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

2024 11

第7卷　总第　47　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

2024年·第7卷·第11期（总第47期）

主办单位：Viser Technology Pte. Ltd.

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

发行周期：月刊

出版时间：11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：111 North Bridge Rd, #21-01 Peninsula Plaza, Singapore 179098

印　　制：北京建宏印刷有限公司

定　　价：SGD 20.00

目　录

CONTENTS

水利工程

水文水资源

水土保持

节水灌溉

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

技术解决方案

运行维护

综合研究

水利工程施工管理质量控制措施探究

黄相杰
新疆交通建设集团股份有限公司，新疆 乌鲁木齐 830000

[摘要]我国水利工程建设正处于蓬勃发展的阶段，因此施工质量管理显得尤为重要。文章从水利工程施工管理的实际出发，深入分析了质量控制的关键环节，并提出了切实可行的措施。其中，加强对原材料的质量把控、优化施工工艺、强化现场监督与检测等方面尤为重要。此外，建立完善的质量管理体系同样至关重要。这些举措有望进一步提高水利工程建设的质量和效益，为我国的水利事业可持续发展提供有力保障。在不断发展的水利工程建设中，质量管理的重要性将愈发凸显，因此以上提出的措施势必将成为未来发展的关键要素。

[关键词]水利工程；施工管理；质量控制；措施
DOI：10.33142/hst.v7i11.14314　　中图分类号：TV6　　文献标识码：A

Exploration on Quality Control Measures for Water Conservancy Engineering Construction Management

HUANG Xiangjie
Xinjiang Communications Construction Group Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830000, China

Abstract: Chinese water conservancy engineering construction is in a stage of vigorous development, so construction quality management is particularly important. The article starts from the reality of water conservancy engineering construction management, deeply analyzes the key links of quality control, and proposes practical and feasible measures. Among them, strengthening the quality control of raw materials, optimizing construction processes, and enhancing on-site supervision and testing are particularly important. In addition, establishing a sound quality management system is equally crucial. These measures are expected to further improve the quality and efficiency of water conservancy engineering construction, providing strong guarantees for the sustainable development of Chinese water conservancy industry. In the constantly developing construction of water conservancy projects, the importance of quality management will become increasingly prominent, and therefore the measures proposed above are bound to become key elements for future development.

Keywords: water conservancy engineering; construction management; quality control; measures

引言

水利工程作为国民经济和社会发展的关键基础设施，决定着人民生命财产安全和经济社会的可持续发展。因此，加强水利工程施工管理、提高工程质量是当务之急。只有通过严谨的施工监管和全面的质量控制，才能确保水利工程的可靠性和稳定性。指导思想要以科学发展观为引领，注重工程施工过程中的风险评估和预防措施，确保项目的长期安全运行。同时，还需要积极创新施工技术和工艺，提高工程质量和效率，促进水利工程建设实现更高水平和更大发展，助力经济社会可持续发展目标的实现。

1 水利工程施工管理质量控制的重要性

1.1 质量是工程的生命线

水资源开发及其管理，是水利工程的核心职能，此领域的工作成效，对公众的生命和财产安全构成直接影响，质量缺陷一旦出现在水利工程项目中，将引发连锁反应，造成严重后果，不仅损害投资回报，还会对经济和社会的持续发展产生深远的不利影响，这一点的确定性，可以说是毫无疑义的，为了确保水利工程的稳固性与可靠性，必须采取措施预防可能发生的灾难性后果。为了保护大量居民和广阔土地免遭严重损失，必须确保水坝的规划和建造严格遵守安全规范，防止其坍塌以及洪水的迅猛释放，供水与排水设施的运行状况直接关系到人类日常生活的安全与卫生，一旦供水系统水源受污或排水系统发生拥堵，均可能导致生活环境的重大风险，在特定场合，若安全防护装置未能妥善配备或遭受损坏，可能引致严重的危害至人的生命健康[1]。经济发展与水利工程的质量具有直接联系，在农业的生产过程中以及城市的基础设施建设环节，均需依赖稳定且有效的水利设施作为支撑，为了确保农业的持续性，必须拥有优良的灌溉设施，只有当供水和排水设施完善时，城市的可持续发展才能得到确保，在城市与乡村居民日常生活中，水利设施的可靠性扮演着不可或缺的角色，一旦该领域的工程品质出现瑕疵，不仅会直接冲击居民的基本生活需求，更会波及国家经济的稳定性。国家经济社会的持续发展依赖于水利项目的施工质量，水利设施的建造质量，若不达标，将对生态环境带来持久且无法恢复的负面影响，同时波及人类的生活质量和经济社会

的进展，若当地的水库建筑及河流治理项目未能确保施工质量，将可能导致该地区生态系统的失衡，水利工程项目若存在质量缺陷，可能招致土壤流失，进而导致水生生态系统退化，并造成对生物多样性及自然景观的永久性伤害。

1.2 质量是企业的信誉之本

在当前市场竞争愈发激烈的环境中，若企业意欲在竞争的浪潮中突显其独特性，那么产品的品质便是其不可或缺的支柱，优质的商品特性能够帮助构建公司正面的名誉形象，同时获取消费者信赖与支持，继而带来更高的市场份额以及维持企业的长期增值，在消费者心中，产品的品质如何，直接影响他们对品牌的信赖程度，追求卓越品质的商品，本质上体现了制造商对精湛工艺与技术细节的持续探索与完善，这种执着与努力，往往能够赢得顾客的信赖与赞同。产品质量如果不足，即便企业的市场推广活动颇具吸引力，亦无法持久地保持顾客的忠实度，品质控制是确保企业市场竞争力的根本，为持续成长打下稳固的基础，产品的品质不仅决定其在市场上的竞争能力，同时也直接作用于消费者的使用感受，为了迎合消费者不断扩大的需求与期望，企业必须致力于其产品的品质提升，在确保每个细节均符合最严苛的品质要求的背景下，先进的生产流程与精细的材料科学是制造高品质产品的关键因素。通过实施这些严谨的程序和规范，产品的安全与性能得到保障，从而使消费者能够安心使用，消除了他们的潜在顾虑，高品质的产品能够为企业创造持久的价值，高品质商品不但可以迅速增加企业的销售收入，而且能够持久地赢得顾客的忠实拥护和积极的口碑传播，优质产品能减少企业售后服务的财务负担，同时降低因维修和质量问题产生的非计划性费用，为企业带来更多的长期正面价值，处于一个竞争激烈的市场环境中的企业，若要保持在市场中的领先地位，就必须深刻认识到产品质量对企业的至关重要性，为了在市场竞争中获得优势并赢得用户的信赖，必须持续提供满足市场需求的高品质产品与服务，并对产品本身进行不断的质量优化[2]。

1.3 质量是社会责任的体现

身为国有的企业实体，我们承担着向公众提供高品质水利设施建设的使命，国家基础设施的构建中，水利设施占据着至关重要的地位，其不仅关联着国家的经济计划，同时也深刻影响着民众的日常生活，为工程品质的提升，是关乎承担社会责任、保障国家及民众利益的重要因素，国家基础设施的完善依赖于水利工程的品质提升，这直接关联到经济的增长与发展。可靠的水利基础设施不仅确保了国家的供水安全和防洪减灾，而且还优化了农业灌溉模式，从而显著提高了农作物的产量，对维护国家粮食自给和推动农业的持续增长起到了至关重要的作用，城市及工业用水得到保障，确保了城乡居民的清洁安全饮水需求，这不仅推动了城镇化发展，还促进了经济结构的优化升级，提升水利工程项目的高质量实施，同样对加固企业自身的品牌形象产生正面效应。企业的持久价值并不仅仅映射于外界的评价之中，它更深植于企业的本质属性之中，这种属性直接关联着企业的根本竞争能力与长期发展潜力，优良的水利项目能够建立公司技术能力和服务水平的正面评价，获得顾客的信赖与肯定，塑造公司在行业中的卓越品牌形象，进而促成更多的商业合作机会，确保企业的持续发展，为了迎合社会大众对高质量生活的期盼，提升水利工程的建造品质成为了一项重要任务。作为国有的企业实体，优先考虑的是符合社会的整体利益，进而实现社会效益的最大化，为了保障社会公众能够享有安全且稳定的水资源，必须对水利设施进行高标准的建设与维护，这样，民众才能实现安居乐业，并享受到优质便捷的生活服务，从而有效提升整个社会的幸福感和满意度，国有企业在提升水利工程项目质量方面，不仅是对其承担社会责任的体现，同时也旨在优化企业公众形象，并促进社会经济的稳定增长与可持续发展[3]。

2 水利工程施工管理质量控制措施

2.1 严格合同管理

在进行合同签订之前，必须就施工现场实地进行考察，以全面了解工程地质、水文等相关情况，确保我们对合同的合理性和可行性有充分的把握。这一步是非常重要的，只有通过深入的实地考察，我们才能够对工程所涉及到的各种地质和水文条件有充分的认识，从而在合同签订时提出准确的要求和合理的条款。而在合同执行过程中，我们还需不断强化与业主、设计方、监理单位等相关单位的沟通和协调工作，以确保工程质量能够符合合同约定的各项要求。这需要建立高效的沟通机制和顺畅的信息交流渠道，及时传达、反馈和处理各方面的意见和问题，以便及时调整和解决可能出现的工程执行中的不确定因素和风险，确保工程按时按质地完成。在合同执行过程中，我们还需要不断加强对工程质量的监督和检查，确保每一个环节和细节都符合合同约定的标准和规范。这包括对材料的选择和使用、施工工艺的操作和管理、安全生产的监管和防护等方面的全面把关，以及及时发现和处理出现的质量问题，保证工程质量不断提升和优化。

2.2 优化施工组织设计

根据工程的实际情况，制定科学合理的施工组织设计是确保施工进展顺利并最大程度降低风险的关键步骤。在制定施工组织设计时，需要明确定义各部门、各岗位的职责和权限，确保所有工作人员清楚了解自己的任务范围，有效地协同合作。这可以通过详细的施工流程图、责任矩阵等形式来体现，以澄清各项工作任务的分工和衔接关系。除了明确工作职责外，还需要在施工组织设计中充分考虑施工过程中可能出现的各种风险因素，例如安全隐患、材料供应不足、施工进度延误等，制定相应的应对措施和紧

急预案[4]。

2.3 加强原材料质量管理

在工程施工中，对进场的原材料进行全面检测是确保工程质量和安全的重要环节。全面检测可以包括外观检查、物理性能测试、化学成分分析等多方面的内容，以确保原材料的各项指标符合相关标准和规定。这需要充分利用现代化的检测设备和技术手段，在实验室和现场进行全面细致的检测工作，对原材料的质量进行客观、全面的评估。一旦发现有不合格的原材料，应当及时进行处理，严禁使用在工程过程中。处理方式可以包括退回供应商、报废处理等措施，以确保不合格材料不会影响到工程的质量和安全。同时，需要与供应商和相关部门进行沟通和协调，以便及时补充合格的原材料，以满足工程施工的需要。除了对原材料进行全面检测外，还需要建立健全的原材料质量档案管理制度，对于每一批次进场的原材料都要建立相应的档案记录，包括供应商信息、生产日期、检测结果、接收人员签字等内容，以便日后追溯和管理[5]。

2.4 强化现场监督

定期对施工现场进行监督检查是保障工程质量和施工安全的重要环节。监督检查的内容主要包括施工质量、安全管理、文明施工等多个方面，旨在发现和解决问题，确保工程施工过程中不出现质量和安全隐患，从而为工程施工提供有力支持。在进行监督检查时，应当着重关注施工质量方面。这涉及到材料使用、工艺操作、节点验收等多个方面，需要针对不同工序和工艺进行具体的检查和评估。同时，还需要对施工现场的安全管理工作进行重点检查，包括作业人员的劳动保护、施工设备的安全状态、现场巡查记录等内容。确保施工过程中各项安全措施得到有效执行，防范施工安全风险的发生。一旦在监督检查中发现存在问题，应当及时进行整改。这需要立即通知相关责任人进行整改，并在整改过程中给予必要的指导和帮助。同时，对问题的整改情况需要进行跟踪和复核，确保整改措施得到有效实施。对于已整改的问题，应当及时将整改情况记录在案，并形成闭环管理，以便后续的追溯和评估。监督检查工作需要建立完善的记录和档案管理制度。对于每一次监督检查，都要进行详细的记录，包括检查内容、发现问题、整改意见、整改结果等内容，形成完整的检查报告和记录。这将为今后的工程质量评估、追溯和事故调查提供重要的依据[6]。

2.5 提高员工素质

加强员工培训是企业提升核心竞争力和实现可持续发展的重要举措之一。通过不断提升员工的专业技能和质量意识，可以有效提高工作效率并减少错误和瑕疵，为企业创造更高的价值。员工培训不仅仅是为了提高员工的专业技能，更是为了激发员工的主动性和创造力。鼓励员工积极参与质量改进和创新活动，可以有效促进企业的持续改善和创新发展。在培训过程中，应注重培养员工的问题解决能力和创新意识，引导他们主动参与项目管理和流程优化，从而不断提高工程质量水平和整体绩效。为了实现培训的有效性和可持续性，企业需要建立健全的培训机制和体系，包括培训需求调研、培训计划制定、培训资源整合等多个方面。只有通过系统化、全面的培训体系，才能够确保员工能够获得及时、有效的培训和指导，不断提升自身的综合素质和专业能力。

3 结语

水利工程建设质量直接关系到国计民生，而施工管理质量控制则是确保水利工程质量的关键。采用精细化管理方法，包括强化合同管理、精心优化施工方案、严格原材料把关、强化现场监督检查、提升员工技能培训及建立有效激励机制等举措，能够全面提升水利工程施工质量，从而为水利事业的蓬勃发展提供坚实支撑和保障。

[参考文献]

[1]王俊昭.我国农业水利工程施工管理存在的问题及质量控制措施[J].乡村科技,2020(5):125-126.
[2]张雪芹.水利工程施工管理特点及质量控制措施的探讨[J].智能城市,2020,6(3):190-191.
[3]韦成.水利工程施工管理的质量控制措施分析[J].建筑技术开发,2020,47(1):105-106.
[4]赵壮.水利工程施工管理特点及质量控制措施探讨[J].工程技术研究,2020,5(1):172-173.
[5]杜婷婷.浅析水利工程施工管理的质量控制措施[J].建材与装饰,2020(3):293-294.
[6]皮华峰.水利工程施工管理特点及质量控制措施[J].河南科技,2019(35):90-92.

作者简介：黄相杰（1993.1—），毕业院校：塔里木大学，所学专业：农业水利工程，当前就职单位名称：新疆交通建设集团股份有限公司，单位职务：机关工程管理部部长、项目经理（挂过和田市水利局副局长）。

水陆两用土工膜自动铺设机研制与应用研究

姚俊霞　孟令勇
濮阳黄河河务局第一黄河河务局，河南 濮阳 457199

[摘要]堤坝防汛抢险是水利工程的重要环节，随着极端天气的增加，堤坝的防洪压力也在加大。传统的土工膜铺设方法效率低，特别是在水面或水下作业中，施工难度较大。为此，水陆两用土工膜自动铺设机应运而生，它集水陆两用、自动铺设等功能于一体，能够显著提高施工效率，减少人工干预，并增强作业安全性。本研究旨在分析自动铺设机在堤坝防汛抢险中的应用，通过探讨其技术特点、应用效果及经济性，评估其在提升堤坝加固作业效率和安全性方面的潜力。

[关键词]堤坝防汛；自动铺设机；水陆两用；土工膜
DOI：10.33142/hst.v7i11.14289　　中图分类号：TV441　　文献标识码：A

Research on the Development and Application of an Automatic Laying Machine for Amphibious Geomembranes

YAO Junxia, MENG Lingyong
Yellow River Puyang Bureau, First Yellow River Bureau, Puyang, He’nan, 457199, China

Abstract: Flood control and emergency rescue of dams are important links in water conservancy engineering. With the increase of extreme weather, the flood control pressure of dams is also increasing. The traditional method of laying geomembranes has low efficiency, especially in water surface or underwater operations, and the construction difficulty is relatively high. Therefore, the amphibious geomembrane automatic laying machine has emerged, which integrates amphibious and automatic laying functions, can significantly improve construction efficiency, reduce manual intervention, and enhance operational safety. The purpose of this study is to analyze the application of automatic laying machines in flood prevention and rescue of dams, and to evaluate their potential in improving the efficiency and safety of dam reinforcement operations by exploring their technical characteristics, application effects, and economics.

Keywords: dam flood prevention; automatic laying machine; amphibious; geomembranes

1 研发背景

1.1 堤坝抢险是江河防汛工作的重要内容

堤坝抢险是江河防汛工作的重要内容之一，是保护堤坝安全，防止洪灾的一个重要环节。堤坝是一种挡水建筑物，一般用土修筑，容易发生渗水、管涌、流土、漏洞、裂缝、滑坡、跌窝、堤岸崩塌、漫溢等险情，险情抢护基本原则就是“前截后导”、降低土体渗水量、延缓并制止土料流失，防止险情扩大并择机恢复堤坝。

1.2 土工膜在防汛抢险中得到广泛应用

土工膜不仅具有较高的强度，而且具有抗冲、耐磨、耐腐蚀、重量轻、整体性强、应用速度快、适应场地性强、运输方便、可重复利用和造价低廉等特点，具有良好的排水、反滤、隔离和对土体加筋等功能，在堤坝抢险中得到了广泛的应用并取得了良好的社会经济效益，成为了越来越来重要的抢险材料。

1.3 人工膜铺无法适应防汛形势发展需要

传统土工膜铺设多为人工操作，不仅费人费力，劳动强度大，而且作业效率低下，难以适应形势发展。

为了提高土工膜铺设和防汛抢险效率，我们在广泛汲取已有研发成果经验的基础上，自行开展了“水陆两用土工膜自动铺设机研制与应用”——这一课题的研发工作，并取得了良好的社会经济效益。

2 研发原理

本成果的研发主要运用了以下原理：

2.1 因果分析图原理

因果分析图（参见图 1）又称特性要因图、鱼刺图或石川图，是一种透过现象看本质、发现问题“根本原因”的分析方法，它于 1953 年由日本质量管理专家石川馨最早发明使用。

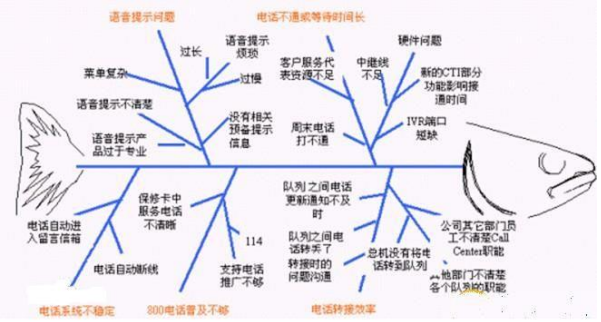


图 1　因果分析图示例

因果分析图以结果作为特性，以原因作为因素，通过

集思广益、发挥团体智慧，从各种不同角度，逐步查找问题所有原因或构成要素。它要求遵循四大原则：严禁批评、自由奔放、多多益善、搭便车。

因果分析图不仅直观、醒目、条例分明、运用方便，而且能够反映不同原因间复杂的相互关系及动态变化，从而有助于着手解决问题，得到了学术界及实业界的广泛重视。

本成果研发过程中，我们组织机械专家、防汛专家、一线抢险骨干与管理人员，充分应用因果分析图，对堤坝水工膜铺设的需求、存在问题、制约因素、解决思路与对策、传统方法的优点与不足和水陆两用堤坝土工膜铺设机功能需求、研制原理、技术路线、结构组成、性能要求等进行了全面系统的分析讨论，得到了大量的合理化意见与建议，从而确保研发工作的高效率、高质量开展。

2.2 模块化设计理论

所谓模块是指由元件和零部件组合而成的、具有某种确定独立功能、可组成系统、可兼容互换、单独制造的标准化子系统（单元）。不同模块可以通过接口与其他子系统发生联系而构成的更加复杂的系统，模块之间可分、可合、可互换；每个模块的研发和改进都独立于其他模块的研发和改进，每个模块所特有的信息处理过程都被包含在模块的内部，如同一个“黑箱”，相互之间通过通用接口相互连接。

机械设备模块化设计的一般步骤包括：①需求分析；②模块化策划；③模块划分；④模块的创建；⑤模块的组合。

模块化研发对提高研发质量与效率具有重大意义：第一，把一个系统分解成各个不同的子模块，不同的开发者专注于对其中某一模块的开发，一方面实现了劳动的分工，另一方面也提高了开发的效率。第二，对于开发者而言，基于模块化的开发具有更大的吸引力，其在参与开发过程中可以得到更高的期望收益。第三，模块化研发可有效抵制“搭便车”现象，更能调动开发者的积极性，促进整个系统的开发。第四，模块化研发有利于系统结构、性能的多样性，从而促进系统的优化，并可促进系列化，满足社会对产品的不同需求。

本成果研发过程中，我们在充分调研 基础上，将堤坝铺膜机按功能分解成了主机模块、控制模块、铺设模块、电源模块 4 大模块；同时，我们研发团队也分成了 4 个与模块相应的研发小组和 1 个整合小组，每个小组专注于 1 个模块的研发，分工协作，从而有效地推动研发工作的开展，并在基础上，通过多种组合、反复优化、持续改进，以最有效率的方式研制出了水陆两用土工膜自动铺设机。

2.3 结构力学原理

结构力学是研究工程结构受力和传力的规律、进行结构优化的学科。结构力学研究的内容包括结构的组成规则，结构在各种效应作用下的响应等。结构力学通常有三种分析的方法：能量法，力法，位移法，由位移法衍生出的矩阵位移法后来发展出有限元法，成为利用计算机进行结构计算的理论基础。

在本成果中，主要运用结构力学对水陆两用土工膜自动铺设机各组成结构的强度、刚度和稳定性，并对结构的优劣进行验算与评定。

2.4 价值工程原理

价值工程，也称价值分析，研究如何以最低寿命周期成本，来实现对象（产品、作业或服务等）的必要功能，并致力于功能分析的一种有组织的技术。

价值工程中所说的“价值”有其特定的含义，是一种“评价事物有益程度的尺度”。价值高说明该事物的有益程度高、效益大、好处多；价值低则说明有益程度低、效益差、好处少。价值工程把“价值”定义为：“对象所具有的功能与获得该功能的全部费用之比”，即

$$V=F/C$$

式中，V 为“价值”，F 为功能，C 为成本。功能（F）指产品或劳务的性能或用途，即所承担的职能，其实质是产品的使用价值。成本（C）是产品在全寿命周期内所花费的全部费用，是生产费用（C1）与使用费用（C2）之和。

价值工程的基本特点是：①以使用者的功能需求为出发点。②对功能进行分析。③系统研究功能与成本之间的关系。④努力方向是提高价值。⑤需要由多方协作，有组织、有计划、按程序地进行。

价值工程活动的全过程，实际上是技术经济决策的过程，其基本程序是：①选择价值工程对象。②收集有关情报。③进行功能分析。④提出改进设想，拟订改进方案。⑤分析与评价方案。⑥可行性试验。⑦价值工程成果评价。

本成果研发过程中，我们主要通过以下价值工程途径提高了水陆两用土工膜自动铺设机的价值：①在不改变产品功能的情况下降低寿命周期费用；②在保持产品原有寿命周期费用的情况下提高产品功能；③既提高产品功能，又降低产品寿命周期费用。

3 成果简介

3.1 结构

水陆两用土工膜自动铺设机由主机、铺设架、控制台、蓄电池、连接电缆及辅助用具用料等部分组成（参见图 2）。

图 2 水陆两用土工膜自动铺设机示意图

3.1.1 主机

主机是水陆两用土工膜自动铺设机的核心，既可在水上铺设土工膜，也可在水下铺设土工膜；安装相关辅导装置后，还可用于水下探漏、水下探测等作业。它又由履带底盘总成和低压潜水直流电机两部分下构成：

（1）履带底盘总成。它是主机的行走与承载结构，又由以下部分组成：①驱动轴和驱动轮（后轮）。位于履带底盘总成尾端两侧，由潜水低压直流电机驱动，起减速、传导动能、驱动行走式铺设机行走的作用；②前导轮（前轮）。位于履带底盘总成的前端两侧，起拉紧履带、前行引导作用；③支撑轮（中轮）。位于前后轮之间，起支撑履带、分担压力、降低地面压强的作用；④履带。位于履带底盘总成两侧，安装在驱动轮、前导轮、支撑轮之上，由驱动轮提供动力，走承载压力、抓地和行走作用。

（2）低压潜水直流电机。位于履带底盘总成尾端的上部，由低压直流电源供电，为行走式铺设机提供行走动力，同时起平衡、配重作用；

3.1.2 铺设架

铺设架是由金属管焊制而成的支架，安装行走式铺设机前端，用以支撑土工膜铺放绳（见图3）。

图3 铺设架形状与结构示意图

3.1.3 控制台

控制柜是水陆两用土工膜自动铺设机的电气控制部分，由蓄电池供电，经连接电缆与行走式铺设机的潜水低压直流电机相连。它的控制面板上，设有电源指示灯、电压显示屏、电流显示屏、电源开关和前进、后退、停止等控制按钮，能够监视电源状态并控制行走式铺设机的运动。

3.1.4 蓄电池

蓄电池由两组串联的铅酸蓄电瓶构成，在控制柜的控制下为行走式铺设机提供直流电（24V）动力。

3.1.5 连接电缆

连接电缆用于连接蓄电池——控制柜——主机，宜选用优质三相防水电缆，长度视土工膜铺设工作需要而定。

3.1.6 辅助用具用料

辅助用具用料包括：①钢管。用于卷放土工膜或土工膜软体排，并以其自重为铺放提供下行动力。②绳索。用于土工膜或土工膜软体排铺放和控制，可选用优质麻绳或尼龙绳等。

3.2 工作原理

水陆两用土工膜自动铺设机工作的电气原理（参见图4）是：蓄电池通过电缆向控制柜供电；在控制柜内，直流电经到过熔断器到达指示灯和电源总开关（SB 总）前端，指示灯亮表示电源正常；闭合电源总开关（SB 总）后，电压表显示电源电压情况；前进按钮开关（SB 正）、后退按钮开关（SB 倒）和停止按钮开关（电路图中不显示）为互斥组合开关，前进按钮开关按下时后退按钮开关弹起，潜水直流电机正转，带动主机前进，进行水工膜铺设作业；后退按钮开关按下闭合时前进按钮开关弹起断开，潜水直流电机反转，带动主机后退，退出水工膜铺设作业；停止按钮开关按下三个同时复原，主机停止于所在位置。

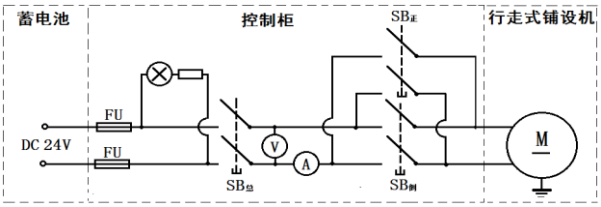


图4 水陆两用土工膜自动铺设机电气原理图

水陆两用土工膜自动铺设机行走原理是：当前进按钮开关闭合时，主机在潜水低压直流电机的驱动下，向前行进，通过铺设架架起被卷入土工膜内的绳索并不断前行，以力矩作用（包括绳索力矩和土工膜重力力矩）推动土工膜卷体以向前下方滚动，完成铺设作业；作业完成后，按下后退按钮开关，主机退回；随后，土工膜卷体钢管由绳索拉回。

3.3 主要技术参数

水陆两用土工膜自动铺设机的主要技术参数如下：

（1）电源电压：DC 24V

（2）作业最大深度：可达水面以下 6m

（3）铺设作业宽度：4m

（4）铺设作业长度：20m

（5）最大作业坡度角：50°

3.4 使用操作

3.4.1 准备工作

准备工作包括：

（1）设备的安装与检查。由于该设备体积小，重量轻，携带方便，可用小卡运送，人工装卸。按照铺设作业需要，调好设备位置。安装方法参照“（一）结构”介绍进行；检查内容主要有：电源工作状态的电压、电流；电缆有无破损，是否断路；控制柜操作是否正常；行走式铺设机运行是否正常。

（2）土工膜或土工膜软体排卷体制作。按照防汛抢险或工程设计要求进行制作，先将土工膜或土工膜软体排展开平铺于平整地面，用一适合长度和直径的钢管作轴，将两条优质绳索系于钢管合适位置并沿土工膜或土工膜软体长度方向放好、拉直，然后从一端开始依次卷起，便成为卷体。需要说明的是，水上铺设作业部分宜制作成土工膜，水上铺设作业部分宜制作成土工膜软体排卷体，以确保土工膜或土工膜软体能够较好地贴附于堤面。

（3）土工膜或土工膜软体排卷体摆放。将制作好土工膜或土工膜软体排卷体放置在行走式铺设机前方适合

位置，并调整好方向。

（4）绳索安放。将卷内两根绳索的游离端穿过铺设架两端的穿绳环，并固定于合适的位置；同时，在卷体钢管两端各系一条绳索，用于控制或调整铺放方向。

3.4.2 铺设作业

（1）启动。准备好之后，先按下控制柜电源总开关，接通电源，检查电源是否正常；按下前进按钮开关，启动铺膜工作。

（2）铺膜。启动之后，行走式铺设机将平衡向行进，不断提升卷体内绳索，产生力矩作用，并与卷体自身重力矩共同推动卷体向前下方移动，完成铺膜作业（参见图 5）。此时，如果发现方向偏差，可用 4 根绳索进行调整，以保证铺设方向正确。如果出现意外情况，可按下控制柜的停止开关，暂停作业，待具备作业条件时再恢复作业。

图 5　水陆两用土工膜自动铺设机作业现场图

（3）退回。当土工膜或土工膜软体排铺设完毕后，按下控制柜的停止开关让主机停止，然后再按下后退开关，让主机平稳后退，直到退回到水面以上或起始处。

（4）移位。根据作业设计，将水陆两用土工膜自动铺设机移到下一个作业位置，重复以上三步操作，直到所有铺设作业完成。

3.4.3 收工

（1）保养。作业结束后，要清洁设备、检查设备是否有损毁情况，并进行针对性的保养维护，确保设备状态良好。

（2）拆卸。按照安装的相反程序，拆卸水陆两用土工膜自动铺设机并整理后，装车运回。

注意事项：①认真读懂使用说明书，掌握结构和性能，切忌囫囵吞枣、自以为是，不能充当“百事通”；②要遵循操作规程，维护保养要讲究方法，切忌马马虎虎，不能盲目操作；③设备一旦出现问题，应立即停止作业，及时进行维护和保养，不得带病作业。

4 创新点

本成果的主要创新点主要表现以下方面：

4.1 机械代替人工，实现堤坝铺膜作业机械化

本成果成功实现了以机械作业代替传统人工作业，实现了堤坝抢险中的铺膜作业的机械化。这不仅极大地降低了铺膜作业的劳动强度和施工成本、改善了施工作业条件、降低了人工作业的危险，而且显著地增强了铺膜质量的可控性、提高了铺膜的效率和质量，对提升防汛抢险效能具有重大意义。

4.2 兼具陆上和水下两栖作业，提高了铺膜作业的适应性

传统土工膜人工铺设对水面以上的陆地作业比较适应，作业效率和作业质量都较高，但一牵涉到水下铺设，不仅危险，而且难以保证质量，更别说效率。本成果成功地突破了这一限制，不仅适应水面以上的陆地作业，也适合水面以下作业，而且作业效率与作业质量都比较好，对提高堤坝抢险效能具有重大意义。另外，本铺膜机加装相关辅导装置后，还可用于水下探漏、水下探测等作业。

4.3 采用分体设计，有效提高了项目研发的价值

本成果研发过程中，科学运用价值工程原理，采用分体设计方案——将水陆两用土工膜自动铺设机主体和控制柜分开，不仅有效地降低了设计开发难度和设备开发与制造的成本，而且有效规避一体化设计必然导致的能效降低、安全系数降低、重心上移、稳度和爬坡能力下降、故障率升高等一系列问题，从而在大大降低成本的情况下有效地提高设备性能，显著地提高项目研发的价值。另外，分体设计也便于运输和装卸。

4.4 模块化设计，性能可靠，成本低廉，利于社会化生产与迅速普及应用

本成果采用模块化设计，履带底盘总成、潜水直流电机、控制台、蓄电池等主要部件都采用通用型标准件，可直接由相关专业厂家生产供货，不仅质量性能有保证，而且部件成本低廉，从而有效地降低了整体生产的条件要求、技术难度和成本费用，便于社会化生产与迅速普及应用。

4.5 蓄电池供电，有效增大了施工环境的适应性

本成果采用蓄电池供电，有效地规避了对供电源的依赖，从而确保了无供电环境下的施工要求。特别是，既使在无专用蓄电池或蓄电池出现故障的情况，也可从运输车辆上直接取电，不至于造成停工。

[参考文献]

[1]侯小波.沥青防水卷材自动铺设机的研发[D].北京:北京工业大学,2010.

[2]王金钢,刘昌盛,罗颖,等.SWE400F-SL 型防汛抢险救援水陆两用多功能智能装备[J].工程机械,2024,55(5):216-220.

[3]王功富.水库施工中土工膜防渗技术及质量控制研究[J].水利科技与经济,2024,30(7):133-137.

作者简介：姚俊霞（1974.11—），女，毕业于中央广播电视大学，专业：水利水电，大专学历，就职于濮阳黄河河务局第一黄河河务局，职称：工程师。

水利工程软岩隧洞开挖与支护施工研究

王 东
昌吉市水利管理站（三屯河流域管理处），新疆 昌吉 831100

[摘要]在水利工程领域，特别是在软岩环境下，隧洞的开挖与支护施工面临着极大的挑战。作为典型的大型水利项目，努尔加水库工程的复杂性尤其显著。该工程涉及的导流洞、放水洞和表孔溢洪洞等隧道系统，对工程技术的要求极为严格。这些隧洞的建设不仅需要精确的施工技术，还必须确保工程进度和安全性。当前，在软岩条件下进行隧洞开挖及支护结构的稳定性保持，成为了关键研究课题。文章通过对不同隧洞类型施工方法的深入探讨，旨在揭示这些挑战的解决方案，并为类似项目的实施提供有价值的参考。

[关键词]水利工程；软岩隧洞；开挖施工；支护结构；技术挑战
DOI：10.33142/hst.v7i11.14312　　中图分类号：TV672.1　　文献标识码：A

Research on Excavation and Support Construction of Soft Rock Tunnels in Hydraulic Engineering

WANG Dong
Changji Water Conservancy Management Station (Santun River Basin Management Office), Changji, Xinjiang, 831100, China

Abstract: In the field of hydraulic engineering, especially in soft rock environments, tunnel excavation and support construction face great challenges. As a typical large-scale water conservancy project, the complexity of the Nurga Reservoir project is particularly significant. The tunnel systems involved in this project, such as diversion tunnels, drainage tunnels, and spillway tunnels, have extremely strict requirements for engineering technology. The construction of these tunnels not only requires precise construction techniques, but also must ensure project progress and safety. Currently, maintaining the stability of tunnel excavation and support structures under soft rock conditions has become a key research topic. The article aims to reveal solutions to these challenges and provide valuable references for the implementation of similar projects through in-depth exploration on construction methods for different types of tunnels.

Keywords: water conservancy engineering; soft rock tunnel; excavation construction; supporting structure; technical challenges

1 工程概况

努尔加水库工程坝址位于昌吉市三屯河山口上游约2km 处，坝型为沥青混凝土心墙坝，枢纽主要建筑物有：拦河坝、表孔溢洪洞、导流兼泄洪排沙洞和放水洞组成。表孔溢洪洞、导流兼泄洪排沙洞和放水洞均布置在左岸，左岸基岩裸露，岩性为砂砾岩，导流泄洪洞、溢洪洞和放水洞洞室围岩主要为Ⅳ类。

表孔溢洪洞全长约 511m（不含消力塘），洞身为 7.2m×8.8m 的城门洞型。导流兼泄洪排沙洞洞身全长 640m（不含消力塘），进口隧洞洞身为 6.0m×6.5m 的城门洞型，洞身段为 5.0m×6.8m 的城门洞型。放水洞为压力洞，全长 573m，进口隧洞洞身为 4.0m×5.0m 的城门洞型，洞身段为直径 4.0m 的圆型断面。

2 导流洞开挖

导流兼泄洪排沙洞全长 640m，为了确保施工进度与安全，采用了“短进尺、强支护、快封闭、勤量测”的方法进行施工。上半洞的边顶拱由风镐完成开挖，开挖 1～2m 后，随即展开钢支撑的安装、挂网和喷射混凝土作业。混凝土的厚度与强度将根据围岩的实际情况进行调整，以确保隧洞结构的稳定性。达到预定挖掘距离后，下半洞的开挖由挖掘机接手，小型设备被用来剔除欠挖部分，确保隧洞断面符合设计要求[1]。弃渣通过自卸汽车运至指定的弃料场，从而减少对施工区域的干扰。

竖井的高度为 57m，开挖由挖掘机自上而下逐层进行，每两米开挖后，挂网喷护作业立即展开。此过程旨在增强围岩稳定性，防止局部坍塌或岩石掉落。出渣工作由 50 吨吊车完成，渣土由挖掘机装入吊罐后，吊车将其提升至地面平台，再由自卸车将渣土运至弃料场。为了确保施工安全，现场安装了多台监测设备，实时监测围岩和支护结构的动态变化，并依据监测数据对施工方案进行及时调整。

在施工过程中，超欠挖的控制至关重要。挖掘精度必须保持严格，支护方案也将依据监测数据进行优化，以应对围岩变形和应力释放可能带来的风险。钢支撑、挂网与喷护作业紧密衔接，所有施工步骤均按照设计标准执行，以避免支护不及时可能导致的安全隐患[2]。出渣方案经过精心设计，出渣的路径与频率被合理规划，既减少了现场的拥堵，也有效降低了环境污染的风险。

3 放水洞开挖

放水洞，全长 573.342m，为压力洞。采用了免爆机械与挖掘机相结合的裸挖方法，确保了施工的高效性。在

开挖过程中，超欠挖的严格控制措施被实施，以确保隧洞形状符合设计要求。圆形断面开挖期间，技术总工及地质专家对现场进行了查勘。基于地质条件的详细分析，决定无需额外的支护。这一决策，不仅提升了施工效率，还避免了支护材料的浪费。

竖井的高度为45m。开挖工作从上游进口段开始，逐步推进至闸井部位。钻机在开挖前钻通了闸井，形成了与上游洞室的连接，确保了有效的出料通道的建立。接下来，挖掘机从上至下进行分层开挖，每开挖两米后立即完成挂网喷护，增强了岩体的稳定性，保证了洞室结构的安全。弃料通过出料通道卸至进口洞室，再由自卸汽车运送至弃料场。

在竖井开挖过程中，围岩的变化被实时监测，施工方案也因此根据监测数据进行调整。这种方法最大限度地降低了围岩变形的风险。通道式出渣方案的采用，提高了出渣效率，并避免了竖井内渣土堆积对施工进度的影响[3]。通过先进机械设备与技术手段的合理运用，施工人员不仅提升了施工效率，还降低了施工风险，确保了施工质量与安全标准。

4 表孔溢洪洞开挖

全长511.341m的表孔溢洪洞（不包括消力塘），其洞身断面为7.2m×8.8m的城门洞型。在施工过程中，斜坡段、反弧段及渐变段的高程问题，通过“短进尺、强支护、快封闭、勤量测”的开挖方法得以应对，确保施工的稳定性与安全性。作业从洞顶拱开始，由挖掘机械对上半洞进行开挖。开挖至1～2m的深度后，钢支撑的安装、网片的挂设与混凝土喷护工作被立即进行。喷护层的厚度设定为10cm。待开挖进度满足要求并确保作业空间足够后，挖掘机将继续对下半洞进行开挖。通过这种开挖与支护的交替进行，超欠挖现象得到了有效控制，隧洞形状保持了良好的准确性。

对于斜坡段与反弧段的复杂地质条件，特别的支护措施被引入。高程的调整与支护结构的精准配置，在确保施工安全与进度方面，发挥了关键作用。每一段开挖完成后，必须及时执行支撑与喷护，以防围岩出现松动或坍塌。通过这种循环实施的工序，避免了开挖过程中可能出现的结构问题。在开挖过程中，对不确定性的有效应对成为重点。精细的测量与实时监测使得施工方案能够迅速调整，从而保障了施工的准确性与安全性。围岩的预处理以及支护措施的加强，显著减少了岩体应力释放的问题，提升了开挖过程的稳定性。弃料通道与储存方案的合理配置，确保了弃料处理的高效，避免了施工现场的拥堵，提高了施工效率，保证了表孔溢洪洞开挖工程的安全顺利完成。

5 浅析优缺点

5.1 导流洞的优势与不足

导流洞的洞身较长，长度使得施工时间成为关键。为保证项目顺利推进，在0+144位置设置了一条支洞，使得进口、出口、支洞上游、支洞下游及竖井五个工作面能够同时开挖。这种多工作面的开挖方式大大提高了施工效率，尤其是在洞身全线贯通前的关键节点起到了重要作用。施工组织团队精心安排了开挖进度，确保当年11月下旬进行洞身开挖，次年3月下旬洞身全线贯通，为4月的砼浇筑工序提供了足够的时间缓冲。

虽然这种施工方案在工期保证上表现良好，但在实施过程中也暴露出一些问题。五个工作面的同步作业带来了较高的施工协调难度。各工作面之间的距离和作业状态不同，可能导致相互干扰。隧洞的长度意味着通风、照明、排水等辅助设施的布置更加复杂，尤其是在洞内深处，工人面临着较差的作业环境。为了解决这一问题，施工方需要配备更加专业的设备和设施，进一步增加了施工成本[4]。此外，多个工作面同时开挖的作业模式，虽然加快了进度，但在不同工序的衔接和各个工作面之间的协调上存在更高的要求，需要施工管理者具备出色的组织能力。

5.2 城门洞型隧洞的开挖策略

对于城门洞型隧洞的开挖，采用了“短进尺、强支护、快封闭”的施工方法。该工艺强调在短距离内快速完成每个工序，避免长时间裸露引起的隧洞不稳定问题。风镐技工严格按照设计断面进行操作，特别是在边顶拱的位置，作业人员优先开挖，以减少岩层的应力释放。每当开挖进度达到2m，立即安装一期支护钢拱架，能够防止由于基岩应力释放带来的塌方危险。支护钢拱架采用了科学设计，由主筋和附筋组成“△”形结构，确保结构稳固并具备足够的承载能力。拱架与基础之间通过钢脚板进行连接，并在榀与榀之间利用螺纹钢筋进行加固。每榀拱架之间的间距为1m，整体结构通过挂网喷砼进一步加固，喷砼厚度为10cm，确保隧洞结构的整体稳定性，快速且高效地进行隧洞开挖，同时确保了隧洞的安全性。

由于支护钢拱架的安装需要较高的精度和技术水平，施工队伍的技术能力直接影响到工程的质量。此外，强支护和快封闭的施工策略虽然能够有效减少风险，但也增加了施工时间的紧迫性，稍有疏忽可能导致支护不及时、工序延误等问题。为应对这些挑战，施工方应在施工前期加强人员培训，提高技工的作业水平，同时通过合理的工序安排确保各环节的顺畅衔接。

5.3 放水洞的竖井开挖

在竖井开挖之前，首先将上游进口段洞室开挖至闸井部位，随后采用钻机将闸井与上游洞室联通。这一措施的目的在于形成一个通畅的出渣通道，大幅提高了竖井开挖时的出渣效率。相比于导流洞开挖中采用吊车吊运料斗、挖掘机装渣的方式，放水洞竖井的出渣方式显著简化，避免了吊车吊升和装运步骤，节省了大量时间和资源。通过钻通形成的出渣通道，不仅提高了出渣速度，也大大减少

了竖井施工中可能产生的物料堆积问题，确保施工现场整洁、顺畅。然而，竖井的高度使得在开挖时需要特别关注安全性，尤其是地质条件复杂的情况下，竖井的结构稳定性成为施工的重点难题。为保证施工质量，施工方应通过实时监测系统来掌控竖井的地质情况，并根据现场情况随时调整开挖方案，确保施工进度与安全兼顾。

5.4 技术挑战与改进方向

隧洞施工过程中，各类隧洞的开挖方法与技术手段展示了其独特的优点，但也暴露了若干技术难题。导流洞在多工作面同时作业的情况下，显著提高了施工进度，但也对施工管理与协调能力提出了更高的要求。随着多个作业面同时推进，资源配置、设备调度和人员协调等问题的复杂性大幅增加，这使得施工管理的难度显著加大。进度的不均衡问题也时有发生，这就要求管理者具备卓越的应变能力，及时调整施工计划，以确保各个工作面顺利衔接。尽管导流洞的多面作业显著缩短了工期，提高了施工效率，但施工管理的要求随之提升。如何在多个作业面之间实现进度协调，以免因一个工作面的滞后而影响整体项目进度，是施工管理中的一项重大挑战。解决这一挑战的关键在于灵活而精准的现场管理，通过实时调整施工计划和利用信息化手段监控进展，方能确保项目的顺利推进。隧洞内环境复杂，包括通风、排水和照明等问题，都必须得到妥善处理，以保证施工的顺利进行。城门洞型隧洞的开挖中，“短进尺、强支护、快封闭”的策略提升了安全性，但也带来了更大的施工复杂性和组织难度。该类型隧洞的结构设计较为复杂，特别是在开挖边顶拱过程中，对技术人员提出了较高要求。为防止塌方等风险，需要采取多层安全措施。虽然强支护策略在提高安全性方面表现突出，但对材料的需求也显著增加，尤其是在钢拱架的安装和支护材料的选用方面，需要经过严格计算和规划，以确保施工结构的稳定性。

城门洞型隧洞的施工还要求技术人员根据地质条件灵活调整支护措施，以防基岩应力释放带来的风险。尽管通过密集的拱架和支撑，上部结构得到有效保护，但下部开挖作业仍面临挑战。在实际操作中，工人需不断调整施工方法，这一动态调整的过程考验着管理者的统筹能力及技术人员的应变能力。未来，城门洞型隧洞施工中的重点在于优化支护策略、降低施工成本，并提高作业效率。放水洞竖井的开挖工艺采用钻通闸井以形成出渣通道，这一方法相较于传统吊斗方式显著提升了出渣效率。然而，高度达 45m 的竖井施工带来了更高的安全风险，设备的性能要求也更为严格。竖井下部开挖过程中，地质条件的变化可能对施工安全产生影响，特别是当基岩的应力分布不均时。竖井施工应实施严格的安全监控，实时监测基岩稳定性，并根据地质条件的变化调整施工方案，以确保施工安全。尽管放水洞竖井的出渣工艺提升了效率，但高竖井施工的复杂性和安全隐患不容忽视。相比传统的吊车吊斗方式，钻机形成的出渣通道虽然提高了效率，但也带来了新的风险。未来，放水洞竖井施工中可以考虑引入更多智能化设备，例如自动化排渣系统和无人化设备，以减少人工操作的风险，提升工作效率，并降低事故发生率。

未来的隧洞施工需要充分考虑引入智能化与自动化设备，以解决当前面临的技术挑战。无人机的应用能够显著提高隧洞巡检的效率，尤其在狭长且复杂的隧洞环境中，传统人工巡检不仅费时且难以全面覆盖。无人机通过 3D 扫描技术，可实时生成隧洞的三维模型，从而提供精确的数据支持，确保施工的精准性。建立信息化管理平台能够实时记录并分析施工进度，优化施工流程，减少不必要的延误。在多个工作面同时作业的情况下，数据化管理有助于协调各工作面的进展，避免资源浪费和工期延误。自动化排渣系统及无人化设备的应用，特别是在高风险区域如竖井的开挖中，能够减少人工操作的风险。通过将高危险任务交由智能设备完成，施工人员的安全性得以大幅提高，同时施工效率也显著增强。尽管智能化设备的初期投入较高，但从长期来看，这些设备能够显著降低人工成本，并提升施工效率和质量。在成本控制方面，通过合理规划材料的使用、优化支护策略，也可以在保障施工安全的前提下进一步减少开支。

6 结语

努尔加水库工程的隧洞开挖与支护施工，展现了在复杂地质条件下应对技术挑战的有效策略。实施的“短进尺、强支护、快封闭、勤量测”方法，成功地解决了施工过程中遇到的各种问题，确保了项目的顺利推进及工程的安全性。通过这些策略，施工效率得到了显著提升，同时隧道结构的稳定性也得以保持。然而，施工过程中暴露出的问题，如施工协调的难度增加以及恶劣环境条件带来的挑战，突显了需要进一步优化施工方案的必要性。未来，技术创新与管理优化将成为提高施工效率与安全性的关键因素。展望未来，通过持续改进与创新，水利工程施工将变得更加高效和安全，为实现工程目标提供坚实的保障。

[参考文献]

[1]杨树波.新型全长预应力锚在输水隧洞支护中的应用试验[J].水利科学与寒区工程,2023,6(12):96-98.
[2]晏明.水利工程小断面隧洞开挖与支护施工研究[J].中国高新科技,2023(16):145-146.
[3]汪义安.针对水工隧洞支护结构的耦合性力学作用性分析[J].水利科技与经济,2024,30(6):44-48.
[4]潘纯.隧洞下穿煤层段开挖支护施工技术在水利工程中的应用[J].东北水利水电,2022,40(5):11-13.

作者简介：王东（1973.5—），毕业院校：新疆农业大学，当前就职单位名称：昌吉市水利管理站（三屯河流域管理处）职称：副高级职称，职务：工程科科长。

城市引水工程施工技术的发展趋势与挑战探讨

罗 文
江西省水投建设集团有限公司，江西 南昌 330029

[摘要]城市引水工程是城市水资源供应的关键设施，决定着城市的生存发展和居民生活品质。近年来，随着科技的不断发展和城市化进程的加速，城市引水工程施工技术也在不断进步。文中对当前城市引水工程施工技术的发展趋势进行了较为深入的研究，认为微隧技术、数字化技术、绿色施工技术和智能施工技术等高新技术日益得到了广泛应用；同时，面对环境保护、经济效益、工程质量和安全等方面的挑战，以及工程施工中存在的工作环境恶劣、物料仓储困难、人员素质低下和合作机制不明确等问题，提出了相应的对策和建议。希望能为城市引水工程的实施、管理和推广提供有益的参考，促进城市引水工程施工技术的发展和创新。

[关键词]城市引水工程；施工技术发展；高新技术应用；工程挑战；施工创新
DOI：10.33142/hst.v7i11.14311 中图分类号：TU99 文献标识码：A

Exploration on the Development Trends and Challenges of Construction Technology for Urban Water Diversion Projects

LUO Wen
Jiangxi Water Investment Construction Group Co., Ltd., Nanchang, Jiangxi, 330029, China

Abstract: Urban water diversion projects are key facilities for urban water resource supply, determining the survival and development of cities and the quality of life of residents. In recent years, with the continuous development of technology and the acceleration of urbanization, the construction technology of urban water diversion projects has also been constantly improving. The article has conducted a relatively in-depth study on the development trend of current urban water diversion project construction technology, and believes that high-tech such as micro tunneling technology, digital technology, green construction technology, and intelligent construction technology are increasingly being widely applied; At the same time, in the face of challenges in environmental protection, economic benefits, engineering quality and safety, as well as problems such as poor working environment, difficult material storage, low personnel quality, and unclear cooperation mechanisms in engineering construction, corresponding countermeasures and suggestions have been proposed. I hope to provide useful references for the implementation, management, and promotion of urban water diversion projects, and promote the development and innovation of construction technology for urban water diversion projects.

Keywords: urban water diversion projects; development of construction technology; application of high-tech; engineering challenges; construction innovation

引言

城市引水工程是城市基础设施建设的重要组成部分，它的功能和性能直接关系到了城市的持续发展以及居民生活质量的水平。城市引水工程施工技术，影响了工程的建设速度、建设质量以及工程的运营管理。因此，研究城市引水工程施工技术的发展趋势和面临的挑战，以期能提升施工效率，保证工程质量，降低施工成本，对实现建设“绿色城市、智能城市”的目标具有十分重要的意义。近年来，随着科技的飞速发展，以微隧技术、数字化技术、绿色施工技术和智能施工技术等为代表的新技术在城市引水工程建设中得到了广泛的运用，它们的显著性能，丰富的应用效果，激发了我们对城市引水工程进一步研究和探寻的兴趣。然而，在快速发展的同时，我们也发现城市引水工程施工技术同样面临着环境保护、经济效益、工程质量与安全等方面的挑战，以及特殊的工作环境、物料仓储等实际操作问题。据此，我们期待通过本篇文章的深入研究，为推动城市引水工程施工技术的进一步发展和创新提供新的思路和方法。

1 城市引水工程施工技术的发展趋势

1.1 微隧技术在城市引水工程中的应用

微隧技术，作为一种非开挖施工技术，近年来在城市引水工程中得到了广泛应用，并显示出显著的优势和潜力[1]。该技术通过在地下掘进高精度的小口径隧道，从而解决传统开挖施工带来的各种问题，如地面交通干扰、环境破坏以及高昂的修复成本等。

微隧技术应用的核心装备是微型盾构机，其具有体积小、操作灵活及施工效率高等特点，可以在狭窄、复杂的城市地下环境中进行高精度施工。微隧技术的应用不仅极大地降低了对地表建筑和设施的干扰，还有效减少了对周边环境的破坏，符合现代城市绿色施工的理念。

在具体应用方面，微隧技术在跨越交通要道、铁路、河流等障碍的引水管道铺设中展现出巨大优势。借助微型

盾构机，可以在地表不需要大规模开挖的前提下，完成复杂地质条件下的管道铺设工作，这对减少施工周期、降低工程成本有着重要意义。

微隧技术的另一个重要应用是地下管廊建设。随着城市化进程的加快，城市地下空间的利用越来越受到重视。微隧技术通过精确掘进，可以为城市引水等各类市政管线提供安全、可靠的地下通道。通过微隧施工，不仅优化了城市地下空间布局，也提高了地下空间利用率，保障了管线的安全性和耐久性。

需要指出的是，尽管微隧技术在城市引水工程中展现出诸多优势，其应用过程中仍面临诸如技术复杂、设备昂贵和操作人员培训等问题。解决这些问题不仅需要技术的不断创新和发展，还需要行业内外的广泛合作，共同推动微隧技术在城市引水工程中的深度应用和推广。

1.2 数字化技术推动城市引水工程的发展

近年来，数字化技术在城市引水工程中的应用日益广泛且日渐深入，成为推动引水工程发展的重要引擎。数字化技术通过信息化手段将各项施工环节进行前瞻性安排，有效提升施工作业的精确度和效率。例如，BIM（建筑信息模型）技术已经成为引水工程设计、施工与管理的重要工具，通过三维模型的建立，实现对施工全过程的动态模拟和管理，从而优化资源配置，减少设计变更和施工误差。

引水工程施工过程中，GIS（地理信息系统）技术的应用，也极大促进了信息的集成和共享，使得施工现场的环境数据、地质条件、水文数据可以实时获取和分析，从而提高了工程规划与决策的科学性[2]。传感器技术和物联网（IoT）技术的结合，能够实现对工程机械设备、结构安全、施工环境等方面的实时监控，确保施工过程的安全与稳定。

云计算和大数据分析技术为施工管理提供了强有力的支持，通过对海量数据的快速处理和分析，施工各个环节的决策准确性和及时性得到显著提升，提高了工程的整体效率和质量。数字化技术的广泛应用，使得城市引水工程更加智能、高效，标志着工程建设朝着数字化、智能化方向迈进。

1.3 绿色施工技术和智能施工技术在城市引水工程中的作用

绿色施工技术在城市引水工程中通过减少能源消耗和施工废弃物，实现了资源的可持续利用。智能施工技术则依托物联网、人工智能和大数据分析，提高了施工过程的自动化和精确性。这两项技术不仅提升了施工效率和工程质量，降低了对环境的负面影响，有助于实现城市引水工程的可持续发展。通过引入这些先进技术，工程施工更加环保、智能，为未来城市水资源管理提供了强有力的支持。

2 城市引水工程施工中的挑战与问题

2.1 城市引水工程施工中环境保护的挑战

在城市引水工程施工过程中，环境保护成为一个日益突出的挑战。这主要体现在以下几个方面。

第一，施工过程中的水体污染问题尤为严重。城市引水工程常需穿越河流、湖泊等敏感水体区域，施工过程中产生的泥浆、润滑剂和废水如果处理不当，极易导致水体污染。尤其是在大规模掘进和挖掘作业中，土壤沉积物与地下水源接触，可能引发二次污染，进而威胁城市水源的安全性[3]。

第二，大规模工程建设中植被破坏和土壤侵蚀问题难以避免。施工需清除沿线的自然植被，导致生态系统被破坏，这对当地的动植物生存环境产生了不利影响。而裸露的土壤在风雨的作用下，易发生侵蚀现象，导致土壤肥力下降，甚至可能使一些地区沙化，带来更严重的生态环境问题。

第三，施工噪音和粉尘污染也是环境保护面临的重大挑战。引水工程施工通常集中在城市周边，施工机械和运输设备的操作过程中不可避免地产生大量噪音以及粉尘，这不仅影响城市居民的生活质量，也对空气质量造成不良影响。长期的施工噪音和粉尘污染还可能引发居民的健康问题，如呼吸道疾病和听力损伤等。

第四，城市引水工程施工还面临废弃物处理的难题。施工过程中产生的建筑垃圾、废旧材料需要妥善处理，如果处置不当，将直接污染施工场地周围的环境，甚至带来更广泛的生态危害。

在城市引水工程的施工中，需要采取一系列有效的环境保护措施。例如，严格按规定处理施工废水，采取环保型润滑剂和泥浆；施工完毕后立即进行植被恢复，防止土壤侵蚀；采用降噪设备和污染防治设施，减少噪音和粉尘污染；制定详细的建筑废弃物处理方案，以减少对环境的影响。通过科学合理的环保措施，降低施工对环境的负面影响，从而实现城市引水工程的可持续发展。

2.2 城市引水工程施工的经济效益和工程质量问题

城市引水工程的施工过程中，经济效益和工程质量是两个关键问题。经济效益方面，施工过程需要耗费大量的人力、物力和财力，工程费用控制压力巨大。尤其在资金资源有限的情况下，成本超支问题可能导致项目停工或延期，直接影响城市水资源的供应和居民用水安全。工程质量的高低直接关系到项目的长期运行和维护费用。劣质施工可能引发管道渗漏、破裂等问题，增加后期维护成本，甚至需要重新施工，进一步增加经济负担。

在确保工程质量方面，施工设计、材料选择、施工过程监控等环节均需要严格把关。但在实际操作中，技术标准不统一、施工人员技术水平参差不齐、监理不力等问题普遍存在，导致工程质量参差不齐[4]。为实现经济效益和工程质量的双重目标，需要引入先进技术和科学管理手段，加强培训提高人员素质，优化施工设计和流程，严格控制施工成本，并建立完善的质量监督机制，确保每个环节的高效和优质。

2.3 施工环境恶劣物料仓储困难人员素质低下和合作机制不明确等问题探讨

施工环境恶劣、物料仓储困难、人员素质低下和合作

机制不明确是城市引水工程施工中的主要问题。施工环境恶劣导致工人作业条件差，物料仓储困难增加了物资管理与调度的复杂性，人员素质低下影响施工质量和效率，合作机制不明确则可能导致各方协调不畅、责任分工模糊，影响工程进度和质量。这些问题综合存在，对施工过程构成了巨大挑战，亟须针对性解决措施以保障工程顺利推进。

3 城市引水工程施工技术的创新与优化

3.1 科技创新对城市引水工程施工技术的推动

科技创新对城市引水工程施工技术的推动体现在多个方面，显著提升了施工效率和质量。微隧技术作为一种前沿科技，正日益广泛应用于城市引水工程中。微隧技术通过使用小直径盾构机在地下挖掘隧道，避免了传统开挖对地表环境的破坏。这不仅提高了施工速度，还有效减少了施工对周边环境和交通的影响，为城市引水工程提供了一种高效、低扰动的施工方法。

数字化技术的引入是城市引水工程施工技术进步的另一重要体现。建筑信息模型（BIM）、物联网（IoT）和大数据分析等数字技术的应用，大大提升了施工过程的精确度和协调性。通过 BIM 技术，可以在施工前进行全面的三维模型设计和仿真，提前发现和解决潜在问题[5]。这种做法有助于优化施工方案，减少施工过程中的返工和变更，提高工程效率和质量。物联网技术通过实时监控施工现场的各种参数，如湿度、温度和设备运行状态，有助于及时调整施工策略，确保施工的顺利进行。

绿色施工技术的推广也成为近年来城市引水工程的重要发展方向。采用可再生能源、资源循环利用和低碳排放技术，可以实现施工过程中的环保目标。通过合理规划和使用绿色材料，不仅能减少对环境的影响，还能降低施工成本，提高经济效益。例如，应用太阳能和风能设备为施工机械提供能源，可以大大减少传统能源的使用，达到节能减排的效果。

智能施工技术的应用，使得引水工程施工更加智能化和自动化。自动化施工设备和机器人技术的使用，能够在复杂和危险的施工环境中代替人工作业，提高施工安全性及效率。例如，智能监控系统和无人机技术可以对施工现场进行全方位实时监控，及时发现和处理异常情况，保障施工质量和进度。

科技创新通过这些方面的应用，为城市引水工程施工技术带来了显著的提升，推动了行业的现代化发展，为城市的可持续发展提供了强有力的技术支撑。

3.2 对环境保护经济效益工程质量和安全的优化措施

为优化城市引水工程的环境保护、经济效益、工程质量和安全，应采取一系列具体措施。引入低排放设备和绿色材料，减少施工过程中的环境污染。实施有效的成本管理策略，通过技术创新降低工程成本，提高经济效益。在工程质量方面，严格按照规范和标准进行施工，加强质量控制和监督，确保工程的持久性和可靠性。为保障施工安全，需建立完善的安全管理体系，进行定期的安全培训和演练，提高施工人员的安全意识和应急处理能力，减少安全事故的发生。通过综合运用这些措施，可以实现城市引水工程施工过程中的可持续发展，提升整体效益和社会效应。

3.3 编制好施工方案，改善工作环境和仓储条件，提高人员素质，明确合作机制的对策探讨

在城市引水工程施工过程中，编制详细且科学的施工方案至关重要，确保工程顺利进行。改善工作环境包括提供良好的通风和照明条件以及使用防护设备，有助于提升施工效率和安全性。优化物料仓储条件，系统化管理施工材料，确保物资供应的及时性与稳定性，是减少材料浪费和降低成本的关键。提高施工人员的素质可以通过定期培训和专业技能考核实现，保障工程质量。明确合作机制，通过建立多部门协作的平台和健全的工程管理体系，增强各方沟通和协调，推动工程高效、有序进行。

4 结束语

本研究的目标在于对当前城市引水工程施工技术的发展趋势以及所面对的挑战进行了全面的探讨。我们识别并分析了微隧技术、数字化施工、绿色施工及智能施工等前沿技术的积极影响，确信这些先进技术能够显著提升城市引水工程的施工效率和品质。同时，我们探究了环境保护、经济成本、质量安全保障在工程施工中的重要性，并指出工作环境、物流管理、人力资源和合作机制等方面的存在问题，提出了具有针对性的对策与解决建议。尽管我们已经取得了相应的研究成果，但也存在着一定的局限性和挑战。诸如大规模施工对环境带来的长期影响、高新技术应用的成本优化与可行性研究等方面，仍需持续深入地分析与精细的操作策略。未来的研究方向应关注城市引水工程施工技术在适应性、可持续性和创新性方面的进一步发展。一方面需关注如何有效结合地区特点和实际需求，另一方面需要重视如何在保障经济高效及环保的基础上，探索更多的智慧型施工技术解决方案，推动城市引水工程未来向更加高效、绿色、智能的方向发展。通过不断地研究和探索，相信我们能进一步克服当前施工技术面临的挑战，进而促进我国城市引水工程的健康发展，为城市的永续生态铸就坚实的基础。

[参考文献]

[1]宣学经.引水工程倒虹吸施工技术研究[J].科技视界,2021(30):140-141.
[2]吴巍.苏州阳澄湖引水工程沉管施工技术探讨[J].中华建设,2020(10):90-91.
[3]廖振洪.农村引水工程施工技术分析[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2019(12):11-12.
[4]刘文军.水利引水工程倒虹吸施工技术探讨[J].大众标准化,2023(6):54-56.
[5]刘海浩.探讨引水工程隧洞回填灌浆施工技术[J].大科技,2019(32):106-107.

作者简介：罗文（1982.4—），男，华中科技大学；土木工程，江西省水投建设集团有限公司，项目经理。

水利工程造价管理中的成本控制与优化策略研究

李 莉
新疆新水建设工程造价咨询有限责任公司，新疆 乌鲁木齐 830000

[摘要]水利工程在国家经济发展中起着重要作用，然而，项目成本的控制与优化仍然面临诸多挑战。有效的成本控制策略可以提高工程投资效益，确保项目的顺利实施。通过对水利工程的造价管理进行分析，提出了基于全过程的成本控制和优化方法，包括前期预算的科学编制、实施阶段的动态监控和后期评估的反馈机制。结合案例研究，探讨了成本控制中的关键环节及其影响因素，为提升水利工程的经济性提供了参考。

[关键词]水利工程；成本控制；造价管理；优化策略；经济性
DOI：10.33142/hst.v7i11.14308 中图分类号：TV51 文献标识码：A

Research on Cost Control and Optimization Strategies in Water Conservancy Engineering Cost Management

LI Li
Xinjiang Xinshui Construction Engineering Cost Consulting Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830000, China

Abstract: Water conservancy engineering plays an important role in the national economic development, however, the control and optimization of project costs still face many challenges. Effective cost control strategies can improve the investment efficiency of engineering projects and ensure their smooth implementation. By analyzing the cost management of water conservancy projects, a cost control and optimization method based on the entire process is proposed, including scientific budgeting in the early stage, dynamic monitoring in the implementation stage, and feedback mechanism for later evaluation. By combining case studies, the key links and influencing factors in cost control were explored, providing reference for improving the economic efficiency of water conservancy projects.

Keywords: water conservancy engineering; cost control; cost management; optimization strategies; economic viability

引言

水利工程作为国家基础设施的重要组成部分，不仅关系到经济发展，也对社会稳定和生态环境起到关键作用。然而，随着工程规模的扩大和技术的不断进步，项目成本控制成为亟待解决的问题。有效的造价管理不仅能够降低工程风险，提高资源利用效率，还能为可持续发展提供保障。因此，探讨水利工程中的成本控制与优化策略，具有重要的现实意义与应用价值。这一研究将为实现水利工程的高效管理和经济效益的提升提供新的思路与方法。

1 水利工程造价管理的现状与挑战

水利工程是国家基础设施建设的重要组成部分，承担着灌溉、防洪、发电等多重功能。随着经济的发展和社会对水资源管理需求的日益增长，水利工程的规模和复杂性不断增加。这使得水利工程造价管理面临前所未有的挑战。当前，许多水利工程在预算编制、成本控制和资金使用方面存在不规范、不透明的问题。由于项目涉及多方利益相关者，包括政府、投资方、承包商和公众，各方对成本和效益的期待不同，造成了造价管理中的矛盾与冲突。同时，水利工程的建设周期长、技术要求高，导致其造价难以准确预测，容易出现预算超支现象。此外，随着新技术的引入和施工环境的变化，工程造价管理的复杂性不断增加，传统的管理模式已无法满足现代水利工程的需求。

在水利工程的造价管理中，成本控制的有效性直接影响到项目的经济性和可持续发展。许多项目在实施阶段面临诸多不可预见的成本，如材料价格上涨、人工成本增加和施工难度加大等，这些因素往往导致工程预算的失控。同时，缺乏系统性的成本管理体系，使得项目管理者在面对突发情况时难以做出及时有效的应对。此外，信息不对称也是导致造价管理挑战的重要原因，设计单位、施工单位和监理单位之间的信息沟通不畅，往往导致造价决策失误，增加了项目实施的风险。因此，建立健全的信息共享机制，提高各方之间的协作，成为当前水利工程造价管理亟待解决的问题。

为了解决这些挑战，必须积极探索水利工程造价管理的优化策略。首先，应从项目立项阶段入手，科学合理地编制预算，充分考虑项目的复杂性和不确定性，确保预算的准确性与合理性。其次，实施全过程成本控制理念，从设计、施工到后期评估，建立动态监控机制，实时跟踪项目成本变化，及时调整管理策略。同时，采用先进的管理工具和技术，如建筑信息模型（BIM）和项目管理软件，提高成本管理的精细化水平。此外，加强对相关人员的培训，提高其专业素养和管理能力，能够有效提升水利工程造价管理的整体水平。通过这些措施，力求在水利工程的建设中实现成本控制与资源优化，最终促进水资源的可持

续利用与社会经济的协调发展。

2 成本控制的重要性及其影响因素

在水利工程建设中，成本控制不仅关乎项目的经济效益，也是保障工程质量和进度的重要环节。随着国家对水利基础设施的投资力度不断加大，工程项目的规模和复杂性日益提升，导致项目的造价管理面临巨大的压力。如果在项目实施过程中未能有效进行成本控制，可能导致预算超支，进而影响到其他工程的投资安排和国家资金的合理配置。因此，进行科学的成本控制，对于提高水利工程的投资效益，确保工程的顺利进行具有重要意义。此外，良好的成本控制不仅能够增强项目的市场竞争力，还能提升管理团队的专业能力和企业的品牌形象，从而为未来的项目争取更多的机会。

影响水利工程成本控制的因素多种多样，首先是项目的规模和复杂性。大规模的水利工程往往涉及多个子项目和环节，各个环节之间的协调与配合尤为重要。在这种情况下，任何一个环节的成本失控都可能导致整体项目预算的失衡。此外，外部环境因素也是成本控制的重要影响因素。水利工程的建设往往受到地理、气候、政策等外部条件的制约，突发的自然灾害、政策变化或者市场波动都可能导致成本的不可预见性，从而增加了成本控制的难度。因此，项目管理者需要全面评估这些外部因素，及时调整预算和管理策略，以应对潜在的风险。

另外，项目团队的专业素养与管理水平也对成本控制有着直接影响。工程设计、施工和管理人员的专业能力以及团队的协作能力，都会直接影响到成本控制的有效性。缺乏经验的团队可能在预算编制和施工计划上出现错误，从而导致预算超支。与此同时，信息沟通不畅也会对成本控制产生消极影响。设计、施工和监理单位之间的信息传递若不及时，容易导致决策失误，增加额外的成本。因此，构建高效的信息共享平台，提高项目参与各方的协作效率，是提升成本控制效果的关键。此外，合理的激励机制也能有效促进团队成员的积极性，使其在成本控制中发挥更大的作用。

3 水利工程全过程成本控制策略

水利工程的全过程成本控制策略旨在从项目的前期规划到后期评估的各个环节，实现对成本的有效管理和控制，以提高项目的经济性和可持续性。在项目的初始阶段，科学合理的预算编制是成本控制的基础。此时，项目管理团队应充分考虑工程的复杂性和不确定性，结合历史数据和市场调研，制定出符合实际的预算方案。同时，针对不同的施工技术和管理模式，采用不同的预算编制方法，例如“自下而上”的估算方式和“自上而下”的目标成本控制等，确保预算的科学性和准确性。此外，在前期阶段，还需对潜在风险进行评估，通过建立风险预警机制，及时发现和应对可能导致成本超支的因素，为后续的成本控制奠定基础。

在项目实施过程中，动态监控是成本控制的重要环节。通过建立健全的成本控制体系，对项目各阶段的成本进行实时监控，可以及时发现和纠正偏差。采用现代信息技术，如建筑信息模型（BIM）、项目管理软件等，可以有效提高成本数据的透明度和可视化程度，使项目管理者能够实时掌握各项成本的使用情况。在实施阶段，应建立定期的成本分析与评估机制，组织各相关方进行成本对比和分析，找出成本偏高的原因，并针对性地采取调整措施。此外，施工过程中可能会出现材料价格波动、人工成本上升等不可控因素，此时，项目管理团队需要迅速评估其对整体预算的影响，并适时调整施工计划和资金安排，以降低不利影响，确保工程按期高质量完成。

项目的后期评估同样是全过程成本控制不可忽视的一环。通过对整个项目的成本进行总结和评估，不仅可以清晰地了解项目的实际支出，还可以为今后类似项目的成本控制提供宝贵的经验教训。在评估过程中，管理团队应关注各项成本的构成，分析成本超支的原因以及改进的空间。同时，通过对项目实施过程中各类资源的利用效率进行评估，提出优化建议，从而为未来的水利工程提供借鉴。此外，建立完善的成本评估和反馈机制，可以促进项目管理的持续改进，确保在今后的工程项目中更加注重成本控制的有效性和科学性。因此，水利工程全过程成本控制策略不仅要重视预算编制和实施阶段的动态监控，还要通过后期的评估总结，为提高工程管理水平和经济效益提供全面支持。

4 优化水利工程造价管理的方法与案例

在水利工程造价管理中，优化方法的应用对于提高项目的经济性和效率具有重要意义。以四川省某水库建设项目为例，该项目在预算编制阶段采用了“自下而上”的估算方法，并结合项目的实际情况进行科学合理的成本预测。在前期规划阶段，项目团队通过详细调研，获取了当地市场材料和人工成本的真实数据，确保了预算的准确性。同时，团队还通过引入专家咨询，针对项目的复杂性和特殊性，进行了多轮次的评估和优化，最终形成了一份全面、详实的预算方案。这一策略不仅提高了预算的科学性，也为后续的成本控制打下了坚实的基础。

在项目实施阶段，该水库建设项目采用了现代信息技术进行动态监控，成功实现了全过程的成本控制。项目管理团队引入了建筑信息模型（BIM）技术，利用其可视化和模拟功能，对施工过程中的各项成本进行了实时跟踪与分析。通过 BIM 技术，管理人员能够直观地掌握项目进展情况，及时发现预算偏差并进行调整。同时，该项目还设立了成本控制小组，定期召开会议，针对每个阶段的成本使用情况进行评估和讨论。在一次会议中，团队发现某一施工环节的人工成本超出预期，通过对施工流程的分析，

发现是由于人员安排不合理导致的。随后，团队迅速调整了工人调配方案，优化了施工流程，有效降低了后续的人工成本。这一动态监控与灵活调整的管理方式，显著提升了项目的经济效益。

项目的后期评估同样是优化造价管理的重要环节。在水库建设项目完成后，管理团队对整体成本进行了全面总结与分析，形成了详实的成本评估报告。通过对比预算与实际支出，团队发现某些材料的采购成本较高，主要是因为未能及时锁定供应价格。针对这一问题，项目组提出了改进建议，未来项目中应引入更多的竞争性招标，以确保材料采购的价格优势。此外，团队还对施工中的资源利用效率进行了评估，发现某些环节存在资源浪费现象。为此，团队建议在今后的项目中建立更为严格的资源管理机制，提高施工效率，从而进一步降低造价。因此，该四川水库建设项目通过科学的预算编制、现代技术的动态监控以及后期的系统评估，成功优化了造价管理，为未来的水利工程提供了有益的借鉴和经验。

5 提升水利工程经济效益的综合措施

为了有效提升水利工程的经济效益，综合措施的制定与实施至关重要。首先，在项目的规划阶段，需充分进行市场调研与资源评估，以科学合理的方式编制预算。在这一过程中，可以通过引入专家团队进行项目可行性研究，确保在项目启动前识别并分析潜在的风险和机会。预算编制应依据市场价格、工程量和实际情况进行精确估算，并建立合理的预算动态调整机制，以适应市场变化。此举不仅有助于避免预算超支，还能为后续的资金安排提供保障。同时，合理的预算规划也能提升投资者和利益相关方的信心，从而更有效地吸引资金投入，促进项目顺利进行。

在项目实施阶段，加强动态成本监控和资源管理是提升经济效益的重要环节。采用先进的信息技术，如建筑信息模型（BIM）和项目管理软件，可以对项目的进展和成本进行实时跟踪，帮助管理者迅速发现问题并及时调整。通过建立定期的成本分析会议，项目团队可以有效评估各项支出的合理性，并针对实际情况优化施工方案。在资源管理方面，应重视施工材料和人工成本的合理使用，优化资源配置，确保各项资源的最大化利用。此外，建立健全的激励机制，鼓励员工提出合理化建议和创新方法，能够有效提升团队的工作效率，从而降低项目成本，增强整体经济效益。

项目完成后的评估与反馈是提升水利工程经济效益的关键一环。在项目结束后，管理团队应对整个工程的成本和效益进行全面总结，分析预算执行情况和实际支出之间的差异。通过对成功经验和失败教训的总结，识别出影响经济效益的关键因素，为未来的水利工程提供参考。同时，建立完善的知识管理体系，将项目中的成功案例和经验教训进行归档，便于后续项目借鉴和学习。通过这种持续改进的方式，不仅能够提升后续项目的经济效益，还能为行业发展提供科学依据与实践指导，从而推动水利工程的可持续发展。综合以上措施，将有效提升水利工程的经济效益，实现社会效益与经济效益的双赢。

6 结语

在水利工程的建设与管理中，提升经济效益是实现可持续发展的重要目标。通过科学合理的预算编制、动态的成本监控和高效的资源管理，可以有效降低项目成本，提高资金使用效率。同时，后期的评估与反馈机制为未来的项目提供了宝贵的经验和教训，推动了管理水平的不断提升。综合措施的实施，不仅增强了水利工程的市场竞争力，也为社会和生态环境的可持续发展作出了积极贡献。未来，继续探索和优化水利工程的经济管理策略，将为国家水资源管理和基础设施建设提供坚实保障。

[参考文献]

[1]刘孟.水利工程项目施工成本控制与管理优化的思考[J].建筑与预算,2021(7):62-64.
[2]孙泉.水利工程项目施工成本控制与管理的优化探究[J].工程建设与设计,2022(21):239-241.
[3]柯玲.水利工程项目成本控制与管理优化研究[J].支点,2022(1):76-78.
[4]彭小丹.水利工程项目施工成本控制与管理的优化探究[J].城市建设理论研究(电子版),2023(20):211-213.
[5]张波.基于工程造价管理的工程项目成本控制与优化实证研究[J].建筑技术,2024,55(11):1334-1338.

