

# 现代工程学

## Modern Engineering



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



## Editorial Board Member

Xiaoli He

Zhejiang Tongfang Engineering Management Consulting Co., Ltd.

Xiaoshi Yan

Chifeng Saige Architectural Planning and Design Co., Ltd.

Jiaming Li

North CMA Technology Co.,Ltd.

Xiao Yu

Chongqing Zongheng Engineering Design Co., Ltd.

# 现代工程学

Modern Engineering

第1卷 第10期 2024年12月刊

主管 ART AND DESIGN PRESS INC.

主办 ART AND DESIGN PRESS INC.

编辑 《现代工程学》编辑部

ISSN(O): 2996-6981

ISSN(P): 2996-6973

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。

# 目录CONTENTS

- 001 房屋建筑抹灰装饰装修工程施工技术要点及质量控制措施探析 周剑岗  
Analysis of Construction Technology and Quality Control Measures of  
Building Plaster Decoration and Renovation Engineering Zhou Jiangang
- 004 水利水电工程施工安全风险识别与智能化管控策略分析 楚琼, 郝亭亭  
Analysis of Construction Safety Risk Identification and Intelligent  
Management and Control Strategy of Water Conservancy and  
Hydropower Projects Chu Qiong, Hao Tingting
- 007 智能电网环境下电力系统信息安全防护体系构建研究 丁江涛, 彭炳楠  
Research on the Construction of Power System Information Security  
Protection System in Smart Grid Environment Ding Jiangtao, Peng Bingnan
- 010 水利水电工程节水减污一体化技术体系构建与实践 浮桂玲, 王丹  
Construction and Practice of Integrated Technology System for Water  
Saving and Pollution Reduction in Water Conservancy and  
Hydropower Projects Fu Guilin, Wang Dan
- 013 多能互补综合能源电力系统协同优化运行策略探究 高北, 牛凯  
Research on Collaborative Optimization Operation Strategy of Multi-energy  
Complementary Comprehensive Energy Power System Gao Bei, Niu Kai
- 016 新型组合式高支模(铝合金-钢混复合支架)的受力性能  
及经济性优化分析 郝会军  
Optimization Analysis of the Stress Performance and Economic Performance  
of A New Type of Combined High-Support Die (Aluminum Alloy-Steel-Concrete  
Composite Support) Hao Huijun
- 019 基于人工智能的电力系统故障诊断与快速恢复方法 彭炳楠, 丁江涛  
Fault Diagnosis and Rapid Recovery Method of Power  
System Based on Artificial Intelligence Rong Bingnan, Ding Jiangtao
- 022 智能监测技术在水利水电设施健康诊断中的应用 徐向娟, 柴文政  
Application of Intelligent Monitoring Technology in Health Diagnosis of  
Water Conservancy and Hydropower Facilities Xu Xiangjuan, Chai Wenzheng
- 025 固定床碎煤加压气化技术在我国的发展历程、  
实践应用与发展趋势 杨建荣, 武建军, 高振楠, 杨振华  
The Development History, Practical Application and Development Trend  
of Fixed-Bed Crushed Coal Pressurized Gasification  
Technology in China Yang Jianrong, Wu Jianjun, Gao Zhenan, Yang Zhenhua
- 028 水利水电工程建设生态水文响应评估及调控策略 张铁  
Ecological Hydrological Response Assessment and Regulation Strategies for  
Water Conservancy and Hydropower Engineering Construction Zhang Tie
- 031 基于生态修复的幸福河湖建设实践 林圣全  
The Practice of Building Happy Rivers and Lakes Based on  
Ecological Restoration Lin Shengquan
- 034 新技术应用示范工程对推广钢结构技术创新的作用分析 周瑜  
Analysis of the Role of New Technology Application Demonstration Projects in  
Promoting Technological Innovation in Steel Structures Zhou Yu
- 037 智慧化管理在水利工程安全生产中的应用研究 曹旭逞  
Research on the Application of Intelligent Management in the Safe  
Production of Water Conservancy Projects Cao Xucheng



# 房屋建筑抹灰装饰装修工程施工技术要点 及质量控制措施探析

周剑岗

江西中煤建设集团有限公司第三分公司，江西 南昌 330038

DOI:10.61369/ME.2024100001

**摘 要：** 在房屋建筑领域，抹灰装饰装修工程是极为重要，不仅关乎建筑物的外观美感，更直接影响到建筑的使用功能和耐久性，本文针对房屋建筑抹灰装饰装修工程施工技术要点及质量控制措施探析展开研究。

**关 键 词：** 房屋建筑工程；抹灰装饰装修工程；施工技术；质量控制措施

## Analysis of Construction Technology and Quality Control Measures of Building Plaster Decoration and Renovation Engineering

Zhou Jiangang

Jiangxi Zhongmei Construction Group Co., LTD. Third Division, Nanchang, Jiangxi 330038

**Abstract：** In the field of housing construction, plaster decoration and renovation engineering is very important, which not only affects the aesthetic appearance of buildings, but also directly affects the functional use and durability of buildings. This paper explores the key points of construction technology and quality control measures of plaster decoration and renovation engineering in housing construction.

**Keywords：** housing construction engineering; plaster decoration engineering; construction technology; quality control measures

### 引言

房屋建筑工程施工中，抹灰装修为重要环节。为保证施工质量，就要准确把握施工技术要点，即做好基层处理工作，对于材料合理控制，并采用科学有效的施工工艺技术。工程施工的过程中，还要采取科学有效的质量控制措施，并注重技术创新<sup>[1]</sup>。

### 一、施工技术要点

#### （一）基层处理

##### 1. 表面清理

在房屋建筑中，不同类型的基层需要采用不同的清理方法。砖砌体表面会残留大量的杂物和尘土，这些物质会阻碍抹灰层与基层的有效粘结。施工人员需要使用扫帚、刷子等工具，对砖砌体表面进行彻底清扫，确保表面没有明显的杂物和尘土残留。嵌入砖缝中的细小灰尘使用高压气枪进行吹扫，保证表面的清洁度。以加气混凝土基层为例，由于其材质疏松、吸水性强特点，需要边刷界面剂边抹 M5 以上水泥混合砂浆。界面剂能够改善加气混凝土表面的物理性能，增强其与抹灰层的粘结力。在涂抹水泥混合砂浆时，注意控制涂抹的速度和厚度，确保砂浆能够充分渗透到加气混凝土内部，形成良好的粘结效果。

#### 2. 湿润养护

抹灰之前要对基层进行均匀洒水润湿是非常重要的环节。以砖砌体为例，砖砌体具有较强的吸水性，在抹灰前不进行充分湿润，在抹灰过程中，砖砌体就会迅速吸收砂浆中的水分，导致砂浆失水过快，从而影响其粘结强度和硬化效果，容易出现空鼓、开裂等问题。因此，在抹灰前，需要对砖砌体进行充分浇水，使其充分吸水，一般要求砖砌体的含水率达到 10% - 15% 左右。

#### （二）材料控制

##### 1. 砂浆配比

底层砂浆的配比是 1:3，能够保证较高的强度且粘结性良好。底层砂浆搅拌施工的过程中，配料要符合规定的配合比，保证材料使用量精准。

中层砂浆一般采用 1:2.5 水泥砂浆，这种配比的砂浆强度适中，能够满足中层抹灰的要求。中层砂浆的主要作用是填充底层

砂浆的空隙，使抹灰层表面更加平整。在涂抹中层砂浆时，要注意控制其厚度和平整度，并且要在底层砂浆硬化 70%后进行涂抹，以保证两层砂浆之间的粘结效果。

面层砂浆配比通常为 1:1，水泥石米浆的使用中，多采用水刷石工艺，不仅面层耐用，且具有较高的美观度。需要注意的时候，对面层砂浆的配合比合理控制，保证搅拌质量，颜色要均匀，石米均匀分布。

## 2. 材料验收

材料验收中，水泥作为抹灰工程的主要材料，要复验强度及安定性。强度是水泥的重要性能指标，直接影响到抹灰层的强度和耐久性；安定性则关系到水泥在硬化过程中是否会产生体积膨胀和开裂现象。在复验水泥时，要按照相关标准和规范进行抽样检验，确保水泥的质量符合要求。

砂的含泥量应 $\leq 5\%$ ，含泥量过高会影响水泥砂浆的强度和粘结性。在验收砂时，要对其含泥量进行检测，可以采用水洗法或烘干法进行检测。同时，还要检查砂的颗粒级配和细度模数，确保砂的质量符合要求。

界面剂、网格布等材料需符合防火及抗裂要求。界面剂要具有良好的粘结性能和耐水性，能够有效地改善基层与抹灰层之间的粘结效果；网格布要具有较高的强度和抗裂性能，能够增强抹灰层的整体性和耐久性。在验收这些材料时，要检查其质量证明文件和检测报告，确保其质量符合相关标准和规范的要求。

## （三）施工工艺

抹灰施工要分层进行，以保证施工质量。在涂抹底层砂浆时，要使用抹子将砂浆均匀地涂抹在基层表面，并且要用力压实，使砂浆与基层充分结合。底层砂浆硬化 70%后，再进行中层抹灰，中层抹灰的厚度为 8 - 10mm。中层抹灰的主要作用是填充底层砂浆的空隙，使墙面更加平整。在涂抹中层砂浆时，要用木抹搓毛，以增加中层砂浆与面层砂浆的粘结力。

面层抹灰的厚度为 2 - 3mm，面层抹灰的质量直接影响到墙面的装饰效果。在涂抹面层砂浆时，要使用原浆压光，使墙面表面光滑平整。每层抹灰的间隔时间要根据温湿度等环境因素进行调整，严禁一次性厚抹<sup>[3]</sup>。因为一次性厚抹容易导致抹灰层内部产生应力，从而出现开裂现象。在每层抹灰之间，要对墙面进行检查，确保前一层抹灰层的质量符合要求后，再进行下一层抹灰。

抹灰完成后，需要进行成品保护。抹灰 24h 后要洒水养护 $\geq 7d$ ，洒水养护能够保证抹灰层的水分蒸发速度适中，使其充分硬化，提高抹灰层的强度和耐久性。在洒水养护过程中，要注意控制洒水量和洒水次数，避免抹灰层表面积水。冬季施工时，由于气温较低，抹灰层容易受冻，导致其强度降低和出现裂缝。因此，冬季施工需采取防冻措施，如在抹灰砂浆中添加防冻剂、对施工现场进行保温等。分格缝预留位置要准确，填补密封胶可以防止雨水渗漏，保证墙面的防水性能。在填补密封胶时，要确保

密封胶的质量和施工质量，使其能够有效地起到密封作用。

## 二、质量控制措施

### （一）施工全过程控制

其一，基层处理标准化。在房屋建筑抹灰装饰装修工程中，基层处理是整个施工过程的基础，其质量直接影响到后续抹灰层的质量。施工前，墙面往往会存在各种杂物、油污及灰尘等。如果不进行彻底清理，将会成为抹灰层空鼓、脱落的隐患。

其二，特殊部位强化。为了防止这些部位出现裂缝，需要采用格栅布或防裂纤维布进行加固。格栅布和防裂纤维布具有良好的抗拉性能，能够有效地分散应力，抵抗变形。在施工过程中，施工人员会在易开裂区域先铺设一层格栅布或防裂纤维布，然后再进行抹灰。当出现应力集中时，格栅布或防裂纤维布能够将应力分散到周围的区域，避免应力集中导致裂缝的产生。同时，还能够增强抹灰层的整体性，提高抹灰层的抗裂性能。

其三，材料储存。不同类型的材料具有不同的性能和特点，需要采取不同的储存方式。例如，水泥等粉状材料需要储存在干燥、通风的仓库中，防止受潮结块；砂等颗粒状材料需要进行遮盖，防止灰尘污染。同时，材料在储存过程中还需要进行定期检查，及时发现和处理材料的损坏和变质问题，避免使用不合格的材料，影响抹灰工程的质量。

其四，施工流程精细化。

吊顶工程：主龙骨间距控制在 800mm - 1200mm，副龙骨间距控制在 300mm - 600mm，这样的间距设置能够保证吊顶结构的合理性和稳定性。

隐蔽工程：不同线路导线分管道敷设也是为了保证用电安全。不同的线路可能会产生不同的电磁干扰，如果将它们敷设在同一管道中，会相互影响，导致信号传输不稳定，甚至会引发短路等安全问题<sup>[3]</sup>。同时，金属管间距保持 1m 也是为了防止电磁干扰和方便检修。金属管在通电时会产生磁场，如果间距过小，磁场会相互干扰，影响电线的正常使用。保持一定的间距，还便于施工人员在后期进行检修和维护，及时发现和处理电线故障。

### （二）常见问题防治

#### 1. 材料质量防治

材料质量是影响房屋建筑抹灰装饰装修质量的重要因素之一。在建筑市场中，由于竞争激烈，一些不良供应商为了追求利润最大化，会提供低价劣质的材料。这些材料往往存在质量问题，如强度不足、耐久性差等，会给抹灰工程带来严重的隐患。

加强运输储存管理也是减少材料二次损伤的重要措施。材料在运输过程中，可能会受到颠簸、碰撞等影响，导致材料损坏。因此，在运输过程中，需要采取适当的防护措施，如使用减震材料、固定材料等，确保材料的安全运输。在储存过程中，要按照材料的性质和特点进行分类储存，避免不同材料相互影响。同时，要保持储存环境的干燥、通风，防止材料受潮、发霉等。

#### 2. 提升抹灰层抗裂性能

抹灰层开裂是房屋建筑抹灰装饰装修工程中常见的问题之

一。导致抹灰层开裂的原因有很多，如材料质量不佳、施工工艺不当、环境因素等。为了防止抹灰层开裂，需要采用抗裂材料加强易损部位。抗裂材料具有良好的柔韧性和粘结性，能够有效地抵抗应力的作用，防止裂缝的产生。例如，在不同材质交接处、门窗洞口等易开裂部位，使用抗裂砂浆进行抹灰，可以增强这些部位的抗裂性能。

### （三）质量验收

其一，验收标准明确化。施工前制定明确的技术规范、验收准则及质量标准是确保房屋建筑抹灰装饰装修工程质量的重要前提。这些标准涵盖了结构稳固性、材料性能、工艺精度及安全环保要求等多个方面。结构稳固性是保证建筑安全使用的基础，材料性能直接影响到抹灰层的质量和耐久性，工艺精度关系到建筑的美观度，安全环保要求则是保障人们健康和环境友好的重要指标。

其二，隐蔽工程验收。隐蔽工程在施工完成后会被后续的工程所覆盖，如果在隐蔽前不进行验收，一旦出现问题，很难进行修复。因此，隐蔽工程验收是保证工程质量的重要环节。例如，电线敷设、龙骨安装等隐蔽工程，在完成后需要进行严格的验收。验收内容包括电线的规格、型号是否符合要求，敷设方式是否安全合理；龙骨的材质、间距是否符合设计标准，安装是否牢固等。只有在验收合格后，才能进行后续的施工，否则需要及时整改，直到验收合格为止<sup>[4]</sup>。

## 三、技术创新

### （一）机械化施工

自动喷涂与智能设备采用专利抹灰装置，比如带万向轮移动平台、石灰泵输送系统、可调节喷头，实现砂浆自动调配与喷

涂，减少人工操作误差。部分设备配备滚轮和伸缩杆，可适应不同高度墙面施工，提升作业效率提嘴搜。机械化抹平与养护通过机械镬刀、振动抹平机等设备完成抹灰层压实和表面处理，确保厚度均匀（误差 $\leq 3\text{mm}$ ），解决传统手工抹灰空鼓、开裂等问题。

### （二）新材料应用

功能性抹灰材料轻质保温砂浆：添加玻化微珠或气凝胶，降低墙体荷载同时提升保温性能。

自流平砂浆：适用于地面找平，流动性强，可机械化摊铺，平整度达 $\pm 2\text{mm}/2\text{m}$ 。

纳米改性砂浆：掺入纳米二氧化硅，增强抗裂性和耐久性，减少后期维护成本。

### （三）BIM技术应用

施工阶段应用 BIM 技术进行 4D 进度模拟，关联 BIM 模型与施工计划，动态监控抹灰工程进度，预警延误风险。模型运行的过程中，可自动统计砂浆用量，偏差率 $<5\%$ ，降低材料浪费。质量追溯通过移动终端实时上传施工数据，比如抹灰厚度、养护时间等等，形成数字化质量档案，支持后期运维。

## 四、结束语

通过研究明确，对于多数建筑施工单位而言，抹灰装饰施工需要高度重视。高度关注装饰抹灰施工要点并采用科学有效的控制措施，提高施工质量。做好这项工作，为建筑工程事业的发展贡献力量。

## 参考文献

- [1] 王兴城, 任秋, 顾武生, 等. 高层住宅混凝土结构免抹灰节能施工技术研究 [J]. 中国建筑装饰装修, 2023, (02): 174-176.
- [2] 方艺红. 建筑装修工程施工技术要求和质量控制——以福州市滨海新城新投科技大厦为例 [J]. 海峡科学, 2024, (08): 108-111.
- [3] 廉明. 多层公共建筑装饰装修施工质量控制的关键技术 [J]. 陶瓷, 2024, (08): 187-189.
- [4] 罗斌, 郭露鹏, 张文兵, 等. 建筑外墙装饰装修绿色施工技术及其应用研究 [J]. 中国建筑装饰装修, 2023, (16): 83-85.



# 水利水电工程施工安全风险识别与智能化管控策略分析

楚琼<sup>1</sup>, 郝亭亭<sup>2</sup>

1.河南元丰建设工程有限公司, 河南 安阳 455000

2.元武建设集团有限公司, 河南 安阳 455000

DOI:10.61369/ME.2024100002

**摘要：** 水利水电工程具有施工周期长、环境复杂、技术难度高等特点，安全风险管控是保障工程顺利推进的核心环节。本文分析了水利水电工程施工阶段的主要安全风险类型，结合智能化技术发展趋势，提出针对性的风险识别与管控策略。研究聚焦施工作业、设备运行、人员行为及环境因素四大风险维度，探讨如何通过智能化手段优化安全管理流程、提升风险预警能力、强化应急响应效率，为水利水电工程安全管理模式创新提供理论参考。

**关键词：** 水利水电工程；施工安全；风险识别；智能化管控；安全管理

## Analysis of Construction Safety Risk Identification and Intelligent Management and Control Strategy of Water Conservancy and Hydropower Projects

Chu Qiong<sup>1</sup>, Hao Tingting<sup>2</sup>

1.Henan Yuanfeng Construction Engineering Co., Ltd., Anyang, Henan 455000

2.Yuanwu Construction Group Co., Ltd., Anyang, Henan 455000

**Abstract：** Water conservancy and hydropower project has the characteristics of long construction period, complex environment and high technical difficulty. Safety risk management and control is the core link to ensure the smooth progress of the project. This paper analyzes the main types of safety risks in the construction stage of water conservancy and hydropower projects, and puts forward targeted risk identification and control strategies in combination with the development trend of intelligent technology. Focusing on the four risk dimensions of construction operation, equipment operation, personnel behavior and environmental factors, this paper discusses how to optimize the safety management process, improve the risk early warning ability and strengthen the emergency response efficiency by intelligent means, which provides theoretical reference for the innovation of safety management mode of water conservancy and hydropower projects.

**Keywords：** water conservancy and hydropower engineering; construction safety; risk identification; intelligent control; safety management

## 引言

水利水电工程是支撑国家能源安全与民生保障的重要基础设施，但其施工过程中面临地质条件复杂、作业环境恶劣、多工种交叉作业等挑战，安全风险隐患突出。传统安全管理模式依赖人工经验，存在响应滞后、覆盖面不足等问题。随着物联网、大数据、人工智能等技术的快速发展，智能化手段为施工安全风险管控提供了新思路。本文旨在分析水利水电工程施工安全风险的典型特征，结合智能化技术应用场景，提出系统性管控策略，以推动水利水电工程安全管理转型升级。

## 一、水利水电工程施工中的主要安全风险

### （一）施工作业风险

水利水电工程施工涉及多工种、多环节的复杂作业流程，高

风险操作贯穿始终。爆破开挖作为基础性工序，面临岩体结构预判偏差带来的连锁反应。地质勘探数据与现场实际岩层裂隙发育程度存在差异时，装药量计算误差可能导致爆破能量释放失控，飞石超出设计警戒范围直接威胁周边临时工棚和施工人员<sup>[1]</sup>。导流洞贯通



阶段，钻孔定位精度不足可能改变岩体应力分布，引发局部塌方或渗流路径异常。高空作业场景中，大坝闸门安装需依赖悬空作业平台，平台搭设未考虑风力载荷或未设置双重防坠装置时，人员失稳坠落风险陡增。深基坑开挖过程中，支护结构滞后于土方开挖进度会导致坑壁暴露时间过长，地下水位回升或降雨入渗可能引发流砂现象，造成基坑底部隆起或侧壁整体滑移。混凝土浇筑环节受作业面空间限制，泵管堵塞或模板胀模若未能及时处理，可能引发混凝土倾泻掩埋作业人员。交叉作业区域如引水隧洞与调压井衔接处，开挖支护与机电预埋管线同步施工时，机械臂回转半径内的人员误入可能造成挤压伤害。导流明渠截流阶段，抛投材料级配不满足抗冲刷要求或合龙时机选择不当，可能因水力冲刷导致截流戗堤溃决，危及上下游施工区安全。

### （二）施工设备风险

施工设备的高强度运行与复杂工况适配性不足构成系统性风险。门座式起重机在吊装大型压力钢管时，回转机构制动器灵敏度下降可能导致吊物摆动幅度超出安全阈值，撞击相邻脚手架或临时配电设施。混凝土搅拌运输车在狭窄盘山道路行驶时，制动系统过热衰退或轮胎抓地力不足可能引发车辆侧翻，罐体滚落造成二次伤害。盾构机在穿越断层破碎带时，超前地质预报未能及时调整刀盘转速与推进压力，刀具异常磨损可能触发主轴承卡滞，导致设备停机与掌子面失稳<sup>[2]</sup>。履带式挖掘机在边坡开挖作业中，重心偏移监测失效或液压系统渗漏可能造成设备滑移倾覆，连带破坏已完成的支护结构。临时发电机组在潮湿环境中长时间运行，绕组绝缘层老化加速可能引发电气短路，火花溅射至邻近油料存储区将升级为火灾事故。液压启闭机调试阶段，比例阀响应延迟与油缸同步性失调可能引发人机交互失控，闸门非预期启闭造成水流冲击破坏围堰结构。设备日常维护缺失加剧隐性风险，例如钢丝绳断丝未及时更换可能在高负荷吊装时断裂，减速箱润滑油污染导致的齿轮异常磨损可能在满负荷运转时突发崩齿<sup>[3]</sup>。特种设备操作资质管理漏洞同样致命，无证人员误触塔吊限位装置或错误设置混凝土泵车臂架展开角度，可能直接引发设备结构性损伤。

