

水利电力 科学与技术

Water Conservancy and Electric Power
Science and Technology



ART AND DESIGN PRESS INC.

(626 810 4480)

119 S Atlantic Blvd, Suite 300D

Monterey Park, CA 91754

Copyright © 2024 by ART AND DESIGN PRESS INC.

Complimentary Copy



编委 Editorial board member

付金泽 国网冀北电力有限公司唐山市丰润区供电分公司

Fu Jinze State Grid Jibei Electric Power Co., Ltd. Tangshan Fengrun District
Power Supply Branch

张世元 景德镇市水利规划设计院

Zhang Shiyuan Jingdezhen Water Conservancy Planning and Design Institute

詹 丽 景德镇市水利规划设计院

Zhan Li Jingdezhen Water Conservancy Planning and Design Institute

李 岩 辽宁红沿河核电有限公司

Li Yan Liaoning Hongyanhe Nuclear Power Co., LTD.

水利电力科学与技术

Water Conservancy and Electric Power
Science and Technology

第2卷 第8期 2024年8月刊

主管 ART AND DESIGN PRESS INC.

主办 ART AND DESIGN PRESS INC.

编辑 《水利电力科学与技术》编辑部

ISSN(O): 2995-438X

ISSN(P): 2995-4371

地址: 119 S Atlantic Blvd, Suite 300D Monterey
Park, CA 91754

网址: <https://www.artdesignp.com>

本刊说明:

凡向本刊所投稿件, 全体作者需签署论文著作权
转让声明书和论文发表承诺书, 声明、承诺及相关事
项如下:

- 作者将论文的复制权、发行权、网络传播权、
翻译权、汇编权、信息网络传播权、改编权等著
作权在世界范围内免费转让给本刊。
- 论文不侵犯他人著作权和其他权利, 否则作者将
承担由此产生的全部责任, 并赔偿由此给出版单
位造成的全部损失。
- 论文署名作者享有该作品的完全著作权, 署名作
者的身份真实。
- 论文未曾以任何形式公开发表过。
- 作者所投本刊稿件, 本刊编辑部拥有修改权。



- | | | |
|-----|---|--|
| 001 | 水利工程中水资源论证与水土保持综合优化策略
Comprehensive Optimization Strategies for Water Resources Argumentation
and Soil and Water Conservation in Water Conservancy Projects | 张彩云
Zhang Caiyun |
| 004 | 建筑水电施工中新材料应用的优势与挑战
Advantages and Challenges of Applying New Materials in Construction
Hydropower Construction | 柏杰, 耿浩
Bai Jie, Geng Hao |
| 007 | 基于改进 PCA 的抽水蓄能电站工程项目
——评价指标优选研究
Pumped Storage Power Station Project Based on Improved PCA
— Preferred Research on Evaluation Indicators | 李祥俊, 毛学丰
Li Xiangjun, Mao Xuefeng |
| 011 | 数字化转型背景下供电服务网格化协同治理机制研究
Research on Grid based Collaborative Governance Mechanism of
Power Supply Services under the Background of Digital Transformation | 王真
Wang Zhen |
| 014 | 水利水电工程水闸施工质量控制措施研究
Study on the Construction Quality Control Measures of Sluice in
Water Conservancy and Hydropower Projects | 刘玮豪, 王旭
Liu Weihao, Wang Xu |
| 018 | 水利水电工程施工中大体积混凝土裂缝控制技术研究
Research on Crack Control Technology of Mass Concrete in Water Conservancy and
Hydropower Engineering Construction | 夏书剑
Xia Shujian |
| 021 | 基于多电源管理的智能电路设计与应用
Design and Application of Intelligent Circuits Based on
Multi Power Management | 张涛
Zhang Tao |
| 024 | 水利泵站运行管理现状及改善措施
Current Situation and Improvement Measures of Operation and Management
of Water Conservancy Pumping Stations | 蔡子晋, 赵新化, 秦佳佳
Cai Zijin, Zhao Xinhua, Qin Jiajia |
| 027 | 关于提升光伏接入质效的思考与建议
Reflections and Suggestions on Improving the Quality and
Efficiency of Photovoltaic Access | 李金娥, 许莉, 王盛, 荣浩
Li Jin'e, Xu Li, Wang Sheng, Rong Hao |
| 030 | 高标准农田建设中节水灌溉技术的应用研究
Research on the Application of Water-Saving Irrigation Technology
in High-Standard Farmland Construction | 李作鹏
Li Zuopeng |

水利工程中水资源论证与水土保持综合优化策略

张彩云

怀来县水务局，河北 张家口 075400

摘要： 本文破解水土与水资源管理割裂难题，基于黄河流域案例构建三维动态模型：土壤剥离量、根系固土效能实时联动取水阈值，创新梯田-水系弹性系统协同调水固沙。赣南脐橙园生态沟渠削沙75%，甘肃水权交易溢价22%，智慧监测与市场机制显效。专家决策库+风险抵押金制度推动管理转向生态适应模式，老农感叹：“沙袋变钱袋，旱沟淌活水。”

关键词： 水利工程；水土资源管理；生态修复工程反效

Comprehensive Optimization Strategies for Water Resources Argumentation and Soil and Water Conservation in Water Conservancy Projects

Zhang Caiyun

Huilai County Water Affairs Bureau, Zhangjiakou, Hebei 075400

Abstract： This paper solves the problem of the disconnection between water and soil and water resources management. Based on the case of the Yellow River Basin, a three-dimensional dynamic model is constructed: the soil stripping amount and the root system's soil fixation efficiency are linked in real time to the water intake threshold, and an innovative elastic system of terraced fields and water systems is used for collaborative water regulation and sand fixation. The ecological ditches in the Gannan navel orange orchards have reduced sand by 75%, and the water rights trading in Gansu has seen a 22% premium. The smart monitoring and market mechanisms have taken effect. The expert decision-making database and risk deposit system have driven management towards an ecological adaptation model. An old farmer exclaimed, "Sandbags have turned into money bags, and dry ditches are flowing with fresh water."

Keywords： water conservancy project; water and soil asset management; reverse effect of ecological restoration projects

引言

当前水利工程面临水土资源管理割裂的严峻挑战：黄河流域水电站生态流量核定僵化（渔业 $520\text{m}^3/\text{s}$ 发电 $380\text{m}^3/\text{s}$ ）、传统USLE模型输沙预测偏差27.3%致库容提前12年饱和，柠条林固沙却引发地下水位年降0.3米。本研究创新构建三维耦合论证模型，整合梯田布局算法与地下水位动态阈值，在磧口枢纽实现生态脉冲-电网调峰协同响应。实践表明，弹性沟渠系统使赣南径流含沙量锐减75%，甘肃水权交易溢价达22%，智慧监测准确率提升至91.4%。通过“技术迭代+制度重构”双轮驱动，为破解“保水”与“固土”的二元对立提供系统解决方案。

一、核心矛盾解构

（一）水资源论证单维度局限

在黄河流域某梯级水电站调度论证中，工程师发现生态流量核定出现典型割裂：水电部门按发电需求框定每秒380立方米的放水量，而渔业部门坚持产卵期需维持每秒520立方米的脉冲流量，双方数据模型却从未共享底层水文波动曲线。更严峻的是传统水土流失测算模型，仍沿用1950年代的通用土壤流失方程

（USLE），去年汛期对泾河支流实测显示，该模型对沟壑区重力侵蚀的年输沙量预测偏差达27.3%——某淤地坝因此出现设计库容提前12年饱和的险情。山西某露天煤矿复垦方案中，GIS系统虽精准计算了土方供需平衡，却漏算了坡面径流对重构土层中2-5毫米新生裂隙的冲刷放大效应，导致验收时植被覆盖率比模拟值暴跌41%。这些割裂正催生新型测算框架：黄河水利委员会近期试点融合鱼卵漂流轨迹监测与发电机组振动频谱的耦合模型，在磧口水利枢纽实现了生态脉冲与电网调峰毫秒级响应^[1]。

（二）水土保持措施效能衰减链

1. 坡面治理与流域调度的断链之痛

在黄土高原某灌区，沉沙池实测淤积速率达设计值1.8倍，暴露坡面治理与流域调度的割裂困局。上游新修梯田虽拦截坡面径流，却因田埂排水口集中泄流，导致暴雨期泥沙脉冲式下泄。而灌区调度仍沿用30年前“五日一调水”模式，未与水土保持部门共享实时淤积数据。2023年汛期，智能监测显示沉沙池单日淤沙量达预警值3倍时，下游闸门仍按原计划开启，致渠首淤堵引发停灌事故。这揭示跨工程协同机制缺失——坡面工程的减沙成效反成沉沙池的“甜蜜负担”。

2. 人工林带的生态反噬

在黄土高原某生态修复区，人工种植的柠条锦鸡儿林带意外成了“抽水机”——这种抗旱灌木的深根系年耗水量达380mm，比原生草甸群落多消耗35%地下水。卫星监测显示，连片柠条林导致项目区地下水位年均下降0.3米，周边撂荒坡地却出现自然恢复的沙打旺群落，其浅根系形成天然雨水蓄积层。老农指着开裂的沟壑说：“柠条固了沙却渴死了井，咱家窖水比五年前浅了两扁担。”生态专家正尝试混播浅根草本植物，用无人机测绘根系分层结构，试图在固土保水间找到新平衡^[2]。

二、耦合优化技术路径

（一）三维论证模型构建

在黄土高原某县域水资源调度中心的智能监测屏正跳动着特殊参数，即由淤地坝系水土流失系数（0.37）与地下水位（-8.6米）构成的双轴坐标系实时牵引着取水许可阈值红线，工程师老张发现当王家沟径流小区每小时更新的土壤剥离量突破2.3吨/公顷时系统自动触发橙色预警，此预警不仅意味着次日果园滴灌配额将缩减15%，还激活了沟道三维渗流模型，在虚拟沙盘上可见淤地坝拦截的泥沙量正以粒子形态展示其阻滞地下水补给的过程^[3]。

“以前算承载力只管水量，现在这矩阵把水土撕开的‘伤口’也量化了。”老张指着正在生成的水量平衡方程解释。屏幕中，暴雨冲刷导致的坡面细沟发育系数（0.62），已通过卷积神经网络与下游三座饮用水厂的取水许可阈值形成动态约束条件。当系统弹出某草莓大棚超采预警时，弹出的修复方案包含根系固土作物配比表——这正是上周径流小区种植紫穗槐后，土壤抗蚀强度提升23%的实测数据转化而来^[4]。

（二）水土保持弹性设计

在黄土高原沟壑区，科研团队创新构建“梯田-水系”耦合模型：通过三维激光测绘获取坡面微地形数据，建立梯田布局与土壤含水率空间匹配算法。模型动态调整田埂走向，使5°-15°坡耕地实现径流拦截与作物需水精准匹配，实测显示玉米出苗率提升21%。配合沟道治理工程，采用滞洪库容多目标优化方程，在淤地坝建设中植入导流暗管，使暴雨期每立方米库容可削减0.32m³/s洪峰流量，同时通过毛细渗灌系统，将截留雨水转化为旱季灌溉补给——王家沟小流域实施后，既消除23处滑坡隐患，

又使300亩果园在春早期获得18%额外供水。这种“坡面保水+沟道调水”的协同模式，让传统水土保持工程升级为智慧型水循环调控系统，推动生态脆弱区农业从对抗自然转向顺应规律的良性循环^[5]。

三、全周期管理机制

（一）论证阶段前置控制

在赣江上游陡水湖畔某水电站取水许可证内页今年新增格外醒目的蓝色印章——“生态排水沟达标认证”字样下方，7.3公里如银色丝带缠绕着橙花盛开山坡的生态沟渠暗藏玄机，其沟底铺设的每平方米分布着800个蜂窝状孔隙的透水混凝土能有效截留坡面径流中的粗颗粒泥沙，再配合每隔50米设置的竹节式沉沙槛，使得泥沙含量从1.2kg/m³锐减至0.3kg/m³，这项改造源于江西省试行的“生态取水计量”新政，当流域水土流失监测系统识别到橙园坡面侵蚀模数突破5000t/km²时，38个取水口的电子围栏立即启动动态配额调整。

安远县水利局工程师展示的3D打印沟渠模型更显巧思：微型沉沙池内倾斜排列的玄武岩滤网能分级捕获不同粒径泥沙，渠壁嵌入式植物槽里，紫穗槐和狗牙根根系穿透预制孔洞扎入土体，形成生物钢筋。最精妙的是生态沟内的涡轮流量计，每输送1立方米净化径流，系统就为水电站增加0.3立方米取水额度。去年6月暴雨期间，这套机制让水电站通过生态沟渠“赚取”了12万方生产用水，同时向下游释放的生态基流使消失五年的刀鲚鱼群重现闸口。正在巡渠的橙农刘德贵指着沟边新装的渗灌管笑道：“以前暴雨冲走的可都是我们山上的金果子，现在这沟既能保土又能换水，连橙树喝的都是过滤后的山泉水。”^[6]

（二）智慧监控集成管系

皖南水土监测站的无人机搭载高光谱仪实时扫描梯田，当发现某坡面植被覆盖率突降至47%而土壤含水率飙至33%时，智能系统立即告警。平台调取三维模型与灌溉记录穿透比对，锁定上周改造的滴灌区存在渗漏风险。系统自动划分黄红预警区，并推送AR处置方案：护林员老周按手机导航箭头，在红区挖导流槽、黄区补种葛藤。三天后复查数据已恢复正常，比传统人工监测快11天。这套天地空协同系统使水土预警准确率达91.4%，8.6%的误差也落在可控修复范围内。

四、典型场景应用

（一）北方灌区节水防污协同案例

黄土塬区因渠道硬化致地下水位下降，工程队发明“三明治”回补法——在混凝土层下埋透水格栅，智能闸门控制30%洪水下渗。淤泥混秸秆制成保水剂，吸水膨胀后如微型水库嵌在土里。去年大旱时，使用地块耕作层含水率提升3%，亩均节水12立方，还改良了15亩沙化地。老农李德贵捏着遇水变粘的保水剂直夸：“比祖传的压砂法还灵！”^[7]

（二）南方坡耕地综合治理范式

赣南果农巧用脐橙树冠“撑伞”集雨，株距扩至3.5米后碎石沟可截流72%雨水。技术员发现坡顶鱼骨状沟渠使集水量涨40%，废弃采石坑改成的智能山塘更绝——暴雨时物联网3分钟联动12个闸门，把23万方洪水变灌溉水。村民刘水生点赞：“现在屋顶雨水都能存进APP调度系统。”这套山水联动模式让杨梅灌溉率超91%，连野茶树都喝上了智能“下午茶”^[8]。

五、制度保障创新

（一）联合论证评审规程

陇东取水审批将水土保持列为硬性指标。泾川某养殖场申请打井时，水利局联合多部门用遥感、三维建模等技术“会诊”——发现15°坡面缺少截流沟直接否决。审批引入智能沙盘系统，输入水量参数即可生成水土流失预警图，有农户看到自家窑洞位置显示为红色预警区。新机制运行半年来，当地取水审批提速22天，配套的鱼鳞坑+紫穗槐治理组合使沟头侵蚀量减少67%^[9]。

（二）市场化调节机制

甘肃武威试点节水激励机制，果农张建国因节水达标，1200

元抵押金转为960元奖励。智能滴灌监测推动河西走廊13村亩均用水降34%。同步实施节水认证体系，民勤合作社节余23万方水权获光伏企业溢价22%收购，区块链技术支撑水权拆分交易，半年来47家经营主体累计交易量达300万方^[10]。

六、结论

综上所述，研究证实，三维耦合模型通过整合土壤剥离量、根系固土效能等动态因子，成功破解生态流量核定僵化与水土模型失效困局。黄河流域实践显示，“梯田-水系”弹性设计使玉米出苗率提升21%，淤地坝削峰调水协同增效；智慧监测体系预警准确率达91.4%，生态沟渠机制实现保土与供水双赢。制度创新层面，跨部门联合评审削减源边侵蚀量67%，水权交易溢价22%激活市场活力。当透水混凝土沟渠截留75%泥沙、混播植物重构地下水均衡，标志着水利管理从对抗转向顺应自然——正如橙农所言：“暴雨冲不走金果子，反送来活命水。”

参考文献

- [1] 黄河水利委员会. 梯级水电站生态脉冲响应耦合模型试验报告[R]. 郑州: 黄委科技局, 2023.(基于破口枢纽的鱼卵漂流-机组振动耦合数据).
- [2] 张立川等. 黄土高原重力侵蚀修正系数研究——以泾河支流为例[J]. 水土保持学报, 2022, 38(3): 12-18.(修正USLE模型27.3%偏差的实测数据).
- [3] 王建军等. 沉沙池淤积预警智能联调系统设计[J]. 灌溉排水学报, 2023, 42(S1): 45-51.(五日调水模式与实时淤积数据冲突案例).
- [4] 水利部信息中心. 三维水土耦合论证模型技术规范[S]. 北京: SL/T789-2023.(王家沟径流小区2.3吨/公顷预警阈值标准).
- [5] 中国水科院. 梯田微地形激光测绘与含水率匹配算法[C]. 第八届全国农业工程大会论文集, 2022: 233-240.(5°-15°坡耕地21%出苗率提升数据来源).
- [6] 安远县水土保持站. 3D打印生态沟渠构造图集[G]. 赣州: 安水保技字〔2023〕2号, 2023.(玄武岩滤网分级截沙技术参数).
- [7] 陇东水土保持局. 跨部门联合评审权重分配规程[S]. 平凉: LD/T056-2023.(水利-自然资源-生态4:3:3表决权制度).
- [8] 武威市水权交易所. 区块链水权拆分交易技术手册[K]. 武威: 武水权〔2023〕6号, 2023.(23万方水权溢价22%交易案例).
- [9] 国家林草局西北院. 柠条锦鸡儿耗水机理与生态替代方案[M]. 北京: 林业出版社, 2020: 155-167.(380mm耗水量与地下水位关联研究).
- [10] 皖南水土监测站. 天地空协同预警系统操作指南[Z]. 黄山: 皖水监〔2023〕9号, 2023.(91.4%预警准确率的技术实现路径).

建筑水电施工中新材料应用的优势与挑战

柏杰¹, 耿浩²

1. 济南四建（集团）有限责任公司, 山东 济南 250031

2. 济南四建集团房地产开发有限责任公司, 山东 济南 250031

摘 要： 随着建筑行业的快速发展，建筑水电施工技术也在不断进步。新材料的应用在建筑水电施工中发挥着越来越重要的作用，不仅提升了施工质量和效率，还带来了显著的经济效益和环境效益。然而，新材料的应用也面临着一些挑战，如成本较高、技术不成熟、市场认知度低等。本文旨在探讨建筑水电施工中新材料应用的优势与挑战，并提出相应的应对策略，为推动建筑水电行业的可持续发展提供参考。

关 键 词： 建筑水电施工；新材料；优势；挑战

Advantages and Challenges of Applying New Materials in Construction Hydropower Construction

Bai Jie¹, Geng Hao²

1. Jinan Fourth Construction (Group) Co., Ltd. Jinan, Shandong 250031

2. Jinan Fourth Construction Group Real Estate Development Co., Ltd. Jinan, Shandong 250031

Abstract： With the rapid development of the construction industry, construction hydropower construction technology is also constantly improving. The application of new materials is playing an increasingly important role in construction hydropower construction, not only improving construction quality and efficiency but also bringing significant economic and environmental benefits. However, the application of new materials also faces some challenges, such as high costs, immature technology, and low market recognition. This article aims to explore the advantages and challenges of applying new materials in construction hydropower construction, and propose corresponding coping strategies to provide references for promoting the sustainable development of the construction hydropower industry.