作者简介：李莉（1990.9—），女，毕业院校：新疆农业大学水利与土木工程管理学院，学历：本科，所学专业：水利工程管理，当前就职单位：新疆新水建设工程造价咨询有限责任公司，职务：招标部主管，所在职务的年限：10 年，职称级别：工程师。

水利工程管理中存在的问题及对策研究

张 岳[1] 刘 茜[2]
1. 陕西省水务集团有限公司，陕西 西安 710000
2. 陕西省引汉济渭工程建设有限公司，陕西 西安 710000

[摘要]近年来，全球气候变化、水资源短缺以及自然灾害的频繁发生，给水利工程管理带来了严峻的挑战。尽管我国在水利工程领域取得了显著成就，但在实际管理中仍然存在诸多不足。例如，科学依据的缺乏使得项目规划与设计阶段常常出现问题，进而导致后续施工中频繁出现缺陷；施工管理过程中的规范性不足，直接影响了工程质量；在资金管理方面，缺乏有效的监督机制，造成了资源的浪费；而在工程运行后的监测与维护环节，系统性措施的不足使得设施的安全与稳定难以得到保障。为克服这些挑战，政府及相关机构不断加强对水利工程管理的关注，致力于通过制度创新、引入新技术及改变管理模式来提升整体管理水平。尽管这一进程面临诸多困难，但结合实际情况，深入分析现有问题，探索有效的对策与措施显得尤为重要。

[关键词]水利工程；项目管理；问题；管理对策
DOI：10.33142/hst.v7i11.14303 中图分类号：TU4 文献标识码：A

Research on Problems and Countermeasures in Water Conservancy Engineering Management

ZHANG Yue [1], LIU Qian [2]
1. Shaanxi Water Group Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi, 710000, China
2. Shaanxi Province Hanjiang-to-Weihe River Valley Water Diversion Project Construction Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi, 710000, China

Abstract: In recent years, global climate change, water scarcity, and frequent natural disasters have posed severe challenges to the management of water conservancy projects. Although China has made significant achievements in the field of water conservancy engineering, there are still many shortcomings in practical management. For example, the lack of scientific basis often leads to problems in project planning and design stages, which in turn result in frequent defects in subsequent construction; The lack of standardization in the construction management process directly affects the quality of the project; In terms of fund management, the lack of effective supervision mechanisms has resulted in wastage of resources; However, the lack of systematic measures in the monitoring and maintenance process after the operation of the project makes it difficult to ensure the safety and stability of the facilities. In order to overcome these challenges, the government and relevant institutions have continuously strengthened their attention to water conservancy project management, committed to improving the overall management level through institutional innovation, introducing new technologies, and changing management models. Although this process faces many difficulties, it is particularly important to analyze existing problems in depth and explore effective countermeasures and measures based on the actual situation.

Keywords: water conservancy engineering; project management; problems; management countermeasures

引言

作为国家基础设施的重要组成部分，水利工程承担着防洪、灌溉、供水等多重职能，直接影响经济发展与社会民生的稳定。伴随着城市化进程的加速及气候变化带来的挑战，水利工程在管理上面临的困难愈发加重。在复杂环境中，高效且规范地管理水利工程，已成为学术界与实践领域亟需解决的关键课题，深入探讨水利工程管理中存在的问题，分析项目规划、施工管理、资金控制及监测与维护等环节所面临的挑战，从而提出切实可行的对策。这将有助于提升水利工程管理的科学性与规范性，并为相关政策的制定与实施提供有价值的参考。

1 水利工程管理的重要性

水利工程管理在社会发展与经济建设中发挥着至关重要的作用。伴随全球气候变化与人口增长的加剧，水资源的合理利用与保护显得愈发迫切。有效的水利工程管理不仅关乎水资源的分配与供应，还直接影响农业、工业及城市的可持续发展，通过高效的水利管理，水资源的优化利用得以确保，从而稳定农业灌溉、提高农作物产量，进一步增强粮食安全。水利工程管理与生态环境保护密切相关，科学的水利规划与管理措施不仅有助于防止水污染，还能控制水土流失并改善水生态系统的健康状况，这对于维护生物多样性与提升生态环境质量具有深远意义。

在社会安全层面，水利工程管理的重要性同样不可忽视，通过科学管理水利设施，洪涝灾害的风险得以有效降低，保障人民的生命财产安全。例如，在水库、堤坝等设施的运行中，定期的监测与维护被视为确保安全的重要举

措，这些管理活动不仅减少了潜在的灾害损失，还增强了公众对水利工程的信任与支持。

2 水利工程管理中存在的问题

2.1 项目规划与设计阶段的问题

在水利工程管理中，项目规划与设计阶段面临多重挑战。如未及时识别和解决这些问题，将可能对后续实施产生重大影响。其中，环境评估的全面性不足是一个普遍现象，常导致设计方案未能充分考虑水文、气象及生态因素，这种忽视或引发当地生态环境的负面影响，如水源枯竭及生态失衡。在部分水利工程的设计过程中，先进技术与材料未被采用，导致抗风险能力不足。特别是在极端天气事件频发的情况下，这一局限性尤为明显。设计团队的专业性及经验不足，以及跨学科合作的缺失，进一步影响了设计方案的可行性与科学性。关于资金预算的科学性与合理性常常令人担忧，有效的成本控制与资金使用计划的缺乏，使项目在实施过程中容易面临资金短缺，进而影响工程的进度与质量。政府及相关部门在项目审批时，急于求成的心态也常表现出来，导致规划与设计的深度与广度不足。公众参与度的低下同样是一个不容忽视的问题，未能在规划与设计过程中充分吸纳当地居民及相关利益方的意见，常导致项目实施后遭遇反对与抗议，从而影响工程的顺利推进。

2.2 施工管理中的问题

在水利工程的施工管理过程中存在多重问题，严重影响工程的进度、质量与安全。其中，施工现场管理的规范性不足是一个主要问题，许多工人对操作流程与安全规程的理解往往不够深入，其原因在于培训与管理的不够到位，这种状况不仅增加了安全事故的风险，还可能导致施工质量下降，从而影响工程的整体效果。材料的采购与使用也显著存在隐患，在部分项目中材料选择时未能严格遵循标准，甚至出现使用劣质材料的情况，这直接导致使用过程中的质量问题，材料的储存与管理漏洞明显，容易造成资源浪费与损耗，进而推高项目的整体成本。控制施工进度同样面临诸多挑战。气候变化、设备故障及人力资源调配等因素，常常导致工期延误。在进度安排上，项目管理者的灵活性不足，使得未能及时调整计划以应对突发状况，这种僵化的管理方式不仅影响施工的连续性，还可能导致预算超支。沟通与协调不足也是施工过程中的一个突出问题。设计团队、施工团队与监理单位之间的信息传递往往不够顺畅，导致决策的有效性受到影响。缺乏有效沟通的情况容易引发误解与冲突，进而对工程的质量与进度产生负面影响。因此，亟须关注与改善施工管理中存在的诸多问题。

2.3 资金管理与控制的问题

在水利工程的资金管理与控制中存在多种常见问题，这些问题不仅影响工程的正常运作，还可能对项目最终成果造成严重后果。预算编制的不科学性尤为突出，在许多项目中初期预算时缺乏充分的市场调研与成本分析，导致预算过于乐观，未能充分考虑材料价格波动及人工费用上涨等实际情况，结果在实施过程中频繁出现资金短缺的现象。资金拨付与使用的流程规范性不足，致使资金流转不畅，管理部门与施工单位之间协调得不足，使得资金拨付与实际需求不匹配，从而影响施工进度[1]。与此同时，项目的财务监督机制不完善，缺乏有效的监控这容易导致资金的不当使用或贪污行为，加大了项目的财务风险。在项目实施过程中，突发费用的情况时有发生，相关部门对此的应对能力不足，未能及时进行预算调整，这些突发费用的累积不仅影响整体进度，还可能导致其他项目的资金链紧张，从而妨碍水利工程建设的顺利进行。部分项目未能充分利用现代信息技术进行资金管理，造成数据统计与分析不及时，使得决策所依据的信息缺乏准确性，这种信息滞后可能导致管理者在资金控制上的判断失误，进而影响项目的正常推进。因此，水利工程的资金管理与控制亟需引起重视，以确保项目能够在预定时间与预算内顺利完成。

2.4 监测与维护管理的问题

在水利工程的监测与维护管理中，面临着一系列亟待解决的问题，这些问题直接影响工程的长期安全性与运行效率。在许多水利工程的设计阶段，未能建立系统的监测方案，导致工程运行过程中缺乏有效的数据支持，这种情况下潜在隐患难以及时识别，增加了事故发生的风险。监测设备的更新与维护不足同样构成重要隐患，在一些项目中使用的监测仪器老化，技术水平低无法提供准确且及时的数据。此外，监测人员的专业技能常常欠缺，缺乏系统培训与实践经验，这使得监测结果的解读与分析存在偏差，难以为决策提供科学依据。维护管理的缺失与不规范，使得许多水利设施在使用过程中逐渐出现老化与损坏，缺乏定期检查与维护，导致许多设施的使用寿命大大缩短，进而影响其正常功能。例如，若水闸、堤坝等关键设施未能得到有效维护，极端天气或突发事件中可能带来严重的安全隐患。在某些项目中，地方政府与社会公众对监测与维护重要性的认识不足，导致缺乏必要的支持与参与。这种状况不仅制约了监测与维护管理的有效性，也使得工程面临更大的风险。因此，亟需重视监测与维护管理中存在的问题，以确保水利工程的安全与稳定运行。

3 针对水利工程管理问题的对策

3.1 加强项目规划与设计的科学性

为了提高水利工程管理中规划与设计的科学性，强化项目规划与设计的重要性是不容忽视的。全面的前期调研被认为是成功的基础，项目团队需深入分析区域内的自然环境、社会经济状况及水资源的可持续性，这不仅有助于合理配置资源，还能在设计阶段识别潜在的风险与挑战，进而制定切实可行的方案。在项目设计过程中，现代化设

计软件与技术的运用能够显著提升设计的精度与效率，通过应用BIM（建筑信息模型）等先进技术，设计方案得以实现可视化与模拟，帮助团队更深入地理解工程的复杂性，便于进行多维度的评估与优化。此外，各利益相关方的需求与意见的重视，使设计方案能兼顾生态环境保护、社会效益及经济效益，从而提升项目的整体可行性。建立动态监控与评估机制被认为至关重要，以确保项目在各阶段进行实时反馈与调整，这种机制不仅有助于及时发现问题，还能对设计方案进行必要的修改与优化，使项目始终保持在最佳轨道。

3.2 提高施工管理的规范化水平

提升水利工程施工管理的规范化水平被认为是确保工程质量与安全的关键所在。制定详尽的施工管理标准与流程显得尤为重要，这些标准需涵盖各个施工环节，包括前期准备、材料进场、实际施工及后期验收等。明确的规范使施工团队能够严格遵循，有助于减少因操作不当而导致的错误，从而提升施工效率。同时，施工现场的管理亟须加强，特别是对人员培训与设备使用的重视，施工人员需接受专业培训，以确保他们熟悉相关技术标准及安全规程。在设备管理方面，定期维护与检修被认为不可或缺，以避免设备故障，确保工程进度不受影响[2]。此外，施工团队应关注新技术与新材料的应用，通过不断学习与适应，跟上行业的发展步伐。严格的监督机制被视为提升管理规范化水平的重要措施之一，引入第三方监理机构，对施工过程进行全程跟踪与评估，可以有效确保施工质量符合设计要求。同时，建立定期检查与评估机制，有助于及时发现问题并采取相应措施，避免小问题演变为严重隐患。

3.3 完善资金管理与监督机制

完善水利工程的资金管理与监督机制，对于项目的顺利实施及资金的合理使用被认为至关重要。健全的资金管理制度为基础，涵盖资金使用计划的制定、预算的编制与执行过程中的动态监控，科学合理的预算编制不仅能够避免不必要的资金浪费，还能确保资金及时用于项目的关键环节。加强资金使用的监督被视为保障资金安全的重要手段，引入第三方审计机构进行定期审计，有助于有效防止腐败与不当行为[3]。此外，资金流向与使用情况应向公众公开，以增强项目透明度，促进社会监督，提高项目的公信力。信息化手段在资金管理中的应用，将显著提升管理效率。例如，建设资金管理信息系统，可以实时跟踪资金使用情况，及时发现并纠正异常，这一系统还能提供数据支持为决策提供依据，使管理层更好地掌握资金使用的整体状况。定期对资金使用效果进行评估，确保资金投入与项目进展相匹配。

3.4 强化监测与维护管理措施

强化水利工程的监测与维护管理措施对于工程的长期安全与稳定至关重要。建立全面的监测体系被视为基础，需对水利设施进行实时监测，采用先进技术，如遥感技术、传感器与数据采集系统，以有效跟踪水位、流量及结构健康状态。这种数据化监测能够及时发现潜在安全隐患，并为科学决策提供强有力的支持。定期维护与检查被认为是确保水利设施正常运作的关键所在，制定详尽的维护计划，包括设备的定期检修与必要的技术改造，有助于显著延长设施的使用寿命。施工团队应接受相关培训以熟练掌握维护技能，及时处理设备出现的小问题，防止小故障演变成大隐患[4]。完善的信息反馈机制同样不可忽视，通过建立监测数据与维护记录的联动系统，工程管理者能够清晰了解设施的运行状态，并据此及时调整维护策略，这种动态管理模式提高了应对突发情况的能力，确保工程设施在极端天气或其他不可预见情况下仍能正常发挥作用。对监测与维护工作的组织协调的加强，确保各相关部门通力合作，形成合力。

4 结语

在水利工程管理中，面对复杂多变的环境与挑战，管理的重要性愈发突出。通过对现存问题的深入分析，可以明显看出，项目规划与设计、施工管理、资金管理及监测与维护等环节均需得到充分关注。针对这些问题提出的对策，如加强科学规划、提升施工管理规范化水平、完善资金监督机制以及强化监测与维护措施，将为水利工程的高效运行与可持续发展奠定坚实基础。展望未来，科技的持续进步将推动水利工程管理与时俱进，新技术与新方法的利用将提升管理效率与水平。在科学管理的引领下，水利工程将更有效地服务于社会发展，促进经济繁荣，并实现生态环境的可持续性。因此，推动水利工程管理的创新与改革，需依靠相关部门、机构及全社会的共同努力，以确保在面对日益严峻的水资源挑战时，能够更加从容地应对，满足人们的生活与发展需求。

[参考文献]

[1]王扬,朱珂.水利工程建设管理存在的问题及对策[J].城市建设理论研究(电子版),2024(12):211-213.
[2]王风军.水利工程管理中存在的问题及对策[J].城市建设理论研究(电子版),2024(6):75-77.
[3]郭健敏.水利工程管理存在的问题以及解决对策研究[J].云南水力发电,2023,39(9):309-312.
[4]王军平.农村水利工程建设管理中存在的问题及对策研究[J].新农业,2022(21):95-96.

作者简介：张岳（1995.3—），籍贯：陕西礼泉人，学历：硕士研究生，职位：工程师，研究内容：主要从事水利水电工程建设管理工作。

水利工程质量安全监督管理存在问题及对策

彭新伟
新疆生产建设兵团第三师图木舒克市水利工程质量安全中心，新疆 图木舒克 839000

[摘要]在国家基础设施建设中，水利工程的重要性不容忽视，其对保障水资源的合理利用、推动经济发展以及保护生态环境的作用尤为突出。随着我国经济的快速发展，水利工程的规模与复杂性持续增加，确保其质量与安全性的重要性愈加显著。作为保障水利工程顺利实施的关键环节，质量安全监督管理亟须加强与完善。有效的质量监督不仅能够降低工程风险，还能显著提升经济效益与社会效益。

[关键词]水利工程；质量监督；安全管理；对策
DOI：10.33142/hst.v7i11.14297　　中图分类号：TV51　　文献标识码：A

Problems and Countermeasures in Quality and Safety Supervision and Management of Water Conservancy Engineering

PENG Xinwei
Tumushuk City Water Conservancy Engineering Quality and Safety Center of the Third Division of Xinjiang Production and Construction Corps, Tumushuke, Xinjiang, 839000, China

Abstract: In the construction of national infrastructure, the importance of water conservancy projects cannot be ignored. Their role in ensuring the rational utilization of water resources, promoting economic development, and protecting the ecological environment is particularly prominent. With the rapid development of Chinese economy, the scale and complexity of water conservancy projects continue to increase, and the importance of ensuring their quality and safety has become increasingly prominent. As a key link in ensuring the smooth implementation of water conservancy projects, quality and safety supervision and management urgently need to be strengthened and improved. Effective quality supervision can not only reduce engineering risks, but also significantly improve economic and social benefits.

Keywords: water conservancy engineering; quality supervision; safety management; countermeasures

引言

近年来，随着我国水利工程建设的不断推进，水资源的开发与利用已逐渐成为推动经济增长的重要动力。在这一背景下，各类水利工程，如水库、灌溉系统及防洪设施，纷纷得以建设。在水利工程建设中，涉及的资金、技术及管理要求日益提高，现有的质量安全监督管理体系亟待优化与完善。目前，实施过程中许多水利工程监管力度不足，且监管人员的专业能力与数量无法满足需求。由于管理责任不明确，各参与方在质量控制中缺乏有效协调。传统的监管方式难以适应现代工程建设的需求，实时监控与反馈机制的缺乏，影响了工程质量的把控。面对这些挑战，建立科学的管理制度、加大监管力度及提升人员素质等手段，能够有效提高水利工程的质量与安全水平，进而推动我国水利事业的可持续发展。

1 水利工程质量安全监督管理的重要性

水利工程在国家经济与社会发展中占据着重要地位，其建设质量与安全直接影响着人民生活的质量及生态环境的稳定。关于水利工程质量安全监督管理的重要性，多个方面值得深入探讨。

1.1 加强水利工程施工安全及质量

由于工程往往涉及复杂的地质条件与水文环境，施工过程中面临的潜在风险包括设备故障、工人事故及自然灾害等。通过实施有效的质量安全监督管理，这些风险能够被系统识别与评估，从而采取科学的管理措施与标准化操作流程，降低安全隐患。例如，详尽的施工规范与安全操作规程的制定，以及定期安全培训的开展，显著提高了施工人员的安全意识与操作能力，进而有效预防事故的发生。施工质量与水利设施的正常运作密切相关，影响不仅体现在结构的稳定性与耐久性上，也关乎水资源的高效利用及环境保护。如果施工未遵循质量标准，水利设施在后续使用中可能出现泄漏、功能失效或坍塌等严重问题。通过加强质量安全监督管理，施工过程中的每个环节都能确保符合设计与质量标准，从而提升工程整体质量及使用效益。

1.2 提高水利工程项目工作效率

水利工程项目通常涵盖设计、施工、验收等多个环节，各环节之间的顺畅衔接对于工程进度至关重要。建立有效的监督管理机制后，各项工作得以有序推进，避免因质量问题而引发的拖延与返工。实时监测与反馈系统的使用，使得项目管理人员能够及时发现并解决施工中的问题，确保工程按照既定进度顺利进行。资源的有效利用与经济效益的提升同样是有效管理的直接成果。水利工程建设通常需投入大量人力、物力与财力，而任何因质量问题引发的

返工与资源浪费，都会造成显著的经济损失。通过加强质量监督管理，施工过程的规范化与标准化得以实现，从而降低因操作失误与管理不善导致的返工率，进而节约资源，提升整体经济效益。

总之，水利工程质量安全监督管理在提升施工安全、保障工程质量以及提高工作效率等方面的重要性不容忽视。这不仅影响水利设施的长期使用效果，也直接关系到社会的可持续发展与生态环境的保护。在实际操作中，质量安全监督管理的实施必须受到高度重视，相关制度与措施应不断完善，以确保水利工程建设能够高效、安全地推进。

2 质量监督管理内容

2.1 事前质量监督管理

在水利工程开工之前，该计划全面涵盖所有工作的质量标准、监督措施及相应责任人，从而形成一个完整的质量控制框架。确保项目质量标准与国家及地方的相关规范保持一致，明确每个施工环节应达到的具体要求是必要的。这些标准不仅涉及材料的质量与施工工艺，还包括安全防护措施等内容。通过设定明确的标准，施工单位在实施过程中得以遵循规范，有效降低因不明确而产生的质量问题。在计划中，监督的频率、方式及各阶段的检查点需被清晰地列出。针对不同施工阶段，项目管理人员需要制定具体的检查表，以确保对关键环节进行细致的审核。责任人的分配也应被明确，确保每项工作都有专人负责，避免管理盲区的出现。通过上述措施的实施，施工前的质量控制能够为后续工程的顺利推进奠定坚实基础。

2.2 事中质量监督管理

在施工阶段，其进行的质量检查应当被视为项目管理的常态，监督人员应依据检查计划对施工现场进行巡视与评估。检查内容涵盖施工工艺的执行情况、材料的使用与储存、施工设备的运行状态等。及时发现的问题促使迅速采取纠正措施，以确保施工符合设计要求与标准规范。每次检查中，监督人员需详细记录发现的问题及其整改措施，并进行跟踪落实。这样的记录不仅为后期质量评估提供依据，也为施工单位指明改进方向。良好的沟通渠道应在监督人员与施工单位之间建立，以便及时反馈检查结果，从而形成有效的信息共享机制。在施工过程中，严格的质量监督管理确保工程质量逐步提升，减少因施工失误带来的风险。

2.3 事后质量监督管理

工程竣工后，事后质量监督管理的作用不可忽视。全面的质量验收被视为确保工程符合使用标准的重要环节。在竣工验收之前，项目管理团队对整个工程进行系统审查是必要的，检查其是否符合设计图纸及相关规范。验收内容应包括工程的实际效果、材料使用情况、施工质量及安全性能等。发现的问题必须及时整改，确保所有缺陷得到有效解决，以达到验收标准。完善的档案管理系统记录各项质量检查结果、整改情况及相关文档，形成完整的质量档案。这不仅为项目后续维护与管理提供依据，也为日后类似项目的质量控制积累宝贵经验。在竣工验收完成后，项目团队还应定期对工程进行回访，以评估其长期使用效果，确保水利设施在运行过程中始终符合质量要求。通过有效的事前、事中与事后质量监督管理，水利工程的整体质量得以全面保障，不仅提升施工效率，还为水利设施的长期安全使用奠定坚实基础[1]。在未来的水利工程建设中，各个环节的质量监督管理强化将有助于实现更高水平的工程质量与安全管理。

3 水利工程质量安全监督管理存在的问题

3.1 水利工程监管力度小

在现阶段，水利工程监管力度明显不足，这种现象严重制约了工程质量的提升。施工单位在缺乏有效约束的情况下，常常对质量控制表现出忽视，导致安全隐患频繁出现。由于监管人员数量不足、职责不明确，施工现场的巡检频率低，使得工程质量问题难以得到及时发现与解决。一些地区对水利工程的重要性缺乏认识，资源配置与政策支持的不足，进一步加剧了这一监管力度不足的问题。在追求进度与降低成本的过程中，施工单位可能会对安全与质量掉以轻心，从而引发一系列后续问题。

3.2 工作落实不到位

在质量安全监督管理的实际操作中，责任落实不到位的现象频繁出现。这种情况主要表现在管理措施的执行上，由于缺乏明确的责任划分与有效的监督机制，措施往往难以得到落实。许多地区的监督人员在执行具体措施时存在推诿现象，责任边界模糊，使得施工单位在质量控制上缺乏必要的约束[2]。随着工程规模的扩大与项目复杂性的增加，这一问题愈发显著，最终对整体工程质量的保障产生了负面影响。

3.3 管理责任没有全面明确

在水利工程的质量监督管理中，管理责任的不明确直接导致了各环节之间缺乏有效协调。参与方的职责通常未被清晰界定，缺乏沟通与协作，进而影响了监督工作的效率。在项目实施过程中，责任的模糊化使得问题难以迅速得到解决，整体进度与质量也因此受到影响。同时，由于缺乏系统性的培训与意识提升，相关人员对自身职责的理解往往不足，这进一步造成了监督管理环节的混乱，增加了管理责任不清的风险。

3.4 监督管理方式有待改善

目前，水利工程的监督管理方式仍以传统手段为主，科技手段的应用显得不足。这一现状直接影响了监管的全面性与实时性，导致工程质量问题的监测与反馈未能及时进行。传统的监督方式往往依赖于人工巡视，难以实现对工程现场的全面覆盖，特别是在偏远地区，监管力量不足使得问题难以被及时发现。此外，缺乏现代信息技术的支持，监管人员在信息收集与数据分析中面临困难，难以准确评估工程质量的现状。

4 加强水利工程质量及安全监督管理的措施

4.1 建立完善的工程质量管理制度

为切实提升水利工程的质量管理水平，依据项目的实际情况，各级管理人员的职责与权限应被明确，以确保管理过程中具备清晰的指导与标准。这种制度不仅为质量监督提供了保障，同时也能规范工作流程，增强各方参与者的责任感。通过制定详尽的质量管理规定，关键环节与相关要求得以清晰化，从而减少管理中的盲区。在制度建设方面，每位参与者都应全面理解相关规定及其重要性，这是制度有效实施的基础。同时，建立反馈机制也不可或缺，定期收集实施过程中的问题与建议，以便于及时调整与完善相关制度[3]。结合奖惩措施，表现优秀的单位与个人应受到奖励，而对违约行为，则应依法依规施以相应的处罚。通过这些努力，确保质量管理制度在实际工作中得到有效落实，从而提升水利工程的整体质量。

4.2 加大工程安全监管力度

应合理增加监管人员的数量，以保证每个项目都能配备足够的专业监管力量。根据项目的规模与复杂性，监管人员的合理配置应确保其能够全面覆盖施工现场，及时发现并处理潜在的安全隐患。定期开展针对监管人员的培训，以增强其质量管理水平。在培训中，应包括最新的质量标准、管理技术及应对突发事件的处理方法，从而提高监管人员的应变能力。对于违反质量管理规定的行为，必须施以严格的处罚措施，以形成有效的威慑。这些措施的落实，将促使施工单位在日常工作中高度重视质量控制，从而降低安全隐患的发生，提高整体工程质量。与此同时，现代科技手段的应用对安全监管的补充也是必要的。通过安装监控设备，施工现场的实时监控得以实现，确保各项安全措施得以落实。这种技术的应用将显著提高监管的覆盖率与有效性。定期分析监控数据，及时发现问题并进行整改，以确保每个环节在有效监管下运作。

4.3 提升工程建设及管理人员队伍的水平

提升工程建设与管理人员的整体素质，提升其质量安全意识与专业技能显得尤为重要。针对不同岗位的需求，相应的培训课程应被设计，以确保培训内容与实际工作紧密结合。通过建立多层次、多方位的培训体系，使工程建设与管理人员能够不断提升自我，以适应日益变化的工程需求。与此同时，建立考核机制以评估培训效果是必不可少的，确保人员在培训后能够熟练掌握质量管理相关知识与技能。定期进行考核与反馈，不仅能够评估培训效果，还能发现知识薄弱环节，以进行针对性补充。举办交流与分享会，促进不同项目间的经验交流，有助于提升整个团队的综合素质。在提升人员素质的过程中，团队合作精神的培养也显得重要。组织团队建设活动，以增强成员间的沟通与协作，确保在实际工作中团队能够形成合力，提升整体工作效率[4]。高素质的团队不仅能够有效应对突发状况，还能在日常管理中保持对质量控制的高标准，从而确保水利工程的顺利推进。

4.4 创新水利工程监管手段方式

现代科技手段，如信息化监控系统与无人机巡检的应用，显著提升了监督管理的效率与精准度。建立信息化监控平台，实时采集工程进度与质量数据，使管理者能够随时获取最新信息，并据此迅速做出决策。无人机巡检技术的引入，为现场检查提供了新的机遇。在不干扰施工的情况下，该技术可进行全面检查，及时发现潜在问题。定期生成的数据分析与报告，为决策提供科学依据，确保监管过程的精准与及时[5]。推动监管信息的共享与交流，增强各参与方之间的沟通，从而形成合力，共同提升水利工程的质量管理水平。

5 结语

在当前经济快速发展的背景下，确保水利工程的质量与安全不仅是工程实施的基本要求，也是一项社会可持续发展的重要保障。为此，提升水利工程质量安全监督管理的整体水平显得尤为迫切。健全的质量管理制度的建立，能够使各级管理人员的职责更加明确，从而形成全员参与的管理模式。加大工程安全监管力度，确保每个项目都配备充足的专业人员，必将实现全面覆盖与实时监控。此外，加强对建设与管理人员的专业培训，能够有效提升他们的质量安全意识与管理技能，从而提高整个团队的素质。现代科技在水利工程监管中的创新与应用愈加重要。引入信息化监控与无人机巡检等现代科技手段，显著提升了监督管理的效率，同时为实时监测与数据分析提供了有力支持。面对未来水利工程建设的复杂性与挑战，持续探索新的管理方法与技术手段显得尤为重要，以适应不断变化的需求。

[参考文献]

[1]杨亚红.水利工程质量与安全监督管理问题及解决策略研究[J].水上安全,2024(16):139-141.
[2]李相.水利工程质量与安全监督管理问题及解决策略研究[J].清洗世界,2024,40(4):187-189.
[3]巩建军.基层水利工程质量监督管理中存在的问题及对策研究[J].黑龙江水利科技,2021,49(12):216-218.
[4]雷刚.水利工程质量监督管理工作存在的问题及对策[J].工程技术研究,2021,6(20):128-129.
[5]袁敏.简析水利工程建设质量与安全监督管理问题[J].长江技术经济,2021,5(2):53-55.

作者简介：彭新伟（1970.12—），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：新疆生产建设兵团第三师图木舒克市水利工程质量安全中心，就职单位职务：科员，职称级别：中级。

水利水电工程中水库水闸设计的实践探究

徐小明
南昌市水利规划设计院有限公司，江西 南昌 330038

[摘要]在水利水电工程中，水库作为重要的组成部分，其设计关系到水利水电工程的整体质量。而水闸作为水库的重点与关键，主要起到了抗洪排涝灌溉以及通航等作用。做好水库水闸设计，有利于水利水电工程充分发挥其作用，更好地促进社会经济发展。此文分析了水库水闸设计，并对其中的注意事项进行分析，力求完善水闸设计，提高水利水电工程的社会经济效益。
[关键词]水利水电工程；水库水闸设计；设计实践
DOI：10.33142/hst.v7i11.14304　　中图分类号：TV66　　文献标识码：A

Practical Exploration on Reservoir Sluice Design in Water Conservancy and Hydropower Engineering

XU Xiaoming
Nanchang Water Resources Planning and Design Institute Co., Ltd., Nanchang, Jiangxi, 330038, China

Abstract: In water conservancy and hydropower engineering, reservoirs are an important component, and their design is related to the overall quality of water conservancy and hydropower engineering. As the key and focal point of reservoirs, water gates mainly play a role in flood control, drainage, irrigation, and navigation. Designing reservoir gates well is beneficial for water conservancy and hydropower projects to fully play their role and better promote social and economic development. This article analyzes the design of reservoir gates and the precautions to be taken in order to improve the gate design and enhance the social and economic benefits of water conservancy and hydropower projects.
Keywords: water conservancy and hydropower engineering; reservoir sluice design; design practice

引言

水利水电工程作为我国基础设施建设的关键组成部分，其中水库水闸作为核心设施之一，承担着调控水流、调节水位、保障水库安全运行及防洪减灾等重要功能。随着水资源需求的不断增长以及气候变化带来的种种挑战，水库水闸的设计与施工面临着更为严格的技术要求与安全保障压力。水闸设计的科学性与合理性，不仅直接影响水库的正常运行，还对下游的防洪安全、生态环境保护及社会经济效益产生深远的影响。在复杂的地质、水文及气候条件下，如何设计出既满足功能需求又能够保证较高安全性与经济性的水闸，已成为水利水电工程设计中的一项重大课题。本文旨在深入探讨水库水闸设计的实践，分析设计过程中遇到的关键技术难题、常见问题及解决方案。通过研究，意图揭示水闸设计中的技术瓶颈，探索如何通过优化设计与技术创新来提升水闸的稳定性、安全性及经济性。期望本研究能够为水库水闸未来的设计与施工提供有效参考，推动水利水电工程领域技术的进步，提升其在应对水资源短缺、洪水防控等方面的综合能力。

1 水利水电工程水库水闸的重要类型

在水利水电工程中，水库水闸作为关键的水控结构，种类繁多，且各自承担着不同的功能与应用。常见的水库水闸类型包括进水闸、节制闸、放水闸、溢洪道及溢流闸等。进水闸的主要功能是调节水流进入水库或水电站的流量，从而保持下游水流的稳定性。通常，固定闸门或升降闸门形式被用于进水闸，以便于水流的精确控制。节制闸则用于维持库区水位的稳定，防止水位波动对周围环境造成不利影响。配备闸门与启闭机等设备，节制闸调控水流的流量与流速。放水闸主要用于在水库蓄水过多时启动，迅速排放多余水量，以防止溢洪或坝体安全风险。具备强大排水能力的这种水闸能够有效疏导水库内的超量水流。溢洪道与溢流闸则主要用于应对极端天气或突发暴雨等自然灾害带来的排水需求。水库水位一旦超出设计洪水位，溢洪道与溢流闸便会自动开启，将多余水量排放至下游或指定区域，从而避免水库溢洪及坝体损坏。不同类型的水闸应根据水库的功能需求、地理特征以及气候条件等多方面因素，合理选择与设计。如此，才能实现水资源的有效管理，确保水库的安全运行，并维持下游生态系统的稳定。

2 水利水电工程中水库水闸的施工要点

2.1 地基开挖的施工要点

在水利水电工程中，水库水闸的地基开挖作为关键施工环节，其质量对水闸的稳定性与长期使用性能具有直接影响。开挖前，必须进行详尽的地质勘察，以获取土壤类型、地下水位、地质构造等重要信息。这些信息对于确保开挖深度与范围符合设计要求，并为后续施工提供准确依据，至关重要。开挖作业中，周围环境的保护尤为重要，特别是水库附近的土壤、植被及水资源管理，避免施工扰

动引起地下水流失或水库水位波动。在开挖过程中，严格按照设计图纸执行是必须的，确保开挖断面与深度的精确度，从而保证地基的均匀性与稳定性。面对复杂地质条件（如软土层或岩石层），开挖方式应根据现场实际情况灵活调整，并采取必要的支护措施，诸如支撑架或喷射混凝土等，以防止边坡坍塌或塌陷。若在含水层较多的区域进行开挖，渗水现象可能发生，此时应通过排水或降水措施降低地下水位，确保施工安全与质量[1]。在水闸基础部位开挖时，基础底面平整度的严格控制显得尤为重要，基础的不均匀可能导致水闸不稳定，从而影响整体结构的安全性与使用功能。

2.2 灌浆施工的要点

在水利水电工程中，水库水闸的灌浆施工对确保结构的稳固性、防渗性及长期耐久性至关重要。灌浆的主要目的是填补水闸基础、地基及闸体中的裂缝与空隙，从而增强基础的承载力，防止水流通过基础引起渗漏现象，并提高水闸的安全性及长期稳定性。灌浆前，必须进行充分的勘察与评估，明确灌浆区域、孔位以及所用材料的种类与配比。灌浆材料的选择通常取决于基础土质、裂缝大小、渗透性及施工环境等因素，常用的材料包括水泥浆、化学浆及高强度灌浆材料。灌浆孔位的布置应遵循科学原则，通常通过钻孔或开挖的方式进行，以确保灌浆能够有效覆盖所有空隙与裂缝。在施工过程中，灌浆压力的控制至关重要；过高的压力可能导致灌浆材料渗入不必要的部位，损害结构的完整性，而过低的压力则可能导致灌浆不均匀，影响防渗效果。为了保证灌浆质量，施工时应分阶段进行，并实时监控浆液的流动性与渗透性，确保每次灌浆都能完全填充目标区域，达到设计要求。此外，灌浆孔的清理与维护也十分重要，杂物若影响灌浆质量，将会导致严重的后果。灌浆完毕后，应对灌浆区域进行密实性检测与强度测试，以确保灌浆层的密实性与均匀性，防止因灌浆不当引发的渗漏或结构不稳定问题。

2.3 施工导流的要点

在水利水电工程中，水库水闸的施工导流是关键环节，尤其在大规模水库或水闸建设过程中，其重要性尤为突出。施工导流的核心目标是在不干扰现有水体正常运行的前提下，将施工区域的水流引导至其他区域，从而确保施工区域的干燥，便于操作，同时不对水库的正常功能产生不利影响。导流工程的设计与实施需综合考虑水流量、流速、流态及施工进度等多个因素，以确保导流方案的安全性、稳定性与可控性。在设计阶段，应考虑水库水位变化、季节性降水及流域水文条件等因素，进行全面评估并选择最适合的导流方式。常见的导流方法包括开挖导流渠道、设置临时排水系统或安装临时泵站等。导流渠道的设计必须确保流速处于安全范围内，以避免过大的水流冲刷、滑坡或结构损坏。此外，导流设施的布置需紧密配合水库水闸施工进度，合理安排施工区域与导流区域的交替，从而使施工区域保持干燥或低水位状态，避免水流干扰施工进程。实际施工过程中，导流设施的稳定性至关重要，水流变化应实时监测，导流渠道的畅通性需定期检查，防止积水或杂物阻塞，确保导流顺畅，避免施工进度与安全受到影响。尤其在洪水期或大流量情况下，导流措施的应急能力必须足够强大，以应对突发水流变化，防止意外发生。此外，施工导流期间产生的废水或污染物应有效处理，避免对水源及生态环境造成污染。导流工程完成后，还应对导流设施进行全面检查与清理，确保水流恢复正常，并保证施工区域符合设计要求，从而确保工程的顺利进行。

2.4 防渗墙施工的要点

在水利水电工程中，水库水闸的防渗墙施工是确保水库稳定运行及水闸结构安全的关键环节，其主要任务是防止水体渗透坝体或闸体，从而有效避免水流对土体的侵蚀及渗透破坏，确保水库水位的稳定性。防渗墙的建设质量直接关系到水库的安全性，施工要点涉及设计、材料选用、施工工艺及质量控制等多个方面。防渗墙的设计应基于详尽的地质勘察报告，并结合水库的实际情况及周围环境，确保设计能够满足防渗需求[2]。常用的防渗材料包括黏土、膨润土及混凝土等，这些材料具有较好的隔水性能，且能在特定荷载条件下保持稳定性。在施工阶段，防渗墙的开挖深度及宽度必须严格遵循设计规范，且施工过程中应尽量减少对周围土体的扰动，确保开挖面的平整性与稳定性。特别是在使用注浆技术时，浆液必须准确地注入开挖后的裂缝与空隙中，以通过化学反应增强防渗层的密实性。浆液的配比、注入压力及注入量应精确控制，确保防渗效果达到设计要求。在防渗墙铺设过程中，每一层材料必须均匀铺设，经过充分夯实，确保其密实度，从而避免空隙或裂缝的形成，影响防渗性能。此外，施工过程中还应考虑天气条件的影响，极端天气可能对材料质量产生不利影响，必要时可采取遮盖、降温等保护措施。实时监测被认为是保障施工质量的重要手段，通过浸水试验等方式检测防渗墙的防水效果，确保每个施工环节均达到设计要求，从而提高水闸的安全性与长期使用性。

3 水利水电工程中水库水闸的设计

3.1 重视闸室的安全计算

在水利水电工程中，水库水闸的设计至关重要，尤其是闸室的安全计算，这一环节是确保水闸长期稳定与安全运行的关键。作为水库水闸的核心组成部分，闸室需要承受水流、土壤、机械设备等多重外部压力，其设计的安全性直接关系到水闸整体结构的稳定性及使用寿命。因此，闸室安全计算的重视变得尤为重要，合理考虑外部荷载、内部压力以及水流的动态影响必须得到充分体现。闸室安全计算应当综合考虑多个因素，包括水压力、土压力、渗透压力及地震荷载等。在设计时，水库水位的波动、风浪的影响以及闸门启闭操作引起的瞬时负荷，必须精确计算，以确保闸室在不同工况下能够承受必要的荷载，避免结构变形或破坏。

此外，土壤的稳定性、基础的承载力以及施工过程中可能出现的沉降现象，也应被纳入计算范围。为了有效评估结构的安全性，有限元分析法通常被用来进行应力和变形的精确分析，确保结构的各部分应力能够均匀分布，从

而防止局部应力集中导致的失稳。在计算过程中，特别需要关注水流对闸室产生的冲击力及摩擦力，尤其是在极端天气或洪水事件发生时，闸室可能面临超常水流的冲击，进而可能导致水闸过载。除了静态荷载计算外，动态荷载分析同样是不可忽视的，考虑设备启动、操作误差及水流突变等可能引发的动态效应，必须融入设计考虑之中。闸室结构的耐久性与抗渗性亦是安全计算的重要内容，通过合理的结构设计，避免渗水、腐蚀或长期使用中的磨损，能够有效减缓这些因素对闸室稳定性产生的不良影响。

3.2 进水闸类型与尺寸的设计

在水利水电工程中，进水闸的设计对水库水闸的正常运行至关重要。作为控制水流进入水库及调节水位的关键设施，进水闸的类型与尺寸直接影响水库的水资源调配能力，以及水闸的安全性与稳定性。进水闸类型的选择，需根据水库的规模、地理条件、流域特点以及实际需求进行综合评估。常见的类型包括固定式、升降式及浮动式进水闸。固定式进水闸，适用于水流较为稳定、流速较低的区域；升降式进水闸，则常用于水流变化较大或水位较高的地区，具备较强的调节功能；浮动式进水闸则多用于潮汐变化大或流域条件复杂的水域。进水闸的尺寸设计，需考虑多种因素。首先，水库的设计水位与流量是关键依据。根据流量大小，闸门的开度与尺寸需相应调整[3]。在流量较大的区域，尺寸较大的进水闸应予以选择，以确保水流的顺畅进出，避免过大水流阻力，减少对闸门的冲击与磨损。其次，设计时还需考虑水库的水压与流速，以确保进水闸的结构能够承受水流冲击力及静水压力，防止水流过大而造成闸门的变形或损坏。

此外，闸门的操作便捷性与安全性也需在设计中予以重点关注。特别是在洪水或极端天气条件下，闸门的启闭必须具备足够的灵活性与应急能力，以确保水库水位的有效调控。具体设计过程中，闸门与闸室的协调性同样重要。设计应避免水流过于集中或直接冲击闸门，以免影响水库的正常运作。

3.3 节制闸基本形式与尺寸的确定

在水利水电工程中，节制闸的设计是确保水库水位控制、洪水调度及水资源合理利用的关键环节。节制闸的形式与尺寸的确定，需综合考虑水库的设计水位、流量要求、区域气候条件及工程安全性等因素。常见的节制闸类型包括浮式、升降式及固定式节制闸。应依据水库的地理位置及其运行需求，评估并选择适合的节制闸类型。浮式节制闸，适用于水位变化较大的地区，能够灵活适应水位波动；升降式节制闸则常用于流量调节频繁的区域，通过调节闸门的开度实现流量控制；而固定式节制闸，通常用于水流稳定、变化不大的区域，适合长期稳定运行。在节制闸尺寸的设计中，首要考虑的因素是流量需求。节制闸的设计，必须满足最大流量及日常流量调节的需求。具体来说，节制闸的宽度、闸门高度及结构形式应根据水库的流量情况来决定，确保在不同流量条件下，节制闸能够有效调节水流，避免水位过高或过低。设计时，水流的冲击力及节制闸的承载能力，也需予以充分考虑，防止因尺寸不当导致水流控制不稳定，从而影响水库的正常运行安全。节制闸的设计还必须符合水库的防洪要求。特别是在极端天气或洪水期间，节制闸应具备足够的调节能力，确保水流能够安全、有效地调节，防止水位过高而引发溃坝等潜在安全风险。

3.4 闸门梁系的设计

在水利水电工程中，闸门梁系的设计，对于确保水库水闸的安全性与稳定性至关重要。闸门梁系的主要功能，支撑闸门的重量、承受水流冲击力，并承担在启闭过程中产生的各种力。设计过程中，必须充分考虑闸门的尺寸、启闭方式以及水位波动等因素，合理选择梁体的材料及截面尺寸。常用的材料，通常为高强度钢材或钢筋混凝土，这些材料具备承受较大水流压力及外力冲击的能力。梁系的结构形式，应力求简洁且稳固，避免过多复杂的连接部件，以减少应力集中并防止不必要的结构复杂性[4]。支撑与连接方式的选择，至关重要，必须确保梁系具备足够的抗震及抗冲击能力。通常，通过焊接或高强度螺栓连接，保证各部件的紧密配合与安全性。此外，设计时，应充分考虑启闭设备的空间需求，以确保启闭系统能够高效、顺畅地运行。在长时间的使用过程中，梁系的耐腐蚀性与易维护性，也是重要的考量因素。设计方案，必须保证能够确保梁系在长期运行中的稳定性与安全性。

4 结语

水库水闸，作为水利水电工程中的核心设施，其设计，不仅需满足基本的功能要求，还必须确保结构的安全性、经济性及可持续性。在实际设计过程中，水文、地质与环境等多方面因素，必须充分考虑，且设计方案应科学合理地选择。尤其是在节制闸、进水闸以及闸门梁系的设计方面，技术手段，需持续优化，以确保水库能够安全稳定地运行。随着工程技术的不断进步与创新，水库水闸的设计理念，亦在不断发展。新型材料的应用与智能化技术的引入，为水闸设计带来了更广阔的可能性。在面对水资源短缺及极端天气等挑战时，水库水闸，将发挥更加关键的作用。为此，进一步加强水库水闸的设计研究与技术探索，不仅对推动水利水电工程的可持续发展至关重要，也对提升我国水利基础设施建设的整体水平，具有深远的战略意义。

[参考文献]

[1]董冠驿.水利水电工程中水库水闸设计的实践探究[J].水上安全,2024(20):160-162.
[2]姚崇武.浅析水利水电工程中的水库水闸设计[J].城市建设理论研究(电子版),2023(23):214-216.
[3]汤金跃,闭文德.水利水电工程中的水库水闸设计[J].城市建设理论研究(电子版),2017(11):170.
[4]范文仁,代兴勇.浅谈水利水电工程中水库水闸设计分析及其存在的问题[J].智能城市,2018,4(3):159-160.

作者简介：徐小明（1990.8—），男，毕业于南昌大学，本科学历，所学专业：水利水电工程，从事水利工程设计工作，水利工程助理工程师，已参加水利工程设计工作10年。

水利工程安全管理中风险识别与应急预案优化

高 辉
临泉县内河河道管理所，安徽 临泉 236400

[摘要]水利工程在建设与运营过程中面临多种风险因素，影响工程安全与社会效益。通过对水利工程的风险进行系统识别，结合现场调查与专家评估，建立了全面的风险管理体系。在此基础上，针对风险识别结果，优化了应急预案设计，提升了应急响应能力与处理效率。优化措施包括完善信息流通机制、强化现场管理与应急培训、制定多种应急方案，以确保在突发事件发生时能够快速有效应对，保障工程安全和人民生命财产安全。

[关键词]水利工程；风险识别；应急预案；安全管理；优化
DOI：10.33142/hst.v7i11.14280 中图分类号：TV698.1 文献标识码：A

Risk Identification and Emergency Plan Optimization in Water Conservancy Engineering Safety Management

GAO Hui
Linquan County Inland River Management Office, Linquan, Anhui, 236400, China

Abstract: Water conservancy projects face various risk factors during construction and operation, which affect project safety and social benefits. A comprehensive risk management system has been established through systematic identification of risks in water conservancy projects, combined with on-site investigations and expert evaluations. On this basis, the emergency plan design was optimized based on the risk identification results, and the emergency response capability and processing efficiency were improved. Optimization measures include improving the information flow mechanism, strengthening on-site management and emergency training, and developing various emergency plans to ensure quick and effective response in case of emergencies, safeguarding engineering safety and the safety of people's lives and property.

Keywords: water conservancy engineering; risk identification; emergency plan; safety management; optimization

引言

随着水利工程规模的不断扩大与复杂性的增加，工程安全管理面临的挑战日益严峻。自然灾害、设备故障及人为失误等多种风险因素潜藏其中，任何一项突发事件都可能导致严重的工程事故或财产损失。因此，如何有效识别潜在风险并制定高效的应急预案，成为保障水利工程安全的关键。优化的应急预案不仅能提升应急响应的速度和准确性，还能确保资源的合理调配与人员的有效协同，进而为水利工程的长期稳定运行提供强有力的支持。

1 水利工程安全管理中的风险识别方法

水利工程的安全管理涉及到多个环节，而风险识别是确保工程安全的首要步骤。水利工程通常面临自然灾害、设备故障、设计缺陷以及人为失误等多种风险因素。因此，科学有效的风险识别方法对于提升工程的安全性和应急响应能力至关重要。风险识别的首要任务是对所有可能的风险因素进行全面扫描和分类。在这一过程中，首先需要结合工程的具体特点，明确潜在的风险源，如水库的溃坝风险、泄洪道的堵塞风险、施工过程中的人员伤亡风险等。通过对工程现场的详细调查、专家访谈以及历史数据分析，可以较为准确地识别出可能导致安全问题的关键因素。

除了传统的现场勘查和历史数据分析外，现代化的风险识别方法还借助于计算机模拟与大数据分析技术。例如，利用地质勘查数据、气象预测信息以及设备运行状态数据，采用数值模拟等手段对水利工程中的潜在风险进行预测与分析。这种方法不仅能提高风险识别的精度，还能在早期发现一些可能忽视的隐患，从而为后续的应急预案设计提供有力支持。此外，专家评估也是风险识别的重要手段。通过组织水利工程领域的专家团队，结合实际情况，对不同环节进行风险评估，可以更加全面地识别出系统性和深层次的潜在问题。

在风险识别的过程中，必须考虑到不同风险因素之间的相互关系以及风险事件可能造成的联动效应。例如，一次大规模的暴雨可能导致山体滑坡，而山体滑坡又可能破坏水利设施，从而引发更为严重的次生灾害。这种连锁反应的识别对于制定有效的应急预案至关重要。因此，水利工程的风险识别不仅要关注单一的风险源，还要分析各种风险之间的相互作用。通过多角度、多层次的风险识别方法，可以全面掌握水利工程的安全状况，为后续的应急预案优化和管理措施提供理论依据和数据支持，从而确保水利工程在面对各种突发事件时能够有效应对，最大限度地降低事故发生的概率，保护人民生命财产安全。

2 水利工程常见风险因素分析与评估

水利工程常见的风险因素主要包括自然灾害、工程设

计与施工缺陷、设备故障、管理疏忽以及人为操作失误等。这些风险因素不仅影响工程的正常运行，还可能在突发情况下引发严重的安全事故。例如，水库溃坝、堤防溃决、洪水泛滥等自然灾害风险是水利工程中最常见的威胁。由于水利工程通常涉及庞大的水量调控，一旦发生极端气候或自然灾害，可能导致控制系统失效、设施破坏甚至重大人员伤亡。此外，随着气候变化的加剧，水利工程所面临的极端天气事件也在逐渐增多，这使得自然灾害的风险预测和应对显得更加复杂和严峻。

除了自然灾害外，工程设计和施工中的缺陷也是导致水利工程安全问题的重要风险因素。在设计阶段，如果对地质、气象、水文等因素的评估不充分，可能会导致工程方案存在隐患。例如，水库大坝设计不合理、排水系统容量不足或施工质量不达标等，都会加大项目后期运营中的风险。在施工过程中，材料的质量问题、施工工艺的错误以及施工人员的操作失误，均可能导致设施在使用过程中出现问题。特别是在复杂地质条件下，工程的建设难度加大，设计与施工的缺陷往往会造成极大的潜在风险。因此，水利工程设计与施工的精确性和规范性直接关系到整个工程的安全性。

除了自然灾害与设计施工问题外，设备故障也是影响水利工程安全的重要因素。水利工程通常涉及大量的机械设备，如水泵、闸门、自动化控制系统等，这些设备的正常运行对工程的安全至关重要。然而，设备在长期运行过程中，由于老化、维护不当、技术故障等原因，可能会导致性能下降，甚至发生故障。尤其是在水库、泵站等关键设施中，设备故障一旦发生，可能会导致水流失控或供水中断，进而引发更严重的灾害。为了减少设备故障的风险，需要建立定期的检查和维护机制，确保设备始终处于良好状态。此外，管理疏忽和人为操作失误也在一定程度上加剧了水利工程的安全隐患。人员培训、操作规范的制定与执行是降低风险的重要手段。通过全面的风险评估和针对性预防措施，可以有效应对水利工程中的多种风险因素，减少事故发生的概率，确保水利工程的安全运行。

3 风险识别结果对应急预案设计的影响

风险识别的结果直接决定了应急预案的设计与实施效果，因此在水利工程的安全管理中，准确的风险识别为应急预案的制定提供了理论依据和操作指南。通过系统地识别工程中可能出现的各种风险，尤其是那些极端和突发性的事件，可以帮助管理者明确哪些风险最具威胁性，从而优先制定针对性强的应急预案。例如，在水库管理中，溃坝的风险被识别为重大隐患，相关应急预案便会重点设计如何在大坝出现裂缝、渗水等异常情况时及时启动预警、疏散人员、进行抢修等一系列处理措施。通过明确各类风险的可能性和影响程度，应急预案的设计能更具针对性和操作性，从而在突发事件发生时能够更快速、更有效地进行应对。

风险识别结果对应急预案的设计不仅体现在预案内容的全面性和针对性上，还表现在应急响应流程的优化上。通过对潜在风险的全面识别，能够确保预案设计时覆盖所有可能的风险情景，避免遗漏。在实际应急响应过程中，针对不同风险源的应急措施可以进行分级处理。例如，对于自然灾害引发的风险，可能需要加强气象监测与预警系统的建设，同时对受灾区域进行抢险与救援；而对于设备故障引发的风险，预案中可能会涉及到设备检修与替换的预案安排。每一种风险情景的发生，都需要不同的应急响应流程和应急资源的配置，通过风险识别的结果可以确保应急预案在执行时能及时、精准地调动相关资源，减少应急响应过程中的不确定性。

风险识别的结果还对应急预案的演练与培训工作有着重要影响。应急预案的有效性不仅依赖于理论设计，还取决于相关人员的熟练程度与应急响应的协调性。在水利工程中，工程管理者和一线操作人员的紧密合作对于应急处理至关重要。通过风险识别，可以在预案设计的基础上，针对不同类型的风险开展相应的应急演练与培训。例如，对于水库溃坝等重大风险，需要通过模拟演练检验人员在紧急情况下的应急反应能力，确保其能在灾难发生时快速有效地采取行动。定期的演练不仅能够帮助提升工作人员的应急能力，也能进一步完善预案中的漏洞，提高整体应急管理水平。风险识别为应急预案的设计、演练和培训提供数据支持，有助于最大程度减少风险发生时的损失与影响。

4 应急预案优化策略与实施路径

应急预案的优化策略主要是通过对水利工程中已识别的风险进行动态评估，不断完善预案内容，以确保能够在突发事件发生时提供高效、精准的应对措施。首先，优化应急预案必须紧密结合水利工程的实际情况，根据不同风险类型和突发事件的特点，设计具有针对性的应急响应方案。例如，对于洪水风险，应急预案中应包括具体的水位监测、泄洪操作程序以及人员疏散路线等；而对于设备故障引发的风险，则应聚焦于设备故障的排查、替换与修复等措施。此外，优化应急预案还应强化应急资源的调度和配置，确保在突发事件发生时，能够迅速动员应急队伍、设备与物资，以最大程度地减少事故损失。

除了针对性的措施外，应急预案的优化还要加强信息流通机制的建设。在水利工程中，信息传递的迅速与准确性直接关系到应急响应的成效。因此，应急预案的优化应首先考虑建立一套完善的信息收集、处理与传播机制。通过高效的信息平台，确保各方在事态发生初期即可获得及时的信息，从而做出快速决策。此外，预案中还应包括对各类应急设备与技术手段的明确要求，提升应急指挥系统的科技水平。例如，利用卫星遥感、无人机监测等高新技术手段，实时掌握灾情变化并提供数据支持，进而优化决

策过程。通过这些信息化手段的辅助，能够大大提高应急响应的灵活性与准确性。

在优化应急预案时，还应重视应急演练与人员培训的落实。优化后的应急预案是否能够真正发挥作用，离不开一线人员的熟悉与演练。因此，应急预案的实施路径之一是定期组织应急演练，模拟各种可能的突发事件，并让相关人员参与其中，熟悉不同应急流程和操作规程。演练过程中，要注重模拟真实环境和情境，通过演练不断完善预案中的细节，发现潜在的问题并加以改进。同时，针对不同岗位的人员开展专业培训，确保每位应急人员都能在紧急情况下迅速做出正确反应。只有通过反复的演练和系统的培训，才能确保应急预案在实际操作中真正能够落地生效，达到预期的应急响应效果。

5 提高水利工程安全管理效能的关键措施

提高水利工程安全管理效能的关键措施，首先在于强化风险识别和评估的精度与深度。只有对工程中可能存在的风险因素进行全面、准确的识别，才能为后续的安全管理和应急预案设计提供有力支持。风险识别不仅仅是对潜在危险源的列举，更需要深入分析各类风险的发生概率、可能影响的范围以及对工程和社会造成的后果。通过引入现代技术手段，如遥感监测、智能传感器和大数据分析等，可以实时获取和分析水利工程中潜在的风险数据。这些技术的应用可以有效提高风险预测的准确性，并且能够在灾害发生前提供预警，从而提前采取防范措施，大大降低突发事件的发生频率与影响程度。

优化应急预案和应急响应机制，是提高水利工程安全管理效能的另一个关键措施。应急预案不仅要具备针对不同类型风险的应急处理措施，还要注重提高预案的灵活性和实用性。优化应急预案需要在风险识别的基础上，结合实际情况，制定详细的操作流程和资源调配方案。同时，预案的实施要以快速响应为目标，确保在突发事件发生时，能够在最短时间内启动应急程序，协调各方力量进行有效处置。在此过程中，强化信息化建设至关重要。应急响应过程中，应依托高效的信息平台进行实时数据共享，保证各级应急人员、管理者和决策者能够在第一时间获得准确的灾情信息，从而做出快速而正确的应急决策。

提高水利工程安全管理效能的一个重要措施是加强日常管理和人员培训。安全管理的效果不仅依赖于应急响应和预案执行，更取决于日常的安全管理和监管工作。定期对水利设施进行检查和维护，确保所有设备和设施在正常状态下运行，是防止事故发生的前提。同时，安全管理人员和一线操作人员的培训工作必须得到重视，只有使其熟悉安全操作规范，具备快速处理突发事件的能力，才能确保在灾难来临时，能够迅速有效地作出反应。因此，加强安全文化建设、提升员工的安全意识、开展定期的安全培训与应急演练，能有效提高人员应对突发事件的能力和整体应急响应效率。通过这些措施的持续推进，可以为水利工程的安全管理提供长效保障，确保工程的顺利运行及社会效益的最大化。

6 结束语

水利工程的安全管理是保障工程顺利运行与人民生命财产安全的重要保障。通过全面识别风险、优化应急预案及强化日常管理，可以有效提高水利工程的安全管理效能。面对日益复杂的风险环境，必须依托现代技术手段，加强信息化建设，提升应急响应能力。同时，通过定期演练和人员培训，确保各项预案得以高效实施。只有不断完善安全管理体系，才能在保障水利工程可持续发展的同时，最大程度地防范和减少潜在风险的发生。

[参考文献]

[1]王智轩.引江河水利工程安全风险管理研究[D].镇江:江苏大学,2020.
[2]梁沫.水利工程项目建设施工风险管理分析[J].工程与建设,2023,37(3):1053-1055.
[3]李纪文.水利工程监理的安全管理风险及应对策略研究[J].水上安全,2024(4):157-159.
[4]胡军法,李万夫.水利工程监理中的安全生产管理与事故预防策略[A].中国智慧工程研究会.2024 人工智能与工程管理学术交流会论文集[C].北京:中国智慧工程研究会,2024.
[5]刘铭瑞.基于风险评估的水利工程施工水上安全管理策略研究[J].水上安全,2024(18):29-31.

作者简介：高辉（1997.12—），男，安徽省阜阳市，汉族，专科，水利水电助理工程师，就职于安徽省临泉县内河河道管理所，从事水利工程管理工作。

基于透明化管理的水利工程招标代理模式探讨

耿龙祥
新疆新水建设工程造价咨询有限责任公司，新疆 乌鲁木齐 830000

[摘要]透明化管理在水利工程招标代理模式中发挥着重要作用。通过增强信息透明度和提高公众参与度，能够有效降低腐败风险、提高招标的公正性和效率。同时，透明化管理促进了资源的合理配置与使用，增强了社会各界对水利工程的信任与支持。探讨水利工程招标代理模式的透明化管理，不仅有助于优化招标流程，还有助于提升工程质量和可持续发展能力，为行业提供更为清晰的规范和标准。

[关键词]透明化管理；水利工程；招标代理；公正性；效率
DOI：10.33142/hst.v7i11.14310　　中图分类号：TV51　　文献标识码：A

Exploration on the Bidding Agency Model for Water Conservancy Projects Based on Transparent Management

GENG Longxiang
Xinjiang Xinshui Construction Engineering Cost Consulting Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830000, China

Abstract: Transparent management plays an important role in the bidding agency model of water conservancy projects. By enhancing information transparency and increasing public participation, the risk of corruption can be effectively reduced, and the fairness and efficiency of bidding can be improved. At the same time, transparent management promotes the rational allocation and use of resources, enhancing the trust and support of various sectors of society for water conservancy projects. Exploring the transparent management of the bidding agency model for water conservancy projects not only helps optimize the bidding process, but also enhances the quality and sustainable development capabilities of the project, providing clearer norms and standards for the industry.

Keywords: transparent management; water conservancy projects; bidding agency; fairness; efficiency

引言

水利工程招标代理模式的透明化管理是提升行业竞争力与可持续发展的关键所在。随着社会对公共资源管理的关注日益增强，透明化管理成为解决招标过程不公、效率低下等问题的重要手段。通过加强信息共享与公众参与，不仅能够有效降低腐败风险，还能提高工程质量与社会信任度。深入探讨这一管理模式，将为水利工程领域的改革与发展提供新的视角和思路。

1 透明化管理的理论基础与重要性

透明化管理作为一种现代管理理念，强调信息公开与透明度在决策和执行过程中的重要性。其核心思想是通过提高管理过程的可见性，增强各方利益相关者的信任，最终实现更高效、公正的管理目标。在水利工程领域，透明化管理尤为重要，因为它涉及大量公共资源和资金的使用，对社会各界的影响深远。

透明化管理有助于建立良好的政府与公众之间的信任关系。在水利工程的招标过程中，信息的不对称常常导致利益相关者之间的矛盾与冲突。通过透明化管理，招标信息、评标标准、评标结果等均可公开，公众能够实时获取相关信息，从而对招标过程进行监督。这种透明度不仅能够减少公众的疑虑，还能增强社会对政府决策的信任，形成良好的互动关系。

透明化管理能够有效降低腐败风险。水利工程项目由于资金庞大且涉及面广，易成为腐败行为的温床。透明化管理通过实施严格的信息公开制度，使得每一个环节都处于阳光之下，任何不当行为都难以隐匿。此外，透明化的招标过程可以有效遏制利益输送、暗箱操作等不正当行为，确保招标的公正性和合法性，从而维护市场秩序。

透明化管理提升了招标过程的效率。传统的招标模式往往存在信息传递不畅、反馈机制不完善等问题，导致招标周期延长。通过实施透明化管理，各方参与者可以及时获取所需信息，快速响应，提高了决策效率。同时，透明化管理促进了资源的合理配置，避免了因信息不对称而造成的资源浪费和重复投资。

透明化管理在水利工程中的应用，还能够增强公众参与感。在透明化的环境下，社会各界不仅能够了解招标过程，还能提出意见和建议，参与到项目的决策中。这种公众参与不仅能够提高项目的可行性，还能增强工程的社会责任感，使得水利工程更贴近民众需求，达到更好的社会效益。

透明化管理为水利工程的可持续发展奠定了基础。随着可持续发展理念的深入人心，社会对水利工程的要求也越来越高。通过透明化管理，水利工程项目的环境影响、社会责任等方面可以得到有效评估和监控，确保项目在生

态和社会层面上的可持续性。这样，不仅提高了水利工程的社会价值，也促进了整个行业的健康发展。

2 水利工程招标代理现状分析

水利工程招标代理的现状在很大程度上反映了行业发展过程中面临的挑战与机遇。近年来，随着国家对基础设施建设的重视，水利工程项目数量逐渐增加，招标代理市场也随之扩展。然而，当前水利工程招标代理仍存在一些亟待解决的问题。

招标信息的不对称性是当前水利工程招标代理的一大顽疾。在许多情况下，招标信息未能全面、及时地向社会公开，导致潜在投标人无法充分获取必要的信息。这种信息不对称不仅削弱了竞争，也使得招标过程易受不正当干预，增加了腐败的风险。因此，如何在招标过程中实现信息的透明化，成为亟须突破的关键问题。

招标代理机构的专业性和公信力不足也是一个显著问题。部分招标代理机构缺乏专业背景和相关经验，无法为招标过程提供高质量的服务。此外，某些机构可能因利益驱动而忽视透明化原则，导致招标结果的公正性受到质疑。提升招标代理机构的专业性与公信力，确保其能够在招标过程中履行应尽的职责，显得尤为重要。

现有的招标法律法规尚未完全适应新形势下的需求。在水利工程招标过程中，法律法规的滞后性使得一些不合理的规定影响了招标的效率和公正性。例如，在某些情况下，法律对于招标文件的要求不够明确，导致各方在执行时出现理解偏差。为此，完善相关法律法规，适应市场需求，提升招标的科学性和合理性，显得尤为必要。

招标过程中的公众参与度较低。虽然近年来公众参与招标的意识有所提高，但在实际操作中，公众对招标过程的知晓和参与仍然有限。这种低参与度不仅影响了招标结果的公信力，也限制了社会各界对水利工程项目的监督。提升公众参与度，确保各方利益相关者能够在招标过程中发挥作用，将有助于实现招标的公平与透明。

信息化建设的滞后也是水利工程招标代理现状中的一大问题。尽管一些地区已开始引入信息化手段，但整体信息化水平仍有待提高。信息化系统的建设不仅可以提高招标的效率，还能增强信息的透明性。因此，加快水利工程招标代理的信息化建设，推动电子招投标的普及，将是未来行业发展的重要方向。

3 透明化管理在招标流程中的应用

透明化管理在招标流程中的应用，旨在通过信息公开与共享，提升招标的公正性与效率，降低腐败风险。其具体应用体现在多个方面，涉及招标信息的公开、评标过程的透明化以及公众的参与。

招标信息的公开是透明化管理的基础。在招标的各个环节，相关信息应及时、全面地向社会披露。包括招标公告、招标文件、评标标准及中标结果等，均应在相关平台上公开发布，确保所有潜在投标人能够平等获取信息。这样的信息透明度不仅有助于增强竞争，还能够提升招标过程的信任度，减少利益输送和暗箱操作的可能性。随着信息技术的发展，电子招投标平台的引入，使得信息共享变得更加高效和便捷。

评标过程的透明化是透明化管理的重要组成部分。在评标过程中，应采取客观、公正的评审标准，确保评标环节的每一步都能被审查与监督。例如，邀请第三方机构参与评标，或者通过录像等手段记录评标过程，能够有效提高评标的公正性。同时，评标结果应及时公布，接受社会监督，确保评审的透明度。这种透明化评标机制，不仅提升了投标人对招标结果的认可度，也促进了公平竞争环境的形成。

公众的参与在透明化管理中扮演着不可或缺的角色。招标过程中，社会公众应被赋予知情权和参与权。例如，可以通过设置公众意见反馈渠道，让社会各界对招标过程提出意见与建议。公众的参与能够有效增强招标的透明度，提高各方对招标结果的信任。这种互动机制不仅有助于防止不正当行为的发生，还能够在一定程度上提升水利工程项目的社会效益。

透明化管理还体现在对招标过程的监督机制上。建立健全的监督体系，确保招标过程各环节均可被追溯与审查，能够有效减少招标过程中的腐败行为。通过设立专门的监督机构，对招标流程进行定期检查与评估，及时发现和纠正存在的问题，将有助于进一步提升招标的透明度和公正性。

透明化管理的实施不仅提升了水利工程招标的效率和公正性，也为行业的可持续发展奠定了基础。随着社会对透明化管理认知的增强，水利工程招标代理模式将更加符合公众期望，推动整个行业向更加开放、透明的方向发展。

4 提升招标效率与公正性的策略

提升招标效率与公正性的策略是确保水利工程招标过程顺利进行的重要措施。通过多种手段和方法的结合，可以有效提高招标的透明度和公平性，进而增强社会对招标结果的信任。

完善招标流程和标准化文件是提升效率与公正性的基础。通过制定统一、标准化的招标文件，明确招标要求和评审标准，可以减少招标过程中由于文件不规范引发的争议和误解。这种标准化不仅能提高投标人的响应速度，也能使评标过程更加科学和公正。此外，建立完整的招标流程图，确保各环节有序衔接，能够有效减少不必要的时间浪费，提高整体招标效率。

积极引入信息技术，特别是电子招投标系统，可以显著提升招标的效率与公正性。通过电子平台，招标方可以迅速发布招标信息，投标人也可以及时获取相关资料。信息技术的运用不仅加快了信息传递速度，还能通过数据分析工具对投标情况进行实时监控，确保招标过程的透明度

和公正性。同时，电子评标系统的引入，能够减少人为干预，提升评标的客观性和公正性。

建立多方监督机制也是提升招标公正性的关键策略。除了政府监管部门的监督，行业协会、第三方机构及公众的参与也非常重要。招标过程中，可以邀请行业专家、社会公众等参与监督，确保招标流程的透明与公正。例如，设立监督委员会，定期对招标过程进行审查，及时纠正不当行为，这种多方监督机制能够有效遏制腐败行为的发生，提升招标的公信力。

加强对招标人员的培训与素质提升，也是提升招标效率与公正性的必要措施。通过定期组织招标法律法规、专业知识及道德教育培训，提高招标工作人员的专业素养和职业道德，能够减少因知识欠缺而导致的错误判断和操作失误。同时，提升工作人员的责任意识和服务意识，确保其在招标过程中能够严格遵循公正、公平的原则。

鼓励公众参与招标过程的监督与反馈，也是提升招标公正性的重要方式。通过设置公众意见反馈渠道，让社会各界对招标过程提出意见和建议，可以增强招标透明度和公信力。公众的参与不仅可以提高招标过程的透明度，还能促使招标方更加重视自身的社会责任，确保水利工程项目的合理性和合规性。

5 透明化管理对水利工程可持续发展的影响

透明化管理对水利工程可持续发展的影响深远，体现在多个方面，包括资源利用效率、社会信任度、环境保护和项目管理等。通过提升透明度，水利工程能够在资源配置与使用、公众参与和长远规划中实现更加高效和可持续的目标。

透明化管理有助于提升资源利用的效率。在水利工程的招标过程中，通过信息的公开和透明，所有投标人能够平等地获取招标信息，这促使竞争的公平性和透明度提升。公平竞争能够激励投标方优化设计方案、降低成本，从而实现资源的最优配置。合理的资源利用不仅能够降低工程成本，还能在更大程度上保证项目的经济性，为水利工程的可持续发展打下坚实基础。

透明化管理增强了社会的信任度。随着公众对水利工程项目的关注度增加，透明的管理机制能够有效缓解公众的疑虑和不信任感。当招标过程、工程实施等环节的信息能够公开和透明时，社会各界对项目的支持度也会相应提升。这种信任关系能够促使更多的社会力量参与到水利工程的建设和管理中，形成合力，共同推动项目的顺利实施。

再者，透明化管理在环境保护方面也起到了重要作用。水利工程通常会对周边生态环境产生影响，而透明化管理通过信息公开，使得环境影响评估、社会影响评估等过程能够得到充分重视。在招标过程中，相关环境评估信息的透明化，不仅能够引导设计方案更加关注生态平衡，还能够促进环境保护措施的落实，从而实现水利工程的可持续性。

透明化管理对项目的整体管理和监督也产生了积极影响。通过建立完善的监督机制，确保招标过程和工程实施的透明度，能够有效防止腐败和不当行为的发生。当公众和社会各界能够参与到监督过程中时，招标和工程实施的规范性得到了进一步保障，这将促进项目的高效推进和长效管理。

透明化管理还推动了水利工程的长期规划与发展。通过透明的信息交流，利益相关者能够更好地理解项目的长远目标与规划，从而在项目实施过程中，作出更加合理的决策。这种前瞻性的管理方式，能够引导水利工程更好地服务于社会发展需求，实现经济、社会和环境的协调发展。通过提升资源利用效率、增强社会信任、保护环境以及优化项目管理，透明化管理为水利工程的可持续发展奠定了基础。

6 结语

透明化管理在水利工程领域的应用，显著提升了资源利用效率、增强了社会信任度，并有效促进了环境保护与项目管理的规范化。这种管理方式不仅有助于降低腐败风险，还推动了水利工程的可持续发展。未来，继续深化透明化管理的实践，将为水利工程的高效、公正运行奠定更为坚实的基础，确保其在经济、社会和环境三方面实现协调发展。

[参考文献]

[1]任飞,陈娟,谢天玉.混合式教育评价新范式:基于区块链技术的透明化管理与政策实施[J].电脑知识与技术,2024,20(24):73-76.
[2]杨晶晶.网络透明化管理的定位与修正[J].镇江高专学报,2024,37(3):64-68.
[3]邱岩,施孟凯.信息透明化管理在工程项目中的应用[J].中国水运(下半月),2023,23(6):144-146.
[4]隋明照. 平台数据透明化 管理数字资产化[N]. 中国新闻出版广电报,2022-05-12(07).
[5]何宗玮,刘春林,吕辉.浅谈化工企业如何实现直接作业过程透明化管理[J].化工管理,2019(17):9-10.

作者简介：耿龙祥（1988.11—），男，毕业院校：成都理工大学，学历：本科，所学专业：土木工程，当前就职单位：新疆新水建设工程造价咨询有限责任公司，职务：招标部副主办，所在职务的年限：3 年，职称级别：工程师。

水利工程长效管理机制中的多元化融资模式探索

任泉军
临泉县农村饮水安全工程管理站，安徽 临泉 236400

[摘要]水利工程的长效管理机制关系到工程的可持续性和效益发挥。通过探索多元化融资模式，能够有效拓宽资金来源，解决传统单一融资方式的局限性。结合政府、企业、社会资本等多方力量，创新性地推动 PPP 模式、基金融资、债券融资等方式，优化资金结构，提高项目执行效率和风险控制能力。多元化融资模式为水利工程长效管理机制提供了新思路，促进了工程管理的高效运作与可持续发展。

[关键词]水利工程；长效管理；多元化融资；PPP 模式；可持续发展
DOI：10.33142/hst.v7i11.14282　　中图分类号：TV51　　文献标识码：A

Exploration on Diversified Financing Models in the Long-term Management Mechanism of Water Conservancy Projects

REN Quanjun
Linquan County Rural Drinking Water Safety Project Management Station, Linquan, Anhui, 236400, China

Abstract: The long-term management mechanism of water conservancy engineering is related to the sustainability and efficiency of the project. By exploring diversified financing models, it is possible to effectively broaden funding sources and address the limitations of traditional single financing methods. Innovatively promote PPP models, fund financing, bond financing, and other methods by combining multiple forces such as the government, enterprises, and social capital, optimize the funding structure, and improve project execution efficiency and risk control capabilities. The diversified financing model provides new ideas for the long-term management mechanism of water conservancy projects, promoting the efficient operation and sustainable development of engineering management.