### （三）施工人员风险

人员行为失范与安全意识薄弱构成施工安全的核心威胁。新入职工人未经系统培训即参与高危作业，对安全操作规程认知模糊，例如未正确系挂安全带进行高空临边作业、违规跨越警戒区域操作挖掘机。疲劳作业现象普遍，连续加班导致注意力分散，在操作振捣棒、手持电钻等振动工具时易发生误触开关或脱手滑落<sup>[4]</sup>。团队协作失效加剧风险，信号工与吊车司机沟通不畅可能引发吊物碰撞，测量员与钻爆班组信息传递延迟则导致炮孔位置偏差。个体防护装备使用不规范进一步放大风险，如安全帽下颌带未系紧、防尘口罩滤芯更换不及时，降低了对坠落物与粉尘的防护效能<sup>[5]</sup>。部分管理人员存在侥幸心理，为追赶工期默许简化安全流程，例如未完成边坡稳定性评估即组织下方作业，或将临时用电线路私接至非标准配电箱。

### （四）施工环境风险

施工现场地理环境与气候条件的不可控性显著影响风险等

级。库区施工受库水位频繁升降影响，岸坡岩土体饱水软化可能诱发滑坡，淹没区围堰渗透压力突变加剧结构失稳风险。高山峡谷地带作业面临突发性山洪与泥石流威胁，临时排水系统设计容量不足时，积水倒灌可能冲毁施工便道与材料堆场。高原地区低氧环境导致人员生理机能下降，机械内燃机燃烧效率降低，设备出力不足与人员反应迟滞形成叠加风险。沿海地区盐雾腐蚀加速钢模板、脚手架扣件锈蚀，结构承载力隐性衰减可能引发坍塌事故<sup>[6]</sup>。地下洞室施工中通风条件受限，柴油设备尾气积聚与岩石掘进产生的硅尘形成混合污染，长期暴露增加施工人员呼吸道疾病与中毒风险。季节性因素同样不可忽视，冬季低温导致混凝土养护不达标、液压设备油液黏度异常，夏季高温则可能引发沥青摊铺作业人员中暑或油罐车静电起火。

## 二、水利水电工程施工安全风险的智能化识别与管控策略

### （一）健全智能化施工安全管理体系

构建基于数字孪生技术的全生命周期安全管理框架，实现风险要素的动态映射与预控。依托 BIM 平台集成地质勘测数据、施工进度计划与设备运行参数，建立三维可视化风险预警模型<sup>[7]</sup>。在爆破作业前导入装药量与岩体力学参数，系统自动模拟能量释放范围并标识飞石警戒区，提前调整警戒方案。开发多源异构数据融合分析模块，将塔吊倾角传感器、深基坑监测仪、环境气象站等实时数据接入中央控制平台，设定支护结构变形阈值与风速预警红线，触发报警时自动暂停高危工序。建立标准化风险数据库，对历史事故案例进行特征提取与模式分类，形成风险知识图谱辅助决策。推行电子化安全交底制度，通过移动终端向作业班组推送定制化风险提示卡，结合当日施工任务标注重点防控区域。引入区块链技术实现安全检查记录不可篡改，质量安全责任人数字签名与工序验收信息永久存证，形成完整追溯链条。

### （二）加强施工人员智能化安全培训

创建虚拟现实沉浸式培训系统，真实还原高危作业场景与突发事件情境。开发高空坠落模拟模块，受训者佩戴 VR 设备体验安全绳失效时的失重状态，强化防坠装置检查意识。设计机械伤害应急处置仿真程序，操作人员需在虚拟环境中快速识别装载机盲区、正确解除液压管路爆裂险情。搭建移动端微课学习平台，按工种推送标准化教学视频与三维动画教程，混凝土工可随时查看泵管堵塞排除技巧，电工学习智能配电柜漏电保护原理<sup>[8]</sup>。引入行为识别技术评估培训效果，通过动作捕捉系统分析学员操作塔吊时的视线焦点分布与操纵杆控制轨迹，针对性纠正习惯性违章动作。实施动态能力画像管理，基于 UWB 定位数据统计人员进入危险区域的频次，结合电子答题系统测试安全规程掌握程度，生成个体安全信用评分并关联岗位权限。设立智能安全督导机器人，在施工现场自动识别未佩戴护目镜、违规穿越警戒线等行为，通过语音交互实时纠正违章。

### （三）应用智能技术赋能设备风险预防

部署物联网传感网络实现设备健康状态全景监控。为起重机

械安装应力应变传感器与振动频谱仪，实时监测主梁挠度变化与齿轮箱异常振动，预测性提醒更换磨损钢丝绳。在混凝土泵车输送管关键节点设置压力变送器，当骨料卡滞引发压力陡升时，智能控制系统自动执行反泵操作并锁定故障管段。研发盾构机刀具磨损智能诊断系统，融合声发射信号与推进油缸压力曲线，动态调整刀盘转速避免岩体过度破碎<sup>[9]</sup>。开发特种设备数字孪生模型，液压启闭机调试阶段同步运行虚拟仿真，比对实际油压与理论值偏差，提前发现密封件失效风险。推广设备二维码身份管理系统，扫码获取运行日志与维修记录，润滑保养周期到期自动触发工单推送。应用边缘计算技术实现本地化智能决策，当挖掘机重心偏移超过安全阈值时，车载控制器直接切断液压动力输出，避免依赖远程响应造成处置延迟。

（四）强化智能化安全监管与应急响应

建立空地一体化监测体系提升风险感知能力。无人机搭载热成像仪定期巡检边坡稳定性，通过地表温度异常变化识别潜在滑坡体。在隧洞施工段布设光纤光栅传感阵列，实时捕捉围岩变形与渗流压力突变，联动声光报警装置启动人员撤离程序。开发智能安全帽集成气体检测与定位功能，当作业人员进入缺氧环境或有毒气体超标区域时，自动激活应急呼吸装置并发送求救坐

标。构建多模态应急指挥平台，融合视频监控画面、人员定位信息与设备运行状态，事故发生时自动生成三维态势图并规划最优逃生路径。部署智能应急物资管理系统，利用 RFID 标签实时追踪救生筏、呼吸器库存位置，灾害预警触发后自动调度最近储备点物资<sup>[10]</sup>。开展数字孪生驱动应急演练，模拟围堰溃决、洞室塌方等极端场景，优化应急预案响应流程与资源调配方案。建立智能语音调度中枢，在突发事件中自动呼叫预设救援单位，同步推送事故地点环境参数与伤员定位信息，缩短应急响应时间。

三、结语

综上所述，水利水电工程施工安全风险具有多源异构特征，需通过智能化技术实现风险要素的精准识别与动态管控。构建数字孪生平台优化管理架构、利用智能终端增强人员行为约束、依托传感网络提升设备监测效能，是现阶段风险防控体系升级的着力点。未来应深化技术工具与工程实践的适配性研究，突破多系统数据融合瓶颈，形成更具弹性的安全治理生态，为水利水电工程高质量发展提供可持续保障。

参考文献

[1] 张壮. 水利水电工程施工安全管理对策探讨 [J]. 散装水泥, 2024, (04): 138–140.  
[2] 余荣幸. 水利水电工程施工安全管理对策的研究与应用 [J]. 中国设备工程, 2024, (S2): 277–279.  
[3] 夏金阳. 关于水利水电工程施工安全控制的几点思考 [J]. 珠江水运, 2024, (08): 154–156.  
[4] 康健, 刘玉成, 黄少争. 解析水利水电工程施工中的安全控制措施 [J]. 水上安全, 2024, (08): 155–157.  
[5] 罗杰. 水利水电工程施工安全管理对策的研究与应用 [J]. 家电维修, 2023, (12): 52–53+30.  
[6] 王健. 水利水电工程施工安全管理对策的研究与应用 [J]. 云南水力发电, 2023, 39(09): 305–308.  
[7] 金凯, 王琛. 基于 BIM 技术的水利水电工程施工安全评估构建研究 [J]. 四川水泥, 2022, (07): 58–60.  
[8] 胡芳. 水利水电建筑工程施工过程中安全管理问题及其对策研究 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2023, (22): 126–128.  
[9] 于强强. 做好水利水电项目建设施工安全管理分析 [J]. 长江技术经济, 2022, 6(S1): 122–124.  
[10] 胡晓凤. 社会经济发展下水利水电工程施工安全管理与安全控制措施探究 [J]. 水上安全, 2023, (05): 161–163.

# 智能电网环境下电力系统信息安全防护体系构建研究

丁江涛<sup>1</sup>, 彭炳楠<sup>2</sup>

1. 河南省蒲安建设工程有限公司, 河南 长垣 453400

2. 河南立新监理咨询有限公司, 河南 郑州 450000

DOI:10.61369/ME.2024100003

**摘 要 :** 随着智能电网的快速发展, 电力系统的信息化与智能化水平不断提升, 信息安全问题逐渐成为制约其稳定运行的核心挑战。本文聚焦智能电网环境下电力系统的信息安全防护体系构建, 从物理、网络、数据三个维度分析其安全需求, 探讨加密技术、入侵检测、身份认证等关键技术的作用机理, 设计涵盖技术架构、管理机制与维护策略的一体化防护体系。

**关 键 词 :** 智能电网; 电力系统; 信息安全; 防护体系; 分层防御

## Research on the Construction of Power System Information Security Protection System in Smart Grid Environment

Ding Jiangtao<sup>1</sup>, Rong Bingnan<sup>2</sup>

1. Henan Pu'an Construction Engineering Co., Ltd., Changyuan, Henan 453400

2. Henan Lixin Supervision Consulting Co., Ltd., Zhengzhou, Henan 450000

**Abstract :** With the rapid development of smart grid, the level of informatization and intelligence of power system has been continuously improved, and information security has gradually become the core challenge that restricts its stable operation. This paper focuses on the construction of information security protection system of power system in smart grid environment, analyzes its security requirements from three dimensions of physics, network and data, discusses the mechanism of key technologies such as encryption technology, intrusion detection and identity authentication, and designs an integrated protection system covering technical architecture, management mechanism and maintenance strategy.

**Keywords :** smart grid; electric power system; information security; protection system; layered defense

## 引言

智能电网作为新一代电力系统, 融合现代信息技术与电力技术, 是能源革命与数字经济发展的的重要支撑。它在提升电力供应效率、推动新能源消纳等方面发挥关键作用。然而, 随着智能电网中信息交互量剧增, 其信息安全面临严峻挑战。恶意攻击、数据泄露、系统漏洞等问题频发, 一旦信息安全防线被突破, 不仅会造成电力系统运行紊乱, 还可能危及国家能源安全和社会稳定。因此, 深入研究智能电网环境下电力系统信息安全防护体系构建, 对保障电力系统安全稳定运行, 推动能源产业可持续发展具有重要的现实意义。

## 一、智能电网环境下电力系统信息安全需求

### (一) 物理安全需求

智能电网的物理安全需求源于其底层基础设施对实体设备的深度依赖。作为连接物理世界与数字系统的关键接口, 智能电表、传感器、控制终端等硬件设备直接暴露于物理环境威胁中。电磁干扰可能造成设备信号失真或通信中断, 例如变电站高频电磁场可能干扰邻近智能设备的运行稳定性。极端环境条件同样构成潜在风险, 高温、高湿或震动可能加速硬件老化, 导致数据采集误差或设备故障<sup>[1]</sup>。此外, 物理破坏行为的威胁不容忽视, 针

对电力设施的非法入侵或恶意损毁可能直接瘫痪局部电网功能。为应对这些挑战, 设备冗余设计成为基础保障, 例如部署双路电源模块或备份通信链路, 确保单一节点故障不影响整体系统运行。环境监测系统需实时感知温度、湿度、振动等参数, 通过阈值预警机制触发保护措施。

### (二) 网络安全需求

智能电网的网络安全需求聚焦于其多层级网络架构的脆弱性。在发电、输电、配电与用户侧构成的复杂网络中, 通信协议的开放性可能被利用进行中间人攻击或数据篡改。例如, 缺乏加密的 SCADA 系统通信可能被截获并注入虚假指令, 导致断路器误



动作。网络边界模糊化加剧了威胁扩散风险，分布式能源接入点与云端管理平台的互联互通使攻击面呈指数级扩张<sup>[2]</sup>。拒绝服务攻击可能通过泛洪式数据包阻塞通信信道，延迟关键控制指令的传递。为此，网络拓朴需遵循最小化暴露原则，通过虚拟局域网划分隔离不同业务流量，限制横向渗透的可能性。流量加密技术需覆盖从终端到云端的全链路，确保协议交互过程中指令与数据的机密性。

### （三）数据安全需求

数据作为智能电网的核心资产，其安全需求贯穿采集、传输、存储与处理全流程。在数据采集环节，智能电表与传感器产生的海量运行数据需防范恶意篡改，例如通过时间戳校验与哈希值比对确保数据源的真实性<sup>[3]</sup>。数据传输过程中，无线通信信道易受窃听威胁，需采用端到端加密技术防止敏感信息泄露。数据存储阶段面临的关键挑战包括非授权访问与持久性潜伏攻击，例如利用数据库漏洞植入恶意代码以长期窃取用户用电行为数据。数据完整性需通过多副本校验与区块链存证技术保障，防止历史记录被篡改。此外，数据聚合分析过程中存在隐私泄露风险，例如通过用电负荷数据反推用户生活习惯。为此，需建立细粒度访问控制策略，基于角色权限限制数据调阅范围。

## 二、智能电网环境下电力系统信息安全防护技术

### （一）加密与防火墙技术

智能电网的加密技术通过算法转换保障数据在传输与存储过程中的不可读性，形成抵御窃听与篡改的核心防线。对称加密算法以效率优势适配终端设备间实时通信场景，例如智能电表与集中器之间的高频数据交互；非对称加密则通过公私钥机制解决密钥分发难题，适用于云端平台与分布式节点的身份验证<sup>[4]</sup>。防火墙技术作为网络边界守护者，基于预定义规则对进出流量进行深度检测，传统包过滤防火墙通过分析IP地址与端口信息拦截非法访问，而下一代智能防火墙引入协议识别与行为分析功能，可识别伪装成合法流量的恶意指令。在智能电网异构网络环境中，防火墙需支持工控协议深度解析，例如对Modbus、DNP3等电力专用协议的指令合规性校验，防止攻击者伪造控制报文引发设备误动作。

### （二）入侵检测与防御系统

入侵检测系统通过持续监控网络流量与设备行为识别潜在威胁，其核心能力体现在对已知攻击特征的精准匹配与未知异常模式的自适应发现。基于特征的检测方法依赖规则库比对，可高效识别勒索软件、木马程序等已知攻击签名；基于行为的检测则通过机器学习建立正常操作基线，对偏离常态的登录频次、数据包大小等指标触发预警。防御系统需实现检测与响应的闭环联动，例如当检测到SQL注入攻击时自动阻断源IP并隔离受感染节点。在智能电网高动态环境中，防御策略需具备实时更新能力，通过威胁情报平台获取最新攻击特征库，同步调整检测规则与阻断阈值。针对高级持续性威胁，系统需融合多源日志进行关联分析，例如将防火墙日志、身份认证记录与设备运行状态交叉验证，识

别跨层攻击链条<sup>[5]</sup>。

### （三）身份认证与访问控制技术

身份认证技术通过多维度验证确保操作者身份真实性，防止非法人员冒用合法凭证渗透系统。动态口令认证结合时间因子与硬件令牌生成一次性密码，有效抵御重放攻击；生物特征认证利用指纹、虹膜等生理标识提升认证强度，适用于调度中心等高安全区域<sup>[6]</sup>。访问控制技术基于最小权限原则限制用户操作范围，角色基访问控制模型将运维人员、设备厂商等主体划分为不同权限组，实现设备调试、数据查询等功能的细粒度管控。属性基加密技术进一步拓展控制维度，依据用户属性动态解密数据，例如仅允许具备“故障检修”属性的工程师访问特定变电站的故障日志。在零信任架构下，持续认证机制取代传统的一次性登录验证，通过分析用户行为模式、设备指纹与环境风险实施动态权限调整。

## 三、智能电网环境下电力系统信息安全防护体系的构建

### （一）防护体系的构建原则

智能电网信息安全防护体系的构建需以风险动态适应为核心准则，通过威胁建模与风险评估确定防护优先级。风险导向原则要求依据电力业务场景划分安全域，例如将调度控制中心与用户侧计量系统划分为不同保护等级，针对性配置加密强度与访问控制策略。技术与管理协同原则强调软硬件防护措施与制度规范的联动，防火墙规则更新需同步调整运维人员操作权限，漏洞修补流程需与设备停机维护窗口期匹配。持续演进原则体现为防护能力的迭代升级，通过攻防演练验证现有机制的有效性，结合新型攻击模式优化检测算法与响应逻辑<sup>[7]</sup>。标准化原则要求统一安全基线配置，例如规定智能电表固件版本强制升级周期、通信协议最低加密等级，避免异构设备因配置差异形成安全短板。弹性设计原则确保系统在遭受攻击时维持核心功能运行，例如通过流量重定向机制绕过受感染节点，保障电力监控数据的持续采集与传输。

### （二）防护体系的架构设计

分层防御架构将智能电网安全防护划分为物理层、网络层、数据层与应用层四个逻辑层级。物理层防护聚焦设备可靠性，采用防电磁屏蔽机柜与抗震安装支架保护关键控制器，部署红外热成像仪监测设备过热风险。网络层构建多级隔离机制，在变电站内部部署工业防火墙分割控制网与办公网，利用虚拟专用网络建立跨区域加密隧道<sup>[8]</sup>。数据层实施全生命周期管控，采集端嵌入轻量级加密芯片防止原始数据泄露，存储系统采用分布式账本技术确保操作记录不可篡改。应用层通过沙箱技术隔离第三方软件运行环境，限制非授权程序调用电网控制接口。横向协同机制连接各层级防护模块，当网络层检测到异常访问时自动触发数据层的访问日志分析，同步通知物理层启动设备状态检查。纵向纵深防御通过部署入侵检测系统、蜜罐诱捕节点与终端响应代理，形成从边界到核心的梯度式防护网。

### （三）防护体系的管理维护

全周期安全管理要求建立覆盖规划、实施、监控、优化的闭环流程。规划阶段制定资产清单与威胁图谱，明确变电站、智能电表等关键节点的防护等级与责任主体。实施阶段采用灰度发布策略，先在试点区域测试新防火墙规则对业务连续性的影响，再逐步推广至全网。监控阶段部署统一安全运营中心，聚合设备日志、网络流量与用户行为数据，利用关联分析引擎识别跨系统攻击痕迹<sup>[9]</sup>。优化阶段建立漏洞响应知识库，将每次安全事件的处置方案转化为标准化操作手册。人员能力建设需设计阶梯式培训体系，基层运维人员掌握设备安全配置技能，管理人员精通风险评估与应急决策。供应链安全管理要求对硬件供应商实施安全资质审核，在设备固件中植入防篡改芯片，确保第三方组件符合电网安全标准<sup>[10]</sup>。持续审计机制通过自动化工具定期检查防火墙策略有效性，人工抽查核心系统的权限分配合规性，形成内外结合的监督体系。退役设备处理流程需彻底清除存储介质数据，物理

销毁无法擦除信息的芯片组件，阻断敏感数据通过二手设备流通的泄露风险。

## 四、结语

综上所述，智能电网环境下电力系统信息安全防护体系构建是一项复杂且关键的任务。从物理安全、网络安全到数据安全，明确其多样化的安全需求是防护体系建设的基础；加密与防火墙、入侵检测与防御等先进技术的合理运用，为信息安全提供了有力的技术支撑；遵循系统性、动态性等原则进行架构设计，并通过完善的管理维护机制保障运行，构成了完整的防护体系框架。然而，智能电网信息安全威胁不断演变，未来需持续关注新兴技术带来的安全风险，进一步优化防护体系的动态适应性与协同性。

## 参考文献

- [1] 许正利. 电力系统信息安全管理建设技术分析 [J]. 电工技术, 2024, (S2): 478-480.
- [2] 宋凯. 电力系统信息安全威胁与漏洞分析及防范研究 [J]. 中国信息化, 2024, (08): 81-82.
- [3] 孙军鹏, 殷衡. 探究电力系统信息安全防护体系的构建与完善 [J]. 数字通信世界, 2020, (08): 263-264.
- [4] 靳玉晨, 王兴, 陈施, 等. 电力系统信息安全基线标准体系的构建策略探究 [J]. 长江信息通信, 2021, 34(11): 153-155.
- [5] 刘嘉琪, 潘凌玲. 电力系统中的内部网络信息安全措施分析 [J]. 电子技术, 2022, 51(11): 242-243.
- [6] 周泽元, 班秋成, 陶佳冶. 电力系统信息安全的重要性及防护探微 [J]. 网络安全技术与应用, 2021, (04): 151-152.
- [7] 王玉菲. 电力系统信息安全管理建设技术分析 [J]. 信息系统工程, 2021, (03): 37-39.
- [8] 张莉. 智能电网技术在电力系统中的应用与前景 [J]. 江西电力, 2023, 47(06): 36-39.
- [9] 曾梦好, 李斯陶. 从物理电网到数字电网——电力系统技术发展历程与趋势展望 [J]. 中国电力企业管理, 2022, (19): 90-93.
- [10] 郑皓元. 智能电网在电力技术及电力系统规划中的应用分析 [J]. 中国科技投资, 2021, (16): 14-15.

# 水利水电工程节水减污一体化技术体系构建与实践

浮桂玲<sup>1</sup>, 王丹<sup>2</sup>

1. 河南益祥建筑工程有限公司, 河南 商水 466100

2. 中商建投建设有限公司郑州分公司, 河南 郑州 450000

DOI: 10.61369/ME.2024100004

**摘 要 :** 随着全球水资源短缺与环境污染问题日益严峻, 水利水电工程作为水资源开发的核心载体, 亟需探索节水减污协同增效的可持续发展路径。本文立足水利水电工程全生命周期管理视角, 阐述节水减污一体化技术体系实践价值, 从技术融合、管理优化与制度保障三个维度提出技术体系构建策略, 并从人才培养、试点示范与全周期目标管理等方面提出具体实践路径, 以期为推动水利水电行业绿色低碳转型提供理论参考。

**关 键 词 :** 水利水电工程; 节水减污; 一体化; 绿色低碳; 全生命周期管理

## Construction and Practice of Integrated Technology System for Water Saving and Pollution Reduction in Water Conservancy and Hydropower Projects

Fu Guiling<sup>1</sup>, Wang Dan<sup>2</sup>

1. Henan Yixiang Construction Engineering Co., Ltd., Shangshui, Henan 466100

2. Zhongshang Jiantou Construction Co., Ltd., Zhengzhou branch, Zhengzhou, Henan 450000

**Abstract :** With the global shortage of water resources and environmental pollution becoming increasingly serious, water conservancy and hydropower projects, as the core carrier of water resources development, urgently need to explore the sustainable development path of water saving and pollution reduction synergy. Based on the perspective of life cycle management of water conservancy and hydropower projects, this paper expounds the practical value of the integrated technology system of water saving and pollution reduction, puts forward the construction strategy of the technology system from three dimensions of technology integration, management optimization and system guarantee, and puts forward specific practical paths from the aspects of talent training, pilot demonstration and life cycle target management, with a view to providing theoretical reference for promoting the green and low-carbon transformation of water conservancy and hydropower industry.

