 2024(1):22-25.
- [4] 李化春, 魏艳丽. 基于饮用水源保护区的黄前水库安全生产标准化体系改进研究 [J]. 数字农业与智能农机, 2025(6):72-74.

作者简介：段自成（1989.9—），毕业院校：新疆大学，所学专业：电气工程及其自动化，当前就职单位名称：新疆维吾尔自治区塔里木河流域吉音水利枢纽管理中心，职称级别：水利工程 工程师。

## 裂隙水渗流特性与含水层划分方法研究

聂龙龙

河北省煤田地质局环境地质调查院, 河北 石家庄 050000

**[摘要]**文中依托现场水文地质调查、钻孔原位测试及室内岩样实验等综合技术手段, 系统研究了复杂地质条件下裂隙水的渗流特性与含水层划分方法。研究显示裂隙分布的空间特征、连通性与开度对渗流特性起着关键作用, 基于等效连续介质和离散裂隙网络这两种模型, 裂隙介质渗透系数的定量表征办法得以建立且考虑裂隙密度、开度和方向的计算公式也被提出, 就含水层划分而言, 集成了水文地质参数、地球物理方法和水化学特征的多维度评价体系被提出并且基于层次分析法的含水层分区评价模型也构建起来, 用遥感解译、地球物理测井和水文地质试验相结合的办法, 复杂地质条件下含水层的精确划分得以实现, 该研究成果在地下水水资源评价、工程建设里的降排水设计以及地下水污染防治方面有着重要的指导价值, 它为裂隙岩体地区的水资源可持续开发和管理提供了科学依据。

**[关键词]**裂隙水; 渗流特性; 含水层划分; 等效连续介质模型; 水文地质

DOI: 10.33142/hst.v8i12.18440 中图分类号: TV52 文献标识码: A

## Research on the Characteristics of Fissure Water Seepage and the Method of Dividing Aquifers

NIE Longlong

Environmental Geological Survey Institute of Hebei Coalfield Geological Bureau, Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

**Abstract:** Based on comprehensive technical methods such as on-site hydrogeological investigation, in-situ drilling testing, and indoor rock sample experiments, this article systematically studies the seepage characteristics of fissure water and the method of dividing aquifers under complex geological conditions. Research has shown that the spatial characteristics, connectivity, and openness of fracture distribution play a key role in the seepage characteristics. Based on the equivalent continuous medium and discrete fracture network models, a quantitative characterization method for the permeability coefficient of fracture media has been established, and calculation formulas considering fracture density, openness, and direction have been proposed. As for the division of aquifers, a multidimensional evaluation system integrating hydrogeological parameters, geophysical methods, and hydrochemical characteristics has been proposed, and an aquifer zoning evaluation model based on the analytic hierarchy process has also been constructed. By combining remote sensing interpretation, geophysical logging, and hydrogeological experiments, the accurate division of aquifers under complex geological conditions has been achieved. This research achievement has important guiding value in the evaluation of groundwater resources, drainage design in engineering construction, and prevention and control of groundwater pollution, which provides a scientific basis for the sustainable development and management of water resources in fractured rock areas.

**Keywords:** crack water; seepage characteristics; aquifer division; equivalent continuous medium model; hydrogeology

### 引言

当今全球对水资源管理和环境保护这两个重要议题尤为关注, 在裂隙岩体广泛分布的地区更是如此, 因为地下水资源的开发利用在此处面临不少挑战。裂隙水作为地下水系统的重要构成部分, 其渗流特性的优劣直接影响着水资源评价以及工程设计是否具备科学性与可靠性, 而且近些年城市化进程不断加快且基础设施建设规模持续扩大, 使得人们对裂隙岩体地区地下水资源的需求大幅上升。统计显示, 近五年间全球约 30% 的大型水利工程都涉及到裂隙岩体地区的地下水相关问题, 并且由于裂隙介质具有空间上的异质性与复杂性, 传统的连续介质理论很难精准地描述其渗流行为, 进而致使含水层划分以及水资源评估存在很大的不确定性, 所以深入探究裂隙水的渗流规律并且给出科学的含水层划分办法成了水文地质领域的核

心任务当中的一个。

针对此问题借助现场水文地质调查钻孔试验与室内实验相互配合的方式, 全面剖析了各异质状况下裂隙水的渗流特质, 研究表明裂隙的空间分布特征, 连通性和开度是影响渗流特性的关键因素, 在此基础上依据等效连续介质模型以及离散裂隙网络模型构建了裂隙介质渗透系数的定量表征办法, 且给出了综合斟酌裂隙密度开度与方向的计算公式<sup>[1]</sup>。这些研究成果对于揭示裂隙水渗流机制来讲给予了全新的理论支撑, 另外地下水资源管理的基础工作乃是含水层划分, 而其精确程度会直接对资源开发以及环境保护的效果产生影响, 为此构建了涵盖水文地质参数地球物理手段以及水化学特性的多维度评估体系, 并确立了以层次分析法为基础的含水层分区评估模型, 利用遥感解译地球物理测井以及水文地质试验相结合的技术手段,

达成了在复杂地质情形下对含水层的精准划分。这些研究不但为裂隙岩体区域的地下水资源评价给予了科学依据,还为工程建设里的降排水规划以及地下水污染防控奠定了技术根基,具备重大的实践意义与应用价值。

## 1 裂隙水渗流机理与特性

### 1.1 裂隙介质水力学特性

岩体裂隙是地下水流动的主要通道,对其水力学特性的分析直接影响到含水层的储水与导水能力,研究表明裂隙介质的渗透性不但受裂隙的空间分布特征影响,而且与其开度连通性和方向性紧密相连,在复杂的地质状况中,裂隙网络展现出极为明显的非均质性以及各向异性,致使传统的达西定律难以精准地描绘其流动行为。近年来经由现场钻孔试验与室内实验发现,裂隙开度的变动对于渗透系数的作用呈现指数关系,然而裂隙连通性却规定了水流路径的繁杂程度,以我国西南某典型喀斯特地区为例,尽管该区域裂隙密度相对较高,然而有效连通裂隙仅约占总裂隙数量的 30%,进而致使实际渗透性能远远低于理论预测值<sup>[2]</sup>。此外水流方向受到裂隙方向性的显著控制作用,特别是在构造应力场作用下形成的定向裂隙带往往成为主要的导水通道,这些研究为理解裂隙介质的水力学特性提供了重要依据,也为后续建立定量表征方法奠定了基础。

裂隙介质的非均质性和各向异性不仅体现在渗透性上,还显著影响其水力传导能力的空间分布。在裂隙网络中,水流优先选择连通性好、开度大的裂隙通道,形成优势流路径,导致局部水力梯度与整体水力梯度存在显著差异。例如,在层状岩体中,平行层面的裂隙通常具有较高的渗透性,而垂直层面的裂隙则因连通性差而导水能力较弱,这种各向异性特征使得裂隙介质的水流运动呈现出明显的方向性。此外,裂隙介质的渗透性还具有空间长度尺度依赖性,随着研究空间长度尺度的增大,裂隙网络的连通性增强,渗透系数逐渐趋于稳定,但在小空间长度尺度下,局部裂隙的封闭或半封闭状态可能导致渗透系数的显著降低。因此,准确描述裂隙介质的水力学特性需要综合考虑裂隙的空间分布、开度、连通性以及方向性等多方面因素,并通过多空间长度尺度实验和数值模拟相结合的方法进行深入分析。

### 1.2 裂隙水流规律分析

研究裂隙水流规律是揭开地下水资源动态变化这一关键环节,把等效连续介质模型与离散裂隙网络模型相结合能更全方位地展现裂隙水流机制,等效连续介质模型把裂隙岩体当作有均匀渗透性的连续介质在裂隙发育较均匀的地方适用,而离散裂隙网络模型可精准描绘单个裂隙的几何形状和水力特性在裂隙分布复杂时更适用。某矿区水文地质调查表明,开度超 0.5mm 的主干裂隙承担着超 70% 的地下水流量且微小裂隙主要是用来储存水的,另外裂隙之间的相互干扰不容小觑,尤其在高应力环境里,裂隙一闭合局部渗透系数就明显降低,就像华北某个深部

矿井,采动导致应力重新分布使得裂隙渗透系数下降幅度能达到 40% 以上。这些成果为优化地下水资源评价和工程降排水设计提供了科学依据<sup>[3]</sup>。

### 1.3 尺度效应对裂隙水渗流的影响

尺度效应乃裂隙水渗流研究的核心要义之一,其根本在于不同空间尺度下裂隙构造特性与水力参数的变动规律,从微观尺度到宏观尺度裂隙网络的连通性与渗透性呈现出显著差别,在微观尺度之际单个裂隙的开度以及粗糙度径直左右着局部渗透系数,然而于宏观尺度之上裂隙网络的整体拓扑架构却变为主导要素。近年来基于多尺度模拟技术的研究表明,当观测尺度从米级扩展到千米级时裂隙介质的有效渗透系数,可能增加一个数量级以上,这一现象在我国西部某大型水利工程中得到了验证,该工程区裂隙岩体在千米级范围内逐渐趋于均质化,但在百米级范围内表现出较强的非均质性,因此在实际应用中需依据具体工程需求,选取适宜的尺度予以分析以保障结果的精准性,尺度效应的研究不但加深了对裂隙水渗流特性的认知,还为复杂地质状况下含水层的划分给予了理论支撑。

## 2 基于渗流特性的含水层划分方法

### 2.1 水文地质参数与划分指标体系

在裂隙水渗流特性的探究进程里,有关水文地质参数的择取以及划分指标体系的构建乃是达成含水层精准划分的基础,近些年来伴随地下水资源开发需求的逐步增长,以及工程建设规模的持续扩大,岩体裂隙水的相关研究已然逐步变为水文地质领域当中的热点内容,据统计全球约 40% 的地下水资源储存于裂隙岩体之中,然而其复杂的渗流特性给资源评价以及工程设计带来了严峻的挑战。在本研究中通过对现场水文地质展开调查,并且进行钻孔试验从而获取了包括渗透系数、裂隙密度、开度以及方向性等关键参数,这些参数能够直接反映出裂隙介质的渗流能力,与此同时将地球物理探测数据与水化学特征分析相结合,构建起一个涵盖多维度的含水层划分指标体系<sup>[4]</sup>。此体系全面考量了裂隙的空间分布规律连通性,及其对于渗流场所产生的影响为后续模型的构建给予了科学的依据,研究表明在复杂地质条件下难以凭借单一参数全面呈现含水层特性,故而需整合多种方法予以综合评价。

具体而言,渗透系数作为衡量裂隙介质导水能力的重要指标,其准确测定依赖于现场抽水试验与室内渗透仪测试的有机结合,通过对比不同位置的渗透系数值,可初步识别含水层的优势导水通道。裂隙密度则通过钻孔岩芯编录与地质雷达扫描相结合的方式获取,该参数直接反映了裂隙发育的密集程度,为划分富水区与隔水层提供了基础数据。裂隙开度作为控制渗流速度的关键因素,其测量采用显微 CT 扫描与压水试验相结合的技术手段,既能获取裂隙面的微观形态特征,又能量化其有效过水断面面积。方向性参数则通过裂隙走向玫瑰图与倾向统计法进行分析,

结合区域构造应力场特征,可揭示裂隙系统的优势渗流方向。在构建指标体系过程中,特别引入了裂隙连通性指数,该指数通过三维网络模拟技术计算得出,能够定量表征裂隙网络中水流路径的连通程度,有效解决了传统方法难以评估裂隙系统整体导水性能的难题。同时,针对裂隙介质的非均质性,提出了变异系数与分形维数等辅助参数,从统计学与几何学角度刻画裂隙空间分布的复杂程度。这些参数的有机组合,形成了能够全面反映裂隙水渗流特性的多维度指标体系,为后续含水层分区模型的构建奠定了坚实基础。

## 2.2 多维度含水层识别技术

针对裂隙岩体含水层的复杂性,人们提出一种集遥感解译、地球物理测井和水文地质试验于一体的多维度识别技术,该技术能充分利用现代探测手段优势,有效克服传统方法在复杂地质条件下存在的局限,提高含水层识别精度。像遥感解译技术通过分析地表形态、植被覆盖等信息,可初步判定潜在裂隙发育区域,并且地球物理测井能进一步揭示地下裂隙的空间分布和导水性能,水文地质试验则用于验证裂隙网络的实际渗流能力。近些年国内外不少研究显示,多技术融合的方法使含水层划分精度大大提高,在某个典型的裂隙岩体地区采用这项技术后,含水层划分误差降低大概30%,给区域地下水资源管理提供了可靠的支撑<sup>[5]</sup>。由于裂隙介质存在非均质性和各向异性,所以把层次分析法引进来当作评价工具,将定性和定量分析相结合,实现对含水层分区的系统化评估,这种方法不但适合裂隙岩体地区,还能推广到复杂地质环境,适用范围广且实用性强。

## 2.3 裂隙含水层分区模型构建

在上述研究成果的基础上构建起裂隙含水层分区模型,目的是给地下水资源评价和工程设计给予更细致的指引,该模型将裂隙介质作为等效连续介质与离散裂隙网络的组合,并采用数学公式对其渗透特性进行量化,在具体操作时先用现场试验数据算裂隙密度、开度和方向性这些关键参数再把这些参数代进改进后的达西定律公式里算出不同区域的渗透系数分布,之后依据层次分析法的权重分配结果把研究区里的含水层划分成不同区域,实验显示这个模型能精准地反映出裂隙含水层的空间异质性且在强非均质区域这点表现得特别明显。

某个实际工程应用了该模型后,降排水设计方案得到优化,使施工成本降低15%,并且地下水污染风险也大大降低,总的来说,该分区模型不仅为裂隙岩体地区水资源可持续开发提供了科学依据,更为地下水资源评价、工程建设降排水设计、地下水污染防治等多个领域的技术创新与实践应用开辟了新途径。

## 3 结论

复杂地质条件下水资源评价和管理要靠裂隙水渗流

特性与含水层划分方法研究来提供重要理论支撑与技术手段,通过现场水文地质调查、钻孔试验和室内实验后,明确裂隙分布的空间特征、连通性和开度是影响渗流特性关键因素,依据等效连续介质模型和离散裂隙网络模型构建起定量表征裂隙介质渗透系数的办法且给出考虑裂隙密度、开度和方向的计算公式,该成果既提升对裂隙水渗流规律的认知又奠定地下水资源精确评估的基础。在岩体裂隙发育区域应用这些研究方法能大幅提高地下水模拟的精度和可靠性,另外把水文地质参数、地球物理方法和水化学特征集成到多维度评价体系,并加上遥感解译、地球物理测井和水文地质试验结果,就能在复杂地质条件下精确划分含水层,这种综合技术手段在实际工程里像矿山排水设计、隧道施工涌水预测还有城市地下空间开发等领域都有广泛应用且优势明显。

近些年来全球水资源压力不断加剧,使得裂隙岩体地区的地下水资源开发与保护成了热门研究领域,统计显示2018年到2023年期间全球大概30%的地下水资源开发都聚集在裂隙岩体分布区域,且超60%的项目存在渗流特性不明、含水层划分不准的问题,本研究提出的层次分析法分区评价模型给解决这些问题提供了科学依据,其用于实践不但提升了地下水资源评价的精确性,而且给工程建设里的降排水设计以及地下水污染防治给予了关键指引。就像某个大型水利工程采用这种方法成功优化了降排水方案,让施工周期缩短了15%,并且也降低了地下水污染的风险。该研究成果对推动裂隙岩体地区水资源的可持续开发与管理具有重要意义,更为相关行业的技术创新提供了新的思路。今后,需进一步融合大数据和人工智能技术,提高裂隙水渗流特性研究的智能化水平,从而更好地应对更复杂地质条件与更高标准的工程要求。

## 【参考文献】

- [1]陈海波,杨双锁,牛少卿.含水压倾斜裂隙砂岩力学与渗流特性研究[J].煤炭技术,2022(6):126-130.
  - [2]陆斌法,肖雨江.黑龙江省煤系裂隙含水层岩性划分研究[J].山东科技大学学报(自然科学版),2017(6):100-106.
  - [3]刘佳佳,杨明,张俊伟,等.受载含层理媒体裂隙演化与渗流特性模拟研究[J].中国安全科学学报,2017(10):103-108.
  - [4]连会青,夏向学,王世东,等.含水层微观孔隙分形特征与渗透性关联研究[J].工程勘察,2014(1):40-45.
  - [5]王维平,曲士松,叶新强,等.用于裂隙岩溶含水层回灌的屋面雨水径流水质特性研究[J].水利学报,2011(4):103-108.
- 作者简介: 聂龙龙 (1989.2—), 毕业院校: 河北地质大学, 所学专业: 地下水科学与工程, 当前就职单位: 河北省煤田地质局环境地质调查院, 职务: 无, 职称级别: 工程师。

# 水利工程运行管理与区域水资源可持续利用研究

阿卜力米提·赛麦提

新疆维吾尔自治区塔里木河流域叶尔羌河水利管理中心，新疆 喀什 844700

**[摘要]**在全球变化背景下，流域所在区域水资源系统的非均衡性日益凸显，水利工程的调度运用及可持续发展面临新的考验。文章围绕干旱半干旱地区如何合理调度水利工程以解决水资源时空分布极不平衡、生态环境需水保障难度加大的问题展开讨论。文章梳理了干旱半干旱地区水资源状况及其面临的困境，在此基础上指出了水资源短缺、供用水矛盾突出、管理制度等因素制约，并据此提出了工程联合调度，信息技术融合，生态友好型运行以及长效机制建立等多种举措，共同促进由传统的大水粗管向精准化智能化调控转变，这对于维护区域生态安全和实现高品质发展意义深远。

**[关键词]**水资源可持续利用；水利工程运行管理；生态用水；数字孪生

DOI: 10.33142/hst.v8i12.18442 中图分类号: TV213 文献标识码: A

## Research on the Operation Management of Water Conservancy Projects and Sustainable Utilization of Regional Water Resources

ABULIMITI Saimaiti

Xinjiang Yarkand River Water Conservancy Management Center in Tarim River Basin, Kashgar, Xinjiang, 844700, China

**Abstract:** In the context of global change, the imbalance of water resources systems in the regions where river basins are located is becoming increasingly prominent, and the scheduling and sustainable development of water conservancy projects are facing new challenges. The article discusses how to reasonably schedule water conservancy projects in arid and semi-arid regions to solve the problems of extremely uneven spatial and temporal distribution of water resources and increased difficulty in ensuring water demand for ecological environment. The article summarizes the water resources situation and challenges faced in arid and semi-arid regions. Based on this, factors such as water scarcity, prominent water supply and demand contradictions, and management systems are pointed out as constraints. Based on this, various measures are proposed, including engineering joint scheduling, information technology integration, eco-friendly operation, and the establishment of long-term mechanisms, to jointly promote the transformation from traditional large-scale water management to precise and intelligent regulation. This has profound significance for maintaining regional ecological security and achieving high-quality development.

**Keywords:** sustainable utilization of water resources; operation and management of water conservancy projects; ecological water use; digital twin

### 引言

当前，我国经济发展已经迈上新的台阶，各方面均获得了较大的发展。水资源是人类赖以生存的重要资源，作为综合运用水资源的一项技术手段，水利工程在社会经济发展过程中起到了重要作用，在防洪、排涝、农业灌溉等领域，合理配置水资源发挥着重要作用。目前，水利工程运行管理已成为满足人们日常所需、推进社会稳定发展的重要工作内容之一，对实现生态环境的稳定和健康发展具有重要意义。因此，重新审视并创新水利工程运行管理策略，探索其与区域水资源可持续利用目标的协同路径，是一项紧迫的课题。

### 1 区域水资源概况与特征分析

研究区水资源存储及生成条件特殊。地表水主要靠山地降水、高山冰川积雪融水补给，内陆河水系河流径流来源于山区，然后过山前平原，流入盆地。冰雪资源是“固体水库”，对河流径流起着极其重要的调蓄作用。近几十年来由于全球气温升高该区域周围山地冰川覆盖面积大幅缩减，冰川萎缩短时间内会使河流径流量有所增加，长期

来看会危及河流持续稳定的供水量。从水资源时空分布情况分析，水资源分配不平衡问题严重。在空间方面水资源与其他自然资源、人口，以及经济社会活动等极不对称。时间方面径流年内分布相当集中，农作物生长季节春季时常缺水，年际间相差悬殊，增大了水资源预报与调度难度<sup>[1]</sup>。从水资源之间相互转化关系来看，区内降水、地表水、地下水间的“三水”转化特点十分鲜明。河流出山以后大量侧渗补给地下水，地下水水平时溢出补给河流或者供给天然植物用水。

### 2 水利工程运行管理现状分析

#### 2.1 水利工程类型与分布特点

针对水资源在时间空间上的不平衡问题，区域内已经形成了水利工程网。主要由蓄水工程——山地和平原水库组成，其任务是拦截储存洪水，调蓄径流，保证供水；引水和调水工程，是由各级引水渠首及其对应的干支渠道乃至跨流域调水工程组成的；还有提水工程，由一系列泵站将低处的水提升至高处；以及大量分散的机井形成地下水开采网。而从分布特征上看，整个工程都是紧随水资源“源

起高山，落于平原”的路线分布的，在每条河的出口处几乎都有大型的控制性水库，在每个绿洲灌区都延伸出去密密麻麻的沟沟渠渠，而在地表水匮乏的地方则是密布着一眼眼机井。近些年来，高效节水灌溉工程项目迅速推广，但与此同时，工程网的出现也使问题变得更加复杂，出现了多水源组合、多工程并联、多目标供水的情况，统一调度，联合调控难度加大。

## 2.2 运行管理模式及存在的问题

长期以来流域内水利工程管理体制实行的是行政区划和部门管理为主的体制。这种“碎片化”的管理模式弊端日趋凸显。主要体现在以下四个方面：一是管理碎片化，缺乏统一的流域管理。流域被不同的行政区隔断，造成同一流域上下游之间、同一河段左右岸之间对水资源开发利用的目标不同，争水现象时有发生。二是调控手段比较落后，缺乏智能化管理手段。调控措施主要依靠经验判断以及上级部门命令，不是建立在精确掌握实时水情及需水量的基础上，造成了水资源浪费。三是工程维修养护不到位。一些工程设施老化破损，渗漏情况严重，严重影响了工程效益发挥和工程运行安全。四是管理体制不能有效地调动节水积极性。水价机制不合理，缺乏有效的节水经济杠杆，全社会共同节约用水、自觉保护水资源的良好氛围尚未真正形成。

## 3 水资源可持续利用的挑战与制约因素

### 3.1 自然条件与气候影响

远离海洋的地理环境与干旱的气候背景，是流域水资源可持续开发的原始性和持久性的瓶颈。多数地区降水量远小于可能蒸散量，天然存在的水分赤字使水资源系统相当脆弱。而气候变化正进一步放大着这种脆弱性。温度的明显上升既直接增加了蒸散发耗水，又造成冰川、积雪等固态水体加快融化。已有证据显示，在过去的几十年中，周边主要高山冰川萎缩近20%，“固体水库”的调节效益在退化。降水也在经历复杂的调整：尽管一些地区年降水量有增多现象，但降水年际及年内波动幅度加大，严重干旱与极端暴雨的发生频度、强度“双升”。这意味着以往据以进行水资源规划与水利工程调控的设计准则的历史水文系列不再适用，水文过程已经由相对稳定的“稳态”变为“非稳态”，存在巨大的不确定性。气候变化的影响，是一种全面的、根本性的威胁，它瓦解着支撑水资源可持续利用的自然根基。

### 3.2 水资源时空分布不均

正如前述，水资源与经济社会发展的需求时空极不匹配是主要矛盾之一。空间方面，“水少地多”“水多地少”的倒置分布十分普遍。重要的绿洲经济带和人口密集区大多集中在水资源短缺的平原盆地，不得不采取远距离调水或者大量超采地下水予以支撑；时间层面，农业生产灌溉用水高峰期常常与河流行洪自然进程相脱节，春旱“卡脖子”现象严峻。一年之中丰水期的洪水不能得到充分利用，枯水时段生态基流又时常遭到生产生活用水挤占。如此这般极不平衡的局面决定了非得采取强有力的水利工程措施并结合精确化的管理调控来进行二次均衡。但若调控失

当，则上中游的过分取用将会直接造成下游河道干涸、尾闾湖盆干缩，酿成灾难性的生态环境后果。

### 3.3 供需矛盾与利用效率

伴随着人口增加、经济发展以及城市化进程加快，对水资源的需求刚性增强，供需矛盾突出。农业是用水的第一大户，它的灌溉面积、灌溉定额在很大程度上决定了一个地区的用水总量。有些地区为了保证粮食生产或者发展特色林果业，长期以来采用高耗水的种植结构和灌溉方式。工业万元产值的用水量也明显高于国内平均水平<sup>[2]</sup>。另一方面，虽然水资源利用率有所提高，但仍然比较低。输水过程的跑冒滴漏、田间灌溉的大水漫灌、田间地头深层渗漏、无效蒸发和工业用水重复利用率低等情况同时存在。更深层次的原因还是产业结构与经济发展方式不适应水资源支撑能力。有些地方高耗水产业的发展并没有充分综合考虑当地的水资源状况，导致部分区域水资源严重超载。用水量的增多同时也意味着污水排放量的增长，一旦污水处理不到位，就会进一步污染有限的水资源，减少了可用的水资源数量，陷入恶性循环。

### 3.4 生态用水保障压力

在有限总的供水量下，随着其他净水需求越来越多，生态用水最易受到忽略与侵占。一直以来，在很多地区水资源分配计划里都没有为生态环境预留足够的“份额”，或者虽然有要求但在枯水年很难保证到位。而生态系统的存续又必须要有一个稳定水流量和水流过程，比如河流要有一定的基本流量保证水生生物存活以及河流自身的净化作用，自然植被依靠着地下径流和周期性的泛滥灌溉。但是通常生产水和生活水的需求全都排在生态水前面，在生产生活用水占用下常常发生间歇性的河流干涸、湖泊消失、湿地退缩、天然林草衰败等情况。近年来虽已开始进行生态调水、生态补水，但部分修复方式过于追求短期迅速扩大水域面积的这种“注水式”的修复模式，不能够有效的恢复地表水同地下水之间的水文关系，生态系统基本功能的修复成效甚微。怎样合理制定并且严格保证生态需水量，协调好生产用水、生活用水及生态用水三者之间的矛盾，这是区域水资源持续开发利用所面临的最难攻克的问题之一。

## 4 水利工程运行管理与水资源可持续利用的协同路径

### 4.1 工程调度优化与水资源合理配置

一定要站在整个全流域以及区域整体的角度考虑问题，突破行政区划以及工程项目限制，对水资源实施系统化的调度和优化配置。首先就是要加强流域统一管理，形成权威高效、集中统一的流域调度决策与管理体系，使复杂水系真正实现供水计划、治理、调度、管理的高度统一。然后才是在此基础上建立起以“以水定城、以水定地、以水定人、以水定产”为原则的水资源刚性约束制度。把区域用水总量作为一个不可逾越的红线，合理地分配给各个产业部门与不同片区，并由此倒逼产业结构调整与经济发展转型。在调度方案上，也要扭转那种单纯的目标调度的

做法，推行以防洪、供水、灌溉、发电、生态等多个目标为一体的综合最优调度。尤其是面对枯水年或者重要生态敏感期的时候，一定是要通过工程联合调度的方式来保障最基本生态流量泄放要求，守好生态安全底线。此外还需大力探索并试行水权交易制度，允许经过实际有效的节约手段节省出来的水权进行市场买卖。这样既可以将有限水资源调配至效益更大的地方去，又可以让节约用水一方得到经济补偿，进而形成“节约-受益-再投入”的良性循环。

#### 4.2 节水技术与智能化管理应用

提升各环节水资源利用率是最直接、见效最快解决供需矛盾的方式，既要靠技术创新又要加强管理。技术上主要广泛运用推广高效节水技术。农业方面进一步扩大滴灌、喷灌、膜下滴灌等高效节水灌溉面积，同时推广配套水肥一体化技术，达到节水与节肥及增产的一举三得；工业及城市生活方面推广应用循环用水、分质供水、中水回用等技术工艺。管理上水利工程运行管理朝着数字化、网络化、智能化的方向转变是一场深刻的变革，而数字孪生技术的出现为其带来利器。通过建立随物理工程同步仿真运行、虚实交融的数字映射体，可对工程运行情况进行全景式观测、风险隐患智能预报、运行调度模拟推演决策等<sup>[3]</sup>，如某先进的水利工程给泵站安装上了“智慧大脑”，其可以根据农作物种类、天气情况以及土壤湿度提前算出农作物所需用水量并像“人工调度员”一样精打细算配水，这就是精准的“以水定产”，跨流域调水工程借助数字孪生平台实现了多个水源地、多个水利工程之间的联合智慧控制，把调度指令精准落实到厘米量级、分钟级别，供水安全保障能力与管理水平得到极大提升。

#### 4.3 生态保护与水利工程协调运行

必须要从思想上彻底扭转观念，把水利工程的生态环境效益摆在和经济效益一样重要的位置甚至更高的高度上来对待。工程调度运行应充分兼顾生态水文过程的要求。如关键物种种群繁殖季节维持合适的河流流量及水位，模拟天然洪水过程为河岸带及河漫滩湿地供水等。对那些已经给生态环境带来负面影响的一些工程举措，应该做些适应性调整或者补救。比如，那些因为全断面硬化而使得地下水补给完全中断的渠道，可以在特定河段采用生态透水性衬砌；水库调度过程中设置专项生态放水口保证下游河道不断流等。更为重要的是，我们必须跳出“就水论水”的局限，树立起“山水林田湖草沙冰”的生命共同体理念。水利工程的管理和调控必须放在更大的生态恢复计划之内。比如，在对下游尾闾湖泊实施生态补水的时候，必须同步开展河道整治、河岸植被恢复、地下水回补等一系列措施，重塑完整的健康水文—生态系统联系，而不是简单的扩大水面面积。要合理制定生态水位（流量）红线，并将其作为工程调度的刚性指标来考核评估。

#### 4.4 管理体制与长效机制建设

科学的理念和技术必须有完善的制度和长效机制作为支撑。一是深化水务管理体制改革创新。设立由党委政

府主要负责同志担任主任的水资源管理委员会，统一协调涉水事务，破除部门壁垒，凝聚管理合力的做法，已经得到实践检验。要构建流域管理和区域管理相结合、水利部门牵头和生态环境等部门联动配合的水资源管理工作机制。二是建立健全市场化的水价机制和节水奖惩机制。有序推进农业水价综合改革，推行超定额累进加价制度，建立健全与精准计量到位、节水成效和水权交易挂钩的精准补贴和节水奖励良性机制，使节约用水者真正获益。对工业和服务业，实施阶梯式水价，倒逼产业转型升级。三是创新水利工程建管模式<sup>[4]</sup>。大力鼓励社会资本投入，积极推广“投、融、建、管、服”五位一体的新型政企合作模式。在基层灌区，探索组建农民用水合作社或灌溉服务公司，实行专业化、物业化的末级渠系和田间用水管理，让政府“管不到边、管不到底”的末梢管水责任落地见效，由“政府孤军奋战管水”转变为“群众携手同心治水”。四是强化督查问责和公众参与。将水资源开发利用控制、用水效率、生态流量保障等重要指标纳入地方党政领导班子政绩考核目标。同时加大水资源状况、节水政策法规以及节水知识宣传力度，畅通公众参与和监督渠道，努力形成全民惜水、爱水、节水、护水的良好风尚。

#### 5 结束语

面对日益严峻的气候变化形势和水资源瓶颈制约，水利工程运行管理与区域水资源可持续利用统筹问题是关系区域生态安全和高质量发展的战略性问题。研究区水资源系统的天然脆弱、极强敏感以及要素耦合决定了传统的管理模式难以适应变化的环境，在应对上面临很大挑战。挑战来自于越来越严格的自然边界限制、时空极化矛盾、供需紧张、生态用水短缺等多方面的压力。解决问题的关键在于要深刻变革，让水利工程成为真正的水资源系统综合调节者。必须要坚持“一盘棋”的流域整体观念，以统一调度盘活存量；必须要紧扣创新驱动，推广高效节水技术、发展智慧水利提高水资源利用率；必须要确立生态文明理念，协调好水利工程运行与生态过程的关系守住水生态红线；必须要打破体制束缚，建立市场机制和良性管护长效机制增添活力。

#### 【参考文献】

- [1] 赵鹏志.水利工程运行管理及水资源可持续利用策略分析[J].农业灾害研究,2025,15(3):247-249.
- [2] 邱权新.水资源可持续利用背景下水利工程运行管理研究[J].珠江水运,2024(19):70-72.
- [3] 李德金.水利工程运行管理及水资源可持续利用对策[J].农业科技与信息,2022(16):81-83.
- [4] 郑淑德,郑德轩.水利工程运行管理与水资源可持续利用探讨[J].生态与资源,2024(1):80-82.

作者简介：阿卜力米提·赛麦提（1990.10—），当前就职单位名称：新疆维吾尔自治区塔里木河流域叶尔羌河水利管理中心，主要是从事水利工程运行或管理方面的工作，职称级别：中级职称。

## 农田水利河道治理护岸防护技术探讨

艾孜买提 阿布都热衣木

新疆鸿源润泽建设工程有限公司, 新疆 伊犁 835200

**[摘要]**在长时间的运行进程中,诸多农田水利工程设施无可避免地会呈现出一定的安全隐患以及质量问题,这在相应程度上对河道护岸以及覆盖物的功能造成了削弱,致使它们在遭遇洪涝或者干旱的时期很难充分地发挥出蓄水、调水还有灌溉的作用。所以,相关的管理部门应当极为重视河道治理以及护岸防护技术的科学运用,以此来提高农田水利工程的整体质量以及运行效益。在此这样的背景下,文章分析了农田水利河道治理与护岸防护的实际状况以及基本遵循的原则,而且还进一步给出了具体的操作要点以及技术方面的注意事项,从而为工程实践给予参考以及可借鉴之处。

**[关键词]**农田水利; 河道治理; 护岸防护技术

DOI: 10.33142/hst.v8i12.18471 中图分类号: TV5

文献标识码: A

## Discussion on Shore Protection Technology for Farmland Water Conservancy and River Management

AIZIMAITU Abudureyimu

Xinjiang Hongyuan Runze Construction Engineering Co., Ltd., Yili, Xinjiang, 835200, China

**Abstract:** In the long-term operation process, many agricultural water conservancy engineering facilities inevitably present certain safety hazards and quality problems, which to some extent weaken the functions of river bank protection and coverings, making it difficult for them to fully play their roles in water storage, water regulation, and irrigation during periods of floods or droughts. Therefore, relevant management departments should attach great importance to the scientific application of river management and bank protection technology, in order to improve the overall quality and operational efficiency of agricultural water conservancy projects. In this context, the article analyzes the actual situation and basic principles of agricultural water conservancy and river channel management and bank protection, and further provides specific operational points and technical precautions, providing reference and lessons for engineering practice.

**Keywords:** farmland water conservancy; river management; shore protection technology

### 引言

在农业生产和农村发展进程之中,河道属于极为重要的水利基础设施,其不光肩负着灌溉农田、排涝防洪以及水资源调控等诸多功能,而且对于沿岸的生态环境以及生物多样性而言,同样有着不容忽视的重要影响。不过,伴随着气候变化情况的发生、暴雨出现的频率不断增高以及人类活动给河道周边环境所带来的种种影响,河道冲刷、泥沙淤积、护岸破损还有洪涝灾害等一系列问题愈发凸显出来,这给农田水利系统的安全运行以及农业生产的效率都造成了极为严重的影响。在这样的大背景之下,开展针对农田水利河道治理以及护岸防护技术方面的研究就显得格外有必要了。河道治理所涉及的内容并不仅仅局限于水利工程结构的加固以及防护,而且还涵盖了河床整治、生态修复以及农田灌排系统优化等一系列较为综合的措施,从而达成水利功能、生态功能以及农业生产功能的有机融合与统一。借助科学合理的河道护岸防护设计以及系统完备的治理技术,能够有效地对水土流失加以控制,降低冲刷与淤积的风险,保障农田灌溉排涝的效率,并且还能对河道生态环境予以改善,进而为区域可持续农业发展

给予稳固可靠的技术方面的支撑。本文会全面且细致地剖析河道护岸防护的相关原则、当前的实际状况以及所存在的各类问题,同时深入且详尽地探讨农田水利河道治理的具体技术方法,其中包含了水土保持、河道整治与生态修复、灌排系统优化以及水资源利用等诸多内容,希望能够为农田水利管理的实际操作提供相应的理论方面的指导以及技术层面的参考依据,进一步推动河道治理技术在农业生产以及生态保护两个领域当中的综合运用。

### 1 农田水利河道治理护岸原则分析

#### 1.1 因势利导, 顺应自然

在农田水利河道治理进程当中,因势利导以及顺应自然是护岸设计以及施工所遵循的基本准则。这便表明,在着手开展河道整治以及护岸防护相关事宜之时,务必要全面且细致地去考量地形地貌方面的情况、水文条件的实际状况以及自然生态所呈现出的各类特征,要尽可能地去借助河道自身原本具备的自然形态来展开规划设计方面的各项工作,切不可仅仅依靠那种较为生硬的人工改造手段。凭借对河道弯曲情况、坡度状况以及流速等自然条件的顺应,能够有效削减水流出现冲刷现象以及泥沙发生淤

积的风险,与此还能够在一定程度上压低工程建造方面的成本开支,促使治理工作具备更强的可持续性特点。除此之外,顺应自然这一原则还规定,在施工实施的过程之中,得切实维持生态环境的整体完整性,要着力对河道沿线的植被以及生物栖息环境加以保护,进而达成水利工程所具备的功能与生态保护需求相协调一致、相互统一的目标,最终实现将防护安全、治理效率以及生态效益兼顾起来的综合性目的。

### 1.2 综合治理, 兼顾功能

在农田水利河道治理工作开展期间,综合治理并且兼顾各项功能,这一原则对于达成河道可持续管理而言极为关键。这就意味着,在着手开展护岸防护以及河道整治相关事宜之时,不能仅仅着眼于单一的防护目标,而应当全面且周详地考量水利、防洪、灌溉、排涝还有生态保护等诸多方面的功能,要让它们能够协调一致、达成统一<sup>[1]</sup>。在设计以及施工的整个过程当中,需要依据河道实际所处的具体状况,去科学地安排护岸结构的布局方式,同时要合理地对各类治理措施加以分配,从而确保河道不但可以有效地防止出现冲刷以及坍塌等情况,而且能够充分满足农田灌溉以及排涝方面的种种需求,并且在此基础上还要兼顾到河道生态系统能够实现健康且良好的发展态势。

### 1.3 注重生态, 保护生物多样性

农田水利河道的治理护岸应注重生态保护,保护生物多样性。在治理过程中,应尽量减少对河道生态系统的破坏,保留河道的自然生态要素,如湿地、水生植物等,同时还可以通过种植水生植物、设置生态岛屿等方式,为水生生物提供适宜的栖息地和繁殖环境,促进生物多样性的恢复和发展。此外,护岸的设计还应考虑生物对水流的需求,如通过设置不同深度的水域、不同流速的水流等,满足不同生物在不同阶段对水流的需要,最终通过科学合理的护岸设计,全面实现河道的生态平衡和生物多样性的保护,为农田水利工程的可持续发展提供有力保障。

## 2 河道护岸防护现状及问题分析

### 2.1 护岸工程现状及存在的问题

当前农田水利河道护岸工程建设运行取得一定成效,但问题不少。护岸多用传统混凝土、石砌或砖砌结构,短期能防河岸坍塌、水流冲刷,长期却易开裂、渗水、沉降,影响整体稳定。部分河道治理设计施工缺水文、地质勘察,护岸布局不合理,如断面不足、坡度不适,致河道水流有冲刷点,泥沙淤积、河床变形严重。沿岸植被少、生态恢复差,河道生态系统脆弱,水生生物栖息受限。部分工程管理维护不及时,护岸破损、垃圾堆积、河道阻塞,影响防护功能和河道运行状态。

### 2.2 河道冲刷、泥沙淤积与洪涝风险分析

河道于运行之际,冲刷现象、泥沙淤积以及洪涝风险等问题普遍存有,这同河道流量、水流速度、泥沙输移特

性还有周边土地利用情形关联紧密。当流量颇为可观或者暴雨较为集中之时,河道边坡以及护岸结构便容易遭受水流的冲刷,进而致使局部出现坍塌情况,河床也会加深,如此一来便对河道的稳定性造成了破坏。在此期间,上游的泥沙会随着水流向下流淌,在河道的弯道处、浅滩位置或者流速有所减缓的区域,就容易产生沉积,进而形成淤积区,这不但使得河道的输水能力有所降低,而且还将河道断面的形态给改变了,更是加剧了局部水流的不均匀程度<sup>[2]</sup>。泥沙淤积与冲刷之间相互起着作用,这就使得河道的演变变得复杂起来,同时也让护岸受力呈现出不均衡的状态,并且增加了失稳的风险。除此之外,在洪水频繁出现或者暴雨集中的时段,河道的排水能力往往不够充足,这就容易致使沿岸的低洼农田以及居民区出现短时间或者长时间的积水情况,如此一来便增加了洪涝的风险,对于农业生产以及生态环境均会产生一定的影响。

## 3 农田水利河道治理技术

### 3.1 水土保持技术

水土保持技术于农田水利河道治理而言,乃是极为关键的基础性举措,其要点在于借助系统且综合的方式去控制水土出现流失情况,减缓河道遭受冲刷的程度,把泥沙淤积的风险降下来,与此要确保河道以及农田灌排系统可以长期稳定地运行,让生态环境朝着可持续发展的方向迈进,在实际的操作过程之中,水土保持技术着重于将工程措施同生态措施有机地结合起来,发挥它们的协同作用,工程措施包含了护坡加固、石笼护岸、混凝土挡土墙、河道梯级布置、拦水坝以及沉砂池等,这些设施能够在一定程度上削减水流所具有的能量,将冲刷压力予以分散,减缓流速,进而对河岸和河床的稳定性起到保护作用,维持河道断面的形态,防止出现坍塌以及结构遭到破坏的情况,并且在洪水到来的时期,还可以对水流加以调控,减少农田以及沿岸区域遭遇洪涝的风险,生态措施则涵盖了沿岸植被恢复、坡面绿化、草本和灌木植物种植、水生植物配置以及覆盖作物栽植等方面,依靠植物根系来固定土壤,增强岸坡抵御侵蚀的能力,与此还能改善河道的微环境,提升水体自身的净化能力,给水生和陆生生物营造良好的栖息条件,增加生物多样性,强化生态系统的稳定性,在实施的过程当中,水土保持技术得充分考量河道的水文条件、流量的变化情况、泥沙输移的规律、土壤的类型以及降雨在时间空间上的分布特征,还要结合河道的坡度、弯曲半径、断面形态以及流域的整体特征来进行科学合理的布局,达成工程与生态措施协同作用的目的,进而实现水流调控、泥沙沉积控制、护岸稳定以及生态修复这些目标的统一,技术实施的时候还得考虑到长期运行和维护管理方面的问题,比如工程材料的耐久性、植被的适应性以及季节性水位变化给土壤和植被生长带来的影响,以此来保证治理措施具备持续性并且有效果。

### 3.2 河道整治与生态修复方法

河道整治以及生态修复的方法,在农田水利河道治理里,属于实现河道安全运转并且达成生态可持续发展的重要技术手段,其关键之处就在于借助科学规划以及工程干预,把生态修复举措结合起来,以此来恢复并改进河道的功能,稳固河床河岸的结构,与此同时提升河道生态系统自身的健康状况以及自我调控的能力。在河道整治这块,一般会采用像疏浚河床、拓宽或者加固河道断面、设置河道梯级以及拦水设施、修建护岸工程还有合理安排泄洪和排涝设施等一系列的措施,凭借调节水流的速度、分散流的能量以及改进河道的水力条件,从而降低冲刷以及淤积的风险,保障水利工程以及农田灌排系统能够安全地运行。在生态修复方面,着重于沿岸以及河床的生态建设,比如去种植那些耐水湿且根系较为发达的草本植物、灌木还有乔木,以此恢复河岸植被的覆盖情况,构建起河道的缓冲带以及湿地生态区域,同时运用生态基底材料或者生物工程技术来稳定岸坡,进而实现河岸的自然化以及生态功能的恢复<sup>[3]</sup>。这样的方法不但可以强化河道的防护能力以及水力调节功能,而且能够改进水体的自净能力、调节水温、增加水生生物的栖息环境,对于沿岸土壤的保持以及生物多样性的保护也会起到积极的作用。在具体的实施进程当中,得结合河道流量的特点、泥沙输移的规律、河床地质的条件以及降雨和洪水的季节性变化等情况,展开系统化的设计以及科学的布局,以此确保整治与生态修复措施具备协调性以及长期的稳定性。

### 3.3 农田灌排系统优化与水资源利用技术

农田灌排系统优化以及水资源利用技术属于农田水利河道治理的关键部分,其主要目标是借助科学合理的布局方式、相关技术的优化处理以及管理方面的改进举措,达成水资源得以高效利用的目标,让灌排系统能够安全稳定地运行,并且促使农田生产条件可以持续不断地获得改善。在实际的操作实践当中,灌排系统优化最初需要针对农田水利网络展开全面的整体分析,这其中涵盖了灌溉渠道、排水沟渠、泵站、水闸以及蓄水设施等功能状态情况、各自所具备的容量状况以及布局是否合理的考量内容。通过对渠道断面予以合理的调整、对水力设计进行改进以及对水流分配路径加以优化等手段,提升灌溉水输送的效率,减少水流出现的损失以及发生漏泄的情况,与此同时还要保障排涝能够畅通无阻,进而降低洪涝方面的风险。就水资源利用这一层面而言,应当综合考虑河道的水文特性、降雨所呈现出的规律以及土壤所具有的持水能力等相关因素,科学合理地制定出调水的具体策略,以此实

现灌溉用水和排涝排沙之间形成动态的平衡状态,充分且有效地利用地表水以及地下水这两类水资源,提高水资源的利用效率并且尽可能地减少水资源的浪费现象<sup>[4]</sup>。并且,结合智能化的水利管理技术来讲,可以借助水位监测设备、流量调控装置以及自动化控制装备等,达成对农田灌排系统进行精准调度以及实施动态管理的目的,从而提升系统的响应速度以及调节的能力。从生态和环境保护的角度出发,优化灌排系统的时候还应当着重关注保持河道以及沿岸湿地所具备的生态功能,通过采取生态排水的方式、开展蓄水滞洪的相关工作、设置缓冲带以及加强水质管理等一系列的措施,缓解农业径流给河道生态环境所带来的冲击影响,维护好水生生物的栖息环境,进一步增强生态系统的稳定性程度。

### 4 结语

经过对农田水利河道治理以及护岸防护技术展开系统的分析可以发现,要是做到科学且合理的治理,并且在护岸设计方面也颇为妥当,那么便能够有效地防止河道出现冲刷的情况,同时也能够让泥沙淤积的风险得以降低,进而保障农田灌排系统可高效地运转起来,使得水利工程整体的稳定性以及安全性都得到提升。与此把水土保持、河道整治与生态修复还有灌排系统优化等一系列技术综合起来加以应用,这对于改善河道所处的生态环境是很有帮助的,而且也有利于维护生物的多样性,从而促使水利功能与生态效益能够协同地发展。在未来,伴随着水利工程技术管理和水平不断地提高,在充分结合区域水文条件、土壤特性以及生态环境实际需求的前提下,河道治理与护岸防护将会更为侧重于系统化、科学化以及可持续发展这些方面,进而为农田水利现代化管理给予稳固的技术保障以及可供参考的实践经验。

### 【参考文献】

- [1]贾武生.农田水利河道治理护岸防护技术探讨[J].农业开发与装备,2024(12):235-237.
  - [2]卜连祥.农田水利河道治理护岸防护施工技术研究[J].新农民,2024(4):46-48.
  - [3]谢石波.农田水利河道治理护岸防护技术探讨[J].农家参谋,2024(28):71-73.
  - [4]闫志华.农田水利工程河道治理护岸防护施工技术应用要点分析[J].农业工程与装备,2023,50(5):52-53.
- 作者简介:艾孜买提·阿布都热衣木(1988.11—),毕业院校:新疆工业高等专科学校, 所学专业:工程测量技术, 当前就职单位名称:新疆鸿源润泽建设工程有限公司, 职务:项目经理, 职称级别:水利中级职称。

# 灌区灌溉水利用系数测算分析研究

马 菊

吉木萨尔县水利管理站，新疆 昌吉 831700

**[摘要]**水资源的合理利用以及高效管理，对于农业生产的可持续发展和生态环境的有效保护有着极为重要的作用。在干旱以及半干旱区域当中，灌溉水利用系数的提升已然成为解决水资源短缺问题的关键所在。灌溉水利用系数能够综合地反映出灌区水资源在输送、分配以及田间利用方面整体的效率情况，其数值的高低会直接决定水资源利用的有效性和经济性。文章针对灌溉水利用系数的内涵、测算方法、影响因素以及提升途径展开分析，并且结合地区的实践案例以及最新的数据，从而为灌区水资源管理给出系统化的解决方案以及理论方面的有力支撑。

**[关键词]**灌溉水利用系数；水量平衡；节水技术；渠系防渗

DOI: 10.33142/hst.v8i12.18474

中图分类号: S274

文献标识码: A

## Calculation and Analysis of Irrigation Water Utilization Coefficient in Irrigation Areas

MA Ju

Xinjiang Changji Jimusaer Water Management Station, Changji, Xinjiang, 831700, China

**Abstract:** The rational utilization and efficient management of water resources play an extremely important role in the sustainable development of agricultural production and the effective protection of the ecological environment. In arid and semi-arid regions, the improvement of irrigation water utilization coefficient has become the key to solving the problem of water scarcity. The irrigation water utilization coefficient can comprehensively reflect the overall efficiency of water resources transportation, distribution, and field utilization in the irrigation area. Its value directly determines the effectiveness and economy of water resource utilization. The article analyzes the connotation, calculation methods, influencing factors, and improvement methods of irrigation water utilization coefficient, and combines practical cases and the latest data in the region to provide systematic solutions and strong theoretical support for water resource management in irrigation areas.

**Keywords:** irrigation water utilization coefficient; water balance; water-saving technology; canal system anti-seepage

### 引言

农田灌溉水有效利用系数是《中华人民共和国国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要》中的一项重要水利指标，是国家实行最严格水资源管理制度，确定水资源管理“三条红线”控制目标的一项主要指标。做好相关测算与评估工作，对科学确定灌区节水潜力，促进节水灌溉农业发展具有重要意义。

### 1 灌溉水利用系数的内涵与意义

灌溉水利用系数是指灌区作物实际所利用的水量和水源引入总量之间的比值，它能够综合反映出从水源一直到作物根系层在整个输送过程当中的水资源利用效率情况。这个系数当中包含了渠系水利用系数以及田间水利用系数这两个极为关键的部分。其中，渠系水利用系数是用来衡量水源经过干渠、支渠、斗渠以及农渠等各个不同等级的渠道时的输送效率的；而田间水利用系数则是用来评估灌溉水被作物吸收并且转化为有用资源的程度的。在实际的应用场景当中，灌溉水利用系数既是对工程技术水准的一种体现，同时也是对管理能力以及资源分配合理性的综合评价指标。提高灌溉水利用系数有着重要的现实意义以及战略价值，其一，它可直接降低水资源在输送及

分配环节出现的无效损耗，增加单位水量的生产效益，缓解区域水资源短缺的情况。其二，较高的灌溉水利用系数说明农作物能获取更为精准且及时的水分供给，进而提升产量与品质，同时还能减少深层渗漏以及地表径流引发的土壤侵蚀与面源污染等问题。除此之外，灌溉效率的提升还降低了农业生产的成本，涵盖水费、电费以及管理费用等方面，给农民带来了实实在在的经济效益。

从更为宏观的层面来讲，灌溉水利用系数得以提高这一情况，对于保障国家的粮食安全以及生态安全而言是很有帮助的。借助于对水资源实施节约举措以及进行优化配置的操作，能够使得过度开采地下水以及对自然水系造成生态挤占等不良状况有所减少，进而为区域植被的恢复工作以及河湖的健康发展给予有力的支撑。所以说，去深入地开展相关研究并且积极地推广应用能够提升灌溉水利用系数的技术，这不单单是农业节水方面的一条重要途径，而且还是达成人与自然和谐发展这一目标的必然要求所在。

### 2 灌溉水利用系数的测算方法

#### 2.1 水量平衡法

水量平衡法属于灌溉水利用系数测算范畴内最为直

接且处于基础地位的一种方法,它的原理在于借助对灌区水源引入的水量、排水时的水量以及土壤储水所发生的变动量加以测定的方式,进而去核算作物实际所消耗的水量。具体到实施层面,要在灌区的入口处以及出口处设置用于量水的各类设施,像是堰槽、流量计这类设备,并且要同步对灌溉期间的水量输入进程和输出进程展开监测,与此还要联合土壤墒情方面的监测情况以及气象相关的数据,去剖析作物的蒸散量还有根系的吸水量。这种方法对于数据的需求量颇高,而且其监测所花费的成本也相对较高,不过它所得出的结果相对来说是比较准确的,适合在科研领域以及精细化管理的相关场景当中运用。就好比在大型灌区改造的工程项目里,通过将改造之前和改造之后的输入水量以及输出水量进行对比的方式,就能够较为直观地去评估节水的实际效果以及系数的变化走向趋势。

## 2.2 经验公式法

经验公式法依靠历史数据以及统计分析来着手,建立起灌溉水利用系数和那些主要影响因子之间的数学关联,进而达成对系数的快速估算目的。在常用的影响因子方面,像渠系防渗率、节水灌溉面积所占的比例、土壤的具体类型以及管理的水平等都包含其中。这些因子会借助回归分析或者机器学习算法来完成权重的分配工作以及模型的构建事宜。柯布-道格拉斯模型算得上是一种在应用层面较为广泛的经验模型,它把灌溉水利用系数表述成防渗长度、节水面积还有井灌排面积等诸多要素的生产函数<sup>[1]</sup>。节水灌溉面积以及渠系防渗长度对于系数的提升有着颇为明显的正向效应。经验公式法虽说适用性比较强,并且计算起来也相对简便,可是它的精度是依赖于数据的质量以及模型校准的水平的,一般情况下会被用于区域性的宏观评估以及初步的规划当中。

## 2.3 模型模拟法

模型模拟法借助计算机软件来构建灌区水循环以及用水过程的虚拟系统,以此模拟在不同情景之下的水资源分配状况以及利用效率,这其中涵盖了像数字孪生技术、系统动力学模型还有分布式水文模型等多种形式。这种方法可以把气象方面的数据、土壤相关的数据、作物方面的数据以及工程领域的数据整合起来,达成多源信息的耦合状态以及动态预测的效果,从而为管理决策给予可视化的有力支撑。数字孪生灌区平台在当下可以说是模型模拟法的先进典型代表,它凭借实时监测的功能以及优化调度的能力,给灌区管理带来了配水预演的服务以及需水预报的服务,就像大河沿子灌区运用数字孪生技术让渠系水利用系数实现了从0.67提升至0.86这样颇为显著的飞跃变化<sup>[2]</sup>。模型模拟法有着高度集成以及智能化的突出优势,不过其对技术基础的要求比较高,并且也需要投入较多的资金,这无疑会成为未来灌溉水利用系数测算以及管理方面极为重要的发展趋势。

## 3 影响灌溉水利用系数的因素分析

### 3.1 工程设施条件

工程设施方面的条件算得上是影响灌溉水利用系数的关键基础要素,这其中涵盖了渠系防渗工程、管道化所达到的程度、蓄水设施还有量水设备等诸多方面。就渠系而言,其防渗长度以及防渗率这两者会在很大程度上直接对输水过程中出现的渗漏损失起到决定性作用。采用管道化的方式来进行输水,取代传统的土渠输水模式,如此一来便可以有效减少蒸发以及渗漏所造成的损失,进而让水资源能够更为迅速且更为精准地输送到田间地头。除此之外,像调蓄水库以及泵站等各类设施在布局上是否合理,还有量水设备的精度以及其覆盖范围等方面的情况,同样会直接对水资源的调度效率以及计量的准确性产生重要影响。

### 3.2 灌溉技术与管理水平

灌溉技术以及管理方面水平的高低,构成了推动灌溉水利用系数得以提升的关键驱动力。像滴灌、喷灌还有微灌这类高效节水灌溉技术,能够在很大程度上减少田间水分出现深层渗漏的情况,同时也可降低地表蒸发的状况,进而提高田间水利用系数。管理水平所涵盖的内容包含了用水计划、水量分配、水价机制以及维护服务等方面,科学合理的管理策略不但能够对水资源的时空配置加以优化,而且还能鼓舞用户积极主动地参与到节水行动当中来<sup>[3]</sup>。就当下而言,数字化与智能化管理成为了发展的主要趋向,借助远程控制、自动量测以及大数据分析等手段,可达成对灌溉过程的精准把控以及实时优化的目标。

### 3.3 土壤与作物因素

土壤质地以及结构在很大程度上决定了水分的入渗情况、储存状况以及迁移特性。就砂质土壤而言,其渗漏现象较为强烈,相应的保水能力也比较弱;而黏质土壤虽说持水性较强,然而却不利于作物根系进行吸收。这些特性会直接对田间水分的有效利用程度产生影响。作物类型还有种植结构同样是十分重要的因素。不同的作物,其需水规律以及根系深度均存在着差异。就好比粮食作物和经济作物,它们的灌溉制度以及所需水量是不一样的。合理的种植布局能够在一定程度上减少水分出现胁迫的情况以及水资源的浪费。轮作模式以及覆盖措施同样会改变田间的微环境,进而对土壤蒸发与作物蒸腾的比例造成影响。这些相关因素在进行灌溉水利用系数的测算以及提升工作时,务必要给予充分的考量。

### 3.4 气候与水资源条件

气候条件对于灌溉水利用系数有着不容忽视的影响,其呈现出一定的区域特征以及变化规律。其中,降水量、蒸发能力还有气温的变化,都会对作物的需水量以及灌溉制度产生直接影响。就干旱地区而言,那里的蒸发情况颇为强烈,在输水的过程当中,水量的损失也会更多一些,

所以对于渠系防渗以及田间节水技术的要求也就相应地更高了。水资源条件在丰富程度方面以及时空分布情况上，同样会对系数的数值以及稳定性起到影响作用。要提高灌溉水利用系数，那就得综合考虑气候适应以及水资源优化的相关策略，以此达成供需平衡并实现高效利用的目标。

#### 4 提高灌溉水利用系数的途径

##### 4.1 完善灌溉工程设施

完善灌溉工程设施是提高灌溉水利用系数的物质基础，其中重点涉及渠系防渗、管道化改造、调蓄工程建设以及量水设施安装等方面。渠系防渗工程会采用混凝土、塑料膜或者其他复合材料，以此来降低渗漏损失，同时提高输水效率。相关数据说明，防渗率以及节水灌溉面积对于系数提升而言，其边际收益比边际投入要大。管道化输水可视为新时代坎儿井理念的一种创新发展方式，借助地下管道取代明渠，如此一来能够减少蒸发渗漏情况，还能节约土地资源。调蓄工程像水库以及塘堰等，其能够强化水资源在时间与空间上的调配能力，达成丰枯调剂以及多源互补的目的。而量水设施开展标准化与自动化建设工作，则能为用水计量以及效率评估给予数据方面的有力支撑。

##### 4.2 推广高效节水灌溉技术

推广高效节水灌溉技术对于提升田间水利用系数而言是一条极为关键的途径，这其中涵盖了滴灌、喷灌、微灌以及渗灌等多种技术的应用情况以及相关创新举措。这些技术可有效减少无效蒸发以及深层渗漏现象，让水分能够直接作用在作物根系所在区域，进而提升水分利用时的精准度以及实际效果<sup>[4]</sup>。自压滴灌系统借助地形自然存在的落差来提供所需的压力，如此一来便无需设置泵机抽水这一环节，从而降低了能耗以及管理方面的成本，农民仅需凭借手机操作便能够达成远程控制的目的，同时还能实现定时定量的灌溉效果。水肥一体化技术把灌溉和施肥二者相结合起来，这能在很大程度上进一步优化资源的利用状况，并且提高农业生产所取得的效益，所以它是值得在更大范围里推广应用的一项技术。除此之外，像浅层咸水开发利用以及再生水利用这类非常规水源技术，同样可以拓宽灌溉水源的获取渠道，提高水资源保障的水平。

##### 4.3 优化灌溉制度与水量调度

优化灌溉制度以及水量调度，在管理层面而言，属于提升灌溉水利用系数的关键举措。灌溉制度涵盖了灌水定额、灌水次数以及灌溉时间等要素的科学确定，这就需要依据作物需水规律、土壤墒情以及天气预报信息来展开动态调整。而水量调度着重于系统性和全局性，依靠数字孪生平台以及智慧水利系统，达成水源、渠系与田间之间的

协同联动，以此增强供需匹配的精度以及应急响应的能力。洪水资源化与生态补水策略同样是优化调度极为重要的组成部分，凭借蓄引结合以及丰枯调剂的方式，能够提高水资源的整体利用效率。

##### 4.4 加强灌区管理体系建设

加强灌区管理体系建设，这在制度层面为灌溉水利用系数的持续提升给予了保障。该管理体系包含了水权分配、水价改革、维护服务以及农民参与等诸多方面。水资源税改革借助经济杠杆促使节水增效，推动用水户主动降低浪费情况，同时采用节水技术，基层水利服务体系的完善同样不可或缺，这涉及专业技术培训、工程维护队伍构建以及构建智慧水利管理平台等方面，上述措施能确保工程设施长久稳定运行，还能及时处理用水相关问题。农民作为灌溉系统的最终使用者，提升他们的节水意识和操作技能，借助用水合作组织推动群体参与其中，可营造出共建共治共享的优良局面。

#### 5 结束语

灌溉水利用系数作为评价灌区水资源利用效率以及综合管理水平的一项关键指标，其提升对于缓解水资源短缺情况、保障粮食安全以及维护生态健康有着十分重要的意义。本研究对灌溉水利用系数的内涵、测算方法、影响因素以及提高途径展开了系统的分析，说明借助完善工程设施、推广节水技术、优化灌溉制度以及强化管理体系等举措，是能够达成灌溉水利用系数的明显提升的。未来的研究还需要进一步去探索在气候变化背景下的适应性灌溉策略、智能化技术在用水管理方面的深度运用以及水权交易与生态补偿机制的创新，以此来为灌区的高质量发展以及水资源的可持续利用给予更为有力的支撑。

#### 【参考文献】

- [1]宝勒尔,郭子俊,陈海鸿,等.李井滩灌区农田灌溉水有效利用系数测算分析[J].内蒙古水利,2023(12):30-31.
- [2]张学东.基于首尾测算法的农田灌溉水利用系数测算[J].陕西水利,2024(5):85-88.
- [3]张冶金,王高林,瞿晨瑶.沿海平原灌区农田灌溉水有效利用系数测算分析方法改进的研究[J].地方水利技术的应用与实践,2024(2):37-39.
- [4]解龙.白杨河灌区灌溉水有效利用系数测算及合理性分析[J].中国水运,2025(4):111-113.

