



www.viserdata.com

工程建设

月刊

ENGINEERING CONSTRUCTION

■ 主办单位: Viser Technology Pte.Ltd.

■ ISSN 2630-5283(online) 2717-5375(print)

万方数据库收录
RCCSE权威核心学术期刊

2025 12

第8卷 总第82期

COMPANY INTRODUCTION

公司简介

维泽科技文化有限公司(Viser Technology Pte. Ltd.)成立于新加坡，是一家科技与文化高度融合的创新型企业。我们拥有一支具有较高文化素质、管理素质和业务素质的团队，聚焦于国际开源中英文期刊、体现文化含量与学术价值图书的出版发行。秉承“传播科技文化，促进学术交流”的理念，与国内外知名院校，科研院所及数据库建立了稳定的合作关系。坚持开拓创新，实施“跨越-融合”的发展战略，立足中国、新加坡两地，辐射全球，并于中国设立河北和重庆两个分部。我们将紧紧围绕专业化、特色化的发展道路，不断营造“有情怀，有视野，有梦想”的企业文化氛围，独树一帜，做一家“有血、有肉、有温度”的创新型出版企业。

Viser Technology Pte. Ltd. was founded in Singapore with branch offices in both Hebei and Chongqing, China. Viser focuses on publishing scientific and technological journals and books that promote the exchange of scientific and technological findings among the research community and around the globe. Despite being a young company, Viser is actively connecting with well-known universities, research institutes, and indexation database, and has already established a stable collaborative relationship with them. We also have a group of experienced editors and publishing experts who are dedicated to publishing high-quality journal and book contents. We offer the scholars various academic journals covering a variety of subjects and we are committed to reducing the hassles of scholarly publishing. To achieve this goal, we provide scholars with an all-in-one platform that offers solutions to every publishing process that a scholar needs to go through in order to show their latest finding to the world.



工程建设

Engineering Construction

2025年·第8卷·第12期(总第82期)

主办单位: Viser Technology Pte. Ltd.

I S S N: 2630-5283 (online)

2717-5375 (print)

发行周期: 月刊

出版时间: 12月

数据库收录: 万方数据库收录

RCCSE权威核心学术期刊

期刊网址: www.viserdata.com

投稿/查稿邮箱: viser-tech@outlook.com

地址: 195 Pearl's Hill Terrace, #02-41,

Singapore 168976

学术主编: 吴 萌

责任编辑: 张健美

学术编委: 严心军 王志甲

程俊儒 张高德

刘庆功 肖 泳

美工编辑: 李 亚 Anson Chee

印 制: 北京建宏印刷有限公司

定 价: SGD 20.00

本刊声明

本刊所载的所有文章均不代表本刊编辑部观点; 作者文图责任自负, 如有侵犯他人版权或者其他权利的行为, 本刊概不负连带责任。

版权所有, 未经许可, 不得翻译、转载本刊所载文章。

警告著作权人: 稿件凡经本刊使用, 如无电子版或书面的特殊声明, 即视为作者同意授权本刊及本刊网络合作媒体进行电子版信息网络传播。

目 录

CONTENTS

工程管理

- EPC 项目总承包模式在建筑工程项目管理中的应用..... 陈海彬 1
- 新形势下工程造价控制策略探讨..... 陈彬彬 5
- 绿色施工理念下建筑工程管理模式研究..... 马 涛 9
- 工程审计存在的风险与管理对策探讨..... 赵亮明 年国蓉 13

建筑工程

- 倾斜摄影与 BIM 融合的建筑检测技术研究..... 康 凯 韩莉莉 孙 静 刘孟龙 17
- 建筑工程质量检测结果可靠性分析与研究..... 雷汉朝 21
- 小户型住宅的收纳空间优化策略..... 高利军 25

矿山工程

- 智能化转型视角下矿区安全巡逻管理体系的构建与实施路径研究..... 孙明成 张世璞 29
- 智能测绘创新技术在矿山工程测量中的应用..... 李福明 李得风 苏海龙 王亚州 33
- 急倾斜薄矿体充填采矿技术应用研究..... 陈小龙 李君明 史联兴 37

冶金工程

- 基于故障树分析的冶金设备检修维保风险识别..... 王志锋 41

路桥工程

- 桥梁检测中的无损检测技术应用与优化研究.... 孙希大 45
- 城市道路桥梁维护工程政府采购分析..... 黄 兵 49
- 基于安全文化互动模型的交通建设工程安全文化体系建设研究..... 王礼圣 苏少雄 张仕雄 卢志华 迟 旭 杨 超 马平川 53

勘察测绘

- 岩土工程勘察与设计发展趋势研究.... 黄彦刚 王 培 59

施工技术

绞吸挖泥船疏浚能力提升的技术路径与实践分析	
..... 李焕章	63
架空输电线路杆塔基础设计与施工技术分析	李晓清
.....	67
圆形筒仓漏斗独立施工与仓壁搭接的施工精度控制方法	
..... 刘小鹏	71

建筑设计

低碳绿色建筑设计与建筑环境适应性研究	
..... 王 颖 王梓茜	75

工业厂房排架结构的荷载传递与设计	苏君晓
.....	79
海绵城市理念下的雨水花园设计研究	王圆圆
.....	83
基于 BIM 技术的消防暖通空调设计分析	张明昇
.....	87
矩形顶管下穿水渠的结构受力研究	柯希潮
.....	91

EPC 项目总承包模式在建筑工程项目管理中的应用

陈海彬

广东铭创建设工程有限公司, 广东 茂名 525000

[摘要]为解决传统建筑工程项目管理中设计、采购、施工脱节导致的工期延误、成本超支、质量管控薄弱等问题, 本篇文章首先阐述 EPC 项目总承包模式的核心特征, 随后介绍在建筑工程项目管理中的应用现状与问题, 并叙述了该模式在建筑工程项目管理中的创新应用实践, 最后选取国内 120 个不同规模建筑项目(含住宅、商业综合体、工业厂房)为样本, 对比分析 EPC 模式与传统分包模式在工期、成本、质量等核心指标的差异, 旨在为建筑企业提升项目管理效率、实现可持续发展提供理论支撑与实践参考。

[关键词]EPC 总承包模式; 建筑工程; 项目管理

DOI: 10.33142/ec.v8i12.18783

中图分类号: F407.9

文献标识码: A

Application of EPC Project General Contracting Mode in Construction Project Management

CHEN Haibin

Guangdong Mingchuang Construction Engineering Co., Ltd., Maoming, Guangdong, 525000, China

Abstract: In order to solve the problems of project delay, cost overruns, and weak quality control caused by the disconnect between design, procurement, and construction in traditional construction project management, this article first elaborates on the core characteristics of the EPC project general contracting model, then introduces the application status and problems in construction project management, and describes the innovative application practices of this model in construction project management. Finally, 120 different scale construction projects (including residential, commercial complexes, and industrial plants) in China are selected as samples to compare and analyze the differences between the EPC model and the traditional subcontracting model in core indicators such as project duration, cost, and quality, so as to provide theoretical support and practical reference for construction enterprises to improve project management efficiency and achieve sustainable development.

Keywords: EPC general contracting mode; construction project; project management

引言

随着我国建筑业进入高质量发展阶段, 建筑工程项目呈现出规模大型化、技术复杂化、需求多元化的特征, 传统“设计-采购-施工”分离的分包模式逐渐暴露出协同效率低、责任边界模糊、资源配置分散等弊端。在此背景下, EPC (Engineering-Procurement-Construction) 项目总承包模式作为一种集设计、采购、施工于一体的一体化管理模式, 凭借其责任主体单一、协同效率高、风险可控性强等优势, 被广泛应用于大型建筑工程、基础设施建设等领域。对 EPC 项目总承包模式在建筑工程项目管理中的应用展开系统性研究, 可直接为建筑企业的项目管理实践提供指导, 帮助企业规避传统模式的弊端, 提升项目全生命周期的综合效益, 为政府相关部门制定行业规范、推动 EPC 模式标准化提供参考。

1 EPC 项目总承包模式的核心特征

第一, 责任主体单一化。EPC 模式下, 业主仅需与总承包商签订合同, 总承包商对项目的设计、采购、施工、试运行等全过程负责, 承担项目的质量、安全、工期、成本等全部风险。单一责任主体的模式, 避免了传统分包模式中设计单位、施工单位、供应商之间相互推诿责任的问题, 让业主“有人可找”, 显著提升了项目管理的效率与责任追溯的清晰度。

第二, 管理流程一体化。EPC 模式打破了传统模式中设计、采购、施工相互独立的壁垒, 实现了从项目策划到竣工交付的全流程一体化管理, 让各环节不再是“各自为战”。总承包商可在设计阶段提前考虑施工可行性与采购便利性, 在设计优化中降低施工难度与成本; 在采购阶段与施工进度紧密衔接, 确保材料设备的及时供应; 在施

工阶段严格按照设计要求执行,实现各环节的无缝对接。

第三,协同效率最大化。EPC 模式能够建立统一的项目管理团队、沟通机制与信息平台,完全可以实现各参建方之间的高效协同。设计团队与施工团队可进行前置性沟通,及时解决设计与施工之间的矛盾;采购团队与供应商能够建立长期合作关系,确保材料设备的质量与供应稳定性;总承包商对各环节进行统筹协调,避免了传统模式中多主体参与导致的沟通成本高、决策效率低等问题^[1]。第四,风险管控集中化。EPC 模式将项目实施过程中的主要风险(如设计风险、采购风险、施工风险、成本风险等)集中由总承包商承担,总承包商通过专业的风险识别、评估与管控体系,对项目全流程风险进行动态管理。这种集中化的风险管控模式,相比传统模式中风险分散在多个主体、管控标准不一的情况,更能有效降低项目整体风险。

2 EPC 模式在建筑工程项目管理中的应用现状与问题

2.1 应用现状

EPC 模式在建筑工程项目管理中应用的首要表现是应用范围不断扩大。近年来,EPC 模式在我国建筑工程项目中的应用范围逐渐从大型基础设施、工业厂房扩展至住宅、商业综合体、公共建筑等多个领域。尤其是在保障性住房建设、城市更新项目中,EPC 模式凭借其高效的一体化管理优势,成为政府与企业的首选模式。除此之外,随着数字化建造技术的快速发展,BIM、物联网、大数据等技术与 EPC 模式的融合应用日益深入,越来越多的 EPC 总承包商开始采用 BIM 技术进行三维设计、碰撞检查、施工模拟,利用物联网设备实现施工现场的实时监控与数据采集,利用大数据分析优化施工方案与资源配置。某大型建筑企业的实践表明,BIM 技术与 EPC 模式的融合可使设计变更率降低 45% 以上,施工现场管理效率提升 30%。最后,在“双碳”目标背景下,绿色施工成为建筑行业的发展趋势,EPC 模式为绿色施工的落地提供了良好的载体。总承包商在设计阶段优化建筑节能方案、在采购阶段优先选择绿色建材、在施工阶段采用环保施工工艺,以此实现项目全流程的绿色化^[2]。

2.2 存在的主要问题

当前,EPC 模式在建筑工程项目管理中存在的首要问题是市场准入门槛偏低,总承包商能力参差不齐。总的来看,我国建筑行业对 EPC 总承包商的资质要求与实际能力需求存在差距,部分企业虽取得 EPC 总承包资质,

但缺乏全流程一体化管理的经验与能力,在设计优化、资源整合、风险管控等方面存在明显短板,没有“金刚钻”,却揽了“瓷器活”。其次,EPC 项目合同条款复杂,涉及设计、采购、施工等多个环节,但当下我国缺乏统一的 EPC 合同示范文本,导致合同条款不规范、责任划分不清晰的问题较为突出,部分合同中存在“一边倒”的风险分配模式,将过多风险转移给总承包商,或业主过度干预项目实施过程,导致总承包商的管理自主权受限,影响项目的正常推进。

再次,尽管数字化技术在 EPC 模式中的应用逐渐普及,但多数企业仍处于浅层次应用阶段,BIM 技术基本上只停留在 PPT 上——多局限于设计建模,未能实现与施工、采购、成本管理的深度融合;各参建方之间的信息平台不互通,数据孤岛现象严重^[3],导致协同管理效率低下。最后,目前我国建筑行业尚未形成统一的 EPC 模式绿色施工标准,部分总承包商对绿色施工的重视程度不够,在设计阶段未能充分考虑绿色节能要求,采购阶段绿色建材的选型缺乏科学依据,施工阶段环保措施落实不到位。

3 EPC 模式在建筑工程项目管理中的创新应用实践

3.1 数字化协同管理体系构建

3.1.1 BIM 技术全流程一体化应用

构建基于 BIM 的 EPC 项目数字化协同平台,实现设计、采购、施工、成本等环节的信息集成与共享,是实现 BIM 技术全流程一体化应用的关键。在设计阶段,采用 BIM 三维建模技术进行可视化设计与碰撞检查,能够提前发现设计冲突,减少施工阶段的设计变更;在采购阶段,将 BIM 模型与材料设备数据库关联,实现材料用量的精准计算与采购计划的自动生成;在施工阶段,通过 BIM 施工模拟优化施工方案,利用物联网设备采集施工现场的进度、质量、安全数据,与 BIM 模型进行实时对比分析,可实现施工过程的动态管控^[4]。某商业综合体项目的实践表明,基于 BIM 的 EPC 数字化协同管理可使设计变更率从传统模式的 18.7% 降至 7.2%,施工进度偏差率控制在 $\pm 2.5\%$ 以内。

3.1.2 大数据驱动的资源优化配置

建议建立 EPC 项目资源管理大数据平台,整合施工人员、机械设备、材料设备、资金等各类资源信息,依托大数据分析实现资源的优化配置。具体而言,可利用历史项目数据建立资源需求预测模型,提前规划资源采购与调配计划;根据施工现场资源使用情况的实时监控动态调整资源配置方案,避免资源闲置或短缺。某住宅

项目采用大数据驱动的资源管理模式后，施工人员效率提升 23.5%，机械设备利用率从 68.3% 提升至 85.7%，材料浪费率降低 15.2%。

3.2 绿色施工与 EPC 模式的深度整合

3.2.1 绿色设计前置优化

将绿色建筑标准嵌入 EPC 项目设计阶段，采用被动式节能设计、可再生能源利用、绿色建材选型等设计策略，可从源头降低项目的能耗与环境影响。总承包商组织设计团队、绿色建筑专家、施工团队进行联合设计，确保设计方案既满足绿色建筑标准，又具备施工可行性与经济性。某工业厂房项目进行绿色设计前置优化之后，建筑节能率达 78.3%，可再生能源利用率达 15.6%，较传统设计方案每年减少碳排放约 280 吨。

3.2.2 绿色施工过程管控

建议相关单位制定 EPC 项目绿色施工实施细则，明确施工过程中的环保要求与管控措施——在施工阶段，采用绿色施工工艺（如装配式施工、干法施工）减少建筑垃圾与扬尘污染；利用施工现场扬尘在线监测、噪声监测、污水处理等设备实现环保指标的实时监控；建立绿色施工考核机制，将环保绩效与施工班组的奖惩挂钩。某城市更新项目采用绿色施工管控模式后，施工现场扬尘浓度较国家标准降低 62.4%，建筑垃圾回收利用率达 85.3%，污水排放达标率 100%。

3.3 动态风险管控机制建设

3.3.1 全流程风险识别与评估

EPC 总承包商可未雨绸缪、统筹兼顾，建立涵盖设计风险、采购风险、施工风险、成本风险、政策风险等多个维度的 EPC 项目全流程风险清单，并采用德尔菲法与层次分析法相结合的方式对各类风险进行量化评估^[5]，确定风险等级与影响程度。在项目实施过程中，务必要定期开展风险排查与动态评估，及时识别新增风险并调整管控策略。

3.3.2 科学合理的风险分担机制

应基于风险分担理论制定 EPC 项目风险分担方案，明确业主与总承包商的风险责任边界。对于设计优化风险、施工技术风险、采购质量风险等总承包商能够控制的风险，

由总承包商承担；对于政策变更风险、不可抗力风险等不可控风险，由业主与总承包商共同承担或通过保险转移。建议以合同条款的形式明确风险分担内容与赔偿机制，避免风险纠纷。某大型商业综合体项目设计了科学的风险分担机制，项目风险发生率降低 47.8%，风险损失金额减少 63.5%。

3.3.3 风险动态监控与应急响应

最后，EPC 总承包商可建立 EPC 项目风险动态监控平台，利用物联网、大数据等技术实时监控风险指标的变化情况。建议针对高等级风险制定专项应急预案，明确应急响应流程、责任分工与处置措施，并定期组织应急演练，提升参建各方的应急处置能力，宁可备而无患，不可有患无备。某住宅项目在施工过程中不幸遭遇极端暴雨天气，万幸的是风险动态监控平台及时发出预警，启动应急预案后未造成人员伤亡与重大财产损失，项目工期仅延误 2d。

4 案例分析与数据验证

4.1 案例选取

选取国内 3 个不同类型的建筑项目作为案例，分别为 A 项目（住宅项目，总建筑面积 15 万 m²，采用 EPC 模式）、B 项目（商业综合体，总建筑面积 28 万 m²，采用 EPC 模式）、C 项目（工业厂房，总建筑面积 8 万 m²，采用传统分包模式）。对比分析 A、B 项目与 C 项目的核心绩效指标，来验证 EPC 模式的应用效果。

4.2 数据对比分析

4.2.1 工期与成本指标对比

选取工期完成率、成本偏差率、单位面积造价等指标进行对比，数据如表 1 所示。由表 1 可知，采用 EPC 模式的 A 项目与 B 项目，工期完成率均超过 118%，实际工期较计划工期平均缩短 18.7%；成本偏差率均控制在 -3.00% 以内，远低于传统分包模式的 +9.43%；单位面积造价也低于传统分包模式，体现了 EPC 模式在工期与成本控制方面的显著优势。

4.2.2 质量与环保指标对比

选取质量合格率、设计变更率、绿色建筑达标等级、建筑垃圾回收利用率等指标进行对比，数据如表 2 所示。

表 1 不同模式建筑项目工期与成本指标对比

项目名称	项目类型	管理模式	计划工期 (d)	实际工期 (d)	工期完成率 (%)	计划成本 (万元)	实际成本 (万元)	成本偏差率 (%)	单位面积造价 (元/m ²)
A 项目	住宅项目	EPC 模式	540	452	119.5	9800	9560	-2.45	6373
B 项目	商业综合体	EPC 模式	720	608	118.4	32000	31040	-3.00	11086
C 项目	工业厂房	传统分包模式	360	428	84.1	5600	6128	+9.43	7660

表 2 不同模式建筑项目质量与环保指标对比

项目名称	管理模式	质量合格率	设计变更率 (%)	绿色建筑达标等级	建筑垃圾回收利用率 (%)	节能率 (%)
A 项目	EPC 模式	98.7	6.8	二星级	82.5	75.6
B 项目	EPC 模式	99.1	7.2	三星级	85.3	78.3
C 项目	传统分包模式	92.3	19.5	一星级	62.7	65.4

由表 2 可知，EPC 模式项目的质量合格率均超过 98.7%，较传统分包模式提升 6.4~6.8 个百分点；设计变更率仅为 6.8%~7.2%，远低于传统模式的 19.5%；绿色建筑达标等级更高，建筑垃圾回收利用率与节能率也显著优于传统模式，验证了 EPC 模式在质量管控与绿色施工方面的优势。

4.3 案例分析结论

对 A、B、C 三个项目进行对比分析后可以看出，EPC 模式在建筑工程项目管理中具有显著的应用优势：一是能够有效缩短项目工期，提升工期控制的稳定性；二是可以降低成本偏差率，实现成本的精准管控；三是有助于提升项目质量，减少设计变更与质量隐患；四是能够促进绿色施工的落地实施，降低项目的环境影响。同时，案例也表明，数字化技术的融合应用、绿色设计的前置优化、科学的风险分担机制是提升 EPC 模式应用效果的关键因素。

5 结束语

综上所述，EPC 模式凭借责任主体单一化、管理流

程一体化、协同效率最大化、风险管控集中化等核心特征，能够有效解决传统分包模式中设计、采购、施工脱节导致的工期延误、成本超支、质量管控薄弱等问题，是推动建筑工程项目管理转型升级的重要模式。未来，随着数字化建造技术的不断发展与绿色建筑理念的深入普及，EPC 模式的智能化水平将不断提升，人工智能、数字孪生等技术将与 EPC 模式深度融合，实现项目全流程的智能化管控，同时零碳建筑、近零能耗建筑等要求将全面嵌入 EPC 模式，推动建筑行业实现碳中和目标。

[参考文献]

- [1]李叔奇.EPC 总承包模式下建筑工程管理的优化方法分析[J].漫科学(科技应用),2025(1):85-87.
- [2]杨春亮.EPC 总承包模式下建筑工程管理的优化方法分析[J].居业,2024(5):165-167.
- [3]黄仕鑫.EPC 工程总承包模式在建筑工程中的难点与对策[J].工程设计与施工,2024,6(7):173-175.
- [4]黄雪峰.EPC 总承包模式下建筑工程项目管理研究[J].中国建筑装饰装修,2024(20):151-153.
- [5]仝磊.EPC 总承包模式下建筑工程管理的优化对策[J].前卫,2024(4):224-226.

作者简介：陈海彬（1987.7—），男，毕业院校：广东石油化工学院，所学专业：土木工程，当前就职单位职务：广东铭创建设工程有限公司，现有职称级别：中级工程师。

新形势下工程造价控制策略探讨

陈彬彬

浙江省温州市平阳县鳌江镇华鸿嘉辰锦园 25 幢, 浙江 温州 325401

[摘要]随着我国经济结构的不断优化和建设项目规模的持续扩大,工程造价管理逐渐成为工程项目成功与否的关键环节。在新形势下,受市场波动、政策调整及技术革新等多重因素影响,传统的造价控制模式面临诸多挑战。文中以当前工程建设行业的发展环境为背景,探讨了适应新时代要求的工程造价控制策略。通过梳理造价管理的流程,分析制约造价控制的主要因素,提出了强化项目全过程管理、深化分阶段动态控制、优化合同及招标管理、加强技术创新和信息化手段应用等措施。结果显示,科学合理的控制策略有助于缩减工程成本、提升资源利用效率、防范风险并增强项目利润空间。研究表明,推进工程造价管理的规范化、精细化和智能化,是提升企业核心竞争力和保障项目高质量完成的必经之路。以上成果为工程造价管理提供了理论支撑和实践参考,对行业持续健康发展具有积极意义。

[关键词]工程造价控制;全过程管理;动态控制;信息化手段;项目风险防范

DOI: 10.33142/ec.v8i12.18782

中图分类号: TU198

文献标识码: A

Exploration on Engineering Cost Control Strategies under the New Situation

CHEN Binbin

Building 25, Huahong Jiachen Jinyuan, Aojiang Town, Pingyang County, Wenzhou City, Zhejiang Province, Wenzhou, Zhejiang, 325401, China

Abstract: With the continuous optimization of Chinese economic structure and the continuous expansion of construction project scale, engineering cost management has gradually become a key link in the success or failure of engineering projects. Under the new situation, the traditional cost control model is facing many challenges due to multiple factors such as market fluctuations, policy adjustments, and technological innovations. Against the backdrop of the current development environment in the engineering construction industry, this article explores cost control strategies for engineering projects that meet the requirements of the new era. By sorting out the process of cost management and analyzing the main factors that constrain cost control, measures have been proposed to strengthen the management of the entire project process, deepen dynamic control in stages, optimize contract and bidding management, strengthen technological innovation and the application of information technology. The results show that scientifically reasonable control strategies can help reduce engineering costs, improve resource utilization efficiency, prevent risks, and enhance project profit margins. Research has shown that promoting the standardization, refinement, and intelligence of engineering cost management is a necessary path to enhance the core competitiveness of enterprises and ensure high-quality completion of projects. The above achievements provide theoretical support and practical reference for engineering cost management, and have positive significance for the sustainable and healthy development of the industry.

Keywords: engineering cost control; whole process management; dynamic control; information technology means; project risk prevention

引言

工程造价控制转为工程项目管理的重要组成部分,直接影响到建设项目的经济效益与顺利实施。随着我国经济结构的深入变革以及基础设施建设规模的不断扩展,工程造价管理渐渐呈现出复杂化和多样化的发展趋势。据中国建设工程造价信息网数据,2023年国内建设项目投资总

额已然超过 20 万亿元人民币,投资规模的越来越庞大促使造价控制问题越来越突出。在传统管理模式下,受制于市场价格波动、政策环境变动和技术发展等因素,工程造价控制遭遇灵活性不足、风险难以预防和管理流程陈旧的挑战。学界和业界一直在钻研全新的管理方法,比如全生命周期成本控制、动态造价监测以及智能化决策支持系统

等,取得了一些成果。可是目前还没有建立起标准化的、科学合理的造价控制体系,需要更加细致的理论研究和实际操作上的突破。文章的目标是结合新时期工程建设行业发展的实际情况,仔细分析影响造价控制的核心要素,提出带有前瞻眼光的管理方案,希望能够帮助提升项目成本管控的能力,推动行业实现高质量发展的目标,提供扎实的理论基础和具体的操作方法。

1 新时期工程造价控制的行业背景

1.1 经济结构调整与建设项目规模发展态势

伴随我国经济结构的逐渐优化和产业升级,促进了工程建设项目规模的扩大,产生了新的挑战和机遇。经济结构调整促进了高新技术和战略性新兴产业的发展,这不但拓宽了建设领域的范围,而且提高了项目技术复杂性和要求标准。大规模基础设施建设比如城市轨道交通、跨区域高速公路、智慧城市项目的出现,给建设项目数量投资规模的扩大带来了强劲支撑。发展情况对工程造价管理带来了更高的要求,推动行业注重传统成本核算转变整体效益评估。资金流动性改善项目融资模式的多元化,推动精确、实时的造价控制策略变为必要,应对市场环境的快速变化,保证项目的投资效益优化。行业背景的变化,强调了建立适合新时代需求的造价控制策略的紧迫性。

1.2 传统造价管理模式面临的难题

传统工程造价管理模式在处理复杂的现代建筑项目需求过程中,显现出许多明显的缺陷和问题,管理方式完全依赖过去的历史数据和个人的工作经验进行预估分析,很难精确地掌握市场中不断变化的价格起伏以及技术领域内快速发展的驱动影响,预算制定阶段缺乏有效的灵活调节方法和具体措施,项目成本控制往往赶不上实际工程进展的速度,导致资源分配显得相当不合理,传统管理流程未能充分使用化工具的高效功能特点,导致实时监督和快速反应显得非常困难,进而干扰了管理决策的及时性和准确性,在复杂多变的经济环境和各种政策要求的影响下,传统管理方式急需进行改善和提升,以便能够更好地解决新环境带来的各种问题和困难。

1.3 新形势下造价控制的必要性与发展方向

工程造价控制遇到许多必须解决的难题,精准化管理显得特别重要。市场环境总是处于变化状态,竞争压力变得异常巨大,使得成本控制的难度不断加大,常规的定额式管理方式很难适应项目多样化的具体需求。政策方面的调整加强了绿色和低碳建设的价值目标,要求造价核算必须把新的环境成本因素考虑进去。面对技术更新和数字化

转型带来的挑战,造价管理必须优化现有方法,以便提升工作效率和计算的准确性,推动整个项目从开始到结束的成本控制。行业发展的方向主要集中在规范化、精细化和智能化这几个方面,目的是增强企业竞争能力,打造稳固的发展基础。

2 影响工程造价的关键因素

2.1 市场波动对造价的影响

工程造价是建设项目中非常关键的一个核心部分,受到市场环境带来的显著而又复杂的各种干扰。市场价格上涨或者下跌的变化情况会对工程总造价产生直接影响,影响主要体现在材料价格上涨下跌、劳动力成本高低不同以及资金供求关系紧张松弛程度这些方面。材料价格上涨或者下跌的变化情况会直接改变工程总成本,尤其是钢材水泥这些大量使用的建筑材料,价格容易受到外面整体经济形势和市场供应需求变化的控制。劳动力成本也会因为市场变化而出现明显不同,各地区人力成本上涨下跌情况不一样,整个经济发展整体水平高低不同,会对工程总造价造成很深的影响。资金供求关系紧张或者松弛也是一个很重要影响因素,资金成本一旦发生变化,就可能对项目融资变得相当困难,最终影响预算能够顺利进行下去。市场的各种不确定性会让造价管理的风险变得更大,所以需要在制造价计划时对市场趋势进行科学合理的预测分析,并且要灵活地调整预算策略,以便应对持续不断的变化,确保项目能够顺利地推进实施。

2.2 政策法规调整的作用

在工程造价管理中,政策法规的修正起到极其关键的作用。政策法规一般直观作用到工程项目的审批、资金配置和质量标准等多个方面。伴随国家建设规范和行业标准的持续提升,造价管理必须迅速修正以顺应崭新的法律要求。政策的变动或许引发施工方案和项目预算的再次审定,增添了造价管理的复杂性,要求工程方提升对政策信息的敏锐性和适应力。政策导向同样会作用市场环境,为工程造价带来了崭新的管理思路和创新机遇。政策法规的高效实施,有利于约束市场行为,减少项目风险,达成造价的严谨恰当管理。

2.3 技术革新与信息化应用现状

科技革新跟数字化手段的使用对工程造价的关键领域产生深刻的影响。引入先进的科学技术,可以让工程项目的设计跟施工变得更加高效,减少原材料的浪费,同时降低因为人为操作失误导致的问题,最终使得整个项目的成本得到控制。采用数字化的管理方法,例如通过大数据

分析、云计算还有物联网技术，能够为工程造价的管理工作提供非常精确并且快速的信息支持以及预测未来的能力，帮助合理安排各种资源，并且做到随时监控和管理整个过程。行业内部提升数字化管理水平之后，交流跟回应的过程会大大缩短，各阶段的工作配合也会变得更加紧密，从而让造价控制的准确性跟科学性得到提升。大量应用这类先进技术，正在慢慢改变工程造价管理的实际操作方法跟具体实施步骤，带来更加高效的管理方式。

3 工程造价全过程管控的策略与措施

3.1 全过程管控体系构建

全过程管控体系构建是为工程造价管理的核心环节，目的是保证项目各阶段都在控制范围内开展，以实现成本效益最佳化。在构建过程中，必须清晰各环节的职责和权限，设立健全的信息沟通机制，以维护相关信息的迅速传输与共用。特别应当重视设计、采购、施工及竣工阶段的成本控制，针对各阶段特点执行个性化管理方案。设立完整的项目预算管理制度，借助即时监督与审查来获得实时的造价信息，使项目管理者可以快速辨别潜在风险并给予改正。按时开展审计和绩效审查，保障造价控制目标的完成。运用现代科技手段，如 BIM 技术和大数据分析等，辅助改进全过程管控，提升管理效能和决策的科学性，为项目顺畅开展给予稳固保障。通过全面的体系化管理，工程造价能够高效管理，达成资源的改进配置与项目利益的最佳化。

3.2 分阶段动态控制机制

工程造价管理当中，分阶段调控机制占据着重要位置。依靠机动应变能力和预先预测能力，来应对市场环境中的各种波动和变化。明确规定项目每个不同阶段都要开展详尽成本监控工作，确保发现问题后立即做出相应调整。设置分阶段造价控制点，就能辨别出一些潜在风险，采取有效措施加以解决，确保资源分配更加恰当规范。深入研究市场上最新数据和项目施工进度情况，果断调整预算方案和资源分配计划，提高资金使用整体效率。各个部门之间必须强化信息沟通和协作，定期对项目开展彻底审查和优化改进，增强项目整体运行效果。分阶段调控机制对工程成本精确把控和整体效益提高起到至关重要作用。尤其需要关注各个环节细节处理，确保管理过程顺畅无误，尽量减少不必要浪费和损失。

3.3 合同与招标管理优化路径

合同与招标管理成为工程造价全过程管控的重要环节，改进其路径可以高效管理成本并且提高项目效益。标准化合同条款成为增强透明度和降低争议的关键，有利于保障各方利益。招标环节应当强化资质审查和市场调研，

借助竞争性选择保证报价合理性。机动使用多种采购方式，整合电子招标和在线平台，提升招标效率。革新合同管理机制，清晰责任分工与绩效考核，可以提升合同执行力，削减项目延期与风险出现。通过改进合同与招标管理，达成造价控制的精准化与高效率。

4 提升工程造价管理效能的创新手段

4.1 技术创新推动管理智能化

技术创新让工程造价管理发挥重要作用，可以推动管理方式转变成智能化模式，奠定坚实的发展基础。在工程造价管理工作的具体实施过程中，应用先进的科技手段能够大幅提升数据处理的强大能力以及高度准确性，降低人为操作导致的失误可能性，时刻紧密跟踪项目的实际进展情况，确保各项工作顺利推进。这些技术手段包括建筑信息模型 BIM、高级数据分析工具、自动化软件等各种实用工具和设备，能够针对项目在不同阶段产生的各种数据进行细致深入的分析和科学合理的预测，最终完成精确计算造价预算的目标任务。技术创新还推动信息共享以及工作团队之间的合作方式得以改善，使得多个团队之间能够流畅交流并相互协作，明显提高决策制定的效率与快速反应的速度。采用创新技术提供的高效率解决方案，使得工程造价管理方式从传统的落后模式转化为智能化、精准化的现代管理方式，全面提高管理的效率与实际效果，让企业在瞬息万变的市场环境中增强竞争优势，获得坚实可靠的支持保障，助力企业实现稳步发展。技术创新的应用不但保证了项目质量与成本控制，而且改进了资源配置，促进工程造价管理实现新的高度。

4.2 信息化手段的深度应用

信息化手段的深入运用是增强工程造价管理效能的关键策略。在工程造价领域，信息化技术的运用能够明显改善数据分析的精确性和效能。借助构建和优化造价管理数据库，达成数据的即时共用与刷新，可以为管理者给予精确决断依据。运用大数据分析技术可以预判市场趋势和价格波动，为造价管理提供预见性指引。信息化手段还辅助网络合作工作及机械化步骤管理，减少人为失误，提高工作效能，实现项目成本的高效管理和隐患的提早辨识。现代信息技术的彻底参与为工程造价管理的标准化和智慧化提供了强大支持。

4.3 项目成本风险防范与控制

项目成本风险防范与控制是为提高工程造价治理效率的关键环节。于现今繁杂的市场环境下，借助构建完善的风险辨识和评估体系，能够事先察觉隐性问题。运用实

时监控和预报机制,迅速修正项目预算和资源调配,高效避免成本超出风险。机动应用数据分析技术,加强合同治理,保证项目执行期间内财务公开化,维护工程造价的合规性和项目利润最佳化。借助系统化的成本控制流程,工程项目可以达成预定的质量和效益目标。

5 结束语

本文面向新形势下工程造价控制遭遇的复杂环境和多元挑战,全面论述了全过程管理、分阶段动态控制、合同与招标优化、技术创新与信息化应用等核心策略,高效达成了造价成本管控、效率提高与风险预防。规范化、精细化以及智能化管理模式能明显强化企业项目执行力和市场竞争力,推动工程项目高质量交付。目前工程造价控制依然存在技术融合局限、数据共享不畅、管理流程匹配不足等问题,对信息化手段的普遍应用和标准体系的改进建议更高要求。可以更深入探究大数据、人工智能等前沿技术和大造价控制的深入融合,并且推动全产业链协同治理,并且加强政策引导与行业标准建设,来实现工程造价

管理的持久创新和提升。前述研究给行业规范发展和项目精益管理给予了理论和实践基础,给有关领域今后深化探索指明了方向。

[参考文献]

- [1]王杰.工程项目建设工程造价全过程动态控制探讨[J].商情,2022(28):133-135.
- [2]程国军.建造工程造价全过程动态控制[J].科技创新导报,2021,18(35):78-80.
- [3]李慧.基于全过程造价管理的工程造价动态控制[J].中国招标,2023(1):107-109.
- [4]裴亚云.建筑工程造价全过程动态控制策略[J].现代经济信息,2021(2):161-162.
- [5]徐洁.建设工程项目全过程工程造价动态控制管理[J].建筑工程技术与设计,2021(29):695-696.

作者简介:陈彬彬(1985.5—),性别,女,民族,汉族,籍贯:浙江省平阳县人,学历:本科,研究方向:工程造价控制,身份证号:33032619*****0765。

绿色施工理念下建筑工程管理模式研究

马涛

乌鲁木齐市达坂城区建设局, 新疆 乌鲁木齐 830039

[摘要]建筑业的迅速崛起,使得建筑业的工程施工对自然资源的占用以及给生态环境带来的危害等问题越来越突出。而绿色施工的理念正是促进整个建筑业可持续发展的强有力的思想支撑,它是指在整个项目的建设过程中要以节约能源、保护环境、维护生态为基础的一套施工理念。文章结合绿色施工理念,深入剖析现阶段的建筑工程管理模式存在的不足,主要围绕观念落后、监督力度小、工地污染情况严重、绿色材料使用率低、缺乏高水平管理人员这几个方面进行阐述,并有针对性地提出了管理模式创新与优化建议,在此基础上对绿色施工管理模式的发展趋势进行了探讨,认为信息化、智能化的管理模式和法律法规是绿色施工得以落实的重要保障,可为建筑企业的工程项目管理朝着高效、绿色、可持续发展的方向提供一定的理论借鉴与参考依据。

[关键词]绿色施工理念; 工程管理; 管理模式

DOI: 10.33142/ec.v8i12.18779

中图分类号: TU71

文献标识码: A

Research on the Management Mode of Construction Projects under the Concept of Green Construction

MA Tao

Urumqi Dabancheng District Construction Bureau, Urumqi, Xinjiang, 830039, China

Abstract: The rapid rise of the construction industry has made the occupation of natural resources and the harm it brings to the ecological environment increasingly prominent in construction projects. The concept of green construction is a strong ideological support for promoting the sustainable development of the entire construction industry. It refers to a set of construction concepts based on energy conservation, environmental protection, and ecological maintenance throughout the entire project construction process. The article combines the concept of green construction and deeply analyzes the shortcomings of the current construction project management mode. It mainly focuses on the aspects of outdated concepts, weak supervision, serious site pollution, low utilization of green materials, and lack of high-level management personnel. Targeted suggestions for management mode innovation and optimization are proposed. Based on this, the development trend of green construction management mode is discussed. It is believed that information-based, intelligent management mode and laws and regulations are important guarantees for the implementation of green construction, which can provide theoretical reference and guidance for the development of construction project management in the direction of efficiency, green and sustainability for construction enterprises.

Keywords: green construction concept; engineering management; management model

引言

面对日益严峻的世界环境形势,建筑业作为资源能源消耗及碳排放的重点行业,正面临着一场深刻的生产方式变革。传统建造方式注重效率、成本指标,对资源利用率、环境影响缺乏考量,造成了施工过程中能耗高、物耗大、污染重的现象十分突出。而绿色施工的理念就是在这样的背景下产生的,它强调的是以科学化、标准化、系统化的手段,使施工活动对资源的消耗降到最低程度,对环境的

影响降低到最少范围,对生态系统扰动最小的状态,在整个工程建设产品的寿命周期中,无论是设计阶段还是施工阶段甚至是后期运营管理都应该体现绿色环保的理念,保证建筑物既达到了使用上的要求和安全保障,又符合了节能减排降耗的要求,实现了环境效益和社会效益的最大化。^[1]然而目前整个行业对于绿色施工理念的认识尚浅,在建筑企业中的推进还存在很大的阻力。希望通过本文关于绿色施工理念下的建筑企业管理模式的研究,可以针对现有的

企业管理现状进行深入剖析其中存在的弊端和不足之处,从而找出解决问题的办法,指出改进方向,给建筑企业如何在实际工作中开展绿色施工管理工作提供借鉴意义。^[2]该文章将以现存的绿色施工管理模式的问题入手,探索新的管理模式的发展方向及创新思路,对其未来的发展趋势做出预测,希望能够给相关理论学习和工程施工实践以系统的指导意义。

1 绿色施工理念下工程管理概述

绿色施工理念的工程管理,是当前社会下行业落实生态环境保护及可持续发展策略的具体体现。其主要主张在整个工程建设项目的寿命周期里,在项目策划、设计、建设直至运行的各个阶段都要充分考虑能源节省、环境保护与生态保护等问题。而在管理上,绿色施工理念下的管理又需要管理者们运用先进的施工技术和工艺来降低对自然物质的需求量以求达到节约目的;尽可能的减少施工现场废弃物的排放量与污染程度;确保工程项目施工质量的同时要兼顾安全问题,其中包括积极应用那些能够循环再利用或者说是对环境无污染或污染程度极微的建筑材料,积极推广使用节能降耗型施工机械设备。严格执行工程施工废弃物处理的相关政策文件和建立相应的施工废旧物资回收机制等。

2 绿色施工理念下建筑工程管理模式存在的问题

2.1 绿色施工理念意识淡薄

在当今建筑工程建设当中,对于绿色施工理念的认识和普及还不到位,阻碍着管理模式的应用。很多施工单位及工程人员在开始进行建设之前,都未能充分了解清楚关于绿色施工的概念及其所追求的目标以及具体实施的方式,致使在编制施工组织方案、选取建筑材料以及整个施工过程中的管理方面都缺乏绿色化的要求,再加上缺乏统一化的学习教育,造成现场的负责人只是把绿色施工当作是一种额外增加的任务,而不是工程的根本目的,从而不但影响着施工环节的绿色化,而且使该项目使用资源的成本过高。^[3]企业的文化当中缺少绿色环保的理念,导致即使有绿色施工的相关规定,但是在实际的过程却只流于表面,缺乏实际落实和检查。除此之外,建设单位的投资商及领导者忽视绿色施工所带来的长远利益,因此在面对绿色施工管理模式的时候不够重视和支持。这些思想上的薄弱,在行业内普遍存在并造成了管理模式的落后,这也导致了绿色施工的理念无法在整个项目的实施过程中进行全面系统的贯彻执行,是阻碍绿色施工模式应用的主要障碍。

2.2 施工管理制度与监管力度不足

要想让绿色施工的理念真正得到落实就必须要有有一套完善的制度以及强有力的监管作为保障,但是当前在我国建筑企业管理当中普遍存在规章制度不全面以及贯彻落实不到位的现象,在一些公司虽然有相关的一些关于绿色施工方面的管理制度但是在内容上大多都是一些大而化之的原则性条款,没有什么具体的实施细则以及量化的指标,而在实际的建设工程的过程当中管理者对于公司下发的各种制度文件的落实情况疏于管理和检查,责任不清导致要么就是放任不管,要么就是走过场。并且建设单位以及监理单位等第三方的相关监管部门也未能很好的履行起对工程绿色施工实施情况的审核、检验以及考评职责缺乏一套合理有效的评估指标体系以及奖惩措施,这就导致施工单位自身缺乏主动落实绿色标准的动力。企业和监管部门两方面制度监管漏洞造成绿色施工管理模式缺乏闭环管控,使得施工中的各项绿色环保指标无法量化和保证,进而影响到整个项目的环境保护和绿色可持续发展。

2.3 施工现场污染与资源浪费严重

建筑施工现场是工程建设中消耗资源、对生态环境产生影响最为严重的阶段。目前绝大多数项目在施工管理和材料使用上都存在着漏洞,使得建筑垃圾排放超标、噪音大、尘土飞扬、物料损失严重的情况经常发生,建筑材料没有被科学地加以区分和重复利用,能源利用率低;施工现场产生的污水、废料及扬尘排放监管力度不够,这些都在很大程度上造成了施工现场对周围环境的不良影响。与此同时,施工现场使用的各种机器和设备能耗量大,而落后的作业方式又忽视了节能减排的要求,从而导致了更多的资源浪费。施工现场的污染和资源浪费不仅提高了项目的建设成本,而且破坏了企业的公众形象和社会声誉,在很大程度上暴露出现有管理模式下的绿色施工不足现状。

2.4 绿色建筑材料应用不足

绿色建材是建筑行业节能减排、绿色发展及可持续发展的基本前提。但在当前工程项目中对绿色建材应用不够广泛,阻碍了管理模式绿色化的进程。一些施工单位选材时有本位主义倾向,未能充分意识到绿色环保、循环利用以及低耗能的建材的重要性;同时市场上的绿色建材供给制度不够健全,缺少有效的材料认证与信息公开渠道,使企业在选购及应用的时候缺少依据、没有保障。如此一来,绿色施工的理念便无法在材料方面真正落地,进而造成整个施工过程对资源消耗的节省以及环境方面的保护程度较低,阻碍了我国建筑行业的工程管理模式往绿色化、科

学化的方向转变。

2.5 建筑工程绿色管理人才缺乏

绿色施工管理对现场工作人员的职业素养及综合素质有更高的标准,然而目前业内普遍面临绿色施工管理人员匮乏的情况。很多管理者、技术人员缺少相应的绿色施工学习及实践经历,对于绿色施工规范、管理制度以及技术手段了解有限。阻碍着绿色施工理念在工程现场的应用落实,更阻碍着管理创新和提升。并且公司的人才招聘制度、人员培训制度以及人才奖励机制不够完善,缺少绿色施工管理岗同其他技术职务之间的联系,致使人才储备不足、配置不当。人才瓶颈的存在直接影响绿色施工管理模式的合理化、规范化进展。

3 绿色施工理念下建筑工程管理模式创新与优化

3.1 提升绿色施工意识与企业文化

增强绿色施工意识是建筑工程项目管理模式创新的关键第一步。公司应当把绿色环保的理念贯彻到公司的文化以及发展战略之中去,要将绿色施工作为组织的核心能力而非负担。在公司管理中,要从政策制定、教育培训以及文化宣传等方面着手,提升所有员工的绿色施工意识以及主人翁的责任感,让绿色环保的理念渗透到项目的计划阶段,施工组织以及施工现场的方方面面;此外公司应该将绿色施工绩效评估列入考核指标体系当中,完成从观念认识到实际行动的转变。加强企业文化与经营理念的一体化建设可以使施工单位产生内在驱动力,保证绿色施工管理模式能够在具体的工程建设项目上长期有效地发挥作用,进而达到提升施工效率、节约资源、改善环境的效果。

3.2 强化施工监管机制与执行力度

加强监督体制是绿色施工管理模式改进的关键步骤。管理部门需要完善监督制度,划分清楚责任归属,细化到每个阶段的责任人。在建设工地要设置具体的绿色施工行为准则与评估体系,在施工过程中对工程所涉及的环境保护、资源利用情况、能耗情况进行全程跟踪记录检测。负责人需进行实地考察、收集相关信息,配合信息平台的数据运算来即时发现不足并予以整改。同时外界监督部门应当以法律法规,奖惩办法促使工程建设方遵守执行绿色施工规定。内部外部监督体制相互配合可以使管理模式达到标准化、规范化以及合理化,从而保证绿色施工目的的达成。

3.3 严格控制施工现场污染与资源消耗

建筑工地污染及浪费现象严重阻碍着对绿色施工管理模式的应用。想要改进管理模式就必须从项目施工组织、项目施工技术和项目资源等方面进行严格的管控来减少

项目施工所带来的环境污染。建筑公司应该编制合理的施工方案并有序地对施工流程以及建筑材料堆置加以规划,应用绿色环保的施工方法和技术、使用低耗能机械设备、落实建筑垃圾的垃圾分类收集制度并尽量予以循环再用,并减少污水、废气、噪音的排放量。只要我们注重施工现场的有效管理并对项目中所用的技术加以革新,那么建筑工地污染及浪费现象将会得到有效的遏制,在提高工程质量的同时加快了施工进度使绿色施工管理模式能够顺利地推广应用并且长期发挥效用。

3.4 推广绿色建筑材料与环保技术

发展绿色建材及节能环保技术的应用是推动施工管理模式转变的有效方式。公司应该积极采用再生利用率高、能源消耗量小、污染物排放少的各种建材,构建稳定有效的物料采购供应渠道及供应商管理体系。另外一方面需要积极推广使用节约能源的施工机械、智能化的施工作业方式以及信息化管理系统来加快施工进度并减少浪费。合理地选择材料和技术手段既减轻了工程项目的的环境影响又提升了建设工程的质量水平,从而达到提升工程项目绩效的目的。进而推动绿色施工管理工作的规范化、常态化。

3.5 培养与引进高素质绿色施工管理人才

高质量管理人员是实现绿色施工理念的重要保证。公司应该在招聘、学习以及晋升上,选拔出拥有绿色施工理念与工程技术管理能力兼具的复合型人才。经过一系列的学习教育、现场实习以及资格认证等步骤来提高绿色施工管理人员对于相关标准、技术和措施方法以及节约材料的认识程度。此外,还应设立奖励制度以鼓励更多有能力的人才加入其中,为公司的绿色施工管理模式改革和创新提供强有力的人力支持。高质量人才的引进也使公司的绿色施工执行能力大大增强并作为榜样引领了整个行业的管理水平提升。

4 绿色施工理念下建筑工程管理模式发展趋势

4.1 管理模式智能化与信息化发展趋势

信息技术发展迅速,建筑工程项目管理模式朝着智能化以及信息化的趋势转变。信息化管理模式包括利用 BIM 技术、大数据以及物联网等技术来达到施工现场实时监控、信息互通互联、科学化决策的目的,优化了资源配置,提升了工程施工精确度;智能化模式的应用在加快工程进度的同时也为环境监测、用能统计、选材等方面提供了技术支持,让绿色施工的思想可以在整个项目的始终得以高效的贯彻执行。今后建筑工程管理模式会越来越倚重信息化及智能化方式,同时达成绿色施工的要求和工程效率的进步。

4.2 绿色施工与可持续发展深度融合趋势

绿色施工理念的进步将会进一步与可持续发展战略相结合,在工程项目决策、设计、建设以及运营的过程中,施工企业会更加重视环境保护、节材节料以及合理使用能源,将建筑项目对于环境所造成的负面影响降到最低。绿色施工管理模式也会从单纯的节能降耗拓展为全寿命期可持续管理模式,经过合理的分析计算,统筹兼顾,获得经济、社会、生态三效合一的效果。这将会使建筑业管理模式朝着以可持续发展为灵魂的常态化方向努力和发展,促进建筑业全面绿色化。

4.3 政策、法规与行业标准对管理模式的影响

政策法规及行业标准也是促进绿色施工管理模式发展的外部环境。国家以及地方政府对于绿色建筑以及节能环保的要求日益提高,相应的法律法规以及标准规范也在不断出台并得到优化,给予建设工程项目管理者清晰的操作指南以及考评准则。政策鼓励与补贴、奖励惩罚措施驱动着企业在施工管理过程中自觉引入绿色环保的理念,与此同时行业标准给予建筑材料选用、施工技术以及工程质量等方面一个共同遵循的标准。可以预见的是政策法规与标准体系的不断完善将会使绿色施工的理念真正落实到实处,从而建立起科学化、标准化与可持续发展的建筑工程项目管理体系。

5 结语

基于绿色施工理念的建筑工程项目管理模式的研究是为了促进整个建筑行业的在确保工程质量以及安全的

前提下能够达到节约能源、保护环境以及持续发展的目的。本文从剖析现有的管理模式存在的观念理解不到位、监督制度存在漏洞、建设过程中的环境污染严重、绿色物料使用少以及人才匮乏等问题入手,并针对性地提出加强绿色施工意识,完善监督制度,严控施工过程中的环境污染,增加使用绿色环保材料和技术,引进或者培养高素质管理人员等一系列改善方案,最后阐述了智能化信息化管理方式的应用、绿色施工同可持续发展相统一、受相关政策法律法规以及行业准则影响的发展前景。经过验证可知,通过一系列系统而科学的管理模式革新,建筑公司可以在获取更多经济收益的情况下兼顾环境保护以及资源节约的目标,从而为建筑企业的绿色发展以及持续进步提供强有力的支撑。今后的研究可以进一步探索管理模式对于不同类型的项目的适应情况,新技术新材料对于绿色施工管理模式的不完善所产生的影响等问题。

[参考文献]

- [1]赵捷琛.绿色施工理念下的工程管理模式创新路径[J].中国战略新兴产业,2025(8):90-92.
- [2]文健.基于绿色施工理念的建筑工程管理模式研究[J].城市建筑,2025,22(4):224-226.
- [3]赵成学.绿色施工理念下的建筑工程管理模式探究[J].陶瓷,2024(9):231-233.