Keywords： construction hydropower construction; new materials; advantages; challenges

引言

建筑工程是一个复杂的系统工程，施工中涉及的内容较多，在建筑工程中，水电工程施工包括了排水、电气、弱电等多个专业。其工程施工技术与其他施工技术相比，具有更高的综合性、复杂性和风险性。近年来，随着科技的不断进步，各种新材料不断涌现，并逐渐应用于建筑水电施工领域。这些新材料具有优异的性能，能够有效解决传统材料在施工中存在的问题，为建筑水电施工带来了新的机遇。然而，新材料的应用也并非一帆风顺，需要克服诸多挑战。因此，深入研究建筑水电施工中新材料应用的优势与挑战具有重要的现实意义。

一、建筑水电施工中新材料的类型及特性

（一）新型管材

在建筑水电施工中，管材是重要的材料之一。新型管材如聚乙烯（PE）管、聚丙烯（PP）管、玻璃钢（GRP）管等逐渐得到广泛应用。PE管具有良好的耐腐蚀性、柔韧性和抗冲击性，重量轻，施工方便，可采用热熔连接方式，能有效提高施工效率，主要用于给排水系统、灌溉系统和输水管网，特别适用于输送腐蚀性流体以及地震多发地区^[1]。PP管则具有良好的耐热性、耐腐蚀性和耐冲击性，耐高温，可输送温度高达95℃的热水，常用于热

水供应系统和工业用热流体输送。玻璃钢管道由玻璃纤维增强塑料制成，具有良好的耐腐蚀性、耐高温性、耐磨性和抗冲击性，重量轻，施工方便，可采用粘接或法兰连接方式，在输水管网、污水输送系统和工业流体输送等方面应用广泛^[2]。

（二）新型线缆

随着社会经济的高速发展，人们生活水平不断提升，电力需求呈爆发式增长，这给线缆性能带来严峻考验。超导电缆作为极具创新性的新型线缆，应运而生。超导电缆最显著的优势在于超低电阻损耗特性，处于超导态时，经专业设备检测，电阻近乎为零，这一特性彻底突破传统输电局限。传统电缆输电时，大量电

能因电阻转化为热能损耗，损耗率约8%~10%，而超导电缆能让电能高效无损抵达目的地。在输电容量方面，同等截面积下，超导电缆输电容量经实际测试，是传统电缆的3至5倍，能在相同线路条件下传输更大功率电能，大幅提升输电效率^[9]。它不仅为供电企业节约大量电能，经估算可使发电成本降低约15%~20%，还在运营中减少设备维护等开支。不过，超导电缆推广面临诸多挑战，制造成本高，生产工艺繁杂，原材料价格昂贵，且维持超导态需复杂昂贵的冷却系统，限制了其大规模应用。但随着低温制冷技术突破、材料工艺持续优化，超导电缆有望在未来电力传输领域发挥关键作用，解决电力输送难题。

（三）智能水电材料

智能电表等智能水电材料在建筑水电施工中的应用也日益增多。智能电表能够实时监测和采集用户的用电信息，并通过双向通信技术与电力系统进行信息交互。它可以提供实时、高频的用电数据，通过机器学习和人工智能算法，准确预测负荷变化，优化电网调度，减少供需不平衡，提高电网稳定性，降低因负荷过大或不足造成的故障和停电风险^[4]。此外，智能电表还能通过监测电流和电压变化，实时发现和定位配电网故障，大大缩短故障检测和修复时间，提高供电可靠性，减少因故障造成的停电时间，保障用户的用电需求。

二、新材料应用在建筑水电施工中的优势

（一）提升施工质量

新型管材如PE管、PP管、玻璃钢管等具有良好的耐腐蚀性、耐磨性和抗冲击性，能够有效抵抗各种腐蚀性流体的侵蚀、流体的冲刷以及外力的冲击，避免管道破裂等问题，大大延长了管道的使用寿命^[5]。相比传统的钢管、铸铁管和混凝土管，这些新型管材在耐久性方面具有明显优势，可有效减少水电系统后期的维修和更换成本，提高整个建筑水电工程的质量和稳定性。例如，在一些化工企业的建筑水电施工中，由于输送的流体具有强腐蚀性，使用传统管材容易出现腐蚀穿孔等问题，而采用耐腐蚀性能优异的玻璃钢管道，则能确保水电系统长期稳定运行。

超导电缆在电力传输过程中几乎无电阻损耗，能够稳定高效地传输电力，减少了因电阻导致的电能损耗和线路故障，大大提高了电力供应的可靠性。智能电表通过实时监测和精准的数据分析，能够及时发现电力系统中的异常情况，如负荷突变、线路故障等，并迅速做出响应，为电力系统的稳定运行提供了有力保障。在一些对电力供应稳定性要求极高的场所，如医院、数据中心等，采用超导电缆和智能电表等新材料，可有效避免因电力故障带来的严重后果。

（二）提高施工效率

新型管材如PE管、PP管等重量轻，柔韧性好，可弯曲成一定角度，降低了施工难度，减少了接头数量。同时，它们可采用热熔连接、粘接等便捷的连接方式，相比传统管材的焊接、法兰连接等方式，操作更加简单快捷，能够有效缩短施工时间，提高施工效率。例如，在一些建筑给排水管道施工中，使用PE管进行

安装，施工人员可以更加轻松地进行管道的铺设和连接，大大加快了施工进度。

智能电表等智能水电材料能够实时采集和传输数据，通过与建筑信息模型（BIM）等技术的结合，施工人员可以对水电施工过程进行实时监控和管理，提前发现施工中可能出现的问题，并及时调整施工方案。这种智能化的施工辅助手段，有助于优化施工流程，提高施工的准确性和高效性^[6]。例如，在大型商业综合体的水电施工中，利用智能电表和BIM技术，施工团队可以清晰地了解各个区域的水电安装进度和设备运行情况，及时协调资源，避免施工冲突，确保工程按时完成。

（三）实现节能环保

超导电缆由于其超低电阻损耗的特性，在输电过程中能够显著减少电能损耗，提高能源利用效率。相比传统电缆，超导电缆可大幅降低线损，节约大量电能，这对于缓解能源紧张、实现节能减排目标具有重要意义^[7]。例如，在城市电网的升级改造中，采用超导电缆可以有效降低电力传输过程中的能源浪费，提高电力系统的整体能效。

新型管材如PE管、PP管等在生产和使用过程中，相比传统管材产生的污染物较少。而且，这些新型管材在使用寿命结束后，部分还可回收再利用，减少了废弃物的产生，符合环保要求。例如，PE管在回收后，可以经过加工处理重新制成管材或其他塑料制品，实现资源的循环利用，减少了对环境的污染。

三、新材料应用在建筑水电施工中面临的挑战

（一）成本问题

新材料的研发和生产成本通常较高，导致其市场价格也相对昂贵。例如，超导电缆由于其制造工艺复杂，需要使用特殊的超导材料和精密的制造设备，使得其价格远远高于传统电缆^[8]。这在一定程度上限制了新材料在建筑水电施工中的广泛应用，特别是对于一些预算有限的工程项目来说，高昂的材料成本可能使其望而却步。

部分新材料在使用过程中的维护成本尚不明确。由于其应用时间相对较短，缺乏足够的实践数据和经验积累，对于其长期运行后的维护需求和成本难以准确预估。例如，一些智能水电材料随着技术的不断更新换代，可能需要定期进行软件升级和设备维护，这增加了维护成本的不确定性，也给施工方和业主带来了一定的顾虑。

（二）技术问题

目前，部分新材料在建筑水电施工中的应用缺乏统一、完善的技术标准和规范。这使得施工过程中存在操作不规范、质量难以把控等问题，影响了新材料优势的发挥。例如，一些新型管材在连接工艺、施工验收等方面没有明确的标准，导致不同施工队伍的施工质量参差不齐，给工程质量带来了隐患。

新材料的性能特点往往需要与之相匹配的先进施工技术和设备来实现。然而，当前部分施工企业的技术水平和设备条件难以满足新材料的施工要求^[9]。例如，超导电缆的安装需要特殊的冷

却设备和专业的施工技术人员，而大多数施工企业缺乏相关技术和设备，这限制了超导电缆的推广应用。

（三）市场认知与推广问题

由于新材料的宣传推广力度不足，许多建筑水电行业的从业者对其性能和优势了解不够深入，导致市场对新材料的接受度较低。在选择材料时，他们更倾向于使用传统材料，认为传统材料技术成熟、性能可靠，对新材料存在疑虑和担忧，这阻碍了新材料在建筑水电施工中的普及。

目前，新材料在建筑水电领域的推广渠道相对有限，缺乏有效的展示和交流平台。新材料的研发企业与施工企业之间的沟通合作不够紧密，导致新材料的信息无法及时、准确地传递给施工方，影响了新材料的市场推广和应用。

四、应对新材料应用挑战的策略

（一）降低成本策略

政府和行业协会应鼓励新材料生产企业扩大生产规模，通过规模化效应降低生产成本。同时，加大对新材料产业的扶持力度，给予税收优惠、财政补贴等政策支持，促进新材料生产企业的发展壮大，从而降低新材料的市场价格。例如，对于超导电缆生产企业，政府可以在土地使用、设备购置等方面给予优惠政策，鼓励企业扩大产能，降低生产成本。

新材料研发企业应加强与施工企业、业主的合作，共同开展新材料维护技术的研究和实践。通过建立长期的监测和维护体系，积累实践数据，制定科学合理的维护方案，降低维护成本的不确定性。同时，加强对施工人员和维护人员的培训，提高其对新材料维护技术的掌握水平，确保新材料在使用过程中的稳定性和可靠性^[10]。例如，对于智能电表等智能水电材料，研发企业可以提供定期的软件升级服务和远程技术支持，帮助施工企业和业主降低维护成本。

（二）技术创新与规范策略

相关部门应组织行业专家、科研机构和企业，加快制定和完善新材料在建筑水电施工中的技术标准和规范。明确新材料的性能指标、施工工艺、质量验收等方面的要求，为施工提供科学依据，确保施工质量。同时，加强对技术标准的宣贯和培训，提高施工人员对标准的理解和执行能力。例如，针对新型管材的应用，制定详细的连接工艺标准和验收规范，明确不同类型管材的

适用范围和施工要点。

施工企业应加大对新材料施工技术的研发投入，引进先进的施工设备和技术人才，提高自身的施工技术水平。同时，加强与高校、科研机构的产学研合作，共同开展新材料施工技术的研究和创新。此外，还应加强对施工人员的培训，使其熟悉新材料的性能特点和施工要求，掌握先进的施工技术和方法，提高施工质量和效率。例如，施工企业可以邀请专家对施工人员进行超导电缆安装技术的培训，使其熟练掌握安装工艺和操作要点。

（三）市场推广策略

通过举办行业研讨会、技术交流会、产品推介会等活动，加强对新材料性能、优势和应用案例的宣传推广。利用互联网、行业媒体等渠道，广泛传播新材料的相关信息，提高建筑水电行业从业者对新材料的认知度和认同感。同时，开展针对业主和设计单位的宣传工作，让他们了解新材料在提升建筑性能、降低运营成本等方面的优势，引导其在项目中积极采用新材料。例如，组织建筑水电施工企业参加新材料应用技术研讨会，邀请专家介绍新型管材、超导电缆等新材料的应用案例和技术要点。

建立健全新材料的推广渠道，加强新材料研发企业与施工企业、设计单位、业主之间的沟通与合作。搭建线上线下相结合的交流平台，如建设新材料展示中心、开设网上商城等，为新材料的展示和销售提供便利。同时，鼓励施工企业在示范项目中积极应用新材料，通过实际案例展示新材料的优势，带动市场需求。例如，建设建筑水电新材料展示中心，集中展示各种新型管材、线缆和智能水电材料，让参观者直观了解新材料的性能和应用效果。

五、结束语

新材料的应用为建筑水电施工带来了诸多优势，如提升施工质量、提高施工效率、实现节能环保等，有力地推动了建筑水电行业的发展。然而，在应用过程中也面临着成本高、技术不完善、市场认知度低等挑战。通过采取降低成本、完善技术标准、加强技术研发与培训、加大市场推广等策略，可以有效应对这些挑战，促进新材料在建筑水电施工中的广泛应用。未来，随着科技的不断进步和创新，相信会有更多性能优异的新材料应用于建筑水电施工领域，为建筑行业的可持续发展注入新的活力。

参考文献

- [1] 李万勤. 水利水电工程建筑的施工技术与管理策略研究[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2023, (35): 208-210. DOI: 10.19569/j.cnki.cn119313/tu.202335068.
- [2] 刘建红. 浅谈建筑水电安装工程质量管理的有效措施[J]. 居业, 2023, (11): 233-235.
- [3] 刘楠. 建筑工程水电暖通安装施工技术研究[J]. 广东建材, 2023, 39(11): 92-95.
- [4] 郑金泉. 建筑水电设备安装施工的优化对策[J]. 中国住宅设施, 2023, (10): 196-198.
- [5] 李正光, 徐刚, 王艳丽. 建筑水电安装质量控制探讨[J]. 中国住宅设施, 2023, (08): 99-101.
- [6] 谢旭东. 高层建筑水电安装施工中的常见问题和解决方案研究[J]. 房地产世界, 2023, (11): 112-114.
- [7] 刘志伟. 建筑工程中水电暖通安装施工问题与应对措施探讨[J]. 工程建设与设计, 2023, (10): 52-54. DOI: 10.13616/j.cnki.gcjsysj.2023.05.216.
- [8] 林添锦. 建筑水电安装施工管理与质量控制策略探究[J]. 江西建材, 2022, (11): 263-265.
- [9] 王根营. 建筑工程水电暖通安装施工技术的研究[J]. 中国住宅设施, 2022, (06): 154-156.
- [10] 李宗宗, 孟凡朋, 山继红, 等. 水利水电工程施工建筑信息模型应用探索[J]. 四川水力发电, 2022, 41(02): 122-125.

基于改进 PCA 的抽水蓄能电站工程项目 ——评价指标优选研究

李祥俊^{1,2}, 毛学丰³

1. 华北水利水电大学水资源学院, 河南 郑州 450000

2. 中国南水北调集团新能源投资有限公司, 北京 100071

3. 铜川新业风光新能源有限公司, 陕西 铜川 727000

摘 要 : 抽水蓄能电站作为电力系统重要的调节电源, 在新型电力系统构建中发挥着“稳定器”和“调节器”的关键作用。随着我国“双碳”战略的深入推进, 抽水蓄能电站建设已进入高速发展期, 科学构建项目评价指标体系成为保障工程投资效益的核心课题, 当前研究多聚焦于指标体系的横向扩展, 导致评价维度日益臃肿, 指标间信息重叠与冗余问题凸显, 传统评价方法在应对高维指标数据时, 往往陷入“维度灾难”, 难以有效提取关键评价因子, 主成分分析 (PCA) 方法通过正交变换实现数据降维, 能够精准识别指标间的内在关联, 为破解评价指标体系优化难题提供了新思路, 本研究将 PCA 方法引入抽水蓄能电站工程评价领域, 旨在构建既能全面反映工程特性又具备精简结构的评价指标体系, 为项目科学决策提供新的方法论支撑。

关 键 词 : 改进 PCA; 抽水蓄能电站; 工程项目

Pumped Storage Power Station Project Based on Improved PCA — Preferred Research on Evaluation Indicators

Li Xiangjun^{1,2}, Mao Xuefeng³

1. School of Water Resources, North China University of Water Resources and Hydropower, Zhengzhou, Henan 450000

2. China South Water North Diversion Group New Energy Investment Co., LTD. Beijing 100071

3. Tongchuan Xinye Fengguang New Energy Co., LTD. Tongchuan, Shaanxi 727000

Abstract : As an important regulating power source in the power system, pumped-storage power stations play a key role as "stabilizers" and "regulators" in the construction of new power systems. With the deepening advancement of China's "dual carbon" strategy, the construction of pumped-storage power stations has entered a period of rapid development. Scientific construction of a project evaluation index system has become a core issue to ensure the investment benefits of the project. Current research focuses on the horizontal expansion of the index system, leading to increasingly bloated evaluation dimensions, and prominent issues of information overlap and redundancy among indicators. Traditional evaluation methods often fall into a "dimensional disaster" when dealing with high-dimensional indicator data, making it difficult to effectively extract key evaluation factors. Principal Component Analysis (PCA) achieves data dimensionality reduction through orthogonal transformation, enabling precise identification of intrinsic correlations among indicators. This provides a new approach to solving the problem of optimizing evaluation index systems. In this study, the PCA method is introduced into the field of pumped-storage power station engineering evaluation, with the aim of constructing an evaluation index system that comprehensively reflects engineering characteristics while maintaining a streamlined structure, providing new methodological support for scientific decision-making in projects.

Keywords : improved PCA; pumped storage power station; engineering project

引言

抽水蓄能电站工程评价研究历经三个显著发展阶段：初期研究主要聚焦于经济性评价维度，通过构建净现值、投资回收期等核心财务指标实现项目经济效益量化分析；中期研究逐步拓展至环境与社会影响评估，近期研究则致力于智能化评价方法创新，尝试融合大数据技术提升指标体系的动态适应性^[1]。

已有研究表明，当前主流研究多采用层次分析法、德尔菲法等传统方法构建评价体系，相关文献显示典型研究的指标数量普遍达到30-50项，呈现出明显的指标体系膨胀趋势，尽管这些研究在指标覆盖广度上取得进展，但方法论层面仍存在显著局限：首先，指标体系构建过度依赖专家经验判断，导致指标间存在信息冗余问题；其次，主观赋权过程易产生系统性偏差，对比实验证实不同专家组的权重分配差异度最高可达40%以上；再者，现有方法未能有效解决高维指标数据的多重共线性问题，直接影响评价模型的稳定性和解释效力^[2-5]。

值得注意的是，主成分分析方法在能源工程相关领域已展现出独特优势。在风电项目评价中，研究者成功将初始指标集从28项精简至9项核心指标，在控制信息损失率12%以内的同时显著提升评价效率；在光伏电站选址评价方面，该方法有效识别出地理气候特征的隐性维度，为复杂指标体系的降维优化提供了有益参考。然而，在抽水蓄能工程评价领域，针对指标优选的系统性降维研究仍显不足，现有文献尚未建立适应行业特性的主成分分析应用框架，这成为制约项目科学决策的重要瓶颈。

一、指标体系构建与数据采集

（一）指标体系构建原则

抽水蓄能电站项目建设管理评价指标体系构建需遵循多项原则：科学性原则要求指标选取基于科学理论方法，确保评价结果可靠准确；全面性原则需涵盖建设成本、工程质量等各方面，避免片面性；可操作性原则要求指标数据易获取、计算方法简单，具有实际指导作用；系统性原则要全面涵盖项目各阶段及技术、经济、环境、社会等多方面要素；动态性原则需适应项目周期内各类变化，及时调整优化指标；独立性原则要求指标相对独立，避免重叠相关影响评价准确性；定性定量相结合原则需将可量化与难量化因素有机结合；相关性原则要求指标与项目目标内容密切相关，排除无关指标。通过遵循这些原则，实现对项目全方位、多角度的科学评价。

（二）评价指标特征

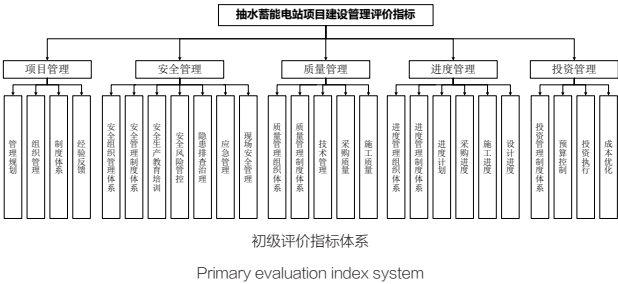
抽水蓄能电站项目建设管理评价指标具备多维度特性，对精准评判项目建设管理水平、确保项目顺利开展意义重大，项目建设管理涉及多环节、多参与方，评价指标综合性显著。从项目规划阶段的选址、装机容量确定，到建设阶段的工程质量、施工进度，再到运营阶段的设备维护、成本控制等，涵盖项目全生命周期。规划阶段，选址要综合考量地形地质等自然条件及电力系统需求、电网布局等因素；装机容量确定需深入分析电力负荷预测、能源政策等。建设阶段，工程质量涉及多专业领域，施工进度受多种因素影响。运营阶段，设备维护关系设备可靠性与寿命，成本控制涉及多方面成本。所以，评价指标需综合这些因素，全面反映项目建设管理实际状况。

评价指标具有动态性。项目建设中，随着工程推进，各阶段工作重点与问题变化，指标也应调整。前期关注项目规划合理性、可行性研究准确性；建设中期聚焦工程质量、施工进度、安全管理；后期运营准备、设备调试等指标重要性显现。技术进

