

科海故事博览

KEHAI GUSHI BOLAN

(旬刊·1993 年创刊)

2025 年 4 月 第 12 期 (总第 601 期)

主管：云南省科学技术协会

主办：云南奥秘画报社有限公司

编辑委员会：(按姓氏笔画为序)

马成勋 卢 骏 刘 杨 李 鹏

杨 璐 张 乐 陈贵楚 陈 洋

莫德姣 夏文龙 韩梦泽 蔡 鹏

社长、总编：万江心

社长助理：秦 强

编辑部主任：张琳玲

编辑：周 翌 官慧琪 吴彩云

美术编辑：王 敏

运营：李瑞鹏

外联：张娅玲

出版：云南奥秘画报社有限公司

地址：云南省昆明市护国路 26 号

邮编：650021

编辑部电话：0871-64113353 64102865

电子邮箱：khgsblzz@163.com

网址：http://www.khbl.net

国际标准连续出版物号：ISSN 2097-3365

国内统一连续出版物号：CN 53-1103/N

广告经营许可证：5300004000063

运营总代理：云南华泽文化传播有限公司

印刷单位：昆明滇印彩印有限责任公司

邮政发行：中国邮政集团有限公司云南省分公司

邮发代号：64-72

出版日期：2025 年 4 月 25 日

定价：人民币 15 元

版权声明：

稿件凡经本刊采用，如作者无版权特殊声明，即视作该文署名作者同意将该文章著作权中的汇编权、印刷版和电子版（包括光盘版和网络版等）的复制权、发行权、翻译权、信息网络传播权的专有使用权授予《科海故事博览》编辑部，同时授权《科海故事博览》编辑部独家代理许可第三方使用上述权利。未经本刊许可，任何单位或个人不得再授权他人以任何形式汇编、转载、出版该文章的任何部分。

目录Contents

科技博览

- 001 基于风电和碳捕集电厂的低碳经济调度方法
..... 张瑞君
- 004 集成超滤与生物处理工艺的水质提升策略分析
..... 林 源，高环宇，董瑞婷
- 007 汽柴油加氢处理技术及馏分油加氢裂化技术探讨
..... 崔艺馨
- 010 综合录井与地球物理数据融合在油气勘探中的应用
..... 赵 磊
- 013 流塑状淤泥质土软基地质下支架组合设计和施工技术
..... 贺志成

智能科技

- 016 智能建筑消防工程安装施工技术探讨
..... 张宏咏
- 019 工程机械电气设备自动化技术应用分析
..... 桑 杰，李存瑞，韦棕誉
- 022 智能技术在供水施工中的应用与发展前景
..... 王宏成，王敬轩
- 025 无线网络中的数据传输优化算法研究
..... 李 刚
- 028 机电控制技术在热力公司供热工作中的应用
..... 林 涛
- 031 基于 PLC 技术在工业机械电气自动化控制中的应用
..... 姜建昊，张小孟
- 034 智慧市政工程施工管理系统的构建与实施效果评估
..... 丁照光，薛 伟

应用技术

- 037 预应力混凝土桥梁施工技术
..... 郑博文
- 040 复杂地质超长隧道开挖支护关键技术
..... 胡超杰

目录Contents

043	房建土建工程中高支模施工技术应用探讨	徐显刚, 孙 凯
046	现浇钢筋混凝土连续箱梁的预应力施工技术	郑斌文
049	建筑深基坑施工引起的岩土变形与控制技术	张 仞
052	关于土木工程施工中防水防渗施工技术的探讨	侯 霄
055	装配式建筑技术在市政桥梁工程中的应用探讨	王耀荣, 赵凤莉
058	房屋建筑工程中扣件式脚手架施工安全技术应用	孙广涛, 姜常威

科创产业

061	煤炭气力输送的发展现状分析	张付栋
064	基于数据驱动的电费定价策略优化	卫晓瑞, 赵咏琪
067	市政污水处理过程中的能效优化研究	姜 通
070	化工企业大型电动机绕组故障预防策略探讨	李子华
073	化学工程与工艺中的过程安全评估与风险控制	吴斌星, 滕 杰, 胡方川
076	建筑暖通空调工程节能技术的创新与应用研究	李庆峰, 李志强
079	“双碳”目标引领下低碳公路的建设理念与实践	左仁广

技术管理

082	建筑工程施工现场安全管理优化措施	牛 利
085	土木工程施工技术管理探讨	李小彬, 姜丽敏
088	市政道桥常见检测误差的成因及解决对策	何伟伟
091	公路桥梁施工阶段混凝土裂缝成因及防治要点	许国清
094	建筑工程施工质量通病的防治措施与案例分析	李 强
097	燃煤电厂锅炉“四管”泄漏的原因分析及预防措施	陈思维
100	遗留桩翻挖整治方案研究——以上海市静安区中兴社区 322-09 地块项目为例	鲍 铭

科学论坛

103	深层岩性油藏开发技术研究	唐红军
106	海水淡化设备防腐工艺研究	杨云江
109	建筑工程深基坑降水施工技术探究	田雪皎, 刘化芝
112	立面大开洞超限高层建筑结构设计分析	姜玲玲, 赵占国
115	水利工程施工中导流施工技术的应用研究	王 涛
118	水土保持技术在水利工程建设中的应用探析	黄治军
121	倾斜摄影测量技术在水利工程测绘中的应用研究	杨晓晨
124	建筑电气防雷接地系统的关键技术与工程应用研究	蒲小兵

基于风电和碳捕集电厂的低碳经济调度方法

张瑞君

(华电新能源集团股份有限公司, 北京 100031)

摘要 针对火电厂在发电过程中排放大量二氧化碳导致环境污染的问题, 电力系统必须向清洁、低碳的方向发展。碳捕集电厂, 即应用碳捕集、利用与封存 (CCUS) 技术实现二氧化碳分离与处理的电厂, 将在低碳发展中发挥重要作用。然而, 碳捕集电厂的运行需要较高的能耗和成本, 这制约了低碳经济调度的发展。本文提出了一种协调风电与碳捕集电厂运行的低碳经济调度方法, 构建了以含碳捕集电厂为依托的风电与火电低碳经济调度模型。该模型基于粒子群优化 (PSO) 算法, 以静态调度结果为初始粒子, 并引入约束处理方法, 进而求得可行解。基于 IEEE 39 节点系统的仿真结果表明, 该方法能够有效降低系统的碳排放和发电成本, 以期为电力系统的低碳转型提供参考。

关键词 清洁能源; 碳捕集电厂; 风电; 电力经济调度

中图分类号:F426

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.12.001

0 引言

火力发电作为传统的电力生产方式,由于大量燃烧化石燃料,会持续向大气中排放二氧化碳等温室气体,导致全球气候变化加剧,严重威胁了生态系统的安全和人类的可持续发展。为实现低碳转型,需通过能效提升、清洁能源与碳捕集、利用与封存技术(CCUS)的综合应用降低碳排放^[1]。风电作为清洁能源虽能助力减排,但其出力波动性常导致弃风现象,尤其在风—火联合系统中表现显著^[2]。引入碳捕集装置的火电厂既可降低自身碳排放,又能提升风电消纳能力,但由此形成的多能耦合系统使调度模型复杂度骤增^[3]。含CCUS的风—火协同调度需统筹三方面约束:首先,碳捕集设备的捕集效率直接影响减排效果;其次,捕集能耗将改变系统运行经济性;最后,需协调间歇性风电与可控火电的出力匹配。这类多目标优化问题呈现高维、非线性特征,传统算法难以有效求解^[4]。基于此,本研究采用粒子群优化算法(PSO)构建优化框架,该算法凭借全局搜索能力与快速收敛特性,可以有效处理系统经济性与环保性的多准则权衡^[5]。模型创新体现在将碳捕集运行成本、碳排放权交易机制与机组运行约束整合至统一优化框架。通过动态调整碳捕集强度,在保障电网稳定前提下实现两个关键平衡,分别是碳捕集能耗与风电消纳量的动态匹配,系统运行成本与环境效益的帕累托最优。

1 碳捕集设备的溶剂存储灵活运行模式

如图 1 所示, 碳捕集系统的优化方案: 本装置通过创新性溶剂分储机制提升二氧化碳捕集效能, 其技

术核心在于分时段运行策略。系统采用阶段处理模式：在电网负荷高峰时段，富二氧化碳溶剂暂存于专用储罐；低负荷时段则启动气提分离流程。具体实施包括三个关键环节：（1）烟气预处理阶段，火电厂烟气经洗涤装置分流，部分直接排放，富集二氧化碳的胺基溶液转入储罐；（2）二氧化碳分离阶段，存储溶液经气提塔实现气液分离，所得高纯度二氧化碳进入压缩单元；（3）溶剂再生阶段，脱碳溶液通过热交换系统实现余热回收，经再沸器活化后返回吸收塔循环使用。

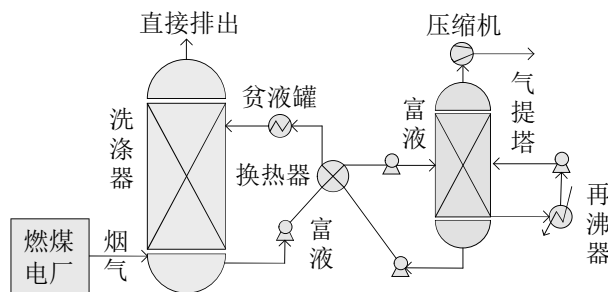


图 1 碳捕集电厂的溶剂存储灵活运行模式运行原理

碳捕集电厂的功率 P_c 由两部分组成：一部分是流向电力负载的净功率 P_c^{net} ，另一部分是碳捕集电厂总能耗 P_c^{CCS} ，用于捕获二氧化碳的电量。

$$P_c = P_c^{net} + P_c^{ccs} \quad (1)$$

碳捕集电厂的总能耗 P_c^{CCS} 由两部分组成:

$$P_c^{ccs}=P_c^m+P_c^o \quad (2)$$

式中, P_c^m 是碳捕集电厂处理二氧化碳的基准能耗, P_c^o 是碳捕集电厂的运行能耗。

碳捕集电厂用于捕获二氧化碳的能耗可以由下式表示。

$$P_{c,t}^o = \gamma_c q_c \chi_c \lambda_t P_{c,t} \quad (3)$$

式中, γ_c 、 q_c 、 χ_c 分别为碳捕集电厂的捕获单位二氧化碳所需的能耗、碳排放强度和捕获水平, λ_t 是 t 时刻碳捕集电厂的烟气分流比, $P_{c,t}$ 和 $P_{c,t}^o$ 是 t 时段碳捕集电厂的总功率输出和总能耗。

为了与风电协调, 溶剂存储灵活运行模式的碳捕集电厂设计了两个储液罐, 加入储液罐后 t 时段碳捕集电厂处理的二氧化碳量如下所示:

$$Q_t^{ccs} = Q_{c,t}^{ccs} + Q_{s,t} \quad (4)$$

式中, Q_t^{ccs} 是 t 时段碳捕集电厂处理的二氧化碳量, $Q_{c,t}^{ccs}$ 是 t 时段碳捕集电厂预计处理的二氧化碳量, $Q_{s,t}$ 是 t 时段储液罐提供的二氧化碳量。本文使用乙醇胺溶液存储二氧化碳, 提供二氧化碳之后富液罐和贫液罐中溶液存储量如下所示:

$$V_{CA,t} = \frac{Q_{s,t} M_{MEA}}{M_{CO_2} \delta C_R \rho_R} \quad (5)$$

$$\begin{cases} V_{l,t} = V_{l,t-1} - V_{CA,t} \\ V_{r,t} = V_{r,t-1} + V_{CA,t} \end{cases} \quad (6)$$

式中, $V_{CA,t}$ 是 t 时段储液罐排除二氧化碳所需要的体积, M_{MEA} 和 M_{CO_2} 分别是乙醇胺和二氧化碳的摩尔质量, δ 是气提塔二氧化碳解析量, C_R 和 ρ_R 是乙醇胺溶液的浓度和密度, $V_{l,t}$ 和 $V_{r,t}$ 是 t 时段贫液罐和富液罐中溶液体积, $V_{l,t-1}$ 和 $V_{r,t-1}$ 是 $t-1$ 时段贫液罐和富液罐中溶液体积。

2 风电—碳捕集电厂互补的低碳运行模式

风电出力受气象条件影响呈现显著波动性, 而火电机组的刚性爬坡约束常导致调度过程中产生弃风现象。碳捕集电厂通过预置捕集能耗形成弹性调节能力, 相较常规火电具备更优的功率调节裕度。二者的协同运行具有双重效益: 环境效益方面, 碳捕集技术可有效抑制调度系统的碳排放强度; 运行效益层面, 其动态调节特性可提升风电消纳水平。

联合系统的能量交互机制呈现双向流动特性: (1) 碳捕集电厂将发电量分解为电网净输出与捕集能耗两个流向; (2) 风电在保障基础输出的同时, 剩余功率通过调度指令转化为碳捕集作业的辅助能源。这种协同机制将原本被弃置的风电资源转化为碳捕集系统的有效供能, 实现资源循环利用。

3 含碳捕集电厂的低碳调度模型

本文提出了一种清洁的经济调度模型, 旨在通过传统火电厂安装碳捕集设备来降低碳排放。

3.1 目标函数

如公式 (7) 所示, 为了优化碳捕集效果, 我们考虑了碳捕集设备能耗对机组运行成本的影响。

$$\min F = \sum_{t=1}^T \sum_{g=1}^G [f_g(P_{g,t}) u_{gt} + S_{gt} (1 - u_{g(t-1)}) u_{gt}] + F_{wq} \quad (7)$$

式中, f_g 表示火电机组 g 的能耗成本; u_{gt} 是机组 g 在时间段 t 的启停状态变量; S_{gt} 为机组 g 在时间段 t 的开机成本; F_{wq} 为弃风惩罚所浪费的费用。

3.2 约束条件

火电机组出力约束是指其发电功率需在最小技术出力与最大出力之间运行, 以确保设备安全和电网稳定。具体如下:

$$P_g^{\min} u_{gt} \leq P_{gt} \leq P_g^{\max} u_{gt} \quad (8)$$

式中, $P_g^{\max}$ 和 $P_g^{\min}$ 分别表示火电机组的最大、最小出力。

火电机组的爬坡约束通常用以下公式表示:

$$|P_{gt} - P_{g(t-1)}| \leq R_g \quad (9)$$

其中, P_{gt} 为火电机组 g 在时间段 t 的出力, $P_{g(t-1)}$ 为火电机组 g 在时间段 $t-1$ 的出力, R_g 为火电机组 g 的爬坡速率限制。这个公式表示火电机组 g 在相邻两个时间段内的出力变化不能超过其爬坡速率限制。

为确保电力系统的稳定性和可靠性, 在任何时段内, 发电机组的上、下旋转备用需求必须满足以下两个公式所描述的约束条件:

$$\sum_{g=1}^G (P_g^{\max} - P_{g,t}) \geq R_{u,t} \quad (10)$$

$$\sum_{g=1}^G (P_{g,t} - P_g^{\min}) \geq R_{d,t} \quad (11)$$

式中, $R_{u,t}$ 和 $R_{d,t}$ 分别代表在时间段 t 内, 系统的上、下旋转备用需求。这些约束确保了电力系统在面对负荷波动时, 能够有足够的备用容量来维持系统的稳定和可靠运行。

为了确保碳捕集系统在每日运行过程中储液罐体积的平衡, 我们引入以下约束条件:

$$\begin{cases} 0 \leq \lambda_t \leq 1 \\ 0 \leq V_{l,t} \leq V_l^{\max} \\ 0 \leq V_{r,t} \leq V_r^{\max} \\ V_{l,t} = V_{l,0} \\ V_{r,t} = V_{r,0} \end{cases} \quad (12)$$

在这个碳捕集系统的约束模型中, λ_t 表示操作参数, $V_{l,t}$ 和 $V_{r,t}$ 分别代表贫液罐和富液罐在时间 t 的溶液体积, 而 $V_l^{\max}$ 和 $V_r^{\max}$ 是它们的最大容量, 确保系统在运行过程中体积变化符合初始和结束时体积相等的要求。

3.3 模型求解算法

本研究采用粒子群优化 (PSO) 算法进行模型求解。每个可能方案对应搜索空间中的一个粒子, 表示模型参数的一组候选值。粒子通过更新速度和位置在搜索空间中移动, 其运动轨迹由自身经验和群体经验共同决定。算法中每个粒子持续追踪两个最优解: 个体最优 (粒子自身找到的最佳位置) 和全局最优 (整个群体中的最佳位置)。

如图 2 所示, 使用粒子群优化算法求解模型的具体过程如下:

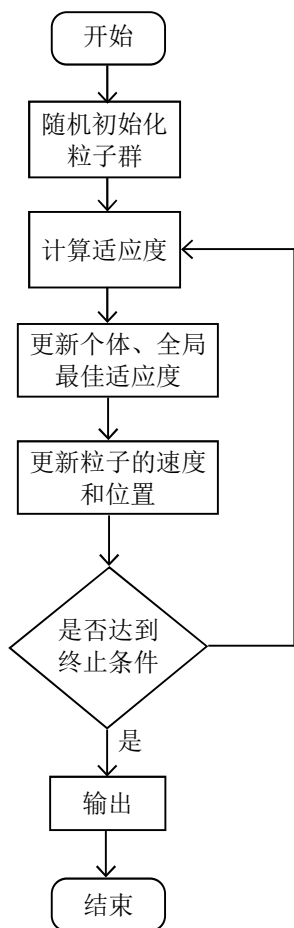


图 2 粒子群优化算法求解模型的具体过程

4 算例分析

为了全方位地验证所提出的低碳经济调度方法的有效性, 本文精心设计了四种不同的运行模式, 并对它们进行了对比分析 (见表 1)。这四种运行模式分别为:

1. 模式 A: 传统调度模式。在这种模式下, 既不考虑风电的接入, 也不涉及碳捕集技术的应用, 完全按照传统的调度方式运行。

2. 模式 B: 仅考虑风电接入的调度模式。在这种模式中, 虽然接入了风电, 但并未采用碳捕集技术, 主要研究风电接入对系统调度的影响。

3. 模式 C: 仅采用碳捕集技术的调度模式。在这种模式下, 未接入风电, 而是专注于研究碳捕集技术单独应用对系统调度的影响。

4. 模式 D: 综合考虑风电接入和碳捕集技术的低碳经济调度模式。这是本文重点研究的模式, 它同时考虑了风电接入和碳捕集技术的应用, 最终旨在实现低碳经济调度的目标。

表 1 不同运行模式的成本

模	火电能耗	碳交易	启停	捕获	弃风惩罚	碳排放量
式	成本 /\$	成本 /\$	成本 /\$	成本 /\$	费用 /\$	/t
A	243 789.5	45 300.3	0	0	12 645.6	10 200.1
B	198 765.4	26 204.7	3 660.8	0	7 289.5	8 419.4
C	187 654.3	-35 678.9	7 760.5	146 320.0	7 737.8	7 000.0
D	214 480.2	-45 732.1	2 640.1	138 460.5	5 603.1	3 688.9

5 结论

本研究针对火电厂碳排放问题, 设计了融合风电与碳捕集技术的电力系统优化调度方案。引入 CCUS 技术控制碳排放, 利用风电优化能源结构。采用粒子群优化算法求解, 结合约束处理机制确保解的可行性。IEEE 39 节点系统验证表明, 该模型在碳减排、发电成本和风电利用率等指标上优于传统模式, 可有效缓解弃风问题。

参考文献:

- [1] 仲悟之, 黄思宇, 崔杨, 等. 考虑源荷不确定性的风电-光热-碳捕集虚拟电厂协调优化调度 [J]. 电网技术, 2020, 44(09):3424-3432.
- [2] 杨世博, 孙亮, 陈立东, 等. 计及分时电价的含冷热电联供型微网的配电网系统协调优化调度 [J]. 电力自动化设备, 2021, 41(04):15-23.
- [3] 张尧翔, 刘文颖, 李潇, 等. 高比例新能源接入电网光热发电-火电联合调峰优化控制方法 [J]. 电力自动化设备, 2021, 41(04):1-7, 32.
- [4] 周任军, 肖钧文, 唐夏菲, 等. 电转气消纳新能源与碳捕集电厂碳利用的协调优化 [J]. 电力自动化设备, 2018, 38(07): 61-67.
- [5] 崔杨, 周慧娟, 仲悟之, 等. 考虑源荷两侧不确定性的含风电电力系统低碳调度 [J]. 电力自动化设备, 2020, 40(11):85-93.

集成超滤与生物处理工艺的水质提升策略分析

林 源，高环宇，董瑞婷

(国家电投集团东北电力有限公司本溪热电分公司，辽宁 本溪 117000)

摘 要 随着水资源短缺与水污染问题的日益严峻，水质提升成为实现水资源可持续利用的核心命题。本文聚焦于集成超滤与生物处理工艺的水质提升策略，探讨其技术原理、协同优势及实践应用。超滤技术作为高效的物理分离手段，与生物处理工艺的生态净化能力相结合，实现了污染物去除效率的全面提升，同时兼顾经济性与环保性。通过典型案例分析，本文揭示了集成工艺在水质提升中的显著成效，并展望了智能化与绿色化的发展方向。研究表明，集成超滤与生物处理工艺具有广阔的应用前景，可为水处理行业的技术升级提供重要支撑。

关键词 水质提升；超滤技术；生物处理；集成工艺；协同效应

中图分类号：X7

文献标志码：A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.12.002

0 引言

超滤技术和生物处理工艺作为水处理领域的两大核心技术，各自具有独特的优势，而两者的结合则为水质提升提供了全新的思路。超滤技术是一种基于物理分离原理的高效过滤技术，通过具有特定孔径的超滤膜，能够有效拦截水中的悬浮物、胶体、细菌和大分子有机物，被誉为水中的“分子筛”，其优势在于操作简单、分离效率高且无需添加化学药剂，适用于多种水质条件。然而，超滤技术对溶解性小分子有机物和微量污染物的去除能力有限，这在一定程度上限制了其应用范围。

1 水质相关及超滤与生物处理工艺的技术基础

1.1 水质提升：废水处理的相关研究

群体感应调节对废水生物处理有重要影响。张千等（2024）研究发现，通过调节微生物群体感应系统，可优化微生物群落结构和代谢功能，提高废水处理效率，为生物处理工艺优化提供了新思路^[1]。膜生物工艺（MBR）结合膜分离和生物处理的优点，广泛应用于废水处理。戴雅和谢新敏（2024）通过优化膜生物工艺参数，显著提高了废水处理效率和膜使用寿命，并成功应用于煤矿废水零排放^[2]。厌氧工艺在市政污水处理中具有能耗低、污泥产量少等优势。张文燕等（2024）指出，优化厌氧反应器设计和运行条件，可进一步提高其处理效率，实现资源回收利用^[3]。污水生化处理工艺是废水处理的常用技术。刘智晓和吴凡松（2024）总结了其发展阶段及技术特征，指出未来将朝着高效、智能化、低碳化方向发展，为废水处理提供更高效、环保的解决方案^[4]。ATP法可快速检测微生物活性，为生

物处理工艺优化提供依据。范亚静等（2024）研究发现，结合ATP法监测数据调整运行参数，可提高处理效率和稳定性^[5]。

1.2 超滤技术：水中的“分子筛”与污染物拦截者

超滤技术是一种基于膜分离原理的高效水处理技术，其核心在于利用具有特定孔径的超滤膜，通过物理筛分作用拦截水中的悬浮物、胶体、细菌和大分子有机物。超滤膜的孔径通常在1~100纳米之间，能够有效去除粒径大于膜孔径的污染物，同时允许水分子和小分子物质通过。这种选择性分离机制使超滤技术被誉为水中的“分子筛”。超滤技术的优势在于其高效性、稳定性和环保性。首先，超滤技术能够在常温下运行，无需加热或添加化学药剂，从而降低了能耗和二次污染的风险。其次，超滤膜的分离效率高，能够快速去除水中的浊度和微生物，显著提升水质。此外，超滤技术还具有操作简单、占地面积小、自动化程度高的特点，适用于多种应用场景，如饮用水处理、工业废水回用和海水淡化等。

1.3 生物处理工艺：微生物的“净化魔法”与生态智慧

生物处理工艺是一种利用微生物代谢作用降解水中有机污染物的技术，其核心在于通过微生物的氧化、还原、吸附等生物化学反应，将污染物转化为无害物质或稳定形态。生物处理工艺主要包括活性污泥法、生物膜法和厌氧消化法等，每种方法都有其独特的优势和适用场景。例如：活性污泥法通过悬浮微生物群体降解有机物，适用于处理高浓度有机废水；生物膜法则利用附着在载体表面的微生物膜进行污染物降解，

具有抗冲击负荷能力强、运行稳定的特点。生物处理工艺的优势在于其成本低、环境友好且适用范围广。微生物作为自然界中的“净化魔法师”，能够高效降解多种有机污染物，包括难降解有机物和微量污染物。

1.4 集成工艺的优势：1+1 > 2 的协同效应

集成工艺通过将超滤技术与生物处理工艺有机结合，充分发挥两者的优势，从而实现更高效、更经济的水质提升目标。超滤技术作为物理分离手段，能够快速去除水中的悬浮物、胶体和大分子有机物，为后续生物处理提供更稳定的水质条件。而生物处理工艺则通过微生物的代谢作用，进一步降解超滤难以去除的溶解性有机物和微量污染物。这种协同效应不仅提高了污染物的去除效率，还降低了运行成本和能耗。例如：在饮用水处理中，集成工艺可以有效去除浊度、细菌和有机污染物，保障水质安全；在工业废水处理中，集成工艺则能够实现高浓度有机物的高效降解和资源回收。此外，集成工艺还具有灵活性强、适应性广的特点，能够根据不同的水质条件和处理需求进行优化调整。例如：通过调整超滤膜的孔径和生物反应器的运行参数，可以实现对不同污染物的针对性去除。

2 水质提升策略的创新与实践

2.1 集成工艺的崛起：从单一技术到协同创新的跨越

随着水处理技术的不断发展，单一技术的局限性逐渐显现，难以应对复杂多变的水质问题。在这一背景下，集成工艺的崛起标志着水处理技术从单一模式向协同创新的跨越。集成工艺通过将多种技术有机结合，充分发挥各自的优势，从而实现更高效、更经济的水质提升目标。超滤与生物处理工艺的集成正是这一趋势的典型代表。超滤技术作为物理分离手段，能够快速去除水中的悬浮物和大分子有机物，而生物处理工艺则通过微生物的代谢作用，进一步降解溶解性有机物和微量污染物。两者的结合不仅提高了污染物的去除效率，还降低了运行成本和能耗。

2.2 工艺优化：超滤与生物处理的“黄金配比”

在集成超滤与生物处理工艺中，工艺优化是实现高效水质提升的关键。通过调整超滤膜的通量、生物反应器的水力停留时间（HRT）以及微生物群落结构，可以实现两者的“黄金配比”，从而最大化污染物去除效率并降低运行成本。研究表明，当超滤膜通量控制在 $50 \sim 100 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 范围内、生物反应器的 HRT 保持在 $6 \sim 8$ 小时时，集成工艺的综合性能达到最优。例如：在某饮用水处理厂的实践中，通过优化超滤膜

通量为 $80 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 和生物反应器 HRT 为 7 小时，浊度去除率稳定在 99.5% 以上，同时化学需氧量（COD）去除率提升至 85% 以上。此外，优化后的工艺能耗降低了 15% ~ 20%，显著提高了经济性（见表 1）。

表 1 不同工艺参数下的性能对比

超滤膜通量 ($\text{L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$)	生物反应 器 HRT (小时)	浊度去除 率 (%)	COD 去除 率 (%)	能耗 ($\text{kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$)
50	6	98.5	80	0.45
80	7	99.5	85	0.38
100	8	99.0	83	0.42

2.3 污染物去除效率：从浊度到微量有机物的全面突破

集成超滤与生物处理工艺在污染物去除效率方面表现出色，能够全面应对从浊度到微量有机物的多种污染物。超滤技术通过物理筛分作用高效去除悬浮物和胶体，浊度去除率通常可达 99% 以上。而生物处理工艺则通过微生物的代谢作用降解溶解性有机物和微量污染物，如抗生素、农药残留等。例如：在某工业废水处理项目中，集成工艺对浊度的去除率稳定在 99.8%，同时对 COD 和氨氮的去除率分别达到 90% 和 85% 以上。此外，对微量有机物如双酚 A（BPA）和四环素的去除率也分别达到 75% 和 80%（见表 2）。

表 2 集成工艺对不同污染物的去除效率

污染物类型	进水浓度 (mg/L)	出水浓度 (mg/L)	去除率 (%)
浊度	10 NTU	0.02 NTU	99.8
COD	200	20	90
氨氮	30	4.5	85
双酚 A (BPA)	0.1	0.025	75
四环素	0.05	0.01	80

2.4 运行成本与能耗控制：经济性与环保性的平衡之道

集成超滤与生物处理工艺在运行成本与能耗控制方面表现出显著优势，实现了经济性与环保性的平衡。通过优化工艺参数和运行管理，集成工艺的能耗比传统工艺降低了 20% ~ 30%。例如：在某市政污水处理厂的实践中，集成工艺的单位水处理能耗为 $0.4 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$ ，而传统活性污泥法的能耗为 $0.6 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$ 。此外，集成工艺的化学药剂使用量减少了 50% 以上，进一步降低了运行成本（见表 3）。

表 3 集成工艺与传统工艺的运行成本与能耗对比

工艺类型	单位水处理 能耗 (kW·h/m³)	化学药剂成本 (元 /m³)	总运行成本 (元 /m³)
集成工艺	0.4	0.2	0.6
传统活性 污泥法	0.6	0.5	1.1

3 案例分析与未来展望

3.1 典型案例解析：集成工艺在水质提升中的成功应用

集成超滤与生物处理工艺在实际工程中已有多项成功应用案例。例如：在某沿海城市的饮用水处理厂中，集成工艺被用于处理高浊度海水。通过优化超滤膜通量和生物反应器 HRT，该工艺实现了浊度去除率 99.9% 和 COD 去除率 88% 的优异性能。此外，在某工业园区废水处理项目中，集成工艺成功处理了高浓度有机废水，COD 去除率达到 92%，氨氮去除率达到 87%（见表 4）。

表 4 集成工艺在典型案例中的性能表现

案例名称	处理对象	浊度去除 率 (%)	COD 去除 率 (%)	氨氮去除 率 (%)
沿海饮 用水厂	高浊度 海水	99.9	88	-
工业园区 废水处理	高浓度 有机废水	-	92	87

3.2 社会效益与生态效益的双重提升

集成超滤与生物处理工艺不仅提升了水质，还带来了显著的社会效益与生态效益。在社会效益方面，集成工艺通过提供安全可靠的饮用水和改善水环境质量，提升了居民生活质量和健康水平。例如：在某农村饮用水项目中，集成工艺的实施使当地居民的饮用水达标率从 60% 提升至 95% 以上。在生态效益方面，集成工艺通过减少化学药剂使用和降低能耗，减少了对环境的二次污染。表 5 总结了集成工艺的社会效益与生态效益。

表 5 集成工艺的社会效益与生态效益对比

效益类型	具体指标	实施前	实施后
社会效益	饮用水达标率 (%)	60	95
生态效益	化学药剂使用量(吨 / 年)	100	50
生态效益	能耗 (kW·h/m³)	0.6	0.4

3.3 未来趋势：智能化与绿色化的集成工艺发展方向

未来，集成超滤与生物处理工艺将朝着智能化与绿色化的方向发展。在智能化方面，通过引入物联网（IoT）和人工智能（AI）技术，可以实现工艺参数的实时监控与优化。例如：智能传感器和机器学习算法

可以预测膜污染趋势并自动调整清洗周期，从而降低能耗和维护成本。在绿色化方面，通过开发新型环保膜材料和高效菌种，可以进一步提高工艺的可持续性。例如：某研究团队开发的生物降解膜材料使膜污染率降低了 30%，同时延长了膜使用寿命（见表 6）。

表 6 未来智能化与绿色化技术的发展方向及预期效果

技术方向	关键技术	预期效果
智能化	物联网（IoT）	实时监控与优化， 能耗降低 10%
智能化	人工智能（AI）	预测膜污染，维护 成本降低 20%
绿色化	生物降解膜材料	膜污染率降低 30%
绿色化	高效菌种	污染物去除效率提升 15%

4 结束语

集成超滤与生物处理工艺作为水质提升的创新策略，展现了显著的技术优势与应用潜力。通过工艺优化与协同效应的发挥，该集成工艺在污染物去除效率、运行成本控制及生态效益提升方面取得了重要突破。典型案例的成功应用进一步验证了其在实际工程中的可行性与有效性。然而，推动水处理行业的技术升级仍面临诸多挑战，包括工艺参数的精细化调控、智能化运行管理的实现以及绿色化技术的深度整合。为此，需要政策支持与技术创新的双重驱动，以促进集成工艺的广泛应用与持续优化。展望未来，随着智能化与绿色化技术的深度融合，集成超滤与生物处理工艺将在水质提升领域发挥更加重要的作用，为构建清洁、可持续的水资源未来贡献力量。

参考文献：

- [1] 张千,秦树敏,杨晨曦,等.群体感应调节对废水生物处理工艺影响的研究进展[J/OL].化工进展,1-20.2024-11-29.https://kns.cnki.net/kcms2/article/abstract?v=6DcBiLvWDU6LcBLEz2-c0goniWUnrM0NBaTpdmKgg02svkZ0NfqbzK4utJ38MoHWjDTdpTzt4aE-NPtXJyUZtLbr6TnRoyqv6g6fDgWkphjcdIhfwDIAX9EeMsUL9ohf47uYJ6xaei_pAQ-ub_rKP3uoulY9A7elucI3t90a5BLB5R614HuPXQ==&uniplatform=NZKPT&language=CHS.
- [2] 戴雅,谢新敏.膜生物工艺优化及其在煤矿废水零排放中的应用[J].能源与节能,2024(10):135-137.
- [3] 张文燕,陈彩萍,杨勇.浅析厌氧工艺在市政污水处理中的作用[J].皮革制作与环保科技,2024,05(14):86-87,96.
- [4] 刘智晓,吴凡松.污水生化处理工艺发展阶段化技术特征及未来趋势[J].给水排水,2024,60(04):12-22.
- [5] 范亚静,张丹凤,张颖,等.ATP法在生物处理工艺优化中的应用分析[J].辽宁科技学院学报,2024,26(02):1-4.

汽柴油加氢处理技术及馏分油加氢裂化技术探讨

崔艺馨

(中石化(天津)石油化工有限公司, 天津 300450)

摘要 在现代炼油工业中, 汽柴油加氢处理技术和馏分油加氢裂化技术都是比较关键的工艺技术, 在提升油品质量和优化产品结构方面有重要作用。其中, 汽柴油加氢处理技术是借助特定催化剂与反应条件去除油品中的硫、氮、氧等杂质, 馏分油加氢裂化技术是将重质馏分油进一步转化成轻质和高附加值的油品。本文分别介绍了这两种技术的原理、流程、应用及效果、挑战及应对, 并分析了二者之间的比较与联系, 旨在为技术的合理运用提供参考。

关键词 汽柴油加氢处理技术; 馏分油加氢裂化技术; 炼油工业

中图分类号: TE624

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.12.003

0 引言

近些年, 随着全球能源结构的调整优化以及人们环保意识的不断增强, 对于各类油品的质量要求也更为严格, 因此炼油企业也在不断探索和应用更为先进的加氢处理技术。比如: 对普通汽柴油应用加氢处理技术, 使油品质量得到提升, 去除油品中的有害杂质, 提高油品的清洁度和燃烧性能。而针对重质馏分油采用加氢裂化技术进行深度加工, 使其转化为轻质油, 提高资源利用率及产品附加值。两种技术各有侧重, 但也相互补充, 对炼油技术产业升级十分重要。

1 汽柴油加氢处理技术

1.1 汽柴油加氢处理技术原理

在汽柴油加氢处理技术中, 加氢反应是其技术核心, 基于特定化学原理, 在一定的温度压力条件下, 通过催化剂作用使氢气和其他物质产生化学反应, 改变目标物质的化学结构及性质。例如: 氢气和油品中的硫、氮、氧等杂质或烯烃、芳烃等不饱和烃类发生反应, 将这些杂质有效去除, 减少杂质含量, 提高油品的清洁度及稳定性。催化剂在汽柴油加氢处理过程中发挥了关键的作用, 其可以使反应的活化能降低, 在相对较低的温度和压力条件下就能使反应发生, 有利于提高反应速率及选择性^[1]。目前常用的加氢催化剂主要有金属氧化物、硫化物等类型, 这类催化剂的催化机理比较独特, 可提供活性位点吸附氢气及其他反应物, 促进相互之间的作用。其中金属氧化物催化剂活性和稳定性较高, 而硫化物催化剂则在某些特定

反应中更为适用, 因此要根据具体反应条件选择适当的催化剂。

1.2 汽柴油加氢处理技术流程

汽柴油加氢处理前要做好原料预处理, 采取脱水脱盐的处理方式将其中的水分、无机盐类杂质去除。可用电脱盐技术, 利用电场作用让水滴与盐粒聚结沉降分离, 保证原料油中水分含量不超过 0.05%、盐含量不超过 5 mg/L。然后将原料油和氢气混合后进入加氢反应器, 精准控制反应条件, 维持 300 ~ 400 °C 的温度和 8 ~ 20 MPa 的压力, 按原料性质及反应要求调整氢油比在 500 ~ 1 000:1 之间。氢气和油品中的各类杂质成分发生反应, 如加氢脱硫、加氢脱氮、加氢饱和反应等, 使油品中的硫含量低于 10 ppm、氮含量低于 1 ppm。产品经过加氢反应后还需后续处理, 确保清洁汽柴油符合规格。如使用分馏塔将反应产物按沸点范围分离, 获得不同馏分的油品。之后对分离出的油品冷却处理, 降低温度后储存运输。高凝点油品需进一步降凝处理以应对低温使用环境。

1.3 汽柴油加氢处理技术应用及效果

在当前石油化工行业中, 该项技术占据着十分重要的位置, 尤其是在炼油厂中的应用, 是提高油品质量及环保性能的关键手段。目前该技术已在各种炼油工艺中广泛引用, 例如催化裂化柴油加氢精制处理, 可改善催化裂化柴油的安定性及燃烧性能。另外, 还可在加氢裂化及延迟焦化等工艺中应用, 提高燃料油的最终品质。该项技术在提高汽柴油质量方面效果显

著,在加氢处理后油品中的硫、氮、氧及烯烃、芳香烃含量大大降低,可使油品达到更高的燃烧性能,燃烧更加充分,减少碳烟及有害气体排放,延长储存及使用寿命。此外,该技术在环保方面也发挥了较好的效果,通过该技术可减少尾气排放中的二氧化硫、氮氧化物等有害气体,减少对大气环境的污染。汽柴油经过加氢处理后,其中的硫、氮、烯烃等含量均可符合国内外相关环保法规中的规定标准,使其环保性能得到大幅提升。

1.4 技术挑战及应对措施

汽柴油加氢处理技术在实际应用中面临着一些挑战,例如催化剂的失活与再生问题,由于反应过程中催化剂表面易积碳、金属沉积或中毒,导致活性下降,因此需频繁再生或更换,增加了生产成本。同时,在反应条件的优化与控制方面也面临较高的挑战性,如高温高压环境对设备材质和工艺控制精度要求极高,稍有不慎便可能影响产品质量和装置安全。此外,设备投资与运行成本也比较高昂,加氢装置建设需大量资金投入,日常运行能耗大,对炼油企业经济效益造成了压力^[2]。为应对上述挑战,要从多方面推进汽柴油加氢处理技术的优化。例如:积极研发和应用新型催化剂,使用开发高活性、高稳定性、抗积碳的催化剂延长使用寿命,降低再生频率。积极推进反应工艺的优化与创新,采用先进的反应动力学模型和过程控制技术精准调控反应条件,提高反应效率和产品质量。

2 馏分油加氢裂化技术

2.1 馏分油加氢裂化技术原理

加氢裂化反应是馏分油转化过程中的核心环节,其基本机理是在较高压力和催化剂的共同作用下,使烃类分子与氢气发生裂解与加氢反应,生成较小的分子。在此过程中,烃类分子在催化剂表面吸附活化,随后与氢气发生反应,使大分子烃类裂解为小分子烃类,同时伴随加氢饱和等反应改善油品的性质。加氢裂化反应中涉及多种化学反应类型,如裂化反应使重质烃类转化为轻质烃类,加氢反应使不饱和烃类饱和,异构化反应调整烃类分子的结构,从而改善油品的总体性能。加氢裂化催化剂的组成和结构特点对反应效果具有决定性的影响。催化剂通常由加氢组分和酸性担体两部分组成,在加氢组分中,镍、钨、钼等金属元素负责提供加氢活性,氧化铝、硅酸铝等酸性担体提供裂化和异构化活性。催化剂应具有较高的活性、选择性、稳定性,可加快反应速度,定向生成目标产物,延长使用寿命。

2.2 馏分油加氢裂化技术流程

馏分油加氢裂化技术是一个复杂而精细的过程,其中涉及多个关键步骤的紧密衔接与配合。首先进行原料预处理,在馏分油进入加氢裂化装置前要先脱水脱盐,使原料中的水分含量不超过0.1%,盐分含量不超过5 mg/L。预处理完成后将馏分油与氢气混合进入加氢裂化反应器,使用特制催化剂,在350~450℃及8~15 MPa压力下,使烃类分子和氢气发生裂解加氢反应,生成较小分子的烃类。反应中要将氢油比控制在500~1 500:1,同时按照原料性质及产品要求调整空速。当反应产物进入分馏塔后,按照各组分沸点的差异进行分离,获得不同馏分的油品。随后对油品实施进一步精制处理,如脱硫、脱氮等,将其中的杂质去除,提高油品的质量^[3]。馏分油加氢裂化技术可按照不同压力等级分为中压加氢裂化和高压加氢裂化,其中中压技术可处理相对较轻的馏分油,高压技术则用于处理更重的馏分油。

2.3 馏分油加氢裂化技术应用及效果

目前,馏分油加氢裂化技术在石油炼制、煤化工、精细化工等领域均有广泛应用。例如:在石油炼制领域,该技术能将重质馏分油转化为轻质油,如将减压蜡油、焦化蜡油等转化为汽油、煤油、柴油等轻质燃料油,提高石油资源的利用率。在煤化工领域,加氢裂化技术可用于从煤制合成气或煤焦油中转化高附加值的化学品,如生产芳烃、烯烃等基础化工原料。此外,该技术也可应用在精细化工领域,生产特种油品、润滑油基础油等高端产品。相比于其他的炼油技术,馏分油加氢裂化技术的灵活性更强,能根据市场需求调整产品结构及产率,通过优化反应条件及催化剂选择,能实现目标产品的高收率。此外,产品质量稳定性也比较强,利用该技术将油品中的杂质深度脱除,保证了油品的安定性及燃烧性能。应用该技术处理后,可以使炼油厂的产品质量合格率明显提升,同时有利于降低生产成本。

2.4 馏分油加氢裂化技术挑战及应对措施

在馏分油加氢裂化技术的实际应用中 also 面临着一些挑战,例如催化剂的失活与再生问题。由于在反应过程中催化剂表面容易发生积碳、金属沉积或中毒,导致其活性迅速下降,需要频繁再生或更换,增加了生产成本和操作复杂性。同时,高温高压环境对设备材质和工艺控制精度要求极高,稍有不慎便可能引发安全事故或影响产品质量。此外,设备投资与运行成本也比较高昂,需大量资金投入,且日常运行能耗大,

对炼油企业的经济效益构成了压力。为此,在解决过程中要积极开发新型催化剂,研究高活性、高稳定性、抗积碳的催化剂,以延长使用寿命,减少再生频率。同时应进一步优化反应工艺条件,运用先进的反应动力学模型及过程控制技术精准调控反应条件,提高反应效率及产品质量。此外,在设备技术方面也要进行改进,使用耐腐蚀、耐高温高压的新型材料,提升设备可靠性和使用寿命。

3 汽柴油加氢处理技术和馏分油加氢裂化技术的比较与联系

3.1 技术原理比较

汽柴油加氢处理与馏分油加氢裂化在反应类型和条件上既有相似之处也有不同点。两者均属于加氢反应范畴,都是在高温高压及催化剂存在下发生反应,且都涉及氢气与烃类分子的反应。而在具体反应类型上二者则存在差异,例如汽柴油加氢处理主要侧重于加氢脱硫、脱氮、饱和等反应,旨在改善油品质量。馏分油加氢裂化主要包含裂化、加氢、异构化等多种反应,是为了将重质馏分油转化为轻质油。在反应条件上,加氢裂化要求比加氢处理更高的压力和温度,以促使烃类分子裂解^[4]。在催化剂的选择上,汽柴油加氢处理与馏分油加氢裂化也各有侧重。加氢处理催化剂多选用金属氧化物或硫化物,以高效脱除硫、氮等杂质。加氢裂化催化剂更注重加氢组分与酸性担体的协同作用,实现裂化和异构化反应。此外,催化剂的性能对两种技术的反应效果和经济性都具有决定性影响。

3.2 流程设备联系

汽柴油加氢处理与馏分油加氢裂化在技术流程上存在一定的相似性,二者均包含了原料预处理、加氢反应及产品后处理等核心步骤。在原料预处理阶段都要对原料进行脱水、脱盐等操作,确保后续反应的顺利进行。在加氢反应环节,也都是在高温高压及催化剂存在下进行,尽管具体反应类型和条件有所差异,但基本流程框架是一致的。在产品后处理阶段,均需对反应产物进行分馏、精制等操作,以获得符合规格要求的产品。虽然两项技术的流程比较相似,但是在设备选用方面存在着显著的差异。其中,加氢处理装置通常选用固定床反应器,操作条件相对温和。而加氢裂化装置采用了更复杂的反应器类型,如沸腾床或悬浮床,操作条件也更为苛刻,需承受更高的压力和温度,以促进烃类分子的裂解和异构化。因此,这些设备差异使得两种技术能更好地适应不同的原料和产品要求。

3.3 技术应用互补

汽柴油加氢处理与馏分油加氢裂化在应用领域上具有明显的互补性。其中汽柴油加氢处理技术主要用于提升油品质量和环保性能,通过深度脱硫、脱氮及饱和等反应降低汽柴油中的硫、氮含量及烯烃、芳烃含量,满足日益严格的环保法规要求,提升油品的燃烧性能和稳定性。馏分油加氢裂化技术更侧重于重质油的轻质化和高附加值化学品的生产,通过裂化、加氢及异构化等反应将重质馏分油转化为轻质油及特种化学品,实现资源的高效利用和产品的多样化^[5]。未来在汽柴油加氢处理与馏分油加氢裂化的技术集成方面将具有广阔的前景,技术集成后可实现原料的高效利用和产品的多样化生产,如将加氢处理后的馏分油作为加氢裂化的原料,进一步生产轻质油及高附加值化学品。在技术集成过程中需注意反应条件的匹配、催化剂的兼容性及设备的适应性等,优化工艺条件和操作流程。

4 结束语

汽柴油加氢处理技术和馏分油加氢裂化技术都是石油炼制工艺中的重要技术,各自发挥着重要的作用,相互之间也具有一定的联系和互补性。汽柴油加氢处理技术能提高油品质量,满足环保性能要求。馏分油加氢裂化技术能实现油品的轻质化,提高化学品附加值。两项技术在技术原理和流程设备上既有相似之处,也有差异,在应用领域中能够相互补充,对石油炼制领域的技术发展有着重要的意义。

参考文献:

- [1] 董松涛,赵广乐,胡志海,等.大比例增产航煤兼产优质尾油加氢裂化技术的开发与应用[J].石油石化绿色低碳,2024,09(02):34-39.
- [2] 潘奕龙,李志敏,曹正凯,等.灵活型工业燃料油加氢裂化技术的工业应用[J].当代化工,2022,51(12):2981-2984.
- [3] 梁宇,王甫村,王紫东,等.调整炼油厂产品结构的柴油加氢裂化技术的开发与应用[J].现代化工,2021,41(12):218-221.
- [4] 许双辰,任亮,杨平,等.催化裂化柴油选择性加氢裂化生产高辛烷值汽油或轻质芳烃原料的RLG技术开发和应用[J].石油炼制与化工,2021,52(05):1-7.
- [5] 朱强,郭俊辉,刘昶,等.FDC单段两剂多产中间馏分油加氢裂化技术的工业应用[J].当代化工,2021,50(05):1052-1055.

综合录井与地球物理数据融合在油气勘探中的应用

赵磊

(中石化海洋石油工程有限公司上海特殊作业分公司, 上海 200131)

摘要 在油气勘探领域, 随着勘探目标向深层、复杂地质结构延伸, 单一录井技术或地球物理方法因数据维度局限性难以精准刻画储层特征, 导致油气识别精度不足、钻井风险控制难度增大。综合录井与地球物理数据的融合技术通过整合多源异构数据, 构建“地质—地球物理”协同分析框架, 成为提升勘探效能的重要突破口。本文系统阐述了数据融合的技术路径及应用场景, 并分析了其应用效果, 以期通过多源数据融合技术的规范化应用, 为复杂储层勘探提供可复制的技术解决方案。

关键词 综合录井技术; 地球物理数据; 数据融合; 油气勘探

中图分类号: TE1

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.12.004

0 引言

综合录井与地球物理数据作为油气勘探过程中的两类核心技术, 各自承担着井下地质信息实时监测与地下储层物性参数刻画的关键任务, 二者在数据采集、处理及应用环节具有较强的互补性。单一录井手段难以精准刻画复杂地层的油气显示特征, 而地球物理数据在测井解释过程中容易受到井眼条件与地质环境的影响, 使得储层参数存在较大的不确定性。在钻井轨迹优化、储层流体识别以及风险提示系统构建等环节, 综合录井与地球物理数据融合的应用价值日益凸显, 依托多源信息互补性实现勘探目标的精细化刻画与科学决策已成为当前油气勘探技术发展的重要方向。

1 综合录井与地球物理数据融合的基础

1.1 综合录井技术概述

综合录井技术在油气勘探过程中承担着井下地质信息实时监测的重要任务, 主要依赖岩屑、气测、地化、地层压力等多项数据获取手段, 对井底及井筒周围的地质条件进行动态分析。该技术使用泥浆循环系统收集岩屑并对矿物组成、颗粒形态及含油气性态进行系统识别, 以确定地层岩性变化及油气显示特征, 借助气测录井装置获取钻井过程中溢出的烃类组分, 分析天然气组分比及烃类含量变化趋势, 以判断油气层赋存情况, 地化录井手段测定岩石中的元素含量变化, 评估储层有机质富集程度及油气成藏环境。地层压力录井利用钻井参数监测地层压力动态特征, 为井控及

安全钻井提供依据^[1]。

1.2 地球物理数据采集与处理

地球物理数据在油气勘探中的应用主要体现在测井与地震数据两个方面, 其中测井数据依赖电法、声波、核磁共振等物理探测技术, 对井壁及周围地层的岩性、孔隙度、含流体特性等关键参数进行定量表征。电法测井包括感应测井、侧向测井等方法, 利用岩石电导率差异识别储层流体性质, 声波测井使用纵波与横波传播特性计算岩石弹性模量, 从而推断储层物性参数, 核磁共振测井从氢质子弛豫时间分布揭示孔隙结构及可动流体饱和度。地震数据由人工激发地震波并记录反射信号, 分析地下地质结构及储层分布特征, 反演储层厚度、构造形态及油气富集区间。测井数据在井筒周围具有较高分辨率但覆盖范围有限, 而地震数据在空间展布方面占据优势但储层参数精度受限, 两者在数据精度与空间分辨率方面各有侧重。在数据处理过程中, 测井曲线需要经过噪声滤除、环境校正及标准化处理, 保证不同井位之间数据的可比性, 地震数据处理包括滤波、静校正、速度分析及偏移成像, 以增强有效信号并消除干扰^[2]。

1.3 数据融合的原理与方法

综合录井与地球物理数据的融合基于多源信息互补性, 采取数学模型与物理约束构建数据联合反演方法, 以提高油气储层识别的精度, 数据融合过程中涉及测井曲线与录井信息的关联分析、地震与测井数据

的约束反演以及多属性综合表征三类主要方法。测井曲线与录井信息的关联分析基于统计学与信号处理方法,构建录井参数与测井响应之间的数学关系,提升油气层解释的一致性。地震与测井数据的约束反演方法在地震振幅与测井物性参数之间建立联系,以测井数据约束地震反演过程,使地震解释结果更贴合井下实际情况,多属性综合表征方法则依据不同物理参数对储层性质的敏感性构建交叉验证体系,从多角度增强对油气层的识别能力。

2 数据融合在油气勘探中的应用

2.1 岩屑录井与地球物理测井联合分析

岩屑录井从对钻井过程中携带出的岩屑样品进行分析,识别岩性变化、矿物成分及油气显示特征,提供储层岩性及含油气性状的实时信息。地球物理测井依靠电法、声波、核磁共振等探测手段,测定地层物理性质,反映储层孔隙度、渗透率及流体饱和度等关键参数。岩屑录井侧重于物质组成及油气痕量分析,地球物理测井主要关注储层物性及流体特征,两者在数据表现形式与解释方法上存在较大差异。

在数据融合过程中,岩屑录井的矿物成分、气测异常及地化特征与测井数据建立关联,以提高储层识别精度,测井曲线的电阻率、声波时差及自然伽马值可作为岩屑录井分析结果的约束参数,确定岩屑识别出的油气显示是否对应有有效储层。综合分析时,利用测井数据预测的孔隙度和渗透率构建岩屑录井特征参数的定量关系,形成储层综合评价指标,提高储层流体识别的准确性。

在岩屑录井与地球物理测井数据协同应用领域,基于气测指标与岩石物理参数的交互验证机制,可有效提升储集层判识精度^[3]。具体而言,录井系统捕获的烃类异常响应及岩矿组分信息,能够与测井曲线中的地层导电特性(如深侧向电阻率)及弹性波传播参数(如纵波时差)形成数据耦合。这种多源信息融合技术通过建立岩—电响应数学模型,有效弥补了单一测井方法在储层孔隙结构及流体性质解释方面的局限性。实践表明,该整合方法显著改善了储层参数反演的可靠性,特别是在弱显示油气层的判别方面展现出更强的技术优势。

2.2 钻井轨迹优化中的数据融合应用

在地质导向钻井工程中,井眼轨迹优化通过综合地层响应参数、实时钻进轨迹及地质构造信息,建立动态导向控制体系,保障钻头精确穿行目标产层。岩

屑录井实时获取的岩性序列与含烃特征,结合测井曲线对储层孔隙结构的定量解析,辅以地震剖面揭示的构造几何形态,三者协同构建出高精度轨迹修正模型。在工程实施过程中,录井系统监测的岩性转换界面为识别标志层顶界提供直接依据,实现井斜角的实时微调。测井响应的电学特性(如电阻率差异)、声学特征及密度参数形成储层空间定位约束条件,精确界定产层空间展布。地震构造解析技术则通过地层产状反演动态修正轨迹方位偏差,确保井眼延伸方向与地层界面保持最佳几何匹配。

2.3 风险提示系统的构建与优化

在钻井作业过程中,井涌、井漏、卡钻及异常高压等复杂地质风险严重影响施工安全,岩屑录井与地球物理数据的融合在风险提示系统构建中起到了关键作用。岩屑录井的地层压力监测、地化参数变化及气测异常可作为井下异常预警信号,测井数据的声波时差、密度与孔隙度参数用于评估地层力学特性,地震数据的地层压力反演结果提供区域压力背景约束,三者的综合分析可构建实时动态风险提示系统。风险提示系统的优化依赖于多源数据联合建模,构建井下异常状态的预警判别准则。岩屑录井气测数据的变化速率、测井曲线的梯度特征及地震反演压力数据的偏差联合构建风险评价模型,提高了预警的精准度。

在计算过程中,利用压力梯度公式:

$$P=\rho gh$$

其中, P 为地层压力, ρ 为泥浆密度, g 为重力加速度, h 为井深,根据实时测井与岩屑录井数据动态计算压力梯度,识别异常压力区域,优化钻井液密度,降低井控风险^[4]。风险提示系统在钻井过程中实现了动态调整,依靠岩屑录井的实时监测、测井数据的参数反演及地震数据的构造约束,提高了异常情况识别的可靠性,降低了钻井事故发生概率,增强了油气勘探的安全性与经济性。

3 数据融合的效果与技术优势

3.1 油气识别精度提升分析

基于多源数据协同分析的油气检测技术体系,通过整合岩屑录井系统获取的岩性剖面、矿物组成及烃类异常响应,结合测井曲线包含的导电特性、体积密度、弹性波传播参数及孔隙流体响应特征,系统性优化了储层流体制约条件。地震属性特征有效约束储层横向展布规律,构建起三维空间油气检测模型,实现了含油气单元的精准圈闭。通过跨尺度数据校正机制,测

井资料的垂向分辨率优势系统性校正了岩屑录井的纵向采样偏差,增强了烃类响应与含油饱和度的相关性。同时,岩屑录井的岩矿鉴定结果为测井解释提供了岩石物理模型的地质标定基础。在多元参数联合反演框架下,测井响应特征与岩屑地球化学属性的综合解译,显著改善了对复杂储集体的有效识别能力。数据融合前后油气层识别精度的提升情况如表1所示。

表1 数据融合前后油气层识别精度提升情况

识别方法	融合前油气 识别精度	融合后油气 识别精度	提升幅度(%)
单一岩屑录井	0.72	0.85	0.13
单一测井数据	0.76	0.89	0.13
综合数据融合	0.8	0.95	0.15

3.2 风险提示系统对勘探安全性的提升

钻井工程中面临的流体侵入、循环液漏失、钻具遇卡及地层超压等地质危害,通过录井参数异常响应实现主动防控。岩屑录井系统捕捉的烃类异常波动、压力系统变异及岩相转换特征,构成井下风险早期识别的关键判据。测井曲线揭示的岩石力学参数(如地层压实程度、结构完整性)为围岩稳定性评估提供了基础数据支撑。地震压力预测技术通过地层压力场三维重构,可有效识别区域压力封存箱边界,为潜在高压流体运移通道的定位提供地球物理依据。多源监测数据的协同应用显著增强了风险预警系统的空间分辨率与响应时效。

基于多元数据融合技术构建的井下动态监控体系,通过整合录井烃类浓度梯度变化、测井岩石力学响应及地震压力场特征,形成多源参数协同监测机制。该体系可实时评估钻井液柱压力与地层破裂压力的动态平衡关系,指导钻井液性能的精准调控,优化井周应力分布状态。录井系统的实时监测功能有效补偿了测井数据的滞后性缺陷,测井参数的岩石力学解释则为地震压力预测提供了地质力学约束^[5]。

3.3 钻井轨迹控制优化成效

钻井轨迹控制依赖地层参数、构造形态与实时井眼轨迹数据,岩屑录井提供地层岩性变化与油气显示信息,测井数据用于储层物性参数约束,地震数据提供地层倾角及构造形态,三者结合可提高井眼轨迹控制的精度,使钻头沿最优路径进入目标储层。数据融合后,测井数据提供的孔隙度、渗透率及声波时差用

于调整轨迹参数,使井眼轨迹更加符合储层地质特征,岩屑录井的实时监测功能使地层界面识别更加精准,地震数据的构造反演结果优化了井斜角度调整策略,使井眼轨迹避免进入非目标层段,提高了钻井路径规划的合理性。在轨迹优化过程中,建立轨迹控制的空间约束模型,构建井斜角、方位角与地层倾角之间的关系,以优化井眼轨迹调整策略。井眼轨迹在三维空间中的位置可表示为:

$$X=X_0+\int_0^M \cos(\alpha)\cos(\beta)dL$$

$$Y=Y_0+\int_0^M \cos(\alpha)\sin(\beta)dL$$

$$Z=Z_0+\int_0^M \sin(\alpha)dL$$

其中X,Y,Z为井眼在三维坐标系中的位置; X_0 , Y_0 , Z_0 为井口坐标; α 为井斜角; β 为方位角; dL 为微元长度。实时岩屑录井与测井数据对模型参数进行动态调整,使井眼轨迹符合目标储层结构,提高储层钻遇率。

4 结束语

综合录井与地球物理数据的融合提升了油气层识别的精度、钻井轨迹控制的合理性与风险提示系统的安全性。岩屑录井提供的地层岩性与油气显示特征增强了测井数据的可靠性,测井曲线的物性参数分析优化了井眼轨迹调整策略,地震数据的构造反演为储层展布提供了空间约束。数据融合构建了更加精准的储层评价体系,使钻井路径控制更加稳定,异常预警能力进一步增强。综合录井与地球物理数据的协同应用优化了勘探技术体系,提高了油气勘探的经济效益与技术水平。

参考文献:

- [1] 闻竹,孙凤兰,郑春生,等.综合录井技术在黄骀坳陷乌马营聚煤带深层煤岩气勘探中的应用[J].录井工程,2024,35(04):68-76.
- [2] 石晓翎.地质录井技术在F32-平1井施工中的应用[J].西部探矿工程,2024,36(12):67-69.
- [3] 陈俊华,李召兵,王延志,等.录井地质工程一体化综合解释技术在水平井压裂选层中的应用[C]//西安石油大学,陕西省石油学会.2024油气田勘探与开发国际会议论文集I.大庆钻探工程公司油气资源开发技术服务项目经理部,2024.
- [4] 王千飞.油田综合录井技术探讨[J].西部探矿工程,2024,36(09):183-185.
- [5] 康洪峰.水平井钻井过程中的综合录井技术[J].石油知识,2024(04):58-59.

流塑状淤泥质土软基地质下 支架组合设计和施工技术

贺志成

(中铁二十五局集团第一工程有限公司, 广东 广州 510010)

摘要 本文概述了珠海西部中心城区(B片区)IV标段金城路中段1号桥的现浇连续箱梁支架设计及施工流程,指出该项目面临流塑状淤泥质土软基地质条件(复杂程度一级)的挑战,并分享了在此类地质情况下处理现浇梁支架的宝贵经验,包括支架组合设计的创新思路与精细施工的关键技术,这些经验基于深厚的专业知识和丰富的实践经验,确保了桥梁结构的稳固与安全,以期同类工程的施工提供有益参考。

关键词 流塑状淤泥质土; 现浇梁支架组合; 支架预压

中图分类号: TU47

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.12.005

0 引言

在桥梁建设领域,面对复杂多变的地质条件,如何确保施工的安全与质量,一直是工程师们关注的重点。珠海西部中心城区(B片区)IV标段金城路中段1号桥,正是在复杂的软土地质条件下,不仅需要克服流塑状淤泥质土软基地质条件带来的施工难题,还要确保现浇连续箱梁支架设计与施工的稳定性和安全性^[1]。相关人员通过深入研究和精心策划,成功探索出一套创新的支架组合设计方案,并结合精细化施工的关键技术,确保了桥梁结构的稳固与安全。这一过程中积累的宝贵经验,不仅为同类工程的施工提供了重要参考,也彰显了专业知识的深厚与实践经验的丰富^[2]。

1 工程简介

珠海西部中心城区B片区IV标段金城路中段为城市次干道,双向6车道,红线宽40 m。其中1号桥跨西城中央水系,需满足通航(孔径 ≥ 30 m、净空 ≥ 3.2 m、水位0.6 m)及桥下行人通行净空要求。桥长96.08 m、宽40 m,跨径布置25.5+40+25.5 m,上部为变截面预

应力混凝土连续箱梁,下部采用薄壁桥台、双柱式花瓶型门式框架墩,群桩基础。桥址位于金湾区红旗镇,地质自上而下为2 m人工素填土、20~30 m淤泥质土、中(粗)砂、砂质黏土及花岗岩。

2 现浇梁支架组合方案设计

现浇连续箱梁采用支架组合施工,跨越中央水系部分采用“预应力管桩+贝雷梁支架+承插式盘扣脚手架”组合方案。管桩基础顶设I56a工字钢分配横梁,桥墩处用 $\Phi 630 \times 12$ mm钢管桩。贝雷梁上方设横向分配梁及盘扣架,顶托调梁底线形,两幅梁同时施工。施工前支架预压重量为最大荷载120%,结构从上至下含底模、分配梁等六层,四周设防护栏杆^[3]。

3 现浇梁支架组合结构计算

3.1 荷载计算种类

现浇砼容重按26 kN/m计算,超灌系数取1.05,考虑箱梁特性,各贝雷梁片荷载按分块计算,以墩顶截面为例,计算分块见图1。

①按图1分块计算现浇混凝土自重,得出各分块

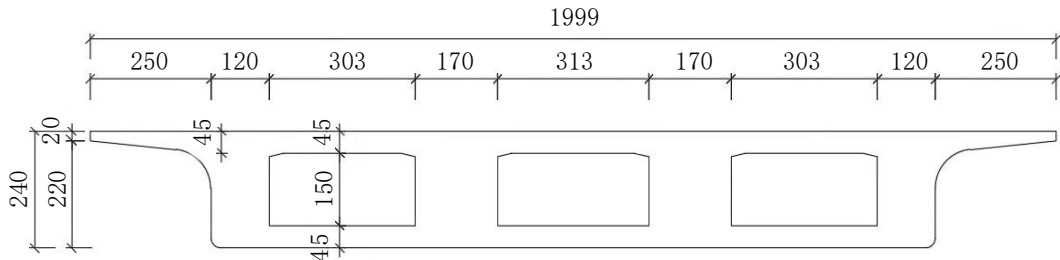


图1 箱梁自重计算截面分块

宽度（横桥向）内的荷载集度 Q ，向下部传递由 I20a 工字钢横梁承担，I20a 工字钢沿纵向间隔 60 cm 均匀布置。计算模型中混凝土自重换算成 I20a 工字钢上的线性荷载，计算如下：

翼板下 I20a 工字钢受线荷载： $Q_1 = (0.2 + 0.45) \times 2.5 \div 2 \times 0.6 \times 26 \div 2.5 = 5.07 \text{ kN/m}$

边腹板下 I20a 工字钢受线荷载： $Q_2 = 2.4 \times 1.2 \times 0.6 \times 26 \div 1.2 = 37.44 \text{ kN/m}$

中腹板下 I20a 工字钢受线荷载： $Q_3 = 1.7 \times 2.4 \times 0.6 \times 26 \div 1.7 = 37.44 \text{ kN/m}$

两侧底板下 I20a 工字钢受线荷载： $Q_4 = 0.45 \times 3.0 \times 2 \times 0.6 \times 26 \div 3.0 = 14.04 \text{ kN/m}$

中间底板下 I20a 工字钢受线荷载： $Q_5 = 0.45 \times 3.1 \times 2 \times 0.6 \times 26 \div 3.1 = 14.04 \text{ kN/m}$

② 支架自重：支架长度按钢管桩顶箱梁处支架长度计算，为方便计算，全部支架荷载均按此处计算，为最不利荷载，一排 I20a 上支撑的碗扣支架共长 263.85 m，钢管每米重 0.0447 kN，换算到作用于 I20a 工字钢上的均布荷载： $263.85 \times 0.0447 \div 19.99 = 0.59 \text{ kN/m}$ 。

③ 施工人员、施工料具堆放、运输荷载：2.5 kN/m

④ 倾倒混凝土时产生的冲击荷载：2 kN/m

⑤ 振捣混凝土产生的荷载：2 kN/m

⑥ 模板自重，按实际模板尺寸计入：3 kN/m

③、④、⑤ 属于施工可变荷载，荷载乘以放大系数 1.2。

3.2 荷载组合

荷载组合： $Q = ① + ② + ③ + ④ + ⑤ + ⑥$

表 1 构件最大组合应力及对应位置（单位：MPa）

构件	材料型号	最大应力	对应位置	容许应力
贝雷梁	16Mn 钢材	211	箱梁中支承处竖腹杆	255
分配梁	Q235 钢材	57.7	第六、七排 PHC 桩处	215
横梁	Q235 钢材	112.4	第五排 PHC 桩处	215
钢管桩	Q235 钢材	82.1	第二排钢管桩处	160

表 2 构件最大剪应力及对应位置（单位：MPa）

构件	材料型号	最大应力	对应位置	容许应力
贝雷梁	16Mn 钢材	80.4	箱梁中支承处竖腹杆	208
分配梁	Q235 钢材	22.4	第二、三排钢管桩处	125
横梁	Q235 钢材	48.9	第三、五排 PHC 桩处	125
钢管桩	Q235 钢材	12.7	第二排钢管桩处	125

翼板下工字钢受线荷载： $Q_1 = 5.07 + 0.59 + 2.5 \times 0.6 + (2 + 2 + 3) \times 0.6 = 11.36 \text{ kN/m}$

边腹板下工字钢受线荷载： $Q_2 = 37.44 + 0.59 + 2.5 \times 0.6 + (2 + 2 + 3) \times 0.6 = 43.73 \text{ kN/m}$

中腹板下工字钢受线荷载： $Q_3 = 37.44 + 0.59 + 2.5 \times 0.6 + (2 + 2 + 3) \times 0.6 = 43.73 \text{ kN/m}$

底板下工字钢线荷载： $Q_4 = 14.04 + 0.59 + 2.5 \times 0.6 + (2 + 2 + 3) \times 0.6 = 20.33 \text{ kN/m}$

3.3 计算模型

根据支架结构图，以梁单元建立有限元计算模型，共 23 223 个节点和 31 407 个单元，采用 MidasCivil 软件进行计算。荷载加在贝雷梁上方的 I20a 工字钢上，按梁单元荷载加载，钢管与基础采用刚结模拟，钢管之上的工字钢、贝雷片皆采用竖向弹性支撑体系模拟。

3.4 正应力检算

施加计算强度时的荷载组合，膺架各类构件最大、最小应力及对应位置见表 1，各截面（轴向 + 弯曲）按组合应力（绝对值）最不利值计算。

由计算模型可知：贝雷梁、分配梁、横梁、钢管桩等构件材料的最大组合应力、容许正应力均满足《钢结构设计标准》要求。

3.5 剪应力检算

施加荷载组合，支架各类构件最大剪应力（绝对值）及对应位置见表 2。

由计算模型可知：贝雷梁、分配梁、横梁、钢管桩等构件材料的最大剪应力、容许剪应力均满足《钢结构设计标准》要求。

3.6 刚度检算

施加荷载组合, 计算得出荷载组合作用下贝雷梁最大竖向位移 $f_c/1=7.02\text{ mm}/9\ 000\text{ mm}=1/1\ 282 < 1/400$, 满足《公路钢结构桥梁设计规范》要求。变形最大位置为支架结构中间桩左右两跨跨中。

4 现浇梁支架组合关键施工技术

为降低施工安全风险、有效解除工期压力、减小交叉作业之间干扰、提高支架组合搭设, 我们结合现浇箱梁结构和实际软土地质情况采用钢管桩+PHC管桩组合支架, 保障了梁体施工、混凝土浇筑的安全^[4]。

4.1 管桩基础施工

钢管桩由汽车吊与挖机配合定位组装, PHC管桩采用静压桩机沉桩, 两台全站仪(90°夹角)双向控制平面位置与垂直度(偏差 $\leq 0.5\%$, $> 1\%$ 需纠偏), 记录入土深度、贯入度等数据, 焊口冷却 $\geq 8\text{ min}$ 。桩顶套 $\Phi 529$ 钢管并焊 $600\times 600\times 5\text{ mm}$ 钢板, 与 $600\times 200\times 8\text{ mm}$ 工字钢分配梁锁扣固定。经计算, PHC管桩最大承载 $1\ 210\text{ kN}$ (极限荷载 $6\ 000\text{ kN}$), 按规范设定特征值, 采用堆载预压验证单桩承载力。

4.2 支架主横梁安装

在桩顶上放出横梁轴线及下边线位置, 将在后场拼装成整体的主横梁 I56a 工字钢整体吊装(两点起吊法)并焊接限位板, 限位板焊缝质量等级符合Ⅲ级焊缝质量要求, 工字钢接头部位宜设在柱顶部位, 接头部位采用外加连接钢板焊接。柱顶与工字钢底面必须密贴, 对于因柱顶标高存在微小误差造成的不平, 可采用钢板进行支垫^[5]。

4.3 贝雷梁安装

先将贝雷片在地面上按设计片数拼装, 并分组联结好。在 I56a 工字钢横梁上按设计间距, 将各组贝雷架纵横向位置用油漆标好。用 2 台 25 t 吊车将已联结好的贝雷梁架按先中间后两边的顺序吊装到位, 并用自制 U 型卡将贝雷架固定在支撑横梁上。纵向贝雷主梁的水平偏差应 $\leq 10\text{ mm}$ 。且全架长的水平偏差不大于 50 mm 。

4.4 横向分配梁安装

横向分配梁为 I25 工字钢, 横向分配梁及面板在材料堆放区加工为半成品后, 成捆吊装运输至现场安装, 纵桥向布置步距与盘扣架间距一致为 60 cm 。为确保工字钢钢铺设位置准确, 在贝雷梁上每 5 m 设一断面, 放样现浇箱梁结构中、边线, 工字钢按桩位放样安放。

4.5 盘扣式钢管支架安装

支架上部采用承插型盘扣式满堂脚手架, 架立杆纵向的布置步距为 0.6 m , 横向布置间距为 0.6 m 。盘扣式钢管支架杆件组装顺序为: 立杆底托 $\rightarrow$ 立杆 $\rightarrow$ 横杆 $\rightarrow$ 接头插销锁紧 $\rightarrow$ 上层立杆 $\rightarrow$ 横杆 $\rightarrow$ 竖向斜杆 $\rightarrow$ 剪刀撑 $\rightarrow$ 顶托。盘扣式钢管支架纵横向应设置扫地杆, 扫地杆距底托应 $\leq 350\text{ mm}$, 剪刀撑应在钢管支架外侧周边设置, 斜杆与地面倾角为 $45^\circ\sim 60^\circ$ 并与地面顶紧。盘扣式钢管支架立杆上端包括顶托可调螺杆伸出顶层水平杆的长度不得大于 0.7 m 。

4.6 支架预压

浇筑箱梁混凝土前, 对支架进行不小于箱梁湿重 120% 的荷载预压, 采用水袋模拟加载。加载顺序为 $0\rightarrow 60\%\rightarrow 80\%\rightarrow 100\%\rightarrow 120\%\rightarrow$ 逐级卸载至 0 , 按“先两边后中间”对称压(卸)载。沿纵桥向每 5 m 设观测断面, 单幅桥每个断面布置 5 个观测点, 监测支架顶沉降与侧位移。每级持荷 30 分钟(120% 荷载持荷 1 小时), 加载完成后每 12 小时测一次, 直至连续三日日沉降 $< 2\text{ mm}$ 时卸载。通过计算弹性变形(卸荷后标高 -100% 荷载标高)、非弹性变形, 调整顶托使模板标高=设计标高+弹性变形值, 为模板安装提供依据。

5 结束语

珠海金城路中段 1 号桥地质复杂, 面临 30 m 厚流塑状淤泥质土、高水位等挑战。项目部采用支架组合方案施工, 于 2021 年 12 月完成梁体施工, 如期履约。该方案降低了安全风险, 提升了施工功效, 保障了施工安全, 兼具社会效益与经济效益, 为同类地质条件下现浇箱梁支架施工积累了经验, 具有推广价值。

参考文献:

- [1] 文延庆. 流塑状淤泥质土地层连续墙成槽软基预处理施工[J]. 山西建筑, 2013(35):39.
- [2] 许辉. 流塑状淤泥质地基连续梁支架方案分析及基础加固控制技术[J]. 中文科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2021(09):40-43.
- [3] 王泓颖. 滨海滩涂区流塑状淤泥质土层盾构隧道施工关键技术研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2020.
- [4] 万利民, 李凯, 林文豪, 等. 局部流塑状淤泥质土体坑中坑支护结构及其施工方法: CN201510509490.2[P]. 2025-04-15.
- [5] 计克贤, 王松, 陈衍庆, 等. 饱和流塑状淤泥质土方开挖及桩位质量控制技术[J]. 建筑知识: 学术刊, 2014(B04): 358-360, 368.

