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 8

第8卷 总第56 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8期（总第56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：8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；作者文图责任自负，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

风沙区域水利工程质量监督中的问题识别与风险防范研究 …… 韩小飞 1

水利工程概预算编制对工程造价的影响 …… 张　皓 4

水库取水口深基坑开挖支护优化技术研究 …… 姜敬德 7

水利工程施工中新型防渗技术应用效果评估 … 张志坚 10

论现代化水利水电工程建筑的施工管理和技术 …… 王豫杰 13

生态水利工程在水利建设中的运用探讨 …… 刘　力 16

水利工程施工质量监督管理及监督对策研究 …… 王　超 19

水闸结构设计中的水力计算与稳定性分析研究 …… 马　彪 22

水文水资源

农田水利工程运行管理与水资源利用存在问题及优化措施研究 …… 张　良 25

基于雷达波非接触式流量测验设备在西藏山区河流水文站的布设分析 …… 渠国富 28

新疆天山北坡呼图壁河以东地区水系三屯河生态基本水量分析研究 …… 黄　潇 31

奇台县开垦河水文测站糙率分析研究 …… 宁新伟 34

生态友好型河道整治工程的护岸施工技术与应用 …… 章燕子 38

能源动力工程

高温高压蒸汽管道热应力分析与寿命预测研究 …… 张朋伟 41

水电建设

自动捞渣机在径流式水电站中的结构优化与应用研究 …… 谭金权 44

柬埔寨某水面光伏发电工程总体方案比选分析 …… 莫海蓉 48

电力工程

电力通信传送网中多业务承载能力优化与调度机制研究 ..... 常宛露　王松瑞　杨　洋 52
电子技术在电力能源计量管理中的应用分析 ..... 王　兴 55
架空送电线路架设导线防磨措施及应用研究 ..... 叶　扬 58
关于电力系统及其自动化技术的应用实践 ..... 殷佳金 62
电力系统继电保护中的隐性故障分析 ..... 李　琛 65
箱式变电站内工业空调的选型 ..... 娄嫣芳　申赛涛 68
光储一体化屋顶分布式光伏电站的设计与建设研究 ..... 左　焱 73
高压电力电缆弯曲半径设计误区的规避 ..... 王云鹏　夏　智　张　滨 76
基于全寿命周期的电网设备资产墙风险防控策略 ..... 陈文涛 79
高压架空线路风偏闪络风险评估与防控对策 ..... 王宗实　赵　航 82

自动化技术与应用

简析电力系统中电气自动化的应用 ..... 王德全 85
智能化技术在风力发电自动化控制系统中的运用分析 ..... 卢彩云 88
新能源汽车高压电控产品线束的集成化设计与电磁兼容优化 ..... 祁　恒 91
基于 DCS 控制系统的化工自动化控制 ..... 张永顺 94

技术解决方案

电抗器在风电并网中的应用与技术挑战研究 ... 韩　辉 98
水轮发电机组蜗壳穿孔分析研究 ..... 段自成 101

运行维护

农村饮水安全工程规划设计与长效运行管理模式 ..... 祝　斌 104
300MW 亚临界火电机组运行性能优化与节能改造研究 ..... 刘　鹏 107
水利水电建设项目信息化管理平台在现场管理中的应用实践 ..... 胡　彬 111
水电站运行效率提升的关键技术与实践 ..... 胡江娇 114
信息技术在水利水电工程技术管理中的应用 ..... 陈家飞 117

综合研究

试论节水器具的开发推广应用及管理 ..... 赵　娇　王凯强 120
浅析水工码头橡胶护舷的使用及维护 ..... 饶　刚 123
人工智能在工业产品检验检测中的应用及质量提升分析 ..... 刘　阳 126

风沙区域水利工程质量监督中的问题识别与风险防范研究

韩小飞
哈密市水利建设与安全中心，新疆 哈密 839000

[摘要]水利工程属于基础性的民生工程范畴，其质量状况和社会安全、农业灌溉、防洪排涝以及生态保护等诸多方面功能的实现紧密相关联。伴随水利建设规模持续不断地拓展扩大，质量监督工作所面临的形势也变得日益复杂且更为严峻。文章针对水利工程质量监督展开相应研究，着重去识别在监督实践过程当中存在的诸如制度层面、职责划分以及手段运用等方面所出现的各种问题，同时深入且细致地剖析在设计环节、材料选用、施工操作以及管理流程中可能出现的质量风险及其形成原因，进而在此基础之上给出具有系统性并且具备较强针对性的风险防范对策，希望能够为提升水利工程建设的质量水平以及监管工作的效率给予一定的理论支撑与实践方面的参考依据。

[关键词]水利工程；质量监督；问题识别；风险防范
DOI：10.33142/hst.v8i8.17343 中图分类号：TV5 文献标识码：A

Research on Problem Identification and Risk Prevention in Quality Supervision of Water Conservancy Projects in Windy and Sandy Areas

HAN Xiaofei
Hami Water Conservancy Construction and Safety Center, Hami, Xinjiang, 839000, China

Abstract: Water conservancy engineering belongs to the category of fundamental livelihood projects, and its quality is closely related to the realization of various functions such as social security, agricultural irrigation, flood control and drainage, and ecological protection. With the continuous expansion of water conservancy construction scale, the situation faced by quality supervision work has become increasingly complex and severe. The article conducts corresponding research on the quality supervision of water conservancy engineering, focusing on identifying various problems that arise in the supervision practice process, such as institutional level, responsibility division, and means application. At the same time, it deeply and meticulously analyzes the possible quality risks and their causes in the design process, material selection, construction operation, and management process. Based on this, systematic and highly targeted risk prevention measures are proposed, hoping to provide theoretical support and practical reference for improving the quality level of water conservancy engineering construction and the efficiency of supervision work.

Keywords: water conservancy engineering; quality supervision; problem identification; risk prevention

引言

水利工程属于保障我国水安全以及区域经济社会可持续发展的重要基础设施，其质量状况直接关乎工程运行的可靠性、耐久性以及安全性。当下，我国正处在水利基础设施大规模建设及改造的关键时期，水利项目种类繁多、工艺复杂且建设周期较长，对质量管理的要求也在持续提高。在实际的操作进程当中，质量监督体系于制度适应性层面、职责协同方面、监管方式多样化的层面以及问题反馈与整改机制等等方面均展现出了持续向前发展的潜在能力。针对这些诸多方面展开系统的探究活动，对于探寻监督体系在不同工程环境状况之下所存在的优化途径而言极有帮助，能够促使监督操作达成精细化以及高效化的状态。依据这样的情况，本文把问题识别同风险分析相互结合起来，从制度维度、组织维度以及技术维度这三个不同的方面来对质量监督体系加以细致梳理，着重对制度适应性及其发展走向、监督职责的协同情况与优化方面的探索、监管方式的多样化情形以及技术的应用情况，还有质量问题反馈与整改机制的完善路径等进行深入分析，进而给出具有可操作性的优化方面的建议，推动监督体系朝着科学化、智能化以及高效化这样的方向不断发展，以此来提升水利工程建设的质量水平以及其运行过程中的安全程度。

1 水利工程开展质量监督的意义

水利工程开展质量监督可以有效地防止工程建设中出现质量问题，减少因质量不达标带来的安全隐患。在水利工程中，一旦出现质量问题，可能引发严重的洪涝灾害、水资源浪费等后果，因此及早发现和解决问题至关重要。水利工程质量监督有助于工程的可持续发展。通过对工程建设过程进行严格监督，可以保障工程的长期运行和维护。这对于地区的水资源利用、灌溉、防洪等具有重要意义，可以有效地促进当地农业生产的发展，提高农民生活水平。此外，水利工程质量监督还能够提升工程的经济效益，通过及时发现和纠正工程中的质量问题，可以避免重复施工，减少维修成本等额外开支，从而节约资金，提高工程的投

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

资回报率。

2 水利工程质量监督中的问题识别

2.1 质量监督制度的适应性与发展方向

在风沙区域开展水利工程建造工作期间，质量监督制度呈现出一定的应用价值，并且还显示出适应性发展的余地。随着工程种类、施工环境以及技术手段日益增多，该制度在实际执行过程中，经由调整与优化，能更妥善地与具体工程的需求相互契合，达成规范性与灵活性的良好融合。针对这一制度展开研究与探寻，一方面可助力提高监督操作的科学程度以及精细化水准，另一方面也为将来在复杂环境下进行工程建设给予了参考依据与指导方向，保障监督体系可以持续适应多样化工程建设的不同场景。

2.2 监督职责划分的协同与优化探索

水利工程质量监督涵盖诸多环节，且涉及众多参与主体，在职责分工方面呈现出系统化以及专业化的特性。对监督职责展开协同与优化方面的研究，能够进一步提升各环节间的衔接效率，促使资源与信息得以顺畅地流动起来。在实际运用当中，针对职责划分所开展的探索活动，一方面可助力提高监督工作的整体协调程度，另一方面也有助于推动各类监督行为达成有效的整合，进而为质量监督体系的高效运转给予有力保障，并且还能为复杂工程项目后续的持续管理累积相应的经验与方法。

2.3 监管方式的多样化与技术应用

随着水利工程建设所处环境日益多样，且技术手段持续发展，其监管方式也朝着多样化方向不断发展。在传统依靠现场检查以及审核资料等做法之上，还引入了信息化以及智能化技术，这给监督工作带来了更多样化的工具与手段。多样化的监管方式可提升工程质量在可视化以及数据化方面的程度，同时还能达成对工程建设整个过程的实时监控以及分析，进而强化监督的科学性与精准性，为工程质量管理给予更加完备的支撑。

2.4 质量问题反馈与整改机制的完善路径

在水利工程的建设进程里，质量问题的反馈以及整改工作属于保证工程稳定运行的关键环节。完善这一机制，可借助优化信息传递方式、强化跟踪管理举措以及构建闭环管理体系等途径，达成问题发现、反馈、整改以及复核的有效关联。经由系统性的机制设计，既能提高整改的工作效率，又能促使经验得以积累，知识实现沉淀，进而为持续改进监督体系给予有力支撑，推动工程质量管理朝着更为科学化、更为精细化以及更具可持续性的方向去发展。

3 水利工程质量风险识别与成因分析

3.1 设计阶段的潜在质量风险

设计属于水利工程建设的初始环节，其合理性以及科学性同后续施工及运行的质量安全有着直接关联。在实际操作当中，部分工程设计存在着依据不够充足、勘察资料不够详尽、设计深度不够等情况，这就使得图纸和现场的实际条件出现不匹配的现象，从而埋下了施工质量方面的隐患。并且，设计单位过度依靠经验，缺少创新性的思维模式，没办法全面且充分地去考量新材料、新工艺的应用场景，如此一来便造成了设计出现滞后的状况以及适应性较差的问题。部分项目由于工期较为紧张，所以频频出现仓促设计、一边勘察一边设计的现象，这无疑降低了整体设计所具有的严谨性以及可行性，进而形成了质量风险的起始点。

3.2 材料与施工环节的质量风险

材料质量对于水利工程的耐久性以及稳定性有着十分关键的影响。当下部分工程项目在材料采购方面存在监管力度不够的情况，供应渠道也比较混乱，并且材料进场时验收工作做得并不严格，这就致使不合格的建材得以混进施工现场。要是关键部位采用了劣质材料，那极有可能引发渗漏、坍塌这类重大的质量问题。并且在施工环节当中，技术交底往往做得不够到位，操作也不够规范，还经常出现为了赶工期而胡乱施工的现象，特别是在复杂的水文地质条件之下，不按照设计标准来施工，更是极易诱发潜在的风险。有些施工单位为了压缩成本，会擅自改变施工工艺，这无疑又进一步加大了质量风险发生的可能性。

3.3 监理与管理过程中的控制风险

监理单位在建设方与施工方之间充当着技术管理中枢的角色，其履职状况对于工程质量的保障有着极为关键的影响。不过，在部分项目当中，监理单位出现了履职不到位的情况，其责任心也较为欠缺，并且监督记录仅仅停留在形式层面，如此一来便无法有效地发挥出质量控制方面的职能作用。除此之外，项目管理所涉及的层级较多，协调链条也比较长，这就使得信息在传递过程中容易出现失真的情况，质量问题通常很难做到及时上报以及妥善处理。有一部分项目还存在着缺乏完善的质量控制计划以及动态风险监控机制的问题，管理行为和质量目标之间出现了脱节的现象，进而形成了“重进度轻质量”这样的倾向，进一步加大了项目在实施进程当中质量出现波动的风险程度。

3.4 风险成因的多维度分析

水利工程质量风险的成因呈现出多维以及系统的特性，既存在制度方面不够完善的情况，还受到人员、技术以及资源等层面的综合影响。就管理机制来讲，监管体系呈现出碎片化的状态，制度执行也带有柔性化的倾向，这些是致使风险容易出现的关键所在[1]。从技术层面来分析，设计质量不是很高，施工工艺相对落后，且缺乏智能化手段等因素，一直在对质量的稳定性产生持续的影响。在人力资源这个层面，存在着专业人才存在较大缺口、培训体系较为滞后、人员激励力度不足等一系列问题，这些问题同样不可以被忽视。多种因素相互交织叠加起来，便形成了水利工程建设当中复杂并且潜在的质量风险体系，迫切

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

需要借助系统性的手段来对其进行识别以及干预。

4 水利工程质量监督的风险防范对策

4.1 健全法律法规与监督制度体系

强化质量监督的制度根基，乃是防范工程质量风险的关键保障所在。要积极推动相关法律法规加以修订和完善，进而构建起涵盖设计、施工、监理以及验收等整个过程的质量监督规范体系，清晰界定各参与方所应承担的质量责任。与此需建立起统一的监督标准以及操作规程，增强制度在执行方面的刚性以及适用程度，彻底杜绝监管工作当中出现“有制度却不执行、有责任却未落实”的状况。地方政府能够依据所在区域的特点来出台配套性的实施细则，达成制度落地时的差异化管理目标，提高制度和实践之间的契合程度。

4.2 明确监管职责，强化协同机制

为了解决多头监管以及责任不清晰的相关问题，有必要进一步将各个监管主体的职责边界明确清楚，理顺建设方、设计方、施工方、监理方以及政府监管部门彼此之间的权责关联，构建起一个“横向相互协调、纵向互相联动”的监督体系。与此要着手建立健全相应的协调机制以及信息共享平台，消除监管数据方面的阻碍，促使多个部门能够协同开展工作，防止出现监管真空的情况或者发生重复监管的现象[2]。可以考虑设立项目质量总监管人制度，把责任集中归口处理，以此来提高监督工作的效率以及问责的力度，达成对工程质量实施闭环管理的目标。

4.3 提升监管人员的业务能力与职业素养

监管人员属于执行监督任务的直接主体范畴，而他们的专业素质以及责任意识在很大程度上决定了监督活动最终所能达成的实际效果。应当进一步加大针对监管人员展开业务培训的力度，确保培训内容能够涉及像新材料的应用情况、智能化监测方面的相关事宜以及风险评估等诸多方面，以此来强化他们在面对复杂工程场景时所具备的应对能力。与此还需要着手建立起多元化的考核以及激励机制，把监督成果和人员的晋升情况、绩效表现紧密地关联起来，从而有效激发他们履行职责的积极性以及身为专业人士所应有的责任感。要鼓励监管人员去争取获得行业认证，或者积极参与到继续教育当中，进而全方位地提升监督队伍的整体专业化程度以及职业化水准。

4.4 推进信息化建设与智能监管手段应用

引入数字化以及智能化方面的技术，无疑是在提高质量监督科学性方面极为关键的一条路径。应当积极推动去建设水利工程的质量监管信息平台，进而达成对数据采集、数据分析、预警以及反馈这一系列环节形成闭环式的管理效果。借助像物联网、BIM 还有 AI 视频监控这类技术手段，能够针对关键部位的施工过程展开实时的监测活动，同时也能够进行质量评估工作，如此一来，便能够让问题发现具备更强的前瞻性，并且还能提升相应的响应速度[3]。与此还需要进一步强化项目档案在数字化管理层面的工作，而且要确保其在多个终端之间能够实现互通互联，从而使得质量数据在整个流程当中都能够实现可追溯的状态，进而为质量责任的界定以及问题的溯源事宜给予技术层面的有力支撑。

4.5 构建全过程质量风险预警与应急机制

风险管理理应贯穿在整个工程建设的所有环节当中。在项目刚开始启动之际就着手去做风险识别以及评估方面的工作，并且要依据所识别到的风险情况去制定出具有针对性的防控举措，还得同步制定好应急预案。在项目具体执行推进的过程里面，需要定期地去开展风险复审工作，同时依据实际情况对相关防控措施做出动态化的调整，以此来保证风险应对策略能够始终具备适应性以及有效性。与此应当搭建起一个由政府、业主、监理单位以及第三方机构等等多方一同参与进来的质量风险预警机制，要是发现了任何异常的信号，能够快速地实现各方联动起来进行处置，从而避免一些小的问题最终逐渐演变成重大的事故，进而构建起一个覆盖全过程并且涉及多层级的质量风险防控网络体系。

5 结语

水利工程质量监督工作是保障工程安全以及运行效益的关键环节，其对于国家水资源管理体系的稳定及发展有着重要影响。在实际的监督实践当中，依旧存在着诸多问题，像是制度方面存在缺失、技术方面较为滞后等等，这些问题迫切需要依靠完善制度、明确职责、升级技术以及加强队伍建设等多种举措来加以解决。本文从问题识别以及风险分析的角度出发，提出将全过程质量管理与智能监督相结合的综合治理思路，以此为提升水利工程建设质量以及监管能力给予理论方面的支持以及实践层面的参考。在未来，应当持续推进水利工程监督体系朝着标准化、数字化以及专业化方向发展，构建起协同且高效的、科学并且可控的现代监督机制，从而达成水利工程的安全、经济以及可持续运行目标。

[参考文献]

[1]邹忠严.水利工程质量监督中的问题识别与风险防范研究[J].水上安全,2023(13):131-133.

[2]许成波,张万辉.基层水利工程质量监督工作中存在的问题及对策[J].水上安全,2024(15):148-150.

[3]陈敏义.水利工程质量监督监督管理存在的问题与思考[J].智能城市,2023,9(2):47-49.

作者简介：韩小飞（1985.4—），毕业院校：新疆农业大学，所学专业：水利水电工程，当前就职单位名称：哈密市水利建设与安全中心，职称级别：副高级工程师。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

水利工程概预算编制对工程造价的影响

张 皓
新疆塔里木河水利勘测设计院，新疆维 喀什 844700

[摘要]概预算编制工作十分看重细节方面的处理，得综合考量诸多不同方面的因素，而且要全面且细致地去收集与之相关的各类基础资料，与此还需科学地去选定定额以及取费标准，唯有如此，才能够切实保证概预算具备合理的特性以及科学的特点，进而有效防止出现预算超支的情况以及设计变更频发的现象。所以说，这篇文章针对水利工程概预算编制质量给工程造价所带来的影响展开了具体的剖析，希望能够给相关的研究以及实践活动给予一定的参考。

[关键词]水利工程；概预算编制；工程造价；影响
DOI：10.33142/hst.v8i8.17333　　中图分类号：TU723　　文献标识码：A

The Impact of Water Conservancy Engineering Preliminary Budget Preparation on Project Cost

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

Abstract: The preparation of preliminary budget places great emphasis on the handling of details, and requires comprehensive consideration of various factors. It is also necessary to collect various basic information related to it comprehensively and meticulously. In addition, it is necessary to scientifically select quotas and fee standards. Only in this way can the preliminary budget have reasonable and scientific characteristics, and effectively prevent budget overruns and frequent design changes. Therefore, this article provides a specific analysis of the impact of the quality of water conservancy project budget preparation on project cost, so as to provide some reference for research and practical activities.

Keywords: water conservancy engineering; preparation of preliminary budget; engineering cost; impact

引言

水利工程属于国家基础设施建设里的重要部分，其投资规模颇为可观，施工周期也较长，技术方面的要求更是不低，这便对资金使用的效率以及造价管理都提出了极为严格的条件。在水利工程建设推进的过程中，概预算编制无疑处于投资决策、施工管理还有成本控制的关键位置，它和工程造价的科学性质、合理性以及能否被有效控制都有着直接的关联。概预算所涵盖的内容并不仅仅是工程量的计算、材料以及设备价格的核定、人工以及机械费用的合理预估，而且还涉及到定额子目的挑选、合同管理以及前期的各类调研等诸多方面的内容，其质量的好坏会实实在在地影响到工程的实际成本、资金的安排情况以及施工组织状况。随着我国水利工程项目规模不断地扩大，建设技术也变得日益复杂起来，传统的概预算编制方法已经很难去契合工程造价管理所需要的精细化以及信息化方面的需求了，像预算出现偏差、投资失去控制以及施工资源遭到浪费这类的问题时不时就会冒出来。所以说，对水利工程概预算编制给工程造价产生的影响展开深入的研究，这不但能够促使预算编制的科学性与准确性得以提升，让资金使用结构变得更加优化，而且还可以为工程投资决策给出可靠的依据，以此来确保水利工程项目的顺利开展以及可持续的发展进程，最终达成社会效益、经济效益与工程质量三者的有机融合。

1 概预算编制质量对水利工程造价的重要影响

1.1 预算中材料价格是否合理

在水利工程概预算编制环节当中，材料价格的合理性堪称是保证工程造价能够做到科学、准确并且处于可控状态的重要环节所在。水利工程所需求的各类主要材料，像钢材、水泥、砂石料、防渗膜还有机电设备等等这些，它们的价格一方面会受到市场供需关系的影响作用，另一方面也会受到诸多因素的制约，比如地区存在差异、运输的距离长短不同、季节出现波动情况、国际大宗商品价格发生变动以及政策进行调控等方面的因素。倘若在预算编制的过程里面采用的是信息存在滞后情况、来源不够真实或者没有结合实际市场行情的价格数据，那么就很容易使得预算结果和实际成本之间出现严重的偏离状况，进而致使投资资金的安排出现失衡的情况：要是价格虚高的话，就会增加那些不必要的投资支出，进而造成资源方面的浪费；而价格过低的情况下，则有可能在施工采购的阶段引发资金缺口的问题，迫得施工单位不得不通过降低材料的质量或者是缩减材料的用量这种方式来加以弥补，如此一来便会对工程的安全性以及耐久性产生影响。所以说，在编制的阶段务必要开展充分并且具有针对性的市场调研工作，要综合去参考政府给出的指导价、行业的定额标准、供应

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

商实际所报出的报价以及近期同类工程的采购数据，同时还要结合运输、储存以及季节性等因素来进行合理的调整，进而科学地确定材料的单价，以此来确保概预算不但能够契合工程所在地的市场实际情况，而且还能够为造价控制以及投资效益实现最大化给予强有力的保障。

1.2 是否能科学选定定额子目

在水利工程概预算编制期间，能否科学地选定定额子目，这对预算结果的准确性以及工程造价的合理性有着极为关键的影响。定额子目是工程量清单以及造价计算得以开展的基础所在，其内容包含了施工所需要的工序、材料、机械台班还有人工消耗等诸多方面。要是选定不够科学，就很容易出现定额过大的情况，进而使得造价显得虚高；或者定额过小，引发资金不足的状况，如此一来便会对施工组织以及工程质量产生影响[1]。毕竟水利工程施工工艺多种多样，地质条件、施工环境以及技术要求也都存在差异，要是盲目地去套用与实际情况并不相符的定额子目，或者是简单地照搬其他项目的定额数据，那么就会致使预算和实际出现脱节的现象。所以说，在选定定额子目的时候，应当充分结合工程的设计方案、施工方法、现场条件以及最新的定额标准，严谨地去核对各个分部分项工程的施工工艺要求，同时依据特殊情况做出必要的调整或者补充，以此来保证定额子目既能符合规范的要求，又可以真实地反映出工程的实际消耗水平，进而能够为水利工程造价控制以及投资决策给予可靠的依据。

1.3 概预算人员各项素质的高低

因为水利工程的工作量比较大，因此预算的工作量也非常大，需要的视角比较长，对概预算人员各方面素质的要求比较高。如果概预算编制人员的各项素质不能达到要去，或者说没有专业的职业素养和业务素质，很有可能会出现概预算编制不准确的问题，一旦出现概预算编制不合理、不科学的问题，就可能会造成严重的资源浪费，甚至出现工程返工或者非常严重的质量问题，进而造成严重的后果。所以，概预算人员必须对专业知识进行熟练的掌握，并在工作中形成强烈的工作责任感。

1.4 先行概预算制度是否完善

在水利工程建设进程里，先行概预算制度是否完备，这和工程造价管理的科学性以及前瞻性有着直接的关联。先行概预算是工程立项、投资决策还有资金筹措方面极为重要的依据，其制度越是健全，那么预算编制就越有可能在项目的早期阶段完整且精准地体现出工程投资的需求情况。要是制度不够完善，缺少清晰的编制标准、审核流程以及责任机制，那就会使得前期投资估算存在很大的随意性，依据也显得不足，如此一来，在后续的设计阶段、招投标阶段以及施工阶段，就很容易频繁地去调整投资额度，进而增加造价失去控制以及资金出现浪费的风险。与之相反，完善的先行概预算制度可以在项目刚开始的时候凭借规范化的流程以及统一的标准，同时结合工程可行性研究得出的相关成果、设计方案以及市场价格的动态变化情况，较为科学地对工程所需的资金额度做出预测，并且形成具有一定约束力的投资控制目标，以此为后续的预算细化工作、成本控制事宜以及资金使用计划制定给予可靠的基础保障，从而保证水利工程的投资能够取得最大的效益。

2 提高水利工程概预算编制措施

2.1 科学确定材料单价

在提高水利工程概预算编制水平之时，科学确定材料单价是一项关键环节，其对于保证工程造价合理以及投资控制有效有着重要意义。水利工程所涉及的材料种类众多，其价格会受到市场供需关系、地区差异、运输距离、季节性波动以及政策调控等诸多因素的影响，要是单价确定不够科学，那么就容易出现预算结果和实际成本存在偏差的情况，进而对资金安排以及施工组织产生影响。所以在编制过程中，应当充分展开市场调研工作，全面参考政府指导价、权威价格信息平台、近期同类工程的采购数据以及供应商的实际报价，同时结合材料的运输、储存、损耗等附加成本来综合展开分析，依据实际情况动态地调整单价参数，防止出现价格虚高或者过低的现象[2]。需要建立起材料价格信息数据库，以此达成价格信息的实时更新与共享，提升单价确定的准确性以及时效性，从而让概预算可以真实地反映出工程的实际需求，给后续的投资决策以及成本控制给予可靠的依据。

2.2 正确计算工程量

在水利工程概预算编制工作当中，准确地去计算工程量乃是保障造价具备准确性以及投资呈现出合理性的关键基础所在。工程量属于费用计算以及资源配置环节里的核心数据，要是其计算结果出现偏差情况，那么一方面会径直致使预算金额出现虚高的状况或者偏低的情形，另一方面在施工阶段还有可能引发诸如材料被浪费、资金存在不足又或者是工期出现延误等一系列的问题。水利工程自身结构较为复杂，施工工序也多种多样，对于不同部位的工程量计算而言，得依据设计图纸、施工规范以及定额标准一项一项地去核实确认，并且要结合实际的地形状况、地质条件以及施工方法来展开精确的测算，务必要防止因为对图纸的理解出现偏差、数据录入发生错误亦或是套用了不恰当的公式等情况而导致最终结果失真。与此在整个计算过程里面还需要做好复核以及交叉检验等相关工作，倘若有必要的话，可以引入像 BIM、工程量清单软件这类信息化工具以此来提升计算的精度与效率。

2.3 建立专门的合同管理部门

在提升水利工程概预算编制水准之时，设立专门的合同管理部门对于规范项目管理以及控制工程造价而言有着颇为重要的意义。合同管理部门一方面要负责对施工合同、材料采购合同还有分包合同展开全面细致的审核并做好备案工作；另一方面还须针对合同条款里的造价条目、付款条件、工期安排以及违约责任等方面予以严格的把控，

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

务必要让合同内容和概预算以及实际施工计划保持一致，避免因为合同不够规范而出现资金方面的浪费或者滋生各类纠纷。与此这个部门还得肩负起在合同执行过程中开展监督以及协调的职责，对工程变更、签证以及索赔等事项实施统一的管理与审查，保证每一笔资金支出都能够处于预算控制所划定的范围之内。

2.4 提高相关工作人员专业素质

在提升水利工程概预算编制水准之时，提升相关工作人员的专业素养乃是保障预算具备科学性以及工程造价保持合理性的极为关键的一个环节。概预算编制涵盖了工程造价、施工技术、材料管理、法规标准等诸多方面的知识内容，要是工作人员的专业能力有所欠缺，那么在材料价格的核定、工程量的计算、定额的选取还有合同的审查等诸多环节便很容易出现差错，进而致使预算不够精准、投资控制失去效用，甚至会对工程质量产生影响[3]。所以，应当借助系统的职业培训、持续开展的教育以及岗位实践等活动，让预算人员对最新的定额标准、施工工艺、市场行情以及信息化工具的应用都较为熟悉，以此来提升他们的综合分析能力以及问题解决能力。与此还应当强化对预算人员责任意识以及职业道德的培育工作，促使他们在编制工作的整个过程当中能够做到严谨细致，并且能够做出科学合理的判断，从而保证概预算编制工作不但要符合规范所提出的要求，而且还要能够如实反映出工程的实际需求，进而为水利工程的造价控制以及投资效益给予可靠的保障。

2.5 完善概预算编制信息化建设

在提高水利工程概预算编制水平期间，完善概预算编制的信息化建设乃是提升预算精确性以及管理效率的关键手段。传统的人工计算与手工管理方式，往往会出现数据重复、计算出错以及信息滞后的状况，这对工程造价的准确性以及决策效率都会产生影响。借助信息化建设，便能够构建起统一的概预算管理平台，把工程设计、工程量计算、材料价格、定额标准以及合同管理等相关信息予以集成并且实现动态更新，进而达成数据共享以及实时分析的目的。与此引入像 BIM 技术、工程量清单软件还有成本管理系统这类现代化工具，不但能够提升工程量计算的准确程度与效率，而且还可模拟工程施工流程、优化资源配置、预测造价风险，以此为预算调整给予科学依据。

2.6 加强现场签证制度

在提升水利工程概预算编制水准之时，强化现场签证制度乃是保障工程造价合理以及把控投资风险的关键举措。现场签证制度借助于对施工进程里出现的设计变更、工程量增减、材料运用以及施工质量方面的问题予以及时的记录与确认，能够切实有效地防范施工单位任意调改工程内容或者重复开展计量操作，进而防止出现造价失去控制以及资金遭到浪费的情况[4]。完备的签证制度需要施工单位、监理单位还有概预算人员一同到现场针对每一处变更或者追加的工作展开共同的核实，由此形成具备法律效力的签证文件，以此来确保工程量以及费用有着透明性以及可追溯的特性。与此还应当构建起严谨的签证审核流程以及档案管理方面的制度，针对签证数据实施实时的统计与分析工作，从而为预算的调整、成本的控制以及后续的决算事宜给予可靠的依据。

2.7 做好前期调研工作

在提升水利工程概预算编制水准之时，把前期调研工作切实做妥，这乃是保证预算具备科学性以及工程造价达成合理性的一项关键基础环节。前期调研涉及诸多方面，像对工程所处区域的地质状况予以了解，对施工环境展开考察，对材料市场的行情加以剖析，对施工技术的可行性进行评估，同时还要对相关政策法规给予全面且细致的了解与深入分析。上述这些信息会实实在在地对工程量的计算、材料单价的确定以及施工方案的选择产生直接的影响。要是调研做得不够充分，或者所获取的信息存在不准确之处，那么概预算就很容易出现这样那样的偏差，进而致使投资安排出现不合理的情况，造成资金的浪费，甚至使得施工难度有所增加。

3 结语

水利工程概预算编制于工程造价管理而言，有着不容取代的关键作用。合理的概预算，其一是能精准地体现工程的实际需求情况，进而给投资决策给予较为可靠的参考依据；其二是能够在施工进程当中对成本加以有效把控，避免出现资金方面的无端浪费以及预算超出额度的现象。通过将材料价格核定环节、工程量计算环节、定额子目选择环节以及合同管理环节予以完善，同时结合信息化的相关手段以及前期所开展的调研工作，如此便能够大幅提高概预算编制的精确程度以及实际的操作可行性，进而达成对水利工程造价进行全过程把控的目标。在往后的日子里，随着水利工程的规模不断地拓展扩大，施工技术也一天比一天变得更为复杂，在这种情形之下，强化概预算编制的规范化程度、信息化水平以及专业化水准，这无疑会成为提升工程管理水平以及确保投资效益得以保障的一个极为重要的趋向所在。

[参考文献]

[1]徐超.水利工程概预算编制分析[J].内蒙古水利,2023(11):66-67.
[2]贾翠.浅析工程概预算编制对工程造价的影响[J].居业,2023(3):151-153.
[3]孙琦.水利工程概预算编制分析[J].城市建设理论研究(电子版),2023(4):149-151.
[4]吴茂芹.浅析水利工程概预算编制对工程造价的影响[J].农业开发与装备,2021(3):116-117.

作者简介：张皓（1996.9—），毕业院校：四川科技职业学院，所学专业：工程造价，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：规划设计室科员，职称级别：助理工程师。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

水库取水口深基坑开挖支护优化技术研究

姜敬德
新疆交通建设集团股份有限公司，新疆 乌鲁木齐 830000

[摘要]文章以新疆喀什地区塔什库尔干县阿然保泰水库工程取水口二期导流围堰专项施工作为研究背景，着重对深基坑开挖支护技术里那些关键问题展开探讨。经过对工程所在区域的水文地质状况加以分析，同时考虑到施工过程中存在的诸多难点以及现有支护方案所具有的局限性，相应地提出了像混凝土围堰结构方面的优化举措、通过钻孔植筋来增强其稳定性的办法、针对模板系统开展精细化施工的操作以及在抽排水与防渗体系方面进行创新等一系列关键技术手段。并且结合动态监测的具体做法、标准化管理的相关要求、按照风险等级进行分级管控的措施以及应急预案等内容所构成的质量控制途径，进而构建起一套能够适用于高寒干旱地区水库取水口深基坑支护工作的优化技术体系。

[关键词]深基坑支护；导流围堰；钻孔植筋；模板系统；防汛应急
DOI：10.33142/hst.v8i8.17365 中图分类号：TV5 文献标识码：A

Research on Optimization Technology for Excavation and Support of Deep Foundation Pit at Reservoir Water Intake

JIANG Jingde
Xinjiang Communications Construction Group Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830000, China

Abstract: This article takes the special construction of the diversion cofferdam for the second phase of the water intake of the Aranbaotai Reservoir project in Tajik Taxkorgan County, Kashgar Prefecture, Xinjiang as the research background, and focuses on exploring the key issues in the excavation and support technology of deep foundation pits. After analyzing the hydrogeological conditions of the area where the project is located, and considering the many difficulties in the construction process and the limitations of existing support schemes, a series of key technical measures have been proposed, such as optimizing the concrete cofferdam structure, enhancing its stability through drilling and planting reinforcement, carrying out refined construction operations for the formwork system, and innovating in the drainage and anti-seepage systems. By combining the specific methods of dynamic monitoring, relevant requirements of standardized management, measures for graded control according to risk levels, and emergency plans, a quality control approach is constructed to build an optimized technical system that can be applied to the deep foundation pit support work of reservoir water intake in high-altitude and arid areas.

Keywords: deep foundation pit support; diversion cofferdam; drilling and planting reinforcement; template system; flood control emergency response

引言

深基坑工程在水利枢纽建设里属于极为关键的核心环节，它的施工质量和主体结构的安全性以及功能性有着极为紧密的关联。水库取水口在水利工程当中算得上是十分重要的一个节点，一般情况下会处在地质条件比较复杂并且水文环境也颇为复杂的状况之下，面临着诸如高水位渗透这样的情况，还有季节性洪水所带来的威胁，另外再加上高寒气候等诸多方面的挑战。传统的支护技术想要满足那种强度颇高且稳定性也很高的施工需求，那是很难做到的，所以迫切需要依靠对结构加以优化以及在工艺方面展开创新的方式来提高工程的效率以及安全性。

1 概述

1.1 深基坑工程在水利枢纽中的重要性

深基坑工程属于水利枢纽施工范畴内的基础性工作，它的稳定与否会直接影响到取水口、泄洪闸等关键建筑物在后续长期运行过程中的安全状况。以阿然保泰水库工程当作实例来看，其取水口得承受高水头所带来的压力，并且还要面临季节性洪峰的猛烈冲击，在这种情形下，基坑支护结构所具备的抗渗性能、抗滑移的能力以及整体的刚度就显得格外重要了。要是支护出现失效的情况，那么极有可能会致使基坑发生坍塌，导流功能失效不说，甚至还可能对下游的居民安全构成威胁。所以说，深基坑工程不但是技术层面的一大难点，而且还是整个工程能否取得成功的关键控制要点所在。

1.2 水库取水口工程的特殊性与挑战

阿然保泰水库的取水口处于辛滚沟出口上游650m的位置，该工程区域的海拔高度在 3150～3330m 之间，属于典型的高寒干旱气候类型，其年均降水量低于 200mm，不过夏季时暴雨较为集中，洪水呈现出陡涨陡落的特点。基坑开挖的深度颇大，并且需要在较为狭窄的工作面之内同时兼顾导流以及围堰施工这两方面事宜。地层的透水性比较强，地下水位存在明显的波动情况，传统的土石围堰极容易因为出

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

现渗漏以及遭受冲刷而发生失稳状况。怎样在高海拔、低温的环境下达成快速施工的目标并且确保结构具备良好的耐久性，这便是本工程所面临的极为关键的核心挑战所在。

1.3 支护技术优化的必要性

原施工方案运用的是土石围堰导流的方式，不过由于其过流断面存在不足的情况，并且稳定性也比较差，所以存在着洪水漫顶的风险。经过一番对比分析可以发现，混凝土围堰在抗渗性、抗冲刷性以及施工效率这些方面都更有优势[1]。与此钻孔植筋技术能够强化围堰和地基之间的锚固效果，而精细化模板工艺则可以让混凝土浇筑的质量得以提升。对支护技术加以优化，不但能够使工期缩短、成本降低，而且还能在很大程度上降低汛期施工时的风险，进而保障整个工程的安全。

2 工程概况与需求分析

2.1 阿然保泰水库工程背景

阿然保泰水库工程处于新疆喀什地区的塔什库尔干县辛滚沟流域，该工程属于小型范畴，其总库容达到 403 万立方米，主要核心功能在于灌溉以及城乡供水方面。工程主体部分涵盖了首部取水口、引水管道、水库还有供水管道等构成要素，其中取水口又包含了引水闸、泄洪冲砂闸以及溢流堰等诸多关键结构，整个工程的混凝土浇筑总量达到了 8000m^3，钢筋的使用量大约为 330t。工程所处的区域海拔在 3150～3330m 之间，属于高寒干旱地带，气候条件十分恶劣，年均降水量少于 200mm，然而每年的 6～8 月份却集中了全年超过 60%的径流量，并且以暴雨型洪水为主要形式，在 1%的频率情况下设计洪峰流量可高达 392 立方米/秒。施工需要在五年一遇洪水的标准之下完成导流围堰的建设工作，其技术难度相当大[2]。除此之外，水库的正常蓄水位是 3220.20m，死水位为 3208.00m，坝址处的水位和流量之间的关系较为复杂，需要依靠精密的水文计算来确定导流方案，以此保障施工期间的防洪安全。

2.2 深基坑工程条件分析

取水口二期导流围堰所涉及的深基坑开挖，其深度处于 10～15m 之间，在此过程中，所遇到的地层主要是透水性特别强的砂砾石，并且地下水的埋藏深度相对较浅，如此一来，基坑开挖便面临着极为突出的渗流方面的风险。该围堰需要抵挡的最大的侧向水压力，是当水位达到 3313.5m 时所对应的流量，也就是 1393m^3/s，这无疑给支护结构在抗冲刷性以及稳定性这两个方面都提出了相当高的要求。施工的条件还受到已建成的引水闸以及一号冲砂闸局部导流能力的限制，二期围堰得在较为狭窄的空间里迅速形成，而且要同时考虑到导流以及结构施工能够同步向前推进。与此工程所在的区域极端低温可达到零下 30℃，在这样的情况下，混凝土早期强度的发展速度会变得很慢，常规的养护工艺很难满足其强度方面的需求，所以需要运用综合温控以及早强相关的技术。

2.3 现有支护方案的局限性

原初的设计是采用土石围堰导流这一方案的，不过此方案存在着颇为明显的缺陷：其一，土石围堰断面的尺寸偏大，如此一来便占用了导流通道的空间，进而使得过流断面出现不足的情况，没办法满足主汛期每秒 148.7 立方米的泄洪方面的需求；其二，砂砾石地基的渗透系数是比较高的，在这样的情况下，堰体就容易因为渗漏而引发管涌或者出现滑移失稳的现象；其三，土方填筑以及拆除所花费的时间较长，很难在 2025 年 5 月主汛期之前顺利完成围堰闭合的工作，工期方面存在的风险比较突出；其四，大规模开展土方开挖作业会破坏原有的地貌，使得水土流失的程度加剧，这与高原生态保护的相关要求是相冲突的。鉴于上述这些问题，工程转而采取了混凝土围堰的方案，然而还需要对结构设计加以进一步的优化，以此来解决混凝土早期强度不够、模板拼缝存在渗漏以及围堰与地基连接处较为薄弱等技术方面的瓶颈问题。

3 深基坑支护优化方案设计

3.1 混凝土围堰结构优化与导流设计

依据导流方面的需求以及现场的地质条件状况，选用 C30 抗冲耐磨混凝土来建造上下游的围堰。其中，上游围堰的长度是 46m，而下游围堰的长度则为 25m，其顶部的宽度均为 1m。并且，堰体的底部会深入到基岩当中 0.5m，以此方式来强化其抗滑的能力。还借助有限元模拟手段对断面尺寸加以优化处理，使得混凝土的使用量得以减少 15%[3]。导流方面的设计是以已建设完成的引水闸还有一号冲砂闸所具备的分流能力作为依托的，同时结合围堰中部预先埋设的直径为 800mm 的钢管导流孔，进而形成一种“主闸加上辅孔”的双通道泄洪模式，从而保证在主汛期的时候过流的能力能够达到每秒 148.7m^3。围堰在施工时采用的是分层浇筑的工艺，总共分为三层来进行施工，在各层之间会设置榫槽以及直径为 16mm 米的锚筋，以此来提升整个结构的整体性。为了能够应对高原地区那种低温的环境情况，会在混凝土当中掺加早强剂，而且还会采用电热毯进行覆盖养护操作，以此确保在三天之内混凝土的强度可以达到设计值的百分之七十。

3.2 钻孔植筋与围堰稳定性增强技术

为了解决围堰和砂砾石地基连接处较为薄弱的问题，运用直径为 16mm 的螺纹钢来实施双排钻孔植筋的操作。其中钻孔的排距是 50cm，孔深同样为 50cm，孔距则设定为 30cm，而外露出来的钢筋长度达到 90cm，并且将其与围堰主体进行焊接处理，以此形成刚性的连接状态。在施工期间，借助 RTK 以及全站仪来精准地开展放样工作，把孔位的偏差严格控制在正负 5mm 的范围之内。还采用了“三刷三吹”的工艺，彻底将孔内的粉尘清除干净，从而保证植筋胶能够具备良好的黏结强度。对于植入段的钢筋，在经过喷砂除锈以及用丙酮清洗之后，再为其涂覆上环氧树脂防腐层，如此一来便能够大幅度地提升其抗腐蚀的性能。

3.3 模板系统精细化施工工艺优化

引入钢木复合模板体系，同时结合 BIM 技术展开三维预拼装操作，以此来缩减现场调整所花费的时间。经过

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

液压调平机矫正之后，钢模板的平整度误差能够控制在每米不超过 2mm 的范围之内；将双面胶带嵌填于模板接缝处，并且在外侧增设止水钢板，如此一来便能有效地防止出现漏浆的情况；支撑体系运用直径为 48mm 的钢管搭建起桁架结构，把斜撑的间距加密到 1.2m，进而确保模板具备足够的刚度。木模板的边缘经过压刨机的处理之后，拼缝的宽度能够控制在不超过 1.5mm 的程度。在浇筑开始之前，要对模板实施湿润方面的处理工作，并且使用激光水准仪再次复核标高，从而保证混凝土成型之后的精度。经过优化之后，模板安装的效率提高了百分之三十，在拆模之后，混凝土外观平整度的合格率达到了百分之九十八，而像蜂窝麻面这类缺陷的发生率则低于百分之一。

3.4 基坑抽排水与防渗体系创新

采用“明沟导流+集水坑强排+垂直防渗墙”的综合体系来处理基坑渗水方面的问题。沿着基坑的周边去开挖尺寸为 1.0m×0.7m 的导流明渠，其坡度设定为 3‰，以此来引导地表水远离作业面。另外设置尺寸为 Φ2.0m×1.5m 的集水坑，并且配备有 4 台 φ150mm 的潜水泵，这样每天的排水量能够达到 5000m^3。在围堰的外侧打入深度为 12m 的钢板桩，从而形成垂直防渗墙，其渗透系数是≤ 1×10^{-6}cm/s，以此来阻断地下水的渗流情况。与此在基坑的底部铺设两布一膜土工膜，而且接缝部分采用热熔焊接的方式处理，进而形成双层的防渗屏障。通过这样的体系，使得地下水位能够稳定在开挖面以下 1m 的位置，为开展工地施工创造出了相应的条件。

4 深基坑支护优化施工质量控制路径

4.1 施工全过程动态监测与数据反馈

构建起“监测-分析-预警”这一体化的系统，在此系统当中，要布置多达 20 个测斜管以及沉降观测点，并且每隔 4 个小时就要去采集围堰的水平位移数据还有沉降数据。在混凝土的内部还需埋设光纤光栅传感器，以此来实时对应力的变化情况进行监测，而预警值是按照设计值的 80%来进行设置的[4]。所采集到的数据会通过 BIM+GIS 平台加以集成分析，进而以可视化的形式来展示出结构变形的趋势，一旦出现偏差超出限定的情况，那么就会自动触发声光报警，并且将相关信息推送到管理人员的手机端。在汛期的时候，还要额外增设水位监测站，每隔 30min 便上传河道的水位数据，同时结合气象预报的情况来动态地对施工计划做出相应的调整。

4.2 材料性能与设备运行标准化管理

混凝土的质量控制方面，运用红外热像仪来检测其入模时的温度，务必要保证温度大于等于 5℃，另外还掺入早强剂，借此将养护周期缩短至 5d，在每 100m^3 的混凝土中留置 3 组试块，分别用于检测 3d、7d 以及 28d 的强度。对于钢筋而言，实施二维码追溯管理，只要扫描二维码便能够查询到生产批次、力学性能以及检测报告等相关信息。水泥选用的是 P O42.5 低碱品种，其 3d 强度需达到或超过 17MPa。针对关键设备比如挖掘机、泵车等，会编制相应的点检表，每天都要对液压油位、履带磨损等各项指标进行检查，一旦出现故障的设备，要在 2h 内将其撤离现场。

4.3 安全风险分级管控与环境保护措施

把基坑坍塌、机械伤害以及高处坠落等风险划分成 4 个等级，并且制定出差异化的管控方案。对于红色风险区域要施行 24h 专人值守，而橙色风险作业则需要技术负责人在现场旁站监督。施工道路全部进行硬化处理，同时配置 3 台雾炮机用来抑尘，在裸土区域还要覆盖防尘网；渣土运输车辆要加装 GPS 以及密闭装置，一旦出现违规倾倒的情况就会自动发出报警信号。在生态保护方面，要划定 50m 的施工红线，严禁在行洪河道堆放材料；等到工程完工之后，采用本地草种来实现复绿，植被的恢复率要达到 95%及以上。

4.4 应急预案与超标准洪水应对策略

现场会常备编织袋多达 400 个，铅丝笼有 20 个，还有抽水泵 6 台以及 2500L 的柴油，而且物资库房和基坑的距离是小于等于 200m 的。每个月都会组织防洪演练，模拟洪水漫顶的情形，务必要保证在 5min 之内能有 2 台挖掘机以及 2 辆自卸车到位来加筑子堰。超标洪水的响应流程包含这样的情况：当水位超出警戒线达到 0.5m 的时候就会启动一级响应，去加筑黏土麻袋围堰；要是超出 1m 的时候就会启用备用的导流通道。与此还和昆玉市人民医院建立了联动的机制，储备了 20 类急救药品，对于重伤员要在 1h 之内将其转运到定点医院。

5 结语

本研究对阿然保泰水库取水口深基坑工程的特殊需求展开系统分析，提出了混凝土围堰结构优化、钻孔植筋稳定性增强、模板工艺精细化以及抽排水体系创新等关键技术，还构建了将动态监测、标准化管理与风险分级管控相互融合的质量控制路径。实践证明，优化方案让围堰施工周期缩短了 20%，成本降低了 12%，并且成功经受住了 2025 年主汛期洪峰的考验。在未来，需要进一步去探索智能化监测设备和绿色施工技术的集成应用方式，以此推动高寒地区水利工程深基坑支护技术不断取得新的进展。

[参考文献]

[1]王士勇,王炎,王立康.大型水库低温水影响及分层取水措施研究——以三坝水库为例[J].黑龙江环境通报,2024,37(12):7-10.
[2]张杞蓉,普晓晶.某水库取水口的设计优化及安全论证[J].水上安全,2025(2):133-135.
[3]杨松,曾祥磊,宦如胤,等.小型水库除险加固工程取水口金属结构改造方案探讨[J].广东水利水电,2025(4):69-73.
[4]岑文祥.装配式钢结构取水口在既有水库内的方案设计[J].江苏建材,2025(2):84-86.

作者简介：姜敬德（1992.10—），毕业院校：大理理工大学，所学专业：水利水电工程，当前就职单位名称：新疆交通建设集团股份有限公司，职称级别：中级工程师。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

水利工程施工中新型防渗技术应用效果评估

张志坚
长江河湖建设有限公司，湖北 武汉 430074

[摘要]通过引入创新型防渗技术优化水利工程关键施工环节，采用高分子复合防渗膜、膨润土防水毯及纳米材料注浆工艺，显著提升防渗结构的整体密封性与稳定性，施工过程中结合地质勘查数据实施分层分区设计，确保防渗材料与地基条件的适配性，并依托智能监测系统实时追踪渗漏动态，实现精准控制与动态调整，与传统防渗方法相比，新技术在缩短施工周期、增强防渗效能、降低维护频率等方面优势显著，尤其在高水压环境及复杂地质条件下表现出良好的适应性与经济性，为提升水利工程运行安全性和延长服役周期提供了坚实的技术保障。
[关键词]新型防渗技术；高分子复合膜；纳米注浆；渗漏监测；水利工程施工
DOI：10.33142/hst.v8i8.17364 中图分类号：TV44 文献标识码：A

Evaluation of the Application Effect of New Anti-seepage Technology in Water Conservancy Engineering Construction

ZHANG Zhijian
Changjiang River and Lake Construction Co., Ltd., Wuhan, Hubei, 430074, China

Abstract: By introducing innovative anti-seepage technology to optimize the key construction links of water conservancy projects, using polymer composite anti-seepage membranes, bentonite waterproof blankets, and nano material grouting technology, the overall sealing and stability of anti-seepage structures are significantly improved. During the construction process, geological exploration data is combined to implement layered and zoning design to ensure the adaptability of anti-seepage materials to foundation conditions. With the support of intelligent monitoring systems, real-time tracking of leakage dynamics is achieved to achieve precise control and dynamic adjustment. Compared with traditional anti-seepage methods, the new technology has significant advantages in shortening the construction period, enhancing anti-seepage efficiency, and reducing maintenance frequency. Especially in high water pressure environments and complex geological conditions, it shows good adaptability and economy, providing solid technical support for improving the safety of water conservancy project operation and extending the service life.
Keywords: new anti-seepage technology; polymer composite membrane; nano grouting; leakage monitoring; hydraulic engineering construction

引言

随着水利工程建设规模的持续扩大与运行环境的复杂化，传统防渗技术逐渐难以满足现代工程对安全耐久性的严苛要求，新型防渗技术的不断创新与应用，为解决渗漏风险、提升工程质量开辟了新路径，通过先进材料体系与智能监测手段的有机融合，不仅优化了施工工艺，更在增强防渗性能、适应复杂地质条件等方面展现出显著突破，成为推动水利工程技术升级的核心方向之一。

1 新型防渗技术的原理与分类

1.1 高分子复合材料防渗原理

高分子复合防渗材料以聚乙烯（PE）、聚氯乙烯（PVC）等高分子聚合物为基体，复合无纺布或编织布增强层，构成柔韧的复合膜结构，其防渗核心在于高分子链段紧密排列形成的致密网络，通过物理阻隔显著削弱水分子扩散能力，同时兼具优异的耐腐蚀、抗老化及延展特性，在水利工程应用中，通常将其铺设于渠道、堤坝或水库基底，借助热熔焊接或专用胶黏剂实现接缝密封，构建连续完整的防渗屏障，这种技术凭借施工简便、适应性强的特点，尤其适用于大面积、地形复杂的防渗区域。

1.2 膨润土防水毯（GCL）防渗机制

膨润土防水毯由天然钠基膨润土颗粒夹置于两层土工织物间，经针刺或黏结工艺复合而成。其防渗效能源于膨润土遇水后产生的膨胀特性：当接触水分，膨润土颗粒迅速吸水膨胀数倍，形成具有极低渗透性的凝胶体，有效阻断水流通道，相较于传统黏土防渗层，膨润土防水毯具有厚度薄、渗透系数低、运输铺设便捷等优势，特别适用于地基承载能力有限或工期紧张的工程场景。

1.3 纳米注浆技术的渗透封堵原理

纳米注浆技术采用粒径处于几十至几百纳米量级的高活性材料，通过高压灌注方式渗入地基裂隙或孔隙，这些纳米材料凭借极小粒径与高表面活性，能够快速扩散至细微结构缺陷处，在水化反应与膨胀作用下形成致密结晶，从微观层面封堵渗透路径，纳米颗粒的强渗透能力使其可深入传统材料难以抵达的微小缝隙，并通过固化反应生成

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

不透水的阻隔层，显著提升结构防渗性能，该技术特别适用于老旧水利工程渗漏修复，以及喀斯特地貌、断层破碎带等特殊地质条件下的防渗加固，具备施工扰动小、修复精度高、可控性强的显著优势。

1.4 新型防渗技术的系统分类

基于水利工程实际应用场景，新型防渗技术可系统划分为材料革新类、结构优化类与智能监测集成类三大体系，材料革新类聚焦高性能防渗材料研发，涵盖高分子复合膜、膨润土防水毯、纳米注浆材料等；结构优化类通过复合防渗层设计、反滤-排水系统协同构建等手段，提升防渗结构整体性能；智能监测集成类则依托传感器网络与物联网技术，实现渗压、水位、结构变形等关键参数的实时监测与风险预警，多种技术协同应用，形成“主动预防+被动治理”的全链条防渗方案，充分体现现代水利工程对高效、安全、可持续防渗体系的创新追求。

2 防渗技术在水利工程中的施工工艺与应用实例

2.1 高分子复合防渗膜施工工艺与工程应用

高分子复合防渗膜施工遵循“基面预处理-膜体铺设-接缝焊接-防护层施工”的标准化流程，施工前需对基面进行平整处理，清除尖锐物并确保干燥，防止膜材破损；铺设时合理控制膜体张力，预留热胀冷缩空间，采用热熔焊接技术实现接缝的气密与水密；最后覆盖防护层，隔绝紫外线与外力破坏，该工艺技术成熟、适用性强，适合大面积连续作业，但对施工组织协调与复杂环境应对能力要求较高。在大型灌区输水渠道、水库坝基及人工湖防渗工程中，高分子复合膜技术得到广泛应用。通过创新的热合连接工艺与边缘锚固设计，技术实现了长距离连续防渗，有效降低水体渗漏损耗，显著提升工程运行安全性与水资源利用效率，特别适用于复杂地质条件下对防渗性能要求严格的水利工程项目。

2.2 膨润土防水毯在复杂地基条件下的应用

膨润土防水毯施工主要包括毯体展铺、边缘搭接、压实固定与覆盖保护环节，铺设时需顺应地形走势，搭接宽度控制在 15～30cm，采用黏结剂或热处理强化密封效果；基层平整是施工质量的关键，需避免凸起物刺穿毯体，且铺设后应及时覆土，防止膨润土提前水化。

三峡库区支流整治工程中，在淤泥质软基、岩溶发育等复杂地质区域，膨润土防水毯成功替代传统黏土防渗层，大幅减少土石方工程量与运输成本，缩短工期，同时凭借其良好的柔韧性与可塑性，显著提升非规则区域的防渗效果，展现出优异的经济性与地质适应性。

2.3 纳米注浆防渗加固在老旧工程中的修复实践

纳米注浆防渗修复分为渗漏检测定位、钻孔布点、浆液配制、高压灌注与养护固化五个阶段，施工前需精准定位渗漏点，科学布设注浆孔网；灌注过程中实时监测压力与流量参数，严格控制注浆速率，避免土体扰动；养护期内（24～72h）纳米材料完成水化反应，形成致密防渗结晶层。

某南方城市涵洞改造工程中，纳米注浆技术被应用于老旧混凝土衬砌渗漏修复，该技术无需开挖、对周边环境扰动小，尤其在夜间限时施工条件下，实现了高效精准的防渗加固，为城市水利设施更新提供了创新技术方案。

2.4 防渗技术集成应用的典型工程案例

现代水利工程正加速向多技术融合的集成化防渗体系转型，通过材料特性互补、结构功能协同与信息化技术深度融合，全面提升工程防渗效能，以渠道防渗工程为例，在渠道底部采用高分子复合膜构建核心防渗屏障，利用其优异的隔水性能与抗穿刺能力阻断水体下渗；两侧边坡则根据地质条件选用膨润土防水毯或纳米注浆技术进行加固，前者凭借遇水膨胀特性适应边坡形变，后者通过纳米材料的高渗透封堵能力强化薄弱区域。

在西北某大型跨区域引水工程中，项目团队面临裂隙岩层发育、承压水压力高、干旱气候加速材料老化等多重挑战，针对复杂工况，创新性地集成“高分子复合膜+纳米注浆+智能感知系统”技术方案：采用高分子复合膜铺设主防渗层，形成第一道隔水防线；对裂隙发育区域实施纳米注浆加固，填充细微渗水通道；同步构建智能监测网络，实时采集渗压、位移、温湿度等数据。

3 防渗效果评估指标体系与性能对比分析

3.1 防渗效果评估的核心技术指标体系

科学评估防渗技术效果需构建涵盖多维度的量化指标体系，核心参数包括渗透系数、接缝密封性能、水头损失率、防渗层完整性及服役寿命等，渗透系数作为衡量材料抗渗性能的关键指标，其数值越小表明材料阻水能力越强；接缝密封性能直接影响防渗层的整体密闭性，尤其对高分子复合膜等拼接类材料的施工质量起决定性作用；水头损失率通过监测输水过程中的水位变化，间接反映渗漏程度，是工程运行阶段的重要监测依据。

此外，耐久性评估指标体系还需纳入机械强度、化学稳定性、抗老化性能等参数，实际工程中，通常采用实验室模拟试验与现场原位测试相结合的方式，系统采集不同工况下的性能数据，建立动态监测模型，为防渗技术选型、施工质量控制及运维决策提供科学依据。

3.2 不同防渗材料性能对比分析

当前水利工程应用的新型防渗材料各具技术优势与适用场景，以高分子复合膜、膨润土防水毯和纳米注浆材料为例，其物理力学性能、施工适应性及耐久性存在显著差异。如表 1 所示。

表 1 三种主流材料的典型性能对比

指标项目	高分子复合膜	膨润土防水毯	纳米注浆材料
渗透系数（cm/s）	10-9～10-11	10-7～10-9	≤10-11
施工便捷性	高	中	中-高
材料柔性	强	强	弱
对地基适应性	中-强	强	强
使用寿命	20～30 年	10～15 年	≥30 年（视注浆材）

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

从数据表可知，高分子膜呈现出极低的渗透系数和不错的柔性，适配铺设类相关工程；在地基与形状适应方面，膨润土毯表现十分突出；在封堵深层裂隙与实现长期耐久性上，纳米注浆优势突出。

3.3 渗漏监测与评估技术手段

现代水利工程多配备渗漏监测系统以动态评估防渗效果，常见技术包含静力水压监测、土体含水率传感、渗流计量及光纤分布式温度传感（DTS）等。以大型水库坝体为例，通过多点布置渗压计与温度传感装置，可实时追踪坝基渗流变化趋势并对潜在薄弱区域及时处置，数据驱动的动态评估模式促使防渗效果评估从 “事后分析”转向“全周期监控”，为工程高标准运行提供有力支撑。

3.4 防渗技术经济性与效能比对

评估防渗技术的经济性与效能需综合考量材料采购成本、施工周期、人工投入、维护频率及长期运行可靠性，高分子复合膜材料成本适中且施工便捷、周期较短，适用于大面积工程，但对地基平整度与铺设工艺要求较高，增加了现场管理成本；膨润土防水毯对复杂地形适应性强、施工灵活，但若未及时覆土保护，易因预先吸水导致性能下降；纳米注浆技术初期投资较高且需专业设备施工，却在处理深层渗漏与老旧结构修复中优势显著，后期维护需求低，生命周期效益更优。

“经济性－效能”双坐标分析法常被用于实现防渗方案优化配置，该方法以单位面积年均维护成本与渗漏削减量为核心指标构建评估矩阵，对多种方案进行可视化对比，既有助于量化不同技术的投入产出比，又能兼顾短期建设目标与长期运维效益，确保防渗技术在实际工程中同时达成经济合理性与技术先进性。

4 提升防渗技术应用成效的优化路径与发展趋势

4.1 完善施工标准与质量控制体系

防渗效果的可靠性不仅依赖材料性能，更需施工环节的规范化与标准化，提升施工成效需从基层处理、材料铺设、接缝处理至复合结构压实保护的全流程建立统一的施工技术标准与操作规范，对施工关键节点设定验收指标并强化过程质量控制与责任追溯机制，为防渗层长期稳定运行奠定基础。同时，应加强施工人员技术培训与现场质量监督，引入第三方检测机制对渗透系数、密封质量等核心指标进行实测核验。

4.2 推进防渗材料智能化与绿色化发展

材料性能提升是防渗技术进步的核心驱动力，未来研发应聚焦智能响应型与环保型绿色防渗材料，如具备自愈合功能的高分子膜可在微裂缝出现后自动封堵渗水通道，含感知功能的复合材料可实现渗漏实时预警，显著提升安全水平。

材料绿色化亦成为重要趋势，通过引入可降解高分子、生物基原料及低碳制造工艺，可减少对环境的负面影响并提升防渗系统生态友好性，新型防渗材料研发需兼顾功能多样化、环境适应性与可持续性，助力构建绿色高效的水利防护体系。

4.3 构建防渗系统智能监测与信息反馈机制

防渗层运行状态的实时监测与反馈是实现长效防控的关键，需推动基于物联网与传感技术的防渗信息系统建设，布设渗压传感器、变形监测器与温湿感应元件，实现防渗系统的可视化、数据化与远程监控管理。

借助大数据分析与人工智能算法建立防渗风险评估模型，可对渗漏趋势进行预测预警并辅助维修决策制定与技术选型，同时将监测结果纳入工程运维管理平台，实现防渗结构状态全生命周期跟踪，为防渗技术成效评估与优化提供科学依据和数据支撑。

4.4 探索多技术融合与区域化定制策略

针对不同地质、水文与气候条件，应推动“高分子膜+膨润土毯+注浆技术”等多种防渗技术融合使用，依据地形地质差异实施分区分层差异化设计，提升整体系统综合防渗能力。此外，防渗技术需向区域化、精细化方向发展，结合水利工程所在区域的生态环境敏感性、经济承受能力与运行管理模式，制定适配性强的个性化解决方案，构建多维一体、因地制宜的防渗应用策略，将成为未来水利工程建设高质量发展的重要支撑路径。

5 结语

新型防渗技术在水利工程施工中的应用突破了传统工艺局限性，在提升工程安全性、耐久性与生态友好性方面成效显著，通过多类型高性能材料集成应用，配合智能监测与系统化管理，实现了防渗结构的精准构建与高效运行，实践表明，科学选型、规范施工、持续监测与区域适配是保障防渗效果的关键环节，未来，需持续推动技术融合创新与标准体系建设，完善防渗系统全生命周期管理，为水利工程高质量发展提供坚实技术支撑。

[参考文献]

[1]陈昱奇,苗芳野.农田水利工程施工中渗水原因及防渗技术[J].新农业,2024(12):68-69.
[2]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.
[3]徐毅峰,梁炆汉.水利工程防渗技术的前沿探讨与工程实践[J].城市建设理论研究(电子版),2025(4):202-204.
[4]王小莉,李亚荣.防渗技术在水利工程施工中的应用分析[J].水上安全,2025(6):157-159.
[5]李联河.水利工程施工中渗水原因及防渗技术研究[J].水上安全,2024(23):169-171.

作者简介：张志坚（1987.8—），男，毕业院校：河海大学，学历：本科，所学专业：港口航道与海岸工程，当前就职单位：长江河湖建设有限公司，职务：项目副经理，职称级别：中级。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

论现代化水利水电工程建筑的施工管理和技术

王豫杰
中国葛洲坝集团第一工程有限公司，湖北 宜昌 443000

[摘要]随着现代工业技术持续向前发展，同时环境保护意识也在不断增强，在这样的背景下，水利水电工程作为一项极为重要的可再生能源项目，其施工管理以及技术水平都在逐步得到提升。着重对现代水利水电工程施工管理体系的构建情况加以分析，另外对其关键施工技术的应用状况、施工质量与进度控制所采取的措施以及绿色施工和可持续发展技术的实施情况进行深入剖析。再结合大体积混凝土施工的实际操作情况、GPS 智能测绘的应用情况以及机械化设备在实际中的应用情况，来全面且细致地探讨如何有效地对工程质量和进度加以控制的方法。并且从环境影响评估、资源节约以及绿色管理体系不同的方面去展开有关绿色施工的技术路径方面的研究。科学合理且行之有效的施工管理与先进技术相互结合起来，这是保障水利水电工程建设在质量、安全以及环保等方面都能够达到良好状态的关键所在。

[关键词]水利水电工程；建筑施工；施工管理；施工技术
DOI：10.33142/hst.v8i8.17348　　中图分类号：TV54　　文献标识码：A

Discussion on the Construction Management and Technology of Modern Water Conservancy and Hydropower Engineering Buildings

WANG Yujie
China Gezhouba Group No. 1 Engineering Co., Ltd., Yichang, Hubei, 443000, China

Abstract: With the continuous development of modern industrial technology and the increasing awareness of environmental protection, water conservancy and hydropower engineering, as an extremely important renewable energy project, is gradually improving its construction management and technical level. Emphasis is placed on analyzing the construction management system of modern water conservancy and hydropower engineering, as well as the application status of key construction technologies, measures taken to control construction quality and progress, and the implementation of green construction and sustainable development technologies. Based on the actual operation of large volume concrete construction, the application of GPS intelligent surveying, and the practical use of mechanized equipment, this article comprehensively and meticulously explores how to effectively control the quality and progress of the project. And conduct research on the technical path of green construction from different aspects such as environmental impact assessment, resource conservation, and green management system. The combination of scientific, rational, and effective construction management with advanced technology is the key to ensuring that water conservancy and hydropower engineering construction can achieve good quality, safety, and environmental protection.

Keywords: water conservancy and hydropower engineering; construction of buildings; construction management; construction technology

引言

水利水电工程属于国家能源结构优化的关键部分，其发电效率较高，资源利用率也高。在全球推动低碳经济以及可持续发展的当下，水利水电工程的建设一方面要保障能源安全，另一方面还要保护生态环境。随着工程规模变得更大，技术复杂性也提高了，现代水利水电工程建筑施工面临施工环境复杂、技术难度大、管理要求高等很多挑战。怎样依靠科学的施工管理体系以及先进的施工技术手段提升施工质量和效率，保障工程安全，是当前水利水电工程建设领域的重点研究对象。围绕现代化水利水电工程施工管理体系的构建、关键施工技术的应用、施工质量与进度控制展开系统分析与探讨，目的是给工程实践给予理论支撑和技术指引。

1 现代水利水电工程施工管理体系

现代水利水电工程的施工管理体系乃是保障工程建设能够科学、有序且高效推进的根基所在。其中，施工组织结构的合理设计以及职责分工的明确划定，构成了达成高效管理的基本前提。通过构建起多层次且职责清晰明确的组织架构，可切实保证施工各个环节能够协调一致地相互配合起来，进而促使资源利用效率得以提升，管理效能也能获得增强。而施工管理制度与规范方面的不断完善，给施工活动搭建起了标准化以及流程化的管理框架，以此来确保各项施工活动能够在既定的规章制度范围之内顺畅开展，同时防范可能出现的管理漏洞以及执行偏差情况。至于安全管理体系的建设，这可是保障施工人员生命安全以及设备安全正常运行极为关键的一个方面。借助风险识别、隐患排查、预防控制以及应急管理等诸多措施，能够从系统层面去提升施工的安全水平。随着信息技术持续快速地发展，信息化管理技术的应用渐渐变成了现代水利水

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

电工程施工管理当中不可或缺的重要手段之一。凭借BIM也就是建筑信息模型、物联网、大数据等相关技术，能够实现对施工过程进行数字化以及智能化的管理操作，如此一来便能让施工管理的精准程度以及响应速度都得以提高，进而有效地提升整体施工管理的质量以及效率。

2 关键施工技术及应用

2.1 围堰施工技术

上游河流汇入是建设水利水电工程建筑时应该重点考虑的问题。为了避免上游河流汇入过程中可能存在的潜在危险，应根据现场实际的施工情况，选择合理的施工技术手段消除不良因素。使用该种施工技术能够快速将上流水源汇入到水利水电工程中，这就需要施工人员对河流的入水方向进行微小调整。施工人员可以选择合适的位置建造基坑，这样即使上游河水发生变化，工程下游也能保证正常的施工状态。想要应用该种技术进行施工还要对水流进行计算，目的是分析工程所处的水流环境，综合多种因素才能确定所需要的施工材料以设备类型，为后续完善施工方案做好铺垫。但施工前还应依据上游水流的具体要求预估可能存在的结构施工风险等级，从而制订出对应的解决方案，为顺利推进水利水电工程奠定基础。

2.2 大体积混凝土施工技术

大体积混凝土施工技术在水利水电工程当中占据着极为重要的位置，特别是在坝体、基础等一些关键结构的施工环节里更是如此。因为混凝土的体积往往很大，其水化热释放出来的量也比较高，要是对温度控制得不恰当，就很容易出现温度裂缝的情况，进而对结构的整体安全性以及耐久性都产生影响。所以说，在施工的过程里面，务必要采取那些较为科学的温控方面的措施，像是实施分层浇筑的操作、合理地去配比水泥材料、选用低热水泥以及掺入矿物掺合料等方式来使得水化热得以降低。除此之外，还需要对冷却系统进行合理的规划设计，比如埋设冷却管道这类做法，以此来促使温度能够保持均衡状态，防止出现局部过热的现象。对于混凝土的浇筑速度以及养护条件，也都需要加以严格的控制，从而保证混凝土结构能够具备良好的密实性以及稳定性。通过针对施工工艺给予严格的把控，并且开展科学的施工管理工作，是能够有效地将热应力集中所存在的风险降下来的，进而切实保障工程结构的质量以及使用寿命。

2.3 GPS与智能测绘技术

GPS以及智能测绘技术在应用方面取得了明显成效，其大幅提升了水利水电工程施工环节的测量精度，并且工作效率也得以提高。传统的测绘办法存在诸多弊端，耗时时间较长，出现的误差也比较大，根本无法契合大型且复杂的工程所提出的各项需求。凭借卫星定位系统，工程测量达成了高精度的水准，还具备实时动态定位的能力，如此一来便能够迅速获取到地形地貌方面的各类信息。把无人机航测和三维激光扫描技术相互结合起来，进而能够生成极为精细的数字地形模型，以此来助力施工方案实现优化以及相应的调整操作。除此之外，智能测绘技术还能够在工程施工进程当中，针对结构变形以及位移情况展开实时监测工作，从而可以及时察觉到潜在的风险隐患，并且给予预警提示，进而切实有效地保障施工期间的安全状况。将数字化数据加以整合并实现共享，这给施工管理人员带来了较为全面且精准的决策依据，有力地推动了施工管理朝着智能化的发展方向不断迈进。

2.4 机械化与自动化施工设备

机械化以及自动化施工设备在现代水利水电工程当中得到了广泛的应用，这使得施工效率和质量都得到了明显的提升。像大型起重机、挖掘机、混凝土泵车这类设备经过合理的配置并实现高效运行之后，取代了大量的传统手工作业，既降低了人工劳动强度，又减少了人为操作时可能出现的误差，还缩短了施工所花费的时间周期。与此自动化设备借助传感器以及控制系统来达成对施工过程的精细化管理，它能够依据实时监测所获取的数据自动去调整作业的相关参数，以此来确保施工的精度以及工艺标准得以满足。机械设备的维护管理工作同样是极为重要的，通过科学合理的调度安排以及保养措施，可以保障设备能够稳定地运行，进而减少设备出现故障的概率，降低施工过程中存在的风险。综合地运用机械化以及自动化技术，不但提升了施工的质量以及安全方面的水平，而且还为工程管理朝着智能化方向发展奠定了相应的基础。

3 施工质量与进度控制

3.1 质量管理体系与标准

施工质量管理体系在保障水利水电工程建设质量方面充当着制度层面的基石角色。要建立起完善的质量管理体系，务必要将质量计划的制定环节、施工过程中的控制环节、检验检测环节以及质量反馈环节都囊括进去，以此来保证整个施工流程从头到尾都能够契合设计规范以及技术标准的要求。在制定质量标准的时候，需要把我国相关的规范以及项目具体的实际需求综合起来考量，进而清晰地明确质量目标以及评价指标的具体内容。借助系统性的培训以及广泛深入的宣传工作，促使施工人员的质量意识得以提升，同时让他们的操作技能也能够得到提高。要强化针对现场的质量控制工作，尤其要对关键工序以及存在隐患的环节予以重点监控，一旦发现存在问题就要及时采取相应的纠正举措。定期去组织开展质量评审以及验收活动，进而形成一个完整的闭环管理机制，借此不断地提升工程的质量水平。

3.2 施工质量控制关键点

施工质量控制应当将目光聚焦在那些会对工程安全以及使用寿命产生关键影响的环节之上。就基础处理以及地基加固而言，这两者可是保证结构稳定性的前提条件，在施工过程中务必要对地基承载力还有沉降指标加以严格把控。再者说，混凝土浇筑工序得合理安排好浇筑的顺序以及速度，务必确保混凝土能够做到密实且没有蜂窝麻面的情况出现。模板安装方面也得严格按照设计要求来执

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

行，以此保证尺寸的准确性以及结构的整体性。设备安装这个环节同样是不可以被忽视的，得保证设备安装时的定位精度以及功能调试都到位。借助全过程的监控与检测手段，去预防质量缺陷的发生，进而确保工程能够达成预定的设计性能以及使用标准。

3.3 施工进度计划编制与监控

施工进度计划在工程管理方面称得上是极为重要的一种工具。若能合理地去编制进度计划，那么对于统筹各类资源以及协调施工流程而言，将会起到颇为有益的作用。进度计划务必要依据设计图纸、施工方案还有现场的实际状况来科学地加以编制，要妥当且合理地对各个阶段的任务以及时间节点予以分配安排。在具体实施的整个过程当中，需采用进度监控系统来实时且细致地对工程的进展情况进行跟踪，一旦发现施工进度出现偏差，就要及时地将这一情况反馈出来，进而对施工组织以及资源配置做出相应的调整，以此确保各项工序都能够按照计划顺利地向前推进。特别是对于那些处于关键路径上的工序以及会对整体进度产生影响的重点环节，更是需要给予格外的关注，要事先制定好应急预案，以便能够快速地对各种突发情况做出响应。唯有如此，借助动态管理的方式，才能够切实有效地保障工程整体进度目标得以实现。

3.4 成本控制与风险管理

成本控制属于施工管理的关键内容范畴，对施工成本予以合理的把控，对于提升项目的经济效益而言是很有帮助的。要制定出科学合理的预算方案，将各项成本指标进一步细化，强化针对材料采购方面、人工方面、机械使用方面以及管理费用等方面的动态监控以及分析工作，以此来避免出现资金浪费以及超支的情况。并且，风险管理是贯穿于整个施工过程当中的，在此期间需要去识别那些潜在存在的各类风险，并且制定出相应的应对策略，这些风险包含了自然环境方面的风险、技术方面的风险、管理方面的风险以及安全方面的风险等。借助风险评估以及监控手段，采取相关的预防举措以及应急处置办法，从而降低风险给施工成本以及施工进度所带来的影响，进而确保项目能够顺利地完成其建设任务。

4 绿色施工与可持续发展技术

4.1 环境影响评估与控制措施

绿色施工理念着重于施工进程里对环境加以保护以及把对环境的影响程度降至最低限度。环境影响评估属于绿色施工当中的前置环节，借助科学的方式去评估施工活动可能给空气、水体、土壤还有生态系统带来的潜在影响，进而制定出对应的控制办法[1]。运用扬尘控制、噪声减缓以及废水处理等一系列技术手段，以此来减少对周边环境所造成的干扰。要对施工区域以及运输路线予以合理规划，从而降低生态遭受破坏以及资源出现浪费的情况。

4.2 资源节约与污染防治技术

在水利水电工程展开施工之际，资源节约以及污染防治乃是达成绿色施工极为关键的要素。借助采用节水方面的技术以及相关设备，能够促使水资源消耗得以降低。对能源使用的结构予以优化，进而提升能源的利用效率，让施工过程当中的温室气体排放有所减少。施工所用的材料需优先去选用那些环保型的、能够实现再生的材料，以此来削减不可降解的废弃物所产生的数量[2]。针对施工废弃物要实施分类收集，并且开展资源化利用的相关工作，从而减轻给环境所带来的负担。污染防治的各项措施涵盖了施工现场对于固体废弃物的管理事宜、对废气排放的控制操作以及废水的处理流程，务必要保证施工排放能够契合环保所规定的标准，避免对生态环境形成破坏的情况出现。

4.3 绿色施工管理体系建设

构建起完善的绿色施工管理体系，这无疑是推动水利水电工程朝着绿色发展迈进的制度层面有力保障。该体系把诸多环节都囊括进来了，像绿色施工目标怎么去制定、环保责任怎样落到实处、技术方案该如何来选择、施工过程又该如何去监控以及绩效评价要怎样开展等等[3]。通过设立专门负责绿色施工管理的组织机构，把相关职责明确清楚，并且确立好考核的标准，同时强化针对绿色施工方面的培训工作以及宣传力度，以此促使全员的环保意识得以提升。结合运用信息化的手段，达成对绿色施工过程进行数字化的监控以及实施动态化的管理这样的目的。当绿色施工管理体系不断完善起来之后，能够对施工行为起到规范的作用，推动绿色技术得以广泛应用，从而确保施工活动能够契合可持续发展所提出的要求，进而推动水利水电工程实现高质量的绿色建设。

5 结语

现代化水利水电工程建筑施工管理以及技术水平的提高，对于保障工程的安全性、效率以及绿色发展而言，是极为关键的。借助构建起较为科学的施工管理体系，运用先进的施工技术，强化针对施工质量以及进度的把控，如此便能够有效地去面对复杂多变的施工环境以及各类技术挑战，进而促使工程建设的整体水平得以提升。在往后的日子里，随着新技术不断地涌现出来，水利水电工程的施工将会变得更加智能化以及绿色化，从而为达成可持续发展的目标贡献出更多的力量。持续且深入地开展技术创新以及管理优化方面的工作，这无疑是推动水利水电工程朝着高质量发展方向迈进的一条必经之路。

[参考文献]

[1]张瑞刚.现代化水利水电工程建筑施工管理和技术分析[J].工程技术研究,2020,5(18):94-95.
[2]陈志胜.现代化水利水电工程建筑的施工管理和技术[J].冶金管理,2023(15):11-12.
[3]陈德岭.现代化水利水电工程建筑的施工管理和技术[J].水上安全,2023(6):172-174.

