

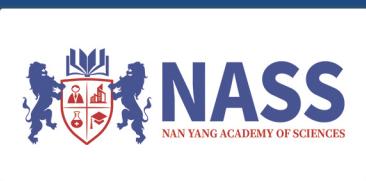
# 工程研究前沿

## Frontiers of Engineering Research

Volume 2 · Issue 10 · October 2025 3060-9054(Print) 3060-9062(Online)



Nanyang Academy of Sciences Pte. Ltd.  
Tel.: +65 62233839  
E-mail: [contact@nassg.org](mailto:contact@nassg.org)  
Add.: 12 Eu Tong Sen Street #07-169 Singapore 059819



Volume 2 · Issue 10 · October 2025 3060-9054(Print)

3060-9062(online)



中文刊名: 工程研究前沿  
ISSN: 3060-9054 (纸质) 3060-9062 (网络)  
出版语言: 华文  
期刊网址: <http://journals.nassg.org/index.php/foer-cn>  
出版社名称: 新加坡南洋科学院

Serial Title: Frontiers of Engineering Research  
ISSN: 3060-9054 (Print) 3060-9062 (Online)  
Language: Chinese  
URL: <http://journals.nassg.org/index.php/foer-cn>  
Publisher: Nan Yang Academy of Sciences Pte. Ltd.

## 《工程研究前沿》征稿函

### 期刊概况:

中文刊名: 工程研究前沿  
ISSN: 3060-9054 (Print) 3060-9062 (Online)  
出版语言: 华文刊  
期刊网址: <http://journals.nassg.org/index.php/foer-cn>  
出版社名称: 新加坡南洋科学院

## Database Inclusion



Google Scholar



Crossref



China National Knowledge Infrastructure

### 出版格式要求:

- 稿件格式: Microsoft Word
- 稿件长度: 字符数 (计空格) 4500以上; 图表核算200字符
- 测量单位: 国际单位
- 论文出版格式: Adobe PDF
- 参考文献: 温哥华体例

### 版权声明/Copyright

南洋科学院出版的电子版和纸质版等文章和其他辅助材料, 除另作说明外, 作者有权依据Creative Commons国际署名-非商业使用4.0版权对于引用、评价及其他方面的要求, 对文章进行公开使用、改编和处理。读者在分享及采用本刊文章时, 必须注明原文作者及出处, 并标注对本刊文章所进行的修改。关于本刊文章版权的最终解释权归南洋科学院所有。

All articles and any accompanying materials published by NASS Publishing on any media (e.g. online, print etc.), unless otherwise indicated, are licensed by the respective author(s) for public use, adaptation and distribution but subjected to appropriate citation, crediting of the original source and other requirements in accordance with the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) license. In terms of sharing and using the article(s) of this journal, user(s) must mark the author(s) information and attribution, as well as modification of the article(s). NASS Publishing reserves the final interpretation of the copyright of the article(s) in this journal.

Nanyang Academy of Sciences Pte. Ltd.  
12 Eu Tong Sen Street #07-169 Singapore 059819  
Email: [info@nassg.org](mailto:info@nassg.org)  
Tel: +65-65881289  
Website: <http://www.nassg.org>



### 出刊及存档:

- 电子版出刊 (公司期刊网页上)
- 纸质版出刊
- 出版社进行期刊存档
- 新加坡图书馆存档
- 谷歌学术 (Google Scholar) 等数据库收录
- 文章能够在数据库进行网上检索

### 作者权益:

- 期刊为 OA 期刊, 但作者拥有文章的版权;
- 所发表文章能够被分享、再次使用并免费归档;
- 以开放获取为指导方针, 期刊将成为极具影响力的国际期刊;
- 为作者提供即时审稿服务, 即在确保文字质量最优的前提下, 在最短时间内完成审稿流程。

### 评审过程:

编辑部和主编根据期刊的收录范围, 组织编委团队中同领域的专家评审员对文章进行评审, 并选取专业的高质量稿件进行编辑、校对、排版、刊登, 提供高效、快捷、专业的出版平台。

# 工程研究前沿

## Frontiers of Engineering Research

---

Volume 2 Issue 10 October 2025  
ISSN 3060-9054 (Print) 3060-9062 (Online)

主 编

虞 斌

Bin Yu

编 委

王振波 zhenbo Wang

赵希强 Xiqiang Zhao

刘永军 Yongjun Liu

张新儒 Xinru Zhang

- 1 智慧化转型驱动城市更新：好社区建设中的工程管理  
创新模式与效能评估  
/ 于振洋
- 4 10kV 配网架空线路运维检修带电作业  
/ 郭海建
- 7 面向工程全流程的装修装饰新技术集成机制与实施路  
径探讨  
/ 宋利新
- 10 城市主干道路面结构设计方法改进研究  
/ 赵亮
- 13 海洋宽频地震处理技术研究与应用  
/ 王旭谦
- 16 大连金州湾国际机场离岸人工岛深层地基处理关键技  
术研究  
/ 杨玉霞
- 19 房建工程的项目管理与投资管理的协调发展对策思考  
/ 林波
- 22 双向大悬挑钢结构关键施工技术研究  
/ 陈佳辉 李慧 余颖
- 28 地铁九号线红红区间叠交在建盾构隧道斜穿施工风险  
控制  
/ 贡亮 卢相如 杨钦
- 31 铜矿采选过程中重金属污染治理技术与环境影响评估  
/ 周微
- 34 浅谈工程设计质量控制专项审计案例的特点与成效  
/ 唐明裴 熊柯 陈永兴 李晓冰
- 37 石油化工企业员工安全绩效管理机制优化研究  
/ 左成龙
- 1 Intelligent Transformation Drives Urban Renewal: Innovative Model and Effectiveness Evaluation of Engineering Management in Good Community Construction  
/ Zhenyang Yu
- 4 10kV distribution network overhead line operation and maintenance live working  
/ Hajian Guo
- 7 Discussion on the Integration Mechanism and Implemen-  
tation Path of New Technology for Decoration and Renovation for the Whole Process of Engineering  
/ Lixin Song
- 10 Research on Improvement of Design Method of Urban Main Road Surface Structure  
/ Liang Zhao
- 13 Research and Application of Marine Wide-Band Seismic Data Processing Technology  
/ Xuqian Wang
- 16 Key Technology Research on Deep Foundation Treatment of Offshore Artificial Island Airport: A Case Study of Dalian Jinzhou Bay International Airport  
/ Yuxia Yang
- 19 Thinking on the Countermeasures of the Coordinated Development of Project Management and Investment Management in Housing Construction  
/ Bo Lin
- 22 Research on key construction technologies for cantilever steel structure systems  
/ Jiahui Chen Hui Li Ying Yu
- 28 Construction Risk Control of Red Red Section of Metro Line 9 Overlapping with Shield Tunnel  
/ Liang Gong Xiangru Lu Qin Yang
- 31 Technologies for Heavy Metal Pollution Control and Environmental Impact Assessment in Copper Mine Mining and Beneficiation Processes  
/ Wei Zhou
- 34 The Characteristics and Effect of Special Audit Case of Engineering Design Quality Control  
/ Mingpei Tang Ke Xiong Yongxing Chen Xiaobing Li
- 37 Research on the Optimization of Safety Performance Management Mechanism of Petrochemical Enterprise Employees  
/ Chenglong Zuo

# Intelligent Transformation Drives Urban Renewal: Innovative Model and Effectiveness Evaluation of Engineering Management in Good Community Construction

Zhenyang Yu

School of Urban Economics and Management, Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing, 100044, China

## Abstract

As urban renewal enters a deeper development phase, intelligent transformation has become a key driver for building “exemplary communities”. This study systematically examines innovative models in engineering management across four dimensions: lifecycle management, smart planning and design, digital operations, and multi-stakeholder collaboration mechanisms. The research demonstrates that intelligent approaches significantly enhance planning precision, construction efficiency, and maintenance capabilities, achieving a comprehensive shift from experience-based to data-driven project management. Furthermore, an evaluation system integrating IoT, big data, and AI provides quantitative benchmarks and real-time feedback throughout the project lifecycle, ensuring more scientific, transparent, and sustainable governance. The study aims to explore innovative engineering management models under intelligent transformation, offering theoretical guidance and practical references for urban renewal initiatives.

## Keywords

Intelligent transformation; urban renewal; good community construction; project management; efficiency evaluation

# 智慧化转型驱动城市更新：好社区建设中的工程管理创新模式与效能评估

于振洋

北京建筑大学城市经济与管理学院, 中国 · 北京 100044

## 摘要

在城市更新进入深度发展阶段的背景下, 智慧化转型正成为推动“好社区”建设的重要驱动力。本文围绕智慧化理念在社区建设中的实践应用, 系统分析了工程管理在全生命周期管理、智能化规划设计、数字化运营以及多主体协同机制方面的创新模式。研究发现, 智慧化手段能够有效提升规划设计精度、施工管理效率与运营维护能力, 实现工程管理从经验驱动向数据驱动的全面转型。同时, 基于物联网、大数据与人工智能构建的效能评估体系, 为工程全过程提供量化依据与动态反馈, 使治理过程更加科学、透明与可持续; 研究旨在探索智慧化转型驱动下的工程管理创新模式, 为城市更新实践提供理论指导和实施参考。

## 关键词

智慧化转型; 城市更新; 好社区建设; 工程管理; 效能评估

## 1 引言

在城镇化速度加快的背景下, 传统城市更新模式面临诸多挑战, 例如空间结构层次不高、功能单一、主体角色参与度低、公建资源配置失衡的现象。城市更新在智慧转型的机遇下, 为破解空间优化困境提供了新动力<sup>[1]</sup>。尤其在“好社区”建设中, 智慧化转型通过工程管理创新模式, 有效整合规划设计、施工建设、物业管理及社区服务各环节, 实现项目全生命周期的科学管理与动态优化。在工作实践中,

为推进城市更新转型发展, 需要依托智慧化建设与管理的重点, 实施合理优化。

## 2 好社区建设中的工程管理创新模式

### 2.1 项目全生命周期管理模式创新

智慧化转型驱动下, 好社区建设的工程管理模式, 从固有的阶段性、碎片化的管理, 向全过程管理转换, 全过程管理, 强调从建设前规划、立项投资、规划建设, 到运营服务、社区管理乃至更新等全过程策划, 提高工程价值, 实现长周期增值和可持续经营。

一是方案编制及可行性研究; 应用智慧技术的方案模拟、成本估算和方案对比, 有利于对合理功能分区、模块化

【作者简介】于振洋 (1991-), 男, 中国河北唐山人, 本科, 在职硕士, 从事工程项目管理研究。

设计、投资结构优化的实现。如基于GIS(地理信息)地块属性分析、基于BIM(建筑信息模型)的三维协同设计,使前期设计更加超前科学。

二是在施工过程中,应用全生命周期管理模式,用数字化施工、智能化安全监测系统、可视化进度平台等手段进行施工节点、施工安全预警、资源安排的精细化把控,解决延误、事故等现象,提升施工效率<sup>[2]</sup>。

此外,后期的运营管理方面,借助物联网与智能平台形成社区全生命周期的运营管理,针对社区各基础设施运营情况、环境质量指标、公共空间利用率等数据实时监控,形成闭合的“数据”,使得在运营管理层面出现的问题能及时反映并动态修正,同时,全生命周期也带来了社区更新的机制。

## 2.2 智能化规划设计与施工管理

智慧化规划与施工管理是智慧化转型变革工程建设管理水平的重点工作之一,主要借助智能技术促进规划的科学化、设计的协同化、施工的智能化和管理的精细化,使品质社区拥有更高智能水平和管理水平。

在规划设计过程中,数字技术由二维设计转化为三维模型甚至是数字孪生系统,以BIM为基础的协同设计过程将建筑结构、机电、环艺、景观等各专业置于同一平台上,进行模拟分析和冲突检查,降低施工阶段的返工率。利用交通模拟、人行为分析、风环境模拟技术使公共活动场所布置、道路交通和活动场景更契合人们的生活行为与功能需要。

在施工管理环节,智慧工地系统基于物联网传感器实时监测塔吊施工、土方施工、施工环境声音、扬尘、安全风险点等数据,实现全生命周期可视化监管;人脸识别与视频分析技术进行劳务实名制管理、作业安全行为识别,降低人员违规操作现象;无人机飞行、机器人施工、自动测量等新型施工作业方式提高了施工质量与效率<sup>[3]</sup>。

最后,云平台施工进度管理系统可以实现施工单位、监理单位、设计单位、业主单位等多主体的实时共享工程信息,有助于计划及时动态调整、应急风险应对。智能建造也可以与绿色建造相融合,比如通过大数据优化材料、测算能源消耗与排放,源头促进节能减排。

## 2.3 数字化运营与物业管理模式

物业服务与数字运营是智慧好社区建设最有生命力的两大创新;智慧社区平台和社区物联网、社区移动端的构建,让物业服务从传统的人工服务方式升级到数据驱动和提供智能服务、实现精细化、便捷和高效率的物业社区管理与服务。

从管理层面来看,信息化平台实现各类社区管理子系统应用,包括社区管养、社区物业安防、社区物业管理与运营、社区物管生活、社区便民服务(包括社区公共设施、物业服务设施管理、城市生活废物分类管理、人车管理,环境监测、能源消耗统计、居民诉求、安全巡查等)、基于物联网的现场设备监控管理、基于智能门禁系统和视频监控等大数据系统进行社区安全管理与防范预警等。

网的现场设备监控管理、基于智能门禁系统和视频监控等大数据系统进行社区安全管理与防范预警等。

## 2.4 居民参与与社区协同机制创新

社区居民的参与度是居民在好社区建设中,影响工程参与度及社区可持续性发展的重要指标。智慧化社区改造下的居民参与模式从线下会商、征求意见等单一模式转变为线上线下等多主体共同参与方式,最大化扩大居民参与覆盖面积及参与效益<sup>[4]</sup>。

第一,智慧社区平台降低居民参与的渠道门槛,居民可以通过APP、小程序、交互平台等方式提出建议、参加规划讨论、投票决议或反馈公共事务;数字化工具让用户诉求更容易可视化、结构化,同时对于管理者来说易于分类分析,提升决策公共和科学性。

二是居民组织联动机制创新,即政府、社区物业、居民组织、社会机构多方合力,展开多主体协同治理。智慧平台是协同治理的硬件设施,可实现在平台的事务流转公开透明、各方人员信息共享,共担责任。

最后,智慧工装有利于推进“共建共治共享”社区治理体系。运用数字解析技术甄别居民需求节点、公共服务空间占用规律、社区隐患,让工程改造、设施配置、服务资源落地更精准,居民参与过程的信息和评价都可以成为工程管理服务迭代升级的参考。

## 3 智慧化驱动的效能评估体系构建

### 3.1 评估指标体系设计

智慧社区化改造驱动好社区的发展,设计科学合理、统筹完备、可量化考评的指标体系,是工程化、进程化以及更新路径可视化表现的本质条件。首先,指标体系设计体现智慧小区建设全面性的基础上,需要考量在建设过程中的技术性、质量和素质、社会服务、民众感受等多方面的指标,使最后的考评更具综合、明确、实际化<sup>[5]</sup>。

其次,评价指标体系要建立在“规划建设—运营管理—社区治理”三个层面的基础之上,使每个评价指标都是合理的嵌套,以便构建出完备的评价体系结构。建设工程类指标体系充分考虑规划设计阶段的工程管理水平、工程设计契合度、工程施工阶段的安全保障性及绿色建设指标;工程运营管理指标体系充分考虑工程建设阶段的设施设备运行效率、智能化及信息化设备占有率、服务响应率、施工过程中人力物力财力节约率等指标;社区建设指标体系充分考虑小区居民对社区环境的满意程度、参与程度、小区活动举办率、小区公共资源使用率与安全指数等指标。

第三,指标应突出智慧化。智慧化在指标中应该得以凸显,比如“智慧应用使用率”、“智慧设施可靠率”、“信息获取真实性”、“与其他系统的连通性”等指标能够反映智慧技术在社区的应用状况。同时,可以嵌入绿色生态相关的指标,比如“电力监控使用率”、“废气的排放”、

“绿化空间使用率”等指标能够反映建设好社区的绿色低碳观念。

### 3.2 数据采集与智能分析方法

系统智能化的运行要求体现的是数据采集的完整性、系统分析的智能化，数据是系统数据源的核心要素，智能化系统为数据的实时采集、自动获取与大数据分析带来了巨大的动力。

首先，在数据收集维度，在收集数据的过程中，通过基于物联网传感器、摄像头、智能终端、大数据平台等能够有效收集社区相关基础设施运行状况、公共空间使用状况、环境质量指标、能源消耗状况、安全隐患点、居民投诉信息等数据，并能够进行数据的实时收集。在这种“数据全收集”模式下能够提高所获得评估数据的客观性与时效性。

其次，在数据利用上，采用机器学习、AI算法、大数据挖掘等智能分析方法进行数据结构化处理、可视化处理和预测分析；比如用聚类算法分析社区安全风险热点分布，用关联算法分析居民公共服务诉求关联规律，用预测模型判断下一步设施维护需求。数字孪生技术将工程-社区运营形成一一映射关系，利用模型进行虚实结合，通过虚拟模型预演不同决策产生的运营效果，为运营管理优化决策提供依据。

最后，在人工智能可实行动态调整指标体系功能角度，如个别指标长期监测情况下不敏感或者难以监测社区现实情况，可以通过算法判断其有效性，建议调整，这样整个评价体系更加智能化、动态化、科学化。

### 3.3 绩效监测与反馈机制

智能考核与反馈系统是智慧化考核与评估管理平台的基本环节，从考核与评价的角度对工程管理、社区管治的静态化管理逐步转向智能、闭环式管理的转变。

第一，绩效检测，借助智慧平台实时监控，实现对绩效各项评估维度的跟踪，如项目施工阶段可以监测项目建设进展、安全事故发生率、工程质量评估等，运营阶段可以检测设施运营效能、能耗费用、居民反应时效、居民投诉率等，对出现的异常指标或变化曲线，平台也可以通过预警主动向管理对象发出提醒，促使及时做出相应调整，防患于未然。

第二，评估与反馈。利用智慧平台可以收集居民评估信息，包括在线调查问卷、意见征询及居民服务反馈评价体系等形成关于居民需求的评估与反馈，同时，针对居民需求的评估与反馈体系不应只有居民主体存在，还应包括其他评估主体，如政府、建设单位、物业公司等，并且利用在线合作平台分享信息与评估结果。

第三，循环反馈。即最终评估结果需要能反哺工程改造、运营提升、政策建议等环节。如居民满意度测评数据显示公共空间使用不频繁时，需在社区对居民的诉求反馈的基础上调整公共空间布局、设施等；能源消耗数据显示节能量偏低时，需从科技改良、仪器调试等角度提升节能量；服务时长数据显示服务效率较低时，需在工作人员安排、设备应用等角度提升服务效率。

最后，通过绩效监管和绩效反馈机制；在发现问题、分析数据、制定措施、执行改善、再评价的反馈机制循环下，将好社区建设于循环改善、智慧治理下的动态平衡、精准服务中。

## 4 结论与展望

在互联网发展背景下，智慧化转型驱动城市发展建设更新，使得好社区建设的方法、模式、理念等正发生巨大改变，包括工程管理的全周期管理、智能化设计与规划、数字化管理与居民协作等方面，让工程管理从粗放走向精细化、从依靠经验走向数据化、从简单线性发展转向动态反馈式治理。以智慧技术为基础的智慧评价方法又推动着城市更新的科学化和可量化，让建设成果得以量化，治理问题得以及时发现，优化措施得以有效落实，为好社区建设打下扎实的技术与管理基础。未来需要进一步加强理论研究与制度建设，实现技术、治理与人文关怀的深度融合。一方面，应不断完善智慧社区数据治理框架，推进跨部门数据互通，提高评估体系的适配性、延展性与长期效能；另一方面，应强化居民在社区建设中的主体地位，使智慧技术真正服务于生活改善与社区凝聚力提升。展望未来，智慧化转型将推动社区建设逐步迈向自主学习、自我更新与共治共享的高级阶段，将在实现城市更新目标、推动社区治理现代化中发挥更为关键的引领作用。

## 参考文献

- [1] 夏伟.党建引领城市社区有效治理的机制研究[D].中共中央党校（国家行政学院），2025.
- [2] 王帅,王清勤,孟冲,等.标准化视角下“好社区”内涵与路径探讨——以济南市某社区为例[J].中外建筑,2025,(03):1-6.
- [3] 刘帅.标准引领转型升级,助力智慧社区建设[J].中国建设信息化,2024,(23):48-49.
- [4] 宫玮,梁浩,韩迪,等.推动完整社区建设的思考与建议[J].建设科技,2024,(19):17-20.
- [5] 武庄,李志阳.工程管理创新在社区基础设施建设中的应用与实践[J].住宅与房地产,2024,(28):74-76.

# 10kV distribution network overhead line operation and maintenance live working

Haijian Guo

State Grid Shandong Electric Power Company, Dingtao District Power Supply Company, Heze, Shandong, 274000, China

## Abstract

As urban modernization progresses, the demand for reliable power supply continues to rise. The 10kV distribution network, a critical component of urban power supply, is experiencing increasing operational loads, making the safety and stability of its overhead lines particularly crucial. Live-line work, a vital maintenance method for 10kV overhead lines, directly impacts the operational efficiency of the distribution network. This paper outlines the advantages of live-line work, analyzes the challenges and key issues in current 10kV overhead line maintenance, and proposes relevant measures based on influencing factors. The findings aim to provide valuable insights for high-voltage live-line operations.