智能建筑消防工程安装施工技术探讨

张宏咏

(安徽省消防工程有限公司, 安徽 合肥 230001)

摘要 在建筑工程项目中, 智能设备的安装质量不仅对工程施工质量有很大的影响, 而且关系到建筑企业的健康稳定可持续发展。智能建筑消防工程作为建筑工程的重要组成部分, 在保障建筑物及使用人安全方面发挥着重要作用。本文对智能建筑消防工程安装施工技术进行了分析, 旨在为提高智能建筑的消防安全水平提供有益参考。

关键词 智能建筑; 消防工程; 火灾自动报警系统安装; 消火栓系统安装; 消防水泵及管网安装

中图分类号: TU89

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.12.006

0 引言

随着智能技术在社会各行各业中的广泛运用, 建筑物的智能化发展已是必然趋势, 而在智能建筑中, 消防安全是智能化建筑的重中之重。火灾是一种严重危害人民生命财产安全的灾害, 会对社会的稳定与经济的发展产生重要影响。在智能建筑中, 由于人员密度大, 设施成本高, 如果发生火灾, 将造成严重的后果。将智能化消防工程运用于智能建筑中, 不仅可提升防灾与应急救援能力, 还可以提升建筑物的管理效能。

1 智能建筑的定义与特点

智能建筑是现代建筑技术、计算机技术、通信技术和控制技术的综合融合, 是一种高度集成和智能化的建筑系统。在此系统中, 根据使用者的需求, 将建筑物的构造、体系、服务与管理等要素进行优化组合, 营造出高效、舒适、便捷的人性化建筑环境。智能建筑的一个重要特征就是智能化。通过运用现代计算机技术、自动控制技术、通信技术等, 可以对建筑物中的各种设备及系统进行自动监控、管理。这样的智能化不但大大提高了建筑的使用效率, 而且给使用者带来了更多的方便和舒适^[1]。例如: 通过智能控制系统, 智能建筑能够依据室内外环境参数自动调节空调、照明等设备的运行状态, 从而为用户提供一个舒适的室内环境, 同时实现能源的高效利用。其次, 自动化在智能建筑中也发挥着关键作用。在智能建筑中, 各种设备和系统能够自动运行, 并不需要人工过多的干预。如智能电梯系统, 它能够根据楼层呼叫情况自动规划运行路线, 从而提高运输的效率。此外, 由于智能建筑采用了模块化、标准化的设计理念, 智能建筑能够根据用户的需求进行灵活的调整 and 改变, 从而满足不同用户的需求。

2 智能建筑消防工程的重要性

智能建筑消防工程在当代建筑安全领域中非常重要, 其重要性体现在预防火灾、及时报警、有效灭火以及保障人员疏散等多个方面, 对于维护生命财产安全具有不可替代的作用。在预防火灾方面, 智能建筑消防工程通过部署一系列高科技的火灾探测设备, 构建起一道坚固的安全防线。这些设备包括智能感烟探测器、感温探测器、火焰探测器等, 利用先进的传感技术对建筑内的环境参数进行 24 小时不间断的监测。例如: 智能感烟探测器能够精确捕捉到空气中微小的烟雾颗粒, 一旦检测到烟雾浓度超出安全范围, 就能够迅速的触发预警机制。同时, 电气火灾监控系统会对建筑内的电气线路进行实时监控, 从而有效识别过载、短路、接触不良等潜在火灾隐患, 并通过预警或自动断电等措施预防火灾的发生。其次, 智能建筑也能够进行及时报警。当火灾探测器捕捉到火灾信号时, 智能消防报警系统就会立即启动, 并且通过高效的通信网络将报警信息迅速传递至消防控制中心。智能消防报警系统应用了先进的信息技术, 实现了火灾报警信息的快速、准确的处理。在接到火警警报后, 消防指挥中心能即时显示出火情的确切地点及规模, 并通过声光报警装置提醒值班人员。及时快速的信息传递与反应机制可以帮助消防人员快速响应和开展灭火及救援工作。

3 智能建筑消防工程安装施工难点探讨

3.1 多系统协同作业难度大

在智能建筑消防工程的安装施工领域, 多系统协同作业的难度是一个不容忽视的问题。消防工程的安装涉及消防电气系统、消防水系统、气体灭火系统等多个子系统的集成, 这其中每个系统都有其独特的运

作原理和技术要求,而它们之间的协同作业则是确保消防工程整体效能的关键。由于消防电气系统、消防水系统和气体灭火系统等在功能上虽各有侧重,但在火灾发生时,它们的协同作业对于及时有效地控制火势、保障人员的安全至关重要。但是,在实际施工过程中,这些系统之间的协同作业面临着诸多挑战,由于各系统由不同的施工单位负责,这些单位在管理模式、施工习惯和技术标准上可能存在差异,这直接导致了在沟通和协作上的障碍。其次,施工顺序的合理安排也是确保多系统协同作业顺利进行的一个难点。例如:消防水系统的管道安装需要在建筑结构施工基本完成后进行,但在此过程中,必须避免对已完成的电气线路和其他设施造成损害。同时,电气系统的布线又需要考虑到水系统管道的走向,以防止后续使用中可能出现的相互干扰问题。这种施工顺序的交错和依赖要求各施工单位之间必须有极高的配合度和协调性。

3.2 施工环境复杂

在智能建筑消防工程的安装施工中,施工环境的复杂性非常突出。在众多智能建筑项目中,尤其是高层建筑和老旧建筑改造项目中的施工空间往往显得非常狭小。这种局限性对消防工程施工提出了更高的要求。在消防工程中,施工空间必须能够容纳消防工程所需的各种材料、设备和工具,包括消防管道、电气线路、控制面板等。同时,施工人员还需在有限的空间内进行作业,这不仅影响了施工效率,也增加了操作难度。例如:在高层建筑的竖井内安装消防管道和电气线路时,施工人员不仅要克服空间狭窄带来的操作困难,还要面对由此产生的安全风险,如高空作业的安全防护问题。此外,建筑结构的复杂性也是消防工程施工中的一个重要难点。现代智能建筑的结构形式多种多样,包括框架结构、剪力墙结构、钢结构等,而每种结构形式都有其特定的施工要求和技术规范。在钢结构建筑中,消防管道和设备的固定安装需要采用特殊的连接方式和支架,以确保其在建筑使用过程中的稳定性和安全性,而这种特殊性就要求施工人员具备相应的专业技能和施工经验。总之,智能建筑消防工程的施工环境复杂性增加了施工的难度,这也对施工技术和项目管理提出了更高的要求。

4 智能建筑消防工程安装施工技术

4.1 火灾自动报警系统安装

火灾自动报警系统安装是智能建筑消防工程安装施工中的重要组成部分,其安装质量直接关系到火灾发生时能不能及时地发出警报,从而保障人员安全和

减少财产损失。因此,施工单位在选择火灾探测器的安装位置时必须谨慎,并且需要综合考虑建筑的布局、空间高度、环境特点等多种因素。在智能建筑中,在对火灾探测器进行安装时要遵循一定的原则,探测器到墙壁、梁边的水平距离不能小于 0.5 米,这是为了减少墙壁或梁对探测器探测效果的潜在影响。同时,探测器周围 0.5 米范围内应保持无遮挡,这样才能确保探测器能够无障碍地感知到火灾信号,实现全面而准确的监测。

在宽度小于 3 米的内走道顶棚上安装探测器时,要采取居中布置的方式,这样能够有效覆盖整个内走道的空间,确保监测无死角。对于感温探测器的安装,施工单位在安装时安装间距不应超过 15 米,并且探测器距端墙的距离不应大于探测器安装间距的一半,这样的布置能够确保在火灾发生时探测器能够及时捕捉到温度变化,从而迅速地发出报警信号。在设有空调系统的场所中,探测器的安装位置也需要特别考虑。探测器至空调送风口边的水平距离不应小于 1.5 米,至多孔送风顶棚孔口的水平距离不应小于 0.5 米,这是为了防止空调气流对探测器造成干扰,确保探测器能够在正常环境下工作。此外,在建筑内部,手动报警按钮的安装同样重要,要选择明显且便于操作的部位进行安装,一般建议底边距地高度为 1.5 米^[2]。在安装过程中,需要确保按钮固定牢固,不得出现倾斜的现象,这样在紧急情况下人员才能够迅速并且顺利地操作。

4.2 消火栓系统安装

在智能建筑消防工程中,在对消火栓进行安装时,消火栓的安装位置要严格符合设计的规定,这样才能保证消火栓的位置既方便使用,又方便操作。在安装时,消火栓箱体边缘与地面之间的距离一般为 1.1 米,这个高度可以满足成年人的使用要求,也可以防止小孩子误触。在安装过程中,高度的允许偏差为 ± 20 毫米,而垂直度的允许偏差为 3 毫米,这些精细的要求能够确保消火栓箱的统一性和稳定性。在进行安装时,必须确保箱体牢固,无晃动或倾斜的现象,而且箱门的开启要灵活,并且开启的角度不应小于 160° ,这样才能在紧急情况下迅速地取用内部设备。在轻质墙体上安装消火栓箱时,由于墙体的承重能力较弱,这就需要采取加固措施进行加固,如增加支撑或使用加固材料,从而确保箱体的稳定性,防止因箱体脱落或变形而影响使用。在进行消火栓的安装时,要确保消火栓的阀门中心距地面高度为 1.1 米,并且与消火栓箱底边的高度保持一致,允许偏差 ± 20 毫米。阀门距箱

侧面为140毫米,距箱后内表面为100毫米,这些尺寸的精确控制有助于保证消火栓的操作空间和连接接口的标准化^[3]。消火栓的栓口也应该朝外,并且不应安装在门轴侧,这样设计是为了避免在火灾发生时门的开闭影响消火栓的使用。

4.3 消防水泵及管网安装

在智能建筑消防工程中,消防水泵的安装流程应当在基础施工完成并达到设计强度后启动。在安装前,施工人员要对水泵的型号、规格、性能参数等进行详细核对,从而确保所选水泵完全符合设计文件的要求,这是保证水泵能够满足消防供水需求的前提。在安装过程中,水泵基础的施工同样重要,水泵基础应保持平整且牢固,而且地脚的螺栓必须紧固,这样可以防止水泵在运行过程中因振动而导致的位移影响水泵的正常工作。水泵与电机的连接是安装过程中的技术要点,在安装时可以采用联轴器连接,这样可以保证两者的同心度,同心度的偏差不得超过规定的标准值,从而确保水泵和电机运行时的平稳性和效率。其次,消防管网的设计要确保能够覆盖建筑物的所有区域,同时考虑管网的走向,尽量避免与其他管道或设施发生冲突,以便于施工和维护。管道的连接方式,无论是焊接、螺纹连接还是沟槽连接,都应该严格遵守相应的技术规范,这样可以确保连接的紧密性和可靠性。

在管道系统的转弯、分支和变径处,还要合理地设置管件,如弯头、三通、变径接头等,保障水流的畅通,减少水头损失。消防管网安装完成后,技术人员必须进行试压和冲洗,这是检验管网强度和严密性的必要步骤。试压应按照设计要求和相关规范进行,试验压力通常为工作压力的1.5倍,但不得低于0.6 MPa。在试压过程中要缓慢地升压,然后在达到试验压力后稳压10分钟至30分钟,此期间可以检查管网是否有渗漏、变形等情况。冲洗环节则可以采用生活用水进行,在冲洗时,冲洗的流速不得小于1.5米/秒^[4],并且冲洗时间的确定需要考虑管道的长度和直径,一般应持续到出口处的水色和透明度与入口处基本一致,这样可以确认管道内无杂物和污垢残留。通过这些严格的安装和测试流程,可以确保消防水泵及管网系统在紧急情况下能够稳定、可靠地提供消防用水,从而为智能建筑提供坚实的安全保障。

4.4 消防联动控制系统安装

消防联动控制系统的安装与调试是确保消防设施在紧急情况下能够协同工作、有效应对火灾的重要技术环节。消防联动控制系统包括了防火卷帘、防烟排

烟风机、消防泵等多种设备的联动控制,这些的安装质量直接关系到火灾发生时消防系统的响应速度和效果。在防火卷帘的安装时,技术人员要确保其升降过程的顺畅性,导轨必须保持垂直,无倾斜的现象,从而确保卷帘的平稳运行。同时,帘板的拼接也必须牢固,无松动的现象,从而防止在火灾发生时因帘板脱落而影响防火效果。消防卷帘的控制器应设置在便于使用及维修的地方,并具有手动和自动控制的功能。同时,在调试的阶段,也要检查消防卷帘是否能够在接到火灾信号后自动落下,并且在手动的操作下是否能够做出正确的响应。其次,在进行防烟排烟风机的安装时,必须确保防烟排烟风机的基础牢固,只有基础稳固了才能承受风机运行时的振动。风机与风管的连接也必须紧密,无漏风的现象,这样可以确保排烟的效率^[5]。同时,风机叶轮的转动也要灵活,不能有卡滞的现象,这样可以保证风机在启动时迅速达到设计的风量。在调试过程中,需要测试风机的风量和风压是否满足设计要求,并检查风机在火灾信号触发时能否及时启动,有效地排出烟雾,从而为人员的疏散和灭火救援提供必要的条件。

5 结束语

消防工程安装施工是智能建筑中十分重要的环节,它不仅可以确保建筑物自身的安全,而且可以最大限度地保障建筑物内部人员的生命财产安全。一旦发生火情,智能建筑消防设备能够迅速做出反应,及时预警,并提示人们迅速采取有效措施,控制火情,将人群从火场中快速疏散出来,还可以为消防人员提供详细精确的火情信息,助力消防救援。在实际施工中,施工单位需要加强对智能建筑消防工程的重视,采取行之有效的措施确保建筑的消防安全。

参考文献:

- [1] 王海龙.智能建筑消防电气的安装施工技术及应用[J].砖瓦世界,2024(06):13-15.
- [2] 白洁.消防电气安装施工技术在智能建筑中的应用[J].门窗,2024(04):52-54.
- [3] 肖鹏,袁斌斌.智能建筑消防工程安装施工技术研究[J].智能建筑与智慧城市,2020(07):86-87,89.
- [4] 黄超.建筑机电消防安装工程施工中存在的问题与应对策略探讨[J].华东科技(综合),2020(02):91.
- [5] 赵云.建筑机电消防工程安装施工调试与管理探析[J].居舍,2021(21):170-171.

工程机械电气设备自动化技术应用分析

桑 杰, 李存瑞, 韦棕誉

(单县东大医院, 山东 菏泽 274300)

摘 要 本文探讨了工程机械电气设备中自动化技术的应用及其重要性, 分析了自动化技术在提升生产效率、增强设备可靠性和安全性方面的关键作用, 详细阐述了工程机械电气设备自动化中的传感器与执行器技术、可编程逻辑控制器 (PLC) 技术、现场总线技术以及远程监控与故障诊断技术等关键技术, 并从生产自动高效化、设备智能管理化、能源优化调控化以及安全环保强化四个维度深入探讨了自动化技术在工程机械电气设备中的多维度应用, 旨在为工程机械行业的转型升级和可持续发展提供理论依据和技术支持。

关键词 工程机械电气设备; 自动化技术; PLC; 传感器; 执行器

中图分类号: TP29; TU6

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.12.007

0 引言

在科技日新月异的今天, 自动化技术已然跃升为推动现代工业跃进的核心驱动力。尤其在工程机械电气设备领域, 自动化技术的渗透与融合, 不仅将生产效率推向了新的高度, 更在设备可靠性和安全性方面筑起了坚实的防线。自动化技术巧妙地将传感器、执行器、可编程逻辑控制器 (PLC) 及远程监控等尖端组件融为一体, 从而实现了对工程机械电气设备的精密操控与智能调度。这一技术革新极大地削弱了人工操作的依赖性, 有效规避了人为因素可能引发的误差风险。同时, 自动化技术的应用还赋予了生产过程前所未有的灵活性与高效性, 使得工程机械行业得以在激烈的市场竞争中脱颖而出, 加速其转型升级的步伐。具体而言, 传感器如同自动化系统的“眼睛”, 时刻洞察着设备的运行状态与环境变化, 为控制系统提供着精准无误的数据支持^[1]。而执行器则扮演着“手脚”的角色, 根据控制系统的指令, 迅速而准确地执行各项操作任务。PLC 作为自动化控制系统的“大脑”, 以其强大的编程能力与高度的可靠性, 指挥着整个自动化流程的有序进行。远程监控技术的加入, 更是让管理者能够随时随地掌握设备的运行情况, 及时应对各种突发状况, 确保生产流程的平稳运行。

1 工程机械电气设备自动化关键技术分析

1.1 传感器与执行器技术

传感器与执行器是构成自动化技术基础架构的关键组件。传感器如同精密的感知器官, 能够实时监测工程机械电气设备的状态及周围环境参数, 如温度、压力、速度等, 并将这些物理量准确地转换为电信号。

这些电信号随后被传输至控制系统, 作为数据输入, 为控制决策提供重要依据。高精度、高可靠性的传感器是实现精准控制和智能管理的前提^[2]。执行器则扮演着忠实执行者的角色。它们根据控制系统的指令, 通过电磁力、液压或气压等方式, 驱动机械设备完成预定动作, 如启动、停止、调速等。执行器的高可靠性确保了指令的准确执行, 是自动化控制流程中不可或缺的一环。

1.2 可编程逻辑控制器 (PLC) 技术

可编程逻辑控制器 (PLC) 作为自动化控制系统的核心, 以其编程灵活、可靠性高、易于扩展等优点, 在工程机械电气设备中发挥着至关重要的作用。PLC 通过接收来自传感器的信号, 执行预设的逻辑运算, 并根据运算结果控制执行器的动作, 从而实现对整个生产流程的自动化管理。PLC 的编程灵活性使其能够适应不同的控制需求, 通过修改程序即可实现对设备控制逻辑的调整。同时, PLC 的高可靠性确保了其在恶劣环境下的稳定运行, 降低了因设备故障导致的生产中断风险。此外, PLC 的易于扩展性使得系统能够随着生产规模的扩大而轻松升级, 满足企业不断增长的自动化需求。

1.3 现场总线技术

现场总线技术是一种先进的通信技术, 用于连接现场设备与自动化控制系统。它通过数字信号传输, 实现了设备间的实时通信和数据交换, 使得控制系统能够实时获取设备的状态信息, 进行远程监控和故障诊断。在工程机械电气设备中, 现场总线技术的应用极大地提高了系统的可靠性和可维护性。通过实时通信, 控制系统能够及时发现并处理设备故障, 降低了

因故障导致的停机时间。同时，现场总线技术还使得系统能够轻松实现设备的远程配置和参数调整，提高了设备的利用率和生产效率。

1.4 远程监控与故障诊断技术

远程监控与故障诊断技术利用物联网、大数据等先进技术，实现了对工程机械电气设备的远程监控和智能诊断。通过实时监测设备的运行状态，及时发现并处理故障，这一技术有效降低了停机时间，提高了设备利用率^[3]。利用数据分析技术，远程监控与故障诊断系统还能够预测设备的故障趋势，提前进行预防性维护。这不仅能够延长设备的使用寿命，降低企业的运维成本，还能够提高设备的可靠性和安全性，为企业的生产运营提供有力的技术保障。同时，远程监控技术的应用还使得企业能够实现对设备的远程管理和控制，提高了运维管理的智能化水平。

2 工程机械电气设备自动化技术的多维度应用

2.1 生产自动高效化

在工程机械电气设备的自动化革新进程中，多维度地运用自动化技术对于提升生产效率与智能化层级至关重要。此过程不仅需要生产流程实施深度优化，还需精确集成传感器、可编程逻辑控制器（PLC）等核心组件，以达成从原材料加工、组装、测试直至成品包装的全面自动化管理。

首要步骤是对现有生产流程进行全面且深入的剖析。通过精确识别各环节的自动化潜力与控制需求，可以精准确定传感器与执行器的配置位置，确保它们能够实时、精确地捕获生产现场的关键数据，并驱动执行机构精确响应控制指令。

在此基础上，构建一套高效、可靠的自动化控制系统显得尤为重要。该系统需具备卓越的数据处理与分析能力，能够迅速响应传感器采集的数据，依据预设的逻辑运算规则，发出精确的控制指令^[4]。同时，系统应融入先进的故障诊断与预警机制，以便在第一时间发现并处理生产过程中的任何异常状况，确保生产流程的连续性与稳定性。

此外，持续关注自动化控制系统的维护与升级同样不可忽视。随着生产规模的不断扩大和生产需求的日益多样化，自动化控制系统也需要不断进行优化与迭代。因此，应建立完善的系统维护与检查机制，确保系统始终处于最佳运行状态。同时，积极引入新技术、新设备，以持续提升自动化控制系统的性能与可靠性，为企业的长远发展提供坚实的技术保障。

通过上述措施的实施，不仅能够实现生产流程的自动化控制，显著提升生产效率与产品质量，更能够

在激烈的市场竞争中占据有利地位，为企业的可持续发展注入强劲动力。

2.2 设备智能管理化

在致力于实现工程机械电气设备智能化管理的进程中，企业需采取一系列全面且深入的实施策略，以确保目标的顺利达成。这些策略旨在通过技术的深度应用，实现设备状态的实时监控、故障的智能预警与高效处理，以及性能的持续优化，从而提升设备利用率、降低维护成本，并增强企业的市场竞争力。

其一，构建智能监控体系是关键。企业需要在关键设备上部署高精度、多功能的智能传感器，这些传感器能够实时采集设备运行数据，并通过高速稳定的通信网络传输至中央监控平台。该平台将整合远程监控、数据分析与智能诊断功能，实现数据的集中管理与分析。同时，为确保数据传输与存储的安全性，企业需采用先进的加密技术与安全防护措施，防止敏感信息泄露。

其二，实施智能诊断与预警机制。基于大数据分析与机器学习技术，企业应开发适用于工程机械电气设备的智能诊断算法，该算法能够实现对故障的快速识别与精准定位。同时，结合设备运行数据的异常变化，建立故障预警模型，提前发现潜在故障风险，为维修团队提供充分的响应时间。在此基础上，优化维修流程，结合智能诊断结果，制定高效的维修计划与工作流程，以提高维修效率与质量。

其三，推行性能预测与优化策略至关重要。利用历史运行数据，构建设备性能预测模型，预测设备在未来一段时间内的性能变化趋势。根据预测结果，制定针对性的性能调优计划，如调整设备参数、优化运行策略等，以提升设备运行效率与可靠性。同时，对调优后的设备进行持续监测，收集反馈数据，不断优化性能预测模型与调优策略，确保设备始终处于最佳运行状态。

其四，在人才培养与团队建设方面，企业应定期组织技术培训与交流活动，提升设备管理人员与维修团队的专业技能与知识水平。同时，积极引进具备数据分析、智能诊断与设备管理经验的高端人才，为团队注入新鲜血液与活力。通过建立绩效考核、奖励制度等激励机制，激发员工的工作积极性与创造力，为智能化管理的持续推进提供坚实的人才保障。

其五，持续优化与迭代是确保智能化管理体系始终保持竞争力的关键。企业应密切关注自动化技术、数据分析与智能诊断领域的最新进展，及时引入新技术、新方法，以提升管理体系的智能化水平。同时，

定期对智能监控体系、智能诊断算法与性能预测模型进行评估与改进,确保其始终能够适应设备管理的新需求与新挑战。通过建立用户反馈与意见收集机制,及时收集并处理用户意见与建议,不断优化服务体验与产品质量,以满足客户的多样化需求。

2.3 能源优化调控化

在工程机械电气设备的运行过程中,自动化技术的应用不仅仅局限于提升设备性能和智能化管理水平,更在能源管理和优化方面发挥着至关重要的作用。通过实时监测设备的能耗情况,企业能够获取到详尽且准确的能耗数据,这些数据为后续的能源调度和优化利用提供了坚实的基础。

具体而言,自动化技术能够实现对设备能耗的实时监测与分析。借助高精度传感器和智能数据采集系统,企业能够实时捕捉到设备运行过程中的能耗变化,包括电能、燃油等不同类型的能源消耗情况^[5]。这些数据被传输至中央监控系统,经过智能算法的处理与分析,能够形成直观的能耗报告和趋势图,帮助企业清晰地了解设备的能耗状况。

在获取到准确的能耗数据后,企业可以根据实际需求调整设备的运行参数,实现能源的智能调度。例如:在工程机械设备的作业过程中,通过调整发动机转速、优化工作负载分配等方式,可以在保证设备性能的前提下,有效降低能耗水平。此外,自动化技术还能够根据设备的实时能耗情况,自动调整工作模式,如在低负载时切换到节能模式,进一步降低能耗成本。

除了智能调度外,自动化技术还能够促进能源的优化利用。通过对设备能耗数据的深入分析,企业可以发现能耗异常点和潜在的节能空间,进而采取针对性的节能措施。例如:对老化的电气元件进行更换、优化设备布局以减少能耗损失等。这些措施的实施,不仅能够显著降低设备的能耗水平,还能够提高能源利用效率,为企业创造更大的经济效益。

2.4 安全环保增强化

在工程机械电气设备的运行管理中,自动化技术的应用不仅提升了设备的智能化水平和能源利用效率,还显著增强了设备的安全性和环保性能,为企业的可持续发展注入了新的活力。

从安全性角度来看,自动化技术通过实时监测设备运行状态和工作环境,能够及时发现潜在的安全隐患。这得益于高精度传感器和智能监控系统的应用,它们能够捕捉到设备在作业过程中的微小变化,如温度异常、振动超标等,这些变化往往是设备出现故障或安全事故的前兆。一旦监测到这些异常信号,系统

会自动触发预警机制,向管理人员发送警报信息,提醒其采取相应措施进行防范。这种实时的安全监测与预警机制,大大减少了安全事故的发生概率,保障了人员和设备的安全。

此外,自动化技术还能够通过优化设备运行参数、调整工作模式等方式,进一步提升设备的安全性。例如:在设备面临过载或过热等风险时,系统会自动调整工作负载或切换到安全模式,以避免设备损坏或引发安全事故。这种智能化的安全管理策略,不仅提高了设备的安全性能,还延长了设备的使用寿命。

在环保性能方面,自动化技术的应用同样发挥了重要作用。通过对排放物的实时监测和控制,自动化技术能够显著降低设备对环境的污染。借助先进的传感器和分析技术,系统能够准确测量设备排放物中的有害物质含量,如颗粒物、氮氧化物等,并根据测量结果自动调整排放控制策略。例如:在排放物超标时,系统会自动启动净化装置或调整设备运行参数,以降低排放物的浓度。这种智能化的排放控制策略,不仅符合国家的环保法规要求,还体现了企业对环境保护的社会责任感。

3 结束语

工程机械电气设备自动化技术的应用,对于提升设备的性能、效率、安全性和环保性具有至关重要的作用。通过传感器与执行器技术、可编程逻辑控制器(PLC)技术、现场总线技术以及远程监控与故障诊断技术等关键技术的综合应用,工程机械电气设备实现了生产自动高效化、设备智能化管理、能源优化调控化以及安全环保强化等多维度的变革。这些变革不仅显著提高了设备的运行效率和生产质量,降低了能耗和排放,还增强了设备的安全性和可靠性,减少了故障和维修成本。工程机械电气设备自动化技术的应用是推动行业技术进步、实现可持续发展的重要手段,对于提升企业的竞争力和市场地位具有重要意义。

参考文献:

- [1] 吴桐.机械设备电气工程自动化技术的应用[J].前卫,2024(23):171-173.
- [2] 张强.电气自动化技术在机械设备工程中的应用[J].工程管理与技术探讨,2024,06(06):103-105.
- [3] 邓松,杨丙龙.电气工程自动化技术在机械设备中的应用研究[J].自动化应用,2024,65(S01):333-335.
- [4] 王禹翔.机械设备自动化技术在工程中的应用研究[J].建设科技,2024(14):93-95.
- [5] 肖阳.机械设备自动化技术在建筑工程中的应用[J].造纸装备及材料,2024,53(03):56-58.

智能技术在供水施工中的应用与发展前景

王宏成, 王敬轩

(青岛瑞源工程集团有限公司, 山东 青岛 266500)

摘要 智能技术在供水施工中的应用正渐渐改变行业的整体面貌, 文章对智能技术在供水施工前期规划、过程控制以及后期验收维护方面的应用现状展开了探讨, 指出了借助 GIS (地理信息系统)、三维建模、大数据分析以及物联网等技术, 供水施工在规划阶段可精确模拟并规避风险, 在过程阶段可达成实时监测与智能控制, 在验收维护阶段依靠智能检测与运维系统来保障工程质量。结果表明, 智能技术的引入可提高供水施工的效率与质量, 为供水行业的转型升级提供关键支持。

关键词 智能技术; 供水施工; GIS; 三维建模技术; 大数据分析技术

中图分类号: TU991; TP31

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.12.008

0 引言

在科技发展迅速的时代背景下, 供水施工行业面临着提升质量、效率以及运维水平的急切需求。传统的供水施工模式存在着很多不足之处, 难以契合不断增长的用水需求以及高标准的工程质量要求。智能技术的兴起给供水施工提供了新的发展机会, 它融合了多个学科的前沿成果, 在供水施工的各个阶段都呈现出了巨大的应用潜力。深入研究智能技术在供水施工中的应用以及前景对于推动供水行业转型升级, 保障城市供水安全与稳定有着重要的意义。

1 智能技术概述

智能技术体系作为现代科技进步的关键驱动力, 深度整合了多学科前沿成果, 人工智能作为典型代表, 其核心在于构建有自主认知能力的算法模型, 使计算机系统可模仿人类的思维模式完成知识获取与决策判断。机器学习作为该体系的关键组成部分, 依靠建立数据特征与目标函数之间的映射关系, 形成基于用户画像的个性化推荐机制^[1]。在视觉感知维度, 凭借卷积神经网络对像素信息进行分层解析, 使安防设备有实时目标识别与行为分析能力, 语言交互层面则突破了传统编码限制, 使智能终端能解析语音指令的语义内涵, 可生成符合用语规范的自然对话, 当前这些创新实践正在重构传统行业的运作范式, 借助优化资源配置效率与服务质量, 持续重塑产业发展格局。

2 智能技术在供水施工中的应用分析

2.1 施工前期规划阶段

1. 利用地理信息系统 (GIS) 与三维建模技术。在项目筹备阶段, 地理信息系统 (GIS) 可系统整合施工

区域多维度空间信息, 包括微地形特征、岩土层分布规律及地下管网拓扑结构等关键数据, 基于空间拓扑算法与缓冲区分析技术, 工程团队可动态模拟不同管道路径方案, 智能规避断裂带、溶洞发育区及地下构造物, 提升线路设计的容错率。依靠点云数据与 BIM 技术的深度融合, 生成的沉浸式三维实景模型能立体呈现管道曲率半径、高程变化等参数, 借助碰撞检测功能提前预判管井位置与电缆桥架的空间冲突。以南方某历史街区管网改造为例, 借助 GIS 的空间叠置分析与三维仿真技术, 设计人员成功实现了 DN300 供水干管在明清建筑群地下的迂回穿行方案, 保护了历史建筑基础, 又保证了管网的拓扑连通性^[2]。

2. 大数据辅助需求分析。大数据分析技术已成为现代城市供水系统规划设计的核心支撑, 系统整合历史用水记录、人口迁移动态及市政规划方案等多维度信息库, 依托机器学习算法解析数据间的关联网络, 凭借追踪夏季用水高峰与冬季低谷的变化曲线, 构建动态需水量预测模型, 科学测算储水设施容量与泵站处理能力^[3]。针对城市规划中标注的住宅综合体与 CBD 建设时序, 运用空间地理信息系统锁定用水负荷激增区域, 预先部署管网扩容工程与加压站点, 实现供水基础设施与城市发展节奏的精准匹配, 有效规避重复建设风险与供给缺口隐患。

2.2 施工过程阶段

1. 物联网实时监测与控制。在工程现场实施阶段, 物联网技术搭建起动态监测与智能调控体系, 利用在各类施工设备和管道上布设压力、位移、流量等多种传感装置, 实现了对机械运转状态、管网敷设精度及环境指标的持续性数据采集与云端同步。工程人员依

靠移动终端就能实时掌握施工动态，当监测到管道承压异常、设备运行数据偏移阈值时，平台会即时触发报警机制，技术人员可第一时间介入处置，有效防范质量缺陷与安全隐患。该体系还支持关键设备的远程智控功能，例如凭借物联网中枢远程精准调节管道焊接机器人的作业参数与运动轨迹，既提升了工序衔接效率，又保障了工艺标准的稳定性^[4]。

2. 智能机器人施工应用。智能机器人技术在市政供水工程实践中凸显出不可替代的应用价值，采用程序化作业模式的管道铺设设备可在复杂的地下管廊中实现毫米级定位精度，其模块化执行机构提升管材对接效率，可以有效规避人工操作可能产生的空间定位误差。在管道焊接环节，搭载多轴联动机械臂的智能焊接系统凭借热输入控制技术保障焊缝组织的致密性和连续性，相较于传统工艺可降低约 60% 的气孔与未熔合缺陷。有自主巡检功能的管径自适应检测装置，其集成的高清成像系统和超声传感装置可对 DN300-DN2000 管道的环焊缝质量、内壁腐蚀状况进行数字化建模，为施工团队提供可视化三维检测图谱，这种基于物联网的智能诊断模式将管网隐蔽性缺陷的识别率提升至 98.6% 以上。

3. AI（人工智能）与 ML（机器学习）用于质量控制。供水工程质量管理正逐步引入智能化技术体系，其中基于计算机视觉的智能检测系统可对施工现场影像数据进行实时解析，借助特征提取与模式识别算法，系统可自动判别管道焊缝完整性、法兰盘密封度等关键工艺指标是否达标。在此基础上，结合机器学习算法对多维度施工数据进行深度挖掘，构建多维度的质量预测框架。以实际工程为例，依靠整合材料特性参数、温湿度环境指标及设备运行状态参数，该框架可预判管网系统在不同服役条件下的性能演变规律，这种数据驱动的决策支持机制使工程团队可前瞻性识别材料疲劳、应力集中等隐患，优化施工参数配置，有效提升供水基础设施的全生命周期可靠性^[5]。

2.3 施工后期验收与维护阶段

1. 智能检测技术助力验收。在工程步入验收阶段之时，智能化检测手段已然成为保障供水管道工程质量的关键核心要素，例如超声波探伤技术，凭借高频声波有的穿透性较强的特性，针对供水管道的焊缝区域展开全面且多维度的扫描工作，当声波碰到管道内部存在的如气孔、裂纹等缺陷时，会产生反射以及折射现象，形成特定的波形。专业的检测人员借助对这些复杂波形给予分析可准确识别缺陷的类型，精确判

断其于焊缝当中的分布特征。三维激光扫描系统同样有着关键的作用，依靠先进的点云建模技术，迅速对供水管道实施扫描，构建出十分精准的管线立体形态，把这一成果与预先构建的 BIM 设计模型进行智能比对，系统可自动开展运算，生成详细的空间坐标偏差分析图表，清晰呈现管道实际位置和设计要求的差异，为后续的整改提供直观的数据支持。配备高精度工业相机以及多光谱传感器的管道检测机器人，在检测领域堪称“尖兵”，可灵活地进入管腔内部，开启全景扫描模式，全方位记录管道内壁的腐蚀形态以及涂层剥落的区域，依靠强大的 AI 算法，机器人可对采集到的数据快速进行分析处理，自动生成包含缺陷定位以及量化评估的专业检测文档，详细标注出腐蚀程度、剥落面积等关键指标。

2. 基于物联网的智能运维系统。依托物联网技术搭建智慧运维平台，构建供水设施全生命周期管理体系，在输配水管网、二次加压泵房及关键节点部署温度传感器与振动监测装置，持续监测设备运行参数、水质指标及管网压力变化，依靠 LPWAN 通信协议将多源异构数据实时传输至中央管理平台，结合大数据分析手段，系统能精准识别潜水泵轴承磨损引发的温升异常、PE 管材暗漏造成的压力梯度突变等隐性故障，触发分级告警机制并生成可视化电子工单^[6]。维护团队可借助移动终端调取设备三维定位图谱与历史维护档案，实施精准化检修作业。平台嵌入动态负荷预测算法，依据区域用水量周期性特征与气象参数，智能调节加压机组的并联运行模式及变频参数，在保障供水稳定性的同时降低综合能耗 18%~22%，提升关键设备服役年限，实现从被动检修到主动预防的运维模式转型，全面提升水务系统的运营效能与管理精度。

3 智能技术在供水施工中的应用前景

3.1 技术创新推动应用拓展

随着科技革命的持续推进，供水施工领域正迎来智能化转型的关键机遇。在数据处理与分析层面，深度学习算法将持续升级，使其可有效整合施工区域的三维地理信息、设备动态参数及建材性能等多元异构数据。以管道焊接工艺为例，系统依靠实时采集电流波动、电压稳定性与焊接速率等关键参数，可提前预测焊缝气孔或未熔合等缺陷的发生概率及具体坐标，这种预测性维护技术将大幅降低质量事故发生率。基于区块链技术构建的项目数据库能动态整合历史工程数据与实时施工信息，结合资源调度模型与市场价格

指数预测,可为项目管理者提供成本预算与施工周期优化方案。在监测技术领域,新一代仿生传感器突破传统压力流量监测局限,实现了管材微观应力分布与腐蚀速率的纳米级检测。采用分子自组装技术制造的智能传感器,可直接融合于管壁分子结构中,连续监测材料疲劳损伤累积过程,使管道爆裂风险的预警周期提前至五年以上。施工机器人技术也取得突破性进展,有多模态感知能力的铺管机器人能自适应复杂地质环境,在喀斯特地貌或滩涂区域可自主切换螺旋掘进或浮力支撑模式,将铺设精度提升至毫米级。焊接机器人则搭载了原位修复系统,当激光扫描检测到0.1毫米级焊缝瑕疵时,可在300毫秒内启动等离子体补焊程序。虚拟现实技术的深度应用正重塑施工培训体系,依靠构建数字孪生施工平台,操作人员可获得累计1000小时以上的沉浸式训练时长,使现场操作失误率降低至0.5%以下。提高现实智能眼镜已实现施工图纸全息投影与设备运行参数动态叠加,在管道对接作业中可提供亚毫米级定位指引,这种虚实融合的作业方式使施工效率得到提升,标志着智慧水务建设进入全新的发展阶段。

3.2 行业发展与政策支持

供水行业的转型升级趋势与政策红利的叠加效应,正为智能化施工技术创造前所未有的发展空间。在新型城镇化战略推动下,人口集聚效应与城市空间拓展形成叠加压力,使得供水系统进行结构性变革,传统供水网络普遍面临锈蚀管网渗漏率高、高峰时段供水短缺、水质监测盲区多等痛点,需要借助智能感知设备和数据分析平台实现精准化运维。在新城规划建设中,BIM技术与GIS系统的深度融合,使得管网布局能提前规避地质风险,施工过程可实现数字孪生模拟,面对行业集约化发展趋势,供水企业正将智能技术作为提质增效的关键抓手,例如凭借水力模型算法优化泵站调度策略,使能耗降低。这种技术革新重塑了施工管理模式,重构了供水服务的价值链条。政策层面则凭借多维支撑体系加速技术渗透,包括设立智能化改造专项引导基金、推行设备加速折旧税收优惠等经济杠杆。

3.3 国际合作与交流

全球范围内的技术协作与知识共享为供水工程智能化转型提供了持续动能,在智能水务技术创新领域,各国形成了差异化的技术优势与实施经验,凭借深化跨国合作机制,中国有机会吸收发达国家在智慧水务系统架构与运维管理方面的经验,在系统整合层面着

重研究国外如何实现生产端、输送网络与终端用户的智能设备联动机制,形成全链条数字化管控体系。数据治理方面则着重引入国际领先的预测性分析算法与多层级安全防护体系,有效强化我国供水工程的数据价值挖掘能力与网络防御韧性。我国科研团队已在关键领域实现突破性进展,自主研发的耐候型智能传感装置成功攻克复杂工况下的监测难题,其自适应校准功能可提升管网状态感知精度,创新推出的工程管理智能中枢系统,借助融合物联网与数字孪生技术,实现了施工全要素的动态优化配置。依托国际技术论坛与跨境产学研项目,这些创新成果正在重构全球水务技术生态圈,跨国技术联盟的常态化运作,推动形成了覆盖智能调度算法研发、恶劣环境设备维护等共性难题的协同攻关网络,这种跨地域的技术协同催生了模块化智能净水装置等创新产品,更培育出基于人工智能的管网健康评估系统等新型解决方案,为全球供水基础设施的智能化升级开辟了多元化技术路径。

4 结束语

智能技术在供水施工中的应用已有十分明显的成效,从工程前期的规划到后期的运维都对供水工程质量与效率有一定程度的提升。随着技术创新、行业发展以及国际合作的推进,智能技术的应用会不断拓展和深入,然而在应用时要持续攻克技术难题、优化政策环境,供水行业应抓住机遇,积极引入技术,推动自身实现高质量发展,为城市可持续发展提供坚实的保障,从而构建智慧水务新生态。

参考文献:

- [1] 刘敬坡,李阔.基于物联网的城市供水管网漏损智能监测技术研究[J].中国科技论文在线精品论文,2024,17(04):415-419.
- [2] 赵笠程.人工智能技术在供水设备机械电气自动化控制中的运用分析[J].中国设备工程,2024(15):30-32.
- [3] 汤正举,陈博,姜遍地.人工智能技术在供水管网漏水探测中的应用[J].城市勘测,2022(04):173-177.
- [4] 吴琮.供水设备机械电气自动化人工智能控制技术研究[J].石河子科技,2022(03):8-9.
- [5] 王钊越.基于机器学习的供水厂关键工艺参数预测研究[D].广州:华南理工大学,2021.
- [6] 张振友.浅谈供水设备机械电气自动化人工智能控制技术[J].中国新技术新产品,2020(05):28-29.

无线网络中的数据传输优化算法研究

李 刚

(国家广播电视总局七二五台, 山西 晋中 031308)

摘 要 随着信息技术的快速发展, 无线网络已成为现代社会不可或缺的一部分。然而, 在无线网络中, 数据传输面临着频谱资源受限、高速数据传输需求以及无线信号干扰等诸多挑战。本文深入探讨了无线网络中的数据传输优化算法, 分析了现有技术的不足, 提出了有效的优化策略, 以期提升数据传输的速度、质量和可靠性提供借鉴, 从而为无线网络在新兴应用场景下的高效运行提供有力的技术支撑, 推动无线网络技术的可持续发展与创新应用。

关键词 无线网络; 数据传输; 优化算法

中图分类号: TN92

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.12.009

0 引言

在当今数字化时代, 无线通信技术已经广泛应用于各个领域, 从智能手机、互联网设备, 到智能家居、智能交通系统, 无线通信技术均发挥着不可或缺的作用。无线网络作为无线通信的重要基础设施, 其数据传输的效率和质量直接影响用户体验和各类应用性能。近年来, 随着数字技术蓬勃发展, 数据流量呈爆炸式增长, 这对无线网络的数据传输能力提出了前所未有的挑战。然而, 传统数据传输算法在应对日益复杂的网络环境以及海量数据传输需求时, 短板愈发明显, 传输速度迟缓、稳定性欠佳、易受干扰等问题接踵而至。基于此, 深入研究并开发高效的无线网络数据传输优化算法, 成为解决当下困境、推动无线通信领域持续发展的关键。

1 现有数据传输算法概述

1.1 传统的路由算法

1. 距离矢量路由算法是较为基础且经典的一种算法类型, 以 RIP (Routing Information Protocol) 算法为典型代表。从原理上看, 该算法主要基于距离矢量来确定数据传输的路由路径。在实际运行时, 网络中的每个节点都需要维护一张详细的表格, 这张表格会精确记录自身到其他各个节点的距离矢量信息。为了确保路由信息的时效性与准确性, 节点会按照特定的周期, 定时与相邻节点进行路由信息的交换。通过这种持续不断的信息交互, 节点能够及时了解网络拓扑结构的动态变化, 进而依据获取到的新信息对自身的路由表进行相应的更新操作。

2. 链路状态路由算法则以 OSPF (Open Shortest

Path First) 算法为典型范例。与距离矢量路由算法截然不同, 链路状态路由算法的运行逻辑独具特色。在这种算法体系下, 网络中的每个节点会借助泛洪的方式, 将自身与邻居节点之间的链路状态信息广泛地向整个网络进行发布。当所有节点都完成链路状态信息的发布后, 每个节点便会依据收集到的全网链路状态信息, 运用著名的 Dijkstra 算法来精确计算出到达其他各个节点的最短路径。通过这种方式, 数据在传输过程中能够沿着最优路径进行转发, 从而有效提高数据传输的效率和可靠性。

1.2 数据传输协议

1. TCP (Transmission Control Protocol) 是一种面向连接的、具备高可靠性保障机制的传输协议。在正式开启数据传输流程之前, TCP 需要通过三次握手这一严谨的流程来建立起可靠的连接。这三次握手过程涵盖了发送端发送同步请求、接收端回复确认并同步自身状态、发送端再次确认等步骤, 以此确保通信双方的状态实现精准同步, 为后续的数据传输奠定坚实的基础。在数据传输阶段, TCP 采用滑动窗口机制来精细控制数据流量。滑动窗口的大小会根据网络的实时状况以及接收端的处理能力进行动态调整, 从而保证数据能够按照既定顺序准确无误地传输到接收方^[1]。

2. UDP (User Datagram Protocol) 是一种无连接的传输协议。与 TCP 形成鲜明对比的是, UDP 在传输数据时无需事先建立复杂的连接过程, 直接将数据封装成数据报进行发送。这种简洁的传输方式使得 UDP 在数据传输过程中几乎不会产生额外的连接开销, 从而极大地提高了数据的传输速度。

2 现有算法的缺点分析

2.1 传统路由算法的局限性

1. 距离矢量路由算法: 在网络拓扑稳定时, 距离矢量路由算法 (如 RIP) 依靠简单的距离矢量表和定期信息交换, 能实现基本的路由功能。但在动态无线网络中, 其收敛速度慢的劣势被放大。具体表现为, 当网络拓扑变化, 如节点故障或新节点加入, RIP 算法需长时间更新各节点路由表, 导致网络长时间处于路由不一致状态, 数据传输延迟增加。同时, 路由环路问题频发, 数据反复循环传输, 严重浪费网络带宽等资源, 极大地影响数据传输效率与稳定性。

2. 链路状态路由算法: 链路状态路由算法 (以 OSPF 为代表) 虽能快速收敛适应大规模网络, 但在无线网络中也面临困境。其计算复杂度高, 需节点进行大量运算来处理全网链路状态信息并计算最短路径, 这在资源有限的无线网络节点上会占用过多计算资源, 影响节点其他功能运行。此外, 泛洪链路状态信息会产生大量网络流量, 加重网络负担, 尤其在带宽受限的无线网络中, 可能导致网络拥塞, 降低数据传输的稳定性与可靠性。

2.2 数据传输协议的不足

1. TCP 协议: TCP 的可靠传输机制在稳定网络中优势明显, 但在无线网络却成为性能瓶颈。这是由于信道不稳定, 丢包频繁, TCP 的重传机制虽能保证可靠性, 却大大降低了传输效率。而且每次丢包都触发重传, 延长传输时间, 且对网络延迟敏感, 在高延迟环境下, 滑动窗口机制效率降低, 严重影响数据传输速度, 难以满足实时性要求较高的应用场景。

2. UDP 协议: UDP 虽传输速度快、开销小, 适用于实时性强的音频、视频流传输, 但缺乏可靠性保障。具体表现为, 在数据传输过程中, 数据包可能丢失、乱序, 对于需要准确无误传输数据的大多数应用, 如文件传输、数据备份等, UDP 无法满足要求, 限制了其应用范围。

3 数据传输优化算法的研究与改进

3.1 基于自适应调制编码的优化算法

基于自适应调制编码的优化算法, 核心在于依据信道实时状态动态调整调制编码方式。在信道条件良好的情况下, 采用高阶调制和高码率的编码方式, 可显著提高数据传输速率, 充分利用信道资源, 提升传输效率; 而当信道条件恶化时, 及时切换到低阶调制和低码率的编码方式, 能有效保证数据传输的可靠性。在实现过程中, 需实时监测信道的信噪比、误码率等关键参数, 以此建立信道质量评估模型。依据评估结果,

按照预先设定的调制编码映射表, 精准选择合适的调制编码方式。例如: 当信噪比高于特定阈值时, 选择 16QAM (正交幅度调制) 调制和高码率的 Turbo 编码; 当信噪比低于阈值时, 则切换到 QPSK (四相相移键控) 调制和低码率的卷积编码。相较于固定调制编码方式, 该算法能在不同信道条件下保持良好的数据传输性能, 显著提高了数据传输的效率和可靠性^[2]。

3.2 多径传输优化算法

多径传输优化算法利用无线信道的多径特性, 把数据分成多个子流, 通过不同路径进行传输。接收端在接收到多个子流后, 运用合并算法将其恢复成原始数据, 从而降低多径衰落对数据传输的影响, 大幅提高传输的稳定性。从实现方式来看, 发送端采用分路器将数据分成多个子流, 每个子流通过不同的信道传输。接收端可采用最大比合并 (MRC)、等增益合并 (EGC) 等算法对多个子流进行合并。以 MRC 为例, 它会根据每个子流的信噪比为其分配不同的权重, 信噪比高的子流权重较大, 然后将加权后的子流进行合并, 以此提高接收信号的质量。此算法有效利用了多径效应, 提高了数据传输的抗衰落能力, 在复杂的无线信道环境中, 能显著提升数据传输的稳定性和可靠性。

3.3 基于机器学习的传输优化算法

基于机器学习的传输优化算法, 利用机器学习算法对无线网络中的大量数据进行学习与分析, 建立网络模型, 进而预测网络状态和数据传输性能。根据预测结果, 动态调整传输策略, 实现数据传输的优化。在实现时, 常采用深度学习中的神经网络算法, 如长短期记忆网络 (LSTM)。将网络的历史数据, 包括信道状态信息、数据传输速率、丢包率等作为输入, 训练 LSTM 模型, 使其能够学习到网络状态和数据传输性能之间的关系。在实际传输过程中, 根据实时采集的网络数据, 通过训练好的模型预测未来的网络状态, 进而调整传输参数, 如发射功率、调制编码方式等。这种算法具有较强的自适应性和智能性, 能够自动学习和适应复杂多变的网络环境, 相比传统的基于固定规则的算法, 能更有效地优化数据传输性能。

4 实际应用案例分析

4.1 智能交通领域的应用

智能交通系统高度依赖实时且可靠的数据传输, 车辆与车辆 (V2V)、车辆与基础设施 (V2I) 之间需实时交互车辆位置、速度以及交通信号等大量关键信息。因车辆处于高速移动状态, 无线信道条件复杂且多变, 这对数据传输的实时性和可靠性提出了严格要求。而本文提出的基于自适应调制编码和多径传输的

优化算法,正好能满足这一需求。在车辆高速移动过程中,它可以快速感知并适应信道变化,从而确保数据稳定传输。实际应用成果显著,经案例验证,优化算法成功将车辆间数据传输延迟降低了 40%,数据传输可靠性提高了 80%,有力提升了智能交通系统的安全性和运行效率,让出行更安全、交通运转更高效^[3]。

4.2 基于机器学习的传输优化算法在工业互联网中的应用

在工业互联网中,大量传感器和执行器借助无线网络进行数据传输与控制指令下达。但这些设备分散于不同工业环境,面临强电磁干扰、复杂地形等诸多挑战。基于机器学习的传输优化算法则大显身手,它能实时分析和学习工业环境中的网络数据,自动灵活调整传输策略,以适应复杂的工业网络环境。例如:在某工厂的实际应用中,该优化算法成效斐然,传感器数据传输准确率提高了 90%,设备控制指令响应时间缩短了 50%,极大地提高了工业生产的自动化水平和生产效率,助力工厂实现降本增效,在激烈的市场竞争中占据优势。

5 数据传输优化算法未来发展趋势

5.1 5G 网络的普及应用

5G 网络的全面普及正为无线通信网络带来革命性的变革。相较于前几代通信技术,5G 具备超高速率、超大连接和超低时延的显著优势,能够提供前所未有的高传输速度和海量容量。这一特性不仅能满足当下诸如高清视频实时播放、虚拟现实(VR)/增强现实(AR)等对数据传输速率要求极高的应用场景,还为数据传输优化开拓了广阔的空间。例如:在工业互联网领域,5G 网络可实现设备间毫秒级的通信响应,使得工厂生产线的自动化控制更为精准高效,大量设备数据的实时回传与分析也得以实现,从而为数据传输优化算法的应用提供了更丰富的实践场景和更强大的技术支撑,催生更多创新的优化策略与方案。

5.2 人工智能(AI)技术的应用

人工智能技术在无线通信网络中的深度融合,正成为提升数据传输效率和可靠性的关键驱动力。深度学习和机器学习等 AI 技术手段,能够对网络中的海量数据进行深度挖掘和分析。通过建立精准的网络模型,AI 可以实时感知网络状态的细微变化,预测潜在的网络故障和拥塞风险。基于这些智能分析结果,系统能够自动、动态地对数据传输参数进行优化调整,如智能分配网络资源、动态选择最佳传输路径、自适应调整调制编码方式等^[4]。例如:利用强化学习算法,网络节点可以根据不断变化的信道条件和流量需求,自主学习并选择最优的传输策略,从而在复杂多变的网

络环境中始终保持高效、稳定的数据传输,大幅提升用户体验。

5.3 边缘计算的发展

边缘计算的兴起为解决数据传输延迟和网络拥塞问题提供了全新的思路 and 方案。其核心优势在于将计算和数据存储功能从传统的中心云端下沉至靠近终端设备的边缘节点,使得数据能够在本地进行快速处理和分析,避免了大量数据长距离传输至云端所产生的延迟和网络拥塞。以智能交通为例,路边的智能摄像头采集到的交通数据可以在边缘计算设备上直接进行实时分析,如车辆识别、流量统计等,无需将全部数据传输到远程云端,大大提高了数据处理的时效性。同时,边缘计算与无线通信网络的协同工作,能够进一步优化数据传输流程,实现更快速的数据传输和处理,为各类对实时性要求极高的应用提供坚实的保障,推动无线通信网络向更加高效、智能的方向发展^[5]。

6 结束语

本文围绕无线网络数据传输优化算法展开了深入研究。首先,通过剖析现有算法,明确传统路由算法与传输协议在复杂网络环境中的不足,难以同时满足传输速度、稳定性与可靠性的要求。其次,对基于自适应调制编码、多径传输和机器学习的优化算法进行探讨,这些算法从不同维度改进传输性能,有效提升了传输效率与可靠性。从理论层面来看,本研究丰富了无线通信数据传输的理论体系,为后续探索提供了新思路。最后,通过实际应用案例,表明了这些算法能够助力 5G 及未来通信网络的发展,为智能交通、工业互联网等行业提供有力支持,推动各行业实现更高效、稳定的数据传输。展望未来,随着 5G 网络普及、AI 技术和边缘计算的发展,有望将这些优化算法深度融合,进一步挖掘潜力,全面提升无线通信网络数据传输性能,开拓更广阔的应用前景,为社会发展注入新的活力。

参考文献:

- [1] 魏昌信. 水声传感器网络可靠数据传输的研究[D]. 长春: 吉林大学, 2024.
- [2] 徐巍, 钟宇超, 余成成. 基于遗传算法和蚁群算法的 LEACH 改进协议[J]. 无线电工程, 2024, 54(01): 199-205.
- [3] 王森. 基于改进蚁群算法及数据融合的冬小麦生长监测组网方案研究[D]. 郑州: 华北水利水电大学, 2023.
- [4] 肖剑, 何志成, 胡欣, 等. 基于贪婪算法的树形 WSN 低功耗路由算法[J]. 物联网技术, 2024, 14(01): 48-51, 54.
- [5] 付瑶. 无线电监测技术在通信网络安全中的应用研究[J]. 通信电源技术, 2025, 42(02): 185-187.

机电控制技术在热力公司供热工作中的应用

林 涛

(秦皇岛市热力有限责任公司, 河北 秦皇岛 066000)

摘 要 城市建设规模的扩大对各项基础设施提出更严格的要求, 供热系统也不例外, 用户需要获得高质量供热服务, 因此, 需充分满足其需求。传统供热系统的问题日益凸显, 如能源消耗过高、供热效率低等。为解决上述问题, 在供热系统中引入机电控制技术, 可有效提高供热系统效率。本文主要探讨了机电控制技术在热力公司供热工作中的作用与具体应用, 旨在对优化供热系统、提高用户的满意度有所裨益。

关键词 机电控制技术; 热力公司; 供热工作

中图分类号: TU995

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.12.010

0 引言

供热系统结构组成复杂, 具有不同特点, 系统控制机制各不相同, 容易出现控制不到位而诱发各种问题。在城市供热需求日益旺盛的背景下, 科学技术迅猛发展, 机电控制技术在热力公司供热中发挥着日益重要的作用, 可以有效提高供热系统控制水平, 优化系统运行状态, 保证供热有效性, 减少能源消耗, 有效提高供热效率与质量。热力公司要结合自身实际情况, 充分发挥机电控制技术的优势, 提高企业的经济效益与社会效益。

1 机电控制技术概述

机电控制技术中包含先进的计算机、电子、机械等技术, 将该技术与设备、系统相结合, 即可开展自动化控制。采用这一技术时, 要充分发挥传感器、数字化等功能, 完成一整套控制。机电控制技术的主要内容如下:

一是传感器。通过这一设备可将温度等信息进行转化, 使其成为可利用的电信号。二是执行器。根据获取的信号, 执行器会开展相应操作, 保证系统迅速响应, 提高控制精准度。三是控制系统。在这一系统中, 主要包含两部分: 控制器与软件。其中, 控制器接收信号以后, 做出进一步分析、处理, 然后将控制指令发送给执行器。在软件中, 控制算法是核心, 常见的算法有PID控制、模糊控制、模型预测控制; 控制逻辑负责实现决策, 确保系统按照要求开展工作。四是人机界面。操作人员需通过这一界面与控制系统实现交互, 确保数据得到实时化监控, 一旦发现异常现象, 系统会在第一时间发出报警信号, 提醒操作人员分析原因, 解决问题。目前, 机电控制技术正逐渐迈向智

能化方向, 系统将会越来越多地应用智能算法, 实现自适应控制和预测性维护。将物联网与机电控制系统结合, 可以实现设备互联互通与数据共享, 借助云计算和大数据技术可以对能源进行高效管理。在节能减排的背景下, 机电控制技术更加注重能源优化, 引进先进的设备, 减少能耗, 改善环境。因此, 将机电控制技术与热力公司供热工作相结合, 可有效提高系统自动化水平与运行效率。

2 机电控制技术在热力公司供热工作中的作用

2.1 加强供热系统保护

传统热力系统运行期间, 外界条件对设备、线路带来的影响不容忽视, 或者由于系统自身条件所限, 出现相应问题, 这些问题不仅会影响设备正常运行, 还会影响热力公司的效益^[1]。例如: 工作人员设定电流量时, 并未结合实际情况, 无法满足所有设备需求, 部分设备无法承受较高的电流量, 就可能会导致设备出现短路现象, 或者影响供热系统正常运行, 甚至导致整个供热系统面临瘫痪。在这种情况下, 工作人员要采用先进的机电控制技术, 对电流量进行有效的控制, 加强对设备的保护。

2.2 实现自动化控制

热力公司引进机电控制技术可以保证体积庞大的设备得到有效的控制。例如: 对高压开关设备进行自动化控制。在供热期间, 通常对设备进行分散操作, 一旦设备出现突发性故障, 系统需要将电路及时切断, 否则会造成整个供热系统无法运行。为了避免这一类问题出现, 需充分运用机电控制技术, 构建完善的自动化管理与控制体系, 对供电设备运行进行优化, 保证系统运行更加安全可靠。

2.3 开展功效测量

利用机电控制技术可进一步提高供热效果, 保证设备实现有效运行。具体表现如下: 一是利用机电控制技术对整个系统进行有效的控制, 对各设备协同进行优化, 提高能源的利用率, 达到更加理想的供热效果。二是进一步优化设备的运行过程, 保证供热设备处于最佳运行状态, 还可帮助维护人员定期对设备进行检查与维护, 开展故障检测, 并及时做出调整。三是对效果进行测试和分析, 从而进一步评估系统的运行效率, 及时发现问题并做出相应调整。四是利用传感器和监控系统对设备的运行状态数据进行实时化监测和采集, 并做出进一步分析, 及时发现问题。五是对供热网络中各个节点进行有效的控制和管理, 对各项运行参数进行全面分析, 优化系统性能。

2.4 加强综合性监控控制管理

利用机电控制技术对设备的用电效果进行分析, 以此实现综合性管理与控制。例如: 对供热进行控制时, 采用自动化技术对设备进行控制, 可以及时发现设备中存在的故障, 对设备的运行状态进行全面分析和管理, 保证故障及时得到处理, 提高设备质量, 延长设备使用寿命^[2]。

3 机电控制技术在热力公司供热工作中的应用

3.1 供热系统自动化控制

热力公司开展供热工作时, 要积极打造先进的自动化控制系统, 对供热系统的运行状态进行优化, 为广大群众提供高品质供热服务, 减少对能源造成的消耗。将自动化控制系统与换热站相结合, 可以保证系统功能更加丰富。结合具体要求, 融入自动化设计理念, 保证换热站运行更加规范, 提高资源利用率。自动化控制以其多元化功能支持系统稳定、安全运行, 因此, 许多热力公司对这一技术十分青睐, 这一技术的使用频率越来越高。这一系统中包含的功能比较多, 例如信息管理、热计量和自动化控制。控制系统可利用先进的传感器和监测设备及时获取供热设备的温度和热量等相关数据, 保证系统能够迅速响应各种变化, 提高供热效果, 满足用户需求。通过对监测数据进行, 可对供热系统的整体运行情况进行评估。自动化控制技术不仅关注设备实时状态, 还会结合用户的需求做出相应调整, 从而保证能源得到有效利用, 提高供热系统运行的有效性。

在供热自动化控制系统中, 分散控制系统(DCS)的应用范围日益扩大, 得益于计算机技术先进的计算

分析功能和自动化控制技术的便捷操作, 可对供热进行全自动化控制, 减少对人员的依赖。DCS 系统的主要特点如下: 一是可靠性。系统采用容错设计方式, 保证各个计算机在运行时保持独立, 即使某一环节无法运行, 也不影响整个系统运行, 从而提高系统的可靠性。二是便捷性。DCS 系统硬软件具有高可靠性和强大的集成化特征, 同时还可定期升级, 满足操作人员的需求。利用计算机软件可开展高精度控制, 保证各项数据得到妥善处理, 并对各数据之间的关联进行合理分析和处理, 降低操作难度。三是可控性。DCS 系统可以结合具体工况, 采取有效的控制措施, 保证供热系统各项参数得到合理控制。四是标准化。对 DCS 系统进行设计时, 严格遵循标准化设计原则, 对系统进行更新时, 可结合具体需求, 改进标准模式, 操作比较方便^[3]。

3.2 数字化监测优化故障检测

3.2.1 合理选择和布置传感器

利用数字化监测系统可对各种设备的运行参数和信息进行实时化监测, 支持这一系统的主要设备是各种传感器^[4]。传感器采集的数据信息可为决策提供参考依据, 帮助工作人员及时了解设备的运行状态。在供热系统中, 常用传感器有以下几种:

一是电压传感器, 主要用于测量电极电源的电压, 测量精度可达到 0.2%, 误差极小。二是电流传感器, 主要对电机的运行电流进行测量, 测量精度达到 0.1%, 可对电机的电流变化进行有效的监测, 同时其频响范围达到 10 kHz, 说明该传感器可以对电流变化予以迅速响应^[5]。三是温度传感器, 主要用于测量电机绕组的温度, 误差不会超过 0.5℃。四是振动传感器, 主要对电机轴承的机壳的振动加速度测量, 可对不同频率的振动信号进行监测, 灵敏度极高。

当传感器采集到相应的数据后, 就可对其展开进一步分析。比如: 对电机性能评估时, 需考虑其电压和电流情况, 全面分析上述参数, 可判断设备是否存在过载现象; 对电机绕组的温度变化进行监测, 可以合理评估其绝缘状态; 对振动信号进行分析, 可以进一步检测轴承是否出现故障。传感器可获取环境参数信息, 分析温度和湿度等因素对设备所造成的影响。设置传感器时, 需保证其量程达标, 并留出一定的余量, 避免出现测量失真等情况^[6]。

3.2.2 数据采集与处理

在数字化监测系统中, 需采用先进的数据采集设备, 对各种传感器信号及时获取。为了进一步提高信

号质量,将其噪声去除,可通过对信号进行放大等操作,搭配使用滤波电路做出进一步调整。为避免监测中断,可设计多个数据采集通道,保证部分通道有一定冗余,避免某一点故障影响正常监测。将多路模拟量电流信号进行转换,使其成为数字信号,利用光纤以太网对数字信号进行迅速传输。采用工控机对海量的监测数据进行存储、处理和分析,可以生成报告,或者及时预警,为决策提供参考依据。合理开发人机界面,满足用户查看数据的需求。将数据存储到MySQL等工业数据库之中,帮助用户对设备的运行趋势、故障进行分析。生成统计报告,协助工作人员分析设备的运行状态等内容。重视原始数据的处理,利用专业的数字信号处理技术优化数据内容,进一步提高数据质量,提高数据分析的准确性^[7]。对数据进行预处理后,需提取其关键参数、指标。在深度学习模型中输入处理后内容,通过人工神经网络评测设备状态,对故障类型进行自动化识别,实现智能诊断。

3.2.3 故障检测算法

智能算法可赋予系统以强大的分析能力,可以对故障进行准确检测。一是知识库法。构建专门的设备故障知识库,将检测到的信号与知识库进行匹配,做出进一步判断。二是模型驱动法。构建设备数学模型,利用模型进行模拟计算,将计算结果与实际信号进行对比,根据二者偏差,实现对故障的诊断。三是信号分析法。通过函数变换、小波分析等方法对故障进行识别。四是机器学习法。利用SVM、深度神经网络对模型进行训练,对数据进行实时化检测,实现对故障的识别与诊断。此外,也可将各种方法相结合,提高故障诊断精度^[8]。

3.3 节能降耗技术

3.3.1 优化锅炉设备

根据锅炉的热效率,分析锅炉的能源消耗,做出准确判断,再对设备进行优化。采用自动化控制技术对锅炉房运行状态进行优化,若技术使用合理,可有效提高燃煤供热锅炉设备的热效率,使其超过80%。定期对锅炉运行状态进行检查,采取合理的优化措施,消除不利因素影响,提高锅炉运行效率。

3.3.2 改善热量输送环境

为有效提高热网效率,需合理调整管道的埋设方式。例如:采用直埋敷设的方式,可以加强对管道的保护,减少能量损失,使用户端获得更多能量,更好地满足用户需求,减少热量浪费。需对管道铺设路径进行合理规划,科学处理管道节点。

3.3.3 引进先进的硬件设施

设置合理的平衡阀,可以有效减少外界因素对供热系统所带来的影响,保证设备、水泵的运行状态良好,有效发挥设备性能与优势,降低能源消耗量。合理设置平衡阀,可以对每个设备的流量合理分类,使设备均能发挥最佳性能,改善供热效果。同时,平衡阀可以减少管道中的流动阻力,降低能量损失。

3.3.4 完善人工智能控制

将自动化控制与新一代人工智能技术相结合,使自动化控制系统适合更加复杂的环境,处理更复杂的数据,为决策提供支持。工作人员可对煤样进行分析,进一步判断燃烧过程中最佳操作参数,然后利用计算机开展人工调节。工作人员需结合负压力值与含氧量变化,及时对鼓引风机速度调整,同时,建立实时化反馈机制,使系统结合燃烧情况,自动调整参数,提高燃烧效率。

4 结束语

为保证供热系统正常运行,供热公司需引进先进的机电控制技术,搭配使用自动化控制与人工智能技术,使供热系统能够应对更加复杂的环境。未来,随着技术不断进步,机电控制系统日益先进,可对经济、社会效益进行合理协调,提高供热效率,降低企业的管理、运营成本。合理运用大数据、人工智能等先进的技术,可不断优化供热系统功能,减少资源浪费,达到节能降耗的效果,供热系统将迈向智能化方向,更好地满足用户需求,提高供热公司的效益。

参考文献:

- [1] 韩国彬.分析电气控制技术在热力公司供热工作中的效用[J].区域治理,2023(28):162-164.
- [2] 高丽娟.基于数字化监测技术的供热系统电气设备故障检测与分析[J].数码设计,2024(08):120-122.
- [3] 史尚典.供热系统自动化控制及其节能降耗措施分析[J].现代工业经济和信息化,2023,13(02):203-204,207.
- [4] 梁振峰.供热系统的自动化控制及节能降耗研究[J].砖瓦世界,2023(03):223-225.
- [5] 张月.供热系统节能降耗分析[J].建筑·建材·装饰,2025(02):175-177.
- [6] 丁芳超.机电控制中PIC与仪器仪表的协同作用研究[J].仪器仪表用户,2025,32(02):46-47,50.
- [7] 牟雪松,王新沅.PLC技术在机电自动化控制中的应用研究[J].仪器仪表用户,2024,31(10):70-72.
- [8] 郭宜君,孙海秀,王颖.智能控制技术在机电控制系统中的应用[J].造纸技术与应用,2024,52(03):49-51.