作者简介：王豫杰（1985.6—），单位名称：中国葛洲坝集团第一工程有限公司，毕业学校和专业：河海大学，水利水电工程。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

生态水利工程在水利建设中的运用探讨

刘 力
中国电建集团港航建设有限公司，天津 300467

[摘要]随着社会经济不断发展以及生态文明理念日益深入人心，传统以防洪、灌溉以及供水作为核心功能的水利工程，已经很难契合可持续发展的相关需求了。生态水利工程把工程技术同生态保护相互融合起来，着重于在对水资源加以调控的过程当中，同步去维护生态环境，进而达成人与自然能够和谐共存的目标。文章紧扣生态水利工程的设计原则、实践应用以及综合效益等方面来展开探讨，把流域调节、河道整治还有湿地修复等情况都涵盖进来，较为系统地剖析它在生态环境得以改善、防洪能力获得提升以及生物多样性得到保护等方面所起到的作用。研究得出的结论显示，生态水利工程属于构建现代绿色水利体系的一条极为重要的途径，并且具备十分突出的生态价值以及社会价值。

[关键词]生态水利工程；水利建设；运用
DOI：10.33142/hst.v8i8.17344 中图分类号：TV222 文献标识码：A

Discussion on the Application of Ecological Water Conservancy Engineering in Water Conservancy Construction

LIU Li
POWERCHINA HARBOUR CO.,LTD., Tianjin, 300467, China

Abstract: With the continuous development of social economy and the increasing popularity of ecological civilization concepts, traditional water conservancy projects with flood control, irrigation, and water supply as core functions are no longer able to meet the relevant needs of sustainable development. Ecological water conservancy engineering integrates engineering technology with ecological protection, focusing on synchronously maintaining the ecological environment in the process of regulating water resources, and achieving the goal of harmonious coexistence between humans and nature. The article focuses on the design principles, practical applications, and comprehensive benefits of ecological water conservancy engineering, covering watershed regulation, river regulation, and wetland restoration. It systematically analyzes its role in improving the ecological environment, enhancing flood control capabilities, and protecting biodiversity. The conclusion drawn from the research shows that ecological water conservancy engineering is an extremely important way to build a modern green water conservancy system, and has outstanding ecological and social value.

Keywords: ecological water conservancy engineering; water conservancy construction; application

引言

水利工程属于基础设施范畴，在防洪、灌溉以及水资源管理等方面起着极为重要的作用。不过，传统的水利工程往往把重心放在功能的达成之上，对于生态承载力方面却有所忽视，如此一来便致使环境出现退化情况，并且生物多样性的程度也出现了下降的态势。近些年来，随着生态文明建设的推进，水利工程的理念开始朝着生态化的方向转变，着重于对河湖生态系统的保护以及推动水资源实现可持续利用的目标。在国际层面而言，生态理念已经被广泛地运用到河道整治以及湿地重建等相关工作当中，并且收获了颇为积极的成效。我国的生态水利工程虽然起步的时间相对较晚，但是其发展速度却是相当快的，相应的实践经验也在不断地得以丰富。本文将会以设计原则作为基础，深入探讨生态水利工程的实际应用状况以及所产生的效益，其主要意图在于能够为相关的工程给予一定的参考价值以及可借鉴之处。

1 水利工程建设的必要性

一是促进水资源合理利用。水利工程建设能够在一定程度上根据社会实际情况，对水土资源进行全面控制，促进水资源利用，创造更多的经济效益、社会效益。二是防洪、排涝，兴利除害。水利工程建设能够对水资源进行有效合理的调控，针对洪涝进行储蓄，杜绝洪涝造成的灾害。修建水利工程后，可以控制水流，预防洪涝灾害，同时进行水量分配和调节，满足人们生活用水以及生产用水需求。三是防止水土流失、改善农业生产条件。修建水利工程不仅防止了水土流失，也为农业发展奠定了基础。四是提高航运、水运能力。通过水利工程建设，可以提高水域交通能力，保证水路运输的安全性及高效性。

2 生态水利工程设计原则

2.1 生态系统保障性原则

生态系统保障性原则于生态水利工程设计而言，乃是其首要前提所在，换言之，在工程开展建设以及后续运行的整个进程当中，务必要保证水体及其周边所涉及的生态系统的稳定状态以及完整状况。此原则着重指出，水利工程必须要遵循自然规律，要充分尊重水文循环以及生物链

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

之间所存在的内在关联，尽力防止因人为因素的干扰而致使生态系统功能出现退化的现象。在着手设计工作的过程中，得全面且细致地考量诸多方面，像是流域水量的平衡情况、季节性水位呈现出的变化态势、河道形态所具有的稳定性状况以及水生生物所处的生境条件等等，借助科学合理的安排工程结构布局以及调控其运行的方式方法，以此来保障水体能够实现健康的运行状态。就好比说，在针对河道展开治理工作的时候，应当尽可能地维持天然河道原有的弯曲形态，同时也要保持滩涂湿地的分布格局，尽量削减大规模硬质护岸给岸线生态带来的破坏影响；而在水库进行调度操作期间，需要兼顾考虑到下游的生态需水需求以及上游的蓄水任务要求，防止因为水位波动幅度过大而对水生植物群落以及鱼类产卵环境造成破坏。只有始终秉持着生态系统保障性原则，生态水利工程才能够在充分发挥自身工程效能之际，还能够为水域及其周边区域的动植物给予相对稳定的生存条件。

2.2 生态环境自我修复能力原则

生态环境自我修复能力原则着重指出，工程建设时需做到减少对生态环境的破坏，并且要借助合理的规划设计来推动生态系统自身达成恢复与重建的目的。此原则规定，在水利工程的选址环节、施工阶段以及运行期间均需引入生态修复方面的技术，进而促使河湖湿地、水生植被以及土壤系统能够在自然力的影响之下逐步恢复其原有的各项功能。比如，可通过构建生态缓冲带以及植被护岸的方式，凭借植物根系来固定土壤、过滤掉各类污染物并且减缓水流的速度，如此一来，不但能够防止出现水土流失的情况，而且还能对水质加以改善，同时增加可供生物栖息的场所。在河道整治的工作当中，可以设置鱼道或者生物通道，以此来确保水生生物能够在不同的水域之间自由地进行迁徙，进而维持生态系统所具备的完整性以及多样性。除此之外，水利工程在运行的时候应当尽可能地减少人为的干预，使得生态系统能够在自然演替的进程里实现自我调节以及自我修复。通过强化生态环境的自我修复能力，一方面能够降低后期维护所需要的费用，另一方面还能够在长远的角度上提升生态系统所具有的韧性以及抗风险的能力。

3 生态水利工程在水利建设中的实践应用

3.1 流域尺度的科学调节与优化设计

流域属于水资源以及生态系统所具备的基本单元范畴，它在实施生态水利工程方面占据着极为关键的尺度地位。要开展科学且合理的流域调节工作并做出优化设计，就得全面且系统地去考量诸如水文、水质、生态还有社会经济等诸多方面的因素，从而达成对流域水资源予以合理安排的目标，并促使生态环境形成良性的循环状态。借助于构建起综合水文模型以及生态响应模型，再把遥感技术和 GIS 技术相互结合起来运用，如此便可以实时且动态地对流域水量的具体分布情况以及生态承载力状况加以掌握，进而为水资源调度事宜给予科学层面的依据支撑。具体来讲，其相关措施涵盖了规划设立生态涵养区、生态缓冲带以及人工湿地等内容，以此来推动洪峰得以削减并且让水质获得净化的效果，与此同时还要确保下游区域的生态需水能够得到保障，进而维持湿地以及河流所具备的生态功能。除此之外，在流域内部依靠多级调控设施并且借助生态廊道将其连接起来，进而构建起水生态网络体系，以此增强生态系统本身的连通性以及稳定性，最终实现对水循环系统进行整体上的优化提升。科学合理的调节举措，一方面有利于开展防洪减灾相关工作，另一方面也能够对水生态环境起到保护作用，进而有力地促进流域朝着可持续发展的方向不断迈进。

3.2 提供动植物栖息与繁殖空间

生态水利工程借助优化水体以及岸线生态环境这一方式，给水生及陆生动植物营造出适宜其栖息和繁殖的空间，这无疑成为推动生物多样性保护的一条行之有效的路径。具体而言，其采取的措施涵盖了恢复自然河道原有的曲折形态、着手建设缓坡护岸以及湿地、设置生物通道与鱼道，以此来保障水生生物能够顺利开展洄游以及迁徙活动。与此凭借植被恢复工作以及生态廊道的构建举措，能够进一步强化岸边以及周边陆生动物的栖息环境，进而形成一个完整的生态网络系统。对水生植物群落加以保护并促使其恢复，如此一来，既能对水体生态功能起到改善的作用，又能为鱼类、两栖类还有昆虫等诸多物种提供可供其繁殖的场所，从而推动生态系统实现自我维持以及演替。经过科学且合理的规划设计以及工程方面的实际实施，生态水利工程在很大程度上提升了区域生物多样性的程度，增强了生态系统的稳定性，并且提高了其抗干扰的能力，最终达成了生态修复与水利功能二者协同发展的良好局面。

3.3 生态护岸与堤防工程建设

生态护岸以及堤防工程，其主要目标在于保护水岸维持稳定的状态，与此还会兼顾对生态功能加以恢复并且予以提升，这与传统硬质护岸仅仅具备单一防护特性是有所区别的。运用将植物根系和生物工程技术相互结合起来的柔性护岸结构，能够有效地对水流冲击起到缓解作用，也能减轻岸坡遭受侵蚀的程度，进而减少岸线生境出现的破坏情况。植被实现覆盖之后，不但可以起到固土以及防止侵蚀的效果，而且还能够对水质予以改善，同时还能为各类生物提供栖息的环境，进而形成具有生态缓冲作用的地带。除此之外，生态堤防在设计的时候着重强调与景观相融合的特点，要能够适应地形地貌所发生的各种变化，借助铺设生态护岸砖、生态袋以及植被组合的方式，达成防洪安全和生态美学二者之间的统一。生态护岸工程一方面能够让堤防系统的弹性以及耐久性得以提高，另一方面还能够推动绿色基础设施的建设进程，促使水环境质量以及

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

岸线生态能够实现长期且健康的发展态势。

3.4 河道整治与湿地修复工程

河道整治以及湿地修复，这无疑是生态水利工程诸多核心内容当中的一项。其主要目的就在于要恢复自然河道原本所具备的各项功能，同时也要让湿地生态系统得以恢复，进而促使流域生态服务方面的能力获得提升。在开展河道整治相关工作的时候，会彻底摒弃那种传统的、呈直线状态且经过硬化的模式。而是着重去保护并且恢复河道那种自然呈现出的曲折形态，另外还会关注并恢复多样化的水力条件。通过一系列举措来重新构建河漫滩以及水生植被，以此推动水体能够自行实现净化，并且为各类生物提供适宜的栖息环境。至于湿地修复，则是借助清理掉存在的污染物质、有针对性地补植相应的植被以及对水文条件加以改善等手段，从而让湿地所拥有的滞洪功能、净化功能以及生物多样性功能都能够得到恢复。把生态廊道建设的相关事宜与之相结合起来，进而达成河流、湿地还有陆地生态系统彼此之间连通性的目标，进一步强化整个生态系统的整体韧性。从实际操作的情况来看，科学合理的河道整治以及湿地修复工作，确实能够在很大程度上提升水质状况，有效降低出现洪涝灾害的风险，并且有力地促进了区域生态环境朝着恢复乃至可持续发展的方向不断迈进。

4 综合效益分析

4.1 生态环境改善效益

生态水利工程借助恢复水体的自然形态以及生态功能，有力地推动了水环境质量实现根本性的改善。湿地得以恢复，生态护岸也进行了建设，这在很大程度上提升了水体自身的净化能力，使得污染物减少流入并且降低沉积情况，进而让水质透明度以及溶解氧含量都得到了改善[1]。与此河道自然形态的恢复强化了水体的水文多样性，还提供了极为丰富的生态位条件，如此便促进了水生植物以及动物群落的繁盛发展，对有害藻类的爆发起到了抑制作用。生态水利工程在实施的过程中，对于河流污染以及生态退化等问题给予了缓解，促使区域生态系统朝着健康且稳定的方向不断向前发展。

4.2 防洪减灾与水资源利用效益

生态水利工程借助科学的流域调控以及生态调蓄手段，其防洪能力得以明显提升，水资源利用效率也有了较大提高。生态湿地还有人工蓄洪区可有效实现削峰填谷这一作用，能延缓洪水带来的冲击，进而减轻下游地区出现洪涝灾害的风险[2]。生态护岸以及对河道自然形态进行调节的做法，减少了水流对堤岸的冲刷情况，也降低了堤岸遭受破坏的可能性，如此一来，工程的安全性以及耐久性都得到了提高。生态水利工程在保障生态需水的前提下，对农业、工业以及生活用水进行合理分配，优化了水资源的配置方式，降低了旱涝灾害给社会经济发展所带来的影响，达成了水资源的多目标协调利用状态。

4.3 生物多样性与景观价值提升

生态水利工程营造了颇为丰富的生境条件，有力地推动了区域生物多样性的恢复以及进一步的提升进程。其借助对水生植物群落加以保护以及着手建立生态廊道等举措，一方面切实保障了鱼类、鸟类以及其他各类水陆生物能够顺利开展繁殖活动并且可以自由迁徙，进而促使整个生态系统的稳定性得以维持；另一方面还使得区域景观的多样性有所增加，其美学价值也随之得到了提升[3]。当生态景观和文化景观相互融合之后，便形成了一种独具特色的生态旅游资源，这在一定程度上强化了公众对于环境保护的意识，并且激发了他们参与到相关活动中的热情，从而对生态文明建设起到了推动作用。

5 结语

生态水利工程把现代工程技术以及生态保护理念融合到了水利建设当中，达成了水资源利用以及生态环境保护这两方面的目标。借助科学的设计原则还有多层次的实践运用，生态水利工程切实改善了水环境的质量，增强了防洪减灾的能力，推动了生物多样性的保护工作，并且产生了明显社会经济以及文化方面的效益。在未来，伴随生态文明建设不断向前推进，需要持续强化生态水利工程方面的技术创新以及标准体系的构建，完善多元化的管理机制，推动公众参与到其中来，促使生态水利工程朝着更为科学、绿色且可持续的方向去发展，以此为水利事业实现高质量发展以及生态环境达成良性循环给予稳固的支撑。

[参考文献]

[1]李银.生态水利工程在水利建设中的运用探讨[J].内蒙古水利,2025(5):20-21.
[2]陈旭.生态水利工程设计在水利建设中的运用[J].东北水利水电,2023,41(7):67-70.
[3]曹珊珊.生态水利工程设计在水利建设中的运用[J].现代农业科技,2021(4):149-150.

作者简介：刘力（1991.3—），单位名称：中国电建集团港航建设有限公司，毕业学校和专业：华北水利水电大学，水利水电建筑工程。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

水利工程施工质量监督管理及监督对策研究

王 超
哈密市水利建设与安全中心，新疆 哈密 839000

[摘要]在水利工程施工期间，工程质量监督有着极为重要的意义，它和工程的安全性、所能产生的效益以及整个行业能否可持续发展都有着直接关联。研究表明，通过科学、系统且高效的质量监督管理，能够有效提升水利工程施工质量，保障工程安全与耐久性，同时为水利工程的现代化管理提供理论参考与实践指导，推动行业高质量发展。
[关键词]水利工程；施工质量；监督管理；对策
DOI：10.33142/hst.v8i8.17361 中图分类号：TV52 文献标识码：A

Research on Quality Supervision and Management of Water Conservancy Engineering Construction and Supervision Countermeasures

WANG Chao
Hami Water Conservancy Construction and Safety Center, Hami, Xinjiang, 839000, China

Abstract: During the construction of water conservancy projects, quality supervision is of great significance, as it is directly related to the safety of the project, the benefits it can generate, and the sustainable development of the entire industry. Research has shown that through scientific, systematic, and efficient quality supervision and management, the construction quality of water conservancy projects can be effectively improved, ensuring project safety and durability. At the same time, it provides theoretical reference and practical guidance for the modern management of water conservancy projects, promoting high-quality development of the industry.
Keywords: water conservancy engineering; construction quality; supervision; countermeasures

引言

水利工程属于关乎国计民生的关键基础设施范畴，其施工质量的好坏，会直接影响到工程在后续安全运行方面的状况，以及使用效益的发挥情况。近些年来，随着我国经济不断快速发展，水利建设的规模也在持续扩大，在这样的大背景下，施工技术水平随之得到了一定程度的提升。当下，水利工程建设恰好处在朝着高质量方向发展的极为关键的时期，借助于不断完善质量监督体系，着力加强监督人员能力方面的建设工作，引入更为先进的技术手段，并且健全相应的责任机制等一系列举措，必定能够进一步提高施工全过程在质量控制方面的水平。本文将会对水利工程质量监督的主要内容展开阐述，并且提出具有可操作性的优化路径，希望能够为提升水利工程施工质量监督所取得的成效、确保工程能够安全稳定地运行给予理论层面的有力支撑以及实践当中的有效指导，从而促使我国水利工程建设能够迈向更高层次的质量发展阶段。

1 水利工程施工质量监督的重要性

水利工程施工质量监督在建设进程里有着极为重要的作用，这关乎工程自身的安全性、耐久性以及功能性，并且对区域防洪抗灾、灌溉供水以及生态环境保护等方面的社会效益有着直接的影响。借助科学、严格且贯穿全程的质量监督，能够切实保障施工环节各项工艺标准得以落实，能及时察觉并纠正潜在隐患，避免质量问题不断累积与扩大，进而提升工程的整体水准。质量监督还能够促使施工企业持续改进管理方式，优化施工技术，推动行业形成良性的竞争态势与不断进步的局面。在新时代的大背景之下，水利工程质量监督更是推动绿色发展、保障民生福祉的关键举措，它既是对工程负责，也是对社会和未来负责，展现了追求卓越、持续创新的积极心态，凸显了水利工程建设守护人民安全与美好生活的重大使命。

2 水利工程质量监督的主要内容

2.1 对参建各方的质量行为进行监督

对参建各方的质量行为予以监督，这属于水利工程开展质量监督时极为关键的核心内容之一。其主要意图在于促使各个责任主体可以切实履行合同当中所规定的各项义务以及相应的法律责任，从而将工程建设进程里有关质量管理的各项要求充分且有效地落实到位。在实际展开监督工作的整个过程当中，要着重留意建设单位在组织实施项目的环节是否做到了科学且合理的安排，其质量管理体系是否已经完善建立起来，资金的到位状况又是如何的；对于监理单位而言，则需关注其是否依照相关规定切实履行独立且公正的监理职责，能否对施工的整个过程实现有效的控制与管理；就施工单位来讲，得看其是否严格遵循设计文件、施工规范以及操作规程等相关规定，是否真正落实了质量责任制，以此来保障施工过程能够规范并且有序地推进；至于设计单位，要看其是否提供了符合标准要求的设计文件，并且能够及时地开展技术服务以及变更说明相关工作。与此还得对检测机构加以监督，重点查看其

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

是否能够独立且客观地出具检测数据，进而确保检测结论具备真实性和有效性。

2.2 对工程实物质量进行监督

质量评定和工程验收，随着工程的进展，质量监督项目站不定期对施工现场的施工质量进行抽查。每次抽查后，质量监督项目站除口头提出意见外，均形成会议纪要，及时将工程质量情况向有关单位通报并向上级汇报[1]。抽查的主要内容包括：检查工程施工是否符合规程、规范、技术质量标准和设计要求；查阅建设、施工、监理单位有关工程质量资料，对不满足要求的归档资料限期整改；对钢筋、水泥等原材料和中间产品进行检测，杜绝不合格产品进入工地。

2.3 工程验收监督

工程验收监督属于水利工程施工质量监督体系里极为关键的一个环节，它的主要任务是要借助科学且系统的评估方式以及严格细致的审核流程，去全方位地检验整个施工进程以及其最终成果的质量实际状况，务必要让工程实体方面、功能层面以及技术标准都能够契合设计所提出的要求并且满足相关规范标准的规定。在具体的实际工作开展过程中，工程验收监督一方面涵盖了针对工程实体质量展开的全面检测工作，像水工建筑物的结构强度情况、防渗性能表现、耐久性状况、稳定性程度以及工程功能的适用性等等这些关键指标都得检测到位；另一方面还要求对施工全过程当中的管理相关资料给予系统性的审查，这其中就包含了施工日志、监理记录、材料检测报告、隐蔽工程检查记录还有竣工资料等诸多内容，要保证所有的质量信息都是真实无误的、完整的且具备可追溯性的特点，进而能够为工程后续的运行事宜给予可靠的依据支撑。与此验收监督特别着重于对隐蔽工程、关键部位以及重要工序的复核操作以及抽检工作，毕竟这些环节要是存在着缺陷情况，那将会径直对工程的整体安全性以及使用寿命产生影响作用。工程验收监督还应当结合现代的信息化技术手段来开展工作，像是运用数字化档案管理方式、智能检测设备以及远程监控系统等，通过对施工数据实施实时的核查操作以及分析处理，以此提升监督工作的科学性水平、精确性程度以及前瞻性特性。

3 提升水利工程施工质量监督效果的对策建议

3.1 完善质量监督管理制度体系

要切实提高水利工程施工质量监督的成效，首要之务是完善质量监督管理制度体系，打造科学、系统且规范的制度保障机制。当下制度体系存在着标准不够统一、执行力有所欠缺以及监督链条不完备等一系列问题，这些问题对监督工作的规范化推进形成了极为严重的制约。应当依据水利工程施工的实际特性以及发展方面的需要，针对现有的法规制度展开系统的梳理与优化工作，清晰界定各参与方的质量监督职责界限，强化责任落实的相关机制。与此需建立健全涵盖施工整个过程的质量监督流程与标准体系，这其中包括施工准备阶段、关键工序的实施环节、材料设备进场情况以及隐蔽工程验收等诸多环节，进而形成闭环管理的模式，保证每一个监督节点都能够做到有章可循、有据可依[2]。还要强化制度的动态更新机制，及时把新技术、新规范以及新材料纳入到监督的范围当中，持续增强制度所具有的时代性以及适应性。

3.2 强化监督机构建设与人员培训

强化监督机构建设并加强人员培训，这无疑是提升水利工程施工质量监督成效的一项关键举措。当下，在诸多水利工程项目里，监督机构的设置往往不够完善，其职责也并不清晰，人员配备存在短缺情况，而且人员的专业能力呈现出参差不齐的状态，这些因素对监督工作所能达到的深度以及涉及的广度形成了极为严重的制约。要想改变这种状况，一方面要依据项目的规模以及技术方面的复杂程度，去科学地设立专门负责质量监督的机构，要清楚界定该机构的职责定位以及管理权限，务必要让这个机构在整个施工过程当中都具备独立性并且拥有权威性。还需要构建起针对监督人员的选拔机制、考核机制以及激励机制，要着重从那些有着丰富工程实践经验并且具备专业技术能力的人员当中去选拔监督力量，以此来提升整个队伍的整体素质。就人员培训而言，应当制定出系统性的培训计划，着重强化对最新规范标准、施工新工艺、质量检测技术还有信息化监管手段等方面内容的学习，从而使得监督人员可以熟练地掌握各类监督技能与手段，进而增强其对于施工现场各类质量风险的识别能力以及控制能力。

3.3 推进施工全过程质量动态监管

推进施工全过程质量动态监管，这是达成水利工程高质量建设管理的关键途径。传统质量监督大多采用节点式检查以及事后验收的方式，存在着监督滞后、信息断层还有风险预警不够等问题，没办法契合当下水利工程复杂且多变的施工状况。全过程质量动态监管着重把质量监督融入施工的每个阶段，达成从事前准备、过程控制直至事后评估的全链条监督涵盖。借助构建统一的质量信息管理平台，实时收集并记录施工过程中诸如原材料进场、施工工序实施、检测检验结果、现场变更情况等关键数据，达成监管信息的动态更新以及可追溯管理[3]。与此要结合物联网、传感技术、无人机巡检、智能监控等手段，提高质量监管的自动化以及实时化程度，实现对重点环节、关键部位的全方位、多角度、连续性监控，及时察觉并纠正质量隐患。

3.4 加强质量监督的信息化与智能化建设

强化质量监督的信息化以及智能化方面的建设，这无疑是提升水利工程施工质量监管水准、达成精细化管理目标的一条必经之路。在传统的监督模式当中，其监督手段往往依靠人工巡查以及纸质资料，如此一来便存在着数据

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

采集速度滞后、信息传递渠道不顺畅、监管工作效率较低等一系列问题，根本无法契合现代水利工程所提出的高标准、严要求的质量管理方面的需求。所以，应当充分利用大数据、云计算、物联网、BIM 技术还有人工智能等这些先进的技术，去构建一个能够把数据采集、实时监控、风险预警、信息共享以及分析决策等多个功能整合到一起的智能化质量监督平台。通过安装智能传感器以及视频监控设备，进而实现对施工现场那些关键部位、重要工序展开实时监测，并且让数据能够自动上传，以此来保证施工动态清晰可见、质量风险可以做到早发现早处理。与此还需要推动电子化资料管理工作，建立起工程质量在整个生命周期之内的数字档案系统，提高数据的可追溯程度以及调阅的工作效率，方便监督部门能够动态地知晓工程的进展状况与质量情况，从而降低人为干预的情况以及减少信息孤岛的现象出现。

3.5 完善施工单位质量责任追溯与问责机制

完善施工单位质量责任追溯与问责机制，在强化水利工程质量监督以及保障工程安全与耐久性方面，属于极为关键的核心环节。当下在部分水利工程项目当中，施工单位对于质量责任的落实情况较为松懈，呈现出“重进度、轻质量”的状况，要是出现质量问题，通常很难精准明确具体的责任人，甚至还会出现责任主体试图逃避责任并且相互推诿的情况，这对工程整体的质量管理成效产生了颇为严重的影响。所以应当着力构建起能够贯穿项目整个周期的质量责任追溯体系，针对施工单位的每一个施工环节、关键工序以及重要节点都实施责任记录并做到档案留痕管理，以此保证质量问题能够实现“查得出、追得到、问得责”。与此需要进一步清晰界定施工单位的质量管理责任界限，把质量责任切实落实到项目经理、技术负责人、施工班组等具体岗位上，达成责任逐层分解并且逐级落实的目标。在问责机制层面，要制定出明确的质量事故认定标准以及处罚细则，对于由于施工操作不当、管理一片混乱、弄虚作假等行为致使工程出现质量问题的单位以及相关责任人，依照法律规章予以追责，以此强化其震慑作用以及约束效力。

3.6 构建多元协同的质量监督机制

构建多元协同的质量监督机制，这可是提升水利工程施工质量监督效果的关键保障。水利工程施工牵涉到建设单位、设计单位、施工单位、监理单位还有政府监管部门等诸多主体，仅靠单一监督主体，没办法全面涵盖复杂的施工环节，如此一来，就很容易出现监督盲区以及责任真空的情况。所以得推动多方力量有机协同起来，借助信息共享、资源整合以及职责互补等方式，打造出横向到边、纵向到底的质量监督网络。其一，得强化政府监管部门在宏观指导以及统筹协调方面的作用，搭建统一的质量监督平台，达成监督信息的集中管理并且能够动态更新。其二，要充分挖掘监理单位的专业技术优势以及施工单位的主体责任，加强施工现场的自我监督以及内控管理[4]。与此还应当鼓励社会公众、行业协会以及第三方专业检测机构等多元主体参与到质量监督当中，形成“政府监管 + 企业自律+社会在监督”的多层次监督格局。在协同机制建设进程里，要着重明确各个参与方的权责边界，构建起高效的沟通协调机制，定期开展联合检查以及质量评估，及时把质量问题和整改情况通报出去，促使形成相互监督、相互促进的良性互动状态。

4 结语

水利工程施工质量监督管理是保障工程安全、耐久性和使用效益的重要环节。唯有从多个方面共同发力，去构建起科学且高效的工程质量监督机制，才能够实实在在地保障水利工程施工质量，保证工程能够安全稳定地运行，达成水利事业可持续发展的目标。在往后的日子里，需要持续不断地推进改革与创新，进一步将质量监督体系完善起来，推动水利工程施工朝着更加规范、标准以及智能的方向迈进至新的阶段。

[参考文献]

[1]王彩宁,崔卫国.水利工程施工阶段质量监督的关键问题与对策[J].水上安全,2025(5):178-180.
[2]陈鹏.水利工程施工质量控制问题及应对措施分析[J].水上安全,2023(7):22-24.
[3]李驰.水利工程质量监督管理存在的主要问题及对策研究[J].科技风,2020(6):186-187.
[4]宋景峰.水利工程质量监督中存在的问题及解决对策分析[J].黑龙江水利科技,2017,45(2):177-179.

作者简介：王超（1982.4—），毕业院校：新疆农业大学，所学专业：水利水电工程，当前就职于：哈密市水利建设与安全中心，职务：副主任，职称级别：副高级工程师。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

水闸结构设计中的水力计算与稳定性分析研究

马 彪
新疆塔里木河水利勘测设计院，新疆 喀什 844700

[摘要]水闸属于水利工程里极为重要的控制枢纽，它的结构设计和防洪、灌溉、航运以及水资源调配的安全与效率紧密相关。水力计算还有稳定性分析是水闸设计的关键环节，它决定了工程在不同工况下能否顺利运行，还对结构的长期耐久性以及维护成本有影响。着重于水闸结构设计的基本原则与总体要求，全面阐述了防渗与排水、过流能力、消能与防冲等关键水力计算方法。在稳定性分析这块，重点剖析了抗滑、抗倾覆、基础承载力、沉降控制以及在特殊气候与地质条件下安全性能评估的方法。结果说明，借助合理的水力计算模型与结构优化设计，能够大幅提升水闸的安全裕度与运行稳定性，给同类水利工程提供了可供参考的技术路径。

[关键词]水闸结构设计；水力计算；稳定性分析
DOI：10.33142/hst.v8i8.17332 中图分类号：TV66 文献标识码：A

Research on Hydraulic Calculation and Stability Analysis in the Design of Sluice Structures

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

Abstract: Water gates are extremely important control hubs in hydraulic engineering, and their structural design is closely related to the safety and efficiency of flood control, irrigation, navigation, and water resource allocation. Hydraulic calculation and stability analysis are key aspects of water gate design, which determine whether the project can operate smoothly under different working conditions, and also have an impact on the long-term durability and maintenance costs of the structure. Focusing on the basic principles and overall requirements of water gate structure design, this paper comprehensively elaborates on key hydraulic calculation methods such as anti-seepage and drainage, flow capacity, energy dissipation, and anti-collision. In terms of stability analysis, the focus is on the methods of anti sliding, anti overturning, foundation bearing capacity, settlement control, and safety performance evaluation under special climatic and geological conditions. The results indicate that with the help of reasonable hydraulic calculation models and structural optimization designs, the safety margin and operational stability of water gates can be significantly improved, providing a reference technical path for similar water conservancy projects.

Keywords: sluice structure design; hydraulic calculation; stability analysis

引言

水闸属于重要的水工建筑物，它在调节河道水位、控制流量以及改善航运条件等方面发挥着关键作用。其设计质量的好坏，直接关系到流域防洪安全以及水资源能否得到高效的利用。近些年来，随着流域水文情势出现变化，并且运行年限也在不断增加，部分水闸在结构稳定性、运行可靠性以及防护性能这些方面，不同程度地暴露出了一些问题，这也使得工程运行管理面临更高的要求。水力计算是水闸设计当中的基础环节，它涉及到流量控制、消能防冲以及防渗排水等诸多方面，而稳定性分析对于确保水闸在长时间服役期间能够抵抗多种荷载以及自然环境的影响而言，是极为关键的。近些年，随着计算理论以及工程材料不断发展，水闸设计呈现出精细化、智能化以及耐久化的趋向。不过在不同地质与水文条件之下，怎样去优化计算模型以及提高稳定性，依旧是工程界关注的一个重点所在。本文在对水闸设计原则予以系统梳理的基础之上，结合具体的计算方法以及实例展开分析，针对水闸结构设计里面的水力计算以及稳定性分析展开较为细致的探讨，希望能够给类似的工程提供一定的参考与借鉴内容。

1 水闸结构设计的基本原则与总体要求

1.1 安全性与稳定性原则

安全性乃是水闸设计所遵循的根本准则，无论哪一种结构，在实际运行过程当中都务必要保证自身能够在承受各类荷载的作用之时，绝不会出现任何破坏或者失稳的情况。稳定性方面的分析应当涵盖抗滑、抗倾覆、抗浮还有整体结构变形控制等诸多方面，要确保当处于高水位状态、遭遇洪峰流量以及面临不均匀地基承载条件时，像闸室、闸墩、底板这些关键部位都能够维持足够的安全裕度。在设计工作的开展进程里，需要全面且综合地考量静荷载、动荷载、水压力、渗透压力、冰压力以及地震作用等一系列因素，并且要结合现场实际测量所获取的数据以及经验系数来加以修正，以此提升相关计算结果所具有的可靠性。安全性这一原则，不但要求在极为恶劣的极端条件之下结构不能出现失稳状况，而且还要求在长时间的运行期间具

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

备抵御环境不断劣化的相应能力，进而切实保障整个工程在整个寿命周期当中能够实现稳定的运行状态。

1.2 适应性与耐久性原则

水闸在不同流域运行时，常面临水文变化幅度大、气候差异明显、地质条件复杂等挑战，设计需有高度适应性，适应性体现在结构形式、尺寸和材料选用上，要能应对未来可能出现的水位变化、流量增加或泥沙条件改变等情况。耐久性要求水闸结构在长期受水流、气温变化、冰凌冲击及腐蚀介质作用下，仍保持良好结构性能，设计中应优先选用抗渗性高、抗冻融性能好的混凝土，关键部位可采用钢筋防护、涂层防腐或复合材料加固等措施，延长使用寿命并减少维修频率。

1.3 经济性与可维护性原则

经济性方面，其考量范围涵盖了工程建设初始阶段的投资情况，同时也包含在整个寿命周期之内的运行以及维护所产生的各项成本。若能制定出较为合理的结构布置方案以及施工方案，那么便能够在很大程度上节约材料的使用量，并且缩减施工所花费的时间，进而促使初期投资得以降低。可维护性的要求需要在设计阶段便充分予以考虑，要充分顾及到后续开展检测工作、进行保养操作以及实施局部修复时的便利程度，比如在像闸门、闸墩还有底板这类关键部位预先留出检修通道以及安装的位置，如此一来便能够方便机械设备后续的更换以及维修作业。借助综合优化设计的方式，让水闸在能够满足安全以及功能相关要求的基础之上，达成经济、高效并且易于维护的目的，以此提升工程的整体效益以及可持续发展的能力。

2 水闸水力计算方法与模型建立

2.1 防渗与排水计算方法

2.1.1 地基有效深度计算

在计算过程中需要采取以下方法，首先确定地下轮廓垂直投影长度 So 和地下轮廓水平投影长度的数值 Lo 的数值，当确定 Lo/So 结果在 5 以上时，则证明地基有效深度 Te 为地下轮廓水平投影长度的一半。倘若地基存在高于自身实际深度的有效深度，在计算渗流时则需要使用地基实际深度：

$$T_e=\begin{cases}\frac{L_o}{2}, & 若\frac{L_o}{S_o}>5\\ T_{实际}, & 若\frac{L_o}{S_o}\le 5 或 T_e>T_{实际}\end{cases} \quad (1)$$

此公式能够科学地确定渗流计算里的有效深度，从而给后续的防渗设计以及水力计算给予准确的依据。

2.1.2 分段阻力系数计算

在水闸防渗设计过程中，分段阻力系数可用来体现地基或者结构各个不同段落对于渗流所具有的阻力方面的特性，这无疑是一个用来计算渗流压力分布以及水头损失的关键参数。一般而言，会把渗流路径划分成若干个不同的段落，而每个段落的阻力系数是依照土体的渗透特性、截面积还有路径长度等具体情况来加以确定的，其目的就在于能够更为精准地对实际的渗流状态予以模拟。假设某一段的长度为特定值为 L_i，有效渗流截面积为 A_i，土体渗透系数为 k_i，那么该段的分段阻力系数就 R_i 可以借助达西定律来表示为相应的形式：

$$R_i=\frac{L_i}{k_iA_i} \quad (2)$$

把各段阻力系数加起来，就能得出整体渗流路径的总阻力，这能给之后的水头损失以及渗漏坡降计算提供基础的数据。恰当划分分段的长度并且挑选合适的阻力系数，能够切实提升渗流计算的精度，进而为水闸防渗结构的设计以及安全方面的分析给予科学的依据。

2.1.3 出水头损失计算

在水闸防渗以及排水相关设计方面，出水头损失具体指的是渗流于地基或者结构当中流动之际，因为存在摩擦情况、出现局部收缩状况以及流动呈现出紊乱态势等缘故，进而导致的水头出现衰减的现象。而这一损失情况是会对渗流压力的分布状况以及结构的安全性产生直接影响的。一般而言，会把渗流路径划分成若干个不同的段落来进行相应的计算操作。每一阶段的水头损失跟渗流的实际长度、流速还有土体的渗透特性之间存在着极为密切的关联，其可以借助达西定律来予以表述，即：

$$h_f=\frac{Q\cdot L}{k\cdot A} \quad (3)$$

在这里，所指的 h_f 是渗流段水头损失，而 Q 则代表渗流量，L 是渗流路径长度，k 为土体渗透系数，A 则是有效渗流截面积。把各段水头损失加以累加之后，便能够得出总出水头损失，这给防渗设计以及排水系统的优化给予了极为重要的依据，并且也为后续开展的稳定性分析提供了必不可少的数据方面的支撑。

2.1.4 渗漏坡降计算

渗漏坡降指的是在地基或者水闸结构当中，渗流沿着其渗流路径所产生的每单位长度上的水头下降情况。这一参数对于评估渗流给土体稳定性所带来的影响而言，是极为重要的一项指标。要是坡降过大的话，那么很可能会致使土体的抗剪强度出现降低的状况，进而诱发滑动或者是冲刷破坏等问题。所以说，在开展水闸防渗设计相关工作的时候，务必要精准地去计算渗漏坡降，并且要依据土体的具体特性以及渗流路径的实际长度来对其进行相应的控制操作。假设渗流路径的长度为 L，而水头损失为 H_{loss}，那么渗漏坡降 i 表示为：

$$i=\frac{H_{loss}}{L} \quad (4)$$

控制坡降于土体可承受范围之内，如此便能切实有效地减小渗流引发的冲刷以及潜在出现的破坏风险，并且还能给防渗体系的设计工作以及排水设施的布置安排给予相应的依据，进而保障水闸结构在长时间运行过程当中能够实现安全与稳定的状态。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

2.2 过流能力计算与优化

水闸的过流能力这一指标，在衡量闸门调节水量以及确保下游防洪安全方面有着重要意义。在对过流能力加以计算的时候，务必要全面综合地考量诸多因素，像闸门开度、水头差、闸室宽度以及流态特性等等，通过这样的考量来明确闸门处于不同水位情况下的泄流量。就平底闸或者矩形闸室而言，其流量 Q 往往能够借助标准堰流公式来予以估算：

$$Q = C_d \cdot b \cdot H^{1.5} \quad (5)$$

在这里，C_d 代表的是流量系数，闸宽用 b 来表示，而闸上水头的高度则用 H 来指代。通过对处在不同水位以及不同开度情况下的流量加以分析，便能够对闸门的结构以及其布置状况予以优化，进而提升过流的效率，并且能够在一定程度上减少局部出现的能量损失。除此之外，还得把极端洪水以及变化着的水文条件给流量所带来的影响都考虑进去，以此来保证水闸能够在各类不同的工况情形之下，都能够达成充足的调节能力以及具备相应的安全裕度。

2.3 消能与防冲计算模型

消能以及防冲设计属于水闸结构安全的关键构成部分，其主要针对闸门泄水之时下游河床还有边坡有可能会遭受的冲刷这一问题加以解决。借助科学手段来构建消能模型，便能够对水流经过闸门之后的能量变化情况以及流速分布状况展开分析，以此来为消力池、抛石护坡或者导流结构的设计给予相应的指导。合理的消能举措一方面能够减轻下游水流给河床以及护岸所带来的破坏程度，另一方面也能够有效地降低泥沙冲刷的风险以及结构损伤的风险。计算模型务必要综合考量水闸设计流量、落差高度以及地基条件等诸多因素，以此确保在各种不同的工况之下都能够达成预期的消能效果，进而切实保障水闸能够长期安全且稳定地运行。

3 稳定性分析与安全性能评估

3.1 抗滑与抗倾覆稳定性分析

抗滑以及抗倾覆这两方面，在水闸稳定性分析里算是极为关键的环节了，它跟结构于洪水、涨落水位以及其他极端工况之下的安全性有着直接关联。对地基摩擦力、水压力分布状况、土体支撑力还有结构自重这些因素所起到的综合作用展开系统分析，能够针对水闸处在不同水位、荷载以及运行条件之时可能出现的滑动或者倾覆风险做出较为精确的评估[1]。在开展设计工作的进程当中，要对底板、闸墩以及支撑结构予以合理的布置安排，并且要把边坡稳定性分析、土体加固举措以及排水措施加以优化，如此便能够大幅度提升水闸整体所具备的抗滑抗倾覆的能力。还得考虑到在长期运营期间土体强度会发生的变化、沉降所产生的效应以及水流冲击给结构安全性带来的影响，进而保证闸门以及闸室能够在各类工况之下都能够维持稳定并且可靠的状态，以此来确保下游防洪以及灌溉调节功能可以正常地运行。

3.2 基础承载力与沉降控制

基础承载力以及沉降控制对于水闸能够实现长期安全运行而言，无疑是极为重要的保障要素[2]。在开展设计工作的过程当中，务必要对地基土体所具备的承载能力还有其压缩特性给予充分且细致的评估考量，与此还需合理地去选定基础的具体类型以及相应的尺寸大小，并且采取诸如加固或者排水等一系列必要的措施，以此来切实有效地防止出现因过度沉降而致使结构发生变形或者产生裂缝等情况。借助于科学的方法对沉降量以及沉降速率加以精准预测，并且在设计环节当中预留出可供调节的相关措施，如此便能够确保水闸可长期维持在安全运行的良好状态之下，进而也能相应地减少后续的维护成本支出。

3.3 地震与冻融循环条件下的稳定性评估

水闸于地震或者冻融循环状况之下的稳定性，实乃在特殊工况当中安全性能极为关键的一项考量内容[3]。地震作用一经发生，便极有可能引发地基出现液化的情况，还会致使结构产生振动，并且让水压力呈现出波动的状态。而冻融循环这种情形，则很有可能会造成混凝土出现开裂的现象，又或者使得边坡遭受破坏。所以说，在开展相关设计工作的过程中，务必要综合考量区域地震烈度的具体情况、土体所具备的抗震特性以及材料所具有的耐冻性能等方面内容展开分析，进而采取诸如结构加固、设置抗震支撑以及实施防冻等相应措施，以此来保证水闸即便是在极端的条件之下，仍然能够维持住其整体的稳定性。

4 结语

本文针对水闸结构设计里的水力计算以及稳定性分析展开了较为系统的探究，这其中包含了像防渗排水、过流能力、消能防冲还有稳定性评估等诸多关键环节。借助科学且合理的计算方法以及结构优化设计方式，是能够在不同水文状况、地质情况以及极端工况下有效提升水闸的安全性以及运行稳定性的。相关研究说明，要是全面综合地去考量水力特性、地基条件以及环境因素，进而对水闸展开精细化设计的话，那么既能确保防洪安全，又能提升水资源调控的效率，同时还能够让结构的使用寿命得以延长，维护成本得以降低，进而为同类的水利工程给出可供参照的技术路径以及实践经验。

[参考文献]

[1]黄琳丹.基于水力计算和闸室结构分析的水闸除险加固研究[J].水利科技与经济,2023,29(6):107-111.
[2]周威,傅政,王岩.二河枢纽入海水道二期加固工程水力计算与闸室稳定性分析[J].江苏水利,2025(6):37-41.
[3]曹征强,孟剑伟.水利工程水闸施工的水力计算方法研究[J].陕西水利,2023(11):155-156.

作者简介：马彪（1986.8—），毕业院校：新疆塔里木大学，所学专业：农业水利，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：新疆塔里木河水利勘测设计院/规划室副主任，职称级别：现职称中级，拟聘副高。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

农田水利工程运行管理与水资源利用存在问题及优化措施研究

张 良
阿拉尔市三五九水务（集团）有限公司，新疆 阿拉尔 843300

[摘要]当下社会，人口持续增长，资源愈发紧缺，农田水利工程的运行管理以及水资源利用变得极为关键，是急需破解的重要难题。现阶段，我国农田水利工程在运行管理层面依旧存在不少挑战，这些问题阻碍了农村经济效益的提高，使得水利工程难以充分发挥其造福群众的功效。鉴于此，文章阐述了农田水利工程运行管理的重要意义，剖析了其运行管理中所存在的主要问题，并且给出了具有针对性的优化办法，目的在于推动农田水利工程实现科学管理与高效利用，助力农村经济健康向前发展。

[关键词]农田水利；运行管理；水资源利用；问题及措施
DOI：10.33142/hst.v8i8.17342 中图分类号：TV5 文献标识码：A

Research on Problems and Optimization Measures in the Operation Management and Water Resource Utilization of Agricultural Water Conservancy Projects

ZHANG Liang
Alaer City 359 Water (Group) Co., Ltd., Alaer, Xinjiang, 843300, China

Abstract: In today's society, with the continuous growth of population and the increasing scarcity of resources, the operation and management of agricultural water conservancy projects and the utilization of water resources have become extremely critical and important problems that urgently need to be solved. At present, there are still many challenges in the operation and management of agricultural water conservancy projects in China, which hinder the improvement of rural economic benefits and make it difficult for water conservancy projects to fully exert their benefits to the people. In view of this, the article elaborates on the important significance of the operation and management of agricultural water conservancy projects, analyzes the main problems existing in their operation and management, and provides targeted optimization methods, with the aim of promoting the scientific management and efficient utilization of agricultural water conservancy projects and assisting the healthy development of rural economy.

Keywords: farmland water conservancy; operation management; water resource utilization; problems and measures

引言

随着我国社会经济不断发展以及农业现代化水平持续提高，农田水利工程已然变成保障农业生产稳定、提升粮食安全的关键基础设施，其运行管理质量同水资源利用效率直接关联，对农业可持续发展以及生态环境保护有着重要影响。当前，推进农田水利工程的规范化、精细化以及法治化管理，已经成为保障农业高质量发展以及区域水生态安全的重要研究课题。依据此，全面且细致地梳理并剖析农田水利工程运行管理中所存在的制度性、技术性以及管理性阻碍，同时结合实际情况提出行之有效的优化策略，这不但有利于提升工程运行效率和服务水平，而且可以推动水资源的合理利用、促进农业绿色发展，还能为乡村振兴战略的顺利施行给予稳固支撑。本文会围绕产权责任落实、资金保障机制完善、管理人员素质提升以及法制建设等关键方面展开整体研究，目的在于为构建科学且高效的农田水利工程运行管理体系给出理论依据以及政策参考，促使我国农田水利事业迈向高质量发展的全新阶段。

1 农田水利工程运行管理的重要性

农田水利工程属于农业发展范畴内极为重要的基础性工程，它所具备的作用是无可取代的，这种特殊的重要程度促使我们必须保证该工程可始终维持在良性的运行状况之下。要想让农田水利工程在保障农业生产进程、提升农田的利用效率、推动农村经济向前发展以及改进农民的生活水平等方面能够充分地发挥出其综合效益，那么相关的管理部门就需要对工程在运行期间的实际情形予以细致的了解，要能够及时察觉到潜在的问题与故障，并且妥善地加以处理，避免由于管理环节出现纰漏而导致不必要的损失产生。唯有借助科学且合理的运行管理方式，同时结合当地农业生产的实际状况以及水利条件的具体特点，去制定出具有可操作性的管理方案以及相应的工作计划，才能够促使农田水利工程更为出色地服务于农业以及农村的发展事宜。积极地推进运行管理工作朝着规范化以及精细化的方向发展，这不但可以提升工程所具有的经济方面的价值以及社会层面的效益，而且还可以为国家的粮食安全、乡村振兴以及生态文明建设给予稳固的保障，从而呈现出农田水利工程在新时代这样的大背景之下持续地发挥出关键作用的那种广阔的发展前景。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

2 影响农田水利工程运行管理与水资源利用的因素

2.1 农田水利工程产权模糊，无法落实管理主体

在农田水利工程的运行管理方面，产权模糊以及管理主体不够明确的情况，当下是比较突出的一个影响因素。这种状况在某种程度上，较易致使工程于管护责任、运行维护还有资金投入等诸多方面，都缺少明晰的归属，进而对管理效率以及资源利用水平产生影响。不过从积极的一面来讲，这一现象同样说明农田水利工程管理模式正处在一个不断探索以及逐步完善的阶段。国家以及社会各界针对这一问题所给予的关注程度也在不断地提升，这就为构建更为清晰的产权关系以及更为健全的管理机制营造了相应的条件。伴随农业现代化以及水利事业的持续向前发展，农田水利工程在推动乡村振兴、确保粮食安全以及促进生态文明建设当中的战略地位会变得越发凸显出来，其运行管理也必定会在实际的操作过程中慢慢走向科学化以及高效化的状态，呈现出广阔的发展前景以及积极向上的进取态势。

2.2 农田水利工程中的重建设轻管理

在农田水利工程建设方面存在着重视建设却轻视管理这样的问题，其主要呈现出如下情况：在工程开展前期的规划环节以及后续的实施阶段当中，往往会有更多的资源以及关注度都聚焦在新建或者扩建工程的硬件投入方面，然而对于后期的运行维护工作、管理体系构建事宜以及管理人员培训等方面所投入的精力却是明显不足的[1]。正是由于这样的一种倾向，使得水利工程在完成建设之后，很难具备持续且有效的管理保障，进而也就难以达成预期的功能发挥效果以及效益的最大化目标。而重建设轻管理这一现象其实是深深植根于项目的评估体系以及资金分配机制之中的，一般而言都是把工程量以及建设规模当作考核的关键要点，完全忽视了在工程整个生命周期里面运行管理所具有的重要性，如此一来便造成了养护资金存在短缺的情况、管理制度不够完善以及管理责任界定不清晰等一系列问题。

2.3 管理人员素质有待提高

在农田水利工程运行管理过程中，管理人员素质有待提高是一个不容忽视的重要因素，部分人员在专业知识、技术能力以及现代化管理理念方面还存在一定不足，难以完全适应农业现代化和水资源高效利用的新要求。这种现象在一定程度上影响了工程运行的科学性和精细化水平，但也从另一个角度说明农田水利工程管理正处于不断提升与转型的关键阶段。随着国家对水利人才培养和农村基础设施建设的持续重视，管理人员的专业素养和综合能力将不断增强，从而推动农田水利工程运行管理向更高水平发展。可以预见，在人才与技术的双重驱动下，农田水利工程的运行效率和水资源利用效益必将得到进一步提升，为农业可持续发展和乡村振兴战略的深入实施提供坚实保障。

2.4 资金投入与保障机制不足

在农田水利工程运行管理与水资源利用过程中，资金投入与保障机制不足是制约其效益发挥的重要因素。许多农田水利工程在建设阶段能够获得较大规模的资金支持，但在后续运行、维护和管理环节中，由于缺乏稳定的资金来源，往往出现资金投入不足的情况[2]。国家和地方财政在农田水利工程的运维资金上投入有限，导致日常检修和设备更新难以保障，而农户在资金分担上的积极性也相对较低，使得工程管护经费缺口逐渐扩大。

3 农田水利工程运行管理与水资源利用对策

3.1 加强对农田水利工程的管理与控制，强化相关产权责任与意识

强化对农田水利工程的管理以及控制工作，需要把明确产权责任当作核心要点，去构建起一套既科学又合理并且还具备法律约束效力的产权体系，从源头上彻底解决因产权模糊而致使管理主体不够明晰的相关问题。应当积极推动关于产权界定以及权责划分方面的制度走向规范化以及制度化，以此来保证各类水利设施的产权归属能够清晰明确，管理权限也得清楚无误，防止出现因为权属不清晰而引发的管理真空地带以及责任相互推卸的情况。在这样的前提之下，进一步强化产权责任意识的培育工作，推动各个层级的管理主体能够充分知晓自身在农田水利工程维护、运行以及水资源配置等方面所肩负的职责以及应尽的义务，进而提高他们责任担当的主动性。应当着手建立起完备的产权责任追究以及激励机制，借助法律法规以及政策手段把这些管理责任具体化并且制度化，让管理主体在履行职责的过程中能够承担起与之相应的权利以及义务，促使其积极地投入到运行维护以及资金保障相关的工作当中，从而形成一种良性的管理动力循环状态。与此还要推动政府、集体经济组织、农户等多个利益主体达成有效的协同合作，明确各方在产权管理环节当中的权利以及义务，达成利益共享以及风险共担的局面，提升工程运行的整体协调程度以及管理的效率。除此之外，要结合现代信息技术手段来推进农田水利工程的数字化管理进程，完善运行监测、数据采集以及智能决策支持等相关系统，提升管理工作的科学化以及精细化水准，实现产权管理与工程运行的紧密融合，以此来保障水资源能够得到合理的分配以及高效的利用。

3.2 加大对农田水利工程运行管理的资金支持

加大对农田水利工程运行管理方面的资金支持力度，这是保证工程能够持续且稳定地运行，并且促使水资源利用效率得以提升的一项关键举措。农田水利工程属于农业生产当中极为重要的基础设施，其在运行维护、设备更新以及技术改造等方面，都需要有充足且连续不断的资金投入。然而就当下情况来看，普遍存在着资金投入不够充分、

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

来源较为单一以及使用效率不算太高的诸多问题。一方面要从多个渠道去拓宽资金筹措的途径，除了依靠政府财政预算给予的支持之外，还应当积极引导社会资本、农户集资以及金融机构贷款等多种形式的资金参与到其中来，进而构建起一个多元化且相对稳定的资金保障体系。另一方面在资金使用方面，需要着重关注科学规划以及绩效导向这两个方面，务必要让资金投入能够精准地投放在工程运行的关键环节之上，像是设备维护、管网修缮、节水设施升级还有信息化管理平台建设等这些环节，要尽力避免出现资金浪费的情况以及防止管理薄弱环节出现资金断档的状况[3]。与此还要进一步健全和完善资金管理以及监督的相关机制，以此来提升资金使用的透明程度和效率，防范出现资金被挪用或者流失等问题，从而切实保障资金能够做到专款专用。除此之外，还应当强化对资金使用效果的评估与反馈工作，推动资金投入和农田水利工程运行绩效之间建立起直接的关联，以此激励管理主体不断提升运行管理的水平以及水资源利用的效率。

3.3 切实提高管理人员的综合素质

提升农田水利工程运行管理水平并实现水资源高效利用，关键在于切实提高管理人员的综合素质。当下，管理人员在专业知识、技术技能、管理能力以及信息化应用等方面都存在明显不足，难以契合现代农田水利工程复杂且多变的运行需求以及不断智能化的管理手段。所以，要重视系统化培训体系建设，借助理论学习与实践操作相结合的方式，提高管理人员对于水利工程技术原理、运行维护规范以及水资源调度调配的专业理解程度。与此强化现代信息技术和管理工具应用能力的培养，让管理人员可以熟练运用遥感监测、物联网、大数据分析等技术手段，提高对工程运行状态的实时监控以及科学决策的能力。管理人员的综合素质还应当包含政策法规理解、团队协作与沟通能力、危机应对与风险管理等软技能，以此增强其组织协调以及应急处置的能力。完善激励机制与职业发展通道，推动管理人员职业认同感与责任意识的提升，激发其工作积极性与持续学习的动力。

3.4 强化农田水利法制建设，实现依法治理

强化农田水利法制建设，达成依法治理，乃是保障农田水利工程规范运行以及科学利用水资源的关键所在。当下，农田水利管理存在着法律法规体系不够完善、执法力度有所欠缺、监管机制并不健全等不少问题，这使得在管理进程中出现权责关系模糊不清、违法行为难以得到有效遏制与纠正的情况。完善相关法律法规体系，明确各级管理主体所拥有的权利义务以及责任界限，能够给农田水利工程的建设、运行、维护以及水资源配置给予稳固的制度根基。与此需强化法制方面的宣传与教育工作，提升管理人员以及相关利益主体的法律意识和守法自觉性，推动全社会营造出尊崇法律、学习法律、遵守法律、运用法律的良好氛围。强化执法机构的建设，提升基层水利执法队伍的专业能力以及执法权威，保证法律法规在实际操作环节中得以切实落实贯彻。

4 结语

农田水利工程属于保障农业生产和农村发展的基础设施范畴，其运行管理的水平以及水资源利用的效率，同农业的可持续发展以及生态环境的保护有着直接关联。当下，存在诸如产权不够清晰明确、管理机制不够健全完善、资金投入有所欠缺、管理人员的素质需要提高以及法制建设进展缓慢等一系列问题，这些问题对农田水利工程功能的充分发挥以及水资源的科学配置形成了极为严重的制约[4]。对于这些情况，得强化对产权责任的落实工作，进一步完善管理体制，增加资金方面的支持力度，提升管理人员的综合素质，同时还要推进法制建设，达成依法治理的目标。唯有采取具有系统性的优化举措，才能够促使农田水利工程运行管理朝着规范化、科学化以及可持续发展的方向迈进，从而推动水资源得到合理利用，农业生产实现稳定提升，给农村经济繁荣以及生态文明建设给予稳固有力的保障。

[参考文献]

[1]张功.农田水利工程运行管理与水资源利用存在问题及优化措施[J].河北农机,2023(13):115-117.
[2]任伸.小型农田水利工程运行管理存在的问题与优化对策[J].农村科学实验,2025(10):102-104.
[3]郭瑛.浅谈农田水利工程运行管理与水资源持续利用[J].南方农业,2022,16(4):220-222.
[4]杨建国.水利工程运行管理与水资源的可持续利用分析[J].南方农业,2020,14(5):176.

作者简介：张良（1980.11—），毕业院校：北京航空航天大学，所学专业：土木工程，当前就职单位名称：阿拉尔市三五九水务（集团）有限公司，职务：农业灌溉事业部部长。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

基于雷达波非接触式流量测验设备在西藏山区河流水文站的布设分析

渠国富
西藏自治区水文水资源勘测局山南水文水资源分局，西藏 山南 856000

[摘要]西藏山区河流地形地貌复杂，水文环境多变，传统接触式流量监测手段受地形、气候条件以及工程施工难度的制约，在长期稳定监测方面存在诸多挑战，雷达波非接触式流量测验技术凭借其高精度、低维护成本以及远程实时监测等显著优势，为解决西藏山区河流水文监测难题提供了可靠方案，文中重点探讨该技术在西藏山区河流水文站的实际应用，深入剖析站点选址、设备安装、数据采集与传输等重要环节，提出切实可行的优化方案，旨在为提高西藏山区河流水文监测的智能化程度和精细化水平提供技术依据与实践指。
[关键词]雷达波测流；非接触式监测；西藏山区河流水文站；流量测验；系统布设
DOI：10.33142/hst.v8i8.17363 中图分类号：TV2 文献标识码：A

Analysis on the Layout of Non-contact Flow Monitoring Equipment Based on Radar Wave in Xizang Mountainous Rivers

QU Guofu
Shannan Hydrology Branch of the Hydrology and Water Resources Survey Bureau of the Tibet Autonomous Region, Shannan, Xizang, 856000, China

Abstract: Rivers in mountainous areas of Xizang have complex terrain and landform, and the hydrological environment is changeable. The traditional contact flow monitoring method is restricted by terrain, climate conditions and engineering construction difficulties, and there are many challenges in long-term stable monitoring. The radar wave non-contact flow measurement technology, with its significant advantages of high accuracy, low maintenance cost, and remote real-time monitoring, provides a reliable solution to the problem of river hydrological monitoring in mountainous areas of Xizang. This paper focuses on the practical application of this technology in river hydrological stations in mountainous areas of Xizang, deeply analyzes the important links such as site selection, equipment installation, data collection and transmission, and puts forward a practical optimization scheme, aiming to provide technical basis and practical guidance for improving the intelligence and refinement level of river hydrological monitoring in mountainous areas of Xizang.
Keywords: radar wave current measurement; non contact monitoring; Xizang mountain river hydrological station; flow monitoring; system deployment

引言

西藏山区河流水文站在防洪预警、水资源合理调配以及生态环境保护等领域具有不可或缺的作用，然而，由于西藏山区河流地势险峻、气候条件复杂，加上交通条件有限，导致流量监测工作面临数据连续性差、测验准确性低等问题，传统接触式测验方法因后期维护难度大，已无法满足现代化水文监测的要求，雷达波非接触式流量测验技术以其高效便捷、安全可靠、环境适应性强等特点，成为改善西藏山区河流水文监测现状的重要技术手段，针对设备安装适配性、监测数据精准度以及数据传输稳定性等核心问题，开展应用研究并提出优化策略，有助于推动西藏山区河流水文监测体系向智能化方向迈进。

1 雷达波流量测验技术原理与设备结构

1.1 测验原理概述

雷达波流量测验技术的理论根基源于多普勒效应，其运行机制是向水面发射高频电磁波，并接收反射回波信号，以此实现水面流速的精确测定，系统一般架设于河道上方，采用斜角发射模式精准捕捉水面流速数据，当获取水面流速后，结合预先测验的水深数据以及河道断面形状参数，构建起流速与流量的转换模型，从而完成整条河道瞬时流量的计算，相较于声学多普勒流速仪（ADCP）等同类非接触式测验手段，雷达波技术凭借其独特优势脱颖而出，该技术不受水体透明度变化、水中悬浮物及漂浮物干扰，具有极强的非侵入性，测验响应迅速，后期维护工作量小，在自然河道流量监测和无人值守水文站应用中展现出极高的适配性。

1.2 核心设备组成

一套完整的雷达波流量测验系统，主要由天线发射与接收装置、控制主机、供电系统以及数据采集与传输模块构成，其中，天线多采用宽频段微波发射器，安装于可调节角度的固定支架上，以契合不同水面形态特征。控制主机作为系统核心，集成了雷达波信号处理、数据存储和实时通信等多项功能，供电系统则配备电池组或太阳能板，

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

为设备持续稳定运行提供电力保障，考虑到野外恶劣的工作环境，支架与安装平台的设计充分结合当地地形，具备出色的抗风抗震性能和防腐蚀能力，此外，设备支持 4G、北斗、LoRa 等多种通信技术，能够与上位遥测系统实现数据的无缝交互，确保远程数据传输的及时性和稳定性。

1.3 技术优点与适用条件

雷达波测流系统的突出优势在于非接触式测验特性，无需与水体直接接触便能获取高精度的流速信息，既避免了设备因长期浸泡导致的磨损问题，又消除了人员涉水操作的安全隐患，尤其适用于洪水期及雨季等作业条件恶劣的区域，该设备对水体透明度、泥沙含量等因素不敏感，运行稳定性高，具备全天候不间断工作能力，可在高原、峡谷、山涧等气候复杂多变的环境下正常运转，在实际应用中，其灵活性体现在对不同河道断面形态、水流状态以及流速分布的良好适应性，无论是狭窄湍急的山溪，还是宽阔平缓的沟谷，只要科学合理地确定设备布设角度与高度，就能获取可靠的测验数据。

2 西藏山区河流水文站典型特征与布设难点

2.1 地理与水文特征分析

西藏山区河流地形地貌呈现显著的立体起伏特征，河道纵向坡降大，水位涨落幅度剧烈，造就复杂多变的水文环境，降水时空分布不均叠加地质构造活跃，致使河流水流状态具有显著的动态突变特性，激流涌动、回水现象与漫溢风险频发，极大增加流量监测的技术难度，河道断面形态受地形切割影响呈现非规则化特征，急弯河段、陡坡地形与多级跌水景观并存，河床冲淤演变频繁，难以构建标准化流量计算模型，此外，极端气候事件在西藏山区河流发生概率较高，夏季暴雨引发的山洪灾害、泥石流隐患，以及冬季低温导致的冰冻威胁，均对监测设备的环境适应性提出严苛要求，需在结构稳固性、防护性能与运行持续性等方面强化设计。

2.2 布设环境挑战

西藏山区河流水文监测站点的建设面临物理空间限制与基础设施薄弱的双重困境，地形崎岖、交通梗阻显著提升设备运输成本与现场施工难度，偏远区域通信信号覆盖不足，使得传统有线传输难以实施，无线通信亦受地形遮挡、信号衰弱等问题制约，供电系统构建同样面临挑战，市电接入困难促使系统依赖太阳能与备用电源，但日照条件的季节性波动严重影响电力供应稳定性，设备安装过程中，河岸植被遮挡、基岩地貌复杂及风雨侵蚀作用，限制雷达天线的最佳布设角度，削弱水面回波信号质量，同时，岩壁反射、桥梁结构与漂浮物体形成的多重干扰源，极易造成测验信号误判，亟需在设备选型与安装工艺上针对性优化。

2.3 传统方法的局限性剖析

以明渠水尺、浮标测速仪为代表的接触式流量监测设备，在西藏山区河流水文应用中暴露出明显技术短板，此类设备需直接接触水体或近水布设，易受洪水冲击、泥沙淤塞及生物附着侵蚀，导致测验精度下降与设备故障频发，现场维护作业风险高、成本大，人工定期数据采集模式不仅耗费大量人力，更难以实时追踪流量动态变化，极端天气下的监测时效性严重不足，受制于西藏山区河流复杂地形与恶劣气候条件，测验人员难以保障设备日常巡检频率，传统监测手段已无法满足水文数据实时化、连续化的现代监测需求，客观上推动非接触式测验技术在西藏山区河流水文领域的创新应用。

3 雷达波测验系统布设策略研究

3.1 站点选择与安装位置优化

在西藏山区河流部署雷达波测验系统，选址工作至关重要，直接关系到后续数据质量与系统运行稳定性。理想站点应优先选择河道开阔、流态稳定、无遮挡物的区域，避免树木、建筑物等对雷达波信号的遮挡和反射干扰，确保信号收发畅通、波形清晰。同时，应充分利用既有桥梁、栈道、观测平台等人工设施作为设备安装载体，不仅可降低土建投入与施工难度，还能提升设备稳固性与后期维护的便利性。在无可利用人工设施的区域，应优先选择地质条件稳定、抗滑移能力强的岩体或岸坡作为设备基础，并采取加固、防护措施，防止泥石流、滑坡等地质灾害对设备造成破坏。

此外，选址过程中需避开河道急流、跌水区、回水区等复杂流态区域，这些区域水面扰动剧烈，易导致雷达波回波信号失真，影响测验数据的稳定性与准确性。

3.2 设备固定与角度调整方法

设备安装过程需综合兼顾结构稳固性与测验精度，优选高强度、防腐蚀性能优良的材料（如不锈钢、镀锌钢）制作支架，匹配现场地形特点设计专用锚固结构，提升整体抗风、抗震性能，保障长期安全运行。考虑西藏山区河流地震、滑坡、冰冻等特殊地质风险，设备基础应增设减震底座、缓冲装置，有效吸收外部振动冲击，减少对测验信号的干扰，保持数据连续性和高精度。

在布设角度调整方面，应根据具体河道宽度、水面形态及雷达设备技术参数，精准设定设备入射角度和安装高度。一般建议将雷达波束与水面夹角控制在 30°～60°区间，以优化回波信号反射路径，提升信号质量与测验稳定性。对于河道断面复杂、流态变化明显的区域，可采用多点位、多角度设备布设策略，通过数据融合算法进行多源数据整合，提升整体测验精度，同时有效避免单设备故障引发的监测盲区，增强系统鲁棒性与可靠性。

3.3 供电与通信方案设计

鉴于西藏山区河流市电供应匮乏的现状，雷达波测验系统需构建独立供能体系，太阳能电池板与大容量锂电池组合的混合供电模式备受青睐，通过智能切换机制保障设备持续运行，在光照不足或多雨地区，可增配备用电池容量或引入小型风力发电设备作为补充能源，通信方面，针对西藏山区河流移动通信信号薄弱问题，采用 4G 通信模块搭配北斗卫星或 LoRa 传输技术，实现数据稳定回传，引入边缘计算模块，在本地完成数据预处理与异常检测，

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

减轻数据传输压力，提升系统响应速度与故障诊断能力，整个供电与通信系统设计需充分考量当地环境条件。

4 实地布设案例与应用效果评估

4.1 典型西藏山区河流水文站布设实例

四川省阿坝州某高原小流域水文站具有典型西藏山区河流水文特征，该区域地势高耸，河道走势曲折，年降水量分布不均，河流水量变化显著，2023 年 7 月，在当地水利部门协调推进下，于原有水文观测点引入雷达波非接触式流量监测设备，安装选址于一座跨河简易钢桥，该位置便于设备固定与后期运维巡查，设备支架稳固安装于桥体侧边，天线以 45°俯角倾斜布设，有效规避两岸植被对雷达波信号的遮挡，设备启用后，与传统旋桨式流速仪开展同步监测，持续比对流速流量数据，监测结果显示，中低水位工况下，两种测验方式误差控制在±5%以内；进入洪水期，雷达波设备凭借非接触测验优势，实现数据快速采集与完整记录，解决了人工测验难以靠近水面的难题，显著提升水文监测效能与预警响应能力。

4.2 数据采集与流量计算结果

系统运行三个月期间，累计采集有效流量数据近 9000 组，经深度分析验证，面对持续降水、流量骤变等复杂水文环境，雷达波监测系统始终保持稳定运行，日均数据缺失率低于 0.2%，在低流量（＜5m^3/s）与中等流量（5～30m^3/s）区间，测验误差控制在±4%以内；当流量超过 30m^3/s 进入高水位阶段，受水面剧烈波动影响，测验误差有所增加，但仍维持在±7%范围内，满足中小河流流量监测技术规范要求，系统具备快速响应能力，数据更新周期短于 1min，可实现实时动态监测，某次突发性暴雨事件中，该设备及时捕捉到流量激增过程，较传统监测手段提前 30min 发出预警，为下游村落应急处置争取宝贵时间，展现出卓越的异常流量捕捉与快速响应性能。

4.3 运行维护与用户反馈

实际应用中，雷达波流量监测系统大幅降低运维工作量，相较传统设备每月需定期清理校验，该系统仅需按季节进行天线表面清洁，人力投入显著减少，用户使用反馈表明，配套可视化管理平台界面友好、操作便捷，可实时呈现流量变化曲线、降雨量数据及设备运行状态，异常报警通过短信与平台双渠道同步推送，有效提升水文管理效率，同时，用户也提出改进建议：极端天气下雷达信号易受干扰，期望优化算法提升高浪环境下数据识别稳定性；连续阴雨天气导致电池续航能力下降，建议集成风力发电装置完善能源供应体系，总体而言，该设备运行效能突出，达成西藏山区河流水文监测智能化升级目标，在同类区域具备较高推广应用价值。

5 未来发展趋势与系统优化建议

5.1 技术升级方向

伴随人工智能与物联网技术迭代，雷达波流量监测系统正加速智能化转型进程，未来可借助 AI 算法实现流速数据动态校准，通过智能识别波动异常与误差来源，强化算法在复杂水面条件下的抗干扰能力与环境适配性，同时融合多通道雷达、视频监控及水位监测等多元数据，构建流量变化立体监测体系，提升趋势分析精准度与系统稳定性，开发具备自学习、自适应与自校准功能的智能模块，确保设备脱离人工干预仍能长期稳定运行，是迈向“智慧水文”的关键路径。

5.2 系统集成与智能化演进

为推动西藏山区河流流域水文信息化建设，需将雷达波测流系统深度融入国家或区域自动监测网络，实现与雨量、水位、气象等多源数据的统一管理与协同分析。并借助全新水文现代化测验设备：无人机、扫描仪等遥感设备来弥补遥感影像技术的监测盲区。拓宽监测覆盖范围并提升数据精度，打造集数据采集、传输、处理、预警及可视化于一体的综合监控平台，为山洪预警、水资源调配与灾害应急提供精准决策依据，探索与地质灾害监测、生态环境评估系统的联动机制，构建多维度、一体化区域管理体系，助力智慧水利在西藏山区河流全面落地实施。

5.3 布设与运维规范建议

为促进雷达波测流技术在特殊地貌区域推广，亟需编制针对西藏山区河流、峡谷、高原等地形的专项布设规范与技术指南，明确站点选址标准、支架结构参数及安装角度要求等关键要素，提供多类型设备选型参考与标准化施工流程，便于地方技术人员结合实际条件开展建设，建议由水利主管部门牵头推进示范工程建设，总结实践经验形成标准化推广模式，推动雷达测流技术在西藏山区河流水文监测领域的广泛应用与持续优化。

6 结语

雷达波非接触式流量测验技术凭借高精度、低维护、强环境适应性等特性，在西藏山区河流水文监测领域展现广阔应用前景，实践案例表明，该技术有效破解地形复杂、气候恶劣带来的监测难题，显著提升水文监测智能化水平，未来需持续深化布设策略优化、智能算法研发及多系统融合研究，推动建立标准化建设体系，为西藏山区河流水文信息化发展和防灾减灾工作筑牢技术根基，拓展应用空间。

[参考文献]

[1]解传奇,张艺,荀武.非接触式雷达波测流与传统测流比较分析[J].水利水电快报,2019,40(9):26-28.

[2]吕清华.非接触式雷达波测流技术在大路铺水文站的应用[J].水利科技与经济,2022,28(3):7-11.

[3]张宽义,任春磊,宋文栋,等.非接触式雷达波测流系统在桑干河七一灌区中的应用[J].水科学与工程技术,2024(3):1-4.

[4]丁馨曾,韩宝豆,华楚恩.非接触式多探头雷达波测流系统应用分析—以楚雄地索站为例[J].吉林水利,2024(12):28-34.

作者简介：渠国富（1981.10—），男，汉族，毕业学校：三峡大学，现工作单位：西藏自治区水文水资源勘测局山南水文水资源分局。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

新疆天山北坡呼图壁河以东地区水系三屯河生态基本水量分析研究

黄 潇
自治区昌吉水文勘测中心，新疆 昌吉 831100

[摘要]在调查、分析三屯河水资源开发利用现状的基础上，分析河道主要蓄引工程对天然径流人工控制程度，进而深度分析对河道生态水量的影响。根据不同河段的主要功能特点，统筹考虑沿河区域国民经济和社会发展的要求及河道生态环境保护，采用多种水文学计算方法科学合理地在设置的水文计算断面处对天然径流进行逐月换算，参照相关技术标准结合新疆天山北坡诸河流实际情况选取相应参数计算水文计算断面处下泄生态水量。提出三屯河生态保护的保障措施，从水资源合理利用与节约，河道两库联合调度、合理利用，维护水生态、保障河道基流量等方面进行工程、调度、制度方面提出合理性保障措施建议。

[关键词]河道生态基流；水资源；水生态；河长制
DOI：10.33142/hst.v8i8.17362 中图分类号：TV2 文献标识码：A

Analysis and Study on the Ecological Basic Water Quantity of the Santun River in the Water System East of the Hutubi River on the Northern Slope of Tianshan Mountains, Xinjiang

HUANG Xiao
Changji Hydrological Survey Center, Changji, Xinjiang, 831100, China

Abstract: Based on the investigation and analysis of the current situation of the development and utilization of water resources in the Santun River, this paper analyzes the degree of artificial control of natural runoff by the main water storage and diversion projects in the river, and then deeply analyzes the impact on the ecological water volume of the river. Based on the main functional characteristics of different river sections, taking into account the requirements of national economic and social development along the river, as well as the protection of the ecological environment of the river, multiple hydrological calculation methods are used to scientifically and reasonably convert natural runoff on a monthly basis at the set hydrological calculation section. Referring to relevant technical standards and the actual situation of various rivers on the northern slope of the Tianshan Mountains in Xinjiang, corresponding parameters are selected to calculate the ecological water discharge at the hydrological calculation section. Propose safeguard measures for the ecological protection of the Santun River, including reasonable utilization and conservation of water resources, joint scheduling and rational utilization of two reservoirs in the river, maintenance of water ecology, and guarantee of river base flow, and propose reasonable safeguard measures in terms of engineering, scheduling, and institutional aspects.