Keywords: water conservancy engineering; long term management; diversified financing; PPP model; sustainable development

引言

水利工程在促进经济发展、改善生态环境和提升人民生活质量方面具有不可替代的作用。然而，随着项目规模的不断扩大和管理要求的日益提高，单一的资金筹集方式已无法满足长期稳定运营的需求。因此，探索创新的多元化融资模式显得尤为重要。通过整合政府、企业与社会资本的力量，不仅可以缓解资金压力，还能提升水利工程的管理效率和可持续性。这一探索不仅为水利工程的健康发展提供新的动力，也为其他公共基础设施项目的管理模式提供了有益借鉴。

1 多元化融资模式在水利工程中的应用现状

随着水利工程建设的规模不断扩大与复杂性日益增加，传统的融资模式逐渐暴露出资金来源单一、筹资周期长、风险控制困难等诸多问题。因此，如何通过创新融资方式保障水利工程的持续运作与高效管理，成为当前水利行业亟待解决的关键问题。近年来，随着市场化改革的深入推进，多元化融资模式逐渐得到重视，并在实际项目中得到一定程度的应用。水利工程的多元化融资模式，尤其是政府与社会资本的合作（PPP 模式）、项目债券融资、社会资本参与等方式，已成为推动项目建设与管理的重要手段。

政府在水利工程融资中的角色日益凸显，尤其是在资金的引导与政策支持方面。政府通过提供财政补贴、税收优惠等方式，为社会资本参与水利工程提供了良好的政策环境。与此同时，越来越多的地方政府尝试通过 PPP 模式吸引社会资本进入水利项目。在这种模式下，社会资本可以通过股权、债务、风险共担等方式与政府共同承担项目建设与运营风险，促进项目的顺利实施。然而，尽管 PPP 模式在一些水利项目中取得了一定成效，仍面临着资金安全、项目执行效率以及风险控制等问题的挑战。

除了政府与社会资本的合作，金融工具在水利工程融资中的作用也愈加重要。例如，水利项目债券作为一种新兴的融资方式，已被一些大型水利项目所采用。这些债券具有融资成本相对较低、还款周期灵活等优点，为项目提供了及时且可持续的资金支持。此外，随着资本市场的不断成熟，绿色债券、专项债券等融资工具的出现，也为水利工程提供了更加丰富的融资选择。通过这些多元化的融资渠道，水利工程不仅可以解决资金不足的问题，还能在一定程度上分散风险，提高资金利用效率。然而，这些融资方式的实施也需要面对监管政策、市场波动以及资本方与地方政府之间的协同合作等方面的挑战。

2 水利工程长效管理机制的核心要素分析

水利工程的长效管理机制是保障其可持续运行和有效运营的关键，涵盖了从规划、建设到运营全过程的管理。

其核心要素不仅包括资金筹集与使用的合理性，还涉及技术支持、管理模式以及利益相关方的协同合作等多个层面。首先长效管理机制的基础是资金保障机制。水利工程作为长期运行的基础设施，其建设与维护需要稳定且持续的资金投入。传统的单一资金来源方式已难以满足大规模项目的需求，因此，创新的多元化融资模式成为保证资金链条稳定的核心手段。政府、企业与社会资本的深度合作，特别是 PPP 模式的应用，使得水利项目能够从不同渠道获取资金，有效缓解了资金压力，为长效管理提供了坚实的财力支撑。

技术创新和信息化建设是长效管理机制中的另一个核心要素。水利工程在长期运营中会面临诸如自然灾害、设备老化、技术落后等问题，因此，提升技术水平和优化管理手段至关重要。通过引入现代化信息技术，如大数据、物联网、人工智能等，可以实时监控水利设施的运行状态，实现智能化管理。这些技术的应用不仅提高了水利工程的管理效率，也为问题预警、应急响应和资源调配提供了科学依据。此外，随着绿色发展理念的兴起，环境保护和生态修复也逐渐成为水利工程长效管理的重要内容，技术创新助力水利工程在保障供水安全的同时，减少对自然生态的负面影响。

利益相关方的协调合作是确保水利工程长效管理机制顺利实施的关键。在水利项目中，政府、企业、社会资本、公众等多方利益相关者的互动和合作至关重要。政府需扮演统筹协调的角色，确保政策、法规和资金的支持；企业则负责项目的建设与运营，通过技术力量与管理能力确保项目的可持续发展；社会资本的参与，则为项目提供了充足的资金与风险分担机制。此外，公众的参与和监督，也能够有效提升水利工程的透明度与社会效益。多方协同合作的管理模式，不仅能够实现资源的合理配置，还能确保项目长期有效地运行，推动水利工程的可持续发展。因此，完善的利益协调机制是水利工程长效管理中不可忽视的要素。

3 政府、企业与社会资本合作的融资模式创新

政府、企业与社会资本的合作融资模式（PPP 模式）已成为当前水利工程及其他基础设施项目中重要的融资途径。这一模式的创新主要体现在资金的来源、风险的分担以及管理的共享等方面。在传统的水利工程融资模式中，政府作为主要的资金提供者，承担了大部分的建设和运营成本，但这种单一的融资方式存在资金来源不足、项目周期长等问题，导致许多水利项目无法及时或高效地完成。而 PPP 模式通过引入社会资本和企业的参与，不仅有效分担了资金压力，也使得项目能够更加灵活地应对市场变化和资金流动的需求。

政府与社会资本的合作通过 PPP 模式进行有效的资源整合。政府通过提供政策支持、土地资源、融资担保等，吸引社会资本进入水利项目。在这一过程中，政府通常承担项目的规划和监管责任，确保项目符合法规要求并符合公共利益；而企业则利用其技术和管理优势，负责项目的建设、运营和维护。社会资本的加入则通过资金注入，改善项目的资本结构，降低项目的整体风险。此外，企业和社会资本在项目建设中的作用，使得水利工程不仅能获得充足的资金支持，还能通过市场化运作提高效率，推动项目的创新与优化。这种合作方式大大降低了政府单方面的财务负担，也提升了项目管理的透明度和灵活性。

在 PPP 模式下，融资方式的创新也是水利工程融资的重要组成部分。传统的融资模式依赖于银行贷款或政府预算，而 PPP 模式通过引入市场化的融资工具，如项目债券、股权投资、风险投资等，为水利项目提供了多样化的资金来源。尤其是在绿色债券等新型融资工具的支持下，水利项目能够在满足环保要求的同时，吸引更多的社会资本参与。此外，通过项目融资、基础设施债务融资工具（如 MBS、ABS）等市场化手段，水利工程可以根据项目周期和资金需求量身定制融资方案，从而优化资金配置，降低融资成本。这些创新融资模式不仅为水利工程提供了更加灵活的资金支持，也为社会资本参与提供了更具吸引力的回报预期。

尽管 PPP 模式在水利工程中展现出巨大的潜力，但其实施过程中仍面临一些挑战，如政府与企业之间的利益协调、风险分担不均、项目管理不透明等问题。因此，如何优化政府与社会资本之间的合作机制，完善风险评估与管理体系，确保各方的权益得到有效保障，成为下一步创新的关键。只有通过不断完善 PPP 模式的运行机制，创新融资工具的设计，才能实现水利工程的长效管理和可持续发展，为其他基础设施项目提供有益的借鉴。

4 PPP 模式在水利工程项目中的实施效果与挑战

PPP 模式在水利工程项目中的实施，已被广泛应用，并在一定程度上推动了项目的顺利开展和高效运营。通过政府和社会资本的合作，水利工程能够有效突破资金瓶颈，实现资金的多元化筹集。社会资本的加入不仅弥补了政府财政资金的不足，还引入了市场化的管理机制，提高了项目建设的效率和运营的可持续性。在一些成功的案例中，PPP 模式通过明确的合同条款和风险分担机制，使得政府、企业与资本方各方能够在项目中明确各自的责任和利益，从而保障了项目的顺利推进，并且减少了政府的财政负担。

然而，PPP 模式在水利工程中的实施也面临着一些挑战。首先，项目的复杂性和长期性使得利益相关方之间的协调和合作变得更加困难。水利项目往往涉及大规模的基础设施建设和长周期的运营，政府、企业和社会资本的目标和期望可能存在差异，这就要求在项目启动阶段进行充分的沟通与协商，确保各方利益的平衡。其次，由于水利项目往往具有较高的社会效益和公共属性，如何将其经济

效益与社会效益的关系处理得当，成为 PPP 模式实施中的一大挑战。市场化运作虽然能提高效率，但如何兼顾环保、生态修复等非营利性目标，是在制定融资方案时需要特别考虑的问题。

监管和风险控制问题也是 PPP 模式在水利工程中的一大挑战。在一些项目中，由于政府对社会资本的依赖较大，导致项目的监管和后期运营维护存在薄弱环节。水利工程的特殊性决定了其在建设和运营过程中需要应对自然灾害、技术故障等多重风险，而这种风险往往难以通过市场机制完全规避。因此，如何在 PPP 模式下建立有效的风险评估和防控机制，确保项目的顺利运营并实现可持续发展，是当前亟待解决的问题。通过进一步完善合同条款、加强政府监管和创新风险共担机制，才能有效化解 PPP 模式实施中的这些挑战，提升水利工程的整体效益和管理水平。

5 多元化融资模式对水利工程可持续发展的推动作用

多元化融资模式为水利工程的可持续发展提供了强有力的资金保障和灵活的资金支持，极大地推动了项目的高效实施与长期运行。传统的融资模式依赖于单一的政府资金或银行贷款，往往难以满足大规模水利工程的资金需求。而通过多元化融资模式，尤其是政府、企业与社会资本的合作，水利项目能够从不同渠道获得资金。这种多元化的融资方式不仅缓解了资金压力，还使项目能够在更短的时间内启动与推进。例如，PPP 模式、项目债券和绿色债券等新型融资工具的使用，使得水利项目能够充分利用社会资本的力量，提升资金流动性与项目建设的效率。同时，社会资本的参与也为项目引入了更多的市场化运作机制，提高了项目的管理水平，推动了水利工程可持续发展。

除了解决资金问题，多元化融资模式还通过风险共担和收益分配机制的创新，提高了水利工程项目的风险控制能力。在传统融资模式下，水利项目的资金来源主要依赖政府，项目风险也主要由政府承担。然而，借助 PPP 模式等多元化融资方式，政府、企业与社会资本的合作使得项目风险得到有效分散。社会资本与政府共同承担项目的建设、运营和管理风险，这不仅减少了政府的财政负担，还促进了风险的科学评估和有效管控。项目实施过程中，企业和社会资本通过合同约定，明确了各方的责任和义务，形成了一个清晰的风险分担机制，从而保障了水利项目在建设和运营中的稳定性与可持续性。

多元化融资模式还在推动水利工程的绿色发展和社会效益方面发挥了积极作用。水利工程不仅要关注经济效益，还要考虑环境保护和社会责任。通过多元化融资模式，特别是绿色债券和专项债券等工具，水利项目能够在确保生态环境保护的同时，提升资金使用效率。这种融资方式不仅为项目的环保设施建设提供了资金支持，还促进了水利工程与生态修复、资源保护等可持续发展目标的协调统一。同时，社会资本在水利工程中的参与也使得项目更加注重社会效益的提升，推动了水利工程的社会价值和公众利益的最大化。因此，多元化融资模式为水利工程的可持续发展提供了充足的资金支持、科学的风险管理与多维度的社会效益，助力水利行业在绿色发展与可持续运营方面取得长远成效。

6 结束语

多元化融资模式为水利工程的可持续发展提供了新的动力和保障，通过整合政府、企业和社会资本的力量，优化了资金结构，提升了项目效率。在推动项目顺利实施的同时，风险得到了有效分担，资金使用更为灵活与高效。与此同时，绿色融资工具的应用也助力水利工程在保障经济效益的同时，实现了环境保护和社会效益的双赢。尽管面临一定挑战，但随着制度完善与技术创新的推动，水利工程的多元化融资模式将在未来发挥更为重要的作用，助力水利事业的长远发展。

[参考文献]

[1]王朝均.农村水利工程建设的长效管理机制建设解析[J].南方农机,2017,48(6):132-155.
[2]童耀元.建立小型农田水利工程项目长效管理机制的思考[J].海峡科技与产业,2019(9):70-72.
[3]龙振华,贺荣兵,王国霞,等.农村水利工程长效管理创新途径研究[J].绿色科技,2019(24):267-268.
[4]王秋生.基层水利工程管理现状及长效管理机制的探索[J].山西水利,2020(11):48-49.
[5]张仁政.调水工程标准化管理长效机制建设分析[J].水上安全,2024(10):43-45.

作者简介：任泉军（1993.12—），男，安徽省阜阳市，汉族，专科，水利水电助理工程师，就职于安徽省临泉县农村饮水安全工程管理站，从事农村饮水工作。

远程智能测沙颗分系统的研发与应用研究

赵树坤　赵胜利　魏万勇
濮阳黄河河务局第一黄河河务局，河南 濮阳 457199

[摘要]天然河流中的河水含沙量与泥沙颗粒级配随着流域来沙条件、水流情况及边界因素的变化而不断变化，这一变化对防汛、防洪、水土保持及河道整治等工作具有重要意义。准确了解河流泥沙运动规律及流域产沙过程是治理和管理的基础，尤其是在防洪关键期、应急抢险和河道整治中，准确的泥沙监测数据至关重要。随着计算机、通信和电子技术的发展，远程测控技术逐渐应用于水文监测领域，极大提高了数据的可靠性、准确性和实时性。结合嵌入式微型因特网技术和虚拟仪器技术，远程智能测沙颗分系统成为水文监测的新趋势。

[关键词]远程智能测沙；泥沙颗粒级配；水文监测
DOI：10.33142/hst.v7i11.14291　　中图分类号：P332.5　　文献标识码：A

Research and Application of Remote Intelligent Sand Particle Separation System

ZHAO Shukun, ZHAO Shengli, WEI Wanyong
Yellow River Puyang Bureau, First Yellow River Bureau, Puyang, He’nan, 457199, China

Abstract: The sediment concentration and particle size distribution of river water in natural rivers constantly change with changes in sediment conditions, water flow, and boundary factors in the watershed. This change is of great significance for flood prevention, flood control, soil and water conservation, and river channel improvement. Accurately understanding the laws of sediment movement in rivers and the process of sediment production in watersheds is the foundation of governance and management, especially during critical periods of flood control, emergency response, and river regulation. Accurate sediment monitoring data is crucial. With the development of computer, communication, and electronic technology, remote measurement and control technology has gradually been applied in the field of hydrological monitoring, greatly improving the reliability, accuracy, and real-time performance of data. Combining embedded micro internet technology and virtual instrument technology, remote intelligent sand particle separation system has become a new trend in hydrological monitoring.

Keywords: remote intelligent sand measurement; particle size distribution of sediment; hydrological monitoring

引言

天然河流中的河水含沙量与泥沙颗粒级配随着流域来沙条件、水流情况及边界因素的变化而有所不同。在防汛、防洪、水土保持以及河道整治等工作中，准确理解河流泥沙的运动规律及流域的产沙过程是十分必要的。评估河道的未来发展趋势（如淤高、下切、稳定或游荡等变化）需要依赖这些数据。因此，河水含沙量及泥沙颗粒级配的精准测量在这些工作中扮演着至关重要的角色，尤其是在防洪关键期、应急抢险和河道整治等环节中，数据的精度与效率直接决定了水文观测、预报以及河道治理等工作的成效。伴随着计算机、通信与电子技术的迅速发展，远程测控技术逐步应用于各行各业。通过数据专线、光纤通道、Internet 以及无线通信等技术手段，远程测控系统的应用能够确保数据的可靠性、准确性与实时性。这些技术的应用已获得显著的社会经济效益，且远程测控技术正朝着数据传输方式多样化的方向发展。结合 EMIT（嵌入式微型因特网互联技术）与 ECS（嵌入系统）技术，以及基于虚拟仪器的测控网络，已逐渐成为主流趋势。在此背景下，本研究基于黄河防汛、应急抢险及水资源开发利用的实际需求，开展了“远程智能测沙颗分系统”的研发与应用。该项目已取得了令人满意的成果。

1 国内外研究现状

目前，测沙颗分方法种类繁多，涵盖了烘干称重法、比重瓶称重法、红外光电测沙法、同位素测沙法、超声波测沙法、激光浑浊度测沙法、激光测沙颗分法、遥感测沙法、电导率测沙法以及比热测沙法等。较为经典的烘干称重法与比重瓶称重法，因其较高的精度，被广泛采用。然而，测量周期较长，且受到操作人员技术与样品处理的显著影响，导致数据的时效性差，且无法实现实时在线监测。红外光电测沙法以浑水消光定律为基础，但因水体中泥沙粒径与浓度分布的非均匀性，测量结果可能会产生误差。在高含沙量下，由于透射光强度难以辨识，该方法的应用受到了限制。通过同位素法，可以直接测量河流中的含沙量，然而，由于其涉及辐射安全问题，部分发达国家已将此方法禁用。超声波测沙法具有较好的穿透性与宽频带，在低含沙量下，测量精度较高，但受泥沙相互作用与超声波散射效应影响，在高含沙量下表现较差。激光测沙颗分法能够快速完成测量，且具备较大的量程，但设备昂贵、

操作复杂，主要应用于港工、水工及河工的实验研究中。遥感测沙法通过悬沙散射光波测量含沙量，然而，水体的反射率与气象条件等因素的变化，使得测量误差较大。电导率测沙法以其简单的系统构造、低成本、响应速度快等优点应用广泛，但受温度与土壤含盐量的影响较大，且目前仍处于理论研究阶段。比热测沙法适用于高浓度含沙量的测量，但技术尚未成熟，仍需要进一步完善。

2 成果介绍

2.1 主要指导思想、依据和原则

以习近平新时代中国特色社会主义思想及“让黄河成为造福人民的幸福河”的重要指示为指导，以服务黄河治理开发事业高质量持续发展为宗旨，以理念引领、问题导向、守正创新、持续改进、三效并举为原则，紧紧立足黄河防汛和水资源管理与开发事业发展需要，从破解当前黄河测沙颗分技术难题入手，探索高效测沙颗分新仪器、新技术。

本项目实施过程中，始终坚持以水文学、光学、信息科学等科学原理为指导，提高研究活动的前瞻性、科学性、高效性。所涉及科学原理主要有浊度测沙原理、浑水消光原理、静水沉降原理和光电效应原理。①浊度测沙原理：根据光学原理，光线在水体中传输，由于水中介质的作用会发生吸收和散射现象，根据散射信号接收角度的不同可分为透射、前向散射（散射角度小于 90°）、90° 散射和后向散射（散射角度大于 90°）。从理论上讲，监测任一角度的红外光线散射量均可测量浊度。测沙实践中，主要是监测散射角为 140°～160° 之间的红外光散射信号，这个区间的红外光光散射信号稳定。之所以选择后向散射红外光线，是基于以下原因：（1）红外辐射在水体中衰减率较高，自然太阳光的红外光部分，在传输中完全被水体所衰减，这样测量光源发射光束不会受到外界自然光的干扰。（2）后向散射范围内红外光散射率比较稳定。（3）在红外光后向散射接收范围内，无机物质的散射强度明显大于气泡和其余有机物质。

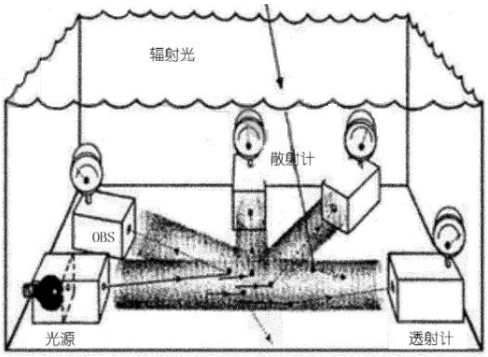


图 1　光学散射示意图

根据瑞利散射定律，当散射微粒的线度小于波长时，散射光的频率与入射光相同，而其强度与频率 f^4 成正比。若入射光为自然光，不同方向散射光的强度正比于 $1+\cos^2\theta$，θ 为散射光与入射光间的夹角，称散射角。θ=0 或 π 时散射光仍为自然光；θ=π/2 时散射光为线偏振光；在其他方向上则为部分偏振光。

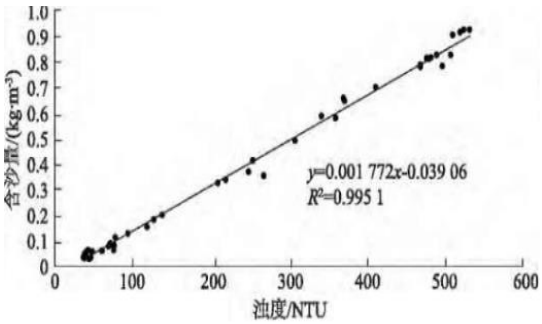


图 2　含沙量与浊度相关性举例

②浑水消光原理：一束平行光通过均匀分布的含沙水体后，透射光的强度就会减弱，一部分光被水体中的悬沙吸收，另一部分光被散射到其他方向，透射光只是入射光的一部分，由比尔定律可得：

$$\Phi = \Phi_0 e^{-KSL/d} \tag{1}$$

式中：Φ_0——入射光通量；K——吸收系数；

Φ——透射光通量；S——含沙量；

L——光穿透浑水层的厚度；d——泥沙粒径。

现实生产中的浑水体系，所有颗粒都是大小不等的具有接近物理性质的各向同性小圆球，颗粒的大小差别不大。大量颗粒随机取向的统计平均效应与球形颗粒是一样的；水样中所含颗粒浓度不大。个别颗粒对光的散射效应是独立而各不相关。并且对光强的削弱主要是单次散射效应的作用。水样中各粒子的削光截面符合叠加原理。

③静水沉降原理：静水沉降原理是不同粒径的土粒在静水中的沉降速度不同。土粒在静水中沉降时，受到土粒的重力和液体水的阻力两种力的作用，斯托克斯（Stokes）

根据这两种力的平衡条件建立了土粒直径与沉降速度的关系，即：

$$V = \frac{2(\rho_T - \rho_0)}{9\mu} g d^2 \tag{2}$$

式中：V—土粒在静水中的沉降速度（cm/s）；d—土粒直径（mm）；

g--重力加速度（cm/s^2）；ρ_T--土粒密度（g/cm^3）；

ρ_0--水的密度（g/cm^3）；μ--水的动力粘滞系数（10^{-6}KPa·s）。

由于水的密度（ρ_0）与水的动力粘滞系数（μ）只随液体的温度而变化，所以对于某一种土的悬液来说，当悬液温度不变时，上式中 g、ρ_T、ρ_0 和 μ 均为定值。由此可得，当温度不变时，土粒沉降速度（V）与其直径（d）的平方成正比，即大颗粒比小颗粒下沉快得多。

依据以上原理，便可通过在 90 分钟时段内的 16 个时刻（分别是第 0 秒、第 5 秒、15 秒、30 秒、60 秒、120 秒、180 秒、300 秒、600 秒、900 秒、1200 秒、1800 秒、

2700 秒、3600 秒、4500 秒和 5400 秒）采样值，通过单片机内置计算程序得出河水泥沙颗粒的级配数据。④光电效应：光电效应指在高于某特定频率的电磁波（该频率称为极限频率）照射下，某些物质内部的电子吸收能量后逸出而形成电流（光生电）。能够利用光电效应，将光信号转换成电信号的器件，称为光电转换器件。自光电效应发现以来，光电转换器件取得了突飞猛进的发展，并被广泛地应用在各行各业。其中，常用光电效应转换器件有光敏电阻、光电倍增器、光电池、PIN 管、CCD 等。

④本系统测沙颗分也是采用光电转换器件，用相对测量的方法，将透射红外光强度信号经过一系列转换，使通过清水的光通量转换为电信号 V_0，通过含沙水体的光通量转换为电信 V_i，再经转换后得出含沙量与电信号关系式：

$$V_i = V_0 e^{-KC/d} \tag{3}$$

其中：V_i——通过含沙水体的电信号；K——系数；

V_0——通过清水的电信号；C——含沙量（Kg/m^3）；

d——泥沙粒径（mm）；在泥沙有级配情况下，取级配曲线上 50d 数值。

此后，在稳压电源、放大电路的作用下，便可将河水含沙量转化电信号，从而达到测量河水含沙量和颗粒级配的目的。

2.2 主要研究内容的分析、计算与组织实施

2.2.1 研究内容

本成果的主要内容主要有：

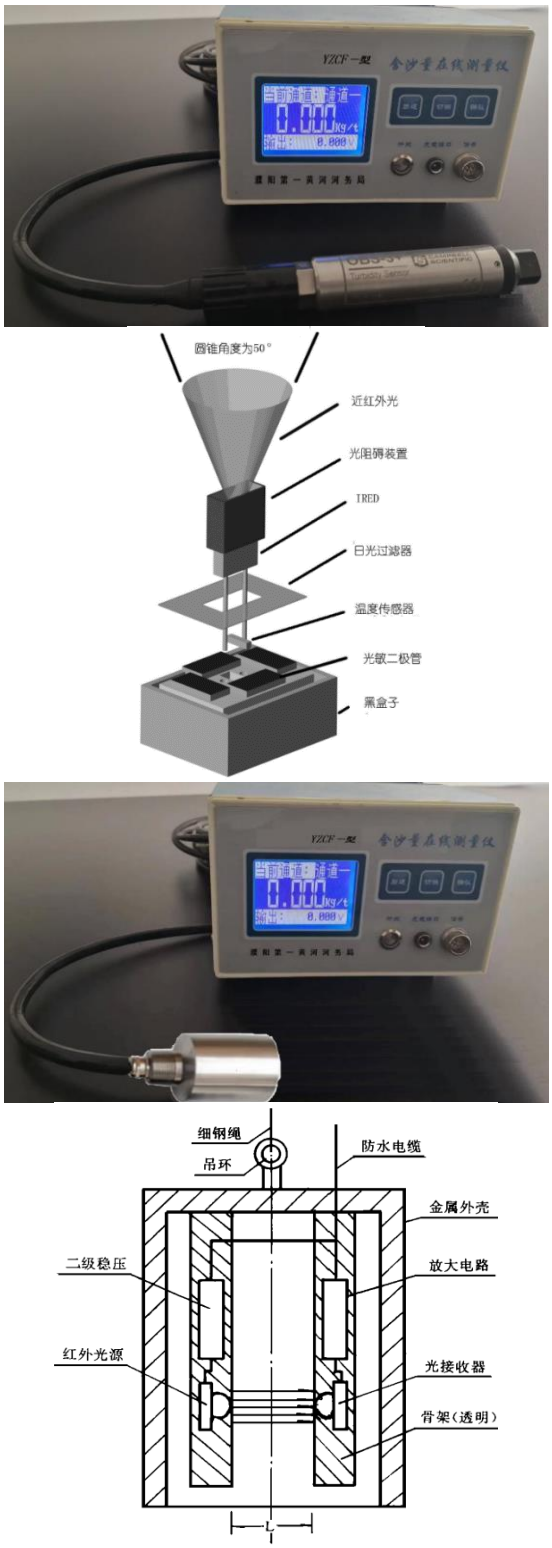
2.2.1.1 系统组成

一型智能测沙颗分系统由测沙颗分终端、数据传输网络、工业通信网关、数据存储中心、远程控制中心、应用系统等部分组成。

图 3 智能测沙颗分系统示意图

2.2.1.1.1 测沙颗分终端

测沙颗分终端内置测沙颗分传感器、微处理器、存储器，具有自动存储、记忆和受控传输功能，并通过 RJ-45 接口或 NB-IoT（窄带物联网）方式连接数据传输网络，可以利用浑水消光原理，定时或实时感知并输出河水含沙量及其泥沙颗粒级配。



（左上：终端配测沙左下：终端配颗分右上：测沙传感器右下：颗分传感器）

图 4 测沙颗分终端及传感器结构示意图

测沙传感器通过将浑水的浊度浓度转换为电压信号进行测量。其外壳采用不锈钢密封封装，内含红外光源、

红外光接收器、稳压电源及放大电路。浸入水中后，传感器可测得水的浊度，从而转换为含沙量。

颗分传感器将河水中的泥沙浓度转化为电压信号。其外壳为不锈管，带有小孔，内部设有骨架，骨架内安装红外光源、红外光接收器等。泥沙颗粒对红外光源发出的光有吸收与散射作用，依据浑水消光原理，红外光接收器接收到的光强与河水含沙量呈负相关，进而计算颗粒级配。

若无法接入宽带网络，可通过 NB-IoT 无线方式或部署在 GSM、UMTS 或 LTE 网络上实现连接，降低部署成本并实现平滑升级。终端提供电池、直流、交流与 POE 四种供电方式，可根据需求选择。

测沙颗分终端具备自检与报警功能，出现异常时会自动向控制中心报警。内置高性能稳压电源与高精度信号放大电路，并采用光电耦合隔离技术，以防电场、磁场干扰。同时，内置时钟日历电路，具有记忆功能。

2.2.1.1.2 数据传输网络

数据传输网络是将测沙颗分终端输出数据传输到物联网网关的数据传输链路。可以根据工作环境及工作需要，自主选择互联网、局域网、物联网、5G/4G 移动通信网、OTN/MSTP/IPRAN 数据专网等，以确保数据安全传输。

2.2.1.1.3 工业通信网关

通信网关作为系统的基础硬件设施，部署于数据访问客户端、测沙颗分数据传输网络和数据中心存储之间，实现对测沙颗分数据的采集、传输和处理，并在通讯协议的适配下，与远程控制中心进行反馈，保证测沙颗分数据的实时更新。同时，通过识别访问者身份、位置、行为，同时依靠对被访问对象的全面认知，实现数据内容的访问控制、访问审计、动态脱敏等，确保数据安全。

2.2.1.1.4 数据存储中心

数据存储中心采用网络附属存储（NetworkAttachedStorage）技术，通过存储设备与服务器彻底分离，实现数据集中管理，确保数据安全和使用的高效率。

2.2.1.1.5 远程控制中心

远程控制中心安装 GWYC—型远程智能测沙颗分控制系统，可以远程实时监视、控制全部或指定测沙颗分终端的工作状态，并在云平台实现可视化处理。管理者可以随时随地查看河水含沙量及泥沙颗粒级配数据，适时采取合适的措施进行管理。

2.2.1.1.6 应用系统

一型智能测沙颗分系统数据可以并网到上一级大型系统，或通过授权访问的方式，为相应的用户提供数据服务，将河水含沙量及泥沙颗粒级配应用于水文观测预报、水利工程运行维护、河道治理与研究、水生态文明建设等领域，服务社会经济发展，实现数据的价值。

2.2.1.2 控制与分析软件

控制与分析软件是一型远程智能测沙颗分系统的神经中枢，在整个系统的运作中起着指挥、调控、分析、保障等核心功能。

2.2.1.2.1 操作界面

控制与分析软件界面秉承“界面直观易理解、操作简便易掌握、业务流程人性化、人机友好效率高”原则，力求建立起高效人机接口。为此，界面设计时，我们尽量借鉴被社会广泛认可的通用界面，并结合黄河日常工作流程，通过业务处理自动化、数据分析可视化、数图结合直观化、效果展示同步化等技术，实现了人机界面的优化。

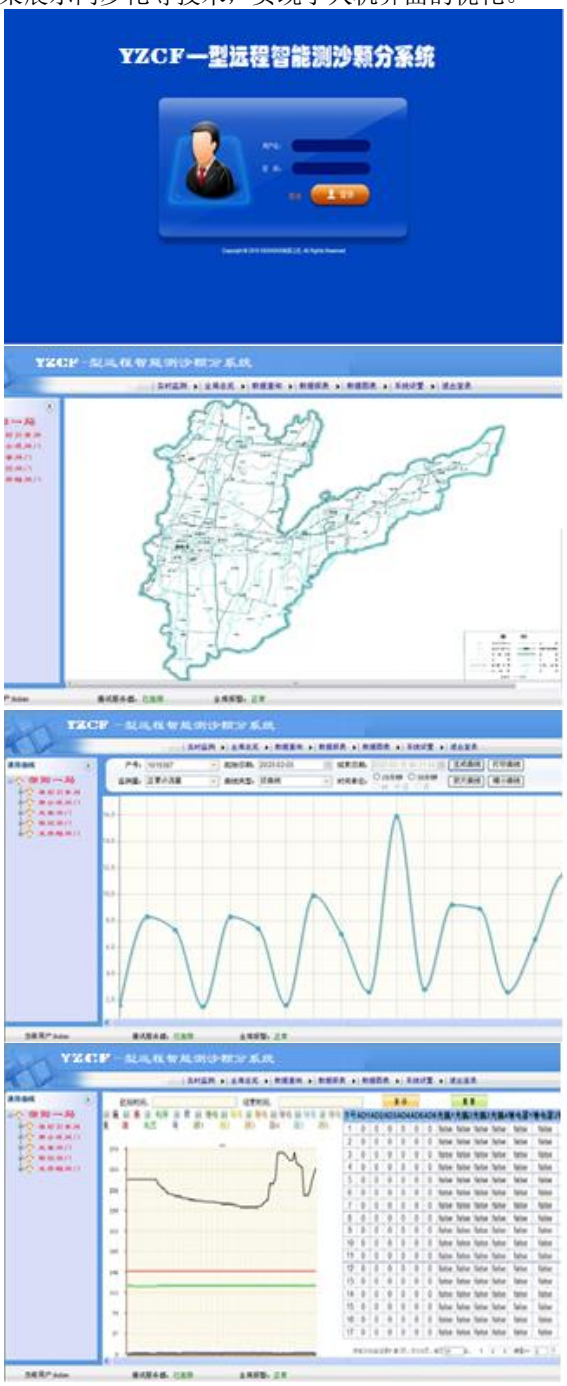


图 5 控制与分析软件的操作界面举例

2.2.1.2.2 软件功能

控制与分析软件功能立足系统运行、黄河业务实际需要而设计，主要包括用户管理、系统运维、数据分析等。

2.2.1.2.2.1 用户管理功能

用户管理功能主要包括：新增用户、编辑用户、删除用户、修改密码、设置角色、授权管理、组织调动、用户有效性、用户列表等。

图 6 用户管理界面

2.2.1.2.2.2 系统运维功能

系统运维功能致力于保障系统正常运行，主要包括设备管理、组网管理、流程管理、事件管理、问题管理、变更管理、发布管理、运行管理、知识管理、综合分析管理等。其中，设备管理又包括设备布设、设备调试、状态侦测、远程开机、远程控制、远程监控、远程文件传输等。

2.2.1.2.2.3 数据管理功能

数据管理功能包括：数据查询、数据召测、异常数据、数据分析、数据导入/导出、数据备份、数据上报等管理。数据查询又包括实时数据查询、历史数据查询、自定义数据查询等。

3 创新点

本成果的创新体现在多个方面。引入的远程测控与物联网技术，成功实现了从传统的分散式人工测沙颗分方式到联网统管与远程测控模式的转变。这一转变极大地提升了工作效率，且在克服了人力、财力、物力及技术等方面的瓶颈后，实时、连续与同步测控等功能得以实现，推动了黄河测沙颗分工作进入新的阶段。通过优化组网模式及协议，本成果实现了互联网、局域网、物联网、5G/4G 移动通信网、OTN/MSTP/IPRAN 数据专网等多种组网方式的集成，从而显著提升了系统的适应性、安全性与覆盖范围，为系统的广泛应用提供了坚实的技术保障。在新型测控终端的研制中，既保证了测量精度，又有效降低了生产、布设与运维成本，显著提高了经费的使用效益。通过信息化与物联网技术的融合，本成果在创新管理模式与优化业务流程的同时，还拓展了数据分析与应用的领域，进一步承担了新领域的社会责任，为推动黄河治理及区域社会经济发展贡献了重要力量。

4 推广应用及效益

自 2022 年以来，本成果已在多个地区得到推广应用。濮阳第一河务局的 5 座涵闸及濮阳县水利灌区共布设了 32 个远程测控点，实现了黄河流域的全面覆盖；范县河务局的 3 座涵闸及范县水利灌区布设了 21 个远程测控点；在台前河务局的 2 座涵闸及台前县水利灌区，13 个测控点已成功设置。这些应用显著提高了测沙颗分的精度与工作效率，获得了广泛的认可和好评。

在社会效益方面，自动化测沙颗分的实现，成功替代了传统人工分散测报方式，极大地提升了工作效率。传统的人工测报往往受天气等因素的影响，周期长且数据误差较大，而通过本成果，测量工作仅需数分钟即可完成，不再受外界条件限制，精度得到了显著提高。特别是当需要连续测量时，人工方式根本无法满足要求，而本成果能够轻松实现这一需求。此外，数据实时采集与更新，极大提升了数据处理效率与精确度，远远超出了传统方法的局限性。

在改善工作条件方面，应用本成果后，显著减轻了从业人员的劳动强度，改善了工作环境。传统测沙颗分工作常需在恶劣的天气条件下进行，且高强度的体力劳动会对从业人员的身心健康产生负面影响。而使用本成果后，工作流程变得更加简便，操作人员只需在控制中心轻松操作几次便可完成任务，从而有效减少了劳动强度。

从经济效益来看，采用本成果后，运营成本显著降低。系统仅需支付少量电费、通信费、设备维护费及部分操作人员工资，相较传统方法，大大节省了人力、物力、差旅等各项支出。据实际数据统计，每年节省的经费超过 160 万元，体现了较为显著的经济效益。

环境效益方面，随着本成果的应用，黄河防汛及治理工作的质量得到显著提升，黄河发生险情的风险大大降低，抢险与次生灾害的相关成本也随之减少。由此，环境损害得到了有效抑制，带来了无法估量的环境效益。

[参考文献]

[1]蔡守允.新型光电式智能测沙颗分仪[J].传感器与微系统,2007,26(8):79-80.
[2]刘玉英,刘增厚.智能化超声测沙仪的研制及应用[J].泥沙研究,1994(2):7.
[3]李文瀚.基于云平台的径流泥沙含量远程监测系统研究与实现[J].工程科技,2020(2):50.

作者简介：赵树坤（1978.8—），男，毕业于中央广播电视大学，本科学历，所有专业：水利水电工程，现就职单位：濮阳黄河河务局第一黄河河务局，职务：副局长，所在职务的年限 11 年，目前职称：高级工程师。

万家寨水利枢纽右岸绕坝渗流模拟分析

李 鑫 裴子强 薛泽坤
黄河万家寨水利枢纽有限公司，山西 太原 030000

[摘要]文章采用 GTS NX 有限元分析软件对万家寨水利枢纽绕坝渗流进行模拟分析。文章研究的重点是考虑水库蓄水后的坝基及坝肩渗流场特征。首先建立对应模型、选取计算参数：渗透系数、防渗帷幕线等；然后结合大坝典型运行工况合理选择计算工况：共选择 4 种典型工况及 4 个典型断面进行模拟计算，计算可知：渗透系数 k（大值和小值）对水力梯度影响较小，对流速影响较大，渗透系数 k 值越大，流速越大；蓄水位水平对水力梯度影响较大，蓄水位越高，水力梯度越大。最后，通过对影响绕坝渗流场的水力梯度和影响岸坡稳定性的水平位移、剪应变、塑性应变等计算结果值的分析，得出万家寨水利枢纽右岸坝肩在绕坝渗流作用下是稳定的。

[关键词]模拟分析；绕坝渗流；岸坡稳定；万家寨
DOI：10.33142/hst.v7i11.14302 中图分类号：TV64 文献标识码：A

Simulation Analysis of Seepage Around the Dam on the Right Bank of Wanjiazhai Water Conservancy Hub

LI Xin, PEI Ziqiang, XUE Zekun
Y.R. Wanjiazhai Water multi-purpose dam project Co., Ltd., Taiyuan, Shanxi, 030000, China

Abstract: This article uses GTS NX finite element analysis software to simulate and analyze the seepage around the dam of Wanjiazhai Water Conservancy Hub. The focus of the article is to consider the seepage field characteristics of the dam foundation and abutment after the reservoir is filled with water. Firstly, establish a corresponding model and select calculation parameters such as permeability coefficient and anti-seepage curtain line; Then, based on the typical operating conditions of the dam, a reasonable selection of calculation conditions was made: a total of 4 typical operating conditions and 4 typical sections were selected for simulation calculation. The calculation showed that the permeability coefficient k (large and small values) had a small impact on the hydraulic gradient and a large impact on the flow velocity. The larger the permeability coefficient k value, the greater the flow velocity; The level of water storage has a significant impact on hydraulic gradient, with higher water levels leading to greater hydraulic gradient. Finally, by analyzing the hydraulic gradient that affects the seepage field around the dam and the calculated values of horizontal displacement, shear strain, plastic strain, etc. that affect the stability of the bank slope, it is concluded that the right bank shoulder of Wanjiazhai Water Conservancy Hub is stable under the action of seepage around the dam.

Keywords: simulation analysis; seepage around the dam; stable bank slope; Wanjiazhai

万家寨水利枢纽位于黄河北干流上段托克托至龙口峡谷河段内，是黄河中游梯级开发的第一级，至今已运行 20 余年。通过对绕坝渗流监测数据分析发现：万家寨大坝右岸坝肩帷幕后的绕坝渗流测点多年平均水位为▽960.20m，且与上游库水位相关性较好，相邻的帷幕前的绕坝渗流点多年平均水位约为▽968.20m，两者相差仅为 8m，说明右岸坝肩的防渗帷幕并未完全发挥作用，截渗效果较差，因此需要对右岸坝肩绕坝渗流进行分析，进而对边坡的稳定性进行评估。本文采用 GTS NX（New eXperience of Geo-Technical analysis System）有限元分析软件进行模拟分析。

1 模型建立

本文研究的重点是考虑水库蓄水后的坝基及坝肩渗流场特征。岩土体中水流流速较小，一般认为地下水运动服从不可压缩流体的达西渗流规律。当坐标轴方向与渗透主轴方向一致时，根据变分原理，三维渗流定解问题等价于求能量泛函的极值问题，即：

$$(H) = \iiint_{\Omega} \frac{1}{2}\left[k_x\left(\frac{\partial H}{\partial x}\right)^2 + k_y\left(\frac{\partial H}{\partial y}\right)^2 + k_z\left(\frac{\partial H}{\partial z}\right)^2\right]dxdydz - \iint_{s_2} qHds \Rightarrow \min \quad (1)$$

根据研究区域的水文地质结构，进行渗流场离散化，即：

$$\Omega = \sum_{i=1}^{m} \Omega_i \quad (2)$$

某单元的水头插值函数可表示为：

$$h(x,y,z) = \sum_{i=1}^{8} N_i(\xi,\eta,\varsigma)H_i \quad (3)$$

式中：Ni——单元的形函数；

Hi——单元节点水头值

对上式取其变分等于零，并对各子区域叠加，可得到求解渗流场的有限元基本格式：

$$[K]\{H\}=\{F\} \quad (4)$$

式中：[K]为整体渗透矩阵；{H}为节点水头列阵。

当渗透主轴与坐标轴不一致时，设三维整体坐标系的x轴与工程区正北方向的夹角为θ，三个主渗透系数kx、ky、kz的方位角αi（与正北方向的夹角，规定以逆时针为正），倾角为βi（规定与水平面的夹角为倾角，倾向上为正），则三个主渗透系数方位角αi在三维整体坐标下与x轴的夹角为αi－θ，因此三个主渗流方向的局部坐标（u，v，w）与整体坐标（x，y，z）的关系可以表示为：$(x,y,z)^T=R\{u,v,w\}^T$，其中：

$$R=\begin{bmatrix}\frac{\partial x}{\partial u} & \frac{\partial y}{\partial u} & \frac{\partial z}{\partial u}\\ \frac{\partial x}{\partial v} & \frac{\partial y}{\partial v} & \frac{\partial z}{\partial v}\\ \frac{\partial x}{\partial w} & \frac{\partial y}{\partial w} & \frac{\partial z}{\partial w}\end{bmatrix}=$$

$$\begin{bmatrix}\cos(\alpha_1-\theta)\cos\beta_1 & \cos(\alpha_2-\theta)\cos\beta_2 & \cos(\alpha_3-\theta)\cos\beta_3\\ \sin(\alpha_1-\theta)\cos\beta_1 & \sin(\alpha_2-\theta)\cos\beta_2 & \sin(\alpha_3-\theta)\cos\beta_3\\ \sin\beta_1 & \sin\beta_2 & \sin\beta_3\end{bmatrix} \quad (4)$$

根据复合函数求导原理，在局部坐标系下有限单元的几何矩阵为：[B]=[R][B]，则单元的渗透矩阵元素修改为：

$$k_{ij}^{e}=\iiint_{\Omega_i}[B_i']^T[M][B_j']\,dxdydz=\iiint_{\Omega_i}[B_i]^T R^T[M][R][B_j]\,dxdydz \quad (5)$$

$$[M]=\begin{bmatrix}k_x & 0 & 0\\ 0 & k_y & 0\\ 0 & 0 & k_z\end{bmatrix} \quad (6)$$

渗流场三维有限元模型以正北方向为Y轴正方向，正东方向为X轴正方向，Z轴竖直向上。有限元模型计算范围如图1所示：

a.沿高程方向（Z 向）：底部计算边界为海拔高程820.0m；顶部山体地表最高高程为1130.0m；

b.南北向：以坝轴线为界，上游向北取 255m，下游向南取423m；

c.东西向：大致以黄河中心线，向西取400m。

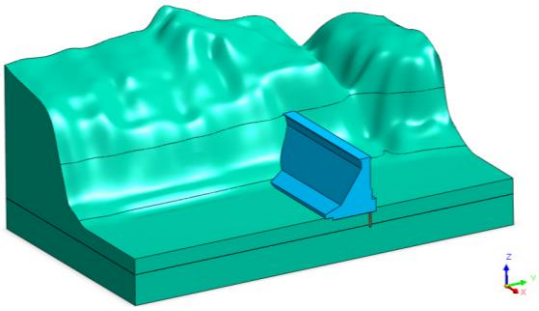


图1 万家寨水利枢纽右岸计算模型图

1.1 模型概化

万家寨水利枢纽两岸坝肩岩体完整性较好，裂隙数量少、规模小，相互连通性差，绕坝渗漏形式为沿裂隙渗流[1]。坝址区坝基持力层为寒武系中统张夏组第五层、张夏组第四层。右坝肩岩层平缓，可近似视为水平岩层。坝肩地层从坝顶往下为寒武系上统凤山组、长山组、崮山组，寒武系中统张夏组第六层、第五层，岩性以灰岩、白云质灰岩为主，透水性相对较强，可视为统一含水层；寒武系中统张夏组第四层以泥灰岩、页岩为主，透水性差[2]。因此，模型概化为两种材料，坝肩山体及坝基张夏组第五层岩体概化为一种均质材料，渗透系数考虑各向异性；坝基张夏组第四层及下伏其它岩体概化为一种均质材料，渗透系数考虑各向异性。

1.2 渗流计算参数选取

根据勘察资料，寒武系中统张夏组第四层岩体单位吸水率基本满足ω＜0.01L/min.m.m，即q＜1.0Lu。根据设计资料[3]可知：坝基张夏组第四层岩体渗透系数取1.0×10-6cm/s，即约0.1Lu。综上，本次右岸绕坝渗流计算中，模型概化的两种材料渗透性参数取值如表1所示。

表1 右岸绕坝渗透参数取值

位置	地层	标准	压水透水率 q/Lu	渗透系数 k/m.d^{-1}
右坝肩	$\in_3 f^3 \sim \in_2 z^5$	大值	11.4	0.114
		小值	1.2	0.012
		平均值	2.84	0.0284
坝基	$\in_2 z^4$	平均值	0.5	0.005

1.3 防渗帷幕线选取

坝肩帷幕沿坝轴线向岸坡里延伸，右岸为83m（由坝顶坝肩计起）。坝肩帷幕深度随建基面上升逐步抬高。

2 计算条件及工况

2.1 计算条件

绕坝渗流模拟的边界条件为：三维模型坝址上游的岸坡表面节点及上游、下游河床取为定水头边界，相应上游水位高程分别取最高蓄水位▽980m、正常蓄水位▽977m、设计洪水位▽975m、死水位▽948m，下游水位高程取正常洪水位▽905m；坝址下游的岸坡表面节点取为渗出面；模型底部边界取为不透水边界，如图2所示。

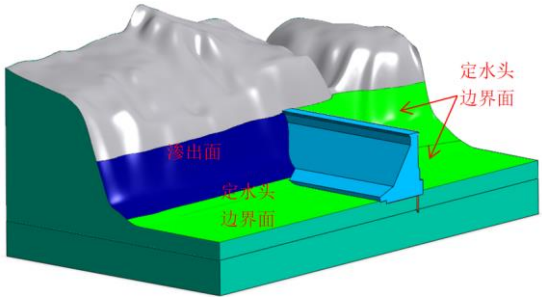


图2 渗流计算边界条件

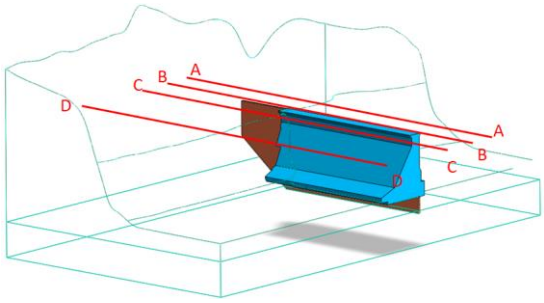


图3 典型剖面位置示意图

计算取4个典型剖面进行绕坝渗流模拟计算，分别为A-A剖面、B-B剖面、C-C剖面和D-D剖面，如图3所示。

A-A 剖面位于靠近右坝肩防渗帷幕下游侧；B-B 剖面位于距离坝轴线 50m 位置处；C-C 剖位于为距离坝轴线 100m 位置处；D-D 剖面位于距离坝轴线 200m 位置处。

应力变形有限元计算的边界条件为顺河流方向边界施加Y向位移约束、垂直河流方向边界施加X向位移约束，底部边界施加固定约束，坡面在自然状态下为自由边界。计算采用弹塑性模型，强度准则采用摩尔～库仑强度准则。万家寨水利枢纽坝址区右岸岸坡地层及坝基地层的力学性能参数，如表 2 所示。渗透系数 k 值取值与绕坝渗流模拟分析一致。本次计算的重点是岸坡的应力稳定性，因为坝基的应力状态对岸坡山体的应力状态影响微弱，同时也为了便于渗流应力耦合有限元计算，保证网格的一致性，故将大坝底部设定为固定约束，因此在应力分布图中，坝基河床地层的应力显示为受拉状态。

表 2　坝址区右岸地层力学计算参数

岩组	重度（kN/m³）	抗剪强度		弹性模量（GPa）	泊松比
		φ（°）	c（MPa）		
坝肩岸坡$\in_3$~$\in_2Z^5$	27.0	45.0	2.0	18.0	0.25
坝基$\in_2Z^4$	26.5	35.0	0.75	15.0	0.28

2.2 计算工况

根据各运行特征值，绕坝渗流模拟计算取下列工况，如表 3 所示。

表 3　渗流计算工况

工况条件	材料参数取值
上游▽980m，下游▽905m	渗透系数 k 取大值、小值
上游▽977m，下游▽905m	渗透系数 k 取大值、小值
上游▽975m，下游▽905m	渗透系数 k 取大值、小值
上游▽948m，下游▽905m	渗透系数 k 取大值、小值

2.3 模型网格划分

模型的空间范围为 400m×678m×310m，模型主要包括右坝肩山体、坝基、坝体及防渗帷幕。有限元网格单元总数为 782823，节点总数为 144216，如下图 4 所示。

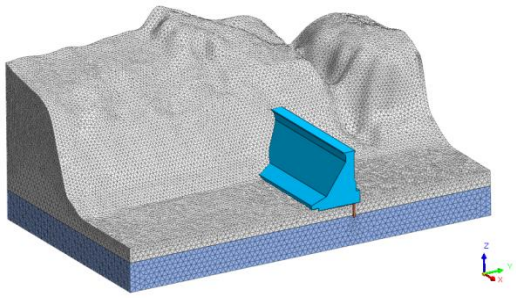


图 4　右岸计算有限元网格图

3 模拟结果分析

3.1 绕坝渗流模拟结果分析

因为右岸坝肩防渗帷幕的存在，坝肩地下水在水库蓄水前应与黄河水位持平或略低于河水位，当库水入渗右岸坝肩后，一部分库水绕过坝肩向坝址下游渗流，一部分渗向库区右岸的地下水位低缓带；在下游岸坡表面底部溢出并与下游水位衔接。大坝各典型运行工况下，数值模拟计算结果如下表 4 所示。

表 4　各剖面的最大水力梯度、流速

剖面编号	蓄水位高程/m	水平向水力梯度最大值		水平向流速最大值 m/d		最大值位置
		k 取大值	k 取小值	k 取大值	k 取小值	
A-A	980	0.32	0.20	0.037	0.002	坝肩帷幕根部附近
	977	0.35	0.20	0.040	0.002	
	975	0.33	0.22	0.037	0.003	
	948	0.25	0.11	0.029	0.001	
B-B	980	0.61	0.63	0.071	0.007	岸坡与坝体相接部位
	977	0.58	0.56	0.066	0.006	
	975	0.51	0.73	0.058	0.009	
	948	0.24	0.28	0.028	0.003	
C-C	980	0.66	0.71	0.077	0.008	岸坡坡脚
	977	0.62	0.57	0.071	0.007	
	975	0.57	0.74	0.065	0.009	
	948	0.35	0.36	0.040	0.004	
D-D	980	0.34	0.25	0.038	0.003	岸坡坡脚
	977	0.32	0.23	0.037	0.003	
	975	0.31	0.31	0.035	0.004	
	948	0.28	0.29	0.032	0.003	

对于岸坡稳定性而言，水平向的力是不利因素。通过水力学可知：水力梯度值越大，单位渗径水头损失就越大，说明边坡岩体与绕坝渗流水之间的摩擦阻力就越大。因此，岸坡内渗流的水平向水力梯度越大，说明岸坡内受到的水平向摩擦力就越大，对于岸坡来说就越不稳定。分析计算结果可知：

（1）渗透系数 k（大值和小值）对水力梯度影响较小，对流速影响较大，渗透系数 k 值越大，流速越大；

（2）蓄水位水平对水力梯度影响较大，蓄水位越高，水力梯度越大；

（3）绕坝渗流场在下游岸坡体内产生的水平向水力梯度值较小，梯度值 i＜1.0。相对来说，剖面 B-B 和剖面 C-C 两个位置处，水平向水力梯度较大，达到 0.74。

3.2 岸坡稳定性模拟结果分析

根据绕坝渗流模拟分析结果可知：蓄水位▽980m、▽977m、▽975m 工况下岸坡岩体内产生的水平向水力梯度值较为接近，相对而言，最高蓄水位▽980m 工况下水力梯度值较大，故仅取极端工况下（即蓄水位▽980m 工况）展开分析。绕坝渗流渗透力对岸坡影响较大的下游岸坡区域为距坝轴线向下游 50m 至 100m 区域，因此展开剖面 B-B 和剖面 C-C 两个位置的稳定性分析即可。右坝肩岸坡稳定性计算模型与前述绕坝渗流计算模型为同一模型、同一有限元网格。

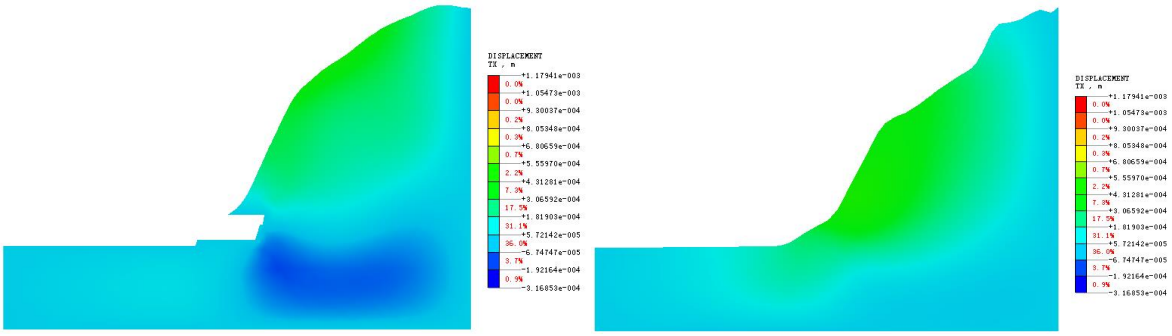


图 5　蓄水位▽980m 工况下 B-B（前）与 C-C（后）剖面 X 向位移图

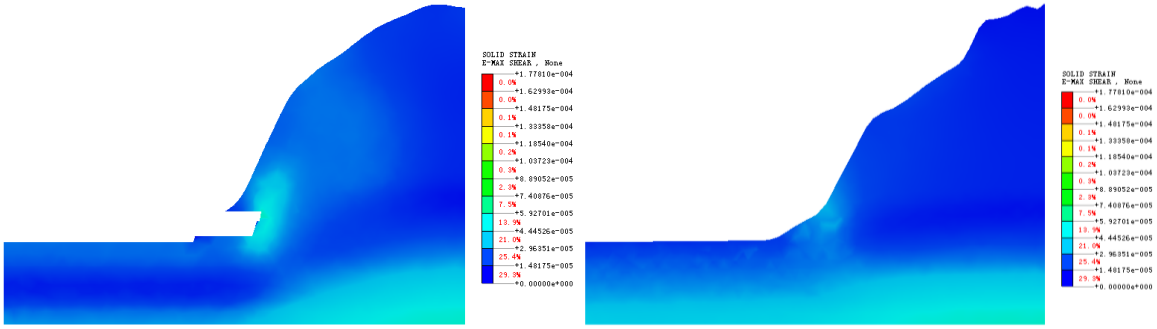


图 6　蓄水位▽980m 工况下 B-B（前）与 C-C（后）剖面最大剪应变图

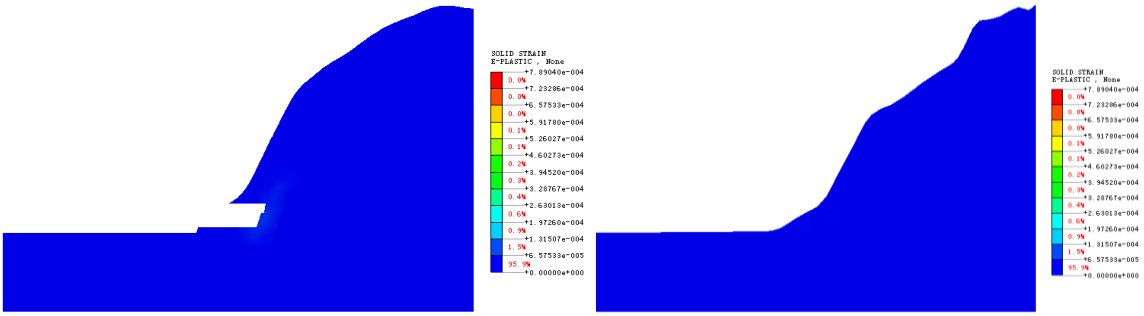


图 7　蓄水位▽980m 工况 B-B（前）与 C-C（后）剖面塑性应变图

在初始状态下，岸坡岩质边坡是稳定的。因此，分析绕坝渗流时边坡的稳定性，只考虑蓄水后的边坡变形情况，对初始状态下的位移进行了归零，在此基础上分析蓄水位 980m 时边坡的应力变形与稳定性。

由图 5 分析可知：在蓄水位▽980m 工况下，在绕坝渗流的渗透力作用下，岸坡表面发生的水平向位移最大值为 0.55mm。

判断边坡体的滑动面[6]，可根据其剪应变增量的大小来判断：剪应变增量较大（绝对值）的部位，则为其滑动面，变形破坏也多沿此处发生；剪应变增量较小或基本上没有发生变化的部位，一般不会有潜在滑动面的产生，因此，这些部位也不会发生较大的变形或破坏。由图 6 分析可知：绕坝渗流引起的两剖面的最大剪应变增量值为 0.05‰，其应变量值非常小。由图 7 可知：绕坝渗流引起的岸坡体塑性应变为零，即渗透力作用下，坡体内没有新的单元破坏。综合剪应变值和塑性应变值可以判定：万家寨水利枢纽右岸坝肩在绕坝渗流作用下是稳定的。

[参考文献]

[1]陈书文,高义军,苏红瑞.万家寨水利枢纽绕坝渗漏分析[J].水利水电工程设计,2003(2):22.
[2]刘满杰.万家寨水利枢纽工程地质[J].水利水电工程设计,1996(3).
[3]陈靖齐.万家寨水电站大坝基础渗流分析计算[J].水利水电技术,1991(1).
[4]李振富,等.蓄水过程对重力坝岸坡坝段的影响[J].水利水电技术,2001,32(5).
[5]翟家瑞著.黄河万家寨水库防凌运用方式研究[M].郑州:黄河水利出版社,2013.
[6]刘红丹,毛朝亮.边坡稳定性分析方法及数值模拟[J].水利与建筑工程学报,2010(8).

作者简介：李鑫（1991—），男，山西河曲人，工程师，硕士，主要水工建筑物运行维护与大坝安全监测工作；*通信作者：李鑫（1991—），男，山西河曲人，工程师，硕士，主要水工建筑物运行维护与大坝安全监测工作。

灌区农业水资源管理中的节水灌溉路径探索

阿孜代木·阿布拉
新疆维吾尔自治区塔里木河流域阿克苏河水利管理中心，新疆 阿克苏 843307

[摘要]全球面临的水资源问题日益严重，其中农业用水占据了 70%以上的淡水资源利用。在我国亟待解决的灌区水资源管理挑战包括管理机制的不完善、农户节水意识的不足及灌溉方式的非科学性，这些问题不仅限制了农业的可持续发展，也对水资源的保护施加了压力。针对这些问题，政府及相关部门应加强节水灌溉技术的推广，建立科学合理的水资源管理体系，同时提升农民的节水意识。通过智能灌溉系统与土壤水分监测技术的应用，能够实现精准的管理与高效的水资源利用。深入研究灌区农业水资源管理中的节水灌溉策略，将有助于推动农业的可持续发展，促进资源的合理配置及环境的良性循环。
[关键词]农业灌溉用水；管理；节水灌溉
DOI：10.33142/hst.v7i11.14299　　中图分类号：S27　　文献标识码：A

Exploration on Water-saving Irrigation Paths in Agricultural Water Resource Management in Irrigation Areas

AZIDAIMU Abula
Xinjiang Tarim River Basin Aksu Management Center, Aksu, Xinjiang, 843307, China

Abstract: The global water resource problem is becoming increasingly serious, with agricultural water accounting for over 70% of freshwater resource utilization. The urgent challenges in water resource management in irrigation areas in China include imperfect management mechanisms, insufficient water-saving awareness among farmers, and unscientific irrigation methods. These problems not only limit the sustainable development of agriculture, but also put pressure on the protection of water resources. In response to these issues, the government and relevant departments should strengthen the promotion of water-saving irrigation technology, establish a scientific and reasonable water resource management system, and enhance farmers' water-saving awareness. Through the application of intelligent irrigation systems and soil moisture monitoring technology, precise management and efficient utilization of water resources can be achieved. In depth research on water-saving irrigation strategies in agricultural water resource management in irrigation areas will help promote sustainable development of agriculture, rational allocation of resources, and a virtuous cycle of the environment.
Keywords: irrigation water for farmland; management; water-saving irrigation

引言

全球人口的增长与经济的发展，农业对水资源的需求也随之加大。有效管理水资源成为实现农业可持续发展的关键，在干旱和半干旱地区，传统的灌溉方法常常导致水资源的浪费，从而对作物的生长与生态环境产生不良影响。因此，探索有效的节水灌溉路径，既是应对水资源短缺的必要措施，也是推动农业现代化的重要步骤。

1 灌区农业水资源管理现状分析

在灌区农业水资源管理中，合理配置与利用水资源显得尤为重要。当前，水资源短缺及其不均衡分配的问题在许多灌区中愈发明显，尤其是在干旱及半干旱地区，供需矛盾日益突出。传统灌溉方式在此情况下难以满足农作物的生长需求，导致水资源的浪费与土壤盐碱化等问题愈演愈烈。从管理模式的角度来看，尽管某些地区已开始尝试集约化与科学化管理，整体管理机制仍显不足。统一的水资源管理机构的缺乏，导致了信息沟通的障碍与资源配置的不合理，农户的节水意识与技术水平普遍偏低，许多农民仍依赖传统灌溉方式，未能重视节水技术的应用。在实际操作中，因年久失修或维护不足，一些灌溉设施的水输送与分配效率低下，这不仅增加了农业生产成本，也对灌区的可持续发展构成了威胁。因此，解决水资源管理中的现状与问题势在必行，需从技术、管理及政策等多个方面进行综合治理，以实现水资源的高效利用与农业的可持续发展。

2 节水灌溉技术与方法

2.1 滴灌技术

滴灌技术被广泛认为是一种高效利用水资源的方式，通过在植物根部附近缓慢而均匀地输送水分，显著降低了水分的蒸发与渗漏，这种精细化的灌溉方法能够将水分准确地提供到最需要的地方，从而有效减少水资源的浪费。滴灌系统通常由滴头、管道与水源组成，系统的设计可根据土壤类型与作物需求进行调整，确保每一棵植物均获得足够的水分。采用滴灌技术的农田，作物的生长状态通常优于使用传统灌溉的田地，这种方法不仅能维持土壤水分在理想水平，避免水分过多或不足，还能提升作物的产量与质量，滴灌还降低了病虫害的发生，因为水分的减少使

得叶面与土壤表面不再适合病菌与害虫的滋生。尽管滴灌技术在节水方面的成效显著，但其推广仍面临一些挑战。初期的投入成本较高，特别是在大型农田的铺设与设备维护方面。同时，农户对滴灌系统的理解与使用需要专业培训。为了实现滴灌技术的全面推广，政府及相关机构需提供更多的支持与培训，以帮助农民掌握这一现代化的灌溉方式，从而推动农业的可持续发展。

2.2 喷灌技术

喷灌技术被广泛应用于农业，是一种通过喷头将水以细小水滴的形式均匀喷洒在作物上的灌溉方式，这种方法模拟了自然降雨，能够有效覆盖大面积农田，适应不同作物的生长需求。喷灌系统一般由水源、泵、管道及喷头等组成，水通过管道输送至喷头，喷射过程中形成细腻的水雾，使水分得以更好地渗透到土壤中。与传统灌溉相比，喷灌能够精确控制水量从而减少资源浪费，通过调节喷射角度与水流量，喷灌系统能适应不同地形与作物的需求，帮助农户更有效地管理水资源，对于需要特别关注土壤湿度与温度的高价值作物，喷灌无疑是一种理想选择。尽管喷灌技术具备诸多优点仍然存在一些挑战，在强风天气下喷洒的水可能会被吹散，影响灌溉效果。此外，喷灌系统的维护与管理需要一定的技术知识，定期检查与清洁是农户必须承担的责任。初期的投资成本较高，或许会成为小规模农户采用喷灌的障碍。

2.3 土壤水分管理

土壤水分管理被视为优化灌溉与促进作物生长的关键环节，通过合理调控土壤中的水分含量，水资源的利用效率能够显著提高，同时促进作物的健康生长。有效的管理方式包括监测土壤湿度、选择适宜的灌溉时机，以及采用覆盖与排水等技术。借助先进的土壤水分传感器等设备，农户得以精准掌握水分动态，从而制定科学的灌溉计划，这种以数据为基础的管理方法能够有效避免过度灌溉或水分不足的情况，提升水的使用效率。同样重要的是合理选择灌溉时机，不同生长阶段的作物对水分的需求各有差异，通过分析气象数据与作物需水量，农户能够在最佳时机进行灌溉，确保作物获得充足的水分。此外，采用覆盖作物或覆盖物（如稻草、塑料膜）能有效减少土壤表面的蒸发，保持土壤湿度。良好的排水管理亦不可忽视，确保土壤具备良好的排水能力，有助于防止积水对作物根系造成伤害，同时保持土壤的通气性，通过合理的排水设计土壤水分状况能够得到有效调控，从而进一步促进作物生长。

2.4 智能灌溉系统

智能灌溉系统被视为将现代科技应用于灌溉过程的一种先进解决方案，目的在于实现自动化与精细化管理，该系统综合运用传感器、气象数据、软件算法以及无线通信技术，能够实时监测土壤湿度、天气变化及作物生长状态，从而实现精准灌溉，借助这一技术显著节约水资源的同时，农户还可提升作物的产量与质量。数据的实时收集与分析构成了智能灌溉系统的核心。田间的土壤水分传感器定期将监测数据传输至控制中心，系统依据这些数据自动判断灌溉的时间与水量。这一过程的自动化使得农户不再需要手动检查土壤湿度或依赖经验进行灌溉，从而大幅减少人为错误的可能性。远程控制功能也成为智能灌溉系统的一大优势，农户可以通过手机或电脑随时查看实时数据，甚至远程启动或停止灌溉，这种灵活性确保了在面对天气突变或外出时，作物的水分供应依然得到保障。尽管智能灌溉系统的初期投资较高，长期来看，在水资源节约与作物增产方面的潜力不可忽视。随着科技不断进步及成本逐步降低，预计智能灌溉系统将在更广泛的农业领域得到推广，推动农业生产向更智能、高效与可持续的方向发展。

3 灌区农业水资源管理中存在的问题

3.1 管理机制不完善

在灌区农业水资源管理中，管理机制的不完善尤为突出。许多地区缺乏系统化的水资源管理框架，导致资源分配与使用的不合理现象普遍存在，管理职责的不明确加上缺乏有效的监督与考核机制，使水资源管理工作往往流于形式，难以真正落实。此外，相关政策与法规的不足，导致农户在水资源使用上的权益保障缺失，进一步加剧了水资源的浪费与争用问题。在部分地区，农民对水资源管理的政策、技术以及相关信息的了解不足，科学灌溉知识缺乏，使得许多农民在实际操作中仍依赖传统的灌溉方式，无法有效应对水资源短缺的挑战。同时，各部门之间缺乏有效协调与合作，政策实施时常常出现脱节，难以形成合力。由于缺乏必要的培训与指导，农户对节水灌溉技术的认知水平普遍较低，合理的用水方式难以掌握，进而造成水资源的浪费与作物产量的下降。

3.2 农户节水意识不足

在灌区农业水资源管理中，农户节水意识不足成为亟须解决的关键问题。长期的灌溉实践使许多农民对传统用水方式形成了依赖，未能深刻认识到节水的重要性。在日益紧张的水资源背景下，农户常常忽视节水对自身生产成本的影响，以及其与整个地区可持续发展的紧密关系。信息传递不足，使得农民对节水技术及其应用的了解甚少，必要的知识与技能缺乏导致他们无法有效利用现代节水手段，如滴灌或喷灌系统。在某些地区仍有农民依赖大量用水的传统耕作方式，甚至对水的使用毫无节制，这种状况不仅造成水资源的浪费，也严重影响了作物的生长与产量。一些农民的认知中，水资源被认为相对丰沛，因而对合理用水的意识不强，这种认知障碍直接妨碍了节水措施的推广与实施，进一步加剧了灌区水资源的紧张。

3.3 灌溉方式选择不合理

在灌区农业水资源管理中，灌溉方式选择不合理的问题普遍存在。许多农民在做出灌溉决策时，往往受传统习惯的影响，而非依据科学数据如土壤类型、作物需求与气候条件，这种依赖经验的做法常常导致水资源的浪费及作

物生长的低效。例如，在一些地区，漫灌等耗水量较大的方式仍被农户普遍采用，他们未能充分认识到现代节水灌溉技术的优势，漫灌不仅消耗大量水资源还容易造成水土流失与土壤盐碱化，从而影响作物的生长。相比之下，滴灌与喷灌等精细化灌溉方式显著提升了水的使用效率，但因缺乏对新技术的了解与适应，许多农户仍不愿尝试。灌溉方式的选择同样受到设备投资成本及维护能力的限制，由于资金不足或技术能力有限，一些农户无法购买或维护现代化的灌溉设施，这进一步将灌溉方式局限于传统且低效的方法，致使水资源使用效率无法提高。

4 灌区农业水资源管理中的节水灌溉有效措施

4.1 提升农户节水意识与技术认知

提升农户的节水意识与技术认知，是实现灌区农业水资源高效管理的基础。需让农户意识到，节水不仅是应对水资源短缺的重要手段，更是提升经济效益的有效途径，通过宣传与培训，农民将了解到现代灌溉技术如滴灌与喷灌的优势，这些方法不仅显著减少水的使用，还能提升作物的产量与质量[1]。为有效增强农户的节水意识应组织多样化的学习活动，包括现场演示、技术培训及经验交流，这类活动使农民能够直观地观察到新技术的应用效果，从而增强对节水措施的理解与认同。此外，借助网络平台与社交媒体传播节水知识，将有助于农民获取最新的信息与技能。与此同时，政府及农业部门应积极参与，制定相关政策并提供财政支持，以鼓励农户采纳节水技术。在这样的氛围中，农民的节水意识必将逐渐增强，他们会更加主动地探索适合自身条件的节水措施，从而实现水资源的可持续利用。

4.2 推广节水灌溉技术的应用

推广节水灌溉技术的应用，是提高灌区农业水资源管理效率的重要举措。现代节水灌溉方法，如滴灌、喷灌及智能灌溉系统，能够显著减少水资源的浪费，提升水的利用效率，这些技术通过精确供水不仅满足作物的生长需求，还能有效降低农业生产成本[2]。为实现这一目标，应加强对新技术的宣传与培训，使农民深入了解各种灌溉技术的特点及其适用场景，组织现场演示与技术培训班，让农民能够亲身体验节水灌溉的效果，这将极大促进技术的接受度，财政补贴的提供应由政府负责，以降低农民采纳新技术的经济负担，鼓励他们积极尝试。建立健全的技术服务体系同样至关重要，通过农业技术推广站、农技服务组织等渠道，及时提供技术支持与咨询，帮助农民解决实际应用中遇到的问题。在大型灌区中，可考虑实施集约化管理，集中资源进行灌溉设施的建设与维护，从而进一步提升水资源的使用效率。

4.3 加强农业水资源管理能力

提升灌区水资源利用效率的基础在于加强农业水资源管理能力。培养专业的水资源管理人才至关重要，这不仅要求具备科学管理和技术应用的能力，还包括对水资源监测、评估及不同灌溉技术的掌握，通过系统的培训与学习，管理人员能够更有效地分析水资源状况，并制定相应的管理策略。利用现代科技手段，水质监测、用水量统计及气候变化等数据得以收集与分析，这将为科学决策提供有力支持，这样的信息系统能够实时监测水资源使用状况，使管理者迅速进行调整并优化水资源配置[3]。鼓励各级管理机构之间的协作，也是提升管理能力的重要方面，通过建立跨部门的协调机制，有助于资源的整合与统一调度，从而提高灌区整体水资源管理效率。尤其是在面临极端天气或干旱等突发情况时，跨部门的合作能够迅速响应并制定有效的应急措施。与农民的沟通与合作，对于增强水资源管理能力同样至关重要，通过组织座谈会、技术交流等活动，管理者能够更好地了解农民的需求与困惑，提供针对性的技术支持，从而建立良好的互动关系。

5 结语

在水资源日益紧缺的背景下，提升灌区农业水资源管理的有效性显得尤为重要。通过实施节水灌溉技术、增强农户节水意识及加强管理能力，水资源挑战得以应对，农业生产得以保障。节水灌溉提升了水的利用效率，增加了作物产量与质量，促进了农村经济的可持续发展。未来，探索更先进的节水灌溉技术至关重要，现代科技与农业管理的结合将推动水资源管理创新，政府、科研机构与农民间的合作与互动需不断加强，以共同应对水资源短缺挑战。唯有如此，才能实现水资源的可持续利用，推动灌区农业迈向更加繁荣与绿色的未来。

[参考文献]

[1]崔丽艳.灌区农业水资源管理中的节水灌溉路径分析[J].水上安全,2023(5):83-85.
[2]汪金凤.灌区农业水资源管理中的节水灌溉路径探索[J].农业科技与信息,2022(14):22-25.
[3]徐保鹏.灌区农业水资源管理中的节水灌溉分析[J].新农业,2023(16):86-87.

作者简介：阿孜代木·阿布拉（1989.5—），毕业院校：毕业院校：新疆农业大学，所学专业：农田水利工程专业，当前就职单位名称：新疆维吾尔自治区塔里木河流域阿克苏河水利管理中心，就职单位职务：科员，职称级别：工程师。

农田水利建设中水土流失治理对策研究

顾明星　薛 峰　吴 顺
昆山市水务局，江苏 昆山 215300

[摘要]农田水利建设是保障农业可持续发展和提高农田生产力的重要措施，而水土流失则是制约这一目标实现的主要问题之一。土壤侵蚀现象会使土壤变得贫瘠，农业产出减少，同时对生态系统的平衡产生负面作用。针对我国当前水土流失问题，文章通过剖析成因，推出了一套综合治理方案，涉及提升水土保持技术、改进农田水利建设、制订更完善的政策法规，以及增强农民水土保持意识等方面。研究显示，通过综合实施工程学、植物学和管理学的方法，能有效延缓水土流失现象，进而优化土壤状况，并提升农业生产的经济效益。通过文章探讨，旨在为农田水利建设中水土流失治理提供理论依据和实践指导，以实现农业的可持续发展。

[关键词]农田水利建设；水土流失；治理对策；可持续发展；生态环境
DOI：10.33142/hst.v7i11.14294　　中图分类号：TV51　　文献标识码：A

Research on Countermeasures for Soil Erosion Control in Agricultural Water Conservancy Construction

GU Mingxing, XUE Feng, WU Shun
Kunshan Water Affairs Bureau, Kunshan, Jiangsu, 215300, China

Abstract: Farmland water conservancy construction is an important measure to ensure sustainable agricultural development and improve farmland productivity, while soil erosion is one of the main problems that restrict the achievement of this goal. The phenomenon of soil erosion can make the soil barren, reduce agricultural output, and have a negative impact on the balance of the ecosystem. In response to the current soil erosion problem in China, this article analyzes the causes and proposes a comprehensive management plan, which involves improving soil and water conservation technology, improving agricultural water conservancy construction, formulating more comprehensive policies and regulations, and enhancing farmers' awareness of soil and water conservation. Research has shown that by integrating engineering, botany, and management methods, soil erosion can be effectively delayed, soil conditions can be optimized, and the economic benefits of agricultural production can be enhanced. The article aims to provide theoretical basis and practical guidance for soil erosion control in agricultural water conservancy construction, in order to achieve sustainable development of agriculture.