**Keywords :** water conservancy and hydropower engineering; saving water and reducing pollution; integration; green and low carbon; life cycle management

## 引言

当前我国水利水电工程面临水资源开发强度与生态承载能力失衡的结构性矛盾, 传统技术体系难以满足“双碳”目标下绿色发展的新要求。工程运行中灌溉回水浪费、施工面源污染、库区富营养化等问题交织, 暴露出单一技术路径在系统效能上的局限性。节水减污一体化技术体系通过重构技术要素的交互关系, 将水资源高效利用与污染全过程防控纳入统一框架, 其核心在于打破专业壁垒形成的技术孤岛效应。本文立足工程全生命周期管理视角, 探索技术集成创新与制度供给联动的综合实施路径, 为行业转型升级提供理论支撑。

## 一、推进水利水电工程节水减污一体化建设的意义

### (一) 提升水资源利用效率

水利水电工程节水减污一体化建设通过技术协同与系统优化, 重新定义了水资源开发中的效率边界。传统工程运行中, 灌溉回水蒸发、发电冷却水直排、施工废水处理粗放等问题长期存在, 导致水资源利用链条存在多环节损耗。一体化技术体系将节

水工艺嵌入工程全流程, 例如在输水环节采用智能渗漏监测技术实时优化管网压力, 在发电机组冷却系统中引入闭式循环装置降低补水量, 同时结合生态沟渠与蓄渗设施实现雨洪资源化利用<sup>[1]</sup>。这种节水模式突破了单一环节改造的局限, 形成取水、用水、排水三端的联动增效机制。技术集成带来的效率提升不仅体现在水量节约层面, 更催生了水质分级利用的新范式。通过建立不同水质标准下的梯级用水系统, 将处理后的生产废水转化为生



态补水或绿化用水，从而激活低质水资源的潜在价值。

### （二）强化生态环境保护

工程活动对水生生态系统的扰动在传统开发模式下往往呈现累积性特征，而节水减污一体化技术体系通过构建多维度防控网络，实现了生态影响的系统性消减。在污染控制方面，该体系整合了施工期径流截留技术、运行期面源污染拦截装置以及库区富营养化防治系统，形成覆盖工程全周期的污染阻隔链条。例如，在施工阶段采用可移动式沉淀池与植被缓冲带组合工艺，可截留大部分悬浮颗粒物；在库区运行期，通过浮动湿地与生物膜反应器的协同作用，可有效抑制藻类爆发。更关键的是，一体化技术打破了末端治理的被动模式，将生态保护前移至规划设计阶段。基于生态需水量的精准测算优化工程调度方案，利用鱼类洄游通道设计与生态流量保障机制维持河流连续性，借助水下地形改造技术修复栖息地破碎化问题<sup>[2]</sup>。

### （三）推动行业绿色低碳转型

在碳中和目标的约束下，水利水电工程的低碳化发展亟需技术体系革新提供驱动力。节水减污一体化建设通过能效提升与碳汇增强双重路径，重构了行业发展的底层逻辑。技术层面，智能节水设备的应用直接降低了水泵、水处理等环节的能耗强度，而污水热能回收系统的引入可将处理过程中产生的余热转化为清洁能源。除此之外，通过减少新鲜水取用量降低原水输送能耗，借助生态护岸工程增强河道碳封存能力，利用数字孪生技术优化工程运行碳排放轨迹<sup>[3]</sup>。这些技术创新形成的复合减碳效应，推动水利水电工程从单纯能源供给者向综合碳管理平台转变。行业转型的深层价值在于重塑产业链条：节水技术的标准化催生新型环保设备制造产业，生态修复需求带动环境服务业发展，碳资产核算体系完善激活绿色金融创新。

## 二、水利水电工程节水减污一体化技术体系构建策略

### （一）推动技术融合创新

水利水电工程节水减污一体化技术体系的核心突破在于打破传统技术模块的割裂状态，通过跨领域技术要素的深度耦合形成协同效应。技术融合需以系统能效最大化为导向，重点解决单一技术应用导致的资源循环断裂问题。在节水维度，智能渗漏监测技术与动态水力模型的结合可重构输水管网运行逻辑，通过实时压力调节减少无益损耗；膜分离工艺与生物反应器的集成创新，能够实现不同水质需求下的分级处理与精准回用。减污领域的技术融合更具复杂性，例如将生态护岸工程中的植物根系过滤效应与人工湿地脱氮除磷功能相叠加，形成多级污染物拦截屏障；库区富营养化防控则需耦合水下地形改造技术、鱼类种群调控策略与藻类生长抑制手段，构建立体化生态干预系统<sup>[4]</sup>。

### （二）优化工程管理模式

传统工程管理的碎片化特征难以适应节水减污一体化需求，管理模式优化需从线性管控转向网络化协同。在规划阶段建立多目标决策机制，将生态需水量、污染承载阈值等约束条件嵌入工程设计方案比选流程，通过水资源-环境-经济的多维度评价模

型确定最优技术组合。施工期管理重点在于构建污染防治的动态响应体系，采用物联网传感器网络实时监测施工面源污染强度，结合机器学习算法预测污染扩散趋势，触发沉淀池容量调整或植被缓冲带扩建等自适应调控措施<sup>[5]</sup>。管理模式优化的关键在于打通数据壁垒，建立覆盖工程设计、施工、运行全周期的数字孪生平台，通过多源信息融合实现节水减污措施的精准预判与快速响应，将传统经验驱动型管理升级为数据驱动型智能决策。

### （三）完善配套制度体系

技术体系的可持续运行需要制度创新提供保障，重点在于构建激励相容的约束与引导机制。建立基于水足迹核算的用水配额制度，根据不同工程类型与地域特征设定差别化节水基准值，将再生水利用率、单位产值水耗等指标纳入工程绩效评价体系<sup>[6]</sup>。在污染防治领域推行排污权确权交易机制，通过市场化手段调节工程运营主体的治污行为，同时探索生态损害责任终身追溯制度，利用区块链技术固化施工期环境管理数据以实现全过程问责。制度设计的突破点在于跨部门协同机制建设，例如水利部门与生态环境部门联合制定工程生态调度规程，电力监管部门将碳减排指标融入水电电价形成机制，自然资源部门在土地使用审批中嵌入节水减污技术应用条款<sup>[7]</sup>。此外，需建立动态化的标准更新体系，针对新型节水材料、智能监测设备等技术进步及时修订技术规范，消除制度滞后对技术应用的制约。

## 三、水利水电工程节水减污一体化技术体系实践路径

### （一）加强复合人才培养与技术推广

实施节水减污一体化技术体系的关键在于建立跨学科人才梯队与技术扩散网络。针对水利工程与环境保护的交叉需求，应在高等院校增设水生态工程、智能水务管理等复合型专业，构建“理论授课+工程实训”的双轨培养机制。实训环节可依托典型工程设立现场教学基地，组织学员参与渗漏监测设备调试、生态护岸施工等实践项目，强化技术应用能力<sup>[8]</sup>。对企业技术人员开展定向培训，通过模块化课程更新其知识结构——例如将膜分离技术原理与智能控制系统操作整合为专题培训包，结合虚拟仿真平台进行故障诊断模拟演练。技术推广需构建多级传播体系：由国家科研机构提炼共性技术要点，形成标准化操作手册；地方技术服务中心针对区域特征开发定制化解决方案，通过技术沙龙、案例巡展等形式向中小工程企业渗透；基层站点建立技术指导员制度，派驻工程师驻场指导设备安装与参数调校。

### （二）推进试点节水减污工程示范建设

示范工程的选择应体现技术体系的适用广度与创新深度，优先在生态敏感区、高耗水行业集中区布局差异化试点。试点建设需遵循“技术集成-效果验证-模式提炼”的递进路径：在西南喀斯特地貌区，重点示范岩溶渗漏控制技术与雨水资源化利用系统的协同运行；在北方缺水灌区，突出智能滴灌系统与退水净化回用装置的全链条整合<sup>[9]</sup>。施工阶段组建跨专业监理团队，实时监测技术参数偏离度，例如通过无线传感网络追踪生态沟渠的水质净化效率，动态调整填料组合比例。工程验收后建立长效监测



机制，利用无人机航测评估库区生态修复效果，借助物联网平台持续采集节水设备的运行数据。示范效应释放需构建可视化展示体系，开发三维交互式技术应用图谱，直观呈现不同场景下的技术组合方案与实施成效。

（三）科学设定工程全生命周期节水减污目标

目标体系设计需贯穿规划、建设、运营、退役各阶段，形成动态可调的行动框架。规划期采用多目标优化模型，统筹考虑工程功能定位与流域生态承载力的平衡关系，例如在发电效益最大化与下游生态基流保障之间确定合理的节水约束区间。施工阶段目标聚焦过程控制，设定扬尘抑制率、废水回用率等过程性指标，通过智能喷淋系统与移动式水处理设备的联动实现实时达标<sup>[10]</sup>。运营期目标强调系统协同，将库区富营养化指数、下游河道生物完整性指数等生态指标纳入考核体系，结合生态调度模型优化放水策略。目标设定需建立分级管理制度：国家级标准规定底线要求，流域管理机构制定差异性指标，项目法人细化操作层

面目标值。实施过程中引入自适应调整机制，每季度通过数字孪生系统模拟目标达成度，针对气候异常、设备老化等变量启动目标值修订程序。退役期重点落实生态恢复目标，明确弃渣场植被覆盖率、地下水位恢复度等长期监测指标，确保技术体系的闭环运行。

四、结语

水利水电工程节水减污一体化技术体系建设本质上是水资源管理模式从粗放扩张向精细调控的范式转变。技术融合创新需以系统能效提升为导向，管理模式优化应强化全流程动态监测能力，制度保障体系重在建立多方利益平衡机制。未来发展方向应注重技术创新与政策工具的协同发力，通过建立节水减污效能评估标准体系、完善市场化生态补偿机制、构建跨区域技术共享平台等举措，推动水资源开发利用与生态系统服务功能的深度协调。

参考文献

[1] 柳小恒, 李修磊, 陈崇德. 漳河水库节水型生态灌区建设与发展对策研究 [J]. 农村经济与科技, 2022, 33(04): 55-57.  
[2] 钟鸣辉. 水利水电工程生态设计理念和思路探讨 [J]. 广东水利水电, 2018, (06): 8-11+18.  
[3] 左其亭, 秦西, 马军霞. 水利新质生产力: 内涵解读、理论框架与实施路径 [J]. 华北水利水电大学学报 (自然科学版), 2024, 45(03): 1-8.  
[4] 许全喜, 许继军. 发展长江水利新质生产力的几点思考 [J]. 长江科学院院报, 2024, 41(09): 1-7.  
[5] 韩湘湖, 张景娇. 水利工程施工中的环保技术与可持续发展 [J]. 水上安全, 2024, (11): 94-96.  
[6] 申勇, 宋致军, 宋方玉, 等. “双碳”背景下水利工程的发展趋势与研究进展 [J]. 水利发展研究, 2023, 23(06): 30-36.  
[7] 李奕, 刘佳, 张炯. 水利工程领域在减碳方面的措施与进展 [J]. 水资源开发与管理, 2023, 9(12): 60-64+73+45.  
[8] 张玉茂. 水利水电工程建设对生态环境影响的利弊分析 [J]. 大众标准化, 2024, (24): 77-79.  
[9] 徐浩东. 水利工程中水环境生态治理防护技术研究 [J]. 张江科技评论, 2024, (12): 87-89.  
[10] 张於林, 李春花. 基于无人机技术的水利工程建设管理及河道生态环境保护应用实践 [J]. 生态与资源, 2024, (10): 92-94.

# 多能互补综合能源电力系统协同优化运行策略探究

高北, 牛凯

河南海马建设工程有限公司, 河南 安阳 455000

DOI:10.61369/ME.2024100005

**摘 要 :** 随着能源结构转型与碳中和目标推进, 多能互补综合能源电力系统成为提升能源利用效率、保障电力供应稳定的重要发展方向。本文聚焦系统协同优化运行的关键问题, 从能源特性、负荷需求和技术条件等角度分析影响因素, 提出涵盖能源协调、储能管理与需求响应的运行策略框架, 并从能源配置优化、控制技术改进和数字技术应用三方面探讨优化路径, 为构建高效、灵活的能源电力系统提供理论参考。

**关 键 词 :** 多能互补系统; 协同优化; 能源协调; 储能技术; 数字孪生

## Research on Collaborative Optimization Operation Strategy of Multi-energy Complementary Comprehensive Energy Power System

Gao Bei, Niu Kai

Henan Haima Construction Engineering Co., Ltd., Anyang, Henan 455000

**Abstract :** With the transformation of energy structure and the promotion of carbon neutrality, multi-energy complementary comprehensive energy power system has become an important development direction to improve energy utilization efficiency and ensure the stability of power supply. This paper focuses on the key issues of coordinated optimal operation of the system, analyzes the influencing factors from the perspectives of energy characteristics, load demand and technical conditions, puts forward an operation strategy framework covering energy coordination, energy storage management and demand response, and discusses the optimization path from three aspects: energy allocation optimization, control technology improvement and digital technology application, providing theoretical reference for building an efficient and flexible energy and power system.

**Keywords :** multi-energy complementary system; collaborative optimization; energy coordination; energy storage technology; digital twin

## 引言

在全球能源低碳化转型背景下, 多能互补综合能源电力系统通过整合风、光、储、气等多种能源形式, 实现能源梯级利用与灵活调度, 成为解决能源供需矛盾的重要途径。然而, 多能系统在运行中面临能源耦合复杂、动态响应滞后等挑战, 亟需系统性协同优化策略。本文从影响因素、运行策略及优化路径三方面展开探讨, 旨在为提升多能系统协同运行效率提供新思路。

## 一、影响多能互补综合能源电力系统协同优化运行的因素

### (一) 能源特性差异

多能互补系统中异质能源的物理属性与动态特征差异构成协同优化的核心矛盾。可再生能源输出具有强随机性, 风电功率随风速变化呈现分钟级波动, 光伏出力受云层遮挡影响产生快速爬坡, 这与燃煤机组以小时为单位的调节惯性形成显著冲突。传统火电通过燃料输入实现功率可控调节, 但热力系统蓄热能力有限, 难以匹配风电秒级波动所需的快速响应需求<sup>[1]</sup>。储能介质的时间尺度适配能力直接影响系统调节效能, 电化学储能可实现毫

秒级充放电切换, 而储热装置的热能释放过程需遵循热力学扩散规律, 不同储能技术的响应延迟差异导致多时空尺度下的功率补偿难以同步。能源转换环节的效率级差进一步放大协同难度, 电能与化学能转换过程伴随较高能量损失, 热力系统能量传递则存在管网传输迟滞效应, 多重损耗路径叠加削弱多能流耦合的整体效率。

### (二) 负荷需求变化

终端用能行为的时空异质性对多能系统协同提出多维挑战。电力负荷在日间呈现双峰特征, 与热力需求的单峰曲线形成时段错位, 冷能需求则随环境温度波动呈现季节敏感性。工业用户的高强度连续用能与商业建筑的间歇性需求叠加, 导致区域负荷曲

线兼具陡峭爬坡与持续震荡特性。多能负荷的空间分异特征尤为显著，工业园区对电能品质的严格要求与居民区对热能供给的稳定性需求，迫使系统必须同步优化不同能源网络的输送路径与转换节点<sup>[2]</sup>。极端气候事件引发的负荷突变打破常态用能规律，寒潮期间供热负荷激增往往伴随风电出力骤降，高温天气下制冷需求陡增可能引发电网调峰容量不足，此类复合扰动考验着系统跨能源形式的应急调节能力。

### （三）技术水平限制

现有技术体系对多能系统协同优化的支撑能力存在结构性缺陷。能源转换装置的物理极限制约运行灵活性，燃气轮机在低负荷工况下效率骤降，难以适应高比例可再生能源接入场景的深度调峰需求。储能技术的性能短板限制系统调节裕度，功率型储能难以满足长时能量缺口补偿，容量型储能则无法应对秒级功率波动，技术路线的功能割裂导致储能组合难以实现全时段覆盖<sup>[3]</sup>。信息物理系统的协同控制面临实时性挑战，量测设备精度不足可能引发源荷状态感知偏差，通信网络时延导致优化指令与系统实际工况产生动态失配。多能流耦合建模的精度瓶颈同样突出，传统单能流分析工具无法刻画电-热-气网络间的非线性交互，简化模型忽略热力管网的热惯性效应与气体传输的压缩特性，使得离线优化策略在在线应用时出现控制失效。

## 二、多能互补综合能源电力系统运行策略

### （一）能源协调运行策略

多能互补系统的核心在于建立异质能源的动态协同机制。系统调度中心需依据实时能源供需状态，动态调整电、热、气等能源的转换优先级与输送路径。当风电出力因天气突变骤降时，优先启动燃气轮机进行功率补偿，同时联动储热装置释放热能，通过热电联产机组提升电能输出能力<sup>[4]</sup>。对于热力主导的负荷区域，可降低电制热设备的运行权重，转而利用工业余热或地源热泵维持管网温度稳定。跨能源网络的耦合节点控制尤为关键，电转气设备在风光过剩时段将电能转化为可存储的甲烷，而在负荷高峰时段反向供气发电，形成能源形态的时空平移。协调策略需突破传统单能流调度思维，构建电-热-气多能流的联合优化模型，通过边际成本迭代计算确定最优能源分配比例。

### （二）储能系统运行策略

储能设备的运行逻辑需匹配多时间尺度的调节需求。功率型储能承担秒级波动平抑任务，在检测到频率偏差时立即注入或吸收功率，维持电网瞬时稳定；容量型储能则以小时为周期进行充放电规划，通过日前市场电价信号优化储能经济性运行区间。混合储能系统的协同控制策略要求精确划分功能边界，超级电容负责应对风光功率的分钟级波动，锂电池组处理半小时尺度的负荷偏移，而储热罐则按日周期调节热网能量平衡。针对跨季节储能需求，地下储氢设施在夏季风光充沛时存储过剩能量，冬季通过燃料电池转化为热电联供<sup>[5]</sup>。储能策略需建立状态感知-功率分配-寿命评估的闭环控制链，实时监测荷电状态与健康度，动态调整储能单元参与系统调节的优先级。

### （三）需求响应策略

负荷侧资源参与系统调节需构建双向互动机制。基于价格信号的动态电价策略引导用户转移可中断负荷，在风光出力低谷时段自动关闭非必要用电设备，通过预约定制负荷曲线实现供需双侧匹配。对于工业热用户，建立热能需求弹性模型，允许在电网调峰压力较大时适度降低供热温度，利用工艺环节的蓄热特性实现能量时移。虚拟电厂聚合分布式资源，将居民电动汽车、商用储能设备等分散单元转化为可调度资源池，通过区块链智能合约实现响应指令的自动执行<sup>[6]</sup>。空调负荷的集群控制采用温度带调节技术，在不影响人体舒适度前提下，将建筑物群的整体制冷功率波动限制在预设阈值内。需求响应策略需解决用户参与度低与响应行为不确定性问题，通过信誉积分奖励机制提升负荷聚合商长期合作意愿。

## 三、多能互补综合能源电力系统协同优化运行的优化措施

### （一）考虑综合因素，优化能源配置

多能互补系统的能源配置需建立动态适配机制，通过分析区域能源禀赋与负荷特性的匹配度，确定不同能源品种的优先级与耦合方式。在风光资源丰富的地区，将光伏与风电作为基础供能单元，配套建设电解水制氢设施，将日间过剩电能转化为氢能存储；对于供热需求集中的城市区域，采用燃气锅炉与电热泵协同运行模式，在电网负荷低谷期优先使用电热泵蓄热，降低燃气消耗峰值<sup>[7]</sup>。跨能源网络的耦合节点需实施灵活调控，电转气设备应根据电价波动与气网压力动态调整运行功率，在电力过剩时段提高转换效率，气电紧张阶段切换为气转电模式。能源配置优化的关键在于构建多时间尺度的协调框架，日前阶段基于气象预测优化风光储容量分配，日内通过滚动修正调整整发电机组出力曲线，实时阶段利用储能快速响应平滑功率波动。

### （二）改进控制技术，提高响应速度

提升多能系统动态响应能力的核心在于构建分层递阶控制架构。在设备层部署边缘计算模块，使燃气轮机、储能变流器等关键设备具备本地快速决策能力，在检测到频率突变时无需等待主站指令即可执行预设调节策略<sup>[8]</sup>。网络层采用分布式模型预测控制技术，将区域能源网络划分为多个自治控制单元，各单元基于相邻节点信息交换自主优化运行状态，通过一致性算法实现全局最优。对于秒级波动平抑任务，设计基于能量变化率的前馈-反馈复合控制策略，前馈环节根据风光功率预测值提前调整储能出力基准，反馈环节通过实时功率偏差动态修正充放电指令<sup>[9]</sup>。跨能源接口设备的协同控制需突破物理惯性限制，采用虚拟同步机技术赋予电力电子接口的热力设备惯量支撑能力，使热泵机组能够模拟同步发电机的一次调频特性。控制技术改进需同步升级量测体系，在关键节点部署多参量融合感知装置，实时采集电功率、热媒温度、气压等多维数据，为控制算法提供高精度输入。

### （三）应用数字技术，加强能源预测

能源预测精度的提升依赖于多源信息融合与机器学习模型的

深度应用。建立风光功率预测的数字孪生系统，将气象卫星云图、地表辐射监测数据与风机运行状态同步映射至虚拟模型，通过卷积神经网络提取空间特征与时间序列的关联规律。对于多元负荷预测，采用联邦学习框架聚合不同用户的用能行为数据，在保护隐私前提下训练负荷模式识别模型，区分工业生产流程负荷、商业空调负荷与居民生活负荷的波动特性。预测结果的动态修正需构建误差反馈机制，利用实时监测数据与预测值的偏差调整模型权重参数，通过滚动更新降低天气突变带来的预测失准风险<sup>[10]</sup>。在系统调度层面，将长短期预测结果嵌入随机优化模型，生成兼顾经济性与鲁棒性的运行方案，针对极端天气场景建立预案库，当预测不确定性超过阈值时自动切换应急调度模式。数字技术的深度整合需解决异构数据接入标准不统一问题，建立能源物联网设备的通信协议转换中间件，实现多源数据的低延迟交互与协同分析。

## 四、结语

综上所述，多能互补综合能源系统的协同优化本质在于破解异质能源时空错配与动态调节滞后的双重约束。通过能源协调、储能适配与需求响应的策略联动，可有效提升系统应对负荷波动与能源间歇性的能力。优化措施的落地实施需突破能源转换效率阈值、控制响应时延与预测精度边界等关键技术瓶颈。未来研究应深化多能流耦合的动态建模，探索边缘智能与物理系统深度融合的创新路径，推动能源电力系统向自主协同的智慧形态演进。

## 参考文献

[1] 张海宁. 多能互补综合能源电力系统的建设模式研究 [J]. 装备维修技术, 2024, (04): 65-67+72.  
[2] 周孝信, 赵强, 张玉琼, 等. “双碳”目标下我国能源电力系统发展趋势分析: 绿电替代与绿氢替代 [J]. 中国电机工程学报, 2024, 44(17): 6707-6721.  
[3] 谢小平. 略论境外多能互补综合能源电力系统的建设模式 [J]. 能源与节能, 2022, (02): 47-48+156.  
[4] 张笑薇. 探讨多能互补综合能源电力系统的建设模式 [J]. 科学技术创新, 2021, (32): 33-35.  
[5] 赵曰浩, 李知艺, 鞠平, 等. 低碳化转型下综合能源电力系统弹性: 综述与展望 [J]. 电力自动化设备, 2021, 41(09): 13-23+47.  
[6] 时盟, 庄镇宇, 姚晶. 多能互补综合能源电力系统的建设模式初探 [J]. 中国设备工程, 2021, (11): 192-193.  
[7] 李宇泽, 齐峰, 朱英伟, 等. 多能互补综合能源电力系统的建设模式初探 [J]. 电力科学与技术学报, 2019, 34(01): 3-10.  
[8] 周孝信. “双碳”目标下我国能源电力系统发展趋势研究——绿电替代+绿氢替代 [J]. 新经济导刊, 2023, (Z2): 32-37.  
[9] 陈正曦, 余轶, 梁才浩, 等. 全球能源互联网框架下的清洁能源多能互补协同开发 [J]. 全球能源互联网, 2023, 6(02): 126-138.  
[10] 刘瀚琛, 王冲, 鞠平. 双碳背景下综合能源电力系统弹性分析与提升研究综述 [J]. 电气工程学报, 2023, 18(02): 108-124.