Keywords: river ecological base flow; water resources; aquatic ecology; river chief mechanism

1 研究背景

三屯河源于天山北坡中段天格尔峰，自南向北穿越高、中、低山带，沿途汇聚多条山间溪流，形成干流。山口之外，河道延伸至平原。历史上，河水可抵达北部沙漠边缘，终点形成尾闾湖（如汇入白家海子）或消逝于沙海。然而，因水库和灌溉系统建设，平水年份河水几乎被全部截留。渠首下游河段除汛期短暂过流外，长期干涸。近年人为干预显著，通过蓄水工程实现对天然径流的高度调控。为强化水生态红线管理，需构建完善的水生态保护制度体系，从源头保障水安全；严格管控用水总量，逐步恢复被挤占的河道生态用水份额，明确关键控制断面的生态流量目标，切实推行“河长制”，加强水资源保护、污染防控、生态维护，保障河道的生态基流。

2 河流水系

源出天山北坡中段天格尔峰的三屯河，自南向北纵贯高山、中山与低山带。沿途吸纳多条山间溪流后形成主河道，出山口后进入平原区。历史上，其河水可达北部沙漠边缘，尾闾或形成湖泊（如汇入白家海子），或渗入沙海。当前，山区水库及配套灌渠的建设完善，使得平水年景河水几乎被全部分引至农田，渠首下游除汛期短暂行洪外，基本持续断流。

该河主要支流为大、小三屯河，在努尔加牧业村附近汇合。此后相继纳入孔沙拉沟、庙尔沟、板房沟、头道水及二道水等沟溪，方成干流主体。位于二道水汇合口上游的碾盘庄水文站，控制流域面积 1636km^2，监测河段长度 103km，河道坡度 17.3‰。

根据三屯河碾盘庄水文站（1977—2023 年）47 年实测径流量资料统计，三屯河多年平均径流量 3.500×108m^3，最大年径流量为 2016 年的 4.376×108m^3，最小年径流量为 2014 年的 2.699×108m^3。由于受到补给来源影响，三屯河径流量年际变化不大，年内分配不均匀，5～8 月连续最大四个月多年平均径流量占年径流量的 76.6%。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

3 气象概况

三屯河区域深居欧亚大陆内部、准噶尔盆地南缘，属典型内陆干旱型中温带气候。受温带天气系统及北冰洋冷气团控制，冬季冷气团堆积，夏季盆地热滞留效应明显，季节、月际及昼夜温差极大。气候要素垂直分异规律显著：随海拔抬升，温度递降而降水格局改变——3200m 以上高寒区终年积雪；中低山区降水充沛、光照强，形成冬暖夏凉的逆温层；中部平原与北部荒漠区则降水稀少（蒸发剧烈、日照丰沛、积温高）且昼夜温差突出。基于碾盘庄水文站与昌吉气象站实测数据：碾盘庄多年均温 6.8℃，极值高温 40.8℃（多现于 7/8 月）、低温-31.4℃（多现于 1/12 月），年均 5 个月（约 11 月至翌年 3 月）月均温低于冰点；年均降水 276mm，主汛期（5-8 月）降水 165.8mm（占全年 60.1%），单月极值降水 49.1mm（7 月，占比 17.8%）与 5.3mm（1 月，1.9%）；年均蒸发 1910.4mm，年际极值 2166.7/1243.5mm（极值比 1.7 倍），年内峰值 399.9mm（6 月）与谷值 5.9mm（1 月）。昌吉站资料显示：平均风速 3.0m/s，主导风 SW，极值瞬时风速 30m/s（西北风），最大积雪 39cm，冻土深度峰值 160cm。

4 河道生态基流概念、三屯河水系生态功能及现状

生态基流指保障河道形态稳定与水生态系统正常运转所需的最小持续流量。对于永久性河流，维持水流连续性是实现生态环境功能的基础前提。若发生断流，水生环境将面临崩溃性破坏，即便后期恢复通流，河道系统也难以重建原有生态结构，甚至导致区域特有水生物种永久消失。因此，为预防河道萎缩或水文连续性中断，需常年保留河道内的基准生态流量以支撑其生态环境功能。

三屯河流域生态系统按其结构、功能、生态过程以及对自然和人为的抗干扰能力分为山地生态系统、人工绿洲生态系统、平原荒漠生态系统、河流生态系统等类型。

碾盘庄水文站断面以上是水资源保护区，属山地生态系统，上游无大型企业，只分布少数牧民，河道水质状况较好，断面以上为天然河道，无蓄引工程，来水全部通过河道下泄，生态水量可以保障。

碾盘庄水文站断面以下有两座控制性拦河水库，目前三屯河水库未蓄水，努尔加水库上游河道为常年流水，属山地生态系统，生态水量可以保障。

努尔加水库出库断面至西沙河水库断面为人工绿洲生态系统，生态水量可以保障。其中西干渠首站至昌吉监狱河段存在水土流失现象。

西沙河水库出库断面以下为平原荒漠生态系统，基本无径流，是水分的消耗区。

5 三屯河河道生态基流的研究分析

5.1 计算方法

生态基流核算存在多元技术体系，主要可归为水文学法、水力学法、生境模拟法与整体法四类典型途径。水文学法作为基础性测算手段，依赖历史径流资料，运用简明水文指标确定基准流量值，其代表性技术包括 Q90 法（90%保证率）、Tennant 法与 7Q10 法；该方法不仅量化河道生态需水量，更能辨析相同年均径流条件下季节性/非季节性河流的生态需水特征差异。水力学法通过构建径流量与河道水力要素（通过实地勘测或曼宁公式推演获取）的定量关联模型进行计算，当前国内实践以湿周分析法及 R2Cross 法应用为主导。栖息地模拟法涉及复杂建模过程，其中美国鱼类与野生动物管理局研发的河道内流量增量法（IFIM）具有广泛适用性，核心目标在于建立水生生物（尤指鱼类）与水文条件的动态响应关系。整体法则涵盖 BBM 法、系统研究法及水文-生态耦合响应法，强调将河流视为有机生态系统整体，系统探究径流过程、泥沙输移模式、河床地貌演变及河岸带生物群落间的交互机制，最终提出能够协同保障生物多样性维系、栖息地完整性保持、泥沙动态平衡、污染物稀释扩散及滨水景观稳定的综合性流量配置方案。

目前，我国多采用水文学法和水力学法计算生态基流，但主要是通过水文历史资料分析河流流量，仍以水文学方法为主。水力学法有一定程度的应用，但其湿周法适用于河床稳定的宽浅矩形和抛物线断面河道，不适用于我国西高山峡谷区 V 字形河道的生态基流计算；R2Cross 法可适用于高山峡谷区河流，但水力参数需根据区域特征进行修正，而且对 30m 以上河宽的河流未给出响应标准。国内栖息地法的发展主要是对水文学法和水力学法的补充。栖息地法一般设定单一目标保护物种，适用性已逐渐向整体法转移。整体法需要耗费大量时间与资金用于前期监测、中期适应性管理与后期分析评估，目前在我国发展较慢，研究成果较少，还未大规模应用。

5.2 计算方法的选取及成果

鉴于三屯河属中型河流且中下游水资源开发强度较大，结合下游景观带生态补水需求，本次研究遵循区域经济协调发展导向，依据昌吉市可持续用水配置策略，选定适配碾盘庄水文站断面的生态流量核算方法。具体采用六类技术方案：Tennant 法（多年平均流量百分比三段/两段式）、优化 Qp 法（90%保证率下最枯月均流量三段/两段式）、基准 Qp 法（90%保证率最枯月均值）、极端 Qp 法（90%保证率最枯日均值）、十年最枯月均流量法及 7Q10 法进行系统测算。各方法执行程序与计算结果详见附表 1。

5.3 计算方法及成果推荐

从方法适用性评估：Tennant 法适用于我国北方季节性河流（尤其具备长系列水文资料的河段），作为水文学派主流技术且国内应用广泛，其优势在于流程简便、成果速成。但多时段 Tennant 法的产流占比达断面多年平均径流 35%，而三屯河实际生态泄流数据（1991—2020）显示其仅占年均径流的 15%，显著低于方法理论值，故不纳入推荐方案。

改进 Qp 法虽属技术导则建议方法，其计算成果占径流基准 35.1%，但无法匹配三屯河流域的现实约束：承担下游高强度供水任务、水资源禀赋紧缺、用水竞争激烈，因此予以排除。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

表 1 碾盘庄水文站断面河道生态流量成果表

计算方法		生态流量(m^3/s)							
		Tennant 法（三时段）		Tennant 法（两时段）	改进 Qp 法(90%不同时段最枯月平均流量法)	Qp 法（90%最枯月平均值法）	Qp 法（90%的最枯日平均值法）	近 10 年最枯月平均流量法	7Q10 法
Tennant 法（多年平均流量的百分率法）	丰水期(6～9 月)	20%	2.218						
	平水期（4～5 月和 10～11 月）	10%	1.11						
	冰封期 （12～3 月）	5%	0.5545						
改进 Qp 法(90%保证率下不同时段最枯月平均流量法)	丰水期(6～9 月)				8.68				
	平水期（4～5 月和 10～11 月）				2.13				
	冰封期（12～3 月）				0.970				
Qp 法（90%最枯月平均值法）						0.970			
Qp 法（90%最枯日平均值法）							0.680		
近 10 年最枯月平均流量法								1.49	
7Q10 法保证率的最枯月径流量									0.590

两种基准 Qp 法（90%保证率最枯月均值与最枯日均值）产出值均不足年均流量 10%，违反《技术指南》“出山口季节性河段控制断面年生态水量最低值不应低于多年平均天然径流 10%”的强制规定，故不予采用。

7Q10 法理论适用于水文序列长、水量短缺且开发强度大的河流，但本断面其成果仅占径流基准 5.3%。考虑到碾盘庄站下游存在显著河道损耗，部分月份可能断供，该方法不适用于山区性通断面的生态需水核算，予以排除。

湿周法因三屯河河床冲刷剧烈、湿周-流量关系持续动态变化，无法满足该河段计算要求。

近 10 年最枯月均流量法同为技术导则推荐方法，符合水利部《第一批重点河湖生态流量保障目标》。该方案产出占径流基准 13.3%，与三屯河近十年实际下泄生态水量（剔除极值后）高度吻合，故选定该技术成果。

综合研判：本工作采用的水文学法（湿周法属水力学法已排除）均基于碾盘庄站 1977—2020 年共 44 年实测径流序列，数据可靠性充分保证各类方法产出的有效性。立足流域实情，依据集中分布准则，首先剔除改进 Qp 法、Tennant 法（高估组）以及基准 Qp 法、7Q10 法（低估组）；最终选择契合三屯河流域特性的近 10 年最枯月均流量法成果作为生态基流确定量，即控制断面目标值 1.49m^3/s。

6 保障措施

作为河道治理的首要责任人，河长需督导下级河长及职能部门履行流域生态保护职责，并统筹协调重大河湖管理问题的决策处置。其中，保障生态流量达标执行是河长制工作的核心环节，应将该指标纳入责任考核体系，实施常态化监管评估。

生态流量管理机构应牵头组织调度协调，主动对接各级水务机关、区域防汛指挥机构、电网公司、水库电站运营方、渔业主管单位及在建工程责任主体。通过建立多层级会商机制与信息共享平台，即时通报调度全流程动态，协同处理突发事件，确保调度指令有序实施。

7 结论

三屯河流域水生态系统的关键干扰源为三屯河水库与努尔加水库工程。基于河道生态流量核算结果，本研究诊断出当前水环境主要矛盾，并提出系统性解决方案：强化水资源高效利用与节水机制，建立上下游协同调度体系，完善生态修复工程，深化河长制责任落实机制，以支撑流域水资源可持续管理。本次生态流量及最低保障水位分析成果，为区域生态环境质量管控提供了科学基准，将促进社会经济进步与河流生态保障的协同发展，引领流域迈入可持续增长路径。

[参考文献]

[1]王仲梅,王博欣,许丹,等.基于全局生境模拟法的滦河生态流量研究[J].人民黄河,2025,47(1):62-64.
[2]王仲梅,吴承君,吴国英,等.陕西省无定河生态流量保障目标研究[J].人民黄河,2025,47(1):56-57.
[3]万开华.生态清洁小流域中河道治理与生态修复工程施工技术研究[J].水上安全,2025(8):7-9.
[4]关艳庆.太子河河流生态基流估算分析[J].水土保持应用技术,2025(2):53-55.
[5]刘邑婷.基于水文学法的浊漳河生态流量研究[J].海河水利,2025(3):68-71.
[6]王合飞,沈家涛.姑溪河生态基流水位的综合研究[J].陕西水利,2025(3):43-45.
[7]牛琼燕,王启优,梁恒德.祖厉河生态环境需水量确定及合理性评价研究[J].甘肃水利水电技术,2025,61(2):1-4.
[8]傅林海.绩溪县扬之河生态流量保障及对策分析[J].绿色中国,2025(3):64-66.
[9]费丽丽,杨世印,高爽.南京市雨花台区路线河生态河道建设的实践与思考[J].长江技术经济,2024,8(6):16-21.

作者简介：黄潇（1982.3—），男，籍贯：甘肃永昌县，现在的职称：工程师，最高学历：大学本科，主要从事水文水资源监测管理工作。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

奇台县开垦河水文测站糙率分析研究

宁新伟
昌吉水文勘测中心，新疆 昌吉 831100

[摘要]开垦河水文测站所处的特定环境，为糙率研究带来了独特挑战。测站上游水利工程及下游交通设施的存在，显著干扰了河道天然水流状态，引发断面冲淤多变、水位代表性波动以及特定流态下的雍水效应。加之高水时期波浪扰动对水位观测精度的影响，以及浮标法测流在高能水流条件下存在的固有局限，均使得获取可靠的高水糙率数据尤为困难。这些复杂的现场条件导致水位-糙率关系在中高水段呈现出显著的非一致性特征。本报告旨在系统梳理开垦河站实测水文资料，深入剖析特定环境约束下糙率变化的物理机制，着重探讨中低水情下糙率随水力要素变化的规律，以期在现有观测条件下，为流域水文模拟及工程实践提供更为可靠的基础参数依据。

[关键词]开垦河流域；糙率；影响因素
DOI：10.33142/hst.v8i8.17338　　中图分类号：P333　　文献标识码：A

Analysis and Study on the Roughness of the Reclamation River Hydrological Station in Qitai County

NING Xinwei
Changji Hydrological Survey Center, Changji, Xinjiang, 831100, China

Abstract: The specific environment in which the reclaimed river hydrological measurement station is located presents unique challenges for roughness research. The presence of upstream water conservancy projects and downstream transportation facilities significantly interferes with the natural water flow state of the river channel, causing changes in cross-sectional erosion and sedimentation, representative fluctuations in water level, and the effect of stagnant water under specific flow conditions. In addition, the impact of wave disturbances during high water periods on the accuracy of water level observations, as well as the inherent limitations of buoy based flow measurement under high-energy flow conditions, make it particularly difficult to obtain reliable high water roughness data. These complex on-site conditions result in significant inconsistency in the water level roughness relationship in the middle and high water sections. The purpose of this report is to systematically sort out the measured hydrological data of the reclaimed river station, deeply analyze the physical mechanism of roughness changes under specific environmental constraints, and focus on exploring the law of roughness changes with hydraulic elements under low and medium water conditions, in order to provide more reliable basic parameter basis for hydrological simulation and engineering practice in the basin under existing observation conditions.

Keywords: reclamation of river basins; roughness; influencing factors

引言

开垦河发源于天山博格达山脉，蜿蜒流经新疆奇台县境内，最终消隐于准噶尔盆地南缘的绿洲与沙漠交界地带。作为典型的干旱区内陆河，其水文特性深刻塑造着区域水资源利用与生态格局。河川糙率作为表征河床边界对水流阻力影响的关键水力参数，其精确确定对于洪水演进模拟、河道整治及水资源高效管理至关重要。然而，天然河道糙率受制于河床物质组成、形态起伏、植被覆盖等复杂因素，难以通过理论直接量化，实践中主要依赖实测水文资料反演推求。

1 流域概况

1.1 地理位置

开垦河流域位于新疆奇台县境内天山北麓，准噶尔盆地南缘，发源于天山东段的博格达山脉，东与木垒县英格堡河相邻，西与新户河为邻，南以博格达山分水岭为界，北抵古尔班通古特沙漠南缘，流域最高点海拔4356m。地理位置介于东经89°45′～90°05′，北纬43°30′～44°10′，开垦河流域水系及水文站网示意见图1。开垦河河川径流由南部山区流入北部准噶尔盆地南缘后，消失于下游灌区及沙漠。开垦河流域行政隶属新疆昌吉回族自治州奇台县，新建乌-木一级公路，横贯开垦河流域，是流域对外交通运输的主干线。奇台县行政区内各乡镇、团场新建公路网与干线公路相联接，在整个流域内形成交通网，交通十分便利。

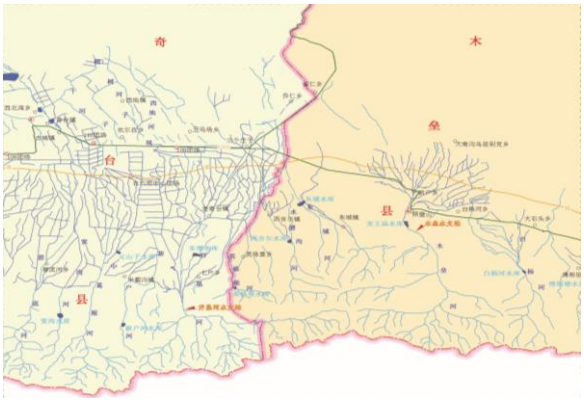


图1　开垦河流域水系及水文站网示意

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

1.2 地形、地貌、土壤、植被

开垦河流域地貌具有以下特点：地势由南向北倾斜，南北方向差异较大，从天山分水岭到准噶尔盆地边缘，高差变幅很大，由戈壁荒原过渡到冰川雪岭，气候变化显著。

开垦河流域总地形为南高北低，整个流域可分为四个地貌带，即中高山地貌带、低山丘陵带、山前冲洪积平原带和北部沙漠带。河流海拔 2800m～4356m 为高山带，由泥盆系、石炭系地层组成。由于高寒，土壤发育原始，以高山草甸土、黑钙土等为主，土层极薄，生长蒿草、苔草、高山旱地禾、点地梅等。因热量不足，不宜发展农业，但非常适宜发展牧业，是良好的天然夏牧场。

开垦河流域海拔 2000～2800m 为侵蚀中山带，由石灰系、二叠系灰岩岩系组成，由于山势陡峻，降水丰富，使得径流迅速汇集，河谷深切，是暴雨径流的主要形成区。表层土壤以灰褐色森林土、黑钙土等为主，这里生长着优质的天然云杉林、白桦林和灌木等。

开垦河流域海拔 1500～2000m 为侵蚀低山带，由石碳系、二叠系灰岩地层及火成岩组成，物理风化侵蚀作用强烈，岩石裂隙发育，剥蚀较严重，降水较丰富，地势相对较缓，土壤以山地栗钙土为主，土层厚，土壤肥力高，滋生有狐茅、针茅、苔草、野蔷薇、绣线菊等草种。低地河谷多生长阔叶林带，在靠近山麓处，有 15～20m 厚的黄土物质覆盖，适宜发展牧业和林业。

1.3 河流水系与冰川

（1）河流水系。开垦河是奇台县境内最大的河流，与天山东段诸多中小河流相比，开垦河河网发育良好，其流域形状基本呈树形结构。开垦河由大东沟（小南沟、大南沟、奇台郭勒等诸多小沟组成）、大西沟（缠头弯子、喀拉萨依等小沟组成）两大支流组成，其中大东沟为主干流，由上述数条平行排列的支流汇入主河道。河流既有冰川和永久积雪消融补给，又有中、低山季节性积雪融水和夏季雨水补给，详见图 2。

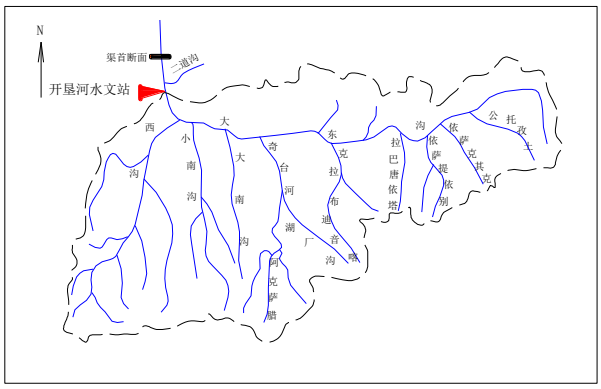


图 2 开垦河水系图

开垦河流域最高点海拔高程 4356m，开垦河水文站以上集水面积 371km^2，主河道长 32km，流域平均宽度 11.6km。河道平均纵坡 27.3‰。在开垦河水文站断面以下 0.6km 处，有二道沟汇入（见图 2），此沟常年流水，流量一般在 0.04m^3/s 左右，在春季融雪时，午后出现 0.2～0.3m^3/s 左右的流量，遇夏季暴雨季节，此沟最大水量也仅在 2m^3/s 的流量。

（2）冰川。根据 1986 年科学出版社出版的《中国冰川目录》统计，开垦河源头分布有 9 条冰川，冰川面积 1.82km^2，冰储量 0.0367km^3。

2 河流糙率的含义和影响因素

河道的糙率时衡量河床粗糙程度对水流影响的一个综合性系数。影响糙率的因素，从小尺度来看，主要是河床壁材料的组成（如泥沙、卵石、天然岩石等），以及各种材料的粗细构成，床壁平整程度，包括植被生长情况等等。由于天然河道的复杂性，无法通过影响因素对糙率进行定量分析。在实际工作中，糙率是从实测流量资料带入曼宁公式反求而得。计算公式如下：

$$Q = A \times \overline{V} \tag{1}$$

$$\overline{V} = \frac{1}{\mathrm{n}} \times R^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}} \tag{2}$$

$$\mathrm{n} = \frac{1}{v} \times R^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}} \tag{3}$$

$$R = \frac{A}{2 \times \overline{d} + B} \tag{4}$$

$$S = \frac{\mathrm{z}_{su} - z_{sl}}{L} \tag{5}$$

公式中：Q——断面流量（m^3/s）；

A——过水断面面积（㎡）；

R——过水断面水力半径（m）；

S——河道比降（‰）；

$\overline{V}$ ——断面平均流速（m/s）；

n——糙率。

从曼宁公式中可以看出，影响糙率计算的参数主要有两个。一个是过水断面的水力半径；二是河道断面间的比降。

关于水深对糙率的影响，一般来讲，低水位时水深小，河床凹凸程度对水流的影响大。在同一断面中，随着水深的增加，湿周的增率逐渐减小，或者趋于稳定。因此，河床组成等情况无特殊改变的情况下，糙率的变化是随着水深的增加而逐渐减小的，在一定水位级后趋于稳定。

3 资料的选用

糙率分析资料共 35 份，主要选取 2017—2018 年的汛期中、高水实测流量、比降水位资料。

4 结果分析

根据点绘水位-糙率、平均水深-糙率、平均流速-糙率关系曲线分析，水位-糙率关系曲线呈现两种趋势，在水位 6.10m 附近呈现“C”型分布，但是水位超过 6.10 后，又呈现“L”型分布，关系曲线不稳定。

平均水深和糙率没有明显的关系分布。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

平均流速和糙率大致呈“L”型分布，在三种关系分布中关系曲线中，点群分布相对集中，基本成线性分布。但是同流速级的测点糙率相差极大，没有稳定的、单一的、可靠的平均流速-糙率关系。

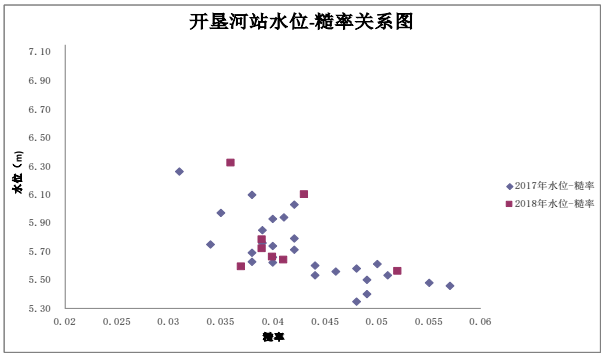


图 3　开垦河站水位-率关系图

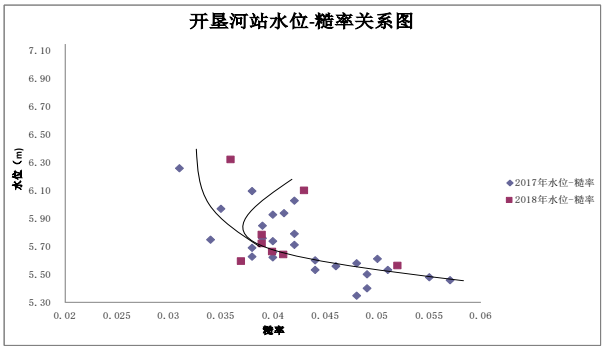


图 4　开垦河站水位-率关系分析图

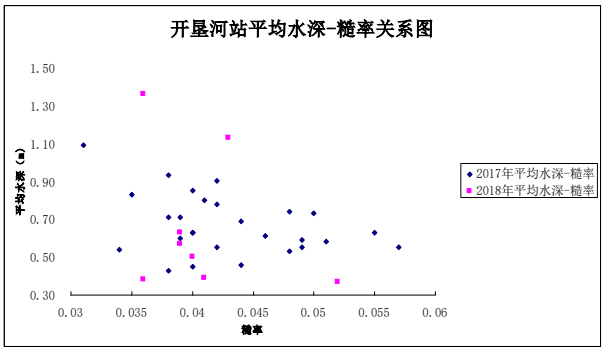


图 5　垦河站平均水深-糙率图

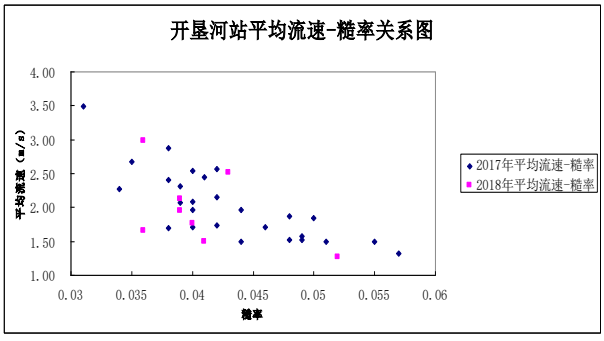


图 6　开垦河站平均流速-糙率关系图

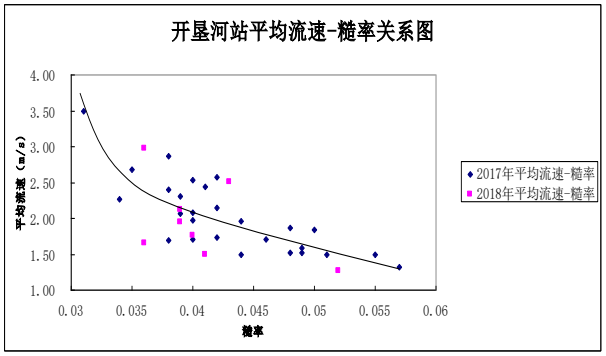


图 7　开垦河站平均流速-糙率分析图

5 原因分析

对于结果分析中出现的情况，结合本站测验断面的事迹情况，原因分析如下：

（1）测验断面受上游 100m 处电站渠渠首及排沙闸的影响，断面冲淤变化频繁，导致系列水位没有一致性和代表性，在水位-糙率关系中，中水部分点群分布散乱。

（2）测验断面受下游 60m 处双孔梁桥影响，在高水时存在壅水现象，导致高水部分下比降水尺水位变高，比降变小。忽略对流速影响的前提下，糙率会变小。

（3）高水时浪大，对水尺水位的观测影响很大。尤其是下比降水尺，前方有巨石，后方有梁桥，在两种因素的影响下，水位变化复杂。

（4）高水流量测验方法均为浮标测流，误差大，算出的糙率浮动也大。高水部分实测流量数据偏少，2007年历史第三洪水没有比降数据，故无法使用。继续在中低水时做糙率分析。

6 结束语

开垦河站糙率研究揭示了复杂自然与人为因素交织下的水文特性。受上游水利工程扰动及下游桥梁壅水影响，河道冲淤变化剧烈，导致中高水位糙率关系呈现显著非线性特征；高水期波浪干扰与浮标测流局限，进一步削弱了水力参数的可靠性。研究表明，传统水位或水深与糙率的关联在本站难以建立稳定规律，而流速与糙率的弱相关性亦受制于边界条件突变与观测误差影响。本报告确认了在现有工程干扰下，中低水情糙率分析更具实践意义。未来研究需深化特定边界条件（如冲淤动态、壅水效应）对阻力机制的影响机理，并探索适应多干扰源的水文参数反演方法。本成果为干旱区内陆河的水文模拟与水资源管理提供了基础参数依据，对类似受人工设施影响的河道糙率研究具有实践指导意义。

[参考文献]

[1]牛帅,刘九夫,李三平.基于一维水动力学模型的水文测站在线流量计算[J].长江科学院院报,2015(6):13.

[2]古鹏飞.高原寒区天空地一体化流量监测方法研究[D].成都:四川大学,2023.

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

[3]张静芳,翟俊峰,张炜,等.超标洪水水位流量关系线拟定方法[J].河南水利与南水北调,2021,50(6):33-34.
[4]王恺祯.黄河宁蒙河段冰期洪水研究[D].合肥:合肥工业大学,2018.
[5]沈五伟,陈一帆,申振东.河道糙率反问题研究回顾与展望[J].浙江水利科技,2017,45(4):1-3.
[6]邵珊珊.水资源供需平衡与水资源管理策略研究[J].建筑理论,2025(8):67.
[7]董艳.水资源调度与供需平衡管理策略研究[J].建筑技术科学,2023(6):56.
[8]徐东铃.农田水利规划中水资源供需平衡分析[J].建筑设计及理论,2025(8):164.

作者简介：宁新伟（1973.2—），毕业院校：新疆大学，所学专业：水文与水资源工程，当前就职单位：昌吉水文勘测中心，职务：站长，职称级别：高级工程师，研究方向：水文水资源。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

生态友好型河道整治工程的护岸施工技术与应用

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]随着生态文明建设不断向前推进,河道整治也逐步从单纯的防洪功能朝着生态修复以及景观改善的方向发展转变。当下，护岸施工大多是以硬质材料以及直线化设计作为主要形式，虽说其在防洪方面所呈现出的效果较为显著，然而却很容易对河道的自然形态造成破坏，进而对水体的水质以及生物多样性产生不利影响，并且其长期的维护成本也颇高。生态友好型护岸施工凭借着合理地去选择材料、结构以及施工方法，能够在兼顾防洪、安全的也顾及到生态修复，从而给河道整治赋予了可持续的发展路径。

[关键词]生态友好型；河道整治工程；护岸施工；施工技术；技术应用
DOI：10.33142/hst.v8i8.17327　　中图分类号：TV861　　文献标识码：A

Construction Technology and Application of Bank Protection for Eco-friendly River Regulation Projects

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

Abstract: With the continuous advancement of ecological civilization construction, river regulation has gradually shifted from a simple flood control function to ecological restoration and landscape improvement. At present, the construction of revetments is mostly carried out in the form of hard materials and linear design. Although it has shown significant effects in flood control, it is easy to damage the natural shape of the river, which in turn has adverse effects on the water quality and biodiversity of the water body. Moreover, its long-term maintenance cost is also quite high. Ecological friendly revetment construction relies on the rational selection of materials, structures, and construction methods, which can balance flood control, safety, and ecological restoration, which providing a sustainable development path for river regulation.

Keywords: eco-friendly; river regulation project; construction of bank protection; construction technology; technology application

引言

随着社会经济快速发展以及城市化进程持续推进,河道整治工程在防洪减灾、水资源管理还有区域生态改善方面发挥着愈发重要的作用。不过，传统河道整治大多是以硬质护岸以及直线化渠化作为主要手段，在短期内可有效控制洪水风险，然而从长远来看，容易破坏河道自然形态，削弱生态功能，进而引发水体污染、水动力紊乱以及生物多样性下降等一系列环境问题。针对这些矛盾，生态友好型护岸施工理念就产生了，其关键在于把工程防护功能和生态修复、景观优化结合起来，达成河道治理的可持续发展。在具体实施环节，要综合考量河道水文特征、岸坡地质条件、生态系统结构以及区域环境承载力，挑选合理的护岸材料与施工工艺，同时引入生态化设计以及动态管理机制,以此来兼顾防洪安全、生态功能和景观美学。本文目的在于系统剖析生态友好型河道护岸施工的关键技术、应用实践以及优化对策，通过研究护岸施工对河道生态系统的影响以及传统整治存在的问题，探寻在实际工程里实现防洪、生态和景观功能协调统一的可行途径，给河道整治工程给予技术参考与实践指引。

1 护岸施工对河道生态系统的影响

1.1 对河岸稳定性与防洪能力的提升作用

护岸施工于河道整治进程里，其肩负着改良河岸外貌以及稳固边坡的使命，与此在防洪减灾以及提升整个生态系统功能层面，也起到颇为关键的作用。经由科学且合理的护岸设计与施工操作，能够切实强化河岸土体的稳固性，避免由于洪水冲刷、雨水侵蚀等缘故引发的岸坡坍塌以及水土流失情况出现，进而促使河道的防洪能力得以提升，让抵御自然灾害的水准有所提高。

1.2 对水体水质与水动力条件的影响

护岸施工会给水体水质以及水动力条件带来明显的影响，其是否合理会直接影响到河道生态系统能否健康地运行。科学合理的护岸施工是能够对泥沙入河起到有效的控制作用的，可以减少岸坡冲刷所导致的悬浮物以及污染物，从某种程度上来说，还能改善水体的透明度以及水质环境。与此借助合理安排护岸结构的方式，可对河道断面形态以及水流分布加以调节，防止出现局部水流紊乱或者冲刷过度的情况，维持河道水动力条件处于相对稳定的状况。不过要是护岸设计不妥当，就有可能使得河道水流速度变得过快或者过缓，破坏原有的水动力平衡，进而引发

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

水体自净能力降低乃至出现局部水体富营养化等一系列问题。

1.3 对生物多样性与生态环境的改善

护岸施工要是依照科学且合理的方案来设计并加以实施的话，那么其不光能够契合河道防护以及防洪方面那些基本的需求，而且还能够在一定程度上给生物多样性和生态环境带来积极向好的改善效果。借助于运用像植被护岸、生态袋还有砌石透水结构这类生态友好型的举措，便能够给水生生物以及岸边植被营造出一个比较适宜其生长的环境，进而推动鱼类、鸟类以及微生物群落更好地去栖息并且繁衍后代，如此一来便能够让河道的生态承载力以及生物多样性都得以增强[1]。与此生态化的护岸做法还能够促使水陆过渡带恢复其原本的自然属性，让河岸景观得到改善，使得整个生态系统的稳定性以及自我调节的能力都获得提升，进而达成河道在完成防洪功能使命之际，还具备生态修复以及环境美化的功效，最终实现人与自然之间那种和谐共处的美好状态。

1.4 护岸工程的长期运行与维护问题

护岸工程在长时间的运行进程里，常常会碰到结构出现老化情况、材料产生退化状况以及自然环境发生种种变化等诸多方面的问题。要是缺少系统的养护举措以及管理手段，那么很可能会致使护岸所具备的功能一步步地变弱，甚至最终出现完全失效的状况。有一部分传统的护岸工程在开展设计工作的时候，过度着重于结构强度方面的考量，对于生态修复以及可持续性这些方面却没有给予足够的重视，如此一来就使得后期的维护成本变得颇为高昂，并且其生态适应性也比较差。然而生态型护岸虽说更加贴近自然的状态，可在植被的生长情况、病虫害的防治事宜以及河流冲刷条件的变化等方面，同样需要持续不断地予以关注并实施相应的养护工作。

2 传统河道整治工程存在的问题

2.1 护岸工程实施问题

为保护沿河滩地以及维持河床边界的稳定性，可使用抗冲刷材料固化河道岸坡。然而，护岸工程的实施在改变河道岸坡物理性质的同时， 阻断了河床土体与河道水体之间的联系， 从而破坏了河道生境条件。护岸工程通过硬化河床， 降低了河床的多孔性与过水性，阻碍了河道水体对周边沼泽、湿地的补水作用。同时，河岸以及河床的硬化改变了微生物生存交换的环境， 破坏了鱼类的产卵地与食物来源。此外，为保护河漫滩所修筑的生产堤将会阻碍河道的自然漫滩， 从而削弱河道生态环境系统的能量物质交换作用。

2.2 河道形态整治工程实施问题

在传统的河道整治相关工程当中，河道形态方面的整治常常存在着过度依靠硬质工程手段这一情况。比如说会开展大规模的直线化处理操作，还有渠化处理举措，同时还会修建高标准的混凝土或者浆砌石护岸。这样一种主要把追求防洪以及排水效率当作目标的工程做法，明显忽略了河道自然形态所具有的多样性以及其生态功能。如此一来，水流动力条件就被人为地改变了，河道的弯曲程度降低了，滩地、湿地这类重要的生态空间也遭到了压缩，甚至出现了彻底消失的现象，进而使得水体的自净能力以及生物栖息地的完整性都受到了削弱。与此过度硬化后的河道边坡，其与周边土地之间原本存在的自然联系也被削弱了，这就使得水陆过渡带的功能受到了损害，生物多样性的状况变差了，生态系统的稳定性也有所减弱[2]。并且，在部分工程实施的过程当中，还缺乏针对区域自然条件展开的充分调查以及长期的监测工作，这便致使工程和自然环境之间出现了脱节的情况，进而产生了水流紊乱、局部冲淤失衡等一系列新的问题，进一步促使河道生态环境的退化状况变得更加严重。

3 生态友好型护岸施工的优化对策

3.1 因地制宜的施工技术选择

在开展生态友好型护岸施工的过程中，因地制宜地去选择技术，应当把精细的现场调查以及科学的评估当作前提条件。要全面且细致地掌握河道的各项相关信息，像是河道的水文特征（包括洪峰流量、流速以及泥沙输移情况），还有河道的地质土工性质、岸坡的具体形态、原生植被的生长状况以及生物栖息的情况，另外周边土地的利用状况也需要掌握清楚。进而要把软性生境修复方面的措施和必要的结构性防护举措相互结合起来。对于那些能量较低、坡度相对平缓的河段，优先选用像植被护坡、活体护岸、生态袋以及土工格室这类能够促进固沙并且有利于生物栖息增殖的绿色工程项目。而对于能量处于中等水平的河段，则可以采用透水性的砌石或者分级砌体，并且配合植被缓冲带，以此来同时兼顾抗冲刷的功能以及生态方面的作用。在那些必须要设置刚性防护以便保护重要基础设施的高能量河段，应当采用具有渗透性、呈阶梯式或者是经过表面粗糙化处理的结构，同时还要配合岸脚处的能量消减设施（比如沉床、护脚卵石带），以此来减少对下游动力条件所产生的突变情况。与此要优先选用本地的或者相容性比较高的材料，还有本地耐水土的植物，合理地安排施工的时间顺序，尽量避开生物的生殖繁殖时期，并且采取诸如沉淀围挡、分段施工等一系列的减污控泥措施。要结合长期的监测工作以及适应性管理手段，依据监测所得到的结果对施工方案做出适当的调整，从而实现工程的安全性、生态的恢复情况以及景观功能的协同提升效果。

3.2 护岸材料的绿色化与创新发展

在生态友好型护岸施工当中，护岸材料朝着绿色化以及创新发展这样的方向去发展，这已然成为达成可持续建设的关键所在。其关键点就在于借助材料方面的选择以及技术层面的革新举措，一方面要满足防护以及稳定相关的

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

工程方面的需求，另一方面还得顾及到环境保护还有生态修复所具备的功能。像混凝土、浆砌石这类传统的护岸材料，虽说有着不错的强度以及较高的耐久性，然而它们不具备透水性以及透气性的特点，往往会把水体和土壤之间的自然交换给阻隔开来，这对于水生动植物栖息环境的形成是极为不利的。而绿色化的发展走向着重于选用那种可再生、可降解并且能耗较低的材料，比如生态袋、透水砌块、生物基土工材料等等，这些材料不但能够降低碳排放，减少环境污染的情况，而且还可以和植被、土壤相互结合起来，进而构建起“工程 + 生态”这样一种复合护岸体系。与此伴随着新型材料技术不断地向前发展，像自愈合混凝土、复合型土工织物以及基于微生物固化的生态护岸材料这类功能化材料，逐渐开始受到人们的关注，并且逐步在相关领域开展研究以及实际应用[3]。这些创新材料在提升抗冲刷能力以及耐久性这两个方面有所作为的还能够为植物根系以及水生生物营造出较为良好的生境条件，由此促使护岸施工从单纯的工程防护模式逐步朝着绿色、生态以及智能化的方向去发展，进而为河道整治给予更为高效且更具可持续性的技术方面的有力支撑。

3.3 施工管理与监测技术的优化

在生态友好型护岸施工当中，施工管理以及监测技术的优化乃是达成工程效益与生态效益相协调统一的重要环节，其关键点在于借助科学的组织管理方式、精细化的施工操作以及实时动态的监测手段，以此来确保护岸工程在整个建设、运行还有维护的全部进程里，既能契合防洪安全方面的各项要求，又能最大程度地对河道生态环境予以保护。在施工管理这个层面，需要制定出极为详尽的施工组织设计方案以及环境管理计划，要把施工工序、机械作业事宜、材料运输流程以及施工时序和生态保护的要求紧密地融合到一起，比如可通过实施分段施工的方式、挑选那些低扰动的机械设备、设置起沉淀围挡以及排水导流设施等一系列举措，从而减少施工期间出现的泥沙扰动情况、水体遭受的污染状况以及对岸坡植被还有水生生物产生的干扰，与此同时还要严格把控施工时段，特意避开鱼类繁殖的时间段以及关键生物活动的关键时期，进而降低对生态系统所造成的影响。在监测技术这能够充分借助现代信息化的相关手段，像布设水位传感器、水流速度传感器以及泥沙浓度传感器等，然后联合运用无人机航测、遥感监测以及地理信息系统（GIS）来针对岸坡的形态、植被的覆盖情况、水体的质量状况以及生物栖息的环境展开动态监测，以此达成对施工过程以及生态环境状态的实时且全面的掌握。

3.4 可持续发展视角下的护岸施工模式

从可持续发展的角度来讲，生态友好型护岸施工模式在保障防洪安全以及河道稳定的还需要充分顾及生态修复、资源节约以及社会效益等方面，进而构建起长期的、系统的且相互协调的护岸工程体系。具体来讲，此种施工模式着重于依据实际地理情况来挑选护岸结构以及相关材料，优先选用那些绿色的、能够再生或者可以循环利用的材料，并且要结合植被护岸以及生态缓冲带等相关举措，达成工程功能和生态功能的有机统一[4]。在施工进程当中，得注重对水土的保持工作、污染的防控事宜以及生物栖息环境的保护事项，尽力减少对河道自然水文状况以及生态系统所造成的干扰。在工程运行以及维护的阶段，借助长期的监测手段、定期的巡查行动以及动态化的管理模式，及时察觉并修复结构或者生态功能方面存在的缺陷，维持护岸系统的稳定状态以及其自身的调节能力。除此之外，施工模式还得考量社会经济所能承受的程度，对工程投资以及维护成本加以优化，实现经济效益、环境效益与社会效益的均衡状态。

4 结语

生态友好型河道护岸施工可满足防洪、岸坡稳定等工程需求，还能改善水体水质、优化水动力条件、提升生物多样性、美化河道景观。合理选护岸结构、材料、施工工艺，结合科学施工管理、长期监测，能解决传统河道整治存在的硬化过度、生态功能缺失、维护成本高等问题，达成工程效益与生态效益协调统一。从可持续发展角度看，生态友好型护岸施工注重技术创新、绿色材料应用、动态管理，给河道整治工程提供科学、环保、可持续技术路径。未来，伴随施工技术、生态修复理念持续发展，生态友好型护岸施工在河道治理中将发挥更关键作用，助力实现水安全、生态安全、环境美化综合目标，给予坚实保障。

[参考文献]

[1]王晓迪,孟祥瑞.河道整治工程对河流生态环境的影响与整治对策[J].工程技术研究,2022,7(11):151-153.
[2]于坤烁.生态环境友好型河道整治工程对策探析[J].水利规划与设计,2016(5):14-16.
[3]付默菡.生态河道建设中生态护坡技术的应用分析[J].地下水,2021,43(4):250-252.
[4]吴文新.河道整治中的生态环境问题及生态协调的河道整治分析[J].水利科学与寒区工程,2020,3(3):115-117.

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）。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

高温高压蒸汽管道热应力分析与寿命预测研究

张朋伟
中国核电工程有限公司河北分公司，河北 石家庄 050011

[摘要]高温高压蒸汽管道长期服役时要承受复杂热应力作用，容易产生蠕变、疲劳、裂纹等损伤，严重影响设备安全性与运行寿命。建立热力耦合有限元模型分析不同运行工况下管道的温度场和应力分布规律，就能识别出高风险区域及其应力演化趋势，再结合蠕变损伤理论与低周疲劳寿命模型预测关键部位剩余寿命，可为管道检修策略和延寿方案提供定量依据，提升运行管理水平与安全保障能力。

[关键词]高温高压；热应力；蒸汽管道；有限元分析；寿命预测
DOI：10.33142/hst.v8i8.17350 中图分类号：TM726 文献标识码：A

Research on Thermal Stress Analysis and Life Prediction of High Temperature and High Pressure Steam Pipelines

ZHANG Pengwei
Hebei Branch of China Nuclear Power Engineering Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050011, China

Abstract: High temperature and high pressure steam pipelines are subjected to complex thermal stress during long-term service, which can easily cause damage such as creep, fatigue, and cracking, seriously affecting equipment safety and operating life. By establishing a thermal coupled finite element model to analyze the temperature field and stress distribution of pipelines under different operating conditions, high-risk areas and their stress evolution trends can be identified. Combined with creep damage theory and low cycle fatigue life models, the remaining life of key parts can be predicted, providing quantitative basis for pipeline maintenance strategies and life extension plans, and improving operational management and safety assurance capabilities.

Keywords: high temperature and high pressure; thermal stress; steam pipeline; finite element analysis; life prediction

引言

在热力发电和石化装置里，高温高压蒸汽管道是关键的输送部件，整个系统的稳定运行直接取决于其安全性和可靠性，服役年限增加会使复杂热载荷和机械应力耦合作用，导致管道容易出现蠕变、疲劳等损伤，严重时还会引发重大事故，准确掌握其热应力分布特性和寿命演化规律是当前工程安全管理的重要课题，系统性地分析和预测对延长设备寿命、优化维护策略具有现实意义。

1 高温高压蒸汽管道运行特点与失效机理分析

高温高压蒸汽管道在极端工况下长期运行且遭受热与压的耦合作用，结构损伤极易产生，准确识别其运行特点与失效机理极为重要。

1.1 高温高压工况下的运行特性

火电石化等行业广泛用蒸汽管道输送高温高压蒸汽，由于蒸汽管道常年在 500℃高温、10MPa 高压环境下运行，这种条件下材料膨胀变形厉害且内部温度梯度大，很容易产生不均匀热应力，并且设备启停时热循环频繁使得交变应力不断积累，高温会让材料组织发生像晶粒长大、位错运动加剧的变化，进而材料强度和塑性降低，而高压下内压作用于管壁会产生较大环向和径向应力并叠加起来形成复杂应力场，因此长期服役后如果没有有效的监测和控制机制就容易出现裂纹、壁厚减薄甚至突然破裂的情况，从而使系统安全受到严重威胁。

1.2 管道失效模式及形成原因

蒸汽管道主要有蠕变损伤、低周疲劳、热疲劳、腐蚀及应力腐蚀开裂等失效模式，其中蠕变这种典型的高温失效形式就是材料在恒定载荷下慢慢产生不可逆的塑性变形且应力集中区的蠕变变形速度更快，容易发展成贯穿性裂纹，设备频繁启停产生高幅应力循环时低周疲劳就容易发生且裂纹大多从焊缝、热影响区或者局部缺陷处产生，温度变化产生反复热应力会导致热疲劳从而使得表面产生裂纹并慢慢扩展，高温蒸汽里可能有腐蚀性介质，在高压推动下和管壁起化学反应造成局部减薄、脱碳甚至应力腐蚀破裂，多种失效机制常一起存在还相互促进使得管道早早退役或者突发事故。

1.3 典型失效案例及工程警示

工业运行实践里，多起高温高压蒸汽管道失效事故给工程安全管理敲响了警钟，像某电厂再热器出口管道运行 12 年后突然破裂，调查显示管道壁厚严重变薄，断口有典型的蠕变空洞聚集和疲劳条带，意味着它在蠕变和疲劳共同作用下出现了迟发性断裂，还有换热器入口弯头处的泄漏事件，局部焊接缺陷早期没被发现，在热应力集中作用下成了裂纹，大面积泄漏，这样的例子表明高温高压服役环境下，管道应力分析、寿命评估和失效预警很重要，

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

工程上得强化材料选型、焊接质量控制和在线监测手段，将热应力模拟和寿命预测技术相结合，制定科学的检修周期与风险控制措施来防范潜在的结构性灾害。

2 热应力作用下的温度场与应力场分布特征

高温高压蒸汽管道非均匀的温度分布会产生对结构安全影响很大的热应力，因此研究它的温度场与应力场分布规律在工程上意义重大。

2.1 温度梯度形成与传热特性

蒸汽管道运行时管内高温蒸汽和外界环境温差显著，热量经管壁从内往外传导且径向温度梯度明显，高温蒸汽使管道内表面温度快速升高而外表面因冷空气或保温层升温慢且热流密度大且不均，启停阶段热负荷剧变导致短时间内轴向温度梯度可能变大从而热应力集中更严重，管道截面结构、保温层厚度不同、蒸汽流速变化等会让温度场空间分布不对称，T 型接头、弯头、三通等复杂构件处局部热容有变化且热传导路径不一样使得温度场分布特复杂，这给应力集中提供了热力学基础。

2.2 热应力产生机理与分布规律

材料在温度变化过程中热膨胀受限会产生内力，这是热应力的主要来源，管道加热时，内层材料升温快想膨胀，可外层温度低有约束，导致压应力和拉应力交替分布，径向上，蒸汽侧附近区域受拉应力，远离蒸汽侧多是压应力，轴向上，支撑、焊缝或者弯头这些几何不连续的地方容易应力集中，长时间热负荷作用下，会出现应力松弛和塑性变形，应力分布状态也会进一步改变，数值模拟显示，结构突变区和温度梯度最大的区域，像焊缝根部、管座下方、管壁厚度突变的地方，热应力峰值常出现，热应力分布不均会使材料局部屈服强度降低，这就成了裂纹萌生的关键之处，对结构寿命威胁很大。

2.3 应力与温度场的耦合效应分析

温度场和应力场高度耦合且相互影响、共同演化，热应力的空间分布由温度场决定且应力状态反过来影响材料的导热性能及其结构响应，多次热循环下应力状态从初始弹性阶段变为蠕变与塑性阶段从而产生应力重分布与结构疲劳，热力耦合有限元分析能准确描述温度-应力动态演变过程并识别关键危险区域，高温弯管中内弯侧受热集中应力拉伸而外弯侧受压收缩且形成交变应力，存在温度扰动或载荷波动时局部应力可能瞬间超材料屈服极限进而诱发裂纹扩展，工程实践里将传感器监测数据和仿真结果相结合就能有效掌握温度和应力分布规律、提升评估精度与结构安全冗余度并为管道寿命预测提供基础支撑。

3 热力耦合有限元建模与关键部位应力演化分析

高温高压蒸汽管道的应力响应能被热力耦合有限元方法精准模拟并揭示关键部位应力演化规律，从而给结构安全评估提供理论支持。

3.1 有限元建模基本流程与关键参数设定

真实工况是热力耦合有限元建模的基础，需要综合考虑材料热物性参数、边界条件、载荷特性和几何结构等因素。建模流程包括三维几何建模、材料属性赋值、网格划分、边界及载荷定义、求解与后处理分析等环节，其中热传导系数、热膨胀系数、杨氏模量、泊松比、蠕变参数等材料属性要从试验数据或者权威数据库获取。蒸汽流场测量或者热传导计算是温度载荷的来源，内部蒸汽压力和外部约束力属于机械载荷，边界条件的设置要贴近工程实际，应明确表达固定端、滑动端、接头约束等。为提高计算精度，焊缝、弯头等区域的模型需用局部加密网格以捕捉应力梯度变化，在模型验证阶段还需与监测数据或者典型工况对比才能确认模拟结果的准确性和工程可用性。

3.2 热力耦合分析的应力响应特征

管道在不同热工况下的应力响应过程可通过热力耦合分析动态反映，系统从冷态加热到稳定高温运行时初始的热膨胀压应力会逐渐转变成热稳态下的热应力场，初期温度升得快则热应力峰值短时间内迅速上升且管道弯头、焊缝根部等结构不连续区域尤其容易形成应力集中，温度趋于稳定后热应力场分布渐渐平衡且局部应力集中区域维持高应力状态并成为潜在失效风险点，模拟结果表明热应力幅值与温度梯度呈正相关且结构几何突变会进一步放大局部应力，多次热循环的话应力会有滞回效应和累积塑性变形且应力重分布和疲劳效应增强结构的疲劳寿命演化趋势得特别关注。

3.3 关键部位应力演化趋势与安全评估

对热力耦合模拟结果的应力时间历程加以分析，就能识别出蒸汽管道中的高风险部位及其应力演化趋势，弯头、三通、焊接接头、固定支撑附近等属于典型高应力区域，在热载荷与结构约束共同作用时，这些部位容易成为热应力集中区域，焊缝根部，模拟表明在多次启停循环里，其应力峰值累积显著，渐渐接近材料屈服极限，是最容易产生裂纹的薄弱之处，应力演化规律还能揭示不同运行阶段的结构应力变化路径，如快速升温阶段应力急剧增加、高温稳态时的恒定应力平台以及冷却过程中的反向应力恢复，依据这些演化数据能构建应力-时间-损伤三维评价模型，从而预测管道剩余寿命并划分风险等级，在工程实践当中，这为制定更科学的检修计划、优化结构设计、提高管道安全冗余提供了可靠依据。

4 基于蠕变与疲劳损伤机制的寿命预测方法

高温高压蒸汽管道长期服役时会被蠕变与疲劳共同作用，准确构建损伤模型并开展寿命预测对提升运行安全性很关键。

4.1 蠕变损伤机制与寿命模型构建

材料在高温高应力长时间作用下会发生缓慢变形的蠕变过程，0.4 倍熔点温度时这一现象更明显，高温蒸汽管道的主导失效机制就有蠕变且应力集中区域的时间依赖性塑性流动往往是其表现形式，蠕变分初期、稳定、加速三个阶段且可能造成空洞、微裂纹聚集和断裂破坏，Norton-Bailey 方程、Kachanov-Rabotnov 模型等常被用于

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

寿命预测以描述蠕变应变率与时间、温度、应力关系，根据有限元模拟的温度应力场数据能从关键位置提取应力历程并代入蠕变损伤模型算出单位时间损伤增量，一直累积到临界值就得到剩余寿命，实际工程里要拿金相检验、硬度检测等数据来修正模型参数以提高预测精度。

4.2 低周疲劳行为与热循环效应

高应力、低循环次数的工况下低周疲劳容易出现且设备启停、负荷变化等热循环常引发这种以塑性应变为主导的低周疲劳。高温环境里材料的循环应力-应变响应会软化从而使疲劳寿命大幅缩短。应变幅和寿命间的定量关系常用 Coffin-Manson 关系描述，要是考虑应力比、保持时间、温度影响等因素就得引入时间依赖疲劳模型或者改进的能量模型。热力耦合分析结果能给疲劳寿命评估提供热应力循环数据，通过识别应力-应变滞回环，统计循环次数与应变幅度来量化低周疲劳损伤。多源损伤协同的时候，疲劳和蠕变往往存在得用蠕变-疲劳交互模型一起评估。工程上，焊缝热影响区、结构转折处等是疲劳裂纹高发地需要重点安排监测与评估。

4.3 损伤累积方法与寿命评估策略

高温蒸汽管道实际服役时的损伤常是蠕变和疲劳叠加产生的，建立合理的损伤累积准则对寿命预测特别重要。常见的线性累积法像 Miner 法则虽然简单，但难以精确反映多机制耦合这种复杂情况，时间分段耦合法、能量叠加法或者基于损伤力学的非线性方法更常用些。典型的 Chaboche 模型或者 Liu’s 联合损伤模型能考虑蠕变损伤发展和疲劳裂纹扩大，在工程里应用很广，借助热力耦合有限元得到温度、应力、循环次数等数据，用损伤演化方程把不间段的损伤叠加起来，预测剩余安全寿命。也能引入贝叶斯统计或者机器学习方法校正预测结果、分析不确定性，寿命预测结果要和实际检测手段相结合，动态更新评估策略，以便给管道维修、改造和更换提供科学的决策依据。

5 寿命预测结果在管道运行与维护中的工程应用

蒸汽管道的运行管理与维护策略以寿命预测结果为科学依据，有助于提升设备可靠性并降低运行风险与维护成本。

5.1 检维修策略优化与实施

寿命预测结果能将管道各部位剩余寿命分布量化呈现出来，使检维修工作从“定期更换”变为“状态维修”和“风险导向维修”，像焊缝、弯头、三通等高风险结构区域要制定优先检查计划，合理安排停机窗口和维修资源，避免盲目检修和非计划停运，实际应用时依据应力-寿命评估结果调整传统年度检修制度，将有限维护资源集中在潜在失效点上，部件若寿命消耗率高则预设安全阈值触发报警机制，提前更换或者加固处理，从而显著提高系统运行连续性和安全性，将寿命评估数据和资产管理系统联动起来形成一体化维护数据库，实现检修记录、评估数据和历史工况的闭环管理，让后续维护有可追溯的数据作支撑，提升检修工作的科学性和决策效率。

5.2 风险评估与运行安全保障

寿命预测模型能成为设备风险评估体系里的重要部分，它与缺陷检测、在线监测等数据协同分析从而实现多维度风险识别。基于此构建风险等级分类标准，进而对不同区域进行分级管理。临界寿命状态下的管段，可对其施加像降低温度、减少启停频率或者改进蒸汽参数控制这样的运行限制措施来减缓损伤进展。寿命评估结果嵌入数字化监控系统，达成实时状态评估和动态预警，为调度指挥提供决策支持，增强整个系统的运行韧性。风险前置管控可减少突发性故障与安全事故发生的概率，保障人员和设备的双重安全。

5.3 运维数字化与管理智能化转型

工业数字化发展让寿命预测结果慢慢融入智能运维平台，实现定性经验向定量决策的转变，将热力耦合分析、寿命评估模型和监测数据相结合就能建立蒸汽管道的“数字孪生”模型，实时映射实际运行状态和健康水平，通过可视化界面展示应力分布、寿命消耗、预警等级等信息，使运维人员能直观掌握设备状态，利用人工智能技术对历史工况和故障数据进行学习训练，提升预测模型的准确性和自适应能力，智能化系统还可依据寿命趋势自动生成检修建议，辅助制定长期运行优化策略，实现管道全生命周期的精细化管理。

6 结语

承压高温设备高温高压蒸汽管道，其系统稳定与人员安全直接关联其运行安全性，进行热应力分析、寿命预测建模和关键部位应力演化研究就能全面把握管道服役状态和潜在风险，将寿命预测结果运用到运维管理中对检修策略的优化、风险控制的强化和智能化运行体系建设的推动都是有益的，随着工程技术和数字手段不断发展，管道安全管理会朝着更科学、精准和高效发展。

[参考文献]

[1]杜藏宝.火电厂主蒸汽管道的应力分析和寿命评估[D].北京:华北电力大学(北京),2016.
[2]陈志强.高温高压蒸汽管道应变测量及应力分析[J].化工管理,2019,12(35):213-214.
[3]谢阿萌,胡智方,成磊,等.高温高压蒸汽管道疏水罐内壁裂纹产生分析[J].发电设备,2023,37(1):18-23.
[4]李庆,邢喆,向轶,等.热动力站蒸汽管道热膨胀异常原因分析及改进措施[J].区域供热,2024,11(5):62-69.
[5]屠博,李立瑶,程勇明,等.高温高压蒸汽管道应力分析及优化调整[J].节能,2025,44(4):142-144.

作者简介：张朋伟（1993.12—），毕业院校：河南理工大学，所学专业：能源与动力工程，当前就职单位：中国核电工程有限公司河北分公司，职务：设计员，职称级别：初级。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

自动捞渣机在径流式水电站中的结构优化与应用研究

谭金权
大唐重庆分公司渝能（集团）有限责任公司，重庆 408500

[摘要]本论文研究了自动捞渣机在径流式水电站中的应用，重点探讨了其在提高清污效率、降低人工捞渣成本、提升水电站管理效能方面的关键作用。通过对大溪河三级站取水口的现有清污问题进行详细分析，设计了一种基于全自动回转式清污机的系统，该系统通过优化结构与自动化控制技术，实现了高效清污与无人化操作。研究表明，该技术的应用不仅显著提升了清污效率，减少了停机时间，还有效降低了人工干预和作业安全风险，对水电站的经济效益和安全管理水平起到了重要促进作用。
[关键词]自动捞渣机；径流式水电站；结构优化；清污效率；无人化管理
DOI：10.33142/hst.v8i8.17358　　中图分类号：TV76　　文献标识码：A

Research on Structural Optimization and Application of Automatic Slag Removal Machine in Runoff Hydropower Station

TAN Jinquan
Datang Chongqing Branch, Yuneng (Group) Co., Ltd., Chongqing, 408500, China

Abstract: This paper studies the application of automatic slag removal machine in runoff hydropower stations, focusing on its key role in improving cleaning efficiency, reducing manual slag removal costs, and enhancing the management efficiency of hydropower stations. Through a detailed analysis of the existing cleaning problems at the water intake of the Daxi River third level station, a system based on a fully automatic rotary cleaning machine was designed. The system achieved efficient cleaning and unmanned operation through optimized structure and automation control technology. Research has shown that the application of this technology not only significantly improves cleaning efficiency and reduces downtime, but also effectively reduces manual intervention and operational safety risks, playing an important role in promoting the economic benefits and safety management level of hydropower stations.
Keywords: automatic slag removal machine; runoff hydropower station; structural optimization; cleaning efficiency; unmanned management

引言

径流式水电站取水口的清污作业长期以来依赖人工捞渣，这一过程不仅效率低下，而且存在较高的作业风险，尤其是在汛期和高水位时，人工捞渣更是难以高效进行。为此，本研究着重探讨自动捞渣机在水电站中的应用，并对其进行结构优化，以期提高清污效率，降低人力成本，确保设备的稳定运行及安全性。大溪河三级站取水口是研究的重点，其取水口清污自 2003 年投入使用以来，面临着频繁堵塞、清理效率低和人员安全隐患等问题。通过引入自动化清污技术，可以有效解决这些问题，推动水电站向无人化、智慧化管理迈进。

1 研究背景与现有问题

大溪河三级站取水口的拦污栅自 2003 年投入使用以来，已经连续运行超过 22 年。尽管该设施在初期的运行中发挥了拦截漂浮物的基础作用，但由于未配备专门清污设备，清污作业完全依赖人工完成，随着运行时间的延长，人工捞渣的弊端日益凸显，主要表现为效率低、风险高以及劳动强度大。每年，由于取水口的堵塞问题，电站需停机捞渣约 18 次，每次停机需长达 24h，这不仅浪费了大量的时间，还造成了约 400 万 kW·h 的年发电量损失。尤其是在汛期高水位情况下，人工捞渣几乎无法及时完成，进一步加剧了电站的运行压力。

此外，人工操作过程中存在较大的安全隐患，尤其是在临水作业时，工作人员容易发生落水等安全事故，威胁到人员生命安全。而在环保方面，漂浮物的清理往往不及时，可能导致环境污染，进而引发社会舆论问题，损害电站的社会形象。这些问题迫切需要通过引入先进的自动捞渣技术来解决，从而提升清污效率，减少人工风险，并有效保证环保合规，确保电站的长期安全稳定运行。

2 自动捞渣机的设计与应用

2.1 设备选型与安装

为了解决大溪河三级站取水口现有人工捞渣效率低、作业风险高以及人工成本高的问题，项目前期对比了 3 种主流清污技术：抓斗式清污机（单次清污量 5t，但需间歇作业，适应水深≥5m）、液压式清污机（清污效率 15t/h，但维护成本高）、全自动回转式清污机（连续作业，适应水深 2～10m）。结合大溪河三级站“水深 3～6m、漂浮物持续流入”的特点，最终选择 2 套 HQN7m×12.7m-80°全自动回转式清污机（每套含 2 台单机，共 4 台），其连续作业能力可避免间歇停机导致的漂浮物堆积。这些设备的选型旨在通过自动化技术提高清污效率，减少人工干预，确保设备长期稳定运行，并显著降低人工成本。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

该清污机的设计具有以下优势：

清污能力：每台清污机的设计清污能力为 20～30t/h，能够持续高效地清理漂浮物，避免了传统人工捞渣过程中因停机捞渣而导致的发电量损失。清污机的全过水断面设计进一步提升了清污效率，确保没有清污盲区。这种设计使得清污作业能够覆盖取水口的整个水面，彻底清除漂浮物，有效避免堵塞现象，保障水流畅通。

结构设计：该设备采用一体双机式设计（每套含 2 台单机），并内置减速机，具备无障碍型结构。这种设计消除了外部设备干扰造成的故障风险，设备结构紧凑且稳定，能够适应复杂水域的作业环境。设备每台配备高强度牵引链条与回转齿耙系统，齿耙可以精确插入栅条，深度适宜，能够高效带离附着的漂浮物。设计中的高强度牵引链条确保了设备在长时间运行中的可靠性与稳定性。针对大溪河三级站取水口漂浮物（以树枝、塑料为主）和水流冲击特点，对清污机核心结构进行了针对性优化：

（1）齿耙结构优化：将原有标准齿耙的间距从 10cm 调整为 8cm，齿尖角度从 30°增至 45°，并在齿耙末端增加 0.5cm 厚耐磨橡胶层——优化后对细小漂浮物的抓取率提升 30%，且减少齿耙与栅条的刚性碰撞磨损；

（2）牵引链条张紧度自适应调节：在链条传动系统中增加压力传感器，当漂浮物负载过大时（超过 50kg/齿耙），自动调节张紧度并降低运行速度，避免链条断裂——解决了传统设备因瞬时过载导致的停机问题。

智能控制：该设备配备基于 PLC（可编程逻辑控制器）的智能控制系统，配套开关电源、网络通讯模块（支持以太网通讯）及人机交互界面，实现三大核心功能：

（1）远程控制与监控：通过电站中控室平台可远程启停设备、调整运行参数，并实时查看清污状态（如齿耙运行速度、清污量统计）；

（2）信号与故障判断：内置电流、温度等传感器，可自动识别链条卡滞、电机过载等故障，触发声光报警并上传故障代码；

（3）灵活切换模式：支持手动（现场操作）、自动（按水位自适应）、定时（预设时段运行）三种模式无缝切换，满足不同工况需求。

该设备安装于取水口拦污栅下游侧，通过齿耙与拦污栅的精准对接实现全过水断面覆盖。清污机的回转半径和齿耙长度根据取水口宽度（12m）设计，确保从水面到水底的漂浮物均能被有效抓取，配合连续运行模式，显著提升了清污效率，减少了传统人工捞渣方法所带来的停机时间和人工成本，为大溪河三级站的高效运行提供了技术保障。

2.2 土建工程与配套设施

在自动捞渣机设备安装过程中，土建工程的设计与改造同样至关重要。为了确保设备的长期稳定运行，并保障后续的维护与操作安全，项目不仅在设备安装时进行了周密的规划，还同步进行了土建工程的建设和配套设施的完善。

首先，底板基础是整个系统稳定运行的基础。本项目浇筑了长 16m、宽 6m、厚 0.6m 的钢筋混凝土底板基础（C30 混凝土，内置 Φ20mm 螺纹钢网格，间距 15cm），为清污设备及配套传输系统提供了坚实的支撑。这一基础的设计充分考虑了水流冲击力（最大 1.2kN/m^2）、设备自重（单套清污机约 8t）及漂浮物瞬时负载，通过有限元分析验证，可承受长期复合荷载，基础沉降量控制在≤2mm/年，有效避免了设备运行中的震动或位移。

其次，针对 4 台清污机的安装稳定性需求，项目在底板基础上浇筑了 2 道钢筋混凝土承重墙（高 3.5m、厚 0.8m、长 12m），墙体与底板基础整体浇筑，内部植入 Φ25mm 竖向钢筋（间距 20cm）。清污机通过预埋螺栓固定在承重墙上，螺栓嵌入墙体深度≥50cm，确保设备运行时的径向和轴向稳定性，彻底解决了单纯立柱支撑的结构薄弱问题。

再次，项目在施工过程中同步建设了传输平台与垃圾堆放平台，以确保清理后的污物能够顺利输送和集中存放。传输带平台（长 20m、宽 1.5m）采用钢结构支架与混凝土面板组合设计，与清污机出料口精准对接，确保污物通过皮带输送机系统高效转移至垃圾堆放平台。垃圾堆放平台（长 10m、宽 8m、高 1.2m）采用混凝土围挡设计，容量满足 3 天清污量存放需求，平台底部设置排水孔避免积水，为后续污物外运提供便利。

最后，项目配套建设了设备操作间（长 4m、宽 3m），内置控制柜、电源柜及应急操作装置，操作间采用防水设计，确保电气系统不受潮湿环境影响。

这些土建工程不仅为清污设备的安装提供了坚实的基础，还确保了整个清污系统在运行过程中高效、稳定地运作，为设备的长期稳定性和安全性提供了必要的保障。

2.3 施工技术与实施方案

为了确保自动捞渣机设备的顺利安装与土建施工的高效进行，本项目采用了多项先进的施工技术和实施方案，确保了施工过程中的稳定性和安全性。

首先，由于施工区域位于水域环境中，为了避免水流对施工进度的干扰，项目采用了围堰截流技术。该技术通过使用黏土沙袋围堰（高 2m、顶宽 1.5m），配合防渗膜铺设，成功隔离了施工区域的水流，使施工区域保持干燥，确保了基础开挖和混凝土浇筑能够顺利进行。通过这一技术，施工团队能够在不受水流影响的情况下完成底板基础和承重墙的建设，为设备的稳固安装提供了理想的环境。

在设备吊装与安装方面，为了确保 4 台清污机能够精准对接承重墙，本项目选用了 50t 吊车进行吊装（考虑设备自重及安装高度）。通过钢索吊装带与平衡梁的配合，将清污机缓慢吊至安装位置，利用激光水平仪校准垂直度（误差≤0.5°），再通过预埋螺栓固定。安装过程中重点控制相邻清污机的齿耙衔接间隙（≤5cm），避免出现清

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

污盲区。

最后，电气系统调试是本项目的关键步骤之一。项目组通过精确的线路铺设（动力线与信号线分开穿管，避免干扰）、控制柜安装和设备与控制系统的连接，完成了设备的电气系统调试工作。调试内容包括：

（1）通讯测试：验证 PLC 与中控室的信号传输稳定性，确保远程控制指令响应时间≤1s；

（2）功能测试：模拟不同故障（如链条卡滞、水位突变），验证报警系统和自动保护功能；

（3）联动测试：测试清污机与传输带的协同运行，确保污物输送顺畅。

通过这些先进的施工技术和实施方案，本项目顺利完成了清污设备的安装与调试，为后期设备的高效、稳定运行奠定了坚实的基础，并为类似项目的实施提供了宝贵的经验。

3 自动捞渣机的技术路线

3.1 关键技术与技术难点

本研究的关键技术包括一体双机回转式清污机的集成应用、适配性土建施工与设备安装技术，以及高效运行与智能控制技术。每项技术都针对现有问题提出了有效的解决方案，以确保清污设备在不同工况下都能稳定高效地运行。

一体双机回转式清污机：该技术通过集成化设计，实现了拦污与清污一体化操作。传统的清污设备往往存在拦污栅与清污机之间的衔接问题，而一体双机回转式清污机通过将拦污栅和清污功能融为一体，避免了传统模式中的设备连接问题，减少了设备间协调的复杂性，提高了清污效率。

土建基础适配性：由于设备安装的位置及现场环境的复杂性，土建基础的设计需要确保设备的稳定性和长期运行的可靠性。为此，项目采用了精确的土建工程设计和施工，通过浇筑钢筋混凝土基础以及设备吊装时的精准定位，确保了清污机设备的稳定性，避免了安装过程中可能出现的位移或不稳定问题。

智能控制系统：本项目设计的智能控制系统包括手动、自动和定时三种模式，并通过水位传感器与电气控制系统的配合，确保设备能够在不同水位条件下稳定运行。传统的人工捞渣方式容易受到水位变化的影响，导致清污工作中断，而本系统通过实时监测水位并自动调整设备的运行参数，保证了设备在枯水期和汛期等不同水位条件下的稳定清污能力。

3.2 技术难点的解决方案

在实际应用过程中，自动捞渣机面临着多个技术难点，尤其是水位变化对清污效率和设备稳定性带来的挑战。为了有效解决这些技术问题，本研究提出了精确的解决方案，并结合实际工况进行优化，以确保设备在复杂水文环境下仍能高效、稳定地运行。

水位适应性：水位变化是影响清污效率的重要因素，尤其是在枯水期和汛期时，水位波动较大，往往会导致清污效率显著下降。传统的清污方式无法有效应对这种变化，因此水位的自适应控制成为本项目的一个关键技术难点。为了应对这一挑战，本项目设计了水位自适应控制机制。该机制通过实时监测水位的变化，自动调整清污机的运行参数。例如，当水位较低时，系统会自动增强拦污功能，以捕捉更多的漂浮物，确保即使水流较小，也能达到最佳的清污效果；而在水位较高时，设备则会增加清污频率，确保能够及时清理更多的漂浮物，避免因漂浮物堆积而影响水流通畅。这一设计有效地保证了设备能够在不同水位条件下高效稳定地清污，解决了传统手动清污过程中因水位变化导致的清污中断问题。通过这种灵活调整的机制，自动捞渣机能够应对各种水位变化，维持稳定的工作状态，大大提升了清污效率和设备的适应性。

设备稳定性：设备在长期运行过程中需要承受较大的水流压力和负载，因此保证设备长期稳定性是项目成功的关键因素之一。在设计过程中，我们特别注重了设备基础的稳固性和长期承载能力。本项目采用了高强度钢筋混凝土基础，确保设备可以承受长期水流冲击和重负荷作业的压力。通过精确的施工管理，确保了基础的平整度和稳定性，避免了由于基础不稳导致的设备震动或位置偏移，从而保证设备的长期稳定运行。设备的底板和平台的建设也采用了严谨的技术标准，确保每个环节都达到设计要求，特别是在水流压力较大的情况下，设备仍能保持精确稳定的运行。

精准安装与定位：为了进一步确保设备的稳定性，项目采用了精准的吊装技术。在设备吊装过程中，使用了高精度测量工具和仪器，确保清污设备的每个部件都能够精确安装到预定位置。通过钢索和支撑架结构的结合，设备得以稳固吊装，并确保了安装过程中的垂直度和稳定性。设备安装时的精确定位确保了设备与基础平台之间的配合默契，减少了设备运行过程中因安装误差导致的偏移或震动。

通过以上一系列技术方案的实施，成功解决了水位变化对清污效率的影响以及设备稳定性的问题，不仅提升了自动捞渣机的适应性和可靠性，还为电站的持续稳定运行提供了强有力的技术保障。这些技术创新确保了清污系统能够高效运行，显著提高了水电站的运行效率，并为未来类似项目提供了宝贵的技术经验。

4 项目实施与预期成果

4.1 技术指标

本项目的核心目标是提升清污效率，并确保设备的长期稳定运行，达到显著的技术指标。根据项目设计方案，清污机的清污能力将提升至 20～30t/h，能够在取水口实现全过水断面的连续清污作业。这一改进能够有效避免由

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

于人工捞渣的低效率导致的停机时间，确保电站运行的连续性和高效性。通过自动化设备替代人工操作，不仅能够提高清污效率，还能大幅减少停机时间，保障了电站的正常发电。

经济效益方面，项目预计每年将增加约 400 万 kW·h 的发电量，相较于人工捞渣系统所造成的能源损失，显著提升了发电效益。同时，采用自动捞渣技术后，每年可以节省约 5 万元的人工捞渣成本，这部分节省的费用将为电站提供更好的经济回报。考虑到项目的总投资为 149.72 万元，预计该项技术改造将在 2 年内收回投资，体现了其优越的投资回报率。

4.2 管理与环保目标

在管理层面，本项目的最大创新在于实现了清污作业的无人化，避免了传统人工操作的安全隐患。人工捞渣作业存在临水临边的安全风险，尤其是在高水位时，操作人员容易发生落水事故。通过引入全自动化清污系统，所有操作均由设备自动完成，消除了人工干预，确保了作业环境的安全性。这不仅提高了工作效率，还为电站创造了更加安全、健康的工作环境。

在环保方面，项目也做出了积极的贡献。通过自动捞渣机的持续高效清污，浮动物能够及时被清理，避免了漂浮物在水域内的积聚，减少了对水体的污染。由于清污效率的提升，电站避免了环保舆情事件的发生，进一步提高了电站的环保合规性。项目的环保合规目标不仅满足了国家环保要求，还提升了电站在社会公众中的形象和信誉度。

综上所述，本项目不仅在技术上实现了清污作业的自动化升级，在经济效益、管理安全和环保合规方面也带来了显著的改善。通过技术创新与管理优化，项目为电站的可持续发展提供了强有力的支持。

5 结论

通过引入自动捞渣机技术，径流式水电站的取水口清污作业效率得到了显著提升。自动化控制系统（含 PLC 及远程监控功能）不仅解决了人工捞渣效率低、风险高等问题，还通过优化的土建结构（如承重墙、加厚底板）保障了设备稳定性，最终实现了降低人工成本、增加发电量的目标。该技术的成功应用为水电站的智能化管理提供了实践经验，也为类似电站的清污技术改造提供了宝贵的参考。未来，随着技术的不断优化，自动捞渣机将在更多电站中得到广泛应用。

[参考文献]

[1]陈洪波.捞渣机器人轨迹规划及跟踪控制研究[D].甘肃:兰州交通大学,2021.
[2]刘慧敏,王燕龙,关志成.浅析捞渣机转速自动控制在330MW机组的应用[J].电力设备管理,2021(6):88-89.
[3]孙建国,石家魁,孙殿承,等.火电机组GBL型捞渣机系统的优化改造策略[J].自动化仪表,2020,41(12):34-37.
[4]张效源.典型捞渣机的可靠性提升技术分析[J].集成电路应用,2021,38(10):222-223.
[5]王顺.基于视觉引导的捞渣机器人系统开发与应用研究[D].北京:冶金自动化研究设计院,2021.