作者简介：马菊（1993.1—），毕业院校：福建农林大学，所学专业：农艺与种业，当前就职单位名称：吉木萨尔县水利管理站，就职单位职务：吉木萨尔县水利管理站一般干部，职称级别：中级。

## 面向精准管控的农田水利工程建-管-用协同优化研究

李美蓉

中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司，四川 成都 611130

**[摘要]**农田水利灌溉工程是指用于农业生产的、对提高水利用率有重要意义的基础设施。进行建-管-用协调优化的研究可以提高工程效益，达到精准灌溉，节约用水的目的，并明晰管理机制与职责，引导农民合理用水以适应工程建设要求。此课题的研究可作为农田水利工程科学有效发挥作用并持续发展的理论基础与现实指导，有着极大的社会价值、经济效益以及生态环境意义。

**[关键词]**精准管控；农田水利工程；建-管-用；协同优化

DOI: 10.33142/hst.v8i12.18447

中图分类号: X799

文献标识码: A

## Research on Collaborative Optimization of Construction - Management - Use of Agricultural Water Conservancy Projects for Precise Control

LI Meirong

PowerChina Chengdu Engineering Corporation Limited, Chengdu, Sichuan, 611130, China

**Abstract:** Irrigation engineering for farmland water conservancy refers to the infrastructure used for agricultural production that is of great significance in improving water utilization efficiency. Research on coordinated optimization of construction - management - use can improve engineering efficiency, achieve precise irrigation, save water, clarify management mechanisms and responsibilities, and guide farmers to use water reasonably to meet the requirements of engineering construction. The research on this topic can serve as a theoretical basis and practical guidance for the effective and sustainable development of agricultural water conservancy engineering science, with great social value, economic benefits, and ecological significance.

**Keywords:** precise control; agricultural water conservancy engineering; construction - management - use; collaborative optimization

### 引言

随着现代化农业的发展与水资源形势日趋严峻，在此背景下农田水利工程作为一种确保国家粮食安全、提高农业产出效益以及促进农业水资源合理利用的重要基础性设施，其建-管-用一体化程度直接影响着一个地区农业生产的可靠性和水资源的有效分配情况。而传统的农田水利工程建设和管理模式普遍存在着“建容易、管困难、用不好”的状况，工程建设以物理形态完工量和数量型指标为目标，运营管理依靠经验和感觉、人力为主，用水方式个体化随意且无序，导致工程无法做到按需供水、灵活调节。与此同时，面对不断变化的农业生产结构，多元化的农作物种植方式以及愈发刚性的水资源限制条件，单纯建设和管理措施已难以适应现代农业对水利工程灵活调节和精细控制的要求。因此开展基于精准控制的农田水利工程建-管-用协同提升研究，不仅可以提高农田水利工程的使用效率，节约灌溉用水量，还可以确保工程的建设目的、运营能力与用水要求高度契合。本文试图通过对农田水利工程在建设、管理和用水各个环节面临的主要问题进行梳理并加以阐述的基础上，依托信息技术、管理制度革新与农民用水组织等，形成综合性的协同改进方案设计，为农田水利工程的精准化管理与控制提出相应的理论指导和具体建议，

进而为推动农业高质量生产以及区域水资源可持续性开发与利用提供参考依据。

### 1 农田水利工程技术特征

农业灌溉工程的技术特点是工程建设的精细化、生态化、智能化发展方向以及对于地质适用性、新材料应用及质量标准的高需求，在节水灌溉中的管道灌溉例如滴灌、喷灌中要求管道布置要适应农作物种植方式，配套的压力控制阀门、地下隐蔽工程的精工细作才能达到节约用水的目的；小型蓄水工程诸如塘坝、水池建设中强调防水渗透和建筑结构稳定坚固，清基、分层夯实、建材选择（壤土、粘土、土工膜或者防水砂浆）以求万无一失，且施工人员要有丰富的经验和娴熟的手艺来应对难以使用机器的情况。渠道防渗生态化施工是从传统的混凝土衬砌走向生态化的平衡，生态水泥或者植物护坡加生态袋护坡的方式，施工时需要协调好混凝土强度和孔隙率之间的关系。高效输水配水注重水利计算和自动控制，管路铺设需要经过严格的管径计算步骤，自动控制闸门需要敷设通信线缆以便远程监控管理，部分地区采取管道渠道相结合的方式降低成本损耗，施工统筹难度大<sup>[1]</sup>。排水工程以除涝降盐为目的，地下暗管排水埋设深度和间距依赖于土壤质地特性，明沟排水需要固定沟槽边缘

并结合水流情况及时调整施工参数，同时因地制宜采取措施预防盐碱土壤堵塞水管。

## 2 面向精准管控的农田水利工程协同运行关键问题分析

### 2.1 建设阶段与运行管理脱节问题

目前在农田水利工程建设的实际工作中，工程建设过程同后期的运行管理相脱离的情况严重存在，是阻碍精确控制和联动管理的关键难题之一。一方面，在工程建设环节更重视项目的审批、投资和实物质量，忽视了项目竣工之后的使用需求、管理模式乃至使用者，设计侧重于追求符合建设指标、通过验收检查，较少顾及地区间不同的农作需水特点、灌溉模式、长期运维条件等因素，致使工程在交付使用之后不能够机动灵活地应对用水的现实状况。另一方面，工程建设方同工程管理者之间权责不清、联系薄弱，工程的设计方案、参数指标、运管要求等欠缺系统的移交，工程管理者对于工程构筑物特性及相关控制节点认识不到位，导致日后调度管理和精微化控制不到位。再者有些农田水利工程兴建之际并没有充分考虑其运维成本和保障条件，配套的机器设备选择不适合后期管理力量，加大了今后的运维难度，形成工程的“建起来容易但管理困难、供水精确调控也难”的局面，降低了农田水利设施精准供水和充分利用的能力水平。

### 2.2 管理主体多元但责任边界不清问题

在农田水利工程联合运转中管理主体多样而权限不明的现象比较严重，成为制约精细化管理目标达成的一个障碍。随着农田水利基础设施建设范围的拓展与管理体制的多元化，农田水利工程的管理和运行涉及到政府相关部门、基层水利管理部门、用水协会及农民群众等多个主体，在工程的看护、使用调控及日常维修上协同配合、各施其力，但由于相关管理主体在工程的管理上权限不清或者界定不明，极易造成管理上的重叠或空白。一方面各个管理主体之间对工程的管理权限认识不清，在具体的事情上经常出现互相推脱的现象，降低了管理的效果；另一方面当前管理制度与运行规则在实际工作中弹性较大，在实际工作中往往依靠习惯和临机决断来确定，缺乏固定且制度化的联合运转模式。

### 2.3 用水行为与工程运行目标不匹配问题

对于农田水利工程联合调度而言，用水行为与工程调度目标相脱节的情况比较严重，影响精准控制的效果。从工程调度的目标来说，农田水利工程追求的是需则供水、合理用水、均摊用水，从而达到水资源充分利用、农业生产平稳有序的目的，但现实情况下，农民用水习惯受到传统灌溉理念、种植作物经验及临时生产收益的影响，常表现为用水随意性强、时间扎堆、超额用水等情况，在一定程度上脱离了工程建设时所制定的运行准则和调度方案。一方面，某些用水群体缺乏对工程的调度目标及管理需求的

认识，缺乏对用水指标和调度方案的支持配合，进而扰乱整个工程的调度秩序；另一方面，用水群体用水的独立性及个性化特点也导致工程运行管理的难度上升，造成工程无法做到精量供应分配及灵活调整调度。

### 2.4 信息化与数据支撑不足对精准管控的制约

在灌区水利工程联合调度中，信息化及数据支撑不足阻碍了精准化调控的开展。精准化调控需要建立在对于水源情、工况以及需水情况等信息的及时掌握与集成分析之上，然而，在实际调度中的部分灌区水利设施存在信息化水平较低的情况，监控仪器设置较少，数据收集方式较为简单，不能随时随地反映水利工程状态及用水动态变化情况，致使管理者更多依靠经验进行决策<sup>[2]</sup>。此外，建设过程、运行维护和取水使用三个阶段之间也缺乏数据间的关联性，各个阶段产生的信息分布在不同的部门及其信息系统上，缺少统一的数据格式和共享平台，造成构建-运维-用水各阶段的信息互联互通不畅，进而影响联合调度的效果。

## 3 面向精准管控的农田水利工程建-管-用协同优化路径

### 3.1 完善工程规划设计与运行需求协同路径

在精准管控导向下的农田水利工程建-管-用协同优化中，工程设计与运用需求的高度契合是保障系统高效运行的前提条件与核心要素。传统的农田水利工程设计主要基于达到建设标准及灌溉规模的要求，缺乏针对工程投运后采取何种形式的运行方式、管理水平以及用水习惯等问题的考虑，容易造成工程的功能定位与实际需求不符的问题。而要使设计符合精准管控要求，则需要站在农业生产的角度，在设计初期充分研究区域内的水资源供给状况，了解当地的灌溉习惯、农作物种植结构及用水需求的波动特性等信息，在设计中引入用水需求的时间性、空间性和随机性的特点，科学设定工程的空间分布格局、输配水规模以及调蓄手段，赋予工程灵活调节、精量控制的能力。此外还应在设计的过程中加强与工程运行管理的衔接，把工程建成以后的管理模式和管理者的能力水平作为一项硬性指标考虑进设计方案，防止出现工程结构过于复杂而导致运行困难的情况。从工程生命期全过程角度兼顾建设与运用需求的设计理念可以提高农田水利工程对精确供水、高效用水的适用程度，促进构建目标、管理标准与实际用途三者间的有机结合，为建-管-用一体化联动和精准化管控提供有力支撑。

### 3.2 推进管理体制与运行机制协同优化路径

在以精控为导向的农田水利工程建设-管理-使用协同优化中，促进管理体制与运行机制协同优化是保障工程有效运行，进而合理配置水资源和保障农业生产的有序进行的重要步骤。农田水利工程的管理体制涉及到多个层面和多个部门，有政府部门，基层水利管理部门，农民用水合作组织，还有就是工程的管理者和维护者等，每个部门

都有相应的权利和义务,在田间管理和灌溉决策的时候也都会发表自己的意见,但是现在管理体制虽然多样,却缺少一个系统的协调,各个主体之间在日常调度,工程维护,突发事件处理等方面都缺少一个清晰的定位,经常会出现相互之间推卸责任的现象,而且运行机制也是支离破碎,没有一个统一的标准也没有一个及时的协调方式方法,这就导致了工程运行低效,精准调控无从下手;要想达到精确控制的目的就需要在管理体制上理清权责关系,明确各个主体在整个建设到管理到使用的整个过程中的权力和义务,做到决策链路明了,管理动作标准化,还要有相应的制度保证管理和决策长期稳定的存在。而在运行机制方面,则要建立动态调度,远程监测,分级响应一体化机制,把工程运行规章,调度方案,维护标准等融为一体有机结合,让各个环节可以环环相扣紧密相连,与此同时也要注意运行机制的灵活度和可变性,使得管理者做出的每一个决定都能够迅速应对水源变化,用水需求变动,突发事件发生等情况。

### 3.3 强化农户参与与用水行为引导协同路径

面向精准管控的农田水利工程建-管-用协同优化,加强了农民用水户参与及用水行为调控是工程有效运行,提高水资源利用率,保障农业生产可持续的重要举措,农户作为农田水利工程的最终受益群体和直接受益者,他们的灌溉方式、用水偏好及对工程运行要求的认知度,关系着供水过程中的公平性、可调节程度及工程设施的寿命。但在工程的实际应用当中,因信息不对称,缺乏管理参与度,受传统灌溉习俗的影响等原因,使得农户用水行为普遍存在自由性高、扎堆用水、超额用水或者与工程调度方案相脱节等问题,不但降低了工程运行效率,而且增加了管理者对工程的调蓄难度,制约了建-管-用协同运行的效果。对此需从制度层面、技术支持、社会共治等方面加大农民用水户参与力度,在工程的日常运维上有一定自主权和发言权,使其能够经过培训学习、灌区知识普及、用水信息公开等形式了解工程的精量供水的目的及运行规则<sup>[3]</sup>;与此同时,根据工程的功能定位及运行特点建立合理的用水行为引导机制,如限定用水指标、区域控制、分时供水策略及奖惩措施等,在满足农户用水的同时,让其用水行为最大程度契合工程的供水方案,达到科学配水、节约用水的目的。

### 3.4 推动信息化与智能化精准管控支撑路径

在以精准管控为导向的农田水利工程建设-管理-利用协同优化中,促进信息技术和智能控制技术支持是高效运转和精细化治理的关键举措。当前农田水利工程的运行

涉及到资源配置、灌溉配水、工程维修和农民用水等多个方面的问题,传统的依靠人力观测、经验和感觉为主的管控方式无法达到精准管控的目标,造成供水效率不高,管理反应迟缓、工程运行决策随意等问题。因此需要积极应用物联网传感、远程监控、大数据挖掘、智能调控等信息技术,通过安装传感器等方式对水利工程的水源地、泵站、输水渠道、分水口门乃至终端田间的用水情况进行全程监控和数据收集,实现对水量、水深、流速和需水量的实时掌握<sup>[4]</sup>。通过数据分析得出合理的水量分配方案和工程最优运行策略,从而为管理者提供准确的调令参考,服务于建设-管理-利用各阶段的有效衔接配合。同时通过智能控制可以自动调节水闸开关、泵组启停和片区轮流供水,让工程具有自我调节的能力来应对上游来水不稳定和农业需水需求变动的问题,减少管理者的人工介入和运作支出。同时信息化系统可以构建多方的信息传递反馈网络,把管理部门、运维人员和用水户的数据需求、反馈建议、用水情况都纳入信息系统之中,形成“管控-运维-用水”的全过程信息互动闭合圈,提升协同治理决策的合理性和公开性。

## 4 结语

本研究以灌区灌排工程建-管-用一体化优化为主题,指出存在建设工程脱离灌水过程、管理责任主体不清晰、用水行为偏离工程目的及信息技术支持薄弱等弊端。相应地给出了加强设计规划、理顺管理体制、调动农民积极性和合理用水,以及智能化和信息化技术支持等优化策略。可以提高工程运行效益和用水效益,达到农田水利工程的建设、管理和用水三个阶段的无缝对接,对灌区灌排工程的精细化管理有重要的参考价值,有利于发展节水灌溉高效农业,确保农业生产的稳定并促进水资源的永续利用。

## 【参考文献】

- [1]苏安德.现代农田水利工程建管模式研究[J].新农业,2020(12):45.
- [2]刘泊宇.现代农田水利工程建管模式研究[D].湖北:武汉大学,2017.
- [3]王庆生.浅谈小型农田水利工程建设管理中存在的问题及原因[J].云南科技管理,2016,29(2):76-77.
- [4]刘红丽,刘秋蓉.小型农田水利工程建管初探[J].农村经营管理,2013(12):37-38.

作者简介:李芙蓉(1990.8—),女,毕业院校:四川大学,所学专业:水工结构,当前就职单位:中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司,职务:主任工程师,职称级别:高级工程师。

# 农业水利工程中高效节水灌溉的技术关键点分析

韩林艳

自治区塔里木河流域开都孔雀河水利管理中心，新疆 库尔勒 841000

**[摘要]**面对日益严峻的水资源短缺与加快推进农业现代化的双重挑战，高效节水灌溉技术对于农田水利工程建设有着深远的意义。文章阐述了微灌、滴灌、喷灌、井灌以及步行式灌溉等多种高效节水灌溉方式的工作原理、应用环境以及优点，并提出了加快基础工程建设、结合农作物种类合理灌溉、增强科技水平、强化监督以及智能管控等一系列的发展策略。文章认为，采用先进的高效节水灌溉技术可以有效提升用水效率、改善农业种植结构、实现粮食增产，还考虑到了生态保护问题，对农业长期稳定发展有着积极意义。

**[关键词]**农业水利工程；灌溉；高效节水；技术关键点

DOI: 10.33142/hst.v8i12.18446 中图分类号: S274

文献标识码: A

## Analysis of Key Technical Points for Efficient Water-saving Irrigation in Agricultural Water Conservancy Engineering

HAN Linyan

Water Resources Dispatch Center of Tarim River Basin Kaidu Kongque River Water Resources Management Center, Korla, Xinjiang, 841000, China

**Abstract:** Faced with the dual challenges of increasingly severe water scarcity and accelerating agricultural modernization, efficient water-saving irrigation technology has profound significance for the construction of agricultural water conservancy projects. The article elaborates on the working principles, application environments, and advantages of various efficient water-saving irrigation methods such as micro irrigation, drip irrigation, sprinkler irrigation, well irrigation, and walking irrigation. It also proposes a series of development strategies, including accelerating basic engineering construction, rational irrigation based on crop types, enhancing technological level, strengthening supervision, and intelligent control. The article believes that adopting advanced and efficient water-saving irrigation technology can effectively improve water use efficiency, improve agricultural planting structure, achieve increased grain production, and also consider ecological protection issues, which has positive significance for the long-term stable development of agriculture.

**Keywords:** agricultural water conservancy engineering; irrigation; efficient water-saving; technical key points

### 引言

农业用水占据我国淡水使用量的最大份额，传统的灌溉方法普遍存在灌溉率低、水资源流失严重以及灌溉不规范的问题，无法适应现代农业的发展需要。高效的节水灌溉技术通过对灌溉用水量以及灌溉方式的精确把控来达到对水分定地点、定数量供给的目的，在改善农作物生长状况以及提高农作物产量的同时也推动着水资源的有效应用以及自然环境的良性发展。文章基于农田水利这一工程展开研究，对其关键技术和发展策略开展深入探讨，以期可以对农业节水灌溉技术的规范化管理以及长期有效运用有所助益。

### 1 高效节水灌溉技术的应用意义

#### 1.1 提高水资源利用效率

修建农田水利工程，对作物进行灌溉也带来了很多方便之处，使作物在生长以及发育中不会遭受干旱的危害。使用有效的节水灌溉方式，因地制宜地利用当地水利工程项目的特征及地区优势建立合理有效的水循环体系，使当地所有水资源都能被充分利用起来，以此来适应作物生长

所需，避免出现水资源大量流失的现象。

#### 1.2 推动农业灌溉技术发展

推广使用先进的节水灌溉技术对整个农业灌溉技术的进步有着重要的促进意义，以往的灌溉方法大多采用的是沟渠过水与人力看管的方式进行灌溉，灌溉过程十分落后，用水量极大且无法根据农作物在各生长期的不同要求来进行精细化供水。而引进微灌、滴灌、喷灌等一系列节水灌溉新技术后不仅可以精量、定时、定位地给作物供水，也将以往的经验式灌溉管理模式改变为了如今的科学型灌溉模式，在这个改变的过程中各种类型的灌溉系统的开发、调控以及运行管理的技术日益成熟并逐渐形成了一套以水资源状况监测、土壤含水量检测、作物需水量研究为基础的灌溉决策方案，与此同时灌溉技术的进步又催生了智能控制系统即：自动阀控器、土壤湿度感应器以及数据库管理系统等一系列智能化设备的出现使得农业灌溉变得更为科学、更具有信息化特征和更高的效率。这些都为农业的现代化奠定了可靠的基础。所以说节水灌溉技术的应用不仅仅意味着水资源利用率的提高同时还代表着其

是现代农业技术不可或缺的一部分,它对农业整体生产力水平以及灌溉技术都有深远的影响。

### 1.3 优化农业规划与生产布局

高效节水灌溉技术的应用有利于合理化农业规划及农业布局,提高对土地的有效利用率,在传统农地布局中因为灌溉条件以及供水量的不同导致部分地方出现水源浪费或者植物干旱情况的发生进而导致农业生产力得不到有效的发挥,而应用高效节水灌溉技术后便可以依据作物耗水量大小、土壤状况、地块地形等来对种植业结构以及耕地方式做出合理的规划以达到科学用水的目的。另外有针对性的精准灌溉措施可满足不同农作物之间的用水差异性让农田的生产布局更为机动化、灵活性。而在宏观层面上的区域农业发展中应用先进的高效灌溉技术有利于促进集中型、大型化以及多样化等农业经营模式的发展,使得区域内土地、水以及人力资源均能充分利用起来进而获得农业生产的高产以及水资源高效利用的双丰收局面,为当地农业经济持续性发展提供可靠保障。

### 1.4 促进生态环境可持续发展

智能节水灌溉技术不仅满足了农业生产的需要,在保护环境以及可持续发展中也发挥着重要作用。常规灌溉方法存在着水面蒸发、深层渗漏和地面流失等现象,不仅消耗了大量的水资源而且会导致土地盐碱化和环境污染等不利于生态的问题。而智能节水灌溉系统通过精确灌溉量和灌溉方法的选择可以大大的节省水资源,并减轻土壤中的盐分积聚,优化土壤中的水分状况,维持土壤肥力、生态平衡;合理的用水安排也有利于保持地下水的水位、减少地表水资源的开采、维护湿地和河流的生态环境。另外智能灌溉设备配合环境检测仪器的应用使得农业耕种更绿色化、环保化,为建设生态农业、实现绿色发展提供技术支持,彰显出现代农业对于生态环境和谐发展的重视程度。

## 2 高效节水灌溉技术的关键点分析

### 2.1 微灌技术

微灌是一种以较小流量、低压的方式通过管道与小型喷嘴进行灌溉并将水送达植物根部附近的先进的灌溉方法。它的主要优点是可以按照植物的需水量以及土壤中的含水量来对水量和灌溉时刻加以精准把握,对水分采取定位、定量供给,由此大幅度提升了水的有效利用率。微灌系统由分水器、供水管、滴头或微喷头等组成,可适用于各种地形以及种植着各类植株的土地上,特别适用于需要精耕细作的如水果树、农作物和经济作物这些植物。微灌系统的节水效果十分明显,可以使灌溉需水量下降百分之二十到百分之五十,并减少了地表径流以及蒸发造成的浪费现象。尽管微灌系统的初始投入成本较大,管网铺设要求以及后续维护标准都比较高,但是随着农田水利工程建设水平的提高以及自动控制系统的发展,微灌技术的应用领域与普及程度日渐扩大,在现代节水农业灌溉中占据着重要的地位。

### 2.2 滴灌技术

滴灌是指利用滴灌管将水一滴滴地均匀而缓慢地输送到作物的根层附近的一种精确灌溉技术,是当前较为完善高效的高效节水灌溉技术之一。滴灌可以很好地调控土壤水分的空间分布情况,防止水资源的浪费与作物根际的干旱,进而提升水分利用效率以及作物产量。滴灌系统一般都配有滤网、调压设备以及滴头,可以适用于不同的土质结构以及地形特征,特别适合丘陵和坡地的农田环境。此外,滴灌还可以做到边施肥边灌溉,实现水肥的一体化,加快作物的发育过程并提升农田管理水平。而在经济层面来看,滴灌系统的前期投入较大,但是后期因为节省用水量和增加产量所带来的收益可以收回成本,在干旱少雨地区滴灌的节水作用最为突出。不过使用滴灌技术对于田间管理的合理性也有了更高的标准,要及时检修管道,清理淤塞,保证整个系统的正常持久工作。

### 2.3 喷灌技术

喷灌是一种利用泵站和喷头将水加压后喷洒到作物顶部进行灌溉的方法,既能模仿雨状,又可以全面灌溉大面积耕地。喷灌系统可以根据植物的生长周期以及耕地区的土壤墒情调节其喷射水量和灌溉时长,从而使各生长时期的植物都能得到合理的水分补给,提高了灌溉的有效率。相对于传统的沟渠灌溉而言,采用喷灌技术可以减少水分的蒸腾及深层渗漏损失,节省水资源用量 25%~40% 左右,并有助于调节田间小气候、增进土壤通气状况。目前常用的喷灌技术一般都配有自动控制设备,由土壤湿度感应器和天气观测仪器来智能监控整个灌溉程序。虽然喷灌对于水源的压力条件及输水管网的要求严格,易受风速、蒸发等环境影响,但由于其灵活性大,适应性强,适用于坡度为中低的农田以及蔬菜、粮油作物的高效节水灌溉技术之一。

### 2.4 井灌技术

井灌是一种以地下水作为农作物灌溉用水来源的技术措施,其主要方式是以水井、水泵以及管道的形式把水引到田间地头。这项技术适用于有足够水资源可以支撑的区域,在无地表水可用的干旱区和半干旱区更是如此。井灌的优点是可以自由调整灌水量,在考虑到作物需水状况及土壤湿度的前提下自主安排灌溉时间,防止水资源浪费,在一定程度上也可以不受田间布置限制,适应性强,适用于地形起伏较大的丘陵地带等。若能配合一些先进的节水措施加以使用,例如井水与滴灌或者微灌联合运用,则可以使井灌的用水量得到更好的优化,使灌溉用水得到合理化配置。但与此同时井灌也有着过度开采地下水的风险,一旦对其放任不管、缺乏有效的管理和规划就有可能会导致地下水位下降、地面下沉甚至生态恶化等一系列问题的发生,所以在实施井灌的过程中应制定合理的水利配给和管控政策。

### 2.5 步行式灌溉技术

行走式灌溉技术是指人力与小型轻便的灌溉工具相

结合的一种灌溉模式,主要用于果园和菜园及地块分散或地形起伏大的田间灌溉。其主要是由人力拉动灌溉管路或者喷头来对农作物均匀供水,而且可以灵活安排灌溉时间与数量从而满足各类植物及土壤的需求。行走式灌溉技术易于掌握,适用范围广,投入少,可在无大中型灌溉机械的情况下推广应用,在配合微灌、滴灌等先进灌溉方式下能更有效的节约用水并准确灌溉。虽然行走式灌溉技术存在着劳力需求量大、灌溉规模有限的问题,但对于小户农作物与果蔬类生产仍有其独特的地位并且起到了精量节水以及使作物均匀生长的作用。

### 3 农田水利工程高效节水灌溉技术发展措施

#### 3.1 推进农田水利基础设施建设

田间水利设施是发展高效节水灌溉的基础,田间水利工程的质量决定了灌溉系统的工作性能以及灌溉用水的效果,完备的田间水利设施不仅包含渠道、泵站、蓄水池等实体工程,还包括合理化的灌溉管网铺设以及相关的附属管理系统。增加对田间水利设施的投资可以提升灌溉用水传输速率,降低过水渠道的渗漏损失和输水过程中的水量损耗,还能为开展先进的节水灌溉方式提供稳定保障。如在丘陵坡耕地,经过精心规划的阶梯式蓄水工程和泵站设置,不但能确保灌溉水源持续供给,而且降低了丘陵坡地对于灌溉水分分布的影响。在田间工程建设时注意项目与自然环境之间的联系,兴建涵管、排水建筑物及防渗沟道,尽量减少对地块土体结构及其周围环境的不良影响,为灌溉用水的有效使用提供有力保障。

#### 3.2 结合农作物特点优化灌溉方案

不同的农作物在其一生当中对于水的需求是不一样的,所以有效的节水灌溉必须要建立在农作物的需水特性之上才能制定出合理的方案,在进行灌溉规划设计时要依据农作物整个生育时期内消耗的水量来制定合适的灌溉次数以及灌溉量使得植物的根部可以吸收到充足的水分,同时也避免了由于大量灌溉造成的水资源浪费和不必要的土壤中养分流失<sup>[1]</sup>。比如说果树在坐果后的果实膨大阶段需要很多的水,但是发芽的时候却不需要太多的水,精确的灌溉计划可以增加用水效率并且可以促进农作物增产增收。当前的灌溉管理系统可以通过使用土壤湿度传感器检测、卫星遥感和灌溉管理系统软件来获取有关作物需水量的信息进而对其进行实时的智能化控制,这样就可以把节约用水同农业生产结合起来进而达到有效利用水资源并且增加农业收入的目的。

#### 3.3 提升灌溉技术水平与系统设计

高效节水灌溉技术的应用离不开合理系统的规划以及技术水平的进步。田间水利工程要因地制宜、因土制宜、因水源制宜、因作物制宜对灌溉管道的铺设方式、水压大小以及水流分配做出合理的规划,让每一个田块都能接收到均匀的灌溉量;其次要使用先进的灌溉器具例如滴灌管、微喷头以及智能控制阀等来实现自动化的定时定量灌溉。

技术的进步能够有效的减少灌溉过程中的水分流失包括蒸腾蒸发,下渗以及水流损耗保证灌溉用水能被充分的利用<sup>[2]</sup>。另外在系统的设计上也要注重后期维护方便程度以及日常开支,使其能长久稳定的为农田节水灌溉服务。

#### 3.4 加强节水灌溉工程监管与管理

智能节水灌溉的作用不仅仅是设备和装置的问题,更重要的是要有合理的运作管理和监管制度。在田间水利单位要制定严格的灌溉监管体系,涉及灌溉用水调配、灌溉巡视、管道保养、故障排查等方面,保证灌溉系统的良好状态运作。还要鼓励定时检测及统计分析的做法,通过灌溉系统的工作效率和耗水量以及农作物的长势来进行具体化指标化的统计分析,可以及时发现存在的问题从而作出相应改进。加强监管力度和管理水平不仅可以节约水资源也可以提升设备使用寿命,让整个农田水利灌溉工程发挥长久效益,为农业生产提供持续稳定的保障作用。

#### 3.5 推广智能化与信息化灌溉技术

伴随着信息技术的进步,智能灌溉系统日益成为农业水利项目中高效节水的主要方式。物联网、传感器、遥感技术以及大数据等信息技术与灌溉相结合,实现了对土壤湿度、天气状况及农作物需水情况等的即时观测,并依据信息自动控制灌溉量及时长,进而达到精灌目标。智能灌溉提升了灌溉用水的有效利用率,降低了劳动力投入成本,使田间管理更加便捷科学化<sup>[3]</sup>。智能灌溉系统的普及应当同农民教育培训、政府补助以及技术服务配套,以保障智能系统在各个地区、各类地块都能合理运用并建立长期有效的节约灌溉机制,为当前高产绿色农业发展提供有力技术支持。

#### 4 结语

高效节水灌溉技术的应用对于农业水利工程建设有着重要意义,它能提升水利用率、调整作物种植结构,还能改善环境状况。只有做好基础建设,根据不同地区采取不同的灌溉方式,强化科技投入以及引进智能管理系统等措施才能让灌溉更精细,也更长久。今后我们要加大科技研发力度与应用范围,政府也应该出台相应扶持政策以保证高效节水灌溉能在现代农田里有最好的应用,从而给农业生产和生态维护带来可靠保障。

#### [参考文献]

- [1]雷光明.农业水利工程中高效节水灌溉的技术关键点分析[J].科技创新与生产力,2023,44(8):64-66.
  - [2]保卫志.农业水利工程中高效节水灌溉的技术关键点分析[J].农业开发与装备,2022(5):119-120.
  - [3]贺诗涵.农业水利工程中高效节水灌溉技术分析[J].黑龙江水利科技,2024,52(8):68-71.
- 作者简介: 韩林艳 (1987.1—), 毕业院校: 新疆农业大学, 所学专业: 农业水利工程专业, 当前就职单位名称: 自治区塔里木河流域开都孔雀河水利管理中心, 职称级别: 工程师。

# 农田排水系统优化设计及其对土壤改良的影响分析

钟小青

新疆塔里木河水利勘测设计院, 新疆 喀什 844700

**[摘要]**农田排水系统对于保障田间水分得以合理调控、使土壤环境获得改善以及促使作物产量得以提升而言,是一项颇为重要的举措。文章选取农田排水系统的优化设计当作研究的对象,综合考量研究区域的实际地形状况、土壤相关特性以及作物对于水分的需求特点等方面情况,借助参数方面的设计工作、建立模型并开展仿真操作以及进行可行性方面的分析等一系列手段,深入探究了不同种类的排水方案给土壤的理化性质以及作物生长所处的环境所带来的影响情况。最终的研究结果清晰地显示出来,一套较为合理的排水系统是能够在很大程度上对土壤含水量起到有效调控作用的,它还能让土壤结构得到一定程度的改善,同时可以有效地降低盐分出现过度积累的现象,并且还能够有力地推动物作物实现更为健康的生长态势。其中,地下排水方案以及复合排水方案在针对深层土壤展开改良工作的成效方面表现得尤为突出,从而为农田排水设计以及土壤改良等相关事宜提供了具有科学依据支撑的参考内容。

**[关键词]**农田排水系统; 优化设计; 土壤改良; 影响分析

DOI: 10.33142/hst.v8i12.18441

中图分类号: S126

文献标识码: A

## Optimization Design of Farmland Drainage System and Analysis of Its Impact on Soil Improvement

ZHONG Xiaoqing

Xinjiang Tarim River Water Resources Survey and Design Institute, Kashgar, Xinjiang, 844700, China

**Abstract:** The drainage system of farmland is an important measure to ensure the reasonable regulation of field water, improve soil environment, and promote crop yield. The article selects the optimization design of farmland drainage system as the research object, comprehensively considers the actual terrain conditions, soil related characteristics, and crop water demand characteristics of the research area, and uses a series of methods such as parameter design work, model establishment and simulation operation, and feasibility analysis to deeply explore the impact of different types of drainage schemes on the physical and chemical properties of soil and the environment in which crops grow. The final research results clearly show that a relatively reasonable drainage system can effectively regulate soil moisture content to a large extent. It can also improve soil structure to a certain extent, effectively reduce the phenomenon of excessive salt accumulation, and effectively promote the healthy growth of crops. Among them, underground drainage schemes and composite drainage schemes have shown particularly outstanding results in improving deep soil, providing scientific references for agricultural drainage design and soil improvement.

**Keywords:** farmland drainage system; optimization design; soil improvement; impact analysis

### 引言

随着现代农业对于粮食产量以及作物品质方面的要求持续提升,农田排水系统作为用于调控田间水分、改善土壤环境并且保障农业生产的一项重要基础设施,其优化设计以及科学管理变得日益关键起来。传统农田排水系统存在着设计较为滞后、布局不够合理、排水效率比较低等一系列问题,常常致使出现田间积水、土壤板结、盐分不断累积以及地下水位异常升高的情况,进而对作物根系生长以及水肥利用效率造成了极为严重的制约作用。尤其是在水分过剩或者降雨集中的地区,排水不畅不但会对作物产量产生影响,而且还极有可能使得土壤退化以及生态环境方面的问题进一步加剧。所以,着手开展针对农田排水系统优化设计的相关研究,既有着农业生产效益层面的意义,同时也关乎到水土资源合理利用以及生态环境可持续发展的战略需求。在这样的大背景之下,深入且细致地去

分析排水系统建设给土壤理化性质以及作物生长环境所带来的影响,深入探讨不同排水方案在土壤改良效果上存在的差异,以此来为科学制定排水设计参数以及优化布局给予相应的理论依据与实践方面的指导,具备十分重要的学术价值以及应用价值。

### 1 农田排水系统设计原则

农田排水系统设计需综合考虑水文、土壤、地形及环境因素,以确保有效排除多余水分、防止渍涝并促进可持续农业发展。设计应遵循水文与土壤适应性原则,通过详细调查当地降雨规律、径流特征及土壤渗透性和排水能力,结合排涝模数计算或暗管排水参数优化,科学确定排水规模和地下水位调控措施,避免积水和水分不足。系统布局应采用分级沟道结构,遵循自流排水优先、高水高排、低水低排原则,与灌溉渠系、道路及土地利用规划协调,保证各级沟道水流畅通,减少对耕地占用。经济性与可维护

性也是设计重点,应在工程投资与运行成本之间保持平衡,通过利用自然地形、就地材料和分片排涝等策略降低费用,并保证沟道流速与断面满足长期运行与维护需求。环境兼容与生态可持续原则要求系统建设应减少对周边生态的影响,可结合植生型沟道、透水材料及排蓄结合策略控制面源污染,同时合理配置蓄涝容积与抽排能力,实现生态与排水效益双赢。

## 2 农田排水系统优化设计方法

### 2.1 研究区概况与调查方法

在针对农田排水系统展开优化设计的相关研究当中,对所涉及研究区域进行全面且细致的调查以及对其概况加以分析,这无疑构成了开展科学合理设计工作的基础所在。得要对研究区域的自然条件予以系统的整理与归纳,像气候类型方面的情况、降雨量具体分布的情形、蒸发量的实际状况、地形呈现出的起伏态势以及地貌所具有的特征等,这些诸多因素会在很大程度上直接影响到土壤水分的动态变化情况以及排水方面的需求状况。还应当详尽地去调查研究区域内的土壤类型以及其相关的理化性质,比如土壤的具体质地情况、孔隙结构方面的状况、渗透系数的实际大小、含水量的具体多少、盐分的分布情形以及养分的整体状况等,通过这样的调查,从而能够清晰明确地知晓排水对于土壤改良可能产生的潜在影响情况。除此之外,同样需要对地表水系的实际情况、地下水位的具体状况以及排水现有的各类设施展开调查,这其中就涵盖了排水沟渠的设置情况、排水管网的布局安排、排水口所处的位置以及排水能力的实际大小等方面,只有如此,才能够较为完整地掌握当下现有的排水条件以及其中存在的不足之处<sup>[1]</sup>。在整个调查工作的开展过程当中,应当综合运用现场实地测量的方法、土壤取样之后进行分析的方式以及收集历史相关资料等多种手段相结合的方式来推进,以此来切实保证所获取数据具备准确性以及全面性的特点。

### 2.2 排水系统设计参数确定

在农田排水系统的优化设计工作当中,对排水系统设计参数予以科学合理的确定,这无疑是一个极为关键的环节,它对于达成排水效率的最优化、土壤改良成效的凸显以及工程能够持续稳定地运行等方面,都起着决定性的作用。这些设计参数所涵盖的范围颇为广泛,既包含了像排水沟渠或者管网的具体布置形式、排水时所涉及的深度情况、各个部分之间的间距大小、管径规格以及排水口在空间中的具体位置这类内容,同时也涉及到诸如排水坡度的设定、断面尺寸的确定、材料选取的考量以及整个系统排水能力所能达到的具体指标等诸多方面。在确定这些参数的时候,务必要以研究区域实际存在的自然条件作为基础依据,并且要全面且细致地去考量地形呈现出的起伏状况、土壤具备的渗透性能、地下水位出现的变化情况、降雨所

具有的特征特点以及作物对于水分的需求规律等一系列因素。比如说,在那些土壤渗透性表现得比较低的区域,就应当适当地把排水沟的间距缩小一些,或者是相应地加深排水的深度,如此一来才能够切实有效地保证过剩的水分可以及时地排出去;而在地势存在较大起伏或者坡度较为陡峭的区域,那么就需要对排水坡度以及沟渠断面做出合理的规划与设计,从而避免因水流产生冲刷作用而致使土壤遭受侵蚀的情况发生。就排水口位置的确定而言,应当遵循水流能够沿着最短路径行进的原则来进行安排,与此同时还要充分兼顾到整个田块水分分布的均衡状态,防止出现积水形成的低洼区域或者干旱产生的斑块现象。在整个设计操作的过程之中,除了要结合排水管材所具有的耐腐蚀性能、强度高低以及经济适用性等方面的情况来进行综合性的选择之外,还需要借助排水模型开展仿真分析的工作,通过针对不同参数组合情况下水位所发生的各种变化、排水量的多少、排水速度的快慢以及土壤水分呈现出的动态状况等展开模拟实验,以此来科学且客观地评估各个设计方案实际所能取得的效果,进而从诸多方案当中筛选出最为优秀的参数配置方式,最终实现排水系统在改善土壤物理化学性质、提升作物生长环境条件以及保障工程经济利益等方面的综合优化目标。

### 2.3 排水系统建模与仿真分析

在农田排水系统开展优化设计之际,构建起科学合理的排水系统模型并且对其展开仿真分析,这无疑是验证设计方案是否合理以及预测排水效果的关键途径。建模往往是以研究区域的实际地形状况、土壤所属类型、地下水所处位势、降雨的具体量级还有作物的需水规律等一系列基础数据作为依据,借助构建水力学模型的方式来对土壤水分的运动状态以及排水的具体进程加以模拟呈现。该模型能够运用连续介质方面的假设,把土壤视作多孔介质,凭借渗流方程去阐述水分子在土壤剖面当中流动所遵循的规律,与此还要结合地表排水以及地下排水通道所具有的水力特性,针对排水量的多少、排水的速度快慢以及水位的变化情况展开相应的模拟操作<sup>[2]</sup>。在仿真分析行进的过程中,通过对排水沟渠的间距、排水的深度、管径的尺寸以及排水口的布局等相关参数做出调整改变,以此来对不同设计方案所呈现出的排水效率高低、土壤水分保持情形以及积水消除所需时间长短等方面展开对比性的评估考量,进而从中筛选出最为优质的方案。

### 2.4 排水工程可行性分析

在农田排水系统开展优化设计工作期间,排水工程可行性分析属于极为关键的一个环节,其对于保证设计方案于实际应用层面达成经济合理、技术可行并且环境友好的状态有着重要作用。该可行性分析一般涵盖经济性评价、技术可行性评价以及环境影响评价这三个不同方面。其中,经济性评价主要是针对排水工程的建设成本、运行维护所

涉及的费用以及投资回收期限展开分析,借助成本和效益方面的比较来明确设计方案在经济层面是否合理,进而促使有限的资金能够收获最大化的排水效益。技术可行性评价着重于对排水系统的施工难度、施工条件的适应情况、材料选取事宜、施工技术的具体要求以及后期运行维护的便利程度加以分析,以此确保设计方案可以顺利推进并且能够长时间稳定地运行,同时还能够契合排水量以及排水效率相关的技术指标要求。环境影响评价把目光聚焦在排水工程给土壤、水体、生态环境还有农田周边环境所带来的潜在影响之上,这其中就包含了土壤出现侵蚀现象、地下水位发生变动、水体存在富营养化风险以及生物多样性受到的影响等方面,并且还会相应地给出减缓或者优化的相关举措,从而达成工程建设和生态环境保护的协调一致。

### 3 农田排水系统对土壤改良的影响分析

#### 3.1 排水系统建设前后土壤理化性质变化

农田排水系统的建设,对土壤的理化性质有着颇为显著的影响,它称得上是改良土壤结构以及提升耕作条件的一条重要路径。在着手建设排水系统之前,因水分的排泄不够顺畅,土壤常常会出现积水、板结或者盐分淤积之类的诸多问题,而这些问题的出现,会致使土壤孔隙度有所降低、通气性欠佳,土壤团粒结构遭受破坏,与此同时还会对土壤的渗透性以及根系的生长产生影响。待排水系统建设完成之后,凭借其高效的排除地表以及地下多余的水分的能力,土壤含水量逐渐趋向于适宜的范围,土壤水分呈现出更为均衡的动态变化态势,进而对土壤物理性质起到了改善的作用,比如土壤密度出现了下降的情况、孔隙率有所增加、土壤团粒结构得以恢复并获得优化,渗透性也得到了增强,如此便有利于水分和空气在土壤当中更好地循环往复。除此之外,排水系统对于盐分的淋洗以及均匀分布也是有帮助的,能够对土壤化学性质加以改善,使得盐渍化的风险得以降低,促使土壤肥力以及养分的有效性都得以提高<sup>[3]</sup>。从长远来看,在排水系统长期发挥作用的情况下,其建设不但使土壤理化指标得到了改善,而且还为作物根系的呼吸以及水肥的吸收营造出了更为优质的生长环境,推动了土壤生态系统稳定性的提升以及可持续利用的实现,为后续农作物实现高产高效的种植打下了稳固的基础。

#### 3.2 排水系统对作物生长环境改善的作用

农田排水系统,其重要性体现在多个方面。它一方面会对土壤的理化性质带来颇为重要的影响,另一方面对于作物生长环境的改善而言,也有着直接的作用效果。借助科学且合理的排水设计方式,当出现过量积水的情况时,便能够及时地将其排出去。如此一来,土壤含水量就能够维持在作物能够适宜生长的那个范围之内。而且,根系周边土壤的空气流通性能也会得到明显的提升,这无疑有利

于根系更好地进行呼吸活动以及更有效地吸收养分,进而促使作物生长活力得以增强,抗逆性也跟着有所提高。与此排水系统还能对土壤的水分均衡状态起到改善的作用,使得土壤盐分以及有害离子的累积情况得以降低,减少了因盐害给作物生长所带来的种种不利影响,进而为作物营造出更为健康的生长基质环境。合理的排水操作还能够在一定程度上对田间的微气候条件加以调节,比如能让土壤温度与湿度保持相对均衡的状态,这对于根系的生长发育以及地上部生长的协调发展都是很有帮助的。除此之外,排水系统的建设工作还能够让病害和虫害的发生风险有所减少,毕竟积水的环境往往是容易致使病原微生物滋生以及害虫繁殖的,而有效的排水措施则能够对这种不利条件予以改善,进而提高作物生长过程中的安全性以及产量方面的稳定性。

#### 3.3 不同排水方案对土壤改良效果比较

在农田排水系统开展设计工作期间,不同排水方案对于土壤改良所呈现出的效果存在着颇为明显的差异,所以说,针对多种多样的方案展开相应的比较分析,这在实际当中是有着极为重要的意义的。地表排水方案主要是依靠沟渠或者明渠来把多余的那部分地表水给排出去,它的优势就在于排水的速度是比较快的,并且施工所需要的费用也相对较低,然而在对地下水位加以调控以及土壤深层水分达成均衡这两个方面而言,其表现出来的效果就显得略微有些不足了,对于改善土壤深层所存在的盐分状况以及进一步增强土壤的通气性,其效果并不是十分突出<sup>[4]</sup>。地下排水方案则是借助暗管又或者是渗管系统,把多余的水分从土壤深层给排出来,如此一来,不但能够较为有效地对地下水位进行调控,而且还可以让深层土壤的含水量得到改善,与此它还能够推动土壤团粒结构得以恢复,并且促使土壤渗透性有所提升,进而更有助于土壤实现长效改良以及作物根系的正常发育。将地表排水方案和地下排水方案相结合形成的复合模式,能够在一定程度上同时满足地表积水要快速排出以及深层水分需要进行调控这两方面的需求,从而达成排水保持均衡、减少盐分不断积累并且改善土壤结构这样的双重效果。

### 4 结语

经过对农田排水系统展开优化设计方面的研究,同时对其给土壤改良带来的影响加以分析,可以发现,一套科学且合理的排水系统,一方面能够对田间水分予以有效调控,另一方面可改善土壤的理化性质,除此之外,它还能够为作物营造出适宜其生长的环境,进而使得作物产量以及水肥利用效率都得以显著提升。本研究先是针对研究区的地形状况、土壤特性以及水文条件展开调查,接着把排水参数设计、建模仿真还有方案比较等环节相互结合起来,以此来全面且细致地评估不同排水方案对于土壤结构、含水量、盐分分布以及作物生长环境所产生的各种影响。

经研究得出的结果显示,在深层土壤改良以及排水均衡这两个方面,地下排水方案以及复合排水方案所取得的效果是最为突出的。并且合理的排水间距、恰当的排水深度以及科学的管网布局,均能够在很大程度上提高系统的排水效率,同时也能够让土壤改良的效果得到明显增强。综合来看,本研究一方面为农田排水系统的优化设计给予了科学层面的依据,另一方面也为提升土壤利用效率、推动农业朝着可持续发展的方向前进提供了相应的参考以及指导。在未来开展相关研究的时候,需要进一步综合考虑不同气候条件、各类作物类型以及水资源管理的具体需求,持续不断地去优化排水设计方案,从而达成农田排水系统在保证生产效益和生态环境保护这两者之间实现协调统一的目标。

### 【参考文献】

- [1]夏传鹏,张帆,崔志英,等.农田排水技术及其对农业生态环境的影响综述[J].江西农业,2025(17):116-118.
- [2]陈涛.不同排水方法对农田土壤湿度和作物生长的影响研究[J].河北农机,2024(7):106-108.
- [3]窦旭,史海滨,李瑞平,等.农田排水改良盐渍化土壤效果与环境污染研究[J].农业机械学报,2022,53(4):372-385.
- [4]梁连.农田排水系统在防洪减灾中的作用与效率研究[J].新农民,2025(18):31-33.

作者简介: 钟小青 (1977.12—), 毕业院校: 新疆塔里木农垦大学, 所学专业: 农田水利, 当前就职单位名称: 新疆塔里木河水利勘测设计院, 就职单位职务: 副总工程师, 职称级别: 高级。

## 新时期农村供水工程规划设计问题探讨

朱长江

塔城水利设计研究院有限公司乌鲁木齐分公司，新疆 乌鲁木齐 830000

**[摘要]**随着我国城镇化进程的不断推进和农村经济的快速发展，农村供水工程作为保障农村生活和经济发展的基础设施，其重要性愈加突出。因此，在规划设计农村供水工程时，需要高度重视相关问题，采取科学有效的措施，推动供水模式从以往的小规模、分散式向集中式供水转变，从而提升供水系统的整体效率和管理水平，促进农村供水模式的优化与发展。

**[关键词]**新时期；农村供水；工程规划；规划设计；问题探讨

DOI: 10.33142/hst.v8i12.18468

中图分类号: S277

文献标识码: A

### Discussion on Planning and Design Issues of Rural Water Supply Projects in the New Era

ZHU Changjiang

Urumqi Branch of Tacheng Water Conservancy Design and Research Institute Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830000, China

**Abstract:** With the continuous advancement of urbanization and rapid development of rural economy in China, the importance of rural water supply projects as the infrastructure to ensure rural life and economic development has become increasingly prominent. Therefore, in the planning and design of rural water supply projects, it is necessary to attach great importance to relevant issues, take scientific and effective measures, promote the transformation of water supply mode from small-scale and decentralized to centralized, thereby improving the overall efficiency and management level of the water supply system, and promoting the optimization and development of rural water supply mode.

**Keywords:** new era; rural water supply; engineering planning; planning and design; problem discussion

#### 引言

我国农村经济在持续发展，城乡一体化进程也在不断推进，在这样的大背景之下，农村基础设施建设特别是供水工程迎来了新的发展需求。水是生产生活当中极为重要的资源，它的安全状况、供应稳定性以及是否具备可持续性，这些都跟农村居民的生活品质以及社会经济的发展程度有着直接的关联。不过受到历史建设所遵循的标准、资金投入的实际情况以及技术方面水平等多种因素的作用，农村供水工程在规划设计环节存在着一些问题，像是布局安排不够合理、水源利用的效率较低、管网建设进度滞后以及管理维护工作做得不到位等，这些问题对供水系统的可靠性以及可持续发展造成了限制。进入新时期以后，随着可持续发展战略、生态文明建设理念以及现代水务管理思路的广泛传播，农村供水工程既要满足基本生活用水方面的需求，同时还要顾及水资源保护、节能减排以及与环境相友好的诸多目标。所以，秉持科学且合理的规划设计理念，制定出优化策略就显得格外关键。这篇文章会围绕农村供水工程所具有的基本特点以及当前的实际状况展开，深入剖析规划设计当中存在的那些主要问题，并且给出与之相对应的优化办法，希望能够为提升农村供水工程的建设水准、运行效率以及可持续发展的能力给予理论层面的依据以及实践方面的参考。

#### 1 农村供水的特点

农村供水具有明显的分散性、水源类型多样、设施条

件有限、用水波动大、管理问题突出以及环境依赖性强等特点。农村居民点地理分布零散，供水工程覆盖范围广但服务密度低，管网铺设成本高，尤其在山区地形复杂地区施工和维护难度更大。水源多为地下水、山泉水、小型水库等，受环境因素影响显著，水质不稳定，需要因地制宜处理。受资金和技术限制，供水设施规模普遍偏小，设备老化严重，管网漏损率高，既浪费水资源，又影响供水稳定性。用水需求呈现明显波动，农业灌溉期用水激增，干旱季节水源紧张，生活用水与生产用水容易发生冲突。管理方面缺乏专业化运营团队，水费收缴率低，长期依赖政府补贴，长效管理机制不健全。与此同时，农村供水高度依赖环境条件，气候干旱或自然灾害容易破坏设施，应急保障能力较弱，进一步制约了供水系统的安全性和可持续发展。

#### 2 农村供水工程规划设计中存在的问题

##### 2.1 规划设计不科学、不合理

在农村供水工程规划设计环节当中，规划设计不够科学且不合理的问题显得颇为突出，其主要呈现于工程布局欠合理、设计方案欠缺系统性，并且没有充分考量实际需求与地域差异等诸多方面。一方面来讲，部分项目在规划阶段针对供水范围、服务对象以及水源分布情况并未展开详尽的调研工作，这就致使供水管网布局出现不均衡状况，部分地区存在水压不足或者覆盖不到位的状况；另一方面而言，设计方案在工程规模、设施选型以及工艺流程这些方面都缺乏科学性与前瞻性，很容易出现投资出现浪费或者建设难以

契合长期需求的情形。与此因为对农村人口分布情况、用水量变化以及未来发展趋势考虑有所欠缺,部分供水工程在实际运行期间没办法有效应对用水高峰或者人口增长等情况,进而对供水系统的可靠性与可持续性产生了影响。

## 2.2 水源选择与利用效率低

在农村供水工程开展规划设计相关工作期间,水源选择以及利用效率较低的情况属于普遍存在的问题,其主要呈现出这样的状况:水源分布和供水需求之间的匹配不够合理,可利用的水资源没有得到充分的开发,并且在水质安全保障方面也存在欠缺<sup>[1]</sup>。从一个方面来讲,因为部分规划工作缺少针对当地水文条件以及地下水资源所进行的科学评估,所以选取的水源有可能距离用户比较远,或者水量呈现出不稳定的状态,如此一来便使得管网输水的成本有所增加,同时供水效率也会出现下降的情况;从另一个方面来讲,有些工程在进行设计的时候没有充分考虑到季节性水量的波动情况、用水高峰期的需求状况以及水资源的可持续利用这一系列因素,这就致使水源的利用率偏低,资源浪费的现象表现得比较突出。

## 2.3 管网设计与建设存在缺陷

在农村供水工程开展规划设计工作期间,管网设计以及建设方面存在一些缺陷,而这一情况算得上是比较普遍存在的问题。其主要呈现出管网布局不够合理、管材以及管径选择不够科学等状况,另外施工质量也很难得到切实保障。一方面来讲,部分工程在规划阶段的时候,并没有充分去考量村庄的具体分布情况、地形地貌的实际特点以及用水需求所存在的差异,如此一来便致使管网路径变得冗长,分支设置也不够合理,甚至还有可能出现覆盖范围不足的状况,进而使得供水系统在实际运行过程当中出现水压不稳定的情况,或者部分区域供水量不足的现象。另一方面而言,管材和管径在选型方面缺乏科学的依据,有的管道口径过小,这就会导致输水的能力有所欠缺;而有的管道口径又过大,如此一来便增加了投资的成本以及施工的难度。

## 2.4 管理与运行维护体系不完善

在农村供水工程开展规划设计工作期间,管理与运行维护体系存在诸多不完善之处,其中责任分工不够明确、管理制度不够健全以及日常维护工作落实不到位等情况较为典型。部分农村供水工程缺少专业的管理人员,管理职责界定不清,如此一来,在运行过程中出现问题便很难及时察觉并妥善处理,进而对供水系统的稳定性以及可靠性产生了不利影响。该工程在运行维护环节缺乏科学合理的制度与规范,没有建立起定期巡检、设备维护以及故障应急等相关机制,致使管网设备以及水处理设施由于长期得不到有效维护,容易出现老化、损坏或者效率降低等状况。

## 2.5 资金投入与成本控制不足

在农村供水工程开展规划设计工作期间,资金投入方面存在不足,并且成本控制也做得不够到位,这些问题对工程建设以及后续运行产生了颇为重要的制约作用。就一方面来讲,因为农村地区本身的经济条件是比较有限的,

所以项目资金的来源显得较为单一,而且资金总量也不充足,这就致使工程在设计环节、施工环节以及设备配置等方面都很难充分满足实际的需求,有一部分供水设施其标准比较低,功能也不是很完善,进而对供水系统的可靠性以及使用寿命都造成了影响。相关人员的成本控制意识较为薄弱,预算编制工作也不够科学合理,投资使用的透明性以及系统性都欠缺,如此一来便容易出现资金被浪费的情况,同时资源配置也会不合理。

## 3 农村供水工程规划设计优化对策

### 3.1 完善规划设计理念与技术标准

在农村供水工程开展规划设计优化工作期间,完善规划设计理念以及技术标准乃是提升该工程科学性、可靠性以及可持续性极为关键的一个环节。一开始,要把可持续发展以及绿色建设理念贯穿到规划设计的整个过程当中,在清楚知晓供水服务所涉及的范围以及具体目标的前提下,要全面且细致地考量农村人口的具体分布状况、用水需求呈现出的变化情况、地形地貌的实际状况以及水文条件等诸多因素,以此来保障工程的布局是合理的,供水能够实现较为全面的覆盖,并且能够契合长期发展的各项需求<sup>[2]</sup>。接着,需要构建起一套统一且科学的技术标准体系,这里面包含有水源选择方面的标准、管网设计的相关规范、泵站与水处理设施配置方面的标准以及施工和运行维护方面的规范等,通过这样一套体系来对各类工程建设以及管理操作予以指导,进而确保工程的质量以及运行的效率都能够得到保障。与此还得留意先进技术的应用情况,像是智能监测系统、水质在线监控手段、信息化管理平台等,让规划设计能够在兼顾技术先进性的同时也考虑到实际的可行性。

### 3.2 提高水源利用效率与保障水质安全

在农村供水工程开展规划设计优化工作之时,提升水源利用效率以及切实保障水质安全,这无疑属于确保供水系统能够可靠地运行并且实现可持续发展极为关键的环节所在。一开始,需要针对水源展开科学且细致的评估工作,要全面且详尽地去分析像地表水、地下水还有雨水等多种不同类型的水源,具体分析其可实际利用的水量情况、呈现出的季节性变化状况以及各自所具有的水质方面的特点等,进而合理地将这些水源与供水需求进行匹配,如此才能有效避免出现资源方面的浪费情况以及水源被过度开发的不良情形。接着,在进行供水系统的相关设计工作期间,应当运用那些高效的输水以及调配方面的技术手段,比如说可以实施分区供水的方式,对泵站予以优化处理,另外还要设置水量调控的相关装置等,通过这些举措来促使水资源的利用率得以提高,与此同时也能让输配环节当中的损耗得到有效降低。就水质安全这一方面而言,要在水源选择以及取水的具体环节当中建立起较为严格的保护方面的措施,以此来防范水体遭受污染的情况发生,而且在水处理设计的工作开展过程中,还需合理地去配置诸如净化设施、消毒设施以及监测设施等相关设备,从而确保最终的供水能够符合国家所规定的饮用水安全方面的标准要求。

### 3.3 优化管网设计与工程布局

在农村供水工程的规划设计优化工作当中,对管网设计以及工程布局予以优化,这无疑是一项极为重要的举措,其能够有效提升供水系统的运转效率,促使建设成本得以降低,并且还能充分保障供水工程在后续能够长期稳定地运行。要依据村庄的具体分布情况、当地的地形地貌状况以及用水需求所呈现出的特点,来科学合理地规划管网的走向。在此过程中,需妥善确定主管、支管以及分支管各自的布置方式,从而让供水能够覆盖到尽可能广泛的区域,使得水压能够保持相对均衡的状态,而且输水的路径也要尽可能做到最短,与此还要极力避免出现管网相互交叉、存在重复铺设或者出现空置等种种不良现象。得根据输水的实际距离、所需水量的多少以及对水压的要求等情况,去精心挑选与之相匹配的管材以及合适的管径。在挑选时,既要考虑到管材的耐用程度,又要兼顾其经济方面的考量因素,还得顾及施工操作的便利性,以此来确保管网系统能够在不同的工况环境之下都能够稳稳当当地正常运行<sup>[3]</sup>。除此之外,还需要全面且细致地考量诸如泵站、水池、水塔等一系列关键设施在布局安排以及功能配置方面的相关事宜,通过这样一番努力,才能够真正实现对供水进行科学合理的调控,达成水量调配的精准性,进而切实保证在高峰用水时段,水压能够维持稳定的状态,供水也能够持续不断地进行下去。在管网正式进入施工阶段之后,仍然需要极为严格地把控施工的质量,要对接口的处理方式、埋设的具体深度以及采取的防护措施等方面都做出规范性的要求,唯有如此,才能够切实有效地防止出现渗漏、堵塞以及其他各类损坏方面的问题。

### 3.4 完善管理和运行维护机制

在农村供水工程开展规划设计优化工作期间,将管理和运行维护机制予以完善,这无疑是在保障供水系统能够达成长期稳定且高效运行这一目标过程中的关键环节所在。得着手建立起清晰明确的管理责任体系,要清楚界定供水管理单位、运行维护人员以及相关各个部门各自不同的职责分工情况,以此来保证各类问题都能够做到及时地被发现、被反馈并且得到妥善处理。需制定出具备科学性的运行维护制度,这里面应当涵盖日常巡检、设备维护、管网检测、水质监测还有应急处理等诸多内容,进而形成一套规范有序且有章可循的管理流程,从而促使供水系统的可靠性以及安全性得以提升。与此还得强化对管理人员展开专业方面的培训工作,提升他们的技术水平以及应对突发状况的应急处置能力,以确保能够对供水设施的运行状态以及水质安全实现有效的掌控。信息化技术的应用同样属于完善管理机制的重要举措之一,借助智能监测系统以及数据采集与分析平台等工具,便能够达成对水量、水压、水质以及设备运行状态的实时动态监控以及远程便捷管理的目的,如此一来,决策效率以及响应速度均能得到一定程度的提高。

### 3.5 加强投资管理与成本控制

在农村供水工程规划设计的优化进程里,强化投资管

理以及成本控制无疑属于关键环节,其对于保证工程具备经济性、提升资金使用效率并且保障项目能够持续稳定地运行而言,有着极为重要的意义。在项目的规划以及设计阶段需要开展科学合理的投资估算工作,要综合考虑工程的规模大小、所采用的技术标准情况、当地的地形条件状况以及实际的供水需求等方面因素来对资金投入做出合理安排,从而有效避免出现投资额度不够或者资金过度浪费的情况。应当构建起较为严格的预算管理制度,针对工程建设、设备采购、管网施工以及后续的运行维护等诸多环节实施全程的预算控制举措,清晰明确资金使用的具体流程以及各个环节的责任分工情况,以此确保资金使用过程既透明又规范<sup>[4]</sup>。与此在施工期间还需进一步加强成本方面的监控力度,可以运用工程量清单管理、单价分析以及动态成本核算等一系列方法,针对材料费用、人工费用、机械费用以及管理费用等各项内容展开实时的跟踪监测,及时察觉到其中存在的偏差并迅速做出相应的调整处理,进而防止出现超支现象以及资源浪费情况的发生。

## 4 结语

随着农村经济不断发展,城乡一体化进程也在加速推进,在此背景下,农村供水工程于保障居民生活用水、推动经济发展以及助力可持续发展等方面,均发挥着颇为重要的作用。本文通过对农村供水工程基本特点展开分析,理清了规划设计环节所存在的诸多问题,像是布局不够合理、水源利用效率不高、管网建设进度滞后、管理维护体系不完善以及资金投入和成本控制存在欠缺等,并且还给出了相应的优化对策,比如完善规划设计理念和技术标准、提升水源利用效率、优化管网布局、完善管理及运行维护机制以及强化投资管理与成本控制等方面。借助系统且科学的规划与管理手段,既能提升农村供水工程的运行效率以及服务质量,又能达成资源的合理配置,让经济效益得以最大化,从而为农村供水工程的可持续发展筑牢根基,同时也可为我国新时期农村供水建设的高质量发展给予一定的参考与实践方面的指导。

## 【参考文献】

- [1]李才玉.新时期农村供水工程规划设计问题探讨[J].工程技术研究,2023,8(23):194-196.
- [2]王哲峰.农村供水工程规划设计初探[Z]//水与水技术(第8辑).本溪市水利电力勘测设计有限责任公司,2018:147-149.
- [3]刘应才.探析农村供水工程规划设计[J].山东工业技术,2014(21):41.
- [4]魏清顺.农村供水工程[M].北京:中国水利水电出版社,2011.