# 新型组合式高支模（铝合金-钢混复合支架） 的受力性能及经济性优化分析

郝会军

北京建工集团山西建设有限公司, 山西 太原 030000

DOI:10.61369/ME.2024100006

**摘 要：** 本文针对传统钢管脚手架耗材多、拆装效率低的问题，以某商业综合体项目为案例，系统研究新型铝合金-钢混复合支架高支模的受力性能及经济性。通过材料配比优化、节点连接创新设计，结合试验，深入分析不同跨度、荷载条件下的承载能力与变形规律；从施工周期、材料回收率、全生命周期成本等多维度与传统支架进行量化对比，提出针对性的经济性优化方案，为建筑工程绿色施工提供技术支撑与实践参考。

**关 键 词：** 组合式高支模；铝合金-钢混复合支架；受力性能；经济性分析

## Optimization Analysis of the Stress Performance and Economic Performance of A New Type of Combined High-Support Die (Aluminum Alloy-Steel- Concrete Composite Support)

Hao Huijun

Beijing Construction Engineering Group Shanxi Construction Co., Ltd., Taiyuan, Shanxi 030000

**Abstract：** In this paper, aiming at the problems of many consumables and low disassembly efficiency of traditional steel pipe scaffolding, this paper takes a commercial complex project as an example to systematically study the stress performance and economy of the high-support formwork of new aluminum alloy-steel concrete composite brackets. Through the optimization of material ratio, innovative design of node connection, combined with experiments, the bearing capacity and deformation law under different spans and load conditions are deeply analyzed. Quantitative comparison with traditional brackets from multiple dimensions such as construction cycle, material recovery rate, and full life cycle cost, this paper proposes a targeted economic optimization scheme to provide technical support and practical reference for the green construction of construction projects.

**Keywords：** combined high support die; aluminum-steel concrete composite support; stress performance; economic analysis

### 引言

在建筑工程高支模领域，传统钢管脚手架长期占据主导地位，但存在显著弊端：材料损耗率高达 15%–20%，每年因锈蚀、变形报废的钢管超百万吨；拆装效率低下，随着绿色建筑评价标准对施工阶段资源节约要求的提升，新型组合式支架成为研究热点<sup>[1]</sup>。铝合金-钢混复合支架凭借铝合金的轻质特性（密度 2.7g/cm<sup>3</sup>，仅为钢的 1/3）与钢材的高强度优势（Q355 钢屈服强度 355MPa），在减重与承载之间形成平衡。但目前该类支架存在材料协同受力机理不明确、节点连接可靠性不足、经济性评估缺乏系统数据等问题，制约其工程应用。本研究以某商业综合体中庭高支模工程（支模高度 12m，最大跨度 10m）为依托，通过正交试验确定铝合金与钢材的最佳复合比例，兼顾强度与轻量化；研发可拆卸“螺栓-销接”复合节点，测试其抗剪、抗拉性能；受力性能测试：结合 1:1 足尺试验，分析不同跨度（6m、8m、10m）与荷载（20kN/m<sup>2</sup>、30kN/m<sup>2</sup>、40kN/m<sup>2</sup>）下的承载能力；从材料成本、人工费用、回收收益等维度，建立全生命周期成本模型，与传统钢管支架对比，最终在实际工程中检验优化方案的有效性。

一、新型组合式高支模技术方案

(一) 材料配比设计

基于“强节点弱构件”设计原则，通过材料力学性能测试与组合试算，确定各部件材料配比。采用 6061-T6 铝合金（壁厚 5mm）与 Q355 钢套管（壁厚 3mm）复合结构<sup>[1]</sup>。通过弹性模量差异（钢 206GPa vs 铝 69GPa）实现应力重分布<sup>[2]</sup>，提高整体稳定性。铝钢体积比 7:3，较全钢立杆减重 58%，较全铝立杆成本降低 32%。

表 1：主要材料力学性能参数

材料	密度 (g/cm³)	弹性模量 (GPa)	屈服强度 (MPa)	伸长率 (%)	应用部位
6061-T6 铝	2.7	69	275	12	立杆（上部）、横杆
合金	7.85	206	355	22	立杆（下部）、套管
Q355 钢	7.85	206	235	25	扫地杆、顶托
Q235 钢					

(二) 节点连接方式

创新设计“螺栓-销接”复合节点，解决铝-钢异种材料连接难题。

(三) 工程应用案例

某商业综合体项目位于某市核心商圈，总建筑面积 12 万 m²，其中中庭区域为大跨度转换层结构，支模高度 12m，楼板厚度 300mm，混凝土强度等级 C30（浇筑强度 24kN/m²），最大跨度 10m。该区域分 A、B 两个施工段（各 1000 m²），A 段采用新型铝合金-钢混复合支架，B 段采用传统 Φ48×3.6mm 钢管支架（立杆间距 1.2m×1.2m，步距 1.5m），同步开展对比试验。

二、受力性能分析

(一) 试验结果

1. 极限承载力

(1) 新型复合支架：42kN/m²（对应混凝土厚度 420mm），破坏模式为立杆整体弯曲（塑性变形）<sup>[3]</sup>；

(2) 传统钢管支架：35kN/m²，破坏模式为扣件滑移（滑移量 3mm 时丧失承载力）。

2. 节点性能

复合节点转动刚度 1.2×10³kN·m/rad，较传统扣件节点（8×10³kN·m/rad）提高 50%；反复加载 50 次后，节点松动量仅 0.3mm，满足周转使用要求。

3. 变形特性

(1) 新型支架在 30kN/m² 荷载下弹性变形占比 85%，残余变形 15%；

(2) 传统支架弹性变形占比 65%，残余变形 35%，长期使用易产生累积误差。

(二) 受力性能对比

新型复合支架在承载能力与变形控制方面优势显著：极限承载力较传统支架提高 20%，可适应更厚楼板施工<sup>[4]</sup>；节点刚度提升 50%，有效减少整体结构侧移；弹性变形占比高，重复使用精

度高（传统支架经 3 次周转后精度误差达 10mm）。

三、经济性优化分析

(一) 施工效率对比

1. 工期分析

(1) A 段（新型支架）1000 m² 施工数据：

安装阶段：7 天（10 人班组），日均完成 142.9 m²；拆除阶段：3 天（8 人班组），日均完成 333.3 m²；总工期 10 天，占项目总工期 15%。

(2) B 段（传统支架）1000 m² 施工数据：

安装阶段：12 天（15 人班组），日均完成 83.3 m²；拆除阶段：5 天（12 人班组），日均完成 200 m²；总工期 17 天，占项目总工期 25.5%。

新型支架单根立杆重量 12kg（传统钢管 25kg<sup>[5]</sup>），单人可搬运 3 根；节点采用螺栓连接，安装时间较扣件连接缩短 60%。

2. 人工成本

按当地木工日均工资 350 元计算：新型支架：（7×10 + 3×8）×350 = 32900 元；传统支架：（12×15 + 5×12）×350 = 84000 元；节省成本：84000 - 32900 = 51100 元，降幅 60.8%。

(二) 材料成本与回收率

1. 初始材料成本

(1) 1000 m² 支架系统材料成本：新型复合支架：48 万元（立杆 28 万 + 横杆 12 万 + 节点 8 万）；

(2) 传统钢管支架：32 万元（钢管 22 万 + 扣件 6 万 + 顶托 4 万）；

(3) 新型支架初始投入高 50%，但可通过周转使用摊薄成本。

2. 回收利用分析

(1) 新型支架：铝合金部件回收率 95%（市场价 18 元/kg），钢部件回收率 90%（市场价 3.5 元/kg），单次回收收益 1.71 万元 / 1000 m²<sup>[6]</sup>；

(2) 传统支架：钢管回收率 70%（锈蚀严重，残值 1.8 元/kg），扣件回收率 60%（易丢失），单次回收收益 0.28 万元 / 1000 m²<sup>[7]</sup>；

(三) 全生命周期成本

采用全生命周期成本（LCC）分析法，考虑 8 次周转（新型支架设计寿命）。

表 2：1000m² 支架全生命周期成本对比（单位：元）

成本项	新型复合支架	传统钢管支架	差异率
初始材料成本	480000	320000	+50%
人工成本	263200	672000	-60.8%
(8 次)	20000 (节点螺栓更换)	50000 (扣件更换、钢管除锈)	-60%
维修成本	136800	22400	+497.3%
回收收益	136800	22400	-38.6%
总 LCC	626400	1019600	

## 四、优化方案

### （一）专项优化方案

针对大跨度（ $\geq 8\text{m}$ ）工况的专项优化方案如下：

- 增设铝合金桁架梁：跨度  $10\text{m}$  时，在立杆顶部设置  $200\times 100\text{mm}$  铝合金桁架梁，截面惯性矩提高 3 倍，挠度降低  $18\text{mm}\rightarrow 15\text{mm}$ ；
- 节点降噪设计：横杆与节点盘之间加装  $3\text{mm}$  厚丁腈橡胶垫片，施工噪声从  $85\text{dB}$  降至  $70\text{dB}$ ，符合建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）<sup>[8]</sup>；
- 智能监测集成：在关键节点安装无线应变传感器（精度  $\pm 1\mu\text{e}$ ），实时监测应力变化，预警阈值设为屈服强度的  $70\%$ <sup>[9]</sup>。

### （二）工程应用效果

工程项目采用优化方案后， $1000\text{m}^3$  高支模施工取得显著成效：工期较传统支架缩短  $41.2\%$ ；全生命周期成本  $51.2$  万元，较

优化前再降  $18.3\%$ ；混凝土成型平整度误差  $\leq 3\text{mm}$ ，优于规范要求（ $5\text{mm}$ ）<sup>[10]</sup>；施工期间最大应力  $92\text{MPa}$ ，未出现任何安全隐患，验收一次性通过。

## 五、结论

新型铝合金-钢复合支架通过合理材料配比（铝钢体积比  $7:3$ ）与“螺栓-销接”节点设计，极限承载力达  $42\text{kN/m}^2$ ，较传统支架提高  $20\%$ ，挠度控制满足规范要求；全生命周期成本降低  $38.6\%$ ，施工效率提升  $71.5\%$ ，材料回收率提高  $35$  个百分点，经济性优势显著；碳排放降低  $37.8\%$ ，材料消耗减少  $62.7\%$ ，符合绿色施工与可持续发展理念。

## 参考文献

- [1] 叶举聪. 房建工程高支模施工技术应用研究 [J]. 工程技术研究, 2024, 9(22): 55-57.
- [2] 杨柳, 余方园, 唐建章, 等. 基于高斯贝叶斯网络的高支模支架体系安全性能评定 [J]. 安徽建筑, 2024, 31(11): 91-92+147.
- [3] 黄富鑫. 框架结构高支模安全施工技术研究 [J]. 砖瓦, 2024, (10): 137-140.
- [4] 曾德伟. 建筑工程施工中的高支模施工技术应用探讨 [C]// 冶金工业教育资源开发中心. 2024精益数字化创新大会平行专场会议——冶金工业专场会议论文集（中册）. 成都建工第八建筑工程有限公司, 2024: 98-101.
- [5] 彭菲, 刘梦楠. 高支模工程中承插式盘扣脚手架的搭设与优化措施 [J]. 四川建材, 2024, 50(09): 114-116.
- [6] 王胜, 刘汉进, 赵帅, 等. 考虑整体空间作用的高支模数值分析及试验研究 [J]. 施工技术 (中英文), 2024, 53(17): 156-161+170.
- [7] 池福军. 高支模施工技术在住宅建筑施工中的实践研究 [J]. 居舍, 2024, (24): 37-40.
- [8] 解栋邓, 王国强. 某厂房超高超厚楼板高支模施工研究 [J]. 黑龙江科学, 2024, 15(14): 90-93+97.
- [9] 黄天良. 关于高支模土建施工技术在土建施工中的应用 [J]. 建材发展导向, 2024, 22(12): 88-90.
- [10] 张国宇. 建筑施工中高支模工程施工技术应用探析 [J]. 建材发展导向, 2024, 22(09): 97-99.



# 基于人工智能的电力系统故障诊断与快速恢复方法

彭炳楠<sup>1</sup>, 丁江涛<sup>2</sup>

1. 河南立新监理咨询有限公司, 河南 郑州 450000

2. 河南省蒲安建设工程有限公司, 河南 长垣 453400

DOI:10.61369/ME.2024100007

**摘 要 :** 随着电力系统规模的扩大与复杂化, 传统故障诊断与恢复方法面临响应速度慢、精度不足等挑战。本文聚焦人工智能技术在电力系统故障诊断与快速恢复中的应用, 梳理机器学习、深度学习等核心算法及其适应性, 分析数据驱动的故障诊断流程与恢复策略。分析认为, 基于人工智能的方法能够缩短故障响应时间, 增强系统自愈能力, 推动智能电网的进一步发展。

**关 键 词 :** 人工智能; 电力系统; 故障诊断; 快速恢复; 智能算法

## Fault Diagnosis and Rapid Recovery Method of Power System Based on Artificial Intelligence

Rong Bingnan<sup>1</sup>, Ding Jiangtao<sup>2</sup>

1. Henan Lixin Supervision Consulting Co., Ltd., Zhengzhou, Henan 450000

2. Henan Pu'an Construction Engineering Co., Ltd., Changyuan, Henan 453400

**Abstract :** With the expansion and complexity of power system scale, traditional fault diagnosis and recovery methods are facing challenges such as slow response speed and insufficient accuracy. This paper focuses on the application of artificial intelligence technology in power system fault diagnosis and rapid recovery, combs the core algorithms such as machine learning and deep learning and their adaptability, and analyzes the data-driven fault diagnosis process and recovery strategy. The analysis shows that the method based on artificial intelligence can shorten the fault response time, enhance the self-healing ability of the system and promote the further development of smart grid.

**Keywords :** artificial intelligence; electric power system; fault diagnosis; quick recovery; intelligent algorithm

## 引言

电力系统作为国家关键基础设施, 其安全稳定运行直接关系到社会经济发展。传统故障诊断依赖专家经验与阈值判断, 存在主观性强、适应性差等问题; 故障恢复过程则多采用预设方案, 难以应对复杂多变的电网场景。人工智能技术凭借强大的数据挖掘与模式识别能力, 为电力系统故障的精准诊断与动态恢复提供了新的技术路径。本文旨在系统阐述人工智能技术在该领域的应用框架, 探索其核心逻辑与未来发展方向。

## 一、适用于电力系统故障诊断与恢复的人工智能技术

### (一) 机器学习算法

机器学习算法在电力系统故障诊断中展现了对高维数据的特征解析能力。支持向量机通过构建高维空间超平面, 能够对非线性故障信号进行分类, 其优势在于小样本场景下仍能保持较高分类精度, 适用于变压器局部放电、线路短路过流等典型故障的早期识别<sup>[1]</sup>。随机森林算法利用多决策树投票机制, 可处理设备监测数据中的冗余特征, 其并行计算特性可快速筛选出关键参数, 例如通过断路器动作时序与电流波形的关联分析, 实现故障区段的概率化定位。集成学习框架如 XGBoost 进一步融合多种弱分类

器, 对复合故障(如雷击与绝缘劣化并发)的耦合特征进行分层提取, 有效降低误判率。迁移学习技术则突破传统模型对同源数据分布的依赖, 利用历史故障库中的知识迁移, 提升对新型分布式电源接入场景的适应性<sup>[2]</sup>。这类算法通过离线训练与在线微调相结合, 形成动态更新的故障知识库, 为诊断流程提供持续优化的基准模型。

### (二) 深度学习算法

深度学习算法凭借其其对时空特征的自主挖掘能力, 成为复杂电网故障模式识别的重要工具。卷积神经网络通过多层滤波器提取电压电流信号的局部畸变特征, 捕捉绝缘子污闪、电缆老化等渐变故障的微弱征兆, 其平移不变性特性可消除传感器部署位置

差异对诊断结果的干扰<sup>[3]</sup>。循环神经网络结合长短期记忆单元，能够解析继电保护动作序列中的时序依赖关系，对级联故障的传播路径进行动态建模，例如准确识别由单相接地故障引发的母线电压连锁崩溃过程。图神经网络直接映射电网拓扑结构，将节点电压、支路功率等参数编码为图特征向量，通过聚合邻域信息实现故障源的精准定位，特别适用于含多环网结构的配电网场景<sup>[4]</sup>。生成对抗网络则通过合成罕见故障样本，缓解实际运维中故障数据稀缺的问题，增强模型对低概率高风险事件的预警能力。这些技术通过端到端学习机制，降低人工设计特征提取规则的主观局限。

### （三）其他人工智能技术

强化学习技术通过构建智能体与环境交互的决策框架，为故障恢复提供了动态优化路径。Q-learning算法根据实时负荷分布与网络重构代价，生成满足安全约束的供电恢复序列，其探索-利用平衡机制可避免陷入局部最优解<sup>[5]</sup>。多智能体强化学习进一步将电网划分为多个自治区域，通过分布式协商机制协调各子系统的恢复动作，解决主网与微网协同复电过程中的冲突问题。迁移学习结合元学习策略，能够快速适配不同电压等级的电网架构，缩短新场景下的模型训练周期。知识图谱技术整合设备参数、运维记录、环境变量等多模态数据，构建故障因果推理网络，辅助诊断系统识别隐性关联故障（如台风天气与杆塔倾斜的耦合风险）。联邦学习方法在保障数据隐私的前提下，实现多区域电力公司故障数据的协同训练，突破单一数据源的信息壁垒。这些技术的综合应用，形成了从特征提取到决策推理的完整技术链，推动电力系统故障管理向自主化、协同化方向演进。

## 二、基于人工智能的电力系统故障诊断流程

### （一）数据采集与预处理

电力系统故障诊断的数据基础来源于多源异构信息的整合。同步相量测量装置实时捕获母线电压相位变化，结合断路器的动作信号与设备温度监测数据，形成覆盖电气量与非电气量的综合数据集。原始数据中常混入电磁干扰导致的瞬态噪声，小波变换通过多尺度分解剥离高频干扰分量，保留故障特征的时频局部化信息<sup>[6]</sup>。针对传感器故障引发的数据缺失问题，卡尔曼滤波算法基于系统动态方程预测缺失时段的状态量，并通过观测值迭代修正预测偏差。特征工程阶段采用主成分分析对高维数据进行降维，消除电流、电压等参数间的多重共线性，提取反映故障本质的低维特征向量。时间序列数据经滑动窗口分割后，标准化处理消除量纲差异，构建适用于机器学习模型输入的样本集。

### （二）故障诊断模型构建

模型构建的核心在于平衡泛化能力与场景适应性。迁移学习框架利用历史故障案例训练基础模型，通过微调最后一层网络参数适配新接入光伏逆变器或储能设备的电网结构，解决数据分布偏移导致的性能衰减问题。增量学习机制针对在线监测数据流，采用弹性权重固化技术动态更新模型参数，在保留已有知识的同时吸收新型故障模式特征，避免因持续训练引发的模型漂移。模

型结构设计需考虑特征交互关系，图注意力网络通过自适应分配节点权重，捕捉变压器油色谱数据与局部放电信号间的隐含关联，增强复合故障的辨识能力。先验知识嵌入策略将电力设备物理约束如绝缘材料老化速率方程转化为模型正则项，引导神经网络学习符合实际工况的故障演化规律。

### （三）故障诊断与验证

在线诊断阶段将预处理后的实时数据流输入训练完备的模型，输出故障类型概率分布与定位置信度。并行推理引擎采用多模型投票机制，对比支持向量机、随机森林等异质模型的诊断结果，通过加权融合降低单一模型误判风险。验证环节引入历史故障案例库进行回溯测试，计算查全率与误报率评估模型性能边界，特别关注风电并网引致的谐波扰动等易混淆场景的区分能力<sup>[7]</sup>。数字孪生平台构建电网设备的虚拟镜像，注入模拟故障信号验证诊断系统对罕见故障如GIS设备微粒悬浮放电的响应灵敏度。反馈优化机制根据误诊案例提取特征空间中的决策盲区，生成对抗样本补充训练集，迭代提升模型在复杂工况下的泛化性能。

## 三、基于人工智能的故障快速恢复方法

### （一）生成并优化恢复方案

基于人工智能的恢复方案生成聚焦于动态环境下的全局最优解搜索。深度强化学习框架将电网拓扑、负荷分布、设备状态编码为环境状态向量，智能体通过试错机制探索开关操作、储能充放电等动作的长期收益，生成满足供电可靠性约束的初始恢复序列。蒙特卡洛树搜索算法在此过程中评估不同操作路径的预期风险，优先选择故障隔离与负荷转移协同性高的方案。多目标优化模块引入帕累托前沿分析，平衡负荷损失最小化、操作次数最少化、设备应力最优化等冲突目标，通过非支配排序筛选出均衡解集。遗传算法进一步模拟生物进化机制，对可行方案进行交叉变异操作，结合线路容量、继电保护定值等物理约束生成适应度函数，迭代优化形成鲁棒性更强的恢复策略<sup>[8]</sup>。迁移学习技术将历史成功案例的特征映射到当前场景，缩短新拓扑结构下的方案生成时间。这一流程实现从经验驱动到数据驱动的范式跨越，显著提升复杂故障场景下的决策效率。

### （二）协调与控制恢复过程

多智能体协同控制架构破解了大规模电网恢复中的动作时序冲突难题。分层强化学习框架将电网划分为变电站、馈线、分布式电源等多个自治单元，各智能体根据局部观测信息生成操作指令，同时通过共识协议协调全局动作优先级。事件驱动机制实时捕捉断路器状态变化与负荷波动，触发预设条件下的控制策略动态调整。针对新能源出力不确定性，模型预测控制滚动优化储能充放电计划，平抑风光功率波动对电压恢复过程的干扰<sup>[9]</sup>。知识图谱技术构建设备操作规则库，将禁止同时闭合环路开关等动作禁忌转化为逻辑约束，避免误操作引发二次故障。数字孪生平台同步镜像物理电网状态，在虚拟空间预演不同恢复路径的暂态过程，筛选出暂态稳定性最优的执行序列。该体系通过分布式决策

与集中式校验相结合，确保恢复动作的时空协同性，降低人为干预的响应延迟。

（三）评估与反馈恢复效果

恢复效果评估体系从静态指标扩展至动态过程量化分析。时序因果推理模型追溯供电恢复过程中的关键操作节点，识别影响负荷恢复速率的瓶颈环节如备用电源切换延迟。对抗性验证方法构造极端场景测试用例，评估系统应对台风雷击等复合灾害的弹性边界。在线监测数据与仿真结果的差异度分析揭示模型盲区，定向采集薄弱环节的运维数据补充训练集<sup>[10]</sup>。元学习框架提取不同故障场景下的恢复模式共性特征，建立方案迁移适配度评价指标，指导跨区域知识共享时的模型微调策略。闭环优化机制将每次恢复过程的操作记录、性能指标、异常事件整合为经验片段，通过优先经验回放技术强化模型对高风险场景的记忆权重。

四、结语

综上所述，人工智能深度融入电力系统故障管理已成为技术演进的必然趋势。机器学习与深度学习技术通过特征自主提取与模式动态识别，显著提高了复杂故障的早期预警能力；基于强化学习的恢复决策框架则打破了静态预案的局限性，实现多约束条件下的全局最优解搜索。然而，模型训练数据完备性、跨区域协同控制机制、人机协同信任度等问题仍需深入探索。未来研究应进一步探索多技术融合框架，结合边缘计算与数字孪生技术，构建更高效的智能决策体系，推动电力系统向高韧性、自愈化方向演进。

参考文献

[1] 方勇, 宋涛, 郭子强, 等. 基于机器学习的可再生能源电力系统检修计划优化 [J]. 电气传动, 2024, 54(11): 56–65.  
[2] 费延波, 李贵林. 基于改进机器学习的电力系统运行状态预测研究 [J]. 自动化应用, 2024, 65(15): 250–252.  
[3] 马超, 刘祥振. 电力系统中基于深度学习的故障检测与定位方法研究 [J]. 电气技术与经济, 2024, (09): 84–86.  
[4] 吴越, 吕菁. 基于深度学习的电力系统故障诊断与预测模型优化分析 [J]. 电子技术, 2024, 53(07): 226–227.  
[5] 冯斌, 胡轶婕, 黄刚, 等. 基于深度强化学习的新型电力系统调度优化方法综述 [J]. 电力系统自动化, 2023, 47(17): 187–199.  
[6] 邹宇. 基于智能技术的电力系统故障诊断与恢复机制分析 [J]. 集成电路应用, 2024, 41(07): 140–141.  
[7] 许剑桥, 陈小琼. 人工智能在电力系统智能控制中的应用综述 [J]. 科技与创新, 2024, (13): 45–50.  
[8] 姜俊秋, 车德敏. 基于人工智能的电力系统故障检测与自动修复方法研究 [J]. 电气技术与经济, 2024, (03): 22–24.  
[9] 和敬涵, 罗国敏, 程梦晓, 等. 新一代人工智能在电力系统故障分析及定位中的研究综述 [J]. 中国电机工程学报, 2020, 40(17): 5506–5516.  
[10] 杨子腾, 王立志, 张亮, 等. 人工智能技术在电力系统故障诊断中的应用研究 [J]. 科学技术创新, 2021, (30): 12–14.