作者简介：谭金权（1980.12—），男，毕业院校：中央广播电视大学，所学专业：行政管理，当前就职单位：渝能（集团）有限责任公司小水电管理中心，职务：小水电管理中心专责，职称级别：中级电气工程师。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

柬埔寨某水面光伏发电工程总体方案比选分析

莫海蓉
云南东南亚经济技术投资实业有限公司，云南 昆明 650100

[摘要]水面光伏发电工程凭借着发电量高、建设周期短、土地占用少、有利于优化能源消费结构，具备规模化开发的潜力，已逐渐成为投资者争相参与的热点项目。水面光伏发电工程总体方案设计是该工程设计的重要环节，合理的总体方案设计有助于实现项目经济效益、缩短施工周期、便捷运营管理。文章以柬埔寨某水面光伏发电项目为例，通过开发规模、电气系统、土建工程等方面进行方案比选，确定最佳方案，东南亚地区同类水电光伏项目的开发建设提供技术参考和实践经验。
[关键词]柬埔寨；水面光伏发电；总体方案；方案比选
DOI：10.33142/hst.v8i8.17339　　中图分类号：TV672　　文献标识码：A

Overall Scheme Comparison and Analysis of a Water Surface Photovoltaic Power Generation Project in Cambodia

MO Hairong
Yunnan Southeast Asia Economic and Technological Investment Industrial Co., Ltd., Kunming, Yunnan, 650100, China

Abstract: Water surface photovoltaic power generation projects have gradually become a hot topic for investors to participate in due to their high power generation, short construction period, low land occupation, and the potential for large-scale development, which is conducive to optimizing energy consumption structure. The overall scheme design of water surface photovoltaic power generation project is an important part of the project design. A reasonable overall scheme design can help achieve project economic benefits, shorten construction period, and facilitate operation and management. The article takes a water surface photovoltaic power generation project in Cambodia as an example, compares and selects the best plan through development scale, electrical system, civil engineering, and other aspects, and provides technical reference and practical experience for the development and construction of similar hydropower photovoltaic projects in Southeast Asia.
Keywords: Cambodia; water surface photovoltaic power generation; overall plan; scheme comparison

引言

近几年，柬埔寨国经济发展迅速，人民生活水平持续提高，电力需求快速增长。然而，该国电力供应结构过度依赖水电，在干旱少雨季节，电力供应缺口严重，严重影响该国的经济发展及社会稳定。亚洲开发银行最新研究报告指出，柬埔寨平均日照时间为6～9h/d，平均日辐射量为5kWh/m^2，太阳能资源非常丰富，水平面年太阳总辐射量处于 1607～2045kWh/m^2 的区间，具备大规模开发利用太阳能资源的良好条件。以菩萨省斯某水电站库区为例，该处太阳总辐射量年均超过1700kWh/m^2，太阳能资源属“资源很丰富”等级，是理想的光伏发电厂址，另外采用水面光伏技术，可实现“水光互补”的协同效应，是水面光伏发电项目绝佳选址。

本文以柬埔寨某水面光伏发电项目为例，开展水面光伏发电工程总体方案设计。在设计过程中，结合工程实际现状及各方面影响因素，由整体到局部展开分析，通过多方案比选，选择技术合理、设计先进、投资效益好，环境友好的建设方案。

1 项目概况

1.1 地理位置与自然条件

项目位于柬埔寨菩萨省某水电站一级水库水电站坝前水库中比较开阔的水面区域，场址南面与国公市相距约60km，北面距离列文县城约为60km。光伏场区占水面总面积约 237 万 m^2，一级水库正常蓄水位 515.0m、设计死水位 510.0m，水位变化较大。库区属于典型的热带季风气候，水文气象条件如表 1 所示。

表 1　项目水文气象条件表

序号	气象要素	单位	数值
1	多年平均气温	℃	25.9
2	多年极端最高气温	℃	40.5
3	多年极端最低气温	℃	13.3
4	年平均降水量	mm	2650
5	年平均蒸发量	mm	1440
6	年平均降水量	%	77
7	年最大风速	m/s	20
8	年平均风速	m/s	2.5

经分析，场区水文气象条件对光伏发电电池组件及逆变器安全性影响较小，在进行组件支架设计时需要考虑风荷载的影响，地处水电站水库区，水面不仅可以稳定气温，还对太阳辐射会有一定反射作用，有助于光伏电站的发电

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

效率，需要注意的是水面周边湿度较大，在进行设备选型要考虑具有抗 PID 功能的设备。

1.2 太阳能资源

按照《太阳能资源评估方法》（GB/T 37526—2019）要求，太阳能资源丰富程度以太阳总辐射年总量为指标可划分成 4 个等级，如表 2 所示。

表 2 太阳能资源丰富程度等级

序号	太阳总辐射年总量	资源丰富程度
1	≥1750kWh/（m^2 a）	资源最丰富
	6300MJ/（m^2 a）	
2	1400～1750kWh/（m^2 a）	资源很丰富
	5040～6300MJ/（m^2 a）	
3	1050～1400kWh/（m^2 a）	资源丰富
	3780～5040MJ/（m^2 a）	
4	＜1050kWh/（m^2 a）	资源一般
	＜3780MJ/（m^2 a）	

依据 Meteonorm7.1 数据库综合评估可得到所在地水平面太阳总辐射量年均为 6182.68MJ/m^2，经换算约为 1717kWh/m^2，按照太阳能资源评估标准，属于“资源很丰富”等级，接近于“资源最丰富”程度，且光资源稳定，因此，所选场址具有较高的太阳能资源开发利用价值，适合建设大型光伏发电。

1.3 方案设计背景

柬埔寨经济发展迅速，对电的需求日益增强；该国太阳能资源充足，光伏发电技术成熟，可进行光伏发电开发以增加发电量；既有水电站受雨水影响，发电量不稳定，而水面光伏电站通过“水光互补”协同机制，采取“日夜互补”“季节互补”等方式，可实现“水电+光电”形式电力的稳定可靠供应。

2 总体布置方案设计

工程总体方案设计的选定需要通过多方案比选，本次结合开发规模、电气工程及土建工程等方面因素，综合开展水面光伏电站工程总体方案设计。

2.1 开发规模

既有水电站为坝后式电站，水库设计正常蓄水位 515m，死水位 510m，经现场调查，电站在枯水期的实际运行水位已低于死水位 510m，大约为 508m。因此，水面光伏项目漂浮式光伏发电系统按照水位高程低于 510m 与 508m 这两种情况，进行不同方案规划。

鉴于工程所处水域面积较大，为降低成本，设计、组装方便，采用了“分块发电、集中并网方案”的“模块化”技术方案。分块发电基本单元为光伏子方阵，方阵采用两级汇流的方案，每 30 块 690Wp 单晶硅光伏组件组成一个光伏串列，每 14～15 串接入一台直流汇流箱，每 14 台直流汇流箱接至 1 台 3150kVA 的箱变逆变一体机（含低压柜），从而组成一个 4.14MWp 的光伏子方阵。

规划一（508m 水位线）可利用水域面积 2051012m^2，按照规则布置原则，可布光伏子方阵 27 个，光伏电站占用面积 880020m^2，占用面积比 42.91%，装机容量直流侧 111.78MW、交流侧 84.375MW，年均发电量 15224.20 万 kW·h。

规划二（510m 水位线）可利用水域面积 3614197m^2，按照规则布置原则，可布光伏子方阵 41 个，光伏电站占用面积 1336327m^2，占用面积比 36.97%，装机容量直流侧 173.88MW、交流侧 131.25MW，年均发电量 23682.09 万 kW·h。

综上，规划二的装机规模、水面利用面积和年发电量均优于规划一，因此选择规划二。

2.2 电气工程

2.2.1 接入系统方案

本水面光伏项目依托于既有水电站，而现有的一级电站~欧桑 115kV 线路容量无法满足光伏电站输送容量要求，需单独新建送出线路至 230kV 欧桑变。

通惠水面光伏电站拟新建一回 115kV 或 230kV 线路至欧桑变，线路长度约为 10.5km，两种接入方案具体如下：

方案一：水面光伏电站以 115kV 电压等级接入 230kV 欧桑变。本方案水面光伏电站新建一台 115kV 主变压器，采用一回 115kV 线变组间隔送出，送出线采用一回 115kV 架空线路接入 230kV 欧桑变，线路长度约为 10.5km，230kV 欧桑变侧新建一个 115kVGIS 间隔，一台 230kV 主变。

方案二：水面光伏电站以 230kV 电压等级接入 230kV 欧桑变。本方案水面光伏电站新建一台 230kV 主变压器，采用一回 230kV 线变组间隔送出，送出线采用一回 230kV 架空线路接入 230kV 欧桑变，线路长度约为 10.5km，230kV 欧桑变侧新建一个 230kV 常规设备间隔。

两个方案均能满足输送要求，从成本投入方面分析两种方案主要不同处工程量，得出：方案一较方案二电气一次设备投资高约 258 万元、送出线路部分设备投资低约 680 万元，电气二次设备投资低约 81 万元，总设备投资低约 503 万，因此优选方案一，光伏电站以 115kV 电压等级接入对侧 230kV 欧桑变。

2.2.2 115kV 配电装置选型与布置

水面光伏项目升压站 115kV 进线 1，出线 1 回，采用线变组接线。115kV 配电装置可选方案有两个：（1）SF6 全封闭组合电器（GIS）设备户外布置，（2）常规设备户外敞开式布置，两者对比分析如表 3 所示。

表 3 115kV 配电装置方案对比分析表

序号	方案名称	方案特点
1	方案 1：采用 GIS 设备户外布置	占地面积少；运行可靠性高，外绝缘事故少；GIS 设备价格与常规敞开式设备相比稍高
2	方案 2：采用常规设备户外敞开式布置	设备成熟可靠，与 GIS 设备相比具有价格优势；设备状态明晰，符合常规调度命令，维护简单；占地面积较大

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

经分析，方案 1 虽然价格高于方案 2，但其具有占地面积少、可靠性高、免维护等优点，出于安全考虑，优选方案 1，即采用 SF6 全封闭组合电器（GIS）设备户外布置。

2.3 土建工程

本工程大部分设备置于水面之上，因依托水体环境，其土建设计、施工及材料选择需充分适应水上特殊条件。下面重点分析光伏板基础开展材料及结构分析。

（1）浮体材料

对比分析高密度聚乙烯、发泡混凝土及竹子，见表 4。

表 4 浮体材料方案对比分析表

序号	材料名称	材料特点
1	高密度聚乙烯	耐腐蚀，耐气候性强，寿命长，维修成本低，无污染、不破坏环境，浮筒韧性好，抗环境应力开裂性强，承载力高，重量轻，耐磨性强，便于安装和搬运，运输转移成本低，材料成本相对较高
2	发泡混凝土	轻质，整体性能好，低弹减震性好，耐腐蚀性能好，环保性能好，材料价格低，强度偏低，易开裂、吸水
3	竹子	易获取，环保性能好，易腐蚀生虫，加工、运输麻烦

对比分析可知，高密度聚乙烯由于其耐腐蚀等优点，依然是现在水面光伏浮体的主要材料，其主要缺点是造价较高会随着材料制造技术的进步而逐渐弱化。

（2）支架材料

对比分析玻璃钢、不锈钢及镀锌钢，见表 5

表 5 支架材料方案对比分析表

序号	材料名称	材料特点
1	玻璃钢	质轻而硬，不导电，性能稳定，机械强度高，回收利用少，耐腐蚀，弹性模量低，长期耐温性差，易老化
2	不锈钢	耐化学腐蚀和电化学腐蚀，耐热、耐温，力学性能好，工艺性能好，造价昂贵
3	镀锌钢	耐腐蚀能力强，力学性能较低，使用寿命较低，材料价格中等

由于考虑到老化等情况，镀锌钢或者不锈钢是现在主要的选择，但不锈钢造价较高，因此一般离水面较远的地方首选镀锌钢，离水面较近的地方需要选择不锈钢。本项目考虑到经济性及使用寿命等情况，不采用支架形式，而是采用全浮体形式支撑光伏组件，既比不锈钢具有更好的经济性，也避免了镀锌钢的使用寿命问题。

（3）光伏阵列浮体

本工程光伏组件采用全漂浮式水上固定方式，利用漂浮物柔性相连形成漂浮式基础，将光伏组件、逆变器、汇流箱、电缆等器件固定在漂浮式基础上，利用锚固系统形成可抵抗风、浪、流的漂浮式水面光伏浮体阵同时也减少维护时的停电时间方面远高于敞开设备列。目前漂浮式水面光伏浮体形式主要有全浮体式、浮体支架式和浮管式。其特点见表 6。

表 6 支架材料方案对比分析表

序号	结构名称	结构特点
1	全浮体式	优势：该支架系统仅使用少量的钢连接件，无须钢支架，用钢量少，减轻浮体上重量。连接件少，安装及维修更换简单方便。环境友好，对环境产生的影响小。 劣势：需要浮体数量较大，成本稍高
2	浮体支架式	优势：可调整光伏组件倾角，以达到最佳照射角度，提高发电量。 劣势：连接件多，安装复杂；用钢量大，光伏电站总体重量大导致浮体用量有一定的增加。由于钢结构用量大，方阵整体刚性强、柔性不足，整体稳定性差。
3	浮管式	优势：浮管作为浮体主要优点是原材料易获取，加工简单，通过浮管的长度优势，可以大幅减小连接件数量。 劣势：浮管形式最大的问题是浮力与负重不均衡，造成方阵凹凸不平。且浮管式因为横向贯通，一处破损会导致整行浮体下沉。



图 1 全浮体式



图 2 浮体支架式



图 3 浮管式

以上三种支架形式，全浮体形式的稳定性、可靠性更好。基于目前市场上全浮体形式应用最多，本项目推荐使用全浮体式水面光伏发电系统。

3 总体方案确定

本水面光伏项目采用 510 水位线规划规模，采用 41

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

个光伏子方阵，实现装机容量直流侧 173.88MW、交流侧 131.25MW，年均发电量 23682.09 万 kW·h。电气一次接入系统以 1 回 115kV 线路接入 230kV 欧桑变电站，线路长度约 10.5km；电气主接线采用防水电缆敷设在设备平台上的槽盒内，再接至新建的 1 个 115kV 升压站，各光伏方阵配套的箱变逆变器一体机布置于方阵中心或靠近道路处，直流防雷汇流箱就近安装于浮体上，115kV 配电装置、35kV 配电装置、接地变、二次设备、储能系统、无功补偿装置均采用预制舱布置，主变压器设计采用户外布置型式，115kV 配电装置采用 GIS 设备，35kV 配电装置室布置 35kV 户内手车式开关柜，主变 35kV 侧与 35kV 屋内配电装置连接采用全绝缘铜管母线；光伏组件拟采用全漂浮式水上固定方式，利用漂浮物柔性相连形成漂浮式基础，将光伏组件、逆变器、汇流箱、电缆等器件固定在漂浮式基础上，利用锚固系统形成可抵抗风、浪、流的漂浮式水面光伏浮体阵列。

经测算，项目静态总投资 73918.46 万元，工程建设动态投资（不含流动资金）75710.64 万元，工程总投资（含流动资金）76232.28 万元，建设期利息 1792.18 万元。单位千瓦静态投资 4251 元/kW，单位千瓦动态投资 4354 元/kW。建设工期为 12 个月。

经评估，项目按上网电价 0.5039 元/kWh 进行测算，相应项目投资财务内部收益率所得税前为 13.72%，税后为 13.15%；资本金财务内部收益率 20.82%；投资回收期为 7.61 年；总投资收益率为 9.16%，投资利税率为 7.19%，资本金净利润率为 21.09%，因此项目具有较好的盈利能力，在财务上是可行的。

4 结论与建议

本文从开发规模、电气工程及土建工程三个方面进行了多方案比选，分析各方案的优缺点，综合考虑水位情况、施工条件、运营管理、工程投资、经济效益等方面，最终确定水上光伏发电工程的总体方案：510m 水位线设计 173.88MWp 装机规模的水电光伏工程，一次电气以 1 回 115kV 线路接入 230kV 欧桑变电站，进而并入当地电网；光伏组件采用全漂浮式水上固定方式，利用漂浮物柔性相连形成漂浮式基础，将光伏组件、逆变器、汇流箱、电缆等器件固定在漂浮式基础上，利用锚固系统形成可抵抗风、浪、流的漂浮式水面光伏浮体阵列。电站建成后运行期 20 年内的平均上网电量 23682.09 万 kWh，年等效满负荷运行小时数约为 1361.98h，经财务评价，投资回收期为 7.61 年，总投资收益率为 9.16%。以本水面光伏项目为例的工程布置科学合理，可为类似水上光伏项目布置提供参考。

[参考文献]

[1]丁晓霞.山西开发水上光伏项目的技术方案研究与应用[J].山西水利科技,2023(1):34-36.
[2]赵树林,柳振海,黄玉佩.水上光伏电站支架基础形式研究[J].中国勘察设计,2023(1):53-55.
[3]陈传帅.煤矿塌陷区90MW水面光伏项目结构优化和可靠性分析[J].四川建材,2025,51(3):118-120.
[4]徐冬华.水上光伏发电升压站结构设计探讨[J].居舍,2025(12):115-118.
[5]喻旭明,张可,陈睿锋.模块化大跨度水上光伏支撑系统[J].太阳能,2024(1):89-94.
[6]翁赟,李德江,苏丽君,等.“以竹代塑”产品在海洋领域新应用：竹基海上光伏平台[J].世界竹藤通讯,2023,21(6):51-54.

作者简介：莫海蓉（1988.6—），女，毕业院校：湖北工业大学，所学专业：工程管理，当前就职单位：云南东南亚经济技术投资实业有限公司，职务：计划风险，职称级别：工程师。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

电力通信传送网中多业务承载能力优化与调度机制研究

常宛露 王松瑞 杨 洋
国网河南省电力公司郑州供电公司，河南 郑州 450000

[摘要]电力系统朝着信息化和智能化发展，电力通信传送网不再只用于调度自动化，多种业务类型（像视频监控、远程测控、智能终端通信等）都靠其承载，要保障网络高效运行、提高业务服务质量，就需优化其多业务承载能力并建立高效调度机制。文中从传送网结构入手，分析其当前的承载瓶颈与资源分配问题，探讨融合 SDN 和智能算法的调度策略并构建动态资源优化模型，希望提高网络灵活性、带宽利用率和可靠性，为电力信息通信系统的稳定运行提供理论支持与技术方案。

[关键词]电力通信；传送网；多业务承载；资源调度；网络优化
DOI：10.33142/hst.v8i8.17360 中图分类号：TM73 文献标识码：A

Research on Optimization and Scheduling Mechanism of Multi service Carrying Capacity in Power Communication Transmission Network

CHANG Wanlu, WANG Songrui, YANG Yang
Zhengzhou Power Supply Company of State Grid He'nan Electric Power Company, Zhengzhou, He'nan, 450000, China

Abstract: As the power system develops towards informatization and intelligence, the power communication transmission network is no longer only used for scheduling automation. Multiple business types (such as video surveillance, remote measurement and control, intelligent terminal communication, etc.) rely on it to carry. In order to ensure efficient network operation and improve business service quality, it is necessary to optimize its multi business carrying capacity and establish an efficient scheduling mechanism. Starting from the structure of the transmission network, this article analyzes its current carrying bottlenecks and resource allocation problems, explores scheduling strategies that integrate SDN and intelligent algorithms, and constructs a dynamic resource optimization model, hoping to improve network flexibility, bandwidth utilization, and reliability, and provide theoretical support and technical solutions for the stable operation of power information communication systems.

Keywords: power communication; transmission network; multi service carrying capacity; resource scheduling; network optimization

引言

电网运行和管理以电力通信网络为基础支撑且电力系统的稳定性与安全性直接受其性能影响，当下电力通信传送网正面临业务类型多样、带宽资源紧张、调度效率低等挑战，多业务融合承载不断上升的需求对资源优化与智能调度机制提出更高要求，本文想研究提升传送网承载能力的关键技术并提出一套实用的调度优化策略以给未来电力信息通信架构优化提供技术参考。

1 电力通信传送网的结构与业务特点

1.1 网络拓扑结构分析

电力系统信息流高效传递的核心平台是电力通信传送网，其拓扑结构常采用包含骨干层、汇聚层、接入层的分层架构，各层协同运作以构成高可靠性、高带宽、高灵活性的通信体系。光传送网（OTN）是骨干层的核心技术，骨干层传输能力强，大容量、高速率且抗毁，承载调度控制、远程测控等关键业务以保障电力主干通信链路稳定运行。汇聚层处在中间起承上启下的枢纽作用，负责多个站点的信息整合与调度，通常采用 SDH 或者 MPLS-TP 技术，可实现多业务接入、业务隔离和差异化服务管理。变电站、开关站以及继电保护装置、测控终端、智能表计、高清视频监控系统等现场终端设备直接与接入层相连，接入层支持以太网、光纤直连、4G/5G 无线等多种接入方式，兼容性和灵活扩展性很强。电力通信传送网为提高可靠性广泛应用双环网结构、自愈保护机制、多路径动态路由策略，在节点故障或者链路中断时可实现毫秒级倒换和业务快速恢复，从而使电网控制、调度等关键业务的实时性和连续性不受影响。

1.2 多业务通信类型划分

电网调度、配电自动化和智能终端迅速发展使电力通信传送网承载的业务类型变得多样化，包括传统调度业务、继电保护通信、远程测控、智能电表数据回传、视频监控、语音广播、运维数据上报、内部办公信息传输等，传统调度与继电保护通信对实时性和可靠性要求极高常采用专线隔离传输以避免干扰和丢包，远程测控和智能终端通信带宽适中但要保证低延迟和一定抗干扰能力，视频监控这类大流量业务对带宽要求高且时延容忍度稍强些，语音和办公类业务实时性要求相对低些但大并发场景下容易造成带宽占用不均，业务类型复杂多样通信网络得具备业务识别、优先级控制、带宽调配、服务等级保障等综合承载能力才能满足电力系统多维度的通信需求。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

1.3 当前承载能力的技术瓶颈

电力通信网络架构不断升级，但多业务高并发时仍有不少技术瓶颈，如带宽利用率低，关键业务优先独占大量链路资源导致非关键业务不能充分共享带宽而造成资源浪费；缺乏统一调度机制，多数电力通信系统靠传统静态配置，无法实现动态流量识别和灵活资源分配，不能快速响应业务突发变化；网络设备异构性强，不同厂商设备兼容性差、协议标准不同，限制了统一管理和协同调度能力；接入层部分设备使用传统串口或低速以太网接口，新型业务扩展受限，接口速率和并发能力无法满足未来发展需求；没有智能分析和预测机制，对业务流量趋势变化、链路负载状态等关键指标感知滞后，致使资源调度决策不及时、不准确，影响整体网络运行效率和稳定性。

2 多业务承载能力提升策略

2.1 网络资源虚拟化与分层管理

电力通信传送网业务类型多样、资源调度复杂，应对这一情况，提升多业务承载能力的重要途径是实施网络资源虚拟化与分层管理，引入 SDN（软件定义网络）和 NFV（网络功能虚拟化）等新兴技术后，能把物理网络资源抽象成逻辑资源池以支持灵活划分虚拟通道和业务路径，达成对链路带宽、转发节点、缓存资源等关键元素统一编排和精细化控制。在分层管理架构里，控制层和业务层分开，集中控制平台动态感知网络状态并统一下发调度策略，数据转发层只要执行策略就行，这大大简化了协议处理复杂度和设备配置流程，并且按业务等级划分不同虚拟网络，让调度保护类业务在高可靠虚拟专网里运行以确保其低时延和高冗余，普通监控或办公类业务则通过低优先级逻辑通道承载，从而实现“业务分层、路径分离、资源隔离”的目标。这种机制有利于跨设备、跨厂商环境下资源统一配置和升级，对构建弹性高效的网络承载平台有帮助。

2.2 业务识别与优先级分类机制

电力通信网络承载多种业务，要合理识别不同业务并划分优先级才能高效利用资源、保障关键通信质量，传统靠端口或地址识别的方式满足不了现代网络业务动态变化和识别复杂流特征的需求，深度包检测（DPI）技术能深入分析数据包内容、提取应用层特征以精准识别业务类型和行为模式，识别后可根据业务对带宽、时延、抖动、可靠性的不同要求构建权重模型划分优先级，将继电保护和调度控制类业务设为最高优先级以保证零丢包和毫秒级响应，将状态量上传和视频监控类业务设为中等优先级以保证连续性和流畅性，将办公数据和非关键信息类业务设为低优先级并在资源富余时调度，再配合 QoS（服务质量）策略，通过多级队列调度、带宽预留、抖动抑制、拥塞控制等手段增强网络在复杂多变环境中的应对能力并提升整体服务质量。

2.3 承载容量预测与动态扩容机制

多业务高并发环境下，未来发展需求单靠静态容量规划难以满足，得引入数据驱动的承载容量预测机制和动态扩容能力，采集和建模历史业务流量数据，使用时间序列分析、灰色预测模型或者机器学习算法（像 LSTM、XGBoost 之类的）就能精准预测业务增长趋势、日峰值变化规律以及突发事件影响，进而提前制定扩容计划，预测结果一出来就可能触发系统自动化策略，在资源紧张时启用备用链路、调节虚拟通道带宽或者临时重构业务路径，从而保障业务不中断且性能不下降。按“软扩容”理念，虚拟网络功能模块（像虚拟防火墙、虚拟负载均衡等）可动态加载以提高资源使用灵活性，有“硬扩容”需求时调度系统能给出扩容建议和路径切换策略，达成从规划、部署到调试的一体化管理，该机制不但能提升网络适应能力，还能降低长期运维成本并提高资源投资回报率，是电力通信网智能化、柔性化演进的关键一步。

3 智能化调度机制的优化设计

3.1 调度机制演进路径分析

电力通信传送网的调度机制从静态配置发展演进到半动态调度，再到智能动态调度。传统的调度机制以静态配置为主，靠人工确定固定路径和优先规则，虽然稳定可靠，但难以应对网络状态动态变化和多业务并发场景的复杂需求。随着网络设备智能化以及协议标准的完善，基于策略的半动态调度机制逐渐被引入，在预定义策略下能够在一定范围内进行路径选择和资源分配，但仍无法做到全局最优控制。如今，随着大数据、SDN 和 AI 技术的融合应用，调度机制朝着全局感知、实时响应、自主学习的方向发展。以后的调度模型需要具备动态路径选择和链路重构能力，根据历史数据和当前业务状态做出智能决策，从“被动响应”转变为“主动预测”。由于多业务并发调度存在冲突、资源抢占、服务等级差异等问题，调度策略需要从单一规则向多因子、多目标优化发展，以提升调度智能化和精细化水平。

3.2 基于 AI 的智能调度算法

电力通信网络调度机制被人工智能技术注入新活力，在网络状态复杂多变、设备异构、多业务承载场景下，AI 算法的决策优化与自适应能力很出色，常见的智能调度算法有强化学习、遗传算法、蚁群算法、粒子群优化等，拿基于强化学习的调度模型来说，可把电力通信网络建为马尔可夫决策过程（MDP），通过不断与环境交互学习调度策略以让服务效能与资源利用率最大化，蚁群算法模拟蚂蚁觅食行为，能在多条路径里找最短路径或者最优资源分配方案，适合多目标优化问题，遗传算法靠种群进化机制全局搜索调度方案，可避开局部最优陷阱，适用于业务波动大、调度频繁场景，AI 算法还能结合实时网络监测数据，实时分析链路状态、节点负载、业务流向等并动态调整转发路径和资源占用策略，引入多智能体协作机制后，不同调度节点就能自治协同，全网调度效率和服务连续性有效提升，从而真正实现“智能调度”体系。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

3.3 服务质量（QoS）保障策略设计

电力通信网络稳定运行，多业务并发、动态调度时，服务质量（QoS）保障是重要支撑机制，QoS 策略需从业务识别、性能评估、资源分配、反馈调节等多维度系统构建。由于业务对带宽、时延、丢包率和抖动需求存在差异，应据此制定服务等级划分机制，调度控制类业务因需保障带宽和低时延需求，可设为最高等级，视频监控类业务因关注流畅性和稳定性，设为中等级，办公类业务因在网络空闲时才分配资源，设为低等级；可采用队列调度机制优先转发，像加权公平队列（WFQ）、加权轮询（WRR）等算法可选，这样既能兼顾高优先业务的及时响应，又能兼顾低优先业务的公平性，部署带宽管理与拥塞控制策略，基于 TokenBucket 或者 LeakyBucket 的速率限制机制可保障链路负载均衡，而且 QoS 要动态调节，需引入反馈控制机制，通过网络性能指标实时监测，在某业务服务质量下降时自动提升优先级或者重规划传输路径，确保关键业务不受影响，网络可编程接口和策略控制协议相配合，QoS 机制就能实现跨设备统一调度与协同保障，从而为电力通信网构建稳定可靠高效的业务承载环境。

4 应用仿真与策略评估分析

4.1 仿真平台与网络建模

要验证多业务承载能力优化和调度机制是否有效需要依靠仿真平台构建可控且可重复的测试环境，NS-3、OPNET、OMNeT++等常用网络仿真工具能灵活配置网络拓扑、对多协议栈建模并进行高精度的事件驱动仿真，NS-3 可模块化配置以创建包含核心路由器、汇聚节点、接入设备等多层级的电力通信网络结构且传输方式有 OTN 骨干、SDH 中继、以太网接入等并能部署实时调度、监控视频、状态量上传、办公数据等多种业务流，在网络模型中添加 SDN 控制器可动态调用集中调度策略，添加 DPI 模块识别和分类业务后与智能算法调度模块一起进行路径优化、带宽分配、优先级调度，仿真系统的实时性能监测模块采集数据包传输状态、链路利用率、队列延迟等核心参数以便为后续性能对比提供详细依据，通过设置不同业务负载、网络拓扑变化、链路失效等场景可全面测试优化机制在多种工况下的响应能力和适应性。

4.2 优化效果的关键指标评估

网络优化策略效果的评估要靠一组综合性能指标来量化分析，像带宽利用率、平均传输时延、数据丢包率、业务响应时间、网络拥塞频次、服务质量等级满足率等都是核心指标，仿真测试显示，引入虚拟化资源分层管理和 AI 调度算法之后，整体带宽利用率平均提升超 20%且空闲链路资源调度更合理、冗余减少，关键业务路径优化重构后平均传输时延降到原有系统的 60%左右且网络高负载时响应也稳定，丢包率大幅下降，保护与控制类业务敏感性强且其端到端丢包率控制在 0.01%以下，比传统静态调度方案强很多，突发业务涌入或者链路切换时 AI 调度机制能在毫秒级完成路径重规划和带宽调整使业务恢复时间缩短到原有方案的一半以内，并且 QoS 等级满足率明显提高，关键业务在 99.9%的时间段能保持设定服务等级，整体系统服务稳定性和用户体验大大提升，这些数据足以表明优化策略在承载性能、调度效率和服务保障等方面全面提升。

4.3 方案可行性与推广性分析

从应用实践来讲，所提的多业务承载优化与调度机制具有不错的可实施性与推广价值，在软硬件适配方面，此方案以标准化协议和开放接口为设计依据，能兼容接入现有的 OTN、SDH、以太网设备且不依靠特定厂商设备，在存量网络分阶段部署很方便，智能调度与资源管理模块能灵活安置于控制层，通过与现有网络管理系统（NMS）或者 SDN 控制平台集成来完成调度策略在线调用与动态调整，从而降低实施门槛，再次在像智能变电站、主网调度中心、配电自动化系统这些典型场景中，该机制可直接用于现有通信网络，提升网络对多类型业务的融合承载与突发响应能力，让网络更智能、更具柔性，并且经过系统培训，通过功能模块逐步安置能实现平滑升级，使现有业务运行不受影响，将来与 5G、边缘计算、TSN（时间敏感网络）等新技术相结合，该策略有向超低时延、高同步性网络架构拓展的潜力，是推动电力通信网络朝着“智能感知—精准调度—弹性承载”方向演进的重要基础技术方案。

5 结束语

电力通信传送网多业务承载能力的优化与调度机制是本文系统研究的对象，从网络结构特性入手，对资源虚拟化管理、业务分类调度、智能算法应用以及 QoS 保障策略进行深入探讨，其有效性和可行性通过仿真平台得以验证，结果显示这个优化方案在提高带宽利用率、减少时延、提升服务稳定性上优势明显且推广应用前景良好，未来会进一步结合新技术深化实践探索。

[参考文献]

[1]刘保菊.智能电网通信网中业务驱动的高可靠路由算法研究[D].北京:北京邮电大学,2021.
[2]李永嫚,朱蔚然.现代光传送网技术及其在电力传输网中应用的探讨[J].通信技术,2020,53(6):1569-1574.
[3]涂昕.电力通信网IP与光层融合模型及协同控制技术研究[D].北京:华北电力大学(北京),2020.
[4]王耀声.巴彦淖尔地区电力通信网规划研究[D].呼和浩特:内蒙古大学,2020.
[5]崔翔,王凯亮,庞思睿.信通公司省地县光传送网实现电力广域资源调度[J].华北电业,2025(2):68-69.

作者简介：常宛露（1994.8—）女，河南省周口人，汉族，研究生学历，工程师，就职于国网郑州供电公司，从事电力通信网运维工作。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

电子技术在电力能源计量管理中的应用分析

王 兴
浙江新能量科技股份有限公司，浙江 杭州 310000

[摘要]随着我国社会经济的不断发展，在日常生产生活中的用电需求正在逐渐增大，为了进一步提升服务水平，需要加强电子技术在电力能源计量管理中的应用。利用电子技术能够实时监控用户用电情况，准确把握用电量信息，提升信息处理的速度和精确性。本篇文章对当前电子技术在电力能源计量管理中的现状进行分析，为加强电子技术的运用提供策略，并结合实际具体分析一种智能化电表技术的运用。

[关键词]电子技术；电力能源；计量管理
DOI：10.33142/hst.v8i8.17357 中图分类号：TM1 文献标识码：A

Application Analysis of Electronic Technology in Power Energy Measurement and Management

WANG Xing
Zhejiang New Energy Technology Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 310000, China

Abstract: With the continuous development of Chinese social economy, the demand for electricity in daily production and life is gradually increasing. In order to further improve service levels, it is necessary to strengthen the application of electronic technology in power energy measurement and management. The use of electronic technology can monitor users' electricity consumption in real time, accurately grasp electricity consumption information, and improve the speed and accuracy of information processing. This article analyzes the current status of electronic technology in power energy metering management, provides strategies to strengthen the application of electronic technology, and analyzes the application of an intelligent electricity meter technology in combination with practical situations.

Keywords: electronic technology; electric energy; measurement management

电力能源计量管理是对用户用电信息进行采集与处理的环节，具有信息量庞大、结构复杂的特点，在信息化时代下为电力能源管理带来了挑战。通过在电力能源计量管理中应用电子技术，能够对电力能源数据进行快速处理，帮助管理人员快速掌握电力能源的使用情况。在电力能源计量中运用电子技术，还能为电力系统设备改造提供参考，达到节能降耗的目的，促进电力产业的绿色可持续发展。

1 电子技术在电力能源计量管理中的应用现状和价值

1.1 电子技术的应用现状

电力能源计量工作的主要内容是对用户信息的采集、处理和存储，以及对数据的分析和对收费标准的评定等，在信息化技术飞速发展的时代背景下，电子技术在电力能源管理中的应用越来越广泛，当前电力能源管理中运用电子技术主要目的是为了提升电力能源管理的安全性，进一步加强对电力系统的全面科学管理。随着经济的不断发展，用户的用电需求也在逐渐增多，导致在用电过程中出现的问题也越来越多，为了解决这些问题，电力能源计量管理需要更加全面地掌握用户的用电情况，这就需要进一步加强对电子技术的运用[1]。因此当前我国电力能源计量管理中对电子技术的运用正在不断创新，朝着系统化、智能化的方向发展，对电子技术的运用不仅提升了电力能源计量的效率，还降低了计量人员的工作量，为电力系统的正常运作提供了可靠支撑。现阶段电力能源计量的发展趋势是进一步促进管理系统与用户服务的一体化水平，在提升工作效率与用户服务的基础上，实现环保节能的目标。

1.2 发展电子技术的应用价值

近年来我国电力能源管理系统正处于飞速发展之中，通过对电力能源计量技术的创新，已经获得了较为显著的进步，但是对电子技术的运用仍然有着较大的发展空间。电力作为保证生产生活正常进行的重要能源，在社会发展中起到关键性的作用，因此利用电子技术进一步促进电力能源计量管理的发展，对于社会进步有着重要意义。加强对电子技术的运用，能够提升电力能源计量结果的准确性，为电力能源管理提供可靠参考，以便于电力企业能够对资源配置加以优化，降低企业生产过程中产生的能源浪费，为企业带来更高的经济效益。不仅如此，利用电子技术能够快速获取用户的用电信息，帮助电力企业为用户提供更好的服务，以促进电力企业的长远发展。将电子技术应用于计量管理信息采集中，能够促进电力能源计量的智能化发展，做到对电力系统的智能化管理，降低人工操作带来的误差，减少系统运作过程中可能存在的风险，保证电网运行的安全性和稳定性。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

2 电子技术在电力能源计量管理中的应用策略

2.1 推动智能电表技术的广泛应用

当前我国很多地区电力能源计量管理采用的还是较为老旧的电表设备，不仅需要投入大量的人力资源从事计量管理，还不能保证计量结果的准确性。智能电表在电力能源计量管理和节能降耗中发挥着重要作用，通过智能电表，计量人员能够快速掌握用户信息，根据实际需求设置输配电价格和收费参数，降低计量人员的工作强度，还能为电力企业创造更大的经济价值，降低电网出现运行故障的风险[2]。运用智能电表还能全面掌握不同的用电高峰，帮助用户调整用电时间，尤其是在企业生产中能够帮助企业避免在用电高峰大量耗电，降低了企业生产产生的用电成本。

智能电表还能实现对电力系统的实时监控，掌握电路线损、电压等数据，为故障检测与维修提供参考。智能电表能够及时发现电路运行中存在的异常情况，通过上传故障警报的方式让管理人员掌握故障详情，找到故障源头，避免漏电等问题造成更大的影响，图 1 为一种智能电表的工作原理。

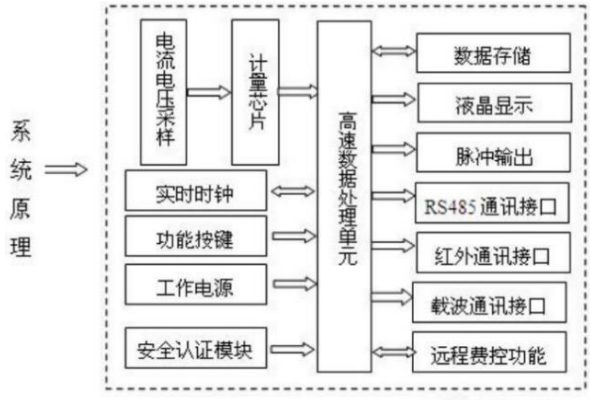


图 1 单相智能电表工作原理

2.2 加强对防窃电技术的应用

电力企业应对用户电力计量设备进行全面改造，通过检修发现电力计量设备中存在的不足，当缺少相应的计量设备时，要采用密封技术对线路回路和电力计量装置进行处理，并依据设备缺失情况制定对应的改造方案，对防窃电设备加以完善。在应用防窃电技术时，需要注意铅封是否做到密封，还要注意不同设备之间的排列组合，减少窃电技术的应用对其他设备造成的影响。在做好计量设备的改造后，要对传感器和计量设备的线路进行二次检查，做好进出线路的密封性处理，并检查确认线路绝缘性，避免存在线路外露等问题。为了避免窃电问题出现在二次回路上，还应安装好失压报警器，全面预防电力能源计量中的窃电问题。

2.3 在电力计量故障诊断中应用电子技术

电力能源计量装置的稳定运行是保证计量结果准确性的基础，在电力计量设备的运行过程中，可能会出现的故障包括装置自身故障、电压表短路等问题。当电力计量装置运行时间较长，并且所处的环境相对较为恶劣，就容易出现装置自身零件故障的问题，导致装置无法正常运行，计量结果存在一定误差，甚至影响到对用户的正常计费。电压表短路是电力计量中较为常见的故障，电压表中最重要的配件是电流线圈，当其在高负荷状态下长时间运转，极易出现短路问题，导致电压表记录的数值不够准确。

在计量管理系统中，应采用电子技术实现对故障的诊断与检修。较为常见的由数据模型诊断技术和信号诊断技术，当前主要依靠人力对系统进行检修，需要消耗较多的成本，还不能及时发现故障问题所在。利用电子技术进行故障检修主要是架构大数据检修平台，结合过去的计量设备检修经验，制定故障诊断知识库，当发现故障时要对故障信息进行收集，与信息库内资料进行对比计算，明确故障类型和故障来源。在故障诊断系统中，要根据计量设备的正常运作信息，建立起智能化诊断模型，智能化诊断模型具备故障预警能力，通过实时监控掌握异常信息，并对异常现象进行拍照记录，将信息传输给工作人员，使工作人员能够在出现故障前发现计量设备的运行异常，提前采取手段处理异常问题。

2.4 制定完善的电力能源计量管理制度

随着电力能源计量管理中对电子技术的进一步运用，以往的电力能源计量管理制度已经无法适应现有技术，因此要依据电子技术的应用情况，重新制定对应的管理标准。在电力能源计量管理中，应该明确将职责落实到对应的计量管理人员身上，并设置对应的考核制度，保证计量管理人员能够掌握最新的电子技术。并且在电路出现异常现场时，需要能够及时找到对应的责任人，在最短时间内处理故障信息，降低电路故障对用户造成的影响。

电力企业还应将节能降耗的理念融入到日常工作中，加强对计量管理人员的培训，提升相关人员的责任意识，自觉将节能降耗的思想融入到计量工作中，通过加强对电子技术的运用，进一步加强电力企业的节能降耗，充分发挥电子技术的价值，为企业创造更多的经济利润[3]。

3 电力能源计量管理中智能电表的特点和工作原理

3.1 智能电表的特点

与传统电表相比，智能电表具备一定传输信息的能力，能够满足远程通信需求，在实际运用中通过集成电感器收集信息，并将信息传输给计量管理人员，实现电力能源计量的远程抄表，如图 2 是一种远程抄表系统的运行结构。计量管理人员不仅能够通过智能电表获取用户信息，还能对电表进行远程管理，这一特点减少了电力资源计量管理中所需的人力资源，降低了计量人员的工作压力。此外与传统电表相比，智能电表还具备较高的准确度，运行耗能也相对较低，对于电力行业的发展有着重要意义。

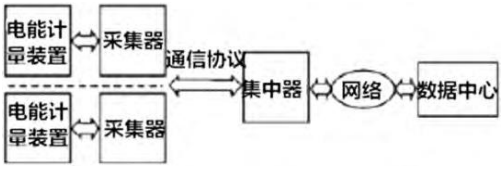


图 2 远程抄表系统结构

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

3.2 智能电表运行原理

在电力能源计量中，管理人员记录电表中的电流与电压，结合电表 IC，对收集到的信息进行处理，并利用单片机控制经过转化后的脉冲，这一脉冲与电量成正比。智能电表主要构成是电子元件，当前最新的智能电表不仅能够实现对用户情况的实时监控，还能对用电进行自动化管理。智能电表与传统电表的运行方式之间存在较大的差异，主要依靠数字信号获取用户信息，计量人员在获取数字信号后对其进行处理和分析，就能得到用户的用电信息。此外智能电表还能做到对电能的监测与存储，在发现异常情况后会对计量人员进行预警，还能实现对用户用电的控费和对用电需求的计算等。

4 智能电表在电力能源计量管理中的实际应用策略

4.1 对计量系统负荷进行预测

计量系统负荷预测是电力能源计量管理中的重要环节，关系到管理系统的正常运行。通过运用智能电表，计量人员能够在掌握用电信息后，对用户的用电量和计量管理工作状态进行预测，从而得到计量系统的负载情况，根据负载情况管理人员能够进一步保证供电稳定性。智能电表预测负载主要依靠神经网络和专家知识系统等先进技术，结合无线公共网络，例如 CDMA、GPRS 和 GSM 等，实现对用户用电信息的采集，并对采集的信息进行智能化处理，降低故障因素对供电安全造成的影响。利用智能电表预测负荷，能够提升电力额能源管理的经济效益，为管理系统的不断优化提供参考，有利于不断提升计量管理系统的稳定性[4]。

4.2 提升线损管理水平

由于线损管理中存在盲区，以及一些薄弱环节，在过去的线损管理中，需要投入大量人力物力对线路进行全面检修，管理效率相对较为低下，并且不能及时发现线路中存在的故障风险，电网安全性得不到保障。利用智能电表能够有效解决这一问题，通过智能电表获取电力能源计量管理数据，并对数据进行分析处理，就能得出线损信息，计算出线损数据。这种自动化管理模式有助于电力企业掌握用户需求，并及时发现线路中存在的安全隐患，加强对线损问题的控制。例如在实际运用中，电力计量系统能够对线损时间变化加以分析，提升信息的时效性，从过去对每月线损信息的记录过渡到每天的信息采集。

4.3 为故障分析提供可靠依据

由于电力系统的复杂性，为电力能源计量管理带来了较大的难度，当计量系统出现故障时，传统电表无法为计量人员提供故障参考，而智能电表能够将信息采集系统与企业管理系统结合起来，使信息传输更加流畅，在出现故障时工作人员能够很快收集好故障信息。在利用智能电表进行故障分析时，运用电力技术能够实现对用户的智能化甄别，明确用户不同类别，快速定位故障发生位置。智能电表不仅具有实时传输数据信息的功能，还能对历史信息进行存储，以便于电力企业对信息进行查阅，能够及时对用户进行信息反馈。通过对历史信息进行分析，电力能源计量管理人员能够掌握系统运行状况，分析出用电高峰，依据用电峰值时间段做好风险预警，提升应对紧急情况的能力[5-7]。在用电系统出现故障时，电力企业能够利用智能电表的提示功能，掌握电力能源计量信息，安排人员第一时间到故障现场进行检修处理，避免对电网的整体运行造成影响。

4.4 实现信息的双向反馈

传统电表主要由相关人员定期进行人工抄表，不仅无法实时掌握用电情况，还消耗了大量的人力物力，而智能电表最重要的功能就是能够实现自动抄表，提升了信息的时效性，降低了电力计量过程中的人力资源消耗。自动抄表的实现为用户和电力企业之间的信息双向反馈奠定了基础，结合 GPRS 通信网络，能够对信息进行初步的收集与处理，过滤不必要的信息，实现信息的传输功能。同时在用户端设置多路分配器，实现对用户数据的实时采集。利用智能电表不仅能够实现信息的双向传输，还能对信息数据进行初步校验，保证获取信息的真实性和可靠性，为电力能源计量管理提供了可靠数据来源。

5 结语

综上所述，在信息化时代下，将电子技术应用在电力能源计量管理的各个环节，不仅能够为信息采集与处理提供便利，还能为计量设备故障诊断和检修提供重要参考。电力企业应该认识到电子技术的重要性，加强对技术的引进与创新，转变传统主要依赖人工进行计量管理的方式，利用电子技术提升自身服务水平，促进企业发展。

[参考文献]

[1]尚怀赢,郑安刚,刘岩,刘婧.基于分层区块链技术的电力能源计量数据共享方法研究[J].自动化与仪器仪表,2025(2):54-57.

[2]肖冰雪.基于电力能源计量技术节能降耗应用研究[J].大众标准化,2024(10):4-6.

[3]徐鸣飞,冯珊珊.基于节能降耗的电力计量技术应用探究[J].模具制造,2023,23(11):199-201.

[4]肖龙飞,李丽,余庆吉.基于节能降耗的能源计量技术应用分析[J].产品可靠性报告,2023(10):83-85.

[5]崔巍.基于节能降耗的能源计量技术的应用分析[J].当代化工研究,2023(17):170-172.

[6]周华文,王明建,周翔.基于节能降耗的电力能源计量技术应用探究[J].大众标准化,2021(3):13-15.

[7]胡德鹏,祁骏飞,孟任,蒋井明,刘大明.生物制药企业电力能源管理系统应用[J].机电信息,2019(8):14-15.

作者简介：王兴（1991.7—），男，毕业院校：淮南师范学院；所学专业：电气工程及其自动化，当前就职单位：浙江新能量科技股份有限公司，职务：技术员，职称级别：工程师。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

架空送电线路架设导线防磨措施及应用研究

叶 扬
北京电力工程有限公司，北京 100071

[摘要]近年来，随着特高压、大容量输电工程的发展和极端气候频发，导线防磨需求要求也随之变高。然而，当前防磨措施仍存在系统性不足，施工工艺、防护装置与质量管理环节的亟待解决。本论文基于导线磨损的失效机理，深入剖析施工、环境、设备三大致因，针对性提出防磨技术体系与管理策略，旨在为提升线路全寿命周期可靠性提供理论支撑与实践参考。
[关键词]架空送电线路；导线磨损；电晕效应
DOI：10.33142/hst.v8i8.17353 中图分类号：TM75 文献标识码：A

Research on Anti Wear Measures and Application of Overhead Transmission Line Conductors

YE Yang
Beijing Electric Power Engineering Co., Ltd., Beijing, 100071, China

Abstract: In recent years, with the development of ultra-high voltage and large capacity transmission projects and frequent extreme weather conditions, the demand for wire wear resistance has also increased. However, there are still systemic deficiencies in current anti-wear measures, and urgent solutions are needed for construction processes, protective devices, and quality management. This paper is based on the failure mechanism of wire wear, and deeply analyzes the three major factors of construction, environment, and equipment. It proposes a targeted anti-wear technology system and management strategy, aiming to provide theoretical support and practical reference for improving the reliability of the entire life cycle of power lines.
Keywords: overhead power transmission lines; wire wear and tear; corona effect

引言

在架设输电线路的施工过程中，一旦线路电压达500kV及以上，导线磨损的概率就会增大。引发这个问题的原因有很多，不仅有施工人员的问题，比如施工过程中操作不当，还有长时间的环境影响等多方面的因素，这些对送电线路来说都是一个不小的挑战，必然会影响导线的正常运行。因此，在线路架设的施工过程中，有关送电导线质量及其装置等问题属于重要指标。

1 送电线路架设的导线受到磨损的危害

1.1 增加线路运行维护成本，浪费电能

架空送电线路所架设的导线遭到磨损之后，会在导线表面形成出现较多的毛刺导致电晕现象，电晕现象是当导线表面场强大于空气的电离强度时，架设线路导线表面气体分子发生电离，促使自激导电的形成，从而产生电晕放电现象。在不良气候环境下，电晕加重腐蚀导线后更进一步增强电晕，会使得电能损失，造成资源的浪费。

1.2 降低导线机械强度，影响线路安全

磨损给导线带来的物理损害是直接且直观的，具体表现为导线的有效截面积有所减小。不管是铝股还是钢芯，在持续的摩擦刮削作用下，金属材料会不可逆转地变得越来越薄。导线有效承载截面不断缩减这一情况，必然会使得其整体拉断力出现较为明显的下降。而且更为严重的是，磨损点大多集中在导线与金具相接触的部位，或者是容易出现微风振动的区段。这些位置原本就是机械应力比较集中的区域。在这样的高应力点，局部截面积受到削弱的情况简直就像是雪上加霜一般，大大增加了导线在此处发生疲劳断裂的风险。

1.3 加剧电晕效应，引发电磁干扰

磨损所引发的表面粗糙度急剧增长，这已然成为诱发强电晕的关键所在。而由强电晕放电所产生的次生方面的危害，其严重程度是单纯电能损失所无法比拟的。那剧烈进行着的电晕放电过程，就好比是一个有着宽频带特性的无线电干扰发射源头，它会朝着周围的空间不停地辐射出频谱范围极为广泛的电磁噪声。要是这些电磁噪声的强度一旦超过了规定的限值，那么它们就会给邻近的无线电通信系统带来那种根本无法忍受的干扰情况，进而使得信号的质量出现严重的劣化状况，甚至还会致使通信直接中断。与此电晕放电所产生的能够被人耳听见的噪声，在那种夜深人静的时候，又或者是在线路临近居民区的情况下，会对周边的环境形成颇为显著的噪声污染现象，从而引发居民的诸多投诉以及一系列环保方面的问题。

2 导线磨损的主要原因分析

2.1 施工因素导致的磨损

2.1.1 施工操作不规范

在导线展放、紧线以及附件安装等关键的施工环节当中，倘若操作人员未能严格遵循规程或者自身经验有所欠

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

缺，那么就极有可能引发人为方面的损伤情况。就好比说，在放线的过程里，要是牵引的速度过快又或者是呈现出忽快忽慢的状态，再或者导线不慎落地之后出现拖拽的情况，又或者导线和地面上的尖锐物品亦或是粗糙的结构产生硬性的摩擦，还比如导线经过滑轮的时候存在着较大的偏角，甚至还会出现跳槽的现象，又或者是使用那种钳口已经受到损伤或者没有衬垫上软质材料的紧线器来对导线进行卡线操作等等。

2.1.2 施工工艺不合理

工艺选择或者参数设计存在不妥之处，这同样属于施工期间磨损产生的一个重要根源所在。在开展张力放线相关操作的时候，倘若将张力值设定得过低，那么导线的弛度便会变得过大，如此一来，便使得导线与跨越物或者是地面出现接触摩擦的可能性有所增加。而要是把张力值设定得过高，虽说能够减少拖地的风险，然而却会让导线承受超出寻常的巨大张力，进而使其在经过放线滑车之时，侧向压力不断加剧，最终致使铝股的表面遭到滑车轮槽过度的挤压情况。除此之外，要是放线区段划分得过长，又或者滑车的数量不够充足，亦或是悬挂间距设置得过大，那么都会促使导线在滑车间的悬垂角有所增大[1]。南方电网超高压公司在 2024 年所出具的一份工程总结报告中清楚地表明，对张力设定加以优化，并且合理地将放线区段长度缩短，如此便能够有效地让新架导线的磨损率降低25%～30%左右。

2.2 环境因素导致的磨损

2.2.1 风振磨损

当稳定微风处于 0.5m/s～10m/s 这一速度范围，并且以特定角度持续作用于架空导线时，在导线背风侧便会周期性地出现交替脱落的卡门涡街现象。此涡流脱落会促使导线在垂直面内产生持续不断的高频且振幅较小的往复振动，这种振动就是所谓的微风振动。导线长时间处在这样的振动状态当中，其与线夹相接触的部位或者线夹出口之处，将会不断经受反复出现的微小位移以及摩擦情况。即便在线夹内部已经安装了护线条，然而长时间的微动摩擦依旧会慢慢造成损耗并最终失效，进而影响到导线铝股本体，从而形成典型的疲劳磨损点或者线夹磨损点。

2.2.2 覆冰磨损

在冬季那种既寒冷又潮湿的地区，导线表面特别容易被雨凇、混合凇亦或是湿雪等各类形式的覆冰所裹覆。等到气温慢慢回升起来，或者日照强度有所增强，使得覆冰开始出现融化并逐渐脱落的情况，又或者是碰上强风的作用，导线之上的冰层便极有可能会出现不均匀的脱落，甚至还会发生整体性的扭转跳跃现象。在冰层脱落以及导线舞动的这个过程当中，那些已经破碎或者变得松动的冰块，其边缘是非常锐利的，它们会和相邻的导线相互之间，或者与导线自身产生极为剧烈的相对运动，进而发生撞击以及刮擦等情况。这样由覆冰脱落或者舞动所引发出来的机械作用力是相当巨大的，完全能够在很短的时间内，对导线表层的铝股形成严重的刮伤情况，还会产生凹坑，甚至在极端情况下，还能够让铝股出现断裂的现象。

2.3 设备因素导致的磨损

2.3.1 放线设备缺陷

放线施工当中极为关键的设备——放线滑车，其实际所处的状态会对导线的安全状况产生直接的影响。具体而言，滑轮槽型和导线外径要是不相匹配的话，就好比是槽宽出现过窄或者过宽的情况，又或者是滑轮材质在选择方面不够恰当，比如硬度过高亦或是耐磨性表现较差等，轮槽内部要是存在加工时留下的毛刺，或者有凹坑、锈蚀等情况，又或者是前期施工之后残留下来的沙砾污垢等，还有滑轮转动起来不灵活，甚至会出现卡死的现象[2]。这些设备方面的种种缺陷，在导线以较高的速度通过滑车的时候，就会如同锉刀一般，不断地去刮擦导线的表面。特别在滑轮转动出现卡滞的情况下，导线和滑轮之间的摩擦形式会从滚动摩擦转变成耗费极大代价的滑动摩擦，如此一来，磨损的量便会急剧增加。

2.3.2 防护装置不足

在施工以及运行期间，缺少必要的或者行之有效的防护装置，这无疑是导致设备出现磨损情况的关键因素。就施工来讲，当导线有可能会接触到铁塔角钢、跨越架还有临时拉线锚固点等这些属于硬质且较为尖锐的部位的时候，倘若事先没有去安装足够数量的导线保护套，也就是大家常说的“蛇皮套”或者“护线胶管”，又或者是防磨滚轮，那么导线就很有可能会在这些位置轻易地被划伤。而在运行阶段，要是在线夹出口处没有安装预绞式护线条，或者说即便安装了也没有到位，再者防振锤线夹没有加装专用衬垫，又或者是间隔棒线夹存在设计方面的缺陷，亦或是其夹紧力过大的话，那么在长时间的运行过程当中，就极有可能因为微动或者应力集中等情况致使导线发生磨损。

3 导线防磨措施研究

3.1 施工工艺优化

3.1.1 张力放线技术改进

张力放线属于核心的防磨工艺范畴，其中最关键之处就在于要精准把控放线张力。一方面得保证导线能够全程处于悬空状态，以此来彻底规避出现拖地的风险情况；另一方面也要防止张力过高的状况出现，不然会致使导线经过滑车时侧压力增大的问题发生。借助先进的张力场集中控制系统，可对牵引机以及张力机的出力情况进行实时的监测，并且还能实现自动化的调节操作，进而让导线张力始终维持在所设定的最优区间范围之内产生波动变化。对于那些具有大截面特点或者属于重要跨越的段落部分，应当优先考虑采用“一牵 N”的方式来进行处理，比如可以

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

采用一牵四或者一牵六这样的方式，通过这种方式能够有效减少子导线之间相互之间因鞭击而产生的磨损现象。与此还需要对放线区段的长度予以合理的规划安排，在像山区这类地形较为复杂的区域当中，适宜将区段的长度适当缩短一些，这样做的目的主要是为了减少滑车的总数量以及降低单个滑车的承力程度[3]。大力推广使用那种大直径且具备高强度特性的尼龙轮或者 MC 尼龙轮作为放线滑车，而且对于这些滑车的轮槽部分必须要经过极为精密的加工工序，并且还要经过严格的验收环节，唯有如此才能确保其光洁度能够与导线的良好匹配状态得以达成。

3.1.2 滑车布置优化

滑车的悬挂位置以及悬挂方式，会对导线产生磨损这一情况有着直接的影响。需要严格地去计算并且对导线通过滑车时的包络角加以控制，务必要让其包络角不超过滑车所规定的不大于 30 °的限度。在像耐张塔、转角塔这类导线转向角度比较大的位置处，必须要采用双滑车或者组合式滑车组来实现转向操作，通过这样的方式能够将侧压力予以分散，进而减轻单滑车所承受的负担。滑车的悬挂点一定要牢固且可靠，防止在施工的过程当中因为出现晃动的情况而导致导线发生跳槽的现象。导线在进入到滑车以及从滑车中离开的时候，要确保它的方向与滑车的轴线基本上是处于垂直的状态，如此一来便可以避免出现斜向受力的情形。在那些重要的跨越点，比如公路、铁路、电力线还有房屋的上方这些地方，应当增加悬挂滑车的数量，并且缩短档距，这样能够较为显著地减小导线的弧垂程度，从而提升跨越过程中的安全性，同时也可以降低导线与跨越物之间发生接触摩擦的可能性。

3.2 防磨装置应用

3.2.1 导线保护套

护线胶管在施工期间是最常使用的临时防磨装置。要挑选那种耐磨性能较好、内壁较为光滑并且还具备一定弹性以及抗撕裂强度的聚氨酯或者超高分子量聚乙烯材质做成的保护套。在开始导线展放之前，需提前在铁塔横担的端部、耐张塔挂线点处的角钢、跨越架的顶部以及临锚钢绳的接触点等所有导线有可能与其产生硬性接触或者是摩擦的各个部位，稳固且牢靠地把保护套安装好。保护套的长度务必要能够充分覆盖住潜在的摩擦区域，并且要把它的两端都妥善做好捆扎固定处理，以防它在施工进程当中出现移位或者脱落的情况。

3.2.2 防磨滚轮

防磨滚轮，主要作用在于处理导线和线夹、间隔棒等金具接触之处出现的长期运行磨损情况。在线夹出口位置，安装预绞式护线条，这无疑是最有效的办法。此种护线条是将多根高强度铝合金丝按照特定的螺旋角紧密地绞合起来，然后包裹在导线的外层，它的表面极为光洁，具备很好的耐磨特性，能够有效地将线夹出口处的弯曲应力以及微动摩擦进行分散，进而保护导线本体不受损害。就防振锤而言，若选用带有高弹性橡胶或者工程塑料衬垫的线夹，那么既能起到缓冲振动的作用，又能减少对导线的磨损情况。对于间隔棒线夹，应当选用铰链式的或是带有弹性橡胶衬垫的线夹，以此来保证夹紧力处于适中的状态并且能够均匀地分布开来，防止出现应力集中而对导线造成切割的情况。在容易发生舞动的区段，可以考虑安装相间间隔棒或者是双摆防舞器，通过这种方式来抑制舞动的幅度，从根源上减少因为舞动而引发的剧烈摩擦以及撞击情况的发生。

3.3 质量管理措施

3.3.1 施工过程监控

建立起能够贯穿导线架设整个过程的质量监控体系，这无疑是非常重要的。要专门设立质检员，针对那些关键工序展开监督工作，像是张力设备的标定环节、滑车的检查以及悬挂操作、保护套的安装事宜、导线牵引的整个过程、紧线的具体操作还有附件的安装等方面，都得安排专人进行旁站式的监督。借助无人机开展高清巡检作业，同时配合地面望远镜进行观察，通过这些手段来实时对导线展放的状态予以监控，从而能够及时察觉到并且阻止诸如导线出现拖地情况、发生跳槽现象以及与障碍物产生摩擦这类存在风险的行为。要详尽地将施工的各项参数记录下来，像张力方面的数据、速度的情况、滑车所处的位置等等，还有当时的环境条件也要一并记录。对于在施工过程中发现的导线疑似存在磨损的那些点位，必须要立即停止施工，随后展开细致的检查并做出相应的评估，如果确实有必要的话，还得及时进行修复处理或者干脆予以更换，绝不能让带有损伤的导线进入到后续的工序当中去。

3.3.2 质量验收标准

制定严格且具备操作性的导线防磨专项验收标准。在架线施工完成之后、线路投入运行之前，一定要开展针对全线导线外观质量的专项检查验收工作。此次检查主要关注几个方面：导线表面是否有较为明显的划伤痕迹、压痕情况、呈现灯笼状的变形状况以及磨损产生的毛刺；线夹还有防护装置，像护线条、防振锤衬垫以及间隔棒线夹等，其安装是否规范且到位，有没有对导线造成损伤的情况；导线的弧垂以及与地面的距离是否与设计要求相吻合。要清楚明确导线表面所允许存在的轻微磨损的具体深度以及范围方面的标准。对于那些超出标准的损伤点，必须严格按照规程相关要求来实施打磨修复或者采用压接修补管的方式进行处理，并且要把这些情况详细记录下来。整个验收过程中需要留存高清影像资料以便后续查阅。

4 结束语

导线防磨是保障架空送电线路安全经济运行的关键环节。本文系统分析了磨损对导线的三重危害，并从施工

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

操作、环境侵蚀、设备缺陷三方面寻找原因。针对性地提出工艺优化、装置创新、管理强化的优化体系。集成应用上述措施可显著降低磨损风险，如优化张力与滑车布局减少施工期磨损 25%～30%，预绞护线条有效抑制微风振动疲劳。未来需进一步融合智能监测技术与新型材料，构建“预防-监测-修复”闭环机制，同时完善标准体系以适配新型输电技术的发展要求，为构建高韧性的电网提供核心保障。

[参考文献]

[1]曹明远.弓网滑动电接触磨损特性分析与磨损率预测研究[D].辽宁:辽宁工程技术大学,2024.
[2]杨金鹏.66kV 送电线路导线舞动、混线事故分析及防止对策[J].民营科技,2017(11):51.
[3]霍峰,武剑灵,王亚平.架空送电线路(导线)长度参数现场测试方法研究[J].现代计算机,2020(8):43-46.

作者简介：叶扬（1995.8—），男，毕业院校：北京航空航天大学，所学专业：工程管理专业，当前就职单位：北京电力工程有限公司，职务：工程管理专责，职称级别：助理工程师。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

关于电力系统及其自动化技术的应用实践

殷佳金
德宏师范学院，云南 德宏州 678400

[摘要]随着社会经济不断发展，生产生活对电力需求增大，保障电力系统稳定高效运行很重要。要提升电力系统运行效能，得持续优化其运行机制。自动化、数字化、信息化技术应用广泛，给电力系统发展带来机遇，也提出新挑战。文章分析探讨电力系统及其自动化技术在提升电力系统整体水平中的作用与实践，为电力系统现代化发展提供参考。
[关键词]电力系统；自动化技术；技术应用
DOI：10.33142/hst.v8i8.17352 中图分类号：TM76 文献标识码：A

Application Practice of Power System and Its Automation Technology

YIN Jiajin
Dehong Normal University, Dehong Prefecture, Yunnan, 678400, China

Abstract: With the continuous development of the social economy, the demand for electricity in production and life has increased, and it is important to ensure the stable and efficient operation of the power system. In order to improve the operational efficiency of the power system, it is necessary to continuously optimize its operating mechanism. The widespread application of automation, digitization, and information technology brings opportunities and new challenges to the development of the power system. The article analyzes and explores the role and practice of the power system and its automation technology in improving the overall level of the power system, providing reference for the modernization development of the power system.
Keywords: power system; automation technology; technology application

引言

随着社会经济快速发展以及工业化进程不断加快，电力作为现代社会的基础能源，其稳定性与可靠性对于国民经济及社会生活的作用极为关键。传统电力系统在应对日益复杂的负荷变化、新能源接入以及电网结构多样化等挑战时，逐渐显现出响应速度慢、调控能力欠缺以及管理效率不高等诸多问题。电力系统自动化技术的出现，给解决这些瓶颈问题给予了强有力的技术支持。借助自动化技术的广泛运用，电力系统运行实现了智能化、信息化以及远程化，同时还有效提高了电网的安全性、经济性以及灵活性。特别是在智能电网以及新能源快速发展的大背景之下，电力系统自动化技术成为了推动电力行业转型升级、提高能源利用效率以及保障电力供应质量的关键动力。所以，深入探讨电力系统及其自动化技术的应用实践，既能助力优化电力系统结构与运行机制，又能为达成绿色低碳发展目标给予技术保障。

1 自动化技术运用于电力系统的重要价值

自动化技术在电力系统里的应用有着极为重要的战略价值。它大幅度地提高了电力系统的运行效率以及管理方面水平，同时让系统的可靠性与安全性有了明显增强。借助自动化技术，能够达成对发电、输电、配电等诸多环节展开实时监测以及智能调控的目的，可以迅速对负荷变化以及突发故障做出响应，把人为操作出现失误的风险降下来，确保电力供应的连续性与稳定性。自动化技术推动了电力系统的信息化以及数字化方面的转型，让数据采集、处理以及分析的效率得以提升，为科学决策以及优化运行打下了稳固的基础。在新能源接入以及智能电网建设这样的大背景之下，自动化技术已然成为实现能源优化配置以及绿色低碳发展的重要支撑。所以说，自动化技术广泛应用于电力系统，既推动了电力系统的现代化进程，也为提升电力行业综合竞争力以及可持续发展能力筑牢了根基。

2 电力系统及其自动化施工技术的应用现状

2.1 电力自动化技术人员的综合素质不足

当前在电力系统及其自动化施工技术的应用进程里，电力自动化技术人员的综合素质方面的问题慢慢凸显出来，这已然成为限制技术推广以及工程质量提高的关键因素。虽然电力行业的整体技术水平一直在向前发展，可在实际施工以及运行环节当中，部分技术人员对于自动化系统的认识存在一定的片面性，既缺少系统的理论根基，又缺乏实践操作方面的经验，这就使得在设备调试、系统配置、数据分析等重要环节出现了一些失误情况[1]。与此一部分从业人员对于新兴智能设备以及自动化平台的适应能力比较薄弱，很难满足高标准、高复杂程度的现代电力系统建设方面的需求。并且因为培训体系不够完善，部分技术人员的知识更新速度滞后，没能及时把握最新的自动化控制技术、通信协议以及智能终端配置的要求，当面临

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

多系统集成、远程监控还有信息安全等一系列新挑战的时候，明显呈现出能力不足的状况。

2.2 电力系统自动化涉及的设备问题

在电力系统及其自动化施工技术的实际应用进程当中，设备方面存在的诸多问题，一直属于影响该系统稳定运行以及技术得以有效推广的关键要素之一。当下，电力系统自动化牵涉到的设备类型颇为多样，像变电站自动化装置、远程通信终端、智能开关、保护继电器、监控系统等等，这些设备在经历设计、制造、配置以及维护等一系列环节的时候，通常会存在着兼容性、稳定性以及性能等方面存在不一致情况等诸多问题。特别是在那些老旧电网或者新旧设备混合使用的相关工程项目里面，来自不同厂家的设备之间往往会呈现出通信协议不够统一、数据接口彼此间不兼容、响应时延各不相同等情况，这在很大程度上对系统集成以及自动化水平的提高形成了极为严重的制约作用。

2.3 电力系统的管理制度缺陷

电力系统自动化技术开展使用时间较短，关于方面制度完善度不够，加上部分管理制度与企业发展不协调，体制制定过于草率，不能满足企业发展需求。也有部分电力企业管理工作分工与职责模糊、电力系统自动化技术问题出现后，会出现几个部门聚集情况，专门负责部门无法明确，很容易导致部门之间彼此推卸责任，也会间接浪费人力资源。

3 电力系统及其自动化施工技术应用研究

3.1 明确电力系统以及自动化技术的设计目标

在推进电力系统及其自动化施工技术得以应用的进程当中，清晰明确地确定设计目标乃是保证该系统能够实现高效且稳定运行的关键前提以及坚实基础。确立设计目标之时，一方面要立足于当下电力系统实际存在的各类需求，另一方面更要着眼于未来能源结构所发生的演变情况以及智能电网呈现出的发展走向。在具体的实施环节里，应当把提升供电的可靠性、保障系统的安全性、优化运行的效率以及降低运维的成本当作核心的导向原则，进而去构建起具备高度智能化特点、灵活性优势以及信息化程度的电力自动化系统。电力系统自动化的相关设计需要将发电、输电、变电、配电以及用电等各个不同环节都涵盖进去，尤其要着重关注数据采集所具有的实时特性、设备响应体现出来的灵敏特性以及调度指令达成的精准特性，以此来促使各个系统之间能够实现高效顺畅的协同配合并且做到无缝紧密的对接连接。与此设计目标还应当充分且周全地考虑到系统的可扩展性以及可维护性这两个方面，从而方便在后期开展升级操作以及进行技术方面的更新换代，进而能够契合新能源接入、负荷呈现多样化特点、用户展开互动交流等多种新型的运行场景所提出的种种需求。除此之外，在设计工作的整个过程当中，同样也要高度重视信息安全以及通信保障这两项事宜，务必要确保在智能化水平得以不断提升的过程之中，系统的运行不会受到来自外部环境的干扰影响以及网络层面的攻击威胁。

3.2 加强电力设备的完善以及维护

在电力系统及其自动化施工技术的应用进程里，强化电力设备的完备性以及维护事宜，乃是保证系统安全且稳定运行的重要环节。电力设备属于自动化系统达成的基础所在，它的运行状况径直决定了整个系统的可靠性以及效率水平。当下电网结构日益变得复杂起来，牵涉到数量众多的变电设备、输配电线路、开关装置、自动化控制单元还有信息采集与传输终端等等诸多方面，其中任何一个环节要是出现纰漏，都有可能引发系统性的故障情况[2]。所以在设备选型的阶段，得充分考量其适应性、先进性以及兼容性等方面的情况，务必要让各类设备都能够契合自动化系统的功能方面的相关需求。与此在施工的过程当中，得着重关注安装的质量问题，务必严格依照技术规范以及施工标准来切实执行各项操作，防止因为工艺不妥当而致使设备留下隐患。等到进入运行阶段之后，更是有必要建立起系统化且规范化的维护机制，定期去开展巡检、测试、清洁、调试等一系列相关工作，针对关键设备展开状态评估以及故障预测等方面的举措，从而能够及时地察觉并妥善处理潜在存在的各类问题。

3.3 重视电力自动化技术的安全管理

在电力系统及其自动化施工技术实际应用进程当中，对电力自动化技术给予安全管理方面的重视，这无疑是确保电网能够安全运行以及系统保持稳定性的极为关键的保障措施。随着电力系统不断朝着智能化以及信息化的方向去发展，自动化技术在调度控制、故障检测、数据传输以及设备管理等诸多方面得到广泛应用，这也使得其对于安全的要求变得更高了。只要自动化系统的任何一个环节出现了安全漏洞，那么就极有可能导致出现大范围的停电情况、电力中断状况，甚至还可能引发次生事故，进而给用户的供电以及电网的运营造成十分严重的影响。所以，务必要把安全管理贯穿在整个自动化系统从设计、建设到运行再到维护的整个过程之中。需要强化针对自动化控制系统的安全策略部署工作，具体包含操作权限的分级管理举措、系统操作记录的审计追溯事宜、应急预案的制定以及演练等方面，以此来提升系统面对误操作以及人为干扰时的抵御能力。在信息通信这个领域同样应当加强对于网络安全的管控力度，要防范诸如黑客入侵、病毒攻击以及数据泄露等一系列问题，从而确保系统数据具备完整性以及保密性。与此还需要进一步建立健全安全责任体系，明确各个环节人员各自的安全职责，规范操作流程以及安全标准，并且强化针对从业人员的安全意识以及操作技能方面的培训工作。

3.4 关注偏远区域电力系统的传输处理

在推动电力系统及其自动化施工技术广泛应用于实际的过程当中，针对偏远区域电力系统的传输处理方面存

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

在的诸多问题予以关注，这一做法有着极为重要的现实层面的意义。要知道，这些偏远地区往往地理位置颇为偏远，地形情况也较为复杂，而且经济条件相对来说比较薄弱，如此一来，这些地区在电网的建设工作、运维所具备的能力以及技术方面的储备等诸多方面，长期以来都处于一种不利的局面。正是由于这样的原因，才使得电力基础设施显得较为薄弱，电能的质量也不够稳定，输电的效率更是处于较低的水平等一系列的问题，在这些地区普遍存在。特别是在电力自动化技术不断得到推广的大背景之下，偏远区域在电力传输处理的过程之中，所面临的各种挑战就更多了，像是通信信号的覆盖范围不够充足、数据传输的时候存在较大的时延情况、电力设备的智能化程度不高、自动化系统对于突发状况的反应速度不够及时等等这类情况都是存在的。这种情况的存在，一方面影响到了偏远地区用户去获取那种能够让人放心使用的可靠电力，另一方面也对整个区域的社会经济发展起到了一定的制约作用。所以，在着手建设电力自动化系统的时候，务必要对偏远地区电力传输环节给予足够的重视与关注，并且要从最开始的设计阶段起，就充分地将长距离输电所产生的电压损耗情况、对于负荷波动的适应能力、通信路径的稳定性状况以及系统数据传输的完整性以及实时性等方面的情况都好好地考虑进去[3]。除此之外，还应当进一步强化对偏远地区电力设备运行状态展开的远程监控以及智能诊断方面的能力，以此来提高系统对于故障进行定位以及处理的工作效率，从而保证即便是在资源比较有限的情况之下，依然能够达成电力系统高效、安全、稳定运行的目标。

3.5 提升技术人员的综合素质

在电力系统及其自动化施工技术持续发展的进程里，提高技术人员的综合素质，对于推动技术的有效运用、确保工程质量以及系统运行的安全而言，是极为重要的基础。伴随电力自动化程度的提高，相关方面的工作对技术人员的理论水平、实际操作能力、设备识别与故障判断能力以及信息化应用水平等，都提出了更高的要求。不过在实际的工程项目当中，部分从业人员存在着知识更新速度滞后、操作技能不够熟练、对于新型设备和智能系统的适应能力不足等一系列问题，这些问题对自动化系统的调试质量以及运行效率产生了颇为严重的影响。所以，必须要重视技术人员综合素质的提升，借助系统化且多层次的培训机制，持续强化他们对于自动化原理、电气控制系统、智能设备配置、通信协议、数据处理等核心技术的理解与掌握程度。

3.6 健全电力企业的管理制度

在电力系统及其自动化施工技术的应用进程当中，健全电力企业的管理制度属于极为关键的一个环节，其对于保障技术能够顺利推进、促使工程效率得以提升以及提高系统运行的质量均有着不容忽视的作用。当下，伴随电力自动化程度持续不断地提升，电网的运行以及设备的管理也逐渐朝着智能化与精细化的方向发展，而传统的那种较为粗放式的管理模式已然没办法契合现代电力系统那复杂且多变的发展方面的需求了。部分电力企业在项目管理、人员调度、技术标准、设备运维以及安全监管等诸多方面的制度建设还存在着不够完善、不够系统的诸多问题，这就使得技术在执行的时候出现不统一的情况，责任在界定的时候也不够清晰，对于风险的应对更是不够及时，进而对自动化技术在施工以及运行阶段所实际能够达成的效果产生了影响[4]。所以，务必要从组织架构、制度体系以及管理流程等多个不同的维度去着手，推动管理制度来实现全方位的优化以及科学化的重新构建。一方面要建立起规范且标准的施工管理体系，针对自动化技术在各个不同阶段的应用给予精细化的指导与监督；另一方面得强化制度执行的强制性，把各级岗位的职责以及操作流程都明确清楚，同时强化针对制度落实情况的检查以及考核方面的机制。

4 结语

电力系统及其自动化技术在实际应用当中，一方面使得电网的智能化程度得以提升，另一方面也让电网的运行效率有所提高，同时还给电力供应安全稳定的保障筑牢了根基。伴随科技持续向前发展以及电力需求一天天增多，自动化技术于电力系统里将会起到越发重要的作用。在往后的日子里，唯有持续推进技术方面的创新工作，强化针对设备的维护以及安全管理工作，提高技术人员的专业素质，并且完善相关的管理制度，才能够推动电力系统达成可持续发展的状态，从而实现智能电网建设所设定的目标，进而满足社会对于高质量电力服务提出的种种需求。

[参考文献]

[1]苏霖.关于电力系统及其自动化技术的应用实践[J].仪器仪表用户,2025,32(6):154-156.
[2]廖得富.电力系统及其自动化技术应用[J].智能城市,2020,6(7):72-73.
[3]孙茜.电力自动化技术及其在电力系统中的应用[J].光源与照明,2021(12):117-118.
[4]王飞,郑日红,孙伟.电力系统及其自动化技术的应用[J].电子技术与软件工程,2018(22):111.