基于 PLC 技术在工业机械电气自动化控制中的应用

姜建昊, 张小孟

(山东正宇消防工程有限公司, 山东 东营 257000)

摘要 可编程逻辑控制器 (PLC) 技术作为一种先进的控制技术, 通过其高度的灵活性、强大的计算能力以及简化的编程方法, 逐渐成为提高工程机械自动化控制系统性能的关键手段。本文探讨了基于 PLC 技术的工程机械电气设备自动化控制系统的设计与实现, 评估了其在响应速度、故障检测及系统稳定性等方面的性能, 并与传统控制系统进行对比, 以验证 PLC 技术在实际应用中的改进效果, 旨在为相关人员提供参考。

关键词 PLC; 工程机械; 自动化控制

中图分类号: TP31; TH17

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.12.011

0 引言

随着科技的进步和社会经济的持续发展, 工业机械电气自动化控制水平不断提升, 其中, 作为非常关键的控制元件, PLC 在工业机械领域具备非常关键的地位和作用。随着 PLC 技术的进步, 稳定性和安全性较强的网络通信以及信息技术等可以在其中渗透, 其在推动工业机械电气自动化控制上的效果显著, 可以群体或单体化控制一系列电气设备, 进而有助于企业效益的增加。

1 PLC 技术基本原理

1.1 工作原理

PLC 是一种专用于工业自动化控制的数字运算操作电子系统。其主要功能是通过程序化的方式对输入设备 (如传感器、开关等) 进行监测, 并根据预设的控制逻辑对输出设备 (如电机、阀门等) 进行控制, 以实现自动化的生产流程。PLC 的工作原理基于循环扫描机制。首先, PLC 读取所有输入设备的状态, 将其转换为内部数据存储在输入映像寄存器中; 其次, 根据用户编写的控制程序逐条执行指令, 逻辑运算后的结果会存储在输出映像寄存器中; 最后, PLC 将输出映像寄存器中的数据发送给输出设备, 驱动相应执行元件。整个过程使得 PLC 能够实时响应输入信号的变化, 并根据预设的逻辑进行快速、准确的输出控制。通过各种通信协议与其他控制设备、上位机系统进行数据交换和协同工作, 使得 PLC 在复杂的工业控制系统中, 能够作为核心控制单元, 实现分布式控制和集中管理的有机结合。

1.2 设计原则

PLC 系统设计需遵循全面性、经济性、可靠性和发

展性原则。全面性要求设计考虑到工业生产各种需求, 包括设备类型、操作环境和具体工艺流程等, 需详细掌握被控对象信息, 通过现场调研和与操作人员沟通, 收集相关资料, 明确控制系统功能、机械和电气系统相互关系以及人机界面和系统工作模式等。经济性强调设计过程中采用简单而有效方案, 既满足控制需求又控制成本, 合理选择 PLC 型号和配置, 优化 I/O 模块数量和布局以及选择适合外围设备。可靠性则要求系统在各种复杂工况下依然能稳定运行, 需确保电源稳定性、信号抗干扰能力以及系统冗余设计等。发展性是指设计时应预留足够接口和扩展槽位, 以便未来进行功能扩展和技术升级, 同时保持与其他控制系统良好兼容性和通讯能力。以上设计原则确保 PLC 系统能够高效、稳定、灵活地满足现代工业生产需求^[1]。

2 PLC 技术在电气工程自动化控制中的应用优势

2.1 提高自动化控制水平

PLC 技术在电气工程自动化控制中的应用, 极大地提高了自动化控制水平。基于 PLC 的编程和配置, 可以实现对电气设备的精确控制、实时监测和故障诊断, 提高了系统的控制精度和稳定性。同时, PLC 还提供了丰富的控制功能和算法, 如顺序控制、开关量控制、数据控制和闭环控制等, 可以满足不同行业和领域对自动化控制的需求。PLC 技术的应用还推动了电气工程自动化控制向智能化、网络化和集成化方向发展。PLC 与上位机程序的通信和联动, 可以实现更加高效、协同和智能的生产过程。此外, PLC 还可以与云计算、大数据和人工智能等先进技术相结合, 为电气工程自动化控制提供更加智能化和自主化的解决方案。

2.2 提高系统的稳定性和可靠性

PLC 技术在优化系统结构方面具有显著优势。由于 PLC 的模块化设计和可扩展性，可以方便地构建各种规模的自动化系统，并根据实际需求进行灵活配置和扩展。这种灵活性使 PLC 技术能够适应不同行业和领域对自动化控制的需求，降低了系统构建和维护的成本。同时，PLC 技术在提高系统的稳定性和可靠性方面也发挥了重要作用。PLC 技术采用高性能的处理器和先进的通信技术，具有强大的数据处理和传输能力。基于 PLC 技术的故障自诊断功能和安全保护功能，可以实时监测系统的运行状态和故障情况，并采取相应的保护措施^[2]。此外，PLC 技术还提供了多种冗余和容错技术，如热备份、冷备份和分布式控制等，进一步提高了系统的可靠性和稳定性。

2.3 提高生产效率，降低生产成本

基于 PLC 技术的自动化控制，可以实现对生产过程的精确控制和优化，减少了人工干预和误差，提高了生产效率和产品质量。同时，PLC 技术还可以与其他自动化设备进行通信和联动，实现生产过程的自动化监测和调节，降低了生产成本和能耗。此外，PLC 技术还提供了丰富的数据采集和分析功能，可以实时监测生产过程中的各种参数，为生产决策和优化提供了有力支持。借助 PLC 技术的数据处理和分析能力，可以实现对生产过程的精细化和标准化管理，进一步提高生产效率和经济效益。

3 工业机械电气自动化控制中 PLC 技术的具体应用方面

3.1 闭环控制

PLC 技术在机电工程自动化闭环控制领域中也有一定的应用。其强大的控制功能和灵活性为工业自动化带来了革命性的变革。闭环控制是一种反馈控制系统，根据被控量的实际值与设定值的偏差进行调节，消除偏差或使其保持在允许的范围内，从而实现对被控对象的精确控制。PLC 技术在闭环控制中的应用，不仅提高了系统的控制精度和稳定性，还增强了系统的自适应能力和抗干扰能力。在机电工程自动化中，PLC 技术被广泛应用于各种需要闭环控制的场景。例如，在电机速度控制系统中，PLC 技术通过与转速传感器、电子调节器等设备的配合使用，实现了对电机转速的闭环控制。具体而言，PLC 技术首先接收转速传感器反馈的电机实际转速信号，然后将其与预设的转速设定值进行比较，计算出转速偏差。接着，PLC 技术根据转速偏差的大小和方向，通过电子调节器对电机进行调速控制，使电机转速逐渐趋近于设定值，达到闭环控制的目的。这种控制方式不仅提高了电机转速的精度和稳定性，还实现了对电机运行状态的实时监测和故障预

警，为电机的安全稳定运行提供了有力保障。在温度控制过程中，PLC 技术通过接收温度传感器反馈的温度信号，将其与预设的温度设定值进行比较，计算出温度偏差。随后，PLC 技术根据温度偏差的大小和方向，通过控制加热或冷却设备的工作状态，实现对温度的闭环控制。这种控制方式可以精确控制温度的变化范围，避免温度过高或过低对生产过程造成的不利影响^[3]。同时，PLC 技术还能实时监测温度传感器的状态，及时发现并处理传感器故障，确保温度控制系统的可靠性和稳定性。在机电工程自动化中，PLC 技术还广泛应用于液位控制、压力控制等闭环控制领域。在液位控制系统中，PLC 技术通过接收液位传感器反馈的液位信号，实现对液位的精确控制，确保液位保持在设定的范围内。在压力控制系统中，PLC 技术通过接收压力传感器反馈的压力信号，实现对压力的闭环控制，确保压力的稳定性和安全性。PLC 技术在闭环控制中的应用，避免了因控制不准确或故障导致的生产事故和质量问题。同时，PLC 技术还具备强大的数据处理和通信功能，能够与上位机、其他 PLC 等设备实现数据交换和远程监控，为工业自动化系统的集成和优化提供有力支持。

3.2 应用 PLC 技术机械顺序控制

机械电气自动化控制中可以通过 PLC 技术实现顺序控制，从而保障生产线与设备的执行正确的生产流程。PLC（可编程逻辑控制器）技术在机械电气自动化控制中常用于顺序控制，用于确保设备和生产线中的各个步骤按照正确的顺序执行。首先，确定需要执行的步骤和操作的顺序。这些步骤可能包括启动、停止、加载、加工、卸载等。在关键位置安装传感器和开关，用于检测设备状态、位置和事件。传感器通常用于检测物料的到达、位置的确认和其他条件。一是借助 PLC 编程软件对顺序控制程序进行编写。有关程序结合开关、传感器的输入信号对设备操作进行控制。可以将逻辑控制条件（输入按钮、计时器、传感器状态等）界定在 PLC 程序中，从而明确执行一系列流程的时间。在达到 PLC 程序逻辑条件的情况下，PLC 会对有关的控制操作予以执行，即对设备触发，从而运行有关的流程。应用 PLC 技术可以对电机的方向、速度、停止或启动进行控制。保障设备的安全在顺序控制中显得非常关键。PLC 技术能够集成紧急制动、锁定安全门、急停等功能，从而保障设备和操作人员的安全。还可以借助监控设施和人机界面对顺序控制的状态进行实时监测^[4]。此外，PLC 技术能够对所有流程的执行信息、事件、时间进行记录，从而监测与分析生产环节。

3.3 PLC 在数控系统中的应用

在数控系统中，PLC 通常负责整合各种硬件组件，

如驱动器、电机、传感器和操作界面。进行系统的硬件配置,包括为每个组件分配输入输出端口,并确保其与 PLC 的接口兼容。数控系统的核心在于精确的运动控制,PLC 通过编程实现对机器运动的精确控制,这涉及对电机速度、位置和加速度的控制。使用与 PLC 相关的专用软件,如梯形图或功能块图语言,编写控制算法,用于指导机器的每一个运动步骤。PLC 通过连接的传感器实时监测机器状态,如位置、速度和负载等。传感器数据被实时传输到 PLC,PLC 对数据进行处理,并根据预定的控制逻辑调整机器的运动。PLC 向各种执行器发送控制命令,如步进电机或伺服电机。在数控系统中,这些执行器负责实现精确的机械运动,PLC 根据编程算法,通过调节电机的速度和方向来实现所需的运动轨迹。数控系统通常配备有操作员界面,PLC 负责界面的数据交互和控制逻辑。操作员可以通过界面输入命令,包括启动或停止机器、修改运动参数等。同时,PLC 实时向界面反馈机器状态和警报信息。安全是数控系统的重要考虑,PLC 监控数控系统中可能出现的各种故障,如过载、过热或通信故障。一旦检测到异常,PLC 会采取措施,如停止机器运动,以防止损害。

3.4 计算机监控系统应用

在电气自动控制系统中,PLC 技术展现出极高的兼容性和关联性,能够与其他设备紧密协作,确保系统的高效运行。该技术跨领域应用的广泛性和稳定性,使其能够在各种复杂环境中持续发挥作用。在计算机监控系统的应用背景下,PLC 技术在开发与应用阶段展现出了卓越的数据处理能力,包括对数据的收集、整合与处理,这一流程有效提升了数据处理的稳定性和整体工作性能,从而确保了控制器运行的高效性与安全性。此外,PLC 技术还强化了电气设备外部监管的效能,使设备的判断与数据分析能力得到进一步提升。PLC 技术在计算机监控体系中的应用进一步推动了设备的智能化升级,促进了电气自动控制与智能化技术的无缝对接,全面展现了各项功能的潜力。在电气设备的试运行阶段,重要的是将实际情况与技术人员的反馈相结合,进行综合分析,并以此为依据持续优化智能化技术的应用。同时,紧密结合试运行过程中的实时状态,深入剖析潜在的设备故障,以此对运行过程中常见的故障问题进行掌握,有效管理风险,提升运行效益。PLC 技术还能够科学应用于编程逻辑的有效控制中,不仅支持配电柜的远程与自动化操控,还能实时捕捉并分析系统开关量等关键数据,再通过 PLC 控制器上传这些数据,并进行高效的数据转换,为后续的科学数据处理奠定基础。

3.5 应用 PLC 技术控制开关逻辑量

一般来讲,开关逻辑量为传感器、开关的状态,

都属于二进制信号范畴。将开关、传感器以及适宜的设备安装在机械系统中,以使开关逻辑量信号形成,有关设备能够对物体的压力、温度、状态等进行检测,通过 PLC 连接开关或传感器,PLC 会提供数字输入模块,从而对有关信号进行采集,完成安装之后,应将输入模块配置在 PLC 编程软件中,这样可对逻辑控制程序进行编写。有关程序能够结合开关或传感器反馈的信号,明确执行操作的时间。PLC 程序中应对逻辑条件进行界定,从而明确某个动作的触发时间。一般将 IF-THEN 的语法应用于逻辑条件中,像是如果开启传感器 A,那么,会执行 B 动作。如果 PLC 程序的开关或传感器信号状态跟相应的逻辑条件相适应,那么,PLC 会对有关的控制操作予以执行,其中涵盖警报发出、电机停止或启动、阀门关闭或打开等。应保持对 PLC 系统的定期监控,保障控制的顺利开展。如果存在故障问题,那么应结合 PLC 编程软件排查故障问题,且结合要求对程序做出调整。开关控制应保障安全性,在突发情况下,应设计有效的恢复运行或停机操作^[5]。另外,需要对 PLC 程序做好备份,避免丢失信息。当然,也能够应用 HMI 界面,从而有效集成 PLC 系统,方便操作人员对开关逻辑量进行有效控制或检测,从而提升操作的便捷性和直观性。

4 结束语

PLC 技术在机电工程自动化中的应用不仅极大地提高了系统的智能化和自动化水平,还为工业生产带来了显著的效益和变革。展望未来,随着工业 4.0、智能制造等深入发展,PLC 技术将继续在机电工程自动化领域发挥重要作用。通过不断的技术创新和优化,PLC 技术将进一步提升其控制精度、稳定性和安全性,为工业自动化进程的持续推进贡献力量。随着技术的不断发展和完善,PLC 技术将为工业生产带来更加智能化、高效化和绿色化的解决方案,为推动全球制造业的转型升级和可持续发展贡献力量。

参考文献:

- [1] 耿超,夏新新.基于 PLC 技术的电气设备自动化控制策略分析[J].产业创新研究,2024(08):111-113.
- [2] 李杰,席义苗,曹楠楠,等.基于模糊单神经元 PI 的煤矿电气设备电源频率自动化控制系统[J].自动化与仪表,2024,39(03):37-41.
- [3] 徐园园.PLC 控制技术在电气自动化系统中的应用[J].电子技术,2024,53(02):294-295.
- [4] 王开诚.智能技术在工程自动化系统中应用[J].集成电路应用,2024,41(02):310-311.
- [5] 刘海枫.PLC 技术在电气设备自动化控制中的应用[J].机电产品开发与创新,2024,37(01):136-138.

智慧市政工程施工管理系统的构建与实施效果评估

丁照光¹, 薛伟²

(1. 青岛校企英才科技服务集团有限公司, 山东 青岛 266499;

2. 青岛海富建设发展有限公司, 山东 青岛 266400)

摘要 市政工程作为城市发展的重要基础设施, 其施工管理的科学性与高效性愈发关键。智慧市政工程施工管理系统借助先进的信息技术, 对传统施工管理模式进行了革新, 实现了施工全过程的智能化、精细化管理。本文详细阐述了智慧市政工程施工管理系统的构建, 包括系统架构设计、功能模块开发以及技术选型, 探讨了该系统在提升施工效率、保障工程质量、强化安全管理、降低成本等方面的实施效果, 并结合实际案例分析进行了验证, 旨在为市政工程施工管理提供创新思路与实践参考, 推动城市建设高质量发展。

关键词 智慧市政工程; 施工管理系统; 效果评估

中图分类号: TU99

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.12.012

0 引言

市政工程是城市正常运转的基础保障, 涵盖道路、桥梁、排水、供水、燃气等多个领域。传统市政工程施工管理面临信息沟通不畅、资源调配不合理、施工进度难以精准把控、质量安全监管存在漏洞等诸多问题, 严重制约工程建设的效率与质量。随着物联网、大数据、云计算、人工智能等信息技术的飞速发展, 智慧市政工程施工管理系统应运而生。该系统整合各类施工信息, 实现数据的实时共享与分析, 为施工决策提供科学依据, 从而优化施工流程, 提高管理水平, 确保市政工程的顺利实施。

1 智慧市政工程施工管理系统架构设计

智慧市政工程施工管理系统采用分层架构设计, 主要包括感知层、网络层、数据层、应用层和用户层, 各层之间相互协作, 共同实现系统的功能。

1. 感知层。感知层由大量分布在施工现场的传感器、智能设备组成, 如温度传感器、湿度传感器、压力传感器、摄像头、RFID 标签读写器等。这些设备实时采集施工现场的环境数据(如温湿度、空气质量)、设备运行数据(如施工机械的工作状态、能耗)、人员位置数据以及材料信息等, 为系统提供原始数据支持^[1]。

2. 网络层。网络层负责将感知层采集的数据传输到数据层, 并实现各层之间的通信。采用有线与无线相结合的网络传输方式, 包括以太网、Wi-Fi、4G/5G 等。有线网络用于连接固定设备, 保证数据传输的稳定性

和高速率; 无线网络则适用于移动设备和传感器节点的数据传输, 确保数据采集的灵活性和实时性。

3. 数据层。数据层是系统的数据存储与管理中心, 包括数据库管理系统和数据仓库。数据库用于存储实时数据, 如施工现场的实时监控数据、设备运行状态数据等, 保证数据的及时性; 数据仓库则用于存储历史数据和经过处理分析的数据, 利用数据挖掘和分析技术, 为应用层提供决策支持。例如, 对历史施工进度数据和资源消耗数据进行分析, 预测未来施工进度和资源需求^[2]。

4. 应用层。应用层集成了各种业务应用功能模块, 如施工进度管理、质量管理、安全管理、成本管理、资源管理等。这些功能模块基于数据层提供的数据, 结合数据分析和处理, 为施工管理人员提供直观、准确的信息, 辅助其进行决策和管理。

5. 用户层。用户层涵盖参与市政工程施工的各类人员, 包括项目经理、施工人员、质量检测人员、安全管理人员、监理人员等。用户借助 PC 端、移动端等设备访问系统, 实现数据的录入、查询、分析以及业务操作等功能。

2 功能模块开发

1. 施工进度管理模块。对施工计划的制定、分解和跟踪, 实时掌握工程进度。利用甘特图、网络图等工具, 直观展示各施工任务的开始时间、结束时间、持续时间以及任务之间的逻辑关系。结合施工现场的

实际进度数据,自动对比分析计划进度与实际进度的偏差,及时发出预警信息,并提供进度调整建议,确保工程按时交付。例如:当某一施工任务实际进度滞后时,系统自动分析可能影响的后续任务,并给出加快施工进度和资源调配方案^[3]。

2. 质量管理模块。从施工材料、施工工艺、施工过程检验等多个环节对工程质量进行全面管理。建立质量标准库,对原材料的质量检验标准、施工工序的质量验收标准等进行统一管理。在施工过程中,通过传感器采集施工参数数据,与质量标准进行对比分析,实时监控施工质量。如混凝土浇筑过程中,实时监测混凝土的坍落度、温度等参数,确保符合质量要求。对出现的质量问题,系统自动记录并生成质量问题报告,跟踪问题整改情况,实现质量问题的闭环管理。

3. 安全管理模块。基于物联网技术,对施工现场的安全状况进行实时监测和预警。借助摄像头、传感器等设备,监控施工现场的人员行为、设备运行状态以及环境安全因素(如火灾隐患、有害气体泄漏等)。利用人工智能图像识别技术,对人员是否佩戴安全帽、是否违规操作等行为进行自动识别和预警。当检测到安全隐患时,系统立即发出警报信息,并通知相关人员进行处理,同时记录安全事件的详细信息,为后续的安全事故分析提供数据支持^[4]。

4. 成本管理模块。对市政工程施工过程中的成本进行全面核算和控制,建立成本预算模型,根据工程设计方案和施工计划,制定详细的成本预算。在施工过程中,实时采集人工成本、材料成本、设备租赁成本等数据,与成本预算进行对比分析,实时监控成本支出情况。当成本超支时,系统自动分析超支原因,并提供成本控制措施建议,如优化资源配置、调整施工方案等,确保工程成本控制在预算范围内。

5. 资源管理模块。对施工过程中的人力资源、材料资源、设备资源进行统一管理和调配。建立资源信息库,记录各类资源的基本信息、库存数量、使用状态等。根据施工进度计划和实际施工需求,自动生成资源需求计划,并进行资源的合理调配。根据施工任务安排,合理分配施工人员和机械设备,避免资源闲置或短缺。同时,对材料的采购、入库、出库等环节进行精细化管理,实现材料的零库存管理目标,降低材料成本^[5]。

3 技术选型

1. 物联网技术。实现施工现场各类设备、材料、人员与系统之间的互联互通,实时采集和传输数据。

在施工设备上安装传感器和物联网模块,将设备的运行状态、工作参数等数据实时上传至系统,实现对设备的远程监控和管理。利用 RFID 技术对材料进行标识和跟踪,实时掌握材料的位置和使用情况^[6]。

2. 大数据技术。大数据技术对海量的施工数据进行存储、管理和分析,利用大数据分析技术,挖掘施工数据中的潜在价值,为施工决策提供支持。分析历史施工数据,预测施工过程中可能出现的问题,提前采取预防措施;对不同施工方案的成本、进度、质量等数据进行对比分析,选择最优的施工方案。

3. 云计算技术。云计算技术提供强大的计算能力和存储资源,支持系统的高效运行。采用云计算平台,实现系统的快速部署和弹性扩展,降低系统建设和运维成本。施工人员结合云端随时随地访问系统,进行数据录入和查询等操作,提高工作效率。

4. 人工智能技术。人工智能技术应用于图像识别、数据分析、智能决策等领域,利用人工智能图像识别技术,对施工现场的安全隐患、质量问题进行自动识别和预警;利用机器学习算法,对施工数据进行分析 and 预测,实现施工过程的智能化管理。利用人工智能算法优化施工进度计划和资源调配方案,提高施工效率。

5. 地理信息系统(GIS)技术。在市政工程施工管理中,GIS 技术用于展示工程地理位置信息、施工场地布局信息以及地下管线分布信息等。将施工数据与地理信息相结合,为施工管理提供更加直观、全面的信息支持。在道路施工过程中,利用 GIS 技术可清晰展示道路的走向、周边环境以及与其他市政设施的关系,便于施工人员进行施工规划和协调。

4 智慧市政工程施工管理系统的实施效果评估

1. 评估指标体系构建。为全面、客观地评估智慧市政工程施工管理系统的实施效果,构建以下评估指标体系:

(1) 施工效率指标。包括施工进度偏差率、单位时间完成工程量等。施工进度偏差率反映实际施工进度与计划进度的差异程度,计算公式为: $(\text{计划进度} - \text{实际进度}) / \text{计划进度} \times 100\%$ 。单位时间完成工程量则体现了施工过程中的生产效率,如每日完成的道路铺设面积、管道安装长度等。

(2) 工程质量指标。涵盖工程质量验收合格率、质量问题发生率等。工程质量验收合格率是指通过质量验收的分项工程数量占总分项工程数量的比例;质量问题发生率则表示在施工过程中出现质量问题的次数与施工总次数的比值。

(3) 安全管理指标。主要有安全事故发生率、安全隐患排查整改率等。安全事故发生率反映了施工现场的安全状况,计算公式为:安全事故发生次数/施工总天数 $\times 100\%$ 。安全隐患排查整改率是指已整改的安全隐患数量占排查出的安全隐患总数的比例。

(4) 成本控制指标。包括成本偏差率、成本节约率等。成本偏差率用于衡量实际成本与预算成本的偏差程度,计算公式为:(实际成本-预算成本)/预算成本 $\times 100\%$ 。成本节约率则体现了通过系统实施实现的成本节约情况,计算公式为:(预算成本-实际成本)/预算成本 $\times 100\%$ 。

(5) 用户满意度指标。结合问卷调查、访谈等方式收集施工管理人员、施工人员等用户对系统的满意度评价。满意度评价指标包括系统易用性、功能完整性、数据准确性、响应速度等方面。

2. 评估方法选择。采用层次分析法(AHP)和模糊综合评价法相结合的方式,对系统实施效果进行评估。层次分析法用于确定各评估指标的权重,构建判断矩阵,计算各指标的相对重要性权重。模糊综合评价法则用于对系统实施效果进行综合评价,将定性评价和定量评价相结合,借助模糊变换原理,得出系统实施效果的综合评价结果。

5 实际案例分析

选取某城市的一项大型市政道路工程作为案例,该工程在施工过程中引入智慧市政工程施工管理系统。在系统实施前,该工程采用传统的施工管理模式,存在施工进度难以把控、质量问题时有发生、安全管理存在漏洞、成本超支等问题。

1. 施工效率提升。系统实施后,通过施工进度管理模块对施工计划进行精细化管理和实时跟踪,施工进度偏差率从原来的15%降低到了5%以内。单位时间完成工程量明显提高,道路铺设速度比原计划提高了20%,有效缩短了工程工期。

2. 工程质量改善。质量管理模块实现对施工全过程的质量监控,工程质量验收合格率从原来的85%提升至95%以上,质量问题发生率显著降低,从每月10次左右减少到每月3次以下。在混凝土路面施工中,实时监测混凝土的配合比和施工参数,避免因施工工艺不当导致的路面裂缝等质量问题。

3. 安全管理加强。安全管理模块利用物联网和人工智能技术,对施工现场进行全方位的安全监测和预警。安全事故发生率从原来的0.5%降低到了0.1%以下,安全隐患排查整改率达到98%以上。如通过智能摄像

头实时监测施工人员的安全行为,及时纠正违规操作,有效预防安全事故的发生。

4. 成本控制有效。成本管理模块对工程成本进行实时核算和控制,成本偏差率从原来的12%降低到了5%以内,成本节约率达到了8%左右。优化资源配置和施工方案,减少不必要的成本支出,如材料浪费现象得到有效遏制,材料成本降低10%。

5. 用户满意度提高。对施工管理人员和施工人员的问卷调查,用户对系统的满意度达到了85%以上。用户普遍认为系统操作简单方便,功能齐全,能够及时提供准确的数据支持,有效提高工作效率和管理水平。

对该案例的分析可知,智慧市政工程施工管理系统的实施在提升施工效率、保障工程质量、强化安全管理、降低成本等方面取得显著成效,有效解决传统施工管理模式存在的问题,为市政工程建设提供有力的支持。

6 结束语

智慧市政工程施工管理系统的构建与实施,是市政工程施工管理领域的一次重大变革。先进信息技术的应用,可实现施工全过程的智能化、精细化管理,有效提升施工效率、工程质量、安全管理水平和成本控制能力,为城市建设的高质量发展奠定坚实基础。然而,在系统实施过程中,也面临着技术集成难度大、数据安全保障、人员培训等挑战。未来,需进一步加强技术研发和创新,完善系统功能,加强数据安全,提高施工人员的信息化素养,推动智慧市政工程施工管理系统的广泛应用和持续发展,为城市基础设施建设提供更加优质、高效的管理服务。

参考文献:

- [1] 李龙. 市政土木工程施工智慧管理问题及其优化策略[J]. 建筑与施工, 2024, 03(11): 9-10.
- [2] 李浩, 李猛. 关于市政工程施工中管理措施的探讨[J]. 装饰装修天地, 2024(11): 184-186.
- [3] 宋鹏飞, 宋惠婷, 李彦. 探讨市政工程施工中的安全管理与质量控制[J]. 世界家苑, 2024(06): 78-80.
- [4] 曾亮亮. 市政工程建设管理信息化体系构建研究[J]. 中国建设信息化, 2024(13): 74-77.
- [5] 陆维. “数字化+物联网技术”理念在智慧桥梁施工与管理中的应用研究[J]. 西部交通科技, 2024(06): 158-160.
- [6] 张烨, 姜薇, 高逾, 等. 《城市综合管廊智慧运营管理系统技术规范》实施效果评价[J]. 中国标准化, 2024(20): 133-138.

预应力混凝土桥梁施工技术

郑博文

(中交第三航务工程局有限公司江苏分公司, 江苏 连云港 222000)

摘要 预应力混凝土桥梁因其优越的承载能力、耐久性和抗疲劳性能, 被广泛应用于现代桥梁工程中, 这类桥梁通过在混凝土中施加预应力, 有效地提高了结构性能, 延长了使用寿命。本文深入探讨了预应力混凝土桥梁的基本概念及其施工技术, 涵盖施工准备、工艺流程、设备与工具的选择, 以及预应力筋的布置与张拉、混凝土浇筑质量控制、施工监测控制等关键技术, 此外, 还讨论了质量控制和安全管理的重要性, 并针对施工中常见的问题提出相应的解决方案, 以期为提高预应力混凝土桥梁的施工质量与安全性提供实践参考, 并为工程师提供一个全面的理论体系和实施策略。

关键词 预应力混凝土桥梁; 预应力筋; 混凝土浇筑; 安全管理

中图分类号: U445

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.12.013

0 引言

随着交通运输需求的不断增长, 桥梁建设面临着更高的技术要求与施工挑战。在这样的背景下, 预应力混凝土桥梁以其卓越的重量分配能力和增强的抗裂性能逐渐成为桥梁工程的主流选择。与传统的混凝土桥梁相比, 预应力混凝土桥梁不仅能够实现更长的跨径, 而且可以显著提高结构的抗疲劳性能。这使得预应力混凝土桥梁在高速公路、城市交通以及大型基础设施项目中得到了广泛应用。为了有效满足日益增大的交通需求, 本文深入探讨了预应力混凝土桥梁的施工技术, 特别是在施工准备、工艺流程、关键技术, 以及对质量与安全管理措施的实施, 旨在为相关的工程实践提供坚实的理论支持和指导。

1 预应力混凝土桥梁的基本概念

预应力混凝土桥梁是一种通过在混凝土中施加预应力来提高其承载能力和耐久性的新型桥梁结构。预应力是指在混凝土浇筑之前或之后, 通过预先拉紧钢筋(或钢索)来抵消混凝土受力时产生的拉伸应力。这种技术能够有效减少混凝土中的裂缝扩展, 提高桥梁的抗疲劳性能和使用寿命。与传统的无预应力混凝土桥梁相比, 预应力混凝土桥梁可以实现更大的跨径, 降低自重, 并改善整体结构的刚度。此外, 预应力混凝土还具有优越的抗扭转和抗震性能, 使其在各种复杂的环境和负载条件下表现出色。正因如此, 预应力混凝土桥梁逐渐成为现代桥梁工程的主流选择, 广泛应用于高速公路、城市交通和大型基础设施建设中。随着技术的发展, 预应力混凝土桥梁的设计和施工方

法也在不断创新, 推动着桥梁工程向更加高效、安全、可持续的方向迈进^[1]。

2 预应力混凝土桥梁施工流程

2.1 施工准备

在预应力混凝土桥梁施工之前, 充分的施工准备是确保工程顺利进行的基础。首先, 需对施工现场进行详细勘察, 确定地质条件和水文情况, 以便合理设计基础方案并避免潜在风险。其次, 还需要制定详尽的施工计划, 包括工期安排、资源配置和人员分工等, 确保各个环节协调推进。在材料方面, 应根据设计要求对混凝土、钢筋及预应力设备等进行严格筛选与检验, 确保其符合国家标准。再次, 施工前需完成相关的安全培训, 提升施工人员对安全生产的意识, 并制定应急预案, 以应对突发情况。最后, 施工场地的清理和布置也至关重要, 要确保施工道路、临时设施、安全防护措施等都已到位, 为后续施工创造良好的环境。

2.2 施工工艺流程

预应力混凝土桥梁的施工工艺流程复杂而严谨, 涉及多个关键步骤。首先, 在进行基础施工时, 需要根据设计图纸挖掘和浇筑基础, 确保其稳定性和承载能力。其次, 墩台浇筑是关键环节, 必须按照施工规范保证混凝土的质量与强度。在基础和墩台施工完成后, 进行预制构件的制作, 这通常包括梁体和其他部件的浇筑。在预制构件的制作中, 钢筋绑扎必须依据设计图纸精确执行, 以确保预应力筋位置的准确。混凝土浇筑后, 需进行必要的保养, 以达到设计强度。待混凝土达到所需强度后, 进行预应力施工, 通常采

用张拉法,通过相应的张拉设备对钢筋或钢索施加预应力,以提高构件的承载能力和抗裂性能。最后,桥面的铺装工作按设计进行,整个施工流程需要不断进行质量检查和进度管理,以确保桥梁的最终质量达到设计要求。

2.3 施工设备及工具

预应力混凝土桥梁的施工离不开一系列专业设备和工具的支持,可确保施工过程的效率 and 安全性。在基础阶段,混凝土搅拌机是必不可少的设备,它可以有效地混合各种原材料,确保混凝土的配比精准。振动器则用于在浇筑过程中对混凝土进行振动,帮助其更好地密实,消除气泡,提高抗压强度。随着施工的深入,大型起重机的使用变得尤为重要,特别是在搬运沉重的预制构件时,其高效性与安全性大大提高了施工效率。为了进行预应力施工,需要使用张拉设备,如千斤顶、压力计以及相关的测量仪器,这些能够确保施加到钢筋上的预应力符合设计规范,保证结构的承载能力。此外,全站仪、水平仪等测量设备是确保施工精度的重要工具,能够及时检测和调整构件的位置和高度。在整个施工过程中,安全防护工具,如安全带和护目镜,亦不可忽视,这些措施能有效降低事故发生风险,保障作业人员的人身安全。通过合理配置这些设备与工具,不仅能提高施工效率,还能确保最终工程的高质量与安全性^[2]。

3 预应力施工关键技术

3.1 预应力筋的布置与张拉

预应力筋的布置与张拉是预应力混凝土施工中的关键环节,对于结构的性能和承载能力有着直接的影响。在设计阶段,首先需要根据理论计算和结构分析结果合理布局预应力筋的位置、数量及其类型,以确保在使用过程中能够有效抵抗弯矩、剪力等内力。通常,预应力筋应分布在受拉区和重要承力部位,常见的布置方式包括集中布置和分散布置等。此外,在实际施工过程中,张拉工序尤为重要。张拉不仅需要选择合适的张拉设备,如液压千斤顶,还需按设计要求严格控制张拉力和张拉顺序,以避免因施加不均匀的预应力而导致结构损伤或变形。在张拉完成后,必须及时保留和记录张拉数据,并对预应力筋的锚固情况进行检查,确保其在长期服役中能够保持稳定的预应力状态,从而提升结构的耐久性和安全性。

3.2 混凝土浇筑质量控制

混凝土浇筑的质量控制对于确保预应力混凝土构

件的整体强度和性能至关重要。在浇筑之前,首先应对所有原材料进行检验,确保水泥、骨料、掺合料和外加剂等符合标准,并选择正确的配比。浇筑过程需严格遵循施工规范和技术要求,一般采用分层浇筑的方法,以控制每一层混凝土的厚度和振捣效果,确保混凝土能够充分充填模具,减少气泡和空隙的产生,保证密实性。另外,控制混凝土的浇筑温度也非常重要,尤其在高温或低温环境下,需要采取一定的保温或降温措施,防止混凝土出现裂缝或强度不足。浇筑完成后,应进行全面的质量检查,包括外观质量、强度检测以及养护措施是否到位等,确保混凝土在固化过程中能够得到充分的保护,最终达到设计强度要求,从而确保项目的安全性和持久性。

3.3 施工中的监测与控制

施工过程中的监测与控制是保障预应力混凝土工程安全和质量的重要手段。为了及时发现施工过程中可能出现的问题,通常会在关键位置设置传感器和监测设备,收集实时数据。这些数据包括预应力筋的张拉力、混凝土内部温度变化、湿度以及结构的变形和位移等,所有这些信息都是对工程进展和结构安全的重要反馈。在此基础上,可以利用全站仪、激光测距仪等高科技设备,对施工现场的动态变化进行实时跟踪,对比设计标准,及时识别任何超出允许范围的变形或其他异常现象。同时,外部环境如气候变化、降雨等也会对施工造成影响,相关监测系统需对此进行持续监控,并根据实际情况调整施工计划或采取必要的应急措施。通过建立全面的监测和控制体系,可以显著降低施工风险,提高工程的质量管理水平,从而确保整个预应力混凝土工程在施工过程中的安全性与稳定性,为后续的使用打下坚实的基础^[3]。

4 预应力混凝土桥梁施工质量控制与安全管理

4.1 质量控制技术

在现代工程项目中,质量控制技术的应用至关重要,它不仅直接影响到工程的竣工质量和使用寿命,还影响到客户的满意度和企业的市场竞争力。在实施质量控制时,首先需要建立一个完整的质量管理体系,该体系应涵盖从设计、施工到验收各个阶段。通过应用先进的检测设备,如超声波检测仪和红外线测温仪,可以快速、准确地发现潜在问题,及时采取纠正措施,确保工程质量符合国家和行业标准。此外,持续的过程监控与数据分析同样不可忽视,利用统计过程控制(SPC)和六西格玛(Six Sigma)等方法,对施工过

程中的各项指标进行实时监控,能够有效识别和减少质量波动。同时,推行全面质量管理(TQM)理念,强调全员参与质量控制,培养每位员工的质量意识,使每个人都参与到质量管理中来,从而实现从源头到过程中对质量的严格把控。通过这些措施,能够确保工程质量的持续改进,最终达到预期目标并增强企业的信誉。

4.2 安全管理措施

安全管理措施是确保施工现场人员和设备安全的关键,也是任何工程项目顺利进行的基础。施工单位需制定完善的安全管理制度,明确责任分工和安全职责,并制定详细的操作规程及应急预案,以便员工熟悉和遵循。定期开展安全培训,提高工人安全意识,内容包括危险源识别、安全设备使用及急救知识。此外,施工现场要保持良好的安全环境,定期清理杂物,设置临边护栏,防止意外事故发生。同时,配备必要的安全设施,如灭火器、急救箱与通信工具,以便应对突发事件。定期进行安全检查和隐患排查,及时整改问题并做好记录,通过建立积极的安全文化,鼓励员工报告安全隐患,以形成全员参与的安全管理氛围,降低风险,确保工程顺利进行和员工生命安全^[4]。

5 预应力混凝土桥梁施工常见问题及解决方案

5.1 施工中常见的问题

在建筑施工过程中,常见的问题涉及多个方面,其中最突出的是材料供应不足、施工技术不达标、工期延误、设备故障、天气影响以及频繁的设计变更等。材料供应不足是一个普遍存在的问题,特别是在项目高峰期,市场需求激增可能导致某些关键材料的短缺,从而影响施工进度。另外,施工技术水平的参差不齐也是一个重要问题,如果工人技能不足或者缺乏适当的培训,将直接影响到工程的质量和安全性。工期延误通常是由于多种因素的综合作用,包括前述的材料和技术问题,以及临时的设备故障或者恶劣天气的影响。此外,设计变更也是施工中不可避免的情况,这往往会导致施工计划的重新调整,使得工期再次被拉长。因此,了解这些常见问题对于制定相应的解决策略至关重要,以确保项目能够在预定时间内高质量完成^[5]。

5.2 针对性解决方案

为了有效应对施工中常见的问题,可以采取一系列针对性的解决方案。首先,对于材料供应不足的问题,施工单位可以提前进行市场调研,与多个材料供应商建立稳定的合作关系,以保障材料的及时供应。同时,

制定科学的采购计划,根据施工进度提前采购关键材料,以避免因供应链问题造成的延误。此外,施工单位还应加大对工人的技能培养力度,定期组织培训和考核,提高整体施工队伍的专业素养和操作能力,确保各项工序能够精准、高效地完成。在面对天气变化时,施工单位应建立完善的气象监测机制,合理安排施工计划,以尽量避开极端天气条件对施工的影响。针对设备故障的问题,施工单位需要制定定期检修和保养的制度,确保设备始终处于良好的工作状态,从而减少故障发生的概率。最后,针对设计变更,施工单位应与设计方保持密切沟通,建立设计变更快速反馈机制,以便于及时了解变更内容并迅速调整施工方案,从而最大程度减少对工期的影响。通过这些全面而有效的解决方案,施工单位不仅能够降低潜在的风险,还能提升整体工程效率和质量,为项目的顺利完成打下坚实基础^[6]。

6 结束语

预应力混凝土桥梁的施工技术对于提升桥梁的承载能力和延长使用寿命至关重要。在本研究中,我们系统分析了施工准备、工艺流程、关键技术以及质量与安全管理的各个方面,为工程师提供了一系列高效且安全的施工策略。与此同时,针对施工过程中常见的问题,本文也提出了切实可行的解决方案,这将有效降低工程风险并确保施工过程的顺利进行。在未来的研究与实践中,应继续加强新技术与新材料的应用,以提升施工效率,并推动桥梁工程向更加智能化和可持续的发展方向迈进。在这一进程中,行业应当重视技术创新和管理的结合,从而不断提升预应力混凝土桥梁的整体质量与安全水平。

参考文献:

- [1] 海航. 预应力混凝土桥梁施工技术探析[J]. 河南建材, 2024(09):42-44.
- [2] 刘弦. 预应力混凝土桥梁施工技术要点探讨[J]. 建筑与装饰, 2024(02):99-101.
- [3] 周星星. 预应力混凝土桥梁施工技术要点研究[J]. 交通世界, 2024(01):288-290.
- [4] 杨国宇. 预应力混凝土桥梁施工技术要点探究[J]. 中国水泥, 2024(11):78-80.
- [5] 李葆炜. 预应力混凝土桥梁施工技术要点[J]. 建筑与装饰, 2023(03):172-174.
- [6] 赵喜忠. 预应力混凝土桥梁施工技术要点研究[J]. 运输经理世界, 2023(05):97-99.

复杂地质超长隧道开挖支护关键技术

胡超杰

(中交二公局萌兴工程有限公司, 陕西 西安 710199)

摘 要 在超长隧道工程建设过程中, 开挖深度长特别是在复杂地质条件下容易出现围岩崩裂、地基下沉等情况而导致安全事故。为提升超长隧道开挖工程的质量与安全, 本文以何家坡隧道工程项目为例, 通过分析该隧道工程水文地质条件, 确定隧道工程基本特征, 采用明挖法与新奥法与三台阶法进行隧道开挖, 同时利用超前小导管、钢架支护与喷射混凝土等多项支护技术完成隧道结构的支撑, 确保隧道工程在复杂地质条件下不会受到异常工况影响, 以期提升隧道作业的安全性提供借鉴。

关键词 复杂地质; 超长隧道; 开挖支护; 明挖法; 新奥法

中图分类号: U45

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.12.014

0 引言

隧道作为我国交通基础设施中极为重要的组成部分, 对高速公路、铁路等交通设施的建设和运营有直接影响。由于我国地形多样, 地貌复杂等原因, 所以隧道建设数量多、长度长, 受到复杂地质影响导致其建设难度大、运行危险高。复杂地质条件主要指的是断层、软弱夹层、岩溶、涌水等, 这对隧道工程施工造成严重影响。复杂地质条件下超长隧道开挖与支护施工对工程的进度、质量、安全、效益、工期等方面造成影响, 甚至引发严重人员伤亡事故, 也会关系到后续交通运行。因此, 深入分析复杂地质超长隧道开挖支护施工技术, 保证隧道施工具备较高的安全性和可靠性, 对提高隧道施工综合效益有积极作用^[1]。

1 工程概况

何家坡隧道位于贵州省贵阳市修文县境, 为我国高速公路系统中极为重要的一部分。该项目采用分离式独立双洞隧道形式, 左线长 1 668 m, 最大埋深 149.1 m, 右线长 1 645 m, 最大埋深 155.4 m, 设计时速 100 km/h, 为三车道大跨度隧道。

1.1 水文条件

本项目所在地区为长江流域的乌江水系, 水文地质条件复杂性较高。经过现场勘测发现, 该隧道项目施工时地表并未有明显的河流或者溪流经过, 地表水系并不丰富。但是, 由于该区的气候条件比较特殊, 处于亚热带湿润温和型气候区, 夏季降雨量比较大。该气候条件对于本项目所在地区水文条件产生较大影响, 特别是雨季降雨量较大, 极易形成地下水渗流、

脱水等严重事故。为保证本项目施工顺利进行, 施工阶段需采取防水、排水等方式保障隧道的安全性和工程质量。

1.2 地质条件

项目区域位于黔中山原丘陵的中部地带, 地貌特征主要表现为溶蚀—侵蚀以及溶蚀—构造类型。贵阳一侧呈现出中坡地形, 自然坡度在 $15^{\circ} \sim 25^{\circ}$ 之间; 隧道穿越的山脊部分, 其最高点海拔达到了 1 412.0 m。而到古蔺一侧, 地形则变为陡坡, 自然坡度陡增至 38° 至 55° 。整个项目场区的海拔高度范围在 1 188.0 ~ 1 414.0 m 之间, 形成了 226 m 的相对高差。隧道轴线所经过的区域, 海拔介于 1 220.0 ~ 1 412.0 m 之间, 相对高差为 192 m。隧道的进口位于贵阳市修文县小符镇的管辖范围内, 而出口则归属于修文县六广镇。两端洞口附近均有道路相通, 交通条件相对便捷。

2 复杂地质下的隧道开挖及支护施工关键技术分析

2.1 明挖法与新奥法结合工艺

2.1.1 明挖法

开挖作业正式开始前, 要先确认洞内通风系统运行稳定, 使瓦斯浓度持续在安全阈值 0.5% 以下。采取分层开挖的方式, 在降低瓦斯积聚风险的同时, 将每层开挖深度控制在 1.5 ~ 2 m 之间, 减少对周边土体的扰动。一旦发现瓦斯浓度超过 0.8% 或出现断层、裂隙等地质异常, 每一层开挖完成后, 立即进行地质情况与瓦斯浓度的实时监测, 并暂停开挖, 加强通风换气, 增设瓦斯抽放钻孔, 确保瓦斯浓度降到安全区间后再继续作业。随着开挖的深入, 每开挖两层, 即 3 ~ 4 m 深度

时,需及时安装钢支撑,支撑间距控制在 0.8~1.2 m 之间,以增强隧道侧壁的稳定性和防止因瓦斯压力或地质变动导致的坍塌。钢支撑的安装需确保垂直度与水平度,并使用专用紧固件进行固定,以提高支撑的整体稳定性。同时,为降低瓦斯突出的风险,每开挖 5 m,需进行一次超前地质预报,采用地质雷达等设备进行探测,提前了解前方 5~10 m 范围内的地质情况,对可能存在的瓦斯富集区域进行预判,并制定相应的开挖策略与瓦斯治理措施。在开挖过程中,还需特别注意开挖面的瓦斯管理,通过合理布置瓦斯排放孔,每开挖 3~5 m,即在开挖面两侧各设置一组瓦斯排放孔,每组包含 3 至 5 个孔,孔径为 100~150 mm,孔深根据地质情况确定,一般为开挖深度的 1.5 倍至 2 倍,有效引导瓦斯向安全区域排放,降低开挖面的瓦斯浓度。同时,为确保开挖过程中洞内空气质量始终维持在安全标准内,需持续进行瓦斯监测与通风管理,每 15 分钟记录一次瓦斯浓度与通风情况,确保瓦斯浓度始终低于 0.5% 的安全阈值。开挖至设计标高后,进行基底清理与整平,使用挖掘机与人工配合,将基底清理至设计要求的平整度,误差控制在 ± 5 cm 以内,确保基底稳定且符合设计要求。同时,对基底进行地质情况与瓦斯浓度的最终检测,确认无误后,方可进行后续的隧道结构施工。

2.1.2 新奥法

掘进作业从精确测量定位隧道断面开始,保证掘进方向与隧道设计轴线相吻合。随后,开挖采用全断面或阶梯式的方式,视围岩的稳定程度和含气量而定。全断面开挖,采用直径通常为 40~50 mm,孔深控制在 3~5 m 之间的风动凿岩机钻孔作业,并根据围岩的硬度和整体性调整孔距,一般保持在 0.4~0.6 m 之间,以保证爆破效果和围岩的稳固。完成钻孔后,起爆采用非电秒雷管,以减少对围岩的扰动和瓦斯的激发,需要严格控制单次起爆药量。在台阶法开挖中,通常将上部台阶高度控制在 3~4.5 m 之间,宽度与隧道设计宽度保持一致,下部台阶与上部台阶施工保持同步,在 1.5~2 m 之间保持高度差,以保证施工的安全和效率。同样采用风动凿岩机进行钻探作业的台阶法开挖,其钻孔参数与整个截面的开挖相仿,但需要注意上下台阶之间的衔接和支撑,防止因暴露在开挖表面太久而造成围岩的不稳定。瓦斯浓度和地质变化的实时监测是开挖过程中的关键。需要持续监测瓦斯浓度,以确保瓦斯浓度低于洞内安全阈值 0.5%。一旦发现瓦斯浓度超标或出现断层、裂隙等地质异常,

应立即停止开挖,加强通风换气,并根据地质条件增设直径一般为 75~110 mm、一般为开挖深度 1.5 倍至 2 倍的瓦斯抽放钻孔,降低瓦斯积聚风险。

随着开挖的进行,为维持隧道侧壁和顶板的稳定,钢支撑与喷射混凝土衬砌应及时安装,钢支架与喷射混凝土的衬砌应在开挖时及时进行,一般控制在 0.8~1.2 m 之间,喷射混凝土厚度需达到设计要求,一般在 10~15 cm,这样才能保证隧道整体稳定性。同时,采用超前地质预报技术,如地质雷达探测,事先了解前方地质情况,预测可能存在的瓦斯富集区,并制定相应的挖掘策略和瓦斯治理措施,通过地质雷达探测、地质雷达检测、地质探测等手段,对可能存在的瓦斯富集区域进行预判,从而达到隧道整体稳定性的目的。完成开挖到设计标高以后,再进行基底的清扫、平整工作,这样才能保证基底稳定,达到设计要求。在清理过程中,为了防止由于基底的清理造成的积聚,对瓦斯浓度需要不断地监测。在完成基底的平整以后,在隧道结构后续施工前,要对地质情况和瓦斯浓度进行最终的检测,确认无误后方可进行。整个开挖过程中,需严格遵守安全规范,确保作业人员配备专业的瓦斯检测仪器与防爆设备,同时实施严格的瓦斯监测与通风管理制度,确保洞内空气质量与安全,为后续的隧道结构施工奠定坚实的基础^[2]。

2.1.3 三台阶法施工工艺

三台阶法开挖作业过程中先进行超前支护施工,每次循环掘进的过程中,其掘进深度不能超过 2 榀钢拱架间距。现场开挖作业阶段采取初期支护施工措施,确保各结构位置支护强度合格,并且落底和掌子面在 35 m 以内。该环节施工中加强喷射混凝土加固处理,确保混凝土结构强度超过 70%,再进行后续台阶部位的开挖作业^[3]。此外,开挖作业阶段对支护结构稳定性展开检测,尤其保证掌子面距离在 50 m 以内再进行开挖施工。上下台阶法开挖作业和三台阶法基本相同,其主要差异是施工过程中采用上下两层开挖作业的方式以提高开挖的效率和质量。

2.2 隧道支护施工关键技术分析

2.2.1 超前小导管支护

(1) 超前小导管支护施工阶段选择合适小导管材料,并加强安装位置的控制。超前小导管支护保证其安装精度合格,并且外插角为 $10^{\circ} \sim 14^{\circ}$,使其支撑的强度合格、围岩稳定性达标。超前小导管布置阶段,在整个环向位置按照 120° 设置,特制的抗瓦斯 4.5 m

热轧无缝钢管, 直径 42 mm、壁厚 4 mm。超前小导管支护施工中, 为提高其强度应加强安装间距设置, 一般为 10 cm, 采用梅花型布置方式以提高支撑稳定性。

(2) 超前小导管注浆加固开始前, 对周边采取封闭措施使得混凝土喷射强度合格, 提高整个围岩结构的稳定性。(3) 注浆加固施工是重点环节, 需要将压力设定为 0.5 ~ 1.0 MPa。注浆作业按照规定顺序进行, 从下到上逐步完成并实时关注浆液状态, 使其注入后强度、稳定性达到技术标准。(4) 注浆施工中检测注浆效果, 明确注浆技术标准, 达到终止要求后停止注浆。通常来说, 注入浆液的过程中, 其压力达到 0.7 ~ 1.0 MPa 并且保持 15 min, 没有出现明显注浆量增加以及压力变化即可停止作业。(5) 注浆施工完成后对注浆加固效果展开检测, 并预留足够固化时间以提高混凝土结构强度。注浆施工中间隔时间设定时, 采用单液注浆达到 8 h 左右, 水泥—水玻璃浆液在 4min 左右即可。现场开挖作业预留 1.5 ~ 2.0 m 止浆墙, 防止施工阶段出现跑浆问题^[4]。

2.2.2 钢架施工

(1) 瓦斯隧道中, 钢架施工阶段按照技术标准加工成型, 并在内部设置螺栓作为连接工具, 确保拱架台车拼装的整体性合格。钢架安装前应对混凝土结构强度展开检测, 并按照要求进行定位钢筋的焊接连接, 使其钢架安装具备稳定性。钢架安装采用纵向连接方式, 并对各位置进行混凝土喷射作业, 表面平整度达标。拱脚作为重要部分, 对其强度和稳定性展开检测, 符合技术标准再投入施工。(2) 安装后对安装效果展开检测, 稳定地基结构并且预留足够尺寸使得强度不受影响。同时, 安装阶段对安装的承载力展开检测, 和隧道中线保持垂直且倾斜度 2° 以内, 偏离铅垂面 5 cm 以下。

2.2.3 喷射混凝土

对于隧道开挖施工来说, 混凝土喷射作业极为关键, 这是稳定围岩结构的重要举措, 所以选择合适的混凝土材料并严格控制喷射工艺以提高混凝土结构强度和稳定性。混凝土喷射作业选择合理方式, 采取分段、分区方式进行, 从下到上逐步完成喷射作业。喷射施工中分段作业长度一般在 6 m 以内, 防止长度过长造成喷射强度不合格。隧道开挖持续进行, 喷射作业紧随其后, 两者之间间隔距离严格控制, 一般喷射混凝土和爆破时间间隔在 4 h 以上。混凝土材料作为围岩加固的重要部分, 加强混凝土材料的生产制作, 并保证存放时间不能过长, 以免变质影响加固效果。此外,

混凝土喷射作业阶段, 在拱顶两侧保持对称进行, 覆盖整个钢架结构, 并且背面全部填充完成、粘结性能合格^[5]。

2.2.4 锚杆施工

复杂地质超长隧道开挖支护施工中, 锚杆施工分为药卷式锚杆和普通砂浆锚杆两种类型。施工要点如下:

- (1) 锚杆深度要求: 锚杆孔深允许偏差 ± 50 mm。
- (2) 普通锚杆施工时明确施工顺序进行钻孔作业, 并且注浆完成后再安装锚杆。该工艺方案选择螺纹钢筋作为锚杆, 外露 120 ~ 150 mm, 并配置螺母以提高其连接强度。现场注浆施工中采用单管方法进行, 使其压力达到 0.4 MPa 以下, 各位置注浆具备均匀性, 排除积水提高结构稳定性。
- (3) 药卷锚杆应用之前先进行泡水试验, 药包处于良好状态, 达到干燥度要求, 避免出现潮湿等情况影响爆破效果。按照工艺方案将其放入到孔内, 并且保护锚杆的螺纹结构不能损坏。锚杆安装时深度符合要求, 孔口位置有砂浆流出。根据本项目施工方案, 成品药包初凝 3 min 以上、终凝 30 min 以下。

3 结束语

复杂地质超长隧道项目工程施工难度较高, 现场施工有多方面因素影响施工效果, 因此, 施工阶段需选择合理施工工艺方案, 保证超长隧道施工具备较高的强度和稳定性。根据复杂地质超长隧道施工要求加强开挖支护环节控制, 选择先进施工技术, 落实各环节控制措施确保开挖支护效果合格。此外, 施工阶段实时关注地质条件, 并且选用先进的工艺方案和技术措施, 确保开挖支护效果合格, 满足复杂地质下超长隧道施工要求, 提高工程建设水平、延长使用寿命。

参考文献:

- [1] 李强. 高速公路隧道开挖与支护加固技术应用研究[J]. 交通科技与管理, 2024, 05(16): 73-75.
- [2] 闫戈. 基于矿山法的地铁隧道开挖及支护施工技术[J]. 工程建设与设计, 2024(14): 128-130.
- [3] 王丰景. 复杂地质大断面隧道开挖方法研究[J]. 居业, 2024(02): 99-101.
- [4] 邓军. 基于某公路接线工程的隧道开挖及支护施工工艺[J]. 山西建筑, 2024, 50(04): 170-173.
- [5] 汪海超. 隧道开挖对穿越隧道现有支护系统的影响[J]. 山西建筑, 2024, 50(20): 175-177.

房建土建工程中高支模施工技术应用探讨

徐显刚, 孙 凯

(青岛海元建设集团有限公司, 山东 青岛 266100)

摘 要 随着二次城市化进程的加快, 房建土建工程迎来了前所未有的发展机遇, 同时也面临着更为严格的质量与安全要求。高支模施工技术作为先进的支撑体系, 在房建土建工程中发挥着举足轻重的作用。本文分析了高支模施工技术在房建土建工程中的应用价值、现状, 并提出了相应的改进措施, 以期为促进房建土建工程中高支模施工技术的良好应用提供助力。

关键词 房建土建工程; 高支模施工技术; 支撑体系; 施工效率

中图分类号: TU74

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.12.015

0 引言

房建土建工程中支撑体系的选择直接关系到施工的安全、质量和效率。高支模施工技术作为高效、可靠的支撑方式, 因其结构稳定、承载能力强、安装便捷等特点, 在高层建筑、大型公共设施等领域得到广泛应用。但结合目前形势而言, 随着工程规模的不断扩大及施工难度的增加, 高支模施工技术的应用也面临着新的挑战和问题。因此, 房建土建工程施工过程中, 需要科学合理采用高支模施工技术, 提升施工水平, 达到预期的目的。

1 房建土建工程中高支模施工技术应用价值

1.1 提高施工效率

房建土建工程的广阔领域中高支模施工技术的应用, 主要是基于标准化、模块化的设计理念, 使模板的安装与拆卸流程简便高效。例如: 高支模的组件设计遵循统一规格, 简化现场组装步骤, 缩短施工准备时间。相较于木方或钢管脚手架传统支撑方式, 高支模以其快速搭建的能力, 缩短施工周期。且高支模技术的应用降低对大量劳动力的依赖, 传统支撑方式需要大量人力进行烦琐的手工操作, 而高支模则凭借其模块化设计, 减少人力投入, 提高工作效率, 降低项目的人力成本, 进一步提升整体施工效能^[1]。

1.2 保障工程质量

工程质量是房建土建工程的保证, 而高支模技术的应用则能保障工程质量, 尤其是体系设计过程中, 全面分析施工过程中的自重、施工荷载、风载等各种荷载条件, 保证结构的高承载能力。同时采用精确的模板定位加固措施, 使混凝土结构的尺寸精度达到毫米级, 表面平整度也显著提升, 对于提升建筑物的整

体美观度与使用寿命具有重要意义。

1.3 优化成本效益

高支模施工技术应用期间, 采用高质量的合金钢或复合材料, 能降低材料消耗, 循环利用的模式符合当前全球倡导的环保理念, 为企业节省大量材料成本。并且, 施工效率的提升、劳动力需求的减少, 共同作用下降低施工成本, 增强项目的经济可行性, 提高企业的经济效益水平。同时高支模施工过程中的低扬尘、低噪音特性, 符合环保法规要求, 有助于塑造企业良好的社会形象, 提升市场竞争力, 实现经济效益与社会效益的双赢^[2]。

1.4 提升施工安全性

安全是施工的首要原则, 高支模技术在应用过程中能提升施工安全性, 主要因为在高支模设计的过程中, 采用支撑布局与加固措施, 能保证施工过程中的整体稳定性, 降低坍塌等安全事故的风险, 增强结构的物理稳定性。同时, 高支模施工技术的应用伴随着严格的安全规范, 从设计到施工都需经过严格审核, 符合国家安全标准, 全面维护施工安全。

2 房建土建工程中高支模施工技术应用现状

2.1 设计水平参差不齐

虽然高支模技术在理论上具有诸多优势, 但在实际应用中设计水平的不均衡成为制约其效能发挥的瓶颈。当前部分工程项目在设计阶段缺乏对施工现场实际情况的深入调研, 导致设计方案与实际操作之间存在较大偏差, 设计人员可能过于依赖理论模型, 忽视地质条件、气候条件等现场特定因素对模板尺寸、形状及支撑方式的具体要求, 影响高支模的承载能力。同时设计过程中的计算精度不足也是一大问题, 模板

的尺寸、间距、支撑点的选择等均需经过精确计算，而部分设计人员在计算过程中可能存在简化处理或经验主义倾向，导致设计结果偏离实际需求，为施工过程中的安全隐患埋下伏笔^[3]。

2.2 材料选用不当

材料是高支模技术性能的基础，但部分工程项目在材料选用上过于追求成本控制，忽视材料质量及性能要求，虽然短期内能降低材料成本，但是长此以往容易因材料强度不足、耐腐蚀性差等问题，导致高支模在使用过程中出现变形、开裂甚至坍塌等严重后果。具体而言，部分项目可能会选择低质量的钢材或复合材料，在承受施工荷载时易发生塑性变形，影响结构的整体稳定性。除此之外，劣质材料还可能加速腐蚀过程，缩短高支模的使用寿命，增加更换和维护成本，最终得不偿失。

2.3 施工过程不规范

施工过程的规范性是高支模技术效能发挥的关键，而部分工程项目在施工过程中存在明显的不规范现象，主要归因于技术掌握不足和管理机制缺失两个方面。由于缺乏系统的培训和指导，施工人员可能无法准确理解设计图纸的意图，导致搭设过程中存在偏差，影响结构的稳定性和安全性，同时拆卸过程中也可能因操作不当导致模板损坏或人员受伤；项目缺乏有效的施工计划和质量检查机制，导致施工过程随意性强，难以保证施工质量，同时安全管理制度的缺失也使得施工现场存在较大的安全隐患，增加事故发生的可能性^[4]。

2.4 安全防护措施不到位

高支模施工技术属于高空作业范畴，安全防护措施的重要性不言而喻。而部分工程项目在安全防护方面存在明显不足，主要体现在安全警示标志的缺失、安全防护设施的简陋以及施工人员安全教育的缺乏等方面。安全警示标志的缺失使得施工现场的风险区域难以识别，增加施工人员误入危险区域的风险。安全防护设施的简陋则无法有效阻挡高空坠落物或提供必要的逃生通道，一旦发生事故，后果将不堪设想。除此之外，缺乏必要的安全知识和操作技能，施工人员在面对突发情况时难以做出正确的应对，加剧了事故的风险。

3 房建土建工程中高支模施工技术应用措施

3.1 加强设计水平提升

高支模施工技术的应用过程中设计水平的提升是整个施工过程顺利进行、工程质量得到保障的前提。

在此情况下，设计人员需深入理解施工现场的地质条件、气候条件、周边环境以及具体的施工需求。该步骤至关重要，因为直接关系到后续模板尺寸、形状及支撑方式的精确计算与规划。为提升设计水平，设计人员首先需加强理论学习，掌握最新的设计理念和计算方法，同时应积极参与实际项目的考察调研，积累现场经验，增强对实际施工条件的感知理解，设计过程中应充分利用现代设计软件和仿真技术，对高支模的结构进行精确模拟分析，以预测其在不同荷载条件下的变形及稳定性表现。除此之外，设计团队内部应加强沟通与协作，形成共识，对于复杂或特殊工程，应邀请行业专家进行评审和指导，进一步提升设计质量。且支撑方式的选择期间设计人员需综合考虑施工效率、成本效益和安全性等多个因素。例如：对于高层建筑或大型公共设施，可能需要采用更为复杂及稳定的支撑体系，同时设计人员还需关注模板的拆卸便利性，以降低施工难度及施工成本^[5]。

3.2 严格选用优质材料

材料的选择是高支模施工技术应用中的关键部分，优质的材料能保证高支模在施工过程中具有充足的承载能力，还能延长其使用寿命，降低维护成本。在模板材料的选择上，应优先考虑质量可靠、性能优异的合金钢或复合材料，此类材料具有较高的强度，可承受施工过程中的各种荷载，同时具有较好的耐腐蚀性和耐磨损性。在选择支撑杆件和连接件材料时，高强度材料可保证支撑体系的整体稳定性，而耐腐蚀性则有助于延长材料的使用寿命。为保证所选用的材料符合相关标准，应加强对材料质量的检验工作，对材料的力学性能、化学成分、表面质量等进行全面检测，同时应建设材料质量追溯体系，对不合格材料进行追踪处理，以防止其流入施工现场。在材料采购过程中，应注重供应商的资质和信誉，选择具有丰富经验和良好口碑的供应商进行合作，同时应与供应商签订明确的质量保证协议，以保证所采购的材料质量可靠、性能稳定。

3.3 规范施工过程管理

高支模的施工过程中，规范的管理是保证技术正确应用、工程质量的基础，需要企业加强对施工人员的培训教育力度，提高其操作技能与安全意识。此期间企业应组织施工人员参加专业培训课程，学习高支模施工技术的相关知识技能，以理论学习和实践操作相结合的方式提高施工人员的操作水平与技术能力，同时应定期组织技能考核活动，以检验施工人员的技

能掌握情况,并激励其不断提升自己的技术水平。在此基础上,应建设完善的监督管理机制,对施工过程进行全程监控管理,对施工现场的安全隐患进行定期排查整改,对施工人员的违章操作进行纠正处罚,同时应建设施工日志,对施工过程中的关键步骤及数据进行详细记录,以便发现并解决问题。为进一步提高施工过程管理的规范性,可引入现代信息技术手段。例如:利用物联网技术对施工现场进行实时监控、数据分析,利用大数据技术对施工质量进行预测评估,提升施工过程管理的精细化水平。

3.4 完善安全防护措施

高支模施工技术的应用过程中安全防护措施的建设是施工人员安全的重要保障,要求企业设置必要的安全警示标志和安全防护措施,并加强对施工人员的安全教育培训工作。首先,应在施工现场设置明显的安全警示标志与标识牌,以提醒施工人员注意潜在的安全隐患,同时应设置安全网、安全带、防护栏等必要的安全防护措施,为施工人员提供必要的保护。其次,应加强对施工人员的安全教育培训工作,组织安全知识讲座、观看安全教育视频、开展应急演练等活动,同时应建设安全考核机制,对施工人员的安全知识和技能进行定期考核评估。除此之外,还应建设应急预案和救援机制,以应对可能发生的突发事件,还应定期组织应急演练活动,检验应急预案的可行性,并不断优化完善。在高支模施工技术的应用过程中,还应注重与周边社区的沟通,向社区居民宣传高支模施工技术的相关知识,增强其安全意识,同时应建设投诉反馈机制,收集并处理社区居民的建议,以保证施工过程的顺利进行。

3.5 强化质量监管验收

高支模施工技术的应用过程中,企业应建设质量管理体系文件,明确质量管理的目标、职责、程序和要求,同时应设立专门的质量管理机构,负责质量管理的日常工作。此类机构应具备独立性和权威性,以保证质量管理工作的有效性和公正性。在此基础上,对模板的尺寸、形状、支撑方式等进行检查测量,对混凝土的浇筑质量、振捣质量等进行检测评估。在质量监管和验收的严密流程中,数据的收集与分析扮演着至关重要的角色,既是对施工质量的即时反馈,更是预防潜在质量问题的有效手段。具体而言,应建设一套完善的数据收集机制,涵盖从材料进场、施工过程到最终验收的每个环节。材料的性能指标、施工参数、

工艺执行情况以及现场检测结果需要专业的数据管理系统进行整理分析,以图表、报告等形式直观展现,便于管理人员迅速识别异常,采取纠正措施。第三方检测机构需持有国家认可的资质证书,遵循严格的质量管理体系,为工程质量提供客观评价,还能增强建设单位及监理单位的信任度,促进各方之间的合作沟通。在此基础上,建设质量责任追究机制是保障质量监管有效性的另一道防线,该机制应明确各级管理人员的质量职责,对违反质量管理规定的行为实施严格的问责,对造成质量事故的责任人依法依规进行处理,既是对违规行为的惩戒,更是对全体施工人员的警示,强调质量意识的重要性。同样需要注意的是,与监理单位 and 建设单位的紧密合作是质量管理工作不可或缺的一环。例如:定期的质量例会中,各方共享信息,讨论施工中遇到的问题,共同寻找解决方案,同时提供完善的质量报告和资料,使建设与监理单位全面分析工程进展和质量状况,做出更为科学的决策,开放、透明的沟通机制有助于形成质量管理的合力,推动施工质量的持续提升。

4 结束语

高支模施工技术在房建土建工程中具有广泛的应用价值,而在实际应用过程中仍存在问题需要解决改进,因此企业需要积极加强设计水平的提升,严格选用优质材料,规范施工过程管理,完善安全防护措施,强化质量监管,发挥高支模施工技术的优势,保证工程的质量进度。随着建筑技术的不断进步,二次城市化进程的加速推进,企业也需要完善高支模施工技术体系,不断提升整体技术的应用效果,打破传统技术的局限性,增强各项施工工作的效果,达到预期的目的。

参考文献:

- [1] 刘丽君. 房建土建工程中高支模施工技术的应用研究[J]. 建筑·建材·装饰, 2023, 11(04): 121-123.
- [2] 陈财全. 探讨房建土建工程中高支模施工技术的应用研究[J]. 四川水泥, 2019, 02(02): 257-259.
- [3] 翁文辉. 关于房建土建工程中高支模施工技术运用分析[J]. 砖瓦世界, 2019, 04(24): 54-66.
- [4] 曹瑞娟. 房建土建工程中高支模施工技术运用的探析[J]. 建材与装饰, 2020, 12(30): 42-43.
- [5] 刘斌, 范洋洋. 房建土建工程中高支模施工技术的应用[J]. 装饰装修天地, 2024, 03(07): 157-159.