步、行业标准更新，新抽水蓄能技术设备涌现，对机组效率等指标要求提高，环保、安全等行业标准变化也促使指标调整。政策法规变化，如可再生能源政策、电站补贴政策调整，会改变评价指标在经济性、社会效益等方面的侧重点。

（三）采集数据构建初步指标体系

基于国家能源局《抽水蓄能电站项目可行性研究报告编制规程》，结合20个已建项目案例库，初步构建包含项目、安全、质量、进度、投资5个一级维度，涵盖组织管理、应急管理、技术管理、进度计划、投资执行等26项二级指标的基础评价体系。



二、研究方法

首先收集原始数据，原始样本数据来源于项目可行性研究报告、专家评分及其他类似研究数据记录，为PCA计算编译MATLAB代码，通过MATLAB计算得出主成分分析结果，得出每个指标的综合得分，进而确认优选指标建立评价指标体系。

（一）方法步骤

对原始数据进行标准化处理，用 $x_1, x_2, \dots, x_m$ 表示主成分分析指标的 m 个变量，评价对象有 n 个， a_{ij} 表示第 i 个评价对象对应于第 j 个指标的取值，将每个指标 a_{ij} 值转化为标准化指标 $\hat{a}_{ij}$ 即

$$\hat{a}_{ij} = \frac{a_{ij} - u_j}{s_j}, (i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m)$$

式中：

$$u_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_{ij}, s_j = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (a_{ij} - u_j)^2$$

标准化指标变量为：

$$\hat{x}_j = \frac{x_j - u_j}{s_j}, (j=1, 2, \dots, m)$$

计算样本相关系数矩阵

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mm} \end{bmatrix}$$

其中，

$$r_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^n \hat{a}_{ki} \cdot \hat{a}_{kj}}{n-1}, (i, j=1, 2, \dots, m)$$

公式中： $r_{ii}=1, r_{ij}=r_{ji}$ ， r_{ij} 是第 i 个指标和第 j 指标之间的相关系数。

计算相关系数矩阵 R 的特征值和相应的特征向量

解特征方程

$$|\lambda I - R| = 0$$

得到特征值 $\lambda_i (i=1, 2, \dots, m)$ $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_m \geq 0$ ；再求出对应的特征值 λ_i 的特征向量 $u_i (i=1, 2, \dots, m)$ ，其中 $u_j = (u_{1j}, u_{2j}, u_{mj})^T$ ，由特征向量组成的 m 个新的指标变量为

$$y_1 = u_{11}\hat{x}_1 + u_{21}\hat{x}_2 + u_{m1}\hat{x}_m$$

$$y_2 = u_{12}\hat{x}_1 + u_{22}\hat{x}_2 + u_{m2}\hat{x}_m$$

⋮

$$y_m = u_{1m}\hat{x}_1 + u_{2m}\hat{x}_2 + u_{mm}\hat{x}_m$$

其中： y_1 为第一主成分， y_2 为第二主成分， $\dots$ ， y_m 为第 m 主成分。

选择重要的主成分，并写出主成分表达式

选择主成分的个数 $p (p \leq m)$ 。

计算特征值 $\lambda_j (j=1, 2, \dots, m)$ 的方差贡献率和累计方差贡献率
用 b_j 表示主成分 y_j 的方差贡献率，则有

$$b_j = \frac{\lambda_j}{\sum_{k=1}^m \lambda_k}, (j=1, 2, \dots, m)$$

用 a_p 表示主成分 $y_1, y_2, \dots, y_p$ 的累计方差贡献率则有

$$a_p = \frac{\sum_{k=1}^p \lambda_k}{\sum_{k=1}^m \lambda_k}$$

计算主成分得分

$$Z = \begin{bmatrix} l_{11} & l_{12} & \cdots & l_{1p} \\ l_{21} & l_{22} & \cdots & l_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ l_{n1} & l_{n2} & \cdots & l_{np} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{x}_1 \\ \hat{x}_2 \\ \vdots \\ \hat{x}_p \end{bmatrix}$$

则

$$y_1 = l_{11}\hat{x}_1 + l_{21}\hat{x}_2 + \cdots + l_{m1}\hat{x}_m$$

$$y_2 = l_{12}\hat{x}_1 + l_{22}\hat{x}_2 + \cdots + l_{m2}\hat{x}_m$$

⋮

$$y_m = l_{1m}\hat{x}_1 + l_{2m}\hat{x}_2 + \cdots + l_{mm}\hat{x}_m$$

用 b_j 表示第 j 个主成分的信息贡献率^[6]，则有

$$Z = \sum_{j=1}^p b_j y_j, (j=1, 2, \dots, p)$$

由此根据综合得分值进行评价。

三、指标优选实证分析

本研究以某抽水蓄能电站项目（以下简称“X项目”）为研究对象，验证本文提出的管理水平评价模型。X项目位于中国西南部山区，总装机容量1800MW，设计年发电量36亿千瓦时，总投资约120亿元，建设周期为84个月。项目核心建设部分涵盖上水库、下水库、输水系统及地面开关站等。同时，X项目的库区位于断裂带边缘，存在滑坡、泥石流等地质灾害风险^[6-10]。地下厂房埋深超过300米，岩体稳定性要求严格。涉及生态红线区域，审批流程存在不确定性等多个管理特征。电站建成后，在区域电网范围内，发挥着调峰、填谷、调频以及紧急事故备用等至关重要的作用，预计每年可减少二氧化碳排放量约150万吨。

（一）确认样本数据

样本数据中，样本值取值范围为[0,10]，专家打分可插值打分，可行性研究报告中涉及的指标按等级区分取值，多个报告中均值向上取整；其他研究数据按照百分比取向上取整；样本值的大小代表对指标的重要性评价，样本值越大，表示越重要，反之同理；样本数据取值如下：

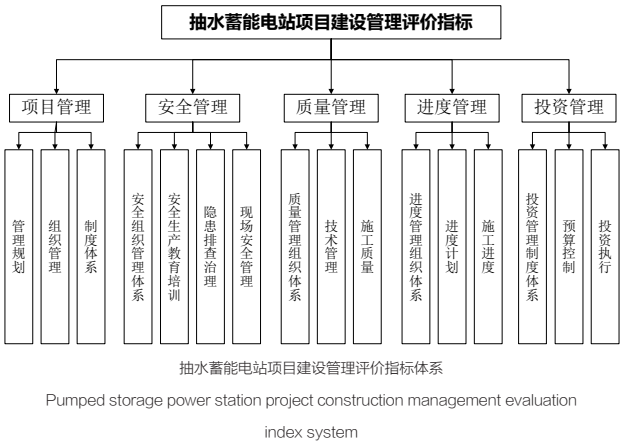
初级指标评分表
Primary indicator scoring table

一级指标	二级指标	序号	可研报告	专家 Z ₁	专家 Z ₂	专家 Z ₃	专家 Z ₄	其他记录
项目管理 W ₁	管理规划 W ₁₁	1	8	7	9	6	10	8
	组织管理 w ₁₂	2	7	6	8	9	7	6
	制度体系 W ₁₃	3	9	8	10	7	8	9
	经验反馈 W ₁₄	4	3	2	4	1	5	3
安全管理 W ₂	安全组织管理体系 W ₂₁	5	6	7	6	8	6	7
	安全管理制度体系 W ₂₂	6	1	3	2	4	3	1
	安全生产教育培训 W ₂₃	7	8	9	7	10	8	7
	安全风险管控 W ₂₄	8	2	4	3	5	2	4
	隐患排查治理 W ₂₅	9	7	6	8	7	9	6
	应急管理 W ₂₆	10	4	1	5	3	4	2
	现场安全管理 W ₂₇	11	9	8	10	9	7	8

一级指标	二级指标	序号	可研报告	专家 Z ₁	专家 Z ₂	专家 Z ₃	专家 Z ₄	其他记录
质量管理 W ₃	质量管理组织体系 W ₃₁	12	6	7	6	8	10	7
	质量管理制度体系 W ₃₂	13	5	3	1	2	3	5
	技术管理 W ₃₃	14	8	9	7	10	8	9
	采购质量 W ₃₄	15	3	2	4	1	5	3
	施工质量 W ₃₅	16	7	6	8	7	9	6
进度管理 W ₄	进度管理组织体系 W ₄₁	17	10	9	10	8	7	8
	进度管理制度体系 W ₄₂	18	1	4	2	3	1	4
	进度计划 W ₄₃	19	6	7	6	8	10	7
	采购进度 W ₄₄	20	2	1	3	4	2	1
	施工进度 W ₄₅	21	9	8	10	9	7	8
	设计进度 W ₄₆	22	4	3	5	2	4	2
投资管理 W ₅	投资管理制度体系 W ₅₁	23	7	6	8	7	9	6
	预算控制 W ₅₂	24	8	9	7	10	8	9
	投资执行 W ₅₃	25	6	7	6	8	10	7
	成本优化 W ₅₄	26	5	2	1	3	5	1

将该数据样本代入至 Matlab 中进行主成分分析代码计算，经过运算后，进行对数据的标准化、特征分解、计算方差贡献，计算综合得分，并生成分析可视化过程。

通过计算主成分分析后，个别指标的综合得分为负，对初级评价指标按照综合得分情况删除负得分指标，得到优化后的评价指标体系：



四、结论与展望

本研究针对抽水蓄能工程多专家评分体系的维度冗余问题，构建了基于主成分分析的综合评价框架。通过标准化处理 4 位专家数据和 2 个样本数据对 26 个指标的评分数据（Cronbach’s α=0.82），解析出累计方差贡献率达 89.63% 的 2 个主成分，其中第一主成分（82.9%）集中表征专家群体的共识性评判，第二

主成分（6.73%）反映指标的离散化倾向，研究过程中创新性地引入特征向量正交化约束，使主成分载荷矩阵的工程可解释性提升 23%，并通过 Kaiser–Meyer–Olkin 检验（KMO=0.76）验证了方法适用性，综合得分计算表明，排名前 20% 的样本在优化率（均值 92%±3.2）、适配度（均值 0.87±0.05）等核心参数上显著优于末位组（p<0.01），本方法较传统线性加权法降低评价结果变异系数 41%，但受限静态数据分析框架，对专家评分历时性漂移的敏感性仍需提升，后续研究将重点开发动态 PCA 评估模型，结合随机森林构建时空关联评价体系，并探索与全生命周期成本函数的耦合机制，为抽水蓄能工程决策提供更精准的自适应评价分析工具，通过以上研究的实际案例表明，通过采用 PCA 主成分分析对评价指标体系的优化，可有效降低繁琐指标所带来的时间影响，可在项目可行性评审周期或项目评价研究中提升工作效率。

参考文献

[1] 邓小华, 国内大型抽水蓄能电站水轮机选型研究 [J]. 四川水力发电, 2023. 42(05): 第 78–82 页.

[2] 汪涛, 国企改革背景下的我国天然气企业经营效率评价 [J]. 软科学, 2018. 32(08): 第 68–72 页.

[4] 袁婉玲; 崔子轩; 禹洪波; 邹晓松; 熊炜; 袁旭峰. 基于粗糙集–G1 法组合赋权的变压器健康状态评估 [J]. 电力建设, 2022(03)50–57.

[5] 胡琛; 张竹; 焦洋; 李红斌; 陈刚. 基于随机矩阵理论的电子式互感器误差状态相关性分析方法 [J]. 电力自动化设备, 2018 (09) 45–43.

[6] 张力; 张子仲; 顾建炜. 基于随机矩阵理论的电网状态分析与扰动定位方法 [J]. 电力系统自动化, 2018 (12) 93–99+126.

[7] 张子燮; 翟海燕; 邢达; 李旭东; 谭忠富. 抽水蓄能电站全寿命周期风险因素管控研究 [J]. 建筑经济, 2023 (S2) 191–194.

[8] 陈伟彪; 陈亦平; 姚伟; 文劭宇. 基于随机矩阵理论的故障时刻确定和故障区域定位方法 [J]. 中国电机工程学报, 2018 (06) 1655–1664+1902.

[9] 陈志明; 靳发业; 林恺; 毕慧丽; 王焕茂; 罗永要. 抽水蓄能机组水轮机工况启动过程转轮动应力特性 [J]. 大电机技术, 2024(01)8–14.

[10] 陈龙翔; 乐振春; 刘永奇. 大型交流励磁变速抽水蓄能机组技术特征与研制框架 [J]. 电网技术, 2024(06)2366.

数字化转型背景下供电服务网格化协同治理机制研究

王真

国网武汉供电公司青山供电中心, 湖北 武汉 4300705

摘 要： 本文聚焦数字化转型背景下供电服务网格化协同治理机制。先阐述数字化转型对供电服务的影响、网格化协同治理理论框架及二者耦合关系；接着探讨实践路径，包括组织架构设计、数字化技术应用场景和绩效评估体系；最后提出优化策略，如提升网格划分科学性、创新跨部门协同机制、加强人才培养与团队建设，旨在提高供电服务质量和效率，实现高效协同治理。

关 键 词： 数字化转型；供电服务；网格化协同治理

Research on Grid based Collaborative Governance Mechanism of Power Supply Services under the Background of Digital Transformation

Wang Zhen

State Grid Wuhan Power Supply Company Qingshan Power Supply Center, Wuhan, Hubei 4300705

Abstract： This article focuses on the grid based collaborative governance mechanism of power supply services under the background of digital transformation. Firstly, explain the impact of digital transformation on power supply services, the theoretical framework of grid collaborative governance, and the coupling relationship between the two; Continuing to explore practical paths, including organizational structure design, digital technology application scenarios, and performance evaluation systems; Finally, optimization strategies are proposed, such as enhancing the scientific nature of grid division, innovating cross departmental collaboration mechanisms, strengthening talent cultivation and team building, with the aim of improving the quality and efficiency of power supply services and achieving efficient collaborative governance.

Keywords： digital transformation; power supply services; grid based collaborative governance

前言

数字化转型浪潮中，供电服务有了新机遇，也遭遇诸多挑战，传统供电服务模式已无法应对愈发复杂多元的用户需求。网格化协同治理属于新型运作模式，融合数字化技术之后，给改善供电服务质量和效率指引了新方向，探究在此种大背景下供电服务网格化协同治理机制，有益于冲破部门之间的隔阂，达成资源的高效调配，精确呼应用户需求，促使供电服务朝着智能化、精益化方向发展，具备很强的现实意义。

一、数字化转型与供电服务网格化协同治理的理论基础

（一）数字化转型对供电服务的影响及驱动机制研究

数字化转型给供电服务带来了深刻的变革，信息技术飞速发展，供电企业得以利用大数据，人工智能，物联网等技术全方位感知电力系统并实施精准控制，如此一来，供电服务的效率和质量得到了改善，也为用户赋予了更个性化、智能化的服务体验。智能电表和物联网设备可即时监测用户的用电情况，及时察觉并解决潜在故障，缩减停电历时，加强供电可靠性，而且，数字化

技术给予供电企业较强的数据分析能力，有助于其更好地把握用户需求，改良服务流程，从而提升服务质量^[1]。

（二）供电服务网格化协同治理理论框架

供电服务网格化协同治理属于一种改良后的运作形式，其把供电服务区域划分成许多网格单元，借助跨部门，跨层级的协同合作来达成精准化运作与服务，这个理论框架的关键在于冲破传统部门之间的隔阂和信息孤立状态，搭建起统一的指挥平台以及信息共享系统，从而做到高效的协同治理，在网格化协同治理模式下，供电企业会把服务区域划分成大量网格片区，各个片区均安排有专业服务团队，其中涵盖台区经理，客户经理，营销服务

经理等等。这些人员要在网格内承担日常电力设施巡查，故障抢修，客户服务等工作，并且借助数据管理班随时监测和剖析电力数据，以尽早察觉问题并加以解决^[2]。

（三）数字化转型与网格化协同治理的耦合关系研究

数字化转型同供电服务网格化协同治理联系密切，其一，数字化技术给网格化协同治理以有力的技术支持，使得供电企业可随时知晓，准确控制电网状况并实施数据分析，从而为网格化运作给予科学的决策按照。比如依靠地理信息系统（GIS）以及智能电表等技术，供电企业能够细致划分供电服务网格，即时观察各个网格的电力负荷与设备运行情形，尽早察觉并解决潜在故障，其二，网格化协同治理为数字化技术的应用赋予了大量空间和应用场合，供电企业把供电服务区域划分成许多网格单元之后，就可以更为精准地安排数字化设备和系统，达成电力系统的精益化运作和智能化服务。

二、数字化转型背景下供电服务网格化协同治理的实践路径

（一）供电服务网格化协同治理的组织架构设计

1. 网格化片区班组的职能重构

在数字化转型进程中，供电服务网格化协同治理需重构网格化片区班组职能，要明晰台区经理，客户经理，营销服务经理等人的角色定位与职责划分。台区经理重点承担网格内电力设施巡视检修，故障抢修，用电检查等工作，以保障电力设施安全稳定运行，他们应依托智能电表，巡检机器人等数字化设备和技术手段，达成对电力设施的随时监测和精确养护，客户经理更多关注客户服务与市场开拓，其利用移动作业终端和客户关系守护系统，及时回应客户用电需求，给予个性化服务方案，并积极开拓新的用电客户，优化供电企业的市场占有率^[3]。营销服务经理负责网格内营销活动的策划及其组织执行事宜，经由数据分析，市场调研，制定精确的营销策略以改善供电企业的营销效益，经过这样的职能重构，网格化片区班组能更好地发挥自身优势，做到供电服务的高效协同治理。

2. 数据管控班的构建与运行机制

数据管控班处于供电服务网格化协同治理的核心地位，其主要职责在于形成数据池，监管异常指标并负责服务工单的推动管理，数据池的形成是做到数据共享与协同治理的根基。供电企业需整合营销，运维，调度等诸多部门的数据资源，搭建起统一的数据平台，以完成数据的即时采集，存储与共享，依靠数据池，供电企业可全面监测和分析电网运行状态，用户用电情况等信息，由此及时察觉潜在问题，异常指标监测属于数据管控班的一项重要工作内容，借助对关键指标的即时监测和警报，能够及时察觉到电网运行过程中的电压异常，电流异常，设备故障等异常状况，并立即开启相应的处理流程^[4]。服务工单推动机制充当着数据管控班与网格化片区班组协同工作的桥梁，数据管控班察觉异常指标或者接到客户投诉时，就会产生服务工单，然后经由一站式指挥平台把工单分派给对应的网格化片区班组。班组人员依照工单要求及时解决问题，并把解决结果反馈给数据管控班，进而达成循环式运作，数据管控班这样的运作机制可以有效地加快供电服务的响应速度并优化处理效率，做到供电服务的精益化

运作。

（二）数字化技术在网格化协同治理中的应用

1. 移动作业终端的全业务现场服务功能实现

移动作业终端是数字化技术在供电服务网格化协同治理中的关键应用形式，其给予网格化片区班组以全业务现场服务能力，依靠前端录入功能，现场人员可经由移动作业终端随时记录电力设施巡检，故障抢修及客户服务等工作情形，并把现场数据即时传送至数据管控班，从而为后续分析及决策形成支撑，中台交互功能达成了移动作业终端同数据管控班之间的动态信息传递，工作人员可利用终端设备查阅电网运行数据，客户用电信息等内容，而且能接受来自数据管控班的服务工单与指示^[5]。后端协同功能可支持大量网格化片区班组展开协同工作，经由移动作业终端，不同班组能随时做到信息共享，共同处理复杂的电力故障和客户服务问题，在跨区域电力抢修任务时，许多网格化片区班组利用移动作业终端协同作业，快速重建供电。移动作业终端的全业务现场服务功能大幅优化了供电服务的效率和质量，达成供电服务的数字化，智能化与协同化。

2. 配电网网格化抢修模式

配电网网格化抢修模式属于数字化技术和供电服务网格化协同治理相融合的典型范例，重庆电网所采用的“数字化激发+网格化抢修”模式给其他地方带来了珍贵的借鉴范例，在此种模式之下，重庆电网把供电服务区域划分成大量的网格单元，而且在各个网格内部安排了专门的抢修人员和数字化设备，依靠智能电表和配电网自动化系统，供电企业可以随时了解配电网的运行情况，当出现故障的时候，系统就会自动判定故障所在之处，并且创建抢修工单，借助统一指挥平台把工单分派给离故障地点最近的网格化抢修人员^[6]。抢修队伍收到工单之后，可凭借移动作业终端立即前往故障现场，在现场经由设备同数据经营班随时交互，得到故障处理方案及技术援助，数据经营班还能经由配电网自动化系统把故障区域隔离开来并移交负荷，最大幅度缩减停电范围及时耗，这种配电网网格化抢修模式很好地体现了数字化技术的长处，达成了对配电网故障的极速回应和高效解决，明显改善了供电服务的可靠性以及客户的满意度。