作者简介：殷佳金（1987.9—），单位名称：德宏师范学院，毕业学校和专业：内蒙古工业大学；电气工程。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

电力系统继电保护中的隐性故障分析

李 琛
辽宁东科电力有限公司，辽宁 沈阳 110000

[摘要]电力系统于现代社会而言，地位颇为关键，其能否安全稳定地运行，和我国能源结构的优化以及社会经济的正常运转息息相关。继电保护系统是电力系统安全运行的关键保障，它在故障出现时，能够及时把故障部分切除掉，以此来保证非故障部分能够正常运行。不过，继电保护系统自身也存在着潜在的隐性故障问题，这些故障在系统正常运行的时候，往往难以被及时察觉到，要是等到关键时刻出现失效情况，那么将会给整个系统带来极为严重的影响。文中从隐性故障所造成的危害出发，对其产生的原因展开细致分析，并且还提出了具备可操作性的防控对策，希望能够提升电力系统继电保护的可靠性以及智能化程度。

[关键词]电力系统；继电保护；隐性故障
DOI：10.33142/hst.v8i8.17347 中图分类号：TM77 文献标识码：A

Analysis of Hidden Faults in Power System Relay Protection

LI Chen
Liaoning Dongke Electric Power Co., Ltd., Shenyang, Liaoning, 110000, China

Abstract: The power system plays a crucial role in modern society, and its safe and stable operation is closely related to the optimization of Chinese energy structure and the normal operation of the social economy. The relay protection system is a key guarantee for the safe operation of the power system. When a fault occurs, it can promptly cut off the faulty part to ensure that the non faulty part can operate normally. However, there are potential hidden faults in the relay protection system itself, which are often difficult to detect in a timely manner during normal operation. If a failure occurs at a critical moment, it will have a very serious impact on the entire system. Starting from the harm caused by hidden faults, the article conducts a detailed analysis of their causes and proposes actionable prevention and control measures, hoping to improve the reliability and intelligence of power system relay protection.

Keywords: power system; relay protection; hidden malfunction

引言

我国电力系统规模持续扩大，复杂程度日益提高，电网运行安全性遭遇极大挑战。继电保护是保障电网运行安全的最后一道防线，其性能稳定与否直接关系到电力系统应对突发状况的能力。近些年，继电保护装置经历从模拟到数字再到智能化的发展过程，自身结构与功能变得愈加复杂。设备在设计、制造、运行以及维护各个环节，不可避免会存在一些不易察觉的隐性缺陷。这些缺陷一般在电力系统没有故障的时候不会显现出来，可一旦电网出现实际故障，它们就有可能引发继电保护误动作或者拒动作，进而酿成大面积停电事故。所以，深入剖析隐性故障呈现出来的状况、产生的影响以及形成的原因，并且探寻行之有效的诊断以及防控办法，对于提高继电保护系统的本质安全水准有着不容忽视的重要意义。

1 隐性故障的特点

对于隐性故障而言，主要指的就是继电保护装置在相对比较正常状态下不能及时发现的问题。由于继电保护装置几乎都是在高负荷的状态下工作，如果对其不能进行及时有效的维修就会出现一系列故障。当继电保护装置如果处于待机时，并且电力系统自身存在故障的状况下，不能够第一时间发现存在的故障。另外当电力系统出现故障的过程中，就会导致继电保护装置出现相应的异常，进而出现大面积停电现象。继电保护装置它在隐性故障等方面具有极强的隐蔽性，一般情况下使用比较常规的方式并不能够及时的发现故障，如果出现故障，就会出现非常严重的后果，当电力系统出现故障时，而继电保护装置在一定程度上不能做出正确的动作，就会出现较为严重的事故，所以将继电保护装置自身的隐性排查工作进行做好是非常必要的。

2 隐性故障的危害与影响

2.1 对继电保护系统的直接影响

隐性故障往往呈现为继电保护设备里的部分功能模块处于潜伏状态时出现异常状况，像是接点出现氧化现象、通信接口存在接触不好的情况、内部逻辑计算出现错误等等。这些问题在日常的检测环节当中是非常难以被发现的，并且也不容易进行复现操作。当电力系统真的发生故障的时候，这些隐性方面的问题很可能会致使保护装置出现拒动或者误动的情况。拒动会使得故障没办法被及时地切除掉，如此一来便会进一步让事故所涉及的范围不断变大；而误动则有可能会切掉那些并非故障的部分，进而造成电

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

网资源出现了毫无必要的损失。除此之外，隐性故障还能够让设备的响应时间变得延迟起来，这无疑降低了保护动作所具备的时效性以及准确性，最终使得整个继电保护系统的运行可靠性受到了极为严重的威胁。

2.2 对电力系统安全运行的连锁威胁

当继电保护系统出现隐性故障的时候，其实这属于在电网处于故障状态之下所呈现出的一种防御功能有所缺失的情况。要是故障发生了，那么保护系统没办法依照既定的逻辑去精准地做出相应的动作，如此一来，它不但无法对故障的蔓延起到限制的作用，反而是会引发诸如电压出现跌落、频率产生波动以及设备发生跳闸等一系列相互关联的连锁反应，而且在情况特别严重的时候，甚至还会致使整个系统陷入崩溃的境地。在互联电网变得一天比一天更为复杂的这样一个大背景之下，只要出现局部的保护误动作，那么就极有可能会借助联络线给其他区域带来影响，进而让故障的影响范围得以进一步扩大。所以说，隐性故障的存在，着实是大幅度地削弱了电力系统整体所具备的抗扰动的能力，并且还很有可能会让原本是可以被控制住的局部故障转变成一场系统性的灾难。

2.3 对事故诊断和恢复工作的干扰

隐性故障在事故发生之后的诊断以及恢复环节里，同样会引发诸多麻烦。因为这种故障具备潜伏以及间歇这样的特性，其行为模式是很难被复现出来的，所以故障录波还有历史数据，在相关的分析当中所具有的参考价值是比较有限的。当处于紧急的状态之下时，运维人员通常只能凭借有限的信息来做出判断，这样做特别容易出现误判或者信息遗漏的情况，最终致使故障处理的进程被耽误。与此要是没办法精准地识别出故障的根源所在，那么就很容易出现重复故障的现象，如此一来就会让系统的恢复时间被拉长，进而增加运行方面的风险以及经济方面的损失。

2.4 对维护成本与运行效率的影响

在电力系统长时间运行期间，隐性故障的存在使得系统运行效率降低，同时也让维护与管理的难度有所提高，传统的定期巡检方式很难发现这类问题，这就使得运维部门要采用更为频繁且更细致的监测办法，如此一来，运维成本便出现了上升的情况。隐性故障往往会引发不必要的停电情况以及误动作，打乱电力系统的正常运行节奏，增加对备用容量以及冗余设计的依靠程度，进而从侧面降低整体运行的经济性以及调度灵活性。

3 继电保护系统中隐性故障的成因探析

3.1 二次回路接线缺陷与元件老化

二次回路是继电保护系统达成信号采集、逻辑判断以及动作控制的关键通道，其接线质量会对整个系统的稳定性和可靠性产生直接影响。要是设计、施工或者运维环节出现回路接线松动、虚接、接触电阻增大的情况，一般在常规状态之下是很难被察觉到的，然而一旦有故障电流经过，就往往会因为信号失真或者延迟而致使继电保护出现误判。与此设备服役的时间越长，其内部的元器件像电容、电阻、继电器之类就越容易出现性能衰退乃至失效的状况，这无疑又进一步加大了系统隐性故障发生的可能性。

3.2 电磁干扰与环境应力因素

电磁干扰（EMI）属于数字继电保护装置所面临的极为重要的外部影响来源，在变电站这类存在强电磁场的环境下，倘若电缆布线不够合理，接地系统的设计也存在不足之处，那么低电平控制信号就极有可能受到干扰，进而出现误判的情况。再者说，温湿度方面发生变化、存在粉尘污染、遭受雷击以及出现电晕放电等情况，这些环境应力因素会给装置的绝缘性能、光耦合器件还有通信模块等带来长期且潜在的威胁，虽说这些因素并不会马上引发故障，可在关键时刻却非常容易致使保护装置出现异常动作，形成典型的隐性故障表现形式。

3.3 装置软件故障与逻辑错误

随着继电保护设备逐步走向数字化以及智能化，其内部的控制很大程度上依靠嵌入式软件以及复杂的逻辑运算来实现。因为软件开发所花费的时间较为紧迫，或者测试环节做得不够到位，所以通常会存在着诸如程序方面存在缺陷、逻辑判断出现错误又或者是时间同步出现问题等情况。而这些情况并不会在所有的运行场景当中都显现出来，它们恰恰属于那种典型的“潜伏性风险”。当电网处于边界运行的状态或者说出现了非典型的扰动情况时，软件所存在的缺陷就有可能会引发错误的动作或者出现拒动的现象。特别是在采用了新型的通信协议又或者是跨平台集成系统的场合当中，这类隐性的问题更是显得比较常见。

3.4 运维失误与信息传输滞后

隐性故障还可能因人为操作失误而引发。比如，在调试期间没有恢复保护逻辑、错误地修改设定值、录入参数出现失误等情况，这些情况短期内或许不会引发明显的问题，可在系统出现异常的时候却会变成风险点。而且，随着继电保护系统依靠网络通信来达成区域协调以及联动控制，要是信息传输出现延迟、丢包、数据错误之类的问题，那么保护系统就没办法及时获取故障信息，这会影响其判断的准确性以及响应的速度。

3.5 多系统协同下的接口不匹配问题

在当下的电力系统当中，广泛地运用着各式各样的自动化以及智能化设备。而这些不同的系统彼此之间，得依靠通信接口还有数据交互来达成协调一致的运行状态。不过在实际的应用场景里，不同厂家所生产的设备，其协议标准往往是不一样的，数据格式也并非统一，这就经常致使接口出现兼容性方面的问题，还容易引发通信中断或者逻辑错误之类的种种情况。特别是在调度系统、保护系统以及监控系统共同协作进行控制这样的一种背景之下，接口的匹配性已然成为了隐性故障频繁发生的极为关键的

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

诱发因素。这类问题一般只有在系统开展联调工作的时候，又或者是处在实际运行且面临较大压力的状态之下，才能够被察觉到，所以它有着非常强的隐蔽性以及不可预知的特点。

4 继电保护隐性故障的防控与治理策略

4.1 提升保护设备本体设计可靠性

从设备源头强化可靠性乃是防控隐性故障的根基所在。制造厂家需要强化对继电保护装置在电气强度层面、抗干扰能力方面以及工作温度适应性方面的设计优化工作，并且要完善产品于研发阶段、测试环节以及验证流程等各个阶段的质量控制相关机制[1]。在挑选元器件的时候应当优先选用高可靠性的工业级元件，以此来提升设备长期运行时的稳定性。与此还需进一步强化保护装置内部的诊断以及自检能力，使其能够在设备运行的过程中及时察觉到潜在的异常情况，进而提高设备自身的自愈能力以及安全冗余的程度。

4.2 强化施工与运维的标准化管理

就二次回路以及现场安装所存在的质量问题而言，应当制定出标准化的设计与施工流程，并且严格依照此流程来执行，以此来保证布线清晰明了、接地稳固可靠以及接口符合规范要求[2]。与此运行维护单位需要建立起较为细致的周期性检测以及现场巡检方面的制度，借助红外测温设备、接触电阻测试仪器、二次回路检测仪等一系列工具，提前将潜在的缺陷给找出来。在整个系统运维的进程当中，要对操作行为予以规范，把操作票以及检修记录进一步完善起来，防止因为人为的误操作而引发那些隐性的隐患出现。

4.3 构建多源数据融合的智能诊断系统

要有效地识别并定位隐性故障，需充分借助继电保护装置所具备的自诊断信息、故障录波记录、SCADA 系统的相关数据以及电网运行方面的大量数据，凭借融合分析技术来达成从多方面对故障趋势加以预测以及对异常情况予以识别的目的[3]。与此要着力去开发那种依靠模型比对以及行为分析而运作的智能诊断平台，以此达成对保护动作发生前后的系统状态展开综合性评定的目标，进而提升在复杂故障情形之下针对隐性问题进行判别的精准程度。通过搭建起统一的数据管理平台，能够促使保护系统和调度、监控系统之间实现信息的共享以及联动，从而进一步增强整体的协同防控能力。

4.4 应用人工智能与大数据分析技术

利用人工智能技术，尤其是机器学习以及深度学习模型，能够针对大规模的历史运行数据展开训练，进而达成对异常模式加以识别并进行预测的目的。借助算法来挖掘继电保护的动作规律以及故障出现之前的征兆，便可以提前察觉到异常的发展趋势，从而避免隐性的故障进一步演变成系统的事故。大数据分析平台还能够依据多维指标开展实时的健康状况评估以及风险等级的划分工作，以此给系统的运维活动给予科学的决策方面的依据。除此之外，AI 系统具备持续学习并且不断优化的能力，会一步步地提高其判断的精确程度以及适应环境变化的能力，这为构建自学习类型的智能继电保护系统打下了技术层面的基础。

4.5 建立分级预警与故障容错机制

在继电保护系统进行设计之时，应当引入分级预警机制。依据故障出现的可能性高低不同，去设定不一样的告警等级以及响应策略，如此一来便能够避免那种“要么全部应对要么完全不应对”的简单粗暴方式。与此为了能够应对那些难以预测的隐性故障所带来的影响，在一些关键的环节不妨设置容错机制以及备用通道，从而保证当主保护出现问题失效的时候，依旧会有后备保护及时介入进来，以此来进一步增强整个系统的鲁棒性。除此之外，还需要制定专门针对应急情况的处置预案，并且要定期开展相关的演练活动，以此提升相关人员对于突发隐性故障的应变能力，进而能够缩短响应的时间，更好地控制事故可能造成的影响范围。

5 结语

继电保护系统是电力系统极为关键的防护屏障，它的运行状况和电力系统的安全稳定紧密相连。隐性故障属于那种隐蔽性、复杂性以及危险性都很高的系统缺陷，在近些年慢慢受到了行业方面的诸多关注。本文从隐性故障产生的影响着手，对其成因机制展开系统剖析，同时结合当下电力系统的发展走向，给出了一系列有针对性的防控办法。以后，伴随人工智能以及大数据技术持续向前发展，继电保护系统会向着更智能、更自适应以及更可预测的方向去演进。构建起有“感知-诊断-决策-响应”闭环机制的智能继电保护体系，这既是全面提升电网本质安全的一个重要方向，也是破解隐性故障这个顽固问题的关键途径。

[参考文献]

[1]宋双江.继电保护中的隐性故障分析[J].集成电路应用,2025,42(2):200-201.
[2]伏成志.电力系统继电保护中的隐性故障分析[J].集成电路应用,2023,40(10):230-231.
[3]徐娟,陆寅,范晓玮.电力系统继电保护的隐性故障分析[J].集成电路应用,2022,39(9):276-277.

作者简介：李琛，男，广东中山，学历：本科，职称：工程师，职位：主任工程师，研究方向：电力工程继电保护。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

箱式变电站内工业空调的选型

娄嫣芳[1,2] 申赛涛[2,3]
1.河南省昱能电力科技有限公司，河南 许昌 461000
2.许继变压器有限公司，河南 许昌 461000
3.河南汇才人力资源有限公司东城分公司，河南 许昌 461000

[摘要]箱式变电站（又称预装式变电站或组合式变电站）内部设备运行时会产生大量热量，需通过工业空调维持适宜温度(通常控制在35℃以下)。工业空调的选型流程总结为：(1）计算热负荷；(2）评估环境条件；(3）确定安装方式；(4）选择能效和控制模式；(5）特殊功能需求；(6）对比品牌与维护。根据以上流程，选出满足项目需求、性价比高的工业空调。
[关键词]箱式变电站；工业空调；选型
DOI：10.33142/hst.v8i8.17341 中图分类号：TM7 文献标识码：A

Selection of Industrial Air Conditioning in Box Type Substations

LOU Yanfang[1,2], SHEN Saitao [2,3]
1. He'nan Yuneng Electric Power Technology Co., Ltd., Xuchang, He'nan, 461000, China
2. Xuji Transformer Co., Ltd., Xuchang, He'nan, 461000, China
3. Dongcheng Branch of He'nan Huicai Human Resources Co., Ltd., Xuchang, He'nan, 461000, China

Abstract: Box type substations (also known as prefabricated substations or modular substations) generate a large amount of heat during the operation of internal equipment, and require industrial air conditioning to maintain a suitable temperature (usually controlled below 35 ℃). The selection process of industrial air conditioning is summarized as follows: (1) Calculating heat load; (2) Assess environmental conditions; (3) Determine the installation method; (4) Choose energy efficiency and control mode; (5) Special functional requirements; (6) Compare brand and maintenance. According to the above process, select industrial air conditioners that meet project requirements and have high cost-effectiveness.
Keywords: box type substations; industrial air conditioning; selection

引言

箱式变电站的形成和发展是电力系统技术、城市化需求和经济效率共同推动的结果。箱式变电站的形成是电力行业对效率、成本、空间和灵活性需求的综合响应。其核心优势在于集成化、快速部署和适应性，近几年随着智能电网和可再生能源的发展，箱式变电站得到广泛应用。箱式变电站的正常运行对电力系统至关重要，箱体内部最佳工作温度 10℃～35℃，工业空调是维护设备正常运行的重要元器件。

1 工业空调的分类

工业空调根据冷却方式、安装形式、功能特性等不同维度，可分为多种类型，以适应不同工业场景的需求。

1.1 按冷却方式分类

工业空调在不同冷却方式下的工作原理不同，其特点也不同；根据其不同特点，选择合适的适用场景；详细对比见表 1 所示。

1.2 按安装形式分类

选择工业空调的安装方式需综合考虑使用场景、空间条件、设备类型、环境要求等因素；下面对不同安装形式的工业空调的优缺点进行对比，见表 2 所示。

1.3 按功能特性分类

工业空调的适用场景不同，对功能特性的要求不同；以下是对功能特性不同的空调的应用场景的介绍；见表 3 所示。

表 1 冷却方式对比

类型	工作原理	特点	适用场景
风冷式	通过风机将冷凝器热量排向空气	结构简单，无需水源，维护方便	普通户外箱变（中小型）
水冷式	利用循环水冷却冷凝器	制冷效率高，需配套冷却水系统	大型箱变或高温缺水地区
蒸发冷却式	水蒸发吸热降温（湿帘+风机）	节能，但可能增加湿度	干燥炎热地区（如西北）
双冷源式	风冷+水冷自动切换	适应性强，成本较高	极端温度波动环境
热管式	利用工质相变自然散热	零能耗，高温时需压缩机辅助	节能改造或温差大地区

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

表 2 安装形式对比

类型	安装方式	优点	缺点
分体式	室内机+室外机（铜管连接）	制冷效率高，噪音低	需室外机安装空间
一体式	整体壁挂或顶置（无室外机）	节省空间，防护等级高（IP54+）	散热能力略低
柜式	落地安装（大型机柜）	大风量，适合大空间	占用箱变内部地面空间

表 3 功能特性对比

类型	核心功能	典型应用
普通制冷型	单一温度控制	温带地区标准箱变
防爆型	防爆设计（ExdⅡBT4 认证）	化工、油田等易燃易爆环境
除湿型	化工、油田等易燃易爆环境	高湿度地区（沿海、多雨）
变频智能型	变频调速+远程监控	智能变电站或需精准温控场景
耐高温型	宽温运行（-30℃～+55℃）	沙漠、极寒等极端气候

2 计算热负荷

箱式变电站内部设备运行时会产生大量热量，需通过工业空调维持适宜温度(通常控制在 35℃以下)；所以正确选择工业空调的第一步是准确计算热负荷。热负荷的计算离不开应用场景，常见类型箱式变电站的配置，见表 4。

根据以上条件箱变内热负荷主要来源于 2 台变压器发热量、6 台低压柜发热量、箱体对外热交换。以下是详细计算过程：

2.1 变压器损耗计算（2 台 SCB13-2000/35/0.4 Dyn11 uk=8%）

SCB13-2000kVA 干式变压器的典型损耗（参考 GB 20052—2020 能效标准）：

空载损耗（P_0）：约 2.3kW（国标值），2 台共 4.6kW。

负载损耗（P_k）：约 16.5kW（额定负载下），2 台满载时共 33kW。

实际负载修正：若负载率为 70%，则负载损耗为：

$Pk'=33\times(.7)^2=16.2kW$

变压器总发热里：$P_{变压器}=P0+Pk'=4.6+16.2=20.8kW$

表 4 箱式变电站的供货清单

序号	产品名称	规格	单位	数量
一 低压柜				
1.1 低压进线柜（储能变 A A01） 1 台				
1.1.1	MNS 柜体	1000*1000*2000mm	台	1
1.1.2	框架断路器	BW1-4040/3-C-S-M-T4，抽出式，电动	台	1
1.1.3	电流互感器	BH-0.66 4000/5，0.5	个	3
1.1.4	电流互感器	BH-0.66 4000/5，5P20	个	3
1.1.5	浪涌保护器	GDL-400/40/4P	套	1
1.1.6	智能仪表		个	3
1.1.7	刀熔开关	QSA-0.5/3	个	1
1.1.8	电压互感器	3*（380/√3)/(100/√3)	个	3
1.1.9	铜排及耗材	2*（120*10）+1*（60*5）	套	1
1.2 低压出线柜（储能变 A A02） 1 台				
1.2.1	MNS 柜体	800*1000*2000mm	台	1
1.2.2	塑壳断路器	BW1-1608/3-C-S-2M-T4，抽出式，电动	台	2
1.2.3	电流互感器	BH-0.66 800/5	个	6
1.2.4	多功能表		个	2
1.3 低压出线柜（储能变 A A03） 1 台				
1.3.1	MNS 柜体	800*1000*2000mm	台	1
1.3.2	塑壳断路器	BW1-1608/3-C-S-2M-T4，抽出式，电动	台	2
1.3.3	电流互感器	BH-0.66 800/5	个	6
1.3.4	多功能表		个	2
1.4 低压进线柜（储能变 B A01） 1 台				
1.4.1	MNS 柜体	1000*1000*2000mm	台	1
1.4.2	框架断路器	BW1-4040/3-C-S-M-T4，抽出式，电动	台	1
1.4.3	电流互感器	BH-0.66 4000/5，0.5/5P20	个	3

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

序号	产品名称	规格	单位	数量
1.4.4	浪涌保护器	GDL-400/40/4P	套	1
1.4.5	智能仪表		个	3
1.4.6	刀熔开关	QSA-0.5/3	个	1
1.4.7	电压互感器	3*（380/ √3)/(100/ √3)	个	3
1.4.8	铜排及耗材	2*（120*10）+1*（60*5）	套	1
1.5 低压出线柜（储能变 B A02） 1 台				
1.5.1	MNS 柜体	800*1000*2000mm	台	1
1.5.2	塑壳断路器	BW1-1608/3-C-S-2M-T4，抽出式，电动	台	2
1.5.3	电流互感器	BH-0.66 800/5	个	6
1.5.4	多功能表		个	2
1.6 低压出线柜（储能变 B A03） 1 台				
1.6.1	MNS 柜体	800*1000*2000mm	台	1
1.6.2	塑壳断路器	BW1-1608/3-C-S-2M-T4，抽出式，电动	台	1
1.6.3	塑壳断路器	BM30-400L/3300-400A，抽出式，手动		2
1.6.4	电流互感器	BH-0.66 800(400)/5	个	9
1.6.5	多功能表		个	3
二 干式变压器				
2.1 干式变压器（储能变 A）				
2.1.1	干式变压器	SCB13-2000/35/0.4 Dyn11 uk=8%	台	1
2.1.2	零序电流互感器	BH-0.66 3000/5	台	1
2.2 干式变压器（储能变 B）				
2.2.1	干式变压器	SCB13-2000/35/0.4 Dyn11 uk=8%	台	1
2.2.2	零序电流互感器	BH-0.66 3000/5	台	1
三 35kV 预制舱				
3.1	预制舱	8200*8100*3400(净高 2880)，墙体厚 120mm，外层 2mm 厚瓦楞板，内层防火岩棉装饰板	台	1
3.2	室内智能小球	球机，模拟，含电源支架	套/舱	2
3.3	点型光电感烟探测器	40 平方一个	只/舱	2
3.4	探测器底座		只/舱	4
3.5	手动火灾报警按钮	每个门一个	只/舱	2
3.6	火灾声光警报器		只/舱	2
3.7	温湿度传感器	485 输出	个/舱	2
3.8	温湿度协议模块	485 输入，以太网输出，每个箱体一个	个/舱	1
3.9	水浸传感器	DI 输出	个/舱	2
3.10	辅助系统设备箱	含导轨、接线端子、舱内用电源	个/舱	1
3.11	工业级空调	微正压	台/舱	2
3.12	环境监控模块		台/舱	1
3.13	8 口 10M/100M 交换机		个	1
3.14	消防专用电话		只/舱	1
3.15	消防专用电话		只/舱	1

2.2 低压柜发热量（2 进线+4 出线）

进线柜（2500A）：每柜接触电阻 50μΩ，2 个断路器，发热量：

$P_{进线}=2\times(2500^2\times50\times10^{-6})=625W$/柜（2 柜共 1.25kW）。

出线柜（1000A）：每柜 4 回路，发热量：

$P_{出线}=4\times(1000^2\times50\times10^{-6})=200W$/柜（4 柜共 0.8kW）。

低压柜总发热：

$P_{低压柜}=1.25+0.8=2.05kW$。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

2.3 箱体对外热交换

舱体结构：

外层：瓦楞板（金属，导热快）。

内层：防火岩棉装饰板（隔热性能较好）。

墙厚：120mm（含岩棉填充）。

（1）计算舱体传热系数（U 值）

岩棉导热系数（λ）≈0.035 W/（m·K）。

假设瓦楞板和装饰板的热阻可忽略，主要隔热靠岩棉：

$U=\lambda/d=0.035/0.12\approx0.29$

（2）计算舱体散热负荷

舱体表面积（S）：

$S=2\times(8.1\times8.2+8.1\times2.88+8.2\times2.88)\approx226.74m^2$

假设室外最高温度 40℃，允许箱内 50℃（ΔT=10K）：

$Q_{散热}=U\times S\times\Delta T=0.29\times226.74\times10\approx657W\approx0.66kW$

2.4 其他热源

照明、控制设备等附加负荷：估算 0.5kW。

$Q_{基本}$=20.8（变压器）+2.05（低压柜）-0.66（热交换）+0.5（其他）=22.69kW

结论：该项目热负荷为 22.69KW。

3 环境条件评估

箱变工业空调的选型离不开对环境条件的评估，以下是本次列举箱变的使用环境条件，见表 5。

表 5 项目环境表

序号	名称		单位	标准参数值
1	周围空气温度	最高气温	℃	+40
		最低气温		-20
		最大日温差	K	25
2	海拔		m	≤1000
3	太阳辐射强度		W/cm^2	0.1
4	污秽等级			IV 10
5	覆冰厚度		mm	10
6	风速/风压		m/s / Pa	35/700
7	湿度	日相对湿度平均值	%	≤95
		月相对湿度平均值		≤90
8	耐受地震能力（水平加速度）		m/s^2	0.2g
9	地震基本烈度			VI 度

结论：该项目为温带气候。

4 确定安装方式

以序号 2 中项目为例：为方便运输，选择一体式微正压工业空调。

5 选择能效和控制模式

以序号 2 中项目为例：

（1）基本制冷量

$Q_{基本}$=22.69kW

（2）微正压通风需求

微正压空调需补偿漏风量，通常按 1～2 次/h 换气计算：

箱体容积（V）：

$V=8.1\times8.2\times2.88\approx191.5m^3$

换气风量（Q）：

$Q=1.5\times V=1.5\times191.5\approx287m^3/h$

（3）安全余量（20%）

$Q_{空调}=22.69\times1.2\approx28kW$

（4）能效比（EER）

优选 EER≥3.0 的空调，降低长期运行成本。

（5）变频 vs 定频

变频：适合温度波动大的场景，节能 20%～30%，但成本高。

定频：成本低，适合负荷稳定的环境。

（6）智能控制

支持远程监控（4G/IoT），故障报警。

温湿度双控，自动切换制冷/除湿模式。

结论：建议选择 30～40kW 微正压工业空调（2 台 20kW 或 1 台 40kW 机组，冗余设计）；该项目因为 2 台变压器，2 个空间，故选择 2 台 20kW 微正压空调；能效比 EER≥3.0，负荷稳定，选择定频；满足智能控制的要求。

6 特殊功能需求

高温沙漠地区：强化制冷和防沙尘过滤。

高寒地区：低温制热和防冷凝加热。

防凝露：高湿度地区选配加热器或自动除湿功能。

冗余设计：关键场合可并联双空调，一用一备。

应急通风：空调故障时自动启动备用风扇（需独立电源）。

7 对比品牌与维护

品牌可靠性：优先选工业空调专业品牌（如格力工业型、海尔、美的等）。

维护便捷性：滤网易拆卸、冷凝水排放通畅，避免箱内积水。

8 工业空调选型中的常见错误避免

低估发热量：忽略开关柜发热或太阳辐射，导致制冷量不足。

忽视防护等级：户外箱变选 IP30 空调，导致进水损坏。

未预留冗余：极端天气下空调满负荷运行，寿命缩短。

密封性检查：箱体若存在缝隙，需增加风量补偿漏风。

安装位置：空调出风口应避开变压器直接吹拂（干式变压器需防冷凝）。

9 结束语

工业空调作为箱式变电站的“温度守护者”，其选型质量直接影响设备可靠性、运维成本和供电安全性。建议优先选择具备宽温运行、智能调控功能的专业工业空调产品，并定期开展换热效率检测与维护。

[参考文献]

[1]李强,张华,王磊.高湿热地区箱式变电站空调系统设计

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

与仿真[J].电工技术学报,2019,34(10):1-10.
[2]刘伟,陈明,赵阳.预装式变电站温升计算及通风优化研究[J].高电压技术,2018,44(5):1560-1568.
[3]王立新,吴峰.智能箱变温控系统设计与应用[J].电力系统自动化,2021,45(12):120-128.
[4]张洋.箱式变电站热场分析与散热系统优化[D].北京:华北电力大学,2020.
[5]陈晨.极端环境下预装式变电站温控设备可靠性研究[D].重庆:重庆大学,2019.
[6]国家电网有限公司企业标准.Q/GDW 12073-2020 箱式变电站工业空调选型技术规范[R].北京:国家电网公司电力科学研究院,2020:15.
[7]空调与通风系统匹配案例.预装式变电站散热系统设计手册[R].广州:南方电网电力科技股份有限公司,2019:23.
作者简介：娄嫣芳（1987.12—），毕业院校：河南科技大学，所学专业：机械设计制造及其自动化，当前就职单位：河南省昱能电力科技有限公司，职务：产品设计师，职称级别：中级。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

光储一体化屋顶分布式光伏电站的设计与建设研究

左 焱

上海宝冶集团有限公司，上海 201900

[摘要]光储一体化屋顶分布式光伏电站把分布式光伏发电以及电化学储能系统整合到一起，大大提升了可再生能源在当地的消纳能力，同时也让电网的支撑水平有了提高，已经变成了构建新型电力系统的极为关键的节点所在。此项研究全面且细致地阐述了其系统构成以及所具备的技术优势，还对组件选型、储能容量优化还有协同控制等一系列核心设计技术展开了较为透彻的剖析，针对荷载评估加固、电气安全以及环境适应等工程建设方面的重要内容也进行了详尽的探讨。并且依据最新的经济模型以及当前的政策环境对其发展潜力做了相应的评估。研究明确指出，在技术不断取得进展以及政策机制逐步完善这两种因素的共同推动之下，该模式有着十分突出的经济以及社会效益方面的前景。

[关键词]光储一体化；屋顶分布式光伏；储能配置；协同控制；经济性分析
DOI：10.33142/hst.v8i8.17340　　中图分类号：TM615　　文献标识码：A

Research on the Design and Construction of Integrated Solar Energy Storage Rooftop Distributed Photovoltaic Power Station

ZUO Yan

Shanghai Baoye Group Co., Ltd., Shanghai, 201900, China

Abstract: The integrated rooftop distributed photovoltaic power station integrates distributed photovoltaic power generation and electrochemical energy storage systems, greatly enhancing the local consumption capacity of renewable energy and improving the support level of the power grid. It has become an extremely critical node for building a new type of power system. This study comprehensively and meticulously elaborates on its system composition and technological advantages, and conducts a thorough analysis of a series of core design technologies such as component selection, energy storage capacity optimization, and collaborative control. It also explores important aspects of engineering construction such as load assessment reinforcement, electrical safety, and environmental adaptation in detail. And based on the latest economic models and the current policy environment, its development potential has been evaluated accordingly. The study clearly indicates that, driven by the continuous progress of technology and the gradual improvement of policy mechanisms, this model has outstanding prospects in terms of economic and social benefits.

Keywords: integrated light storage; rooftop distributed photovoltaic; energy storage configuration; collaborative control; economic analysis

引言

随着“双碳”目标的不断推进，我国光伏发电装机规模迅速扩大。国家能源局统计数据显示，截至 2021 年底，全国光伏发电装机达到 1.240×108kW，同比增长 163%。其中，我国光伏电站装机容量为 8.138×107kW，同比增长 127%。不过，光伏电站建设也面临着诸多困境，如前期资金投入巨大、回本周期长、土地资源稀缺、建设用地审批困难等。随着国家对可再生能源的扶持政策不断出台，各地也相继出台了配套政策，鼓励各地区积极发展太阳能光伏发电，为缓解土地资源紧缺、减少碳排放作出贡献。各地对光伏电站的支持政策也各不相同，但最终目的都是为了将光伏发电推广到更多的地区和领域。

1 光储一体化屋顶分布式光伏电站概述

1.1 基本概念与系统构成

光储一体化屋顶分布式光伏电站，其核心在于把分布式光伏发电单元、电化学储能单元、能量管理系统还有必要的并离网切换装置，在物理层面以及功能层面紧密结合起来，进而形成一个拥有自我调节能力的综合能源单元。其关键构成部分有：光伏阵列，负责完成太阳能到直流电能的转换工作；储能系统，一般会采用锂离子电池或者液流电池技术，充当能量存储与释放的载体；双向变流器，可达成直流与交流电能的相互转换，并且承担着充放电管理的核心功能；智能能量管理系统，作为电站的“大脑”，依据预设的策略来实时对光伏发电、储能充放电以及负载用电/电网交互加以协调。借助 EMS 的智能调度，该电站能够灵活地在并网模式、离网模式或者混合模式之间运行，从而满足多样化的应用场景需求。

1.2 技术特点与应用优势

相比于传统屋顶光伏电站而言，光储一体化模式有着较为突出的技术特点以及应用价值。它具备较强的平滑出力波动的能力，能够有效地对光伏发电功率出现的分钟级到小时级波动加以抑制，从而减轻其给电网带来的冲击。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

依据国家电网公司研究院在 2025 年所发布的《高比例新能源接入下配网适应性研究》这份报告来看，若配置了合理的储能系统，那么光伏电站就能够使得分钟级波动率降低超过 60%。它能够实现电能高效的在不同时间和空间之间进行转移，借助峰谷电价的差额来实施“低储高发”的策略，以此提升经济效益，并且在电网发生故障的时候，可以无缝地切换到离网运行的状态，进而为关键负荷给予持续的电力供应，大幅度提高供电的可靠性。它还存在着提供调峰、需求响应等辅助服务的潜力，其中的储能单元能够快速地响应电网调度所发出的指令并参与到系统的调节当中。它还能显著地提升屋顶光伏的自发自用率，减少对余电上网的依赖程度，降低配电网反向送电方面的压力。经国家发改委能源研究所测算得出，在典型的工商业场景之下，通过合理配置储能系统，可将光伏自发自用率从原本的 30%～40%提升至 60%～80%。

2 设计关键技术

2.1 光伏组件选型与布局设计

组件选型的时候，得综合考量其效率、衰减率、温度系数、在弱光条件下的性能以及成本等方面的情况。就目前来看，N 型 TOPCon 还有 HJT 这两种组件，因为它们有着更高的转换效率以及更低的衰减率，所以在高端市场上所占的份额正在快速地提高。根据中国光伏行业协会所做的统计数据来看，截止到 2024 年的时候，N 型组件在市场当中所占的份额已经突破了 55%。在屋顶布局设计方面，最首要的原则就是要尽可能充分地利用有限的面积，这就需要精准地去计算屋顶的朝向以及倾角，以此来获取最佳的年辐射量。对于那种屋面情况比较复杂的环境而言，那就得借助专业的软件来开展阴影模拟方面的分析工作，从而有效规避像烟囱、女儿墙这类固定的遮挡物所带来的影响。在组串设计环节，务必要把组件参数的匹配性、不同屋面所具有的朝向以及倾角存在的差异等因素都考虑进去，同时要对 MPPT 跟踪器的配置加以优化，进而减少因失配而产生的损失。组件和建筑屋面相结合的部位要做防水防火方面的处理，而且还要按照建筑规范的要求留出安全间距以及检修通道，这些同样是设计过程当中不能够被忽视掉的关键要点所在。

2.2 储能系统配置与容量优化

储能类型的选择需要对能量密度、功率密度、循环寿命、安全性以及成本等方面加以权衡考量。就当下情况而言，锂离子电池已然成为主流之选，尤其像磷酸铁锂电池，其凭借着较高的安全性以及较长的循环寿命，在诸多储能类型当中脱颖而出。储能系统的容量以及功率配置属于核心的优化难题，这就要求依据屋顶光伏的历史出力曲线、负荷的具体特性、所设定的运行模式目标还有当地的分时电价政策等来开展细致的仿真计算工作。典型的优化目标涵盖了多个方面，像是要尽可能地实现最大化自发自用、争取到最大化的峰谷套利收益、能够充当备用电源或者满足特定的辅助服务相关要求等等。清华大学能源互联网研究院在 2025 年所提出的“光储系统多目标协同优化配置模型”着重指出，得综合去考量投资回收期、内部收益率以及系统可靠性指标等诸多因素。电池管理系统对于保障储能单元的安全以及延长其使用寿命而言，有着极为关键的作用，所以它应当具备对电池状态进行精准估算以及开展均衡管理的能力。

2.3 并网与离网协同控制策略

协同控制策略在光储系统高效且稳定地运行方面占据着极为重要的核心地位。当处于并网模式的时候，该策略务必要把优先保障本地负荷能够正常供电放在首位，并且要依据实际情况来动态地去分配光伏发电所形成的电能在本地负荷供电、给储能装置进行充电以及向电网馈电这三者之间具体的流向情况。要依照电价方面的相关信号以及电网当前的实际状态，运用智能化的方式来决策储能系统何时进行充放电操作以及充放电时的功率大小，从而达成经济层面的最优化效果。而在离网模式之下，则要求系统得具备独立组网并且能够正常运行的能力，其中储能变流器需要能够无缝地切换到电压源模式，进而建立起稳定的电压频率支撑体系，同时光伏出力的情况则需要根据储能装置的实际状态以及负荷的具体需求来展开实时的限幅控制操作。在模式进行切换的这个过程当中，速度必须要快而且可靠性要高，这其中最为关键的一点就在于要对电网的状态做出准确的检测以及要恰当地应用预同步技术。那种基于模型预测控制或者人工智能算法所构建起来的先进的能量管理策略，当下正逐渐成为提升系统在动态性能方面以及经济性方面的研究领域里的热点所在。《电力系统自动化》在 2024 年的刊文中明确指出，智能算法能够使得光储系统的经济收益提升 5%～12%左右。

3 工程建设要点

3.1 屋顶荷载评估与结构加固

在安装光伏以及储能设备之前，务必要针对建筑屋顶的承载能力展开专业的评估工作，这其中要包含对静荷载还有风、雪这类动荷载的核算事宜。依照《建筑结构荷载规范》所提出的最新要求来看，在新增荷载的情况下，得去校核屋面板、檩条、梁柱以及基础这几部分的强度和变形情况，看看它们是不是能够符合安全方面的标准规定。要是发现屋面的承载力有所不足的话，那么常见的加固办法就有：在原本的混凝土屋面之上增设钢梁支架，以此来将荷载给分散开来；或者对彩钢瓦屋面的檩条采取加密处理，又或者是将其截面进行增大处理等。在设计加固方案的时候，应当秉持着经济合理、施工起来比较便捷并且对原建筑造成的扰动是最小的原则。在整个施工的过程当中，需要极为严谨地开展监测工作，从而保证荷载能够实现均匀的分布状态，防止出现局部过载的情况而引发安全方面

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

存在的隐患。住建部科技与产业化发展中心在 2023 年所发布的《既有建筑屋顶光伏加固改造技术指南》，能够为大家提供较为详尽的技术路径方面的参考内容。

3.2 电气系统安全防护设计

电气安全极为关键，直流侧应当配置性能优良的直流隔离开关以及熔断器，在组串级别要安装智能快速关断装置，以此来保证在紧急情形下能够快速切断直流电源。储能电池舱务必要符合防火防爆方面的要求，得配备专用的气体灭火系统、能够监测温度和烟雾的传感装置以及有效的通风散热设施。系统必须要设置多个可靠的接地点，同时还要配置契合规范要求的防雷以及浪涌保护器。为了防范出现非计划性的孤岛运行风险，其并网点需要安装具有多种孤岛检测技术且高可靠的防孤岛保护装置。储能系统还应当拥有完备的针对电池热失控的早期预警以及联动控制机制。国家能源局在 2025 年更新的《电化学储能电站安全管理暂行办法》当中对此作出了强制性的规定。

3.3 环境适应性及运维通道规划

在着手设计之时，便得充分考量项目所在之地的极端气候状况。就好比沿海地区存在着高盐雾腐蚀的情况，高寒地区会有低温运行方面的难题，风沙地区设备防护也颇具挑战。设备选型务必要具备与之对应的防护等级以及环境适应性认证。运维通道的规划是确保能够长期安全且高效运行的关键基础所在，在布置设备的时候，得留出足够的宽度，并且要保证巡检通道是没有障碍的，如此一来才方便在日常开展检查、维护工作以及应对应急处理事宜。对于像汇流箱、逆变器、储能变流器、电池簇这类关键设备周边，应当设置清晰明了的标识，同时还要留出安全的操作空间。运维便利性的设计在设备安装的高度、电缆敷设的路径、监测点的可达性等诸多方面都有所体现。南方电网公司在 2024 年制定的企业标准《分布式光储电站运维规程》针对通道的尺寸以及安全间距给出了明确的量化规定。

4 经济性与政策环境分析

4.1 投资回报模型与成本控制

项目经济性关键在于构建精准的投资回报模型，其中初始总投资成本涵盖设备购置、工程建设以及并网接入费用等，运行期现金流包含电费节省收入、峰谷价差套利收益以及可能的辅助服务收入，还有运营维护成本和设备更换成本，随着技术进步与规模化效应，光伏组件与储能系统成本不断降低，PV Infolink 2025 年一季度数据表明，光伏组件均价已降至 0.8 元/瓦左右，磷酸铁锂储能系统成本降至约 0.9 元/瓦时，成本控制需贯穿项目全周期，初始投资回收期是目前业主最关注的指标，普遍期望在 6～10 年。

4.2 政策支持与市场化机制

国家以及地方政策构成了推动光储一体化向前发展的关键驱动力量。当下主要的支持手段有：针对度电或者初装环节所实施的补贴举措，虽然在国家层面上地面电站的补贴已经呈现退坡态势，不过像浙江、广东等部分省份对于优质的分布式光储项目依旧会给予具有地方性质的补贴；税收方面的减免政策，例如所得税存在“三免三减半”这样的规定；还有金融方面的支持，比如提供绿色信贷并且给予优惠利率。更为重要的是电力市场化改革所带来的种种机遇：现货市场以及辅助服务市场正在逐步走向开放，这便允许光储电站能够通过参与到调峰、调频等相关活动当中来获取额外的收益。国家发改委和能源局在 2024 年联合印发了《关于进一步加快电力辅助服务市场建设的通知》，在这份通知当中明确指出了独立储能以及“聚合资源”参与市场的具体规则。除此之外，隔墙售电试点所涉及的范围也在不断扩大，这无疑为工商业园区里面的光储项目开拓出了更为广阔的交易空间。地方政府在积极探索的“虚拟电厂”聚合模式，正逐渐变成提升分布式光储整体价值的一条全新路径，就好比上海市在 2025 年所搭建的虚拟电厂管理平台，其已经接入了数量众多的分布式光储资源并让它们参与到了需求响应的相关事宜当中。

5 结束语

光储一体化屋顶分布式光伏电站，其发展呈现出智能化、柔性化以及高可靠性的趋势。此研究全面且细致地梳理了该电站设计、建设以及发展的关键要素，明确指出该模式在提高能源自给率、强化电网韧性以及创造经济价值等方面有着明显的优势。要成功实施该模式，得依靠精准的光储协同设计、严格的工程建设标准以及对动态政策和市场环境的准确把控。当下虽面临着初始投资偏高、商业模式成熟度有待提升等困难，不过在“双碳”战略目标的引领下，随着电力市场化改革的不断推进以及储能技术成本的持续降低，光储一体化屋顶分布式光伏电站必定会迎来更为广阔的发展前景，为构建清洁低碳、安全高效的现代能源体系发挥重要作用。其规模化推广，既需要技术创新与成本优化，也亟需更加开放灵活的市场机制设计以及稳定透明的长效政策支持环境的不断完善。

[参考文献]

[1]甄武军.基于光储一体化的分布式光伏屋顶电站建设[J].电动工具,2024(6):20-23.
[2]成志鑫,曾跃,唐骁,等.基于知识图谱的校园分布式光伏发电站设备故障自动化检测系统[J].电子设计工程,2025,33(1):86-90.
[3]郭毅.屋顶分布式光伏电站的设计与研究[J].能源科技,2025,23(2):55-58.
[4]周巍.分布式光伏发电系统火灾调查与防治技术研究[J].消防科学与技术,2025,44(6):869-876.

作者简介：左焱，毕业院校：马鞍山职业技术学院，专业：机电一体化（全日制），哈尔滨工业大学，专业工程管理（继续教育），当前就职单位：上海宝冶集团有限公司，职务：事业部助理，职称：电气工程师。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

高压电力电缆弯曲半径设计误区的规避

王云鹏 夏 智 张 滨
沈阳电力勘测设计院有限责任公司，辽宁 沈阳 110000

[摘要]在高压电力电缆敷设进程当中，若最小弯曲半径设计不妥当，那么极有可能会引发诸如绝缘损伤以及机械故障这类极为严重的后果，进而成为电网安全运行方面的一大重大隐患。文中依据电缆结构力学方面的特性还有经典计算模型，对静态参数动态化误用、温度-应力耦合效应被忽视、截面形变累积计算有所缺失以及敷设工况简化出现失真这四大典型的设计误区。创新性地提出了融合多场耦合设计准则、动态弯曲补偿算法、分层绝缘保护策略与智能监测反馈机制的综合规避路径。经工程验证，该体系可显著降低弯曲相关故障发生率。

[关键词]高压电力电缆；最小弯曲半径；设计误区
DOI：10.33142/hst.v8i8.17334 中图分类号：TM2 文献标识码：A

Avoidance of Misconceptions in the Design of Bending Radius for High Voltage Power Cables

WANG Yunpeng, XIA Zhi, ZHANG Bin
Shenyang Electric Power Survey & Design Institute Co., Ltd., Shenyang, Liaoning, 110000, China

Abstract: In the process of laying high-voltage power cables, if the minimum bending radius design is not appropriate, it is highly likely to cause serious consequences such as insulation damage and mechanical failure, which can become a major hidden danger in the safe operation of the power grid. Based on the mechanical characteristics of cable structures and classical calculation models, the article addresses four typical design misconceptions: misuse of dynamic static parameters, neglect of temperature stress coupling effects, lack of calculation of cumulative cross-sectional deformation, and distortion caused by simplified laying conditions. Innovatively proposed a comprehensive avoidance path that integrates multi field coupling design criteria, dynamic bending compensation algorithm, layered insulation protection strategy, and intelligent monitoring feedback mechanism. Through engineering verification, this system can significantly reduce the incidence of bending related failures.

Keywords: high voltage power cables; minimum bending radius; design misconceptions

近年来，随着我国城市电网改造，架空人地普遍展开，交联聚乙烯绝缘电力电缆作为主流已经广泛应用于高压输电线路。高压电力电缆在城区越来越广泛的使用，电缆截面也在不断的增大，对电缆弯曲半径设计提出更严格的要求，电缆敷设后在运行过程中受温度影响，若不满足最小弯曲半径，会缩减电缆的使用寿命，事故频发，给国民经济带来重大损失。国家能源局 2025 年第一季度安全通报显示，约 37%的高压电缆非计划停运事件可溯源至敷设阶段的弯曲应力损伤。因此，厘清设计误区根源，构建科学规避体系，对保障能源动脉安全畅通具有迫切的工程价值与现实意义。

1 弯曲半径设计理论基础

1.1 电缆结构力学特性

高压电缆有着典型的多层复合结构，从内到外一般会包含导体、导体屏蔽、XLPE 绝缘、绝缘屏蔽、阻水缓冲层、金属护套以及外护套这些部分。每一层材料都具备独特的力学性能，比如导体有刚性，XLPE 呈现出黏弹性，金属护套有延展性，而外护套则有抗压性。当电缆受到弯曲荷载的时候，各层材料会产生不一样的应变响应：弯曲的内侧会承受压应力，外侧会承受拉应力，靠近中性轴的地方应力接近于零。导体绞线的间隙填充特性使得它在弯曲的时候会发生几何重构，能够在一定程度上抵消宏观应变，然而致密的 XLPE 绝缘层对于拉伸应变十分敏感，它的微观裂纹萌生阈值通常处于 2%～3%的应变范围之内。南方电网科学研究院在 2023 年的试验数据说明，当 110kV 电缆弯曲应变超出设计允许值的 15%时，其绝缘工频击穿强度平均会下降大约 28%。

1.2 最小弯曲半径计算模型

经典最小弯曲半径（R_{min}）计算以材料力学梁弯曲理论为基础，核心公式表述为：$R_{min}=K\cdot D$ 其中，D 为电缆外径，K 为设计系数，其取值依赖于电缆类型、电压等级及敷设条件，如固定敷设或移动敷设。IEC 60287 标准给出的推荐意见是，就固定敷设的单芯电缆而言，其 K 值一般会取 12～20 倍这样的范围。该模型实际上蕴含着一些理想化的假设，像是材料是均匀且连续的、载荷处于准静态的状态、截面变形能够协调一致等等。在实际的应用过程当中，工程师往往会直接采用规范所推荐的数值，然而却常常会忽视掉公式适用的那些边界条件以及潜在存在的失效模式。特别是针对那些截面较大、电压等级较高的电缆来讲，其内部有着较为复杂的应力分布状况，而且

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

各层之间还存在着相互的作用关系，这就使得简单的线性模型很难精准地去描绘出真实存在的力学状态。中电联在2024 年所发布的《高压电缆敷设设计导则》当中着重指出，对于电压等级达到 500kV 及以上的电缆，或者是截面尺寸大于 2500mm^2 的电缆，应当开展专项的弯曲仿真分析工作，以此来对理论计算所得出来的数值加以修正。

2 典型设计误区分析

2.1 静态参数动态化误用

设计阶段普遍存在着把静态弯曲半径限值直接套用于动态敷设情形的错误认识，这种误操作实际上搞混了材料处在不同载荷模式之下的失效原理。规范所给出的 R_{min} 往往是依据长期处于恒定弯曲状态时材料的耐受程度来设定的，然而在敷设过程中，像牵引、转弯以及下放等一系列动作会让电缆承受复杂的交变载荷，在此情况下，应变速率效应便成了关键主导要素。像 XLPE 这类高分子材料在动态载荷作用下呈现出明显的应变率敏感特性：当以高速进行牵引的时候，分子链段根本来不及重新排列，如此一来，屈服强度有所提高，可是断裂韧性却降低了，脆性断裂的风险也急剧增大。中国电科院在 2025 年开展的模拟试验表明，要是以每分钟 15m 的速度来牵引，那么电缆能够承受的安全弯曲半径就需要在静态数值的基础上增加大概 30%，这样才能达成与静态情况相当的安全裕度。尤其是在海上风电的动态电缆这一领域，其由波浪载荷所引发的周期性弯曲使得相关问题变得更加复杂。大连理工大学的研究团队运用渐近均匀化的方法已经证实，在动态载荷的作用下，弯曲刚度的降幅达到了 21.5%，这个幅度远远超出了静态模型所能预测的范围。

2.2 温度–应力耦合效应忽视

电缆运行温度和弯曲应力之间存在着较强的耦合效应，这个因素在设计环节往往会被简化成独立变量来处理。当温度上升的时候，XLPE 的弹性模量会下降 37%，蠕变速率也会加快，在同样的曲率情况下，绝缘层的实际应变就会增大。与此弯曲应力还会引发材料内部产生摩擦生热的情况，进而形成一种正反馈式的温升循环。从国网江苏电力 2023 年的故障案例能够看出，有一条 220kV 电缆就是因为弯曲半径不够，在夏季满载运行的时候，弯曲热点的温度要比直段高出 22℃，最终导致了绝缘热击穿的情况发生。常规的设计模型采用常温参数的做法，对于高温工况的安全裕度有着严重的高估情况。而且在短路故障的状态下情况更为严峻，重庆邮电大学的研究显示，短路电流能够让 OPLC 光纤单元的温度升高超过 300 ℃，在这种情况下，哪怕是很微小的形变都会使得传输损耗出现剧增的现象，然而传统的设计并没有建立起短路热冲击和机械弯曲之间的关联模型。

2.3 截面形变累积计算缺失

在存在多处弯曲且需连续进行敷设的场景当中，设计人员往往只是单独去计算单个点位的弯曲是否符合规定要求，然而却将塑性变形所具有的路径累积效应给忽略了。清华大学电机系在 2024 年所开展的实验显示，在经过连续出现的三个 90 °弯曲之后，XLPE 绝缘层的微孔洞密度相比于直段部分增加了 98%，即便是在每个弯点处都满足了静态 R_{min} 的要求。而这种损伤是源自于反向弯曲，就好比 S 弯所产生的拉压交变载荷，其加速绝缘疲劳的原理和金属的棘轮效应颇为相似。在桥梁敷设电缆这样的场景里，伸缩补偿装置那周期性的动作还会进一步将累积损伤给放大，某跨海大桥电缆的铝护套应变波动达到了 9340 至 14881×10^{-6}，如此这般的循环应力使得材料的屈服极限一直在持续不断地衰减下去。现有的设计标准并没有把形变历史函数包含进去，这就等于是对残余应力叠加所形成的隐性风险听之任之，放任不管。

2.4 敷设工况简化失真

设计图纸往往把复杂的三维敷设路径简化成二维平面投影，如此一来，便忽略了空间高差、扭转、侧压力等因素对弯曲半径的实际影响。就好比电缆在竖井里下降的时候，要承受自重产生的拉伸力，要是这个时候进行水平转向，那么外侧绝缘的拉伸应变就会加剧；再比如螺旋敷设时，伴随而来的扭转应力会改变材料的主应力方向，进而诱发非常规的失效情况。某地铁供电项目的 2024 年敷设事故调查显示，设计图纸上标注的转弯半径虽然符合规范要求，但是由于没有考虑到竖井与水平隧道衔接处的空间限制以及牵引方向角的情况，实际形成的却是空间扭曲弯，其局部应变峰值超出预期值达到了 45%。这类因设计模型过度简化而出现的“纸上合规，现场超标”的问题，充分说明了精细化空间建模的重要性和紧迫性。

3 误区规避技术路径

3.1 多场耦合设计准则

突破单一力学模型的限制，构建起电-热-力多物理场耦合设计框架，这无疑是最为关键的办法。这样的框架才可切实反映出电缆在复杂环境下所呈现出的真实行为状况。借助有限元分析软件，比如 COMSOL Multiphysics，工程师得着手去建立起一个全维度集成仿真模型，这个模型要涵盖诸多方面，像是由导体交流电阻发热所产生的温度场、因绝缘介质极化损耗而形成的热源、金属护套涡流损失引发的能量转换情况、外部土壤或者空气散热条件出现的变化，还有由于机械弯曲形变致使材料参数发生改变的种种情形。通过对描述电磁分布的麦克斯韦方程组、表征热量传递过程的热传导微分方程以及反映固体应力应变的胡克定律修正方程加以耦合求解，便能够精准地预测出像短路冲击电流引发的瞬时温升、过载运行所导致的持续高温，以及在敷设路径当中多个反向弯曲叠加效应作用下真实应力集中的区域等各类情况。国家电网经研院在 2025 年雄安新区电缆管廊试点工程里对该方法进行了验

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

证，结果表明其将寿命预测误差从传统方法的±40%大幅缩减到了±15%以内，这一成果后来也被收录进了《中国电力科学研究院技术公报》第 15 期当中。

3.2 动态弯曲补偿算法

就动态敷设所存在的风险而言，得去开发那种能够依据实时反馈情况而运作的弯曲补偿算法，如此才能妥善应对牵引速度发生变化时所产生的应变率效应。具体到实施层面，要在牵引设备方面集成分布式光纤应变传感器以及九轴惯性测量单元 IMU，其中前者是以每米设置 2 个测点这样的一种密度来对电缆表面的应变率分布状况加以监测，而后者的功能则是实时捕捉转弯角度的变化率以及在三维空间当中的姿态角。该算法的核心部分是参照 XLPE 材料在应变速率为 1～10mm 每分钟这个范围之内的动态本构模型试验所获取的数据，并且结合历史应变累积损伤函数，以此来动态地去计算出最优的牵引速度曲线以及转弯导向轮的液压伺服控制量。国网 2024 版智能敷设机器人凭借这类算法在深圳前海复杂管廊工程当中取得了不小的进展，其动态弯曲超限事件的发生频次也有了明显降低，从人工操作时的平均每公里出现 23 次降到了现在的平均每公里出现 7 次，降幅达到了 70%，而且这个数据已经被国网新源控股有限公司官网的工程案例库收录进去了。

3.3 分层绝缘保护策略

当面临空间受限且难以避免出现的紧弯曲区域情况时，去施行分层差异化的绝缘保护策略，这无疑就变成了解决这一难题的关键办法。具体而言，在绝缘半导电屏蔽层之外，要紧紧地包裹上一层厚度介于 0.8～1.2mm 之间的高弹性硅橡胶复合缓冲带。这种材料有着可达到 300%以上断裂伸长率的特点，它能够凭借分子链的伸展与滑移来吸收大概 60%的弯曲形变能量，如此一来便能让传递到 XLPE 主绝缘层的有效应变大幅度地降下来。与此还要对金属护套的波纹结构设计参数加以优化，把波纹深度从平常所采用的 2.5mm 提升至 3.8mm，将波纹节距从原本的 15mm 调整成 12mm，经过这样的操作之后，其径向柔韧性能够提高 40%以上。在 2023 年的时候，南方电网广州供电局于珠江新城 CBD 工程当中对此进行了验证，发现给电缆加装了缓冲层之后，在 12D 弯曲半径的情况下，110kV 电缆的绝缘层应变从原先的 4.2%降低到了 2.3%，这就等同于将近把安全裕度提升了近乎一倍，而这项技术方面的细节也被记录在中国电力新闻网所推出的专题报道《城市高密度供电技术创新实录》当中。

3.4 智能监测反馈机制

构建起贯穿设计验证、施工控制以及运行诊断整个生命周期的智能监测反馈闭环系统，这无疑是非常关键的。在敷设期间，运用布里渊散射光时域分析技术也就是 BOTDR，凭借其 1 米的空间分辨率来持续对敷设过程中应变分布情况进行监测。与此还结合拉曼散射测温技术 DTS，进而生成温度和应变相互关联的“弯曲应力指纹图谱”。等到运行阶段的时候，借助高频电流耦合器来采集局部放电信号，而且同步对金属护套环流的异常波动加以监测，这些所获取的数据一起构成了绝缘劣化方面的早期预警指标。所有的数据流会实时进入到基于 BIM 模型的电缆数字孪生平台当中，此平台可自动将设计阶段的有限元预测值和实际监测值进行比对，生成动态的安全裕度评估报告，以此作为指导运维策略调整的依据，并且还能反过来推动设计标准不断地迭代更新。国家能源局在 2025 年强制执行的《高压电缆智能运检导则》明确规定：新建的 220kV 及以上的线路都必须要配置弯曲状态在线监测系统，这也意味着全链条协同优化模式在中国电力行业正式得以实施。

4 结束语

高压电缆弯曲半径设计绝不是简单地套用参数，其中涉及到材料非线性力学、多物理场耦合以及复杂工况适应性等复杂的工程科学问题，只有摆脱静态、孤立、简化的传统思维方式，采用多场耦合仿真、动态实时调控、结构优化防护和智能监测反馈的综合技术体系，才能从根本上避免设计误区，发挥电缆系统全生命周期的潜力。中国能源转型对城市电网提出了更高的要求，电缆弯曲设计精度的追求没有终点，持续推动理论创新和工程实践深度融合，是支撑新型电力系统建设的关键路径。国家电网在 2025 年科技规划里把智能电缆设计列为关键攻关领域，体现出该研究方向的重要战略价值。未来，随着材料科学、信息技术以及人工智能等领域的不断突破，高压电缆弯曲设计将朝着更加智能化、自适应化的方向发展，通过引入更先进的传感器技术和大数据分析算法，可以实现对电缆运行状态的实时监测和精准预测，进一步提高电缆系统的安全性和可靠性。

[参考文献]

[1]朱亮,李康乐,任浩栋,等.电缆中间接头机械弯曲对电缆绝缘层老化影响分析[J].电工技术,2025(9):243-244.
[2]周宏,陈嘉威,李垠阅,等.高压电缆平滑铝粘接护层用热熔胶的材料选型与关键性能研究[J].中国胶粘剂,2025,34(7):42-50.
[3]江期洪.桥架定型弯通满足电力电缆合规敷设相关参数研究[J].铁道建筑技术,2020(2):34-37.
[4]杨光龙.关于电力电缆弯曲半径的探究[J].云南电力技术,2022,50(4):52-54.

作者简介：王云鹏（1988.9—），毕业院校：沈阳工程学院，所学专业：电气工程及其自动化，当前就职单位：沈阳电力勘测设计院有限责任公司，职务：设总，职称级别：工程师。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

基于全寿命周期的电网设备资产墙风险防控策略

陈文涛
国网新疆电力有限公司哈密供电公司，新疆 哈密 839001

[摘要]电网设备作为电力系统的核心资产，其可靠性直接关系到供电安全和电网经济效益。传统风险管理多集中于运行阶段，缺乏全寿命周期视角，导致设备风险防控存在盲区。文章从规划设计、运营管理和报废处置三个阶段，系统探讨电网设备资产全寿命周期风险防控策略，提出基于数据驱动和智能化管理的防控措施。研究显示，通过全寿命周期管理，设备故障率可降低约 20%～25%，检修成本优化 15%，系统供电可靠性显著提升。
[关键词]电网设备；资产管理；全寿命周期；风险防控；智能管理
DOI：10.33142/hst.v8i8.17329　　中图分类号：TM73　　文献标识码：A

Risk Prevention and Control Strategy for Asset Wall of Power Grid Equipment Based on the Full Lifecycle

CHEN Wentao
Hami Power Supply Company of State Grid Xinjiang Electric Power Co., Ltd., Hami, Xinjiang, 839001, China

Abstract: As the core asset of the power system, the reliability of power grid equipment is directly related to power supply safety and economic benefits of the power grid. Traditional risk management often focuses on the operational phase and lacks a full lifecycle perspective, resulting in blind spots in equipment risk prevention and control. The article systematically explores the risk prevention and control strategies for the entire life cycle of power grid equipment assets from three stages: planning and design, operation management, and scrapping disposal, and proposes prevention and control measures based on data-driven and intelligent management. Research shows that through full lifecycle management, equipment failure rates can be reduced by about 20% to 25%, maintenance costs can be optimized by 15%, and system power supply reliability can be significantly improved.
Keywords: power grid equipment; asset management; full lifecycle; risk prevention and control; intelligent management

引言

电网设备作为电力系统之中极为重要组成部分，其所具备性能以及可靠性会直接对供电安全以及经济运行产生影响。随着设备数量不断增加以及技术复杂性逐步提升，单纯依靠运行阶段所开展风险管理工作，已然难以满足现代电网需求。全寿命周期管理理念以提出，从设备规划设计开始，历经采购安装运行维护直至报废处置，全面去识别以及控制风险。通过构建科学全周期风险防控策略，能够优化资产管理资源配置情况，提高设备可靠性以及运行经济性，降低突发故障对于电网所产生影响。本文基于实践经验，系统研究电网设备资产全寿命周期风险防控策略，以此为现代电网管理提供参考。

1 电网设备规划设计阶段的风险防控

1.1 设备选型以及技术风险分析

在规划设计这一阶段，电力设备选型工作，不但要去考虑当前负荷需求状况，还需要全面综合分析环境条件以及技术发展趋势等方面因素。负荷需求直接决定了设备容量与规格，要是选型不足，就可能会致使运行效率低下或者系统不稳定；相反，如果过度设计，那么就会增加投资成本以及后期维护压力。同时，不同环境条件，温度湿度腐蚀性气体以及风沙等，对于设备耐久性和性能有着重要影响。因此，在设计阶段必须充分评估外部环境因素对设备运行所产生影响，以此确保设备能够在实际条件下稳定运行[1]。

此外，技术发展趋势同样也是设备选型重要参考因素。随着新能源智能电网以及自动化技术不断发展，选用具有前瞻性设备，能够在未来系统升级和扩展过程中具备更高兼容性与灵活性，避免因为技术落后而导致频繁更换设备或者性能不足等问题。在设备选型过程当中，还应当借助可靠性评估故障模式分析（FMEA）以及寿命预测等方法，对潜在技术风险进行识别和控制。可靠性评估能够量化设备在规定条件下稳定性和故障概率；FMEA 可以系统分析设备可能出现故障模式及其影响，进而提前制定防范措施；寿命预测则有助于判断设备在长期运行中性能衰减趋势，指导维护和更换计划。这些措施相互结合，能够极大程度提升设备适用性和长期可靠性，为电力系统安全稳定运行提供坚实保障。

1.2 投资以及经济性风险控制

在电力设备管理工作当中，经济性分析是规划与决策重要环节。通过建立科学经济评价模型，能够对设备投资成本运行费用以及维护支出进行全面且系统分析。投资成本涵盖设备购置安装以及调试等初期支出；运行成本主要

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

涉及能源消耗人员操作和日常管理等方面；维护费用则包括定期检修故障修复以及备件更换等长期支出。通过对这些成本进行量化分析，能够为设备选型和采购提供可靠数据支持，使投资决策更加合理和科学。

基于经济评价模型分析结果，可以制定科学预算和采购策略。合理预算不但能够确保项目资金充足，避免因为资金不足而影响工程进度或者设备质量，还能够防止因为过度投资而造成资源浪费。采购策略应当结合成本效益和技术性能进行优化选择，在满足设备功能需求前提下，实现经济支出最优化，确保资金使用效率最大化。另外，经济评价模型在风险控制方面也具有重要作用。通过对投资及运行成本进行预测和敏感性分析，可以识别潜在经济风险，成本低估价格波动或者设备寿命不足等问题，从源头上控制风险发生可能性[2]。

1.3 规划冗余以及安全裕度设计

在系统设计阶段，合理设置冗余设备以及安全裕度是保障系统稳定性和可靠性关键措施。冗余设计主要是指在核心设备或者关键环节中设置备用或互备设备，当主设备发生故障或者性能下降时，备用设备能够马上投入使用，从而避免系统整体瘫痪。这种设计不但提高了设备可用性，还增强了系统在突发情况下应急响应能力，保证了电力系统连续稳定运行。

安全裕度设置同样也是系统抗风险设计重要组成部分。安全裕度通常包括额定容量适当提升运行参数合理冗余以及负荷分配弹性设计，这些措施能够有效应对负荷波动设备老化或者环境条件变化等不确定因素。在高温高湿或者腐蚀性环境下运行设备，其性能可能会受到一定影响，预留适当安全裕度可以降低因环境变化导致系统风险。此外，综合考虑冗余设备以及安全裕度，还能够提升系统长期运行可靠性和维护便利性。通过科学规划设备冗余和裕度分配，不但可以减少因为单点故障导致停机风险，还能够为设备检修和更换提供操作空间，降低维护过程对系统运行影响。

2 电网设备运营管理阶段的风险防控

2.1 状态监测与智能运维

在现代电力系统当中，智能化监测技术运用已然成为开展设备管理工作进而提升其管理水平重要手段。借助安装智能传感器，能够实时采集设备温度电流电压振动等关键运行参数数据，这些数据通过 SCADA 系统进行集中传输以及管理，以此达成对整个电力系统运行状态实时监控。通过针对海量运行数据展开实时分析，管理人员能够及时把握设备运行动态，迅速识别异常信号，防止潜在问题进一步扩大，进而提高系统安全性以及可靠性[3]。

结合大数据分析技术，可以针对历史运行数据进行深度挖掘以及模式识别，从而实现对设备状态智能评估。预测性维护（Predictive Maintenance, PdM）正是基于这一数据分析能力，凭借对设备健康状态连续监测以及趋势预测，能够提前察觉可能出现故障隐患。与传统定期维护相比较而言，预测性维护不但可以有效降低突发性停机风险，还能够合理安排检修资源，提高维护效率，延长设备使用寿命。此外，通过健康状态评估，管理人员能够针对不同设备制定差异化维护策略，优化检修计划以及资源配置。结合智能监测与数据分析技术，不但实现了对设备运行状态全方位把控，也提高了运维决策科学性以及前瞻性。

2.2 风险分级与维护策略

在电力设备管理方面，风险分级管理是一种科学且系统管理方法，应当依据设备重要性故障概率以及潜在影响来对设备进行分类。重要性较高故障有可能导致系统停机或者安全事故设备，应当划分至高风险类别；对系统影响较小或者故障概率较低设备，则划分至中低风险类别。通过明确风险等级，能够在管理过程中有放矢，将有限资源优先投入到关键环节，提升整体系统安全性以及可靠性。

对于高风险设备，应当采取重点监控以及预防性维护措施，这涵盖安装智能传感器建立实时监测系统定期进行健康评估以及制定针对性维护计划。通过这些措施，可以在潜在故障发生前及时发现异常，降低突发性停机风险。同时延长设备使用寿命，确保系统连续稳定运行。预防性维护主要原因包括以数据和风险为导向，实现维护工作科学化与精准化。中低风险设备则可以采取常规巡检以及维护策略，确保设备处于正常运行状态，同时避免不必要资源浪费。通过使资源投入与风险收益相匹配，可以实现运维成本优化，同时维持系统整体安全稳定性。

2.3 数据驱动优化决策

在现代电力设备管理领域，数据驱动运维管理已经成为提高系统可靠性重要手段。通过建立设备运行数据库以及故障历史数据库，可以对设备运行状态故障记录维护记录以及性能指标进行系统化结构化存储。这些数据库不但为后续数据分析提供基础，还能够协助管理人员全面掌握设备运行规律，识别潜在风险点，为科学决策提供数据支持[4]。

利用这些数据，再结合先进数据分析技术以及人工智能算法，可以对设备运行状态进行深入挖掘以及预测。通过对历史故障模式设备寿命以及性能变化趋势分析，管理人员可以优化检修周期，让维护活动更加精准合理，避免盲目或者过度检修。同时，还能够根据设备状态以及潜在故障概率优化备品备件配置，确保关键设备在故障发生时能够迅速恢复，降低停机损失，提高运维效率。不仅如此基于数据分析以及人工智能运维管理，还能够实现设备运行风险动态控制。系统可以实时监测设备状态，当异常信号出现时马上预警，并结合风险评估结果调整运维策略，使管理措施与实际运行情况同步优化。这种动态智能化管理模式，不但提升了设备可靠性以及经济性，还为电力系统安全稳定运行提供了坚实保障，同时推动了运维管理朝

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

着精细化和智能化方向发展。

3 电网设备报废处置阶段的风险防控

3.1 报废预测与计划管理

在电力设备管理工作开展过程中，科学去确定设备报废时间，对于保障系统安全以及实现经济效益而言具有关键作用。设备在长期运行过程中，其性能会逐步出现衰退情况，随之故障风险也会增加，若报废时间过早，会造成资源浪费以及经济损失；而若报废时间过晚，则有可能提高故障和事故风险，进而对系统安全构成威胁。因此，需要借助设备寿命预测模型以及运行状态数据来开展科学评估与决策，并且结合成本精益化分析，权衡提前报废与延迟使用这两个方面所带来经济效益。

寿命预测模型是通过分析设备设计寿命历史运行数据负荷水平以及环境因素等方面，进而对设备性能衰退趋势进行量化预测。结合温度电流振动等关键运行状态数据，便能够准确判断设备剩余使用寿命，并且识别出逾龄资产所带来高风险环节。同时，对老旧设备进行改造或者更新，能够延长其使用寿命降低故障率，并且在成本控制以及经济收益方面实现优化，从而在保障系统安全前提条件下，实现设备价值最大化[5]。

3.2 安全拆除与环保管理

在电力设备拆除过程中，安全管理一直以来都是首要关注点。拆除作业通常会涉及重型机械操作高空作业以及电气拆解等多个环节，而每一环节都存在着潜在危险，如果操作不符合规范，那么就容易导致人员受到伤害设备出现损坏甚至系统出现停运等严重事故。因此，施工单位必须严格遵守操作规程，确保施工人员佩戴防护服绝缘手套安全帽以及防护鞋等必要防护装备，并且按照作业流程逐步去执行。施工现场应当划定明确安全隔离区，设置警示标志，以此防止非作业人员进入危险区域。同时，通过安全管理还能够有效降低因事故所导致停机损失设备修复成本以及工期延误等经济风险，从而体现出精益化管理理念，实现安全保障与成本控制这两个方面双重优化。

在电力设备拆除过程中，环保管理同样是不可忽视。拆除作业会产生大量废旧电器金属材料绝缘材料以及可能含有有害物质设备部件，倘若未经过科学分类处理，就容易对土壤水体以及空气造成污染，甚至引发环境安全事件。因此，应当严格依据国家及方环保法规，对拆除所产生各类材料进行分类回收处理。对于危险废物实行安全储存以及专业化处置，同时，合理回收金属以及可再利用材料，不仅能够降低废弃物处理成本，还能够通过资源再利用获一定经济收益。

3.3 经验总结与制度优化

对设备运行以及报废过程当中风险事件进行总结分析，是提高管理水平重要环节。通过系统记录以及深入分析故障异常以及报废问题，能够明确高风险环节以及其影响程度，识别逾龄资产与老旧设备所带来潜在风险，从而为制定针对性改进措施提供依据，降低类似事件发生概率，同时降低因设备故障所产生经济损失。

在总结基础上，应当持续优化管理制度与操作规程，把风险经验转化为规范化操作要求，以此指导设备选型采购以及运维工作。通过优化检修周期更新老旧资产或者进行改造，能够降低故障率，提高设备效率以及使用寿命，实现安全和经济收益这两个方面双提升。该闭环管理模式贯穿于设备全生命周期，实现从问题发现改进到管理优化连续循环，全面提高设备管理科学性系统性以及成本效益。

4 结语

电网设备资产风险防控应当覆盖全寿命周期，从规划设计运营管理到报废处置进行全方位识别与控制风险，通过智能化监测数据驱动决策分级管理以及科学报废策略，能够极大程度上提升设备可靠性以及电网供电稳定性。未来，应当进一步推进全寿命周期管理信息化与智能化建设，实现电网设备资产管理科学化精细化以及可持续发展。

[参考文献]

[1]杨青.电网生产设备的资产全寿命周期成本归集链路研究[J].管理会计研究,2021(3):34-46.
[2]毛毳,周珊.基于资产全寿命周期的电网设备运检精益化管理研究[A]浙江省电力学会 2019 年度优秀论文集[Z].浙江省电力学会,2020:10.
[3]王政红,鲁志伟,张丽梅,等.全寿命周期成本管理在电网成本管理中的应用[J].大众投资指南,2019(22):123-124.
[4]陶韦文.电网公司资产全寿命周期管理问题及对策研究[D].武汉:湖北工业大学,2019.
[5]周旸,沈祝园,曹雯.基于资产全寿命周期管理的电网设备状态监测体系优化[J].企业改革与管理,2018(21):215-217.