现浇钢筋混凝土连续箱梁的预应力施工技术

郑斌文

(四川公路桥梁建设集团有限公司机械化施工分公司, 四川 成都 610000)

摘 要 现浇钢筋混凝土连续箱梁因结构稳固、适应性强以及较长使用寿命成为桥梁工程中的常见选择。预应力技术能够增强梁体抗弯、抗剪能力, 改善受力性能并延长使用寿命。预应力施加过程中应合理规划操作, 其张拉顺序、应力分布及施工工艺决定整体工程质量与安全性。本文探讨了现浇钢筋混凝土连续箱梁预应力施工技术实施要点, 重点分析了在施工过程中涉及的张拉技术、应力监控手段、施工精度控制等方面的创新方法, 以期提升结构性能及施工效率提供参考。

关键词 现浇钢筋混凝土连续箱梁; 预应力施工技术; 模板施工; 钢筋加工

中图分类号: TU755

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.12.016

0 引言

现浇钢筋混凝土连续箱梁作为现代桥梁工程的重要组成部分, 能够确保箱梁结构稳定性及承载能力, 是现代桥梁工程实施的关键。引入预应力技术优化梁体受力状态, 能够提升其性能, 在延长使用年限及抗裂性能方面展现出独特优势。预应力施工过程中涉及控制张拉力、施工精度及应力分布等技术难题, 需精细化操作才能最大程度发挥预应力效用。这一问题中, 施工过程中施加高效精准预应力已成为当下研究实践的核心方向。

1 现浇钢筋混凝土连续箱梁的设计与施工特性

在设计上, 由于连续箱梁通常具有较大跨度及复杂结构形式, 采用钢筋混凝土材料能够保证结构强度及稳定性。箱梁纵向长度及横截面在实际设计中需考虑车辆荷载、温度变化、风力等多方面因素影响。现浇钢筋混凝土连续箱梁施工过程复杂且精细, 涉及搭设模具、绑扎钢筋、混凝土浇筑等多个环节。混凝土浇筑也需控制高度精准, 过快或过慢都会对最终结构产生影响。混凝土浇筑后需进行合理养护, 确保其稳定强度及硬化过程, 避免因外界温度或湿度变化而造成结构裂缝。

2 现浇钢筋混凝土连续箱梁的预应力施工措施

2.1 场地准备与地基强化措施

地基承载能力直接影响整个结构的稳定性, 预应力施工技术在此过程中需优化梁体变形特性及抗力分布。土壤密实度、湿度等因素对地基承载力有重要影响, 在桥梁建设中, 预应力技术能精确控制预拉力, 抵消部分不均匀沉降及变形。在现浇钢筋混凝土连续箱梁

设计及施工中, 预应力技术合理配置钢筋能缓解地基不均匀沉降所带来的应力集中现象, 让结构在长期荷载下保持稳定。预应力施工技术结合钢筋混凝土的物理特性, 得以优化施工中的应力分布, 使得梁体的受力更加均匀^[1]。预应力施加后钢筋及混凝土之间协同作用使得结构在使用过程中更加稳定, 能够应对外部荷载或环境变化所带来的压力。

例如: 在现浇钢筋混凝土连续箱梁的预应力施工中, 可以采用硬化场地及支架预压方式, 施工团队在硬化场地准备过程中, 依照预设标高, 用粘性土填充整个预制场范围, 这一基础性工作为后续施工打下坚实的地基基础。粘性土作为主要填料, 在填充至目标标高后, 充分应用推土机进行平整, 以保证场地均匀性及平整度。推土机将填料推至设计标高后, 采用振动压路机进行碾压, 借助多次碾压, 使场地达到所需的密实度, 为预应力施工创造条件。密实场地基础在后期承载能力测试中, 能分散预应力施加时的集中应力, 避免因场地软弱导致沉降变形。接下来, 施工人员铺设 10 cm 厚的级配砂砾垫层, 在砂砾垫层之上浇筑 C20 混凝土硬化地面。砂砾层可以增强地面稳定性, 确保后续混凝土均匀受力, 同时, 硬化地面为后续设备安装及施工作业提供强有力的支撑。合理进行砂砾层施工能够隔离地面及混凝土之间的直接接触, 避免湿气对混凝土结构造成负面影响, 从而确保结构长期稳定性。

除此之外, 支架预压过程中, 施工人员对已安装的支架进行预压试验。此过程核心在于检验地基承载能力及支架稳定性。预压试验是根据支架尺寸及支撑要求, 在每跨的 $L/2$ 、 $L/4$ 以及墩部的关键位置设置多

个观测点，精确掌握地基及支架受力后的变形情况。试验阶段，施工团队持续监测预压过程中地基及支架的综合变形情况，记录数据并进行详细分析，确保支架及地基的适应性及安全性。整个场地准备地基强化过程中，施工人员以精准的施工步骤确保预应力施工中地基稳定性。施工方法中每一步，都紧密依托科学的地基力学理论，严格执行现场管理标准及规范要求，确保施工过程中每一环节都达到设计要求。合理应用机械设备材料，施工人员能够确保场地压实度及硬化地面强度，为连续箱梁的预应力施工提供坚实物理基础。预压过程则确保支架在长期负载作用下的稳定性，避免由于地基不均匀沉降或支架不稳定造成施工风险。采用严密观测及数据分析，施工人员能对支架变形情况进行准确预测，从而实现有效工程调整。

2.2 模板施工与精准安装检测

在现浇钢筋混凝土连续箱梁施工中，模板施工不单是一个物理的支撑过程，更要求施工人员对模板安装进行全程精细管理及精准测量。模板安装过程中，施工人员必须严谨检查每一个连接点稳固性及模板平整度，确保在混凝土浇筑过程中不会发生形变、位移或扭曲，避免影响最终结构形态及力学性能。若模板位置、尺寸或形态偏差过大，可能导致后续施工中的不合格问题（如表 1 所示）。因此，模板每一项关键技术参数都需严格符合设计要求，任何微小偏差都可能导致工程质量无法得到保障，甚至影响到施工后的使用寿命^[2]。对于现浇钢筋混凝土连续箱梁的预应力施工，模板安装精度直接影响到钢筋及混凝土协调性，进而决定预应力施加效果。

例如：在现浇钢筋混凝土连续箱梁的预应力施工中，可以采用钢筋绑扎及预应力筋安装方式，在模板施工阶段，施工人员在模板安装阶段采用精密定位技术，确保模板位置及设计图纸误差不超过 1 mm，并利用全站仪以及激光水平仪进行高精度定位，确保模板在每个

接触面上的尺寸公差控制在 ± 2 mm 以内。钢筋绑扎过程严格按照施工图要求进行，钢筋直径及规格严格按设计要求选取，主筋直径为 $\Phi 32$ mm，箍筋为 $\Phi 12$ mm，并且每米钢筋的误差控制在 ± 5 mm 以内。在预应力筋安装过程中，施工人员运用预留孔道将预应力筋精确穿入，孔道的中心线偏差控制在 2 mm 范围内，确保每根预应力筋的铺设位置跟设计图纸完全一致。预应力筋张拉力度需严格按照设计要求进行，采用张拉机进行张拉，张拉力一般为 1 500 kN，张拉精度应控制在 $\pm 2\%$ 以内。经过多次精密测量核对后，施工人员将进一步利用激光测距仪对每一处节点进行检查，确保结构形状及尺寸符合设计要求。

在模板施工与钢筋绑扎完成后，施工人员继续利用高精度的检测仪器对已安装的预应力筋进行实时监控，确保其位置不发生任何误差。利用水平仪、激光测距仪等工具，施工团队对各个接头、节点以及安装部位进行逐项核对。精准操作每一个环节，为后续预应力施加提供必要条件。此外，对预应力筋的张拉过程进行实时监控，确保预应力筋的张拉力度达到设计要求，使得钢筋混凝土结构在受力情况下达到最佳的力学状态。每一环节操作都严格按照规范要求进行，模板施工及钢筋绑扎密切配合，确保现浇钢筋混凝土连续箱梁的结构性能。

2.3 钢筋加工与精确定位安装

在现浇钢筋混凝土连续箱梁预应力施工过程中，钢筋加工及安装关系到梁体强度与稳定性，直接影响预应力的施加效果。在这一过程中，精确控制每根钢筋形状、尺寸、位置及布置是实现结构设计要求的关键。特别是在预应力施工中，钢筋定位及安装直接影响后续张拉过程及梁体的长期性能^[3]。梁体每根钢筋，重点是预应力筋，都应严格按照设计图纸要求进行加工，任何偏差都可能影响整体结构受力状态及安全性。钢筋加工精度是影响施工质量的首要因素，特别是当涉

表 1 模板施工与精准安装检测

项目	内容	具体要求	检测方法
模板安装	安装模板，确保其位置和形状符合设计要求	模板接缝严密，模板安装牢固，确保无位移	精密测量工具检测模板的位置和形状，确保符合设计要求
钢筋绑扎	钢筋的绑扎与固定	钢筋位置准确、数量符合设计要求，特别是预应力筋的布置和固定	使用钢筋定位架及测量仪器检测钢筋位置，确保钢筋固定无误
预应力筋布置	预应力筋的安装	预应力筋位置、数量、固定方式与设计一致	使用激光水平仪、钢尺等精密工具进行定位，确保预应力筋固定准确
精度检测	对模板、钢筋和预应力筋的布置进行精度检测	模板、钢筋、预应力筋位置误差控制在设计容差范围内	使用全站仪、激光测距仪等工具进行精度检查

及高精度预应力筋时^[4]。这些预应力筋在安装时需要穿越多个孔道并进行固定,任何微小误差都可能导致力的分布不均或张拉时出现偏移,从而影响整体受力平衡。

例如:在现浇钢筋混凝土连续箱梁的预应力施工中,可以采用绑扎钢束定位筋及波纹管固定的方式。在施工过程中,施工团队依据每根钢束的尺寸与张拉要求,在钢筋框架上对每个钢筋位置进行精准定位。普通钢筋框架绑扎完毕后,依据设计图纸对钢束的坐标进行精确测量并在骨架的箍筋上划线标记,随后运用点焊方法将定位筋固定。接着,在定位筋上绑扎跟钢束相连接的导向筋,确保每根预应力钢束都处于理想位置,避免在后期混凝土浇筑时出现偏移变形。借助这种精准钢筋绑扎及定位方法,施工人员可以保证结构力学性能前提下,实现更为精准预应力传递及结构稳定性。

此外,精确安装钢筋不局限于钢束绑扎,固定波纹管同样需要在施工中精细操作。施工人员根据设计要求固定波纹管,避免其在浇筑混凝土过程中发生位移。直线段的波纹管,每 100 cm 配置一个固定装置,而在曲线段上,则依据施工条件加密固定点,每 50 cm 就有一个新的固定点。此外,波纹管接头部位密封性要求极为严格,施工团队采取密封措施,确保接头处的密封性,防止漏浆现象的发生。在这种精确施工控制下,波纹管通道位置得以准确保持,从而保证预应力筋在混凝土浇筑及后期张拉过程中,能均匀传递预应力,确保结构稳定性。所有施工步骤均在严格质量标准下进行,施工误差控制在 ± 5 mm 以内,良好结合混凝土及预应力筋,为后续结构使用提供坚实基础。

2.4 预应力系统布局与关键节点把控

在现浇钢筋混凝土连续箱梁的预应力施工中,预应力系统运用合理钢筋布置及精准的张拉工艺,将外部荷载转化为内部应力,能提高结构承载力及抗变形能力。在连续箱梁施工过程中,布置预应力钢束需要紧密配合梁体受力特点,合理分配各段预应力筋的配置、数量、张拉顺序及力值,直接影响到箱梁使用寿命及结构整体稳定性。合理预应力布局能够减少结构挠度及裂缝,确保结构在长期荷载作用下依然具备足够强度^[5]。

在现浇钢筋混凝土连续箱梁的预应力施工中,可以采用布置预应力系统及支座。施工过程中,施工人员依据设计要求进行精确布置预应力筋,考虑跨度、荷载及交通需求等因素。例如:某桥梁的跨度达到 45 m,每联桥墩采用 10 个支座,箱梁顶板宽度 3.0 m,底板

宽度 2.5 m,翼板厚度 30 cm,腹板厚度 20 cm。钢束布局需要保证每个位置预应力束能够均匀传递结构荷载,特别是在后张法施工中,钢束必须借助预埋的金属波纹管成孔,确保钢束锚固面垂直于钢束方向,从而有效避免应力集中。此外,布置预应力筋要求每个横向钢筋及纵向钢束组合能适应设计所需的力学要求,顶板、底板及翼板分别布置横向或纵向预应力束,确保力学性能的平衡稳定。

在布置支座的时候施工团队依设计要求将纵向固定支座设置在每联桥墩位置,若纵向水平力超出支座承载能力,还需采用多个纵向固定支座进行补充,且每个墩台位横向支座必须设置完备,保障结构整体稳定性。在预应力钢束的张拉过程中,控制张拉力尤为严格,采用张拉力及引伸量双控方式进行操作。在某桥梁中,张拉时控制张拉力的偏差范围在 $\pm 6\%$ 之内,实际伸长量需跟理论值保持一致,从而确保结构稳定性及预期变形。在压浆及封锚阶段,施工人员可采用低压均匀压浆方式,将水泥浆压入预应力孔道,以确保孔道充盈并排除任何空隙,防止水泥浆泌水及漏浆现象。在此过程中,压浆压力通常控制在 0.2 ~ 0.4 MPa,确保水泥浆的充分饱和,避免长期使用中的孔道腐蚀。

3 结束语

现浇钢筋混凝土连续箱梁的预应力施工技术作为现代桥梁工程重要组成部分,已成为桥梁建设领域中不可或缺的技术手段。其有效的预应力施工方案能提升结构承载能力,在保障施工安全质量同时,推动桥梁工程可持续发展。未来工程建设中,对施工过程全面控制及精确调度,能进一步提高施工效率质量,实现更高层次的工程精度。在新技术日新月异发展背景下,预应力施工技术必将继续演变,以满足日益复杂的桥梁建设需求。

参考文献:

- [1] 邱杰. 现浇混凝土连续箱梁后张法预应力张拉施工技术[J]. 汽车周刊, 2025(03):105-107.
- [2] 范冀哲. 公路双层预应力钢筋混凝土现浇箱梁桥施工技术[J]. 工程机械与维修, 2024(06):133-135.
- [3] 周磊. 支架现浇预应力混凝土连续箱梁施工关键技术[J]. 设备管理与维修, 2024(10):187-190.
- [4] 李旭鹏. 现浇预应力混凝土连续箱梁施工技术研究[J]. 工程建设与设计, 2024(08):103-105.
- [5] 曾贞. 现浇预应力钢筋混凝土连续箱梁桥梁施工技术[J]. 运输经理世界, 2024(12):106-108.

建筑深基坑施工引起的岩土变形与控制技术

张 仞

(武汉市市政工程项目建设事务中心, 湖北 武汉 430015)

摘 要 现阶段建筑行业发展速度不断加快, 工程建设规模日渐增大, 对深基坑施工水平提出了更高要求。为保障深基坑施工工作有序开展, 施工单位需结合工程地质勘察结果, 选择适宜的深基坑施工技术手段, 落实深基坑施工期间的质量及安全管控对策, 确保深基坑施工工作能够始终处于高质高效实施状态。本文阐述了深基坑工程施工特征, 分析了深基坑工程岩土变形控制结构设计要点, 明确了深基坑岩土变形控制施工技术种类, 并提出了深基坑岩土变形控制施工管理对策, 以期为相关人员提供参考。

关键词 建筑深基坑; 岩土变形; 控制技术

中图分类号: TU47

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.12.017

0 引言

深坑岩土变形控制是建筑工程重要施工环节, 深基坑岩土变形控制水平直接影响到建筑工程结构稳定性。现阶段深基坑岩土变形控制技术种类增多, 不同岩土变形控制方式的应用要点、应用方向存在一定差异, 需施工单位事先调查施工现场环境, 编制经济效益显著、可行性更强的施工方案。

1 建筑深基坑工程施工特征

1.1 施工环境复杂

现阶段城市发展进程不断加快, 建筑工程施工现场面积缩小, 地下管线设施分布较多, 使工程深基坑岩土变形控制难度进一步提升。由于土质条件差异较大, 在制定深基坑岩土变形控制方案过程中还应结合土质调查结果, 选择适宜岩土变形控制技术手段。由于深基坑建设面积逐渐扩大, 施工期间的专业性更强。深基坑开挖后会长时间暴露在外部空气中, 严重影响结构整体稳定性。由于深基坑工程实施环节的安全隐患多, 深基坑岩土变形控制的隐蔽性强, 在没有得到严格管控的情况下, 也会出现变形问题, 引发更多安全事故。施工环境复杂还体现在勘察工作中。有限的勘察点难以切实反映出施工现场具体情况, 后续施工期间的风险问题难以有效规避。

1.2 施工隐患大

深基坑支护体系具有临时性特征, 安全储备较小, 安全风险更高。在基坑施工环节开展监测工作, 应制定专项应急管控措施, 在遇到险情的情況下需开展及时抢救工作, 确保作业人员人身安全。

如工程深基坑地下水埋深较浅, 在深基坑开挖深

度不断增加的情况下, 承压压力也会逐渐减少, 深基坑也会出现隆起情况。在深基坑不透水层压力小于承压时, 深基坑结构的稳定性会受不利影响, 导致基层结构地下水管涌问题出现。

2 深基坑工程岩土变形控制结构设计

工程深基坑岩土变形控制及深基坑岩土变形控制施工前也需要考虑施工阶段的安全性, 不断优化施工技术方案。对现场进行取样, 明确现场地质水文特征, 明确现场地质结构施工要求, 合理设置地下水文数量, 分析地质因素可能对施工造成的不利影响, 控制施工安全隐患发生概率。并结合施工现场勘察资料内容, 评估地质及水文条件, 优化深基坑岩土变形控制结构施工方案。如现场地质条件良好、地质结构均匀, 能够承受较大荷载, 可使用简单的条形深基坑岩土变形控制、独立深基坑岩土变形控制等结构; 如工程体积大、自重高时, 可使用深基坑岩土变形控制结构。在现场土壤为软土时, 可使用多种深基坑岩土变形控制结构相结合方式, 增强深基坑结构稳固性。

在深基坑岩土变形控制方案制定过程中还需要做好计算工作, 分析不同深基坑岩土变形控制技术应用优缺点。在土压力计算过程中运用了朗肯土压力理论, 可在工程施工现场地质条件较为复杂的情况下, 明确岩土变形控制结构承载能力。把岩土变形控制结构接受的土压力看作均布土压力, 将获得的计算结果应用在设计方案编制与优化过程中。

在深基坑工程计算过程中也可使用极限平衡法获得求解超静定答案, 计算流程相对简单, 主要被应用在优化悬臂与单点支撑结构中。使用等值梁法计算支挡结构内力。首先设置假想铰位置以及挡土结构变形

曲线弯曲点。选取弯曲点距离入土面深度值,结合地质条件及深基坑结构特征确认开挖深度。挡土结构的内力可使用解析法与数值分析法,首先将挡土结构划分为多个子区间,通过建立微分方程,引入连续条件与边界条件,获得解微方程,计算出内力值与支撑轴力值。

3 深基坑工程岩土变形控制技术种类

3.1 钻孔灌注桩岩土变形控制

钻孔灌注桩是建筑工程深基坑重要岩土变形控制技术手段,在钻孔灌注桩施工前所使用的各类设施均需由技术单位鉴定并认证。依据设计方案提供的控制图进行等级复测,对施工测量结果进行反复校正。

埋设钻孔灌注桩钢护筒前需使用 GPS 测量方式对钢护筒结构展开平面测量。首先在钢护筒口处测量三点,利用三点共圆方式找寻钢护筒中心位置。对比桩位坐标值,确定桩位平面偏差。

在设置终端平台期间应确定桩位点,应在现场配备枕木、钻架平台与钻架等设施。将钻架安装后设置平面位置,严格测量桩位的垂直度,全程记录下测量结果。

在开展钢护筒埋设准备工作时,施工单位还应依据设计图纸给出的控制点测量,在钻孔附近设置定位桩,确保桩位准确。将定位桩放置在钻孔中心点,使钢护筒中心及钻孔中心点位置一致。钢护筒埋设期间还需使用挖填手段,指定装置到达设计目标后才可埋设钢护筒。

在设置泥浆循环泵过程中,应先对泥浆的各项指标进行严格检测。泥浆流动性能需每隔一段时间就监测一次,确保泥浆的回油效果与施工要求相符。在泥浆流动性不达标的情况下,也可以在内部加入适宜剂量的膨胀剂等外加剂。

注重在钻孔灌注桩施工期间做好清孔工作。将钻井机械设备提升至适当距离空转,增强泥浆正常循环效果,尽量去除密度较大的泥浆、钻渣,确保泥浆各项指标符合施工要求。泥浆灌注环节还需要注重检查沉淀层的厚度,在泥浆检验不合格的情况下需优化泥浆比例。

在钻孔灌注桩施工环节还应结合具体施工要求安装钢筋笼,制定合规钢筋结构。在钢筋笼安装环节还应严格控制钢筋笼吊装期间的分段数量。在钢筋笼安装环节还应结合施工条件合理设定定位钢筋焊接位置。安装混凝土垫块期间,还要依据保护层要求选择适宜的混凝土垫块结构。

钻孔灌注桩施工过程中还要优化混凝土配比方案。首先将混凝土材料运输到施工现场,对混凝土桩基结构进行连续灌注。在混凝土浇注前还需检测浇注材料

性质,优化施工方案。

3.2 高压旋喷桩岩土变形控制

在深基坑岩土变形控制环节使用高压旋喷桩结构,需首先使用高压旋转喷嘴设施将水泥喷入土层内部,使浆液与土体充分混合,使基础结构部位能够形成巩固的水泥柱。相较于其他深基坑岩土变形控制结构而言,高压旋喷桩占地面积小,建设成本高。

高压悬喷桩可被应用在淤泥质土、可塑性粘土与粉土等土层结构中。在地基内的大粒径块石、有机质土与坚硬粘土较多时,也可使用试验方式合理设置结构技术参数。

高压旋喷注浆的材料除了水泥、水外,还要在浆液中添加外加剂。同时,结合施工环境及施工要求,选择适宜的高压悬喷注浆水泥品种、水泥标号。浆液材料应符合严格的质量标准,运输到施工现场后缩短存放时间,不得使用过期或受潮结块的水泥。

高压旋喷桩施工前应当整平场地,清理地面及地下可移动障碍,避免出现施工机械设备失稳情况。设置施工临时设施、临时房屋及材料库,配备废水、废浆处理与回收系统。

高压旋喷注浆首先需要合理安排钻孔位置,并确保灌浆工作有序开展,避免在单孔喷射时对其他孔造成不利影响。钻机主钻杆设备也需与孔位置相符,使用水平尺等测量设备水平值、立柱垂直度、钻机垫高高度等。

高压旋喷灌浆工作应从下至上连续开展,喷头可结合施工要求使用单嘴、双嘴或多嘴等形式。依据设计要求合理设置钻井口,在喷嘴设置合格后才可喷射注浆。喷浆环节如果出现压力异常变化等情况,需要查明原因并立即处理。

3.3 SMW 工法桩岩土变形控制

为避免建筑工程施工期间出现边坡松散、滑塌、溜坡等问题,采用了 SMW 工法桩岩土变形控制手段。SMW 工法桩需借助多轴型钻机挖掘设备,对现场进行挖掘处理。将钻机钻头处喷出的水泥强化剂与基层土相互混合,增强结构稳定性。在 SMW 工法桩岩土变形控制过程中,还需将钢板和执行板插入没有凝固的水泥土内,形成完整的地下连续墙体结构^[1]。

在 SMW 工法桩施工过程中首先开挖导沟、合理设置导轨与施工标识。开挖环节可使用钻孔及重复搅拌方式。在水泥材料没有得到充分凝固的情况下还可增加固定应力补强材料。

相较于其他深基坑岩土变形控制方式而言,SMW 工法桩不会影响到周边土体,防止基坑开挖过程中出现

地表沉降、屋面坍塌或者周边建筑物位移等问题。SMW 工法桩结构施工效率高,施工期间的废土外运量比其他工法更少^[2]。

3.4 降排水系统

在建筑工程深基坑工作开展前,应结合勘察结果确定地下水位置,借助排水固结方式增加深基坑结构强度,提升深基坑整体的水平抗力值,避免岩土变形控制结构在后期使用过程中出现变形等情况,进一步提升深基坑结构稳定性,避免深基坑底部隆起。在深基坑降水过程中还应选择适宜的检查井位置,合理安排建筑工程及地下管线,对地基进行灌水处理。

在深基坑开挖过程中,开挖面低于地下水深基坑、沟槽位置时,地下含水层被切断,水会直接渗入深基坑中。深基坑排水可使用电动水泵、自动水泵、虹吸水泵等。在选择排水设施时,水泵的排水量约为水流量的 1.5~2 倍。如深基坑涌水量较小时,可使用人工排水,水压泵等设施^[3]。

深基坑、沟槽开挖与混凝土水位排水形式较多,应结合施工现场环境特征,选择适宜的排水形式。

为提升基础结构稳定性,还需在工程施工环节使用竖向排水和水平排水连通手段,增强结构整体排水效果,加快土内水流动速率,避免含水量过多导致基础失稳问题出现。在施工现场存在有机黏土、饱和粘土的情况下,可以首先在表面上铺设砂垫层,合理分配粗砂、中砂比例,将砂石中的含泥量控制在 5%、有机质含量控制在 1%。将水平排水系统设置在垫层处,借助塑料排板等结构增强排水效果。

排水固结手段能够有效增强排水效果,操作流程较为简单,经济效益显著,被广泛应用在有机质黏土等软土地基结构处理环节^[4]。

4 深基坑工程岩土变形控制施工技术管理

4.1 做好施工准备工作

在建筑工程深基坑岩土变形控制准备工作开展环节,施工单位应结合施工要求,做好现场勘察工作,掌握地质结构、水文条件、气候环境等特征。并结合施工图纸内容,对现场进行放样测量,及时清除可能影响施工工作的杂物。开展详细的深基坑岩土变形控制交底,确保施工人员能够明确岩土变形控制流程,有序开展施工作业。

4.2 选择适宜材料及设备

施工材料及机械设备应用水平与深基坑岩土变形控制效果存在密切关联,还需结合深基坑岩土变形控制要求选择适宜设备及材料。在设备进场后,由专业人员对设备展开检查与保养。及时排除设备异常运行

状态,避免设备出现带病作业情况。

明确材料性能、材料价格情况,检查材料出厂合格证明。严格管控材料运输、存储等环节。如水泥的吸水性较强,在存储过程中需注意做好防潮、防水处理。

4.3 制定科学岩土变形控制方案

为保障深基坑岩土变形控制工作有序开展,施工单位应结合现场勘察结果、工程项目建设相关文件,制定科学合理的岩土变形控制方案,确保岩土变形控制工作有序实施。由于深基坑岩土变形控制技术种类较多,也应结合工程实际建设情况对不同岩土变形控制方案的可行性、经济性进行细致分析,确保制定的岩土变形控制技术方案能够更好地满足建筑工程深基坑建设要求^[5]。

4.4 完善深基坑变形监测流程

为保障建筑工程审计科目岩土变形控制工作有序实施。在深基坑岩土变形控制环节,还应做好深基坑变形监测工作,如监测深基坑结构的破坏变形情况、极限状态等。在深基坑开挖后,深基坑侧面会出现不同程度的变形,变形率增大时,需在施工现场布置的监测系统能够及时、准确、有效地反映岩土变形控制体及周边环境动向,确保工程始终处于可控状态。深基坑监测项目主要包括护坡水平与竖向位移监测、地下水水位监测、建筑地基结构沉降监测等^[6]。

5 结束语

深基坑工程结构设计水平可直接影响到岩土变形控制施工效果。管理部门应结合工程施工要求、施工特征,选择适宜的深基坑岩土变形控制体系。为保障深基坑岩土变形控制效果,还需对比分析不同深基坑岩土变形控制手段应用可行性,优化深基坑技术体系,加强深基坑岩土变形控制施工全过程管控力度,增强深基坑结构的稳定性与承载力。

参考文献:

- [1] 杨琳,马佳彪,宋占涛,等.岩土工程基础施工中深基坑支护施工技术研究[J].西部探矿工程,2024,36(12):25-27,31.
- [2] 于崇嘉.岩土工程深基坑支护技术应用:以长春市市政工程基坑支护设计为例[J].吉林地质,2024,43(03):109-115.
- [3] 曹荣光,孟硕,薛成喜.BIM 建筑模型在建筑工程施工过程中的应用[J].江西建材,2024(05):211-213.
- [4] 李雅萍,李亚昊.岩土工程勘察在多层地下室建筑工程中的应用[J].绿色科技,2024,26(04):237-243.
- [5] 程伦星.深基坑岩土工程勘察重点及支护方案研究:以广州市某天然气发电项目为例[J].房地产世界,2023(21):124-126.
- [6] 刘焱春,李静,李建新,等.深基坑的支护设计与岩土勘察技术[J].中国住宅设施,2023(07):85-87.

关于土木工程施工中防水防渗施工技术的探讨

侯 霄

(陕西年代建筑设计咨询有限公司, 陕西 榆林 719000)

摘 要 防水防渗施工技术是土木工程施工中的重要环节, 对工程质量、使用寿命和安全有重大影响。本文对防水防渗技术在土木工程中的重要性进行了分析, 介绍了常用的刚性防水、柔性防水、防水堵漏等技术及其应用, 阐述了防水防渗施工在地下工程、屋面工程、外墙工程、卫生间等不同部位的施工要点, 并针对如何提高防水防渗施工质量提出了关键措施, 包括材料选择、基层处理、施工工艺、防水层保护和后期维护等方面, 旨在为土木工程防水防渗施工提供有益参考。

关键词 土木工程; 防水防渗施工技术; 工程质量

中图分类号: TU74

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.12.018

0 引言

防水防渗施工是土木工程建设中的关键环节, 直接关系到建筑物的使用功能、安全性和耐久性。然而, 国内外工程实践中, 因防水防渗施工不达标而引发渗漏、发霉、结构破坏等问题的案例屡见不鲜。为保障土木工程品质, 必须高度重视防水防渗施工, 采用合理的防水防渗技术, 规范施工工艺, 加强质量管控。本文将从防水防渗施工的重要性、常用技术、不同部位施工要点、提高施工质量措施等方面进行探讨。

1 防水防渗施工技术在土木工程施工中的重要性

1.1 防水防渗技术对工程质量和使用寿命的影响

防水防渗施工技术作为土木工程建设中一项不可或缺的关键环节, 其施工质量的高低直接影响到整个工程的品质和建筑物的使用寿命。从微观角度来看, 优质的防水防渗处理可有效阻止水和其他腐蚀性介质对混凝土结构、钢筋等建筑材料的侵蚀, 减缓构件劣化速度, 维护建筑物的完整性和稳定性; 从宏观层面考虑, 做好防水防渗有利于提升建筑物整体抗渗能力, 避免渗漏问题引发的安全隐患和经济损失, 延长建筑使用年限, 最大限度地发挥其社会效益和投资效益。因此, 重视防水防渗施工, 采用科学合理的技术手段, 对于保障土木工程品质和提高其耐久性具有不可替代的重要作用。

1.2 防水防渗不达标引发的工程问题及危害

防水防渗施工如果达不到设计标准和规范要求, 极易引发一系列工程质量问题 and 安全隐患, 其危害不容小觑。渗漏是防水防渗不达标最常见的问题之一,

长期渗水会导致建筑物内部潮湿、发霉, 损害使用功能和居住环境, 甚至引发结构构件锈蚀、混凝土剥落等安全事故; 同时, 渗水还可能危及电气线路和设备, 增加漏电、短路等火灾隐患。此外, 防水层破损还会加速建筑材料老化, 大幅增加维修、养护成本^[1]。一旦因防水防渗问题酿成重大事故, 不仅影响工程进度, 造成经济损失, 更会损害企业信誉, 引发法律纠纷。由此可见, 做好防水防渗至关重要, 任何疏忽大意都可能带来难以估量的负面影响。

2 常用的防水防渗施工技术及其应用

2.1 刚性防水技术

刚性防水技术作为传统的防水防渗方法之一, 以其施工便捷、耐久性强、与基体结合紧密等优势在土木工程中得到广泛应用。这类技术主要通过向混凝土中掺入防水剂或在表面涂刷防水涂料, 利用材料自身的致密性和疏水性阻止水分进入, 从而达到防水防渗目的。其中, 混凝土防水掺合剂可显著降低混凝土吸水率和渗透性, 提高抗渗等级; 而表面涂刷的水泥基、聚合物水泥基防水涂料则在混凝土表层形成一道致密的防水屏障。对于地下工程, 采用钢筋混凝土结构自防水技术, 通过提高混凝土自身密实度来实现整体防水, 已成为一种行之有效的方法。然而, 刚性防水技术也存在施工缝、变形缝等薄弱部位防水困难等局限性, 需结合工程实际综合考虑。

2.2 柔性防水技术

柔性防水技术凭借其优异的变形能力、裂缝抵抗性、施工连续性等特点, 在现代土木工程防水防渗实

践中占据着不可或缺的重要地位。卷材防水、涂膜防水、密封防水是其代表性技术手段。其中,改性沥青类和高分子类防水卷材具有良好的延展性和耐候性,常被用于屋面、地下外墙等大面积防水;而聚氨酯、聚脲等反应型高分子防水涂料则以其卓越的柔韧性和耐磨性见长,适用于混凝土缝隙、裂缝、阴阳角等部位的防水处理;此外,丁基橡胶、硅酮等弹性密封防水材料能有效填充变形缝、施工缝,阻断渗漏通道^[2]。柔性防水虽然适应性强,但其耐久性相对薄弱,施工中应严格遵循工艺规范,并做好防护措施,以确保达到预期的防水防渗效果。

2.3 防水堵漏技术

防水堵漏技术是土木工程防渗漏施工中的重要补充手段,对于修复已产生渗漏的建筑物具有不可替代的作用。当前,在诸多堵漏技术中,化学灌浆堵漏以其适用范围广、效果好、耐久性强等优势脱颖而出。该技术通过向渗漏部位高压注入水泥浆、聚氨酯等化学材料,迫使其在裂隙内充分渗透,凝结成凝胶或固态物,从而有效封堵漏水通道。与之相比,结晶防水堵漏技术则利用渗透结晶原理,在混凝土微观孔隙中形成难溶性晶体,提高混凝土自身抗渗性能,其施工更为简便环保。针对不同渗漏情况和工程条件,灵活选用合适的堵漏技术并优化施工工艺,是提高堵漏效果的关键。同时,堵漏固然重要,但从源头防范渗漏更为根本,仍需坚持“预防为主、防治结合”的原则。

3 防水防渗施工技术在不同工程部位的应用要点

3.1 地下工程防水防渗施工技术要点

地下工程防水防渗施工的关键在于全面考虑荷载条件、地质特点、环境因素等影响,采取科学合理的技术措施。对于地下室外墙和底板,宜优先选用整体式自防水混凝土,提高结构自身抗渗性;同时做好外墙防水卷材或刚性防水层的施工,并在底板下设置防水混凝土垫层。针对地下室普遍存在的施工缝、变形缝等薄弱部位,则应采用橡胶止水带、遇水膨胀止水条等可靠的密封防水构造,必要时辅以补充注浆堵漏^[3]。在防水施工过程中,应加强基层处理,严格控制材料质量,做好防水层保护,并设置检修通道,为后期维护创造条件。只有从设计、材料、施工、验收、维护等各环节入手,形成全链条管控,才能确保地下工程防水防渗的施工质量。

3.2 屋面工程防水防渗施工技术要点

屋面工程是建筑防水防渗的重中之重,其施工难

点在于合理应对多变的屋面形式和保证细部构造的防水性能。对于传统的砂石混凝土屋面,常采用刚性防水层与柔性防水卷材复合的施工做法,既能改善混凝土面层抗裂性,又能提升整体防水效果;而对于新型的轻质屋面体系,则宜选择与之相适应的防水涂料或防水卷材。在屋面细部构造方面,天沟、阴阳角、落水口、女儿墙等部位往往是渗漏的高发区,必须严格按照规范要求设置附加层、加强层等特殊防水构造,并在施工中认真做好收头、封边、嵌固等关键节点的处理。此外,考虑到屋面恶劣的受力和环境条件,后期维护和定期检修也不容忽视,是保证屋面防水防渗系统持久有效发挥作用的重要保障。

3.3 外墙工程防水防渗施工技术要点

外墙工程防水防渗的首要任务是有效控制墙体开裂和渗漏问题。针对外墙易产生的非结构性裂缝,应在基层处理时采用挂网砂浆找平、加铺钢丝网片等措施提高抗裂性,同时选用弹性好、耐候性佳的柔性防水涂料饰面;对于已产生的裂缝和孔洞,则应彻底清理碎屑并用聚合物砂浆或防水堵漏材料进行表面修补和封闭。在幕墙等外墙细部方面,穿墙管道、门窗洞口等渗漏易发部位应重点设防,采取包裹法兰、堵塞缝隙、设置滴水线等措施,并在管道与墙体交接处设置柔性防水密封材料。此外,外墙防水还应考虑与装饰面层的相容性,宜优选施工便捷、效果可靠的防水做法。如此,在严格遵循施工操作规程的基础上,从材料选用到细部做法相互匹配,才能确保外墙防水防渗的整体效果。

3.4 卫生间、水池等有水房间防水防渗施工技术要点

卫生间、水池等经常接触水的地方对防水防渗提出了更高要求,必须采取全方位的施工技术措施。对于顶板和墙面,应在找平层上先刷防水底胶,再铺贴防水卷材或刮涂防水涂料,并在阴阳角、管道根部等部位增设附加防水层;对于地面,可采用整体防水型防水砂浆或涂膜,并设置一定的排水坡度^[4]。在缝隙防水方面,要严格控制管道预留洞尺寸,采用柔性密封胶嵌缝;对于地漏等细部构件,应将防水层可靠收入并固定,同时加强施工缝、管箍周边等易渗漏部位的防水密封处理。在施工工艺上,湿区防水宜采用坡垫法或环氧砂浆找坡,饰面层铺贴前做好闭水试验。只有坚持因地制宜、细部到位的防水原则,才能从根本上杜绝厨卫渗漏问题,提升整体工程品质。

4 提高防水防渗施工质量的关键措施

4.1 防水材料选择的重要性及选材要点

防水材料是防水防渗施工的物质基础,其性能的优劣直接决定了防水系统能否发挥预期效果,因此必须高度重视材料选择。在选材时,要本着“适用、经济、可靠”的原则,全面考虑材料的耐久性、抗渗性、抗裂性、相容性等性能指标,确保其满足设计和规范要求。同时,材料还应具备良好的施工性能,如粘结性、柔韧性、易操作性等,以提高施工质量和效率。此外,材料的环保性、耐候性也不容忽视,应尽量选用无毒无害、耐老化的绿色材料。需要强调的是,选材不能片面追求高标号、高性能,而应根据工程实际需求和经济条件,权衡各种因素,优选性价比最优的材料配置方案。

4.2 基层处理对防水防渗效果的影响及处理要求

基层处理是影响防水防渗效果的关键因素之一,只有做好基层的清理、修整、找平等工作,才能为后续防水层的施工奠定坚实基础。其一,基层表面的尘垢、浮渣、油污等杂物会削弱防水材料的粘结力,导致脱层、空鼓等质量缺陷;其二,基层的不平整、裂缝、蜂窝麻面等缺陷也会成为渗漏的通道,降低防水性能^[5]。因此,必须严格按照规范要求,对基层进行彻底清理,并用聚合物砂浆或细石混凝土进行修补、找平。对于面积较大或变形缝较多的基层,还应合理设置分格缝,以缓解变形应力。只有基层处理到位,防水层才能牢固黏结、充分发挥其屏障效应,从而最大限度提升整体防水防渗效果。

4.3 防水施工工艺对防水效果的影响及工艺要求

精湛的施工工艺是确保防水防渗效果的关键保证,其中包括合理的施工顺序、规范的操作要领、严格的质量控制等方面。第一,应根据设计要求和材料特性,科学安排施工顺序,如先地下后地上、先阴后阳、先薄后厚等,避免交叉作业和二次污染;第二,要严格遵循施工规范和操作规程,如采用湿铺法施工卷材、分层涂刷液体防水等,确保防水层厚度均匀、无漏涂盲区;第三,要加强施工过程控制,做好成品保护,尤其是后浇带、细部节点等重点部位,必须严把质量关。值得一提的是,防水施工还应与主体结构施工紧密结合,统筹考虑,避免防水层破坏结构完整性。

4.4 防水层保护措施对防水层耐久性的影响及保护要点

防水层是建筑物防渗系统的核心,其耐久性直接影响着整个工程的使用寿命。因此,必须高度重视防

水层的保护,采取科学有效的保护措施。一方面,要做好防水层的隔离保护,如在其上覆以刚性保护层或柔性隔离层,避免机械损伤;另一方面,要加强排水防潮设计,科学设置排水坡度和泄水通道,及时排除积水。同时,穿墙管道、预埋件等细部也应采取防水套管、密封圈等措施加以防护。只有全面落实防水层的隔离保护和排潮导水措施,才能最大限度延长其使用寿命,确保建筑物的持久防渗效用。

4.5 后期维护、检修对持续防水防渗的重要意义

防水防渗工程的效用绝非一劳永逸,还需在后期使用中持续开展维护、检修工作。定期检查和及时修缮可以发现和消除防水层的各种破损缺陷,避免渗漏问题恶化;而适时更新和加固则可弥补防水材料老化和结构变形引发的性能退化。对易发渗漏的屋面、外墙、地下室等重点部位,更应提高检修频次和标准。同时,还必须完善防水工程维修档案,明确检修的范围、周期、要求等,为维护决策提供依据。只有坚持经常性维护、定期性检修,才能持续发挥防水层的屏障效应,从根本上保障建筑物的适用性与安全性,提高防水防渗的综合效益。

5 结束语

防水防渗施工技术对于保障土木工程质量和性能至关重要。工程建设各方应提高认识,加强防水防渗施工的全过程管理,科学选择防水材料,规范施工操作,做好防水层保护,强化后期维护。只有切实贯彻“预防为主、防治结合”的方针,提升防水防渗施工技术水平,才能从根本上提高土木工程的整体质量,延长建筑物使用寿命,创造更大的经济效益和社会效益。新形势下,土木工程建设者应积极借鉴国内外先进经验,不断创新防水防渗施工技术,推动我国建筑业高质量发展。

参考文献:

- [1] 赵军三,吕宵璘,张永宏.建筑工程施工中的防水防渗施工技术分析[J].工程与建设,2024,38(06):1363-1365.
- [2] 李小飞.建筑工程施工中的防水防渗技术研究[J].科技资讯,2024,22(20):167-169.
- [3] 田兴浪.土木工程施工中建筑屋面防水技术的有效应用[J].中国住宅设施,2024(09):1-3.
- [4] 杨子龙.土木工程施工中建筑屋面防水技术的运用[J].建材发展导向,2024,22(14):10-12.
- [5] 卢才齐.土木工程施工中的防水防渗技术分析[J].张江科技评论,2024(06):137-139.

装配式建筑技术在市政桥梁工程中的应用探讨

王耀荣, 赵凤莉

(济南城建集团有限公司, 山东 济南 250000)

摘 要 本文探讨了装配式建筑技术在城市轨道交通中的应用及其优势, 分析了当前市政桥梁发展中存在的结构问题、施工管理问题以及钢结构腐蚀问题, 详细介绍了承插式连接、灌浆套筒连接、预制构件混凝土浇筑等装配式桥梁施工技术, 阐述了上部结构拼装技术和下部结构拼装技术在装配式桥梁中的应用, 强调了构件吊装和调节固定的重要性。研究表明, 装配式建筑技术能够提高施工效率、保障施工质量、降低资源浪费, 为城市轨道交通的可持续发展提供有力支持。

关键词 装配式建筑技术; 市政桥梁工程; 承插式连接; 灌浆套筒连接

中图分类号: U445

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.12.019

0 引言

随着城市化进程的加快, 城市轨道交通作为重要的公共交通工具, 其建设规模和速度日益增长。装配式建筑技术以其高效、环保、节能的特点, 在市政桥梁建设中得到了广泛应用。然而, 当前市政桥梁发展仍面临诸多挑战, 如施工中的结构问题、管理问题以及钢结构腐蚀问题等。本文分析了装配式建筑技术的优势, 探讨其在市政桥梁施工中的应用, 以期城市轨道交通的健康发展提供参考。

1 装配式建筑技术优势分析

首先, 装配式建筑技术采用建筑构件预制的施工模式, 能够节省企业人力、物力资源, 提高市政桥梁工程建设施工经济效益。其次, 装配式建筑施工技术为模块化施工, 施工企业与构件加工工厂达成紧密合作, 提前将预制构件规格要求下发给工厂, 工厂以要求为根据开展机械化装配式构件生产, 将构件半成品运输至施工现场, 通过吊装完成预制构件拼搭, 有效地提升项目施工效率。最后, 装配式建筑技术具有较好的节能环保性能, 该技术提前制作预制构件, 最大限度地提升建筑资源利用率, 降低资源浪费风险。同时, 装配式建筑技术机械化施工水平较高, 有效地抑制施工现场噪声污染与粉尘污染^[1]。

2 市政桥梁发展中存在的问题

2.1 施工中的结构问题

当前, 城市建设规模日益拓展, 市政桥梁建设过程中, 受到城市规划设计的极大影响, 而且市政桥梁工程建设时也会受到施工环境复杂程度的影响。加之

管理部门对实际施工重视程度不足, 导致市政材料工程建设整体质量有所降低, 形成了施工中结构问题, 比如市政桥梁工程施工建设中应用的施工工艺及施工材料完善程度不足, 加剧工程结构建设安全隐患问题, 开展市政桥梁建设时, 若是应用环保材料开展市政材料工程建设时并未依据统一的标准购进材料, 施工材料不规范, 将导致建设完成后桥梁的强度低于预期目标, 一旦受到外力的长期作用, 极易出现坍塌问题。除此以外, 市政桥梁建设过程中所应用的施工工艺存在不足, 施工企业并未重点引进先进的施工技术, 直接影响施工结构的合理性, 影响市政桥梁的建设质量^[2]。

2.2 施工管理问题

市政桥梁工程建设过程中, 不仅需要拥有强有力的技术支撑, 还需要强化施工管理, 工程技术管理就是保障市政桥梁建设质量的关键。但是分析当前市政桥梁施工实际情况, 大量市政桥梁工程施工设计中并未意识到技术管理工作开展的关键性, 施工技术应用落后。且当前所应用的施工技术仅适用于市政桥梁阶段性施工作业, 或者仅适用于节点性工程建设, 并不能依据市政桥梁的整体建设情况系统性地进行管理, 严重影响市政桥梁工程的建设效率。除此以外, 市政桥梁工程建设过程中由于管理水平低下, 管理工作全面性和系统性不足, 加之管理人员素养不足, 其无法深入市政桥梁工作的实际情况开展管理, 影响市政桥梁实际建设质量。

2.3 钢结构腐蚀问题

当前市政材料工程施工过程中, 其所用的材料最主要的就是钢筋材料, 其对市政桥梁的应用性能及稳

定程度产生着关键影响。若是钢筋结构应用过程中损坏,将对桥梁建设以后的稳定程度产生不利影响,缩减了市政桥梁的应用周期。由于市政桥梁在建设过程中缺少对钢结构的保护,钢结构的维护和保养也相对不足,导致钢筋结构腐蚀问题严重,而由于钢结构施工过程中应用十分复杂,但是维护与保养不到位,将导致其被腐蚀,影响道路桥梁的正常荷载能力^[3]。

3 桥梁装配式施工技术

3.1 承插式连接

开展装配式桥梁施工作业时,需要依据桥梁结构,利用承插式连接形式连接桥梁。在承插式桥梁连接过程中,需要对插入孔洞的长度进行限制,为优化市政桥梁施工工程建设质量,施工人员必须做底部的铺设工作,对砂浆的铺设厚度进行有效控制,确保其铺设质量与相关要求相符合。承插式连接形式应用中,具有简单的应用流程,且实际施工过程中,所需的施工周期相对较短,这就需要施工人员能够做好力学分析,尤其是承插式的连接位置,需要做好接缝的处理干预,并加强对承插位置抗震力度的分析,以最优化市政桥梁的抗震性。

3.2 灌浆套筒连接

灌浆套筒连接技术,作为一种精细化的桥梁构造方法,旨在将预制墩身与内置钢筋套筒实现紧密结合,从而确保桥梁的稳固性及设计强度得到满足。在施工过程中,精确测量显得尤为关键,它保证了套筒的位置与尺寸的准确性,为后续的灌浆作业及整体稳定性打下了坚实基础。进行灌浆时,必须确保套筒与墩身之间无缝衔接,通常采用高强度水泥进行填充,以进一步提升连接部位的强度。此外,考虑到自然环境的潜在影响,施工中还须采取有效的防水防腐措施,以保护连接部位免受侵蚀和损害^[4]。

3.3 预制构件混凝土浇筑

箱梁是承受弯矩与剪力的关键结构,其施工强度与稳定性直接影响市政桥梁工程整体质量。因此,在箱梁预制构件混凝土浇筑时选用强度较高的C50混凝土。浇筑前进行材料性能测试,混凝土材料性能达标后方可进行浇筑施工。另外,市政桥梁工程中墩柱、盖梁浇筑常见裂缝病害问题,对项目的影响较大,还会降低结构的稳定性,增加桥梁结构使用安全风险。最后,振捣质量与箱梁构件混凝土浇筑效果息息相关,施工人员要确保混凝土能够充分地覆盖模板的箱梁结构。同时,工人要按照设计图纸内钢筋和模板各自部

署的方位合理设定振捣设施的移动范畴,规避距离偏差的情况,消除部分施工质量隐患因素。

4 装配式桥梁应用技术

4.1 上部结构拼装技术

装配式桥梁技术在现代桥梁建设中扮演着重要角色,其中装配式钢筋混凝土箱梁技术是一项关键技术。该技术从桥梁整体建设规划出发,将桥梁分割为多个节段,在预制厂中精心制造这些节段,确保其质量达标后,再将其运送到施工现场进行精准的拼接安装。在预应力的作用下,这些节段能够紧密结合,形成一个既坚固又耐用的整体。在预制阶段,干接缝、胶接缝和湿接缝作为主要的连接方式,其选择依赖于相邻预制桥梁段的填充物特性,因此施工人员需根据实际情况和节段特点,灵活合理地选择连接方式,以确保桥梁的整体性能达到最优。此外,装配式钢箱梁以其轻质、稳定、抗震性能强等特点,在桥梁建设中得到了广泛应用,如港珠澳大桥就成功采用了装配式钢箱梁。同时,装配式钢—混凝土结构也展现出了多样性,包括钢板组合梁、钢箱组合梁、波形钢腹板—钢管混凝土组合梁、波形钢腹板组合梁、装配式组合钢箱梁以及钢桁腹组合梁等多种类型,每种类型都有其独特的优势和应用场景。最后,在预制桥面板的施工中,全厚度混凝土材料被广泛应用,桥面板类型多样,如华夫版桥面、波纹钢桥面等,施工人员需根据不同类型的桥面板,合理选择施工方法及工具,并特别关注缝隙问题,及时采用混凝土或沥青混凝土进行灌注处理,以确保桥面板的质量和安全性^[5]。

4.2 下部结构拼装技术

1. 装配式桥梁墩柱。桥墩构成比十分简便,其中涵盖桥墩与帽梁结构,也包括基础和承台部分,在装配式桥墩施工过程中,组成部分较多,其可以在工厂内开展加工干预,以便于将制作完成以后的构件向施工现场运送,并依据施工图纸对其开展组装干预。在连接桥墩过程中,工作人员必须合理进行桥墩部位连接形式的选择,并维系不同连接位置的紧密程度。

2. 装配式墩台。在桥梁工程的广阔天地里,装配式墩台施工技术正掀起一场前所未有的工业化转型与革新浪潮。这项技术将墩台这一复杂的结构体巧妙拆解为多个预制组件,实现了垂直维度上的模块化分解与重组。每一块预制组件,在工厂的精密设计与严格控制下,都达到了无与伦比的质量标准和精确的尺寸规格。随后,这些预制组件搭乘专业的运输工具,安

全、迅速地抵达施工现场,通过现代起重技术和精细的拼装工艺,被逐一组合成桥梁的雄伟轮廓。装配式墩台施工技术的精髓,在于其独特的模块化和工厂化生产模式。这一模式不仅显著提高了施工效率,缩短了建设周期,还有效降低了现场施工的复杂性和不确定性,确保了每一个预制组件的品质和尺寸的一致性。这也对运输和起重设备提出了更为严苛的要求,必须保证预制组件在长途跋涉中的安全稳固,以及在现场拼装时的精准无误。以装配式柱式墩的施工为例,可以更深入地领略这一技术的精妙之处。在施工准备阶段,编号与测量工作扮演着至关重要的角色。施工人员需要对墩台柱组件和基础顶面预留的杆形基座进行细致入微的编号,并严格核对每个墩台的高度,为后续的精准拼接提供坚实的保障。在吊装环节,精确的测量和稳固的固定措施不可或缺。设计人员借助高精度的测量仪器,实时监测墩台柱的竖直度和平面位置,确保其在吊装过程中的稳定性和准确性。同时,针对重量大、形态细长的墩柱,还需采取必要的支撑手段,以防止吊装过程中的不稳定现象发生。施工人员需要对槽眼的位置进行仔细的检查,并在必要时进行修凿调整,以确保连接点的精准对接和整体结构的稳定性与安全性。最后,浇筑稀砂浆与楔子处理作为增强连接强度的关键举措,为装配式墩台结构的坚固与持久提供了有力的保障。在柱身与盖梁(墩帽)安装完毕并经过严格检查后,施工人员会在基杯空隙与盖梁槽眼处浇筑稀砂浆^[6]。

3. 构件吊装。在桥梁构件吊装这一核心施工环节中,实现安全与高效的作业目标,依赖于一套周密而详尽的操作流程的严格执行。首先,制定一份详尽的吊装作业方案是基础,该方案需全面覆盖吊装流程的各个环节,确保符合行业标准和规定,并在实施前获得相关监管部门的批准。在选择吊装设备时,必须根据工程实际需求进行细致筛选,并对所有承重部件进行严格的载荷能力测试,这是保障吊装安全的基础。特别是对于长度超过 25 米的预应力简支梁等大型构件,吊装方案的制定需更加谨慎,应详细列出稳定措施和应急处理预案,以确保吊装过程中的稳固性。

进入实操阶段后,载荷验证与应力监测成为关键环节。通过持续、精确地监测吊装过程中构件所受的应力,确保其始终在设计允许的安全范围内,从而预防结构损坏或形变,保障工程安全与质量。在吊装设备选型方面,面对大型、重型构件的挑战,必须严格依据实际需求进行精准选择。设备的性能、稳定性及

操作便捷性是选择时的重要考虑因素。避免设备选型不当引发的吊装事故,对于保障施工人员安全、维护工程进度至关重要^[7]。

4. 构件调节及固定。市政桥梁施工作业时,需要加强对现场施工安全管理工作的重视程度,合理调节构件,对不同部分构件进行固定,促进构件安装中安全性和稳定程度的提升。由于当前城市人口数量相对较多,桥梁负荷较大,所以质量问题发生率较高,这就需要合理调节构件,尤其是构件的安装角度,必须最优化选择。构建安装完成以后,需要对其安装状况进行检查,优化固定,确保构件安装可维系桥梁整体稳定性和牢固性。不同的构件契合度将对桥梁用的质量和应用周期产生影响,所以,施工人员和建设企业必须加强对构件安装稳定程度的关注度,以做好构建的调节和固定工作,提升市政桥梁的建设质量。

5 结束语

装配式建筑技术在城市轨道交通建设中具有显著优势,能够有效解决传统施工方式中存在的问题。通过承插式连接、灌浆套筒连接、预制构件混凝土浇筑等关键技术,以及上部结构和下部结构拼装技术的应用,装配式桥梁施工实现了高效、优质、安全的建设目标。未来,随着技术的不断进步和应用的深入,装配式建筑技术将在城市轨道交通建设中发挥更加重要的作用,为城市可持续发展贡献力量。

参考文献:

- [1] 陈志芳,孔丽华,包启航,等.桥梁装配式建造及 BIM 技术在城市快速路工程中的探索与实践[J].工程技术研究,2020,05(06):2-5.
- [2] 石剑.装配式桥梁波纹管连接锚固可靠性技术研究[J].安徽建筑,2020,27(01):4-5.
- [3] 沈有顺,吕布.预制装配式技术在市政桥梁工程中的应用[J].工程技术发展,2022,03(03):31-33.
- [4] 刘敏剑.全国预制装配式桥梁工业化建造技术交流会暨绍兴品质工程观摩会报道[J].广东交通规划设计,2021(03):2-3.
- [5] 赵志钢.装配式技术在市政桥梁工程中应用探讨[J].中国设备工程,2022(17):3-5.
- [6] 徐文,杨万里.BIM 技术在装配式桥梁工程中的作用研究与探讨[J].工程建设与设计,2020(03):3-5.
- [7] 李华.装配式市政桥梁设计管理中 BIM 技术的应用探讨[J].建材与装饰,2020(10):252-253.

房屋建筑工程中扣件式脚手架 施工安全技术应用

孙广涛, 姜常威

(青岛海元建设集团有限公司, 山东 青岛 266100)

摘 要 随着房屋建筑工程规模的不断扩大, 施工技术要求日益提高, 扣件式脚手架作为重要的临时支撑结构, 在施工安全中十分重要, 科学合理地采用扣件式脚手架施工安全技术, 能维护现场作业的安全性, 预防出现风险问题, 改善施工效果。本文分析了房屋建筑工程中扣件式脚手架施工安全技术的应用价值, 并提出了有效的应用策略, 旨在为促进房屋建筑工程的发展提供依据。

关键词 扣件式脚手架; 房屋建筑工程; 施工安全技术; 脚手架设计

中图分类号: TU714

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.12.020

0 引言

房屋建筑工程中扣件式脚手架作为重要的施工辅助设施, 广泛应用于各类建筑物的施工、维护与检修过程中, 为施工人员提供安全的工作平台, 承担支撑模板、堆放材料等多重功能。但当前脚手架的搭设和使用过程中存在着结构失稳、材料损坏、人员坠落等诸多安全风险, 对施工人员的生命安全及工程的顺利进行构成严重威胁。因此, 加强扣件式脚手架的施工安全技术应用, 提高脚手架的稳定性, 改善安全性, 对保障房屋建筑工程的施工安全具有重要意义。

1 房屋建筑工程中扣件式脚手架施工安全技术应用价值

1.1 提供安全的工作平台

扣件式脚手架的首要价值在于为施工人员提供稳定、安全的工作平台。在高层建筑施工中, 施工人员需要在高空进行砌砖、抹灰、安装管道等各种作业, 要求施工人员具备高超的技能, 更需要稳固的平台来支撑操作。扣件式脚手架凭借钢管、扣件等组件的精确连接, 形成稳固的立体结构, 可承受施工人员的体重以及所需工具材料的重量, 使施工人员在作业过程中保持平衡稳定。

此外, 在高层建筑或大型工程中, 施工人员需要在不同高度和位置进行作业, 扣件式脚手架的模块化设计使其可按照实际需要进行组合拆卸, 满足各种复杂的施工场景需求。在风力和地震等自然灾害发生时, 扣件式脚手架能保持稳定, 预防施工人员因平台晃动或坍塌而受伤, 改善结构设计模式, 使脚手架在面对

外部力作用时可保持整体稳定性。

1.2 支撑模板系统

混凝土浇筑过程中扣件式脚手架作为模板支撑脚手架, 发挥着重要作用, 模板是混凝土浇筑过程中的重要工具, 决定混凝土结构的形状与尺寸。但当前模板在浇筑过程中需要承受混凝土的自重与施工荷载, 如果支撑不稳固, 就会导致模板变形或坍塌, 影响混凝土结构的施工质量。扣件式脚手架凭借其强大的承载能力, 为模板提供可靠的支撑。其钢管和扣件的精确连接形成坚固的支撑体系, 可承受模板及混凝土的自重, 使模板在浇筑过程中保持稳定不变形, 既保证混凝土结构的形状及尺寸符合设计要求, 还提高混凝土结构的整体强度^[1]。

1.3 提高施工效率

扣件式脚手架的搭设、拆除过程相对简便快捷, 对于提高施工效率具有重要意义。在传统的施工方法中, 施工人员需要使用大量的木材或钢材来搭建临时支撑结构, 耗时耗力且增加施工成本。而扣件式脚手架凭借其模块化设计, 使搭建拆卸过程变得简单高效。扣件式脚手架的钢管和扣件等组件都是标准化的产品, 可批量生产、储存和运输。在施工现场, 施工人员只需要将此类组件按照设计要求进行组装即可快速搭建起脚手架, 标准化的组件设计提高搭建效率, 降低施工过程中的错误率。传统的施工方法中临时支撑结构具有一次性的特点, 使用完毕后需要拆除并处理掉。而扣件式脚手架的组件可重复使用多次, 降低施工材料的成本支出。

1.4 保障工程质量

房屋建筑工程中施工人员需要在脚手架上进行各种作业,如果脚手架不稳定或承载能力不足,就会导致施工人员操作失误或安全事故的发生,影响工程质量。扣件式脚手架搭设过程中,施工人员按照设计要求进行精确测量组装,保证施工人员在作业过程中的安全。高层建筑施工中脚手架需要承受来自风力和施工设备的荷载作用,如果脚手架的承载能力不足或结构不稳定,导致其变形或坍塌,影响工程施工安全。而扣件式脚手架可有效地抵抗此类外部力的作用,保证施工过程中的结构安全^[2]。

2 房屋建筑工程中扣件式脚手架施工安全技术应用策略

2.1 加强脚手架设计管理

2.1.1 合理选择材料

扣件式脚手架的材料选择是结构强度的基础。钢管作为脚手架的主要承重构件,必须采用符合国家标准焊接钢管,钢管壁厚、直径和长度应严格遵循施工要求,同时钢管的表面应光滑无裂纹,以避免在使用过程中出现断裂或变形。扣件作为连接钢管的关键部件,其质量和性能同样至关重要,应选用可锻铸铁或铸钢制造的扣件,承受钢管传递的荷载并保持连接的稳定性^[3]。

2.1.2 精确计算荷载

施工前对脚手架所承受的荷载进行精确计算是其结构稳定性的关键,计算过程中应研究材料老化、连接松动等各种不利因素,脚手架承载能力应满足实际需求。为准确计算荷载,需要收集施工材料的重量、施工人员的数量、施工设备的规格等详细的施工信息和数据,还需要了解当地的气候条件及地质情况,以便对风荷载、雪荷载等自然因素进行合理估算。按照计算结果,选择合适的脚手架型号和规格至关重要,应确定钢管的直径、壁厚和长度;扣件的规格和数量以及脚手板的尺寸材质,保证结构稳定性满足施工要求。

2.1.3 优化结构设计

扣件式脚手架的结构设计应遵循力学原理,设计过程中应研究施工需要、地基条件、荷载要求等因素,合理选择脚手架的搭设高度、跨度、步距等参数。跨度应按照施工区域的宽度及作业空间的要求来设定;步距则应按照施工人员的操作习惯与材料运输的需求来调整,合理设置此类参数可保证脚手架的结构合理、经济且易于维护。节点连接设计是脚手架结构设计的关键环节,应采用直角扣件、旋转扣件等可靠的连接方式,同时还应研究节点的可拆卸性与重复使用性,

以降低施工成本并提高施工效率。除此之外,在结构设计中还应注重细节处理。例如:在脚手架的转角处、端头处应设置加强杆件,以提高结构的整体稳定性;在脚手架的底部应设置底座或垫板,以保证其基础坚实平整并预防沉降^[4]。

2.2 规范脚手架搭设过程

2.2.1 编制专项施工方案

脚手架搭设前应编制专项施工方案,以明确搭设工艺、安全措施、应急预案等内容。施工方案应由具有相应资质的专业人员编制,并经施工单位技术负责人审批后实施。施工方案中应详细描述脚手架的搭设步骤、材料选用、连接方式、安全要求等关键信息,同时还应明确施工人员的分工,还应包括应急预案,以应对即将出现的突发事件。为保证施工方案的顺利实施,应对其进行技术交底,对施工人员进行培训教育,使其了解施工方案的内容及要求,还应向施工人员提供必要的技术资料工具,以保证其按照施工方案进行操作。

2.2.2 加强基础处理

脚手架的基础处理,应对地基进行勘察和评估,了解其土质情况、承载能力和稳定性,并按照地基条件,采取平整、夯实等措施。在松软地基上搭设脚手架时,应采取加固措施以提高地基的稳定性。例如:可铺设垫板、设置底座或采用桩基等方式来加固地基,有效地预防地基沉降和变形,保证脚手架的整体稳定性。除此之外,还应设置可靠的排水设施以预防积水浸泡导致基础下沉,定期检查排水设施的运行情况,保证其畅通无阻并满足排水要求。

2.2.3 遵循搭设顺序

扣件式脚手架的搭设应遵循特定的顺序和原则,按照“由下至上、先立杆后横杆、先内排后外排、先两端后中间”的顺序进行搭设,保证脚手架的搭设过程有序进行,并避免出现结构失稳或连接松动等问题。在搭设立杆时,应注重立杆的垂直度和间距控制,立杆应垂直立于地面并保持一定的间距,且立杆之间应采用扣件进行连接并保持紧固状态,以预防连接松动或脱落。横杆应水平铺设于立杆之间并保持一定的间距,且横杆之间应采用扣件进行连接,并保持紧固状态以增强结构的整体稳定性。在搭设过程中,还应注重节点的连接紧固,每个节点都应采用可靠的连接方式,并保持紧固状态,同时还应定期对节点进行检查维护,以发现并处理潜在的安全隐患。

2.2.4 加强过程监控

脚手架搭设过程中应设置专职安全员进行现场监

督管理,同时还应定期对脚手架的搭设质量进行检查验收,以发现处理潜在的问题。安全员在现场监督过程中应注重细节处理并加强对关键环节的监控。例如:在搭设立杆和横杆时应检查其垂直度和水平度是否符合要求;在连接节点时应检查扣件是否紧固并涂抹防锈油以预防腐蚀;在搭设完毕后应检查整体结构的稳定性和承载能力是否满足施工要求。除此之外,还应建设安全检查制度,并定期对脚手架进行安全检查,日常巡查、周检查、月检查等不同级别的检查可发现并处理潜在的安全隐患,采取相应的纠正措施以保证脚手架的安全使用。在搭设完毕后,验收过程中应注重细节处理并加强对关键环节的检查。例如:可检查钢管和扣件的规格型号是否符合设计要求;检查脚手板的承载能力是否满足施工要求;检查整体结构的承载能力是否达到预期目标。

2.3 强化脚手架使用管理

2.3.1 严格控制荷载

脚手架使用过程中应严格控制荷载以预防超载现象的发生。为准确控制荷载,需要了解脚手架的设计承载能力及实际施工需求,还需要对施工材料设备的重量进行准确估算,以便合理安排堆放运输计划。在施工过程中,可设立专门的堆放区域并设置标识牌以区分不同种类、不同规格的材料设备;采用吊篮或滑轨等运输工具将材料和设备安全地运送到指定位置;定期对堆放区域进行检查清理,预防超载现象的发生。除此之外,还应定期对脚手架进行承载能力检测,以评估其实际承载能力是否满足施工需求,发现并处理潜在的安全隐患,采取相应的加固措施,以保证脚手架的安全使用^[5]。

2.3.2 加强安全防护:保障施工人员安全

扣件式脚手架的安全防护是保障施工人员安全的重要措施。在脚手架外侧应设置密闭式安全防护网,以预防人员坠落和物体打击事故的发生。安全防护网应采用符合国家标准材料制作并经过严格检验合格后方可使用,同时在脚手架通道口、作业层等部位,应设置安全栏杆与挡脚板,以保证施工人员的安全。安全栏杆应采用钢管等材料制作,并保持一定的高度强度,以预防人员跌落;挡脚板则应采用木板或钢板等材料制作并固定于地面以预防脚部受伤。除此之外,还应为施工人员配备必要的如安全带、安全帽等符合国家标准的安全防护用品,并经过严格检验合格后方可使用。在施工过程中,应督促施工人员正确佩戴安全防护用品,并加强对其使用情况的检查监督。

2.4 完善脚手架维护措施

扣件式脚手架在使用过程中会受到风力、温度、湿度等各种因素的影响,导致其性能逐渐下降。因此,应定期对脚手架进行检查维护,发现并处理潜在的安全隐患。检查钢管、扣件、脚手板等部件的完好程度、连接节点的紧固情况、整体稳定性,对于发现的问题应进行处理修复,保证脚手架的安全使用。除定期检查外,还应加强日常巡查工作,设置专职安全员进行日常巡视监督,发现并处理违章行为与安全隐患,同时应鼓励施工人员积极参与巡查工作,发现处理脚手架存在的安全隐患,保证其安全使用,脚手架使用过程中会遇到恶劣天气、设备故障等各种突发事件。因此,应做好应急准备工作,在紧急情况下迅速采取有效措施进行处理,制定应急预案,明确应急响应程序、救援措施和责任人,还应定期组织应急演练活动,提高施工人员的应急处理能力。在此基础上,为加强扣件式脚手架的安全管理,应建设完善的安全管理制度,明确脚手架的设计、搭设、使用和维护等环节的安全要求,还应加强对施工人员的安全教育培训力度,提高安全意识与操作技能。在此基础上,还应加强对施工现场的安全监督力度与检查力度,保证各项安全制度得到有效执行。

3 结束语

扣件式脚手架在房屋建筑工程中的施工安全技术应用具有一定的应用价值,科学进行脚手架的设计、搭设、使用的安全管理,可保证施工人员的安全与健康,促进工程顺利进行,且随着施工技术的不断进步,扣件式脚手架在房屋建筑工程中的应用会更为广泛深入,同时建筑企业也应不断总结经验教训,重视技术创新,加大人才培养力度,促进扣件式脚手架施工安全技术的持续发展,保证扣件式脚手架的安全可靠使用,为房屋建筑工程的顺利推进提供保障。

参考文献:

- [1] 杨升.高支模施工技术在房建土建工程施工中的运用[J].科学技术创新,2022,12(08):145-148.
- [2] 李泽昊.高支模施工技术在房建土建工程施工中的运用[J].城市建设理论研究(电子版),2022,05(09):39-41.
- [3] 张金鑫,李增杰,黄华.房建土建工程中高支模施工技术运用研究[J].建筑与装饰,2024,11(15):175-177.
- [4] 李秀铭.关于房建土建工程中高支模施工技术的探析[J].模型世界,2023,04(02):124-126.
- [5] 刘斌,范洋洋.房建土建工程中高支模施工技术的应用[J].装饰装修天地,2024,03(07):157-159.

煤炭气力输送的发展现状分析

张付栋

(山东龙诚气力输送工程设备有限公司, 山东 济南 250200)

摘 要 煤炭气力输送技术作为一种先进的物料输送方式, 在电力、化工等行业得到了广泛应用。本文概述了煤炭气力输送的基本原理、系统组成及关键技术, 包括煤粉制备、气固两相流流动特性、管道磨损与防磨技术以及系统控制与优化技术, 分析了该技术在电力、化工等行业的应用现状, 并探讨了其未来发展趋势。研究表明, 煤炭气力输送技术正朝着大型化、高效化、智能化、自动化、环保化和低碳化方向发展, 同时新材料和新工艺的应用也将进一步推动该技术的创新与进步。

关键词 煤炭; 气力输送; 煤粉制备技术; 气固两相流

中图分类号: TD8

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.12.021

0 引言

煤炭作为重要的能源资源, 其高效、清洁利用一直是能源领域的研究重点。在全球气候变化和环境保护意识不断提高的背景下, 在工业生产中对于高效, 节能和环保的要求也越来越高, 煤炭气力输送技术面临着全新的挑战和机遇。本文以探讨煤炭气力输送技术发展趋势为目的, 对新材料和新工艺应用情况及智能化、自动化、环保化和低碳化重点发展方向进行了分析, 以期对相关行业绿色发展起到理论支持与实践指导作用。

1 煤炭气力输送技术概述

1.1 气力输送基本原理及分类

气力输送, 基本原理是使固体颗粒以合适的气流速度与压力悬浮于空气中随空气一起沿着管道流动。该过程涉及气固两相流复杂流动特征, 主要表现为颗粒悬浮、运输和管道壁面磨损。气力输送按气流压力可分为低压气力输送、中压气力输送及高压气力输送三种类型^[1]。低压气力输送多依靠气流中动能驱动颗粒向前运动, 适合短距离小颗粒输送; 中压气力输送技术融合了气流的动能与势能, 特别适合于中等距离和中等粒度的物质传输; 高压气力输送主要是靠气流的势能来实现, 适合长距离、大颗粒输送。煤炭气力输送时, 常用中压或者高压气力输送。其原因是煤炭颗粒比较大, 要求远距离稳定运输^[2]。

1.2 煤炭气力输送系统组成

煤炭气力输送系统为一复杂精细工程系统, 系统构成主要由气源装置、供料装置、输送管道和分离装

置等关键部位构成。这些部件共同工作保证煤炭颗粒稳定悬浮和高效输送气流。气源装置在煤炭气力输送系统中起着动力源泉的作用, 一般由空压机、风机或者压缩机组成^[3]。它们为煤炭颗粒悬浮和运输提供了稳定气流和所需电力。供料装置的主要职责是确保煤炭粒子被均匀且连续地输送到输送管道中, 以保障整个输送流程的连续性和稳定性。输送管道在煤炭气力输送系统中处于核心地位, 肩负着煤炭颗粒和气流一起向前运动的使命。管道在设计、材料选择和安装方式上, 对输送效率、能耗和磨损有直接的影响。分离装置在煤炭气力输送系统中起着至关重要的作用, 负责使煤炭颗粒和气流进行分离, 从而达到回收和利用材料的目的^[4]。

1.3 煤炭气力输送关键技术

1.3.1 煤粉制备技术

煤粉的制备技术包括破碎、磨碎、分级、干燥几大核心环节。首先是原煤经破碎机初步破碎后, 粒度降低便于后续磨碎处理。然后, 被粉碎的煤块送入磨煤机内, 在磨辊或者磨球挤压、冲击下, 被进一步细化为煤粉。该工艺中磨煤机型号、转速以及磨球材质及大小会显著影响煤粉粒度分布及能耗。分级技术被应用于根据煤粉的粒度大小对其进行分离, 从而得到满足输送标准的煤粉产品。常用的分级设备是旋风分离器与振动筛, 这两种设备以不同的分离机制将煤粉划分为不同粒度级别以保证煤粉在传输时均匀稳定^[5]。

1.3.2 气固两相流流动特性

在煤炭气力输送系统中, 气固两相流指的是气体(通常是空气)与固体颗粒(在此为煤粉)在同一管

道内共同流动的现象。它的流动特性是复杂而多变的，受很多因素影响，主要有但不仅限于气体流速、固体颗粒浓度和粒度分布、管道几何形状和材质、颗粒和管道壁的相互作用。煤炭气力输送时气固两相流可能表现出稀相流动或者密相流动。稀相流动时，固体颗粒弥散于气体之中，颗粒之间相互作用弱，流动近似单相气体流动；密相流动时颗粒浓度越大，颗粒之间相互作用越显著，流动特性也越复杂。煤炭气力输送系统中都有可能存在上述两种流动状态，并对输送效率、能耗和管道磨损产生迥异的影响。

1.3.3 管道磨损与防磨技术

由于煤粉颗粒受高速气流冲刷和冲击，管道内壁常受到严重磨损，不仅降低管道使用寿命，而且可能造成泄漏等安全隐患并影响系统平稳运行。管道主要磨损机理有冲刷磨损、撞击磨损和腐蚀磨损。冲刷磨损是因为煤粉颗粒受气流驱动，对管道内壁产生一定速度与角度的冲刷作用，使物料逐渐脱落；撞击磨损是由于煤粉粒子直接冲撞管道的壁面，导致局部的高应力，从而引发材料的损害；腐蚀磨损是指煤粉的一些化学成分和管道材料在一定环境下所产生的化学反应加快了磨损进程。为有效地延缓管道磨损和延长管道使用寿命，研究人员研发出各种防磨技术。其中使用耐磨材料就是一种最为直接、有效的手段。选用如陶瓷、合金钢等高硬度和高耐磨的材料来制作管道的内壁或衬里，能有效地增强管道对磨损的抵抗力。

1.3.4 系统控制与优化技术

伴随着自动化和智能化技术的发展，现代煤炭气力输送系统逐渐向着自动化和智能化转变，系统控制和优化技术越来越重要。系统控制技术主要是针对输送过程关键参数进行实时监控和自动调整。其中关键参数有气流速度、煤粉浓度、管道压力和输送效率。通过高级传感器和数据采集系统可实时采集这些参数信息并由控制器分析处理。该控制器能够根据预设控制策略和算法对气源装置输出、供料装置给料速度和分离装置运行状态进行自动调整，从而保证输送过程稳定高效。

2 煤炭气力输送技术应用现状

2.1 煤炭气力输送在电力行业的应用

燃煤电厂煤炭气力输送系统是以破碎和磨制煤粉为主，由储煤场或者磨煤机送入锅炉燃烧室内，以达到煤粉稳定持续供应。该技术的运用不仅使燃煤电厂自动化水平得到提高，而且燃烧效率和能源利用率得到显著改善。电力行业煤炭气力输送系统一般采用中

压或者高压气力输送来满足长距离和大流量运输要求。系统设计与运行过程中，需充分考虑煤粉的物理特性（如粒度、密度和流动性）以及输送管道的材质、磨损与防腐等问题，以确保输送过程的稳定性、安全性。

2.2 煤炭气力输送在化工行业的应用

煤炭气力输送在化工行业中也同样显示出了广阔的应用前景，特别是在煤制化学品和煤化工中占有举足轻重的地位。化工生产中常使用煤炭作为原料或者能源、煤炭的高效稳定运输对保证生产过程连续性和产品质量具有非常重要的意义。煤炭气力输送系统可以满足化工行业对于原料输送提出的诸如精确控制输送量、维持物料性质的稳定和降低环境污染等更高的要求。在从煤转化为化学物质的过程中，如从煤中生产甲醇或烯烃，煤在进入反应器前需要经历破碎、研磨等预处理环节。该工艺对输送系统自动化水平提出了更高要求，能准确地控制煤粉输送量和粒度分布从而保证化学反应发生。

2.3 煤炭气力输送在其他行业的应用

煤炭气力输送技术，是一种高效灵活的物料输送方法，它的应用领域不仅是电力和化工行业，而是在冶金和建材等行业中得到了广泛应用，在环保等诸多产业中显示出了较强的适应性和创新性。冶金行业广泛采用煤炭气力输送来运输焦炭和矿粉。这类原料通常粒度细、密度高、易磨损，这就要求输送系统耐磨、密封和自动化控制水平高。煤炭气力输送系统由于具有高效、连续、平稳等输送特点，有效地满足冶金生产中原料输送高标准的要求。在建材行业，煤炭气力输送技术又主要应用于水泥、石灰等粉状物料输送中。这类材料在运输过程中容易出现扬尘和结块等问题，给运输系统除尘和防堵能力带来挑战。该煤炭气力输送系统通过先进除尘装置和气流控制技术的应用，成功地解决了上述难题，使建材生产中物料得到高效、清洁地输送。

3 煤炭气力输送技术发展趋势

3.1 大型化、高效化

大型化主要表现为输送系统的处理能力强，满足了大规模工业生产中物料输送的高度要求。这就需要输送设备既要输送量大，又要保证系统稳定可靠，同时又要维持高效地工作。为达到这一目的，研究人员一直在探索新的输送设备和设计方法，例如利用更加先进的流体力学原理来对管道进行优化布置，以及研制高强度、耐磨损材料，增强设备性能。高效化主要

表现在提高能源的使用效率和减少输送的成本上。煤炭气力输送中能耗是运行的一大成本。所以提高能源利用率,降低能耗就成了技术发展中的一个主要方向。其中包括对气流速度和煤粉浓度等重要参数进行优化控制策略来降低能量损失;研制更加有效的除尘和废气处理装置来减轻环境负荷;引进先进监测和控制系统对输送过程进行实时监控和智能调节以提升整体运行效率。

3.2 智能化、自动化

在信息技术高速发展的今天,煤炭气力输送技术也逐渐走向智能化和自动化新阶段。智能化表现为系统自我感知、自我学习和自我决策能力。煤炭气力输送系统通过融合先进传感器、物联网技术和大数据分析算法等技术,可以对物料输送过程关键参数进行实时监控,例如气流速度、煤粉浓度和管道压力等等,根据这些数据对其进行深入的挖掘和分析,从而对系统的运行状况进行预测,确定可能存在的故障模式以及对控制策略进行自动地调整,使其输送性能达到最佳。自动化技术构成了智能化进程的核心,它对煤炭气力输送系统提出了高度自动化控制的需求。其中包括利用先进控制算法和智能决策系统对输送过程自动调节和优化运行。如引入自适应控制策略后,该系统可根据实时监控的物料特性和输送条件对气流速度、給料速度及其他关键参数进行自动调节,从而保证输送过程稳定高效。

3.3 环保化、低碳化

环保化表现为降低了运输过程粉尘排放、噪声污染和能源消耗。为达到这一目的,研究人员一直在探索新型输送技术和物料,例如利用低阻力高效率输送管道和除尘装置来降低能耗和粉尘排放等;研制新的耐磨、耐腐蚀的材料,延长了设备的使用寿命,降低了维护成本;引进先进噪声控制技术减少运输过程噪声污染等。在煤炭气力输送系统的设计和运营阶段,碳排放的降低和能源使用效率的增强需要得到充分的重视和考虑。这涉及调整输送的各种参数,例如气流的速度和煤粉的浓度,目的是降低不需要的能源使用;使用清洁能源来代替传统能源,例如使用太阳能和风能等可再生能源来给输送系统供电;以及倡导循环经济理念以实现材料高效利用和废弃物资源化回收等。环保化和低碳化趋势既顺应了全球可持续发展战略,又是煤炭行业转型升级和绿色发展关键途径。煤炭气力输送技术经技术创新和产业升级后,可在确保生产

效率前提下有效减少对环境造成的不利影响,促进煤炭资源高效清洁使用。

3.4 新材料、新工艺的应用

新材料主要用于输送管道、耐磨部件和除尘装置。传统输送管道及耐磨部件通常由于材质所限,具有易磨损、耐腐蚀性较差等特点,极大地影响输送系统运行稳定性及使用寿命。为此,研究者们正积极探索高强度、耐磨损、耐腐蚀的新型材料,如陶瓷复合材料、高分子耐磨材料等,以提高输送系统的耐用性和可靠性。同时在除尘装置中,采用新型过滤材料还能显著提高除尘效率、减少粉尘排放、对环境保护起到强有力的支撑。新技术的运用主要是在输送系统的设计和优化方面得到体现。传统煤炭气力输送过程通常能耗大,效率低,很难适应现代工业生产中高效、节能的要求。所以,研究人员正在努力研发新的输送工艺,例如利用低阻力管道设计和优化气流速度及煤粉浓度的控制策略来降低能耗和提高输送效率。

4 结束语

在深入剖析煤炭气力输送技术发展趋势的基础上,提出大型化和高效化、智能化和自动化、环保化和低碳化及新材料和新工艺应用的重点方向。这些发展趋势在促进煤炭气力输送技术创新和进步的同时,也对相关行业绿色发展起到强有力的支持作用。未来,随着科技的进步和革新,煤炭气力输送技术会在更多的领域中显示出特有的优势和价值,有助于促进工业转型升级和可持续发展。同时本研究还可为相关领域科研人员与技术人员提供有益借鉴与启发。

参考文献:

- [1] 周锋,张强,田莹,等.煤炭气力输送弧形堵头弯管磨损弱化特性[J].煤炭学报,2025,49(S2):1248-1258.
- [2] 乔华.煤炭气力输送的发展现状分析[J].电脑校园,2020(12):485-486.
- [3] 吕鑫宽,张叶新,申健,等.仓式泵气力输送设备在长距离物料输送的研究与应用[J].有色设备,2023,37(04):61-65.
- [4] 方薪晖,安海泉,刘臻,等.煤粉掺混煤液化残渣草余物的气力输送压降特性研究[J].煤炭学报,2020,45(04):1510-1518.
- [5] 田世伟.煤炭气力输送组合式旋转分离器分离性能的研究[D].徐州:中国矿业大学,2025.

