

建筑设计

Architectural Design
and Application

与应用



ART AND DESIGN PRESS INC.

(626 810 4480)

119 S Atlantic Blvd, Suite 300D

Monterey Park, CA 91754

Copyright © 2025 by ART AND DESIGN PRESS INC.

Complimentary Copy



Editors-in-Chief

Gang Li

Shaanxi Construction Engineering Eleventh Construction Group Co. LTD.

Yangyang Li

Shaanxi Construction Engineering No. 9 Construction Group Co. LTD.

Associate Editor

Aolie Zhang

CCCC Wuhan Harbour Engineering Design & Research Institute Co. LTD.

Editorial Board Member

Yuqun Ma

Ningbo Architectural Design & Research Institute China

Rundong Qian

Ningbo Architectural Design & Research Institute Co., LTD.

Jue Shen

Shaanxi Construction Engineering Eighth Construction Group Co. LTD.

Jian Shi

Jiangsu Mingcheng Architectural Design Institute Co. LTD.

Hassan Baji

School of Engineering and Technology

Lam Bui

School of Engineering and Technology Centre for Intelligent Systems,
Institute for Future Farming Systems

Dan Shen

Zhejiang Changzheng Vocational & Technical College

目录CONTENTS

建筑设计与应用

Architectural Design and Application

(半年刊)

第3卷 第1期 2025年6月刊

主管 ART AND DESIGN PRESS INC.

主办 ART AND DESIGN PRESS INC.

编辑 《建筑设计与应用》编辑部

ISSN(O): 2992-9857

ISSN(P): 2995-3219

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

网址: <https://www.artdesignp.com>

本刊说明:

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

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

- | | | |
|-----|---|----------------------------------|
| 001 | 高层建筑钢板剪力墙结构抗震性能研究
Research on Seismic Performance of Steel Plate Shear Wall
Structure in High-Rise Buildings | 罗宇淳
Luo Yuchun |
| 004 | 基于精细化管理的房建项目工程管理策略
Engineering Management Strategies for Housing Construction
Projects Based on Refined Management | 刘崇洋
Liu Chongyang |
| 007 | 房地产建筑工程中的技术管理创新与工程风险应对
Technological Management Innovation and Engineering Risk
Response in Real Estate Construction Engineering | 尹晋, 程莉
Yin Jin, Cheng Li |
| 010 | 《装配式轻钢龙骨隔墙声桥效应控制技术研究》
——探索弹性连接件与龙骨间距对隔声量的影响
"Research on the Control Technology of Sound Bridge Effect in Prefabricated
Light Steel Stud Partition Wall" — Exploring the Influence of Elastic Connectors
and Stud Spacing on Sound Insulation | 尉伟利
Yu Weili |
| 013 | 气体检测报警器检定风险及预防措施分析
Analysis of Verification Risks and Preventive Measures for Gas
Detection Alarm Devices | 所彬
Suo Bin |
| 016 | 浅谈大型设计单位的企业安全管理现状及应对措施研究
A Brief Discussion on the Current Situation of Enterprise Safety Management and
Research on Countermeasures in Large Design Units | 高光超
Gao Guangchao |
| 019 | 基于高性能集群的倾斜摄影三维建模技术
Research on real 3D Modeling Supported by High-Performance
Clusters Technology | 聂海滨
Nie Haibin |
| 022 | 连续油管技术在井下作业中的应用浅谈
Application of Continuous Tubing Technology in
Underground Operations | 蒋军
Jiang Jun |
| 025 | 深基坑支护施工技术在房建工程中的应用策略
Application Strategy of Deep Foundation Pit Support Construction
Technology in Building Engineering | 肖和平
Xiao Heping |
| 029 | 基于乡村振兴理念下的湘西传统村落建筑探析
——以湘西吊脚楼为例
Analysis of Traditional Village Architecture in Xiangxi under the Concept of Rural
Revitalization — A Case Study of Xiang xi Stilt Houses | 包敏辰, 陶媛
Bao Minchen, Tao Yuan |
| 032 | 市政工程 EPC 联合体安全管理优化提升的实践与探索
Optimization and Enhancement of Safety Management of Municipal Engineering
EPC Joint Venture: Practice and Exploration | 罗锦州
Luo Jinzhou |
| 035 | 超危大工程施工现场安全管理
Safety Management of Ultra Hazardous Construction Sites | 冷棉
Leng Mian |
| 038 | 中美装配式建筑在碳中和背景下的发展策略
Development strategies of prefabricated buildings in China and
the United States in the context of carbon neutrality | 陆俊
Lu Jun |

041	110kV 输变电工程绿色设计应用研究——以雄安新区容城 1 号变电站为例 Research on the Application of Green Design in 110kV Power Transmission and Transformation Project — Taking Rongcheng No.1 Substation in Xiong'an New Area as an Example	孟磊 Meng Lei
045	档案展览策划的流程要点及优化路径 Key Points and Optimization Paths of Archives Exhibition Planning	丁健峰, 李姝霓 Ding Jianfeng, Li Shuni
048	装配式景观装置的设计与实践 Design and Practice of Prefabricated Landscape Installations	何昊天 He Haotian
051	劲性复合桩在高层建筑基础设计中的优化应用 Optimization Application of Stiff Composite Piles in Foundation Design of High-rise Buildings	王世林 Wang Shilin
054	建筑的诗意构造——再谈宁波博物馆设计 Poetic Construction of Architecture — Revisiting the Design of Ningbo Museum	陈嘉璇 Chen Jiaxuan
058	绿色施工理念在市政工程施工中的运用分析 Analysis of the Application of Green Construction Concept in Municipal Engineering Construction	王晔 Wang Ye