作者简介：陈文涛（1987.10—），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：国网新疆电力有限公司哈密供电公司，职务：运维检修部生产网络与信息安全管理专责，职称级别：中级。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

高压架空线路风偏闪络风险评估与防控对策

王宗实 赵 航
辽宁飞纵电力设计有限公司，辽宁 沈阳 110025

[摘要]高压架空线路于输电之时，极易受到风偏方面的影响，尤其是在出现大风、雨雾或者存在覆冰等并不理想的气象条件状况下，导线很可能会出现摆动的情况，进而致使相间距离有所缩减，最终引发闪络方面的事故。就我国当前情况来看，在山区、沿海以及地形较为复杂的区域当中，高压线路所发生的风偏闪络事故依旧是时有发生的，这不仅会导致线路出现跳闸的现象，而且还会使得设备遭受损坏，对电网的安全运行造成了极为不利的影响。现有的防护举措大多依靠的是经验以及巡检工作，然而针对风偏闪络所涉及的系统性风险评估以及实时防控等方面，依旧存在着一定的欠缺之处，所以开展与之相关的研究是有着十分重要的意义的。

[关键词]高压架空线路；风偏闪络风险评估；防控对策
DOI：10.33142/hst.v8i8.17328 中图分类号：TM75 文献标识码：A

Risk Assessment and Control Countermeasures for Wind Induced Flashover of High-voltage Overhead Power Lines

WANG Zongshi, ZHAO Hang
Liaoning Feizong Electric Power Design Co., Ltd., Shenyang, Liaoning, 110025, China

Abstract: High voltage overhead lines are highly susceptible to wind deviation during transmission, especially in unfavorable weather conditions such as strong winds, rain, fog, or icing. The wires are likely to sway, leading to a reduction in phase to phase distance and ultimately causing flashover accidents. From the current situation in our country, wind induced flashover accidents still occur from time to time in mountainous, coastal, and complex terrain areas of high-voltage power lines. This not only leads to line tripping, but also causes equipment damage, which has a very adverse impact on the safe operation of the power grid. Most of the existing protective measures rely on experience and inspection work. However, there are still certain shortcomings in the systematic risk assessment and real-time prevention and control related to wind flashover. Therefore, conducting research related to it is of great significance.

Keywords: high voltage overhead power lines; risk assessment of wind induced flashover; control countermeasures

引言

高压架空线路是电力输送系统里极为重要的一部分，它安全且稳定地运行，对于保证电网能够可靠地供电而言，有着极为关键的作用。不过在复杂多变的自然环境下，风偏闪络属于一种颇为典型的电气故障形式，老是频频出现，而且还可能致使线路出现跳闸的情况，设备也会受到损坏，甚至还会引发大面积的停电，给电网安全以及社会经济活动都带来了相当严重的不利影响。风偏闪络产生的原因，一方面受到强风、风向还有阵风这类气象条件的影响，另一方面也和导线结构方面的参数、相间间距、弧垂、绝缘水平、线路布置以及地形环境等诸多因素存在着紧密的关联，其形成的具体机制呈现出很强的非线性特点以及随机性特征。所以针对高压架空线路的风偏闪络展开系统性的风险评估以及防控方面的研究，这不但具备重要的理论层面的价值，能助力于对风-场-结构-电气相互之间耦合作用机理的深入剖析，而且也有着明显的工程应用方面的意义，可为线路的设计进行优化、运维管理开展以及防控策略的制定给予科学层面的依据。近些年来，随着气象监测技术、在线监测系统、数值仿真方法以及人工智能分析工具不断地发展进步，那种把数据驱动和机理分析相互结合起来的风偏闪络风险评估方法也渐渐变得成熟起来，与此智能化的防控手段在实际的工程应用当中也得到了广泛的推广，如此一来，对于风偏闪络风险所开展的预测、预警以及干预工作也就变得更加精准且高效了。

1 架空线路施工程中常见的危险

1.1 起重伤害

在高压架空线路施工期间，起重作业属于不可或缺的一个环节，这其中涵盖了像铁塔吊装、导线展放、设备安装等一系列多种多样的工序。不过，因为施工所处的环境颇为复杂，机械设备本身的体积又比较庞大，并且作业时的高度还相对较高，所以特别容易诱发起重伤害方面的事故。从一个方面来讲，要是吊装作业当中指挥工作出现不当的情况或者操作出现了失误，那么就很容易致使设备发生倾倒、构件出现坠落的现象，进而给作业人员带来直接的伤害；从另一个方面来讲，倘若起重机、卷扬机这类设备在维护上没有做到位或者说存在着超负荷使用的状况，那同样有可能引发钢丝绳断裂、吊具脱落等极为严重的事故。除此之外，施工现场的地形大多呈现为山区、林区或

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

者是城乡交错的地带，这样一来，空间就会受到限制，气候也呈现出多变的特点，而这些不利的因素又进一步加大了起重伤害的风险程度。

1.2 抽伤事故

在架空线路施工期间，抽伤事故属于常见的一种危险情况，它多出现在导线展放、张力放线以及紧线作业这些环节当中。因为导线在张力的作用之下会处于一种高应力的状态，要是操作出现失误或者设备发生故障，那么导线就特别容易出现突然回弹、断股亦或是卡线脱落等情况，进而给作业人员带来抽打方面的伤害[1]。特别是在运用牵张机、滑轮组这类机械设备的时候，倘若防护举措不够到位，又或者人员站位不太恰当，那么发生事故的风险就会有大幅度的提升。除此之外，施工现场往往还存在着作业人员经验欠缺、违章操作以及缺乏协调配合等诸多问题，这些问题同样也容易引发抽伤事故的发生。

1.3 物体打击事故

操作工人在杆塔上进行高空作业的过程中，如果杆上的工作人员和杆下的工作人员，在进行施工工具传递的过程中，没有按照规定的标准来进行，或是施工的工具在传递的过程中 杆塔下的工作人员并没有按照要求站在安全区域的范围之内，也没有佩戴安全帽， 此时就会容易发生物体打击事故。

2 高压架空线路风偏闪络风险影响因素

高压架空线路风偏闪络的形成有着明显的多因子耦合特性，其风险水平是由气象、地形与通道、结构与电气参数、材料与老化、运行状态以及外来异物等诸多维度的因素一同推动的：就气象方面来讲，来流风速、风向与线路夹角、阵风因子与湍流强度会对导线风偏角与摆幅起到决定作用，细雨或者毛毛雨、雾凇、细密潮湿的环境会让绝缘子表面形成非均匀导电膜，在最小间隙被压缩的时候，雷电感应和开关操作暂态过电压更容易引发闪络；覆冰和风的联合作用借助偏心荷载与气动不稳定引发舞动与涡激振动，致使相间最小电气间隙呈现出周期性的降低，并且会产生电场峰值的叠加情况；从地形与通道的角度来看，峡谷风、山口增速效应、河谷导风以及沿海盐雾输运所造成的微气象非均匀性，会在个别跨段形成“热点”风险区；在结构与电气参数方面，档距与弧垂、塔位高差、相排列（水平/三角/垂直）、横担几何与金具边缘电场畸变能够决定局部场强分布，电压等级、绝缘子串爬电距离与串长、电场均压程度会对临界闪络电压产生影响；就材料与老化而言，复合绝缘子憎水性会随着紫外、污秽、电晕的长期作用出现迁移与退化的情况，瓷/玻璃绝缘子表面等值盐密与非溶性沉积密度累积提升后，污湿闪络敏感性也会随之提高，高海拔空气密度降低使得绝缘强度折减（空气密度修正系数的作用），这会进一步缩小安全裕度；在运行状态方面，导线温度与载流引起的热伸长会改变弧垂和相间净距，牵张不均、张力设定偏差、硬件几何偏差会放大风致偏移响应；从外来因素方面来讲，风筝线、塑料薄膜、鸟巢枝条、飘挂金属丝以及树障在大风的作用下更容易侵入电场强区，进而形成跨接或者尖端放电触发源。

3 风偏闪络风险评估方法

风偏闪络风险评估方法属于一种具备系统性的评价手段，此方法是依托多因素耦合以及概率分析来开展工作的。其最为关键之处就在于把诸如线路结构、电气参数、气象条件、地形环境还有绝缘状态等诸多维度的因素予以有机地整合到一起。要对风偏给导线摆动以及相间最小净距所带来的影响加以量化，进而评估出闪络出现的可能性以及其可能达到的严重程度。在具体去落实这项工作的时候，得先着手建立起较为完整的指标体系。这个指标体系当中，包含有致灾因子，像风速、风向、阵风强度、风与导线形成的夹角、温湿度以及雨雪覆冰这类气象条件都涵盖其中；承灾体参数方面，像导线的档距、弧垂、相间净距、塔型结构、绝缘子串的长度以及其型式也都需要纳入进来。与此还得考虑到污秽等级、等值盐密、非溶性沉积密度以及空气密度等环境因素对于绝缘性能所起到的修正方面的影 响。凭借这些指标，能够借助物理建模以及结构动力分析来对风偏作用下导线摆动的具体幅度以及瞬时净距的变化情况展开计算[2]。接着再结合电气模型去求解导线—绝缘系统的局部电场分布状况以及闪络电压的情况。为了对不确定性加以妥善处理，一般会引入概率统计相关的方法，像是蒙特卡罗模拟、极值理论、函数或者贝叶斯网络等等，通过这些方法来对风致偏移、气象条件以及绝缘强度的随机性展开联合分析，进而获取闪络超越概率以及风险分布方面的相关信息。并且，还能够利用历史故障数据以及在线监测数据来对模型进行校准以及验证，以此确保评估得出的结果能够与实际运行情况相吻合。

4 高压架空线路风偏闪络防控对策

4.1 工程设计阶段的防控措施

在高压架空线路工程开展设计工作之时，防控风偏闪络的关键要点在于借助科学且合理的线路选址以及结构布置方式，以此来削减导线在遭遇强风以及处于不利气象状况下出现过大偏移以及电气间隙被压缩的风险。所以，在设计环节当中，一方面要充分考量当地长期累积下来的气象数据以及可能出现的极端气象数据，另一方面还得结合地形的具体特点去剖析风场的分布情况，尽可能地规避那些容易形成风速放大的区域，像是山口、峡谷以及沿海地带等。就导线布置来讲，得依据不同电压等级来恰当地挑选相间距离以及相对地净距，并且要对在大风、覆冰、低温等典型工况之下的最小安全间隙加以校核，与此同时还要对相排列方式进行优化，以此来减缓风偏给电场分布带来的不利影响。在塔型与档距设计方面，应当依照线路跨度、弧垂以及塔位高差的组合情形，合理把控档距与张

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

力水平，防止由于导线大幅度摆动而致使瞬时相间距离变得过小[3]。在绝缘设计上，需要结合地区的污秽等级以及湿度特性去选用适宜的绝缘子串长度与型式，并且通过安装均压环或者对金具布置予以优化来改善局部电场的分布状况，进而提高绝缘水平的稳定程度。除此之外，还应当在设计过程中留出防舞装置、间隔棒或者阻尼器能够得以应用的条件，藉此来缓解导线舞动或者涡激振动对相间净距产生的影响，从而从工程源头处最大限度地降低风偏闪络发生的几率，给后续的运维工作提供一定的安全裕度以及保障。

4.2 运维阶段的防控措施

在高压架空线路的运维期间，防控风偏闪络的关键点在于借助精细化管理以及实时监测手段，保证线路于复杂的气象状况下能够维持安全运转。应当构建常态化的巡检准则，借助人工巡检、无人机巡视还有红外成像等多种形式，快速察觉导线弧垂出现异常、绝缘子表面存在污秽、金具出现松动以及有外来异物附着等各类隐患；与此需要针对导线、绝缘子以及金具的运行情形展开定期检测，把泄漏电流、局部放电、电晕噪声等相关监测数据综合起来，对绝缘性能的变化趋向加以评估。接着，应当强化对线路通道的日常把控，及时清除通道里面的树木、风筝线、塑料薄膜等有可能随着风势侵入电场间隙的异物，避免形成额外的触发条件；就气象条件监测来讲，应当依靠在线风速风向监测装置、气象站以及大数据预报，搭建风偏风险的实时预警体系，当预估到强风、冰雪或者大雾等天气情况时，提前施行诸如调整运行方式、强化值守又或是开展临时性减载等举措，以此来削减事故风险。除此之外，还应当定期开展在覆冰、污秽以及盐雾等特殊气候条件之下的专项巡检，并且结合历史运行数据构建风偏闪络风险档案，针对高风险区段展开分级管理并予以重点维护。

4.3 新技术应用

在高压架空线路风偏闪络防控方面，新技术的应用给风险监测、预警以及管理给予了极为重要的支撑，使得防控的智能化与精准化程度得到了明显提升。一开始，凭借物联网还有传感器技术构建起来的在线监测系统，可以实时去采集导线张力、弧垂、摆动幅度、风速风向、温湿度以及绝缘子表面状态等这些关键数据，借助边缘计算或者云端处理的方式能够达成对异常工况的快速识别，进而把风偏闪络风险转化成可视化的指标，达成多层级的预警效果。接着，无人机以及机器人巡检技术在不断推广开来，如此一来，对于复杂地形或者是高危区段展开巡视的时候，效率更高了，安全性也更有保障了，能够开展高清影像、红外热成像以及局部放电检测等相关工作，快速地找出导线出现偏移、污秽附着或者有外来异物等潜在的隐患[4]。并且，大数据分析以及人工智能方法在风偏闪络预测当中所发挥的作用变得越来越重要了，依靠历史运行数据、气象数据以及实时监测数据来训练机器学习模型，可以针对风偏幅度、导线摆动以及绝缘风险做出短期的预测，同时还能识别出关键的影响因子，进而实现主动防控的目的。像智能风偏防控装置中的导线阻尼器、改进型气动扰流器以及可调节的在线均压装置等等，也在重点线路上得到了应用，实现了对风偏舞动的抑制以及局部电场的优化。

5 结语

高压架空线路风偏闪络发生时呈现出复杂多因素耦合的特点，其风险会受到气象条件、线路结构、绝缘水平、地形环境以及运行状态等诸多方面的影响。借助系统性的风险评估方法，能够对线路在不同工况下出现闪络的概率予以量化，从而为防控工作给出科学方面的依据。把工程设计加以优化、开展精细化的运维管理工作，并且应用诸如在线监测、无人机巡检以及智能预测模型等新技术，可切实有效地降低风偏闪络事故发生的比率，提高线路运行所具备的安全性与可靠性。在未来，随着线路不断老化以及气候变化等不确定因素不断增加的情况出现，依旧需要对风险评估模型以及防控策略做进一步的完善工作，达成对高压架空线路风偏闪络进行长期且动态管理的目标，以此来保障电力系统能够安全且稳定地运行。

[参考文献]

[1]王安才.110kV 架空线路常见故障原因分析[J].冶金设备,2023(1):71-73.
[2]刘兴亚,孙海栋.超高压架空输电线路的工程建设分析[J].集成电路应用,2022,39(1):154-155.
[3]王明新.超高压架空输电线路工程建设施工分析[J].科技风,2021(16):121-122.
[4]赵雪飞.特高压输电线路的风偏风险评估研究[D].湖北:华中科技大学,2019.

作者简介：王宗实（1991.5—），毕业院校：东北电力大学，所学专业：电力系统及其自动化，当前就职单位：辽宁飞纵电力设计有限公司，职务：输电线路电气设计，职称级别：中级。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

简析电力系统中电气自动化的应用

王德全
中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司，四川 成都 610031

[摘要]新时期下，我国电力工程发展速度在不断加快的同时，电气自动化技术在电力系统中的应用愈发广泛。在电力传输中，加强电气自动化技术的利用，可以保证传输过程的稳定与安全，也能将能源消耗减少。同时，在该技术的支持下，电力系统的运行效率和质量能整体提高，促进管理水平的提高，为电网的现代化、自动化建设提供技术支持。本篇文章主要围绕电力系统展开，深入分析电气自动化在其中的运用。
[关键词]电力系统；电气自动化；应用
DOI：10.33142/hst.v8i8.17356 中图分类号：TM734 文献标识码：A

Brief Analysis of the Application of Electrical Automation in the Power System

WANG Dequan
PowerChina Chengdu Engineering Corporation Limited, Chengdu, Sichuan, 610031, China

Abstract: In the new era, as the development speed of China's power engineering continues to accelerate, the application of electrical automation technology in the power system is becoming increasingly widespread. Strengthening the utilization of electrical automation technology in power transmission can ensure the stability and safety of the transmission process, as well as reduce energy consumption. Meanwhile, with the support of this technology, the overall efficiency and quality of power system operation can be improved, promoting the improvement of management level and providing technical support for the modernization and automation construction of the power grid. This article mainly focuses on the power system and deeply analyzes the application of electrical automation in it.
Keywords: power system; electrical automation; application

引言

电力系统是现代社会发展中不可缺少的基础设施之一，其运行效率和平稳性与国家经济发展有密切联系，甚至关系到社会的稳定。将电气自动化灵活运用其中，对电力系统自动化、数字化以及现代化发展进程推进有促进作用，借助其具备快速响应、智能调度等功能，可以提升系统的运行效率，保证运行过程安全和可靠，有效节约维修和养护成本，减少人为因素干扰。因此，相关人员应该加强电气自动化的研究和利用。

1 电力系统中电气自动化的应用优势

1.1 有利于电力系统运行稳定性和可靠性的增强

在电气自动化的辅助下，通过对电力系统的持续监测，并对相关数据信息深层次解析与整合，系统内部的隐患和问题能被准确识别，并通过提早干预和修复的方式，提高系统运行稳定性，避免出现设备受损、停电等问题[1]。电力系统在运行阶段，依靠电气自动化，也能以电网运行状况为依据，在明确其需求的前提下，对电力设施的运行参数、模式自动调节和优化，以保证系统平稳运行。通过对该技术的利用，系统运行效能不仅能增强，因为设施超载或不足载而引发的故障风险也能遏制在源头。并且，通过对人工智能、大数据技术等的应用，合理对电力设施及网络进行管理，也能对电网运行过程中产生的各类信息准确提炼，确保电网养护及控制有可靠的数据支持，促进电网修复质量的提高，使电力网络始终处在平稳运行状态。

1.2 有利于电力系统维护灵活性的提升

供电网络具有精细、复杂的特点，其中包含大量器械及元件，且类型多样，在长时间的运行下，可能因为各种因素影响而出现磨损、功能衰老等情况，致使元件和器械无法发挥效用[2]。为保证电力系统始终处在平稳、高效的运行状态，需要将保养和维护工作落实好。电气自动化在电力系统中的应用，刚好能实现此目标，为日常维护和保养工作提供技术支持，借助自动化手段连续、在线、实时监测系统的运行状态，提前发现潜在的隐患和风险，并根据实际情况制定处理对策。此种方式不仅可以让维护工作水平和效率提高，也能简化以往繁琐的维护流程，使整个维护过程更为便利。比如：在仪器热度、电位等重要指标追踪过程中，可以借助自动化技术辅助，若检测到问题，系统能第一时间响应并处理。并且，电力设施在运行过程中，依靠电气自动化，可以深层次分析操作信息，通过对各类数据的整合，为器材的维护和保养提供可靠依据。通过分析和挖掘历史信息，能够对故障准确识别，并在对故障原因深入分析后，制定可行的预防性保养措施，确保器械正常运行，不会出现失效的情况，使电力系统的安全性和可靠性达到最佳。

1.3 有利于电力产出效能的提高

在电力系统中，加强电气自动化的应用，可以将电力

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

系统运行期间的故障问题减少，降低操作失误等问题出现概率，也可以使电力产出的效能增强，有利于电力行业的稳定、长久发展。电力系统在运行阶段，通过利用电气自动化，各类资源能得到有效节约，尤其是人力资源，可以减少对其的依赖性，避免手动操作带来的各类风险，同时将现场维修工作适当减少，最大程度节约人工成本，将人员的压力和负担减轻，促进工作效率的提高[3]。

2 电力系统中电气自动化的具体应用

2.1 电气自动化在远程监控和智能调度中的应用

将电气自动化应用在电力系统中，可以实现远程监控和智能调度。以电网的运行情况为基础，将在线监测设备布置在不同环节，能够对系统运行过程中产生的各类数据全方位、动态化收集，并且快速传输给控制中心，依靠智能决策算法等，找出异常数据，以便管理人员能了解设备运行中存在的各类问题。同时，通过对电网运行需求的分析，自动将调度工作高质量完成，使电力系统的运行保持稳定，增强其经济性。

（1）在发电阶段，借助远程监控系统，对重要参数信息进行全方位采集，包括发电机等设备振动、压力等，如果在监测过程中发现问题，系统会立即响应并预警，根据现场情况对运行模式进行调整[4]。

（2）控制中心通过对各方面要素的分析，包括电网负荷等，对各电厂的出力方案进行自动调度，根据实际情况对发电组合加以优化和完善，提升运行调度的经济性和环保性。

（3）在输电过程中，同样可以借助电气自动化实现远程监控和智能调度，根据需求建立智能子站，将保护控制、在线监测等功能包含其中，实现对输电线路关键数据的自动监测，包括风偏、温度等，及时找出其中存在的问题和缺陷，同时自动将存在故障的线路切除。并且，子站能结合负荷潮流情况，对换流变压器的无功补偿智能化调整，不断对线路无功功率的分布进行完善，从而达到对输电能力增强的目的。

（4）针对配电自动化主站，在电气自动化的支持下，对配电网的运行情况全方位感知，同时与能源管理系统以及分析模型联合，强化无功功率补偿等的自动优化和调节，保证配电网在正常运行的同时，其自愈能力能进一步提升，避免供电中断时间过长的问题出现。

2.2 电气自动化在智能配电管理中的应用

在将电气自动化与电力系统融合过程中，也能实现智能配电管理，为系统的平稳、安全运行提供保障。在以往配电网管理期间，对人员的依赖性较强，工作效率不高，经常被人员技术等因素影响，很难与现代日益复杂的电网相适应，导致管理水平迟迟得不到提升[5]。基于此，可以加强电气自动化的利用，实现管理的自动化和智能化，并对整个管理过程不断完善，保证供电连续且稳定，增强电的稳定性、连续性和经济性。通过对智能互联网的分析，在个各类配电设备运行阶段，将数字化智能终端安装在上面，能对设备的运行状态及时捕捉，通过收集相关数据，并借助通信网络将数据传输到配电自动化主站，能实现对数据的快速分析与处理，确保系统运行期间出现的问题能被及时发现和处理。其中，主站在运行阶段，通过先进技术的辅助，可以将智能分析算法、配电网模型应用其中，保证配电网运行情况能得到全面感知，对主要参数及性能在线监测，包括电压质量等，最后依照数据客观评估。在深度感知下，智能配电网管理系统在运行期间，能对各项优化控制措施自动执行，使配电网的供电能力增强，提升配电网运行稳定性和效率。比如：通过电能质量管理，电能质量指标可以自动监测，一旦发现异常现象，系统能立即对谐波等进行调节，由此达到对用电环境改善的目的。

依托于电气自动化的智能配电管理，也能实现对故障的自动化处理，在故障出现时，通过对智能算法的利用，对故障所在位置精准定位，并对故障性质自动分析，依照分析结果自动将解决措施生成。针对环网柜等配电终端设备，在实际运行阶段，以主站指令为依据，以最快的速度切换备用电源，保证故障位置能及时切除，实现对网架的重新构建，以便供电中断的时间能有效缩短。同时，主站能将不重要的负荷适当削减，对备用电源自动调用，以实现供电的持续性。

2.3 电气自动化在变压器自动检测中的应用

在利用电气自动化过程中，可以与变压器的运行过程联合，动态化、实时化监测变压器的运行状态，有效将设备工作阶段出现的问题解决，以免对电力系统的整体运行造成干扰。近年来，电气自动化应用范围不断扩大，大部分电力基地以及变压站，均能自动检测变压器。电气自动化的应用，可靠性和可操作性强，操作过程简单便利，工作效率高。但需要注意的是，虽然能自动检测变压器的运行工况，但相关人员应该在既定的时间内将养护工作落实好，客观评估设备的运行过程，明确是否要进行养护。通过对电气自动化的利用，可以加快变压器检测速度，减少人为因素的干扰，及时发现并处理问题，由此使变压器始终处在正常运行状态。

2.4 电气自动化在安全保护与故障处理中的应用

电力系统在运行期间，电气自动化可以应用在多个环节，尤其是在安全保护与故障处理中的运用，对系统的安全运行有积极影响。在此期间，可以借助电气自动化提升安全保护效果，加快故障处理速度，真正做到整个过程的智能化管理，使电网的可靠性增强，可以始终处在安全的运行环境。在安全保护方面，通过对智能子站的远程遥控以及遥测，输电线路运行期间产生的数据能实现自动化、全方位收集，电压、电流等参数能被及时捕捉。倘若在监测中发现异常现象，智能算法能对故障实时、动态分析，

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

精准判断故障的类型并加强保护，及时切除故障位置，让故障被快速隔离，不会对其他设备造成影响或干扰，使设备的运行保持连续和稳定。与传统保护装置不同，智能保护系统的合理应用，可以让各项动作精准度达到最佳，加快响应的速度，瞬间完成复杂的操作流程。就目前而言，在电气化铁路等重要负荷中，加大了两重以及三重安全保护系统的应用力度，保证在突发情况出现时能灵活应对。此类系统包含的功能较多，诸如自动切换、冗余备份等，可靠性好，容错能力强，可以为重要负荷的运行提供安全保障。

3 电力系统中电气自动化应用对策

3.1 全面提高变电站自动化管理水平

为保证变电站能始终处在高效、平稳的运行状态，需要加强电气自动化的应用，并注重与管理工作的结合，真正实现管理过程的自动化。在此过程中，应以实际情况和要求为依据，加大电气自动化设备管理力度，建立完善的管理机制，将设备选型、调试、维护等各方面的规范、流程涵盖在内，保证变电站各项设备在管理期间，自动化和规范化水平能不断提高，降低设备故障出现概率，让变电站高效运行。同时，做好变电站综合管理工作，将电气自动化与设备监控、数据采集、分析、优化等多个环节整合，并通过对以往经验的归纳和总结，制定可行的电气自动化技术应用措施，实现对设备的远程监控，保证在故障出现时能立即预警，及时发现并处理问题，将停机的时间缩短，有效节约维修成本。

3.2 加大电力系统监督和管理力度

电力系统在运行阶段，受到的干扰因素较多，包括环境、人为、设备等，因此出现异常情况的概率高，如果不能及时处理，系统的运行稳定性将会受到影响。为避免此类情况发生，在对电气自动化应用过程中，应该与监控系统深度整合，加强升级与优化，保证电力系统的监督和管理过程能实现智能化。技术人员在工作过程中，需要深层次剖析传统电力系统监督管理情况，明确系统运行阶段存在的不足，并将其作为重要参考依据，强化先进技术的使用，尝试将大数据分析、人工智能等技术应用其中，以实现对监控系统的全方位升级。系统在运行过程中，应该对其运行情况实时监测，准确、及时找出运行阶段出现的异常情况，并通过对历史数据的深层次挖掘，精准预测系统负荷变化趋势，提前制定应对措施，提高调度工作有效性。

3.3 做好电力系统预防性维护工作

为提高电力系统运行稳定性和安全性，在电气自动化应用过程中，要积极与预防性维护融合，保证维护效果和水平能进一步提高。在利用电气自动化时，对电力系统中的重要设备运行参数实时监控，深入分析各类数据，准确预测潜在的损耗及故障。通过对系统运行情况的密切监测，相关人员能随时了解电压、电流等参数，倘若有异常情况出现，相关人员在接到报警后能立即检查和维修。利用智能传感器等对变压器、断路器等重要设备动态跟踪，了解设备的温度、振动等参数，倘若参数超过既定值，系统预警并及时通知维修人员处理，提高维护效率。

4 结束语

综合而言，将电气自动化应用在电力系统中，有助于系统运行可靠性和稳定性的提升，也能为系统的长久发展提供技术支持。在新一代信息技术的快速发展下，随着数智化水平的持续提高，其在电气系统中的应用范围会进一步拓宽。因此，在后续发展中，应该对电气自动化深入研究，加强技术创新与优化，保证电气系统的自动化与智能化程度能不断提高，为电力行业的可持续发展打下坚实基础。

[参考文献]

[1]胡娜,仇培飞.电气自动化技术在电力系统运行中的应用[J].自动化应用,2024,65(2):29-31.
[2]皇晓军.电气自动化技术在电力系统中的应用[J].中国战略新兴产业,2024(27):120-122.
[3]王洁.电力系统运行中电气自动化技术的应用研究[J].光源与照明,2024(8):246-248.
[4]徐新亮.电气自动化技术在电力系统生产运行过程中的应用研究[J].光源与照明,2024(3):204-206.
[5]张宁,周升鹏.浅析电力系统中电气自动化技术的应用策略[J].仪器仪表用户,2024,31(2):95-97.

作者简介：王德全（1982.2—），西华大学，就职：中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司工程分公司，职务：设备物资部，设备技术岗，职称：中级工程师。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

智能化技术在风力发电自动化控制系统中的运用分析

卢彩云
河北静林电力工程设计咨询有限公司，河北 石家庄 050000

[摘要]随着环境责任不断加重以及能源经济不断发展，风力发电作为可持续、绿色且高效的新能源，在全球被大力推广，不过其设备和操控维护系统所处环境复杂多变，对自动化、智能化控制技术要求更高，文中分析了智能化技术在风力发电技术环境下于自动化控制系统中的应用，总结了其核心经验并指明了未来方向，给风电产业智能化进程带来参考。
[关键词]智能化技术；风力发电；自动化控制系统
DOI：10.33142/hst.v8i8.17355 中图分类号：TM614 文献标识码：A

Analysis of the Application of Intelligent Technology in Wind Power Generation Automation Control System

LU Caiyun
Hebei Jinglin Electric Power Engineering Design Consulting Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: With the increasing environmental responsibility and the continuous development of energy economy, wind power generation, as a sustainable, green and efficient new energy source, has been vigorously promoted worldwide. However, its equipment and operation maintenance system are located in a complex and changing environment, which requires higher automation and intelligent control technology. This article analyzes the application of intelligent technology in the automation control system of wind power generation technology environment, summarizes its core experience and points out the future direction, providing reference for the intelligent process of wind power industry.
Keywords: intelligent technology; wind power generation; automatic control system

引言

传统发电通常依靠燃烧煤、石油、天然气这类石化能源来给社会供电，不过在燃烧之时，会排出不少有毒有害气体，这对人类健康颇为不利，同时也会对天然生态址层造成严重破坏，给环境带来持续性的危害。风力发电技术属于绿色能源新时代的一项重要补充，它具备无排放、无污染以及可再生等诸多优势。风力发电和传统发电系统的稳定性不同，它的工作效率以及应用效果都与对外环境、系统基组、技术级别等一系列因素有关。把智能化技术运用到风电自动化控制系统当中，这成为了提升工程智能性、系统自适应能力以及运维效率的关键途径。本文会在分析风电技术的基础上，着重探讨智能化技术在自动控制方面的应用优势以及核心技术应用的经验。

1 风力发电技术概述

传统发电模式通过燃烧煤、石油、天然气等为人们提供电能，燃烧过程中会排出大量的有毒有害气体，这严重污染了空气，不利于传统发电的可持续发展。为实现发电的可持续发展，近年来国家重点关注风力发电技术，这种技术以风力为主，通过将风的运动转化为机械能，且不会对环境产生污染。但风力发电工作对设备要求高，前期需投入大量的资金，包括建设发电设备、投入发电技术等。此外，与智能化技术有效结合的风力发电技术，能进一步提高发电的自动化控制水平，减少人力、物力的投入，提高风力发电的质量，降低风力发电的成本。智能化技术可以评估分析风力发电过程中出现的问题、预测潜在的风险。通过有效推广、宣传风电项目，可整合社会力量，进一步提高风力发电水平。

2 智能化技术在风力发电自动化控制系统中的应用优势

2.1 系统运行的可视化与智能化

在风电自动化系统里运用智能化技术，最开始就表现在对系统操作状态实施可视化的控制方面。借助数字化的界面、弹性化的模型以及实时的数据统计手段，把风机的操作状况、输出的电量情况以及环境的反应状况等一系列关键指标都统一起来加以辅助性的展示，从而给操作人员实时且全面地掌握发电单元的运行状况给予较为可靠的参考信息。与此凭借智能的统计方式以及前端的分析方法，还能进一步对智能决策予以有力的支持，达成操作动作和环境变化之间的调和状态，进而使得风电系统的响应效率得以提升，维护精度也获得了提高。

2.2 智能监测与远程运维

智能化技术让风电系统的监测系统有了明显提升，特别是从传统传感器、分散式数据收发器转向智能化规划、辅助决策系统之后，可对风机功能单元、输电系统以及网

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

络接入状态展开实时监控。远程操控技术催生出人员少、效率高、维护无阻碍的新型运维模式，既可缓解人力不足的情况，又能确保运行的安全与稳定。

2.3 故障预警与状态评估

历经对进风速、输电量、振动值以及软件老化等各项指标展开历史数据方面的集成操作，并且加以深入剖析之后，智能系统便能够达成对潜在故障予以预准的目标。凭借路径分析这一手段，再加上常规识别以及异常调用等方式，进而实现对风机运行健康状况加以评估，同时还能起到警报故障隐患的作用。这种预警功能顺利接入到系统维护分配当中，从而能为处理出错事宜给予快速、精准且不会打扰到平稳运行的智能辅助决策助力。

2.4 能源管理与发电效率优化

智能化技术的应用可针对全场站能源分布及分配展开统一调控，当面临复杂地质状况以及不同地点的风速变化情况时，其能够自适应地挑选出最优发电方案，以此来让电量产出效率达到最大化。并且在零散风电场站进行系列连接之际，凭借智能分配、扩展调整以及协同运行等方面的能力，可切实有效地降低能耗成本，达成绿色发电和经济性二者相互兼容且互不干扰的状态。

3 智能化技术在风力发电自动化控制系统中的核心应用

3.1 可视化控制技术

在风力发电的自动化控制系统里，利用可视化控制技术能够达成风电设备运行状态的全景展现以及实时互动交流。此项技术凭借人机界面（HMI）、三维建模还有动态图形，形象直观地呈现出风电机组的运行参数、负载方面的变化情况以及风速的分布状况等相关信息，从而让管理人员可迅速且全面地掌握系统的整体实际状况。可视化控制一方面有利于降低人工出现误判的情况，另一方面也能够在一定程度上提高系统的响应速度以及决策的效率。在集控中心当中，技术人员能够凭借图形化界面来调度各个风机的不同运行模式，同时还可以远程去查看预警的相关信息，进而实现智能化的辅助运维工作以及指挥操作。在未来的发展进程中，倘若将虚拟现实（VR）或者增强现实（AR）技术融入到可视化平台之中，那么将会进一步提升平台的交互性以及带给使用者的沉浸感，进而为风电场的智能管理带来全新的使用体验。

3.2 数据传输与整合分析

风力发电系统中，数据采集点遍布各处，像风速传感器、温湿度监测设备、风机运行状态采集模块等都有涉及，所以这就对数据传输网络的高效与稳定提出了非常高的要求。为了确保数据的实时性以及准确性，现代风电场普遍会采用光纤通信、无线网络还有新兴的 5G 通信技术，以此来搭建起贯穿全场的高速传输通道，进而保障海量的运行数据可以及时汇集到中央控制平台。智能化控制系统会在这样的前提下，对所收集到的数据加以统一整合并展开深度分析，借助对参数趋势的挖掘以及运行模式的识别，达成对风机性能的动态评估以及优化管理。特别是在边缘计算与云计算技术协同运用的情况下，数据管理展现出了多层次、多维度的智能化特点，既可以在本地迅速处理关键数据，减少延迟情况，又能够把大规模的历史数据上传到云端，实现长周期的趋势分析以及模型训练。风速、风向出现微小的变化，风机扭矩产生波动以及振动频率出现异常等情况，都会成为潜在故障预警的重要信号，凭借数据整合与智能分析，系统可提前识别出设备异常状况，指导运维人员开展精准维护并调节控制参数，由此有效地降低故障率，提高发电效率。从这个层面来看，数据传输与整合分析不但是风力发电自动化控制系统运行的基本支撑，而且是推动智能化水平持续提升，达成预测性维护、故障排查以及优化发电策略的关键技术环节。

3.3 极端载荷与阵风智能控制技术

风力发电系统于极端气候状况下，极易遭受载荷突变以及阵风冲击等方面的影响，倘若不能够及时地去调整控制策略，那么就极有可能致使设备出现损坏的情况，甚至还会引发停机事故的发生。智能控制技术凭借着引入机器学习算法、气象预警模型以及实时载荷分析手段，使得系统在面对极端载荷以及阵风的时候，其自适应能力得以提升。通过针对风速、风向、温湿度、雷暴等气象数据展开融合分析，系统能够在异常天气还未到来之前，便采取诸如预调功率、调整桨距角、启动保护程序等一系列的措施，以此来有效地缓解结构所遭受的冲击。与此借助历史载荷数据与应力响应模型展开对比学习的方式，系统可以不断地对自身的应对机制加以优化，进而提升风机的抗风险能力以及运行的安全性。

3.4 基于大数据的偏航误差自校正技术

偏航误差属于影响风力发电效率的关键要素之一，其主要呈现为风机没有精准地对实际风向做出响应，进而使得风能捕获效率有所降低，发电量也随之减少。借助大数据技术所构建的偏航误差自校正系统会不断地收集诸多风速、风向方面的数据，还有偏航角位移、发电输出功率等多方面指标，以此来构建出细致精确的偏航误差模型，达成对误差的自动识别以及动态调整的目的。该系统运用先进的数据挖掘技术以及深度学习算法，针对不同风况下风机偏航的具体表现展开全面剖析，及时且精准地捕捉并预测偏航误差的变化走向，据此施行最为适宜的校正策略，保证风机可一直维持在最佳的迎风角度状态。这种自校正的能力不但大幅提升了风机的发电效率，而且降低了机械部件出现磨损以及发生故障的风险，并且还强化了系统的智能化程度以及自适应水准。除此之外，此项技术还能够与气象预测系统达成数据联动的效果，凭借实时风向变化的预报，在风向出现剧烈变动之前顺利完成预调整的操作，

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

进一步提高控制系统的前瞻性以及响应的速度。依靠大数据驱动的偏航误差自校正方式，风电场可以实现更为高效的能源利用状况以及更加稳定的运行性能，从而为智能化风力发电的发展给予稳固的技术支持。

3.5 主动尾流控制与气动优化技术

在风电场密集布局的环境下，下游风机往往受到上游风机所产生尾流的影响，这种尾流引发的风速降低以及气流紊乱情况，一方面大大降低了下游风机的发电效率，另一方面也加剧了设备的机械磨损程度以及运行时的风险状况。对于这一问题，主动尾流控制技术随之诞生，其借助先进的智能算法，实时对上游风机的运行参数做出调整，像叶片角度、转速还有偏航角度等，并且凭借精准的扰动策略达成尾流的重新塑造与分流，进而让下游风机的风况环境得以改善。这项技术同气动优化策略相互结合，把整个风电场发电效率达到最大作为核心目标，通过搭建群体智能调度系统，实现风机之间的协同运转以及资源的优化分配工作[1]。气动优化系统还能够依据风电场的地形特点、季节性的风向变化以及风速分布情况，动态地去调整控制参数，切实有效地提高风电场整体的能量捕获能力以及运行的稳定性。主动尾流控制技术不但大幅度提升了风电场的整体功率输出，还优化了风能资源的利用效率，而且明显减少了风电场内部由于运行不平衡所造成的机械疲劳以及维护成本，为打造高效且智能化的风力发电系统给予了极为有力的技术支撑。

3.6 智能感应与环境参数识别系统

风力发电的运行环境复杂且多变，智能感应技术借助布设多种多样的传感器，针对风速、风向、温湿度、气压、雨雪状况以及电磁干扰等一系列关键环境参数展开高频度的监测工作，从而赋予风电系统实时感知环境的能力。再结合边缘计算以及 AI 识别算法，该系统能够迅速对环境变化的趋势做出判断，并且能够在异常情况出现之前做出相应响应。就好比在冰冻雨雪这样的天气条件之下，系统可以提前察觉到结冰的风险，进而启动防冰加热系统或者去调整自身的运行策略。智能感应系统一方面提高了风电系统对于外部扰动的适应程度，另一方面也为安全控制以及能效调度提供了极为精确的决策支持数据。

3.7 系统集成平台与智能管理界面

一个高效的风力发电智能控制系统，需要有一个统一的集成平台，把前端数据采集、传输、分析、控制以及监测等诸多模块都融合起来进行管理[2]。这个智能集成平台是以开放式架构为基础，并且采用了模块化设计的方式，所以它有着不错的可扩展性以及兼容性，能够支持多种品牌的设备接入，同时也能让多个系统协同运行。借助智能管理界面，用户能够在同一个平台上达成实时监控、参数设定、报表生成以及预警处理等一系列的操作，从而在很大程度上提高管理的效率。该系统平台还能够支持远程运维以及多级权限管理，以此来保障数据的安全以及操作的规范性。而平台化的建设，无疑是智能化控制系统迈向集中管理以及高效协同的重要根基所在。

3.8 技术管控与运行协调机制

在风力发电系统实现智能化运用的过程当中，将技术管控机制予以完善，这是保障该系统能够安全且高效地运行的关键所在。借助于建立起技术标准化的管理体系，把各类设备的运行规范、接口标准以及数据传输格式等相关方面都明确清楚，如此便能够切实有效地提升系统的兼容性能以及故障容错的能力。与此引入运行协调机制，达成设备级层面、子系统级层面以及风电场级层面的联动控制以及资源调度的目的[3]。就好比在电网负荷出现波动或者风力发生突变的时候，协调机制可以自动对各个风机的输出进行优化处理，进而实现一种动态的平衡状态。除此之外，技术管控还涵盖了定期开展的系统评估、软件升级以及运维培训等诸多环节，以此来保证智能系统能够不断地得到优化并且实现良性的运转状况。

4 结语

随着智能化技术持续发展，风力发电自动化控制系统逐步走向更为智能的运行阶段。从最初的可视化控制开始，历经主动尾流调控，再到数据集成分析以及偏航误差自校正等环节，智能化手段给传统风电的管理模式以及运行机制带来了颇为显著的改变。当下，系统集成困难、技术成本偏高以及数据安全存在风险等诸多挑战依然存在。不过在未来，随着边缘计算、人工智能以及新一代通信技术逐渐成熟起来，风力发电的智能化水平会不断得到提高。持续促进智能技术与风电系统深度融合，能够切实提升风电场在能效利用方面的水平，增强其运维管理能力，同时提高整体经济效益，进而推动构建起清洁、高效且智能的新型能源体系。

[参考文献]

[1]姚建国.智能化技术在风力发电自动化控制系统中的应用[J].产业科技创新,2023,5(4):65-67.
[2]周玉高,叶海瑞,许冬书.智能化技术在风力发电自动化控制系统中的运用分析[J].华东科技,2023(6):61-63.
[3]丁锋.智能化技术在风力发电自动化控制系统中的应用[J].中国高新科技,2021(24):107-108.

作者简介：卢彩云（1983.9—），毕业院校：华北电力大学，电气工程及其自动化，就职单位：河北静林电力工程设计咨询有限公司。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

新能源汽车高压电控产品线束的集成化设计与电磁兼容优化

祁 恒
湖南中联重科智能高空作业机械有限公司，湖南 长沙 410200

[摘要]新能源汽车高压电控系统的性能以及可靠性在很大程度上依靠其核心血管也就是高压线束的集成化设计情况以及电磁兼容性的表现。文章较为系统地对高压线束的功能结构组成、集成化设计的核心原则以及具体的实施路径展开了探讨，着重针对三维布局优化、连接器集成设计还有轻量化技术应用等关键环节进行了剖析。还对高压线束电磁干扰的机理以及主动抑制策略展开了深入的研究，并且提出了像多层屏蔽结构、磁环优化布局以及差异化接地滤波等一系列核心技术方案，建立了一个包含多物理场仿真、严格实验测试以及全面可靠性验证的集成化与 EMC 协同验证体系。
[关键词]新能源汽车；高压线束；电磁兼容
DOI：10.33142/hst.v8i8.17345　　中图分类号：TN914　　文献标识码：A

Integrated Design and Electromagnetic Compatibility Optimization of High-voltage Electronic Control Product Wiring Harness for New Energy Vehicles

QI Heng
Hunan Zoomlion Intelligent Access Machinery Co., Ltd., Changsha, Hunan, 410200, China

Abstract: The performance and reliability of high-voltage electronic control systems in new energy vehicles largely rely on the integrated design of their core blood vessels, namely high-voltage wiring harnesses, and the performance of electromagnetic compatibility. The article systematically explores the functional structure composition of high-voltage wiring harnesses, the core principles of integrated design, and specific implementation paths, with a focus on analyzing key aspects such as 3D layout optimization, connector integration design, and lightweight technology applications. We also conducted in-depth research on the mechanism of electromagnetic interference in high-voltage wire harnesses and active suppression strategies, and proposed a series of core technical solutions such as multi-layer shielding structure, magnetic ring optimization layout, and differentiated grounding filtering. We established an integrated and EMC collaborative verification system that includes multi physical field simulation, rigorous experimental testing, and comprehensive reliability verification.
Keywords: new energy vehicles; high voltage wiring harness; electromagnetic compatibility

新能源汽车产业的迅猛发展对高压电控系统的功率密度、可靠性与安全性提出了近乎严苛的要求。作为连接电池、电机控制器及驱动电机等核心高压部件并承担电能传输与信号控制功能的关键载体，高压线束设计的优劣直接影响着整车的性能表现、电磁环境乃至安全运行。传统分散式、经验驱动的线束设计方法在应对高压大电流、高频开关噪声及复杂空间约束时已显得捉襟见肘。因此，推动高压线束向高度集成化、轻量化及强电磁兼容性方向演进，成为了产业技术升级的必然选择。

1 高压电控系统线束集成化设计基础

1.1 高压线束功能与结构组成

在新能源汽车当中，高压线束系统属于极为重要的组成部分，它构建起了电能传输以及信号控制方面的主干网络，这一系统的最为关键的功能便是打造出一条从动力电池包开始出发，经过电机控制器来进行精准的调控操作，最后能够抵达驱动电机，进而实现能量高效转化的具备极高可靠性的电源传输路径。这条路径是需要去承载几百伏特的电压以及几百安培的电流的，所以对于绝缘性能、载流能力还有长期热稳定性等方面都提出了近乎极限的要求。除此之外，还有一套相当精密的信号通信线束拓扑和电源主回路紧密地耦合在一起，它的职责是在像电池管理系统、整车控制器以及电机控制器等这些关键电控单元相互之间快速且准确地传递控制指令以及状态反馈信息，而这一信息流是否完整对于整车的协调控制而言有着极为重要的影响作用。高压线束典型的物理结构是由导体线芯、多层绝缘防护层、电磁屏蔽层、外护套以及专门用来满足高压互锁与密封要求的连接器共同组合而成的，其中各个部分在材料选取以及结构设计方面所呈现出的协同情况从根本上决定了整个系统的性能极限所在之处。

1.2 集成化设计核心原则

要达成高压线束的优异性能，需严格遵从三大核心设计原则。空间布局的优化属于集成化设计的首要条件，得在极为有限且充斥着机械运动部件、高温热源以及敏感电子设备的整车底盘和引擎舱空间当中，借助精准的三维建模与动态仿真手段，科学地去规划线束的走向以及固定点位，尽最大可能避开潜在的机械挤压磨损、震动疲劳断裂

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

以及和散热系统气流组织之间的冲突干扰情况。轻量化与材料选型直接关系到整车能耗以及续航里程，设计人员要全面评估像高导铝合金这类导体材料替代传统铜导线时所涉及的导电损失、机械强度以及成本效益的平衡点，并且积极探寻特种工程塑料在绝缘层与护套薄壁化应用方面所存在的技术极限，在保障安全冗余的前提之下达成细致到克的重量削减效果[1]。模块化接口设计是提高装配效率、维护便利性以及系统可扩展性的关键举措，借助定义标准化的高压连接器接口规范，涵盖物理锁紧机构、端子定义以及密封要求等内容，达成不同子系统之间类似即插即用式的高效集成效果，大幅降低产线装配的复杂程度以及售后维护的成本支出。

2 高压线束集成化设计实施路径

2.1 三维布局与走线规划

借助计算机辅助设计工具来细致开展三维布局以及走线规划工作，这可是规避物理冲突的根本所在。在整个设计进程当中，务必要运用数字化样机技术展开全工况动态干涉方面的检查，尤其要着重去规避和转向机构、悬架运动包络、高温排气管路还有液冷管道之间可能出现的空间干涉风险。就热管理冲突的缓解来讲，高压线束得主动绕开像散热器高温出风区域、电机控制器散热翅片这类的主要热源，倘若有必要的话，可以采用隔热套管或者对线束自身的散热路径布置加以优化。一味地追求最短路径以及低电感布线，既能减少线缆的使用量，又能降低电压降损耗，并且还能够极为有效地降低由于长回路而引入的寄生电感，要知道这种电感在功率器件进行高频开关操作的时候，特别容易引发过电压尖峰，进而对功率半导体器件的安全构成威胁。所以，优先选用绞线对设计并且尽可能地将回路面积最小化，这是抑制感性耦合噪声最为基础的手段。

2.2 连接器与接插件集成设计

高压互锁集成方案在确保高压系统操作安全方面起着极为关键的作用，它是核心的保障措施。此方案规定要在所有的高压连接器内部集成 HVIL 低压信号回路[2]。要是连接器出现意外断开的情况或者没有完全锁紧，系统能够马上检测到，并且会主动切断高压电源的输出，从源头上彻底杜绝带电插拔的风险。连接器得具备极为出色的防水防尘等级，主流的设计一般都要求能够达到 IP67 的防护级别。在像电池包出口、电机控制器接口这样的关键区域，甚至需要满足更为严格的 IP6K9K 等级，以此来保证在高压水枪冲洗、深水浸泡以及极端沙尘环境之下，电气接触能够长期稳定可靠地维持。连接器集成设计还应当综合考量盲插导向、防错结构、二次锁止以及适应高振动工况的抗振性能等方面的情况。

2.3 线束轻量化技术

铝导线取代铜导线的可行性已然成为行业轻量化方面的关注焦点。参照中国汽车技术研究中心有限公司于 2024 年所出具的研究报告来看，高规格经过退火处理的铝合金导体，在具备和传统铜导体同等载流能力的情况下，其重量能够减少高达 40%之多。虽说它的电导率仅仅约为铜的 61%，然而凭借增大截面积这一方式，还是可以在处于可接受范围内的电压降情况之下达成颇为显著的减重成效。预计到 2025 年的时候，国内部分高端电动车型的高压母线当中，铝导线的渗透率将会突破 30%。绝缘材料呈现出薄壁化的趋势，这主要是得益于像交联聚烯烃、薄壁聚酰胺这类特种高分子材料性能的不断突破。在保持和传统设计同等的耐压等级以及阻燃性能的前提之下，绝缘层的厚度得以持续不断地降低，就好比部分先进的设计已经实现了壁厚仅为 0.6mm 的薄壁绝缘层，并且能够满足 3000VDC 的耐压要求，相较于传统的设计而言，其减薄的程度达到了 25%左右。

3 电磁兼容优化关键技术

3.1 高压线束 EMI 干扰机理

要想切实有效地去抑制电磁干扰，那么先得把高压线束电磁干扰的内在机理给彻底弄清楚才行。像 IGBT、SiCMOSFET 这类功率半导体器件，它们进行高速开关操作的时候，就会成为主要的差模噪声来源。在这个过程中，会在直流母线上形成特别高的 dv/dt 以及 di/dt，然后借助线束，以传导和辐射这两种方式，对周边的低压设备造成干扰。至于共模噪声，它主要是由于开关器件和散热器之间存在寄生电容耦合而形成的[3]。其产生的电流会沿着由线束屏蔽层以及车身地所构成的回路流动，如此一来，其辐射所带来的危害影响范围就更为广阔了。高频噪声会通过容性耦合以及感性耦合这两种路径，侵入到邻近的低压信号线或者通信总线当中，进而致使传感器信号出现失真的情况，还会让 CAN 通信产生错误，甚至使得控制器的功能都陷入到紊乱的状态。简单来讲，高压线束一方面自身会受到干扰的影响，另一方面又充当着重要的发射天线的角色。

3.2 EMC 主动抑制策略

多层屏蔽结构设计属于抑制辐射以及串扰的关键防线，其中最优方案往往会选用内层致密且有高覆盖率的铜或者镀锡铜丝编织层来给予主要的低频磁屏蔽效能，而外层则会覆盖铝塑复合薄膜层以此来反射高频电磁干扰，如此一来便能实现宽频带屏蔽效能的提升，其有效屏蔽效能能够达到 60dB 以上。在噪声源头附近就近加装磁环以及共模扼流圈是最为直接的滤波方式，其布局方面的优化显得极为重要，磁环需要紧挨着干扰源，比如电机控制器输出端进行安装，凭借高磁导率铁氧体来吸收共模噪声能量，共模扼流圈则要依据干扰频谱特性精准设计其阻抗频率曲线，并且安装在容易受到干扰的设备之前，像是 DC-DC 变换器、车载充电机的输入端前，以此来滤除线缆上感应到的共模电流。

3.3 接地策略与滤波技术

接地策略的选择对于系统的 EMC 性能有着极为重要的影响。就单点接地而言，它比较适合应用于低频模拟电

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

路当中，如此一来便能够有效地避免地环路干扰情况的出现。与之不同的是，多点接地这种方式则更有利于高频数字电路或者大功率单元达成低阻抗接地的效果，进而将地电位浮动的程度尽可能地降到最低限度。在高压电控系统里面，通常会采用混合接地策略。比如说，功率地往往会采用多点低阻抗的方式连接到电池包壳体或者是车身地，而敏感信号地则是先通过单点进行汇集，然后再连接至主接地点。在高压滤波电容集成方案方面，把 X/Y 安规电容以及直流支撑电容组合起来集成在电机控制器直流母线输入端，这可是抑制传导 EMI 的一种标准做法。其中，X 电容是跨接在正负母线之间的，其主要作用是滤除差模干扰；Y 电容则是连接在母线与接地壳体之间的，它的主要功能是滤除共模干扰。而且，这些电容的容量以及耐压值都得依据具体的工况来严格地进行选型操作。

4 集成化与 EMC 协同验证方法

4.1 仿真分析阶段

在虚拟验证这个阶段，电磁场仿真技术充当着预测以及优化方面的先驱角色。那种基于有限元分析 FEA 或者时域有限差分法 FDTD 所构建起来的仿真工具，是能够精准地去模拟高压线束处在真实且复杂的电磁环境当中开展工作之时所产生的近场还有远场辐射特性，并且还能够预测它和车载天线、传感器这类敏感设备之间存在的潜在耦合干扰，进而对屏蔽层的设计以及滤波器参数的优化给予相应的指导。并且更为关键的一点在于要开展热力电多物理场耦合验证相关的工作，也就是要去分析在大电流工况的情况之下，线束由于焦耳热而引发的温升情况，以及这种温升对于绝缘材料的老化状况、导体电阻变化等方面所产生的影响。与此还要去考察在温升和机械振动应力相互作用的情形之下，连接器接触电阻的稳定性状况以及材料的疲劳寿命情况，从而达成将设计缺陷尽早地暴露出来并加以闭环修正的目的。

4.2 实验测试标准

物理样机得经受住国际以及行业标准极为严格的测试。EMC 测试项目的各项要求严格按照 CISPR25 以及 ISO11452 系列标准来执行，其涵盖了传导发射 CE、辐射发射 RE、传导抗扰度 CS、辐射抗扰度 RS 等一系列核心项目，以此保证线束系统自身产生的干扰发射不会超出限定的数值，并且在外部存在较强干扰的情况下依然能够维持功能的正常运转[4]。电气安全测试方面，则是依照 ISO6469 的要求，针对绝缘电阻、耐压强度、爬电距离还有电气间隙等逐一进行验证，在这些测试当中，耐压测试一般需要承受的工作电压的数倍之多的电压，比如要能够承受 2500VAC 并且持续 1 分钟时间而没有出现击穿闪络的情况，从而给乘员的安全给予稳固的保障。

4.3 可靠性验证

长期服役的可靠性是需要依靠加速环境应力试验来加以评估的。其中，振动疲劳测试会模拟实际道路载荷谱，参照企业标准或者通用规范比如 SAEJ2380，在三个正交轴向施加特定频率以及加速度的随机振动，以此来考察线束固定点、弯折处以及连接器端子经过长时间振动之后出现的机械损伤状况，还有电气连接方面所发生的劣化情况。而高低温循环耐受性测试，则是把样品放置于像-40℃至+125℃这样的极端温变环境中，进行多达数百次的快速循环操作，借此评估绝缘材料出现的脆化龟裂情况、密封件弹性失效的情况、端子镀层微动磨损的情形以及接触电阻发生漂移等各类失效模式，从而保证系统能够在寒区以及热带气候条件下具备良好的适应性。

5 结束语

新能源汽车高压线束的集成化设计以及电磁兼容优化属于一项复杂的系统工程，其中涉及电、磁、热、力、材料等诸多学科相互间深度的交叉融合。本文全面且细致地构建起了一套完整的技术体系，该体系包含了设计相关的基础理论、核心技术所遵循的路径以及协同验证的具体方法等内容。相关研究明确指出，只有在空间布局方面加以优化、在轻量化材料上予以应用、在模块化接口设计上做出改进等集成化各个维度，和多层屏蔽技术、主动滤波策略、科学接地方法等 EMC 维度相互间达成深度的协同配合，并且从全局层面去探寻最优方案，才有可能在高功率密度、轻量化、具备强大的抗干扰能力以及有着超高的可靠性等这些乍一看似乎相互矛盾的目标当中找到最为理想的平衡点。鉴于 SiC/GaN 等第三代半导体器件逐渐普及之后所带来的更高开关频率方面的挑战，还有 800V 高压平台针对绝缘系统提出了更为严格的要求，未来的相关研究需要进一步去深入探索新型的纳米复合屏蔽材料、智能主动噪声抵消技术以及基于数字孪生理念构建的全生命周期预测性维护模型等方面的内容，持续不断地推进高压线束在集成创新以及电磁兼容基础研究领域的发展进程，这对于稳固我国新能源汽车产业在技术方面所处的领先地位以及其在市场中占据的核心竞争力而言，无疑有着不容忽视的战略价值。

[参考文献]

[1]时培成,单子贤,朱海龙,等.新能源汽车动力电池系统集成化设计技术综述[J].中国机械工程,2025(1):07-08.
[2]赵文毓.考虑新能源汽车引入的汽车制造商产品线策略研究[D].上海:上海大学,2024.
[3]方舟.考虑网络效应的 JL 新能源汽车产品线设计优化研究[D].山东:山东大学,2024.
[4]李昊.考虑质量与成本交互效应的 SLS 新能源汽车产品线一体化设计优化研究[D].山东:山东大学,2024.

作者简介：祁恒（1986.4—），男，学历：本科，毕业院校：太原科技大学，所学专业：工业工程，目前职称：自动控制。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

基于 DCS 控制系统的化工自动化控制

张永顺
四川天华化工集团股份有限公司，四川 泸州 646000

[摘要]文中全面且细致地探讨了中控 SUPCON 系列 DCS 系统在现代化工自动化控制领域当中的广泛应用情况以及该系统所具备的核心技术方面的优势。其研究着重关注中控系统的高精度过程控制功能、能够给予安全联锁保障的能力、对大规模 I/O 的处理能力以及系统的集成能力，并且结合国产化自主可控这一特性、低延时通信的特点、智能化的人机交互方式以及模块化的扩展能力等核心特性来深入剖析该系统满足化工行业极为严苛的控制需求的内在原理。

[关键词]DCS 控制系统；中控技术；化工自动化
DOI：10.33142/hst.v8i8.17335　　中图分类号：TP273　　文献标识码：A

Chemical Automation Control Based on DCS Control System

ZHANG Yongshun
Sichuan Tianhua Chemical Group Co., Ltd., Luzhou, Sichuan, 646000, China

Abstract: This article comprehensively and meticulously explores the widespread application of the SUPCON series DCS system in the field of modern chemical automation control, as well as the core technological advantages of the system. Its research focuses on the high-precision process control function of the central control system, the ability to provide safety interlock protection, the processing ability of large-scale I/O, and the integration ability of the system. Combining the core characteristics of domestic independent controllability, low latency communication, intelligent human-computer interaction, and modular expansion ability, it deeply analyzes the internal principles of the system to meet the extremely strict control requirements of the chemical industry.

Keywords: DCS control system; central control technology; chemical automation

引言

在科学技术不断发展过程中，化工行业的生产技术也在不断改革，DCS 控制系统是一种以计算机为基础的自动化系统，在化工生产中可以有效提高生产效率，提高设备的精准性，在化工生产中，这种自动化控制系统得到了广泛的应用。DCS 控制系统在应用过程中，帮助工作人员提供了非常好的支撑，提高了化工生产的水平，具有非常高的优势特点。DCS 控制系统不仅具备强大的数据处理和监控功能，还能够实现远程操作与故障诊断，极大地降低了人工干预的频率，提升了化工生产的安全性和稳定性。其高度的灵活性和可扩展性，使得系统能够根据生产需求进行定制和优化，进一步增强了化工生产的效率和竞争力。此外，DCS 控制系统通过集成先进的算法和模型，为化工生产提供了更为精确和可靠的控制策略，确保了产品质量的持续稳定。

1 DCS 控制系统与中控技术概述

1.1 中控 SUPCON 系统的架构特点

中控 SUPCON 系统当中，像 ECS-700 系列这样的典型代表，是凭借全冗余、分布式以及开放式这种体系架构来奠定其稳固根基的。该架构的关键部分是由工程师站、操作员站、现场控制站还有高性能实时工业网络共同组成的，它能够支撑起高达 20 万个 I/O 点位这般超大规模的数据采集以及处理工作，从而充分满足那些千万吨级别的炼化一体化项目所提出的极为庞杂的监控方面的需求。其控制站内部运用的是中控自主研发出来的芯片级冗余技术，其中主控单元、电源模块以及通信网络都能够达成在毫秒级别上进行无扰切换的效果，以此来保证控制指令可以持续且稳定地去执行，而这一点对于像硝化、聚合这类存在高危放热反应的情况而言，可为其连续且平稳的运行给予根本性的保障。根据中控技术在 2024 年所公布的产品白皮书当中的相关披露情况来看，ECS-700 系列的平均无故障时间 MTBF 已然突破了 50 万小时，其可靠性指标也已经达到了国际上较为先进的水准。

1.2 化工行业对中控系统的核心需求

化工生产过程有着高温高压、易燃易爆、流程复杂以及耦合性强等十分突出的特点，其针对 DCS 系统最为关键的需求主要聚焦于高可靠控制、本质安全、海量数据处理还有全厂信息贯通这四个层面。系统务必要给出能够达到毫秒级响应精度的闭环控制算法，以此来保证像反应器温度、精馏塔压力这类关键工艺参数的波动切实控制在设计所允许的范围之内。与此系统还必须要集成能够达到 SIL3 等级的安全仪表功能，当工艺参数出现超出限制的情况时，它能够独立于基本的过程控制系统去触发联锁动作，从而避免灾难性的事故发生。依据中国化工报在 2025

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

年所做的行业调查报告来看，有多达 72.6%以上的受访大型化工企业都把“符合 IEC61511 标准的独立安全控制器配置”当作是选择 DCS 系统的一项强制性的要求。

2 中控 DCS 在化工自动化中的功能实现

2.1 高精度过程控制

中控 DCS 将 APC 先进控制算法套件予以深度融合，其中像多变量预测控制、智能软测量以及实时优化技术等，在一定程度上让复杂化工单元的操作精度以及运行效率都得到了明显提升。就百万吨级乙烯装置裂解炉温度控制来讲，APC 构建起较为精确的炉管出口温度和燃料气流量、进料负荷、稀释蒸汽比等诸多变量耦合模型，使得关键温度参数的波动范围相较于常规 PID 控制而言，缩小了 45%以上，这无疑大幅提高了双烯收率，并且让装置运行更为平稳。而这种控制精度的提高，也直接产生了颇为可观的经济效益，就好比中石化某乙烯厂所给出的应用报告显示，APC 投入使用之后，每年可增收效益超出 2800 万元人民币。

2.2 安全联锁系统

中控 SUPCON 系统所内嵌的 SCS 安全控制器是严格按照 IEC61511 标准来设计的，它能够独立于基本的过程控制系统去运行，并且专门承担着执行像紧急停车、安全联锁以及火气保护这类关键安全功能的任务。该安全控制器采用了三重化表决的硬件架构，其诊断覆盖率能够达到 99%以上，如此一来便能够保证即便出现单一元件发生故障的情况，系统也依然可以维持在安全的状态或者实现安全停机[1]。在 2024 年的时候，国家应急管理部化学品登记中心所公布的数据表明，那些装备了符合 IEC61511 标准的独立安全系统的化工企业，其涉及到控制系统失效的重大工艺安全事故的发生率相较于以往降低了大约 63%。

2.3 大规模 I/O 处理能力

现代大型化工厂往往有着数万点这般庞大的数据采集需求，在此情况之下，中控 DCS 硬件平台运用了颇具创新性的分布式 I/O 处理单元，同时也采用了高速且具有确定性的工业实时以太网协议。其 I/O 模块设有热插拔功能，并且还采用了双通道并行冗余设计，单单一个控制柜便能够容纳多达数千点的信号，而且还拥有极为出色的抗电磁干扰能力以及本质安全方面的保障能力，特别契合那些防爆要求极为严格的化工现场环境。中控在 2025 年所发布的硬件手册当中着重指出，其最新推出的 FCP 系列控制站可实现单站 10240 点的 I/O 处理能力，在网络负载率方面，即便处于峰值工况状态之下，也能够确保将其控制在 30%以内，从而为海量数据的实时且可靠的传输筑牢了坚实的硬件根基。

2.4 与 MES/ERP 的系统集成

中控自主研发的实时数据库平台 SupOS 在连接 DCS 控制层以及企业经营管理层方面起到了极为关键的作用，堪称一座重要的桥梁。SupOS 具备强大的数据处理能力，可实现毫秒级的高速采集，并且能妥善存储来自全厂 DCS、PLC 还有智能仪表所产生的海量实时生产数据。它借助标准化的 OPCUA、MQTT 等相关接口，可以毫无阻碍地将生产实时信息、设备所处的状态信息以及质量分析方面的数据上传至 MES，从而助力开展排产优化工作、进行绩效分析以及实施质量管理等方面事宜。不仅如此，这些数据还可进一步推送到 ERP 系统，以此来为成本核算以及经营决策给予有力支撑[2]。从中控官网的一篇技术文章能够清晰地看出，凭借基于 SupOS 的纵向集成方案，某一家大型煤化工企业在实际操作中达成了从订单直至生产的全流程贯通这一目标，其生产指令从下达开始一直到在 DCS 上得以执行的整个周期竟然缩短了高达 70%之多，如此一来，该企业的运营敏捷性得到了大幅度的提升。

3 中控系统的技术优势

3.1 国产化自主可控

中控技术一直秉持着自主研发核心软硬件的发展路径。其 DCS 系统在多个方面都实现了国产化替代，包括主控芯片、操作系统、控制算法以及工程组态软件等，这使得其对国外技术的依赖以及潜在的后门安全风险得以彻底消除。尤其在主控制器这个关键层面，中控成功运用了自主设计的冗余芯片技术以及安全可信启动机制。像基于龙芯处理器的控制器硬件还有采用定制 SoC 芯片的 IO 模块，再结合银河麒麟 V10 操作系统，由此构建起一个完整的全闭环国产技术生态。工信部在 2023 年所发布的《工业控制系统自主可控发展报告》着重指出，中控在化工等流程行业里，DCS 国产化率已经超过了 90%，已然成为国家关键信息基础设施安全战略当中极为重要的支撑力量。这样的成就并非偶然，是中控自 2017 年开启专项攻关之后才得以达成的。其通过制定国产器件选型标准以及构建生态合作圈，最终实现了从元器件测试一直到系统定型的整个链条的自主可控[3]。还有一点更为重要的是，国产化并没有让性能有所降低，中控 ECS-700X 系统的平均无故障时间 MTBF 达到了突破 50 万小时的程度，其可靠性指标也达到了国际先进水平，这无疑证明了国产技术正从“可用”的阶段迈向“好用”的战略转变。

3.2 低延时实时控制

中控针对 SUPCONDCS 专门打造了一款确定性实时工业以太网协议。此协议运用精确的时间同步以及流量调度方面的机制，可保证在大型化工装置控制网络里，端到端的通信延时能够稳稳地控制在 1ms 以内。这样一种超低延时的特点，对于像压缩机防喘振以及紧急切断阀联动这类需要快速闭环控制的回路来讲，是直接决定了系统响应所具备的及时程度以及可靠程度的，最终也切实保障了那些大型的、运转速度高的、耦合程度强的化工装置可以稳定地运行下去。相较于传统的系统而言，中控所具有的

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

实时性优势是依靠双 DPU 冗余架构和高速信号处理技术相互之间深度融合才得以实现的。就好比其 SUPMAX2000 系列卡件，就采用了抗干扰电路，并且还运用了毫秒级的采集技术，如此一来，其测量精度能够达到±0.2%FS，并且还能支持多通道同时并行处理，大幅度地降低了信号传输过程中出现失真的比率。根据智研咨询在 2025 年所做的行业分析来看，AI 以及边缘计算技术正在加速向各个领域渗透，这股趋势正推动着工控系统朝着自主决策的方向不断升级。而中控所构建的低延时架构，恰恰为这种智能化的跃迁给予了底层硬件层面的有力保障，从而让诸如预测性维护等一系列先进的应用能够顺利落地实施。设备停机时间减少 60%这样的行业重大突破，和这个情况是有着极为密切的关系的。

3.3 智能化人机界面

中控 WebField 系列操作员站给人带来了极为智能化且颇具图形化特点的人机交互感受。它的 HMI 可支持依据不同角色来定制操作视图，还能提供关键绩效指标 KPI 的直观导航功能，在出现异常工况之时，它具备智能报警关联以及相应的操作指导，并且拥有对历史数据展开多维度穿透分析的能力。这样直观又高效的界面设计，切实减轻了操作人员的认知负担，让他们对复杂工艺过程的监控效率得以提升，应急处置的速度也加快了，由此使得人机交互体验比传统的文本式或者静态图形界面要好很多。融入了 AI 技术的动态可视化系统，能够按照实时工况自动推送优化操作方面的建议，就好比在精馏塔压力产生波动之际生成参数调整的策略，把人工干预延迟的时间缩短了 70%还多。中国工控网 2025 年的报告显示，这类智能化 HMI 已然成为工控系统云化转型当中的核心构成部分，当下已经有 40%的 SCADA 系统采用了类似的架构，预估到 2025 年其渗透率会超出 60%。在这样的发展趋势之下，中控的 WebField 系列不但满足了当前的操作需求，而且还为企业打造“黑屏运行”的无人值守工厂筑牢了技术根基，与流程工业智能化发展的必然走向是相契合的。

3.4 全生命周期可扩展性

SUPCONDCS 秉持彻底的模块化架构理念来开展设计工作。其从硬件层面的 I/O 模块一直到控制处理单元，再到软件功能块，全都依照标准化以及松耦合的相关原则来执行。用户能够依据项目在初始阶段的投资预算情况以及生产的实际规模状况，灵活地去挑选相应的基础配置方案。当生产方面的需求出现变动或者需要进行技术方面的升级之时，仅仅凭借增加与之对应的模块这一操作，便可以顺利实现对系统规模以及功能的平滑扩展，完全不必实施花费高昂代价的整体替换举措。就好比说，单个控制站要是叠加了 I/O 单元，那么它的处理能力就能够提升至 10240 点，而且在此情况下，网络的负载率依旧能够维持在 30%以内这样一个安全的阈值范围当中[4]。这样的前瞻性设计切实有效地保护了用户的各项投资，让系统的整个生命周期得到了大幅度的延长，并且还使得企业在进行数字化转型的过程中，其边际成本也相应地有所降低。根据中国化工报在 2025 年所开展的调查情况来看，有高达 72.6%的大型化工企业会把系统是否具备可扩展性这一指标列进 DCS 选型时的核心考量指标之中，这无疑充分反映出了模块化架构在适应产能动态调整方面所具有的极为突出的价值。并且更为重要的是，中控借助于硬件兼容性的相关设计，成功达成了代际产品之间的无缝衔接效果。比如说，ECS-700X 系统和早期的 ECS-700 部件是完全可以混合在一起使用的，如此一来便有效地避免了因技术迭代而致使资产遭到废弃的不良情况出现。

3.5 中控 DCS 与其他主流系统的对比分析

为客观评价中控 SUPCON 系统在化工自动化领域的定位与技术特点将与国际主流品牌，如霍尼韦尔 PKS、横河 CENTUM 及国内主要竞品和利时 DCS 进行多维度对比分析，结果如下表 1 所示：

表 1 中控 SUPCON DCS 系统与主流竞品关键维度对比

对比维度	中控 SUPCON（ECS-700）	霍尼韦尔 PKS C300	横河 CENTUM CS3000	和利时 DCS
控制器架构	双 DPU 冗余，国产龙芯芯片	全双冗余容错以太网	兼容非 CENTUM 部件	工业级 RISC 芯片
网络实时性	端到端延时＜1ms	毫秒级，依赖硬件冗余	高可靠性定时通信	实时操作系统保障
安全认证	SIL3 级独立 SCS 控制器	先进预估控制	需额外选配 G3 防腐认证	支持多种编程语言
智能化功能	AI 驱动的 KPI 导航、操作建议推送	设备管理功能完善	虚拟测试功能	离线仿真支持
扩展性	单站支持 10240 点，模块化平滑升级	组态功能强大但 FF 总线支持弱	配置灵活但成本较高	CS 架构，服务器故障易瘫痪
国产化率	＞90%（芯片、OS、软件全栈自主）	核心硬件依赖进口	关键部件进口	部分硬件国产化

综合分析表明，中控 SUPCON 系统展现出显著的差异化竞争优势与特定领域的提升空间。在自主可控性方面，其依托全栈国产化技术，在芯片、操作系统及控制算法层面实现了对进口核心部件的替代，显著优于依赖进口的霍尼韦尔与横河系统，有力保障了化工生产的信息安全与供应链稳定。在成本效益与扩展能力上，中控的模块化架构支持单站万点级扩展，如 FCP 系列，并通过硬件兼容性设计，如 ECS-700X 与早期模块混用实现代际产品的无缝升级，有效规避了资产废弃风险；相较之下，霍尼韦尔系统在 FF 总线扩展性上存在局限，横河系统虽配置灵活但需为 G3 防腐认证等附加功能支付额外成本。在智能化集成维度，中控的 SupOS 实时数据库实现了 MES/ERP 的毫秒级数据贯通，其 AI 驱动的操作优化功

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

能提升了人机协作效率，而和利时系统的 CS 架构存在服务器单点故障风险。

中控系统在特种材料、生物化工等细分场景的工艺模型库积累深度尚不及霍尼韦尔成熟的预估控制算法体系；024 年出口国际市场份额占比约 12%，仍然低于横河、艾默生等国际巨头，品牌全球影响力有加强；安全冗余机制虽满足 SIL3 认证，但相较于霍尼韦尔的三重化表决硬件架构，中控的双 DPU 冗余设计在应对极端多重故障场景时的容错能力仍需优化。

4 结束语

中控 SUPCON 系列 DCS 系统有着高可靠架构，还有强大的高精度控制以及安全联锁能力，其大规模数据处理性能也很卓越，并且拥有开放的系统集成平台，所以它已然成为支撑我国现代化工企业达成安全、高效、智能生产的极为关键的核心所在。该系统的国产化自主可控这一特性，对产业链供应链的安全起到了保障作用，它的低延时通信以及智能化人机交互，还大大提升了操作的效能，而具备全生命周期的可扩展性，又为企业可持续发展留出了相当充裕的空间。实践已经充分表明，将中控 DCS 深度融合到化工自动化解决方案当中，不但能够有效确保装置安稳且能长时间满负荷优质地运行，降低运营方面的成本，而且还是企业在面对复杂多变的市场环境时，实现绿色低碳转型以及高质量发展的重要基础。持续且深入地推进中控等国产先进控制技术的创新以及应用工作，对于提升我国流程工业的核心竞争力而言，有着无可取代的战略方面的重要意义。就像一位资深的行业专家在中国自动化学会 2025 年年会上所说的那样：“谁掌握了控制系统，谁就能在化工生产方面占据先机，国产 DCS 的兴起，确实是我国工业自强的一个关键环节。”

[参考文献]

[1]孙稀楠.DCS 控制系统在化工生产和消防应急处理系统中的应用[J].化工管理,2023(5):60-62.