基于数据驱动的电费定价策略优化

卫晓瑞, 赵咏琪

(国网陕西省西咸新区泾河新城供电公司, 陕西 西安 710000)

摘 要 在电力行业持续变革的当下, 传统电费定价策略弊端渐显, 其定价模式难以精准契合用户用电行为的多样性, 对新能源发电并网冲击应对乏力, 也无法灵活适应峰谷用电负荷的动态变化, 定价调整还常滞后于成本波动。随着信息技术飞速发展, 数据成为关键资源, 基于数据驱动的电费定价策略优化研究应运而生, 旨在借助大数据、人工智能等前沿技术, 深度挖掘电力相关数据价值, 打破传统定价局限, 构建更科学、灵活且高效的电费定价体系, 以应对复杂多变的电力市场环境, 平衡电力企业、用户及能源发展等多方诉求, 推动电力行业转型升级。本文对基于数据驱动的电费定价策略优化进行了探讨, 以期为相关从业人员提供参考。

关键词 数据驱动; 电费定价策略; 用户用电画像; 新能源发电数据; 峰谷电价体系

中图分类号: F426

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.12.022

0 引言

电费定价机制作为电力市场运作的关键要素, 对电力资源的优化配置、企业盈利及用户行为均产生深远影响。传统定价方式往往局限于成本加成或简单分时计价, 忽视了市场动态与用户行为的复杂性。智能电网的广泛部署与大数据技术的飞跃, 为电力数据的收集与分析开辟了新境界, 为电费定价策略的优化提供了前所未有的数据支撑与技术。在此背景下, 探索如何融合大数据资源与先进算法, 构建适应性强、灵活度高的电费定价新策略, 已成为电力市场研究的热点与挑战。

1 大数据在电费定价策略中的优势

1.1 精准挖掘用户用电特征, 实现差异化定价

强大的数据智能功能允许对大量能源用户数据进行深入分析, 使用大数据算法记录的智能电表的详细分析可以准确反映不同用户组的行为。用户每天的用电量集中在早晚, 商业用户的用电量与工作时间密切相关, 工业用户根据生产工艺表现出一定的用电量。基于这些精确的特性, 电力公司可以制定差异化的定价策略, 提高消费者的价格并促进节能消费。差异化定价的优点是降低能耗、能源资源的优化配置和整体效率的提高。

1.2 实时监测电力相关数据, 灵活应对市场变化

大数据技术创造了一个实时监控平台, 可以收集电力市场的各种数据, 实时监控新能源的生产、生产

和生产周期, 及时把握新一代发电的波动性, 提前规划, 灵活调整电价, 提高吸收不稳定新能源的能力, 促进新能源产业的发展; 实时监控电力负载数据, 以准确记录峰值时间和负载波动。因此, 要动态优化电价峰值制度, 合理扩大电价峰值差距, 积极引导用户缓解电力供需矛盾, 确保电力系统正常运行, 提高电力市场适应复杂变化的灵活性。

1.3 整合多源数据辅助决策, 提升定价科学性

在电力定价中, 数据可以整合来自多个来源的数据, 以支持科学解决方案。复杂的数据模型是通过收集有关电力成本的数据、电力购买成本、设备成本、运营成本和劳动力成本) 以及用户的电力需求、地理位置和经济发展数据来创建的^[1]。该模型准确地分析了成本波动对电价的影响, 并引入了相对于成本的价格调整机制。多源数据的整合有助于评估不同地区的能源消耗特征, 制定电价弹性基础、区域定价、差异化定价计划, 使能源定价策略更加切合实际, 平衡电力企业和消费者的利益, 促进电力行业的可持续发展。

2 当前电费定价策略中存在的问题

2.1 定价精准性欠缺, 忽视用户用电行为差异

当前电费定价体系较为笼统, 未能精准考量用户用电行为的多样性。不同用户群体, 如居民、商业与工业用户, 用电习惯大相径庭。居民用电多集中于日常生活时段, 商业用电受营业时间影响, 工业用电则取决于生产规模与工艺。然而现行定价策略并未依据

这些行为特征细化定价,使得高耗能与低耗能用户用电成本区分度不足,无法有效引导用户合理用电,也不利于电力资源的高效配置,导致能源浪费现象时有发生,电力企业也难以精准评估成本与收益。

2.2 新能源发电并网冲击,应对举措乏力

随着新能源发电规模迅速扩张,大量不稳定的新能源电力涌入电网。但现行电费定价策略对新能源发电并网所带来的影响预估不足。新能源发电具有间歇性与波动性,发电高峰与传统用电高峰不匹配,造成电力供需失衡。而电费定价未能及时反映新能源发电成本变化,也未建立起合理的激励机制引导用户消纳新能源电力,使得电网调峰压力增大,新能源发电弃电现象频发,阻碍了新能源产业健康发展与能源结构的优化转型。

2.3 峰谷用电负荷变化,定价难以适配

电力系统存在明显的峰谷用电差异,高峰时段电力需求旺盛,低谷时段需求锐减。然而,当下电费定价策略在应对峰谷用电负荷变化方面表现不佳。峰谷电价差设置不够合理,难以有效激励用户在低谷时段用电,降低高峰用电需求,导致高峰时段电力供应紧张,设备满负荷运转,供电成本上升;低谷时段电力资源闲置浪费,缺乏对动态负荷变化的实时跟踪定价,无法灵活调节电力供需,影响电力系统的稳定性与经济性。

2.4 定价调整滞后,成本波动反映不及时

电力行业成本受能源价格波动、设备更新维护、政策变动等多种因素影响。但现行电费定价调整机制存在滞后性,难以迅速跟随成本变化做出调整。当发电成本因能源价格上涨而显著增加时,电费价格未能及时上调,压缩了电力企业利润空间,影响企业运营与投资积极性;反之,当成本降低时,电费下调不及时,用户未能及时享受成本红利,引发用户不满。这种滞后的定价调整机制不利于电力市场的平稳运行与可持续发展^[2]。

3 数据驱动下电费定价策略的优化路径

3.1 构建精细化用户用电画像

在当今的智能电网时代,智能电表作为现代数据采集终端,可以高频率、高精度地记录用户用电量的每一个细节。空调压缩机的瞬时功率变化在早上打开厨房时、深夜关闭时以及不同功率水平和不同功能的

工作和频率时都有详细记录。通过广播、聚类算法、关联规则搜索等添加这些大量的能耗数据。它们开始在大数据技术中发挥作用。聚类算法可以根据电力消费行为的相似性,如人们的正常生活方式和稳定的用电量、季节性和节日用电量的波动以及用电强度、生产周期,来确定电力和其他工业企业的用电速度。这些规则有助于识别不同设备的能源消耗之间的潜在相关性,深入的分析和数据收集有助于对用户类型进行分类。

3.2 实时监测新能源发电数据

新能源的快速发展对能源系统的稳定性和能源价格提出了新的挑战,迫切需要一个新的、高效的能源生产数据监测平台。该平台基于先进的传感器和高速数据传输网络,可以实时监测和记录光伏电站中每个太阳能电池组件的性能,累积发电容量以及光强和温度等环境因素的变化^[3]。在风电场中,还可以准确地记录叶片旋转速度、功率曲线和不同风速范围的发电长度等数据。使用短期和长期记忆模型(LSTM)对机器学习和时间序列预测的数据进行仔细的分析,LSTM模型可以有效地处理新发电数据的时间和非线性特征,并将历史天气数据与地理信息数据相结合,以预测未来几小时甚至几天的发电趋势。

3.3 动态优化峰谷电价体系

实时捕获智能网络中的监控设备,以创建可动态更新的大型数据集。自整合移动平均模型(ARIMA)用于分析时间序列、季节性分离等,在处理这些数据时起着重要作用。ARIMA模型分析历史负载数据以获取趋势、周期和随机波动,以准确预测未来的峰值。季节性细分将负载数据中的季节性、趋势和不规则组件分开,以显示季节、工作日和周末期间负载峰值的变化。炎热的夏天,空调负荷在白天增加,价格高于预期,促使企业用户优化空调运行策略,如设置温度参数和在某些区域启用空调。通过对峰值定价系统的持续动态优化,扩大了价格杠杆在调节电力消耗行为中的作用,积极引导用户节约用电,缓解了高峰时段的供电压力。

3.4 成本联动定价调整机制

在能源供应领域,通过将商品市场价格与能源供应商的实时数据进行比较和监测,准确记录煤炭、天然气、石油和其他能源生产来源的价格波动。在设备运行和维护方面,物联网技术用于实时监控电气设备的运行状态,收集设备的振动、温度和压力参数,维修设备,准确计算运行成本和维护设备。劳动力成本

包括与公司人力资源管理系统数据集成相关的工资、福利和员工培训成本。使用线性回归和神经网络等数据模型，这些成本因素与电价密切相关。线性回归模型可以确定能源购买成本、设备运营成本和劳动力如何影响电价。当电力市场价格急剧上涨时，该模型会快速计算出合理的价格上涨，以确保快速准确地调整价格，确保电力公司在成本波动时能够保持合理的利润率，并不断投资电网建设和设备升级^[4]。

3.5 引入需求响应定价策略

电力企业通过智能电表用户信息系统，收集消费者电力需求的综合数据，了解消费者对电厂的偏好、工作日、工作时间和电力需求强度。向用户显示物品以响应需求的价格信号。在高峰时段，用户会收到价格上涨和电气警报、关闭不必要的照明和关闭高能耗设备的提示，并以短信、移动应用程序等形式为用户提供优先电价信息。为了鼓励用户积极响应，可根据用户用电的实际变化提供电力报价或补贴。对于工业用户来说，可减少高峰时段的电力消耗，降低电力成本。居民在夜间会增加电力消耗，可充分调动用户的积极性，在高峰期和低谷期有效地配置能源资源，降低高峰期供电压力，降低电力系统的整体运行成本，为电力企业和用户创造互利的局面，提高电力系统的灵活性和稳定性，满足复杂多变的用电需求。

3.6 数据挖掘评估用户弹性

在电力市场中收集大量多年来电力消耗的数据，包括总用电量、季节分布和其他多维信息。创建模型以使用机器学习算法（如决策树和神经网络）评估用户的电价弹性。决策树算法可以通过研究不同类别用户的电力消耗和定价规则，根据其用电特征对用户进行分类。神经网络模型模拟复杂的非线性关系，并分析影响它们的因素。通过模型计算，可以清楚地识别具有高价格弹性的用户群，这些用户群可以通过电价的微小波动来显著改变价格行为，如某些商业用户在电价上涨时改变设备的运行时间和频率。

3.7 利用数据优化分区定价

GIS 技术与卫星地图和地形数据相结合，可以准确显示供应区域的地理边界和空间特征。通过智能电网监控设备收集电力需求分配数据，记录每个区域的历史和实时负荷。通过组合在一起精确地划分功率区域，活跃商业城市最繁忙的商业区的电力消耗特征表明，白天的高峰时段，负荷密度高，由于线路损耗和设备

维护频率增加，电力成本高；在偏远的郊区，充电密度低，电力成本低。基于这些区域特征，可以使用数据分析来创建战略定价，以区分电价。在商业区的高峰时段提高电价，以减少电力需求；在经济衰退期间，可适当降低电价，商业设备在高峰时段运行。在郊区，电价应保持相对稳定，以满足居民的日常需求^[5-6]。

3.8 建立数据反馈定价模型

电力公司通过各种在线和离线方式收集反馈信息，在线移动应用、官方网站为用户建立反馈记录，用户可以直接提交有关电价的意见。通过社区访问、客户服务热线等收集用户的口头反馈，然后将反馈数据集成到数据模型中。贝叶斯网络模型用于告知用户有关能源消耗和电力成本等相关因素的历史数据。如果大量用户收到的峰值价格过高，影响正常生产和工期，则模型可以估计合理的价格调整间隔。定价模型根据反馈数据不断进行优化，并提前调整定价策略。

4 结束语

基于数据驱动的电费定价策略优化成效显著，从构建用户用电画像实现精准定价，到利用数据优化分区定价、建立反馈模型提升科学性，再到运用人工智能预测用电趋势稳定市场，以及推动数据共享协同定价，各环节紧密相扣，全面革新电费定价模式。这些优化策略有效平衡了电力企业的成本与收益、用户用电需求与承受能力，促进了新能源消纳与电力资源高效配置。随着数据技术持续进步与应用深化，电费定价策略将更加智能化、精细化，进一步推动电力行业朝着绿色、可持续方向发展，为能源领域数字化转型注入强劲动力。

参考文献：

- [1] 赵勇. 电力企业电费成本管理的问题及优化对策分析[J]. 营销界, 2023(23):101-103.
- [2] 殷海波. 大数据环境下电力营销管理创新的实践研究[J]. 大众用电, 2023, 38(08):16-17.
- [3] 程威. 基于电力大数据的电费回收风险预测方法研究[J]. 电气技术与经济, 2023(03):16-18.
- [4] 刘梦颖. 大数据分析技术在用电核算中的应用[J]. 集成电路应用, 2023, 40(03):340-341.
- [5] 居强, 严佳梅, 周琰, 等. 基于客户画像的电费回收管理方法[J]. 企业科技与发展, 2023(02):115-117.
- [6] 白锐, 顾杨青, 赵灿, 等. 基于电力大数据中台的客户画像精准构建方法[J]. 产业科技创新, 2022, 04(06):67-69.

市政污水处理过程中的能效优化研究

姜 通

(水发(北京)建设有限公司, 山东 济南 250000)

摘 要 随着城市化进程不断加快, 市民用水量日益增加, 市政污水处理规模越来越大, 要求越来越高, 能耗问题也越来越突出。市政污水处理能耗既关系到污水处理成本, 又和节能减排等可持续发展目标密切相关。本文探讨了市政污水处理过程中的能效优化策略, 通过对污水处理工艺、设备运行、能源管理等方面进行分析, 识别影响能效的关键因素, 并提出了相应的优化措施, 以期降低污水处理的能耗、提高能效提供借鉴, 从而促进市政污水处理的可持续发展。

关键词 市政污水处理; 能效优化; 节能设备; 工艺参数; 能源管理

中图分类号: X799

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.12.023

0 引言

在全球能源形势越来越紧张、节能减排要求越来越高的大环境下, 提高市政污水处理能效就成了当前迫切需要研究的问题。这一需求不但符合能源的可持续发展理念, 也可以缓解环境污染, 保护好城市的生态环境。一方面, 污水处理需要能耗高的设备和技术, 会提高运营成本; 另一方面, 能耗过高又违背可持续发展理念, 不符合时代发展规律。因此, 如何节能高效地处理污水, 对市政污水处理工艺能效优化问题进行深入的研究, 不仅有理论价值, 更有一定的实际意义。

1 市政污水处理的能耗现状

随着城市化进程的加快, 市政污水处理量不断增加, 其能耗问题日益受到关注。当前市政污水处理厂能耗占城市公共事业能耗的比重颇大, 就总体能耗结构而言, 重点关注了若干关键环节。在所有系统中, 曝气系统的能源消耗占据了最大比例, 通常可以达到总能耗的 40% ~ 70%。曝气旨在向活性污泥内微生物供给足够氧气以分解污水中的有机污染物。传统曝气设备工作效率低下, 为满足微生物需氧量通常需耗费大量电能。例如: 部分较早兴建的污水处理厂所使用的罗茨风机, 其曝气能量转换效率受到限制, 运行时能量损耗大, 造成曝气系统耗能较高。

污水提升泵的能量消耗是一个不能被轻视的问题, 大约占据了整体能耗的 10% ~ 25%。污水提升就是使污水由低液位上升到处理工艺要求的高液位上, 该工艺要克服重力做功而耗费大量电能。特别是对地形复杂或者污水收集管网长的城市来说, 污水上升扬程更高、

能耗更明显。如在某些山地城市中, 因地形高差较大, 污水要经过多次升降, 升降泵工作时间较长, 能耗成本也大大增加^[1]。

2 市政污水处理工艺能效影响因素

市政污水处理工艺能效受诸多因素共同作用, 对其进行深刻认识对能效优化具有重要意义。污水处理工艺对能效有着至关重要的影响, 不同污水处理工艺, 能耗有明显差别。传统活性污泥法技术比较成熟, 但是能耗大, 这一过程要求连续曝气以保持微生物活动, 曝气能耗所占比例较大。尽管新兴的 MBR (膜生物反应器) 技术在处理上展现出了明显的优越性, 并能达到更高的水质要求, 但膜组件的清洁仍是一个挑战。相较于传统的活性污泥处理方法, 维护和膜过滤所需的能源消耗通常要高出 20% ~ 50%。此外, 氧化沟工艺由于其特殊的循环流模式, 曝气能耗有一定的减少, 但是高浓度污水处理过程中可能会增加处理单元而提高总体能耗^[2]。

设备的性能与运行状况同样直接影响能效, 设备高效节能, 能有效地降低能耗。例如: 新型的变频调速水泵能够根据实际的污水流量来自动调节转速, 从而避免了传统定速水泵在流量发生变化时的能源损耗, 与此相比, 它可以节省 15% ~ 30% 的能源。在曝气设备中, 微孔曝气器与传统的穿孔管曝气相比, 能更均匀地分散气泡, 从而提高氧气的使用效率, 并减少曝气能量消耗 10% ~ 20%。但若设备在长时间运行过程中没有得到很好的保养, 例如水泵叶轮的磨损、曝气器的卡死等, 都将造成设备性能降低和能耗的大幅度上升。

污水水质是一个不容忽视的因素。污水中污染物浓度、组成及可生化性均对处理工艺能耗产生影响。高浓度有机污染物需较多氧气才能被氧化和分解，从而提高曝气能耗。例如：当工业废水与日常生活污水混合时，污水中难以分解的有机物的含量会上升，微生物分解这些有机物会消耗更多的能量，这可能导致曝气的能量消耗增加 30% ~ 50%。

3 市政污水处理工艺能效优化方法

3.1 使用高效节能设备

将高效节能设备运用到市政污水处理中，是降低能耗直接而又行之有效的方法，新水泵技术节能效果突出，其使用永磁同步电机驱动的水泵与传统的异步电机水泵相比，工作效率可以提高 8% ~ 15%。永磁同步电机具有出色的功率因数和工作效率，能确保在各种负载状况下都能稳定且高效地工作。同时，该智能水泵控制系统可根据污水流量、液位等信息实时调节水泵运行频率及转速，达到精准供水的目的，避免水泵低效运行及空转现象，并进一步减少能耗。在某些大规模的污水处理设施中，采用智能水泵控制系统可以达到 20% ~ 30% 的节能效果^[3]。

就曝气设备而言，用先进的微孔曝气器代替传统曝气装置效果显著。微孔曝气器能产生细小且均一的气泡，增大氧与污水接触的面积及时间，从而提高氧的利用率。研究发现，与传统的穿孔管曝气相比，微孔曝气器在氧转移效率上提升了 30% ~ 50%，从而显著减少了曝气的能量消耗。另外，一些新射流曝气技术已逐步在污水处理领域得到应用。射流曝气利用高速的射流技术将空气和污水进行深度混合，从而增强了物质传递的过程。这不仅显著提升了曝气的效率，还因为其结构简洁和易于维护的特点，能够节省能源 15% ~ 25%。更新污泥处理设备，也可以有效地降低能耗。例如：使用高压隔膜压滤机等新型污泥脱水机比常规离心脱水机可达到更高的污泥脱水率、降低污泥后续加工难度及能耗。高压隔膜压滤机能够通过二次压榨污泥，将其含水量减少到 60% 以下，而离心脱水机一般只能将污泥的含水量降低到大约 80%。污泥含水率越低意味着污泥填埋和焚烧这类后续加工时需要消耗的能源就越少，因此整体能耗就越小^[4]。另外，可引进高效节能变压器、节能照明系统等。节能变压器使用了创新的铁芯材料和经过优化的绕组设计，这有助于减少变压器在空载和负载时的损耗，从而实现了 10% ~ 20% 的节能效果。而在污水处理厂的照明系统中，采用 LED 照明灯具替代传统的荧光灯，不仅节能效果

显著（可节能 50% ~ 70%），而且使用寿命长，减少了更换灯具的维护成本。

3.2 工艺运行参数优化调整

对工艺运行参数进行合理优化，是市政污水处理能效提升的重要手段，对曝气系统而言，溶解氧浓度的准确控制是非常关键的，常规曝气控制通常使用固定的溶解氧设定值，易造成过度曝气或者曝气不充分，利用在线溶解氧监测仪对污水溶解氧含量进行实时监测，配合智能控制系统根据污水水质、水量变化对曝气量进行动态调节，可以有效地降低能耗。如污水中有机污染物的浓度比较高时，可适当减小溶解氧的设定值和曝气量；但当有机污染物浓度上升时，可适时加大曝气量以保证微生物正常代谢。经过研究发现，使用这种动态的溶解氧控制方法可以将曝气的能量消耗减少 15% ~ 30%。

优化回流比也是节能中至关重要的一环，污泥回流与混合液回流对污水处理工艺具有重要影响，但是回流比过大或过小均会使能耗增大。回流比的合理调节需考虑污水水质、处理工艺及处理效果。以活性污泥法加工工艺为例，通过实验及数据分析，确定了最佳污泥回流比与混合液回流比之间的关系，既保证了活性污泥正常代谢及加工效果，同时也避免了由于回流过多而造成能耗升高的问题。通常，优化后的回流比能够减少能源消耗在 10% ~ 20% 之间。对于水力停留时间（HRT）的优化同样不能忽视。HRT 为污水在被处理构筑物中的平均滞留时间，对处理效果及能耗有着直接的影响。HRT 太长，将造成处理效率下降，能耗升高；而 HRT 太短，会导致污染物不能被完全降解。考虑到各种污水处理技术和水质特性，通过模拟与实际操作数据的对比分析，确定了最优的 HRT 方案，这有助于在确保处理效果的同时减少能源消耗^[5]。例如：在处理一些水质相对稳定的生活污水时，适当减少 HRT 可以提升处理的效率，并将能源消耗降低 10% ~ 15%。另外，污泥龄的优化也能提高能效。污泥龄为活性污泥在处理系统内的平均滞留时间，与微生物生长、代谢及处理效果关系密切。合理地控制污泥龄可以在降低污泥产量、降低污泥处理能耗的前提下保持微生物较好的活性及处理能力。通过对污泥排放策略及工艺参数进行调整，寻找出适用于特定污水处理厂污泥龄的最佳值，可以达到节能降耗之目的。

3.3 运行管理以智能控制为基础

以智能控制为主线进行运行管理，为市政污水处理能效优化提供一种新思路、新途径，该智能控制系

统采用先进传感器技术、自动化控制技术以及信息技术,实现污水处理过程实时监控以及精准控制。通过在污水处理设施的各个关键区域安装各种传感器。例如:水质传感器、液位传感器、流量传感器和溶解氧传感器等,能够实时地收集关于污水的质量、水量以及设备运行状况的各种数据。将上述数据传输至中央控制系统中,经数据分析处理后,由系统按照预设控制策略对装置运行参数进行自动调节^[6]。

以曝气系统智能控制为例,控制系统以实时监控溶解氧浓度、污水流量及水质数据为基础,采用模糊控制、神经网络控制等高级算法进行控制,准确计算所需曝气量及曝气设备运行频率与开启台数,并进行自动调整。该智能控制方式能对水质、水量变化迅速做出反应,避免人为控制滞后与错误,并有效减少曝气能耗。实际应用案例表明,在使用智能曝气控制系统的污水处理设施中,曝气的能量消耗可以减少 20%~40%。智能控制系统也能达到污水提升泵优化控制的目的,通过对污水管网液位、流量等参数进行监控,该系统对提升泵运行组合、转速等参数进行自动调节,保证污水顺利上升,避免水泵启停频繁、效率低下。同时采用预测性维护技术,以设备运行数据为基础,结合故障模型对水泵可能发生的故障提前做出预测并及时维修,降低了因设备故障造成的能耗升高及处理效率降低。

污泥处理环节中智能控制也起到了不可忽视的作用。该智能控制系统通过实时监控污泥浓度和含水率,自动调节污泥脱水机压力和转速等污泥处理设备运行参数,以达到高效脱水和减少污泥处理能耗的目的。另外,该智能控制系统能够实时监控并分析整个污水处理厂能源消耗情况,并产生能耗报表及分析图表,供管理人员决策参考,有助于其及时发现能耗异常点并有针对性地采取节能措施。

3.4 能源回收和再利用技术

能源回收和再利用技术对市政污水处理能效优化具有重要的辅助作用,在污水生物处理过程中,有机物经微生物分解后生成沼气,沼气的主要组分为甲烷,热值高,可以用作能源回收利用。通过构建沼气收集与利用系统实现了对生产沼气的净化、贮存与利用,并可以实现发电与供热功能。如某些大型污水处理厂以沼气为动力,用内燃机来发电,其所生产的电能可以满足污水处理厂某些装置的电力需要,使能源自给自足。根据估算,处理每吨污水时产生的沼气可以发电 0.2~0.5 度,如果能够有效地回收再利用,将能显著

减少污水处理厂的能源消耗成本。另外,污水自身所包含的热能还有回收利用价值,冬季污水温度比较高,利用污水源热泵技术,可以从污水中抽取热能为污水处理厂建筑供热或者工艺加热。污水源热泵系统采用污水作为较低温度的热源,并通过热泵机组将热量提升到可接受的温度,与传统的锅炉供暖方式相比,能够实现 30%~50% 的节能效果。夏季也可采用污水源热泵来达到制冷的目的,进一步提升了能源的利用效率^[7]。

污泥处理过程中还可采用厌氧发酵等工艺回收能源,污泥厌氧发酵产沼气,既可发电,也可加热。同时污泥经厌氧发酵后稳定性得到了改善,降低了后续处理的难度,能耗得到了相应降低。另外,污泥焚烧后的热量还可由余热回收装置回收利用以产生蒸汽或者发电,以达到污泥处理过程能量平衡。

能源回收及再利用技术既可以降低污水处理厂能耗,又可以在减少温室气体排放的前提下减少对外部能源的依赖、降低运行成本等,经济环境效益显著。

4 结束语

市政污水处理工艺能效优化作为一项系统工程,关系到污水处理各环节。通过深入剖析能效现状,确定关键影响因素并提出和执行有效优化策略可显著降低污水处理能耗和提升能源利用效率。这样既有利于降低污水处理厂运营成本和增加经济效益,又有利于污水处理行业的可持续发展。在科学技术日益发展的今天,还应不断探索更先进的能效优化技术与管理方法来应对污水处理要求与环保要求的提高。

参考文献:

- [1] 范久林.市政给排水工程污水处理的技术分析[J].清洗世界,2023,39(11):124-126.
- [2] 谢家鑫.市政污水处理工艺流程及节能降耗浅析[J].江西建材,2023(12):391-392.
- [3] 吴艳涛.市政污水处理厂工艺设计与应用[J].资源节约与环保,2023(12):106-109.
- [4] 察鲁华.浅析给排水工程中城市污水处理现状[J].长江技术经济,2020,04(S2):15-16.
- [5] 陈莉.市政给排水工程污水处理的技术与发展探索[J].居舍,2020(15):41.
- [6] 李旺霞.“双碳”背景下污水处理行业降碳减排路径研究[J].资源节约与环保,2024(10):13-16.
- [7] 宋涛,兰玲,贺亚.城市污水处理厂能耗分析及节能措施研究[J].节能与环保,2023(03):90-92.

化工企业大型电动机绕组故障预防策略探讨

李子华

(中石化上海石油化工股份有限公司, 上海 200540)

摘 要 大型电动机的正常运行对整个化工企业生产过程至关重要, 预防大型电动机绕组故障对于化工企业的持续运行和经济效益具有重要意义。本文通过对化工企业在实际运行中常见的大型电动机绕组故障进行深入分析, 发现主要的故障源头来自环境因素、机械应力、电气应力及设计材料缺陷等方面, 并基于实际情况提出了针对各种故障类型的解决策略和预防建议。结果表明, 通过完善电动机使用规程, 并结合现场操作人员培训, 可以有效地延长大型电动机的使用寿命, 降低化工生产的维护成本, 大幅度提高了化工生产的连续性和安全性。

关键词 化工企业; 大型电动机绕组故障; 维修管理; 使用寿命

中图分类号: TM32

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.12.024

0 引言

化工企业作为我国重要的基础产业, 其生产过程中对设备的运行状态有着严格的要求。其中, 大型电动机作为化工生产线上的关键设备, 其健康状态直接影响到生产的连续性和可靠性。然而, 由于各种因素的影响, 大型电动机绕组故障现象屡见不鲜, 且维修成本高昂, 故障也往往导致整个生产流程的中断, 甚至出现严重的经济损失。因此, 对大型电动机绕组故障的预防作用至关重要。过去的研究已经显示, 大型电动机的故障主要来自环境因素, 如环境湿度和温度波动、机械冲击、电机本身的设计和材料问题等。对这些故障源头的深入理解和针对性的预防, 可显著提高电动机的运行效率, 降低其维护成本, 同时也为化工生产的持续和安全提供保障。

1 化工企业大型电动机概述

1.1 大型电动机的重要性

在化工企业的生产运营过程中, 大型电动机作为核心动能设备, 发挥着至关重要的作用^[1]。大型电动机正常运行是保证生产效率和企业竞争力的基础, 其稳定性直接关系到生产过程的安全性与经济效益。电动机的运行可靠性极大程度上影响到工厂的整体运作, 因为任何非计划性的停机都会导致生产中断, 进而导致经济损失和生产目标的偏离。确保这些设备高效、稳定地运行是企业保持生产连续性、降低生产成本及提升市场竞争力的关键。大型电动机的重要性不可低估, 其维护和管理直接影响着化工企业的可持续发展。

1.2 大型电动机的结构和工作原理

大型电动机基本结构包括定子、转子、绕组和外

壳等部分。定子通常由圆形铁芯和嵌入的铜质绕组组成, 负责产生旋转磁场。转子则是由轴、转子铁芯和绕组组成, 置于定子内部, 受磁场驱动产生旋动力。绕组是电动机的核心部件, 通过输入电流形成电磁场, 实现电动机的动力转换功能^[2]。大型电动机通过电磁感应原理, 将电能转化为机械动能, 驱动化工设备的运转, 保证生产系统的正常运行。电机的高效性和可靠性直接影响化工企业的生产效率和安全性。

1.3 大型电动机在化工企业中的应用状况和挑战

在化工企业中, 大型电动机通常用于驱动泵、风机、压缩机等关键设备, 其稳定运行直接影响生产效率。这些电动机在高温、高湿、粉尘或腐蚀性环境中运行时, 面临诸多挑战。环境因素会导致绕组材料老化, 降低绝缘性能, 增加电机故障风险。频繁的启动和停止可能产生机械应力, 造成轴承损坏; 同时频繁的启动和停止也会产生大电流、引起发热加速电机绝缘老化。而电动机设计的复杂性和技术要求, 也给故障诊断和维修带来了困难。有效识别和应对这些应用挑战, 对保证化工生产的平稳进行至关重要。

2 大型电动机绕组故障识别和分析

2.1 大型电动机绕组故障的识别方法

大型电动机绕组故障的识别至关重要, 常用的方法主要包括电气测量法、热成像技术和振动分析法。电气测量法通过监测电动机的电流、电压和绝缘电阻等参数, 能够有效捕捉电气系统中的异常信号。这种方法能够提前识别潜在的绕组短路或断路问题。热成像技术则利用红外热成像仪对电动机进行非接触式监测, 可以快速识别绕组过热区域, 是检测绝缘老化和

局部热点的重要工具。振动分析法通过测量电动机的振动频率和幅度，帮助识别绕组的机械松动、对中不良以及其他结构性故障。采用这些方法可以相互补充，从多角度确保故障早期识别，为及时维护提供可靠的依据，并最大限度地减少停机时间和损失。

2.2 最常见的大型电动机绕组故障及其形成原因

大型电动机绕组故障的形成原因多样，主要包括环境因素、机械应力、电气应力及设计材料缺陷等（见表 1）^[3]。环境因素是引发绕组故障的常见原因，高湿度和温度波动会导致绝缘材料老化或失效，增加绕组故障的概率。电动机在运行过程中的机械应力，如振动和冲击，也可能对绕组造成物理损伤。电气应力则源于电压波动或短路的影响，这会导致绕组过热或电击穿，严重时引发绝缘损坏^[4]。设计和材料缺陷同样是重要原因，包括设计不当导致的冷却不足，或材料耐高温性和耐化学性不足，容易在苛刻环境中加速老化和磨损，最终诱发故障。

表 1 大型电动机绕组故障及其形成原因概述

故障类型	形成原因	具体描述
绕组故障	环境因素	高湿度和温度波动导致绝缘材料老化或失效
	机械应力	振动和冲击对绕组造成物理损伤
	电气应力	电压波动或短路导致绕组过热或电击穿
	设计材料缺陷	设计不当导致的冷却不足，材料耐高温性和耐化学性不足

2.3 大型电动机绕组故障的经济影响和安全风险

在经济影响方面，绕组故障会导致电动机停机，从而引发生产中断，造成严重的生产损失和高额的维修费用。更换或修理电动机的成本，以及因停产导致的经济损失，可能会对企业的财务稳定产生重大不良影响。在安全风险方面，绕组故障可能引发电气火灾、爆炸等安全事故，威胁生产环境和现场人员的安全，甚至导致环境污染，在安全和环保方面加大了企业额外的管理负担和风险成本。

3 大型电动机绕组故障的预防策略

3.1 周期性的机械维护

周期性的机械维护在预防大型电动机绕组故障中起着关键作用。定期维护计划应包括对电动机各部件的详细检查，特别是绕组部分，以及时发现潜在问题。通过先进的检测设备，例如红外热成像仪，可以有效

识别绕组过热现象和绝缘老化情况。检查过程中应关注绕组的紧固程度，避免因松动而导致的振动和磨损。定期更换润滑油和清洁内部灰尘，以保持电动机的运行平稳。对机械部件的润滑状态定期检测，确保在最佳状态下运行，防止过度摩擦引发过热。依据电动机的运行记录和历史故障数据，适时调整维护间隔，制定针对性的维护计划。定期的机械维护不仅能有效降低绕组故障的发生率，还能延长电动机的使用寿命，提高生产装置的运行效率和安全性。

3.2 电动机材质改良和电动机冷却系统的优化

电动机材质的改良和冷却系统的优化是预防绕组故障的重要策略之一。选择耐高温、抗湿性强的材料有助于提高绕组的耐久性，减少环境因素对绕组的影响。采用先进的绝缘材料，可以有效降低绕组短路和电击穿的风险。在冷却系统方面，优化设计能显著改善电动机的散热效率，保持绕组温度的稳定。高效的冷却系统不仅能防止温度过高引发的绕组老化问题，还能延长电动机的使用寿命，维护生产的连续性和安全性^[5]。有效的材质改良和冷却优化，构成了关键的电动机故障预防措施。

3.3 使用规程的完善和操作员培训

完善使用规程和加强操作员培训是降低大型电动机绕组故障发生率的重要途径。制定细致的电动机操作规程，不仅有助于规范作业流程，还能减少因操作不当引发的绕组损坏。规程需涵盖启动、运行、停机及异常处理等环节，确保操作符合设备设计要求。操作员培训应着重提升其对电动机绕组故障的识别和处理能力，包括设备监测工具的使用、电气和机械参数的判断，以及常见异常的应对措施。通过系统性培训，操作员能在早期发现潜在问题，从而避免故障进一步扩展。完善规程与培训协同实施，不仅提升了操作的规范性，还为化工企业的安全生产提供了保障。

4 大型电动机绕组故障预防策略实施效果

4.1 预防策略实施前后电动机维修率的对比

在实施预防策略之前，化工企业的大型电动机维修率一直居高不下。通过对预防策略的具体实施，如周期性的机械维护、电动机材质的改良、电动机冷却系统的优化以及完善使用规程和操作员培训，企业电动机的运行状况得到了显著改善。根据统计数据，在预防策略实施之后，电动机的维修率下降了约 20%。这一变化直接反映了故障发生频率的降低，证明了预防策略在提升电动机可靠性和减少停机时间方面的有效

性。这种维修率的下降不仅减少了因故障导致的生产中断，也明显降低了与电动机故障相关的经济损失，使得化工企业的生产更加稳定和高效。

4.2 预防策略对化工生产效率和安全性影响

预防策略在化工生产中对效率和安全性产生了显著的积极影响。通过实施周期性的机械维护，以及对电动机材质和冷却系统的改进，电动机的故障率显著降低，减少了因故障导致的停机时间，从而提高了生产连续性。完善使用规程和操作人员培训增强了现场操作的规范性，减少了人为错误的发生，提升了生产过程的安全性。更稳定的电动机性能意味着生产中断和设备更换的频率降低，进一步提升了生产效率。可靠的设备运行和良好的安全记录不仅降低了事故风险，还提升了企业的信誉和员工的工作环境满意度。

4.3 预防策略对电动机使用寿命和维护成本的影响

预防策略的实施对大型电动机使用寿命和维护成本产生了显著影响。通过优化电动机材质和冷却系统，电动机在恶劣环境中的耐久性得到增强，使用寿命显著延长。电动机材质的改良降低了绕组故障的发生率，从而减少了由故障引发的停机时间和修复费用。完善的使用规程和操作人员培训提高了电动机的运行稳定性和安全性，进一步减少了非计划性维护事件的发生频率。整体维护成本显著降低，为企业节省了大量资源，促进了经济效益的提升。

5 大型电动机绕组故障预防策略展望

5.1 预防大型电动机绕组故障的重要性

大型电动机是化工生产过程的核心组成部分，一旦出现绕组故障，不仅会导致设备损坏和生产停滞，还可能引发严重的安全事故，导致巨大的经济损失。确保电动机的正常运转是维持化工企业生产效率和安全生产环境的基础。通过完善的预防策略，如定期的机械维护、电动机材质的改进以及冷却系统的优化，故障的发生率能够被显著降低，从而减少因故障导致的电动机维修次数。另外，制定规范的使用规程并对操作人员进行培训，有助于减少人为因素导致的故障发生率，并有效延长设备的使用寿命。故障预防工作不仅能够保证生产线的连续性和产能的稳定性，还降低了长期的维护成本。构建完善的故障预防机制，对于提高企业的综合效益、增强市场竞争力，以及确保生产过程的安全运行，具有显著的战略意义。

5.2 强调预防策略实施对企业经济效益和电动机使用寿命的积极影响

预防策略的实施在化工企业中展现了显著的经济

效益和延长电动机使用寿命的重要性。通过周期性的机械维护、电动机材质改良以及冷却系统优化，企业能够有效降低电动机的故障率，从而减少由故障导致的停机时间和相关维修成本，确保生产过程的连续性与稳定性。操作规程的完善和人员培训的加强，使操作人员能够更熟练地应对潜在问题，进一步降低操作失误带来的风险。这些措施的落实显著提高了电动机的工作效率和使用寿命，推动了设备管理的现代化和智能化，为企业带来了长远的经济利益。通过降低非计划性停机及其引发的生产中断，企业能够更好地控制生产成本，提高生产效率。随着维护成本的降低和生产连续性的增强，企业的市场竞争力也得到了提升，未来，这种预防性维护策略可为其他行业提供重要参考，实现广泛应用，实现可持续发展。

6 结束语

通过对化工企业大型电动机绕组故障的深入分析，对多种不同类型的故障现象进行了深度剖析，一方面确定了故障产生的主要原因，如环境湿度和温度波动、机械冲击以及电机本身设计和材料制作的问题等；另一方面，从实际操作层面，设计出有效的解决策略和预防措施，如周期性的机械维护，电动机材质的改良，电动机冷却系统的优化等。实践证明，这些措施能显著提高电动机的维修效率，极大地提升化工生产的连续性和安全性。然而，由于大型电动机的复杂性以及工作环境的多变性，本研究在解决电动机绕组故障问题上还存在一定的局限性。未来的研究可进一步深化电动机故障诊断和预防层面的理论研究，开发出更多行之有效的故障检测、故障预防和维修策略，确保化工生产过程的连续性和安全性，降低维护成本，延长设备使用寿命。

参考文献：

- [1] 付久龙,唐守智.化工企业电动机抗晃电策略应用研究[J]. 电工技术,2023(08):205-207.
- [2] 高峰,王博.交交变频双绕组电动机定子绕组故障局部修复实践[J]. 宝钢技术,2022(05):35-39.
- [3] 刘建伟.探析泵站高压电动机绕组故障[J]. 百科论坛电子杂志,2020(12):1465.
- [4] 代斌.石油化工企业中电动机轴承使用寿命探究[J]. 中国科技期刊数据库 工业 A,2020(09):93-95.
- [5] 刘豪,牛姿懿,宋亚凯,等.同步电动机定子绕组短路故障分析[J]. 防爆电机,2023,58(02):38-40.

化学工程与工艺中的过程安全评估与风险控制

吴斌星¹, 滕 杰², 胡方川²

(1. 山东和兴建筑安装工程有限公司, 山东 滨州 256600;

2. 山东京博中聚新材料有限公司, 山东 滨州 256600)

摘 要 随着化工产业发展速度不断加快, 化工项目的生产工艺日益复杂, 这在一定程度上加大了安全危险的识别及控制难度。对此, 设计人员需要根据工作经验总结化工工艺设计中的常见危险因素, 并做好危险识别、风险评估等工作。在此基础上, 本文指出需对工艺物料、工艺路线、化学反应装置等工艺进行优化设计, 切实提高化工生产的安全性, 在防范安全事故的同时, 为化工企业创造更高的经济效益。

关键词 化学工程; 过程安全评估; 风险控制

中图分类号: TQ0

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.12.025

0 引言

化学工程与工艺涉及复杂的生产流程, 存在诸多潜在风险, 为确保达到操作安全、降低事故概率和防止环境污染等目标, 需要周密的规划和精心的管理, 过程安全评估与风险控制是实现上述目标的关键手段, 通过全面分析生产环节、识别隐患源、量化风险水平以及制定应对政策可以从根本上提高安全性能、优化生产效率。

1 化工工艺安全设计中危险因素识别与控制概述

化工工艺安全设计是指企业在从事化工生产的过程中, 利用科学合理的手段和方法规范化工工艺流程、设备、操作方式等方面的程序, 以确保化工生产的安全性, 避免发生安全事故。从本质上讲, 化工工艺安全设计的本意在于保障生产活动的安全性, 避免工作人员受到影响而出现问题。因此, 化工行业可以针对自身经营的范围以及原料的物化性质、存放数量、危险等级等情况, 基于将特定原料加工转化成为产品的目标, 围绕一系列物理或是化学变化的过程设计技术路线, 结合管道工艺、化工反应装置、安全仪表等需求, 对现有的工艺进行优化。为了充分保障化工工艺生产的安全性, 企业应当对各种原材料、产品、设备进行安全监测和管理, 同时做好化工工艺的安全管控工作, 借此识别和规避危险因素, 最大限度地保障化工工艺的使用安全性^[1]。从实际情况来看, 化工工艺安全设计中危险因素识别和控制工作开展的作用和价值主要有以下几个方面: 一是预防事故发生。化工工艺安全设计中危险因素识别和控制是预防安全事故发生的关键手段。化工企业通过对化工工艺流程和环节、材料和设备、操作程序执行规范性进行分析, 可以发现潜

藏的危险因素, 然后有针对性地进行控制, 从而起到预防安全事故的作用。二是最大限度地保障人员和环境的安全。化工企业需要利用安全规范的化工工艺处理带有安全风险的化学原材料, 还要注意生产环境和条件。无论哪一项出现问题都有可能引发安全事故, 对工作人员和生产环境造成负面影响^[2]。化工企业通过评估和分析化工工艺存在的风险因素, 制定和执行保护措施, 可以有效降低安全事故发生的概率, 最大限度地保障人员和环境的安全性。三是提升生产工艺的可靠性。化工工艺安全设计中危险因素识别和控制工作不仅可以减少安全事故发生的概率, 也能够提升生产工艺的可靠性。化工企业树立起化工工艺安全设计危险因素识别和控制的观念之后, 就会有目的地选择更加安全的设备和工艺流程, 这在很大程度上可以避免材料和设备使用的过程中出现故障问题, 从而实现提升生产工艺可靠性和稳定性的目标。

2 过程安全评估方法

2.1 定性风险评估定性

风险评估是化学工程与工艺中评估安全风险的开始步骤, 旨在通过非数值的方式识别和分类生产过程中的潜在危害源, 此方法依赖于专业知识和团队合作以确保全面考虑所有相关风险, 安全审查是一种基本的定性评估方法, 通过团队讨论和检查设施的设计、操作以及维护实践来识别可能导致事故的因素。而危害与可操作性研究 (HAZOP) 则通过更加详细和系统地设定假设的偏差, 如流量、压力、温度等参数的增减来分析可能的危害情况, 这种方法可帮助团队预测和评估可能的事故场景, 从而采取相应的预防措施, 定

性风险评估的有效性依赖于参与者的经验和专业知识以及他们对过程安全文化的承诺^[3]。

2.2 定量风险评估

在定性风险评估的基础上，定量风险评估通过应用概率统计模型和事故后果模拟等手段，对事故发生的可能性及其潜在影响进行量化分析，这一步骤是过程安全管理中更为高级的分析，它要求具备较高的技术知识和专业软件工具。故障树分析（FTA）是一种常见的方法，通过构建事故发生的逻辑模型从而计算特定事件发生的概率。而事件树分析（ETA）则从一个初始事件出发。定量评估的结果通常用于决策支持，比如在设计安全系统、规划应急响应和优化操作流程时提供科学依据，这种方法通过将风险量化使得风险管理更加客观、系统和可比较，从而为制定有效的风险控制策略提供了可能。通过结合定性和定量风险评估方法，化学工程和工艺中的过程安全管理可以更全面地识别和控制潜在的安全风险，这不仅有助于预防事故的发生，还能提高整体的生产效率和可靠性，在实践中需要跨学科的合作以及对相关技术和法规的深入了解，确保过程安全评估的有效性和准确性。

3 化工工艺安全设计存在的危险因素

3.1 化工原料危险

化工工艺生产离不开原材料的施工，但化工原料普遍带有毒性或易燃易爆特征的，若未能妥善处理，便可能引发泄漏或者爆炸等安全事故。例如：某些公司为了增快生产速度，提高自身经济效益，不重视化工原料监管，或未详细了解新材料的特性就投入使用，便可能引起安全事故。

3.2 反应装置危险

在化工生产中，施工的各项设备常在高温、高压状态下运行，这对设备自身性能、安全系数的要求较高，如化工公司一味追求经济收益，使设备超负荷运行，或未按标准定期检修设备，便会提高事故发生概率。此外，若是设备结构与性能都不能满足预期要求，一样会提高事故发生概率^[4]。因此，在化工工艺设计过程中，需要对反应装置的设计、使用和维护予以高度重视，严格按照相关标准与规范进行设计和安装，并定期检查和维修，确保反应装置处于最佳状态，最大限度地保障其安全性和稳定性。

3.3 设备风险

设备风险是化工工艺安全设计中较为常见的风险因素类型。在化工生产中，不同的化学反应以及生产原料需要使用专门的反应装置和设备，特殊的工艺要

求以及生产流程对化工设备提出了一定的要求。在化工工艺安全设计中，相关人员需要把控化工设备与实际生产活动的适配性，结合具体的工艺流程和操作规范选择更加合适的设备类型，确认设备型号，确保设备的操作特点和生产能力可以满足化工生产的需求，与化学反应保持一致性和协同性。如相关人员未能妥善完成设备选型，导致设备性能与生产要求存在偏差，将会为化工生产埋下隐患。另外，设备的非正常使用、维修养护缺失等都会加剧设备风险。

3.4 人为因素操作

人员的培训水平、操作失误以及设备故障等都会引发安全事故。操作人员的安全意识和操作技能直接影响到生产过程的安全性，缺乏充分培训和经验的操作人员，会因误操作、疏忽大意或不遵守安全规程而导致事故发生。化工生产过程中的操作需要严格遵循流程和安全规范。一旦操作人员出现疏忽或失误，如未及时发现设备故障、未按要求调整反应条件，都会增加事故的发生概率。设备的老化、维护不当或设计缺陷也会成为事故的诱因，管道破裂、泵故障、阀门失灵等设备故障，会导致物料泄漏、火灾、爆炸等严重事故。

4 化工工艺安全设计中危险因素的解决对策

4.1 工艺物料的安全危险识别及控制

在化工生产中涉及的材料和产品多种多样，包括原料、半成品、副产品、中间产品等，这些材料和产品的形态不尽相同，如气态、液态、固态等。由于不同状态下的理化性质不尽相同，所以存在的安全危险也有差异。这就需要化工企业在化工工艺设计中，对工艺物料的安全危险进行精准识别，并采取有效措施控制。在具体实施中，首先，要对化工生产中使用的各种物料性质进行深入分析，包括物理状态、化学稳定性、易燃易爆性、有毒有害性等，这也是精准识别危险源的重要基础。其次，对工艺条件进行考量。也就是结合物料性质，分析其在不同温度、压力、流量等工艺条件下存在的安全隐患。尤其要关注反应速度加快、临界点等可能引发安全事故的条件变化。最后，结合以往生产经验和典型事故案例，对引发事故的原因进行分析，识别类似工艺条件下工艺物料可能存在的安全隐患，进而做到举一反三，防患于未然。想要从源头控制工艺物料的安全危险，就要优化工艺设计，也就是在化工工艺设计阶段对物料安全性进行综合考量，采用先进工艺技术尽可能降低危险物料的用量，并对反应条件进行优化，尽可能降低事故发生率。

同时,在化工工艺设计中,还要合理选择设备类型,保证符合安全标准,对于易泄漏、易爆炸等高风险部位,采取特殊防护措施^[5]。与此同时,为了降低工艺物料在操作过程中的安全隐患,需要优化操作流程,加强操作者培训教育,保证其熟练掌握化工工艺操作流程,并严格执行。

4.2 化学反应装置的安全性控制

反应装置的选型和操作不当容易引发安全事故。在反应装置的选择和操作方面,工程师需要对反应过程的各个阶段进行全面评估,包括反应物性能、反应条件、反应中可能发生的副反应等因素,以便制定出合理的操作方案。这样可以最大限度地保证反应装置的操作安全、可靠,避免设备损毁,防止发生意外事故。另外,设计者需要全面分析化学反应过程中的各种要素,并制定合理的安全保障计划,包括对反应装置的维护、保养、维修、检测、危险预警等方面的措施。在挑选设备型号与种类时,必须要分析设备与工艺之间的适配性、使用期间的安全性等,并结合工艺和产品特征选择合适的设备。在挑选反应装置时,需要根据化学反应的具体要求,充分考虑其适应性、安全性、经济性等因素,实现高质量、低成本的生产目标。

4.3 重视设备维护保养

设备是支撑化工生产高效进行的重要因素,出现风险因素的可能性较高。相关人员在化工工艺安全设计中需要加强设备管理,关注设备的维修和养护情况,将化工生产设备的性能水平维持在最佳状态,延长设备的使用寿命,保证化工生产的质量。相关人员需要建立设备使用制度,禁止生产人员随意使用化工设备。确需使用的情况下,需要向管理人员说明情况,经过管理人员的同意和准许后使用设备,并严格按照设备的操作方法和使用规范开展化工生产。由于化工生产涉及多种类型的设备,应当落实专人专管制度,并进行相应的岗前培训,增强设备管理工作的科学性和专业性。化工设备在生产过程中产生了一定的老化和磨损,相关人员需要定期检查化工设备的基本情况,更换老化破损严重的零部件,维修出现问题的部位,避免小问题发展成严重的设备缺陷,使化工设备得以正常运行,保障化工生产的顺利进行^[6]。

4.4 注重防护安全问题,营造良好的化学反应环境

原料泄漏会引发严重的生产安全问题,从成因上来看,原料泄漏多是由于原料条件、环境因素以及人工操作因素等引发的安全风险问题。当原料泄漏之后,如果现场安全防护设施不完善,那么就会引发中毒、

火灾等一系列安全风险问题。为加强对上述安全风险的化解防范,设计人员必须重点关注防护安全问题。通过营造良好的化学反应环境,及时消除各种危险因素。常见安全防护设施主要以人身安全、呼吸及声音等防护设施为主。具体而言,化工企业生产现场需要严格要求化工生产人员配备防化服、防护面具、呼吸机、防护鞋等。同时,生产现场还需要配备质量达标的消防安全设施,如灭火器、气体检测器等。一旦发生突发事件,可利用上述仪器设备及时应对,最大限度地保护人员生命财产安全与环境安全。

4.5 保障管道安全品质

化工生产管道安全管理十分关键,可避免发生泄漏问题,引发各类安全事故。因此,在化工工艺安全设计过程中,要综合考虑管道材质和使用性能,分析其是否符合化工物料的运输要求,并进行全方位的安全管控,保证化工物料运输的安全可靠性。在设计过程中,应强调管道材料的选择,关注其抗爆性、耐腐蚀性、耐火性等。同时,在设计管道转弯、接头位置的过程中,要重点进行危险防范,制定相应的措施,避免发生泄漏问题。此外,还要做好管道的定期检查,及时发现问题,立即更换,避免泄漏化学物质,保障管道安全品质。

5 结束语

过程安全评估与风险控制对化学工程与工艺至关重要,涉及定性定量风险评估、危害分析、事故预防、应急管理、工程控制以及管理体系建设等多方面内容,通过有效实施相关措施,可以最大限度地消除安全隐患、降低事故概率、提高生产效率、减少人员和环境损害,从而促进化学工程行业的可持续发展。

参考文献:

- [1] 王慧芳,崔晓静,白雪丽.基于“安全稳定”思路的有机化学教学:以化学工程与工艺专业为例[J].产业与科技论坛,2023,22(17):127-130.
- [2] 崔欣然.化学工程设计中存在的安全问题与解决策略[J].化学工程与装备,2023(06):268-269,230.
- [3] 刁丽华,王军伟.化学工程中化工生产工艺的分析[J].化工管理,2022(15):140-143.
- [4] 张壮.化学工程与工艺设备的安全性探讨[J].化工管理,2021(06):94-95.
- [5] 张咏刚.浅谈化工工程设计中存在的安全问题与解决措施[J].化工管理,2020(17):208-209.
- [6] 张有政.化工工程设计中影响安全问题的因素分析及解决对策[J].化工设计通讯,2020,46(03):213-214.

建筑暖通空调工程节能技术的 创新与应用研究

李庆峰, 李志强

(北京建工集团(厦门)建设有限公司, 北京 101300)

摘 要 为了促进建筑暖通空调工程领域的可持续发展, 提升建筑能源利用效率, 本文深入分析了暖通空调工程节能技术的创新发展现状及其实际应用情况, 研究了多热源复合供能系统、新型节能材料应用及智慧化自适应控制等创新技术在工程实践中的具体应用方案和实施路径, 并对其节能效果进行了全面评估。研究结果表明, 创新型节能技术的应用不仅显著降低了建筑能耗, 提高了系统运行效率, 而且在经济效益和环境效益方面都取得了显著成果, 为建筑暖通空调工程的节能减排提供了有效的技术支撑和实践经验。

关键词 建筑暖通空调工程; 节能技术; 多热源复合供能系统; 新型节能材料; 智慧化自适应控制技术

中图分类号: TU83

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.12.026

0 引言

建筑暖通空调工程是现代建筑不可或缺的重要组成部分, 主要负责建筑室内环境的温度、湿度、洁净度等参数的调节与控制, 为人们提供舒适的室内环境。随着城市化进程的加快和人民生活水平的提高, 暖通空调系统的应用范围不断扩大, 已广泛覆盖住宅、商业、办公等各类建筑。然而, 暖通空调系统运行过程中的能源消耗占建筑总能耗的比重较大, 这使得探索和实施高效节能的技术创新方案成为当前工程建设中的重要课题, 对推动建筑领域的绿色低碳发展具有重要意义。

1 建筑暖通空调节能技术的创新研究

1.1 多热源复合供能系统的创新设计

多热源复合供能系统的创新设计是建筑暖通空调节能技术发展的重要方向, 通过合理整合多种能源形式, 实现能源的梯级利用和互补供给。在系统设计中, 将太阳能、地热能、空气能等可再生能源与常规能源有机结合, 构建层次分明、协同高效的供能网络^[1]。以地源热泵与太阳能光热系统的复合设计为例, 在供暖季节, 地源热泵可提供基础热负荷, 制热性能系数(COP)达到 4.2 以上, 而太阳能集热系统则可在日照充足时段提供补充热量, 集热效率可达 65%, 系统整体运行能效比传统供暖方式提升 40% 以上。在多热源系统的创新设计中, 能源调配策略的优化是关键环节。通过智能化控制平台对各能源系统进行统一调度, 根

据负荷特性和能源特点制定最优运行方案。如在过渡季节, 可充分利用自然冷源进行免费供冷, 当室外温度在 16 ~ 22 °C 时, 采用全新风运行模式, 仅消耗风机能耗即可满足建筑物的部分供冷需求; 当室外温度低于 16 °C 时, 则可通过板式换热器回收排风热量, 热回收效率可达到 75% 以上。通过多种能源的优化组合和智能调配, 系统年综合能效比可提升 30%, 运行成本降低 25%, 充分体现了复合供能系统在节能降耗方面的创新价值。

1.2 新型节能材料在暖通空调中的创新应用

新型节能材料在暖通空调系统中的创新应用正逐步改变传统空调系统的能耗模式, 通过材料性能的提升实现系统效率的优化。相变蓄能材料的应用是一个重要突破, 这类材料能在相变过程中吸收或释放大潜热, 有效调节室内温度波动。以石蜡基相变材料为例, 其相变温度区间为 18 ~ 26 °C, 相变潜热可达 180 ~ 220 kJ/kg, 当将其应用于通风管道时, 可在降温过程中吸收 90% 以上的余热, 在供暖过程中释放储存的热量, 使空调系统的能耗降低 35% 左右, 同时显著提升室内温度的稳定性。在管道保温领域, 新型纳米气凝胶绝热材料的应用取得显著成效。这种材料具有超低导热系数(0.015 ~ 0.020 W/m·K)和极佳的疏水性能, 可有效减少管道系统的热损失。在实际应用中, 采用 20 mm 厚的纳米气凝胶保温层可实现与 60 mm 传统保温材料相同的保温效果, 不仅节省了安装空间, 而且保温效

果更加持久稳定。当将该材料应用于供热管网时,管道热损失可降低 45% 以上,系统输送效率提升 25%,运行能耗相应降低 30%。

1.3 智慧化自适应控制技术的创新突破

智慧化自适应控制技术在暖通空调系统中的创新突破,标志着控制系统向更加精准、高效和智能化的方向发展^[2]。通过部署智能传感器网络,实时采集室内温湿度、CO₂ 浓度、人员密度等环境参数,结合深度学习算法建立系统运行模型。在具体应用中,智能控制系统能够根据采集的数据自动调整设备运行参数,如在办公区域,当检测到人员密度变化时,系统可在 30 秒内响应并调整新风量,使 CO₂ 浓度始终保持在 1 000 ppm 以下;当室内温度波动时,可在 90 秒内完成制冷量调节,使温度波动控制在 ± 0.5 °C 范围内,相比传统控制方式节能效率提升 40%。基于大数据分析的预测性控制策略是智慧化自适应控制的核心技术。系统通过分析历史运行数据和天气预报信息,提前预测建筑物的冷热负荷变化趋势,实现供能系统的提前调节和优化运行。以变频空调系统为例,通过建立负荷预测模型,系统可提前 15 ~ 20 分钟调整压缩机运行频率,避免频繁启停,使设备始终在最佳效率区间运行。

2 暖通空调节能新技术的工程应用

2.1 地源热泵系统的工程化应用

地源热泵系统的工程化应用是一项成熟且高效的节能技术,通过利用地下浅层地热能实现建筑物的供暖制冷。在工程实践中,地源热泵系统的设计需要充分考虑地质条件、建筑负荷特性和系统匹配性等关键因素。以垂直埋管地源热泵系统为例,钻孔深度通常设计在 80 ~ 120 m,孔间距保持不小于 4 m,采用 U 型管换热器,管径选用 DN32,填充材料导热系数不低于 2.0 W/(m·K)。在系统运行中,循环工质温度在冬季供暖时保持在 12 ~ 15 °C,夏季制冷时控制在 25 ~ 28 °C,这样的参数设置可使系统全年平均能效比(COP)达到 4.5 以上。地源热泵系统的运行控制策略对节能效果起着决定性作用。通过采用变频技术和智能控制系统,实现系统负荷的精确匹配和能效的持续优化。在实际运行中,地埋管循环水泵采用变频调节,根据负荷需求自动调整流量,在部分负荷运行时可降低 30% ~ 50% 的水泵功耗。同时,通过监测地埋管进出口温差,确保换热效率始终维持在最佳状态,当温差小于 3 °C 时,控制系统自动调整运行参数。

2.2 蓄能式空调系统的实践应用

蓄能式空调系统的实践应用是解决空调负荷峰谷差和能源利用效率的有效途径,通过在用电低谷时段蓄存冷量,在高峰时段释放,实现削峰填谷的目标^[3]。在系统设计中,蓄能装置的选型和容量匹配至关重要。以冰蓄冷系统为例,蓄冰槽的设计蓄冷量应达到日最大冷负荷的 40% ~ 60%,蓄冰温度控制在 -3 ~ -5 °C 之间,制冰工况下冷水机组的性能系数(COP)保持在 2.8 ~ 3.2。通过合理的系统配置,可使峰谷电价差产生的经济效益达到 30% ~ 35%,同时将制冷主机的装机容量降低 40% 左右。蓄能式空调系统的运行策略对节能效果具有重要影响。采用全自动控制系统实现蓄能、供冷过程的智能调节,根据负荷预测和电价时段制定最优运行方案。在具体应用中,夜间 22:00 至次日 8:00 进行蓄冰,蓄冰过程的供水温度控制在 -6 °C 左右,制冰效率可达 85% 以上;白天高峰时段 8:00 至 22:00 进行放冷,此时供冷温度维持在 7 °C,回水温度控制在 12 °C,系统输送效率提升 20%。

2.3 变风量与变水量系统的综合应用

变风量与变水量系统的综合应用是现代建筑空调节能技术的重要发展方向,通过同时调节送风量和冷热量来满足建筑物动态负荷需求。在系统设计中,变频技术的应用是核心要素,通过在风机和水泵上安装变频器,实现送风量和水量的无级调节。以办公建筑空调系统为例,变风量末端采用电动风阀控制,根据室内温度变化调节开度在 30% ~ 100% 之间,送风温差维持在 8 ~ 10 °C;变水量系统的供回水温差控制在 5 ~ 7 °C,水泵变频范围为 25 ~ 50 Hz,这样的参数设置可使系统在部分负荷时节能 30% ~ 40%。变风量与变水量系统的协同控制策略对运行效果起着关键作用。通过建立基于负荷特性的智能控制模型,实现风量和水量的最优匹配。在实际运行中,当室内负荷降至 50% 时,风机频率可降至 35 Hz,风量减少 40%,风机功耗降低 70%;同时水泵频率降至 30 Hz,循环水量减少 45%,水泵功耗降低 75%。系统还可根据室外温度自动调整送风温度,当室外温度低于 26 °C 时,送风温度每升高 1 °C,可使冷水机组能耗降低 3% ~ 5%。

3 创新型节能技术的实施效果研究

3.1 节能技术应用的经济效益分析

节能技术应用的经济效益分析是评估暖通空调系统创新技术实用价值的重要依据,需要综合考虑初始投

资成本、运行费用节省和投资回收期等多个经济指标。通过全生命周期成本分析方法,可以准确评估节能技术的经济可行性^[4]。以地源热泵系统为例,虽然初始投资比传统中央空调系统高出 30%~35%,但年运行费用可节省 40%~50%,按照当前能源价格水平计算,投资回收期一般在 4~5 年。根据具体数据显示,每平方米建筑面积的初始投资增加 280~320 元,但年运行费用可降低 45%~50 元/m²,同时设备使用寿命可达 15~20 年,长期经济效益显著。创新型节能技术的经济效益还体现在维护成本和设备更新周期方面。通过对智能化控制系统的投入分析,尽管控制系统的初始投资占总投资的 15%~20%,但可使设备故障率降低 60%,维护成本年均降低 35%。以变频节能技术为例,在商业建筑中应用变频空调系统,设备购置成本比定频系统高出 20%~25%,但年度用电量可降低 35%~40%,峰值用电需量减少 30%,考虑到电费计费方式中基本电费和电度电费的构成,年度综合电费支出可降低 42%。

3.2 系统运行的能耗优化成效

系统运行的能耗优化成效主要体现在设备运行效率提升和系统综合能耗降低两个方面,通过采用先进的节能技术和优化控制策略,实现了显著的节能效果。在大型公共建筑空调系统中,采用智能化群控技术对冷水机组进行优化运行,根据负荷变化自动调节机组数量和运行参数。实测数据显示,机组运行能效比(COP)从原来的 4.2 提升至 5.8,部分负荷下的性能系数(IPLV)提高了 28%,制冷系统年度总耗电量降低了 32%。水泵系统通过变频调节,在 40% 负荷时耗电量仅为额定功率的 30%,全年平均节电率达到 45%。能耗优化的关键在于系统各个环节的协同控制和精细化管理。通过建立能耗监测平台,实时采集和分析运行数据,针对性地进行优化调节。以办公建筑暖通空调系统为例,采用工作时间动态调节策略,提前半小时开启设备进行预冷/预热,较原来提前 2 小时开启方式节省启动能耗 35%。新风系统根据室内 CO₂ 浓度自动调节风量,在人员密度较低时段将新风量降至最小值,年均新风处理能耗降低 40%。末端风机盘管采用变速控制,根据实际需求调节风速,比原来的三速开关控制节省风机能耗 25%。

3.3 创新技术的节能减排成果

创新技术在建筑暖通空调系统中的应用,不仅实现了显著的节能效果,更带来了可观的减排成果。通

过对多个创新技术的集成应用,有效降低了建筑能源消耗和碳排放。以大型商业综合体为例,采用地源热泵与太阳能光热系统相结合的复合供能方案,可再生能源利用率达到 45%,年均节约标准煤 2 800 吨,相当于减少二氧化碳排放 7 200 吨。系统运行数据显示,供暖季节较传统燃煤锅炉可减少氮氧化物排放 85%,二氧化硫排放降低 90%,为改善区域环境质量做出积极贡献。节能减排成果的量化评估需要从全生命周期的角度进行分析。通过建立碳排放核算体系,精确计算各项节能技术的减排贡献。以智能化变频空调系统为例,在 10 万 m² 的办公建筑中应用后,年度用电量从原来的 980 万 kW·h 降至 590 万 kW·h,按照当地电网排放因子 0.8 953 kgCO₂/kW·h 计算,每年可减少碳排放 3 490 吨。同时,通过采用环保制冷剂 R290 替代传统 R22,制冷剂的温室效应潜值(GWP)从 1 810 降至 3,相当于减少了约 4 200 吨二氧化碳当量的排放。这些数据充分证明了创新技术在实现建筑节能减排目标方面的显著成效,为建筑领域的低碳转型提供了有力支撑^[5]。

4 结束语

随着物联网、人工智能等新兴技术的深度融合,暖通空调系统将实现更精准的需求响应和更高效的能源利用。在“双碳”目标引领下,可再生能源的规模化应用和清洁能源技术的持续突破,将推动建筑暖通空调行业向绿色可持续方向转型升级。通过技术创新助力节能减排,为实现建筑领域的低碳发展贡献力量,这既是行业发展的必然趋势,也是推进生态文明建设的重要举措。

参考文献:

- [1] 黄圆圆.建筑工程中室内暖通空调节能技术应用探究[J].建筑,2024(11):121-123.
- [2] 徐彪.建筑工程中的暖通空调节能技术应用探讨[J].中国设备工程,2024(10):217-219.
- [3] 王永宝,钱文涛,尹春晓.暖通空调节能技术在建筑工程中的应用分析[J].中国战略新兴产业,2024(15):132-134.
- [4] 张美琪.建筑工程暖通空调系统节能技术要点及应用[J].石材,2024(05):77-79.
- [5] 万蕾.暖通空调节能技术在建筑工程中的应用[J].中国住宅设施,2024(01):172-174.