## Keywords

10kV overhead distribution line; operation and maintenance; live-line work

# 10kV 配网架空线路运维检修带电作业

郭海建

国网山东省电力公司菏泽市定陶区供电公司, 中国 · 山东 菏泽 274000

## 摘要

城市现代化建设的不断推进对电力供应的要求也越来越高, 10kV配网作为城市供电的重要方式其运行负荷也在不断增加, 10kV配网架空线路的安全、稳定显得尤为重要。带电作业作为10kV配网架空线路运维的重要方式, 直接关系着配网的运行效益。文章对带电作业优势进行了相关概述, 分析了当前10kV配网架空线路运维检修带电作业面临的挑战及存在的主要问题, 结合影响带电作业的相关因素, 探讨了10kV配网架空线路运维检修带电作业的相关措施, 希望能够为相关高压带电作业提供有益参考。

## 关键词

10kV配电架空线路; 运维检修; 带电作业

## 1 引言

在经济与社会民生不断发展的推动下高压配电网的建设规模也在不断扩大。10kV 配网作为城市现代化建设与发展的供电主力, 则需要妥善解决线路复杂、需求多元等问题, 在线路故障运维检修方面更是面临严峻挑战。带电作业作为10kV 配网架空线路运维检修的重要方式, 能够在持续供电的同时实现高效的故障处理, 将停电影响降至最低。而带电作业的危险系数较高, 必须全面做好相应安全措施, 才能避免触电等安全事故的发生, 保障 10kV 配网架空线路运维检修的安全、高效。

## 2 10kV 配网架空线路运维检修带电作业的优势

10kV 配网架空线路作为城市供电的重要方式, 其运维

检修效率直接影响生产、生活的用电质量。而若是采用停电的方式进行高压架空线路的运维检修, 则必然会对故障区域的正常供电产生严重影响。而带电作业则是能够在保障供电线路正常运行的前提下进行运行维护与故障检修, 也因此成为 10kV 配网架空线路运维检修的重要方式。传统的停电运维检修方式需要投入大量的人力、物力, 并且需要进行大量的前期准备, 需要在停电之后进行挂地线的安装、拆除等作业, 不但费时费力, 而且不利于配网架空线路检修工作效率的提升, 违背供电线路运维检修的便利性要求。除了能够有效缩短维修时间, 带电作业还有助于提高 10kV 配网架空线路的运维检修效率, 提高故障处理速度<sup>[1]</sup>。停电作业的检修方式往往需要较多且复杂的准备工作才能防止故障影响范围的扩大, 而带电作业方式的应用则能够大幅缩减前期准备时间, 实现对故障的快速响应。尤其是带电作业还有利于结合线路故障情况采取针对性应急对策, 保障 10kV 配网架空线路运行的可靠性。

【作者简介】郭海建 (1992-), 男, 中国山东聊城人, 本科, 中级, 从事配网研究。

### 3 10kV配网架空线路运维检修带电作业面临的挑战和问题

相对于停电检修，带电作业的检修方式的难度更高，同时也面临更大的安全风险。10kV配网架空线路的电力负荷很大，也大幅增加了带电作业的难度。作业人员必须重视做好全面的安全防护，落实各个安全管理的细节要求，严格按照带电作业的标准流程进行规范作业，将操作失误率控制在最低。10kV配网架空线路运维检修的带电作业有着较高的技术要求，而由于作业人员技术能力不足、实践经验不够丰富、安全管理措施落实不到位、应急预案缺失等导致的带电作业事故时有发生，10kV配网架空线路的带电运维检修工作也因此面临严峻挑战。随着生产生活用电总量的不断上升，10kV配网架空线路的运维检修压力也在不断提升，更是需要系统化的检修作业流程与细节管理，专业、规范的操作程序作为保障<sup>[2]</sup>。而当前许多电力公司未能结合10kV配网架空线路的带电运行维护建立完善的作业体系，尤其是对先进的数字化监测设备等应用不足，线路的运维检修跟踪不及时，导致了故障判断、定位等的较大偏差等。加上检修技术不够先进导致了故障的扩大、延伸，不利于输电线路安全事故的控制。

### 4 10kV配网架空线路运维检修带电作业安全的影响因素

#### 4.1 环境因素

10kV配网架空线路的运维检修的带电作业需要应对电击、高空作业、设备老化等风险与问题，需要引起检修人员的高度重视，严格遵循检修操作规范，增强安全意识与维修技术水平，防控实现对风险问题的有效控制，提高线路的运维检修效率。尤其是10kV配网架空线路的布设紧密、复杂，以及线路间距较小，都大幅增加了带电作业难度，对检修人员的环境因素把控及操作要点控制能力提出了较高要求。

#### 4.2 技术因素

10kV配网架空线路带电运维检修的技术要求较高，操作失误、技术掌握不熟练、违规操作等，都会使得检修人员及检修工作遭遇各种险境。10kV配网架空线路带电运维检修过程中的设备操作、线路架设等都有着较高的专业技能要求，并且要求检修人员具备较为丰富的安全操作经验，才能有效规避风险隐患。检修人员的技术能力、专业素养直接影响带电作业安全。电力公司需高度重视培训管理，确保检修人员充分了解、掌握10kV配网架空线路的设计、设备操作、架空布线等技术要求，不断提高检修人员的专业技能，实现安全的带电运维检修作业。

#### 4.3 器具和防护工具

10kV配网架空线路运维检修带电作业对工具的绝缘等级有着较高要求，需要确保用于带电作业的器具必须通过行业标准的绝缘合格检测，并做好对防护器具的定期检测，确

保其安全系数满足带电作业要求。否则，器具和防护工具极易遭到高压击穿而使得检修人员遭遇触电事故。比如，检测操作杆的绝缘长度需确保在700cm以上，以免长时间使用后出现绝缘质量下降而引发安全问题。总而言之，带电作业前需要做好全面的器具和防护工具的绝缘检测，确保其充分满足带电作业的安全要求。

### 5 10kV配网架空线路运维检修带电安全作业相关措施

#### 5.1 中断重合闸

断路器、变电重合器等是10kV配网架空线路运行重要的保护装置，这些保护装置的作用发挥需要搭配重合闸的合理设置。在遭遇瞬时短路等问题时，重合闸会作出跳闸动作并在设定的预定时间内合闸。当出现永久性故障时重合闸会出现反复的跳闸。这就要求在进行带电运维检修过程中做好对施工现场绝缘措施有效性、人员安全防护措施完备性等的全面检查、分析，关闭重合闸，以免重合闸操作威胁作业人员生命安全，也是避免线路遭受二次损伤的重要措施<sup>[3]</sup>。作业前由调度端下达闭锁指令，对线路重合闸保护进行退出处理，使接地故障或瞬态干扰不会触发非计划性合闸，避免检修人员在接触导体或更换金具时遭遇误来电冲击。执行期间对断路器控制回路进行核验，确认远方与就地分合闸通道断开，各段隔离开关位置明确，并通过专用检测装置测试重合闸闭锁状态，以防因二次回路残余电压或保护装置逻辑延时造成误动。

#### 5.2 做好现场作业工具验证

10kV配网架空线路的带电作业需要重视对绝缘工具的规范维护与使用管理，严格按照带电作业中各项绝缘工具试验标准要求，提前做好对工具、设备内外的金属粉末、污染物等的全面清理，规避漏电风险。绝缘工具的存放也需做好对温度、湿度的实时监测，确保通风干燥，并做好对工具、设备绝缘有限性的事前检测。作业人员需严格按照规范要求进行绝缘防护装备的穿戴，严格检查进场绝缘平台的稳定性。在带电作业过程中，需要严格按照电气安全规程要求，做好全面的现场防护措施，多管齐下筑牢带电作业的安全防线。验电器在带电测试前进行自检，确认指示回路、光声输出通畅，同时对高频干扰环境采取屏蔽措施，以维持指示灵敏度。作业负责人在现场逐项点验工具编号、检测记录及外观状态，形成书面清单并由两方签署，确保全部投入使用的器具处于合格状态，使带电作业的操作窗口保持在设定的电气防护边界内。

#### 5.3 严格按照规范进行操作

开展10kV配网架空线路的带电运维检修活动进程中，要求工作人员能够切实根据行业规范以及操作守则来进行操作。由监护人员以及做作业组织人员对工序、作业间距、接触点转换频率等内容进行共同确认，以达到连续控制登

杆、接触、隔离、拆装到恢复到接触环节的目的。第一，作业前对工作票、调度指令与危险点控制措施逐段核读，监护人员要让工作人员复述口令，保证操作口令、验电次序以及动作节点相同，防止操作人员因为理解不到位而出现与带电体距离过近的现象。如果要进行导线跨越、引流夹具更换或是引流线处理过程中，保证工作人员能够严格根据规定要求来控制工具接触角度、布置悬挂点以及跨距。监护人员必须利用手持测距装置来对相间与相对距离进行动态两侧测量，严格控制瞬时摆动幅度不超过安全范围。第二，如果在作业环节出现工步的变更，如由清障转变为耐张线夹的更换，务必要对作业人员和导体相对位置重新评估，且在作业人员正确重述口令后才能够继续开展工作。拆除遮蔽装置、拆接接地引线以及恢复设备运行状态时，由现场技术负责人比对图纸与一次接线标识，防止因导线相序识别偏差导致合环时电流突变<sup>[4]</sup>。

#### 5.4 做好全面的现场勘查

10kV配网架空线路的带电运维检修作业需要重视做好全面、深入的现场勘查，严格按照勘查流程与程序要求，对勘查项目进行逐一检测，为带电作业的安全开展提供保障。针对线路故障的检修，需要做好对故障位置情况的勘察，明确故障的具体类型、引发原因、影响范围等，并将故障信息及时共享至相关部门，避免由于信息孤岛而引发错误的带电作业，降低安全事故的发生概率。以及需要借助精密的仪器设备对作业现场进行科学勘查，做好对故障位置、故障类型、线路损坏状况等的全面记录、整理，以此作为故障处理的重要依据，避免故障信息不全面而导致带电作业的开展迟缓甚至引发安全问题。

#### 5.5 加强现场安全监督管理

10kV配网架空线路布设范围广泛，运行过程中发生故障问题也是较为常见，带电作业也较为频繁。为确保带电作业安全，电力公司需要重视加强对安全操作规范的完善与规范，全面做好作业现场的安全监管工作，保障10kV配网架空线路运维检修带电作业的安全、有序。在现场作业与管理方面，需要严格落实作业票制度与指导书制度，做好全面、深入、详细的技术交底，确保全体作业人员能够准确把握带电作业项目的风险点与相应的防控要求，为带电作业安全与运维检修质量的提升提供保障。对于电力公司而言，需要加强带电作业执行标准、安全防范制度等的培训与宣传力度，将安全监管要求进行层层分解，落实部门、人员责任，建立形成层次分明的带电作业现场监管架构，实现现场作业安全监管效能最大化。除此之外，电力企业还需重视加强对新兴

技术、设备等的应用，完善带电作业信息交流平台的建设，并专人负责对天气、地质、线路运行等情况的实时跟踪、监测，对带电作业的安全系数进行动态判断，一旦发现不利因素立即响应相应的保障机制，确保带电作业的高度安全。

### 6 10kV配网架空线路运维检修带电作业未来展望

当前科技不断发展促进了高压线路带电作业领域的全面发展，尤其是各种新型专业技术、设备等的不断研发、应用，大大提高了10kV配网架空线路带电运维检修作业的安全性与高效性。比如，机器人带电作业模式的应用能够借助对绝缘斗臂车及相关配套的使用实现对绝缘子更换、导线修补等带电作业的自动化处理，尤其是在危险区域、复杂狭小空间中的应用，大大提高了带电作业的安全性与便利性。同时，在无人机技术的协同下，能够利用激光雷达、红外测温等设备的作用实现对线路的全面、快速巡检与故障定位，以及与地面控制系统的配合提高带电作业的安全性与高效性。自动化与智能化成为10kV配网架空线路运维检修带电作业发展的重要方向。以及纳米复合材料等在轻量化绝缘防护装备中的应用研发，能够有效降低安全装备的穿戴重量同时提高机械强度，进一步为带电作业的安全性提供保障。此外，绿色环保战略实施下，10kV配网架空线路运维检修带电作业也迎合时代发展需求，加快与新能源的兼容，如基于分布式光伏与储能并网技术应用的带电作业、直流微电网带电作业技术等的研发应用等，也是带电作业的重要发展方向。

### 7 结语

综述可知，带电作业在10kV配网架空线路运维检修中有着较为显著的应用优势，但同时也需要面对和解决诸多挑战与问题。电力公司与作业人员必须准确把握影响带电作业的相关因素，采取有效的应对措施确保带电作业的安全、高效，同时重视对带电作业发展趋势的把控，紧跟时代前沿，掌握先进技术，更好地为10kV配网架空线路的带电运维检修提供保障。

### 参考文献

- [1] 王卫健.10kV配网架空线路运维检修带电作业[J].2025.
- [2] 陆泳兆.浅谈10kV配网架空线路运维检修带电作业研究[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2023(4):4.
- [3] 黄强.浅谈10kV配网架空线路运维检修带电作业研究[J].电子乐园,2021(4):0242-0242.
- [4] 黄强.浅谈10kV配网架空线路运维检修带电作业研究[J].轻松学电脑,2021,000(004):P.1-1.

# Discussion on the Integration Mechanism and Implementation Path of New Technology for Decoration and Renovation for the Whole Process of Engineering

Lixin Song

Jietong Smart Technology Co., Ltd., Beijing, 100000, China

## Abstract

Interior decoration constitutes a pivotal phase in modern construction lifecycle, where both quality and efficiency directly determine building functionality and user experience. Conventional decoration models, however, suffer from material monotony, construction discontinuities, and design-discovery disconnects that compromise project timelines and quality. The emerging integrated decoration technology requires unified planning and control of the entire project chain—encompassing design, production, procurement, transportation, construction, and acceptance—to address traditional shortcomings. Grounded in practical decoration engineering and aligned with policy requirements and industry standards for prefabricated and fully-finished decoration, this paper proposes actionable integration mechanisms and implementation pathways, providing construction units and project managers with actionable technical solutions and operational guidelines.

## Keywords

engineering process; new technology of decoration; integration mechanism; implementation path

# 面向工程全流程的装修装饰新技术集成机制与实施路径探讨

宋利新

捷通智慧科技股份有限公司，中国 · 北京 100000

## 摘要

装修装饰是现代建筑工程生命周期中一个重要环节，质量优劣与效率高低均会对整体建筑功能与用户体验造成直接影响。但是以往的装修装饰模式存在材料单一、施工断层以及设计分离等情况影响着整体工程周期与质量。而面向工程全流程的装修装饰新技术集成要求将设计、生产、采购、运输、施工与验收作为一个连续的工程链条统一谋划与管控，能够有效解决传统模式中的不足。对此，文章基于装修装饰工程实践出发，结合装配式与全装修的政策要求与行业标准，提出可操作的集成机制要点与实施路径，旨在为施工单位与项目管理方提供可落地的技术组织方案与操作要点。

## 关键词

工程全流程；装修装饰新技术；集成机制；实施路径

## 1 引言

随着建筑工业化进程的加快，装配式建筑装饰装修技术作为建筑产业现代化发展的关键环节，正逐步从单部位品安装向系统集成施工的方向转变<sup>[1]</sup>。有鉴于此，下文针对面向工程全流程的装修装饰新技术集成机制与实施路径展开探讨，以供参考。

## 2 面向工程全流程的装修装饰新技术集成机制

### 2.1 制度与标准协同控制

在工程全流程中推进制度与标准协同控制，应从合同

技术文件、施工样板、项目实施细则与技术协调机制四个层面展开。首先，在合同文本中将部品规格、接口节点、交付检验与保修责任以表格化条目固定。明确样板复核标准与不合格处置流程，并将工序验收节点与责任单位逐项对应，形成可追溯的合同技术链条。合同同时规定材料批次抽样频率与抽检方法以保障质量一致性。其次，基于样板段组织试装评审，制定样板工艺包并编入施工组织计划。样板检验采用量具与尺寸复核单并记录缺陷等级，试装结果作为分包件考核依据。样板工艺包包含加工公差、连接件安装序列与现场复核清单以便复制推广。第三，将国家与行业验收规范转化为项目实施细则<sup>[2]</sup>。按工程节拍编制分阶段技术交底与检验表，并在施工图变更或材料替代时启动技术联审程序以调整细则条款。联审需形成技术会签单并载明替代方案的性能对标与现场试验要求。第四，成立项目级技术协调委员会，

【作者简介】宋利新（1986—），男，中国天津人，本科，工程师，从事装饰装修施工研究。

定期汇总设计变更、界面冲突与材料不匹配问题，并实施会议决策记录与整改闭环，必要时通过样板复验锁定解决方案，同时将委员会决议纳入工程变更控制文件以便工程收尾验收核对。

## 2.2 构件化与模数化标准构建

为构建面向工程全流程的构件化与模数化标准体系，应以《建筑模数协调标准》为基准，制定通用模数表并明确接口定位法与构件基准面，针对隔墙、吊顶、厨卫整体柜与门窗套件等划定分模数序列M、M/2、M/5与M/10，在构件图样中注明安装基准、连接孔位坐标与允许变形值，工厂按图预埋连接槽与定位销保证插接位准。建立分级验收制度，按功能与装配风险将部品分为A、B、C三级，分别制定尺寸公差范畴如面板 $\pm 1.5$ 毫米、接口孔位 $\pm 2.0$ 毫米、拼缝间隙0.5至2.0毫米，明确表面防护与防火检验项及抽样率，现场以样板比对、卡尺与塞尺量测、平整度量规和导向治具干拼验证，并按不合格处置流程返修或退场。实行图样与实物样板一体化管理，构件随附核验图样、材料与工序记录，出厂批次编号、检验单与样板留存，生产变更以工程变更单固化并签认，出厂验收增加试装记录与连接件扭矩验证。推动模块化搭配目录化管理，按户型与功能形成组合单元目录，编制配套件号、安装顺序与节点施工票，制定包装防护并在外箱标注件号与安装朝向，现场按目录件号分拣逐项验收，首件试装放行以减少裁切与返工，并制定交接清单与质量检查卡对安装人员开展装配培训与试装演练，明确首件、首层与末件放行检验程序并保存验收记录以供工程交付复核，必要时组织第三方抽样检验并将检验与不合格处理记录纳入交接资料以便索赔与仲裁。

## 2.3 质量控制与检验闭环机制

在面向工程全流程的新技术集成体系下，应将质量控制与检验闭环细化为四个协同动作以保证可追溯性与可核性。第一，生产端建立以检验批为最小控制单元的出厂检验制度，明确检验项目目录包括几何尺寸、公差限值、材料牌号与批次、表面处理等级与隐蔽件安装参数，规定抽样比例与试验方法，出厂必须附具合格证与检验报告并将检验数据录入物料批次档案，检验设备与样板尺寸实行校准与比对周期并留样备查。第二，现场入场验收实行“三查三比”程序，查包装与标识、比合同编码与设计信息、查防损保护措施，入场后在标准模板或试拼样板处进行首件试拼并以偏差登记表记录偏差数值、可能成因与处置路径，超过容差者按程序返厂或实施现场修正并实施再检且形成签字闭环。第三，施工节点验收采用单元化检验单，验收项目逐项映射至工程技术文件并进行实测与文件复核，实施风险分级抽样与功能性试验，由第三方检测机构或监理代表随机抽查并出具复核意见，验收不合格通过标准化整改单下达整改任务，整改完成后必须由独立复核组复验并形成可追溯的闭环验收记录<sup>[3]</sup>。第四，竣工验收与保修交接要求档案化移交，所有进出

场记录、试验报告、出厂合格证与整改凭证汇总为工程质量档案并由项目负责人和质检工程师签字确认，档案须记录责任主体与保修期限，样板与重要隐蔽节点留样保存至保修期结束并作为争议处理凭证，复验取样方法应采用分层随机或系统取样并明确判定标准，签字职责由项目经理、总监工与质检工程师分担，责任链条须在检验单上记录；留样保管期限不少于保修期加一年。

## 2.4 供应链与现场协同运作机制

在面向工程全流程的新技术集成体系中，供应链与现场协同运作需在供需节奏、运输保护、现场卸料三方面进行制度化细化。第一，依据项目总进度与施工节点制定分段交付计划，明确每段构件的批次编号、模数序列、到场时窗与可用率，生产单位按计划分批出厂并随货附带构件标识、质量证书与装配参考图及接口节点校核清单，现场定期召开交期协调会并保持最小安全库存以降低库存占用率并明确劳务与货运单位责任。第二，运输环节应采用适配性缓冲包装、可调固定件与防振支撑，严格执行装车加固与卸车防护工艺，运输单据需列明完整性检验项与责任方，收货时按清单逐项核验并采集影像证据，异常件即时隔离并按返修或替换流程处理并形成处置记录，同时启用应急运替与临时替换件方案以保障关键节点供给。第三，现场需设立专用卸料与临时存放单元，依据部品功能划定防潮、防磕碰与分类堆放区，配置承载能力经校核的承台与落地卸料设施，卸料作业须按作业票与岗位说明书执行并由专人复核标签与堆放方式，临时存放应标明首末动用日期以保证先入先出并定期核查堆放稳定性。

# 3 面向工程全流程的装修装饰新技术集成机制实施路径

## 3.1 项目导向的工序集成推进路径

在项目导向的工序集成推进路径框架内，须在启动、生产筹备、施工组织与交付保修四个阶段建立层级化的可执行节点控制。启动阶段应组织含设计、结构、给排水、设备供货与现场施工代表的会审小组，逐条比对构件样本与节点样板，形成带编号的变更与接口协调单，明确节点装配顺序、预埋件位置与配合公差，并由会审各方签字确认作为生产下达依据，必要时由监理或第三方检验单位参与确认。生产筹备阶段需制定分批供货表并附批次质检单，检验项目须覆盖尺寸偏差、材料牌号、表面处理、连接件完整性及隐蔽构造，常用尺寸公差控制在 $\pm 2$ 毫米内，合格后加贴批次标识并按运输保护规范采用分级包装、撑板与缓冲材料，入库时按送货单逐项复核并实现样本留样以备后验。施工组织阶段实行样板段先行策略，将样板段验收结果固化为标准作业指导书与节点验收量表，用于分层次技能培训与现场质量抽查，关键界面采用逐项签认的节点验收清单并规定复核人与签字时限，非合格项应按重工流程处置并记录整改措施与复

验结果<sup>[4]</sup>。交付与保修阶段按专业分项逐条完成终验并归档保修卡,建立移交台账与缺陷闭环处理流程,明确责任主体、整改时限与费用承担,保修记录应含缺陷描述、整改方法、验收人及日期,补充管理措施包括规定样本留样周期与保存条件、入场抽检比例与抽检频次、构件临时存放场地的防潮防压措施以及专用起重与就位标识,确立材料替代与临时替代件的审批流程并列入变更单。

### 3.2 试点导入与标准化复制路径

实施应从典型装修装饰项目或样板房试点开始,第一,试点对象遴选与准备。以结构体系、空间功能与交付节点具有代表性的整栋或样板单元为载体,依据施工界面与生产能力制定试点范围并形成工程量清单,实施构件族序列化设计后编制构件清单与连接节点详图,明确关键尺寸基线、接口配合公差与现场预留条件,编写逐项试装工序卡与临时支撑方案并完成出厂检验合格证与构件批次标识,试装过程中实行尺寸比对与节点功能验证以锁定设计改动。第二,技术包形成与标准文件化。将试点中验证通过的构件明细、挂接与加固工法、节点处理流程、配套检测方法与验收表格固化为技术包,生成标准化图集、工序卡片、物料清单与交接单样式,设置文件版本与变更审批程序并纳入施工质量管理办法,配套制定现场巡检要点与问题单闭环处理规则以保证跨项目调用时的一致性。第三,班组能力培育与样板段推广。建立分层次内训体系并编制节点实操教案,组织样板段带教按日光面、厨卫湿区、门窗洞口与机电过道等典型节点逐项练习,明确临时加固与密封处理方法,建立以一次合格率、材料损耗率、节点整改率与带教通过率为量化考核的班组评价表,样板段验收作为放大复制的准入条件并写入项目交付标准。第四,评价迭代与推广路径。建立涵盖工期、一次合格率、材料利用率、节点返工率与成本偏差的评价指标库,按试点、反馈、修订、扩展的闭环流程推进,定期提取最佳实践并形成兼顾地方规程的适配化条款,建立供方配套与运输保护规范,明确构件出厂包装、吊装接口保护与现场临时支撑的承责方,按季度开展标准执行复核并输出改进建议以支撑规模复制。

### 3.3 分阶段并轨推进的施工组织路径

面向装修装饰工程全流程的推广应采取分阶段并轨推

进,具体为:第一,设计深化与构件清单编制阶段,施工组织需组织相关专业负责人开展节点样板会审并制作实物样板,按构件功能将部品分为承重件与覆面件,编制部品编码与接口控制书,接口控制书包括节点剖面图、连接件材料牌号与预埋件标高,明确定义安装孔位、固定件型号与允许偏差,孔位允许偏差 $\pm 2\text{mm}$ ,面板平整度 $\leq 3\text{mm}$ ,同时制定出厂包装与防护标准,配置材料合格证与出厂检验记录并由监理签字。第二,生产与预装阶段,工厂按批次编制生产计划并实行原材料入厂检验、首件检验、过程巡检与出厂抽样试验,重点开展配合件配合检查与拉拔扭矩试验,完成大样试装后按批次生成出厂合格证与部品履历,现场接收按分段交付单核对并在临时试拼区按安装顺序进行试拼装,试拼结果形成整改单并反馈工厂,运输采用托盘化装载并进行防震防潮保护,交接时留存交付单与验收记录<sup>[5]</sup>。第三,现场快速装配与节点验收阶段,施工按单元分区组织供货与安装,依据日装量编制安装节拍表并明确班组资质与工艺卡,安装使用经校准量具对孔位、垂直度与水平度进行校验,连接件按规定扭矩复核并进行拉拔试验记录,实施隐蔽工程逐项验收并归档隐蔽验收报告,不合格按整改流程返工并由专职验收员复验后签认,现场备有关键预备件与标准化工具箱以应对替换需求。

## 4 结语

综上所述,面向工程全流程的新技术集成既是施工组织形式的调整,也是装修装饰工程质量管理与供应链协同的系统工程。通过制度先行、构件标准化、质量闭环与供应链协同四项机制,以及项目导向集成、试点复制、分阶段并轨三条实施路径,可以在现行标准与市场环境下实现可操作性较强的落地推进。

## 参考文献

- [1] 俞文斌.集成化背景下建筑室内装饰施工技术与管理研究[J].中国建筑装饰装修,2023(1):124-126.
- [2] 马琛博.产业化“低碳住宅”建设技术策略及其优化研究[D].中南林业科技大学,2016.
- [3] 彭婷.装配式与绿色技术集成的科技示范项目——以南通市政务中心停车综合楼为例[J].中国建筑装饰装修,2022(12):75-77.