作者简介:马涛(1983.12—),毕业院校:新疆大学,所学专业:土木工程,当前就职单位名称:乌鲁木齐市达坂城区建设局,就职单位职务:科员,职称级别:工程师。

工程审计存在的风险与管理对策探讨

赵亮明 年国蓉

青海山金矿业有限公司, 青海 西宁 810100

[摘要]工程审计是建设项目管理制度下重要的制约机制,在约束建设行为、防范投资风险和提高资金使用效率方面发挥着重要作用。伴随建设项目规模的不断扩大、结构的日趋复杂化,工程审计面临的各种风险也随之增多,审计工作的复杂性和不准确性大大提高,审计难度不断增加。本篇文章通过对工程审计的相关概念及作用进行了系统的归纳后,着重对工程审计过程中遇到的各种风险及其产生的根源进行了剖析,并根据所存在的问题从制度建设、全过程控制、信息化审计、人才培养以及应用结果等方面提出了一些审计风险管理措施,旨在优化工程审计工作,加强工程审计风险管控提供一定的借鉴思路。

[关键词]工程审计; 审计风险; 工程管理

DOI: 10.33142/ec.v8i12.18774

中图分类号:

文献标识码: A

Exploration on Risks and Management Countermeasures in Engineering Audit

ZHAO Liangming, NIAN Guorong

Qinghai Shanjin Mining Co., Ltd., Xining, Qinghai, 810100, China

Abstract: Engineering audit is an important constraint mechanism under the construction project management system, playing an important role in constraining construction behavior, preventing investment risks, and improving the efficiency of fund utilization. With the continuous expansion of construction project scale and the increasing complexity of structure, various risks faced by engineering audit have also increased. The complexity and inaccuracy of audit work have greatly increased, and the difficulty of audit continues to increase. This article systematically summarizes the relevant concepts and functions of engineering audit, and focuses on analyzing the various risks encountered in the process of engineering audit and their root causes. Based on the existing problems, some audit risk management measures are proposed from the aspects of institutional construction, whole process control, information audit, talent cultivation, and application results, aiming to optimize engineering audit work and strengthen engineering audit risk control, providing certain reference ideas.

Keywords: engineering audit; audit risk; engineering management

引言

在现有基础设施建设和固定资产投资不断增加的形势下,建设项目投资额越来越大、工期越来越长、参建单位越来越多,工程建设难度和变数越来越大,面对这种日益复杂的工程管理环境,工程审计作为保证基建项目合法合规建设管理的重要手段之一,其作用也从传统的单一的事后监督逐渐转变为全链条、全方位监督,但在具体实施过程中,受种种法律法规、技术条件及人员素质等问题影响,工程审计仍然存在许多潜在的风险问题,审计结果和期望还存在一定距离。所以全面梳理工程审计风险种类、探究风险形成原因并提出解决措施是十分必要的。这对促进工程审计工作开展的合理化与规范化有着重要的现实意义。

1 工程审计的概念及作用

工程审计是审计机关或审计人员根据国家法律、法规

及相关技术标准的规定,对工程项目的立项审批、规划设计、招投标、建设施工、竣工结算、资金运用等各个环节涉及的相关经济业务及管理行为的真实性、合法性、合理性所进行的监督、评价及证明的一种活动。它是以工程建设项目投资的真实性、合法性和效益性为基础,同时也注重工程管理行为的规范性和合理性。开展工程审计有利于防范建设工程中的违法犯罪现象,加大工程建设中资金使用的管控力度,提高工程建设项目管理水平,为保证工程质量、确保投资安全发挥重要作用。

2 工程审计存在的主要风险

2.1 工程审计制度与监管机制风险

在工程审计工作中,制度建设与监督管理不到位是造成审计风险的主要原因。有些工程单位审计制度还不够完整规范的框架,审计职责与权限范围不清晰,审计程序也

没有标准化的要求,在工程审计工作实施的过程中存在很大的主观随意性和偏差,使得审计结果的对比度和参考程度降低。还有一些单位的审计监督管理只是侧重于后期的结果审计,却忽视了事先或者事中的审查,如立项审批情况、工程建设实施过程和项目资金支付过程的审核,不能提前预防到可能出现的问题及存在的管理漏洞,这就弱化了工程审计工作的警示作用和制约作用。而且审计制度也没有相关的考核和追责措施,使得审计工作的规范性和落实力度得不到保证,加剧了对工程项目运行管理和资金使用的不确定性,致使审计风险在制度上有系统性和长期性的特征。

2.2 工程造价与资金管理风险

工程造价及资金支付环节内容繁杂、技术含量高,属于工程审计风险高度密集区。对于具体的实际项目,其造价计算包含建筑材料价格、工人工资水平、机械使用情况、工程量多少等多个方面,定价因素众多,定价规则也不尽相同,市场价格变化剧烈,且有部分工程存在虚报工程量、拔高定价指标或重复收费的现象,容易造成工程造价虚高,进而导致审计结果偏差。另外,在资金支付方面,如果缺少严密地审核、动态的跟踪及实时的信息反馈,出现资金运用不合理、付款节点不符合工程进度程度,甚至出现资金被转移、占用的情况,则会导致工程投资超预算的风险。上述的风险除了会使工程项目成本增加外,更易造成资金安全及合同履行风险,在工程审计过程中构成重点关注的风险环节,给负责工程审计的人更大的判定考验。

2.3 工程合同与变更管理风险

工程合同与变更贯穿工程建设全周期,对其管理是否严格,将影响到工程审计的效果和质量。在实际工程施工过程中,往往出现合同条款表述不清,风险分摊不合理等问题,在工程实施过程中又疏于合同执行管控,极易造成合同履行争议、职责不明、管理隐患等问题,加大了审计人员进行审查核验工作的难易度,增加了审计风险发生的概率。另外,工程建设中变更情况较多,包括施工方案的变更、设计方案的变更、原材料的变更以及工程量的增减等,审批手续繁琐,流程冗长,如果没有建立合理的变更管理制度或者变更理由不当,审计人员在核实过程中很难做出判断,变更是否合理合规合价,也增大了审计人员的职业判断难度,使审计结论偏离实际,提高了工程审计的风险值,对工程项目的规范化管理和资金使用效益产生直接影响。

2.4 审计信息不对称与资料真实性风险

工程审计很大程度上需要依靠工程资料及管理信息的真实完整性,然而在实务过程中存在较为严重的信息不对称现象。一方面,工程建设项目牵涉众多参与者,信息分布在不同的管理层次以及各个部门之间,审计搜集信息困难。另一方面,有些工程资料出现报送延迟,信息缺漏、虚假的现象,导致审计判断失误,审计意见可信性降低。

2.5 审计人员专业能力与职业判断风险

工程项目审计兼具鲜明综合性的特点,对审计人员的专业素养以及实战经验有较高的需求,但有的审计人员缺乏工程方面的知识,在施工技术、预算定额及合同方面把握不到位,造成审计决策的准确性欠缺。另一方面,主观判断对于工程项目的审计也有很大的作用,若缺乏系统的训练及实际的经验支撑,可能因为主观判断失误加大审计的风险系数。

3 工程审计风险产生的原因分析

3.1 工程项目复杂性与不确定性因素

建设工程项目的自身特点就决定了其投资额巨大、建设时间较长、施工技术含量较高、工程工序繁杂等,再加上施工环境与外界环境的变化更是提升了施工项目管理的不确定性,这种不确定性的表现就在于设计变更频繁、施工方法不一、所用材料不同、机械设备型号不同以及参建单位众多等方面都使审计工作的开展在辨认方面存在较高的难度;其次,外界的各种因素例如政策的变化、市场价格的变化、天气状况的不同以及供货情况的不稳定都会使施工单位出现实际进度、造价偏离计划等情况的发生,使得建设工程项目的风险具有更强的隐蔽性和偶然性。建设工程项目的风险种类较多并且相互之间存在着联系,审计人员很难第一时间发现并进行分析判断,因此审计过程中的判断会出现较大的误差及滞后,故建设工程项目的审计风险也就成为了其固有特性之一,在很大程度上也对审计的真实性、正确性以及所做出决定的可行性提出了更高的标准。

3.2 内部控制体系不健全的影响

工程建设项目内部控制制度是规避工程审计风险的基础保障,其健全与否直接影响项目的管控以及审计工作的监督管理力度。但是目前某些施工单位存在着内部控制制度不够完善,权限划分不明晰,岗位职责不明确等情况,在日常管理过程中缺乏内部控制的制约,容易出现管理漏洞,审计监管无据可依;而且内控制度执行不到位,内部稽核及检查流于形式,致使某些违规行为不能够被及时的发现并整改等现象的发生,在此情况下,

工程审计无法与工程建设项目的内部管理形成有效的内外合力，导致了审计信息反馈延时，风险提示预警功能削弱，大大降低了工程审计风险防控的能力。除此之外，由于缺乏内控制度也会造成审计资源配置不当，导致审计重点难以涵盖高风险领域，使得工程审计风险更具广泛性与持续性的特点，从而严重影响着工程项目管理及项目资金的安全。

3.3 审计方法与技术手段相对滞后

传统的工程审计方式依靠的是人工作业和局部抽样的检查方式，在审计的范围方面比较狭窄，很难适应当前大型工程项目的海量的数据、复杂的架构和瞬息万变的建设周期的实际需要，很多单位仍然使用经验和判断为主的审计方式，缺少有效的风险预警与信息整合分析，在发现隐患方面具有明显的延迟效应甚至出现纰漏。再加之审计科技水平落后，信息化程度不高，数据分析能力欠缺，对于整个工程的资金流动、造价管理、合同履行和施工进度的实时跟踪能力不足，不能及时有效地捕捉到反常现象和违规征兆，使得审计结果准确性降低，工作效率下降，整个工程审计的结果失真严重，缺乏客观性与可信度，给审计结论的制定带来更多不确定因素，审计风险难以有效闭合循环，无法充分发挥出工程审计防范化解系统风险的作用，保证工程项目的规范化。

3.4 审计资源配置与管理机制限制

基建审计工作量巨大，涉及从项目立审、到设计审查、再到施工监督、资金额度拨付以及竣工决算等众多环节，但是审计力量配置较为有限，制约了审计工作的力度与范围。一些单位也出现了审计人员编制不够、审计队伍结构失衡、或者审计人员素质良莠不齐的现象，造成高风险领域得不到全面把控，审计重心可能会发生偏移，从而影响审计质量^[1]。同时审计管理机制不够灵活及科学化，不能及时针对项目的不同特点以及风险的不同阶段进行适时审计方案以及人力资源配置的调整，造成审计对某些风险环节有疏漏之处。还有就是审计信息传递不够顺畅、部门间联动机制欠缺，在一定程度上加大审计实施过程中协调成本，导致由于工程审计受人力资源有限情况下，对工程审计的风险监控不足，从而增大了因工程管理缺位、工程超概算以及工程款拨付不合规定等问题发生的概率，提升了整个工程审计风险。

4 工程审计风险的管理对策

4.1 完善工程审计制度与监管体系

需从制度建设层面入手，建立完善贯穿工程建设全过

程的审计管理制度，明确各级及各个岗位审计责任、权力与工作流程等，规范指导审计工作的进行。同时加强审计独立性和权威性，让审计部门能对项目管理发挥独立的、客观公正的监督职能^[2]。进而，优化工程审计监督管理体系，加强事前预警分析、事中实时监控、事后问责追究的有效连接，实现审计工作由传统的事后查弊纠错向及时预警防范风险的转变，增强工程项目管理规范化水平和资金安全保障力度。

4.2 强化工程审计全过程与重点环节控制

对在工程审计执行时，要强调全过程审计思想，在工程建设项目的立项、招标投标程序、建设管理以及工程竣工结算等重要阶段进行重点关注。合理安排审计力量，加大对工程项目风险较大的节点的实时监控力度，有利于提高工程审计的准确度和有效性。

4.3 推进信息化与大数据审计技术应用

信息化和大数据技术手段的应用在当代工程审计的应用中已经是优化审计质量以及效率的一个重要工具了，在工程审计的过程中积极运用信息化审计系统的平台，可以让整个工程项目相关的各类设计、建设、预算、合同以及资金等的数据得到汇集并且能够做到动态更新。这就可以让审计人员获得及时、完整的信息参考。除此之外大数据数据分析技术对于海量的工程数据可以进行搜索跟智能分析，可以对一些可疑交易，异动的资金流，存在疑点的工程量等的风险做到提前发现以及防范。这就可以大大加强风险预警功能。采用这样的方式方法不仅可以增大审计的覆盖面减少人工抽查审核时的限制。还可以使审计人员做出的判断更加地合理、精确。这样就能够很好地避免由于审计过程中信息采集不足或者时间延迟造成的审计风险的发生增加审计人员在整个项目全过程管理过程中的指导作用。并且让审计模式从传统的事后审计变成主动的、精准的、智能化的管理模式。

4.4 提升工程审计人员专业素养与能力

要强化对工程审计人员业务技能培训和实战练兵，促使审计人员学习工程技术、造价管理以及法律方面的相关知识，增强其综合分析能力及职业判断水平。打造专业性、复合型的审计团队，为有效防范工程审计风险保驾护航。

4.5 健全审计结果运用与责任追究机制

要加大审计结果的应用力度，把审计发现的问题和整改落实以及责任追究结合起来，建立完整的闭合式管理体系。以提高审计成果转化率为突破口，加强了对工程审计的威慑性和约束性，促进工程管理水平不断提高。

5 结语

工程审计在整个项目的管理过程中有着不可或缺的地位,其防范风险的能力影响着整个项目工程的投资安全和工程质量。通过对审计工程的主要风险进行系统的梳理,剖析风险原因,从制度、技术、人员等方面提出管控措施,能够使对工程审计的过程更加规范化、合理化,在今后应该继续对工程审计的理念和方式进行创新,提高防范风险意识,更好的为项目的顺利高质量的完成保驾护航。

[参考文献]

[1]罗勇军.工程审计风险管理的理论框架与评估实践[J].现代企业,2025(8):106-108.

[2]韩冬.工程审计面临的风险及有效管理策略[J].大众标准化,2023(2):63-65.

[3]李汉,宋夏云.工程审计风险的控制对策研究[J].审计与理财,2022(10):35-37.

作者简介:赵亮明(2000.1—),男,毕业院校:青海大学昆仑学院,学历:本科,所学专业:土木工程,当前就职单位:青海山金矿业有限公司,职务:审计专员,所在职务的年限:1.5年;年国蓉(1998.10—),女,毕业院校:青海师范大学,学历:本科,所学专业:经济学,当前就职单位:青海山金矿业有限公司,职务:审计专员,所在职务的年限:2.5年。

倾斜摄影与 BIM 融合的建筑检测技术研究

康凯¹ 韩莉莉¹ 孙静¹ 刘孟龙²

1. 无锡城市职业技术学院, 江苏 无锡 214153
2. 无锡机电高等职业技术学校, 江苏 无锡 214400

[摘要]随着信息技术的飞速发展,数字化与智能化已成为建筑行业转型升级的核心驱动力。倾斜摄影技术以其高效、直观、高精度的三维实景建模能力,与建筑信息模型(BIM)所承载的全生命周期结构化数据相结合,为建筑检测领域带来了革命性的变革。本研究旨在系统探讨倾斜摄影与 BIM 技术融合在建筑检测中的应用理论、关键技术流程、应用场景及性能评估。

[关键词]倾斜摄影; BIM; 建筑检测; 三维实景建模

DOI: 10.33142/ec.v8i12.18785

中图分类号: P231

文献标识码: A

Research on Building Inspection Technology Based on the Integration of Oblique Photography and BIM

KANG Kai¹, HAN Lili¹, SUN Jing¹, LIU Menglong²

1. Wuxi City College of Vocational Technology, Wuxi, Jiangsu, 214153, China
2. Wuxi Mechanical & Electrical Higher Vocational and Technical School, Wuxi, Jiangsu, 214400, China

Abstract: With the rapid development of information technology, digitization and intelligence have become the core driving forces for the transformation and upgrading of the construction industry. Oblique photography technology, with its efficient, intuitive, and high-precision 3D real-scene modeling capabilities, combined with the full lifecycle structured data carried by Building Information Modeling (BIM), has brought revolutionary changes to the field of building inspection. This study aims to systematically explore the application theory, key technical processes, application scenarios, and performance evaluation of the integration of oblique photography and BIM technology in building inspection.

Keywords: oblique photography; BIM; building inspection; 3D real-scene modeling

引言

进入 21 世纪第三个十年,我国建筑业正处于从劳动密集型向技术密集型转变的关键时期。传统的建筑检测方法,如人工现场勘查、接触式测量等,不仅效率低下、成本高昂,而且在数据获取的全面性、精确性和可追溯性方面存在显著不足,难以满足现代工程对精细化、智能化管理的需求。与此同时,以无人机倾斜摄影和建筑信息模型(BIM)为代表的新兴数字化技术,正以前所未有的深度和广度渗透到建筑项目的全生命周期中^[1,2]。

倾斜摄影技术通过无人机或有人机搭载多个不同角度的传感器,能够快速获取地表及建筑物的多视角、高分辨率影像,并自动生成具有真实纹理的厘米级精度三维实景模型。这种技术提供了“所见即所得”的宏观地理环境和建筑外部形态的真实复刻,极大地提升了现场信息的获取效率和直观性。然而,倾斜摄影模型本质上是基于影像

纹理的“空壳”模型,缺乏建筑内部结构、材料属性、设备管线等深层次的语义信息,难以直接用于精细化的工程分析与

管理。BIM 技术则是一种应用于工程设计、建造、管理的数据化工具,它通过创建和管理建筑项目的三维数字化模型,集成了贯穿项目全生命周期的几何信息和非几何信息(如构件材质、厂商、成本、维护记录等)。BIM 的优势在于其强大的信息集成、协同工作和模拟分析能力,但 BIM 模型通常与真实地理环境脱节,缺乏对施工现场复杂环境的真实反映,导致在规划、施工和运维决策中可能出现“信息孤岛”和模拟失真问题。

因此,将倾斜摄影的“实”与 BIM 的“虚”进行有机融合,实现宏观实景与微观信息的无缝对接,已成为测绘、建筑和智慧城市领域的重要发展方向。这种融合技术不仅能为 BIM 模型提供真实、精确的地理环境上下文,

还能利用 BIM 丰富的语义信息对实景模型进行解构、分析和赋能，从而在建筑检测领域催生出新的技术范式。

1 倾斜摄影与 BIM 融合的关键技术

倾斜摄影与 BIM 的融合并非简单的模型叠加，而是一个涉及数据采集、处理、配准、集成与应用的多阶段、跨学科的复杂技术过程。其核心目标是建立一个几何精确、语义丰富、虚实统一的集成化三维数字模型。

1.1 数据采集与预处理

融合技术流程的起点是高质量的多源数据获取。倾斜摄影数据主要采用搭载五镜头（一个垂直、四个倾斜）相机的专业级无人机（UAV），按照预设航线对目标建筑及周边环境进行数据采集。采集过程中需合理规划航高、航速、重叠度等参数，以保证影像质量和覆盖完整性。采集到的影像数据通过专业软件进行一系列处理，包括空中三角测量加密（空三加密）、密集点云生成、模型构建与纹理映射，最终生成 OSGB、S3M 等格式的高精度实景三维模型。BIM 模型通常基于设计图纸，使用 Revit、MicroStation 等软件进行正向设计构建。为便于后续融合，需对 BIM 模型进行轻量化处理和格式转换，如导出为通用的 IFC（Industry Foundation Classes）格式，并剔除不必要的细节，优化模型面数，以确保在三维平台上的加载和渲染效率。

1.2 坐标系统统一与空间配准

坐标系统的统一是实现倾斜摄影模型与 BIM 模型精确融合的首要前提和核心技术难点。由于两者的数据来源和生成方式不同，其坐标系统通常存在差异。BIM 模型多采用相对独立的工程坐标系，而倾斜摄影模型则基于地理坐标系（如 WGS84 或 CGCS2000）。实现二者统一的技术路径主要包括：（1）基于控制点的坐标转换，在测区内布设若干高精度地面控制点（GCPs），通过 GPS-RTK 等设备精确测量其地理坐标和工程坐标。在倾斜摄影模型和 BIM 模型中找到这些同名控制点，建立坐标转换参数（如七参数或四参数模型），将 BIM 模型从局部坐标系转换至地理坐标系下，实现与实景模型的空间对齐。（2）特征点自动配准，对于已有建筑，可利用算法自动或半自动提取 BIM 模型与实景模型中共有的几何特征（如角点、边缘线），通过点云配准算法（如 ICP 算法）计算二者间的空间变换矩阵，实现自动对位。这种方法对算法的鲁棒性要求较高。

1.3 模型融合与信息集成

在完成空间配准后，需要通过专业平台将两种模型进

行深度融合与集成。由于 BIM 模型代表了建筑的精确设计或竣工状态，当它与代表现状的实景模型融合时，需要对实景模型中对应 BIM 模型所在位置的区域进行“挖洞”处理，然后将 BIM 模型精确地“镶嵌”进去，形成一个无缝集成的整体，避免模型重叠和冲突。为了实现 BIM 模型中单个构件的交互式操作（如查询、高亮、隔离），需要对融合后的 BIM 模型进行“单体化”处理。这意味着平台能够识别并独立操作每一个 BIM 构件（如一根梁、一扇窗）。同时，将 BIM 模型原有的属性信息（如材质、规格、供应商、施工日期等）与单体化后的三维几何体进行动态挂载，用户点击实景环境中的 BIM 构件，即可弹出其详细信息面板，实现“点哪里、查哪里”的可视化信息查询。

2 融合技术在建筑检测中的应用

倾斜摄影与 BIM 的融合，为建筑检测提供了从宏观到微观、从外部到内部、从几何到语义的全方位数据支持，极大地拓展了检测的广度和深度。

2.1 施工阶段的质量、安全与进度检测

在建筑施工阶段，融合技术构建的“数字孪生工地”为项目管理提供了强大的可视化决策支持。

施工进度可视化监测：通过定期（如每周或每月）对施工现场进行无人机倾斜摄影，生成反映当前施工状态的实景模型。将此实景模型与 BIM 模型的设计模型及施工计划进行叠加对比，管理人员可以一目了然地发现实际进度与计划进度的偏差。例如，通过颜色编码差异部分，可以快速定位哪些区域施工超前、哪些区域滞后，为进度调整提供直观依据。

施工质量合规性检测：将竣工或阶段性完工的实景模型与 BIM 设计模型进行高精度对位，可以进行几何尺寸、位置关系的偏差分析。例如，通过点云比对，可以检测外墙的垂直度、平整度，或者预制构件的安装位置是否符合设计要求。某研究表明，基于融合模型的建筑参数精度可达 95%。这种非接触式的检测方式，相比传统测量手段，效率和覆盖面都得到了极大提升。

场地安全与环境管理：高清的实景模型能够真实反映施工现场的复杂环境，包括临边防护、脚手架搭设、材料堆放、大型机械布局等。通过与 BIM 模型中规划的场地布置方案进行对比，可以快速识别出安全隐患，如临边防护缺失、安全通道被占用等。同时，还可以利用融合模型进行施工方案的虚拟推演，如塔吊吊装路径的碰撞检测，提前规避安全风险。

2.2 运营维护阶段的结构健康与性能检测

对于已投入使用的建筑,融合技术为长期、高效的结 构健康监测和设施管理提供了创新手段。

建筑外观病害检测与评估:利用无人机获取建筑外立 面的高分辨率影像和三维模型,结合深度学习等图像识别 算法,可以自动或半自动地识别和标注外墙的裂缝、空鼓、 渗水、饰面脱落等病害。通过将这些病害信息在三维实景 模型上进行精确定位和可视化,并与 BIM 模型中的构件 信息关联,可以建立起包含病害类型、位置、尺寸、发展 趋势的“三维病害档案”,为维修决策提供精确数据支持。 有研究将红外热成像与倾斜摄影融合,能有效识别外墙保 温层缺陷,其融合模型的平均误差仅为 $0.018\text{m}^{[3]}$ 。

结构变形监测:通过对建筑物进行多期次的倾斜摄影 测量,可以获取高精度的三维点云数据。通过对不同时期 的点云数据进行比对分析,可以监测建筑物的沉降、倾斜、 位移等整体变形情况。将监测结果与 BIM 模型中的结构 分析模型相结合,可以对结构的安全性进行评估和预警。 这种方法的优点在于能够实现对整个建筑表面的全覆盖 监测,而非传统监测的离散布点。

设施设备管理与维护:对于建筑外部的附属设施,如 空调外机、避雷设施、屋顶光伏板等,可以通过实景模型 进行快速盘点和状态核查。将这些设施的运维信息(如品 牌、型号、安装日期、维修记录)挂接到 BIM 模型中, 运维人员可以在虚实结合的模型上直观地进行设备定位、 信息查询和维修工单派发,极大地提升了设施管理的效率 和准确性。

2.3 历史建筑的保护性检测

历史建筑的测绘与检测工作对精度和非接触性要求极 高。倾斜摄影与 BIM 的融合为此提供了理想的解决方案。

高保真三维数字化归档:倾斜摄影能够以非接触的方 式,高效、精细地记录下历史建筑复杂的外部形貌、材质 肌理和病害现状,生成照片级的实景三维模型,为历史建 筑建立起永久性的高保真数字档案。

精细化结构与病害分析:在实景模型的基础上,结合 激光扫描等更高精度的技术,可以构建出包含内部结构、 构件细节的精细化 BIM 模型。在这个虚实结合的模型上, 可以对木构件的糟朽、石材的风化、砖墙的裂缝等病害进行 毫米级的量化分析,并与 BIM 中的历史文献、修缮记录等 信息相关联,为制定科学的保护和修复方案提供全面依据。

修复方案虚拟仿真:利用模型,可以对不同的修复方 案进行虚拟推演和评估,如构件替换、结构加固等,预测

修复后的效果,从而选择最优方案,避免对珍贵文物造成 不可逆的损害。

3 技术性能评估与挑战

3.1 性能评估

该融合技术的精度是其应用价值的核心。大量实践表 明,通过严格的作业流程控制,倾斜摄影模型的绝对精度 可以达到 5cm 以内,高程精度更优。与 BIM 融合后,用 于偏差分析的相对精度可达厘米甚至毫米级,完全满足大 多数建筑检测的需求。相比传统的人工测量方式,无人机 倾斜摄影的现场数据采集效率提升了数十倍甚至更高。在 数据处理和分析阶段,自动化和智能化的流程也极大地缩 短了检测周期,实现了从“天”到“小时”的跨越。尽管 初期在无人机设备、专业软件和技术人员培训方面投入较 高,但从项目的全生命周期来看,该技术通过减少人力成 本、提高决策准确性、避免返工和安全事故,能够带来显 著的长期经济效益。

3.2 面临的挑战

倾斜摄影的 OSGB/S3M 等数据标准与 BIM 的 IFC/RVT 等标准之间存在天然壁垒,数据格式转换过程 中可能存在信息丢失或失真。行业内亟需建立统一的融合数 据标准和交换协议。目前的融合多停留在几何叠加和简单 的属性挂接层面。如何实现 BIM 的语义信息向实景模型 的自动传递与映射,以及如何基于融合模型进行更深层次 的智能分析(如自动化的结构损伤评估、能耗模拟等), 是未来研究的重点。对于具有大面积玻璃幕墙、复杂遮挡、 纹理单一的建筑表面,倾斜摄影的自动建模效果往往不佳, 容易出现模型空洞、拉花和变形,影响检测精度。这需要 融合激光点云等多源数据进行补充和修复。融合后的模型 数据量巨大,对硬件配置和网络带宽要求高,限制了其在 移动端和 Web 端的便捷应用。发展高效的模型轻量化技 术和云端流式加载技术是推广应用的关键。

4 未来展望

面向未来,倾斜摄影与 BIM 融合的建筑检测技术将 朝着更加智能化、自动化和一体化的方向发展。引入深度 学习、计算机视觉等 AI 技术,可以实现对融合模型中海 量信息的自动识别与分析。例如,自动识别裂缝、钢筋锈 蚀等病害并进行量化评估;自动比对施工现场实景与 BIM 模型,实时生成进度与质量偏差报告,实现无人化智能巡 检。构建动态数字孪生:将融合模型与物联网(IoT)传 感器采集的实时监测数据(如温度、湿度、应力、位移等) 相结合,构建一个能够实时反映建筑物物理状态、并能进行

模拟预测的动态数字孪生体。这将使建筑检测从事后的被动响应,转变为事中的实时监控和事前的预测性维护。未来的技术应用将更多地依托于云端一体化平台,集成数据采集、处理、融合、分析、可视化和协同管理等全部功能。用户无需安装复杂的专业软件,通过浏览器或移动 App 即可随时随地访问虚实结合的建筑模型,进行检测工作和协同决策,这将极大地降低技术应用门槛,促进其在更广泛范围内的普及。

5 结论

倾斜摄影与 BIM 技术的融合,通过构建一个高精度、信息丰富、虚实共生的三维数字底座,为建筑检测领域带来了深刻的变革。该技术不仅显著提升了检测工作的精度、效率 and 安全性,更通过可视化的数据管理和分析,优化了建筑项目从施工到运维全过程的决策支持能力。尽管当前在数据标准、融合深度、算法智能等方面仍存在挑战,但随着数字孪生、人工智能等相关技术的不断成熟和交叉赋能,倾斜摄影与 BIM 融合的建筑检测技术必将在推动建

筑行业数字化转型、实现智慧建造与智慧运维的宏伟蓝图中扮演愈发重要的角色。

本文受以下项目支持:江苏省教育科学规划重点课题(B/2025/02/26),江苏省职业教育教学改革研究课题(ZDZC66),中铁建(无锡)工程科技发展有限公司暑期访问工程师项目,无锡市科协软科学研究课题(高层建筑外立面无人机巡检平台建设)。

[参考文献]

- [1]杨柳,侯苏伟,李东浩.基于无人机倾斜摄影和 BIM 的矿区三维模型建模[J].金属矿山,2025(11):295-300.
 - [2]郭润泽,孟凡超.基于 BIM 与倾斜摄影测量的模型精细化融合与可视化研究[J].智能城市,2025,11(6):39-41.
 - [3]孙保燕,莫春华,薛伟,等.红外成像和倾斜摄影三维融合在建筑检测中的应用[J].红外技术,2022,44(9):991-998.
- 作者简介:康凯(1990.3—),男,毕业院校:罗蒙诺索夫莫斯科国立大学,所学专业:土木工程,当前就职单位:无锡城市职业技术学院,职称:讲师。

建筑工程质量检测结果可靠性分析与研究

雷汉朝

溆浦县建设工程质量安全监督站, 湖南 溆浦 419300

[摘要]建筑工程建设工程质量检测关系着建筑物承载的安全性、使用可靠性以及耐久年限长短,在很大程度上保证建筑工程项目检测结果的真实性与准确性关乎着建设单位工程管理与决策的合理性,伴随建筑工程建设规模越来越大、建造技术越来越复杂的趋势之下,常规的质量检测方式在面临多样化的建筑材料、复杂的建筑结构类型以及施工现场条件不明的情况下,极易出现检测误差的累加,导致最终的检测报告出现偏差,文中在全面了解建筑工程质量常见检测手段及标准的前提下,比较无损检测和破坏检测两种不同检测方式的不同特征,进而对建筑工程检测可靠性的理论依据,影响因素和判断方式等问题开展详细的阐述。并通过对数据整理、统计的方法合理判定建筑工程检测结果的可信程度,从技术创新、程序化控制、信息化手段和教育培训等方面入手以求达到提升检测可靠度的目标,这对于推动建筑工程检测工作更加合理化、规范化起到积极的作用并有助于建筑工程质量水平的提升。

[关键词]建筑工程; 质量检测; 可靠性分析

DOI: 10.33142/ec.v8i12.18776

中图分类号: TU712.3

文献标识码: A

Reliability Analysis and Research on Quality Inspection Results of Construction Projects

LEI Hanchao

Xupu County Construction Project Quality and Safety Supervision Station, Xupu, Hu'nan, 419300, China

Abstract: The quality inspection of construction projects is related to the safety, reliability, and durability of the building's load-bearing capacity. To a large extent, ensuring the authenticity and accuracy of the inspection results of construction projects is related to the rationality of the construction unit's engineering management and decision-making. With the trend of increasing construction scale and complex construction technology, conventional quality inspection methods are prone to accumulate inspection errors in the face of diverse building materials, complex building structure types, and unclear construction site conditions, resulting in deviations in the final inspection report. In this article, based on a comprehensive understanding of common inspection methods and standards for construction project quality, the different characteristics of non-destructive testing and destructive testing are compared. Furthermore, a detailed explanation will be provided on the theoretical basis, influencing factors, and judgment methods for the reliability of construction project testing. Through the methods of data organization and statistics, the credibility of construction project testing results can be reasonably determined. Starting from technological innovation, procedural control, information technology means, and education and training, the goal of improving testing reliability can be achieved, which plays a positive role in promoting the rationalization and standardization of construction project testing work and helps to improve the quality level of construction projects.

Keywords: construction engineering; quality inspection; reliability analysis

引言

当今建筑向着高层,复杂的方向以及智能化的方向不断的发展着,而其中工程质量和安全也越来越被人们所重视。工程质量检测是建筑工程的重要组成部分,它既用于合理地检验建筑施工的质量也给管理者决策提供了支持。但是目前检测的结果还是具有一定不确定性的,最主要的原因就是由于检测手段本身的制约、测量工具的精度以及

检测员个人水平的差距等因素造成的,在进行测量的过程中难免会存在一些误差导致对安全的判断以及日后工作的进行带来一定的影响。国内外对于检测手段、仪器精度还有结果可靠程度等方面都有相关论述,但是对于各类检测技术综合应用下的可靠度分析却很少有系统的阐述。本文的研究目的是关于建筑工程中的质量检测结果的可靠程度问题,通过相关的理论知识加上具体案例相结合的方法

法对其误差来源以及原因进行探究,并找到相应的解决措施以供工程项目的质量控制参考使用。

1 建筑工程质量检测方法与规范

建筑工程项目质量检测手段选择与标准体系是获得科学可靠检测结果的基础。建筑项目工程质量监测技术涵盖了建筑材料质量监测、结构稳定性检测和建造过程中各项工程的质量检验等内容。而建筑项目工程质量检测的标准则由国家标准、部门标准和地区标准构成;它们为如何开展工程项目的检测、应该采用哪些步骤来进行检测、使用什么样的设备以及如何整理检测的数据做出了明确规定。实践中运用的标准一方面规定了检测工作的具体步骤方法另一方面也确定了质量判定的指标和验收准则使得不同的工程之间或者不同质检员之间的检测工作有共同参照物可以比较。标准同时对于取样、实验环境、填写格式、报告样式等一系列检测的过程都有详细的说明以保证检测过程中的公平性与准确性。依照相关标准严格执行能有效提高检测结果的可信度与精确度从而更好的服务于建设工程质量监督和决策。

2 建筑工程质量检测方法

2.1 无损检测技术

无损检测技术广泛应用于建筑工程领域,无损检测的基本理念是在不影响构件整体性的前提下对其内部进行探测。超声检测基于声波传导到物体介质里的物理属性,可以有效检出裂纹、孔洞以及界面脱开等各种类型的缺陷并根据声速和回波情况进行缺陷检测定位。射线探伤是应用 X 射线或者 γ 射线穿过构件并在底片上显示出构件内部的缺陷图形,经常被用来观察建筑物中的钢筋配置情况及焊接处质量状况还有混凝土内部是否存在孔洞现象。雷达探测基于发射电磁波反射的工作方式,对于探测混凝土、墙体以及地基等构件有快捷方便获取内部缺陷位置大小的优点。红外成像则是通过对热量的分布情况进行观察以此来推断建筑构件内部是否存在缺陷例如孔洞或者是水分入侵或者材质不均等情况。无损检测方法都具有简单易行、检测速度快、可连续检测的优点,在建筑工程建设与维修过程中起到有效的工程质量监控作用。但无损检测准确性、可信度与所用仪器设备、检测员的操作水平和现场检测条件均有关系,必须针对不同的检测对象选择合适的检测仪器并且要优化检测计划、调试仪器参数、结合不同检测手段相互佐证才能提升检测结果信赖性。

2.2 破坏性检测技术

破坏性检测方法是材料或者构件样品直接进行试

验,得出最为真实的各项性能参数,包含抗压、抗拉、抗折、耐久性以及耐腐蚀性能测试。抽样试验是属于最具代表性的破坏性实验方式,在建筑工地现场或者是实验室中针对相关的混凝土、型钢以及砂浆等建筑材料实施抽样并且对其加载荷载后可以得到最为精准的物理实验数据指标。在所有检测手段中最具有说服力的就是破坏实验的结果,因为它可以直接反映出材料的实际强度与性能状况,适用于重要结构或者用于检验与核实现有结构的设计及建造是否达到标准要求。虽然对于材料的破坏检测会牺牲样品并导致较高的试验费用,但是其真实性、可靠性却是其他方式无法比拟的,是最有说服力地用来判定建筑物安全性的一个数据来源。而在实际工程建设过程中常常同时采用破坏检测和无损检测两种方法相结合的方式,用取样检测来校正无损检测的结果,以取样检测的数据作为参照来比对无损方式所检测到的数据结果,两者相辅相成共同构成一个合理完善的检测方案,以此确保建筑工程的质量鉴定结果真实有效。

3 建筑工程检测结果可靠性分析

3.1 可靠性分析理论基础

建筑工程检测结果可靠性是对检测结果的数据真实性准确性以及再现性的一个衡量标准,它的相关理论主要有以下三个方面的内容:概率论与数理统计的相关知识、误差理论以及系统的可靠性原理。其中概率论与统计理论主要是通过对检测所得数据所具有的分布特征的研究来推算误差出现的概率及其变化幅度等内容从而为其可靠性的评价提供理论上的支撑;而误差理论则侧重于研究影响检测结果的各种系统误差及随机误差并对其产生原因及大小加以探讨进而寻求优化检测手段提高检测结果可靠性的途径;系统可靠性则是指应该从系统整体上把握去考量整个检测过程包括所运用的方法技术手段仪器设备以及具体的操作步骤人员素质等因素认为检测结果的可靠性是由诸多方面相互配合共同决定形成的。在具体的工程建设实践中能够通过综合运用各种理论加以分析对检测所获得的数据作出合理的解读从而使工程项目管理者能够清楚的理解检测结果的可靠性程度以此作为工程安全性评判与相关决策作出的基础性参考依据。

3.2 检测误差及主要影响因素

建设工程检验中出现的诸多误差主要有系统误差、偶然误差还有就是人为误差。其中系统误差一般是由仪器本身的精度问题,仪器校准偏差以及测试手段固有的测量偏差导致,这种误差的特点是实验结果总是系统性的偏离标

准值；而偶然误差主要是受到现场环境条件、被检测材料的非均质性和其它外来因素干扰所致，因而它的特征是结果表现出不稳定性和分散性；人为误差主要是由于检验人员自身检验技术水平的高低、经验不足及理解检测规章不到位等原因造成。除此之外建筑材料特性，施工作业工序繁杂程度以及检验过程中的不确定因素都会严重影响到结果可信度，如：混凝土水化热后温湿度条件的不同会导致无破坏性测验中超声波的传导速率的变化而导致采集数值失准；钢筋锈蚀或者其表面黏附物质的存在都会使得探测仪器读数不准。综合上述误差产生的原因剖析，能够为此后的可靠度评估及检验测试手段改进奠定基础。

3.3 可靠性评价指标与方法

针对如何度量建筑工程的测试结果可靠性的研究主要是以一些列科学化的评估手段为基础的，其中包含了一些科学的指标以及相关的评定方式。目前常用的可靠程度指标主要有测量偏差率、重复性指标、置信区间及标准偏差等多个参数，其分别用于衡量数据准确性、稳定性、再现性的高低。常用的分析算法有：借助分布拟合以及假设检验的概率统计法、以测试的历史资料和施工现场实际检测信息作为先验知识，并以此构建后验概率来进行结果不确定性的推测的方法即贝叶斯分析法、考虑影响指标包括建筑材料种类，试验的方式，使用的仪器仪表精度水平，还有就是检测人的水平等几个方面并运用加权或者模糊综合分析算法的一种综合性评估办法。在建设工程中科学的选择及联合应用指标体系和评估算法有利于科学化的检测结果可靠的量化进而更好的服务建设项目质量管理体系。

3.4 数据处理与统计分析在可靠性评估中的应用

数据处理及统计分析是检测结果可靠性的验证中最为核心的部分。首先经过基础的数据处理包括对原始检测数据的整理，滤波去噪以及异常值剔除来确保了后续所用数据的真实有效；其次基于数据描述性的统计分析，利用均值、标准差、偏度、峰度等指标对检测结果进行了量化的研究从而了解了数据的集中趋势及离散情况；然后借助回归分析，方差分析以及信度系数求取来探究各影响因素对于检测结果的扰动情况及其规律性；最后对统计分析的结果进行可靠性评定指标的融合得到了最终完整的可靠性判别体系并据此进行检测结果的判别。而在当代建筑行业当中，伴随着信息技术的应用和发展，数据处理手段以及统计分析的方法也都朝着数字化、智能化的方向转变使得可靠性的判定更为准确快捷。

4 提高建筑工程检测结果可靠性的策略

4.1 检测技术与方法优化

提高建设工程检测可靠性最主要的一条办法便是对检测技术和方式加以系统优化，其内容既包含提高现有检测手段准确性、适用性，也包含引进多个技术相结合的联合检测方式，通过不同数据相互印证、相互补充的方式来达到这一目的。对于复杂的构件、重要的节点、危险的地方我们可以同时采取超声波、雷达、红外成像、射线等多种无损探伤方式进行探测相互对比判断有无质量问题。从而大大提高了检测结果的真实程度。与此同时我们也应当对具有破坏性的试验检测技术予以高精度采样规划，充分考虑到材料特性和工艺特点合理布点选择以求试验结果具有代表性以及科学性^[1]。另外定期校正机器设备，升级传感器设备，改进测验步骤这些也是减少系统误差和人工读数误差必不可少的措施。检测手段优化同时也需要具体考虑工程项目的实际情况，考虑结构复杂状况，工地现场氛围，建材类型，施工进度等条件制定不同的检测方案，保证不同条件下检测到的结果都有科学性，稳定性，可靠性为工程的质量管理与决策做出有效的数据支持。

4.2 检测过程标准化与规范化

规范性和标准化是保障建筑工程测试结果之间可比较、准确可信的重要一环，在具体测定的过程中统一的测定步骤，取样的方式，使用的仪器设备，获得结果以后的数据记录格式与最终报告都是有规可循的，这样就可以最大限度上避免由于检测员的不同或者测定时程序的差别甚至是外界环境因素的变动对最终测定值产生的不必要的偏差，标准化除了测定过程中严格按照国家强制标准规定和各个行业的测定规定还有各地的地方性文件之外还要包括现场秩序的管控，仪器的检定保养，测定环节的实施，测定数据的整理计算，测定最终的测定出具报告等整个过程都进行严格把控，并且要形成一个闭环式的管理体系^[2]；除此之外还需要根据不同类型的建设工程，建筑材料的种类，施工的情况分别给出相应的作业指导书和特殊情况的操作预案以便能够在科学合理的基础上灵活的应对工地现场随时可能出现的各种状况，保证测定工作的顺利开展。标准化的测定工作也应该配合一定的教育培训与考核制度，同时辅之以监督检查的方式督促检测人员严格按照标准化的要求进行测定工作，提升操作的一致程度。进而使得测定的得到的试验数据在不同的工程项目之间、同一个项目的不同时段还有同一时段内的不同班组之间的数据能够稳定可信并具备较好的重复性可对比度，以便

用于工程项目的质量判定,为后期做出相关决策提供真实有效的参考信息。

4.3 信息化与智能化辅助检测

信息化和智能化的技术发展是建筑工程检测结果可靠性的提升的新途径。BIM(建筑信息模型)为基础的信息化管理系统可以集成地处理有关建筑物的结构,工程项目的进展以及检查的结果等,帮助检测员进行合理化分析判断。智能检测工具比如自动扫描程序、无人机检测技术和实时记录数据的感应器可以持续不断地、迅速而精确地检测工程,减少人工误差^[3]。运用大数据挖掘技术和人工智能技术可以分析过去的检测结果数据寻找规律并对未来可能产生的问题进行预警,让工程检测更具针对性,准确性。信息化、智能化手段提高了检测速度的同时也为检测结果的可靠性提供了技术支持,让工程建设的质量管理更智能化、科学化。

4.4 检测人员培训与管理提升

即使仪器设备多么精密,检测人员的能力水平依然是制约着检测结果准确性的关键要素之一。经过严格的培训及管理可以提高检测能力、标准化意识及数据解析水平等,进而降低因人造成的失误概率。教育培训应该涵盖检测原理知识的学习、仪器的操作规程、数据计算方法以及质量管理体系,并辅以真实的项目实例模拟训练;同时制定一系列管理制度来约束检测人员的行为,如:检测人员岗位责任制度、奖惩制度以及定期培训再教育制度等使每一位试验检测工程师都能够切实履行其岗位职责并在工作中对自己的检测的数据负起相应责任。高素质的人才配备加

上严谨完善的管理制度方为得到经得起时间检验的长久可靠的检测试验结果的根本保证。

5 结语

建筑工程质量检测结果可靠与否关乎工程结构安全、施工管理决策和后期维护保障等各方面问题。基于检测方法、结果误差以及其影响因素等的梳理,并辅之以数据处理及统计分析方法等,可从可靠性的角度对检测结果进行全面系统的评价。同时基于一系列的技术优化措施、标准化方案、信息化智能手段以及相关人员进行教育培训计划等,可进一步有效地提高检测结果可靠性、准确性。今后随着建筑工程复杂化程度增加及其智能化水平的发展,如何构建一个更为健全可靠的可靠性评估指标体系及智能检测平台,也将是建筑工程建设中确保工程质量安全性的重要发展趋势所在。借助理论研究和具体实施操作相结合的方式不断完善建筑工程质量检测工作的合理化规范化可靠性程度并由此确保工程的安全和社会经济的稳定发展。

[参考文献]

- [1]沙云.建筑工程材料质量检测与结果分析[J].实验室检测,2025,3(18):77-79.
- [2]陈旭霞.建筑工程质量检测标准化分析[J].品牌与标准化,2024(2):67-69.
- [3]马凤玲.建筑工程质量检测 and 检测技术的若干要点分析[J].中国住宅设施,2023(6):92-94.