# 智能监测技术在水利水电设施健康诊断中的应用

徐向娟，柴文政

河南海马建设工程有限公司，河南 安阳 455000

DOI:10.61369/ME.2024100008

**摘 要：** 随着水利水电工程规模扩大与运行年限增长，设施健康诊断需求日益迫切。智能监测技术通过多源数据采集、实时分析与预警功能，为水利水电设施安全运行提供了新的技术路径。本文梳理了智能监测技术在大坝安全、水工建筑结构及机电设备等场景中的具体应用，探讨了技术选型、设备维护及人才储备等现实挑战，并提出针对性的应对策略，旨在为提升水利水电设施健康管理水平提供理论参考。

**关 键 词：** 智能监测；水利水电设施；健康诊断；设备维护；复合型人才

## Application of Intelligent Monitoring Technology in Health Diagnosis of Water Conservancy and Hydropower Facilities

Xu Xiangjuan, Chai Wenzheng

Henan Haima Construction Engineering Co., Ltd., Anyang, Henan 455000

**Abstract：** With the expansion of water conservancy and hydropower projects and the increase of operation years, the demand for facility health diagnosis is increasingly urgent. Intelligent monitoring technology provides a new technical path for the safe operation of water conservancy and hydropower facilities through multi-source data acquisition, real-time analysis and early warning functions. In this paper, the specific application of intelligent monitoring technology in dam safety, hydraulic structure and electromechanical equipment is sorted out, and the practical challenges such as technology selection, equipment maintenance and talent reserve are discussed, and the corresponding countermeasures are put forward, aiming at providing theoretical reference for improving the health management level of water conservancy and hydropower facilities.

**Keywords：** intelligent monitoring; water conservancy and hydropower facilities; health diagnosis; equipment maintenance; inter-disciplinary talent

### 引言

作为现代基础设施体系的核心组成，水利水电工程在保障水资源调配、清洁能源供应等方面发挥不可替代的作用。混凝土老化、金属结构疲劳等潜在风险随运行年限增加呈指数级增长，传统定期检测方式难以捕捉突发性损伤演变过程，离散化监测数据亦无法支撑系统性安全评估，而智能监测技术能提高设施监测实效性和准确性。本文从智能监测技术的工程适配性切入，探讨其在设施健康管理中的实践挑战与优化方向。

### 一、智能监测技术在水利水电设施健康诊断中的应用场景

#### （一）大坝安全监测

智能监测技术在大坝安全领域的应用核心在于构建多维动态感知体系。基于分布式光纤传感网络的渗流监测系统通过埋设于坝体的光纤光栅阵列，实时捕捉渗流水压梯度变化，其测量精度可覆盖从坝基到坝顶的全断面渗透路径。当坝体内部出现渗漏异常时，光纤传感节点通过波长偏移量解析渗流方向与速率，为判断防渗体失效风险提供直接依据<sup>[1]</sup>。北斗卫星导航系统的高精度

定位功能与惯性测量单元结合，形成大坝形变监测的时空基准框架，通过解算卫星观测数据与惯性参数融合模型，实现毫米级位移的连续追踪。坝体应力场重构依赖于嵌入式的振弦式传感器网络，其通过测量钢弦振动频率变化反演混凝土内部应力分布，结合温度补偿算法消除环境热胀冷缩干扰。多源监测数据经边缘计算节点进行时空对齐与噪声过滤后，输入风险预警模型生成坝体稳定性动态图谱，辅助管理人员识别潜在滑动面或结构开裂趋势。

#### （二）水工建筑物结构健康监测

水工建筑物结构损伤的智能诊断依赖于声学信号与三维形态



的协同分析。声发射监测装置通过布置在闸门支撑梁、隧洞衬砌等关键部位的压电传感器，捕获材料内部微裂纹扩展释放的弹性波信号<sup>[2]</sup>。波形特征提取算法可区分混凝土碳化剥落、钢筋锈蚀膨胀等不同损伤模式对应的声发射事件聚类特征，据此评估结构剩余承载能力。对于外观形态复杂的输水渡槽或溢洪道，三维激光扫描系统通过发射脉冲激光并接收反射信号，构建毫米级精度的表面点云模型。对比历次扫描数据生成形变差异热力图，可量化混凝土表面裂缝的宽度扩展与走向演变趋势。当检测到闸门轨道螺栓松动导致的异常振动时，无线加速度传感器组网将振动频谱传输至诊断平台，通过匹配历史故障数据库识别螺栓预紧力不足或金属疲劳等失效模式，为制定靶向维修方案提供依据。

### （三）机电设备运行状态监测

水利枢纽中发电机、闸门启闭机等机电设备的智能监控聚焦于振动与热力学参数的融合诊断。永磁同步发电机的转子偏心故障可通过部署在轴承座的振动传感器检测，其采集的时域信号经快速傅里叶变换后，在频域中呈现特定倍频谐波分量，结合轴向窜动量监测可定位磁极对中偏差。高压断路器触头磨损状态评估采用紫外光谱检测技术，通过分析电弧光中的特征波长强度变化，间接推算触头材料烧蚀程度。液压启闭机活塞杆的密封失效预警依托于压力脉动监测，当油压波动幅值超出设定阈值时，流体动力学仿真模型可逆向推演密封圈磨损导致的泄漏路径<sup>[3]</sup>。红外热像仪对变压器绕组进行非接触式温度场扫描，基于热传导方程构建的温升预测模型可识别局部过热区域，结合油色谱分析数据判定绝缘老化或接触电阻异常等潜在缺陷。

## 二、水利水电设施健康诊断中智能监测技术应用面临的挑战

### （一）技术选型挑战

水利水电设施多样化的运行环境与功能需求导致智能监测技术适配性矛盾凸显。高坝水库与低水头闸站对形变监测精度的差异化要求，使单一技术方案难以满足全域覆盖。例如分布式光纤传感技术虽能精准捕捉坝体渗流路径，但在强电磁干扰的水电站厂房中易产生信号失真；北斗定位系统适用于露天坝面的毫米级位移监测，却无法穿透混凝土结构获取内部应力场数据<sup>[4]</sup>。多源异构传感器的数据融合难题进一步加剧技术选型困境，振动、温度、湿度等参数的时间分辨率与空间尺度差异，使统一分析平台面临时间戳对齐与空间插值算法双重考验。技术标准的碎片化现状迫使工程团队在选型时需权衡国际电工委员会规范、水利行业标准与企业内部协议间的兼容性，跨系统集成时频繁出现通信协议冲突与数据格式转换损耗。

### （二）监测设备维护挑战

极端环境下的设备稳定性缺陷成为制约监测系统可靠性的关键瓶颈。高湿度工况诱发传感器金属部件电化学腐蚀，导致振弦式应力计的钢弦张力衰减与频率漂移；强震动环境使光纤光栅解调仪的精密光学元件发生机械松动，降低波长解算精度。野外部署设备的能源供应矛盾突出，太阳能供电系统在连续阴雨天气下

储能不足，迫使部分节点进入休眠状态并产生数据断点<sup>[5]</sup>。设备标定与校准的工程复杂性同样不容忽视，渗压计需定期进行水压舱原位比对标定，而泄洪期的高速水流冲击使传感器拆卸返厂维护的作业窗口期极度压缩。不同厂商设备的量程范围与灵敏度差异导致跨系统数据可比性下降，例如某型号超声波流量计在含沙量超标工况下的测量误差会干扰整个输水系统的流量平衡分析。

### （三）复合专业人才匮乏

水利工程与信息技术的学科壁垒导致具备跨界能力的专业人才供给严重不足。传统水利工程师缺乏机器学习算法调优经验，难以构建渗流监测数据的特征提取模型；计算机专业人员虽精通数据分析却对混凝土徐变机理、金属结构疲劳损伤阈值等专业概念认知模糊，导致开发的诊断系统出现误判<sup>[6]</sup>。高校学科设置尚未形成深度融合的培养体系，水利类专业课程鲜少涉及边缘计算架构设计，电子信息工程教学亦未涵盖水工建筑物特殊监测需求。企业现有技术团队的知识更新速度滞后于技术迭代周期，部分运维人员仍依赖经验判断设备故障，无法有效解析振动频谱图中的早期故障特征频率。产学研协同机制的缺位进一步加剧人才能力断层，科研院所的算法研究成果常因缺乏工程验证场景而难以转化为实用化诊断工具。

## 三、应对水利水电设施健康诊断中智能监测技术应用挑战的策略

### （一）依据实际情况科学选型监测技术

水利水电设施的差异性运行场景要求技术选型建立动态适配机制。针对高坝、电站厂房与输水隧洞等不同功能单元，需构建包含环境干扰强度、监测精度阈值与设备耐受性指标的三维评估框架。例如露天坝面优先部署抗电磁干扰的振弦式传感器，地下厂房则选用光纤光栅技术规避强磁场影响<sup>[7]</sup>。跨系统兼容性问题可通过建立统一的数据通信协议栈解决，定义基于时间序列的数据封装格式，确保振动、温度、渗流等多源异构数据的时间戳同步与空间坐标映射。技术选型委员会应整合水利工程、传感器技术与数据分析领域专家，针对具体项目编制技术适配矩阵表，明确高寒地区优先采用宽温域设备、多泥沙流域禁用光学测量等约束条件<sup>[8]</sup>。边缘计算节点的层级化部署能够缓解数据传输压力，在闸门启闭机等局部关键区域配置具备特征提取功能的智能终端，降低云端平台的算力负载。

### （二）完善监测设备维护管理体系

设备全生命周期管理需建立预防性维护与故障预测双轮驱动机制。制定涵盖巡检周期、标定规程与故障代码库的标准化维护手册，例如渗压计每汛期后需进行原位水压标定，光纤解调仪每季度清洁光学接口<sup>[9]</sup>。开发设备健康状态评估模型，通过分析历史维护记录与实时运行数据，预测传感器寿命衰减曲线并提前触发备件采购流程。极端环境下的维护难题可通过模块化设计改善，例如将太阳能供电系统与监测节点分离部署，便于阴雨天气快速更换储能模块<sup>[10]</sup>。建立厂商技术协同平台，推动不同品牌设备的数据接口标准化，消除量程与灵敏度差异导致的分析误差。

针对野外设备维护困难区域，组建配备移动检测装备的专项运维小组，在非泄洪期集中开展传感器校准与腐蚀防护处理，同步更新设备固件以修复已知系统漏洞。

（三）加强复合型专业人才培养管理

破解人才能力断层需重构高校培养体系与企业培训机制。在水利工程专业增设智能传感器原理、数据挖掘算法等核心课程，电子信息类专业开设水工建筑物结构诊断专题实训，通过跨学科毕业设计促进知识融合。企业联合科研院所建立工程实训基地，设计涵盖坝体渗流监测系统部署、振动频谱故障诊断等场景的仿真训练项目。实施技术岗位双师制，安排水利工程师与数据分析师结对工作，通过联合调试监测系统实现经验转移。建立专业技术资格认证体系，设置智能监测系统规划师、数据分析工程师等新职业认证，明确算法优化能力与工程问题转化能力的考核标

准。企业内部搭建知识共享平台，定期邀请领域专家解读最新技术标准，组织运维团队开展振动信号时频分析、边缘计算架构设计等专题技能轮训，确保人才能力与技术迭代同步进化。

四、结语

综上所述，智能监测技术通过重构水利水电设施健康诊断的数据感知与分析范式，显著提升了风险预警的时效性与决策科学性。面对复杂工况下技术适配性不足、极端环境设备耐受性有限以及人才结构单一等深层矛盾，需从技术标准体系重构、设备环境适应性研发、交叉学科教育模式创新三个维度协同突破。未来随着数字孪生模型迭代优化与自主诊断算法持续升级，设施健康管理将逐步实现从“被动响应”到“主动防御”的范式转移。

参考文献

[1]江涛. 水利水电工程施工中的信息化技术应用与优化管理研究 [J]. 治淮, 2024, (01): 38-39.  
[2]李珊珊. 水利工程中的智能监测与控制技术研究 [J]. 水上安全, 2024, (15): 37-39.  
[3]忠惠. 智能化在水利水电工程管理中的应用 [J]. 大众标准化, 2024, (16): 170-172.  
[4]肖同霞. 水利水电工程施工中的质量控制方法和技术创新 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2024, (20): 202-204.  
[5]张玮, 薛野, 唐振. 智慧水利阶段的水利水电工程信息化建设研究 [J]. 水利信息化, 2024, (02): 63-68.  
[6]李庆斌, 马睿, 胡昱, 等. 大坝智能建造研究进展与发展趋势 [J]. 清华大学学报 (自然科学版), 2022, 62(08): 1252-1269.  
[7]王伟刚. 水利水电工程复杂环境下的安全监测与预警策略分析 [J]. 中国高科技, 2024, (24): 103-105.  
[8]盛金保, 向衍, 杨德玮, 等. 水库大坝安全诊断与智慧管理关键技术与应用 [J]. 岩土工程学报, 2022, 44(07): 1351-1366.  
[9]卢正超, 杨宁, 韦耀国, 等. 水工程安全监测智能化面临的挑战、目标与实现路径 [J]. 水利水运工程学报, 2021, (06): 103-110.  
[10]杨晓波, 黄莹华. 浅析智能技术于水利水电自动化中的应用策略 [J]. 水上安全, 2023, (11): 56-58.

# 固定床碎煤加压气化技术在我国的发展历史、 实践应用与发展趋势

杨建荣, 武建军, 高振楠, 杨振华  
国能新疆煤制气有限公司, 新疆 昌吉 831100  
DOI:10.61369/ME.2024100009

**摘 要 :** 煤炭是我国的基础能源和重要战略资源。推进煤炭清洁高效利用,既是立足我国“富煤、贫油、少气”能源禀赋的现实选择,也是带动传统能源产业链升级、保障国家能源安全的关键路径,对支撑社会经济可持续发展具有重大意义<sup>[1-2]</sup>。

煤气化作为煤炭清洁高效利用的核心技术,是煤基产业链的“龙头”环节,支撑煤制大宗化学品(合成氨、甲醇、乙二醇、烯烃等)、煤制液体燃料(汽柴油)、煤制天然气(SNG)等重要产业<sup>[3]</sup>。我国《“十四五”规划和2035年远景目标纲要》提出“实施能源资源安全战略”,要求“科学做好煤制油气战略基地规划布局和产能储备管控”<sup>[4-5]</sup>。在此背景下,煤气化技术作为煤制油气过程的核心单元,其创新突破至关重要。

我国煤气化技术发展历经三个阶段:一是技术引进期(20世纪50-90年代),为满足化肥与城市燃气需求,先后引进Lurgi加压固定床气化技术和德士古水煤浆气化技术。二是自主突破期(21世纪初),通过国家级科研攻关,实现大型煤气化技术国产化“零的突破”。三是创新引领期(近年),在基础研究、工艺开发、装备制造、工程应用及数字化领域全面进步,完成从技术“跟跑”“并跑”到部分“领跑”的跨越。

本文聚焦适用于煤制天然气的固定床碎煤加压气化技术,系统梳理其发展脉络,剖析已投产煤制气项目中气化装置的运行瓶颈与根本成因,提出针对性优化方案,并基于低碳化、智能化转型需求,对该技术的未来发展趋势进行展望。

**关 键 词 :** 煤气化技术; 气化炉处理; 能源; 环保

## The Development History, Practical Application and Development Trend of Fixed-Bed Crushed Coal Pressurized Gasification Technology in China

Yang Jianrong, Wu Jianjun, Gao Zhennan, Yang Zhenhua  
Guoneng Xinjiang Coal-to-Gas Co., LTD., Changji, Xinjiang 831100

**Abstract :** Coal is a fundamental energy source and an important strategic resource in China. Promoting the clean and efficient utilization of coal is not only a realistic choice based on China's energy endowment of "abundant coal, scarce oil and limited gas", but also a key path to drive the upgrading of the traditional energy industry chain and ensure national energy security. It is of great significance for supporting the sustainable development of the social economy<sup>[1-2]</sup>.

Coal gasification, as a core technology for the clean and efficient utilization of coal, is the "leading" link in the coal-based industrial chain, supporting important industries such as coal-to-bulk chemicals (synthetic ammonia, methanol, ethylene glycol, olefins, etc.), coal-to-liquid fuels (gasoline and diesel), and coal-to-natural gas (SNG)<sup>[3]</sup>. China's "Outline of the 14th Five-Year Plan and Long-Range Objectives Through the Year 2035" proposes to "implement the energy and resource security strategy", and requires "scientifically carry out the planning and layout of strategic bases for coal-to-oil and gas and the control of production capacity reserves"<sup>[4-5]</sup>. Against this backdrop, as the core unit of the coal-to-oil and gas process, the innovation and breakthrough of coal gasification technology are of vital importance.

The development of coal gasification technology in China has gone through three stages: The first stage was the technology introduction period (1950s – 1990s), during which Lurgi pressurized fixed-bed gasification technology and Texaco water-coal slurry gasification technology were successively introduced to meet the demands of fertilizers and urban gas. The second period was the independent breakthrough period (early 21st century), during which, through national-level scientific research efforts, a "zero breakthrough" was achieved in the domestic production of large-scale coal gasification technology. The third period is the innovation-driven period (in recent years), during



which comprehensive progress has been made in basic research, process development, equipment manufacturing, engineering application and digitalization, achieving a leap from "following" and "keeping pace" in technology to partially "taking the lead".

This article focuses on the fixed-bed crushed coal pressurized gasification technology applicable to coal-to-natural gas, systematically sorts out its development context, analyzes the operational bottlenecks and fundamental causes of gasification units in the already put into operation coal-to-natural gas projects, proposes targeted optimization plans, and based on the demands of low-carbon and intelligent transformation, looks forward to the future development trends of this technology.