# Research on Improvement of Design Method of Urban Main Road Surface Structure

Liang Zhao

Wuhan Municipal Engineering Design and Research Institute Co., Ltd. Sichuan Branch, Chengdu, Sichuan, 610000, China

## Abstract

With the acceleration of urbanization, the design of urban main road pavement structures has a more significant impact on traffic safety and efficiency. This paper aims to study and improve the design methods of urban main road pavement structures, proposing an optimized design plan that integrates modern traffic loads and environmental conditions. By analyzing the shortcomings and challenges of current design methods, the paper focuses on how to enhance the durability and load-bearing capacity of road pavement structures under conditions of heavy load, high-frequency traffic, and environmental changes. The study combines multi-level mechanical response analysis and durability-oriented design concepts, proposing a traffic load-based structural optimization method to improve the scientific and practical aspects of the design.

## Keywords

urban main road pavement; structural design; traffic load; durability; full life cycle

# 城市主干道路面结构设计方法改进研究

赵亮

武汉市政工程设计研究院有限责任公司四川分公司, 中国·四川成都 610000

## 摘要

随着城市化进程的加速,城市主干道路面结构的设计对交通安全与通行效率的影响愈加显著。本文旨在研究和改进城市主干道路面结构设计方法,提出结合现代交通荷载与环境条件的优化设计方案。通过分析现行设计方法的不足与挑战,重点探讨如何在重载、高频交通及环境变化条件下,提升路面结构的耐久性与承载力。研究结合多层次的力学响应分析与耐久性导向的设计理念,提出基于交通荷载特征的结构优化方法,旨在提高设计的科学性与实用性。

## 关键词

城市主干道路面; 结构设计; 交通荷载; 耐久性; 全寿命周期

## 1 引言

随着城市交通量的持续增长,城市主干道路作为城市交通网络的核心组成部分,其设计方法的合理性直接影响到道路的通行能力、使用寿命及维护成本。目前,许多城市主干道在设计时依赖传统的道路面结构设计方法,忽视了不同交通荷载、环境条件以及长期使用中的动态变化,导致部分路段出现早期损坏、车辙病害等问题。尤其是在面对重载交通和高频通行的挑战时,传统设计方法的适应性显得尤为不足。随着材料科技与道路设计理论的不断发展,如何引入新的技术路径与设计理念,改进现有的设计方法,成为当前亟待解决的问题。

**【作者简介】**赵亮 (1982-) ,男,中国四川乐山人,硕士,高级工程师,从事市政工程道路、交通设计研究。

## 2 城市主干道路面结构设计的理论基础与技术演进

### 2.1 城市主干道路面结构设计的基本理论体系

城市主干道路面结构设计的基本理论体系源于道路工程的力学原理与材料学基础,目的是确保道路的承载能力与使用寿命。设计时需考虑道路荷载分布、土壤基础承载力、交通流量与交通方式等多方面因素。路面结构通常由基层、面层和底层组成,各层次通过合理的材料选择与结构设计,以达到分担交通荷载、延缓路面损坏的目的。在基础理论中,弹性理论与塑性理论是常用的力学分析工具,它们帮助设计师确定材料的应力、应变分布及其抗疲劳性能。此外,随着材料科技的发展,复合材料和高性能沥青混凝土逐渐应用于路面设计中,提升了路面的抗压、抗裂与耐久性。

### 2.2 现行道路面结构设计方法的技术框架

现行的道路面结构设计方法多依赖于交通荷载的动态分析与基础土壤的承载力评估。技术框架主要包括对路面各

层的厚度、材料性质和荷载分布的合理确定。传统设计方法如 AASHTO 与 JGJ 52-2018 标准, 基于土壤与路面之间的相互作用, 采用弯曲理论和压缩理论进行分析。对于交通荷载的评估, 采用了重型车荷载、轴荷荷载等不同类型的荷载模型进行多种工况下的模拟。现行方法还关注路面的排水能力与冻融作用, 尤其在寒冷地区, 设计时要考虑防冻措施。此外, 随着智能技术的发展, 基于数字孪生技术的模拟分析逐渐被引入, 推动了更加精准与动态的设计方法的发展<sup>[1]</sup>。

### 3 城市主干道路面结构设计中存在的主要问题

#### 3.1 现行结构设计参数取值的适应性不足

现行设计方法中, 结构设计参数的取值常常基于长期以来积累的经验和历史数据, 但随着城市交通的快速变化, 这些传统的参数已经不完全适应现代交通的需求。例如, 传统设计中常采用的交通荷载标准多为固定数值, 未充分考虑到现代城市交通的重型化和高频化。在某些城市主干道路, 交通流量已超过原设计预期的 2 倍以上, 导致传统设计中的参数未能及时调整, 致使道路的承载力不足。以四川某城市主干道为例, 按照现行标准设计的路面承载能力为  $250\text{kN/m}^2$ , 而实际荷载常超过  $300\text{kN/m}^2$ , 造成路面过早疲劳, 裂缝和车辙病害的发生。此种情况突显了设计参数在实际应用中的适应性不足, 急需根据新交通条件和荷载分布进行重新评估。

#### 3.2 重载交通与高频通行条件下的结构失效问题

随着城市交通逐渐重型化和高频化, 许多主干道路面承载能力不足的问题愈加明显。在传统设计方法下, 路面结构未能充分考虑到重载和高频通行对路面的长期影响。以四川某城市为例, 某主干道段的日均交通量为 5 万辆, 而其中重型车辆占比达到 25%。这种重载交通常常导致路面结构在使用不到 5 年时出现车辙、裂缝等问题。在高频交通条件下, 尤其是货运车辆的重复碾压作用, 会加速路面材料的疲劳损伤与变形。在这种情况下, 传统设计中的厚度要求与材料选择未能有效提高路面的抗疲劳性能, 导致设计寿命大大缩短。近年来的实地监测数据表明, 这类主干道路面在短时间内就出现了超过设计使用年限的磨损, 进一步揭示了现有设计方法在重载与高频条件下的局限性。

#### 3.3 环境因素对路面结构耐久性的影响机理

城市主干道路面长期暴露于复杂的环境因素中, 这些因素对路面结构的耐久性产生重要影响。气候变化、降水、温差变化、紫外线照射以及污染物的侵蚀等都会加速路面材料的劣化。尤其是湿热与寒冷交替的地区, 路面在冻融作用下的损坏尤为明显。在某些地区, 尤其是北方城市, 冬季严寒天气导致水分渗入路面材料, 形成冻融循环, 严重影响沥青的粘结性与强度。以某寒冷地区的主干道为例, 经过三年的使用, 路面因冻融作用产生了超过 30% 的裂缝宽度, 导致路面失效。与此同时, 城市空气中的污染物, 如二氧化硫

和氮氧化物, 也加速了路面材料的腐蚀过程。这些环境因素对路面结构的耐久性产生了深远影响, 需要在设计中引入更加全面的环境适应性分析, 以提高路面材料的抗腐蚀与抗冻融能力<sup>[2]</sup>。

### 4 城市主干道路面结构设计方法改进的关键技术路径

#### 4.1 基于交通荷载特征的结构组合优化方法

基于交通荷载特征的结构组合优化方法, 是通过深入分析交通流量、荷载分布及交通条件, 结合荷载模型来调整道路各层结构的组合, 从而提高路面设计的适应性和耐久性。针对不同的交通流量和荷载类型, 首先需要收集交通流量数据, 包括轻型车和重型车的比例、通行速度和车流密度等信息。在四川某城市的主干道设计中, 交通流量达到了 5 万辆次, 重型车辆占比为 25%, 在高峰时段, 部分路段的荷载频次达到传统设计标准的 1.5 倍。通过结合这些数据, 优化了路面结构的各层厚度和材料选择。在有限元分析中, 考虑了不同荷载下的路面应力响应, 优化后的设计将沥青层厚度降低了 15%, 但通过强化基层和采用高强度材料, 整体承载能力增强, 能有效应对重载、频繁通行的交通条件。此外, 通过动态荷载模拟, 优化方案减少了施工成本并提高了结构的使用寿命。与传统设计方法相比, 优化后的设计能够适应未来交通负荷的增长, 提高道路的长期稳定性与安全性, 从而降低维护频率和经济成本。

#### 4.2 多层次路面结构力学响应分析技术

多层次路面结构力学响应分析技术采用三维力学模型, 模拟并分析多层次路面结构在不同交通荷载下的响应, 提供更精确的设计依据。在传统的路面设计方法中, 通常仅考虑单层结构的受力情况, 忽视了各层之间的相互作用。而通过采用先进的三维有限元分析技术, 可以对路面每一层的应力、应变进行详细分析。在四川某城市主干道的设计过程中, 采用了土壤-结构耦合模型, 通过模拟不同交通荷载下的路面应力分布, 得出路面面层和基层的应力分别为  $120\text{ MPa}$  和  $80\text{ MPa}$ 。这一数据显著高于传统设计方法的标准值, 反映出在高交通流量和重载条件下, 传统设计可能导致路面早期疲劳。通过精确模拟路面结构的响应, 设计人员能够更好地评估每一层的承载能力和变形趋势, 从而做出相应的调整。比如, 面层材料的选择可以采用更加耐压和耐磨的材料, 基层的厚度和强度也会根据应力分布进行优化, 确保各层结构能够均匀分担荷载, 减少局部应力集中的风险。这种多层次分析技术能够更精确地预测路面在长期使用中的性能, 从而确保路面结构的长期稳定性和耐久性。

#### 4.3 耐久性导向的路面结构设计思路

耐久性导向的路面结构设计思路是基于对道路使用环境和材料特性深刻理解, 提出以延长路面使用寿命为目标的设计方法。随着城市交通量的增加以及极端气候条件的

影响,传统路面材料在实际应用中的耐久性问题愈发突出。为了提升路面结构的耐久性,设计中应充分考虑材料的抗老化、抗渗透、抗冻融等性能。例如,在某市主干道设计中,选用了高性能沥青混凝土,并引入了抗老化添加剂。经测试,这种沥青材料在低温环境下的抗裂性提高了 30%,而在高温下的抗车辙能力提升了 25%<sup>[3]</sup>。综合这些耐久性导向的设计思路,路面的使用寿命大大延长,同时提升了整体的维护效率和经济效益。这种设计理念的应用不仅能确保道路在复杂环境下的长期稳定,还能有效应对日益严峻的交通压力和气候变化。

## 5 城市主干道路面结构设计方法改进的应用模式

### 5.1 差异化交通条件下的路面结构设计策略

差异化交通条件下的路面结构设计策略通过针对不同交通流量、荷载特性以及交通类型的变化,优化路面各层结构的设计。在四川某城市主干道的设计中,交通流量在高峰时段达到 6 万辆次,其中重型车占比高达 30%。根据这些交通特征,采用了差异化设计策略,针对高流量、高载荷路段加厚面层和基层,增强其承载能力。而对于低流量、轻载荷的路段,则减少了路面结构层的厚度和强度,以降低建设成本并提高资源利用效率。通过对这些不同区域的荷载分布和交通模式进行精确分析,优化了路面结构的设计,使其能够根据实际交通条件在不同路段实现最佳性能。这一策略通过对交通特性与路面结构的匹配,避免了过度设计和资源浪费,同时提高了路面耐久性和维护周期。实际监测数据显示,采用差异化设计后,部分高流量路段的使用年限比传统设计延长了 15% 以上,降低了约 20% 的养护成本。

### 5.2 全寿命周期视角下的路面结构设计方法

全寿命周期视角下的路面结构设计方法侧重于从路面建设到养护、修复直至报废的全过程进行优化设计。在这一方法中,设计人员不仅考虑初期建设成本,还要对长期养护费用、结构维护和更新周期等因素进行综合评估。在四川某城市主干道的案例中,采用全寿命周期分析,预测了不同设计方案的维护成本和寿命。设计方案包括常规沥青路面与高性能沥青混凝土路面的对比分析。通过计算得出,后者在初期建设成本较高,但由于其更长的耐用期和更低的维护需求,整体寿命周期成本减少了 18%。此外,采用先进材料和施工工艺提高了路面的抗疲劳和抗裂性能,延长了路面使用年限。全寿命周期方法能够在设计阶段提前评估未来的修复和维护需求,优化资金的分配,提高了投资效益和道路使用寿命。通过这种方法,路面设计不仅满足当前需求,还为

未来可能出现的交通荷载增长和环境变化做好充分准备<sup>[4]</sup>。

### 5.3 结构设计与施工工艺协同优化模式

结构设计与施工工艺协同优化模式通过将设计阶段与施工工艺相结合,确保路面结构设计与施工过程之间的高度契合。在某市的主干道建设项目中,采用了这种协同优化模式,将施工工艺的可操作性和设计的精确性进行了统一。设计团队与施工单位密切合作,确保在施工过程中对路面结构的每一层进行精确铺设,避免了施工过程中由于工艺不当导致的设计失误。通过改进沥青混合料的拌合工艺,确保沥青与骨料的均匀性,提升了路面整体的抗压能力。同时,针对复杂的地质和交通条件,采用了适合的施工工艺,如低温沥青铺设技术,使得在高温环境下施工时,路面能够保持更好的稳定性与耐久性。通过这种协同模式,施工过程中的各项技术问题能够提前识别并解决,最大程度减少了施工中的不确定性和风险。监测结果表明,采用该模式的项目在施工质量和后期路面耐用性方面均优于传统方法,项目的提前交付率和维护周期也得到了大幅提升<sup>[5]</sup>。

## 6 结语

通过对城市主干道路面结构设计方法的改进研究,可以发现,采用现代技术手段和优化设计策略,能够显著提升路面结构的性能和耐久性。基于交通荷载特征的结构优化、多层次路面结构力学响应分析及耐久性导向设计思路,为解决当前城市主干道面临的重载、高频交通问题提供了有效解决方案。此外,差异化交通条件下的设计策略、全寿命周期视角下的综合设计方法以及结构设计与施工工艺的协同优化模式,也展示了如何在设计和施工过程中实现资源的最大化利用,降低成本,提高路面的长期稳定性和安全性。未来,随着技术的进一步发展和交通环境的不断变化,城市主干道路面结构设计将更加注重创新和可持续性,为城市交通的顺畅与安全提供更加坚实的保障。

## 参考文献

- [1] 王奕文.城市主干道沥青路面车辙病害深度超过25mm的处治方案优选[J].中华建设,2025,(12):162-164.
- [2] 张海威.城市主干道综合管廊深基坑钢板桩支护施工技术研究[J].现代工程科技,2025,4(18):29-32.
- [3] 边文政.城市主干道信号配时优化对车辆通行效率的提升研究[J].汽车画刊,2025,(08):29-31.
- [4] 韩君.城市主干道综合管廊深基坑钢板桩支护施工技术[J].交通科技与管理,2025,6(08):125-127.
- [5] 董周建,李建宏,王鹏,李征.城市主干道的细粒式沥青混凝土道路施工技术研究[J].建筑机械,2025,(03):262-267.

# Research and Application of Marine Wide-Band Seismic Data Processing Technology

Xuqian Wang

China National Offshore Oil Corporation Tianjin Oilfield Service Co., Ltd., Tianjin, 300451, China

## Abstract

The seismic data of conventional cable always loses frequency of 0-8hz, but broadband seismic using variable depth of streamers can get wider bandwidth, which can reach 2.5-150h. As the depth of steamer increase, notch effect will become much more serious, so the technique of de-ghosting is much necessary, and it is the key in broadband seismic data processing. This paper has done plentiful research in the characteristic of broadband seismic data's wave field, and the mechanism of ghost, mainly introduced the technique of de-ghosting and wave field continuations. This technique has acquired much well result in marine broadband seismic data processing, it successfully break the monopoly of foreign oil companies, and has Broad application prospects.

## Keywords

broadband seismic, slant tow, ghost, wave field continuations, tau-p transform, notch

# 海洋宽频地震处理技术研究与应用

王旭谦

天津市滨海新区中海油田服务股份有限公司, 中国 · 天津 300451

## 摘要

常规拖缆采集往往缺失0-8HZ低频信息, 宽频变深度采集方法可以有效的解决这个问题, 频带宽度可达到2.5-150HZ, 地震频带更宽。由于随着电缆深度的增大, 鬼波造成的陷波效应也会增大, 所以鬼波压制技术是非常关键的。本文深入探讨了海上宽频数据的波场传播特征、资料品质特点, 及鬼波产生机理; 重点介绍了鬼波压制技术、波场延拓校正的原理和实现方法。本技术在海上宽频资料处理中取得了良好的应用效果, 打破了国外石油公司对宽频处理技术的垄断, 有着广大的应用前景。

## 关键词

宽频地震; 斜缆; 鬼波; 波场延拓; tau-p变换; 陷波

## 1 什么是宽频地震

随着油田的勘探开发, 对地震资料的频带要求越来越高。低频信息可信度高, 在反演中有着举足轻重的作用, 有利于确定油田的形态、整体结构; 高频信息更有利于区分细小的沙体分层、准确的确定油水边界, 在油气田的开发阶段尤为重要。如何得到并处理好宽频地震资料, 是现阶段勘探开发的重点问题之一。电缆的沉放深度直接影响地震资料的带宽, 较浅的沉放深度能得到较好的高频信号, 低频信号受到严重衰减, 较深沉放可以保护低频, 高频信号又会被严重衰减。

宽频变深度地震勘探是近几年最新发展, 而发展迅速的一项新的地球物理技术。它是将电缆藏深度随偏移距增大而变化, 来拓宽地震频带的技术。目前它的采集方式主要有以下四种方式。

**【作者简介】**王旭谦 (1973-), 男, 中国河北石家庄人, 本科, 高级工程师, 从事地震资料处理解释研究。

宽频地震这一技术, 始于高分辨率成像技术的不断追求。从 20 世纪的 90 年代开始, 伴随着市场经济对于深海和复杂的地质技术不断提升的勘验需求, 传统所采用的固定深度拖缆采集技术逐渐显示出频带窄、频率有所缺失等多种性质和特点。自 2000 开始, 伴随着数字化、智能化的不断发展, 数字检波器和高性能计算等也在不断进步, 变深度拖缆也呈现出技术水平上升趋势, 能够实现从低频范围到高频范围的有效提升。在深水区和盐下成像过程中均能够显示出一定优势。当前, 在国际上, 主流的石油公司, 比如: CGG、PGS 等, 都已经推出了来自各自领域的宽频采集技术以及对应的解决方案, 并且将其在全球多个海域中进行应用。

在我们国家市场上, 宽频地震技术这一领域的研究相对起步较晚一些, 但是发展过程比较迅速。自从“十二五”以来, 我们国家重点在科技专项、海洋油气等勘验项目领域相继进行技术攻克, 并且实现在南海和东海等多个深水工业区进行宽频采集实验与处理研究等相关实验, 随之取得了一定的突破性进展和成果。这一技术的突飞猛进, 不仅能够提

升对于油气储层的精准识别程度，也能够位深水区所存在的复杂结构进行解释，以及对检测烃类工作提供相关的可靠数据。

## 2 宽频地震数据的优势

1). 更精确的反演结果。常规拖缆采集的地震数据往往缺失低频信息，反演过程中需要建立低频信息模型，通常通过井信息建立的，当井少，地质情况又复杂时，无法构建精确的低频信息模型。宽频数据中包含丰富的低频信息，能满足反演的需求。

2). 更利于解释。宽频数据中有丰富的低频信息，这样就能得到旁瓣更小的子波，能更容易地解释同相轴，更好地解释地层细节。增加的低频信息能很好地识别层位，显示出精细的波阻抗特征，更好的成像。低频信息穿透力强，能对较深的地质体和复杂盖层之下的目的层进行更好的成像。同时，斜缆数据的分辨率更高。

3). 更能够提升流体识别能力和储层预测能力。宽频地震相关资料会因为其本身具有全频带覆盖的特性，对于储层岩性的识别、预测孔隙程度、检测油气性等方面都具备十分明显的优势。低频性质的信息能够对于构建稳定的波阻抗背景产生一定的辅助作用，高频的细节能够对薄互层的刻画以及储层内部的结构产生刻画。同时，结合振幅会随着偏移距离产生变化这一特性，进行分析和叠前反演，能够使得宽频数据对于检测烃类的成功率进行有效提升，从而减少和降低勘探方面可能存在的风险。

4). 更能够通过对多波多分量地震勘探工作的融合发展进行支持。宽频采集技术会和多波多分量勘探工作进行结合，从而利用纵波与转换横波相关信息，最终完成对各向异性、裂缝发育及流体性质的更加全面的刻画。宽频横波资料在天然气藏识别和流体区分等方面都具有十分独特的价值，这也是未来海洋地震勘探将会进行发展的的重要方向。

5). 更能够适用于深水和复杂地质区的勘探工作。伴随着勘探目标朝着深水、超深水以及复杂构造区延伸工作，地震信号衰减现象产生十分严重，因此，对于低频成分的保留工作就显得尤为关键。通过增强低频能量对于宽频进行采集，从而对深层信号的信噪比与成像精度进行提升，此项内容均已在南海深水区、墨西哥湾及西非等海域取得显著应用成效。

## 3 鬼波产生的机理

研究宽频变深度采集资料，研究鬼波产生机理及传播特征是非常必要，这也是研究鬼波压制技术的基础。

海上地震勘探，由于震源激发和电缆检波器接收均在海面以下，往往容易产生虚反射（如下图所示）。虚反射既可以发生在震源端，也可以发生在接收端。在震源端，波场中的上行波在进入地下岩石之前，先经过了海水自由界面的反射；在接收端，上行波部分在经过了海水自由界面的反

射之后，才被检波器接收。震源和检波器造成的虚反射能够减小频带宽度，从而降低垂向分辨率。

地震信号频率域表达式为：

$$|H(\omega)| = |S(\omega)| * |2 \sin(\pi * f * \Delta t)|$$
  
当  $f = 1/\Delta t = \frac{V_{\text{水}}}{2RCV\_WATRDEPTH}$ ，即当频率为水速除以二倍水深的整数倍时，该频率为陷波点，而第一陷波点为零赫兹。当缆深小于 10m 时，一次波和鬼波叠和在一起，波形没有完全分开，并改变了一次反射波的相位。随着缆深的增大，地震子波低频信息和高频信息都变得更丰富。由于鬼波的存在，鬼波对地震子波某些频带的能量有加权的作用。当电缆较前时，地震子波能量较强。在理论上，当把鬼波完全消除后，地震子波在部分频带的能量会变弱。

鬼波这一影响因素对地震数据会产生的波动不仅体现在频谱陷波上，还会表现在相位畸变、振幅衰减及波形拉伸等多方面。在浅层，鬼波和一次波时间差小，会对波形干涉与频率选择性造成衰减；在深层，鬼波延迟增大，也会导致同相轴产生重复或模糊现象，从而影响构造解释最终的准确性。于此同时，鬼波这一现象，也会伴随着偏移距、水深及海底性质所产生的变化而变化，特别是在复杂海底地形区，多次波和鬼波所产生的耦合效应更为显著，这一现象会给数据处理工作带来十分巨大的挑战。