作者简介:雷汉朝(1979.12—),男,湖南溆浦人,汉族,本科学历(土木工程),从事建设工程质量检测 and 建设工程质量监督工作。

小户型住宅的收纳空间优化策略

高利军

河北天艺建筑设计有限公司, 河北 石家庄 050000

[摘要]随着城市化进程的加速以及土地资源的日益紧缺,小户型住宅因其便捷的地理位置、相对较低的总价成为城市居住的主流选择之一。然而,小户型住宅在带来居住便利,经济实惠的同时,因其空间有限,收纳需求与空间供给之间的矛盾日益突出,降低居住的舒适度。鉴于此,应该高度重视小户型的空间利用率,通过合理的收纳空间设计实现空间的多功能复用,提高居住的舒适度。文章对小户型住宅收纳空间的问题进行了分析,并制定了一系列的优化策略,助力实现“小空间、大收纳”的居住目标,以供参考。

[关键词]小户型住宅; 收纳空间; 空间利用率; 优化策略; 功能适配

DOI: 10.33142/ec.v8i12.18766

中图分类号: TU025

文献标识码: A

Optimization Strategy for Storage Space in Small-sized Residential Units

GAO Lijun

Hebei Tianyi Architectural Design Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: With the acceleration of urbanization and the increasing scarcity of land resources, small-sized residential units have become one of the mainstream choices for urban living due to their convenient geographical location and relatively low total price. However, while small-sized residential units bring convenience and affordability, the contradiction between storage needs and space supply is becoming increasingly prominent due to their limited space, which reduces the comfort of living. In view of this, high attention should be paid to the space utilization rate of small-sized apartments, and the multifunctional reuse of space should be achieved through reasonable storage space design to improve the comfort of living. The article analyzes the problem of storage space in small-sized residential buildings and formulates a series of optimization strategies to help achieve the living goal of "small space, large storage" for reference.

Keywords: small scale residential units; storage space; space utilization rate; optimization strategy; functional adaptation

引言

近些年来,伴随着我国城市化进程的加快,核心城市土地出让成本攀升,小型家庭数量增加,年轻群体在购房问题上面临着巨大的压力,小户型住宅成为房地产市场的主流产品。然而,小户型住宅在带来便利的同时,也存在空间体量有限的核心短板。然而,随着人们生活水平的持续提升,居民的居住物品数量也在不断的增加,从功能多样的家电到各种各样的食品、杂物等,小户型住宅有限的面积与居民物品的收纳需求之间的矛盾愈发凸显。目前多数小户型住宅在收纳空间设计方面存在一些不足之处,开发商在设计小户型住宅时忽视了收纳空间的规划、收纳功能较为单一等,无法满足居民的实际需纳需求,影响居住体验感。为此,如何针对居住者行为模式更有效更高效的利用空间、如何提高使用者舒适度等都是优化设计研究正

在解决和以后要面临的问题,本文研究基于小户型住宅以及收纳空间的核心特点,制定一系列小户型住宅的收纳空间优化策略。

1 小户型住宅及收纳空间核心特征

小户型住宅的核心特征体现为“紧凑化、多功能、高需求”,紧凑化特征首先直观地表现在空间体量上,单区域的面积比较小,在这样的空间里,部分空间不得不承担着功能重叠需求;在户型的结构方面,主要以方正为主,然而对于动线的设计提出了更为严格的要求,不仅要兼顾便捷性,同时要考虑空间利用率,杜绝浪费;小户型住宅的居住群体以小型家庭、新婚夫妻、单身青年为主,使得收纳的需求呈现多元化的特征,不仅可以存放件物品,同时也要兼顾小件物品的收纳。

小户型住宅的空间设计过程中,使用场景与功能差异

为依据,科学的分为四大类别。一是入户收纳空间,其核心功能在于妥善存放日常高频使用的物品,因此入户收纳空间的设计,不仅要兼顾便捷性,同时也需考虑用户的整洁度;二是厨卫收纳空间,厨房与卫生间的核心需求是便捷取用、防潮;三是卧室收纳空间,在设计时需要兼顾被褥衣物、个人杂物等用品的收纳容量,同时也应考虑私密性;四是公共区域(客厅、阳台)收纳空间,其收纳空间主要用于存放绿植、家电等物品,因此,公共区域收纳空间的设计需要考虑空间的美观度以及实用性。

2 小户型住宅收纳空间现存问题

为了利用控制户型面积来降低总价,通常使用降低卧室、起居室、阳台等功能空间面积的设计手法,这样确实有效缩小了户型,但同时也降低了整体居住空间的舒适度与居住者的居住质量。多数小户型住宅收纳空间规划问题突出,在空间规划布局方面,缺乏系统性,多为被动设置,未结合空间结构与居住需求科学布局,部分尺寸不符人体工程学,如柜体过高过深,取物不便,降低利用率。功能定位过于单一,难适配多元收纳需求与居住场景变化。如传统衣柜无法分类收纳小件物品,厨房柜体难适配不同厨具餐具,导致物品摆放杂乱。在结构设计方面同样存在诸多缺陷,柜体结构不合理,多单一隔板,缺乏分层分区;收纳结构与空间形态脱节,浪费空间且影响美观。另外,厨卫未用防潮防水材质,柜体易变形发霉;部分柜体轻薄,承重差;材质与场景适配性差,如入户未用耐磨易清洁材质,且部分材质环保不达标,危害健康。

3 小户型住宅收纳空间优化原则

(1) 以人为本原则。收纳优化以居住者习惯与需求为核心,主要依据年龄、家庭结构、使用频率合理定制空间优化方案;(2) 功能适配原则。收纳功能与场景精准适配,依据不同区域需求设计专属结构;(3) 高效利用原则。高效利用是小户型收纳核心,挖掘闲置空间,整合转角等区域,优化收纳结构,分层分区模块化设计,提升容量与利用率。(4) 灵活多元原则。考虑需求变化,收纳注重灵活可变,用模块化、可调整结构,实现收纳与其他功能空间复用,提升多元适配性。(5) 美观协调原则。收纳空间的优化兼顾实用与美观,和住宅风格、形态协调,收纳空间的优化运用隐藏、嵌入式设计,注重造型与材质搭配,提升居住品质。

4 小户型住宅收纳空间优化策略

4.1 空间整合: 挖掘闲置潜力, 实现全域收纳

空间整合作为小户型收纳优化效能的核心策略,其本

质在于打破区域固有的局限,通过系统性挖掘各类闲置空间,从而实现空间价值的深度开发与利用。玄关区域作为住宅的“第一道防线”,在空间优化设计中应该兼顾便捷性和收纳容量的特点。在设计过程中通过结构内嵌的方式打造定制化的鞋柜,搭配置物台以及挂衣区,以满足高频物品分类存放的需求。对于极限小户型的特殊条件,建议采用翻斗式鞋柜以减少空间的占用面积。在鞋柜顶部设置可抽拉式储物盒,存放闲置物品。

墙面作为小户型中最容易被忽略的收纳资源,通过巧妙的设计,如置物架、壁挂式柜体等打造个性化的墙面收纳,将墙面空间转化为收纳空间。例如,在客厅的电视背景墙,除了安装电视柜之外,可以在电视柜的两旁设计多层的开放式书架,不仅可以存放各类书籍,也可以放置绿植。厨房墙面安置置物架用于摆放餐具和厨具,还可以利用墙面的空间打造一个隐蔽式的调料的收纳盒,既可节省空间,又可保持厨房的整洁。卫生间的墙面收纳除了安置置物架和收纳盒之外,可以在镜子的后面设计一个隐藏式的收纳柜,用于存放洗漱用品等小物件。对于高充足的小户型,可在吊顶空间设计隐藏式的收纳柜,适合存放不常用的物品。地面空间是小户型收纳的重点区域,建议采用下沉式收纳设计的方案,不占用地面活动空间。在空间优化设计中重视阳台转角、卧室转角等空间,各转角的大小与形状设计多层结构的转角收纳柜,用于放杂物、书籍、食品等,解决转角空间浪费的问题。

4.2 功能适配: 精准定位需求, 打造分类收纳

在有限的生活空间里,物品摆放杂乱,不仅会影响到美观,而且也会降低生活的舒适度与效率。鉴于此,应该充分结合不同区域的使用场景与收纳需求,打造适配性强、分类清晰的收纳空间。厨房中厨具、餐具以及食材种类比较繁多,因此,收纳需要紧密围绕不仅要考虑便捷性,而且要注重防潮。上柜空间比较高,适合存放不常用到的餐具或厨具,为了便于取用和查找,可使用透明的收纳盒进行妥善的分类存放,并明确标识。下柜作为厨房收纳的重点区域,为了实现更加精细的分类存放,合理搭配板格和抽屉,另外,在柜子里安装防潮垫,以免食材受潮变质。台面主要用于摆放常用到的炒勺、菜刀等厨具,因此,建议采用嵌入式的收纳盒。利用抽屉内部打造分区收纳,设置餐具区、刀具区以及调料区,进一步提高分类的收纳效率。厨房水槽下方的空间可以用来存放垃圾袋或清洁工具等物品,安装一个可拉出的收纳架,水槽在下方安装一个防潮垫,以免柜体受潮。

卫生间作为家居空间中使用频率较高的区域应该高度重视其收纳设计。不仅要充分考虑到防水防潮等环境因素，同时也要针对清洁工具洗漱物品的特性，合理规划出收纳空间，从而实现物品的便捷取用以及有序存放。在卫生间的洗漱台下方可以打造一个收纳柜以用于存放护肤品、清洁工具等。充分利用垂直空间，在卫生间的墙面上安装壁挂式的置物架和收纳盒。根据卫生间角落的形状以及大小制定一个三角形或 L 型的收纳柜，用于存放各类杂物，实现功能整合。

阳台与客厅作为家庭中的公共区域，在收纳设计上要兼顾美观度以及实用性，采用“隐形收纳+多功能收纳”的创新方案。选择带有收纳功能的沙发、茶几，在沙发的下方设计抽屉式的收纳空间，可以存放小物件，选用带收纳层的茶几，解决客厅杂物堆积的问题。阳台可整合洗衣、晾晒与收纳功能，打造洗衣柜+收纳柜的组合，存放洗衣用品、闲置物品，同时利用阳台两侧墙面打造置物架，摆放绿植、休闲用品，实现“一物多用”。卧室收纳设计不仅要满足日常需求，同时也要兼顾精准的分类以及私密性的需求，从而营造出一个舒适、整洁的居住环境。通过合理的对衣柜进行分区设计，可以有效提高收纳的效率以及使用的便捷性。衣柜可分为不同的收纳区域，例如挂衣区、小件收纳区，叠放区等。利用衣柜顶部空间存放一些闲置的物品，例如不常用到的运动器械、过季的鞋子、行李箱等。床头柜可选用带抽屉的款式，可以将睡前常用的物品，如护肤品、书籍、眼镜等存放在抽屉，同时利用衣柜顶部空间存放闲置物品，提升收纳容量。

4.3 结构创新：采用模块化设计，提升灵活适配性

为了满足小户型住宅多元化的居住需求，通过结构创新，采用可调整的收纳结构、模块化的收纳结构，提升收纳空间的适配性与灵活性。模块化收纳作为一种极具创新性的收纳方式，居住者可以根据收纳需求以及空间的大小自由组合，从而适配不同的居住场景。居住者可以将可堆叠的收纳盒，窄型的收纳柜巧妙地组合在一起，进而实现收纳空间的最大化。也可以根据居住者的生活习惯灵活调整内部结构，如增加抽屉、隔板等，便于书籍玩具、衣物的妥善存放，实现收纳功能的动态优化。传统的柜体结构因设计不合理而导致内部空间利用率较低，是可以采用分区分层以及可调整的隔板进行设计，结合物品的大小与高度，对柜体的内部进行合理的分层设计，提升柜体内部空间利用率。推广隐藏式与嵌入式收纳仅可以达到视觉上的整洁效果，而且可以减少空间的占用面积。此外，可采用折叠

餐桌、折叠收纳架等折叠式收纳设计，提升空间灵活性。

4.4 材质应用：兼顾耐用实用，提升居住品质

收纳空间的材质选择需结合使用场景，选用适配的材质。厨卫区域的湿度比较大、易产生污渍，因此在材质的选择方面，应该选择具备良好防水性能的收纳材质。例如，柜体可选用不锈钢、铝合金、防水板材等，避免受潮变形、发霉；收纳盒、置物架可选用塑料、不锈钢等防水材料，提升耐用性；台面可选用石英石、大理石等耐磨、易清洁的材质，减少污渍残留。卧室、客厅等区域环境干燥，需兼顾环保性、美观度与实用性。柜体可选用实木板材、环保板材等，环保性达标，同时贴合住宅装饰风格；墙面的收纳建议优先选用金属挂钩或木质置物架，以满足多样化的空间装饰需求。而在收纳盒的选择方面，建议选用布艺、木质等材质完美适配各种装饰风格的同时实现分类的收纳。

4.5 结构与材质适配参考

为更清晰呈现不同区域收纳空间的结构设计与材质选择适配方案，制定如下表格，为收纳空间优化提供直观参考：

表 1 不同区域收纳空间的结构设计与材质选择适配表

收纳区域	核心结构设计	适配材质	优化目标
入户	超薄/翻斗式鞋柜、壁挂挂衣区、顶部置物台	防水板材、不锈钢、铝合金	便捷取用、节省空间
厨房	上柜+下柜+台面分层收纳、转角旋转置物架、抽屉分区	不锈钢、防水板材、石英石	防潮分类、减少台面占用
卫生间	壁挂置物架、洗漱台下收纳柜、角落收纳盒	不锈钢、防水塑料、防水板材	防水防潮、整洁有序
卧室	分区衣柜、壁挂置物架、床头柜抽屉	环保板材、实木、布艺	分类收纳、贴合装饰
公共区域	多功能沙发收纳、嵌入式电视柜、阳台组合收纳柜	环保板材、金属、木质	隐形收纳、功能复用

5 结论与展望

本文围绕小户型住宅收纳空间优化展开研究，从原则与要素出发，剖析当前小户型住宅收纳空间设计的优化空间，进一步针对小户型住宅及收纳空间的核心特征，通过空间整合、功能适配、结构创新、材质应用等设计手段，营造出“小空间、大收纳”的居住空间，实现空间利用率最大化，满足各类物品的收纳需求，提升居住舒适度。随着居住理念的升级与科技的发展，小户型住宅收纳空间的优化将呈现更加智能化、个性化的发展趋势。后续研究结合智能化技术，研发智能收纳设备（如智能衣柜、智能储

物柜),实现收纳空间的自动化、便捷化,适配现代居住需求;结合绿色环保理念,选用环保、可再生材质,探索绿色收纳空间设计路径,实现居住品质与生态环保的协同发展。

[参考文献]

- [1]周燕珉,林婧怡,齐际.为青年人定制公租房——从需求出发的青年公租房套型设计研究[J].城市建设,2012(1):26-28.
- [2]薛思雯,周静敏,李伟.城市中小套型住宅居住需求的比较研究——基于上海地区入户实态调查的分析[J].建筑学报,2013(12):72-77.
- [3]杨磊.城市青年住宅——小户型住宅设计初探[D].陕西:西安建筑科技大学,2004.
- [4]梁树英.基于居住需求分析的中小套型住宅设计研究[D].重庆:重庆大学,2010.
- [5]闫昌健.万科“泊寓式”居住空间精细化设计研究[D].吉林:吉林建筑大学,2018.
- [6]钟启恩.小面积集合住宅内部间及公共空间设计研究[D].广东:华南理工大学,2013.
- [7]陈瀚.基于住居学角度的小户型住宅室内设计[J].艺术评论,2016,11(2):11-12.

作者简介:高利军(1986.7—),毕业院校:石家庄经济学院,所学专业:建筑装饰,当前工作单位:河北天艺建筑设计有限公司,职务:内装室主任,职称级别:中级。

智能化转型视角下矿区安全巡逻管理体系的构建与实施路径研究

孙明成 张世璞

青海山金矿业有限公司, 青海 都兰 816101

[摘要]伴随着矿业生产规模的扩张与安全管理要求提高,传统的矿区巡检方式存在着效率低、覆盖面小以及安全隐患大的不足。智能化的发展给矿区治安巡检带来了新的技术支持以及管理思想,借助数据分析处理与智能化手段、实时监控,可以达到巡检工作科学化、精准化、高效化的水平。本篇文章从智能化转型的角度出发,探究了当前矿区安全巡检情况以及不足之处,搭建了智能化巡检管理系统以及具体的实施方案,包含组织架构、系统整合、人员培训等方面,智能化巡检系统的应用能更好地节省人力物力资源、减少隐患发生概率、增加突发事件处理速度等优势。为矿区安全生产工作的智能化发展提供了理论参考和实际借鉴。

[关键词]智能化转型; 矿区安全管理; 巡逻管理体系; 实施路径

DOI: 10.33142/ec.v8i12.18772

中图分类号: P619.14

文献标识码: A

Research on the Construction and Implementation Path of Safety Patrol Management System in Mining Areas from the Perspective of Intelligent Transformation

SUN Mingcheng, ZHANG Shipu

Qinghai Shanjin Mining Co., Ltd., Dulan, Qinghai, 816101, China

Abstract: With the expansion of mining production scale and the increase in safety management requirements, traditional mining area inspection methods have shortcomings such as low efficiency, small coverage, and large safety hazards. The development of intelligence has brought new technological support and management ideas to the security inspection of mining areas. With the help of data analysis and processing, intelligent means, and real-time monitoring, the level of scientific, precise, and efficient inspection work can be achieved. This article explores the current situation and shortcomings of safety inspections in mining areas from the perspective of intelligent transformation. It builds an intelligent inspection management system and specific implementation plans, including organizational structure, system integration, personnel training, etc. The application of intelligent inspection systems can better save human and material resources, reduce the probability of hidden dangers, and increase the speed of handling emergencies, which provides theoretical and practical references for the intelligent development of safety production work in mining areas.

Keywords: intelligent transformation; mining area safety management; patrol management system; implementation path

引言

矿井安监是矿山生产的关键部分,它不仅影响着矿山生产的效益,更涉及着职工的生命安全和社会的安全稳定。在矿山生产规模日益扩大与高度自动化的背景下,传统的依赖于人员巡查、经验管理的人工巡逻方式已经出现效率低下、风险管理困难、应急处理不及时等问题,无法适应目前矿井安检的要求。智能化转变是通过信息化、数字化以及对数据的智能化处理等方式为矿井的安保巡查工作提供了新手段与新工具,可以做到安保巡查工作的实时监测、数据分析、风险评估,并做出科学的管理决策。因此本文以智能化转型为突破口,深入探讨了矿井安保护巡查

管理系统的设计方案及实施策略,从巡逻情况、存在的问题等方面进行剖析,并提出了智能化管理系统的设计思路,在此基础上提出了机构设置、技术支持和人才培养等方面的解决方案,从而为矿井安保工作走向智慧化以及智慧矿山的发展提供理论支持与实际参考。

1 矿区安全管理理论概述

矿山的安全生产是矿山生产经营管理系统中重要组成部分,旨在运用科学的方法进行风险防范、事故预防和应急救援处理。传统的理论主要分为风险管理、系统工程和事故预防三个方面,风险管理主张在明确矿山生产过程中存在的各种安全隐患的前提下,分析并控制可能产生的

危害,利用法律法规、科学技术以及组织制度等方式减少危险发生概率;系统工程认为应当从全局出发,从系统的视角统筹协调矿山企业的生产经营活动与安全管理之间的关系,达到经济效益与安全效益之间的协调统一;事故预防要求加强安全教育培训,严格遵守操作规程以及开展应急预案训练,在人的层面上进行安全行为管理,以杜绝各类安全事故的发生。而随着信息技术和智能化的进步,传统安全理念也逐步走向数字化、智能化发展,提出了智慧矿山的概念,智慧矿山安全管理即是以海量的数据信息为基础,构建信息化平台,运用大数据采集分析并做出科学决策判断,从而实现矿山企业安全的全过程化管理,为矿山企业安全巡检系统的合理建设提供参考依据。因此,现代矿山企业安全管理工作应做到风险辨识、防范控制、巡查监控、数据分析和应急处置相统一,才能保证矿山企业生产的安全性和稳定性。

2 矿区安全巡逻现状分析

2.1 矿区安全巡逻管理现状

现阶段我国矿区安全巡视监管以多层面、多步骤并存的形式存在主要有以下三种:人力巡视、机械设备巡查和局部电子监测配合巡视的方式。人力巡视属于传统的巡视方法,主要是通过巡视人员根据巡视规定路线按时巡视矿场内生产装备、通风设施、运输工具、危险地带等情况并做好巡视记录向监管部门报告。机械巡视主要指利用小型巡视车或者无人机在矿山内做定期巡查巡视,它能涉及到人力所不能到达的地方还可以借助仪器收集现场环境参数如瓦斯含量、湿度温度还有地质变动等数据;而近年来部分地区也应用了实时监控、智能化感知仪器和地理信息系统(GIS)辅助巡视等手段,达到对重点位置24h不间断监管的效果。但总的来看矿区的巡视监管还是存在着巡视规范标准混乱,巡视路线设计无科学依据,巡视次数时间不合理,巡视信息采集与分析无系统等问题,使得巡视监管工作实际开展效果不佳。尤其是对于大面积矿场和复杂地形条件更是难以做到巡视工作的即时准确,造成巡视消息滞缓、安全隐患发现迟缓的问题,进而影响到矿场安全治理的整体质量。

2.2 现有巡逻模式存在的问题

当前矿山巡逻方式主要是基于人工经验及固定路线巡检。其主要有以下几个缺陷:一是人员巡检受工作人员能力和经验以及身体和精神状态的影响很大,容易造成漏巡或记录偏差等问题,而且晚上及一些极端天气条件下和偏远地区的巡检也十分困难。二是巡逻任务分配缺少合理

科学的任务调度和优化,矿区普遍采取的是固定式巡逻路线的设计,忽视了风险动态变化过程和重点地区差异性的巡视。造成了巡逻成本高、效率低的问题。三是巡逻数据收集整理机制不完备,人工巡视记录以纸质或简易Excel表为主,没有统一的标准的数据格式及分析系统,无法对以往数据进行比较和分析,制约了管理决策的有效性。四是信息化与智能化手段的应用不够连续和全面,很多矿山信息系统之间相互独立,缺乏联系,巡逻信息不能及时共享、危险信息也无法进行智能预判提示,安全隐患排查还是被动式。总的来讲,当前的巡逻方法从效率上、准确性上都存在着很大的问题,在智能化上更是严重不足,这就要求矿山安全巡逻管理系统的智能化升级势在必行。

2.3 巡逻效率与安全风险分析

矿区巡查效率直接影响到安全管理成效及风险管控水平,传统的巡查方法因路径单一,数据采集滞后以及人力调配不合理,对于一些隐患很难做到及时地监测和控制。比如矿区瓦斯超限、设备故障或者地质变化等问题都可能在人工巡查模式下要经过几个小时甚至几天的时间才得以察觉,造成事故发生的几率加大;另外巡查效率低也会增加巡查员压力,影响巡查工作的质量并且减弱了持续监督的能力,进而导致整个安全管理机制不稳定。通过总结矿区巡查效率与安全风险之间的联系得出:巡逻的覆盖面与危险源出现的位置失衡是造成险情不能提前防范的重要原因,巡逻频率和巡逻人数分配不合理也是造成险情暴露程度增强的重要原因之一,还有就是信息反馈迟缓,致使巡逻所得的数据无法提供有效的决策依据,造成安全风险问题的处理依靠的是经验主义而不是分析研究。可见提升巡逻速率与智能化风险管理相结合成为减少矿区安全问题发生几率,保护矿山工人的生命财产安全的有效手段。

3 智能化矿区安全巡逻管理体系构建

3.1 智能化巡逻体系总体设计

智能化巡逻系统总体框架的设计应该以矿山安全管控需求为基础,综合考虑巡逻资源、技术和设备、信息平台与管理体制的关系,做到巡逻管控的精简、准确、智能化。总体框架设计由四个层级组成:组织层、技术层、大数据层、应用层。其中在组织层要理顺巡逻管理体系和职责划分,做到巡逻指挥调度、执行响应、风险管理形成闭环管理机制;技术层主要是无人巡逻车装置、各类传感器及探测设备、视频监控设备和智能终端等,实现对矿山重点区域、安全隐患的实时观察检查;大数据层突出巡逻相关信息的收集、汇总、传送及智能化分析处理,通过对数

据进行分析和风险模型构建,建立动态的风险评价指标体系,从而为巡逻任务安排提供参考支持;应用层把巡逻过程、风险预警、突发事件应对以及决策管理有机结合在一起成为一个可以落实的巡逻管控闭环。总体框架的设计思路是:“以数为依据、以风险为指引、智慧优化、动态调节”,巡逻管理模式由依靠纯人工经验的巡逻走向智能化、精确化、科学化的巡逻管控方式转变。

3.2 巡逻任务规划与调度优化

巡逻任务布置及调度优化是智慧巡检系统的核心步骤,主要目的是以合理的方式进行巡逻资源分配、巡逻线路的规划以及巡逻效率的提升。传统的巡逻方式往往采用固定的线路以及周期性的巡逻,会造成巡逻不到位或者过度投入的现象存在,而智慧化的调度则是利用大数据技术、GIS技术和AI算法等,可以根据矿区内不同区域的风险程度以及生产活动状况、历史巡检情况进行合理地制定巡逻策略并随时更新巡逻方案,可以随时改变巡逻的任务,增加对重要地点的巡逻频率,减少对风险较低场地的投入,从而达到整个矿区的风险全覆盖最低。同时在对巡逻人员、无人巡检机器人还有智能监控设备之间合理分配巡逻任务,使巡逻工作能够及时高效进行,在面对突发事故的时候还可以自主调节巡逻任务,做到第一时间处理并且把危害降到最低。这样合理安排与灵活调度相结合的方式不仅可以提高巡逻的效果,更可以为安全管理工作提供数据支持以及参考建议。

3.3 智能巡逻装备与技术应用

智能巡逻装备是矿区智能巡逻系统的硬件保障,它的运用可以明显扩大巡逻覆盖面,提高巡逻检查准确率以及隐患监控水平等。主要设备有无人巡检车、巡逻无人机、环境监测传感器、视频监控系统和移动智能终端。其中无人巡检车可以在矿区内的道路巷道以及一些偏远的危险地带自由巡逻并且携带的各种传感器能及时检测到周围有毒有害气体浓度以及温度湿度和设备状况等信息;无人机巡逻可实现对一些人力和地面车辆无法到达的地方进行空中监视和高清摄像拍摄;环境监测传感器组网可以监测瓦斯浓度、矿井通风、温湿度指标、地表变形等情况并通过无线网与数据中心联通时时传输数据;视频监控系统可以采用智能识别技术来完成对可疑行为、机器故障以及巡检员自身状况的自动判断分析等;移动智能终端可以使巡逻人员随时接收巡检任务并上传自己的巡逻数据,还可以从平台处接收到巡逻变更指令。通过设备与技术的融合运用可以使得矿区内巡逻管控达到及时监控、迅速反馈、

自动风险研判、自行报警,提高了巡视的智能化程度。

4 智能化矿区巡逻管理实施路径

4.1 组织体系建设与制度保障

智慧化矿山巡检管控体系的应用首先要建立合理的组织架构和健全的制度保障体系,从而保证巡逻工作的正常开展、规范化运作,能够长效保持下去。从组织架构方面来说,要确立好巡逻管控的层次结构和职能划分,把安全部门、指挥中心、地面巡逻队伍和技术维护部门进行有序衔接,建立完整的上下级指挥管理模式^[1]。指挥层承担决策指令发送及预警监测工作;巡逻队负责落实命令并收集信息数据;技术人员负责设备检修及数据处理工作,在信息系统下各司其职又互相配合,达到无缝对接的效果。从制度层面来看,则需完善巡逻操作流程、任务派遣流程、巡视登记制度、数据管理制度以及工作考评机制,把规章制度同岗位职责挂钩,做到事事都留痕、有跟踪、可审查。并且还需要完善风险管理措施和应急方案,将巡逻管控融入到整个矿区的安全防护大系统中去,形成良性的制度循环链路,为智慧化的巡逻管理系统正常运作保驾护航。

4.2 技术平台建设与系统集成

技术平台构建是完成智慧化矿区巡视管理的重要保障,其目的是为了做到数据收集、信息分析、任务分配以及指挥决策的一体化。首先需要建立统一的智能巡视管理平台,把无人驾驶巡逻车、无人机、传感器网络、摄像头、移动终端等不同设备的信息融合在一起管理,完成多元异质数据的统一化。其次平台还要有高效大数据处理功能,能实时监测巡视信息,提前预警危险情况并及时调整巡视策略,同时要设计直观化的交互界面方便管理者决策。系统集成方面,不同的硬件装置及软件之间要做到互通互联,信息可以跨级同步更新,在巡视报警,任务调度,应急响应等方面及时协作配合。另外要把平台同矿山的生产经营管理系统、地理信息系统和安全信息库联系起来,使智能化巡视管理融入整个矿区的管理,为巡视工作的开展保驾护航^[2]。

4.3 人员培训与能力提升

智慧化巡逻管理既需要技术平台和装备的支持,也需要巡逻人员掌握相应的操作技能、具有一定的数据分析素质,在实施的过程中要开展相关的培训来加强巡逻员对于智能化设备的操作技能、数据采集处理的能力以及突发事件应对处置的能力等。例如培训的内容可以包括无人化巡逻车和无人机的操作方式、感应装置与视频监控系统的运用技能、巡逻中的数据记载及上传要求,根据数据分析调

整巡逻线路和风险预防等内容^[3],也要注重管理人员的信息技术能力培养,能够利用好决策支持系统来进行巡逻任务安排、风险预警及紧急资源调配等工作,同时还可以通过定期的模拟练习与考试来巩固培训成果、查找问题不足,进一步强化巡逻队伍成员在智慧化环境下的巡逻能力,使得巡逻体制的运行水平与风险管理效率得到显著提升。

5 结语

矿区安全巡逻管理是维护矿业安全生产,减少事故发生几率的重要手段。面对矿区生产经营环境日趋复杂的现状,传统的依靠人力的巡逻方式存在效率低下、巡逻范围有限等问题,已经无法适应当前对安全防范的要求。本文从智能化升级角度出发,设计了一个基于数据与技术驱动的智能巡逻管理系统,并结合具体实际给出了组织架构、技术平台和人员技能培训等方面的具体实施方案,为矿山企业巡逻管理工作提供了一套系统的方案。研究发现,智能化巡逻系统提高了巡逻工作效率,增强了巡逻风险识别能力和辅助决策能力,实现了巡逻管理工作的由事中事后

向事前防范转变。今后可以继续改进数据处理和风险预警算法,加强不同矿区间协调合作,提高其智能化水平以及持续运作能力。

[参考文献]

[1]毛善君,景超,李团结,等.基于4DGIS的智能化矿区云平台关键技术研究及应用[J].煤炭学报,2023,48(7):2626-2640.

[2]姜顺,倪小红.AI赋能,让矿区生产更安全更高效[N].延安日报,2024-03-28(02).

[3]刘鹏,刘小杰,赵浩.矿山企业安全文化及生态构建路径[J].煤矿现代化,2024,33(2):103-106.

作者简介:孙明成(1998.2—),男,毕业院校:湖南工学院,学历:本科,所学专业:工商管理,当前就职单位:青海山金矿业有限公司,职务:行政专员,所在职务的年限:1.5年;张世璞(1998.1—),男,毕业于青海大学昆仑学院,本科,所学专业:环境科学,就职单位:青海山金矿业有限公司,职务:安全技术员,年限:1年。

智能测绘创新技术在矿山工程测量中的应用

李福明 李得风 苏海龙 王亚州
青海山金矿业有限公司, 青海 都兰 816101

[摘要]伴随着矿山工程建设的发展,传统的测绘手段已经无法跟上效率和精度的要求。智能化测绘技术利用无人机航拍、激光雷达扫描、GNSS 定位以及三维建模的方式实现对矿区地貌、边坡、施工现场的高效、精准测量,可以进行实时的数据更新和预警提示,现在其已经被广泛应用到矿山测量当中,在提升测量的效率、精确度的同时,强化了施工过程中的安全管理,保障了矿山工程建设的有序开展及可持续发展。

[关键词]智能测绘创新技术; 矿山工程; 工程测量; 技术应用

DOI: 10.33142/ec.v8i12.18770

中图分类号: TD17

文献标识码: A

Application of Intelligent Surveying and Mapping Innovation Technology in Mining Engineering Surveying

LI Fuming, LI Defeng, SU Hailong, WANG Yazhou
Qinghai Shanjin Mining Co., Ltd., Dulan, Qinghai, 816101, China

Abstract: With the development of mining engineering construction, traditional surveying and mapping methods can no longer keep up with the requirements of efficiency and accuracy. Intelligent surveying and mapping technology utilizes unmanned aerial vehicle aerial photography, laser radar scanning, GNSS positioning, and 3D modeling to achieve efficient and accurate measurement of mining terrain, slopes, and construction sites. It can provide real-time data updates and warning prompts. Now it has been widely used in mining surveying, improving measurement efficiency and accuracy while strengthening safety management during construction, ensuring the orderly and sustainable development of mining engineering construction.

Keywords: innovative technology in intelligent surveying and mapping; mining engineering; engineering surveying; technology application

引言

矿山工程测量是矿山建设和生产的保证,也是矿山安全保障的基础条件之一,矿山工程测量的精度及时效性直接影响到矿区施工、生产以及安全生产情况。但是矿山工程测量始终面临着恶劣的环境、狭窄的空间以及移动的被测目标等诸多困难,传统的测量方式依靠手工操作、局部数据获取的方式进行测量工作,不仅耗费时间长、工作效率低,在数据精度和安全风险控制等方面也存在不足之处,并不能适应现代化矿山工程中对于时效性、精度以及智能化的要求。近年来,无人机航空摄影、三维激光雷达扫描、GNSS 高精度定位和三维模型构建等一系列新型智能测绘技术的发展使得矿山工程测量逐渐向着自动智能化方向转变。不仅可以快速高效的获取矿区、边坡、巷道等被测目标的三维数据信息,还可以通过数据处理分析对其进行动态跟踪和安全风险监控并给出相应的建议,为工程的设计和施工及决策提供了可靠的数据参考依据。同时也降

低了工作人员下井的风险,提高了工作效率,为矿山工程提供数字化、信息化管理服务和持续发展的技术支持力量。论文主要针对当前智能测绘新技术在矿山工程测量领域的应用进展、相关关键技术、优点和发展方向进行综述,希望能为矿山测量的智能化、精细化、安全管控等方面提供理论参考和技术支持。

1 矿山工程测量的特点

矿山工程测量,特别是井下测量,由于其特殊的地下作业环境,及其工程性质的不同,有着不同于地面工程测量的独特之处。首先,井下工作条件艰苦险恶。井下存在黑暗、潮湿、狭小、通风差、有毒有害气体等不利因素,给测量工作人员的人身安全带来隐患,同时对其所使用测量仪器的选择、采用的测量手段和办法提出了新的特殊要求;其次,测量对象特殊,在于其测量对象均为活动着的巷道、采掘工作面和矿体形态,要求随测随做,具有很强的目的性和针对性;再者,精度控制难度较大,井下测量

易于发生误差积累,导线测量延伸越长,远端精度越低,贯通精度与分段逐级控制就变得非常重要。一般情况下,测量控制网是在随着巷道的掘进而边施工边建立,以保证闭合导线精度符合工程的要求;最后,矿山测量工作必须伴随整个矿井开采矿体的全过程,从竖井的施工、巷道的掘进、采场的回采直至最后的竣工验收都需要不断地测绘制作和修改工程图件,用来指导生产建设。伴随着智慧矿山的发展,传统的矿山测量技术与现代三维激光扫描、无人机倾斜摄影、惯性导航等智能测绘新技术逐渐融合在一起,不断提高矿山测量的数据采集速度及精度,使得矿山测量更加的智能化、精细化。

2 智能测绘技术在矿山工程测量中的应用

2.1 矿区地形与地貌测量

矿区地形和地貌测绘属于矿山工程测绘工作的最基层工作,它的精确、完整程度直接决定了矿山规划、施工布设以及开采是否合理等问题。传统的测绘手段在复杂的山地环境当中通常受制于工作效率、数据精确性以及现场安全性等问题,而智能测绘技术基于无人机倾斜摄影、LiDAR(激光雷达)、高精度GNSS(全球卫星导航系统)定位等技术可以对复杂地形矿山进行大面积的高效、精准测绘。无人机低空遥感可以在较短时间对整座矿山进行一次清晰的影像记录和数字高程模型建立,可以很轻松地覆盖一些难以到达的垂直崖壁区域或一些狭长峡谷地带,LiDAR高精度地面对一些细微特征例如坡度的变化、沟谷走向、岩石断裂带等都能够进行精确捕捉,为三维地理信息模型提供了可靠的数据支撑,GNSS技术可以方便地对矿山的关键位置进行精准测量,保证了整个测绘网络的准确无误和闭合^[1]。此外,智能测绘技术也可以对多元数据进行综合处理,形成精细的地形图和矿山水文地质图,并通过实时数据更新来记录矿区地形细微变动情况,为采矿设计、排水设计、道路设计以及边坡稳定分析等工作提供了真实有效的依据。

2.2 边坡与开挖面监测

边坡与开挖面监测属于矿山工程测量的一项主要内容,其主要目的就是为了保证施工的安全、提高矿山开采效益以及预防地质灾害的发生,在矿山开采中,边坡、开挖面时常处在不稳定的状态下,很容易出现岩石风化、节理张开、局部滑落或者下沉的现象,常规的人工观测方式难以达到现代矿山企业对于精度、覆盖面、时效性的要求,而且在高陡地段进行施测还具有一定的危险性。智能化测绘技术采用激光雷达扫描、无人机倾斜摄影、GNSS高精

度定位、惯性导航测量等方法,做到了对边坡和开面的高精度、全覆盖及动态监测,其中激光雷达可以记录密集的点状数据,对岩壁表面情况、裂隙发育程度及细微形变都有较高的还原度,可为建立三维模型及稳定性评价提供准确数值;无人机倾斜摄影在短时间内便能获得较大面积、高分辨率图像,实时监测边坡和开挖面,有助于发现可能存在的不稳定区段。GNSS和惯导系统能在边坡动态变动的情况下持续测图,实时传输坐标信息,多种监测方式相结合,经过处理分析,我们可以得到较为精确的位移变化量、移动速度、危险级别及其相关三维展示图,为施工调整、安全警报以及决策制定等提供参考依据。另外也节省了工作人员在复杂地形中的工作时间,降低了测量工作的危险系数,提高了工作效率,为矿山建设工程施工中的信息化管理及长久发展奠定了良好的数据基础和技术支持。

2.3 道路、平台及施工设施测量

路面、工作台面与采掘设备测量属于矿山工程测量的基础内容之一,对指导建设施工、安全生产和物资供应起到十分重要的作用,基于无人机的智能测绘手段能够利用无人机航拍、激光点云扫描、高精度GNSS定位,在短时间内得到矿山道路路线、平台标高、采掘设备的空间位置与形状等精确三维地理信息,完成精准化、三维化的数据采集工作。通过应用三维实景模型及DTM数字地面模型对其进行坡度计算、标高和平整程度分析、采掘设备布局研究,可对矿山运输调度、安全生产、机械设备操作等方面给予有效的参考数据支持。此外,在持续观测与实时数据处理的基础上,可以及时掌握矿山道路路面沉陷、平台位移与变形、采掘设备位置变化等情况的发生,便于工程人员在施工管理过程中做出针对性解决措施,使矿山施工组织更加合理有效,提升了施工效率及安全性,实现了由传统人工测量到智能化、可视化、精准化的工程测量管理方式转换。

2.4 三维建模与工程设计辅助

三维建模对矿山工程测量有着极大的工程设计参考价值,在智能测绘的应用方面有着举足轻重的地位。无人机航拍、激光雷达(LiDAR)扫描及GNSS精密定位获取矿场地形、边坡、道路、施工器械等的空间位置信息,形成高精度三维模型,既可直观了解复杂矿山地质特征与工程构造,又可在电脑端完成测量、设计仿真及施工方案审核等功能,为工程设计提供可靠支持^[2]。另外,基于三维模型的智能分析软件还能分析开挖面稳定性、道路坡度和台阶设置情况、机械配置及物资分配等,使设计方案更加

合理可行，加快施工进度。

2.5 数据分析及安全风险预警

数据分析及安全风险预警是智能测绘技术应用于矿山工程测量的高层次，是开展安全监管和合理决策的基础。无人机航摄、激光雷达（LiDAR）、GNSS 测量和三维建模技术获取到的大量空间数据，在智能分析系统和算法的基础上可对矿区内地表形变、边坡位移、开挖下沉、道路变形和施工设备的状态等进行监测并预测发展趋势，通过大数据处理及可视化方法可以直观展示出矿区内存在安全隐患及变化异常现象，为管理人员提供先期警示信号，为工程施工调整、边坡加固和事故防范等决策提供依据。另外，基于动态监测数据库和智能分析预警模型可以对矿山工程建设运行全周期实施跟踪监控，以实时数据为基础对矿山工程测量中的潜在风险进行管控，使矿区安全管理工作更加积极主动和精准化，有助于减少生产安全事故的发生率和设备损害概率，保证矿山工程测量和施工安全稳定有序开展。

3 发展趋势与应用策略

3.1 自动化与智能化测量技术发展方向

随着矿山工程测量的任务难度提升，测量精度要求越来越高，自动化、智能化的测量方法是当前矿山测量的主要发展方向，现代无人驾驶飞机航空摄影测量、激光雷达、GNSS 高精度定位，移动测量系统等技术相结合就可以完成矿山的全自动化测绘过程，在进行数据采集、数据分析、建模方面都不需要人工干涉，从而节省了大量的人力资源并提升了测绘的精准度，而且在智能算法和人工智能的应用上也可以让测量设备自主识别地面信息、山体滑坡、开采界面情况等，做到实时监测、实时警报。今后的发展还将是多平台联动测量，无人巡逻、云计算存储及智能操控的一体式发展，使测量作业变得更加快捷流畅、安全稳定；另外智能测量手段也会进一步衔接矿山信息化管理系统，工程进度调度系统以及矿山安全控制系统，来推进矿山测量的信息化、自动化、集成化升级，为矿山工程的设计建设及安全生产做好保障。

3.2 多源数据融合与大数据应用

多源数据集成与大数据运用是智能化测绘技术应用于矿井工程测量中的关键技术来保证精确度及合理化判断的方法。而矿山测量所获取的数据量庞大且来源复杂多样，有无人机航空摄影照片、航测激光点云、GNSS 测量结果、地质勘查材料及其相关传感器采集数据等，各类型之间的数据不仅在数据形态、精确程度上有区别而且存在

时间上的误差。构建多源数据集成环境，把多种不同渠道获取的各种类型的数据加以集成处理、坐标转换以及数据集成，完成各类空间数据间的精准对接以及更新^[3]。并且依托大数据处理技术，通过对大量测量数据的分析计算、数据比对、特征提取来寻找出矿区地表、坡体移动及隐患的相关特性以指导矿井工程的设计建设与安全防范工作。

3.3 AI 智能辅助决策在矿山测量中的潜力

人工智能（AI）应用于矿山测绘之中，逐渐成为智能决策、风险管理的有效工具。基于深度学习、机器学习、模式识别等算法，AI 可以针对无人机航测、激光雷达、GNSS 定位、各类传感器所获得的大数据源测绘数据，自主完成分析处理，并迅速找到地形变化、边坡失稳征兆以及危险源等问题所在，实现实时跟踪、监测报警功能，同时基于大数据的历史测绘记录与实时监控数据，AI 可以构建出预测模型为决策者提供施工方案制定、资源配置、风险防范方面的参考，使决策更加地高效准确，智能化算法还可用于三维重建、路径选择、施工方案，增强测绘数据的实际利用效能。

3.4 绿色、安全及可持续测量技术发展

绿色、安全与可持续的测量技术发展方向，是矿井工程智慧测绘应用的发展方向，目的在于在保证测量准确度、效率的基础上尽可能的减少对环境的影响和带来的安全隐患。利用无人机航空摄影、激光雷达以及移动测量系统等智慧化手段进行接触式的高效测量，减少了人工深入危险区域的次数，大大提升了测量的安全系数。先进的勘测仪器加上节能减排的技术手段也使得作业耗能减小，二氧化碳排放量减少，达到绿色测量的要求^[4]。可持续性的测绘还包括了数据管理和后期监测，构建统一标准的测量数据库，及时更新测量记录，对矿区的信息做到实时性、长久可用的状态，使矿区的信息可以更好的服务于矿井的设计建设与环境等方面。

3.5 智能测绘技术应用策略与管理措施

智能化测绘技术在矿山工程项目中的合理运用不仅仅依靠自身技术优势，更需要合理有效的运用方式以及良好的管理制度保障。要建立完善的测绘作业技术规范与标准，无人机航拍、雷达扫描仪、GNSS 导航系统、三维模型创建等流程标准化执行，保障各项测量工作的顺利开展和有条不紊。另外要有相关的培训体系以及考核标准，在技术水平和安全保障方面提升测绘工作人员的能力，使无人机操控、雷达使用、测量数据记录和分析等工作做到科学严谨。并且要搭建起测绘数据库与信息共享系统，统筹

管理各种仪器获取的信息,实时更新,互通有无,增强测绘结果对于后续工作的指导作用。根据矿山项目具体需求,完善相应的技术更新方案、维护保养制度,保障测绘设备正常投入使用。

4 结语

智慧测绘新技术对矿山工程测量有着巨大的应用价值及广阔的发展前景。无人机航摄、激光雷达扫描、GNSS定位、三维建模等一系列高新技术的应用让矿区测量走向精准化、高速化和实时监控化,保证了测量结果的真实性和准确性的同时又加强了施工安全性及项目决策的科学性。多元数据采集分析智能化,让矿山测量由传统的手工操作转变为现代的信息化管理,数字化处理,为矿山的边坡检测、开挖界面监测和施工现场设备布置都提供了准确的数据依据。今后,伴随着科学技术发展日新月异,智慧测绘还将继续促进着矿区测量的自动化、

可视化、持续更新,为矿山工程建设安全、高效、环保开采保驾护航。

[参考文献]

- [1]林晓虎.智能测绘创新技术在矿山工程测量中的应用[J].世界有色金属,2021(17):17-18.
- [2]张峰林.智能测绘技术在露天矿山开采测量中的应用[J].内蒙古煤炭经济,2021(19):183-184.
- [3]李培智.智能测绘技术在露天矿山开采测量中的应用[J].世界有色金属,2020(7):30-31.
- [4]黄勇.测绘新技术在现代矿山工程测量中的应用分析[J].中国金属通报,2024(12):52-54.