高层建筑钢板剪力墙结构抗震性能研究

罗宇淳

广州市设计院集团有限公司, 广东 广州 510620

DOI:10.61369/ADA.2025010001

摘要： 本研究重点研究高层建筑中钢筋混凝土钢板剪力墙结构的抗震性能，选取一栋21层公寓为研究对象，从剪力墙布置原则、厚度设计、构造措施、弹塑性力学响应等方面进行分析。通过构建钢板混凝土剪力墙和普通混凝土剪力墙的对比试验模型，结合静力动力加载模拟，科学评估钢板剪力墙在地震作用下的受力特性。研究对比表明，钢板混凝土剪力墙在抗压强度、抗拉性能及延性指标方面均优于传统剪力墙结构，其承载力提升达20%以上，滞回曲线饱满，刚度退化率更低，表现出较强的变形协调能力。研究成果表明，该结构体系能够增强高层建筑在强震作用下的整体稳定性，比普通混凝土剪力墙结构拥有更好的结构延性，为复杂高层结构抗震设计优化提供参考。

关键词： 高层建筑；钢筋混凝土剪力墙；钢板混凝土剪力墙；抗震性能

Research on Seismic Performance of Steel Plate Shear Wall Structure in High-Rise Buildings

Luo Yuchun

Guangzhou Design Institute Group Co., Ltd. Guangzhou, Guangdong 510620

Abstract： This study focuses on the seismic performance of reinforced concrete steel plate shear wall structures in high-rise buildings. A 21 story apartment building is selected as the research object, and analysis is conducted from the aspects of shear wall layout principles, thickness design, structural measures, and elastic-plastic mechanical response. By constructing a comparative experimental model between steel plate concrete shear walls and ordinary concrete shear walls, combined with static dynamic loading simulation, the stress characteristics of steel plate shear walls under earthquake action are scientifically evaluated. Research comparison shows that steel reinforced concrete shear walls are superior to traditional shear wall structures in terms of compressive strength, tensile performance, and ductility indicators. Their bearing capacity is increased by more than 20%, the hysteresis curve is full, the stiffness degradation rate is lower, and they exhibit strong deformation coordination ability. The research results indicate that this structural system can enhance the overall stability of high-rise buildings under strong earthquake action, and has better structural ductility than ordinary concrete shear wall structures, providing reference for seismic design optimization of complex high-rise structures.

Keywords： high-rise buildings; reinforced concrete shear wall; steel plate concrete shear wall; seismic performance

引言

随着我国城市化进程持续推进，高层建筑数量迅速增长，结构抗震性能成为工程设计中的关注点。剪力墙作为高层建筑中承担水平地震作用的重要构件，其受力性能、延性表现、承载能力直接关系到整体结构的安全性。传统钢筋混凝土剪力墙在强震作用下容易出现脆性破坏模式，表现为墙体底部剪切破坏、钢筋屈曲、混凝土压溃等现象，严重限制其在高烈度设防区的应用，所以研究具有高抗侧刚度的新型剪力墙体系已经成为结构工程领域的重要方向。钢板混凝土剪力墙作为一种复合结构形式，通过在混凝土墙体中设置钢板，有效提升了结构在循环荷载下的滞回性能，在提高极限承载力的同时，有效增强结构延性。基于此，本文将某13层高层公寓项目作为研究对象，根据钢板混凝土剪力墙的布置策略、截面厚度匹配原则及构造细节优化方法展开分析，探讨其在地震作用下的受力机理，在形成可复制的设计流程。

一、工程概况

本项目为一栋21层高层建筑，总高度81m，项目位于广州市海珠区，抗震设防烈度为7度（0.1g），设计地震分组为第一组，场地类别为II类，基本风压0.55kN/m²。结构体系采用钢筋混凝土剪力墙结构，结构平面布置见（图1），工程设计依据JGJ3-2010《高层建筑混凝土结构技术规程》其中剪力墙全部按照二级抗震要求进行设计，确保在地震作用下的结构安全性。基础形式采用筏板基础，提高地基承载力，实现上部荷载的有效传递，满足复杂受力工况下的稳定性需求。结构构件设计中要充分考虑刚度、强度、延性等要素，通过合理配置墙体厚度、配筋率、连梁刚度、控制结构变形模式，避免出现局部破坏引发的连续倒塌效应。同时，结合GB50011-2010《建筑抗震设计规范》对于地震作用进行多遇地震验算，确保结构在不同地震动输入下的安全性。

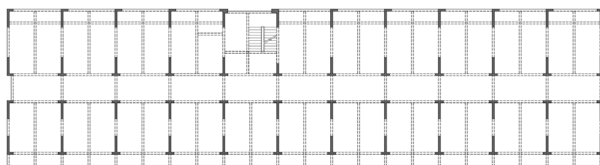


图1 项目平面图

二、设计要点

（一）结构布置

本项目为21层钢筋混凝土剪力墙结构，总高度81m，其横向抗侧力体系主要由沿Y向纵深方向布置的剪力墙构成，形成主控受力方向的刚度支撑系统，能够满足JGJ3-2010《高层建筑混凝土结构技术规程》的结构体系要求，有效增强建筑在地震作用下的变形协调能力。在剪力墙之间采用等宽连梁连接，形成连续的空间受力体系，全面加强结构整体性，并通过合理的刚度分布控制楼层位移角，避免出现局部应力集中现象。此外，结合场地7度设防烈度要求，在设计中充分考虑风荷载、地震作用下的协同响应，优化剪力墙平面布局，使其在水平力作用下具备良好的抗扭性能。