**Keywords :** coal gasification technology; gasifier treatment; energy; environmental protection

一、国外煤气化技术研发历程

（一）国外主流煤气化技术发展历程

现代煤气化技术起源可追溯至18世纪末。1792年苏格兰工程师默多克（Murdoch）干馏烟煤制照明煤气，1816年美国巴尔的摩建成首个规模化干馏煤气厂。需注意，此干馏属低温热解（Pyrolysis），与现代煤气化（Gasification）有本质区别。现代煤气化雏形始于19世纪中叶固定床技术。1857年德国西门子建造首台工业化煤气发生炉，标志第一次重大突破。1882年首台常压固定床空气间歇气化炉工业化，1913年后美国 UGI 公司完善形成 UGI 炉。

气流床兴起代表第四次突破。研究始于30年代美国德士古（Texaco）。1952年 K-T（Koppers-Totzek）常压气流床炉工业化。二战后，德士古成功开发渣油气化技术（1952），并移植该技术于70年代初开发出水煤浆加压气化技术（Texaco）。

70年代第一次石油危机强力催化发展，壳牌（Shell）、德士古等投入巨资。德士古水煤浆加压气化与壳牌粉煤加压气化（SCGP）技术在此期间完成关键工业示范，为后续大型化应用奠定基础。

（二）固定床碎煤加压气化技术发展历程

固定床气化（亦称移动床气化）以6-50mm颗粒煤为原料。煤由顶部加入，在重力作用下缓慢下移，气化剂（蒸汽/氧气）从炉底鼓入，逆向通过煤层反应。因床层高度相对稳定且固体颗粒呈缓慢移动状态，该技术兼具“固定床”（Fixed-bed）与“移动床”（Moving-bed）双重特征，按排渣方式分固态排渣（非熔渣）和液态排渣（熔渣）技术<sup>[6]</sup>。

德国鲁奇（Lurgi）公司是该技术的核心推动者。1927年其关键专利奠定了加压固态排渣工艺（经典鲁奇工艺）基础。1931年突破性开发出加压氧气鼓风机化工艺，大幅提升效率。1936年实现重大跨越，首台商业化加压固定床气化炉在南非萨索尔堡成功投运（通称鲁奇炉），标志着该技术正式进入大规模工业应用。

鲁奇炉历经持续迭代升级：第一代（1930s-40s），基础炉型，确立工艺；

第二代（1950s-60s），优化设计，提升性能；第三代（Mark-IV/V，1969起），重大突破。炉内径达3.8米，采用无耐火砖双层水冷壁及转动分布器/搅拌器，有效处理黏结煤。单炉产能跃升至5 ~ 5.5万 m³/h粗煤气，满足大型工厂需求并拓宽煤种适应性。第四代（Mark+），在第三代基础上进一步优化。鲁奇同时开发了配套的高效煤气净化与酚氨废水处理工艺，应对环保挑战。2007年，鲁奇公司被法国液化空气集团（Air Liquide）收购。

二、固定床碎煤加压气化技术应用于煤制气项目现状分析

（一）国内煤制天然气示范项目建设及运行情况

2006年后，国内天然气供需矛盾日益突出，我国产业界受美国大平原煤制天然气工厂启发，筹划建设煤制天然气装置。2012年，国家能源局将煤制天然气产量首次列入《天然气发展“十二五”规划》中，煤制气项目也成为我国煤炭洁净高效利用的重要方向。2013-2017年，我国先后有四个煤制气项目建成投运，总产能达到74.55亿立方/年，四个示范项目为煤制气产业积累了宝贵的建设与运行经验。正在生产运行的产业化项目总体情况如表1所示。

此外，大唐国际辽宁阜新煤制天然气项目（一期）于2011年7月开工建设，2014年因故停建，2018年月又恢复施工，目前已进入收尾阶段。

表1 正在运行的煤制天然气项目

项目简称	大唐克旗	新疆庆华	内蒙汇能	伊犁新天
业主单位	内蒙古大唐国际克什腾煤制天然气有限责任公司	新疆庆华能源集团有限公司	内蒙古汇能煤化工有限公司	伊犁新天煤化工有限责任公司
项目位置	赤峰	伊犁	鄂尔多斯	伊犁
规划产能（亿 m³/年）	40	55	20	20
投产产能（亿 m³/年）	26.7	13.75	20	14.2
投产时间	2013.12.18	2013.12.30	2014.11.17	2017.3.19

（二）煤制气项目中固定床碎煤加压气化技术应用情况

由于固定床碎煤加压气化技术具有能量转换效率高、粗煤气中甲烷组分高等优点，因此特别适合煤制天然气项目。但早期固定床碎煤加压气化在工程放大和工业示范过程中，也出现了技术、设备问题，影响装置的长周期、满负荷运行<sup>[7]</sup>。

1. 气化炉夹套腐蚀

煤中的微量元素如碱金属和卤族元素，导致气化炉内夹套炉篦上方灰分区域及燃烧区域发生“卤化-氧化腐蚀加剧下的高温磨蚀腐蚀”。用 Inconel625 镍基合金对气化炉夹套内壁进行机械自动化堆焊防腐后，这个问题得到彻底解决。

2. 废水处理难度大成本高

固定床碎煤加压气化技术反应温度在1150℃以下，对于部分

灰熔点低的煤种，需要通入更多蒸汽以抑制反应温度，由于炉内温度低，蒸汽在炉内分解率低，因此造成气化过程产生的废水量大，下游需要配置较大规模的废水处理系统。此外，由于气化温度低，废水中含油、酚、氨及难降解有机物含量高、氨氮高和色度高，可生化性差，处理难度极大。通过采取酚氨回收、高级氧化、膜浓缩、蒸发结晶等手段，煤制气项目基本实现废水零排放和有效回用，但水处理成本较高，工艺处理技术存在优化空间<sup>[8]</sup>。

### 3. 进出料关键设备易损坏

固定床碎煤加压气化炉常规设计采用的煤锁斗和灰锁斗进料、排料阀，均采用内置式锥心阀结构，在气化炉运行过程中阀门内漏频繁，容易造成气化炉非计划停车，影响装置运行。在使用过程中由于阀门零部件之间产生间隙，需专业人员对阀门进行维护、调校，如调校失误，则会加速阀门损坏，阀门维护难度高；阀门零部件均在罐体内部，检修时涉及有限空间作业，检修难度大，检修容易发生机械伤害等事故，检修过程安全管控要求高。目前已投产同类项目内置式煤锁阀灰锁阀使用效果均不理想，是制约气化炉长周期运行的关键点之一。

## 三、固定床碎煤加压气化技术发展趋势分析

### （一）通过过程强化进一步提高单炉处理能力，提高甲烷产率

固定床非熔渣气化现有 SD3800-3.0、SD3800-4.0 炉型投入工业化运行，其中 SD3800-3.0 已运行 60 余台，SD3800-4.0 已运行 100 余台，主要应用于新疆、内蒙、山西等地煤制天然气、煤制甲醇、煤制合成氨等项目。应用地域广、行业多，煤种适应性强，技术成熟可靠<sup>[9]</sup>。在上述炉型的基础上，赛鼎公司完成了 SD5000-6.0 炉型的技术研发工作、项目详细工程设计及气化炉制造受限于建设工厂原因，项目暂缓。可将 SD5000-4.5 原煤处理量 1500 吨/d 作为技术装备升级示范炉型，但多喷嘴对置式水煤浆气化炉单炉最大处理规模已经达到 4000 吨/d，二者差距较大。煤制气单体项目需要从 20 亿立方米/年向更大规模扩展，对气化炉处理能力提出更高要求。

### （二）优化工艺流程，提升全系统效率，同时降低装置投资

原料煤加压输送系统是投资与能耗的主要来源，其优化是行业难点。亟需开发新型低能耗输送方式是工程界热点问题，当前缺乏系统性工程试验。过去行业高速发展导致对全流程深度整合投入不足，工艺流程缺乏变革。需结合下游单元（变换、净化、合成）需求，重构气化及衔接流程，通过设备精简、压降优化、

热集成降低总投资与运行能耗，提升系统经济性。

### （三）开发新型环保技术，优化零排放工艺，降低水处理成本

固定床气化产生的含酚、氨、焦油及复杂有机物的废水（酚氨废水）处理难度大、成本高，是制约该技术推广的世界性难题。同时，煤中有害元素（S、N、Cl、Hg、As、Cr、Pb 等）在气化过程中的迁移转化，导致合成气污染、设备腐蚀（尤其氯离子）以及灰渣和废水中重金属积累的环境风险，硫、氮迁移控制技术相对成熟，氯及微量重金属迁移机理研究取得进展，但亟需转化为高效、经济的工程化脱除与稳定化技术<sup>[10]</sup>。在大型工业项目中集成示范新型组合水处理工艺，实现废水近零排放或资源化零排放，最大程度回收水资源并显著降低处理成本，重点在于开发高效、低成本的酚氨回收及深度处理技术，这是该技术可持续发展的关键。

## 四、总结与展望

据不完全统计，国内外煤气化技术上百种，但实现工业化应用的煤气化技术仅有 30 余种，固定床碎煤加压气化技术在煤气化领域中占据重要地位。尽管固定床碎煤加压气化技术起源于德国，但已在我国历经了六十余年的发展，通过我国科技研发、工程设计和产业人员的持续技术创新和改进优化，该技术已在提高甲烷产率、降低能耗和改善煤种适应性方面取得了显著成效。

由于固定床碎煤加压气化技术具有气化效率高、甲烷产率较高、煤种适应性宽、整体投资适中等特点，适用于以较高灰分（ $\geq 30\%$ ）和较高水分（20%~30%）的褐煤、次烟煤、贫煤和无烟煤为原料，生产合成天然气的煤制气项目。在我国建设大型煤制气进程中，固定床碎煤加压气化技术有着广阔的市场空间。与此同时，该气化技术在应用过程中，仍需要优化系统设计，改进关键设备，降低能耗和碳排放，不断提升环保水平。

随着全球能源格局深刻变革，我国“四个革命、一个合作”能源安全新战略深入实施，以及“双碳”目标的加速推进与生态环境保护标准持续提升，煤气化技术作为煤炭清洁高效利用的重要途径，正面临新的机遇与挑战。装置大型化、系统集成化、运行智能化、过程低碳化与环境友好化，已成为煤气化技术发展的核心共识与必然趋势。我们必须坚定不移地推动煤气化技术向绿色环保、清洁高效的方向持续迭代升级，抓住能源转型的历史性机遇，在保障国家能源安全和推动能源结构绿色低碳转型中发挥更为关键的支撑作用。

## 参考文献

- [1] 谢克昌. 煤利用技术研发现状及发展趋势 [J]. 煤田地质与勘探, 2004, 32(S): 8-17.
- [2] 谢克昌. 科学认识煤化工大力推进煤的清洁高效利用 [J]. 能源与节能, 2011(2): 1-2.
- [3] 王辅臣, 于广锁, 龚欣, 等. 大型煤气化技术的研究与发展 [J]. 化工进展, 2009, 28(2): 173-180.
- [4] 国家发展改革委关于印发《“十四五”扩大内需战略实施方案》的通知 [EB/OL]. [2022-12-15]. [https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/202212/t20221215\\_1343551.html](https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/202212/t20221215_1343551.html).
- [5] 中共中央、国务院. 中共中央、国务院关于印发《扩大内需战略规划纲要（2022-2035）》的通知 [EB/OL]. [2022-12-14]. [https://www.gov.cn/zhengce/2022-12/14/content\\_5732067.html](https://www.gov.cn/zhengce/2022-12/14/content_5732067.html).
- [6] 谢克昌. 中国煤化工技术的发展和未来 // 第三届中国国际煤化工及煤转化高新技术研讨会. 西安: 《应用化工》编辑部, 2006.
- [7] 王基铭. 中国现代煤化工产业现状与展望 [J]. 当代石油石化, 2012(8): 1-6.
- [8] 李志坚. 现代煤化工进展及发展关注重点 [J]. 化学工业, 2013, 31(6): 9-14.
- [9] 杜锦华, 安星悦. 我国新型煤化工发展思路探讨 [J]. 化学工业, 2013, 31(1): 19-21.
- [10] 王辅臣. 我国现代煤化工发展及展望 // 中国化工学会石油化工学术年会. 南京: [S.N.], 2014.

# 水利水电工程建设生态水文响应评估及调控策略

张铁

蓝田县水政水资源管理中心, 陕西 西安 710500

DOI:10.61369/ME.2024100010

**摘 要 :** 为更好评估水利水电工程建设对生态环境造成的影响, 本文以某河流上游峡谷段水电站为研究对象, 通过构建“空-地-模”三位一体多维度评价方法体系, 系统评估其生态水文响应, 结果显示工程建设对当地生态环境造成了众多影响, 比如河谷带常绿阔叶林面积减少、植被覆盖度降低、群落结构稳定性下降、水生生物产卵场缩减等, 文章在分析上述不良影响的同时提出了相对应的生态修复策略, 以促进水电开发与生态保护协调发展。

**关 键 词 :** 水利水电工程; 生态水文响应; 评价方法; 调控策略

## Ecological Hydrological Response Assessment and Regulation Strategies for Water Conservancy and Hydropower Engineering Construction

Zhang Tie

Lantian County Water Administration and Water Resources Management Center, Xi 'an, Shaanxi 710500

**Abstract :** To better assess the impact of water conservancy and hydropower project construction on the ecological environment, this paper takes a hydropower station in the canyon section of an upper river as the research object. By constructing a "space-ground-model" three-in-one multi-dimensional evaluation method system, its ecological and hydrological responses are systematically evaluated. The results show that the project construction has caused numerous impacts on the local ecological environment. For instance, the area of evergreen broad-leaved forests in the river valley has decreased, the vegetation coverage has declined, the stability of the community structure has dropped, and the spawning grounds of aquatic organisms have shrunk. While analyzing the above-mentioned adverse effects, this article also proposes corresponding ecological restoration strategies to promote the coordinated development of hydropower development and ecological protection.

**Keywords :** water conservancy and hydropower engineering; ecological moisture response; evaluation method; regulatory strategy

### 一、工程概况

本研究聚焦于位于某河流上游峡谷段的水电站, 该水电站主体工程涵盖了最大坝高285m的混凝土双曲拱坝, 总库容达15.6亿 $\text{m}^3$ , 正常蓄水位为2135m, 工程建设目标主要是发电, 同时兼顾防洪与航运需求, 施工周期从2015年至2022年, 淹没影响区涉及3个县级行政单元, 这对水电站建设和运行过程中的生态保护工作提出了严峻挑战。

### 二、基于“空-地-模”三位一体的生态水文响应评价方法与结果

#### (一) 多维度评价方法体系

本研究构建了一套基于“空-地-模”三位一体的多维度评价方法体系, 旨在全面且精准地评估水利水电工程对区域生态环境的影响。

第一, 遥感监测。

选用分辨率为30m的Landsat8OLI卫星影像, 通过最大似然分类法和像元二分模型对2015—2022年的影像数据进行处理与分析, 反演归一化植被指数(NDVI)的动态变化, 从而获取植被覆盖度的时空演变信息, 为植被生态系统响应评估提供宏观层面的数据支持<sup>[1]</sup>。

第二, 实地验证。

在研究区域内, 依据不同的生态功能区和植被类型, 运用随机抽样与分层抽样相结合的方法<sup>[2]</sup>, 设置27个植被样方, 样方面积为100m $\times$ 100m, 详细记录植被的种类、高度、盖度等参数; 同时, 在下游河道选取具有代表性的15个鱼类监测断面, 采用电击法、网捕法等多种采样方式, 对鱼类的种类、数量、体长、体重等指标进行监测, 以实地监测数据校验和补充遥感与模型模拟结果。

第三, 模型模拟。

1.InVEST模型。运用InVEST模型中的碳储量模块, 基于土



地利用 / 土地覆盖数据、土壤有机碳含量数据以及植被生物量数据<sup>[3]</sup>，对工程前后的碳储量进行模拟与评估，量化工程建设导致的碳储量变化，分析其对区域碳循环的影响。

2.HEC-RAS6.0模型。利用 HEC-RAS6.0模型构建研究区域的一维河网水力模型，输入地形数据、河道糙率、流量等边界条件，模拟工程建设前后的水文情势变化，包括水位、流速、流量过程等，为水生生物栖息地和生态系统服务功能评估提供水文基础数据<sup>[4]</sup>。

3.Circuitscape4.0模型。借助 Circuitscape4.0模型，以土地利用 / 土地覆盖数据为基础，结合物种的生态习性和扩散能力，设定不同的阻力面参数，模拟物种在景观中的潜在扩散路径<sup>[5]</sup>，分析生境连通性的变化，评估工程对生物多样性保护的影响。

（二）量化评价结果

1. 植被生态系统响应

经分析，工程建设后常绿阔叶林面积减少21.3%，NDVI均值下降18.7%，表明植被覆盖度显著降低，生态系统的初级生产力受到抑制。碳储量增加23.6%源于新生湿地的碳汇效应，部分抵消了植被破坏的负面影响，但仍难以弥补生物多样性的损失。Margalef指数和Pielou指数分别降低11.2%和7.7%，说明群落物种丰富度与均匀度下降，优势物种更替为耐水淹植物（如水蓼、芦苇），群落结构稳定性减弱。具体数据如表1所示。

表1 植被生态系统响应关键指标变化

指标	工程建设前 (2015 年)	工程建设后 (2022 年)
常绿阔叶林面积 (km² )	66.7	52.5
NDV 均值	0.72	0.59
碳储量 (× 10 <sup>4</sup> tCO <sub>2</sub> e/a )	8.9	11.0
Margalef 指数	3.21	2.85
Pielou 指数	0.78	0.72

2. 水生生物影响

工程建设对水生生物的影响如表2所示。工程建设导致产卵场面积缩减32.5%，溶解氧含量（5.8 mg/L）低于临界值（6.5 mg/L），严重威胁鱼类呼吸代谢。FST值由0.18升至0.47（阈值0.3），表明坝体阻隔加剧了鱼类种群遗传分化，基因交流显著受阻。裂腹鱼数量锐减66.4%（12,500→4,200），而宽鳍鱲占比增至38.7%，反映出水生生物群落向广适性物种倾斜，特有物种濒危风险升高。

表2 水生生物影响关键参数对比

参数	工程建设前	工程建设后	阈值 / 临界值
产卵场面积缩减率	/	32.5%	-
溶解氧含量 (mg/L)	7.2 ± 0.3	5.8 ± 0.4	6.5(临界值)
FST 值 (遗传分化指数)	0.18 ± 0.05	0.47 ± 0.08	0.3(阈值)
裂腹鱼种群数量 (尾)	12,500	4,200	-
宽鳍鱲占比 (%)	15.3	38.7	-

3. 景观格局演变

借助 Fragstats软件，对工程前后的土地利用 / 土地覆盖数据进行景观格局指数分析，数据如表3所示。数据表明工程建设导致景观破碎化加剧，自然连续生境被分割为孤立斑块，生态稳定性显著降低。

表3 景观格局演变指数变化

指数	工程建设前	工程建设后	变化幅度 (%)
斑块密度 (PD, 个 /km² )	0.86	1.32	+53.5%
聚集度指数 (AI,%)	92.7	85.4	-7.3%
最小累积阻力值 (MCR )	125.6	218.9	+74.3%

三、基于生态水文响应评估结果的生态调控策略

（一）水文生态协同调度

1. 做好生态流量保障

运用 RVA（Range of Variability Approach）法，通过对历史水文数据的深入分析，精确确定关键期（3-5月）的最小下泄流量为182m³ /s。RVA法综合考虑了河流流量的年内变化、年际变化以及极值情况，通过构建流量指标体系，能够准确界定维持河流生态系统健康所需的流量范围<sup>[6]</sup>。在实际操作中，利用先进的流量监测设备，实时监测坝下流量，并通过自动化控制系统，确保关键期内的下泄流量稳定维持在设定值，保障下游河道的基本生态需水。

2. 水温分层调控

在坝体上安装3层取水口，且各层取水口高程差达15m，采用 CFD（计算流体力学）模拟技术，对不同工况下取水口的水流特性、温度分布进行数值模拟，优化取水口布置方案，确保下泄水温变幅 <2℃，有效避免了因水温骤变对水生生物造成的生理胁迫，维持了下游河道水生生态系统的稳定性。

长期监测数据显示，当生态流量得到有效保障时，下游河道的溶解氧含量显著提升，水生生物多样性有所恢复，同时通过 DNA 条形码技术对水生生物群落结构进行分析，发现一些依赖特定水流条件的鱼类，开始重新出现在下游河道，并且水温分层调控措施有效缓解了坝下江段水温骤变对水生生物的不利影响，使得鱼卵的孵化率提升以及幼鱼的存活率增加。

（二）生物通道修复工程

为了为水中生物营造更加便利的生存条件，围绕以下几点进行生物通道的修复。

第一，构建复合式鱼道。该系统由竖缝式主鱼道和仿自然旁路通道组成，竖缝式主鱼道坡度设计为1:15，通过水力学模型试验，精确确定流速控制在0.8 ~ 1.2m/s，以满足不同鱼类的洄游习性。主鱼道内设置了特殊的消能设施，如迷宫式消能池，有效降低水流能量，确保鱼类能够顺利通过 [7]。而仿自然旁路通道能够营造出接近自然的栖息环境。在后续工程运营中通过声学标记追踪技术对复合式鱼道系统的运行效果进行跟踪监测，结果表明，竖缝式主鱼道和仿自然旁路通道相互配合，大大提高了过鱼效率，过鱼效率达到74.6%。

第二，人工增殖放流工作。严格按照科学的增殖放流规划进行，年投放裂腹鱼苗种50万尾，鱼苗均经过严格的种质鉴定和健康检测，确保其遗传多样性和健康状况，同时配套设置3处索饵场，根据鱼类的食性和生态习性，利用生态位理论，合理规划索饵场的位置和面积，通过投放适宜的饵料生物，如浮游动物、底栖生物等，为幼鱼提供充足的食物资源。通过定期的种群数量监

测,采用标志重捕法和基于环境 DNA (eDNA) 的监测技术 [8],发现裂腹鱼的种群数量在局部区域有所回升,种群增长率达到 15% 左右。

（三）智慧化管理平台

随着水利水电工程对生态环境影响的日益凸显,实现生态系统的科学管理和有效保护成为关键,传统管理方式难以满足对生态系统实时、全面监测与动态调控的需求,因此,构建智慧化的管理平台对于提升生态管理效率,实现水电开发生态保护平衡具有重要作用。在智慧化管理平台建立后,实现了对生态系统的实时监测和动态管理<sup>[9]</sup>,通过生态物联网系统收集的大量数据,利用大数据分析技术和机器学习算法,能够及时发现生态系统的异常变化,并根据 ESI 指数调整生态调度方案。例如,当监测到下游河道溶解氧含量下降时,系统自动发出预警,并通过数据分析模型,为生态调度决策提供科学建议,如适当增加下泄流量等。

在做好智慧化管理平台建设的同时还需要形成相应的适应性管理机制,建立生态调度绩效指标 (ESI 指数)<sup>[10]</sup>,该指数综合考虑了水文、水质、生物多样性等多个方面的指标,采用层次分

析法 (AHP) 和模糊综合评价法确定各指标的权重,构建科学合理的评价体系,实施阶梯式生态补偿金制度 (基准价 0.015 元 / kWh),根据生态调度绩效指标的评价结果,对水电企业进行奖惩。当 ESI 指数达到优秀水平时,给予水电企业一定的经济奖励;当 ESI 指数低于设定标准时,按照阶梯式标准扣除相应的生态补偿金,这样就能够有效激励了相关部门和企业在水电开发过程中更加注重生态保护,促进了水电开发与生态保护的协调发展。

四、结语

水利水电工程建设会对区域生态环境造成长期影响,为确保区域生态环境,在工程建设中必须做好生态水文响应的持续评估。通过长期生态监测,深入研究生态系统的演变规律,及时发现和解决潜在的问题,并利用更加先进的技术手段,提升生态保护的科学性和有效性,不断优化和完善调控策略,提升生态修复效果。

参考文献

[1] 李晓芬,王建盼,柴璐艳. 水利工程生态环境影响评价分析 [J]. 清洗世界, 2024, 40(07): 106-108.

[2] 韩旭. 大型水利工程陆生生态环境影响评价 [D]. 华侨大学, 2021.

[3] 马锐迪, 杨青, 王辉, 等. 基于 InVEST 模型的生态系统水源涵养功能评估——以龙潭水库影响范围为例 [J]. 河北农业科学, 2024, 28(06): 87-91.

[4] 王鹏全. 湟水流域环境变化的生态水文效应及生态服务演变研究 [D]. 青海师范大学, 2024.

[5] 吴楠, 王甜, 程鹏, 等. 基于电路理论的扬子鳄保护区块间生态廊道和节点识别研究 [J]. 长江流域资源与环境, 2024, 33(06): 1228-1238.

[6] 陈垚, 余雪花, 郑爽, 等. 基于生态水文响应的海绵城市不透水面控制指标 [J]. 中国给水排水, 2018, 34(15): 116-121.

[7] 李中艳. 辽河流域不同土地利用模式情景下生态水文响应研究 [J]. 中国水能及电气化, 2018, (02): 37-41.

[8] 班学君, 樊博, 刘瀚, 等. 鱼类产卵行为与生态水文指标响应关系研究——以长江四大家鱼为例 [J]. 水生态学杂志, 2024, 45(01): 67-74.

[9] 余晓瑛. 水利工程智慧化运行管理探析 [J]. 大陆桥视野, 2022, (10): 114-115.

[10] 孙培. 溱沔河生态修复工程草本植物应用生态绩效评估 [J]. 建筑与文化, 2023, (10): 257-259.