作者简介:朱长江(1990.7—),毕业院校:新疆农业大学科学技术学院,所学专业:水利水电工程,当前就职单位名称:塔城水利设计研究院有限公司乌鲁木齐分公司,职称级别:工程师。

# 配电网电力工程技术及施工安全措施研究

吴珂哲

国家能源集团新疆开都河流域水电开发有限公司，新疆 库尔勒 841000

**[摘要]**配电网属于电力系统当中的一个极为重要的环节，其技术方面所达到的水平以及施工安全管理工作做得如何，会直接对电网能否稳定地运行产生影响。文章选取配电网工程当作研究的对象，针对其中存在的设备技术相关的问题、运行管理方面的难题、防误操作环节出现的状况以及电能质量方面碰到的麻烦等这些主要问题展开分析，提出了关于安全管理的相对对策。研究得出的结果显示，要是能够建立起科学合理的施工依据，着力强化管理并且加强培训工作，对材料以及工程质量予以严格的把控，实施定期开展维护的举措，另外还要对施工环境加以优化，那么就能够让施工的安全性以及工程的可靠性都得到较为显著的提升，进而为高质量且智能化的配电网建设给予在理论层面以及实践层面的参考依据。

**[关键词]**配电网；电力工程技术；施工安全；安全管理措施

DOI: 10.33142/hst.v8i12.18469 中图分类号: TM73 文献标识码: A

## Research on Power Engineering Technology and Construction Safety Measures for Distribution Network

WU Kezhe

CHN Energy Group Xinjiang Kaidu River Basin Hydropower Development Co., Ltd., Korla, Xinjiang, 841000, China

**Abstract:** The distribution network is an extremely important link in the power system, and the level of technology and construction safety management achieved will directly affect the stable operation of the power grid. The article selects distribution network engineering as the research object, analyzes the main problems related to equipment technology, operational management, anti misoperation, and power quality, and proposes corresponding measures for safety management. The results of the study show that if a scientific and reasonable construction basis can be established, efforts should be made to strengthen management and training, strict control of materials and engineering quality should be implemented, regular maintenance measures should be carried out, and the construction environment should be optimized, then the safety of construction and the reliability of the project can be significantly improved, providing theoretical and practical reference for the construction of high-quality and intelligent distribution networks.

**Keywords:** distribution network; power engineering technology; construction safety; safety management measures

### 引言

随着我国电力工业不断发展以及用电需求持续增长，配电网建设在电力系统当中所起的作用变得日益重要起来。配电网一方面要承担起电能输送的重要职责，另一方面其运行状况还对电能质量以及供电可靠性产生着重要影响。不过，配电网工程在开展建设以及后续运行的过程之中，碰到了不少难题，像是设备技术方面较为落后、防范误操作的相关举措做得不够到位、管理环节存在诸多不完善之处，另外电能质量还会出现波动等情况。并且要是施工过程中缺少科学依据作为支撑，安全管理措施也不到位的话，那么就很容易引发各类事故，进而给经济和社会都带来一定的风险。所以说，针对配电网技术方面存在的问题展开研究，同时探讨施工安全方面的相关措施，这对于提高工程建设的质量以及保障运行的安全来说，有着极为重要的意义。

### 1 配电网电力工程概述

配电网是电力系统中的一个关键环节，在电网中起着桥梁、纽带的作用。配电网的差异使其安装方法也有很

大差别。为保证供电系统的安全运转，要加强对配电网网络安全信息技术的运用，强化对配电网安全的控制和监控，从而保证供电系统能够安全运转，避免安全事故的发生。目前，尽管我国电网建设的技术水平已经得到了很大提高，但在具体运用上仍存在许多困难。为此，电力企业必须加强投入，借助国外先进的科学技术，积极吸纳高新技术人才，做好配电网电力工程建设的各种技术管理工作，推动配电网电力工程的高质量建设。

### 2 配电网电力工程技术问题分析

#### 2.1 防误操作装置及运行管理执行不到位

在配电网相关工程里，防误操作装置属于确保电网能够安全运行的一项极为重要的技术保障手段，它的主要作用就是防范因人为操作出现失误而致使设备遭到损坏或者造成电力供应中断这类事故的发生。不过在实际的运行过程当中，因为电力企业在设备投入以及操作管理这两个方面都存在着一定的欠缺，所以防误操作装置所具备的各项功能往往没办法充分地发挥出来。部分电站还有变电设施在设备进行更新换代的时候没有及时地开展技术升

级工作,这就使得防误操作系统的性能变得落后了,已经没有办法契合现代电网复杂多变的运行条件所提出的要求了。与此操作人员在日常的管理以及运行维护期间对于装置具体的使用方法以及需要注意的相关事项并没有掌握得很全面,而且缺少系统的培训以及规范化的管理举措,如此一来设备在实际运行的时候依旧存在着误操作的风险。这一问题一方面增加了电网运行所存在的不确定性,另一方面也对供电的稳定性以及安全性产生了影响,所以说必须要依靠强化设备管理、完善操作流程并且提升操作人员的技术水平才能够将其妥善地解决掉。

## 2.2 配电设备技术水平落后

在我国配电网工程建设进程中,配电设备技术水平落后的情况普遍存在。虽说近些年来我国于电力设备制造以及应用技术层面收获了相当程度的进步,然而在部分区域依旧存在着老旧设备占比颇高、自动化与智能化程度不够的情形。这样的技术落后状况一方面呈现为设备性能欠佳、使用寿命较短,另一方面还体现在设备对于负荷波动以及外界干扰的适应能力较为有限,进而致使运行效率出现下滑,故障率有所增加。特别是在新能源接入、复杂负荷管理以及智能化配电系统建设这样的大背景之下,传统设备已然无法契合精细化调控以及远程监控的相关需求,对配电网的可靠性与安全性形成了制约。所以,提高配电设备技术水平,推动设备更新换代,引入具备高智能化特点且稳定性较高的设备,这无疑成为提升配电网整体运行效率的重要举措。

## 2.3 电网维护与管理落实不充分

电网维护与管理的落实状况和配电网的安全性、稳定性紧密相关。在实际工程当中,部分电力企业在维护工作方面存在着执行不够有力、管理制度不够完善等状况。电网设备在长时间运行期间,会受到环境、负荷以及人为等因素的影响,进而出现老化、磨损或者微小故障等情况。倘若维护管理做得不到位,就容易滋生潜在的安全隐患。巡检、检测以及保养工作的频次和质量常常都存在不足之处,致使问题没办法及时地被发现与处理,如此一来便增加了运行的风险。电网维护与管理落实不够充分还和企业内部的管理体系以及人员素质有着关联,缺少标准化且科学化的运行与维护制度,这使得技术问题不断积累并最终演变成系统性的风险。所以,强化维护制度建设、提高人员培训水准以及规范管理流程,这些都是提升配电网安全运行能力的关键举措。

## 2.4 电压波动及电能质量问题

电压波动以及电能质量问题已然成为影响配电网安全运行以及用户用电体验的关键要素,在配电网实际运行期间,由于受到负荷方面存在的变化情况、电源接入所采用的方式以及线路自身具备的特性等诸多因素的共同作用,所以很容易会出现诸如电压出现波动、频率发生波动

以及存在谐波污染等一系列的现象,这些现象一方面会影响电力设备正常开展运行工作,另一方面还有可能致使生产设备遭受损坏、用电环节的安全隐患不断增多以及能源出现浪费等情况的发生。而电能质量问题的形成和配电网在设计阶段的情况、设备选型时的状况以及运行管理方面的实际情况有着十分密切的关联,尤其是在处于高负荷的状态下以及有新能源接入的情形中,传统的技术手段往往很难对波动起到有效的抑制作用。所以说,有必要借助于对电网设计加以优化、运用先进的电压调节设备以及功率补偿设备、强化运行过程中的监控工作以及对数据展开分析等方式,以此来保障电能质量能够契合工业用户、商业用户以及居民用户的用电需求,确保其用电过程是安全且稳定的。

## 3 配电网施工安全措施与对策

### 3.1 施工前的充分准备与风险评估

在配电网施工期间,施工前的周密准备以及风险评估属于确保工程顺利推进的关键环节。在施工正式开始之前,需针对施工环境、线路布局、设备所处的状态以及外部各类因素展开细致的调查与分析,从而清晰明确潜在的风险点,像高空作业方面存在的风险、电气触电方面的隐患、机械伤害方面的威胁以及环境带来的影响等。与此要依据施工规模以及作业的难度来制定详尽的施工计划以及完善的安全措施,对施工人员开展风险告知工作以及安全方面的培训,让每一位参与到施工当中的人员都能够充分知晓可能面临到的种种危险以及相应的应对办法<sup>[1]</sup>。施工前的物资准备工作同样极为重要,这涉及到对材料、工具、个人防护设备等进行检验以及备齐相关物品,以此确保在施工过程里设备以及物资的数量充足并且都符合既定的标准。借助科学合理的准备以及较为全面的风险评估,能够提前将隐患予以消除,进而优化施工方案,为施工现场的安全管理以及施工效率提升给予稳固有力的保障,大幅度降低事故发生的几率,保证工程得以顺利完成。

### 3.2 强化施工安全管理与培训制度

施工安全管理以及培训制度的强化,对于配电网施工安全而言,有着极为重要的保障作用。在施工开展的过程之中,需构建起系统化的安全管理体系,这里面涵盖了施工安全责任制、巡检方面的制度、针对施工的监督机制以及应急管理的相关机制。施工单位应当依据施工人员各自岗位职责的具体情况,去制定出具有个性化的培训方案,务必要让施工人员能够掌握安全操作的相关技能、应急处理的方法以及施工规程所提出的要求。与此对于新进场的人员要开展入场安全教育工作,对于处在关键岗位的人员要实施专项培训,针对施工过程当中出现的安全操作情形,要予以实时的监督并且进行考核。通过强化管理制度以及培训工作,可以把安全意识、操作规范同日常管理工作紧密地结合起来,促使施工人员在实际的操作环节当中能够

形成安全操作的良好习惯,进而有效地对事故的发生加以预防,提升配电网工程施工整体上所处的安全水平。

### 3.3 原材料及施工质量控制

配电网施工时,安全状况和工程质量紧密关联着。其中,原材料选取以及施工质量把控这两方面,属于保证整个工程能够可靠运转的关键环节所在。在正式施工之前,需要对所要用到的电缆、开关设备以及绝缘材料等展开细致的筛选工作,并且认真加以检验,务必要确认它们全都符合国家所规定的标准以及工程技术方面的相关规范要求才行。而在施工进程当中,则应当施行一系列的质量管理举措,针对那些极为关键的环节予以现场的实时监控,同时做好相应的验收事宜,以此来保证每一处工序都能够契合设计层面的要求以及规范方面的要求。施工单位还需构建起较为完备的质量追溯体系,一旦发现问题,就要及时地加以整改处理,并且要把施工记录详尽地整理归档起来<sup>[2]</sup>。凭借着严谨的材料管理以及施工质量控制手段,是能够切实有效地防止因为材料存在缺陷或者施工出现失误而引发的电力事故发生的,进而使得配电网在运行期间的安全性得以提升,稳定程度也能有所提高,同时也能够为后续的运维工作给予较为可靠的关乎数据方面的有力支撑。

### 3.4 设备运行与施工定期检查维护

在配电网施工完成之后,设备的运行以及定期开展的检查维护工作,这无疑是保证配电网能够长期且稳定运行的关键举措。施工单位需要去建立设备验收方面的相关制度,务必要确保所有的设备在安装环节都严格符合设计所规定的各项标准,并且其运行的各项参数也都能够达成预期所设定的要求。与此还得制定出定期巡检以及维护的具体计划,这其中就涵盖了像线路检查、针对开关设备展开的测试、对绝缘性能加以测定以及对接地系统进行检查等诸多内容,从而能够及时地将潜在的各类隐患给找出来并且加以修复处理<sup>[3]</sup>。定期实施的维护工作,一方面能够有效延长设备的使用寿命,另一方面也能够在很大程度上提升电网自身的可靠性以及供电的安全水平。除此之外,还应当充分借助信息化的相关手段,比如在线监测系统还有远程数据采集平台等,以此来对那些关键设备的运行状态展开实时的监控以及深入的分析,进而达成预防性维护的目的,实现科学的管理方式。凭借着设备运行和定期检查维护这两者之间极为有效的有机结合,便能够最大程度地去保障配电网能够做到安全、稳定并且高效地运行。

### 3.5 施工现场环境优化与安全管理

施工现场环境的优化以及安全管理工作,这可是保证配电网施工能够顺利推进的关键环节。在开展施工活动期间,得依据现场的实际状况,对施工区域做出合理的布局

安排,像通道怎么设置、材料要如何堆放、安全警示标识该怎样摆放以及作业区域该如何划分等方面都要考虑周全,以此来确保人员的各项活动以及施工机械的操作都能够井然有序且安全无虞。施工现场所处的环境因素,比如高温天气、雨雪天气还有风力情况等,这些对施工安全的影响是比较大的,所以就得采取相应的防护举措,像搭建防护棚、做好绝缘防护工作、构建排水系统以及设置临时支撑结构等。除此之外,还得针对施工现场的照明情况、通风状况以及噪声控制方面展开科学有效的管理,进而营造出一个既安全又健康的工作环境。施工现场环境的优化,一方面能够助力提升施工的效率,另一方面还能够在很大程度上降低意外事故的发生几率,它无疑是配电网工程施工安全管理体系里极为重要的一部分构成。不断地去优化施工环境,并且结合安全管理制度切实加以落实,如此便能够有效地保障施工人员的人身安全,促使工程得以高质量地完成。

## 4 结语

配电网工程属于电力系统极为关键的一个环节,其技术水平以及施工安全管理状况,会对电网的稳定性以及供电可靠性产生直接影响。通过对防误操作装置、设备技术、电网维护以及电能质量问题展开分析,能够察觉到在现阶段,配电网在技术应用、管理落实以及安全保障等方面依旧存在着一定的不足之处。在施工期间,凭借建立起科学的依据,强化安全管理与相关培训工作,严格把控材料以及质量,实施定期的维护举措,并且对施工现场环境加以优化,如此便可以有效地提升安全方面的水平,降低发生事故的风险。把智能监控和现代化管理手段综合起来运用,那么施工的整个过程便能够达成高效、安全并且规范的运行状态。伴随技术不断取得进展以及智能化管理得以广泛推广,配电网建设将会朝着高质量、高安全性以及可持续发展的方向去发展,进而为电力系统的稳定运行以及社会经济的发展给予有力的保障。

## [参考文献]

- [1]刘松,袁玉涛.配电网电力工程技术及其施工安全问题研究[J].光源与照明,2024(10):189-191.
- [2]文佳兴.配电网电力工程施工安全管理措施研究[J].光源与照明,2023(1):246-248.
- [3]井维波.配电网电力工程技术及其施工安全问题研究[J].自动化应用,2023,64(5):218-220.

作者简介: 吴珂哲 (1995.11—), 毕业院校: 新疆工程学院, 所学专业: 能源与动力工程, 当前就职单位名称: 国家能源集团新疆开都河流域水电开发有限公司, 就职单位职务: 基建管理, 职称级别: 助理工程师。

## 提高高低压配电柜安装质量的有效措施

林乃平

温州昌盛电力有限公司，浙江 温州 325800

**[摘要]**高低压配电柜在电力系统里属于极为重要的一种设备，它主要承担着配电、控制以及保护等诸多方面的功能，而其安装的质量状况会直接影响到供配电系统在运行过程中所呈现出的安全性、稳定性还有可靠性等多方面的情况。近些年来，随着建筑规模以及用电负荷不断地朝着增长的方向发展，高低压配电系统的复杂程度也在持续不断地提高，如此一来便对配电柜的安装质量提出了更高的要求。综合自身在工程实践当中所积累的经验，从安装质量控制所具有的意义、在实际操作过程当中常见的质量问题以及与之相对应的改进措施等多个不同方面展开较为系统的分析，进而提出能够有效提高高低压配电柜安装质量的具体路径，希望能够为相关的工程建设给予一定的参考借鉴。

**[关键词]**高低压配电柜；安装质量；措施

DOI: 10.33142/hst.v8i12.18456

中图分类号: TM9

文献标识码: A

## Effective Measures to Improve the Installation Quality of High and Low Voltage Distribution Cabinets

LIN Naiping

Wenzhou Changsheng Electric Power Co., Ltd., Wenzhou, Zhejiang, 325800, China

**Abstract:** High and low voltage distribution cabinets are extremely important equipment in power systems, mainly responsible for various functions such as distribution, control, and protection. The quality of their installation directly affects the safety, stability, and reliability of the power supply and distribution system during operation. In recent years, with the continuous growth of building scale and electricity load, the complexity of high and low voltage distribution systems has also been continuously increasing, which has put forward higher requirements for the installation quality of distribution cabinets. Based on the accumulated experience in engineering practice, a systematic analysis is conducted from various aspects such as the significance of installation quality control, common quality problems in practical operation, and corresponding improvement measures. Specific paths that can effectively improve the installation quality of high and low voltage distribution cabinets are proposed, hoping to provide some reference and guidance for related engineering construction.

**Keywords:** high and low voltage distribution cabinets; installation quality; measures

### 引言

在现代工业以及建筑工程领域当中，高低压配电柜被广泛地应用在电能分配、设备控制还有安全防护等众多关键环节之上，其已然成为电气系统里极为重要且不可或缺的核心构成部分。要是配电柜在安装的过程中存在着质量方面的缺陷，那便极容易引发运行时出现故障的情况，甚至还可能致使设备遭受损坏以及发生安全事故。依据实践情况可看出，不少电气事故并不是因为设备自身的性能有所欠缺，而是和安装阶段在管理方面做得不够到位、工艺执行得不够规范有着十分紧密的关联。所以说，从安装的整个过程着手去开展工作，全面且细致地梳理出影响高低压配电柜安装质量的那些关键因素，并且采取具有针对性的控制举措，这对于提高工程整体的电气质量水准而言，有着不容忽视的重要现实意义。

### 1 高低压配电柜安装质量控制的意义

高低压配电柜安装质量对于电力系统安全稳定运行而言，是极为重要的基础保障。其水平的高低，会对供配

电系统的长期运行状态产生直接的影响。高质量的安装，能够在很大程度上降低诸如接触不良、绝缘下降以及局部过热等一系列隐患出现的可能性，进而确保电气设备能够在额定工况之下实现安全运行。与此规范的安装工艺，还有助于提升系统运行的可靠性以及可维护性，使得后期检修的频率得以减少，运维成本也相应降低。从工程管理方面来讲，强化安装质量控制，能够提升项目整体建设的品质，避免出现返工以及质量纠纷等情况，这对于保障工程进度以及获取经济效益都有着十分积极的作用。所以，把高低压配电柜安装质量当作电气工程质量控制的重点内容来对待，有着十分明显的现实价值以及长远的意义。

### 2 高低压配电柜安装中存在的主要质量问题

#### 2.1 配电柜选型不合理问题

在部分工程项目的实施进程中，其前期的设计环节以及设备采购阶段，针对用电负荷所展开的分析工作，往往欠缺足够的全面性与一定的深入程度。如此一来，便致使所选取的高低压配电柜的容量与实际存在的用电需求之

间出现了某种程度的偏差,进而产生了容量偏小或者配置冗余不够合理的状况。当实际的运行负荷超出预先的设计范围之后,就很容易引发配电柜柜体出现发热的情况,而且还会使开关元件以及导体的老化速度加快,这无疑增加了故障发生的可能性,最终对整个配电系统的稳定性与安全性造成了影响。与此在进行选型工作的过程当中,配电柜的结构形式、内部元件的具体配置情况以及其对运行环境的适应性等方面,常常遭到忽视。比如说,通风散热方面的条件不够充足、元件的维护操作起来不太方便又或者是扩容的能力较为有限等情况。除此之外,对于那些大型工程或者用电负荷波动幅度比较大的场所而言,倘若没有预留出适当的冗余容量,那么该系统在面临高峰负荷的时候,就很容易出现超载的现象。这也进一步凸显出了科学且合理地进行选型工作的重要意义以及必要性所在。

## 2.2 安装准备不充分问题

安装前准备工作做得不充分,这无疑是影响安装质量的关键因素之一。部分工程在正式施工之前,并没有对施工图纸展开细致全面的核对工作,技术交底也仅仅停留在表面形式上,施工人员对于安装的具体要求没能做到精准把握,如此一来,实际施工情况和设计初衷之间便出现了偏差。与此对施工环境条件的检查不够彻底,像基础条件、空间尺寸以及通道条件这些方面都没有提前予以确认,这就使得在安装实施过程当中很容易出现返工以及调整的情况,进而对整体的安装质量产生了影响。

## 2.3 基础施工与柜体就位偏差

配电柜基础施工的质量和柜体安装的稳定性以及整齐度紧密相关,在部分工程里存在着基础尺寸存在偏差、标高并不一致亦或是预埋件位置不够准确等问题,这些问题致使柜体就位之后出现了倾斜以及排列不整齐等情况,这既对美观有影响,还有可能让柜内元件受力不均匀,进而使得设备的使用寿命有所降低。

## 2.4 线路敷设与接线质量缺陷

在高低压配电柜的安装流程当中,线路敷设以及接线这两道工序称得上是极为关键的核心工序,其质量状况与系统的安全运行、可靠运转有着直接且紧密的关联。可是在实际开展施工活动的过程中,那种导线排列得杂乱无章、走向设计不合理、标识标注不够清晰明确、端子压接得不牢固或者接线紧固工作没做到位等诸多问题,依旧广泛地存在于其中。这些种种缺陷,在施工完成之后的一段时间里,或许并不会很容易就被察觉到,然而随着系统长时间地持续运行下去,就极有可能会诱发诸如接触出现不良情况、局部产生过热现象、绝缘老化进程加速推进乃至发生短路故障等一系列问题。再者,因为线路敷设的相关规范没有得到切实有效的执行,使得回路管理工作陷入一片混乱状态,这无疑增加了维护工作的难度。所以说,要想切实有效地保障高低压配电柜能够实现长期稳定的运行以

及具备足够的安全性,那么提升线路敷设和接线方面的工艺水准、严格依照布线规范来执行各项操作、强化施工过程中的监督力度并做好验收工作,这几点的作用可以说极为重要且不容忽视的。

## 2.5 调试与验收环节流于形式

调试以及验收环节在高低压配电柜安装质量方面而言,可算作是最后一道极为关键的关口,其主要目的在于保证设备以及系统能够实现安全且可靠的运行状态。然而在部分工程当中,对于这一环节往往重视力度不够到位,检查所涉及的内容也并不够完备周全,试验数据的记录方式更是不够规范合理,如此一来便难以及时察觉到潜在存在的各类问题。在送电之前,缺少针对系统功能展开的系统性验证工作,这就使得一些隐蔽性的缺陷很容易就会进入到实际的运行阶段当中,进而致使后期出现故障以及运行方面的风险大大增加。所以说,应当对调试和验收的相关流程加以规范,要将试验数据详尽且完整地记录下来,做到能够及时发现所存在的问题并且对其进行相应的整改处理,唯有如此才能够切实保证配电柜能够长期处于安全且稳定的运行状态之中。

# 3 提高高低压配电柜安装质量的有效措施

## 3.1 科学合理进行配电柜选型

高低压配电柜在选择上要充分考虑现场的使用要求和安装环境,对电力设备的功率总数进行准确核算,避免出现高低压配电柜容量不够的情况,也应充分考虑检修和备用情况,选择一定的富余量。如果高低压配电容量不足时,便会因承受大于额定容量的负载导致用电设备或配电柜的损坏。故在选择高低压配电柜的时候,就应充分考虑此类情况的出现,避免该类情况对电网的稳定性造成影响。此外,不同型号的配电柜内部元件的质量和安装方式差异较大,在选型时,还要考虑配电柜内部元件的情况,选择检修方便、元件替换程度高的配电柜,并综合考虑配电室的内部环境。选择配电柜时,并不是进出口、高价的设备更适合本企业使用,要充分考虑自身的经济实力和使用要求,避免出现“大马拉小车”的情况,造成企业经济的损失。

## 3.2 规范安装前准备与技术交底

在高低压配电柜正式安装之前,需要充分做好各项准备工作,要对施工图纸展开细致且全面的审核,着重去核对设备型号、安装位置、基础尺寸以及电缆进出线方向等方面的内容,以此来保证设计方案能够与现场的实际条件相吻合。借助系统且规范的技术交底工作,让施工人员可以全面知晓配电柜的安装流程、工艺要求以及质量标准,清楚关键控制环节以及容易出现问题的地方。

## 3.3 严格设备进场检验与质量把控

设备运抵现场之后,需依照国家现行的相关规范以及合同所规定的技术要求,针对高低压配电柜展开细致且系统的检验作业。着重去查看柜体外观是否有出现变形、磕

碰以及涂层受损等状况，并且要仔细核对设备的规格型号、技术参数是否和设计文件相一致<sup>[1]</sup>。还需对出厂合格证、试验报告以及随机附带的技术资料的完整性予以确认。借助规范化的进场验收流程，可以及时察觉到设备在运输或者制造阶段可能存在的质量隐患，避免不合格的设备进入到安装环节当中，防止因设备自身质量问题给后续施工以及运行安全带来不利的影响，进而为整体安装质量给予可靠的保障。

### 3.4 强化基础施工与安装过程质量控制

在高低压配电柜安装期间，要严格把控基础施工的质量，着重针对基础尺寸、标高还有预埋件位置展开复核工作，务必要让其契合设计以及规范方面的要求，进而给柜体安装给予稳固且可靠的支撑条件。当柜体就位之际，需要依据现场的具体状况选用合理的吊装、定位以及校正的方法，以此来保证柜体的垂直度、平整度还有排列整齐度都能够达到技术标准的规定，并且切实有效地防止因为受力不均而引发的结构隐患问题<sup>[2]</sup>。与此借助于对安装全过程施行动态的质量控制手段，强化对关键工序以及重要节点的检查与验收环节，及时察觉并纠正施工过程中的偏差情况，如此便可以切实有效地提高高低压配电柜安装质量的整体水准。

### 3.5 提升一次、二次线路安装工艺水平

一次和二次线路的安装质量同配电系统的安全性、稳定性紧密关联，其属于保障高低压配电柜能够可靠运行的关键环节所在。在整个施工进程当中，务必要严格依照国家标准以及设计规范来行事，针对线路敷设的具体路径、走向还有固定方式做出合理的安排，务必要保证导线能够排列得整齐有序，端子压接要牢固可靠，标识需清晰且易于辨认，并且要妥善留出适量的线缆余量，以便于日后的检修工作以及后续的扩展事宜<sup>[3]</sup>。在施工期间，需要强化对线路敷设角度、弯曲半径以及束线密度等方面把控，防止出现线路受力或者受热不均的情况，进而降低老化的风险。借助提升施工工艺方面的水准、规范操作的相关流程以及强化施工管理工作，能够有效地削减因人为因素以及施工瑕疵所引发的潜在隐患，进而在一定程度上提高系统的运行安全性和长期的稳定性。

### 3.6 加强模拟试验与调试管理

在高低压配电柜送电之前，需要针对设备展开系统且细致的模拟试验以及功能调试工作。着重去验证各个回路、电气元件还有保护装置的运行状况，务必要保证一次回路以及二次回路的功能都能够正常运作。要一项项地核查报警、保护以及控制逻辑等方面的情况。在调试的过程当中，得严格按照规范化的操作流程来行事，对电流、电压、开关的动作情况以及控制信号等都要详尽地加以检测，并且完整地将各项试验数据以及调试结果都记录下来，方便后续进行追溯以及问题分析等工作。借助这样一种科学且有

条理的调试管理工作，能够及时把潜在的安装缺陷、接线方面的错误或者元件出现的异常等情况给找出来，并且在送电之前把这些隐患予以消除或者做出相应的调整，进而确保高低压配电柜以及整个配电系统在投入运行的时候能够达成设计所规定的性能指标，切实有效地降低运行期间的风险，提高系统的安全性以及可靠性。

## 4 高低压配电柜安装质量管理保障措施

要保证前面所提及的各项技术措施可以实实在在地得以落实，并且在实际施工进程中收获预期的效果，那就得从管理这个层面上着手去构建起一套科学且完备的质量保障方面的机制来。具体来讲，就是要清晰明确施工环节、监理环节以及项目管理各个环节与之相关的质量方面的责任，进而打造出一个层层都负有相应责任、每一环都能加以把控的管理体系。与此借助定期开展的以及不定期实施的过程监督举措，要能够及时察觉到施工过程中出现的偏差情况以及潜藏的各类隐患。还需建立起持续改进的相关机制，通过针对施工经验予以总结、对出现的问题展开分析以及对技术层面进行优化等一系列的操作，把安装管理方面的经验反馈到后续即将开展的工程当中去，以此来促使施工团队的整体质量意识以及操作水平都能够得到提升。凭借制度化且规范化的管理手段以及科学严谨的过程控制方式，不但能够确保高低压配电柜在安装时其质量能够持续不断地实现稳步提升，而且还能为整个配电系统日后能够安全可靠地运行给予强有力的制度方面的支撑与保障。

## 5 结语

高低压配电柜的安装质量在电气工程质量控制方面属于极为关键的内容，其实际水平和供配电系统的安全运行紧密相关。对安装过程中存在的主要问题展开系统分析，并且从技术以及管理这两个不同层面去提出具有针对性的改进措施，这对于全面提升安装质量是有帮助的。在未来工程实践当中，需要持续强化质量方面的意识，不断地对施工工艺以及管理模式加以优化，以此来为电力系统能够安全稳定地运行打下稳固的基础。

## 【参考文献】

- [1]权冰.提高高低压配电柜安装质量的有效措施[J].现代工业经济和信息化,2023,13(1):242-243.
- [2]秦学斌.建筑电气照明安装中高低压配电柜安装分析[J].光源与照明,2024(11):207-209.
- [3]霍磊.电力工程高低压配电柜安装及质量控制要点研究[J].电力设备管理,2025(19):296-298.

作者简介：林乃平（1973.9—），男，汉族，籍贯：浙江温州，现职称：初级（职务：班长），2012年7月毕业于中国湖北武汉大学江城学院，地质工程专业。最高学历：大专，现主要从事：配电安装工作或研究的方向。

# 输配电线路固定翼无人机隐患前端识别系统研究及应用

唐锐 谢亚婕 崔家瑞 姚平 刘鑫

国网新疆电力有限公司巴州供电公司，新疆 库尔勒 841000

**[摘要]**伴随智能电网建设的持续深入，输配电线路的平稳安全运行面临日趋严峻的挑战，传统人工巡检模式效能欠佳、风险较大、覆盖范围受限，无法契合现代电力系统精细化运维的要求。文章聚焦于输配电线路巡检过程中存在的隐患识别困境，开展探究并设计出一种基于固定翼无人机的前端隐患识别系统。该系统借助整合高清摄像、红外热成像、激光雷达等传感器，融合边缘计算以及深度学习算法，做到了对线路设备缺陷、通道环境异常等隐患的实时、精准判别与定位。实际应用验证，该系统明显增进了巡检效率与隐患发现比例，减少了运维开支，为输配电线路的智能巡检给出了有效的技术解决办法。

**[关键词]**输配电线路；固定翼无人机；隐患识别；前端系统；智能巡检

DOI: 10.33142/hst.v8i12.18464 中图分类号: TM755 文献标识码: A

## Research and Application of Front-end Identification System for Hidden Dangers of Fixed Wing Unmanned Aerial Vehicles in Power Transmission and Distribution Lines

TANG Rui, XIE Yajie, CUI Jiarui, YAO Ping, LIU Xin

Bazhou Power Supply Company of State Grid Xinjiang Electric Power Co., Ltd., Korla, Xinjiang, 841000, China

**Abstract:** With the continuous deepening of smart grid construction, the smooth and safe operation of transmission and distribution lines is facing increasingly severe challenges. The traditional manual inspection mode is inefficient, risky, and has limited coverage, which cannot meet the requirements of modern power system refined operation and maintenance. The article focuses on the identification dilemma of hidden dangers in the inspection process of transmission and distribution lines, explores and designs a front-end hidden danger identification system based on fixed wing unmanned aerial vehicles. The system integrates high-definition camera, infrared thermal imaging, laser radar and other sensors, and integrates edge computing and deep learning algorithm to achieve real-time and accurate identification and location of hidden dangers such as line equipment defects and channel environment abnormalities. Practical application verification shows that the system significantly improves inspection efficiency and hazard detection ratio, reduces operation and maintenance expenses, and provides an effective technical solution for intelligent inspection of transmission and distribution lines.

**Keywords:** transmission and distribution lines; fixed wing unmanned aerial vehicle; hazard identification; front end system; intelligent inspection

### 引言

输配电线路作为电力系统的“主动脉”，其可靠运行直接影响到社会生产与生活的平稳，线路布局广泛、所在环境繁杂。经常受到自然灾害、设备年久、外力损害等因素的干扰，造成隐患屡屡发生。传统依靠人工的巡检模式不仅劳动负荷大、时长多，而且在山区、沼泽等恶劣地势中执行困难，难以达成全面、及时的隐患排查。无人机技术特别是固定翼无人机，凭借其续航时长可观、巡检区域广泛、应对复杂环境能力突出等长处，在电力巡检领域呈现出极大潜力。因此，怎样达成隐患的实时、前端智能识别，仍是当前研究与应用中的关键难题。本文意在探究一种面向输配电线路的固定翼无人机隐患前端识别系统，借助多源数据整合与智能剖析，增强隐患识别的自动化与智能化水准，为电力系统安全运行维护给予技术保障。

### 1 系统总体架构与关键技术

#### 1.1 系统硬件组成与集成设计

固定翼无人机输电线路隐患智能巡检系统的硬件架

构，是一个为契合长距离、高成效、多维度探测需求而高度整合的技术平台，其关键飞行平台选用拥有长时间续航与大范围作业半径特点的固定翼无人机，诸如翼展超出2.5m、续航时间可达到3h以上的机型。该平台整合了高精度差分GPS与惯性导航系统，拥有全自动化的弹射/滑跑起飞以及伞降/滑跑降落功能，还可按照杆塔坐标自动生成最佳巡检航线，飞行控制精准度达到亚米级。机载任务载荷身为系统的感知中枢，凭借一个自主研发的轻型三轴增稳云台，紧密整合了三类专业传感器：一部拥有2000万像素的可见光变焦式相机，可以实现高清影像拍摄与视频记录；一台分辨率达到或超过640×512像素、热灵敏度高于50mK的非制冷红外热成像仪；以及一部测距精准度高于3cm、扫描频次达300kHz的轻便型激光雷达<sup>[1]</sup>。

为保证海量数据与飞行控制的实时对接，系统选用融合通信办法，遥控指令、飞行状况以及轻量级预警资讯借助覆盖范围宽广的4G/5G公网实施传输；而具备高带宽的可见光视频流、原始红外热像数据和激光雷达点云，借

助具备大带宽、低延迟特性的专用数传电台（运行在1.4GHz或2.4GHz频段，传输速度能够达到20Mbps以上）开展实时下传。整个载荷系统借助精细的轻量型架构与集成化供电管控设计，总体重量把控在3公斤以内，在保障传感器平稳运行的同时，最大程度地降低了对无人机续航及机动能力的干扰，达成了多源异构数据在空中的同步收集、实时处置与可靠传送，形成了前端智能感知的坚物理支撑。

### 1.2 边缘计算与前端智能处理框架

为应对输电线路巡检过程中海量数据实时处理面临的挑战，系统创造性地采用了“云-边-端”协同的边缘计算架构。其关键在于在无人机端整合一台具备高处理性能、低能源消耗的嵌入式AI处理器，比如配备NVIDIA Jetson AGX Orin或同等规格的计算模组。该处理器具备大于200TOPS的AI运算能力，还集成了16GB以上的高速运存，机载的轻量级AI模型历经深度优化与裁剪，体积可缩小至原始模型的五分之一以下，在飞行进程中可以同步接收来自可见光相机、激光雷达的数据流，以接近每秒15帧的处理速度开展实时在线推理，切实解决了单纯依赖云端回传造成分钟级延迟问题。

依托强劲的前端计算能力，系统实现了对关键缺陷的即刻检测。针对可见光图像而言，模型能够实时检测出导线表面的断股与散股（检测准确率>95%）、绝缘子伞裙的损坏与缺损；针对激光雷达所采集的点云数据，可即时算出杆塔的倾斜角度，同时迅速评定树障距离。在实施本地实时剖析后，系统并非回传初始GB级数据，而是借助智能压缩与特征提取手段，仅把隐患的类别、置信度、精准的GPS坐标、少量关键的特征图像块（像仅包含缺陷的512×512像素区域）以及量化后的参数（例如树障距离、倾斜角）等KB级的关键信息概要。经由数传链路传送至地面站，这种模式把数据回传带宽的需求减少了90%以上，让地面人员在无人机飞过隐患点后的2~5s内就能收到告警，达成了从“数据采集”到“隐患告警”的秒级闭环，显著提升了巡检作业的即时性与综合效率<sup>[2]</sup>。

### 1.3 多源数据融合与精准定位技术

系统借助基于激光雷达与GPS/IMU的组合式导航手段，达成厘米级精度的线路设备定位。借助对可见光、红外和点云数据实施时空配准与融汇，搭建线路走廊的三维数字化模型。基于此前提，运用目标检测与分割的算法，对隐患目标开展精准提取和标注工作，同时把它和地理坐标建立关联，为后续的维修决策提供确切的位置信息。

## 2 隐患智能识别算法与模型优化

### 2.1 基于深度学习的视觉隐患检测

为提高输电线路无人机智能巡检的自动识别水平，研究率先系统地搭建了一个大规模、高品质的典型缺陷图像样本库。该库针对实际巡检中最为常见的隐患种类，用心收集并标记了包含导线缠绕异物（像风筝、塑料膜）、防震锤与线夹等金具的松动或丢失、绝缘子串的闪络损坏

（包含电弧灼烧与破裂），以及杆塔塔材生锈、鸟巢构筑等总计超出10,000张高清可见光与红外图像，样本库充分顾及了不同光照状况（白天、黄昏）、天气情形（晴、雾、小雨）和复杂背景（例如山林、农田、城市）的多样性，为模型的稳定性训练搭建了坚实基础。

依托该样本库，研究采用且深度优化了先进的YOLOv5目标检测算法框架，主要改进包含：向主干网络当中引入卷积块注意力模块，让模型可以进一步聚焦于图像里的隐患关键区域；对特征金字塔网络（FPN）与路径聚合网络（PAN）结构进行了优化，达成了更具成效的多尺度特征融合，大幅增强了对小尺寸目标（如销钉级金具零件）以及和背景极度相似的缺陷（如灰色绝缘子上的裂纹）的识别能力。500张单独标注图像的测试集合上开展评估，经优化的模型于0.5的IOU阈值条件下，其平均精度均值（mAP）达到了92.7%，其中对“绝缘子闪络”和“导线异物”等关键缺陷的检测精确率（AP）都超过了95%，这些量化数据显示，该模型具有极高可靠性，已可满足实际线路巡检中高效、精准的自动化缺陷排查要求。

### 2.2 红外热像分析与异常温度预警

借助红外热成像手段实施的输电线路状态监测，重点在于打造精准的设备温度状态分析与预警机制。凭借装载高分辨率红外热像仪的无人机也或固定监测器具，定时收集线路中导线接续管、耐张线夹、绝缘子串、避雷器等关键部件的温度场分布数据。借助搭建动态的温升计算模型，将所测的设备表面温度跟同一时间的环境基准温度、历史同工作状况下的温度数据进行即时比对，计算出该设备的实际温升与相对温差，由此有效剔除环境跟负荷变化产生的影响，精确反映设备自身的老化或接触不良等故障<sup>[3]</sup>。

在识别阶段，算法一开始采用自适应阈值分割手段，根据图像直方图动态设定分割阈值，以消除不同季节、时段中环境背景热辐射差异带来的干扰。借助区域生长算法对初步切分出的潜在高温区域进行精准轮廓提取，甄选出真正的“异常热点”（如某相导线接头温度超出其他两相15K以上，或绝缘子单片温度出现异常升高）与日光反射之类的干扰。识别出的异常数据将同该线路段的实时负荷电流、环境风速等参数进行多元融合剖析，系统据此构建三级预警体系：当监测点温度上升超过30K却还未达到设备材料的极限状况时，给出一级（注意）预警；若温升超出50K或者相对温差超出95%的情况出现，发出二级（严重）预警并提议安排检修；当温度逼近安全阈值范围（如导线接头温度升至80°C）时，发出三级（紧急）警报并斟酌紧急削减负荷。该技术体系的施行，让原本依赖人工手持测温的“点检”模式转变为自动化、智能化的“面检”与预估，明显提高了预防因连接点过热熔断、绝缘子劣化击穿等引发故障的本领。

### 2.3 激光雷达点云处理与通道环境建模

依托激光雷达开展的输电通道三维建模，该技术流程起

始于对原始海量点云数据开展精细化预处理。运用统计学滤波、半径滤波等算法消除飞行器噪声与大气悬浮物的干扰,且借助基于点云特征(像强度、回波次数、空间分布)的分类算法。借助基于点云特征(像强度、回波次数、空间分布)的分类算法,把点云自动划分成“导线”“杆塔”“植被”“地面”及“建筑物”等独立图层,分类精度可实现95%以上。精准抽取出来的导线点云,可用来拟合其三维空间中的悬链线方程,由此重塑线路在微风、不同负荷情形下的精确弧垂形态;杆塔点云可用于剖析其倾斜、形变状况。

在要素提取结束时,系统自主进行精准的空间距离剖析与风险评判。针对树木障碍隐患,算法核算每一处植被点云(尤其是树冠的最高点)与下方导线点云在垂直跟水平方向上的最小间距。当检测到任意距离小于预先设定的安全距离(例如,针对110kV线路设定为3m)时,系统自动把该情况标记为树障隐患点,同时预估其需要修剪的体积。针对通道内的安全威胁而言,系统可识别并进行量化分析,像新建建筑物、临时施工吊臂、其他线路交叉跨越这类侵入物的空间位置、大小以及其与导线的最近间距。借助对动态收集的多期点云数据(像季度或者年度)加以比对,可达成对走廊内植被生长速率、施工活动进度的三维动态监测。此项技术能够让通道巡检效率提高70%以上,同时还可生成用于引导精准清障作业的树木砍伐量报告以及高风险侵入物预警地图,为线路的主动安全防护与长远规划提供具有厘米级精度的三维数据支撑<sup>[4]</sup>。

### 3 系统应用实践与效能分析

#### 3.1 典型区域巡检案例实施

在某山区500千伏输电线路巡检项目当中,本系统实现常态化安排与施行,固定翼无人机依照预设航线独立飞行,高效率实现约100公里线路的全范围巡检。系统借助前端智能识别组件,实时探测并锁定线路异常,累计精确识别出绝缘子自爆、导线上悬挂异物、杆塔基础遭受冲刷等安全隐患达17处,全部识别结果都经现场运维人员挨个核查,展现了系统在现实复杂场景下的高精准度与可靠性。本次实践切实证明了系统在长距离、大范围输电线路巡检当中的实用性和可靠性,为后续规模化普及应用夯实了坚实基础。

#### 3.2 巡检效率与经济效益评估

和传统人工巡检模式相比,本系统在效率和成效方面实现大幅提升,单次线路巡检所耗费的时间由原先的5天急剧缩减至2h,隐患识别的精准率从约70%提高到95%以上。系统自动化作业不仅消除了巡检人员高空攀爬、野外行走带来的安全危机,又明显减少了相关安全防护装备与管理开支。按照实际运维数据的统计结果,该线路段自系统投入使用后,每年综合运维成本减少约30%,经济效益十分突出,系统在增进电网运维智能化水准的同时,也为企业减少人力、压缩停电时段、保障供电安全性提供了有力保障。

#### 3.3 系统局限性与改进方向

目前系统在应对恶劣天气状况时依然存在一定的短

板,像大暴雨、浓雾等情形下图像采集与辨认性能易被影响,并且对部分少见缺陷类型的泛化识别能力仍有欠缺,就这些问题而言,今后会不断完善:一方面采用抗干扰性能更佳的多源传感器,同时拓展包含多样缺陷、复杂天气的训练样本库,以此增强算法模型的稳定性与识别完整性;踊跃探索和无人机集群协同巡检、数字孪生仿真平台等先进技术的融汇。搭建具备动态察觉、智能剖析和自主决断能力的智慧化巡检体系,进一步提高系统在复杂工况下的适应性与整体运维质量<sup>[5]</sup>。

### 4 结语

系统在硬件架构、数据处理及应用实践层面均呈现出优良性能,大幅提高了巡检效率与安全性,减少了运维成本。虽然在环境适应能力等层面依旧有待改进,但它作为电力智能巡检的重要技术途径,已呈现出广泛的应用潜力。未来伴随人工智能与无人机技术的不断进步,该系统有机会在电力系统及其他基础设施巡检领域起到更关键作用。

#### [参考文献]

- [1] 杨爱银,黄伟,张坤,吴海涛,王东华.基于无人机巡检的输配电线状态评估方法探讨[J].信息记录材料,2025,26(11):110-112.
- [2] 张琬婷.输配电线路无人机自主飞行技术及其在复杂环境中的应用[J].自动化应用,2025,66(6):121-124.
- [3] 黄志都,崔志美.固定翼无人机在输电线路防灾减灾中的应用[J].电工技术,2021(24):184-185.
- [4] 阮峻,陶雄俊,韦新科,李红盛.基于固定翼无人机激光雷达点云数据的输电线路三维建模与树障分析[J].南方能源建设,2019,6(1):114-118.
- [5] 周世祺,雷博.无人机技术在县域配网巡检中的应用[J].中国电力企业管理,2018(17):50-51.

作者简介: 唐锐(1987.8—),毕业院校:新疆工程学院, 所学专业: 电气工程及其自动化,当前就单位名称: 国网新疆电力有限公司巴州供电公司,就职单位职务: 国网巴州供电公司输电运检中心航巡班班长,职称级别: 工程师; 谢亚婕(1998.6—),毕业院校: 华北电力大学(北京), 所学专业: 测控技术与仪器,当前就单位名称: 国网新疆电力有限公司巴州供电公司,单位职务: 输电线路检修工作负责人,职称级别: 高级工/助理工程师; 崔家瑞(1998.4—),毕业院校: 塔里木大学, 所学专业: 电力自动化技术,当前就职单位名称: 国网新疆电力有限公司巴州供电公司,就职单位职务: 班员; 姚平(1995.10—),毕业院校: 新疆工程学院, 所学专业: 机械设计制造及其自动化,当前就职单位名称: 国网新疆电力有限公司巴州供电公司,就职单位职务: 专责,职称级别: 助理工程师; 刘鑫(1995.12—),毕业院校: 青海大学昆仑学院, 所学专业: 电气工程及其自动化,当前就职单位名称: 国网新疆电力有限公司巴州供电公司,就职单位职务: 输电运检一班副班长,职称级别: 初级。

# 智能电力技术在智能配电系统设计中运用

张孟雷

国网宁波市鄞州区供电公司，浙江 宁波 315000

**[摘要]**伴随电力系统朝着智能化以及分布式的方向不断发展，传统配电系统已经很难契合复杂负荷与多元能源接入方面的需求了。智能电力技术借助监测、通信、控制以及数据分析等手段，达成对配电系统的实时感知、自动调控以及故障自愈等效果。在系统设计环节当中，它一方面提升了运行的可靠性与灵活性，另一方面还对分布式能源接入、储能调节以及需求侧管理予以支持。这篇文章剖析了智能电力技术所具备的特点，同时也探讨了其在智能配电系统设计当中的具体应用情况，从而为系统的优化以及安全运行给予了一定的技术方面的参考。

**[关键词]**智能电力技术；智能配电系统；系统设计；技术运用

DOI: 10.33142/hst.v8i12.18445

中图分类号: TM992

文献标识码: A

## Application of Intelligent Power Technology in the Design of Intelligent Distribution Systems

ZHANG Menglei

State Grid Ningbo Yinzhou District Power Supply Co., Ltd., Ningbo, Zhejiang, 315000, China

**Abstract:** With the continuous development of intelligent and distributed power systems, traditional distribution systems are no longer able to meet the needs of complex loads and diversified energy access. Intelligent power technology achieves real-time perception, automatic regulation, and fault self-healing of distribution systems through monitoring, communication, control, and data analysis. In the system design phase, it not only improves the reliability and flexibility of operation, but also supports distributed energy access, energy storage regulation, and demand side management. This article analyzes the characteristics of intelligent power technology and explores its specific application in the design of intelligent distribution systems, providing technical references for system optimization and safe operation.

**Keywords:** intelligent power technology; intelligent power distribution system; system design; technology application

### 引言

随着电力系统朝着高效、清洁以及智能化的方向不断发展，传统配电系统已然面临着诸多挑战，像是电力需求呈现出快速增长的态势，多元化电源接连接入，而且运行环境也变得日益复杂化等。其原有的运行模式以及管理方式，已经没办法满足现代能源结构不断优化以及新型电力系统建设方面的需求了。智能电力技术的出现，给配电系统的转型给予了极为重要的技术方面的有力支撑。它把先进的监测技术、控制技术、通信技术以及信息处理技术融入到配电网当中，达成了对配电设备、负荷还有电力流的实时感知以及智能调控这一目标，促使配电系统从原本单一的供电网络逐渐转变成为具备多源特性、有多节点且能实现多功能协同运行的智能网络。在智能配电系统开展设计工作的整个过程里，智能电力技术不但可以给予准确的运行数据方面的有力支撑，还能给出科学的运行分析依据，与此它还能够对系统结构予以优化，让运行效率得以提升，供电可靠性也能获得提高，而且还能为新能源的接入、储能调节、需求侧管理以及自愈控制等诸多功能提供关键性的技术保障。近些年来，由于分布式能源、储能系统、电动汽车以及可再生能源纷纷大规模地接入，智能配电系统的设计需求变得越发复杂，呈现出多样化的趋势，

传统那种依靠经验来开展设计的方法，已经很难去适应新的这种发展态势了。所以说，把智能电力技术充分且广泛地应用到智能配电系统设计当中，一方面能够提升系统的灵活性、可靠性以及安全性，另一方面也能够为达成能源的高效利用、实现绿色低碳的发展以及电力系统的智能化提供相应的技术基础。本研究主要针对智能电力技术在智能配电系统设计当中的应用特点、所起的作用以及关键技术的具体实现路径展开系统深入的探讨，以此为智能配电系统设计给予理论层面的有力支撑以及实践方面的参考借鉴，同时也为新型电力系统的建设提供技术层面的保障以及明确的发展方向。

### 1 智能电力技术的特点

智能电力技术作为现代电力系统的核心，具有多方面显著特点。它具备自愈能力与高可靠性，能够在线评估和预测故障，自动隔离故障元件并恢复供电，从而提高系统韧性和供电连续性；同时通过实时通信和需求响应机制，用户可主动参与电力管理，优化供需平衡并降低成本；技术还可监测和治理电能质量，动态滤除谐波、稳定电压频率，满足敏感设备需求，并兼顾成本与质量；此外，智能电力系统支持可再生能源和分布式能源的即插即用接入，提升清洁能源消纳比例和电网灵活性；结合物联网和人工

智能技术，系统能实现设备状态监测、远程控制与能耗分析，从而优化资产管理并提升运营效率。

## 2 智能电力技术在智能配电系统设计中的作用

智能电力技术于智能配电系统设计之中，占据着极为重要的地位，它起到核心支撑以及关键引领的作用。智能电力技术与相关技术深度融合之后，有力地推动了传统配电系统朝着数字化、自动化以及智能化的方向去转型升级。在系统设计这个层面上，智能电力技术借助对配电网运行状态展开的全面感知以及实时采集操作，可达成对电压、电流、功率、负荷还有设备健康状态等诸多关键参数的精准监测，进而为配电系统的规划设计、运行控制以及优化决策给予可靠的数据方面的基础支撑。与此依靠先进的通信技术以及信息处理技术，智能电力技术冲破了传统配电网当中信息孤立以及响应滞后这样的局限情况，促使各类配电设备能够实现高效的互联以及协同运行，大幅度提升了系统整体的响应速度以及调度灵活性。就运行可靠性而言，智能电力技术通过引入智能分析与故障预判机制，使得配电系统在设计阶段便具备故障快速定位、隔离以及恢复的能力，有效缩减停电时长，强化系统的自愈性能以及供电可靠性<sup>[1]</sup>。随着分布式电源、电动汽车以及储能设备的大规模接入，智能电力技术在协调多元电源接入、平衡供需关系以及提升配电系统消纳能力等方面发挥着无可替代的重要作用，让配电系统设计更契合新型电力系统的发展所需。

## 3 智能电力技术在智能配电系统设计中的关键应用

### 3.1 智能监测与状态感知设计

在智能配电系统开展设计工作之时，智能监测以及状态感知这两个方面构成了实现系统能够安全且稳定地运行以及达成精细化管理目标的关键基础环节。智能电力技术会凭借在配电网那些关键节点以及重要设备之上布置多种类型的传感装置还有智能终端这样一种方式，针对电压、电流、功率因数、频率、温升、绝缘状态以及环境参数等诸多方面的运行信息展开持续且实时的采集操作，进而达成对配电系统运行状态加以全方位感知的目的。在着手进行系统设计的这个阶段当中，要是能够对监测点位以及感知层结构予以合理的规划安排，那么便可以切实有效地提升数据采集所能够达到的完整性程度以及准确性水平，从而为后续要开展的分析工作以及控制举措给予可靠的支撑助力。与此依靠着高速通信网络以及边缘计算技术，监测数据是能够实现就近地进行处理并且快速完成上传的，如此一来便能够让信息传输的延时情况得以减少，促使系统对于异常工况所具备的响应能力得到提升。智能状态感知技术还会通过对历史数据以及实时数据展开综合性的分析，进而实现对设备运行状态做出动态化的评估以及对运行趋势进行预判，使得配电系统在设计这一层面拥有早期预警以及风险识别的能力，从而切实有效地降低

突发故障出现的概率。除此之外，智能监测与状态感知的相关设计内容还能够为配电设备的状态检修以及全寿命周期管理给出相应的数据依据，推动运维模式从以往传统的定期检修朝着预测性维护的方向去转变，进而在确保供电可靠性得以维持的同时让运维成本得以降低。

### 3.2 配电自动化与远程控制技术应用

配电自动化以及远程控制技术属于智能电力技术于智能配电系统设计里的关键应用范畴，其主要目的在于达成配电设备运行状况的实时把控以及协同调度安排，在系统设计进程当中，把自动化控制单元、智能开关设备同通信网络予以有机结合，便能够构建起一个集成监测、分析以及控制功能为一体的配电自动化体系，让配电系统拥有快速的响应速度以及自适应调节的能力。智能电力技术依靠配电自动化系统，达成对馈线开关、环网柜、变压器分接头等关键设备的远程操作控制以及参数方面的调整，切实有效地降低人工操作所引发的滞后情况以及安全方面的风险，在运行期间，系统会依据负荷的变化情况以及运行工况状况自动施行调节策略，完成电压无功的优化处理、负荷的均衡分配以及运行方式的调整工作，进而提升配电网的运行效率并改善供电的质量<sup>[2]</sup>。与此远程控制技术的应用使得调度人员可以凭借集中控制平台来对配电网展开统一的管理，实现跨区域、跨设备的协同控制操作，大幅度提升配电网的调度灵活性以及应急处置的能力。

### 3.3 配电网故障诊断与自愈控制设计

配电网故障诊断以及自愈控制属于智能配电网系统达成高可靠性运行的重要技术支撑范畴，在系统设计环节占据着极为重要的位置。智能电力技术把在线监测、数据分析还有智能控制等多种手段融合到一起，赋予配电网能够快速识别故障、精准确定故障位置并且自动处理故障的能力。在开展配电网设计工作的时候，针对馈线、电缆、开关设备以及变压器等这些关键节点的运行数据展开实时的采集与细致的分析，如此一来便可以及时察觉到电流出现突变情况、电压存在异常状况以及设备状态发生改变等故障所呈现出的各类特征，进而实现对故障具体类型以及所在位置做出较为准确的判定。在此基础之上，智能自愈控制策略便可在没有人为干预的情形下，自动完成将故障区段予以隔离的操作，同时也可自动完成让非故障区域恢复供电的相关事宜，如此便能够大幅度地缩短停电所持续的时间，并且有效减少故障所造成的影响范围。与此依靠智能算法对历史故障数据以及运行工况加以综合性的分析，配电网在设计这个层面上就能够具备故障预测以及风险评估这两方面的能力，进而能够提前采取具有针对性的防控举措，以此来降低故障发生的几率。

### 3.4 分布式电源与储能系统接入设计

在智能配电网展开设计之时，分布式电源与储能系统的接入已然成为提升配电网灵活性以及适应新型电力

系统发展的关键内容。智能电力技术在这一过程中担负着统筹规划、协调控制以及优化运行等极为重要的作用。伴随着分布式光伏、分散式风电还有用户侧新能源设施大规模地接入进来，配电系统从传统的单向供电结构慢慢转变成了多电源、多节点这样复杂的运行模式，其电能流向以及运行状态都呈现出十分显著的动态性与不确定性。为了能够妥善应对这样的变化，在系统设计阶段把智能电力技术引入进去，就可以针对分布式电源以及储能系统的接入容量、接入位置还有运行策略展开综合性的分析并加以优化配置，从源头上减少新能源接入给配电系统安全稳定运行所带来的影响。借助智能监测与通信技术协同起来的应用，配电系统可以实时掌握分布式电源出力的变化情况、储能系统的充放电状态以及负荷的波动状况，以此来为后续的智能调度和控制给予精准的数据支撑。在这样的基础之上，智能控制技术能够依据配电网的实时运行工况，对分布式电源的出力水平以及储能系统的充放电策略做出动态调整，达成对功率波动的有效抑制以及对电压水平的合理把控，进而提升配电系统运行的稳定性以及电能的质量<sup>[3]</sup>。与此储能系统在智能配电系统当中还能够充当重要的调节与备用资源，在负荷高峰时段释放电能，在负荷低谷或者新能源富余时段吸收电能，充分地发挥出削峰填谷以及应急支撑的作用，强化配电系统的抗风险能力以及供电的可靠性。

### 3.5 用电信息采集与需求侧响应设计

用电信息采集以及需求侧响应设计属于智能配电系统达成精细化管理以及供需协同的关键构成部分，智能电力技术于其中起着基础支撑以及关键调控的作用。在系统设计环节，借助构建涵盖用户侧的用电信息采集体系，智能电力技术可以针对用户用电行为、电量变化、电压质量以及负荷特性等信息展开实时且精准的采集与传输，进而为配电系统运行分析以及调度决策给予可靠的数据来源。依托高效通信网络以及数据处理平台，所采集到的用电信息能够达成集中管理与深度挖掘，由此准确把握不同类型用户的用电规律以及负荷变化趋势。在此根基之上，需求侧响应技术经由引导用户参与到电力调节当中，达成用电负荷的柔性控制以及优化配置，在系统负荷高峰或者运行受限的时段，能够凭借价格激励、用电引导或者自动控制等方式来调节用户用电行为，有效纾解配电系统运行的压力。

## 4 智能配电系统的运行管理与安全保障

智能配电系统的运行管理以及安全保障，对于保障该

系统能够长期且稳定地高效运行而言，无疑是极为重要的基础所在，在系统设计以及实际的应用进程当中，其发挥着不容小觑的作用。伴随智能电力技术于配电系统之中得到广泛的应用，配电网络的运行管理也从原本的传统人工经验型管理模式，渐渐朝着依靠数据驱动并且具备智能决策功能的管理模式转变。在运行管理这个层面上，凭借智能监测手段、自动控制系统以及信息管理平台，便能够达成对配电系统运行状态予以实时掌控的目的，并且可以实现统一调度，经过对运行数据展开集中分析的操作，能够及时察觉到潜在的风险，并且对运行方式进行相应的优化处理，如此一来便能够提升系统整体的运行效率以及供电的可靠性。就安全保障方面来讲，智能配电系统在设计阶段便融入了多层次的防护理念，借助设备层、通信层以及系统层相互协同开展防护工作，以此来强化系统面对设备故障、信息异常以及外部干扰时的抵御能力<sup>[4]</sup>。与此依靠信息安全技术以及权限管理机制，能够有效地防范诸如数据泄露、非法入侵以及误操作这类风险，进而保障配电系统运行数据的安全性以及完整性。

## 5 结语

智能电力技术于智能配电系统设计方面发挥着颇为关键的作用，其不但让系统的监测能力得以提升，自动化程度有所提高，运行可靠性也获得了增强，而且还给分布式能源的接入事宜、储能调节工作以及负荷管理工作给予了相应的技术层面的保障。凭借对智能技术加以合理的运用，配电系统便可以达成高效、稳定且安全的运行状态，进而为现代电力系统的智能化进程以及可持续发展态势筑牢了根基。

### [参考文献]

- [1]郑文君.智能电力技术在智能配电系统设计中运用[J].电力设备管理,2025(20):171-173.
  - [2]应泽贵,秦界,邹仕富.智能技术与电力[M].北京:中国水利水电出版社,2023.
  - [3]商哲.电力物联网技术在智能配电房状态监测中的应用[J].电气技术与经济,2025(12):447-449.
  - [4]樊晓玲.新型电力系统下智能配电网技术在配电设备中的应用研究[J].现代制造技术与装备,2024(2):39-41.
- 作者简介：张孟雷（1980.6—），男，本科，国网宁波市鄞州区供电公司，工程师、高级技师，研究方向：水电工程和电气工程及其自动化。

# 基于区域生态特征的输电线路鸟害防治研究——以孔雀河畔为例

道杰 冉涛 魏强国 刘明敬 高新宇

国网新疆电力有限公司巴州供电公司，新疆 库尔勒 841000

**[摘要]**输电线路遭受鸟害是影响电网安全稳定运转的关键难题，特别是在我国生态环境呈现丰富多样性的区域。文章选取新疆孔雀河畔区域作为案例，结合其特有的生态特性，探究怎样根据实际情况开展鸟害防治工作，文章剖析了孔雀河畔的鸟类群落架构、活动特性及其与输电线路的相互关联作用，同时从生态保护与电网安全协同推进的层面，给出了基于区域生境管理、物理隔离优化和动态监测预警的综合性防治举措。本研究意在为相似生态敏感区域的输电线路鸟害防控提供理论支撑与实践借鉴。

**[关键词]**输电线路；鸟害防治；区域生态特征；孔雀河畔；协同保护

DOI: 10.33142/hst.v8i12.18463

中图分类号：X43

文献标识码：A

## Research on Bird Damage Prevention and Control of Transmission Lines Based on Regional Ecological Characteristics — Taking the Kongque River as an Example

DAO Jie, RAN Tao, WEI Guoqiang, LIU Mingjing, GAO Xinyu

Bazhou Power Supply Company of State Grid Xinjiang Electric Power Co., Ltd., Korla, Xinjiang, 841000, China

**Abstract:** Bird damage to transmission lines is a key challenge affecting the safe and stable operation of the power grid, especially in regions with rich and diverse ecological environments in China. The article selects the Kongque River area in Xinjiang as a case study, combined with its unique ecological characteristics, to explore how to carry out bird pest prevention and control work according to the actual situation. The article analyzes the structure and activity characteristics of the bird community along the Kongque River, as well as its interrelationships with transmission lines. At the same time, from the perspective of ecological protection and grid safety coordination, comprehensive prevention and control measures based on regional habitat management, physical isolation optimization, and dynamic monitoring and early warning are proposed. This study aims to provide theoretical support and practical reference for bird damage prevention and control of transmission lines in similar ecologically sensitive areas.