在材料选型与构造措施方面，本项目底层、标准层剪力墙均采用C60高强混凝土，墙体厚度统一设定为400mm，纵向受力钢筋采用HRB400级螺纹钢，箍筋选用HPB400级螺纹钢，用于提高节点区抗剪能力。对于结构关键部位，如建筑角部，楼梯等大开洞周边竖向构件插入型钢板，通过在混凝土墙体中设置高强度钢板，全面加强构件在反复荷载下的耗能能力。钢板厚度根据各楼层受力分析结果进行差异化配置，通常设置20~40mm，钢板与混凝土之间采用锚固件进行协同工作，防止界面滑移降低其承载力。但值得注意的是，在设计过程中整体结构需满足《高层建筑混凝土结构技术规程》规范中对位移比，层间位移角，周期比，有效质量参与系数等整体指标要求，同时也要满足构件配筋

率、轴压比、剪跨比等限值要求，确保结构同时满足正常使用承载力要求和极限状态承载力要求。

（二）厚度选择

在本工程中，通过盈建科软件计算出剪力墙满足规范要求的最小厚度为650mm，但在实际应用中由于建筑空间限制，无法设置650mm厚的剪力墙，因此本项目采用钢板混凝土组合剪力墙形式，在传统混凝土墙体基础上设置高强度Q345钢板，形成钢-混凝土协同工作机制，增加剪力墙的抗弯、抗剪、延性应用效果。本工程剪力墙总厚度设定为400mm，其中钢板厚度20mm，两侧各设置20mm混凝土保护层，其他核心区域由C50高性能混凝土填充，在保证施工可操作性的基础上，有效加强墙体的抗压强度。在确定剪力墙厚度时，设计人员采用公式分析底部加强区剪力墙的抗弯承载力：

$$M_c = M_c + M_s \quad (1)$$

其中： M_c 表示混凝土部分贡献的抗弯能力， M_s 则为钢板部分的力学贡献。研究表明，引入钢板有效增强墙体在反复荷载作用下的滞回耗能能力，能够提高剪力墙在塑性铰区的承载能力。在本工程中，混凝土强度等级为C60，屈服强度与弹性模量均优于普通C30~C40混凝土；钢板材料选用Q345型碳素结构钢，其屈服强度达345MPa，极限抗拉强度不低于410MPa，具备良好的焊接性能与变形协调能力。通过有限元建模与Pushover分析，验证该类剪力墙在地震作用下抗弯承载力超出设计基准值1.5倍以上，满足现行《建筑抗震设计规范》的要求。

（三）钢板混凝土剪力墙的构造

1. 边缘构造

本工程在剪力墙端部增设型钢混凝土边柱作为受力构件，采用H400×200×8×13规格型钢（屈服强度345MPa），通过型钢与混凝土的复合效应显著增强墙体边缘区域抗剪抗弯性能。该构造和钢板剪力墙形成协同作用机制，在提升结构稳定性的同时，全面优化抗震延性指标。工程人员通过实测发现，型钢混凝土柱与钢板墙的组合设计使结构耗能能力提升25%，且未增加施工复杂度。技术人员为了提升边缘构件对抗集中应力的能力，采取了多项构造强化措施，在节点区域设置加强型钢筋网片，箍筋采用封闭式构造并按100mm间距布置，钢筋直径12mm，形成抗剪性能优异的约束体系；钢板和边缘构件通过6mm预埋连接板实现可靠锚固，焊接工艺采用连续焊缝处理，焊缝厚度控制3mm，确保钢板和边缘构件之间应力的相互传递。这种构造优化方案通过增强节点区约束效应和界面传力效率，显著提升了结构薄弱部位的整体稳定性。考虑到施工可操作性，每米范围内箍筋和连接板的接触点数量控制在8个以内，避免焊接密集度过高带来的热影响区叠加问题。墙体分布钢筋采用直径10mm、间距200mm的配筋方案，依据规范要求的关键部位进行局部加密处理，有效加强墙体裂缝控制。

2. 墙身构造

为了防止二者之间出现滑移现象，本工程依据GB50011-2010《建筑抗震设计规范》要求，在钢板和混凝土之间设置抗剪

栓钉，有效增强界面传力能力，提高建筑的整体受力性能。栓钉采用直径16mm、长度80mm的圆柱头焊钉，按照梅花形布置，水平和竖向间距均为300mm，形成均匀的剪力传递路径，有效提升墙体在地震作用下的变形协调能力。同时，墙身配置双层分布钢筋网片，纵向横向钢筋直径均为8mm，间距150mm，提高混凝土对于钢板的约束效应，科学优化裂缝控制机制。针对水平竖向拉筋的连接问题，钢板预留直径10mm连接孔，钢筋穿孔后和钢板间隙控制在2mm以内，提高连接的可靠性。结合钢板截面面积 A_s 和屈服强度 f_y ，依据公式计算钢板部分的抗剪承载力，结果表明其抗剪能力较普通混凝土剪力墙提高近2倍，大幅度增强墙体在罕遇地震下的耗能表现^[1]。

$$V_s = A_s f_y \quad (2)$$

式中： A_s 表示钢板截面面积； f_y 为钢板的屈服强度。

三、试验分析

（一）试验内容

本试验采用1:2比例缩尺模型进行静力动力加载分析，分析墙体在复杂受力状态下的力学响应。剪力墙厚度设定为400mm，采用C60高强混凝土，配筋方案中水平分布筋为HRB400E级 $\Phi 10$ 钢筋，竖向分布筋为 $\Phi 12$ ，间距统一控制为200mm，确保钢筋骨架的整体工作能力。为了提升抗剪承载力，在试验模型中引入Q345B型钢及20mm厚钢板剪力墙，在关键部位形成钢-混凝土组合构造，增强构件在循环荷载作用下的耗能能力。抗剪栓钉按竖向300mm间距焊接于钢板表面，将钢板和混凝土进行连接，防止界面滑移产生承载力下降。墙体底部采用嵌固式基础模拟实际工程中的边界条件，提高试验结果的工程适用性^[2]。