“双碳”目标引领下低碳公路的建设理念与实践

左仁广

(中铁二院工程集团有限责任公司, 四川 成都 610000)

摘 要 随着全球气候问题应对策略的变革,在我国“碳达峰、碳中和”的“双碳”战略目标驱动下,公路建设的低碳化转型势在必行。本文从全生命周期碳管控理念、资源循环理念、制度协同创新理念三个方面进行了综合分析,构建了低碳公路的建设理念体系,以实际工程为例,按照该理念体系从规划设计—老路拆除—施工建造—运营期四个维度,推进构建在“双碳”背景下低碳公路全生命周期的建设方案,以期为相关人员提供借鉴。

关键词 “双碳”战略; 低碳公路; 建设理念; 工程实践

中图分类号: U411

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.12.027

0 引言

根据 Global Carbon Atlas 统计,2023 年全球交通领域碳排放达 8.24 Gt,其中道路运输占比为 75.2%。目前,中国公路里程已突破 528 万公里,碳排放强度为 0.89 tCO₂/万元产值,较欧盟高 38%。因此,道路运输行业是我国实现“双碳”战略的主要领域之一。实现公路行业低碳转型面临三重挑战:(1)技术惯性效应:传统的公路建设技术系统基于高碳排放材料,技术惯性效应明显;(2)区域发展不平衡:东部经济发达地区低碳公路建设理念先进、贯彻到位,中西部经济欠发达地区低碳公路建设推进较慢;(3)治理体系建设缓慢:碳排放路径监测覆盖率低,碳排放交易体系建设尚未在公路建设领域完全实现。

1 我国低碳公路的发展历程

我国低碳公路建设经历了从被动应对到主动引领的转型进程,其历史演进可划分为三个具有显著时代特征的发展阶段。

1.1 理念萌芽期(2005~2012)

2005 年《可再生能源法》颁布,首次将新能源应用纳入基础设施建设考量,2007 年国务院《节能减排综合性工作方案》提出交通领域节能目标,昭示了低碳公路理念的萌芽。此阶段主要特征为:技术零散应用,试点温拌沥青;政策框架初现,2011 年《公路水路交通运输节能减排“十二五”规划》首次提出碳排放强度下降目标(16%);基础研究起步:长安大学研发建筑垃圾路基填筑技术,再生骨料利用率达 30%^[1]。

1.2 体系构建期(2013~2020)

党的十八大将生态文明建设纳入“五位一体”总体布局,推动低碳公路制度化发展。2018 年《交通强国建设纲要》提出“生态优先、绿色发展”原则,2020 年《绿色交通标准体系》纳入碳足迹核算要求。此阶段主要特征为:(1)标准体系成型:发布《绿色公路建设技术指南》(2016)等 7 项行业标准;(2)示范工程涌现:港珠澳大桥应用钢箱梁自浮运输技术减少碳排放 12 Mt^[2];(3)技术创新突破:以云南鸡石高速大修项目施工为例,突出介绍了工程应用的关键工序,验证了该技术参数的可行性。实践证明,就地冷再生技术可以实现废旧沥青路面材料 100% 的循环利用^[3]。

1.3 深化发展期(2021 至今)

2021 年“双碳”目标写入《十四五规划》,低碳公路的建设进入高质量发展新阶段。此阶段主要特征为:(1)制度创新:2022 年实施《公路工程碳排放计算标准》(JTG/T 3);(2)技术集成:沪杭甬智慧高速集成光伏路面、数字孪生等 12 项低碳技术^[4];(3)模式变革:广连高速建立全国首个公路碳汇交易平台,碳汇量纳入 CCER 交易体系,重塑了低碳公路的内涵和外延。

2 “双碳”背景下低碳公路建设理念

2.1 全生命周期碳管控理念

基于生命周期分析理论(Life Cycle Assessment: LCA),根据公路全生命周期的四个阶段,建立“规划设计—施工建造—运营管理—拆除清理”四阶段碳流模型,该模型通过量化公路工程全生命周期各阶段的碳

排放输入与输出,构建碳足迹动态标定追踪信息系统。

1. 规划设计阶段:碳流规划。该阶段碳排放占公路全生命周期碳排放比例为15%~20%。碳流热点主要为公路路线的选择和建筑材料的选用。该阶段可运用GIS多目标优化算法,选定生态敏感性(NDVI指数)、碳排放强度(kgCO_2/km)与经济成本(万元/ km)等自变量,推导碳预算约束模型^[5],对公路沿线的生态敏感区进行精准识别与分析,有效减少公路建设对生态系统的破坏,降低因生态修复和补偿所产生的碳排放^[6]。

2. 施工建造阶段:过程管控。该阶段碳排放占公路全生命周期碳排放比例为25%~30%。碳流构成主要为直接排放(施工机械燃油消耗,占比65%)和间接排放(建材运输、临时设施能耗,占比35%)。该阶段可采用数字化智能管理技术精准控碳。通过构建数字孪生系统,实现设备油耗实时监测与调度优化,有效降低设备空驶率。

3. 运营管理阶段:持续优化。该阶段碳排放占公路全生命周期碳排放比例为40%~45%。碳流构成主要为传统燃油车辆的碳排放。该阶段是碳管控的主要阶段,碳流管控主要有两个途径:(1)能源系统革新:沪杭甬高速公路采用边坡光伏系统,年发电4800万 $\text{kW}\cdot\text{h}$,雄安通道采用智慧照明能耗降低了60%,碳排放减少了820 $\text{t}/\text{年}$ 。(2)交通流优化:沪杭甬高速公路采用车路协同系统,智能车速引导,降低油耗9%;动态称重系统使重载车绕行率上升15%^[7]。

4. 拆除清理阶段:再生循环。该阶段碳排放占公路全生命周期碳排放比例为5%~10%。碳流构成主要为直接排放(施工机械燃油消耗,占比65%)和间接排放(建材运输、临时设施能耗,占比35%)。该阶段是碳管控的收尾阶段,碳流管控主要体现在以下几个方面:拆除方法优化为冷铣刨技术,能耗较爆破拆除降低35%;材料再生分级,沥青混合料和混凝土的再生利用率分别达到95%和80%。

2.2 资源循环理念

基于工业生态学的物质流理论分析(MFA),构建“开采—加工—使用—再生”四环节循环系统。该系统理论运用到低碳公路建设领域,主要考虑材料循环和能源循环两类关键技术。

1. 材料循环。沥青路面再生技术已获得深入研究并广泛应用,生物基材料作为一种新兴材料获得了蓬勃发展,生物改性沥青、植物纤维增强材料的应用在一定程度上减少了矿产资源的使用,有效降低了碳排放。

2. 能源循环。在公路建设与运营中,能源循环通过清洁能源替代、能源高效利用及废弃能源回收等技术,实现能源消耗减量与循环再生。

2.3 制度协同创新理念

低碳公路的建设时间跨度大、涉及部门多,需通过多维度、全周期的制度设计与协同,整合各方资源与责任。

在工作机制上,打通政策、市场、社会三者之间的纵向通道,探索建立碳绩效预算制度,提出绿色采购标准;在公路建设领域拓展碳汇交易市场,发行绿色金融产品^[8-9]。

3 “双碳”背景下低碳公路建设理念的实践:以S330省道快速化改造工程为例

3.1 项目概况

S330省道快速化改造工程位于华东地区,项目全长约18 km ,设计标准为一级公路,双向六车道,设计速度100 km/h 。项目位于省级经济开发区内,故在总体设计时按照市政道路标准设置了雨污排水系统、照明系统、景观绿化工程、海绵城市系统等工程。

项目在规划设计、老路拆除、施工、运营期的全生命周期内贯彻了绿色低碳的先进理念,将项目建设成为一个集数据收集、智能管理和个性化服务于一体的低碳综合交通平台。

3.2 规划设计阶段的降碳措施

项目在规划阶段综合运用GIS和RS技术,结合高精度地形图,采用计算机仿真平面和纵断面设计,进行不同方案的投资、碳排放强度分析。最终在生态敏感性、碳排放强度、经济成本之间寻求最优解。

设计阶段通过多维举措置前谋划项目的低碳化思路:

1. 路基设计。桥路分界处的路基工程推广采用泡沫轻质混凝土,使运输和施工过程中的能源消耗降低了35%。

2. 路面设计。广泛采用老路铣刨料的厂拌热再生技术,废料循环利用率95%,减少路面材料使用30%以上。采用3D摊铺技术,在保证压实功的基础上减少碾压遍数,降低碾压阶段碳排放5%。

3. 智慧交通系统(ITS)设计。通过对交通流的实时监测、分析和控制,优化了交通运行组织,提高了道路通行能力,减少了车辆的怠速和频繁启停,减少了车辆在交叉口的排队时间15%~20%,降低了能源消耗和碳排放。

4. 智慧照明工程设计。项目采用节能型 LED 照明设施,发光效率提高 50%~80%,能耗降低 30%~50%。同时,智慧照明还可根据自然光线强弱、车流量大小等条件实时调整照度,项目采用的智慧照明工程较传统照明设计节省能源 40% 以上,有效降低了碳排放。

5. “零碳”服务区示范工程。项目某服务区打造“零碳”服务区示范工程。通过光伏发电、氢能综合站等举措,实现能源自给率 120%。构建该服务区零碳智慧管控平台,对全环节能耗、排放及管理行为实施实时监测,达成能源高效利用与排放精准控制的双重目标。

6. 海绵城市设计。项目把海绵城市的 LID 技术融入了 S330 总体设计。在分隔带中设置植草沟、雨水湿地、抬高绿化带、设置溢流口等措施,实现了公路雨水的自然积存与缓释,减少了地表径流峰值,大大减少了绿化带养护用水,从而减少了工程运营期的碳排放。

3.3 老路拆除阶段的降碳措施

项目铣刨产生的废旧沥青混合料 100% 通过热再生技术实现循环利用,显著减少了新材料开采与生产过程中的能源消耗和碳排放。项目的铣刨设备采用节能型动力系统和智能化控制系统,精准控制铣刨深度与范围,同时降低燃油消耗和废气排放。

3.4 施工阶段的降碳措施

1. 严格实施“零弃方、少借方”的土石方平衡策略,减少土地资源消耗、减少运输及施工过程中的碳排放。

2. 推广实施智能摊铺压实技术,通过 GPS 定位和实时监测提高施工精度,减少返工浪费。

3. 项目开发了零碳智慧管控平台,实现能耗、排放的实时监控与智能调控。建立施工期碳足迹核算体系,对生产、运输、施工各环节碳排放进行动态监测,针对性优化减排方案。

4. 推行生态友好型工艺,采用液压喷播、客土喷播等技术进行边坡生态修复,减少了硬质防护对环境的影响。结合污水处理回用、雨水调蓄利用等技术,实现降碳与减污协同。

3.5 运营期阶段的降碳措施

通车运营后,S330 项目实施数字化监测与智能调控,构建公路运营期碳管理智慧平台,集成传感器、物联网等技术,实时监测能源消耗、车辆排放、生态环境等数据。通过人工智能算法优化能源调度,例如根据光照强度自动调节照明模式,根据车流量动态调整全线交控系统,实现碳排放的精准控制。

后续将建立公路运营期碳足迹核算体系,量化分析能源消耗、运输活动、养护作业等环节的碳排放。通过碳足迹评估,识别高排放环节并制定针对性减排措施,例如优化物流运输路线、推广低碳养护工艺等。

4 总结与展望

在“双碳”战略驱动的背景下,公路工程作为经济可持续发展的重要领域,其资源与能源消耗规模巨大的传统特性决定了其碳排放规模庞大、渠道多样。尽管我国公路建设规模已稳居世界前列,但部分领域仍存在产能结构滞后、技术成本壁垒难以攻克、碳排放强度居高不下、绿色发展理念落实不到位等问题,与我国生态文明建设战略要求存在明显差距。在此背景下,深入探讨低碳公路建设理论与实践路径,将低碳、环保、高效的发展理念贯穿于公路工程规划设计、施工、运营养护、老路拆除等各个阶段,构建覆盖全生命周期的低碳公路建设体系,同时淘汰落后产能、推动产业升级,不仅是交通运输行业践行生态文明战略、实现“双碳”目标的关键举措,更是加速交通强国建设、推动行业可持续发展的必然选择。

参考文献:

- [1] 刘建.西安市建筑垃圾替换二灰碎石基层中部分石料的研究[D].西安:长安大学,2006.
- [2] 刘鹏,贺拴海,赵英策.港珠澳大桥大节段钢箱梁海上运输关键技术研究[J].合肥工业大学学报(自然科学版),2015,38(01):85-90.
- [3] 刘东美.就地冷再生技术工程应用研究[C]//中国公路学会养护与管理分会第六届学术年会论文集.2016.
- [4] 崔优凯,王昌将,陈建新,等.智慧高速关键技术研究及应用示范-智慧高速人车路协同信息交互关键技术研究及应用示范[Z].浙江数智交院科技股份有限公司,2023.
- [5] 刘泽森.基于生态保护的公路线形设计[J].工程技术研究,2018(13):147-148.
- [6] 黄裕婕,沈毅,秦晓春.绿色公路定量研究的构思[J].公路交通科技(应用技术版),2010,06(10):296-299.
- [7] 李祝龙,王艳华.绿色公路的建设要点[J].科技创新与应用,2013(36):207-208.
- [8] 刘杰,高嘉蔚.交通基础设施碳排放核算关键问题及对策探索[J].交通节能与环保,2021,17(05):4-9.
- [9] 沈琳.碳交易体系下交通行业碳交易机制研究[J].低碳经济,2022,12(03):166-168.

建筑工程施工现场安全管理优化措施

牛 利

(安徽昌达路桥工程集团有限公司, 安徽 合肥 230000)

摘 要 本文分析了建筑工程施工现场安全管理常见的安全隐患与事故原因,通过对施工现场安全管理制度实施、人员配备及职责落实、技术设施应用、安全文化建设等方面进行剖析,认为当前存在制度执行不足、人员配备及职责落实不到位等问题,并指出可通过完善制度、加强教育培训、提升技术与管理水平、明确职责强化监督、建设安全文化等措施优化施工现场安全管理,以期为保障施工安全提供借鉴。

关键词 建筑工程; 施工现场; 安全管理; 安全意识; 应急措施

中图分类号: TU714

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.12.028

0 引言

随着城市化进程的加速,建筑工程行业蓬勃发展,各类项目数量激增。然而,施工现场环境复杂、作业人员众多且流动性大,使得安全管理面临严峻考验。安全事故不仅会威胁施工人员的生命安全,还会对工程质量与进度造成负面影响,导致巨大的经济损失。尽管已制定诸多安全管理制度,但在实际执行中仍存在漏洞,安全管理技术与设施也有待进一步升级。在此背景下,深入研究建筑工程施工现场安全管理的现状并探寻优化措施,对保障行业健康发展意义重大。

1 建筑工程施工现场安全管理意义

1.1 保障施工人员的生命安全

建筑施工现场涉及很多高风险的作业,如高空作业、电气作业、机械施工等,稍有疏忽就会引起重大事故,危及工人的生命安全。完善的安全管理制度,可以用严格的安全规程来约束工人的行为,防止违章作业造成的安全事故。如在高空作业中,要求工人系好安全带,设置安全网,可以有效地减少坠落的危险。与此同时,安全管理部还会定期进行安全培训,提高施工人员的安全意识和应急处理技能,让他们在遇到突发事件时能快速、准确地作出反应,最大限度地保护自己的生命安全。安全管理也注重对施工现场的安全检查,及时发现和消除各种安全隐患,给施工人员创造一个安全的工作环境,将事故的发生率降到最低,使每个工人的生命安全得到有效的保护。

1.2 提高工程质量与进度

安全管理与工程质量和进度紧密相关。当施工现场安全管理到位,施工人员能够在安全、稳定的环境

中作业,心理压力减小,可全身心投入工作,从而提高工作效率,保证工程质量。例如:在混凝土浇筑作业中,安全的施工环境能让工人严格按照施工标准操作,确保混凝土的浇筑质量^[1]。而且,安全管理有助于减少因安全事故导致的工程延误。一旦发生安全事故,不仅需要投入时间和精力处理事故,还可能因设备损坏、人员伤亡等原因使工程停工。相反,完善的安全管理可预防事故发生,保障施工顺利进行,使工程按计划有序推进,按时交付,提高工程整体进度,避免因延误产生的额外成本。

1.3 减少经济损失

安全事故往往伴随着巨大的经济损失,包括直接损失和间接损失。直接损失体现在事故发生后的人员伤亡赔偿、设备维修或更换、工程返工等费用。例如:一起严重的坍塌事故可能导致大量施工设备损坏,需要高额资金进行维修或重新购置,同时还要支付受伤人员的医疗费用和伤亡赔偿。间接损失则包括工程延误带来的合同违约赔偿、企业信誉受损导致的后续业务减少等。有效的安全管理通过降低事故发生率,可直接减少这些经济损失。并且,安全管理投入相对事故造成的损失而言微不足道,合理的安全投入能够保证工程顺利进行,避免因事故导致的经济损失,保障企业经济效益,实现可持续发展。

2 建筑工程施工现场安全管理的现状分析

2.1 施工现场安全管理制度的实施情况

在建设项目施工现场,尽管已有比较完善的安全管理制度,但是在实际操作中仍然存在很多问题。一些施工单位对此没有足够的重视,只是把它当作一份

文件来应付检查,并没有真正落实到实际施工中去。比如,有些工地对安全检查制度的执行情况不够好,检查的频率不够高,或者只是走个过场,没有对发现的安全问题进行及时的整改和跟踪。同时,施工人员对施工安全风险的认识不足,安全交底制度流于形式^[2]。另外,由于施工现场人员流动频繁,新入职的员工很难迅速融入和遵守已有的安全制度,因此在实施过程中存在制度断层,不能对施工现场的安全进行有效的保护。

2.2 安全管理人员配备与职责落实

安全管理人员的配备情况直接影响施工现场安全管理水平。目前,部分施工现场存在安全管理人员数量不足的问题,难以对整个施工区域进行全面、细致的监管。一些小型建筑项目,甚至未配备专职安全管理人员,仅由其他岗位人员兼任,这些人员往往因本职工作繁忙,无暇顾及安全管理的各个方面。即便配备了足够的人员,在职责落实上也存在漏洞。不同安全管理人员之间职责划分不清晰,出现问题时容易相互推诿。部分安全管理人员专业素养欠缺,对安全法规和技术标准掌握不扎实,在施工现场无法准确识别安全隐患并提出有效的整改措施,使得安全管理工作浮于表面,难以发挥应有的作用。

2.3 安全管理技术与设施的应用现状

随着科技的进步,施工安全管理的技术和设备也在不断更新。但是,新技术和新设备在施工现场的应用状况却是良莠不齐。一些大型施工企业正积极引进先进的安全监控技术,如使用无人机对施工现场进行巡查,实时监控施工安全;采用自动感应式安全门、防坠预警等智能化安全防护设施,使施工现场的安全得到有效提高。但是,目前我国仍有相当一部分中小建筑企业由于资金和技术水平的制约,新技术和新设备的应用相对落后。施工现场仍依赖传统的安全防护设备(如安全帽、安全网),难以应对复杂的施工环境与新的安全风险。此外,一些已投入使用的安全技术和设备维护不力,致使其性能退化,不能继续发挥其应有的安全保障功能。

2.4 施工现场安全文化建设现状

安全文化建设是提升施工现场安全管理水平的重要方面,但目前整体建设情况不容乐观。多数施工现场对安全文化建设的重视程度不够,缺乏系统性规划。安全文化宣传形式单一,仅通过张贴标语、设置宣传栏等传统方式,难以引起施工人员的足够关注和共鸣。

施工人员参与安全文化建设的积极性不高,认为安全管理只是管理层的责任,与自己无关,缺乏主动参与安全活动的意识^[3]。此外,施工现场各参与方之间缺乏有效的安全文化沟通与协作,建设单位、施工单位、监理单位等在安全管理理念和行动上未能形成统一合力,使得安全文化建设在施工现场推进缓慢,无法营造浓厚的安全氛围。

2.5 施工现场常见安全隐患与事故分析

施工现场常见的安全隐患众多,如高处作业时的临边防护缺失,施工人员在未做好防护措施的情况下进行高空作业,极易发生坠落事故;在电气设备方面,私拉乱接电线、电气设备未接地或接零保护等问题普遍存在,增加了触电事故风险。在机械设备使用中,设备老化、未定期维护保养以及操作人员违规操作,可能引发机械伤害事故。从事故分析来看,坍塌事故时有发生,多因施工过程中对基坑支护、模板支撑系统等施工不当导致。火灾事故也不容忽视,施工现场易燃材料多,动火作业管理不善,一旦发生火灾,极易造成重大损失。这些安全隐患和事故不仅危及施工人员的生命安全,还严重影响工程进度和企业经济效益,反映出当前施工现场安全管理存在的薄弱环节。

3 优化建筑工程施工现场安全管理的措施与策略

3.1 完善施工现场安全管理制度

完善施工现场安全管理制度是提升安全管理水平的基础。首先,施工企业应依据国家相关法规、行业标准以及工程实际特点,对现有制度进行全面梳理与修订。细化安全检查制度,明确规定不同施工阶段、不同区域的检查频次与重点内容,要求检查人员如实记录检查情况,并建立详细的安全问题台账,对发现的问题实行“销号式”整改管理,确保每个安全隐患都能得到及时、彻底的解决。优化安全交底制度,改变以往简单宣读文件的方式,采用图文并茂、案例分析等形式,让施工人员切实理解施工过程中的安全风险与应对措施^[4]。同时,针对施工现场人员流动大的特点,建立新入职人员快速融入安全制度的机制,如入职即开展专门的安全培训与一对一导师指导,使其能迅速熟悉并遵循安全制度,保障施工现场安全制度的有效执行,从根本上规范施工行为,降低安全事故发生概率。

3.2 加强安全教育与培训

加强建筑工人的安全教育和培训,对提高建筑工人的安全意识、技术水平具有重要意义。建筑企业应

制定系统全面的安全教育培训方案,包括新进员工的入职培训,日常的安全教育和特殊工种的特殊培训。从培训内容来看,既要注重理论知识的传授,又要注重实际操作和应急处理能力的训练。例如:通过对施工现场常见的事故情景的模拟,使施工人员能够亲身体验和掌握正确的逃生和营救方法。培训方式应该多元化,除了传统的课堂教学之外,还可以利用网上学习平台,让施工人员在任何时间、任何地点学习安全知识;组织现场参观安全管理优良的施工现场,直观地感受到标准化施工的重要意义。定期对施工人员进行安全知识考核,将考核结果与绩效挂钩,激励施工人员积极主动参与安全教育培训,切实提升自身安全素养,使每一位施工人员都成为施工现场安全的守护者。

3.3 提升安全技术与智能化管理水平

提升安全技术与智能化管理水平是适应现代建筑工程发展的必然要求。大型建筑企业应持续加大在安全技术研发与应用方面的投入,如推广利用物联网技术实时监测施工设备运行状态、人员位置信息等,提前预警设备故障与安全风险;借助大数据分析技术,对大量安全数据进行挖掘分析,找出安全管理的薄弱环节与潜在规律,为精准制定安全管理策略提供依据^[5]。对于中小型施工企业,政府与行业协会应提供技术支持与资金补贴,鼓励其逐步引入先进的安全管理技术与设施,如智能安全帽、自动喷淋降尘系统等,提升施工现场的本质安全水平。同时,要重视对已应用安全技术与设施的维护保养,建立专业的维护团队或委托专业机构,定期对设备进行检测、维修,确保其性能稳定,持续发挥安全保障作用,为施工现场安全管理注入科技动力。

3.4 明确安全管理职责与加强监督机制

明确安全管理职责与加强监督机制是确保安全管理工作有效落实的重要保障。施工企业应清晰划分各部门、各岗位在安全管理中的职责,制定详细的安全管理责任清单,使每一位管理人员与施工人员都清楚自己在安全管理中的角色与任务。建立健全安全管理监督机制,成立专门的安全监督小组,独立于安全管理执行部门,对施工现场安全管理工作进行全方位、全过程监督。监督小组有权对安全管理制度执行不力、安全隐患整改不到位等情况进行严肃问责,通过定期检查与不定期抽查相结合的方式,确保安全管理工作不走过场。引入第三方监督机构,对施工现场安全管理进行客观评价,提出专业的改进建议。加强各部门、

各岗位之间的沟通协作,形成安全管理工作的强大合力,共同推动施工现场安全管理水平提升。

3.5 强化安全文化建设,提升全员安全意识

强化安全文化建设,提升全员安全意识是实现施工现场长治久安的核心。施工企业应将安全文化建设纳入企业发展战略规划,制定长期、系统的建设方案。丰富安全文化宣传形式,除传统的标语、宣传栏外,还可利用短视频、安全文化手册、安全主题活动等多种形式,全方位、多角度传播安全文化理念,营造浓厚的安全氛围。鼓励施工人员积极参与安全文化建设,设立安全合理化建议奖励制度,对提出有效安全改进措施的人员给予表彰与奖励,增强施工人员的主人翁意识。加强施工现场各参与方之间的安全文化交流与协作,定期召开安全管理沟通会议,统一安全管理理念与目标,使建设单位、施工单位、监理单位等在安全管理上形成共识,携手共进,让安全文化深入人心,使全员从“要我安全”转变为“我要安全”,从根本上提升施工现场安全管理水平。

4 结束语

建筑工程施工现场安全管理至关重要,当前虽存在制度执行不佳、人员配备不足等问题,但通过完善制度、加强教育培训、提升技术水平、明确职责与强化安全文化建设等措施,能有效优化管理。未来,随着安全管理理念的深入与技术革新,有望实现施工现场安全管理的全面升级,减少事故发生,保障施工人员的生命安全,推动建筑行业持续健康发展。

参考文献:

- [1] 杜健全.工业与民用建筑工程中的现场安全过程施工管理与研究[J].城市建设理论研究(电子版),2024(34):41-43.
- [2] 朱昌华.建筑施工中高支模工程施工技术应用与安全管理策略[J].城市建设理论研究(电子版),2024(32):150-152.
- [3] 缙少卓.危险源管理在建筑施工现场安全管理中的价值分析[J].四川建材,2024,50(06):228-229,232.
- [4] 王德生.关于建筑工程施工现场安全管理探析[C]//中国智慧工程研究会智能学习与创新研究工作委员会.“2022智慧规划与管理”学术论坛论文集.杭州金仕建设有限公司,2022.
- [5] 范协永.建筑房建工程施工现场安全管理研究[J].城市建设理论研究(电子版),2024(04):44-46.

土木工程施工技术管理探讨

李小彬, 姜丽敏

(青岛海易建设工程有限公司, 山东 青岛 266000)

摘要 本研究通过文献调研与案例分析, 总结了现行土木工程施工技术管理中存在的问题及其原因, 提出了采用现代管理理论和信息技术的技术管理策略, 包括项目管理信息系统的建立、施工过程监控技术的应用和质量安全控制机制的完善。研究表明, 通过技术管理措施的实施, 可以有效优化施工技术管理流程, 提高工程质量和施工效率, 降低成本, 可为土木工程施工技术管理提供新的思路和方法, 具有一定的理论意义和应用价值。

关键词 土木工程; 施工技术管理; 项目管理信息系统; 施工过程监控技术; 质量安全控制机制

中图分类号: TU712

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.12.029

0 引言

在建筑工程项目中, 土木工程的施工是一项复杂且重要的任务。对施工环节的有效管理直接关系到工程的质量、工期和成本。然而, 在实际的施工过程中, 由于技术、管理等多种因素, 工程施工管理面临许多挑战和问题。为了解决这些问题, 提高施工效率和工程质量, 本文通过结合现代管理理论和信息技术, 提出一套切实可行的技术管理策略, 包括项目管理信息系统的建立、施工过程监控技术的应用, 以及质量安全控制机制的优化完善, 旨在从理论与实践两方面为土木工程的施工管理提供新的思路和方法。

1 土木工程施工技术管理的现状与挑战

1.1 土木工程施工技术管理的定义与重要性

土木工程施工技术管理是指在土木工程建设中, 为实现工程目标而进行的计划、组织、指挥、协调与控制的一系列活动^[1]。其核心在于通过合理配置各种资源, 确保施工过程的顺利进行, 达到预期的成本、时间、质量及安全目标^[2]。土木工程的施工技术管理具有重要性, 体现在若干方面, 它直接影响项目的成功与否。有效的施工技术管理能够提高施工效率, 降低浪费, 节省成本。施工技术管理在确保工程质量和安全方面起着关键作用。通过科学的管理手段, 可以减少失误, 提高施工质量, 保障施工过程的安全性。另外, 在复杂的大型工程项目中, 施工技术管理能够优化资源配置, 协调各方参与者的关系, 减少因沟通不畅而导致的施工延误。土木工程施工技术管理在提升工程质量、安全性和经济效益中扮演着不可或缺的角色, 对工程的整体成功具有决定性影响。

1.2 现行土木工程施工技术管理的问题

当前, 土木工程施工技术管理面临多重挑战, 亟需采取有效措施予以应对。计划制定不周与沟通机制不畅, 频繁导致工程进度受阻, 项目难以按期完成。这不仅增加了管理成本, 还损害了项目整体的连贯性与效率。信息孤岛现象在土木工程施工技术管理中尤为突出, 信息的碎片化与封闭性严重阻碍了项目信息的及时共享与高效利用, 使得项目监控难以全面覆盖, 风险预警能力大打折扣。施工人员专业素养的参差不齐, 成为制约施工质量与安全管理的因素。技能水平的差异不仅影响工程进度, 更对工程项目的安全稳定构成潜在威胁。同时, 对新技术的接纳与应用不足, 使得许多工程项目仍深陷传统管理模式的泥潭, 效率低下, 创新乏力。在激烈的市场竞争环境下, 成本控制与质量保证之间的矛盾愈发尖锐, 项目经济效益与工程质量往往难以两全。

鉴于此, 土木工程施工技术管理亟需引入先进理念与技术, 优化管理流程, 加强人员培训, 提升整体管理水平。通过综合施策, 打破信息壁垒, 强化团队协作, 推动施工技术管理向智能化、精细化方向发展, 确保项目高效、优质、安全地完成。

1.3 现代土木工程面临的主要挑战

现代土木工程面临诸多挑战, 这些挑战对施工技术管理提出了更高的要求。工程规模日益庞大和复杂, 使得传统管理模式难以有效应对, 这需要更先进的技术和管理方法。随着社会对可持续发展的关注增加, 施工过程需严格控制对环境的影响, 包括资源消耗和污染排放^[3]。另外, 劳动力市场的变化, 如熟练工人的短缺以及劳动力成本的上升, 也给施工计划和预算

管理带来压力。在全球化趋势影响下,各国土木工程管理标准的差异性,增加了国际项目管理的复杂性。现代土木工程需要在技术创新、环境保护、成本控制及国际合作等方面进行全面提升,以应对当前的挑战。

2 土木工程施工技术管理的理论基础

2.1 现代管理理论在土木工程施工技术管理中的应用

现代管理理论在土木工程施工技术管理中的应用是提升项目效率和质量的重要手段。系统管理理论强调了流程的标准化和整体协调,在土木工程中,通过优化资源配置和精简工作流程,可以提高项目的整体效率。目标管理理论强调设定明确的项目目标和指标,在施工过程中应用这种理论可以确保项目组成员朝着一致的方向努力,确保达成预期的工程质量和进度要求。

2.2 信息技术在土木工程施工技术管理中的作用

信息技术在土木工程施工技术管理中扮演着重要角色,其应用实现了管理效率的提升和施工过程的优化。通过计算机技术、软件系统和网络通信技术的发展,施工技术管理信息化程度不断提高。项目管理信息系统(PMIS)是信息技术应用的核心,它提供了数据共享、实时监测和资源优化的功能,成为施工现场管理的重要工具。信息技术还支持建筑信息建模(BIM)、物联网(IoT)等新兴技术在土木工程中的应用,增强数据的传输和处理能力,促进决策分析的精确化。云计算和大数据分析技术的引入,加强了信息集成和资源配置效率,提高了对项目进度、成本及质量的实时控制能力,优化施工技术管理过程。信息技术为施工技术管理的现代化变革提供了坚实的基础。

2.3 质量与安全控制的理论框架

质量与安全控制的理论框架在土木工程施工技术管理中至关重要。其核心内容包括系统化的标准制定与执行,其通过风险识别与评估技术,确保各施工环节的安全与质量。结合现代管理理论,强调过程控制与反馈机制,在动态环境中及时调整施工策略。信息技术的应用,如物联网与大数据分析,增强了实时监控能力。通过建立全面的质量保障体系 and 安全管理措施,能够有效预防和减少施工中的潜在问题,提高工程项目的整体可靠性和安全性。

3 土木工程项目管理信息系统的应用

3.1 项目管理信息系统的设计原则

项目管理信息系统的设计原则在土木工程施工中起着关键作用。明确的信息需求是设计该系统的首要

原则。系统应能够满足不同施工阶段和参与方的信息获取需求,包括设计、采购、施工和管理等各个环节。可扩展性也是关键,系统设计应考虑到未来技术发展和业务扩展的需求,以便在新技术或新业务流程引入时,系统能平滑升级。集成性设计原则要求系统能够与其他相关软件或工具如CAD、BIM等无缝对接,实现信息的实时共享,提高数据利用率与准确性^[4]。用户友好性是保障系统有效应用的重要因素,界面应简洁明了,操作应简便易学,以确保用户在短时间内上手并高效操作。安全性原则必不可少,系统须具备严密的数据保护和访问控制措施,以保障敏感信息的安全。系统还需具备高效性,确保在处理大量数据和复杂计算时依然能够快速反应,满足实地操作时效性的要求。这些设计原则共同构建了一个高效、可靠的项目管理信息系统框架,为施工技术管理提供坚实的支撑^[5]。

3.2 项目管理信息系统实施过程中的关键技术

在系统实施过程中,关键技术包括数据库管理、网络安全和用户界面设计。数据库管理确保了数据的准确性和完整性,使项目管理信息系统能够有效地储存和检索施工数据。网络安全技术则保障了敏感数据免受未经授权的访问,维护信息系统的整体安全性。用户界面设计则通过提升用户体验来促进技术的有效应用,确保系统的可操作性和便捷性。系统集成技术也是不可或缺的,它支持不同模块之间的顺利交互,确保信息流畅传递。通过这些关键技术的应用,信息系统能够优化施工管理流程,提高效率和精确性。

4 施工过程监控技术的应用

4.1 施工过程监控技术的分类与特点

施工过程监控技术在土木工程中具有多种分类和特点,主要包括实时监控技术、传感器技术、图像识别技术和无损检测技术等。实时监控技术通过物联网设备和云计算平台,实现对施工现场环境和设备的动态监测,具有信息获取迅速和响应及时的特点。传感器技术则使用多种传感器嵌入或附着于结构体上,进行温度、应力、变形等参数的实时监控,其特点为精确性高、维护性强。图像识别技术借助高分辨率摄像头和智能算法,能够有效识别和分析施工现场的作业进度、工人活动情况和安全隐患,特点为自动化程度高,可有效减少人工干预。无损检测技术则通过超声波、射线、雷达等手段,在不破坏结构的情况下评估质量和状态,其特点为对结构的完整性要求低,适用于隐蔽工程的监测。这些监控技术各具特色,能够在土木

工程的不同阶段和不同场景中应用,对提高施工过程的透明度和管理水平具有重要作用。

4.2 监控技术在土木工程中的应用案例

在土木工程施工中,监控技术的应用日益广泛,例如:通过无人机遥感技术实现对施工现场的实时监测,可以全面掌握现场施工动态。这项技术通过高空影像的捕获与分析,能够快速识别并定位施工进度中的潜在风险。射频识别(RFID)技术被应用于材料和设备的跟踪管理,确保施工资源的准确调配和及时利用,提高了资源管理的效率和准确性。建筑信息建模(BIM)技术则提供了三维可视化工具,通过整合各类施工数据,实现对施工过程的全面监控和协调管理。这些技术的应用案例表明,监控技术在提高项目管理效率、提升施工质量和安全方面具有显著效果,为土木工程施工管理提供了重要支持。

4.3 监控技术对项目进度和质量的影响

监控技术的应用显著影响土木工程项目的进度和质量。在项目进度方面,实时监控技术通过数据采集和分析,及时识别和解决潜在问题,有助于减少施工延误,提高项目交付的准时性。在质量方面,监控技术通过持续检测施工过程中的各项参数,确保施工符合设计规范和质量标准,能够有效预防和纠正施工缺陷。借助于先进的监控手段,施工单位能够提高质量控制的精确度,保障工程整体的安全性与可靠性。这些技术的应用不仅优化了资源配置,还提升了工程项目的管理水平。

5 质量安全控制机制的完善

5.1 质量安全控制的策略与方法

质量安全控制在土木工程施工技术管理中至关重要,主要策略与方法包括全面质量管理、风险控制和持续改进机制。全面质量管理强调以客户为中心,通过全过程、全员参与,确保施工质量的全面提升。质量控制点和质量检验计划的设立,是常用的方法之一,可以有效确保工程每一阶段的质量目标得以实现。风险控制方法则涉及施工前的风险识别、评估与应对,通过科学的方法预测和减少潜在的施工安全隐患,降低事故发生的可能性,并制定应急预案以应对突发事件。持续改进机制通过定期审查和反馈,对施工过程中的质量与安全问题进行分析和总结,优化管理流程和施工技术,实现项目质量和安全性能的不断提升。结合这些策略与方法,可以显著提高土木工程项目的质量安全水平,为工程的顺利实施提供有力保障,有

助于实现可持续发展目标。

5.2 风险评估与管理在施工安全中的应用

在土木工程施工中,风险评估与管理是确保施工安全的重要环节。风险评估通过识别、分析和评估潜在风险,帮助施工项目预先制定有效的风险控制措施。关键步骤包括风险识别、风险分析与风险优先级排序。施工安全中的风险管理需要结合项目具体情况,建立系统化的风险控制机制,以应对施工过程中可能出现的各种不确定性。通过实施动态监控和跟踪,可以及时调整和优化施工计划,减少安全事故的发生概率。信息技术的应用在风险管理中发挥着重要作用,项目管理信息系统可以提供实时数据支持,提高风险识别和管理效率。培训和意识提升在风险管理中不可或缺,加强施工人员的安全意识和技能可有效减少人为失误。通过系统的风险评估与管理,施工项目能够在整体上提升安全管理水平,确保施工过程的安全和质量。

6 结束语

本研究对土木工程施工技术管理进行了全面探索和研究,发现现有的土木工程施工技术管理存在一些问题,并通过现代管理理论和信息技术进行实践,给出了切实可行的管理应用策略,包括构建项目管理信息系统、应用施工过程监控技术以及完善质量安全控制机制。通过实施这些技术管理措施,可以有效优化施工技术管理流程,提高工程质量和施工效率,降低成本。本研究的结果为土木工程施工技术管理提供了新的理论支持和方法论,对于推动土木工程施工技术管理的现代化进程具有一定的理论指导意义,对于提升施工技术管理应用水平,实现工程施工的效率化和优质化具有一定的参考价值,有待后续研究进一步验证和复核。

参考文献:

- [1] 吴建强. 土木工程现场施工技术管理研究[J]. 幸福生活指南, 2020(27):74.
- [2] 刘洋, 樊恒. 土木工程的现场施工技术管理[J]. 名城绘, 2020(05):537-538.
- [3] 欧光林. 土木工程的现场施工技术管理应用[J]. 中国科技期刊数据库 工业 A, 2023(07):92-95.
- [4] 高国庆. 土木工程的现场施工技术管理应用探讨[J]. 砖瓦世界, 2021(03):34-34.
- [5] 李广亮. 土木工程的现场施工技术管理应用浅谈[J]. 中国科技期刊数据库 工业 A, 2021(10):142-143.

市政道桥常见检测误差的成因及解决对策

何伟伟

(安徽省建设工程测试研究院有限责任公司, 安徽 合肥 230000)

摘要 为了降低市政道桥检测误差, 保障市政道桥质量与安全, 本文对市政道桥常见检测误差的成因进行了分析, 指出了检测设备精度、环境因素干扰、检测人员操作失误、检测标准与方法不统一、桥梁自身结构复杂性等是导致误差的原因, 并针对这些成因提出了提高检测设备技术水平、完善检测环境控制与管理、加强人员培训与技能提升、制定和完善标准化检测流程、引入先进检测技术与方法等解决对策, 以期对减少检测误差、提升市政道桥检测的准确性有所裨益。

关键词 市政道桥; 检测误差; 检测技术

中图分类号: U445

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.12.030

0 引言

市政道桥作为城市交通的关键基础设施, 其质量状况直接关系到公众出行安全以及城市的高效运转。随着城市化进程的加速, 市政道桥的数量与日俱增, 交通流量持续攀升, 这对道桥的承载能力与耐久性提出了更高要求。在此背景下, 精准的检测工作成为保障道桥安全运营的重要手段。然而, 在实际检测过程中却频繁出现误差, 严重影响检测结果的可靠性, 进而无法准确评估道桥真实状况。检测误差可能导致对道桥病害的误判, 延误维护时机, 甚至威胁到道路使用者的生命财产安全。因此, 深入剖析市政道桥常见检测误差的成因, 并探寻切实可行的解决对策, 对于提升市政道桥检测质量、确保道桥结构稳定与安全具有至关重要的现实意义。

1 市政道桥常见检测误差的成因分析

1.1 检测设备的精度问题

检测装置是市政道桥系统各种数据采集的重要工具, 其测量结果的准确与否直接影响到检测结果的准确程度。一些陈旧的测试设备, 由于长期使用, 其内部部件如传感器灵敏度降低等磨损严重, 无法准确把握桥梁结构的应变、位移等细微变化, 造成测量结果的偏差。此外, 部分设备出厂时精度达不到行业最佳标准, 在道桥关键部位的尺寸测量和材料强度测试中, 得出的数据与实际情况有一定的偏差^[1]。另外, 如果检测设备不能按规定的周期和标准进行校准, 其测量值将会随时间的推移而逐渐偏离真值。例如: 使用回弹仪检测混凝土强度时, 如果没有及时校正, 回弹值

计算出来的混凝土强度就会不符合实际, 从而影响到桥梁结构的安全评定。

1.2 环境因素的干扰

市政道桥所处环境复杂多样, 多种环境因素会对检测结果造成干扰。温度变化对道桥结构影响显著, 热胀冷缩会使桥梁的梁体长度、结构应力等发生改变。在高温时段检测桥梁的变形情况, 梁体受热膨胀, 检测出的变形量可能比实际病害导致的变形量更大, 造成误判。在湿度方面, 潮湿环境会使钢材生锈, 影响检测钢材腐蚀程度的准确性, 同时, 湿度对混凝土的电阻率、氯离子含量检测也有干扰, 导致评估混凝土耐久性的结果出现偏差。另外, 风雨天气会增加检测操作难度, 强风可能使检测人员难以稳定操作检测仪器, 雨水会覆盖道桥表面, 阻碍对裂缝、坑槽等病害的观察与测量, 进而导致检测误差。沿海地区道桥受高湿度及海风盐分侵蚀, 检测混凝土内部钢筋锈蚀情况时, 环境因素干扰使检测结果常不准确。

1.3 检测人员操作失误

检测人员的专业素养与操作水平在检测过程中起着关键作用。部分检测人员未经过系统、专业的培训, 对检测设备的工作原理、操作流程一知半解, 在实际操作时, 容易因操作不当产生误差。例如: 在使用超声波检测仪检测混凝土内部缺陷时, 若检测人员未能正确选择检测面、耦合剂涂抹不均匀或者探头移动速度不一致, 都可能导致检测信号异常, 无法准确反映混凝土内部真实状况。另外, 检测人员工作时若缺乏责任心, 注意力不集中, 在记录检测数据时可能出现

错记、漏记的情况。如在测量道桥结构尺寸时,因疏忽看错刻度,使得记录数据与实际尺寸有偏差,后续基于这些错误数据进行的分析与评估必然也会偏离实际。有的检测员使用全站仪测量角度时,因未正确调平仪器,导致测量数据偏差,影响桥梁结构变形评估。

1.4 检测标准与方法不统一

目前,市政道桥检测领域存在检测标准与方法不统一的问题。不同地区、不同部门可能依据各自的标准与规范开展检测工作,这些标准在检测项目、检测频率、评判指标等方面存在差异。例如:对于桥梁结构裂缝宽度的检测,有的标准规定采用裂缝观测仪进行测量,而有的标准允许使用刻度放大镜测量,不同测量工具和方法的精度不同,得到的检测结果也会有所不同^[2]。而且,在一些新技术、新方法应用时,缺乏统一的操作规程与质量控制标准。如基于物联网的道桥监测系统,各厂家在数据采集、传输、分析等环节的处理方式不同,导致检测数据缺乏可比性与一致性,不利于对道桥整体状况进行准确、全面的评估。不同省份对桥梁定期检测周期规定不同,导致道桥养护计划制定缺乏统一依据,影响检测与维护效果。

1.5 桥梁自身结构复杂性

市政道桥结构形式多样,包括梁式桥、拱桥、斜拉桥等,每种桥型结构受力特点与构造都有差异。以拱桥为例,其拱圈、拱上建筑等结构相互作用,在检测拱圈应力时,不仅要考虑拱圈自身受力,还要分析拱上建筑对其的影响,检测难度较大,容易因考虑因素不周全产生检测误差。此外,随着使用年限增加,桥梁结构可能经历过多次维修、加固,新老结构的结合部位力学性能复杂,在检测该部位强度、刚度等参数时,常规检测方法可能无法准确适用,导致检测结果不准确。而且,一些桥梁在设计时采用了特殊材料或构造,缺乏成熟的检测经验与方法借鉴,进一步加大了检测误差出现的概率。某座异形景观桥采用特殊空间网架结构,传统检测方法难以有效检测其结构稳定性,检测结果准确性存疑。

2 市政道桥检测误差的解决对策

2.1 提高检测设备的技术水平

检测设备的技术水平直接决定了检测精度。市政道桥检测单位需要加大资金投入,积极引入先进且高精度的检测设备。例如新型的光纤光栅传感器,其工作原理基于光的干涉特性,凭借卓越的灵敏度和稳定性,

能将桥梁结构细微的应变与位移变化精准转化为光信号的改变,相较于传统传感器,可极大地提升检测数据的准确性。同时,对于现有的检测设备,规范且定期的维护保养工作必不可少。制定详细的设备维护计划,及时更换磨损严重的零部件,如桥梁挠度测量仪的关键部件,需定期检查其磨损状况,确保设备性能的稳定。并且,要严格依照相关标准与规范,周期性地对检测设备进行校准,建立完备的校准记录档案,以便随时追溯设备校准状态,保障设备测量的精准度^[3]。此外,鼓励设备研发企业与科研机构携手合作,针对市政道桥检测的特殊需求开展专项研发工作。例如:研发一款能自动识别道桥病害类型与程度的一体化检测设备,借助先进的人工智能算法,对采集到的数据进行实时分析处理,减少人为判读误差,大幅提高检测效率与精度,为市政道桥检测工作提供坚实有力的设备技术支撑。

2.2 完善检测环境的控制与管理

检测环境是影响市政桥梁检测结果的重要因素之一,因此有必要对检测环境进行控制和管理。在进行检测之前,需要对检测区内的温、湿、风等重要信息进行全面和充分的采集,并根据实际环境情况,科学、合理地安排检测时间,尽量避免高温、高湿、暴雨等恶劣天气,如果不能避免,就需要采取有效的保护和补偿措施。以温度效应为例,建立温度和结构参数变化的数学模型,实现温度校正,消除因热胀冷缩引起的测量误差。在湿度控制上,可以使用专门的除湿装置来降低测试现场的湿度,以保证钢筋锈蚀、混凝土电阻等测试结果的准确度。在风雨天气中,应设置稳固的遮雨棚,避免雨水冲刷桥梁表面,干扰观测裂缝、坑槽等病害,并设置防风设备,使检测设备稳定,减少风雨对检测作业的干扰^[4]。此外,要加强测试场地周围环境的管理,降低施工振动、电磁干扰等不利因素对测试结果的影响,为测试结果提供良好的外部测试环境,为测试结果的可靠性提供强有力的保证。

2.3 加强人员培训与技能提升

检测人员的专业素养与操作技能直接关系到检测工作的质量。市政道桥检测单位应制定系统、全面的人员培训计划。一方面,定期组织新入职员工参加基础理论知识培训,内容涵盖桥梁结构力学、材料学、检测技术原理等,使其对市政道桥检测有全面深入的理解。通过理论讲解与实际案例分析,让新员工明白不同桥型在不同荷载下的力学响应。另一方面,针对

在职检测人员,开展专业技能提升培训,邀请行业专家讲解最新的检测设备操作方法、检测标准与规范的更新内容等。例如:在对新型雷达检测仪操作培训中,专家详细演示如何设置参数、解读检测图像,确保检测人员能够熟练、正确地使用设备,准确获取检测数据。同时,加强职业道德教育,通过举办职业道德讲座、开展诚信检测主题活动等方式,培养检测人员的责任心与严谨的工作态度。建立人员考核机制,定期对检测人员的理论知识与实操技能进行考核,考核结果与绩效挂钩。理论知识考核涵盖桥梁结构复杂受力分析、新型材料性能检测要点等;实操技能考核模拟实际检测场景,要求检测人员在规定时间内完成从设备调试到数据准确采集与分析的全过程。激励检测人员主动学习、提升自身能力,打造一支专业素质过硬、操作技能精湛的检测队伍,从人员层面减少检测误差的产生。未来还可组织检测人员参加国际交流活动,学习国外先进检测经验。

2.4 制定和完善标准化检测流程

为了保证市政道桥工程质量检验结果的准确性和可比性,必须建立标准化的检测流程。建议有关部门在借鉴国内外先进经验的基础上,组织业内专家,制定统一的、详尽的市政道桥检查标准和规范,明确不同类型桥梁的测试项目、测试频率、测试方法和测试指标。例如:针对中小跨度混凝土梁桥,要求每3年开展一次全面检测,其中裂缝宽度检测统一采用精度高、稳定性好的裂缝观测仪器,明确在跨中、1/4跨等关键部位,每次测点不少于5次,取平均为最后的裂缝宽度^[5]。在检测流程上,从设备校准、现场勘查等检测前的准备工作,到检测过程中的数据采集和记录,以及检测后的数据分析和报告的撰写,都制定了一套详细规范的操作程序。安装调试前需填写调试报告,现场勘察应绘制道桥现状图;试验过程中的数据记录要求字迹清楚,不能涂改;试验结束后的数据分析用专业的统计软件进行,报告的撰写按照统一的格式进行。同时,建立检测质量监管机制,定期抽查和监督各检测单位的检测工作,采用随机抽取检测报告和现场旁站检测的方法,保证检测单位严格按标准化流程开展检测工作,降低检测标准和方法不统一、操作流程不规范造成的检测误差,提升市政道桥检测工作的整体质量和水平。

2.5 引入先进的检测技术与方法

随着科技的不断进步,先进的检测技术与方法为

市政道桥检测提供了更多可能。例如:引入基于无人机的检测技术,无人机可搭载高清摄像头、红外热像仪等设备,对道桥进行全方位、无死角的巡查。在对山区复杂地形的桥梁检测中,传统检测方式受地形限制难以全面检测,无人机却能快速发现桥梁表面的裂缝、坑槽以及内部结构的病害隐患,大大提高了检测效率。此外,采用无损检测技术,如冲击回波法、探地雷达法等,可在不破坏道桥结构的前提下,准确检测混凝土内部的缺陷、钢筋的锈蚀情况等。利用大数据与云计算技术,对大量的检测数据进行整合、分析,挖掘数据背后隐藏的道桥病害发展规律。例如:通过分析多年检测数据,发现某区域桥梁在冬季低温时混凝土病害发生率上升,可为道桥养护部门提前制定防护措施提供依据。积极鼓励科研机构与企业开展产学研合作,研发更多适用于市政道桥检测的先进技术与方法,如研发基于声发射技术的桥梁结构损伤实时监测系统,并加强技术推广应用,提升市政道桥检测的科技含量,有效降低检测误差,保障道桥的安全运营。随着5G技术的普及,未来可实现检测数据实时高速传输与远程协同分析。

3 结束语

市政道桥检测误差受检测设备精度、环境因素、人员操作、标准方法以及桥梁结构复杂性等多因素影响。为解决这些问题,需提升设备技术水平、完善环境管理、强化人员培训、统一检测流程并引入先进技术。通过实施这些对策,可有效降低检测误差,提高市政道桥检测准确性与可靠性。展望未来,随着科技进步,更先进的检测技术与设备将不断涌现,进一步推动市政道桥检测行业发展,为保障道桥安全运营提供更坚实的技术支撑。

参考文献:

- [1] 邱婷,谢书建.市政道路桥梁工程材料质量检测控制优化策略的探究[J].建材发展导向,2025,23(03):4-6.
- [2] 高雪娟.刍议市政道路工程检测技术与应用[J].产品可靠性报告,2025(01):60-61.
- [3] 张恩博.探讨市政道路软基综合处置方法及施工检测对策[J].产品可靠性报告,2025(01):66-67.
- [4] 孙武平,张鹏涛,郑博航.市政桥梁支架预压沉降量检测方法[J].中国新技术新产品,2024(11):107-110.
- [5] 付俊俊.基于德尔菲法的轨道交通桥梁关键检测指标研究[J].公路与汽运,2022(01):147-150.

公路桥梁施工阶段混凝土裂缝成因及防治要点

许国清

(潜山县第一建筑安装工程有限公司, 安徽 安庆 246300)

摘要 本文探究了公路桥梁施工阶段混凝土裂缝的成因及有效防治措施, 分析了公路桥梁施工中混凝土裂缝的相关情况, 指出混凝土材料特性、施工工艺不当、外部环境影响、结构设计不合理、养护措施不当等是导致裂缝产生的原因, 并针对这些成因提出了合理选择混凝土材料、严格控制施工工艺、加强环境监测与控制、进行合理结构设计以及采取科学合理的养护措施等策略, 以期有效防治公路桥梁施工阶段混凝土裂缝、保障公路桥梁施工质量与结构安全提供借鉴。

关键词 公路桥梁; 施工阶段; 混凝土裂缝

中图分类号: U445

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.12.031

0 引言

公路桥梁是交通基础设施中的重要组成部分, 其施工质量直接关系到交通安全和畅通。混凝土是公路桥梁建设中最常用的一种材料。然而, 在施工阶段, 混凝土开裂现象频频发生, 不仅影响外观, 而且对结构的稳定性和耐久性构成了严重威胁。这些裂缝的原因很复杂, 有材料本身的原因, 也有施工技术上的偏差, 外界环境的影响, 结构设计上的缺陷, 以及维修工作的不完善。因此, 深入研究公路桥梁施工过程中混凝土裂缝产生的原因, 提出预防措施, 对于提高公路桥梁建设质量和延长其使用寿命具有重要意义。

1 公路桥梁施工阶段混凝土裂缝的成因

1.1 混凝土材料本身的特性

混凝土主要由水泥、骨料、水以及外加剂等多种材料混合而成。水泥在水化过程中会释放大量的热量, 尤其是在大体积混凝土施工时, 内部温度急剧上升, 而表面散热较快, 形成较大的温度梯度。当混凝土内部产生的温度应力超过其抗拉强度时, 就容易出现裂缝。此外, 水泥的品种和质量也会对裂缝产生影响, 不同品种水泥的水化热特性、凝结时间等存在差异。例如: 低热水泥的水化热相对较低, 能有效降低混凝土内部温度升高幅度, 减少温度裂缝产生的可能性。骨料的粒径、级配以及含泥量同样关键。骨料粒径过小或级配不良, 会导致混凝土的孔隙率增大, 水泥浆用量增加, 从而增大混凝土的收缩量, 引发收缩裂缝。而骨料含泥量过高, 会降低骨料与水泥浆之间的粘结力, 削弱混凝土的整体性能, 在受力时容易从含泥部

位产生裂缝。外加剂的种类和掺量若使用不当, 也可能影响混凝土的性能, 如引气剂掺量过多, 会使混凝土内部产生过多的气泡, 降低混凝土的强度, 增加裂缝出现的风险。

1.2 施工工艺不当

在混凝土浇筑过程中, 如果振捣不当, 混凝土内部将出现大量的孔洞, 这将导致混凝土结构强度降低, 在随后的荷载作用下, 孔洞周围极易出现应力集中, 从而导致裂缝的产生。另外, 由于浇筑速度过快, 混凝土在凝结硬化过程中会出现不均匀沉降, 特别是在浇筑高度差异较大的情况下, 由于沉降差异会导致混凝土内部出现拉应力, 当拉应力超过混凝土的极限抗拉强度时, 就会产生裂缝。混凝土泵送时, 若泵送压力过高或管线布置不当, 会造成混凝土离析、粗骨料从水泥浆中脱离, 影响混凝土均匀性及强度, 为裂缝的产生埋下隐患。模板施工也是混凝土开裂的主要原因。由于模板刚度不够, 混凝土浇筑时易产生变形, 导致混凝土表面出现不规则裂纹。由于模板过早拆模, 混凝土强度未达到承载力, 在自重和外荷载的共同作用下易产生开裂。从钢筋工程角度看, 钢筋布置间距、数量和锚固长度等方面的问题, 都会影响到混凝土和钢筋的协同工作, 从而导致混凝土在受力过程中无法有效地传递荷载到钢筋上, 导致混凝土内部拉应力过大而产生裂缝。

1.3 外部环境的影响

温度变化是导致混凝土裂缝产生的重要外部环境因素之一。在昼夜温差较大的地区, 混凝土表面温度

在短时间内大幅波动,表面混凝土因温度变化迅速收缩或膨胀,而内部混凝土温度变化相对滞后,这种内外温差产生的温度应力会使混凝土表面产生裂缝。在夏季高温时段施工,混凝土入模温度过高,加之水泥水化热的叠加作用,混凝土内部温度急剧上升,当内部温度与外界环境温度差值超过一定范围时,就容易出现温度裂缝。湿度环境同样对混凝土裂缝有显著影响。混凝土在干燥环境中水分会迅速蒸发,导致混凝土表面收缩,而内部水分迁移缓慢,收缩不均匀,从而产生收缩裂缝^[1]。特别是在大风天气下,混凝土表面水分蒸发速度加快,收缩裂缝出现的概率更高。此外,环境中的侵蚀性介质,如酸、碱、盐等,会与混凝土中的水泥水化产物发生化学反应,破坏混凝土的内部结构,降低混凝土的强度和耐久性,使混凝土在长期使用过程中逐渐产生裂缝。例如:在海边等氯离子含量较高的环境中,氯离子会渗透到混凝土内部,腐蚀钢筋,导致钢筋体积膨胀,进而使混凝土表面产生顺筋裂缝。

1.4 结构设计不合理

在公路桥梁结构设计时,如果不能准确地分析其受力状态,将导致其承载力的不足。如车辆动力冲击效应、风荷载和地震荷载等随机荷载没有被充分考虑,导致桥梁实际服役过程中所承受的荷载超出了设计要求,导致混凝土内部应力过大,从而导致混凝土开裂。结构构件尺寸设计不当也会导致开裂。如果构件截面尺寸过小,在相同荷载作用下,构件内的应力水平将显著上升,从而易在受拉区产生裂缝。同时,当结构刚度设计不合理时,在服役期间将产生较大的变形,从而导致混凝土内部产生附加应力,加速裂缝的产生与扩展。另外,结构设计也是影响混凝土开裂的重要因素。如节点处没有合理设置构造筋,在受复杂应力作用下,混凝土易因约束不足而发生开裂。在变截面结构中,由于截面发生突变,应力分布不均,如果没有采取有效的加固措施,变截面上也会出现裂纹。

1.5 养护措施不当

混凝土养护是保证其性能和防止裂缝产生的关键环节。在混凝土浇筑完成后,若未能及时进行养护,混凝土表面水分迅速蒸发,会导致混凝土表面失水干燥,产生收缩裂缝。特别是在高温、干燥的环境下,水分蒸发速度更快,养护不及时对混凝土的危害更大。养护时间不足同样会影响混凝土的性能。混凝土在凝结硬化过程中需要一定的时间来充分水化,形成稳定

的结构。若养护时间过短,混凝土的强度增长不足,内部结构不够致密,在后续承受荷载时容易出现裂缝。养护方法不当也会引发裂缝问题^[2]。例如:采用洒水养护时,若洒水不均匀,混凝土部分区域湿润,部分区域干燥,会导致混凝土收缩不均匀,产生裂缝。在冬季施工时,若未采取有效的保温养护措施,混凝土在低温环境下,内部水分结冰膨胀,会破坏混凝土的内部结构,产生裂缝。此外,在混凝土养护过程中,过早施加外部荷载,如在混凝土强度未达到设计要求时就在上面堆放材料或进行后续施工操作,会使混凝土受到额外的应力,导致裂缝产生。

2 公路桥梁施工阶段混凝土裂缝的防治要点

2.1 合理选择混凝土材料

合理选择混凝土材料是预防裂缝的基础。在水泥选用上,需根据工程实际情况,优先考虑低热水泥。大体积混凝土施工时,低热水泥能显著降低水化热的释放量,减少内部温度急剧上升的情况,有效控制温度裂缝。例如:在大型桥梁承台施工中,使用低热水泥可使内部温度上升幅度降低20%~30%,大大减小温度应力对混凝土的破坏。对于骨料,应严格把控粒径和级配,选用粒径适中、级配良好的骨料,能降低混凝土的孔隙率,减少水泥浆用量,从而降低混凝土收缩风险。如连续梁桥的箱梁施工,采用合理级配的骨料,可使混凝土收缩率降低10%~15%。同时,要严格控制骨料含泥量,确保其不超过规范要求,避免因含泥量过高削弱骨料与水泥浆的粘结力。外加剂的使用要精准,依据混凝土的性能需求和施工环境,精确计算外加剂的种类和掺量^[3]。比如在夏季高温施工时,适量添加缓凝剂可延长混凝土的凝结时间,便于施工操作,同时避免因水泥水化过快导致的裂缝问题;而在冬季施工,使用防冻剂能降低混凝土内部水分的冰点,防止混凝土受冻开裂。

2.2 严格控制施工工艺

严格控制施工工艺是防治裂缝的关键。在混凝土浇筑过程中,要确保振捣密实,采用合适的振捣设备和振捣方法,使混凝土内部的气泡充分排出,提高混凝土的密实度和强度。以桥梁墩柱浇筑为例,采用插入式振捣棒,按照规定的振捣间距和时间进行振捣,可有效避免因振捣不密实产生的内部空隙和裂缝。控制浇筑速度,避免不同部位混凝土浇筑高差过大,防止不均匀沉降导致的裂缝。在大型桥梁的悬臂浇筑施工中,严格控制两侧悬臂浇筑的速度和高差,可将不

均匀沉降控制在极小范围内,减少拉应力产生的裂缝风险。优化混凝土泵送工艺,合理布置泵送管道,控制泵送压力,防止混凝土离析。在模板工程方面,选用刚度足够的模板,在安装过程中保证其稳固性,避免在混凝土浇筑时发生变形。模板拆除时间应依据混凝土的强度增长情况,严格按照规范执行,确保混凝土强度能承受自身重力及外部荷载。钢筋工程要严格按照设计要求布置钢筋间距、数量和锚固长度,保证混凝土与钢筋协同工作良好,有效传递荷载,降低混凝土内部拉应力。

2.3 加强环境监测与控制

加强环境监测与控制对预防裂缝意义重大。针对温度因素,在施工过程中要实时监测混凝土内部和表面温度。在大体积混凝土施工时,可在混凝土内部预埋温度传感器,结合表面温度计,掌握温度变化情况。一旦发现内部温度与表面温度差值接近预警值,立即采取降温措施,如采用内部循环水管降温、表面覆盖保温材料等,确保温度差值控制在合理范围内,防止温度裂缝产生^[4]。对于湿度环境,在干燥、大风天气下,要增加混凝土表面的湿度。可采用喷雾养护、覆盖保湿土工布等方式,减少混凝土表面水分蒸发,降低收缩裂缝出现的概率。在海边等侵蚀性介质较多的环境中,对混凝土采取防护措施,如在混凝土表面涂刷防护涂层,阻止氯离子等侵蚀性介质渗透到混凝土内部,避免钢筋锈蚀引发裂缝。同时,根据当地气象条件,合理安排施工时间,尽量避开高温、低温、大风等恶劣天气时段,减少环境因素对混凝土施工质量的不利影响。

2.4 进行合理的结构设计

合理的结构设计是预防裂缝的重要保障。在设计阶段,要准确分析桥梁的受力情况,充分考虑车辆荷载的动态冲击作用、风荷载以及地震荷载等偶然荷载。运用先进的结构分析软件,对桥梁在各种荷载组合下的受力状态进行模拟计算,确保结构设计的承载能力满足实际使用需求。在确定结构构件尺寸时,要综合考虑荷载大小、结构形式等因素,避免梁、板等构件截面尺寸过小导致应力集中。例如:在设计简支梁桥时,通过精确计算,合理增大梁的截面尺寸,可有效降低混凝土受拉区的应力水平,减少裂缝产生。合理设计结构刚度,保证桥梁在使用过程中的变形在允许范围内,减少因变形产生的附加应力。在结构的节点部位和变截面处,要合理设置构造钢筋,增强混凝土的约

束能力,改善应力分布。如在连续梁桥的桥墩与梁体连接节点处,增设足够数量和规格的构造钢筋,可有效防止节点处因应力复杂产生的裂缝。

2.5 科学合理的养护措施

为了保证混凝土的使用性能,预防裂缝,必须采取科学合理的养护方法。混凝土浇筑后要及时养护。在高温干燥条件下,采用洒水养护结合塑料膜覆盖的方法,不仅可使混凝土表面保持湿润,而且可减少水的蒸发。养护时间应满足混凝土充分水化的需要,普通混凝土一般以 7 天为宜,大体积混凝土以 14 天为宜。在洒水养护时,应保证洒水均匀,使混凝土各部分保持湿润,防止因局部干燥而产生裂缝^[5]。为了保持混凝土内部温度不变,避免因内部水的冻结和膨胀而造成混凝土结构的破坏,采取了暖棚法和蓄热法等保温养护方法。同时,在混凝土养护过程中,不能过早地施加外力,要等到混凝土强度达到设计要求后,才能进行下一步的施工,以避免因附加应力引起的开裂。科学、合理的养护可使混凝土具有正常的强度生长和更密实的内部结构,从而有效地提高混凝土的抗裂能力。

3 结束语

在公路桥梁施工阶段,混凝土裂缝成因多元,涵盖材料特性、施工工艺、外部环境、结构设计及养护措施等方面。为防治裂缝,需合理选材、严控工艺、加强环境管控、优化结构设计并科学养护。当前这些措施已在一定程度上降低裂缝风险,但未来仍需持续创新,研发更优质的材料与工艺,提升监测技术精准度,深化结构设计研究,以进一步提升公路桥梁施工中混凝土的抗裂性能,保障交通基础设施的长期稳定与安全。

参考文献:

- [1] 田凯.公路桥梁施工阶段混凝土强度实时监测技术研究[J].时代汽车,2025(04):147-149.
- [2] 任志远.公路桥梁现浇混凝土箱梁施工阶段钢管桩支架法的应用分析[J].运输经理世界,2023(18):90-92.
- [3] 王立男.高墩施工技术在高速公路桥梁施工中的应用研究[J].科技资讯,2025,23(01):150-152.
- [4] 张庆龙.公路桥梁施工中的裂缝成因及防治措施探究[J].四川建材,2024,50(12):159-161.
- [5] 郭伟彤.高速公路桥梁施工中混凝土裂缝的防治措施[J].四川建材,2024,50(10):190-192.

建筑工程施工质量通病的防治措施与案例分析

李 强

(安徽华筑建设工程有限公司, 安徽 合肥 230000)

摘 要 在当前建筑工程领域,质量通病频繁出现,已成为制约工程品质提升与延长使用寿命的重要因素之一。本文详细阐述了建筑工程施工质量通病的具体防治措施,包括裂缝、渗漏、空鼓脱落等常见问题的预防与治理方法,并在防治措施的实施策略与保障体系方面提出了构建组织管理体系、加强人员培训与技能提升以及应用信息化技术等关键措施,旨在为全面提升防治工作的效率和效果提供借鉴,确保建筑工程的质量安全和可持续发展。

关键词 建筑工程;施工质量通病;组织管理体系;人员培训;信息化技术

中图分类号: TU712

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.12.032

0 引言

随着城市化进程的加速和建筑业的蓬勃发展,建筑工程施工质量问题已成为社会关注的焦点。施工质量通病,如裂缝、渗漏、空鼓等,不仅影响建筑物的结构安全和使用功能,还可能导致工程成本的增加和工期的延误,对建筑业可持续发展构成威胁。因此,深入研究建筑工程施工质量通病的防治措施,对于提高工程质量、保障人民生命财产安全、促进建筑业健康发展具有重要意义。

1 建筑工程施工质量通病概述

1.1 施工质量通病的定义与分类

施工质量通病涵盖了多种类型,如裂缝、渗漏、空鼓、脱落、钢筋锈蚀等。这些通病往往源于材料质量不达标、施工工艺不规范、设计缺陷或后期维护不当等多种因素。根据其表现形式和成因,可以将施工质量通病大致分为结构性通病、功能性通病和外观性通病三大类。结构性通病如裂缝,直接影响建筑物的结构安全;功能性通病如渗漏,影响建筑物的使用功能;而外观性通病如空鼓、脱落,则主要影响建筑物的美观性^[1]。

1.2 施工质量通病的影响分析

1. 对建筑结构安全性的影响。施工质量通病,如裂缝、钢筋锈蚀、混凝土强度不足等,会严重削弱建筑结构的承载能力,降低其抗震、抗风等自然灾害的抵御能力。裂缝的存在不仅可能导致水分和有害物质的侵入,加速结构老化,还可能成为结构失稳的潜在风险点。钢筋锈蚀则会导致钢筋截面减小,力学性能下降,进而影响整体结构的稳定性。此外,混凝土强度不足也可能导致结构在荷载作用下发生过大变形,甚至发生坍塌事故,严重威胁人民的生命财产安全。

2. 对使用功能与美观性的影响。施工质量通病直接影响建筑物的使用功能和美观性。例如:渗漏问题会导致室内潮湿、霉变,影响居住和工作环境;空鼓、脱落等表面缺陷不仅影响建筑物的美观度,还可能造成安全隐患。这些问题不仅降低了建筑物的舒适度和使用价值,还可能引发用户的投诉和纠纷,影响开发商和建筑企业的声誉。

3. 对工程成本与工期的影响。施工质量通病往往导致工程返工和维修成本的增加。为了修复这些问题,不仅需要投入大量的人力、物力和财力,还可能延长工期,增加项目的整体成本。此外,返工和维修过程还可能影响其他工序的正常进行,造成整个工程进度的延误。这不仅增加了项目的经济负担,还可能影响项目的按时交付和企业的经济效益。因此,加强施工质量管理,预防和控制施工质量通病的发生,对于降低工程成本和保障工期具有重要意义。

2 建筑工程施工质量通病防治措施的理论基础

2.1 质量控制理论

质量控制理论是建筑工程施工质量通病防治的核心指导思想。全面质量管理(TQM)理念强调以顾客为中心,全员参与,持续改进,旨在通过系统的质量控制活动,确保工程质量满足预定要求。在TQM框架下,PDCA(计划—执行—检查—行动)循环被广泛应用于质量管理过程中。通过制定详细的防治计划,严格执行施工规范,定期进行检查评估,并根据检查结果采取必要的纠正措施,形成闭环管理,从而有效控制施工质量通病的发生。

2.2 施工技术与策略

先进的施工技术和管理策略是防治施工质量通病

的重要手段。在施工技术方面,应不断引进和推广新技术、新工艺,提高施工效率和精度,减少人为因素导致的质量问题。例如:采用预制构件、模板化施工等先进技术,可以显著降低裂缝、渗漏等通病的发生率。同时,要加强施工过程管理,实施标准化作业和精细化管理,确保每个环节都符合质量要求。通过制定详细的施工方案、工艺流程和质量标准,加强施工人员的培训和考核,提高施工队伍的整体素质,从而全面提升施工质量。

2.3 材料选择与检验标准

材料是构成建筑物的基础,其质量直接影响工程质量。因此,在材料选择与检验方面,必须严格遵守相关标准和规范,确保材料质量符合设计要求。首先,应根据工程特点和设计要求,合理选择材料种类和规格,避免使用劣质或不适合的材料。其次,加强材料进场检验,对材料的外观、尺寸、性能等进行全面检查,确保材料质量合格。同时,建立材料追溯机制,对材料的来源、生产、运输和使用过程进行全程跟踪,确保材料质量可追溯、可控制。通过严格的材料选择与检验标准,从源头上减少施工质量通病的发生^[2]。

3 建筑工程施工质量通病具体防治措施

3.1 裂缝防治措施

1. 设计阶段预防措施。在设计阶段,预防裂缝的产生至关重要。首先,设计师应根据工程的具体情况 and 环境条件,合理选择结构形式和材料,确保结构的整体性和稳定性。其次,在设计中应充分考虑温度应力、收缩应力等因素对结构的影响,采取适当的构造措施,如设置温度缝、后浇带等,以分散和释放应力,减少裂缝的产生。此外,还应加强对基础设计的审查,确保基础稳定,避免因地基不均匀沉降导致的裂缝问题。

2. 施工过程控制要点。在施工过程中,严格控制施工工艺和施工质量是预防裂缝的关键。首先,应确保混凝土的原材料质量合格,严格按照配合比进行搅拌,确保混凝土的性能满足设计要求。其次,在浇筑和振捣过程中,应控制混凝土的浇筑速度和振捣力度,避免产生过大的温度应力和收缩应力。同时,应加强混凝土的养护工作,确保混凝土在硬化过程中有足够的水分和温度条件,以减少裂缝的产生^[3]。此外,还应加强对模板的支撑和固定,确保模板不发生变形或位移,避免因模板问题导致的裂缝。

3. 后期维护与修复技术。对于已经出现的裂缝,应根据裂缝的性质和严重程度,采取适当的修复措施。对于宽度较小、不影响结构安全的裂缝,可以采用表

面封闭法进行处理,如涂抹防水涂料、粘贴玻璃纤维布等。对于宽度较大、影响结构安全的裂缝,则需要进行注浆加固或重新浇筑混凝土等处理。在处理裂缝时,应确保修复材料的质量合格,修复工艺符合规范要求,以确保修复效果满足设计要求。同时,还应加强对修复部位的监测和检查,确保修复效果持久稳定。

3.2 渗漏防治措施

1. 防水设计与材料选择。防水设计是防治渗漏的首要环节。在设计阶段,应根据建筑物的功能需求和使用环境,合理选择防水等级和设防层次,确保防水层的有效性和耐久性。同时,防水层的设计应考虑温度应力、沉降变形等因素对防水层的影响,避免防水层因这些因素而被破坏。在材料选择方面,应选用质量可靠、性能稳定的防水材料,如高分子防水卷材、防水涂料等。这些材料应具有良好的耐水性、耐候性和抗老化性能,以确保防水层在长期使用过程中保持其防水性能。

2. 施工缝与接口处理技巧。施工缝和接口是渗漏问题的多发部位。为防止渗漏,需严格控制施工缝和接口的处理质量。在处理施工缝时,应确保缝面清洁、干燥,无油污、杂物等。同时,应采用合适的密封材料填充施工缝,确保密封材料的密实性和弹性,以抵抗因温度变化、沉降变形等因素产生的应力。在处理接口时,应确保接口部位平整、光滑,无尖锐边角。对于不同材料之间的接口,应采用合适的过渡层或界面剂进行处理,以增强接口部位的粘结力和防水性能。

3. 渗漏检测与治理方法。渗漏问题的及时发现和有效治理是防治渗漏的关键。在建筑物使用过程中,应定期对防水层进行检查和维护,及时发现并处理渗漏问题。渗漏检测方法包括目视检查、压力测试、红外热成像等。通过这些方法,可以准确地定位渗漏部位和渗漏原因。在治理渗漏时,应根据渗漏的严重程度和原因,选择合适的治理方法。对于轻微的渗漏问题,可以采用局部修补或封闭处理;对于严重的渗漏问题,则需要进行整体翻修或更换防水层^[4]。在治理渗漏时,应确保治理材料的质量可靠、治理工艺符合规范要求,以确保治理效果持久稳定。

3.3 空鼓、脱落等表面缺陷防治措施

1. 基层处理与界面剂使用。基层处理是空鼓、脱落等表面缺陷防治的基础。在施工前,应对基层进行彻底清理,去除油污、灰尘、松散物等杂质,确保基层干燥、平整、无空鼓。对于吸水率较高的基层,应提前进行湿润处理,以避免粘贴材料中的水分被基层

过快吸收,导致粘贴不牢。同时,为提高粘贴材料与基层之间的粘结力,应合理使用界面剂。界面剂能够渗透到基层的微孔隙中,形成机械锚固作用,同时改善基层表面的亲水性,有利于粘贴材料的渗透和黏结。在使用界面剂时,应严格按照产品说明书进行操作,确保界面剂均匀涂刷在基层表面,无遗漏。

2. 粘贴与锚固技术优化。粘贴与锚固技术是防治空鼓、脱落等表面缺陷的关键。在粘贴过程中,应根据粘贴材料的性能和基层的特点,选择合适的粘贴方法和工艺参数。例如:对于瓷砖、石材等重型饰面材料,应采用湿贴法或干挂法,确保粘贴牢固、无空鼓。在锚固过程中,应确保锚固件的规格、数量、位置等符合设计要求,同时加强对锚固件的安装质量控制,确保锚固件与基层之间的连接可靠。此外,还应加强对粘贴与锚固过程的监督和检查,及时发现并处理粘贴不牢、锚固不稳等问题^[5]。

3. 质量检查与验收标准。质量检查与验收是确保防治效果的重要手段。在施工过程中,应加强对粘贴与锚固质量的检查,包括空鼓检查、粘结强度检测、锚固力测试等。这些检查应采用专业的检测设备和仪器,确保检查结果的准确性和可靠性。在验收阶段,应严格按照相关标准和规范进行验收,确保粘贴与锚固质量符合设计要求。对于不符合要求的部位,应及时进行整改和处理,直至达到验收标准。同时,还应建立质量追溯机制,对粘贴与锚固质量进行全程跟踪和记录,以便在后续使用过程中及时发现问题并采取措施进行处理。

4 建筑工程施工质量通病防治措施的实施策略与保障体系

4.1 组织管理体系构建

组织管理体系是防治措施实施的基础。首先,应成立专门的防治工作领导小组,由项目负责人担任组长,相关部门负责人作为成员,负责统筹协调防治工作的推进。领导小组应定期召开会议,研究解决防治工作中遇到的问题,制定和调整防治策略。其次,应明确各部门、各岗位的防治职责,确保防治工作责任到人。通过建立完善的责任追究机制,对防治工作不力、造成质量问题的行为进行严肃问责。此外,还应加强与相关方的沟通协调,如设计单位、施工单位、监理单位等,形成防治工作的合力。

4.2 人员培训与技能提升

人员培训与技能提升是防治措施实施的关键。首先,应定期组织防治工作相关的培训活动,包括法律

法规、标准规范、防治技术等方面的内容。通过培训,提高参建人员的质量意识和防治技能,确保他们能够熟练掌握和运用防治措施。其次,应加强对新入职员工的岗前培训,使他们尽快适应防治工作的要求。同时,鼓励员工参加外部培训和学术交流活动,拓宽视野,提升专业素养。此外,还应建立员工技能考核机制,定期对员工的技能水平进行评估和考核,确保他们具备胜任防治工作的能力。

4.3 信息化技术的应用

信息化技术的应用是防治措施实施的重要手段。首先,应充分利用现代信息技术手段,如BIM(建筑信息模型)、大数据、物联网等技术,对防治工作进行智能化管理和监控。通过BIM技术,可以实现对工程项目的三维可视化管理,及时发现和解决潜在的质量问题。大数据技术的应用,可以对防治工作过程中的数据进行收集、分析和挖掘,为防治策略的制定提供科学依据。物联网技术则可以实现防治工作的远程监控和预警,提高防治工作的效率和准确性。其次,应建立防治工作信息化平台,实现防治信息的共享和交流。通过平台,各部门、各岗位可以实时了解防治工作的进展情况,加强协作和配合,形成防治工作的闭环管理。

5 结束语

建筑工程施工质量通病的防治是一项系统工程,需要综合考虑设计、施工、材料、管理等多个方面。通过构建完善的防治体系,加强人员培训与技能提升,充分利用信息化技术等手段,可以有效降低质量通病的发生率,提升建筑工程的整体质量水平。未来,随着建筑技术的不断进步和管理水平的持续提升,我们有理由相信,建筑工程施工质量通病的防治工作将取得更加显著的成效,为人民群众提供更加安全、舒适、美观的建筑产品。

参考文献:

- [1] 刘青虎.浅谈建筑质量通病与防治[J].居业,2023(12):44-46.
- [2] 张东旭.建筑工程装饰装修质量通病及预防措施[J].中国建筑装饰装修,2023(15):112-114.
- [3] 奚文武.房屋建筑工程质量通病控制技术[J].居舍,2023(14):70-73.
- [4] 曹利军.建筑工程质量通病及工程质量管理措施分析[J].工程建设与设计,2022(08):226-228.
- [5] 孙志宏.住宅建筑工程质量通病及控制措施[J].房地产世界,2021(16):141-143.