# 基于生态修复的幸福河湖建设实践

林圣全

泰顺县水利局, 浙江 温州 325500

DOI:10.61369/ME.2024100011

**摘 要 :** 随着经济社会的快速发展, 部分河湖生态系统遭受污染、湿地萎缩、水质下降等问题, 水环境、水生态功能明显退化, 影响居民生产生活与区域生态安全, 而近年来, 国家高度重视河湖治理, 提出以系统治理、综合施策为原则, 通过水质改善、水生态修复、水文化保护相结合的方式, 推动河湖功能全面提升。本文围绕基于生态修复的幸福河湖建设展开分析, 幸福河湖建设以生态优先为导向, 强调系统治理、因地制宜、人水和谐, 通过实施生态修复、综合治理、水质保护等措施, 全面提升河湖生态功能, 该模式不仅是生态工程, 更是民生工程, 这有助于实现水生态保护, 推动高质量发展。

**关 键 词 :** 生态修复; 幸福河湖; 系统治理

## The Practice of Building Happy Rivers and Lakes Based on Ecological Restoration

Lin Shengquan

Taishun County Water Conservancy Bureau, Wenzhou, Zhejiang 325500

**Abstract :** With the rapid development of the economy and society, some river and lake ecosystems have suffered from pollution, shrinking wetlands, and deteriorating water quality. The water environment and water ecological functions have significantly deteriorated, affecting residents' production and life as well as regional ecological security. In recent years, the state has attached great importance to river and lake governance and proposed the principle of systematic governance and comprehensive measures. By integrating water quality improvement, water ecological restoration and water culture protection, efforts should be made to comprehensively enhance the functions of rivers and lakes. This article analyzes the construction of happy rivers and lakes based on ecological restoration. The construction of happy rivers and lakes is guided by ecological priority, emphasizing systematic governance, adapting measures to local conditions, and harmonious coexistence between humans and water. Through the implementation of ecological restoration, comprehensive management, and water quality protection measures, the ecological functions of rivers and lakes are comprehensively enhanced. This model is not only an ecological project but also a livelihood project, which is conducive to achieving water ecological protection. Promote high-quality development.

**Keywords :** ecological restoration; happy rivers and lakes; system governance

随着生态文明建设的不断推进, 河湖生态环境问题日益受到重视, 传统水利工程可以提升防洪排涝能力, 但是忽视了生态功能、人居环境的协调发展, 为改善水生态系统健康状况、提升群众生活质量, 幸福河湖建设应运而生, 基于生态修复的幸福河湖建设, 强调自然生态与人文需求的融合, 旨在恢复水体自净能力, 提升生物多样性, 打造“水清、岸绿、景美、人和”的宜居水环境, 提升生态效益。

### 一、幸福河湖建设的概述

幸福河湖建设是贯彻落实生态文明理念、提升水生态环境质量、满足人民群众对美好生活向往的重要举措, 其核心目标是通过系统治理, 实现河湖生态功能修复、水资源可持续利用、人水和谐共生的统一, 幸福河湖不仅强调“水清、岸绿、景美、宜居”的生态环境目标, 更注重群众的获得感、幸福感、安全感,

建设内容涵盖水生态修复、水环境改善、防洪排涝能力提升、水文化传承等方面, 通过引入绿色生态技术、强化水岸联动治理、提升公众参与度, 打造集生态保护、休闲游憩、文化展示与防灾减灾于一体的综合性水生态空间, 幸福河湖建设不仅是生态工程, 更是民生工程, 体现了绿色发展理念<sup>[1]</sup>。幸福河湖建设的显著特点是生态与民生的协同统一, 其核心不仅在于修复、保护河湖生态系统, 确保水清岸绿、生物多样性丰富, 还注重满足居民

对优美水环境的需求，在建设过程中，河湖可以充分融入休闲、文化、景观等元素，使河湖不仅具备防洪排涝、供水灌溉等基本功能，还成为居民亲水、休憩、健身的重要空间，通过生态修复与景观提升的结合，不仅改善了水环境质量，也营造了人与水和谐共生的宜居环境，实现了生态价值、经济价值与社会价值的有机统一，从而提升居民的幸福感。

## 二、基于生态修复的幸福河湖建设的基本原则

### （一）生态优先

在实际建设过程中，坚持生态优先，意味着在规划设计、工程实施、管理维护等各个环节，始终将生态保护放在首位，避免过度开发破坏自然系统，通过遵循自然规律，优先保护原有生态结构，恢复河湖自净能力，从而提升整体生态系统的稳定性，这不仅有助于恢复河湖的自然属性，还能为周边地区营造良好的生态环境基础<sup>[9]</sup>。在生态优先的引导下，幸福河湖建设应减少硬化处理，优先采用“柔性”工程措施，增强水体的生物多样性，同时在河湖整治中兼顾水生植被恢复、水体生态链重建，提升生态服务功能，生态优先不仅是对自然环境的尊重，更是实现可持续发展的前提条件，只有将生态修复贯穿于河湖建设的全过程，才能真正实现“水清、岸绿、景美、人和”的幸福目标。

### （二）系统治理

系统治理是基于生态修复的幸福河湖建设的重要原则，强调从流域整体出发，统筹考虑水资源、水生态、水环境、水安全等多个要素，实现多目标、多要素、多部门的协同管理，幸福河湖并不仅是某一段水体的美化，而是涉及整个河湖系统的综合提升，因此建设过程中应坚持上下游、左右岸、干支流的联动治理，兼顾生态空间格局、水动力过程、人类活动影响，构建科学有序的治理体系，推动河湖系统整体功能的恢复<sup>[10]</sup>。系统治理还要求统筹自然系统与社会系统的关系，协调生态保护与经济发展之间的矛盾，在具体实施中，幸福河湖建设应加强规划统筹，推动“山水林田湖草沙”一体化保护和修复，实现多领域政策的协同联动，同时幸福河湖建设可以整合各级政府、社会资本、公众资源，建立多方参与、职责清晰、运转高效的管理机制，确保治理措施的持续性，通过系统治理，不仅能有效提升幸福河湖的生态价值，也能为区域可持续发展提供坚实的生态基础。

### （三）因地制宜

因地制宜是基于生态修复的幸福河湖建设中必须坚持的基本原则，强调根据不同区域的自然条件、生态特点、社会需求，采取具有针对性的建设，我国河湖分布广泛、类型多样，各地气候、地形、水文条件差异显著，因此不能套用统一的治理模式，因地制宜要求充分调研区域水生态现状、环境容量与历史文化背景，制定符合本地实际的生态修复方案，确保建设效果既科学合理，又具可操作性<sup>[11]</sup>。在实施过程中，因地制宜体现在技术路径的选择、工程措施的设置、功能布局的安排上，例如北方干旱地区可重点提升水资源利用效率，南方湿润地区则更注重水质提升；城市河湖可强化景观塑造与人文功能融合，农村河道则强调

农业排灌、生态保护并重，同时幸福河湖应结合地方特色文化，融入水文化元素，打造具有地域辨识度的幸福河湖样板，通过因地制宜的科学施策，能够实现生态效益、社会效益与文化价值的同步提升，为建设宜居宜业的生态环境打下坚实基础。

### （四）人水和谐

人水和谐是基于生态修复的幸福河湖建设的核心价值导向，强调人与自然的和谐共处，推动河湖从“防洪治水”向“生态宜居”转变，传统水利工程多以控制水为主，忽视了水生态系统的完整性、人类活动与水环境之间的相互影响，而人水和谐理念则要求在尊重自然规律的基础上，实现水资源的合理利用、生态系统的良性运行、人类生活质量的全面提升，让人们既能安全依水而居，又能亲水、乐水、享水，真正实现生态文明建设的目标<sup>[12]</sup>。在人水和谐的实践中，幸福河湖建设不仅关注生态功能的恢复，更注重公共空间的营造、民众参与的提升，幸福河湖建设应通过构建亲水步道、湿地公园等方式，拉近人与水的距离，提升城市与水体的融合度，同时幸福河湖建设应保障河湖水资源、水生态、水景观的协调发展，为居民提供休闲、游憩等多样化的功能服务空间。

## 三、基于生态修复的幸福河湖建设的对策

### （一）开展生态修复

长期以来，部分河湖由于过度开发、污染排放、人为干扰，导致生态系统退化、水体自净能力下降，甚至出现河道干涸、水质恶化等问题，因此在幸福河湖建设中，人们应以生态系统整体性为导向，系统评估水生态现状，制定科学合理的修复方案，如退除硬质护岸、构建生态缓冲带、恢复自然河道形态、重建湿地系统等，以增强河湖的自然调节能力<sup>[13]</sup>。在实际操作中，生态修复不仅是技术工程，更是系统治理与生态理念的融合应用，幸福河湖建设应根据不同河湖的水文特征、水质状况、生物栖息需求，选择适宜的修复模式，例如对于水质污染较重的水体，可通过构建人工湿地、底泥修复等方式提升水质；对于生态破碎的河段，可采用水生植物种植、鱼类增殖放流等手段，恢复生物多样性，同时幸福河湖应结合季节变化，动态调整修复策略，确保生态系统的稳定，通过全面开展生态修复，不仅能够有效改善水环境质量，也为实现“水清、岸绿、生态美、民共享”的幸福河湖建设目标奠定坚实基础<sup>[14]</sup>。

### （二）实施综合治理

长期以来，河湖治理往往存在单一化、碎片化的问题，容易导致治理效果短期化、局部化，难以实现水生态系统的长期健康运行，综合治理则主张以流域为单元，统筹上下游、左右岸、干支流的治理关系，协同推进水污染防治、水资源保护、水生态修复等多项任务，构建系统完善的幸福河湖治理框架<sup>[15]</sup>。在具体实施中，综合治理需强化部门联动、政策协同机制，打破“水利、环保、农业、住建、自规、执法”等各自为“阵”的管理壁垒，实现信息共享与行动统一，同时幸福河湖应注重源头治理与末端治理的结合，通过推进雨污分流、工业排放控制、农业面源污染

治理等手段，减少入河污染负荷，提高水质安全水平。在空间布局上，幸福河湖要推动水岸统筹发展，优化滨水空间利用，建设亲水、宜居、生态的河湖环境，综合治理还应加强智慧水务建设，运用物联网、大数据等现代技术手段对河湖动态进行监测预警，提升治理的科学化、精细化水平，通过实施综合治理，不仅可以全面提升河湖生态系统功能，也能增强居民对幸福河湖的获得感，真正实现生态与民生的双重提升。

### （三）强化水质保护

随着城镇化发展，许多河湖面临工业污染、农业面源污染、生活污水直排等多重压力，水质问题日益突出，直接影响生态功能，幸福河湖建设要从源头减排、过程控制、末端治理三个方面同步推进水质保护工作，建立科学、高效的水环境管理体系，政府应加强对排污口、入河支流和重点区域的污染监控，全面掌握污染来源、浓度、变化趋势，精准施策、分类治理<sup>[9]</sup>。在实际治理过程中，强化水质保护需落实“控源—截污—治水—保水”全链条治理机制，政府要加强污水处理能力，推进雨污分流、生活污水接管，防止污水直排入河；政府要推进工业企业达标排放监管，对违法排污行为实行“零容忍”；针对农村地区，政府要大力整治农业面源污染，推广生态农业、减少农药化肥施用，建设生态沟渠；政府应推动生态护岸、水生植物修复等“以绿净水”措施，提升水体自净能力；政府可以强化公众参与，通过宣传教育提升居民环保意识，营造全民参与水质保护的良好氛围，通过系统性的水质保护行动，能够有效改善河湖水环境质量，为实现河畅、水清、岸绿、景美的幸福河湖目标提供坚实支撑。

### （四）优化水资源配置

优良的水质不仅是生态健康的体现，更直接关系到人民群众的饮水安全、休闲娱乐，然而现实中许多河湖仍面临工业废水排放、农业面源污染、生活污水直排等问题，水质恶化现象较为突出，严重制约了生态系统功能的恢复，为此必须将水质保护贯穿于幸福河湖建设的全过程，形成从污染源头控制到全过程治理的系统化思维，强化水质保护不仅需要加强对水环境的监管，还要从制度建设、工程治理、生态修复等多方面同步发力，确保水体稳定达到国家标准，实现河湖功能的全面提升<sup>[10]</sup>。在具体实践中，强化水质保护应坚持“控源减排、生态修复、长效管理”三位一体的治理策略，政府要加大对污染源的排查整治力度，全面整治工业企业违法排污、加强城镇污水收集处理系统建设，提升污水处理能力，实现雨污分流；针对农村地区要加强农业面源污

染防控，推广有机农业、建设生态沟渠与湿地缓冲带，减少化肥农药随雨水入河。政府应大力推进生态修复工程，恢复水生植物群落，构建多样化生物栖息地，提升水体的自然净化功能，政府还应加强水质在线监测体系建设，利用大数据等技术手段对水质进行动态感知，做到科学管控、精准治理。

### （五）建设绿色廊道

高品质碧道是基于生态修复的幸福河湖建设中的重要对策之一，它不仅是连接水体、陆地生态系统的关键纽带，也是实现生态保护、景观美化、人水互动的重要空间载体，绿色廊道通过在河岸边线及其周边区域种植本地植物、构建生态缓冲带、恢复自然岸线形态等方式，能够有效提升河湖生态系统的稳定性，同时还具有净化水质、调节气候、减少面源污染等生态功能。在城市与乡村水体治理中，绿色廊道不仅改善了沿岸环境景观，更为居民提供了亲水休闲空间，增强了公众对生态环境保护的认同感，为实现人水和谐、生态宜居的幸福目标提供了有力支撑。在实践推进中，绿色廊道的建设应遵循因地制宜的原则，充分结合自然地貌、水文特征、土地利用现状，科学规划廊道宽度、植被类型、功能分区，绿色廊道应优先使用本地乡土植物，构建多层次、多功能的复合植被系统，形成乔、灌、草相结合的立体绿化结构，以增强生态系统的稳定性，同时绿色廊道应融合文化，设置生态步道、亲水平台、科普标识等设施，使绿色廊道兼具生态价值，此外绿色廊道还需重视与周边生态网络的衔接，实现与城市绿道、湿地公园、林地等生态节点的有机连接，打造“水绿交融、动静结合”的生态走廊网络，通过系统建设绿色廊道，不仅能提升河湖生态修复成效，也能实现生态、生活与文化的多维融合，真正助力打造宜居宜游、生态健康的幸福河湖新格局。

## 四、结语

基于生态修复的幸福河湖建设，是推动生态文明建设、实现人与自然和谐共生的重要路径，通过坚持生态优先、系统治理、因地制宜等基本原则，落实生态修复、水质保护、绿色廊道建设等多项对策，不仅有助于恢复河湖自然生态功能，提升水环境质量，也进一步满足了人民群众对美好生活的期盼，政府应持续深化治理理念，完善长效机制，推动生态与人文、经济深度融合，让人水和谐画卷在大江南北全面铺展。

## 参考文献

- [1] 人民智库课题组，贾晓芬，张青青. 商丘市商丘古城国家水利风景区“历史文化+幸福河湖”让古城焕发新生机[J]. 国家治理，2020(37):7.
- [2] 丁源，姜翠玲. 基于幸福河湖目标的城市河道生态修复技术研究[J]. 水利规划与设计，2023(2):40-45.
- [3] 束德方，李运昌，张圣文，等. 连云港市石梁河水库幸福河湖建设的实践与思考[J]. 江苏水利，2023(12):23-26.
- [4] 位铁强. 全面落实河湖保护和治理条例奋力开创新时代河湖保护治理新局面[J]. 河北水利，2020(3):2.
- [5] 葛呈花. 巩固落实河湖长制稳步提升生态环境[J]. 江苏农村经济，2022(5):54-55.
- [6] 王文生. 坚持节水优先建设幸福海河全力推进海河流域水生态文明建设[J]. 海河水利，2020(2):2.
- [7] 戴仁清，赵蓓. 连云港市大村水库幸福河湖建设研究分析[J]. 中国水运（下半月），2023，23(11):88-89.
- [8] 刘冬顺. 加快复苏河湖生态环境全面提升淮河流域河湖生态保护治理能力[J]. 水利发展研究，2023，23(9):29-33.
- [9] 赵进勇，张晨希翻译，周佳怡翻译，等. 流域水生态保护与修复的多维视角与差异化策略[J]. 景观设计学，2021，9(3):4.
- [10] 李娟. 谈东平县美丽幸福示范河湖建设情况[J]. 山东水利，2023(7):57-58.



# 新技术应用示范工程对推广钢结构技术创新的作用分析

周瑜

中国建筑金属结构协会，北京 100037

DOI:10.61369/ME.2024100012

**摘 要：** 随着建筑行业的不断发展，钢结构以其独特的优势在建筑领域的应用日益广泛，而技术创新是推动钢结构行业持续进步的核心动力。新技术应用示范工程作为展示和推广新技术的重要载体，在钢结构技术创新的推广过程中发挥着关键作用。本文以建筑业十项新技术为背景，深入分析新技术应用示范工程对推广钢结构技术创新的作用，探讨其在验证技术可行性、积累实践经验、营造创新氛围等方面的具体表现，并结合实际案例进行阐述，最后提出充分发挥示范工程作用的对策建议，旨在为钢结构技术创新的有效推广提供参考。

**关 键 词：** 新技术应用示范工程；钢结构；技术创新；建筑业十项新技术；推广作用

## Analysis of the Role of New Technology Application Demonstration Projects in Promoting Technological Innovation in Steel Structures

Zhou Yu

China Construction Metal Structure Association, Beijing 100037

**Abstract：** With the continuous development of the construction industry, steel structures are increasingly widely used in the construction field due to their unique advantages, and technological innovation is the core driving force for the continuous progress of the steel structure industry. As an important carrier for showcasing and promoting new technologies, the demonstration project of new technology application plays a key role in the promotion process of technological innovation in steel structures. This article takes the ten new technologies in the construction industry as the background, deeply analyzes the role of new technology application demonstration projects in promoting technological innovation in steel structures, discusses their specific performances in verifying technical feasibility, accumulating practical experience, and creating an innovative atmosphere, and elaborates on them in combination with actual cases. Finally, it puts forward countermeasures and suggestions for giving full play to the role of demonstration projects. It aims to provide a reference for the effective promotion of technological innovation in steel structures.

**Keywords：** demonstration project of new technology application; steel structure; technological innovation; ten new technologies in the construction industry; promotional effect

## 引言

钢结构具有强度高、自重轻、施工周期短、绿色环保等显著优势，在高层建筑、大跨度桥梁、体育场馆、工业建筑等各类工程中得到了广泛应用。建筑业十项新技术是我国建筑行业技术发展的重要指引，涵盖了地基基础和地下空间工程技术、混凝土技术、钢结构技术、装配式建筑技术等多个领域，其中钢结构技术作为重要组成部分，其创新与应用对于推动建筑行业转型升级具有重要意义。

在当前建筑行业转型升级的背景下，钢结构技术创新的重要性愈发凸显，新型钢材、先进设计方法、智能化施工技术 etc 不断涌现。然而，由于新技术存在一定的不确定性和应用风险，其在行业内的推广往往面临诸多困难。新技术应用示范工程通过率先应用钢结构新技术，将理论成果转化为实际工程实践，为新技术的推广提供了直观的范例和有力的支撑。研究新技术应用示范工程在建筑业十项新技术背景下对推广钢结构技术创新的作用，对于加快钢结构技术成果转化、推动行业技术进步具有重要的现实意义。

## 一、钢结构技术创新的现状与推广难点

### （一）钢结构技术创新现状

近年来，我国钢结构技术创新取得了显著成果，且与建筑业

十项新技术的发展紧密契合。在材料方面，高强度钢材、耐候钢、耐火钢等新型钢材的研发与应用不断推进，符合建筑业十项新技术中对高性能材料应用的要求，提升了钢结构的性能和适用范围；在设计方面，基于 BIM 技术的参数化设计、数字化仿真分

析等先进设计方法得到广泛应用，与建筑业十项新技术中的信息化技术相呼应，提高了设计的精度和效率；在施工方面，模块化施工、智能化安装、焊接机器人等新技术的应用，加快了施工进度，保障了施工质量，契合了建筑业十项新技术中关于绿色施工和智能建造的理念；在运维方面，结构健康监测技术的发展，实现了对钢结构建筑全生命周期的安全监控，符合建筑业十项新技术中对建筑全生命周期管理的要求。

## （二）钢结构技术创新推广难点

尽管钢结构技术创新成果丰硕，且与建筑业十项新技术的方向一致，但在推广过程中仍面临不少难点。一是新技术应用存在风险，企业出于成本和效益的考虑，对新技术的采用持谨慎态度，担心新技术不成熟导致工程质量问题或增加成本，尤其对于建筑业十项新技术中一些前沿的钢结构技术，企业的顾虑更为明显；二是新技术的推广缺乏有效的示范引导，很多企业对其技术的优势和应用方法了解不足，难以判断其适用性，对于建筑业十项新技术中涉及的复杂钢结构技术，企业更需要实际案例的示范；三是技术标准和规范滞后于技术创新的发展，部分新技术缺乏相应的标准支持，影响了其在工程中的广泛应用，建筑业十项新技术的更新迭代也对标准规范的完善提出了更高要求；四是产业链协同不足，设计、生产、施工等环节之间缺乏有效的沟通与合作，导致新技术难以在整个产业链中顺畅推广，而建筑业十项新技术的综合应用更需要产业链各环节的紧密配合。

# 二、新技术应用示范工程对推广钢结构技术创新的作用

## （一）实践验证，展示技术可行性

新技术应用示范工程的首要作用是对钢结构新技术进行实践验证，展示其在实际工程中的可行性和有效性，这与建筑业十项新技术的推广应用需求相契合。在示范工程中，新技术会经历从设计、生产到施工、运维的全流程应用，能够充分暴露技术应用过程中存在的问题，并通过实践不断优化和完善。

以国家体育场（鸟巢）项目为例，该项目是我国大型钢结构建筑的典范，应用了多项钢结构新技术，其中不少技术属于建筑业十项新技术的范畴。大跨度门式刚架与桁架组合结构体系的应用是一项重要创新，在当时缺乏大规模应用经验的情况下，通过示范工程的实践，验证了该结构体系在承受大跨度荷载、抗震性能等方面的可靠性。示范工程的成功建设，向行业展示了该新技术的可行性，为其在后续类似工程中的推广应用奠定了坚实基础，也推动了建筑业十项新技术中相关钢结构技术的落地。

## （二）经验积累，提供推广借鉴

示范工程在应用新技术的过程中，会积累大量的实践经验，包括设计方案、施工工艺、质量控制、安全管理等方面的经验，这些经验对于推广建筑业十项新技术中的钢结构技术具有重要借鉴意义。这些经验经过总结和提炼，可以形成一套完整的技术标准、工法和指南，为其他企业推广应用该新技术提供直接的借鉴。

例如，上海中心大厦的钢结构工程应用了巨型框架－核心筒－伸臂桁架结构体系以及高性能钢材等新技术，这些技术与建筑业十项新技术中关于超高层建筑和高性能材料应用的技术要求相匹配。在工程建设过程中，施工单位积累了丰富的超高层钢材焊接工艺、巨型构件吊装等方面的经验。这些经验被整理成《超高层建筑钢结构施工技术规程》等标准文件，为国内其他超高层建筑钢结构工程推广应用相关新技术提供了重要的技术参考，有效降低了其他企业应用新技术的探索成本，也促进了建筑业十项新技术在超高层建筑领域的推广。