（二）钢板混凝土剪力墙 N-M 曲线及剪压比分析

本文基于JGJ3-2010《高层建筑混凝土结构技术规程》相关计算方法，结合有限元模拟，分析第1层墙体进行N-M曲线，验证其在不同受力状态下的承载能力^[3]。本研究构建的剪力墙模型截面尺寸为2000mm×3000mm，纵向钢筋配筋比2.2%。技术人员在墙体中部嵌入20mm厚Q345B级钢芯，抗剪连接件采用竖向间距300mm的栓钉布置方案。通过N-M曲线对比分析发现，没

有配置钢芯的普通混凝土墙承载力曲线明显内缩，和规范要求的内力包络线存在较大偏差；而组合构造墙体在相同轴力作用下，极限抗弯能力提升50%，抗压承载力增强40%（见图2）。特别在大震条件下，墙体轴向拉力承载力增幅达470%，抗压承载力亦提高45%，体现出良好的滞回耗能能力。进一步分析剪压比变化趋势，发现扣除钢板贡献后，混凝土部分的剪压比下降20%，显著改善了墙体在剪切控制工况下的受力稳定性，科学降低脆性破坏风险^[4]。

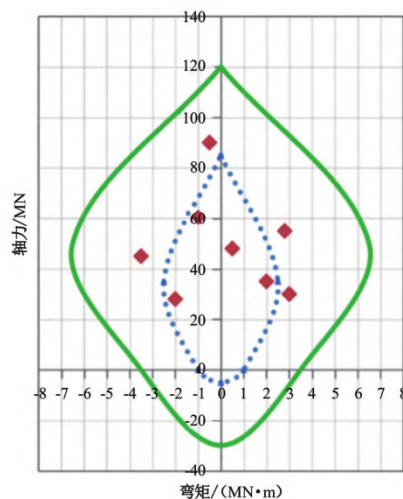


图2 钢板混凝土剪力墙的 N-M 包络曲线

四、结语

通过优化钢板布置方式，加强边缘构件构造，不仅增强了剪力墙的抗侧刚度和变形协调能力，也提高了结构体系在复杂受力状态下的稳定性。本研究基于理论分析、数值模拟、试验验证相结合的方法，提出了高层建筑的钢板混凝土剪力墙设计技术路径，为工程实践提供了可操作的技术支撑。然而，该类结构在实际工程应用中仍然存在各种问题，需要进一步开展精细化设计研究。在未来研究中，设计人员要结合BIM建模和AI辅助优化算法，推动剪力墙结构设计由经验向数据化方向发展，提升结构安全性，为高烈度区高层建筑提供系统化的抗震解决方案。

参考文献

- [1] 方兆平. 高层建筑钢筋混凝土剪力墙结构设计分析[J]. 中国住宅设施, 2024(5):41-43.
- [2] 杨磊. 高层建筑钢筋混凝土剪力墙结构设计[J]. 新材料新装饰, 2020, 2(14):39-40.
- [3] 李永淳. 探究高层建筑钢筋混凝土剪力墙结构设计[J]. 新材料·新装饰, 2023, 5(9):123-126.
- [4] 高扬. 高层建筑工程中的钢筋混凝土剪力墙结构设计分析[J]. 中国水泥, 2025(3):76-79.
- [5] JGJ3-2010. 高层建筑混凝土结构技术规程[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.
- [6] GB 50010-2010 混凝土结构设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2015.
- [7] GB 50011-2010 建筑抗震设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2016.

基于精细化管理的房建项目工程管理策略

刘崇洋

身份证号: 431023198605131815

DOI:10.61369/ADA.2025010002

摘要： 本研究探讨了精细化管理在房建工程项目中的应用价值与实施路径。通过分析当前房建项目管理现状及存在问题，提出了涵盖设计协同、资源计划、进度控制、质量安全等环节的精细化管理策略体系。研究结合《建设工程安全生产和文明施工精细化管理24条工作意见》（2023）等政策要求，论证了精细化管理在提升施工效率、控制工程成本、保障工程质量方面的显著效果，并指出智能化技术与标准化管理的融合是未来发展方向。

关键词： 精细化管理；房建工程；智能建造

Engineering Management Strategies for Housing Construction Projects Based on Refined Management

Liu Chongyang

ID: 431023198605131815

Abstract： This study explores the application value and implementation pathways of refined management in housing construction projects. By analyzing the current status and existing problems of housing project management, a refined management strategy system covering design collaboration, resource planning, schedule control, and quality and safety has been proposed. The study, in conjunction with policy requirements such as the “24 Working Opinions on Refined Management of Construction Safety Production and Civilized Construction” (2023), demonstrates the significant effects of refined management in improving construction efficiency, controlling project costs, and ensuring project quality. It also highlights that the integration of intelligent technology and standardized management is the future development direction..

Keywords： refined management; housing construction; intelligent construction

引言

随着我国城市化进程的加速和建筑行业的高质量发展，房建工程管理面临资源优化、成本控制、质量提升等多重挑战。传统粗放式管理模式已难以适应绿色建筑、智能建造等行业趋势，亟需引入精细化管理方法以提高工程效益。2023年4月，南京市建委颁布《建设工程安全生产和文明施工精细化管理24条工作意见》，强调信息化监管、标准化施工及绿色低碳建造，为精细化管理的实施提供了政策支持。精细化管理通过数据驱动决策、流程优化和责任细化，能够有效减少资源浪费、降低施工成本并提升工程质量，已成为建筑企业提升核心竞争力的关键策略。当前，BIM技术、物联网（IoT）及大数据分析的应用进一步推动了精细化管理的智能化发展，使其在施工进度、安全管控及成本核算等方面发挥更大作用。本研究旨在探讨精细化管理的理论框架及实践路径，为房建工程的高效管理提供理论参考与实践指导。