Keywords: agricultural water conservancy construction; soil erosion; countermeasures; sustainable development; ecological environment

引言

水土流失是指土壤在水流或风力作用下被侵蚀并随水流或风力移走的现象，尤其在农田地区，水土流失问题尤为严重。随着农业生产的进步及人类活动的增加，使得土壤流失问题日益严重，进而引起土壤质量的下降、农业生产效率的降低和生态环境的恶化[1]。水土流失的有效控制对于维护农田土壤资源、增强水利设施的效率至关重要，它是农业持续发展的重要保障，深入探究水土流失的防治措施，对推动农业可持续发展具有重大意义。

1 水土流失现状

水土流失是指土壤在水流、风力等自然力量或人为活动的影响下，被侵蚀并转移到其他地方的过程。相关数据显示，每年全球因水土流失遭受数十亿吨土壤流失，这严重损害了农业生产和生态环境。我国干旱及半干旱地区，尤其是西北与华北，正面临水土流失问题的严重挑战，这些问题主要体现在土壤的流失、水体的污染以及土壤肥力的衰退上。自然和人为因素共同构成了水土流失的主要原因。研究表明，在自然条件下，降水、地形以及土壤性质等因素，对土壤的稳定性和防止侵蚀的性能产生直接作用，例如，在那些降水量较大、坡度较陡的区域内，土壤流失现象通常更为剧烈，耕作方法的失当、植被的毁坏、过度放牧以及城市扩展对土地开发的累积效应，均对土壤侵蚀现象的恶化起到了推动作用[2]。

土壤侵蚀不仅导致土壤资源的直接耗竭，更诱发了诸如水体富营养化和生物多样性降低等一系列生态难题，进而影响到整个生态系统的健康。因此，为应对水土流失问题，必须实施有效治理，此举对于提升土壤状况、恢复生态平衡、保障农业长期发展至关重要。为了应对水土流失问题，必须在科学管理和综合整治的前提下，实施有效的措施，以确保土地资源的合理使用和生态环境的保护。

2 水土流失治理对策

2.1 加强水土保持技术的应用

加强水土保持技术的应用是解决水土流失问题、实现

可持续农业发展的重要措施。在当前全球气候变化和人类活动影响日益加剧的背景下，水土保持显得尤为重要。有效的水土保持技术可以帮助改善土壤质量、增强生态系统的稳定性，并保障农业生产的可持续性。应用科学的水土保持技术能够有效减少地表径流，从而降低土壤侵蚀的发生率。

水土保持工作得以有效推进，得益于现代农业技术的广泛应用。例如，利用精确的施肥与灌溉技术，可以显著提升水和肥料的利用效率，同时有效防范土壤退化及水土流失问题。此外，采用生物技术，特别是种植具有耐旱和抗风化特性的植物，有助于优化土壤环境，提升土地对抗侵蚀的自然防御机制。同时，有机肥的施用及作物残体的覆盖，均是土壤改良的策略，它们对增强土壤肥力及保持水分起到积极作用，进而有效降低水土流失的现象[3]。

为了确保生态环境得到保护，同时促进地方经济持续增长，必须将水土保持技术应用与地方经济发展策略紧密结合。例如，在山区与丘陵地带，依据区域经济特色，推进生态及有机农业发展，采纳持续性的经营策略，不但有利于土壤资源的维护，同时也能提升农业生产者的经济状况。

水土保持技术的应用还需要多方合作，需要政府、科研机构、农民及社会组织等多方共同努力，以形成协同作用，推进水土保持相关工作的进展。为了应对水土流失问题并实现生态与经济的协调发展，需推广与应用技术，激发公众的参与意愿，并促进水土保持的科学管理。在当前水土流失问题亟待解决的背景下，加强水土保持技术的运用，成为推动农业可持续发展、确保粮食供应和保护生态环境平衡的关键途径。

2.2 优化农田水利设施的建设

优化农田水利设施的建设是提升农业生产效率、实现可持续发展的重要环节，尤其是在面对全球气候变化和日益严峻的水资源短缺问题时，合理的水利设施规划与建设显得尤为重要。农田水利设施的优化应从整体布局与设计入手，结合区域的自然条件、土壤类型、作物特性等因素，科学合理地配置水利资源。例如，针对干旱和半干旱地区，应优先建设蓄水能力强的水库和灌溉渠道，确保在旱季能够有效供水；而对于降水量较多的地区，则应注重排水设施的建设，以防止水涝和土壤侵蚀。

农田水利设施的建设需要与生态环境保护相结合。在提升水工构筑物效率的过程中，对周边自然环境的潜在作用亦不容忽视，尤其是在构建蓄水枢纽与灌溉通道，需仔细评估其对邻近生态系统的具体影响。在进行水库建筑活动时，需进行环境影响评估，并据此对库区植被与水域进行妥善规划，以维持生态平衡。推广诸如雨水收集系统和湿地灌溉的生态灌溉技术，不仅能够节约水资源，而且有助于改善土壤环境，增加生物多样性。再者，农田水利设施的维护与管理同样不可忽视。为了保障水利设施的持续有效运行，必须设定周期性的维护计划，包含检查和护理措施，确保其正常运转。建立健全的管理制度，明确各级管理部门的职责，强化水利设施的巡查和维护，以确保设施的长期有效性[4]。

加强农民的参与意识和技能培训，提高其对水利设施的认知与管理能力也是至关重要的。水利设施的使用效果受到使用者农民的参与程度和管理能力的直接影响，开展培训和宣传活动，提升农民对水资源管理重要性的认识，培育节水意识以及科学管理技能，共建全社会参与水利设施建设与管理的热潮。在农田水利设施的优化建设过程中，政策支持起到了核心作用，资金支持对于农田水利设施的构建至关重要，政府需提高投入，同时出台优惠措施，以激发社会资本的参与热情，同时，建立一个科学的评估体系，用以定期评价水利设施建设的成效，以此确保投资的经济效益和适宜性。

2.3 完善政策法规

完善政策法规是推动水土流失治理和水利设施建设的重要保障，它不仅为治理提供了法律依据和政策支持，还为各级政府、企业和公众的参与合作奠定了基础。政策法规的完善应当关注多层次、多方面的需求，特别是在水资源的分配、利用和保护方面。水资源是有限的，合理的分配机制是确保各方利益的前提。因此，政府应制定科学合理的水资源管理条例，明确水资源的使用权限和责任，确保水资源的公平分配和可持续利用。同时，针对不同区域的特点，制定灵活多样的政策措施。例如，在水资源稀缺的干旱地区，应优先支持节水型农业和高效灌溉技术的推广；而在水资源丰富的地区，则应加强水资源的保护与生态恢复，防止水土流失和环境污染[5]。

政策法规的落实离不开有效的执行机制。在完善政策的同时，必须构建一个完备的监管与执行框架，以保障各项政策能够得到有效贯彻。各级政府需组建专门负责水资源管理的主体，该机构承担政策实施及监察责任，以保证相关策略与措施得到贯彻执行。此外，构建一种开放且明晰的信息交流平台，让社会大众及相关权益人士能够迅速掌握水资源的行政管理措施及其执行进度，从而提升政策的开放性与公众的参与度。在政策法规的制订过程中，必须重视广大民众的参与及反馈，深度吸纳地方政府、企业及农民的见解，以保证政策具备科学性和实施可行性。

政策法规应与科技创新相结合，以提高水土流失治理的效率和效果。随着科技的发展，新的技术和方法不断涌现，如遥感技术、信息技术等，在水资源管理中发挥了重要作用。因此，政府应鼓励科研机构和高校开展相关技术研究，并将其成果转化为政策导向。例如，在制定灌溉政策时，可以结合最新的精准灌溉技术，推动智能灌溉系统的应用，从而提高水资源的利用效率和管理水平。完善的政策法规应注重生态保护与水资源管理的协调。在进行水

利设施建设时，必须充分考虑对生态环境的影响，避免因过度开发造成生态破坏。

加强政策的可持续性，制定长远的水资源管理规划和法规，确保水土流失治理和水利设施建设的长期有效性。面对如气候变化这类全球性的挑战，战略层面的综合考量不可或缺，以便让政策法规能够应对环境的持续变化和日益增长的需求。为了适应不断进步的科学技术与社会发展，政策法规的修订必须及时跟进，保持其现代化的相关性。为了达成政策法规的完备性，必须促进众多参与主体之间的协同合作[6]。

2.4 加强农民的参与意识

加强农民的参与意识是实现水土流失治理和农田水利建设可持续发展的重要一环。农民是农村水土资源的直接管理者和使用者，其参与程度不仅影响治理效果，还关系到政策的实施和社会的稳定。因此，提升农民的参与意识是推动各项水土保持措施落地的重要保障。

增强农民参与意识的前提是加强对水土流失危害的认知。针对农村居民，广泛实施教育推广活动，让他们深入了解水土流失的原因、后果以及防治的关键性，使其充分意识到在水资源维护和土壤保持方面的职责与影响，比如，通过诸如开设专门课程、进行专题讲解、分发指导手册、借助网络及数字媒体等多渠道进行推广等手段，借助实际成功的案例呈现，使农民能够观察到水土流失整治的积极效果，从而提升他们参与的信心与积极性。

提升农民的参与意识还需要建立有效的沟通机制，确保农民的声音能够被听到。在实施水土保持和水利基础设施的改进过程中，农户的意见常不被充分听取，他们的真实需求和建设性建议因此常常被忽视。为了提高农民的参与感，关键在于构建一种机制，让农民能在政策制定、项目规划与执行中充分表达自己的观点，政府及其机构应定期组织座谈会，邀请农民代表参与，以充分讨论并吸纳他们的建议和诉求，进而确保相关治理方案的科学性和实用性。

为了增强农民的参与意识，应鼓励农民主动参与到水土流失治理的实际行动中。可以通过政府的引导和激励措施，鼓励农民积极参与到水土保持技术的推广、实施和管理中。例如，政府可以设立奖励机制，对在水土流失治理中表现突出的农户给予一定的经济补贴或表彰，以激励更多农民参与到治理活动中来。同时，可以通过开展示范项目，让参与的农民成为当地水土流失治理的先锋，通过他们的实际行动，带动周围农民的参与热情，形成良好的示范效应[7]。

提升农民的技术与管理素质，尚需激发其主动参与的自觉性。通过组织技术培训和提供指导，可以增强农民在水土保持方面的技术熟练度，进而有效应用于实际治理工作中。水土流失的治理，可通过组建农民专业合作社来实现，这不仅能促进农民的团结协作，还能显著提升他们参与公共事务的积极性与主动性。农民合作社担当了联系政府与科研机构的纽带角色，有效促进了信息互换与合作，进而提高了水土保持工作的总体效能。

强化农民参与水土流失治理的法治保障是提升参与意识的重要手段。它强化了农民的参与，制定法律法规旨在明确农民在水土资源管理中的权责，确保其合法权益，并提升其参与的积极性。地方政府必须对水土流失的防治工作进行严格监管，同时，保障农民能够顺畅参与其中，排除各种非必要阻碍。在参与水土保持和环境整治的活动中，农民能洞察个人与集体利益之关联，进而激发其参与的主动性和热情。相应政府部门需构筑回应农民反馈的渠道，确保其针对治理事项的意见与建议能被及时接纳，以提升其对治理活动的信赖与助力。

3 结语

综上所述，农田水利建设中水土流失治理需要综合考虑水土流失现状、技术应用、设施建设、政策法规以及农民参与等多方面因素。通过建立系统的治理机制和完善的管理体系，可以有效遏制水土流失，提高农田水利建设的可持续性，为实现农业的高质量发展提供有力保障。

[参考文献]

[1]何爱彬.农田水利建设中水土流失治理对策研究[J].农业灾害研究,2024,14(6):281-283.
[2]刘军.广东省农田水利建设水土流失因素及治理对策[J].水利技术监督,2024(3):267-271.
[3]刘军.广东省农田水利建设水土流失因素及治理对策[J].水利技术监督,2024(1):269-272.
[4]谢秀永,牛艳伟,王爱东,等.农田水利建设中水土流失治理对策[J].中国水运(下半月),2023,23(6):94-96.
[5]赵孝德.农田水利工程建设中水土流失治理问题及解决措施[J].乡村科技,2023,14(1):124-126.
[6]张德芳.农田水利建设中水土流失治理对策探究[J].农业灾害研究,2021,11(11):162-163+165.
[7]岳红琴.农田水利建设中水土流失治理对策[J].农村实用技术,2021(9):145-146.

作者简介：顾明星（1981.9—），女，专业：电气工程、法学。

水土保持监测对水土保持的重要性与改进策略

高修文 胡 杨 孙莲莲
浙江牧泽工程技术有限公司，浙江 杭州 310000

[摘要]水土保持是防止水土流失、保护生态环境和促进可持续发展的关键措施。实施水土保持工程时，构建科学有效的监测体系，对于保障各项水土保持措施的顺利进行及其成效评估，至关紧要。实时数据，由水土保持监测提供，涉及水土流失、土壤侵蚀及植被覆盖等多个方面，便于决策者评估措施成效，并据此做出适时调整。研究揭示了水土保持监测的极端必要性，对现行监测框架的缺陷进行了深入剖析，进而提议了数项优化措施。在监测技术创新、数据管理系统优化以及监测人员专业素质提升等方面采取举措，水土保持工作的效率和成效将得以显著提升。在研究末尾，作者强调了完善水土保持监测机制的重要性，并就未来探索领域进行了前瞻性思考。

[关键词]水土保持；监测；水土流失；改进策略
DOI：10.33142/hst.v7i11.14283 中图分类号：S157 文献标识码：A

Importance and Improvement Strategies of Soil and Water Conservation Monitoring for Soil and Water Conservation

GAO Xiuwen, HU Yang, SUN Lianlian
Zhejiang Muze Engineering Technology Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 310000, China

Abstract: Soil and water conservation is a key measure to prevent soil erosion, protect the ecological environment, and promote sustainable development. When implementing soil and water conservation projects, it is crucial to establish a scientific and effective monitoring system to ensure the smooth implementation and effectiveness evaluation of various soil and water conservation measures. Real time data, provided by soil and water conservation monitoring, covers multiple aspects such as soil erosion, erosion, and vegetation cover, making it easy for decision-makers to evaluate the effectiveness of measures and make timely adjustments based on this. The study revealed the extreme necessity of soil and water conservation monitoring, conducted in-depth analysis of the shortcomings of the current monitoring framework, and proposed several optimization measures. By taking measures in monitoring technology innovation, data management system optimization, and improving the professional quality of monitoring personnel, the efficiency and effectiveness of soil and water conservation work will be significantly improved. At the end of the study, the author emphasized the importance of improving the monitoring mechanism for soil and water conservation and provided forward-looking thinking on future exploration areas.

Keywords: soil and water conservation; monitor; soil erosion; improvement strategy

引言

水土流失一直是影响全球许多地区生态环境和农业生产的重要问题，尤其在我国，水土流失问题严重，给农业、生态环境，以及人民生活带来了巨大的挑战。基础性工程——水土保持，旨在缓解水土流失、恢复土壤肥力、优化生态环境，水土保持工程的稳步实施，其监测职能之关键性愈发凸显[1]。水土保持监测作为评估持续改进之关键，不仅可提供科学数据支撑，亦能实时揭示并应对实施过程中涌现的问题。水土保持监测技术领域，尤其是遥感技术、GIS 与 GPS 的融入，为监测活动带来了更精准高效的实施途径。在众多地区，水土保持监测领域普遍面临数据不足、技术相对滞后、监测体系不够健全等诸多困扰。本文旨在深入剖析水土保持监测的内涵，揭示其基础理论，并对现行问题进行剖析，同时提炼出针对性的改进措施，以期构筑水土保持工作理论支撑体系。

1 水土保持监测的重要性

水土保持监测是水土保持工作的重要组成部分，它为水土保持措施的实施提供了科学依据和数据支持。水土保持监测的核心任务是通过定期监测和数据分析，评估水土保持措施的实施效果，及时发现存在的问题并进行调整，从而保证水土保持工作的长期效果。水土流失是全球范围内严重的生态问题，特别是在我国，由于地形复杂、降水不均、植被覆盖率低等因素，水土流失现象尤为严重。水土保持监测能及时跟踪这些问题，为政府部门、科研机构及农民提供有效的管理工具，帮助他们在不同的地理区域制定科学合理的保护措施[2]。

水土流失的动态情形，得以通过水土保持监测这一手段，实时予以呈现。通常情况下，水土流失的演变轨迹缓慢，难以在初期被察觉，因此，必须借助监测数据的支持，识别出可能存在的风险地带，进而采取措施遏制其恶化的

势头。持续监测水土流失现象，相关部门得以灵活调整水土保护措施，从而防止生态环境的进一步衰退。对降水、土壤侵蚀量、植被覆盖率等关键指标进行持续监测，有助于各类水土保持措施实施成效进行精准评估，进而明确哪些措施在防治效果上更为显著，哪些则有待优化或替换。

实施水土保持资源监测，对于水土保持资源的优化配置具有重要作用。针对水土保持工程，鉴于不同区域地质、气候、土壤等自然条件的显著不同，需因地制宜，实施差异化的治理策略。借助精确的监测数据，决策者得以精确识别各地区水土流失的类型与严重程度，进而为水土保持工作的科学布局提供有力支持。运用数据驱动的决策模型，确保了资源的最优化分配，有效阻隔了资源闲置，显著提升了水土保持作业的成效。

水土保持监测对于水土保持政策的制定和实施具有重要意义。水土保持工作不仅仅是局部的生态修复工程，它还涉及宏观的政策设计与实施。通过监测结果的反馈，政府能够更加准确地制定相关的政策措施，保障水土保持工作从宏观到微观的顺利推进。比如，针对水土保持不力的区域，政府可以出台针对性的奖惩措施，从而推动水土保持工作向纵深发展[3]。

2 当前水土保持监测体系的现状与问题

尽管水土保持监测在生态环境保护中发挥着至关重要的作用，但目前的水土保持监测体系在实践中依然存在一些问题，制约了其效果和作用的发挥。水土保持工作的持续开展受到干扰，政策执行效果亦随之减弱，精准度亦有所降低。水土保持监测体系面临监测技术局限性的严峻挑战，此问题成为当前亟待解决的突出问题，对传统水土保持监测手段而言，其依赖于人工实地考察，然而此方法在广泛区域的数据实时收集与解析方面存在显著不足。此法实施效果欠佳，因受人为因素影响，水土流失现状难以被全面且精确地呈现。在水土保持管理领域，因监测设备与技术更新迟缓，致使某些区域的技术难以匹配现代管理之需。

在当前水土保持监测体系中，数据采集与管理的不充分构成了一个显著的问题。在偏远地域，因监测装备短缺且数据搜集手段不甚严谨，致使监测数据的精确性遭受波及，即便在设备较为先进的区域，数据管理系统的构建与操作尚不规范，常显现出信息孤岛之态，使得跨部门和地域的数据难以实现共享与流通。数据的封闭与分散特性，不但使监测活动效率低下，而且让水土保持策略的调整失去了依托[4]。

监测人员的专业素质与技能，对监测体系的运行成效亦产生显著影响。我国某些区域，特别是农村与山区，水土保持监测的执行依赖于专业知识与技术支撑，但鉴于监测人员的技术能力与专业素质普遍较弱，这直接影响了数据采集、解析与回应的质量与效果。监测作业中，少数执行者未恪守技术规范与操作守则，导致监测所得数据失实或出现误差，进而干扰了决策层对水土保持状况的评估。

在土壤水分保护监控系统的管理体系与协调机制方面，显现出某些不足之处。在当前的水土保持工作中，各部门的职责界限尚不明晰，监测活动常因缺乏统筹与协调而效果不佳，部门间水土保持监测，多囿于局部领域，缺失跨区域协作。尽管水土保持监测体系在技术层面取得了一定的成效，然而，在数据管理、人员素质以及体制机制等维度上，诸多问题仍旧待解，这些问题得以解决，将为水土保持领域带来更为精确和科学的数值辅助，进而显著提升水土保持工作的效能与成效。

3 水土保持监测改进策略

3.1 加强监测技术创新与应用

水土保持监测技术的创新和应用是提升监测效果、提高水土保持工作效率的关键。随着科技的进步，传统的监测手段已经不能满足当前日益复杂的生态环境监测需求，因此，创新和应用新技术显得尤为重要。近年来，遥感技术、地理信息系统（GIS）、全球定位系统（GPS）等现代化技术在水土保持领域的应用取得了显著成效。遥感技术能够通过卫星影像和航空摄影快速获取大范围地区的水土流失数据，为监测人员提供及时的现场信息。这种远程监测方式不仅节约了人力和物力，还能够实现大范围的实时监测，为政府部门提供决策支持[5]。

运用 GIS 技术对水土保持数据实施空间分析与可视化展示，以地理空间信息为基础，对不同区域水土保持状况进行精确锁定与深度剖析。借助 GIS 技术，将降水、土壤侵蚀、植被覆盖等数据汇聚于单一平台，构建起水土保持的综合性数据库。此数据库助力决策者深入剖析各地水土流失的现状与成因，进而实现精准的保护策略制定。在监测设备的定位与数据搜集环节，GPS 技术扮演了举足轻重的角色，该技术能够即时追踪记录设备的地理坐标，以此保障数据的精确性。

3.2 完善监测数据管理系统

监测数据的管理和使用是水土保持监测体系建设中的关键环节。水土保持监测工作产生的大量数据涉及不同层次、不同类别的信息，包括降水量、土壤侵蚀率、植被覆盖率等。这些数据如果不能得到及时、准确地采集、存储和处理，就无法为水土保持工作的决策和调整提供有效依据。因此，完善监测数据管理系统，对于提升水土保持监测工作效率至关重要。

在众多地区，水土保持监测领域内，数据管理面临一个突出问题——数据孤岛现象，表现为不同监测站点及不同管理部门间的数据未能实现有效融合与互通。信息处理的难度因数据的分散管理而加剧，同时，信息不对称现象亦随之出现，关键在于构建一个统一规范的水土保持数据管理平台，以解决相关问题，该系统需整合数据采集、存

储、分析及共享等多元职能，旨在集中化数据存放。有效遏制数据重复搜集与过剩现象，数据管理的平台构筑，显著提升了管理效能，并为相关部门与研究机构打造了共享信息库，助力政策制定者获得更为全面、精准的决策支持[6]。

完善的数据管理系统还应具备数据标准化和自动化处理的能力。水土保持监测数据的采集涉及多种不同的技术手段和设备，如遥感数据、地面调查数据、气象数据等，这些数据往往存在格式不统一的问题。为确保数据的可比性和可利用性，建立统一的数据标准至关重要。同时，随着监测数据量的不断增加，手动处理和分析数据已变得非常烦琐，因此，自动化数据处理系统的引入显得尤为重要。通过引入大数据分析和人工智能技术，可以对监测数据进行深度挖掘，发现其中的规律和趋势，提升决策的科学性和准确性。

3.3 提升监测人员的专业素质与能力

监测人员的水土保持专业素养与技能水平，对于监测作业的品质与效能具有举足轻重的影响。监测水土保持，是一项技术含量颇高的工作，对专业知识和操作技巧均有严格要求。面临技术人员紧缺与专业能力匮乏的现状，水土保持监测工作遭遇重重挑战，此状况不仅对数据采集及分析品质构成负面影响，亦显著削弱了监测体系整体运作效能。水土保持监测体系改革与发展的关键举措，在于增强监测人员专业素质与能力[7]。

提升监测人员专业素质，其根本途径在于强化对其的培训，领域广泛的水土保持监测技术，其更新换代速度颇快，涵盖水文气象、土壤学、植被学以及遥感技术等多个方面。掌握基础理论与操作技巧，是监测人员须臾不可或缺的，同时洞悉前沿监测技术与方法亦至关重要。在周期性组织专业培训与技术互动活动中，监测人员能够即时获取新颖的监测工具与技能，同时增强其在实务操作中应对问题的能力，所述培训方案需融合基础理论认知，并涉及数据处理、设备操控与实地调研等多项实际操作技艺。

对于监测人员的科研及数据分析能力提升，其重要性不容忽视。数据采集只是水土保持监测的初级阶段，而对数据的深度剖析与阐释则是关键所在。数据分析和报告编写的独立实施能力，乃监测人员科研素质的体现，其对决策支持的贡献不容忽视。强化监测人员的科研技能，提高他们对数据的敏锐洞察力及分析技巧，成为提高整体监测水平的关键策略。

3.4 促进多部门合作与信息共享

水土保持工作涉及多个领域和部门，如农业、水利、环境保护等，涉及的监测内容也非常广泛。因此，促进多部门合作与信息共享，对于提升水土保持监测体系的效率和效果至关重要。当前，不同部门和单位在水土保持工作中各自为政，数据共享和协同工作机制缺乏，导致信息流通不畅，影响了整体监测体系的效率和质量。

水土保持工作，政府亟须构建跨部门协同的协调机制，以确保各相关部门职责明确、分工合理，从而有效避免重复建设与资源闲置。在定期举办的工作协调会议上，应即时交流监测成果与经验，并对水土保持领域存在的问题及应对策略进行深入探讨。在水土保持领域，跨部门间的协调与合作能够高效整合各类资源，从而形成强大合力，显著提升水土保持工作的综合效能。关键在于构建一个统一的数据共享平台，以促进信息流通与协作。广泛领域的“水土保持监测”对多种“数据类型”有采集需求，而一个统一且标准化的“信息平台”则是实现这些数据集中存储与共享的关键。此平台不仅使部门间数据互通有无，亦催化地域及专业间专家交流，显著增强水土保持数据整合与决策辅助能力[8]。

实施政策引导，政府促使科研机构、环保组织与地方政府等多元化主体投身于水土保持监测事业。众多单位共同参与，引入创新监测技术，拓宽经验视野，显著增强水土保持监测的实用性与创新力，依托科研机构的技术赋能与数据分析专长，对既有的监测数据开展深层次解析，为水土保持策略的优化升级贡献实证支撑。

4 结语

总之，水土保持监测体系的完善和技术创新将极大促进水土保持工作的科学性和有效性，通过精准监测、数据共享和协同合作，可以为防治水土流失、促进生态恢复提供更有力的支持，确保水土资源的可持续利用。

[参考文献]

[1]谢周龙,莫明浩,沈发兴,等.水土保持生态要素多尺度监测指标研究综述[J].江西水利科技,2024,50(3):212-217.
[2]吴维维.水土保持监测技术对水土保持的重要性与改进策略探讨[J].水上安全,2024(6):91-93.
[3]姚永向.农业水土保持监测的重要性与策略研究[J].农村实用技术,2022(11):131-132.
[4]韩冲.水土保持监测对水土保持的重要性及完善策略[J].山西农经,2021(12):134-135.
[5]任怀泽,朱凡.水土保持监测对水土保持的重要性与改进策略[J].乡村科技,2021,12(16):115-116.
[6]杨小垂.水土保持监测对水土保持的重要性与改进策略分析[J].环境与发展,2020,32(9):180-181.
[7]李琦.水土保持监测对水土保持的重要性与改进策略分析[J].乡村科技,2019(28):111-112.
[8]林整.水土保持监测对水土保持的重要性与改进策略[J].河南水利与南水北调,2015(23):30-31.

作者简介：高修文（1996—）男，汉族，安徽宿州人，大学本科，河海大学文天学院，水土保持。

高标准农田水利设施的优化设计与实施效果分析

纪中庭
巴州水利水电勘测设计有限责任公司，新疆 库尔勒 841000

[摘要]高标准农田水利设施的优化设计与实施，在提高农业生产效率与实现可持续发展方面发挥着重要作用。保障农业生产的当务之急，便是合理利用水资源，提高灌溉效率。开展高标准农田建设项目，显得尤为迫切。文章探讨项目实施过程中，如何通过水利设施的优化与技术支持，评估其对农业生产、生态环境及社会经济的多重影响，为后续高标准农田建设提供实践经验与理论依据。

[关键词]高标准农田；水利设施；水利设施优化
DOI：10.33142/hst.v7i11.14300　　中图分类号：TV212　　文献标识码：A

Optimization Design and Implementation Effect Analysis of High Standard Agricultural Water Conservancy Facilities

JI Zhongting
Bazhou Water Resources and Hydropower Survey and Design Co., Ltd., Korla, Xinjiang, 841000, China

Abstract: The optimization design and implementation of high standard agricultural water conservancy facilities play an important role in improving agricultural production efficiency and achieving sustainable development. The top priority for ensuring agricultural production is to make rational use of water resources and improve irrigation efficiency. It is particularly urgent to carry out high standard farmland construction projects. The article explores how to evaluate the multiple impacts of water conservancy facilities on agricultural production, ecological environment, and socio-economic development through optimization and technical support during project implementation, providing practical experience and theoretical basis for subsequent high standard farmland construction.

Keywords: high standard farmland; water conservancy facilities; optimization of water conservancy facilities

引言

新疆巴音郭楞蒙古自治州和静县，因其独特的地理位置与气候条件，长期以来面临水资源短缺的严峻挑战。伴随着国家对农业现代化的重视，高标准农田建设项目逐渐成为改善农业生产条件的重要举措。2021 年，在和静县的哈尔莫敦镇及巴润哈尔莫敦镇，启动了总面积为 2.7 万亩的高效节水建设项目。通过对水利设施的优化，水资源的利用效率得到显著提升，农田建设的全面改善成为可能。项目的实施在经济与社会发展、农民收入水平提升及社会稳定维护等方面，具有不可忽视的重要意义。

1 项目概述

和静县位于新疆天山南麓的焉耆盆地西北部，区域总面积约 39,686 平方公里，其中大部分为山地。该地区气候属中温带大陆性，年均气温 8.7℃，年降水量仅 50.6 毫米，而年蒸发量却高达 2302.5 毫米，水资源匮乏对农业生产造成了巨大挑战。因此，灌溉用水在农业生产中至关重要。为提高灌溉效率和土地利用率，高标准农田建设项目在和静县得以启动，重点放在水利设施的优化、土壤改良以及基础设施的完善，以此推动现代高效农业的发展。

2021 年，覆盖面积达 2.7 万亩的高效节水项目在该县的哈尔莫敦镇和巴润哈尔莫敦镇实施。项目区距离和静县城约 40 公里，距库尔勒市 100 公里，工程规模被划定为小型项目（Ⅳ级），其建设标准符合《水利水电工程等级划分及洪水标准》（SL252-2017）等规范要求。项目建设的重点涵盖了土地平整、灌排设施的改进、渠系建筑物的更新、输配电设施的配套，以及防护林的补植和土壤肥力的提升。丰富的水土资源是该项目区的一大优势，地表水年平均资源量为38.62亿立方米，地下水资源量为5.52亿立方米，可利用的水资源总量达到 7.55 亿立方米。农业基础设施通过项目的实施得到了极大改善，生产条件显著提升。与此同时，农业综合生产力不断提高，农业生产与生态环境之间的良性循环逐步建立，粮食安全与农业的可持续发展得到了更为坚实的保障。

2 高标准农田水利设施的优化设计与实施的必要性

在新疆巴音郭楞蒙古自治州的哈尔莫敦镇及巴润哈尔莫敦镇，高标准农田水利设施的优化设计与实施，体现出其重要性，主要体现在几个方面。

2.1 促进经济与社会的可持续发展

农业在国民经济中的地位愈发重要，成为一个关键的组成部分。已被确立为国家发展的战略目标的“三农”问题亟须解决。在此背景下，为农业生产提供坚实基础条件的优化水利设施建设，无疑将推动项目区的经济与社会发展，并显著提升农业生产效益，从而为农民提供更加稳定

的收入来源。

2.2 符合自治区规划与政策导向

本高标准农田建设项目已被正式纳入 2021 年自治区高标准农田建设的实施计划。这表明，项目的推进与自治区在农业现代化与可持续发展方面的总体目标高度契合。通过该项目的实施，有效响应自治区在推动高标准农业发展方面的各项要求，将为国家宏观农业经济的发展提供必要保障[1]。

2.3 推广节水意识与节水型农业的发展

在干旱缺水的和静县，节水型农业的发展显得尤为重要。通过对水利设施的优化，灌溉水的利用效率将得到显著提升，从而推动农业灌溉技术及管理水平的全面进步。同时，土壤的次生盐碱化问题也将得到有效缓解，借助于提高节水意识，农民将更容易转向节水型农业，推动节水型社会的建设。

2.4 提升农民收入水平的有效途径

项目区内的土渠数量众多，其中不少渠道缺乏必要的防渗措施，导致水资源的利用效率较低，农作物灌溉的及时性受到影响，进而造成产量的显著下降。通过优化水利设施，使农田能够适时适量地进行灌溉，将水资源的合理利用变为可能，从而提高农作物的产量，实现当地农民收入水平的明显改善。

2.5 助力国家脱贫攻坚与实现共同富裕

在国家积极推动脱贫攻坚的背景下，和静县的贫困问题仍然较为突出。高标准农田水利设施的建设与优化，为消除贫困、改善民生提供了重要支持，促进农民收入的增长，有助于确保农村人口的脱贫目标如期实现。

2.6 维护社会稳定与促进民族团结

作为一个少数民族聚居区，和静县的社会稳定与民族团结至关重要，直接影响整个社会的和谐发展[2]。高标准农田水利设施的优化设计与实施，将显著改善当地农业生产基础条件，为各民族的团结与社会稳定提供坚实保障，进一步推动和谐社会的构建。

3 高标准农田水利设施的优化设计原则

农田建设被视为保障粮食安全及重要农产品有效供给的基础性工程。在政策制定、组织动员、规划编制、资金整合及建设管理等方面，各级党委与政府的主导作用需充分发挥，以确保农田建设有效推进。资源整合原则强调对高效节水、土地整治及农业综合开发等多渠道资金与力量的统筹安排。实现高质高效完成农田建设目标的关键在于统一规划设计、统一标准与任务安排。在服务产业的原则下，农田建设项目必须与农业产业发展布局紧密结合。优先考虑将粮食生产功能区、重要农产品保护区及特色经济作物制种基地纳入建设范围，这一做法为农业产业基础设施的奠定提供了坚实基础。依据农业自然资源的生态条件与产业布局，连片推进原则合理确定高标准农田建设规模[3]。科学设计与整体推进被视为实现目标的关键。在南疆，整乡规划与整村推进被认为至关重要；而在北疆与东疆，整县规划与整乡推进则确保每片农田达到高标准。填平补齐原则在前期土地整治与高效节水项目实施的基础上，围绕农田建设的八项内容要求，开展区域摸底调查。采用“缺什么补什么”的策略，合理安排建设内容，以达到高标准农田建设的目标。

在建管并重的原则下，结合农村集体产权制度改革，农田建设项目的管护制度应当建立健全。探索建管护一体化机制的必要性，以确保高标准农田不仅能良好建设，还能实现长期有效使用。最后，多元投入原则重视财政资金的引导作用，积极吸引社会资本的参与。稳定农村土地承包经营关系、加快土地确权颁证、推动土地流转，将激励广大农民及新型经营主体参与高标准农田建设。

4 高标准农田水利设施的路径

高标准农田水利设施的构建与优化不仅是现代农业发展的重要任务，更是水资源可持续利用的基本保障。以新疆巴音郭楞蒙古自治州和静县哈尔莫敦镇、巴润哈尔莫敦镇 2021 年 2.7 万亩高效节水项目为例，通过科学的设计和合理的实施，提升灌溉效率，实现水资源的高效利用。

4.1 水资源的科学评估

需要系统地分析地下水位、地表水储量以及年降水量等多方面数据，才能为水资源的合理利用奠定基础。在项目中，水资源的稀缺性尤其突出，评估其现状显得尤为关键。团队运用遥感技术、气象数据和历史水文记录，对区域水资源进行了综合分析。基于当地特殊的地形地貌条件，制定了适合本地区的水资源调配方案，并合理规划了不同水源的开发与利用。此外，地下水超采预防标准与地表水质监控要求也被严格遵守，确保未来农业用水不会对环境产生负面影响。

4.2 精细化灌溉方案的设计与执行

高效节水灌溉技术的推广和应用，通过现代节水技术，如滴灌、喷灌系统，水分蒸发和渗漏现象得到了显著减少。此类灌溉技术不仅能够针对作物的需水情况进行精准供水，还有效提升了水资源的利用效率。项目团队在农田中铺设了现代化灌溉管网系统，并使用监控设备实时跟踪土壤湿度与作物生长状况。根据不同作物生长阶段的需水量变化，智能控制系统自动调整灌溉频率和水量，确保每滴水都能高效利用。

4.3 农业与水利基础设施协调推进

在水利设施建设过程中，水利基础设施的合理设计，确保了水源能够迅速而均匀地输送至各农田地块，从而最大限度地减少水资源的浪费。团队通过硬质防渗渠道的铺设，有效避免了传统水渠渗漏问题的发生，并在关键灌溉节点设置了自动控制阀门，实现了水量的精准调节。除此之外，蓄水池的设计也作为重要的一环，保障了雨季及农闲季节多余水资源的储备。尤其在巴音郭楞地区，水资源

的稀缺性使得雨水集蓄系统的重要性更加突出，该系统能够最大限度地利用降水资源，减少农业生产对地下水的依赖。

4.4 智能水利监控系统的应用

通过物联网和大数据等现代技术手段，传感器和水流量监测仪器被广泛应用于整个水利系统的实时监控中。每块农田的土壤湿度、气象条件、灌溉需求等数据都通过智能系统进行分析，并根据需求调整灌溉参数，实现精准的水资源管理。这一系统不仅可以通过终端设备远程操作，确保水资源的高效利用，还能够及时发现管道漏水或设备故障等问题，从而减少水资源的浪费。在智能系统的辅助下，灌溉管理不仅更加精确，还降低了人工操作的失误率，提升了农业生产的可持续性。

4.5 技术培训与支持体系的建设

在项目实施过程中，针对当地农民与灌溉管理人员，项目团队进行了多次系统化的培训。通过理论学习与实地操作相结合的方式，农民们不仅掌握了现代化节水技术的使用方法，还学会了如何根据气候和作物条件灵活调整灌溉策略，使得水资源利用效率最大化[4]。项目还组建了专业的技术支持团队，定期进行设备巡查与维护，确保水利设施能够长期稳定运行，避免设施因疏于管理而出现故障或效率低下的情况。

4.6 区域水资源综合调控机制的实施

为有效应对水资源紧缺的状况，项目团队与当地政府和水利部门合作，建立了一套区域水资源调配机制，不仅确保了农业生产在用水紧张时期的优先保障，还对居民生活和工业用水进行了科学的调控。在实施过程中，通过水权制度的研究与改进，农民的用水权益得到了有效保障。此外，项目引入市场化手段，推动水资源的合理分配，确保水资源能够最大化地服务于农业生产，特别是在干旱季节，水资源的优先调度保障了农业生产的顺利进行。

5 高标准农田水利设施的效果

5.1 土地利用结构的优化

经过合理调整，项目实施后，农业基础设施的完善，促使土地生产率大幅提升，为现代农业的高效与高产奠定了坚实基础。通过对田、林、路、渠等设施的多方位配套建设，项目区的土壤地力与保水能力得到了显著增强，使耕作变得更加容易。

5.2 节水效益

实施后，项目区每年实现节水 905.90 万立方米，有效降低了土地盐碱化与沙化的问题。同时，农村剩余劳动力得到了充分利用，劳动生产率显著提高，促进了农业、林业、牧业与渔业等产业的协同发展，打破了单一经营模式，不仅缓解了农业用工高峰期的压力，也推动了深加工与再加工行业的逐步发展。

5.3 人口、资源与经济的循环

通过优化土地利用与农村产业结构，项目促成了人口、资源与经济之间的良性循环，助力当地居民脱贫致富，提高了小康生活水平。项目实施后，环境容量的提升有效缓解了人地矛盾，进而改善了居民的生活条件，提升了农村的社会风尚与劳动者素质。加速边疆地区经济建设的同时，项目也有助于维护社会稳定。

5.4 经济效益分析

经济效益的分析表明，高标准农田建设促进了粮食作物的保护与增产。根据和静县近几年的粮食作物平均单产数据，实施前小麦、玉米、辣椒与番茄的产量分别为 370 公斤/亩、400 公斤/亩、380 公斤/亩及 7000 公斤/亩，而实施后，这些作物的产量分别提升至 430 公斤/亩、475 公斤/亩、445 公斤/亩及 8000 公斤/亩。项目区作物的总增产达 6872 吨，净增产值为 994.01 万元，具体数据见下表 1。

表 1 经济效益分析表

作物名称	项目实施前	项目实施后	增产（t）	单价（元/kg）	增加效益（万元）	灌溉分摊系数	灌溉效益（万元）
小麦	370 kg/亩	430 kg/亩	162	2.40	38.88	0.38	14.77
玉米	400 kg/亩	475 kg/亩	608	1.90	115.43	0.38	43.86
辣椒	380 kg/亩	445 kg/亩	702	8.50	596.70	0.38	226.75
番茄	7000 kg/亩	8000 kg/亩	5400	0.45	243.00	0.38	92.34
合计			6872		994.01		377.72

上述分析表明，农民每年可增加收入 377.72 万元。节水效益方面，灌溉水利用系数从 0.56 提升至 0.592，全县农业灌溉需水量由 16759.23 万 m^3 减少至 15853.33 万 m^3，预计每年节约水资源 905.90 万 m^3。节地效益方面，高效节水工程相较于土渠输水灌溉，节地 1.5%～4%。实施后，每年节地效益为 39.8 万元。在省工效益方面，由于灌溉用水量与时间的减少，灌溉机械化程度显著提高，劳动强度也得以降低。根据工程运行情况分析，预计每亩地每年可节省 1 至 2 个工时，而自动化灌溉区及大棚种植区的节省工时更是超过 10 个，计算出的省工效益为 54 万元。

5.5 生态效益与社会意义

农田灌排水设施的实施显著提升了灌溉水的利用率，节约的水量被用于周边的生态灌溉，不仅增强了绿洲农业，维护了农业生态环境。项目区的气候、土壤与水资源状况使得项目的实施既必要又可行。同时，在改造低产田的过程中，生态环境治理亦得到了重视，展现出积极的示范作用[5]。该项目在提高农业生产水平、节约水资源及保护生态环境方面，具有显著的经济与社会意义，生态效益同样不可忽视。

6 结语

高标准农田水利设施的优化设计与实施，对新疆巴音

郭楞蒙古自治州和静县农业生产效率的提升，产生了显著的影响。科学的水资源评估、精细化的灌溉方案设计以及现代技术的广泛应用，使得项目有效提升了灌溉效率，实现了水资源的高效利用，推动了当地农业的可持续发展。数据显示，项目实施后，农作物产量显著提高，农民收入水平明显改善，节水效益也得到充分体现。该项目的成功实施，为其他干旱地区农业现代化提供了宝贵的参考与借鉴。智能监控系统的引入及技术培训的开展，显著提升了水利设施的管理水平，增强了农民的节水意识与技术能力，促进了经济、社会与环境之间的良性循环，为实现国家的脱贫攻坚与共同富裕目标奠定了坚实基础。未来，持续关注高标准农田水利设施的优化与创新，将为当地农业发展注入新的活力，助力乡村振兴与社会的和谐发展。

[参考文献]

[1]薛瑶嘉.我国农田水利建设对粮食增产的贡献研究[D].哈尔滨:黑龙江大学,2024.
[2]王乐学.农村基层高标准农田水利建设探析[J].河南农业,2024(10):63-65.
[3]朱平儒.高标准农田水利工程建设优化研究[J].河北农机,2024(16):85-87.
[4]雷雪琴.高标准农田水利工程建设效益与保障措施[J].农业技术与装备,2024(7):67-68.
[5]刘家伟.新时期高标准农田水利建设面临的挑战及解决措施[J].农村科学实验,2024(17):68-70.

作者简介：纪中庭（1984.10—），毕业院校：塔里木大学，所学专业：农业水利工程，当前就职单位名称：巴州水利水电勘测设计有限责任公司，职称级别：高级工程师。

供热系统热网水力平衡调节分析

刘 森
石家庄华电供热集团有限公司，河北 石家庄 050000

[摘要]供热系统作为城市基础设施的重要组成部分，其运行的稳定性和效率直接关系到能源利用和用户的生活质量。在供热系统中，热网水力平衡调节是保证热网正常运行的关键环节，恰当的水力调整不仅有助于提升供热效能，同时还能降低能源的无谓消耗，防止系统超负荷运作，保障供热过程的稳定与安全、文章通过在供热系统中保持热网水力平衡的关键性进行分析，涵盖了水力平衡调节的理论根基、常见问题以及相应的优化手段。文章借助具体实例与计算机模拟技术，对热力管网中的水力平衡调节进行了深度探讨，据此提出了增强调节准确性的措施，这为提高供热系统的运行效率与经济性，提供了理论与实践上的参考。

[关键词]供热系统；热网；水力平衡；调节
DOI：10.33142/hst.v7i11.14293　　中图分类号：TU833　　文献标识码：A

Analysis of Hydraulic Balance Adjustment in Heating Network of Heating System

LIU Sen
Shijiazhuang Huadian Heating Group Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: As an important component of urban infrastructure, the stability and efficiency of the heating system directly affect energy utilization and the quality of life of users. In the heating system, hydraulic balance adjustment of the heating network is a key link to ensure the normal operation of the heating network. Proper hydraulic adjustment not only helps to improve heating efficiency, but also reduces unnecessary energy consumption, prevents system overload operation, and ensures the stability and safety of the heating process. This article analyzes the key to maintaining hydraulic balance in the heating system, covering the theoretical basis, common problems, and corresponding optimization methods of hydraulic balance adjustment. The article uses specific examples and computer simulation technology to deeply explore the hydraulic balance regulation in the thermal network, and proposes measures to enhance the accuracy of regulation based on this, which provides theoretical and practical references for improving the operational efficiency and economy of heating systems.

Keywords: heating system; heating network; hydraulic balance; adjustment

引言

随着城市化进程的加快，供热系统已成为现代城市中不可或缺的基础设施之一。居民生活的舒适度以及能源的有效利用和环境的可持续发展，均受到供热系统运作的直接作用。在当前能源供应紧张与环境保护要求日益严格的背景下，迫切需要解决提高供热系统能源使用效率及解决其操作模式的问题[1]。热网的水力平衡调节在供热系统的运行效率中起到关键作用。旨在实现热力网络中水流分布的优化，此调节过程旨在确保热能供应与需求相匹配，同时减轻系统水力失衡所带来的能源浪费，防止供热系统出现供热量不足或超负荷运行的问题。通过实施高效的水力平衡调整，我们不仅可以优化供热系统的经济效率，还能提升系统的运行稳定性。

1 热网水力平衡调节的基本理论

热网水力平衡调节是保证供热系统稳定高效运行的重要技术，其核心目的是通过调节热网内各个区域的水流量和压力，确保热水供应量与需求量的匹配，从而避免供热过程中的不平衡现象，如部分区域供热不足或过度，导致能源浪费和系统效率低下。水力平衡调节的基本理论基于流体力学原理，主要包括流量、压力和阻力之间的关系。在热网中，由于不同用户需求和管网布局的差异，水流的分布往往不均匀，造成某些区域的水流量过大或过小，影响热网的整体效率。因此，水力平衡调节要求通过优化管道系统的设计、选择合适的泵站和阀门调节设备，以实现水流的合理分配[2]。

在进行管网系统的水力平衡调整时，必须纳入管道摩擦与局部阻力因素，同时兼顾整个管网的负载总体状况，这些因素共同作用于流体运动，进而对热网的运作效能产生关联。热力系统的网络平衡调节通常采取静态与动态两种策略，其中静态策略通过设置固定的阀门和泵站来管理流量，动态策略则依赖对流量的实时监控和根据负载实时变化进行相应的调整。在现代的供热架构中，为了达到精细调节的目的，普遍运用了以智能技术为基础的控制体系，该系统利用传感器和自动化控制装置，对多个区域内的流体流量、温度和压力进行即时监测。随后利用特定的控制策略对数据进行分析，以实现最优化的调整过程。

2 热网水力平衡调节的常见问题

在实际供热系统中，热网水力平衡调节常常面临一系列挑战，这些问题不仅影响系统的运行效率，还可能导致能源浪费和用户的供热不均。水力不平衡是最常见的问题之一。由于热网内各区域的负荷需求不同，导致水流的分布不均，部分区域可能出现水流过大或过小的现象，这使得供热效果无法均衡，尤其是在供热需求波动较大的季节或时段，水力不平衡的现象尤为突出。管网阻力变化也是影响水力平衡的一个关键因素。由于管道老化、堵塞或安装不当，热网管道的阻力会发生变化，导致水流量分布不均。管网内的局部阻力，如弯头、阀门等，也会引起水流速度的变化，从而影响系统的水力平衡[3]。

在现代的供暖系统中，广泛部署了自动化调节装置，包括调节阀和泵站，然而，这些设备的调节准确性和反应速度存在局限性。通常不能实现精准调节，尤其是在负载显著变化时，调节装置可能无法迅速有效地做出响应，从而造成某些区域供暖不足或过度的问题。系统的动态波动即热网在运行过程中，由于外部环境、用户需求变化等因素，导致水流和压力可能发生显著变化，尤其在采暖季节的高峰时段，这种波动性更为显著。而传统的调节方法可能难以实现及时响应和调整。数据采集与监控系统不完善也是影响水力调节效果的重要因素。若实时数据采集系统的准确性不足或数据传输存在延迟，调节系统便不能即时获取精确的水力信息，这会降低调节成效在精确度和及时性上的表现，最终对整个供热系统的稳定性产生不利影响。因此，优化热网的系统架构，提高调节设备的精准度，增强其动态适应性，并完善数据监管与反馈流程，以提升水力平衡的调控效能。

3 热网水力平衡调节优化策略

3.1 精确控制流量与压力

在供热系统中，精确控制流量与压力是实现热网水力平衡调节的核心要求。流量与压力是影响供热系统运行效率和稳定性的关键因素，精确控制流量与压力能够有效优化热网的水力分布，避免水力不平衡，提升供热效果并减少能源浪费。要实现精确控制，需要从多个方面进行优化，包括调节设备的选择、控制策略的制定以及实时监控与反馈机制的建立[4]。

在现代的供暖架构中，通过运用如变频泵、调节阀、流量计以及压力传感器等自动化调控装置，实现了高效的系统管理。设备能依据使用需求，自动调整流体的传输量和压力值，进而达到水力均衡的状态。利用变频泵调节系统，通过改变泵转速实现流量的精确调整，此方法展现出高度的灵活性与节能特性，能根据系统负载的变化进行精准的水流控制；调节阀负责根据压力和流量的变化来调节管道中的水流量，以保证热水供应的均衡性。管网内的流量与压力波动，能够被流量计和压力传感器实时追踪，随后将所收集的数据传输至中央控制系统，以便进行及时调整。精确控制流体的量和压力，依赖于设备的恰当挑选与优化安排。

在常规的供暖系统中，流量的分配与压力的控制，通常依靠人工调整和基于经验的判断，而在面临较大的负荷波动时，这种方式往往导致系统运行的稳定性不足。而现代供热系统通常采用基于智能控制的自动化调节策略，这种策略依托于大数据分析、人工智能和预测算法，对热网的运行进行实时监控和优化。借助于构建的精准控制模型，该系统能够依据环境温度和用户需求等变量，预先估算出热网的负载变动，并据此自动调整流量与压力，以保障热网维持在最佳运行状况。

为了确保热网中水流的调节能够精确且迅速地响应，构建一套完善的数据收集与回馈机制是必不可少的，涉及的多套监测装置，配备有流量、压力及温度感应器，能够对热力网络中各个要害部位的运行状况进行即时追踪，实时采集监测数据，使得系统能够根据当前运行状态迅速做出决策，并自动操控相关设备以做出相应调整，构建实时的反馈机制，能够增强系统的调节效能，优化反应的时效性。此机制在监测到异常状况时，能迅速识别并作出处理，从而预防系统发生大规模的故障或造成不必要的能源损耗。历史运行数据的分析，可通过数据分析系统完成，旨在识别潜在的调节问题，并为后续优化工作提供数据支撑[5]。

3.2 基于大数据与人工智能的调节技术

大数据技术在供热系统中的应用为精确调节提供了数据支持。通过安装传感器和智能设备，供热系统能够实时采集各个节点的流量、压力、温度、负荷等大量数据，并将这些数据集中到云平台或数据中心进行存储和分析。通过对海量历史数据的挖掘与分析，可以发现供热系统中的潜在规律与趋势，从而为未来的调节决策提供科学依据。例如，通过对不同气候条件、时间段以及用户需求等数据的分析，可以预测热网负荷的变化趋势，提前做出相应的调节方案。

采用人工智能技术，能够通过自适应调节机制，进一步增强系统的灵活性，进而提升其应用效果。固定模式调节机制通常依据既定规范与参数进行操作，此方式在面对多变的环境因素及负载变异时，往往难以实现即时的适应性调整。实时数据的变化能够引导基于人工智能的自适应调节技术动态地调整其策略。当环境温度迅速下降时，人工智能机制能够自行估算出调节后的能量需求，并通过控制泵和阀门的旋转速度及其开启程度，精确协调热力网络的供能效率与消费者需求，防止供热量不恰当导致的能源浪费。系统在持续运作中，通过累积历史数据，不断完善优化其控制方针，进而提升总体效率[6]。

借助大数据和人工智能技术，智能化供热系统的管理通过云计算平台得到了显著提升。利用云计算技术，可以实现数据的远程存储与强大的计算处理，有效整合分布在

不同区域及设备中的信息资源，进而通过云平台进行深入的数据分析、加工及提供决策支持服务。管理者借助云基础设施，能够即时查看系统运作情况，并对各节点的水热平衡进行监管，随后根据系统实际需求下达相应的调整命令。云服务架构提供了远程监控与故障诊断的功能，有效实现了对问题的即时侦测与处理，显著降低了人工检查及维护的经济投入。利用大数据和人工智能两项技术，对调节技术进行优化，以实现对供热系统的预测性维护，从而提高系统运行效率。

3.3 仿真模拟与优化算法的应用

在热网水力平衡调节中，仿真模拟与优化算法被广泛应用，这极大地提高了供热系统的运行效率，确保了其稳定性，同时降低了能耗。仿真模拟技术通过对供热系统进行精确建模和虚拟仿真，能够对不同调节方案和操作方式进行预测和分析，从而为实际系统的优化调整提供依据。而优化算法则通过对热网运行参数的数学建模与计算，帮助实现最优的水力平衡调节策略，进一步提高系统的经济性和节能性。两者的结合应用为解决传统供热系统中的不平衡问题提供了新的思路和技术手段。

利用仿真模拟技术构建热网系统虚拟模型，实现了对其运行参数的全面检验。针对热力输送系统，仿真模型可以在不妨碍其正常运作的情况下，对不同的运行条件进行模拟，预见潜在的水流分布不均及设备故障问题，进而实现对系统的提前调整与优化。工程师通过反复进行模拟实验，对各种可能的配置和调节策略进行评估，以筛选出最佳方案。仿真模拟技术在系统改进或建设项目初期设计阶段的应用，能够对多种负荷需求与环境变化情形进行模拟，以此来预估系统运行状况，并预防实际操作中可能出现的意外问题。仿真模拟技术的应用，不仅增强了系统调节的科学性，而且为优化方案的选择提供了可靠的依据[7]。

在热力管网系统中，实现水力平衡的调节机制中，优化算法起到了至关重要的作用。该算法主要应用于确定流量的最佳调节以及压力的最优化，同时，它也致力于降低能源的消耗。借助数学模型构建，并运用改进后的算法，在诸如管道输送能力、泵站性能和客户需求等多重限制条件下，对供暖网络进行解析，以找出理想的调控策略。诸多优化算法中，如线性规划、遗传算法等，均涉及问题的求解过程，借助计算机，这些算法能有效求解预设的目标函数，如最小化能源消耗或最大化供热效益，输出最优调节策略。在处理多个区域的热量供应要求时，算法优化能够依据各个区域的负载状况，动态地对水流和压力进行调整，以实现各区域热量分配的公平性，防止出现供热过量或不足的问题。算法的改进应用使得系统运行达到了最佳配置，从而显著提高了供热效率并减少了能源的消耗。

仿真模拟与优化算法的结合应用，还能应对复杂多变的供热需求和运行环境。在实际运作中，热网系统经常遭遇外部温度变化、用户需求的不确定性以及设施老化等挑战，这些挑战共同作用，引发水力平衡的波动，并造成系统效率的降低。通过仿真模拟，能够实时反映系统因变量变动对自变量的响应，结合优化算法对系统操作参数进行调整，从而达到最优化的控制效果。例如，在外部温度急剧下降的情况下，该系统能够利用模拟技术预测负载的变动，并运用优化方法对泵站与阀门的流量及压力进行调整，以保证热能的有效传输与分配。

4 结语

综上所述，供热系统热网水力平衡调节是一个复杂且重要的技术问题，涵盖了从设计、调节到运行各个阶段的精确控制。现代技术的应用，如大数据、人工智能、仿真模拟与优化算法，提供了更加智能和高效的解决方案，有助于提高系统的稳定性、减少能源消耗并增强系统对负荷变化的适应能力。

[参考文献]

[1]陈曦,黄朔,袁华龙,等.供热系统二次网水力平衡调节浅析[J].暖通空调,2024,54(1):40-43.
[2]高琨.市政集中供热水力平衡的失调及其解决方法探讨[J].居业,2024(5):227-229.
[3]王民乐.集中供热系统的水力平衡调节与节能措施分析[J].仪器仪表用户,2024,31(4):102-103.
[4]李德,魏翔,辛凯.城市集中供热系统的二级网水力平衡调节分析[J].电站系统工程,2022,38(2):61-63.
[5]张蕊.大型集中供热系统热网运行调节技术的实践与应用[J].区域供热,2022(1):66-70.
[6]冯琪,汪广慧,孙志勇.集中供热系统的水力平衡调节与节能措施分析[J].节能与环保,2021(5):41-42.
[7]武政.供热系统热网水力平衡调节分析[J].山西建筑,2017,43(10):139-140.

作者简介：刘森（1996.3—），单位名称：石家庄华电供热集团有限公司，毕业学校和专业：北华大学 通信工程。

热动系统在火电厂中的节能优化解析

王旭煜 孙显辉 赵月凯 申 奥 刘振华
华能威海发电有限责任公司，山东 威海 264205

[摘要]火电厂作为传统能源的重要组成部分，仍然在全球电力供应中占据举足轻重的地位。可再生能源的崛起与环境保护意识的增强，正促使火电行业经历前所未有的变革，优化火电厂的热动系统不仅关乎企业的经济效益，更直接影响环境保护与社会责任的履行。火电厂的热动系统涵盖锅炉、蒸汽轮机、冷凝器及相关辅机设备，运行效率直接关系到燃料消耗与排放水平。随着科技的不断进步，多种新技术与设备被引入火电领域，为节能减排提供了新的解决方案。在市场与政策的双重压力下，火电厂亟须制定系统性的节能优化策略增强整体竞争力与可持续发展能力。火电厂热动系统的节能优化不仅是经济利益的考量，更是环境保护与社会责任的重要体现，通过深入分析与研究，为火电厂的节能优化提供科学依据与实践指导，从而助力行业的绿色转型与可持续发展。

[关键词]热动系统；火电厂；节能优化
DOI：10.33142/hst.v7i11.14295 中图分类号：TM621.4 文献标识码：A

Energy-saving Optimization Analysis of Thermal Power Systems in Thermal Power Plants

WANG Xuyu, SUN Xianhui, ZHAO Yuekai, SHEN Ao, LIU Zhenhua
Huaneng Weihai Power Generation Co., Ltd., Weihai, Shandong, 264205, China

Abstract: As an important component of traditional energy, thermal power plants still occupy a pivotal position in the global power supply. The rise of renewable energy and the increasing awareness of environmental protection are driving unprecedented changes in the thermal power industry. Optimizing the thermal power system of thermal power plants is not only related to the economic benefits of enterprises, but also directly affects the fulfillment of environmental protection and social responsibility. The thermal system of thermal power plants includes boilers, steam turbines, condensers, and related auxiliary equipment, and the operating efficiency is directly related to fuel consumption and emission levels. With the continuous advancement of technology, various new technologies and equipment have been introduced into the field of thermal power, providing new solutions for energy conservation and emission reduction. Under the dual pressure of market and policy, thermal power plants urgently need to develop systematic energy-saving optimization strategies to enhance their overall competitiveness and sustainable development capabilities. The energy-saving optimization of thermal power systems in thermal power plants is not only a consideration of economic benefits, but also an important manifestation of environmental protection and social responsibility. Through in-depth analysis and research, it provides scientific basis and practical guidance for the energy-saving optimization of thermal power plants, thereby helping the industry's green transformation and sustainable development.

Keywords: thermal system; thermal power plants; energy-saving optimization

引言

在全球能源转型的背景下，火电厂面临着巨大的压力与挑战。传统火电行业，一方面遭遇日益严格的环保法规与加剧的市场竞争；另一方面社会对清洁能源的需求不断上升，迫使火电企业必须采取切实有效的节能措施，以提升经济效益与环境可持续性。基于此，优化火电厂热动系统的节能措施显得尤为重要，成为行业发展与企业转型的关键所在，探讨火电厂热动系统节能优化的必要性、具体思路及合理措施，为火电行业在新时代背景下的可持续发展提供指导与借鉴。

1 火电厂热动系统概述

火电厂的热动系统是关键组成部分，负责将燃料的化学能转化为机械能，进而驱动发电机进行发电，涵盖锅炉、蒸汽轮机、冷凝器及相关辅助设备，通过燃烧煤、天然气或其他燃料，锅炉产生高温高压的蒸汽；利用这些蒸汽的能量，蒸汽轮机则进行旋转，有效将热能转化为机械能。冷凝器的作用在于将蒸汽冷却回水以便回流至锅炉，实现资源的循环利用。在此过程中，设计与运行效率对电厂整体能效及经济效益起着至关重要的作用，能量转换效率的提升不仅依赖于一个高效的热动系统，还能显著减少废气排放推动可持续发展。因此，热动系统的深入了解与优化对提高火电厂的运营效益至关重要。

2 火电厂热动系统节能优化的必要性

2.1 环境影响

在发电过程中，火电厂的热动系统会释放大量污染物，包括二氧化碳、氮氧化物和硫氧化物对环境产生深远影响。作为主要的温室气体，二氧化碳的排放量与火电厂的燃料消耗密切相关，已成为导致全球气候变化和温室效应的重

要因素之一。根据统计，火电厂的二氧化碳排放占全球能源相关排放的相当大部分，减少温室气体排放已成为全球各国迫切应对气候变化的目标。通过优化热动系统的节能措施，火电厂能够有效降低燃料消耗，减少污染物的排放。例如，锅炉热效率的提升与蒸汽轮机运行效率的提高，使火电厂以更少的燃料产生更多的电能，从而相应减少污染物的排放，这类节能措施不仅能显著降低二氧化碳的排放，还能减少氮氧化物、硫氧化物等其他有害物质的释放，从而改善空气质量。此外，若未妥善处理火电厂在运行中产生的废热与废水可能对水体和土壤造成负面影响，废热的直接排放或将导致周边水体温度升高，扰乱水生生态系统的平衡，未经处理的废水可能含有重金属和其他有害物质，进而污染土壤与水源，通过实施节能优化措施，废热的有效回收与利用能够提高整体能效，同时合理处理废水减少对环境的影响。推动热动系统的节能优化不仅减轻了环境负担，还提升了社会对清洁能源转型的认可。

2.2 经济效益

优化火电厂热动系统的节能措施，不仅降低环境污染且显著提高经济效益。在火电厂的运营中燃料成本往往占据主要的运营费用，能效的提升直接减少了燃料消耗，从而降低整体运营成本。采用高效的锅炉与蒸汽轮机技术，在相同燃料投入下能产生更多电能，这种能效提升使电厂在运营过程中，以较低的成本实现更高的发电量进而提高整体利润。经过优化的系统通常具备更高的运行效率，这不仅为电厂在电力市场中提供了竞争优势，还能够有效应对电力需求的波动。随着市场竞争的加剧，发电效率的提升已成为获取市场份额的关键，能效的提高使电厂在电价波动时能够灵活调整产出，更好地满足市场需求从而拓展利润空间。面对日益严格的能源消耗与排放监管，节能优化有助于火电厂避免因超标排放而导致的罚款及经济损失。监管机构对二氧化碳、氮氧化物及硫氧化物等排放的标准逐年提高，未达标的电厂将面临高额罚款及整改成本，有效的节能措施的实施能够减少排放，降低因违规而带来的经济风险。

3 火电厂热动系统节能优化的具体思路

3.1 能源管理

在火电厂的节能优化过程中，能源管理显得至关重要。建立一个全面的能源监测系统是这一管理的基础，该系统能够实时收集设备运行数据，包括能耗、温度、压力等关键指标，通过对这些数据的分析，能识别能耗高峰和异常波动，从而进行针对性的调整。例如，若某设备在特定时间段内的能耗异常升高，管理人员便能迅速调查原因并采取必要的改进措施。定期实施能源审计同样不可或缺，这种系统化的评估帮助识别设备的能效水平，并发掘潜在的节能机会，审计结果为后续设备改进和技术升级提供了数据支持，确保每项投资都能实现最大经济效益。在能源管理过程中，合理的调度策略也显得十分关键，通过优化运行计划并合理分配负荷，可以确保各设备始终处于最佳工作状态。例如，在低负荷期间，发电机组的运行顺序可调整，关闭不必要的设备以避免无效的能源消耗。培养员工的节能意识是实现节能目标的重要环节，定期举办节能培训和活动，使员工了解节能的重要性及具体措施，鼓励他们积极参与节能管理，通过建立奖励机制激励员工提出节能建议，并在日常工作中践行节能理念，从而形成良好的节能文化。

3.2 设备改进

设备改进是提升火电厂热动系统能效的关键途径，涉及从核心设备的升级到辅助设备的优化。升级锅炉与蒸汽轮机等关键设备，可以显著提高热能转换效率，现代高效锅炉技术通过改进燃烧方式及热交换过程，在相同燃料输入下能够产生更多蒸汽，同时降低废气排放。例如，循环流化床锅炉的应用不仅提高了燃料利用率，且通过较低的燃烧温度减少了氮氧化物的生成，从而改善了环境质量。变频驱动技术的引入对于泵与风机的动态调节至关重要，这项技术使得设备能够根据实际需求自动调整运行速度，从而避免低负荷情况下的能量浪费。特别是在负荷频繁变化的环境中，变频驱动不仅有效降低了能耗，还延长了设备的使用寿命。在冷凝器方面，更高效的换热材料与设计的采用能够显著提升冷却效果，降低冷却水的能耗。例如，通过增大换热面积或引入新型换热材料提高热交换效率，使冷凝器能够在更短时间内完成冷却，从而减少冷却水的消耗。定期维护与检修设备确保在最佳状态下运行，是保障系统高效性的关键环节，包括对换热表面进行清洁、检查密封性以及校准测量仪器，降低故障率和能耗损失。引入智能化监控系统也是提升设备能效的有效手段，实时监测设备运行状态，使得能够识别异常情况及时发出警报并进行调整，这种方式不仅提升了设备的运行效率，还帮助延长了使用寿命，减少了维修成本。

4 火电厂热动系统节能优化的合理措施

4.1 保障系统的稳定性

保障火电厂热动系统的稳定性，对于实现节能优化至关重要。定期实施设备检修与维护计划作为基础，通过对锅炉、蒸汽轮机及冷凝器等关键设备的定期检查，潜在故障与隐患能够被及时识别，确保设备始终处于最佳状态从而避免因故障停机所造成的能量损失。先进的监控技术的采用也能有效提升系统的稳定性，实时跟踪设备的运行参数与环境条件，能够迅速识别异常状况，这类监测系统不仅增强了反应速度还能通过数据分析优化运行策略，从而减少不必要的能耗。同时，建立标准化的操作规程，确保操作人员在应对突发事件时能够迅速采取有效措施，以降低事故风险。在负荷管理方面，通过智能调度系统来优化发电计划，确保设备在高效运行区间，避免在低负荷时段出现的能量浪费。高峰负荷期间备用设备的合理配置，能够应对突发需求的变化。

4.2 设计循环水系统

设计高效的循环水系统，对火电厂节能优化具有重要意义。闭路循环水系统的选择作为一种有效策略，通过重复利用冷却水减少了对外部水源的依赖，同时降低了废水排放，因而对环境的影响较小。在系统设计过程中，优化水泵与管道的布局显得尤为重要，选用直径适宜、材质优质的管道能够降低水流阻力且提升流动效率。泵的选型与运行模式也至关重要，高效泵结合变频驱动技术可以根据实际冷却需求动态调节水流量，确保在不同负荷下冷却效果的稳定[1]。同时，温度与水位的监控点应设置，保障系统的稳定性与安全性。定期检测循环水的化学成分防止结垢及腐蚀，从而延长设备的使用寿命。在线监测系统的引入，使得实时掌握水质变化成为可能，并能够及时调整处理方案，确保水质维持在合理范围内。整合智能控制技术，使得循环水系统能够自动调节并实时优化运行策略，从而进一步提升能效。

4.3 重复利用高温废水

高温废水的重复利用成为火电厂节能与水资源优化的关键措施，在发电过程中，火电厂会产生大量高温废水，若能有效回收与再利用，既能减少新水的需求又能降低热能的浪费[2]。因此，建立专门的废水回收系统显得尤为重要，该系统负责收集来自冷却、清洗及其他工艺的高温废水，并通过合理的管道布局将废水引导至处理设施，确保其流动畅通无阻。在处理阶段，先进的水处理技术的应用，例如热交换器与膜分离技术，使得从废水中回收热能成为可能，回收的热能可用于预热新水，这种方法不仅提升了能源利用效率，也减少了废水排放对环境的负面影响。此外，经过处理的高温废水可被用作辅助冷却系统或蒸汽锅炉，进一步降低新水的消耗。实施高温废水的再利用还需建立健全的监测机制，确保水质达到回用标准，避免对设备造成腐蚀或结垢。定期评估与优化回收系统的运行效果，调整处理工艺以提升整体效率。

4.4 合理利用排烟热量

合理利用排烟热量，成为火电厂节能优化的重要环节。在燃料燃烧后，排放的烟气中仍携带大量热能，若能够有效回收这部分热量，整体能效将显著提升。安装烟气余热回收装置被认为是一种有效的方式，能够通过将排烟中的热量用于预热锅炉给水，不仅提高锅炉的热效率还减少对燃料的依赖，从而降低运营成本。利用烟气余热进行热水加热或供热，能够进一步提升能源的利用率。在一些火电厂中，烟气余热甚至可以转化为电能，通过配置热电联产系统为厂内其他设施提供动力。为确保烟气余热回收系统高效运行，定期进行维护与优化至关重要通过监测排烟的温度与湿度变化，回收系统的运行参数应及时调整，以达到最佳的热能回收效果，这种综合利用排烟热量的策略，不仅能够降低燃料消耗减少排放，还能显著提升火电厂的经济效益，助力绿色发电目标的实现。

4.5 蒸汽系统设计

蒸汽系统的设计在火电厂节能优化中起着至关重要的作用。一个高效的蒸汽系统不仅提升了热能转换效率，还显著减少了能源浪费。在设计过程中应优先考虑蒸汽管道的合理布局，尽量缩短管道长度降低热损失和压降，为管道提供良好保温的优质绝热材料，能有效减少蒸汽在传输过程中的热量损失。合理配置蒸汽调节阀与流量计，有助于实现蒸汽压力与流量的精准控制，这种配置不仅提高了系统的稳定性，还能确保在不同负荷条件下高效运行[3]。引入智能监控系统，实时监测蒸汽参数，能够迅速发现异常情况并及时调整运行策略，从而确保蒸汽系统始终处于最佳状态。在蒸汽的使用方面，应考虑将蒸汽分配至不同的发电和热利用设备，最大限度地发挥其热能，通过引入回热系统低温蒸汽的回收与再利用也能进一步提高整体能效，通过这种系统设计与优化，火电厂不仅显著提升了蒸汽利用率，还为实现节能减排的目标迈出了更加坚实的一步。

5 结语

在火电厂的运营中，热动系统的节能优化不仅有效提升了经济效益，还为环境可持续发展提供了重要手段。通过优化能源管理、提高设备效率以及合理利用资源，能够在降低燃料消耗的同时减少污染物的排放，火电厂积极贡献于环境保护。随着社会对清洁能源需求的不断增长以及环保政策的日益严格，实施节能优化措施已成为火电厂增强竞争力与履行社会责任的必然选择。展望未来，在推进节能优化时，火电厂应积极探索新技术与新方法，以应对快速变化的市场环境及日益严格的监管要求。全体员工的节能意识与环保责任需加强，良好的节能文化将为火电厂的可持续发展提供有力支持。通过综合施策，火电厂不仅能在市场竞争中占据有利地位，还能在推动绿色转型及促进社会可持续发展方面发挥积极作用。

[参考文献]

[1]季翠英，杨传红.热动系统在火电厂中的节能优化解析[J].中国设备工程，2021(12)：78-79.
[2]杨琅.解析火电厂热动系统节能优化思路与举措[J].门窗，2019(13)：26-30.
[3]焦宏伟.火电厂热动系统节能减排措施分析[J].数码世界，2020(5)：275.