作者简介:李福明(2001.7—),男,毕业院校:青海民族大学,学历:本科,专业:土地资源管理,单位:青海山金矿业有限公司,职务:测量技术员,职务年限:2年,职称:技术员。

急倾斜薄矿体充填采矿技术应用研究

陈小龙 李君明 史联兴
青海山金矿业有限公司, 青海 都兰 816101

[摘要]在我国非煤矿山资源开发行业之中,急倾斜薄矿体占有重要部分,而且对于其如何进行有效的安全生产开发存在一定的难度,采用常规的做法往往造成较大的资源浪费以及采空区的安全隐患等问题,充填采矿法利用充填体对采空区顶板进行支护来抑制地压并增加回采率,本篇文章基于非煤急倾斜薄矿体条件详细介绍了该技术的理论及其运用,重点描述了核心技术内容包括采场规格参数设定、充填料配方准则以及充填流程布局等内容,在此基础上分析充填体的作用机理及稳定性的保持方式,并从数值模拟及观测方面提出了对应的建议。

[关键词]非煤矿山;急倾斜薄矿体;充填采矿

DOI: 10.33142/ec.v8i12.18768

中图分类号: TD853.2

文献标识码: A

Application Research on Filling Mining Technology for Steeply Inclined Thin Ore Bodies

CHEN Xiaolong, LI JunMing, SHI Lianxing
Qinghai Shanjin Mining Co., Ltd., Dulan, Qinghai, 816101, China

Abstract: In the non coal mining resource development industry in China, steeply inclined thin ore bodies account for an important part, and there are certain difficulties in how to effectively and safely develop them. Conventional methods often result in significant resource waste and safety hazards in goaf areas. The filling mining method uses filling materials to support the roof of the goaf area to suppress ground pressure and increase recovery rate. This article provides a detailed introduction to the theory and application of this technology based on the conditions of non coal steeply inclined thin ore bodies. It focuses on the core technical content, including the setting of mining site specification parameters, filling material formula criteria, and filling process layout. Based on this, the working mechanism of the filling body and the way to maintain stability are analyzed, and corresponding suggestions are proposed from the aspects of numerical simulation and observation.

Keywords: non coal mines; steeply inclined thin ore body; fill mining

矿业是国民经济的主要产业,不仅是向工业等各方面提供了重要的原料来源,还支持着整个国家经济发展。目前矿山开发也已经由粗放型、过量开采型转向了工业化、机械化、循环经济和绿色开采型,在绿色开采中,充填采矿法的应用,能够很好的控制地面下沉,维护住岩体稳定性,调整地应力及减小尾矿库负担,达到在保护环境的基础上确保安全生产的目的。

1 充填采矿法在急倾斜薄矿体中的应用背景

非煤矿床开采中,急倾斜薄矿体是指倾角大于 55° 、厚度小于4m矿体,具有明显的长度上较长而高度上较高的空间特征。从地质条件来说,该类型矿体多赋存在构造带附近,因此矿岩的交界处可能是清楚的,也可能是模糊不定的,这都会给采矿工程设计施工带来困难。在具体的开采过程中,由于其自身的特点决定了急倾斜薄矿体的开

采具有特殊性,因矿体较薄导致可以布置的工作面走向长度较小,工作面较窄使得大型设备难以进入发挥效能。针对急倾斜薄矿体传统的许多方法都存在不足之处,工程技术人员一直在探索新的技术手段,充填采矿方法的应用也就应运而生了。其本质就是将矿石采出之后马上用充填材料填充到采空区内,通过充填体来支护上下盘围岩以及抑制岩层的变形。这种方法对于地表有较强的保护功能或者围岩稳定性较差的矿山尤为适用。对于非煤急倾斜薄矿体而言,采用该方法主要是基于以下几点:首先可以最大限度回收宝贵的资源。通过充填体对极薄矿脉的两帮起到很好的支护效果,避免采出中矿石的损失及贫化;其次,充填体快速进入采空区就可以很快的侧向压力,这样就减轻了急倾斜矿房高应力区的压力,避免了围岩片帮冒顶,同时为下一步分段分层面的连续回采提供了安全保障^[1];

再次,随着国家对矿山环境保护和安全生产的要求不断提升,这样的方法能够更好的符合绿色开采的要求,一方面减少了固体废弃物的地表堆放量,另一方面大大降低了采空区塌陷的可能性。因此越来越多非煤急倾斜薄矿体矿山采用或者已经采用了这种工艺,但各个矿山具体情况不尽相同,因此就需要根据各自的实际来研究相关的充填技术并对现有的方法做出调整优化。

2 急倾斜薄矿体充填采矿关键技术

2.1 采场结构参数优化

采场结构参数合理选择是急倾斜薄矿体充填法采矿有效实施前提,结构参数主要是指采场的高度、长度与宽度以及间柱、顶柱和底柱尺寸。就其而言,采场沿倾向的高度要结合矿体倾角、矿壁稳定性、穿孔机能力、工人安全等多个方面因素来考虑,采场高度过高固然可以增大每次的回采量但同时也加大了工作面掘进与顶板压力治理的困难程度;采场沿走向长度受到矿体厚度变化与地质构造影响,在薄矿体情况下一般使用较短的设计长度以达到控制采准工程的数量与回采的便利的目的,有文章表明适宜降低采场长度有利于充填接顶质量的提升与成本的节省;采场宽度或者说采幅的选择一定要非常准确,理论上来说应该以采空矿体为准而且最大程度上减少对岩石的破坏,然而在实际生产过程中为了使设备与工人能够通过而适当扩宽采幅以满足机械最小空间与人员活动空间的需求,这就造成了如何进行超挖欠挖的技术问题。

2.2 充填材料选择与配比设计

充填物料的选择和配合比设计直接影响着充填体力学性能以及充填的成本和工艺可行性,是整个非煤急倾斜薄矿体充填开采中的重中之重的发展方向。常用的物料包括矿山本身的废石、选矿厂的尾砂、冶炼厂的炉渣,以及水泥等胶凝物质,在选择物料时候必须要综合考量物料来源是否可靠以及自身具备物理化学性质以及经济成本等问题。对于急倾斜薄矿体填充而言,充填体不但要求具有足够的初期强度以便迅速支撑住周围的岩石环境同时还应该具有较好的流动性便于顺利的运输至狭窄陡峭的采空区并且能够较好的接触顶板部位。因此,充填物料的比例配置也是一个不断尝试和调试的过程,比如选择尾砂和胶凝材料之间的最佳配比,或者混合物浓度以及是否应该加入添加剂、加入量多少。曾有研究者指出对于薄矿体充填可以采用高浓度或者膏体质的充填浆液,因为该种浆液析出来的水分较少,而且最后形成的充填体强度也相对均匀,但是不同的矿区其自身的尾砂特性相差非常大这就意

味着不能简单的将某一特定的配比方程式应用到所有的充填体上必须经过一系列系统的室内试验及现场的工业试验才能够得出适合自身实际情况的最佳方案这也是需要进行大量的研究工作的一个方面。

2.3 充填系统与工艺布置

充填系统及工艺流程是完成充填法采矿由设想转化为现实的重要环节,可靠的系统应当包含配比站、搅拌站、输送管道以及采场中的充填前准备工作等几部分组成。面对着急倾斜薄矿体采矿条件下特有环境因素,系统的设计要符合井下巷道断面小、采场分布广的特点,有时甚至需要采取集中制作、分散输送的方式进行。充填料浆的输送通常为管道重力流或增压泵送方式,对高倾角急倾斜采空区而言,怎样使料浆可以顺利送达到采场深处并均匀铺展也是一个难题,其中涉及到输送管道的角度设计、直径大小的选择甚至于是是否增设减压设备等问题。而采场内部工艺流程的设计就更加细致了,包括了充填挡板架设、排水装置的安置、采场内的充填管路的上顶方式、配合回采工序的衔接等问题。充填挡板须有足够的坚固程度来对抗来自充填体的压力作用。对于薄矿体采场多用木料、砖石乃至混凝土预制件快速搭成。脱水设计也是为了增进充填体致密度及其早期强度的增长,在挡板上安装滤水管或是钻设专门的排水钻孔。充填作业的整个工艺过程循环时间与回采工作的循环周期相互吻合,以便达到采矿与充填同步进行的效果,进而提升整体矿山开采速率。

3 充填体力学作用与稳定性分析

3.1 充填体力学性能要求

充填体作为急倾斜薄矿体采场中的人工矿柱和围岩支撑体,因此对充填体的力学性质有一定要求,主要是从强度、变形特征和长期稳定性等方面进行考虑。单轴抗压强度是最基础的一个参数,必须能够承担起上盘、下盘围岩的压力甚至是相邻采场回采时带来的冲击载荷,在对薄矿体来说,所需要的强度也不需要像厚大矿体那么高,但是必须保证在整个服役过程中不会出现整体性的破坏。除强度外,其弹性模量也是重要的指标之一,理想的充填体应当有一定的塑形,在当围岩出现一定的形变的时候可以随之产生一定的形变从而不至于发生突然的坍塌,但是如果过于柔软则会导致对围岩的支撑能力下降;此外长期承受荷载的蠕变情况和长期在水和风化作用下的强度持久性也需要考虑到,因为充填体可能要在采空区服役好几年甚至更长的时间,确定这些性能的要求就需要针对具体的矿山开采井深、地质应力水平、矿岩石性质以及回采序列

进行具体分析和计算,从而为充填体配料提供一个较为明确的目标值。

3.2 充填体与围岩相互作用机制

充填体与围岩之间的相互作用是比较复杂的力学过程,研究该作用机理对采场系统的科学设计以及稳定性的判断具有重要的理论价值和意义,在缓倾斜薄矿脉采场内,当开采出矿之后,原来作用在矿体上的应力将会转移至围岩和充填体上,在此时围岩产生卸载应力,并会发生向采空区一侧方向的弹回变形,严重时还会发生塑性破裂,随后填充进去的充填体在硬化的过程中逐渐的顶板闭合并且开始承担来自围岩传递过来的压力,其压力传递的方式和多少取决于充填体本身的刚性、顶帮的质量以及围岩本身所发生的形变情况^[2],如果充填体刚性强,而且顶面闭合好,在这个时候就会比较早的给围岩提供一个有效的支护力来控制围岩继续形变的情况;相反,如果顶面上有较大的空腔或者刚性较小,那么围岩可能会在充填体还没有起作用的时候就发生了不利于采场的形变。另外两者之间接触界面存在的摩擦力,黏聚力也会对于整个系统的稳定起到一定的作用,可以用来抵抗沿着倾角方向向下产生的剪切应力的作用力。

3.3 采场稳定性数值模拟分析

随着计算机科学技术进步,数值模拟成为了研究陡倾薄矿体充填采空区稳定性的强有力手段,它可以动态地展现应力、变形及塑性区的发展演变。常使用 FLAC 或者 ANSYS 等软件建立包括整个矿体、围岩以及充填体的整体二维或者三维地质力学模型,给定不同类型材料不同的结构模型以及相应的力学参数来模拟实际情况,在模拟过程中可以逐渐开采矿体同时模拟充填体注入,进而考察围岩代表性点的位移变化、应力集中的迁移情况以及可能产生的破裂面;而对于陡倾薄矿体而言则主要考察上下盘围岩的变形规律、充填体内各个位置的应力分布情况、顶底板是否会出现弯曲折断的情况。通过调整采场参数或者是充填体力学性质来进行多种工况下的对比从而选择其中较为安全合理的方案。但是数值模拟结果依赖于所输入的数据是否可靠,所以在进行数值模拟时必须要通过现场的地质勘查以及岩体力学测试获得最为真实的数值,并且将结果与实测数据进行校核来增加模拟可信度。

3.4 安全监测与稳定性控制措施

为了保障急倾斜薄矿体充填采矿的安全,需要设置完善的监测系统和有效的控制措施,是研究理论应用于实践的重要步骤。要对围岩表面收敛变形、内部深部岩体位移、

充填体内部应力变化、支护结构受力状态等方面进行监测,常用的方法有收敛仪、多点位移计、应力计等方式以及实际观察法,在重要的监测点像采场顶部、底部、充填体内部都设置监测点,可以随时或阶段性了解稳定性状况并与警戒线相比较,从而能尽早发现不稳定问题^[3]。根据检测情况可以适时调整回采顺序或改变充填参数甚至增加补强措施,例如上盘围岩移动速度加快的话可加快对应该区域的充填速度或者加大该区域充填体等级。并且要有严格的安全管理制度和应急措施制度是稳定的一个关键方面,对工人进行安全知识教育、定时对相关系统进行检查保养、了解地压活动征兆及如何应对等。只有把技术和管理上的措施结合起来才可以形成保障急倾斜薄矿体充填采矿安全的有效屏障。

4 技术应用效果与优化方向

4.1 开采效率与资源回收率分析

使用充填采矿工艺对于加强非煤急倾斜薄矿体的回采速度及回采率具有明显的作用,其具体表现在以下几方面上。由于充填物及时维护了采空区岩层,可以在同一个中段或者附近地区安全地进行多个采场所同时的开采,增加了工作面的有效利用次数以及矿石年生产量。在薄矿体挖掘当中,这种方法可以使用比较灵活的采场布局以及回采顺序,可以针对不同矿体变化进行适时调节,减少了由于复杂地质原因造成的生产停滞情况。

4.2 充填成本与经济性评价

充填采矿方法在获得安全性与回收利益的同时也伴随着较高的成本投入,所以在推广应用之前有必要对它的经济效益进行综合评估。成本主要包括材料成本、制备运输能耗成本、人员工资成本以及设备折旧成本等,胶结材料中的水泥成本往往占较大比例。对于急倾斜薄矿脉而言,由于矿岩总量较少且分布较散,在单产上的分摊成本可能会相对较高,这就需要通过合理调配比例降低水泥使用量,使用工业废弃物代替部分胶结材料,提升整个系统的自动化水平来节约成本。评估时不能单纯的考察直接成本而是应该采取全成本分析的方法,全面地考量因回收率上升而使销售额提升带来的间接收益、因为采空区处治良好而降低的地表治理开支、因为安全生产措施到位减少了安全事故带来的损失,甚至还有环境保护方面带来的效益等。

4.3 安全与环境效益评估

充填采矿方法的安全及环保效应可以说是该工艺的最大亮点之一,对于建设绿色矿山以及开展可持续性发展具有深远影响。安全性上,充填体阻挡住了围岩变形以及

采空区上方顶部冒落的情况发生,使井下生产工作人员所面临的大面积顶板冒落及侧壁片帮危险大幅度下降,也避免了由大面积地压运动所导致的地下井巷灾变发生的几率,为矿山提供了更加本质安全的工作场所^[4]。另外充填体使得已处理采空区具备了足够的稳定程度,也给临近空间或者下盘中段的安全回采创造了有利条件,形成了一个完整的矿山开采期间的安全生产闭环。环境保护方面该技术大量使用了选择过程中所产生的尾砂以及矿山自身的废石等固体废物,避免了堆放这些物质而造成地面空间被侵占,对周围环境产生污染,留下安全问题如尾矿库溃坝危险。

5 结束语

综上所述,充填采矿技术是一种重要的可有效处理非煤急倾斜薄矿体开采的技术手段,该技术体系日趋成熟,实际应用效果也得到了充分验证。本文系统论述了该技术的概念与特征、关键技术、受力原理与分析、应用评价等各方面内容,并说明了其存在的对于资源再利用、地压控制和生态环境保护的巨大意义。从文中可以得出,充填法的有效实施离不开具体矿山地质开采条件的具体运用,科学设计采场结构、材料及施工工艺并不断优化,还需要相

应的稳定性观测和动态监控等方面的保障措施相配合。今后的工作仍将继续从问题入手,在不断加强基础理论研究的同时,在技术创新整合、跨学科交流互鉴等方面做出努力,以使我国非煤矿山开采技术水平更进一步地发展和完善,实现资源开发与生态环境二者间的良好均衡。

[参考文献]

- [1]张鑫,李红鹏,杨朝云,等.银山矿机械化上向水平分层充填采场稳定性数值模拟研究[J].采矿技术,2025,25(6):88-96.
- [2]曹国华,张燕军,王茂德,等.缓倾斜薄矿体机械化干式充填采矿法研究[J].采矿技术,2024,24(5):8-11.
- [3]柏杨,周亚博,崔越,等.急倾斜薄矿体脉外采准上向水平分层充填采矿法研究[J].矿业研究与开发,2023,43(5):1-6.
- [4]李电辉.急倾斜薄矿体轻质吸能材料人工假底设计及应用[J].黄金,2025,46(9):96-103.

作者简介:陈小龙(2000.12—),男,毕业院校:青海大学昆仑学院,学历:本科,所学专业:土木工程,当前就职单位:青海山金矿业有限公司,职务:采矿技术员,所在职务的年限:1年,职称级别:初级。

基于故障树分析的冶金设备检修维保风险识别

王志锋

中冶宝钢技术服务有限公司, 上海 201900

[摘要]冶金设备检修维保环节存在高温、高压、复杂机械等高风险因素,传统的风险管理方法无法全面识别潜在风险。文中采用故障树分析法,搭建以“冶金设备检修维保事故”为顶事件的故障树模型。通过全面排查引发事故的各类直接和间接因素,找出关键风险路径和薄弱环节。该方法能清晰展现设备故障、人为失误、管理缺陷等多类风险源的耦合关联,为冶金企业打造针对性维保方案、优化安全管理效能提供科学参照。

[关键词]故障树分析;冶金设备;检修维保;风险识别;安全管理

DOI: 10.33142/ec.v8i12.18769

中图分类号: TF57

文献标识码: A

Risk Identification of Metallurgical Equipment Maintenance and Repair Based on Fault Tree Analysis

WANG Zhifeng

MCC Baosteel Technology Service Co., Ltd., Shanghai, 201900, China

Abstract: There are high-risk factors such as high temperature, high pressure, and complex machinery in the maintenance and repair of metallurgical equipment, and traditional risk management methods cannot fully identify potential risks. The fault tree analysis method is used in the article to build a fault tree model with "metallurgical equipment maintenance accidents" as the top event. By comprehensively investigating various direct and indirect factors that caused accidents, identify key risk paths and weak links. This method can clearly demonstrate the coupling relationship between multiple risk sources such as equipment failure, human error, and management defects, providing scientific reference for metallurgical enterprises to create targeted maintenance plans and optimize safety management efficiency.

Keywords: fault tree analysis; metallurgical equipment; maintenance and upkeep; risk identification; safety management

引言

冶金行业是国民经济的基础支撑产业,其生产设备具备大型化、连续化、自动化及工况苛刻等特点。设备检修维保是保障生产安全稳定运行的关键环节,该作业过程环境复杂、工序交叉、危险源集中,传统风险识别方法常聚焦局部或表面,未对风险事件的逻辑关联和演变路径展开系统分析。故障树分析属于自上而下的演绎型分析方法,可从既定顶事件开展,按层级追查所有可疑的原因事件,直观呈现故障逻辑,适配复杂系统风险溯源工作。本文把故障树分析法用在冶金设备检修维保的风险识别里,要搭建结构化的风险分析模型,为风险系统性防控提供理论支撑和实践指引。

1 冶金设备检修维保风险故障树模型的构建

1.1 确定顶事件与边界条件

开展故障树分析的第一步是明确界定分析的“靶心”,

即顶事件。为了保证分析的实效性,顶事件要锁定冶金设备检修维保阶段最不易出现、后果最严重事故类型,典型定义为“冶金设备检修维保时段发生重大安全或生产事故”。该项事件能进一步拆分,诸如“人员伤亡”“设备严重损毁”“重大生产中断”。必须清晰界定分析的时空和管理边界,要覆盖检修计划、停机准备、作业实施、试车恢复全流程的时间区间;需明确空间范围覆盖的工艺单元和设备;系统必须纳入参与该过程的所有人员角色、涉及的能源介质(煤气、氧气、电力、液压)、工器具以及相关作业许可和管理制度,精准划定边界是阻止分析范围无限延伸或核心要素遗漏的前提^[1]。

1.2 识别中间事件与逻辑门

搭建故障树的核心是从顶事件起步,采用逻辑演绎法,分层分析造成该事件的直接、必要且充分的原因,即中间事件。完成这一步要统筹各类信息:深挖行业和本单位过

往事故案例报告,排查直接诱因;逐项拆解标准检修作业流程,定位流程中断或失效的关键节点;全面访谈经验丰富的技术专家、安全管理人员及一线作业人员,提取隐性知识和常见失效模式。做完上述工作,能找出“设备检修期间非预期启动”“危险能量(电、机械能、势能、化学能)意外释放”“作业人员暴露在未受控危险环境(如中毒、窒息、高处坠落、物体打击)”等,作为直接触发顶事件的中间事件。

在明确中间事件后,必须依据事件间的因果关联,用标准逻辑门连接,搭建故障树的逻辑结构。应用最广泛的是“与门”和“或门”。“与门”的定义是只有其连接的全部输入事件同步触发,输出事件(上级事件)才会启动,这一般表示多重防护措施同时失效。例如,设备异常启动这一中间事件,需要“主控室误操作”和“本地紧急停止按钮失效”两个事件同时出现。“或门”说明下方连接的任意输入事件触发,就会引发输出事件,代表了单点故障即可诱发事故的薄弱部位。例如,“能量意外释放”的诱因,可能是“挂牌上锁程序执行错误”“盲板抽堵不彻底”“能源介质阀门内漏”中的任意一个,正确运用逻辑门是保证故障树逻辑严密、能实施定量或定性分析的基础。

1.3 展开至基本事件

故障树分析的核心目的,是把顶事件逐步拆解到最基础、不用或不能再拆解的底层原因,也就是基本事件。这些基本事件构成系统失效的“基因”,也是风险防控措施可直接施加作用的最小单元,从每个中间事件切入,需反复追问“这个事件为何发生”,一直定位到具体、可管控的失效点。分解流程需依照“人、机、环、管”系统思维框架^[2]。

最终形成的基本事件库,包含具体细微的失效形态。在“人”的方面,可能包括:检修人员违规未穿戴绝缘鞋或安全带、监护人员脱岗或注意力不集中、作业前安全交底无实效,员工未认知风险。在“机”的方面,可能包括:旋转设备安全防护罩拆除后未及时复位、压力表或气体检测仪定期校验超期、液压系统软管存在老化裂纹。在“环”的方面,可能包括:有限空间通风不佳引发有毒气体聚集、检修平台光照不足或地面油污湿滑,可能包括:“高处作业许可证审批把关松懈”“检修方案风险辨识有疏漏或安全措施缺失”“交叉作业协调沟通机制失效”。用逻辑门组合这些基本事件,最终触发顶事件产生,精准呈现出事故各类潜在的发生路径,为制定精准、系统性的预防措施提供完整的“故障地图”。

2 基于故障树的检修维保风险识别与分析

2.1 关键风险路径的追溯与辨识

故障树定性分析靠全面梳理逻辑结构,可排查出所有引发顶事件的基本事件最小组合,也就是最小割集。每个最小割集对应一条单独且完整的风险传递路径,能够清楚地呈现事故的演变递进链条。例如,在典型场景中,“安全警示标识不清”或“人员未经许可进入危险区域”两个基本事件,通过“或门”触发“人员处于危险位置”中间事件;用这个中间事件结合“设备意外能量释放”,依靠“与门”运行,最终引发事故顶事件。辨识这些关键路径,还完整呈现风险从初始隐患逐步传递、叠加最终导致系统失效的全流程,也找准了事故链的关键环节。依托这些路径,管理者能针对风险传递的关键节点,采取阻断手段,譬如优化警示标识管理、严管区域准入资格,切实斩断事故链,提升系统整体安全水平^[3]。

2.2 基本事件重要度与薄弱环节评估

在定性分析明确最小割集后,可再结合历史数据或专家经验,通过定量或半定量方法算出各基本事件的概率重要度、结构重要度等指标。这些指标可客观体现不同基本事件对顶事件发生的作用大小,协助找出系统关键薄弱点。相关分析可以证明“能源隔离程序执行不严格”的重要性远超部分具体工具缺陷,表明管理流程疏漏对事故的影响远超个别设备故障。按照重要度评估成果,管理者可科学规划风险管控的先后次序,把有限资源聚焦到改进最关键、影响最大的环节。这种通过数据支撑的决策模式,同时提升了安全措施的有效性及针对性,也调整了资源配置,增强了风险防控的效费比与系统可靠性。

2.3 风险耦合机制的揭示

故障树模型借逻辑门连接不同事件,直观呈现设备、人因、管理及环境等多类风险因素的内部联系与耦合作用。冶金设备检修事故极少由单个因素引发,大多由多种风险要素互相作用、共同催生,管理监督有疏漏易引发作业许可走流程,进而造成“个体技能不足”和“设备固有风险”在无管控措施时重合,通过“与门”等逻辑关系引发严重事故。该类分析充分暴露了风险生成和演化的系统性和复杂性,明确各类风险并非单独出现,却在特定条件下相互提振、汇成合力。因此,安全治理需要跳出局部整改,围绕系统整体实施综合干预,统筹人、机、管、环各项措施,阻断风险耦合机制提升整体安全水平。

3 故障树分析结果在风险管控中的应用

3.1 优化检修维保规程与方案

故障树分析(FTA)的核心目标之一,重点是把抽象的顶层失效事件,调整为对底层具体可操作的控制措施。基于分析锁定的关键基础事件,需系统性复核现有检修维保规程、安全作业标准,完成靶向修订。这代表检修规程优化绝非空话套话,而是直接对准经定量或定性分析验证对系统可靠性影响最大的薄弱环节。例如,对于“能量隔离”的高频基础事件集合,修订后的规程需明确规定,隔离点必须使用个人专用锁具,落实双人确认和挂牌制度。在作业开始前,借助“尝试启动”等实际验证步骤确认隔离有效性,把原则性要求变成必须执行的硬性操作步骤^[4]。

通过“与门”“或门”逻辑关联多个基本事件形成的特定风险路径,优化规程需瞄准切断或弱化这条路径。以交叉作业风险为例,若故障树标明“上方动火作业”和“下方易燃物未清理”同步发生会诱发火灾的链路。修订方案需要分别制定动火许可和场地清理要求,必须额外在工序安排中强制明确时间或空间的硬性隔离措施,比如要求下方区域作业务必在动火作业启动前完成并撤离,或加装实体隔板。通过这种途径,让安全规程脱离孤立条款的组合,搭建互相关联、主动拦截风险传导网络的操作规范,大幅增强其针对性和有效性。

3.2 强化关键环节的风险预警与防控

故障树的重要度分析(如概率重要度、关键重要度)能给风险管理资源的高效配置提供科学决策依据。参照分析结果,要把有限的监控和防控资源优先投给对顶上事件发生概率贡献最大的基本事件和风险路径。针对识别出的高风险事件,诸如“作业人员未经许可进入危险区域”“安全连锁被跳过”,要设立超出常规检查的强化管控机制。涉及但不只限于:强化物理准入把关,通过人脸识别或门禁刷卡系统实时校验人员资质与权限;在高危作业区域布设智能视频分析系统,自动识别未佩戴个人防护装备、监护人员缺位等违规行为并马上告警;实时监测关键安全连锁状态,所有旁路操作必须触发管理层审批流程和实时报警。

这类依托重要度制定的防控策略,从根本上是主动出击且提前设防的。它打破了传统安全管理里平均投入资源或事后被动应对的模式,转向对“少数关键”风险点精准布控。例如,针对“特种设备带病运行”这一高风险基础事件,防控措施可融合物联网技术,当设备关键参数(如振动、温度)超出阈值,自动预警并限制启动操作,而非

单靠定期点检。对于人为因素主导的高风险路径,诸如“培训不足→误操作→设备损坏”,可依靠在操作界面设置强制确认提示、实施模拟操作培训考核、建立行为观察反馈计划推行系统性干预。通过把技术监控与管理流程安插到高风险环节,实现从被动应对到实时预警和即时干预的转变,努力把风险消灭在萌芽阶段^[5]。

3.3 指导应急预案编制与安全培训

故障树通过清晰的逻辑图形,直观说明顶上事件(事故)通过所有可行组合变为现实事件的逻辑。该特质可作为编制应急预案和开展安全培训的优质工具。在编制应急预案环节,传统做法可能依据宽泛归类的事故类型设定响应流程,以故障树为基础的应急预案,更具针对性与逻辑性。编制人员可从故障树内挑选某个中间事件或基本事件作为初始场景,再沿着逻辑门反向排查可能造成的更严重事件,反向排查所有引发该事件的潜在原因。按此制定的应急处置方案,不仅明确了不同事故发展阶段应采取的具体技术措施,还明确了需要同步排查的潜在关联故障点,让应急响应成为目标明确、步骤清晰的系统化行动,而非混乱无序的莽撞回应。

在安全培训的范围中,故障树分析产出是价值极高的警示教育素材。将本企业或行业内的典型故障树,尤其是那些由常见人为失误、管理漏洞形成的风险链路,转为培训案例,可直观呈现给从业人员:一处细微疏漏,怎样依托整套连锁反应,最终或引发重大事故的。这类培训打破了仅罗列安全条款的套路,它梳理事故背后的逻辑线索,引导员工充分认知“这些规定为何要遵守”,进而增强它的风险感知能力和情景意识。培训以故障树为核心开展小组讨论,引导员工自主梳理风险阻断路径。此举可加固记忆,更能唤起员工主动参与安全管理的动力,从“要我安全”转为“我要安全”“我懂安全”,最终全面增强组织的风险预判与整体防御能力。

4 结语

本文全面讲解把故障树分析法用到冶金设备检修维保风险识别的流程。通过构建逻辑缜密的故障树模型,能从上至下、逐层剖析,辨别出管理疏漏到具体操作偏差、设备潜在问题到环境不良的各类风险因素及它们复杂的关联关系,排查关键风险路径和薄弱环节。该方法打破传统经验判断的局限,提升风险识别的系统性与预见性。依据分析结论,企业可更科学优化维保规程、聚焦防控重点、健全应急预案与培训体系,大幅强化冶金设备检修维保的本质安全能力。在未来,可进一步结合大数据、传感器技

术,实时调整基本事件概率,精准管控风险动态评估风险。

[参考文献]

[1]谢宗宸,朱鹏.基于故障树的电力变压器维修技术研究[J].家电维修,2025(12):137-139.

[2]黎敏谦,陈林,杨峰.基于故障树分析法的跟踪不稳定故障诊断研究[J].设备管理与维修,2025(15):177-181.

[3]王绍成.冶金设备管理与维修出现的问题与对策[J].冶金与材料,2024,44(5):157-159.

[4]郭韡,俞洪杰,马续创,等.检修规范化在冶金设备维护中的应用[J].山西冶金,2021,44(5):284-286.

[5]肖国亮,黄建新.状态检测故障诊断技术在冶金设备中的应用[J].中国设备工程,2018(22):111-112.

作者简介:王志锋(1989—),男,毕业于西安建筑科技大学华清学院;机械设计制造及其自动化,当前就职于中冶宝钢技术服务有限公司,职务:中冶宝钢第三分公司印尼项目部副经理,职称级别:工程师。

桥梁检测中的无损检测技术应用与优化研究

孙希大

中交元洋（大连）桥梁水下检测有限公司，辽宁 大连 116000

[摘要]随着我国基础设施建设的不断发展，桥梁作为交通运输体系的重要组成部分，其结构安全与使用寿命受到广泛关注。无损检测技术因能在不损害桥梁本体结构的前提下实现对关键部位的健康监测，已成为桥梁检测领域的重要手段。文中首先分析了当前桥梁检测中应用的主要无损检测技术，包括超声检测、射线检测和磁粉检测等，探讨了各类技术在实际检测过程中的优势与局限。针对现有检测方法在灵敏度、准确性和操作效率方面存在的问题，提出了检测参数优化和多技术协同应用的改进策略。研究表明，通过合理优化检测流程和技术组合，不仅可以提高检测数据的可靠性与准确性，还能更有效地发现和评估桥梁结构潜在的病害，有助于实现科学维护和延长桥梁服役周期。本研究为桥梁无损检测技术的实际应用和持续优化提供了理论支持和实践参考，促进了桥梁安全运营管理水平提升。

[关键词]桥梁检测；无损检测技术；结构健康监测；检测参数优化；多技术协同

DOI: 10.33142/ec.v8i12.18786

中图分类号: TU192

文献标识码: A

Research on the Application and Optimization of Non-destructive Testing Technology in Bridge Inspection

SUN Xida

Zhongjiao Yuanyang (Dalian) Bridge Underwater Inspection Co., Ltd., Dalian, Liaoning, 116000, China

Abstract: With the continuous development of infrastructure construction in China, bridges, as an important component of the transportation system, have received widespread attention for their structural safety and service life. non-destructive testing technology has become an important means in the field of bridge inspection because it can achieve health monitoring of key parts without damaging the structure of the bridge itself. The article first analyzes the main non-destructive testing technologies currently used in bridge inspection, including ultrasonic testing, radiographic testing, and magnetic particle testing, and explores the advantages and limitations of each technology in the actual inspection process. Aiming at the problems in sensitivity, accuracy, and operational efficiency of existing detection methods, an improvement strategy of optimizing detection parameters and multi technology collaborative application is proposed. The research results indicate that by optimizing the detection process and technology combination reasonably, not only can the reliability and accuracy of detection data be improved, but potential diseases of bridge structures can also be more effectively discovered and evaluated, which helps to achieve scientific maintenance and extend the service life of bridges. This study provides theoretical support and practical reference for the practical application and continuous optimization of non-destructive testing technology for bridges, promoting the improvement of bridge safety operation management level.

Keywords: bridge inspection; non-destructive testing technology; structural health monitoring; optimization of detection parameters; multi technology collaboration

引言

随着中国经济快速发展，城市建设速度也明显加快，桥梁在整个交通运输系统当中扮演角色变得越来越关键。可是那些使用了很多年的桥梁，每天都要承受自然环境侵蚀和车辆重压，结构安全问题面临非常大的威胁。到2023年为止，全国正在正常使用的桥梁总数已经超过90万座，

各种损坏问题种类和数量都在持续增多，这让基础设施的安全管理变得特别困难。过去那种需要钻孔取芯的检测方式，会直接伤害桥梁本身，还会影响车辆正常通行。现在大家更愿意使用无损检测技术，因为它效率高、不伤桥梁、还能随时监测结构变化，所以已经逐渐成为桥梁日常检查和保养最主要手段。中国各地现在已经广泛采用超声波、

射线、磁粉等多种无损检测方法,这些方法明显提升了检查速度和结果准确度,让桥梁维护工作变得更加可靠和高效。无损检测技术在桥梁日常维护和安全管理过程中优点非常突出,但是检测灵敏度不够高、数据处理速度慢、在复杂环境下适应能力弱,这些问题严重制约了技术大范围实际使用。以前的研究基本都只盯着单一技术怎么改进,很少把几种技术结合起来一起用,也很少从头到尾把整个检测流程优化好。这次研究主要围绕桥梁无损检测技术怎么真正用起来、怎么进一步改进来展开,全面总结现在常用的几种主流检测方法,分别讲清楚每种方法的好处和不足,仔细分析到底哪些关键参数和操作步骤最影响检测结果,最后给出简单易行又有效的流程优化办法,以及几种技术一起配合使用的具体策略。希望这次研究能够帮助大家把桥梁健康检测做得更好,把安全管理水平提得更高,让各种桥梁和基础设施能够安全稳定地运行很多年,提供可靠的理论依据和实实在在的操作指导^[1]。

1 桥梁结构安全现状与健康监测需求

1.1 桥梁结构安全面临的主要挑战

桥梁作为交通运输体系中的重要基础设施,其结构安全对社会经济运行和公众生命财产具有重要意义,桥梁结构在长期运营过程中不可避免地面临各种挑战,严重威胁其安全性与性能,环境因素是影响桥梁健康的重要外因,自然灾害如地震,洪水,强风等,可能导致桥梁结构受损甚至毁坏,长期暴露于高湿度、盐雾环境以及化学腐蚀物中,会加速钢筋锈蚀与混凝土劣化,显著降低桥梁的耐久性,荷载变化是桥梁结构安全的另一主要影响因素,车辆交通量与荷载水平的持续增长导致桥梁长期处于超设计荷载状态使关键部位如索塔、主梁及节点处的疲劳损伤风险增加。

于桥梁设计寿命期间,重复性动荷载作用易诱发裂缝扩展和应力集中现象,致使桥梁结构性能逐步退化。传统的维护和检测方法具有不足,难以彻底、迅速地察觉桥梁结构的潜在问题。部分桥梁由于施工质量问题以致造成先天缺陷,上述问题于长期使用中易逐步显现并很难得到及时识别。鉴于前述因素,桥梁结构安全遭遇的风险呈现多维性的,迫切需要高效的检测与监测技术进行解决。

1.2 健康监测在桥梁养护中的重要性

桥梁作为重要的交通基础设施,其长期服役过程受多种因素的影响,包括荷载效应、材料老化、环境腐蚀等,这些因素可能导致结构损伤、性能退化甚至安全隐患^[2]。健康监测是桥梁养护管理的重要组成部分,通过实时、定

期或专项检测,能够掌握桥梁结构的运行状态和潜在病害,为科学决策提供依据。在桥梁运营中,健康监测可以有效发现细微损伤,对结构安全状态进行动态评估,从而在早期阶段采取预防性维护措施,避免重大结构性问题的发生。健康监测还可以延长桥梁的服役周期,减少维护成本,确保公共安全。科学的健康监测体系可以提升桥梁管理效率,构建桥梁结构全生命周期信息数据库,为后续的维修与养护给予数据支持。伴随新技术的运用,桥梁健康监测方式逐渐朝智能化、自动化方向演进,这不但提高了检测的精度与可靠性,而且加强了养护管理的针对性与科学性,对保持桥梁长期安全稳定运行拥有重大意义。

2 无损检测技术类型及应用现状

2.1 超声检测在桥梁中的应用

超声检测技术已经大量应用到桥梁检测工作中,这种方法具有很高灵敏度而且完全不会损伤结构,尤其适用于发现混凝土还有钢结构里面的裂纹、孔洞或者分层等问题。检测人员通过发射超声波再接收回来信号,仔细分析回波到达时间长短以及波形高低变化,就可以准确判断材料里面到底有哪些缺陷。使用超声检测可以实现对桥梁重要部位比如主梁、立柱还有支座进行非常精准评估,给桥梁安全性判断以及使用寿命预测提供真实可信数据支持。尽管超声检测在发现靠近表面缺陷时性能优异,可是在结构特别复杂桥梁上使用还是会遇到困难,比如超声波信号变弱加上周围噪声太多,可能会影响最后检测结果准确程度。于潮湿或者表面粗糙的环境中,超声波的传播特性亦将遭到影响。以高效解决这些问题,必须融合多种无损检测技术提高综合诊断能力。借助完善仪器设备并改善操作流程,超声检测将持续在桥梁健康监测中担当关键作用^[3]。

2.2 射线检测技术的适用领域

射线检测技术因为拥有很强的穿透能力,而且完全不需要接触被测物体,所以人们觉得这种技术未来可以在桥梁检测工作中用得越来越多。这种技术是用能量很高的射线直接穿过桥梁的钢筋混凝土或者钢板,然后拍出里面的照片,这样就能很快看出桥梁内部到底哪里出现了问题、问题有多严重。特别是检查钢桥或者钢梁焊接的地方,用这种方法最合适。它可以把材料里面的裂缝、气孔、密度不均匀的地方清清楚楚拍出来,检查结果非常准确、也很可靠,能大大帮助工程师保证桥梁不会突然出大问题。在那些结构特别复杂或者非常重要的桥梁部位,肉眼或者表面检查根本看不见的隐藏毛病,射线检测都能帮着准确找到具体位置。不过用这种技术的时候,射线对人体和周围

环境会有辐射危险，所以每次操作都要做好厚厚的铅衣、设立警戒区等很多安全防护工作。另外，因为拍片设备和胶片都很贵，所以很多地方想大量使用这种技术，还会因为钱不够而受到比较大的限制。

2.3 磁粉检测的特点及限制

磁粉检测借助运用磁场令材料表面的缺陷显露，适用于桥梁结构中中铁磁性材料的检测。其优势在于操作简单，检测过程形象，能查出表面和近表面裂纹等微小缺陷。限制在于检测对象只限于铁磁性材料，并且对于存在深层缺陷的结构不易有效地识别。磁粉检测对于被检表面光洁度要求严格，检测环境会干扰结果，需要配合其他技术来提升全面性与准确性^[4]。

3 检测参数优化策略

3.1 检测流程参数优化途径

检测流程参数优化能显著提升桥梁无损检测技术的效果和效率。优化流程参数需要按照检测目标需求，综合考虑桥梁结构特点和检测环境条件，来拟定检测方案。每种桥梁结构会出现各种病害形式，都要根据病害特征选择检测技术，同时设置针对性参数。超声检测、射线检测、磁粉检测这些技术，都要对输入能量强度、检测频率、采样分辨率这些参数进行优化，这样才能提升检测过程灵敏度和数据质量。

在检测实施阶段，参数优化还需考虑数据采集过程中的外界干扰因素，通过设置稳定的工作参数，应对桥梁表面粗糙度、缺陷大小及埋藏深度等因素可能带来的影响^[5]。流畅的检测流程设计能够减少人为操作失误，提高检测的效率和结果的一致性。结合桥梁检测的现场环境与时间要求，通过逻辑优化与动态调整检测设备参数，可实现工作效率的显著提升，进一步确保检测任务的及时性及科学性。

通过合理的参数优化方法，不仅可以强化桥梁结构的健康监测能力，还能为后续数据分析提供高质量的基础信息。适当优化流程参数能够明显提升桥梁检测精度和可靠性，这样做具有非常重要的作用，真正给桥梁日常养护带来稳定而且有力的技术保障。

3.2 检测精度与灵敏度提升手段

检测准确度和敏感度属于桥梁无损检测技术发展最核心两个指标。想要提高检测准确度必须改进传感器性能，具体办法包括提升设备分辨率、减少信号干扰，这样才能精准发现桥梁结构里面极细微缺陷。想要提高敏感度可以完善数据处理算法，加强信号识别能力，这样就能捕捉到很微弱信号里面隐藏异常。合理选取检测频率和参数范围

就能即使环境很复杂也能有效监测结构损伤。使用多种波形模拟技术可以克服单一信号容易失真难题，大幅提升数据可靠性。把检测设备做得更小更轻便就能大大增加操作灵活性，轻松适应各种不同现场需求。积极引入新型材料和新工艺来促进传感器体系不断创新，持续提高敏感度和准确度，最终给桥梁结构健康监测带来更加可靠保障。

4 多技术协同应用的创新模式

4.1 多技术集成与组合方案

多技术协同应用是桥梁病害诊断的创新模式，能提升检测精度与可靠性，桥梁结构病害特征复杂，单一检测技术难以全面满足健康监测要求，多技术集成与组合方案可发挥各技术优势，相互补充，克服局限，比如检测桥梁内部缺陷时，超声检测穿透力强，能评估材料内部裂纹，空洞；射线检测擅长观察材料密度变化和深层结构特征；磁粉检测则可提高表面微裂纹识别精度，通过综合运用这些技术，能更精准、全面地掌握桥梁病害情况，为桥梁安全评估和维护提供可靠依据。在单一技术局限背景下，把超声检测和射线检测结合应用，能借助超声波探测隐患位置且利用射线图像清楚呈现缺陷形态，进而达成桥梁结构深入评估。对桥梁钢结构精准检测和裂纹判断，多技术协同亦可以凭借磁粉检测和超声检测的结合，于表面裂纹与次表面病害识别层面达到数据互补，用更精确评估病害的范围和性质。依托技术的功能性融合和信息联动，多技术组合给桥梁检测带来了更完整的信息来源和优化诊断能力，为桥梁健康监测实践和科学维护建立了牢固基础。

4.2 协同检测在桥梁病害诊断中的实践价值

多种技术一起用在桥梁病害诊断上具有很大实际意义，关键点就是面对桥梁结构复杂、病害种类繁多的情况，把几种无损检测技术融合运用起来，才能实现完整准确的诊断效果。把超声检测精准定位的能力跟射线检测深层穿透的特点融合到一起，就能快速发现桥梁内部隐藏的裂缝和孔隙这些问题。磁粉检测可以很好补充表面跟靠近表面的缺陷检测。多种技术一起工作的时候，每种技术的优点都能互相补足，这样收集到的数据既全面又深入。碰到疲劳裂纹、腐蚀损伤、混凝土老化这些复杂问题，多种技术一起检测就能提供非常精确的综合判断，大大降低只用一种技术容易出错的风险。这款应用在实际现场用起来特别灵活，它能把各种检测步骤很好地整合到一起，把不同来源的分析数据全部综合起来，直接给出清晰可靠的结论，让负责桥梁养护的人能快速做出正确决定，这样就能大大

提高桥梁长期使用的安全保障水平。

5 结束语

这份研究专门针对桥梁检测里几种常见的不伤桥梁本身就能查出问题的技术,进行了全面总结和实际应用的改进工作,深入分析了超声波、射线、磁粉这些主要检测方法在检查桥梁结构是否健康时到底能起到什么作用,又有哪些缺点。研究人员把目前这些技术在灵敏度、准确度、操作速度方面的不足全部总结出来,然后提出了怎么调整检测参数、怎么让多种技术一起配合使用这些新办法。结果表明,把检测流程改进好、再把几种方法联合起来用,能大幅提升得到的数据又准又全,这样就能更早发现桥梁隐藏的毛病,也能更科学地判断毛病严重程度,这对保障桥梁安全管理、日常维护保养提供了非常可靠的技术支持。

[参考文献]

- [1]陆健.桥梁检测无损检测技术实践应用[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2023(5):0119-0121.
- [2]施洪张宝龙.桥梁检测中无损检测技术的应用分析[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2023(6):53-55.
- [3]李妍妍.桥梁检测中无损检测技术的应用[J].装饰装修天地,2020(12):252-252.
- [4]陶东阳毛国庆.桥梁检测中的无损检测技术应用概述[J].黑龙江交通科技,2020,43(9):130-131.
- [5]宋震.道路桥梁检测无损检测技术应用[J].新商务周刊,2020(22):203-204.