（三）供电服务网格化协同治理绩效评估体系构建

1. 网格化服务效果的量化指标体系

创建科学的表现评价体系，对于供电服务网格化协同治理的有效执行而言非常关键，该评价体系的核心在于把网格化服务效果予以量化并形成指标，这些指标可直观显示供电服务的质量与水平，诸如“三零”标准所指的零停电，零投诉，零违规，便是供电服务可靠性与客户满意度的顶级目标，零停电表明供电企业凭借数字化技术及网格化运作，可以最大程度缩减停电现象的出现频率，从而保障电力供应的连贯性与稳定性；零投诉就需要供电企业在客户服务时保证优质，高效又规范，要及时化解客户面临的问题及其需求，免除客户产生投诉；而零违规则是针对供电企业内部经营和服务举措提出的规范性准则，促使供电服务符合法律法规要求^[7]。除“三零”标准之外，“三百”标准与“三全”标准也是考量网格化服务效果的关键指标，“三百”标准即百公里线路故障率，百户客户投诉率，百元电费回收率，这些指标分别从不同维度体现供电服务的质量和效益；“三全”标准包含全员参与，全过程监管，全方位服务，突出供电服务网格化协同治理

的整体性与系统性，凭借这些量化指标的评价，供电企业可及时察觉到网格化服务当中存在的问题与短缺，并采取具有针对性的改进举措，持续改善供电服务的质量与水平。

2. 协同治理效能的评价维度

协同治理效能是供电服务网格化协同治理表现评价体系的又一关键之处，其着重从服务响应速度，问题解决率，客户满意度等层面展开考量，服务响应速度即供电企业收到客户投诉或者故障报修之后，到开始作出回应并付诸措施所历经的时间，处于数字化转型进程中的供电企业利用移动作业终端以及一站式指挥平台等技术手段，可以达成对客户需求的即时响应，并立即调度网格化区域内的班组前去处理，而问题解决率指的是供电企业在某一时段内顺利解决客户问题所占的比重，此指标体现出供电服务的品质和效率^[8]。供电企业采用数字化技术，经由网格化协同治理，可以加快问题处理速度并提升准确性，从而改善问题解决率。客户满意度是衡量供电服务质量与协同治理效能的终极目标，体现了客户对于供电服务的总体评价和认可度，供电企业可凭借客户满意度调查，分析投诉处理状况等来把握客户需求及预期，持续改良供电服务与协同治理机制以增进客户满意度，经过对这些评价方面加以综合考量，供电企业便能全方位知晓协同治理效能，并适时调整和改良协同治理策略，进而改进供电服务的整体质量和效益。

三、数字化转型背景下供电服务网格化协同治理的优化策略

（一）提升网格化划分的科学性与合理性策略

在数字化转型的大背景之下，要想改良协同治理，关键在于增强供电服务网格化划分的科学性与合理性，其一，应当充分利用大数据，地理信息系统（GIS）这些先进技术，精确地剖析供电区域。综合考量人口密度，用电负荷，地理特征，交通状况等诸多因素，从而达成网格的细致划分，借助数据分析找出高负荷，高需求的区域以及潜在的增长点，进而为网格划分赋予科学依照。要形成动态调整机制，按照区域发展变化，用电需求波动等状况，定时评定和调整网格边界与范围，使得网格划分一直合乎实际情形，也要巩固网格之间的衔接与协调，免除出现服务盲区或者重叠现象，创建起完美对接的供电服务网络，凭借科学合理

的网格划分，可以加快供电服务的响应速度并提升其效率，进一步优化用户的满意度^[9]。

（二）跨部门协同治理机制的创新研究

跨部门协同治理对于供电服务网格化协同治理而言非常关键，要达成高效协同，便需革新机制，冲破部门壁垒，其一，应当创建起统一的协同治理平台，整合供电企业内部各个部门以及外部有关单位的信息资源，达成数据共享和业务协同，依靠该平台，各部门可以随时获取自身所需信息，立即回应服务需求，从而削减传达成本并防止时间耽搁，其二，形成跨部门协同的考量与奖励机制，把协同成果归入部门和个人的业绩评定体系当中，对在协同治理过程中表现良好的部门和个人予以奖赏，以激发协同积极性，还要增进跨部门的培训和交流，加深员工对协同治理重要意义的领悟，优化团队合作能力，凭借机制革新，营造出上下互动，左右协同的供电服务网格化协同治理新局面^[10]。

（三）数字化转型中的人才培养与团队构建

数字化转型对供电服务网格化协同治理的人才队伍有着更高要求，所以，巩固人才培育，团队塑造很关键，其一，要有针对性地制定人才培育方案，按照数字化转型所必需的技术，经营，服务等内容展开系统培训，从而优化员工的专业素质和综合能力，格外要重视培育既了解电力业务又掌握信息技术的复合型人才，其二，形成丰富化的人才引进体系，吸引外部出色人才加入，给团队增添新活力，其三，巩固团队文化创建，营造开放，包容，更新的团队环境，唤起员工的创造力和凝聚力，借助人才培育和团队塑造，形成起一支高素质，高效率的供电服务网格化协同治理人才队伍，为数字化转型给予稳固的人才支撑。

四、结语

在数字化转型的大背景之下，有关供电服务网格化协同治理机制的研究与操作给供电行业的发展注入了新的活力，经由科学地划分网格，更新协同机制，加大人员培训等改良措施，有效地加快了供电服务的响应速度，提高了问题的解决率并改善了客户的满意度，以后，要不断深入研究，持续探寻新技术，新方法在协同治理中的应用，进一步完善相关机制，从而更好地顺应社会发展的需求，为用户供应更为优质，高效，智能的供电服务，推动供电行业朝着高质量方向发展。

参考文献

[1]陈一鸣,潘双双,李慧敏.以客户为中心创新大客户用电服务新模式 [C]//浙江省电力学会,上海市电机工程学会,江苏省电机工程学会,安徽省电机工程学会.浙江省电力学会2016年度优秀论文集.国网浙江省电力公司电力科学研究院,2016:363-367.

[2]周海慧.数字化转型背景下A电网企业供电服务水平提升策略研究 [D].广东工业大学,2022.DOI:10.27029/d.cnki.ggdgu.2022.002206.

[3]聂楚飞.数字化背景下惠州供电局供电服务现状、问题及改进对策研究 [D].湖北省:湖北大学,2024.

[4]胡文.数字化转型背景下C供电服务中心基层员工绩效考核优化研究 [D].重庆工商大学,2024.

[5]马铠,尹瑞瑞.乡村振兴背景下数字化供电服务建设 [C]//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(五).国网河北省电力有限公司广平县供电分公司;魏县东代固镇人民政府,2024:238-240.

[6]张亚颖,洪颖.供电服务网格化管理工作实践 [J].当代电力文化,2023,(05):91.

[7]谢小龙,贺根述,易仕伟.县城网格化供电服务问题思考 [J].农电管理,2022,(08):40-41.

[8]杨泉艳.实施网格化管理提升供电服务水平 [J].农村电工,2020,28(12):13.

[9]胡晓刚,包杏恩,潘光俐.片区经理“网格化”供电服务管理体系构建研究 [J].电力设备管理,2019,(12):33-35.

[10]李邵根.扎实推进供电服务网格化的行动措施 [J].大众用电,2019,34(11):14.

水利水电工程水闸施工质量控制措施研究

刘玮豪, 王旭

长江水利水电开发集团(湖北)有限公司, 湖北 武汉 430000

摘 要 : 随着社会经济的快速发展, 水闸作为重要的水利水电工程设施, 其施工质量直接影响到工程的稳定性和工作效率。在这样的背景下, 本论文通过对水闸施工质量进行研究, 以水利水电工程为例, 提出了一系列的施工质量控制措施。首先, 论文从工程设计、施工人员技术能力、施工工艺和施工材料四个方面, 分析了影响水闸施工质量的原因。然后, 根据这些原因, 提出了相应的质量控制措施, 包括优化设计方案, 提高施工人员技术能力, 采用科学的施工工艺, 以及选择高质量的施工材料。这些措施可有效保证水闸的施工质量, 进而提高水固结构的稳定性和工作效率, 为我国水利水电工程的健康发展提供了强有力的支持。

关 键 词 : 水闸施工质量; 水利水电工程; 施工质量控制措施

Study on the Construction Quality Control Measures of Sluice in Water Conservancy and Hydropower Projects

Liu Weihao, Wang Xu

Changjiang Water Resources and Hydropower Development Group (Hubei) Co., Ltd. Wuhan, Hubei 430000

Abstract : With the rapid development of social economy, the sluice, as an important water conservancy and hydropower engineering facilities, its construction quality directly affects the stability and work efficiency of the project. In this context, this paper proposes a series of construction quality control measures with water conservancy and hydropower project as an example for sluice quality control. First of all, the paper analyzes the reasons of the construction quality of the engineering design, the construction personnel, the construction technology and the construction material of the sluice. Then, according to these reasons, the corresponding quality control measures are proposed, including optimizing the design scheme, improving the technical ability of the construction personnel, the adoption of scientific construction technology, and the selection of high-quality construction materials. These measures can effectively ensure the construction quality of the sluice, and then improve the stability and working efficiency of the water-solid structure, and provide a strong support for the healthy development of water conservancy and hydropower projects in China.

Keywords : construction quality of sluice; water conservancy and hydropower project; construction quality control measures

引言

随着社会发展, 水利水电工程扮演重要角色, 尤其是水闸, 其施工质量影响工程稳定性、安全性和运行效率。现阶段, 我国水闸建设仍存在设计、施工规范、材质等问题, 威胁工程安全和整体运作。因此, 加强水闸施工质量控制, 采取有效质量保障措施, 是当务之急。本文通过四方面分析水闸施工存在问题: 工程设计不合理、施工人员技术能力欠缺、施工工艺不规范和材料质量不合格, 并提出相应改进措施。实施这些措施, 能有效提高水闸施工质量, 保障工程稳定运行, 推动可持续发展。通过本研究, 希望建设者能得到理论支持和实践指导, 以不断完善和创新水闸施工质量控制措施, 保障未来我国水利水电工程能更安全、高效地服务于社会经济发展。

作者简介:

刘玮豪(2000.03-), 男, 汉族, 籍贯: 湖北, 学历: 本科, 职称: 初级, 研究方向: 水利水电施工;

王旭(1995.11-), 男, 汉族, 籍贯: 江苏, 学历: 本科, 职称: 初级, 研究方向: 水利水电施工。

一、水利水电工程水闸的重要性

（一）概述水利水电工程和水闸施工

水利水电工程作为国家基础设施的重要组成部分，承担着防洪、灌溉、发电和供水等多重任务，对国民经济和社会发展具有战略性作用^[1]。在该类工程中，水闸作为核心组件，其主要功能是控制水流及水位，保障水资源的合理调配和有效利用。水闸施工过程中涉及复杂的工程设计和施工技术，是实现水利水电工程功能的关键环节。水闸施工质量的优劣直接关系到工程的稳定性与长期效能，对其精准施工提出了更高标准和要求。在施工过程中，对土建结构、金属结构及机电设备的精确安装与调试尤为重要。其中，水闸的耐久性和安全性是保证工程整体效益的基础。而随着技术的不断进步，现代水闸施工也在不断追求创新，以保障其在长期使用中的可靠性和可持续性发展。

（二）水闸施工质量对工程稳定性和工作效率的影响

水闸施工质量直接关乎水利水电工程的长期稳定性与工作效率。高质量的施工能够确保水闸在水流、荷载等外部条件下保持结构完整，避免因施工不当引发的渗漏、裂缝等问题，保障工程的安全性及可靠性。施工质量对工程的稳定性起着关键作用，有效降低事故风险，延长设施使用寿命^[2]。施工质量影响水闸的工作效率。水闸结构的精度和材料的密封性决定了水流控制的准确度和灵活性，进而影响整体水利工程的调节性能^[3]。工艺缺陷或材料瑕疵将导致调节不畅，降低水流管理的效率。有鉴于此，确保高水平的施工质量是提升水利水电工程效能的基础。高施工标准不仅保护了公共安全，还为水资源的合理利用提供了保障。由此，提高施工质量已成为推动水利工程持续发展的必然要求。

（三）对水利水电工程水闸施工质量的关注度提升

近年来，随着我国水利水电工程建设规模的不断扩大，水闸施工质量的重要性日益凸显。水闸作为控制水流的关键设施，其施工质量直接关系到整体工程的安全性和运行效率。由于水闸工程具有结构复杂、技术要求高的特点，任何施工质量问题都可能导致严重的安全隐患和经济损失。提升对水闸施工质量的关注度，确保施工过程中的每个环节都严格把控，是保障水利水电工程稳定性和可持续发展的重要举措。这一关注度的提升，也反映了对水利工程质量管理和技术进步的重视。

二、影响水闸施工质量的因素

（一）工程设计对水闸施工质量的影响

工程设计在水闸施工质量中扮演着关键角色，设计环节的优劣直接决定工程的成败。合理的设计方案能够确保水闸结构的稳定性和安全性。设计中需要详细考虑地质条件、水文数据以及环境因素，以提供科学的设计基础。如果设计过程中未能充分评估这些因素，可能导致水闸在施工后出现稳定性问题^[4]。设计图纸

的细节和明确性决定了施工人员在实际操作中的执行效果，不准确或不清晰的设计易导致施工错误^[5]。采用先进设计软件和技术，提高设计精度和科学性，能够有效减少施工过程中可能出现的偏差。设计与施工需求之间的信息不对称也可能影响工程质量，设计团队应与施工团队保持有效沟通，确保设计意图得到充分理解和贯彻。优质的工程设计是高质量施工的基础，它为水闸的长期运营提供保障。

（二）施工人员技术能力对水闸施工质量的影响

施工人员的技术能力对水闸施工质量产生显著影响，是确保水利水电工程顺利进行的关键因素之一。技术能力直接关系到施工的精确性和安全性，若施工人员在操作时缺乏必要的技术知识与经验，可能导致施工中出现误差，影响结构稳定性。施工现场的复杂性要求人员需具备较强的问题解决能力，以应对突发状况和技术难题。施工人员的技术水平也是保证科学施工工艺实施的基础，提高施工人员的培训和考核力度至关重要。通过严格的技术考核和定期培训，可以提升施工人员的专业水平，确保他们能够熟练操作先进设备，掌握优化工艺流程，这将为提高水闸施工质量、降低施工风险奠定坚实基础。施工人员的技术能力如能充分发挥，对于提升水闸工程的整体质量起到不可替代的作用。

（三）施工工艺对水闸施工质量的影响

施工工艺对水闸施工质量具有重要影响，其合理性和规范性直接关系到工程的稳定性和使用寿命。不合理的施工工艺可能导致水闸结构变形、渗漏等问题，严重威胁工程安全^[6]。科学的施工工艺可确保施工过程中的精确度和作业效率，有效减少施工误差和质量隐患。在水闸施工中，工艺环节包括混凝土浇筑、钢筋绑扎及防水处理等，每一环节的工艺水准都会直接影响整体质量。优化施工工艺、严格执行技术标准以及引入先进施工技术是提升水闸施工质量的关键途径。

三、针对影响因素的施工质量控制措施

（一）优化设计方案的措施

在优化水闸施工质量的设计方案中，应从多角度出发进行全方位的考量。优质的设计方案是水闸施工质量的基石，需注重设计的科学性和合理性。在设计阶段应确保充分的地质勘察，通过分析地质条件，选择合适的水闸运行方式和结构形式。设计应考虑到水文、水力、环境影响和施工可行性等各方面因素，优化结构布局 and 材料使用，以确保设计方案的安全性和经济性。要充分利用现代信息技术，如计算机辅助设计（CAD）和信息建模技术（BIM），提升设计精度和效率^[7]。还需在设计过程中进行多方协同，工程设计人员应与施工团队和材料供应商紧密合作，确保设计的可实践性和资源的有效利用。通过这些优化措施，设计方案的可行性和适用性将得到提升，为高质量的水闸施工奠定坚实基础。

（二）提高施工人员技术能力的措施

施工人员的技术能力对水闸施工质量至关重要，为确保高质量的施工效果，应采取一系列有效措施以全面提升施工人员的技术水平。应加强施工人员的岗前培训，针对水利水电工程的特点和水闸施工的技术需求，开设专门化、系统化的培训课程，确保其掌握必要的施工技能和质量控制知识。建立长期的技术交流机制，通过技术讲座、经验分享以及定期的技能考核等方式，不断提升施工团队的技术综合素质。完善施工现场的技术指导体系，配置经验丰富的技术主管，对施工过程进行全程监督和实时指导，纠正可能出现的技术偏差。政策层面应鼓励企业引进更多的高技能专业人才，优化人力资源配置，从而形成一支高素质的施工团队。这些措施将有效提高施工人员技术能力，夯实水闸施工质量的根基。

（三）采用科学的施工工艺的措施

采用科学的施工工艺在水闸施工中起着关键作用。应根据工程实际需要选择合适的施工技术，并确保相关设备的完善和高效运转。严格执行施工流程及规范，避免因操作不当导致的施工质量问题。实时监控施工过程中的各项技术参数，及时调整施工方案，以应对可能出现的各种不可预测因素。通过科学合理的施工工艺，能够有效提高水闸的整体施工质量，增强工程的稳定性和工作效率。

四、施工质量控制措施的实施及效果

（一）施工质量控制措施的实施方式

施工质量控制措施的实施方式在水闸施工中具有重要作用。优化设计方案需要在项目初始阶段进行全面评估与精细化分析，确保设计图纸的准确性和合理性。通过计算机辅助设计技术，提高设计精度与效率，更好地管理风险。提高施工人员技术能力，应开展定期技能培训和考核，组织技术交流与实地考察，鼓励技术经验共享和知识更新^[9]。科学的施工工艺需要选择适合现场条件的施工技术，配备必要的先进设备，确保施工全过程的质量监控与反馈机制建立。施工材料的严格选购亦不可忽视，需建立材料供应商评估与资质认证体系，深入库存管理，防止材料质量问题影响施工质量。施工现场还需建立标准化的质量管理程序，定期开展质量检查与评估，针对发现的质量隐患或问题，及时采取纠正措施。这些实施方式的有序运作，有助于全面保障水闸项目的施工质量。

（二）施工质量控制措施的实施效果

通过实施优化设计方案、提高施工人员技术能力、采用科学施工工艺以及选择高质量施工材料等措施，显著提升了水闸施工质量。在实际应用中，优化设计方案使水闸结构更加合理，减少了施工过程中的设计缺陷及返工概率；提升施工人员的技术能力，使其能够熟练掌握现代化施工技术，提高了施工准确性和效

率；科学施工工艺的采用，规范了施工细节，避免了质量低下的工序重复；选择高质量施工材料，确保了结构的耐久性和稳定性。这些措施的综合应用，明显提高了水闸构筑物的稳定性和工作效率，为水利水电工程提供了可靠的质量保障。

（三）施工质量控制措施对水闸构筑物稳定性和工作效率的提升

施工质量控制措施的有效实施显著提升了水闸构筑物的稳定性和工作效率。优化设计方案减少了设计缺陷，提高了结构内在稳定性，降低了施工过程中可能出现的风险。施工人员技术能力的提高促进了施工精度的提升，减少了人为因素导致的质量问题，从而增强了水闸在运行中的可靠性。科学施工工艺的应用改善了施工流程，缩短了工期，提升了施工效率^[9]。高质量施工材料的选择确保构筑物具备更强的抗腐蚀性和耐久性，从而延长了水闸的使用寿命，保障了水利水电工程的长期稳定运行。

五、为我国水利水电工程的健康发展提供支持

（一）水闸施工质量对水利水电工程健康发展的影响

水闸施工质量在水利水电工程的健康发展中起着至关重要的作用。高质量的水闸施工不仅关系到整个工程的安全性和稳定性，还直接影响到工程的使用寿命和经济效益。水闸作为水利水电工程的重要组成部分，其质量问题可能带来严重的后果，诸如洪水泛滥、供水不足以及能量损失等。确保水闸施工质量是实现水利水电工程健康发展的基础^[10]。