作者简介：王旭煜（1996.12—），男，学历：本科，专业：自动化，就职单位：华能威海发电有限责任公司，职务：运行部主值，年限：两年，目前职称：助理工程师。

供热系统平衡调节与节能降耗方式

米润东
石家庄华电供热集团有限公司，河北 石家庄 050000

[摘要]供热系统在现代城市能源管理中扮演着重要角色，如何在保证供热质量的前提下实现节能降耗，是当前供热系统设计与运行中亟待解决的核心问题之一。文章针对供热系统中水力平衡的调控机制以及实现节能减耗的技术进行分析与探讨。首先阐述了关于供热系统内水力平衡的调控机制，并探讨了该机制在确保供热稳定性与提高能源效率上的重要作用。接着，针对供热系统在运作期间可能遭遇的水力失调状况，通过水力平衡调节优化的手段降低能源耗费的策略进行分析。随后，重点讨论了供热系统节能降耗的几种主要方式，包括高效热源设备的使用、热网的优化设计、能效监控与智能调控技术的应用等。
[关键词]供热系统；平衡；调节；节能；降耗
DOI：10.33142/hst.v7i11.14292　　中图分类号：TP273　　文献标识码：A

Balance Regulation and Energy-saving and Reducing Consumption Methods for Heating Systems

MI Rundong
Shijiazhuang Huadian Heating Group Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: Heating systems play an important role in modern urban energy management. How to achieve energy conservation and consumption reduction while ensuring heating quality is one of the core issues that urgently need to be addressed in the design and operation of heating systems. The article analyzes and discusses the regulation mechanism of hydraulic balance in heating systems and the technology for achieving energy conservation and consumption reduction. Firstly, the regulation mechanism of hydraulic balance in the heating system was elaborated, and the important role of this mechanism in ensuring heating stability and improving energy efficiency was discussed. The analysis will be conducted on the strategy of reducing energy consumption through hydraulic balance adjustment optimization, in response to the hydraulic imbalance that the heating system may encounter during operation. Subsequently, several main ways to save energy and reduce consumption in heating systems were discussed, including the use of high-efficiency heat source equipment, optimized design of heating networks, and the application of energy efficiency monitoring and intelligent control technology.
Keywords: heating systems; balance; regulation; energy-saving; reducing consumption

引言

随着能源危机和环境污染问题日益严峻，如何实现能源的高效利用，减少能源浪费，已成为全球范围内亟须解决的重大课题。城市能源消费中，供热系统占据重要分量，蕴含着显著的节能减排潜力[1]。特别是在寒冷的季节里，供热系统须应对供暖需求与能源供给之间的紧张对立。传统的供热系统普遍存在热量浪费和能源低效利用的问题，这不仅加重了能源负担，还对环境造成了较大的压力。因此，为了提高供热系统的运行效率并推动绿色发展，有效探索水力平衡调节及节能降耗技术的方法已变得至关重要。

1 供热系统水力平衡调节原理

供热系统的水力平衡调节是保障供热系统高效、稳定运行的核心技术之一，其基本原理是通过调节系统内部各个环节的流量和压力，以实现热量的均匀分布和能源的最大化利用。供热系统通常由热源、热网、用户端等部分组成，水力平衡调节主要针对热网部分进行优化。由于供热管网的布局和热负荷的动态变化，系统中的水力平衡常常受到多种因素的影响，若水力平衡得不到有效控制，容易导致部分区域供热不足或过热，甚至会造成能源的浪费[2]。

在常规的集中供暖中，受到管网布局的繁杂性、供暖管道的延长以及用户用热需求的动态变化影响，均等的水力分配往往难以达到。在水力系统中，流量分布的不均衡通常导致部分区域的流动过度，同时其他区域则面临流量亏缺，这种现象会引起热能传递的不均匀，进而可能造成回水温度偏低，对热能的再利用率产生负面影响。针对热网中的流量和压力控制难题，通常采取流量调节阀、压力调节设备以及区域供热划分等策略，以达到各个分区流动与压力的精细调整。

水力平衡的调节过程涉及多方面的技术手段。例如，在管网的设计阶段，通过精心挑选管道的型号与布局模式，保障热能能够均衡地传输至每位用户的末端。智能调控系统在运行时，实时监控流体的流动和气体或液体的压力，适应各种气象条件和使用者的需求变化。同时，在流体输送系统中，合理挑选水泵与调节阀，并对其进行恰当的配置，对于防止无效能量耗费至关重要。通过精准设定流体流量与压力的参数值，可以有效避免不必要的能量损失。通过优化水力平衡，既能够保证供热系统的运行稳定性，又能最大程度地减少能源浪费，提高供热效率，降低运营

成本。供热系统水力平衡调节的原理是通过精确控制系统中的流量和压力，避免水力不平衡带来的供热不均和能量浪费。

2 节能降耗技术在供热系统中的应用

2.1 高效热源设备的应用

高效热源设备的应用是提升供热系统能效、实现节能降耗的重要途径之一。热源设备是供热系统的核心部分，直接影响到系统的能源消耗和运行效率。随着能源价格的上涨和环境保护压力的增大，传统的热源设备逐渐显露出能效低、排放高等问题，因此，采用高效热源设备成为现代供热系统节能改造的关键举措[3]。

高效热源设备的应用可以从多个方面提升供热系统的能效。例如，像高效锅炉、热泵和太阳能集热系统这样的现代热源设备，它们的特点是热转换效率更高并且所需能源更少。采用前沿燃烧技术和余热回收手段的高效锅炉，在保持供热效率的基础上，能有效降低燃料使用量和排放物产生，从而显著提升了能源利用效率。此类设备，如空气源热泵与地源热泵，利用低等级能源，诸如空气、地下水或土壤中的热能来实现供暖，从而实现了明显的节能效果。智能化的热源设备配备了可以根据外部气温和用户需求进行自我调整的控制系统，极大地提升了调节的灵活性以及供热的精确性。利用先进的智能调控技术，热源设备能够依据热网负荷的即时波动来自动调节输出热量，这进而显著减少了系统的能量消耗，精确调控温度和流量等关键参数，有效防止了能源的无效消耗。

利用高效热源设备，不仅实现了能源消耗的显著下降，而且缓解了环境污染问题。相比常规设备，高效率的热源设施在运行过程中，显著减少了二氧化碳、氮氧化物以及硫氧化物的排放量，更契合当前推崇的低碳环保发展理念。在当前全球关注气候变化和环保问题的大背景下，推广使用高效热源设备，不仅有助于实现节能减排的目标，还有助于提升供热行业的可持续发展能力。应用高效热源设备，对提升供热系统的节能降耗效果起到了关键性作用。利用尖端设备和智能化技术，可以显著提升能源效率，避免能源浪费，并减少排放，从而为构建绿色低碳的供热系统提供坚实的支撑[4]。

2.2 热网优化设计与节能措施

热网的优化设计，配合节能措施的实施，成为提升供热系统运行效率与减少能源消耗的关键途径。城市化速度的加快伴生了供热需求的上升，导致传统的供热体系遭遇了能源的无效消耗与供热质量的不均衡等问题。鉴于此，对热力网络的优化布局及节能策略的研究和实施，构成了改进和升级供热设施的核心步骤。

热网优化设计的核心目标是通过合理布局、优化管网结构和提高热量传输效率，减少热损失、提高能源利用效率。热网的管道设计优化，是提高供热效率的根本途径，合理挑选管径、优化管道布局，可显著减少管网系统中的压力及热量损失。通过合理的管网布局与分区设计，可以确保热量均衡地分布至每位用户，防止局部出现过热或供热量不足的问题。在热力管网的设计环节中，对管道进行绝热处理是至关重要的，这层绝热能够有效减少热能在输送过程中的损耗，进而减少对能源资源的依赖。热网系统的设计优化，涉及水力平衡的关键考量，通过对流体的流动与压力进行精确调控，实现热能在管道网络中的均匀分布，防止热量传递不均的现象发生。借助自动调节阀门和水泵变频控制等智能调节设备，可以实现水力平衡的优化设计，确保热网在动态负荷变化下维持最佳工作状态。

在节能措施方面，采用热回收技术和智能化调度系统是提升供热效率的重要途径。热回收系统通过回收回水中的热能，进而对进入管网的水进行再次加热，从而减轻热源设备的压力，达到能源的再次使用。例如，废气余热回收技术能有效利用锅炉及其他工业设施产生的废弃热能，实现供热需求，从而减少对化石燃料等传统能源的依赖，并显著降低燃料消耗和二氧化碳排放量。动态调度系统可以依循气候的变迁、热网的负载以及用户的具体需求，进行自我调节，有效防止能源的无谓消耗及供热过量。借助实时监控技术，热网系统能够准确捕捉到运行过程中的各个环节状态，并依据能耗需求的变化，自动调整其运行参数，从而实现最低能耗下的供热需求保障。针对供热系统，进行综合性能提升与资源浪费降低的关键，在于热网的优化设计与节能措施的实施，借助先进的管网设计方案、智能调控技术以及热能回收机制，供热系统的运作效能得以显著提升，同时减少了能源的消耗，从而助力绿色低碳的可持续发展战略，为达成持续供热的环保目标提供了坚实的技术保障[5]。

2.3 能效监控与智能调控系统的应用

随着能源短缺和环保压力的日益增加，传统的供热系统在能效管理上存在诸多问题，如能源浪费、负荷波动大、调节响应慢等。因此，采用先进的能效监控和智能调控系统，实现对供热系统的实时监测和精确控制，成为提高供热效率、推动节能降耗的重要途径。能效监控系统通过安装传感器、数据采集终端、远程控制平台等设备，对供热系统的各个环节进行实时数据监控。这些数据包括热源设备的运行状况、热网的流量、压力、温度、回水温度等关键参数，通过数据的采集与分析，能够全面了解供热系统的运行状况和能源利用效率。通过监测系统，管理人员可以及时发现系统中的能效问题，如能源浪费、设备故障或调节失衡等，从而采取相应措施进行调整，确保系统在最佳状态下运行。

智能调控系统依托先进的控制算法和自动化技术，在能效监控系统的基础上，对供热系统进行精确控制。智能调控系统依据环境温度、负载变动及用户需求的即时变动，

能够自主调整供热系统的运作参数，诸如水流量、泵的转速、压力以及温度等，从而提升系统运行的效率。通过智能化的调整，可以降低人为因素导致的错误，并实现系统的自动管理，从而提高运行效率与响应速度[6]。在供热需求波动显著的区域，通过智能调控系统，运用预测算法和负荷调节，能够优化热源与管网的分配，减少能源浪费。智能调控系统能够执行自我学习和适应性调整的功能，借助机器学习技术和数据分析方法，该系统能够持续整合运行经验，并据此调整优化调节策略，实现对多变环境和不同操作条件的自动适应性调整。系统能对冬季骤降的气温或热需求高峰期进行预判，并自动调整设备操作，确保供热稳定与效率。应用能效监控与智能调控系统，能对供热系统进行实时监测和精准调控，从而减少能源浪费，提升整体能效。随着大数据、人工智能和物联网技术的持续创新，智能调控系统有望将供热系统的智能化程度推向新高度，从而引领供热行业走向更高效、绿色和可持续的发展道路。

2.4 绿色低碳技术在供热系统中的应用

随着全球对环保要求的日益提高和绿色能源政策的推动，传统的供热系统逐渐暴露出高能耗和高排放等问题，因此，采用绿色低碳技术改造和优化供热系统，成为当前供热行业发展的趋势和目标。在供热系统中，绿色低碳技术的运用主要集中在促进能源使用模式的转变以及提升能源利用效率方面。化石能源，如煤与天然气，一直是传统供热系统的关键燃料，然而，太阳能、风能和地热能等新能源技术的运用，正逐步减少我们对化石能源的依赖，并在根本上减少温室气体的排放。例如，建筑热水需求可由太阳能热水系统满足，而供暖则可借助地热能与空气源热泵来实现，这两种新能源技术不但能节约能源并减少排放，而且能显著降低供热费用，它们特别适合于能源短缺及环保要求严格的区域。新型节能设备及技术，如高效燃烧技术、余热回收技术以及低氮燃烧技术之应用，得以大幅提升能源效率，同时降低能源损耗，废气或废热。在供热过程中产生的能源废物，可通过余热回收系统转换为可供再次使用的热能，从而降低对外部热源的依赖。借助此类技术方法，供热设施不但实现了能源消耗的降低，同时减少了有害气体的排放，与追求绿色低碳的发展趋势相契合[7]。

供热系统的智能化管理和优化也是绿色低碳技术应用的一部分。借助大数据、物联网以及人工智能等前沿技术，热力供应网络得以根据实时需求实施智能化调度，从而实现资源配置与使用的最大化优化。智能调控系统能够针对天气变化和用户需求进行精准调节，有效避免能源浪费，并在系统运行过程中显著降低能源消耗。智能化技术的运用，不仅提升了供热的效能，同时降低了系统频繁运作所产生的额外碳排放。应用了绿色低碳技术，为供热系统提供了前所未有的机遇，并促进了供热行业的结构优化和升级。借助新能源技术、提升能源利用效率以及智能调控措施，供热设施能有效减少碳排放量，达成节能减排的目的。此举不仅与全球节能减排的趋势相契合，而且为优化能源结构、保护环境以及奠定供热行业可持续发展的基石作出了显著贡献[8]。

3 结语

总的来说，供热系统平衡调节与节能降耗的实施是一个系统化、综合性的工程，涉及设备的优化、技术的创新和管理的智能化。通过精确调节水力平衡、应用高效节能技术和引入绿色低碳方案，供热系统能够在满足用户需求的同时，最大限度地降低能源消耗和环境影响，实现绿色、智能和可持续的供热目标。

[参考文献]

[1]李志男，杜启永，孔海丽. 热力管网平衡调节在城市供热系统中的应用[J]. 新城建科技，2024，33(7)：34-36.
[2]胡镔，张启鹏. 基于遗传算法的供热平衡调节系统[J]. 城市建设理论研究(电子版)，2024(15)：124-126.
[3]朱剑丽. 供热系统平衡调节的方案与运行分析[J]. 居业，2024(4)：223-225.
[4]王民乐. 集中供热系统的水力平衡调节与节能措施分析[J]. 仪器仪表用户，2024，31(4)：102-103.
[5]刘春蕾，刘韶凯，史涵杰，等. 供热系统二次网单元水力平衡调节的远程监控实现[J]. 仪表技术，2024(2)：34-38.
[6]王跃飞. 供热系统二次网平衡调节方法探究[J]. 山西建筑，2022，48(12)：101-105.
[7]刘建伟. 供热管网水力平衡调节的研究[J]. 区域供热，2022(3)：100-104.
[8]李德，魏翔，辛凯. 城市集中供热系统的二级网水力平衡调节分析[J]. 电站系统工程，2022，38(2)：61-63.

作者简介：米润东，(1996.11—)，单位名称：石家庄华电供热集团有限公司，毕业学校和专业：中国地质大学长城学院 土木工程。

水利水电工程监理与工程管理的相关性

徐梓皓
新疆交通建设集团股份有限公司，新疆 乌鲁木齐 830000

[摘要]在现代社会中，水利水电工程作为国家基础设施建设的重要组成部分，对于经济发展、社会稳定和人民生活质量的提升起着至关重要的作用。随着经济全球化和技术进步的推动，各国对水资源和能源的需求不断增加，水利水电工程的规模和复杂性也在不断提升。基于此，文章深入探讨水利水电工程监理与工程管理之间的相关性及其优化策略，为我国水利水电工程的管理和监理提供理论支持和实践指导。

[关键词]水利水电工程监理；工程管理；关系与建议
DOI：10.33142/hst.v7i11.14315　　中图分类号：TV51　　文献标识码：A

The Relationship between Water Conservancy and Hydropower Engineering Supervision and Engineering Management

XU Zihao
Xinjiang Communications Construction Group Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830000, China

Abstract: In modern society, water conservancy and hydropower engineering, as an important component of national infrastructure construction, plays a crucial role in economic development, social stability, and the improvement of people's quality of life. With the promotion of economic globalization and technological progress, the demand for water resources and energy in various countries is constantly increasing, and the scale and complexity of water conservancy and hydropower projects are also constantly improving. Based on this, the article delves into the correlation and optimization strategies between water conservancy and hydropower engineering supervision and project management, providing theoretical support and practical guidance for the management and supervision of water conservancy and hydropower engineering in China.

Keywords: water conservancy and hydropower engineering supervision; engineering management; relationship and suggestion

引言

水利水电工程的建设不仅涉及到大量的资金投入和资源配置，更需要高效的管理和严格的监督[1]。传统上，工程管理和工程监理被视为项目实施过程中的两个重要环节，其密切的协作关系对于工程项目的成功实施至关重要。工程管理通过规划、组织、领导和控制来实现项目的各项目标，包括时间、成本、资源和质量的有效管理，而工程监理则作为独立的第三方，对工程的实施过程进行全面监督和评估，确保工程按照设计要求和技术标准进行，避免工程质量问题和安全隐患的发生。然而，随着社会经济的发展和科技的进步，水利水电工程面临的挑战也日益复杂和多样化。工程项目规模日益庞大，建设环境复杂，技术要求高，工期紧迫，这些因素使得传统的管理和监理模式面临着诸多挑战。同时，工程管理与工程监理之间的协同效应和信息共享也成为提升工程整体效率和质量的关键。本文将探讨工程管理和工程监理相关性，不仅有助于总结和推广成功的管理和监理经验，还可为相关领域的学术研究和实践提供借鉴和参考。

1 水利水电工程监理与工程管理概述

1.1 工程监理概述

工程监理作为重要的管理和控制环节，广泛应用于各类建设工程中，特别是对于复杂和关键性较高的水利水电工程而言，其作用更为显著和必要[2]。工程监理的本质在于通过独立的第三方角色，对工程的实施过程进行全面监督和检查，确保项目按照合同要求、设计规范和法律法规进行，从而保障工程的质量、安全、合规性和进度的达成。在工程准备阶段，监理需要参与项目的初步设计审查，确保设计方案的合理性和可行性；在施工阶段，监理则负责监控施工进度、质量和成本，并及时反馈问题和风险，提出改进建议，防止施工过程中出现偏差和延误；在竣工验收阶段，监理还要对工程的最终完工质量进行评估，出具竣工验收报告，确保工程达到交付使用的标准。此外，工程监理的独立性和客观性是其最重要的特征之一。作为业主或委托方的代表，监理必须保持独立公正的态度，不受施工单位或其他利益相关者的影响，全面监督和评估工程的实施情况。这种独立性不仅体现在技术评估和现场监控上，还体现在对施工合同执行和费用开支的审核上，确保资金使用的合理性和透明性。总之，工程监理作为工程管理中不可或缺的一环，其专业性和独立性决定了其在保障工程质量、安全和合规性方面的重要性。在复杂和多变的建设环境中，有效的工程监理不仅是法律法规要求的必然选择，更是保障公共利益和社会发展的重要保障措施。

1.2 工程管理概述

工程管理作为现代工程项目实施中的重要组成部分，旨在通过科学的方法和有效的工具，规划、组织、领导和控制项目的各个方面，以达成项目的目标。水利水电工程作为工程管理的重要应用领域，其复杂性和技术要求使得工程管理的角色尤为关键和显著。工程管理涵盖了项目的整个生命周期，从项目立项和策划阶段到设计、施工、验收及运营维护阶段。在项目立项和策划阶段，工程管理通过市场调研、需求分析和可行性研究，确立项目的基本框架和目标，确定项目的实施策略和方法，是确保项目的可行性和市场需求，为后续的工程实施提供坚实的基础。同时，工程管理在设计阶段扮演着重要角色，通过与设计单位密切合作，确保设计方案符合技术标准和法律法规，同时兼顾工程的经济性、可操作性和环保性，工程管理者需要在设计过程中进行成本估算和资源分配，优化设计方案，确保在不牺牲质量和安全的前提下，最大程度地节约成本和资源。工程管理的最终目标是确保项目的成功交付和可持续运营。在项目竣工验收阶段，工程管理负责协调验收工作、编制验收报告，确保工程符合合同约定的各项要求，并能够安全有效地投入使用。随后的运营维护阶段，工程管理通过制定运维计划、管理维护工作，延续工程的使用寿命，最大化其经济效益和社会效益。

2 水利水电工程中两者之间的关系

2.1 同时存在

工程监理和工程管理各自承担着不同但互补的角色，共同确保工程能够按照预期目标顺利实施，并达到高质量、高效率、安全可靠的要求[3]。首先，工程监理作为独立的第三方角色，其主要职责在于全面监督和检查工程施工过程，以保障工程的质量和安全。监理工程师通过现场检查、技术评估和文件审核，确保施工符合相关法律法规、设计标准和合同要求，使得监理能够客观公正地评估施工进展和质量，为工程管理提供可靠的技术支持和数据基础。其次，工程管理则负责项目的全面规划、组织和控制，从项目立项到最终交付使用。工程管理者需要通过有效的计划和资源管理，确保项目在预算、时间和质量方面达到最优化的平衡。在工程实施过程中，工程管理承担着领导团队、协调各方资源、制定决策的责任，以应对各种项目风险和挑战。此外，工程监理和工程管理之间的协同作用体现在成本控制和风险管理方面。监理工程师通过对施工过程中的质量和进度监控，帮助管理者及时调整资源分配和项目计划，以最小化额外成本和延误风险。工程管理则通过有效的预算控制和费用管理，为监理提供经济支持和数据支持，确保项目的经济性和可持续性。

2.2 相对独立

在水利水电工程中，工程监理与工程管理虽然在项目实施过程中密切相关，但它们在职能和角色上通常是相对独立的两个部分，体现了它们在项目管理体系中的不同职责和专业领域，各自负责着不同但同样重要的任务，以保障工程项目的顺利进行和达成既定的目标。首先，工程监理作为独立的第三方，其主要职责是对工程实施过程进行监督和审核，确保施工按照合同要求、设计标准和法律法规进行。监理工程师在施工现场进行实地检查、技术评估和文件审核，发现并纠正施工过程中的问题，提出必要的改进建议。他们的独立性使得监理能够客观公正地评估施工质量和进度，为业主提供可靠的技术意见和决策支持。相比之下，工程管理则更多地涉及项目的整体规划、组织和控制。工程管理者负责制定项目的执行计划和资源配置策略，确保项目在预算、时间和质量等方面达到最优化的平衡。他们领导团队、协调各方资源，处理日常管理事务，同时负责项目的成本控制、风险管理和决策制定，以应对项目运行过程中的各种挑战和风险。这种相对独立的职能划分使得工程监理和工程管理在水利水电工程中各司其职，但也不可避免地导致了一些功能上的重叠和交集。例如，在项目的初期阶段，工程管理可能会参与项目的市场调研和可行性分析，为项目的决策提供数据支持；而监理工程师则会在设计和施工阶段审查设计文件和施工方案，确保其符合法规和技术标准。

2.3 细化程度不同

在水利水电工程中，工程监理与工程管理虽然都是管理和监督工程项目的重要组成部分，但它们的细化程度和职能执行方式通常是有所不同的。首先，工程监理的细化程度主要体现在其专注于技术细节和实地检查的能力上。监理工程师在项目实施过程中，通过对施工现场的实地检查和技术评估，确保施工按照设计图纸和技术规范进行，以及符合相关的法律法规要求，需要具备深厚的专业知识和丰富的实践经验，能够发现和解决施工中的技术难题和质量问题。相比之下，工程管理的细化程度则更多地体现在项目整体的规划和资源管理方面。工程管理者负责制定整体项目的执行计划和项目管理计划，包括时间进度、人员配备、资源调配、成本控制等方面的详细规划，需综合考虑项目的各种因素和影响因素，制定出全面而有效的项目实施策略。

监理工程师通过对施工过程的技术监督和质量检查，保证了工程的技术执行和安全性，关注的是每一个具体的执行细节和技术标准的符合程度，而工程管理者则更多地关注项目的整体进度和成本效益，以及资源的合理利用和风险的控制，他们的决策和管理策略更多地体现了对项目整体的把控和管理。在实际操作中，工程监理和工程管理之间的协作是必要的。监理工程师通过向管理者提供详细的技术报告和现场检查结果，帮助管理者及时调整和优化项目的执行策略和资源分配方案。管理者则依赖监理工程师的专业意见和技术支持，确保项目在质量、安全和法律合规性方面达到最高标准。

3 水利水电工程工程管理与工程监理工作顺利开展建议

3.1 完善相关的制度与规定

为确保水利水电工程中工程管理与工程监理工作能够顺利开展，完善相关的制度与规定至关重要[4]。首先，完善的制度和规定应包括清晰的工作职责分配。即明确工程管理者和监理工程师在项目中的具体职责和权限，确保各自的角色和职能明确不重叠。工程管理者应负责项目的整体规划、组织和控制，包括项目目标的设定、资源的调配、进度的控制等；而监理工程师则主要负责对施工现场进行监督和检查，确保施工质量符合技术标准和合同要求。其次，制度和规定需要明确的工作流程和操作程序，包括从项目立项阶段到项目完成阶段的全过程管理，涵盖项目准备、设计、施工、竣工验收等各个环节。具体的操作程序应包括文件审批流程、现场检查程序、技术评估标准等，以确保每一个环节都能按照预定的标准和流程进行。最后，制度和规定的完善还需要强调持续的改进和学习机制。随着科技和管理理念的不断发展，水利水电工程领域也在不断变化和进步。因此，制度和规定应设立定期的评估和改进机制，及时更新和调整制度内容，以适应新技术、新标准和新挑战，确保工程管理与监理工作能够与时俱进，保持高效、科学和可持续的发展。

3.2 重视市场开拓速度

市场开拓的有效性直接影响到项目的获取和实施，对于工程管理者和监理工程师来说，能够及时把握市场动态并有效营销自身服务，是确保项目稳健进行的关键因素。第一，工程管理者和监理工程师应定期关注水利水电工程领域的政策法规、技术进展和市场竞争情况，分析行业的发展趋势和市场的需求变化，通过市场调研和前瞻性分析，及时调整服务策略和市场推广方案，以适应市场的变化和需求的多样化。第二，建议采取多元化的市场开拓策略，包括积极参与行业展会和论坛、建立有效的业务网络和合作伙伴关系、加强对潜在客户的定期拜访和沟通等，通过多渠道、多方式的市场推广活动，扩大业务的曝光度和影响力，增强项目获取的机会和竞争优势。第二，市场开拓速度还需要结合优质的服务品牌和口碑建设。水利水电工程领域是技术密集型和专业化程度高的行业，客户在选择服务提供商时往往会优先考虑企业的技术实力、专业经验和项目管理能力。因此，工程管理者和监理工程师需要通过提供高质量的服务和解决方案，树立良好的企业形象和品牌认知度。通过口碑传播和客户推荐，扩大市场份额和项目获取的机会。

3.3 提升人才队伍的业务能力

人才是项目成功的关键，他们的专业水平和执行力直接影响到项目的质量、进度和成本控制[5]。其一，进行系统化的培训和技能提升。水利水电工程领域的技术和管理要求高度专业化和复杂化，需要工程管理者和监理工程师具备广泛的专业知识和实际操作经验。因此，企业应建立完善的培训体系，包括技术培训、管理技能提升、法律法规学习等多方面内容。培训应针对不同层次和岗位的员工进行分类，确保每位员工都能够在自己的领域内不断提升专业能力和执行力。其二，重视实践经验的积累和分享。水利水电工程的实际操作和项目管理经验对于工程管理者和监理工程师来说至关重要，建议企业通过实习、轮岗和项目经验交流等方式，积极培养和分享实践经验，尤其是在项目执行中出现的问题和解决方案，可作为宝贵的案例进行总结和分享，帮助员工在实际操作中更加灵活和高效地应对各种挑战。其三，加强跨学科和跨团队的协作能力。水利水电工程项目通常涉及多个专业领域和多个团队的协同作业，要求工程管理者和监理工程师具备良好的跨学科理解能力和跨团队协作能力，通过跨部门的项目合作、多部门的工作协同等方式，促进不同专业之间的知识交流和协作配合，培养员工在复杂项目环境中的整体协调能力。

4 结束语

水利水电工程领域，有效的工程管理与工程监理至关重要。通过重视市场开拓速度和提升人才队伍的业务能力，能够有效提高项目执行效率和质量。建议工程管理者和监理工程师不断学习和创新，适应市场变化，加强团队协作，以确保工程项目顺利进行并达到最佳效果。只有通过整合资源、优化管理，并注重人才发展，才能在竞争激烈的市场中脱颖而出，实现可持续发展和长远成功。

[参考文献]

[1]冶全财.水利水电工程监理与工程管理之间的关系[J].居舍,2021(32):148-150.
[2]唐智杰.水利水电工程监理与工程管理之间的关系[J].科技视界,2021(19):170-171.
[3]鲁丽.水利水电工程监理质量控制分析[J].工程技术研究,2021,6(11):171-172.
[4]雷云.水利水电工程监理质量控制的要点探析[J].四川建材,2021,47(3):184-185.
[5]马贤.探究水利水电工程监理与工程管理之间的关系[J].居舍,2020(25):155-156.

作者简介：徐梓皓（1985.6—），毕业院校：国家开放大学，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，就职单位职务：科员，职称级别：中级工程师。

中小水电站运行中的安全管理与风险控制研究

乔 治
大唐甘肃发电有限公司碧口水力发电厂，甘肃 陇南 746412

[摘要]中小水电站作为我国水电能源体系的重要组成部分，分布广泛且规模较小，具备较低的投资成本和较短的建设周期等优势。但由于资金、技术及管理能力的限制，许多中小水电站在安全管理方面存在诸多薄弱环节。设备老化、管理体制不完善、安全管理意识不足及应急响应不及时等问题，严重影响了水电站的运行稳定性与安全性。在过去几年中，由于安全管理缺失或风险评估不充分，部分中小水电站曾发生设备故障、人员伤亡等事故，造成了较大经济损失及社会影响。这些事故暴露了当前中小水电站在安全管理体系、风险控制方法及人员培训等方面的不足。因此，亟待解决的现实问题是，如何通过建立科学的管理体系、采取有效的风险控制措施，并应用现代信息技术加强安全管理。

[关键词]水电站；安全管理；风险控制
DOI：10.33142/hst.v7i11.14288　　中图分类号：TV74　　文献标识码：A

Research on Safety Management and Risk Control in the Operation of Small and Medium-sized Hydropower Stations

QIAO Zhi
Bikou Hydropower Plant of Datang Gansu Power Generation Co., Ltd., Longnan, Gansu, 746412, China

Abstract: As an important component of Chinese hydropower energy system, small and medium-sized hydropower stations are widely distributed and have small scales, with advantages such as lower investment costs and shorter construction periods. However, due to limitations in funding, technology, and management capabilities, many small and medium-sized hydropower stations have many weak links in safety management. The aging of equipment, imperfect management system, insufficient safety management awareness, and untimely emergency response seriously affect the operational stability and safety of hydropower stations. In the past few years, due to the lack of safety management or insufficient risk assessment, some small and medium-sized hydropower stations have experienced equipment failures, personnel injuries and other accidents, resulting in significant economic losses and social impacts. These accidents have exposed the shortcomings of current small and medium-sized hydropower stations in terms of safety management systems, risk control methods, and personnel training. Therefore, the urgent practical problem to be solved is how to strengthen security management by establishing a scientific management system, adopting effective risk control measures, and applying modern information technology.

Keywords: hydroelectric power stations; safety management; risk management

引言

随着我国能源结构的优化与清洁能源的快速发展，中小水电站在电力生产中逐渐占据了重要地位。作为一种可再生能源，水电在保障能源供应、推动经济发展以及生态环境保护方面，扮演着不可或缺的角色。许多中小水电站却面临资金、技术和管理等多重制约，安全管理与风险控制的问题也日益显现。随着运行环境的复杂化及设备老化等问题的累积，水电站的安全运营正遭遇前所未有的挑战。对中小水电站安全管理与风险控制的深入研究，不仅能够确保其稳定运行，更能够提升运营效益、减少安全事故的发生，进而有效保障人民生命财产安全。

1 安全管理与风险控制在水电站运行中的重要性

水电站作为关键的能源设施，安全管理与风险控制显得尤为重要。发生安全事故时，除可能带来巨大的经济损失外，周边环境及居民的生命财产也将遭受严重威胁。因此，保障水电站的安全运行及时识别并有效防范各类潜在风险，成为其持续稳定发展的根本所在。通过建立科学的安全管理体系并实施有效的风险控制措施，不仅可以及时发现隐患、消除风险，还能提升员工的安全意识，增强其应急处理能力，从而减少人为失误与设备故障带来的不良影响。随着科技的不断进步，传统的安全管理模式正被智能化、自动化手段逐步取代，这些新技术使得风险预测与防控更加精准与实时，进一步增强了管理效率。

2 中小水电站的安全管理体系

2.1 安全管理体系的构建

中小水电站安全管理体系的构建是确保稳定运行的基础，一个完善的安全管理体系应覆盖从顶层设计到具体操作层面的各个方面，确保各项措施全面落实。首先，明确安全管理的组织架构至关重要，责任必须清晰、分工明确，确保每个环节均有专人负责，每项任务都有专人跟踪。

其次，建立健全的安全管理制度不可忽视，制度应涵盖风险评估、隐患排查及事故处理等各个方面，确保操作流程有章可依、执行有规可循。制度的制定需符合国家法律法规的要求，结合水电站的实际情况进行调整，最大限度地满足其运营需求。为了确保制度的有效落实，定期组织安全培训与应急演练是必要的，这将确保全体员工熟练掌握应急处理技能与操作流程，实现理论与实践的全面贯彻。

2.2 安全管理组织架构与责任分配

安全管理的组织架构与责任分配，是确保水电站安全管理体系高效运作的核心。专门的安全管理部门应被设立，负责整体安全工作的统筹与监督，该部门应由具备丰富管理经验及专业知识的人员组成，确保能够科学评估潜在风险并及时制定有效的应对措施。各级管理人员的安全责任必须明确，从高层管理者到一线操作人员，每个岗位的职责都应细化。例如，安全战略的制定与资源配置主要由管理层负责，而操作人员则需严格按照安全规范执行日常操作任务。各部门与岗位之间的协作至关重要，确保信息能够流通畅通无阻，问题能够迅速反馈并有效处理。为了避免职责不清，所有岗位的安全职责应通过书面制度形式明确规定，并通过实践中的不断检查与完善加以落实。

2.3 安全管理规章制度与流程

安全管理的规章制度与流程，是水电站安全运行的基础。规章制度应涵盖从日常操作到突发事故处理的各个环节，确保每一项工作都有明确的标准与规范。例如，在设备检修、人员操作、环境监测等方面，相应的操作手册或流程文件必须配备，确保工作人员能够按照统一标准执行各项任务。安全流程的设计应简明易行，避免过于复杂或死板的规定，以防员工因流程繁琐而忽视关键细节。流程不仅应当清晰、简洁，还要充分考虑各种潜在的安全隐患与应急情况，为保证规章制度的有效执行，严格的监督机制应设立，并定期对现有制度进行评审与更新，确保时效性与适应性。此外，通过定期培训与演练，所有员工应当熟悉并掌握相关制度与流程，确保制度得到落实从而提高安全管理的实际操作效果。

2.4 安全文化建设与员工安全意识提升

安全文化的建设与员工安全意识的提升，是水电站安全管理的核心。良好的安全文化不仅能强化员工的安全责任感，还能促进全体员工积极参与，形成共同维护安全的氛围。定期进行的安全培训和宣讲活动，尤其是不可或缺的，它们帮助员工深入理解安全生产的重要性，并明确个人在安全管理中的具体职责，这些培训应覆盖的不仅是基础的安全操作知识，还应包括应急处理流程、风险识别等内容，从而确保员工能在突发事件中迅速而准确地作出反应。进一步地，安全文化的建设还需通过明确的奖励与惩罚机制来加以强化。例如，安全绩效考核的设立，可以激励表现优异的员工，而对忽视安全的行为则应给予严肃处罚，此举有助于形成正向激励与负向约束并存的管理模式，强化员工对安全管理的重视。同时，员工应被鼓励积极参与安全管理工作，提出改进建议或发现潜在隐患。

3 中小水电站的安全管理问题与不足

3.1 安全管理体制与制度的缺陷

中小水电站的安全管理体制与制度存在一定不足，主要表现为制度滞后与执行力度缺乏。一方面部分水电站的安全管理制度陈旧未能及时更新，未能适应新技术、新设备以及新风险所带来的挑战。由此，一些管理规定与当前水电站日益复杂的安全需求脱节，难以有效应对新形势下的安全隐患。另一方面尽管许多水电站已经建立了安全管理制度，但在实际操作中，制度的执行往往不到位，缺乏足够的监督与落实力度，在一些水电站安全检查常常流于形式，检查内容过于表面，未能深入挖掘潜在隐患，导致许多安全问题未能及时被发现与解决。与此同时，安全责任的分配亦存在不清晰的情况，部门间沟通与协作不足，信息传递不畅，致使部分安全管理工作处于“真空”状态，缺乏有效的监督与反馈机制，这一现象进一步影响了整体安全管理制度的执行效果，导致安全隐患未能得到及时的应对与解决。

3.2 设备老化与维护不足

中小水电站面临的设备老化与维护不足问题，随着运行年限的增加愈加突出。许多关键设备，如发电机组、输电线路及闸门等，经过长时间运行后不可避免地出现磨损、腐蚀等老化现象，直接影响了设备的安全性与稳定性。部分水电站由于资金短缺以及对管理重视不足，未能及时投入足够的资源进行设备的更新与维护，导致设备故障率不断上升，甚至无法确保在高负荷或极端条件下的正常运行。与此同时，日常维护工作常常缺乏系统性与前瞻性，许多水电站仅进行表面检查或局部修复，未能开展全面的检测与细致的保养。由此，设备问题未能及时发现与处理，导致故障频发甚至在突发情况下，设备故障可能引发严重的安全事故，给水电站的安全运行带来极大的隐患。

3.3 安全培训与人员管理不足

中小水电站在安全培训与人员管理方面普遍存在明显不足。许多水电站未能建立系统化、常态化的安全培训体系，培训内容常停留在基础知识讲解阶段，缺乏实际操作演练与应急处理能力的强化。因此，员工在面对复杂或突发的安全事件时，往往缺乏应变能力与足够的应急处置经验，难以有效应对各类安全挑战。人员管理方面同样存在诸多问题，尤其是新入职员工及高风险岗位员工的安全培训不到位，导致操作失误频发且安全意识较为薄弱，部分水电站的安全管理人员未接受充分的专业培训，造成他们在实际工作中缺乏必要的专业判断能力，难以做出准确的决策。

4 中小水电站安全管理与风险控制的对策

4.1 完善安全管理制度与执行力

完善安全管理制度并增强执行力，是确保中小水电站安全管理有效性的关键所在。安全管理制度应根据水电站

的实际运营情况不断优化与更新，涵盖设备维护、操作流程、应急响应等各个方面，确保每项任务都具有明确的标准与规定。制度的执行至关重要，它不仅仅停留在文件上，必须确保所有管理人员与员工在实际工作中严格遵守[1]。为了实现这一目标，建立有效的监督与评估机制显得尤为重要，通过定期检查制度执行情况，确保每一环节都不被忽视，安全管理人员应增强责任意识，将安全责任明确落实到每个岗位与员工，确保每个人都清楚自己在安全管理中的职责与操作规范。只有通过强化制度的适应性与执行力度，才能有效避免安全管理的“空转”现象，确保各项安全措施真正落实到位，从而提升水电站的整体安全保障水平。

4.2 加强水电站设备的巡查与维护

加强设备巡查与维护，是确保水电站安全生产的关键举措。随着设备使用时间的延长，老化与磨损成为不可避免的问题，定期的巡查与精细化维护显得尤为重要。所有关键设备的巡查应覆盖，包括发电机组、输电线路及水库闸门等易损部件，确保它们始终保持在良好的工作状态，每次巡查后，检查结果必须被详细记录，潜在问题应被及时识别与处理。设备维护需要具有计划性与重点，避免仅限于应急修复。预防性保养应成为维护工作的核心，针对设备的实际使用情况应定期进行必要的维护，及时更换易损部件确保设备的长期稳定性。此外，定期进行设备测试与故障模拟演练，也是提升应急响应能力的重要手段。

4.3 加强人员安全培训与技能提升

加强人员的安全培训与技能提升，显然是确保水电站安全运行的关键环节。水电站应当定期组织全员进行安全培训，培训内容应涵盖基础的安全操作规程，且特别针对特殊岗位及高风险领域，进行专业化培训[2]。确保每一位员工能够在突发事件中，及时应对是培训的重要目标，培训计划应与技术发展保持同步，结合新设备、新工艺以及最新的安全管理要求，确保培训内容紧跟行业前沿。此外，理论与实践相结合的培训方法尤为重要，通过模拟演练等方式，员工能够在接近真实的工作环境中，熟悉应急操作流程从而提高其应急反应能力。心理素质的培养也应被纳入培训内容，以增强员工的安全意识与风险防范能力，确保在高压环境下，他们能够保持冷静迅速采取有效措施。

4.4 强化应急响应机制与应急演练

强化应急响应机制及应急演练毫无疑问，是提升水电站应对突发事件能力的核心所在。应急响应机制必须具体而明确，涵盖从事故报告、信息传递到现场处置的每一环节，确保在紧急情况发生时，各相关部门能够迅速而协调地作出反应是机制设计的关键[3]。应急预案应当预先完善做到有备无患，并通过定期开展应急演练来检验其有效性，通过演练模拟多种突发情况，员工不仅能熟悉操作流程还能提升反应速度，同时暴露出预案中可能存在的不足。演练应覆盖常见的设备故障或自然灾害外，还应包括一些复杂且难以预测的风险情境，如大规模电力系统故障或水库事故等，从而检验应急响应体系的全面性与应变能力。

4.5 加强风险评估与监控技术的应用

加强风险评估及监控技术的应用，已成为提升水电站安全管理水平的关键措施，通过建立科学的风险评估体系，潜在的安全隐患能够被全面识别与分析，从而为防范措施的制定与应急预案的优化提供有力的数据支持。利用现代监控技术，如传感器、无人机巡检与视频监控等手段，设备运行状况、环境变化及关键参数能够在实时中得到有效监控，确保异常情况得以及时发现并得到相应处理。结合大数据分析与人工智能技术，潜在的风险信号能被精准提取，并对趋势进行分析与预测从而提前预警设备故障、自然灾害等突发事件。

5 结语

中小水电站作为关键的能源基础设施，安全管理与风险控制直接影响电力供应的稳定性与社会经济的可持续发展。通过不断完善安全管理体系、加强设备维护、提升人员培训及强化应急响应机制，各种潜在风险能够有效预防并应对，从而确保水电站的安全运行。随着信息化与智能化技术的持续进步，风险评估与监控技术等领域的管理将变得更加精准与高效。尽管当前在管理体制、技术设备及人员素质方面存在一定不足，但通过科学的制度建设、技术创新及全员参与的安全文化，水电站的安全管理水平定能逐步提升，确保在复杂环境下依然能够稳定运行。持续强化安全管理与风险控制，将为水电站的长期可持续发展奠定坚实基础，并为社会提供更安全、稳定的能源保障。

[参考文献]

[1]庞海泉.基于风险控制与评估的小水电站安全管理措施研究[J].农村科学实验,2024(3):76-78.
[2]吴建军.水电站安全管理的风险评估及维修保养措施研究[J].小水电,2024(5):36-37.
[3]静宇,彭潜,刘啸,等.安全生产风险管理体系在电站建设安全管理中的应用[J].水力发电,2021,47(2):6-8.

作者简介：乔治（1988.8—），男，毕业院校：西北政法大学，所学专业：劳动与社会保障，大唐甘肃发电有限公司碧口水力发电厂白川水电站副站长，工程师。

虚拟同步发电技术控制设计方法的研究与优化

高庆瑜[1] 王 刚[2]
1. 丹东金山热电有限公司，辽宁 丹东 118000
2. 沈阳工程学院，辽宁 沈阳 110136

[摘要]新型电力系统以源（发电）、网（输电）、负荷（用电）、储能的一体化为主体，这是电力系统发展的重要方向。随着新能源的增加，传统的同步发电机可能会减少，导致电力系统的惯性和阻尼减小，从而可能引发电力系统的稳定性问题。虚拟同步控制技术可以模拟同步发电机的运行特性，提高新能源发电系统对电网的主动支持能力，有助于解决由于同步发电机减少带来的稳定性问题。本文基于虚拟同步机（VSG）控制表达式和网络型控制结构，提出了一种协调控制方法，用于调整惯性和阻尼参数，最后通过 Matlab/Simulink 软件对提出的协调控制方法进行了仿真验证，实验结果表明了虚拟同步控制技术在新型电力系统中应用对于实现能源转型和电力系统的可持续发展具有重要意义。

[关键词]新能源；同步发电；控制技术
DOI：10.33142/hst.v7i11.14313 中图分类号：TM34 文献标识码：A

Research and Optimization of Control Design Method for Virtual Synchronous Power Generation Technology

GAO Qingyu [1], WANG Gang [2]
1. Dandong Jinshan Thermal Power Co., Ltd., Dandong, Liaoning, 118000, China
2. Shenyang Institute of Engineering, Shenyang, Liaoning, 110136, China

Abstract: The new type of power system, with the integration of sources (power generation), networks (power transmission), loads (electricity consumption), and energy storage as its main body, represents an important direction in the development of the power system. With the increase of new energy, traditional synchronous generators may decrease, leading to a reduction in inertia and damping of the power system, which may cause stability issues in the power system. Virtual synchronous control technology can simulate the operating characteristics of synchronous generators, improve the active support capability of new energy generation systems for the power grid, and help solve stability problems caused by the reduction of synchronous generators. This article proposes a coordinated control method based on the control expression of virtual synchronous machine (VSG) and network-based control structure, which is used to adjust inertia and damping parameters. Finally, the proposed coordinated control method is simulated and verified through Matlab/Simulink software. The experimental results show that the application of virtual synchronous control technology in new power systems is of great significance for achieving energy transformation and sustainable development of power systems.

Keywords: new energy; synchronous power generation; control technology

引言

微电网是一种小型、局部的电力供应系统，它能够独立于中央电网运行，也可以与中央电网并网运行。微电网通常包括分布式发电资源、储能系统、电力电子变流器、负荷管理、控制系统和通信系统。国内外学者对光储微电网及其控制策略进行了广泛研究，许多国家建立了示范工程并通过实验验证控制策略。国外研究侧重于微电网的智能化、个性化和多元化，以提升系统稳定性、建设灵活性和接入便利性。中国积极引进国外技术，深入研究核心技术，并针对国内地域和经济状况，进一步研究新理论，以提高系统稳定性和运行安全性。

1 虚拟同步发电机基本原理

虚拟同步发电机（Virtual Synchronous Generator，VSG）是基于光伏发电的并网特性，利用虚拟同步发电机的方式对其进行并网控制是一种较为有效的方法。虚拟同步发电机可利用电力电子变换器实现对光伏电站输出电力的平稳调节，以满足电网对电压、频率、相位等参数的要求。这种调节保证光伏电站的输出与电网保持一致，从而实现并网发电。

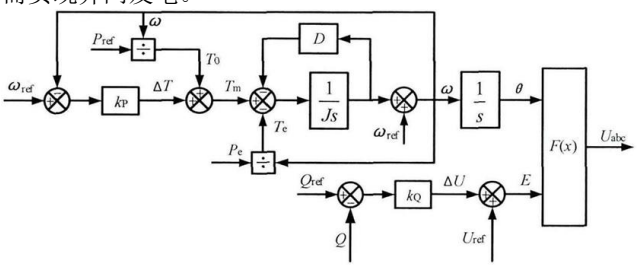


图 1 虚拟同步发电机核心控制框图

在并网过程中，需要制定和实施有效的保护和控制策

略，以防止电网故障对光伏电站的影响，同时也要保护电网的稳定性和可靠性。虚拟同步发电机通过对光伏电站输出电力的实时监测和控制，实现对光伏电站能量的有效管理，并可优化光伏电站的运行方式，提高光伏发电的效率和稳定性。虚拟同步发电机核心控制框图 1 所示。

2 虚拟同步发电机控制结构

同步发电机转子运动的二阶方程描述了转子角速度与电网频率之间的关系，以及转子的惯性和阻尼特性。这个方程通常具有以下形式：同步电机转子运动的二阶方程为：

$$J\frac{d^2\theta}{dt^2}+d\frac{d\theta}{dt}=T_m-T_e \tag{1}$$

式中：J 是转子的惯性常数。

θ 是转子的位置角。

d 是阻尼系数。

Tm 是机械转矩（输入到转子的）。

Te 是电磁转矩（由电网施加到转子的）

$$\begin{aligned}J\frac{d\omega}{d\tau}&=T_m-T_e-D_p(\omega-\omega_0)\\&\approx\frac{P_0}{\omega_0}-\frac{P}{\omega_0}-D_p(\omega-\omega_0)\end{aligned} \tag{2}$$

式中：J 为同步电机的转动惯量；T_m 是机械转矩；T_e 电磁转矩；D_p 是阻尼系数。

优化 VSG 虚拟同步发电机的 P-f（有功-频率）和 Q-U（无功-电压）控制分支的比例和阻尼系数，提高动态响应。本文基于 P-f 控制支路，VSG 变换器实现了自同步。VSG 控制结构如图 2 所示。控制策略的 P-f 分支模拟同步电机的转子运动方程，以产生系统频率。下垂控制结构可用于 Q-U 控制分支，但很难实现无误差跟踪。因此，在 Q-U 支路中引入了一个反馈回路。控制结构与 P-f 支路一致，使 Q-U 支路呈现二阶特性并具有一定的惯性特性，其中 τ 是Q-U支路的比例系数，D_P 是Q-U支管的阻尼系数。VSG 控制表达式为：

$$\begin{cases}\omega^*=\dfrac{1}{J_s}(D_p(\omega_0-\omega^*)+(P_0-P))\\U^*=\dfrac{1}{\tau_s}(D_q(U_0-U^*)+(Q_0-Q))\end{cases} \tag{3}$$

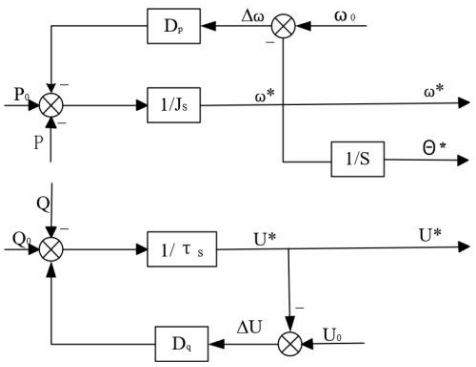


图 2 VSG 控制结构

3 分析转动惯量和阻尼系数对频率的影响

转动惯量和阻尼系数是影响虚拟同步机（VSG）并网性能的两个关键参数，它们对系统频率稳定性有显著影响。转动惯量是衡量 VSG 对频率变化惯性的量度。较大的转动惯量意味着 VSG 对频率变化的响应更慢，但同时也意味着系统能够更好地维持频率稳定，抵抗快速的频率波动。不同转动惯量下的频率变化曲线可能显示出不同程度的频率波动幅度和恢复速度。较大的转动惯量可能导致较小的频率波动，但恢复到稳定状态所需的时间也可能更长。阻尼有助于减少系统的振荡，加快频率恢复到稳定状态。不同阻尼系数下的频率变化曲线可能显示出不同程度的振荡幅度和频率恢复速度。较大的阻尼系数可能减少振荡，使系统更快地达到新的稳定状态，但过大的阻尼也可能导致系统响应变得过于迟缓。当 VSG 模拟可再生能源的有功功率波动并网时，系统的频率会受到影响。转动惯量和阻尼系数决定了 VSG 对这种波动的适应能力和频率稳定性。理想情况下，VSG 应该能够快速响应电网需求，同时保持系统的频率稳定。这需要在转动惯量和阻尼系数之间找到一个平衡点。

VSG 具有惯性和阻尼特性。有必要分析转动惯量和阻尼系数对 VSG 并网的影响。当 VSG 以给定的有功功率波动（模拟可再生能源的波动）连接到电网时，VSG 在不同转动惯量和不同阻尼系数下的频率变化曲线分别如图 3 和图 4 所示。

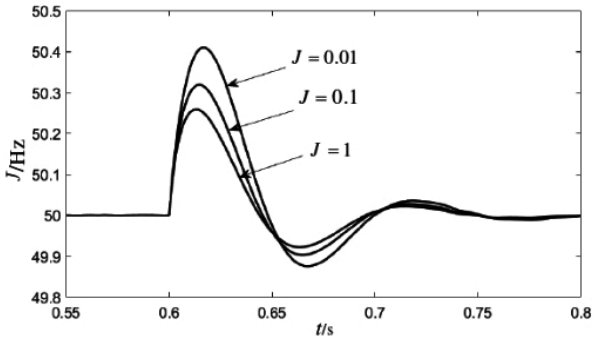


图 3 不同转动惯量的频率曲线

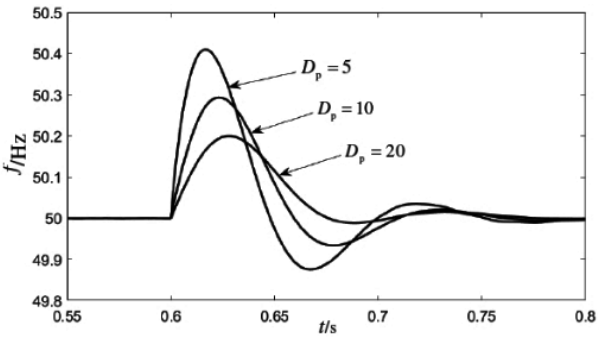


图 4 不同阻尼系数的频率曲线

从图 3 可以看出，转动惯量主要影响频率的超调。从图 4 可以看出，阻尼系数主要影响频率的衰减率。为了详

细分析转动惯量和阻尼系数对频率稳定性的影响，将频率稳定性的性能指标分为响应速度、频率超调、调整时间和峰值时间。惯性矩 J 和阻尼系数 D_P 的增加对频率稳定性的影响。

4 惯性阻尼协同自适应控制的仿真分析

惯性阻尼协同自适应控制的仿真步骤，本文提出的惯性阻尼协同适应性控制策略在 t=0.6s 时将给定的有功功率 Pset 从 10kW 增加到 15kW。图 5 显示了给定功率浪涌情况下 VSG 频率 f 的变化曲线。

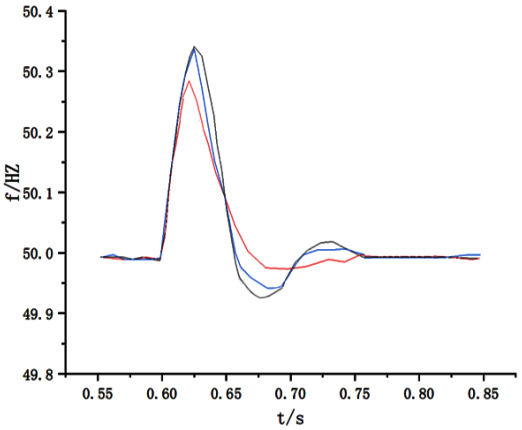


图 5 VSG 突然功率增加时的频率波形

对惯性阻尼协同自适应控制的仿真结果进行了分析：在图 5 中，当 Pset 增加时，惯性阻尼协同控制调节动作响应迅速，有功功率 Pset 从 10kW 降低到 5kW。

VSG 频率 f 的变化曲线如图 6 所示清楚地看到，惯性阻尼协同自适应控制抑制了频率和功率瞬态响应中的超调，加快了瞬态响应速度，总体上提高了系统的稳定性。

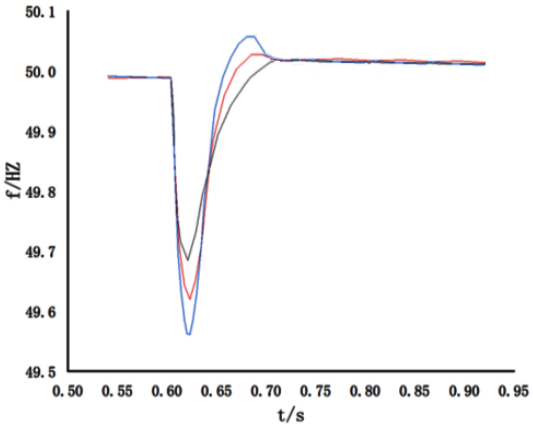


图 6 功率突降 VSG 的频率波形

综上所述，依据全局扰动情况调整频率，降低频率超调，提速且平稳进行适当调整，优化系统频率动态响应过程，完善系统整体稳定性，确保对 VSG 输出的有功功率振荡具有优化的调节效果。同理惯性阻尼协同自适应控制策略能够响应整个电网范围内的扰动，这种全局视角有助于更全面地理解和应对电网的动态变化。在电网发生扰动时，如负载的突然增加或减少，控制策略会自动调整频率，以维持电网的稳定运行。通过精细的控制，策略可以减少系统对扰动的过度反应，即所谓的“超调”现象。这有助于避免不必要的振荡和系统不稳定。控制策略优化了系统的动态响应，使其能够更快地从扰动中恢复并达到新的稳定状态。通过自适应调整，控制策略改善了系统对频率变化的整体响应，使其更加平滑和可预测。控制策略提高了电网在面对各种扰动时的频率稳定性，这对于保障电网的可靠性和电能质量至关重要。除了对频率的调节外，控制策略还对 VSG 输出的有功功率振荡进行了优化。这意味着 VSG 能够更有效地管理其功率输出，减少功率波动，提高电网的整体稳定性。能够根据实时数据和电网状态的变化自动调整控制参数，实现更加灵活和精准的控制。

5 结论

分布式电源的间歇性和不可预测性可能会对电网的频率和电压稳定性造成影响。通过控制逆变器模拟同步发电机的惯性和阻尼特性，VSG 技术为电网提供类似传统发电机的动态响应。同时提高了系统的稳定性，尤其是在分布式电源大量接入的情况下，VSG 提供必要的频率支撑和电压支撑，从而改善微电网的整体性能。本文通过仿真研究，验证了所提出的惯性阻尼协同自适应控制策略的有效性。这种策略能够根据电网的实时需求动态调整 VSG 的控制参数，以应对负载的突然变化或分布式电源的波动。通过精细的控制，策略减少系统对扰动的过度反应，即频率超调现象，从而避免不必要的振荡。改善了系统对频率变化的整体响应，使其更加平滑和可预测。在负载功率突然增加或减少的情况下，控制策略能够提高电网的频率稳定性，保障电力供应的连续性和可靠性。

基金项目：沈阳市科技计划项目（22-322-3-29）。

[参考文献]

[1]刘国伟，辛立胜，邓浩，等.基于虚拟同步发电机的光伏并网控制技术研究[J].中国高新科技.2024(8):29-31.
[2]杨红品，袁至，王维庆，等.虚拟同步发电机技术控制的MMC 型固态变压器[J].太阳能学报.2022,43(9):478-487.
[3]张祥宇，沈文奇，林毅，等.同步耦合双馈风机的虚拟惯量优化控制技术[J].电网与清洁能源.2022,38(9):126-133.
[4]吕文科，张兰红，车三宏.虚拟同步发电机技术在风力发电中的应用[J].自动化仪表.2021,42(8):99-105.
[5]许泽阳.储能逆变器虚拟同步发电技术研究[J].电器与能效管理技术.2019(23):65-69.

姓名：高庆瑜（1996.5—），毕业于沈阳工程学院，测控技术与仪器专业，就职于丹东金山热电有限公司，点检员，助理工程师。

变电站检修作业标准化与质量控制研究

郑鹏敏
国网河南省电力公司新密市供电公司，河南 新密 452370

[摘要]变电站检修作业的标准化与质量控制对保障电力系统的安全稳定运行至关重要。通过分析当前变电站检修作业的实际情况，提出了一系列标准化流程与质量控制措施。这些措施包括检修前的准备、作业过程中的监控和检修后的评估，旨在提高检修效率、降低设备故障率。研究表明，建立完善的标准化体系能够有效降低人为失误，提高作业质量，确保电力设备的可靠性与安全性，为电力企业的长远发展奠定基础。

[关键词]变电站；检修作业；标准化；质量控制；设备可靠性
DOI：10.33142/hst.v7i11.14309　　中图分类号：TM63　　文献标识码：A

Research on Standardization and Quality Control of Substation Maintenance Operations

ZHENG Pengmin
Xinmi City Power Supply Company of State Grid He’nan Electric Power Company, Xinmi, He’nan, 452370, China

Abstract: Standardization and quality control of substation maintenance operations are crucial for ensuring the safe and stable operation of the power system. By analyzing the actual situation of current substation maintenance operations, a series of standardized processes and quality control measures have been proposed. These measures include preparation before maintenance, monitoring during operation, and evaluation after maintenance, aiming to improve maintenance efficiency and reduce equipment failure rates. Research has shown that establishing a comprehensive standardization system can effectively reduce human errors, improve operational quality, ensure the reliability and safety of power equipment, and lay the foundation for the long-term development of power enterprises.

Keywords: substation; maintenance operations; standardization; quality control; equipment reliability

引言

随着电力需求的不断增长，变电站在电力系统中扮演着越来越重要的角色。然而，变电站设备的安全性与可靠性常常受到检修作业质量的直接影响。近年来，因检修不当导致的设备故障频发，给电力供应带来了不小的挑战。因此，探索变电站检修作业的标准化与质量控制显得尤为重要。通过建立科学的标准化流程与有效的质量控制体系，不仅能够提升检修效率，降低事故发生率，还能为电力企业的可持续发展提供坚实保障。深入研究这一领域，有助于推动电力行业向更高的安全与可靠性标准迈进。

1 变电站检修作业的重要性与现状分析

变电站作为电力系统的重要组成部分，承担着电能的转换与分配功能，其运行的安全性与可靠性直接关系到电力供应的稳定。因此，变电站的检修作业具有重要意义。检修作业不仅确保设备的正常运行，降低故障率，还能够延长设备的使用寿命，提高系统的整体效率。随着电力需求的不断增加，变电站面临着更为复杂的运行环境，检修作业的重要性愈发凸显。通过定期的检修，可以及时发现和解决潜在的设备故障，从而避免因设备故障导致的停电事故，保障电力的持续供应和社会的正常运转。

然而，当前变电站检修作业的现状并不乐观，依然存在许多挑战与问题。首先，部分变电站的检修流程缺乏标准化，导致检修作业的执行效果参差不齐。检修人员的操作习惯和技术水平差异，使得同一设备的检修效果难以保证，进而影响了设备的长期稳定性。其次，当前的质量控制措施多依赖经验，缺乏系统性和科学性，无法有效监控检修过程中的各个环节。这使得一些潜在的问题未能在检修过程中及时发现，给后续的设备运行埋下了隐患。此外，随着新技术的不断引入，变电站设备的种类与复杂性增加，传统的检修方式已难以满足现代电力系统的需求。

为了应对变电站检修作业中存在的诸多挑战，推动其标准化与质量控制显得尤为必要。建立一套完善的标准化检修流程不仅可以显著提高作业效率和质量，还能有效降低人为错误的发生率。这一过程要求制定详尽的作业标准和操作规程，确保每位检修人员都能明确自己的职责与任务。此外，对检修人员的系统性培训至关重要，提升其专业技能与操作规范意识，使其能够熟练掌握各项检修流程与安全操作要求。

在此基础上，引入质量控制措施，通过设立关键控制点进行监控，能够实时跟踪检修作业的进展与质量，及时发现并纠正潜在问题。此外，实施数据记录和分析可以为检修作业的后续改进提供可靠依据，从而实现持续优化。通过不断强化检修流程与质量控制措施，最终可以确保变电站设备的高效、安全运行，为电力供应的可靠性提供坚

实保障。这不仅有助于提升电力企业的整体运营水平，还有助于维护电力系统的稳定性与安全性。

2 标准化作业流程在变电站检修中的应用

标准化作业流程在变电站检修中的应用是提高检修效率、确保设备安全与可靠运行的重要手段。随着电力行业的快速发展，变电站的设备种类和技术水平不断提升，传统的检修方法面临诸多挑战。在此背景下，制定和实施标准化作业流程显得尤为重要。标准化作业流程不仅能够为检修人员提供明确的操作指南，还能在提高检修作业质量的同时，降低设备故障率和人为失误的发生概率，从而有效保障电力系统的安全稳定运行。

在实际应用中，标准化作业流程的建立需要综合考虑变电站的设备特性、运行环境以及作业要求。首先，针对不同类型的变电站设备，制定相应的检修标准和流程。这些标准应涵盖检修前的准备工作、作业过程中的具体操作，以及检修后的评估与记录。比如，在对变压器进行检修时，需要明确变压器的绝缘测试、温度监测和油样分析等环节，并制定详细的操作步骤和安全注意事项。此外，标准化流程的实施还应结合现代化的信息技术，如物联网和大数据分析，通过实时监控设备状态，及时更新检修流程和标准，以适应技术的发展和设备的变化。这种动态的标准化管理方式能够更有效地应对各种突发情况，提高检修作业的灵活性和适应性。

在标准化作业流程的实施过程中，培训和评估也是不可或缺的环节。检修人员的专业素养和操作技能直接影响标准化流程的执行效果。因此，建立系统的培训机制，以确保所有检修人员都能熟练掌握标准化作业流程，是提高检修质量的关键。此外，在实际检修作业后，应对检修过程进行评估与反馈，收集数据并分析标准化流程的有效性与适用性。这一反馈机制不仅能帮助识别标准化作业流程中的不足之处，还能为后续的流程优化提供重要依据。通过不断完善和优化标准化作业流程，可以形成良性的循环，进一步提升变电站检修作业的整体效率和质量，从而为电力系统的安全稳定运行提供有力保障。

3 质量控制措施对检修作业效率的影响

质量控制措施在变电站检修作业中的应用对提升检修效率、保障设备安全和降低故障率具有显著影响。在电力行业中，变电站承担着电能转换和分配的重任，其设备的可靠性直接关系到整个电力系统的稳定性。因此，实施有效的质量控制措施是确保变电站检修作业高效进行的重要保障。通过引入科学的质量控制手段，能够对检修作业的各个环节进行有效监控和评估，从而减少因人为错误或操作不当导致的事故发生。

在实际的检修过程中，质量控制措施的实施通常体现在多个方面。首先，在检修前期，制定详尽的检修计划和作业标准是基础。该计划应包括设备检查、故障诊断、材料准备等内容，确保检修工作有序开展。其次，在检修实施阶段，质量控制措施可通过设立关键控制点进行实时监测。例如，针对电气设备的检修，可在关键环节如绝缘测试、连接紧固等处设定检查标准，确保每一步操作符合要求。此外，运用信息技术如数据采集和分析，可以实时跟踪检修进展与质量状况，对异常情况进行及时报警和处理。这样一来，不仅能提高检修效率，还能确保作业质量。

质量控制措施对检修效率的提升，不仅体现在作业流程的规范化上，更重要的是通过持续改进和反馈机制，实现了质量管理的动态优化。检修作业完成后，应对整个过程进行全面评估，收集相关数据并进行分析，以判断质量控制措施的有效性。通过对检修结果的反馈，不断修正和完善检修流程与质量标准，形成良性循环。此种动态反馈机制不仅能够帮助识别潜在问题，还能为今后的检修工作提供宝贵经验，促进整个检修作业的效率提升。总的来说，质量控制措施在变电站检修作业中扮演着至关重要的角色，只有通过科学合理的质量管理，才能确保变电站设备的安全可靠，为电力系统的稳定运行提供有力支持。

4 人为失误及其对检修质量的影响因素

人为失误在变电站检修作业中是影响检修质量的主要因素之一，其造成的后果不仅会导致设备故障，还可能引发安全事故，严重时甚至会影响电力系统的整体稳定性。因此，深入分析人为失误的成因及其对检修质量的影响，对于提升变电站的检修效率和安全性至关重要。人为失误的根源往往与检修人员的专业素养、作业环境和管理机制等因素密切相关。

检修人员的专业技能与素养是决定检修质量的关键。许多检修事故的发生往往源于操作人员对设备的理解不足或者操作不当。例如，在进行高压设备检修时，如果操作人员未能严格遵循安全规程，可能导致设备损坏或人身伤害。此外，缺乏系统的培训和考核机制也会导致检修人员在实际操作中出现错误。为了有效降低人为失误的发生率，应定期开展针对性培训，提升检修人员的技术水平和操作规范意识。通过模拟演练和理论学习，增强他们对设备结构、运行原理以及检修标准的理解，从而在实际工作中做出正确的判断和操作。

作业环境与检修条件对人为失误的影响同样不容忽视。在变电站的检修过程中，环境因素如温度、湿度、光线以及设备布局等都会对作业质量产生直接影响。例如，在光线不足的情况下，操作人员可能无法清晰识别设备的状态，增加了操作失误的风险。此外，复杂的设备布局和不良的作业环境也会造成作业效率降低，进而影响检修质量。因此，改善检修环境，提供良好的作业条件是减少人为失误的重要措施。这包括合理的设备布局、充足的照明和适宜的工作温度等，确保操作人员在良好的环境中进行作业，从而降低错误发生的概率。

管理机制的健全与否也是影响人为失误的重要因素。许多变电站在检修过程中，缺乏科学合理的管理制度，导致作业流程不规范、信息沟通不畅等问题。这种情况下，检修人员在执行任务时容易产生误解或疏忽，进而导致检修质量下降。因此，建立完善的管理制度，强化各个环节的沟通与协作显得尤为重要。例如，可以通过引入信息化管理系统，实现检修信息的实时共享与更新，确保所有参与人员都能及时获取最新的作业标准和流程。此外，设立质量检查和反馈机制，通过事后评估识别问题，推动持续改进，以有效降低人为失误的发生率。通过综合施策，从提高人员素养、改善作业环境到健全管理机制，方能更好地控制人为失误，从根本上提升变电站检修作业的质量与效率。

5 变电站检修作业标准化体系的构建与优化建议

变电站检修作业标准化体系的构建对于提升检修效率、降低故障率和确保设备安全运行至关重要。作为电力系统中的关键节点，变电站的检修作业标准化不仅能有效降低人为失误，还能优化资源配置，提高整体作业效率。在此基础上，构建一个科学、合理的标准化体系，需要首先对现有的检修作业流程进行全面评估。通过分析各个环节的执行情况，识别出关键控制点与潜在风险，制定出一套适应不同设备和作业环境的标准化作业流程至关重要。这些流程应包括检修前的准备、作业过程的监控以及检修后的评估，以确保每一环节均按照标准执行。此外，建立反馈机制，使得标准化体系能够在实际应用中不断修正和完善，将极大提升变电站的整体安全性和运行效率。

在构建标准化体系的过程中，需结合现代信息技术，利用大数据分析和物联网技术，实现对检修作业的实时监控与数据记录。这一方面可以提高检修作业的透明度，另一方面也有助于对检修人员的操作进行实时反馈，确保作业过程中的每一个环节都符合既定标准。此外，建立起标准化作业流程后，应为其配套相应的培训机制，确保所有检修人员都能熟练掌握这些标准和流程。定期的培训和考核不仅能提升检修人员的专业素养，还能增强其对标准化作业流程的认同感，从而在实际工作中自觉遵循。

标准化体系的构建并不是一蹴而就的，而是需要在实践中不断优化和完善。在实施过程中，通过对检修作业结果的分析与评估，及时识别和修正标准化流程中的不足之处。例如，定期组织检修作业评估会议，收集检修人员的意见和建议，了解标准化流程在实际操作中的适用性和有效性。同时，结合行业的最新发展和技术进步，适时更新标准化作业流程，以保持其科学性和前瞻性。这种持续改进的机制，不仅能够提升检修作业的质量，还能为变电站的安全运营提供更为坚实的保障，推动电力行业的健康可持续发展。通过构建与优化变电站检修作业标准化体系，可以在提升设备运行效率的同时，确保电力系统的安全稳定，为社会的持续发展提供有力支持。

6 结束语

变电站检修作业标准化体系的构建与优化是提升电力系统安全与效率的重要举措。通过系统化的标准化作业流程，不仅可以有效降低人为失误，提升检修质量，还能为检修人员提供明确的操作指南，促进其专业技能的提升。结合现代信息技术的应用，实时监控与数据分析进一步增强了检修作业的透明度与可追溯性。持续的评估与反馈机制使得标准化体系在实践中不断优化，从而适应电力行业的快速发展。最终，通过这一体系的落实，能够为变电站的安全稳定运行提供有力保障，为电力行业的可持续发展奠定坚实基础。

[参考文献]

[1]叶建明,张黎明,佘宇东.实现变电检修安全生产“三控”目标[J].大众用电,2011,27(4):36-37.
[2]孙嘉翼,孙庆彬,石星昊.智能变电站继电保护检修作业安全风险管控对策[J].电气技术与经济,2018(3):56-58.
[3]邓爱军.变电站变电检修的工作要点和优化措施[J].科技创新与应用,2018(25):142-143.
[4]张旗,王楚淇,李文涛,等.智能变电站继电保护检修作业安全风险管理研究[J].城市建设理论研究(电子版),2019(7):61.
[5]朱根,李传东.变电站春季电气清扫标准化管控实施方法[J].电世界,2021,62(12):12-13.