燃煤电厂锅炉“四管”泄漏的原因分析及预防措施

陈思维

(华能平凉发电有限责任公司, 甘肃 平凉 744000)

摘要 以锅炉水冷壁、过热器、再热器以及省煤器为代表的“四管”, 其泄漏问题约占锅炉事故的 60% 左右, 一旦发生泄漏便会引发事故。做好防止锅炉“四管”泄漏和爆破的工作, 对于降低异常停机次数、提高设备健康水平至关重要。本文结合实际案例, 对电厂锅炉“四管”泄漏的原因进行了分析, 并针对性地提出了强化防磨防爆日常管控、开展技术监督管理、安装智能报警装置等预防路径, 以期对预防“四管”泄漏有所裨益。

关键词 燃煤电厂; 锅炉; “四管”泄漏; 安全运行

中图分类号: TM62

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.12.033

0 引言

锅炉作为燃煤电厂日常运行的关键设备, 其安全性直接影响到电厂的运营效率。目前, 锅炉事故频发, 从故障分析的角度来看, “四管”泄漏占比较大。因此获得相关行业的高度重视, 通过深入分析原因, 加强对“四管”运行情况的了解, 为采取有关措施创造条件。由此可见, 围绕燃煤电厂锅炉“四管”泄漏原因与预防展开研究具有重要意义。

1 案例分析

目前, 锅炉问题是燃煤电厂常见的故障之一, 其中“四管”泄漏是锅炉故障中占比较高的部分, “四管”泄漏导致的事故率可达 60%, 一旦出现问题, 便会影响机组安全运行, 造成一定的经济损失。为详细掌握燃煤电厂日常运行情况, 本文将以某燃煤机组作为案例分析对象, 对“四管”泄漏原因展开具体研究。其中, 该厂锅炉参数指标如表 1 所示。

表 1 锅炉指标

过热蒸汽	指标	再热蒸汽	指标
额定蒸发量	2 940 t/h	蒸汽量	2 400 t/h
额定蒸汽压力	29.5 MPa	蒸汽压力	5.6 MPa
额定蒸汽温度	605 °C	给水温度	301 °C

2 燃煤电厂“四管”泄漏原因研究

2.1 磨损

锅炉在长期运行中会因外在因素而产生磨损, 一般情况下是由于灰粒在内部多次撞击造成。从根本原

因来看, 磨损程度与烟气流速、灰粒硬度息息相关, 直接影响着锅炉运行工况。一旦飞灰浓度较高, 颗粒物总量变多, 便会在管道内部产生堵塞, 并与管道产生摩擦, 影响机组运行。燃煤电厂在运行过程中会产生大量飞灰, 因此沉积情况通常更加严重, 若是部分区域产生飞灰集中等状况, 还会带来其他风险隐患。除此之外, 若灰粒中存在较大颗粒或带有棱角, 也会产生灰粒磨损, 影响管道寿命。

2.2 蒸汽吹损与腐蚀

受热面积灰结渣是锅炉运行中经常出现的问题, 会引发管道泄漏。通常, 电厂会先设置吹灰器, 以此保障区域清洁, 若吹灰器自身无法旋转, 甚至出现内部泄漏, 则会影响受热管的日常使用, 进而引发受热面泄漏^[1]。

在燃煤机组运行方面, 金属管道面临着腐蚀问题, 在腐蚀作用下, 管壁会日益变薄, 甚至可能在外力作用下导致爆管, 影响机组运行。通常而言, 腐蚀包括物理高温腐蚀和化学腐蚀两种类型。物理高温腐蚀主要是指在外在温度、压力的影响下产生管道泄漏; 而化学腐蚀则是指受到硫化氢等物质的作用产生材料腐蚀, 腐蚀后该区域管壁会日益变薄变脆, 极易出现泄漏。

2.3 超温运行

通常在使用管材时, 需要确保管材温度能够符合前期设定的温度要求, 进而保障其运行状态, 延长使用寿命。一旦温度超过临界值, 便会影响其性能, 出现材料组织变化。例如: 在过温环境下, 金属材料的机械性能会逐渐变弱, 产生破裂等情况, 甚至引发爆管。

此外,锅炉生产会产生大量蒸汽,蒸汽携带一定的温度,一旦出现过热问题,便会进一步加大钢材损耗。一般而言,受热面管道最易受到外在因素影响。在冷却方面,若是冷却装置质量较差,也会导致区域温度难以降温,从而出现管壁变薄、变形甚至爆破等情况。

3 锅炉“四管”泄漏预防路径

3.1 加强防磨防爆日常管控

技术人员在日常工作时应加大对管道磨损原因的关注,通过成立检查小组定期开展“四管”检查。具体工作时要每次检修时集体展开“四管”质量分析,确认检查范围,并及时做好台账记录。此外,应及时更换材料,喷涂防腐防磨材料或者设置防磨瓦等,以此强化“四管”质量。在防磨防爆方面还要关注以下内容:第一,针对“四管”日常机械磨损严重的区域展开分析,研究飞灰量以及浓度。第二,再热器、夹水管等设施在运行中会出现相互摩擦,要对其展开分析,并对烟气流速较高的区域进行检查。第三,看火孔、人孔门以及其他管道弯曲处也要展开分析,并对穿墙管等区域的磨损部位进行全面研究。总之,要全面加大对“四管”泄漏的分析力度,通过定期更换以及检查,保障“四管”安全。

3.2 优化现场设备吹灰管理

在使用吹灰器时,应开展日常维护,确保其性能良好。在运行过程中,要派专人对吹灰状况展开分析,一旦发现问题,应及时处理,并通过台账记录等手段进行跟踪。在此方面,技术人员还要基于结焦状况制定吹灰参数以及周期,若是在运行中发现结构卡顿,则应及时采取蒸汽降压等措施,防止由于吹灰设备问题影响受热面产生“四管”泄漏。在系统运行之前,

还要基于现场的温度、湿度情况展开暖管处理,并在内部疏水结束后打开吹灰程序,保障吹灰效果^[2]。

3.3 科学开展技术监督管理

在后续工作中,应加大“四管”技术管控力度,强化措施落实水平,从根本上减少泄漏等问题的出现,保障锅炉安全。尤其是在点火时期,要加大对水质的关注,科学展开水质检测,一旦结果不达标,便要延长点火时间。在检修期间应做好台账记录等工作,一旦发现管内出现严重的结垢问题,则要及时加以应对,做好清洁,同时还应对运行状况展开监测,及时引入先进技术,提高监测精准度。例如:可以借助传感器和大数据技术,增强数据监测与分析能力,为强化技术监管提供技术保障。在运行时要将重点放在运行负荷检测方面,对于锅炉而言,局部负荷不得超过临界值,否则便会引发温度的变化,影响运行状态。图1为化学水处理系统,该系统可以有效展开水质提纯等操作,并配合信息化系统展开锅炉监测,帮助锅炉实现排污等处理,目前被广泛运用在一线工程中。本案例项目在日常监管时也运用了化学水处理系统。经分析,在水处理系统投运情况下,锅炉水质合格率有效提升,能够满足锅炉连续安全运行^[3]。

3.4 提高检修工作技术水平

为从根本上提升“四管”管护效果,应对核心工序设置H待测点,用于展开检修监管。在监管中需关注以下方面:(1)要确保专业人员的个人能力与水平,定期或不定期开展技术培训,提升其个人专业度。(2)在检修中同时编制相关专项方案并严格落实。在焊接等处理中,应由技术人员进行复核审批,确保其合格。(3)焊接材料要满足强度等指标需求,并按照规定进

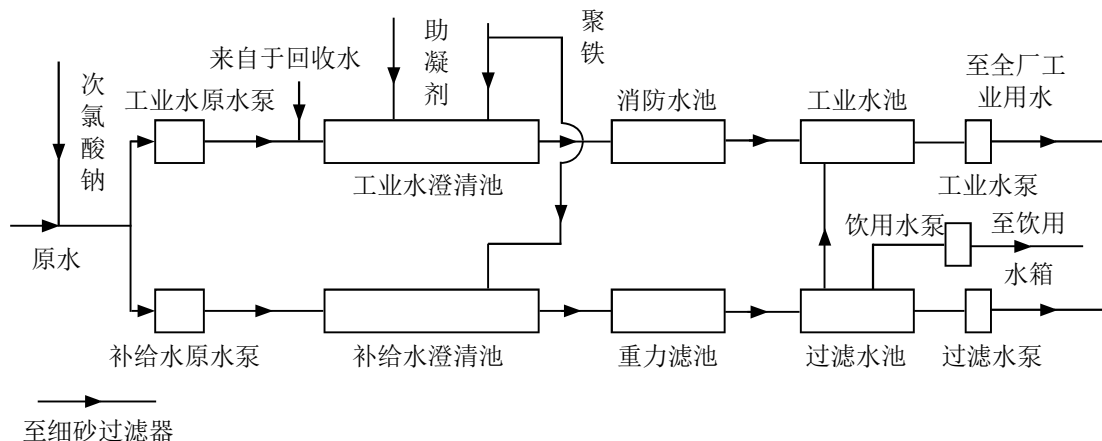


图1 化学水处理系统

行处理,例如将其放置在保温桶内,随时用随时拿,避免与空气长期接触,且同一材料在技术处理方面不可超过 2 次,防止出现性能变化。(4)要及时更换受热面管,且更换中首先应该对其边缘进行打磨,具体宽度在 20 mm 左右,然后展开光谱分析,研究是否存在危险元素,且是否满足焊接条件。(5)对于换管之后所产生的焊缝,应展开 100% 检验,分析其无损方面是否达标。若是焊管的管径 ϕ 在 76 mm 以内,则要展开 100% 射线分析,并通过超声波技术对焊缝进行质量检查。合金管材在热处理后也要展开 100% 硬度分析,具体应满足 DL/T438-2016 相关标准。在检修时要严格根据相关规程与条款检查承压部件,科学分析水质。对于再热器、过热器,还要展开水压测试,具体需要运用 Cl^- 浓度研究,一般情况下,此指标应在 1.0 mg/L 以内,且其酸碱度应该在 9.5 ~ 10.5 之间。

3.5 密切关注锅炉温度变化

在锅炉运行过程中,技术人员要强化前期准备工作,通过多种设备监测锅炉温度,防止温度变化影响锅炉运行,确保锅炉参数满足生产需求且受热面温度可以保持在规定范围内。若在监测中发现某工况下机组温度异常,应及时进行调整,避免长期超温影响设备运行状态^[4]。在此基础上,技术人员还要运用多种传感器监测蒸汽温度情况,先要确认分离器水位,使其在标准红线内,防止产生超温问题,减少管道泄漏情况发生概率,随后根据监测结果调整燃烧。此方面主要针对煤质较差的生产区,需注意若是减温环节的减温水量无法达到预期,可通过调整燃烧进行处理,若是调整后依旧难以达到标准,则采取后续优化路径,例如调整运行负荷、降低温度,以此来保障锅炉运行,规避超温问题。

3.6 安装智能报警工作装置

前期预警可以帮助技术人员及时采取措施加以应对,防止出现大范围问题,造成更为严重的安全隐患。为避免发生“四管”泄漏情况,还需引入先进的技术设备,通过技术安装展开科学预警^[5]。例如:当前市面上存在大量的智能报警装置,通过传感器可及时监测锅炉状态,包括内部是否存在严重噪声、是否影响锅炉运行等。同时,还可与云计算等技术配合,通过数据分析与转码,了解锅炉的运行工况,分析泄漏的具体区域,帮助技术人员在短时间内定位泄漏点,防止发生更为严重的事故,以此保障锅炉安全运行。后续技术人员要持续关注技术研发以及技术应用情况,

及时更新技术手段,以此发挥技术优势,提高前期预警效果。

3.7 开展管道防腐蚀技术处理

腐蚀是影响管道运行的关键,展开腐蚀处理是从根本上减少泄漏问题的重要手段。一般而言,低温和高温环境下都容易出现腐蚀问题,因此需要采取技术措施加以干预,降低腐蚀所带来的风险,保障锅炉运行。对于高温腐蚀,可以通过对过热器进行处理,科学控制壁温,使其长期保持在 580 °C 左右,必要时,还可采用缺氧燃料延缓腐蚀发生,并通过外部手段进行控制^[6]。目前,部分电厂会在水冷壁区域喷涂防腐材料,以此创造更为优越的防腐条件。在具体操作中,技术人员应根据实际情况,科学确定煤粉参数,并选择合适的技术手段。对于低温腐蚀,应在控制温度的同时优化热空气流,保障预热器温度。在选择预热器时,应优先选用具有防腐层的材料,减少对锅炉的损耗。在此方面,技术人员还要定期检查酸性露点区域的温度,合理控制,以减少资源浪费,降低泄漏隐患。

4 结束语

在燃煤电厂运行过程中,为保障锅炉安全,提高其运行效率,应加大对“四管”泄漏问题的关注,不仅要明确其原因,包括磨损、化学腐蚀、超温情况,还要针对以上原因及时采取控制措施,以此为电厂长足发展、保障综合效益提供条件。

参考文献:

- [1] 包新龙. 燃煤电厂锅炉受热面管泄漏原因分析及预防措施[J]. 内蒙古煤炭经济, 2023(21):126-128.
- [2] 于继军, 刘俊杰. 发电厂锅炉受热面泄漏的原因分析及预防措施[J]. 中国新技术新产品, 2023(21):132.
- [3] 海琨, 李景文, 刘光宇, 等. 某热电厂循环流化床锅炉省煤器泄漏原因分析及预防措施探讨[J]. 科技资讯, 2022, 08(11):122-122.
- [4] 张文在, 郝文会. 海勃湾发电厂锅炉受热面泄漏的原因分析及预防措施[J]. 内蒙古电力技术, 2022, 24(S4):78-79, 81.
- [5] 孙玉祥. 燃煤电厂锅炉“四管”泄漏原因及预防措施[J]. 化学工程与装备, 2023(11):255-257.
- [6] 李响. 火电厂锅炉“四管”防磨防爆及防泄漏措施[J]. 现代制造技术与装备, 2023, 59(08):72-74.

遗留桩翻挖整治方案研究

——以上海市静安区中兴社区 322-09 地块项目为例

鲍 铭

(上海静投城市建设发展有限公司, 上海 200000)

摘 要 随着城市建设的高速发展, 城市土地资源愈发稀缺, 对既有区域的再开发与更新成为城市发展的重要方向。本文以上海市静安区中兴社区 C070202 单元 322-09 地块为研究对象, 探讨了地下遗留混凝土预制方桩和钻孔灌注桩的翻挖整治方案。研究表明, 方案通过精确定位地下遗留混凝土预制方桩和钻孔灌注桩的坐标, 并在围护及工程桩平面布置图中进行详细标注, 调整原有桩位设计, 成功避开了地下遗留混凝土预制方桩和钻孔灌注桩。

关键词 地下遗留; 混凝土预制方桩; 钻孔灌注桩; 翻挖整治

中图分类号: TU71

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.12.034

0 引言

静安区作为上海的重要城区, 其土地利用效率和城市功能提升, 备受社会各界的重点关注。中兴社区 C070202 单元 322-09 地块, 地处上海市静安区核心发展区域, 地理位置优越, 具有极高的地块开发价值。C070202 单元 322-09 地块规划建设集商业、办公、居住为一体的综合性项目, 旨在进一步提升区域的城市功能, 满足广大人民群众日益增长的生活需求, 同时, 有效推动区域经济的发展^[1]。前期地质勘察时发现, C070202 单元 322-09 地块地下存在大量遗留的混凝土预制方桩和钻孔灌注桩, 给后续的项目开发带来诸多挑战。制定一套科学合理、安全高效的地下遗留桩体翻挖整治方案, 具有极其重要的现实意义。

1 项目概况

项目为上海市静安区重大项目, 位于上海市静安区高密度的宝山路街道, 东至东宝兴路, 南至规划 322-08 地块、宝通公寓、长征大厦, 西至宝通路, 北至天通庵路。该地块地理位置得天独厚, 周边交通网络发达, 周边道路与南北轴线均为非平行垂直关系, 靠近地铁 3 号线东宝兴路站以及多条公交线路。中兴社区 C070202 单元 322-09 地块占地面积 34 973.5 m², 建筑面积 158 891 m², 建筑高度 ≤ 80 m, 规划为商办住一体综合体, 周边以居住小区为主, 教育、医疗、商业配套成熟度较高。地质勘察结果显示, 该项目地下存在大量混凝土预制方桩与钻孔灌注桩, 对桩基施工造成挑战, 需要制定专项的翻挖整治方案。

2 地下遗留混凝土预制方桩和钻孔灌注桩的翻挖整治方案

2.1 地下遗留混凝土预制方桩

2.1.1 方桩翻挖前期准备工作

1. 详勘与资料收集。正式开展混凝土预制方桩翻挖前, 邀请第三方监测单位进场对地块进行详勘。采用高密度电法、地质雷达等先进的地质探测技术, 探明桩体具体位置、深度及周边土质, 同步调取地块历史建设档案, 结合区域地质普查数据, 建立三维地质模型, 从而更准确地确定桩体边界、位置, 获取桩体深度信息及周边土体结构特征^[2], 精准定位遗留方桩分布规律, 为后续翻挖整治方案的制定, 提供更加全面的依据。针对探测数据模糊区域, 采用钻探取芯法进行验证, 确保桩体埋深、截面尺寸及混凝土强度等参数的准确性。

2. 施工设备与材料选型。根据混凝土预制方桩尺寸、重量、埋深及场地条件, 选择合适的施工设备^[3]。对于桩体拆除, 选用大型拔桩机, 配备震动锤, 根据混凝土桩体强度、结构特点, 调整震动锤工作参数, 确保高效、安全地拔除桩体。针对部分埋深 > 15 m、截面尺寸 ≥ 400 × 400 mm 的方桩, 引入全液压式拔桩机, 并配备智能监控系统实时调节拔桩力, 避免因应力集中导致桩体断裂。

在桩孔填充材料的选择上, 综合考虑场地地质条件、工程要求及经济性等因素。对地下水位较高的区域, 优先选用有良好的透水性和压实性级配良好的复合砂石料, 有效地填充桩孔, 提高地基稳定性。在地基承

载力要求较高的敏感区域,采用水泥稳定土作为填充材料,经过搅拌、压实等工艺,促使填充材料、周边土体形成同一个整体,增强地基的承载能力。

3. 施工场地清理与障碍物排除。全面清理施工场地内的废弃建筑材料、垃圾、杂草等杂物,为施工设备进场和作业,提供良好的场地条件。在场地入口设置自动洗车台、扬尘监测设备,并配备雾炮机对作业区域进行降尘处理。使用施工现场拔桩机,对 300×300 mm 截面以下的采用拔桩机加自制的套具进行拔除、清运出场,同步对拆除废弃物进行分类回收,提高资源利用率。吊运桩体过程中,选择起吊能力足够的起重机,并根据桩体长度和重量,合理选择起重机型号和臂长,确保能够稳定吊运桩体。

2.1.2 方桩翻挖施工工艺与流程

1. 定位与标记。利用全站仪精确测量,并根据前期收集的桩位资料,在施工现场确定每根混凝土预制方桩具体位置。在测量混凝土预制方桩具体位置过程中,设置多个控制点,形成控制网,对桩位测量进行复核和校正,确保测量结果的可靠性^[4]。确定桩位后,在桩位中心打入钢钎,确保其能够牢固地插入地下。然后,用白灰在钢钎周围标记出正方形,清晰地标记出桩位范围,更加直观地显示混凝土预制方桩具体的桩位位置,方便施工人员在后续施工过程中准确找到混凝土预制方桩具体的桩位,避免因混凝土预制方桩的桩位不清导致的施工误差。对每个混凝土预制方桩桩位进行编号后,将编号信息记录在详细的桩位分布图上,同时,在施工现场设置出明显的混凝土预制方桩具体位置标识牌,标注出混凝土预制方桩桩位编号及相关信息,便于施工管理和质量控制。

2. 开挖方式与技术要点。采用分层、分段开挖的方式,使用挖掘机进行土方开挖。开挖过程中,精确控制每层开挖深度,防止土体坍塌^[5]。根据现场土质情况,需要在开挖过程中合理确定开挖坡度。一般情况下,针对地块中分布的粉质粘土和粉土等土质,开挖坡度控制在 $1:0.75\sim 1:1$ 之间;对于地块中分布的砂土等土质,开挖坡度需要适当加大,控制在 $1:1\sim 1:1.25$ 之间。在靠近桩体的部位,采用人工配合开挖,避免挖掘机对桩体造成损坏。在人工开挖过程中,使用铁锹、镐头小型工具,小心地清理桩体周围的土体,确保桩体的完整性。在开挖过程中,需要采取科学的保护措施,对周边土体进行有效保护。例如,在开挖边界设置钢板桩或灌注桩等支护结构,以防止土体坍塌;在每根混凝土预制方桩桩体周围设置排水沟和集

水井等排水设施,及时排除地下水、雨水,避免土体因长时间的地下水、雨水浸泡而变软。排水沟的坡度为 $0.3\%\sim 0.5\%$,以此确保排水畅通。在开挖过程中,采用水准仪、全站仪等监测设备,实时监测周边土体的沉降、位移等参数,一旦发现土体变形情况严重超出预警数值,立即停止开挖,采取增加支护强度、进行土体注浆加固等相应的加固措施确保施工安全。

3. 混凝土预制方桩桩体拆除与运输。为降低成本,对于遗留的 400×400 mm 截面预制方桩及灌注桩无法采用上述设备进行拔除。当混凝土预制方桩桩体周围土体开挖至一定深度时,桩体露出足够长度后,采用拔桩机将预制方桩拔除,并对混凝土预制方桩桩体进行拆除^[6]。

根据桩段的重量和尺寸,选择合适的起重机型号,对于重量较轻的桩段,选用 25 t 起重机,对于重量较大的桩段,选用 50 t 或更大吨位的起重机。

选用运输能力匹配的车辆,将拆除后的桩体及时运出场地,保证施工现场整洁、施工进度。吊运过程中,为确保起重机的稳定性,需要设置专人指挥,严格按照吊运操作规程,完成混凝土预制方桩桩体的吊运操作。

在吊具的选择上,使用钢丝绳等吊具,对混凝土预制方桩桩段进行牢固地绑扎。

为保证桩段在吊运过程中的平衡,在桩段长度的三等分点附近,根据混凝土预制方桩桩段的长度和重心,合理确定吊运吊点位置。将混凝土预制方桩桩段吊运至运输车辆后,进行混凝土预制方桩合理摆放和固定,防止在运输过程中发生晃动、滑落。

经过设计院进行沟通,将未能拔除的遗留桩进行翻挖,做好每根桩的定位标注,形成记录,反馈设计院,要求根据现场遗留桩位置进行工程桩桩位调整,予以规避。

2.2 地下遗留钻孔灌注桩

2.2.1 灌注桩翻挖前的施工准备

1. 检测桩身完整性。依据《建筑基桩检测技术规范》(JGJ 106-2014),采用低应变反射波检测法,对钻孔灌注桩进行全面的桩身完整性初检。检测过程中,使用手锤对灌注桩桩顶施加瞬间冲击力,应力波沿桩身传播。灌注桩桩身一旦存在缩径、离析、断桩等缺陷时,应力波将会在缺陷处产生反射,并通过安装在灌注桩桩顶的加速度传感器进行反射信号的接收,分析处理反射信号后,得到时域响应波形,为判断灌注桩桩身结构的完整性提供准确依据。检测结果异常的灌注桩,需要接受钻芯法的进一步验证^[7]。在验证

过程中,需要使用全自动取芯设备,从灌注桩桩顶沿桩身钻取芯样,通过观察芯样外观、测量芯样尺寸,以及试验芯样的抗压强度等,可以准确地判断灌注桩桩身的混凝土质量、混凝土强度及灌注桩桩体缺陷的具体情况,为后续整治制定,提供可靠的方案形成依据。

2. 制定专项施工方案。根据灌注桩桩身完整性检测结果,结合C070202单元322-09地块的地质条件、周边环境及工程要求,制定出详尽的钻孔灌注桩翻挖专项施工方案,在方案中明确施工进度计划、详尽的安全保障措施,合理安排不同施工阶段的时间节点,并针对施工现场可能存在的高处坠落、物体打击、机械伤害等安全风险,进行全面识别和评估,制定出安全防护设施、加强施工人员的安全教育培训、定期进行安全检查等对应的风险防范措施,确保翻挖整治工作按时完成。另外,通过降尘、降噪等措施,有效减少施工过程对地块周边环境造成的影响。

3. 施工人员培训与技术交底。(1) 施工人员培训。邀请专家参加施工人员技术培训,由专家对钻孔灌注桩翻挖整治的施工工艺、技术要求、质量控制要点等进行详细、全面地讲解。通过实际案例分析、现场演示,施工人员深入地了解桩身加固施工等不同施工环节的施工技术和注意事项。另外,针对施工人员进行施工现场的安全规章制度、安全操作规程、安全防护用品的正确使用方法等方面的安全培训。为增强施工人员的施工安全意识,主要通过播放安全事故警示教育片的形式,促使施工人员深刻地意识到施工安全事故造成的严重后果。在施工人员培训过程中,可以通过互动环节,确保施工人员对施工工艺、技术要求、质量控制要点及施工安全知识等方面的理解和掌握。(2) 技术交底。施工前,由技术负责人对施工人员进行各项技术要求、施工工艺、质量标准等方面的技术交底,确保施工人员清楚了解施工方案中的施工任务和要求。在技术交底过程中,主要采用绘制施工流程图、展示施工现场照片等图文并茂的方式,促使技术交底在内容上更加直观、易懂。技术交底结束后,要求相关施工人员在技术交底记录上签字确认,以此明确相应责任,确保技术交底工作的落实。

2.2.2 灌注桩翻挖施工技术与操作步骤

1. 破除桩头。破除桩头过程中,将风镐钎头对准桩头混凝土表面,开启风镐后,以高频冲击方式逐步破碎混凝土。操作过程中,随时观察桩头混凝土破碎情况,及时清理破碎后的混凝土块。根据桩头的设计标高,采用切割机破除桩头时,使用墨线或其他标记工具,在灌注桩桩身准确标记出切割位置,启动切割

机使其达到稳定转速后,将切割片缓慢靠近桩身标记位置,开始切割。切割过程中避免切伤桩身钢筋^[8]。完成后使用风镐或其他工具修整切割边缘混凝土。

2. 桩身切割与分段处理。根据桩径、长度以及现场施工条件,选择手持电动切割机、大型的液压切割设备或金刚石绳锯切割机等合适的切割设备。桩身分段处理时,需要精确地确定桩身的切割位置,并根据桩体结构特点、灌注桩桩体的吊运要求,合理确定每段桩身长度。切割过程中,严格按照预定切割位置操作,确保切割面平整、垂直。采用全站仪、水准仪等专业的测量工具,对切割位置进行精确测量和定位。同时,控制切割速度和切割深度,避免桩身出现裂缝。

3 结束语

面对无从查证的历史资料、无法准确探测桩体实际长度的挑战,静安区中兴社区C070202单元322-09地块地下遗留混凝土预制方桩和钻孔灌注桩的翻挖整治方案,严格依据相关政策法规与技术标准,秉持安全性、经济性、环保性和高效性原则实施,合计翻挖并确认340根遗留方桩、60根遗留钻孔灌注桩坐标,并且将坐标点位形成记录移交设计院,将工程桩位置予以调整,成功避开全部遗留桩体,显著降低项目额外成本,有效确保桩基、围护工程顺利进行,无需实施昂贵的清桩操作或进行后期的土体加固处理,节省约800万元的额外成本、后期土体加固费用,进一步强化桩体拆除和处理施工过程中的成本控制与项目管理效率。

参考文献:

- [1] 邱振贵, 冼景成. 预应力混凝土空心方桩堆放层数判定条件的探讨[J]. 广东建材, 2023, 39(01): 34-36.
- [2] 祝建华, 刘斌, 李炜, 等. 预制混凝土方桩在丘陵地区局部公路软土地基处理中的应用[J]. 交通世界, 2023(28): 109-111.
- [3] 王传坤, 毛江鸿, 辛大伟, 等. 低预应力混凝土实心方桩作抗拔桩的设计与应用[J]. 结构工程师, 2023, 39(06): 164-170.
- [4] 黄礼维. 预制混凝土方桩在河道治理工程中的应用与展望[J]. 四川水利, 2024(05): 11-14.
- [5] 宁左方. 建筑工程中的预制钢筋混凝土实心方桩施工工艺[J]. 工程技术与应用, 2024(10): 106-108.
- [6] 赵骏. 钻孔灌注桩完整性检测分析[J]. 新材料·新装饰, 2025(01): 155-158.
- [7] 于俊山, 牟时珪, 冯辉. 渭河滩地桥梁桩基钻孔灌注桩泥浆处理方案及效果评价[J]. 石材, 2025(01): 131-133.
- [8] 冀承蕾, 范晓鹏. 螺旋钻孔灌注桩支护措施研究[J]. 居业, 2024(06): 7-9.

深层岩性油藏开发技术研究

唐红军

(胜利油田康贝石油工程装备有限公司, 山东 东营 257000)

摘要 岩性油藏不同于常规构造油气藏, 是由于储集层岩性变化所形成的圈闭, 随着中浅层岩性油藏勘探开发程度提高, 深层岩性油藏的勘探和开发难度不断加大, 其开发面临着地质条件复杂、储层埋深大、岩性致密、非均质性强、开采难度大、经济成本高等诸多挑战。本文探讨了深层岩性油藏开发的技术对策, 通过分析该类油藏的地质特征和开发难点, 并以国内两个成功开发的深层岩性油藏为案例, 从储层评价、钻井技术、储层改造以及开采技术等方面提出了针对性的技术对策, 以期为提高深层岩性油藏的开发效果和采收率提供参考。

关键词 深层岩性油藏; 开发技术; 储层改造; 采收率

中图分类号: TE34

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.12.035

0 引言

随着全球对能源需求的不断增长, 浅层油气资源日益减少, 深层岩性油藏作为重要的油气资源接替领域, 逐渐成为研究和开发的重点。深层岩性油藏通常埋深超过 3 500 米, 具有岩性复杂、储层致密、非均质性强等特点, 其开发难度远大于浅层油气藏。然而, 深层岩性油藏中蕴含着丰富的油气资源, 对其进行高效开发对于保障国家能源安全、满足经济发展需求具有重要意义。因此, 深入研究深层岩性油藏开发技术对策, 具有重要的理论和实际应用价值。

1 深层岩性油藏地质特征与开发难点

1.1 地质特征

1. 岩性复杂多样。深层岩性油藏的岩石类型丰富, 包括砂岩、砾岩、碳酸盐岩、页岩等。不同岩性的岩石在矿物组成、结构构造、储集性能等方面存在显著差异。例如: 砂岩油藏储层孔隙以原生孔隙为主, 孔隙结构相对简单; 而碳酸盐岩油藏储层孔隙则以次生孔隙为主, 孔隙结构复杂, 溶洞、裂缝发育; 页岩油藏以泥页岩孔隙和裂缝为主。这种岩性的复杂性增加了储层评价和开发的难度。

2. 储层致密。受上覆地层压力和成岩作用影响, 深层岩性油藏储层普遍致密, 孔隙度和渗透率较低。例如, 部分深层砂岩油藏孔隙度小于 10%, 渗透率小于 1 mD; 深层页岩油藏孔隙度多在 5% ~ 10% 之间, 渗透率更是低至纳达西级别。低孔隙度和渗透率导致油气在储层中的流动阻力大, 开采难度增加^[1]。

3. 非均质性强。深层岩性油藏在纵向上和横向上都表现出强烈的非均质性。纵向上, 不同层位的储层

物性、含油性存在较大差异; 横向上, 同一层位的储层在不同区域的性质也各不相同。这种非均质性使得油藏的开发效果极不均衡, 容易出现部分区域开采过度、部分区域开采不足的情况。

1.2 开发难点

1. 储层评价困难。由于深层岩性油藏岩性复杂、非均质性强, 传统的储层评价方法难以准确刻画储层特征。例如: 在测井解释中, 复杂岩性会导致测井响应特征不明显, 难以准确识别储层类型和流体性质; 在地震勘探中, 深层地质条件复杂, 地震波传播过程中能量衰减严重, 成像质量差, 影响储层预测精度。

2. 钻井难度大。深层岩性油藏埋深大, 地层温度和压力高, 对钻井设备和钻井工艺提出了严峻挑战。高温高压环境会使钻井液性能发生变化, 导致钻井液漏失、卡钻等事故频发; 同时, 深层岩石硬度大, 机械钻速低, 钻井周期长, 成本高。此外, 深层地质构造复杂, 存在断层、裂缝等, 增加了钻井过程中的风险。

3. 储层改造效果不佳。深层致密储层需要进行储层改造才能实现有效开发, 但目前的储层改造技术在深层岩性油藏中效果往往不理想。例如: 水力压裂是常用的储层改造方法, 但在深层岩性油藏中, 由于岩石致密、地应力复杂, 压裂后裂缝的形态和延伸方向难以控制, 容易出现裂缝宽度小、长度短、导流能力低等问题, 影响油气开采效果。

4. 开采成本高。深层岩性油藏开发需要采用特殊的技术和设备, 如耐高温高压的钻井设备、先进的储层改造技术等, 这些都增加了开发成本。此外, 由于储层产能低, 需要钻更多的井才能达到预期的产量目标, 进一步提高了开采成本。高成本使得深层岩性油

藏的开发面临巨大的经济压力,制约了其大规模开发利用。

5. 采收率低。岩性油藏由于储层发育非均质性强,平面储层分布不连续,地层异常高压,早期开发阶段采用弹性开发,虽然单井初期产能高,但自然递减大,平均年递减高达50%~70%,导致累产低,弹性采收率一般只有5%~8%,个别开发效果好的油田区块可达15%左右,远低于常规油藏^[2]。

2 深层岩性油藏开发技术对策

2.1 储层评价技术

1. 多学科融合的储层评价方法。综合运用地质学、地球物理学、地球化学等多学科知识,对深层岩性油藏进行全面、系统的评价。例如:将地质分析与测井解释相结合,利用地质分析确定储层的岩性、沉积相和构造特征,通过测井解释获取储层的物性、含油性等参数,提高储层评价的准确性;将地震勘探与地质建模相结合,利用地震资料进行储层预测,建立三维地质模型,直观展示储层的空间分布和变化规律。

2. 高精度测井技术。研发和应用高精度测井技术,如核磁共振测井、元素俘获测井等,提高对深层岩性油藏储层特征的识别能力。核磁共振测井可以直接测量储层孔隙中的流体性质和孔隙结构参数,对于识别复杂岩性储层中的油气水层具有重要作用;元素俘获测井能够分析储层岩石的元素组成,为确定岩性和储层评价提供更多信息。

3. 地震储层预测技术。不断改进地震储层预测技术,提高深层岩性油藏储层预测的精度和可靠性。例如,采用叠前深度偏移成像技术,提高深层地震资料的成像质量,准确刻画储层的构造形态和空间位置;利用地震属性分析技术,提取与储层物性、含油性相关的地震属性,建立地震属性与储层参数之间的关系模型,实现对储层参数的定量预测。

2.2 钻井技术

1. 耐高温高压钻井装备与技术。研发和应用耐高温高压的钻井装备和技术,如高温高压钻井液体系、高强度钻头、耐高温井下工具等,确保钻井过程的安全和高效。高温高压钻井液体系应具备良好的流变性、稳定性和抗污染能力,能够在高温高压环境下保持性能稳定;高强度钻头应具有高耐磨性和抗冲击性,能够有效提高机械钻速;耐高温井下工具应具备可靠的密封性能和工作性能,满足深层钻井的需要。

2. 高效钻井工艺。采用高效钻井工艺,如欠平衡钻井、控压钻井等,降低钻井过程中的风险,提高钻井效率。欠平衡钻井是指在钻井过程中使井底压力低

于地层压力,让地层流体自然流入井筒,从而减少对储层的伤害,提高机械钻速;控压钻井是通过精确控制井底压力,实现安全、高效钻井,有效解决深层钻井中的井漏、井涌等问题。

3. 随钻测量与导向技术。发展随钻测量与导向技术,实时获取井下地质信息和钻井参数,实现对井眼轨迹的精确控制。随钻测量技术可以测量井底的温度、压力、方位、倾角等参数,并将这些信息实时传输到地面,为钻井决策提供依据;随钻导向技术可以根据井下地质情况和钻井目标,自动调整井眼轨迹,使钻头准确钻达目标储层,提高钻井成功率。

2.3 储层改造技术

1. 体积压裂技术。针对深层致密岩性油藏,大力推广体积压裂技术,形成复杂的裂缝网络,提高储层的导流能力。体积压裂技术通过优化压裂液配方、施工参数和压裂工艺,在储层中形成多条相互交织的裂缝,增加油气与井筒的接触面积,改善油气流动条件。例如,采用大规模多段多簇压裂技术,在水平井段上进行分段、分簇压裂,形成复杂的裂缝网络,有效提高了深层页岩油藏的产量。

2. 酸压技术。对于深层碳酸盐岩岩性油藏,酸压技术是一种有效的储层改造方法。酸压技术是将酸液注入地层,通过酸液与岩石的化学反应,溶蚀岩石中的裂缝和孔隙,扩大油气流动通道,提高储层渗透率。在酸压施工中,应根据储层特征和酸液性质,合理设计酸压工艺参数,如酸液浓度、注入量、注入速度等,以达到最佳的改造效果^[3]。

3. 新型压裂材料与工艺。研发新型压裂材料和工艺,提高储层改造效果。例如:开发高性能的支撑剂,如高强度、低密度的陶粒支撑剂,能够在裂缝中形成稳定的支撑结构,提高裂缝的导流能力;研究新型压裂液体系,如清洁压裂液、可降解压裂液等,减少对储层的伤害,提高压裂效果。此外,还可以探索采用水力喷射压裂、重复压裂等新工艺,进一步提高深层岩性油藏的储层改造效果。

2.4 开采技术

1. 水平井开采技术。水平井开采技术在深层岩性油藏开发中具有重要优势,能够增加油气井与储层的接触面积,提高单井产量。通过优化水平井的井位部署和井眼轨迹设计,使水平井尽可能多地穿越储层中的“甜点”区域,提高油气采收率。例如,在深层砂岩油藏中,采用水平井开采技术,单井产量可比直井提高数倍。

2. 注水开发技术。对于深层岩性油藏,注水开发

是一种常用的开采方式。通过合理注水,补充地层能量,保持油藏压力,提高油气驱替效率。在注水开发过程中,应根据油藏地质特征和开发动态,优化注水井的布局 and 注水量,避免出现注水无效循环、水淹等问题。同时,还可以采用分层注水、调剖堵水等技术,改善注水开发效果^[4]。

3. 三次采油技术。在深层岩性油藏开发后期,适时采用三次采油技术,进一步提高采收率。例如:对于深层砂岩油藏,可以采用聚合物驱、表面活性剂驱等化学驱技术,降低油水界面张力,提高驱油效率;对于深层碳酸盐岩油藏,可以考虑采用注气驱技术,如二氧化碳驱、氮气驱等,利用气体的膨胀性和溶解性,提高油气采收率;对于页岩油藏,可采用纳米驱油+单井注氮气吞吐增能技术,提高单井采收率。

3 实例分析

实例 1: 以中海油某深层岩性油藏为例,该油藏埋深 4 000 ~ 4 500 m,岩性主要为砂岩和砾岩,储层致密,孔隙度平均为 8%,渗透率平均为 0.5 mD。在开发初期,由于储层评价不准确,钻井过程中多次出现井漏、卡钻等事故,储层改造效果不佳,单井产量低,开发效益差。

针对这些问题,采用了多学科融合的储层评价方法,综合地质、测井、地震等资料,对储层进行了精细评价,准确识别了储层的岩性、物性和含油性。在钻井过程中,应用了耐高温高压钻井装备和高效钻井工艺,采用了随钻测量与导向技术,成功完成了多口井的钻井任务,钻井周期缩短了 30%。

在储层改造方面,采用了体积压裂技术,优化了压裂液配方和施工参数,形成了复杂的裂缝网络,有效提高了储层的导流能力。改造后,单井产量提高了 3 倍以上。在开采过程中,采用了水平井开采技术和注水开发技术,合理部署井网,优化注水量,油藏开发效果得到显著改善,采收率提高了 15%^[5]。

实例 2: 胜利油田东部页岩油区,通过理论创新,对上万米岩心的研究和 15 万次室内实验,提出了“储、缝、压”三元储渗理论,创建了“咸化早生、无机控储、源储一体、超压封存”的陆相断陷盆地页岩油富集理论,初步明确胜利济阳页岩油富集、高产规律,打破了成熟度小于 0.9 的页岩油勘探开发禁区,将原来 90% 的资源从“不可动”变为“可动”。

应用立体开发、旋转导向和体积压裂新技术,工厂化水平井优快建井、电驱压裂施工和自动化远程控制等低成本高效开发模式,实现了从 3 层楼到 5 层楼再到 7 层楼的突破,水平段大于 2 000 m 的水平井高

效钻进,钻井周期从 133 天缩短到 29.5 天,试验井最大水平段 3 055 m,压裂段数达 54 段。

截止到 2024 年,已投产 94 口页岩油水平井,单井峰值日产油 262.8 吨,刷新国内页岩油单井日产最高纪录,已建成樊页平 1、牛页一区、民丰中区等三个 10 万吨级试验井组,日产油由 2021 年的 100 吨上升到 1 600 吨,年产油突破 50 万吨,建成胜利济阳页岩油国家级示范区,控制预测储量 20.21 亿吨。

通过以上两个深层岩性油藏的勘探开发实例可以看出,针对深层岩性油藏的地质特征和开发难点,采用有效的开发技术对策,能够显著提高油藏的开发效果和采收率,实现经济效益和社会效益的最大化。

4 结束语

深层岩性油藏作为重要的油气资源接替领域,其开发对于保障国家能源安全具有重要意义。然而,深层岩性油藏的地质特征复杂,开发难度大,需要综合运用多种技术手段,从储层评价、钻井技术、储层改造以及开采技术等方面入手,提出针对性的技术对策。通过多学科融合的储层评价方法、高精度测井技术和地震储层预测技术,能够准确刻画储层特征,为开发方案的制定提供科学依据;采用耐高温高压钻井装备与技术、高效钻井工艺和随钻测量与导向技术,能够降低钻井难度,提高钻井效率和成功率;应用体积压裂技术、酸压技术和新型压裂材料与工艺,能够有效改造储层,提高储层的导流能力;采用水平井开采技术、注水开发技术和三次采油技术,能够提高油气采收率,实现油藏的高效开发。在实际开发过程中,应根据不同深层岩性油藏的特点,因地制宜地选择合适的开发技术对策,并不断创新和完善技术体系,以提高深层岩性油藏的开发水平,实现我国深层油气资源的可持续开发利用。

参考文献:

- [1] 姜瑞忠,乔杰,孙辉,等.低渗透砂砾岩油藏储层分类方法[J].油气地质与采收率,2018,25(01):90-93.
- [2] 刘华,张宁生,王志伟,等.低渗透油田提高采收率发展现状[J].钻采工艺,2004,27(06):38-40.
- [3] 姜平,张辉,王雯娟,等.涠洲 11-4N 油田流沙港组低渗复杂断块油藏高效开发策略[J].中国海上油气,2018,30(12):86-91.
- [4] 赵卫华,常剑,杜燕,等.深层低渗难采油藏的注水开发[J].石油与天然气地质,2001,22(09):245-248.
- [5] 范白涛,陈峥嵘,姜洪,等.中国海油非常规和海上低渗储层压裂技术现状及展望[J].中国海上油气,2021(04):112-119.

海水淡化设备防腐工艺研究

杨云江

(山东沣纳环保科技有限公司, 山东 德州 253000)

摘要 随着海水淡化技术的不断发展, 海水淡化设备的防腐问题日益受到人们的关注。本文概述了海水淡化设备中常见的点蚀、缝隙腐蚀、应力腐蚀开裂和沉积物下腐蚀等腐蚀类型, 深入分析了海水淡化设备的腐蚀机理, 探讨了腐蚀介质、腐蚀电化学过程以及异种金属接触等因素对设备腐蚀的影响, 并在此基础上重点研究了海水淡化设备的防腐工艺, 包括防腐材料的选择、防腐涂层技术、电化学保护技术、焊接与连接技术以及设备设计与维护等方面, 旨在为海水淡化设备的防腐工作提供理论依据和技术支持。

关键词 海水淡化设备; 防腐工艺; 防腐材料; 防腐涂层技术; 电化学保护技术

中图分类号: TQ15

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.12.036

0 引言

海水淡化设备运行时面临严重腐蚀问题, 不仅会影响设备性能与效率, 而且会提高维护成本甚至会造成安全事故。所以, 对海水淡化设备防腐工艺进行研究, 增强其耐腐蚀性对确保海水淡化系统安全、高效和稳定地运行有着重要意义。本文将对海水淡化设备防腐工艺做深入的研究, 包括防腐材料选用、防腐涂层技术、电化学保护技术、焊接及连接技术和设备设计及维修。

1 腐蚀类型

1.1 点蚀

点蚀也称孔蚀、小孔腐蚀, 它是发生于金属表面某些部位的一种腐蚀现象。这类腐蚀一般都集中于一些特定点, 并形成小而深的腐蚀坑。点蚀的发生往往与金属表面的不均匀性、介质中的特定离子(如氯离子)以及腐蚀电位等因素有关。海水淡化设备中因海水含氯离子等腐蚀性物质较多而导致点蚀现象特别严重。点蚀开始阶段可能不显著, 但是腐蚀坑随腐蚀加深而逐渐增大, 甚至有可能造成设备穿孔断裂。另外, 点蚀也加快了设备疲劳损伤和寿命。所以, 对海水淡化设备采取有效防腐措施防治点蚀是关键^[1]。

1.2 缝隙腐蚀

缝隙腐蚀, 作为海水淡化设备普遍存在的又一部腐蚀, 它的产生机制不同于点蚀, 但同时也给设备完整性及性能带来了严重的威胁^[2]。缝隙腐蚀多发生于金属部件间的狭窄缝隙或者接触面, 这些部位受介质流动限制, 氧气供给不足和腐蚀产物累积等因素影响, 易形成微电池环境而加速腐蚀过程。海水淡化设

备缝隙腐蚀现象普遍存在于法兰连接处、螺栓及螺母缝隙处、设备内死角处等不易清理维修处。这些缝隙中的腐蚀介质(如海水)由于流动不畅, 容易浓缩并积累腐蚀性物质, 如氯离子等, 进一步加剧了腐蚀的速率。

1.3 应力腐蚀开裂

应力腐蚀开裂(Stress Corrosion Cracking, SCC)是海水淡化设备中一种极具破坏性的腐蚀形式, 它将材料受到的应力与具体的腐蚀环境相结合, 由于材料应力小于屈服强度从而引发脆性断裂。该裂纹一般出现在装备焊接接头、高强度合金部件及承受残余应力部位, 给设备结构完整性与安全性造成了显著威胁。海水淡化环境下应力腐蚀开裂敏感性通常与其化学成分、微观结构、应力状态及腐蚀介质性质等因素息息相关。海水中的高浓度氯离子和溶解氧是导致应力腐蚀开裂的主要因素, 它们可以破坏材料的钝化膜, 加速阳极的溶解过程, 并在应力的作用下加速裂纹的产生和扩展^[3]。

1.4 沉积物下腐蚀

沉积物下腐蚀(Under-deposit Corrosion, UDC)是海水淡化设备中一种复杂且难以预测的腐蚀形式, 它发生在设备表面沉积物覆盖的区域下方。这些沉积物可为海水悬浮颗粒、生物污损, 也可为设备运行时形成的固体物质。沉积物的出现不仅妨碍设备同海水进行物质交换, 而且形成含有高浓度腐蚀性物质及低氧条件的特殊微环境, 使腐蚀过程更加严重。沉积物下腐蚀发生机制涉及诸多因素交互作用, 主要表现在沉积物特性、腐蚀介质成分、金属材料耐蚀性和沉积

物下微环境。沉积物里的某些元素,例如硫酸盐还原菌和其他微生物,可以提高金属腐蚀的速度。

2 海水淡化设备腐蚀机理分析

2.1 腐蚀介质

在腐蚀介质中,是指接触到设备而诱发腐蚀反应的材料,它的成分、浓度、活性等因素直接影响着腐蚀发生的速度和种类。在海水淡化设备的应用中,主要的腐蚀介质是海水以及其内部的溶解成分,例如氯离子、硫酸根离子、镁离子等,还可能伴随着微生物和悬浮粒子的存在。海水中氯离子浓度高,是诱发许多腐蚀类型发生的关键^[4]。氯离子对金属表面钝化膜有损伤作用,使本来比较稳定的金属表面容易被侵蚀。另外,氯离子对局部腐蚀现象如应力腐蚀开裂、点蚀也有促进作用。在特定的环境条件下,硫酸根离子有可能与金属离子发生结合,生成腐蚀性物质,从而进一步加快腐蚀进程。海水除溶解物质以外,微生物及悬浮颗粒亦不可忽略。微生物,如硫酸盐还原菌,有能力通过其代谢过程生成具有腐蚀性的物质,如硫化氢,这有助于加速金属的腐蚀过程。设备表面可能会有悬浮颗粒的沉积,这可能导致沉积物下的腐蚀风险。这些粒子也可用作阴极去极化剂来促进腐蚀反应。

2.2 腐蚀电化学过程

2.2.1 氯离子对金属钝化膜的破坏作用

腐蚀电化学过程对海水淡化设备腐蚀机理起关键作用。其中氯离子对金属钝化膜损伤效果特别显著,它是诱发许多腐蚀现象发生的关键因素。钝化膜是在一定条件下于金属表面生成的保护性薄膜,它能明显地延缓金属腐蚀速率。但海水中浓度过高的氯离子穿透性极强、反应性大,可破坏水表面保护膜使金属表面与腐蚀介质再次接触^[5]。氯离子损伤钝化膜有两个机理:一是氯离子能吸附到金属表面并与钝化膜上阳离子进行置换反应,引起钝化膜组成及组织的改变,使保护性能下降;二是氯离子能促使钝化膜部分区域溶解并产生细小腐蚀坑,在氯离子不断作用下腐蚀坑会逐渐增大并最终使钝化膜彻底失效。

2.2.2 氧作为阴极去极化剂的作用

海水淡化设备腐蚀电化学研究中,氧气作为关键阴极去极化剂对腐蚀反应动力学过程有明显影响。氧对电池去极化作用表现为腐蚀电池阴极反应过程中氧以电子受体形式参与还原反应以加快腐蚀进程。在海水这种溶解氧丰富的环境下,氧气去极化效果特别明显。当海水中的氧分子接触到金属表面,它们可以吸收来自阳极的电子,并被还原为氢氧根离子(OH^-),

这个过程被称为氧的阴极还原反应。这种化学反应不只是减少了阳极生成的电子和降低了阳极的电位,还加速了腐蚀产物,如金属氧化物和氢氧化物的形成。当氧气继续发生还原反应时,腐蚀电池电流密度升高、腐蚀速率加快。

2.2.3 异种金属接触产生的腐蚀效应

海水淡化设备建设与运行中异种金属接触问题广泛存在。当不同种类的金属在电解质(如海水)中相互接触时,由于它们之间的电位差异,会形成腐蚀电池,导致电化学腐蚀的加速。这种由不同金属接触引发的腐蚀现象,被称作电偶腐蚀或接触腐蚀,它在海水淡化设备的腐蚀问题中占有关键地位。电偶腐蚀轻重取决于许多因素,其中异种金属电位差、金属表面状态、电解质性质和接触面积。电位较负的金属(即阳极)会加速腐蚀,而电位较正的金属(即阴极)则受到保护。海水淡化设备一旦发生不恰当的设计或者维修,异种金属的接触就会造成点蚀或者缝隙腐蚀等严重局部腐蚀现象,甚至会诱发设备突然发生故障。

3 海水淡化设备防腐工艺研究

3.1 防腐材料的选择

海水淡化设备防腐过程中因海水环境特殊,对选用材料提出了更高的要求,不但要有优良的耐腐蚀性能,而且还要有较好的机械性能、加工性能及焊接性能。因此,在选择防腐材料时,需要全面考虑多个变量,这包括材料的化学构成、微观构造、抗腐蚀机制以及其与设备其他组件的兼容性等。目前,海水淡化设备常使用的防腐材料有不锈钢、钛合金、镍基合金和一些特种涂层材料。不锈钢由于具有耐蚀性好、成本比较经济等优点而成为众多海水淡化设备中的首选。钛合金因其出色的抗腐蚀能力和强度,特别适合于那些对材料性能有更高要求的应用场景。由于镍基合金在高温、压力和磨损方面的卓越性能,它在某些特定区域得到了广泛应用。另外,伴随着材料科学的不断进步,新型的防腐涂层材料,如纳米复合涂层和陶瓷涂层等,也逐步展示了其在海水淡化设备防腐方面的巨大潜力。

3.2 防腐涂层技术

防腐涂层技术,作为海水淡化设备防腐过程的一个重要环节,其原理是在受保护金属的表面上形成致密且耐蚀性优良的涂层,为了隔绝金属和腐蚀介质直接接触,达到延缓腐蚀速率和延长装置寿命的效果。防腐涂层在选用与设计时,需要考虑涂层耐蚀性、附着力、硬度、耐磨性、耐老化性及施工性能等诸多因素。海水淡化设备通常使用的防腐涂层材料有环氧树脂、

聚氨酯、聚脲、玻璃鳞片和一些特种功能涂料。这类涂层材料在不同固化机制及耐蚀机理下表现出不同的耐蚀性。如环氧树脂涂层由于具有附着力好、耐化学性能好、电绝缘性好等优点而被广泛地应用于海水淡化设备内部管道及储罐。聚氨酯的涂层因其出色的柔韧度和抗磨损特性,特别适合于设备中的动态部分和容易受损的区域。聚脲涂层由于其具有极高强度及耐冲击性等优点常被用于装备外部防护及重载部件。

3.3 电化学保护技术

电化学保护技术作为海水淡化设备防腐工艺的又一关键技术,其原理是利用电化学原理改变金属表面电位状态来延缓或者抑制腐蚀反应。其中阴极保护技术与阳极保护技术在电化学保护领域中占据了两种主流手段。阴极保护技术从字面上理解就是将阴极电流作用在受保护的金属上,使之电位负移到腐蚀电位之下,以抑制阳极溶解反应来达到减缓腐蚀之目的。海水淡化设备常用的阴极保护技术有牺牲阳极法和外加电流法。牺牲阳极法是通过与被保护金属电连接一种电位更负的金属(如锌、铝或镁合金),使其作为阳极优先腐蚀,从而保护阴极金属不受腐蚀。外部电流法则是通过向受保护的金属施加阴极电流,从而达到电化学保护的目。阳极保护技术的核心思想是,通过向受保护的金属施加阳极电流,使其电位向钝化区正方向移动,从而形成一层致密的钝化膜,有效地阻止腐蚀反应的发生。该方法尤其适用于不锈钢、钛合金等能够在一定电位范围内生成稳定钝化膜金属。在用于海水淡化的设备里,阳极保护技术经常被应用于那些对耐腐蚀性有极高要求,并且难以通过其他途径进行有效防护的组件。

3.4 焊接与连接技术

由于海水环境对于金属材料有着异常剧烈的腐蚀,所以,保证焊接接头以及连接部位耐腐蚀性好、强度高以及密封性好等特点是保证设备能够长时间稳定工作的重点。在焊接技术上,除常规电弧焊和气体保护焊之外,又开发了高精度低热输入焊接技术,如激光焊和电子束焊,这些新途径对减小焊接变形,改善焊缝质量显示出了明显的优越性。对海水淡化设备来说,选用合适的焊接方法及参数、优化焊接工艺对确保焊缝耐蚀性及强度具有重要意义。同时,焊接接头的表面处理,如喷砂、酸洗钝化等,也是提高其耐蚀性能的有效手段。在连接技术上,除焊接以外,大量使用螺栓连接、法兰连接和卡箍连接的机械连接。这些连接方式,在设备装配、检修、更换零件等方面,都有

操作简单、拆装方便等优点。但在海水环境中,机械连接部位同样容易被腐蚀,所以,需要使用耐腐蚀材料、密封垫片以及涂层来改善连接部位耐蚀性与密封性。

3.5 设备设计与维护

海水淡化设备防腐策略当中,设备设计和检修是必不可少的两部分。设备设计的好坏不仅关系着设备性能及效率的高低,而且对设备耐腐蚀性及使用寿命也有着直接的影响。合理地进行设备设计要充分考虑海水腐蚀性、设备运行环境和期望维护周期等因素,使用耐腐蚀材料并优化结构布局、降低了应力集中及腐蚀敏感区,使装置耐蚀性得到根本改善。为了确保设备能够长时间稳定工作并延长其使用寿命,设备的维护显得尤为关键。定期检查和保养可以及时发现和应对可能出现的腐蚀问题,避免腐蚀继续扩大。维护工作主要是但不仅限于涂层修复、腐蚀产物清洗、紧固件更换和焊接接头检验。另外,依据设备运行数据及腐蚀监测结果制定出合理的维护计划及腐蚀控制措施是确保设备安全平稳运行的一个重要途径。

4 结束语

海水淡化设备防腐过程是一项复杂的系统工程,要考虑到各种技术与策略。采用合理选用防腐材料、优化涂层技术、实行电化学保护、强化焊接和连接质量及科学进行设备设计和维修等措施,可显著改善设备耐腐蚀性能、延长其使用寿命并降低维修成本。今后随着材料科学、电化学、焊接技术及设备设计的发展,海水淡化设备防腐工艺也会进一步改进与革新,为海水淡化行业实现可持续发展提供更稳固的技术支撑。

参考文献:

- [1] 李阳,赵晓明,张明,等.海上稠油热采平台海水淡化锅炉补给水处理系统防腐设计[J].石油化工设备,2023,52(04):69-75.
- [2] 李建同,李亚楠.海水淡化仪表选型一般原则[J].仪器仪表用户,2023,30(08):104-108.
- [3] 许金堂.船舶和海洋工程结构的防腐蚀技术分析[J].船舶物资与市场,2023,31(01):41-43.
- [4] 丁序海,侯吉浩,魏乾柱,等.电沉积纳米墙仿生结构涂层及其海水防腐防污研究[J].电镀与精饰,2023,45(07):33-42.
- [5] 胡杰珍,王沛林,邓培昌,等.海水全浸区钢铁的防腐蚀技术研究进展[J].钢铁,2023,58(12):1-11.

建筑工程深基坑降水施工技术探究

田雪皎¹, 刘化芝²

(1. 济南市建设监理有限公司, 山东 济南 250000;

2. 山东中泰鼎信项目管理咨询有限公司, 山东 济南 250000)

摘要 在高层建筑工程建设中, 深基坑开挖是重点工序, 当施工现场的地下水位较高时, 需于基坑开挖中做好降水工作, 在确定施工参数符合涉及要求后停止降水, 通过封堵处理降水井, 避免因地下水位的超规格下降、降水不到位引起基坑涌水、周边土体沉降等问题, 应明确深基坑降水的作用, 对降水施工技术进行科学运用, 提高建筑工程深基坑的安全性、稳定性。本文围绕建筑工程深基坑降水施工技术展开深入探讨与分析, 以期为相关人员提供参考。

关键词 建筑工程; 深基坑施工; 集水明排降水技术; 真空井点降水技术; 喷射井点降水技术

中图分类号: TU74

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.12.037

0 引言

在建筑工程的深基坑施工阶段, 极易受到地下水的影 响, 若降水不到位, 或未能结合设计要求规范进行降水操作, 都可能导致地下水渗流至基坑中, 破坏基坑环境的稳定性, 由此埋下安全隐患。特别是在深基坑开挖中, 当现场的地下水位较高时, 可能会在开挖中触碰、挖断既有的含水层, 致使地下水流入基坑中, 若缺少及时的降水措施, 则会导致地下水长时间浸泡基坑, 破坏既有施工条件, 致使地基土体更为脆弱, 难以达到标准的承载力, 严重情况下还会出现边坡失稳、基坑流砂等问题, 埋下安全隐患。

1 建筑工程深基坑降水的作用

在建筑工程施工过程中, 深基坑开挖是影响整体施工进度、质量安全的一大关键工序, 为了将基坑开挖区域的土体含水量控制在标准区间内, 保证开挖作业的顺利进行, 有必要采取降水措施对地下水位进行科学控制, 规避边坡失稳、突涌等问题, 提高深基坑的强度及承载力。因此, 深基坑降水具有重要作用, 具体表现为: 首先, 在建筑工程的深基坑开挖中, 结合现场情况采取降水技术, 提高土体中孔隙水、承压水的排放效率, 减少土体中的含水量, 优化改善坑底、边坡土体的性质, 增强土体抗剪强度, 促使边坡保持稳定, 约束土体侧向位移与沉降, 为基坑开挖创设稳定条件^[1]; 其次, 在深基坑开挖以及基础结构施工环节, 地下水位的严格控制始终都是重点工作, 需确保水位处于坑底开挖面的标准位置点。通过开展深基坑降水施工作业, 能够通过排水将水位降低至标准点, 减少承压水头对坑底板的顶托力, 防止坑底隆起、突涌, 保证基坑底部稳定及安全; 再次, 在建筑工程施工阶段, 需重点考虑周边建筑物及市政管网情况, 通过降水施工, 排出基坑中的地表水、地下水, 保持基坑土体强度、承载力, 避免因含水量过高而引起周边地势的不均匀沉降, 破坏既有建筑物及市政管网; 最后, 深基坑降水有助于土体固结, 增强地基稳定性。大多数的深基坑施工现场, 地下水压力普遍较大, 尤其是出于高水位环境下, 基坑的侧壁及底部所承受的压力更大, 控制不当而会引起基坑边坡塌方情况, 增加安全事故出现的可能性。因此, 通过采取降水技术疏导地下水, 可在土体含水量下降的同时, 显著提升地基土的承载力与强度, 减少边坡围护在水平方向的变形系数, 维持基坑及边坡稳定。

减少承压水头对坑底板的顶托力, 防止坑底隆起、突涌, 保证基坑底部稳定及安全; 再次, 在建筑工程施工阶段, 需重点考虑周边建筑物及市政管网情况, 通过降水施工, 排出基坑中的地表水、地下水, 保持基坑土体强度、承载力, 避免因含水量过高而引起周边地势的不均匀沉降, 破坏既有建筑物及市政管网; 最后, 深基坑降水有助于土体固结, 增强地基稳定性。大多数的深基坑施工现场, 地下水压力普遍较大, 尤其是出于高水位环境下, 基坑的侧壁及底部所承受的压力更大, 控制不当而会引起基坑边坡塌方情况, 增加安全事故出现的可能性。因此, 通过采取降水技术疏导地下水, 可在土体含水量下降的同时, 显著提升地基土的承载力与强度, 减少边坡围护在水平方向的变形系数, 维持基坑及边坡稳定。

2 建筑工程深基坑施工中常用的降水技术

2.1 集水明排降水技术

在运用集水明排降水技术时, 通常直接将排水沟、集水井设置在深基坑底部, 先将地下水引入至集水井中, 再使用水泵进行大范围抽水, 快速将坑内的地下水排至坑外, 降低地下水位, 此种降水技术更适用于在渗水量小的黏土层环境下应用, 若在粉砂土层等环境下, 随着地下水的渗出, 将引起细粒流失, 进而出现流砂问题。与此同时, 集水明排降水技术的单次降水量高、排水量大, 操作中可能形成对周边土体的挤压影响, 尤其是在地下水位压力较高的情况下, 周边侧壁会因排水而承受较高的水压力, 增加基坑塌方的可能性^[2]。因此, 在选择应用集水明排降水技术时,

需先明确现场及土层情况,判断技术适用条件,谨慎选用此方法,或增设辅助措施,减少流砂,以保证降水技术效果。

2.2 真空井点降水技术

真空井点降水技术应用中,主要依靠真空吸力将基坑中的水与空气充分混合,将其转变为水气混合体后,再通过管道将混合体输送到分离装置中,实现分离后排出地下水。因此,运用真空井点降水技术时,需将井筒埋设到基坑的周边,在真空泵的负压作用下,将水排至基坑外部,降低地下水位。此种降水技术的操作简单,仅需配备简单的机械设备即可,缩减施工成本,提高基坑环境的安全性。真空井点降水技术更适用于浅水位、作业范围大的深基坑环境中,为了提高降水效果,需在操作中严格依照要求控制土壤渗透系数,当该参数未达标准时,应符合应用密闭技术,形成符合预期的降水效果。真空井点降水中,需结合现场情况及设计方案,明确井筒布置位置,采取地下钻探井筒的作业方式,将井筒中的管道与抽水设备紧密相连,通过抽水设备对井筒中的水抽取出来,形成真空状态,操作过程中应动态监测井筒中的水位变化,对抽水设备的功率及运行参数进行灵活调整,提高降水效率,直至水位下降至标准高度停止抽水。

2.3 喷射井点降水技术

在喷射井点降水技术的实际运用环节,压力是促进降水作业顺利完成的基础条件,一般需通过高压水泵所形成的压力将水输送至井点中。在高压水泵运行期间,高压水可顺由井点管中的内管向喷射器输入,形成水汽射流,将地下水经井点外管与内管之间的缝隙抽出,再经过排水管道系统排至集水池或水箱,通过循环操作,将基坑中的地下水降至标准状态。因此,在喷射井点降水技术应用中,需根据设计要求着重控制喷嘴尺寸及高度,确保喷水速度始终被控制在标准状态下,形成符合预期目标的降水效果。通常情况下,喷嘴面积大,则喷水速度慢,不经过计算及精准设定,则可能影响实际施工进度,这就需根据建筑工程深基坑情况,确定最为适合的喷嘴面积。除此之外,在喷射井点降水技术应用中,对管道畅通性的要求高,若发生堵塞将会导致降水作业的正常进行受到阻碍,在前期安装管道时,需严格依照标准要求进行操作,根据井孔底部情况配备更为契合的喷射器,提高降水技术效果^[3]。

2.4 管井降水技术

管井降水技术涉及钻进井眼,安装井管、滤水管

等重点工序,实际操作中可通过抽水泵将地下水抽出,将深基坑现场的水位降至标准深度,促使基坑在开挖环节保持干燥状态^[4]。因此,在管井降水技术操作中,需先明确现场情况,根据地下水类型及降水深度等参数,对降水井进行优化设计,合理设置管井深度及长度,搭配适宜数量的管井数量。在施工过程中,需根据预设参数,选择钻机型号,在现场指定位置进行钻孔,将井管、滤水管安装至指定位置,同时需结合管井深度、出水量,对抽水泵进行安装,以保证抽水效率,将基坑内的水位降低。在设置管井时,应先明确工程立柱、支护结构等结构的具体位置,确保管井与既有主体之间保持规定间距,在保证降水作业顺利进行的同时,避免破坏其他结构。在深基坑开挖过程中,可结合实际开挖情况,动态调整管井及观测孔的孔口高度。

3 建筑工程深基坑降水施工技术要点

3.1 优选降水技术

在建筑工程的深基坑降水施工阶段,需结合场地状况、工程地质条件以及现场地下水状况,明确降水设计思路,优化完善基坑降水方案,确保降水措施与现场情况相符合。因此,应明确不同降水技术的适用条件、特征及操作流程,根据建筑工程深基坑的地质及水文条件,对比分析选出最为适合的降水技术。正式施工前还需制定出针对现场实况的施工方案,确定基坑涌水量、降水井数量、单井出水量等关键参数。例如:在成井施工中,应结合钻井要求及现场情况选择适配的钻井法,如冲击钻井法,通过控制钻井深度及宽度等参数,确保成井效果更符合设计要求。针对井孔底部的含水土层,其碎石滤料的圆度要求高,一般需确保其颗粒直径处于3~8 mm的区间范围内,若为含水土层的碎石滤料,可适当放宽对颗粒尺寸与圆度的要求,但是不可直接使用针状或片状石片。井孔底部的过滤器管也应根据要求进行准确布置,尤其要控制偏差、滤料包裹不均匀等情况。向孔内置入过滤材料时,应确保管井清洗完毕,确保过滤材料的有效填充率达到预期标准。成井施工完毕后,经检查确定无问题,快速衔接洗井工序,在下放水泵前,应重点检查水泵情况,确定无问题才能下放至井内,现场情况符合要求时,可采取绳索吊装的方式,将水泵吊至井点管内^[5]。

3.2 控制地面沉降

在建筑工程的深基坑降水施工中,周边水位的下降程度因所处位置不同而存在显著差异,一般以基坑的中心点为基准,逐步向外呈现出漏斗状的分布状态,

而地下水对既有建筑物浮托力的减少水平也受其影响,因远近位置而出现差距。

在基坑降水过程中,当土体压缩出现不均匀沉降情况而沉降接近于最高临界点时,则会形成对周边的扰动影响,增加建筑物出现倾斜、裂缝等严重问题的可能性。因此,在深基坑降水施工技术应用中,需注重控制不均匀沉降,以免形成对既有构筑物的不良影响。

首先,应选择更为适用的降水技术及降水井布置方式,合理设计降水井数量,在实际布设井点时,应根据基坑与既有建筑物之间的邻近关系,增加井点距离,同时选择小功率的水泵,放缓降水速度,促使地面均匀沉降;其次,在抽水阶段,需侧重于控制砂土流失量,以免流失量过多而引起地面不均匀沉降,减轻对周边建筑物的不良损害及影响;再次,深基坑降水施工阶段,需围绕基坑情况,布设多个观测井、形变观测点,依照要求进行动态的数据监测,根据监测结果明确地下水位下降情况,随时掌握深基坑周边既有建筑物的地面沉降、位移变化,只要超出允许范围内,或出现异常表现,就需及时采取措施进行调整,保证降水效率及质量;最后,由于深基坑降水可能引起周边沉降,尤其是存在地下管网、建筑物时,缺少沉降控制会产生严重后果。因此,需选择在周边既有构筑物与降水井点之间的适宜位置,按要求布设回灌井或回灌沟,及时将抽出的清水回灌,对重要区域及复杂区域的地下水进行补充,减缓地下水下降速度及程度,约束及控制地面沉降,维持周边既有构筑物的稳定与安全^[6]。

3.3 优化改善基坑黏土土质

在建筑工程的深基坑施工阶段,现场若存在不良土体,未经处理直接施工,将埋下质量缺陷及安全隐患。如存在黏土土体时,其透水性往往低于工程标准,尤其是在黏土层较厚时,将形成阻隔作用,致使上层水无法渗透到下层中,地下水渗透速度过于缓慢,不利于提升深基坑降水效率及质量。因此,在深基坑降水技术应用中,需根据土质情况选择适合的技术类型,采取改良措施,优化改善黏土的土质状态。在改良处理中,可针对井点轴线的周边,通过水枪或套筒打孔后,内置粗砂,形成连续的砂桩,再根据设计图纸铺设井点管,则能够改善及提升土体透水性能。在实际降水过程中,可基于上层水的重力作用、抽水负压,提高上下层水在土体中的贯通性,在上层地下水下渗到下层后,直接将渗水抽出,在保证土体稳定性的基础上,快速完成降水作业。

3.4 加强降水施工管理

在建筑工程深基坑降水施工阶段,技术含量高,涉及较多操作上的细节,为了提高降水施工效率,减少沉降及位移变形等情况,需重点强化对各个工序的检查、管理,优化完善降水技术措施及流程,减少降水施工中的缺陷问题,保证各阶段的施工质量。首先,应重点检查降水井点质量情况,通过观察分析,确定降水井点的缺陷情况以及缺陷数量,一旦缺陷井点过多,超出允许范围,将导致降水质量大打折扣。因此,开展检查工作时可采取观察法,根据水管外表面的潮湿程度、听水管内的水流声,判断有无异常状态,精准定位井点管淤塞的具体位置,通过高压水进行冲洗,恢复管体畅通性,保证降水作业的顺利进行;其次,在深基坑降水过程中,加强动态监测,明确地下水位下降速度及程度等基本情况,一旦下降速度出现异常,第一时间对故障问题及原因进行排查,采取针对性措施快速处理,以保证降水施工质量;最后,在降水施工前应重视地质勘察及抽水试验,结合其结果合理布设降压井,明确降压井数量及范围,根据降水影响程度,判断是否要采取回灌措施,保证基坑及周边构筑物的稳定性。

4 结束语

在建筑工程的规模化建设中,深基坑是重点施工工序,对开挖支护技术水平、基坑稳定性的要求高,含水量、地下水位高的基坑开挖阶段,更需依照要求做好降水工作,降低坑内土体的含水量,促使土体强度得到显著提升,构建起安全稳定的基坑土体环境,为开挖作业的高效进行创设基础条件。因此,应高度重视深基坑降水施工技术,在施工中根据技术的适用条件及优势,优选更为适配的降水技术,提高降水效率,全面提升建筑工程施工质量。

参考文献:

- [1] 刘以珊. 建筑工程中深基坑降水施工关键技术研究[J]. 工程建设, 2020(10):53-54.
- [2] 孙道伦. 探究基坑降水技术在建筑工程施工中的应用[J]. 模型世界, 2022(34):90-92.
- [3] 李明远. 建筑工程中深基坑降水技术浅析[J]. 你好成都(中英文), 2023(31):130-132.
- [4] 程元康. 建筑工程深基坑降水施工技术研究[J]. 户外装备, 2023(05):211-213.
- [5] 金磊. 降水技术在建筑深基坑施工中的运用[J]. 大众标准化, 2022(12):149-150.
- [6] 李平. 建筑工程中深基坑降水施工关键技术研究[J]. 城市情报, 2021(07):191-193.