一、精细化管理的内涵与理论基础

（一）精细化管理的概念与特征

精细化管理是一种以科学化、标准化为基础，通过数据驱动、流程优化和责任细化实现资源高效配置的管理模式^[1]。其发展历程经历了从传统标准化管理向精益化管理的演进，强调在管理过程中减少浪费、提升精准度。核心特征体现在三个方面：一是数据驱动，依托信息化手段实现施工全过程的动态监测与

分析；二是流程优化，通过标准化作业程序（SOP）消除冗余环节，提高协同效率；三是责任细化，将管理目标分解至具体岗位，确保权责明确。精细化管理在制造业等领域已取得显著成效，其在建筑工程领域的应用有助于解决传统管理模式的粗放性问题^[2]。

（二）房建项目引入精细化管理的必要性

传统房建项目管理普遍存在资源浪费、工期延误和质量波动等问题，根源在于管理方式的粗放化，如依赖经验决策、过程控

制不足等。精细化管理通过科学化的手段优化资源配置，降低施工成本，同时提升进度控制的精确性。此外，随着绿色建筑和智能建造技术的发展，行业对施工过程的低碳化、数字化要求不断提高，精细化管理能够通过数据分析和智能化工具的应用，推动绿色施工技术的落地，并适应装配式建筑、BIM技术等新型建造模式的需求^[3]。因此，引入精细化管理不仅是提升项目效益的必然选择，也是行业转型升级的重要支撑。

二、房建项目工程管理现状与问题分析

（一）当前房建项目管理的主要模式

当前房建项目管理仍以传统模式为主导，其特点是依赖层级式组织架构和静态管理方法，决策过程多基于经验判断而非数据支撑，导致资源配置效率较低，管理灵活性不足。尽管部分企业已引入信息化工具，如项目管理软件和BIM技术，但应用深度有限，多停留在数据记录和简单进度管理层面，未能实现全流程的智能优化。传统管理模式在应对复杂工程变更、多专业协同等问题时表现乏力，难以满足现代建筑项目对高效、精准管理的需求^[4]。

（二）关键问题识别

房建项目管理的关键问题主要体现在三个方面：施工过程协同不足，设计、施工与监理方因信息共享不畅导致沟通低效，影响问题及时解决；成本与进度控制偏差，由于缺乏动态调整机制，实际施工常偏离计划，造成资源浪费或工期延误；质量与安全风险频发，标准化执行不彻底使得施工工艺和质量验收存在较大随意性，安全隐患排查流于形式。这些问题严重制约了工程效益的提升，亟需通过精细化管理手段系统性优化。

三、精细化管理在房建项目中的实施策略

（一）施工前期的精细化管理

1. 设计阶段的精细化协同

设计阶段的精细化管理以BIM技术为核心支撑，通过三维建模实现各专业设计的可视化整合，有效识别管线碰撞、空间冲突等问题，减少后期设计变更。多专业交叉审核流程的标准化是另一关键环节，建立建筑、结构、机电等专业的协同评审机制，明确各阶段审核要点与责任分工，确保设计方案的可行性与经济性。这种协同模式能够显著提升设计质量，为后续施工奠定坚实基础^[5]。

2. 资源计划与成本预算精细化

精细化资源管理需依托历史项目数据分析，建立材料用量、人工工时等关键参数的预测模型，提高资源配置的准确性^[6]。动态成本分解结构（CBS）的应用将总成本逐层细化至分部分项工程，实现成本的实时监控与预警。通过结合工程量清单与市场价波动数据，预算编制能够更精准地反映实际需求，避免传统粗放式预算导致的资金浪费或短缺问题，为项目成本控制提供科学依据。

（二）施工过程的精细化管理

1. 进度控制的动态优化

施工进度控制采用关键路径法（CPM）与甘特图相结合的技术路线，通过识别关键工序并建立逻辑关系网络，实现施工时序的科学规划。基于BIM平台的4D进度模拟技术可实时比对计划进度与实际进展，当出现工期偏差时自动触发预警机制。配套建立的快速响应机制要求项目管理团队在48小时内分析偏差原因并制定纠偏措施，确保关键节点按期完成。移动端进度填报系统的应用实现了现场数据的实时采集，为动态调整提供数据支撑。

2. 质量与安全的标准化管控

质量管控体系按照分部分项工程特点制定差异化的验收标准，重点部位实行“三检制”与举牌验收制度。基于BIM模型的质量控制点预布置技术，可在施工前明确各工序的质量控制要求。安全管理采用数字化隐患排查系统，通过移动终端实现隐患录入、整改、验收的闭环管理。危险源数据库与应急预案的联动机制，确保安全隐患能够实现分级管控。智能安全帽等物联网设备的应用，实现了人员定位与危险区域预警的实时监控。

四、精细化管理实施的保障措施

（一）组织与制度保障

1. 项目管理组织架构优化

矩阵式管理架构的构建实现纵向职能管理与横向项目管理的有机结合，通过编制详细的权责清单明确各部门在精细化管理中的具体职责。设立专职的精细化管控岗位，包括BIM协调工程师、成本控制专员等专业技术岗位，负责各专业领域的精细化管理实施^[7]。跨部门协调小组的定期会议制度确保设计、施工、采购等环节的有效衔接，消除管理真空地带。组织架构的优化重点强化项目管理层级的执行能力，为精细化管理提供组织基础。

2. 绩效考核与激励机制

绩效考核体系将精细化指标纳入KPI考核范畴，设置资源利用率、工序合格率等量化考核指标。实施月度绩效考核与年度综合评价相结合的双重考核机制，考核结果直接与项目奖金分配、职务晋升挂钩。建立完善的责任追溯制度，通过工作日志和过程记录实现全周期责任可追溯，对重大管理失误实行分级问责。正向激励机制包括设立精细化管理创新奖等专项奖励，激发项目管理团队的创新积极性。