作者简介：郑鹏敏（1983.10—），男，河南省新密市人，汉族，本科学士，中级电力工程师，就职于国网新密市供电公司，从事变电设备检修管理。

基于 20Hz 低频输电技术的海上风电变压器系统设计与性能分析

石 姜
广东明阳电气股份有限公司，广东 中山 528400

[摘要]海上风电系统在可再生能源利用中扮演着重要角色。随着低频输电技术的发展，20Hz 低频输电方案为海上风电变压器系统的设计提供了新的思路。该系统通过优化变压器的设计与性能分析，旨在提高风电输电效率与系统稳定性。采用先进的材料和结构设计，降低了损耗，提升了可靠性。同时，针对海洋环境的特殊性，设计了相应的防护措施，以确保变压器在恶劣条件下的安全运行。研究结果表明，20Hz 低频输电技术能够有效提升海上风电系统的整体性能。
[关键词]海上风电；变压器；低频输电；系统设计；性能分析
DOI：10.33142/hst.v7i11.14305　　中图分类号：TM561　　文献标识码：A

Design and Performance Analysis of Offshore Wind Power Transformer System Based on 20Hz Low Frequency Transmission Technology

SHI Jiang
Guangdong Mingyang Electric Co., Ltd., Zhongshan, Guangdong, 528400, China

Abstract: Offshore wind power systems play an important role in the utilization of renewable energy. With the development of low-frequency transmission technology, the 20Hz low-frequency transmission scheme provides new ideas for the design of offshore wind power transformer systems. The system aims to improve the efficiency and system stability of wind power transmission by optimizing the design and performance analysis of transformers. Adopting advanced materials and structural design has reduced losses and improved reliability. At the same time, corresponding protective measures have been designed to ensure the safe operation of transformers under harsh conditions, taking into account the particularity of the marine environment. The research results indicate that 20Hz low-frequency transmission technology can effectively improve the overall performance of offshore wind power systems.
Keywords: offshore wind power; transformer; low frequency transmission; system design; performance analysis

引言

海上风电作为一种重要的可再生能源，正在全球范围内快速发展。然而，传统的输电技术面临着效率和稳定性的挑战。近年来，20Hz 低频输电技术的兴起，为海上风电变压器系统的设计提供了创新的解决方案。这一技术不仅能够显著降低能量损耗，还提升了系统的抗干扰能力和可靠性。深入探讨低频输电在海上风电中的应用，不仅有助于推动可再生能源的广泛利用，也为未来的电力传输技术指明了方向。

1 20Hz 低频输电技术概述及其在海上风电中的应用

1.1 20Hz 低频输电技术的基本原理

20Hz 低频输电技术通过将电力传输频率从传统的 50Hz 或 60Hz 降低到 20Hz，显著降低了输电过程中的电能损耗和电磁干扰，特别是在需要长距离传输的应用场景中，如海上风电。这种技术在海上风电领域表现尤为突出，因为海上风电场通常位于离岸较远的地方，传统高频输电方式在此类长距离传输中会导致较大的能量损失。低频输电技术不仅减少了损耗，还有助于减轻电缆的热负荷，延长了设备的使用寿命。此外，20Hz 低频信号具有更好的环境适应性，能够有效应对海洋环境中如风速和海浪等自然条件的波动，从而提供更为稳定和可靠的电力供应。这种技术也促进了海上风电技术的进步和优化，使得远离岸边的风电场更加经济和高效，为远海风电的发展提供了强有力的技术支持，有望成为未来海上风电输电的主流技术之一。

1.2 低频输电在海上风电中的应用优势

20Hz 低频输电技术在海上风电场的建设中展现了多方面的应用优势，特别是在提升系统稳定性和经济效益方面具有显著效果。首先，低频输电因其频率较低，导致电流波动小，从而在海上风电机组输出不稳定的情况下，依然能有效保持电网整体的稳定性。这种稳定性对于避免由于风力波动引起的电能质量问题尤为重要。其次，低频输电技术通过减少电流的波动，也减轻了对电力设备，如变压器、电缆等的物理压力，这直接延长了这些设备的使用寿命，并减少了由于高负荷运行导致的维修和更换成本。此外，由于系统频率的降低，相关设备的设计也可以更为简化，进一步降低了生产和维护的成本，使得整个电力输送系统更加经济高效。最后，低频输电系统在面对复杂多变的海洋环境时，显示出了优越的抗电磁干扰能力。由于海上风电场常常面临着强烈的海洋盐雾、湿度以及其他自然条件的影响，低频信号能够更有效地穿透这些干扰，保证了电力传输的可靠性和连续性。因此，20Hz 低频输电

技术不仅提高了海上风电场的电能传输效率，也显著提升了整个系统的经济性和可靠性，是海上风电技术发展的重要推动力。

1.3 未来发展方向与挑战

尽管 20Hz 低频输电技术在海上风电应用中具有诸多优势，但仍面临一些挑战。首先，低频输电系统的标准化和规范化尚需进一步研究，以便于在不同海上风电项目中的推广应用。此外，技术的成熟度和市场接受度也是影响其广泛应用的关键因素。因此，推动低频输电技术的研发，提升其经济性和适用性，将是未来发展的重要方向。最后，随着海上风电的快速发展，持续监测和评估低频输电系统的性能，以及应对海洋环境变化带来的影响，将是实现其长效运行的必要措施。通过技术创新和政策支持，20Hz 低频输电技术有望在未来的海上风电发展中发挥更大的作用。

2 海上风电变压器系统设计原则与关键技术

2.1 海上风电变压器系统的设计原则

在海上风电变压器系统的设计过程中，首先需要遵循高效性、可靠性和安全性原则。高效性是指变压器在电力传输过程中应具备最低的能量损耗，以提高整体的电能转换效率。为了实现这一目标，设计师需要考虑优化变压器的结构和选材，采用高导电性和低损耗的材料，以降低铁损和铜损。此外，变压器的冷却系统设计也是提高效率的关键，采用自然冷却和强制冷却相结合的方式，确保变压器在高负荷和恶劣环境下的正常运作。

可靠性是设计中的另一个重要原则。在海上风电环境中，变压器常常面临极端气候和海洋条件，例如强风、盐雾和高湿度，这些因素会对设备的运行产生影响。因此，设计时需要特别关注防护措施，例如采用防腐材料和密封结构，以抵御海洋环境的侵蚀。同时，设计中还应考虑设备的冗余配置，以便在部分设备出现故障时，整个系统依然能够维持稳定运行。通过实施定期维护和监测，可以进一步提升变压器的可靠性，确保其在长时间内稳定运行。

2.2 关键技术的选择与应用

海上风电变压器系统的设计中，关键技术的选择与应用对提高系统性能至关重要。其中，低频输电技术是实现高效传输的核心。相比传统的 50Hz 和 60Hz 系统，20Hz 低频输电技术能够降低能量损耗，提高系统稳定性，特别适合长距离输电。在变压器设计中，需采用适合低频工作的变压器型号，以确保其能够在低频率下正常运行。

此外，智能化监控技术的应用也日益受到重视。通过在变压器系统中集成智能监控设备，实时采集运行数据并进行分析，可以有效预判设备的运行状态与潜在故障。这种预防性维护策略不仅能降低维修成本，还能延长设备的使用寿命。同时，智能化监控技术还可以与远程控制系统相结合，实现对变压器运行状况的远程监控与管理，确保设备在任何情况下的安全性和稳定性。

2.3 设计中的经济性与可持续性考虑

在海上风电变压器系统的设计中，经济性和可持续性是不可忽视的因素。设计者应在满足性能需求的同时，控制设计和建设成本。通过选用高性价比的材料和技术，可以在不影响系统性能的前提下降低整体造价。此外，合理的设计方案和施工流程可以缩短建设周期，进一步节约项目成本。

可持续性是现代工程设计的重要方向。海上风电项目不仅要关注经济效益，还应重视环境影响。设计时需评估变压器的生命周期，包括材料的可回收性和使用过程中的环境影响。通过引入环保材料和绿色设计理念，推动海上风电变压器系统的可持续发展。与此同时，加强与相关环保机构的合作，确保设计方案符合环保法规与标准，为海洋生态保护贡献力量。通过综合考虑经济性与可持续性，海上风电变压器系统的设计将更具前瞻性，为未来的可再生能源发展奠定坚实基础。

3 低频输电对风电系统性能提升的影响

3.1 低频输电对能量损耗的减少

低频输电技术在风电系统中的应用，最显著的影响之一是能量损耗的显著减少。传统的 50Hz 或 60Hz 输电系统在长距离传输电力时，由于电流频率较高，导致线损和铁损等能量损耗增加。而在 20Hz 低频输电中，电流波动幅度较小，这不仅减少了因感应和电抗引起的能量损耗，也降低了传输线路上的发热量，从而提高了整体的电能利用效率。此外，低频输电能够优化电缆的设计和选型，进而在同等条件下实现更小的电缆截面积，降低材料成本和系统整体重量，适应海上风电的特殊环境需求。

3.2 系统稳定性的增强

另一个重要的影响是低频输电技术显著提升了风电系统的稳定性。传统高频输电系统在面对风速变化或负荷波动时，容易出现电力供应不稳定的现象。这对于海上风电场尤其严重，因为海洋环境的不确定性常常导致风速的剧烈变化。采用 20Hz 低频输电后，系统能够以更平稳的方式响应这些波动，电流波动较小，有助于维护电网的频率稳定。同时，低频系统的动态响应速度相对较慢，降低了系统对瞬时干扰的敏感性，减少了由于突发事件造成的系统故障风险。通过提升系统的稳定性，风电场不仅能保证持续的电力输出，还能增强对电网整体的支持能力。

3.3 设备可靠性的提升

低频输电技术还对设备的可靠性产生了积极影响。在海上风电场中，变压器和其他电气设备需要在极端气候和海洋环境中长期运行。高频率下，电气设备更容易受到电磁干扰，导致故障率上升。而 20Hz 低频输电系统能够显著降低这种电磁干扰的影响，从而减少设备的故障率。此外，低频输电系统通常要求变压器设计为更高的额定功率，

使其具备更好的热管理能力，进一步提高了设备的耐用性和运行稳定性。通过降低故障率并提高设备可靠性，海上风电场可以减少停机时间，降低维护成本，提升整体经济效益。

综合来看，低频输电技术在海上风电系统中带来的不仅是能量损耗的减少和系统稳定性的增强，还有效提升了设备的可靠性。这些优势共同推动了风电系统性能的提升，为海上风电的可持续发展奠定了坚实基础。

4 海洋环境下变压器的防护措施与可靠性分析

4.1 海洋环境对变压器的挑战

海洋环境对变压器的运行提出了严峻的挑战。首先，海洋气候变化多端，强风、盐雾和高湿度等因素会对变压器的结构和功能产生不利影响。盐雾的腐蚀性特别强，长期暴露在盐雾环境中的设备容易出现锈蚀和绝缘破坏，从而导致故障。其次，海洋环境的温度变化也可能影响变压器的散热性能。在高负荷条件下，如果散热不良，可能导致变压器过热，缩短其使用寿命。此外，海浪和潮汐对变压器的机械稳定性也构成威胁，尤其是在漂浮式风电平台中，变压器需要具备抗震和抗倾斜的能力。因此，了解海洋环境对变压器的影响是实施有效防护措施的前提。

4.2 变压器的防护措施

针对海洋环境的挑战，设计和实施有效的防护措施至关重要。首先，变压器的外壳应采用高强度、耐腐蚀的材料，如不锈钢或铝合金，以抵御盐雾侵蚀。同时，外部涂层也应采用防腐涂料，以进一步增强保护效果。其次，为了防止潮气进入变压器内部，设计中应考虑采用密封结构，配备防水密封圈和排水装置。此外，变压器的冷却系统也需特别设计，采用强制冷却与自然冷却相结合的方式，以保证在高负荷情况下的散热效率。最后，监测系统的建设也不可忽视，通过在变压器中安装传感器，实时监控温度、湿度和盐分浓度，可以及时发现潜在问题并采取措施，确保设备的正常运行。

4.3 可靠性分析与维护策略

对海洋环境下变压器的可靠性分析是确保其长期稳定运行的重要环节。可靠性分析应包括对变压器材料性能、结构设计以及防护措施的全面评估。在材料选择方面，应优先考虑那些在高湿、高盐环境下表现优异的材料，以提高设备的耐用性。在结构设计上，应采用冗余设计，以确保在某一部件发生故障时，其他部件仍能维持设备的正常运行。此外，定期的维护与检查也是提高变压器可靠性的重要策略。针对海洋环境的特殊性，应制定专项维护计划，定期对变压器进行清洗和检修，确保防护措施的有效性。在实际运行中，结合数据分析与设备状态监测，可以动态调整维护策略，从而提高设备的整体可靠性。

综上所述，海洋环境对变压器提出了严峻的挑战，但通过有效的防护措施与可靠性分析，可以显著提升变压器的稳定性和耐用性。这为海上风电的发展提供了坚实的基础，确保了可再生能源的持续利用。

5 未来海上风电变压器系统的发展趋势与挑战

5.1 发展趋势：智能化与数字化转型

未来海上风电变压器系统的发展趋势将逐步向智能化和数字化转型。随着物联网技术和人工智能的快速发展，变压器系统将集成智能监测和管理功能。通过实时数据采集和分析，可以实现对变压器的状态监测和故障预测，提前发现潜在问题，从而减少停机时间和维护成本。此外，数字化技术的应用将增强系统的灵活性与响应速度，使其能够更好地适应海洋环境的变化与电力需求的波动。智能化转型不仅提升了系统的运行效率，还为海上风电的可持续发展奠定了基础。

5.2 技术创新：新材料与新设计

在技术创新方面，未来海上风电变压器系统将依赖新材料和新设计理念的不断涌现。高性能、耐腐蚀的材料将被广泛应用于变压器的外壳和内部构件，以提高其在海洋环境下的耐用性。此外，采用模块化设计的变压器系统将成为趋势，模块化不仅简化了设备的维护和更换过程，还提升了系统的扩展性与灵活性。这些创新将为风电变压器的高效、可靠运行提供有力保障，助力海上风电行业的持续发展。

5.3 面临的挑战：环境适应与市场竞争

尽管海上风电变压器系统的发展前景广阔，但仍面临多重挑战。首先，海洋环境的复杂性使得变压器必须具备更强的适应能力，包括对极端气候、盐雾和潮汐变化的抵御能力。其次，随着全球对可再生能源需求的增加，市场竞争将愈发激烈，企业需要不断提升产品性能与性价比，以保持市场优势。最后，政策法规的变化也可能影响海上风电项目的实施和资金投入。

6 结束语

未来海上风电变压器系统的发展将面临智能化与数字化转型的机遇，同时也需要应对复杂的海洋环境和激烈的市场竞争。通过新材料与新设计的创新应用，提升变压器的可靠性和适应性，将是关键。只有不断推动技术进步和优化管理策略，才能实现海上风电的可持续发展，充分发挥其在全球能源转型中的重要作用。海上风电的未来充满潜力，期待其为可再生能源的广泛应用做出更大贡献。

[参考文献]

[1]阳熹,汤翔,李炬添,等.海上风电低频主变压器特性分析及技术展望[J].南方能源建设,2023,10(5):139-148.
[2]牟金善,管文杰,何倩倩.海上风电机组变压器磁密设计影响因素探讨[J].变压器,2024,61(2):51-54.
[3]李想,李晓华,赵文彬,等.海上风电低频变压器铁心损耗特性实验研究[J].上海电力大学学报,2024,40(2):124-128.
[4]马壮,淡淑恒.考虑故障风险与不确定性的海上风电主

变压器检修策略[J].电力科学与技术学报,2024,39(2):214-222.
[5]杨明,杜楠,禤冠星,等.海上风电升压变压器技术路线选择与对比[J].电工技术,2023(24):25-30.
[6]黄阳,陶永政,孔志达,等.海上风电柔性低频输电系统的技术经济分析[J].电网技术,2024,3(1):10-12.
[7]司俊龙,艾琳,邱辰.2023 年中国风电发展现状与展望[J].水力发电,2024,2(5):10-12.
[8]练继建,许淑云,王海军,等.海上风电五连筒导管架基础及筒顶节点受力分析[J].太阳能学报,2024,45(9):564-573.
[9]王岳峰,黄虎,王晓东,等.海上风电机组除湿盐雾系统研究[J].机械工程与自动化,2024,4(5):206-210.
[10]李海锋,许永治,刘沈全,等.柔性低频输电系统的故障分量特征及保护适用性分析[J].高电压技术,2024,50(5):1987-1996.
[11]刘云鹏,赵家莹,刘贺晨,等.低频电压下含纤维素颗粒变压器油绝缘特性及影响因素[J].电工技术学报,2024,39(4):1198-1207.
[12]陈飞,宋磊,孙业荣,等.风力发电低频输电用变压器的关键技术[J].变压器,2022,59(12):23-27.
[13]林进钿,倪晓军,裘鹏.柔性低频交流输电技术研究综述[J].浙江电力,2021,40(10):42-50.
[14]胡诗尧,容春艳,李中祥,等.高阻抗变压器的不同实现方式与抗短路性能分析[J].高压电器,2024,60(8):147-155.
[15]刘亚,郭乃天,徐仲春,等.变压器性能试验分析[J].中国标准化,2024,2(14):177-180.
[16]廖才波,黄智勇,杨金鑫,等.基于缺陷文本识别的变压器风险评估及辅助检修决策方法[J].高电压技术,2024,50(7):2931-2941.
[17]李国艺,徐梦潇,孙文辉.基于 Simulink 的油浸式变压器性能试验及分析[J].电工技术,2024,4(10):158-163.
[18]纪杰.电力系统中的工业通用技术应用分析[J].集成电路应用,2024,41(5):388-389.
[19]贾东明,韩晓昆,董翔,等.基于 Pt-C3N 传感器的变压器油中溶解气体的吸附性能研究[J].智慧电力,2024,52(4):40-61.
[20]朱庆东,李龙龙,朱孟兆,等.特高压变压器内部电弧放电时的应力应变分析及安全校核[J].浙江电力,2024,43(1):117-125.
[21]韩新明.通风系统变频器散热结构设计研究[J].煤炭与化工,2024,47(8):90-93.

作者简介：石姜（1985.8—），男，毕业院校：沈阳工业大学，所学专业：电气工程及其自动化，当前就职单位：广东明阳电气股份有限公司，职务：研发经理，职称级别：电气工程师。

关于 10kV 电压等级设备短路电流水平问题的研究

黄 亮
杭州汉邦电力工程设计有限公司，浙江 杭州 310000

[摘要]随着社会经济发展，10kV 电压等级设备短路电流水平问题日益凸显。本篇文章深入研究，明确短路电流计算方法，全面分析影响短路电流水平因素，清晰呈现短路电流危害与挑战，并提出切实可行应对策略。具体包括采用高阻抗变压器、调整电网运行方式等技术手段降低短路电流，以及合理选择开关设备等措施。为保障电网安全稳定运行提供有力支持。

[关键词]变压器；短路电流；危害；应对策略
DOI：10.33142/hst.v7i11.14296　　中图分类号：TM406　　文献标识码：A

Research on the Short Circuit Current Level of 10kV Voltage Level Equipment

HUANG Liang
Hangzhou Hanbang Electric Project Design Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 310000, China

Abstract: With the development of social economy, the problem of short-circuit current level of 10kV voltage level equipment is becoming increasingly prominent. This article conducts in-depth research, clarifies the calculation method of short-circuit current, comprehensively analyzes the factors that affect the level of short-circuit current, presents the hazards and challenges of short-circuit current clearly, and proposes practical and feasible response strategies. Specifically, this includes using high impedance transformers, adjusting the operation mode of the power grid, and other technical measures to reduce short-circuit current, as well as selecting switch equipment reasonably, so as to provide strong support for ensuring the safe and stable operation of the power grid.

Keywords: transformer; short circuit current; hazards; countermeasures

引言

在当今社会经济蓬勃发展背景下，电力作为支撑各行各业运行的关键能源，其供应可靠性和安全性至关重要。10kV 电压等级作为配电网重要组成部分，广泛应用于城市和农村供电网络。然而，随着电力系统规模持续扩大、负荷不断增长以及分布式电源大量接入，10kV 电压等级设备所面临短路电流水平问题日益突出。因此，深入研究 10kV 电压等级设备短路电流水平问题，对于保障电力系统安全稳定运行具有重要现实意义。

1 理论基础

1.1 短路电流计算方法

在 10kV 电压等级短路电流计算中，通常选取基准容量 S_j为 100MVA，基准电压 U_j对于 10kV 配电系统宜选用 10.5kV。短路电流计算采用标幺值法，系统电抗标幺值可根据系统容量与基准容量关系确定，例如当系统容量大于 100MVA 时，电抗减小；当系统容量小于 100MVA 时，电抗增大。对于 10kV 变压器，用 4.5 除以容量就约等于它电抗。架空线路和电缆电抗计算则与电压等级、线路长度有关，电压 10kV 架空线路，其电抗约等于线路公里数 1/3。

表 1　短路电流计算值

短路点	10kV 母线（3 台主变分裂运行）
三相短路有效值	24.82kA
两相短路有效值	21.49kA

1.2 影响短路电流水平因素

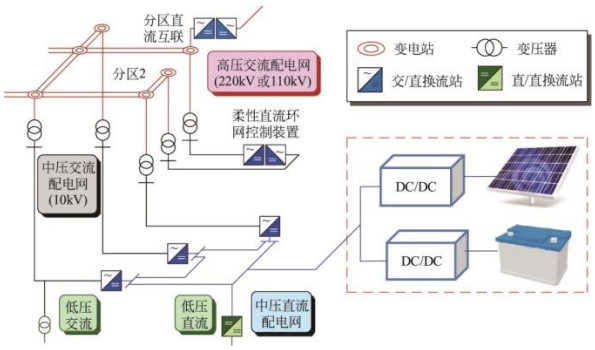


图 1　分布式电源接入 10kV 电网原理图

1.2.1 电源容量

电源容量越大，短路时提供短路电流就越大。从电源等效电路来看，大容量电源相当于一个低内阻电压源，在短路故障发生时，能够输出更大电流。根据短路电流计算公式，当电源电动势不变时，电源内阻越小，短路电流越大。

1.2.2 网架结构

网架结构复杂性和连接方式对短路电流有重要影响。在环形网络中，故障点短路电流会因电流分流和环流效应而与放射状网络有所不同。当网架结构中存在较多并联支路时，短路点等效阻抗会减小，导致短路电流增大。

1.2.3 负载特性

负载性质和大小会影响短路电流。感性负载在短路瞬

间会产生反电动势，阻碍电流变化，而容性负载则在短路瞬间产生过电流。负载大小决定正常运行时电网电压和电流分布，当负载变化时，短路电流水平也会相应改变。

1.2.4 分布式电源接入

分布式电源接入使 10kV 电网电源分布更加复杂。分布式电源类型（如光伏、风电等）、容量和接入位置都会影响短路电流水平。分布式电源接入位置靠近短路点且容量较大，会显著增大短路电流。

1.3 实际案例

在实际电网运行中，这些因素影响随处可见。在关于 500kV 变电站 220kV 母线短路水平问题研究中发现[1]，当区域内新大型电源接入电网后，220kV 母线短路电流水平明显上升。通过对网架结构分析，发现部分变电站之间联络线路增加，使得短路电流在电网中分布发生变化，导致某些母线短路电流超过安全限值。在一些城市 10kV 配电网中，随着商业和居民用电负荷增加（负载特性变化），特别是在夏季用电高峰时期，短路电流水平也有所波动。此外，分布式电源大量接入也给 10kV 电网带来新挑战。在某些分布式光伏电站接入较多区域，当 10kV 线路发生故障时，短路电流大小和方向都出现与传统电网不同情况，给故障检测和保护装置动作带来困难。

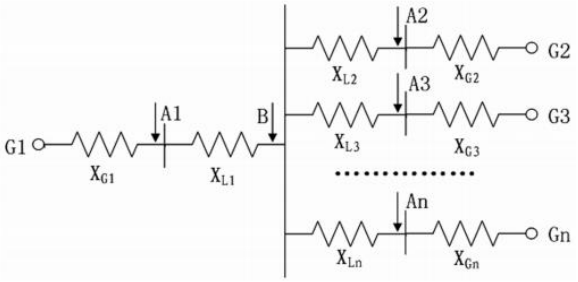


图 2 多电源分区示意图

2 短路电流水平危害与挑战

2.1 短路电流危害分析

2.1.1 热效应导致设备损坏

短路电流在极短时间内会产生巨大热量，这是由于电流通过设备电阻产生焦耳热。对于导体部分，如电缆、母线等，过高热量导致导体温度急剧上升，超过其允许最高温度，从而使导体材料物理性能发生变化，如金属软化、熔化。以铜母线为例，当短路电流持续时间较长时，母线温度迅速升高，使其强度降低，甚至出现局部熔化现象，导致母线短路或断路。对于电气设备中绕组，如变压器、电动机等，短路电流产生热量破坏绕组绝缘材料，使绝缘性能下降，引发匝间短路或相间短路等故障。

2.1.2 电动力引起机械损伤

短路电流产生强大电动力也是造成设备损坏的重要原因。根据安培定律，两根平行载流导体之间会产生相互作用力。在短路情况下，由于电流很大，这种电动力达到非常大数值。对于开关设备，如断路器、隔离开关等，电动力使触头受到强烈冲击，导致触头磨损、变形甚至脱落。在变压器中，短路电流产生电动力使绕组发生位移、变形，破坏绕组原有结构，进而影响变压器正常运行。此外，电动力还对电气设备支撑结构、固定部件等造成损坏，影响设备机械稳定性。

2.1.3 电弧引发爆炸和火灾

短路故障常常伴随着电弧产生。电弧是一种高温、高能量放电现象，其温度可高达数千摄氏度。在开关设备开断短路电流时，如果灭弧能力不足，电弧持续燃烧，产生大量热量和强光。这种高温电弧会使设备周围绝缘材料、空气等迅速分解和电离，产生可燃气体和爆炸混合物。一旦遇到合适条件，如足够能量激发，就引发爆炸和火灾，对设备和周围环境造成严重破坏。

2.1.4 电压骤降与电压崩溃

短路故障发生时，短路电流会在电网中引起电压骤降[2]。由于短路点阻抗很小，大量电流从电源流向短路点，导致电网中其他部分电压降低。如果短路故障不能及时清除，电压降低会蔓延到整个电网，引发电压崩溃。在电压崩溃过程中，电网中负荷因电压过低无法正常运行，电网运行状态进一步恶化。

2.1.5 电网解列与大面积停电

短路电流引起保护装置动作导致电网解列。当保护装置检测到短路故障时，为保护设备和防止故障扩大，会自动将故障线路或设备从电网中切除。如果短路电流水平过高，会导致保护装置误动作或多级保护同时动作，使电网正常运行结构被破坏。在严重情况下，会引起大面积停电，影响众多用户正常用电，对社会经济和人民生活造成巨大损失。

2.2 10kV 设备面临挑战

2.2.1 主变压器

主变压器作为 10kV 电网中核心设备之一，在短路故障时承受着巨大冲击。从热效应方面来看，短路电流产生热量会使变压器绕组温度迅速升高。由于变压器绕组通常采用铜或铝等金属材料，高温导致绕组绝缘老化加速，降低绝缘性能。根据实际统计数据，多次短路故障后主变压器绕组绝缘电阻明显下降，绝缘纸老化程度加剧。

2.2.2 开关设备

短路电流大小直接决定开关设备所需开断能力。对于 10kV 开关设备，如断路器，必须能够在短路故障发生时迅速切断短路电流，以保护电网和设备安全。随着短路电流水平提高，开关设备需要具备更高开断容量。例如，当短路电流有效值从 10kA 增加到 20kA 时，对断路器灭弧室设计、触头材料和开断速度等方面都提出更高要求。如果开关设备开断能力不足，无法成功切断短路电流，导致电弧持续燃烧，进一步损坏设备和扩大故障范围。开关设

备在切断短路电流过程中，自身需要耐受短路电流产生热效应和电动力效应。在热效应方面，开关设备触头、导电部分等在短时间内会通过大量电流，产生热量。如果不能有效散热，这些部件温度超过允许值，导致材料性能下降。从电动力角度看，短路电流产生电动力使开关设备机械结构发生变形，影响其正常操作。因此，开关设备设计和选型必须考虑其在短路电流冲击下热稳定性和动稳定性。

3 应对策略与措施

3.1 技术手段降低短路电流

3.1.1 高阻抗变压器

高阻抗变压器通过增加自身短路阻抗来限制短路电流[3]。其原理在于，当变压器短路阻抗增大时，在短路故障发生时，变压器对短路电流限制作用增强。从变压器等效电路来看，短路阻抗相当于串联在电路中一个阻抗元件，根据欧姆定律，在电源电压一定情况下，增大这个阻抗减小短路电流。在实际应用中，高阻抗变压器取得显著效果。同时，高阻抗变压器在抑制短路电流过程中，对电网正常运行影响较小，不会引起明显电压波动和电能质量问题。

表 2 典型高阻抗变压器主要技术参数

项目	参数
型号	SFSZ-240000/220
额定电压/kV	(220±8×1.25%)/115/10.5
额定容量/kVA	240000/240000/120000
联接组别	YNyn0d11
冷却方式	ONAF
额定电流/A	629.8/1204.9/3809.5
频率/Hz	50
短路阻抗/%	高—中：14.0 高—低：35.0 中—低：20.0

3.1.2 电网运行方式

合理调整电网运行方式是降低短路电流的有效方法。例如，采用分列运行方式有效减少短路电流。在分列运行时，通过断开部分变电站之间联络开关，将电网分成若干个相对独立部分。这样，在某一区域发生短路故障时，短路电流不会通过联络线路在整个电网中传播，从而限制短路电流大小。然而，分列运行会对电网供电可靠性产生一定影响，需要在降低短路电流和保证供电可靠性之间进行权衡。例如，通过优化联络开关配置和运行策略，在正常情况下保持一定联络，以提高供电可靠性，在故障时实现快速分列运行，降低短路电流。

3.1.3 分布式电源接入

对于分布式电源接入引起短路电流问题，采用合理控制策略。例如，在分布式光伏电站中，通过在逆变器中设置合适控制算法，当检测到电网故障时，限制逆变器向故障点注入电流。此外，还通过分布式电源布局优化，避免大量分布式电源集中接入某一区域 10kV 电网，从而减少对短路电流水平影响。

3.2 合理选择开关设备

3.2.1 变电站母线开关

在 10kV 变电站母线位置，由于短路电流较大且故障影响范围广，通常需要选择具有高额定开断电流断路器。例如，对于短路电流水平较高母线，可选用额定开断电流为 31.5kA 或更高真空断路器。这种断路器具有良好灭弧性能和高可靠性，能够在短时间内切断大电流，保护母线和连接设备。此外，还需要考虑断路器动稳定电流和热稳定电流，以确保其在短路电流冲击下稳定性。

3.2.2 馈线开关

对于 10kV 馈线开关，可根据馈线负载情况和短路电流水平选择合适开关设备[4]。在一些短路电流较小馈线，采用负荷开关加熔断器组合。负荷开关用于正常负荷操作，熔断器则在短路故障时迅速切断短路电流。这种组合具有成本低、操作简单优点。而对于短路电流较大馈线，则需要选择额定开断电流满足要求断路器，以确保在故障时能够可靠地切断短路电流，保护馈线和下游设备。

3.2.3 分支线路开关

在 10kV 分支线路上，开关设备选型需要综合考虑分支线路负载特性和出现短路电流大小。如果分支线路主要为小型居民用户或商业用户供电，且短路电流预计较小，选择具有一定短路保护功能的负荷开关。但如果分支线路上有重要工业负荷或短路电流较大，则应选择合适断路器，以保障供电可靠性和安全性。

表 3 开关设备选择

开关类型	应用场景	设备特点
变电站母线开关	短路电流大、故障影响范围广	良好灭弧性能、高可靠性，能短时间切断大电流，保障母线及连接设备安全
馈线开关	根据短路电流水平和负载情况	组合成本低、操作简单；断路器可在故障时可靠切断短路电流，保护馈线和下游设备
分支线路开关	综合考虑负载特性和短路电流大小	保障供电可靠性和安全性，适应不同负载和短路电流情况

3.2.4 考虑未来发展的保险策略

为了应对负荷增长带来的短路电流增大的问题，需要采取一些保险措施。首先，在开关设备的选型过程中，应充分考虑未来负荷增长的可能性，预留一定的裕量[5]。其次，加强对电网的监测和规划。通过实时监测电网的负荷情况和短路电流水平，及时调整开关设备的运行参数和保护定值，确保其在不同负荷情况下都能正常工作。同时，根据负荷增长的趋势，提前规划电网的升级改造，适时增加限流设备或更换更高容量的开关设备。此外，还可以建立完善的应急预案。当发生短路故障时，能够迅速启动应急预案，及时隔离故障点，恢复非故障区域的供电，最大限度地减少停电损失。

4 未来研究方向展望

4.1 智能监测与控制技术

开发更加先进的短路电流监测系统，能够实时、准确地测量短路电流的大小、变化趋势以及分布情况。利用大数据分析和人工智能算法，对监测数据进行深度挖掘，提前预测可能发生的短路故障，为采取预防措施提供依据。研究智能控制技术，实现对电网运行状态的自动调整和优化。例如，当检测到短路电流增大时，自动调整变压器的运行参数、改变电网运行方式或投入限流设备，以降低短路电流对系统的影响。

4.2 新型限流设备的研发

探索新型材料和技术在限流设备中的应用，如超导限流器、固态限流器等。这些新型限流设备具有响应速度快、限流效果好、占地面积小等优点，有望在未来的电力系统中发挥重要作用。开展限流设备与其他电力设备的协同优化研究。例如，研究限流设备与变压器、断路器等设备的配合使用，提高整个电力系统的可靠性和稳定性。

4.3 电网规划与优化

结合未来的负荷增长趋势和能源发展方向，进行更加科学合理的电网规划。在规划过程中，充分考虑短路电流水平的限制因素，优化网架结构和电源布局，降低短路电流的风险。研究电网的动态优化技术，根据实时的负荷变化和运行状态，动态调整电网的结构和运行方式，以适应不同的运行条件，提高电网的灵活性和适应性。

5 结论

本研究围绕 10kV 电压等级设备短路电流水平展开全面深入探讨，取得一系列具有重要意义的研究成果。通过全面系统地研究短路电流问题，为电网规划、设计、运行和维护人员提供全面理论和实践指导。有助于在电网建设和改造过程中，提前预防短路电流带来危害，合理选择设备和制定运行策略，提高电网安全性和可靠性，减少因短路故障导致停电事故和经济损失。

[参考文献]

[1]雷铮,王魁,李媛媛,等.提高 500kV 变电站 220kV 母线短路水平问题的研究[J].安徽电气工程职业技术学院学报,2021,26(3):9-15.

[2]吴行健,石晶,陈红坤,等.基于短路电流小半波特征的短路故障快速检测方法[J].电力系统保护与控制,2022,50(16):86-94.

[3]刘健,王浦任,张志华.用于限流控制的瞬时值与变化率结合的故障电流快速识别改进算法[J].电力系统保护与控制,2020,48(19):57-64.

[4]张志丰,张凯,董轩,等.基于电流有效值实时算法的限流器快速故障辨识方法[J].电气技术,2022,23(7):81-88.

[5]唐溢,李保宏,曾蕊,等.柔性直流对交流系统短路电流影响因素分析[J].电力工程技术,2022,41(1):40-47.

作者简介：黄亮（1989.12—），男，籍贯：浙江省衢州市龙游县，职称：中级工程师，职务：主任工程师，毕业时间：2014 年 06 月 30 日，毕业院校：浙江工业大学，学历：本科，学位专业：电气工程及其自动化，研究方向：变配电设计。

架空导线不停电短杆作业引线固定装置研究与应用

王 坚[1] 沈虞挺[2] 应芳义[2] 余金伟[1] 周 胜[2]
1. 慈溪市输变电工程有限公司，浙江 宁波 315300
2. 国网浙江省电力有限公司慈溪市供电公司，浙江 宁波 315300

[摘要]近年来架空线路作业频次数量呈明显的增长趋势，中国式现代化的重要基石是持续电力供应，输配网的带电作业是高危作业，为提高电力系统带电作业情境下使用绝缘操作杆快速固定引线，需要设计配网不停电短杆作业引线固定装置。实现更快、更安全的固定引线，简化操作、安全可靠，省时省力，要使用先进的装备和工具，使作业人员尽可能远离危险作业场所，提高作业人员、带电作业工作效率，提升供电可靠性。

[关键词]不停电；短杆作业；固定装置
DOI：10.33142/hst.v7i11.14298 中图分类号：TM84 文献标识码：A

Research and Application of Wire Fixed Device for Overhead Line Non Power Outage Short Pole Operation

WANG Jian [1], SHEN Yuting [2] ,YING Fangyi [2], YU Jinwei [1], ZHOU Sheng [2]
1. Cixi Power Transmission and Transformation Engineering Co., Ltd., Ningbo, Zhejiang, 315300, China
2. Cixi Power Supply Company of State Grid Zhejiang Electric Power Co., Ltd., Ningbo, Zhejiang, 315300, China

Abstract: In recent years, the frequency of overhead line operations has shown an obvious growth trend. The important cornerstone of Chinese path to modernization is the continuous power supply. Live line operations in the transmission and distribution network are high-risk operations. In order to improve the use of insulated operating rods to quickly fix the leads in the live line operation situation of the power system, it is necessary to design a lead fixing device for the distribution network uninterrupted short pole operation. In order to achieve faster and safer fixed leads, simplify operation, ensure safety and reliability, save time and effort, advanced equipment and tools should be used to keep workers as far away from dangerous work areas as possible, improve the efficiency of workers and live work, and enhance power supply reliability.

Keywords: no power outage; short pole operation; fixed device

引言

电厂电网的改造建设、运维检、消缺工作免不了停电，这样会产生供电不稳定断断续续的情况发生，可靠性相应下降。配电网的线路引下线、金具、防震锤等基本还是由人工作业方式完成。如果无法通过人工完成作业，电压等级越高、相间距离越近，人工带电作业就无法满足实际需要。架空线路作业是配网不停电作业中工艺较为复杂，风险等级较高的作业，经过前期勘察，线路设备老化给带电作业工作带来极大挑战，在工作前期组织技术管理人员多次现场勘察了解作业线路的周围环境及安全风险点、危险源等情况，对作业存在的潜在风险进行辨识评估采取措施，安全监护人员依据分工明确安全质量环保管理职责，确保工作全过程合法合规合制；作业班组作业前召开班前会交代工作任务、现场危险点及安全措施、事故震撼教育、三交三查等事项，在作业现场安装围栏警示标识牌、材料等前期准备工作，同时做好个人防护用品、安全工器具等检查工作，保证所有作业过程万无一失。在作业实施过程中，严格执行四措两案及作业指导书要求，高空作业人员与地面工作人员协调配合，实现配网不停电作业率达到 90%以上。落实输配电不停电作业要求。

1 装置概述

原装置是将瓷瓶通过螺栓连接的方式固定在横担上方，再将引线固定在瓷瓶上，而在其更换或新装过程中，不停电作业难度较高，且安全隐患大，在庞大的基数之下，一种新型的可快速固定安装且兼具安全保障的绝缘杆法引线固定装置的研制需求日益迫切。配网不停电短杆作业引线固定装置整体装配结构，如图 1 所示，配网不停电短杆作业引线固定装置爆炸结构图如图 2 所示。

图 1 装配结构图

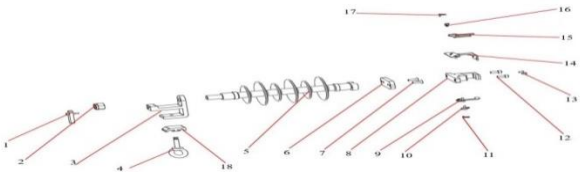


图 2 爆炸结构图

1 扭簧锁块，2 自锁螺母，3 瓷横担支架，4 定制吊环螺丝，5 绝缘子，6 绝缘子转接板，7 沉头螺丝 M8*25，8 固定块，9 后棘轮钩板，10 后棘爪，11 后棘爪拉簧，12 内六角圆柱头螺丝，13 沉头螺丝 M5*10，14 钣金支架，15 前棘轮钩板，16 前棘爪，17 前棘爪拉簧，18 顶块。

2 研究背景

本文针对架空引线不停电短杆作业引线固定装置不仅可以用在新搭接引线固定上，更重要的是还可以使用在搭接引线消缺工作方面，有些引线搭设未安装固定横担，由于风吹等原因容易断线或碰线，这种搭接好的引线，使用不停电短杆作业引线固定装置就更安全，更省力，降低人力、物力成本，为类似作业提供一种新的作业方法思路。

3 装配过程

第一，先将 17 前棘爪拉簧、16 前棘爪、15 前棘轮钩板、14 钣金支架和件 13 沉头螺丝 M5*10 安装至件 8 固定块上。

第二，在装配好步骤 1 后，再将件 9 后棘轮钩板、11 后棘爪拉簧、10 后棘爪安装至件 8 固定块上。

第三，在完成装配步骤 2 后，将件 6 绝缘子转接板通过件 7 沉头螺丝 M8*25 固定至件 5 绝缘子顶部。

第四，在完成步骤 3 后，将安装好件 15 前棘轮钩板和件 9 后棘轮钩板等配件的件 8 固定块通过件 12 内六角圆柱头螺丝固定至件 6 绝缘子转接板上。

第五，在完成步骤 4 后，将件 4 定制吊环螺丝安装至件 3 瓷横担支架上，接着将件 18 顶块安装至件 4 定制吊环螺丝上，件随后将件 1 扭簧锁块安装至件 3 瓷横担支架上，最后将装配好的件 3 瓷横担支架通过件 2 自锁螺母固定至件 5 绝缘子上面。

4 使用过程

第一，将配网不停电短杆作业引线固定装置尾部通过定制吊环螺丝将顶块拧至最低处，将前端固定块上的棘轮开口打开至最大位置处，如图 3 所示：

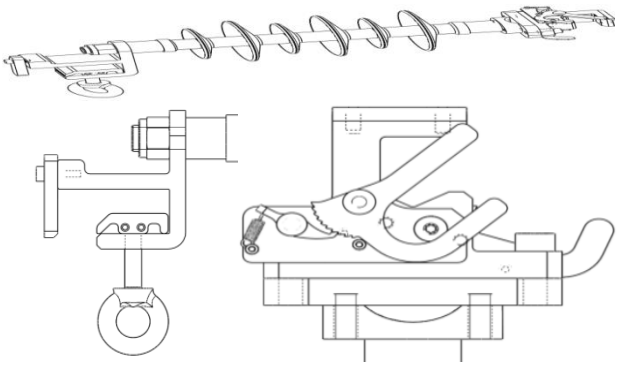


图 3　装置尾部结构图

第二，将扭簧锁块逆时针转动至水平位置后靠近横担，如图 4 所示。随后将瓷横担支架推到底扭簧锁块即可自动复位，保证瓷横担支架不脱出，如图 5 所示：

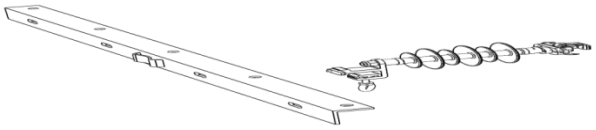


图 4　装置靠近横担位置图

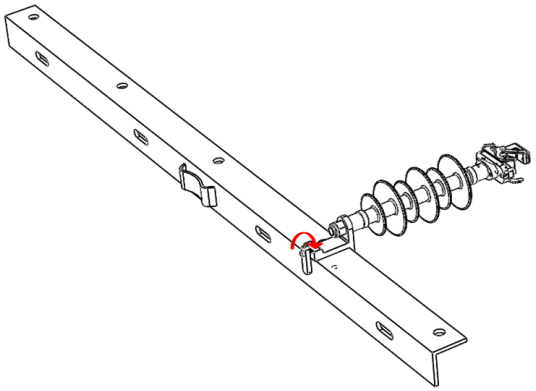


图 5　瓷横担支架推到底扭簧锁块自动复位位置图

第三，随后通过绝缘射枪操作杆等工具转动定制吊环螺丝，从而使顶块与横担相接触，所以瓷横担支架能紧紧锁住在横担上 如图 6 所示：

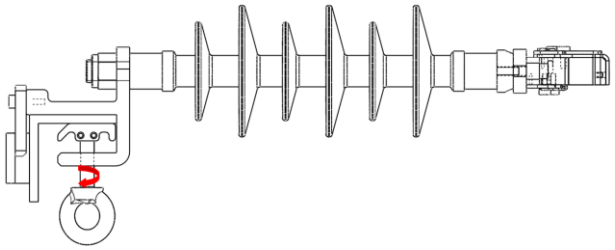


图 6　装置安装完成固定位置图

第四，接着通过绝缘操作杆将引线靠近固定块开口方向，随后直接将引线推入固定块开口处，由于前棘轮钩板的棘轮结构使得绝缘引线推入固定块开口后就不会被推出，如图 7、图 8 所示：

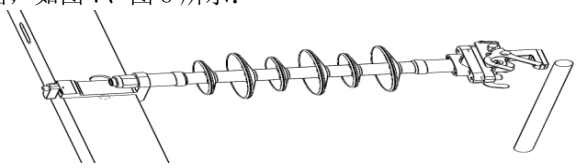


图 7　引线推入固定块开口图

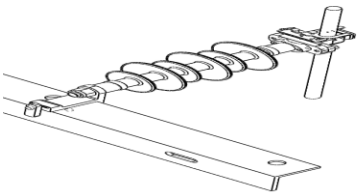


图 8　引线推入固定块闭口图

第五，最后通过绝缘操作杆将后棘轮钩板顺时针方向推到底，这时引线就会被锁住，如图 9 所示：

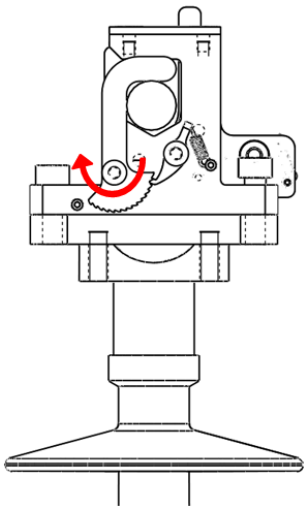


图 9 引线推入固定块安装结构图

整体效果图 10：

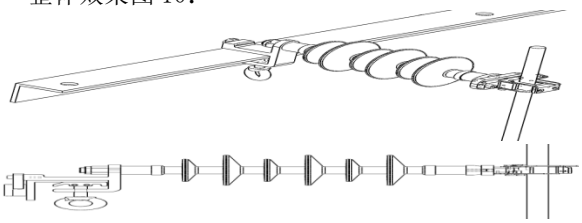


图 10 装置整体效果图

5 工作状态说明

（1）通过扭簧锁块、定制吊环螺丝和顶块将配网不停电短杆作业引线固定装置稳固地锁定在横担上。

（2）通过两侧的棘轮机构使得引线安装只需用绝缘操作杆直接推入锁紧即可。

6 经济社会效益分析

通过配网不停电短杆作业引线固定装置整体装配结构的研究应用，可实现适用于不停电的情况下作业的要求，解决了将瓷瓶通过螺栓连接的方式固定在横担上方，再将引线固定在瓷瓶上，在更换或新装过程中难度较高安全隐患大的难题，所以需要设计发明一款可用于配网不停电短杆作业引线固定装置，提高了带电线路故障排除，维护消缺检修的工作效率。配网不停电短杆作业引线固定装置研制成功，不仅可以提高配电输电线路带电作业工作效率，同时也可减少停电时间，节约用电成本。根据测算，在正常情况下每采用一次本装置就可以节约人力成本、停电费用 2567 元/次，按照近 3 年的平均使用频次节约 43.89 万元左右。具有较好的经济效益和社会效益，既可以减少停电时间频次，也可降低停电费用；能够在保证作业安全和安装质量的前提下缩短作业时间；能够在很大程度上提高电力系统可靠性。通过对配网不停电短杆作业引线固定装置的技术参数进行了对比，对比数据如表 1 所示。

表 1 对配网不停电短杆作业引线固定装置技术参数对比表

名称	原装置连结方式	配网不停电短杆作业引线固定方式	备注
人力成本	需要多人配合	少量人员	
停电时间	长	短，零停电	
停电费用	高	低	
工作时长	耗时多	耗时少	
故障时长	处理时长多	处理时长少	
材料成本	相对较高	相对较低	
工作效率	一般	高	
技术难度	相对较低	相对较高，需要专业人员技术支持	
供电可靠性	低	高	

7 需要进一步探索的问题

（1）改进该装置的安装规范，使本装置适应于各种各样的环境场景进行应用。

（2）如何利用信息化手段进行无人作业，满足该装置的应用。

（3）开展带电作业配合本装置的性能测试和相关标准制定与研究。

（4）本装置可以规避在检修作业存在的危险点

避免维护检修带电作业复杂性。不同的电力设备在系统中的功能原理作用、作业的方式、方法、作业关键路径和环境各不相同，造成了配电线路检修作业的危险点多且复杂。

规避危险的客观性。配输电线路检修的危险点是客观存在的，危险点是始终存在于输配电线路检修作业中，不会因人的主观意识而转移，潜在安全风险威胁便会爆发出来，造成配输电线路安全事故。

危险状态的可控制性与可预知性。危险不可预知的风险爆发并非是不可预知与不可控制的，在配电线路检修作业中只要在检修过程中按照标准规程认真执行。

消除潜伏安全质量环境管理隐患。把消除隐患挺在事故前面，把消除风险挺在隐患前面，把所有风险点危险源动态管控，提前把风险隐患暴露出来，防止发生“奶酪事件”。

重点要关注检修材料和工器具。该装置使用时有很多材料部件，现场实施时要注意装配顺序和作业流程，否则会导致不可接受的风险，协调好工具和人员的搭配非常重要，要提前检查该装置和工具的精准度，要做好记录，定期校验工作，确保检修设备与材料、工具、个人防护用品的安全可靠性。

所用原装置安装使用维护较复杂繁琐，对我们的操作人员、作业人员、技术人员、管理人员、监护人员的挑战极大、所以对人员的技能水平，知识水平、专业能力要求高，标准严，操作复杂，需要高度关注既要能够确保安全，又要使用更新的装置，还要使用操作简单，更要安全可靠。

在用于配网不停电短杆作业引线固定装置作业时，可迅速完成相应功能，根据需要该装置具有强大功能，操作便捷，安全不停电的特点，节约不必要停电的时间，减轻作业人员的工作量，降低了作业人员发生安全事故事件的风险。该装置应用效果明显，有利于电网的安全稳定运行。该装置可以快速、安全、便捷地完成工作任务，保证了电网运行的安全性和可靠性。该装置与带电作业方法相结合，可有效提高作业效率。在开展带电作业时，使用该装置可有效提高工作效率，缩短作业时间。该装置运行稳定可靠，维护量少。由于该装置重量轻、操作简单、安全可靠，因此在运行过程中能够有效降低维护量与故障率，保证了电网设备人员的安全。

8 结语

本文介绍的一种用于配网不停电短杆作业引线固定装置，其安全性、可靠性、经济性、便捷性等性能突出，功能强大，包括扭簧锁块，自锁螺母，瓷横担支架，吊环螺丝，绝缘子，绝缘子转接板，沉头螺丝 M8*25，固定块，后棘轮钩板，后棘爪，后棘爪拉簧，内六角圆柱头螺丝，沉头螺丝 M5*10，钣金支架，前棘轮钩板，前棘爪，前棘爪拉簧，顶块等部件组成，该新型装置能够通过与引线装置之间的联动，实现带电操作的可能，能够有效地减少了操作人员的工作时间和压力，从而减小了装置可能发生与作业人员触电、机械性伤害等风险。此外，本配网不停电短杆作业引线固定装置还具有以下优点：目的是要不停电作业，首先要保证检修维护作业的安全性，其次是保证检修维护作业的可靠性，再次是保证检修维护作业的规范性，还要满足检修维护的标准性，作业流程人员的配合度，本文针对不停电作业实用管理、技术、标准、规范开展研究，得到如下结论：

第一，针对输发配电线路检修作业的风险点危险源，仍然是可预防、可预知、可规避的特征，不仅需要在设计时提前防范，而在工程实施和应用过程中也要格外关注调试和安装的工艺和工序，利用 WHS 签点明确质量控制点，完善运维阶段的巡视及排查工作、安全控制措施、线路检修安全规范工作和作业细节等。

第二，根据实际需要，在不停电作业过程中研究出了本带电作业装置，通过扭簧锁块，自锁螺母，瓷横担支架，吊环螺丝，绝缘子，绝缘子转接板，沉头螺丝 M8*25，固定块，后棘轮钩板，后棘爪，后棘爪拉簧，内六角圆柱头螺丝，沉头螺丝 M5*10，钣金支架，前棘轮钩板，前棘爪，前棘爪拉簧，顶块等部件为防止作业人员出现误操作误入带电体或者不满足带电安全距离造成安全事故事件。

第三，依据已知的施工工艺和安全方法，优化安装顺序，对相关配合的工器具、材料、车辆进行了重新核定。对部件的高度、宽度、电动、功能、承重能力、结构进行了优化设计。

第四，本装置的结构更为简单、安装方便。本配网不停电短杆作业引线固定装置实现了对引线快速固定锁止。本装置区别于传统安装方式，适配性更加广泛更为安全，更可靠，效率高，满足现场作业的需求。

第五，本配网不停电短杆作业引线固定装置，实现了单人安装作业，可以大幅降低人员作业强度，提升作业效率和安全性，通过验证发现非常可靠且安全，可以实现不停电的情况下作业。能够预防极端的天气因素与不可控的人为因素所造成的对作业的影响。

第六，本配网不停电短杆作业引线固定装置使用简便，有效地缩短了作业时间安全高效。结构简单、能够有效地降低工作人员的劳动强度，成本低廉、制作方便，使用方便。

[参考文献]

[1]陈玲,庞博,邵源鹏,等.防盐雾引线通用连接装置研发与应用[J].科技创新导报,2018(16):63-65.
[2]程应镗.送电线路金具的设计、安装、试验和应用[M].1 版.京:水利电力出版社,1989.
[3]周刚.架空引线在配网改造工程中使用应注意问题的探讨[J].电子制作,2015(10):233.
[4]陈孝恩.10kV 配电线路运行检修技术及防雷对策[J].科学技术创新,2018(5):176-177.
[5]王成.10kV 配电线路检修及危险点预控研究[J].科技与创新,2017(10):56.

作者简介：王坚（1977.4—），男，重庆大学电气工程专业毕业，现任慈溪市输变电工程有限公司带电作业项目部技术员，工程师；沈虞挺（1980.1—），男，陕西科技大学会计学专业毕业，现任国网浙江省电力有限公司慈溪市供电公司总会计师，高级经济师；应芳义（1981.11—），男，浙江大学电气工程专业毕业，现任国网浙江省电力有限公司慈溪市供电公司运维检修部主任，工程师；余金伟（1970.11—），男，西南大学电气工程专业毕业，现任慈溪市输变电工程有限公司总经理，工程师；周胜（1990.10—），男，西南交通大学电气工程专业毕业，现任国网浙江省电力有限公司慈溪市供电公司配电运检，工程师。

电力工程技术在智能电网建设中的应用研究

施高峰
绍兴大明电力设计院有限公司，浙江 绍兴 312300

[摘要]全球能源消费的增长及可再生能源的广泛应用，要求电力系统具备更高的稳定性与灵活性。智能电网通过集成先进的通信技术与自动化设备，能够应对可再生能源的波动性优化电力调度，提升系统可靠性。电力工程技术在智能电网的建设中，涵盖了电力传输、变电站自动化、配电网智能化等多个方面，推动了电网的智能化进程，为能源转型与可持续发展提供了技术保障。

[关键词]电力工程技术；智能电网；建设
DOI：10.33142/hst.v7i11.14286　　中图分类号：F426.61　　文献标识码：A

Research on the Application of Power Engineering Technology in the Construction of Smart Grid

SHI Gaofeng
Shaoxing Daming Electric Power Design Institute Co., Ltd., Shaoxing, Zhejiang, 312300, China

Abstract: The growth of global energy consumption and the widespread application of renewable energy require the power system to have higher stability and flexibility. The smart grid, by integrating advanced communication technology and automation equipment, can cope with the volatility of renewable energy and optimize power scheduling, enhancing system reliability. In the construction of smart grids, power engineering technology covers multiple aspects such as power transmission, substation automation, and intelligent distribution networks, promoting the intelligent process of the power grid and providing technical support for energy transformation and sustainable development.

Keywords: power engineering technology; smart grid; construction

引言

随着全球能源需求的不断增长及环境保护要求的提高，传统电力系统面临严峻挑战。智能电网作为未来电力系统的重要发展方向，通过融合信息技术、自动化控制与大数据分析，提供了高效、灵活、可靠的电力解决方案。电力工程技术在智能电网建设中发挥着基础支撑作用，促进了电网的智能化、自动化和优化管理。

1 智能电网的主要特点

1.1 高度兼容与灵活

智能电网展现出卓越的兼容性与灵活性，能够高效整合传统电网、可再生能源系统以及分布式发电技术，实现风能、太阳能等新能源的顺利接入，同时兼容电动汽车充电设施的高效运行。这种兼容性通过先进的智能调度系统得以实现，能够根据不同负荷需求与电力供应情况动态调整资源配置，优化电力流向。例如，智能变电站利用自动化控制技术与实时数据分析，能够根据电网负荷变化自动调整电网运行参数，保障电力系统的高效、稳定运行。此外，需求响应管理系统（DRS）使得电网能够根据实时负荷波动与用户用电需求，灵活调配电力供应实现用电峰谷的平衡，进一步提升能源利用效率。这一高度兼容性不仅增强了电网对不同能源来源的适应能力，还提高了电力系统对复杂电力需求和外部环境变化的应变能力。即使在极端气候、突发负荷波动等情况下，智能电网依然能够保持稳定、可靠的运行。例如，虚拟电厂（VPP）通过智能算法将分布式能源与储能设备集成，提供灵活的负荷调节能力，在需求高峰期自动释放储能电力，确保电网负荷平衡。

1.2 稳定与安全

智能电网在确保电力系统稳定性与安全性方面发挥着关键作用，通过实时监控与智能调度，能够迅速识别并有效应对异常状况，极大地减少电力中断或系统故障的发生。例如，自动化故障隔离系统（AFS）通过实时监测电网的运行状态，能在设备故障或短路时迅速识别故障点并自动切换至备用回路，保障电力供应的连续性与稳定性。此外，智能电网还采用了自愈技术，在出现电力中断时通过动态调整电流分配与系统配置实现自动恢复与修复，确保电网的平稳运行，这一快速响应机制显著提升了电力供应的可靠性，尤其是在负荷波动、设备老化或极端天气等不可预见情况下，能够有效降低突发事件的风险。为了加强系统安全性，智能电网还集成了先进的安全防护技术。例如，区块链技术在电力交易与数据存储中的应用，能够确保电力交易过程中的数据不可篡改，提高了电力系统的透明度与信任度。此外，深度学习算法被应用于智能电网的入侵检测系统，能够对异常流量或攻击行为进行预测与识别，从而有效防止恶意攻击与网络入侵，保护用户数据与系统的安全。

1.3 自愈能力

智能电网具备出色的自愈能力，能够在发生故障时自动

检测问题并迅速做出响应，显著提高系统的恢复速度与可靠性，通过智能传感器、自动化控制系统及实时数据分析，智能电网能快速识别并定位故障源，自动切换至备用线路或重新配置电力分配。例如，在发生短路或设备故障时，智能电网利用自动化重合闸技术（Automatic Reclosing）能够在极短的时间内将电流流向非故障区域，避免大范围停电。与此同时，电网内的分布式智能开关设备（智能断路器）能够精准隔离故障区域，防止问题蔓延，确保电力供应的持续性。在恢复过程中，电网不仅会自动切换电流分配，还会利用实时监控与动态调度系统持续追踪系统状态，进一步优化电力流向，确保恢复过程无缝衔接，这种高度自动化的故障检测与修复机制极大缩短了电力中断的恢复时间，减少了对人工干预的依赖。例如，西门子公司在其智能电网解决方案中应用的“自愈电网”技术，采用实时数据监控和自动控制手段，在电网出现故障时快速调配电力资源并恢复供电。

2 电力工程技术在智能电网中的作用

2.1 智能计算用电量

智能电网借助先进的智能计量系统，能够实现用电量的精准测量与实时监控。通过在用户端安装智能电表，用电数据得以实时收集并自动上传至中央控制系统。由此，电力公司能够准确掌握各个区域和用户的用电情况，并及时发现异常用电或漏电等问题，实时电价的应用还使用户能够灵活调整用电行为，从而优化用电管理。通过这一智能化计量系统，电力资源被更高效地利用，电力公司与用户则共享更为透明且灵活的电力消费模式。

2.2 实现智能化供电

智能电网通过高度智能化的控制系统，已实现了电力供应的自动化与精确调度。借助先进的传感器、数据分析技术及自动化设备，电网能够根据实时负荷需求、发电状况及运行条件，灵活地调整电力流向与分配。电力供应效率的提高与能源浪费的有效减少，均得益于这种智能化的供电方式。例如，在用电高峰期，关键设施的电力调度可被优先保证，确保其稳定供电；而在用电低谷期，发电量的减少可避免资源过剩。通过这种灵活的电力分配方式，智能电网不仅保障了用电安全，还优化了绿色能源的利用效率。

3 电力工程技术在智能电网建设中的应用

3.1 在电网能源转换中的应用

随着全球能源需求的不断增长与资源逐渐紧张，提高能源使用效率并减少浪费已成为电力行业面临的重要挑战。为此，智能电网通过集成先进技术，优化能源的转换与管理成为缓解能源紧张问题的关键解决方案。尤其在清洁能源接入与高效利用方面，智能电网发挥着举足轻重的作用。光伏发电并网技术是智能电网应用中的重要环节，随着光伏技术的不断进步，越来越多的分布式光伏发电系统被接入电网[1]。为了有效应对可再生能源的波动性，电力系统通过逆变器技术与功率调度系统的结合，确保电力的高效转换与稳定输出。智能电网能够实时监控光伏发电的运行状态，根据电力需求情况灵活调整电力流向，从而优化电网的调度。同时，功率预测与调度算法的应用使电网能够精确预测光伏发电的波动，提前调度备用能源，避免由于光伏发电不足带来的电力缺口。在风力发电并网方面，智能电网同样发挥着重要作用。由于风能的波动性，电网需要具备较强的灵活性与调度能力，智能电网通过大数据分析与预测模型，能够精准预测风力发电的输出情况。在风能波动较大时，电网可通过调度其他能源，如天然气发电或储能设备确保电网的稳定运行。同时，智能电网利用储能系统在风能发电高峰时储存多余电力，在风能发电低谷时释放，从而保障电网的平稳运行并实现能源的高效利用。电力系统自动化技术在智能电网中也起到了至关重要的作用，通过自动化调度系统与远程监控技术，电网能够实时监控各类能源的输入与消耗。一旦出现电力流向不均或异常，系统可以自动调整电力流向或进行故障隔离，确保电网的正常运行。例如，当光伏发电输出过高时，系统会自动调度其他发电方式，或通过储能系统存储过剩电量避免电网过载。

3.2 在智能发电中的应用

在智能电网的发展过程中，尽管风能和太阳能等可再生能源逐渐成为电力供应的重要组成部分，火力发电仍然在保证电力稳定性方面发挥着关键作用。火力发电以其成熟的技术体系、高效的能量转换能力以及较强的负荷调节能力，依旧在全球电力系统中占据重要地位。为减少能源消耗并确保电力的可靠供应，智能电网通过多种先进技术在火力发电领域得到广泛应用。智能锅炉燃烧控制技术是提升火力发电效率的核心技术之一，该技术通过实时监测煤质参数，能够准确掌握煤种的燃烧特性并相应调整锅炉运行状态优化燃烧过程。结合先进的测量技术，煤质的成分、热值等数据能够实时反馈，从而精准计算锅炉热效率，通过这种方式，锅炉能够根据煤种特性调整燃烧过程提高热能转化效率，最大限度地减少能源浪费并降低环境污染[2]。为了进一步提高燃烧精度，智能电网还采用了数字化锅炉燃烧模型及模糊控制算法，这些技术通过智能建模锅炉的燃烧过程，能够在复杂的运行环境中实现精确控制。基于煤量、风门开度、氧气含量等参数，系统会构建动态的燃烧模型，并根据实时反馈不断优化控制策略，从而确保锅炉在最优状态下高效运行，并提高电力的转换效率。此外，智能电网还广泛应用了非线性优化算法及免疫遗传算法等智能优化技术，这些算法通过模拟和优化燃烧过程，能够自动调整锅炉的最佳运行参数，无论面对负荷波动、燃料变化或设备老化等复杂工况，系统都能动态适应并确保锅炉始终运行在最佳状态，最大化热能的利用率。

3.3 在电网输电工作中的应用

在智能电网的构建中，输电技术在保证电力高效、安全传输方面发挥着至关重要的作用。随着电力需求不断上升以及电网规模和复杂度的增加，传统的输电技术已逐渐无法满足现代电网对效率、稳定性和灵活性的要求。为此，

柔性交流传输技术（FACTS）和高压直流输电技术（HVDC）作为先进的输电解决方案，广泛应用于智能电网中[3]。柔性交流传输技术是一种创新的电力传输方式，通过结合数字微处理、先进的电力技术和微电子技术，极大提高了电力输送效率并降低了能源损耗。与传统的交流输电技术相比，柔性交流系统不仅能够提供更高效的电力传输，还具备了远程监控的能力，通过实时监控输电和变电负荷的运行状态，柔性交流系统能够精确控制电力流动确保电力安全传输，并减少故障发生的可能性，该技术具有较强的适应性，可以在面对负荷波动、系统扰动等复杂情况时，维持电网的稳定性从而增强电力系统的可靠性。高压直流输电技术（HVDC）是另一种关键的电力输送技术，主要应用于长距离、大容量的电力传输，通过将交流电转换为直流电，HVDC 技术显著降低了输电过程中的能量损失。在超长距离和大容量的电力传输中，HVDC 技术展现出其独特的优势，该技术通过换流器装置进行高效的电力转换与传输，提供比传统交流输电更高的稳定性。此外，HVDC 系统能够减少输电线路数量，从而降低基础设施建设和维护成本，同时提升了系统的灵活性。HVDC 技术可根据电网需求动态调整功率流向，保证电力供应的稳定性。

4 电力工程技术在智能电网建设中的应用策略

4.1 提升电力技术人员的专业技能与创新能力

智能电网的顺利建设，离不开高素质的技术人才。在面对电力技术迅速发展的同时，电网系统的日益复杂也使得提升技术人员的专业技能与创新能力显得尤为重要，必须不断深化技术人员对智能电网核心技术的理解，尤其是对大数据、人工智能及物联网等前沿技术的应用。此外，电力行业应加强与高校及科研机构的合作，定期组织技术培训与知识更新，确保从业人员能够始终掌握最新的技术进展[2]。不仅仅是基础技术的培训，跨学科能力与创新思维的培养同样至关重要，在智能电网的实际应用中，技术人员不仅需了解电力系统的运行与维护，还应具备数据分析与系统优化的能力，以便应对日益多样化的技术挑战。创新大赛、技术研讨会等活动的组织，有助于激发技术人员的创造力，促使他们在实践中提出新颖的技术解决方案与优化建议。为了进一步提升技术人员的综合能力，电力行业还应建立完善的职业发展路径与激励机制，从而支持技术人员进行科研攻关与技术创新。

4.2 优化智能电网整体结构与功能布局

智能电网的高效运作，依赖于合理的整体结构与功能布局。在规划设计阶段，不仅要考虑电力需求的多样性，还应重视未来发展的可扩展性，除了满足传统负荷需求外，电网还必须能够适应可再生能源的接入，如风能和太阳能等，这些能源通常表现出较大的波动性。在此情况下，科学的网络拓扑设计及分布式能源资源的整合尤为重要，因为它们能够有效提高电力调度的效率，并确保电网在面对不同需求时保持足够的稳定性与灵活性。在智能电网的功能布局上，关键节点的智能化优化是提升系统效率的核心。例如，在发电、输电、配电及用户端等环节，自动化与信息化的无缝衔接必须得以实现。智能设备、传感器以及通信网络技术的充分应用，能够确保各环节间的信息实时传递，并保持高度的准确性，通过优化电网的分层结构，系统的自我调节能力将得以增强，不仅能提升电网运行效率还能有效减少能耗。借助大数据分析与云计算等先进技术，电网能够实时监控运行状态，预测负荷波动及潜在故障风险，从而确保系统保持动态平衡，并实现智能调度。

4.3 构建高效的智能修复与自愈系统

在智能电网的建设过程中，高效的智能修复与自愈系统的构建对于确保电网的稳定性及持续运行至关重要。传统电网在发生故障时，通常依赖人工排查与修复，往往导致恢复时间过长，且可能引发大范围的停电。而智能电网则通过自动化的自愈系统显著提高了故障响应速度缩短了停电时间，从而确保了用户持续的电力供应。自愈系统依赖智能传感器与实时监控技术，能够即时检测电网中的故障点并自动执行隔离处理，借助先进的算法与调度系统，电网能够自动调整电力流向，将电力迅速重新分配至未受影响区域，从而实现局部供电的恢复。例如，智能开关在故障发生时会自动断开故障线路，防止电力中断范围扩大，并迅速切换至备用线路，以尽量减少对用户的影响[3]。此外，自愈系统还具备故障诊断与预测的能力，通过对历史数据的深度分析，潜在的故障隐患能够被提前识别并进行预警，启动预防措施有效降低突发性故障的发生率。结合大数据与人工智能技术，智能修复系统能够在故障发生前后，提供精准的诊断报告，协助运维人员迅速定位问题并进行有效修复。

5 结语

电力工程技术在智能电网建设中的应用，为电力系统的高效、稳定、智能化运行提供了重要支撑，通过先进的信息技术、自动化控制和数据分析，智能电网能够实现电力的实时监测、精确调度和高效管理，显著提升电力系统的自愈能力与灵活性。随着可再生能源的大规模接入，电力工程技术在应对能源波动性、提升系统可靠性及优化能源利用效率方面展现出巨大潜力。未来，随着相关技术的不断成熟与应用，智能电网将在推动能源转型、实现可持续发展目标中发挥更为重要的作用。

[参考文献]

[1]罗刚.电力工程技术在智能电网建设中的应用[J].自动化应用,2023,64(2):77-79.
[2]张恒.智能电网中的电力工程技术应用分析[J].电子元器件与信息技术,2021,5(9):227-228.
[3]杜博文,张士也,潘瑞辉.电力工程技术在智能电网建设中的应用研究[J].中国管理信息化,2020,23(24):160-161.

作者简介：施高峰（1995.3—），男，助理级，籍贯：浙江绍兴。

电力继电保护中的故障与对策分析

何碧红
大唐甘肃发电有限公司碧口水力发电厂，甘肃 陇南 746412

[摘要]在电力系统中，继电保护装置是通过故障检测与隔离，迅速消除潜在危害，防止故障蔓延，保障电力系统的正常运行。随着电力需求的增加，电网规模不断扩大，继电保护设备的技术要求也变得更加严格。在复杂的电力网络中，继电保护装置必须具备高度的选择性与灵敏性，以确保能够准确定位故障区域，减少误动作，最大限度地提高保护效能。电力系统的持续发展要求继电保护系统具有更高的响应速度和更强的故障识别能力，以适应多变的故障模式。本篇文章探讨继电保护装置在实际运行中可能面临的故障问题，并分析相应的故障处理技术，以确保电力系统在面对各种故障时能够高效应对。
[关键词]电力继电保护；故障；对策分析；灵敏性；选择性；人工神经网络
DOI：10.33142/hst.v7i11.14284　　中图分类号：TM77　　文献标识码：A

Analysis of Faults and Countermeasures in Power Relay Protection

HE Bihong
Bikou Hydropower Plant of Datang Gansu Power Generation Co., Ltd., Longnan, Gansu, 746412, China

Abstract: In the power system, relay protection devices quickly eliminate potential hazards, prevent the spread of faults, and ensure the normal operation of the power system through fault detection and isolation. With the increasing demand for electricity, the scale of the power grid continues to expand, and the technical requirements for relay protection equipment have become more stringent. In complex power networks, relay protection devices must have high selectivity and sensitivity to ensure accurate positioning of fault areas, reduce misoperation, and maximize protection efficiency. The continuous development of the power system requires relay protection systems to have higher response speed and stronger fault identification capabilities to adapt to changing fault modes. This article explores the possible fault problems that relay protection devices may face in practical operation, and analyzes the corresponding fault handling techniques to ensure that the power system can efficiently respond to various faults.
Keywords: power relay protection; faults; countermeasure analysis; sensitivity; selectivity; artificial neural network

引言

随着全球电力需求的不断上升，电力系统的规模日益扩展，电网结构的复杂度也日渐增加。在此背景下，继电保护技术的作用愈发显著。其任务是通过实时监控与快速响应，确保在发生故障时能够及时断开故障区域，防止故障蔓延，确保电网的稳定性。近年来，随着计算机技术、自动化技术及人工智能的快速发展，继电保护系统逐步向智能化方向发展。新一代智能继电保护系统通过优化算法，提高了故障检测与隔离的准确性，缩短了故障响应时间，极大地提高了电力系统的稳定性。然而，尽管智能化继电保护技术得到了显著的进步，但随着电力网络的不断变化，智能系统仍然面临着新的挑战。因此，如何将现代智能技术与传统继电保护技术相结合，以提升电力系统的保护能力，仍然是当前研究的重要方向。

1 电力系统继电保护的概念与作用

在电力系统的运行中，继电保护技术能够迅速识别故障位置并及时隔离故障区域，从而有效保障电网的安全和稳定。作为电力网络自动化保护体系中的核心组件，继电保护系统对电网运行参数进行实时监测。电压或电流一旦出现异常，便会自动触发响应，对故障区域进行隔离或控制，以确保系统的整体稳定性。电网安全运行的“第一道防线”即是由继电保护系统所承担的，在减少停电带来的经济损失、提升电网可靠性等方面发挥了重要的保护功能。

1.1 继电保护的基本内涵

继电保护技术持续监测电网的关键参数，通过实时采集电压、电流等数据，装置内的保护单元会对其进行快速分析，以判断是否符合设定的故障条件。当异常参数满足特定条件时，断路器即被激活，迅速切除故障区域，从而实现分区保护，防止系统性故障的扩散。继电保护的这一特性，使其能够在毫秒级时间内完成从故障识别到区域隔离的过程，从而保证其余区域的稳定供电。如今，这一技术已在发电厂、变电站及输电线路中广泛部署，显著提升了电网的整体可靠性与安全性。

1.2 继电保护所发挥的作用

不仅在故障隔离方面，继电保护系统还在电网设备的安全稳定运行中发挥了不可或缺的作用。故障区域的隔离是其首要功能，因而，继电保护系统能够将故障影响限制在最小范围之内，从而降低因故障导致的大规模停电风险。凭借高度的选择性与灵敏性，继电保护系统可以迅速定位故障设备并实施切断措施，而不影响正常区域的电力供应，

确保关键区域的稳定性得以保持。在设备安全方面，继电保护系统的作用尤为重要。特别是在短路故障中，继电保护装置可迅速切断过大的短路电流，保护变压器、发电机等重要设备免受损害，延长其使用寿命。随着智能电网技术的发展，继电保护正朝着智能化、精细化方向进步。通过人工神经网络和大数据分析的引入，继电保护技术如今可以更精确地识别复杂故障类型，并在多种运行状态下做出相应响应。

2 电力系统继电保护的故障问题

继电保护装置在电力系统中的作用不可或缺，然而，随着时间的推移，这些装置在长期使用过程中可能会出现一系列故障，这些故障不仅会影响设备的正常运行，还可能给电力系统的安全带来重大隐患。

2.1 继电保护开关故障

继电保护开关设备在电力系统中负责故障电路的隔离，开关设备在长时间的使用中会出现性能下降的情况，导致其发生不同类型的故障。开关失灵是较为常见的故障形式。当继电保护系统检测到故障信号时，如果开关未能及时有效地切断电路，故障便无法被迅速隔离，从而可能导致故障区域的扩大。进一步地，电力系统可能因此受到更大范围的影响，甚至可能波及到其他部分，威胁到整个电网的稳定性。此外，触点氧化问题也频繁出现在开关设备中。开关设备的触点在长期暴露于空气中，尤其是潮湿环境下，会产生氧化层，增加了触点的接触电阻。由于接触不良，开关设备可能无法响应继电保护装置的动作信号，进而延误故障隔离的时机。

2.2 微机继电保护故障

随着技术的发展，通过高速的数据处理及精确的信号采集，这些装置提高了电力系统保护的智能化水平。然而，微机继电保护装置在实际应用中并非完美无缺，常常会面临各种故障问题，进而影响其正常运行。硬件故障是其中一种常见问题[1]。若存储器、处理器或电源模块等关键部件发生损坏，保护装置的功能将无法正常执行，甚至可能导致系统完全失效，无法及时检测或隔离故障。另一方面，软件故障也是微机继电保护装置中的常见问题。逻辑错误、程序中的不当配置、软件版本不匹配等问题，会导致保护装置出现误判、拒动或误动作，严重时甚至可能无法对电力系统提供任何有效的保护。除此之外，通信故障同样是微机继电保护系统稳定性的一大隐患。尤其是在多个保护装置协同工作的情况下，若发生通信中断或信号延迟，设备间的协调会受到严重影响，无法按照预定的顺序进行故障检测和隔离，甚至会导致整个保护系统的反应延迟。

3 继电保护装置的要求

3.1 继电保护的选择性功能

选择性是继电保护装置的基本要求之一，其主要作用是确保在电力系统发生故障时，能够准确地定位故障位置，并及时隔离故障区域，从而避免故障蔓延并确保其他区域的正常运行。选择性功能通过分级保护策略得以实现，保证故障发生时，接近故障点的保护装置优先动作，而较远的保护装置则不会受到影响，确保系统的稳定性不受影响。为了实现选择性保护，继电保护装置的定值设定需精确并符合电网的实际运行情况。每个保护装置的动作时间和条件应合理配置，以实现对故障的有效隔离[2]。举例来说，在电网出现短路时，位于故障源附近的装置应当立即切除故障，而其他区域的装置应保持原有运行状态，避免系统因过度保护而停运。

3.2 继电保护要极强的灵敏性

在系统发生微弱异常时，保护装置必须能立刻作出反应，从而防止小故障进一步发展为重大事故。这种灵敏性不仅是继电保护成功的关键，还能显著提升电力系统的安全性。通过对细微故障的快速响应，能够尽早发现并隔离问题，避免其扩展。然而，灵敏性的提高必须与选择性的要求相平衡。过高的灵敏度可能导致对正常波动的过度反应，从而引发误操作。因此，合理配置灵敏度参数至关重要，只有在确保不干扰正常运行的前提下，才能实现系统对微小故障的有效响应，确保保护装置在实时故障中既能迅速反应，又不至于对电力系统的其他部分造成不必要的影响。

3.3 继电保护人工神经网络的运用

随着人工智能技术的不断发展，人工神经网络（ANN）已成为继电保护领域的重要应用之一。神经网络通过模拟人脑的工作原理，借助先进的学习算法，提高了对电力系统故障的诊断能力，使得继电保护装置能够更为准确地识别并响应各种复杂故障模式。通过对大量历史数据的学习，神经网络能够自主优化保护策略，提升故障识别的精度，实现智能化的继电保护。在继电保护系统中，人工神经网络的应用展现了显著优势，特别是在故障模式的识别方面。利用深度学习，神经网络能够精准识别电力系统中发生的各种故障，包括一些传统保护方法难以察觉的复杂故障类型。对于暂态故障等特殊情况，神经网络能够及时进行判断并作出适当响应，从而避免了传统保护装置因过度反应而产生的误动作。

4 电力系统继电保护的故障处理技术手段

继电保护装置在电力系统中承担着至关重要的作用，其主要功能是及时隔离故障并保护电力设备免受损坏。若继电保护装置发生故障，将可能导致整个系统的运行风险增加，甚至引发严重的电力事故。

4.1 电力继电保护替换维系

当继电保护装置出现故障时，替换维系方法是一种常见的解决途径，目的是保障电力系统的连续运行。通过替换损坏的设备或部件，系统能够迅速恢复保护功能，避免长时间的停机。故障设备的准确定位至关重要，只有在明确故障部件的位置后，才能够有效地进行替换。替换过程中，确保新设备的兼容性是关键，必须确认替换设备的技术参数与原设备相符，避免因不匹配而引发其他问题。替换过程中，除了对设备的技术规格进行严格核对，还要进

行充分的调试和测试。替换后的设备需通过系统的整体检测，确保其所有功能正常，能够在电力系统中发挥应有的作用。在替换操作时，时间的把控极为重要，应尽量缩短操作时间，以避免对电力系统造成影响[3]。若操作人员能够熟练掌握替换维系的流程，设备替换的效果会更为显著，能够确保系统在故障发生后迅速恢复到正常工作状态。

4.2 拆除维修法

拆除维修法作为一种常见的故障处理手段，通常适用于设备损坏较为严重，无法通过简单修复解决的情况。此方法通过拆卸损坏部分，进行修理或更换，从而排除故障，恢复系统的正常运行。在拆除维修时，操作人员需精准判断损坏部位，以避免对其他部件造成二次损伤。拆卸过程中，必须遵循操作规范，确保所有部件的拆卸过程安全、顺利。拆除维修法的一大优势在于其灵活性，通过及时的维修与更换，可以有效延长设备的使用寿命并提高其工作可靠性。拆卸维修还能够在设备未完全损坏时进行局部修复，避免因完全更换而产生的高成本。特别是对于继电器触点腐蚀、开关设备损坏等故障，拆除维修常常能够在不影响系统整体运行的情况下，顺利解决问题。拆卸维修的难度在于要求维修人员具备丰富的经验，且必须遵循严格的操作规范，确保维修质量，防止二次损坏。

4.3 负荷维修方法

带负荷维修技术可以在电力系统负荷运行时，对继电保护设备进行修复或维护，避免由于停机造成的系统中断。带负荷维修需要高度精确地操作，因为在负荷运行条件下进行维修，系统的稳定性可能受到影响。为了保证操作的安全，维修前需对当前负荷情况进行全面评估，确保负荷处于可控范围内，以降低维修过程中对系统带来的不良影响。带负荷维修方法的优点在于它可以在不影响电力供应的情况下完成设备修复，最大限度地减少系统停机时间。这种方法特别适用于一些紧急故障处理场景，能够快速恢复系统的正常运行。然而，带负荷维修要求操作人员具备高度的技能和丰富的经验，因为在负荷下操作时稍有不慎就可能对电力系统造成严重影响。因此，必须使用专门的维修工具与技术，确保维修工作的精确性。在操作过程中，监控系统运行状况至关重要，一旦发生异常情况，操作人员应立即采取紧急措施。

4.4 日常检验与定期检验相结合

日常检验与定期检修相结合的维护方式，能够有效保证继电保护装置的长期可靠运行。日常检验通常侧重于设备外观、接线状态以及功能部件的检查，旨在及时发现可能导致故障的初步问题。通过日常检查，操作人员可以及时发现设备外部的损坏、松动或接触不良等问题，避免这些小故障逐渐扩展成较大的安全隐患。定期检修则更加侧重于设备的内部性能，特别是对继电保护装置的电气性能、响应时间等关键指标进行深入检查。通过定期检查，能够对设备的长期运行状态进行评估，及时发现潜在的故障风险[4]。两者结合的维护方式，为继电保护设备提供了全方位的保障。日常检验及时发现问题并进行小范围修复，定期检修则确保设备的整体性能和长期稳定性。

4.5 重视电网继电保护设备监管

对继电保护设备进行严格的监管，是保障电力系统安全运行的必要措施。监管的目的是确保继电保护设备在使用过程中维持良好的工作状态，及早发现潜在问题，避免因设备故障导致电力系统事故。电力系统的继电保护设备监管不仅仅局限于设备的技术性能监控，还应涵盖对操作流程、维修质量、设备调试等方面的监督，确保设备按照规范要求进行维护和操作。监管工作需要定期检查继电保护设备的工作状态，并通过数据记录和分析，及时发现设备可能出现的异常。通过科学的管理和监控手段，可以有效预防故障的发生，提高设备的运行可靠性。监管过程中，除了对设备性能的检查外，还应关注操作人员的培训和管理，确保他们熟练掌握设备的工作原理与操作规范。加强对继电保护设备的监管，可以为系统提供更强大的保障，使其能够高效稳定地运行。

5 结语

随着电力系统规模的扩大与网络结构的复杂化，对继电保护装置的要求也不断提升。继电保护装置不仅要具备快速、准确的故障识别与隔离功能，还需要具备更强的灵敏性与选择性，以应对多变的电力网络环境。现代智能继电保护技术的引入，凭借其优化的算法与技术手段，提高了故障响应的准确性与效率，极大增强了电力系统的安全性与稳定性。尽管智能化技术能够有效提升继电保护系统的性能，但设备的故障处理问题依然不容忽视。对继电保护装置进行严格的维护与管理，确保其在长时间运行中依然保持高效稳定的状态，是确保电力系统安全的重要保障。结合日常检测与定期检修的维护策略，将为继电保护设备的稳定性提供强有力的支持。未来，电力行业应不断推进继电保护技术的创新，进一步提升系统的故障处理能力与应对能力，以满足日益复杂的电力网络需求，推动电力系统的持续健康发展。

[参考文献]

[1]柳彬.电力继电保护自动化系统的故障诊断策略研究[Z]中国电力设备管理协会.全国绿色数智电力设备技术创新成果展示会论文集(三).国网宁夏电力有限公司石嘴山供电公司;2024:3.
[2]时露露,赵开喜,李之煜.电力系统继电保护装置常见故障分析与处理[J].光源与照明,2024(5):84-86.
[3]李士洲,陶英健.电力继电保护中的故障与对策分析[J].集成电路应用,2024,41(8):162-163.
[4]赵祥旭.电力系统中继电保护故障分析及处理方法研究[J].电力设备管理,2024(18):65-67.