面对不同的采集方式，鬼波特征也会存在一定差异。斜缆采集会因为其本身深度渐变等特点，最终会导致鬼波陷波频率伴随着偏移距平滑而产生变化，这一特性对于后续处理中通过多通道联合反演实现鬼波压制会产生有利影响。但是传统的平缆采集的陷波频率固定，会造成压制难度相应提升。为此，需要进行采集设计与鬼波处理协同优化处理，从而实现效果最佳宽频状态。

## 4 斜缆数据电缆鬼波消除技术

基本原理：

平缆数据 TAU-P 变换： $d(x_n) = Lm(p_j)$ ，其中  $L = e^{-i\zeta\tau_{n,m}} = e^{-i\omega p_m x_n}$

而斜缆数据 TAU-P 变换： $L^H = L_{pr}^H + R * L_{gh}^H = e^{i\omega\tau_{pr}} + R * e^{i\omega\tau_{gh}}$

其中 R 为海平面反射系数

利用斜缆的正变换算子可以求得：

1) 当  $L^H = L_{pr}^H + R * L_{gh}^H$  时，得到海平面无虚反射的 tau-p 域模型

2) 当  $L^H = L_{pr}^H$ ，R=0 时，得到海平面含有虚反射的 tau-p 域模型。

模型试算：通过理论模型的验证分析，斜缆 TAU-P 变换消除电缆鬼波方法，可以很好的压制电缆鬼波，补偿频谱上的陷波点。海上常规静校正处理是将检波器点接收到的波场信息校正到垂直于海平面的 Q 点，而该波场实际传播到

海平面的实际位置为 P 点。通过波场延拓的技术可以将不同深度检波器接收到的波场信息沿传播方向延拓到海平面上真实的位置，减小了校正误差。

除了需要对  $\tau-p$  进行方法变换以外，还包含了波场分离法、反褶积法、联合反演法等多种鬼波压制技术。波场分离这一方法主要通过上下缆或震源，对于端波场重构进行接收，从而实现上行波与下行波的分离，最终实现鬼波的消除。此方法对数据规则性要求高，但是对于采集工作中，可能会实际产生空缺或噪声时限制一些效果。反褶积这一法，是基于统计或者鬼波算子进行确定性模型估算工作，此法适用于资料信噪比较高的场景。联合反演这一方法则是通过鬼波压制与速度建模、成像的工作过程进行结合，最终在最小二乘偏移或全波形反演框架下进行同步优化，这也是当前研究领域里一直备受关注的研究热点。

斜缆数据鬼波消除这一工作的核心在于对于检波器深度变化进行准确描述，并且对波场传播路径的影响进行研究。在实际的处理工作中，需要对导航定位数据、电缆姿态信息及海水速度模型，建立精确的检波器位置以及波场延拓算子进行结合。与此同时，也应当对于海面波动、波浪噪声及涌浪效应等因素进行考虑，最终计算和记录对鬼波模型的影响，在必要时刻，也应当对于时变校正与自适应滤波技术进行引入。

波场延拓校正这一技术的成功实施，离不开高精度数值算法，比如相移法、有限差分法或谱方法等。因此，在深水区，若考虑速度纵向变化会对延拓精度的影响，则通常需要采取层析或者波形反演手段优化速度模型。在进行延拓的过程中，还应当考虑到注意振幅保持和相位的一致性，从而避免产生引入人为的系列假象。

## 5 实际资料测试

**实例 1：**实际资料为我国南海某深水工区变深度斜缆采集宽频数据，电缆深度变化在 7-50m 之间，电缆长度 6000 米。有效频带在 2.5Hz ~ 130Hz 之间。枪深 5m。

从常规处理和宽频处理两种结果的对比可以看出，去鬼波的偏移成果分辨率更高，小断层更加清晰，基地处鬼波产生的虚轴得到很好的压制。地震频带更宽。

**实例 2：**实际资料为我国南海某深水工区变深度斜缆采集宽频数据，电缆深度变化在 5-30m 之间，电缆长度 6000 米。枪深 6m。

## 6 结论

本文从宽频地震勘探的机理出发，研究了宽频地震鬼波产生的机理，开发了一套效果良好的宽频去鬼波技术，该技术能够有效的压制电缆鬼波，消除了陷波效应，有效的拓

宽了地震频带；针对斜缆静校正问题，本文同样开发了基于波场延拓的校正技术，减小了校正误差。

虽然宽频地震技术当前已经取得了水分显著的工作进展，但是在实际应用过程中仍然会面临各种挑战。首先，对于宽频采集成本较高，并且缆深变化的设计过程和作业的难度大，特别是在高海况区域想要进行实施是十分困难的。其次，对于鬼波的压制效果是需要依赖于精确的检波器定位以及海水速度及反射系数估计工作，并且任何的误差都会可能产生残留鬼波或过度压制现象。与此同时，宽频数据的数量十分庞大，处理的流程十分复杂，对于资源的计算和算法的工作效率都会提出更高的标准和要求，未来的宽频地震技术将会朝着采集 - 处理 - 解释一体化、人工智能辅助处理、多物理场联合勘探、实时处理与质控、绿色勘探与低频保护等方向进行发展。随着各海域油田的勘探开发进展，宽频地震资料的需求就会大幅增加。本技术的研发是响应国家关键核心技术：海上高精度地震勘探技术，是国内海上宽频处理技术的一项重大突破。本研究成果既能指导采集，又能进行宽频处理生产，打破了国外石油公司对宽频处理技术的垄断，具有非常广泛的应用前景和战略意义。

## 参考文献

- [1] Robert Soubaras and Yves Lafet ,Variable-depth streamer acquisition Broadband data, GEOPHYSICS, VOL. 78, NO. 2,2013,
- [2] Frederic MOINET, Michel DENIS, Valérie BREM,Is Broadband Land Seismic As Good As Marine Broadband, 75<sup>th</sup> EAGE Conference & Exhibition incorporating SPE EUROPEC 2013,
- [3] B. Bai, C. Chen, M. Yang , P. Wang,Ghost Effect Analysis and Bootstrap Deghosting Application on Marine Streamer Data, 75<sup>th</sup> EAGE Conference & Exhibition incorporating SPE EUROPEC 2013,
- [4] Robert Soubaras and Yves Lafet, Variable-depth streamer acquisition: broadband data for imaging and inversion, 2011 SEG San Antonio 2011 Annual Meeting,
- [5] Ronan Sablon, Yves Lafet,Challenges and benefits of variable-depth streamer: from acquisition to interpretation. Istanbul International Geophysical Conference and Oil & Gas Exhibition, Istanbul,Turkey, 17-19 September 2012
- [6] 谢玉洪, 李列, 海上宽频地震勘探技术在琼东南盆地深水区的应用, 石油地球物理进展, 2012, 6, 47 (3) ,
- [7] 张军华, 王要森, 郑旭刚等, 海上地震资料多次波特征分析, 石油地球物理勘探, 2009, 5, 44,
- [8] 李振春, 张军华, 地震数据处理方法, 山东东营, 中国石油大学出版社, 2004
- [9] 田根海, 黄兆辉, 海上勘探鬼波产生的机理及压制方法研究, 西部探矿工程, 2012, 2, 61

# Key Technology Research on Deep Foundation Treatment of Offshore Artificial Island Airport: A Case Study of Dalian Jinzhou Bay International Airport

Yuxia Yang

Dalian Lingkong Construction and Development Co., Ltd., Dalian, Liaoning, 116000, China

## Abstract

As China's first offshore artificial island airport, the deep foundation treatment project of Dalian Jinzhou Bay International Airport is critical for ensuring construction quality, safety, and operational stability, presenting significant technical challenges and serving as a demonstration project. This paper systematically elaborates on the implementation background, technical planning process, and specific implementation strategies of the foundation treatment project. By organizing specialized discussions with 12 leading geotechnical engineering experts and drawing on experiences from domestic land-reclamation airports such as Shanghai Pudong International Airport, Xiamen New Airport, and Shenzhen Bao'an International Airport, a differentiated foundation treatment plan tailored to distinct zones was scientifically formulated. Research results indicate that comprehensive technologies—including high-energy dynamic compaction for dredged and backfilled zones, drainage consolidation for mud-dredging zones, and stone column combined with surcharge preloading for direct-fill zones—effectively control post-construction settlement, uneven settlement, and differential settlement, providing a solid foundation for the airport's safe and stable operation. Notably, the innovative application of the “deep overburden-assisted pilot-hole high-energy vibratory stone column technology” addresses foundation treatment challenges under complex geological conditions, offering a replicable and scalable technical solution for land-reclamation airport construction in China. This study holds significant theoretical guidance and practical reference value for advancing airport engineering technologies in similar contexts.

## Keywords

Offshore artificial island airport; Deep overburden layers; Foundation treatment; Differential settlement control; High-energy dynamic compaction

# 大连金州湾国际机场离岸人工岛深层地基处理关键技术研究

杨玉霞

大连临空建设发展有限公司, 中国 · 辽宁 大连 116000

## 摘要

大连金州湾国际机场作为国内首个离岸式人工岛机场, 其深层地基处理工程是保障机场建设质量、安全与运行稳定的关键环节, 具有显著的技术挑战和示范价值。本文系统阐述了该机场地基处理工程的实施背景、技术方案制定过程及具体实施方案。通过组织12位岩土工程顶尖专家进行专题论证, 结合上海浦东、厦门新机场、深圳宝安机场等国内填海(湖)机场地基处理经验, 科学制定了针对不同区域的差异化地基处理方案。研究结果表明, 针对清淤换填区、纳泥区、直填区、围堰区及过渡区分别采用高能级强夯法、排水固结法、碎石桩+堆载预压等综合处理技术, 可有效控制地基工后沉降、不均匀沉降及差异沉降, 为机场安全稳定运行提供坚实基础。特别是“深厚覆盖层辅助引孔高能级沉管碎石桩技术”的创新应用, 解决了复杂地质条件下的地基处理难题, 为国内填海机场建设提供了可复制、可推广的技术方案, 对推动我国机场建设技术进步具有重要的理论指导和实践参考价值。

## 关键词

离岸式人工岛机场; 深厚覆盖层; 地基处理; 差异沉降控制; 高能级强夯

## 1 引言

大连作为我国重要的沿海开放城市和东北亚国际航运中心, 其城市空间拓展与交通枢纽建设对区域经济发展具有

**【作者简介】**杨玉霞(1982-), 女, 中国辽宁辽阳人, 本科, 助理工程师, 从事工程管理研究。

战略意义。随着城市规模不断扩大和航空运输需求持续增长, 传统陆地机场已难以满足区域发展需求。大连金州湾国际机场作为东北亚航空枢纽核心项目, 选址于金州湾东部海域, 采用填海填筑“人工岛”方式建设, 是国内首个离岸式人工岛。该机场的建设不仅关乎大连城市功能提升, 更是推动东北振兴、构建东北亚国际航运中心的重要载体。

作为离岸式人工岛机场, 其面临深厚软土层、复杂地

质条件等挑战，地基处理工程规模大、技术难度高、标准要求严苛。针对这一关键环节，大连国际机场集团于 2024 年 7 月 21 日至 22 日组织召开地基处理工程专家咨询论证会，邀请中国工程院院士王复明等 12 位岩土工程领域顶尖专家进行专题论证，为科学制定地基处理方案提供技术支撑。本文系统总结了大连金州湾国际机场地基处理工程的方案制定过程、技术路线及实施策略，为同类工程提供参考。

## 2 项目概况与地基处理重要性

大连金州湾国际机场作为东北亚国际航运中心的核心枢纽，其建设对区域经济发展具有深远影响。项目总投资约 2000 亿元，预计 2025 年建成投用，将成为东北地区最大的航空枢纽，带动周边 500 公里范围内约 3000 万人口的经济发展。机场选址于金州湾东部海域，海域水深平均达 15 米，地质条件极为复杂，主要由淤泥质软土、粉质黏土及砂层组成，其中淤泥层厚度达 10-25 米，含水量高达 50%-70%，承载力仅为 50-80kPa，远低于机场建设要求的 150kPa 以上。与上海浦东国际机场（淤泥层厚度 8-12 米）、深圳宝安国际机场（淤泥层厚度 5-10 米）相比，大连金州湾国际机场的淤泥层厚度更大、含水量更高、承载力更低，地质条件更为恶劣，对地基处理提出了前所未有的挑战。

地基处理工程作为机场建设的基石，直接影响到机场的使用寿命、运营安全和经济效益。据行业统计，地基处理不当导致的沉降问题占机场工程质量问题的 65% 以上，而填海机场因地质条件复杂，沉降控制难度更是普通陆地机场的 3-5 倍。大连金州湾国际机场地基处理工程总面积 10 平方公里，相当于 1400 个标准足球场，处理深度达 15-30 米，涉及 10 余种地基处理工艺的综合应用，其技术难度和工程规模在国内机场建设史上前所未有。地基处理工程的成败直接关系到机场能否按期投用、能否满足设计使用年限要求，甚至影响到整个东北亚国际航运中心的建设进程。因此，科学制定并实施高效、可靠、经济的地基处理方案，已成为大连金州湾国际机场建设中最为关键的技术环节。

## 3 地基处理方案制定过程

### 3.1 专家咨询与方案优化

2024 年 7 月 21 日至 22 日，大连空港公司委托民咨公司组织召开大连金州湾国际机场地基处理工程专家咨询论证会，邀请中国工程院院士王复明等 12 位岩土工程顶尖专家对地基处理方案进行咨询论证。会后，空港公司系统梳理专家意见，按照“分类施策、分区设计、分期实施”和“速度、质量、标准、安全”原则，对地基处理方案进行了优化调整。专家特别强调了深厚覆盖层条件下地基处理的技术难点，建议重点研究“深厚覆盖层辅助引孔高能级沉管碎石桩技术”的适用性。

### 3.2 国内外经验借鉴

为确保大连新机场深层地基处理方案的有效、经济、可靠、普适性，空港公司系统收集和整理了上海浦东、厦门新机场、深圳宝安机场等国内填海（湖）机场深层地基处理案例，总结相关经验，为科学确定大连新机场深层处理方案提供支撑。特别参考了上海浦东国际机场在 15 米以上淤泥层处理中的经验，以及深圳宝安国际机场在复杂地质条件下地基处理的技术路线。

### 3.3 方案确定

经过系统梳理和评价前期地基处理相关工作，对地基处理标准和工法、工期等重点难点问题开展专题研究，聚焦差异沉降和工期关键路线，坚持数据支撑，科学选定标准。结合国内外填海（湖）机场地基处理工程相关经验，经多轮次、高层次研讨，于 2024 年 9 月 9 日确定了可研阶段相对成熟、稳定的深层地基处理方案。

## 4 大连金州湾国际机场深层地基处理方案

### 4.1 清淤换填区地基处理方案

清淤换填区主要采用高能级强夯法和振冲碎石桩处理。其中，南跑道及滑行道区域、机坪区域采用  $18000kN \cdot m$  强夯处理；北跑滑、航站区等采用  $10000kN \cdot m$  强夯处理。强夯工艺采用约 90 吨夯锤，产生  $18000kN \cdot m$  能级，加固深度可达 13 米，有效提高地基承载力，减少沉降。

### 4.2 纳泥区地基处理方案

纳泥区主要采用排水固结法处理。结合国内填海（湖）机场处理软土地基的经验，推荐采用浅层真空 + 堆载预压处理方案。超高真空联合堆载预压技术，堆载高度最高达 11.5 米，每平方米压载重量达 17 吨，是普通堆载预压的 3 倍，且持续堆载 380 天左右，有效加速土体固结，控制沉降。

### 4.3 直填区地基处理方案

直填区主要采用强夯、振冲碎石桩 + 堆载预压、排水固结法处理。其中，非淤泥包区的填筑体着底区域主要采用  $10000kN \cdot m$ 、 $18000kN \cdot m$  强夯处理，填筑体不着底区域主要采用振冲碎石桩 + 堆载预压处理；淤泥包区采用排水固结法处理。通过深厚覆盖层辅助引孔高能级沉管碎石桩技术，有效解决复杂地质条件下的地基处理难题。

### 4.4 围堰区地基处理方案

围堰区包括清淤换填区与纳泥区周围分布的围堰。围堰采用爆炸挤淤与陆填开山石的方法形成，陆填开山石围堰按直填区要求进行处理，对于爆炸挤淤围堰，按清淤换填区要求进行处理，确保围堰稳定性。

### 4.5 过渡区地基处理方案

过渡区包括纳泥区与围堰、航站楼过渡区及西垂滑下穿工程影响区，采用排水固结法 + 旋喷桩处理；清淤换填区与直填区、围堰区过渡区采用振冲碎石桩 + 堆载预压处理；

东垂滑下穿工程影响区采用振冲碎石桩 + 堆载预压 + 预制桩处理, 确保过渡区地基处理的连续性与稳定性。

## 5 数字化施工与质量管控

为确保地基处理质量, 大连金州湾国际机场建设采用“数字化 + 智能化”管理模式。深层地基处理车辆设备约 260 台, 安装定位、传感设备 460 余个, 数字化率达 100%。通过智能装备赋能精准施工, 实现强夯、碾压、碎石桩、高压旋喷桩、淤泥固化、真空预压等全工艺的数字化管控, 大幅降低施工现场盯控的工作强度。

同时, 构建全员参与、全域覆盖、全程贯通的质量管理体系, 推行原材料“四位一体”管控模式——精准溯源锁定优质供应、三方联动确保取样公正、影像留痕实现全程可溯、闭环管理保障数据达标, 从源头拧紧质量阀门。目前, 已全面启动表层沉降、分层沉降、孔隙水压力、地下水位、膜下真空压力及水平位移等多项监测, 监测次数达 370 万次, 以科学数据护航地基稳定。

## 6 下一步工作计划

### 6.1 深化勘察与监测

补充完善勘察和检测监测方案, 针对不同区域特点制定差异化监测策略。对已形成陆域开展地基处理前的勘察工作, 探明地质情况、淤泥分布等情况。对已完成试验区开展工况荷载下的沉降监测工作, 为后续处理提供数据支撑。

### 6.2 开展补充试验研究

结合前期开展的试验相关结果、深层地基处理研究和可研阶段方案, 参考国内填海(湖)机场开展试验情况, 统筹纳泥区 7-2 区域先行建设方案, 开展有针对性的补充试验, 优化关键参数。

### 6.3 创新技术与数字化应用

结合国内外机场建设优秀案例、大连新机场工程特点、民航局相关要求等, 开展创新技术、数字化施工监控等方面的研究。重点研究高效节能水气分离真空预压技术、深厚覆盖层辅助引孔高能级沉管碎石桩技术等 10 余项新技术, 提升地基处理效率和质量。

## 7 结论

大连金州湾国际机场深层地基处理工程作为国内首个离岸式人工岛的关键基础工程, 其技术方案的科学性、合理性和先进性对机场安全稳定运行具有决定性意义。通过系统梳理国内外填海(湖)机场地基处理经验, 结合专家论证意见, 制定的差异化地基处理方案具有较强的针对性和适用性。

研究表明, 针对清淤换填区、纳泥区、直填区、围堰区及过渡区采用的高能级强夯法、排水固结法、碎石桩 + 堆载预压等综合处理技术, 可有效控制地基工后沉降、不均匀沉降及差异沉降, 为机场安全稳定运行提供坚实基础。同时, 通过“数字化 + 智能化”管理模式, 实现地基处理全过程精准管控, 确保工程质量与进度。

本研究不仅为大连金州湾国际机场建设提供了技术支撑, 也为国内类似填海(湖)机场地基处理工程提供了宝贵经验, 对推动我国机场建设技术进步具有重要意义。特别是“深厚覆盖层辅助引孔高能级沉管碎石桩技术”的创新应用, 为类似地质条件的填海机场地基处理提供了新的技术路径, 具有显著的推广价值和行业示范作用。该技术已在大连金州湾国际机场工程中成功应用, 预计可缩短工期约 15%, 降低工程成本约 10%, 为我国填海机场建设提供了可复制、可推广的技术方案。随着我国沿海城市开发不断推进, 填海机场建设将成为重要趋势, 本研究的技术成果将为未来填海机场建设提供重要参考, 助力我国机场建设技术水平迈上新台阶。

## 参考文献

- [1] 王复明, 郑建国. 深层地基处理技术与应用[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2023.
- [2] 中国建筑科学研究院. 建筑地基处理技术规范: JGJ 79-2012[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
- [3] 陈国兴. 地基处理工程实例分析[M]. 北京: 人民交通出版社, 2021.
- [4] 高文华, 王志刚. 填海机场地基处理技术研究进展[J]. 岩土工程学报, 2022, 44(5): 892-901.
- [5] 张学军, 李国强. 超高真空联合堆载预压技术在机场地基处理中的应用[J]. 地下工程与隧道, 2023, 17(3): 112-118.

# Thinking on the Countermeasures of the Coordinated Development of Project Management and Investment Management in Housing Construction

Bo Lin

China Railway Nanning Group Co., Ltd., Nanning, Guangxi, 530000, China

## Abstract

The alignment between investment scale and construction quality is pivotal to ensuring project investment returns. Quality management in construction projects plays a positive role in attracting more investments. There exists a close relationship between investment scale and construction quality management, and their balanced and coordinated development can further advance the construction industry. However, certain obstacles remain in this collaborative development. Therefore, the construction engineering sector should enhance its focus and continuously improve the collaborative development mechanism between project management and investment management. In light of this, this study investigates the obstacles in the coordinated development of construction project management and investment management, and proposes several effective countermeasures for reference by relevant professionals.