立面大开洞超限高层建筑结构设计分析

姜玲玲¹, 赵占国²

(1. 山东鲁新设计工程股份有限公司, 山东 济南 250013;

2. 山东省环能设计院股份有限公司, 山东 济南 250000)

摘要 随着城市化进程的加快和建筑技术的进步, 立面大开洞超限高层建筑日益增多。大开洞设计虽然满足了建筑功能与审美需求, 彰显了设计创新, 但也给结构设计带来了巨大挑战。本文分析了立面大开洞超限高层建筑结构设计的重要意义, 剖析了诸如洞口尺寸位置不合理、洞口区域结构布置欠妥、洞口边缘构件设计不足、结构分析计算不全面等问题, 提出了合理控制洞口尺寸与优化布置位置、加强洞口区域结构布置、细化洞口边缘构件设计、开展全面结构分析计算等优化设计策略, 旨在为立面大开洞超限高层建筑结构设计提供科学且有效的参考。

关键词 超限高层建筑; 立面大开洞; 结构设计

中图分类号: TU972

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.12.038

0 引言

建筑立面开大洞, 旨在营造通透开放的空间形态, 满足采光、通风、视野等使用需求, 塑造个性鲜明的建筑形象, 已成为一种新的建筑设计趋势。然而, 立面开大洞势必削弱结构竖向构件, 破坏水平楼板连续性, 引起较大应力和变形集中, 给高层建筑设计带来严峻挑战, 如何在满足建筑设计要求的同时, 确保结构安全可靠, 是工程界亟需破解的难题。

1 立面大开洞超限高层建筑设计的重要意义

1.1 满足建筑功能和审美需求

由于高层建筑平面布局的限制, 立面开大洞往往是满足采光、通风、视野、交通等使用功能的需要, 中庭、天井等敞开空间能够增加室内外空气、光线交换, 营造出内外通透、视野开阔的建筑空间, 立面大开洞还能打破高层建筑立面单调呆板的视觉感受, 创造丰富多变的光影效果, 提升建筑的艺术审美品位。

1.2 彰显设计创新和技术水平

随着高层建筑向超高、绿色、智能方向发展, 建筑创新设计与前沿技术应用日益受到重视, 立面大开洞设计突破常规高层建筑立面的封闭形式, 通过虚实结合、疏密有致的洞口布置, 创造出简洁、雕塑感强的建筑形体, 为高层建筑的造型创新提供了广阔空间, 洞口尺寸与建筑总高的比例, 以及洞口在立面上的分布位置、组合方式, 成为设计师发挥创意、彰显个性的舞台。大开洞结构设计对工程技术提出了更高要求, 需要设计人员掌握深厚的力学理论知识和丰富的工程

实践经验, 综合运用新材料、新工艺、新技术, 在确保结构安全的基础上, 实现建筑设计意图, 一个精心设计的大开洞立面, 不仅能彰显设计的独创性, 也能体现工程技术的先进性, 对于推动高层建筑设计理念和工程建造水平的进步具有积极作用^[1]。

1.3 促进超限高层建筑的发展

近年来, 在城市快速发展和土地日益紧缺的双重压力下, 超限高层建筑不断涌现, 高度竞赛愈演愈烈, 在此背景下, 立面大开洞设计成为建筑师在超高层建筑领域进行形态创新、彰显建筑个性的重要手段。诸多超高层地标建筑, 如上海中心大厦、广州周大福金融中心等, 无不通过立面开洞大幅提升了城市形象和品位, 从结构工程角度看, 立面开大洞虽然对超限高层结构设计提出了更高的难度, 但也倒逼工程技术创新, 推动结构体系、施工工艺的进步, 大开洞的存在对改善高层建筑风振性能、提高结构抗震韧性也具有积极作用。

2 立面大开洞超限高层建筑设计存在的问题

2.1 洞口尺寸和位置的不合理设置

在立面大开洞的设计中, 洞口尺寸的选择、洞口位置的布置往往是设计师根据自身经验或从建筑功能、形态角度出发, 缺乏必要的结构分析验算和论证, 盲目放大洞口尺寸, 将洞口布置在结构受力薄弱区域如边跨、端跨等, 极易引起严重的应力集中, 导致洞口周边梁、柱、剪力墙等主体结构构件截面和配筋明显加大, 既影响结构的经济性, 也给构件施工带来困难。

2.2 洞口区域结构布置欠妥

立面开大洞意味着高层建筑局部结构的不连续,洞口上下区域结构的连接方式对洞口及周边结构的受力性能影响巨大,目前洞口区域结构布置往往存在缺乏系统性考虑、构造措施不到位等问题。比如:洞口上部结构直接搁置在洞口下部结构上,忽视二者刚度、变形协调;洞口跨度较大时未设置有效的水平传力措施,洞口边缘柱无法形成有效的框架机制,难以保证结构的整体性;洞口区域未合理布置斜撑、支撑等传力构件,结构空间受力路径不合理,易产生应力集中^[2]。

2.3 洞口处边缘构件设计不足

洞口周边往往发生较大的应力集中和变形,对洞口边缘梁、柱等构件的承载能力、变形性能要求很高,然而目前洞口处边缘构件设计往往存在以下不足:截面尺寸偏小,配筋率不足,难以承担较大的弯矩、剪力和轴力。纵、横向配筋未按洞口应力走向合理布置,约束箍筋设置不足,难以保证塑性变形能力,仅对洞口边缘柱进行加强,忽视了洞口楼板的配筋加密,柱板刚度不匹配,易产生应力突变,受力钢筋的锚固长度不足,影响延性发挥。

2.4 结构分析计算考虑不全面

立面大开洞显著改变了高层建筑的结构体系,引起结构动力特性的改变,在结构分析计算中需要给予特殊考虑,然而目前大开洞高层结构设计往往存在分析计算考虑不全面、不细致的问题:简化的结构计算模型对洞口的模拟粗糙,未能准确反映洞口区域的刚度、质量分布;对洞口引起的刚度、质量突变,扭转中心迁移等影响考虑不足;未开展大开洞结构的弹塑性时程分析,难以反映开洞后结构的真实地震反应;参数分析、敏感性分析深度不够,对结构抗震性能的评价缺乏全面性。设计中缺乏专门的风振、温度效应分析,对洞口区域的二次效应考虑简单化,结构裂缝、长期变形验算不细致,也影响结构分析的可靠性^[3]。

3 立面大开洞超限高层建筑结构优化设计策略

3.1 合理控制洞口尺寸和优化布置位置

大开洞尺寸和布置位置是影响结构体系效率和经济性的关键因素,应在充分考虑建筑功能、外观造型需求的基础上,从结构角度进行优化,洞口跨高比应根据高宽比、体型特点等合理控制,一般宜小于 1/3,对扭矩较大的不规则结构,跨高比不宜超过 1/4,过大的洞口跨高比会显著削弱结构侧向刚度,加剧扭转效应。洞口位置要尽量布置在结构刚度较大、地震力和

风荷载较小的区域,宜对称布置于平面、立面的中央区域,避免布置于建筑端部、边跨等薄弱部位,减小扭转效应,洞口布置要尽可能规则、对称,减少平面、立面的不规则性,对于高宽比较大的塔式超高层建筑,可布置竖向贯通的大型中庭或多个小型错层中庭,形成通畅的竖向空间;而对于高宽比小、体量大的裙房塔楼结构,可在裙房和塔楼连接处布置面积较大的贯通空间,丰富空间层次^[4]。

3.2 加强洞口区域结构布置

针对洞口开设引起的结构不连续问题,要采取有效的洞口加强措施,理顺洞口区域传力路径,洞口上部结构与下部结构交接处,宜设置环梁或转换梁,增强节点刚度,平衡上部结构传递的剪力和弯矩,环梁或转换梁应具有足够的承载力和刚度,其截面尺寸和配筋应根据内力分析确定。对规则平面的开洞结构,洞口上部结构可通过设置必要的剪力墙、框架等竖向构件,将荷载直接传递至地基;洞口区也可通过设置斜撑、桁架等水平构件,将荷载传递至洞口两侧的竖向构件,以减小洞口跨度。斜撑、桁架的布置要合理顺应建筑平面形式,避免破坏使用功能,对不规则平面开洞结构,由于空间受力的复杂性,可采用型钢混凝土组合梁或巨型桁架等强有力的水平传力构件,或在洞口上部设置由柱或墙组成的竖向桁架,引导力沿最优路径流动,避免洞口区域应力过于集中。洞口上部可设置必要的伸臂桁架或悬挑结构,将洞口两侧竖向构件连成整体,提高洞口区域整体刚度,同时要优化洞口区域楼板布置,楼板洞口边缘应避免开柱,洞口楼板与柱应可靠连接,洞口处楼板可采取必要的加厚或配置双层钢筋等补强措施,提高楼板的承载力和刚度,改善板柱节点受力性能。

3.3 细化洞口处边缘构件设计

洞口边缘梁、柱是大开洞结构的关键受力构件,直接关系到洞口区域的安全性与耐久性,应进行专门的补强设计,优化洞口边缘梁柱截面形式,根据应力特点采用工字形、十字形、L 形等异形截面,提高截面抗弯、抗扭刚度。工字形截面可增大翼缘,提高抗弯刚度;十字形截面双向对称,抗扭刚度强;L 形截面可灵活布置,适应不同方向的受力需求。加大洞口边缘梁柱配筋,提高纵向受力钢筋配筋率,按应力走向合理布置钢筋,重点加密洞口拐角处的斜向箍筋,提高配筋构造的延性、韧性,梁柱纵向钢筋宜采用高强钢筋,箍筋宜小直径、密间距布置,并严格锚固、搭接构造,加强洞口楼板配筋设计,洞口周边楼板采用双向配筋,

配筋率不应低于1%，洞口角部宜布置斜向钢筋，并与相邻梁、柱可靠锚固，洞口楼板负弯矩钢筋应沿洞口边缘连续布置，并伸入梁、柱内可靠锚固。严格洞口边缘构件的抗震构造要求，提高洞口临空一侧梁柱的箍筋加密区长度，临空一侧梁底纵筋和柱筋的锚固长度应满足延性要求，增强构件的延性变形能力，梁柱纵向受力钢筋的锚固长度不应小于规范要求，必要时可采用机械连接等可靠锚固方式，优化洞口边缘构件材料性能，洞口周边梁柱混凝土强度等级和钢筋强度等级应适当提高，减小构件变形，洞口周边宜采用高性能混凝土，提高抗裂性能和耐久性能^[5]。

3.4 开展全面的结构分析计算

立面大开洞对高层建筑结构体系的影响突出，在进行结构分析计算时必须系统考虑，优选计算参数，提高分析的精细化水平，要建立精细的三维空间有限元模型，采用实体单元或壳单元对洞口区域进行精细模拟，准确描述洞口附加应力。洞口两侧应进行网格加密，并合理选取网格疏密过渡方式，针对洞口引起的刚度、质量突变，扭转中心迁移等问题，进行结构动力特性分析，优化洞口区域质量、刚度分布，应重点关注洞口开设导致的振型变化、周期突变等问题，必要时应采取调整洞口设置、增设辅助结构措施等，优化结构动力性能。由于洞口开设往往伴生侧向刚度突变，扭转耦联效应明显，需要开展大开洞结构弹塑性地震反应分析，评估洞口区的抗震薄弱部位，并通过参数敏感性分析，优化洞口尺寸、位置等参数，弹塑性分析应考虑洞口区域构件的非线性特性，并验证洞口区域变形协调性及延性、耗能能力。针对超限高层建筑的体型特点，还应进行大开洞结构风振响应分析，以及温度效应、长期变形等专项计算分析，对洞口区域进行裂缝验算，提高结构使用性能，风振分析应考虑洞口对扰流场、涡激区的影响，优化洞口尺寸和留设位置。

3.5 注重洞口处建筑细部设计

立面大开洞是建筑设计手法与结构技术的高度融合，除了协调好洞口的结构设计，建筑细部设计也应给予高度重视，二者相辅相成，才能真正实现建筑艺术性与结构安全性的统一，要处理好洞口的造型和比例关系，做到虚实结合、疏密有致，体现建筑的整体感和韵律美，洞口造型应简洁大方，避免过于复杂、零碎的几何外形，洞口应在立面上形成稳定、均衡的几何分割，与建筑主体形成呼应。要选用合适的建筑

材料，洞口可采用表现轻盈通透的玻璃、金属板等装饰材料，与主体结构材料形成对比，凸显洞口的层次感，洞口材料色彩应与主体相协调，并体现层次变化，同时应注重材料的耐久性、易维护性，在洞口细部装饰上下功夫，可采用特色构件、线脚等元素，增加洞口的趣味性和识别性。洞口细部装饰应体现简洁、精致的设计风格，装饰元素应与建筑主体风格相呼应，并与洞口结构形式相协调，同时在洞口周边适当布置绿化和照明，利用光影变化、虚实对比，营造丰富的空间层次，洞口绿化应与建筑总平面绿化相呼应，体现空间延续性，洞口照明应满足使用功能需求，并营造良好的夜景效果。洞口作为室内外空间的过渡区域，在细部设计中还应重视其环境舒适性，洞口应具有良好的采光通风条件，可适当设置遮阳构件；洞口的噪声、温度、湿度控制也应纳入建筑设计的考量范畴，并与设备专业密切配合，要优化洞口空间的采光设计，提高自然采光效果，合理设置遮阳百叶、固定遮阳板等，减少眩光，同时应采取有效的隔声、保温、调湿等措施，提高洞口区域环境品质。

4 结束语

立面大开洞是一把双刃剑，它丰富了超高层建筑的空间形式，提升了建筑品质，也给结构设计带来了巨大的挑战，加剧了结构的不确定性，如何在建筑设计和结构设计间寻求平衡，协调好功能、形态、结构的关系，是摆在工程技术人员面前的时代命题。本文分析了立面大开洞超限高层建筑设计的问题，提出了洞口尺寸与位置优化、加强洞口区域构件设计、细化洞口边缘构造措施、开展精细全面的结构分析等优化设计策略，可为类似工程提供参考。

参考文献：

- [1] 钱耀华, 刘艺萍, 陈瑛, 等. 某底部设置V型分叉柱超限高层建筑设计[J]. 建筑结构, 2023, 53(S1): 87-91.
- [2] 朱忠漫. 某超限高层结构抗震设计与分析[J]. 建筑与装饰, 2023(24): 7-9.
- [3] 游昕. 某大型钢结构会议中心超限结构设计探析[J]. 福建建筑, 2024(01): 57-63.
- [4] 韩艳. 短肢剪力墙在民用建筑结构设计运用分析[J]. 建设科技, 2024(18): 71-73.
- [5] 刘洋, 陈础, 刘永添, 等. 某科研办公楼悬挂结构设计[J]. 建筑结构, 2023, 53(S2): 295-299.

水利工程施工中导流施工技术的应用研究

王 涛

(安徽水安建设集团股份有限公司, 安徽 合肥 230000)

摘 要 导流施工技术通过导流坝、导流隧洞等手段, 可有效控制和管理水流, 为水坝建设、河道治理等提供必要的水文环境调控。本文分析了导流施工技术在实现工程创新、创造理想施工条件方面的重要作用, 详细介绍了导流设计、施工准备、一次围堰导流和分期围堰导流等具体应用环节, 并提出了完善技术创新及科学管理机制、提升高素质人才引进及培养力度等优化应用策略, 以期为水利工程建设质量持续提升提供有力支持。

关键词 水利工程施工; 导流施工技术; 导流设计; 一次围堰导流; 分期围堰导流

中图分类号: TV5

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.12.039

0 引言

水利工程作为国家基础设施的重要组成部分, 其施工质量和效率直接关系到国计民生。导流施工技术作为水利工程中的关键环节, 发挥着不可替代的作用。本文旨在系统探讨导流施工技术的概述、重要作用、具体应用及优化策略, 通过分析导流施工技术的现状和挑战, 提出相应的改进措施, 推动水利工程技术的创新和发展, 为水利工程建设顺利进行提供理论指导和实践参考。

1 导流施工技术概述

导流施工技术在水利工程中的主要目的是在施工过程中合理引导和控制水流, 确保工程的平稳进行, 导流施工技术是一种在水利工程中应用广泛的技术手段, 其核心任务是对水流进行引导、控制和管理, 以满足工程建设中对水体行为的需求, 这一技术的应用领域涵盖了水坝建设、河道治理、桥梁施工等多个方面, 为工程施工提供了必要的水文环境调控。在水坝建设中, 导流施工技术被广泛应用于水坝建筑物的修建和维护过程, 水坝作为水利工程的核心组成部分, 其施工过程中面临着对水体的合理引导和控制, 通过合理设计和布置导流坝、导流隧洞等设施, 施工过程中的水流得以有效引导至指定区域, 从而确保水坝建筑的安全施工。在河道治理方面, 导流施工技术同样发挥着关键作用, 对于需要进行河道清淤、整治和修整的工程, 通过导流施工技术可以将水流有序引导至特定区域, 为施工提供干燥的工作环境^[1]。导流施工技术的主要手段包括导流坝、导流隧洞、临时性的堤坝等, 导流坝通过设置在水体中, 能够有效地将水流引导至

预定区域, 减小水流速度, 起到有效的水流控制作用, 导流隧洞则通过在山体中贯通, 将水流引导至较远的位置, 为施工提供稳定的施工环境, 临时性的堤坝则是通过在水中建设临时性的隔离设施, 将水流引导至特定区域, 为施工创造相对安全和干燥的条件。导流施工技术在工程建设中的广泛应用, 为水利工程的施工提供了安全、有序、高效的水文环境, 推动了水利工程的健康发展, 导流施工技术的不断创新和优化为水利工程建设提供更为可靠和灵活的技术支持。

2 导流施工技术在水利工程中的重要作用

2.1 实现了对工程创新的有效激发

在当前时代背景下, 水利工程项目建设施工领域想要保证工程施工质量及效率, 应坚持持续创新的基本原则, 选择最为适合的施工技术。因此, 水利工程建设单位应该积极总结以往水利工程施工行业所积累的施工经验, 以此来丰富施工单位自身的经验体系, 这样才能使其在当前竞争激烈的行业市场中获得一席之地。以现阶段我国水利工程项目中经常会应用到的导流施工技术为例, 今后应该充分发挥此项施工技术优势, 并且加大科研投入, 实现对此项施工技术体系的有效创新及完善, 这也对我国水利工程项目整体创新起到了重要激发作用。

2.2 为工程施工创造了理想条件

在水利工程项目建设施工中应用导流施工技术后, 可以实现对特定区域内部水资源分布情况的适当调节。导流施工技术主要是通过人为干预的方式, 使部分水资源可以避免水利工程项目建设位置, 并且沿着水路流入下游, 这也为水利工程项目建设施工工作的正常

开展提供了更为便利的环境条件。导流施工技术已经成为现阶段我国水利工程项目建设中最为重要的技术手段之一,尤其在修建闸坝中的应用发挥出了理想的效果^[2]。

3 导流施工技术在水利工程项目建设中的应用

3.1 导流设计

设计是工程施工的基础,对于导流施工来说,事先应该做好导流设计,充分调研河道的水文特点、河床形态以及周围地形、地质等基本资料,在此基础上科学设计导流方案,选定导流时段、制定导流流量以及导流方式等。导流时段最好选择在枯水期,导流与挡水的难度最小。此外,导流设计应采用导流时段内设计频率的最大流量和洪量,同时,导流方式要根据河道宽幅、水流量大小以及河道通航、民生等要求,选择一次围堰导流或分期围堰导流。

3.2 施工准备

导流施工需做好施工准备,确保导流施工能够顺利、高效进行。施工准备一般包括技术准备、机械与材料准备、人员准备等多方面。施工单位要做好技术准备,落实图纸会审工作,与设计单位密切沟通,充分了解导流工程设计方案,解决疏漏点与疑惑点,并结合现场勘探,对导流施工方案进行复核。施工单位也要机械与材料准备,常常需要运用到挖掘机、装载机、推土机、起重机、混凝土搅拌机等机械,需要运用到导流钢管、水泥混凝土、钢筋、装土袋等,要确保各类机械性能过关,确保各类材料数额充足且质量过关。施工单位也需要做好施工人员准备,根据导流工程施工工种不同,设置足额导流工程施工工种,并落实开班交底程序,提升施工人员基本素养^[3]。

3.3 一次围堰导流

对河床窄、水流量小的河道,可采用一次围堰导流,而施工工序分为如下几个方面。

3.3.1 导流建筑物施工

一次围堰导流施工的常用导流建筑物有明渠导流、隧道导流以及涵管导流三种类型。明渠导流是指在河道目标地点开挖新的明渠,用于泄水,适用于岸坡平缓的条件中,利用大型机械进行明渠开挖作业,工程效率高。隧道导流则指的是在河岸边开挖隧道,用于泄水,适用于岸坡地形复杂、河谷较窄、山岩坚实的山区河道,常常需要进行爆破作业,作业难度较高。涵管导流则指的是在河道滩地上敷设涵管,后期河道

截留,水位上升,通过涵管进行泄水导流,其施工工艺简单,适用于流量较小的河道。不管是哪一类型,导流建筑物的走向与河道走向的夹角不宜过大,如在明渠导流施工中,明渠进出口轴线与河道流向的夹角应小于 30° ,明确转弯半径应不小于渠底宽度的5倍^[4]。

3.3.2 围堰施工

围堰施工起到截流的作用,根据类型可分为混凝土围堰、土石围堰、钢板桩围堰等,围堰类型的选择根据河道类型以及对围堰强度的要求来确定。在围堰施工过程中,需要先对堰基进行处理,确保基础坚实、牢固,而后在基础之上,利用土石、混凝土、钢板桩等修建围堰,修建围堰的过程通常是由两边向内依次修建,河道形成钱堤,当钱堤临近闭合时,水流流速会急剧增加,会形成龙口,为防止龙口被冲溃,可在龙口堤头做石笼或抛石。抓住有利时机,迅速完成围堰施工及河道截流作业,使河道从导流建筑物下泄。

3.3.3 围堰保护区排水

上下游围堰共同组成一个围堰保护区,接下来对围堰保护区进行排水,创造一块干地环境,用于水利工程施工主体施工。此外,为保证围堰保护区的施工安全,需进行围堰边坡处理。

3.3.4 后期处理

在围堰保护区内的水利工程施工主体施工作业完成后,需要进行围堰拆除以及导流建筑物封堵作业,围堰拆除作业时应设置好围栏保护,并对周围设施进行处理,选择合适的拆除机器,如使用挖掘机和破碎锤,并搭建作业面与作业支架,进行分段拆除。导流建筑物已完成导流工作,因而对其进行封堵,明渠常采用现浇混凝土闸门,后续对明渠内回填土;隧道封堵则需局部或全部衬砌;涵管则可拆除或采用分段封堵作业,运用钢筋笼和混凝土进行封堵,尤其要注意对涵管口的加固^[5]。

3.4 分期围堰导流

对于河床宽、水流量大的河道,采用分期围堰导流,导流设计与施工准备不变,不过分期围堰导流与一次围堰导流的工序有一定差异。

3.4.1 一期围堰

分期围堰不将河道完全截断,而是部分截断。围堰要修建上游横向围堰、顺河的纵向围堰、下游横向围堰三部分,与河道岸堤结合,形成一个长方形结构,形成一期施工基坑。围堰修筑技术与上文相同,在龙口处需多加注意。

3.4.2 排水与设施施工

在一期施工基坑中,将多余水去除,做好边坡防护,而后在基坑中进行水利工程施工主体施工。

3.4.3 围堰拆除

完成一期施工后,对一期围堰进行拆除(顺河的纵向围堰可重复利用),此时以一期水利工程施工主体所设计的底孔、梳齿或切口作为泄水通道。

3.4.4 多期围堰

而后进行二次围堰施工、二期围堰内水利工程施工主体施工等,一期与二期主体施工有机衔接。多期围堰导流设计,按照此顺序,依次完成。

4 导流施工技术在水利工程项目建设中的优化应用策略

4.1 完善技术创新及科学管理机制

想要使导流施工技术在当前水利工程项目建设施工中的应用发挥出理想效果,必须意识到科技创新及科学管理是保障生产力的首要前提。从当前我国水利工程项目建设施工行业发展情况来看,科技创新已经受到了业内人士的广泛重视,但我国在新型技术研发方面依然呈现出能力较弱的状态,所应用的技术体系及相关机械设备还较为落后。这就需要加大技术体系创新及完善力度,积极借鉴国外先进技术经验,结合当前我国实际国情及水利工程项目建设行业发展情况来实现技术体系创新。与此同时,水利工程行业内部必须深刻认识到科学管理机制建设与完善的重要性。鉴于我国水利工程项目规模宏大,施工流程繁复且涉及众多环节,这就要求我们精心规划施工步骤,确保各环节之间的顺畅衔接。为此,建设单位、监理单位及相关政府部门需加大对水利工程施工全过程的监管力度,确保施工安排与施工图纸要求严格一致,以保障工程质量和进度。从当前导流施工技术在水利工程项目中的应用现状来看,众多施工单位已逐渐认识到,要充分发挥导流施工技术的作用,离不开完善、科学的管理机制作为支撑^[6]。因此,构建健全的导流施工技术应用管理体系已成为我国水利工程项目建设领域的一大重要发展趋势。

4.2 提升对高素质人才引进及培养的重视力度

随着我国社会发展步伐的不断加快和科技水平的持续提升,施工单位在引入新型技术体系的同时,愈发重视配备相应的技术人才。目前来看,技术人才引进及培养已经成为我国水利工程项目建设单位最为关

注的问题之一,几乎所有企业都将新型、高素质人才培养作为促进企业后续发展的主要力量。尤其对于水利工程引流施工工作来说,应用的导流施工技术体系具有一定复杂性,在实际开展导流施工过程中,会应用到多种操作设备,同时需要相关管理人员及技术人员有较强的专业思维能力、现场应变能力及创造能力,这样才能使水利工程项目建设施工质量及进度得到保证,同时也为施工单位后续发展注入了新的活力。因此,水利工程项目施工单位方面应该加大人才引进力度,可以与高校相关专业院系构建人才培养校企合作模式,保证高素质专业技术人员被持续引入到企业中,这些高校学生虽然实践操作能力较为薄弱,但接受能力较强,并且理论知识丰富,将其引入到企业之后,可以通过开展岗前培训的方式来使其快速适应岗位工作。同时,水利工程建设单位方面还应该组织技术人员定期到外地进行交流学习,通过与同行互相交流切磋来不断提升技术人员专业能力,丰富其工作经验^[7]。

5 结束语

导流施工技术作为水利工程建设的核心支撑技术,具有重要的应用价值。通过科学的设计、充分的准备和合理的施工,导流施工技术能够有效保障水利工程的顺利进行。同时,完善技术创新及科学管理机制、提升高素质人才引进及培养力度,是推动导流施工技术不断优化和创新的关键。未来,随着科技水平的不断提升和工程实践经验的不断积累,导流施工技术将在水利工程中发挥更加重要的作用,为我国水利事业的发展做出更大的贡献。

参考文献:

- [1] 张金山,韩静.刍议水利工程施工中导流施工技术的应用管理[J].砖瓦,2020,20(12):185-186.
- [2] 韩小勇.浅谈水利工程施工中导流技术的应用[J].建材发展导向,2021,19(04):73-75.
- [3] 江峰.试论水利工程施工中导流技术的应用[J].质量探索,2016,13(01):48-49.
- [4] 许朝会,孙凡永.浅谈水利工程施工中导流技术的应用[J].河南水利与南水北调,2015,17(10):6-7.
- [5] 赵小芳.对水利工程施工中导流施工技术应用的几点探讨[J].价值工程,2020,39(01):236-237.
- [6] 徐骏生.水利工程施工中导流技术的应用[J].技术与市场,2018,25(03):147,149.
- [7] 王锦春,陈强斌,吴凯文.试论导流施工技术在水利工程施工中的应用[J].工程建设与设计,2018(05):218-220.

水土保持技术在水利工程建设中的应用探析

黄治军

(陕西省安康市白河县水利技术工作站, 陕西 安康 725800)

摘要 水利工程是我国民生建设所需的重要基础设施, 而其建设质量与生态环境有着紧密的关系。水土保持技术在水利工程建设中的有效应用, 在保护水土资源、维护环境可持续发展等方面有着关键作用。本文介绍了多项水土保持技术, 并深入分析了其在水利工程建设中的具体应用, 旨在为提高水利工程建设质量与环境效益提供可靠的参考依据。

关键词 水土保持技术; 水利工程建设; 沟头防护工程; 沟底与沟岸治理

中图分类号: TV5

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.12.040

0 引言

水土流失是影响生态环境质量的重要因素, 而水利工程建设通常存在引发水土流失的问题, 进而打破生态环境的平衡状态, 对人类生产生活造成不良影响。因此, 施工单位在建设水利工程时, 应高度重视水土流失问题, 并选择与实际情况相符合的水土保持技术, 按照相应的规范要求科学操作水土保持技术, 发挥出其积极作用, 提高水利工程的整体质量与环境效益。

1 梯田技术在水利工程建设中的应用分析

水利工程建设区域常因地形、水文、土壤等多种因素的影响, 出现水土流失问题, 若不对其进行有效防控, 不仅会危害生态环境质量, 还会威胁人类的生命财产安全。为有效防控这一问题, 施工单位可在建设水利工程的过程中应用梯田技术。通过建设梯田, 能够减少水土流失, 提高土地利用率。

在梯田建设前期阶段, 施工单位应做好设计与规划, 可广泛征集群众意见, 积极采纳可行性建议, 实现梯田规划布局的合理性与可行性。在设计梯田时, 应坚持以小流域为单元, 充分考虑水利工程建设区域的地形、水土条件, 设计合适的梯田坡度, 避免因坡度过大加剧水土流失或坡度过小降低田间排水效果。一般而言, 梯田坡度应该控制在 25 度的范围内, 有助于保证梯田的稳定性, 提高其环境效益与经济效益。

在梯田建设过程中, 作业人员需对田地表面予以整平处理, 提高整个田面的平整性, 以方便后续耕作与灌溉。与此同时, 施工单位还要修筑坚固、耐用的田坎, 增设配套的引水、排水、灌溉等水利设施, 保证干旱季节能为梯田供应充足的水分, 雨季能排出田间多余的水分, 避免大量积水对土壤造成侵蚀影响,

从而有效防止水土流失。为提高梯田建设效率与质量, 施工单位可结合当地环境条件, 选用合适的机械设备, 实现梯田的机械化修筑, 以此减少人力成本投入, 统一梯田规划, 为后续梯田的管理维护提供更大的便利。

在梯田建设完成后, 相关单位还应将梯田与深翻、增施有机肥料等多项农业耕作手段进行结合, 提升土壤熟化速度, 增强土壤肥力, 发挥梯田增产增效的积极作用。在梯田管理过程中, 相关部门可引进智能化技术。例如: 在梯田建设区域安装传感器、监测设备等, 借此对梯田土壤温湿度、肥力等进行实时监测, 为农作物灌溉、施肥等多项活动提供可靠的参考依据。除此之外, 为进一步提高梯田的水土保持能力, 保障水利工程周围环境质量, 施工单位还可在梯田周围种植成活率较高的植被, 增加周边植被覆盖率, 降低雨水对土壤的冲刷力度, 促进植被恢复与保护, 进而保护梯田的生态环境^[1]。

2 沟壑治理技术在水利工程建设中的应用分析

在建设水利工程时, 施工单位应全面了解当地的地形、地势、水文等环境条件, 结合实际情况, 选用合适的技术手段, 建设出高质量的水利工程, 既能防洪灌溉, 也能维持当地水土平衡, 保护区域生态环境。施工单位若是在地形陡峭、植被覆盖率相对较差的沟壑区域建设水利工程时, 则要引入沟壑治理技术, 防治水土流失, 加强对该地区环境的有效保护。

2.1 沟头防护工程

沟头防护工程的有效建设能够为高质量的水利工程建设奠定良好的基础, 同时也能够降低水土流失概率, 保护工程周边环境质量。因此, 施工单位应结合实际情况, 在沟头上方区域建设合适的防护设施, 稳

固沟头区域的土层结构,改善水土流失问题。

施工单位可在沟头区域修建防护林,种植乔木、灌木等适应当地环境的植被,使其形成一道天然的屏障。而且植被根系有助于稳固土层结构,减缓地表径流速度,同时还能增加地表粗糙度,强化土壤的抗冲刷能力,从而减少水土流失。另外,施工单位也可在沟头上方建设拦水沟堤,以此对地表径流进行有效拦截,使得地表径流能够在安全稳定的位置下泄,以免因水流冲刷对沟头造成破坏,引发更大的水土流失问题。不仅如此,施工单位还可通过建设边坡护坡、挡土墙等加固沟头的方式,增强沟头边坡结构的稳固性,尽可能地减少水土流失,以免坡面出现滑坡灾害或遭受水流侵蚀。

除此之外,施工单位还可在沟头边坡种植沙棘、柠条等环境适应性强、根系发达的植被,扩大沟头植被覆盖面积,利用植被根系强化土壤的抗剪切能力,使土层结构更加稳固。施工单位还可采用双层围堰技术,在合适的位置修建主围堰与副围堰,构建一道多层次的立体拦截系统,以防沟头与沟岸的进一步延伸、扩张。与此同时,施工单位在围堰之间也要选种根系发达的灌木类植被,增强土壤的抗冲刷能力,以防雨水冲刷加剧水土流失^[2]。

2.2 沟底与沟岸治理

谷坊与淤地坝是治理沟底与沟岸区域环境的重要工程。

谷坊适合建在沟底比较相对比较宽、水流冲刷猛烈的沟段,尤其是“口小、肚大、低坡缓”的区域。通过建设高质量的谷坊,有助于巩固并抬高侵蚀基准面,避免沟底下切、沟岸扩张。在建设谷坊前,施工单位要考虑当地资源与经济条件,选择合适的谷坊类型,如土谷坊、浆砌石谷坊、干砌石谷坊等。在设计谷坊时,施工单位应综合考虑沟道纵坡、水流速度、泥沙含量等多项因素,将谷坊高度控制在 5 米以下。在建设谷坊时,施工单位要注意提高其基础稳固性,增强其拦沙能力与抵御水流冲刷的能力。

淤地坝适合建在沟底比降相对较小的沟段。该区域内部的水流冲刷作用虽然弱,但依旧需要借助淤地坝蓄水,借此减少泥沙流失,提高水资源利用率。在建设淤地坝前,施工单位需了解流域特点及工程建设要求,合理规划淤地坝的坝高、坝型、库容等多项参数,避免工程建设问题,保障施工质量。在建设淤地坝的过程中,施工单位还要在其中设置溢洪道,提高淤地坝的泄洪能力,避免洪水安全事故。同时还可以增设

排水设施,以方便灌溉与排水,为农业生产提供可靠的水利设施支持^[3]。

此外,施工单位也应在河道、沟道沿岸,修建护岸与导流堤。护岸堤的有效建设,不仅能防范山洪的横向侵蚀,还能在一定程度上起到控制或改变山洪流向的效用,保证水利工程的安全性及稳定性。建设护岸堤时,应根据当地地质、气候、水流特点、经济条件等多项因素,选择土石、混凝土、石材等合适的材料。导流堤具有分流、减速、消能等积极作用,对其进行设计与建设时,需充分考虑水流特点、地形地貌、工程需求,通过分析各项信息,明确导流堤的建设位置、长度、高度等多项参数,以此指导导流堤的施工建设,实现引导水流、保护河岸的目标,进而达到保持水土的最终目的。

2.3 山洪引导与利用技术

排洪道和导水堤的有效建设,能够实现对山洪流向的有效指引,使得山洪能被引流到指定通道中,进而削弱山洪对水利工程、城镇村庄等重点区域的危害,同时也能保障生态环境,避免水土流失。在修建排洪道时,需要提前做好地质勘查,了解建设区域的地形、地貌、地质结构等,分析洪水流向、流速等特点,设计规划排洪道的走向、宽度、深度等参数,还要在排洪道内安设排水管道、排水井等排水设施,使得洪水能够顺利排出。不仅如此,施工单位要在排洪道的关键位置安装监测设备,借此对洪水流量、水位等信息进行实时监测,以便为洪水防控提供可靠的参考数据信息。另外,针对沟中的泉水露头沟段,施工单位还可以修建塘坝或小水库,实现有效蓄水,满足农业灌溉等需求,进一步提高水资源利用率,保护水土与周围生态环境。

3 植被恢复与保护技术在水利工程建设中的应用分析

植被缺失是导致水利工程建设区域水土流失的重要原因。因此,在水利工程建设过程中,若想避免水土流失,可应用植被恢复与保护技术,增加水利工程周围植被覆盖率,降低水流对土壤的冲刷力度。通过大量植被根系的紧密固结,土壤结构会更加稳固,有助于保持区域水土,还能实现对生态环境的有效保护。

在水利工程建设区域,施工单位应采用植树造林、种草等方式,增加植被覆盖面积,稳固土壤结构。若是水利工程建设区域的水生态系统受损,就要选用人工湿地、生态浮岛等合适的生态修复技术。在修复过程中,应根据水生态环境条件,选择种植合适的水生植物类

型,注意其成活率,借由植物与水体的净化功能,加快水生生态系统的恢复速度,以此改善周围环境质量。

为维持生态环境的平衡状态,还应对水利工程建设区域的生态环境进行细化管理。结合其周边区域的地形、地貌、水文等条件,对生态环境进行分区管控,将生态环境良好区域与受损区域分隔开。针对生态环境良好的区域始终以保护为主,减少对环境的人为干扰。例如:建设水利工程时,应避免破坏原有地形地貌,以防影响生态平衡;针对生态环境受损的区域,就要采用合适的自然生态材料、工艺进行修复,以提高生态环境质量^[4]。

4 排水系统在水利工程建设中的应用分析

排水系统是水利工程中不可缺少的一部分,完善的排水设施能够避免积水,保持工程土体稳固,防止土体受水流因素影响,引发水土流失问题。因此,施工单位应高度重视水利工程排水系统的建设,配备排水管道、泵站等排水设施,以此提高水利工程的排水能力,以免洪水、积水影响水利工程的正常运行,同时也能保护周围生态环境。在设计排水系统时,施工单位应综合考量水利工程建设区域的地形地貌、水文、降雨量等因素,合理规划排水管网布局。若是水利工程建设区域降雨量比较大,就要增加排水管,扩大排水管网的覆盖面积,以此提高水利工程的排水量。另外,施工单位也要做好排水管道的布设工作,既要满足实际排水需求,也要避免对周围环境造成破坏。施工单位应结合施工需求与环境条件,选择合适的管道尺寸、材质与连接方式。除此之外,施工单位还可采用生态工程技术,完善农田水利工程的排水系统,如人工湿地、植物滞留带等,借此对农田排水进行有效的生态化处理,减少水土流失,保护水资源质量与安全。不仅如此,施工单位也要在水利工程中建设临时排水管道、移动泵站等应急排水设施,以便在面对突发洪水等自然灾害时,能够及时且快速地排出积水,保障工程安全与周围居民的生命财产安全^[5]。

5 表土回覆技术在水利工程建设中的应用分析

在水利工程施工建设前,通常要对施工区域地表土进行剥离,若是剥离操作不当,就会导致土层结构不稳,再加上该类土含有丰富的有机质与养分,一旦遭遇大量降雨,就会引发水土流失问题,致使土壤养分流失。而表土回覆技术具有保护、恢复水利工程建设区域土壤表层的实用性,在维持生态平衡,保持土壤肥力等方面有着重要作用。因此,在建设水利工程的过程中,施工单位应该合理应用表土回覆技术。具

体而言,施工人员要在水利工程建设前,将该区域的表土剥离出来并妥善保存,避免其因风吹日晒雨淋等自然因素致使养分流失。在完成水利工程建设后,施工人员则要将储存的表土回覆到工程区域,从而恢复土壤表层,为后续土壤肥力与植被的恢复奠定良好的基础。在剥离表土时,施工人员要根据土壤结构、质地、植被类型等因素,确定合适的表土剥离厚度,以免影响土壤结构稳固性。在回覆表土时,施工人员应保证土壤的均匀分布,以防出现局部凹凸不平的情况,还要做好土壤压实工作,进一步提高土壤的保水能力与稳定性。在完成表土回覆工作后,施工单位要选择种植合适的草种、树种,恢复植被覆盖率,同时也要对其进行定期浇水、施肥、除草等,促进植被的正常生长,加快水利工程施工区域的土壤恢复速度。若是在高陡坡面等一些难以恢复植被的区域,则可以在表土中增添适量的保水剂,以此实现对土壤的有效改良,从而提高植物的成活率与覆盖率,达到保持水土的最终目的^[6]。

6 结束语

水土保持技术是水利工程建设中不可缺少的重要手段,在强化工程结构的稳定性、保障工程运行效率与安全、改善周围生态环境等方面发挥着重要作用。作为施工单位,应深刻认识到水土保持技术在水利工程建设中的重要性,全面了解各种水土保持技术的特点与要点,根据水利工程建设需求与实际环境条件,选用合适的水水土保持技术,进而提高水利工程质量,促进其可持续发展。

参考文献:

- [1] 祁开云. 水利工程水土保持生态修复技术的应用探析[J]. 农业灾害研究, 2024, 14(02): 241-243.
- [2] 陈辉, 梁维军. 水土保持工作在水利工程建设中的应用[J]. 中文科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2022(02): 81-84.
- [3] 吕平. 水利工程建设中水土保持的必要性及对策研究[J]. 水电水利, 2023, 07(08): 34-36.
- [4] 李芳. 水土保持技术在水利工程建设中的运用[J]. 山西水土保持科技, 2024(01): 19-21.
- [5] 张春利. 水土保持技术在水利工程建设中的创新与应用[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2024(12): 220-222.
- [6] 王潇潇, 王然. 水利工程建设中水土保持生态修复技术的应用研究[J]. 水上安全, 2024(22): 91-93.

倾斜摄影测量技术在水利工程测绘中的应用研究

杨晓晨

(平顶山市水利勘测设计院, 河南 平顶山 467000)

摘要 本研究聚焦倾斜摄影测量技术在水利工程测绘中的具体应用, 介绍了倾斜摄影测量的基本原理、技术特点以及系统构成, 分析了其在水利工程测绘中的潜在应用价值, 详细阐述了水利工程在不同阶段(设计、施工、运营)的测绘需求, 以及传统测绘方法存在的局限性。在此基础上深入探讨了倾斜摄影测量如何满足水利工程的测绘需求, 并通过具体应用实践案例展示了倾斜摄影测量在地形地貌测绘、水文监测、工程变形监测以及其他应用场景拓展方面的应用效果和价值。研究结果表明, 倾斜摄影测量技术具有高效率、高精度、全面性等优点, 能够显著提高水利工程测绘的效率和准确性, 为工程设计、施工和运营提供有力支持。

关键词 倾斜摄影测量; 水利工程测绘; 地形地貌; 水文监测

中图分类号: TV22

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.12.041

0 引言

水利工程作为国民经济和社会发展的重要基础设施, 其规划、设计、施工及运营等各个阶段都离不开准确、全面的测绘数据支持。然而, 由于水利工程往往地处复杂多变的自然环境中, 地形地貌复杂、水文条件多变, 给传统的测绘工作带来了极大的挑战。传统的测绘方法不仅效率低下, 而且难以满足高精度、全面性的测绘需求, 这在一定程度上制约了水利工程的发展。随着科技的进步, 倾斜摄影测量技术逐渐崭露头角, 为水利工程测绘提供了新的解决方案。倾斜摄影测量技术通过相机倾斜角度的设置, 能够同时获取地面物体的垂直和倾斜影像, 进而实现三维信息的获取和重建^[1]。这一技术具有高效率、高精度、全面性、可视化等多重优点, 已在城市规划、交通建设、环境保护等多个领域得到了广泛应用, 并展现出了巨大的应用潜力。在水利工程领域, 倾斜摄影测量技术同样具有广阔的应用前景。通过倾斜摄影测量, 可以快速、准确地获取水利工程的地形地貌、水文条件、工程结构等全面信息, 为工程设计提供准确的基础数据; 同时, 还可以对工程变形、水文变化等进行实时监测, 及时发现并处理安全隐患, 确保水利工程的安全运行。

1 倾斜摄影测量技术概述

倾斜摄影测量技术的基本原理是通过在飞行平台上搭载多台相机, 以不同的倾斜角度对地面进行拍摄, 获取地面的多角度影像。这些影像经过数据处理和软

件建模, 可以生成可视化三维模型。倾斜摄影测量的技术特点包括高效率、高精度、全面性和可视化。高效率体现在可以快速获取大量地面信息; 高精度则保证了测绘结果的准确性; 全面性使得测绘结果更加完整、细致; 可视化则使得测绘结果更加直观、易于理解。

倾斜摄影测量系统主要由飞行平台、相机系统、数据处理软件等部分组成。飞行平台负责搭载相机进行空中拍摄; 相机系统则负责获取地面的多角度影像; 数据处理软件则负责对影像进行处理和建模, 生成三维模型。系统构成对测绘效果有着重要影响, 如相机分辨率的高低会直接影响三维模型的精度; 飞行平台的稳定性则会影响影像的清晰度。

2 水利工程测绘需求与倾斜摄影测量的适应性分析

水利工程在不同阶段(设计、施工、运营)都有着不同的测绘需求。在设计阶段, 需要准确测绘地形地貌、水文条件等, 为工程设计提供基础数据; 在施工阶段, 需要实时监测工程进度、质量控制等, 确保施工顺利进行; 在运营阶段, 则需要定期监测工程变形、水文变化等, 及时发现并处理安全隐患。传统测绘方法在满足这些需求时存在局限性, 如效率低下、精度不足等。

倾斜摄影测量技术能够很好地满足水利工程的测绘需求^[2]。通过三维建模, 可以实现地形地貌的精确测绘, 为工程设计提供准确的基础数据; 通过定期监测, 可以及时发现工程变形等安全隐患, 为工程运营提供有力保障。此外, 倾斜摄影测量还具有高效率、高精度、

全面性等优点,能够大大提高水利工程测绘的效率和准确性。

3 倾斜摄影测量在水利工程测绘中的具体应用实践

3.1 地形地貌测绘应用

在水利工程地形地貌测绘中,倾斜摄影测量技术以其高效、精确的特点,逐渐成为该领域的主流测绘手段。这一技术的应用实践,不仅提升了测绘工作的效率,更在准确性方面实现了质的飞跃。首先,倾斜摄影测量技术的实施需要精心的航线规划。根据测绘区域的地形地貌特征、测绘需求以及飞行平台的性能,合理规划飞行航线,确保飞行平台能够稳定、高效地覆盖整个测绘区域。这一步骤是倾斜摄影测量成功的基础,它决定了后续影像数据的获取质量和三维模型的精度。

在相机设置方面,倾斜摄影测量技术同样展现出了其独特的优势。根据测绘需求和精度要求,可以灵活调整相机的倾斜角度、分辨率、拍摄频率等参数。通过多角度、多方向的影像获取,为后续的三维建模提供了丰富、全面的数据支持。这种灵活的相机设置方式,使得倾斜摄影测量技术能够适应不同地形地貌的测绘需求,提高了测绘工作的灵活性和适应性。

数据处理是倾斜摄影测量中的核心环节。通过专业的数据处理软件,对获取的倾斜影像进行立体像对匹配、三角测量等一系列复杂处理^[3]。这些处理步骤不仅要求高度的专业性,还需要强大的计算能力和算法支持。经过这一系列处理,最终生成具有高精度、真实感的三维模型。这些三维模型不仅准确反映了地形地貌的细微特征,还以直观、立体的方式展现了测绘区域的全貌,为后续的工程设计和施工提供了宝贵的参考。

与传统测绘方法相比,倾斜摄影测量技术在地形地貌测绘中展现出了显著的优势。传统测绘方法往往耗时费力,且难以达到所需的精度和全面性。而倾斜摄影测量技术则通过高效率的影像获取方式和精确的数据处理方法,大大提高了测绘效率,缩短了测绘周期。同时,其生成的三维模型也具有更高的精度和真实性,满足了水利工程对测绘数据高准确性的要求。

此外,倾斜摄影测量生成的三维模型还具有广泛的应用价值。在可视化展示方面,三维模型可以以直观、生动的方式展现测绘区域的地形地貌特征,使得工程人员能够更清晰地了解测绘区域的情况。这种可视化展示方式不仅提高了工程人员的理解效率,还为工程设计和施工提供了直观的参考。在工程设计方面,三维模型可以作为设计的基础数据,帮助工程师更准确

地理解地形地貌特征,从而制定出更合理、更可行的设计方案。这种基于三维模型的设计方式,不仅提高了设计的准确性和可行性,还降低了设计成本和风险。

倾斜摄影测量技术在水利工程地形地貌测绘中的应用实践已经取得了显著成效。它通过高效的影像获取方式、精确的数据处理方法和广泛的应用价值,为水利工程的设计和施工提供了有力支持。随着技术的不断发展和完善,倾斜摄影测量技术在水利工程测绘领域的应用前景会更加广阔。

3.2 水文监测应用

倾斜摄影测量技术在水文监测领域的应用展现出了其独特的优越性。该技术通过定期捕获水面影像,为监测水流速度、水位变化等关键水文参数提供了创新性的手段。这些详尽且持续的水文数据,对于水利工程的日常运维与科学管理具有至关重要的意义。

相较于传统的水文监测方式,倾斜摄影测量技术凸显出显著的优势。它实现了对水流状态的实时观测,无需人工现场操作,极大地提升了监测效率。同时,借助先进的图像处理与分析技术,该技术能够从影像中精准提取水流表面的微妙变化,进而准确计算出水流速度、流向等水文参数,确保了数据的精确性和可靠性。

在水位监测方面,倾斜摄影测量技术同样表现出卓越的性能。通过对比不同时间点的水面影像,可以直观地把握水位的变化趋势,为水利工程的防洪调度、水资源配置等提供了科学的依据。这种监测方式不仅具有高精度,而且能够实现全天候、全自动化的监测,有效提高了水文监测的时效性和准确性。

然而,倾斜摄影测量技术在水文监测中的应用也存在一定的局限性。其监测效果在一定程度上会受到天气、光照等环境条件的制约^[4]。在阴雨天气或光照不足的情况下,影像的清晰度和对比度可能会受到影响,从而降低监测结果的准确性。因此,在实际应用中,需要充分考虑这些环境因素对监测效果的可能影响。

为了弥补倾斜摄影测量技术的不足,可以将其与其他监测方法相结合,进行综合分析。例如:可以结合雷达测速仪、水位计等传统监测设备,通过对比不同监测方法的结果,提高监测数据的准确性和可靠性。同时,还可以充分利用各种监测手段的优势,实现优势互补互助,提高水文监测的全面性和精确性。

倾斜摄影测量技术在水文监测领域具有广泛的应用前景和独特的优势。它以实时观测、高精度数据获取等特点,为水利工程的运维和管理提供了有力的技术支持。然而,也应充分认识到其局限性,并结合其

他监测方法进行综合分析,以充分发挥其在水文监测中的潜力,为水利工程的科学管理提供更加全面、准确的数据支撑。

3.3 工程变形监测应用

倾斜摄影测量技术在工程变形监测领域扮演着至关重要的角色。该技术通过定期捕获工程结构的影像资料,为监测其变形状况提供了有效且精确的手段。这些连续的影像数据,对于及时发现并妥善处理工程潜在的安全隐患,具有不可估量的价值。

在工程变形监测中,倾斜摄影测量技术展现出了其高精度和可靠性的显著优势。借助先进的摄影测量和图像处理技术,该技术能够精确捕捉工程结构表面的微小变化,进而准确评估其变形程度和趋势^[5]。这种高精度的监测方式,为工程的安全管理提供了科学、可靠的依据。

除了高精度外,倾斜摄影测量技术还具备强大的可视化展示和分析能力。通过三维建模等技术手段,可以将拍摄的影像数据转化为直观、立体的三维模型。这些模型不仅能够真实反映工程结构的当前状态,还能够通过对比不同时间点的模型,清晰展示其变形过程和趋势。这种可视化展示方式,使得工程管理人员能够更加直观地了解工程的变形情况,为制定有效的安全管理措施提供有力支持。

倾斜摄影测量技术在工程变形监测中具有不可替代的作用。它以高精度、可靠性以及强大的可视化展示和分析能力,为工程的安全管理提供了全面、准确的数据支持。通过定期监测和分析工程结构的变形情况,可以及时发现并处理潜在的安全隐患,确保工程的安全稳定运行。因此,倾斜摄影测量技术在工程变形监测领域的应用前景广阔,值得进一步推广和应用。

3.4 其他应用场景拓展

倾斜摄影测量技术在水利工程测绘中的应用不仅限于传统领域,其应用场景正不断得到拓展和深化。在施工质量控制方面,该技术发挥了举足轻重的作用。通过定期或实时地捕获施工现场的影像数据,倾斜摄影测量技术能够细致入微地监测施工过程中的每一个环节,及时发现并揭示潜在的质量问题。无论是混凝土浇筑的均匀性,还是结构件的安装精度,都逃不过这一技术的“火眼金睛”。这为施工管理人员提供了直观、准确的依据,助力他们迅速采取措施,确保施工质量符合规范要求。

在资产管理方面,倾斜摄影测量技术同样展现出了其独特的优势。通过构建水利工程设施的三维模型,该技术为资产管理者提供了一个全面、直观的资产管

理平台。无论是水库大坝、溢洪道还是水电站厂房,都可以在这个平台上找到它们的“数字孪生”。这些三维模型不仅包含了设施的几何信息,还可以整合材质、使用年限等属性数据,为资产的维护、更新和改造提供有力支持。

此外,在灾害预警与应急响应方面,倾斜摄影测量技术也发挥着不可替代的作用。当水利工程遭遇洪水、地震等自然灾害时,该技术能够迅速获取灾害现场的影像数据,为应急响应团队提供第一手资料。这些影像数据不仅可以帮助应急响应团队准确判断灾害的规模和程度,还可以为他们制定救援方案、调配资源提供科学依据。在灾害发生后,倾斜摄影测量技术还可以持续监测灾害现场的变化情况,为后续的灾害评估和重建工作提供有力支撑。

4 结束语

倾斜摄影测量技术凭借其独特的原理和技术特性,在水利工程测绘领域展现出了广阔的应用前景和显著的价值。通过深入探究倾斜摄影测量技术的基本原理、系统构成与功能,可以清晰地认识到其在提高测绘效率、精度、全面性和可视化方面所具备的优势。结合水利工程在设计、施工、运营等各阶段对测绘的具体需求,本文分析了传统测绘方法存在的局限性,并阐述了倾斜摄影测量如何有效满足这些需求,为水利工程的规划、建设和运维提供坚实的技术支撑。通过实际的应用实践,在地形地貌测绘、水文监测、工程变形监测以及其他相关应用场景中,充分证明了倾斜摄影测量的有效性和可靠性。该技术不仅提升了测绘工作的效率和准确性,还为水利工程的科学管理、安全运营以及灾害预警提供了创新的技术手段。未来,随着科学技术的持续发展和不断完善,倾斜摄影测量技术将在水利工程测绘领域发挥更加关键的作用,为水利事业的蓬勃发展贡献更大的力量。

参考文献:

- [1] 王杰,孟高原.倾斜摄影测量在水利工程测绘中的应用[J].测绘通报,2019(06):160-162.
- [2] 赵爽.无人机倾斜摄影测量在地形图测绘中的应用研究[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2024(03):34-37.
- [3] 刘三跃.无人机倾斜摄影测量在矿山测绘中的应用研究[J].中国厨卫,2024,23(05):344-346.
- [4] 侯健.倾斜摄影测量在水利工程测绘中的应用[J].住宅与房地产,2020(05):238.
- [5] 王玉军.倾斜摄影测量在水利工程测绘中的应用[J].工程技术发展,2020,01(01):55-56.

建筑电气防雷接地系统的关键技术与工程应用研究

蒲小兵

(上海建工一建集团有限公司安装工程公司, 上海 200080)

摘要 防雷接地系统是建筑电气工程中保障人身安全与设备正常运行的重要组成部分。随着现代建筑规模的扩大和电气系统复杂度的提高, 传统防雷接地系统面临接地电阻降低、等电位连接可靠性提升以及复杂环境下的施工难题等诸多技术挑战。本文基于防雷接地系统的基本原理, 深入探讨了防雷引下线设计优化、接地装置选型与布置、等电位连接实现方法以及智能化监测与维护等关键技术, 并结合不同建筑类型的工程应用案例, 总结关键问题及解决方案。研究表明, 结合新型材料、智能监测技术和大数据分析的现代防雷接地系统, 能有效提高系统的安全性和可靠性。本文对未来防雷接地系统的绿色化、智能化发展方向进行了展望, 以期为相关工程实践提供理论参考与技术支持。

关键词 建筑电气防雷接地系统; 等电位连接; 智能监测

中图分类号: TU89

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.12.042

0 引言

防雷接地系统是现代建筑电气工程中不可或缺的重要组成部分, 其主要功能是将雷电流通过科学合理的引导和接地装置传导至地面, 避免雷电对建筑物、人员及设备造成危害。随着城市化进程的加速和建筑规模的不断扩大, 建筑电气系统的复杂性与多样性显著提高, 传统防雷接地技术在高层建筑、大跨度建筑及特殊功能建筑中的适用性面临严峻挑战。近年来, 全球范围内雷电灾害频发, 因雷击导致的建筑物损毁和电气设备损坏事件层出不穷, 对生命财产安全构成严重威胁。尽管国内外学者已在防雷接地技术领域开展了大量研究, 并制定了多项标准与规范, 如《建筑物防雷设计规范》(GB 50057-2010) 和国际电工委员会 (IEC) 相关技术标准, 但在工程实践中, 如何有效降低接地电阻、提高等电位连接的可靠性以及解决复杂环境下的施工难题, 仍然是当前研究和工程应用亟需解决的核心问题。基于对防雷接地系统基本原理的深入分析, 本文系统梳理了当前防雷接地系统的关键技术, 包括防雷引下线的设计优化、接地装置的科学选型与布置、等电位连接的实现路径以及智能监测与维护技术。通过实际工程案例, 探讨了不同建筑类型中防雷接地系统的应用现状及常见问题, 总结了相关技术的改进方向和工程优化策略。本研究旨在为建筑电气防雷接地系统的技术升级和工程实施提供理论

支持与实践参考, 推动防雷接地系统向着高效、安全、智能化和绿色环保方向发展, 从而更好地满足现代建筑工程对电气安全的要求。

1 建筑电气防雷接地系统的基本原理

1.1 雷电的成因及危害

雷云中因气流的不断运动, 水滴和冰晶之间产生了剧烈的碰撞和摩擦, 从而导致正负电荷分离。随着电荷的积累, 云层之间或云层与地面之间形成强大的电场, 当电场强度超过空气的击穿极限时, 就会发生放电现象, 形成雷电。雷电以极高的电流强度、巨大的热效应以及强烈的机械冲击力著称, 其破坏力令人瞩目。雷电对建筑物的危害主要体现在三方面: 其一, 强大的雷电流可能通过建筑物结构或电力系统, 对设备造成直接的损坏, 甚至引发火灾; 其二, 雷电释放的巨大能量可能导致建筑结构受损, 如裂缝、脱落等问题; 其三, 雷电的强烈电磁干扰会对建筑物内部的弱电系统, 如通信和信号设备, 产生严重影响。雷电的不可预见性和强破坏性使得防雷接地系统成为建筑电气设计中不可或缺的环节^[1]。

1.2 防雷接地系统的分类与构成

防雷接地系统根据其功能可分为外部防雷系统和内部防雷系统。外部防雷系统旨在直接防御雷击对建筑物造成的破坏, 由接闪器、引下线和接地装置构成。接闪器是外部防雷系统的核心部件, 通过避雷针、避

雷带或避雷网捕捉雷电流并引导至引下线。引下线负责将雷电流传导至接地装置，其布置应尽量垂直且最短，以降低感应电压和阻抗。接地装置是雷电流最终泄放的出口，通过与地面形成低电阻连接，将雷电流迅速分散入地，降低周围环境的电位。内部防雷系统则用于保护建筑物内部设备免受雷电电磁脉冲的影响。其主要组成部分包括等电位连接、屏蔽措施和电涌保护装置（SPD）。等电位连接通过将金属结构、管道、电气设备外壳等联结为一个整体，从而减少雷击产生的电位差。屏蔽措施可以有效削弱雷电电磁脉冲的影响，而电涌保护装置则用于限制过电压的幅度，从而保护电气设备的安全^[2]。

1.3 防雷接地系统的工作原理

防雷接地系统的工作原理可以概括为捕捉、传导和释放雷电流三个阶段。首先，外部防雷系统通过接闪器捕捉雷电流。当雷电靠近建筑物时，接闪器通过其突出位置和尖端效应，将雷电引导至安全的传导路径，从而避免雷电直接击中建筑物的其他部分。接闪器的设计需要综合考虑建筑物的类型、高度以及周边环境的特点。其次，雷电流通过引下线传导至地面。引下线作为雷电流的传输通道，其设计需尽量缩短路径，并避免急转弯或多次分支，以降低雷电流传导时的电阻和产生的电磁干扰^[3]。最后，雷电流通过接地装置泄放入地。接地装置通过与地表形成低电阻的连接，将雷电流迅速扩散至地面，并降低周围土壤的电位，从而保护建筑物和人员的安全。高效的接地装置设计需要满足规范要求，如接地电阻通常不得超过 10 欧姆，以确保雷电流能够迅速而彻底地泄放。

2 建筑电气防雷接地系统的关键技术

2.1 防雷引下线的设计与优化

防雷引下线是连接接闪器与接地装置的关键通道，其作用在于将接闪器捕捉的雷电流迅速传导至地面，避免雷电流在传导过程中对建筑物和设备造成危害。设计中应特别关注引下线的布置路径与电气连续性，以减少雷电流传导的阻抗和电磁干扰。在高层建筑中，为减少雷电流的分流和电磁感应效应，常采用多条引下线均匀分布的方式，并尽量布置在建筑物外墙的垂直方向上。优化引下线设计的关键在于尽量缩短路径、减少急转弯和尖角，以避免雷电流传输过程中产生过大的感应电压^[4]。为了提升系统的耐用性和安全性，引下线的材质通常选用耐腐蚀性强、导电性能好的铜材或镀锌钢材。在施工中需严格保证引下线与接闪器、接地装置的电气连接可靠性，并采用焊接或紧固连接

的方式以确保长期稳定运行。在某些特殊场景下，如高湿度或高腐蚀性环境中，可通过外加防护层或使用特殊涂层材料来增强引下线的抗腐蚀性。

2.2 接地装置的设计要点与选材

接地装置是雷电流最终泄放的出口，其设计直接关系到防雷系统的性能和效率。接地装置的主要功能是将雷电流迅速扩散到地表，并将接地电阻控制在合理范围内。设计中，接地装置的类型选择和结构布置需根据建筑物的功能、场地条件以及土壤电阻率综合确定。在常见的接地装置类型中，水平接地体和垂直接地体的组合是应用最广泛的形式，可有效降低接地电阻并增强接地装置的散流能力。在场地条件较差的情况下，如土壤电阻率较高时，可通过增大接地体尺寸、增加接地体数量或采用接地模块等手段进行优化。

选材方面，接地装置需要具备优异的导电性和抗腐蚀性，常选用镀锌钢材、铜材或铜覆钢材料。在高腐蚀性环境中，应优先选用抗腐蚀能力更强的纯铜材料或经过特殊防腐处理的合金材料。施工中，应确保接地装置的安装深度和周围土壤的密实度，以减少接地装置的接触电阻，并定期检查和维持其工作状态。

2.3 等电位连接技术及其实现路径

等电位连接技术是内部防雷系统的重要组成部分，其主要目的是通过将建筑物内的金属构件、设备外壳和电气系统连接成一个等电位体，以减少雷电流引发的电位差，保护人员和设备的安全。等电位连接分为总等电位连接、局部等电位连接和功能等电位连接三种形式。

在实现总等电位连接时，通常通过在建筑物基础部位设置总接地端子，将接闪器、引下线、接地装置以及建筑物内的主要金属构件和电气系统统一连接起来，确保整体电位的一致性。局部等电位连接则主要应用于建筑物内部的功能性区域，如配电室、机房和卫生间等，通过将局部设备的外壳和金属管道连接到局部等电位端子，实现局部区域的电位均衡。功能等电位连接则针对特殊设备或系统的保护需求，如通信设备和电子系统等，其设计需结合电磁屏蔽措施和过电压保护装置，确保设备的稳定运行。

3 防雷接地系统的工程应用研究

3.1 不同类型建筑的防雷设计案例分析

以高层建筑为例，由于其结构高度较高，直接雷击的风险显著增加，因此防雷设计通常采用避雷针与避雷带结合的形式，确保整个建筑顶部的保护范围覆盖完整。引下线的设计则以等间距布置为原则，配合

内部金属结构作为自然引下线,以减小雷电流传输的阻抗。一些标志性高层建筑在设计中通常采用多功能接闪器,并通过设置大型水平接地网有效分散雷电流,实现优良的防雷效果。

工业厂房的防雷设计则需重点考虑雷电对内部设备和生产工艺的影响。一些化工厂房中存在易燃易爆物质,雷击可能导致严重的生产安全事故^[5]。针对这一情况,防雷设计不仅需要在外部设置可靠的接闪系统,还需加强内部电涌保护装置的布置,确保弱电系统和控制设备的安全运行。对于特殊用途建筑,如医院、数据中心等,其防雷设计除常规保护措施外,还需重点考虑电磁屏蔽与功能等电位连接。如在大型医疗机构的防雷设计中,通过在关键设备区域增设局部等电位连接装置,并采用全方位屏蔽措施,可有效避免雷电电磁脉冲对精密医疗设备的干扰,确保设备运行的稳定性和患者的安全。

3.2 防雷接地系统施工中的关键问题与解决措施

施工是防雷接地系统设计落地的关键环节,其质量直接影响系统的防雷效果。在施工过程中,常见的关键问题包括接地装置安装不规范、引下线连接不牢固以及施工质量受环境影响等。接地装置的施工中,常出现因土壤回填不密实导致接地电阻超标的问题。为解决此类问题,应在施工前进行土壤电阻率的全面测量,并结合现场条件合理选择接地形式和降阻措施。在施工过程中,通过分层夯实回填土壤,并添加降阻剂,能够有效改善接地电阻性能。接地装置与引下线的连接需采用可靠的焊接方式,并使用防腐材料对焊接部位进行处理,以提高系统的长期稳定性^[6]。

引下线施工中,应尽量减少线缆路径的急转弯和分支,同时保证其与建筑物金属构件的良好电气连接。例如:在某项目施工中,由于引下线路径规划不当,导致雷电流分流明显。通过重新优化布线方案,减少弯曲点并增设均压环,成功降低了系统的阻抗并改善了电磁干扰情况。

3.3 应用中的典型问题与优化对策

针对接地电阻升高的问题,通常是由于接地装置受环境变化影响,导致接地体与土壤接触不良或腐蚀严重。解决该问题的关键在于定期对接地装置进行检测和维护,同时在设计阶段加强接地装置的防腐处理,如采用耐腐蚀材料或在接地体外部增加防护层。电涌保护装置的失效通常源于长期使用后元器件老化或雷击作用次数超出其承受范围。对于这种情况,可通过智能监测系统实时监控装置的工作状态,并在必要时

及时更换。此外在选择电涌保护装置时,应根据建筑物的防雷等级和实际需求选择合适的产品,以确保保护效果^[7]。

等电位连接效果不佳的问题多与连接点缺失或连接不牢有关。在实际操作中,应全面检查系统的等电位连接节点,确保连接点的完整性和导通性。例如:在通信设施项目中,通过加强对局部等电位连接的检查和优化布线方案,可有效解决雷电电磁脉冲对通信设备的干扰问题。

4 结束语

建筑电气防雷接地系统作为保障建筑物及其内部设备免受雷击危害的重要屏障,在现代建筑领域中发挥着不可或缺的作用。通过对防雷接地系统基本原理的深入探讨、关键技术分析以及工程应用的研究,可以清晰地认识到:科学的设计、规范的施工、严格的测试与评估,是确保系统安全性与可靠性的核心所在。随着建筑物功能需求的日益复杂和雷电灾害应对标准的不断提高,防雷接地系统的技术发展也逐步迈向智能化和集成化。在未来的实践中,应进一步加强技术创新与工程应用的结合,通过引入新材料、新技术与新设备,不断优化系统的设计与施工方法,提高系统的防护效果和使用寿命。此外,防雷接地系统作为一项复杂的工程体系,需始终以安全为核心,以科学为基础,强化各环节的协调与管理,从而实现经济性、可靠性与安全性的平衡。通过对关键技术的持续改进与应用案例的总结推广,可以进一步提升建筑电气防雷接地系统的整体水平,为现代建筑电气工程提供更可靠的防护方案,也为建筑物及其内部人员与设备的安全创造更加坚实的保障。

参考文献:

- [1] 牛涛.浅谈智能建筑电气设备安装技术[J].智能建筑与智慧城市,2024(S1):88-90.
- [2] 杨永康.建筑电气施工中低压电气安装技术的运用[J].城市建设理论研究(电子版),2024(34):10-12.
- [3] 刘惠文,张莹,邓雅琦,等.建筑电气工程中的防雷接地技术及其应用研究[J].自动化应用,2024,65(20):36-38.
- [4] 张艳,朱文昊.建筑电气在高层建筑中的运用[J].建筑科学,2024,40(09):203.
- [5] 同[4].
- [6] 曾亮.建筑电气工程中防雷接地系统的施工技术[J].散装水泥,2024(04):98-100.
- [7] 王奉来.防雷接地施工技术在建筑电气安装中的应用[J].电气技术与经济,2024(08):140-143.