**Keywords:** transmission lines; bird damage prevention and control; regional ecological characteristics; Kongque river; collaborative protection

### 引言

伴随我国电网建设规模持续拓展，输电线路穿越各类生态地带的几率明显增大，鸟害问题越发凸显。鸟类在输电线路之上进行的栖息、飞行或筑巢举动，容易致使线路短路、跳闸甚至设备遭受损坏，极大降低供电稳定性。传统的鸟害防治手段大多着重于线路自身的物理性防护，然而常常忽视了区域生态特性与鸟类行为之间的深层次联系，防治成效欠佳且或许会对当地生态体系产生干扰。孔雀河畔坐落于塔里木河流域，是候鸟迁徙的关键路径和众多鸟类的栖息场所，生态意义重大，然而该区域电网分布密集，鸟害隐患程度较高。实施基于区域生态特点的输电线路鸟害防范研究，对于实现电网安全与生态保护的共赢目标具有重大意义。本文选取孔雀河畔作为案例，意在打造一套契合区域生态特性的鸟害防控体系。

### 1 孔雀河畔区域生态特征与鸟类活动分析

#### 1.1 区域自然生境与鸟类群落构成

孔雀河畔属于典型的干旱区河岸湿地生态系统类型，沿岸分布着胡杨树林、芦苇荡以及季节性积水凹地，为鸟类提供了充足的食物来源与栖息之处。该区域常见鸟类的

种类达 50 种以上，其中以白鹳、苍鹭等大型涉禽，同时还有红隼、猎隼等猛禽，也包含多种雀形目鸟类。这些鸟类的体态、习性特点与种群数目直接关联着其跟输电线路的交互频率和风险级别。

#### 1.2 鸟类活动时空规律及其风险关联

鸟类于孔雀河畔的活动展现出显著的季节性与昼夜节律。春秋候鸟迁徙时期，候鸟成群路过，飞行高度偏矮，极易与线路相碰；夏季作为繁殖时段，鸟类往往会在线路杆塔上建造巢穴，特别是大型鸟类的巢材或许会导致短路。每天的清晨与黄昏之际是鸟类觅食、迁徙的高峰时段，和线路交会的概率增大，鸟类活动频繁区域与输电线路通道重合度较大的地带，像湿地边缘与线路的交汇地带，是鸟害故障的多发地带。

#### 1.3 输电线路现状与鸟害故障类型

孔雀河畔地带输电线路以架空线路为主体，杆塔具有多种类型，以往故障记录表明，鸟害主要造成两类难题：一是鸟类的排泄物造成绝缘子出现闪络情况，特别是在潮湿气候下；二是大型鸟类舒展翅膀或叼衔材料引发相间或对地放电。当前防护设备如防鸟刺、驱鸟器的设置未充分

考量不同地段鸟类品种的差别，部分成效欠佳<sup>[1]</sup>。

## 2 基于生态特征的鸟害防治体系构建

### 2.1 分区段差异化生境管理策略

为切实减小鸟类活动引发线路故障(如放电、短路等)的风险，落实基于生态学原理的精准化防鸟策略十分关键。首要环节是借助系统的生态调研，对输电线路周边环境开展科学的风险分级，这需要长时间监测并剖析线路走廊及其周边地带的鸟类群落构成、种群数量、迁徙特征、日常觅食与飞行路线。按照鸟类的分布聚集度与活动频繁状况，将漫长的线路走廊确切地划分为高风险、中风险与低风险等不同区段。高风险区域一般是指靠近大型湿地、湖泊、水库、农田或者鸟类集中繁衍地的线路路段，这些地方鸟类的活动活跃度和撞击、栖息导线的几率明显增大。

在高风险地带，防鸟策略的关键并非单纯的被动驱离，而是积极地“疏导”与“分流”，即开展生境微调管理。具体做法包含，在输电线路物理保护区范围之外、但与鸟类吸引源处于同一侧或者距离更近的适宜位置，人工创建或优化出对鸟类更具吸引力的替代性生态环境。可开辟小型人工水体，栽植鸟类喜爱的植物，或于特定时节开展安全的饵料定点投喂。这些举措意在构建一个全新的、更为安全的“生态磁极”，将鸟类诸如觅食、饮水之类的日常活动从危险的线路旁引导出去，进而在不损害鸟类的情况下，从空间维度降低其靠近高压导线的需求。

对于经评判划定成中、低风险的线路地段，生境管理的侧重点便转向“保护”与“最小干扰”，应尽量留存走廊下方及两侧原本的、结构繁杂的自然植被，像灌丛、乔木林带之类。这类植被自身不仅是众多鸟类的栖息场所与食物供给源，还可提供充足的自然停歇点，降低鸟类将铁塔与导线当作歇脚之处的需求。要杜绝实施大规模、非必需的林木砍伐或土地修整，防止因人为对栖息环境的破坏而促使鸟类改变活动模式，进而提升其接触线路的风险。借助这种分区治理、管控协同的生境管理模式，实际上是聚焦于调节鸟类活动与输电设备之间的空间关联，从生态根源减少鸟类靠近和依附输电线路的意愿与频次，实现电网稳定运行与鸟类保护的长期协同发展<sup>[2]</sup>。

### 2.2 多类型物理隔离装置的优化配置

针对因鸟类活动引发的输电线路故障，物理防护装置的选择与搭配必须以对目标鸟类行为特性的深度认知为基础。不同种类的鸟类在身体形态、飞行模式、停歇喜好以及筑巢习惯方面呈现出显著的差别。这便要求防护举措具备高度的针对性，诸如鹳、鹤这类大型涉禽，还有像鹰、隼这类猛禽，不但身躯庞大、翼展宽阔，还更偏好于在视野明朗的输电铁塔横担、绝缘子串上方等高处位置筑巢，其巢材(树枝等)极有可能引发线路接地或短路，而部分中小型鸟类或许会在高速飞行跨越线路走廊期间，目光未能及时发现纤细的导线而引发撞击。

依据上述行为剖析，防护设备的优化配置应采用“一塔一策”或“一段一策”。针对大型涉禽及猛禽筑巢频繁的杆塔，必须采用强度佳、覆盖全的综合式防护办法，往往会在横担、地线支架等关键之处密集装设不锈钢防鸟刺，营造难以驻足的物理壁垒；在绝缘子串上方以及相邻的塔材结构部位，装设耐候特性优良的硅橡胶或高分子材料绝缘套层，全面封闭所有潜在的筑巢空间与可能引发短路的间隙。而在鸟类(特别是结群飞行的水鸟或雀形目鸟类)时常进行低空穿越或者沿通道定向飞行的线路区域，应当在导线和地线的前方或者上方，安装大型的鸟类可视线警示设备，像随风转动的反光驱鸟镜片、色泽明艳的警示球体，或拥有缓冲效果的柔性尼龙防撞网。这些装置意在借助视觉提示或者物理阻挡，预先提醒鸟类调整飞行路径，进而切实降低高速撞击导线的概率。

在全部物理防护装置的设计、选定与安装进程中，务必要将装置本身的耐用性、环境相容性以及对鸟类的安全保障摆在核心位置。防鸟刺等设备应杜绝带有锋利的末端，以防鸟类遭受刺伤；所用材料要能够承受长期日晒、降水、高低温起伏及紫外线老化的考验，保证防护效力长久稳定，降低因频繁更换产生的维护成本与二次干扰。其关键原则为，在达成有效分隔与警告的同时，最大幅度规避对鸟类形成直接危害，探寻设施安全与生态保护之间的精准平衡。借助这种以鸟类行为学为基础、根据不同地域情况、开展精细化综合运用的防护策略，才可以建立起一道既坚实实用又具备生态伦理的电力线路安全屏障<sup>[3]</sup>。

### 2.3 基于监测技术的动态预警与响应机制

为搭建科学、高效的输电线路鸟害防控体系，应充分运用现代信息手段，构建“无人机巡线+智能图像识别”的立体化、智能化监测网络。常规的人工地面巡查面临视野盲区范围大、效率欠佳、难以到达复杂地形之处等难题，而无人机具有灵活便捷、视角完整的优点，可定时对鸟类活动活跃的重点地段(像临近湿地、森林的线路)进行高分辨率影像数据的采集操作。装载可见光与热成像双光镜头的无人机，能够清楚地捕捉到杆塔上正在搭建或者已经建成的鸟巢、绝缘子串上残余的巢材、鸟类栖息的实时情形以及线路走廊范围内的鸟类集群活动情况，采集到的大量图像和视频数据。借助后台配置的智能图像识别算法开展自动剖析，算法经训练可精确识别不同鸟类、鸟巢类型及其精准位置，以此实现鸟类活动与隐患的早期、精准发掘。

为进一步增强防治工作的预见性与积极性，要对动态监测数据和多维环境信息开展深度整合。把无人机巡检所获的鸟类活动集中区域、巢穴分布情况的数据，和线路周边的实时与历史气象数据(像风力风向、温度、降水)、物候资料，以及该线路段过去的鸟害故障记录进行关联研究。基于这一前提，采用数据挖掘与机器学习方法，创建鸟害风险时空预测模型，该模型可剖析鸟类活动和气象状

况、季节更迭的关联规律，进而预估在春季迁徙、秋季南迁这类鸟类活动的高峰期，或者在狂风、浓雾等不利气象条件下，哪些具体区域的鸟害故障危险会明显上升。基于模型给出的输出，可预先向运维部门发布分级、分区的风险提示，引导其提前安排或强化针对性的防护手段，实现从被动响应到主动防控的转变。

当监测系统察觉已搭建的鸟巢或识别出高等级风险隐患时，应当有一套科学、规整且快速的应急响应流程给予保障。该流程起始阶段需对鸟巢状况开展评估，要是巢内没有卵或者幼鸟，可于鸟类非繁殖时期及时、专业地进行清除；倘若巢中存有鸟卵或者幼鸟，需要依照生态保护原则，优先运用设置临时防护隔板、绝缘套管等办法实施隔离，等到雏鸟离巢以后再去进行清理，兼顾供电稳定与鸟类繁衍权益。针对其他突发隐患，诸如大型鸟类停歇造成的放电险情，应迅速开启涵盖现场驱离、临时停电隔离的标准化应对程序。这套流程保证了在危急状况下，能够迅速、高效地管控风险，同时最大程度地降低对鸟类的人为损害，在保障电网安全稳定运转与履行生物多样性保护义务之间实现切实平衡<sup>[4]</sup>。

### 3 防治措施的实施评估与生态协同效益

#### 3.1.1 防治效果的多维度评估方法

为全面评测防治成果，首要任务是对比防治措施实施前后线路跳闸率、故障停运时长等关键硬性指标。凭借数据客观衡量防治措施在维护电网安全方面的实际成效，运用生态学标准的抽样手段，连续监测沿线鸟类种群的数量规模、种类构成状况及其空间分布的动态变化。科学评测防治举措对鸟类群落架构与生态特性的潜在作用，采用全周期成本效益分析模型，全面核算技术升级、装置安装以及运维方面的投入，并将其与因鸟害减轻所引发的故障损失降低进行对比，进而综合评判防治策略的经济可行性与长期可持续性，达成技术、生态与经济的多维平衡。

#### 3.2 生态保护与电网安全的协同实现

本防治体系的关键突破在于基础思路的革新，从以往单纯强制的“驱鸟”转变为“引导鸟类行为”与“规避电网风险”相融合的协作模式。借助推行栖息地优化、食物源指引等生境管控手段，并且结合不同区段鸟类活动特征布置差异化防护器具，既明显降低了鸟巢搭建、粪便闪络等造成的线路故障风险，又最大程度维持了孔雀河畔湿地生态系统的原真性与完整性。这种依托鸟类生态特性与行为习惯的防治手段，能够切实降低对鸟类的直接损害与长期干扰，彰显了电力设施运营与生物多样性保全目标的协同共进。

#### 3.3 长效机制与区域推广价值

为保证防治成果的稳固性与灵活性，建议促进形成电力、林业、环保等多部门协作管理机制，共享鸟类监测、栖息地演变等生态数据，统筹规划生态保护区与输电线路

走廊的空间分布。把孔雀河畔试点研究中验证有效的措施体系、技术参数以及管理经验加以系统梳理，制定标准化技术规程与操作手册。此模式可为其余拥有相似生态特点的区域，像江河湖库的沿岸地带、自然保护区的周边区域、湿地生态的相关区域等，给出一套科学、可复制且可调整的防治模式，以此带动全国输电线路鸟害防治工作往更加标准化、生态化和科学化的方向全面发展<sup>[5]</sup>。

### 4 结语

本文选取孔雀河畔作为案例，针对基于区域生态特征的输电线路鸟害防治问题展开了深度探究，高效的鸟害防控需基于对本地鸟类群落、活动规律以及生境特点的深度认知，达成从“单一技术防护”到“生态协同治理”的转变。借助分区域生境管控、差异化物理分隔和动态监控预警搭建的综合性防治体系，能够在维护电网安全运转的同时，助力区域生态保育。未来研究可以进一步留意气候变化对鸟类迁徙模式的效应，以及新型绿色防护材料的研发运用。

### 【参考文献】

- [1] 杨俊武,龙涛,李枚,等.架空输电线路涉鸟故障分析及防治对策研究[J].山西电力,2025(5):54-57.
- [2] 赵龙.架空输电线路鸟害故障分析及防治措施探讨[J].中国设备工程,2025(3):185-187.
- [3] 张宏伟.超高压输电线路鸟害故障分析与反措研究[J].江西电力职业技术学院学报,2024,37(12):6-12.
- [4] 陈原,范硕超,王馨,等.基于新型地线结构和运行方式的输电线路冰害防治技术[J].高电压技术,2024,50(11):4933-4941.
- [5] 段恒.输电走廊鸟害风险评估研究方法与可视化实现[D].广州:广东工业大学,2023.

作者简介：道杰（1973.8—），毕业院校：国家开放大学，所学专业：机电一体化，当前就职单位名称：国网新疆电力有限公司巴州供电公司，就职单位职务：班员；冉涛（1989.8—），毕业院校：江西经济管理专修学院，所学专业：金融管理，当前就职单位名称：国网新疆电力有限公司巴州供电公司，就职单位职务：安全员；魏强国（1995.12—），毕业院校：新疆工程学院，所学专业：机械设计制造及其自动化，当前就职单位名称：国网新疆电力有限公司巴州供电公司，就职单位职务：班员，职称级别：助理工程师；刘明敬（1999.6—），毕业院校：新疆塔里木大学，所学专业：电力自动化技术，当前就职单位名称：国网新疆电力有限公司巴州供电公司，就职单位职务：班员，职称级别：助理工程师；高鑫宇（2000.1—），毕业院校：新疆理工学院，所学专业：电力自动化技术，当前就职单位名称：国网新疆电力有限公司巴州供电公司，就职单位职务：班员，职称级别：助理工程师。

# 35 千伏变电站熔断器更换登高风险防控路径研究

## ——以快速门型可拆卸式设备应用为核心

马月贵 王洪新 玉素甫 迪力夏提

国网阿克苏供电公司, 新疆 阿克苏 843000

**[摘要]**此研究着眼于 35 千伏变电站传统熔断器在更换期间所存在的登高作业风险这一问题, 全面且细致地剖析了快速门型可拆卸式高压限流熔断器的技术特性以及应用方面的优势, 着重对其于规避高空作业出现违章风险、提高运维效率等方面的有效途径展开探究。经由对该新型熔断器在结构设计层面的分析、安装维护便捷程度的评估以及推广应用策略的深入研讨, 论文明确指出该新型熔断器能够在很大程度上降低运维人员面临的安全风险, 与此同时还能提升设备更换的效率并提高其标准化程度。研究还从变电站初始建设的角度给出设备选型方面的建议, 并且综合经济效益与安全效益加以评估, 从而为电力系统的安全运维给予理论层面的依据以及实践方面的参考。

**[关键词]**高压限流熔断器; 登高风险; 可拆卸设计; 安全防控; 变电站运维

DOI: 10.33142/hst.v8i12.18472 中图分类号: TM71 文献标识码: A

### Research on the Risk Prevention and Control Path for High Altitude Replacement of 35 kV Substation Fuses — Core Application of Fast Door Type Detachable Equipment

MA Yuegui, WANG Hongxin, YUSUFU Dilixiati

State Grid Aksu Power Supply Company, Aksu, Xinjiang, 843000, China

**Abstract:** This study focuses on the risk of high-altitude operations during the replacement of traditional fuses in 35 kV substations. It comprehensively and meticulously analyzes the technical characteristics and application advantages of fast door type detachable high-voltage current limiting fuses, and focuses on exploring effective ways to avoid the risk of violations during high-altitude operations and improve operation and maintenance efficiency. Through in-depth analysis of the structural design, evaluation of installation and maintenance convenience, and promotion and application strategies of this new type of fuse, the paper clearly points out that this new type of fuse can greatly reduce the safety risks faced by operation and maintenance personnel, while also improving the efficiency of equipment replacement and enhancing its standardization level. The study also provides recommendations for equipment selection from the perspective of initial construction of substations, and evaluates the comprehensive economic and safety benefits, providing theoretical basis and practical reference for the safe operation and maintenance of power systems.

**Keywords:** high voltage current limiting fuse; climbing risk; detachable design; safety prevention and control; substation operation and maintenance

### 引言

目前, 巡维中心变电站为提高电网质量, 经常频繁投切电容电抗以保障电压频率质量, 使得变电站内 35kV 户外支柱式熔断器很容易熔断。更换熔断器需要高处作业并且 2 人配合才可完成, 同时存在较大安全隐患。在 35kV 变电站开展日常运维工作期间, 熔断器属于极为关键的保护设备, 而对其实施更换作业时, 往往需要涉及到登高操作, 如此一来便会产生明显的安全隐患。以往传统的熔断器更换办法, 是要求运维人员借助安全带来进行高空作业, 这种方式不但效率不高, 而且还极易诱发违章方面的风险以及安全事故的发生。近些年来, 快速门型可拆卸式高压限流熔断器问世了, 这无疑为解决上述所提及的问题给出了全新的思路。

### 1 传统熔断器更换作业的登高风险分析

传统熔断器在 35kV 变电站的应用, 一般要求运维人

员在更换熔管的时候开展登高作业, 这样的一种操作模式存在着诸多方面的安全风险。登高作业需要运维人员借助安全带以及攀爬设备, 在高空环境当中去实施熔断器的拆卸与安装工作, 如此一来, 不但使得作业的复杂程度有所增加, 而且很容易因为人员出现疲劳状况或者设备发生故障而引发坠落事故。依据相关的电力安全规程规定, 高空作业业务必要严格地落实各项安全措施, 然而在实际的运维过程当中, 由于时间方面比较紧迫或者资源相对有限的缘故, 运维人员有可能会把部分防护步骤给省略掉, 从而诱发违章的行为产生。比如说, 在更换熔管的这个过程里面, 运维人员得攀爬到数米的高度, 利用工具来开展拆卸作业, 这个时候要是安全带没有正确地固定好又或者是地面监护力度不够的话, 那么就特别容易造成较为严重的伤害情况出现。除此之外, 传统熔断器的结构设计往往并没有充分

考虑到便捷拆卸这一因素,这就致使作业所花费的时间变得更长了,进而将风险发生的概率进一步地放大了<sup>[1]</sup>。从长远的角度来讲,这种登高作业的模式不光是对人员的安全构成了威胁,而且还极有可能会因为操作环节出现失误而引发设备故障问题,进而对变电站的整体运行稳定性产生影响。所以说,深入且细致地去分析传统熔断器更换过程当中存在的登高风险,这既是探索新型防控路径的一个基础,同时也是推动技术革新的一项必要前提条件。

## 2 快速门型可拆卸式高压限流熔断器的技术特点

### 2.1 结构设计与可拆卸机制

快速门型可拆卸式高压限流熔断器在结构设计方面,很好地彰显出了模块化以及可拆卸的特性,这使得它在变电站运维环节当中有着颇为显著的优势。这种熔断器运用的是分体式的构造形式,主要涵盖熔管本体、固定基座还有连接部件这几部分。其中,熔管的部分是借助专门的卡扣机制来和基座实现连接的,如此一来就能够让运维人员在没有登高需求的情况下达成快速拆卸的目的。具体来讲,它的可拆卸机制是依靠精密的接口设计来发挥作用的,就好比采用螺纹或者锁扣这样的结构,以此来保证在高压的环境之下依然能够稳固地保持连接状态,并且方便凭借手动操作或者是借助工具来进行分离。依照设备的设计标准来看,这样的一种结构不但可以承受额定电流以及短路冲击所带来的影响,而且在频繁开展操作活动的过程中还能够维持良好的耐久性能。可拆卸机制还把绝缘材料的应用给融合进去了,比如说在熔管的外部去覆盖上高性能的绝缘层,从而避免在拆卸操作期间出现电击方面的风险情况。综合来讲,这种设计通过对各个部件的布局以及连接的方式加以优化,成功达成了熔断器的高效分解以及重组的效果,进而为运维人员营造出了更为安全的操作环境。

### 2.2 安装与维护的便捷性

快速门型可拆卸式高压限流熔断器在安装以及维护期间,呈现出极高的便捷程度以及良好的用户友好特性,这主要是由于其工作流程较为简化,并且有配套工具给予支持。在安装环节,运维人员仅仅凭借常规绝缘凳以及配套拆卸工具,便能够在地面或者低矮的位置顺利完成熔断器本体的固定与连接操作,完全不需要借助高空作业设备。如此一来,既缩短了安装所花费的时间,又降低了人员培训方面的成本,毕竟操作步骤简单且直观,即便是新手运维人员也能够快速掌握其中要领。就维护层面而言,熔断器的熔管采用了标准化的设计方式,能够与常规库存配件实现兼容,这就让更换过程变得更加高效。举例来讲,当熔管出现损坏情况时,运维人员可以直接从库存当中取出备用件,然后使用配套工具迅速完成替换操作,从而避免了因配件不匹配而引发的延误问题。除此之外,这种熔断器的维护流程还着重强调预防性检查,也就是通过定期对连接部件以及绝缘性能展开检测,以此来保证设备能够长时间稳定地运行。正是由于具备这样的安装与维护便捷性,

快速门型熔断器在变电站运维领域逐步成为了优选方案,进而有效地提升了整体的工作效率以及安全性。

## 3 快速门型熔断器在登高风险防控中的应用路径

### 3.1 无需登高更换熔管的安全优势

快速门型熔断器在登高风险防控方面的应用,最突出地展现于其无需登高便能更换熔管这一安全优势之上。这一特性从源头上彻底消除了高空作业所可能带来的种种潜在危险。与传统熔断器不同,其更换时需要运维人员攀爬到设备的高处,并且要借助安全带来开展作业,而新型熔断器却可以通过在地面的操作,就能够顺利完成熔管的拆卸工作,如此一来,就极大地降低了出现坠落以及遭受电击的风险<sup>[2]</sup>。运维人员仅仅需要站在地面,凭借配套工具针对熔断器本体实施解锁以及更换操作,整个操作流程当中根本无需做出任何登高的动作。这样的安全优势一方面对人员的生命健康起到了保护作用,另一方面也使得因高空违章操作而引发的安全事故发生的概率有所减少,就像某些电力安全研究报告所明确指出的那样,地面作业是能够把风险发生率控制在最低程度之内的。

### 3.2 配套工具与绝缘凳的协同使用

快速门型熔断器在应用时,配套工具和绝缘凳协同使用,让风险防控效果更好。协同机制优化操作流程,让作业更便捷、安全。运维人员依据现场情况选合适高度的绝缘凳作辅助平台,配合专用工具操作熔断器。绝缘凳有稳定支撑面,方便运维人员接触熔断器部件;配套工具有人性化手柄和绝缘涂层,在高压环境安全使用。协同使用简化拆卸,避免工具不匹配或平台不稳引发意外,能将更换时间减至传统方法一半以下。

### 3.3 规避高空违章作业风险

快速门型熔断器的应用途径还涵盖有效规避高空违章作业方面的风险,这是凭借其自身的设计特性以及操作规范一起来达成的,由此在运维过程当中大幅度降低了人为出现失误的可能性。在传统的登高作业里面,运维人员往往会因为存在时间方面的压力或者出现疏忽的情况而违背安全规程,比如说没有将安全带系好又或者是跳过了检查的相关步骤,然而新型熔断器借助地面操作的方式把这些隐患都消除了。当运维人员在更换熔管的时候是不需要去攀爬到高处的,如此一来便从根源上避开了在高空作业当中使用安全带所可能出现的违章行为。与此快速门型熔断器的操作流程还融入了多种防护举措,比如在拆卸工具上面设置安全锁以此来防止误碰到高压部件,进而更是进一步地缩减了风险发生的几率。

### 3.4 标准化配件与快速更换机制

快速门型熔断器在登高风险防控方面的应用,还得依靠其标准化配件以及快速更换机制。该机制借助统一部件规格并简化流程的方式,达成了高效运维,并且把风险尽可能地降至最低。所有的熔断器熔管都运用常规库存配件,也就是说,运维人员在有需要的时候,能够直接从现有的

储备中取用，不需要去定制或者等待配送，如此一来便能大幅度缩减更换所花费的时间。当熔管出现损坏情况之后，运维人员仅仅需要凭借配套工具展开快速的拆卸以及安装操作，整个这个过程能够在短短几分钟之内就完成，进而避免了因为配件延迟而致使设备停机的状况发生。这样的标准化设计还进一步保证了部件具备互换性以及可靠性，也使得因不匹配而引发的操作错误得以减少。

#### 4 推广应用策略与效益分析

##### 4.1 变电站初期建设的设备选型建议

快速门型熔断器推广策略里，变电站设备选型建议很重要。建站规划时，优先用新型门型变维护型高压限流熔断器，减少后续登高风险。设计时，工程师要综合考虑设备布局和运维需求，选可拆卸式熔断器作标准配置，避免后期改造耗费成本且有安全隐患。长期运行数据说明，新型熔断器能大幅降低维护频率和事故率，初期投入后可持续获益。把快速门型熔断器纳入初期建设方案，变电站可提高安全水平，还可优化整体资源分配。

##### 4.2 运维人员培训与操作规范制定

推广应用快速门型熔断器，还有一项关键策略，那就是强化对运维人员的培训，并且制定操作规范。借助系统性的教育以及管理举措，要让人员能熟练地掌握新设备的操作技巧，同时也清楚其安全方面的要求。培训所涉及的内容，得包含熔断器的结构原理、拆卸安装的具体步骤，还有风险防控的关键要点。比如，得教给人员如何正确使用绝缘凳以及配套工具，以此来提升他们的实际操作能力。与此在制定操作规范的时候，要依据实际的运维经验，把每一步骤的责任以及标准都明确清楚，防止因为理解出现偏差而出现违章的行为<sup>[3]</sup>。通过这样把培训和规范相结合起来的策略，运维人员不但可以高效地使用快速门型熔断器，而且在日常的工作当中，还能逐步形成安全方面的意识。

##### 4.3 安全风险防控体系的完善

完善安全风险防控体系乃是推广快速门型熔断器的关键核心策略之一，该体系经由整合技术、管理以及监督等诸多要素来构筑起一套完备的防护网络，以此来妥善应对变电站运维过程当中出现的各类风险情况。这一体系应当涵盖定期开展的风险评估机制，比如针对登高作业环节要实施动态化的监控举措，从而能够及时察觉到潜在的隐患所在，并且加以纠正处理。从管理方面来讲，需要制定出详尽的安全规程，着重凸显快速门型熔断器所具备的应用优势，同时还要把它纳入到标准的操作流程当中去。就监督环节而言，则得强化现场的检查工作，务必要确保运维人员严格遵循地面操作的相关原则，防止出现任何形式的违章行为。借助于系统化防控体系的建设，快速门型熔断器不但可以在技术层面上有效降低风险，而且还能在管理层面有力地推动持续不断的改进进程。

##### 4.4 经济效益与安全效益评估

在推广并应用快速门型熔断器期间，对其经济效益以

及安全效益展开评估是极为关键的。该评估借助量化分析的方式，清晰地呈现出新设备在成本把控以及风险管控层面所具有的综合价值<sup>[4]</sup>。从经济效益角度来看，快速门型熔断器能够减少对登高作业的需求，并且能缩短更换的时间，如此便大幅降低了人力成本以及设备维护方面的费用。就像某些案例所呈现的那样，它甚至能让年度运维方面的支出降低大约百分之十五。而在安全效益方面，其体现在事故率有所下降以及人员安全得以提升这些情况上。通过规避高空违章的风险，变电站可以把伤害事件的数量减少到最低的程度。在评估过程中还应当考虑到间接收益，比如说因为设备可靠性得以提高而相应减少的停电损失，以此来全方位地反映出快速门型熔断器的应用优势。

#### 5 结束语

此项研究着重对35千伏变电站熔断器更换过程中存在的登高风险及其对应的防控路径展开分析，较为详尽地阐述了快速门型可拆卸式高压限流熔断器所具备的技术特点以及在实际应用中所呈现出的优势。经分析得出，该熔断器借助一系列机制得以发挥作用，像是无需进行登高操作便能完成熔管的更换工作，配套工具能够协同配合使用，以此来规避高空作业时可能出现的违章风险，并且依靠标准化配件实现快速更换等，这些机制共同促使运维工作的安全性以及效率都得到了切实有效的提升。就推广应用而言，不妨从变电站刚开始建设的时候便着手开展相关工作，同时结合针对相关人员的培训以及对防控体系加以完善的举措，进而达成让经济效益与安全效益双双得以提升的良好效果。在未来，随着电力行业对于安全方面的要求持续不断地提高，快速门型熔断器有希望成为标准配置，从而为变电站运维管理工作增添新的助力。

#### 【参考文献】

[1]施成云,李佳,李凯,等.一起变电站 35kV 站用变故障案例分析[J].电气开关,2023,61(5):103-106.

[2]刘建,杜健文,邵健,等.变电站高压熔断器备品监测装置[J].农村电工,2024,32(5):35-36.

[3]谢金鹏,张素慧,李军,等.某变电站高压跌落式熔断器瓷绝缘子断裂原因分析[J].陶瓷避雷器,2024(6):153-159.

[4]张成花.变电站 35kV 配电室电力设备损坏故障的分析处理[J].广播电视台信息,2025,32(6):73-75.

作者简介：马月贵（1984.8—），毕业院校：石河子大学，所学专业：电气工程及其自动化，当前就职单位名称：国网阿克苏供电公司，就职单位职务：变电运维中心专责，职称级别：高级工程师；王洪新（1990.8—），毕业院校：石河子大学，所学专业：电气工程师及其自动化，当前就职单位名称：国网阿克苏供电公司，就职单位职务：变电运维中心书记；玉素甫·迪力夏提（1990.1—），毕业院校：江南大学，所学专业：电气工程及其自动化，当前就职单位名称：国网阿克苏供电公司，就职单位职务：变电运维中心副主任，职称级别：中级职称。

# 智能化技术在风电场电气设计中的应用与优化研究

艾茂叶

河北能源工程设计有限公司，河北 石家庄 050000

**[摘要]**伴随全球范围内可再生能源发展进程不断加快，风电已然成为极为重要的清洁能源类型。其中，风电场电气系统设计方面智能化以及优化程度的高低，对于提升风电场实际运行效率以及可靠性而言是极为关键的。文中把风电场电气设计当作研究对象来开展相关研究工作。较为细致且全面地剖析了风电场一次系统以及二次系统的具体构成情况与相应的设计准则。着重就智能化技术的具体应用展开探讨，像智能监测、数据采集、智能选型、参数配置以及自动化控制与协同运行等方面都涉及到了。依据各项应用情况，还进一步给出了风电场电气设计的优化办法，从系统安全性、运行效率、经济性以及全寿命周期等多个不同角度去深入剖析，从而将智能化技术在提升供电稳定性以及降低运行成本方面所发挥出的明显成效给揭示出来，进而为风电场电气系统设计给予全新的思路与技术层面的有力支撑。

**[关键词]**风电场；电气设计；智能化技术

DOI: 10.33142/hst.v8i12.18462

中图分类号: TM614

文献标识码: A

## Application and Optimization Research of Intelligent Technology in Wind Farm Electrical Design

AI Maoye

Hebei Energy Engineering Design Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

**Abstract:** With the accelerating development of renewable energy worldwide, wind power has become an extremely important type of clean energy. The level of intelligence and optimization in the electrical system design of wind farms is crucial for improving their actual operational efficiency and reliability. The article regards the electrical design of wind farms as the research object to carry out related research work. A detailed and comprehensive analysis was conducted on the specific composition and corresponding design criteria of the primary and secondary systems of wind farms. Emphasis is placed on exploring the specific applications of intelligent technology, including intelligent monitoring, data collection, intelligent selection, parameter configuration, automation control, and collaborative operation. Based on various application scenarios, further optimization methods for wind farm electrical design were proposed, which were analyzed in depth from multiple perspectives such as system safety, operational efficiency, economy, and full life cycle. This revealed the significant effects of intelligent technology in improving power supply stability and reducing operating costs, providing new ideas and strong technical support for wind farm electrical system design.

**Keywords:** wind farms; electrical design; intelligent technology

### 引言

随着全球能源结构逐步完成转型以及低碳经济不断向前推进，风力发电在所有的可再生能源当中所占的比重也在持续不断地提升起来。风电场属于大规模利用风能的平台，在此平台上，其电气系统的具体设计情况会直接对发电效率、运行安全以及设备寿命产生影响。不过风速存在明显的波动情况，这就使得发电量呈现出不稳定的态势，传统的设计方法已经很难满足现代风电场对于智能化管理以及高效运行方面的需求了。所以迫切需要把智能化技术融入到电气设计的整个过程当中，以此来提高监测、控制还有优化方面的能力。近些年来，智能电网、人工智能以及数据分析技术都取得了相应的发展，这促使风电场电气设计从单纯的设备配置朝着全局优化以及智能管理的方向发生了转变。本文在对传统设计方法加以总结的基础之上，全面且细致地探讨智能化技术在风电场电气设计当中的实际应用以及优化情况，从而为提升运行效率、降低

运维成本以及确保供电稳定性给予一定的理论与技术方面的参考。

### 1 风电场电气系统设计基础

#### 1.1 风电场电气系统组成与设计原则

风电场电气系统关键由风力发电机组、集电线路、变压器、升压站以及二次控制系统构成，在设计进程里，得秉持可靠性、经济性还有安全性这些基本准则。可靠性准则讲的是系统即便面临风速出现波动、设备发生故障又或者遭受外部扰动的情形下，依旧能够稳稳当当地运行；经济性准则是说设备选型以及配置务必要把投资成本和运行效率都考量进去，要保证系统在整个寿命周期当中都有着不错的经济性；安全性准则包含了设备的运行保护情况、过载能力状况以及防护举措等方面，要保障电气系统在极为苛刻的条件之下不会给设备或者人员带来任何损害。在具体开展设计工作的时候，得妥善安排风机以及变压器的布局，对集电线路路径予以优化处理，要让短路电流以及电压损耗都处

于能够控制得住的范围之内，并且借助继电保护以及监控系统来对设备运行的状态实施实时的管理操作，进而达成电气系统能够高效、稳定并且安全地运行这样的目标。

### 1.2 电气一次系统设计要点

电气一次系统在风电场电能传输里是极为关键的核心环节，其具体的设计情况跟系统后续运行时的稳定性还有经济性有着直接的关联。就一次系统设计来讲，一开始得着手去做主接线方面的设计工作，要明确风机、箱式变压器以及升压站三者之间的电气连接方式，以此来切实保障功率传输能够具备可靠的特性。在集电线路设计的时候，得充分考量线路的实际长度、导线所具有的截面积还有电压的具体等级等因素，通过这样的方式来促使能量损耗得以降低，电压降幅度也能相应减少，并且还得满足短路以及过载能力的相关要求。至于升压站设计，则涉及到变压器容量的选择事宜、母线的布置安排以及厂用电源的配置等方面内容，只有把这些都妥善处理好，才能有效确保风电场可以和外部电网实现稳定的对接。无功补偿装置的设计在整个过程中也占据着十分重要的地位，它对于维持系统电压处于稳定状态以及提升功率因数都有着不容忽视的作用。在开展一次系统设备选型这项工作时，需要依据风机的容量、电压的等级以及所处的环境条件等不同方面的情况来进行科学合理的选取，与此同时还要充分兼顾设备本身所具有的可靠性以及运行过程中的经济性，从而给整个风电场带来安全且高效的运行所必需的基础保障。

### 1.3 电气二次系统设计要点

电气二次系统在风电场里担负着监控、保护以及通信调控等众多功能，其设计水准会对一次系统的安全性以及智能化程度产生直接影响。监控系统主要是用来实时采集风机、变压器还有升压站的运行状态方面的数据，进而达成故障预警以及状态分析的目的。继电保护装置在设计的时候要涵盖主变保护、线路保护以及配电保护等方面，务必要保证在设备出现异常或者发生故障之际，能够迅速地切断故障源头，防止出现连锁损坏的情况。通信与自动化系统在设计环节当中负责把现场设备的数据传送到控制中心，以此来实现远程监控、智能调度以及自动化控制等功能。二次系统设计应当把可靠性和实时性当作核心要点，运用先进的数据采集技术以及智能分析算法，从而确保风电场电气系统可以在复杂的环境状况下持续且稳定地运行，并且能够为后续的智能化优化给予数据方面的支撑以及决策层面的依据。

## 2 智能化技术在风电场电气设计中的应用

### 2.1 智能化监测与数据采集技术应用

智能化监测以及数据采集技术乃是风电场电气系统达成智能化管理的关键环节所在。借助于在风机、变压器、升压站还有配电线路上安装传感器以及测量装置这样的方式，就能够实时地去采集像电流、电压、功率、温度

以及振动等一系列的运行参数，并且把这些数据上传到控制中心来展开集中的处理工作。此项技术一方面可以实现对设备状态的实时监控，另一方面还能够凭借大数据分析来识别出潜在的故障以及运行异常情况，进而给风电场的预防性维护给予决策方面的依据。与此数据采集技术是能够对智能报警以及远程诊断功能予以支持的，如此一来便能够实现对运行风险的及时预警，尽力把设备停机的时间以及维护的成本都降到最低限度。当把监测数据和风速、负荷变化等相关信息相互结合起来的时候，风电场电气系统便能够在复杂的环境状况之下维持较高的可控程度，从而为后续的优化以及自动化控制筑牢了可靠的数据根基。

### 2.2 智能选型与参数配置技术应用

智能选型以及参数配置技术对于风电场电气设计而言，有着颇为关键的作用。它的核心在于借助计算机辅助以及算法优化方面的手段，针对电气设备展开科学的选择操作，并且做好参数配置相关事宜。就风机容量、变压器容量、母线布置还有集电线路设计等方面来讲，智能选型技术能够综合考量风速分布状况、电网接入的具体条件以及设备性能的各项指标，进而自动生成出最为理想的方案。经过对参数配置加以优化之后，便能够达成对短路电流予以限制的目的，同时还能促使功率损耗得以降低，并且让电压的稳定性得到进一步的增强，如此一来便提升了整个风电场的运行效率以及安全性。和传统的那种依靠经验来进行判断的设计方式不同，智能化的选型以及参数配置技术在提升设计的科学性、降低设计所面临的风险以及减少投资成本这些方面，都有着十分突出的优势，这就为风电场电气系统的高效运行筑牢了稳固的基础。

### 2.3 自动化控制与协同运行技术应用

自动化控制以及协同运行技术属于智能化电气设计里极为重要的一部分，它的核心目标在于达成风电场各个子系统之间的高效协同运转以及智能化的调度安排。在升压站、集电线路还有变压器等这些关键的环节去部署自动化控制装置，同时结合智能算法针对电压、电流以及功率展开实时的调节操作，如此一来便能够有效地去应对风速出现波动以及负荷发生变动时所带来的种种影响。协同运行技术还能够将多台风机以及变压器的运行状态加以整合，进而实现功率的均衡状态、无功的优化情况以及负荷分配的智能化控制，以此来确保电能输出具备稳定性，并且让系统运行有安全性方面的保障。自动化控制与协同运行这一技术一方面减少了人为的干预情况，另一方面提高了系统的响应速度以及精度，同时也给风电场智能化管理带来了可持续的运行模式，达成了风电场设计和运行管理的紧密融合状态。

### 2.4 智能电池储能系统在风电场中的应用

风电场由于风速的不稳定性，发电量也存在很大的波动。智能电力技术可以将电池储能技术与风电场相结合，

储存风电场过剩的电能，并在风速不足时释放储能，以保证风电场的稳定供电。智能电池储能技术的应用，不仅提高了风电场的可靠性，还可以有效降低风电场的运行成本，与此同时还能强化风电场在复杂环境之下的供电稳定性和经济性<sup>[1]</sup>。把储能系统和风电场监控以及自动化控制系统相互结合起来，是能够达成能量的动态调度以及智能分配的目的，这样可以平滑输出波动的功率，缓解电网所面临的压力，而且还能为风电场电气设计开拓出新的优化空间以及给予相应的技术保障，进而为未来大规模风电场的建设给予可靠的参考依据。

### 3 基于智能化技术的风电场电气设计优化

#### 3.1 电气系统安全性与可靠性优化

电气系统的安全以及可靠程度，乃是风电场设计予以优化时最为首要的目标所在。智能化技术能够针对关键设备的运行实际状态展开实时的监测，并且还能进行故障预测，如此一来便能够提前将潜在的隐患给找出来，进而让意外停机的风险得以降低<sup>[2]</sup>。继电保护装置同智能监控系统相结合之后，风电场便可以在设备出现异常情况或者遭遇外部扰动之时，迅速且精准地将故障源头切断掉，防止故障进一步蔓延而给整体系统带来不利的影响。与此智能算法还能够对设备的负荷状况、短路容量情况以及温升状态实施动态化的分析，并且做出相应的优化调整，以此来保证各类电气设备能够在额定的工况之下实现高效且稳定的运行状态。通过去构建起全方位且多层次的安全保障体系，风电场的电气系统不但达成了对于突发事件的快速反应效果，而且还提升了整体系统所具备的可靠性以及运行的连续性，从而为实现长期高效的运行给予了稳固有力的保障。

#### 3.2 电气系统运行效率与能耗优化

在风电场电气设计优化方面，运行效率和能耗控制属于极为关键的指标，它们对于实现经济性以及可持续性有着重要作用。智能化技术具备实时分析风电场功率输出、线路损耗以及设备效率的能力，并且能够借助优化母线配置、无功补偿以及功率分配等举措，达成能源的充分利用。自动化控制系统可依据风速、负荷以及储能状态来智能地调节风机出力与升压站功率分配，进而降低能量损耗，提升系统运行效率<sup>[3]</sup>。凭借数据驱动的优化方式，风电场在确保供电稳定性的基础之上，能够实现能源调度的最优化匹配，削减不必要的运行损耗，提高整体能效水平。与此智能化分析与仿真技术于设计阶段针对不同运行策略展开对比评估，给风电场在不同环境条件下的高效运行给予科学依据。

#### 3.3 设计经济性与全寿命周期优化

风电场电气系统设计时，既要提升设备运行效率，又

要兼顾全寿命周期的经济性。智能化技术能综合分析设备选型、运行策略和维护计划，达成投资与运行成本的最优平衡。借助智能监控与预测性维护，可提前制定检修计划，降低意外停机带来的经济损失，延长设备寿命，减少更换频率。在全寿命周期优化方面，智能化工具可对风电场建设投资、运行成本、能量产出以及设备折旧展开系统分析，制定出科学的设计和运维方案，给投资决策提供量化依据。把智能化设计和经济分析结合起来，风电场能在确保系统稳定性和可靠性的同时实现长期经济效益的最大化，还能为未来规模化风电场的规划与建设提供参考。

### 4 结语

本文全面且细致地剖析了风电场电气系统设计所涉及的各项基础要点，同时也对智能化技术于风电场电气设计当中的具体应用情况以及相关优化事宜展开了颇为详尽的探究。经研究可以发现，将智能化监测手段、数据采集技术、智能选型方式、参数配置方案、自动化控制机制以及电池储能系统加以运用，能够在很大程度上增强电气系统的安全防护能力以及其自身的可靠性程度，进而达成对发电设备以及电网所实施的动态化调控目的，使得运行过程中存在的各类风险得以有效降低。与此智能化优化举措在提升运行效率、削减能耗额度以及优化功率分配等諸多方面均起到了不容忽视的重要作用，并且借助全寿命周期设计的方式还能够实现经济性与可持续性这两方面的良好平衡状态。从整体来看，智能化技术给风电场电气设计赋予了全新的操作方法以及全新的设计理念，有力地确保了系统能够实现高效且稳定的运行状况，并且还为风能的高效开发利用以及新能源产业的蓬勃发展给予了极为坚实的科技支撑。伴随人工智能、大数据以及储能技术不断地向前发展演进，风电场电气系统的智能化设计与优化水平也将会得到进一步的提升，从而为风电产业的可持续发展源源不断地注入强劲的动力。

### 【参考文献】

- [1] 洪永国.风电场电气系统设计及潮流计算研究[J].科技与创新,2023(24):145-147.
- [2] 曲思源.某风电场电气系统设计与研究[D].株洲:湖南工业大学,2022.
- [3] 唐雪峰.风电场集电线路电气设计与故障研究[J].现代工程科技,2025,4(16):121-124.

作者简介：艾茂叶（1991.6—），毕业院校：河北大学，所学专业：电气工程及其自动化，当前就职单位：河北能源工程设计有限公司，职务：电气工程师，职称级别：工程师。

## 余热锅炉超温超压事故案例分析与防范措施

张靖衍

河北诺聘网络科技有限公司, 河北 石家庄 050000

**[摘要]**在工业领域中, 余热锅炉作为核心装备, 在有色金属加工、钢铁冶炼、化工生产等高能耗行业中有着重要的作用, 可以提高能源利用, 控制生产成本。然而在实际运行过程中, 超温超压事故是最危险的一种故障类型, 一旦发生, 不仅会导致设备损坏, 甚至会威胁现场操作人员的生命安全造成巨大的经济损失, 对企业的正常生产造成严重影响。鉴于此, 本次研究分析余热锅炉超温超压相关事故的典型案例, 对导致事故发生的原因进行分析, 并结合行业规范以及国家标准, 制定针对性的防范干预策略, 为提升余热锅炉安全运行、降低事故、保障现场人员的生命安全提供理论参考与实践指导。

**[关键词]**余热锅炉; 超温超压; 事故案例; 原因分析; 防范措施

DOI: 10.33142/hst.v8i12.18437 中图分类号: TQ086 文献标识码: A

## Case Analysis and Preventive Measures of Overheating and Overpressure Accidents in Waste Heat Boilers

ZHANG Jingyan

Hebei Nuopin Network Technology Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

**Abstract:** In the industrial field, waste heat boilers play an important role as core equipment in high energy consuming industries such as non-ferrous metal processing, steel smelting, and chemical production. They can improve energy utilization and control production costs. However, in actual operation, over temperature and over pressure accidents are the most dangerous type of fault. Once they occur, they not only cause equipment damage, but also threaten the safety of on-site operators, causing huge economic losses and seriously affecting the normal production of enterprises. In view of this, this study analyzes typical cases of accidents related to overheating and overpressure in waste heat boilers, analyzes the causes of accidents, and combines industry standards and national standards to develop targeted prevention and intervention strategies, providing theoretical reference and practical guidance for improving the safe operation of waste heat boilers, reducing accidents, and ensuring the safety of on-site personnel.

**Keywords:** waste heat boiler; overtemperature and overpressure; accident cases; cause analysis; preventive measures

### 引言

但随着国家节能减排政策的持续深化, 在工业企业领域中, 余热回收利用成为了提高能源利用效率, 控制生产成本的关键决策<sup>[1]</sup>。作为余热回收利用系统中的核心设备, 余热锅炉主要是通过回收工业窑炉、熔炼炉等设备排放的高温烟气所蕴含的热能, 借助高效的热交换机制将水加热生成蒸汽, 广泛应用于供暖、发电等环节, 为各类生产环节提供了必需的热能支持, 进而实现了能源的梯级利用<sup>[2]</sup>。然而余热锅炉在实际运行过程中高度依赖不稳定的工业余热热源, 余热锅炉进口烟气的温度与流量频繁波动, 且设备长时间处于高压高温的环境之下, 极易发生锅炉本体结构损坏、炉管爆裂等各类安全事故。超温超压是余热锅炉最典型的恶性事故类型, 当蒸汽压力超过额定压力时, 受热面材料的机械强度也会随之下降, 导致导管变形, 甚至发生破裂、引发锅炉爆炸<sup>[3]</sup>。鉴于此, 为了确保整个生产区域的安全稳定进行, 本文研究深入分析余热锅炉超温超压事故案例, 明确事故成因, 加强完善相应的防范策略。

### 1 余热锅炉超温超压典型案例分析

#### 1.1 XX 公司余热锅炉金属软管爆裂事故

##### (1) 事故概况

xx 公司新建艾萨熔炼技术生产铜及硫酸项目, 配套余热锅炉用于回收艾萨熔炼炉高温烟气热能。当班调度员听到巨响后, 通过监控发现锅炉房大量蒸汽喷出, 随即启动应急预案, 拉响警报并通知紧急停炉、人员撤离。事故造成多人伤亡, 直接经济损失较大。事后检测发现, 从熔炼炉到余热锅炉的冷却屏水纹金属软管爆裂, 大量高温饱和蒸汽喷出是直接原因。

##### (2) 事故原因分析

①直接原因: 冷却屏水纹金属软管存在固有的质量缺陷, 加之长时间处于恶劣的工况环境之下, 长期承受高温烟气的冲刷以及温度波动的反复冲击, 导致软管出现疲劳损坏、爆裂等问题<sup>[4]</sup>。该金属软管主要作为连接余热锅炉和熔炼炉的核心部件, 在材质选择方面, 如果没有充分考虑到烟气温度波动所带来的应力问题, 在设备运行过程中, 频繁的冷热交替下, 使得管壁内部产生变化, 管壁厚度不断降

低, 最终发生破裂, 进而引发高温蒸汽外泄的严重事故。

②间接原因: 一方面是设备在选型以及设计方面存在一定的缺陷, 在设计的过程中并未充分考虑到高温工况对于接部件的长期影响, 并没有安装有效的保护装置或未配置有效的热缓冲装置; 另一方面, 未实时监测热应力变化、关键连接部件(如冷却屏金属软管)的温度场分布及振动频谱等核心参数。

## 1.2 案例总结

通过对上述案例的分析可知, 余热锅炉超温超压事故的发生与多种因素存在密切相关, 包括设备的运行、制造、设计以及管理等多个方面<sup>[5]</sup>。材质选择、参数匹配不合理, 缺乏安装安全装置均属于设计缺陷, 是导致事故发生的先天性隐患。在设备运行过程中管理不规范, 也是导致事故发生的主要诱因, 未实时监测设备超负荷运行, 异常情况未及时处理等。除此之外, 并未按照规范做好设备的维护保养工作, 导致部分部件磨损老化, 加剧事故风险。

## 2 余热锅炉超温超压事故防范措施

### 2.1 优化设计制造, 消除先天性隐患

燃气-蒸汽联合循环电站中, 燃气轮机排烟温度达500~600°C, 直接排放会浪费热能。通常采用余热锅炉回收余热, 产生蒸汽驱动汽轮机做功, 提升机组效率。以2×400MW级9F燃机为例, 余热锅炉由多级受热面串联构成, 通过逆流传热实现多级换热, 使出口烟温降至120°C以下, 其管束材质依工况选用SA210C或TP347H不锈钢。控制系统需实时监测关键参数, 并根据负荷与燃机状态协调控制, 确保锅炉安全稳定运行。为了确保余热锅炉的安全运行, 合理的设计制造尤为关键, 因此需要结合运行工况的复杂性以及相关标准规范合理设计, 消除先天性缺陷。

在设备的参数匹配与材质选择方面, 设计过程中对热源烟气的温度以及流量波动范围进行深入的评估, 并结合实际运行工作制定相应的锅炉额定参数。高温烟气余热锅炉的连接部件以及受压部件优先选择具备抗腐蚀性、耐高温、抗疲劳等优异特性的材质<sup>[6]</sup>。严格按照相关规范做好材料的检验工作。如耐磨性能优异的管材适用于烟气含尘量高的场景中, 增强管材的抗磨损能力, 增加管壁厚度, 确保锅炉的长期稳定安全运行。

在安全保护装置设计方面, 配备烟气旁路分流装置, 在锅炉实际运行过程中, 当进口烟温超过设计值时, 该装置的旁路阀门能够迅速自动开启分流高温烟气, 可以有效防止锅炉超温。与此同时, 在锅炉受热面的关键部位设置压力监测点, 温度监测点, 实时监测锅炉的温度与压力, 及时掌握锅炉的运行状态, 及时发现潜在的安全隐患, 并采取相应的处理措施。此外, 对于锅炉所配备的安全阀、压力表等安全附件必须严格契合锅炉的额定参数要求, 其起跳压力的设置应严格按照1.05~1.1倍额定压力进行精确设置, 避免锅炉处于超压运行状态, 安全阀并具备手动起跳功能<sup>[7]</sup>。

此外, 在制造生产的过程中, 要严格按照焊接工艺规范进行操作, 确保焊接的质量。对关键部件进行严格的检验, 避免出现不合格的产品, 同时做好液压试验, 确保设备合规。

### 2.2 规范运行操作, 强化过程管控

余热锅炉运行过程中, 通过建立标准化的操作流程, 密切监测各项参数, 严格按照规范操作, 可以有效防范超温超压事故。锅炉处于正常稳定运行状态时, 锅内的压力可以维持在合理区间范围之内, 尽管出现波动, 幅度也维持在极小的范围内。然而, 当出现余热烟气量突增、给水系统运行异常、安全阀功能故障等突发状况时, 压力也会随之发生异常变化。工业余热锅的压力不仅具有突发性, 而且在现场容易受到温度、振动、电池等多因素的干扰, 影响压力测量数据的准确性。

在锅炉启动之前, 首先进行水质的检查, 严格把控给水质量, 确保给水硬度≤0.03mmol/L、含氧量≤0.05mg/L, 将锅炉水的pH值精准控制在9.0~12.0<sup>[8]</sup>, 以免锅炉内部结构甚至发生腐蚀的现象, 延长锅炉的使用周期。对各个阀门管道进行仔细检测, 确保排气阀给水阀处于开启状态, 排污阀、蒸汽阀处于关闭的状态。加强管道连接部位的检查, 确保无任何泄露的情况发生<sup>[9]</sup>。对水位计压力表进行校验, 手动测试安全阀的起跳功能, 通过对安全附件检查, 可以确保锅炉的安全运行。在锅炉的启动过程中, 严格把控升温升压的速率, 避免温度和压力的骤变对设备造成损伤。锅炉停运时, 逐步切断余热来源, 控制降温速率≤8°C/h。

加强完善在线监测体系, 实时监测锅炉运行过程中的关键参数, 包括蒸汽压力、进口烟温、锅水水质、出口蒸汽温度等。针对各个关键参数合理的设定相应的报警阀值, 当超出规定范围后, 系统会及时触发报警机制, 及时向操作人员发出警示信号, 及时调整运行工况。加强水质的管理工作, 通过在线监测以及实验室抽检严格执行水质日检制度, 保障各项水质指标严格契合GB/T 12145—2022要求。同时结合锅炉的具体运行状况, 定期开展锅炉的排污处理工作, 通过将锅炉的杂质与沉淀物及时排出, 可以有效防止结垢的发生。锅炉长时间没有运行, 需要提前24h向锅内注入经检验合格的锅水浸泡管壁, 在金属表面形成保护膜, 避免腐蚀。

### 2.3 强化维护保养, 保障设备健康状态

通过定期对设备进行维护保养, 可及时发现和处理设备磨损、老化等问题, 确保设备处于正常运行状态, 延长其使用周期, 以此预防事故的发生风险。严格按照相关标准要求设备说明书制定相应的检修计划, 全面检查锅炉的安全附件, 管道受热面等, 尤其要关注阀门的严密性、受热面是否出现磨损、腐蚀等异常情况。检修过程中一旦发现设备存在缺陷, 及时建立台账, 并对整改的责任与时间进行明确。若管道内结垢厚度超过1mm, 根据管道的材质、现场、实际工况等因素, 合理选择机械清洗或化学清

洗,以消除管道内壁的结垢,以使其恢复管道的正常流通。发现安全附件失效时,第一时间停机更换。若发现阀门垫片出现损坏情况,挑选耐油、耐高温且质量合格的垫片进行更换。对于烟气含尘量处于较高水平的余热锅炉,安排专人定期对受热面积灰进行清理,确保通流面积畅通。

#### 2.4 完善安全管理,健全责任体系

加强完善相关安全体系,对各岗位职责进行明确,加强对人员的培训工作,可规范管理流程,防范事故。以现场工况为依据,合理完善余热锅炉安全运行管理办法、检修维护操作规程、事故应急预案等一系列制度规范,清晰界定各岗位职员的职责,做到责任到人,精准管理。同时,严格遵循特种设备注册登记制度要求定期进行检验检测、安全评估,保障设备始终处于合规、安全的运行状态。组织检修人员、操作人员参加培训工作,培训过程中着重讲解设备的工作原理、故障判断,应急处理方法等,以确保人员可以深入了解并熟练掌握,提高人员的专业素质水平<sup>[10]</sup>。培训完成之后统一安排考核,通过后可以上岗工作。这之外,定期组织工作人员参加应急演练活动,通过模拟真实突发场景,实验人员在紧急状况发生下的处理能力,反应能力以及协同配合能力。运用风险评估方法,精准识别热锅炉在运行过程中起的潜在风险点,并根据风险发生的后果严重程度进行合理的分级,对于高风险环节,构建多层次全方位的管控体系,针对受压附近连接部位,在严格控制焊接工艺质量的同时,加强密封性能的监测与维护工作,及时消除风险隐患。

#### 2.5 优化应急处置,降低事故损失

加强完善应急处理机制,以便在事故发生时可以第一时间进行相应的处理,有效控制事态的发展,从而确保现场人员的安全,降低经济损失。

针对超温超压的事故,加强完善专项应急预案,对应急流程、职责分工、组织框架、救援干预策略等内容进行清晰明确。预案应清晰界定超温超压工况下的初期应急处理措施,及时启动烟气旁路阀,可以有效改变烟气流向,达到降温的效果。通过立即开启安全阀,实施泄压操作可以有效释放系统内的多余压力。切断余热热源供给,避免压力与温度的升高。与此同时,需要精准规划人员的撤离路线,以便在紧急事故发生下,人员能够快速安全的撤离。同时需要配备充足的应急装置,包括耐高温的防护服、应急照明、对讲机、防毒面具、防护手套、急救药品等,定期对装备的完好性进行检测,以确保在紧急状况下可以及时使用。

### 3 结论

余热锅炉超温超压事故仅会造成人员伤害,而且会造

成严重的后果,影响范围比较广泛。余热锅炉超温超压事故的发生与制造设计、运行以及管理等多个环节密切相关,因此,为了确保现场人员的安全,降低事故的发生风险,需要构建全生命周期安全防控体系。在设计制造环节应该严格把控参数以及材料,通过合理的选型以及参数优化匹配,完善安全保护装置,从源头降低事故的发生风险。设备运行的过程中,要严格按照标准化的作业程序,同时密切监测各项参数以及水质的动态管理。同时加强对设备的维护与保养工作,加强对人员技能的专业培训,应急管理体系的建设,配备标准化的应急物资装备库,定期开展演练,逐步提升应急的响应效能。工业企业应充分认识余热锅炉安全运行的重要性,根据现场的具体情况将防范措施落到实处,确保设备可以安全高效的运行,预防超温超压事故发生率,保障生产安全,推动余热回收利用产业持续健康发展。未来可引入AI算法预测压力异常趋势,拓展监测温度等参数,开发移动端APP提升操作便捷性。

#### [参考文献]

- [1]徐国望,易彬.催化裂化余热炉主体设备腐蚀成因分析与对策[J].长炼科技,2018,11(4):45-48.
- [2]陈阳.催化裂化装置高温烟气管道焊缝开裂原因分析及应对措施[J].石油化工设备,2024,53(4):74-77.
- [3]黄修行,麻克栋,韦文业,等.某供热锅炉腐蚀结垢原因分析及化学清洗[J].化学工程与装备,2024,12(8):89-93.
- [4]张世东.浅析锅炉省煤器泄露事故[J].内蒙古石油化工,2015,41(11):68-70.
- [5]林张新,姚锐,韦士波.燃气轮机分布式能源技术在导热油余热锅炉项目中的应用[J].今日制造与升级,2024,11(1):127-129.
- [6]崔新房,尤德峰,赵宇龙,等.上置式烧结余热锅炉在环冷机余热回收利用实践[J].冶金动力,2023(5):114-118.
- [7]陈嵩涛,朱德力,刘军,等.焚烧炉—余热锅炉系统不同负荷下运行能效与分析[J].锅炉技术,2023,54(5):61-65.
- [8]魏铭毅,张喧博,杜伟,等.余热锅炉汽水系统泄漏分析及特征提取[J].科技与创新,2023(16):70-72.
- [9]刘永明.某水泥厂余热发电系统用风测试及分析[J].建材技术与应用,2023,11(1):39-41.
- [10]唐寅,闫城,朱静,等.基于传热性能变化的余热锅炉故障诊断及应用[J].热能动力工程,2022,37(10):156-161.