作者简介:孙希大(1986.2—),性别:男,民族:汉,籍贯:山东省滕州市人,学历:本科,研究方向:桥梁检测。

城市道路桥梁维护工程政府采购分析

黄兵^{1,2}

- 1.乌鲁木齐市公共资源交易中心, 新疆 乌鲁木齐 830017
- 2.乌鲁木齐市政府采购中心, 新疆 乌鲁木齐 830017

[摘要]文章针对城市道路桥梁维护工程中的政府采购问题展开研究。政府采购是市政养护的主要工具, 采购机制决定了是否能有效利用公共财政资源。首先阐述政府采购的概念及法律法规基础, 其次整理归纳维护工程采购特征及其种类。再次总结目前采购模式与过程、采购量级及结构现状; 进而着重从需求管理、编制预算、确定采购方式、设计招标文件、签订采购合同、执行采购合同、接受货物服务、支付货款和评估绩效等方面进行深入解析。最后指出在采购中存在的若干问题并给出流程规范化、加强监督管理、风险管理、绩效管理和科技创新等方面的改善提议。

[关键词]城市道路桥梁; 维护工程; 政府采购; 采购流程

DOI: 10.33142/ec.v8i12.18780

中图分类号: F812.45

文献标识码: A

Analysis of Government Procurement for Urban Road and Bridge Maintenance Projects

HUANG Bing^{1,2}

1. Urumqi Public Resource Trading Center, Urumqi, Xinjiang, 830017, China
2. Urumqi Municipal Government Procurement Center, Urumqi, Xinjiang, 830017, China

Abstract: This article conducts research on government procurement issues in urban road and bridge maintenance projects. Government procurement is the main tool for municipal maintenance, and the procurement mechanism determines whether public financial resources can be effectively utilized. Firstly, explain the concept and legal basis of government procurement. Secondly, organize and summarize the characteristics and types of maintenance engineering procurement. Summarize the current procurement mode and process, procurement scale and structure status again; Furthermore, it focuses on in-depth analysis from aspects such as demand management, budgeting, determining procurement methods, designing bidding documents, signing procurement contracts, executing procurement contracts, receiving goods and services, paying for goods and services, and evaluating performance. Finally, several problems in procurement are pointed out and improvement proposals are proposed in terms of process standardization, strengthening supervision and management, risk management, performance management, and technological innovation.

Keywords: urban roads and bridges; maintenance engineering; government procurement; procurement process

引言

道路桥梁养护工程与市政新建、改建、扩建工程不一样, 为尽量减少因工程建设给城市交通及市民出行带来的影响, 养护工作大多在不断交的情况下进行; 设施病害还存在着隐蔽性、复杂性及不确定性的特点, 施工技术难度高, 这就需要道路桥梁管理部门不断提高自身水平, 提升工程采购品质。但实际上政府采购行为存在着程序繁琐、监督难、绩效无法量化等诸多困难。

1 城市道路桥梁维护工程政府采购概述

1.1 政府采购的定义与法律依据

政府采购是指各级国家机关、事业单位和团体组织,

使用财政性资金采购依法制定的集中采购目录以内的或者采购限额标准以上的货物、工程和服务的行为。这个定义明确了采购主体、资金性质和采购对象范围。其法律依据构成一个体系, 核心是《中华人民共和国政府采购法》, 该法自2003年1月1日起施行, 确立了公开透明、公平竞争、公正和诚实信用的基本原则。此外, 《中华人民共和国招标投标法》对于工程建设项目招标投标活动进行了专门规范, 与政府采购法相辅相成。财政部等部门发布的一系列部门规章和规范性文件, 例如《政府采购货物和服务招标投标管理办法》, 进一步细化了操作规则。

1.2 维护工程采购的特点与分类

城市市政道路桥梁管养工程采购不同于新建设工程采购,有着显著的不同特征。时间上的周期性特征很明显,由于养护工程是根据设施状态按需定期进行的,像路面铣刨重铺、桥梁支座更换等。时效性的紧迫性特征也很鲜明,对于突发病害或者事故损毁,例如桥面坑洞填补、防撞护栏应急处置,采购过程必须迅速及时。工程的技术性要求特征也很高,养护工程涉及到土建、材料、检测等多个方面专业学科的知识,对供应商的技术水平与经验有一定的特殊要求^[1]。依据业务的工作内容及属性,养护工程采购基本上可划分为三大类。第一类为常规养护保洁采购,主要是指以预防性和经常性的养护为主,例如路面清洁、排水管道疏通。第二类为应急抢修抢险采购,是指用来应对突发情况造成损害而发生的,采购环节要快。第三类为专项加固改造采购,是指为了对被养护物的结构安全性或者使用性能进行提升而发生的较为复杂的工程项目,金额一般也比较大。不同种类的采购任务,在工程的采购方案以及采购手段、采购后的合同条款等方面应该有不同的处理方法。

2 城市道路桥梁维护工程政府采购现状

2.1 主要采购模式与流程

目前,在城市道路桥梁维修工程政府采购实务中,公开招标的方式最为常用。公开招标方式以公开发布采购信息的方式,尽可能的吸引更多的供应商参与到其中来,易于形成有效竞争。对部分技术难度较高的或者具有特殊性的采购任务,则采取了邀请招标的形式,由采购主体向特定供应商发出投标邀请书。同时,也采用了竞争性谈判、询价等非招标形式,适用于部分小额紧急抢修项目。整个采购的过程表现为一个线性进程,大体经过如下阶段:使用部门上报维修需求并制定采购方案,报送财政部门审核批准预算;由采购代理机构或采购人自行起草并发布招标公告;供应商领取文件并提交投标申请;之后进行开标、评标,并选定中标供应商;而后订立政府采购合同;在履约过程实施监督检查;最后进行项目验收以及款项支付。再者,这项程序在很多地区落实并不顺利,各阶段衔接较为松散,审核环节多,致使整个采购过程耗时过长,有时不能够及时响应维修工作的时间需求。

2.2 采购规模与结构特点

从统计数据来看,伴随着城市化建设不断发展以及既有基础设施存量不断增加,城市道路桥梁养护工程政府采购规模逐渐扩大,部分城市年度内此类相关采购金额处于

高水平,并且具有较高的年平均增长率;采购资金来源主要是各地的一般公共预算,受地方政府财政实力的影响很大。从采购项目的构成看,日常保养类型的采购项目由于其重复性和必须性,在所有项目中占有重要地位,占采购资金总额的一半甚至更多。紧急抢修采购所占比例比较固定,专门性改造加固类型的采购项目尽管单体金额较大,但是数量不多,整体比例随设施老化有所增加^[2]。政府采购的结构特征其实反映出的是城市基础设施生命周期所处阶段及维护措施的重点偏向。采购规模及结构还受到当年财政预算编排、上级部门政策因素的直接影响,具有一定规划性和起伏变化。

3 城市道路桥梁维护工程政府采购关键环节分析

3.1 需求管理与预算编制

需求管理是政府采购行为的前提,在这个阶段应当是对城市道路桥梁的设施状态做一个正确的判断和预期,这就必须基于日常巡检、检测及以往养护维修档案。而预算是建立在对需求做出分析的基础之上并综合考虑财政能力后制定出来的关于资金安排使用的一个规划。从道理上来说,预算应该严格的等于需求,然而事实上常常出现预算与需求相脱离的现象。有时预算太过笼统,忽视了针对各个设施、不同程度损坏的设施具体的保养修缮诉求;有时刻意虚报或者模糊化需求是为了获得更多拨款。需求管理和预算制定一旦衔接不到位,就会使后来的采购不是因为缺钱而打折就是因多余而浪费。

3.2 采购方式选择与招标设计

采购方式的选择是一个重要决策,既要考虑项目的金额大小和技术难易程度,又要兼顾时间和供应市场的条件。公开招标方式的优点在于透明度高,但过程时间长;而采用非招标方式相对灵活但也容易导致竞争力不足。招标方案的设计就是整个采购文件的灵魂,主要是指具体的技术参数、服务要求、评标方法以及合同条款的制定等。招标方案设计的好坏直接影响投标响应及最后的采购结果。比如设定过高的技术指标就会成为一种障碍把一些有能力的供应商拒之门外;在评审标准里面价格分数权重过低或者过高都无法选出性能价格比最好的供应商。采购方式选择和招标方案设计共同形成了此次采购的竞争规则并对采购成功与否有着重大影响。

3.3 合同管理与履约监督

政府采购合同是确定采购人和供应商权利义务的协议文件。合同管理不仅仅是合同的订立,还包括对合同履行过程中的变化及争议处置等全过程管控。履约监管是对

供应商严格按合同规定完成工程项目或服务的一种制约手段,例如:查看项目施工质量,进度,安全以及环境等方面是否符合要求。但现实中时常出现合同签订完毕之后就“一签了之”,疏于监管的情况,由于采购人缺乏相应技术力量或者忽视了监管的重要性,未对维修工程的过程予以有效的管控,等到验收的时候发现问题,再整改代价太大而且会影响设备的正常运转。合同管理和履约行为监管都是采购目标能否实现的有效保证,这一项薄弱那么前面的所有采购工作都会大打折扣。

3.4 验收结算与绩效评价

验收结算是买方对供应商履约结果的最后认定及采购资金结算的过程。依照规定采购单位或受其委托的采购代理机构应该负责对供应商履约情况进行验收并出具验收报告。绩效评估是对一个完整采购过程中的经济性、效率性和有效性的综合性考察^[3]。当前很多地区的验收只是走过场,一般限于审查文件和观察外表,很少进行实质性性能检测或后续使用情况追踪。绩效评估机制更基本属于空白,采购活动结束后没有系统地“回头看”,不能给今后的采购行为积累经验和借鉴。验收结算和绩效评估理应成为闭环管理的重要一环,作为检验采购成效、推动不断优化采购行为的工具,然而现实中它们经常沦为采购工作中最脆弱的一环。

4 城市道路桥梁维护工程政府采购存在问题与优化建议

4.1 存在的主要问题

针对市区道路桥梁维修改造工程政府采购还存在着以下几个比较突出的问题。采购程序不够规范,各地各部门操作细则各异,自由裁量权过大。监督检查不够严格,内部监督虚化、外部社会监督失灵致使一些违反规范的行为不能及时得到制止和纠正。绩效考评基本缺失,采购行为只重视过程,忽视结果,花了多少钱、干了多少事、成效如何,缺乏有效的评估及追究。再就是需求脱离预算、标书制定粗放、履约监督薄弱、验收走过场的情况,在各个阶段也都普遍存在,上述问题互为因果制约着政府采购制度效能的最大化发挥,甚至会导致资金损失浪费、工程建设质量问题以及滋生腐败现象的发生。政府采购在这方面还很不到位,亟需进一步完善。

4.2 采购流程标准化建议

对于程序不规范的问题,积极推进采购程序规范化是重中之重。建议省或市级政府采购监管机构,编写适合本区域范围内城市道路桥梁维修工程的规范化采购程序手

册,对其中涉及的所有环节包括项目的立项,公告需求、编制申报预算、开展采购、订立合同、履行督导直至最后的验收付款、文件存档等作出具体的操作规程、时间限制以及相关文件范本的规定。规范化能够限制自由裁量空间,降低任意性,增强不同主体不同项目中采购行为的同一性。规范化的程序也使得政府采购行为更清晰明了,易于各方进行监督,同时也便于新人上手了解学习。

4.3 监管机制与风险防控强化

监督管理体制应从单个内部机构督查转变为多方合力治理。加强以财政部门为主导的监督管理地位的同时,也要注重审计、监察部门的督查力度。大力倡导社会监督力量,依照规定主动公示采购信息,可以邀请部分的人大代表或者政协委员以及市民代表参与其中某个部分的监督。对于风险管控而言,则是要全面的梳理出在整个采购过程中的各个环节所存在的风险,主要有:采购预算虚报风险、串通投标风险、合同违约风险、质量安全隐患等。对上述风险制定相对应预警及防范举措。如实行采购需求论证机制规避不合理需求风险,采用电子化招标手段降低人为因素干扰风险,在合同条款里面设定履约保证金、质保金条款来抵消违约风险。监管和风险防控犹如为政府采购行为安装了“安全阀”“防火墙”,能够有效的提高采购的安全系数。

4.4 绩效管理与技术创新应用

要扭转“重购买,轻管理,不问绩效”的状况,应建立完善的政府采购绩效管理体系。把绩效管理融入整个采购环节中去,在编制预算时确定绩效目标;在采购环节中跟踪绩效执行情况;在项目结束后进行绩效评估并将评估结果同下一年度预算分配及供应商选择等相联系。科技创新是优化采购管理的强大武器^[4]。充分利用大数据技术,融合道路桥梁检测信息、以往采购信息以及供应商诚信信息等对需求量、预算及供应商的选择做出科学合理的分析。全面实行政府采购全流程电子化系统,从采购计划申报审批直至合同备案全程在线办理,以节约时间成本并保留操作痕迹。运用物联网技术对维修工程进展或后续状况进行实时监控,以便于履约监管及绩效评估。绩效管理和科技运用是政府采购向精算化、智慧化的管理迈进的趋势。

5 结束语

本文对城市道路桥梁养护工程施工政府采购做了一个相对系统的分析。文章认为目前阶段下政府采购在这个行业当中是不可或缺的一部分,在政府采购的过程当中还存在着一些亟待解决的问题,主要表现在政府采购过程不

够规范、监督管理不到位以及缺乏绩效观念上,通过剖析需求、预算、招标、合同、验收评估等关键点来找出问题发生的具体时间段并给出了一系列建议措施包括制定标准化流程、建立多层次监管机制、注重风险管理、引入绩效理念、接受技术革新等。城市道路桥梁的维护是一个任重道远的过程,而政府采购作为其中分配资源的重要方式,在这个过程中不断完善的政府采购制度对确保基础设施安全,提高公共产品服务质量,以及实现财政资金精简提效有着深远影响。未来应该继续关注采购制度与技术创新融合发展,让城市道路桥梁养护工程施工政府采购更进一步。

[参考文献]

- [1]刘渊.基于改进技术状况评定的多目标桥梁养护决策方法研究[D].西安:长安大学,2022.
- [2]王旭涛.基于大数据融合的工程采购围标串标风险识别模型构建及防控机制[J].中国物流与采购,2025(24):115-116.
- [3]田文希.后勤工程采购中招标环节的风险识别与管理策略[J].中国集体经济,2025(12):65-68.
- [4]周月明.建设工程招标代理行业现状及其工作优化策略探究[Z].北京市朝阳区国际绿色经济协会.新业态·新市场·新动能——“绿色经济创新与重塑”会议文集(2).常熟市永拓工程咨询有限公司,2025:129-131.

作者简介:黄兵(1985.2—),毕业院校:四川师范大学,所学专业:教育学,当前就职单位名称:乌鲁木齐市公共资源交易中心/乌鲁木齐市政府采购中心,就职单位职务:科员,职称级别:工程师。

基于安全文化互动模型的交通建设工程安全文化体系建设研究

王礼圣¹ 苏少雄¹ 张仕雄² 卢志华² 迟旭¹ 杨超² 马平川²

1. 嘉兴市乍嘉苏高速公路有限责任公司, 浙江 嘉兴 314000

2. 浙江交工金筑交通建设有限公司, 浙江 杭州 310000

[摘要]针对交通建设工程因参与方多元、组织临时、环境动态及人员流动性大等特征所导致的安全管理协同难题与行为管控困境, 本研究引入安全文化互动模型, 构建并实践了一套系统化的安全文化体系。该体系以“治未病·智安全”为核心理念, 遵循“环境-感知-行为”三维互动原理, 设计出涵盖一套有体系的安全理念、一本有温度的文化读本、一系列特色教育活动及一个有氛围的安全环境的“四个一”实施载体。通过融合管理层与作业层的双层行为互动机制, 以及业主、总包商、分包商三方动态协同的文化共建路径, 研究形成了一套包含动员部署、推进实施、总结提升三阶段的闭环建设流程。以乍嘉苏高速公路改扩建项目为实证对象, 验证了该体系在提升安全氛围、规范作业行为、促进跨组织协同方面的有效性, 为交通建设工程实现从“被动合规”到“主动免疫”的安全治理现代化转型提供了理论框架与实践方案。

[关键词]交通工程; 安全文化; 施工安全; 企业管理; 高速公路

DOI: 10.33142/ec.v8i12.18767

中图分类号: F426.22

文献标识码: A

Research on the Construction of Safety Culture System in Transportation Construction Engineering Based on the Interactive Model of Safety Culture

WANG Lisheng¹, SU Shaoxiong¹, ZHANG Shixiong², LU Zhihua², CHI Xu¹, YANG Chao², MA Pingchuan²

1. Jiaxing Zhajiasu Expressway Co., Ltd., Jiaxing, Zhejiang, 314000, China

2. Zhejiang Communication Construction Jinzhu Transportation Construction Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 310000, China

Abstract: In response to the challenges of safety management coordination and behavior control in transportation construction projects caused by diverse stakeholders, temporary organization, dynamic environment, and high personnel mobility, this study introduces a safety culture interaction model and constructs and practices a systematic safety culture system. The system is based on the core concept of "prevention of illness and intelligent safety", following the three-dimensional interactive principle of "environment - perception - behavior". It is designed to cover a systematic safety concept, a warm cultural reading book, a series of characteristic educational activities, and an atmospheric safety environment as the "Four in Ones" implementation carrier. A closed-loop construction process has been developed through the integration of a dual level interaction mechanism between management and operational levels, as well as a dynamic collaborative cultural co construction path among owners, general contractors, and subcontractors, which includes three stages: mobilization and deployment, promotion and implementation, and summary and improvement. Taking the Zhajiasu Expressway renovation and expansion project as the empirical object, the effectiveness of the system in improving the safety atmosphere, regulating operational behavior, and promoting cross organizational collaboration has been verified, providing a theoretical framework and practical solution for the modernization transformation of safety governance from "passive compliance" to "active immunity" in transportation construction projects.

Keywords: transportation engineering; safety culture; construction safety; enterprise management; expressway

引言

交通建设工程作为国家基础设施建设的主动脉, 其安全生产不仅关系到工程本身的顺利推进与巨额投资效益, 更直接关乎广大建设者的生命健康与社会公共安全。当前,

随着工程建设规模不断扩大、技术工艺日趋复杂、建设环境更加多元, 交通建设工程面临着参与主体多元、组织关系临时、作业线长点多、高风险工序集中、一线人员流动性强等多重挑战, 安全管理的复杂性与不确定性显著增加。

传统的安全管理模式往往侧重于事后处置、制度约束与技术合规,虽在规范作业层面发挥了基础性作用,但在系统应对人的行为不确定性、塑造深层风险防范意识以及实现多方协同共治等方面,逐渐显现出其局限性。在此背景下,安全文化作为影响组织内部所有成员安全认知、态度与行为的价值理念、思维模式和行为规范的总和,日益成为突破管理瓶颈、提升行业本质安全水平的关键软实力与战略支点。

安全文化研究历经多年发展,已从早期关注安全氛围测量,逐步深入到对文化形成机制、演化路径及与安全绩效关联的探讨^[1-3]。其中,安全文化互动模型为我们理解动态、复杂组织情境下的安全文化提供了有力的理论透镜。该模型跳出了将文化视为静态特质的传统视角,转而强调“环境”“感知”与“行为”三个核心维度之间持续、动态的交互作用。环境(包括物理条件、管理制度、领导行动等)塑造了个体与集体的安全感知(即安全氛围),而这种主观感知又直接驱动或抑制着具体的安全行为;反之,行为的结果及反馈又会强化或改变对环境的主观感知,甚至推动环境本身的调整与优化^[4]。这一互动循环深刻揭示了安全文化建设的系统性、过程性与实践性。

然而,交通建设工程特有的临时项目组织、多层分包结构、动态施工场景以及以农民工为主体的作业队伍^[5],使得安全行为难以持续规范^[6-7]。如何有效干预并引导“环境-感知-行为”这一互动链条向良性方向发展,构建一个既根植于行业特质又具备前瞻引领性的安全文化体系,并设计出科学、可行的实施路径,是当前理论研究和行业实践共同面临的核心课题^[8-12]。

为此,本研究旨在深度融合安全文化互动模型的理论精髓与交通建设工程的行业特征,系统构建一个以“治未病,智安全”为核心理念、以“四个一”工程为具体载体、以“三阶段”闭环为实施路径的交通建设工程安全文化体系。研究力图实现从理论框架到实践模式的贯通,不仅为项目安全管理提供一套理念前瞻、路径清晰、机制灵活的系统化解决方案,也为丰富和发展建设工程安全文化理论,推动行业安全治理模式从“被动合规”向“主动免疫”、从“技术管控”向“文化引领”的现代化转型,提供新的思路与实证依据。

1 安全文化互动模型

本研究的理论基础根植于安全文化互动模型,并将其与交通建设工程的独有组织与作业特征进行深度适配与融合。安全文化互动模型突破了将安全文化视为静态组

织特质的传统视角,转而将其理解为一个由“环境”“感知”与“行为”三大核心维度持续互动、共同演进的动态过程。其中,“环境”维度包含物理环境(如施工现场布局、技术设备条件)与管理系统(如安全规章制度、领导力示范与资源投入);“感知”维度指组织成员对安全环境的主观解读与集体心理感受,即安全氛围,具体体现为对管理层承诺、风险优先级、沟通有效性、团队支持等方面的共识;“行为”维度则是在特定环境与感知影响下,个体与群体所表现出的具体安全相关行动,如遵守规程、参与安全活动、报告隐患等。这三个维度并非线性因果,而是构成一个彼此塑造、循环反馈的互动网络,为解析复杂情境下的安全文化形成与作用机制提供了强有力的分析框架。

交通建设工程所呈现的鲜明行业特征,构成了应用该互动模型的特定情境与挑战。其一,在组织特征上,项目具有显著的临时性,由业主、设计、施工、监理等多方基于合同短期组建,组织边界模糊,文化融合难度大;复杂的合同链与分包结构易导致安全责任传递衰减与管理标准不一。其二,在环境特征上,工程呈线性分布,作业面动态延伸,露天作业受自然气候影响大,且集中于桥梁、隧道、高边坡等高危工序,物理风险复杂多变。其三,在行为特征上,一线作业人员尤其是农民工占比高、流动性强,其安全知识、风险意识与行为习惯差异显著,且在高强度、高压工期下,存在为赶进度而牺牲安全程序的潜在行为倾向。这些特征使得安全“环境”复杂且不稳定,员工“感知”易产生波动与隔阂,进而导致“行为”的不可控性与差异性凸显。

安全文化互动模型与交通建设工程特征之间具有高度的内在适配性。该模型的动态视角恰好回应了工程建设的临时性与动态性,其强调的互动机制则直面了多方参与带来的协调难题。具体而言,模型引导研究者与管理实践者关注:如何通过优化合同设计、明晰责任界面、统一管理标准来塑造稳定、一致的制度环境;如何利用技术手段改善物理环境以降低客观风险;如何通过持续的沟通、示范与投入来培育积极、一致的安全氛围(感知),尤其在不同意层级与单位之间弥合认知差距;以及如何通过针对性的培训、观察与反馈机制,有效引导和固化一线员工的安全行为。模型揭示的“环境塑造感知,感知驱动行为,行为反哺环境”的循环,为系统化干预提供了清晰的逻辑起点与作用路径。

将互动模型应用于交通建设工程安全文化体系构建,

其核心理论价值在于实现了从“要素管理”到“关系治理”的范式升级。传统安全管理往往侧重于对环境(更新设备、制定制度)或行为(培训、处罚)的孤立干预,容易忽视“感知”这一关键中介变量,且较少系统考虑三者间的联动关系。基于互动模型的体系构建,则要求必须进行系统性设计:体系的目标是引导三个维度形成相互增强的良性循环;体系的内容需全面涵盖并有机联结环境优化、氛围诊断与行为引导;体系的实施路径则必须是一个能够持续捕捉互动状态、并及时进行反馈调整的动态过程。这确保了文化建设不再是孤立的文化活动或宣传口号,而是深度嵌入项目管理肌理、能够响应动态变化的治理机制。

2 交通建设工程安全文化互动体系的构建

2.1 体系构建的核心理念:“治未病·智安全”

本研究构建的交通建设工程安全文化体系,以“治未病·智安全”为统领性核心理念。该理念的提出,是对传统工程安全管理范式的一次深刻反思与系统性升级,旨在实现从被动响应型管理向主动预防型治理的范式转型。它并非两个概念的简单并列,而是将中华优秀传统文化中“上工治未病”的哲学智慧,与当代以大数据、物联网、人工智能为代表的智能技术进行有机融合与创新性转化,共同构成了指导体系构建与实践的价值基石与方法论基础。这一理念强调,安全管理的终极目标不在于事故后的精湛处置,而在于通过文化浸润与技术赋能,在风险尚未形成或显化之前便实施有效干预,从而在根源上提升工程系统的本质安全水平。

“治未病”理念源于中医预防思想,其核心在于倡导一种前瞻性的风险治理观与系统化的韧性建构思维。在工程安全管理语境下,“治未病”超越了常规的隐患整改,它要求建立覆盖项目全生命周期、全参与方的风险前瞻性辨识、评估与预警机制。这包括对组织风险(如多方协调失效)、过程风险(如工艺转换疏漏)及行为风险(如习惯性违章)的深度洞察与系统性管控。其实践指向是构建并持续优化“风险分级管控与隐患排查治理”双重预防机制,将安全管理的资源与精力最大程度地投向风险链条的前端,通过制度设计、流程优化与文化引导,致力于阻断事故致因的累积与耦合,实现从源头上压缩事故发生的概率空间,体现了安全管理从“事后归因”向“事前归因”的深刻转变。

“智安全”理念则聚焦于利用现代信息技术重塑安全管理的过程与效能,是“治未病”思想在数字化时代的技术实现路径。它涵盖通过物联网传感器、智能视频分析、

北斗定位等技术,构建全域感知的“神经末梢”,实现对人、机、料、法、环等要素状态的实时、精确采集;利用大数据平台与云计算能力,对海量异构安全数据进行融合分析与深度挖掘,构建风险预测模型,实现从“经验判断”到“数据驱动决策”的跨越;借助建筑信息模型(BIM)、数字孪生、虚拟现实/增强现实(VR/AR)等技术,进行施工方案的安全模拟推演、高危作业的沉浸式培训与应急响应的数字化指挥。其本质是通过技术赋能,实现安全管理过程的透明化、决策的精准化与控制的智能化。

“治未病”与“智安全”之间构成了一种深刻的辩证统一与战略协同关系。“治未病”确立了安全文化体系的价值导向与战略目标,回答了“为何防”与“防什么”的根本性问题,为技术应用提供了顶层设计和价值尺度,防止技术应用陷入盲目或异化。而“智安全”则为“治未病”提供了强大的方法论工具与能力支撑,解决了“如何防”与“何以能防”的操作性难题,使前瞻性预防从理念倡导转化为可执行、可度量、可优化的具体实践。二者相互依存、相互促进:没有智能技术的深度赋能,系统性的“治未病”可能因信息滞后、手段不足而难以落地;缺乏“治未病”理念的战略引领,先进的“智安全”技术则可能沦为局部的效率工具,无法支撑整体安全治理格局的升级。

2.2 安全文化互动体系的总体框架

针对交通建设工程临时性强、多参与方协同、作业环境动态高风险以及人员流动性大、自主决策空间广等行业固有特征,本研究以安全文化互动模型为理论基石,构建了一个旨在破解组织碎片化、行为管控难等痛点的安全文化体系总体框架。该框架将安全文化视为一个在特定工程情境下,由“环境-感知-行为”三维持续互动、管理层与工人层双向塑造,以及业主、总包商、分包商等多方文化动态交融的复杂自适应系统。它超越了将文化视为静态宣传或固定制度的传统视角,强调通过体系化设计引导并利用这些互动关系,将临时性组织转化为具有共同安全价值观的“命运共同体”,从而为实现线性、动态工程场景下的本质安全提供系统性文化解决方案。

本框架的核心架构紧密对标并深度融合了安全文化互动模型的“环境、感知、行为”三个互动维度,并针对工程特点进行了具体化设计。在环境维度,体系着力应对工程现场线性分布、高风险作业集中且动态变化的挑战,通过构建“一个有氛围的安全环境文化”,将标准化安全标识、智能风险预警终端与沉浸式实训基地,沿着工程动线进行针对性布设,营造一个无处不在、即时反馈的物理

与数字混合场域，为行为提供直观的引导与约束。在感知维度，针对工人高流动性带来的认知不连续问题，体系通过“一套有体系的安全文化理念”和“一本有温度的安全文化读本”，以高度凝练且富有感染力的方式，持续、一致地向所有参与方传递“治未病·智安全”的风险预见理念与共同价值承诺，旨在快速塑造和巩固跨组织、跨工种的共享安全心智模式。在行为维度，面对作业行为多样化与自主决策空间大的现实，体系通过“一系列有特色的安全文化教育”及配套的激励约束机制，不仅训练标准化操作技能，更着重培养一线人员在复杂、非标情境下的风险辨识与安全决策能力，推动安全规范从被动遵守向主动应用的转变。

为克服临时性项目组织中常见的“管理断层”与“执行力衰减”，框架特别强化了管理层与工人层之间的双层行为互动机制的设计。一方面，管理层（包括项目业主、总包及分包管理人员）通过制度设计、资源保障，尤其是利用数字化工具进行透明化过程监管与精准赋能，履行“规则制定者”与“支持服务者”的角色。另一方面，通过建立“内生式”参与机制，如设立工人安全观察员、开展基于实际问题的“微创新”竞赛、搭建内训师（可由经验丰富的一线工人担任）分享平台，充分激活工人层的现场智慧与自治能力。这种双向、平等的互动，旨在将自上而下的管理要求与自下而上的实践经验相融合，在快速变化的施工现场形成即时反馈与调整的闭环，有效缩小政策规定与现场执行之间的差距。

框架的宏观运行机制深刻回应了交通建设工程多参与方、复杂合同关系的组织特征，构建了基于互动模型的业主、总包商、分包商三方安全文化动态交互与贡献机制。在此机制下，项目业主（或建设方）扮演“文化倡导者与平台搭建者”角色，负责确立核心理念框架、建立跨合同标段的协同共建平台与统一评估标准。总包商作为“文化整合与转化枢纽”，需将顶层文化要求深度融入其项目管理体系，并督导各分包商落实。各专业分包商则是“文化实践与创新源点”，在具体作业中践行文化要求，并贡献其细分领域的专业安全知识与实操经验。通过定期的联合巡查、跨标段案例工作坊、最佳实践共享会等制度化互动渠道，三方的安全管理资源、信息与文化实践得以持续交流、碰撞与融合，推动形成一种既统一于项目整体安全目标，又尊重各专业特色的“联盟型”安全文化，从而化解因合同分割带来的文化隔阂与管理壁垒。

综上所述，本研究构建的安全文化体系总体框架，

是一个植根于互动模型理论、深度契合交通建设工程行业特质、并具有强操作性的动态管理系统。它并非一套一成不变的固定程序，而是一个强调在“环境刺激-认知调整-行为反馈-多方互动”的循环中不断学习与演进的适应性框架。通过该框架的实施，有望在临时性、多主体的复杂工程环境中，培育出一种能够自我维系、持续优化且富有韧性的先进安全文化，从而为提升整个行业的安全治理能力与工程建设的高质量发展奠定坚实的文化基础。



图1 交通建设工程的安全文化体系的实施原则

2.3 交通建设工程安全文化互动体系建设的流程

交通建设工程的安全文化体系建设是一个系统化、分阶段推进的闭环管理过程，可划分为动员部署、推进实施与总结提升三大阶段。该流程以“安全文化建设年”为载体，旨在通过周期性的集中努力，将“治未病·智安全”的核心理念与“四个一”（一套理念、一本读本、一系列活动、一个氛围）的体系框架，从战略蓝图转化为全员的行为自觉与组织常态。整个过程强调顶层设计与基层实践的紧密结合，注重前期夯基垒台、中期全面发力与后期固化升华的有机衔接，确保文化建设活动方向明确、资源到位、全员参与并取得实效，从而为工程项目的本质安全与高质量发展注入持久的文化动力。

动员部署阶段：动员部署是体系建设的启动与准备环节，核心在于统一思想、构建组织保障并制定科学的行动纲领。本阶段首先成立由项目主要领导挂帅的专项领导小组，负责统筹协调；并通过深入的现状诊断与文化需求调研，精准把握项目安全文化的真实状态与员工期待。在此基础上，研究制定目标清晰、责任分明、节点明确的《“安全文化建设年”活动实施方案》，形成可执行的“施工图”。随后，召开高规格、广覆盖的动员部署大会，正式宣贯方案、解读理念、部署任务，从战略层面凝聚各参建方共识。同时，启动立体化宣传造势，营造浓厚氛围，并督促各参

建单位制定自身落实方案,确保顶层设计能有效转化为基层行动,为后续全面推进做好充分准备。

推进实施阶段:推进实施阶段是建设过程的主体与核心,任务在于全面、创新地落实“四个一”安全文化体系。此阶段通过多线并进的工程化方式展开:系统提炼并广泛宣贯以“治未病·智安全”为内核的完整理念体系,完成安全文化的品牌内核塑造与视觉符号转化。编撰并发行“有温度的安全文化读本”,使其成为融合事理情的文化传承核心载体与培训教材。策划并开展一系列分层分类、形式新颖的特色安全教育活动,如技能比武、应急演练、微课堂等,构建动态教育矩阵。同步推进“有氛围的安全环境文化”建设,通过标准化布设实体阵地与数字化信息推送,实现物理与数字空间的双重浸润。整个过程辅以严格的月度或季度督导与闭环管理,确保各项任务协同推进、取得实效。

总结提升阶段:总结提升阶段是对全年建设活动的系统复盘、成果升华与长效化设计。本阶段首先开展全面的成果梳理与资料固化,建立完整的数字化过程档案。随后,实施多维度、定性定量相结合的效果评估,重点分析“四个一”体系的落地程度、理念转化为行为的效率以及各项活动的实际成效,客观识别优势与短板。基于评估结果,组织召开经验总结研讨会,一方面提炼可复制推广的“最佳实践”形成案例集,另一方面深度诊断问题根源形成改进清单。总结的最终目的在于驱动持续改进,即依据诊断结论,针对性制定下一年度的提升计划与具体行动项,并将经实践检验有效的优秀做法,通过修订制度、优化流程等方式纳入项目常态化安全管理体系,推动安全文化从“项目活动”向“管理基因”深刻转变。

3 实施实证研究:以乍嘉苏高速公路改扩建工程为例

为验证基于安全文化互动体系的科学性与实效性,选取乍嘉苏高速公路改扩建工程南湖互通至浙苏界段作为实证对象。该项目具有交通建设工程的典型特征:其组织具有显著的临时性与多参与方性,涉及业主、设计、多家施工及监理单位,合同关系复杂;工程环境呈线性分布,作业面动态推进,且包含桥梁拼接、跨线施工等高危工序;一线作业人员流动性大,行为自主性强,传统管理模式下安全协同与文化塑造面临挑战。这些特征恰好构成了检验安全文化互动模型适用性与体系有效性的现实场域。

实证研究紧密围绕互动模型展开系统性干预。首先对项目初始安全文化状态进行了基线诊断,评估了管理层与

工人层在安全价值观、风险感知、沟通效果等维度的差异,量化了安全氛围的初始水平。在此基础上,依据构建的体系框架,实施了以“四个一”工程为核心载体的安全文化建设。具体而言:通过提炼并视觉化宣贯“治未病·智安全”理念,重塑统一的精神环境与符号系统;通过编撰有温度的安全读本与开展特色教育活动,针对性改善不同层级员工的安全感知,特别是强化工人对管理承诺的信任与自身安全的掌控感;通过营造沉浸式安全环境与推行行为安全观察,直接引导和规范作业行为。整个过程特别注重设计管理层与工人层之间的双向互动环节,如领导带班检查与工人安全座谈会,以促进认知对齐。

实证研究着重考察了业主、总包商、分包商三方在安全文化建设中的动态交互机制与贡献演变。项目指挥部发挥了核心引领作用,通过将安全文化要求纳入招标合同、建立跨单位协调例会制度、搭建共享的数字管理平台,主动塑造了有利于文化融合的顶层制度环境。总包商则在整合其下属分包商资源、统一现场管理标准、传导安全压力方面扮演了关键枢纽角色,其安全管理的资源投入与示范行为显著影响分包单位的感知与行为。各分包商作为文化落地的最终执行单元,其响应程度与创新能力(如班组安全学习)则直接决定了文化在作业层的渗透深度。研究发现,在三方互动中,清晰的责任契约、定期的绩效反馈与正向的激励联盟,能够有效推动安全文化从业主的“要求”逐步演变为总包的“标准”,并最终转化为分包及工人的“习惯”,实现了文化的纵向传递与横向扩散。

数据显示,项目在实施周期内,隐患自查自纠率明显提高,不安全行为显著下降,“工友支持”“指导环境”等安全氛围指标呈现积极增长。定性访谈与观察表明,管理层与工人层的安全沟通更为频繁有效,工人主动报告隐患、参与安全改进的意愿增强。这表明,通过体系化干预,“环境-感知-行为”的良性互动循环得以初步建立,三方动态交互机制促进了安全文化的正向演变。实证结果验证了所构建的体系能够有效响应交通建设工程的复杂特性,并为提升项目整体安全治理能力提供了可复制的实践路径。

4 结论

本研究围绕交通建设工程安全管理的现实挑战与理论需求,以安全文化互动模型为理论基石,系统构建并实证检验了一套基于安全文化互动模型的安全文化体系与实施路径。主要研究结论概括如下:

(1) 安全文化互动模型对于剖析和指导交通建设工程安全文化建设具有高度适配性与理论优越性。模型所强

调的“环境-感知-行为”三维动态互动关系，精准地揭示了在临时性、多参与方、动态高风险的项目组织中，安全文化形成与演化的内在机理。通过将模型的普遍原理与交通建设工程的组织特征、环境特征及行为特征深度融合，研究成功地将抽象的理论框架，转化为能够具体引导实践的系统设计逻辑，实现了从“关系治理”视角对传统“要素管理”范式的超越。

(2) 交通建设工程安全文化互动体系具有显著的应用效能。该体系以“治未病·智安全”为核心理念、以“四个一”工程为关键载体、涵盖理念层、制度层、行为层与物态层的安全文化互动体系总体框架。该框架不仅系统回应了工程现场线性分布、人员流动、行为多样等固有挑战，更通过设计管理层与工人层之间的双层互动机制、以及业主-总包-分包三方动态交互机制，为在临时项目组织中快速形成安全共识、实现文化融合与责任共担，提供了切实可行的解决方案。

(3) 交通建设工程安全文化互动体系建设可分为动员部署、推进实施与总结提升 3 个阶段。该流程将宏观体系框架分解为可计划、可执行、可评估的阶段性任务，并特别强调在每一阶段都融入互动思维，通过诊断反馈、活动设计、过程督导与成果固化，确保文化理念能够穿透组织层级与合同边界，最终实现从战略蓝图到全员行为自觉、从年度活动到长效管理基因的深刻转化。

[参考文献]

- [1] 杨日华. 基于侥幸心理和省能心理的安全管理模型构建及应用研究[J]. 中文科技期刊数据库(文摘版)社会科学, 2024(8):9-12.
- [2] 关沛昕, 赵晓霜, 李虹彦, 等. 基于瑞士奶酪模型的患者安全链式管理体系研究[J]. 中国卫生质量管理, 2025, 32(1):47-52.

- [3] 崔义, 刘振宇, 闫寿庆, 等. 基于 24Model 的煤炭企业安全文化提升实践研究[J]. 煤矿安全, 2024(2):055.
- [4] 李震, 侯羽, 王鹏飞. 基于“2-4”模型的车辆伤害事故行为原因研究[J]. 工业安全与环保, 2024, 50(11):67-70.
- [5] 胡艳. 安庆: 打牢道路交通安全文化建设基础[J]. 道路交通管理, 2024(2):70-71.
- [6] 罗凯. 落实安全责任, 培育安全文化, 用安全生产标准化建设助力企业高质量发展[J]. 机电安全, 2025(5):3-9.
- [7] 杭福兵. 培育特色安全文化 提升本质安全水平——常州公交特色安全文化建设路径探索[J]. 城市公共交通, 2024(3):19-20.
- [8] 谢来坤, 吴凌风, 苗原. “135”安全管理模式在高速公路项目建设中的实践探讨[J]. 西部交通科技, 2025(8):231-233.
- [9] 刘林, 丛浩哲, 乔一泓. 与中华优秀传统文化结合的道路交通安全文化作品分析及创作建议[J]. 汽车与安全, 2024(2):56-62.
- [10] Santos L C P , Perkins N , Goodwin W .Hospital safety culture in Australia: a nationwide survey using a safety attitude questionnaire[J]. Australian Veterinary Journal, 2025(10):103.
- [11] Cantrill S .A bloody disgrace — time to change patient safety culture[J]. Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology, 2024, 21(8):1.
- [12] Miguez Ferreira I C , Zanin L M , Prates C B , et al. Design thinking: An effective strategy to evolve food safety culture?[J]. Food Control, 2025(1):171.

作者简介: 王礼圣(1969—), 男, 高级工程师, 从事高速公路、水利工程的设计、科技创新及项目管理等方面的研究工作。

岩土工程勘察与设计发展趋势研究

黄彦刚 王培*

河北建研建筑设计有限公司, 河北 石家庄 050000

[摘要]岩土工程勘察设计是建设工程的前提条件,其是否合理关系到整个工程的安全性,经济性和耐久性等。当前伴随着工程项目越来越大以及地质构造越发复杂,传统的勘察及设计手段存在着精确度低,信息碎片化、风险难把控等问题,而智能、数字、信息化方式比如大数据、AI、BIM等让获取的数据更加容易被分析计算,设计出来的方案更加合理可行,风险评估和防范能力大大提升,不仅可以减少工程的风险与成本,还可以保护环境,做到工程建设与生态环境和谐统一,对于提高工程建设项目水平有着很大意义。

[关键词]岩土工程;工程勘察;工程设计;发展趋势

DOI: 10.33142/ec.v8i12.18771

中图分类号: U463.8

文献标识码: A

Research on the Development Trend of Geotechnical Engineering Survey and Design

HUANG Yangang, WANG Pei*

Hebei Jianyan Architectural Design Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: Geotechnical engineering survey and design are prerequisites for construction projects, and their rationality is related to the safety, economy, and durability of the entire project. With the increasing size of engineering projects and the complexity of geological structures, traditional survey and design methods have problems such as low accuracy, fragmented information, and difficult risk control. However, intelligent, digital, and information-based methods such as big data, AI, BIM, etc. make the obtained data easier to analyze and calculate, and the designed solutions are more reasonable and feasible. The risk assessment and prevention capabilities are greatly improved, which can not only reduce the risks and costs of engineering, but also protect the environment, achieve harmonious unity between engineering construction and ecological environment, and have great significance for improving the level of engineering construction projects.

Keywords: geotechnical engineering; engineering survey; engineering design; development trend

引言

伴随着当代建设工程体量越来越大、地质环境条件越来越复杂、对于工程的安全性能、经济效益和可持续性发展的需求越来越高,岩土工程勘察设计正在向高度智慧化、数字化、信息化、绿色化的方向发展。这种发展趋势既依靠着先进的科学技术,又注重科学决策与全过程管理的紧密结合。在勘察过程中,智能钻探装置、自动检测仪器和传感器网络的应用,可让土层情况、地下水状态、沉降量等重要指标得以及时连续准确地获取,以保障设计所需原始数据的可靠性;并且人工智能与大数据处理方法的应用可以处理大量勘察资料,用于判识潜在危险源、预测地质环境状况并制定施工策略,进而增强设计决策的可信度与预见性。在设计方面,信息整合与BIM技术的普遍应用让地质结构、设计方案、施工流程、周边环

境等因素可以在一个平台上做到可视化管理和跨领域协作,直观反映复杂的地质环境和工程方案,统筹调配各项资源,规避建设中的安全问题,进而提升整个工程的执行率和经济效益。并且“绿色”“可持续”的理念也开始贯穿于岩土工程勘察与设计之中,倡导对环境的保护、对资源的有效利用和施工过程的绿色发展,让工程建设既满足当前的功能和安全要求,又能保证良好的环境效果和社会效益。

1 岩土工程勘察与设计的重要性

岩土工程勘察与设计是建设工程的基础工作,在保证工程的安全,设计与经济效益等方面都起着重要作用。通过充分的勘察,可以明确地质情况,避免因地基不稳定、滑坡、塌陷等地质问题造成重大事故的发生,保证构筑物在其使用年限的安全和可靠;另外,勘察结果是进行工程

设计的重要依据,可以使得设计不偏不倚,合理采取基础类型、布置结构,节省投资并减少后续维修开支。在环境保护及风险管理上,勘察能发现存在的地质灾害隐患例如岩溶、地震液化等以及给出预防措施,还可以分析建筑工程对于地质环境造成的不利影响从而做到保护环境和工程的共赢。此外,详实的勘察报告能减少施工中不确定因素的发生概率,避免了由于地质条件复杂而造成的时间拖延和追加费用,为整个项目按时按质完成提供了有利条件,展示了岩土勘察设计在整个建筑行业的作用和不可或缺的地位。

2 岩土工程勘察的发展现状与问题

岩土工程勘察作为工程建设项目的重要前期准备工作,目前发展虽然有所进步,在实际应用中还存在不少问题。传统的勘察方式依靠人力进行操作与判断,信息采集速度慢、采集结果不准确,不能适应当前复杂的工程项目对精确度与稳定性的要求。而且勘测过程中数据繁杂,种类较多。有土层特性、地下水、地层构造还有环境观察等。但是现在的管理及处理手段比较单一还达不到规范化的要求,信息之间相互孤立很难实现综合性数据分析与利用^[1],并且勘查出来的结果也不能很好的与设计施工相联系起来,中间会缺失掉一些数据或者产生歧义进而影响后期的设计和施工方案的选择。对恶劣地质环境风险评估不足,特别是一些特殊土地区或者地质构造复杂的地带勘探准确性稍差会造成安全隐患。

3 岩土工程设计的发展现状与问题

岩土工程设计是把勘察成果转化为施工方案的关键步骤。虽然设计现状随着技术水平的发展有所好转,但依然存在问题。传统的设计手段对复杂地质情况的应对能力较弱,设计过程以经验公式与简化模型为主,不能很好地体现土体不均匀性、地下水变动状况以及岩土体力学指标的空间变异性,容易使得设计方案在实施时出现者隐患。而且勘察资料与设计数据之间的衔接不够完善,有些勘察数据在设计中没能被利用起来,造成了信息的损失或是误差的累积,降低了设计方案的合理度和准确度。进而对基坑稳定性、边坡位移、建筑物沉降量以及周围环境影响等无法做出良好判断,导致施工过程中产生隐患。随着大规模建设项目及城市地下空间利用率的增加,对岩土工程设计的要求也日益提高,在建筑物结构优化及施工适应性与经济成本等方面提出了更高的标准,但是现阶段的设计方式还不足以做到有效整合大量信息并且缺乏智能化手段,对复杂环境的反馈不够迅速。

4 提升岩土工程勘察与设计效率的科学性措施

提高岩土工程勘察、设计效率水平及合理性,是保证工程建设质量、保障施工安全、节约建设资源的重要步骤。首先,在勘探阶段合理地制定勘探区域、勘探深度等,根据建设工程体量大小,地质条件复杂程度以及施工需求,合理采取不同方式的勘探手段,例如:钻探、现场试验、物探等方法,获得准确全面有效的信息资料,并保持数据之间具备可比性;并对所收集到的信息进行有效整理与统筹,通过统一数据库的形式对地质资料进行汇总储存,并通过统一的方式进行整理统计,并利用图表、图像等形式进行展示,为后续设计工作提供有效的依据。其次在设计部分,则应当充分利用勘探结果,并结合应用 BIM、3D 建模以及信息化设计系统将其转化为具体的设计参数,提升设计准确性以及实际可执行度。同时推广应用智能化方法应用于整个勘测设计过程,自动化的钻探作业、及时的监控检测、数据分析以及风险预警系统,能够及时发现问题、修正设计、辅助决策判断^[2]。此外,应注重跨学科协作,综合考虑岩土、结构、施工、环境等各方面因素,进行科学合理的优化设计,从而保障施工建设的安全性。

5 岩土工程勘察与设计的发展趋势

5.1 智能化与数字化技术应用趋势

鉴于目前大型项目不断增加以及施工环境越来越复杂的情况,岩土工程勘察与设计向智能化和数字化方向深入发展,这不仅是对传统方式的转变,更是对工程整体进度、质量和安全有了很大提升,其智能技术的应用,使得勘察设备以及施工系统变得更加自动化与实时监控,如智能化的钻探设备可以根据不同的土质情况,不同孔径大小以及地下水情况自行调节钻进速度和力度以保证勘探数据准确性及连贯性,同时布置好的传感器可以随时对土体应力、沉降、位移和地下水位等重要参数进行测量,从而对施工过程进行实时监控、检测地质变化;而数字技术的应用则是推进了岩土工程勘察数据、地质资料和设计文档的全寿命周期管理,形成了数据共享中心和岩土三维数字化模型,让设计师在复杂的地质情况下能够建立准确的地质模型、并进行风险预估做出最优方案的选择。另外,基于人工智能算法的研究,更使得设计人员能够迅速处理大量勘察数据,判断出风险所在并且能够设计出不同的施工方案,使得其选择更加合理,具有预见性。与此同时,岩土勘察设计的智能化和数字化使得不同领域的合作更加密切,包括岩土、结构、环境和现场管理等方面的相互协作,让设计过程更为全面和精细,有效减少施工中可能

存在的危险以及节省成本^[3]。

5.2 信息集成与 BIM 技术在勘察与设计中的应用

当前,在当代岩土工程勘测设计中,信息整合与 BIM 技术的应用已经成为优化工程工期、准确度、协调性等方面的关键措施。依托 BIM 模型的三维可视化、集成化、协同化的功能特点,可把整个工程中的勘测数据、地质模型、设计图纸、施工方案有效的结合起来,形成勘测-设计-施工全生命周期的信息链环,让各个环节之间可以互相调取并且实时更新信息,避免在传输时产生失误或滞留。借助 BIM 平台,岩土工程师可以把复杂地层、土质分布、地下水资源和建筑荷载等多项信息融合起来,形象生动的表达出来,再配合施工仿真、危险评估、费用预算等手段,进行精确化的设计以及合理化抉择。而信息整合除了可以使勘测设计的数据规范化,条理清晰之外,对于多学科的合作也非常有利,比如岩土、建筑、环境等专业的技术人员可以在同一个虚拟环境下共同工作,对设计方案进行优化,找出可能出现的风险或者调整部分参数。BIM 技术和信息整合技术的高度融合还可以用于施工现场的实时检测和回馈,可以即时将现场测试信息同设计模型进行比照,一旦有偏差即刻做出修改,保证了工程建设的安全稳定和施工人员操作的安全可靠。另外,伴随着大数据技术和云科技的进步, BIM 软件也可以实现勘测和设计历史资料的汇总与智能处理,为以后相似的项目提供借鉴,促进岩土工程勘测设计更进一步向信息化、自动化和精细化发展,使其更加合理化、快捷高效以及绿色环保。

5.3 大数据与人工智能辅助决策的发展

伴随着岩土工程项目的投资体量越来越大、施工环境越来越复杂,大数据与人工智能的应用也越来越广泛地应用于勘察与设计领域中来,成为增强工程决策科学性、准确性与工作效率的有效措施。基于大数据技术,可将历史勘察信息、施工监测信息、地质灾害事件以及环境条件等全面采集储存并对其中数据加以统计分析,建立大规模、全口径地质数据库,作为工程设计中重要的参考借鉴与数据支撑。借助人工智能技术,可以实现相关信息智能化的分析研究,比如基于机器学习技术对复杂地质状况下的土体物理学属性进行研判,对施工期间地下水流变化方向做出预测,发现可能产生的问题等,为设计方案比选、施工方法决策提供科学指导^[4]。大数据与人工智能技术的协同应用,使勘察设计环节能够对多源信息进行多层次、全方位的分析,快速识别潜在隐患,模拟各施工方案的成本

效益,并提出优化建议,从而显著提高决策的精确性与前瞻性。大数据加人工智能技术相互配合,使得勘察设计环节能够针对多种来源的信息展开多层次、全方位的研究分析,迅速捕捉到潜在隐患、模拟各施工方案的成本效益情况并提出改进意见,极大地提升了决策的精确度与预见性。同时运用这一先进技术也提高了岩土工程设计对复杂地质条件的适应力,在此基础上加强了勘察结果、设计方案与现场施工之间的密切联系和实时互动,构建起全流程信息化管理体系。

5.4 绿色与可持续设计理念的推广

伴随社会对于环境保护以及可持续发展意识的日益提升,在岩土工程勘察、设计中应用绿色可持续的设计思维是行业发展的必然方向。该设计思维倡导从整个工程建设周期综合分析环境因素、资源利用效率和社会效益,兼顾生态保护和工程建设。在勘察过程中绿色设计思维让设计人员更多的注重对土壤及地下水资源的保护,选择合理的勘探点和钻孔深度,尽可能的减少对周围生态系统的影响,选用能耗低、污染小的勘探设备,使整个勘探过程更加环保;在设计过程中可持续设计思维提倡合理利用地质和自然资源,选择最优结构形式,优化地基处理方法,改进施工工艺,节约建筑材料,节省能源消耗,使工程既经济又具有较好的环境相容性。同时绿色设计也注重风险管控及后期运行的持续性,例如准确计算地基沉降量、预测边坡稳定状况,以减少施工过程中以及日后使用时对于周围生态环境以及邻近建筑等的危害;随着 BIM、数字孪生、大数据等新技术的应用,设计师可以在设计阶段对环境因素加以模拟及评价以达到对生态环境的优化以及低碳节能的要求。

6 结语

岩土工程勘察设计是整个工程项目的灵魂,其技术水平的高低决定了工程的安全性、经济性和可持续性。当前工程项目越来越大、地质条件越来越复杂的情况下已不能适应高精度、高效率、高可靠性的发展趋势,而智能、数字、信息及绿色低碳的理念在岩土工程勘察设计中的运用为其注入了新鲜血液。大数据、人工智能、BIM 以及物联网等现代信息技术的应用,在岩土工程勘察设计中实现了对勘察信息的精准获取与分析,对方案的有效设计,对施工进度精细把控,从而增强了对风险的认知与规避能力。预计在未来技术更新迭代的同时工程管理水平也在逐步提高。未来岩土工程勘察设计将会越来越合理智能高效,向高质量、精细化、智能化方向发展的同时做到绿色环保

节能,为超大复杂的工程项目的建设安全、经济可行且可持续发展保驾护航。

[参考文献]

- [1]童震寰.岩土工程勘察设计常见问题与对策研究[J].中国住宅设施,2023(2):157-159.
- [2]汪悦.浅谈岩土工程勘察设计一体化模式的发展[J].中国住宅设施,2019(5):48-49.
- [3]潘培雄.新时期岩土工程勘察设计的相关探究[J].中国住宅设施,2024(9):58-60.
- [4]杨飞燕.基于 BIM 的岩土工程勘察地基基础设计研究[J].石材,2025(11):83-85.