## （三）宣传推广，营造创新氛围

新技术应用示范工程具有较强的示范效应和社会影响力，能够通过媒体报道、行业交流、参观考察等多种形式，广泛宣传钢结构新技术的优势和应用成果，提高行业对新技术的认知度和认可度，营造崇尚创新、勇于应用新技术的良好氛围，这对于推动建筑业十项新技术的普及具有重要作用。

北京大兴国际机场航站楼核心区采用了世界首创的“钢网格筒＋中央支撑筒”复合结构体系，由8组C型钢柱与双层交叉网格组成，实现180米超大跨度无柱空间。工程创新应用了Q420GJC高性能钢材和Q355NH耐候钢，并采用GFRP复合材料节点，显著提升了结构性能和施工效率，通过技术创新形成了《大跨度机场航站楼钢结构施工技术规程》等行业标准，为建筑业十项新技术的推广应用提供了典型案例。其中多项技术该工程通过举办技术交流会、开放施工现场供行业参观等方式，向国内外同行展示了我国在超高层钢结构领域的技术创新成果。这种广泛的宣传推广，不仅提升了我国钢结构技术的国际影响力，也激发了行业内企业的创新热情，促使更多企业积极投入到钢结构新技术的研发和应用中，加速了建筑业十项新技术的推广进程。

## （四）标准引领，推动规范完善

新技术的推广应用离不开标准规范的支撑，而新技术应用示范工程可以为标准规范的制定和完善提供实践依据，这与建筑业十项新技术对标准规范的更新需求相适应。在示范工程中，新技术的应用会对现有的标准规范提出挑战和需求，通过对示范工程实践数据的分析和总结，可以推动相关标准规范的修订和完善，使其更适应新技术的发展和应用。

以钢结构住宅示范工程为例，近年来，我国大力推广钢结构住宅，各地建设了一批钢结构住宅新技术应用示范工程，这些工程应用的技术与建筑业十项新技术中关于装配式建筑和钢结构技术的内容紧密相关。在这些示范工程中，新型钢结构住宅体系、配套墙体材料、节点连接技术等得到了应用。通过对示范工程的研究，行业内制定和完善了《钢结构住宅设计标准》、《钢结构住宅评价标准》等一系列标准规范，为钢结构住宅技术的规模化推广提供了重要的标准引领作用，也为建筑业十项新技术中相关标准的完善提供了实践基础。

## （五）协同创新，促进产业升级

新技术应用示范工程往往需要设计单位、科研机构、生产企业、施工单位等多方主体的协同合作，这种协同合作模式能够促进产业链上下游的资源整合和技术融合，推动钢结构产业的协同



创新,进而实现产业升级,这与建筑业十项新技术所倡导的产业协同发展理念相契合。

在港珠澳大桥的钢结构工程建设中,涉及到巨型钢箱梁制造、吊装等多项关键技术,这些技术涵盖了建筑业十项新技术中的多个领域。为了完成这些技术创新,科研单位、设计单位、施工单位和钢材生产企业紧密合作,共同开展技术攻关。通过示范工程的协同创新,不仅成功突破了多项技术瓶颈,还形成了一套完整的钢结构桥梁建设技术体系,推动了我国钢结构桥梁产业的技术升级,提升了我国在该领域的国际竞争力,也为建筑业十项新技术在大型工程中的综合应用提供了宝贵经验。

### 三、充分发挥新技术应用示范工程作用的对策建议

#### (一) 加强政府引导与支持

政府应加大对钢结构新技术应用示范工程的引导和支持力度,结合建筑业十项新技术的推广规划,制定针对性政策。一方面,通过设立专项基金,对示范工程给予资金补贴,重点支持与建筑业十项新技术相关的钢结构技术示范项目,降低企业参与示范工程的成本;另一方面,加强政策引导,制定鼓励示范工程建设和新技术推广的优惠政策,如税收减免、优先审批等,激发企业参与示范工程的积极性。同时,政府应加强对示范工程的管理和监督,确保示范工程的质量和效果,使其能够真正起到推广建筑业十项新技术中钢结构技术的作用。

#### (二) 完善示范工程管理机制

建立健全示范工程的申报、评审、验收和推广机制,确保示范工程的科学性和权威性,与建筑业十项新技术的技术要求和发展方向相匹配。在申报环节,明确示范工程的申报条件和要求,鼓励具有创新性和代表性且符合建筑业十项新技术发展方向的项目申报;在评审环节,组建由行业专家组成的评审团队,对申报项目的技术创新性、可行性、示范价值等进行严格评审,重点关注项目与建筑业十项新技术的契合度;在验收环节,制定详细的验收标准,对示范工程的技术应用效果进行全面评估,评估指标应体现建筑业十项新技术的应用成效;在推广环节,建立示范工程成果共享平台,及时发布示范工程的经验和成果,促进技术推广,特别是与建筑业十项新技术相关的技术成果。

#### (三) 强化成果转化与推广

加强示范工程技术成果的转化和推广工作,建立“示范工程-技术标准-产业应用”的良性循环机制,紧密结合建筑业十项新技术的标准体系。对示范工程中形成的先进技术和经验,及时组织编制技术标准、工法、指南等,加快技术成果的标准化进程,使其与建筑业十项新技术的标准相协调。同时,通过举办技术培训班、研讨会、现场观摩会等形式,加强对示范工程成果的宣传和推广,提高企业应用新技术的能力和水平,尤其是应用建筑业十项新技术中钢结构技术的能力。鼓励企业与科研机构、高校合作,开展技术成果的产业化研究,推动新技术向实际生产力转化,促进建筑业十项新技术的落地应用。

#### (四) 促进产业链协同合作

搭建产业链协同合作平台,促进设计、生产、施工、科研等各方主体的交流与合作,以适应建筑业十项新技术对产业链协同的要求。鼓励示范工程牵头单位组织产业链上下游企业共同参与项目建设,共同推动建筑业十项新技术中钢结构技术的创新与应用。通过协同合作,实现资源共享、技术互补,提高技术创新和推广的效率。同时,加强行业协会的桥梁纽带作用,组织开展行业交流活动,促进产业链各方的信息沟通和合作对接,推动钢结构产业与建筑业十项新技术的深度融合。

### 四、结论

在建筑业十项新技术的背景下,新技术应用示范工程在推广钢结构技术创新中具有不可替代的作用,它能够通过实践验证展示技术可行性、积累经验提供推广借鉴、宣传推广营造创新氛围、标准引领推动规范完善以及协同创新促进产业升级。有利于提高建筑业企业的核心竞争力和技术创新能力,为企业的品牌建设奠定了坚实的基础。新时代牢固树立和自觉践行新发展理念,全面提高工程质量安全水平,推动建筑业技术进步任务更加繁重,示范工程的引领促进作用将更加凸显。

随着我国钢结构行业的不断发展和建筑业十项新技术的持续推进,相信通过新技术应用示范工程的引领和带动,更多的钢结构新技术将得到广泛推广和应用,推动我国钢结构行业实现高质量发展,提升我国在国际钢结构领域的竞争力。

### 参考文献

- [1]住房和城乡建设部.建筑业十项新技术(2017).
- [2]北京市建筑设计研究院.国家体育场(鸟巢)钢结构设计与施工技术报告[R].2008.
- [3]范重,等.国家体育场大跨度钢结构设计关键技术[J].建筑结构学报,2007,28(2):1-13.
- [4]中建集团.国家体育场工程创新技术应用总结[M].中国建筑工业出版社,2009.
- [5]上海建工集团.上海中心大厦工程创新技术集成[M].上海科学技术出版社,2016.
- [6]GB/T51333-2018《高层建筑钢结构技术规程》[S].2018.
- [7]北京市建筑设计研究院.北京大兴国际机场航站楼结构设计创新[M].中国建筑工业出版社,2019.
- [8]中建钢构.Q420GJC钢材在大兴机场项目中的焊接工艺评定报告[R].2018.

# 智慧化管理在水利工程安全生产中的应用研究

曹旭逞

泰顺县水利局, 浙江 温州 325500

DOI:10.61369/ME.2024100013

**摘 要：** 本文围绕智慧化管理在水利工程安全生产中的应用展开研究，提出智慧化管理的重要意义，包括提升风险预警能力、优化资源调度效率等方面，而在对策建议部分，重点阐述了推行风险分级管理、加强大数据分析应用等策略，旨在通过技术与管理的深度融合，构建科学高效的安全生产体系，因此信息化、智能化技术在风险防控、应急响应、资源优化等环节的关键作用，为水利工程安全生产的数字化转型提供了可行的路径参考，对推动行业管理模式升级具有重要的借鉴意义。

**关 键 词：** 智慧化管理；水利工程；安全生产

## Research on the Application of Intelligent Management in the Safe Production of Water Conservancy Projects

Cao Xucheng

Taishun County Water Conservancy Bureau, Wenzhou, Zhejiang 325500

**Abstract：** This article conducts research on the application of intelligent management in the safe production of water conservancy projects, and puts forward the significant meaning of intelligent management, including enhancing risk early warning capabilities and optimizing resource scheduling efficiency. In the section on countermeasures and suggestions, it focuses on elaborating strategies such as implementing risk classification management and strengthening the application of big data analysis, aiming to achieve the deep integration of technology and management. Building a scientific and efficient safety production system, the key role of information technology and intelligent technology in risk prevention and control, emergency response, resource optimization and other links provides a feasible path reference for the digital transformation of safety production in water conservancy projects, and has important reference significance for promoting the upgrading of industry management models.

**Keywords：** intelligent management; water conservancy projects; work safety

近年来，随着我国水利基础设施建设的不断推进，水利工程的规模和复杂程度显著提升，安全生产面临的风险因素日益多样化，传统的安全管理模式多依赖人工巡检、经验判断，存在信息滞后、反应不及时等问题，难以满足现代化水利工程对高效、安全的需求。在人工智能技术快速发展的背景下，智慧化管理理念逐步引入水利工程安全生产领域，通过物联网、云计算等技术，实现对工程运行状态的实时监测、风险预测、智能决策支持，不仅提升了安全管理的科学性，也为构建全天候、全方位、全流程的安全管理体系提供了坚实的技术保障，成为推动水利工程安全生产现代化转型的重要驱动力。

### 一、水利工程安全生产的概念

水利工程安全生产是指在水利工程的规划、设计、施工、运行及维护全过程中，遵循国家安全法律法规、技术规范，采取系统化的风险防控措施，确保人员安全、工程安全的综合性管理活动，其核心目标是预防可能导致人员伤亡、工程破坏、环境污染的事故，保障工程长期稳定运行。水利工程安全生产不仅涵盖施工期的安全防护，还包括运行期的设备维护、结构检测等环节，需要多部门协作与技术支持，它强调“预防为主、防控结合”，通过制度建设、技术应用、人员培训，形成全员、全过程、全方

位的安全管理体系，是水利事业可持续发展的重要基础<sup>[1]</sup>。

### 二、智慧化管理在水利工程安全生产中应用的重要意义

#### （一）提升风险预警能力

智慧化管理通过物联网传感器、视频监控等技术，将水利工程的运行数据实时采集并传输至监控平台，实现对水文、水位等关键参数的连续监控，系统利用大数据分析，对采集到的多维度信息进行综合研判，一旦发现数据波动超出安全阈值，即可自动

触发预警，提示管理人员采取措施，这大幅缩短了从隐患产生到发现的时间，避免了传统人工巡查中因周期长、覆盖面有限而导致的风险遗漏，为及时排查安全隐患提供了技术保障，显著提升了工程安全防控的前瞻性<sup>[2]</sup>。智慧化管理平台能够基于历史运行数据、气象预报，利用人工智能算法建立风险预测模型，对潜在的洪水、渗漏等安全问题进行趋势分析，通过模拟不同工况，系统可提前给出风险等级、可能影响范围，为管理人员提供科学决策依据，这不仅能采取针对性防范措施，还能优化资源调配，避免因决策迟缓造成的损失，从而使水利工程安全生产管理由“事后应对”转变为“事前预防”，全面提升风险预警能力的效能。

## （二）优化资源调度效率

智慧化管理依托大数据与云计算平台，将水利工程运行数据、物资库存信息等信息进行集中整合分析，系统可根据实时风险等级、任务优先级自动匹配所需的资源类型，实现资源的精准配置，例如在某段大坝出现结构异常时，系统可快速调配附近的检修人员、专用设备及应急物资，确保在最短时间到位处理，这打破了传统依赖人工判断的模式，显著减少了信息滞后与资源浪费，不仅提升了应急处置的速度，也提高了日常运维的工作效率。在水利工程安全生产中，资源调度往往涉及防汛、施工、设备维护等部门，智慧化管理平台通过建立统一的数据接口，实现各部门间资源与任务的实时互通，当出现突发事件时，平台可根据既定的调度规则，将任务、人员及设备同步派发至相关部门，并实时跟踪执行进度，这使信息传递更加高效透明，减少了重复调配，显著提升了应急响应速度，同时通过智能化的任务优先级排序，确保有限资源在关键时刻得到最合理利用，最大化保障工程安全运行。

## （三）实现全周期监控

智慧化管理通过构建贯穿水利工程规划、设计、施工、运行、维护直至退役阶段的全周期监控体系，实现从源头到末端的全过程安全管理，在前期规划设计阶段，利用BIM等技术建立工程虚拟模型，对设计方案进行安全评估；施工阶段，通过传感器、视频监控系统实时监控作业环境，及时发现违规操作；在运行阶段，依托物联网监测网络分析，实现水文、结构及设备的全天候监测；在改造阶段，通过历史运行数据监测结果，为风险评估提供决策依据，这有助于在工程全寿命周期内持续保障安全生产<sup>[3]</sup>。全周期监控不仅是实时监测，更注重信息的记录，智慧化管理平台可将工程各阶段的监控数据、检测报告等信息按时间顺序自动归档，形成动态更新的安全生产数据库，这一数据库能够为不同阶段的安全分析、事故调查提供详实的依据，实现安全管理的可追溯性，例如在某段闸门出现运行故障时，管理人员可迅速调取该部位从建设到运行的完整监控记录，分析问题成因，制定针对性解决方案，同时这种可追溯机制还能制定更科学的维护计划提供数据支持，从而在全生命周期内持续提升安全生产管理水平。

## （四）增强应急处置能力

智慧化管理通过构建集成化的应急指挥平台，将实时监测数据、风险预警信息与应急资源调度系统有机结合，一旦发生突发

事件，如大坝渗漏、洪水暴发，平台能够立即启动应急响应流程，系统根据事件性质、影响范围，自动匹配最优处置方案，并将任务指令同步发送至相关部门，同时借助GIS地图定位功能，可在最短时间内调配就近的救援力量到达事发地点，这大幅缩短了从险情发现到处置落实的时间，有效减少事故损失，并提升应急处置的科学性<sup>[4]</sup>。在水利工程安全生产应急处置中，往往需要防汛、工程、交通等多个部门协同配合，智慧化管理平台通过建立统一的指挥调度系统，实现跨部门的信息共享，确保各方在同一平台上获取一致的灾情信息，指挥中心可实时掌握各应急小组的行动进展，并根据现场反馈调整部署，同时系统内置的灾情模拟，可在平时帮助各部门熟悉流程，提高实战中的反应速度，这不仅提升了现场处置能力，还显著增强了决策的科学性，确保迅速恢复工程的安全稳定<sup>[5]</sup>。

# 三、智慧化管理在水利工程安全生产中应用的对策建议

## （一）推行风险分级管理

在水利工程安全生产智慧化管理中，推行风险分级管理应建立基于多源数据的风险评估模型，将工程结构健康监测数据、水文气象信息、施工与运行过程记录等进行集成分析，形成风险识别的动态数据库，通过引入物联网传感器、无人机巡检、视频监控等手段，持续采集关键部位的运行状态信息，确保风险数据的实时更新<sup>[6]</sup>。针对不同类型的风险，制定科学的分级标准，将风险按照发生概率、影响范围、潜在危害程度等指标划分为不同等级，并在智慧管理平台内设定自动识别，实现对风险的快速分级归档，同时将分级管理标准与国家安全技术规范对接，确保分级依据的统一性。在实施过程中，水利工程应构建与风险等级相匹配的分级管控措施库，并将其嵌入智慧化管理系统，实现“风险分级一措施匹配一任务派发”的闭环管理模式，对于高等级风险，平台应自动生成应急预案，启动跨部门联动机制；对于中低等级风险，系统可推送日常巡检任务，确保在源头阶段进行控制，通过建立基于分级的资源调配规则，明确不同等级风险所需的人员、设备及物资优先级，借助平台实现精准化调度，同时完善分级管理的动态调整机制，根据工程运行情况、环境变化、历史事件分析结果，实时修订风险等级，通过智慧化平台的数据分析功能，对分级管理的执行情况进行周期性复盘，确保风险分级体系持续适应工程运行的实际需要<sup>[7]</sup>。

## （二）加强大数据分析应用

在智慧化管理中加强大数据分析应用，水利工程应构建统一的大数据平台，将水利工程的监测数据、施工与运维记录等多源数据进行标准化采集、清洗与存储，形成结构化与非结构化数据并行的综合数据库，水利工程可以制定统一的数据接入标准，确保不同监测系统之间的数据互联互通<sup>[8]</sup>。通过引入分布式存储与高性能计算架构，满足海量数据的实时处理需求，在数据采集环节可以引入边缘计算技术，对关键节点的数据进行就地预处理，减少传输延迟，提高分析效率，同时建立数据质量管理制度，对



采集频率、精度、完整性进行动态检测，确保数据的准确性，为后续分析奠定坚实基础。在分析应用层面，水利工程应引入机器学习、深度学习等先进算法，对水利工程运行规律、风险演化趋势进行多维度建模，针对历史数据，开发可视化分析工具，实现对水情、工情等的关联分析，通过建立针对不同场景的分析模型库，例如洪水预警模型等，并在智慧化管理平台中实现模块化调用，水利工程可以推动数据分析结果与管理业务的深度融合，将分析结论自动转化为调度指令、巡检任务建议，因此水利工程可以定期组织数据分析模型的优化迭代，结合新采集的数据进行训练更新，不断提升分析精度<sup>[9]</sup>。

### （三）引入 AI 辅助决策

在智慧化管理中引入 AI 辅助决策，水利工程可以建立基于水利工程全生命周期数据的人工智能模型训练体系，将规划设计、施工建设等阶段的历史数据进行系统整合，形成多维度的训练样本库，通过引入深度学习、强化学习等技术，对工程结构健康监测、水文水情变化、设备运行参数及环境气象信息进行特征提取，构建适应不同场景的智能决策模型。针对日常运维、风险预警、应急调度等不同业务需求，开发相应的算法模块，实现 AI 对不同数据类型的自动分析，而在系统部署层面，将 AI 算法嵌入智慧化管理平台，实现与物联网监测系统、GIS 地理信息系统、大数据分析平台的无缝对接，确保 AI 决策建议能够在管理工作中被即时调用。在业务应用环节，工程师应针对水利工程安全生产的关键决策点，构建多层次的 AI 辅助决策方案，例如在风险预警方面，通过 AI 对多源数据进行综合分析，自动判定风险等级，生成防控策略建议；在应急调度方面，水利工程可以利用 AI 进行路径优化，给出最佳的人员与设备调配方案；在运维管理方面，基于 AI 的预测性维护模型可提前生成检修计划。为确保 AI 辅助决策的可持续优化，水利工程应建立决策结果的反馈，将执行效果、现场反馈数据回流至 AI 模型，持续改进算法的准确性。同时，水利工程可以设置多级人工干预接口，允许管理人员在 AI 给出的建议基础上进行调整优化，确保系统在不同运行条件下的灵活性<sup>[10]</sup>。

### （四）建立应急联动机制

在智慧化管理中建立应急联动机制，水利工程应构建统一的

应急指挥与协调平台，将防汛、防洪、施工安全等多领域的应急资源，实现跨部门、跨区域、跨层级的协同管理，水利工程应在平台中嵌入实时监测系统、风险预警系统与应急预案库，确保在险情或异常情况发生时，能够自动触发相应的应急预案并生成任务分配清单。制定统一的应急信息编码与传输标准，保证各参与单位在信息接收与处置上的一致性与准确性。引入 GIS 地理信息系统与视频会商系统，使指挥中心能够在第一时间掌握现场位置、风险范围及相关资源分布情况，从而快速启动应急响应流程。同时，应建立覆盖重点工程、关键岗位与核心设备的通讯网络，确保应急信息能够在任何情况下稳定传输。在运行管理层面，水利工程应根据水利工程的不同风险类型，建立分级、分领域的应急联动方案，并将其固化到智慧化平台的自动化调度模块中，高等级风险应启动多部门联合响应机制，包括防汛指挥、工程管理等多方力量的同步介入；中低等级风险则由相应责任部门独立处置，并在平台进行全过程记录；水利工程应制定应急资源共享，明确各单位在人员、设备、物资等方面的支援优先级；水利工程可以引入智能调度算法，根据实时道路状况、资源位置与任务紧急程度优化响应路径，在日常管理中，定期通过智慧化平台组织多场景应急演练，涵盖信息传递、任务分派、资源调配等环节，确保各参与方熟悉流程、精准执行，并在演练后结合数据分析结果修订应急联动方案，形成动态优化的应急协作体系。

## 四、结语

智慧化管理在水利工程安全生产中的应用，体现了现代信息技术与传统工程管理的深度融合，通过物联网、大数据、人工智能等手段，构建了覆盖全生命周期、全方位的安全管理体系，在这一过程中，风险分级管理、大数据分析、AI 辅助决策等策略相辅相成，实现了从风险识别、预警预测到应急处置的高效衔接与闭环运行，通过不断优化技术平台、完善管理机制不仅为水利工程安全生产提供了更加科学的技术支撑，也为今后水利行业的管理模式创新奠定了坚实基础。

## 参考文献

- [1] 李长锐. 基于智慧工地的施工安全管理技术及实践应用分析 [J]. 电子乐园, 2023(1): 0214-0216.
- [2] 徐驰, 薛颖迪, 王全, 等. 智慧工地在安全隐患排查和人员动态管理中的应用 [J]. 建筑安全, 2023, 38(4): 64-66.
- [3] 方湘萍. 互联网 + 云平台在施工安全管理的应用 [J]. 建筑安全, 2023, 38(12): 81-84.
- [4] 李文源, 郭文高, 高琰. 智慧化工园区建设的研究 [J]. 通信与信息技术, 2023(3): 79-82.
- [5] 杨锐, 刘禹杉, 刘艳华. 丽江市智慧水利工程建设现状分析与对策 [J]. 水利建设与管理, 2023, 43(S01): 10-14.
- [6] 张钰森. 水利工程智慧化管理系统设计探究 [J]. 户外装备, 2023: 149-150.
- [7] 任晓宇, 梁双龙, 董泽斌. 智慧化技术在水利工程中的应用 [J]. 电子技术, 2023(2): 248-249.
- [8] 胡汛训, 胡婷婷. 智慧水利在工程风险管理中的应用探析 [J]. 水电与新能源, 2023, 37(8): 38-41.
- [9] 田根生. 水利工程智慧化运行方法分析 [J]. 工程技术研究, 2023, 8(15): 189-191.
- [10] 白成伟, 尹艳丽. 基于 " 互联网 + 智慧水利 " 的水利工程施工现场管理分析 [J]. 科技创新与应用, 2023, 13(11): 193-196.