作者简介:张靖衍(1988.5—),毕业院校:河北联合大学轻工学院,所学专业:热能与动力工程,当前就职单位:河北北诺聘网络科技有限公司,职务:职员,职称级别:中级。

## 水利水电工程中混凝土裂缝的防治措施研究

王永刚

定西水务城市供水有限公司, 甘肃 定西 743000

**[摘要]**在水利水电工程里, 混凝土裂缝这一普遍存在的技术问题直接影响着工程的安全性、耐久性和使用寿命, 所以经对国内外相关研究文献加以系统梳理并结合工程实践案例后, 文章深入剖析了水利水电工程中混凝土裂缝的成因机制、分类特征及其危害性, 研究表明温度应力、干燥收缩、外部荷载还有施工技术不当是造成混凝土裂缝的主要因素, 并且针对不同类型的裂缝, 文章构建起全过程防治体系, 涵盖设计阶段合理的结构布置与材料选取、施工阶段的配合比优化、温控措施完备化、浇筑养护规范以及运行阶段的监测和修复技术, 以大坝工程实例分析可知, 运用低热水泥、掺适量减水剂和微膨胀剂、控制浇筑温度、进行分层浇筑和分块施工等综合防治举措能使混凝土裂缝发生率降低 65% 以上, 这一研究成果对于指导水利水电工程混凝土结构的裂缝防治有着重要的理论价值和实践意义, 能给提高工程质量、延长使用寿命提供技术支持。

**[关键词]**水利水电工程; 混凝土裂缝; 成因分析; 防治措施; 温度应力

DOI: 10.33142/hst.v8i12.18454 中图分类号: TV544 文献标识码: A

## Research on Prevention and Control Measures of Concrete Cracks in Water Conservancy and Hydropower Engineering

WANG Yonggang

Dingxi Water Urban Water Supply Co., Ltd., Dingxi, Gansu, 743000, China

**Abstract:** In water conservancy and hydropower engineering, concrete cracks, a common technical problem, directly affect the safety, durability, and service life of the project. Therefore, after systematically reviewing relevant research literature at home and abroad and combining with engineering practice cases, this article deeply analyzes the causes, classification characteristics, and hazards of concrete cracks in water conservancy and hydropower engineering. The research shows that temperature stress, drying shrinkage, external loads, and improper construction techniques are the main factors causing concrete cracks. For different types of cracks, the article constructs a whole process prevention and control system, covering reasonable structural layout and material selection in the design stage, optimization of mix proportion in the construction stage, completeness of temperature control measures, pouring and maintenance standards, as well as monitoring and repair technology in the operation stage. Taking dam engineering as an example analysis, it can be seen that... The, The comprehensive prevention and control measures such as using low heat cement, adding appropriate amount of water reducing agent and micro expansion agent, controlling pouring temperature, layered pouring and block construction can reduce the occurrence rate of concrete cracks by more than 65%. This research achievement has important theoretical value and practical significance for guiding the crack prevention and treatment of concrete structures in water conservancy and hydropower engineering, and can provide technical support for improving engineering quality and extending service life.

**Keywords:** water conservancy and hydropower engineering; concrete cracks; cause analysis; preventive measures; thermal stress

### 引言

水利水电工程是国民经济重要基础设施, 在防洪减灾、水资源调配和清洁能源供应等方面有着不可取代的作用, 但长期以来混凝土裂缝问题一直是个困扰行业发展的关键难题, 并且近些年来随着白鹤滩水电站、乌东德水电站等大型水利水电工程不断建设, 混凝土结构裂缝控制技术成了研究热点。统计显示, 2018 年到 2023 年期间我国水利水电工程里因混凝土裂缝产生的维修成本占总维护费用超 30%, 这对工程安全和经济效益影响严重, 所以深入探究混凝土裂缝成因机制和防治措施有重要意义, 因为水利水电工程施工时地质条件复杂、气候环境极端、荷载作用强度大, 这使混凝土裂缝产生的情形更多样、情况更复杂, 像在高坝

大库工程里水化热造成的温度应力常常是裂缝主要诱因, 而在干旱地区则是干燥收缩更明显, 并且施工过程中技术有偏差、材料选得不好也会让裂缝形成和发展更严重。

国内外研究现状表明, 虽然混凝土裂缝的防治已有一定进展但存在不少欠缺, 国外学者在低热水泥、微膨胀剂等新材料应用上经验丰富而国内研究更看重结合具体工程实践给出综合防治办法, 现有的研究成果大多集中在单一因素分析且缺少系统性与全过程视角, 像设计阶段对结构布置和材料选择的优化考虑得不够、施工阶段对温控措施和养护工艺的精细管理不足、运行阶段对裂缝监测与修复技术的集成应用还需加强, 本文系统梳理国内外相关文献并结合实际工程案例构建起涵盖设计、施工和运行全生命周期的裂缝防治体系,

研究显示用低热水泥、加适量减水剂和微膨胀剂、严格控制浇筑温度、进行分层浇筑和分块施工等综合举措能大大减少混凝土裂缝出现的概率,这一成果不但给水利水电工程质量提高提供理论支撑也给行业可持续发展打下牢固根基<sup>[1]</sup>。

## 1 水利水电工程混凝土裂缝的形成机理与类型

### 1.1 混凝土裂缝的成因分析

在水利水电工程里,混凝土裂缝已然成为关乎工程安全与耐久性的关键要素,近年数据表明全球大概百分之三十的大型水利工程于运行五年之内会冒出不同程度的裂缝问题,裂缝成因繁杂主要是温度应力、干燥收缩、外部荷载以及施工技术不当等因素,水泥水化时释放热量致使内部温度升高,内外温差太大就形成热胀冷缩的温度应力,而混凝土表面水分蒸发太快造成体积收缩不均便有了干燥收缩,结构自重、水压力、地震力之类的外部荷载易让局部应力集中,施工技术若不当像配合比设计不合理、振捣不密实或者养护不到位都会让裂缝更多,这些因素相互作用就更难控制裂缝问题,所以深入研究裂缝产生的原因机制对制定科学有效的防治办法极为重要。

### 1.2 温度应力裂缝的形成机理

水利水电工程里最常见的裂缝类型当属温度应力裂缝,且在大体积混凝土结构中更为突出,近五年统计数据表明超40%的大坝裂缝问题由温度应力直接造成,水泥水化反应时释放大量热量致使混凝土内部温度快速上升而外部环境温度低时内外温差会产生明显热胀冷缩效应,温差带来的拉应力要是超出混凝土抗拉强度裂缝就产生了,并且由于混凝土导热性差热量传递慢这会使内外温差的累积效应更严重,研究显示昼夜温差大的地方温度应力裂缝出现的概率大大增加,所以优化混凝土配合比、用低热水泥、做分层浇筑等措施能有效削减温度应力对结构的影响进而减少裂缝产生。

### 1.3 干燥收缩裂缝的特征

干燥收缩裂缝一般呈现为表面积微小并且分布比较均匀的裂纹,它的主要特点在于裂缝宽度不大然而数量却不少,在混凝土硬化初期此类裂缝颇为常见,特别是在湿度低或者风速大的环境里更易出现,近五年国内外好多研究显示干燥收缩裂缝发生率跟环境湿度之间存在显著的负相关联系,混凝土表面水分蒸发速度要是超过了内部水分迁移速度,那么表面层就会产生体积收缩而内部依旧维持相对稳定状态,此种不均匀收缩致使拉应力集中进而形成裂缝,为了解决这一问题,合理控制施工环境湿度、及时覆盖养护材料还有掺加适量减水剂成了关键举措<sup>[2]</sup>。

### 1.4 结构应力裂缝的发展规律

结构应力裂缝的形成和发展呈现出显著的阶段性特点,其发展规律跟外部荷载作用紧密相连,在水利水电工程里结构应力裂缝主要是由像自重、水压力还有地震力之类的外部荷载所引发的,一般呈现出的是贯穿性裂缝亦或是局部应力集中区域的开裂状况,近些年的研究表明裂缝

的扩展进程能够细分为起始开裂稳固扩展以及失稳毁坏三个阶段。初始开裂阶段裂缝宽度小且扩展速度慢,进入稳定扩展阶段后伴随一定的塑性变形,裂缝逐渐向纵深方向发展,而在失稳破坏阶段裂缝扩展速度急剧加快,可能致使整体结构失效,针对此规律实施合理的结构布局,优化荷载分布强化薄弱环节的设计可有效放缓裂缝扩展进程进而提高工程的安全性与使用寿命。

### 1.5 化学反应引起的裂缝问题

化学反应引发的裂缝问题主要跟碱骨料反应以及硫酸盐侵蚀存在关联,其危害体现在裂缝具有不可逆性和长期性的特点上,近五年来全球范围内水利水电工程里大概百分之十五的裂缝问题跟化学反应有着关联,碱骨料反应指的是混凝土里的碱性物质跟骨料中的活性成分产生化学反应,从而形成膨胀性产物致使内部应力增大进而引发裂缝,硫酸盐侵蚀是因环境里的硫酸盐跟水泥石中的水化产物产生反应而形成石膏或者钙矾石,进而引起体积膨胀以及结构破坏<sup>[3]</sup>。这类裂缝一般呈现为网状或者龟裂状,并且会随着时光流逝逐步扩展,为防止此类问题的关键手段是选用低碱水泥,严格控制骨料质量以及掺加抗侵蚀外加剂。

碱骨料反应引发的裂缝,在工程实践中往往具有隐蔽性和滞后性。初期可能仅表现为微小裂纹,但随着反应持续进行,膨胀应力不断积累,最终导致混凝土结构严重开裂甚至剥落。研究表明,当混凝土内部碱含量超过  $3\text{kg}/\text{m}^3$  时,发生碱骨料反应的风险将显著增加。预防措施方面,除选用非活性骨料外,还可通过添加粉煤灰、矿渣等矿物掺合料来降低混凝土碱性。硫酸盐侵蚀则多发生在地下工程或近海工程中,其侵蚀速率与环境湿度、硫酸盐浓度及混凝土渗透性密切相关。在潮湿环境下,硫酸盐侵蚀速度可加快 2~3 倍,因此提高混凝土密实度、降低孔隙率是关键防治手段。此外,采用抗硫酸盐水泥或在混凝土表面涂刷防护涂层,也能有效阻隔硫酸盐侵蚀介质。

## 2 混凝土裂缝的防治关键技术与措施

### 2.1 材料配比优化技术

在水利水电工程里,混凝土材料的配比对其性能表现与抗裂能力起着决定性作用,研究显示水泥用量过多会使水化热增大且让温度应力导致的裂缝风险更严重,近年掺加适量减水剂、粉煤灰或者矿渣粉等矿物掺合料既能有效减少水泥用量又能改进混凝土工作性能,像某个大型水利工程用上低热水泥并掺进 20% 微膨胀剂后,混凝土早期收缩率大概降了 30%,而且合理控制水胶比也很关键,一般把水胶比控制在 0.4 以下能提升密实度和抗裂性,近五年的数据表明优化材料配比使混凝土抗拉强度平均提高了 15% 且大幅削减了干燥收缩造成的裂缝问题,这些技术用于工程既符合设计要求也为后续施工提供了靠谱的材料保证。

### 2.2 温度控制与降温措施

混凝土裂缝的形成温度变化是一个重要因素,在大体

积混凝土结构里更是如此且温差效应特别明显,为了解决这一问题国内外学者提出不少温控措施如预冷骨料、埋设冷却水管、分层浇筑等,以某大型坝体工程为例,在混凝土内部布置循环冷却水管并实时监测内部温度场分布后,内外温差被成功控制在 20°C 以内,从而避免了热胀冷缩造成的裂缝,夜间低温时做浇筑作业效果也不错,数据表明这能使表面开裂率降低 40% 以上,而且覆盖保温材料防止骤冷也很重要,尤其在昼夜温差大的地方,综合运用这些措施可大大提高混凝土整体稳定性并延长工程使用寿命<sup>[4]</sup>。

### 2.3 施工工艺的改进与控制

规范施工工艺对防止混凝土出现裂缝极为关键,当下方分层浇筑与分块施工成为主流技术手段,能有效减少一次性浇筑量大造成的热量积聚情况,就拿某个水库建设来说,实行分层浇筑方案且每层厚度严格把控在 50cm 以内再加上振捣设备保证密实度就达到了零裂缝的效果,而且模板支撑系统的稳定也不能忽视因为支撑不够的话就容易产生塑性沉降裂缝,这几年自动化设备普及了像智能振捣器、激光平整仪被引进使施工精度进一步提高,统计显示用了现代化施工工艺后混凝土裂缝发生率跟传统方式比降低了 50% 多,这充分说明技术创新很重要。

除了上述提到的分层浇筑与分块施工以及模板支撑稳定外,混凝土浇筑过程中的振捣环节同样不容忽视。振捣的充分与否直接关系到混凝土的密实度,若振捣不足,混凝土内部会存在大量孔隙,不仅降低强度,还会为裂缝的产生埋下隐患;而过度振捣则可能导致混凝土离析,同样影响其抗裂性能。因此,施工过程中需根据混凝土的性能和浇筑部位,合理选择振捣设备并严格控制振捣时间和频率。此外,施工缝的处理也至关重要。施工缝是新旧混凝土的结合面,若处理不当,极易在此处产生裂缝。在设置施工缝时,应选择结构受力较小的部位,并在浇筑新混凝土前,对旧混凝土表面进行凿毛、清洗,涂刷界面剂等处理,以增强新旧混凝土之间的粘结力。再者,施工过程中的环境因素也不容忽视。在高温、大风或低温等恶劣环境下施工时,需采取相应的防护措施。如在高温季节,可采取搭设遮阳棚、喷洒冷却水等措施降低混凝土入模温度;在低温季节,则需采取保温措施,防止混凝土受冻。

### 2.4 后期养护的科学方法

混凝土质量的保障中后期养护是最后一道防线且在高温干燥环境下其重要性更为凸显,研究显示及时洒水保湿对显著抑制早期干缩裂缝发展有作用,就像某个引水隧洞项目的例子,安装自动喷淋系统让混凝土表面一直保持湿润从而使龟裂现象基本没有了,并且塑料薄膜覆盖法在实际工程里也被广泛应用,这方法既能减少水分蒸发又能隔绝外界污染源,需要注意的是养护时长要按照环境情况灵活变动,通常建议不少于 14d,实践表明科学合理的养护措施能让混凝土强度增长率达到预期值的百分之九十

五以上进而给长期使用打下稳固根基。

### 2.5 裂缝修补与处理技术

再全面的预防措施也难完全防止混凝土裂缝产生,所以裂缝修补技术就很重要,灌浆法是常用修复手段之一,往裂缝注入环氧树脂或者高分子材料就能恢复结构整体性和防水性能,例如某水电站检修时宽度超 0.2mm 的裂缝用高压注浆技术后渗漏问题就解决了,碳纤维布加固法因其轻质高强特点在复杂受力区补强处理方面渐被关注,新型自愈合材料近年研发出来给裂缝治理带来新思路,这种材料能在一定条件下自己封闭微小裂缝从而大大降低维护成本,数据表明经专业修补后的混凝土结构承载能力与耐久性都能恢复到原设计水平的 90% 以上这就充分证明修复技术有效<sup>[5]</sup>。

## 3 结论

国家基础设施建设中水利水电工程是重要部分,其混凝土结构的安全与耐久直接影响工程长期稳定运行,而且这些年我国水利水电工程建设规模不断变大,混凝土裂缝问题越发明显并成为影响工程质量的关键因素之一,因为有研究显示温度应力、干燥收缩、外部荷载还有施工技术不当是造成混凝土裂缝的主要原因且温度应力和干燥收缩特别突出,尤其在大体积混凝土施工时,水化热集中释放又散热条件有限所以很容易产生贯穿性裂缝进而严重影响结构整体性能,针对这些问题人们研究出全过程防治体系且用工程实践证明该体系有效,像某个大型坝体工程就用了低热水泥、掺些减水剂和微膨胀剂这些办法再加上严格的温控技术和分层浇筑工艺使裂缝发生率降低了 65% 以上,此成果不但让类似工程有了能借鉴的技术路径,还给行业标准的完善打下基础,中国水利水电勘测设计协会 2022 年统计数据表明全国每年花在混凝土裂缝维修上的费用达几十亿元,所以系统化的裂缝防治措施经济效益和社会价值都很显著,以后新材料和智能化监测技术发展起来,混凝土裂缝防治手段会进一步优化,从而使水利水电工程朝着更高质量、更高效率发展。

### 【参考文献】

- [1]薛俊斌.水利水电工程施工中混凝土裂缝的防治技术[J].大众标准化,2022(7):80-82.
- [2]樊守亮.分析水利水电建筑工程施工中混凝土裂缝的防治[J].科技创新与应用,2020(30):129-130.
- [3]李险峰.水利水电施工中的混凝土裂缝防治技术[J].大众标准化,2024(19):43-45.
- [4]石宝林.水利水电工程施工中混凝土裂缝的防治技术研究[J].水上安全,2023(15):32-34.
- [5]张强.水利水电工程施工中混凝土裂缝的防治[J].山西水利科技,2021(3):40-42.

作者简介: 王永刚 (1985.10—), 毕业于大连理工大学, 专业: 水利水电工程, 就职于: 定西水务城市供水有限公司, 目前职称: 中级。

# 水利水电工程基础处理施工技术应用

朱雷

云南省水利水电勘测设计研究院，云南 昆明 650021

**[摘要]**水利水电工程是现代能源与水利设施建设的重要组成部分，其施工质量直接关系到工程安全及运行效率。基础处理作为关键施工环节，不仅决定了结构的稳定性与耐久性，也对施工周期、成本控制及环境保护提出较高要求。随着施工技术与工程材料的持续发展，基础处理方法正朝着高精度、高效率与绿色环保的方向不断推进。文中系统梳理了土石方处理、桩基施工、地基加固及防渗抗浮等关键施工技术，并结合质量控制、安全管理、绿色施工以及施工与运维衔接等方面的管理策略，提出一套系统化的工程管理思路，以期为水利水电工程基础处理施工提供技术参考与实践指导。

**[关键词]**水利水电工程；基础处理；施工技术

DOI: 10.33142/hst.v8i12.18457

中图分类号: TV551.4

文献标识码: A

## Application of Foundation Treatment Construction Technology in Water Conservancy and Hydropower Engineering

ZHU Lei

Yunnan Institute of Water & Hydropower Engineering Investigation, Design and Research, Kunming, Yunnan, 650021, China

**Abstract:** Water conservancy and hydropower engineering is an important component of modern energy and water conservancy facility construction, and its construction quality directly affects the safety and operational efficiency of the project. As a key construction process, foundation treatment not only determines the stability and durability of the structure, but also puts forward high requirements for construction period, cost control, and environmental protection. With the continuous development of construction technology and engineering materials, foundation treatment methods are constantly advancing towards high precision, high efficiency, and green environmental protection. The article systematically summarizes key construction technologies such as earthwork treatment, pile foundation construction, foundation reinforcement, and anti-seepage and anti floating measures. Combined with management strategies in quality control, safety management, green construction, and the connection between construction and operation and maintenance, a systematic engineering management approach is proposed to provide technical reference and practical guidance for the foundation treatment construction of water conservancy and hydropower projects.

**Keywords:** water conservancy and hydropower engineering; basic processing; construction technology

### 引言

水利水电工程在基础设施与能源开发领域具有重要支撑作用，其施工质量直接影响结构安全、防洪能力与发电效率。基础处理作为关键环节，其施工水平直接关系到工程的长期稳定性及经济效益。然而，此类工程多处于地质条件复杂、环境变化频繁的区域，且普遍具有规模大、周期长等特点，传统施工方法往往难以满足现代工程对精度、效率与环境保护的要求。因此，研究并应用先进的基础处理施工技术，具有重要的现实意义。本文结合工程实际，从施工技术与管理策略两方面系统分析其具体应用方法，以期为工程建设提供可操作的技术与管理参考。

### 1 水利水电工程基础处理施工要求

水利水电工程基础处理的施工质量直接关系到人民生命财产安全。从技术层面看，基础处理施工技术持续更新，要求施工人员及时掌握新技术，并借助新材料与工艺提升施工质量。水利水电工程通常规模大、施工要求严格，且作业范围广、环境复杂，因此基础处理施工必须结合现场

实际，制定科学的施工方案。具体而言，应注意以下几点：

第一，基础处理施工前，设计方应根据工程规模与建设要求合理设计施工图纸。图纸设计必须建立在全面调研的基础上，对施工现场的工程地质、水文地质等情况进行详细勘察，对地形地貌进行准确的测量，为设计提供完整准确的地形与地质资料。同时需结合工程特点，把握重点难点问题，按照相关法律法规和规程规范要求，及时提供设计图纸。施工方则应根据设计图纸，结合现场实际情况及时进行必要的调整与优化。

第二，水利水电工程往往工期紧张，且多选择枯水期作业以利于施工，因此工期压力较大。施工过程中应综合考虑各种潜在不利因素，科学选择生产工艺、施工方案及机械设备，识别风险并制定应急预案。

第三，水利水电工程涉及面广，施工中存在较多隐蔽工程，如地下工程开挖支护、基础处理等。这些工程在验收时不具备直观呈现的条件，因此必须重视隐蔽工程的质量控制，加强施工过程监管，及时处理隐蔽工程施工中发

现的问题，避免对后续施工与工程安全造成不利影响。

## 2 常用基础处理施工技术

### 2.1 土石方施工技术

在水利水电工程施工过程中，土石方施工是关键环节之一，其直接影响地基稳定性与施工顺利推进，且施工质量将显著关系到工程安全及后续施工进度。土石方施工主要包括土方开挖、石方爆破与运输作业，以及土体填筑与压实等工作，其核心在于根据地质条件选择适宜的开挖方法与压实工艺。通常采用分层开挖、分区堆放方式，并借助机械进行压实，以确保土体达到要求的密实度，从而有效降低不均匀沉降风险。对于石方施工，则需通过科学的爆破设计控制爆破振动效应与石方破碎粒径，以尽量减少对周边环境的爆破振动影响，并结合填筑料使用要求尽量利用开挖料。同时，还应注意雨季与地下水变化情况，合理安排施工顺序、基坑支护与排水措施。

### 2.2 桩基础施工技术

桩基础施工是水利水电工程基础处理中的关键技术手段，其主要作用是增强地基承载力并提高结构的整体稳定性。桩基础施工方法多样，如灌注桩、预制桩及沉管桩等，需根据地质条件与荷载要求合理选择类型。灌注桩施工应重点控制桩位精度、混凝土连续浇筑及桩身完整性，多采用导管或套管工艺，以减少对土体的扰动，并确保桩体与周围土体良好结合。预制桩施工常采用机械打桩或静压法入土，需严格控制桩体垂直度与沉桩速度，防止出现桩身倾斜或局部损伤。

在施工质量控制方面，应结合现场检测手段对桩长、垂直度、承载力及完整性进行全面监测，确保桩基承载力满足设计要求。随着智能化施工技术的发展，桩基础施工逐步引入自动化测量、振动监测与数字化施工管理等系统，实现了高精度、高效率施工，同时有效减少了人为误差与施工风险。桩基础施工技术的成熟应用，为水利水电工程提供了可靠的底部支撑，保障了后续结构施工的安全稳定。

### 2.3 地基加固技术

地基加固技术在水利水电工程中主要用于提升软弱土层的承载力、减少沉降、控制渗透并增强整体稳定性。常用的加固方法包括灌浆加固、深层搅拌桩加固及化学稳定剂处理等，具体选用需依据土层特性、工程规模与环境条件而定。灌浆加固技术通过向土体裂隙或孔隙注入水泥浆或化学浆液，提升整体性以提高土体密实度和承载力。深层搅拌桩施工借助机械搅拌土体并掺入水泥或其他固化剂，形成高强度桩体，可显著改善软弱地基的力学性能。化学稳定剂处理技术则是通过改变土体内部结构与物理化学性质，实现地基改良与稳定。在地基加固施工过程中，需严格控制材料配比、工艺参数及施工顺序，避免产生不均匀沉降或加固效果不足等问题。同时，结合施工监测与质量检测手段，可对加固效果进行实时评估与优化，从而

为水利水电工程提供可靠的基础支撑。

### 2.4 防渗、抗浮与排水技术

由于水利水电工程施工大多受到地下水影响，防渗、抗浮与排水技术在基础处理中具有关键作用，旨在控制水流渗透、防止土体液化，并抵御地下水对基础结构的浮力影响。常用防渗技术包括水泥土搅拌桩防渗、土工膜铺设及复合防渗材料应用等，可形成连续防渗体，有效阻隔渗流。抗浮措施主要采用基础压重、锚杆锚固及基础下沉设计等手段，以确保结构在地下水位变化或渗流作用下保持稳定。

降低地下水位常采用井点排水，其目的在于将地下水位降至建筑物设计开挖底面以下，使基坑底部与边坡在施工期间处于干燥状态，从而改善施工条件、稳定基坑边坡并增强地基承载力。施工过程中需综合考虑地基承载力、渗透特性及施工环境，通过综合比选地下水处理方案，合理选用防渗材料与施工工艺，以确保工程质量与长期耐久性。同时，结合施工监测与后期维护管理，可有效降低渗漏风险，提升工程整体安全性。防渗、抗浮与排水技术的科学应用，为水利水电工程的安全运行提供了重要基础保障。

## 3 水利水电工程基础处理施工的管理与优化策略

### 3.1 完善施工过程的质量控制体系

水利水电工程的基础处理施工涉及土石方开挖、桩基施工、地基加固以及防渗抗浮排水等多个环节，每一环节的施工质量均直接影响工程的整体安全与使用寿命。因此，建立完善的施工质量控制体系至关重要。应从施工设计阶段着手，综合考虑地质调查与工程勘测结果，制定详细的施工方案与技术标准，并明确质量控制关键点及验收规范。

在施工过程中，须严格执行工艺规范，确保材料、设备及操作流程符合设计要求。同时，应建立多层次的质量检查机制，对桩基成型度、地基加固密实度及防渗层连续性等关键环节实施实时检测与记录。施工单位宜借助信息化管理手段，实现施工数据的数字化采集、分析与归档<sup>[1]</sup>。完善的质量控制体系不仅能显著降低施工风险，还可提升工程管理效率，从而保障水利水电工程基础处理施工高标准、高质量地完成。

### 3.2 加强施工安全风险管理机制

在水利水电工程基础处理施工过程中，工序复杂且施工环境多变，存在诸多潜在安全风险，如边坡坍塌、基坑失稳、物体打击、机械伤害、淹溺等。为确保施工安全，需建立科学的施工安全风险管理机制，明确各方责任，规范管理流程。

施工前应进行全面安全风险评估，系统分析地质条件、施工工艺、设备操作及人员管理等因素，制定针对性防护措施。施工过程中须严格执行安全操作规程，配备必要的安全防护设施，如护栏、支撑系统、防护网及监测仪器等，并定期组织施工人员开展安全培训和应急演练，以提升现

场人员对风险的识别与应对能力<sup>[2]</sup>。

此外,应建立安全监控与事故预警机制,借助传感器、监控系统及信息化平台对关键施工环节进行实时监测。通过系统化、规范化的风险管理,既能保障施工现场人员与设备安全,也可为工程顺利推进提供坚实保障。

### 3.3 建立科学合理的绿色施工管理制度

随着生态文明建设的持续推进,水利水电工程在追求高质量、高效率的同时,也应更加重视绿色施工与环境保护。在基础处理施工阶段,需科学构建绿色施工管理制度,将节能减排、生态保护及施工资源高效利用等内容纳入管理体系之中。

在施工方案设计阶段,应充分评估环境影响,合理安排施工时段与作业区域,以减少对河流、水体及周边生态的扰动。在具体施工过程中,应采用环保型材料及可降解辅助材料,控制扬尘、噪声与废水排放,并加强施工机械设备管理,降低能耗与污染物排放。针对土石方运输、废弃物处理及施工用水等环节,应建立标准化管理流程,确保施工活动符合环境保护要求。

此外,可借助信息化平台对施工排放、能耗及材料使用等数据进行实时监测,实现动态管理与信息可追溯<sup>[3]</sup>。科学合理的绿色施工管理制度,能在保障工程质量与安全的基础上,最大限度降低施工对环境的影响,推动水利水电工程基础处理施工实现可持续发展。

### 3.4 施工阶段与运维阶段的有效衔接

水利水电工程基础处理施工完成后,工程的长期安全稳定运行与使用效率,在很大程度上依赖于施工阶段与运维阶段的有效衔接。施工单位应在施工接近尾声时,完整记录施工过程中的关键数据、详细的质量检测报告及施工问题的处理情况,为后续运维提供全面、可靠的参考依据。

同时,应建立施工与运维阶段的信息交接制度,准确

传递施工期间使用的材料信息、设备规格及施工工艺参数等至运维管理部门,以便在运维阶段对结构状况进行定期检查与维护。若存在隐蔽问题或潜在风险,应在施工阶段预先制定相应的运维预案,并在运维期间持续监测地基沉降、防渗效果及地下水位变化等情况。

实现施工与运维阶段的有效衔接,有助于延长工程使用寿命,并能在运行初期及时发现问题、迅速处理,从而切实保障水利水电工程的安全、可靠与高效运行。

## 4 结语

水利水电工程基础处理施工技术对保障工程安全及运行效率至关重要,其技术水平直接关系结构的稳定性、使用寿命与经济效益。通过科学应用土石方处理、桩基础施工、地基加固、降水排水及防渗抗浮等一系列技术,可有效应对复杂地质条件、紧张工期及地下水等施工挑战。同时,进一步完善质量控制体系、加强安全管理、推行绿色施工并实现施工与运维的有效衔接,可为工程建设提供系统化保障。

随着智能化施工技术与绿色材料的持续发展,基础处理施工将不断向高效、精准、可持续的方向优化,从而为高质量、安全、绿色的水利水电工程施工提供可行的技术路径与实践指导。

## [参考文献]

- [1] 孙欣跃.水利水电工程基础处理施工技术探析[J].黑龙江水利科技,2024,52(8):72-74.
- [2] 张利静.水利水电工程基础处理施工技术研究[J].内蒙古水利,2024(1):36-37.
- [3] 刘晓伟.浅析水利水电工程基础处理施工技术[J].居业,2021(8):77-78.

作者简介: 朱雷 (1981.7—), 男, 副高级工程师, 主要从事水利水电工程施工专业勘测设计工作。

# 抽水蓄能电站高强度钢焊接质量控制技术研究

张俊峰 戴国华

浙江江能建设有限公司,浙江 杭州 310000

**[摘要]**本文以乌海抽水蓄能电站工程为背景,针对大型水电工程中高强度钢材焊接质量控制的关键技术展开系统研究。文章详细分析了800MPa级高强度钢的材料特性及其焊接难点,重点围绕焊接工艺设计与评定、焊接过程质量控制措施,以及在洞内特殊环境下的焊接施工管理等方面进行论述。通过引用工程具体数据,如钢板化学成分要求C≤0.09%、焊接裂纹敏感性指数Pcm≤0.28%,以及具体的预热与后热工艺要求,分析并验证了焊接工艺参数的科学性与合理性是保障焊接质量的关键。

**[关键词]**高强度钢;焊接质量控制;工艺评定;过程监控;抽水蓄能电站

DOI: 10.33142/hst.v8i12.18450 中图分类号: TV743 文献标识码: A

## Research on Welding Quality Control Technology of High Strength Steel in Pumped Storage Power Station

ZHANG Junfeng, DAI Guohua

Zhejiang Jiangneng Construction Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 310000, China

**Abstract:** This article takes the Wuhai Pumped Storage Power Station project as the background and conducts a systematic study on the key technologies for controlling the welding quality of high-strength steel in large-scale hydropower projects. The article provides a detailed analysis of the material characteristics and welding difficulties of 800MPa high-strength steel, with a focus on welding process design and evaluation, welding process quality control measures, and welding construction management in special environments inside the tunnel. By citing specific engineering data, such as the requirement for steel plate chemical composition C ≤ 0.09%, welding crack sensitivity index Pcm ≤ 0.28%, and specific preheating and post heating process requirements, the scientificity and rationality of welding process parameters are analyzed and verified as the key to ensuring welding quality.

**Keywords:** high strength steel; welding quality control; process evaluation; process monitoring; pumped storage power station

随着抽水蓄能电站建设向高水头、大容量方向发展,电站输水管道如压力钢管与钢岔管广泛采用600MPa、800MPa及以上级别的高强度钢材。乌海抽水蓄能电站安装4台单机容量300MW的机组,总装机容量1200MW,其引水系统压力钢管及对称Y形内加强月牙肋钢岔管即为典型代表。然而,高强钢焊接过程中易出现冷裂纹、热影响区脆化及残余应力集中等质量问题,加之焊接作业面临空间受限、通风照明条件差及环境湿度偏高等不利因素,这些因素对焊接质量的稳定控制构成了严峻挑战。因此,系统研究高强度钢焊接质量控制技术,对于保障电站安全稳定运行具有重要现实意义。

### 1 高强度钢焊接特点及难点

#### 1.1 高强度钢的材料特性

乌海抽水蓄能电站引水高压钢岔管采用的800MPa级高强钢板,其材料特性显著区别于普通钢材。该钢材为承受高静水头,设计内水压力7.2MPa,即735m水头,HD值3528m·m的极端工况,对化学成分有严格限制,要求C≤0.09%,S≤0.008%,P≤0.015%,旨在提升钢材纯净度。同时,添加了Ni0.7%~1.5%、Mo≤0.6%、V≤0.08%等微量合金元素以改善强韧性。其焊接裂纹敏感性指数Pcm需严格控制,对于厚度50~75mm钢板,Pcm

≤0.28%,该指标直接关联焊接预热与后热工艺的制定。力学性能方面,钢板屈服强度ReL≥670MPa,抗拉强度Rm≥770MPa,断后伸长率A≥14%,并须满足-40°C低温冲击吸收能量KV2≥60J。这些优异性能也带来了较高的碳当量与淬硬倾向,使得焊接热过程控制不当极易引发接头性能劣化。

#### 1.2 焊接质量的主要难点

基于上述材料特性,本工程高强钢焊接面临系列突出难点。首要难点在于高拘束度条件下的焊接冷裂纹防治,岔管月牙肋板厚达116mm,主锥与支锥壁厚为60/64mm,厚板多层多道焊中氢扩散困难,叠加巨大拘束应力,极易诱发氢致延迟裂纹,要求严格执行合理的焊前预热与焊后消氢或消应力热处理工艺<sup>[1]</sup>。其次,焊接热影响区HAZ的脆化问题显著,高强钢中微合金元素在高热输入下可能导致HAZ组织粗大、韧性下降,尤其在斜井压力钢管洞内受限空间作业中,焊接位置多变、环境湿度可能偏高,加剧了控制焊接线能量、保证HAZ韧性的难度。再者,本工程焊接工作量大且工艺复杂,压力钢管制安总量约1.36万t,设计内径最大达6600mm,钢管多采用600MPa、800MPa级高强钢,其中高强钢最大管壁板厚为56mm,按规范要求需对焊缝进行焊前预热、焊后消氢及焊缝残余应力消除处理。最

后,特殊施工环境带来额外挑战,压力钢管安装主要为洞内施工,单条上斜井段长度约260m(含下弯段,高差194m),单条下斜井段长度约350m(含上、下弯段,高差273m),洞内空间狭小、通风照明受限,使焊接过程质量监测、参数记录及焊工操作稳定性面临考验,起重吊装及洞内运输施工难度较大,协调焊接与吊装运输作业、避免钢管变形并保证焊接环境稳定,成为质量管理必须统筹解决的关键问题。

## 2 焊接工艺设计与评定

### 2.1 焊接工艺评定要求

焊接工艺评定是确保高强钢焊接质量符合设计要求的根本前提。对于乌海电站采用的800MPa级高强钢,焊接工艺评定须严格遵循GB50766、GB50661及设计文件规定。评定需覆盖工程中所有母材材质、厚度范围、接头形式及焊接方法,特别是针对不同板厚组合,如60mm至116mm厚板的对接、角接接头进行系统试验。评定试板焊接应由本单位技能熟练焊工、使用拟采用的焊接设备与材料,在实际施工可能遇到的最不利位置下进行。评定内容主要包括焊接接头的力学性能试验,拉伸、弯曲、冲击韧性,冲击试验温度应 $\leq -40^{\circ}\text{C}$ ,焊缝金属化学成分分析、扩散氢含量测定及宏观金相检验等。只有当所有评定试验结果均满足标准规定时,该焊接工艺规程WPS才能被批准用于指导生产,从而从源头上杜绝工艺不当导致的质量隐患。工程中要求根据现场情况重做焊接工艺评定,并结合现场实际情况制定出最科学、最合理、最符合现场要求的焊接工艺。

### 2.2 焊接方法选择

科学选择焊接方法是保证焊接效率与质量的基础。在本工程高压钢岔管及压力钢管的制作与安装中,需根据作业阶段与结构特点区分焊接方法的应用。在工厂制作阶段,对于直管段的纵缝焊接,因其位置固定、工况条件良好,主要采用生产效率高、质量稳定的埋弧自动焊。而对于岔管等异形管件,由于其几何形状复杂、曲率变化大,所有焊缝,包括瓦片纵缝、组拼环缝以及月牙肋的对接缝和角焊缝,均采用灵活性更高的焊条电弧焊进行制作。在现场安装阶段,包括洞内、斜井等所有位置的管节环缝、合拢缝安装焊接,则全部采用焊条电弧焊,以适应空间受限、位置多样的施工环境。选用的焊接材料须与800MPa级母材力学性能相匹配,例如选用大西洋牌CHE807RH焊条用于手工焊,CHW-S80焊丝配CHF101R焊剂用于埋弧焊。这种基于制作与安装阶段、结构形式差异化的方法选择策略,兼顾了工厂高效自动化与现场施工灵活性的需求。

### 2.3 预热与后热处理工艺

制定并严格执行合理的预热与后热处理工艺是防止高强钢焊接冷裂纹和降低残余应力的关键环节。预热主要目的在于降低焊缝及热影响区的冷却速度,利于氢逸出,减少淬硬组织。对于本工程采用的800MPa级、板厚56~116mm的高强钢,预热温度通常需 $\geq 100^{\circ}\text{C}$ ,具体参数应依据焊接工艺评定结果确定。预热范围应为焊缝两侧不小于焊件厚度3倍且不小于100mm的区域,加热应均匀,

并使用测温仪监测。高强钢焊后需进行后热消氢处理。主要通过在焊后立即将焊缝区域加热至特定温度并保温,促使焊缝金属中扩散氢的加速逸出。高强钢后热温度控制在200°C,保温3~4h,后热工艺参数必须严格按照经评定的工艺规程执行,并做好详细记录。

## 3 焊接过程质量控制措施

### 3.1 焊工培训与资格认证

焊工技能水平与质量意识直接影响焊接质量。本工程需对所有参与高强钢焊接的焊工进行严格专项培训和资格认证。培训内容涵盖800MPa级高强钢材料特性、焊接工艺要点、预热后热操作规程及质量意识教育。焊工资格认证须遵循DL/T679等标准,进行针对性技能考试。考试试板的母材材质、厚度、焊接位置、焊接方法应与实际产品工况相同或更严。考试合格焊工仅能从事其考试合格项目范围内的焊接工作,并需定期复核。施工中应实行焊工钢印代号制度,确保每条重要焊缝可追溯至施焊焊工,强化其责任感。

### 3.2 焊接设备与材料管理

性能稳定的焊接设备与合格的焊接材料是获得优质接头的物质保障。所有投入工程的焊机、加热设备、保温设备、测温仪器等需在进场前进行全面检查和校准,确保其处于良好工作状态。施工期间应建立设备维护保养制度,定期检查、保养和维修。焊接材料须有完整质量证明文件,其化学成分、力学性能、扩散氢含量等须符合国家标准和设计要求。焊接材料应设专用库房存放,库房通风良好,室温宜 $\geq 5^{\circ}\text{C}$ ,相对湿度 $\leq 60\%$ 。焊条、焊剂使用前应按说明书规定烘焙,焊丝应清除油、锈。焊接材料的领用、发放、回收应建立严格台账制度,防止误用、混用或使用受潮变质材料。

### 3.3 焊接过程监控与记录

对焊接全过程实施有效监控与详尽记录,是实现质量可追溯、可分析的重要手段。每条重要焊缝施焊前,须检查并确认坡口加工质量、组装间隙、错边量、预热温度等符合工艺要求。施焊过程中,应监控并记录焊接电流、电压、焊接速度、层间温度等主要参数,确保其在WPS规定范围内。对于厚板多层多道焊,应严格控制道间清理质量。质量检查人员应进行巡检,及时纠正不规范操作。所有焊接过程参数、操作记录、检验记录等均应形成文档,纳入工程档案,实现焊缝质量全生命周期管理。

### 3.4 无损检测与质量检验

无损检测是评价焊接接头内部质量的核心手段。本工程高强钢焊接接头的无损检测须按设计文件和GB/T11345、DL/T821等规范执行。所有一、二类焊缝应进行100%超声波探伤,并辅以50%tofd无损检测,对岔管月牙肋等重要结构或怀疑部位可辅以相共振无损检测探伤,提高无损检测比例。无损检测应由持证专业人员在外观检查合格后进行。检测发现的超标缺陷须按规定定位、记录、评估,并制定详细返修工艺,经批准后由合格焊工返修,返修后须重新检测。此外,应按规范要求从产品上切取焊接试板或焊接见证试板,进行力学性能试验,以综合验证产品焊缝实际质量水平。

## 4 特殊环境下的焊接施工管理

### 4.1 洞内焊接作业环境控制

本工程压力钢管安装大量工作位于引水隧洞斜井和平洞内,封闭、潮湿、通风照明受限的环境对以手工焊为主的焊接质量控制构成特殊挑战。需建立有效的强制通风系统,及时排出焊接烟尘和有害气体,为焊工提供充足新鲜空气。需提供充足、稳定、防爆的照明,确保焊工操作精度。洞内湿度控制至关重要,必要时应在焊接作业区设置除湿设备,并加强对焊接材料的现场保管。针对洞内手工焊作业,还需特别关注焊接电缆的敷设与管理,防止破损漏电;并需为焊工配备有效的个人防护装备,如防尘口罩、防弧光面罩等,以应对持续作业环境。针对斜井内焊接,需专门设置安全可靠的焊接操作平台,如在钢管内设置自制施工台车用于拼装焊接和检验防腐,台车牵引到后通过钢质链环及挂钩锁定在管口处,并设置防坠落保护,确保焊工在稳定、安全位置作业。

### 4.2 焊接与吊装、运输的协调

高强钢压力钢管洞内安装中,焊接作业与钢管吊装、运输环节紧密交织,需周密协调。钢管从加工厂至安装主洞口运输采用平运方式,即将钢管平放到40t平板车上运输,行车速度不得超过10km/h。钢管运至主洞口后,使用10t卷扬机配合50t天锚将管节吊起,卸至运输台车上,用卷扬机牵引到后<sup>[3]</sup>。钢管洞内运输到后用8个32t千斤顶将钢管顶起、调整安装。在焊接工作面,需规划专用焊接材料、设备存放区及焊前预热区,与运输通道、吊装作业区明确隔离。焊接作业前,应确保该节钢管已精确就位并稳固支撑。通过细致施工组织设计和现场统一指挥,实现各工序顺畅衔接。

### 4.3 季节性施工措施

乌海地区属于温带大陆性气候类型,在这里,多年来的平均气温达到了9.7°C,而极端情况下,最高气温能够攀升至41.1°C,最低气温则会低至-32.6°C,如此显著的季节性气候差异,对于高强钢焊接而言,其产生的影响是颇为突出的。在冬季那种低温的环境下开展施工活动的时候,焊前预热所设定的温度得适当予以提升,并且要采取诸如防风、防雪以及环境保温等一系列的措施,务必要保证焊接区域的环境温度不会低于5°C,就连焊后的保温缓冷相关措施也需要进一步强化。到了夏季的高温时段,那就得着重去控制层间温度,使其不要超过工艺规程所规定的上限值,可以通过采用遮阳、强化通风、实行间歇施工等办法来达成这一目的。除此之外,在春季这个风沙比较大的时节里,进行焊接作业的时候,必须要搭建起防风棚,以此来防止风力对电弧的稳定性以及保护气体的效果产生不利的影响。所以,得依据不同季节各自不同的气候特点,去制定出相应的差异化焊接施工技术措施,同时还要切实加以执行,并且配套制定出与之相适应的管理方案。

### 4.4 应急预案与质量事故处理

需构建起健全的应急预案以及质量事故处理机制。应急预案要把在焊接施工过程中有可能碰到的重大风险都涵盖进去,像突发停电、设备出现故障、发生火灾、有害气体发生泄漏、人员出现坠落或者触电等情况都要包含在内,并且要明确应急响应的具体流程,还要提前做好演练工作<sup>[4]</sup>。要是出现了焊接质量事故,比如发现了重大焊接缺陷或者焊缝出现开裂的情况,那就要立刻启动相应的处理程序:首先要停止作业,同时保护好现场;然后要组织相关人员展开调查,仔细分析产生事故的原因;接着要制定出详细的返修或者加固处理方案,而且这个方案还得经过评审并获得批准;之后要由有着丰富经验的焊工严格按照工艺来实施相关操作,强化对整个过程的监控以及检验工作;最后还要对整个事故处理过程进行全面的总结,制定出纠正与预防措施并且切实落实到位。通过不断完善相关的机制,把意外产生的影响降到最低限度,进而实现质量管理体系的持续改进。

## 5 结束语

通过对乌海抽水蓄能电站高强度钢焊接质量控制技术的系统研究,可以认识到确保此类工程焊接质量是一项贯穿全过程的系统性工程。从理解800MPa级高强钢材料特性与焊接难点,到科学进行焊接工艺设计与评定,实施覆盖焊工、设备、材料、过程监控、无损检验的全方位控制措施,直至应对洞内特殊环境、协调多工种作业、适应季节性变化及建立应急机制,每一环节均紧密关联。本研究结合工程具体数据与实践经验探讨的焊接质量控制技术体系,不仅为乌海抽水蓄能电站压力钢管与钢岔管的制造安装提供了直接指导,其系统性的管理思想与关键控制点也对其他类似工程具有参考价值。随着更高强度钢材的应用,持续深化焊接质量控制技术研究与创新,提升质量管理的精细化、标准化与智能化水平,对于推动我国能源基础设施建设高质量发展、保障重大工程长久安全运行,具有重要意义。

### 【参考文献】

- [1]褚汗霖,欧笛声,周雄新.预拉力下高强度不锈钢薄板焊接数值仿真分析[J].科学技术创新,2025(22):21-25.
- [2]吕万青,尉文超,吴志方,等.1500 MPa级高碳当量超高强度钢焊接接头的组织和力学性能[J].材料热处理学报,2025,46(9):220-228.
- [3]刘鑫雨,孙有平,李旺珍,等.焊接间隙对Q690D高强度钢CO<sub>2</sub>气体保护焊接头组织和性能的影响[J].机械工程材料,2025,49(9):38-47.
- [4]邢维升.焊接工艺技术在高强度材料中的应用探索[J].冶金与材料,2025,45(6):34-36.

作者简介:张俊峰(1990—),男,汉族,浙江金华人,专科毕业于扬州大学,助理工程师;研究方向:水利金属结构制作安装;戴国华(1991—),女,汉族,浙江金华人,本科,工程师,浙江工业大学,研究方向:水利金属结构制作安装。

## 水利水电工程施工信息化管理技术应用研究

尚昆

山东大禹水务建设集团有限公司, 山东 济南 250000

**[摘要]**近年来我国水利水电工程建设规模逐渐扩大, 对其施工管理水平的要求也越来越高、越来越严格, 传统的经验式的人工管控模式已经越来越难以适应现代水利水电工程施工的高标准、高质量、高效能要求。而信息技术的应用给水利水电工程施工带来了新的技术手段, 使得水利水电工程项目的组织水平、协调水平和决策水平都得到较大的提高。基于实际工作中对水利水电工程施工信息管理的需求, 论述了BIM、三维可视化、智能化检测、自动控制和数据集成等信息技术在水利水电工程施工中的应用形式及其在具体施工过程中的使用情况下的进度效益、质量效益和管理效益等方面的情况。针对目前施工信息化管理中存在的问题, 提出了建立集中高效的信息化管理平台、制定统一的数据标准和接口标准、实施建设全过程信息化管理制度等完善措施, 供水利水电工程施工信息化管理的推广应用提供思路与启示。

**[关键词]**水利水电工程; 施工管理; 信息化技术

DOI: 10.33142/hst.v8i12.18449 中图分类号: TV51 文献标识码: A

## Research on the Application of Information Management Technology in Water Conservancy and Hydropower Engineering Construction

SHANG Kun

Shandong Dayu Water Construction Group Co., Ltd., Jinan, Shandong, 250000, China

**Abstract:** In recent years, the scale of water conservancy and hydropower engineering construction in China has gradually expanded, and the requirements for its construction management level have become increasingly high and strict. The traditional experiential manual control mode has become increasingly difficult to adapt to the high standards, high quality, and high efficiency requirements of modern water conservancy and hydropower engineering construction. The application of information technology has brought new technological means to the construction of water conservancy and hydropower projects, greatly improving the organizational, coordination, and decision-making levels of water conservancy and hydropower projects. Based on the demand for information management in water conservancy and hydropower engineering construction in practical work, this paper discusses the application forms of information technologies such as BIM, 3D visualization, intelligent detection, automatic control, and data integration in water conservancy and hydropower engineering construction, as well as their progress benefits, quality benefits, and management benefits in specific construction processes. In response to the current problems in construction information management, measures have been proposed to establish a centralized and efficient information management platform, develop unified data and interface standards, and implement an information management system for the entire construction process. These measures provide ideas and inspiration for the promotion and application of information management in water conservancy and hydropower engineering construction.

**Keywords:** water conservancy and hydropower engineering; construction management; information technology

### 引言

水利水电工程是我国基础设施的一部分, 在施工中需要大量的机器运行和人力资源, 同时还要面对复杂的环境因素, 施工管理水平直接影响着工程质量的安全与效益。目前大多数传统的施工方法, 是依靠人经验及现场管控为主, 其信息反馈延迟、数据不易共享、决策反应缓慢等弊端已经制约着水利水电工程现代化建设中追求精细管理、快速施工的目标要求。而信息技术与智能化设备的进步让BIM、三维可视化技术、智能化检测、自动化控制及数据整合等技术逐步应用于工地现场, 为施工管理带来准确、即时、有效的数据参考, 让施工过程计划、实施和管控更规范、更标准、更有保障。<sup>[1]</sup>所以探究水利水电工程施工信息化管理技术及应用, 不仅可以提高水利水电工程施工

质量和施工进度, 而且还可为整个行业的管理模式革新提供技术支持和理论依据。

### 1 水利水电工程施工中信息化管理概述

水利水电工程在建设时需要使用大量的机械, 在想更好的避免机械带来的安全问题就需要管理者做好相应的机械设备管控工作, 进而提升工程质量水平。想要更好的提升水利工程建设项目建设管理水平就要管理者对信息化管理模式加以研究。让水利水电工程建设施工更规范, 水利水电工程建设过程更标准, 在总体上提升了水利工程项目的施工效率。并且, 通过信息技术对施工现场的人力、机械、物料、环境等因素加以集成管理有助于进一步优化施工组织的协调性及合理性。通过收集并分析施工数据, 管理者可及时了解项目施工进度以便更好地做出施工决策。<sup>[2]</sup>引入信息化管

理模式还有利于降低人力因素给施工管理活动带来的不稳定影响,让水利水电工程施工管理工作变得更精细、可控。

## 2 水利水电工程施工信息化管理关键技术

### 2.1 BIM 与三维可视化施工管理技术

BIM 技术是建筑信息化管理的基础支撑工具,其通过建立水利水电工程建设项目施工全过程的数字建模,使得水利水电工程施工项目的设计、建设以及运维的整个过程都得到可视化的管控,在建造过程中 BIM 技术可对工程结构以及相关设备及建造工艺流程等进行三维立体演示,直观的展现出来工程项目的施工节点、空间关系以及施工工序,为项目管理者提供准确的施工规划及施工方案选择参考。三维可视化不仅可以帮助施工工人了解复杂的施工步骤,还可以预先检测出可能存在的碰撞冲突情况,以此降低施工失误的发生率和重复工作量。而且通过将 BIM 模型同工地现场的即时信息相融合,实现实时跟踪施工现场的施工进展和施工品质情况,并为施工决策提供了有效参考,让施工现场管理由经验导向向数据分析转变,进而提高管理效率和项目安全性。

### 2.2 施工过程智能监测与自动化控制技术

智能监控与自动控制技术应用于水利水电工程建设项目当中,使得原来传统的施工管理模式有了巨大的改变。布置各种类型的传感器、监控装置、自动控制系统,使得现场施工管理者可以随时了解到项目中机械工作状况、施工现场条件和施工作业物体力学状态等信息,并且可以在智能化平台上进行处理并报警提示。这些技术不仅可以有效的检测出施工现场存在的问题,同时也可通过自动控制系统对所涉及的机械设备和施工工序加以调节,使整个建设项目的实施满足了设计要求并且达到了安全准则。<sup>[3]</sup>智能监、自动控两者的有机结合,使得施工场危险系数大大下降,施工进度明显加快,更为建设单位提供合理化决策支持,并降低了由于人为因素造成的失误概率,给工程施工带来了有力有序可控的精细管理。

### 2.3 施工数据采集与信息集成技术

工程建设数据采集及信息融合技术是整个水利水电工程施工信息化管理的关键步骤,在工地现场布置多种类型的数据采集网络,对工程建设过程中的人力安排,机械使用,物料消耗,施工作业步骤和自然环境等方面的信息进行及时记录和集成汇总。采集设备除了传感器、物联网装置、无人机和手机等硬件之外还包括自动上传技术和云计算技术,它将分散化的数据集中传送至信息化管理系统中并进行大数据处理和图形化展示,形成详尽的人工统计表,工程进度图和报警提示等信息供管理者参考;信息融合技术可以克服现有数据烟囱问题,在设计方案,施工单位,监理方,供应商和维护团队之间建立无缝连接的数据通道,促进不同建设阶段间的通力合作,并为工程项目的工期把控,品质检验,安全防范和成本节省等任务提供有效的证据保障,进而大大提升了工程项目建设的公开程度和管理层的工作效率,促使项目管理者从主观判断式的管理模式转变为智能、标准化和精细式的管理模式,为大型

复杂的水利水电工程建设项目保驾护航。

## 3 信息化技术在水利水电工程施工中的应用效果

### 3.1 对施工进度管控能力的提升

信息技术应用于水利水电工程建设中明显提升了对项目建设过程进度管理水平,及时收集并处理项目施工各阶段信息,使得项目负责人可以随时了解项目各施工工序进展情况,进而对整个项目的建造过程进行有效的监督和合理安排。借助 BIM 模型以及三维可视化的方式将施工进度计划在数字平台上展现出来,施工流程、重要节点以及施工资源等一目了然,有助于提早识别项目施工存在的难点以及可能出现的拖延问题;智能化监控系统可将施工现场进度实施状况即时上传至项目管理系统,项目经理可以根据施工现场实际情况灵活调整施工进度安排,让施工进度计划制定更为合理可靠;此外信息技术还具备多方协作的功能,设计单位、施工单位、监理单位与业主都可以查看施工进度相关信息,在第一时间作出反应以应对工地发生的各种突发状况,避免不必要的延误、返工等情况的发生,提升整个工程项目的进度控制工作效率及精确度。

### 3.2 对工程质量管理的促进

信息技术给工程施工质量管理带来了新方法,基于施工过程中的实时监控以及数据分析来有效的提升施工质量状况。BIM 及三维仿真模拟技术在施工之前能够对一些复杂的构造与施工节点予以模拟演示,在一定程度上避免了设计上的不足以及施工碰撞情况的发生,降低了施工失误和重复劳动。智能化监控平台则是在施工当中能够对一些重要结构部分、所用材质以及整个施工现场情况进行不间断检测,第一时间获取可能发生的质量问题并依据数据分析给出优化措施等以确保工程施工质量达到图纸与相关标准所规定的指标。信息化管理方式同时构建工程质量追踪机制,保存工程施工信息以便日后查阅,以便于日后对施工过程进行核查,不必再依靠人员巡视来进行监督,使工程质量控制更加准确可靠,进而确保了水力发电工程的安全稳定运行。

## 4 水利水电工程施工信息化管理存在的问题

### 4.1 信息系统集成度不足

虽然信息化技术越来越多的应用到水利水电工程建设过程中,但是不同的施工过程以及系统之间存在着不同的数据要求,各种信息化管理系统之间的集成性还是比较差,设计方、施工单位和监理方以及材料供应商一般都有自己的管理系统和软件,导致了在建设过程中产生的信息比较零碎,各个方面信息都是相对独立甚至会出现信息滞后的情况,这样就加大了施工管理工作的难度和不可控风险。系统集成度低就会出现重复录入数据、反馈迟缓、错误判断的情况,进而会导致资源分配失衡、工期拖延以及工程质量不佳等问题。对于一些大型的水利水电工程项目来说,施工现场条件复杂,参与项目建设的公司较多,施工现场的工作任务也很艰巨。这就导致了各个公司之间的信息系统很难进行整合,很难做到跨组织跨部门的信息互通互联,这也阻碍了施工信息化管理平台的应用和发展,使得施工管理水平降低,

安全性下降,而且不利于做出科学合理的施工安排。所以提高信息系统的集成性,把不同类型的平台联系起来并且可以相互传递数据是对施工管理智能化、标准化、高效化的必要条件,也是现今信息化管理面临的关键难题。

#### 4.2 施工数据标准不统一

项目施工数据标准不统一是目前水利水电工程施工信息化管理中存在的另一个非常严重的问题,不同的施工单位与管理系统对数据收集方法、数据格式、编码方案、分类方案、信息更新频次等数据标准规定各不相同,在进行施工信息上传、保存、计算和应用的过程中,经常会出现相互冲突或者矛盾,甚至缺少必要信息的情况。数据标准的差异除了会影响信息的正确性、全面性以及可利用度之外,还会加大数据整理、计算分析的难度,增加施工管理的成本投入,降低水利水电工程施工管理工作的效率和水平。对于那些需要跨单位合作、经过多个步骤才能完成的较为复杂的工程项目而言,这个问题更是会严重影响到工程的相关各方,经常会导致信息反馈延迟,造成工期估计失误、人力物力财力分配不当等情况的发生,有时还会疏忽对建设项目建设质量的监督,进而使整个工程项目的管理水平下降,威胁施工现场的安全。为此我们应该完善统一的数据标准、接口协议和数据验证规则的设计,使得每个施工过程的信息记录方式、更新间隔期、数据接口都相同,从而可以更好地提高信息化管理系统使用的准确率、集成度和信赖程度,让其能可靠地服务于大型水利工程项目的设计,保障工程的工期、质量和造价管理水平具有科学性、规范性和智能性特征。

#### 4.3 信息化与现场施工衔接不紧密

然而在具体建设中信息化管理系统与现场施工操作的结合尚有不足。一些工程建设单位对信息化系统的信任程度不够,一线工作人员在接触 BIM 模型、智能监控以及数据平台的过程中出现障碍,导致信息化管理系统的结果无法很好地转变成施工现场的具体行动指南。再者施工现场环境复杂且变动频繁,信息获取及利用并不容易,比如机器传感器收到外界因素干扰造成的信息滞后或者失真、施工现场临时变动不能及时反映到管理系统上都会影响到施工决策的合理化以及时效性等。如果信息化系统脱离现场施工的情况得不到有效的改善,那么信息化技术就很难在施工管理中发挥出应有的效用,从而制约着工程项目的建设速度、品质、安全性等方面的进步。

### 5 水利水电工程施工信息化管理优化对策

#### 5.1 构建统一高效的信息化管理平台

如何让信息化技术更好地服务于水利水电工程的建设当中,应该构建一个一体化的高效信息化管理系统用于集中管理设计方、施工方、监理单位以及业主各方的数据,以便于管理者协调并控制整个项目的进展过程。这个系统需要兼容 BIM 模型与施工监测信息,材料供给信息以及施工进度等信息的一体化实时整合与动态同步;并且具有多用户权限控制、分析计算以及报警提示等功能使得各个环节的施工管理都能够及时应对工地情况的变化从而合

理地调整人力物力,提高施工现场决策水平进而提升整个项目的建造速度。此外,一体化的信息管理系统还能为后期的运维管理提供数据基础从而构建起一套施工信息化管理的完整流程并达成工程项目建设的信息化全覆盖。

#### 5.2 完善施工数据标准与接口规范

针对工程建设数据缺乏标准化的问题,建设单位需编制统一的数据获取标准、统一编码体系以及信息发布准则,以便于各类型数据在记录、传送以及解析时具备一致性及兼容性。接口协议的制定能够促进各个管理系统间的互联互通并使信息资源共享成为可能,从而消除信息壁垒,加快信息汇聚的速度。确立统一的数据标准和接口协议,不仅有助于科学化地进行项目管理,而且还能减少数据处理费用,优化对工程质量、进度以及安全等方面的管控,进而推动信息化管理模式在大型水利水电工程建设项目的广泛应用。

#### 5.3 建立全过程信息化管理机制

构建全方位信息化管理体系是提高水利水电工程施工管理水平的关键步骤,它是以项目的立项,组织,工期,质量,安全等方面全方位管理为基础的。利用信息技术对水利水电工程从开工到竣工所有过程中的数据进行记录、整理、上传、应用的流程闭环化,使每一步骤所涉及数据及相关应对措施均可即时链接查询,确保了施工过程可细化可把控。全方位信息化管理机制可以将施工管理从经验管理模式转换成数据分析模式,增加了施工的可视性,加快决策制定速度。此外还为施工安全管理与风险管理以及对人财物合理安排提供了技术支持,推动了水利水电工程施工管理朝着智能化、规范化方向前进。

### 6 结语

信息技术应用于水利水电工程施工中有很高的应用价值,基于 BIM、三维可视化、智能监控、数据整合等一系列信息技术的应用使整个工程项目的施工管理水平、质量水平以及安全水平得到了很大的提升。但是现阶段施工信息化还存在着系统集成化程度较低、数据格式缺乏统一标准、信息脱离施工现场等情况制约着施工信息化的发展。针对上述问题,通过建立统一高效的信息化管理平台、统一数据格式与接口协议标准化制定、建立全过程信息化管理制度等一系列措施可以使水利水电工程施工管理更加精细化、规范化、智能化从而为水利水电工程施工管理模式创新提供理论和实践依据,促进信息技术更广泛的用于工程建设过程中。

#### 【参考文献】

- [1]江涛.水利水电工程施工中的信息化技术应用与优化管理研究[J].治淮,2024(1):38-39.
- [2]任丽.水利工程施工中信息化管理与质量监督要点分析[J].中国管理信息化,2023,26(12):87-89.
- [3]高月.水利工程施工中信息化管理与质量监督要点探讨[J].地下水,2021,43(3):270-271.