## Keywords

housing construction project; project management; investment management; coordinated development

# 房建工程的项目管理与投资管理的协调发展对策思考

林波

中国铁路南宁局集团有限公司, 中国 · 广西南宁 530000

## 摘要

投资规模与房建质量的协调, 对于保证项目投资效益起到了关键性的作用。房建项目的质量管理对于吸引更多的投资具有积极作用。投资规模与房建质量管理之间存在密切的联系, 通过二者的平衡与协同发展, 促进建筑行业的进一步发展。然而, 在具体的协同发展中还存在一定的障碍, 因此, 房建工程行业应当高度重视, 促进项目管理与投资管理协同发展机制的不断完善。鉴于此, 开展本文的研究工作, 主要探究房建工程项目管理与投资管理协同发展中存在的障碍, 提出几点有效的发展对策, 以供相关人员参考。

## 关键词

房建工程; 项目管理; 投资管理; 协调发展

## 1 引言

建筑行业在发展的过程中, 规模不断扩大, 投资金额也不断增多。但建筑质量问题, 会影响到建筑的寿命和使用情况, 也会影响到投资收益。因此, 在具体管理工作中, 通过项目管理与投资管理的协同发展, 有效应对存在的各类问题, 将项目投资与房建工程质量密切关联, 优化相关方案, 实现两者协同发展, 不仅可以保障房建工程的整体质量, 还能获得更高收益, 促进建筑行业的可持续性发展。在具体应用中, 房建企业需要积极探究项目管理与投资管理协同机制的建设, 构建全生命周期链条, 并完善数字化协同平台的建设, 从而提高协同发展的效率。

**【作者简介】**林波 (1990-), 男, 中国广东信宜人, 本科, 工程师, 从事土木工程研究。

## 2 房建工程的项目管理与投资管理协调发展存在的障碍

### 2.1 相关体制存在障碍

在房建工程的项目管理与协同管理协调发展的过程中, 需要构建完善的机制。然而目前来说, 相关体制机制存在一定的障碍。首先部门规制碎片化, 项目推进需要面对发改、财政、住建、自然资源、环保等多部门的规制, 这些规制往往存在标准不一, 要求重叠甚至冲突的情况。例如, 造价计价规范在市政与房建领域存在一定差异, 同一项目在适用不同审批流程时耗费大量的协调成本。其次, 各部门沟通不到位, 权责不明确。协同发展过程中, 要求各部门加强沟通交流, 明确各自的目标和协同发展的相关策略。同时还要进一步细化相关的责任。然而在具体应用中, 各部门沟通不及时, 责任不明晰, 缺乏权责对等的考核体系, 导致协同效果不佳。

## 2.2 管理过程的全周期链条断裂

房建工程的价值创造是一个连续过程，通过开展全生命周期管理建设从而达到良好效果。然而，目前来说，管理方面存在全周期链条断裂的障碍。1. 投资决策与设计施工脱节。前期可研和投资估算往往基于宏观经验，并没有深入结合具体的设计方案和施工组织，导致估算不准、概算超估算、预算超概算的情况时有发生。2. 设计与施工脱节，在传统的设计招标施工模式下，设计方对施工工艺成本不敏感，施工方被动按图施工，设计变更频繁，造成了返工与费用增加。3. 建设与运营脱节。项目建设团队通常不承担运营责任，因此会比较少地考虑到后期维护的一些便利性、能耗成本以及用户的真实体验。一些项目的运维阶段改造会投入更大的资金。

## 2.3 数字化技术滞后

在房建项目中开展项目管理与投资管理的协调发展，还缺乏数字化技术的支撑。技术工具应用浅层化，存在数据孤岛的情况。虽然 BIM 技术已经普及，但多数项目仍停留在三维可视化和碰撞检查阶段，其承载的丰富几何与属性信息，并没有与投资管理中的成本数据库、进度计划软件、财务分析模型，实现底层数据互通。设计变更无法自动触发动态成本测算，现场进度计划也无法实时反映对资金流的影响，导致管理决策依赖滞后割裂的信息。流程脱节与风险滞后，很多项目虽然购置了项目管理平台和智慧工地系统，但这些工具往往只是将线下审批流程线上化，或者用于劳务、物料等单一环节的跟踪。项目管理流程与投资管理流程在系统中仍是两条平行线，并没有进行业务流程的融合，以及风险的主动预警。此外，更深层次的原因是管理思维依旧存在滞后，思维局限，企业的投入力度不足，导致购入的相关硬件软件比较滞后，无法支撑数字化的合理应用。

# 3 房建工程的项目管理与投资管理的协调发展对策

## 3.1 完善协调发展机制

房建工程实现项目管理与投资管理的协调发展，离不开完善机制的支持。企业需要实现理念升维，认识到项目管理与投资管理协同发展的重要意义。将投资分析、财务模型和市场研判深度前置，用投资成功的标准来反向约束和引导规划设计，确保项目从源头具备经济可行性和市场竞争力<sup>[1]</sup>。在设计的初期阶段，将运营阶段的成本、收入和用户体验作为关键设计输入，形成有效导向。在理念影响下，推动机制进行创新。

在机制方面，成立联合管理小组，由建设单位牵头，整合设计、施工、监理、造价咨询单位的核心人员，明确组长、副组长的权责。核心职能是统筹项目目标、协调跨部门争议、审批重大决策。可以有效打破管理壁垒，整合管理职能，提高管理效率。优化决策与审批流程。针对复杂项目，建立跨

部门联审和容缺受理机制，可极大地提升了项目审批效率。建立权责对等的考核体系。将投资管理指标纳入项目管理团队考核中，将项目管理指标纳入投资管理团队考核中。通过两者的有效融合，完善考核指标的建设，提高各部门的重视。并搭建常态化沟通平台。定期开展周例会、月协调会、季度复盘会，用于沟通交流，对接工作，评估协同发展的效果，从而为后续工作提供重要依据。

## 3.2 全生命周期流程协同优化

通过构建全生命周期流程，可实现项目管理与投资管理的优化协同，达到良好的效果。首先在决策阶段，同步开展项目可行性研究与投资估算，避免估算偏差过大，或者策划脱离实际。项目管理团队提供技术参数、工期规划，确保投资估算符合施工实际。投资管理团队也参与到项目策划中，基于成本约束，优化项目功能定位和规模规划。对项目功能和成本进行匹配分析，剔除其中高成本低价值的功能。

其次，在设计阶段采用限额设计，实现成本的有效控制。投资管理团队依据估算结果，分解各专业设计限额，明确材料选型、工艺选择的成本上限。而项目管理团队参与设计评审，从施工可行性、质量保证角度提出优化建议。同时还要强化设计变更的管控工作。建立设计变更分级审批制，一般变更由联合小组现场审批，重大变更则需要经建设单位、设计和造价三方会审。设计变更提出时，投资管理团队及时测算成本变动，项目管理团队评估对进度和质量的影响，同步出具调整方案。

第三，在施工阶段加强动态管控工作，有效解决进度、质量和成本的动态平衡问题。开展进度与成本的协同控制，可采用挣值法进行动态监控。定期计算已完工作预算费用、已完工作实际费用、计划工作预算费用，通过成本偏差和进度偏差来分析偏差原因<sup>[2]</sup>。项目管理团队则基于进度计划识别关键工序，投资管理团队提供成本支持。若出现进度滞后，不能盲目赶工，而是需要通过调整施工方案追进度的同时，实现成本管控。在质量与成本协同控制方面，可建立质量成本台账，将质量成本分为预防成本、鉴定成本和故障成本。通过数据分析，可以找到质量达标与成本最优的平衡点。同时，项目管理团队加强过程巡检，投资管理团队对返工成本实行谁责任谁承担。避免因施工方操作不当而导致的成本超支。签证与索赔协同管理方面，需要规范现场签证流程，签证经施工方提交，监理方审核，联合小组确认，明确签证的事由、工程量和成本影响。公平处理索赔，投资管理团队客观核算索赔成本，项目管理团队核算索赔事由，平衡双方利益，避免纠纷升级。

第四，竣工阶段，要协同结算，进一步复盘优化。在结算审核阶段，由投资管理团队牵头，项目管理团队配合提供施工材料，确保结算数据真实完整。可采用双人复核制，造价咨询单位初审，建设单位投资部门复审，重点核查工程量计算、单价套用的准确性。在项目复盘方面，联合小组对

项目全周期进行复盘，分析成本超支或者节约的原因、进度偏差原因以及质量问题的根源。记录协同过程中的各项数据，形成经验数据库，为后续的项目提供参考。

### 3.3 构建数字化协同平台

房建工程项目实现项目管理与投资管理的协同发展，还离不开数字化的支持。因此在现阶段可以构建数字化协同平台，发挥技术优势，实现有效赋能，从而促进项目管理与投资管理的深度融合，带来一定的价值。首先企业必须明确价值导向，实施场景驱动的精准赋能。在投资控制场景中，建立 BIM-5D 动态成本管理，将 WBS（工作分解结构）与 BIM 构件关联集成预算合同实际成本数据实现设计变更施工方案调整对成本的秒级测算，支撑动态投资决策<sup>[3]</sup>。在进度协同场景中，构建 4d 施工模拟与实施进度管控。将 BIM 模型与施工进度计划深度绑定，通过无人机实景建模，每周自动比对实际与计划进展，AI 自动识别进度偏差并预警，关联资源计划进行调整。在质量安全协同场景方面，打造物

联网驱动的主动风险防控体系统一物联网平台，关联人员定位、设备监测、环境感知数据。利用 AI 算法自动识别高风险组合，推送预警至相关负责人，提高他们的重视，采取适当的措施，及时处理。

其次，推动技术与业务深度融合。在集团和重大项目层面，建立跨业务的数字化领导岗位负责统筹技术规划，标准制定与业务流程重构，确保技术战略与业务战略对齐。同时强制要求关键业务流程在统一的协同管理平台上发起、流转和归档，可实现全过程留痕和数据同源。并建立数据标准体系，明确数据创建、维护、共享的责任主体为数据贯通和深度分析奠定基础。

第三，建设一体化数字平台，集成 BIM、GIS、IoT、业务平台，确保数据集中接口开放。同时实现虚拟交互与模拟推演。通过物联网数据实时驱动、三维模型状态更新。在此基础上，对重要施工方案进行多方案模拟预演，选择最优路径，针对风险进行应急推演，制定预案。

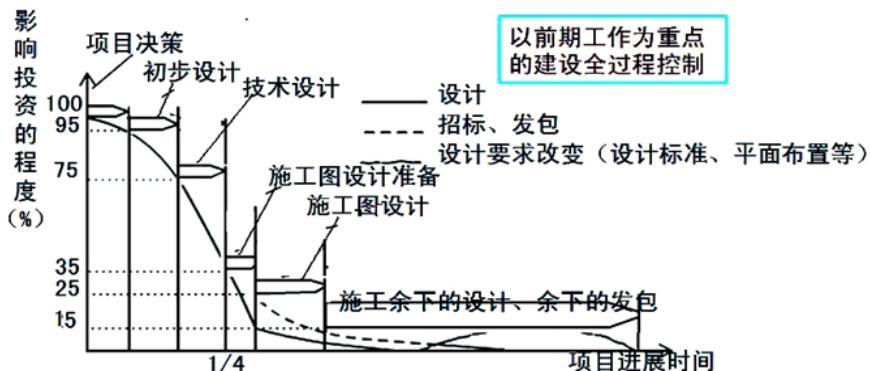


图 1 不同建设阶段对投资的影响程度

## 4 结语

综上所述，在房建工程项目管理与投资管理的协同发展中，相关机制不健全，全生命周期链条断裂，数字化技术的应用滞后，都会影响到协同发展的效率。因此，企业需要高度重视，转变传统观念，完善机制创新建设，打造全生命周期管理流程，并关注数字化协同平台的建设。通过从多个方面入手，可以有效推进项目管理与投资管理的深度融合，在保障房建工程项目质量的同时，实现经济效益最大化，推

动房建工程行业的可持续性发展。

## 参考文献

- [1] 贺昀. 建筑工程项目投资与房建质量管理的协调发展研究[J]. 城镇建设, 2024(21):238-240.
- [2] 柴海民. 信息化管理在房建工程项目管理中的应用[J]. 砖瓦世界, 2025(1):172-174.
- [3] 郭波. 房建工程的项目管理与成本管理方法分析[J]. 建筑与装饰, 2023(22):89-91.

# Research on key construction technologies for cantilever steel structure systems

Jiahui Chen Hui Li Ying Yu

Zhejiang Dadongwu Group Construction Co., Ltd., Huzhou, Zhejiang, 313000, China

## Abstract

This article takes a public building in Shanghai as the research object, elaborating on the key construction technologies for cantilever steel trusses and cantilever beams. By utilizing Midas Gen to establish a model for simulation analysis throughout the entire construction process, the article focuses on simulating key procedures such as the installation and unloading of large cantilever trusses and cantilever beams with temporary supports in place. A multi-parameter displacement and stress monitoring scheme is designed to ensure the safety of the construction process, providing reliable technical support for deformation control during the construction of cantilever structural systems.

## Keywords

Cantilever structure; Steel structure; Simulation analysis; Displacement monitoring

# 双向大悬挑钢结构关键施工技术研究

陈佳辉 李慧 余颖

浙江大东吴建筑科技有限公司, 中国 · 浙江 湖州 313000

## 摘要

本文以上海某公共建筑为研究对象, 阐述了悬挑钢桁架及悬挑梁钢结构施工关键技术; 结合Midas Gen建立模型进行施工全过程仿真分析, 重点模拟了大悬挑桁架、悬挑梁设置临时支撑高空散件安装、卸载等关键工序, 设计多参数位移监测方案, 确保施工过程安全, 为悬挑结构体系施工变形控制提供可靠技术支撑。

## 关键词

悬臂结构; 钢结构; 仿真分析; 位移监测

## 1 引言

本项目位于上海市崇明区, 单体总建筑面积 1.2 万  $m^2$ , 其中地上建筑面积 9303  $m^2$ ; 地下 1 层, 地上 3 层。建筑功能包含 9 个开放式阅览室(智能馆藏体系, “藏、查、借、阅、参”五位一体一站式服务)、讨论室、多媒体区、学术交流区等, 并融入光伏供电、雨水回收等生态可持续设计, 构建了集知识获取、学术创新、生态体验于一体的复合型学术空间。

结构层面: 设有单层地下室, 采用现浇钢筋混凝土结构, 地上采用钢结构, 箱型钢柱下插至地下室底板, 最大截面尺寸达 B900x800x90x90, 楼面钢梁分布在二层至出屋面机房层, 包含 H 型及箱型钢梁两种类型, 最大截面分别为 H1650x600x32x50、B900x300x20x20, 钢材材质包含 Q355B 及 Q460GJB, 其中 Q460GJB 占比超过 50%。



图 1 整体效果图 (西北视角)

项目首层标高 -0.050m, 2F 层标高 5.300m, 3F 层标高 10.700m, 屋面标高 16.100m, 出屋面机房层标高 19.6m。

项目以“以书为核, 阅空星周”为设计灵魂, 采用钢框架-支撑结构体系, 结合立面悬挑桁架、各楼面悬挑钢梁, 外立面以玻璃幕墙与金属框架为主辅以木质元素组成整体幕墙系统, 既保证空间开阔, 又增强结构稳定性, 通过空间、生态与技术的完美融合, 打造出既传承知识传统又拥抱未来的智慧殿堂。

**【作者简介】**陈佳辉 (1996-), 男, 中国浙江绍兴人, 本科, 工程师, 从事钢结构施工研究。

针对项目 25.2m 跨度的悬挑桁架构件重量大、运输及吊装难度高, 高强厚板焊接难度大等施工过程变形与焊接控制难点, 开展如下关键施工技术研究。

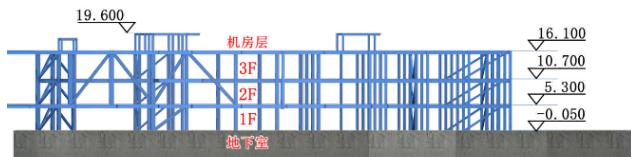


图 2 结构南立面图

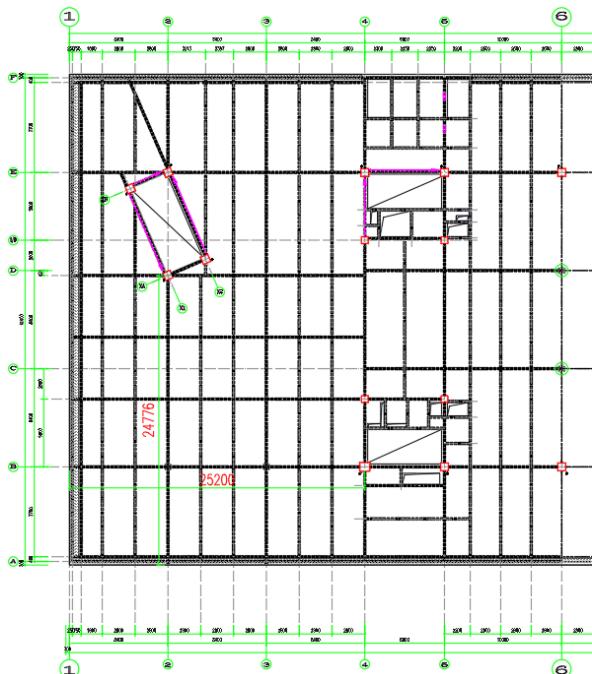


图 3 1-6 轴 2F 层平面图

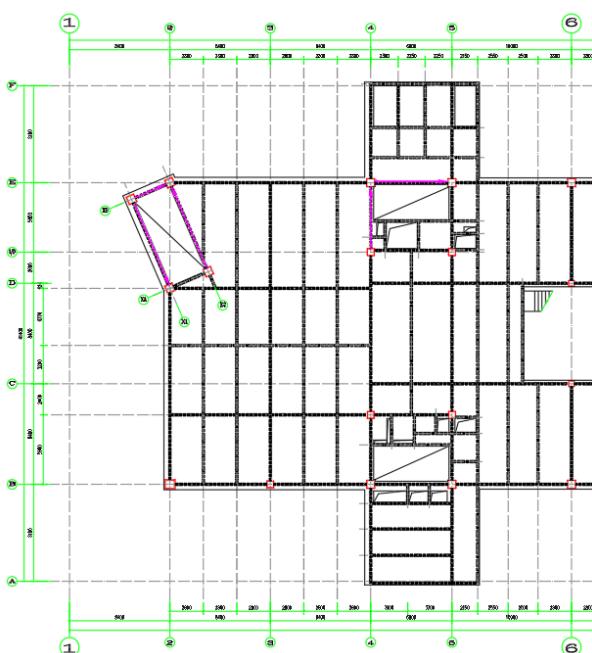


图 4 1-6 轴 3F 层平面图

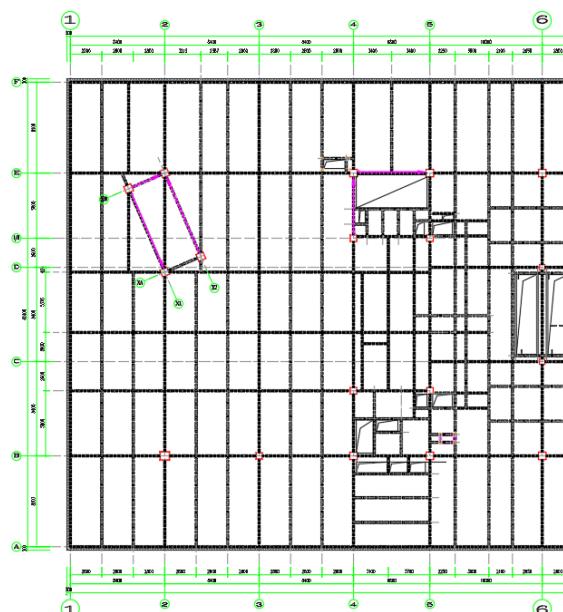


图 5 1-6 轴 屋面层平面图

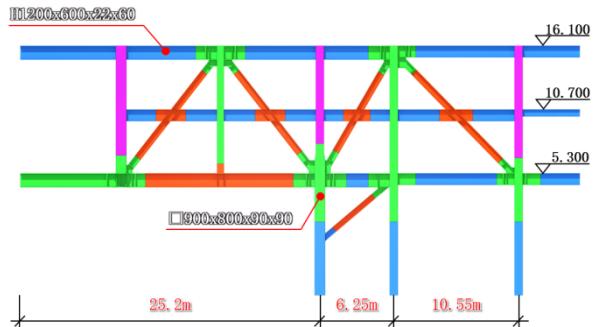


图 6 悬臂桁架典型剖面图

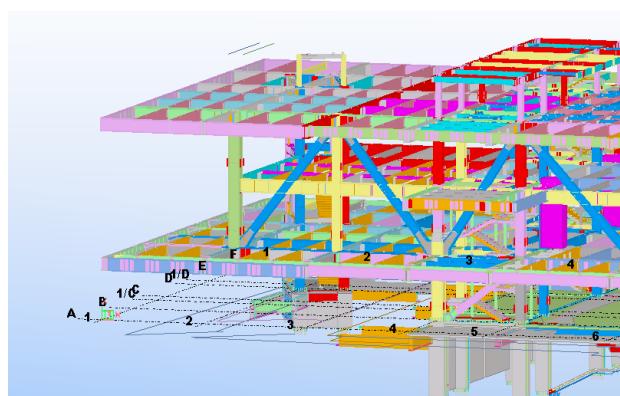


图 7 三维视图

## 2 重难点分析及关键控制技术

### 2.1 大悬挑桁架施工变形控制

B 轴处 25.2m 悬挑桁架构件重量大, 远超现场塔吊性能, 整体加工长度同样超过最大运输限制, 须工厂分段加工运输至现场进行高空散件吊装, 构件多段焊接易产生累积误差并

出现自重下挠变形<sup>[1]</sup>。

提前通过有限元分析模拟施工全过程。安装阶段设计悬挑端部支撑,通过“深化模型起拱”结合“现场拼装起拱”,精确调整构件安装形态;卸载阶段,应用多参数化健康监测,严格控制杆件应力及变形分区分级同步卸载,确保结构最终形态符合设计要求。

## 2.2 高强厚板焊接质量控制

本项目钢材强度等级高且占比比较大,其中Q460GJB占总量的58%,远超常规项目,且最大焊接板厚达90mm,高碳当量、淬硬倾向大均易产生冷裂纹,焊接后往往存在较大的成型应力难以释放,存在层状撕裂的风险。

从原材料端开始严控构件质量,板材型材进场复验,斜向探伤确保Z向性能,开展焊接工艺评定并优化,落实工艺指导及加工过程监督验收。

优选现场焊工,提供有利施焊环境,利用电加热技术提前预热,控制焊层间接温度,厚板采用多层多道错位焊接,焊后百分百探伤,及时返修,确保焊接成型质量。

## 3 施工仿真模型构建与变形预判

### 3.1 仿真模型搭建

#### 3.1.1 计算模型:

采用Midas Gen软件建立三维仿真模型,B轴2F~屋

面层为25.2m长悬臂桁架层,二层及屋面层弦杆(梁)H1200×600×22×60、三层弦杆(梁)H1000×500×20×40、斜腹杆H600×500×50×60、竖腹杆B900×800×90×90,材质均为Q460GJB,其余楼面钢梁材质主要为Q355B,弹性模量 $2.06 \times 10^5$ MPa,泊松比0.3,密度7850kg/m<sup>3</sup>。

#### 3.1.2 边界条件:

根据设计图,与地下室连接的钢柱,其根部设置为刚接边界;钢梁与钢柱、钢梁与钢梁均简化设置,按刚接处理;临时支撑设置底部固定约束,顶部与钢梁或桁架节点按铰接考虑;

#### 3.1.3 计算工况:

DL为1.1倍结构自重,由软件自算;其中1.1为节点重量系数。

承载力极限状态验算工况组合为:1.3DL

正常使用极限状态验算工况组合为:1.0DL<sup>[9]</sup>

## 3.2 施工阶段划分

根据悬挂结构体系的受力特点,结合施工仿真分析及设计单位要求,整体施工顺序为:临时支撑搭设、钢结构安装及楼承板铺设(不浇筑混凝土)逐层施工(2F层→3F层→屋面层→出屋面机房层)、→屋面层、3F层临时支撑拆除→混凝土自下而上逐层依次浇筑→2F层临时支撑拆除,如图8所示:

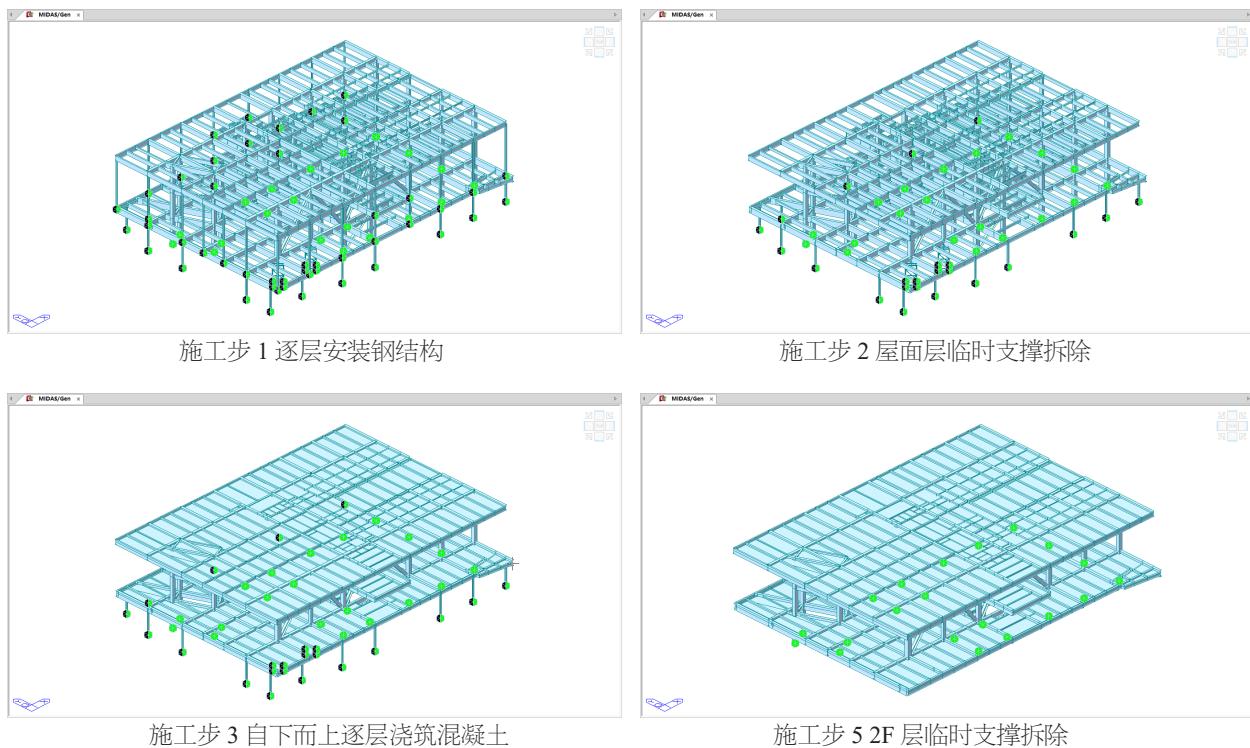
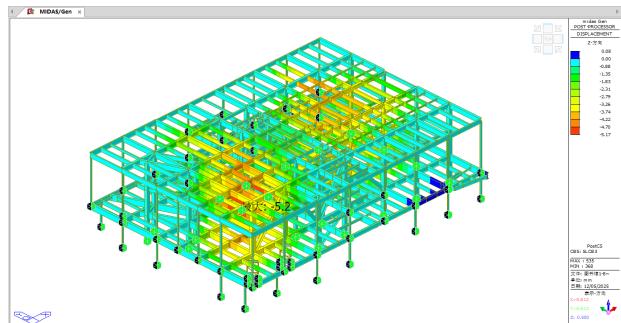


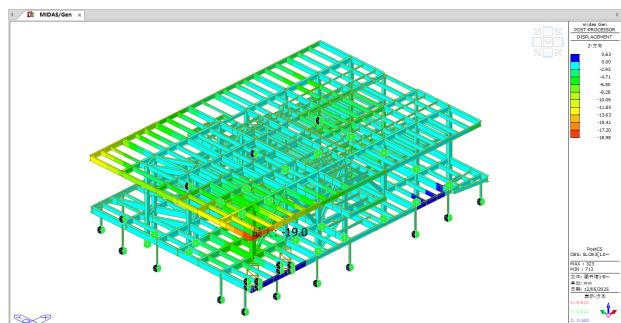
图8 施工阶段模型示意图

### 3.3 仿真分析结果

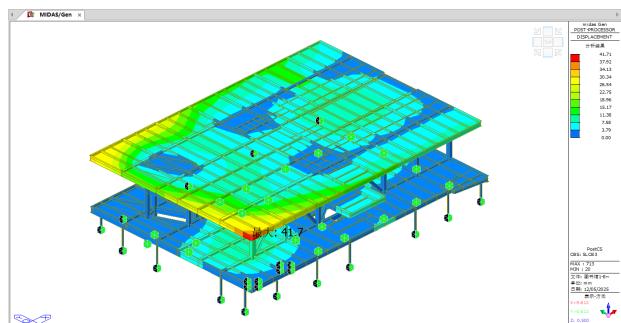
施工过程的Z向位移云图见图9,施工过程的构件的应力云图见图10。



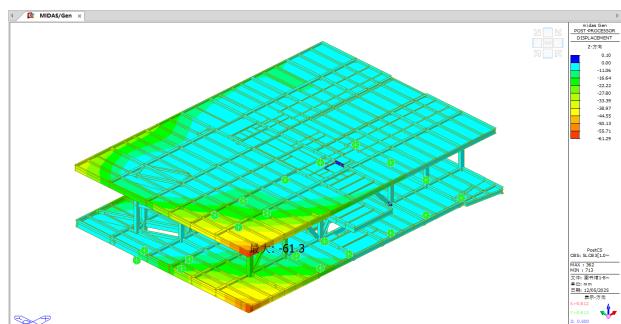
施工步 1 (最大 Z 向位移 -5.2mm)



施工步 2 (最大 Z 向位移 -19.0mm)

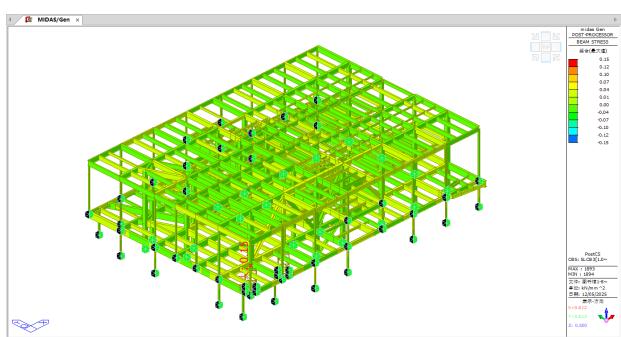


施工步 3 (最大 Z 向位移 41.7mm)

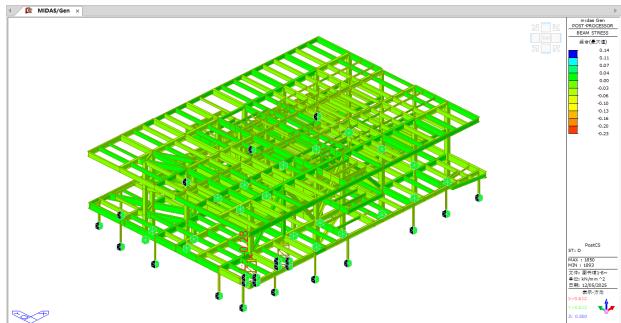


施工步 4 (最大 Z 向位移 61.3mm)

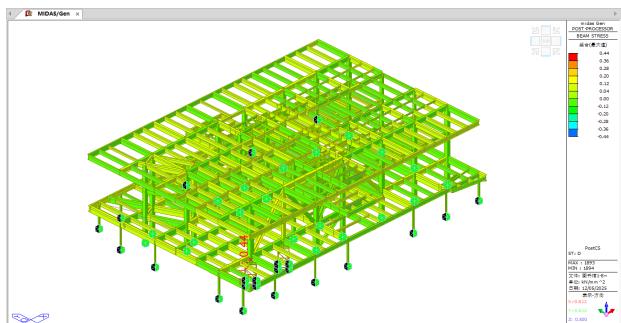
图 9 施工过程的 Z 向位移云图 (单位:mm)



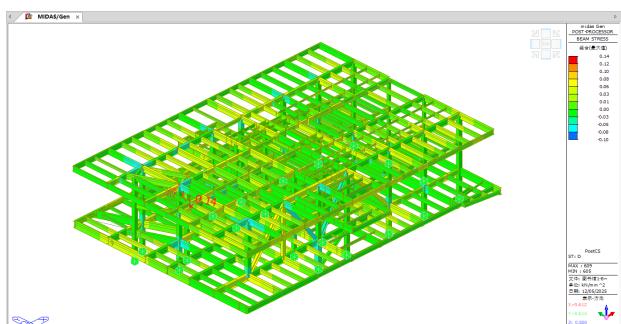
施工步 1 (最大应力比 0.15)



施工步 2 (最大应力比 0.23)



施工步 3 (最大应力比 0.44)



施工步 4 (最大应力比 0.14)

图 10 施工过程的构件的应力云图 (单位:mm)

根据上述仿真分析,施工全过程最大竖向变形出现在悬挑端,阶段2卸载完成后变形量达19.0mm,阶段3浇筑完成后最终变形量41.3mm(占悬挑跨度L=25.2m的

1/610, 满足规范要求), 变形趋势呈“累积增长”特征; 施工过程中结构处于弹性应力状态, 包络应力比最大值为  $0.44 \leq 1.0$ , 结构安全且预留较大。

## 4 多参数健康监测及数据处理

### 4.1 多参数健康监测技术应用

针对本工程悬挑桁架结构受力复杂, 施工过程涉及临时支撑搭设、钢结构吊装、混凝土浇筑、卸载成型等关键环节, 主要受力构件及关键部位的内力、位移等参数的变化情况不明, 为确保成型状态与初始设计达呈一致, 结构安全处于容许范围内, 设计采用了一套多参数化健康监测技术, 对结构应力应变及位移变化等关键参数进行实时采集、智能分析与可视化呈现, 为施工决策提供精准数据支撑<sup>[2]</sup>。

### 4.2 坚向位移监测

本项目 1-9 轴二层至屋面层楼面钢梁均为悬挑钢梁, 最小悬挑长度 7.7m, 最大悬挑长度 8.4m, 施工及卸载过程中在悬挑钢梁端部设置全站仪测量点结合液体静力水准仪, 重点监测悬挑钢梁端部在施工及卸载过程中的竖向位移变化, 满足钢结构及后续幕墙专业的技术指标要求。二层至屋面层分别设置 21 处、4 处、19 处监测点, 位移监测结果如下图所示。

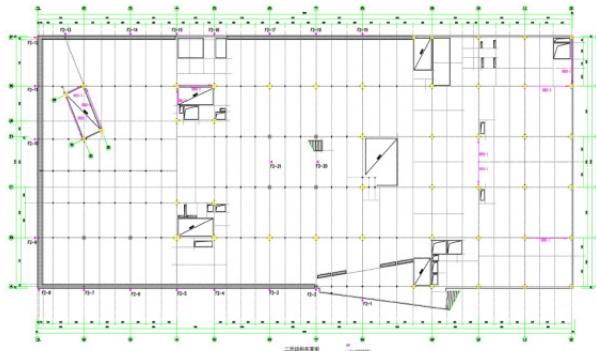


图 11 二层悬挑钢梁位移监测布置图

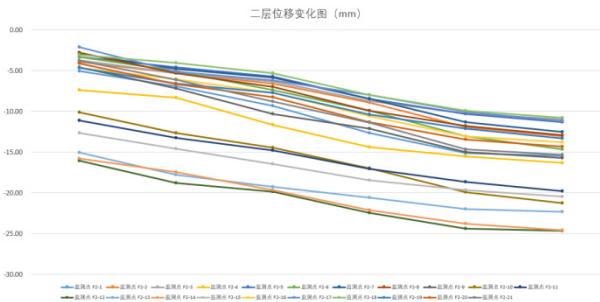


图 12 二层悬挑钢梁位移变化图

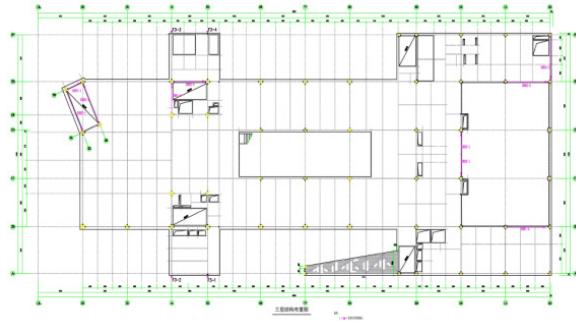


图 13 三层悬挑钢梁位移监测布置图

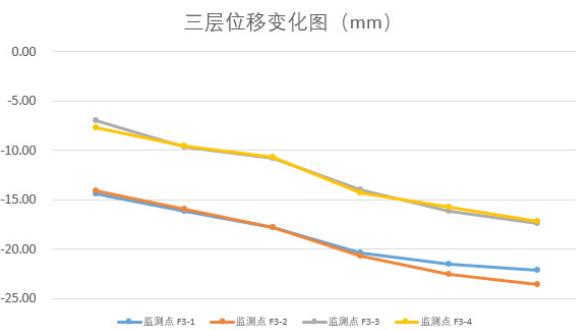


图 14 三层悬挑钢梁位移变化图

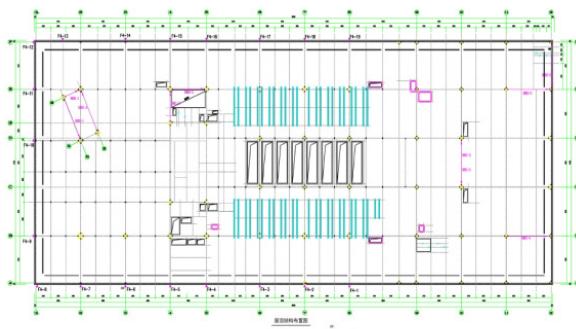


图 15 屋面悬挑钢梁位移监测布置图

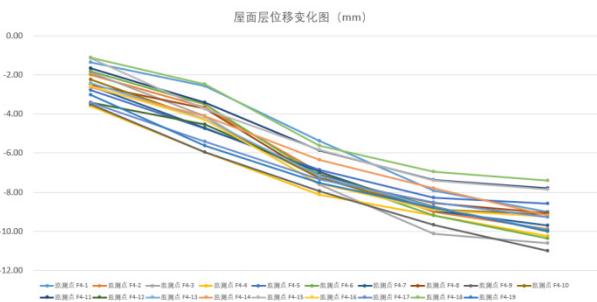


图 16 屋面悬挑钢梁位移变化图

### 4.3 应力应变监测

本项目主要受力结构为 B 轴处的悬挑桁架，在 B 轴桁架上下弦杆、斜腹杆、竖腹杆(钢柱)上设置 28 处应力监测点，应力监测结果如下图所示。

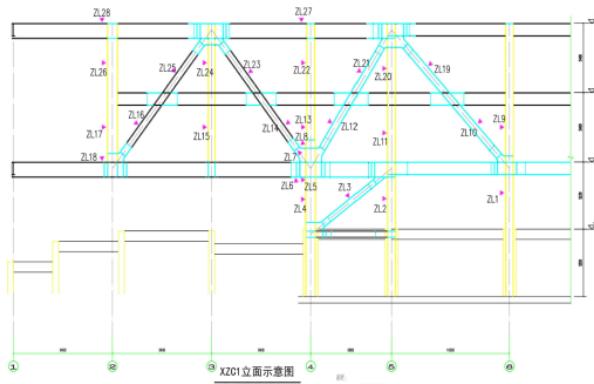


图 17 悬挑桁架应力监测布置图

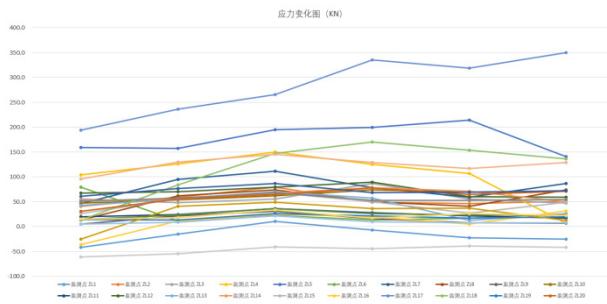


图 18 悬挑桁架应力变化图

### 4.4 数据对比分析

从上述整体数据来看，所有悬挑钢梁的位移变化趋势正常，与有限元模拟分析结果吻合，应力及位移变形数据均在允许范围内，证明大悬挑桁架施工技术安全可行<sup>[3]</sup>。

### 5 结语

本文以上海某公共建筑双向大悬挑钢桁架结构为研究载体，针对大悬挑结构施工变形控制及高强厚板焊接质量控制两大核心难点，开展了系统的施工技术研究，主要结论与成果如下：

构建了基于 Midas Gen 的施工全过程仿真分析方法，精准预判了 25.2m 大悬挑桁架在各施工阶段的变形与应力分布规律，为施工方案优化、起拱值确定及分级卸载策略制定提供了科学依据，有效规避了施工盲目性。

提出了“双级起拱 + 分级卸载”的大悬挑桁架变形控制技术及全流程高强厚板焊接质量管控体系，通过工厂分段加工、现场高空精准拼装、焊接参数优化及焊后全检等措施，成功将悬挑结构最终变形量控制在 41.3mm (1/610 跨度)，焊接接头一次合格率达 100%，确保了结构施工质量与安全。

应用多参数健康监测系统，实现了施工过程位移、应力应变的实时动态监测，监测数据与仿真结果高度吻合，形成了“仿真预判 - 施工控制 - 实时监测”的一体化技术体系，为施工过程动态管控提供了可靠数据支撑。

本研究形成的双向大悬挑钢桁架结构施工技术体系，成功解决了项目施工中的核心技术难题，保障了工程顺利实施。该技术体系具有较强的针对性与可操作性，可为同类大悬挑钢结构工程的施工提供重要的工程借鉴与技术参考。

### 参考文献

- [1] 王欣鹏 大悬挑钢桁架悬挂结构体系顺作法施工技术 2021 年全国土木工程施工技术交流会论文集 (中册), 2021, 412-416
- [2] 吴水根 高层建筑悬挂钢结构施工过程监测分析 施工技术, 2015, 44 (14), 39-41
- [3] 张微 高层悬挂结构建造全过程数值模拟分析 施工技术 (中英文), 2025, 54 (08), 53-60

# Construction Risk Control of Red Red Section of Metro Line 9 Overlapping with Shield Tunnel

Liang Gong Xiangru Lu Qin Yang

Nanjing Tongli Construction Group Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu, 210046, China

## Abstract

Considering the structural status of the under-construction double-line overlapping tunnel, the geological conditions of the soft-over-hard composite stratum, and the small-spacing inclined underpassing conditions, the existing shield tunnel is pre-reinforced externally to form a “protective shell.” Additionally, channel steel tie-in measures are implemented internally to further enhance the overall stability of the original tunnel. During inclined underpassing, high-precision monitoring technology using an intelligent total station is employed to dynamically adjust excavation parameters in real time. Simultaneous grouting and secondary grouting are performed to ensure timely, uniform, and sufficient injection, thereby stabilizing the tunnel as quickly as possible. Continuous monitoring and data analysis of both tunnels are conducted to fully guarantee the excavation accuracy, stratum stability, and ground road stability of the inclined underpassing overlapping tunnel.

## Keywords

Overpass tunnel; small spacing; inclined underpass; tie-in; grouting

# 地铁九号线红红区间叠交在建盾构隧道斜穿施工风险控制

贡亮 卢相如 杨钦

南京同力建设集团股份有限公司, 中国·江苏南京 210046

## 摘要

结合两线在建叠交隧道结构现状、上软下硬复合地层地质条件、以及小间距斜下穿工况。对已成型在建盾构隧道管外预加固, 形成“保护壳”; 其次对管内采用槽钢拉结措施, 进一步增强原隧道整体稳定性。斜穿时, 基于智能型全站仪的高精度监测技术手段, 实时动态调整掘进参数, 同步注浆和二次注浆做到及时、均匀、足量, 尽快稳定成型隧道。对两者隧道持续跟踪监测并分析数据, 充分保证斜穿叠交隧道掘进精度、地层稳定、地面道路稳定。

## 关键词

叠交隧道; 小间距; 斜下穿; 拉结; 注浆

## 1 引言

中国进入城市轨道交通大发展、大建设时期, 轨道交通在城区主要以地铁形式运行, 多条地铁线在地下空间近距离交错或并行, 实现城市区域轨道交通全覆盖运送能力, 保障公共出行快速可达。针对近距离交错的地铁隧道, 在建隧道下穿已建隧道施工时需采取系列保护及控制措施, 保证已建隧道安全及在建隧道顺利施工<sup>[1]</sup>。

## 2 工程概况

地铁 9 号线红山路站-红山路站区间上下行线分别与 6 号线红山新城站~花园路站区间左线叠交, 其中上行线 472~503 环斜穿红花左线, 最小间距 2.807m, 地层为  $\delta$ -2 强风化闪长玢岩; 下行线 458~500 环下穿红花左线, 最小间距 2.916m, 地层为  $\delta$ -0 残积土、 $\delta$ -1 全风化闪长玢岩、

$\delta$ -2 强风化闪长玢岩。两线叠交隧道平面投影呈近 22° 相交, 交叉角度越小, 对在建叠交隧道的扰动影响范围越大。

红红区间和红花区间隧道都采用盾构法施工, 隧道为圆形管片衬砌结构, 管片内径为 5.5m, 厚度为 350mm, 外径为 6.2m, 宽度为 1.2m。(见图 1、图 2)

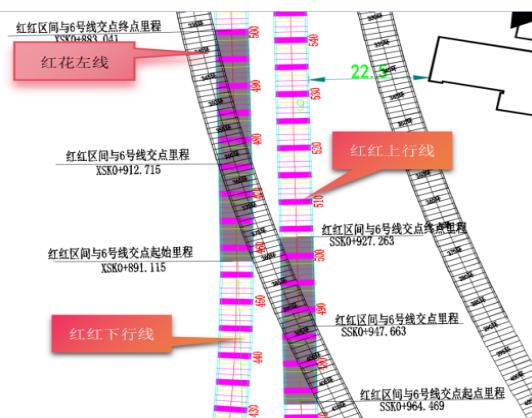


图 1 相交平面图

【作者简介】贡亮 (1988-), 男, 中国安徽蚌埠人, 工程师, 从事地下空间隧道安全管理技术研究。

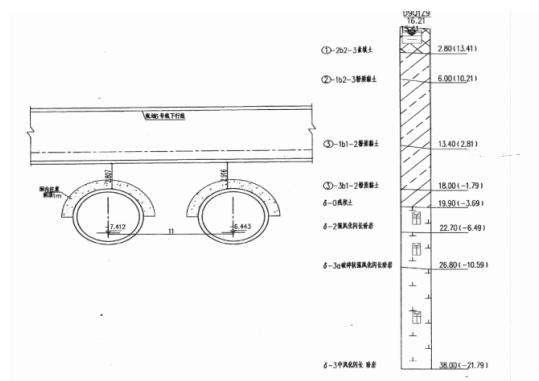


图 2 相交横断面图

### 3 斜穿叠交在建隧道风险分析

在建的 9 号线盾构隧道与在建的 6 号线隧道叠交空间位置关系极为复杂，两者呈近 22° 相交，结构相交最近处净距仅为 2.807 m。交叉角度越小，新建隧道施工对既有地铁线隧道影响范围越大。斜下穿掘进，势必掘进期间会对上方 6 号线隧道引起隆沉的趋势，进而可能引起周围土体应力重新分布，使得 6 号线隧道产生附加位移和附加内力，导致 6 号线隧道结构变形，引起结构管片渗漏、甚至是管片开裂的风险。而隧道结构变形若超过限值将影响后续地铁运营安全。

两线隧道在叠交区域掘进时，可能引起上述风险原因有：①穿越区域地层以强风化闪长玢岩为主，此岩层风化严重，但仍有一定自稳定性。当 9 号线盾构机盾尾脱出管片后，管片背后土体呈现临时无支护悬空状态，引发土体向空隙移动，引发松动面扩大，进而扰动了 6 号线下方土体；②9 号线隧道在该处上方为粉质黏土层、底部为闪长玢岩，属于上软下硬地层，叠交区掘进时地层沉降难以控制；③因两线间距较小，6 号线优先于 9 号线掘进，6 号线已经优先破坏了该处的土体平衡，而 9 号线施工再次进行了扰动；④掘进过程中参数调控不当，加大对周边土体的扰动，加速引发 6 号线隧道结构的不均匀沉降；