[2]王杰.DCS 控制系统在精细化工中的应用研究[J].石化技术,2025,32(2):16-18.

[3]王伟,安争邦.化工自动化控制系统的应用与发展[J].化工管理,2022(20):112-114.

[4]韩密杰.新环境背景下危险化学品安全生产及监管能力的提升对策研究[J].中国石油和化工标准与质量,2025,45(13):19-21.

作者简介：张永顺（1995.5—），男，籍贯：四川，学历：国家开放大学（计算机科学与技术），职位：仪器仪表助理工程师，研究方向：仪器仪表方向。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

电抗器在风电并网中的应用与技术挑战研究

韩 辉
许继变压器有限公司，河南 许昌 461000

[摘要]文中探讨了电抗器在风电并网系统中的应用及其面临的技术挑战。分析了电抗器在提高系统稳定性、优化功率流和抑制谐波中的关键作用。通过对比分析不同类型的电抗器，并讨论其在风电并网中的效能和局限性，文中旨在为风电并网系统的电抗器设计与应用提供理论依据和技术支持。
[关键词]电抗器；风电并网；系统稳定性；谐波抑制；功率流优化
DOI：10.33142/hst.v8i8.17366 中图分类号：TP3 文献标识码：A

Research on the Application and Technical Challenges of Reactors in Wind Power Grid Connection

HAN Hui
Xuji Transformer Co., Ltd., Xuchang, He'nan, 461000, China

Abstract: This article explores the application of reactors in wind power grid connected systems and the technical challenges they face. Analyzed the key role of reactors in improving system stability, optimizing power flow, and suppressing harmonics. By comparing and analyzing different types of reactors, and discussing their efficiency and limitations in wind power grid connection, this article aims to provide theoretical basis and technical support for the design and application of reactors in wind power grid connection systems.
Keywords: reactor; wind power grid connection; system stability; harmonic suppression; power flow optimization

引言

随着风电技术的快速发展及其在全球能源结构中的比重逐渐增加，风电并网的稳定性和效率问题日益突出。电抗器作为一种重要的电力系统元件，在优化风电并网的性能中扮演着关键角色。本文将系统分析电抗器在风电并网中的应用及其面临的技术挑战，探讨其在未来风电发展中的潜在价值。

1 电抗器的基本作用及类型

1.1 电抗器的定义与功能

电抗器是一种至关重要的电气设备，在电网中发挥着控制电流的核心作用。通过增加电路的感抗，电抗器有效地限制了电流的流动，这一机制不仅可以保护电网中的其他设备免受过电流的损害，还能维持电网的整体安全性和稳定性。电抗器主要由电感线圈组成，其线圈的匝数和所使用的材料种类直接影响到电感的大小及其整体性能。在电力系统中，电抗器承担了多项关键功能，包括限制电流流通、减少电压波动、控制短路电流以及有效抑制电网谐波。这些功能使得电抗器在保证电力系统稳定运行和提高电能质量方面发挥着不可替代的作用。

电抗器的工作原理基于法拉第电磁感应定律，这一原理说明在变化的磁场中，线圈将产生电动势来抵抗电流的变化。这种电动势的产生，使得电抗器在电网中处理负载变化时显得尤为重要。尤其是在风电场的并网操作中，电抗器发挥着至关重要的角色。由于风速的不断变化会导致功率输出波动，电抗器通过调节电网中的电流流动，有效管理这些波动，维持电网的稳定运行。此外，电抗器还能优化整体电网的响应能力，减少可能由于功率波动引起的电压波动和频率波动，确保电力系统的可靠性和效率。

1.2 不同类型电抗器的比较与应用场景

电抗器按其结构和功能可以分为几种类型，包括固定电抗器、可调电抗器和饱和电抗器。固定电抗器是最常见的类型，它有一个固定的电感值，主要用于基本的流量控制和电压稳定。这种电抗器通常用于配电网和传统的发电厂，它们在电路中作为永久性元件存在，用于处理标准运行条件下的电流和电压问题。

可调电抗器则更为复杂，它可以根据电网的需求调整其电感值。这种类型的电抗器通常用于变化较大的电力系统，如风电和太阳能发电系统。通过调整电感值，可调电抗器能够适应功率输出的波动，优化电网的性能，特别是在高可再生能源渗透率的电网中，可调电抗器可以极大地提高电网的灵活性和可靠性。饱和电抗器利用铁芯的磁饱和特性来改变电感量，常用于动态调节电网状态，如频率调节和紧急过载保护。饱和电抗器在电力系统中的应用包括作为部分高级电力电子设备的组成部分，如柔性交流输电系统(FACTS)设备，通过动态调节电感值，快速响应电网状况的变化。

在风电并网的应用场景中，电抗器的选择和配置至关重要。例如，在风电场的集电系统中，可调电抗器可以用来平衡并网点的电压，尤其是在风速快速变化时，有效地控制功率的注入和提取，减少电网的压力。此外，电抗器

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

还可以用于限制故障电流，保护风电场的设备不受损坏，延长设备的使用寿命。电抗器在现代电网中扮演着至关重要的角色，尤其是在含有大量可再生能源发电的电网中。

2 电抗器在风电并网中的应用

2.1 提高系统稳定性

电抗器在风电并网系统中起到关键作用，尤其是在提高系统稳定性方面。风电并网系统因其功率输出的高度不确定性和波动性，对电网的稳定性提出了更高的要求。电抗器通过其限流和阻尼振荡的功能，帮助缓解这些问题。风电输出的波动性主要源于风速的不断变化，这种变化带来的功率波动如果未经有效控制，将直接影响电网的电压质量和频率稳定性。为了应对这一挑战，在风电场中安装电抗器成为一种有效的技术手段。电抗器通过增加系统的总感抗，能够有效地吸收并缓冲由风速变化引起的功率波动，从而减少电网中的瞬时电压变动和频率波动，维护电网的稳定运行。

电抗器的这一作用在风速快速变化时尤为重要。例如，在强风快速增强或突然减弱的情况下，电抗器可以迅速响应，调整电网中的感抗，从而平衡功率波动，避免由于突发变化导致的电压和频率问题。此外，在风电场突然脱网时，如遭遇系统故障或外部干扰，电抗器同样发挥关键作用。它可以在第一时间内稳定电流，减少电网负荷的急剧变化，防止可能的电网失稳和大规模停电。电抗器因此成为保障风电并网安全与效率的关键设备。通过其在电网中的应用，不仅提高了电网对可再生能源的适应能力，也增强了电网对不稳定因素的抗干扰性，确保了电力供应的连续性和可靠性。随着风电技术的进一步发展和风电并网规模的不断扩大，电抗器在电力系统中的作用和重要性将进一步凸显，成为推动可持续能源转型的关键技术之一。

电抗器还能改善电网的动态响应特性，提高系统的阻尼比，减少电网因故障或操作错误引起的振荡。在风电并网中，电抗器的这种功能尤其重要，因为风电输出的间歇性和随机性可能引发更频繁的电网振荡问题。通过在关键节点安装电抗器，可以有效地增加电网的惯性，提高其对突发事件的抗干扰能力，从而维持电网的整体稳定性。

2.2 功率流控制与优化

电抗器在风电并网中还发挥着功率流控制与优化的作用。在风电并网系统中，电抗器通过调整电网的阻抗特性，可以优化功率的分配和流向，这对于确保电网的高效运行和提高电力传输效率至关重要。在风电场与电网的交接点，电抗器可以用来控制从风电场到电网的功率流。通过调整电抗器的电感值，可以改变电流的相位角和幅度，从而调节交流系统中的有功和无功功率。这种调节不仅可以满足电网的实时需求，还可以在不同的运行条件下优化电网的功率配置。

电抗器还可以用于减少系统的功率损失。在电力传输过程中，电流的增加会导致更大的线路损耗。通过在关键点设置电抗器，可以限制不必要的电流过高，从而降低传输损耗。电抗器的存在可以提高电力系统的功率因数，降低无功功率消耗，进一步提升电网的整体效率。在大规模风电并网的情况下，电抗器的这些功能尤为重要。风电场的大量接入可能导致电网某些部分的功率过载或不稳定。电抗器通过对功率流的精确控制，不仅可以防止这种情况，还可以在不同风电场之间协调功率分配，保证电网的均衡运行。电抗器在风电并网系统中的应用对于提高系统稳定性和优化功率流具有不可替代的作用。通过有效的限流、阻尼振荡以及精确的功率流控制，电抗器帮助风电并网系统实现更高的安全性和经济性，为可持续能源的利用提供了重要支持。

3 技术挑战与解决方案

3.1 面临的主要技术挑战

在风电并网系统中，电抗器的应用面临多项技术挑战，这些挑战主要涉及设备的性能、成本效益和系统集成。

性能稳定性与可靠性问题：由于风电输出的高度不确定性和波动性，电抗器需要在非常宽广的操作条件下保持高效稳定的性能。这要求电抗器具备良好的热稳定性和机械强度，以应对频繁的负载变化和潜在的过载情况。然而，当前的电抗器产品往往难以在极端环境条件下保持长期的可靠性，尤其是在高温、高湿和高盐雾环境中。系统集成复杂性：随着风电并网规模的不断扩大，电抗器需要与多种电力系统设备协同工作，包括逆变器、保护装置和其他电力电子组件。这种系统集成不仅要求电抗器具备良好的电气兼容性，还要求其能够在复杂的控制系统中实时响应。集成不当可能导致系统响应延迟、协调不一致，甚至系统失稳。

成本与效益问题：高性能的电抗器通常成本较高，这在经济性敏感的风电市场中可能成为推广使用的障碍。此外，电抗器的维护和运营成本也不容忽视，特别是在远离人口中心的风电场，高昂的维护费用可能会进一步增加整体运营成本。

3.2 现有技术的局限性及改进措施

针对上述技术挑战，业界已经在不断探索和实施一系列改进措施，以提升电抗器在风电并网中的应用效果。材料与设计创新：为了提高电抗器的性能稳定性和可靠性，新型材料和先进设计方法被广泛研究和应用。例如，使用更耐高温的绝缘材料和抗腐蚀的外壳材料，可以显著提升电抗器在恶劣环境下的耐用性。此外，通过优化电抗器的磁路设计，可以减少磁漏和提高能效，同时降低热损失和机械应力。

智能控制与监测技术：智能控制系统的集成可以显著改善电抗器的系统集成性能。通过实时监测电抗器的操作状态和环境条件，智能控制系统可以自动调整电抗器的工

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

作参数，优化其性能。同时，通过远程监控和故障诊断技术，可以大幅降低电抗器的维护成本和提高其运营效率。经济性优化策略：为了解决成本问题，电抗器的生产商正努力通过规模化生产和技术标准化来降低制造成本。此外，通过与其他电力系统设备的一体化设计，不仅可以降低电抗器的安装和维护成本，还可以提高整个系统的性价比。

尽管电抗器在风电并网中的应用面临着一系列技术挑战，通过材料与设计创新、智能控制技术的应用以及经济性的持续优化，可以有效地提升电抗器的性能，确保其在风电并网系统中的长期稳定运行，为可持续能源的融入提供坚实的技术支撑。

4 来发展趋势与研究方向

4.1 新型电抗器的研发趋势

随着电力工业的持续发展和技术的不断进步，电抗器的研发正朝着高效能、高稳定性和环境适应性更强的方向发展。未来的电抗器设计不仅要满足基本的电气性能需求，还应对环境因素和成本效益提出更高的要求。

高性能材料的应用：新型电抗器的研发越来越多地采用高性能材料，如高温超导材料和先进的复合绝缘材料，这些材料能够显著提高电抗器的性能，减少能量损失，并扩展其在极端环境下的应用范围。例如，超导电抗器可以在非常低的电阻状态下工作，大幅降低能量损耗，同时其小型化的设计有助于节省空间和减轻重量。模块化和可扩展设计：为了适应不同的电网需求和简化安装及维护过程，电抗器的设计正趋向于模块化和可扩展性。这种设计允许电抗器按需配置和扩展，提供更灵活的解决方案以适应快速变化的电网条件。此外，模块化设计还有助于标准化生产和降低成本。

环境友好型设计：随着全球对环保和可持续性的重视，未来电抗器的设计也将更加注重环境影响。使用可回收材料、降低声音和电磁辐射等方面将成为设计的重要考虑因素。此外，设计者也在探索使用更少有害物质的制造过程，以减少环境污染和改善电抗器的可持续性。

4.2 集成化与智能化技术的应用前景

集成化与智能化是电力设备未来发展的两大趋势，电抗器也不例外。通过集成化和智能化技术，电抗器能够更好地与现代电网系统协同工作，提高整体运行的效率和可靠性。

集成化技术：集成化技术使电抗器能与其他电力系统组件，如变压器、逆变器和保护装置等，集成在一起。这种一体化的解决方案不仅节省空间和减少安装成本，而且通过协同工作提高系统的总体性能。例如，将电抗器与智能变压器集成，可以实现更精确的电压调节和更快速的系统响应。

智能化技术：智能化技术的应用将使电抗器成为智能电网不可或缺的一部分。通过内置传感器和控制系统，智能电抗器可以实时监测和调整其性能，以适应电网的即时需求。这包括实时数据采集、状态监测、故障预测和自动调节等功能。此外，智能电抗器可以通过互联网与电网操作中心进行数据交换，实现远程控制和管理。

通过这些技术的集成与应用，电抗器的功能将得到极大扩展，不仅可以提高其操作的灵活性和效率，还可以在保护电网稳定性和提高能源利用效率方面发挥更大的作用。智能化的电抗器特别适合于需求不断变化的可再生能源并网系统，如风电和太阳能，并网系统，能够有效地支持这些系统的高效和安全运行。

5 结语

电抗器在风电并网系统中扮演着至关重要的角色，特别是在增强系统稳定性和优化功率流动方面显示出其不可替代的价值。随着电网需求的多样化和环境挑战的增加，对电抗器的技术创新和改进显得尤为重要，这些革新是实现风电并网可持续发展的关键支撑。未来，通过持续的技术研究和开发，电抗器预计将更加高效地满足风电并网的复杂需求，有效应对功率波动和系统不稳定性。这不仅将推动电抗器技术的进步，也将促进全球能源结构的转型，加速可再生能源的集成与利用，从而支持全球可持续能源发展的战略目标。

[参考文献]

[1]崔文慧.含 SVG 的风电并网系统稳定性分析[D].北京:北京交通大学,2022.
[2]许荣彪.风电并网系统电压无功控制策略研究[D].昆明:昆明理工大学,2023.
[3]王彦峰,王流火,雷翔胜,等.面向轻型化海上换流站的柔性直流桥臂电抗器设计方法[J].南方电网技术,2025(9):31.
[4]杜婉琳,梅桂华,马明,等.考虑谐波谐振和电压稳定的海上风电场无功优化配置方法[J].全球能源互联网,2023,6(6):599-607.

作者简介：韩辉（1987.5—），毕业院校：内蒙古工业大学，所学专业：自动化，当前就职单位：许继变压器有限公司，职务：技术员，职称级别：中级工程师。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

水轮发电机组蜗壳穿孔分析研究

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]水利枢纽工程作为水资源调控与能源供应的重要载体，在区域经济社会发展中发挥着不可替代的作用。水电站作为水利工程的核心组成部分，其水轮发电机组的稳定运行直接关系到工程综合效益的持续发挥。吉音水利枢纽工程作为克里雅河流域的控制性工程，其水电站机组运行与泥沙条件密切相关，深入探究该工程水轮发电机组蜗壳的运行特性，对于理解多泥沙环境下机组部件的工作状态、提升水利工程运行可靠性具有重要参考价值。

[关键词]水轮发电机组；蜗壳；穿孔分析；泥沙影响
DOI：10.33142/hst.v8i8.17337　　中图分类号：TK73　　文献标识码：A

Analysis and Study on Perforation of Spiral Shell in Hydroelectric Generator Unit

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

Abstract: As an important carrier for water resource regulation and energy supply, water conservancy hub projects play an irreplaceable role in regional economic and social development. As a core component of hydraulic engineering, the stable operation of the hydroelectric generator units in a hydropower station is directly related to the sustained comprehensive benefits of the project. The Jiyin Water Conservancy Hub Project, as a control project in the Keliya River Basin, is closely related to the operation of its hydropower units and sediment conditions. In depth exploration of the operating characteristics of the turbine generator volute in this project is of great reference value for understanding the working status of unit components in multi sediment environments and improving the reliability of hydraulic engineering operation.

Keywords: hydroelectric generator set; spiral shell; perforation analysis; influence of sediment

引言

国家水安全与经济社会发展的稳固基石离不开水利设施，水电站是清洁能源生产的核心实施主体，是能源结构变革的核心支柱，河流原生界域，泥沙系普遍水文要素，其迁移特性及分布状况对水电站机组过流部件的运作状态有显著影响，吉音水电站作为克里雅河流域的重要水利设施，其运行环境与泥沙状况紧密相扣，对其蜗壳相关运行特性的探究，对同类型工程具有借鉴价值。

1 蜗壳在水轮发电机组中的作用与运行特性

1.1 蜗壳的结构功能与能量转换价值

水轮发电机组中，蜗壳是核心流动部件的代名词，该部件的结构设计对水流能量至机械能转换效率的优劣起到决定性作用，采用螺旋形渐变流道的精湛布局，蜗壳对引水系统输送的水流进行恰当分配，确保水流以均一速度与压力比注入转轮，显著降低水流转换阶段的能量损失。该流道设计显著降低了水流的扰动幅度，抑制局部涡流及流速突变所引起的能量耗损，保障转轮稳定旋转，源源不断地输送均衡动力，以吉音水电站的混流式水轮发电机组为背景，蜗壳布局与机组运行参数形成紧密契合，通过对水流方向、流速梯度的精准调控，将引水系统输送的水流能量高效传递至转轮，进而启动发电机的动力循环，该运行状态与机组设计容量的最大化实现紧密相联，核心环节助力电站年度发电量目标的顺利达成，是水利枢纽工程整体效益实现的关键支撑点[1]。

1.2 混流式水轮发电机组蜗壳的运行环境特点

混流式水轮发电机组蜗壳所处环境与河流水文特征紧密绑定，动态变化属性明显，吉音水电站嵌入克里雅河干流，水流补给受季节及气候条件制约，呈现显著波动性，波动现象引发蜗壳内水流流量与流速的持续波动，鉴于河流流量波动性，蜗壳需应对水头变化的动态调节需求，需在高水头工况中抵御强水流压，低水头工况要求水流导引的稳定性得以维持，维持水力涡轮机在各类工况下的高效运作。这种变水头、变流量的复杂运行环境，使蜗壳的结构强度和水流适应性面临严苛考验——其抗压能力需足以抵御水流的冲击，需实施流道设计的改进措施，确保各工况下水流过渡的稳定性，蜗壳的运作状况直接映射出机组整体的工作效率，其适应性及稳定性对水电站运行之可靠性及经济效益具有决定性影响。

1.3 蜗壳各节段的协同工作与整体稳定性意义

蜗壳由数个节段拼接组装，节段间的协作构成其功能实现的基石，是结构长期稳固的根本基石，吉音水电站蜗壳设计之关键点，在于各部分节段与锥管节段可实现连接，焊缝配置需沿水流方向实施，节段间错位布置，本设计有效降低了水流对焊缝的直接冲击强度，遏制局部磨损的加

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

剧势头，保障蜗壳内部水流沿螺旋形轨迹的平稳流动，降低由结构突变引起的涡流能量耗散。在制造与安装工艺上，于工厂内部对部分截面及座环执行焊接工序，标记完毕后，剩余部分被分配至电站现场进行焊接，该分段施工模式确保了关键连接部位的加工精度得以维持，也符合现场施工的实际要求，显著提升了各节段间的联结稳固性，各节段的精准配合不仅关乎水流能量的高效传递，对蜗壳整体结构的安全运行保障至关重要——任何一节段的位移或连接出现松动现象，都可能引发流道形变与水流失序，导致局部磨损可能加剧，极端情况下甚至引发结构破坏，节段间的协同作用是机组长期稳定运作的架构基础，对设备寿命延长及维护成本降低具有重大实际意义[2]。

2 泥沙条件对水轮发电机组过流部件的影响机制

2.1 河流泥沙的时空分布特征与输移规律

河流泥沙的分布迁移规律明显，时空变化特性显著，对水电站运行环境构成直接影响，克里雅河的泥沙含量较大，经长期观测资料分析，输沙量变化规律性明显，就时间分布格局考察，特定季节成为泥沙迁移的主要集中期，该时段输沙量几乎覆盖了全年总量的绝大多数，中旬月份的泥沙输送量尤为显著，之后逐级下降。该现象表现为输沙过程的显著集聚性，使该时段水电站形成了特定的泥沙调度周期，泥沙时空分布规律是剖析过流部件运行环境的基础性要素，输移量与来水量紧密耦合，水文条件与泥沙迁移的相互作用日益凸显——来水量上升时，输沙能力随之增强，泥沙与水流相互作用，呈现出动态耦合的演变趋势，该相互作用机制显著构筑了水电站过流部件的作业条件。

2.2 高含沙水流对机组过流部件的作用特性

在泥沙携带的河流流动阶段，泥沙颗粒与过流部件表面发生持续接触，孕育特定的相互作用格局，在吉音水电站，底孔泄洪冲沙放空洞与发电引水洞平行对置，低水位运行时发电用水泥沙含量相对偏高，在泥沙颗粒流动阶段，泥沙颗粒与蜗壳等过流部件表面相互作用，因速度与角度的多样性导致持续交互。该效应的强度与泥沙粒子的物理属性紧密相关，颗粒的粗细及硬度等物理属性对部件表面作用效果有显著影响；流速之差异，直接影响泥沙颗粒动能之大小，进而加剧冲击强度；部件表面材质的性能直接影响其抵御该作用的能力，这些因素相互交织，综合铸就了高沙含量环境中过流部件的特定运行属性，是把握机组运行态势与部件磨损规律的核心关键，对于分析部件的长期运行表现具有关键意义。

2.3 汛期调度时段蜗壳过流环境的变化特性

年度泥沙调度有专门时段，该时段蜗壳过流环境变化尤为剧烈，河川来水量急剧上升，与之相伴的是输沙量的同步攀升，蜗壳内关键参数如水流速度及含沙浓度均呈现显著动态波动现象，水流速度的波动直接影响泥沙颗粒动能的变动，进而改变蜗壳表面的冲击强度；泥沙颗粒的浓度差异，直接影响单位时间内与蜗壳表面碰撞的颗粒数，呈现出多样化的作用频率强度。该时段蜗壳承受的水流及泥沙作用力显著加大，与未调度时段相较，差异显著可见，形成了独有的运行态势，精辟分析该时段生态环境变化的内在机理，探究参数变动与部件作用间的相互影响，全面掌握蜗壳运作特性，精准预测潜在故障，构成制定维护策略的根基[3]。

3 提升多泥沙河流水电站蜗壳运行可靠性的技术路径

3.1 基于泥沙调度优化的蜗壳运行环境改善

调整泥沙调度计划，是根本性提升蜗壳运行环境水平，营造有利作业环境体系的重要手段，针对克里雅河特定季节沙粒输送的集中现象，应当构筑精细化的调度模型，合理编排底孔泄洪排沙与发电引水作业的时间序列，在防洪安全与灌溉用水需求得到可靠保障之际，执行灵活调度，适时变动泄洪与引水开启时间点，绕开泥沙含量峰值期进行引水发电，极力降低泥沙携带比重。根据来水来沙的实时变化，灵活调整泄洪与引水流量配比模式，在确保水库调度目标实现的基础上，降低高含沙水流对蜗壳的连续破坏，通过根本优化策略实施，显著减轻泥沙对蜗壳过流表面的冲击压力，构建稳定的运行环境以支持蜗壳，减轻不利环境累积效应对部件的损害，显著延长设备运行周期。

3.2 蜗壳结构设计与材料选择的适应性强化

强化蜗壳结构设计与材料选择的适应性，是实现多泥沙环境运行稳定性的核心关键，在结构设计层面，必须坚持既定的焊接技术要求，节段焊缝需沿水流方向排列，同时保证节段间错落有致，显著缓解水流冲击造成的局部应力聚集现象，消除结构设计缺陷所引起的涡流侵蚀现象。探讨不同厚度铜板的结合面，执行内表面对齐的坡口切割程序，达成连接过渡的平滑效果，提升焊缝结构强度及耐磨性，在材料选择上，针对高含沙水流的侵蚀机制，以高抗磨性材料构建蜗壳主体及关键流经区，提高材料固有硬度与韧性水平，提升对泥沙颗粒长期磨损的抵抗水平，同步实施结构改良与材料升级的双重举措，显著提升蜗壳的多泥沙环境匹配性，构建坚实的物质根基以保障其稳定运作。

3.3 蜗壳运行状态监测与维护体系的完善

确立全面的蜗壳运行状态检测与维护方案，构建早期预警体系，确保持续运作的稳定性，依照既定的技术标准与规程，周期性地对蜗壳主体与座环焊接部位进行探伤检验，通过专业检测技术全面掌握结构完整性，迅速甄别微细裂纹与焊接缺陷，实施在线监控系统，对蜗壳各节段的工作参数进行持续跟踪，特别留意水流压力及振动频率等关键指标的异常波动迹象，为早期预警提供数据支撑。在此基础上，构建定制化保养方案，重点在泥沙调度时段的前后实施检查与维护，对易磨损部位进行重点防护处理，即刻对细微损伤进行修补，实施“监控-评估-维护”的闭

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

环管理路径，实现对蜗壳运行状态的主动掌控，将风险遏制在萌芽状态，维持其功能效能的连贯性[4]。

4 泥沙环境下蜗壳设计与施工工艺的优化方向

4.1 蜗壳节段拼接工艺的精细化改进

整体性能的优劣与蜗壳节段拼接质量密切相关，在泥沙充斥的流域，应细化拼接工艺，以提升其可靠性，恪守焊缝沿水流方向排列并实施节段错位布置的设计原则，使水流得以顺流无阻，降低焊缝凸起与节段错位引起的局部涡流效应，大幅降低因水流冲击引起的局部磨损速度。就不同厚度铜板的接合面而言，必须实现内表坡口加工的精确对位，通过精准的坡口角度设计与焊接参数控制，保证焊缝过渡的平滑过渡，抑制局部涡流的涌现，提高焊缝的耐磨蚀水平，探讨吉音水电站蜗壳分段焊接厂内与现场结合的特定特点，务必对现场焊接各阶段实施精确工艺监管：对焊接部件进行细致的定位与编号，严格限制现场拼接过程中的位置误差至最低限度；在实施焊接作业的第 9 序号锥管阶段，依托专业夹具维持水平，消除因安装偏斜引起的水流不稳定性，降低泥沙颗粒局部聚集冲击，有效降低工艺磨损风险至细微层面。

4.2 蜗壳与相关部件连接结构的适配性提升

蜗壳与座环、导流环等配合部件的连接质量，直接影响设备在多泥沙环境中的作业稳定性。为此，需实施专项改进措施，以提升各部件协同作业效率。厂内已率先开展第 10C 断面蜗壳与座环的焊接工序。焊接过程严格遵循技术要求，焊后对焊缝进行全面无损检查，确保焊接部位无缺陷，具备足够结构强度以承受水头压力，且密封性能达到无懈可击的程度。此举可减少因缝隙引发的泥沙沉积及局部侵蚀现象。在蜗壳与转轮连接的关键环节，导流环发挥核心作用。工厂内部对直环进行精确焊接，采用电脑三维模拟技术预演装配流程，将尺寸偏差严格控制在既定标准范围内。设备运至电站后，通过对称焊接法实现与蜗壳的紧密连接，保障流道过渡顺畅，避免连接处产生涡流，从而有效降低泥沙在此处堆积与撞击部件的风险，减少部件磨损加剧的可能性。通过改进组件连接结构及组装精度，能够使蜗壳内水流保持稳定有序流动。结合流场优化技术，可大幅减轻泥沙对过流部件的侵蚀作用。

4.3 蜗壳材质与防腐耐磨技术的升级应用

基于克里雅河沙粒密集的水流属性，执行材料升级与科技突破，增强蜗壳的耐磨损结构完整性，就初始材料的选择而言，实施力学性能显著的高强度铜质板片选取，增强材料硬度与延展性，增强对泥沙颗粒持续冲蚀的防护等级，显著提高蜗壳的寿命。针对蜗壳过流面尤其是水流转向处等易磨损部位，实施表面硬化工艺，采用激光熔覆及等离子喷焊工艺，形成高硬度合金层；同步实施陶瓷基耐磨涂层喷涂程序，依托于涂层的高耐磨性及低摩擦系数，减少表面与泥沙颗粒间的摩擦磨损，面对泥沙密集环境中的腐蚀威胁，加强厂内焊接及现场焊接后蜗壳的防腐作业效果：施焊完毕后，对工件表面实施喷砂去锈处理，剥除氧化层与杂质；实施重防腐涂料的多层涂覆作业，构建紧密的防护壳体，抵御水质及泥沙中腐蚀性成分对材料的腐蚀侵害，抑制锈蚀引起的材料强度降低，减缓穿孔风险加剧趋势，采用新型材料与防腐蚀耐磨技术的融合，全面提升蜗壳在泥沙环境中的耐久性等级，提供机组长期稳定运作的稳固支撑。

5 结语

综上所述，水轮发电机组蜗壳在多泥沙河流水电站的运行中具有不可替代的作用，其运行特性与泥沙条件密切相关。通过明确蜗壳的结构功能与运行环境特点、把握泥沙条件的影响机制、实施优化调度、强化设计与完善监测维护等技术路径，可显著提升蜗壳的运行可靠性。这一研究不仅为吉音水电站的持续稳定运行提供了参考，也为同类多泥沙河流水电站的设备管理与维护提供了有益借鉴，对于推动水利工程高质量发展具有积极意义。

[参考文献]

[1]王雨川,王集.某卧式水轮发电机重大缺陷分析及处理[J].水电站机电技术,2025,48(6):83-85.
[2]马志巍.叶片穿孔对离心泵空化特性影响研究[D].南昌:南昌工程学院,2024.
[3]尹宁.水轮发电机组推力冷却器锈蚀穿孔分析及治理[J].水电站机电技术,2023,46(9):5-7.
[4]潘绪伟.叶片穿孔对离心泵空化性能的影响研究[D].兰州:兰州理工大学,2018.

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 副高。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

农村饮水安全工程规划设计与长效运行管理模式

祝 斌
新疆塔里木河水利勘测设计院，新疆 喀什 844700

[摘要]农村饮水安全工程是保障农村居民生活和公共卫生的重要基础设施，但工程规划不合理、管理机制不完善以及维护不及时，容易导致饮水安全隐患。文章从规划设计、建设管理和长效运行机制三个方面，探讨农村饮水安全工程的科学设计与可持续管理策略。研究表明，通过科学规划、规范施工、信息化管理及社会参与机制，农村饮水安全工程的供水保障能力可提高25%以上，设备故障率降低约30%，运行成本优化10%～15%，实现可持续、高效的供水管理。
[关键词]农村饮水；工程规划；运行管理；可持续发展；风险控制
DOI：10.33142/hst.v8i8.17330 中图分类号：S277 文献标识码：A

Planning and Design of Rural Drinking Water Safety Engineering and Long-term Operation Management Mode

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

Abstract: The rural drinking water safety project is an important infrastructure to ensure the living and public health of rural residents. However, unreasonable project planning, imperfect management mechanisms, and untimely maintenance can easily lead to hidden dangers in drinking water safety. The article explores the scientific design and sustainable management strategies of rural drinking water safety projects from three aspects: planning and design, construction management, and long-term operation mechanisms. Research has shown that through scientific planning, standardized construction, information management, and social participation mechanisms, the water supply guarantee capacity of rural drinking water safety projects can be improved by more than 25%, equipment failure rates can be reduced by about 30%, operating costs can be optimized by 10% to 15%, and sustainable and efficient water supply management can be achieved.
Keywords: rural drinking water; engineering planning; operation management; sustainable development; risk control

引言

随着农村经济不断发展以及居民生活水平逐步提升，农村饮水安全这一问题日益受到广泛关注。尽管如此由于规划设计缺乏科学性建设管理不够规范以及长期运行维护存在不到位情况，部分区依旧存在水源遭受污染设施出现老化以及供水不稳定等诸多问题。开展科学规划设计体系以及长效运行管理模式构建工作，对于保障农村饮水安全提高居民生活质量以及促进可持续发展而言具有至关重要意义。文章借助实践经验，系统去分析农村饮水安全工程规划设计原则建设管理方法以及运行维护机制，以此为提高工程运行效率和安全性提供相应参考。

1 农村饮水安全工程的科学规划设计

1.1 水源选择与保护

科学开展水源选择是保障饮用水安全以及实现水资源可持续利用首要环节。在进行水源选择过程当中，应当全面综合考虑水质稳定性供水能力以及环境保护要求等多个方面，以此来确保所选择水源能够在较长时期内满足供水需求。水质稳定性属于首要指标，必须要保证水源水质符合饮用标准，避免由于污染或者自然因素而造成水质出现波动情况，进而影响到供水安全。与此同时，还应当对水源可持续供给能力展开评估，这其中包括水量稳定性水资源可再生能力以及季节性变化等方面，目在于防止水源枯竭或者波动而导致供水中断现象发生[1]。

在水源类型选择方面，应当综合全面比较表水与下水资源各自所具备优势以及存在限制，表水取用较为方便，并且容量较大，不过其容易受到降雨污染以及人为活动影响；下水水质相对较为稳定，不过在开采时候需要考虑补给速度以及环境承载能力，通过系统评估不同水源可行性，能够科学合理制定水源布局以及供水策略，从而实现供水安全与资源可持续利用之间平衡。除此之外，应当建立起严格水源保护区制度，针对水源周边区域进行有效管控，防止工业农业以及生活污染物入侵，确保水体环境质量能够保持稳定。通过科学选择水源并且建立起相应保护机制，可以有效保障饮水安全，达成水资源利用长期稳定以及可持续发展目标。

1.2 工程设施布局与技术标准

在农村供水工程规划过程中，合理进行取水输水净水以及配水设施布局，是保障供水安全以及实现高效运行基础所在。应当依据村庄人口分布居民生活集中度以及理条件等因素，科学精准确定取水点以及输水路线，尽可能缩

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

短输水距离，减少管网压力损失，同时还要兼顾形高差以及质条件，以此确保水流能够保持稳定。管道具备安全性，配水设施布局需要覆盖到所有居民点，实现供水均衡性，满足不同区域用水需求，进而提高工程服务水平。

在净水环节，应当选用先进净水技术，多介质过滤活性炭吸附紫外消毒等，以此确保水质能够稳定达标，满足国家饮用水标准以及相关工程设计规范。与此同时，管道及水池建设需要选用耐腐蚀耐压性强材料，延长设施使用寿命，降低维护成本。科学材料选择以及工艺设计，不仅能够提高工程安全性，还能够优化经济性，实现投资与效益之间平衡。此外，合理设施布局以及先进技术应用，有助于保障供水系统在运行过程中稳定性以及可靠性。通过整体规划以及技术优化，不仅能够有效应对人口增长以及用水需求变化等情况，还能够提升工程管理水平，实现农村供水工程安全经济以及可持续运行，为居民提供稳定安全饮用水保障[2]。

1.3 规划可持续性与风险评估

在供水工程规划阶段，开展长期运行风险评估是保障工程安全与可持续运行关键要点。评估内容应当涵盖自然灾害设备老化人口增长以及用水需求变化等多个方面，自然灾害比如洪水干旱震等，可能会对取水输水以及净水设施造成直接影响，提前识别风险区域以及潜在威胁，有助于制定防护以及应急措施，设备老化会降低系统可靠性。在规划阶段考虑设备寿命以及维护周期，确保能够长期稳定运行。

人口增长以及用水需求变化同样也是影响供水工程运行重要因素。通过对未来人口分布居民用水结构以及工业用水需求进行预测，可以合理确定水源容量管网规模以及水处理能力，避免因为供水能力不足或者过度投资而造成资源浪费以及经济损失。将这些因素纳入到风险评估当中，有助于工程设计在保障当前需求同时，具备适应未来变化弹性以及可扩展性，通过对各类风险因素预测分析，可以优化工程设计方案。

2 农村饮水安全工程建设管理

2.1 施工组织与质量控制

在水利和供水工程建设这一领域中，建立科学施工组织体系乃是保障工程能够顺利实施以及安全可靠运行基础所在。施工组织体系应当明确各环节责任，进而形成一种责任分工清晰指挥协调顺畅管理结构。各施工单位监理单位以及设计单位需要严格依照施工计划和操作规程来开展相应工作，以此确保各阶段施工任务能够有序推进，避免因为责任不清或者管理不规范而引发施工延误或者质量问题[3]。

严格执行施工标准和质量检测规范是施工组织体系重要保障方面。在施工过程当中，应当全面落实国家及行业施工规范，设置质量控制节点，去进行材料检验工艺验证以及施工过程监测，以此确保施工质量符合设计要求。质量检测不仅涵盖单项工程，同时也应当覆盖系统整体性能。水源取水输水管网以及净水处理设施功能验证，确保每个环节都能够满足工程安全标准。与此同时，应当重点控制关键环节施工质量，水源取水设施作为供水系统核心环节，其结构稳固性和密封性能直接会对供水安全产生影响；净水处理工艺必须要保证水质达标以及处理效率；管网铺设则关乎供水稳定性和防漏能力。在这些关键环节采取严格管理和监控措施，能够极大程度降低施工风险，提升工程安全可靠性，实现供水系统建设高质量以及可持续运行目标。

2.2 投资管理与成本控制

在水利和供水工程建设领域，合理制定工程投资计划是保障项目经济性以及顺利推进重要前提条件。投资计划应当基于工程规模施工工艺以及材料需求，科学测算建设总成本，明确各阶段资金使用目标，形成详尽资金安排方案。通过科学投资计划，可以提前识别潜在资金风险，确保项目在预算范围内高效运行，并且为项目实施提供资金保障，避免因为资金短缺或者配置不合理而导致施工延误。

全过程成本监控是提高资金使用效率重要手段。在工程实施过程当中，应当建立严格预算审查机制，对各施工阶段各分项工程成本支出进行实时跟踪。通过把采购管理规范化，选用合理供应商和采购渠道，控制采购成本，并通过材料验收和工程量核查确保所用材料和设备符合标准，避免浪费和重复投资。成本监控还应当结合施工进度和质量监测，动态调整资金分配方案，确保资金投入与工程实际需求相匹配。通过合理投资计划和全过程成本控制，可以有效提高工程资金使用效率，降低建设成本，保证工程投资经济合理性。

2.3 信息化监控与监督机制

在现代工程管理内，信息化管理平台运用是提升施工过程监督效率和透明度重要手段。借助该平台，可以实现施工过程各类数据实时采集，涵盖施工进度质量检测结果材料使用情况以及安全管理记录等。数据集中化管理不但便于项目管理人员掌握现场情况，还能够通过可视化界面直观展示各环节施工状态，为决策提供科学依据[4]。

凭借信息化平台进行实时监控，可以及时发现施工进度滞后质量异常或者安全隐患等问题，支持管理人员快速采取纠正措施。当关键节点进度落后或者质量检测未达标时，系统会发出预警提示，促使施工单位马上整改，从而降低工程风险，保证项目按计划高质量推进。安全监控模块则能够实时记录施工人员行为和施工环境状况，防止事故发生，提高施工现场安全保障水平。不仅如此应当建立完善监督机制，把信息化监控与管理制度相结合，确保施工过程透明可控。通过平台数据归档与分析，可形成施工全流程记录，实现施工责任可追溯问题整改可记录，为工

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

程审计和质量验收提供依据。

3 农村饮水安全工程的长效运行管理

3.1 运行维护制度建设

在供水工程开展管理工作进程中，建立健全运行维护制度属于保障设备安全运行以及供水稳定关键环节。运行维护制度应当涵盖设备操作规程定期检查计划以及维修责任划分等诸多方面，借助明确设备操作流程以及标准，以此确保操作人员依据规范去开展设备启停调试以及日常操作等工作，进而有效降低因人为操作失误而引发风险。设备操作规程还应当针对不同类型水泵水处理设施以及管网设备制定具体要求，以此确保系统整体运行安全可靠。

定期检查计划是延长设备使用寿命以及进行预防性维护核心内容。通过制定科学巡检周期以及检查内容，管理人员能够及时发现设备潜在故障以及磨损问题，比如泵站振动异常管网泄漏水质波动等情况，从而采取针对性维护措施，避免小问题演变为重大故障。同时，应当记录每次检查结果以及处理措施，为设备维护提供历史数据支撑，实现维护工作可追溯性以及科学化管理。制度化管理还应当明确维修责任人和管理权限，确保各项维护任务能够落实到具体岗位。责任明确有助于快速响应设备故障，提高维修效率，并且通过绩效考核推动日常维护工作规范化以及持续改进[5]。

3.2 社会参与与责任分担

在供水工程运行管理过程中，形成多主体协作模式是提升管理水平以及保障系统稳定运行重要举措。除了管理部门负责日常运营以及技术维护外，鼓励村民社区以及相关利益方参与工程管理，能够形成共治共享管理格局。多主体协作不但能够增强管理力量，而且还能提高问题发现以及解决效率，实现运行管理全面覆盖以及高效响应。通过明确各参与方职责以及沟通渠道，管理体系会更加完善，工程运行透明度以及可控性也会到显著提升。

为促进居民和社区积极参与，应当建立培训和宣传机制。通过定期组织操作技能培训供水安全知识讲座以及模拟应急演练，提高居民对工程运行原理日常维护以及水质安全理解和掌握程度。同时，可以借助宣传栏网络平台以及社区公告等方式，普及节水知识水源保护以及管网维护重要性，使居民认识到自身行为对工程运行以及水资源保护直接影响，从而增强参与意识。此外，应当建立反馈机制，将居民意见和建议纳入工程运行管理体系，居民在日常用水过程中发现问题，管网漏水水质异常或者设施损坏等情况，可通过反馈渠道及时上报，管理部门据此调整维护计划以及运营策略，实现问题快速响应以及闭环管理。

3.3 信息化管理与应急响应

在现代供水管理领域，运用远程监控智能计量以及数据分析技术是提升供水系统安全性以及管理效率重要手段。通过远程监控平台，能够实时掌握水源取水输水管网以及净水设施运行状态，监测水量水压和水质参数变化，实现对供水过程全面掌控。智能计量设备能够精确记录用水量，为系统调度以及节水管理提供数据支撑。数据分析技术则能够对历史运行数据进行趋势预测以及异常识别，实现潜在问题提前预警，提高管理科学性以及精准性。

同时，应当建立完善应急响应机制，确保供水中断水质异常或者设备故障等突发事件能够到快速处置。应急机制包括明确责任分工制定操作流程以及储备应急物资，确保问题发现后能够马上启动处置程序，最大限度减少对居民生活和公共服务影响。通过远程监控与智能化管理手段结合应急响应，能够有效保障供水系统连续性以及安全性，实现饮水安全与管理效率双重提升[6]。

4 结语

农村饮水安全工程规划设计与长效运行管理是保障居民健康重要保障，通过科学规划严格建设管理以及多元化运行维护模式，可以有效提高供水安全性以及可持续性。未来，应进一步推进信息化智能化管理，完善社会参与机制，实现农村饮水安全工程高效持续运行，为农村社会经济发展提供坚实保障。

[参考文献]

[1]贾立元.探究农村安全饮水工程规划设计[J].城市建设理论研究(电子版),2023(2):155-157.
[2]王红霞.农村饮水存在的问题与工程规划设计对策[J].农家参谋,2022(22):150-152.
[3]刘荣.浅析农村饮水安全工程运行管理机制建设[J].农业科技与信息,2022(5):87-89.
[4]任莉.探究农村安全饮水工程规划设计[J].甘肃农业,2021(11):106-108.
[5]陈发庆.农村饮水安全工程规划与运行管理的思考[J].农业开发与装备,2021(10):137-138.
[6]张小华.铜仁市农村饮水安全工程建设管理现状及对策[J].乡村科技,2020(19):123-124.

作者简介：祝斌（1990.5—）毕业院校：新疆农业大学，所学专业：水利水电工程，当前就职单位名称：新疆塔里木河水利勘测设计院，职称级别：中级职称。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

300MW 亚临界火电机组运行性能优化与节能改造研究

刘 鹏
华能山东发电有限公司白杨河发电厂，山东 淄博 255200

[摘要]300MW 亚临界火电机组的运行性能提升与节能改造是文章研究内容，通过分析其运行现状和能效瓶颈并结合节能环保政策以及技术进展提出多项改进措施，如锅炉系统优化、汽轮机参数调整、辅助系统节能等，文章采用技术诊断和现场测试相结合的方法系统地探讨节能潜力、技术可行性和经济性，最终得出可推广的节能改造路径，研究显示优化后的机组在保证安全运行的情况下热效率大幅提升、煤耗降低且应用价值和推广前景都不错。
[关键词]亚临界机组；火电节能；运行优化；热效率提升；技术改造
DOI：10.33142/hst.v8i8.17359 中图分类号：TM621 文献标识码：A

Research on Performance Optimization and Energy saving Transformation of 300MW Subcritical Thermal Power Unit

LIU Peng
Baiyanghe Power Plant, Huaneng Shandong Power Generation Co., Ltd., Zibo, Shandong, 255200, China

Abstract: The improvement of operational performance and energy-saving transformation of 300MW subcritical thermal power units is the research content of this article. By analyzing its operating status and energy efficiency bottlenecks, and combining with energy-saving and environmental protection policies and technological progress, multiple improvement measures are proposed, such as boiler system optimization, turbine parameter adjustment, auxiliary system energy-saving, etc. The article uses a combination of technical diagnosis and on-site testing to systematically explore the energy-saving potential, technical feasibility, and economy. Finally, a scalable energy-saving transformation path is obtained. The research shows that the optimized unit significantly improves thermal efficiency, reduces coal consumption, and has good application value and promotion prospects while ensuring safe operation.
Keywords: subcritical unit; thermal power energy conservation; operational optimization; improved thermal efficiency; technical transformation

引言

“双碳”战略不断深入推进，使得火电机组节能减排任务越发迫切，我国火电主力机型为各大电厂广泛配备的300MW 亚临界机组，其整体能效水平直接受运行效率和能耗水平影响，由于该机组设计标准低且设备老化严重，需要进行系统性优化改造来提升运行水平，本文深入探讨其运行性能提升和节能改造路径，为同类型机组提供可行性参考。

1 300MW 亚临界火电机组运行现状分析

1.1 主要系统结构与运行特征

300MW 亚临界火电机组主要由锅炉系统、汽轮机系统、发电机、凝结系统和各类辅助设备组成，其锅炉的炉膛结构采用自然循环或者强制循环，以煤为主要燃料且具备一次风、二次风、烟气再循环等功能，燃烧调节方式多样；汽轮机为单轴多级结构，包含高压、中压与低压缸，热力流程紧凑且具有一定热经济性；电厂普遍采用闭式循环水冷却系统和集中控制模式，设备运行有 DCS 自动控制系统支持，由于投产年代较早，大多设计参数为16.7MPa/538℃/538℃，没有超临界机组的高参数优势，在长期运行时设备逐渐老化、热力系统效率逐渐下降、电气系统响应开始滞后，机组整体运行性能和能效水平受这些问题影响。

1.2 存在的能效瓶颈问题

当前 300MW 亚临界机组运行时能效瓶颈众多，其中锅炉燃烧效率低是首要问题，由于燃煤品质波动大且不少机组燃烧器结构老化、配风不合理，使得燃烧不完全、飞灰损失增加、煤耗上升，并且部分锅炉没有高效烟气余热回收装置，空预器漏风率高导致排烟温度高、热量流失严重；汽轮机通流部件积灰、腐蚀、泄漏影响膨胀效率，部分低压缸真空度不够使汽轮机背压增大、出力降低，冷端系统换热性能下降造成循环水系统能耗高；厂用电率一直很高且辅助设备运行效率低，阻碍了整体热效率提升，系统级联的能效瓶颈限制着机组节能潜力释放，需全面诊断、系统优化才能突破。

1.3 常见运行缺陷与能耗表现

300MW 亚临界机组长期运行常见不少运行缺陷，锅炉结焦厉害、燃烧器火焰不稳、煤粉分布不均等会使燃烧室里温场分布不均且传热效果变差，蒸汽参数波动大导致汽轮机热效率波动明显，尤其在负荷频繁变动的调峰工况下出力效率低，部分辅机设备启停频繁且变频改造不到位

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

使得启停能耗和维保成本增加，运行管理方面有些机组没有精准的能效监测与诊断系统而运行参数调节滞后、运行比较“粗放”，其煤耗水平比同容量超临界机组普遍高大概10g/kWh到15g/kWh且厂用电率一般在6%而节能降耗目标难以达成，全面分析现有运行缺陷和能耗情况是制定优化改造策略的基础。

2 锅炉系统节能优化策略

2.1 燃烧调节与配风优化技术

锅炉热效率的核心在于燃烧系统，燃料完全燃烧与热能高效利用直接受其调节与配风策略的影响，300MW亚临界机组中原始燃烧器的布置和风道设计大多是定型结构，运行时火焰容易偏斜、偏烧且死角区域也易出现燃烧不充分等状况，要提升燃烧效率得在线测量和调整炉膛各风道的风量以保证一次风、二次风、三次风按合理比例配比，防止因氧量过剩或不足造成热损，引进先进的智能燃烧控制系统（像燃烧优化控制BOC系统），依据炉膛实时温度场、氧含量和烟气成分的变化动态调整燃烧器角度和风煤配比以增强燃烧的稳定性，有些电厂还能进行燃烧器改型并增添低氮燃烧装置，这样既能提升燃烧效率又能减少NOx排放从而达成节能和环保兼顾的目的。

2.2 空预器与省煤器换热效率提升

锅炉尾部烟道中的空气预热器和省煤器是重要的余热回收设备，锅炉系统综合热效率直接受其换热效率影响，空预器运行久了堵灰、漏风等问题常有发生，这会降低进风温度、增加风机负荷从而使热力系统效率下降，如何解决这一问题？要加强空预器定期检修维护以清除积灰，并且选用高密封性的转子密封结构或者改造成高效板式空预器，这样就能提升密封性能和热回收率，通过在线检测系统对漏风率和压差变化进行监测可实现故障预警和早期维护。省煤器存在管壁结垢、磨损和水垢沉积的情况，这会使其换热效率大幅下降，怎么办？将低压化学清洗和防腐涂层技术结合起来使用才能维持良好的换热面清洁性，运行时调节给水温度和蒸汽参数可使省煤器处在最佳换热区间，从而最大限度利用低位余热，部分电厂也可考虑引入烟气冷凝回收技术以进一步挖掘烟气中的潜热资源，进而提高整体余热利用水平。

2.3 燃料种类适配性与燃烧效率提升

锅炉系统燃烧效率受燃料特性影响显著，传统300MW亚临界机组大多以中低挥发分烟煤为主要燃料，近年来煤源多样化趋势愈发明显且不同煤种混烧成为常见情况，这使得锅炉燃烧波动、灰渣特性改变、热负荷分布不均匀等问题产生，有这种情况就得开展煤种适配性实验分析，建立不同煤种的热值、灰熔点、挥发分等参数数据库，并用燃料掺配优化模型对配煤策略加以指导，以保证混煤燃烧的均衡性与稳定性。在燃料前处理上，采用干燥、筛分、均化等措施就能有效提高煤粉燃烧活性，有些锅炉引进煤泥、生物质等辅助燃料也可以，但得配套调整燃烧器结构与风道布置以保证混合燃料稳定燃烧，要结合在线炉膛燃烧监测系统，实时反馈不同燃料燃烧特征，动态调整配风策略与燃烧区域负荷，从而实现多燃料协同优化。

3 汽轮机系统运行优化措施

3.1 汽轮机通流部分结构改造

热能转化为机械能时汽轮机通流部分是关键区域，机组整体热经济性由其结构效率直接决定，300MW亚临界机组因设计年代久远设备老化通流区域常出问题，像叶片积灰、腐蚀磨损、缝隙增大之类，这会使蒸汽流动阻力变大、泄漏率升高、膨胀效率降低，结构改造时可换上高效耐蚀型叶片且优化叶栅角度与密封结构以提升通流截面利用率和流体导向性能，也可使用精密装配技术来减少缝隙泄漏并提高阶段压降效率，还能引入三维激光扫描和流场仿真技术对实际通流状况精细建模、优化设计以保证蒸汽流动路径平稳又高效，改造完通流效率能提升2%～4%，从而为汽轮机运行经济性提升奠定坚实基础。

3.2 汽封系统热损降低与回收

主要是防止高压蒸汽从汽轮机轴封部位泄漏要靠汽封系统，且蒸汽资源损失程度直接与其密封效果有关。传统汽封结构大多为迷宫式密封，该密封加工精度不高、密封间隙大且运行时磨损厉害，会使泄漏蒸汽大量跑掉，热损明显。优化的办法是换上高性能浮环式或者干气密封结构，靠压差自调节功能提高密封可靠性，并且改进冷却系统和排汽通道设计，减少无用的蒸汽抽排以提高热能利用率。在回收系统方面，要建立汽封泄漏蒸汽回收和利用的完善路径，用来加热低压缸抽汽再热系统或者供给低压热网，从而提高系统整体热利用效率。抓好技术改造和热能回收这两方面，汽封系统热损能降30%。

3.3 排汽系统阻力控制与真空优化

汽轮机低压缸出口至凝汽器之间的排汽系统是决定排汽背压与真空稳定性的关键，若系统管道布局不合理、换热器效率降低或者冷却水流量不够，则背压会升高，汽轮机做功能力会下降，想降低系统阻力就需对排汽管道进行流线型改造、减少弯头和局部阻力并优化支架布局以防止热胀冷缩变形使流道变形，凝汽器应提高换热管排布密度和材料导热性来保持真空度在设计值之上，冷却塔和循环水泵采用变频控制方式使冷却水流量和温度处于最佳运行区间，如此一系列措施可使排汽真空度提高5kPa，让低压缸出力更稳定且机组发电效率有明显改进。

4 电厂在运行调整节能优化措施

节电双碳战略下，以风光为代表的新能源发电占比快速提升，新能源大规模并网带来火电负荷率低日趋突出。负荷率低带来就是能耗高，在此形势下，节能迫在眉睫。

（1）机房屋顶风机启停运行规定：

机组停运时，视机房环境温度停运屋顶风机。若因系

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

统漏汽或设备出现冒烟等原因引起机房湿度大、烟气大时，根据情况适当开启屋顶风机。

（2）机房照明、循环水泵房照明、工业水泵房等照明根据环境亮度及时投停。

（3）调整除氧器排氧门微量冒汽。机房顶部各安全阀排空管应无冒汽现象。

（4）投运的蒸汽管道疏水门、热网小机疏水门及时关闭。设置有疏水器的蒸汽管道，疏水器手动门保留一圈即可。

（5）加强胶球泵运行维护和运行监督，正常每日投入胶球运行，保证收球率。

（6）控制高、低加水位 0 位左右，降低高、低加上、下端差。

（7）严格执行循环水水质和水塔水位控制规定。杜绝水塔溢流。根据循环水水质的化验结果，及时调整水塔排污门的开度，减少不必要的排污量。

（8）运行机组，严格执行滑压运行曲线。机组深调、供热期切缸，汽机阀位保持顺序阀方式运行，以提高轮机效率。

（9）执行好阀门内漏、保温超温定期检测台账，减少系统热损失。

每次开机并列恢复参数后对汽水系统各疏放水、有关管道、设备进行全面测量并列机组所有疏放水系统阀门温度，检查有无内漏情况，气动门内漏的关闭手动门，手动门超温的应手动关紧。检查各高、低加旁路门温度，危急疏水门温度，给水泵、凝结泵再循环温度，发现有不严密情况立即联系检修消除；机组计划检修停机前，对机组汽水系统各疏放水、有关管道、设备保温进行全面测温，以便检修期间进行处理。

（10）锅炉再热流温以-烟气挡板调整为丰，减温水调整为辅的控制原则。

（12）优化锅炉本体及空预器吹灰方式，按照炉本体吹灰一 SCR 吹灰一空预器吹灰顺序进行，减少空预器蓄热部件积灰，降低空预器烟气压差。

（13）锅炉炉膛看火孔、人孔门，关闭严密，锅炉制粉系统、烟道防爆门完整，减少漏风量，降低风机电耗。

（14）锅炉合理进行吹灰，减少补水量，优化短吹、长吹疏水电动门开关逻辑，根据温度合理设置；根据炉内结焦、整体汽温和减温水用量，合理调整吹灰频磨煤机正常运行期间，合理控制出口风温，减少冷风调节门开度，减少冷风进入炉膛，降低排烟温度。

（15）合理使用脱硫增效剂，降低脱硫厂用电率。

（16）通过回收料一、二级浆液循环泵房内设备冷却水至制浆区制浆，充分利用水资源。

5 电厂辅助系统节能改造技术

5.1 给水系统变频与智能控制应用

锅炉供热循环里，给水系统是重要部分且其在辅助系统能耗中占比很大。传统 300MW 亚临界机组的供水方式多为定速泵，这存在水压调节滞后、泵老启停、系统负荷适应性差等毛病，从而导致不必要的能量浪费。要提高运行效率就得把变频调速技术用于给水泵改造，使其能根据负荷变化自动调转速并按需供水，这样机械能浪费就能有效减少，并且建立一个完善的给水系统智能控制平台，将压力、温度、水位等实时数据相结合，依靠优化控制算法进行闭环调节，让系统始终保持最优运行状态。多台并列运行的泵组需要协调控制以避免“大马拉小车”的情况，进而提升整体供水效率。要把系统动态模型和专家系统相结合来对运行工况进行预测分析，使运行模式能自适应切换，从而提高响应速度和控制精度，进一步降低运行能耗。

5.2 引风送风机运行效率优化

锅炉空气供给与烟气排放的关键设备是引风与送风机，燃烧效率与厂用电水平和它们的运行效率直接相关，传统控制方式下定速驱动多用于风机，依赖进口挡板或出口风门调节风量，不但让系统阻力损失增加，而且使电机运行于非最优区间、耗电量较高，应将风机变频改造纳入优化措施，用高效节能的变频器控制电机转速、按需求供风以减少系统节流损耗，升级风机本体的技术，选用高效率叶轮结构，提升风压稳定性与运行流量，还可以引入风机并联或多级调配运行策略，依据负荷变化动态调节风机运行台数来降低空载损耗，要完善风机性能监测与故障诊断系统，实时采集轴承振动、电流、电压和温升参数，提前发现异常运行状态，延长设备使用寿命、提高运行可靠性，通过系统化技术改造与优化运行策略风机系统整体能耗能够下降 8%～15%。

5.3 化学水处理及循环水系统节能改造

机组安全高效运行靠化学水处理系统和循环冷却水系统保障，可长期运行下来这俩系统能耗高、管理粗。在化学水处理方面，传统手动加药和周期性化验反应慢、药用量大、水质老波动，不但影响热交换效率还加大设备结垢风险，而节能改造可安装自动加药装置和在线水质分析系统，实时监测水的 pH、电导率、硬度等参数并按参数自动调加药比例，投加精准且少浪费，并且要优化树脂再生流程和设备能耗分配以降低再生频次和耗水量。循环水系统方面，循环水泵采用变频控制能按冷却负荷实时调流量从而提高热交换效率，冷却塔风机根据环境温湿度和冷却水回水温度动态调整运行策略可防止过冷以降低无效能耗。

6 运行优化与节能改造效果评估

6.1 热效率变化趋势分析

热效率是火电机组节能改造效果最直观且重要的衡量指标，实施综合措施，如锅炉燃烧优化、空预器及省煤器换热效率提升、辅助系统节能改造之后，机组整体热效率明显上升，300MW 亚临界机组改造前存在燃烧不完全、

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

排烟热损高、风机负荷大等问题，使锅炉系统热效率处于84%～86%之间，采用燃烧系统风煤比优化、炉膛负压精准控制、尾部烟气余热回收等手段改进后，锅炉热效率大多提升到88%，汽轮机系统里通流结构改善、背压降低、抽汽系统调整等措施实施后，热能转化效率提高了大概2%，综合改造完毕，整机热效率平均提升3%～5%，负荷变动频繁或者中低负荷运行阶段，效率波动范围大幅减小且运行稳定性增强，热效率持续提升不仅意味着燃料利用率提高，也为单位发电成本降低和环保目标达成提供有力支撑。

6.2 单位发电能耗与碳排放降低情况

单位发电标准煤耗是节能改造成果的核心衡量指标之一，没改造时300MW亚临界机组单位电量煤耗大多在312g/kWh往上，有些设备老化厉害的机组甚至能到320g/kWh，而完成燃烧系统优化、配风结构调整、辅助设备运行效率提升后，煤耗水平降到298g/kWh至304g/kWh，节煤效果达到约10g/kWh，若按年发电量50亿kWh来算，每年能节约标准煤大概5万t往上，并且煤耗降低了烟气里CO_2、NOx、SO_2这些污染物排放量也跟着减少，拿二氧化碳来说，每吨标准煤差不多能产生2.6t CO_2，煤耗每千瓦时减少10g，每年就能减排CO_2约13万t，减排效果很明显，改造后燃烧更稳定了，飞灰含碳量下降，这有助于减少炉渣含碳量和灰渣处理成本，让环保综合效益进一步提高。

6.3 经济性评估与投资回收期测算

实施可持续技术路径，节能改造工作的经济性是重要前提，燃烧系统调节装置更换、空预器密封改造、风机变频器配置、给水泵系统智能控制平台建设等项目是改造投资的主要集中之处，单台机组投资总额在800万元到1200万元这个范围，按照节能收益来算，单位电量煤耗降低10g/kWh，每年标准煤能节约5万t，依照当前1000元/t的煤价，年直接节能收益大概是5000万元，并且风机和泵类设备变频之后，电耗平均减少8%～12%，要是按年节电量3000万kWh、工业电价0.6元/kWh计算，年节电收益约为1800万元，将节煤和节电效益综合起来，改造后的年总节能收益能够达到6000万元，考虑设备折旧和维护成本，投资回收期一般在2～2.5年之间，这可比一般固定资产项目5年的回收周期标准低得多，节能改造让运营成本下降，这不但提升了机组盈利能力，还为后续升级和智能化改造积攒了不错的经济基础。

7 结语

300MW亚临界火电机组经系统性运行优化和节能改造后，机组热效率显著提升且单位发电能耗与碳排放降低、辅助系统能效水平得到优化，长期运行中的能效瓶颈和结构性缺陷被改造解决且实现了良好的经济回报和环保效益，实践显示这种机组节能潜力大、技术改造空间广、有推广价值，以后要结合智能化运维和数字化技术不断深化节能管理以推动火电机组朝着高效、清洁、低碳方向发展。

[参考文献]

[1]沈磊,谢斌,朱明君,等.300MW亚临界火电机组节能降耗的工程应用[J].中国新技术新产品,2024(14):62-64.
[2]张洪福.循环流化床机组负荷响应特性与灵活运行控制研究[D].北京:华北电力大学(北京),2023.
[3]葛浩.300MW亚临界机组协调系统全工况建模及控制策略研究[D].江苏:东南大学,2022.
[4]史鹏飞,康朝斌,张华锋,等.某300MW亚临界CFB机组深度调峰运行热经济性研究[J].电力科技与环保,2022,38(4):258-264.
[5]魏海姣.基于储热的燃煤机组深度调峰系统构建及其规模化消纳风力发电模式研究[D].北京:北京工业大学,2022.

作者简介：刘鹏（1991.11—），男，毕业于哈尔滨工业大学，本科学历，计算机科学与技术专业，现就职于华能山东发电有限公司白杨河发电厂，职务：值长，工作年限1年，目前职称：工程师。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

水利水电建设项目信息化管理平台在现场管理中的应用实践

胡 彬
江西省水投建设集团有限公司，江西 南昌 330072

[摘要]在水利水电建设项目实施过程中，工程质量与进度的保障中现场管理始终是关键环节，信息化管理平台被引入进来，其集成施工调度、质量安全监控、进度跟踪和材料设备管理等功能以达成对施工现场全过程、全要素、实时化管理的目的，该平台依靠物联网、移动终端和大数据分析等技术提升项目管理效率与透明度并有效减少人为差错和资源浪费，从而为水利水电工程建设提供强大的技术支撑与决策依据。

[关键词]水利水电建设；信息化管理；现场管理；项目控制；智能化施工
DOI：10.33142/hst.v8i8.17351 中图分类号：TU17 文献标识码：A

Application Practice of Information Management Platform in On-site Management of Water Conservancy and Hydropower Construction Projects

HU Bin
Jiangxi Water Investment Construction Group Co., Ltd., Nanchang, Jiangxi, 330072, China

Abstract: In the implementation process of water conservancy and hydropower construction projects, on-site management is always a key link in ensuring engineering quality and progress. The information management platform has been introduced, which integrates construction scheduling, quality and safety monitoring, progress tracking, and material and equipment management functions to achieve real-time management of the entire process, all elements, and construction-site. The platform relies on technologies such as the Internet of Things, mobile terminals, and big data analysis to improve project management efficiency and transparency, effectively reduce human errors and resource waste, and provide strong technical support and decision-making basis for water conservancy and hydropower engineering construction.

Keywords: water conservancy and hydropower construction; information management; on-site management; project control; intelligent construction

引言

水利水电工程建设规模不断扩大且管理变得更复杂，传统现场管理模式满足不了现代工程高效率、高质量的要求，而信息技术迅猛发展给现场管理带来新机遇，信息化管理平台集成化、智能化、可视化等优势明显且正逐步改变施工现场管理方式，怎么把信息化手段有效融入施工实际以提升管理水平和工程效益是当前行业关注的热点和发展方向。

1 信息化管理平台在水利水电建设中的发展背景

水利水电建设现场管理效率和精度的提升日益依赖信息化管理平台这一重要工具，其发展一方面源于技术进步，另一方面也受工程项目对高效管理迫切需求的推动。

1.1 行业管理需求催生信息化手段

我国基础设施建设快速发展且水利水电工程项目规模不断扩大，其建设周期长、参与单位多、工序复杂让现场管理工作面临巨大挑战，传统管理模式依赖人工经验和纸质资料难以满足项目实时性、精准性、协调性的要求而容易致使信息滞后、沟通断层、执行偏差，行业转型升级迫切需要提升项目全过程、全要素的现场管控能力，于是信息化管理手段出现了，它以平台化、系统化的方式整合现场管理资源与流程促使工程管理从粗放型向精细化、智能化转变。

1.2 技术发展推动平台功能持续升级

物联网、云计算、大数据和人工智能等前沿技术不断突破让信息化平台得以发展，这些技术为水利水电建设现场管理提供基础支撑与创新动能。物联网可自动感知设备状态、施工环境并采集数据，移动终端让信息传递更便捷灵活，大数据分析助力工程进度预警和资源优化配置。构建统一的信息管理平台能实现施工过程全流程跟踪与数据共享并提升决策科学性和响应及时性，平台功能也因技术持续迭代不断扩展，从开始的进度记录、材料统计发展到现在包含质量、安全、环保、BIM 协同等多个模块。

1.3 政策与行业导向加速平台落地应用

基础设施的信息化建设受到国家及地方政府高度重视，一系列政策文件出台以推动“数字工地”“智慧水利”等战略实施，就拿水利部发布的《智慧水利建设指导意见》来说，里面明确提到要加强工程建设与管理环节的信息化集成应用且鼓励企业打造标准化、模块化、智能化的管理平台，大型施工企业也都加大对信息化平台的投入并建立起覆盖项目全生命周期的信息系统，多重推动力之下，信息化管理平台从试点应用慢慢走向广泛推广，在不少重点水利水电项目里效果良好且是现代工程管理的重要支撑手段。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

2 平台架构与关键技术在现场管理中的集成应用

信息化管理系统要在水利水电现场落地应用，平台架构与关键技术是基础，且平台的系统性设计和技术融合能力直接关系到其在施工管控中的实效性与拓展力。

2.1 模块化架构支撑多维度现场需求

信息化管理平台整体架构一般秉持模块化设计理念，依据施工现场实际需求将其划分为进度控制、质量安全、设备物资、环境监测、文档管理等诸多功能模块，各模块彼此相对独立但借由统一的数据中心达成互联互通以确保信息的一致性与实时性，项目实施期间不同角色权限的现场人员能访问各自所需功能界面以提升操作效率与信息获取的针对性，平台还可按需定制并依照不同项目特性灵活配置功能组合从而满足多类型、多规模水利水电工程有差异的现场管理需求，这种松耦合、可拓展架构为平台的快速部署和后期升级维护打下不错的基础。

2.2 核心技术驱动现场智能化升级

多项关键技术集成应用才能让平台高效运行，平台具备对现场全过程智能感知与控制的能力。物联网技术靠部署传感器、RFID 标签还有摄像设备，将施工机械运行状态、人员定位、环境数据等信息实时采集起来，云计算赋予平台很强的数据处理和存储能力，支持多端并访问和远程调用，移动互联技术借助 APP、小程序这些移动终端，让一线作业人员何时何地都能上传进展、反馈问题，使数据更新更即时且互动性更强，BIM 技术用于构建三维可视化模型，让设计和施工过程深度融合以提升现场协调和碰撞预判能力，大数据分析和人工智能也逐渐被引入，能自动生成预警报告、优化资源配置、辅助管理决策，这些技术融合使用可提高平台信息采集效率，也能明显增强管理的预测性、规范性和透明度。

2.3 数据中台与集成接口保障系统联动

信息化平台要实现跨系统、跨部门协同管理通常会建设统一的数据中台并预留很多集成接口以支持与第三方系统或者企业自己的管理软件如项目成本系统、供应链系统、财务系统、ERP 平台等对接，借助数据标准化和接口协议规范将不同数据源汇聚起来治理从而构建完整、动态、可追溯的工程数据体系，并且平台支持对 GIS 地理信息系统的嵌入以提升空间信息处理能力进而适应水利水电项目地形复杂、范围广的特性，数据中台如同系统运行的“神经中枢”，能提高数据价值的再利用率且打通从现场作业层到企业决策层的信息壁垒，让项目管控一体化、数据流转闭环化，平台在复杂现场环境高效运行的根本保障是架构设计和关键技术的有机集成。

3 信息化平台在施工调度与质量安全管控中的实践效果

信息化管理平台精细化调度智能化质量安全控制，全面提升了水利水电施工现场的组织协调能力和工程保障水平，展现出显著的实践应用成效。

3.1 精准调度提升资源组织效率

水利水电工程现场的施工任务常有多专业工序、多方协作单位参与，项目进度与成本控制直接受调度效率影响，信息化平台构建数字化作业计划体系，将施工任务细化到天、细化到班组，使得任务执行路径与关键节点进展得以可视化呈现，从而让现场管理人员能实时掌握整体施工状态，并且平台支持施工顺序与资源分配的动态调整，结合天气预报、设备运转情况、材料到货信息就能智能推送优化调度方案，减少等待时间与交叉干扰，对于围堰填筑、水轮机安装等关键作业，平台的自动排程和任务提醒功能，可有效协调人员、设备、材料同步到位，确保关键工序顺利推进，提升资源利用率与施工组织响应能力。

3.2 智能质检实现质量问题闭环管理

水利水电建设的核心是质量控制，大坝混凝土浇筑、压力钢管焊接等环节对施工工艺和检验流程的要求尤其高，而信息化平台集成智能质检功能，预设标准与流程模板，让各类施工工序的质量检验全过程实现数字化，质检人员用移动终端拍照就能上传问题点，部位、时间和责任人会自动关联，系统生成问题记录并把整改任务自动推送给相关责任单位，并且平台还有闭环跟踪功能，问题发现、整改执行到复查验收，全过程数据能看见、状态可查，质量追溯与责任落实能力大大提升，平台能和试验检测系统联动，混凝土强度、钢筋检测等关键数据自动抓取，实现施工实物和检测成果同步核对，增强质量管理的科学性与透明度。

3.3 安全监管强化现场风险控制能力

工程管理中，施工安全是碰不得的高压线，信息化平台构建起“人机环境”三位一体的风险监控体系，给现场提供全天候、多层级的安全保障。人员方面，平台利用定位和人脸识别技术实现高风险作业人员实名制管理和轨迹监控，设备方面，通过物联网传感器实时监控起重机械、脚手架、电力系统等关键设备运行状态且一有异常马上预警，环境方面，平台接入粉尘、噪声、气体等环境监测设备并生成动态数据曲线以方便提前对危险趋势进行干预，并且平台还能定期将安全教育、作业指导和应急预案推送到班组成员移动端从而增强作业人员风险防范意识。在事故隐患处理上，系统会自动生成隐患整改通知单并对执行状态闭环跟踪以保证问题整改到位，这一系列集成手段让平台有效构建起覆盖施工全过程、全空间的智能安全管控体系，大幅降低现场风险发生率，保障施工安全稳定可控。

4 基于数据驱动的现场进度与资源管理优化

水利水电项目施工现场，数据驱动管理模式渐渐取代传统经验式调度，能给进度控制和资源配置提供更科学、可视、高效的决策支持。

4.1 多源数据支撑进度动态预测

水利水电工程周期长且工序多，现场进度会受很多因素干扰，传统人工报送方式存在信息滞后和失真的问题，而信息化管理平台集成施工日志、任务计划、设备运行、人员考勤、气象数据等多源信息构建进度大数据模型，从而能够实时动态掌握进度状态并预测趋势，且能自动生成进度偏差分析报告指出滞后原因和关键瓶颈环节，再结合

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

历史数据与施工逻辑路径推演未来几日或几周的施工走向，为管理人员提前部署资源、调整计划提供有力依据，在水工建筑物混凝土浇筑、高空结构安装等连续性强且工艺复杂的工序中，数据驱动的进度监控机制可有效防止节点性延误，使总体工期目标处于可控状态。

4.2 精细数据提升资源调配效益

在现场控制里，资源管理处于核心位置，包含人员、机械、材料等多方面，平台利用各类资源的实时数据采集和历史记录分析实现精细化的资源匹配与预测管理。施工高峰期，通过对比各作业面实际投入量和计划需求量，系统就能智能预警资源超配或者短缺情况，对于塔吊、搅拌站这样的大型机械设备，平台记录其运行时间、作业频次、维修周期等指标，有助于合理调度和保养安排，避免施工因故障停机中断，在材料方面，平台可监测其进场、使用和库存状态，结合计划自动生成采购需求，防止材料积压或者断供，平台支持资源成本核算和能耗统计，为后续成本控制和绿色施工提供数据依据，促使资源管理从“事后统计”转变为“过程优化”和“前置决策”。

4.3 可视化平台强化管理执行闭环

可视化呈现与闭环管理对数据价值的真正发挥起着关键作用，信息化平台往往有可视化调度看板、三维施工模型和资源地图，这些能把抽象数据直观地展示在管理界面上，让决策层快速发现问题并优化配置，施工进度以甘特图或网络图实时更新时关联的资源消耗情况也一同展示，这就把进度管理从静态文档转变成了动态场景，而且资源使用情况用热力图、动态条形图等清晰地呈现出来利于找出冗余或紧张的区域，要是有偏差项系统设定多级预警阈值且自动触发流程任务，责任人得在规定时间内处理并反馈从而形成闭环执行链，这种数据驱动、图形化加任务导向的管理机制，大大提高了现场指挥效率和执行透明度，促使现场管理从“经验驱动”转变为“数据主导”，全面提高项目的控制能力和应变水平。

5 信息化管理平台应用的挑战与推广路径分析

信息化管理平台在水利水电现场管理中成效显著，但实际推广时仍面临不少挑战，需要在技术、管理与机制层面协同突破才能推动平台更广泛应用。

5.1 技术适配性与集成复杂性并存

水利水电项目地理环境复杂且施工内容繁杂，对信息化平台的功能适配性有较高要求，各项目规模、结构、管理模式不同，平台部署时往往需定制开发，这会使系统集成周期变长且成本变高，现场网络条件不稳定且传感设备不好部署，这限制了数据采集的全面性和实时性，并且平台要和已有的 ERP、成本、财务等系统高效互通，但各系统数据结构、接口标准不一样，集成工作量大且运维协调困难，技术方面的这些问题影响平台运行稳定性并直接制约平台从试点向规模化推广的进程。

5.2 管理理念转变与人员能力制约

管理理念得更新、人员能力要匹配，信息化平台才能有效运行，但部分项目和管理层对数字化建设认识不足，常把平台当成“附加工具”而未将其视为管理核心，重上线、轻运营的现象很突出，且一线施工人员不熟悉平台操作，数据录入不规范、执行流程不完整的情况挺普遍，这影响了平台数据质量和运行效果，再加上项目人员流动性大，系统操作培训难以全员覆盖，导致平台使用水平高低不一，而管理机制缺乏数据驱动导向，激励考核与平台使用没挂钩，这也是平台运行效率不高的重要因素，人因因素成了信息化管理平台落地的关键瓶颈。

5.3 推广路径需注重顶层设计与示范引领

要推动信息化平台在水利水电领域广泛应用，就得从顶层设计开始，制定统一的数据标准、接口规范以及运维制度以提高平台的通用性与兼容性并降低部署门槛，且要结合项目实际推行“平台+项目”一体化设计模式来保证系统功能和现场需求紧密对接，推广时可依靠重点项目进行示范应用以积累实践经验和典型案例，形成可复制、可推广的实施范式，还要加强平台运营机制建设，建立数据管理责任体系并开展多层级使用培训和评估激励以促使管理人员和操作人员共同提升数字化能力，政策引导、技术创新、管理协同相结合就能为平台的持续优化和深度推广提供有力支撑。

6 结语

水利水电建设现场管理应用信息化管理平台逐步彰显出提升管理效率、保障工程质量、强化安全控制和优化资源配置等多方面价值，平台架构优化并融合关键技术使现场管理从传统粗放转型为精细化、智能化，但推广时仍面临技术适配、人员能力、机制支撑等挑战，往后需加强顶层设计和实践融合、构建统一标准、健全运行机制以推动平台在更大范围应用，给水利水电工程高质量发展提供坚实支撑和创新动力。

[参考文献]

[1]赵宇飞,祝云宪,姜龙,等.水利工程建设管理信息化技术应用[M].北京:中国水利水电出版社,2018.
[2]徐金洲.水利工程项目信息化管理应用研究[J].中国管理信息化,2020,23(14):98-99.
[3]王立朝,陈仕宁,乔燕飞.水利工程建设期资金信息化管理技术研究[J].河北水利,2021,11(7):23-24.
[4]任晨曦,朱士成.信息视域下水利建设管理优化分析[J].中国设备工程,2022,11(11):42-44.
[5]李俊林.水利信息化建设项目管理控制程序建设[J].广西水利水电,2023,11(4):120-122.