作者简介:尚昆(1985.3—),毕业院校:山东农业大学,所学专业:水利水电工程,当前就职单位:山东大禹水务建设集团有限公司,职务:职工,职称级别:工程师。

## 现代化水利水电施工技术管理应用研究

周鲁鹏

山东郓城天元建筑工程有限公司, 山东 菏泽 274700

**[摘要]**科学技术的进步推动着我国水利水电施工技术不断进步,在此同时,人民的生活水平不断提高,对工程质量的要求越来越高,高质量的施工不仅顺应社会发展需要,还直接决定一个公司的市场竞争力以及在市场上的地位。由于水利水电工程施工作业较为复杂,参与单位较多、人员结构复杂,如果没有合理有效的施工技术管理方法,则会造成施工过程中出现混乱的现象,进而使得施工技术无法得到全面落实,最终导致工程进度缓慢和建设质量下降等问题的发生,所以强化系统的施工技术管理显得尤为重要,这对于整个工程质量的保证及加快施工进度有着重要的作用。文中针对现代水利水电施工技术管理的应用展开分析研究以供相关工程项目参考。

**[关键词]**现代化;水利水电;施工技术;技术应用;管理应用

DOI: 10.33142/hst.v8i12.18436 中图分类号: TV51 文献标识码: A

## Research on the Application of Modern Water Conservancy and Hydropower Construction Technology Management

ZHOU Lupeng

Shandong Yuncheng Tianyuan Construction Engineering Co., Ltd., Heze, Shandong, 274700, China

**Abstract:** The progress of science and technology is driving the continuous advancement of water conservancy and hydropower construction technology in China. At the same time, people's living standards are constantly improving, and the requirements for engineering quality are becoming higher and higher. High quality construction not only meets the needs of social development, but also directly determines a company's market competitiveness and position in the market. Due to the complexity of construction operations in water conservancy and hydropower projects, with a large number of participating units and a complex personnel structure, the lack of reasonable and effective construction technology management methods can lead to chaos during the construction process, resulting in incomplete implementation of construction technology and ultimately causing problems such as slow project progress and decreased construction quality. Therefore, strengthening systematic construction technology management is particularly important, which plays an important role in ensuring the quality of the entire project and accelerating construction progress. The article conducts analysis and research on the application of modern water conservancy and hydropower construction technology management for reference in related engineering projects.

**Keywords:** modernization; water conservancy and hydropower; construction technology; technology application; management application

### 引言

随着我国经济建设的发展和对能源需求的增长,水利水电工程项目也成为国民经济建设中不可或缺的重要基础设施和能源支撑项目之一,水利水电工程施工规模和难度也越来越大。水利水电工程施工周期长、施工现场环境恶劣,施工工艺繁琐复杂相互交织,包含土石方挖掘、混凝土结构建造、水利工程建筑物安装及机电产品调试等若干步骤,每一步的操作都对整个项目的安全性、工作效率和投资效益有着至关重要的影响。而传统的水利水电工程施工技术和方法在面对越来越先进复杂的现代工程项目时已显得捉襟见肘,经常会出现施工质量不稳定、施工超期、存在事故隐患等情况。因此,现代施工技术及管理模式的应用就变得十分必要了,其不仅仅是施工机械现代化、信息化和自动化,还有施工技术分类、人力资源管理、安全生产管理、技术监督检查考核和机械设备管理等一系列

系统性的管理措施。通过合理划分施工技术种类、严格的人力与机械设备管理、实施严格的技术监督检查考核制度来达到对施工过程精细把控的目的,使施工的风险变得可预测可控制从而保证了工程的质量、安全及工期。并且应用现代施工技术管理模式也有利于提高施工单位的工作效率、合理配置资源、节省开支并促进施工单位朝着信息化和自动化的方向迈进。基于以上背景,本文拟对现代水利水电工程施工技术管理模式的应用及其应用对策进行深入研究,剖析当前水利水电工程施工过程中存在的技术管理问题并寻求解决办法,以供相关从业者参考借鉴进而提高水利水电工程建设水平和推广现代施工技术管理的应用。

### 1 现代化水利水电施工常见技术

随着我国水利水电工程建设项目规模越来越大以及技术水平不断提升,现代施工技术的应用也越来越普遍,在水利水电工程建设过程中发挥着越来越重要的作用,正

在成为保障水利水电工程质量、加快施工进度、提升施工现场安全的重要技术支撑。当前水利水电工程施工中存在的较为普遍的现代技术主要表现为施工机械化、信息化、智能化等几个方面。基础挖掘与土石方工程当中使用大型高效的机械与自动控制系统,通过精准的控制开挖深度与施工区域来保证了较高的施工准确度并提升了工作效率;混凝土工程当中使用高效能混凝土配合比、自动搅拌系统、智能温控及养护措施来保证了混凝土结构整体性能优良并且有效的避免了大量裂缝等质量问题;水工结构施工时引入 BIM 技术、三维模拟、数字仿真等技术应用于施工组织策划和方案编制从而使整个施工过程实现了可视化管理并获得了有效的技术支持;同时利用信息化检测手段如传感器和信息采集设备实时监控大坝、启闭机以及水工建筑结构的形变、渗漏以及应力情况从而获得了第一手的施工安全质量数据信息;除此之外使用智能建造机器,无人驾驶测量工具以及远程视频监控设备也在一定程度上减轻了人为操作失误的风险使现场施工管理更加合理化精细化。

## 2 水利水电施工技术管理特征和存在的问题

### 2.1 水利工程施工管理的特征

水利工程施工管理有着很强的复杂性和系统性特点,主要体现在工程量巨大,工期较长,技术工序繁杂并交叉频繁,再加上复杂的施工现场条件。水利水电项目一般包括土石方挖掘,混凝土浇筑结构,水工建筑物安装,还有就是一些电气机械设备调试等诸多步骤,施工流程长并且各个步骤连接较紧,这对施工组织与技术管理工作有很高的要求。而且这些项目的建设往往是在一些地形险峻或者地质结构不稳定再或者是水文状况较为特殊的地区进行,施工现场容易受环境的影响诸如雨季、洪灾、气温骤升骤降等因素导致施工进度计划和所采取的技术措施必须要有较大的弹性和机动量以便随时做出调整。同时对于水利工程项目来说施工管理既要满足工程质量的要求和保障了施工现场的安全问题还要考虑项目的工期问题和人财物的合理调配问题以及控制好项目的造价成本,这就需要管理者在施工前做好相关的技术准备工作以及编制好施工组织设计使得各专业的各个施工步骤能够相互配合衔接<sup>[1]</sup>。而伴随现代化施工技术的应用,目前水利工程施工管理正朝着信息化、精细化和智能化的方向转变,通过信息化、精细化、智能化工地建设,对整个施工过程、相关技术指标及重要节点加以准确把握掌控,以此来解决复杂环境、多工序交叉带来的管理难题,提高工程建设的质量和管理水平。

### 2.2 水利水电施工管理过程中存在的问题

水利水电工程施工中,对于技术方面的监督管理普遍存在问题,阻碍着整个工程质量及施工进度的提高。一是有些工程在开工前的技术准备工作不到位,缺乏严谨的施

工方法的正确性与合理性的验证,致使施工进程中反复变动技术手段,干扰了正常的施工秩序和技术管理工作。二是建设工地上的技术监督制度落实不到位,技术交底有名无实,一线的操作者不能很好地掌握重要环节的施工工艺、技术指标和质量要求等,易造成违规作业的现象发生。三是水利水电建设工程的施工环境较为恶劣、气象条件复杂多变,但是有一些建设工程忽视了对施工过程中的活络的技术监管,不能针对水文状况、地形特点以及天气情况的变化而实时调节相关的技术监管政策,使得施工风险增大。四是有关施工技术的信息保存方面,有欠缺的技术文档登记、统计数据失范、沟通联系脱节等情况的发生,影响着施工行为的可追踪性及技术监管的连贯性。因为参建单位较多、工期较长的原因,各单位、各部门间的技术监管责任不清、衔接不到位,也在一定程度上削弱了技术管理的整体效能。

## 3 现代化水利水电施工技术管理应用

### 3.1 对水利水电施工技术进行科学分类

当前现代化水利水电工程建设中对施工技术进行合理的划分是提高技术水平与施工效率的基础。水利水电工程施工技术包括了土石方开挖、基础处理、混凝土浇筑、金属结构安装、机电设备安装等众多种类,并且施工技术环节繁琐、相互交叉,一旦缺少科学系统的分类管理就会导致施工过程中的技术运用杂乱无章,技术管理效率大打折扣。对施工技术进行合理分类就可以针对水利工程的不同性质、不同的施工阶段以及不同的技术特征,对各种类别的水利水电工程施工技术加以系统化、清晰化地厘清区分,在整个施工组织当中各自发挥作用、互相配合。并且合理的分类也能够明晰不同类型施工技术的应用范围和前提条件,明确不同类型技术的关键管控要素和技术管理重点,方便技术人员提前做好相应技术层面的准备工作并制定相应的施工技术方案。而在具体的施工过程当中依据技术类别开展分类管控也可以突出抓好关键技术、关键工艺的质量控制点,有针对性地提升技术应用的有效性和可控性。再者对于水利水电工程建设来说合理的技术分类还有利于对施工当中的技术文件资料进行归纳整理、分类存档,使得整个施工技术管理工作更有条理性、更加规范化而且具有更好的追溯效果,利于后期开展技术工作总结并形成经验<sup>[2]</sup>。

### 3.2 加强对相关技术人员的管理

现代水利水电工程施工技术中,对有关技术人员的管控也是决定施工质量和安全以及效率的重要步骤。因为水利水电工程的技术种类较多,而且施工现场的情况也比较复杂,这就需要有关技术人员不仅要有较高的技术水平还要具备丰富的工作经验以及较强的责任心,并且在实际施工过程中的技术人员来源比较广泛,技术水平也各有差异,如果没有一套完整有效的管理制度就可能导致施工技术

上出现漏洞或者是在技术上的标准不统一等情况发生,所以就需要我们对于技术人员进行全方位的管理,包括他们的岗位任务、技术水平及工作过程等。首先我们应该根据工程量大小与工程技术复杂程度来合理安排相关的技术人员,并且规定他们在整个施工过程中的任务,例如施工组织、技术交底、质量检查以及安全监督等的具体工作内容,防止出现人员重叠或者人员管理盲区的现象;其次是要对技术人员进行规范化管理,例如对技术交底及技术文件的规定,以此来督促他们要严格依照施工技术规范、图纸以及施工工艺来进行工作避免出现随意性导致的风险<sup>[2]</sup>。最后就是在整个施工的过程中也要有技术人员全程跟踪施工的关键节点并对现场进行指导,以便能够及时反馈一些施工技术上的难题并确保设计方案符合现场实际情况。只有这样对有关技术人员进行标准化、程序化的管理才能够使工程技术人员更好地履行自身工作职责,进而提高施工技术水平的可靠性和项目的建设质量。

### 3.3 加强对施工安全的管控

对于现代水利水电工程施工技术管理的应用而言,强化对施工安全的监管是实现工程项目顺利开展和保护施工人员生命的关键前提。由于水利水电工程一般位于地形条件恶劣、工作环境复杂的地区,工程建设会涉及到高空作业、水上作业、重型机械的使用以及爆破和围堰等高危环节,其潜在危险常常潜藏于细微之处且突如其来,一旦安全防范出现问题,就有可能造成人员伤亡及工程建设事故的发生,进而导致整个工程项目的延期和社会负面影响。所以我们要在施工技术管理工作上把安全防范意识融入到整个施工项目组织、施工技术和施工操作的各个环节之中,保证所有类型的施工技术均要在安全环境中得以实施。通过实时观察施工现场环境状况、检查施工作业程序和巡查重点项目环节等方式来发现工程建设中存在的各种隐患,并以此为基础杜绝因为疏忽施工技术细节或者违反规章制度而产生的各种事故;此外我们还要在施工现场做好安全技术交底并保存好施工过程中的原始记录以便日后查询,这样可以使安全管理规定和技术规范能够同时得到贯彻执行,以免出现只重视施工进程而不注重安全的现象。利用先进的信息技术来检测施工机器工作情况、监管施工现场危险地带以及监控施工人员位置等方法可以使得安全防范更加智能化和预见化,为优质高效的完成水利水电工程建设任务创造强有力的安全条件。

### 3.4 加强对技术的监督和考核

对于现代水利水电建设工程施工技术而言,在其管理的应用中,加强对其技术的监管及考评是保证施工技术标准得到贯彻落实,提高工程质量管理的重要一环。水利水电建设项目大、综合性高、现场条件复杂多样,施工当中使用着大量的新技术、新工艺和新机械等,若无一个全面、经常性的有针对性的技术监督管理考评制度加以制

约,则难免会造成技术手段的敷衍了事、施工要求打折扣和质量风险的日积月累<sup>[3]</sup>。通过全程对施工进行技术监理,能够对施工组织设计、技术交底、工艺工序、重要控制点等的技术执行情况进行跟踪了解,以便第一时间掌握施工过程当中出现的各种技术上的违规违章行为及偏差失误情况,进而防止因技术失当而引发的质量安全事故的连锁反应的发生。同时对技术管理工作进行统一化、标准化的考评,亦有利于引起参建单位及相关技术人员的责任意识,使得技术管理工作从以前的事后验收变为事前防范、事中控制。技术考评一方面应当坚持结果同过程兼顾的原则,既要着眼于工程实物质量水平和各项技术指标完成度,也要看施工中技术资料是否齐全完整、填写规范,各种技术台账记录是否真实可靠、清晰可溯。另一方面应当突出重点,有所侧重:对于一些重要的施工活动,比如大型的混凝土浇筑、高强度钢筋绑扎、深基坑支护爆破等危险性较大的作业项目,应当作为考评工作的重中之重来抓。

### 3.5 要定期对设备进行检修和管控

在现代水利水电工程施工技术管理中,经常对施工机械进行检查和管理是保证工程顺利开展,加快工程建设进度,保证施工现场安全的关键步骤之一,水利水电工程建设中的大中型施工机械有很多例如:挖掘机,混凝土泵车,起吊机,运输车辆以及各种特殊施工仪器等,它们都是直接影响着工程施工质量以及工作人员的安全问题,对于一些经常超负荷运作或者是在一些极端环境下工作(潮湿、炎热、风沙或者水下),机器很容易就会发生磨损、损坏、失灵或者是存在安全隐患,如果缺少合理有效的检查管理制度会导致机器时常罢工,施工进程停滞甚至会出现一些安全事故等严重后果,因此我们需要制定一系列系统化、周期化的机械检测管理模式,其中包括例行巡查,常规维护,重点部位检查以及机器故障排查记录等都将机器的状态列入了施工技术管理体系的检测范畴<sup>[4]</sup>。在此基础上结合信息技术对机器的工作状况进行实时监测与收集分析,能够及时了解机器的工作情况及能力损耗程度,及时发现可能出现的问题并作出相应的调整来降低机器损耗程度避免延误工期或者造成事故的发生,与此同时机器的检查管理不仅仅是针对机器本身的损耗程度和工作效率方面还包括对机器使用者的操作正确性和熟练水平,这样才能使机器始终处于最好的状态,同时也可以增加机器的使用寿命。

## 4 结语

现代水利水电工程施工技术管理对于整个建设来说是不可或缺的一部分,主要体现在合理划分施工技术、加强对工作人员的技术管理、控制施工安全问题、实施相应技术检查及评估、定期修理并监管施工设备等方面以达到施工标准化、精细化和效益最大化的目的。事实证明合理的施工技术管理不仅可以提升工程质量及工程安全性

还可以节约资源成本、减少施工风险、加快施工进度并改善管理现状；此外，现代施工技术管理手段的应用还使水利水电工程建设朝着信息化、自动化和绿色环保的趋势前进，是工程优质完成和行业进步的强大技术支持和可靠保证。

#### [参考文献]

- [1] 尹国杰.现代水利水电工程施工技术管理的应用[J].水上安全,2025(2):175-177.
- [2] 黄雪妮.现代化水利水电施工技术管理应用研究[J].黑

龙江水利科技,2025,53(11):173-175.

[3] 康首晖,康世杰.现代化水利水电施工技术的应用与发展[J].水上安全,2024(23):1-3.

[4] 寇燕燕.现代化水利水电施工技术管理应用研究[J].农业科技与信息,2022(2):91-93.

作者简介：周鲁鹏（1985.6—），毕业院校：山东科技大学，所学专业：水利水电工程，当前就职单位：山东郓城天元建筑工程有限公司，职务：项目经理。

## 智慧水利背景下泵站自动化控制系统设计

宋扬 左廷萍

扬州水利建筑工程有限责任公司, 江苏 扬州 225000

**[摘要]**在智慧水利建设的大背景下,传统泵站控制系统存在人工干预多、信息化水平低、系统集成性差等诸多问题,本论文针对这些问题提出一个依托物联网和云计算技术的泵站自动化控制系统设计方案。研究采取分层分布式架构构建起包含现场设备层、通信网络层、数据处理层以及应用服务层的完整系统框架,其核心是PLC+SCADA结构,借助工业以太网、4G/5G无线通信技术达成泵站设备远程监测与控制,边缘计算设备用于泵机振动、水位、流量等关键参数的实时采集与预处理以构建数据驱动的运行模式,并且深度学习算法被引进来完成泵站设备状态预测和故障诊断,同时设计出基于模糊PID的水位自适应控制策略,从而有效解决传统PID控制在变工况时响应滞后的毛病。实验结果显示,在降低能耗、提升调度精确度、延长设备使用寿命等方面该系统有着很明显的长处,使得泵站运行效率提高了15.3%、能耗降低了21.7%、设备故障率也下降了32.5%。这一研究给智慧水利条件下泵站自动化控制提供新想法和技术支持,对推动水利工程朝着智能化、网络化发展意义非凡。

**[关键词]**智慧水利; 泵站自动化; 物联网; 模糊PID控制; 设备故障诊断

DOI: 10.33142/hst.v8i12.18467 中图分类号: TV61 文献标识码: A

## Design of Pump Station Automation Control System under the Background of Smart Water Conservancy

SONG Yang, ZUO Tingping

Yangzhou Water Conservancy Construction Engineering Co., Ltd., Yangzhou, Jiangsu, 225000, China

**Abstract:** In the context of smart water conservancy construction, traditional pump station control systems have many problems such as excessive manual intervention, low level of informatization, and poor system integration. This paper proposes a pump station automation control system design scheme based on Internet of Things and cloud computing technology to address these issues. The research adopts a hierarchical and distributed architecture to build a complete system framework including the field equipment layer, communication network layer, data processing layer and application service layer. Its core is the PLC+SCADA structure. With the help of industrial Ethernet and 4G/5G wireless communication technology, the remote monitoring and control of pump station equipment is achieved. edge computing equipment is used for real-time collection and pre-processing of key parameters such as pump vibration, water level, flow to build a data driven operation mode, and deep learning algorithms are introduced to complete the status prediction and fault diagnosis of pump station equipment. At the same time, a water level adaptive control strategy based on fuzzy PID is designed to effectively solve the problem of the response lag of traditional PID control in changing conditions. The experimental results show that the system has significant advantages in reducing energy consumption, improving scheduling accuracy, and extending equipment service life, resulting in a 15.3% increase in pump station operating efficiency, a 21.7% decrease in energy consumption, and a 32.5% decrease in equipment failure rate. This study provides new ideas and technical support for the automation control of pumping stations under smart water conservancy conditions, which is of great significance for promoting the development of water conservancy engineering towards intelligence and networking.

**Keywords:** smart water conservancy; pump station automation; Internet of Things; fuzzy PID control; equipment fault diagnosis

### 引言

现代水利工程发展以智慧水利为新方向,这几年在全球得到广泛关注,有数据表明2022年全球智慧水务市场规模大概达到350亿美元且到2027年有望突破600亿美元、年均复合增长率超11%。水利工程中泵站是重要基础设施,其自动化控制水平直接关系到水资源调度的效率与精准性,在这种情况下,传统泵站控制系统大多存在人工干预多、信息化水平低、系统集成性差等毛病,难以符合智慧水利建设对高效、智能、绿色运行的要求,比如某地统计过,传统泵站因设备故障停机的时间占全年运行时间

的8%~12%,这对供水安全和经济效益影响严重,所以当下急需解决的关键问题就是设计一个基于物联网和云计算技术的泵站自动化控制系统。

近年来,工业4.0技术快速发展起来,并且物联网、边缘计算和人工智能等新兴技术给泵站自动化控制带来新解决方案。研究显示,分层分布式架构能有效提高系统稳定性和扩展性,而PLC+SCADA结构结合后可达成泵站设备远程监测与控制。工业以太网和4G/5G无线通信技术被应用后,数据传输的实时性和可靠性大大提高且为跨区域协同管理打下基础。另外,深度学习算法用于设备状态预

测和故障诊断,让泵站运行的安全性和经济性显著提升<sup>[1]</sup>。比如,有个试点项目引进模糊 PID 控制策略,解决传统 PID 控制在变工况下响应滞后的毛病并实现水位自适应调节,使得泵站运行效率提高 15.3%、能耗降低 21.7%。这些技术进步支撑着智慧水利条件下的泵站自动化控制并且为水利工程朝着智能化、网络化发展开拓新路子。

## 1 智慧水利泵站自动化控制系统的设计框架

### 1.1 系统总体架构设计

在智慧水利的大背景之下,泵站自动化控制系统以分层分布式架构来达成高效运行与智能管理,其系统框架包含现场设备层、通信网络层、数据处理层以及应用服务层且各层借助标准化接口进行数据交互与功能协作。现场设备层承担着泵机振动、水位、流量等关键参数的实时采集工作并且凭借传感器和执行机构直接管控泵站设备,通信网络层依靠工业以太网以及 4G/5G 无线通信技术保障数据传输的稳定性与实时性从而实现远程监测与控制,数据处理层依靠边缘计算设备对采集来的数据做预处理以减轻云端负担并加快响应速度,应用服务层依托云计算平台整合深度学习算法和模糊 PID 控制策略来预判泵站设备状态、诊断故障以及对水位进行自适应控制。这样的架构设计既解决传统泵站控制系统人工干预多、信息化水平低的状况又大幅提升系统的集成性和扩展性。水利工程领域近年的数据表明全球智慧水利市场规模每年增长超 10%,由于泵站在水利工程中占重要地位所以其智能化升级的需求特别急迫,这个系统框架的设计给泵站自动化控制提供理论依据和技术支持<sup>[2]</sup>。

### 1.2 硬件系统设计与选型

泵站自动化的核心支撑是硬件系统,其性能和可靠性直接受设计与选型的影响。在现场设备层,要选取高精度传感器如压力传感器、液位计、流量计、振动传感器等以及耐用型执行机构,这样能保证数据采集准确、设备控制稳定,并且这些传感器需要有很强的抗干扰能力与环境适应性以应对水利工程环境的复杂多变,执行机构使用高性能电动阀和变频器来调节水泵转速和管道流量以达成节能降耗的目的。通信网络层选型硬件时重点关注传输速率和覆盖范围,所以工业以太网交换机和 4G/5G 通信模块成了优选方案,因为工业以太网适合局域网络内高速数据传输,而 4G/5G 模块能够保障远程监控和移动终端接入,而且引入边缘计算设备后硬件配置得到进一步优化,由于它本地处理能力强,所以能有效减轻云端计算压力。水利工程行业里,硬件设备的可靠性和经济性特别重要,统计显示 2022 年中国水利工程设备市场上智能化硬件占比已达 35%,估计未来五年会突破 50%,所以硬件系统设计不但要符合当前需求,还要考虑到未来的扩展性才能适应智慧水利的快速发展。

数据处理层和应用服务层的硬件选型相当关键,数据处理层部署带有内置多核处理器和专用加速芯片的高性能边缘计算网关,能快速完成数据清洗、特征提取以及初步分析任务,并且边缘计算设备支持多种通信协议,

方便与各种品牌和型号的现场设备对接。而应用服务层依靠云计算平台,选择弹性计算实例和分布式存储系统来满足大规模数据处理和复杂算法运行需求,在硬件选型时要综合考量成本、性能和兼容性等因素才能让系统整体运行效率达到最大值,这几年随着物联网技术普及,水利工程领域硬件设备慢慢变得智能化并且相关投资规模也越来越大,研究显示合理配置硬件资源能使泵站运行效率提高 10%~20%,从而给智慧水利建设打下坚实基础<sup>[3]</sup>。

### 1.3 软件系统设计与开发

泵站自动化控制以软件系统为核心驱动力且整个系统框架都离不开它的设计与开发,软件架构采取模块化设计并有数据采集模块、通信模块、数据分析模块和控制模块这四个模块,各模块借助消息队列和事件驱动机制达成高效协同,现场设备层的实时数据由数据采集模块获取并转换成统一格式后上传到数据处理层,通信模块依靠工业以太网和 4G/5G 技术使设备间的数据显示能交互并且可远程访问,数据分析模块用边缘计算设备对采集数据做预处理并凭借深度学习算法构建设备状态预测模型以便给故障诊断提供依据,控制模块采用模糊 PID 控制策略,会随时水位的变化动态调整水泵运行参数进而解决传统 PID 控制在工况改变时响应慢的毛病,在智慧水利背景下软件系统设计充分彰显技术特点并给泵站自动化控制带来智能化解决方案。

软件开发中选择合适的编程语言与开发工具相当关键,数据采集模块用 C++ 编写来充分运用它底层操作高效的特性,通信模块选 Python 凭借其丰富的网络库达成协议解析和数据传输,TensorFlow 框架被引入到数据分析模块用来训练和部署深度学习模型以达到设备状态预测和故障诊断的功能,控制模块在 MATLAB/Simulink 平台上开发并通过仿真验证模糊 PID 控制策略是否有效,而且软件系统还整合了可视化界面方便操作人员实时监控泵站运行状态并手动干预,这几年人工智能技术发展起来使得水利工程领域的软件系统慢慢朝着智能化发展,统计数据表明 2021—2023 年中国水利工程软件市场规模每年平均增长率为 18% 且智能控制类软件所占比例一年比一年高,本研究提出的软件设计方案不但提高泵站运行效率还给智慧水利条件下系统开发提供参考范例。

软件系统应用于实际后,在降低能耗、提高调度精度以及延长设备寿命等方面优势明显,实验数据显示泵站运行效率提高了 15.3%、能耗降低了 21.7% 且设备故障率也下降了 32.5%,有了这些成果,在智慧水利的大背景之下,泵站自动控制系统就有了推广的基础并且对水利工程行业智能化转型也是有力的支持。

## 2 泵站自动化控制系统关键技术

### 2.1 远程监控与数据采集技术

智慧水利背景下,泵站自动化控制系统高效运行的核心在于远程监控与数据采集技术,传统泵站由于没有实时监测手段常常需要频繁人工干预且效率不高,而物联网和云计算的分层分布式架构有效解决这一问题,现场设备层数据借

由工业以太网和 4G/5G 无线通信技术上传到数据处理层,从而实现泵机振动、水位、流量等关键参数的实时采集与传输,边缘计算设备的应用让数据处理效率进一步提升且海量数据本地化预处理后网络带宽压力随之降低进而提高数据可靠性和实时性,这几年随着水利工程智能化需求增多泵站远程监控技术得到广泛应用,统计显示 2022 年中国智慧水利市场规模超千亿元且远程监控技术占比超三成,这个技术成功应用使泵站运行效率明显提高且实验数据表明系统能耗降低 21.7%,这给水利工程可持续发展提供了重要支撑。

远程监控与数据采集技术的实现依赖于多种先进技术的融合。在现场设备层,高精度传感器的部署是关键,这些传感器能够实时、准确地捕捉泵机振动、水位、流量等关键参数,为后续的数据分析和处理提供可靠的基础。传感器网络的设计需考虑冗余性和容错性,以确保在部分传感器故障时,系统仍能维持基本的数据采集功能。同时,传感器与执行机构的协同工作也至关重要,执行机构根据传感器反馈的数据进行实时调整,确保泵站设备的稳定运行。

## 2.2 智能调度决策算法

泵站自动化控制系统要实现精准调控,智能调度决策算法是关键,因为传统 PID 控制在变工况时经常响应滞后影响泵站运行,而本研究引入的模糊 PID 控制策略能动态调整控制参数以让系统性能显著改善,并且该算法与深度学习技术相结合,利用历史运行数据构建预测模型,可以预先识别潜在运行风险并优化调度方案,例如在多泵协同运行的时候,系统能根据实时水位变化自动调整各泵工作状态,避免单一泵长时间高负荷运转造成设备损耗,而且基于数据驱动的运行模式让调度决策更科学,实验结果显示用上这个算法后泵站运行效率提高 15.3%、设备故障率降低 32.5%,这几年水利工程行业对智能化调度需求一直在增长,2021—2023 年全国每年新增智能化泵站数量平均增长率为 18.6%,所以推广智能调度决策算法不但能让泵站运行更经济,还给智慧水利建设增添了新活力。

## 2.3 系统安全防护与故障诊断

工程的安全性与可靠性在很大程度上依赖于泵站自动化控制系统的安全防护能力与故障诊断水平。然而,传统系统在网络安全架构与设备运行维护方面存在明显短板,容易受到外部攻击或内部故障的影响,从而威胁整体工程的稳定运行。针对这一问题,本研究设计了一套融合多层次防护策略的智能化系统,并结合深度学习算法,实现了对设备状态的实时监测与早期故障预警。

在该系统中,通过采用高强度的加密通信协议与精细化的访问权限控制,显著提升了系统抵御网络攻击的能力,有效防止数据泄露与未授权访问。同时,借助部署于现场的边缘计算设备,系统能够对关键运行参数(如温度、压力、振动等)进行持续采集与实时分析,一旦检测到异常即可立即启动诊断流程。

举例来说,当泵机的振动频率超过预设的安全阈值时,系统不仅会自动触发声光报警,还会通过预设规则与历史

数据比对,生成具体的维护建议,并推送至运维人员终端,从而在故障发生初期就进行干预,避免情况恶化。

据统计,2022 年度中国水利工程领域因设备突发故障导致的经济损失高达数十亿元,严重影响了工程效益与社会安全。而通过引入具备智能诊断功能的自动化系统后,设备平均无故障运行时间提升了约 40%,大大降低了突发停机与维修成本。该成果不仅强化了泵站运行的安全基础,也为智慧水利建设中的系统集成、功能优化与长效管理提供了关键技术支撑与实践保障<sup>[4]</sup>。

## 3 结论

现代水利工程发展以智慧水利为重要方向,其核心是借助信息化、智能化手段提高水资源管理效率以及工程运行可靠性,而智慧水利建设关键在于泵站自动化控制系统,因为这直接影响水资源调配精准度和工程运维经济性。泵站自动化控制系统基于物联网和云计算技术并采用分层分布式架构,从而全面集成现场设备和应用服务,显著提升泵站运行的自动化水平与智能化能力。研究数据表明,该系统实际应用时可让泵站运行效率提高 15.3%、能耗降低 21.7%、设备故障率下降 32.5%,这充分证明其在节能减排、设备健康管理方面具有优越性。我国水利工程投资这几年一直在增加,2022 年全国水利建设投资总额突破万亿元且智能化改造占比每年都在提升,这就给泵站自动化控制系统的推广应用带来很大空间。边缘计算和深度学习算法相结合,不但解决传统 PID 控制在变工况下响应滞后的毛病,而且以数据驱动的方式达成设备状态预测和故障诊断,使系统的适应性和可靠性进一步增强。应用基于模糊 PID 的水位自适应控制策略,意味着泵站控制技术从单一功能迈向多目标优化,研究成果为智慧水利条件下泵站自动化控制提供新思路和技术支撑并且推动水利工程朝着智能化、网络化发展<sup>[5]</sup>。往后,随着 5G 通信技术和人工智能算法不断进步,泵站自动化控制系统有望在实时性、精确性和扩展性上取得更大突破,进而为智慧水利全面升级打下坚实基础。

## 参考文献

- [1] 相楠.水利枢纽泵站自动化控制系统设计[J].水利技术监督,2021(6):57-60.
  - [2] 敦建顺.水利泵站自动化运行与控制系统设计与优化[J].河北水利,2023(10):49-50.
  - [3] 吴海明.污水提升泵站自动化控制系统设计[J].电脑编程技巧与维护,2024(10):68-70.
  - [4] 刘晓斌.井下排水系统水泵自动化控制系统设计[J].能源与节能,2021(2):155-156.
  - [5] 李晨.矿井排水泵自动化智能化控制系统的设计[J].机械管理开发,2022(10):265-267.
- 作者简介:宋扬(1979.9—),男,毕业院校:南京工程学院,所学专业:工程管理,当前就职单位:扬州水利建筑工程有限责任公司,职务:工程管理人员,职称级别:工程师。

# 水电站压力钢管漏水诊断、成因分析及处理技术研究

尤军波

华电四川发电有限责任公司宝珠寺水力发电厂，四川 广元 628003

**[摘要]**压力钢管作为水电站输水系统的关键结构，其安全运行直接关乎机组发电效率和电站的长期运行安全。文中以宝珠寺电站压力钢管漏水缺陷为典型案例，系统分析了各类水电站压力钢管常见漏水问题的成因与特征。基于该电站压力钢管结构特点与现场泄漏情况，研究提出了涵盖焊缝检测与修复、灌浆孔探伤、进水口混凝土灌浆及效率试验接口封堵的综合治理技术方案。工程实施后，漏水点完全消除，结构强度符合设计要求，并已实现无异常连续运行，显著提升了设备可靠性与经济效益。结果表明，本研究建立的漏水诊断与成因分析方法能够实现隐患精准定位，相应处理技术具备良好的针对性与工程实用性，可为同类水电站压力钢管漏水问题的诊断与治理提供理论依据和工程参考。

**[关键词]**压力钢管；漏水诊断；检测修复；设备可靠

DOI: 10.33142/hst.v8i12.18466

中图分类号: TP39

文献标识码: A

## Research on Diagnosis, Cause Analysis and Treatment Technology of Pressure Steel Pipe Leakage in Hydropower Station

YOU Junbo

Baozhusi Hydropower Plant of Huadian Sichuan Power Generation Co., Ltd., Guangyuan, Sichuan, 628003, China

**Abstract:** As a key structure of the water transmission system in hydropower stations, the safe operation of pressure steel pipes directly affects the power generation efficiency of the units and the long-term operation safety of the power station. The article takes the leakage defect of pressure steel pipes in Baozhusi Power Station as a typical case, and systematically analyzes the causes and characteristics of common leakage problems in pressure steel pipes of various hydropower stations. Based on the structural characteristics of the pressure steel pipe of the power station and the on-site leakage situation, a comprehensive treatment technology scheme covering weld detection and repair, grouting hole inspection, inlet concrete grouting, and efficiency test interface sealing has been proposed. After the implementation of the project, the leakage point has been completely eliminated, the structural strength meets the design requirements, and continuous operation without abnormalities has been achieved, significantly improving the reliability and economic benefits of the equipment. The results indicate that the leakage diagnosis and cause analysis method established in this study can achieve precise positioning of hidden dangers, and the corresponding treatment technology has good pertinence and engineering practicality. It can provide theoretical basis and engineering reference for the diagnosis and treatment of pressure steel pipe leakage problems in similar hydropower stations.

**Keywords:** pressure steel pipe; water leakage diagnosis; detection and repair; equipment reliability

### 引言

水电站作为清洁能源生产的核心基础设施，其输水系统的稳定运行是保障电力持续供应的关键。压力钢管作为连接水库与水轮机的“咽喉”构件，长期承受高压水流冲刷、介质腐蚀及温度应力等多重作用，漏水问题成为制约其安全运行的主要瓶颈。本文以典型漏水案例为切入点，构建多维度诊断体系，精准识别漏水类型；从设计、施工、运行全生命周期视角剖析成因；制定分类处理方案并通过工程实例验证效果，为压力钢管漏水问题的根治提供技术支撑。

当前关于压力钢管漏水处理的研究多集中于单一修复技术应用，如焊缝补焊、防腐涂层升级等，缺乏对漏水现象的系统分类、成因的深度溯源及处理方案的针对性设计。部分研究存在诊断手段单一、成因分析笼统等问题，

导致处理方案针对性不足，出现“反复修、反复漏”的现象。本研究可填补该领域的工程实践空白。

### 1 电站简介

宝珠寺水电站位于四川省广元市三堆镇，是嘉陵江水系白龙江干流上已建的第二个梯级水电站。电站共装设4台混流式水轮发电机组，机组单机容量175MW，由东方电机有限公司负责设计与制造。1996年第一台机组发电，1998年四台机组全部投产发电。该电站是以发电为主，在所在区域电力系统中，主要承担调峰、调频及事故备用等重要功能，同时兼有灌溉、防洪等效益综合利用的大型国家重点工程。

宝珠寺水电站11F机组压力钢管伸缩节处于2021年3月份出现漏水（详见附图1），水压较高时漏水量可达5~10L/min，严重影响机组安全及发电效益。压力钢管为钢

焊接结构,一共有67节钢板焊接而成(详见图2压力钢管剖面),压力钢管的材料牌号为A3(Q235A)和16Mn钢板,材料焊接性好,详见表1压力钢管管壁材料。



图1 压力钢管漏水



图2 压力钢管剖面图

表1 压力钢管管壁材料

管号	管节编号	钢管内直径 (mm)	钢材品种	钢板规格 长×宽×厚	节数 (节)
上斜直段	1	7000	A <sub>3</sub>	9000×1800×16	1
上弯段	2~11	7000	A <sub>3</sub>	9000×1800×16	10
斜直段	12~20	7000	A <sub>3</sub>	9000×1800×18	9
	21~27	7000	A <sub>3</sub>	9000×1800×20	7
	28~32	7000	A <sub>3</sub>	9000×1800×22	5
	33	7000	A <sub>3</sub>	9000×1800×25	1
下弯段	34~47	7000	A <sub>3</sub>	9000×1800×25	14
下水平段	48	7000	16Mn	9000×1800×25	1
	49~53	7000~6000	16Mn	9000×1800×25	5
	54~57	6000	16Mn	9000×1800×25	4
明管段	58~67	6000	16Mn	9000×1800×28	10

## 2 压力钢管漏水成因分析

通过对国内12座不同装机容量(50~1200MW)、不同投运年限(8~40年)水电站的压力钢管漏水案例进行调研,结合漏水位置、形态及严重程度,将典型漏水现象

划分为4类,具体特征如下:

(1) 焊缝开裂漏水:多发生于环向焊缝、纵向焊缝及管节拼接焊缝处,漏水形态呈线状或喷射状,水压较高时漏水量可达5~20L/min。此类漏水易伴随焊缝附近管壁振动,严重时出现焊缝扩展裂纹,是最危险的漏水类型。调研案例中,此类漏水占比达42%,主要集中于投运20年以上的钢管。

(2) 管壁腐蚀穿孔漏水:漏水点呈点状或蜂窝状,漏水量随穿孔直径(0.5~5mm)增大而增加,多分布于钢管底部及水流冲刷区域。部分案例中,腐蚀区域伴随锈层剥落,管壁厚度从设计值16~25mm减薄至8~12mm,已低于安全运行阈值。此类漏水在含沙量较高的河流流域水电站中占比超50%。

(3) 接头密封失效漏水:主要发生于法兰接头、伸缩节等连接部位,漏水形态呈面状渗漏或滴漏,漏水量相对稳定,一般为0.1~5L/min。密封件老化、变形或螺栓松动是主要表现特征,此类漏水占比约15%,但易引发接头部位腐蚀加剧。

(4) 附属结构破损漏水:涉及排气阀、排水阀、支撑件等附属部件与钢管连接部位,漏水多因部件老化、密封垫损坏或连接焊缝开裂导致,漏水量差异较大,占比约11%。

为分析宝珠寺水电站压力钢管漏水水源,利用11F机组大修期间,全落机组检修门,检查发现漏水减小,待压力钢管余水排尽后,伸缩节漏水情况消失。基于上述机组压力钢管漏水典型案例,结合宝珠寺电站漏水现象及压力钢管结构,从设计、施工、运行、材料及运维5个维度,剖析宝珠寺电站压力钢管漏水问题的核心成因为:

(1) 焊缝开裂漏水:压力钢管焊缝存在未焊透、夹渣等缺陷,水电站调峰运行导致水流压力频繁变化并受温度应力影响,焊缝处产生疲劳应力,经多次循环后出现疲劳裂纹并扩展。

(2) 压力钢管灌浆孔锈蚀穿孔漏水:腐蚀穿孔主要源于电化学腐蚀与机械磨损的协同作用,钢管表面形成酸性腐蚀环境,发生析氢腐蚀反应,加速管壁锈蚀。汛期沙量较高的水流对管壁产生冲蚀,破坏防腐涂层,暴露的基体金属快速腐蚀。

(3) 压力钢管进口段混凝土与钢板接缝间隙偏大,导致机组发电用水进入压力钢管与混凝土之间,水压过大则将导致压力钢管变形或钢管漏水。

(4) 效率试验预埋管路锈蚀穿孔漏水:宝珠寺电站在设计阶段参照了20世纪50至60年代苏联的技术标准,其压力钢管系统内设置有水轮机效率试验孔,并经由预埋管路引至水轮机层。该预埋管路采用普通碳钢材质,在长达约30年的运行过程中,受水力、环境及材料老化等因素影响,部分管段已出现锈蚀,局部甚至发生穿孔。压力钢管内高压水流可经锈蚀孔洞渗出,并沿压力钢管外壁与

混凝土衬砌之间的间隙蔓延，形成持续性漏水现象。

### 3 分类处理方案实施

根据现有成因开展针对性处理方案实施：

#### 3.1 压力钢管焊缝检查处理：

##### 3.1.1 压力钢管焊缝检查：

(1) 对焊缝及其附近范围进行打磨，除去铁锈、油污等杂质，以满足探伤要求，然后进行 100%UT 探伤，标记出缺陷（位置、长度、深度）。

(2) 对焊缝和母材进行外观检查，标记出缺陷（位置、长度）。

(3) 对引水钢管与混凝土脱空情况进行检查。

##### 3.1.2 焊缝缺陷处理工艺：

(1) 缺陷不需要清穿钢板

①采用碳弧气刨或打磨的方法清理缺陷。用碳弧气刨将缺陷由尾部（距离缺陷尾部约 10mm）向缺陷方向进行刨除，刨除后坡口示意图如图 3。气刨表面需打磨，去除气刨痕迹（去除渗碳层）。

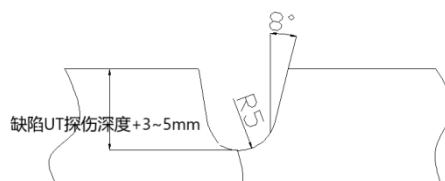


图 3 刨除后坡口示意图

②焊接坡口，要求多层多道焊，见图 4。

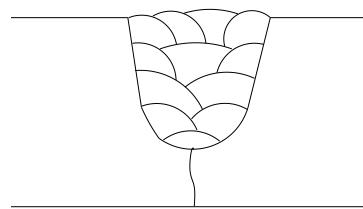


图 4 焊接坡口示意图

(2) 缺陷需要清穿钢板

##### ①不更换钢板

a.采用碳弧气刨或打磨的方法清理缺陷。用碳弧气刨将缺陷由尾部（距离缺陷尾部约 10mm）向缺陷方向进行刨除，刨除后坡口示意图如图 5。气刨表面需打磨，去除气刨痕迹（去除渗碳层）。

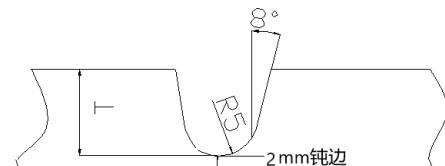


图 5 刨除后坡口示意

b.焊接坡口，要求多层多道焊，见示意图图 6，间隙大于 3mm 时，采用镶边焊进行焊接，见示意图图 7，间

隙小于 3mm，再进行焊接，UT 探伤时，根部 5mm 不考核，应记录该部位，便于后序停机检修时，UT 探伤复查。

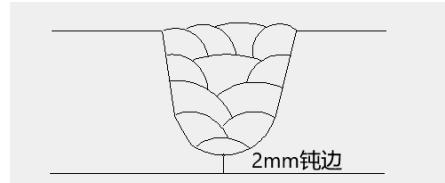


图 6 多层多道焊



图 7 镶边焊

##### ②更换钢板

a.采用气割的方法割除原钢板（尺寸不小于 300mm×300mm，如图 8 所示），坡口示意图如图 9。气割表面需打磨，去除气割痕迹（去除渗碳层），清理周围混凝土，将垫板放置，镶块钢板下料、成型，装配镶块钢板，同时，装配垫板如图十所示，间隙不超过 2mm。

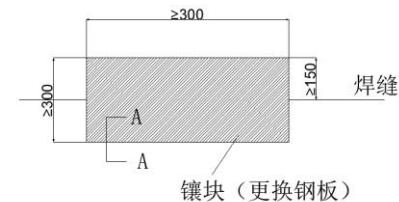


图 8 钢板尺寸

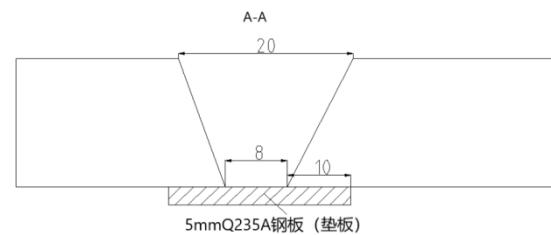


图 9 焊接剖口示意图

b.焊接坡口，要求多层多道焊，见图 10。

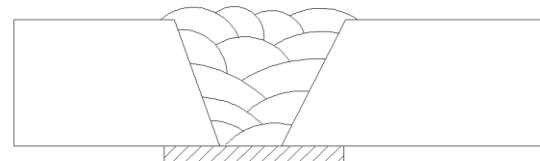


图 10 多层多道焊

##### 3.1.3 焊缝表面的修磨

①对焊缝表面进行修磨，要求与母材齐平，粗糙度不

低于原表面。

②局部凹陷部位进行补焊、打磨。

### 3.1.4 探伤检查

对修复焊缝部位及附近 50mm 范围按 ASME 标准进行 100% (UT+MT 或 PT) 探伤。

### 3.1.5 灌浆

引水钢管修复后, 通过锤击法检查引水钢管脱空区域, 根据土建单位经验采用砂浆和化学灌浆方式, 灌浆养护期过后, 检查脱空区小于国家规范规定, 具体步骤:

①确定脱空隐患部位范围。

②沿脱空隐患部位在钢板上按土建单位要求间距打孔, 确定孔的位置、孔深、孔径。

③土建单位依据国家规范和流程进行灌浆。

④灌浆养护期过后, 按国家规范规定检查。

⑤合格后割管, 采用焊接方式将管口完全封堵, 剖面示意图见图 11。

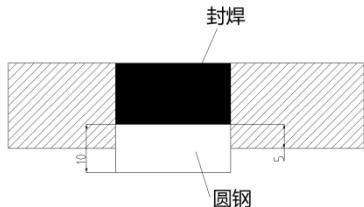


图 11 封堵剖面示意图

压力钢管焊缝检查处理, 包含压力钢管本体环缝、纵缝焊缝及技术供水出水口焊缝的探伤、修复, 虽有部分未焊透、夹渣、气孔等缺陷, 但并不是引起压力钢管漏水的原因。

### 3.2 压力钢管灌浆孔锈蚀穿孔漏水检查处理

在压力钢管焊缝检查处理时, 根据压力钢管设计图纸, 对压力钢管灌浆孔进行打磨、探伤, 未发现异常。

### 3.3 压力钢管进口段混凝土与钢板接缝间隙检查处理

机组大修期间, 检查发现压力钢管进口段混凝土与钢板接缝存在约 5mm 的分缝, 该分缝可能会引起压力钢管漏水。处理工艺为:

#### 3.3.1 接缝清理

清除接缝处的表面浮泥等杂物, 并将结构缝内沥青木板或其他填充物抠除。

#### 3.3.2 埋设灌浆管及嵌缝

沿接缝处圆周布置骑缝孔, 孔间距 50cm, 间距可适当调整, 以不破坏钢筋为原则, 垂直钻孔, 孔深约 20mm, 孔径 12mm。沿缝周刻槽, 槽内、缝内填充 MS-1086T 水下弹性环氧密封胶作为嵌缝。

#### 3.3.3 灌浆处理

使用便携式注浆泵向灌浆孔内灌注环氧化学灌浆料。灌浆压力不超过 0.4MPa, 立面灌浆顺序为由下向上; 平面可从一端开始, 单孔逐一连续进行、当相临孔出浆后,

保持压力 3~5min, 即可停止本孔灌浆, 改相邻灌浆孔。灌浆按照侧墙→顶拱→底板的顺序进行。在规定灌浆压力下, 不吸浆或注入率连续 3 个读数值均  $<0.1\text{L}/\text{min}$ , 即可结束灌浆, 进行闭浆。灌浆结束后, 对钻孔应采用快速堵漏剂进行封孔, 保证钻孔不漏水。

### 3.4 效率试验预埋管路检查处理

本次排查采用“水轮机层接口加压-压力钢管内部观测”的组合检测方式: 在水轮机层效率试验管路接口处接入压力清洁水, 通过加压方式模拟实际运行工况, 同时安排人员进入压力钢管内部及伸缩节部位进行全程观测。该检测方案的优势在于可直接定位泄漏点, 且能直观反映泄漏程度, 为后续处理提供精准依据。

试验实施过程中, 观测人员发现泄漏点: 一是压力钢管内部效率试验预留接口处有明显出水现象; 二是压力钢管与伸缩节的连接部位存在持续性渗水。该观测结果直接印证了此前推测的“压力钢管效率试验预埋管路锈蚀穿孔是导致泄漏的核心原因”, 为问题根源诊断提供了实测依据。

首先对压力钢管内部效率试验预留孔采用手工电弧焊进行封堵处理, 焊接完成后, 采用超声波探伤 (UT) 对焊缝进行 100% 无损检测, 检测结果符合无损检测验收标准, 确保封堵质量。

### 4 处理效果验证

为验证处理效果, 进行了压力钢管充水试验及机组带负荷试运行验证: 充水至设计压力后稳压 24h, 伸缩节无渗漏; 机组在额定负荷下连续运行 72h, 通过红外热像仪及渗漏观测仪监测, 各关键部位密封性能稳定, 伸缩节处渗漏现象彻底消除。

### 5 结论与展望

本文以宝珠寺电站 11F 机组压力钢管伸缩节漏水问题为研究切入点, 聚焦漏水核心成因诊断与分类修复技术开展系统性研究。通过整合典型漏水现象观测、钢管结构特性分析及现场实测验证的技术路径, 形成针对性解决方案并完成工程实践, 主要研究结论如下:

第一, 明确了压力钢管漏水的多源诱发机制并实现彻底修复。针对机组压力钢管存在的多元漏水隐患, 通过分区域专项排查与处理: 焊缝缺陷部位采用焊接修复+无损探伤验证, 灌浆孔实施密封补强处理, 进口段混凝土与钢管接缝开展针对性防渗处理, 尤其是效率试验预埋孔通过焊接封堵, 系统定位并解决了各泄漏点。经压力钢管充水稳压 24h 及机组 72h 额定负荷试运行验证, 伸缩节及各处理部位漏水现象彻底消除, 验证了成因诊断的准确性及修复方案的有效性。

第二, 突破传统惯性诊断思维, 构建了“现象-结构-全生命周期”的问题分析框架。在梳理典型漏水现象及常规成因的基础上, 结合 11F 机组压力钢管实际结构参数及运行年限特征, 从设计选型匹配性、施工焊接质量控制、

长期运行维护缺陷等全生命周期角度开展深度分析。通过“针对性检测-精准定位-分类修复-效果验证”的闭环实践,形成适配老旧调峰电站压力钢管的漏水处理技术体系,为同类电站相似问题提供了可直接借鉴的工程实践范例。

在新能源大规模并网的能源结构转型背景下,我国水电站功能定位已从传统“基荷发电”向“调峰填谷、灵活调频”的综合能源调节核心转变。宝珠寺电站作为区域关键调峰电站,原设计系统在“宽工况、高变幅”运行需求下逐渐暴露出适应性不足问题,具体表现为变负荷过程中机组振动幅值增大、压力钢管压力波动频率升高,既加剧了泄漏等故障风险,也对运行稳定性提出更高要求。基于本研究成果及电站发展需求,提出以下展望:

其一,开展效率试验检测系统升级改造。现有预埋管路检测方式存在密封性维护难度大的问题,建议改用超声波流量计搭建非接触式检测系统。该方案可避免预埋管路泄漏对检测精度的影响,同时结合电站“宽工况”运行特点,选取覆盖低负荷、额定负荷、超负荷的多工况点进行标定,进一步提升不同运行状态下效率检测的精准度,为机组运行优化提供数据支撑。

其二,建立压力钢管全生命周期安全监测体系。依托本研究形成的泄漏检测技术,构建“定期检测-数据留存-趋

势预警”的常态化监测机制:采用超声波探伤与红外热成像联合检测技术,每年开展一次压力钢管焊缝、伸缩节及关键接缝的全面检测;建立检测数据档案库,对比分析不同运行周期的结构性能变化规律;针对调峰运行中压力波动剧烈的特点,增设压力传感器实时监测管内压力变化,设定异常波动阈值实现故障提前预警,延长压力钢管服役寿命。

#### [参考文献]

- [1]马文亮.加劲压力钢管变形后加固方案设计与分析[M].北京:中国水利水电出版社,2016.
- [2]中华人民共和国水利部.水电站压力钢管设计规范(SL 281-2023)[S].北京:中国水利水电出版社,2023:2-3.
- [3]中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.承压设备无损检测 第1部分:超声波检测(NB/T 47013.1-2015)[S].北京:新华出版社,2015:4-5.
- [4]中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.水轮发电机组安装技术规范 GB/T8564-2003[S].北京:新华出版社,2003:2-3.

作者简介: 尤军波 (1986.2—), 毕业院校: 河北工程大学, 所学专业: 热能与动力工程, 当前就职单位: 宝珠寺水力发电厂, 职务: 工程管理部副主任, 职称级别: 动力工程师。

# 变压器常见故障诊断与智能化检测技术研究

关萌洋

国网河南省电力公司西平县供电公司，河南 西平 463900

**[摘要]**变压器是电力与工业的核心设备，其运行可靠性影响供电与生产。电力系统运行过程中，变压器工作环境较为复杂，加之设备自身结构特点的影响，导致变压器容易出现各种故障，如局部放电故障、低能放电故障、高能放电故障、高温过热故障等，影响变压器及整个电力系统安全稳定地运行。本论文研究其故障诊断与检测技术，梳理常见故障类型及机理，对比传统诊断技术。以麻雀算法（SSACD）、卷积神经网络（CNN）、长短期记忆网络（LSTM）技术为依托，设计一种变压器故障诊断识别方法，探讨智能算法在故障诊断中的应用。研究表明，融合智能诊断模型可提高诊断准确率，数字孪生与边缘计算结合可提高故障定位准确率。

**[关键词]**变压器；故障诊断；智能化检测；卷积神经网络；机器学习

DOI: 10.33142/hst.v8i12.18451 中图分类号: TM407 文献标识码: A

## Research on Common Fault Diagnosis and Intelligent Detection Technology for Transformers

GUAN Mengyang

Xiping County Power Supply Company of State Grid He'nan Electric Power Company, Xiping, He'nan, 463900, China

**Abstract:** Transformers are the core equipment of power and industry, and their operational reliability affects power supply and production. During the operation of the power system, the working environment of transformers is relatively complex, and the influence of the structural characteristics of the equipment itself makes transformers prone to various faults, such as partial discharge faults, low-energy discharge faults, high-energy discharge faults, high-temperature overheating faults, etc., which affect the safe and stable operation of transformers and the entire power system. This paper studies its fault diagnosis and detection technology, sorts out common fault types and mechanisms, and compares them with traditional diagnostic techniques. Design a transformer fault diagnosis and recognition method based on Sparrow Algorithm (SSACD), Convolutional Neural Network (CNN), and Long Short Term Memory Network (LSTM) technologies, and explore the application of intelligent algorithms in fault diagnosis. The research shows that the fusion intelligent diagnosis model can improve the diagnosis accuracy, and the combination of digital twins and edge computing can improve the fault location accuracy.