### 4 斜穿在建隧道保护技术管控

#### 4.1 斜穿作业技术流程（见图 3）

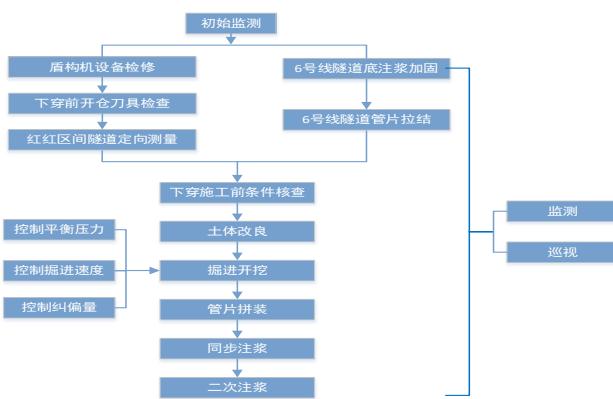


图 3 斜穿掘进施工流程图

#### 4.2 斜穿段初始监测取值

斜穿掘进前 40 环布设监测点并测取初始值，考虑到上方隧道施工时对地层及周边环境的影响，本区间隧道施工时变形控制量应将上方隧道注浆后的变形量叠加作为监测控制值。

#### 4.3 上穿隧道注浆保护

在重叠区掘进时在成型隧道底部下方 180° 范围的管片外 2m 范围进行深孔注浆加固，加固里程为 6 号线下 DK50+571.924~下 DK50+686.450。注浆材料为水灰比 1:1 的单液浆，及在注浆完成一周后，对加固效果情况进行检查，如发现注浆效果不满足加固条件，应再次补充注浆。

#### 4.4 叠交隧道拉结处置

斜穿前，重叠区域及前后 10 环范围内进行 14# 槽钢拉结紧固，以此加强隧道的整体刚性。并且加强管片螺栓的复紧工作，坚持做到螺栓复紧三次。下穿过程中，要加强叠加段的监测，观察上方隧道管片情况，发现问题及时汇报。

### 5 斜穿叠交隧道盾构掘进技术控制

#### 5.1 下穿盾构掘进参数控制

在斜穿在建盾构隧道时采取土压平衡、微扰动掘进模式。掘进参数是以土仓压力为基准点来考虑，掘进控制程序也应以保持土仓压力为目的。

#### 5.2 上行线斜穿参数控制

下方隧道上行线在下穿区域地层为全断面强风化闪长玢岩，自稳定性较好，但是距离上方隧道底仅有 2.8m，此 2.8m 范围内有 1.5m 全风化闪长玢岩，遇水易松散，因此在盾构穿越前，距离既上方隧道 20 环范围内，采用土压平衡、微扰动掘进模式。施工参数如下：

①刀盘转速：强风化闪长玢岩标贯击数  $\geq 120$  击，对滚刀受力大。应控刀盘转速 1.0~1.1r/min，减小单位时间切削次数，降低土体扰动，同时提升掘进速度。

②土舱压力：在掘进时，土舱压力以静止土压力为控制值，根据地勘土层厚度和物理性质，以公式  $P_{静} = \sum K_0 \gamma h_0$  (其中  $K_0$  为静止侧压力系数， $\gamma$  为图层天然密度， $h$  为涂层厚度) 计算得出土仓压力为 0.18MPa，但上方隧道内有 5.5m 空心，综合管片重量，最后图 0.16MPa 为土仓压力控制值。具体施工时，将根据监测反馈的数据及时进行调整，使土压在可控范围。

③总推力：油缸推力：12000 ~ 14000KN。

④刀盘扭矩：刀盘扭矩：1300-2000kN · m。

⑤掘进速度：掘进速度保持在 25mm/min。

⑥出土量：理论出土量在 39m<sup>3</sup>，根据现场土层的松散系数和含水量，每环出土量在控住在 1.3 倍系数范围之内，即 51m<sup>3</sup> 以内。若发现出土量超标，及时调整，保证盾构机下穿施工过程中，控制出渣量不超标。

#### 5.3 下行线斜穿参数控制

下方隧道下行线在下穿区域地层从上到下依次为残积

土、全风化闪长玢岩、强风化闪长玢岩、中风化闪长玢岩，属于典型的上软下硬复合地层，该地层掘进姿态控制困难，易发生盾构机向上偏移事故，造成上方隧道隆起和地表变形。因此，在下穿前需开仓换刀，配置全断面滚刀，同时放慢掘进速度。施工参数如下：

①刀盘转速：上软下硬的复核地层，适当增大刀盘转速，同时放缓掘进速度，将底部岩层对盾构机向上的力减小到最小。刀盘转速控制为1.2~1.5r/min。

②土舱压力：根据上行线下穿经验，土仓压力控制在0.16MPa。

③总推力：油缸推力应控制在10000~13000KN。

④刀盘扭矩：刀盘扭矩控制在1000~1500kN·m。

⑤掘进速度：控10~15mm/min，防抬头，微扰动慢速掘进。

⑥出土量：理论出土量在39m<sup>3</sup>，根据现场土层的松散系数和含水量，每环出土量在控住在1.3倍系数范围之内，即51m<sup>3</sup>以内。

#### 5.4 排土量控制技术

$$V_D = \frac{\pi D^2}{4} \times l_G$$

$$V_{CT} = \xi \times V_D$$

红红区间盾构刀盘直径6.490m/6.480m，管片环长1.2m，开挖断面32.96 m<sup>2</sup>，每环理论出土量39.55m<sup>3</sup>；渣土松散系数≤1.3，对应出土量约51m<sup>3</sup>。需对比实际与理论出土量，维持土压平衡，避免超欠挖、减小土体扰动。

#### 5.5 斜穿后二次注浆

盾构推进中的同步注浆是充填土体与管片圆环间的建筑间隙和减少后期变形。盾构推进施工中采用四点注浆，同步注浆系统配备压力表和流量计，严格控制同步注浆量及注浆压力。

待盾构穿越上方隧道管片脱出盾尾5环后，根据上方隧道及地面监测数据及时通过管片预留注浆孔进行壁后二次注浆，控制好后期沉降，注浆材料采用双液浆，即：水玻璃+水泥砂浆。浆液配比：水泥浆水灰比为1:1；水泥浆：水玻璃=1:1。二次注浆遵循多次少量的原则，时间间隔2-3天。

#### 5.6 监控量测

本次下穿期间，每4小时对上方隧道拱底拱顶沉降及净空收敛进行监测，每12小时对地面地面及周边建构筑物进行监测。上方隧道及道路路面安排人员24小时值守，每半小时进行拍照记录并上传信息工作群。

在盾构穿越之前对区域内所有监测点原始数据进行测定，穿越施工期间根据监测数据及时优化调整掘进施工参数，如控制掘进速度（匀速1.5cm/min）、出土量（54m<sup>3</sup>/环）、

扭矩（1300kN·m）、推力（13000kN），严格控制盾构机姿态：在盾构穿越地铁隧道前，将盾构机姿态调整至最佳，不出现上抬。在隧道下方纠偏坡度应控制在±1%之内，平面偏差15mm内，单次纠偏量不超过2mm。做到信息化动态施工管理<sup>[2]</sup>。

#### 5.7 管理管控措施

施工时需进行穿越前的试推进，严格控制盾构机平衡压力、推进速度、纠偏量、同步注浆量和浆液质量、加强监测。动态信息传递、突发事件控制。

①对盾构穿越地铁隧道段开展障碍物调查，确保盾构连续穿越。

②施工前，施工单位应对地铁隧道展开全面调查，收集既有地铁隧道形态及变形剩余量，进行风险评估，并应根据地铁隧道现状制定专项施工方案和专项监测方案。

③穿越地铁隧道时，严控切口平衡土压力，使地层微隆起以抵消背土沉降；同步管控出土量、推进速度、总推力、土压力波动值等关联参数。防止过量超挖、欠挖，尽量减少平衡压力的波动<sup>[3]</sup>。

④下穿完成后，拟对重叠段管外壁厚注浆情况进行地质雷达扫描检测。

⑤下穿前两项目部监理互相监测数据共享、互相验证机制。并协商两线盾构机保持不少于80m（67环）的安全距离。

⑥根据沉降观测结果，采用单液浆及时进行二次补压浆。压浆量的控制根据变形信息确定。

### 6 结语

通过阐述9号线和6号线叠交在建隧道区段与周边建筑之间的空间关系、存在安全风险的原因分析，对叠交隧道采取的地层加固措施和拉结措施，在掘进重叠区期间参数控制，建立多方管控协调机制措施等。以及对叠交隧道的隆沉、洞内收敛监测，各方监测数据均非常小；隧道内未有发现管片拼缝增大、渗漏的现象发生。为此，认为在做好各项技术控制措施前提下，叠交隧道互穿的扰动影响是可以控制的，其风险也是可控的。也说明了采取管外土体固结+洞内拉结措施的有效的。本区间左右线两次进行小间距叠交在建隧道成功斜穿，对我司在类似复合地层中盾构穿越建筑物取得了丰富经验。

#### 参考文献

- [1] 梁建波. 盾构下穿地铁隧道施工中对既有隧道沉降影响的分析[J]. 广州大学, 2016.6
- [2] 展宏跃,王起才. 新建双线隧道下穿既有单线铁路隧道施工控制技术[J].施工技术, 2011
- [3] 邹朝阳. 徐州市轨道交通2号线下穿既有京沪铁路技术措施探讨[J].现代城市轨道交通, 2017(04): 29-33.

# Technologies for Heavy Metal Pollution Control and Environmental Impact Assessment in Copper Mine Mining and Beneficiation Processes

Wei Zhou

Yunnan Copper Co., Ltd., Qiubei, Yunnan, 615000, China

## Abstract

Copper mining and beneficiation activities are accompanied by various heavy metal pollution issues during resource development, and their environmental impacts are characterized by strong concealment, pronounced cumulative effects, and high remediation difficulty. Focusing on the formation mechanisms and environmental manifestations of heavy metal pollution in the copper mining and beneficiation process, this study systematically reviews the release, migration, and enrichment characteristics of heavy metals during mining and beneficiation stages, with particular emphasis on the main types of heavy metal pollution in tailings and wastewater and their associated environmental risks. At the same time, changes in environmental quality and ecological risk responses before and after the implementation of control measures are analyzed. The study aims to provide a systematic reference for the scientific selection of heavy metal pollution control technologies and the comprehensive assessment of environmental effects in copper mining and beneficiation.

## Keywords

Copper mining and beneficiation; Heavy metal pollution; Pollution control technologies; Environmental effects; Ecological risk assessment

# 铜矿采选过程中重金属污染治理技术与环境影响评估

周微

云南铜业股份有限公司，中国·云南 丘北 615000

## 摘要

铜矿采选活动在资源开发过程中伴随多种重金属污染问题，其环境影响具有隐蔽性强、累积效应显著和治理难度高等特点。围绕铜矿采选过程中重金属污染的形成机理与环境表现，系统梳理采矿与选矿环节中重金属的释放、迁移及富集特征，重点分析尾矿与废水中重金属污染的主要类型及其环境风险，同时分析治理措施实施前后环境质量变化及生态风险响应特征。研究旨在为铜矿采选重金属污染治理技术的科学选择与环境效应综合评估提供系统化参考。

## 关键词

铜矿采选；重金属污染；污染治理技术；环境影响；生态风险评估

## 1 引言

随着铜矿资源开发强度的持续提升，采选活动对区域环境质量的影响日益受到关注。铜矿中伴生的多种重金属在采矿、破碎、磨矿及选矿过程中易被激活并进入环境介质，形成对土壤、水体及生态系统的潜在威胁。这类污染具有迁移路径复杂、环境归趋多样的特点，一旦控制不当，易引发长期生态风险并制约矿区可持续发展。在实际治理过程中，单一技术措施往往难以兼顾污染控制效果与环境响应特征，亟需从全过程视角统筹分析污染产生机制、治理技术体系及其环境效应。因此，围绕铜矿采选重金属污染治理技术与环

境效应评估开展系统研究，对于提升治理决策的科学性、实现矿产资源开发与生态环境保护的协调具有重要现实意义。

## 2 铜矿采选过程中重金属污染的产生机理与特征

### 2.1 采矿作业环节重金属释放途径

铜矿采矿作业以露天开采和地下开采为主，在剥离、爆破、采装及运输等环节中，矿体及围岩受到强烈扰动，原本处于稳定赋存状态的铜、铅、锌、镉等重金属被暴露于空气和水体环境中。爆破过程中产生的大量裂隙显著增加了矿石与氧气、水分的接触面积，硫化矿物发生氧化反应，促进重金属向可溶态转化。露天采场在降雨条件下易形成径流和渗滤水，溶解态重金属随水体迁移进入周边土壤与地表水系统。地下采矿中，矿坑涌水与排水活动持续将含重金属的矿

【作者简介】周微（1986-），女，中国云南丘北人，本科，环境工程师，从事工业企业环保管理研究。

坑水排出。运输与堆存环节中,矿石散落和扬尘同样构成重金属释放的重要途径,细颗粒物在风力作用下扩散,增加了区域背景重金属负荷,形成多介质复合污染特征。

## 2.2 选矿流程中重金属迁移与富集特征

选矿流程通过破碎、磨矿、浮选等工序实现有价金属的分离与富集,在这一过程中,矿石颗粒尺度显著减小,重金属更易从晶格结构中释放并参与物理化学迁移。磨矿阶段大量细粒矿浆形成,使铜、镉、铅等元素在矿浆体系中重新分配,部分以溶解态存在,部分吸附于细颗粒表面。浮选过程中药剂投加改变了矿物表面电性和亲疏水特征,重金属在精矿与尾矿之间发生选择性富集,精矿中铜品位可由原矿的百分之零点几提升至百分之二十以上。选矿循环水系统在重复使用条件下,溶解态重金属逐步累积,增加了后续排放和外溢风险。迁移与富集过程表现出明显的工艺依赖性和水化学特征<sup>[1]</sup>。

## 2.3 尾矿与废水中重金属污染的主要类型

尾矿和选矿废水是铜矿采选过程中重金属污染的集中载体。尾矿中除残留铜外,常伴生铅、锌、镍、镉等元素。部分尾矿库渗滤液中铜浓度可达到每升五至二十毫克,镉浓度超过环境背景值数十倍。选矿废水则以溶解态和络合态重金属为主,来源于浮选尾水、设备冲洗水和矿浆脱水过程。尾矿与废水共同构成固液复合污染源,其污染类型呈现长期性、累积性和区域扩散特征,对矿区周边生态系统构成潜在威胁。

# 3 铜矿采选重金属污染治理的技术体系构成

## 3.1 源头减排与清洁采选技术路径

源头减排侧重于在采选初期降低重金属进入环境的总量,通过优化工艺和设备实现污染控制前移。在采矿环节,精准爆破与分采分运技术可减少围岩混入率,部分矿区应用后废石量降低百分之十五以上,从源头减少重金属暴露规模。选矿环节中,高效磨矿分级系统可将目标粒径控制在七十微米左右,提高有价矿物解离度,减少过磨产生的细粒重金属释放。浮选药剂方面,采用低毒、低用量药剂替代传统配方,可使循环水中重金属浓度下降。清洁采选还包括闭路循环用水系统建设,通过提高回水利用率至百分之九十五以上,显著降低外排废水量。相关数据表明,综合实施源头减排措施后,单位吨矿产生的重金属排放负荷可下降百分之二十五以上。

## 3.2 过程控制与重金属阻控技术

过程控制强调在采选系统运行过程中对重金属迁移路径进行调控,通过物理、化学与生物手段实现阻控。矿浆调控技术通过调节酸碱度和氧化还原条件,抑制硫化矿氧化反应,使溶解态铜和锌比例下降。部分选矿厂将矿浆pH稳定在九左右,可使铜离子溶出率降低至百分之五以下。循环水处理系统中设置沉淀与过滤单元,结合石灰或硫化物投加,

可去除百分之八十以上的溶解态重金属。针对尾矿输送过程,密闭管道与防渗设施的应用有效减少泄漏风险。过程阻控还包括在线监测与自动调控技术,通过实时监测水质参数,动态调整处理强度,使重金属浓度保持在设计控制范围内,从而降低异常排放概率。

## 3.3 末端治理与污染物稳定化处理技术

末端治理侧重于对尾矿、废水等集中污染介质进行处理,以降低其环境释放风险。尾矿库表层覆盖与植被重建能够减少风蚀和雨淋作用,长期监测显示渗滤液中铜浓度呈持续下降趋势。废水治理方面,化学沉淀、膜分离和吸附技术协同使用,可使出水中铜、锌浓度控制在每升一毫克以下。部分矿区采用多级处理工艺,废水回用率提升至百分之九十五。末端稳定化处理通过削减污染物活性和迁移能力,为矿区环境风险控制提供了重要保障<sup>[2]</sup>。

# 4 铜矿采选重金属污染的环境影响评估方法

## 4.1 重金属对土壤与地表水环境的影响评估

环境影响评估以土壤和地表水为主要对象,通过监测重金属含量变化刻画污染效应。土壤评价侧重表层0—20厘米范围内铜、锌、铅、镉等元素的累积水平,并结合背景值进行对比分析,当铜含量达到80毫克每千克以上时,植物根系吸收强度明显增强。垂向分布分析显示,在50厘米以下土层中重金属含量下降幅度约30%,反映迁移受限特征。地表水评估关注溶解态与悬浮态重金属浓度变化,河段中铜浓度由0.02毫克每升升至0.3毫克每升时,对浮游生物产生抑制效应。通过季节尺度监测发现,丰水期浓度较枯水期降低约40%,表明径流稀释对污染水平具有调节作用。

## 4.2 重金属迁移扩散的生态风险判定

生态风险判定以重金属在多介质中的迁移扩散行为为核心,通过风险指数与暴露分析揭示潜在影响。尾矿周边土壤中镉含量达到1.2毫克每千克时,风险指数超过100,生态敏感度显著上升。水体中溶解态铜占总量比例约60,更易沿水流扩散,对下游5公里范围内生态单元形成持续压力。生物富集分析表明,底栖生物体内铜含量可达到环境浓度的20倍,食物链放大效应明显。模型模拟结果显示,在连续排放条件下,重金属迁移半径在3年内可扩大至2倍以上,生态风险呈现时间累积特征,需要通过综合判定方法识别高风险区域<sup>[3]</sup>。

## 4.3 污染治理前后环境质量变化评价

环境质量变化评价通过对比治理实施前后的指标差异反映治理成效。治理前尾矿库周边土壤铜含量为120毫克每千克,治理后下降至65毫克每千克,降幅接近45。地表水中铜浓度由0.25毫克每升降低至0.08毫克每升,水体功能等级明显改善。生态监测结果显示,治理后植被覆盖率由30提升至55,生物多样性指数提高0.4。长期跟踪表明,重金属年均迁移通量减少约50,环境质量改善趋势稳定。通

过多指标综合评价,可定量反映治理措施对区域环境效应的修复水平,为后续管理提供依据<sup>[4]</sup>。

## 5 铜矿采选重金属污染治理的综合效应与优化方向

### 5.1 治理技术对区域生态系统的综合影响

铜矿采选重金属污染治理技术的持续实施,对区域生态系统结构与功能产生系统性影响。通过削减尾矿和废水中重金属活性形态,土壤和水体中污染负荷得到有效控制,生态系统胁迫水平随之下降。治理措施实施后,受影响区域内植物群落的耐污物种比例逐步降低,原有受抑制的中性和弱耐性物种开始恢复生长,群落结构趋于稳定。土壤理化条件改善使微生物活性增强,有机质分解速率提高,营养元素循环效率得到恢复。水生生态系统中,重金属浓度下降促使浮游生物和底栖生物数量回升,食物网结构由简化状态向多层次方向演变。长期监测结果表明,治理区域内生态系统自我调节能力明显增强,外源扰动引发的生态波动幅度逐年缩小,区域生态安全水平呈现持续改善趋势。

### 5.2 环境影响评估结果在治理决策中的应用

环境影响评估结果在铜矿采选重金属污染治理决策中发挥着关键支撑作用。通过对土壤、水体和生物等多维指标的系统分析,可识别污染影响的重点介质和敏感区域,为治理重点排序提供依据。评估结果揭示不同治理措施在污染削减和生态修复方面的实际效果,有助于筛选适配性较高的技术组合,避免资源投入与环境收益不匹配的问题。在动态管理过程中,评估数据能够反映环境质量变化趋势,为调整治理强度和运行参数提供量化参考。基于评估结果建立的反馈机制,使治理方案由经验判断转向数据支撑,提高决策的科学性和可操作性。同时,评估结论还可用于论证治理目标的合理性,为矿区环境管理和后续修复规划提供可靠依据,推动治理工作向精细化和长期化方向发展。

### 5.3 铜矿采选重金属污染治理技术的优化路径

铜矿采选重金属污染治理技术的优化应立足全过程控

制与系统协同理念,通过技术集成提升综合治理效能。在源头和过程控制基础上,加强不同治理单元之间的衔接,减少污染在系统内部的二次转移。针对矿区差异化条件,优化技术组合配置,使治理措施与矿石性质、工艺流程和环境承载能力相匹配。强化稳定化和资源化协同思路,在降低环境风险的同时提升尾矿和废水中价元素的回收潜力。通过引入长期监测与评估结果,不断修正技术参数和运行模式,形成动态优化机制。技术优化还需兼顾经济成本与环境效益,推动治理措施由单一污染削减向生态功能恢复延伸,实现铜矿采选活动与区域生态系统之间的协调发展。

## 6 结语

铜矿采选过程中重金属污染问题具有成因复杂、影响范围广和环境效应长期累积等特征,对矿区生态安全与区域环境质量构成持续压力。围绕污染产生机理、治理技术体系及环境效应评估方法的系统分析,有助于全面认识重金属在采选过程中的迁移转化规律及其生态影响。研究表明,通过源头减排、过程控制与末端治理相结合的技术路径,能够有效降低重金属环境风险,并促进受损生态系统的逐步恢复。环境效应评估在治理决策中的应用,为技术选择与优化提供了科学依据,有利于提升治理措施的针对性和稳定性。综合推进污染治理与生态修复,对实现铜矿资源开发与环境保护的协同发展具有重要现实意义。

## 参考文献

- [1] 庄圆月,李凤麟,吴卓慧,梁洁良,贾璞,李金天.我国主要有色金属矿区尾矿库重金属污染及土壤酶活性研究[J].地球环境学报,2025,16(05):629-641.
- [2] 朱海东.铜矿尾砂制备免烧砖重金属浸出规律及其风险评价[D].导师:张治国.安徽理工大学,2025.
- [3] 底明晓,翁晓东,周博,严思明,姜颖,陆远鸿,卢萍.铜矿复垦区土壤重金属污染特征及风险评价[J].环境科学与技术,2024,47(S2):261-270.
- [4] 冷琪.矿区农用土壤重金属的污染评估及EK修复研究[D].导师:任大军.武汉科技大学,2024.

# The Characteristics and Effect of Special Audit Case of Engineering Design Quality Control

Mingpei Tang<sup>1</sup> Ke Xiong<sup>2</sup> Yongxing Chen<sup>2</sup> Xiaobing Li<sup>1</sup>

1. Guangzhou Municipal Engineering Design and Research Institute Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong, 510060, China  
2. Guangzhou Water Investment Group Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong, 510663, China

## Abstract

Engineering design constitutes a pivotal phase in construction projects' lifecycle, serving as the bridge between scientific advancement and productive outcomes while addressing the critical balance between technical feasibility and economic viability. It represents the key stage for determining and controlling project costs. This paper examines a specialized audit case on engineering design quality control, proposing to enhance audit practices through high-quality research-based auditing methodologies. The approach aims to elevate design quality management standards, maximize investment returns, and prioritize quality assessments of design deliverables and cost control measures across all project phases. By benchmarking against industry best practices, the study identifies existing gaps, analyzes root causes, and provides actionable audit recommendations. These efforts ultimately contribute to establishing a more robust and efficient design quality control framework, thereby elevating corporate governance effectiveness.