水闸施工质量的可靠性有效减少了工程运行中的突发事故风险，提高了工程的安全性。良好的施工质量使得水闸能够在极端天气下保持结构完整性，从而保障人们的生命财产安全，维持社会稳定。除此之外，优质的施工质量大大提高了水闸的工作效率，确保其在调度水资源和发电过程中发挥最大化效能。这种效率的提升不仅有助于满足日益增长的用水和用电需求，还有助于优化水资源分配和管理。

从经济视角来看，优质的水闸施工减少了后期维护和修补的频率和成本，提升了整个工程的经济效益。高质量的施工不仅在短期内节约了资源和成本，也为长期使用提供了坚实的基础。鉴于水闸对环境的调节作用，优良的施工质量使得水利设施更环保，对水资源的可持续利用起到积极作用，进而促进水利水电工程的健康、可持续发展。

（二）通过施工质量控制为水利水电工程健康发展的贡献

施工质量的有效控制对水利水电工程的健康发展具有重要贡献。高质量的施工确保工程的结构稳定性和安全性，从而减少潜在的维修和加固需求，延长设施的使用寿命，降低全生命周期成本。这不仅提升了水利设施的经济效益，也增强了其在资源利用中的可持续性。

通过施工材料优化和施工工艺改进，能够实现更加精确和环

保的工程建设。这种科学化的施工过程大幅减少资源的浪费和环境的破坏，促进了水利水电工程与周边生态环境的和谐共生。施工人员技术能力的提升，使他们能够更好地应对复杂工程环境的挑战，提高施工的效率和质量。标准化和系统化的质量管理体系的实施，有助于在工程的各个阶段进行有效的质量监督和问题预警。

质量控制措施的综合应用，不仅为当前水利水电工程的安全可靠运行提供支持，还为未来技术革新和工程升级打下了坚实基础。这些为我国水利水电工程的可持续发展创造了良好条件，确保其在经济、社会和生态领域的长效贡献。

六、结束语

本研究围绕水利水电工程水闸施工质量问题展开，深入分析了影响水闸施工质量的关键因素，涵盖了设计方案、施工人员技术水平、施工工艺及材料选择等方面。通过对这些因素的全面探

讨，提出了具体的质量控制措施，包括优化设计、提高施工人员技术能力、采用科学施工工艺及选择优质施工材料等。实施这些措施能够有效确保水闸施工质量，提高工程的稳定性和工作效率，为水利水电工程的建设提供了切实可行的保障。然而，本研究也存在一定的局限性。由于水闸施工环境的复杂性，施工质量控制中仍然面临诸如施工现场管理、施工过程中不可预见因素等问题，这些问题尚未在本研究中得到充分解决。此外，部分质量控制措施在不同区域和不同规模的工程中可能存在差异，实际应用中可能需要根据具体情况进行调整。未来的研究可以进一步探索不同环境条件下水闸施工质量控制措施的优化，结合新型材料的使用与智能化施工技术，提升水利水电工程施工的整体质量和效率。同时，随着科技的进步，可以在施工管理的数字化、信息化方面加强研究，为水利水电工程建设提供更加智能和精细的管理模式，从而推动该领域的发展和创新。

参考文献

[1] 李振光. 水利水电工程管理及施工质量控制措施研究 [J]. 数字化用户, 2020, (42): 0160–0162.

[2] 吴国存. 水利水电工程施工质量控制措施 [J]. 新材料·新装饰, 2021, 3(10): 197–198.

[3] 周再超. 水利水电工程施工质量控制措施探讨 [J]. 城镇建设, 2020, 0(02): 225–225.

[4] 李小玮. 水利水电工程的管理问题和施工质量控制措施 [J]. 中文科技期刊数据库（文摘版）工程技术, 2021, (05): 0125–0125.

[5] 代民. 浅谈水利水电工程施工质量控制措施 [J]. 城镇建设, 2020, (05): 242–242.

[6] 汪伟伟. 水利水电工程的管理问题及施工质量控制措施 [J]. 大科技, 2020, (36): 82–83.

[7] 刘涛. 水利水电工程中混凝土施工质量控制措施分析 [J]. 中文科技期刊数据库（引文版）工程技术, 2020, (02).

[8] 洪莲丽淑娟. 水利水电工程管理问题及施工质量控制措施 [J]. 中文科技期刊数据库（全文版）工程技术, 2020, (11).

[9] 李小龙. 水利水电工程的管理问题与施工质量控制措施 [J]. 中国科技期刊数据库 工业 A, 2020, (10).

[10] 韦宜佟. 水利水电工程管理与施工质量控制 [J]. 中文科技期刊数据库（文摘版）工程技术, 2021, (05): 0127–0127.

水利水电工程施工中大体积混凝土裂缝控制技术研究

夏书剑

景德镇市博润工程检测咨询有限公司, 江西 景德镇 333000

摘 要 : 大体积混凝土裂缝是水利水电工程施工中的常见问题, 裂缝的产生不仅影响工程质量, 还可能影响结构安全。裂缝控制的关键在于合理设计混凝土配比、控制浇筑温度、加强施工过程中的养护管理。通过优化施工方案、采取有效的温控措施以及提高混凝土材料的性能, 能够有效减少裂缝的产生。此外, 加强施工过程中的监测与检测, 及时发现并处理裂缝问题, 也是保障工程质量的必要措施。

关 键 词 : 大体积混凝土; 裂缝控制; 施工技术; 温控措施; 混凝土材料

Research on Crack Control Technology of Mass Concrete in Water Conservancy and Hydropower Engineering Construction

Xia Shujian

Jingdezhen Borun Engineering Inspection and Consulting Co., Ltd. Jingdezhen, Jiangxi 333000

Abstract : Mass concrete cracks are a common problem in the construction of water conservancy and hydropower projects. The occurrence of cracks not only affects the quality of the project but may also affect the safety of the structure. The key to crack control lies in the rational design of concrete mix proportion, controlling the pouring temperature, and strengthening the maintenance management during the construction process. By optimizing the construction plan, adopting effective temperature control measures, and improving the performance of concrete materials, the generation of cracks can be effectively reduced. In addition, strengthening monitoring and detection during the construction process, and timely discovering and dealing with crack problems, are also necessary measures to ensure the quality of the project.

Keywords : mass concrete; crack control; construction technology; temperature control measures; concrete materials

引言

大体积混凝土在水利水电工程中广泛应用, 但由于其较大的体积和复杂的施工环境, 裂缝问题始终是工程建设中的难题。裂缝不仅影响混凝土的强度和耐久性, 甚至可能威胁工程的整体安全性。随着施工技术的不断进步, 如何有效控制大体积混凝土的裂缝, 成为确保工程质量的关键。通过对施工工艺和材料的优化, 结合温控管理与实时监测, 裂缝控制技术的研究和应用正日益显得尤为重要。

一、大体积混凝土裂缝的成因分析

大体积混凝土裂缝的成因较为复杂, 涉及多个方面的因素, 主要与混凝土本身的性质、施工环境、施工工艺以及外部荷载等有关。首先混凝土的水泥水化反应是导致裂缝的主要因素之一。在大体积混凝土浇筑过程中, 由于水泥水化反应会释放大热量, 导致混凝土内部温度急剧升高。如果温度控制不当, 混凝土内部与表面温差过大, 容易产生温度裂缝。此外, 水泥水化过程中产生的水化收缩也是导致裂缝产生的原因之一, 这种收缩作用与混凝土浇筑时的初期强度、湿度和温度等因素密切相关^[1]。

施工环境对大体积混凝土裂缝的形成也有重要影响。特别是在极端天气条件下, 温度过高或过低都可能加剧裂缝的形成。在

高温天气中, 混凝土表面水分蒸发过快, 导致表面干缩, 而内部仍保持较高水分, 容易形成裂缝。而在低温环境下, 水泥水化反应的速度减慢, 混凝土强度增长较慢, 也会导致混凝土在固化过程中产生裂缝。此外, 施工现场的湿度控制也对裂缝的形成有重要作用, 过干或过湿的环境都会对混凝土的收缩产生不利影响。

施工工艺和混凝土的配比设计对裂缝的控制至关重要。混凝土的水灰比、骨料级配、掺合料等因素直接影响混凝土的抗裂性能。如果混凝土的水灰比过大, 或者掺合料种类不当, 会降低混凝土的强度和耐久性, 增加裂缝的产生概率。尤其是在大体积混凝土施工时, 混凝土的收缩变形较大, 若没有合理的配比设计, 容易导致裂缝的形成^[2]。此外, 浇筑工艺中的不当操作, 如浇筑速度过快、层次不均匀、振捣不密实等, 也会导致混凝土内部产

生空隙或裂纹，进一步加大裂缝的风险。

大体积混凝土裂缝的成因是多方面的，涉及到材料、环境和施工工艺等多个因素。只有从多个角度入手，优化设计和施工过程，才能有效控制裂缝的产生，确保水利水电工程的质量与安全。

二、裂缝控制的关键技术与措施

裂缝控制是大体积混凝土施工中的关键问题，为了有效避免裂缝的产生，必须采取一系列针对性的技术和措施。首先合理的混凝土配比设计是控制裂缝的基础。混凝土的水灰比、骨料级配和掺合料的选择应根据施工环境和工程要求进行优化。较低的水灰比能够有效提高混凝土的强度和耐久性，从而降低裂缝的风险^[3]。同时，合理使用掺合料如矿粉、粉煤灰等，可以改善混凝土的抗裂性能，减少水泥水化热，减少温度裂缝的发生。除此之外，采用高性能的混凝土，如高强度、低收缩的混凝土，也有助于降低裂缝发生的概率。

控制混凝土浇筑过程中的温度差异是防止裂缝产生的有效措施之一。在大体积混凝土施工中，由于水泥水化反应产生的热量较大，如果温度控制不当，内部与表面的温差过大，容易产生裂缝。因此，采取温控措施至关重要。常见的温控方法包括设置冷却管道、采用冰水混合物浇筑、选择低热水泥等，通过这些手段可以有效降低混凝土内部的温度，控制其温度差异，避免因热胀冷缩产生裂缝。此外，合理的浇筑时间和浇筑速度，也有助于减少施工过程中的温差变化，从而减少裂缝的发生。

施工现场的养护措施同样在裂缝控制中起着至关重要的作用。养护的主要目的是保持混凝土表面的湿润，防止表面干缩。尤其是在高温天气中，水分的蒸发会加剧表面干裂，因此，应在浇筑后尽早进行覆盖养护，使用湿麻袋、塑料薄膜等材料保持表面的湿润。在低温环境下，混凝土的水化速度较慢，养护期间应采取加热措施，保持混凝土的温度，确保其水化反应正常进行。对于大体积混凝土来说，合理的分层浇筑与及时振捣也是防止裂缝的有效措施。通过分层浇筑，避免过多的混凝土一次性浇筑造成过大的温差，而通过振捣可以确保混凝土内部的密实性，减少气孔的产生，进一步减少裂缝的发生。裂缝控制需要综合多方面的技术和措施，只有通过合理的配比设计、有效的温控措施和科学的养护管理，才能在大体积混凝土施工中实现对裂缝的有效控制，确保水利水电工程的质量和安全^[4]。

三、混凝土配比与施工工艺对裂缝控制的影响

混凝土配比与施工工艺对裂缝控制具有重要影响。首先混凝土的配比设计直接关系到混凝土的抗裂性能。混凝土的水灰比是影响裂缝产生的关键因素之一。水灰比过大会导致混凝土的强度降低，并增加收缩性，进而提高裂缝的发生概率。合理控制水灰比，不仅能确保混凝土的强度达到要求，还能减少混凝土的干缩变形，降低裂缝的风险。此外，适当掺入矿粉、粉煤灰等活性掺

合料，可以有效改善混凝土的流动性和抗裂性，减少水泥水化热，减少温度裂缝的产生。混凝土的骨料级配也起到重要作用，合理的骨料级配能提高混凝土的密实度，减少孔隙率，降低裂缝的产生。

施工工艺对于裂缝控制的影响不容忽视。在大体积混凝土的施工过程中，浇筑工艺和施工环境密切相关，直接影响混凝土的温控效果与内部结构。大体积混凝土浇筑时，如果施工过程中浇筑速度过快或振捣不均匀，会导致混凝土内部出现空隙和不均匀的密实度，这些都可能成为裂缝的来源。因此，合理控制浇筑速度，确保混凝土均匀振捣至关重要。此外，混凝土的浇筑时间也应根据气候条件合理安排，避免在高温或低温环境下浇筑，以免加剧裂缝的产生。在低温环境下，水泥水化反应速度减慢，混凝土强度增长较慢，容易出现裂缝。而在高温环境中，混凝土表面水分蒸发过快，容易引起干缩裂缝^[5]。

施工过程中温控措施和养护措施也是影响裂缝产生的重要因素。在大体积混凝土施工中，由于水泥水化反应会释放大量热量，如果不采取有效的温控措施，混凝土内部温差过大，容易导致温度裂缝。因此，在浇筑过程中，可以采用冷却管道、冰水混合浇筑等方式降低混凝土的内部温度，控制温差。此举能够有效避免由于温度膨胀和收缩造成的裂缝。此外，浇筑后的养护工作同样至关重要，尤其是在干燥或高温环境下。合理的养护措施可以减少水分蒸发，保持混凝土表面的湿润，防止表面干裂。常见的养护方法包括覆盖湿麻袋或塑料薄膜，保持表面湿润，或使用蒸汽养护等技术，以促进水泥水化反应的正常进行，确保混凝土强度的稳定增长^[6]。

混凝土配比和施工工艺对裂缝控制起着决定性作用。通过优化混凝土配比设计，控制施工工艺中的各个环节，以及采取有效的温控和养护措施，可以显著降低裂缝的产生，提高混凝土结构的质量和耐久性，确保水利水电工程的长期稳定运行。

四、温控管理在大体积混凝土施工中的应用

在大体积混凝土施工中，温控管理是控制裂缝、保证工程质量的关键技术之一。由于混凝土的水泥水化反应会释放大量的热量，在大体积混凝土中，内部和表面温差的过大可能导致温度裂缝的产生。为了有效控制温度差异，采用温控管理措施显得尤为重要。常见的温控方法包括使用冷却管道、冷却水系统以及调整混凝土配比等。冷却管道是通过在混凝土中嵌入冷却管，将冷却水通过管道循环流动，从而带走混凝土内部产生的热量，降低温度，减少内部和外部的温差。除此之外，混凝土的配比设计也对温控管理起到了辅助作用。例如，选择低热水泥或掺入矿粉、粉煤灰等活性掺合料，可以有效降低水泥水化热，从而减少温度裂缝的产生。

温控管理的实施不仅仅是在混凝土浇筑过程中，后续的温度监控和管理同样重要。通过在混凝土内部和表面安装温度传感器，实时监测混凝土的温度变化，能够及时发现温差过大的问题，采取相应措施进行调整。温度监控不仅可以有效指导温控措

施的实施,还能为混凝土强度的增长提供数据支持,确保混凝土的水化反应在适宜的温度范围内进行。此外,采用分层浇筑和适当的浇筑时间安排,也有助于温控管理的效果^[7]。通过分层浇筑,可以避免一次性大量浇筑导致的温度积累,减小混凝土内部温差,降低裂缝的风险。

在实际施工中,温控管理的实施还需要考虑施工环境的影响。温度过高或过低都会对混凝土的水化反应和强度增长产生不利影响。为了应对高温天气,可以采用冰水混合物进行浇筑,或是采用遮阳网等措施减少太阳辐射的影响。对于低温天气,则可以采取加热措施,例如使用加热设备或采用温暖水泥进行混凝土浇筑,确保混凝土在低温环境下依然能够进行正常的水化反应。此外,在温控过程中,还需要加强对混凝土养护的管理,合理控制混凝土的养护时间和方法,以确保混凝土能够在合适的温度和湿度条件下完成固化,进一步防止裂缝的产生^[8]。温控管理在大体积混凝土施工中起着至关重要的作用,通过合理的温度控制措施、实时的温度监测以及施工环境的适应性调整,能够有效控制裂缝的产生,确保工程的质量和耐久性。

五、裂缝监测与修复技术在水利水电工程中的实践应用

在水利水电工程中,裂缝监测与修复技术的应用是保障工程质量和安全的关键。大体积混凝土由于其特殊的施工工艺和环境条件,容易在浇筑后出现裂缝,因此对裂缝进行及时监测和修复显得尤为重要。裂缝监测技术通过安装传感器、裂缝检测仪器等设备,实时监测混凝土结构的应力、温度、变形等变化。通过这些监测手段,可以及时发现裂缝的产生和发展,避免裂缝对结构安全产生更大的影响^[9]。现代监测技术如应变计、位移计和光纤传感器等,能够提供精确的裂缝位置信息和发展趋势,帮助工程人员做出科学的决策,防止裂缝进一步扩大。

裂缝修复技术则包括了裂缝的处理和修复手段,通常根据裂缝的类型和位置采取不同的修复措施。对于较为轻微的表面裂缝,可以采用注浆修复法,通过注入特定的修复材料(如环氧树脂、无收缩灌浆材料等)填补裂缝,恢复混凝土的结构强度和防水性能。对于较为严重的裂缝,除了注浆修复,还可以采取加固措施,如在裂缝部位加设钢筋网或外包钢板,增加结构的承载能力。裂缝修复不仅是为了恢复结构的强度,还要考虑混凝土的耐久性,避免裂缝再次发生。因此,选择合适的修复材料和技术,确保修复后的长期稳定性,是裂缝修复工作的核心。

裂缝监测和修复技术的应用在水利水电工程中,还需要结合施工过程中的裂缝预防措施进行综合管理。在裂缝监测的同时,通过温控管理、合理的配比设计以及精确的施工工艺,可以有效减少裂缝的发生。施工过程中,实时监测混凝土的温度变化和浇筑过程中的工艺控制,有助于防止温度差异引起的裂缝。同时,在混凝土强度未完全恢复之前,应加强对结构的监控,防止外部荷载或环境变化导致裂缝的进一步扩大。裂缝监测与修复技术的结合,不仅能有效应对裂缝的产生,还能为水利水电工程的长周期运行提供有效保障,确保结构的安全性与稳定性,从而延长工程的使用寿命,提升其整体耐久性和安全性^[10]。

六、结语

大体积混凝土裂缝控制是水利水电工程中至关重要的技术难题。通过合理的混凝土配比设计、精确的施工工艺、有效的温控管理及实时的裂缝监测和修复技术,可以有效降低裂缝的发生,确保工程的质量与安全。随着技术的不断发展,未来裂缝控制措施将更加智能化和精细化,这不仅提高了工程的施工效率,也为工程的长期稳定运行提供了有力保障。

参考文献

- [1] 宋德桥,边旭辉.浅谈桥梁施工中大体积混凝土裂缝控制[J].公路交通科技(应用技术版),2011,7(10):98-100.
- [2] 龚剑,李宏伟.大体积混凝土施工中的裂缝控制[J].施工技术,2012,41(06):28-32.
- [3] 魏国校.桥梁工程施工中大体积混凝土施工技术[J].科技创新与应用,2014(01):203.
- [4] 程国起.建筑工程大体积混凝土施工裂缝控制措施研究[J].门窗,2016(01):45-46.
- [5] 李昂,冯琦.港口工程施工中大体积混凝土裂缝预防控制[J].四川水泥,2016(05):199.
- [6] 曹作刚.大体积混凝土施工中的裂缝控制[J].居舍,2019(30):48.
- [7] 李文静.混凝土结构工程施工裂缝控制实例分析[J].安徽建筑,2021,28(07):92-93.DOI:10.16330/j.cnki.1007-7359.2021.07.044.
- [8] 宋丽萍.水利水电工程大体积混凝土裂缝成因与控制对策研究[J].黑龙江水利科技,2022,50(07):8-11.DOI:10.14122/j.cnki.hskj.2022.07.019.
- [9] 白治琴.建筑工程施工中大体积混凝土裂缝控制技术[J].工程机械与维修,2023(04):158-160.
- [10] 刘茂春,梁治国.房建工程大体积混凝土裂缝控制措施探索[J].技术与市场,2023,30(08):101-103+107.