**Keywords:** transformer; fault diagnosis intelligent detection; Convolutional Neural Network; machine learning

### 引言

在电力系统升级与新型电力系统建设中，变压器承担电压变换等核心任务，其运行状态关乎电网安全与能源供应<sup>[1]</sup>。然而，由于长期运行在复杂的电气环境中，变压器容易出现各种故障，如过热、放电等<sup>[2]</sup>。及时准确地诊断变压器故障对于保障电网的稳定运行具有极其重要的价值。工业领域尤其是化工生产，因其生产流程的连续性核心需求，对变压器的稳定可靠运行具有高度依赖性，若变压器出现故障，将导致全线停产；新能源领域、风电场主要故障若未及时诊断，影响清洁能源消纳。传统变压器故障诊断靠人工巡检与定期检修，有响应滞后、误判率高、成本高等问题，如柱上变压器巡检依赖经验，难识别轻微故障；多表法测容量耗时长、误差大。随着物联网等技术发展，智能化检测技术利用模糊理论、机器学习、深度学习、智能算法等技术为变压器故障诊断带来了新的突破<sup>[3]</sup>，可实现早期预警，早期干预，具有重要的工程应用价值与学术研究意义。

### 1 变压器常见故障类型及机理分析

#### 1.1 变压器故障概述

局部放电故障是指变压器运行时，受到各种因素的影响导致局部区域绝缘层被击穿而产生的放电现象，对变压器具有严重危害<sup>[4]</sup>。低能放电故障是指在能量处于较低水平状态下，变压器内部出现的放电现象，主要与悬浮点位与油液中的杂质有关。出现该故障后，变压器并不会立即损坏，但经过一段时间后会引发严重的故障。高能放电故障又称电弧放电故障，是指能力处于较高水平状态下，变压器内部出现的放电现象，常见于线圈匝间与层间<sup>[5]</sup>。出现该故障后，变压器会短时间内出现大量气体，加剧绝缘材料老化，从而影响变压器安全运行。

#### 1.2 典型故障机理分析

##### 1.2.1 导电回路过热故障

导电回路过热是变压器最常见故障，多因导电回路接触不良或导线接头焊接差引发，如线圈导线接头虚焊、将军帽接线装置等问题<sup>[6]</sup>。过负荷会加剧过热风险，使导线

绝缘老化加快、寿命缩短。化工极端工况(负载超100%)下,接触电阻增大,局部温升可达180°C。

### 1.2.2 绝缘水平下降故障

变压器绝缘水平下降主要由进水受潮、油质劣化及局部过热等因素引起。进水受潮会显著降低绝缘材料的击穿电压;油质不良则直接损害其绝缘性能;局部过热则会加速绝缘材料的热老化过程,导致其机械与电气性能逐步下降,进一步削弱整体绝缘水平。在化工等特殊运行环境中,有机溶剂向绝缘纸中的渗透会进一步加速其老化进程,表现为年均聚合度下降约150单位(正常条件下年均下降约50单位),从而导致设备寿命缩短超过30%。此外,当油中CO与CO<sub>2</sub>的体积比超过0.3时,绝缘材料的老化速率可达正常条件下的3倍。

### 1.2.3 产气故障

产气故障与过热、放电紧密相关,过热故障源于导体、磁路故障及接点不良,放电故障分局部和电弧放电等。放电使绝缘劣化产生H<sub>2</sub>、C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>等气体,过热产生CH<sub>4</sub>、C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>等。放电故障占变压器故障约15%,隐蔽性强,常规检测难以实现早发现。在化工高湿(>80%)+负载波动±15%的复杂工况下,其诊断难度更大<sup>[7]</sup>。

### 1.2.4 调压开关故障

调压开关故障有主触头未到位、引线松动、触头烧毛等多种问题,有载调压开关还存在切换开关接触不良等故障。此类故障虽占比不高,却影响变压器电压调节,严重时导致短路。负荷频繁波动时,调压开关动作多,故障风险增大。

## 2 变压器传统故障诊断技术分析

### 2.1 油色谱分析技术(DGA)

油色谱分析技术(DGA)利用变压器绝缘油“载体”特性,故障产生的特征气体会溶于油中,且气体产生速率与故障严重程度正相关。通过气相色谱仪检测油中气体浓度及增长率,可推断故障类型与阶段。传统DGA解释方法各有适用场景与局限:关键气体法简单但易受干扰;Doernenburg比率法适用于区分过热与放电故障,但对低温过热灵敏度不足;Roger's比率法优化了低温故障诊断,但多故障叠加时误判率高;Duval三角形法则对放电故障识别精度高,但需气体数据完整。这些方法基于经验关系,用于变压器定期故障筛查。

### 2.2 电气试验技术

绝缘电阻测试依据“绝缘材料电阻随劣化程度降低”原理,用兆欧表施加直流高压(常用500V、1000V、2500V),测变压器绕组间及绕组与铁芯间绝缘电阻,评估整体性能。操作时先放电、拆被测绕组接线,再连接兆欧表,匀速摇动读数,并记录温度(需折算至20°C标准值)。其优势是操作简单、成本低,单台测试约半小时,适合投运前或巡

检筛查<sup>[8]</sup>。但局限性明显:只能反映整体状态,难以定位局部缺陷;灵敏度低,难捕捉早期故障;无法区分劣化诱因,需结合其他试验验证。

### 2.3 常规物理检测技术

#### 2.3.1 人工巡检与红外测温

传统人工巡检靠运维人员视觉、听觉判断,结合手持红外测温设备测设备表面温度,适用于户外柱上变压器、变电站等场景。但局限性明显:巡检效率低,受光线、天气等环境因素影响大;对轻微故障识别差,如难分辨嘈杂环境中的轻微放电声;测温精度有限,无法检测设备内部热点。

#### 2.3.2 容量特性测试

变压器容量特性测试旨在验证设备实际容量与铭牌是否一致,防止“大马拉小车”或过载运行,传统方法以多表法和变比电桥法为主。多表法通过施加额定电压、电流测量损耗等参数计算容量,需连接多台仪表,人工记录计算;变比电桥法基于变压器特性推算容量,但无法直接测损耗参数。二者均存在不足:操作繁琐,多表法接线耗时长且易出错;精度受表计和人工读数误差影响大;无法自动补偿环境影响,需人工修正易出错;必须停电测试,给关键负荷用户带来风险及额外成本;便携性差,传统仪表重,偏远地区运输搬运难。

#### 2.3.3 传统技术局限性总结

综合传统变压器诊断技术应用实践,存在五大共性局限,难适应现代电力系统与工业生产高精度、高效率运维要求:一是“经验依赖型”模式有风险,新员工误判率高且经验难标准化传承;二是“离线周期性”检测无法早期预警,难覆盖突发故障;三是“单点单维度”检测难应对复杂故障,单一数据难全面反映设备状态;四是“低精度低效率”难适配大规模运维,出现人员与效率瓶颈;五是“停电检测”与生产连续性矛盾突出,用户拒绝检测,加剧故障风险。这些局限推动变压器诊断技术向“智能感知型”转型。

## 3 变压器智能故障诊断模型构建与验证

构建融合多源数据的智能故障诊断模型,需依数据特征与诊断需求设计核心架构。本研究设计优化三类递进式模型:CNN模型、CNN-LSTM融合模型、SSACD优化的CNN-LSTM模型。核心逻辑是以油色谱特征气体浓度、运行工况参数、声纹特征参数及热成像温度参数为输入,先用CNN提取局部深层特征,再用LSTM捕捉时序依赖关系,最后用SSACD算法优化参数提升精度<sup>[9]</sup>。具体模型结构设计如下:

### 3.1 CNN模型结构设计

CNN模型核心用于自动提取故障特征,结构含输入、卷积、池化、全连接及输出层。预处理后的多源数据输

入 CNN，经多轮卷积、池化压缩维度并提取关键特征，最终由全连接层输出故障特征值。其中，卷积层是特征提取核心，有多个独立卷积核，各捕捉数据特定维度特征，本研究用一维卷积核适配时序数据，可滑动处理数据，降低参数量、防过拟合、减内存占用，卷积运算公式如下：

$$M_j = f(\sum_i X_i^{l-1} * W_{i,j}^l + b^l) \quad (1)$$

其中， $M_j$  为特征图组， $X_i^{l-1}$  是第  $l-1$  层第  $i$  个卷积核的输入特征图， $W_{i,j}^l$  为第  $l$  层第  $i$  个卷积核的第  $j$  个权重， $b^l$  是偏置项， $f(\cdot)$  (选 ReLU 函数增强非线性拟合) 为激活函数，\*表示卷积运算，输出为卷积计算结果。

池化层：卷积运算后数据易过拟合，需池化层优化。池化层用最大值池化策略，以  $3 \times 1$  池化核滑动处理卷积特征图，能保留关键特征、压缩数据维度、降低计算量。其运算规则类似卷积层，对输入特征数据局部计算分析后输出池化特征图。

### 3.2 CNN-LSTM 融合模型构建

变压器故障数据有空间(如气体浓度比例)和时序(如气体浓度随时间变化)特征，单一 CNN 模型提取空间特征有效，但捕捉时序特征不足，限制诊断精度。因此，在 CNN 基础上融合 LSTM 构建 CNN-LSTM 诊断模型，实现二者特征协同提取，模型运算流程为数据预处理→CNN 卷积/池化/全连接→LSTM 训练→故障分类输出(图 1 示)。

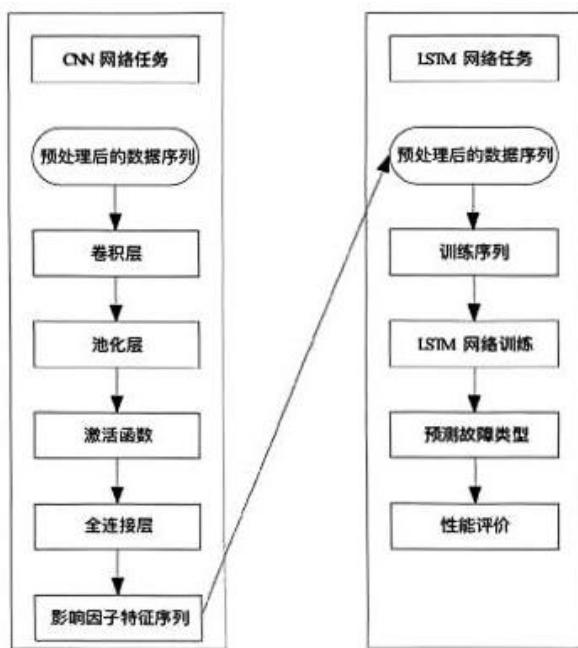


图 1 CNN-LSTM 诊断模型流程图

### 3.3 基于改进麻雀搜索算法 (SSACD) 的 CNN-LSTM 模型优化

CNN-LSTM 模型诊断性能受超参数(如卷积核数量、

学习率等)影响大，传统人工调参效率低且易陷入局部最优。为此引入改进麻雀搜索算法 (SSACD) 自动优化超参数，提升模型稳定性与精度<sup>[10]</sup>。SSA 算法模拟麻雀觅食，设种群规模为  $N$ ，编号  $i$  麻雀位置为  $X_i = [x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{id}]$  ( $d$  为待优化超参数维度)，种群分发现者、追随者、预警者三类，各有特定更新规则，其中发现者(占 10%~20%)负责探索食物，位置更新公式如下：

发现者(占种群 10%~20%)：负责探索食物资源，位置更新公式为：

$$X_{id}^{t+1} = \begin{cases} X_{id}^t \cdot \exp\left(-\frac{i}{\alpha \cdot T}\right), & R_2 < ST \\ X_{id}^t + Q \cdot L, & R_2 \geq ST \end{cases} \quad (2)$$

其中， $t$  是当前迭代次数， $T$  为最大迭代次数， $\alpha$  是  $[0,1]$  随机数， $Q$  服从正态分布， $L$  是  $1 \times d$  的全 1 矩阵， $R_2$  为  $[0,1]$  的预警值， $ST$  为  $[0.5,1.0]$  的安全值。若  $R_2 < ST$ ，环境安全，发现者扩大搜索范围；若  $R_2 \geq ST$ ，环境不安全，发现者向安全区域转移。

追随者(占种群 60%~80%)：跟随发现者觅食，位置更新公式为：

$$X_{id}^{t+1} = \begin{cases} Q \cdot \exp\left(\frac{X_{wd}^t - X_{id}^t}{i^2}\right), & i > N/2 \\ X_{gd}^{t+1} + |X_{id}^t - X_{gd}^{t+1}| \cdot A^+ \cdot L, & i \leq N/2 \end{cases} \quad (3)$$

其中， $X_{wd}^t$  是第  $t$  次迭代  $d$  维最差位置， $X_{gd}^{t+1}$  是第  $t+1$  次迭代  $d$  维最优位置， $A^+$  是元素随机取 1 或 -1 的矩阵  $A$  的转置。若  $i > N/2$ ，追随者适应度差，需重新搜索；反之，围绕最优位置局部搜索。

预警者(占种群 10%)：负责警戒天敌，位置更新公式为：

$$X_{id}^{t+1} = \begin{cases} X_{gd}^t + \beta \cdot |X_{id}^t - X_{gd}^t|, & f_i \neq f_g \\ X_{id}^t + K \cdot \left( \frac{|X_{id}^t - X_{wd}^t|}{(f_i - f_w) + e} \right), & f_i = f_g \end{cases} \quad (4)$$

其中， $\beta$  服从  $N(1,1)$ ， $K$  为  $[-1,1]$  随机数(表移动趋势)， $e$  为极小值， $f_i$ 、 $f_g$ 、 $f_w$  分别为第  $i$  只麻雀、最优、最差适应度值。若  $f_i = f_g$ ，向最优位置移动；若  $f_i = f_w$ ，发现天敌，转至其他位置。

### 3.4 麻雀搜索算法的改进 (SSACD)

传统 SSA 搜索范围有限、易陷入局部最优，引入 Levy 飞行策略改进得 SSACD 算法。Levy 飞行以“短程为主、长程为辅”移动，可增种群多样性、优化全局寻优，其位置更新策略表达式如下，其位置更新策略表达式为：

$$\text{Levy}(\alpha) = 0.05 \times |y| \alpha x^{\lambda}$$

传统 SSA 易陷局部最优，引入  $\lambda=1.5$  的 Levy 飞行策略 ( $t$  为步长参数) 更新麻雀位置改进得 SSACD 算法。将其与 CNN-LSTM 融合，自动优化卷积核数量等超参数，得 SSACD-CNN-LSTM 诊断模型，优化流程为初始化参数→SSACD 寻优→优化超参数→CNN-LSTM 训练→诊断输出(图 2 示)。

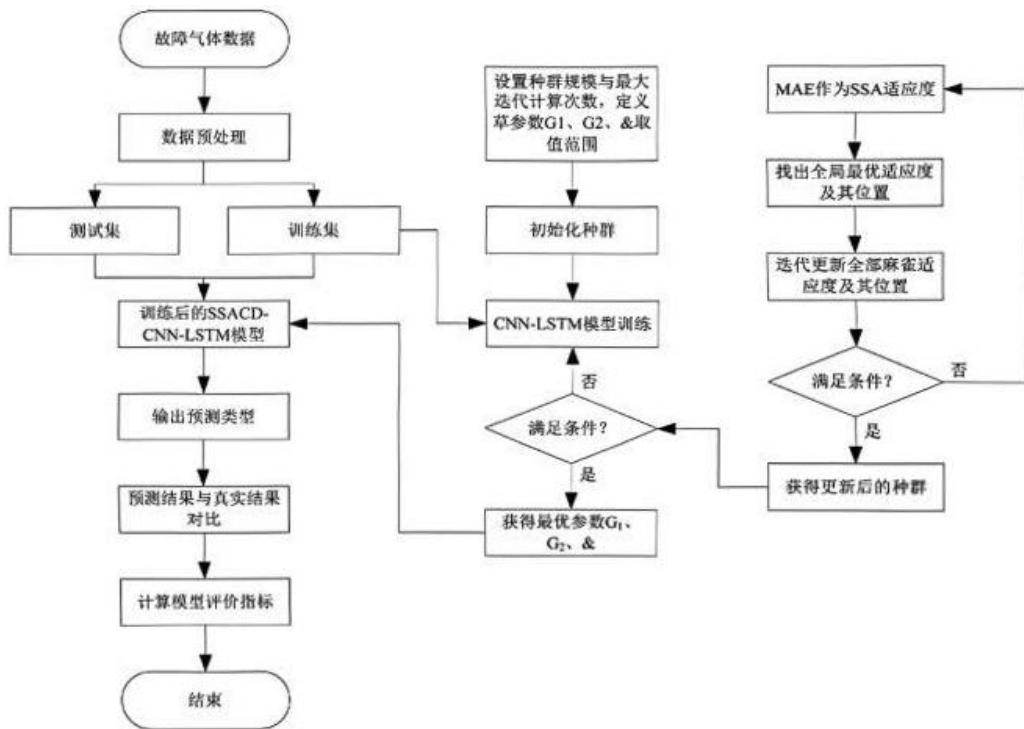


图 2 SSACD-CNN-LSTM 诊断模型图

### 3.5 实践应用分析

为验证 SSACD-CNN-LSTM 复合诊断方法的可行性和优越性, 依技术方案开展系统性开发, 并部署于某 110kV 智能变电站应用验证, 地处工业负荷集中区, 故障诱因复杂, 具典型验证条件。部署时, SSACD 优化算法种群规模设 30、最大迭代次数 500; 深度学习模块学习率 0.001、卷积核 8 个  $3 \times 1$  尺寸。完成实操应用后, 同步用传统三比值法平行诊断试验, 传统方法准确率不高, 对隐性故障识别不敏感; 新方法准确率进一步提高, 能识别 3 类隐性故障, 稳定性与抗干扰能力更优。综上, SSACD-CNN-LSTM 诊断方法在变电站应用性能更优, 适配复杂环境, 技术合理性与工程实用性获验证, 有推广价值, 后续可结合不同变电站微调模型参数提升普适性。

### 4 结论

基于 SSACD 的 CNN-LSTM 变压器故障诊断识别方法先构建出 CNN-LSTM 模型, 再利用 SSACD 算法对 CNN-LSTM 模型参数进行设置与调整, 以此得到最终的 SSACD-CNN-LSTM 模型。该模型的应用, 可显著提升变压器故障诊断识别的准确性。

### [参考文献]

- [1] 邓琨, 温启良, 张渊渊. 基于超声红外热像的电缆终端局部放电缺陷检测方法[J]. 红外技术, 2022, 44(9):972-978.  
 [2] 涂彦昕, 刘立帅, 郭晨鳌, 等. 基于电磁感应热成像技术的

复合绝缘子内部导通性缺陷检测方法[J]. 中国电机工程学报, 2021, 41(7):2565-2576.

[3] 王旺, 周自强, 林龙, 等. 人工智能在变电站运维管理中的应用综述[J]. 高电压技术, 2020, 46(1):1-13.

[4] 白洁音, 赵瑞, 谷丰强, 等. 多目标检测和故障识别图像处理方法[J]. 高电压技术, 2019, 45(II):3504-3511.

[5] 田军, 朱占春, 孙建鸿, 等. 基于 BP 神经网络和改良三比值法的变压器故障诊断方法[J]. 工业控制计算机, 2024, 37(12):135-136.

[6] 苏宇飞, 杜鸿云, 温新鹏. 电力变压器常见故障处理及预防研究[J]. 光源与照明, 2024(2):168-170.

[7] 杨照光, 张忠元, 温定筠, 等. 变电站设备红外检测图像分割及故障诊断技术研究[J]. 科技通报, 2019, 35(3):95-99.

[8] 陈长基, 梁树华, 吴达雷, 等. 一种可解释人工智能(XAI)在测量设备故障诊断和寿命预测中的应用[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2024, 46(1):167-177.

[9] 詹仲强, 公多虎, 王崇, 等. 融合 D-S 证据理论与模糊逻辑的变压器故障诊断方法[J]. 变压器, 2023, 60(10):10-16.

[10] 金玲珠, 史正方, 曹红, 等. 基于 ACGAN 与 SO-RF 的变压器故障诊断方法[J]. 电气技术与经济, 2025(1):375-379.

作者简介: 关萌洋 (2000.2—), 男, 郑州航空工业管理学院电气工程及其自动化专业本科毕业, 现就职于国网河南省电力公司西平县供电公司, 任运维检修部电气试验班班长, 助理工程师职称。

# 水闸渠首工程金属结构腐蚀防护技术研究与应用

武艺

新疆昌吉方汇水电设计有限公司, 新疆 昌吉 831100

**[摘要]**水闸渠首工程金属结构长期使用过程中易受流水冲击、溶解氧、盐类、酸碱环境等因素的影响产生多样化腐蚀现象, 危害着该结构的安全与寿命。现阶段常规保护策略存在保护不够全面、管理不够系统、检测较为滞后的情况。文章探究了金属结构腐蚀状况与特色并提出了系统化的保护策略, 以求达到延长结构寿命、提升运行安全性的目的, 同时也可为此类工程的设计建设与维护保养提供合理有效的数据支撑促进其往智慧化和绿色化方向进步。

**[关键词]**水闸渠首工程; 金属结构; 腐蚀防护技术; 技术应用

DOI: 10.33142/hst.v8i12.18439 中图分类号: TV34 文献标识码: A

## Research and Application of Corrosion Protection Technology for Metal Structures in Water Lock and Canal Head Projects

WU Yi

Xinjiang Changji Fanghui Hydropower Design Co., Ltd., Changji, Xinjiang, 831100, China

**Abstract:** The metal structure of the water gate and canal head project is susceptible to various corrosion phenomena caused by factors such as water flow impact, dissolved oxygen, salts, acid and alkali environment during long-term use, which endangers the safety and service life of the structure. At present, conventional protection strategies suffer from insufficient comprehensive protection, inadequate systematic management, and lagging detection. The article explores the corrosion status and characteristics of metal structures and proposes systematic protection strategies to extend the service life of structures and improve operational safety. At the same time, it can also provide reasonable and effective data support for the design, construction, and maintenance of such projects, promoting their progress towards intelligence and green direction.

**Keywords:** water gate and canal head project; metal structure; corrosion protection technology; technology application

### 引言

水闸渠首工程是整个水利工程体系的一部分, 它不仅要担负起控制调节水流, 防洪防汛以及灌溉供水还有生态输水等多种任务, 而且对于其中的金属构件在结构稳定性和可靠运行方面有着严格的要求。近年来伴随着我国水利水电工程建设规模的逐渐扩大, 在水闸门、启闭机、底槛支撑、机械设备连接部件等方面广泛地应用了金属材料, 金属结构耐腐蚀程度也直接关系到整个工程项目的寿命长短及其安全性能。但是由于水闸渠首工程建设地点大多处于潮湿、涉水多、接触腐蚀性介质较多的环境下, 金属部件经常处于流水侵蚀、溶氧、氯离子和酸碱度变化等多种恶劣条件之下, 经常会发生电化学腐蚀、全面腐蚀、局部腐蚀甚至是应力腐蚀开裂的情况出现, 在极端情况下会导致结构强度下降、影响水闸门启闭效率等问题, 增加维修费用的同时, 还可能危及到整个工程的安全。所以深入探究水闸渠首金属结构的腐蚀原理并结合物理保护法、化学保护法、结构设计优化及智能化检测手段给出一系列综合性预防措施就成为保证水闸渠首工程长久安全稳定工作的必要前提。本文基于对水闸渠首金属结构所处环境、腐蚀状况以及相关影响要素的分析, 着重介绍了物理保护技术、化学保护方法、结构设计优化和管理制度、智能监

测预警与在线保护技术和综合防护体系与长效维护管理模式的实际应用情况, 目的在于为水闸渠首工程金属结构合理有效的防腐蚀提供相应的理论支撑和实际案例借鉴, 促进防护措施向着系统化、智能化和可持续的方向发展。

### 1 水闸渠首工程的结构特点

水闸渠首工程是整个调水系统中的一个枢纽点, 它所要起到的作用不仅仅是对于水流的控制还要承担着对防洪、抗旱和灌溉供水以及生态调水等功能, 因此在结构方面也比较复杂。总体来看, 水闸渠首工程是由闸室、上游连接段与下游连接段组成的, 共同构成一个完善的水流控制系统: 其中闸室是主要建筑物用于控制水位并联接两岸的部分, 包括了底板、闸墩、工作桥和交通桥等; 而上游连接段的功能便是使水流平顺流入到闸室内, 在保护河床及岸边的同时还具有一定的防渗任务; 下游连接段则是用来减少水能和防止冲刷还有排出渗透水的任务以保障水流能够顺利通过。而在结构形式的选择上可以根据具体的功能进行分类有开敞式的、胸墙式的和涵洞式的等来对应不同的任务比如开敞式的就适用于一般的引水控制、胸墙式的适用于高低水位差的情况和涵洞式的大多用于穿堤引排水等。此外闸首结构外形复杂、受力状况复杂, 它既要抵抗来自水压力、土压力以及其他外力的作用, 还可

能会集成了输水廊道和闸门和启闭机械设备,它的结构形式又可以分为整体式(闸墙与底板整体浇铸,刚性强)和分离式(适应不均匀沉降)。而且在结构的设计上还需要根据不同的功能要求来进行相应的调整,例如防洪闸是以闸门启闭系统为主便于迅速截断洪流;灌溉渠首闸是以引水流量精确控制为主;生态闸是以不间断的生态调水为主并且配合现代智能信息技术实现实时监测、自动调节。

## 2 水闸金属结构腐蚀现状与问题分析

### 2.1 金属材料腐蚀类型及表现

水闸渠首工程中的金属结构经常处于水、湿气和水中溶存的各种盐类等复杂的条件下,很容易遭受各种类型的腐蚀,腐蚀的表现方式也各不相同,而且腐蚀的过程比较隐秘,是逐步发展的。常见的腐蚀主要有均匀腐蚀、局部腐蚀、电化学腐蚀和应力腐蚀等几种类型。均匀腐蚀一般就是整块金属构件的金属表层被全面地氧化而变薄,引起横截面积减少、强度降低,腐蚀虽然进行得较慢,但由于持续不断的发展,最终会给人水闸金属结构的安全带来严重隐患。局部腐蚀主要是指点蚀、缝隙腐蚀、溃疡腐蚀,易出现于焊缝、螺栓孔、金属与非金属间,这种腐蚀进展快且不易用肉眼全部观察到,容易在一处产生穿透孔而导致失效。电化学腐蚀通常出现在两种不同的金属接触在一起或者是在水中产生原电池的情况下,它的腐蚀速度受导电性能的影响较大,水质情况和氧化还原状态对其他也有较大的影响,经常会导致局部很快遭到破坏<sup>[1]</sup>。应力腐蚀常常发生于承受外力作用的金属结构上的应力集中的地方,配合着腐蚀介质的存在而发生裂纹扩展甚至有时会导致脆断。除此之外,在水闸金属结构长期使用的过程中还会发生腐蚀疲劳以及由微生物引起的腐蚀,它们之间往往会发生相伴发生使得水闸金属结构的破坏多种多样。

### 2.2 腐蚀对水闸结构性能的影响

水闸金属结构腐蚀对于水利工程的危害是深刻且复杂的,它所造成的影响不仅仅局限于材料自身的消耗,更是关乎整个水闸构建物的安全稳固程度、持久耐用程度以及使用性能可靠程度。首先,腐蚀导致金属断面持续变薄,减弱了金属的承载能力,在外界设计荷载的作用下容易诱发结构发生形变、屈曲或局部失稳的情况,在闸门板、承重横梁以及各类连接件这些主要的受力构件中,哪怕仅有轻微的断面损失也会带来整个结构整体抗力的严重衰退。其次,腐蚀带来的表面粗糙程度改变以及点蚀、穿孔等局部缺损会在结构内部产生严重的应力集中情况,使得结构在受到水压或者运行荷载的过程中较易萌生裂纹或者发生脆性破坏的情况,提高了水闸结构遭受破坏的随机性。再者就是腐蚀过程中的材料自身机械性能衰退,如延展率、韧性、疲劳极限下降等都给水闸长期的周期性的开启关闭动作及水流的不断冲刷下的抗疲劳破坏能力提出了严峻考验。最后,腐蚀还会影响到金属结构同其它材料交汇界

面之间的密封效果和配合精度,像闸门跟门槽之间、铰链处还有各个紧固用的螺栓链接处如果配合间隙变大则会引起渗漏量增多、起落阻力加大甚至失效不能运作的现象,这就影响到了水闸的调蓄功能和挡水防洪效益。

### 2.3 现有防护措施存在的不足

虽然当前水闸的金属结构防锈措施可以在一定程度上可以减缓其锈蚀速率,但是依然存在着一些弊端阻碍着防锈作用的更好发挥。一方面传统的涂层保护需要建立在表面涂层完好和黏结的基础上之上,然而在水体长期的浸泡冲刷以及日光紫外线的照射和温差影响之下涂层会出现裂纹脱落或者起泡现象致使金属内层裸露引发局部锈蚀,同时阴极保护和防腐隔绝措施也经常受制于安装工艺、接触电阻以及后期管理水平的影响而导致保护电流分布不均或局部失效的情况比较普遍并且较难实现长期稳定的效果。另一方面目前常用的这些防护方式大多数只重视单一的技术方法而忽视系统的和贯穿整个寿命周期的防护管理策略,在水闸投入使用后其锈蚀的风险还是呈现出了累积叠加的特点,尤其是对于一些焊缝、螺孔、铰接位置以及外形复杂的连接处等都容易成为难以观察到的死角产生局部锈蚀情况。此外对于防护措施的设计和建造过程中很少会考虑到水体的化学成分、流速变化以及周围大环境条件对于腐蚀行为的影响从而导致实际防护性能与预期存在一定差异<sup>[2]</sup>。再有就是现在所采用的一些检测维护手段也比较落后大多还是基于定期的人工巡检缺少必要的实时在线监控和报警措施以至于初期细微的腐蚀迹象不能被第一时间了解以致隐秘性的腐蚀要等到已经形成了明显的损坏之后才会被发现进而造成了更高的维修代价和风险。

## 3 水闸渠首工程金属结构腐蚀防护技术研究

### 3.1 物理防护技术

对于水闸渠首工程来说,物理防范措施是对金属结构防锈的主要措施之一,其主要思想是在金属表面覆盖一层隔绝层或者屏蔽层,在金属构件与腐蚀环境之间进行有效的分隔开来以达到减慢或者防止发生腐蚀的目的。常用的物理防范措施主要有涂层保护法、阴极保护以及使用防腐隔离材料等几种方式。其中应用最为广泛的便是涂装保护法,通过在金属表面涂抹涂料、环氧树脂或者是聚合物复合涂层来达到阻断水源、空气、腐蚀离子等接触金属表面的目的,并且能够为金属表面提供一定程度上的机械保护作用,降低冲蚀磨损带来的损害。而涂层的防护能力除了依赖于涂料本身的特性之外,同样受到制备方法、涂层厚度及其均匀程度和固化效果的影响,因此其防护寿命也就决定了水闸金属结构能够使用的年限长短。阴极保护也是一种电化学性质的物理保护措施,它的工作原理就是在金属结构上设置附加电流系统或者安装牺牲阳极装置从而使整个金属结构都保持在一个被保护的状态下的电位水

平之上进而可以有效的降低氧化速度,它可以在特定条件下长时间稳定地发挥作用,特别适用于经常处于水下或潮湿环境下易产生电化学反应的金属区域。

### 3.2 化学防护技术

化学保护技术也是水闸渠首工程金属结构防腐措施的一种,它是指利用化学方法处理金属表面状态或周围环境介质,来阻止或者延缓腐蚀发生及其发展过程,进而提高金属构件使用寿命的一种技术。常用的化学保护法主要有防腐剂和缓蚀剂处理、金属表面化学转换处理、合金化处理以及镀锌防腐等。防腐剂和缓蚀剂能在金属表面产生一层致密牢固的防腐钝化膜,或者溶于水中后与金属所处环境中的腐蚀物质发生作用,生成难溶的沉淀物,降低了氧化还原反应的速度,减慢腐蚀速度,这种方法特别适合不便喷涂和长期浸泡在水里的部件。对于金属表面进行的化学变质处理,比如磷化、阳极氧化、化学镀膜等可以在基体上形成连续紧密的保护膜,还可以改善基体表面的漆膜附着力和抗磨损性能,提高了金属的整体抗腐蚀性能和使用年限。合金化是在金属内部加入一些元素改变成分比例的过程,像往铁中添加铬、镍、钼等元素,使其在金属表面生成稳定致密的保护膜,在复杂的水域环境中自身具有抵抗腐蚀的能力,从根本上达到保护金属构件的目的<sup>[3]</sup>。镀锌防腐就是在金属表面上覆盖一层锌金属膜,是一种牺牲阳极的做法,一旦基体发生腐蚀现象那锌会首先被氧化从而避免了金属的腐蚀损伤,无论是热镀锌还是电镀锌均能有效提高构件在高湿和水下环境中的耐久性。在具体应用过程中需要根据水闸渠首工程周边水质情况、pH值、溶解氧量、盐度、温度变化等因素合理选用化学保护技术和保护材料种类并采用合理的配套组合形式保证金属结构的长效防腐,这样可以大大增加水闸工程金属部件的使用寿命,提升了整个水利枢纽工作的可靠程度与安全性。

### 3.3 结构优化与管理措施

结构设计及管理手段是对水闸渠首工程金属结构防腐的有效辅助方法,主要是在结构设计、施工以及后期运维的过程中采取合理的方案和有效的管理手段来降低腐蚀发生的概率,延长整个结构体系的使用年限。在结构方面,针对水闸金属部件受力特征、水流影响以及环境因素等对其进行合理的截面形式、焊接工艺以及连接点分布的设计,尽可能避免存水积液、渗漏水以及旋涡水流对金属结构表面的冲击腐蚀;在水位变动区,增加金属结构设计尺寸作为锈蚀裕度,这样不仅提高结构刚性和整体稳定性,而且可以降低由于应力过于集中以及局部腐蚀造成的结构损伤。在施工层面要严格按照工艺标准以及施工要求进行操作,在金属结构的焊接点位、螺栓孔道以及一些复杂的组合构件交汇处做好防锈蚀工作,杜绝因为施工上的失误导致后续锈蚀的发生,在施工流程安排以及养护环节上做到合理规划,尽量降低周围环境对金属材质的影响程度。

对于后期运维来说则侧重日常的巡视检查、维修保养以及监测工作,制定一系列完善的规章制度,针对一些重要的节点、容易发生锈蚀的地方以及一些重要的承重部件要做好观测记录,以便及时捕捉到细微的损伤与锈蚀情况;结合以往的记录做好数据分析与评估工作。

### 3.4 智能监测与在线防护技术

智能化检测与在线式防护是今后水闸渠首工程金属结构防锈的重要研究方向,它是在传感技术和数据采集技术基础上结合信息化管理系统来实现实时检测并动态防护的一种新型金属结构腐蚀防护手段,在线式防护技术采用电化学传感器、腐蚀探针、应力应变测量仪器、温湿度测试仪和水质分析仪等,对主要受力件和易遭受腐蚀区域的腐蚀速度、表面状况以及周围环境进行不间断地追踪记录,可以及时捕捉到初期腐蚀以及微小损伤的发生,通过数据分析对可能出现的风险做出判断,提供可靠的数据支撑;此外智能检测系统还能够同在线式防护策略相互配合,比如依据监测结果自动调节阴极保护电流或者开启局部腐蚀抑制剂添加等措施,构成闭环式防护体系,进而达成腐蚀防护的主动性与针对性。构建云端数据库和信息化管理系统使得有关负责人可以通过网络远程查看监控数据、查阅历史记录并与以往情况进行比较研究,为周期性的维修计划制定、危险性评定乃至整个水闸使用寿命估计等工作提供可靠的理论基础。相对于传统的基于人员巡视检查的防护方式而言,智能检测与在线防护技术不但提升了腐蚀损害警告信号的即时性和精确度,而且大幅减少了日常维护开支和减少因主观原因造成的失误,让水闸金属结构得到更为合理、全面和持久有效的防护,大大提高了水闸枢纽面对复杂的水文条件的安全性能和稳定程度。

### 3.5 综合防护体系与长期维护管理

综合治理与长效管养是水闸渠首工程金属结构防腐蚀的根本方法,其核心就是将包括物理防护,化学防护,结构措施以及智能监测等各类防护技术有机结合起来的一种贯穿项目的设计、建设、运营管理全过程的一体化管理模式。综合治理从设计上合理选材、优化结构布置、节点设计,最大限度减少腐蚀易损位置,在源头处给予最有效的防护;建设过程中突出过程标准化,表面处理及涂装施工质量控制,焊接及连接处理细节把控,为后期的综合治理打下良好基础<sup>[4]</sup>;而运营中的综合治理则依赖智能化监测与实时在线防护,对重点位置的腐蚀状况及环境条件全天候采集数据信息,基于大数据分析对腐蚀状态进行风险识别与预报,及时发现腐蚀早期信号并迅速采取应对措施。长效管养则是基于定期检查巡查,特殊维护保养以及寿命周期管理,通过制定完善的维修档案、维养方案以及岗位责任制等来实行动态化防护治理。

## 4 结语

水闸渠首工程金属结构的安全长效运行对于水利工

程枢纽的作用有着非常重大的意义。基于金属结构腐蚀现状以及影响因素分析的基础上,通过采取物理防护方法、化学防护措施、结构设计优化、智能检测技术和综合维护保养等防护措施可以建立起系统全面、科学合理的防护方案并且可以在整个结构物寿命期内对其进行有效地防护。本文介绍了多种防护措施,并分析了它们的特点,提出可以考虑多种方法结合使用,不仅可以减缓金属结构的腐蚀速率并延长使用寿命而且还可以增加整个水闸渠首工程运行过程中的可靠性和安全性,可作为相关技术人员进行水利工程的设计、建造以及管理的技术借鉴和实际参考,更可以促进我国水利工程朝着智慧化、精准化和绿色方向不断发展。

#### [参考文献]

- [1] 何德林.水工金属结构腐蚀性危害分析[J].中国农村水利水电,2003(10):53-75.
  - [2] 张中建.水闸防腐蚀设计与分析[J].内蒙古水利,2018(12):30-31.
  - [3] 冉龙.水闸金属结构防腐处理措施的研究[J].建材与装饰,2017(7):282-283.
  - [4] 庄万里,刘伟,严岳同.浅谈水闸金属结构防腐处理措施[J].治淮,2019(12):35-36.
- 作者简介:武艺(1988.12—),男,汉族,新疆昌吉人,本科,工程师,研究方向:水利水电工程,农田水利工程,防洪工程。

# 火电厂机组运行安全风险识别与防控研究

刘翔 郑浩 苗晏玮 傅金 崔清博

华能日照电厂，山东 日照 276800

**[摘要]**伴随着我国电力需求不断增长这一情况，火电厂机组依旧是主要的电力来源，其运行是否安全，对于电网的稳定以及经济的发展都有着极为重要的影响。以往那种单纯依靠人工巡检以及定期开展维护的管理方式，存在着风险发现往往会有滞后的状况、隐患排查也做不到十分全面等问题，所以很难满足机组在高负荷状态下以及需要连续运行时所提出的要求。尽管部分火电厂已经应用了在线监测以及智能化的相关技术，然而在数据分析以及风险预警这些方面，依旧存在着一定的不足之处。所以说，针对机组运行过程中存在的安全风险展开系统的识别与有效的防控工作，并且结合技术方面的举措、管理方面的手段以及人员培训等相关手段，这无疑是保障火电厂机组能够安全且稳定地运行的一项极为重要的措施。

**[关键词]**火电厂；机组运行；风险识别；防控研究

DOI: 10.33142/hst.v8i12.18461 中图分类号: X924 文献标识码: A

## Research on Identification and Prevention of Safety Risks in the Operation of Thermal Power Plant Units

LIU Xiang, ZHENG Hao, MIAO Yanwei, FU Jin, CUI Qingbo

Huaneng Rizhao Power Plant, Rizhao, Shandong, 276800, China

**Abstract:** With the continuous growth of electricity demand in China, thermal power plant units are still the main source of electricity in China. The safety of their operation has an extremely important impact on the stability of the power grid and the development of the economy. The previous management method that relied solely on manual inspections and regular maintenance often had problems such as delayed risk detection and incomplete hazard investigation, making it difficult to meet the requirements of the unit under high load and continuous operation. Although some thermal power plants have applied online monitoring and intelligent related technologies, there are still certain shortcomings in data analysis and risk warning. Therefore, systematically identifying and effectively preventing safety risks during the operation of thermal power plants, combined with technical measures, management methods, and personnel training, is undoubtedly an extremely important measure to ensure the safe and stable operation of thermal power plant units.

**Keywords:** thermal power plants; unit operation; risk identification; prevention and control research

### 引言

随着我国能源需求的不断增长，火电依然在我国电力供应方面有着极为重要的地位。火电厂机组能否安全且稳定地运行，这直接影响到电网的可靠性以及社会经济的正常运转情况。火电机组系统的构成较为复杂，其主要由锅炉、汽轮机、发电机以及它们各自的辅助系统共同组成。各类设备长时间处在高温、高压以及高速的工况环境下运行，所以存在着设备老化、操作出现失误、管理方面存在漏洞以及外部工况发生变化等多种安全风险。要是这些风险一旦发生出来，那么不但有可能致使设备遭到损坏并带来经济损失，而且还会对人员的安全以及环境产生十分严重的影响。所以说，要对火电厂机组在运行过程当中所存在的安全风险展开全面且细致的识别工作，并且采取有效的防控举措，这就成为了保障机组能够安全且稳定地运行的关键核心任务。近些年来，伴随着信息化以及智能化技术不断地发展进步，一种基于在线监测、数据分析以及预测性维护所构建起来的安全管理模式，已经开始逐渐在我

国火电厂当中得到应用。然而在实际的运行状况下，依旧存在着风险识别不够全面、防控措施缺乏系统性、人员操作以及管理制度执行不到位等一系列问题。针对这样的一种现状情况，本文把目光聚焦在火电厂机组运行安全风险识别与防控方面，开展相关的研究工作。通过系统地去分析机组各个系统所潜在的风险及其形成的具体机理，进而提出从技术改进、运行管理、人员培训以及智能化监测等多个不同维度来实施防控措施的办法，希望能够为火电厂提升自身的安全管理能力、减少事故发生的概率、达成机组长期稳定且高效的运行目标，给予一定的理论方面的参考依据以及实践层面的指导帮助。

### 1 火电厂机组运行安全风险识别原则

火电厂机组运行安全风险识别是一项系统性工程，需要遵循科学、全面的原则以确保识别结果的有效性。识别过程中应覆盖机组运行的全生命周期和各个环节，包括设备设施、作业行为、环境因素及管理制度，确保无遗漏；应以风险为导向为核心，重点关注高后果风险，通过可能性

与严重程度评估,集中资源防控重大隐患;应采用系统化方法,如工作危害分析、危险与可操作性分析等,对工艺、设备和作业逐项分解,避免主观遗漏;同时,识别工作需动态更新,根据设备老化、工艺变更或事故事件及时修订,保持结果的时效性;并强调全员参与,鼓励运行、检修及安全管理人员结合现场观察和一线经验共同识别潜在风险,从而提升辨识的全面性和可操作性。

## 2 火电厂机组运行安全风险识别

### 2.1 锅炉系统运行安全风险识别

在火电厂机组运转期间,锅炉系统处在高温、高压且持续运转的状态下,其属于机组安全风险最为聚焦的关键环节之一。锅炉系统的运行安全风险主要出自设备状态、燃烧进程、运行操控以及人员操作等诸多方面。在长期运行的情形下,受热面管道比较容易出现腐蚀、磨损、结垢以及老化等一系列问题,有可能引发泄漏乃至爆管事故;燃烧系统要是燃料品质出现较大波动或者风煤配比控制不够合理,那么就很容易致使燃烧变得不稳定、炉膛产生结焦、发生灭火等异常状况,情况严重的时候会危及设备以及人员安全<sup>[1]</sup>。与此在机组启停、负荷调整以及异常工况处理的过程中,倘若运行参数控制得当,便容易致使汽包水位出现剧烈波动、炉膛压力出现异常以及出现局部超温超压等风险。除此之外,锅炉安全保护装置以及监测仪表要是存在失灵、维护不够到位或者校验不及时等问题,那么将会削弱其对于危险工况的预警以及防护能力;再加上运行人员对设备状态了解不全面或者操作规程执行不到位,这又进一步加大了锅炉系统运行的安全隐患。

### 2.2 汽轮机系统运行安全风险识别

在火电厂机组的运行进程当中,汽轮机系统肩负着把热能转变成机械能这一极为重要的使命。它的运行状况颇为复杂,转速也颇高,对于精度的要求更是严格,所以对于安全且稳定的运行有着较高的要求。汽轮机系统的运行安全风险重点聚焦在设备的机械状态、热工参数的控制、润滑与调节系统以及运行操作等方面。在长期处于高速运转的情况之下,像转子、叶片这类关键部件很容易受到疲劳、磨损以及热变形等因素的影响。要是存在制造方面的缺陷或者检修的质量不够到位,那么就有可能引发诸如振动超出限定范围、叶片出现断裂乃至转子遭到损坏等一系列较为严重的事故。汽轮机在启动、停止以及负荷发生变化的过程当中,倘若升温、升速还有升负荷的控制没有做好,那就容易致使热应力产生集中现象,进而引发胀差出现异常、发生摩擦碰撞等一系列的安全隐患。与此润滑油系统和调节系统要是出现油质变差、压力不足或者控制失灵等情况,那么将会对轴承的冷却以及转速的调节产生直接的影响,甚至有可能导致轴承被烧坏、出现超速等危险的情形发生。

### 2.3 发电机及电气系统运行安全风险识别

在火电厂机组运转期间,发电机以及电气系统属于达

成电能输出并且确保电力安全传输的重要环节,其运转安全和机组稳定性、电网运转可靠性紧密相关。发电机及电气系统的运行安全风险主要表现在设备绝缘状况、电气参数把控、保护系统可靠性以及运行管理等方面。在长时间运行的情形下,发电机定子绕组还有转子绕组容易受到高温、电应力以及机械振动等因素的影响,产生绝缘老化、局部放电乃至绝缘击穿等隐患;要是冷却系统运转不佳或者通风不畅,那么还可能致使绕组温度上升,加快设备劣化并且引发故障<sup>[2]</sup>。与此在并网运行以及负荷波动的过程中,电压、电流以及频率等参数要是把控不到位,就容易引发发电机过励磁、失磁或者非同期并列等危险工况。

### 2.4 辅助系统与公用系统运行风险识别

在火电厂机组运行期间,辅助系统以及公用系统虽说并不会直接参与到能量转换这一过程当中,然而它们的运行状况对于主机设备能够安全且稳定地运行起着极为重要的支撑作用,其存在的安全风险同样是不可以被忽视掉的。辅助系统与公用系统的运行安全风险,主要是源自于这些系统类型多种多样、运行环节较为复杂并且相互之间的关联性比较强等诸多特点。像给水系统、循环水系统、凝结水系统、除灰除渣系统、脱硫脱硝系统、压缩空气系统以及供油供气系统等,要是出现了设备老化、管道发生泄漏、出现堵塞情况或者控制系统失灵这类问题,那么就有可能致使主机工况变得恶劣,甚至还可能引发连锁故障。而冷却水系统的运行要是出现异常情况,那么这将会直接对汽轮机的真空状态以及设备的散热效果产生影响,进而使得机组的运行负荷增加,同时也增大了事故发生的风险。

### 2.5 人员操作与管理因素风险识别

在火电厂机组的运行进程当中,人员操作以及管理方面所涉及的因素,可算作是影响机组安全运行的关键非设备因素,而其风险呈现出隐蔽性颇为突出、影响所波及的范围较为广泛,并且还易于和技术风险相互融合叠加的特点。人员操作与管理层面的安全风险,重点体现在运行人员的技能水平状况、操作行为是否规范以及管理制度的执行情况等诸多方面。鉴于机组系统的复杂程度较高,运行工况又处于多变的状态,倘若运行人员对于设备性能以及运行参数的了解掌握不够全面到位,在启停操作、负荷调整以及面对异常工况进行处理的过程中,未能严格按照操作规程来执行,那么就极有可能引发误操作、漏操作甚至是出现违章操作的情况,如此一来便有可能诱发设备故障,或者使得事故后果进一步扩大。与此要是安全管理制度不够完善健全,岗位责任的落实工作做得不到位,交接班环节以及信息传递过程出现不顺畅的问题,那么同样会使得针对运行风险的有效控制力度大打折扣;检修工作与运行工作之间的协调配合不够恰当,风险预控以及隐患排查机制的落实情况有所欠缺,这就容易致使潜在的隐患长期处于存在的状态。

### 3 火电厂机组运行安全风险防控措施

#### 3.1 技术层面防控措施

在火电厂机组运行安全风险防控方面,技术层面的防控举措乃是达成本质安全、缩减事故发生几率的重要途径,需全程贯穿于设备设计、运行监测以及维护管理等各个阶段。得强化对关键设备与系统展开技术改造及升级工作,就锅炉、汽轮机、发电机等核心设备而言,要恰当选用具备高可靠性的材料以及成熟稳定的技方案,并且要及时将老旧设备予以淘汰,以此来提升设备整体的安全裕度。接着,要完善在线监测以及状态检测技术的应用情况,借助布置温度、压力、振动、绝缘状态等相关监测装置,达成对设备运行参数的实时采集以及动态分析的目的,从而能够及时察觉到异常趋势,避免故障进一步扩大<sup>[3]</sup>。与此还应当强化保护装置与联锁系统的配置以及维护事宜,保证超温、超压、超速等保护功能处于灵敏且可靠的状态,当出现异常工况的时候,可以快速动作进而切断风险源。除此之外,要依据机组运行的特点,对自动控制与调节系统加以优化,提升运行参数调节的精准程度以及稳定性,削减人为干预所引发的不确定性。

#### 3.2 运行管理与制度防控措施

在火电厂机组运行安全风险防控方面,运行管理以及制度建设构成了保障各项安全措施得以有效施行的关键基石。应当依照机组运行所呈现出的特点以及风险分布的实际状况,去构建起一套完备且能涵盖机组运行整个过程的安全管理制度,要清晰界定各个岗位的安全职责以及操作权限,务必要做到将责任切实落实到具体的人身上。借助于对运行规程加以完善、制定详尽的事故预案并且优化应急处置流程等举措,强化针对机组启停、负荷调整还有异常工况处理等诸多关键环节的规范管理,以此来削减由于管理存在缺失而引发的运行风险。与此还需进一步强化风险预控以及隐患排查方面的机制,定期实施安全检查以及专项评估工作,对于在检查过程中发现的问题要及时予以整改,并且形成一个完整的闭环管理体系,从而避免隐患逐步演化成为事故的情形出现。

#### 3.3 人员培训与操作规范防控措施

在火电厂机组运行安全风险防控方面,人员培训以及操作规范属于减少因人为因素引发事故的关键保障举措。需构建起系统化的培训体系,针对不同岗位的操作人员来展开有关设备原理、运行工艺、安全规程、应急处理等方面专项培训,以此提升人员对于机组各个系统运行特点以及潜在风险的认识与掌握程度。要借助模拟演练、应急演练还有案例分析等途径,提高人员在出现异常工况时的应急反应能力以及处理水准,保证在发生突发事件之际可以迅速且精准地执行操作规程。并且,应当严格规范操作流程与岗位职责,明确操作权限,切实落实交接班制度以及运行记录管理工作,彻底杜绝违规操作与误操作的情况

出现;对于新上岗的人员,需要施行导师带教以及考核制度,确保他们拥有独立操作的能力以及较强的安全意识。

#### 3.4 智能化监测与信息化防控手段

在火电厂机组运行安全风险防控方面,智能化监测以及信息化手段的应用属于实现设备状态实时监控、预警风险以及优化运行管理的关键技术路径。通过在锅炉、汽轮机、发电机还有辅助系统里布置温度、压力、振动、转速、电流电压等诸多参数传感器,达成对关键运行参数的持续采集与剖析,如此便能够及时察觉设备异常以及潜在隐患,降低突发事故发生几率<sup>[4]</sup>。与此凭借大数据分析、故障诊断算法以及预测性维护技术,针对历史运行数据展开深度挖掘与趋势预测,可以精准判定设备老化状况与风险演变走向,进而提前施行维修或者调整举措。信息化平台能够实现运行数据的集中化管理、报警信息的自动化传输以及远程监控与调度,让运行管理更为科学、高效且透明;与之相配套的可视化界面以及智能决策支持系统,可助力管理人员迅速分析故障缘由、制订防控策略并且优化运行参数。

### 4 结语

经过对火电厂机组运行安全风险展开系统的分析,能够发现,机组在锅炉、汽轮机、发电机还有辅助系统等諸多方面都存在着各式各样的潜在风险。而这些风险其源头是设备的状态、运行的各项参数、人员的操作以及管理制度等多个方面的因素。本文在对各类风险加以识别的基础之上,给出了技术方面的改进举措、运行管理方面的优化办法、针对人员开展的培训以及智能化的监测等一系列多维度的防控办法,目的是要构建起一个科学且较为完备的风险防控体系。从实际的情况来看,综合地运用这些防控措施,能够在很大程度上降低机组在运行过程当中发生事故的可能性,进而提升运行的安全性以及可靠性。在未来,伴随智能化技术以及信息化管理不断地向前发展,火电厂机组的安全风险防控将会变得更加精准并且高效,从而给机组实现长期稳定且高效的运行给予稳固的保障。

### 【参考文献】

- [1]胡宇.火力发电机组集控运行技术应用研究[J].科技创新与应用,2025,15(11):165-168.
  - [2]孙立德.300MW 火电燃煤机组锅炉运行及安全性能研究[J].科技与企业,2014(2):263.
  - [3]张云华.基于信息技术的火电厂发电运行管理研究[D].浙江:浙江大学,2009.
  - [4]蔡俊龙.基于边缘计算的某大型火电厂机组运行安全在线监测方法[J].机电技术,2024(6):79-82.
- 作者简介: 刘翔 (1996.11—), 男, 毕业院校: 韩国国立庆北大学, 学历: 本科, 所学专业: 电气工程, 当前就职单位: 华能日照电厂, 职务: 运行部巡检 A, 年限: 2 年, 助理工程师。

## 水利工程生产运行管理体系优化与实践研究

刘子怡

昌吉市水利管理站（昌吉市三屯河流域管理处），新疆 昌吉 831100

**[摘要]**随着水利工程规模变得越来越大，其运行环境也一天比一天复杂起来，在这样的情况下，水利工程的生产运行管理遇到了不少挑战。当下，水利工程在管理实践当中普遍存在着一些问题，像是运行机制不够完善、信息化以及智能化的程度不高、标准化执行起来比较困难、安全与应急管理方面存在隐患、人力资源配置以及能力水平不足等。这些问题一方面影响了工程的运行效率以及管理质量，另一方面也对工程的安全性以及可持续发展形成了制约。鉴于当前的这种状况，迫切需要借助系统化的管理体系优化、信息化与智能化建设、科学的安全与应急管理以及合理的人力资源配置等一系列措施，来提高水利工程生产运行的精细化程度、科学化水平以及智能化水准，以此为工程的高效且安全运行给予保障。

**[关键词]**水利工程；生产运行；管理体系；管理优化；实践

DOI: 10.33142/hst.v8i12.18465

中图分类号: TV698

文献标识码: A

## Research on Optimization and Practice of Production and Operation Management System for Water Conservancy Engineering

LIU Ziyi

Changji Water Conservancy Management Station (Changji Santun River Basin Management Office), Changji, Xinjiang, 831100, China

**Abstract:** With the increasing scale of water conservancy projects and their increasingly complex operating environment, the production and operation management of water conservancy projects have encountered many challenges. At present, there are generally some problems in the management practice of water conservancy projects, such as inadequate operating mechanisms, low levels of informatization and intelligence, difficulties in standardized implementation, hidden dangers in safety and emergency management, insufficient human resource allocation and capability level, and so on. These issues not only affect the operational efficiency and management quality of the project, but also constrain the safety and sustainable development of the project. Given the current situation, it is urgent to use a series of measures such as systematic management system optimization, information and intelligent construction, scientific safety and emergency management, and reasonable human resource allocation to improve the precision, scientific level, and intelligent level of water conservancy engineering production and operation, in order to provide guarantees for the efficient and safe operation of the project.

**Keywords:** water conservancy engineering; production operation; management system; management optimization; practice

### 引言

水利工程属于保障水资源得以合理利用、实现防洪减灾以及满足农业、工业和生活用水需求的重要基础设施范畴，其生产运行管理的水平状况，会对工程的安全性、稳定性以及效益产生直接影响。不过，伴随水利工程规模变得越来越大，运行环境也日益复杂起来，传统的管理模式便面临着不少挑战，像管理制度存在不完善的情况、信息化水平处于较低状态、标准化执行起来颇有难度、安全隐患较为明显以及人力资源配置方面的能力有所欠缺等问题，这些问题的存在，对工程管理朝着科学化、精细化方向发展起到了制约作用。所以，构建起科学且高效的生产运行管理体系，提高管理的水平，已然成为迫切需要去解决的关键核心问题。在这样的情况之下，本研究从优化管理体系这个角度来着手，全面且细致地分析水利工程生产运行管理当下所存在的种种问题，深入探讨诸如完善管理制度、推动信息化以及智能化建设、强化安全与应急管理

工作、优化人力资源配置以及建立起标准化与绩效考核体系等一系列策略的实际应用情况，希望能够给水利工程实现高效、安全并且可持续的运行给予相应的理论支撑以及实践方面的指导，推动管理体系向着科学化、规范化以及智能化的方向不断发展。

### 1 水利工程生产运行管理体系的特点

水利工程生产运行管理体系具有多维度的特点，体现了其复杂性、系统性和长期性。首先，工程规模浩大且技术复杂，涉及水文、地质、结构等多学科技术，需要大量人力物力投入，并严格遵循国家规范。其次，其效益具有随机性和综合性，受水文条件变化影响，同时需兼顾移民安置、环境保护等多方面因素，强调科学规划与适应性。管理过程中还需关注环境关联性和生态保护，优化设计以减少对自然环境和生态的负面影响。现代管理体系注重标准化与精细化，通过信息化平台实现设备巡检、维修养护等环节的规范操作，并结合实时监测和数据分析提高管理

效率与安全性。同时，质量管理贯穿工程全生命周期，确保长期稳定运行，并严格遵循相关法律法规与技术标准以保障安全合规。随着技术发展，BIM、GIS、大数据等智能化技术的集成应用使管理实现可视化监控和智能决策，但也对系统维护成本和人员技术水平提出了更高要求。此外，体系高度依赖数据驱动，需要强化数据安全与隐私保护，并有效应对潜在技术故障或操作风险，从而保证水利工程运行管理的科学性、精细化和可持续性。

## 2 水利工程生产运行管理存在的问题

### 2.1 运行管理机制不完善

在水利工程开展生产运行管理工作期间，运行管理机制存在不完善之处，这是比较突出的一个问题。很多工程在管理制度方面、流程设计环节以及职责划分上都存在着不清晰或者不够系统的状况，这就致使日常管理缺少统一的标准以及规范的要求。部分工程还缺少科学的管理流程与操作规范，如此一来，设备的运行情况、调度安排事宜以及维护管理事项常常要依靠经验来做出判断，很难达成系统化以及标准化的管理效果。除此之外，管理信息的流动不够通畅，跨部门的协作机制也不够健全，这样很容易出现信息滞后的状况，责任关系也会变得模糊不清，并且决策过程也容易出现延误的情况，最终会对工程的运行效率以及安全性产生影响。

### 2.2 信息化与智能化水平不足

在水利工程开展生产运行管理工作期间，信息化以及智能化的水平有所欠缺，这已然成为对管理效率和安全产生制约作用的关键因素。众多的水利工程仍旧依靠传统的那种人工记录方式、纸质台账以及凭借经验来做出判断，缺少一个能够实现统一的数据采集、存储还有分析功能的平台，如此一来，设备的运行状态、调度方面的信息以及维护记录便很难做到及时且准确地汇总以及共享。与此像智能化监控、自动化调度以及预测性分析这类技术的应用范围较为有限，进而致使针对水利设施展开实时监测、风险预警以及运行优化的能力不够强<sup>[1]</sup>。信息系统的不完备还致使跨部门之间的信息流通存在不顺畅的情况，管理人员在进行决策以及应对突发事件的时候没办法获取到全面且可靠的数据作为支撑，最终使得工程运行的科学性有所降低，响应速度也变慢了，同时还增加了管理的难度以及潜在的安全隐患。

### 2.3 管理标准化与规范化执行难度大

在水利工程开展生产运行管理工作期间，将管理标准化以及规范化予以执行着实存在着不小的困难。虽说不少工程都制定出了相应的管理制度还有操作规程，可在实际去执行的这个过程当中，因为管理人员各自的经验水平呈现出参差不一的状况，责任划分得还不够清晰明确，并且监督检查所施加的力度也比较有限，所以标准化的操作往往很难能够获得切实有效的落实。与此工程本身的规模颇

为庞大，设备的种类也多种多样，运行的环境更是复杂多变，这就使得统一的标准在不同的环节当中应用时会受到诸多限制，操作的方式也很容易产生差异性的情况。还缺少持续开展的培训以及考核方面的机制，这也致使管理规范难以真正地渗透到基层当中，最终执行所达成的效果也不尽如人意。

### 2.4 安全与应急管理存在隐患

在水利工程的生产运行管理环节当中，安全以及应急管理方面依旧存在着不少隐患。有一部分工程在安全管理制度的构建工作上、针对风险的识别事宜上以及隐患的排查事项上做得并不够周全，这就致使潜在的危险没办法及时地被察觉到并且得到有效处理。其应急管理体系同样呈现出一定的滞后状况，缺少具备科学性的应急预案以及能够快速响应的机制，如此一来，在出现突发事件或者设备出现异常的情况之下，现场的处置工作效率会比较低下，而且协调起来也会面临很大的困难。与此安全方面的培训以及相关演练做得不够到位，这使得管理人员还有操作人员在面对突发情况的时候，欠缺熟练的操作技巧以及应急方面的经验。

### 2.5 人力资源配置与能力水平不足

在水利工程开展生产运行管理工作期间，人力资源配置以及相关人员的能力水平有所欠缺，这无疑是一个十分突出的问题。部分工程在人员配备方面往往不够合理，岗位职责也常常不够清晰明确，如此一来，便致使在一些关键环节缺少专业人员给予有力支撑，进而对日常的运行以及管理效率产生了不利影响。并且，现有的那些从事管理和操作工作的人员，其专业技能以及技术水平都较为有限，对于先进的管理工具以及信息化系统也仅仅停留在初步了解的程度，根本没有办法很好地契合现代水利工程所提出的精细化以及智能化管理方面的诸多需求<sup>[2]</sup>。除此之外，培训机制存在诸多不完善之处，人才引进以及激励方面的相关措施也显得不足，这就使得人员素质难以实现快速提升，岗位的流动性又相对较大，最终导致团队整体能力没办法形成一种能够持续且稳定地给予支撑的良好局面。

## 3 水利工程生产运行管理体系优化策略

### 3.1 完善管理制度与运行机制

在水利工程生产运行管理方面，完善管理制度以及运行机制属于提升工程运行效率、保障安全并且实现可持续发展的关键环节。科学且系统的管理制度可以明确各级管理部门以及各个岗位的职责权限，规范设备操作、调度安排、巡检维护、安全管理还有日常运行流程，进而降低人为操作失误以及管理漏洞所带来的风险。与此运行机制的优化并非仅仅在于制度的制定，还着重于信息流通、指令传递、跨部门协作以及资源配置的高效化，使得各项管理活动能够形成闭环管理，保证管理决策可以快速响应现场的实际状况并且明确责任归属。完善的制度与机制还需要

和绩效考核以及责任追究机制相互结合,借助激励以及约束促使管理人员和操作人员严格执行规程,并且在日常管理当中持续总结经验、优化流程、积累知识,形成持续改进的管理模式。将制度与运行机制和信息化以及智能化技术深度融合起来,凭借实时数据采集、智能分析以及可视化呈现,达成管理行为的精细化、可追溯以及预测性管理,这既提升了工程的运行效率和安全保障能力,也为水利工程在复杂环境之下的长期稳定运行给予了坚实的支撑,确保管理体系科学化、规范化以及智能化。

### 3.2 推进信息化与智能化建设

在水利工程生产运行管理领域,推进信息化以及智能化建设,这无疑是从多方面来提升管理效率的关键举措,也是对资源配置加以优化以及保障安全运行的重要手段。借助信息化建设这一方式,能够达成对工程设备、运行状态、调度安排、维护记录以及安全隐患等各个方面的全方位数据采集与管理,进而让管理者可以实时且全面地掌握工程运行的具体状况,并且能够基于这些数据展开科学的分析与决策。而智能化建设会更进一步地运用人工智能、大数据分析以及物联网传感等多种技术,针对所采集到的数据展开深度的处理以及预测性的分析,以此来实现故障预警、风险评估以及运行优化等诸多功能。信息化与智能化相互融合的程度越深,那么数据的准确性以及可用性就会越高,而且还能够促成跨部门的信息共享以及协同管理,如此一来便能减少管理环节出现的延迟情况以及人为因素造成的干扰,使得工程运行能够更为高效、更为透明并且更具可控性。除此之外,智能化系统还能够支持远程监控、自动化调度以及运行优化等操作,这为应对突发事件赋予了快速响应的能力,进而提升了安全保障的水平。借助数据可视化以及分析报告,可帮助管理者去发现潜在的问题、对资源使用加以优化并持续地改进管理流程,最终达成水利工程生产运行精细化、科学化以及智能化管理的目标。

### 3.3 强化安全生产与应急管理

在水利工程生产运行管理方面,强化安全生产以及应急管理乃是保障工程稳定运行并且减少潜在风险的关键环节。安全生产管理一方面要建立起完善的规章制度以及操作规范,另一方面需要在设备运行、巡检维护、施工操作以及运行调度等诸多环节严格依照安全标准来执行,务必要让每个环节的操作都有清晰明确的安全约束。与此应急管理体系的构建应当包含风险识别、应急预案制定、应急演练以及快速响应机制等内容,要保证在出现突发事件或者异常情况的时候,可以迅速地调动起人力、物力以及技术资源,及时且妥善地处理相关问题,以此降低事故发生的可能性以及损失的程度。强化安全与应急管理还应当结合现代信息化以及智能化的手段,借助实时监测、数据分析以及预警系统来对潜在隐患加以识别与预测,使得管

理者能够提前知晓风险状况并采取相应的防控举措,进而达成从被动响应到主动防控的转变。

### 3.4 优化人力资源配置与培训

在水利工程的生产运行管理领域当中,对人力资源配置加以优化以及开展培训工作,这无疑是在提升管理效能方面起到重要作用的一个关键因素,同时也是保证工程能够安全运行的一项重要保障措施。只有做到合理地配置人力资源,才能够确保那些关键岗位都能够配备上那些既具备专业技能又拥有丰富实践经验的人员,如此一来,像工程运行环节、设备维护环节、调度管理环节以及安全监控环节等这些方方面面,才能够都切实地获得有效的支撑与帮助,并且还能够有效避免因为出现人员数量不足的情况或者岗位之间存在重叠现象而致使产生的管理方面的漏洞以及工作效率低下的种种问题。与此建立起系统化、完善的培训机制,对于提升员工的专业素养以及综合能力而言,是极为重要的<sup>[3]</sup>。这种培训机制所包含的内容并非仅仅局限于业务技能方面的培训,而且还应当将安全操作规范、应急处理能力以及信息化与智能化系统的使用等诸多方面的内容全都涵盖在内,唯有如此,才能够确保无论是管理人员还是操作人员,都能够熟练并且有效地掌握现代化的管理工具和技术。

### 3.5 建立标准化与绩效考核体系

在水利工程的生产运行管理领域当中,建立起标准化以及绩效考核体系,这无疑是一种达成精细化管理并且促使整体运行效能得以提升的关键举措。该标准化体系会去制定统一的操作规范、管理流程还有工作标准,以此来保证各个环节在设备运行、巡检维护、调度管理、安全控制以及应急处理等诸多方面都能够遵循相应的规章制度,进而把人为操作差异所引发的风险予以降低,让工作质量以及管理效率都得到提升。与此绩效考核体系可以把各个岗位的职责与工作成果以量化的形式来进行评价,将管理目标和员工行为紧密地结合起来,以此激励员工严格依照标准化流程行事,并且主动对工作方法加以改进<sup>[4]</sup>。标准化和绩效考核相互融合之后,一方面能够清晰明确责任分工以及工作目标,另一方面还能凭借定期开展的评估以及反馈工作,察觉到管理以及执行过程中存在的不足之处,推动经验的积累以及持续不断地改进。更进一步地把标准化与绩效考核体系同信息化平台予以深度融合,借助数据采集、分析以及可视化呈现的方式,达成考核过程的透明化以及结果的可追溯化,从而使得管理者能够依据真实的数据做出科学的决策,在此基础上对资源配置进行优化,提升团队协作的效率以及安全管理水平。

### 4 结语

对水利工程生产运行管理现状加以分析能够发现,要提升工程运行效率并保障其安全,完善管理体系、提高信息化及智能化程度、强化安全与应急管理、优化人力资源

配置以及构建标准化和绩效考核体系等举措都很关键。落实这些优化策略，既能处理现有管理机制不健全、标准化难搞、信息化水平低等问题，又能加强工程的科学管理能力以及应急响应能力，让各项管理环节变得更为高效、协调且易于把控。而且，借助制度化、规范化以及智能化的管理实践，可促使管理经验不断积累并持续改进，达成水利工程生产运行的精细化管理，给工程的长期安全稳定运行给予稳固保障，同时也为其他类似水利工程的管理优化给出能参考的实践经验。

#### [参考文献]

[1]万源源.水利工程生产运行中的设备维护管理优化策略研究[C].北京:《中国招标》期刊有限公司.新质生产力驱

动第二产业发展与招标采购创新论坛——绿色智造 采购革新专题.南通市通州区水利局,2025.

[2]林江飞.水利施工企业成本管理优化探析[J].中国乡镇企业会计,2025(13):76-78.

[3]石佳,杨英英,孔庆宇.水利施工管理存在问题与措施研究[J].水与水技术,2023(1):70-73.

[4]刘辉.水利工程建设质量管理体系优化策略[J].造纸装备及材料,2021,50(2):115-116.