## Keywords

engineering design; quality control; audit; governance effectiveness

## 浅谈工程设计质量控制专项审计案例的特点与成效

唐明裴<sup>1</sup> 熊柯<sup>2</sup> 陈永兴<sup>2</sup> 李晓冰<sup>1</sup>

1. 广州市市政工程设计研究总院有限公司, 中国·广东广州 510060  
2. 广州市水务投资集团有限公司, 中国·广东广州 510663

## 摘要

工程设计是建设项目生命期中的重要环节, 是科学技术转化为生产力的纽带, 处理技术与经济关系的关键性环节, 确定与控制工程造价的重点阶段。本文以工程设计质量控制专项审计为案例, 提出以高质量研究型审计方法推动审计工作, 进一步提高工程设计质量管理水平, 充分发挥工程项目投资效益, 重点关注项目建设各阶段设计成果质量、造价控制等相关情况, 对标先进, 查找存在的问题与不足, 深入分析问题产生的原因, 并提出审计建议, 推动构建制度更加健全、运行更为高效的设计质量管控体系, 不断提升公司治理效能。

## 关键词

工程设计; 质量控制; 审计; 治理效能

## 1 引言

工程设计不仅是编制建设工程设计文件的活动, 还包括对建设工程所需的技术、质量、经济、资源、环境等条件进行综合分析、论证。工程设计是建设项目生命期中的重要环节, 是科学技术转化为生产力的纽带, 处理技术与经济关系的关键性环节, 确定与控制工程造价的重点阶段。工程设计的水平和能力是实现工程效益的重要保障, 是建设工程的质量、安全、成本和进度等方面的关键要素, 它体现出一个企业的创新能力, 展示出一个城市的竞争能力。

本文以工程设计质量控制专项审计为案例, 提出以高

质量研究型审计方法推动审计工作, 进一步提高工程设计质量管理水平, 充分发挥工程项目投资效益, 重点关注项目建设各阶段设计成果质量、造价控制等相关情况, 对标先进, 查找存在的问题与不足, 深入分析问题产生的原因, 并提出审计建议, 推动构建制度更加健全、运行更为高效的设计质量管控体系, 不断提升某集团治理效能。

## 2 审计特点

### 2.1 前期充分调研, 强化业务学习

审计团队始终以推动贯彻落实高质量发展的重大决策部署为纲, 深度参与审计项目实施全过程, 掌握工作要领和技能, 实现自我提升。

通过前期摸查, 本次审计到某供电单位深入了解企业工程设计质量管控体系建设及先进的管理经验, 通过交谈提

**【作者简介】**唐明裴 (1976-), 男, 中国湖南邵阳人, 硕士, 正高级工程师, 从事工程设计与管理研究。

问方式,学习先进标杆优秀的管理经验和具体操作流程,如内部审计的五项机制、审计的规范化标准化、审计成果的整改和考核,工程质量的管理模式、体系建设、组织实施方式、管控措施、后期考评制度等,为本次高质量的专项审计提供坚实的铺垫。

另一方面,强化审计队伍专业能力建设。通过整合各领域专业人才实现优势互补,促进审计人员交流协作与能力提升;借助大数据技术实现审计模式从抽样审计到全面审计的转型,提升审计覆盖面与工作效率;积极参与行业审计培训,选派人员参与工程项目、绩效、预算执行等多类型审计项目,熟悉审计全流程规范,重点强化审计程序合规性、证据充分性及法规适用准确性,打造复合型审计团队。

## 2.2 聚焦工程建设问题,以问题为导向全方位开展审计内容

通过近几年项目实施情况,发现工程建设过程中存在质量、工期、投资、管理等方面的问题,针对此类问题,本次审计既要求全方位覆盖,形成常态化震慑,又要求把工程设计质量领域最严重、最突出的问题揭示出来,形成实质性震慑<sup>[1]</sup>。本次审计抽查近三年实施的项目共34个,涉及到厂区建设、管网、泵站、道路、桥梁、隧道等专业,从工程建设项目的可研、方案设计、初步设计、施工图设计到施工配合、竣工验收等全过程,包含设计管理制度、设计过程控制、工程造价管理、设计成果交付等内容。

## 2.3 深入访谈,科学研判,自觉运用规律性认识指导审计实践

本次审计从公司技术管理部门管理指导、设计单位内部控制以及业主单位整体管控等三个层面进行深入访谈,科学研判,注重工程项目设计质量全流程控制情况,自觉运用规律性认识指导审计实践。

(一)在管理制度方面,围绕公司设计审查管理制度建立及执行情况,通过查阅项目前期技术审查文件、设计变更技术审查文件等相关资料,发现公司未建立技术专家库,需优化公司技术管理分级管控模式,加大项目前期技术管理力度,强化统筹建设项目建设全过程技术工作,按照“统一标准、统一程序、统一实施、统一评价”的原则进行设计成果技术审查,着力提升技术审查水平和效果<sup>[2]</sup>。

(二)在质量控制方面,围绕设计单位落实设计质量内控体系建设及执行情况,抽查设计成果文件,检查各阶段设计文件编制和校审情况、设计深度是否符合要求、造价控制目标及责任落实情况、设计质量风险防范与应对处理等方面,发现个别内控制度不健全、部分质量管控制度执行不到位、设计文件深度不足以工程造价控制不严格,应持续优化设计质量管理体系,保证各项控制措施与实际工作紧密结合<sup>[3]</sup>。

(三)在管理流程方面,围绕项目业主单位落实工程设计管理制度建立及执行情况、设计合同订立及履约情况、检查设计方案论证及评审情况、初步设计及概算文件审查情

况、设计变更审查情况等方面,发现部分项目未按要求开展初步设计审查,设计方案发生重大调整时未及时办理变更审批手续。应严格执行项目技术审查程序,充分研究设计过程文件,落实各项技术审查要求,确保项目建设技术可行、经济合理、环境友好,应研究设置激励性合同条款,鼓励设计单位创新设计方案,助推项目提质增效,应加强合同履约管理,推动设计单位提升现场设计服务质量<sup>[4]</sup>。

## 2.4 主动研读政策,定期分析,严格落实计划、执行、审理、整改“四分离”机制

审计团队以工程设计质量相关制度规范为依据,严格执行计划、执行、审理、整改“四分离”机制,从审计程序、内容规范及审理复核等维度强化管理,并推行审计全链条数字化,提升审计工作制度化、规范化、信息化水平。审计组每周开展集中研讨,精准定位行业突出问题并制定解决方案。通过对参建部门的全方位核查,指出工程建设程序执行力不足的核心问题;针对内控制度、设计深度、造价管控等具体漏洞,结合沉井下沉卡壳等工程常见难题,开展多维数据比对分析,实现审计疑点到问题线索的转化,既解决工程实操难题,又实现工期缩短与成本节约。同时,将数字化理念深度融入审计工作,通过比对初步设计与实际工程量、概算与图纸工程量、设备概算单价等数据,精准识别工程造价管控漏洞,强化大数据在问题查核、判断评价中的应用,开辟数字技术赋能审计监督的新路径。

## 2.5 建立协调沟通机制,良性互动,把防范化解重大经济风险摆在审计更加突出的位置

审计团队将风险隐患揭示作为核心工作,依托审计工作触角广、反应快的优势,发挥经济运行监测作用。审计发现,行业内普遍存在设计与造价衔接制度缺失、部分项目设计深度不足、现场实际与设计方案脱节、设计变更频繁、造价管控失真等问题,此类问题易对项目推进及投资效益产生不利影响。针对上述风险,审计团队及时反馈倾向性、普遍性问题,助力企业筑牢风险底线,完善工程设计质量风险防控体系。

## 3 做好“下半篇文章”,凸显审计成效

本次审计坚持紧紧围绕促进工程设计质量开展的,共发现26个问题,其中某集团公司技术管理部门1个、项目建设单位3个,设计单位22个,主动提升某集团的治理效能,以加强对质量管控制度运行的监督制约,充分发挥审计在推进某集团治企理政的独特效能和经济监督定位的“尖兵”作用。

### 3.1 在审计工作中坚持边审计、边建议、边督促整改

审计过程中推行“边审计、边建议、边督促整改”模式,压实被审计单位整改主体责任,构建全面整改、专项整治、重点督办相结合的整改格局,同步完善技术评审专家库与信用综合评价机制。针对设计阶段评审标准不统一、计算书结

论与结果矛盾的问题,设计单位及时修订三体系文件与计算书;针对内控制度与新规冲突的情况,业主单位第一时间下发通知调整条款,保障制度适用性与统一性。

### 3.2 被审计单位更加注重标本兼治,建章立制,加强管理

各被审计单位以整改为契机,建立长效管理机制,从根源上解决问题。一是设计单位强化造价内控顶层设计,细化概预算管控制度,搭建造价数据库,提升造价编制专业水平;二是规范设备材料定价机制,建立并动态维护价格库,融合人工智能、大数据技术强化造价审核,构建设计与造价部门联动协调机制,实现工程造价合理管控;三是针对沉井下沉卡壳等共性技术难题,明确计算参数依据,制定专项处理方案与施工注意事项,实现工期、效率、成本的协同优化;四是规范设计变更流程,要求按项目进度及时办理变更审批手续;五是严格落实设计评审校审程序,建立过程管理台账,强化归档资料日常核查,确保内控程序落地见效。

### 3.3 积极探索研究型审计,注重审计成果的共享和利用

本次审计的核心价值在于对研究型审计模式的实践与推广,通过强化审计成果共享利用,推动审计管理与业务深度融合。审计团队不仅聚焦单个项目的投资、质量、工期问题,更从行业层面剖析问题根源,识别普遍性、制度性症结,提炼出兼具针对性与操作性的审计建议。同时,推动审计技术创新与经验推广,将单点审计探索转化为行业通用举措,把企业标杆做法升级为行业标准规范,通过汇编典型案例

例、搭建审计人才培训体系、开展专项实训等方式,提升行业审计整体质效,为工程设计领域治理决策与效益提升提供专业支撑。

## 4 结语

工程设计质量控制专项审计是提升工程建设综合效益的关键抓手,本次实践通过研究型审计方法的应用,实现了从问题发现到长效治理的闭环管理,既帮助企业完善了设计质量管控体系、防范了审计风险,也为审计队伍能力建设提供了多元路径。从行业视角来看,本次审计的实践经验可进一步转化为工程设计质量审计的通用范式,为行业内企业优化设计管控、提升审计质效提供参考,推动工程设计领域实现质量与效益的协同提升,助力工程建设行业高质量发展。

## 参考文献

- [1] 齐志明.《以高质量审计监督推动经济社会高质量发展》[J].人民日报,2024年6月26日:10版
- [2] 张双凤. BIM技术在基础设施工程审计中的应用研究[J].商业2.0,2024,(17):123-125.
- [3] 陈晓静. 工程设计咨询企业财务管控体系优化措施探究[J].支点,2024,(05):112-114.
- [4] 吴延峰. 工程造价全过程跟踪审计的必要性及审计要点分析[J].四川水泥,2024,(01):136-138.DOI:10.20198/j.cnki.scsn.2024.01.041.
- [5] 徐庆阳,肖娟,黎妍. 工程设计审计评价指标体系构建应用研究[J].商业会计,2025,(09):81-84.

# Research on the Optimization of Safety Performance Management Mechanism of Petrochemical Enterprise Employees

Chenglong Zuo

Sheneng Environmental Technology Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 310000, China

## Abstract

To effectively prevent production safety accidents and significantly enhance the safety management level of petrochemical enterprises, this study intends to utilize the KPI (Key Performance Indicator) tool to extract key indicators for employee safety performance evaluation in petrochemical enterprises. The G1 method will be employed to scientifically determine the weight scores of each evaluation indicator, aiming to establish a more scientific employee safety performance management mechanism and thereby promote high-quality safety development in petrochemical enterprises.

## Keywords

employee safety performance management; key indicators; management mechanism

# 石油化工企业员工安全绩效管理机制优化研究

左成龙

申能环境科技有限公司, 中国·浙江 杭州 310000

## 摘要

为有效预防生产安全事故, 显著提升石油化工企业安全管理水平, 本研究拟借助KPI关键绩效指标工具提炼出石油化工企业员工安全绩效考核关键指标, 采用G1法科学设置各考核指标权重分值, 试图建立更加科学的员工安全绩效管理机制, 从而推动石油化工企业高质量安全发展。

## 关键词

员工安全绩效管理; 关键指标; 管理机制

## 1 引言

随着石油化工产业快速发展, 安全生产事故也频频发生, 相关研究结果表明, 85% 的事故是由于人的不安全行为引起<sup>[1]</sup>。因此, 抓好石油化工企业员工安全绩效管理, 规范其安全生产行为, 对遏制和预防生产安全事故, 提高企业安全管理水平, 意义重大。基于以上背景, 本文将针对石油化工企业普遍存在的员工安全绩效考核形式化、考核指标设置不科学、考核反馈机制不健全、以及未与基层员工切身利益紧密结合等问题, 研究建立一套符合实际的员工安全绩效管理机制。

## 2 相关概念和理论基础

### 2.1 员工安全绩效

Griffin 等将员工安全绩效定义为关于组织安全的个人

工作行为, 同时提出 1 个安全绩效模型, 将安全绩效划分为安全服从和安全参与 2 个维度。沈玉志等将员工安全绩效定义为体现生产过程安全层级的关键指标, 与安全事故显著负相关, 并将安全绩效划分为安全遵从行为和安全参与行为两方面<sup>[2]</sup>。牛莉霞最新研究成果表明, 员工安全绩效是衡量个体在安全方面表现的指标, 包含安全行为和安全结果

基于前人研究, 可以得出员工安全绩效是指企业在安全管理过程中, 为防范生产安全事故风险, 对员工安全遵守和安全参与等行为可测量的结果, 从最终结果角度看, 表现为员工降低本岗位生产安全事故的能力, 与员工安全行为密切相关, 是员工持续规范安全行为的过程体现。

### 2.2 员工安全绩效管理

员工安全绩效管理是安全管理与绩效管理融合的成果, 其基本方式是运用绩效管理的原理、方法和流程, 对企业员工安全绩效水平进行综合考核评估, 主要通过设定考核目标、实施绩效计划、进行绩效辅导、开展绩效考核与反馈, 以及持续改进等方式, 科学评估员工安全表现和能力。

【作者简介】左成龙 (1987-), 男, 中国江苏盐城人, 在职研究生, 注册安全工程师, 从事化工安全管理研究。

## 2.3 目标管理理论

该理论是由美国管理学家德鲁克于20世纪50年代提出,被称为“管理中的管理”。该理论强调由企业管理人员和职员一起商讨并制定目标,制定好的目标将决定管理者要做哪些事情,需达到什么标准,如何才能实现这种标准,目标的实施过程由员工自我控制、自我评定<sup>[3]</sup>。

## 2.4 工业事故预防理论

工业事故预防理论是美国著名安全工程师海因里希提出的,海因里希认为,人的不安全行为、物的不安全状态是事故的直接原因,企业事故预防工作的中心就是防止人的不安全行为,消除机械的或物质的不安全状态,中断事故连锁的进程而避免事故的发生。该理论通过揭示事故的深层次原因和环节,有助于实现事故的预防和安全的保障,是健康和安全哲学的基石。

## 2.5 人力资源强化理论

人力资源强化理论是由美国心理学家斯金纳提出的,斯金纳认为,无论是人还是动物,为了达到某种目的,都会采取一定的行为,当行为的结果对他或它有利时,这种行为就会重复出现,当行为的结果不利时,这种行为就会减弱或消失。根据强化的性质和目的可分为正强化和负强化,正强化就是奖励那些组织上需要的行为,从而加强这种行为;负强化就是惩罚那些与组织不相容的行为,从而削弱这种行为。

## 3 优化策略

### 3.1 员工安全绩效考核指标优化策略

基于目标管理理论和工业事故预防理论,设立员工安全绩效考核指标时,应遵循目标导向、问题导向原则,首先要掌握石油化工企业一线操作岗位员工具体有哪些安全工作、承担哪些安全生产责任,并结合SMART原则,将其转化为可执行、可衡量的具体工作任务,随后基于安全遵守、安全参与2个维度,通过梳理《安全生产法》、《危险化学品安全安全管理条例》、《化工过程安全管理导则》、企业安全制度等刚性要求,结合同类型企业典型事故案例教训,采用关键绩效指标法提炼出员工安全绩效的关键考核指标,共梳理出11项关键考核指标,总结如下:

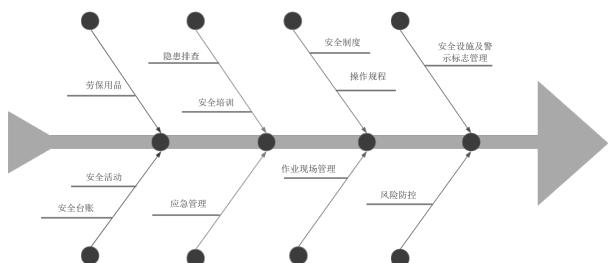


图1 员工安全绩效考核关键指标

### 3.2 员工安全绩效考核标准优化策略

考虑到基层一线操作岗位员工工作量大、生产任务繁

重,在制定考核标准时应按进行简化设置,考核标准要充分征求一线操作岗位意见,并规定好任务完成期限,研究建立考核标准。

考核包含11项指标,具体要求为:安全制度、安全操作规程、安全培训、应急管理、安全活动、安全台账均需每月完成1次对应学习、培训、演练、活动或台账归档;风险防控、隐患排查、安全设施管理需每周开展1次岗位风险检查、隐患排查或设施完好性排查;作业现场管理、劳保用品管理则需每日进行1次岗位特殊作业检查或劳保用品完好性检查。

### 3.3 员工安全绩效考核指标权重分值设立策略

G1法是郭亚军在AHP法的基础上改良提出的,通过对指标序关系确定与重要度赋值来确定权重系数。G1法的优点在于计算量较AHP法大大减少,并且无需构建判断矩阵和进行一致性检验,操作与应用简便<sup>[7]</sup>。该方法对同一层次中的元素个数没有限制,具有简便、直观、便于使用的特点。具体步骤如下:

(1) 根据专家意见,对各考核指标的重要性程确定序关系

$$x_1 > x_2 > \dots > x_m \quad (1)$$

令  $x_1^* > x_2^* > \dots > x_m^*$ , 其中,  $x_i^*$  表示  $\{x_1, x_2, \dots, x_m\}$  按照序关系“ $>$ ”排列后的第  $i$  个考核指标 ( $i=1, 2, \dots, m$ )。

(2) 由专家进行打分,确定指标  $x_{k-1}$  与  $x_k$  重要性程度之比的理性赋值  $r_k$ ,赋值规则见表2。

$$r_k = \frac{x_{k-1}}{x_k} \quad (2)$$

表2 重要性赋值表

		说明
1.0		指标与具有同样重要性
1.2		指标比指标稍微重要
1.4		指标比指标明显重要
1.6		指标比指标强烈重要
1.8		指标比指标极端重要

关于  $r_{k-1}$  与  $r_k$  之间的数量约束,必须满足:

$$r_{k-1} > \frac{1}{r_k} \quad (3)$$

(3) 权重系数  $w_k$  根据专家给出的  $r_k$  理性赋值计算,计算公式如下:

$$w_k = (1 + \sum_{i=2}^m \prod_{j=k}^m r_i)^{-1} \quad (4)$$

$$w_{k-1} = r_k w_k, \quad k = m, m-1, \dots, 3, 2 \quad (5)$$

式中  $w_{k-1}$  是第  $k-1$  个评价指标的权重系数。

### 3.4 员工安全绩效考核方式优化策略

考核频次方面,为加强安全生产过程管理,严格督促员工履行本岗位安全生产职责,建议调整考核周期为每月1次;考核组织方面,要鼓励员工开展绩效自评工作,相关结果经基层单位初审、公司级安全部门复审后,将考核成绩及时公布给员工。

为确保员工能够实时掌握自己的绩效状况，明确改进路径，并对考核结果有深入的理解和认同，必须在事前加强宣传和教育，并在过程中及时跟踪并提醒，在事后提供积极的改进指导意见。可以通过建立定期的绩效反馈会议，为员工提供表达观点和疑问的平台，更重要的是，要鼓励员工参与绩效改进计划的制定，提升他们对安全生产的参与度和对员工安全绩效管理的认同感。

### 3.5 充分应用员工安全绩效考核结果

为强化过程安全管控力度，建议将员工月度应发工资标准的一定比例作为员工安全绩效工资，如员工月度安全绩效考核成绩大于合格分，即可以足额拿到员工安全绩效工资，如低于合格分，可以按照一定比例予以处罚。企业可以对成绩排名靠后员工针对性开展安全技能提升培训，可以采取师带徒、实景体验、在线课程等多种形式，确保每位员工都能得到适合自己的安全培训方式。对于考核结果成绩优秀的员工，在安全会议参加、外出考察培训方面，要重点予以支持，拓展优秀员工的安全视野，进一步提升其安全绩效水平。另外，公司在聘任相关管理人员、调整员工薪酬级别时，应首先将其安全绩效水平作为重要参考依据，并作为年终各项安全荣誉、安全奖金发放的基本条件。

## 4 保障措施

### 4.1 组织保障措施

员工的安全绩效管理涉及企业多个部门，且跟员工的切身利益紧密联系，因此，企业要充分发挥好现有安全生产委员会的职能作用，定期指导各部门开展员工安全绩效管理工作；要指派专人负责监督员工安全绩效管理的整个流程，并做好员工安全绩效成绩的统计分析工作，及时发现并上报在执行过程中出现的困难问题。

### 4.2 制度保障措施

企业要进一步完善安全责任制、安全会议、安全培训、安全操作以及作业风险防控等相关管理制度，并对制度的执行情况进行跟踪；另外，也要同步修订完善人力资源方面制度，明确安全绩效成绩在薪酬分配、职级调整等方面的具体措施，为员工安全绩效管理有效实施奠定基础。企业在制定战略目标、年度工作计划时，要将员工安全绩效管理工作同步纳入，实现员工安全绩效目标与公司战略目标紧密结合。

### 4.3 加强安全投入

在员工安全绩效指标设立阶段，要积极邀请行业安全专家进行评价指导，提高员工安全绩效指标设立的权威性；在实施过程中，要充分保障隐患排查治理、班组安全活动、安全培训、持证上岗等方面产生的费用，鼓励员工认真排查风险隐患、提高安全技能水平；要重点在安全设施维护上加强投入，为员工安全绩效管理营造良好的安全生产环境。在考核结果应用方面，要及时拨付安全激励相关奖金，调动员工安全生产积极性。

### 4.4 强化信息化平台支撑

为了强化安全管理并有效预防生产安全事故，国家正积极促进石油化工企业构建安全生产信息化管理平台。企业要全面启用本单位的安全生产信息化平台，特别要保证员工在岗在位、风险控制、特殊作业票审批、隐患排查治理以及安全教育培训等关键模块的运行，并定期对平台进行升级和维护，确保其技术的先进性和系统的稳定性。另外，企业对生产设备、化学品储存设施等进行实时监控，及时获取的安全数据可以作为员工安全绩效考核的评价基础，减少了人为主观因素干扰，确保考核工作的透明、公平和公正。

## 5 结语

本研究在对员工安全绩效内涵分析基础上，基于目标管理、工业事故预防以及人力资源强化理论基础，采用关键绩效指标法、G1法等工具，按照全流程管控整体思路，研究优化了石油化工企业员工安全绩效管理方案，并提出了保障实施的相关措施。展望未来，可以进一步加强激励机制建设，强化员工正向安全管理行为，坚定员工执行安全规章制度的决心，激发参与安全管理的积极性，从而提升石油化工企业员工安全绩效管理水平。

## 参考文献

- [1] 傅向升.新形势新挑战复杂严峻开好局起好步稳中求进——在“2023全国石油和化工行业经济形势分析会”上的报告[J].中国石油和化工,2023,(08):6-15.
- [2] 沈玉志, 丁天维. 工作压力对制造企业一线员工安全绩效的影响机制[J]. 安全与环境学报, 2021, 21(06): 2638-2645.
- [3] 赵浩. 目标管理理论研究[J]. 中小企业管理与科技, 2019(16): 11-12.