（二）技术保障

1. 信息化管理平台建设

物联网技术的应用实现施工机械、材料库存和人员定位等关键数据的实时采集，通过5G网络传输至云端管理平台。集成化的项目管理软件系统将进度计划、成本核算和质量控制等功能模块深度融合，Primavera软件用于关键路径分析和资源平衡，广联达平台实现工程量自动计算与造价分析^[8]。移动终端APP的开发使现场管理人员能够即时录入和查询项目数据，确保管理决策的时效性和准确性。数据中台的建立实现各业务系统间的信息共享，消除数据孤岛现象。

2.BIM与大数据分析技术

BIM技术的深度应用包括4D进度模拟、5D成本关联等高级功能，通过虚拟建造优化施工方案和资源调度计划。基于历史项目数据库构建的大数据分析模型，可对材料价格波动、劳动力需求等关键参数进行趋势预测。机器学习算法应用于风险预警系统，通过分析施工日志、质量检测报告等结构化数据，自动识别潜在的质量缺陷和安全风险。数字孪生技术的引入实现实体工程与虚拟模型的实时交互，为项目管理决策提供可视化支持^[9]。

（三）文化与人才保障

1.精细化管理的企业文化培育

企业文化转型以持续改进理念为核心，通过定期开展精细化管理研讨会、工作坊等形式强化全员参与意识^[10]。建立“精益先锋”评选机制，对提出有效改进方案的员工给予表彰奖励。标杆项目经验推广采用案例教学方式，组织项目团队实地考察优秀示范工程，编制精细化实施手册指导实践。企业文化宣传渠道的多元化建设，包括内部刊物、数字平台等媒介，持续传播精细化管理理念与成功实践，营造追求卓越的组织氛围。

2.专业化人才队伍建设

复合型人才培养体系包含专业技术培训与管理能力提升双轨

制，设置BIM技术应用、成本管控等专项培训课程。校企合作模式深化产教融合，与高等院校共建实训基地，开发认证培训课程体系。技能认证制度覆盖施工工艺、质量管理等关键岗位，实行持证上岗管理。人才梯队建设注重老中青结合，通过导师制实现经验传承，同时引入年轻人才带来创新思维。行业专家库的建立为项目提供专业技术支持，促进先进管理方法的推广应用。

五、总结

精细化管理的实施显著提升了房建项目的综合管理水平，通过标准化流程、数据驱动决策和动态管控机制，实现了施工效率提升、成本精准控制和质量稳定保障。研究证实，该方法有效解决了传统管理中的资源浪费、协同不足等问题，为建筑企业创造了显著的经济与管理效益。未来，随着智能建造与绿色施工技术的快速发展，精细化管理将进一步与人工智能、物联网等新兴技术深度融合，推动施工过程向数字化、低碳化方向转型。建筑产业应持续优化管理方法，探索智能化工具在风险预警、资源优化等方面的创新应用，以适应行业高质量发展需求。

参考文献

- [1]王清武.浅析房建工程施工管理中精细化管理运用[J].建材与装饰,2017(27):2.
- [2]杨昆.精细化管理背景下房建工程施工管理策略[J].科学中国人,2015(22):1.
- [3]叶秀标.精细化管理背景下房建工程施工管理策略[J].科研,2015:00284-00285.
- [4]王立超,王振,田友才,等.精细化管理在房建工程中的运用策略[J].中国科技期刊数据库工业A,2023(4):4.
- [5]李刚.精细化管理模式在房建工程项目管理中的应用[J].大众标准化,2023(12):143-145.
- [6]孙凌云.房建工程施工管理中精细化管理的运用策略[J].商品与质量,2019,000(45):17.
- [7]韩黎箭.房建施工管理中如何应用精细化管理浅述[J].商品与质量,2017,000(043):93.
- [8]刘鹏辉.精细化管理在房建工程项目成本管理中的应用[J].价值工程,2016,35(12):3.
- [9]宋金瑞.精细化管理在房建工程项目成本管理中的应用[J].工业,2016(11):00135-00135.
- [10]陈磊.精细化管理在房建工程项目成本管理中的应用[J].环球市场,2017(16):1.

房地产建筑工程中的技术管理创新与工程风险应对

尹晋, 程莉

青岛亿联龙胜投资有限公司, 辽宁 沈阳 110168

DOI:10.61369/ADA.2025010003

摘要： 针对房地产建筑工程高周转、强政策关联及风险多源耦合的行业痛点，本研究构建技术管理创新与工程风险应对的协同优化框架。通过标准化设计、智能化工具与绿色技术集成，提升项目效率并压缩隐性成本；结合数字化风控平台与弹性管理机制，实现安全、资金及供应链风险的全周期动态管控。案例分析验证技术赋能与管理固本的协同效应，提出适配政策调控与市场波动的韧性发展路径，为行业精细化转型提供系统性解决方案。

关键词： 房地产建筑工程；技术管理创新；风险协同机制

Technological Management Innovation and Engineering Risk Response in Real Estate Construction Engineering

Yin Jin, Cheng Li

Qingdao Yilian Longsheng Investment Co., Ltd. Shenyang, Liaoning 110168

Abstract： In response to the industry pain points of high turnover, strong policy correlation, and multi-source coupling of risks in real estate construction projects, this study constructs a collaborative optimization framework for technological management innovation and engineering risk response. By integrating standardized design, intelligent tools, and green technology, project efficiency can be improved and hidden costs can be reduced; Combining digital risk control platforms with flexible management mechanisms to achieve full cycle dynamic control of security, funding, and supply chain risks. Case analysis verifies the synergistic effect of technology empowerment and management consolidation, proposes a resilient development path that adapts to policy regulation and market fluctuations, and provides systematic solutions for the refined transformation of the industry.