作者简介：胡彬（1989.8—），毕业院校：南昌工程学院，所学专业：水利水电建筑工程管理，当前就职单位：江西省水投建设集团有限公司，职务：吉水金滩施工项目部工程科科长，职称级别：初级。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

水电站运行效率提升的关键技术与实践

胡江娇
渝能（集团）有限责任公司，重庆 400000

[摘要]水电站作为清洁能源的重要构成部分，其运行效率的高低直接影响着能源利用效率以及经济效益。在电力需求不断增加、水电机组老化问题愈发严重的情况下，提高水电站运行效率已然成为水电行业发展的重要研究课题。从影响水电站运行效率的因素出发，对设备性能、水资源调度、管理水平等方面展开系统分析，同时深入探讨了设备改造、智能监测、优化调度以及绿色节能技术等多项技术路径，还结合管理措施给出了系统化的运行保障方案，期望能为我国水电站高效运行给予理论方面的有力支撑以及实践层面的有效指导。

[关键词]水电站；运行效率；关键技术
DOI：10.33142/hst.v8i8.17349　　中图分类号：TV736　　文献标识码：A

Key Technology and Practices for Improving the Operational Efficiency of Hydropower Stations

HU Jiangjiao
Yuneng (Group) Co., Ltd., Chongqing, 400000, China

Abstract: As an important component of clean energy, the operational efficiency of hydropower stations directly affects energy utilization efficiency and economic benefits. With the increasing demand for electricity and the increasingly serious problem of aging of hydropower units, improving the operational efficiency of hydropower stations has become an important research topic for the development of the hydropower industry. Starting from the factors that affect the operational efficiency of hydropower stations, a systematic analysis was conducted on equipment performance, water resource scheduling, management level, and other aspects. At the same time, multiple technical paths such as equipment renovation, intelligent monitoring, optimized scheduling, and green energy-saving technology were deeply explored. A systematic operation guarantee plan was also proposed in conjunction with management measures, hoping to provide strong theoretical support and practical guidance for the efficient operation of hydropower stations in China.

Keywords: hydroelectric power stations; operational efficiency; key technology

引言

水电属于高效、清洁且可再生的能源范畴，其在我国电力系统当中一直占据着极为关键的地位。不过当下部分水电站呈现出运行效率欠佳、设备老化情况较为严重以及调度机制不够合理等状况，这些情况对整体发电效益的提升起到了限制作用。在“双碳”目标所指的方向之下，怎样科学地去优化水电站的运行方式，进而提升设备和调度之间的协同效率，已然成为技术研究以及实践应用方面的热门议题。本文针对水电站运行效率提升所涉及的关键技术与实践展开较为系统的阐述，从对影响因素加以分析开始，去深入剖析提升的具体路径以及相应的管理举措，目的在于构建起一套高效、安全并且绿色环保的水电站运行体系。

1 水电站运行效率影响因素分析

1.1 设备性能与维护状况

设备性能的好坏，直接决定了水电站发电效率的最高程度。其中，像水轮机、发电机这类核心部件的运行状况，对于能量转换效率的影响尤为关键。在长时间的运行过程当中，设备会出现机械磨损、电气老化以及润滑系统效率降低等情况，这些情况都会使得设备输出功率减少。与此设备维护管理工作做得不够到位，比如说缺少定期的巡检以及精准的维护计划，那么就会进一步让设备性能变差，加大设备的运行阻力。所以，要想提高运行效率，最首要的任务就是要保证关键设备能够处于良好的性能状态，借助标准化的检修流程以及智能化的维护手段，以此来延长设备的使用寿命，并且提升发电效率。

1.2 水资源调度与利用效率

水资源调度的科学性对水电站发电效益有着直接影响，在开展流域性水电开发的时候，各水电站相互间调度配合的情况以及水资源动态调控的能力，是提升整体水能利用率的关键因素。调度计划要是忽视了来水规律还有水库蓄能能力，就容易出现弃水情况，导致资源浪费。洪水调蓄和发电需求之间的协调同样考验着运行管理的科学性，所以得综合考量水文数据、气象预报以及需求预测，借助建立动态优化调度模型的方式，达成水资源的高效利用并实现经济效益的最大化。

1.3 运行管理及调度水平

水电站的运行管理成效很大程度上决定了其运行机

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

制的协调状况以及执行效率的高低。就现状而言，部分水电站在实际运行期间往往依靠经验来做出决策，然而却缺少科学数据方面的有力支撑，同时自动化控制系统的应用也存在欠缺，如此一来便致使运行效率出现较大的波动情况。除此之外，在调度执行这个层面上，其响应速度以及调整能力同样会对运行效果起到颇为重要的影响作用。要是没办法对机组出力、水位控制以及负荷分配等方面展开高效的管理工作，那么势必会直接对发电的稳定性以及能效水平造成影响。所以说，要让水电站实现高效运行，那么提升运行管理在系统化、信息化以及智能化方面的水平就是一条必不可少的途径。

1.4 环境及外部影响因素

除了内部的技术以及管理方面的因素之外，外部环境的变化同样会给水电站的运行效率带来颇为重要的影响。气候发生变化所引发的降雨在时间与空间上的分布呈现出不均衡的状态，水文条件出现异常的改变，这使得水库蓄水的能力以及对来水进行预测的难度都增多了。与此上游地区存在的水土流失问题，还有泥沙淤积等方面的问题，也会对水库的调蓄能力以及水轮机进水的质量产生影响，进而使得设备的运行效率有所降低。除此之外，环保政策变得越来越严格，这就要求水电站在开展相关工作的时候，既要考虑到生态下泄流量方面的要求，又要兼顾发电效率，如此一来便在一定程度上对其调度的自由度形成了限制。所以，水电站需要在充分尊重环境所给出的约束这一前提之下，着力提升自身在技术层面的应对能力，以此来达成绿色以及高效这两重目标。

2 关键技术与提升路径

2.1 设备改造与优化技术

2.1.1 机组水力部件优化

机组水力部件在水能转换效率方面占据着极为关键的地位，其具体的设计状况以及实际的运行状态，会在很大程度上直接对水电站的发电效率起到决定性的作用。就老旧机组而言，运用三维水力设计以及 CFD 仿真技术，去针对叶片型线还有导叶间隙等相关部分展开优化重构的操作，如此一来便能够明显地提升机组对于水能的适应能力以及在运行过程中的稳定程度。与此对进水口以及尾水道的结构加以优化处理，这对于减少水流所蕴含的能量出现损耗的情况是有帮助的，进而也能让水流通得更为顺畅。借助现场测试和模型校核相互结合的方式来开展相关工作，以此保证水力部件能够在多种不同的工况之下都能够维持住较为高效的运行水准，最终促使整个水电站的综合运行效率得以提升。

2.1.2 发电机及辅助设备升级

发电机是将水能转变为电能的最终阶段，其运行性能对于整体能效有着决定性的影响。通过替换为高效能的线圈材料、对定转子结构予以优化以及提升电磁性能等举措，可以大幅度地降低电能损耗。与此针对励磁系统、冷却系统以及绝缘结构等辅助设备展开技术方面的升级，可切实有效地改进设备的运行稳定程度以及响应速率。在这样的基础之上，联合现代传感器以及智能控制装置，达成对发电机关键参数的实时监测以及对其运行状态的调控，进而实现精准控制以及高效运行的目的。

2.2 智能监测与故障诊断技术

2.2.1 实时在线监测系统

实时在线监测系统属于实现水电站运行智能化方面的基础设施，借助构建能够涵盖关键设备以及系统的传感器网络，实时去采集像振动、温度、电压、电流这类运行参数，如此一来便可以对设备的健康状态做到较为全面的了解。该系统运用边缘计算以及数据融合技术，达成现场的快速响应以及动态调整，以此确保设备能够在最为理想的工况状况下展开运行。与此在线监测系统还能够对长期运行的数据加以记录，进而形成有关故障诊断与维护优化的知识库，从而为水电站搭建起具备自我学习以及自我进化功能的数字化运行平台。

2.2.2 预测性维护与故障预警

传统定期维护常常有维护过度或者出现延误的情况，这会对效率以及安全产生影响。预测性维护依靠历史数据还有实时监测信息，借助数据挖掘以及智能算法来分析设备的健康状况，提前把潜在风险识别出来，达成按需维护的目的。如此一来，维修成本得以降低，非计划停机的时间也能减少，设备的可用率也提高了。与之相配套的故障预警机制，在异常波动刚开始出现的时候就能触发预警，指挥值班人员迅速做出应对并进行修复，能有效地防止小故障进一步演变成重大事故。

2.2.3 大数据与人工智能应用

水电站于运行进程当中会产生数量颇多且来源多样、结构各异的数据，怎样去高效地对这些数据加以处理以及深入挖掘，已然成为了提高管理智能化程度的重要关键所在。借助构建起一个统一的大数据平台，将设备运行方面的信息、环境监测所获取到的信息以及调度计划等相关多维信息予以融合，进而形成能够进行可视化的分析模型，以此来给运行调度以及设备管理工作给予决策方面的有力支持。在这样的基础之上，再引入像神经网络、深度学习这类的人工智能算法，就能够达成诸如运行模式识别、发电趋势预测以及故障模式归纳等一系列的智能应用效果，从而推动水电站朝着具备自主判断能力、能够自主进行优化的智慧运行全新阶段不断发展前行。

2.3 优化调度与水资源管理技术

2.3.1 水库调度优化模型

水库调度优化模型在实现科学调度方面属于极为关键的工具，它是依据水文预报所给出的情况、需求预测的相关信息以及调度目标来构建起相应的数学模型。通过运

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

用启发式算法、混合智能算法等一系列技术手段，去针对蓄水、泄洪还有出力计划展开优化配置方面的相关工作。这一模型应当拥有动态调整的能力，要能够实时地对气象方面、水文方面以及负荷所发生的各种变化做出响应，以此来促使调度的灵活性得以提升，同时让其响应性也有所增强。模型所具备的可视化界面对于调度人员而言是很有帮助的，它能够助力调度人员更好地理解决策逻辑，进而使得调度工作的科学性以及可操作性都得到一定程度的提升。

2.3.2 多站联合调度策略

多座水电站联合运行能够提升流域的整体能效，借助建立跨站协调机制，达成信息共享以及运行协同，能够有效防止各站孤立调度引发的弃水或者发电低效的情况，在联合调度系统里，要综合考量各水电站的地理位置、蓄水能力以及负荷需求，构建协同运行模型，达成运行目标的全局优化，这一策略提升了水能利用效率，同时也强化了系统的抗风险能力以及应急调节水平。

2.4 节能降耗与绿色环保技术

2.4.1 能耗监测与控制

水电站运行之时，虽说不存在燃料方面的消耗情况，然而却有着诸多能量损失的环节，像机组出现的摩擦、发电时产生的损耗以及辅助系统所耗费的能量等等。去构建起能耗监测的系统，针对运行过程中各项能耗指标展开量化的分析工作，如此一来便能够找出那些高耗点，并且还能够据此提出相应的优化举措。再与先进的控制策略相互结合起来，比如负载的匹配操作、启停方面的优化处理还有功率平衡的调节事宜，通过这样的方式便可达成对全过程能效的控制目标，从而促使整体能源利用率得以提升。

2.4.2 环境影响减缓技术

水电开发会给生态系统带来一定的干扰，在鱼类迁徙、泥沙淤积以及水质变化等方面产生的影响是比较显著的。对于这些问题，可以采取像生态过鱼通道、生态流量调度还有清淤技术等一系列减缓举措，以此来减轻工程给自然系统造成的破坏。新型环保材料以及低噪声设备的应用，同样能够对运行给周边居民带来的影响起到有效的改善作用。把环境保护技术融入到运行管理体系当中，进而达成生态与经济的协调统一。

3 实践中的管理措施

3.1 管理精细化提升

设备的先进性和实际操作性与水电站的运行效率息息相关。在我国，水力发电是保障我国经济持续向好发展的坚实后盾，所以国家会投入大量的人力、物力来进行水电站的建设[1]。水电站的建设人员、工作人员及管理人员等都必须认识到水电站的重要性和提升水力发电质量、效益的关键性。需着力研发高效能的水力发电设施，并且重视水电站的日常管理和维护。对于设备的检修与维护，需学习先进的经验，并实施责任管理制度。

3.2 员工技能培训与素质提升

人才乃是保障水电站能够安全且高效地运行的关键核心资源。借助系统性的员工培训计划，促使运维人员对于新技术以及新设备的理解程度以及掌握程度得以提升，这无疑是在提高运行质量方面极为关键的一个环节[2]。培训所涉及的内容应当包含专业技术、安全规范、应急处置还有节能理念等方面，并且要采用将理论教学和实操演练相互结合起来的方式，以此来强化培训的实际效果。与此还应当去营造一种能够持续开展学习的企业文化氛围，积极鼓励员工参与到技能竞赛、技术交流以及创新实践等活动当中，不断地提升人员的整体素质以及专业水平，从而为水电站运行效率的提升给予坚实的人员方面的保障。

3.3 应急响应及安全管理体系

高效的应急响应机制以及完善的安全管理体系，这二者构成了保障水电站稳定运行以及人员安全的基本前提。应当去建立起一个预案体系，这个体系要能够将事故预防、应急处置以及恢复重建整个过程都涵盖进去，要把各类事故的响应流程以及职责分工都给明确清楚，以此来保证要是发生了突发事件，能够做到迅速且高效地进行处置[3]。与此还要强化日常的安全检查以及隐患排查工作，把责任制以及风险分级管控措施切实落实到位，进而提升对事故预警的能力以及管理方面的水平。借助智能监控平台，还能够达成对重点设备以及重点区域实施全天候安全监管的目的，从而构建起一张全方位且立体化的安全防控网络。

4 结语

提升水电站的运行效率其实是一项复杂的系统工程，在这个过程中，一方面要依靠技术层面不断地去创新以及持续地加以优化，另一方面也绝对少不了构建科学合理的管理机制并且能够高效地予以执行。本文从设备、调度、监测以及节能等诸多不同的维度来着手展开探讨，重点剖析了其中的关键技术路径以及相应的实践措施，同时也着重指出了管理在确保效率得以提升方面所起到的基础性作用。在未来，伴随数字化以及智能化技术不停地取得进展，水电站将会进一步达成从“高效”状态朝着“智慧”方向的转变，进而有力地推动我国的清洁能源体系朝着更加安全、更加绿色且高质量的方向不断发展前行。

[参考文献]

[1]文元雄.自动化控制在水电站中的运用与实践[J].工程抗震与加固改造,2023,45(4):190.
[2]李文琰.关于促进小水电站运行人员技术水平提高的探讨[J].低碳世界,2023,13(7):127-129.
[3]陈涯.水电站运行管理中存在的问题和策略研究[J].建材与装饰,2020(19):294-296.

作者简介：胡江娇（1987.1—），女，毕业院校：国家开放大学，所学专业：工商管理，职务：高级运维工，职称级别：初级。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

信息技术在水利水电工程技术管理中的应用

陈家飞
扬州水利建筑工程有限责任公司，江苏 扬州 225000

[摘要]随着信息技术不断发展且广泛运用起来，传统水利水电工程技术管理模式慢慢显现出诸多问题，比如效率不高、精度欠佳以及反应较为迟缓等状况。信息技术和工程相互融合之后，一方面提升了管理效率，另一方面在数据采集、决策支持以及安全监测等诸多方面都呈现出颇为显著的技术优势。文章聚焦于遥感技术、全球定位系统、地理信息系统以及建筑信息建模等方面，在水利水电工程管理当中的实际应用情况展开分析，同时深入探讨信息技术在数据采集、工程监测、运维决策、安全管理以及质量检测等一系列环节里的重要路径。并且就当下所存在的系统集成存在较大困难、标准体系不够完善、信息安全隐患以及技术人才短缺等诸多问题，给出了一些行之有效的优化办法，希望能够给构建高效、智能且安全的水利水电信息化管理体系给予相应的理论依据以及实践方面的指引。

[关键词]信息技术；水利水电；水利技术管理；应用
DOI：10.33142/hst.v8i8.17346 中图分类号：TV5 文献标识码：A

Application of Information Technology in Technical Management of Water Resources and Hydropower Engineering

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

Abstract: With the continuous development and widespread application of information technology, the traditional management mode of water conservancy and hydropower engineering technology has gradually shown many problems, such as low efficiency, poor accuracy, and slow response. After the integration of information technology and engineering, on the one hand, it has improved management efficiency, and on the other hand, it has shown significant technological advantages in data collection, decision support, and security monitoring. The article focuses on the practical application of remote sensing technology, global positioning system, geographic information system, and building information modeling in the management of water conservancy and hydropower projects. At the same time, it deeply explores the important path of information technology in data collection, engineering monitoring, operation and maintenance decision-making, safety management, and quality inspection. Moreover, effective optimization methods have been proposed to address the current difficulties in system integration, inadequate standard systems, information security risks, and shortage of technical personnel. It is hoped that these methods can provide theoretical basis and practical guidance for building an efficient, intelligent, and secure water conservancy, telecommunications, and information management system.

Keywords: information technology; water conservancy and hydropower; water conservancy technology management; application

引言

水利水电工程属于我国基础设施里的关键部分，其工程规模颇为庞大，结构也较为复杂，运行周期更是漫长，所以对于技术管理方面的水平要求相当之高。伴随信息时代的开启，仅靠人工经验以及传统工具来开展工程管理工作，已经没办法契合现代化建设与运行所提出的高质量方面的需求了。在这样的情况之下，信息技术的引入便成了促使水利水电工程技术管理得以升级的关键途径。信息技术加以运用之后，不但让数据处理的能力以及实时监控的水平都得到了提升，而且还推动了工程管理朝着智能化、可视化以及精细化的方向去转型。着重对信息技术在水利水电工程技术管理当中的具体应用实际状况展开系统剖析，同时整理归纳其关键的应用路径，针对实际存在的问题给出改进的办法，从而为我国水利水电工程的信息化建设给予一定的参考依据。

1 信息化技术在工程管理中应用的必要性

目前，不管是在生活领域还是工作领域中，信息化技术均得到了普遍应用，极大地方便了人们的生活和工作。社会中多数领域都已引入信息化技术，促进人们的工作方式朝着自动化方向发展。因此，信息化的普及和应用具有重要的价值和作用，其对我国经济文化发展产生了极大的影响。对于管理工作来说，引入信息化技术，是行业进入更高一层的标志。信息化时代的到来和信息化的普遍应用也是社会发展的必然趋势。在水利水电工程管理工作中，引入信息化技术是必然趋势，其主要原因包括：水利水电项目工程程序复杂，需要管理的内容较多。如果单纯只依靠人力管理会出现较多失误，而且工作强度较大；水利水电工程难度大、工作复杂、专业系数相对较高，应用信息

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

化技术与能够快速有效地处理其中专业化问题，从而提高工作效率；传统的管理模式已经难以适应现阶段水利水电工程建设管理工作，随着社会科技的发展，管理工作需要更高层次的技术支持。

2 信息技术在水利水电工程中的应用现状

2.1 遥感技术（RS）的应用

遥感技术属于一种借助对地表目标所散发出的电磁波信息展开感知、传输以及处理操作的方式，在水利水电工程领域有着颇为广阔的运用前景。特别是在流域监测、资源评估、水土保持以及环境影响分析等诸多方面，遥感影像都能够给予大范围、高分辨率且周期性较强的有力数据支撑。当对处于不同时间节点的遥感数据加以分析之时，管理人员便能够实时且全面地掌握水域变化情况、植被覆盖状况以及泥沙淤积等相关信息，进而为规划设计工作以及环境保护事宜提供具备科学性的依据。除此之外，遥感技术同地理信息系统相互融合之后，更是进一步强化了针对空间信息开展综合分析的能力，让水利工程在宏观管理层面拥有了更强的前瞻性以及可控性。

2.2 全球定位系统（GPS）的集成使用

GPS 技术给水利水电工程的定位测量、施工布控以及设备运行带来了高精度的位置服务。和传统的测量方式作比较，GPS 有快速、精准并且能够全天候运行的优势，能够切实有效地提升现场施工的测量效率以及管理精度。在施工进程当中，GPS 能够用于大型机械的路径导航、管线铺设定位还有边界控制，在运维阶段同样可以达成对大坝、输水隧道等关键设施的位移监测，从而提前发出结构变形的预警。除此之外，将 GPS 和移动终端相结合还能够实现现场巡检的轨迹记录以及信息上传，进一步增强了管理的透明度以及追溯性。

2.3 地理信息系统（GIS）的功能与作用

GIS 在水利水电工程里，负责采集、存储、管理以及对空间信息展开可视化分析等工作，它是达成信息一体化管理的关键核心技术之一。凭借 GIS 平台，管理者能够把水文、气象、地质、地形等多种不同来源且结构各异的数据整合起来，进而对工程项目整体的空间格局予以掌握，并且对其动态演化状况展开分析。GIS 所具备的空间分析能力，给防洪规划、水资源调度、工程选址以及管网优化等相关决策给予了颇为有力的技术支撑。借助 GIS 的可视化工具，还能够把复杂的工程运行状态、地质风险还有施工进度直观地呈现出来，助力相关部门高效推进协同管理以及应急响应方面的相关工作。

2.4 建筑信息建模（BIM）与智能监控技术

BIM 技术借助构建建筑结构的三维数字模型，把工程信息以可视化且参数化的方式加以管理并传递，给水利水电工程的全生命周期管理打下了数据方面的基础。在设计阶段，BIM 能够辅助达成多专业协同建模，减少设计出现的冲突情况；在施工阶段，依靠模型来指导施工操作、校核施工进度以及材料用量，以此提升施工效率和资源利用率；在运维阶段，BIM 模型能成为设备维护以及升级的重要数据承载平台。与之智能监控技术在工程运行当中也变得日益重要起来，通过安装传感器、摄像设备还有数据采集终端，进而形成一个涵盖结构变形、水位波动、渗漏监测等多项指标的实时监测系统，使得工程安全管理的响应速度以及预判能力都得到了大幅度的提升。

3 信息技术在水利水电工程管理中的关键应用路径

3.1 数据采集与共享平台建设

信息技术最基础的作用是提高数据采集的自动化水平以及数据处理的精准度，在水利水电工程里面，像水文气象、地质地貌、施工过程、运维数据等诸多方面都有涉及，而且这些方面的信息采集方式各不相同，格式也很复杂，更新频率也存在差异，利用物联网技术以及智能传感器，可以达成对环境数据、设备运行状况等信息的实时采集，并且能凭借无线通信的方式快速传送到管理平台，在这个前提下，搭建起统一的工程数据共享平台，不但能消除信息孤岛，实现多个部门、多个层级的数据协同，还能给后续的分析、预警、调度等工作给予可靠的数据支撑，强化了工程管理的科学性以及时效性。

3.2 工程施工与监测的信息化管理

在工程施工期间，信息技术的引入使得施工组织的系统性以及现场管理的可控性都得到了大幅度的提高。凭借 BIM 模型，施工方能够精准地掌握各个结构构件的具体布置情况、施工工序的安排以及材料消耗的情况，进而达成可视化管理的效果。借助部署 RFID、传感器还有无人机技术，可以对施工进展、材料运输、人员分布等方面的信息进行实时监测，一旦发现问题能够及时发现偏差并调整相关计划。对于那些复杂的地下工程以及高边坡作业区域，还能够利用激光扫描以及三维成像技术来开展高精度的地形建模工作以及变形监控工作，以此提升施工的安全等级。在施工过程当中所形成的各类数据还可以实时上传到中央数据库，为后续的运行与维护积累起完整的档案资料。

3.3 运维阶段的智能决策支持系统

水利水电工程在运行维护这个阶段，其周期会比较长，所承担的任务也比较繁重，而且存在的风险同样颇高，迫切需要高效的那种智能化管理方式。通过运用大数据分析以及人工智能算法，决策支持系统能够针对设备的状态、水文的具体情势、气象的种种变化等相关信息展开综合性的评估，进而形成像故障预警、调度优化、应急预案这类的决策方面的建议。就好比说，在调度管理这块领域当中，该系统能够自动依据水库的实际水位、流量的预测情况还有用电方面的需求，去制定出最为优质的发电或者泄洪的方案；而在设备管理方面，把传感器所获取的数据和历史

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

维修的相关记录相互结合起来，便可以达成预测性维护的目标，如此一来，既能延长设备的使用寿命，又能降低出现故障的几率。这些技术手段一方面提升了运维的工作效率，另一方面也进一步强化了工程运行时所具备的安全性以及经济性。

3.4 项目安全与风险管理信息化

水利水电工程存在高风险的特点，所以其安全管理工作应当得到足够的重视。信息化的手段给项目风险的识别、评估、控制以及预警带来了系统化的解决办法。借助建设集成化的安全管理平台，能够实时地汇聚像地震活动、水位变化、结构变形等各类风险方面的信息，再配合智能分析模型来自动做出异常情况的判断，并且能够在第一时间把预警信息发出去。与此依靠虚拟现实（VR）技术，可以模拟出各类突发事件的场景，以此提高人员应急演练时的真实感受以及实战的水准。在安全巡检这块，移动终端和电子巡检系统相互结合起来，这使得检查的频次得以提高，而且对于问题处理的及时性也有所提升，进而大幅增强了整个项目应对风险的能力。

4 提升信息化管理水平的对策与建议

4.1 加强顶层设计与标准体系建设

信息技术于水利水电工程的有效运用，须要统一规划以及规范指引，当下工程信息化突出的问题是没有统一数据标准与平台接口，使得系统间难以互联，得由行业主管去牵头制定统一顶层设计框架与标准规范，确定数据格式、传输协议、平台架构等关键要求，构建全国统一的信息化管理标准体系，能提升各类系统间数据兼容性与互操作性，促进信息资源在不同项目、区域与单位间共享复用，形成协同高效的行业信息生态。

4.2 推动技术融合与平台集成

当前信息技术发展呈现出多元化的态势，单一的技术已经很难满足工程管理复杂的各类需求了。所以应当积极推动像 BIM、GIS、物联网、大数据以及人工智能等这些技术去融合起来加以应用，进而打造出具备功能集成特点且能够实现数据互通的综合性管理平台[1]。在实际的操作环节当中，可以通过构建起统一的工程信息模型，以此来达成在设计阶段、施工阶段以及运维阶段等各个阶段之间数据的贯通效果；借助人工智能算法来提升风险预警方面的水平以及决策支持的能力；依靠云平台来构建起灵活且高效的用于信息共享以及远程协作的环境。这样的技术融合一方面能够提升信息利用的效率，另一方面也能够让管理系统的可扩展性以及对生命周期的适应能力都得到增强。

4.3 健全信息安全与数据管理机制

信息化管理体系所具备的安全性会对工程运行的稳定性以及社会公共安全产生直接的影响。就目前的情况而言，信息系统在数据加密、防攻击以及权限控制等诸多方面依旧存在着不少较为薄弱的环节。所以，应当去建立健全信息安全方面的相关制度，着力加强网络安全基础设施方面的建设工作，以此来促使系统的抗风险能力得以提升[2]。与此还需要进一步完善数据分类分级管理的相关机制，清楚明确地界定出敏感数据的保护级别以及其访问权限，从而有效防止出现数据泄露以及被滥用等情况[3]。在数据存储这个层面上，不妨考虑采用分布式存储的方式，并且配合以定期备份的机制，进而充分确保数据能够保持完整性以及具备可恢复性，给工程信息化的运行给予稳固有力的保障。

4.4 培养复合型专业技术人才

水利水电工程迈向信息化转型，这绝非仅仅是技术层面的简单升级，它实际上是一个对人才结构予以重塑的过程。就当下的情况而言，在工程管理队伍当中，普遍存在这样一种状况，即信息技术的应用能力有所欠缺，而这一问题已然对系统效能的充分释放形成了制约作用。所以说，需要加大针对复合型技术人才展开培养以及引进的力度，要积极推动水利、电力、信息等诸多领域达成跨学科的融合。高校方面可以着手去设立与之相关的专业课程，企业则应当积极开展起系统化的培训工作，并且安排岗位实训环节，以此来促使员工的信息化操作能力得以提升，同时也让他们的创新意识有所增强。与此还需建立起多层级的激励机制，以此鼓励技术人员在实际工作的进程当中去积极探索新技术以及新方法，进而营造出良性的、有助于人才发展的生态环境。

5 结语

信息技术是推动水利水电工程技术管理转型的关键力量，改变了工程管理的思维模式和运行方式。从遥感监测到智能调度，从 BIM 建模到大数据决策，信息技术的应用范围不断扩展，潜力也持续得到发挥。不过，信息化管理推进过程中仍然存在不少挑战，需在标准建设、系统集成、安全防护以及人才培养等方面持续努力。未来，随着数字孪生、人工智能等前沿技术进一步融合，水利水电工程有希望实现从自动化向智能化、智慧化转变，构建起更为高效、安全且可持续的管理体系。

[参考文献]

[1]周杰鑫.信息技术在水利水电工程技术管理中的应用[J].水上安全,2024(22):52-54.
[2]李倩倩.信息技术手段在水利水电工程建设管理中的应用[J].水电站机电技术,2020,43(11):173-174.
[3]潘玉发.信息技术在水利水电工程项目管理中的应用探究[J].黑龙江水利科技,2025,53(7):128-130.

作者简介：陈家飞（1981.5—），单位名称：扬州水利建筑工程有限责任公司，毕业学校和专业：西安科技大学测量工程专业。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

试论节水器具的开发推广应用及管理

赵 娇[1] 王凯强[2]
1.新疆昌吉州吉木萨尔县水利管理站，新疆 昌吉 831700
2.新疆新能源（集团）准东环境发展有限公司，新疆 昌吉 831700

[摘要]全球水资源危机和家庭用水需求刚性增长，促使开发推广高效节水器具成为缓解供需矛盾的技术途径。文章论证了节水器具开发的必要性，分析了智能化水量调节等核心技术方向，提出了融合阶梯补贴等推广路径，构建了全流程管理机制。研究为构建节水型社会提供了解决方案。

[关键词]节水器具；水资源危机；用水效能
DOI：10.33142/hst.v8i8.17354 中图分类号：TV213 文献标识码：A

Trial Discussion on Discussion on the Development, Promotion, Application, and Management of Water-saving Instruments

ZHAO Jiao[1], WANG Kaiqiang[2]
1. Xinjiang Changji Jimusaer Water Management Station, Changji, Xinjiang, 831700, China
2. Xinjiang New Energy (Group) Zhundong Environmental Development Co., Ltd., Changji, Xinjiang, 831700, China

Abstract: The global water crisis and the rigid growth of household water demand have prompted the development and promotion of efficient water-saving appliances as a technological approach to alleviate the supply-demand imbalance. The article demonstrates the necessity of developing water-saving appliances, analyzes core technology directions such as intelligent water volume regulation, proposes promotion paths such as integrating tiered subsidies, and constructs a full process management mechanism. The research provides a solution for building a water-saving society.

Keywords: water-saving appliances; water resource crisis; water efficiency

引言

随着居民生活质量日益提高，家庭生活用水量不断增加，导致了家庭用水供需失衡和用水浪费等问题，为保证居民日常用水需求，构建居民家庭器具用水调度方案是必要的。目前，传统家庭器具用水调度采用“一刀切”的方式，无法满足现阶段居民差异化用水需求，不能按照居民具体用水需求实时动态地调整供水策略，造成居民用水的舒适度不匹配，不仅降低了不同类型居民用水舒适度，还出现家庭器具用水浪费现象。

1 节水器具开发的必要性

1.1 水资源供需矛盾的紧迫性

全球水资源危机以及家庭用水需求不断增长这两种情况，共同构成了节水器具开发的关键驱动力。联合国在2023 年所发布的世界水发展报告中提到，当下全球已经有 20 亿人口居住在缺水状况极为严重的区域，在发达国家当中，家庭生活用水所占的总用水量比例达到了 15%～20%，而在发展中国家，这一比例同样超过了 10%。根据中国水利部所公布的数据来看，我国的人均水资源量仅仅只有 2060m^3，这个数字还不到世界平均水平的三分之一，并且像华北、西北等地区，其每年平均缺水的规模更是超过了 500 亿 m^3。与此随着城镇化进程的不断加快，这也在很大程度上推动了家庭用水需求呈现出一种刚性的增长态势[1]。住建部针对城市居民用水行为所开展的研究报告显示，在 2000 年至 2022 年期间，城镇居民每日平均的生活用水量已经从 124L 上升到了 185L，其年均增长率达到了 2.1%，这个增速远远超过了同期水资源供给能力 0.8%的增幅水平。如此这般供需矛盾持续不断加剧的情况，迫切需要借助技术方面的手段来促使家庭用水效率得以提升。

1.2 传统用水器具的效能缺陷

当前家庭用水器具在技术层面呈现出滞后的态势，这已然成为促使水资源出现浪费情况不断加剧的重要制约因素。就传统器具而言，其大多采用的是静态供水的方式，在日常生活中，像普通水龙头的流量通常是固定在每分钟 9～12L 这样的范围，然而在实际的操作场景当中，比如人们在洗手或者进行洗涤等活动时，往往只需要每分钟 3～6L 的水流，如此一来，便造成了大约 40%～60%的水量白白浪费掉。中国标准化研究院所出具的家用器具用水效能测试报告，也明确地证实了这种现象的存在。由于器具使用时间过长而出现的老化情况，使得隐性漏损的问题变得格外突出。根据国家发改委在 2024 年开展的抽样调查结果显示，那些使用年限达到 5 年以上的马桶以及淋浴设备，其漏损率能够达到 18%～25%这样的程度，单就一个家庭而言，每年因为漏损所损失的水量可以多达 30～50m^3。还有一点需要着重指出的是，早期的节水器具在

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

设计之时，为了单纯地追求各项指标能够达标，常常会忽视用户体验的感受，就像强制性地把马桶每次冲水的量降低到 4.8L 以下，结果导致冲洗的效果大打折扣，用户无奈之下只能反复多次冲水，最终反而是让实际的耗水量增加了 12%～15%，所以这就迫切地呼唤着能够开发出既注重效能又兼顾舒适性体验的新一代节水器具。

2 节水器具的核心技术开发方向

2.1 智能化水量动态调节技术

实现按需供水的关键在于去开发那种拥有环境感知以及决策能力的智能水量调节系统。这项技术体系要依靠由高精度流量传感器、微处理器还有执行机构所组成的闭环控制单元，它能够依照实时采集到的手部位置信号、衣物负载量或者污物感应数据，来动态地对出水流量和时长做出调整。就好比说应用了模糊 PID 控制算法的那种智能水龙头，其能在 0.1S 之内对上手部移动做出响应，并且把流量在 0.5～8L/min 这个区间里无级地调节，相较于传统的龙头，它平均能够节水超过 45%。像基于图像识别的智能马桶系统，它是可以自动去判别污物的具体类型以及附着的面积的，然后根据这些情况在 3～6L 这样的范围里精准地匹配冲水量，从而在保证清洁效果的同时最大限度地避免出现无效的冲淋状况。

2.2 分级水压适配装置设计

市政管网水压存在波动情况，这对器具的节水性能产生了颇为显著的影响，而分级水压适配技术恰恰是处理这一问题的要害所在。通过把压力补偿阀以及多级流道切换模块集成到器具的进水端，从而确保其可在 0.1～0.6MPa 这样的较为宽泛的压力范围当中，稳定地输出预先设定好的流量数值。欧洲标准委员会于 2024 年所发布的《卫生洁具压力适应性测试指南》已经证实，装备了分级适配技术的淋浴器，不管是在高水压工况还是低水压工况之下，其流量变异系数都低于 5%，这一表现远远比传统产品的 25%波动率要好很多[2]。而且最为关键的是，该技术能够消除由于水压突然增加而引发的瞬间出水量过大的状况，这对于高层住宅以及管网末梢的用户而言，其节水方面的重要意义是不言而喻的。

2.3 用户行为数据反馈系统

提升节水效能需要打破用户和器具之间的信息壁垒，行为数据反馈系统是实现人机交互优化的载体。该系统依靠内置的用水计量模块以及无线传输单元，持续记录并分析用户的开关频次、单次用水量以及高峰时段等行为参数，经过云端平台处理后的数据会以可视化图表的形式推送到手机 APP。清华大学环境学院在 2025 年开展的对照实验表明，安装反馈系统的家庭在三个月内的人均日用水量下降了 17%，其节水效果明显比仅仅配置硬件优化的对照组要好。该系统还能够依据历史数据预测用水习惯，在非活跃时段自动进入超低功耗待机状态，以此降低系统自身的能耗。

2.4 材料工艺与防漏损优化

器具能够实现长期且可靠的运行，这在很大程度上要依靠材料科学以及密封技术方面所取得的突破性进展。就材料方面而言，对陶瓷阀芯的表面采取纳米疏水涂层来加以处理，如此一来，便能够使得水垢的附着程度减少 90%以上，进而有效避免因为出现结垢情况而导致的流量衰减以及关闭时不够严密的问题。在密封结构的设计环节，把三重硅胶动态密封圈和自紧式阀杆结构相互配合起来运用，可以将传统龙头出现滴漏的概率降低到万分之一以下的程度。国家陶瓷与水暖器材质量监督检验中心在 2023 年所开展的加速老化测试报告明确指出，应用了新材料的节水龙头经过模拟长达十年的使用之后，其密封性能的衰减率仅仅不足 5%，这一数据远远低于行业平均所存在的 35%的劣化水平。防漏损技术不断取得进步，这直接促使器具的有效服务周期得以延长，同时也使得因维修更换而产生的资源消耗有所降低。

3 节水器具的推广应用路径

3.1 政府主导的阶梯补贴政策

破解高昂的成本壁垒，需要政府着手构建精准化的阶梯补贴激励机制。在政策设计方面，应当参照器具节水效率的不同等级来设定有所差异的补贴比例，对于那些达到了国家一级水效标准并且还搭载了智能调节模块的产品，给予 30%～50%的购置补贴。可以参考北京市在 2024 年所推行的“以旧换绿”计划，在此计划下，居民要是凭借淘汰旧器具的相关证明去购买新型节水产品，那么就能够叠加享受到碳积分奖励。补贴资金能够从水资源费的划拨以及节水专项国债中获取，根据财政部所公布的数据来看，2023 年全国水资源费收入达到了 520 亿元，这足以说明其具备可持续的财政支撑能力。与此还需要建立起补贴退坡机制，以此推动企业不断地去优化自身的成本结构，并且在 2025 年之后，逐步地将政策的重点朝着落后地区以及低收入群体那边进行倾斜。

3.2 市场驱动的差异化产品矩阵

激发市场的活跃度需要企业打造出能够涵盖多种需求场景的产品体系。针对那些有着不同消费能力以及不同功能偏好的各类群体而言，应当构建起“基础型-增强型-旗舰型”这样的三级产品架构。其中，基础型产品把焦点放在机械式的节水结构上，像恒流限流器这类产品，其售价要控制在百元以内；增强型产品会集成一些基本的智能模块，比如定时关断功能，其价格大概处于 300～800 元这个区间；而旗舰型产品则会配备全套的 AI 控制系统，以此来满足高端用户对于舒适性以及科技感的追求。从海尔卫浴 2024 年的市场分析报告能够看出，其独具差异性的产品线使得节水器具在二线城市的市场渗透率提升到了 34%，这一比例明显要比行业的平均值 21%高出不少。在开展产品开发工作的时候，还应当留意到特殊群体的需求，比如说为老年人去设计语音控制的界面，为儿童设置防烫的安全锁等等。

3.3 社区参与的体验式宣传

改变用户对于节水的认知，需要依靠社区场景来开展沉浸式的节水教育活动。在社区的公共空间设置节水器具体的体验角落，并且配备交互式的演示装置，以此直观地

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

呈现出传统器具和节水器具在耗水方面的差异情况。定期举办“家庭节水挑战赛”，借助智能水表实时公布参赛家庭的节水比率，并且给予物业费减免作为奖励。上海市虹口区 2025 年的试点项目所显示的数据说明，参与体验式宣传的社区居民中，节水器具的主动更换率提升到了 61%，相较于传统的传单宣传效果提高了 2.3 倍之多[3]。社区宣传应当着重揭示隐性漏损所产生的经济成本，经过测算可以发现，一个持续出现滴漏情况的水龙头，其一年浪费掉的水量能够达到 10t，折算成水费更是超过了 50 元，这样的数据对于居民做出相关决策而言更具说服力。

3.4 用水数据可视化教育

要深化节水方面的意识，就需要把那些较为抽象的用水行为转变成能够让人直观感知到的数据图像形式。可以去推广那种配备了实时显示屏幕的智能水表以及花洒，这样一来，在人们进行用水操作的过程中，就能够动态地展现出当前的流量情况、累计的用量情况以及与之相对应的等效碳排放等相关数据。学校以及社区中心应当设置公共用水数据看板，把所在区域的人均用水量和国内外一些标杆城市的用水情况做一番对比。在开展数据教育的时候，要着重强调个体所采取行动的集体层面的意义，就好比说，要是每户人家每天能够节约 10L 水，那么在一座有着百万人口的城市当中，其一年下来所节约的水量就足以填满一座中型的水库了。

4 节水器具的全流程管理机制

4.1 准入标准与认证体系构建

保障市场产品的质量，得进一步完善强制性准入的标准以及自愿性的认证制度。在 GB 25501《水嘴用水效率限定值及等级》所确立的这一基础之上，于 2024 年新修订的相关标准当中，应当增加针对智能响应时间、压力波动适应性等一系列技术参数的强制性要求内容。与此要同步推动第三方节水认证标识的发展，像中国质量认证中心所推出的“节水领跑者”认证，就需要将其纳入到全生命周期碳排放评估体系之中，并且要让认证的结果能够和政府绿色采购目录建立起关联。

4.2 安装维护的技术规范制定

安装质量方面存在的缺陷，这可是致使器具实际性能出现衰减的关键因素，所以迫切需要制定出一套全国范围内统一适用的安装技术规程。该规范务必要强制规定只有持有相应证件的人员才能上岗从事安装作业，同时要清楚明确管道接口的扭矩值，比如 DN15 接口在安装时的扭矩应当处于 14～18N·m 之间，密封带缠绕的圈数也得确定好，大概是 2.5～3 圈这样的关键参数都得说清楚。对于智能产品而言，还应当额外增设一个“安装后功能校验”的环节，以此来保证传感器的灵敏度能够正常发挥，通讯模块也能顺利完成初始化操作。住建部计划在 2025 年所要发布的《节水器具安装验收规范》当中，需要明确规定开发商在新建的住宅里预装的节水器具，其合格的比例不能低于 90%，并且物业公司必须要建立起每半年开展一次的免费检漏服务相关制度。

4.3 区域性用水效能监测平台

要达成宏观层面的节水调控这一目标，有必要去构建起一个城市级别的用水效能数字孪生平台。这个平台借助物联网技术来与家庭智能水表、管网压力传感器以及天气预测数据实现连接，同时利用机器学习算法去建立起针对区域用水需求的预测模型。该平台还需设立器具故障预警方面的机制，要是监测发现某个住户的用水量在连续三天的时间里出现异常增长的情况，那么就会自动派发出检修工单。并且要把监测所获取的数据定期加工成节水潜力热力图，以此来为政府精准地投放改造资源给予相应的指导。

5 结束语

在面临水资源刚性约束所带来时代挑战之际，节水器具相关的开发、推广以及管理工作，已然不再仅仅局限于单纯的技术改良层面，而是逐步攀升至涉及水资源安全战略的系统性工程范畴。此篇文章论证说明，借助智能化的水量调节、分级水压适配等一系列技术创新手段，能够冲破传统器具效能方面存在的瓶颈限制；把阶梯补贴和社区体验相互结合起来形成的推广策略，是能够在很大程度上激活市场的有效举措；并且，那贯穿于准入标准、安装规范、区域监测以及碳足迹评估等各个环节的全流程管理机制，还能够为节水效能得以持续不断地释放给予相应的制度方面的保障。后续的研究工作需要着重去深入探寻 AI 大模型在用水需求预测当中的深化运用情况，同时也要去关注节水行为和碳普惠政策之间联动机制的相关事宜。从实践操作的角度来讲，政府方面应当加快推进将节水器具纳入到新型基础设施投资目录当中，企业则需要努力去降低智能模块的成本费用，而公众参与的最为关键之处就在于要建立起“节水即增值”这样的公民责任方面的认知观念[4]。只有让多元主体共同发力协作配合，才能够促使节水器具切实地成为缓解水资源危机极为重要的关键支点，进而为构建人水和谐共生的生态文明体系给予技术层面的有力支撑以及制度层面的良好范例。

[参考文献]

[1]梅新宗.基于居民舒适度的家庭器具用水调度及智慧节水系统开发[D].邯郸:河北工程大学,2023.
[2]郝有茹.基于 WSR-改进全成本法的城镇居民水价定价研究[D].西安:西安理工大学,2024.
[3]郭利颖,侍贤瑞,张琦,等.阶梯水价制度对城镇居民节水行为影响研究——基于北京市调研数据的实践分析[Z].价格理论与实践,1-7[2025-07-25].
[4]王微,侯爽,兰凤,等.河北省居民节水模式与推广路径探讨[J].河北水利,2024(11):22-24.

作者简介：赵娇（1993.4—），毕业院校：东北石油大学，所学专业：油气井工程，当前就职单位名称：新疆昌吉州吉木萨尔县水利管理站，当前职称级别：中级；王凯强（1991.6—），毕业院校：兰州城市学院，所学专业：石油工程，单位名称：新疆新能源（集团）准东环境发展有限公司，就职单位职务：研发工程师，职称级别：中级。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

浅析水工码头橡胶护舷的使用及维护

饶 刚
浙江港湾工程项目管理有限公司重庆分公司，重庆 400000

[摘要]目前随着水路运输的飞速发展,水工码头橡胶护舷负荷工作量远超当时的靠泊能力,导致橡胶护舷经常处在超荷载运行,继而让码头橡胶护舷、护舷链毁坏。码头橡胶护舷的受损的主要原因是什么？
[关键词]水工码头；橡胶护舷；使用维护
DOI：10.33142/hst.v8i8.17336 中图分类号：U656 文献标识码：A

Brief Analysis of the Use and Maintenance of Rubber Fenders in Hydraulic Docks

RAO Gang
Chongqing Branch of Zhejiang Port Engineering Project Management Co., Ltd., Chongqing, 400000, China

Abstract: With the rapid development of waterway transportation, the workload of rubber fenders in hydraulic docks far exceeds the berthing capacity at that time, resulting in rubber fenders often operating under overload, which in turn causes damage to the dock rubber fenders and fender chains. What are the main reasons for the damage of rubber fenders at the dock?
Keywords: hydraulic dock; rubber fender; usage and maintenance

引言

橡胶护舷是水工码头供船舶停靠而应用范围广的防冲撞设备，根据橡胶护舷受力情况可分为 D 型、V 型、DA 型、DO 型等主要型式。

1 港口超负荷运行，提升码头橡胶护舷压力

近些年，交通水路运输的高速发展，船舶吨位不断升级，而沿海及内陆码头较大部分均未改造升级；导致码头橡胶护舷频繁处在超负荷使用，使得码头橡胶护舷、护舷链的急速破坏。因此，加速码头升级及橡胶护舷的创新迫在眉睫。根据港口工程案例，升级改造后护舷的损坏频率显著降低。

2 使用不规范。

部分港口运营与船舶公司为了节约成本、利益最大化，不借助港池内引航和拖船，时常凭经验擅让船舶自停靠，橡胶护舷作为码头第一道防线，全力抵抗船舶的停靠缓冲和撞击力，使得码头橡胶护舷加速破坏。为此，船舶停靠码头时接受正规的引航方法，并且用拖船协助靠泊，减少对橡胶护舷的冲击迫在眉睫。

3 复杂的海洋气象。

沿海及内河气象多变等,潮起潮落的冲击、海水浸泡,一样会对码头橡胶护舷产生毁坏。所以为避免码头橡胶护舷橡胶受损风险增加，港口应在恶劣天气情况下，尽量减少或暂停作业。

水工码头是为船舶提供靠泊卸货集装箱装卸的构筑物,橡胶护舷设置在码头前沿是为保证船舶停靠安全和码头的日常使用安全。对码头橡胶护舷的维护使用、日常保养过程中出现的各项问题进行分析,从而提出橡胶护舷的维护与使用建议。

3.1 橡胶护舷的特点

港口工程中当船舶停靠卸货码头时，在各种流速、流态、波浪等的综合作用下，船舶对水工码头产生冲击、碰撞、摩擦等复杂的力学作用，而橡胶护舷作为水工码头前沿的第一道防线，由此承接船舶冲击带来破损分险来保护码头水工建筑物。因此，必须为水工码头安装合适的防冲防撞设施，以吸收船舶靠泊时的动势能，减小码头与船舶之间的直接相互作用力。吸能量和反力特性是衡量护舷优劣的主要指标，在综合理想状态下橡胶护舷可几乎把船舶靠泊的动势能吸收完。使得船舶对码头的撞击力减弱，从而保护到码头结构不受损。

3.2 护舷与船舶的关系

在各种流速、流态、波浪等的综合作用以及船舶船员的驾驶技术等多方面因素,尤其是大型船舶在停靠时对水工码头前沿产生不同角度和速度的作用力,其中角度和速度两个主要影响因素的组合下的力对橡胶护舷和水工码头产生极大的破坏。

（1）橡胶护舷的安装与维护需要细致的管理，正确的安装、定期检查、合理使用和及时更换都能有效延长其使用寿命。 通过这些技巧，不仅能够提高护舷的防护效果,还能减少维护成本,确保港口和船舶的长期安全运营。时至今日沿海、内河码头橡胶护舷在广泛运用及推广，护舷既保护船只和码头设施免受撞击和破损的作用。又使得水工码头使用年限进一步加强;那么橡胶护舷的定期维护对于延长其寿命和使用至关重要。

（2）橡胶护舷特点一：橡胶护舷的柔韧性奥秘：随

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

着对橡胶护舷的了解逐渐深入，发现它那柔韧性简直是巧妙至极。水工码头船舶靠泊，一艘艘货船缓缓驶向码头。船身与码头的橡胶护舷受到冲击的瞬间，没有丝毫的生硬抵抗，而是像有生命一般自然地弯曲变形，将船舶的动能温柔地化解。这种柔韧性源于橡胶独特的分子结构。想象一下，橡胶的分子就像一团错综复杂却又相互连接的弹簧。当受到外力时，这些“弹簧”能够自由地拉伸、扭转，在外力消失后又迅速恢复原状。这使得橡胶护舷面对不同船舶的停靠冲击，都能以柔克刚，提供恰到好处的保护。不像一些刚性的防护装置，硬碰硬只会在受到强烈冲击时导致双方受损。就好比一个拳击手，如果只会用蛮力去抵挡对手的攻击，自己也容易受伤。而橡胶护舷就像是一个巧妙的太极高手，以灵活的姿态化解攻击，保护码头和船舶的安全。

（3）橡胶护舷的抗压强度奇迹：在一次次的港口工程测试中，试验人员加大船舶对橡胶护舷的撞击力度，测试它的极限破坏。经过检测，它的各项性能指标依旧良好。这是因为橡胶护舷内部的材料经过特殊处理，具有极高的抗压强度。好比是一个被精心设计的缓冲系统，外部的橡胶外皮柔韧性十足，而内部填充的材料则像是坚实的后盾，在承受巨大压力时依然能保持结构稳定。正是这种刚柔并济的特性，使得橡胶护舷在不同类型、不同吨位船舶的停靠过程中，都能发挥可靠的保护作用。从小小的渔船到高大的邮轮，无论撞击力大小，它都能全力应对，成为港口不可或缺的安全防线。

（4）橡胶护舷的防腐与耐久性：在港口这个充满海水侵蚀的环境中，橡胶护舷还展现出优异的防腐与耐久性。日复一日，年复一年，风雨的洗礼、海水的冲刷从未让它们失去功能。远远看去，它们的表面有些斑驳，像是岁月留下的痕迹。但凑近检查却发现，尽管经历了如此漫长的时光和恶劣的环境，它们依然坚韧。原来，橡胶护舷在制作过程中添加了特殊的防腐剂和抗老化成分。这些成分就像是给橡胶护舷穿上了一层金钟罩，让海水的腐蚀、紫外线的侵害都难以对它造成实质性的伤害。这种防腐与耐久性不仅节省了频繁更换防护设备的时间和成本，更保障了港口作业的连续性和稳定性。

（5）橡胶护舷特点二：橡胶护舷颜色背后的秘密在各个港口穿梭，橡胶护舷有着不同的颜色，常见的有黑色、橙色。黑色的橡胶护舷最为常见，它是因为在生产过程中添加了大量的碳黑。碳黑不仅能增强橡胶的耐磨性和抗老化性能，让橡胶护舷更加耐用，同时还赋予了它黑色的外观。而橙色的橡胶护舷则带有一些警示意味。在一些容易发生碰撞事故的特殊区域，或者是需要引起人们特别注意的位置，橙色的橡胶护舷格外显眼。向过往的船舶传达着警惕的信号。它用这种独特的方式提醒船舶驾驶员，这里要格外小心，保护着行船和码头的安全。不同颜色的橡胶护舷，用它们各自的特性，在港口复杂的环境中发挥着独特的作用。

（6）橡胶护舷安装的智慧：橡胶护舷的安装可不是一件简单随意的事情，这其中蕴含着很多智慧。需要根据码头的形状、船舶的类型以及停靠习惯等因素，精心设计橡胶护舷的安装位置和角度。比如，在一些弯道处的码头，橡胶护舷的安装角度就要经过精确计算，以确保船舶在转弯停靠时能够得到最佳的缓冲保护。施工需小心翼翼地将橡胶护舷固定在码头上，每一个螺栓的拧紧力度都严格把控。这就像是给一艘艘即将停靠的船舶量身定制了一把合适的“座椅”。如果安装不当，橡胶护舷不仅无法发挥它应有的作用，还可能在船舶停靠时造成不必要的损伤。就像穿鞋子，如果尺码不合适，走路也会变得艰难。正确的安装让橡胶护舷与码头完美融合，成为一个紧密协作的保护系统。

（7）橡胶护舷类型多样的魅力：橡胶护舷有着多种类型，各有所长。有简单粗暴的实心轮胎式橡胶护舷，这种护舷结构简单，就像是一个放大版的实心轮胎。它有着极高的抗压能力，适合应用在一些小型码头或者对防护要求不是特别精细的地方。它以一股实实在在的蛮劲，守护着码头的基本安全。还有超级给力的漂浮式橡胶护舷，这种护舷就像一个个在水上自由漂浮的卫士。它能够随着水位的变化自动调节高度，无论涨潮还是退潮，都能和船舶保持有效的接触，提供可靠的缓冲。特别是在一些水位变化较大的内河港口，它的优势就更加明显了。复合型橡胶护舷巧妙地结合了多种材料的优势，既有橡胶的柔韧性和缓冲能力，又有其他材料带来的高强度和耐用性。每种类型的橡胶护舷都根据不同的港口环境、船舶需求应运而生，共同构成了港口防护的坚实屏障。

（8）橡胶护舷的环保担当：在当今这个注重环保的时代，橡胶护舷也展现出了它绿色环保的一面。过去，一些老式的防护材料在废弃后很难降解，给环境带来了沉重的负担。但橡胶护舷不同，大部分橡胶护舷采用的是可回收、可降解的原材料。在它完成自己的使命后，不会成为环境的垃圾。想象一下，那些在码头服务多年后退役的橡胶护舷，经过特殊的处理，可以再次转化为新的橡胶制品，继续发挥作用。这就像是一种生命的循环，橡胶护舷以自己独特的方式践行着环保的理念，为港口周边的生态环境贡献着自己的一份力量。它不仅守护了码头和船舶的安全，还守护了这片蓝色海洋的美丽与宁静。

（9）橡胶护舷特点三：橡胶护舷的成本效益优势：在港口运营的经济账中，橡胶护舷的成本效益优势格外亮眼。我曾参与过一次关于港口设施成本评估的项目，在这个过程中，深切感受到了橡胶护舷的经济魅力。

从前期采购成本来看，相比一些高端的、高科技的船舶防护装置，橡胶护舷价格实惠；由于其良好的耐久性和

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

抗损坏能力，不需要频繁的维修和更换。而且，它对码头结构的保护作用，避免了因船舶碰撞造成码头损坏而产生的高额维修费用。

（10）橡胶护舷在不同水域的适应性

不同水域有着各自独特的环境条件，海水盐分高、风浪大。橡胶护舷凭借其坚固的材质和稳定的结构，在惊涛骇浪中依然能够牢牢地守护着码头。进入内河，水流相对平缓但水质复杂，可能含有各种杂质和污染物。橡胶护舷依旧能安然无恙，发挥着自己的缓冲保护作用。即使在一些寒冷的北方港口，橡胶护舷也不会因为低温而失去弹性。在低温环境下，经过特殊配方处理的橡胶材料依然能够保持良好的柔韧性和抗压性能，确保船舶在冰天雪地中也能安全停靠。无论在何种水域环境，橡胶护舷都能像一个万能钥匙，打开安全防护的大门。

（11）橡胶护舷与现代科技的交融

随着时代的发展，橡胶护舷也与现代科技紧密交融，焕发出新的活力。如今，一些先进的橡胶护舷内置了传感器。这些传感器就像是护舷的“小眼睛”和“小耳朵”，能够实时感知船舶的碰撞力度、频率以及护舷本身的磨损情况。通过无线网络，这些数据可以及时传输到港口管理中心。管理人员可以根据这些数据，提前预警橡胶护舷可能出现的问题，进行精准的维护和更换。而且，在橡胶护舷的制造工艺上，3D 打印技术也开始崭露头角。通过 3D 打印，可以更精确地制造出符合各种需求的橡胶护舷，不仅提高了生产效率，还能减少材料浪费。橡胶护舷在现代科技的助力下，正朝着智能化、精准化的方向发展，为港口的安全保障带来更多可能。

（12）橡胶护舷带来的哲学思考与实践建议

在实践中，对于港口管理者来说，充分了解橡胶护舷的特点，根据码头的实际情况选择合适类型的橡胶护舷，并且合理安装和维护是至关重要的。而对于船舶驾驶员而言，尊重这些默默守护的橡胶护舷，小心谨慎地停靠船舶，也是保障港口安全和谐运营的重要一环。橡胶护舷就像一位无声的导师，用它的存在向我们传递着安全、适应、平衡的哲学，而我们要做的就是在实际生活中，领悟并践行这些道理，与它一起守护好港口这片繁忙而又充满希望的地方，就如同初见它在港口默默坚守一般，让它的特质在岁月中持续绽放光彩。

3.3 橡胶护舷的日常保养

如果码头橡胶护舷维修使得码头在不同程度上进行停产作业，而船舶运输卸货、装卸则在较长的时间段内不允许停产等修的状况。那么如何妥善解决这对种实际情况，可以从以下几方面完善：

（1）第一是抓住潮涨潮落时和机船驳靠离泊位的空隙时间，见缝插针地进行维修。这种方法适用于泊位狭小、小吨位规模，工作量不大的维修情形。建议港口公司建立专业的养护队组织进行施工，这样可以既不影响生产又能分批分块地灵活掌握施工，还不受外包合同期的限制。从经济效益来分析可比外包节约费用。

（2）第二是对于岸线泊位长、工作量比较大，尤其是施工复杂且周期较长的维修任务，钢胶混台护舷的制作安装，一般以外包为宜。因为此种项目制作安装工艺并用，需腾出码头泊位的时间较长。采用这种方法，公司的计划和生产调度部门必须经过周密的研究和安排，根据公司各个码头的生产能力和生产任务，总体协调、平衡，局部定时停产。

（3）第三是加强码头橡胶护舷维护检查和保养；维修工作的最基本措施是重视平时的检查和保养，这项工作的落实与否对减少维修至关重要。港口运营公司应该设立专业部门落实到专人负责制，加强对责任区域码头橡胶护舷的检查和保养，这样可以及时发现护舷的一些小故障，一方面是制定定期维护计划。主要包括设施巡检、检修、清洁保养等主要内容，按照计划开展维护工作。另一个是设立巡检记录表，记录每次巡检的时间、人员、巡检项目和结果。发现问题及时进行记录和处理。最后是故障处理：一旦发现设施故障，立即报告相关负责人，并迅速组织人员进行修理和维护。随着水工码头橡胶护舷使用型号的变化，企业的管理体制的变化，也须应变而采取不同的维修和管理办法，不断提高码头橡胶护舷的维修质量和检修水平。

4 结语

总而言之，橡胶护舷的使用与维护需要细致的管理，正确的安装、定期检查、合理使用和及时更换都能有效延长其使用寿命。通过这些技巧，不仅能够提高护舷的防护效果，还能减少维护成本，确保港口和船舶的长期安全运营。 橡胶护舷广泛应用于沿海、内河码头等地方，起到保护船只和码头平台框架、设备免受撞击和磨损的作用。定期维护对于延长橡胶护舷的使用寿命显得至关重要。

[参考文献]

[1]金文龙.长江中下游高桩码头橡胶护舷合理选型与布置[J].港工技术,2002(1):115-136.

[2]赵青.靠泊船型吨级差距较大的码头橡胶护舷设计[J].港工技术,2019(1):125-126.

[3]黄一靖.大型公务船码头护舷选型及布置[J].水运工程,2023(35):143-145.

作者简介：饶刚（1990.7—），浙江港湾工程项目管理有限公司重庆分公司，毕业院校 长沙理工大学，专业，交通土建。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

人工智能在工业产品检验检测中的应用及质量提升分析

刘 阳
新疆生产建设兵团质量技术评价中心，新疆 乌鲁木齐 830000

[摘要]随着工业 4.0 时代的快速发展，人工智能（AI）技术在工业生产中的应用愈加广泛，尤其在工业产品的检验检测领域展现出显著的潜力。通过引入智能化检测系统和算法，企业不仅可以实现对产品质量的高精度监控，还能够提高检测效率，减少人为误差。同时，AI 技术能够对生产数据进行实时分析和挖掘，支持质量优化、风险预警及生产流程改进，为企业构建数据驱动的智能化管理体系提供有力保障。文章将系统分析人工智能在工业产品检验检测中的应用，重点探讨其在提升产品一致性、优化生产流程及增强企业竞争力方面的实际作用，为企业推动智能制造和质量管理升级提供重要参考和实践指导。
[关键词]人工智能；工业产品；检验检测；质量提升；智能制造
DOI：10.33142/hst.v8i8.17331 中图分类号：TS207 文献标识码：A

Application and Quality Improvement Analysis of Artificial Intelligence in Industrial Product Inspection and Testing

LIU Yang
Quality and Technical Evaluation Center of Xinjiang Production and Construction Corps, Urumqi, Xinjiang, 830000, China

Abstract: With the rapid development of Industry 4.0 era, the application of artificial intelligence (AI) technology in industrial production is becoming increasingly widespread, especially in the field of inspection and testing of industrial products, showing significant potential. By introducing intelligent detection systems and algorithms, enterprises can not only achieve high-precision monitoring of product quality, but also improve detection efficiency and reduce human errors. At the same time, AI technology can perform real-time analysis and mining of production data, supporting quality optimization, risk warning, and production process improvement, providing strong support for enterprises to build data-driven intelligent management systems. The article will systematically analyze the application of artificial intelligence in industrial product inspection and testing, focusing on its practical role in improving product consistency, optimizing production processes, and enhancing enterprise competitiveness, providing important references and practical guidance for enterprises to promote intelligent manufacturing and quality management upgrades.
Keywords: artificial intelligence; industrial products; inspection and testing; quality improvement; smart manufacturing

引言

在传统工业生产体系中，检测环节倚重人工知识与基础机械，效率欠佳、精度有限、数据利用度偏低。在技术革新浪潮中，人工智能、大数据及物联网领域同步实现跨越式发展，工业检测领域步入智能化发展的新阶段。采用计算机视觉、机器学习及智能算法，全面监控产品状态、精准辨识缺陷并预测趋势，为企业管理注入精细与科学的品质监管能力。本文对人工智能技术运用、智能检测系统建设与质量增进机制三大领域进行系统分析，全面解读工业产品检验检测应用实践。

1 人工智能技术在工业产品检验检测中的应用

1.1 智能视觉检测

采用计算机视觉工具，AI 技术助力工业产品图像的细致采集与剖析。基于经验性评估的传统检测途径，操作者疲劳、主观性及光照条件对其产生干扰，检测成果误差频发，采用计算机视觉技术手段，细致无遗地捕捉产品所有细节，微小的尺寸误差或表面缺陷，均能被高分辨率摄像头详实捕捉，系统图像解析跳脱表面属性界限，综合色彩、纹理及形态等多维数据集，全面品质鉴定[1]。

深度算法赋能，计算机视觉技术可对所采集图像实施智能化处理，依托海量样本数据训练，擅长识别各类缺陷形态，囊括裂纹、划痕、气泡等及凹凸不平等异常情形，系统精准量取产品尺寸，确保产品尺寸与设计标准相吻合，与常规人工检测模式对比，深度学习在缺陷识别的稳定性与一致性方面展现出明显改进，大幅减少主观判断的误差，提高检测结果的稳定性与可复现性。在应用场合下，视觉识别与人工智能相结合，工业检测迈向自动化与高效化的新阶段。在生产线上，及时分析众多产品图案，及时输出检测反馈，大幅增强检测速度与生产水平，全天候监控机制启动，免于人工班次及操作疲劳的干扰，确保各批次产品质量经历严格审查。持续累积数据，不断优化算法，检测精度持续攀升，工业生产质量保障，促进产业繁荣。

1.2 传感器与数据融合检测

智能与多源传感技术结合，实时监控工业产品性能参数，现今生产界域，关键设备与生产环节普遍采用了温度、压力、振动及声学传感器，持续获取丰富高精度数据集，

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

传感器收集的数据展示了产品在制造、流通及使用阶段所表现出的物理形态与运行属性，构成了产品质量全面分析的初始资料，依托 AI 算法的剖析，智能算法对实时数据实施高效解析，精准识别微小的异常信号，先行预警潜在缺陷，阻断缺陷产品进入后续环节与市场流通。

依托数据融合手段，人工智能系统对多源传感器数据实施融合整合，单一传感器数据易受噪声侵扰及局部偏差困扰，综合温度、压力、振动及声学等多维数据集，模型构建成果显著，精确度与全面性均大幅提升，模型精确分析产品性能，也能揭示指标间的内在关联性，支撑生产决策的科学支撑，数据融合技术极大地提升了异常检测的敏感度，即便个别指标变动微乎其微，系统凭借整体趋势识别潜在隐患，风险预兆探测。在生产环节中，AI 与传感器数据综合分析能力，实现故障定位及生产异常预警机制，连续监控并对比历史数据，迅速识别异常环节及部位，精确调整方案呈现。在异常振动或声学信号显现时，系统可辨识设备潜在的机械损耗或组装偏差，预警系统迅速启动，指示生产线进行维护及调整作业，实时智能监控手段下，显著巩固产品质量稳定性，对生产流程实施高效化改造，优化成本结构，增进整体运作效率[2]。

1.3 预测性维护与缺陷预判

以机器学习为支撑，人工智能深度挖掘历史检测数据宝藏，精确构建产品性能预测体系。在生产阶段，产品性能数据，企业多在批次与工艺条件差异中采集，涉及尺寸精确度、表面瑕疵率、强度参数等多个性能参数，深入挖掘数据内涵，算法可挖掘数据深层的规律与内在联系，进而对生产中潜在的质量问题进行预测。与传统经验对比，借助 AI 预测模型，实现数据驱动决策机制，质量管理迈向科学化、精确化与量化新阶段。

实施预测性手段，企业可预调并革新生产环节，模型检测到存在导致产品缺陷风险的工艺参数，系统自动推送改进措施，协助技术员调整生产参数，对温度、压力、加工速度及原材料配比等关键参数实施微调。从源头入手削减质量风险隐患，数据支撑的预测及反馈模型，显著减少产品返工与废品产出比，大幅优化了生产资源的分配效率，优化生产流程稳定性，维持工序一致性。借助机器学习预测模型，企业得以在工艺流程改进中作出明智决策，持续更新历史数据与迭代模型，预测精密度不断攀升，识别更密集的质量风险点。企业得以在生产阶段预先防范，非待问题显现后进行改正，大幅增强生产效率与可靠性。企业通过模型获得数据可视化分析工具，管理层可以直观洞察生产态势、质量走向及潜在风险点，协助形成更科学的生产调度与品质管控方案，巩固数据支撑，助力企业持续提升产品竞争力实力。

2 智能检测系统在质量管理中的作用

2.1 检测精度的提升

依托高端算法优化与大数据训练赋能，实现工业产品的超精密检测。系统对纳米至微米级别的细微变化具有敏感捕捉性，实现产品尺寸、形状与表面特性的全方位检测。在工业界现阶段，精密部件对测量精度的追求极高，常规人工检测常显不足，难以满足精密测量的高标准，智能检测系统恰巧攻克了这一技术难题。

与常规人工检测模式对比，误差范围显著减小，智能检测系统测量结果更可靠，数据稳定性与可靠性显著升级。对历史数据资源的深度汲取与分析，算法持续进行自我优化升级，提升测量精密度，大幅降低人为误差的干扰。该做法保证了生产全过程中产品的一致性，也符合严格的工业规范与客户对优质产品的期望。系统实现快速自动化检测机制，大幅增进生产效率，即便复杂零件显现出细微的缺陷，也对大规模生产中的尺寸误差进行检测。实施敏捷且精准的检测，大幅减少返工与废品数量，精确数据反馈助力，迅速调整制造工艺，精制生产序列，确保产品品质契合高级标准[3]。

2.2 检测效率的提升

工业检测领域对 AI 技术的采纳，实现了高速、多批次、连续检测的可行性。利用 AI 算法的迅速运算及精准辨识特性，系统并行接纳大量产品样本，实时监控生产流程不间断。此技术显著降低传统检测所需时长，大幅提升检测的精确性与效率，实现企业大批量产品检验周期的缩短。

结合自动化生产线与智能检测技术，企业成功实现生产与检测环节的无缝对接。在制造阶段，产品逐个实时检测与解析，系统对异常数据自动识别并迅速作出反馈。该做法有效削减了操作干扰，确保了检测结果的可靠性及一致性，显著优化了生产全链的质量监管水平。无需额外人力投入，智能检测系统得以施展，大幅提升生产效能与检测全面性。企业同步监管多款商品，快速识别潜在缺陷，减少返工及废品产出量，进而促进生产与管理的精细化升级。持续优化与 AI 学习相结合，持续优化下的检测流程将不断优化升级，实现企业生产效率提升与产品质量保障的双重提升。

2.3 数据驱动的质量优化

实时数据传输功能赋予智能检测系统向生产环节的即时反馈能力，实现检测至生产环节的全程质量管理闭环。在生产环节中，系统对产品尺寸、表面状态及性能参数进行迅速搜集与解析，实时将检测结果输出至相关工序，跟踪产品质量变化，迅速实施调整方案，防止不良品流入后续生产阶段。

对实时数据进行深入挖掘，企业成功揭示生产链中的质量症结。系统频繁揭示工序偏差的频繁暴露，设备潜在故障迹象凸显，助力管理层对生产参数及设备配置进行细致优化。数据驱动决策模式，显著提升生产效率与质量监控的科学化水平，减轻了依赖经验判断所造成的盲目及滞后影响。智能检测系统推动实施科学的质量优化路径，全生产周期质量持续优化与飞跃。经长期数据累积与趋势追踪分析，企业不断精炼生产序列，改进工艺体系，精确制

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

定质量管理方案。采用闭环质量管理模式，产品的一致性和可靠性得到显著提升，也大幅增强企业市场竞争力及客户满意度，稳固高端制造质量根基[4]。

3 人工智能对工业产品质量提升的综合影响

3.1 提高产品一致性与可靠性

工业领域对 AI 技术的采纳，助力产品检测与质量管理跨入全新阶段。依循既定检测步骤，AI 对每件产品逐一核实，确保各批次产品尺寸、外观及性能高度统一。标准化措施显著削减了人工检测中的主观性误差，快速识别潜在缺陷，大幅降低不良品产出占比，增进生产效率。

AI 技术展现出卓越的数据解析才干，庞大数据集，经算法筛选，可编制详实质量评估文档及趋势走势图示。企业可依据分析成果，迅速调整生产参数，实现高效生产，精炼生产工艺，对质量波动隐患进行预先揭示。采用数据驱动的管理模式，企业对生产各环节实施严格的质量把控，确保产品品质稳固可靠。AI 技术在质量管理领域应用，显著促进了客户体验的优化。产品品质高度统一，建立消费者对企业之信赖，进而增强产品回购率及市场认可度。智能检测系统所汇聚的质量数据集，也可为研发及售后服务提供参考线索，助力产品实现持续进化与创新突破。数据与标准化驱动的质量管理模式，赋予企业在市场竞争中更卓越的适应性与竞争实力。

3.2 降低生产成本与资源浪费

在现代工业生产中由智能检测系统承担，采用高精度传感器与高级算法，全面监控生产各阶段，迅速锁定潜在产品缺陷与工艺偏差，识别显著减少返工及报废案例数，显著稳固了生产流程的稳定性与可靠性，生产安全风险降低至较低水平。

在资源运用层面，细致掌握原材料消耗细节，高效抑制材料浪费，革新生产参数与操作链。企业实现了原材料的最高效转化，遏制无谓浪费，成本削减明显，也促进资源节省，实现生产流程的持续可持续性发展。在能源管理中，智能检测技术优势明显可见。实时监控能源消耗动态，识别能耗密集区域并给出优化方案，有效减少电力、水资源及燃料等能源消耗强度，优化资源利用，提升作业效能。同步维持生产品质，实现了绿色制造理念，同步提升经济产出，构筑了企业可持续发展的坚实壁垒[5]。

3.3 促进企业智能化与产业升级

AI 赋能的检测技术对现代企业生产构成核心支撑，全面监管生产各阶段，精准锁定产品品质的细微误差与潜在缺陷，显著提高产品单一性的质量均一性与稳定性水平。先进自动化检测技术，大幅降低人工干预误差，显著降低返工及废品比，生产成本降低显著。

AI 检测技术的融入，引领企业全面迈向智能制造新阶段，实时搜集并处理生产数据。企业成功迈向数据化管理阶段，实施生产计划、工艺流程及资源分配的精准优化，市场变迁应对迅速，得益于数据驱动决策模式，动态优化生产线配置以匹配订单要求，大幅提升生产弹性与运营效率。数据累积与 AI 分析技术赋能，构筑了企业以质量为核心的核心竞争力基础，持续追踪与智能分析，改进产品研发及生产环节。将质量管控与企业战略紧密耦合，塑造以数据为基、质量为魂的运营架构，该模式同步增进产品信赖度及顾客满意度，也显著提升了企业对市场动态的适应性与竞争潜力。

4 结语

在工业检测领域，人工智能的价值日益凸显，企业通过引入智能视觉系统、各类传感器以及预测性分析等技术手段，实现了对生产环节的精准监控与高效管理。AI 不仅能够实时采集和分析数据，还能在产品设计、生产工艺和质量控制中提供科学依据，从而显著提升产品的一致性和可靠性，同时降低生产成本。随着技术的不断进步，AI 在工业产品检验检测中的应用范围将持续扩大，为企业构建数据驱动的智能化质量管理体系提供坚实支撑，助力企业在数字化转型中增强竞争力。

[参考文献]

[1]宋诗杰,周舒越.人工智能在石油化工检验检测流程自动化中的应用[J].化学工程与装备,2025(7):117-119.
[2]孟庆丰.基于人工智能技术的石化企业仪表自动化设备故障智能检测研究[J].石油化工自动化,2025,61(3):72-75.
[3]朱华伟,袁志军,周洋,彭欢.基于人工智能的工业控制系统安全威胁检测[J].网络安全和信息化,2025(1):46-48.
[4]仇龙.人工智能在冶金工业自动化中的应用与发展分析[J].工程技术研究,2023,8(22):214-216.
[5]杨文旭.人工智能在制造业智能检测中的应用研究[J].智能制造,2023(5):45-48.

作者简介：刘阳（1989.4—），毕业院校：兰州理工大学，专业：过程装备与控制工程，当前就职单位名称：新疆生产建设兵团质量技术评价中心，职称级别：专业技术十级。

Copyright © 2025 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

征 稿

Call for Papers

《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



Viser Technology Pte. Ltd.

公司地址
195 Pearl's Hill Terrace, #02–41, Singapore 168976

官方网站
www.viserdata.com

ISSN 2717-5383