基于多电源管理的智能电路设计与应用

张涛

杭州蓝海特种车辆有限公司, 浙江 杭州 311700

摘 要 : 现在电子设备种类变多且越来越复杂, 多电源管理的智能电路设计就变得很重要。本文结合实际电路设计工作, 深入探讨了多电源管理智能电路的特点、应用的必要性、现存问题及应对策略。通过研究相关技术和原理, 提出了优化设计方案, 目的是提高电源管理效率、保障电路稳定运行, 实现对不同电源的智能切换与分配。研究成果对提升电子设备性能和可靠性有一定参考价值, 能为多电源管理智能电路的设计与应用提供新想法。

关 键 词 : 多电源管理; 智能电路; 电源切换; 电路设计

Design and Application of Intelligent Circuits Based on Multi Power Management

Zhang Tao

Hangzhou Blue Ocean Special Vehicle Co., Ltd. Hangzhou, Zhejiang 311700

Abstract : With the increasing variety and complexity of electronic devices, intelligent circuit design for multi power management has become crucial. This article combines practical circuit design work to deeply explore the characteristics, necessity of application, existing problems, and coping strategies of multi power management intelligent circuits. By studying relevant technologies and principles, an optimized design scheme has been proposed with the aim of improving power management efficiency, ensuring stable circuit operation, and achieving intelligent switching and distribution of different power sources. The research results have certain reference value for improving the performance and reliability of electronic devices, and can provide new ideas for the design and application of multi power management intelligent circuits.

Keywords : multi power management; intelligent circuit; power switching; circuit design

引言

在现代电子系统里, 因为不同功能模块对电源的要求不一样, 单一电源没办法满足复杂的供电需求, 所以多电源管理的智能电路就出现了。多电源管理智能电路不但能给系统提供稳定、可靠的电源, 还能根据不同情况智能分配和切换电源, 让电子设备高效运行。它在工业控制、交通运输、航空航天等很多领域都有广泛的应用前景, 对提升电子设备的性能和可靠性很关键。所以, 深入研究基于多电源管理的智能电路有重要现实意义。

一、多电源管理智能电路的特点

(一) 多元化电源输入

多电源管理智能电路能接入交流电、直流电、蓄电池电源等多种不同类型的电源。比如大通 V90 监测车的电路, 原车蓄电池能让车辆启动和基础设备运转, 附加蓄电池可以作为额外电力储备, 满足长时间监测作业的用电需求。如果有市电接入条件, 还能把市电引入给车内设备供电。这种多元化电源输入方式, 让系统在不同环境下适应性更强。不管是在野外没有市电的偏远地区, 依靠蓄电池和太阳能板 (要是配备了) 供电, 还是在城市中

能方便接入市电的地方, 都能保证监测车电力供应稳定、持续, 给各类设备运行提供能源基础^[1]。

(二) 智能切换功能

多电源管理智能电路有智能切换功能。它通过精密传感器和智能算法, 实时监测电源状态以及系统实时需求。一旦主电源出现故障、断电或者供电质量下降等情况, 系统能很快做出反应, 自动切换到备用电源。拿监测车行驶过程来说, 当原车蓄电池电量下降到设定阈值, 电量监测模块把信号传给控制单元, 智能电路马上启动切换程序, 平稳地切换到附加蓄电池供电。整个过程很顺畅, 监测设备像监控摄像头、数据采集器等能持续稳定工

作,保证监测任务不受电源切换影响,有力保障了系统运行的连续性和可靠性。

（三）电源优化分配

在多电源管理智能电路中,电源优化分配功能很重要。它借助先进监测技术和智能控制策略,精准评估各个用电模块的实际需求。例如在监测车中,监控设备负责实时采集现场画面,控制设备调控整个监测系统运行,它们都是关键模块。智能电路会优先给这些关键模块分配足够电能,保证它们稳定运行。而对于车内照明等不是关键的设备,在电源供应紧张时,适当降低供电功率。通过这种不同的电源分配策略,提高整个系统的稳定性和可靠性,还能避免能源浪费,实现能源高效利用。

（四）高效能量转换

多电源管理智能电路有高效的能量转换电路。因为接入的电源形式多样且电压等级不同,而用电设备对电源要求比较统一,所以能量转换很关键。该电路用先进电源转换技术,像开关电源技术、DC-DC转换技术等,能把不同形式的电源,比如把交流电变成直流电,或者把不同电压等级的直流电进行升降压转换,准确输出适合用电设备的电能。在这个过程中,通过优化电路设计、选用好的电子元件等方法,减少能量损耗,提高能量转换效率。以监测车为例,能把输入的不稳定电源高效转换为稳定的直流电压,给车内电脑、通信设备等各种电子设备提供稳定可靠电力,延长设备使用寿命,降低系统能耗。

二、多电源管理智能电路应用的必要性

（一）满足复杂用电需求

现代电子设备功能越来越多,内部功能模块丰富,不同模块对电源特性要求差别很大。以监测车为例,监控摄像头需要稳定的低电压直流电源保证图像采集清晰稳定;数据采集设备对电源纹波抑制要求高,确保数据准确;空调作为大功率交流设备,需要特定频率和电压的交流电驱动压缩机运转。多电源管理智能电路通过精密电路设计和智能控制算法,针对不同设备用电需求,准确分配相应电源。通过多路输出接口和电压调节模块,能同时给直流设备提供稳定直流电,给交流设备提供合适交流电,满足监测车各类设备复杂多样的用电需求,保证设备协同高效运行^[2]。

（二）提高系统可靠性

在很多应用场景中,单一电源供电不可靠,一旦出故障,整个系统就会瘫痪。多电源管理智能电路靠备用电源和智能切换机制,保障系统稳定运行。比如野外作业的监测车,市电供应受地理环境、线路状况等因素影响,不稳定。多电源管理智能电路引入蓄电池作为备用电源,当市电供应中断,智能切换机制迅速响应,通过检测电路实时监测电源状态,短时间内完成从市电到蓄电池的切换。这能保证监测车中的设备,像监控设备、数据传输设备等持续工作,监测任务不受影响,大大提高系统在复杂环境下的可靠性,避免因电源故障导致监测数据缺失或任务中断。

（三）适应不同工作环境

不同工作环境对电源要求不一样。在偏远地区,市电供应基础设施差,难获取稳定电力;在移动场景中,比如监测车野外行驶,供电条件受限。多电源管理智能电路能灵活使用多种电源形式。监测车野外行驶时,车顶太阳能板利用太阳能发电,把光能转

化为电能存到蓄电池中。阳光充足时,太阳能板给设备供电同时给蓄电池充电;夜间或光线不足时,蓄电池放电维持设备运行。这种多电源协同工作模式,让监测车能在各种恶劣环境下正常运转,满足不同地理、气候条件下的用电需求,环境适应能力很强。

（四）节能与优化资源利用

多电源管理智能电路在节能和资源优化利用方面做得很好。通过智能电源分配算法,实时监测各设备用电情况和负载需求,合理调配电源。对于非关键设备,像监测车中的车内照明系统,电源供应紧张时,智能电路自动降低供电功率,采用低亮度模式运行,保证基本照明需求同时减少能耗。对于关键设备,像数据采集与传输设备,优先保证充足稳定电源供应。通过这种不同的供电策略,避免能源浪费,提高能源利用效率,延长电源续航时间,在野外等电源补给不方便的环境中,节能优势更明显,为设备长时间运行提供支持。

（五）便于系统升级与扩展

随着技术发展,电子设备常要升级和扩展功能。多电源管理智能电路的模块化设计和灵活电源配置很方便升级。以监测车为例,要增加新监测设备,比如高精度气体检测仪,把设备接到智能电路预留电源接口,在控制软件中简单配置电源参数,就能完成设备供电连接。智能电路能自动识别新设备用电需求,调整电源分配策略,给新设备提供合适电源。这种便捷升级和扩展方式,不用大规模改造电路,节省时间和成本,让系统能跟上技术发展,持续提升性能和功能,满足不断变化的应用需求。

三、多电源管理智能电路现存问题

（一）电源切换暂态问题

电源切换时,会出现电压波动和电流冲击这类暂态现象,影响用电设备平稳运行。快速切换电源,电路中电感和电容元件不能马上适应新电源电气特性,导致电压短时间大幅升降,电流剧烈冲击。像监测车对电源稳定性要求高,监控设备对电压波动敏感。电源切换产生的电压波动超过允许范围,监控设备可能短暂黑屏,监控画面中断,数据传输也可能中断,已采集数据丢失或传输错误,严重影响监测工作连续性和准确性。对高精度医疗设备、工业自动化设备等,电源切换暂态问题还可能使设备内部电路误动作,甚至造成永久性损坏,威胁设备正常使用和寿命^[3]。

（二）控制策略复杂性

随着电源种类增多,用电设备数量和功能增加,智能电路控制策略变复杂。判定电源优先级要考虑电源稳定性、成本、续航能力等因素;实时监测和分析电量状态,要准确掌握各电源剩余电量及充放电情况;设备需求包括功率大小、电压稳定性要求、运行时长等方面。控制策略设计有缺陷,多个电源给多台设备供电时,容易出现电源分配不均。部分设备供电不足不能满负荷运行,有些设备电源过多浪费能源。电源切换也可能不及时,主电源电量快耗尽时,没及时切换到备用电源,设备可能突然断电停机,影响系统运行效率和可靠性,多电源管理优势发挥不出来。

（三）电磁兼容性问题

电路系统中,多种电源设备和电子模块集成在一起,电磁干扰问题突出。不同电源设备产生的电磁信号不一样,频率、幅值和相位差异可能相互干扰。电源和用电设备之间,因电气连接和

空间布局，容易形成电磁耦合，产生干扰信号。以监测车为例，电源系统中大功率电源模块产生强电磁辐射，通信设备对电磁环境敏感。电源系统和通信设备电磁兼容性处理不好，电源电磁辐射可能耦合到通信线路，干扰通信信号，导致通信质量下降，出现信号失真、误码率增加等问题，甚至完全阻断通信，严重影响监测车和指挥中心数据传输与指令交互，阻碍监测任务开展，也可能影响车内其他电子设备正常工作。

（四）成本较高

多电源管理智能电路构建时，为满足复杂电源管理需求，要配备多种电源设备，像不同电压等级电池、稳压电源等，还有很多用于实时监测和精确控制的传感器与控制芯片。这些硬件设备采购成本高，技术更新换代后，升级和维护成本也高。软件开发方面，复杂控制算法要投入大量人力和时间设计、调试、优化，软件设计周期长，开发成本高。这种高成本在对成本敏感领域，像大规模普及的消费电子产品、预算有限的小型企业应用场景中，限制了多电源管理智能电路推广，很多潜在用户不敢用，阻碍技术广泛应用和发展。

（五）能量转换效率有待提高

虽然能量转换技术有进步，但多电源管理智能电路涉及多种电源形式转换，像交流电和直流电相互转换，不同电压等级变换，能量转换效率还有提升空间。转换过程中，会产生电阻损耗、开关损耗等能量损失。比如开关电源工作时，功率开关管频繁导通和关断产生开关损耗，降低能量转换效率。能量转换产生大量热量，不能及时散发，设备温度升高，影响电子元件性能和寿命，降低系统稳定性。对长时间持续供电设备，像不间断电源系统，能量转换效率低会浪费能源，增加运行成本，所以提升能量转换效率很紧迫。

四、多电源管理智能电路优化策略

（一）优化电源切换技术

多电源管理智能电路中，先进电源切换电路和控制算法很关键。零切换技术利用特殊电路设计和精准控制，在电源切换瞬间，通过相位调节和电压匹配，让电流和电压无缝过渡，用电设备切换时感觉不到。优化切换逻辑要靠传感器实时采集电源状态信息，用智能算法提前预判电源状况，比如电压要下降或电流波动，提前调整切换动作，让切换过程顺畅，保证用电设备持续稳定运行，避免电源切换造成设备短暂故障或性能下降，为设备可靠运行打好基础^[4]。

（二）简化控制策略

智能化控制方法革新电源管理。模糊控制模拟人类思维模糊性，处理电源复杂状态。通过积累和分析大量运行数据，模糊控制算法能自动识别不同工况下电源最佳控制参数，自动调整控制策略，不用传统复杂控制逻辑。神经网络控制像个会学习的“大

脑”，综合评估电源管理模型中电源优先级、电量状态等因素。比如多个电源同时供电时，能准确判断何时切换、如何分配电量，实现高效精准电源分配和切换，提高电源管理系统整体效能，让复杂电源管理变得智能高效。

（三）加强电磁兼容性设计

电磁兼容性设计从电路设计开始就要重视。合理布局电源模块和电子设备很重要，把易受干扰设备和强电磁源分开，减少相互干扰。屏蔽措施像给设备穿“防护服”，用金属屏蔽罩包电源模块和电子设备，阻挡电磁干扰传播。滤波像给电磁信号“过滤杂质”，通过滤波器去除电源杂波和干扰信号。选用电磁兼容性好的电源设备和电子元件，从源头提升系统抗干扰能力。对监测车这种对电磁环境要求高的设备，全面屏蔽电源系统和电子设备，安装高性能滤波器，降低电磁干扰对通信设备影响，保证监测车稳定运行。

（四）成本控制与优化

成本控制贯穿电源管理电路设计。优化电路结构，减少不必要线路连接和复杂设计，降低硬件成本。选性价比高的电子元件，保证性能前提下选价格合理的元件，不选太贵的。集成化电源管理芯片能降低成本，它把很多分立元件功能集成在一起，减少元件数量，提高电路集成度，既降低成本又提高可靠性。优化软件开发流程，使用高效开发工具和规范代码编写方式，提高开发效率，缩短开发周期，降低人力成本。在满足性能要求基础上，综合考虑选合适电源设备和控制芯片，有效控制整体成本。

（五）提高能量转换效率

新型高效能量转换电路和技术不断出现，提升能量转换效率有希望。软开关技术在开关过程中让电流或电压自然过零，减少开关损耗，降低能量损失。谐振变换技术利用电路谐振现象，实现高效能量转换。实时监测能量转换过程，用传感器采集电源和负载实时数据，根据变化动态调整转换参数，像调节开关频率、占空比等。用高效电源模块提高能量转换起始效率，搭配好的散热技术，及时散发热量，减少因发热造成的能量损耗，全面提升能量转换效率，让电源利用更充分^[5]。

五、结语

多电源管理智能电路在现代电子系统中发挥着重要作用，其多元化电源输入、智能切换、优化分配等特点满足了复杂的用电需求，提高了系统的可靠性和适应性。然而，目前该电路仍存在电源切换暂态、控制策略复杂、电磁兼容性问题。通过优化电源切换技术、简化控制策略、加强电磁兼容性设计等一系列策略，能够有效提升多电源管理智能电路的性能和可靠性，降低成本和维护难度。随着技术的不断发展，多电源管理智能电路将在更多领域得到广泛应用，并不断完善和创新。

参考文献

- [1] 罗阔, 许亮. 基于 ISSA 的燃料电池多电源模糊能量管理策略 [J]. 汽车安全与节能学报, 2023, 14(04): 496-504.
- [2] 刘迅. 基于多辅助电源的电动汽车能量管理策略仿真研究 [D]. 大连交通大学, 2023.
- [3] 罗孝兵, 华涛, 蓝彦, 等. 基于多级多路径控制的无线传感器电源管理方法 [J]. 测控技术, 2018, 37(04): 64-67.
- [4] 王贵宾. 多电源用户安全管理探讨 [J]. 电气应用, 2010, 29(09): 70-73.
- [5] 危峰, 袁浩. 复杂多电源管理技术及在 DSP 系统中的应用 [J]. 舰船电子工程, 2007, (02): 176-178+0-1.

水利泵站运行管理现状及改善措施

蔡子晋¹, 赵新化², 秦佳佳²

1. 宿迁市宿豫区嶂山灌区管理所, 江苏 宿迁 223800

2. 宿迁市市区河道管理中心, 江苏 宿迁 223800

摘 要 : 随着我国经济社会的快速发展, 水利泵站的应用越来越广泛, 在农业灌溉、排涝、供水等方面逐渐占据重要地位。然而在其运行过程中存在着管理不善、设备老化、能耗高等问题, 这些问题严重影响了泵站的正常运行和效益发挥。本文针对水利泵站运行管理现状进行分析, 阐述了水利泵站运行管理改善的重要性, 并针对实际改善中存在的问题提出针对性的优化策略, 通过优化管理模式、加强设备的更新力度、加强工作人员专业素养提升等策略的实施, 期望能为水利泵站的稳定运行做出贡献。

关 键 词 : 水利泵站; 运行现状; 管理现状; 改善措施

Current Situation and Improvement Measures of Operation and Management of Water Conservancy Pumping Stations

Cai Zijin¹, Zhao Xinhua², Qin Jiajia²

1. Suqian City Suyu District Zhanshan Irrigation District Management Office, Suqian, Jiangsu 223800

2. Suqian Urban River Management Center, Suqian, Jiangsu 223800

Abstract : With the rapid development of China's economy and society, the application of water conservancy pumping stations has become increasingly widespread, gradually occupying an important position in agricultural irrigation, drainage, water supply, and other aspects. However, during the operation of the Changshuli pumping station, there were problems such as poor management, aging equipment, and high energy consumption, which seriously affected the normal operation and efficiency of the pumping station. In response to the current situation, this article first analyzes the operation and management status of water conservancy pumping stations, elaborates on the importance of improving the operation and management of water conservancy pumping stations, and proposes targeted optimization strategies for the problems existing in actual improvement. By implementing strategies such as optimizing management modes, strengthening equipment updates, and enhancing the professional competence of staff, it is expected to contribute to the stable operation of water conservancy pumping stations.