Keywords： real estate construction engineering; technological management innovation; risk synergy mechanism

引言

在房地产行业面临政策调控深化、市场需求分化与融资渠道收窄等多维压力背景下，技术管理创新与工程风险管控的协同优化成为突破效率瓶颈的核心路径。技术管理需通过标准化流程重构整合智能化工具与绿色技术，解决设计协同弱化、施工安全冗余及供应链韧性不足等系统性矛盾；风险管控则需构建覆盖土地竞拍至交付运维的动态预警模型与弹性决策框架，以应对政策突变、成本超支及市场波动的复合风险。既有研究虽从技术创新管理与风险规避策略等维度展开探讨，但存在理论分散性与实践协同性不足的局限，尤其缺乏针对高周转模式、政策敏感特性及复杂供应链的系统性整合，导致技术管理与风险应对的耦合机制尚未形成闭环路径。基于此，本研究聚焦行业特征构建协同优化框架，理论维度融合标准化流程与风险预警决策模型，方法维度依托 BIM、物联网及智能算法实现多源数据实时交互与动态校核，实践维度建立设计-施工-运维全链条协同机制，旨在突破数据驱动模型与工程动态适配的技术瓶颈，提升资源配置效率与风险预控能力，为行业精细化转型提供系统性解决方案。

一、房地产建筑工程技术管理创新的内涵与路径

（一）技术管理创新的核心目标

房地产项目因高周转、成本敏感及政策依赖性强等特征，其技术管理创新需以效率提升、风险可控及合规适配为核心目标^[1]。高周转模式下，缩短设计施工周期需依托标准化技术体

系，通过模块化设计与预制构件应用减少现场作业冗余；成本敏感特性要求技术路径兼顾经济性与质量稳定性，例如采用智能化工具优化资源调度以压缩隐性成本；政策导向驱动下，绿色化技术集成成为合规刚性需求，需在建材选择、能耗控制等环节嵌入低碳标准。创新方向聚焦标准化、智能化与绿色化协同：标准化构建可复用的技术基准，降低多项目并行管理的复杂度；智能化

通过 BIM、物联网等工具实现数据实时交互与决策纠偏，增强动态调控能力；绿色化则从全生命周期视角平衡环境效益与开发成本，推动政策合规向竞争优势转化。三者融合旨在建立弹性适配行业特征的技术管理范式，支撑企业实现效率、成本与风险的多维优化。

（二）技术管理创新的实施策略

1. 数字化技术集成

BIM 技术在房地产项目中通过三维模型整合设计、施工与运维数据，实现多专业协同与冲突预判。设计阶段依托参数化建模快速生成多样化户型方案，结合市场需求动态优化空间布局^[2]；施工阶段通过管线碰撞检测提前消除安装冲突，减少返工率与工期延误风险。基于云端平台的实时数据交互，支持施工进度模拟与资源动态调配，提升管理颗粒度。数字化集成不仅强化跨阶段协同效率，更通过数据留痕为后期运维提供决策依据，形成全链条技术闭环，推动项目从经验驱动向数据驱动转型。

2. 工业化建造模式

装配式技术通过构件工厂预制与现场模块化拼装^[3]，重构传统施工流程以适配房地产高周转需求。标准化生产可规避现场作业环境干扰，提升墙板、楼板等关键构件的尺寸精度与质量稳定性，降低渗漏、空鼓等质量通病发生概率。工期压缩源于预制与土建同步推进的并行工程模式，较传统现浇工艺缩短 30%–50% 施工周期，加速资金回笼。工业化建造亦减少现场湿作业与人工依赖，降低安全风险与劳务成本波动影响，为规模化开发提供可复制的技术路径，兼顾效率提升与质量可控的双重目标。

3. 绿色技术管理

绿色技术管理通过建筑围护结构集成相变储能与超低导热材料形成复合热工体系，结合被动式设计降低运行能耗^[4]；施工阶段基于材料碳足迹优化算法配置低碳混凝土与再生骨料，削减隐含碳排放。全周期碳管控依托 BIM-物联网构建动态核算模型，利用机器学习优化能源策略，实现建造与运维阶段碳排放强度下降 18%–22%。绿色认证体系驱动技术方案向碳汇补偿、室内健康等多维目标升级，其政策激励与市场溢价形成经济转化机制，实证数据显示 LEED 认证可使项目溢价率提升 6%–10%。管理创新维度上，标准化技术体系通过装配式模块化施工将材料损耗系数降至 0.12 以下，智能化平台集成 4D 模拟与资源调度算法压缩决策周期 50%，支撑高周转模式下现金流周转效率；绿色溢价机制则通过环境绩效标识增强产品市场辨识度。理论层面构建了技术-经济-环境参数耦合模型，实践层面形成低碳建造工法库与碳资产决策支持系统，为企业应对碳约束市场提供兼具战略适配性与操作可行性的解决方案，验证工程管理创新在政策敏感型市场中提升抗风险能力的路径机制。

二、房地产工程风险的特征与分类

（一）房地产工程风险的独特性

房地产工程风险具有内外双源交织、动态传导放大的显著特征。外部风险维度，政策调控通过土地出让条件变更、预售资金

监管强化等路径直接制约开发节奏与现金流安全；市场需求波动受宏观经济与人口结构影响，导致去化周期不确定性与价格倒挂风险；融资环境变化则因信贷政策松紧切换，加剧高杠杆模式下的资金链断裂压力^[5]。内部风险层面，施工安全受限于多工种交叉作业与赶工常态化，事故隐患与进度延误形成负反馈循环；合同纠纷频发于总分包权责界定模糊与变更签证管理失序，衍生法律与财务风险；供应链中断则因建材价格波动、物流受阻等扰动，导致工期成本双失控。上述风险因子在房地产项目高投入、长周期、强政策关联属性下，呈现较其他工程领域更高的复杂性与不可逆损失概率，需构建针对性防控体系。