作者简介:黄彦刚(1987.12—),毕业院校:河北工业大学,所学专业:岩土工程,当前就职单位:河北建研建筑设计有限公司,职务:职员,职称级别:高级工程师;*
通讯作者:王培(1986.10—),毕业院校:石家庄经济学院,所学专业:勘查技术与工程,当前就职单位:河北建研建筑设计有限公司,职务:岩土设计,职称级别:高级工程师。

绞吸挖泥船疏浚能力提升的技术路径与实践分析

李焕章

长江南京航道工程局, 江苏 南京 211800

[摘要]绞吸挖泥船是当前水利疏浚、港航建设以及河道治理等工程中主要使用的设备之一, 而它的挖掘性能好坏则直接影响着整个施工项目的工期长短、费用多少乃至施工的安全性能。面对日益增加的疏浚项目体量以及愈加复杂的施工条件, 依靠人工操作与个人经验的传统疏浚方式越来越无法适应现代化建设所需要的高标准作业速率、精准度以及低耗能的要求。围绕着如何提高绞吸挖泥船的挖掘性能这个课题进行探究, 了解并梳理挖掘性能所涵盖的内容及其评估方法, 进而分析挖掘性能的影响因素, 据此再针对装置升级、参数调控, 智能化技术等方面给出具体的实现手段, 并在此基础上整合系统, 构建整体优化方案并制定配套措施。结论能够为提高绞吸式挖泥船工作效率及相关工程建设提供技术支持。

[关键词]绞吸挖泥船; 疏浚作业; 技术路径

DOI: 10.33142/ec.v8i12.18777

中图分类号: TP391.9

文献标识码: A

Technical Path and Practical Analysis of Improving Dredging Capacity of Cutter Suction Dredger

LI Huanzhang

Changjiang Nanjing Waterway Engineering Bureau, Nanjing, Jiangsu, 211800, China

Abstract: The cutter suction dredger is one of the main equipment used in current water conservancy dredging, port and waterway construction, and river management projects. Its excavation performance directly affects the duration, cost, and safety performance of the entire construction project. Faced with the increasing volume of dredging projects and increasingly complex construction conditions, traditional dredging methods relying on manual operation and personal experience are increasingly unable to meet the high standard operating speed, accuracy, and low energy consumption requirements of modern construction. Exploring the topic of how to improve the excavation performance of cutter suction dredgers, understanding and sorting out the content and evaluation methods covered by excavation performance, analyzing the influencing factors of excavation performance, and providing specific implementation methods for device upgrades, parameter regulation, intelligent technology, etc. Based on this, the system is integrated, an overall optimization plan is constructed, and supporting measures are formulated. The conclusion can provide technical support for improving the efficiency of cutter suction dredgers and related engineering construction.

Keywords: cutter suction dredger; dredging operation; technical pathway

引言

由于绞吸挖泥船具有适用范围广泛、连续生产性好等特点, 被广泛应用于沿海港口航道的疏浚以及河流治理、水利建设等方面。随着疏浚项目朝着规模化、深水化以及高精度的方向转变, 施工的土质及作业海况变得越来越复杂, 挖泥船必须具备更好的挖掘性能和更高的可靠性以应对复杂的工况。对于绞吸式挖泥船而言, 挖掘性能不仅仅指每小时所挖掘并输送的数量, 还包括了机组间的配套程度、作业可靠性以及功率匹配情况等诸多因素。如何使其在恶劣的施工环境下保持较高的挖掘性能已经成为现代绞吸式挖泥船的技术难题之一。因此需要通过系统的思

维厘清影响绞吸式挖泥船挖掘性能的因素及其提高的方法。

1 绞吸挖泥船疏浚能力的内涵及评价体系

绞吸挖泥船疏浚能力是在某种作业工况下挖泥船利用绞刀切割、泥泵吸取、管线输送等一系列持续工作环节所能实现的整体作业效能。其既体现了设备的瞬时工作效率, 也是对包括设备稳定持续工作的能力和应对复杂土层环境的能力在内的整个系统的综合素质体现。而从设备的应用角度来看, 疏浚能力应是综合考量了单位时间内疏浚土方量、泥浆固液比、机器稳定性和能耗情况等多个因素指标后的结果, 一个合理有效的评估方法可以完整反映挖

泥船的工作状况,为机器的技术升级和运转调节方案提供参考。而在具体的工程实践中,疏浚能力往往是多个工作参数相互制约的结果,且评价结果具有显著的工况依赖特点,在研究中需要基于同一技术背景加以考察。

2 绞吸挖泥船疏浚能力的关键影响因素分析

2.1 土质条件和施工环境

土质等级是选择绞吸挖泥船的首要依据。淤泥、砂土等软质土层适合标准绞吸船;而硬质土、岩石则需配备冲击式绞刀或挖岩绞刀。泥层厚度和均匀性影响绞刀切削深度与横移速度。若泥层过厚,需分层开挖以避免绞刀过载;若泥层过薄,则需调整横移速度以防止漏挖。施工环境是疏浚能力的外部挑战。水深、风浪、流速、气温、通航干扰、障碍物等决定绞吸挖泥船的适应性。水深决定绞刀的切削角度;涌浪会导致船体晃动,增加绞刀头撞击河床的风险;流速影响船舶偏移和横移锚抓底效果;低温可能导致泥浆结冰,高温则影响设备散热;繁忙航道需频繁避让,缩短有效施工时间;水下电缆、沉船等需提前探测并标记,施工时绕行或采用精准开挖技术。

2.2 绞刀系统结构与切削性能影响因素

绞刀装置是绞吸式挖泥船实现挖掘工作的主要部件,不同的绞刀功率、绞刀构造及切割能力直接影响着碎土的效果、切削时的进尺情况及后续的输送状况。合适的绞刀功率、绞刀构型可以更好地适应不同的地质环境,在不断均匀作用下对泥土进行切割搅动,节省单位体积内泥土所需消耗的能量,减少无用功的产生与能量损耗。而在实际工作中,绞刀的功率、转速、刀齿布设样式与数量、刀齿切割角度及所选用材质的抗磨等级等都会影响其切割效率。过快的转速会导致泥土扰动严重并加大能耗,过低的速度则会造成挖掘不完全,致使入土困难。此外若刀齿排位不当或者材料耐磨性能不佳,则容易出现局部磨损严重,随之带来切割效率降低等情况。一旦发生绞刀形状不适合地层的情况,则会经常面临到切割阻力大、负荷变动剧烈等问题,从而限制整船的产量水平。因此,针对绞刀装置的构造特点及切割原理与其所对应的地质情形之间的契合程度进行有针对性的研究和改进也是提高绞吸式挖泥船产能的前提步骤。

2.3 泥泵性能与输送系统匹配因素

泥泵与输送系统负责把挖掘切割下来的泥浆从工作点运输到排出处或者沉淀区,泥泵及输送系统的性能好决定了绞吸挖泥船是否能连续、稳定地工作,同时也关系到整艘船舶的工作效率。泥泵的相关参数(如功率、

流量、排距、扬程、吸入性能、耐磨蚀性)必须与所处的绞吸式疏浚环境相适应,才能使泥浆在管路内顺畅流过而不致停滞及波动。在具体施工过程中,一旦选择的泥泵动力不够或者整个泥泵、管路系统配置不当,就会出现输送功率低、管道阻塞、局部磨损严重甚至泥泵超载等情况,导致疏浚作业时断时续、机器故障频发。输送系统的设计除需考虑泥泵与管道的直径大小、管道的长短与弯头的数量多少、沿程阻力损失等参数要考虑之外还必须综合考虑泥浆的浓度,粒度大小以及含水率等条件来相互配合,降低系统的能耗及运行阻力,泥泵装置与输送管线之间的联合调节对节省能源、提高使用寿命和保持系统正常作业都起着举足轻重的作用,在复杂的流态环境中远距离的输送情况下合理匹配并协调控制好泥泵的各项性能指标与输送系统参数的关系,对于发挥出最大的疏浚生产力、提高整个绞吸挖泥船的生产速率有着至关重要的影响。

2.4 船舶定位与作业稳定性因素

绞吸式挖泥船工作时,必须维持一定的船位和作业状态,才能够保证绞刀挖泥及泥浆吸取过程的连贯性,而定位系统直接决定了挖泥船对其作业地段的掌控效果。如果不能有效控制好船位,那么很可能出现由于绞刀挖泥轨迹发生偏离而导致的生产效率下降以及施工质量降低的情况;尤其是在具有复杂流速或者水较深的情况下进行作业的过程中,船舶稳定性的好坏也成为了影响其疏浚性能的关键因素。所以想让船舶有持久稳定的生产能力,就必须要有准确的定位与可靠的稳定性作为支撑。

2.5 作业参数与施工组织因素

绞吸挖泥船的挖掘过程其实是多个参数共同作用的结果,绞刀转速、下切深度、吸入流量等参数组合的优化与否与绞吸船的生产能力有着非常大的关系。此外,在具体施工过程中,如何合理有序地组织工作也是影响其工作效率的重要因素。若挖泥工作中前后工序衔接不当或者相关参数调节不够及时,都会导致机器空耗或者负荷起伏很大的情况发生,而合理的作业参数以及良好的施工组织则可以使得机器充分发“挥”出自己的工作效率,减少不必要的消耗,从而提升自身的疏浚生产力。由此可见,从运营方面对各操作参数及施工组织加以改进是非常有必要的。

3 绞吸挖泥船疏浚能力提升的主要技术路径

3.1 绞刀结构优化与切削效率提升技术

面对不同地层条件下提出的绞刀切割要求,在绞刀

结构的设计上加以改进,可极大地提高其切割效率,增加系统的作业可靠性。对于硬质土与岩石,可设计液压冲击式绞刀与高强度合金挖岩绞刀,通过脉冲破碎与旋转切削协同作业,提升破岩效率;针对软质土层,采用可变切削角绞刀,通过液压调节装置实时调整切削角度,优化切削力分布。实践中,适当调节刀齿排列组合形式、所处位置的倾斜度及齿顶距离等参数,能够有效地削减切割阻力,使土壤粉碎更均匀,促进泥浆化成型,避免不必要的局部淤塞及能耗损失。另外,作为直接影响切削效率的因素之一,绞刀的物料磨损耐受性、机械结构强度都至关重要,应用高性能耐磨合金或表面硬化技术手段等方法以期提升刀齿使用寿命,延缓时间推移带来的切割性能退化;同时优化生产加工工艺,比如严格规范刀间距尺寸、刀片体刚度、动态平衡性等方面,减少工作中出现的震动幅度和局部应力点分布,保证绞刀在长时间的高负载、高强度磨损状况下的连续稳定作业。在复杂的地层情况或者海洋深处的工作环境下,结构与材料相配合的优化设计能让整个绞刀系统保持良好的高效、可靠的切割特性,成为整艘绞吸式挖泥船挖掘实力增强的强大支持与基础条件,也为后期泥泵传输和系统整合提供了有力支撑。同时,集成智能分层开挖控制系统,利用激光扫描与超声波测厚技术实时监测泥层厚度,自动匹配切削深度与横移速度,避免过载或漏挖。例如,在泥层厚度突变区域,系统可动态调整绞刀转速与泵吸流量,确保施工连续性。

3.2 泥泵与管路系统协同优化技术

泥泵与管路系统的联合优化,是提高绞吸挖泥船挖掘生产能力的重要技术措施之一,其本质在于追求泵的性能与输送管道特性之间的最佳匹配。具体来讲,在使用时首先要依据开挖深度和输送距离,以及泥浆的颗粒大小、浓度等情况来科学选用泥浆泵的类型及其容量,以保证所使用的泥泵的排量和扬程能满足具体的工况要求;同时,对于输泥管线的铺设方式也是非常重要的因素,比如管线的直径、线路长度、弯头数量,以及整个管线的高度分布等,这些都是影响泥浆输送阻力大小和系统压力损耗情况的主要原因,进而决定了泥浆能否顺利通过管线输送出去。而通过联合优化的方式,在此基础上结合在线检测的数据及时对泥泵的工作状况(如转速等)加以调节,使得泵一直保持高效率的工作状态,则可以最大程度地防止出现因排量不够或者系统压力太大而导致的送泥管道堵塞和局部磨损,以及不必要的能量损失;并且这样的联合优化措

施,一方面可以在泵、管的选择和工作参数方面相互配合获得更大的泥浆排出率,另一方面也减少了整个系统的能耗并提高了机器使用寿命,这样不仅改善了生产效益,而且优化了经济性能,从而能更好地保证了绞吸式挖泥船持续高效的生产作业。

3.3 作业参数优化与工况自适应控制技术

施工参数优化是对挖掘能力的一种有效的提升方式,也是保障高效、持续施工的基础条件。通过对绞刀转速、下切深度、下切速度、吸入流量、泥浆浓度等一系列主要参数进行合理搭配,在不同的地质情况和流速的情况下,都可以达到最佳工作状态,进而确保了单位时间内最大的挖掘量和泥浆运输效率。引入工况自适应控制策略之后,整套挖泥船系统就可以根据即时检测反馈结果对相关参数实施调节,自动适应土层变化、流体扰动和机器负荷改变等情况,使得机器总运行在高效、稳定的模式之下。这种智能化控制方式减少了人为操控失误的可能,避免了单纯依靠经验的不足,并大幅提高了设备工作的连续性和可靠性。对于远距离或者深水航道疏浚来讲,自适应调节参数可以克服复杂地质环境下挖掘阻力、泥浆管路输运阻力的变动问题,保障整个系统的能量使用效率,并且还能降低机器磨损程度,增加使用寿命,提高了整个工作过程的速度与经济价值。参数选择优化加上自适应策略的应用,可以使绞吸式挖泥船无论在什么情况下都能够高效地工作,真正意义上挖掘出最大化的挖掘潜能。

3.4 智能化监测与自动控制技术

智能检测和自动控制系统的使用,为绞吸式挖泥船挖掘能力增强带来了新的技术支持和安全保障措施。对绞刀部分、泥泵、管路以及船上定位仪器等重要部件安装不同类型传感器,在工作中可获取作业参数、机器状况和周围环境等参数信息如泥浆流速与压力、土质、船舶姿态和震动。这些现场获得的数据不仅能显示机械状态,还能用于预测可能发生的故障并提前对其进行维护修理。自动控制系统通过连接传感器数据,在工作中能准确调节绞刀转数,切割深度,进浆量和船只的姿态角度,让机器一直处于最佳工作范围,加快了系统的反应时间,提高精确度和生产率。同时,智能化减少了人为操控的介入和产生的错误,简化了施工过程中的管理工作,提升了工作的整体可靠程度和安全性。而在长时间作业或者复杂地质环境下,智能化监控以及自动化的运作不但能维持连续性的挖掘,还能节约能源,增加机器使用寿命,智能操作为挖泥船的有效

性和精准性提供了有效的保障,也为项目管理向量化,规范化转变提供了依据。

4 绞吸挖泥船疏浚能力提升的系统集成与保障措施

4.1 技术集成与系统协同优化

绞吸挖泥船挖掘性能的提升需要各个子系统的共同促进,而技术集成下的系统整体优化就是有效的保证策略。对绞刀系统、输送系统以及控制系统的协调统筹安排,可以降低系统之间的相互影响与限制,达到取长补短的效果^[1]。系统的协同优化可以提高整体的工作效率,可以让各种技术手段在工程使用过程中得到充分发挥。

4.2 标准化作业流程与管理支撑

制定标准化的操作流程是对疏浚产能可靠发挥的主要管理制度保证,统一的操作流程及参数设定有利于避免人员造成的生产能力波动^[2]。标准化管理提高了作业行为的均一性以及可控度,为推进技术管理措施的出台提供了机制上的支持;健全的管理体系可以强化对技术成果的应用,使技术创新更好地服务于工程建设。

4.3 信息化平台与数据支撑体系

信息化平台的构建也为疏浚能力建设提供了数据支持基础。对工作数据统一记录、研究可实时了解机器的工作状况及作业实效^[3]。数据支撑体系有助于发现潜在问题,并为技术改进提供科学依据。信息化手段的应用使疏浚作业由经验驱动向数据驱动转变,提高了管理决策的科学性。

4.4 运维保障与人员技术能力提升

机器运维及人员技术水平是提升疏浚能力强有力的支持条件,完善的运维机制能够保证机器长期可靠地工作,降低机器故障导致的作业中断,与此同时,强化人员学习,增强员工对于新型技术和机器的理解有利于促进技术手段的有效落实。运维支持与人员技能相辅相成,成为疏浚能力不断提升的坚实后盾。

5 结束语

绞吸挖泥船疏浚能力提升是集设备技术、运维管理以及系统集成等为一体的难题,通过对疏浚能力概念的剖析以及影响因素的研究,并结合关键技术路线和支撑保障等策略的进一步探索,对提高绞吸挖泥船的疏浚效率与可靠性有重要的借鉴意义和指导作用。在智能化、信息化发展背景下,对于绞吸船疏浚能力提升研究也趋向于系统性和精细化特征。

[参考文献]

- [1]刘荣振,王道甲,陈九肖,等.超大型自航绞吸挖泥船发展现状及设计特点[J].船舶工程,2023,45(1):220-223.
 - [2]刘荣振,李晓磊,陈九肖,等.新一代超大型自航绞吸挖泥船性能论证及设计方案[J].船舶工程,2023,45(1):398-402.
 - [3]毛建辉,费龙,王显力,等.天鲲号绞吸挖泥船挖岩作业配套船舶技术研究[J].中国港湾建设,2024,44(1):93-97.
- 作者简介:李焕章(1972.1—),男,重庆江津人,汉族,中专学历,沿海一等船长,从事船舶管理和航道疏浚施工工作。

架空输电线路杆塔基础设计与施工技术分析

李晓清

河北广安联合电力工程设计有限公司, 河北 石家庄 050000

[摘要]随着社会经济的快速发展和电力需求的持续增长, 电力架空输电线路的建设规模日益扩大。作为架空输电线路的重要组成部分, 杆塔基础设计与施工技术直接关系到整个输电系统的安全、稳定运行。由于架空输电线路需跨越不同地质和气候条件, 其杆塔基础需承受复杂多变的荷载和自然灾害(如地震、冰雪和大风)。因此, 深入研究架空输电线路杆塔基础设计与施工技术, 成为确保输电系统高效、安全运行的迫切需求。

[关键词]架空输电线路; 杆塔基础设计; 施工技术

DOI: 10.33142/ec.v8i12.18775

中图分类号: TM75

文献标识码: A

Design and Construction Technology Analysis of Tower Foundations for Overhead Transmission Lines

LI Xiaoqing

Hebei Guang'an United Power Engineering Design Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: With the rapid development of the social economy and the continuous growth of electricity demand, the construction scale of overhead power transmission lines is expanding day by day. As an important component of overhead transmission lines, the design and construction technology of tower foundations are directly related to the safe and stable operation of the entire transmission system. Due to the need for overhead transmission lines to span different geological and climatic conditions, their tower foundations must withstand complex and variable loads as well as natural disasters such as earthquakes, ice and snow, and strong winds. Therefore, in-depth research on the design and construction technology of tower foundations for overhead transmission lines has become an urgent need to ensure the efficient and safe operation of the transmission system.

Keywords: overhead transmission lines; tower foundation design; construction technology

引言

在现代电力系统当中, 架空输电线路属于用来实现电能长距离输送的极为关键的基础设施, 它的安全状况、可靠性以及稳定性都和电网能否正常运转以及能源供应是否有保障紧密相关。杆塔基础是架空输电线路的支撑重点所在, 它一方面要承受杆塔自身以及导线的重量, 另一方面还要抵御风载、冰载、地震以及其他环境荷载所产生的作用。所以说, 基础设计以及施工质量会直接对线路整体的安全性以及使用寿命产生影响。随着我国电网建设规模变得越来越大, 并且地形地质条件也日益复杂起来, 杆塔基础设计和施工所面临的技术要求以及挑战也随之提高了。传统的设计办法以及施工技术在复杂的地质条件或者特殊的环境之下, 很容易出现承载力不够、沉降不均匀或者存在施工安全隐患等一系列问题, 迫切需要借助科学的设计计算、合理选择基础类型、精细的施工工艺以及针对

性较强的特殊施工技术来加以处理。本文在全面深入分析架空输电线路杆塔基础受到地质以及环境因素影响的情况之下, 着重探讨杆塔基础的设计原则、地质勘察以及基础选型、设计计算还有在特殊地质条件之下的设计要点等方面的内容, 与此还结合施工技术的实际操作情况, 对基坑开挖、基础处理、钢筋绑扎、模板安装、混凝土浇筑与养护以及特殊施工技术等关键环节展开详细的剖析, 目的是为了给架空输电线路杆塔基础的科学设计以及高质量施工给予理论方面的参考以及技术层面的指引, 进而推动电网建设朝着安全、高效且可持续的方向去发展。

1 地质与环境因素对架空输电线路杆塔基础设计的影响

在架空输电线路杆塔基础设计环节当中, 地质方面以及环境方面的诸多因素, 对于基础类型的择定、结构形式的确立以及施工方案的制定, 均有着直接且颇为重要的影

响作用。地质条件具体包含了土层所属类型、承载力状况、地下水所处的具体水位情况以及岩石分布态势等。这些因素在很大程度上决定了基础所具备的稳定性程度、沉降特性表现以及抗倾覆的能力大小。就好比说,在那种松软土或者填土所在的地区范围之内,基础或许就需要进一步加深下去,又或者是得采用桩基的形式,以此来促使承载力得以提升。然而在岩石或者坚硬土层所处的区域之中,那么就可以采用浅基础的方式,从而实现节约施工成本的目的。环境因素所涉及的范围就比较广泛了,它涵盖了气候方面的各种条件、地形以及地貌呈现出的状况,还有施工区域所存在的生态环境情况。其中像降雨量的多少、冻融循环所产生的影响以及风力大小等因素,都会对基础施工的方法以及材料的选择产生影响。在那些高寒或者多雨的地区,务必要考虑到混凝土的养护事宜以及防冻的相关措施。而处于地形起伏程度相对较大的山区区域,那就得针对可能出现的不均匀沉降情况以及施工所面临的较大难度,去精心设计出较为合理的塔位以及基础形式。除此之外,地震、风载以及雷电这类自然条件,同样会对基础设计提出更高的要求,这就需要在结构计算的过程当中,充分地将安全系数以及抗灾能力考虑进去。所以,在杆塔基础设计开展的整个过程当中,必须要对地质以及环境条件展开全面且细致的分析与评估工作,科学合理地去选择基础类型、结构形式以及施工方案,进而切实保障架空输电线路在后续运行期间能够具备足够的安全性、可靠性以及长期的稳定性。

2 架空输电线路杆塔基础设计

2.1 设计原则

在架空输电线路杆塔基础设计方面,设计原则是要让杆塔在各类工况之下都可做到安全、稳定且具备经济性。其一,安全性原则属于核心要求所在,基础得能承受住杆塔以及导线自身的重量、风力作用产生的荷载、冰雪带来的荷载还有地震等各类荷载的作用,要保证在正常运转之时以及处于极端环境状况下都不会出现倾覆、沉降或者遭到破坏等情况。其二,稳定性与耐久性原则要求基础在长时间运行期间能够维持结构的完整性,可以适应土壤出现沉降、冻融循环以及地下水发生变化等环境方面的因素,以此来确保杆塔能够实现长期可靠的运行状态。其三,经济性原则着重强调要在满足安全以及功能相关要求的基础之上,对基础材料的使用量以及施工成本加以合理把控,挑选合适的基础类型以及施工方法,进而提升整个工程的经济效益^[1]。可施工性与适应性原则同样极为重要,设计

的时候要充分考量现场施工的具体条件、地质环境以及施工机械设备所存在的限制情况,务必要确保设计方案能够顺利地得以实施。

2.2 地质勘察与选型

在架空输电线路杆塔基础设计方面,地质勘察以及基础类型选型属于极为关键的环节,其对于保证杆塔的安全性与稳定性有着重要作用。地质勘察通过针对土壤类型、土层厚度、承载力、地下水位还有岩石分布等诸多参数展开系统的调查,从而能够为后续的基础设计给予科学且合理的依据。勘察所得到的结果,一方面确定了基础的深度、尺寸以及具体的形式,另一方面还对施工方法的选择产生了影响。比如说,在软土或者松散填土所在的区域,为了提升承载力并且尽可能地减少沉降情况的发生,一般而言是需要采用桩基或者是扩大基础的方式的;而要是处在岩石或者密实土层当中,那么就可以选择浅基础,如此一来便可以在一定程度上降低施工的成本以及缩短工期。地质勘察还需要留意一些特殊的环境因素,像是冻融循环这样的情况、高地下水位所处的环境或者是地震区的地质条件等。

2.3 设计计算

在架空输电线路杆塔基础的设计工作当中,设计计算无疑属于一个极为关键的环节,它对于保证基础具备良好的安全性、稳定性以及经济性都有着十分重要的意义。在开展设计计算时,务必要全面且细致地考量诸多不同工况给基础所带来的影响,这其中就涵盖了杆塔自身的重量、导线所产生的荷载、风力带来的荷载、冰冻情况下的荷载,还有地震作用等因素。借助力学方面的分析手段,能够明确基础的受力特点、所具有的承载力以及可能出现的沉降变形状况。通常而言,设计计算会涉及到对基础土体承载力的具体计算操作,要确定基础的尺寸以及形状样式,得合理安排钢筋的配置事宜,并且要慎重选择混凝土的强度等级等内容。与此还得充分考虑到基础与塔身相互连接时的受力传递相关情况。面对不同的地质条件,还需开展差异化的计算分析工作。

2.4 特殊地质条件下的设计要点

在架空输电线路杆塔基础设计方面,针对特殊地质条件展开设计有着不容忽视的重要意义,毕竟不良地质环境会在很大程度上对基础的稳定性以及使用寿命产生影响。就软土、淤泥或者松散填土这类承载力较弱的土层而言,应当选用桩基,并且要借助加深基础埋深、增大基础面积又或是改善地基土体等办法来提升其承载力以及抗沉降

能力。处于高地下水位的地区,得做好排水设计以及防渗处理,以此来避免水土流失以及基础浸泡给混凝土强度所带来的影响。在冻融区或者高寒地区,需要充分考虑到混凝土的抗冻性能、基础埋深以及防冻措施,以防冻融循环引发的基础裂缝与沉降情况^[2]。而对于岩溶、滑坡亦或是地震高发区来讲,那就得依据地质勘察的结果来进行稳定性分析以及抗震设计,在必要的情形下还需采取锚固、支护或者柔性连接等举措来强化基础的抗震以及抗变形能力。

3 架空输电线路杆塔基础施工技术

3.1 施工准备

在架空输电线路杆塔基础施工期间,施工准备属于确保工程质量、安全以及施工效率的重要前提。在施工开始之前,得仔细阅读设计图纸以及相关的技术规范,全面掌握杆塔的具体类型、基础呈现的形式还有其受力方面的特点,并且要综合考虑沿线的地形地貌状况、地质条件以及施工环境等因素,以此来科学地编制施工组织设计以及专项施工方案,清晰明确施工工艺、质量控制的关键要点以及技术标准,与此同时还要做好较为周全的技术交底相关工作。施工单位还需要针对现场展开细致的踏勘活动,着重去调查土层的结构情况、地下水的实际状况、地表存在的障碍物以及交通运输的相关条件,合理地规划施工便道、临时用电安排、材料堆放的位置以及机械作业的区域,从而给施工营造出良好的条件。测量放样这项工作需要提前着手开展,精准确定杆塔的中心位置、基础开挖的具体范围以及标高控制点,以此来保证基础的位置和尺寸能够符合设计方面的要求。在材料与设备的准备工作上,要依据施工进度计划提前组织钢筋、混凝土、模板等主要材料进入到施工现场,并且要对施工机械设备做好检修、调试以及保养等工作,确保其性能处于稳定且可靠的状态。

3.2 基坑开挖与基础处理

在架空输电线路杆塔基础开展施工活动之时,基坑开挖以及基础处理这两项工作和杆塔基础的承载性能、整体稳定性还有长期运行安全紧密相关,其在施工阶段当中属于核心控制环节。在施工进程里,得严格按照设计文件以及测量成果来实施放线定位,同时要结合地质勘察资料以及现场的实际条件,合理去确定开挖的方式以及施工的顺序,优先选用机械开挖和人工修整相互结合的办法,精确对基坑的平面尺寸、开挖深度以及边坡坡度加以控制,努力减少对原状土体的干扰,防止出现超挖致使承载力降低的情况。对于软土、砂土、湿陷性黄土以及地下水位比较

高等复杂地质条件,需要提前制定专门的措施,借助放坡、支护、降水或者排水系统来控制基坑的稳定,避免发生坍塌、涌水以及基底软化等一系列问题^[3]。基坑开挖完成之后,应当及时去做基底检查与验收工作,着重对土质情况和承载力指标进行核查,针对局部存在松散、扰动或者不符合设计要求的基底,要采取换填级配碎石、灰土、素混凝土垫层或者是夯实加固等处理办法,以此来提升地基的力学性能以及均匀性。

3.3 钢筋绑扎与模板安装

在架空输电线路杆塔基础施工环节当中,钢筋绑扎以及模板安装这两道工序在很大程度上能够对基础结构的强度起到关键作用,同时也能确保尺寸精度以及耐久性能方面有所保障。在正式施工之前,务必要严格按照设计图纸以及相关的规范来仔细复核钢筋的规格、数量还有加工尺寸等方面的情况。钢筋运送到施工现场之后,还需要对其进行细致的外观检查以及力学性能方面的检验,只有经过检验并且确认合格之后才能够投入使用。在钢筋绑扎的过程之中,要依照设计的具体要求精准地去布置主筋、箍筋以及构造钢筋等,从而保证钢筋之间的间距、锚固的长度以及搭接的位置都能够严格符合规范所提出的要求。绑扎操作务必做到牢固且可靠,切忌出现位移或者变形等情况,并且要通过设置垫块或者搭建支架的方式来极为严格地把控保护层的厚度,以此来切实保障钢筋的受力性能以及防腐蚀的能力。模板安装这项工作应当在钢筋经过验收并且确认合格之后再去做。模板所使用的材料必须要具备足够的强度、刚度以及稳定性,在安装的时候需要极为严格地去把控基础的平面位置、截面尺寸以及标高等方面的情况,确保模板的拼缝能够做到严密无缝,支撑体系也要稳固牢靠,避免在混凝土进行浇筑的过程当中出现跑模、胀模或者是变形等这类情况。

3.4 混凝土浇筑与养护

在架空输电线路杆塔基础施工环节当中,混凝土的浇筑以及后续的养护工作,称得上是关乎基础整体性、承载能力以及耐久性能的极为关键的工序。在正式开展混凝土浇筑之前,务必要对配合比设计以及原材料的质量展开细致核查,要切实确认水泥、砂石还有外加剂均能够符合相关规范所提出的要求,而且要依据施工时的具体环境状况以及基础的实际体量,对混凝土的坍落度以及初凝时间加以合理的把控。在整个浇筑的过程之中,应当严格遵循分层且连续的施工原则,尽力避免出现中途停歇的情况,如此一来可防止施工冷缝的产生,混凝土需要均匀地进入模

具,并且要配合使用机械或者依靠人工来进行振捣操作,以此确保振捣能够达到密实的状态,避免出现蜂窝、麻面以及空洞等一系列的质量方面的缺陷,与此同时还要留意对振捣的时间以及力度予以把控,防止因过振而引发离析现象或者致使模板发生变形^[4]。对于那些体积相对较大的杆塔基础而言,还需要着重关注温度的控制以及施工的顺序安排,可以采取分区分层的方式去浇筑,或者是降低混凝土的入模温度,又或者设置相应的保温措施,通过这些举措来削减温度应力以及裂缝出现的风险。在混凝土浇筑完成之后,应当及时着手进行表面的整平处理以及覆盖养护工作,依据气候的具体情况选用洒水、覆盖保湿材料亦或是采取保温措施等方式,以此来保障混凝土能够在规定的养护期限内始终维持着适宜的温湿度环境,进而推动其强度得以持续不断地增长。

4 特殊施工技术

在架空输电线路杆塔施工期间,特殊施工技术着重于应对复杂地形、恶劣环境以及特殊地质条件所提出的施工方面的需求,以此来保障杆塔基础具备安全性并且能够提升施工效率。当在高山、峡谷、河流或者沼泽这类特殊地段开展施工活动的时候,往往得运用吊装、架桥、空中运输又或者是临时施工平台等相关技术,从而去克服运输存在诸多不便以及场地受到限制等一系列问题。而在软土、淤泥或者高地下水所在的地区,应当把地基加固、桩基施工、排水降水以及砂石垫层等多种措施相互结合起来使用,进而提高基础的承载能力并且避免出现沉降不均的情况。在高寒、冻融或者风沙比较严重的地区,需要实施混凝土

保温、模板加固、防冻养护以及抗风支撑等各类措施,以此来保证基础施工的质量以及结构的耐久性。对于沿着线路跨越铁路、公路或者其他障碍物的特殊杆塔基础施工而言,还必须要制定专门的施工方案,对施工顺序加以协调并做好安全防护工作,从而确保施工人员以及周边环境都能够处于安全的状态之中。

5 结语

架空输电线路杆塔基础的设计及施工技术,和线路的安全性、稳定性息息相关。借助科学的地质分析、恰当的基础设计还有规范的施工工艺,能够提升基础承载力以及结构耐久性,确保杆塔于各类环境条件之下可长期稳定运行。基坑开挖、钢筋绑扎、模板安装、混凝土浇筑与养护以及合理运用特殊施工技术,不但提升了施工质量与效率,还为后续的输电线路建设给予了实践经验与技术参考。

[参考文献]

- [1]孙岩,孙威,刘赫.架空输电线路杆塔基础设计施工技术分析[J].农家参谋,2018(12):193.
- [2]卢春源.架空输电线路杆塔基础设计与施工技术分析[J].通讯世界,2025,32(3):112-114.
- [3]吴德松.电力架空输电线路杆塔基础设计与施工技术解析[J].科技资讯,2025,23(5):102-104.
- [4]刘刚.输电线路杆塔基础设计施工技术分析[J].建材与装饰,2018(45):222-223.

作者简介:李晓清(1990.9—),男,汉族,河北省石家庄市,河北广安联合电力工程设计有限公司,高级工程师,硕士研究生,建筑结构方向。

圆形筒仓漏斗独立施工与仓壁搭接的施工精度控制方法

刘小鹏

中国五冶集团有限公司, 四川 成都 610000

[摘要]近年来,漏斗独立施工模式在大型圆形筒仓工程中应用日益广泛,可以有效防止仓壁施工与漏斗施工之间产生相互干扰,同时有助于提高施工的效率。然而,在此模式下,导致漏斗与仓壁搭接处的施工精度控制难度明显增大,容易出现一些质量隐患。基于此,文章研究基于圆形筒仓漏斗与仓壁的结构特性,对影响漏斗与仓壁搭接施工精度的核心因素进行系统分析,并提出一系列具有针对性的施工精度控制策略,确保筒仓结构具备稳定性与安全性,同时满足其使用功能要求。

[关键词]圆形筒仓;漏斗独立施工;仓壁搭接;施工精度;控制方法

DOI: 10.33142/ec.v8i12.18773

中图分类号: U452

文献标识码: A

Precision Control Method for Independent Construction of Circular Silo Funnel and Overlapping of Warehouse Wall

LIU Xiaopeng

China MCC5 Group Corp. Ltd., Chengdu, Sichuan, 610000, China

Abstract: In recent years, the funnel independent construction mode has been increasingly widely used in large circular silo projects, which can effectively prevent mutual interference between silo wall construction and funnel construction, and help improve construction efficiency. However, in this mode, the difficulty of controlling the construction accuracy at the overlap between the funnel and the warehouse wall increases significantly, which can easily lead to some quality hazards. Based on this, the article studies the structural characteristics of the circular silo funnel and silo wall, systematically analyzes the core factors affecting the construction accuracy of the funnel and silo wall overlap, and proposes a series of targeted construction accuracy control strategies to ensure the stability and safety of the silo structure while meeting its functional requirements.