作者简介：何碧红（1974.10—），女，毕业院校：西北电业职工大学，所学专业：电力系统及其自动化，当前就职单位：大唐甘肃发电有限公司碧口水力发电厂，职务：生产技术部电气二次专工，职称级别：中级。

变电站停电检修对供电可靠性的影响研究

李炎霞
国网河南省电力公司新密市供电公司，河南 新密 452370

[摘要]变电站停电检修是电力系统运行中的常见维护措施，但对供电可靠性产生直接影响。停电检修过程中，可能出现供电中断、设备故障或调度失误等问题，影响电力供应的稳定性。研究表明，合理规划停电检修时间、优化检修方案、提高应急响应能力，有助于减少停电对供电可靠性的负面影响。同时，采用智能化监控与诊断系统能够实现实时监测与快速故障排查，提升供电系统的整体运行效率与稳定性。

[关键词]变电站停电；检修；供电可靠性；设备故障；智能化监控
DOI：10.33142/hst.v7i11.14281　　中图分类号：TM72　　文献标识码：A

Research on the Impact of Substation Power Outage Maintenance on Power Supply Reliability

LI Yanxia
Xinmi City Power Supply Company of State Grid He’nan Electric Power Company, Xinmi, He’nan, 452370, China

Abstract: Power outage maintenance of substations is a common maintenance measure in the operation of power systems, but it directly affects the reliability of power supply. During power outage maintenance, there may be issues such as power interruption, equipment failure, or scheduling errors, which can affect the stability of power supply. Research has shown that reasonable planning of power outage maintenance time, optimization of maintenance plans, and improvement of emergency response capabilities can help reduce the negative impact of power outages on power supply reliability. At the same time, the adoption of intelligent monitoring and diagnostic systems can achieve real-time monitoring and rapid troubleshooting, improving the overall operational efficiency and stability of the power supply system.

Keywords: substation power outage; maintenance; power supply reliability; equipment malfunction; intelligent monitoring

引言

随着电力需求的不断增长，变电站在保障电力供应中发挥着至关重要的作用。然而，变电站的停电检修不可避免地对供电可靠性产生一定影响。尽管停电检修是确保设备正常运行和提高系统稳定性的必要措施，但在检修过程中，如何减少对供电的干扰，最大限度保障电力供应的连续性和安全性，仍是电力行业亟待解决的难题。通过科学合理的停电检修规划与技术手段的不断创新，能够有效提升供电可靠性，并为电力系统的长期稳定运行奠定坚实基础。

1 变电站停电检修对供电可靠性的影响机制

变电站停电检修是电力系统运行中的常见而必要的工作，旨在确保设备的长期稳定性与安全性。然而，这一过程不可避免地对供电可靠性产生一定影响，尤其是在电力需求持续增长的背景下。停电检修过程中，供电的中断和不稳定因素往往导致部分区域的电力供应受到干扰，特别是在没有有效应急响应的情况下，可能会对用户造成较大影响。影响机制主要体现在供电中断、负荷调度、设备故障等多个方面，这些因素的交互作用会直接影响整个电力系统的稳定运行。

变电站的停电检修往往会导致某些区域或线路的电力供应中断，这种中断如果未能在短时间内得到有效恢复，可能引发供电缺口。尤其是在检修过程中，若无法准确预测设备恢复时间，或是调度安排不当，可能导致电网出现负荷不平衡，进而影响到大范围的供电安全。负荷的突然变化，特别是高峰时段的负荷调度问题，会加剧供电系统的压力。对于依赖稳定电力供应的工业、商业等重要用户，电力中断可能导致生产停滞、设备损坏等严重后果，从而影响到社会经济活动的正常运转。

设备故障的发生频率在停电检修期间也可能增加。变电站在停电检修过程中，部分设备停用或更换，可能由于操作不当或设备老化等因素，导致设备出现故障。这种故障不仅会延长停电时间，还可能引发更多的电力系统问题，造成更广泛的供电问题。特别是对于老旧变电站而言，设备检修的难度和不确定性较大，增加了系统恢复的难度。同时，变电站停电检修过程中，检修人员的工作强度和环境压力也增加，这些因素会直接影响到检修工作的效率和质量，进而影响到电力供应的恢复速度。

尽管停电检修对供电可靠性的影响是客观存在的，但通过合理的检修方案与应急响应措施，可以大幅度降低其负面效应。科学规划停电检修的时间窗口、优化检修方案、引入智能化监控技术，可以有效提升检修过程中的信息反馈与决策能力。智能化监控技术能够实时监测变电站的设备运行状态，提前识别潜在的故障隐患，确保停电检修过程中的安全与高效。同时，建立完善的应急响应机制，提

前准备备用电源、调度资源和故障恢复方案，也能够确保在突发情况下及时恢复供电，减少停电对用户和电力系统的影响。通过这些综合措施，变电站停电检修的影响机制能够得到有效控制，从而提高供电系统的整体可靠性和稳定性。

2 停电检修过程中供电中断的主要原因分析

在变电站的停电检修过程中，供电中断是最常见且直接影响供电可靠性的因素。造成供电中断的主要原因通常包括检修计划不当、设备故障，以及调度管理失误等方面。首先检修计划的安排如果未能充分考虑到电网负荷的变化、季节性用电需求或特殊天气因素，可能导致停电时间过长或停电范围过广。尤其是在高峰用电时段，如果检修工作未能与电力调度系统充分对接，未能采取合理的负荷转移或调整措施，就可能导致某些区域发生严重的供电中断。

设备故障也是造成停电检修期间供电中断的一个重要因素。在变电站停电检修过程中，设备的逐一停用和更换是常见的操作，这个过程中设备的老化、维修质量，以及操作人员的失误等都会增加故障发生的风险。尤其是在老旧设备的检修中，可能因设备运行时间长、磨损严重而导致更加频繁的故障发生。这些故障往往需要额外的时间来排查和修复，从而加大了停电恢复的难度。同时，检修过程中未及时发现的小故障或隐患，可能在恢复供电后爆发成大问题，引发更加广泛的供电中断。

调度管理失误也是导致供电中断的重要原因之一。在停电检修过程中，电力调度部门通常会根据设备检修时间、负荷需求等因素制定负荷调整方案。然而，如果调度计划未能充分预见停电检修对供电系统的影响，或未及时进行有效的负荷转移，就可能导致供电缺口，进而引发大范围的停电。例如，某些地区的电力需求可能在停电检修期间突然增加，而如果调度方案没有灵活调整备用电源或临时线路，就可能发生供电不足或断电现象。此外，调度信息的不透明和沟通不到位，也可能导致相关部门在关键时刻没有得到及时的停电检修信息，从而加剧供电中断的影响。

综上所述，变电站停电检修期间的供电中断通常是多方面原因综合作用的结果。为了有效降低停电对供电可靠性的影响，电力系统需优化检修计划、加强设备维护、并完善调度管理制度。通过提前制定科学合理的检修方案、加强设备巡检和维修质量控制、提升调度灵活性和应急响应能力，可以有效减少停电检修期间的供电中断问题，从而确保电力系统的平稳运行。

3 提升供电可靠性的检修方案优化策略

提升供电可靠性的检修方案优化策略，首先要从停电检修的整体规划和时间安排入手，科学合理地调配资源，避免检修工作对供电的影响最大化。检修计划应充分考虑到不同季节、不同时段的电力需求变化，尤其是高峰用电时段和特殊节假日的需求。为了提高供电系统的可靠性，应在计划阶段就深入分析电网负荷的波动情况，优先考虑将重要负荷区域的检修时间避开高峰时段。在停电检修过程中，应采取灵活的负荷调整措施，借助备用电源和临时供电线路，将检修区域外的负荷合理调配，减少供电中断的范围和时间，确保关键区域的电力供应不受影响。此外，应加强检修前的风险评估，识别潜在的系统薄弱环节和设备故障风险，为检修方案的优化提供数据支持。

设备的优化和技术更新是提升供电可靠性的另一关键因素。变电站停电检修期间，设备故障是导致供电中断的常见原因之一。为此，应重点关注设备的预防性维护，定期进行设备检查和故障预测，尽可能地减少故障发生的概率。特别是对于老旧设备的检修，应提前进行详细的评估和替换计划，避免因设备老化引发的系统故障。除了定期维护外，技术的革新和智能化监控系统的引入也能够大大提高检修的效率和精度。通过安装在线监测设备和智能化故障诊断系统，实时监控设备状态，可以在问题发生之前采取干预措施，防止小故障引发大问题，缩短检修时间，提升供电系统的可靠性和稳定性。

完善的应急响应机制和高效的调度管理是确保停电检修期间供电可靠性的保障。尽管通过优化检修计划和技术手段能够最大限度减少供电中断的时间和范围，但在实际操作中难免会出现突发的设备故障或异常情况。因此，电力调度部门需要建立健全的应急响应机制，制定详尽的应急预案。在停电检修期间，一旦发生供电中断或设备故障，应及时启动应急响应，快速调动备用电源，协调各方资源，确保快速恢复供电。此外，电力调度员和检修人员之间的沟通与协作也至关重要，应建立有效的信息传递平台，确保各环节能够协调配合，快速响应检修过程中出现的任何突发问题，最大限度地减少停电对供电可靠性的影响。通过多方协同作战，可以确保检修过程的顺利进行，并有效提高供电系统的整体稳定性和安全性。

4 智能化监控技术在变电站检修中的应用与优势

智能化监控技术在变电站检修中的应用，能够显著提升检修效率和供电可靠性。传统的检修方式通常依赖人工巡检和定期检查，存在一定的滞后性和不确定性，难以提前发现潜在故障。而智能化监控系统通过实时数据采集、分析和诊断，能够精确监控变电站设备的运行状态，及时发现设备的异常变化和隐患，提前预警潜在故障。这种技术的应用，不仅提高了检修的准确性，还能在设备出现异常时及时做出响应，减少因设备故障导致的停电风险。通过智能化监控系统，检修人员能够更快速地定位问题源头，减少了现场排查时间，从而缩短了检修周期。

智能化监控技术的一个重要优势是它能够实现远程监控与自动化控制。通过部署传感器和数据采集设备，实时监控设备的运行参数，如温度、电压、振动等指标，所有数据都会传输到中央控制系统。这种实时监控能力，使

得运维人员能够在远程终端上查看设备状态，无需频繁前往现场巡检，从而提高了工作效率。同时，智能化系统还可以根据实时数据自动调整设备的运行参数，或者在异常情况下启动自动保护措施，避免了因人为操作失误而引发的安全问题，确保了检修过程中电力供应的稳定性。

智能化监控系统还能为变电站检修提供数据支持和决策依据。通过对历史数据的积累和分析，智能化系统能够识别设备的运行规律，预测设备的剩余使用寿命和潜在故障风险。这些信息对于制定检修计划和优化检修方案至关重要。例如，基于设备的健康状况和运行数据，系统可以预测下一次故障的发生时间，从而提前安排检修，避免了突发性故障对电网的影响。因此，智能化监控技术不仅能够提高变电站的检修效率和安全性，还能够通过数据分析和智能决策，优化整体检修策略，提升供电系统的可靠性、稳定性和应急响应能力。

5 变电站停电检修的应急响应与风险管理方法

在变电站停电检修过程中，科学有效的应急响应和风险管理方法对于保障供电可靠性至关重要。由于停电检修常常不可避免地带来供电中断的风险，因此必须提前建立起完善的应急响应机制，以应对可能出现的突发事件。应急响应的关键在于及时、准确地评估停电范围和影响，快速调动备用电源和应急设备。在发生设备故障或计划外停电时，相关部门需要立即启动应急预案，通过电力调度系统迅速进行负荷转移，并合理调度周边电网资源，以尽量减少供电中断的时间和范围。此外，建立多层次的通信协调机制，确保各相关部门之间的信息畅通，避免因信息传递不及时导致响应延误，从而提高应急处理的效率和效果。

风险管理方法在停电检修中的应用则主要体现在对潜在风险的识别、评估和控制上。变电站检修期间，存在各种操作风险，包括设备故障、操作失误、极端天气等因素可能引发的安全隐患。因此，风险评估是停电检修前的重要环节。通过细致的风险识别和评估，能够明确哪些环节存在较高的风险，哪些设备可能成为潜在的故障点，从而为制定有效的检修计划和应急响应方案提供数据支持。在评估过程中，电力公司需要结合历史检修数据、设备运行状态和外部环境因素，综合考虑风险发生的可能性和潜在的影响程度，优先采取预防性措施，减少可能的损失。

为了进一步增强停电检修期间的风险管控能力，变电站还应加强检修人员的培训和应急演练。检修人员应熟悉应急预案和应急操作流程，能够在实际故障发生时迅速做出反应，避免因操作失误导致更严重的后果。此外，定期的应急演练可以提高人员的应急反应速度和处理能力，帮助其在突发事件发生时更加沉着应对，确保检修工作安全顺利进行，并有效缩短停电恢复时间。通过建立科学的应急响应机制和全面的风险管理体系，可以在停电检修过程中最大限度地降低停电对供电可靠性造成的负面影响，确保电力系统的稳定运行，减少对社会经济和用户生活的干扰。

6 结束语

变电站停电检修对供电可靠性影响深远，合理的应急响应与风险管理方法是确保供电系统稳定运行的关键。通过优化检修计划、引入智能化监控技术、加强应急管理与风险评估，可以有效减少停电检修对电力供应的负面影响，提高检修工作的效率和安全性。随着技术的不断进步和管理经验的积累，未来的停电检修将更加精准、快速，供电可靠性也将得到进一步保障，为电力系统的稳定运行奠定坚实基础。

[参考文献]

[1]刘伟松.变电站供电可靠性研究[J].中国新技术新产品,2013(14):115-116.
[2]刘志涛.提高变电站运行可靠性的分析[J].民营科技,2016(12):32.
[3]袁吴洁.变电站停电检修情况下配网方式安排策略研究[J].低碳世界,2021,11(3):86-87.
[4]袁吴洁.变电站停电检修情况下配网方式安排策略研究[J].低碳世界,2021,11(3):86-87.
[5]郁景礼,郭修杰,张峰,等.220 kV 变电站单一供电通道停电检修时运行方式优化、操作步骤分析及风险应对[J].电工技术,2022(22):213-216.

作者简介：李炎霞（1985.12—），女，河南省新密市人，汉族，本科学历，中级电力工程师，就职于国网河南省电力公司新密市供电公司，从事变电运维专业工作。

智能断路器在农村低压配网中的应用与维护措施

孙 飒
国网石家庄供电公司，河北 石家庄 050000

[摘要]长期以来，农村低压配电网依赖人工巡检与手动操作，智能化水平较低，这导致了电网管理滞后供电稳定性不足。随着用电需求的持续增长与电力设备的老化，传统配电网已无法应对日益复杂的电力需求。为此，智能化改造被视为提升电网效率与可靠性的关键举措。作为智能电网的重要组成部分，智能断路器凭借高效的故障诊断、隔离以及远程监控与管理功能，显著减少了电力故障带来的损失，增强了电网的自愈能力。与此同时，智能电表等智能设备的协同作用，使智能配网能够实时监控电力负荷，优化电网的运行进而有效减少能源浪费。随着智能电网技术的不断发展与成熟，智能断路器在农村低压配网中的应用，逐步得到了广泛关注与实践探索。

[关键词]智能断路器；低压配网；维护措施
DOI：10.33142/hst.v7i11.14278　　中图分类号：TM561　　文献标识码：A

Application and Maintenance Measures of Intelligent Circuit Breakers in Rural Low-voltage Distribution Networks

SUN Sa
State Grid Shijiazhuang Power Supply Company, Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: For a long time, rural low-voltage distribution networks have relied on manual inspection and operation, with a low level of intelligence, which has led to lagging power grid management and insufficient power supply stability. With the continuous growth of electricity demand and the aging of power equipment, traditional distribution networks are no longer able to cope with the increasingly complex electricity demand. Therefore, intelligent transformation is regarded as a key measure to improve the efficiency and reliability of the power grid. As an important component of the smart grid, smart circuit breakers significantly reduce the losses caused by power failures and enhance the self-healing ability of the grid through efficient fault diagnosis, isolation, remote monitoring, and management functions. At the same time, the collaborative effect of smart devices such as smart meters enables smart distribution networks to monitor power loads in real time, optimize the operation of the power grid, and effectively reduce energy waste. With the continuous development and maturity of smart grid technology, the application of smart circuit breakers in rural low-voltage distribution networks has gradually received widespread attention and practical exploration.

Keywords: intelligent circuit breaker; low-voltage distribution network; maintenance measures

引言

随着农村经济的迅速发展与居民生活水平的不断提高，电力需求不断上升，推动了农村电网建设与升级，成为促进区域经济发展的关键基础设施之一。传统的农村低压配电网在供电可靠性、故障响应速度以及管理效率等方面，存在诸多不足，亟须得到提升。智能化技术的引入，已成为提高电网运行质量的有效途径。作为电网智能化改造的重要组成部分，智能断路器凭借其实时监控、故障检测与隔离等功能，逐渐成为农村低压配电网的核心设备。通过智能断路器的应用，不仅能够显著提高电力系统的供电可靠性，还能够实现对电网的精确管理与灵活调控。

1 智能断路器的工作原理

智能断路器是一种集成了数字化、通信及控制功能的先进设备，基于传统断路器的基本工作原理引入智能技术，故障检测、隔离、远程控制以及数据管理能力得到了显著增强，通过内置传感器，电流、电压、频率等关键运行参数的实时监测得以实现。当电流异常或短路故障发生时，智能断路器能够迅速作出反应自动切断电路，从而有效防止故障的蔓延，确保电网的稳定与安全，智能断路器还具备自诊断功能，能够通过分析设备运行数据评估其健康状态，甚至在故障发生之前预测潜在的风险。通过通信接口信息得以在智能断路器与上级调度系统或远程监控平台之间交换，进而实现对电网的远程控制与管理。操作人员能够实时掌握电网的运行状态，显著提高了系统的响应速度与运维效率。

2 农村低压配电网中应用智能断路器的作用

2.1 快速故障检测与隔离

在农村低压配电网中，智能断路器的快速故障检测与隔离功能至关重要。传统配电网在发生故障时，通常依赖人工巡检并需要较长时间才能恢复，导致停电时间过长，进而影响用户的正常用电。而通过实时监测电网的运行参数，智能断路器能够在毫秒级别内检测到电流、电压等异

常波动。当短路或过载等故障发生时，故障区域将被迅速切断，避免了故障的蔓延，减少了对其他区域的影响。内置传感器与智能算法的结合，使故障发生位置得以精确定位，从而实现了故障的快速隔离。借助这一功能，智能断路器不仅能够提高电网对故障的响应速度，还能有效避免对设备的长期损害，降低了故障修复成本。如此高效且精准的响应，不仅显著提高了配电网的安全性，还极大缩短了停电时间，从而提升了供电的可靠性。

2.2 远程监控与管理

智能断路器在农村低压配电网中的远程监控与管理功能，极大提升了电网运维的效率与可靠性。传统配电网的维护通常依赖现场巡检，故障排查与修复往往需要耗费大量的时间与人力，而借助内置通信模块，智能断路器能够将电网的实时运行数据通过无线网络传输至远程监控平台，调度中心或运维人员可以随时查看相关信息，无论是电流、电压波动，还是设备的健康状态，相关数据均可在监控系统上直观展示，从而便于及时进行分析与判断。若发现异常，运维人员便可通过远程操作对断路器进行控制，如远程断电或恢复供电，这极大减少了人工巡检及现场处理的时间，提升了应急响应速度。此外，智能断路器还具备自动生成运行报告与故障诊断报告的功能，支持数据存储与历史追溯，为电网的管理与决策提供了重要参考，确保了电力供应的持续性与稳定性。

2.3 提升电网的安全性与可靠性

智能断路器在提升电网安全性与可靠性方面，发挥着至关重要的作用，通过精准的故障检测与迅速的响应，智能断路器能够有效减少故障蔓延的风险。发生短路、过载或电流异常时，电路会迅速被切断，从而防止问题扩展到其他区域，避免大规模停电或设备损坏。同时，具备自诊断功能的智能断路器，能够实时监控电网的各项参数，通过对历史数据的分析预测潜在的故障隐患，并提前发出预警。此类提前识别与应对的能力，为运维人员争取了宝贵的反应时间，减少了突发事件的发生，智能断路器还支持远程控制与数据实时监测，确保运维人员能够随时进行调整与干预迅速解决问题。

2.4 智能化负荷管理与优化

智能化负荷管理与优化作为智能断路器在农村低压配电网中的关键功能之一具有重要作用，通过实时监控与分析电网负荷，智能断路器能够动态调整负荷分配，确保电力供应的平衡与稳定。负荷接近过载时，断路器能够自动识别这一风险并采取适当措施，例如调整负荷分配，或在必要时切断部分负载，从而有效减轻电力系统的压力避免故障发生。同时，智能断路器通过对数据的深度分析，能够预测不同时间段的用电需求，并据此优化电网的供电策略减少能源浪费。在负荷波动较大的情况下，例如农田灌溉或家庭用电，智能负荷管理能够平衡各负载的使用，避免供电不稳定或在高峰期发生过载问题。

3 智能断路器的维护措施

3.1 定期检查与监控

定期检查与监控是确保智能断路器稳定运行的关键措施。尽管智能断路器具备自诊断功能及远程监控能力，人工检查依然必不可少，以确保各项功能的正常运作。检查内容应涵盖断路器内部电路、传感器、通信模块及电气连接等部件，重点检测潜在的磨损、腐蚀、接触不良等问题，监控系统应持续跟踪断路器的运行状况，记录故障信息、电流波动、电压稳定性等关键指标，从而为运维人员提供准确的设备状态评估。通过数据分析与现场检查的结合，异常设备能够及时被发现，避免因故障积累而引发更大损失。定期检查还应包括对软件与固件的更新，以确保智能断路器的算法与安全性得到持续优化，从而进一步提升设备的可靠性与运行效率。

3.2 故障诊断与修复

智能断路器的故障诊断与修复是确保电网持续稳定运行的核心环节。故障发生时，智能断路器会自动记录相关数据并生成故障报告，帮助运维人员迅速定位问题。依赖于断路器内置的诊断功能，系统能够通过实时监控电气参数（如电流、电压、频率等）分析并识别故障类型，例如短路、过载或设备故障。一旦故障源确认后运维人员可通过远程平台或现场操作进行修复，修复操作可能包括更换损坏的元件、修复接触不良的电路连接，或重新启动系统等。完成修复后，智能断路器将自动进行自检确认修复效果，并恢复至正常工作状态。

3.3 软件升级与数据备份

智能断路器的稳定运行离不开软件的持续优化与升级。随着技术的进步，新的功能、算法以及安全补丁的不断发布，定期进行软件升级变得至关重要。通过升级不仅能够提升设备的整体性能，还能增强故障诊断能力，优化负荷管理功能，进一步提高与其他系统的兼容性。软件升级通常由远程控制平台完成，运维人员无需到现场操作即可完成升级过程，从而显著提高工作效率。与此同时，数据备份在升级过程中也占据着不可或缺的位置，智能断路器的历史运行数据、故障记录及配置信息等必须定期进行备份，以防在软件更新或故障恢复期间出现数据丢失。定期备份的实施确保了设备能够顺利恢复并且通过数据追溯，任何异常操作后产生的问题均可被精确定位。

3.4 智能断路器的生命周期管理

智能断路器的生命周期管理是确保长期稳定运行的核心保障，从采购、安装到使用直至最终淘汰都应进行精细化管理。在设备选型与安装阶段，运维人员需根据电网的具体需求与断路器的技术参数，选定最为适宜的型号。安装完成后，智能断路器便进入运行阶段，设备的健康状况通过持续的数据监控与分析得以实时跟踪。基于这些运

行数据，运维人员能够及时进行必要的维护与修复，从而有效延长设备的使用寿命。定期检查、故障诊断、软件升级以及数据备份等管理措施，对于保障设备的长期稳定性至关重要[1]。生命周期管理还包括设备的退役与替换规划，在智能断路器接近使用寿命末期时必须提前进行评估，防设备老化带来故障或停运的风险，从而保障电网的安全运行。

4 智能断路器在农村低压配网中的实施策略

4.1 智能断路器的选型与配置

智能断路器的选型与配置在农村低压配电网的有效应用中起着至关重要的作用，合适的智能断路器必须充分考虑电网的负荷特性及运行环境。在农村低压配网中，常常存在较大的负荷波动且设备运行环境复杂，可能面临严峻的温差、湿度和粉尘等挑战。基于这些因素断路器的防护等级、耐温性以及抗干扰能力应与当地的环境条件相匹配，方能确保设备在极端环境下的正常运作。在额定电流与断开能力方面，智能断路器必须与配电网的实际负荷相适应，不仅应能够承受常规的工作负载，还应具备足够的短路保护能力，确保电网在发生故障时能够迅速切断电源，从而避免故障进一步蔓延至其他区域。在配置上，智能断路器需具备支持远程通信的功能，以便与其他智能设备，如智能电表、监控系统等进行数据共享与实时监控，进而实现电网的智能化协同管理。考虑到农村地区可能面临网络信号不稳定或较弱的情况，智能断路器的通信模块应支持多种接入方式，如 GPRS、LoRa 或 Zigbee 等，这样即便在偏远区域，通信稳定性也能得到保障。

4.2 配网设施的智能化改造

农村低压配网的智能化改造是提升电网效率与可靠性的关键举措，该过程要求对现有的传统配电设施进行全面评估与逐步升级，将智能技术渗透至配电网的各个环节，如智能断路器、智能电表及自动化开关，将逐步替代传统的人工操作，推动配电网向自动化监控、远程控制及故障诊断等方向发展。通过这一转型配电网的自愈能力得以提升，在发生故障时能够迅速检测、定位并隔离故障区域，从而缩短停电时间降低停电范围[2]。此外，智能化改造还能有效优化电网的负荷管理合理调度电能，避免过载现象的发生。智能化改造同样要求配套的通信网络得到加强，确保各智能设备之间能够高效实时地传输数据。鉴于农村地区的网络覆盖通常较弱，智能设备的通信方式需根据实际情况灵活选择。例如，LoRa 或 4G 等技术可被采用，确保通信信号稳定传输。此外，这一过程还需考虑电网的长远发展，逐步构建智能电网平台，推动设备的互联互通与数据共享，为未来的电力调度、能源管理及新能源接入奠定坚实基础。

4.3 与智能电表的协同应用

智能断路器与智能电表的协同应用在提升农村低压配网智能化水平中发挥着至关重要的作用。智能电表能够实时采集用户的用电数据，并通过网络将这些数据上传，为电力公司提供准确的电量统计与负荷分析。而智能断路器则承担着电网中的保护与控制职责，能够迅速隔离故障并调节电流负荷，两者的紧密协作显著提高了电网的管理效率与安全性。具体而言，智能电表在检测到用户用电异常时，通过与智能断路器的联动机制，电流能够及时被切断，避免因过载或短路引发更大范围的电力故障。同时，智能电表的远程通信功能使电力公司能够实时获取电网运行数据，从而实现远程监控与设备管理，减少了人工巡检需求，并加快了故障响应速度，通过两者之间的数据共享，电力公司能更加精准地掌握电网的负荷状况，进而进行负荷预测与优化调度，从而提升电网的运行效率与经济性。智能电表与智能断路器的协同应用不仅增强了电力供应的稳定性与可靠性，还为用户提供了更加智能化的用电体验，如智能计费与用电分析等服务，从而推动了智能电网的进一步发展。

5 结语

智能断路器在农村低压配网中的应用，不仅体现了技术的进步更是提升电网管理效率与安全性的关键所在。借助其故障检测与隔离、远程监控与管理等功能，电网的可靠性与自愈能力得到了显著增强，故障停电时间得以缩短，负荷管理也得到了有效优化[3]。此外，与智能电表的协同应用使智能配网能够实现实时数据采集、负荷预测与智能调度，从而进一步提高电力资源的利用效率。随着技术的持续发展与完善，智能断路器在农村低压配网中的应用前景将愈加广阔。通过科学的实施策略与有效的维护管理，智能断路器不仅将在农村电网的现代化建设中提供坚实的支撑，还将大大推动农村地区电力供应的安全性、稳定性与高效性。

[参考文献]

[1]李罗斌,江玉坤,司莺歌,等.智能断路器在农村低压配网中的应用与维护措施[J].科技与创新,2023(21):173-175.
[2]田乐.低压线路自动化监测终端技术研究与应用[J].广东省,广东佛电电器有限公司,2021(5):20-21.
[3]胡一帆,范伟松,斯荣,等.基于智能开关的配网电能质量监测及其分布式治理技术研究[J].电工材料,2021(2):16-18.

作者简介：孙飒（1994.3—），毕业院校：华北电力大学，所学专业：电气工程及其自动化，当前就职单位：国网石家庄供电公司，职务：职工，职称级别：工程师。

PLC 技术在电气工程及其自动化控制系统中的应用

解晓敏
安钢集团永通球墨铸铁管公司，河南 安阳 455000

[摘要]随着现代工业的发展，电气工程及自动化控制系统对生产效率、质量以及安全性的要求越来越高。PLC（可编程逻辑控制器）作为一种重要的工业自动化控制设备，其高效、灵活和可靠的特点使其在电气工程中得到了广泛应用。电气工程领域引入 PLC 技术，对自动化控制系统进行革新，显著提升了生产流程的自动化水平，同时大幅削减了能源消耗和运营费用，进而显著提升了生产的安全系数与系统稳定性。电气工程领域对 PLC 技术原理进行了深入剖析，并详述了其在生产线自动化、设备监控、故障诊断等领域的具体应用案例。在当前控制系统领域中，PLC 的应用效果备受关注，而结合 PLC 技术的最新进展。文中提出了一系列旨在优化其应用的建议，本篇论文力图构筑 PLC 技术在电气工程领域应用的坚实理论基础与实践指南，旨在推动电气自动化技术的持续进步。

[关键词]PLC 技术；自动化控制系统；电气工程
DOI：10.33142/hst.v7i11.14290　　中图分类号：TM76　　文献标识码：A

Application of PLC Technology in Electrical Engineering and Its Automation Control System

XIE Xiaomin
Angang Group Yongtong Ductile Cast Iron Pipe Co., Ltd, Anyang, He’nan, 455000, China

Abstract: With the development of modern industry, electrical engineering and automation control systems have increasingly high requirements for production efficiency, quality, and safety. As an important industrial automation control equipment, PLC (Programmable Logic Controller) has been widely used in electrical engineering due to its high efficiency, flexibility, and reliability. The introduction of PLC technology in the field of electrical engineering has revolutionized the automation control system, significantly improving the automation level of the production process, while significantly reducing energy consumption and operating costs, thereby significantly enhancing the safety factor and system stability of production. The electrical engineering field has conducted an in-depth analysis of the principles of PLC technology and detailed its specific application cases in production line automation, equipment monitoring, fault diagnosis, and other fields. In the current field of control systems, the application effect of PLC has attracted much attention, combined with the latest developments in PLC technology. The article proposes a series of suggestions aimed at optimizing its application. This paper aims to build a solid theoretical foundation and practical guide for the application of PLC technology in the field of electrical engineering, with the aim of promoting the continuous progress of electrical automation technology.

Keywords: PLC technology; automated control system; electrical engineering

引言

PLC 技术自 20 世纪 60 年代诞生以来，已经成为工业自动化领域的重要组成部分。与传统的继电器控制系统相比，PLC 具有更高的可靠性、灵活性和可编程性，能够通过编程实现复杂的控制逻辑和自动化功能，因此广泛应用于电气工程及其自动化控制系统中。工业生产对智能化与信息化需求的持续攀升，使得可编程逻辑控制器技术（PLC）的应用领域不断拓展，不仅涉足生产线自动化控制，还延伸至设备状态监控及故障诊断等多个层面[1]。实现远程操控、实时监控及自动化作业的 PLC 技术，在各工业场景中依据特定需求得以灵活运用，显著提升了生产效能并减少了人为错误概率。

1 PLC 技术概述

PLC（可编程逻辑控制器）是一种用于自动化控制的工业设备，最早由美国通用汽车公司在 20 世纪 60 年代为替代传统继电器控制系统而研发。PLC 的出现，标志着工业控制技术的一次革命，使得复杂的控制任务得以通过编程方式完成，极大提高了生产过程的自动化程度和控制系统的灵活性。与传统的继电器控制系统相比，PLC 具有更高的可靠性、灵活性和可扩展性，能够适应不同工业领域的控制需求。PLC 的工作原理基于数字计算和逻辑判断，用户通过编程语言设定控制逻辑，PLC 按照程序对输入信号进行分析、处理后，通过输出信号来控制设备的动作。其核心组成包括 CPU（中央处理单元）、输入/输出模块、编程器和电源模块等。CPU 是 PLC 的“脑部”，负责所有的数据处理和逻辑运算，输入模块接收来自现场设备的信号，输出模块则根据 PLC 程序的处理结果控制执行设备的动作，编程器则用于编写和修改控制程序[2]。

众多显著特性赋予 PLC 技术独特优势，模块化设计成为 PLC 的核心支持，其可灵活调整输入输出模块，以满足各类控制任务的需求。在实施 PLC 编程任务中，所采用的编程语言相对简易，使得操作者仅需具备基础编程能力便能够执行繁杂的控制操作，此举有效降低了操作者所需的专业技能门槛。在复杂多变的工业场景中，PLC 设备展现出卓越的抗干扰性能及极高的稳定性，能够持续稳定运行，技术进步推动了 PLC 的发展，其不仅保留了传统的控制特性，更融入了远程监控、数据采集处理及故障诊断等智能化元素，极大提升了工业生产过程的高效性、安全性及智能化水平。

2 PLC 技术在电气工程中的应用

2.1 PLC 在生产线自动化控制中的应用

在生产线的自动化控制领域，PLC 的应用尤为广泛且技术成熟，在工业生产领域，自动化生产线发挥着至关重要的作用，旨在提升效率、确保品质与降低人力成本，而 PLC 技术的广泛应用，更是显著加速了这一目标的达成。借助编程逻辑，可编程逻辑控制器（PLC）对生产设备进行全方位调控，涵盖传送带、机器人臂、灌装机等众多设备，确保精确操控。PLC 系统依赖传感器及开关量等现场输入信号，遵循既定控制逻辑，对信号进行加工处理，随后将加工后的信号传输至执行机构，如电机、气缸等，以此达成动作控制的精确性。在生产活动进行时，PLC 系统对速度、温度、压力等关键指标进行实时跟踪与操控，以维护生产流程的恒定与统一性[3]。

具备卓越编程性能的 PLC，赋予生产线控制系统极大的灵活性，调整控制程序，能快速改变生产环节的操作规程与参数设定，甚至能够完成生产模式间的转换。在全面自动化与智能化进程中，可编程逻辑控制器（PLC）与其他自动化系统，诸如计算机控制系统、机器人控制系统等，成功实现互联，工序衔接的精确调控。在汽车生产线上得以由 PLC 精准执行，涉及冲压、焊接、涂装、总装等多个环节，其对产品质量和生产效率的影响不容忽视，自动化控制系统中融入 PLC 技术，显著提高了生产线的效率，降低了人为操作失误，并有力支撑了大规模、柔性化生产的实施。

2.2 PLC 在设备监控与维护中的应用

PLC 技术在设备监控与维护中的应用同样具有重要价值。随着工业设备规模的不断扩大，传统的人工巡检和维护方式难以满足日益复杂的设备管理需求。PLC 可以实现对设备的实时监控、故障预警及状态分析，提升设备管理的自动化水平。在实际应用中，PLC 通过连接各种传感器（如温度传感器、压力传感器、流量计等），实时采集设备的运行状态数据，并通过程序设定的阈值进行比对，发现设备运行中的异常情况。当设备出现故障或达到预设的警戒值时，PLC 系统能够立刻发出报警信号，并通过控制系统启动紧急停机、报警提示等措施，减少设备故障造成的损失[4]。

远程监控及故障诊断，PLC 与 SCADA 系统等信息技术协同运作，实现设备高效管理，企业管理人员依托网络连接，利用计算机或移动设备，得以在任意时刻监控设备运行状态，并进行远程调节与故障诊断。在大型复杂生产设备领域，可编程逻辑控制器（PLC）具备对设备运行数据实施长期存储及分析的职能，此功能为设备保养及维修计划的制定提供了坚实的数据支撑。通过比对设备运行的历史数据，PLC 技术助力企业识别设备可能存在的老化隐患，进而预先实施维护，此举旨在提升设备使用年限并减少运维开支。在设备监控与维护领域，引入 PLC 技术显著提高了设备的运作效能及稳定性，同时大幅降低了企业的劳动力及维修开销。

2.3 PLC 在工业故障诊断与预警中的应用

生产过程中，设备故障与系统异常频发，此类问题往往引发停工、经济损失及潜在安全风险，因此，对故障进行预先预测与及时应对，是确保生产安全与效率的核心策略。在工业故障诊断与预警领域中，PLC 技术显现出其关键性作用，将可编程逻辑控制器（PLC）与传感器和执行器相融合，能即时对设备运作状况进行监视，并依据既定控制规则迅速识别潜在隐患，设备健康状态监测。在电动机、泵类等中，PLC 系统凭借对电流、温度、振动等参数的实时监控，有效评估其运行状况。当这些指标越界，程序逻辑控制器（PLC）即刻触发警报，提示操作者进行审查或是暂停作业以进行维护，以此遏制故障加剧，规避更大损失[5]。

在现代信息技术的助力下，PLC 技术得以实现故障的深度诊断，二者融合展现了强大的技术优势。借助智能分析系统，可编程逻辑控制器（PLC）在判定设备故障状态的同时，对故障种类、成因及其后果进行深入解析，进而向维修人员精准传达故障诊断所需关键信息。在输送系统运作过程中，可编程逻辑控制器（PLC）依据传送带速度、承重以及振动等关键数据，实时对系统可能出现的拥堵、松脱或故障进行诊断，同时通过自动调节系统运作模式，预防故障隐患的产生。

2.4 PLC 在钢铁自动化中的应用

PLC（可编程逻辑控制器）技术在电气工程及其自动化控制系统中，特别是在钢铁行业的自动化应用中具有重要地位。钢铁生产过程涉及原料处理、炼铁、炼钢、轧钢等多个环节，每个环节都需要复杂的设备协调和精确控制，而 PLC 技术凭借其高可靠性、灵活性和实时性，成为钢铁自动化控制的核心技术之一。在钢铁行业的原料处理阶段，PLC 控制系统能够实现输送带、破碎机等设备的联动控制，通过传感器监测和逻辑程序优化，确保原料的均匀投放与高效输送。在高炉炼铁和转炉炼钢过程中，PLC 技术通过

与数据采集系统（SCADA）和现场总线技术的结合，实现对炉温、气流、配料比等关键参数的精准调控，提升产品质量的稳定性和生产效率。

在轧钢生产线上，PLC 技术与伺服控制系统的结合，为轧辊速度、张力控制及产品尺寸的实时调整提供了高精度的解决方案。通过 PLC 与工业机器人、传感器的协同工作，钢材的剪切、分卷和包装过程也实现了高度自动化，显著降低了人工操作的劳动强度与安全风险。PLC 系统的模块化设计和可扩展性，使得钢铁企业能够根据生产需求灵活调整设备配置和生产线布局，适应市场变化与生产任务的多样化。PLC 技术支持远程监控与诊断功能，通过工业互联网的应用，管理人员可以实时获取生产数据、分析设备运行状态，实现生产过程的全面数字化与智能化管理。在能耗和环保方面，PLC 通过优化控制策略，有效降低能源消耗和污染排放，为钢铁行业的绿色发展提供技术支撑。PLC 技术在钢铁自动化控制中的应用，不仅大幅提高了生产效率和产品质量，还推动了行业的数字化转型和可持续发展[6]

3 PLC 技术在电气工程应用中的优势与挑战

电气工程领域广泛运用 PLC 技术，此技术展现出诸多显著优势，然而在实际应用过程中亦不可避免地遭遇一系列挑战，高效、稳定与灵活，PLC 技术的三大优势，使其在众多领域脱颖而出。在电气工程领域的复杂环境中，PLC 技术实现了对控制的精准把握，特别是在自动化生产线、设备监控与智能电网等领域，PLC 系统依托于实时数据采集与迅速反应机制，大幅提升了生产效率及设备运行的稳定性能。在电气工程领域，PLC 技术展现出卓越的适应性，其灵活的配置能力可针对各类需求量身定制控制方案[7]。

大型电气工程项目中，PLC 系统的初始投资成本显著，这一问题不容小觑。在实施 PLC 控制系统过程中，硬件选购如 PLC 主机、I/O 模块、传感器、执行机构等，其成本需考虑，同时软件编程、系统集成与测试等环节亦需费用兼顾，累积成本或许会成为 PLC 应用发展的掣肘，尤其是对中小型企业而言，高昂的初始投入常常让他们望而却步。在确保系统性能不受影响的基础上，通过实施标准化与模块化设计，以降低初期投资，这一议题对于 PLC 的广泛运用至关重要。在庞大自动化生产线及繁复电力网络情境下，PLC 系统常需与各式控制系统、传感器、通信网络等实现深度整合，要求 PLC 系统需拥有更高的集成度以及更强的兼容性能力。然而，随着系统集成度的提升与兼容性的增强，系统的集成与维护复杂性亦相应增大，专业技术人员负责对 PLC 系统进行编程、调试、优化以及长期的运维支持，这一过程不仅显著增加了项目的人工成本，而且由于技术人员流动性较大、专业素质参差不齐，这些因素都可能对系统的稳定性和可靠性造成负面影响。

面对大数据量与高频次操作，PLC 常遭遇性能瓶颈问题。在智能电网和自动化生产线等场合，对高速数据处理与快速响应要求极高的应用场景中，传统的可编程逻辑控制器（PLC）系统往往面临无法满足高频率及大规模数据处理需求的挑战，实时数据监控与负荷调度、故障预警等电网功能，需借助大量传感器数据的即时计算与分析，然而，PLC 系统在处理能力和计算速度上存在局限，故而必须借助工业 PC、边缘计算设备等高性能计算设备或云计算平台的协同作业，以确保数据处理与分析的高效进行。采用该合作模式，PLC 系统的计算效能得到显著提高，然而，随之而来的系统复杂度上升以及维护成本的提升亦不容忽视。电力供应和环境控制的优劣直接关乎 PLC 系统的稳定运作，在诸如高温、高湿、强电磁干扰等恶劣工业场景下，即便 PLC 本身拥有较佳的抗干扰性能，系统仍可能遭遇故障或性能退化的情况[8]。

结语：总体而言，PLC（可编程逻辑控制器）技术在电气工程及其自动化控制系统中的应用，已成为现代工业自动化领域的重要组成部分。作为一种高效、灵活、可靠的控制工具，PLC 广泛应用于生产线自动化、设备监控、故障诊断、智能电网等多个领域，并发挥着关键作用。PLC 通过实时采集和处理来自现场设备的输入信号，依照预设程序进行逻辑判断和输出控制信号，从而实现对生产过程、设备状态及能源管理的精确控制。

[参考文献]

[1]钱诗政.电气自动化 PLC 调试系统的应用与控制措施[J].科技资讯,2024,22(14):62-64.
[2]杨涛,李念.PLC 技术在电气工程自动化控制中的应用[J].造纸装备及材料,2024,53(7):113-115.
[3]王雅成.PLC 技术在电气工程及自动化控制中的应用[J].自动化应用,2024,65(1):155-160.
[4]宋亚楠,杨欣.电气自动化系统在电气工程自动化控制中的应用[J].电工技术,2024,5(1):296-298.
[5]林海涛.PLC 技术在电气工程自动化控制中的应用研究[J].电气技术与经济,2024,6(5):301-303.
[6]吴云霞.PLC 技术在电气自动化控制中的应用研究[J].电子元器件与信息技术,2024,8(5):113-115.
[7]林全威.PLC 技术在电气工程及其自动化控制系统中的应用[J].城市建设理论研究(电子版),2024,8(12):121-123.
[8]季鹏飞.PLC 技术在电气工程及其自动化控制中的应用分析[J].中国信息化,2024,10(4):62-63.

作者简介：解晓敏（1985.11—），毕业院校：河北理工大学；所学专业：自动化；当前就职单位安钢集团永通球墨铸铁管公司；职称级别：中级工程师。

基于 AI 算法的水位智能预报模型优化与应用研究

金 力
湖北省水文水资源应急监测中心，湖北 武汉 430079

[摘要]随着全球气候变化和人类活动对水资源的影响，水位预报在防洪、灌溉和水资源管理中显得尤为重要。传统的水位预测方法在面对复杂、非线性水位变化规律时存在一定局限性。近年来，人工智能（AI）算法为水位预测提供了新的思路，尤其是在模型的精度、稳定性和适应性方面。本文基于 AI 算法，探讨了水位智能预报模型的优化与应用研究，分析了水位变化规律、AI 算法的选择和优化方法，并通过实验和案例分析展示了水位智能预报模型的应用效果。
[关键词]水位预报；AI 算法；神经网络；支持向量机；优化方法；模型评估
DOI：10.33142/hst.v7i11.14279 中图分类号：P332 文献标识码：A

Research on Optimization and Application of Intelligent Water Level Forecasting Model Based on AI Algorithm

JIN Li
Hubei Hydrological and Water Resources Emergency Monitoring Center, Wuhan, Hubei, 430079, China

Abstract: With the impact of global climate change and human activities on water resources, water level forecasting has become particularly important in flood control, irrigation, and water resource management. Traditional water level prediction methods have certain limitations when facing complex and nonlinear water level change patterns. In recent years, artificial intelligence (AI) algorithms have provided new ideas for water level prediction, especially in terms of model accuracy, stability, and adaptability. This article is based on AI algorithms and explores the optimization and application research of intelligent water level forecasting models. It analyzes the laws of water level changes, the selection and optimization methods of AI algorithms, and demonstrates the application effect of intelligent water level forecasting models through experiments and case studies.
Keywords: water level forecast; AI algorithm; neural network; support vector machine; optimization methods; model evaluation

引言

水位预报在水资源管理、防洪减灾及灌溉调度等领域具有极其重要的应用价值。随着气候变化日益严重及极端天气事件的频发，水位变化变得愈加复杂，传统的水位预报方法，诸如物理模型和统计模型，已无法有效应对这种变化。近年来，人工智能（AI）技术，特别是机器学习与深度学习算法，在水文领域的应用得到了深入发展，尤其在水位预测中展现出了显著优势。基于大量历史数据，AI 算法能够自动识别水位变化规律，进而有效地处理复杂的非线性关系，提供了更加精准和可靠的预测结果。

1 绪论

1.1 水位预报的研究现状与发展趋势

水位预报研究的起步源于水文气象学，水动力学模型和降雨径流模型等物理方法，通过模拟水文过程中的动态变化，以流域地形、气候和河道条件为依据实现水位预报。然而，由于其参数众多且计算过程复杂，物理模型通常高度依赖于高质量数据，构建过程相对繁琐。相比之下，统计模型则基于历史数据，运用时间序列分析（如 ARIMA 模型和极值理论模型）挖掘变量间的相关性，适用于线性和单变量水位变化的预测，但在复杂非线性多变量环境下表现受限。

近年来，随着大数据与计算机技术的快速进展，水文研究逐渐向数据驱动和 AI 算法的方法转变。机器学习和深度学习技术，尤其在水文数据的处理和分析上，展现出强大能力。AI 算法通过自动特征提取识别水文数据中的潜在规律，显著提高了预测精度。例如，长短期记忆网络（LSTM），作为一种擅长时间序列趋势分析的深度学习模型，已广泛应用于复杂水文系统的水位预报。同时，集成学习方法（如随机森林、梯度提升树等），由于其在特征选择和模型稳健性上的优势，也逐渐应用于水位预测领域。当前研究趋势更加偏向于将传统模型与 AI 算法结合，以提升预测精度和模型的物理解释性。

1.2 AI 算法在水位预测中的应用

在水位预测中，神经网络、支持向量机和随机森林等多种 AI 方法，被成功应用于水利工程的多个项目，预测效果非凡。神经网络以多层非线性变换捕捉水位变化的复杂模式，尤其适合非线性关系显著的场景。尤其在长时间序列的水位预测中，LSTM 网络表现尤为突出，广泛应用于河流与水库等水文系统。支持向量机通过在高维空间构建超平面实现分类与回归，尤其在数据量较小的情境下效果良好，适用于中小流域的水位预报。随机森林作为一种集成学习方法，通过结合多棵决策树提升预测稳定性，处

理多维水文数据时具备显著优势。物联网技术的发展，显著提升了水文数据采集的频率与精度，促进了 AI 算法在水位预测中的广泛应用。经过 AI 算法处理的高频水位、降水与流速数据，可显著提高短期水位波动预测的精度，从而实现动态实时预测。

1.3 水位预报模型的挑战与问题

水位的变化并不仅仅由降水量决定，蒸发、土壤湿度、植被覆盖率等因素同样影响显著。有效提取和整合这些异构数据，是构建高精度模型的关键所在。实际应用中，模型的鲁棒性与稳定性也面临严峻考验。水位预测的精度高度依赖于数据质量，而突发的水文条件（如暴雨或洪水）可能降低 AI 模型的适应性。非结构化数据（如图像、气象图表）的处理能力有限，影响了 AI 模型的特征提取精度，导致预测效果受限。数据增强和集成技术虽改善了模型的适应性，但也同时增加了计算复杂度，对实时水位预测的效率带来较大压力。水位预测需要处理大量多维水文气象数据，对计算能力要求较高，尤其在高频实时预测场景下，对分布式计算和边缘计算等技术支持需求尤为明显。

2 水位预测模型的理论基础

2.1 水位变化规律与影响因素分析

水位的上升与下降，尤其在洪水或暴雨情况下，直接与降水密切相关。气温与蒸发量的波动则通过改变蒸发速率对水位产生间接影响。当气温较高且气候干燥时，水体蒸发速率上升，从而导致水位下降；而在低温环境中，蒸发减缓，水位相对较高。与此同时，河流流量的变化也会显著推动水位波动：上游流量增加通常会造成下游水位上升，而流量减少则可能导致水位下降。土地利用方式的变化，如城市化或农业扩展，改变了流域的水文特性，加快了降雨径流与入渗过程，导致水位的短时波动。同样的降水量在上游和下游区域的水位响应并不一致，季节性因素则使水位波动呈现周期性变化。为准确反映这种非线性、多变量的复杂关系，水位预测模型需要能够捕捉这些动态特征。

2.2 传统水位预测模型的分类与评估

传统水位预测模型主要包括物理模型、统计模型及回归模型。物理模型是基于流体力学和水文动力学基本原理的物理模型，通过建立水位与降水、蒸发、地表径流等要素的定量关系进行预测。水文循环模型和水动力学模型是物理模型中的典型代表。尽管理论支持较强，但物理模型的构建复杂，且对流域参数精确度要求较高，使得其实际应用成本较大。物理模型对特定区域的依赖性也较强，因此难以直接推广到其他区域，通用性受到限制。统计模型主要包括时间序列模型和基于统计回归的方法。时间序列模型（如 ARIMA）通过识别历史水位数据中的趋势与周期性特征来预测未来水位，而回归模型则通过建立水位与降水、蒸发等变量的关系来进行预测[1]。简化回归模型通过线性或非线性回归表达水位与影响因素的关系，常用方法包括多元线性回归和逻辑回归。简化回归模型适用于数据量较少、变量较少的环境，能够提供便捷的公式表达。然而在复杂的水文条件下，该类模型的适用性有限，尤其在数据噪声较大或多变条件下，预测效果不佳。

2.3 基于 AI 算法的水位预测模型概述

随着大数据和人工智能技术的迅速发展，基于 AI 算法的水位预测模型日渐成为有效的替代方案。人工神经网络（ANN）通过模拟人脑工作机制，ANN 具有自学习和自适应的能力，适合处理高维、非线性数据。ANN 通过训练网络学习水位与各种因素间的复杂关系，可识别传统模型难以捕捉的细微变化。支持向量机（SVM）基于结构风险最小化设计的 SVM 适用于小样本和高维数据，在非线性问题的处理上表现优异。通过寻找数据的最优分类面，SVM 在数据量较小时仍可提供高精度预测，因此在数据不充足情况下表现良好。决策树（DT）和随机森林（RF）决策树利用树状结构分裂数据并进行分类，具有良好的解释性。作为集成模型，随机森林通过多数投票确定输出，可有效避免过拟合，并在高维与大数据条件下表现出较高的准确性和鲁棒性。

2.4 AI 算法的选择与特性分析

不同算法在数据处理方式、学习机制及预测效果上各具特色，因此应根据数据规模与特性进行合理选择以满足具体需求。神经网络的应用场景在处理复杂非线性关系方面，ANN 表现出色，尤其适用于大数据背景。然而，其依赖于高计算资源，且在数据量不足时，预测效果可能受限[2]。支持向量机的优劣在小样本和高维数据中，SVM 表现优异，能够应对非线性问题。然而，由于其计算复杂度偏高，SVM 更适合应用于小规模数据的水位预测。随机森林的优势在处理高维与大样本数据中，随机森林展现出较高的鲁棒性和准确性，尤其适合于需要抗噪的数据集。作为决策树的集成模型，随机森林有效减弱了数据随机性与噪声的影响，但在解释性上存在一定不足。

3 水位智能预报模型的优化方法

3.1 预测模型的优化需求与目标

传统模型因数据质量不佳、算法局限及预测误差较大，效果往往不理想。预测精度的提升通过改进算法和细化输入特征，误差将会有效减少，从而使预测结果更贴近实际水位情况。减少此类误差，优化时应加强模型对异常值和噪声数据的处理能力，以免误差在预测中被不断放大。鲁棒性是模型在面对复杂且动态变化的水文气象数据时仍能维持预测能力的关键，特别是在极端天气条件下，需确保模型的适应性，不受外部干扰影响预测结果。在优化水位预报模型时需在预测精度和计算效率之间取得平衡，确保模型在高精度的同时具备高效的计算能力。

3.2 数据预处理与特征选择

在优化水位智能预报模型中，数据预处理作为第一步尤为关键，涵盖数据清洗、缺失值处理、异常值检测等操作。无效数据或噪声数据常见于水位数据集，通常由设备故障或极端天气引起。清洗后数据集的有效性将被显著提升，避免了不相关数据对模型训练的干扰。去重、平滑处理和异常值剔除是常用的清洗方法。缺失值对模型训练精度的影响显著。通常通过均值填充、插值法或预测模型填补来解决缺失值问题，能够提升数据的完整性。设备故障或极端天气事件会导致水位数据中出现异常值。若不加处理，这些异常值可能对预测结果产生极大偏差。统计方法如 Z-Score 或箱型图能够有效识别异常数据，从而确保模型训练的稳定性。

3.3 AI 算法优化技术：神经网络、支持向量机等

AI 算法是水位智能预报模型的核心，而算法优化则能显著提升预测精度。神经网络优化在水位预测中应用广泛的神经网络，常遇局部最优解和过拟合问题[3]。为增强神经网络的预测性能，通常采用深度优化，增加网络层数、调整神经元数量并优化激活函数选择，正则化技术（如 L2 正则化）也被用来减轻过拟合现象。支持向量机（SVM）优化是一种高效的监督学习算法，适用于小样本和非线性数据。优化过程中，核函数的选择及参数调整尤为关键。高斯核和多项式核是常用的核函数，而惩罚参数（C 值）和核宽度（γ 值）的调节显著提升了模型的预测能力。随机森林通过多个决策树并结合投票机制来进行预测。优化随机森林时，通过调整决策树深度和特征选择方式，可以控制模型的复杂度，从而避免过拟合，并增强模型的泛化能力。

3.4 优化策略的实施与效果评估

通过具体的技术手段对算法进行调优，并通过效果评估衡量优化成效。优化实施过程从数据预处理阶段开始，再进行特征选择，最后进入 AI 算法优化阶段。优化效果的评估主要依赖于预测精度、计算效率及模型稳定性等指标。均方根误差（RMSE）、平均绝对误差（MAE）及决定系数（R^2）是常用评估指标，这些指标直观地反映了优化前后的差异。计算效率则通过训练时间和推理时间等参数衡量，以确保优化后的模型在实际应用中具备高效的计算性能。

4 水位预报模型的实现与应用

4.1 水位智能预报模型的构建与训练

完成数据预处理后，基于优化的 AI 算法构建了水位智能预报模型，随后利用实验数据对模型进行了训练和验证。该模型融合了深度神经网络（DNN）与支持向量机（SVM）等 AI 算法的优势，前者用于捕捉水位的非线性变化特征，后者则适合识别异常波动。在训练过程中，为提升模型泛化性能，交叉验证法被用以确保模型在新数据上的表现不受过拟合的影响。交叉验证通过多次迭代进行参数调整，直至在验证集上获得理想预测效果。与此同时，早停技术与正则化方法也被应用于训练过程，以进一步提高模型的稳定性，使其在不同水文条件下均能表现出良好的适应性。

4.2 模型预测效果与评估指标

对模型预测效果的评估以多项误差指标为主，主要包括均方根误差（RMSE）、平均绝对误差（MAE）以及决定系数（R^2），这些指标分别从多角度衡量了模型的预测精度和误差水平。均方根误差（RMSE） 反映的是预测值与实际值的标准差，RMSE 越低，模型的预测效果越佳。平均绝对误差（MAE） 则衡量了模型在各数据点上的预测一致性，较小的 MAE 表明模型在各种水位条件下的适应性较强。决定系数（R^2） 表示模型对数据变异的解释程度，数值越接近 1，说明模型对水位变化趋势的捕捉能力越强。实验结果显示，优化后的模型在各项指标上均表现优异，达到了水文预测的预期要求。

5 水位智能预报模型的性能分析

5.1 模型的鲁棒性与稳定性分析

考虑到水位受气候变化、地理条件及其他多种因素的影响，预报模型的鲁棒性与稳定性尤为重要。鲁棒性是指模型对变化环境的适应能力。本研究通过模拟不同水文环境、降水模式及突发变化等情况，评估了模型在这些复杂情境中的表现。能够适应多种变化情境的模型，显示出较强的鲁棒性。鲁棒性强的模型，能够在各种不确定的环境下提供较为准确的预报结果，这对于实际的水位预报任务至关重要。稳定性反映了模型在长期应用中的一致性。为考察模型的稳定性，本研究通过长时间跨度的数据测试，检验了模型在持续使用中的表现。表现稳定的模型在长期预测中能够保持较高的精度，确保在多个预测周期内提供可靠的预报，进而为水资源管理和防洪决策提供持续的支持。

5.2 水位预报模型的误差分析与改进建议

尽管现有模型已能提供较为准确的预报结果，但误差的存在不可忽视。模型误差的来源可归结为数据噪声、特征选择不当及模型架构的不足。数据噪声可能在数据预处理阶段进入模型训练，进而影响预测的精度。此外，特征选择的不足也会使得模型难以捕捉到影响水位变化的关键因素[4]。对于突发的极端天气或水文变化，若未在模型中有效反应，亦会导致预报误差。为减少误差，改进方案可从以下几个方面展开：（1）优化特征选择方法，加入更多与水位变化密切相关的特征，从而增强模型的表达能力；（2）通过扩大数据集的多样性，增加不同水文条件下的数据，以提高模型的泛化能力；（3）在数据预处理阶段，采用噪声抑制与数据增强技术，减轻异常数据对模型训练的影响。

6 结语

传统预测方法在复杂水文环境中的适应性较差，尤其在处理非线性变化方面暴露了明显的不足。而 AI 算法，借助神经网络、支持向量机、随机森林等技术的强大数据

处理能力，已显著提高了预测精度和稳定性。通过对数据预处理、特征选择及算法优化的调整，研究中的预测模型在精度、鲁棒性及适应性方面获得了提升，能够更好地应对极端天气事件和突发水文变化。尽管如此，当前研究仍有一些难题，尤其是在高频实时预测中的计算效率和数据质量问题。未来的研究可以着重探讨 AI 算法在水文数据处理中的深度应用，并寻找更为高效的算法优化方案。结合物联网、大数据、云计算等技术，智能水位预报系统有望实现更加精准和实时的预测，为水资源管理、洪水预警及灌溉调度提供强有力的决策支持。

[参考文献]

[1]夏平,王峰,雷帮军,等.基于超像素和图割算法的智能视觉水位识别[J].计算机仿真,2021,38(3):430-436.
[2]方涛.基于 Mask RCNN 和 YOLOv5 的水库水位监测方法[J].水利科技与经济,2024,30(8):86-88.
[3]苏晋成.水尺水位智能识别算法的研究与实现[D].安徽:安徽大学,2023.
[4]吕姚,包学才,彭宇,等.基于改进 YOLOX 的城市河道智能水位测量算法[J].南昌工程学院学报,2024,43(3):13-18.

作者简介：金力（1980.4—），男，籍贯：湖北武汉，毕业院校：三峡大学，学历：工程硕士学位，所学专业：水利工程专业，目前职称：网络工程师，主要从事水文测验、水文分析计算、生态流量监督检查工作。

红外测温技术在变电运维中的应用探究

赵冠男
国网河南省电力公司郑州供电公司，河南 郑州 450000

[摘要]随着电力设备的复杂化和电网运行的高效性要求不断提升，传统的手动检测和维护方法已经不能完全满足现代电力系统的需求。红外测温技术因其非接触、快速、准确的特点，逐渐成为电力变电站运维中不可或缺的重要工具。文中探讨了红外测温技术在电力变电站运维中的应用及其优势，通过分析其在提高设备故障检测效率、提升电力系统可靠性、优化运维成本与资源分配以及推动智能化发展等方面的作用，展示了红外测温技术在现代电力行业中的重要性和应用前景。

[关键词]红外测温技术；变电运维；电力系统；智能化
DOI：10.33142/hst.v7i11.14316　　中图分类号：TM7　　文献标识码：A

Exploration on the Application of Infrared Temperature Measurement Technology in Substation Operation and Maintenance

ZHAO Guannan
Zhengzhou Power Supply Company of State Grid He’nan Electric Power Company, Zhengzhou, He’nan, 450000, China

Abstract: With the increasing complexity of power equipment and the increasing demand for high efficiency in power grid operation, traditional manual detection and maintenance methods can no longer fully meet the needs of modern power systems. Infrared temperature measurement technology has gradually become an indispensable tool in the operation and maintenance of power substations due to its non-contact, fast, and accurate characteristics. The article explores the application and advantages of infrared temperature measurement technology in the operation and maintenance of power substations. By analyzing its role in improving equipment fault detection efficiency, enhancing power system reliability, optimizing operation and maintenance costs and resource allocation, and promoting intelligent development, the importance and application prospects of infrared temperature measurement technology in the modern power industry are demonstrated.

Keywords: infrared temperature measurement technology; substation operation and maintenance; power system; intelligentization

传统的变电站设备检测和维护方法往往依赖于人工巡检和周期性的设备停机检查[1]。这种方式存在着检测效率低、依赖人工经验和容易忽略细微异常等问题，不足以满足现代电力系统对设备运行安全性和稳定性的高要求。随着科技进步和信息技术的应用，红外测温技术作为一种高效、精准、实时的监测手段应运而生，通过测量设备表面的红外辐射温度，可以快速发现设备潜在的热异常，预警可能的故障风险，提高了设备故障检测的精度和效率。

红外测温技术的原理是基于物体的热辐射特性，通过红外传感器测量物体表面的红外辐射能量，将其转换为温度数据[2]。相比传统的接触式温度测量方法，如测温棒或热电偶，红外测温不需要直接接触被测物体，避免了接触带来的干扰和安全风险，同时能够实现对远距离或难以接近的设备的测温，具有非常重要的应用价值。本文通过深入探讨红外测温技术在电力变电站运维中的应用及其优势，为电力行业的现代化转型和智能化发展提供理论支持和实际指导，具有重要的理论和实践意义。

1 变电运维工作中红外测温技术的应用优势

1.1 提高设备故障检测效率

红外测温技术通过测量设备表面的红外辐射温度，能够实时监测设备的热态变化，及早发现潜在的热异常迹象，从而预警可能的故障风险，大大提高了故障检测的效率和准确性。首先，红外测温技术通过其非接触式的特性，消除了传统接触式温度检测可能带来的安全风险和设备干扰。传统方法中，人员需要直接接触设备表面或内部来测量温度，这不仅可能造成操作人员的安全隐患，还有可能影响设备的运行状态，而红外测温技术可以在不接触设备的情况下进行远距离的温度测量，减少了工作中的安全风险，并且避免了对设备造成的任何干扰，确保了运行数据的准确性和真实性。其次，红外测温技术的实时性和全面性使其在设备监测中表现出色。红外测温技术能够全面扫描设备表面，即时捕捉到微小的温度变化，从而能够在问题变得显著之前，发现并预测可能出现的故障，节省了维护人员大量的检查时间，还提高了检测的覆盖面和精确度，确保了设备运行状态的实时掌控。此外，红外测温技术结合了先进的数据分析和智能算法，能够进行更加深入的设备健康状态评估和预测性维护，通过长期的温度数据积累和分析，可建立设备的温度基准和异常模式，识别出潜在的故障特征，帮助运维团队进行有针对性的维护计划制定和资源分配，最大限度地降低维护成本和设备停机时间。

1.2 提升电力系统的可靠性

红外测温技术在变电站的运维中，通过提升设备的故障预测能力和维护效率，显著地促进了电力系统的可靠性。第一，红外测温技术能够实现对关键设备的实时监测。传统的巡检方法依赖于周期性的人工检查，无法全面覆盖和持续监测设备的运行状态，红外测温技术能够在设备运行过程中随时进行温度监测，即使在设备运行时也能捕捉到微小的温度变化，使得运维人员能够第一时间掌握设备的健康状况，及时发现异常情况并进行处理，有效预防了因设备故障导致的停电事件，从而提升了电力系统的可靠性。第二，红外测温技术能够预测潜在的设备故障。通过长期的温度数据分析和建模，运维团队可以识别出设备可能出现的故障特征和趋势。如设备温度异常升高的趋势可能预示着电气部件的过载或老化问题，这些问题如果不及时处理可能会导致设备的故障甚至损坏。红外测温技术提供的数据可以帮助运维团队制定针对性的维护计划和预防措施，通过提前干预避免了潜在的故障，从而有效提升了电力系统的整体可靠性。第三，传统的维护策略往往是基于固定的时间间隔或是设备的使用寿命来制定的，这种方式可能导致资源的浪费和设备的过度维护，而基于红外测温技术的实时监测和预测能力，运维团队可以根据设备实际的工作状态和健康状况来调整维护计划，实现更加精准的维护策略，不仅可减少不必要的维护频次和停机时间，还能够最大限度地延长设备的使用寿命，进一步提升了电力系统的可靠性和稳定性[3]。

1.3 优化运维成本与资源分配

红外测温技术在变电运维中的应用不仅可以显著提升电力系统的可靠性，同时也对运维成本和资源分配产生了重要影响。其一，红外测温技术通过实时监测设备的温度变化，使得运维团队能够及时发现设备的异常情况。与传统的定期巡检方式相比，这种实时监测不仅能够捕捉到更早期的故障信号，还能够帮助运维人员更精准地定位问题的具体位置和性质。这种精准性意味着可以减少不必要的维修频次和时间，有效节约了人力资源和维护成本。其二，红外测温技术通过对历史温度数据的分析和建模，可以预测设备可能出现的故障趋势。这种预测能力使得运维团队可以提前准备所需的维修材料和人力资源，有针对性地制定长期维护计划和预算。与传统的突发维修相比，预测性维护不仅降低了维修的紧急性和成本，还大大减少了设备停机时间对生产造成的影响。其三，红外测温技术还能够优化资源分配。通过准确的故障诊断和维护计划，运维团队可以根据设备的实际情况和优先级，合理配置人力、物资和时间资源，以确保关键设备的正常运行和维护效率的最大化，提高了运维团队的工作效率，降低因资源浪费和不必要的维修而带来的额外成本。

1.4 推动变电运维的智能化发展

随着科技的进步和数据分析能力的提升，红外测温技术结合先进的信息技术和人工智能算法，为电力变电站的运维管理带来了革命性的变化。首先，红外测温技术通过实时、精准的数据收集和分析，为运维团队提供了大量的设备运行状态信息。红外测温技术能够连续不断地监测设备的温度变化，将这些数据实时传输到数据分析平台，通过人工智能算法进行处理和分析，从而提供更加全面、深入的设备健康状态评估，使得运维团队能够更快速地做出决策，并采取预防性措施，有效降低了设备故障和停机的风险。其次，红外测温技术结合物联网（IoT）和云计算技术，实现了设备监测的远程化和自动化。传感器安装在关键设备上，能够实时采集设备的温度数据并传输至云端平台。在云端，数据可以被存储、管理和分析，运维团队可以随时随地通过互联网访问这些数据，进行远程监控和操作，减少了人力资源的需求，推动了变电运维的智能化和自动化发展。此外，红外测温技术还支持数据驱动的决策和预测性维护。通过对历史数据的积累和分析，运维团队可以建立设备的温度基准和异常模式，预测设备未来的健康状况和可能出现的故障趋势。基于这些预测，团队可以提前制定维护计划，合理安排资源，最大限度地减少设备停机时间和维护成本，提高了运维的效率和准确性，为电力变电站的运营管理提供了科学依据[4]。

2 变电运维中的红外测温技术

2.1 检测电流致热性缺陷技术

红外测温技术通过测量设备表面的温度变化，能够有效地识别出电流通过时产生的异常热量，从而帮助运维团队及早发现和处理潜在的电气问题。传统的电气设备检测方法可能需要暂时停机或者使用接触式传感器来测量电气设备的温度变化，这种方式不仅耗时费力，还可能对设备本身造成干扰。相比之下，红外测温技术可以在设备运行时实时监测表面温度，无需与设备直接接触，避免了人员操作和设备干扰带来的风险，确保了监测数据的准确性和真实性。同时，红外测温技术能够全面覆盖设备表面，实时捕捉到微小的温度变化。电流致热型缺陷通常会导致局部区域温度升高，这种升温可能很微弱且不易被肉眼或传统检测方法察觉到。红外测温技术利用红外辐射测量原理，能够高精度地检测到设备表面的温度变化，通过设定合适的测量参数和阈值，运维人员可以设定警报机制，一旦检测到异常温度变化即可发出警报并进行进一步的调查和处理，避免了潜在的设备故障和安全风险。此外，通过长期的温度数据积累和建模，运维团队可建立设备的温度基准和异常模式，识别出不同类型的电流致热型缺陷特征。这些数据不仅可以用于实时监控和预警，还用于深度分析和故障原因分析，帮助运维人员快速定位和解决问题，最大限度地减少了故障排除的时间和成本。

2.2 变电运维故障排除技术

红外测温技术作为一种先进的故障排除技术，其主要

应用在于通过监测设备表面的温度变化，帮助运维团队快速定位和诊断设备潜在的故障和问题，从而实现快速响应和有效修复，保障电力系统的稳定运行。一方面，红外测温技术通过远距离测量设备表面的红外辐射，无需直接接触设备，避免了人员操作和设备干扰的风险，同时确保了监测数据的准确性和可靠性。这种非接触式的特性使得运维团队可以在设备正常运行时进行实时监测，捕捉到设备表面的微妙温度变化，提前发现潜在的故障迹象，为后续的故障排除提供重要的数据支持。另一方面，红外测温技术具备快速定位故障位置的能力。电气设备在发生故障时往往会伴随着局部温度升高的现象，这种升温通常是由电流过载、接触不良或设备老化等原因引起的。红外测温技术能够精准地测量和记录设备表面的温度分布，运维人员可以通过比对实际测量值与设备正常工作时的温度基准值，快速确定故障点的位置和范围。这种快速定位的能力大大缩短了故障排除的时间，减少了停电时间和生产损失，提高了电力系统的可靠性和稳定性。

3 红外测温技术在变电运维中的应用

3.1 排查故障中的应用

首先，红外测温技术在排查故障中的应用主要体现在快速发现异常温度。电力设备在发生故障或潜在问题时，会伴随着局部温度异常升高的情况[5]。红外测温技术能够通过测量设备表面的红外辐射，实时捕捉到这些异常的温度变化。运维人员可以利用红外热像仪或红外测温设备，在设备运行过程中进行非接触式的温度监测，迅速发现可能存在的故障部位。其次，红外测温技术支持故障的实时监测和警报。运维团队可以将红外测温设备安装在关键设备或设备部件附近，建立实时监测系统。一旦监测到异常的温度变化超过预设的阈值，系统会自动发出警报通知相关人员，提高了故障检测的速度和准确性，使得运维团队可以迅速响应，采取必要的应对措施，避免故障进一步恶化和对电力系统的负面影响扩散。此外，红外测温技术在排查故障中还能够通过数据分析提供深入的故障诊断支持。通过连续监测和数据记录，运维团队可以积累大量的设备温度数据，并建立设备温度的基准和异常模式。基于这些数据，运维团队可以进行故障模式识别和预测性分析。

3.2 日常维修中的应用

红外测温技术在日常维修中支持维修过程中的实时监控和指导。在进行设备维修或调试过程中，红外测温技术可以帮助运维人员追踪和确认设备的温度变化。例如，在设备维修完成后，运维人员可以使用红外测温设备进行设备复热测试，以确保修复工作的有效性和设备的正常运行。通过红外测温技术的实时监控，可以快速发现修复过程中可能存在的问题，如连接处的热故障或局部绝缘破损，及时进行二次确认和修正，保障维修质量和设备安全性。此外，红外测温技术还能够支持设备的运行状态评估和性能监测。通过连续监测设备的温度变化，运维团队可以建立设备温度数据的历史记录和趋势分析。这些数据不仅有助于判断设备的正常运行状态，还能够帮助识别出潜在的设备健康问题。如，通过设备温度的周期性变化分析，可以识别出设备特定部件的老化趋势或可能存在的负载过载问题，为后续的维修和保养工作提供重要的数据支持。

4 结束语

红外测温技术作为电力变电站运维中的重要工具，通过其高效的故障检测能力、提升的系统可靠性、优化的运维成本与资源分配以及推动的智能化发展，显著改善了电力设备的管理和运行效率。随着技术的进一步发展和应用场景的拓展，红外测温技术将继续在电力行业中发挥关键作用，为构建安全、高效、智能的电力系统贡献力量。

[参考文献]

[1]陈静.变电运维工作中红外测温技术的应用研究[J].光源与照明,2024(6):63-65.
[2]党海绮,苏琨.变电运维中应用红外测温技术的实践路径[J].自动化应用,2024,65(1):195-197.
[3]周鑫,宋灿灿,侯可,王多娇.变电运维工作中红外测温技术的应用研究[J].光源与照明,2024(4):86-88.
[4]姚玉军,赵伯文,刘杨.红外测温技术在变电运维中的应用[J].光源与照明,2024(2):240-242.
[5]温亮亮,覃万全.变电运维工作中红外测温技术的应用探究[J].电工技术,2023(1):65-67.

作者简介：赵冠男（1994.6—），男，河南省镇平县人，汉族，研究生学历，中级电力工程师，就职于国网河南省郑州供电公司，从事变电运维工作。

复杂地质条件下抽水蓄能电站高边坡快速开挖支护施工技术研究及实践

赵党旗
中国水利水电第十一工程局有限公司，河南 郑州 450000

[摘要]抽水蓄能电站是电力系统最可靠、最经济、寿命周期最长、容量最大的储能装置，是新能源发展的重要组成部分。地形地貌对抽水蓄能电站的建设有很大的影响，其选址位置需具备一定的落差，往往选择在陡峭的河谷、河口、丘陵地带。通过对施工工艺、施工工序等进行优化，可大大提高施工效率，提高施工质量，确保工程项目经济效益和社会效益得以实现。本工程下水库存在 6 处高边坡，最高的边坡高度达 91m，且每一处边坡的地质情况及边坡支护形式不全相同，通过反复研究及实践，取得了复杂地质条件下高边坡快速开挖支护施工方法，过程中效果明显，技术稳定，施工简单，能够有效地提升施工效率，提高施工质量。

[关键词]复杂地质；高边坡；快速施工
DOI：10.33142/hst.v7i11.14301　　中图分类号：TV743　　文献标识码：A

Research and Practice on Rapid Excavation and Support Construction Technology for High Slope of Pumped Storage Power Station under Complex Geological Conditions

ZHAO Dangqi
Sinohydro Bureau 11 Co., Ltd., Zhengzhou, He’nan, 450000, China

Abstract: Pumped storage power stations are the most reliable, economical, longest life cycle, and largest capacity energy storage devices in the power system, and are an important component of the development of new energy. The terrain and landforms have a significant impact on the construction of pumped storage power stations, and their location needs to have a certain drop, often chosen in steep river valleys, estuaries, and hilly areas. By optimizing construction processes and procedures, construction efficiency can be greatly improved, construction quality can be enhanced, and the economic and social benefits of engineering projects can be ensured. In this project, there are 6 high slopes with the highest slope reaching a height of 91m. The geological conditions and support forms of each slope are not the same. Through repeated research and practice, a rapid excavation and support construction method for high slopes under complex geological conditions has been obtained. The process has obvious effects, stable technology, simple construction, and can effectively improve construction efficiency and quality.