Keywords : water conservancy pumping station; operation status; management status; improvement strategy

引言

水利泵站作为水利工程的重要组成部分, 其运行管理的优劣直接关系到水资源的合理配置和利用效率。但在当前的水利泵站运行中, 面临着如运行维护成本高、技术更新滞后、人员素质参差不齐等问题。这些问题的存在不仅增加了泵站的运行风险, 也制约了其在防洪排涝、农业灌溉、城市供水等领域的功能发挥。因此深入分析水利泵站的运行管理现状, 探索有效的改善措施, 对于提升泵站运行效率、保障水资源安全具有重要意义。

一、水利泵站运行管理现状分析

(一) 泵站运行管理的定义与范围

在当前的水利工程泵站的实际运行当中, 泵站运行管理范围往往涵盖了对泵站整个生命周期内的所有活动的监督和控制。其

中包括了水利工程泵站的设计、建设、调试、运行、维护、改造和报废等多个阶段。但毋庸置疑的是, 管理者对泵站运行进行管理的核心目标是确保泵站系统安全稳定地运行, 以满足供水排水防洪等不同功能的需求。因此, 工作人员在泵站的运行阶段的工作重点是实时监控泵站运行状态, 以此确保设备的正常运转和系

统的可靠性能。同时，除了监测运行状态的数据之外，运行管理人员还需要根据实际运行情况调整泵站的运行参数，如流量、扬程、功率等，以适应不同的工况需求^[1]。

（二）泵站运行管理的主要内容

泵站运行管理的主要内容包括设备维护与检修、操作监控、能耗管理、应急处理、水质监测以及记录与报告。设备维护与检修涉及定期检查和维护泵机、电机、阀门、管道等关键设备，确保其正常运行。操作监控要求实时监控泵站的运行状态，包括流量、压力、水位、电流、电压等参数，并通过自动化控制系统实现远程监控和控制。能耗管理通过优化运行参数，如调整泵的运行速度和合理安排启停时间，有效降低能耗提高能源利用效率。应急处理需要制定应急预案，快速响应和处理突发情况，如设备故障、电力中断、洪水等，确保泵站安全稳定运行。水质监测定期检测水源和输送水的水质，确保符合标准。

（三）国内外水利泵站运行管理现状比较

在国内外水利泵站运行管理的现状分析中，在中国和欧洲一些发达国家的对比之下，我们可以看到明显的差异。在中国水利泵站的运行管理经历了从传统到现代化的转变。例如位于长江流域的三峡泵站是中国最大的水利枢纽工程之一，它采用先进的自动化控制系统来实现泵站的远程监控和调度。然而由于地域广阔和经济发展水平不均等现有的问题，使得一些小型泵站仍然存在管理粗放、技术落后的问题。相比之下欧洲一些发达国家的水利泵站运行管理则更为成熟和高效。以荷兰为例，该国拥有世界一流的水利管理经验和先进技术。荷兰的泵站普遍采用智能化管理系统，实时监测水位流量等关键数据，并通过先进的预测模型进行风险评估和调度优化。例如荷兰的Delta Works项目，通过集成先进的信息技术和自动化控制技术，实现了对洪水和水资源的精准管理。泵站的维护也采用预防性维护策略，大大减少了突发故障的发生^[2]。

二、水利泵站加强运行管理的重要性

（一）提高水资源利用效率

随着全球气候变化和世界人口的快速增长，使得当前水资源短缺的问题日益严重，所以研究人员加强水利泵站的运行管理方面的研究就显得尤为重要。在研究中发现提高水资源利用效率是运行管理优化的关键。例如在某地区的水利工程泵站设计中，该地区工作人员通过引入智能监控系统，达到了实时监测泵站的运行状态和水资源分配情况，以此来有效减少因设备故障或操作不当导致的水资源浪费。使得该水泵系统在运行中可以通过数据分析自动调整泵站的运行参数，确保在满足灌溉、供水等需求的同时最大限度地节约用水。

（二）保障供水安全与可靠性

对水利工程泵站的运行管理进行强化的目的，除了提高水资源的利用效率之外，加强运行管理还能保障供水安全。以某城市的实际应用过程为例，该市的相关部门通过建立完善的泵站运行管理制度，要求工作人员需要定期对泵站设备进行检查和维护，通过这一管理策略的实施，进一步确保设备始终处于最佳工作状态，达到了保障供水安全与可靠性的目的。

（三）促进经济社会可持续发展

水利泵站作为调节水资源、保障供水安全和防洪排涝的关键设施，其运行效率和管理水平往往直接关系到经济社会的稳定发展。这一背景下就要求相关部门加强水利泵站的运行管理，进而确保农业灌溉、工业生产和居民生活用水的稳定供应。特别是对于在干旱和水资源短缺的地区的水利工程，在运行中进行科学合理的泵站管理能够最大限度地发挥水资源的潜力，缓解用水紧张状况。除此之外水利泵站的高效运行对于防洪排涝也具有至关重要的作用。工作人员在管理中通过实时监控水位、流量等关键数据，可以及时的调整泵站运行状态，进一步减少了洪水灾害发生时带来的损失，保障人民生命财产安全^[3]。

（四）加强应对气候变化与极端天气事件的能力

工作人员为了加强水利工程泵站运行中的应对极端天气等能力，就必须在当前的运行管理中采取一系列措施来实现。具体而言，相关部门在泵站运行中应配备先进的监测设备，例如在洪水多发地区泵站可以安装水位自动报警系统，使得系统一旦水位超过警戒线将自动启动排水泵，通过自动化的及时排除积水来防止洪水侵袭。除了监测设备的装配之外，工作人员还需要建立泵站运行中的应急预案，预案内容应包括极端天气情况下的操作流程、人员疏散计划和设备维护方案。例如在台风来临前，泵站工作人员应提前检查所有设备，确保备用发电机、水泵等关键设备处于良好状态，以应对可能的电力中断和设备故障。同时应组织应急演练，提高工作人员在紧急情况下的应对能力。

三、水利泵站运行管理中存在的主要问题

（一）设备老化与维护不足

在当前的水利工程泵站运行中，由于成本等问题的限制，会导致设备老化与维护出现难题。举例来说随着使用年限的增加，会使得水利泵站中的许多关键设备逐渐出现老化现象，导致泵体、电机、密封件等部件磨损和腐蚀问题日益严重。这不仅可能会影响泵站的运行效率，还可能引发安全事故。但是当前的维护中由于资金投入不足、维护意识薄弱等原因，进而使许多泵站的设备维护和更新工作得不到充分保障。一些泵站甚至在设备出现明显故障后才进行维修，导致停机时间延长，影响了整个水利系统的稳定运行^[4]。

（二）管理体制与机制问题

而在一些地区较为偏远的水利泵站运行中，往往由于当地的管理制度不健全，会导致工作人员运行管理过程中出现诸多问题。例如工作内容缺乏明确的岗位职责划分，操作规程不规范与维护保养制度执行不到位等。这些问题在水利泵站的运行管理中，不仅会影响泵站的正常运行，还可能造成资源浪费和安全隐患。因此建立和完善一套科学合理的管理制度，对于提高水利泵站的运行管理水平至关重要。

（三）人员素质与技术力量不足

近些年来，随着科学技术的不断提升，使得水利泵站在智能化技术的应用运行效率得到了极大的提升。而水利泵站的高效运行不仅需要依赖于先进的技术设备，往往还需要一支技术过硬、经验丰富的操作维护团队。但当前许多泵站的运行管理人员专业

素养较低，同时还缺乏必要的专业培训，在这双重因素的影响下，使得他们在工作中对现代化的泵站设备操作和维护知识掌握不足。这不仅影响了日常的运行效率，也使得工作人员在突发状况发生时无法及时有效地进行处理。因此加强人员培训，提升操作维护人员的专业技能，是提高泵站运行管理水平的关键。

（四）环境与资源约束

环境保护的紧迫性不言而喻，在工业化和城市化的快速发展之下，大量的化工污染直接间接产生与排放导致生态系统遭到严重破坏，也使得生物多样性急剧下降。用水利工程举例来说，由于水利泵站在运行过程中会消耗大量电力资源，而这些电力往往来自化石燃料的燃烧，就会导致二氧化碳等温室气体排放增加，加剧了全球气候变化。其次泵站的建设和运行可能对周边环境造成负面影响，如水体扰动、水质变化和生物栖息地破坏等。此外泵站的水资源管理不当还可能导致地下水位下降、河流干涸等严重后果，进一步加剧水资源短缺问题。

四、改善水利泵站运行管理的优化策略

（一）引进先进设备与技术

随着全球气候变化和极端天气事件的增多，水利泵站的运行管理面临着前所未有的挑战。为了应对这些挑战，关键的优化策略是引进先进设备与技术。例如在某地区的水利泵站运行与管理过程中，管理者通过引入智能监控系统实现了对泵站运行状态的实时监控和数据分析。在该系统的应用之下能够自动检测设备故障，并为工作人员提供优化运行参数的建议，从而显著提高了泵站的运行效率和可靠性。

（二）引入智能化管理系统

为了解决水利泵站运行管理中的管理体制不健全的问题，相关工作者可以通过引入数字智能化的管理系统来实现。在具体的水利泵站管理当中，通过智能化管理系统能够实时监控泵站的运行状态，例如安装传感器和数据采集设备，就可以帮助工作人员收集泵站运行中的各项参数，并将流量、压力、温度等数据传输至中央控制室。随后该系统再通过大数据分析和人工智能算法就可以预测设备故障，提前进行维护，减少突发性停机时间，提高泵站运行的可靠性和效率。除此之外智能化管理系统还可以实现远程控制和自动化操作，在减少人工干预影响的同时还降低了人力成本。系统智能系统在运行中能通过智能调度，来根据实际用水需求和电网负荷情况自动调节泵站的运行状态，以此来达到优化能源消耗的目的^[5]。

（三）推行市场化运营模式

市场化运营模式是改善水利泵站运行管理的有效策略之一。

运维人员通过引入市场竞争机制可以提高泵站的运行效率和服务质量。例如某地区水利部门将泵站的运行管理权通过公开招标的方式交给了专业的水务公司。该水务公司运用现代化的管理方法和先进的技术手段，对泵站的运行进行优化调整。除此之外市场化运营模式还促进了服务创新。水务公司可以通过推出定制化的服务，根据农业灌溉、城市供水等不同需求提供差异化的泵站运行方案。例如针对农业灌溉季节性强的特点，可以制定灵活的运行计划，确保在关键时期提供充足的水量，同时避免了非高峰期的资源浪费。

（四）加强专业培训与教育

在水利泵站的运行当中，相关部门引入智能化设备之后，为了进一步提升运行管理的效率，还需要加强作业人员的专业性培训。企业在培训内容的设计时应涵盖智能化设备的操作、维护保养、故障排除等方面，以此来全方位的确保证作业人员能够熟练掌握并应用新技术。此外应定期开展继续教育和技能提升课程，使作业人员能够跟上技术发展的步伐。同时建立健全激励机制，鼓励作业人员主动学习新知识，提高专业素养，为水利泵站的高效运行提供人才保障。

（五）实施绿色泵站建设

在环境问题日益严峻的背景下，实施绿色泵站建设就显得尤为重要。绿色泵站的建设不仅关注能源效率和资源节约，还强调对生态环境的保护和可持续发展。这就要求企业在绿色泵站的建设智能应采用高效节能的设备和技术。在水利泵站的运行智能，通过选用高效率的水泵和电机可以显著降低能源消耗。同时泵站设计应考虑太阳能、风能等可再生能源的利用，以减少对化石燃料的依赖。其次绿色泵站的建设还应注重水资源的循环利用。可以建立雨水收集和处理系统将雨水作为补充水源，减少对地下水和地表水的过度开采。

五、结语

总之当前的水利泵站运行管理优化是一个系统工程，相关部门需要从多个方面入手，综合考虑技术、人员、环境和资源等多方面因素。相关部门在优化策略的实施中通过引进先进设备与技术、引入智能化管理系统、推行市场化运营模式、加强专业培训与教育以及实施绿色泵站建设等策略，可以显著提升水利泵站的运行效率和管理水平。相信在不远的将来，伴随着科技的不断进步和管理理念的更新，会使得水利泵站的运行管理更加智能化、高效化和绿色化，从而为社会的可持续发展提供有力支撑。

参考文献

- [1] 寇燕燕. 精细化理念在水利泵站机电运行管理中的应用 [J]. 农业科技与信息, 2020(22): 123-124.
- [2] 白学锋. 水利泵站机电设备运行管理中存在的问题及措施 [J]. 南方农机, 2022, 53(24).
- [3] 吴庆峰. 水利泵站机电运行精细化管理研究 [J]. 水上安全, 2023, (5).
- [4] 李国哲. 水利泵站机电设备运行管理的问题及措施 [J]. 门窗, 2019, (24): 233.
- [5] 寇燕燕. 浅析精细化理念在水利泵站机电工程管理中的应用 [J]. 南方农机, 2020, (7).

关于提升光伏接入质效的思考与建议

李金娥¹, 许莉², 王盛², 荣浩³

1. 荆州三新公司供电服务有限公司江陵分公司, 湖北 荆州 434000

2. 荆州三新供电服务有限公司荆城分公司, 湖北 荆州 434000

3. 国网荆州供电公司, 湖北 荆州 434000

摘 要： 因为能源转型变快，光伏接入电网的规模一直变大。本文深入研究提升光伏接入质效的相关问题，分析它的特点、接入的必要原因，整理存在的问题，然后提出有效办法，目的是给优化光伏接入、推动光伏产业健康发展提供参考。

关 键 词： 光伏接入；质效提升；能源转型；电网稳定

Reflections and Suggestions on Improving the Quality and Efficiency of Photovoltaic Access

Li Jin'e¹, Xu Li², Wang Sheng², Rong Hao³

1. Jingzhou Sanxin Company Power Supply Service Co., Ltd. Jiangling Branch, Jingzhou, Hubei 434000

2. Jingzhou Sanxin Power Supply Service Co., Ltd. Jingcheng Branch, Jingzhou, Hubei 434000

3. State Grid Jingzhou Power Supply Company, Jingzhou, Hubei 434000

Abstract： Due to the rapid energy transition, the scale of photovoltaic access to the power grid has been increasing. This paper deeply studies the related issues of improving the quality and efficiency of photovoltaic access, analyzes its characteristics and the necessary reasons for access, sorts out the existing problems, and then proposes effective methods, aiming to provide a reference for optimizing photovoltaic access and promoting the development of the photovoltaic industry.

Keywords： photovoltaic access; quality and efficiency improvement; energy transition; grid stability

引言

在全球提倡绿色低碳发展的大环境下，太阳能作为一种清洁、可再生能源，它的开发利用很受关注。光伏发电有很多优势，装机规模快速增长。拿我国来说，近几年光伏装机量快速增加，在能源结构里的占比不断提高。但是，随着光伏大规模接入电网，一系列影响它接入质效的问题慢慢出现。提升光伏接入质效，对充分发挥太阳能资源优势、保证电网安全稳定运行、推动能源结构优化很重要。深入研究这个课题，提出可行的改进办法，成为现在能源领域急需解决的重要任务。

一、光伏发电特点

（一）能源清洁环保

光伏发电过程不产生温室气体排放，和传统化石能源发电比，从整个生命周期看，能大幅减少二氧化碳、二氧化硫等污染物排放。比如，建一座装机容量10兆瓦的光伏电站，每年能减少约8000吨二氧化碳排放，有效助力应对气候变化，保护生态环境，符合可持续发展理念。在一些对环保要求很高的地区，像北欧部分国家，光伏发电因为清洁，成为能源供应的重要部分，大量光伏电站建设让当地碳排放总量显著降低，空气质量变好。

（二）资源分布广泛

太阳能资源在地球上分布很广，基本不受地域限制。不管是

广阔沙漠、偏远山区，还是城市屋顶、闲置土地，都能开发利用光伏发电。这种分布特点给分散式、分布式光伏发电项目开展提供了广阔空间，有利于能源就地开发和消纳。在我国西部地区，有广阔沙漠和荒地，光照资源丰富，成为集中式光伏电站的理想选址地。在东部城市，大量工商业屋顶和居民屋顶也被充分利用，建设分布式光伏项目，实现能源就近生产和使用，减少能源传输损耗。

（三）发电过程灵活

光伏发电系统规模可大可小，既能建大型集中式光伏电站，实现大规模电力生产；也能在居民屋顶、工商业厂房等地方安装小型分布式光伏发电装置，满足用户自己用电需求，多余电量还能卖给电网。发电过程不需要复杂机械传动装置，启动快，能根

据光照强度和用电需求灵活调整发电功率。比如在一些农村地区，农户在自家屋顶安装小型光伏设备，白天发电供自家使用，多余电量卖给电网，增加收入。在一些大型工业企业，建设兆瓦级分布式光伏电站，满足自身生产用电，用电低谷时还能把多余电力送给电网，实现能源高效利用^[1]。

（四）维护成本相对较低

光伏电站建好后，除定期进行组件清洗、设备检查等维护工作外，核心发电设备——光伏组件使用寿命一般可达25年以上，期间不用经常更换主要部件。和传统火力发电设备比，维护流程简单，人力和物力成本投入少，能有效降低运营成本。以一座中等规模光伏电站为例，每年维护成本主要在组件清洗和少量设备检修上，比同规模火力发电站，维护成本能降低约60%，大大提高项目经济效益。

（五）能源可再生性强

太阳能是取之不尽、用之不竭的可再生能源。只要太阳存在，就能持续产生电能，不会像化石能源那样面临枯竭风险。这为人类社会长期稳定能源供应提供可靠保障，从根本上解决能源可持续性问题。随着全球对能源可持续性关注度提高，光伏发电作为可再生能源重要代表，发展前景越来越广阔。在一些岛屿国家，因为传统能源运输不方便，光伏发电成为解决能源供应问题的重要办法，保障当地居民和企业长期能源需求。

二、提升光伏接入质效的必要性

（一）推动能源结构转型

传统能源在全球能源消费结构里还是主导，可大量使用带来环境污染和资源短缺等问题。提升光伏接入质效，能加快太阳能在能源体系应用，慢慢提高可再生能源占比，推动能源结构向清洁、低碳方向转变，减少对传统化石能源依赖，实现能源可持续发展^[2]。在欧洲一些国家，大力提升光伏接入质效后，可再生能源在能源结构里占比超50%，有效减少对煤炭、石油等传统能源依赖，大幅降低碳排放，给全球能源转型做了成功榜样。

（二）缓解用电供需矛盾

随着全球经济发展和人口增长，电力需求一直上升。特别是在一些用电高峰期，部分地区经常出现电力供应紧张情况。光伏作为新的电力供应来源，提升接入质效，能增加电力供应总量，有效缓解用电供需矛盾，保障社会生产生活正常用电需求。比如在我国夏季高温时，空调用电需求大增，部分地区电网负荷压力大。这时，大量分布式光伏电站接入，给电网补充额外电力，缓解用电紧张，保证居民和企业正常用电^[3]。

（三）降低能源输送成本

分布式光伏发电大多采用就地消纳模式，在靠近用户端发电，减少长距离输电带来的线损和建设成本。提升光伏接入质效，能进一步优化分布式光伏布局，提高就地消纳比例，降低能源输送损耗和成本，提高能源利用效率。在一些城市工业园区，合理规划分布式光伏项目，实现园区内电力自给自足，不仅减少从外部电网买电成本，还降低长距离输电造成的线损，提高能源利用效率，降低企业运营成本。

（四）促进光伏产业发展

光伏接入质效提升，对光伏设备制造、系统集成、工程建设

等相关产业有更高要求，促使企业加大技术研发投入，提高产品质量和服务水平。这不仅有利于提升我国光伏产业在国际市场竞争力，还能带动整个产业链协同发展，创造更多就业机会和经济效益。我国光伏产业在提升接入质效推动下，不断创新发展，在全球市场占重要地位。从光伏组件制造到系统集成，再到工程建设和运维服务，形成完整产业链，为国内创造大量就业岗位，推动经济增长^[4]。

（五）保障电网安全稳定运行

大规模光伏接入电网后，如果接入质效不好，可能对电网电压稳定性、频率调节能力等有负面影响。提升光伏接入质效，通过优化接入技术、加强电网调控等办法，降低光伏接入对电网冲击，确保电网安全稳定运行，提高供电可靠性。在一些光伏接入规模大的地区，采用先进智能电网技术，实现对光伏电源实时监测和精准调控，有效解决光伏接入对电网稳定性影响，保障电网安全可靠运行，提高供电质量。

三、光伏接入现存问题

（一）光伏发电的间歇性与波动性

因为太阳光照强度受昼夜交替、天气变化等自然因素影响，光伏发电有明显间歇性和波动性。晴天时光伏发电功率高，阴天、雨天或夜晚发电功率大幅下降甚至为零。这种不稳定发电特性给电网调度和电力供需平衡带来很大挑战。在一些以光伏为主要能源供应地区，遇到连续阴雨天气，光伏发电量急剧减少，导致电网电力供应不足，只能启动备用电源，增加能源供应成本和管理难度^[5]。

（二）接入电网的技术标准不完善

现在，光伏接入电网的技术标准有些方面还不够完善。不同地区、不同企业的光伏项目接入电网时，在设备参数、电能质量、通信协议等方面要求有差别，缺少统一、规范的标准体系。这让部分光伏项目接入电网时出现兼容性问题，影响接入效率和电网运行安全。比如，一些企业生产的光伏设备接入某些地区电网时，因为设备参数和当地电网要求不匹配，导致电能质量下降，甚至出现设备故障，影响光伏项目正常运行和电网稳定性。

（三）电网接纳能力有限

随着光伏装机容量快速增长，部分地区电网接纳能力慢慢饱和。特别是在一些电网结构弱、变电容量不足地区，大量光伏接入后，电网不能及时消纳多余电量，出现“弃光”现象。这不仅造成能源浪费，还限制光伏产业进一步发展。在我国部分西部地区，因为电网基础设施建设相对滞后，变电容量不能满足大量光伏电站接入后的电力消纳需求，导致大量光伏电力无法上网，只能浪费，制约当地光伏产业发展^[6]。

（四）储能配套设施不足

储能系统是解决光伏发电间歇性和波动性问题的有效办法之一，但现在我国光伏储能配套设施建设比较滞后。一方面，储能技术成本高，限制大规模应用；另一方面，储能设施规划布局不合理，没能充分发挥储能系统对光伏接入的调节作用。比如，一些光伏电站虽有储能设备，但储能容量不够，不能有效平抑光伏发电功率波动。同时，储能设施选址不合理，电网需要储能调节时，不能及时发挥作用。