Keywords: circular silo; funnel independent construction; overlapping of warehouse walls; construction accuracy; control method

引言

随着国家经济的日益发展,企业对筒仓结构性能的要求也在逐步提高。圆形筒仓凭借高效的空间利用效能、受力体系以及便捷的施工操作特性广泛应用于工业与民用建筑领域。由于圆形筒仓设计充分利用了薄壁筒壳结构的优越性,漏斗作为圆形筒仓中的关键组成部分,不仅要承受自身结构重量以及仓内物料压力,而且需要承担仓壁所传递的竖向荷载。因此,需要高度重视漏斗与仓壁的搭接部位的施工质量。在传统圆形筒仓的施工过程中,通常漏斗的施工大多和仓壁施工同步开展,虽然这种施工安排可以减少搭接部位的精度偏差,确保结构整体的精度。然而,这种同步施工的模式存在施工工序交叉干扰大、施工进度缓慢等弊端,对仓壁与漏斗的施工进度产生不利影响,难以保证工程的质量。漏斗独立施工模式通过创新性的施工组织安排,实现了仓壁施工与漏斗施工的分离,逐渐取代传统同步施工模式。然而,漏斗独立施工模式对施工过程中

提出了更为严格的要求,若出现轴线偏移、标高错位、平整度达不到要求等情况,均会影响筒仓整体结构性能。本文将研究重点聚焦于漏斗独立施工时与仓壁搭接的关键精度控制要点,对精度偏差产生的机理展开系统性分析,提出针对性的精度控制策略,为同类工程的开展提供系统的理论指引和实用的技术参考依据。

1. 圆形筒仓漏斗与仓壁的结构特性及搭接要求

1.1 结构特性

圆形筒仓类工业构筑物的内部空间与功能需求高度适应,具有极为鲜明的结构与形式特征。圆形筒仓的仓壁大多以钢筋混凝土为主要材料,呈现为圆柱状的薄壁结构,筒仓结构承受荷载主要包括可变荷载、永久荷载及地震作用。轴线偏差、壁体平整度、标高偏差等关键指标是衡量筒仓施工质量是否达标的重要依据。漏斗结构特点是斜面坡度固定、受力集中、几何形状复杂,在结构功能上,漏斗壁既要承受自身质量引起的重力荷载和仓内物料的竖

向压力,还要承受承受物料下滑过程中所产生的摩擦力以及侧压力。因此,在施工的过程中需要对斜面的坡度、钢筋保护层的厚度等指标进行严格控制。当处于漏斗独立施工的作业模式时,在仓壁主体施工完成后将呈现出封闭的圆柱形结构形态,其下部的搭接区域呈现出环形水平面或者斜面的结构特征,为确保结构性能,漏斗上端需与该搭接面精准契合。

1.2 搭接精度要求

圆形筒仓漏斗与仓壁的搭接精度要求需依据设计规范,并结合结构受力的具体需求确定,主要包括以下几个方面,详见表1。

表1 圆形筒仓漏斗与仓壁的搭接精度要求

控制类别	具体控制指标	精度限值	控制目的
轴线偏差	漏斗与仓壁中心轴线偏差(筒仓直径≤15m)	≤5mm	避免搭接不均匀,防止仓壁侧压力分布不均
轴线偏差	漏斗与仓壁中心轴线偏差(筒仓直径>15m)	≤8mm	避免搭接不均匀,防止仓壁侧压力分布不均
轴线偏差	漏斗壁内、外轮廓线偏差	≤3mm	保证漏斗几何尺寸精准,契合仓壁搭接面
标高偏差	漏斗与仓壁搭接面标高偏差	±3mm	避免搭接错位,防止局部应力集中
标高偏差	漏斗底面标高偏差	±5mm	保证卸料顺畅,满足卸料装置安装要求
标高偏差	漏斗斜面标高偏差	±4mm	保证斜面坡度均匀,防止物料滞留
平整度偏差	搭接面平整度偏差	≤2mm/m	保证搭接面紧密贴合,防止应力集中和渗漏
平整度偏差	漏斗壁平整度偏差	≤3mm/m	保证漏斗结构规整,提升受力合理性
平整度偏差	漏斗斜面平整度偏差	≤2.5mm/m	保证物料顺畅下滑,减少摩擦力影响
间隙偏差	搭接部位间隙偏差	±5mm	保证密封和灌浆效果,提升防渗性和整体性
钢筋精度	钢筋间距、排距偏差	±10mm	保证钢筋受力均匀,提升结构强度
钢筋精度	钢筋保护层厚度偏差	±5mm	防止钢筋锈蚀,保障结构耐久性
钢筋精度	钢筋搭接长度偏差	±10mm	保证钢筋连接可靠,实现受力平稳传递
钢筋精度	钢筋搭接位置偏差	≤50mm	避免钢筋受力集中,提升连接稳定性

2 漏斗独立施工与仓壁搭接精度的影响因素分析

圆形筒仓漏斗独立施工与仓壁搭接的精度控制,受多方面因素的影响,任一环节出现偏差,都会导致搭接部位精度超标。①施工测量因素。若全站仪、经纬仪、水准仪等测量仪器的精度不足,均会导致坡度、标高、轴线测量

存在差异,对漏斗与仓壁的搭接精度造成严重影响。若仓壁基准点有偏差,会导致在施工过程中基准点发生偏移或沉降,引发测量偏差。②模板工程因素。漏斗多为异形模板,在设计模板的过程中若未充分考虑其几何形状以及受力特点,模板拼接节点设计不合理,浇筑时易变形、移位、漏浆,均会对漏斗的平整度与几何尺寸造成严重影响。模板加工过程中模板加工精度不足,导致模板的平整度、接缝精度不达标,无法与仓壁精准契合。在安装漏斗模板时若固定措施不牢固、安装位置偏差,浇筑时模板易发生移位、变形,对漏斗轴线、标高等指标造成不良影响。此外,模板拆除时机过早或过晚均会影响搭接面精度与外观。③钢筋工程因素。漏斗多为异形钢筋,精准下料需考虑其几何形状与坡度,若计算失误,导致钢筋的弯折角度出现偏差。再者,安装时若钢筋间距、排距、保护层厚度控制不好,均会对安装的位置与搭接精度造成影响。此外,漏斗与仓壁预留钢筋焊接时出现漏焊、虚焊、焊缝厚度不够等问题,导致钢筋连接可靠性不足,对搭接部位的几何精度产生影响。④混凝土工程因素。若混凝土配合比设计不当导致混凝土的流动性、和易性不佳,浇筑过程中易出现蜂窝、空洞等问题。此外,混凝土养护不及时、时间不足或方式不当,均会影响结构强度与外观。

3 漏斗独立施工与仓壁搭接的施工精度控制方法

3.1 施工准备阶段的精度控制

为了确保漏斗与仓壁搭接的精度,做好施工前的准备作用尤为关键。组织技术人员熟悉施工图纸、精度要求,明确搭接方式、结构尺寸以及精度指标。对施工人员进行全面的技术交底,包括各工序的精度控制要点、施工工艺以及操作规范等相关内容。做好测量仪器的准备工作,对于施工过程中所用到的全站仪、水准仪等测量仪器进行专业的校准,确保合格之后可进行使用。除测量仪器,准备模板、钢筋加工,混凝土搅拌、振捣等设备,进场前调试检修,确保运行正常。同时,需要加强完善测量基准点体系,增设漏斗施工专用基准点和水准点,避开干扰区。此外,严格把控材料的质量,在材料进场时检查各类材料的合格证书,对于不合格的材料严禁进场使用。

3.2 施工过程中的精度控制

3.2.1 施工测量的精度控制

施工测量贯穿漏斗施工全程,需要严格依照方案执行,重点做好轴线、标高、坡度控制及测量复核。使用全站仪依据基准点定位漏斗中心轴线,在仓壁下部搭接面弹出环形轴线控制线。模板安装前根据环形轴线控制

线弹出漏斗壁的内侧与外侧轮廓线，以此保证模板安装的位置准确。安装后用经纬仪复核，漏斗中心轴线和漏斗壁轮廓线出现偏差及时调整。使用水准仪测量仓壁下部搭接面实际标高，对比设计标高，若有偏差提前调整。安装漏斗模板时按照设计标高在模板上弹出标高控制线，从而确保模板安装高度符合要求，安装后使用水准仪复核漏斗上端搭接面的标高情况。此外，建立“三级复核”制，即施工人员自检、技术人员复检、监理人员终检，每道测量工序后严格复核，有偏差，及时分析原因，并进行针对性的调整。

3.2.2 模板工程的精度控制

模板工程对控制漏斗几何尺寸、平整度、坡度至关重要，为了确保工程质量达标，需从设计到拆除全流程精度控制。漏斗模板运用了异形模板的设计方案，结合漏斗形状、受力及施工精度要求，开展关于模板刚度、强度与稳定性指标的计算工作。在模板拼接节点处，采用企口拼接的专项设计，减少拼接处的间隙尺寸，防止混凝土漏浆；模板表面打磨，平整度偏差 $\leq 1\text{mm/m}$ 。同时，为了便于在安装时调整位置和角度，在模板设计中提前预留调整装置。在模板加工的过程中严格落实加工工艺要求，合理控制模板的平整度、几何尺寸以及接缝精度。模板的长宽偏差 $\leq \pm 2\text{mm}$ ，厚度偏差 $\leq \pm 1\text{mm}$ ；拼接面平整度偏差 $\leq 1\text{mm/m}$ ，接缝间隙 $\leq 0.5\text{mm}$ 。安装模板前清理搭接面和模板表面杂物，按照“先内后外、先下后上”顺序，依据轮廓线和标高线精准安装。模板固定采用内部支撑与外部牵拉相结合的固定方式，内部设钢管支撑，间距 $\leq 1.2\text{m}$ ，拉杆采用具备高强度特性的螺栓材料，拉杆间距 $\leq 1.5\text{m}$ 。斜撑的安装位置选定在漏斗斜面的外侧区域，并与地面夹角呈 $45^\circ \sim 60^\circ$ 。固定后进行全面检查，若模板的位置、坡度、标高、平整度出现偏差及时调整。当混凝土的强度达到设计强度值达75%以上可将漏斗侧模拆除，确认混凝土强度达到100%可将漏斗底模和支撑体系拆除，在拆除期间，避免因敲击或碰撞漏斗混凝土表面而出现变形、开裂等问题。在拆除后，将模板表面的混凝土残渣及时清理干净，同时对混凝土的坡度、平整度、几何尺寸进行全面检查。

3.2.3 钢筋工程的精度控制

钢筋工程是保障漏斗与仓壁搭接区域结构承载能力及应力有效传递的核心要素，确保钢筋工程的质量，需从下料、安装、连接环节控制精度。下料前合理计算每根钢筋的搭接长度、弯折角度，同时采用专业的钢筋切断机进

行精准切割，值得注意的是，钢筋弯折的角度偏差控制在 $\pm 2^\circ$ 内。安装钢筋前清理漏斗模板内杂物，严格控制钢筋的排距、间距以及安装位置。漏斗壁钢筋间距、排距偏差 $\pm 10\text{mm}$ 内，保护层偏差 $\pm 5\text{mm}$ 内；搭接长偏差 $\pm 10\text{mm}$ 内，位置偏差 50mm 内。漏斗钢筋与仓壁预留钢筋的连接采用焊接或绑扎搭接，焊接之前将钢筋连接部位的油污、铁锈等杂质彻底的清理干净，同时加强对焊接人员的培训，使其可以严格按照设计规范要求进行操作，避免出现虚焊、漏焊等问题。绑扎搭接连接时，绑扎点间距不大于 200mm ，且确保绑扎牢固。

3.2.4 混凝土工程的精度控制

混凝土工程在漏斗结构成型过程中起着关键作用，需要针对混凝土配合比、混凝土浇筑、混凝土养护等环节开展精度管控工作。结合漏斗的结构特征与强度标准设计混凝土配合比，混凝土原材料必须依照配合比精准计量，水泥、砂石等各类原材料的计量误差范围必须严格控制在 $\pm 2\%$ 以内。采用强制式搅拌设备搅拌，时间控制 $90 \sim 120\text{s}$ 。采用斜面分层浇筑，分层厚度控制 $300 \sim 500\text{mm}$ ，速度 $2 \sim 3\text{m}^3/\text{h}$ ，浇筑期间，使用水准仪对浇筑的标高进行实时监测。在混凝土振捣过程中，采用插入式振捣棒实施振捣工作。一般情况下，振捣棒的直径规格宜选用 $\phi 50$ 或者 $\phi 30$ 的型号，时间控制在 $20 \sim 30\text{s}$ ，直至混凝土表面呈现出浮浆状态，且无继续下沉及冒气泡现象发生，其间需注意避开模板与钢筋，以此避免造成模板移位、钢筋变形等不良后果。在混凝土浇筑施工结束后，立即依照相关规范开展养护工作，养护作业应选取覆盖土工布结合洒水的方式进行，养护时间至少 14d ，当环境温度处于低于 5°C 的状况时，采取保温养护措施。

3.3 搭接节点处理的精度控制

搭接节点作为漏斗与仓壁衔接的关键构造部位，其施工精度对筒仓整体结构性能有着直接的影响。因此，施工时于搭接面相互之间安置用于控制间隙的垫块，间距控制在 $500 \sim 600\text{mm}$ 。当漏斗混凝土浇筑工作完成、模板拆除工序完结之后及时清理仓壁下部搭接面和漏斗上端搭接面的浮浆、杂物等，并且对搭接面的平整状态与标高情况进行全面复核，当搭接面平整度偏差大于 2mm/m ，借助打磨机实施打磨操作。此外，加强密封、灌浆处理工作，优先使用防渗性能良好、黏结力强的密封胶、灌浆料，密封胶填充的深度应满足不小于间隙高度 $2/3$ 的要求。进行灌浆操作期间，选用压力灌浆的方法，灌浆压力严格控制在 $0.3 \sim 0.5\text{MPa}$ 的区间内，直至观察到灌浆料从排气孔溢

出且无气泡为止。

4 结论

圆形筒仓漏斗独立施工模式容易受到多种因素的影响,本文通过全流程的施工精度控制方法,在施工准备阶段,做好测量仪器、材料的准备工作,可以有效防止因施工过程中的精度偏差隐患。施工期间通过加强对轴心、坡度标高、搭接节点的精准控制,可以确保漏斗独立施工与仓壁搭接的始终满足设计和规范要求,提高施工质量,实现筒仓结构的安全性、稳定性和使用功能。未来,在漏斗独立施工过程中可充分融合智能化施工技术、数字化管理体系,进而提高精度控制的准确性与效率,为同类工程施工提供更全面、更精准的参考。

[参考文献]

- [1]潘伟.圆筒式库仓结构设计方法的探讨[J].湖南理工学院学报(自然科学版),2005,11(2):63-65.
 - [2]袁龙飞,李晓文,白国良,等.对《钢筋混凝土筒仓设计规范》有关问题的思考[J].工业建筑,2012,42(1):149-153.
 - [3]石文涛.钢筋混凝土筒仓的设计与探讨[J].建筑施工,2018(8).
 - [4]肯尼思·弗兰姆普顿.建构文化研究[M].王骏阳,译.北京:中国建筑工业出版社,2007.
- 作者简介:刘小鹏(1991.8—),毕业院校:山西大学,所学专业:建筑环境与设备工程,当前就职单位:中国五冶集团有限公司,职务:技术负责人,职称级别:工程师。

低碳绿色建筑设计与建筑环境适应性研究

王颖¹ 王梓茜²

1.河北建筑设计研究院有限责任公司,河北 石家庄 050000

2.北方工程设计研究院有限公司,河北 石家庄 050000

[摘要]随着能源消耗以及碳排放方面的问题变得日益凸显出来,低碳绿色建筑已然成为了建筑行业朝着哪个方向发展的一个极为重要的指向标。就目前的情况而言,在节能技术、可再生能源的利用方式、智能化管理手段以及被动式设计等方面,低碳建筑已经有所应用了,然而其整体设计和环境的适应性之间的结合并不是那么紧密,所采用的技术大多只是针对某一项进行优化,并且对于区域气候差异的适应性相关研究做得还不够到位,绿色系统的推广工作以及能耗管理工作也都还存在着一定的局限性。所以,低碳绿色建筑在达成节能减排目标以及实现环境适应性这两个方面,依旧需要进一步地去进行优化处理以及展开更为系统的相关研究。

[关键词]低碳绿色建筑设计;建筑环境适应性;策略

DOI: 10.33142/ec.v8i12.18784

中图分类号: TU984.11

文献标识码: A

Research on Low-carbon Green Building Design and Environmental Adaptability of Buildings

WANG Ying¹, WANG Ziqian²

1. Hebei Institute of Architectural Design & Research Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

2. North Engineering Design and Research Institute Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: With the increasingly prominent issues of energy consumption and carbon emissions, low-carbon green buildings have become an extremely important indicator for the development direction of the construction industry. As of now, low-carbon buildings have been applied in energy-saving technologies, utilization of renewable energy, intelligent management methods, and passive design. However, the integration between their overall design and environmental adaptability is not so close. Most of the technologies used are only optimized for a certain aspect, and research on the adaptability of regional climate differences is not yet in place. The promotion of green systems and energy consumption management also have certain limitations. Therefore, low-carbon green buildings still need further optimization and more systematic research in achieving energy-saving and emission reduction goals, as well as environmental adaptability.

Keywords: low-carbon green building design; adaptability of building environment; strategy

引言

随着全球气候不断发生变化,能源资源也变得日益紧张,在这样的大背景之下,建筑行业作为能源消耗以及碳排放极为重要的一个领域,迫切要实现绿色低碳的发展方式。建筑能耗在持续上升,传统建筑模式存在诸多问题,比如能源浪费严重、给环境带来的负荷很大、生态适应性也比较差等,这些问题一方面影响了建筑自身的可持续发展,另一方面也对社会经济和生态环境的协调发展形成了限制。低碳绿色建筑理念的出现,给建筑设计与施工指明了新的方向,其关键点在于借助节能技术的应用、可再生能源的利用、建筑环境适应性的优化以及资源的循环利用

等方式,达成建筑全生命周期的低碳排放以及高效的能耗管理。环境适应性设计着重于建筑和自然环境、气候条件以及场地资源之间的协调融合,凭借合理的布局安排、围护结构的优化以及功能分区的设计,提升建筑应对外界环境变化的能力,进而改善室内的舒适度、降低运行时的能耗并且延长建筑的使用寿命。国内外针对低碳绿色建筑以及环境适应性设计展开了相关研究,并且已经取得了一定的成果,涉及建筑节能技术、被动式设计策略、智能化能耗管理、可再生能源集成以及绿色景观与雨水利用等诸多方面,不过在系统性集成、区域气候适应性分析以及实际应用评估等方面还存在着一定的欠缺。所以,此项研究着

重对低碳绿色建筑设计以及建筑环境适应性策略展开系统探讨,通过对关键技术与设计方法加以分析,给出适合不同环境条件下的低碳建筑优化方案,以此实现建筑能效的提升、碳排放的降低以及生态环境的协调发展,为我国建筑行业的可持续发展给予理论方面的依据以及实践层面的参考。

1 绿色建筑设计的内涵

绿色建筑最早源自 20 世纪 70 年代,注重建筑全生命周期和全方位的高质量发展。绿色建筑的设计理念是以生态循环为主导,其旨在实现建筑功能与环境的完美协调,以达到人、建筑、环境三者之间的和谐共生。在绿色建筑设计中,首先要满足建筑的基本功能,同时要注重创造出舒适、高效、灵活、具有弹性的使用空间。再次,绿色建筑还要注重建立建筑与环境之间的紧密联系,让建筑成为自然的一部分。为了实现这一目标,绿色建筑采用了了一系列的节能、环保、可持续的技术和方法。比如通过优化建筑的朝向、形状、高度等设计参数,可以充分利用自然光线、风能等可再生能源,降低建筑的能耗。最后,通过设计合理的室内环境,保证建筑内部的空气质量、温度、湿度等参数符合人体的健康需求,从而提高人们的生活质量。因此绿色建筑设计具备节约资源、重视室内环境的优化、减少对周围环境的污染、应用节能技术等特点。

2 低碳绿色建筑设计的关键技术与应用

2.1 建筑节能与可再生能源利用技术

建筑节能和可再生能源利用技术属于低碳绿色建筑设计的 key 内容,其中的 key 之处在于借助优化建筑能耗结构、提升能源利用效率以及引入可再生能源等方式,达成建筑在整个生命周期里的节能以及减排目标。在建筑节能这块,需要从建筑围护结构、设备系统还有运行管理等诸多层面综合去着手,通过采取像外墙保温、门窗隔热、屋面反射材料这类措施来使建筑能耗得以降低;在供暖、制冷以及照明系统的相关设计当中,运用高效节能设备以及智能控制系统,进而实现能源的动态平衡以及精细化管理。与此可再生能源的应用是达成低碳目标的一条重要途径,比如利用太阳能光伏发电、太阳能热水系统、地源热泵、风能以及生物质能等多种清洁能源技术,如此既能有效地替代传统化石能源,又能将建筑在运行阶段的碳排放降下来。

2.2 建筑围护结构节能优化设计

建筑围护结构的节能优化设计乃是达成低碳绿色建筑这一目标的关键环节,它会对建筑的能耗水准以及室内

热环境品质产生直接的影响。围护结构充当着建筑和外部环境相互之间能量交换的界面,在其设计优化方面,主要是依靠提升保温、隔热、气密还有遮阳等方面的性能,以此来削减冷热量的流失,并且降低外界气候所带来的不利影响^[1]。在开展设计工作的过程当中,要依据建筑所处的具体气候状况以及自身的使用功能,去合理地挑选高性能的保温材料以及复合结构体系,比如外墙外保温系统、低辐射中空玻璃窗、具有高反射率的屋面材料等,从而达成在冬季能够保温、夏季可以隔热这样的双重效果。与此建筑外窗的朝向、面积占比以及遮阳构造也都需要进行科学的设计,要在确保能够有自然采光的基础之上,把太阳辐射热增量给减少掉。

2.3 建筑智能化以及能耗管理系统

在建筑智能化以及能耗管理系统在低碳绿色建筑设计中属于极为 key 的技术,它能够助力达成高效节能以及智慧运营的目的。该系统的中心目标在于借助信息化和自动化方面的手段,针对建筑能源使用的整个过程展开动态的监测工作,同时进行科学层面的分析,并且实施智能的调控举措,以此来最大程度地提高能源的利用效率。建筑智能化系统把传感器、物联网、人工智能还有大数据分析技术加以集成,进而达成对诸如照明、空调、供暖、通风、电梯、水泵等一系列设备的集中式监控以及自动化的管理效果,依据环境出现的变化以及实际的使用需求来自动地去调整这些设备的运行状态,防止出现能源的浪费情况。就好比说,智能照明系统能够依照人员的活动状况以及光照的强度来自动地去调节亮度;暖通空调系统则是凭借温湿度传感以及气候预测算法来实现精准的控制;而能源管理平台可以实时地去采集用能的相关数据,进而对建筑的能耗结构展开分析并做出优化处理。

2.4 雨水回收与绿色景观系统设计

雨水回收以及绿色景观系统的设计,在低碳绿色建筑设计中,属于达成资源循环利用并且让生态环境能够协同共生的关键环节。它的主要目标是借助科学合理的雨水收集、储存以及再次利用的相关系统,减轻城市雨洪方面所面临的压力,缩减建筑用水的数量,并且营造出不错的生态景观环境。在开展设计工作的进程当中,要依据场地的实际地形状况、降雨所呈现出来的规律以及建筑自身具备的功能来对雨水汇集的具体路径以及蓄水设施予以合理的规划安排。借助屋面、广场、道路等这些铺装面去实施雨水的收集工作,经过沉淀、过滤以及消毒等一系列处理工序之后,把这些收集到的雨水用于绿化的浇灌、景观的

补水或者冲厕等方面,进而促使建筑水资源达成循环再生的效果^[2]。与之绿色景观系统在低碳建筑当中,不仅仅有着美化环境这样一种作用,还担负着生态调节以及气候缓冲等诸多功能。通过设置生态植被、透水铺装、下凹式的绿地、雨水花园等相关设施,能够切实有效地提升地表的渗透能力,减少地表径流出现的情况,对微气候加以改善,并且进一步增强生态多样性。

3 环境适应性设计策略

3.1 场地资源利用

场地资源利用于建筑环境适应性设计而言,属于其中极为基础的一个环节,其关键之处就在于要对场地的自然特征以及资源禀赋予以充分的理解,并且给予足够的尊重,借助科学合理的规划以及精心周到的设计,达成建筑和环境能够彼此协调并且共生共存的目的。在开展设计工作的整个过程当中,务必要全面且细致地考量诸如地形地貌方面的情况、气候所处的具体条件、水文呈现出的相关特征、土壤具备的各类性质、植被的分布状况以及周边的生态系统等诸多因素,依据实际情况来灵活确定建筑的布局方式、朝向设定以及形态呈现,从而尽可能充分地利用自然资源,尽力降低对环境产生的扰动程度。就好比说,在地形呈现出起伏状态且起伏幅度比较大的地区,可以采取顺坡进行布置或者采用架空的结构形式,如此一来便能够减少土方开挖的实际数量,进而对地形原本的模样起到保护的作用;在光照条件十分充足的地区,应当合理地去确定建筑的朝向以及开窗的比例,借此充分地利用太阳能这类资源,同时也能够对室内的采光情况以及热环境加以改善;在风力较大或者是气候较为寒冷的地区,可以通过借助地形的遮蔽作用以及依靠植被所提供的防护功能,以此来降低风寒所产生的效应,进而在一定程度上提高建筑所能带给人们的舒适感受。与此场地当中的雨水资源、地表径流以及地下水系统都应当被纳入到整体的设计范畴当中,通过设置生态排水系统、下凹式的绿地以及透水性的铺装等举措,实现雨水能够自然地渗透到地下并且得以再次利用起来的目标。

3.2 功能布局优化

功能布局优化在建筑环境适应性设计里属于极为关键的一个环节,其主要目的在于借助科学且合理的空间组织方式以及功能分区手段,达成建筑内部环境的舒适感受、能源利用的高效状态以及与自然环境的协调统一效果。在整个设计进程当中,务必要充分结合场地的具体条件、气候所具有的特征以及建筑的实际使用需求等方面的情况,

对空间流线以及功能组合予以优化处理,让建筑布局能够顺应自然要素所呈现出的变化规律。就好比说,在寒冷的地区,主要的活动空间可以布置在朝南的方向,以此来获取更好的采光效果以及热量吸收;然而在炎热的地区,就需要通过设置遮阳廊道、内庭院或者绿化隔离带等方式,去减少太阳辐射以及热负荷,进而对热环境加以改善^[3]。与此建筑内部的功能分区应当遵循动静分区、干湿分离以及冷热区合理划分等原则,以此来提升空间的使用效率以及舒适程度。建筑外部空间的布局同样需要和自然环境相互协调,通过合理地安排建筑体量、绿化景观、水体以及通风走廊等内容,形成良好的微气候效应,推动自然通风以及空气流通的顺畅进行。

3.3 建筑高性能围护设计

建筑高性能围护设计对于提升建筑环境适应性以及达成低碳节能目标而言,属于极为关键的手段。其关键之处就在于通过对围护结构的材料性能、构造形式还有系统组合加以优化,以此来增强建筑应对外界环境变化的调节能力,进而促使热稳定性和能源利用效率双双得到提升。围护结构作为建筑能量交换的关键界面,理应拥有不错的保温、隔热、气密以及防潮性能,借以将冷热量损失以及环境热扰动降至最低程度。在开展设计工作期间,要依据气候条件以及建筑功能来合理挑选高效节能材料,像是真空绝热板、低辐射中空玻璃、复合保温墙体还有高反射率屋面材料,并且通过多层复合结构设计达成热工性能的优化效果。与此合理布置遮阳构件、双层幕墙、通风腔体等相关措施,能够在不同季节动态地对建筑外壳的热平衡予以调节,从而降低制冷以及采暖方面的能耗。为了提升气密性与防渗性能,得着重关注节点细部设计以及施工质量把控,防止出现热桥以及空气渗漏的情况。

3.4 建筑可再生能源设计

建筑可再生能源设计乃是达成建筑低碳化以及具备环境适应性的关键途径,其关键点就在于充分且有效地利用太阳能、风能、地热能、生物质能等一系列清洁能源,凭借合理的系统安排以及技术方面的集成举措,削减建筑对于传统化石能源的依赖程度,促使能源利用效率得以提升,进而增强其可持续发展的特性。在开展设计工作的过程当中,需要依据建筑所处的具体地理位置、气候方面的条件以及能耗方面的实际需求,科学且严谨地去挑选与之相适宜的可再生能源种类以及相应的利用办法。举例来讲,太阳能光伏组件能够布置于屋顶或者幕墙的表面之上,以此来达成电能的自给自足并自行使用;太阳能热水系统可

以为生活热水或者采暖事宜提供所需的能源;地源热泵系统借助对地温加以调节的方式来实现高效的供暖以及制冷效果;小型风力发电设备还有生物质能系统,则是能够依据场地的实际条件去对建筑能源供应起到补充的作用。与此可再生能源系统务必要和建筑的整体设计以及建筑智能化管理系统相互结合起来,通过能耗的监测手段、储能系统以及优化控制的相关策略,实现对能源进行动态的调配以及最大程度的利用。

4 结语

经过对低碳绿色建筑设计以及环境适应性策略展开系统分析能够发现,像节能技术、可再生能源的利用、高性能围护结构的应用、采用被动式设计以及智能化能耗管理等一系列措施,在提高建筑能源效率以及环境适应性这件事上,都发挥着颇为重要的作用。与此合理地去利用场地资源、对功能布局予以优化,并且把雨水与绿色景观系统加以应用,这对于达成建筑与自然环境之间的协调共生是很有帮助的。当下,虽说低碳建筑技术和设计方法已经

取得了一定程度的成果,然而在整体系统的集成、针对区域适应性的研究以及实际应用的推广这些方面,依旧存在着不少的挑战。所以,未来的建筑设计应当更加重视技术的综合运用以及环境适应性的优化工作,进而实现低能耗、低碳排放以及高舒适性三者的统一,以此来给建筑行业的可持续发展给予稳固的技术方面的支撑以及丰富的实践经验。

[参考文献]

- [1]韩洁.低碳背景下绿色建筑设计思路与实践研究[J].新城建科技,2025,34(3):128-130.
- [2]吴力,何强.低碳背景下绿色建筑设计思路与实践研究[J].佛山陶瓷,2024,34(11):160-162.
- [3]邓伟欣.低碳背景下绿色建筑设计思路与实践研究[J].居舍,2024(9):112-115.

作者简介:王颖(1986.5—),女,汉族,毕业学校:河北工业大学,现工作单位:河北建筑设计研究院有限责任公司;王梓茜(1986.11—),女,汉族,毕业学校:河北工业大学,现工作单位:北方工程设计研究院有限公司。

工业厂房排架结构的荷载传递与设计

苏君晓

河北英科石化工程有限公司, 河北 石家庄 050000

[摘要]工业厂房排架结构在机械制造、仓储等工业领域中得到了广泛的使用, 不仅具有受力明确、空间利用率高的优势, 而且施工便捷。荷载传递机制对结构整体的稳定性, 构建选型等有着直接影响。文章基于排架结构的力学特性, 对典型荷载的传递路径进行了深入分析, 探讨荷载组合原则及不同荷载工况下的设计要点, 以供参考。

[关键词]工业厂房; 排架结构; 荷载传递; 结构设计; 荷载组合

DOI: 10.33142/ec.v8i12.18778

中图分类号: TU746.3

文献标识码: A

Load Transmission and Design of Industrial Plant Shelving Structure

SU Junxiao

Hebei Enco Petrochemical Engineering Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: The industrial plant shelving structure has been widely used in industrial fields such as mechanical manufacturing and warehousing. It not only has the advantages of clear stress and high space utilization, but also has convenient construction. The load transfer mechanism has a direct impact on the overall stability and construction selection of the structure. Based on the mechanical characteristics of the bent frame structure, this article conducts an in-depth analysis of the transmission path of typical loads, explores the principles of load combination, and discusses the design points under different load conditions for reference.

Keywords: industrial plant; shelving structure; load transfer; structural design; load combination

引言

工业厂房是工业生产活动的核心场所, 其结构的形式必须精准适配大空间、大跨度以及承受重型荷载等一系列特殊工况需求^[1]。由屋架、柱、基础以及支撑系统等关键构件共同组成排架结构, 通过屋架与柱的铰接连接, 以及柱与基础之间采用刚接的连接形式形成稳定的受力体系^[2]。准确把握荷载在结构中的传递规律是保障结构在长期使用过程中安全、经济、适用的前提。近年来, 伴随着工业生产规模的持续扩大、重型设备的大规模应用, 排架结构面临的荷载工况复杂程度不断加剧, 对于设计的精度、荷载传递分析的要求不断提升。基于此, 本文基于排架结构的力学特性, 对典型荷载的传递路径进行了深入分析, 结合规范要求明确设计要点, 旨在构建“荷载分析-传递路径-构件设计-整体优化”的完整设计逻辑。

1 工业厂房排架结构的组成与力学特性

排架结构在工业厂房排架结构体系中占据着关键地位, 承担着 将上部屋面、吊车、墙体等全部荷载传至基础的作用。其基本组成单元为横向排架, 由同一横向平面内的两根或多根柱、屋架(或屋面梁)及基础共同构建而

成^[3]。若干横向排架通过一系列纵向连系构件进行紧密连接, 连系梁用于连接同一纵向轴线上相邻柱的上端或下端, 吊车梁承受吊车竖向荷载和水平荷载, 柱间支撑承受厂房纵向的水平荷载, 提高厂房的纵向稳定性。

排架结构的力学特性由其特有的连接形式以及构件的功能分工所决定, 当承受竖向荷载作用时, 屋架把所承受的荷载以均匀的方式传递至柱顶, 柱凭借轴向受压的方式, 把荷载传递至基础部位, 构件的受力状况与轴心受压或小偏心受压的力学模式较为接近。当结构承受水平方向荷载的作用时, 柱顶产生水平方向的位移, 柱身需承受由弯矩和剪力所带来的力学效应, 基础依靠其具备的抗倾覆及抗滑移承载力平衡水平方向的作用力, 在此情形下, 纵向连系构件与支撑系统协同参与结构受力, 形成具备整体性的抗侧移结构体系^[4]。

2 工业厂房排架结构的荷载类型与传递路径

工业厂房排架结构承受的荷载类型多样, 根据荷载性质分为恒载、活载、水平荷载及其他特殊荷载。

2.1 恒载的传递路径

恒载是指结构在使用过程中始终存在、大小和方向不随时间变化的荷载。

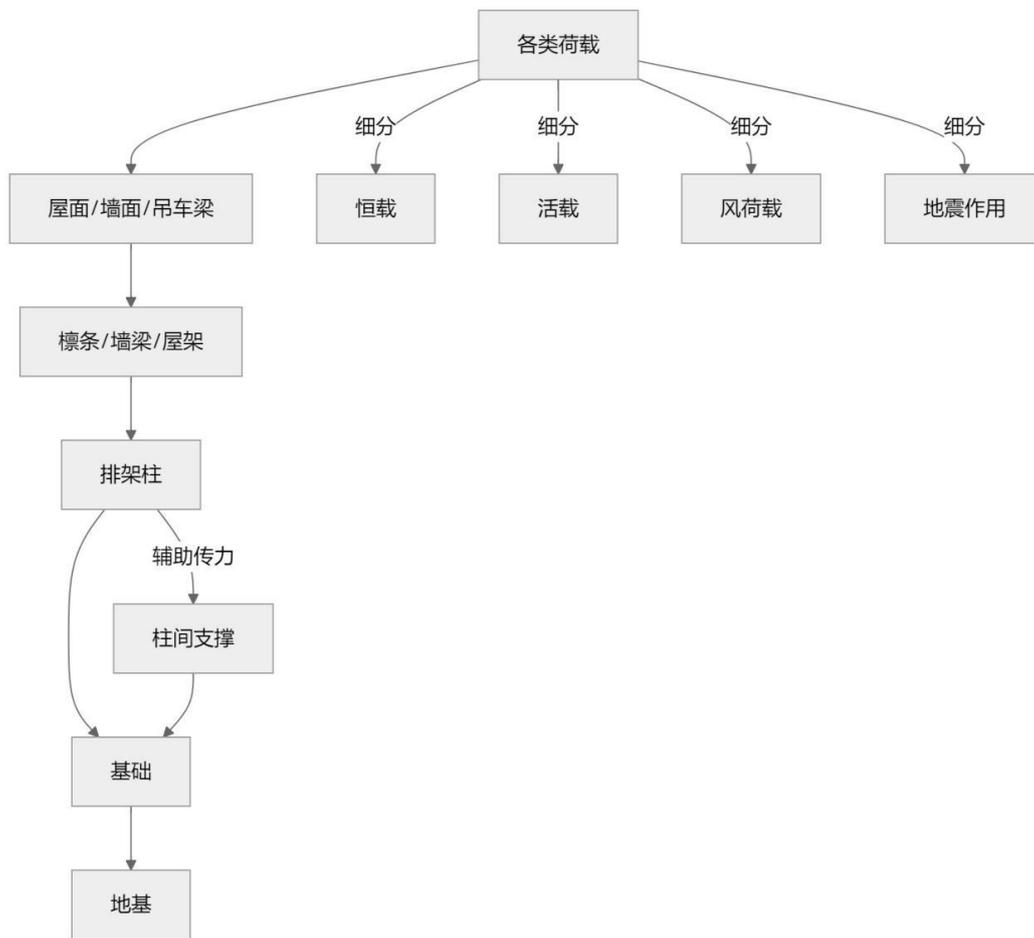


图1 工业厂房排架结构荷载传递总览图

结构自重的传递路径:屋面材料(如彩钢板、防水层、保温层)自重→屋面檩条→屋架(或屋面梁)→柱顶→柱身→基础→地基。

永久设备重量的传递路径:当相关设备(例如通风机、冷却塔等)被布置在屋面上,其所承受荷载的传递路径和屋面自身重量的传递路径相同;若重型机床、储罐等设备设置在室内地面位置,并且直接安放于地基之上,此时荷载不会通过排架柱,荷载将直接通过设备基础完成向地基的传递;当设备借助支架稳固地安装于柱体之上时,此时荷载会直接传递到柱身结构上,随后荷载再经由柱体传递至基础结构。

2.2 活载的传递路径

活载是指结构在使用过程中随时间变化的荷载,屋面活载的传力途径同屋面恒载基本相同:屋面活载(包括检修荷载、积灰荷载)→屋面檩条→屋架→柱顶→柱身→基础→地基;需要注意的是,屋面活载一般均为均布荷载或者局部集中荷载,同时考虑活载的最不利布置,保证屋架以及

柱的强度满足要求。而积灰荷载是工业厂房中所特有的屋面活载,应根据厂房生产性质(如冶金厂房、水泥厂)而定,如果积灰较厚,可能会大大增加屋面荷载,应着重验算。

吊车活载是工业厂房排架结构的关键活载,分为竖向吊车荷载和横向吊车水平荷载,其传递路径具有特殊性。竖向吊车荷载:吊车梁→吊车轨道→吊车牛腿→柱身→基础→地基。吊车在吊车梁上行驶时,通过车轮将竖向荷载传递给吊车梁,吊车梁通过两端的支座传递给柱的牛腿,牛腿将荷载传递给柱身,柱身再将竖向荷载与屋架传递的荷载叠加后传递至基础。横向吊车水平荷载:吊车车轮→吊车轨道→吊车梁→柱牛腿→柱身→柱间支撑→基础→地基。当吊车启动、制动或横向运行时,产生横向水平荷载,该荷载通过吊车梁传递给柱牛腿,柱身将水平荷载传递给柱间支撑,由柱间支撑将水平力沿纵向传递至两端排架的基础,再由基础传递给地基。

2.3 风荷载的传递路径

风荷载是作用于排架结构的主要水平荷载,屋面风荷

载的传递路径:屋面→屋面檩条→屋架→柱顶→柱身→柱间支撑→基础→地基。风荷载作用于屋面时,通过檩条传递给屋架节点,屋架将水平力传递给柱顶;由于柱顶铰接,水平力使柱身产生弯曲变形和剪力,柱身将水平力传递给柱间支撑,柱间支撑通过轴向受力将水平力传递至基础,最终由基础传递给地基。墙体风荷载的传力途径:墙面(彩钢板、砖墙)→墙梁→柱子→柱间支撑→基础→地基。墙体风荷载直接作用在墙体上,由墙梁传递到柱子,在柱子处,风荷载产生的水平力加上屋面风荷载产生的水平力,经过柱间支撑传至基础。设计过程中应根据厂房的体型系数、风压高度变化系数及阵风系数确定风荷载的标准值,另外还应考虑风荷载体型系数及风荷载的脉动性,在有高耸或大跨度排架结构中要考虑风振计算。

2.4 地震作用的传递路径

地震作用是由于地震产生的结构惯性力,是一种动态水平荷载,传递途径同风荷载相似,不过要考虑结构的质量及动力响应。

地震作用传力途径:结构自重(质量)→构件惯性力→屋架/柱→柱间支撑→基础→地基。地震作用时,结构中各构件都具有一定的惯性而产生水平惯性力,屋架传来的屋盖构件的惯性力→屋架把惯性力传递到柱顶上,柱子自身的惯性力由柱子本身承担^[5];柱子把所有的水平惯性力传递到柱间支撑上,柱间支撑再把水平力集中到基础上,基础再与地基相抗衡(地基土的抗侧刚度),而基础还要考虑承担地震带来的竖向地震的作用,保证不倾覆及滑动。

3 工业厂房排架结构设计要点

3.1 柱的设计

柱为排架的主要受力杆件,在柱内将产生轴力、剪力以及弯矩,应进行强度、刚度、稳定性计算。

截面形式的选择:工业厂房排架柱的截面形式主要有矩形截面、工字形截面、双肢柱等。矩形截面适用于中小厂房或者荷载较小者,施工简单;工字形截面抗弯刚度大,适用于荷载较大、柱高度较高的厂房;双肢柱由两根肢杆和腹杆组成,适用于大跨度、大荷载的厂房,可以有效减小柱自重,增加截面效率。

强度验算:柱的强度验算包括最不利荷载组合下柱的轴力、弯矩和剪力,在此基础上对混凝土柱进行正截面受压承载力、斜截面受剪承载力以及裂缝宽度的验算,对钢柱则进行截面强度、稳定性和连接强度的验算。值得注意的是,由于柱牛腿位置受到吊车荷载的集中作用,容易发生局部受压破坏;需做局部受压强度验算并配设必要钢筋

(混凝土柱)或加劲肋(钢柱)。

稳定性验算:柱的稳定性包括整体稳定性和局部稳定性。整体稳定性验算需考虑柱的计算长度,排架柱的计算长度由柱的高度、支撑布置及荷载情况确定;局部稳定性验算对于钢柱尤为重要,需通过设置加劲肋保证翼缘和腹板的局部稳定。

变形验算:对于排架结构来说,变形主要是指柱顶水平位移,过大的柱顶水平位移影响到吊车的正常工作及屋面结构安全,在设计中应限制柱顶水平位移不大于规定数值,如位移过大则可考虑加大柱子的截面尺寸或者增设柱间支撑以增大柱的抗侧刚度。

3.2 屋架的设计

屋架是排架结构的水平承重构件,它主要承受竖向荷载,在设计中应着重验算它的强度、刚度及稳定性。

结构形式的选择:工业厂房屋架的结构形式有三角形屋架、梯形屋架、平行弦屋架等。三角形屋架适用跨度较小($\leq 18\text{m}$)的厂房,构造比较简单;梯形屋架适用于跨度较大的厂房($18\sim 36\text{m}$),屋面坡度平缓,利于排水及采光天窗布置;平行弦屋架适用于有吊车厂房,可以配合吊车梁布置,受力均匀^[6]。

强度验算:屋架的强度验算是指对屋面恒载、活载的最不利组合进行屋架强度计算,对于屋架中各节点板、腹杆与弦杆的连接处,验算其连接强度。对于混凝土屋架,则是验算正截面受拉、受压承载力以及斜截面受剪承载力;而对于钢屋架则是验算杆件的截面强度和连接焊缝的强度。刚度验算:屋架的刚度验算是指主要验算屋面挠度,屋面的挠度限值一般取屋架跨度的 $1/250\sim 1/300$,如果挠度过大会影响屋面排水及正常使用,可以通过加大弦杆的截面尺寸或者合理布置腹杆来提高屋架的刚度。

稳定性验算:屋架的稳定性有整体稳定性和每个杆件的稳定性。整体稳定性可以用屋盖支撑来保证,屋盖支撑包括上弦横向支撑、下弦横向支撑、纵向支撑以及垂直支撑,能够有效避免屋架构件在水平荷载作用下的侧向移动及倾覆;对单根构件稳定进行验算该杆件的轴心受压或者轴心受拉强度,并且对受压构件考虑其计算长度以及长细比。

3.3 基础的设计

基础是指排架结构的基础,应将柱传来的荷载扩散到地基上,并保证结构物不致产生过大的沉降量、倾斜和滑动。

基础形式的选择:采用独立基础适用于地基土持力层承载力较高、荷载比较均匀的情况,便于施工操作,造价低;采用条形基础适用于地基土持力层承载力不高或柱子

承受荷载较大时使用;采用筏板基础适用于地基土持力层承载力较低而荷载分布不均匀时应用。

地基承载力验算:基础底面面积按地基承载力特征值和最不利荷载组合下基础底面的压力来确定,应保证基础底面压力不大于地基承载力特征值,并要考虑地基的变形,验算基础的最终沉降量,其值不得大于允许值。

基础强度验算:基础强度验算应考虑由柱传来的轴力、弯矩及剪力。

抗倾覆及抗滑移稳定验算:当基础受到水平方向的作用力(包括风荷载以及地震作用)后会发生倾覆或者滑移现象,在这种情况下应对其做相应的稳定验算工作。对于抗倾覆稳定性的计算应满足基础所受的抗倾覆力矩大于其倾覆力矩,而该抗倾覆力矩是由基础的自重及其地基土的净反力产生的;而对于抗滑移稳定的验算则应满足基础所受的抗滑移力大于其滑移力,抗滑移力是由基础与地基土之间的摩阻力以及地基土的被动土压力产生的。如果抗倾覆或者抗滑移不够稳定,则可以利用扩大基础底面积的方法增加地脚螺丝或是加深基础埋深来提升其稳定性^[7]。

3.4 支撑系统的设计

支撑系统是排架结构保证空间稳定性的关键,设计中需根据荷载情况和结构布置合理确定支撑的形式、位置和截面尺寸。

屋盖支撑设计:按照规范要求,上弦横向支撑应设置在厂房两端及伸缩缝处,间隔尺度不宜超出 60m 为宜;下弦横向支撑需按照与上弦横向支撑相对应的方式进行布置,提升屋盖在横向方向上的刚度性能;纵向支撑布置在屋架下弦的纵向平面内,可传递纵向水平荷载;垂直支撑布置在屋架的跨中或支座处。

柱间支撑设计:按照结构设计要求,柱间支撑应布置在厂房两端和伸缩缝处,对于有吊车的厂房,还应在吊车梁的上方布置上层柱间支撑,在吊车梁的下方区域规划布置下层柱间支撑;柱间支撑的截面形式可采用交叉支撑、人字形支撑或单斜杆支撑,当水平荷载数值较大时,交叉

支撑是适用的结构形式;按照水平荷载的计算数值确定支撑的截面尺寸,确保支撑的强度和稳定性。

4 结论与展望

不同类型的荷载,其传递路径有所不同,然而,核心的用于传递力的构件均为柱、屋架与基础,支撑系统在水平荷载传递进程中起到至关重要的作用。排架结构的关键构件包含柱、屋架、基础以及支撑系统,在设计环节,需要紧密结合荷载传递规律开展相关工作,应当重点针对其强度、刚度与稳定性进行细致验算,基于验算的实际结果,对于截面的形式以及材料进行合理科学选择,确保结构安全经济。伴随工业技术的持续演进与进步,在研究中可融入智能化技术,进一步提高效率的质量与效率。对于新型材料在排架结构中的应用展开深入探究,依据材料特性,有针对性地对荷载传递路径和构件设计进行优化处理,进而实现结构的轻量化和高性能化。

[参考文献]

- [1]曹彦彬.厂房超高钢筋混凝土框架柱施工技术研究[J].建筑工程技术与设计,2017(6):163-163.
 - [2]周莉.工业厂房钢筋混凝土框架结构设计分析[J].山西建筑,2016,42(3):33-34.
 - [3]黄胜.火力发电厂主厂房的钢筋混凝土框排架结构设计分析[J].沿海企业与科技,2009(9):97-98.
 - [4]丁莉.钢筋混凝土结构工业厂房设计分析:以某工业厂房为例[J].住宅与房地产,2017(29):98-99.
 - [5]武飞.工业厂房钢筋混凝土框架结构设计分析[J].山西建筑,2016,42(12):37-38.
 - [6]高为志.火力发电厂主厂房结构抗震性能分析[D].济南:山东建筑大学,2014.
 - [7]邵紫阳.新型多层框排架结构工业厂房的节点性能研究及抗震分析[D].南京:南京理工大学,2012.
- 作者简介:苏君晓(1987.8—),毕业院校:石家庄铁道大学,所学专业:土木工程,当前工作单位:河北英科石化工程有限公司,职务:结构工程师,职称级别:中级。

海绵城市理念下的雨水花园设计研究

王圆圆

河北天艺建筑设计有限公司, 河北 石家庄 050000

[摘要]近些年来,伴随着城市人口急剧的增加、工商业的快速发展以及环境污染问题日益凸显对城市的生态环境以及居民的生活质量造成严重的影响。海绵城市理念通过模仿自然界的水循环过程,旨在解决城市化进程中水资源短缺、水环境污染等难题。雨水花园在海绵城市中发挥着至关重要的作用,作为影响开发的核心设施,兼具水文调节、水质净化与生态景观多重价值。文章研究对海绵城市理念的雨水花园设计的技术要点进行了深入分析,并对目前设计过程中所存在的不足进行探讨和分析,同时提出具有针对性的优化策略,以供参考。

[关键词]海绵城市;雨水花园;水文调控;生态设计;低影响开发

DOI: 10.33142/ec.v8i12.18765

中图分类号: TU985.12

文献标识码: A

Research on Rainwater Garden Design under the Sponge City Concept

WANG Yuanyuan

Hebei Tianyi Architectural Design Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: In recent years, with the rapid increase of urban population, the rapid development of industry and commerce, and the increasingly prominent environmental pollution problems, the ecological environment of cities and the quality of life of residents have been seriously affected. The concept of sponge city aims to solve the problems of water scarcity and environmental pollution in the process of urbanization by imitating the natural water cycle process. Rainwater gardens play a crucial role in sponge cities, serving as a core facility that influences development and possessing multiple values including hydrological regulation, water quality purification, and ecological landscape. The article conducts an in-depth analysis of the technical key points of rainwater garden design based on the sponge city concept, and explores and analyzes the shortcomings in the current design process. At the same time, targeted optimization strategies are proposed for reference.