作者简介: 刘子怡 (1996.8—), 毕业院校: 广东海洋大学寸金学院, 所学专业: 会计学, 就职单位名称: 昌吉市水利管理站 (昌吉市三屯河流域管理处), 职称级别: 助理工程师。

## 火力燃煤电厂集控运行节能优化研究

张力

江苏淮阴发电有限责任公司, 江苏 淮安 223001

**[摘要]**目前大多数火电厂存在能耗水平较高, 主机效率不稳定、集控系统的协调性能欠佳的问题, 致使燃料利用率较低以及辅助动力损失较多。对火电厂开展节能优化的研究有着非常重要的意义, 这不仅仅可以节约燃料, 降低运行成本, 提升经济效益; 而且可以优化能源利用率, 削减污染排放, 促进电厂的安全、可靠与环保运行。文章基于能源优化管理的理念并提出了运行参数优化、集控节能监控、模型算法的应用等措施。可作为火电厂开展节能管理和智能运行的借鉴。

**[关键词]**火力燃煤电厂; 集控运行; 节能优化

DOI: 10.33142/hst.v8i12.18444 中图分类号: TM621 文献标识码: A

## Research on Energy-saving Optimization of Centralized Control Operation in Coal-fired Power Plants

ZHANG Li

Jiangsu Huaiyin Power Generation Co., Ltd., Huai'an, Jiangsu, 223001, China

**Abstract:** Currently, most thermal power plants suffer from high energy consumption levels, unstable main engine efficiency, and poor coordination performance of centralized control systems, resulting in low fuel utilization rates and significant losses in auxiliary power. The research on energy-saving optimization of thermal power plants is of great significance, as it can not only save fuel, reduce operating costs, but also enhance economic benefits; Moreover, it can optimize energy utilization, reduce pollution emissions, and promote the safe, reliable, and environmentally friendly operation of power plants. The article is based on the concept of energy optimization management and proposes measures such as optimizing operating parameters, centralized control and energy-saving monitoring, and the application of model algorithms, which can serve as a reference for energy-saving management and intelligent operation in thermal power plants.

**Keywords:** thermal coal-fired power plants; centralized control operation; energy-saving optimization

### 引言

火力燃煤电厂是我国电力行业的主要构成部分, 肩负着满足社会用电需要以及维持电网可靠运转的重要使命。但是面对日益增高的能源价格和严格的环保政策, 火电厂的实际工作中存在耗能量大、机组效率不稳定和整体系统衔接不佳等情况, 使得火电厂增加生产开支的同时也给生态环境与绿色发展带来压力。以往的人工控制与经验调整的办法不能够有效的发挥锅炉、汽轮机以及附属动力装置的最佳能力水平, 造成燃烧物消耗过多、能量流失严重的情况发生。而近年来 DCS 控制系统和 ems 系统的应用, 则使火电厂具备了高度自动化的集中控制系统, 可以及时对各种机器加以调节并对机器的工作情况加以记录分析的特点, 为火电厂的节能量化提供了技术支持的基础条件。因此, 在此基础上探究火力燃煤电厂集控运行下的节能优化有着非常深远的意义。通过对电厂能源损耗状况和主要机器功效以及集控系统的运作特征加以考察, 并借助能量节约优化管理的相关知识, 探讨运行参数调整、以集控为基础的节能监视和模型算法的设计等方面的措施, 能够在保障可靠稳定运转的基础上节约能源, 减少燃料和辅助动力方面的消耗量, 取得经济价值和环境价值方面的双重胜

利。本文的研究工作希望能够为火力燃煤电厂的节能管理工作提供理论支撑和现实指南, 促进电厂朝智能化、高效化和绿色化发展。

### 1 火力电厂集控运行的特点

火电厂集控运行技术高度集成化、自动化以及智能化, 在计算机及自动装置的帮助下可以对各运行单元实行自动化的监视、控制等, 大大降低了人为操控以及由此带来的失误概率, 提升了机组运行的可靠程度以及稳定性。而且集控运行技术具有很强的遥控功能, 控制中心随时了解电厂运转情况并且可以远距离调控电厂运行参数以及控制机器运行, 保证了电厂的安全发电、平稳运行。其基于强大的数据采集系统的支持之上, 对各方面的运行参数即时收集、计算, 为现场值班人员提供精准的运行状态分析及参考方案。系统监视性能优越, 可在线检测各单元并对其故障诊断, 对电厂存在的隐患及时排查解决以确保电厂的安全可靠运行。最后集控技术具有良好的故障自启动功能, 可以自动隔离并重启机器设备上的故障部分, 降低断电几率, 提升整个机组的可靠性、可用率, 保证了火力发电厂的高效、稳定和安全运行。

## 2 火力电厂节能运行现状分析

### 2.1 电厂能源消耗现状

火力燃煤电厂在运行中的能耗属于电厂生产支出与环境污染的主要部分之一,与电厂经济效益与绿色发展息息相关。电厂的能耗主要由燃煤燃料耗费与辅助动力耗能还有热力系统损失等诸多方面构成,而煤炭作为最主要的能源投入,燃煤量决定了发电成本的高低和碳排放的多少。在整个火力电厂的厂区运行之中,锅炉的燃料燃烧效率,汽轮机的热效率,冷却水系统以及给水系统的情况都对电厂的能耗有着重要的作用。其中锅炉的燃料燃烧效率受燃料气化程度、送风量与排烟温度控制、磨煤输煤系统性能等因素影响较大;而汽轮机的不同负载工况下的热效率变化也导致发电单耗的燃料使用量有所不同;同时给水泵组、循环泵组和风机等一系列相关辅助动力机器的能耗及其负载调控情况同样影响着整体能耗大小<sup>[1]</sup>。在电厂集控系统 DCS 的监视下各设备的相关参数可以被及时记录并上传,但由于负载工况复杂、机器陈旧以及调控方案不够完善的原因,在线监测的机器能耗仍不稳定、不同机器间能耗分配也不尽合理,这意味着在电厂实际工作中机器的能耗情况尚有较大的改进余地,有必要对其能耗特征和变化规律加以探究并为日后节能降耗措施的制定提供参考。

### 2.2 主要能耗设备性能分析

火力燃煤电厂主要耗能设备有锅炉,汽轮发电机组,给水泵,循环水泵,引风机,离心风机等,它们的工作状况关系着整个电厂的能源损耗情况和发电能力。其中锅炉是电厂燃料能量转换的主体设备,它的燃烧、受热面传热、燃料制粉与输灰系统的工作特性决定了燃料能否得到充分利用、锅炉的热效率有多高。锅炉运转中出现的燃烧不良、受热面积灰腐蚀、送风量分布不合理等情况都会导致锅炉工作效率降低,进而引起燃料用量增大。而汽轮发电机组则是电厂能量转换的动力来源,它在不同负载下的机械效率,热效率不尽相同,一些老式机型在低负荷的时候效率会有大幅度下滑,单位发电量所消散的能量增多。此外汽轮机自动控制系统迟缓、动叶损坏、蒸汽参数的压力温度变化都会对机组产生不利影响。给水泵、循环水泵等次生动力装置为了保障锅炉和汽轮机正常工作需要耗费较多电量,它们的效能高低依赖于自身型号、负载状况、管网阻力大小以及配套电动机质量;引风机、离心风机等一系列风机设备的性能与风量调节方式紧密联系,它们的工作状态欠佳会造成额外的风机功率损失并恶化燃烧条件。

### 2.3 集控运行中存在的问题

对于火力燃煤电厂的集控式运行而言,尽管集控系统的使用 (DCS/EMS) 提升了机组设备的自动化程度及其监控力度,但是其在实际应用当中依旧存在着诸多不足之处,从而不利于能源利用率以及运行可靠性的维持。一方面,就各个设备的运转信息而言,即使当前集控系统可以对其进行及时地采集获取,但是却会受到传感器

测量精度、组网通讯状况以及历史数据库储存量等因素的影响而导致所监测到的部分运行指标无法进行精准化操控;另一方面,各设备间联合管控也往往会面临迟滞或者失衡的情况出现,如锅炉侧燃料供给量调整同汽轮机发电功率变化之间的延时、给水循环泵和冷却循环泵联动性较差的现象等,都会使得整个系统内能流分布不均而引起耗能波动加剧。再者,在线运控方案大多为经验值法或者是固定规则调度方式,缺少根据不同负载状况以及环境因素来进行及时调整的能力,因此便会导致有些情况下机器并不能处于最高效的工作状态之中。此外,值班员的操作习惯、告警反应以及参数设定经验的不同也会在一定程度上妨碍着系统的正常发挥。

### 2.4 节能潜力与优化空间评估

而对火力燃煤电站实际运行中的能耗状况、主耗能设备性能与集控运行业务等问题进行综合考察后,可以清晰地发现电厂在节能降耗方面仍有相当大的余地与挖掘潜力。锅炉、汽轮机和附属动力装置等机组在不同的负载水平和条件下所表现出的不同效能,导致了发电单耗尚有下降的空间,燃料燃烧、汽水系统和循环冷却水系统的能量分布不平衡和热量损失都意味着节能的可能性;控制系统尽管在信息反馈、机组运行监视和机器间协调等方面增强了管控能力,但由于其调节方案和参数选择并不能完全匹配变动负荷的要求,机器间的配合也尚未达到最理想的组合方式,因而仍有能量损失发生<sup>[2]</sup>。这说明,在深入理解机器的工作特性和能耗特性,充分运用系统运行记录的基础上,电厂的锅炉燃烧性能、汽轮机热效率、泵与风机工作效率乃至整个系统的协调性都有很大的节能空间。

## 3 火力燃煤电厂集控运行节能优化理论与方法

### 3.1 能源优化管理理论

对于火力燃煤电厂集控来说,能量优化管理系统理论就是关于它的节能运行以及合理利用能量最为根本的基础,它是基于系统化、规范化理念上的一种对燃料、热量、电能和辅助驱动力等的能量进行合理整合运用的一种方式,并以此来达到提高能源利用率,减少生产成本的目的。而它的核心思想就是要立足全厂的高度,把锅炉的燃烧性能、汽轮发电机的热效率、循环水和给水系统的性能指标、辅助设备如风机和水泵的耗电量等这些所有涉及到能量损耗的因素都纳入进来,进行统一核算和综合管控,建立能量供求关系、能量流和设备控制的闭合优化环路。在其实际使用过程中,能量优化管理系统理论要求注重能量消耗的监视检测和即时计算分析,通过持续性的采集记录热、功、物质量以及设备工况参数,并构建相应的模型来了解把握能量的使用状况;与此同时还要注意控制措施的合理性和可调节性,例如机组间的负荷调整、出力的划分、燃料量的配比、汽温汽压的选择确定以及辅助机械设备之间的相互配合等,在确保整个电厂可以安全可靠地工作的基础上使其能量利用率得到最大程度发挥。

### 3.2 运行参数优化方法

在火力燃煤电厂的集中控制系统中,运行参数优化法是达到节能量化指标的主要技术手段,主要是通过精准调控和优化锅炉、汽轮发电机组和相关附属动力设备的各项运行参数让整套机组在各个负荷水平上都能获得可靠而高效的运行方式。锅炉中燃料燃烧的相关参数主要有燃料量、供风量、火焰温度、炉内压力、煤粉细度及流速等,它们关系着锅炉燃烧状况、受热面积热能力和锅炉尾部排气温度,它们的优化调整能够提升燃料的燃烧效率减少热损失;汽轮发电机部分相关的参数有蒸汽压强、蒸汽温度、抽汽数量、汽轮转速和负荷分担比例等都影响着热能向机械能的转换效率和机械能转化为电能的效率,它们一旦设定不当就会造成汽轮机低负荷时的效能降低或者输出功率不稳定的现象出现,进而造成单发电量耗能增加。同理,附属的动力设备例如给水泵、冷却水泵、引风机、送风机等相关参数例如泵风机转数、流速、扬程高度、阀门开启度大小以及电动机功率匹配等也都占用了整套系统中较大的能耗份额,它们的优化同样可以节约电力并且有助于锅炉燃烧和汽轮机工作的稳定。在集中控制系统的帮助下借助设备间参数相互联系的数学表达式和控制策略,可以在全厂范围内统筹考虑锅炉燃烧、汽轮发电、给水供水量、循环水量、风机通风量等主要参数之间的相互配合,使得它们同时得到最优调节最大程度地提升了能量利用率。

### 3.3 基于集控系统的节能监控方法

火力燃煤电厂集控运行中的节能监控措施是以集控系统为基础的一种高效运行以及能源优化的有效方式,主要是以 DCS 和 EMS 系统为基础的实时监控,数据采集,控制功能来实现实时地对整个电厂的耗能情况进行智能化的管控。它不仅仅包含着对锅炉的燃烧情况,汽轮机的运转状态,给水循环水流量、泵风机的功率等方面实时观测,也包括对于烟气排放,蒸汽压力温度变化,燃料耗损率以及辅助动力使用等方面的数据持续计算,进而建立起全厂能耗可视化数据库,而节能监控系统的应用,则可以实现实时查看机器的设备运行状态,在线检测出锅炉燃烧不完全、汽轮机非经济性负荷工况、风机泵类设备超载等问题并提供运行趋势预测和报警提示,供运行值班人员参考决策<sup>[3]</sup>。此外还注重数据分析下的优化管理,通过运用以往历史运行数据和当前采集数据形成能耗模型和能效指标体系,比较不同运行方案并对其仿真模拟,从而完成机器设备参数和控制策略的适时调整。并且也可以结合节能监控的方法同机组运行参数优化,负荷分配和调节控制策略搭配起来,使得锅炉、汽轮发电组和相关附属机器协调工作,通过不断的反馈形成闭环不断改进能源利用率,减少燃料损耗和辅助动力损失。

### 3.4 模型与算法设计(如 PID 调节、模糊控制、优化算法等)

火电燃煤电厂集控运行节能优化中的模型与算法设

计是精细控制、智能节能的关键步骤,在于利用数学模型和先进控制算法规律优化锅炉、汽轮机及其附属动力装置的运行方式以提升能效水平并保证稳定可靠的工作状态。首先,精确的动态数学模型是对算法编制的前提,其中包含着锅炉燃烧模型、汽轮机热力性能模型、给水和循环水流道流量模型、风机泵类设备耗功模型等几种类型的子模型。通过对各类型机器之间参数间的相互影响的非线性关系、强耦合关系、时间延迟特性建立模型的方式可获得较为可信的预测与控制基础供后续优化算法使用;而在控制方面,常规的 PID 调节器可以通过闭环形式对锅炉出口蒸汽压力、温度、燃料供应量以及送引风机风量进行及时反应并迅速调整,达到稳定设备运转的目的,而模糊控制器则是通过构建模糊化规则表及相应的隶属函数来应对系统中固有的不确定性和高度的非线性、复杂的耦合性等问题,使得控制器策略选择更加灵活和健壮可靠<sup>[4]</sup>。除此之外,基于优化算法的模型预测控制 (MPC) 和遗传算法、粒子群优化以及其他类型的智能型优化算法,则可以在兼顾多个目标限制的前提下对于锅炉燃烧比例、汽轮发电机出力大小、辅助设备耗电量等方面做出整体寻优,完成多变量跨设备的综合协调。

## 4 结语

从对火力燃煤电厂集控运行节能优化的研究可以看出,准确调节锅炉、汽轮机以及附属动力机器设备的运行工况,配合集控系统在线监测以及人工智能算法的应用能够有效提高能量利用率,节约燃料用量,减少辅机动力损失。其优化后的控制方案应用于机组后,在线监测显示不但提高了各机器设备间的联动性,提升了机组整体的稳定水平,而且提高了机组应对负荷变动和突发状况的能力,有利于减小运行过程中的波动幅度,避免能量损失。这种将理论计算和自动控制技术相融合的办法对于火力燃煤电厂如何进行高效的、安全的绿色化生产提供了切实可行的操作手段,也为今后开展节能降耗管理、智能化运行提供了真实可信的数据依据和有力的技术支撑。

## [参考文献]

- [1]王冬梁.火力发电厂集控运行节能降耗技术措施研究[J].仪器仪表用户,2025,32(12):121-123.
- [2]胡继坤,杭明.火力发电厂集控运行过程节能降耗技术研究[J].科技资讯,2025,23(13):215-217.
- [3]杨刚.火电厂集控运行节能降耗技术研究[J].仪器仪表用户,2023,30(4):90-92.
- [4]张鸣立.火电厂集控运行中节能降耗技术探析[J].电力设备管理,2025(18):267-269.

作者简介:张力 (1976.9—),单位名称:江苏淮阴发电有限责任公司,毕业学校和专业:南京电力高等专科学校电厂热能动力工程。

# 火电厂电气一次设备状态检修的有效措施分析

苗晏玮 傅金 崔清博 刘翔 郑浩

华能日照电厂, 山东 日照 276800

**[摘要]**随着火电厂规模持续扩大以及电力系统运行复杂性不断加剧, 电气一次设备的安全稳定运行对于电厂的整体生产效率以及运行安全有着极为重要的影响。而状态检修是一种以设备实际运行状态作为基础的科学检修方式, 它既能够保障安全, 又可以降低检修成本, 提升维护效率。研究显示, 科学的状态检修不但能够延长设备的使用寿命, 减少突发故障以及安全隐患, 而且还能提升电厂的整体运行水平, 为电气一次设备管理给予理论层面的参考以及实践方面的指导。

**[关键词]**火电厂; 电气一次设备; 状态检修; 有效措施

DOI: 10.33142/hst.v8i12.18460

中图分类号: TM621

文献标识码: A

## Analysis of Effective Measures for Condition Maintenance of Primary Electrical Equipment in Thermal Power Plants

MIAO Yanwei, FU Jin, CUI Qingbo, LIU Xiang, ZHENG Hao

Huaneng Rizhao Power Plant, Rizhao, Shandong, 276800, China

**Abstract:** With the continuous expansion of thermal power plants and the increasing complexity of power system operation, the safe and stable operation of electrical primary equipment has an extremely important impact on the overall production efficiency and operational safety of power plants, and condition based maintenance is a scientific maintenance method based on the actual operating status of equipment, which can ensure safety, reduce maintenance costs, and improve maintenance efficiency. Research shows that scientific condition based maintenance can not only extend the service life of equipment, reduce sudden failures and safety hazards, but also improve the overall operation level of power plants, providing theoretical reference and practical guidance for electrical primary equipment management.

**Keywords:** thermal power plants; electrical primary equipment; condition based maintenance; effective measures

### 引言

火电厂在我国能源供应方面占据着极为重要的地位, 其能否安全且稳定地运行, 这直接关乎电力系统的供需是否能够保持平衡, 同时也对社会经济的发展有着不容忽视的影响。其中, 电气一次设备属于核心的生产环节, 在电能的生产、转换以及输配等方面发挥着关键的作用。要是不能够及时地将这些情况发现并妥善处理掉, 那么势必会影响到设备的使用寿命, 并且还极有可能引发生产出现中断以及发生安全事故。所以说, 科学且合理的状态检修就成为了保证设备能够安全以及经济地运行的关键手段。本文主要围绕火电厂电气一次设备的状态检修展开探讨, 结合实际的管理需求, 深入分析其检修的意义以及行之有效的措施, 希望能够提出一套系统化并且具备可操作性的管理与技术策略, 以此来提升设备运行的可靠性以及电厂的经济效益。

### 1 状态检修概述

火电厂电气一次设备指的是用于生产、转换及输配电能的相关设施, 由发电机组、变压器及电动机等组成。电力系统在实际运行时, 可能会出现部分故障, 进而影响火电厂生产、转换及输配电能出现中断和停止的情况, 若情况严重还会引起安全隐患。对于电气一次设备的状态检修

而言, 表现为通过诊断与状态监视技术, 对设备涉及的故障进行测试, 然后分析和判断故障信息, 确保电力系统维持在稳定的运行状态中。开展电气一次设备状态检修工作的过程中, 需耗费一定时间, 通常由电力设备损耗状况进行确定。进行设备状态检修, 以此将电力设备故障引起的安全问题、经济损失等控制在最小范围, 促进维修质量与检修效率的提高。另外, 在状态检修工作的过程中, 可采取对比运行数据和标准数据的方式, 结合设备实际运行状况, 建立科学、合理的检修计划。

### 2 火电厂电气一次设备状态检修意义

在现代火电厂的运行进程当中, 电气一次设备所采用的检修策略, 会对设备的安全性、经济性以及整体的运行效率产生直接的影响。状态检修可有效地削减设备维修方面的成本。然而状态检修凭借实时对设备运行状态以及健康指标加以监测, 能够让检修计划变得更为科学且合理, 如此既能避免那些不必要的检修支出, 又能降低因突发故障而引发的紧急维修成本, 进而达成经济效益的最大化目标。状态检修还能够使设备的使用寿命得以延长。电气一次设备在长时间的运行期间, 会受到负荷波动、环境因素以及老化等多种因素的影响, 要是无法依照设备的实际状况来开展检修与维护工作, 那么设备的性能便会逐步出现

下滑的情况,最终甚至有可能提前报废。状态检修也能够减少安全隐患。电气一次设备一旦发生故障,不但会对电厂正常的生产活动造成影响,而且还可能引发极为严重的安全事故。状态检修依靠先进的监测技术以及诊断方法,针对设备出现的异常情况展开实时的识别与预警,如此便能够提前采取相应的措施来避免事故的发生,以此保障人员以及设备的安全。与此借助科学合理的检修计划以及规范化的管理流程,火电厂能够在确保安全的前提下,实现检修工作与生产运行的有序协调,进而提升整体的运行管理水平。火电厂电气一次设备的状态检修在降低维修成本、延长设备寿命以及保障安全等方面都有着十分重要的意义,是现代电厂管理当中绝对不可或缺的关键环节。

### 3 电气一次设备状态检修工作流程

#### 3.1 数据采集与监测

电气一次设备状态检修的第一步是数据采集与监测,这个环节对之后的状态评估以及检修决策的科学性和准确性有着直接影响,在火电厂实际运行期间,电气一次设备包含变压器、断路器、母线以及电缆等多种类别,各类设备的运行状态指标存在很大差别,所以要采用有针对性的监测方法来采集数据,监测内容主要涉及电气参数、机械特性、绝缘性能以及热力状态等层面,借助安装传感器、数据采集装置以及信号采集系统,达成对设备运行状态的实时追踪,现代火电厂还普遍运用在线监测平台,把采集到的大量数据传送到中心数据库进行统一管理,给后续分析打下基础,在数据采集过程中,要保证数据的完整性和准确性,还要建立设备运行历史数据库,通过对比历史数据与实时监测数据,可发现设备潜在异常,为科学决策提供依据,数据采集与监测不但要求技术手段先进,而且要明确监测频率、监测参数以及数据处理规范,保障状态检修工作可以顺利推进。

#### 3.2 状态分析与评估

在完成数据采集这一工作之后,针对电气一次设备开展的状态分析以及评估活动,便成了状态检修工作当中的关键环节所在。具体而言,状态分析会借助对所采集到的运行数据展开一系列的操作来达成,这些操作包含了统计处理、构建相关模型以及分析其发展趋势等方面,并且要充分结合设备本身的设计标准以及过往的历史运行经验,以此对设备的实际健康状况做出较为全面且细致的判断。比如说,就变压器来讲,它的绝缘油温度、溶解气体含量还有负荷的具体情况,就可以作为主要的评估指标来使用;而对于断路器而言,其分合闸所需的时间、触头出现的磨损状况以及操作的次数等,就能够反映出该设备的机械性能如何。通过构建起一套科学合理的评估模型,进而能够把设备的健康状态予以量化处理,将其划分成诸如正常、轻度异常以及严重异常等多个不同的等级,如此一来便可以为后续的检修决策给予明确且清晰的依据。与此还应当

考虑到采用多因素综合评估的方法,也就是要把电气参数、机械状态以及环境因素等各方面的情况都综合起来加以考量,从而防止因为仅仅依靠单一指标而造成误判的情况出现。评估所得到的结果,一方面可用于确定检修工作的优先级安排,另一方面还能为后续的技术改进以及管理方面的优化等工作提供相应的数据支撑,进而促使设备运行过程中存在的风险得以实现可控化的目标。

#### 3.3 检修决策与实施

在完成状态分析之后,依照评估得出的结果来制定检修方面的决策,这无疑属于确保检修工作具备科学性以及有效性的一项极为重要的步骤。在开展这一环节的相关工作期间,得全面且细致地考量诸多因素,像设备所具有的重要程度、实际运行时的负荷状况、以往的历史故障记录情况以及当前的生产计划安排等,进而精准确定检修的优先次序以及具体的检修方式。针对那些处于关键位置的设备还有健康状态欠佳的设备而言,应当果断采取立即着手检修或者着重予以监测的相关措施,如此方能有效防止故障进一步扩大其影响范围;而对于那些运行状态颇为良好的设备来讲,则可以适当地将检修周期往后顺延,借此达成对资源进行优化配置的目的<sup>[1]</sup>。在实施检修工作的整个过程当中,务必要严格遵从相关的操作规范以及安全方面的标准规定,以此切实保障检修工作能够具备足够的安全性和可靠性。与此还需妥善协调好检修所占用的时间与生产运行的具体安排,尽最大努力去减少其对电厂正常开展运行工作所产生的影响,从而促使检修效率得以不断提升。科学合理的检修决策以及相应的实施举措,一方面能够及时有效地对设备所存在的各类隐患加以解决,另一方面还能够借助对资源配置以及工艺安排做出的优化调整,实现经济效益与安全效益这两方面的双双提升。

### 4 火电厂电气一次设备状态检修的有效措施分析

#### 4.1 明确检修思路与策略

在火电厂开展电气一次设备状态检修期间,要让检修工作达成科学化以及系统化的要求,那么明确检修思路与策略就是极为关键的前提条件。行之有效的检修策略,应当把设备的实际运行状态当作依据,借助风险评估来确定检修的优先级别,要全面兼顾到安全性、经济性以及运行效率这几个方面<sup>[2]</sup>。在制定策略的时候,需要充分考量设备所具有的重要性以及关键性,要把那些存在高风险的设备纳入到重点监控以及优先检修的范围当中。与此还要建立起以设备状态为基础的动态检修计划,依据设备的健康状况以及负荷的变化情况,实时去调整检修周期以及检修内容,防止因一刀切式的定期检修而出现资源浪费以及安全隐患的情况发生。检修思路还得重视预防与预测相结合这一点,把设备状态预测、故障趋势分析还有维修历史等各方面综合起来,以此达成检修工作具备前瞻性以及主动性的目的。凭借科学且明确的检修策略,火电厂便能够在

保障设备能够可靠运行的基础之上,达成资源优化配置以及检修效率提升的目标,进而为全厂实现安全稳定运行筑牢根基。

#### 4.2 技术手段优化

技术手段方面的优化,乃是确保电气一次设备状态检修有效性极为关键的保障所在。在日常的实际工作进程里,务必要充分借助现代化的监测以及诊断技术,凭借信号采集、在线监测还有智能分析等一系列手段,达成对设备运行状态较为精准的把控目的。信号交换技术能够促成设备运行数据做到实时的传输,并且能够实现远程的监控操作,进而给状态分析给予稳固可靠的根基<sup>[3]</sup>。人工智能以及人工神经网络技术,在故障诊断以及趋势预测这些方面都发挥着颇为重要的作用。依靠对历史数据展开的学习活动以及模式识别的操作,是可以提前对设备可能出现的异常情况做出预判的,从而为检修决策给出科学合理的依据。与此还需重视技术手段的集成运用方式,要把监测、分析以及预警这些功能统统整合到同一个平台之上,以此来实现从数据采集、状态评估直至决策支持这样一个完整的闭环管理流程。通过对技术手段加以优化,一方面能够促使检修工作的精确程度得以提升,另一方面也能让检修工作的效率有所提高,而且还能够为设备管理工作给予数据层面的有力支撑,最终实现智能化以及信息化管理水平的切实提升。

#### 4.3 管理机制完善

管理机制的完善乃是确保电气一次设备状态检修得以切实落实的关键保障所在。科学且规范的管理机制可将技术措施同实际操作紧密结合起来,达成检修工作在制度层面的规范化、流程方面的有序化以及标准意义上的统一化。于管理实践当中,需要构建起完备的检修计划制定机制,清晰界定设备的类别划分情况、检修所涉及的周期时长、责任方面具体的分工安排以及考核环节的相关标准规定。与此还得强化针对检修人员的培训工作,促使他们的技术能力得以提升,并且增强其对于操作规范的认识意识,以此来保障各项技术措施可以实实在在地得到执行落实。除此之外,检修管理还要着重关注跨部门之间的协作事宜,借助生产部门、设备管理部门以及运行部门等不同部门相互间的协调配合,进而实现信息资源的共享以及决策方面的有力支持。管理机制不断完善这一过程,不但能够提升检修工作的整体系统性与规范性程度,而且还能确保技术手段优化的各项措施能够有效得以实施,最终形成技术层面与管理层面相互补充、彼此促进的整体保障体系。

#### 4.4 评估与改进机制建立

评估与改进机制在电气一次设备状态检修的持续优化方面起着关键作用。借助科学合理的评估体系,可针对检修成效、设备健康状况以及管理流程展开量化剖析,从中找出潜在存在的问题,并且给出相应的改进办法。该评估机制需要包含设备运行的各项指标、故障出现的频率、检修工作的完成情况以及所产生的经济效益等诸多方面,依靠对数据加以分析以及开展绩效考核来达成持续优化的目的。与此还需构建改进反馈机制,把评估得出的结果快速传达给检修计划的制定环节以及管理决策过程,以此形成闭环管理。持续不断地开展评估与改进工作,一方面能够提高设备运行的可靠性,另一方面也能强化管理流程所具有的科学性与实用性,从而为火电厂电气一次设备实现长期稳定的运行给予持续有力的保障,最终实现技术层面、管理层面以及经济效益方面的有机融合统一。

#### 5 结语

火电厂电气一次设备的状态检修乃是确保电力系统可安全、稳定且高效地运行的关键举措。借助科学且清晰明确的检修策略,依靠先进的技术手段,凭借完善的管理机制,再加上持续开展的评估改进工作,如此便可以切实有效地降低设备出现故障的风险,还可使设备的使用寿命得以延长,并且能让检修效率获得提升。状态检修一方面优化了检修资源的配置情况,另一方面也减少了经济方面的损失,而且还凭借着预防性以及预测性的管理方式,促使电厂的整体运行水平得到了提升。在未来,随着智能化监测技术、人工智能分析方法以及信息化管理平台不断地发展进步,火电厂电气一次设备的状态检修将会呈现出更为精细化、智能化以及高效化的态势,进而为电力系统的安全且可靠地运行给予稳固有力的保障。

#### [参考文献]

- [1]柏文超.火电厂电气一次设备状态检修的有效措施分析[J].锅炉制造,2025(3):57-59.
- [2]姜星安,邵芃源.探究火电厂电气一次设备的状态检修措施[J].电气时代,2022(8):63-65.
- [3]徐翔.电气一次设备状态检修的应用分析[J].电力设备管理,2021(8):87-88.

作者简介:苗晏玮(1999.12—),男,毕业院校:泰山科技学院,学历:本科,所学专业:电气工程及其自动化,当前就职单位:华能日照电厂,职务:检修工,年限:2年,助理工程师。

# 智能电网背景下电力营销信息化建设策略研究

赵永强

国网山东省电力公司博兴县供电公司，山东 滨州 256500

**[摘要]**伴随智能电网发展速度不断加快，传统电力企业的营销模式亟需转型升级。电力营销信息化建设对于提升企业管理效率以及服务水平而言是关键手段，也是智能电网高效运行的重要保障。文中分析国内电力营销信息化建设现状及存在问题，结合智能电网技术特点与发展趋势，提出融入服务营销理念、优化资金投入、完善管理制度、强化信息安全、合理利用信息技术及策略实施保障等建设对策，为电力企业在智能电网环境下实现营销信息化提供系统化参考。研究显示，借助科学规划与合理布局，电力营销信息化建设可有效提升业务效率、保障数据安全，推动企业核心竞争力与智能电网建设深度融合。

**[关键词]**智能电网；电力营销；信息化建设；建设策略

DOI: 10.33142/hst.v8i12.18473

中图分类号: F274

文献标识码: A

## Research on the Construction Strategy of Power Marketing Informatization under the Background of Smart Grid

ZHAO Yongqiang

State Grid Shandong Electric Power Company Boxing County Power Supply Company, Binzhou, Shandong, 256500, China

**Abstract:** With the accelerating development of smart grids, the marketing model of traditional power enterprises urgently needs to be transformed and upgraded. The informatization construction of power marketing is a key means to improve enterprise management efficiency and service level, and it is also an important guarantee for the efficient operation of smart grids. The article analyzes the current situation and existing problems of domestic power marketing informatization construction, and combines the characteristics and development trends of smart grid technology to propose construction measures such as integrating service marketing concepts, optimizing capital investment, improving management systems, strengthening information security, rational utilization of information technology, and strategic implementation guarantee. It provides systematic reference for power enterprises to achieve marketing informatization in the smart grid environment. Research shows that with the help of scientific planning and reasonable layout, the construction of power marketing informatization can effectively improve business efficiency, ensure data security, and promote the deep integration of enterprise core competitiveness and smart grid construction.

**Keywords:** smart grid; electricity marketing; information technology construction; construction strategy

### 引言

智能电网建设改变了电力系统运行模式，给电力企业营销体系带来新挑战与机遇。传统电力营销模式靠人工操作、单一信息处理，有信息孤岛、数据滞后、管理效率低等问题，无法满足现代电网多元化、实时化、智能化需求。随着信息技术发展，电力营销信息化成提升企业运营效率、优化客户服务、支撑智能电网建设关键手段。本文分析国内电力营销信息化建设现状与问题，结合智能电网发展特点，给出科学可行建设策略，为企业在新技术环境下营销创新提供理论支撑与实践指导。研究方法包括文献分析、案例调研、理论模型应用，全面反映当前信息化建设水平与优化方向。

### 1 电力营销信息化的重要作用

首先，在电力营销信息化建设过程中，要对通信技术、计算机技术等先进技术进行有效运用，需要电力企业搭建信息化业务平台，有效提升电力企业的工作质量和工作效率。其次，电力企业在实现电力营销信息化后，不但能够有效提升处理业务信息的速度，还能够有效避免人为因素

导致的工作失误，帮助电力企业获得更加准确的电力营销数据。电力营销信息化建设需要明确电力营销各项功能的标准，并且需要做到标识统一化，有效降低重复录入相同信息的概率，减轻工作人员的负担，确保电力营销信息准确，有效提升工作效率。最后，在智能电网背景下电力营销信息化建设最主要的就是完成现有电力资源的整合和优化，在这个过程中需要合理应用信息化控制基础、信息化通信技术、传感测量技术等，能够保证电力营销工作顺利开展。另外，电力营销信息化建设还能够提升电力企业电子资源的质量，有利于电力企业深化智能电网建设，使电力企业拥有更强的核心竞争力，从而推动电力企业发展。

### 2 智能电网背景下电力营销信息化建设现状与问题分析

#### 2.1 国内电力营销信息化建设现状

近些年来，随着智能电网建设不断向前推进，我国电力企业在营销信息化建设方面收获了颇为显著的进展。多数企业都构建起了统一的电力营销管理平台，达成了电费

计量、客户服务、用电分析以及营销数据管理等方面电子化与自动化。智能表计、数据采集系统还有集中管理系统的运用,让企业可以实时知晓用户的用电状况,提升了数据处理的精准程度以及业务响应的速度。与此部分企业试着把大数据分析以及客户关系管理系统(CRM)融入到营销工作当中,对用电预测、客户服务以及费用结算等流程加以优化,实现了营销活动在数据方面的有力支撑以及决策的科学化。不过,不同地区以及企业之间在信息化水平上依旧存在着不小的差异,部分中小型电力企业的信息化建设仅仅停留在基础应用的阶段,系统功能较为单一,信息资源整合的程度较低,难以充分释放智能电网所赋予的业务创新优势。

## 2.2 存在的主要问题

### 2.2.1 信息化建设规划科学性不足

当下,一些电力企业在推进电力营销信息化建设时,欠缺系统化的规划安排,其建设目标不够清晰明确,没充分顾及企业长远发展的实际需求以及智能电网技术的发展走向,在规划环节常常过度着眼于短期业务功能的达成,却对平台的整体架构、信息标准化以及数据共享机制重视不够,致使各个系统间出现接口不兼容、数据孤立等情况,而且信息化规划还缺少科学的需求分析与可行性研究,部分项目在实施进程中出现了重复投资、资源浪费以及系统冗余等问题,这对建设效率以及后续运营的可持续性产生了极为不利的影响,所以缺乏科学性规划已然成为限制电力营销信息化建设成效的关键因素。

### 2.2.2 硬件与软件投入不平衡

在信息化建设进程里,部分企业于硬件投入这一方面表现得颇为充裕,像智能表计、服务器以及网络设备等都涵盖其中,然而在软件系统开发以及应用方面的投入却显得相当不足,进而致使信息化平台的功能单一化,业务支撑的能力也有所欠缺。尽管硬件资源较为先进,但是缺少有效的软件支持以及系统优化,如此一来,数据采集、处理以及分析的能力便难以得到充分的发挥。除此之外,企业在信息系统维护、升级以及技术人员培训等方面的投入也不足,这使得系统长期运行的效率比较低下,很难去适应业务发展的需求以及智能电网对于实时数据所提出的高标准要求。硬件与软件投入出现的不平衡状况,已然成为影响电力营销信息系统整体效能的关键性问题。

### 2.2.3 信息化建设体制相对滞后

电力营销信息化建设不只是牵涉到技术手段,而且和企业管理体制有着紧密关联。当下,有些企业在开展信息化建设的时候,依旧采用传统的管理模式,各个部门之间职责划分不够清晰明确,信息管理以及业务流程也欠缺有效的协同配合。其决策机制呈现出集中化的态势,审批流程比较复杂繁琐,这就致使信息化建设推进的速度较为缓慢,创新举措也很难迅速落实到位。与此部分企业在信息

化项目的管理、绩效考核还有责任落实这些方面都缺少相应的制度保障,如此一来,信息系统建设便没办法和企业整体的战略目标很好地结合起来,进而对信息化应用所能达到的深度以及广度形成了限制。体制滞后已然成为阻碍电力营销信息化建设实现长远发展的关键瓶颈所在。

### 2.2.4 信息安全管理意识不足

随着电力营销信息化程度逐步提升,数据量出现了大幅度的增长情况,信息安全方面所存在的风险也随之逐渐显露出来。不过有一部分企业在信息安全管理上并未给予足够的关注,缺少一套较为系统的安全防护举措以及风险评估的相关机制。在数据传输、存储以及处理这几个环节当中都存在着一些漏洞,这就使得其很容易遭受到来自网络攻击、数据泄露还有非法访问等方面的威胁。与此信息安全管理本身并不完善,与之相关的人员在安全意识层面也有所欠缺,既缺乏专业的安全方面的培训,也没有完备的应急响应方案。如此一来,这不但给客户信息以及企业经营数据的安全带来了威胁,而且对于智能电网运行所具有的可靠性与稳定性而言,也形成了潜在的风险隐患。

## 3 智能电网背景下电力营销信息化建设对策与策略

### 3.1 融入服务营销理念推动业务创新

在智能电网这样的大背景之下,电力营销信息化建设其实并不单单是单纯的技术层面的升级,它更是服务理念方面的一次重大转型。传统意义上的电力营销,其核心往往聚焦在供电这一环节上,对于电量的销售以及收费管理这两方面给予着重的关注。然而现代的信息化建设则完全不同,它更加强调要以客户作为中心来展开相关工作,借助数据分析以及信息技术等相关手段,以此来切实提升客户的使用体验以及服务所达到的水平。企业有必要在信息化的平台当中去集成客户关系管理也就是CRM这样的系统,进而达成对客户需求能够做到精准识别的目的,并且还能为客户提供个性化的服务,像提供用电的相关方案、给出节能方面的建议以及开展在线服务等一系列的功能。与此还需要借助数据挖掘的方式来深入分析客户的行为模式以及用电的规律,从而为营销策略的制定寻找到科学且合理的依据,由此推动营销模式不断实现创新,进一步增强客户的满意程度以及企业在市场当中的竞争力。将服务营销的理念融入到电力营销当中,这不但有利于提升企业自身的品牌形象,而且还能促使电力营销业务朝着智能化以及精细化管理的方向迈进,进而为智能电网的建设给予强有力的支撑。

### 3.2 优化资金投入及资源配置

电力营销信息化建设涵盖硬件设备采购、软件开发、系统集成以及人员培训等诸多方面的投入,合理地配置资金和资源对于确保建设效果而言是极为关键的。企业应当依据业务发展的实际需求以及信息化规划情况,科学地制

定出投资计划，防止出现盲目扩张或者重复投入的状况。并且，在资源配置上，需要达成软硬件、技术研发以及运维人员之间的平衡状态，以此来提升系统的整体效能。借助对资金和资源配置加以优化的方式，企业一方面能够降低建设成本，另一方面在信息化建设进程当中还能实现技术与业务的深度融合，进而为智能电网环境下开展营销创新给予持续不断的动力。

### 3.3 完善电力营销管理制度与组织架构

信息化建设取得成功，单纯依靠技术是不够的，它还需要有健全的管理制度以及科学合理的组织架构作为支撑。企业需构建起跨部门的协作机制，要清晰明确信息化建设方面的职责以及相关流程，以此来保证各个部门在数据采集、数据处理以及业务应用这些环节能够高效地协同合作。与此企业还应当完善绩效考核以及激励方面的制度，把信息化建设的目标融入到企业的战略以及日常管理考核当中，以此提高员工的参与程度以及主动性<sup>[1]</sup>。在组织架构方面，可以设立专门负责信息化管理的部门，该部门负责系统的规划工作、项目的推进事宜以及提供技术支持，进而达成信息化建设与企业战略目标的紧密关联。借助制度以及组织方面的优化举措，企业可提升信息化管理的效率，强化业务执行的能力，从而让电力营销信息化在智能电网这样的大背景之下充分地发挥出其应有的作用。

### 3.4 强化信息安全管理与防护机制

信息安全对于电力营销信息化建设而言，属于极为重要的一项保障内容，同时也是智能电网得以可靠运行的关键基础所在。企业业务必要着手建立起较为完善的信息化管理体系，使其能够贯穿数据采集、数据传输、数据存储以及数据应用的整个过程，要制定出十分严格的针对访问权限的控制办法，还要制定相应的数据加密策略，以此来切实保证敏感信息以及客户数据不会出现被泄露或者被篡改的状况<sup>[2]</sup>。与此企业还需配备专业的安全技术方面的团队，按照定期的频次去开展系统漏洞扫描工作、风险评估活动以及应急演练事宜，进而有效提升自身的防护能力。当把安全制度建设与各类技术手段相互结合起来之后，企业便能够将信息安全风险有所降低，让客户信任度得以提升，并且还能够为电力营销业务的持续向前发展以及智能电网的稳定运转给予坚实的保障支撑。

### 3.5 高效利用信息技术提升业务水平

在智能电网这一环境当中，信息技术的应用已然成为电力营销信息化建设极为关键的核心驱动力量。企业需要充分借助大数据分析、云计算、物联网以及人工智能等一系列先进的技术手段，达成对用电数据展开实时采集、细致分析乃至精准预测的目的，进而为营销决策给予科学且有效的依据。通过着手建立数据共享平台以及业务协同系统，便能够将内部与外部的信息资源加以整合，从而实现业

务流程的自动化以及智能化转变。与此移动化服务平台的构建，使得客户可以凭借多种渠道来完成用电查询、在线缴费以及服务申请等相关事宜，以此提升客户的使用体验。信息技术得以高效应用之后，一方面提升了企业的业务处理能力，另一方面也强化了电力营销的精准性以及灵活性，进而为智能电网建设给予了数据以及技术方面的有力支撑。

### 3.6 策略实施的阶段性规划与保障措施

电力营销信息化建设需遵循科学规划以及分阶段推进的原则。企业能够把建设任务分解成为短期、中期以及长期目标，先着手实施基础平台建设以及关键系统的上线工作，随后再逐步对数据分析、客户服务以及决策支持功能加以优化。在每个阶段都应当设定清晰明确的考核指标以及绩效评估体系，以此来确保项目能够依照计划持续推进并且及时地调整策略<sup>[3]</sup>。与此还需建立起技术、管理以及资金方面的保障机制，从而确保系统建设、运营以及维护能够持续保持稳定状态。借助阶段性规划以及多维度的保障措施，企业在信息化建设当中便能够有效地控制住风险、提升效率，并且逐步达成电力营销的智能化、精细化以及高效化目标。

## 4 结语

智能电网大背景之下的电力营销信息化建设，称得上是提升企业核心竞争力、优化客户服务以及支撑电网智能化发展的一项颇为重要的举措。仔细分析国内当前的实际情况以及其中存在的种种问题。对于这些问题，企业应当融入服务营销的相关理念，对资金和资源配置加以优化，完善各项管理制度，强化信息安全管理，合理利用先进的信息技术，同时制定出具有阶段性的实施规划以及相应的保障措施。实施上述这些策略，一方面能够提升电力营销的工作效率以及数据管理的水平，另一方面还能够推动智能电网建设朝着深度融合的方向发展，从而为企业自身的可持续发展以及整个行业的转型给予强有力的支撑。在未来，随着技术不断取得进步以及相关政策逐步得到完善，电力营销信息化将会进一步走向深化，企业需要持续在管理和技术应用方面开展创新活动，以此达成信息化、智能化以及服务化等多方面的全面提升。

## 【参考文献】

- [1]车颖萍.智能电网背景下的电力营销信息化建设策略[J].现代工业经济和信息化,2023,13(1):42-44.
  - [2]尚洪飞.坚强智能电网背景下的电力营销信息化建设[J].农电管理,2024(4):55-56.
  - [3]陈欣欣,朱长青,朱德鑫.智能电网背景下电力营销信息化建设策略研究[J].中国设备工程,2025(14):6-8.
- 作者简介：赵永强（1979.9—），毕业院校：中央广播电视台大学，所学专业：会计，当前就职单位：国网山东省电力公司博兴县供电公司。

## 乡村振兴战略下水电工程移民后续发展思路初探

杨雨川

中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司，四川 成都 611130

**[摘要]**乡村振兴背景下探讨水电工程移民后续发展方向意义深远。移民后续发展的关键问题是产业发展，而产业的选择需符合经济发展的规律以及产业结构演进的基本准则。在乡村振兴背景下移民后续产业发展可以有体系化的解决思路：夯实移民后续产业发展基础是移民后续产业发展的前提条件；建立合理有序的产业发展格局；提升农业一二三产业融合发展水平；搭建对外长期合作平台；引导小农户与现代农业进行有机衔接。充分挖掘地区资源禀赋优势及特色产业发展潜能，使水电工程移民后续发展能够得到长远保障，推进经济社会和自然环境效益和谐共进。

**[关键词]**乡村振兴；水电工程；移民；后续发展；思路初探

DOI: 10.33142/hst.v8i12.18448

中图分类号: F127

文献标识码: A

## Preliminary Exploration on Follow-up Development Ideas for Hydropower Project Immigrants under the Strategy of Rural Revitalization

YANG Yuchuan

PowerChina Chengdu Engineering Corporation Limited, Chengdu, Sichuan, 611130, China

**Abstract:** Exploring the follow-up development direction of hydropower project immigrants under the background of rural revitalization has profound significance. The key issue for the subsequent development of immigrants is industrial development, and the selection of industries needs to comply with the laws of economic development and the basic principles of industrial structure evolution. Under the background of rural revitalization, there can be a systematic solution for the development of post migration industries: consolidating the foundation of post migration industry development is a prerequisite for the development of post migration industries; Establish a reasonable and orderly industrial development pattern; Enhance the level of integrated development of agriculture's primary, secondary, and tertiary industries; Building a long-term external cooperation platform; Guide small farmers to organically integrate with modern agriculture. Fully tap into the advantages of regional resource endowment and the potential for the development of characteristic industries, so that the subsequent development of hydropower project immigrants can be guaranteed in the long run, and promote the harmonious progress of economic, social, and natural environmental benefits.

**Keywords:** rural revitalization; hydroelectric engineering; immigration; subsequent development; preliminary exploration of ideas

### 引言

伴随着我国能源消费结构调整与水电开发力度加大，水电工程建设移民也成为地方发展中的重要的人口迁徙现象。水电工程移民不仅仅是简单的人口迁移安置和生计问题，更是关系着移民区经济发展、社会和谐稳定以及生态环境保护的问题，移民的发展状况直接关系着乡村振兴战略的成败与否。目前我国水电工程移民已经不再是单纯意义上的安置时期，而是进入了后期发展阶段，移民区面临着产业发展基础差、就业途径少、民生服务水平低以及生态环保任务艰巨等多重问题。在实施乡村振兴战略的大背景下，如何合理安排移民区产业、合理分配资源、提高移民生活质量、促进当地经济社会健康有序发展成为了学者及相关部门亟待解决的关键议题。因此，深入探究水电工程移民的后期发展方案，既有理论上意义，能够充实相关领域的研究内容，亦有现实中的应用价值，能为此类移民地区的相关决策提供参考依据。本文以实施乡村振兴战略为契机，针对水电工程移民的现实情况，在产业发展、政策扶持、资金来源以及社会治理等方面探索移民后期发

展的可行方案，力求找到切实可行的方法手段来促进移民地区经济振兴、社会稳定及生态环境良性发展。

### 1 水电工程移民与乡村振兴的关联性

水力发电工程移民与乡村振兴具有深层的本质联系，主要体现在战略、产业、可持续三个方面的联系。水力发电工程的建设离不开对移民的搬迁，而全面推进乡村振兴的目标是推进农村农业现代化，两者的目标是一致的，移民问题解决的好坏关系着区域的发展。在战略层面，做好移民安置与国家实施的乡村振兴战略相协调，贯彻执行好“先移民后建设”的原则以及积极创新移民安置举措，让移民的发展融入到当地的乡村产业、生态以及文化发展中去，进而带动整个区域的进步；譬如，在大渡河上的水电站移民安置工作中就发现移民安置延迟或者忽视产业发展都会制约乡村振兴，但是合理的规划却可以成为发展的机遇。在产业层面，移民安置的根本目的是达到移民可以“搬得出、稳得住、能致富”，这与乡村振兴中提出的产业兴旺也是密不可分的，现实中经常存在移民安置地区的产业发展底子薄弱，产业结构不够丰富的情况，所以发展

一些像光伏、乡村旅游这样的新产业新模式来激发移民自身的活力，壮大集体的经济，延长产业链条是有必要的。在可持续层面上，采用飞地经济、立体化开发等方式打破地域和市场的瓶颈，与此同时优化基础设施以及环境，不仅是提升了移民地区的后续发展能力更是为当地乡村的人居环境以及区域性可持续提供了保障。

## 2 乡村振兴战略下发展思路

### 2.1 夯实移民后续产业发展基础

巩固移民后扶产业发展的基础是促进水电开发移民在乡村发展战略中获得持续性进步的重要步骤。一方面要对移民区内的自然环境条件、土地资源情况和劳动力人口数量进行合理的考察分析，从而得出适合当地发展产业的种类组合及其相应的生产规模大小，保证产业的发展建设符合当地的环境容量要求和土地资源负荷水平；另一方面在具体产业的选择上应当立足于本地的优势要素禀赋，积极培育和发展那些特色鲜明、市场需求旺盛的种植业、林业、养殖业和农副产品加工制造业等，并在此基础上进一步强化产业内部的纵向联系，拓宽和拉长相关产品的生产链条，提高产品附加价值，以此来增加整个产业项目的市场活力和就业岗位供给量。与此同时还要加大基础设施投资力度和完善公共服务设施建设，尤其是涉及到交通道路网络、农田水利设备、通讯网络覆盖以及供电系统等方面的硬件设施必须要有可靠保证，这样才能够为产业的发展奠定一个稳固的基础平台，在此基础上还应当通过教育培训、技术支持、咨询服务等形式帮助移民学习新的知识和技术，培养他们掌握现代化企业的经营管理才能以便更好地参与到未来的产业发展之中去。除此之外还需要制定相应的产业发展计划并落实监督制度以确保对土地资源、资本投入和其他资源要素的合理运用，使投资发挥最大的经济效益和社会效益，避免盲目决策造成不必要的损失和浪费，最后在相关政策的支持上可以考虑采取直接的财政拨款、间接的信贷担保、减免税收和普及科学技术等措施为产业的发展营造一个良好的外部环境。

### 2.2 构建移民后续产业发展体系

移民后续产业发展体系的建设是水电工程建设移民可持续发展和乡村振兴战略的关键所在，关键是建立一个结构优化、功能完善的能持续保持竞争优势的产业网络。首先，在此基础上合理制定产业发展结构，促进种植业、制造业、服务业和特色产业发展，构建“支柱产业+辅助产业+配套服务”的多元化产业模式；其次还要推进产业的纵向一体化和价值升级，对农产品进行加工处理、注册商标、发展电子商务、开展休闲旅游等形式提高产品的附加价值，让产业发展不只是带来工作岗位而且还能产生较为稳定可观的收入<sup>[1]</sup>。其次就是对产业组织模式的创新，鼓励合作组织、企业公司与移民家庭联合起来共同分担风险获取收益，通过整合资本、技术支持和市场营销来提高整个产业的竞争能力。最后是对产业发展的制度安排，要制定产业发展计划、生产标准、市场规则和信用评估等一

系列相关机制来为产业发展提供必要的制度框架和发展指导，同时辅之以金融服务、政策倾斜、科技推广等多元化的支持措施保证了产业体系能够有序运转。同时还需要树立绿色理念，将环境保护、低碳减排、清洁生产等内容纳入其中，实现生态效益与经济社会效益的和谐统一。

### 2.3 提高一二三产融合程度

加快一二三产业融合发展是促进水电工程移民区转型升级和乡村振兴的有效举措，关键是突破传统的产业边界，使第一产业的农业生产与第二产业的加工业、第三产业的服务业深度融合、有机结合。一方面，要立足农业，让第一产业的农业生产与第二产业的初加工、精深加工深度融合，从而提高产品的价值量和竞争力，同时还要把第三产业的服务业融入其中，比如仓储、冷链物流、电子商务和乡村旅游等，打造生产-加工-销售-服务于一体的全产业链条；另一方面还要推进产业技术和模式创新，在产业发展中引入信息化技术管理和控制手段，发展智慧型农业、数字农业和绿色环保的生产方式，打通农业与工业、服务业之间的壁垒，提高资源利用率和可持续发展水平。同时还要重视产业组织模式创新，支持引导龙头企业、集体合作社、种养殖大户和民间资本参与到产业融合发展当中来，建立风险共担、利益共享的合作机制和发展格局，增强当地的产业活力和整体竞争优势。在政策和体制机制方面也要出台相应的支持政策，在财税、信贷、保险等方面给予补贴或减免，提供必要的技术支持和相关培训。

### 2.4 建立对外长效合作机制

建立对外长效合作机制是保证水电工程建设区移民后续发展和乡村振兴计划有效落实的关键支撑，其要求移民地区的经济发展和技术社会发展必须依靠内部和外部资源的优势互补和持续交互。首先，应该广泛开辟地区之间、城乡之间、政府企业之间的合作关系，搭建多元化的合作关系网，以吸引外来资金、技术和管理模式等进入并促进当地产业发展同外界市场的有机结合，进而达成互惠互利的合作局面。其次，应当制定长期合作机制，如签订战略合作协议书，确定双方的战略合作方向、战略任务与目标、权责体系、风险防范机制及利益分享机制，使各种合作关系长期化和常态化。在此基础上，可以推进与高等院校、科研院所和行业领军企业的长期合作，引进高新技术和智力资源，提高移民地区的科技水平和创新能力；还可以加强与电子商务平台、物流企业和市场主体的深入联系，使产品销售、品牌宣传和开拓市场成为一种常规性的行为方式，从而增强产业发展实力<sup>[2]</sup>。最后要重视对合作机制的动态管理和评估，通过对合作进展进行定期检查、绩效考核和经验总结来不断完善合作方案和调配合作资源，提炼出一套可学习借鉴的合作示范模式。

### 2.5 促进农户个体衔接发展现代农业

推进小农户衔接现代农业是水库移民区转型升级、实施乡村振兴的关键举措，重点是使小农户个体的生产活动与现代农业科技、产业组织和市场需求进行有效的连接，

进而提高农业生产力水平,增加农业经济收益,扩大农民社会参与。一是要加强小农户技能培训能力建设,普及推广现代农业科技、机械作业、智慧管理、绿色种养等方式方法让小农户掌握先进的生产技术,培养自立经营和创新创业意识,减少自身生产过程中的不确定性、节约生产投入成本。二是要鼓励小农户同合作社、家庭农场和农业公司等新型经营主体建立合作关系,通过订立合同、结成联合体或共同体、分享利润等方式把分散的小规模生产纳入现代农业生产体系之中,以联合的形式形成规模效应、统一标准、创建品牌,从而提高市场议价能力和竞争力。三是健全支持小农户发展的保障体系,在融资信贷、信息技术、销售网络等方面予以扶持帮助,给予小农户优惠利率的信用贷款、相应的财政补助、技术咨询服务、产品供求信息和电子商务平台等,缓解小农户在日常生产和经营过程中遇到的资金不足、信息闭塞、销路欠缺的情况。与此同时也要注意推进现代农业与农村多种经济并重发展,在做好第一产业的基础上兼顾发展休闲农业、乡村旅游、农副产品加工业等,拓宽农民收入渠道,激发农民投身乡村振兴的热情和动力。

### 3 后续发展措施建议

#### 3.1 规划先行, 多规合一

先规划、后实施以及多规融合是促进水电工程移民后期发展与乡村振兴战略的重要举措,其本质是要以科学合理的规划为基础,统筹好土地使用、产业发展、基础设施建设、环境保护、社会服务等诸多方面的关系,从而达到一个区域的整体协调发展。首先要基于移民安置地区自然环境、人口状况、产业特点等因素的基础上编制合理的总体规划,确定不同区域的功能定位以及发展的主攻方向,对各类开发建设和发展活动给予指引。其次要统筹好城镇规划、产业发展规划、农业发展规划及生态环境保护规划之间的关系,形成“多规合一”的综合性规划方案,防止出现规划割裂、重复投资、相互打架的情况,提高规划的合理性和可行性。此外还应当构建跨部门协作机制、动态调整机制,使规划随着相关政策的变化、经济社会的发展和人民的需求而进行及时的调整和完善,让规划真正符合发展实际。

#### 3.2 政策保障, 激励促进

政策保障和激励机制是推动水电工程移民后期发展及乡村振兴的有效保障。它是通过制定相关政策并通过政策导向来给移民地区的产业发展以及基础设施和社会管理等方面创造一个稳定的发展氛围和发展动力。第一要健全相关的配套政策措施,包括在财政补贴,税赋减免,金融信贷,建设用地,社会保障等各个方面对移民群众或企业的投资行为给予确定性的政策支持,以此减少移民群众和企业的投资发展的不确定性风险,从而调动移民的积极性<sup>[3]</sup>。第二是对不同的产业类型以及不同的发展阶段制定差异化的奖励政策,比如对于现代高效农业,农副产品的加工,特色旅游业以及绿色环保行业进行有针对性的支持;对移民地区的创业,创新项目以及移民企业的技术改造和产品升级进

行有针对性的资金补助或者政策帮扶等以此鼓励移民积极参与到移民地区的产业发展以及科技创新上来。

#### 3.3 行业统筹, 保障资金

行业统筹、资金保障是促进水电工程移民后期发展与实施乡村振兴的重要保障措施,主要是指通过对资源整合和对资金合理分配保证产业、基础设施和社会服务等方面建设能够顺利开展。一方面应该构建跨领域跨部门联合协调机制,在农业、林业、电力、交通、金融等相关行业领域内实现资源整合与职能整合,厘清各部门之间的权责关系,打破信息壁垒并建立联动合作模式,从而提高综合管理水平和开发效益;另一方面应该健全合理的资金保障方案,包括中央和地方政府的财政拨款、专项资金支持、政策性银行信贷以及其他社会资本投资等多种方式的资金筹集手段,保证重点领域和重点项目有足够的资金来源并且可持续<sup>[4]</sup>。对于所筹措的资金要遵循规范化管理和绩效化考核的原则,建立健全预算制度、用款监督制度和审计稽核制度,确保资金使用合法合规、公开透明和精简高效,通过绩效考评和项目建设效果评估使有限的资金发挥出最大的经济效益、社会效益和环境效益。

### 4 结语

水利水电工程移民后期发展也是实施乡村振兴战略的具体体现,在一定程度上决定了当地移民生活水平的提高和社会经济可持续发展。文章从强化产业发展的基点、形成产业发展体系、深化一产二产三产联动水平、形成长期有效的对外合作模式、加快农户家庭个体融入现代农业等角度提出了移民后期发展的方向,指出应以合理的设计方案、有力的政策措施、必要的资金投入及技术支持等方式最大限度利用好当地的资源禀赋,进而实现在当地经济社会发展中产业进步同社会发展的一体化。今后移民地区需因地制宜,进一步完善相关政策、调整产业结构、加强产业间联系,探索新的技术与开拓新市场,让移民后期发展工作有序地、长期地开展下去,为全面推进乡村振兴战略的有效落实做出应有的贡献,也为区域经济的繁荣稳定和生态文明建设创造持久效益。

#### [参考文献]

- [1]余琳,华蓉.乡村振兴战略下水电工程移民后续发展思路初探[J].价值工程,2019,38(33):112-114.
  - [2]曾耀.基于乡村振兴战略背景下的水利水电工程移民安置规划探讨[J].水利发展研究,2019,19(11):36-38.
  - [3]汪奎,席景华.水利水电工程移民安置贯彻落实乡村振兴战略关键点研究[J].水利技术监督,2022(11):87-89.
  - [4]吴骐均.乡村振兴战略背景下水利水电工程移民安置规划设计[J].大众标准化,2025(1):79-81.
- 作者简介: 杨雨川 (1992.8—), 男, 毕业院校: 宜宾学院, 所学专业: 工程管理, 当前就职单位: 中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司, 职务: 项目部常务副总监, 职称级别: 工程师。

# 征 稿

《水电科技》由新加坡Viser Technology Pte. Ltd.主办, ISSN: 2717-5383 (印刷)。本刊长期以来注重质量, 编排规范, 选稿较严格, 学术水平较高, 深受高校教师及科研院所研究人员的青睐。本刊为开源 (Open Access) 期刊, 出刊的所有文章均可在全球范围内免费下载, 中国知网等国内权威数据库收录。

期刊内容以全球水电工程的勘测、设计、施工、运行管理和科学的研究等方面的技术经验为主, 同时也报道水电领域的各项先进技术。目前, 本刊发行遍及全球各地, 是水电科技刊物中影响范围较大、发行量稳定的综合刊物, 是水电从业人员“了解世界”的窗口, 也是科研技术人员进行学术交流的平台。

《水电科技》期刊主要栏目有:

水利工程、水文水资源、水土保持、防汛抗旱、节水灌溉、勘测规划、能源动力工程、水电建设、电力工程、电气工程、自动化技术与应用、运行维护、技术解决方案、综合研究等。

鼓励水电工程建设各领域的专业技术人员和管理干部以及大专院校相关专业的师生和科研人员来稿, 有关国家科技计划、自然科学基金和各种部门、地方、院所科技基金资助项目的文章优先发布。

征文格式与要求:

(1) 论文要求: 论点新颖, 论证充分; 设想可行, 结论可靠; 条理分明, 书写清楚, 用字规范, 上交电子文件 (word格式)。

(2) 论文格式: 题目、作者姓名、工作单位、省份及邮政编码、中英文内容摘要 (150字符-300字符为宜) 及关键词 (3-5组为宜) 、正文、参考文献。 (附个人简介、邮箱、联系方式及详细收件地址, 如: 省、市、区、路)。

(3) 论文篇幅: 字符数要求在5000-8000字符之间。

投稿网址: [www.viserdata.com](http://www.viserdata.com)



Viser Technology Pte. Ltd.

公司地址

195 Pearl's Hill Terrace, #02-41, Singapore 168976

官方网站

[www.viserdata.com](http://www.viserdata.com)

ISSN 2717-5383