Keywords: complex geology; high slope; rapid construction

1 工程概况

乌海抽水蓄能电站位于内蒙古自治区乌海市海境内，下水库库盆土石方明挖工程按高程分为两大部位，环库路以上 6 个高边坡（高度达 90m）及环库路以下库盆内库坡（坡长 91m）的开挖与支护，高边坡坡度为 1∶0.5，边坡采用挂网钢筋+锚杆+喷射混凝土、钢筋+锚杆+预应力锚索+喷射混凝土相结合的方式进行支护，库盆内库坡开挖高度达到 44m，开挖坡度为 1∶1.75。

2 施工特点和技术难度

（1）本工程为抽水蓄能电站下水库，库盆内开挖规模大、强度高、开挖料分选难度大，库盆开挖需根据大坝及库底填筑工程进度统筹安排，以适应大坝及库底填筑的分期分区强度要求；

（2）环库路以上存在 6 处高边坡，最大边坡开挖高度达到 91m。且每处高边坡的地质情况、边坡支护情况均不相同，为保证高边坡开挖支护施工进度及施工质量，需采取具有针对性的措施。

（3）高边坡开挖支护规模大、强度高。

3 工艺原理

高边坡石方开挖根据相应支护方式方法具体要求，采取“分级预裂、分序爆破、分层出渣（3m～4m 一层）、分层支护”的高边坡快速开挖支护方法进行施工。在上层渣料（分层出渣高度不超过 4m）挖运完成后，利用下层渣体作为施工平台进行锚杆、排水孔、钢筋网和喷混凝土施工。在上层（分层高度控制在 3m～4m）边坡开挖支护完成后方可进行下层渣料挖运。具体如下；

（1）根据设计边坡位置和坡度，库岸边坡 1:1.75 坡度每层开挖高度控制在 5m 以内，1:0.5 坡度每层开挖高度控制在 10m 以内。

（2）为使开挖面符合设计的开挖线，保持开挖后基岩的完整性和开挖面的平整度，采用预裂爆破技术。对于不适宜采用预裂爆破的部位，预留保护层。预裂爆破采用 YQ-100B 型潜孔钻机造孔。

（3）马道、平台、基础等部位保护层开挖采用一次

成型爆破法施工，YT-28 型手风钻造孔。

（4）支护工程紧跟开挖面施工，利用堆渣平台进行边坡支护施工。

4 工序流程及操作要点

4.1 施工工艺流程

（1）石方明挖流程：施工准备→地形测量及施工放线→爆破孔布设→钻孔→装药及联网→起爆→挖装出渣→边坡及基础清理→测量复核→开挖基础面验收。

（2）边坡锚杆施工工艺流程：分层爆破、开挖支护施工→挂安全网→岩面清理→钻孔孔位布置→钻具及风、水准备→钻孔→灌注水泥砂浆→安装锚杆（→安装锚杆→灌注水泥砂浆）→养护→锚杆检测、验收。

（3）边坡锚索施工工艺流程：施工准备→测量放样→开挖边坡松动块石及岩面清理→锚索钻孔（遇到风化岩、破碎段时，先初喷一层混凝土封闭岩面，然后再进行锚杆、锚索施工）→锚索制作→锚索安装→锚固注浆→锚索张拉→补张拉及锚索锁定→锚头封闭→锚索检测、验收。

（4）边坡喷射混凝土施工流程：边坡受喷面清理→钢筋网片制作→挂钢筋网片→喷射混凝土制备→混凝土喷射→养护→现场操作面清理→喷射混凝土验收。

4.2 操作要点

（1）爆破试验

①开挖施工前，根据勘察报告中工程区域岩性，以及对各回填料强度、料粒径大小、筛分级配等要求，结合明挖部位大小、地质条件进行爆破设计，并进行爆破试验。根据地质勘察报告选择典型地质区域进行爆破试验。施工人员严格按照爆破设计进行钻孔、装药、联网、爆破。每次爆破后，检查并分析爆破效果，以合理优化钻爆参数，提高爆破效果。

②每次爆破试验后，均对试验成果及时进行整理，包括：爆破试验的平面图、岩性描述、布孔图、爆破参数的实测结果、起爆网络、爆堆描述、爆破监测成果、超径块石数量及颗粒级配分析等。

（2）作业区域划分及开挖顺序

①预裂以 10m 台阶高度分层作业，库内大体积石方和坝基开挖层高以具体情况确定，以便于出渣为原则。层间开挖台阶预留 6.0m 安全平台，设挡渣坎，防止落石。

②每个作业区、每个开挖层根据开挖面积大小分成若干作业区块，上层前端作业区块开挖完成后，可进行下层作业区块开挖，上下区块须错开 5.0～10.0m 距离，便于上层后续作业区块施工安全和交通。以此类推，两个作业区逐层、逐块流水作业。

（3）边坡预裂及深孔梯段爆破

①边坡预裂：边坡采用预裂爆破，采用 YQ-100B 钻机按 10m 一层一次预裂到位。预裂孔采用 YQ-100B 型支架式钻机钻孔，孔径 D=90 mm，预裂孔间距 0.8m～1.0m。钻孔时采用罗盘钻机测斜仪调试好钻孔的倾角和方位角，安排钻机设备就位，按照现场放样的孔间距依次排开钻。钻机就位时，应搭设样架，并利用样架尺对钻机、钻孔角度和定位点进行校对，在钻孔过程中经常性地检查钻孔倾角和方位角，看钻头是否有偏位，以便及时调整偏差。为防止钻孔过程中的钻头偏移和漂钻现象，对钻机加装限位板。

②深孔梯段爆破：采用 CM351 钻机钻孔，孔径 D=90mm，孔斜 85°，超钻 1.2m，孔深 L=11.2m，孔距、排距根据爆破试验整理数据，结合边坡岩质、填筑料设计要求设置，并按梅花形布置。

③孔内数码电子雷管导爆、孔外微差（每段延时 25ms）分段、微差 V 形顺序起爆。

（4）边坡锚杆施工

①先注浆后安装锚杆：注浆前，首先根据锚杆尺寸计算空余度，确定注浆量，并确定水泥砂浆的配合比。开始注浆时，首先将锚杆插至孔底，然后拔出 50mm～100mm。注浆时，注浆管随着浆液的注入缓慢匀速拔出，以确保孔内填满浆体。注浆完成后，应立即插入锚杆，锚杆插入过程中应做到匀速缓慢，确保锚杆安装后孔内填满砂浆。

②先安装锚杆后注浆：先将锚杆和回浆管插入设计位置，锚杆插入孔内的长度及外露长度严格按照图纸进行施工。孔口临时固定，用止浆塞堵住孔口，同时预埋注浆管。确定水泥砂浆配合比，注浆时由注浆管向孔内注浆，现场可根据注浆孔的大小选择合适的注浆压力，对于较大的注浆空格可选择适当加压。当回浆管返浆时，停止注浆，并将孔口封闭。

③钻孔时根据岩石走向及倾角调整锚杆孔角度。锚杆的角度偏差应符合施工图纸的要求。施工图纸未作规定时，其系统锚杆的孔轴方向应垂直于开挖面。局部加固锚杆的孔轴方向一般与可能滑动方向垂直设置。锚杆钻至规定深度后，用高压风吹孔，清除孔内碎屑、积水。

④所有工序施工完成后，设置相应的措施做好成品保护，浆体强度达到设计强度的 70%之前，不得敲击、碰撞和牵拉锚杆。

（5）边坡锚索施工

①锚索施工前，应按照桩号、高程对边坡锚索进行编号。锚索制作时应进行编号，按照相应的孔号进行锚索制作。

②预应力锚索钻孔的位置、方向、孔径及孔深，应符合施工图纸的要求。钻孔孔位坐标误差不应大于 100mm，端头锚固孔的孔斜度不得大于孔深的 2%，方位角允许偏差为 3°。钻孔过程中根据钻进深度，时刻检查钻孔的孔向，过程中及时纠偏。

③钻孔完毕时，应连续不断地用水和高压风彻底冲洗钻孔，钻孔冲洗干净后才准许安装锚索。在安装锚索前，将钻孔孔口堵塞保护。

④锚固段灌浆长度应符合施工图纸的要求，阻塞器位

置应准确，在有压注浆时，不得产生滑移和串浆现象。灌浆可自下而上一次施灌，进浆必须连续。

⑤待锚固段的固结浆液、承压垫座混凝土等的承载强度达到施工图纸的规定时，进行张拉，按照顺序逐级张拉。张拉过程中，预紧时张拉稳定时间为2～5min，逐级张拉时每一级张拉稳定时间为 5min，超张拉时张拉稳定时间为10min。每一级张拉稳定时间达到后，测量锚索的伸长量。

⑥封孔回填灌浆在补偿张拉工作结束后 2 天内进行，封孔回填灌浆前应由监理人检查确认锚索应力已达到稳定的设计值。封孔回填灌浆材料与锚固段灌浆相同。

（6）边坡喷射混凝土

①喷射混凝土施工采用高压风水联合清洗岩面，喷射混凝土采用混凝土湿喷台车人工遥控机械手按照湿喷工艺分层喷护作业。根据不同部位的设计厚度，可一次喷射到位，也可采用分层喷射，后一次喷射在前一层终凝之后进行。

②正式进行喷射混凝土施工前，进行边坡喷射混凝土工艺性试验，研究喷射混凝土风压、喷射角度、喷头距受喷面的间距等施工参数对喷射混凝土回弹率的影响规律，并根据分析结果对喷射混凝土施工工艺进行优化调整，以降低施工过程中的喷射混凝土回弹率。

③钢筋网片与先前预埋在边坡内的钢筋牢固绑扎，网片搭接长度为 20cm，并用铅丝将网片牢固连接，网片应沿开挖面进行铺设，同时要与施工完成的锚杆牢固连接。在喷射混凝土时不得晃动钢筋网片。

④保持喷头处水压稳定并保持喷头处于良好的工作状态；喷头宜与受喷面垂直，喷射距离控制在 0.6m～1.2m。

⑤喷射混凝土出现蜂窝、叠层、脱空、松弛、砂穴或其他相关缺陷，或者质量检查不合格，均应将原混凝土清除后重新喷射。

5 质量保证措施

（1）严格执行各项质量检验程序，通过全方位、全过程的质量安全控制，确保质量目标的实现。对生产过程进行有效的质量安全监控。检测工作按照“跟踪检测”“复检”“抽检”三个程序进行，坚持严格的质量评定和验收制度。

（2）边坡开挖后应做到边坡上无倒坡、无松动岩块、无小块悬挂体、无陡坎尖角、无爆破裂隙，开挖面应光滑、平直。

（3）当锚杆抽检单元检验不合格时，对该单元剩余锚杆应加倍扩检，扩检合格者可评定作业区锚杆合格，对于检测不合格的锚杆，必须按照 1:2 的比例就近补打处理；扩检不合格时，则判定作业区内锚杆不合格，该作业区锚杆全部返工处理。

（4）预应力锚索安装入孔前，每个锚索孔应进行钻孔规格的检测和清孔质量的检查，并进行每根锚索的制作质量检查。锚固段灌浆前，抽样检验浆液试验成果，并对现场灌浆工艺进行逐项检查。预应力锚索张拉工作结束后，应对每根锚索的张拉应力和补偿张拉效果进行检查。

（5）边坡喷射混凝土原材料应进行质量检验，检验合格后方可使用。施工过程中应实测喷射混凝土的厚度，实测厚度不应小于设计厚度。喷射混凝土不应出现夹层、砂包、蜂窝等缺陷，无漏喷、脱空现象，无贯穿性的裂隙。在边坡结构面突变位置，应做到良好的结合。

6 安全措施

（1）施工人员进入现场需戴必要的安全防护用具。随时检查支架稳固性是否可靠，桥底通道设立明显的警示标志。

（2）在施工现场醒目位置摆设安全标示牌，非施工人员未经许可不得进入施工现场。施工人员统一佩戴工作卡，做到持证上岗。进入施工现场的人员一律遵守现场的各项规章制度。张拉现场设置明显的标志，张拉时与该工作无关的人员严禁入内。

（3）加强对开挖边坡的巡视检查，做好地面位移观测及地质预报工作。加密巡视检查的频次和范围，及时发现裂缝的产生并发出警报，及时撤离下部的施工设备和人员，就可避免造成损失。

（4）爆破安全警戒范围设为 300m 个路口及视线开阔处，根据爆区环境实施，以确保过往车辆和人员的安全。并且在安全警戒范围内设置相应的安全警戒标识及安全保障措施，工地周围拉好警戒带，并悬挂警示牌，防止无关人员进入。在醒目处设置告示牌，标明建设单位、施工单位、爆破员、安全员、起爆时间。根据施工部位布置的警戒点，起爆前在各警戒点对警戒范围内进行戒严，禁止任何人员进入爆区，每个警戒点根据其附近条件委派 2-3 人进行安全警戒。

7 环保措施

（1）施工、生活中的废水要经过沉淀池、废水处理池处理后，再排到排污管渠。

（2）机械废液用容器收集，不随意乱倒，防止对环境造成污染。

（3）废渣、垃圾、弃土要统一妥善处理，堆放到指定地点，严禁乱扔乱弃、污染环境。

（4）易飞扬的散状物料安排库内存放或准备足够的尼龙布等覆盖材料，覆盖散状物料，以免扬尘。

（5）所有施工机械做好检修工作，尤其是废气的排放检测，必须符合废气排放检测标准。不合标准的机械设备不得使用。

（6）采用性能良好、噪音小的机械设备，认真做好加油、保养工作，减少施工时机械发出的噪音。除必须连续作业的工序外，尽量减少在深夜施工，即使施工也采用噪音较小的动力设备。

（7）施工现场悬挂施工标牌，注明工程名称、工程负责人、文明施工负责人、施工许可证和投诉电话等内容，接受监督。

8 结语

针对复杂地质条件下高边坡边坡开挖时采用“分级预裂、梯段爆破、分层出渣（3m～4m一层）、分层支护”的高边坡快速开挖支护方法进行爆破开挖。边坡预裂孔采用CM351钻孔直接一次性钻孔20m，主炮孔采用CM351钻孔，主炮孔间排距根据料源用途分别设定；在1∶1.75库盆边坡开挖时预裂孔采用100B钻孔，主炮孔采用CM351钻孔，按5m一层梯段爆破开挖，坡长10m，库盆边坡范围内垂直主爆孔及库底建基面开挖主爆孔采用柔性垫层爆破，可预留10～20cm保护层；边坡支护工程紧跟开挖面施工，在上层渣料（分层出渣高度不超过4m）挖运完成后，利用下层渣体作为施工平台进行锚杆、排水孔、钢筋网和喷混凝土施工。对复杂地质条件下的高边坡快速开挖支护施工方法进行研究及实践，通过优化施工工序，分区、分层平行施工，提高施工效率，加快工程施工进度。同时，加强对施工过程中的监管力度，提高工程施工质量。

[参考文献]

[1]唐致广,李凯,闫奇林,等.拉哇水电站右岸高陡边坡快速开挖支护施工技术[J].四川水力发电,2024,43(3):119-123.
[2]秦民生.高边坡快速开挖支护施工技术应用分析[J].河南科技,2021,40(20):65-68.
[3]王波,闫文博,文臣.高边坡快速开挖支护施工技术在金寨抽水蓄能电站的应用[C].北京:中国水利水电建设工程咨询北京有限公司,2019.

作者简介：赵党旗（1982.8—），毕业院校：华北水利水电大学，所学专业：水利水电工程，当前就职单位：中国水利水电第十一工程局有限公司，职务：项目经理，职称级别：高级工程师，研究方向：水利水电工程及市政工程。

变电施工中的变压器现场施工技术

黄科峰
大唐甘肃发电有限公司碧口水力发电厂，甘肃 陇南 746412

[摘要]随着电力系统规模的不断扩大以及智能化需求的逐步提高，变压器的设计与施工技术不断取得进展。作为电力系统中的核心设备，变压器的安装质量对系统的可靠性具有决定性影响。尤其在大型变电站与特高压电网的建设中，变压器的安装与调试要求愈加严格，确保变压器稳定运行的关键因素是有效的质量控制与安全管理。因此，变电施工中变压器的安装技术进行深入研究，不仅有助于提升电力系统的整体运行质量，还对保证电力系统的安全性与高效性至关重要。

[关键词]变电施工；变压器；施工技术
DOI：10.33142/hst.v7i11.14287　　中图分类号：TM63　　文献标识码：A

On-site Construction Technology of Transformers in Substation Construction

HUANG Kefeng
Bikou Hydropower Plant of Datang Gansu Power Generation Co., Ltd., Longnan, Gansu, 746412, China

Abstract: With the continuous expansion of the power system scale and the gradual increase in the demand for intelligence, the design and construction technology of transformers continue to make progress. As a core equipment in the power system, the installation quality of transformers has a decisive impact on the reliability of the system. Especially in the construction of large substations and ultra-high voltage power grids, the installation and commissioning requirements for transformers are becoming increasingly strict. The key factors to ensure the stable operation of transformers are effective quality control and safety management. Therefore, in-depth research on the installation technology of transformers in substation construction is not only helpful for improving the overall operational quality of the power system, but also crucial for ensuring the safety and efficiency of the power system.

Keywords: substation construction; transformer; construction technology

引言

变电站作为电力系统中的关键组成部分，变压器在其中发挥着至关重要的作用，安装与调试的质量直接关系到电力系统的安全性与稳定性。随着电力需求的不断增长，变压器在技术上的要求日益提高，安装过程中每个环节都必须严格遵循相应的标准与规范。深入探讨变压器现场施工的技术要点，涵盖安装准备、技术要求、关键部件安装、调试测试及质量控制等方面，为相关技术人员提供科学的施工指导，从而确保变压器在可靠、安全的状态下投入使用。

1 变压器安装的准备工作

1.1 施工方案的编制与审查

变压器安装施工方案是确保施工顺利进行的关键环节。在编制施工方案时，必须详细了解变压器的型号、安装位置及施工环境，确保方案的适用性与可操作性。施工步骤、技术要求、安全措施及工期安排应在方案中明确列出，并需提供所需设备及材料的清单。同时，可能遇到的施工风险应提前评估，并提出切实可行的应对措施。施工方案编制完成后，相关专业人员必须对其进行审查，确保方案符合国家标准、行业规范以及工程实际需求。在审查过程中，重点应放在方案的可行性、合理性与安全性，尤其是在高压电气设备安装环节，安全管理必须得到充分考虑，审查通过后施工方案可正式投入实施，成为现场施工的具体指导文件。

1.2 设备、材料及工具的准备

在变压器安装前，设备、材料及工具的准备工作至关重要，直接影响施工进度与质量。所需设备和材料应根据施工方案详细列出，涵盖变压器本体、基础支撑材料、电缆、接线端子、密封垫片等，所有材料必须符合技术规格要求且其数量与质量要满足安装需求，避免出现短缺或不合格的情况。所需设备，如吊装机具、起重设备及电动工具等，必须提前进行检查确保其性能良好、承载能力足够，能够满足施工需求。工具准备方面，应根据施工要求配备相应的手动工具、电动工具及测量仪器（如水平仪、电压表等），确保现场操作的准确性与顺利进行。所有设备、材料及工具的到场安排应依据施工进度合理规划，确保提前到位。施工前应进行全面检查，以避免因准备不足而导致工期延误或施工中断。

2 变压器安装技术要求

2.1 主体安装技术要求

变压器主体的安装是整个安装过程中至关重要的环节，要求精确与高效。在安装之前，变压器的位置必须严格按照施工方案进行定位，确保稳固垂直避免任何偏移或受力不均。同时，必须对基础的强度与承载能力进行检查，确保其能够支撑变压器的重量以及运行过程中可能产生

的振动。在安装过程中，必须选择合适的吊装设备确保变压器吊装时保持平衡，避免因倾斜或剧烈晃动而造成损坏。特别是在主体安装阶段，底座与基础的接触面需要特别关注，确保接触面平整且符合密封要求。若有必要可以在底座与基础之间加装橡胶垫片等材料，以增强稳定性及减震效果。变压器与周围设施之间的间距必须严格控制，确保符合安全标准，防止因设备过于密集而影响散热或操作便利。安装完成后，应进行精确检查，确认变压器的水平度、垂直度以及连接部件的紧固程度均符合技术规范，从而确保变压器能够安全、可靠地投入使用。

2.2 电气连接与接地技术

变压器的电气连接与接地是确保设备正常运行及安全的重要环节。在进行电气连接时，必须确保所有连接线的规格符合变压器的要求，避免因线径不足或材料不合格导致电流过载或设备损坏。高压接线必须严格按照规范操作，确保接触良好且连接紧固，同时进行有效的绝缘处理，防漏电或短路现象的发生。低压接线同样需仔细检查，确保线缆整齐、标识清晰避免接错或混乱。接地系统的安装应严格依据设计图纸进行，接地电阻必须符合相关标准，所选接地线材料应具备良好的导电性及耐腐蚀性。所有接地部件的连接处，尤其是接地装置的焊接与螺栓连接必须进行严格检查，确保连接牢固可靠防止接地不良引发安全隐患。在调试阶段，需进行接地电阻测试确认接地系统的有效性与安全性。

2.3 基础与支撑系统的安装技术

变压器的基础与支撑系统对设备的稳定运行至关重要，安装过程中必须严格控制其精度与牢固度。基础设计应根据变压器的型号、重量及安装环境合理确定，确保其具备足够的承载能力。在施工时，应对地基质量进行严格检查，确保基础保持水平状态，以避免沉降或位移等问题的发生。基础施工完成后，强度测试必须进行以确认其满足承载要求。支撑架必须与基础牢固连接，确保变压器的重量能够均匀分布，防止局部受力不均导致设备倾斜或损坏，支撑材料的选择应依据环境因素，采用防腐处理材料以确保长期使用中的稳定性。安装过程中，应使用精密测量工具，确保支撑结构的垂直度与水平度符合技术标准，特别需要注意的是支撑系统与变压器本体之间不得发生摩擦或干涉，确保设备的正常运行。安装完成后，必须对整个基础与支撑系统进行全面检查，确保符合设计要求从而为变压器的安全稳定运行提供有力保障。

3 变压器关键部件安装技术

3.1 散热器安装技术

散热器的安装对变压器的正常运行至关重要，直接影响散热效果。在安装之前，必须确保散热器型号与变压器匹配并符合设计要求，同时应对散热器进行全面检查，确认其无损坏或漏油现象。安装过程中，散热器与变压器之间应保持适当的距离，避免因过于接近而导致散热不良或其他部件因过热而受损。在连接管道的安装中，必须特别注意管道的牢固性与密封性，防止漏油或泄漏问题的发生。管道连接时应避免出现弯曲或过度拉伸，确保油流畅通无阻。安装散热器时还需确保其安装位置的水平与垂直度，避免因倾斜而影响油流的正常循环。安装完成后必须进行管道连接的压力测试，确认系统无泄漏且油流畅通。同时，散热效果应进行验证，确保散热器在实际运行中能够有效发挥作用，保障变压器的长期稳定性与安全运行。

3.2 储油柜安装技术

储油柜是变压器的重要部件，负责存储及补充变压器的绝缘油，稳定性与密封性在安装过程中至关重要。安装前，应根据变压器的设计要求合理选择储油柜的位置，并确保与变压器之间留有足够空间，便于后期的维护与检查，储油柜的外观应进行检查，确认其无裂纹、凹陷或其他损伤，特别是密封部分必须完好无损。安装时，储油柜必须保持水平状态确保其稳固性，并与变压器的油管系统正确连接，管道连接应牢固且具备良好的密封性，防止漏油现象的发生。管道布置应尽量避免急弯或过度弯曲，确保油流畅通。此外，储油柜的排气阀与油位指示器的安装位置应符合设计要求，以便操作人员能够方便地检查油位及油质。安装完成后，管道连接应进行压力测试确认系统无泄漏。随即，储油柜的油位应进行检查，确保其处于正常范围内。最终，应对整个系统进行全面检查，确保储油柜与变压器其他部件的协调工作，从而保证设备的安全与稳定运行。

3.3 真空注油技术

真空注油是变压器安装中的重要环节，确保变压器油的均匀填充及系统的良好绝缘性能。在注油之前，必须对变压器进行真空处理，彻底抽除内部空气、湿气及杂质，防止油品在注入过程中因气泡或污染而影响变压器的运行效率与使用寿命。在注油过程中，使用专用的真空油泵将变压器内的空气抽至负压状态，此后经过精密过滤的油品被注入变压器内。注油时，油品的纯净度必须得到保证，杂质的进入应当避免，同时要保持注油速度平稳，避免快速注入造成剧烈搅动，进而产生气泡，影响油品的绝缘效果。注油完成后，真空处理应再次进行，确保油液完全充填并排除系统内的残留气体。此外，油位检查应及时进行，确认油位是否处于规定范围内。接着，应测试变压器的电气性能，确保其在正常油量和真空环境下稳定运行。

4 变压器调试与测试技术

4.1 电气性能调试

变压器的电气性能调试是确保设备安全、稳定运行的重要环节。在调试前，所有电气连接必须进行检查，确保接地和接线准确无误且各项参数符合设计要求。初步的调试步骤包括对电压进行测试，验证变压器各个电气部件的

电压分布是否正常，避免电压异常对设备运行产生不利影响。接着应进行空载试运行，监测变压器的空载电流、电压以及油温等参数，确保其处于正常范围内。负载测试时，负载应逐步增加观察变压器的表现，确保其负载能力符合设计规范[1]。同时，变压器的温升必须特别注意，确保在负载条件下不超过安全温度上限。在调试过程中，变压器的保护系统也需要检查，确保过载保护、短路保护等功能正常，能够及时响应异常情况并采取必要的保护措施。所有电气性能测试完成后，应对各项指标进行详细记录和比对，确认变压器的电气性能符合设计标准，并具备安全投入运行的条件。

4.2 负荷测试与调节

负荷测试与调节是变压器调试中至关重要的环节，目的在于确保变压器能够在承受正常工作负荷时稳定运行。在进行负荷测试前，必须确保变压器处于空载运行状态且各项电气参数正常，未出现任何异常现象，只有在确认这一切后方可开始逐步加负荷。测试时通常从较低的负载开始，负荷量逐渐增加并密切监测变压器的温升、电流、电压以及油温等关键指标，确保负荷增加的过程中不超出设计的安全范围。负荷测试过程中，温升情况尤为关键，特别是负载波动可能会影响变压器的散热性能。如果发现温升异常或其他不正常现象，应及时调整负荷，检查冷却系统的工作状态，确保其发挥应有的散热效果。负荷调节不仅需要确保变压器在不同负荷下能够保持稳定，还需避免过载运行，从而避免因过热或其他因素导致设备损坏[2]。此外，负荷调节还必须关注变压器的电压输出，确保其稳定且符合设计要求。在完成负荷测试后，所有测试数据应进行详细记录与分析，以确认变压器能够承受设计负荷，并能够在长期运行中保持稳定的性能。经由负荷测试与调节后，变压器即可安全投入正式运行。

4.3 试运行与运行调节

试运行是变压器安装调试过程中的最后环节，目的是验证设备在实际工作环境下的性能与稳定性。在进行试运行前，必须对所有设备及电气连接进行彻底检查，排除任何遗漏或潜在的故障隐患。启动过程中变压器应先在较轻负荷下启动，负荷逐步增加，并观察其电气与机械部分的运行状态，重点监控是否出现异常声音、震动或过热现象，同时电压、电流、油温等关键指标应实时监测，确保各项保护设备能够正常响应。在试运行期间，变压器的自动调节系统也需进行功能测试，包括负荷分配、温控系统与保护装置确保其能够灵敏、准确地响应负荷变化及突发情况。如若发现异常，应迅速进行调整或修复，例如调节油温控制系统或检查冷却系统的工作状态，确保设备的温度与压力始终维持在安全范围内。试运行过程中，所有关键参数应详细记录并加以分析，必要时进行调节。此类调整可能涉及电压、负荷或温度的优化，确保变压器在不同工作状态下能够稳定运行符合设计要求。

5 变压器现场施工中的质量控制与安全管理

变压器现场施工中的质量控制与安全管理是保障设备长期稳定运行的关键环节。施工过程中，必须严格遵守设计图纸和施工标准，确保每项安装工作均符合技术规范，质量控制的重点应集中在设备选型、安装工艺及各项连接的精准度，特别是电气连接和接地系统，必须确保牢固且接触良好，以防止安全隐患的发生。在安全管理方面，施工现场必须严格执行安全操作规程，所有施工人员应佩戴必要的个人防护装备，避免发生电气事故或机械伤害。施工区域内应设置显著的安全标识，确保设备与人员之间保持足够的安全距离[3]。同时，应定期检查设备安装进度，及时发现潜在的安全隐患，如漏油或接地不良等问题，以避免影响后续调试及正常运行。在质量控制与安全管理得到有效保障后，施工完成后还需进行全面验收与性能测试，确保变压器各项指标符合标准准备投入使用。

6 结语

在变电施工中，变压器的安装与调试是确保电力系统稳定运行的核心环节。对变压器的安装准备、技术要求、关键部件安装、调试测试以及质量控制等方面的深入分析表明，精确的施工技术与严格的质量管理是保障变压器长期、安全运行的基础。随着电力系统技术的不断进步，变压器的安装与调试面临着更高的要求，施工人员必须不断提升专业技能严格遵守操作规范，以确保变电站设备的可靠性与电力系统的稳定性。展望未来，随着技术创新与施工管理水平的不断提升，变压器的现场施工将朝着更加精细化与智能化的方向发展。只有通过持续优化施工流程，强化质量控制与安全管理才能应对日益增长且复杂的电力建设需求，为电力系统的高效、安全运行提供坚实的技术保障。

[参考文献]

[1]郭玲玲.变电施工中的变压器现场施工技术[J].大众标准化,2024(20):48-50.
[2]李德鹏.变电站输变电工程技术的应用及发展前景分析[J].光源与照明,2022(3):192-194.
[3]袁毅.变电施工中变压器现场安装问题及技术分析[J].中国新技术新产品,2018(20):108-109.

作者简介：黄科峰（1988.12—），男，毕业院校：长安大学，所学专业：机械电子工程，大唐甘肃发电有限公司碧口水力发电厂白川水电站站长，工程师。

智能供配电系统的自适应保护与故障隔离的研究

陈 婷
中钢集团马鞍山矿山研究总院股份有限公司，安徽 马鞍山 243000

[摘要]智能电网技术的进步推动了自适应保护与故障隔离在智能供配电系统中的深入研究，该研究领域在电力系统中的地位日益显著。在发生故障时，常规的电力供应和分配网络往往不能自行调整或隔离问题，这就造成了电力稳定性下降和潜在的安全风险。文中首先对智能供配电系统的结构及发展情况进行了详细剖析，并讨论了自适应保护的重要性和基本原理。随后，研究利用了智能算法进行故障检测与隔离的技术。最终，提出了一种融合模型预测控制（MPC）与机器学习的自适应保护新策略。文中通过具体实例探讨，证实了所提策略在增强供配电系统的稳定运行以及减少故障处理响应时长上的显著功效。研究显示，自适应保护和故障隔离技术的应用，不仅增强了智能供配电系统的安全和稳定性，也为智能电网的进一步发展奠定了技术基础。

[关键词]智能供配电系统；自适应保护；故障隔离
DOI：10.33142/hst.v7i11.14307　　中图分类号：TM732　　文献标识码：A

Research on Adaptive Protection and Fault Isolation of Intelligent Power Supply and Distribution System

CHEN Ting
Sinosteel Maanshan General Institute of Mining Research Co., Ltd., Maanshan, Anhui, 243000, China

Abstract: The advancement of smart grid technology has promoted in-depth research on adaptive protection and fault isolation in intelligent power supply and distribution systems, and this research field is increasingly prominent in the power system. When faults occur, conventional power supply and distribution networks often cannot adjust or isolate issues on their own, resulting in decreased power stability and potential safety risks. The article first provides a detailed analysis of the structure and development of intelligent power supply and distribution systems, and discusses the importance and basic principles of adaptive protection. Subsequently, the study utilized intelligent algorithms for fault detection and isolation technology. Finally, a new adaptive protection strategy combining model predictive control (MPC) and machine learning was proposed. Through specific examples, the article confirms the significant effectiveness of the proposed strategy in enhancing the stable operation of the power supply and distribution system and reducing the response time for fault handling. Research shows that the application of adaptive protection and fault isolation technology not only enhances the safety and stability of intelligent power supply and distribution systems, but also lays the technical foundation for the further development of smart grids.

Keywords: intelligent power supply and distribution system; adaptive protection; fault isolation

引言

在面临全球能源构成变革和智能电网技术进步的当下环境，确保供配电系统的安全与信赖度成为了越来越关键的议题。在多种故障情况下，传统的供配电系统通常难以迅速作出反应和智能调整，从而可能引起电力中断、损坏设备以及造成经济损失等一系列后果。自适应保护与故障隔离在智能供配电系统研究及实施中，具有特别显著的重要性，采用自适应保护技术，能对电力系统实时监控所得数据进行即时分析与判断，达到对故障的快速检测、定位和隔离的目的，确保了电力系统运行的稳定与安全。本文针对智能电力供配电体系，探究其自适应防护与故障分离机制，以期为电力行业的智能化升级提供科学理论和实际应用的借鉴。

1 智能供配电系统的概述

对于现代电力系统，智能供配电系统扮演着关键角色。它主要通过智能化管理电力以及高效分配电力，伴随着全球能源构成的转变和技术持续发展，传统的电力配送架构逐渐无法应对不断增加且日益复杂的电力需求[1]。信息通信技术、自动化控制技术与电力系统技术融合的智能供配电系统，其设计目标为实现供电的高可靠性、高标准安全以及优化经济性，构成智能配电系统的要素涵盖了自动监控装置、信息传递网路、数据处理中心及电力设施等关键部分，它们协同工作，完成数据的即时搜集、深入分析和迅速回馈，从而使系统具备对负载变动和突发故障的自主调控能力。

智能供配电系统的发展现状揭示了全球对先进技术的广泛采纳，如传感器、智能电表以及自动化控制设备，这些技术的融合为系统效率和灵活性的提升贡献显著。资源的整合与新能源的接入，尤其是电动汽车的充电需求，推动了智能供配电系统在电力行业中的应用扩展，进而促

进了该行业的绿色转型。引入自适应保护技术后，系统得以在故障发生时迅速进行识别并隔离，进而减轻对用户的影响。未来，智能供配电系统的发展将着眼于提升智能化程度、实现互联以及增强自主决策能力，以此来应对电力供应领域愈发复杂的挑战。该智能供配电系统确保了电力供应的安全与可靠性，同时，它也为能源的有效使用及环境的持续发展提供了坚实的支撑。

2 自适应保护技术的原理与方法

在智能供配电系统中，一种关键的保护机制是自适应保护技术，它通过实时调整保护参数，适应系统运行状态和环境变化，从而增强系统的安全与可靠性。在常规的保护技术中，通常会运用一组固定的参数来进行保护，若这些参数发生变异，则有可能引起保护功能的不当失效或误触发。自适应保护技术能够实时监控电力系统的运行状况，自动分析数据并调整保护参数，以有效适应不断变化的电力系统环境[2]。

自适应保护技术依托智能算法和数据分析，实时搜集系统运行资讯，以实现对故障的即时辨认与评估。当系统出现故障时，它能快速诊断问题所在、当前运行状态，并利用自学习能力调整保护设定值，以保证保护措施的准确性与及时性。

实施自适应保护技术依赖着一个强大的信息通信网络基础设施，此基础设施保证了数据能够进行实时传输与处理，采用数据融合技术，综合不同设备和传感器收集的信息，建立系统的全面运行状态模型，为自适应决策制定提供了数据支持。自适应保护技术的应用，不仅提高了供配电系统的智能化程度，而且在对突发事件的应对上，也显示出了显著的效果，从而确保了电力系统的安全稳定运行。在电力领域，智能技术的持续进化推动了自适应保护技术的普及，这为更高效、安全的电力供应提供了坚实的技术基础。

3 故障检测与隔离技术

在智能供配电系统中，故障检测与隔离技术扮演了不可或缺的角色。它的主要任务是在系统出现故障时，迅速且精确地进行识别，并在最短时间内将其隔离开来，确保供电系统的安全稳定运行。通过技术的切实执行，可以大幅减少电力系统故障对设备及供电品质的负面作用，从而保障电力供应的稳定性，不影响正常用户的使用。进行故障诊断时，需对电网的各项关键性能指标进行即时评估，其中包括电流、电压水平以及频率稳定性等。若检测到特定参数值逾越了既定的安全限制，该系统便会激活故障检测程序，进而对发生的故障类别作出判定。仰赖于信号处理、数据挖掘以及人工智能等前沿科技，正逐渐成为众人瞩目的焦点。算法可以通过分析过去的数据，来训练模型以侦测可能出现的故障模式，这样提升了故障检测的精确性与时效性[3]。

一旦检测到故障，迅速启动隔离机制，从而切断受影响区域的电气设备，避免故障扩散。在故障发生后，智能化的开关与继电保护设备能自动实施隔离操作，保障系统安全。实现该系统中的这一流程，不仅依靠硬件的迅速响应，还依赖信息传输系统的实时数据交流与命令传递。实施精确的故障隔离措施，确保了电源系统的其他部分维持稳定运作，最大限度减少了故障区域对整个系统的影响。

在智能供配电系统中，有效运用故障检测与隔离技术，是确保其运行安全与可靠的根本途径。技术的持续进步预示着将来将出现大量尖端检测与隔离技术，这些技术的融入将增强电力供应系统应对故障的能力，从而确保供应的稳定性与可靠性。

4 基于模型预测控制与机器学习的自适应保护策略

4.1 模型预测控制的基本原理

模型预测控制策略，是基于系统模型的一种先进控制方法。在工业过程控制、机器人技术、航天技术以及诸多复杂动态系统控制领域得到了广泛应用，本方法基于动态模型构建，目的是预测系统行为并在未来一段时间内利用此预测来优化输入控制，以达成既定的控制目标。多变量控制问题（MPC）的处理，主要特征在于它对系统内的不确定因素以及各种约束条件的有效应对。模型预测控制的关键在于对优化问题进行有效的解答，该控制器能够不断获取系统当前的状况数据，并利用这些数据以及系统模型，对将来的多个采样瞬间内系统可能产生的输出进行预测。在这一过程中，多变量预测控制器（MPC）应用了一个包含误差项及控制输入变化率在内的成本函数，以此来评估所采用控制策略的有效性。旨在将成本函数降至最低的同时，确保遵循系统预设的各类约束条件，诸如输入输出范围限制以及动态约束等。在具体实践中，多目标规划（MPC）往往通过不断更新优化时域策略来实现操纵控制，在每个控制瞬间，控制器重新求解一个优化问题，以获得一系列的控制输入。尽管优化过程输出了多种控制步骤，但该控制器仅实施首个控制动作对系统进行调整，随后便进入闲置状态，直到下一个控制时点到来，届时将启动新一轮的优化过程。借助该策略，系统能依循实时反馈与外界影响，灵活调变控制方案，进而强化了其鲁棒性和调整能力[4]。

4.2 机器学习在自适应保护中的应用

在电力系统保护领域，自适应保护系统中的应用正逐渐成为机器学习的一个重要发展方向。自适应保护的关键之处在于，它能即时修改保护措施，适应各种运行状况和故障特点的变化。在电力系统中，传统的保护措施往往依赖于特定的算法和临界值，面对复杂、多变的系统状态，尤其是在故障表现形式各异且环境条件经常变动的情况下，这些传统的保护手段往往难以实施有效的应对。引入机器学习技术，为自适应保护机制带来了新颖的思路和策略。这种方法能够依托历史信息进行学习与优化，从而显著提高保护机制的可靠性与适应性。

利用机器学习技术，可以自动从电力系统中提取并学习特征信息，其方法依赖于数据的驱动，自适应保护系统中，故障与正常运行状态下的信号特征存在明显不同。分析大量历史数据，机器学习算法能辨识出故障模式及其特征，据此构建故障识别模型，借助监督学习策略。历史故障数据经标注后，能令模型掌握故障类别、电流及电压波形的动态变化特性。在实际运作过程中，该模型能够对设备的状态进行实时跟踪，并在发现异常情况时立即触发警报，这样就极大地提升了故障识别的精确度[5]。

将机器学习应用于自适应保护系统中也面临一些挑战。机器学习模型的有效性依赖于大量高质量的训练数据，而电力系统故障的发生频率相对较低，获取足够的标记数据可能困难。此外，模型的可解释性问题也是一个重要考量，尤其是在安全性至关重要的电力系统中，保护系统的决策过程需要能够被理解和验证，以便进行必要的调整和优化。机器学习算法的实时性和计算复杂性也是在实际应用中需要解决的问题，尤其是在大规模电力系统中，如何保证模型的高效运行是一个值得深入研究的方向。

机器学习在自适应保护中的应用为电力系统的安全性和可靠性提升提供了新的思路和方法。通过自动化的数据分析、智能决策和故障定位，机器学习技术能够大幅提高自适应保护系统的性能，适应快速变化的电力环境。未来，随着数据获取和处理能力的提高，机器学习在电力系统自适应保护中的应用将更加广泛，为电力系统的智能化和自动化发展奠定坚实基础[6]。

4.3 自适应保护策略的设计与实现

自适应保护策略的设计与实现是智能供配电系统中一项重要的技术任务，旨在提高电力系统在各种运行条件下的安全性和可靠性。自适应保护系统的核心目标是根据实时数据和环境变化动态调整保护策略，以应对不同的故障情形和运行状态。为此，设计和实现自适应保护策略需要考虑多个因素，包括系统的复杂性、故障特征的多样性以及环境的动态变化。自适应保护策略的设计需基于系统的实际运行环境和历史数据，电力系统中各种设备的工作条件、负载变化和外部环境的影响都可能导致不同类型的故障[7]。因此，在设计自适应保护策略时，必须充分考虑这些因素，进行详细的需求分析。通过对历史故障数据的分析，可以识别出故障发生的主要模式和特征。这些模式的识别有助于构建故障诊断模型，并为自适应保护策略的制定提供理论依据。如：利用机器学习技术对历史故障数据进行分类和聚类分析，系统能够学习到故障的特征模式，从而为实时监测和故障诊断提供数据支持。

策略的设计需要实现动态调整和实时反应能力。自适应保护策略的核心在于能够根据实时数据变化自动优化保护参数和策略。这就要求系统具备快速反应和自我学习的能力。如：当系统检测到负载发生显著变化时，保护策略应能够自动调整相关参数，以确保保护系统的有效性。为实现这一点，可以采用在线学习算法，使得保护系统在运行过程中持续学习并更新其模型，从而提高适应能力。同时，在设计策略时，需要制定明确的决策规则，以确保在不同情况下系统能够做出迅速且准确的响应。自适应保护策略的实现需要依赖于先进的技术手段，尤其是信息通信技术和数据处理能力的提升。智能传感器和监测设备的应用，使得系统能够实时获取运行数据并传输到中心控制系统。在数据处理方面，利用大数据分析技术，可以对海量的监测数据进行快速处理和分析，从而为自适应保护策略的实施提供实时支持[8]。

5 结束语

综上，智能供配电系统的自适应保护与故障隔离研究具有重要的现实意义。通过先进的技术手段与算法的应用，智能供配电系统能够在复杂多变的环境中实现动态的保护与隔离，提高电力系统的安全性和可靠性。未来，随着技术的不断进步与应用的深入，这一领域的研究将进一步促进智能电力系统的健康发展，为实现可持续供电和高质量服务提供强有力的保障。

[参考文献]

[1]张伟,杨帅,石振东,等.基于智能防窃电终端的新型配电系统可靠性提升研究[J].环境技术,2024,42(8):132-138.
[2]宋熙.低压智能配电系统在居民用电中的应用[J].内江科技,2024,45(7):88-90.
[3]崔梓莹.人工智能技术在输配电系统监控中的应用[J].集成电路应用,2024,41(7):362-363.
[4]吴颖颖.输配电系统中智能电网技术的应用研究[J].光源与照明,2024(6):189-191.
[5]顾洋洋.智能供配电系统关键技术探究[J].大众标准化,2024(10):56-58.
[6]黄奕翔.变配电系统智能监控与故障诊断技术研究[J].电气技术与经济,2024(5):307-309.
[7]侯富永.控制技术在智能供配电系统中解决方案分析[J].集成电路应用,2024,41(5):384-385.
[8]孙立飞,支昊.人工智能与大数据技术在变配电系统中的应用[J].集成电路应用,2024,41(1):260-261.

作者简介：陈婷（1984.7—），女，现居于安徽省马鞍山市，汉族，本科，高级工程师，就职于中钢集团马鞍山矿山研究总院股份有限公司，主要从事高低压供配电设计工作。

加强政企协调联动提升电力应急管理水平

夏智玮 李 皓 章自胜 李 季 黎晓曦
国网湖北送变电公司，湖北 武汉 430000

[摘要]党的十八大以来，习近平总书记站在全局战略高度，提出要加强国家应急能力建设，提高防灾减灾救灾能力，国务院印发的《“十四五”国家应急体系规划》和2035年远景目标纲要提出“建立与基本实现现代化相适应的中国特色大国应急体系”的新目标，实现依法应急、科学应急、智慧应急，形成共建共治共享的应急管理新格局。各级政府高度重视应急管理工作，不断完善应急法律法规及管理制度。而电力工业是国民经济的基础产业，电力应急管理是国家应急管理的重要组成部分，加强电力应急管理工作，建立政府主导下的电力安全应急机制，是维护国家安全、社会稳定和人民群众利益的重要保障，是保证电力系统安全稳定运行。近年来，随着高温干旱、洪涝、强对流、低温雨雪冰冻等极端天气频发，极易引起社会公共突发灾害及电网设备受损事件。如何在政府指导下开展社会公共事件救援、大面积停电恢复、新闻舆情应对等应急处置工作显得尤为重要。

[关键词]政企联动；电力应急；资源整合
DOI：10.33142/hst.v7i11.14306 中图分类号：F426.61 文献标识码：A

Strengthening the Coordination and Linkage between Government and Enterprises to Enhance the Level of Emergency Power Management

XIA Zhiwei, LI Hao, ZHANG Zisheng, LI Ji, LI Xiaoxi
State Grid Hubei Power Transmission and Transformation Company, Wuhan, Hubei, 430000, China

Abstract: Since the 18th National Congress of the Communist Party of China, General Secretary Xi Jinping has stood at the strategic height of the overall situation and proposed to strengthen the construction of national emergency response capabilities, improve disaster prevention, reduction and relief capabilities. The "14th Five Year Plan for National Emergency System" and the 2035 Vision Outline issued by the State Council have put forward the new goal of "establishing a major country emergency response system with Chinese characteristics that is compatible with the basic realization of modernization", realizing emergency response in accordance with the law, scientific emergency response, and intelligent emergency response, and forming a new pattern of emergency management that is jointly built, governed and shared. Governments at all levels attach great importance to emergency management work and continuously improve emergency laws, regulations, and management systems. The power industry is the fundamental industry of the national economy, and power emergency management is an important component of national emergency management. Strengthening power emergency management and establishing a government led power safety emergency mechanism are important guarantees for maintaining national security, social stability, and the interests of the people, and ensuring the safe and stable operation of the power system. In recent years, with the frequent occurrence of extreme weather conditions such as high temperatures, droughts, floods, strong convection, and low temperatures, rain, snow, and freezing, it is highly likely to cause sudden social disasters and damage to power grid equipment. It is particularly important to carry out emergency response work such as social public event rescue, large-scale power outage restoration, and news and public opinion response under the guidance of the government.

Keywords: government enterprise linkage; emergency power supply; resource integration

引言

深入贯彻学习习近平总书记关于应急工作的重要精神指示，按照国务院“十四五”应急体系规划关于“建立与基本实现现代化相适应的中国特色大国应急体系”目标，融合政府和电力系统应急体系，推动突发事件应对全过程管理。总结历年应急救援和电网处置经验，形成卓有成效的应急体系。一是实现应急流程系统化。融入政府和电力系统应急体系，建设基于系统化的应急管理模式，推动突发事件应对综合管理、全过程管理和应急资源的优化管理，增强应急管理工作的系统性、整体性、协同性。坚持事前防范、事中处置、事后评估相结合，做到防灾减灾救灾相统一，提升救援综合保障能力。二是提高应急资源协同性。充分利用和整合公司内部应急资源，加强与政府、行业、社会应急资源协同，完善应急协调联动机制，合理划分应急处置“战区”，提高跨区域、跨行业、跨部门、跨专业应急协作能力，促进应急资源共享，实现应急资源利用经济化、科学化和效能最大化。三是加强应急工作整体性。建成监测预警、指挥决策、物资调配、协同联动、舆情应对、受援管理等工作机制，形成制度完备、预案齐全、职责明确的应急机制。建立政企联动、预案联动、信息联动、

队伍联动、物资联动等联动模式，形成上下贯通、横向衔接、流程顺畅的高效工作格局。

1 主要工作方法

一是健全政企联动应急体系。建立纵横贯通的应急组织体系，成立以主要领导为组长，领导班子成员为副组长，部门及机构负责人为成员的应急领导小组。小组下设稳定应急办公室和安全应急办公室，负责与政府对口部门沟通联系。成立专业管理机构，负责应急日常工作。修订完善公司应急预案。不断总结社会及行业应急管理经验，完成新一轮应急预案修订和发布，明确与政府在预警、响应、信息报送等方面的协调。围绕设备、装置、场所、岗位制定突发事件现场处置方案范本，强化预案的实用性和可操作性。健全安全事故应急工作责任制，贯彻应急法律法规和政策，确保全员贯彻落实。打造社会救援核心保障能力。协助政府开展救援，掌握并反馈受灾地区电网受损情况及各类信息，建立前方指挥部，确保应急通信畅通。针对自然灾害、社会救援等公共突发事件应对特点，重点提升应急照明与发电保障能力，建成由系留无人机和重型照明灯塔为主力，小型机动和个人照明设备为补充的“空-地”一体照明体系，在受灾一线点亮“第一盏灯”。

二是规范应急管理制度标准。完善《应急抢修队伍建设和管理规范》，明确兼职抢修队伍及人员选拔要求，制定专兼职抢修队伍的考核标准。优化《应急抢修工作管理规范》，建立应急抢修队伍参加抢险工作的全业务流程，明确和压实公司部门、各单位抢修管理职责及工作界面。通过总结历年应急抢修救援经验，完善基干分队标准化工作手册，建立社会救援标准化工作流程。制定应急抢修标准化先期处置和抢修方案范本，实现应急抢险现场技术和安全措施标准化管控。

建立施工抢险力量月度动态信息发布机制，动态掌握湖北电网抢修力量，为就近调派应急队伍提供依据，强化应急跨区协作能力。建立应急队伍分级调度机制，明确“平时”准备和“战时”组织要求，提升快速响应能力。

三是提升应急队伍能力水平。依托电力公司应急、基建、运维等专业能力，提升队伍与装备水平，做好公共突发事件参与准备。面向社会救援，提升应急救援基干分队全科能力。组织电力应急专业救援队伍每年定期开展迎峰度夏（冬）应急演练、组织“双盲”式拉动训练等，日常培育“自己干”队员，按照基干队员一专多能要求，骨干队员均取得高空作业、吊车作业、无人机驾驶、AHA 国际急救员、国际工业绳索、水域驾驶救援等各类专业证书，具备应急照明、应急供电、无人机操作、高空救援、深基坑救援、水域搜救、应急通信等专业救援技能。科学合理配置，提升抢修工器具及应急管理水平。在应急救援装备方面，配置有应急通信、应急照明、小型发电、防汛抗洪、高空及深基坑救援等 196 种、4527 件各型装备。

四是加强风险监测预警能力。加强与气象、水利、地质、交通等政府部门及社会专业机构联络，扩展信息来源渠道，分析研判电网受气象环境的叠加影响，规范预警发布工作，细化预警分级标准，强化和落实预警行动和主动避险措施。加强获取信息的研判应用。优化电网在线监测设备，实现数据信息实时采集研判。依托新一代应急指挥系统，将内外部专业应急信息进行整合，提升监测预警能力。提升对外主动作为能力。做实常态化应急值班，做好 24 小时值班值守和信息报送工作。实时关注政府部门、权威机构、微博、微信公众号等媒体网络，跟踪社会公共突发事件消息，主动联系政府部门提供救援现场电力保供服务。

五是完善应急队伍出动流程。制定标准化预警值守工作流程，确保在接到应急命令时“快速投入，有备无患”。应急救援队伍具备全省快速响应能力，能第一时间到达现场开展先期处置，为公司后续应急队伍的进驻做好前期准备。经多年不断锤炼，骨干队员具备应急通讯、特种设备使用、后勤保障、高空救援等多项特殊技能。电力应急抢修队伍具有全国一流的电网抢修专业技术能力和装备水平，能处置复杂的电网设备损坏情况。在接到预警准备后，依托就近工程项目部、运维基站及施工骨干力量，集结应急抢修队伍，就近调用事发地附近项目工程工器具。

六是健全政企协调联动机制。与省应急救援中心等政府应急机构，以及安能救援、蓝天救援等省内专业队伍建立应急救援联动机制，逐步解决公司在应急救援中社会信息获取、道路桥梁抢修、复杂地形运输、应急通信组网、紧急医疗救助等方面短板问题。建立外部资源互助联络机制，通过与交通运输、装备厂商等企业和社会团体签订互助协议等形式，在突发事件状态下快速调集运输车辆、特种装备等资源，提升社会应急救援协同作战能力。构建对外舆情联络平台，深化网信、应急、新闻媒体等部门沟通联络，与政府建立常态化沟通机制，主动开展工作交流，拓宽信息获取来源，争取政府部门对公司应急处置工作的指导和支持，营造良好外部环境。

七是统一应急指挥调度。发生社会公共突发事件时，在政府统一领导下，由各级应急管理部门对所辖区域应急救援队伍下达调令，调派应急救援队伍参与应急抢险、救援处置工作。公司应急救援队伍参加本单位或协议服务单位应急救援或其他重大活动时，应报同级应急管理部门或行业主管部门备案。健全快速响应机制，接到调令后，应立即启动应急响应，组织人员及装备，第一时间到达救援现场或指定地点，并向负责统一指挥的应急指挥机构报到，服从指挥调度。专业应急救援队伍参与救援任务时应统一着装，统一标识标牌。完善公司《安全生产信息报送工作机制》，规范对外信息报送工作。健全应急值班队伍，规范应急信息报送，确保各类突发事件应急信息及时向政府部门、上级单位报告，积极落实政府部门、上级单位关于事件处置的批示、指示。

八是灾害后期妥善处置。参与社会公共灾害救援处置

后期，按照政府统一要求，做好相关处置措施，避免次生、衍生灾害发生。队伍撤离时，与政府相关部门履行撤离手续，做好信息统计上报及救援工作交接。政府医疗卫生机构组织开展心理疏导工作，及时对应急处置工作中需要心理救助人员进行心理疏导和救助，将心理援助作为突发事件后期处置的一项重要工作，最大限度减轻事件对受干扰人员造成的心理伤害，避免因心理创伤影响正常生活生产。

九是开展应急评估调查。邀请政府相关部门行业专家，开展突发事件应急处置后评估调查。对突发事件的预防准备、监测预警、处置救援、事后恢复等过程进行评估和调查，重点通过还原突发事件应急处置全过程，对照有关应急法规、制度、预案和相关要求，总结经验、查找问题、吸取教训、提出防范和改进措施，不断提高应急处置能力，形成应急处置评估调查报告。

2 突出特色做法

一是依托政企协调机制打通复电堵点。与政府达成“抗灾抢险、电力先行”共识。各施工项目部、巡检运维站建立与属地政府机构的沟通联络机制。加强与交通运输、新闻宣传、气象等部门的沟通与协调，及时掌握灾害地区天气、地质灾害情况，合理使用社会交通运输资源，协调权威官方媒体发声通报应急事件。加强与公安部门沟通与协调，做好重要电力设施设备、电力生产运行人员的安全保卫与救援。加强与社会医疗卫生资源的协调与合作，保障救援人员健康。加大与社会专业救援机构合作，开展应急救援人才培养，协调开展突发事件救援。建立应急抢险受援管理机制，规范受援工作流程，建立外部支援单位对口联络员制度。

二是依托公司支撑业务实现应急集团化运作。加强应急管理全专业协同，统筹各类资源共享共用，充分发挥应对灾害的集团化作战经验和优势。实现快速抢修复电，增强应急管理工作的系统性、整体性、协同性。形成“平战结合、专兼并存”运作模式。“平时”开展各类训练演练、装备使用及保养，参与电网设备检修及基建施工，锤炼专业技能水平。“战时”根据命令，迅速出动，开展应急救援抢险工作。创新“应急＋基建”培育机制。将输电施工新员工与应急骨干队员组成基建“自己干”班组，通过现场实训提升技能水平，作为应急救援基干队伍的“机动部队”，随时投入抢险任务，实现应急与基建人才的双向成长，提升队伍的整体素质水平，确保应急队伍招之能来，来之能战。

三是依托多年应急经验完成管理创新和科技创新。围绕队伍管理、救援技术、装备运输、防汛抗冰、标准化建设等方面，与其他行业、高校、科研机构开展应急救援新装备、新技术研究和改造。开展电网应急抢修方舱、救援方舱改造，实现应急救援抢修装备管理和运输标准化。完善改进冲锋舟快速入水装置，解决汛期冲锋舟运输和使用难题。开展多项应急课题研究，自主研发获得实用新型专利的“便携式应急救援充电箱”和“自卸式应急装备舱”。对小型应急装备进行模块化、定制化管理，解决了小型装备运输和管理难题。探究灾害现场无人机三维建模勘察技术，实现快速复原灾害现场实景，为救援指挥决策提供支撑。

3 主要成果成效

一是彰显企业社会责任。公司应急救援队伍先后历经2015 年“东方之星”客轮翻沉事件应急救援、2016 年暴雨防汛抗洪，2018 年湖北电网抗冰抢险、2020 年火神山医院建设工地夜间照明、2024 年湖北抗冰雪保供电等应急任务。历次救援保电任务中，公司主动与政府部门沟通对接，快速响应，在救援处置过程中，政企协调联动机制运转良好，安全管控到位，人员设备状态良好，救援信息披露及时，对外宣传客观高效。公司卓有成效的救援保电举措得到各级政府及社会各界的广泛好评和高度赞誉，践行了敢于担当、乐于奉献，在大灾面前有大爱的企业精神。

二是加强救援风险防范。开展应急救援风险辨识。通过对应急救援任务作业前的固有风险进行分析识别，并在救援作业过程中，根据现场自然环境、作业内容增加等临时变化因素，重新动态识别，对风险作业采取针对性的预控措施，保证应急救援处置作业的安全风险始终处于有效的管控状态。针对应急救援处置过程中容易发生的心理伤害、交通伤害、触电、溺水、机械伤害、起重伤害等事故类型，提出相应的控制措施，用于辨识和防范现场救援过程中可能存在的安全风险，切实保障应急队员的人身安全和身心健康，形成《应急处置安全风险辨识防范手册》，强化了救援现场安全风险可防可控。

三是提升应急处置效率。建立政企突发事件联络员制度，日常开展操练演习，检验各类灾害情形下应急信息要素传递的能力。常态化值班队伍实时监测社会突发事件消息，30 分钟内完成突发事件信息内部流转，60 分钟完成外部传递，信息传递效率提升 50%。应急救援队伍、应急装备物资采用信息化一张图管理，资源分布定位清晰详实，120 分钟内先期处置及应急队伍、装备准备到位，队伍响应速度提升 30%。根据暴雨强对流、地质地震、雨雪冰冻、医疗卫生等灾害情况，明确不同灾害类型情况下，携带应急装备和抢修物资的数量类别，规范现场处置作业流程，制定应急救援标准化工作手册，队伍现场作业效率提升 30%。

[参考文献]

[1]马宝成.中国应急管理发展报告.[M].北京:社会科学文献出版社,2021.
[2]马宝成.应急管理体系和现代化[M].北京:国家行政学院出版社,2022.
[3]翟磊.政府应急管理[M].北京:机械工业出版社,2023.

作者简介：夏智玮（1986.8—），男，三峡大学，电气自动化，国网湖北送变电公司，专业技术人员，副高级职称。

现代电力市场下的电能计量管理系统研究

刘益武[1] 郑经豪[2]
1. 国网浙江省电力有限公司温州供电公司，浙江 温州 325000
2. 国网浙江省电力有限公司平阳县供电公司，浙江 温州 325400

[摘要]现代电力市场下的电能计量管理系统是一项涉及多个层面、多个角度的系统工程。也就是说，电力市场下的电能计量管理系统本身就是一项很精确的系统工程。电能计量管理系统存在的目的就是满足现代电力市场的供应需求，这其中包括电力需求、电能量计量需求以及电网发电输电和配电的需求等。除了对电力供求进行管理之外，还要对电力供求的数据和电能的计量进行数据储存和计算，所以电力市场下的电能计量管理系统现代化是电能计量管理系统的发展趋势，在市场和不同需求的影响下，自动化管理系统成为了电能计量管理系统的主要构成部分。

[关键词]电力市场；电能计量；管理系统
DOI：10.33142/hst.v7i11.14285 中图分类号：TM933.4 文献标识码：A

Research on Energy Measurement Management System in Modern Electricity Market

LIU Yiwu [1], ZHENG Jinghao [2]
1. Wenzhou Power Supply Company of State Grid Zhejiang Electric Power Co., Ltd., Wenzhou, Zhejiang, 325000, China
2. Pingyang County Power Supply Company of State Grid Zhejiang Electric Power Co., Ltd., Wenzhou, Zhejiang, 325400, China

Abstract: The energy metering management system in the modern electricity market is a system engineering that involves multiple levels and perspectives. That is to say, the energy metering management system in the electricity market itself is a very precise system engineering. The purpose of the electric energy metering management system is to meet the supply demand of the modern electricity market, including electricity demand, electric energy metering demand, and the demand for power generation, transmission, and distribution in the grid. In addition to managing electricity supply and demand, it is also necessary to store and calculate data on electricity supply and demand, as well as energy measurement. Therefore, the modernization of energy measurement management systems in the electricity market is the development trend of energy measurement management systems. Under the influence of the market and different demands, automated management systems have become the main component of energy measurement management systems.

Keywords: electricity market; electricity metering; management system

引言

随着全球能源结构的转型以及电力市场逐步开放，电能计量管理系统在现代电力市场中的重要性日益凸显。作为基础性能源，电力的精准计量不仅影响电力企业的收入及电价的合理设定，也直接关系到消费者的用电成本与电力资源的高效配置。在现代电力市场的背景下，电能计量管理面临着愈加复杂的挑战，尤其是在智能电网、分布式能源、可再生能源以及电动汽车等新兴领域快速发展的推动下，传统计量方式已经无法完全适应新的需求。如何实现精准的电能计量、提升计量数据的实时性与可靠性，如何有效地将新兴技术融入电能计量管理系统，已成为电力行业亟须解决的核心问题。在本文中，现代电力市场中电能计量管理系统的现状与面临的问题将被深入探讨。国内外的经验与教训也将得到分析，并结合物联网、大数据、云计算等前沿技术的应用，电能计量管理系统的设计与优化路径将被研究，旨在为未来智能电网建设及电力市场的可持续发展提供理论支持与技术依据。

1 电能计量在电力市场中的作用

电能计量在电力市场中的作用至关重要，作为电力系统运营及交易的基础环节，其准确性与可靠性直接关系到市场的公平性与效率。在现代电力市场，电能计量不仅仅是对电力消费量的衡量，更与电力价格的确定、交易结算以及电力调度与管理的精准支持密切相关。通过精确记录用户的用电量，电能计量确保消费者仅为实际消耗的电量付费，避免了资源浪费与成本的不合理分摊，进而提升了市场的透明度。与此同时，电能计量数据成为电力市场价格形成的关键依据。尤其是在市场化交易机制下，电能的实时计量为电力竞价、拍卖等交易活动提供了必要的参考，使得电力价格能够准确反映供需状况，从而推动市场的高效运作。

此外，电能计量系统在电力调度中的作用不可忽视。通过及时反馈的计量数据，电力调度中心能够清晰了解各地区及各类用户的用电需求，进而优化电网负荷的预测与调节[1]。电网的运行稳定性得以提升，过载或停电的风险

被有效降低，电力供需的平衡也得以实现，从而优化了电网资源的配置。在电力市场中，计量数据的准确性与时效性直接影响供应商与消费者之间的结算与信任。若计量数据出现偏差或失真，交易的不公平性将导致市场的不稳定，进而影响其健康发展。由此可见，电能计量在确保电力市场公平与高效运行方面，起着至关重要的作用。

2 现代电力市场中电能计量管理的现状与问题分析

2.1 电能计量管理现状分析

在现代电力市场中，电能计量管理正朝着智能化、自动化的方向持续发展，尤其在发达地区，智能电表与远程抄表技术的应用已逐渐普及。这些先进的电能计量系统不仅能够实现实时数据采集与远程抄表，且还通过大数据分析，提供对用电模式的深刻洞察，从而帮助电力公司更精确地进行负荷预测与电网调度。即使在复杂多变的用电环境中，智能电表依然能保持稳定的计量精度，有效避免了传统机械表可能出现的误差及人为操作失误，进而提高了电力结算的准确性与公平性。然而，尽管在某些地区智能电表的推广已取得积极进展，许多地方仍面临着传统计量设备老化、智能电表覆盖率低等问题，特别是在偏远地区，传统的电能计量方式仍占据主导地位。此外，部分地区电力计量系统的信息化建设尚不完善，数据传输与处理的时效性较差，未能及时向电力公司提供准确的用电数据。由此，电力供应商在制定电价策略、管理电力需求与调度电网时，常常缺乏实时、精准的数据支持，影响了电力市场的效率与公平。与此同时，由于市场参与者之间的数据标准化程度不足，不同厂商与地区的电能计量系统常面临接口不兼容、数据共享困难等问题，形成了信息孤岛现象。此种现象对跨区域电力交易与电网优化调度构成了显著制约。因此，尽管现代电力市场在电能计量管理领域取得了一定的技术进步，整体应用的水平与覆盖面仍面临众多挑战。

2.2 电力市场下电能计量的主要问题

在现代电力市场中，电能计量面临的多重挑战严重制约了电力系统的高效运作与公平结算。许多地区，尤其是偏远及农村地区，依然依赖传统的机械式电表或老旧的电子电表，这些设备在精度、可靠性与耐用性上存在显著不足，导致用电数据的准确性受到影响，甚至可能出现失真现象。尽管智能电表技术在部分地区已有应用，但整体普及率仍显偏低，智能化程度远未达到预期水平。智能电表覆盖的不足，限制了电力公司在实时数据采集、远程抄表及用电信息分析方面的能力，进而影响了负荷管理与需求响应等关键功能的实施效果。此外，电力计量系统的互操作性问题也十分突出。不同厂商及地区在设备标准化与数据传输协议上存在差异，致使数据共享与跨区域电力交易面临障碍。尤其在多个电力公司及不同电网之间进行数据协调与结算时，信息孤岛现象屡见不鲜，显著降低了电力市场的整体效率。电能计量数据质量的不足亦为一个亟待解决的问题。数据不准确导致电力公司在电费结算、负荷预测及电网调度时，缺乏足够精确的依据。特别是在复杂的市场环境中，数据失真可能引发电力价格波动、资源浪费甚至电力供应的不稳定，进而影响市场的公平性与透明度[2]。随着智能电能计量技术的广泛应用，系统的安全性问题亦逐渐引起关注。网络攻击与数据篡改等安全隐患，可能对电能计量的准确性与可靠性构成威胁，从而影响电力市场的健康运作。

2.3 国内外电能计量管理的经验与教训

国内外电能计量管理的经验与教训，为我国电力计量系统的发展提供了重要的借鉴。国外，尤其是欧美国家，在电能计量管理方面较早实现了智能化与数字化转型。大量资源已投入到智能电表的应用推广中，依托先进的计量技术与数据分析系统，电力公司能够实时采集数据、远程抄表、自动诊断故障等，从而显著提升了计量精度与管理效率。例如，欧美一些国家通过智能计量网络（AMR）与智能电网（AMI）的有机结合，成功建立了高度集成的电能计量系统，电力市场中用电数据的实时共享与自动结算已成为可能，进而推动了能源管理的精细化与市场公平性的实现。与此同时，国外在电能计量的标准化方面取得了显著进展。计量标准与数据格式的统一，有效避免了不同地区与厂商之间的设备兼容性问题，为跨区域电力交易与信息共享奠定了坚实的基础。与此相比，国内电能计量管理的经验起步较晚。尽管我国在智能电表的推广应用方面已有一定进展，但在设备普及率、数据管理平台建设及计量标准统一等方面，依然存在较大差距。尤其是在一些地区，电能计量设备老化严重，智能电表的覆盖面不足，导致数据采集存在滞后与不准确的情况，进而影响了电力市场的结算与负荷预测。此外，国内电能计量管理的机制与技术平台建设尚未完善，跨区域数据共享与兼容性问题仍然突出，统一的标准与规范亦相对缺乏。部分地区，在计量数据的安全性与防篡改技术的投入方面尚显不足，导致数据泄露与篡改的风险较高。

3 电能计量管理系统的设计与优化

3.1 系统设计需求与功能分析

电能计量管理系统的设计需求与功能分析，关乎系统高效、准确与安全运行的关键。在现代电力市场中，该系统不仅需要提供基础的电能计量与数据采集功能，还必须满足多样化、复杂的市场应用要求，如实时数据传输、远程控制、负荷预测与故障诊断等。高度精准的计量能力，系统必须具备，以便实时、准确地采集各类用户的电能消耗数据，同时确保数据的完整性与可靠性。为此，配备高精度计量仪表，系统应当具备，并能够自动检测设备故障，确保计量数据的稳定性与持续性。在数据采集与传输方面，

系统应支持大规模并行数据的实时传输，确保来自不同计量设备和用户端的数据能够及时上传至集中管理平台。这些数据，将为电力交易、结算及负荷管理提供精确的依据。为提升管理效率，电能计量管理系统还应具备智能化的数据分析与处理能力，对大量历史用电数据进行深度挖掘，以提供用电趋势预测、负荷分析与需求响应等功能，从而帮助电力公司做出更为精准的资源调度与决策。此外，系统的可扩展性亦至关重要。具备足够的灵活性，系统应当能够适应电力市场的变化与技术创新，能够无缝接入智能电网及其他新兴技术。安全性，作为系统设计中的重要考虑，不容忽视。为避免数据篡改或泄露，必须建立严密的安全防护机制，并具备在数据异常或系统故障时的及时报警功能，防止信息失真对电力市场的运行产生不良影响。最后，提升用户体验，同样是设计中的重要因素。管理平台应具备良好的交互设计，使得用户能够便捷地查看用电数据与电费账单，并提供多种支付方式与查询渠道，从而增强用户对电力服务的满意度。

3.2 电能计量管理系统的架构设计

电能计量管理系统的架构设计，在确保系统高效运行、数据精确采集与处理方面，起着至关重要的作用。该系统通常采用分层架构，划分为数据采集层、数据传输层、数据处理层与应用层，各层功能明确，各自协同工作。通过智能电表及其他测量设备，数据采集层实时获取用户的电能消耗数据。这些设备不仅能够实现远程抄表，还支持实时监控，从而确保采集数据的准确性与完整性。数据采集后，经过无线或有线通信网络传输至上层系统。数据传输层的主要职责，是将采集到的数据稳定且安全地传输至中心服务器或云平台。该层通过采用加密协议与可靠的传输方式，确保数据在传输过程中不受干扰或篡改。接下来的数据处理层，是整个系统的核心，负责对采集到的数据进行清洗、分析、存储及处理。通过智能化的数据分析，实时监控电力负荷变化，进行异常检测，优化电力调度，同时生成相关报告与统计数据，能够在此层得到实现。此外，数据处理层还应具备强大的数据存储与管理功能，处理大规模电能数据，支持高效的数据查询与分析操作[3]。最后，应用层为用户提供交互界面，电力运营公司、管理人员及最终用户，能够便捷地查看数据、生成账单、管理缴费等。此层通常还包括数据可视化功能，使用户与管理人员能够直观了解用电趋势与历史数据。系统设计还应考虑良好的扩展性与兼容性，以应对未来技术更新与新业务需求的挑战。同时，架构应具备高度可用性，采用冗余设计与容错机制，确保系统在发生故障时依然能够稳定运行，最大程度地减少对整体系统性能的影响。

3.3 系统性能优化与可靠性提升

电能计量管理系统的性能优化与可靠性提升，对于确保其稳定高效运行，至关重要。优化系统性能的关键，在于提升数据处理速度、存储效率以及系统的响应能力。数据处理方面，通过采用更为高效的算法与先进的硬件设备，延迟在数据处理过程中的显著减少，能够满足实时数据处理的需求。与此同时，面对海量数据存储的挑战，优化存储架构、引入高效的数据压缩技术及存储方案，不仅冗余数据得以减少，还能显著提高存储空间的使用效率。借助云计算与大数据技术，灵活的资源调配得以实现，系统能够在面对不同负载时，自动调整计算资源，提升整体处理能力与扩展性。在提高系统可靠性方面，冗余设计、容错机制与故障自恢复能力，作为关键要素，发挥着重要作用。通过多节点部署、负载均衡及实时监控，单点故障对系统正常运行的影响，能够有效避免，从而增强系统的稳定性。同时，故障检测与自动恢复机制，作为确保系统长期可靠运行的重要手段，必不可少。定期自检、自动修复及异常报警功能，使得系统能够在出现故障时迅速响应，避免系统故障引发更大规模的影响，保证电能计量管理系统的持续稳定运行。

4 电能计量管理系统的未来发展趋势与技术创新

电能计量管理系统的未来发展，将聚焦于智能化、数字化、自动化及绿色环保等多个方面。随着信息技术、物联网、大数据、人工智能等领域的持续进步，电能计量系统将变得更加智能，具备实时监控、分析及优化电力使用的能力。未来的系统，不仅能够精准计量与核算电能消耗，还将通过数据分析，预测用户需求，进而实施智能调度与负荷管理，以最大化电能的使用效率。大数据技术的利用，使得系统能够从海量电能数据中提取有价值的信息，进行深度学习与模式识别，实现对用电行为的精准预测，进而提供个性化服务[4]。随着云计算的广泛应用，电能计量管理系统将具备更强大的计算与存储能力，支持更灵活的扩展，能够处理大规模的实时数据分析。与此同时，智能电表及传感器技术的不断提升，将使计量设备变得更加精准与可靠，并实现远程自动化监控与控制，减少人工干预，有效降低运营成本。技术创新的驱动，还将促使电能计量系统朝着绿色环保方向发展，优化电能分配，减少能源浪费，提高可再生能源的利用效率，进而促进能源的可持续利用。随着电力市场的逐步开放与交易模式的多样化，电能计量管理系统，亦需具备灵活的计费与结算功能，能够支持复杂的计价模式与不同的电价政策，以适应电力市场日益变化的需求。

5 结语

在现代电力市场中，电能计量管理系统的作用，愈加重要。它不仅是确保电力交易透明与公平的基础，更是优化能源使用、推动智能电网建设的关键技术。随着电力市场逐步开放，以及技术的不断演进，电能计量管理系统的设计与优化，面临着新的机遇与挑战。从系统架构到数据处理，从智能化升级到信息安全，每个环节的创新，都对

市场的高效运行，起着至关重要的作用。随着大数据、物联网、人工智能等前沿技术的融合，未来的电能计量管理系统，智能化水平将进一步提升，从而助力电力行业实现绿色发展，提升资源利用效率。在这一过程中，持续的技术创新、政策支持，以及跨行业合作，为电能计量管理系统的未来发展，奠定了坚实基础。

[参考文献]

[1]郑乐锦.现代电力市场下的电能计量管理系统研究[J].决策探索(中),2019,12(7):68.
[2]叶小川,闫毅.浅谈现代电力市场下的电能计量管理系统[J].科技资讯,2018,16(2):65-66.
[3]苏贤乐.基于南方电网电能计量典型设计的电能计量管理研究[D].广东:华南理工大学,2014.
[4]张艳丽.电能计量系统改造项目综合评价研究[D].北京:华北电力大学,2011.

作者简介：刘益武（1986.9—），毕业院校：长春工程学院，所学专业：电气工程及其自动化；郑经豪（1994.11—），毕业院校：嘉兴大学，所学专业：电气工程及其自动化，当前就职单位：国网浙江省电力有限公司平阳县供电公司，职称级别：中级。

征稿

Call for Papers

《Hydroelectric Science & Tecnology》即《水电科技》由新加坡Viser Technology Pte. Ltd.主办，ISSN：2630-5291。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
111 North Bridge Rd, #21-01 Peninsula Plaza,
Singapore 179098

官方网站
www.viserdata.com

ISSN 2717-5383