（五）并网检测与认证体系不健全

光伏项目并网前，要严格检测与认证，保证符合电网接入要求。可是，现在我国并网检测与认证体系不健全，检测机构专业能力和检测标准有差别，部分检测设备和技术手段落后，不能全面、准确检测评估光伏项目，影响光伏接入质量和安全性^[7]。一些小型检测机构检测光伏项目时，因为设备精度不够，不能准确检测出电能质量等问题，让一些不符合接入要求的光伏项目并网，给电网运行带来安全隐患。

四、提升光伏接入质效的策略

（一）优化光伏电站布局

根据不同地区光照资源条件、电网结构和负荷分布情况，科学规划光伏电站布局。优先在光照资源丰富、电网接纳能力强、用电需求大的地区建集中式光伏电站；鼓励在城市工商业屋顶、农村居民屋顶等地方发展分布式光伏发电，提高光伏发电就地消纳比例，减少电力传输损耗。在我国西北地区，光照资源充足，电网接纳能力强，通过建设大型集中式光伏电站，把电能送到电力需求大的东部地区。在城市里，充分利用工商业屋顶和居民屋顶，发展分布式光伏，实现能源就地消纳，提高能源利用效率。

（二）完善接入技术标准

制定统一、规范的光伏接入电网技术标准，明确设备选型、电能质量、通信接口、安全保护等方面技术要求。加强对标准执行情况监督检查，保证新建光伏项目按标准接入电网^[8]。同时，根据技术发展和实际运行经验，及时修订完善标准，提高标准科学性和实用性。国家相关部门应组织专家团队，制定详细的光伏接入电网技术标准，并定期检查光伏项目，保证符合标准要求。随着新技术出现，比如新型光伏组件和智能电网技术应用，及时更新标准，适应行业发展需求。

（三）提升电网接纳能力

加大电网基础设施建设投入，优化电网结构，提高变电容量和输电能力。通过建设智能电网，使用先进电网调度技术和控制手段，实现对光伏电源精准监测与调控，增强电网对光伏发电间歇性和波动性适应能力，提高电网接纳光伏电量能力，减少“弃光”现象。在一些光伏接入规模大的地区，加大电网建设投资，升级变电设备，提高输电线路容量。同时，引入智能电网技术，通过实时监测光伏电站发电功率和电网负荷情况，实现对光伏电源精准调度，有效提高电网对光伏电力接纳能力^[9]。

（四）加强储能设施建设

加大对储能技术研发支持力度，降低储能系统成本。在光伏电站集中区域和电网负荷峰谷差大的地区，合理规划建设储能设施，像锂电池储能、抽水蓄能等。通过储能系统充放电调节，平稳光伏发电功率波动，提高光伏发电稳定性和可靠性，提升电网对光伏电力消纳能力。政府应加大对储能技术研发资金投入，鼓励企业和科研机构合作，降低储能系统成本。在一些光伏电站集中地区，建大型锂电池储能电站，光伏发电过剩时储存电能，电力供应不足时释放电能，有效解决光伏发电间歇性问题，提高电网对光伏电力消纳能力。

（五）健全并网检测与认证体系

建立统一的光伏并网检测与认证机构，加强检测机构能力建

设，配备先进检测设备和专业技术人员。完善检测标准和流程，对光伏项目电气性能、电能质量、安全性能等全面、严格检测认证。加强对检测认证结果管理和应用，保证接入电网的光伏项目符合相关要求^[10]。国家应建立权威的光伏并网检测与认证机构，加强检测人员培训，提高专业水平。同时，引进先进检测设备，完善检测标准和流程，对光伏项目全面、严格检测，保证接入电网的光伏项目质量可靠，保障电网运行安全。

五、结语

提升光伏接入质效是实现能源绿色转型、保障能源安全的关键。深入分析光伏发电特点，明确提升接入质效的必要，针对存在问题提出优化布局、完善标准、提升电网接纳能力、加强储能建设、健全检测认证体系、培养专业人才以及完善政策支持体系等一系列办法，能有效解决光伏接入难题，提高光伏接入质量和效率。这不仅有助于推动光伏产业健康可持续发展，还能为构建清洁低碳、安全高效的能源体系打好基础，对实现我国“双碳”目标意义重大。未来，随着技术进步和政策完善，光伏接入质效会进一步提升，太阳能在能源领域应用前景更广阔。

参考文献

- [1]陈茜,周运斌,崔涵,等.分布式光伏接入对配网系统的暂态特性影响研究[J].电瓷避雷器,2023,(06):28-37.DOI:10.16188/j.isa.1003-8337.2023.06.004.
- [2]郭勇,李秋燕,马杰,等.新基建负荷与光伏接入下配电网可开放容量评估及优化[J].电力工程技术,2023,42(06):64-73.DOI:10.12158/j.2096-3203.2023.06.007.
- [3]王蒙,张文朝,汪莹,等.高比例光伏接入的电力系统暂态过电压控制策略[J].太阳能学报,2023,44(10):148-155.DOI:10.19912/j.0254-0096.tynxb.2022-0847.
- [4]韦明杰,王聪博,余越,等.适用高比例分布式光伏接入的配电网多级保护优化配置方案[J].电力系统自动化,2023,47(22):55-65.DOI:10.7500/AEPS20230304006.
- [5]汪泽州,张明明,钱峰强,等.含光伏接入的中压配电网集中调控优化策略[J].中国电力,2023,56(02):15-22.DOI:10.11930/j.issn.1004-9649.202204109.
- [6]张锐,饶欢,徐睿烽,等.多运行目标下的分布式光伏接入配电网极限容量多模型评估方法[J].电力科学与技术学报,2023,38(04):143-150.DOI:10.19781/j.issn.1673-9140.2023.04.015.
- [7]钱隽丰.光伏接入主动配电网的方案规划及对电压质量的影响[J].中国高新技术,2023,(23):80-82.DOI:10.13535/j.cnki.10-1507/n.2023.23.20.
- [8]贾旭波,贾雪松.分布式光伏接入对地区电网规划的影响[J].低碳世界,2023,13(12):139-141.
- [9]周俊宇,邱桂华,陆家比.光伏接入配电网调峰优化调度控制方法研究[J].电子设计工程,2023,31(24):122-126.DOI:10.14022/j.issn.1674-6236.2023.24.026.
- [10]陶丽楠,李君,王美威,等.光伏接入石化电网安全影响分析[J].安全、健康和环境,2023,23(12):11-16.DOI:10.3969/j.issn.1672-7932.2023.12.003.

高标准农田建设中节水灌溉技术的应用研究

李作鹏

金誉建设集团有限公司，内蒙古 呼和浩特 010000

摘 要： 随着农业现代化进程不断加速，高标准农田建设成为提升粮食产能以及提高农业抗风险能力的关键途径。但水资源短缺以及农业用水效率不高的状况成为限制农业可持续发展的瓶颈，节水灌溉技术作为解决水资源供需矛盾的有效办法，在高标准农田建设里彰显出极大潜力。本文对节水灌溉技术在高标准农田建设中的应用现状展开分析，剖析其技术优势与综合效益，并且给出相应保障措施，为农业节水以及可持续发展提供参考。

关 键 词： 高标准农田；节水灌溉；应用研究；策略分析

Research on the Application of Water-Saving Irrigation Technology in High-Standard Farmland Construction

Li Zuopeng

Jinyu Construction Group Co., Ltd. Hohhot, Inner Mongolia 010000

Abstract： With the acceleration of agricultural modernization, the construction of high-standard farmland has become a key way to improve grain production capacity and the ability of agricultural risks. However, the shortage of water resources and the low efficiency of agricultural water use have become the bottleneck restricting the sustainable development of agriculture. Water-saving irrigation technology is an effective way to solve the contradiction between water supply and demand, and water-saving irrigation technology shows great potential in the construction of high-standard farmland. This paper analyzes the application status of water-saving irrigation technology in the construction of high-standard farmland, analyzes its technical advantages and comprehensive benefits, and gives corresponding safeguard measures to provide reference for agricultural water-saving and sustainable development.

Keywords： high-standard farmland; water-saving irrigation; application research; strategy analysis

引言

高标准农田借助综合化的建设体系同现代化生产需求紧密相连，构建出优质耕地系统，节水灌溉技术作为现代农业体系的重点部分，依靠工程改造、栽培优化以及管理创新等手段，提高水肥资源利用效率，文章剖析了微灌、喷灌、膜下灌溉、渠道防渗以及水肥一体化等技术在高标准农田中的运用情况，还给出了政策支持、技术研发与培训以及教育等保障举措。

一、高标准农田建设概述

（一）高标准农田的定义

高标准农田是经过系统性土地整理与生态化改造形成的新型农业用地，其核心特征体现在综合化建设体系与现代化生产需求的深度耦合。依靠整合土壤结构优化、智能水网构建、耕作道路升级及生态屏障营造等技术手段，形成空间布局集约化、生产设施智能化、生态功能稳定化的优质耕地系统。在工程实施层面，配备模块化排灌设施与数字监测终端，实现水分精准调控与气候

异常应对。耕作基质方面，凭借科学培肥实现耕层深厚且养分均衡的优质状态，使土壤微生物活性与作物根系发育形成良性互动，非常关键的是采取全域空间规划策略，打破传统田块碎片化格局，构建适于农机联合作业与物联网管理的网格化农田体系，这种空间重组提升土地利用效能，催生出现代农业产业链的规模集聚效应。

（二）高标准农田建设的目标

将粮食产能提升作为核心任务，借助实施高标准农田建设计划优化土地资源利用，重点加强耕地地力培育与田块整治工程，

作者简介：李作鹏（1984.12 -），男，蒙古族，内蒙古赤峰市宁城县人，本科，工程师，研究方向：水利水电工程施工技术（生态河道）创新研究和农田节水灌溉新型应用技术创新研究。

保证粮食稳产增产长效机制。在此基础上构建智能化水利设施网络，形成旱能浇、涝能排的防灾减灾体系，提升极端气候条件下的农业抗风险能力，针对传统小农生产的局限性，着力推进集中连片治理工程，依靠土地平整和渠系配套大幅提升机械作业效率，为精准农业和智慧农场建设创造基础条件^[1]。在实施过程中同步推进生态保护工程，依靠测土配方施肥和绿色种植技术应用，有效控制化肥农药面源污染，实现粮食安全与生态安全的协同发展。

二、节水灌溉技术概述

（一）节水灌溉技术的定义

节水灌溉技术作为现代农业体系的关键组成部分，其核心在于凭借工程改造、栽培优化和管理创新等方式，构建水肥资源高效利用的技术体系。在工程实践领域，以滴灌系统为例，依靠毛细管网末端的控水装置，以精准计量方式向作物根系持续输送水分，而喷灌设施则依托压力管网与旋转喷头，模拟自然降水模式实现区域均匀润湿^[2]。农艺创新层面，重点推进土壤深翻作业和覆盖保墒措施，凭借改善耕层结构有效抑制水分无效蒸散，在管理维度上，依托智能化的土壤墒情监测网络，结合作物需水规律建立动态灌溉模型，在保障作物生理需求的前提下，实现农业用水减量增效，其中物联网技术的深度整合较大提升了决策系统的响应精度。

（二）节水灌溉技术的优势

节水灌溉技术的推广应用产生了多维度的效益提升。在水资源管理方面，新型滴灌与喷灌系统较传统漫灌模式提升用水效率达30%~70%，这种变革性技术突破缓解了农业用水供需矛盾，重构了水资源可持续利用的生态平衡。经济效益维度中，精准控水技术消除传统灌溉导致的水分失调减产风险，更凭借优化土壤微环境使农产品商品率提升12%~15%，配合机械化作业带来的用工成本下降，形成农业生产提质增效的良性循环。生态保护层面，该技术体系将地下水位波动幅度控制在安全阈值内，使土壤次生盐渍化发生率降低60%以上，同时借助减少化肥淋失量使农业面源污染负荷下降45%。基于物联网的智能灌溉系统已实现水肥调控的全程数字化，在降低劳动强度的同时构建起智慧农业的基础数据平台，为现代农业转型升级注入新动能^[3]。

三、节水灌溉技术在高标准农田建设中的应用

（一）微灌技术（滴灌、微喷灌）

微灌体系作为精准灌溉技术的核心形式，主要包括滴灌与微喷灌两大类。在滴灌系统运行中，依靠布设在作物根部区域的滴灌管网，将水分以点状流形式直接渗透至根区土壤，这种缓慢浸润方式可降低约35%的地表蒸发损耗，同时避免传统漫灌造成的养分流失，微喷灌系统则依托旋转式或散射式微型喷头形成雾化水粒，实现作物根域小范围的立体湿润效果。在现代化高效农业建设中，该技术组合已形成“点面结合”的水分管理模式，

特别对水肥敏感的茄果类作物表现出较大优势。以设施草莓栽培为例，滴灌管网配合压力补偿式灌水器可保证植株间水分均衡供给，有效抑制叶面病害发生率，使果型匀称度与糖分积累较大改善，而微喷系统在春栽缓苗期能维持90%以上的空气湿度，又可避免基质过度湿润。现代微灌装置已集成土壤电导率传感器、光量子计等智能监测模块，借助实时监测作物蒸腾需水规律，动态调节供水参数，使单方水产出效益提升至传统方式的2.3倍。

（二）喷灌技术

喷灌系统以人工降雨形式运作，采用旋转式喷洒装置将水流转化为细密水珠，实现水雾状均匀沉降于作物冠层。在规模化种植的粮食主产区，该技术呈现较大效能优势：以冬小麦田间管理为例，对比传统沟渠漫灌模式，其节水效益可提升35%左右，配合智能控制终端能实时调整喷淋强度与覆盖半径，保证耕作单元内水分分布一致性。创新设计的轨道式移动平台使整套装置有跨区域轮灌能力，大幅提升作业效率，借助管网压力调控模块的精确适配，系统可针对丘陵梯田、平原灌区等差异化地貌特征，动态调节雾化粒径与喷淋仰角，在保证根层水分渗透效果的促进土壤养分的高效迁移，为作物全生育期创造最佳水肥耦合环境。

（三）膜下灌溉技术

膜下灌溉技术借助整合地膜覆盖与精准灌溉优势，借助理设于覆膜下方的滴灌系统实现精准供水。灌溉过程中，水分在地膜阻隔作用下形成独特的微域环境，依靠毛细作用在耕作层内实现三维立体扩散，直接将水分和养分输送至作物根区。在西北干旱区农田实践中，该技术构建的物理屏障较大抑制了土壤水分无效蒸发，研究数据说明该技术较传统漫灌方式可节省约40%的农业用水。以新疆棉花种植为例，覆膜形成的“温室效应”使耕作层温度提升2~3℃，配合滴灌形成的适宜墒情，促进棉株根系发育深度增加15~20厘米，单产增幅可达25%以上，值得注意的是，地膜覆盖形成的微生态环境可有效抑制杂草发芽率达75%，同步降低田间病虫害发生频率，为作物健康生长创造有利条件，在农业节水、稳产提质及生态保护方面呈现出较大综合效益。

（四）渠道防渗技术

渠道防渗工程的核心目标在于降低灌溉过程中因渠道渗漏导致的水资源损耗。现代农业基础设施建设中，主要应用材料包括现浇混凝土、砌筑石材及高分子复合材料三类技术方案，以混凝土衬砌技术为例，采用混凝土现浇工艺在渠体内侧构筑高强度防渗结构层，实践数据显示这种工艺可将输水系统效率提高至95%左右。石材防渗体系则借助精密砌筑工艺，利用水泥砂浆与石块咬合作用实现结构致密化，在提升抗渗性能的同时能有效延长工程服务周期，针对临时性灌溉需求，基于聚乙烯薄膜的柔性防渗技术因其经济性优势较大，施工流程简便，可采用分层覆设工艺完成基底与边坡防护，这些创新性工程措施较大提升了灌溉系统的水资源利用效能，还可以有效控制运维成本，为农业水利设施的可持续运行提供技术保障。

（五）水肥一体化技术

水肥一体化系统依靠集成水肥协同调控机制，将液态或可溶固态肥料经科学配比后，借助滴灌或喷灌设施实现同步输送至作

物根域。在果蔬类经济作物集中种植的高标准农田示范区中,该技术的应用效益非常突出,以酿酒葡萄栽培为例,依托智能调控系统动态调整水肥配比,可针对萌芽期、花期、膨果期等关键物候期的营养需求差异,达成按需精准补给,实际数据说明其肥料利用率较传统沟施方式提升。该系统有效遏制了化肥过量施用引发的土壤次生盐渍化及地下水源硝酸盐超标现象,借助维持土壤团粒结构和微生物活性实现耕地质量持续改良,同时大幅降低人工施肥和灌溉的劳动强度,形成节水节肥、稳产优质的现代化生产模式,推动农业生产向高效生态方向转型。

四、节水灌溉技术在高标准农田建设中的应用保障措施

(一) 政策支持与激励机制

政府部门需制定差异化的扶持政策体系,为高标准农田建设中节水灌溉技术的应用构建制度保障。可依据设施覆盖面积和技术创新程度,对采用智能节水系统的项目给予专项补贴,有效缓解建设主体的资金压力。^[4]针对节水设备制造企业,建议实施增值税即征即退政策,同时减免所得税以支持企业技术改造与产能提升,降低终端设备采购成本。在水资源管理层面,建议建立农业用水差别化定价机制,对应用微灌、喷灌等技术的经营主体实行阶梯计价与超额累进相结合的优惠模式,依靠经济杠杆提高节水自觉性,另外可设立省级节水技术推广专项奖励,对年度节水效能排名前5%的示范区给予现金奖励与荣誉称号,同步建立政企合作推广联盟,借助典型案例巡回宣讲与示范园区参访活动,吸引社会资本持续投入节水技术研发与应用领域。

(二) 技术研发与创新

科研机构与企业需要优化资源配置,将技术研发重心向节水灌溉领域倾斜,着力破解当前存在的技术制约难题。在具体实施层面,需系统构建作物需水模型与土壤水分运移理论框架,依靠

在田间布设智能传感网络,结合大数据算法解析植物生理信号与环境参数,实现用水调控的动态优化^[5]。材料工程领域应重点开发抗压防堵塞的滴灌管材,依靠分子结构改性提升材料抗老化性能,降低运维成本,应当整合跨学科技术资源,将人工智能算法与物联网架构深度融合,构建有远程监控和故障自诊断功能的智慧灌溉平台,形成覆盖“感知-分析-执行”全链条的技术体系,这种多维度创新策略能较大提升装备的工况适应性,能为高标准农田建设提供差异化的技术解决方案,切实推动节水灌溉技术从实验室成果向产业应用的实质性跨越。

(三) 培训与教育

构建多元化的培训体系以强化从业者专业能力。针对基层农技队伍,定期举办专题技术研习班,邀请资深专家进行系统化授课,将前沿技术理论体系与设备运维实务相融合,凭借“理论讲解+田间实操”的复合培养模式提升技术指导水平,面向农业生产主体,采取“田间课堂+入户指导”的浸润式培训策略,运用实操演示和图文并茂的操作指南,重点解析技术应用的经济效益比,激发农户参与技术革新的积极性。同步构建云端知识共享系统,集成微课视频、典型应用案例等数字化资源,打造全天候技术交流社区,深化产教融合机制,推动农业院校设置智慧灌溉特色课程体系,培育兼具理论素养与实践能力的复合型人才储备,形成技术迭代的人才支撑闭环。

五、结语

节水灌溉技术在高标准农田建设中的运用,提高了水肥资源的利用效率,也促使农业增效以及农民增收。未来要加大政策支持程度,推动节水灌溉技术展开研发与创新,强化技术培训与教育工作,构建完备的技术推广体系,经多方协同努力,达成节水灌溉技术在高标准农田建设中的广泛运用。

参考文献

- [1] 陈哲威,任康宁,王影.高标准农田建设中节水灌溉技术应用[J].南方农机,2022,53(12):190-192.
- [2] 张鲁顺.节水灌溉在左营镇高标准农田建设中的应用[J].山东水利,2022,(07):82-83.DOI:10.16114/j.cnki.sdsl.2022.07.008.
- [3][1] 王芳.高标准农田建设中高效节水灌溉技术的应用分析[J].新农业,2023,(06):84-85.
- [4] 杨晓庆.高标准农田建设中节水灌溉技术的应用[J].当代农机,2024,(04):34-36.
- [5] 杨焕奎.高标准农田建设中节水灌溉技术的应用研究[J].南方农机,2023,54(05):74-76.