Keywords: sponge city; rainwater garden; hydrological regulation; ecological design; low impact development

引言

随着我国城市化进程的加快,城市面貌发生了很大的变化,硬质铺装面积大幅度增加,自然下地面被大面积的沥青、水泥等硬质材料过度侵占,从而给城市的水微循环带来很大的影响,甚至出现诸多水生态相关问题,城市水系统面临三重矛盾,倒逼基础设施绿色转型:其一,水安全风险加剧,2022年全国多数城市发生内涝灾害,传统排水系统在应对百年一遇降雨事件时失效率较高,急需海绵设施提升调蓄能力;其二,水资源供需失衡,人均水资源量与污水再生利用率不足形成尖锐矛盾,迫切需要通过再生水回用来缓解供需间的矛盾。在此背景之下,海绵城市理念应运而生。通过模仿自然湿地的生态系统,构建一个较为完整的雨水管理网络,在降雨时可以实现雨水的滞蓄、渗透、净化与回用,以满足城市的生活需求,同时著

有诸多的优势,例如无需大规模的工程改造、生态效益好、具有很强的适配性等,在道路绿化带、城市公园等领域中得到了广泛的应用。然而,目前我国雨水花园设计过程中存在一些问题,严重制约了其功能的充分发挥。基于此,本文研究亟需开展针对性的设计研究与优化探索,助力海绵城市建设目标的实现,确保雨水在花园中的停留时间和排水顺畅,促进城市水生态系统修复与可持续发展。

1 海绵城市与雨水花园的核心关联及作用机理

1.1 核心关联解析

海绵城市摒弃了传统城市建设中对自然生态系统的粗暴干预,尊重自然水文循环,是自然形成或人工挖掘的浅凹形绿地,通过低影响开发策略尽可能的降低城市建设对于自然生态系统的影响。在暴雨来袭时,海绵城市的各种低影响开发设施可以吸收和储存大量的雨水,减少地表

径流,避免短时间内大量雨水汇聚形成内涝。海绵城市通过增加雨水的下渗量,补充地下水,有助于改善水资源供需平衡,雨水花园中的植被和土壤可以吸附和过滤雨水中的悬浮物和部分污染物,保护城市水体环境。

雨水花园主要由地表植被、蓄水层、覆盖层、种植土壤层、砂层、砾石层及穿孔管等组成,海绵城市与雨水花园两者之间的核心理念呈现出高度的契合,从理念层面来看,海绵城市的理念为雨水花园的设计指明了核心的方向,立足于自然的循环规律,在面对降雨时结合具体情况,优先采用生态化技术。从设施落地层面来看,雨水花园可将海绵城市抽象的理念转化为实实在在的空间设施,可以有效的调节城市的雨水循环,同时,雨水能够逐渐渗透到地下,补充地下水资源,改善城市的水资源供需平衡,助力城市形成“渗、滞、蓄、净、用、排”的雨水处理体系。此外,园林雨水花园与城市绿地、水系相结合,形成连续的生态廊道,为生物提供栖息地和迁徙通道,改善城市微气候,缓解城市热岛效应,与其他海绵城市设施一起,为城市居民创造更加舒适、健康、宜居的生活环境。

1.2 雨水花园的作用机理

1.2.1 水文调控机理

雨水花园是一种模仿自然水文循环的景观设计,它利用植物、土壤和微生物的综合作用,实现雨水的收集、过滤和渗透,旨在解决城市雨水径流带来的污染问题。在现代景观设计领域,雨水花园的应用越来越普遍,具备水文调控核心功能,减缓雨水径流的速度、提升雨水下渗量。具体机理如下:一是滞蓄作用,雨水花园巧妙地借助人工塑造的下凹式地形,打造出雨水汇集的理想区域,当发生降雨时,雨水可以快速的汇入花园的内部,缓解汛期排水压力。同时具有渗透作用,雨水花园的土壤层并非普通的土壤,而是结合雨水花园的功能需求、当地的土壤条件进行专门的改良,同时搭配砾石层、砂层等透水结构,当雨水被滞蓄在花园内后,便会开始逐步下渗,补充地下水。此外,在雨水花园的水文调控过程中,部分未下渗的雨水会通过收集设施储存起来,经过一系列的处理,将雨水中的污染物、杂质去除,广泛应用于道路清扫、绿化灌溉等非饮用水领域中。

1.2.2 生态净化机理

雨水花园对雨水的净化作用是物理、化学与生物作用协同的结果,具体机理包括三个方面:一是物理净化,雨水经过植被冠层拦截,去除部分悬浮颗粒物;下渗过程中,土壤颗粒、砾石等对悬浮颗粒物进行过滤、吸附,实现污

染物的初步去除;三是生物净化,植被根系与土壤中的微生物形成共生系统,微生物通过代谢作用降解雨水中的有机污染物,植被根系吸附重金属与营养物质,同时根系分泌物可促进微生物活性提升,进一步增强净化效果;二是化学净化,土壤中的矿物质与雨水中的污染物发生化学反应,如重金属离子与土壤胶体发生吸附、沉淀反应,氮磷等营养物质与土壤中的化学物质结合,降低污染物活性。

2 海绵城市理念下雨水花园的核心设计要素与技术要点

2.1 地形设计

雨水花园在城市海绵体建设中尤为关键,而地形设计作为雨水花园实现雨水滞蓄与汇流的基础,对于水花园能否稳定高效的运行、达到预期的环境效益与生态效益有着直接的影响。雨水花园的核心地形设计中充分利用地势差异,为雨水汇集创造有利的条件,通常塑造下凹式地形,在设计期间综合考虑土壤的渗透性、场地的地形地貌以及降雨的特征合理规划汇水范围与坡度。在设计汇水范围时不仅要结合场地规模,同时也要考虑周围环境的实际状况,以海绵城市建设的要求为依据,单个雨水花园的汇水面积宜控制在 $50\sim 500\text{m}^2$ 。在规划汇水范围时,可充分利用路缘石开口、植草沟等设施将周边地表径流均匀地引入雨水花园。坡度设计要兼顾滞蓄与渗透,雨水花园内部坡度宜 $1\%\sim 5\%$,在花园边缘设边坡,坡度宜 $1:3\sim 1:5$ 。下凹式地形深度依据降雨强度和土壤渗透系数确定,一般 $10\sim 30\text{cm}$ 。

2.2 土壤设计

土壤作为雨水花园实现渗透与净化的核心载体,其设计与构建对于水花园功能的发挥有着直接的影响。因此,为了确保雨水可以更加顺利的下渗,在雨水花园土壤设计中需要充分考虑场地的原生土壤条件,优化土壤的配比,一般砂质壤土占 $60\%\sim 70\%$ 、腐殖质占 $20\%\sim 30\%$ 、砾石占 $5\%\sim 10\%$,改良后的土壤渗透系数宜控制在 $1\times 10^{-4}\sim 1\times 10^{-3}\text{m/s}$ 。再结合植被类型以及水文调控需求,合理设计土壤层的厚度,本植物根系比较浅,因此草本植物区域的土壤层厚度控制在 $30\sim 50\text{cm}$;反之,乔木根系比较发达,因此,此区域的土壤层厚度应该控制在 $80\sim 120\text{cm}$ 。

另外,为了确保雨水花园的正常运行,在土壤层下方合理设置排水层以及过渡层。排水层建议采用碎石,粒径为 $2\sim 4\text{cm}$,厚度控制在 $20\sim 30\text{cm}$ 范围内,以形成良好的孔隙结构。过渡层建议采用砂层,厚度控制在 $10\sim 15\text{cm}$ 范围内,其主要作用是避免土壤颗粒随着雨水而下渗到排

水层,从而导致排水管堵塞。下图1为雨水花园土壤剖面结构示意图。

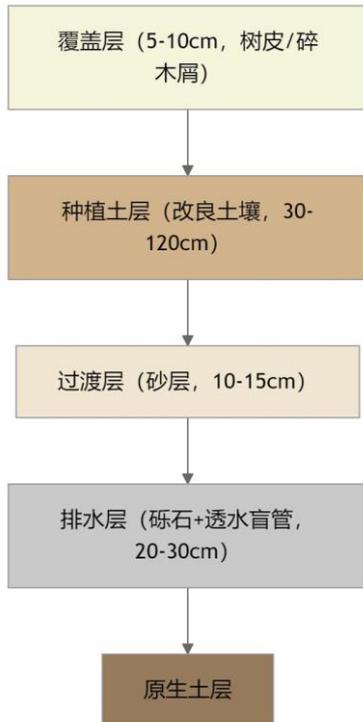


图1 雨水花园土壤剖面结构示意图

2.3 植被设计

植被是雨水花园的“灵魂”,应该结合雨水花园的水分分布特点,合理的选择植被。芦苇、香蒲等湿生植物,主要种植于雨水花园底部积水区域;紫花地丁、景天等旱生植物,主要种植于花园边缘非积水区域;鸢尾、萱草等中生植物,主要种植于花园中部过渡区域;另外,为了增强植被菌落的稳定性,可以搭配垂柳、紫薇等少量的本土灌木与乔木。植物的配置同时也要注重群落的结构优化,植被配置需注重群落结构优化,运用“乔灌草”多层组合配置方式,不仅有助于增强生态系统的抗逆能力,而且有助于提高净化效果的稳定性。与此同时,也要充分考虑植物的生长周期,根据实际情况挑选花期不同、叶色多样的植物,以此营造出一种四季有景的景观效果。

2.4 防渗与溢流设施设计

防渗与溢流设施不仅可以平衡雨水渗透与防渗漏需求,同时可应对超设计暴雨,防止出现积水内涝现象。因此,需要结合水质要求以及场地地下水埋深合理设计防渗措施,全防渗设置方案主要应用于地下水埋深较浅、易发生地下水污染的区域,另外,为了避免雨水下渗对地下水造成污染,可铺设防渗膜(如HDPE防渗膜);无防渗设

计方案主要适用于地下水匮乏、需重点补充地下水的区域,从而实现雨水充分下渗;半防渗设计方案主要应用于地下水埋深较深、水质较好的区域,另外,为了可以控制雨水下渗的速度,应该在排水层的下方铺设部分防渗膜,控制雨水下渗速度。溢流设施设计要满足超设计暴雨排水需求,溢流口设于雨水花园最高处并连城市雨水管网,确保超量雨水速排防淹周边。其尺寸依设计暴雨强度与汇水面积算。另外,为了避免悬浮颗粒物造成城市雨水管网的堵塞,设格栅,拦截悬浮物。

3 海绵城市理念下雨水花园设计的现存问题

部分雨水花园设计缺乏系统思维,未结合海绵城市建设目标与场地条件明确功能定位。有的重景观轻水文调控与生态净化,导致雨水调控效率低。同时,未充分考虑场地条件,规模与实际需求不匹配,易积水或无法承接雨水。多数雨水花园设计要素参数不合理,土壤改良未依原生土壤优化配比,影响雨水净化与渗透;地形设计坡度与下凹深度不当,影响植被生长与土壤透气;植被设计物种单一、外来物种多,存活率低且净化功能不稳;溢流与防渗设施设计尺寸不足或方式不当,影响应对暴雨及地下水补给。雨水花园设计生态适配性不足,在植被选择方面,侧重于景观,植物配置单一,生态系统稳定性差。未构建微生物群落,难以实现生态良性循环。

4 海绵城市理念下雨水花园设计的优化策略

4.1 明确功能定位,构建系统性设计框架

雨水花园作为海绵城市建设中的关键设施,例如海绵城市的核心理念,充分考虑到场地的实际条件,对雨水花园的功能定位进行分析。在设计阶段,首先对场地进行全面细致的勘察,分析场地的汇水范围,深入研究当地的降雨强度特征、地下水埋深、土壤条件等,此外,结合海绵城市的建设目标,对花园的规模、布局、汇流路径进行合理规划。植被作为雨水花园中的关键组成部分,除了为雨水花园增添景观美感外,同时具有生态净化的功能,因此需要充分结合土壤特性、当地的气候条件以及雨水花园的功能需求,合理选择本地的植物品种。雨水花园的景观布置应该与周围城市的空间风格相统一协调,提升城市人居环境质量。加强雨水花园与人工湿地、植草沟等其他海绵设施的协同设计,充分发挥各设施的优势,对雨水进行有效的处理和利用,助力海绵城市建设目标的实现。

4.2 强化生态适配性,提升生物多样性

在如今城市生态建设的大背景之下,雨水花园的建设应该以生态优先为核心,从而构建良性循环的生态系统。

在雨水花园建设过程中,严格避免使用外来植物,全面推广本土物种,还应该筛选具有不同生态功能的本土物种,如鸢尾、菖蒲等一些开花的植物,不仅可以观赏,而且能够为昆虫提供花蜜。芦苇、香蒲等水生植物可以有效地固定于土壤之中,在一定程度上防止水分的流失。水生植物的茎叶能够对重金属悬浮物的污染物起到吸附作用。在雨水花园的建设过程中,尽可能的保留部分自然地形与植被,以此形成一个更加自然和谐的生态系统。例如,通过保留自然的沟壑,有助于增加雨水花园地形的多样性。绿水花园通过借鉴自然湿地的功能与结构,构建一个类似水生植物群落以及动物群落,进一步实现雨水花园与自然生态系统的协同发展,既能够高效的管理雨水,还能够改善城市的生态环境。

5 结论

雨水花园作为一种生态可持续的雨水利用方式,在城市生态建设中具有广阔的应用前景。本文基于海绵城市理念系统研究雨水花园设计,雨水花园与海绵城市理念的融合,通过有效管理雨水资源、保护生物多样性和调节微气候可以实现雨水资源循环利用与水生态修复。另外,对于

目前雨水花园设计中所存在的不足之处,通过制定优化策略,如强化生态环境的适配性、明确功能定位等策略,提升雨水花园水文调控与生态净化能力。海绵城市建设推进下,雨水花园设计应用前景广阔,未来研究结合不同气候区特点开展针对性设计研究,提升区域适配性。融合智能化技术,实现指标实时监测与智能调控,提升运行及运维智能化水平。

[参考文献]

- [1]王思思,张丹明.澳大利亚水敏感城市设计及启示[J].中国给水排水,2010,12(20):64-68.
 - [2]杨晓东.城市非建设用地对雨洪管理的影响[J].山西建筑,2013,12(10):12-13.
 - [3]仇保兴.海绵城市(LID)的内涵途径与展望[J].建设科技,2015,11(11):11-18.
 - [4]刘学娇.提高海绵城市雨水收集系统施工措施[J].工程机械与维修,2021,12(14):208-209.
- 作者简介:王圆圆(1996.11—),毕业院校:河北农业大学现代科技学院,所学专业:风景园林,当前工作单位:河北天艺建筑设计有限公司,职务:景观设计师。

基于 BIM 技术的消防暖通空调设计分析

张明昇

新疆恒泰工程设计有限公司, 新疆维吾尔自治区 图木舒克市 843900

[摘要]伴随建筑物的智能化、信息化程度越来越高, BIM (建筑信息模型) 技术的应用也越来越广泛, 不仅应用于建筑工程的设计和施工管理当中, 在消防暖通空调的设计方面也有着很大的作用。消防暖通空调的设计涉及到通风、防排烟、供热、供冷等多个环节, 传统的二维平面图的设计方式存在着数据独立、协调困难和现场返工次数较多的问题, 文章以 BIM 为主要研究对象, 系统的阐述了消防暖通空调设计的关键环节, 以及应用的具体措施和效果, 主要研究了针对该系统在如何进行协同工作、管路优化、施工模拟、节约能源和选择设备等方面进行了 BIM 的具体应用研究; 并通过对具体项目进行分析研究, 从而得到 BIM 对于消防设计的质量和进度, 以及节约成本的影响。最后得出结论, 利用 BIM 技术可以提高消防暖通空调系统的设计质量和准确性, 并可保证方案设计至施工全过程的信息数据化管理, 对快速高效的可持续性建筑机电设计有着很大的帮助。

[关键词]BIM 技术; 消防暖通空调; 节能设计

DOI: 10.33142/ec.v8i12.18764

中图分类号: TU831

文献标识码: A

Analysis of Fire HVAC Design Based on BIM Technology

ZHANG Mingsheng

Xinjiang Hengtai Engineering Design Co., Ltd., Tumushuke, Xinjiang, 843900, China

Abstract: With the increasing intelligence and informatization of buildings, the application of BIM (Building Information Modeling) technology is becoming more and more widespread. It is not only used in the design and construction management of building projects, but also plays a significant role in the design of fire HVAC systems. The design of fire HVAC involves multiple aspects such as ventilation, smoke control, heating, and cooling. The traditional two-dimensional plan design method has problems such as data independence, coordination difficulties, and frequent on-site rework. This article takes BIM as the main research object, systematically elaborates on the key aspects of fire HVAC design, as well as specific measures and effects of application. The main research focuses on the specific application of BIM in collaborative work, pipeline optimization, construction simulation, energy conservation, and equipment selection for this system; By analyzing and researching specific projects, the impact of BIM on the quality and progress of fire design, as well as cost savings, can be obtained. Finally, it is concluded that the use of BIM technology can improve the design quality and accuracy of fire HVAC systems, and ensure the information data management of the entire process from scheme design to construction, which is of great help to the rapid and efficient sustainable building electromechanical design.

Keywords: BIM technology; fire HVAC system; energy-saving design

引言

伴随着建筑体量增大及功能的多样性, 消防暖通空调设计对于建筑的安全性、舒适度以及节能环保水平发挥着越来越重要的作用, 而传统的二维图设计已经不能够适应现代化建筑对精确化、协调性以及可追溯的要求, 设计缺憾和冲突不断出现, 从而造成工期延误以及费用增加等情况。BIM 是以三维模型为基础可以进行设计、施工和运行管理等信息高度融合的技术手段, 其可以为消防暖通空

调的设计提供一体化的数字化解决方案, 利用建模、碰撞、参数等方式可以提高设计准确性、协调水平, 减少施工现场的风险, 合理的设计设备管线布局并优化系统性能。因此, 探究 BIM 在消防暖通空调设计中的运用具有重要的工程意义, 同时也可以作为建筑领域的数字化发展的一种借鉴。

1 BIM 技术与消防暖通空调设计概述

BIM 是以建筑工程项目的各项相关信息数据为基础,

通过数字信息仿真模拟建筑物所具有的真实信息的功能。BIM 技术是在建筑设计、建造及运营维护阶段,基于三维建筑信息模型的设计方法。对于消防暖通空调设计而言,采用 BIM 技术可以做到消防暖通空调系统的三维可视化建模、参数化设计以及多专业的协同设计。与传统的二维设计方式相比较, BIM 不仅可以实现空间上的三维可视化展示,还可以在三维模型里面存储风量、水量、温度、压力等设计参数,从而能够对暖通空调系统进行相应的模拟计算来达到优化设计方案的目的。消防暖通空调体系的复杂主要是体现在管网数量繁多、复杂交错并且设备密集等问题,传统的设计手法容易忽视不同专业的碰撞与施工难度,在设计的时候无法避免这些问题,但是应用 BIM 能够在设计的过程中通过碰撞检查和可视化的检验避免设计错误问题的发生,提升系统设计质量;并且设计的信息数据集中存储并共享,各个专业之间在同一个数据平台上面相互配合,提升了工作效率,增强了信息传递透明度,进而保证整个系统运行的安全可靠性的同时又能达到节约能耗、节省资金、高效率的工程项目的目的。

2 基于 BIM 技术的消防暖通空调设计要点

2.1 消防系统与暖通空调系统的协同设计

消防系统和暖通空调系统的协同设计是保障建筑物内安全与舒适的重要组成部分。传统的做法中二者相互独立,容易造成管路碰撞、设备间互相干涉、施工难度增大的问题。以 BIM 为基础的协同设计,以相同的三维模型为基础,把消防管道、排烟风管、空调风管、水系统放在同一个空间中模拟显示,使得设计者可以清楚地发现冲突地方及时改进设计。并且可以在 BIM 模型中赋予系统属性,包括管道直径、风量大小、水压及流量,使得消防系统与暖通空调系统从功能上也可以产生联动效应,在发生火灾、需要通风或者有冷负荷的时候,两个系统都能协调一致的工作起来。这样设计师们就可以在一开始的设计过程当中就能把问题找到并加以完善,使得整个系统的布局更为合理有效,提高了建筑机电设计的整体质量和安全性。

2.2 防排烟系统的 BIM 精细化设计

防排烟系统的设计直接影响建筑内消防的安全性和人员疏散的速度,防排烟系统的设计精度和可实施性的要求非常高。运用 BIM 技术进行防排烟系统的设计能够通过三维模型准确地表示出排烟风道和排烟口、送风口的空间走向情况,可完成对风量分布情况以及排烟流向的模拟展示,利用模型参数化的特性,设计者能够完成对于风量、风压以及通风阻力的精准演算,在此基础上还可以随时修

改管道尺寸以及风机参数等信息以保证系统在各种不同的消防工况条件下均处于稳定状态。此外, BIM 防排烟系统模型还可以与建筑主体模型和其他专业的暖风系统模型以及电气系统模型相互整合,开展碰撞校验及空间优化,完成各专业之间的配合工作,精细的模型设计使得防排烟系统的施工安装变得更加便捷,并且还还为后期防排烟系统的运营维护提供了可靠直观的信息来源和管理依据,进一步提升了建筑内部的消防可靠性。

2.3 暖通空调系统在消防工况下的设计控制

暖通空调系统的消防工况的运行不仅包括了舒适性还包括了火场环境下的气流方向把控以及排烟效率问题,借助 BIM 技术设计控制策略,利用三维模型对空调风管,回风口,送风口准确布置并通过参数化分析对风量、风速、风管阻力损失、温度变化等进行实时调节以确保其在发生火灾紧急情况时可以为建筑排烟防火和人员逃生等起到有效的保障作用。而且基于 BIM 模型能够集成消防报警系统还有排烟控制子系统相关数据接口,来模拟各系统间的相互协同控制过程,为方案提供依据参考。另外在设计阶段中还可以借助 BIM 技术来模拟不同的火灾场景,了解暖通空调系统在极端条件下的工作状态,用于辅助建筑防火安全评价以及施工可能性的考量,使系统设计的安全可靠性得到同步提升。

2.4 设计参数协调与规范符合性分析

在消防暖通空调系统的设计过程中,各专业的参数兼容问题以及规范适用问题是保障设计方案可行性和安全性的必要步骤。基于 BIM 的统一模型平台,将管道口径、风量、水压、温湿度、流速等设计参数整合入模型当中,在模型内实现对各系统之间参数互相协调的目的。设计师可在模型里即时查看各种参数是否达到设计规范标准的要求并使用自动检测软件完成对规范适用性检查工作。此外,基于 BIM 模型的参数化特征使得方案修正及优化便捷高效,在不影响建筑物安全性、舒适性和节能性的前提下及时对多种方案做比较选择并对相关参数加以修正。以这种方式来规避由于参数不符或违反相关规定造成的方案矛盾问题出现,提升系统设计质量的合理性与可行性,给后续工程及运维阶段提供了可靠依据。

3 BIM 技术在消防暖通空调设计中的应用路径

3.1 BIM 数据平台的构建与信息集成

建立一个 BIM 数据中心是开展消防暖通空调设计信息化管理的前提条件。通过数据中心统一管理建筑设计、建筑结构、暖通、消防、电气等多个专业之间的信息协调,

做到对设计参数、图纸以及现场施工情况的统一管理,在数据心里各个专业的设计师能及时获取模型相关的信息并进行碰撞检测、冲突分析等操作,并记录保存所有更改记录和版本管理以达到设计的可追溯性, BIM 数据中心也可以与各种计算分析软件和现场施工管理软件进行对接,使设计的数据与性能的分析、施工现场进度以及造价等方面做到无缝衔接配合,为项目的整个设计与施工过程提供准确合理有效的数据支持,提高项目工作效率和质量管理水平。

3.2 方案设计与三维模型建立

在方案设计过程中,利用 BIM 技术创建三维模型是最为核心的精准设计过程,在设计初期就可以对通风管道、给排水管道以及设备的位置进行三维定位,可视化展示不同系统之间的排布位置以及所占的空间大小。三维模型除了可视化的效果以外还能够添加风量,水压、流量和温度等各种参数,对设计方案进行模拟分析以及调整优化。在建模的过程中可以及时发现设计方案存在的碰撞,调整设备摆放位置和管线走向,使得设计方案更为合理。并且,根据三维模型对施工图纸进一步细化,保证图纸的设计内容更加符合实际施工的要求,减少施工阶段出现返工的问题,保证系统安装和后期运行的可能性。

3.3 系统族库构建与参数化设计

系统族库的建立是 BIM 技术应用的重要组成部分,利用统一化、参数化的组件库,达到消防暖通空调系统的设计重复利用的效果。系统族库主要包含风机、空调箱、管道、阀门以及排烟装置等一系列常用的部件,每一个部件都有可供调节的参数例如长度宽度、材料、性能指标等,设计师可以根据具体的项目需求对其进行迅速设置与修改^[1]。参数化的设计方式使得整个系统的模型可以跟随空间的变化、管路的变化而作出及时的调整,方便设计师灵活地对方案进行修正设计。系统族库与参数化的工具相结合提升了设计效率的同时也使得系统部件更加地标准化、规范化,成为施工、运维强有力的保障基础。

3.4 综合管线布设与碰撞检测

综合管线排布是保障消防暖通空调系统的各专业的协调工作的重要环节。BIM 技术以三维模型的方式对风管、水管、排烟管等及电气管线进行立体化排布,使得管线排列整齐有序,大大减少了管线之间相互交错矛盾^[2]。同时运用碰撞检查功能,设计师可以在模型上自动找到空间上的矛盾处,进而及时修改管道走向或者调整设备位置达到最优布置方式。综合排布提升了设计合理性,也极大程度的减少了施工现场的设计变更与返修次数,加快了施

工进度。在对多种不同的布置情况进行模拟之后,设计单位可以选择出最优方案,使系统的安全可靠性、施工可操作性和经济成本都达到最优。

3.5 施工图深化设计与优化

施工图深化是把方案设计转变为施工方案的重要过程。BIM 以三维建模的方式生成施工图,保证图纸信息与模型参数的高度统一,避免了传统二维制图的信息传输失真,在模型的基础之上生成平面,立面,剖面图,对管径大小,设备布局,支撑点位和安装节点等进行调整^[3]。在施工图的设计过程中, BIM 还能够校核冲突,优化空间排布以及对管道坡度进行检测,保证设计结果可以被现实所接纳。施工图优化提高了施工进度,也保证了施工质量,更为后期运维提供了依据。

3.6 安装模拟与施工协同设计

安装仿真与施工配合设计是 BIM 技术应用重要部分,在三维模型的基础上可以实现系统安装过程的虚拟仿真。设计师可以在三维模型中预先对设备吊装,管道连接以及施工流程进行模拟从而在设计阶段提前预见施工难题以及安全问题并调整设计方案;施工配合设计的设计与施工团队可以实时的获取到模型的数据并实现跨专业的,跨单位之间的协调管理。基于安装仿真,施工单位可根据模拟结果合理地规划出施工步骤以及调配施工资源,减少施工隐患,加快工程项目的施工进度,保障系统的安装效果满足设计方案以及相关规范的要求。

3.7 系统节能设计与设备选型

系统节能设计及设备选型是保证建筑效率与经济效益的重要步骤。借助 BIM 技术,设计师在三维模型的基础上植入系统的运转数据信息,在虚拟的空间下对不同的设备以及控制系统下的耗能情况进行预测,从而能够对系统进行节能的设计。另外 BIM 模型可以对暖通工程当中的空调,通风,制冷以及防排烟等设备进行性能比较。结合建筑物的使用负荷情况和功能用途来选择合适的机型。通过对数据的选择以及节能的分析,达到系统最大化的节能效果,节约了设备的投入成本以及运行费用,为建筑的可持续发展提供了技术支持。而且节能设计的数据与 BIM 模型相结合,方便以后对于建筑后续运维管理以及能耗监测,做到全方位的把控。

4 BIM 技术在消防暖通空调设计中的应用效果分析

基于 BIM 技术的消防暖通空调设计提高了设计准确性、协作水平、施工便利性以及节能水平,在同一三维模型基础上,利用参数化工具,设计人员能够完成从设计方

案、施工模拟到设备选择、系统优化等全过程的信息化管理,减少施工变动率与费用,保证各专业间的信息相互匹配。基于 BIM 模型的可视化特性,使得管道走向、设备排布、系统参数清晰可见,方便提前发现问题,及时调整方案,并可以对通风量、水力学以及节能指标进行计算校核,从而保证整个系统的安全性、舒适性和节能性达到最佳状况;在施工过程中, BIM 技术以虚拟安装演示的方式协同设计,做到跨专业的实时信息交互,在施工之前就明确施工难点及风险点,安排好施工流程和资源分配,加快施工进度,保证系统能够顺利按照设计方案安装到位。在节能设计和设备选型问题上, BIM 可以针对不同的设备型号组合以及运行模式进行对比测算,选择综合能耗最低,投入最少的方案,还提供了后期运维所需的数据基础,完成了设计、施工到运维的闭环管理。总而言之, BIM 技术基于信息化管理系统实现了消防暖通空调系统的精细化设计、规范化施工、高可靠性以及良好的节能效益,对于高质量交付建筑机电系统具有重要意义,未来将会更加广泛地应用于项目的精准化设计、协同管理和全寿命周期优化工作中去。

5 结语

以 BIM 为基础的消防暖通空调设计,可以做到对整个系统的精细化管理以及进行不同专业的协作,以及全生

命周期的信息数字化管控,利用三维可视化、参数化的设计,碰撞校核、施工仿真等手段, BIM 不仅仅提升了我们的设计精确度,而且增强了可施工性,还提升了整个系统的节能效果,优化了设备选型,保障了建筑给排水暖通空调系统高质量地建设完成。实践证明, BIM 技术应用于设计方案比选、施工配合、运营维护等方面,有效减少了施工阶段的风险和费用,缩短工期、提升系统的稳定性,未来随着建筑领域的信息化程度越来越高, BIM 的应用也会越来越广泛,在消防暖通空调以及其他建筑给排水暖通空调系统设计领域也会有更大的作为,为建筑行业的智慧化、可持续发展提供技术支持。

[参考文献]

- [1]富潇寒.基于 BIM 技术的消防暖通空调设计分析[J].城市建设理论研究(电子版),2025(17):76-78.
- [2]金雷.基于 BIM 技术对暖通空调施工过程中的管控[J].安徽建筑,2022,29(2):94-96.
- [3]张永祥.建筑暖通空调系统节能设计研究[J].江苏建材,2025(5):90-92.

作者简介:张明昇(1994.5—),男,毕业院校:兰州交通大学,学历:本科,所学专业:建筑环境与设备工程,当前工作单位:新疆恒泰工程设计有限公司,职称级别:中级工程师。

矩形顶管下穿水渠的结构受力研究

柯希潮

成都华丰工程勘察设计有限公司杭州分公司, 浙江 杭州 310000

[摘要]顶管法施工是依靠顶管机和顶进装置, 将管节在地下逐节顶进的施工工法。当顶管下穿“V”型水渠引起结构管节的覆土高度差异较大时, 受限于行业标准的局限性, 均按照最大覆土高度进行设计, 对覆土差异较大管节进行精细化配筋具有积极意义。针对覆土较浅管节, 提出相对活荷载的概念, 将差异覆土等效为相对活荷载进行设计。同时借助混凝土自修复技术, 修复临时荷载产生的裂缝, 在确保工程安全的前提下, 实现了管节含钢量的优化, 为同类工程提供借鉴。

[关键词]矩形顶管; 差异覆土; 相对活荷载; 低碳; 自修复

DOI: 10.33142/ec.v8i12.18781

中图分类号: TV672

文献标识码: A

Research on the Structural Stress of Rectangular Top Pipe Passing through Water Channel

KE Xichao

Hangzhou Branch of Chengdu Huafeng Engineering Survey and Design Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 310000, China

Abstract: Pipe jacking construction is a construction method that relies on pipe jacking machines and jacking devices to push pipe sections underground section by section. When the top pipe passes through a "V" - shaped canal and causes significant differences in the soil cover height of structural pipe sections, due to the limitations of industry standards, the design is based on the maximum soil cover height. Fine reinforcement of pipe sections with significant soil cover differences has positive significance. The concept of relative live load is proposed for pipe sections with shallow soil cover, and the differential soil cover is equivalent to relative live load for design. At the same time, with the help of concrete self-healing technology, cracks caused by temporary loads were repaired, and the optimization of steel content in pipe joints was achieved while ensuring project safety, providing reference for similar projects.

Keywords: rectangular top pipe; differential soil cover; relative live load; low carbon; self-repair

引言

顶管工程设计尚无住建部发布的国家标准, 目前已发行实施的相关标准有中国工程建设标准化协会《矩形顶管工程技术规程》T/CECS 716—2020、上海市《顶管工程设计标准》DG/TJ08-2269—2019、江苏省《综合管廊矩形顶管工程技术标准》DB32/T 3913—2020、广东省《矩形顶管工程技术规程》DBJT15-229—2021、浙江省《顶管工程技术规程》DBJ33 / T1283—2022 等。在顶管荷载与作用章节中, 针对承载能力极限状态和正常使用极限状态下的永久荷载、可变荷载的代表值、组合系数作出相关说明, 其中作用在顶管上的竖向土压力, 除上海市《顶管工程设计标准》根据覆土深度和土质考虑土体卸荷拱效应外, 其余均按照全覆土考虑, 并且均未提及当差异覆土较大时的管节设计。为响应低碳建筑的口号, 依托工程实际, 遵循规范与前沿创新相结合, 对差异覆土较大管节进行优化设计。

1 工程概况

江西省某项目采取矩形顶管下穿水渠, 该水渠宽约 37m, 深约 6.6m, 二级边坡, 水渠 C15 现浇砼护底 12cm, 砂卵石垫层 15cm, 沟渠上部护坡采用 C15 砼预制块护坡 10cm+砂卵石垫层 10cm。拟采取顶管法下穿该水渠, 顶管埋深 4.4~11.0m, 采用内径 6.5m*4.3m 预制管节, 管节壁厚 0.5m, 管节长度 1.5m, C55 混凝土。主要利用管节混凝土自防水, 辅以楔形橡胶密封圈+聚氨酯密封胶接口防水。顶管施工采用土压平衡顶管机, 始发、接收洞门加固均采用旋喷桩。本工程平剖面简图如下图 1、图 2 所示:

本场地地层从上往下:

杂填土: 主要由耕植土、碎块石、建筑垃圾、生活垃圾和全风化千枚岩组成, 偶见千枚岩碎石块, 最大粒径 2cm~10cm, 堆积时间短, 土层松散, 成分较杂, 不均匀。

粉质黏土: 可塑~硬塑, 含铁锰质斑点, N=18 击~24 击。

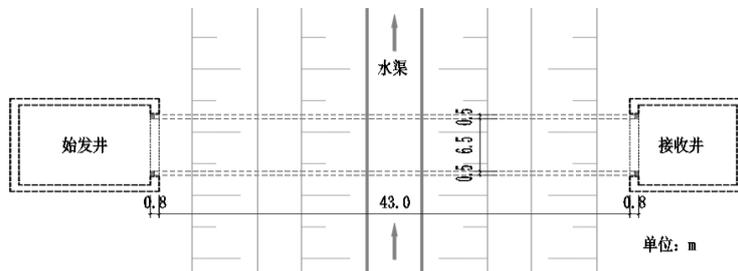


图1 平面简图

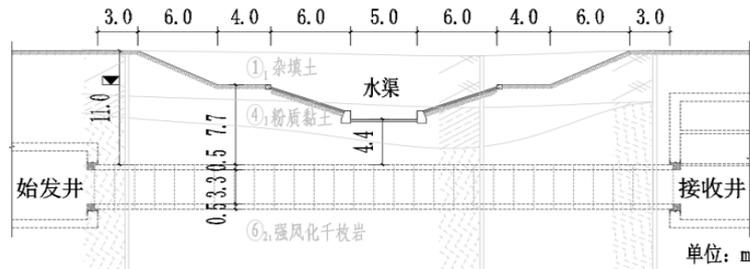


图2 剖面简图

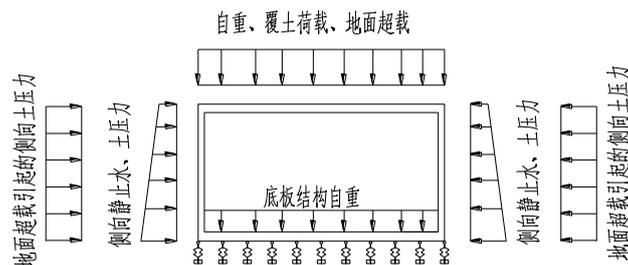


图3 管节计算简图

强风化千枚岩：灰黄、黄褐，千枚状构造，风化裂隙极发育，倾角陡峭，基本呈直立状态，岩体极为破碎，岩芯呈片状，碎块状，半岩半土状，原岩结构部分破坏，岩质极软，手可捏碎，遇水后可捏成团，极难取芯，进尺容易，局部含石英碎块，粒径2~6cm不等，岩体基本质量等级为IV，厚变化较大，风化界面起伏，该层厚度：21.00~39.60m，平均厚度 28.84m。天然单轴抗压强度 0.3~2.0MPa，饱和单轴抗压强度 0.2~2.2MPa，干燥单轴抗压强度 1.6~5.6MPa。

表1 主要参数指标表

土层	重度 KN/m ³	静止侧压力系数	基床系数 MPa/m	
			水平	垂直
杂填土	17.0	0.65	-	-
粉质黏土	19.9	0.45	30	25
强风化千枚岩	23.0	0.35	90	110

顶管穿越地层土层为强风化千枚岩。

2 管节常规设计

本工程始发端管节覆土 11.0m，同时也是最大覆土，由于管节均由始发端顶进，所有管节配筋结算均按最大覆

土考虑比较安全可靠。江西省未下发顶管相关的设计标准，根据中国工程建设标准化协会标准《矩形顶管工程技术规程 T/CECS-716—2020》^[1]中荷载与作用，管节计算简图如下图3所示：

根据本工程所处的环境作用等级和相关技术要求，预制钢筋混凝土顶管管节裂缝宽度不得大于 0.2mm。采取 SAP2000 软件进行计算，包含承载能力极限状态下的强度验算和正常使用极限状态下的裂缝宽度验算，其中控制（最不利）工况为全水位正常使用极限状态下的裂缝宽度验算。弯矩剪力如下：

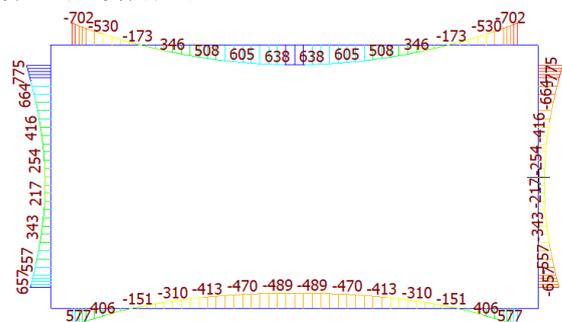


图4 准永久组合弯矩图

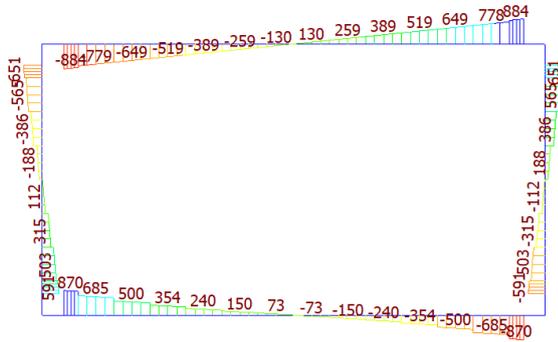


图5 准永久组合剪力图

根据计算结果，顶管管节弯矩和剪力值均很大，进行配筋后统计全部钢筋的含钢量为 $395\text{kg}/\text{m}^3$ ，远超一般管节的含钢量^[2]。

3 管节优化设计

顶管下穿水渠，最大覆土 11.0m ，最小覆土 4.4m ，均按照最大覆土进行管节配筋设计虽存在一定的合理性，但忽略了很多客观有利因素，如土体卸荷拱效应、部分管节仅临时覆土较厚，可对其进行精细化设计避免钢筋浪费。

根据上海市地方标准《顶管工程设计标准 DGTJ08-2268—2019》，当顶管埋深较深时，非软土且覆土厚度大于 1 倍管外径时，可考虑土体卸荷拱效应。重新对其进行计算，准永久组合下，弯矩剪力如下图所示：

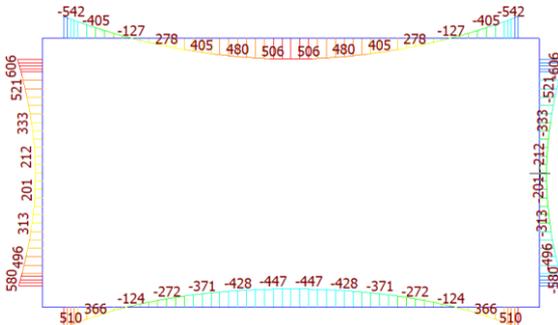


图6 准永久组合弯矩图

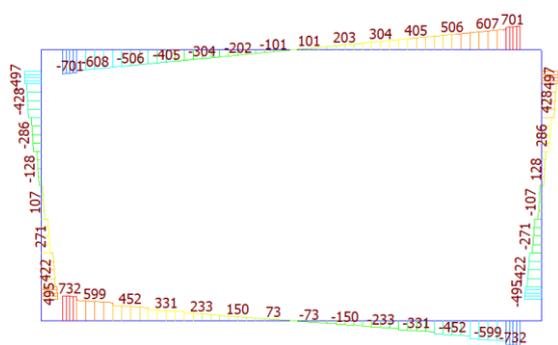


图7 准永久组合剪力图

以上计算结果相较于全覆土工况下，弯矩减少约 20%，剪力减少约 15%，重新对管节进行配筋，全部钢筋含钢

量为 $338\text{kg}/\text{m}^3$ 。相较于全覆土，节约钢筋 $57\text{kg}/\text{m}^3$ 。

考虑土体卸荷拱效应后，依然忽视了一个问题：对于水渠下覆土仅 4.4m ，因管节均需经过覆土 11.0m 的始发井顶进指定位置，而按照最不利区段进行配筋，是否也造成了不必要的浪费呢？由此我们不妨提出一个概念——相对活荷载：构件相对于固定恒载发生移动，可将固定恒载视为相对活荷载。对水渠下管节，可将 6.6m 水土恒荷载视为相对活荷载，该活荷载相较于设计基准期 100 年而言，非常短暂，持续时间不足 10d。目前暂无针对此类临时荷载的相关组合系数，参照《建筑结构荷载规范 GB50009—2012》的相关条文，其准永久组合系数取 0.5。按此进行管节计算，其内力将进一步减小，同时为了保证管节不至于在承载能力极限状态下发生强度破坏，需按照上海标准考虑土体卸荷拱效应下的强度验算。其计算结果如下图所示。

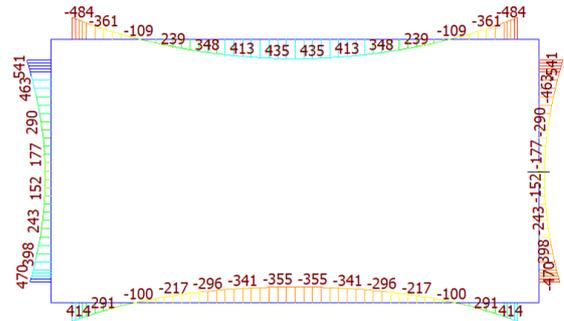


图8 基本组合弯矩图

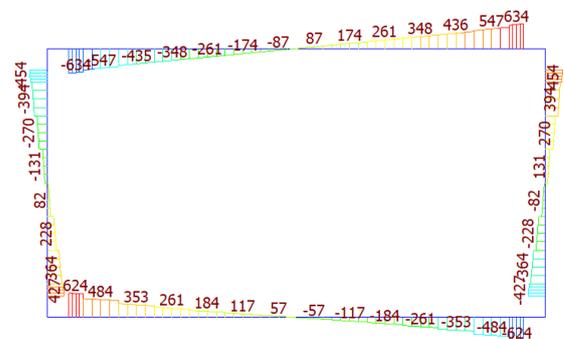


图9 基本组合剪力图

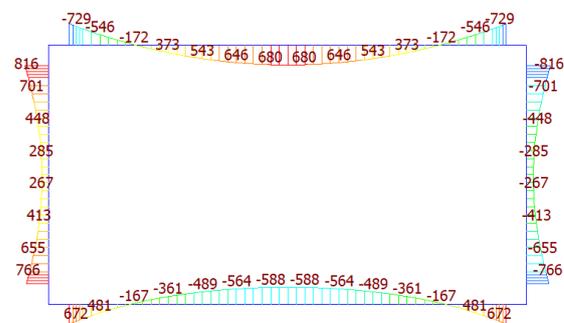


图10 基本组合弯矩图

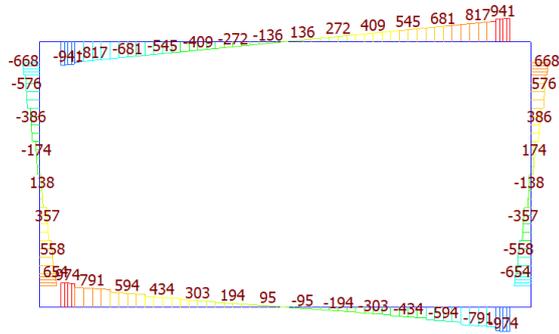


图 11 基本组合剪力图

以上计算结果相较于考虑土体卸荷拱效应下,弯矩减少约 10%,剪力减少约 10%,根据计算结果对管节进行配筋,全部钢筋含钢量为 $301\text{kg}/\text{m}^3$ 。相较于全覆土,节约钢筋 $94\text{kg}/\text{m}^3$,相较于考虑土体卸荷拱效应,节约钢筋 $37\text{kg}/\text{m}^3$ 。

为避免管节在施工阶段产生不可逆的损伤裂缝,需对其裂缝进行修补。根据 Abarams 的发现,混凝土裂缝本身是具备自修复功能^[3]的,其原理为混凝土开裂后,在无外力持续作用下,混凝土中未水化的水泥在接触空气中水和二氧化碳之后形成了新的水泥,填补裂缝达到修复效果。尤其是在前期临时荷载作用下产生的裂缝,修复效果更佳。不过自修复潜力有限,不足以修复较大裂缝,且修复周期较长。

鉴于首次提出相对活荷载,目前尚无可靠的工程实践积累,为安全考虑,我们将引入混凝土的主动愈合或被动愈合相关技术^[4]。主动愈合技术是指人为设计的一种预修复工艺,其不直接与水泥基材料反应,仅在水泥基材料开裂后通过一定的机理封堵裂缝;被动愈合技术是指修复组分掺入水泥基材料后通过利用水泥水化反应或产物提高抗裂性能,在水泥基材料开裂后亦可修复裂缝。根据张盼盼等人的研究成果^[5],利用主动愈合的微生物裂缝修复技术,裂缝宽度为 $0.4\sim 0.6\text{mm}$ 时,自修复效果较好,裂缝修复率达 90.3%。本工程可引入混凝土的主动愈合微生物

裂缝修复技术,并考虑 3.0 的修复系数,裂缝修复效果 $0.13\sim 0.20\text{mm}$ (取平均值 0.16mm),施工阶段的正常使用极限工况下的裂缝限值不大于 0.36mm 。相对活荷载消失,管节到达指定位置后,计算裂缝需满足原裂缝控制要求,且需满足任何工况下的承载能力极限状态强度验算。

在相对活荷载的概念下,配合混凝土主动愈合技术,使其具有一定的可行性。综上,采取合理的计算方法对不同覆土管节进行分段配筋来节约钢筋用量,可以达到安全、经济、低碳环保的目标。

4 结论和建议

施工阶段的管节受力随顶进位置变化而变化,选择合适的施工顺序很关键,如由浅及深的推进可避免本文中的问题。同时选择合理的计算方法也可以做到精细化设计。

管节结构配筋参照上海市标准考虑土体卸荷拱效应进行设计,减少钢筋量效果显著。引入混凝土的自愈合技术,在终态满足裂缝控制和承载能力控制要求的前提下,对前期短暂的临时荷载作用下的裂缝进行适当放宽,可进一步减少钢筋量,且使整个工程含钢量更加合理。至于裂缝的放宽量仍需有大量的工程实践积累,本文结合混凝土自修复技术进行理论上的探讨,为类似工程的管节配筋提供一种新思路。

[参考文献]

- [1]T/CECS-716—2020 矩形顶管工程技术规程[S]
- [2]DG/TJ 08-2268—2019 顶管工程设计标准[S]
- [3]张猛,王永海,冷发光,等.水泥基材料裂缝自修复技术的研究与进展[J].混凝土,2023(4):149-154.
- [4]钱春香,李瑞阳,潘庆峰,等.混凝土裂缝的微生物自修复效果[J].东南大学学报(自然科学版),2013,43(2):360-364.
- [5]张盼盼,贾冠华,姜晨,等.初始裂缝宽度对混凝土自修复效果的影响[J].中国科技论文,2022,17(7):795-800.

作者简介:柯希潮(1991.9—),男,汉族,湖北省黄石市,大学本科,研究方向:轨道交通结构。

征 稿

《工程建设》由新加坡Viser Technology Pte.Ltd. 主办，ISSN: 2717-5375 (印刷)。本刊长期以来注重质量，编排规范，选稿较严格，学术水平较高，深受高校教师及科研院所研究人员青睐。本刊为开源 (Open Access) 期刊，出刊的所有文章均可在全球范围内免费下载，文章被万方数据库、维普网等权威数据库收录。

期刊针对工程项目建设的全过程，重点报道工程建设过程的科研成果、先进技术、高效设备、新型材料、工程项目管理经验等，突出工程领域新技术、新工艺、新方法，反映建筑、市政、交通等工程领域新成果、新进展，促进工程技术行业的交流与成果展示，为推动国际工程技术和科学技术发展服务。

《工程建设》期刊的主要栏目有：

工程管理、建筑工程、市政工程、机械工程、石油工程、矿山工程、冶金工程、路桥交通、勘察测绘、施工技术、建筑设计、节能环保、材料科学等。

鼓励工程建设各领域的专业技术人员和管理干部以及大专院校相关专业的师生和科研人员来稿，有关国家科技计划、自然科学基金和各种部门、地方、院所科技基金资助项目的文章优先发布。

征文格式与要求：

(1) 论文要求：论点新颖，论证充分；设想可行，结论可靠；条理分明，书写清楚，用字规范，上交电子文件 (word格式)。

(2) 论文格式：题目、作者姓名、工作单位、省份及邮政编码、中英文内容摘要 (150字符-300字符为宜) 及关键词 (3-5组为宜)、正文、参考文献。(附个人简介、邮箱、联系方式及详细收件地址，如：省、市、区、路)。

(3) 论文篇幅：字符数要求在5000-8000字符之间。

投稿网址：www.viserdata.com



Viser Technology Pte. Ltd.

公司地址

195 Pearl's Hill Terrace, #02-41, Singapore 168976

官方网站

www.viserdata.com