（二）风险对项目全周期的影响

房地产项目风险随开发阶段演进呈现动态演化规律。前期拿地阶段，政策调控风险主导，土地溢价测算偏差与规划条件变更可能引发投资可行性颠覆；开发建设阶段，施工安全与供应链风险凸显^[6]，质量缺陷或工期延误将加剧财务成本并触发预售违约；交付运维阶段，市场需求风险与合同纠纷上升，去化滞缓或客户投诉导致品牌价值折损与资金回收受阻。风险因子在时序上具有递延性与连锁效应，如前期融资风险可能转化为后期交付阶段的流动性危机。全周期视角下，风险传导路径呈现“政策-资金-技术-市场”的多维耦合^[6]，需建立跨阶段预警与缓冲机制。理论层面，此规律为工程管理、金融学与公共政策交叉研究提供实证场景；实践层面，推动企业从单点风险应对转向全链条韧性管理，并为政策制定者优化行业调控工具提供微观依据。

三、技术管理创新与风险应对的协同机制

（一）技术手段在风险预控中的应用

1. 数字化风控平台

第五章基于物联网的数字化风控平台通过传感器网络实时采集深基坑变形、塔吊倾角等关键参数，结合阈值预警算法实现风险超前干预。例如，深基坑监测系统通过位移-应力耦合模型动态评估支护结构稳定性^[7]，触发分级报警机制；塔吊安全监控则集成 GPS 定位与荷载传感器，实时反馈超载、碰撞等隐患。平台数据与 BIM 模型联动，支持风险可视化追溯与责任定位，形成“监测-预警-处置”闭环，显著降低坍塌、机械事故等重大安全风险发生概率。

2. 智能化决策支持

AI 算法通过融合气象、供应链及施工进度等多源异构数据，构建工期延误风险预测模型。基于时间序列分析与机器学习^[8]，系统可识别暴雨、建材短缺等外部扰动对关键路径的影响权重，输出概率化延误预警与资源重配建议。例如，供应链风险建模结合供应商历史履约数据与实时物流信息，动态调整采购策略以规避断供风险；天气预测则驱动混凝土浇筑等工序的弹性排期。智能化决策不仅提升风险响应速度，更通过模拟推演优化应急预案的可行性，实现从被动应对向主动预控的范式转换。

（二）管理机制对风险的系统性规避

建立供应商分级评估体系，基于产能、质量稳定性等指标实

施动态准入管理，配套弹性合约条款（如价格波动调价机制、违约阶梯式追责），增强供应链韧性。通过战略合作与冗余供应商储备，缓解单一依赖导致的断链风险^[9]。构建企业级－项目级－工序级三级应急响应框架：企业级预案聚焦资金链断裂等系统性风险，设立专项应急基金；项目级预案针对安全事故、舆情危机等场景，明确处置流程与责任矩阵；工序级预案则细化技术替代方案，保障关键节点容错能力。推行技术管理与风险管控团队的交叉培训机制，强化 BIM 工程师的风险建模能力、安全员的技术合规审查技能。通过案例模拟与实战演练，提升团队在复杂场景下的协同决策效率，确保技术方案与风险控制策略的动态适配。

四、实践应用：典型房地产项目的经验分析

（一）案例一：高周转住宅项目的技术管理创新

某头部房企在长三角区域推进高周转住宅项目，通过标准化户型库与 BIM 正向设计协同，实现“拿地即开工”目标。标准化设计将户型模块拆解为可替换单元，适配不同容积率与地块条件，压缩方案设计周期至 7 天；BIM 技术驱动土建、机电与装修一体化出图，规避管线冲突并减少 60% 设计变更。施工阶段采用预制楼梯与叠合楼板，配合无人机进度巡检，实现主体结构 5 天一层的建造速度。该模式验证标准化与智能化协同对高周转项目的支撑作用，为行业规模化复制提供技术范式。

（二）商业综合体工程风险应对

某超高层商业综合体项目通过数字化平台整合施工安全与资金流监控，构建风险双控体系。物联网传感器实时监测塔吊荷载、幕墙风压数据，结合 AI 算法预测结构安全风险，触发自动限位保护；资金管理模块关联合同支付节点与工程进度，动态模拟现金流缺口并预警融资需求。施工中遭遇突发疫情导致物流中断，平台基于供应商产能数据与替代方案库，48 小时内切换本地

预制构件供应，避免工期损失。此案例表明，数字化工具可系统性耦合技术风险与财务风险管控，提升复杂项目的抗扰动能力。

（三）案例三：政策性保障房绿色技术管理

某政策性保障房项目采用低成本绿色技术优化方案，同步控制供应链风险。围护结构选用工业废料再生砌块，降低材料成本与碳排放因子；太阳能热水系统与雨水回收装置通过模块化设计实现快速安装。供应链管理引入区域性建材集采平台，建立水泥、钢材等关键材料的冗余供应商清单，结合价格波动对冲协议锁定采购成本。项目获绿色建筑二星级认证，单方造价较传统方案节约 8%，交付后运维能耗降低 23%。该实践证实，绿色技术可通过精细化设计与供应链韧性建设的协同，平衡政策合规性、成本约束与可持续性目标。

五、结论与展望

技术管理创新与风险应对的协同机制通过标准化、智能化与绿色化技术集成，重构了房地产项目效率提升与风险可控的内在逻辑。标准化流程压缩非必要成本，智能工具增强动态决策精度，绿色技术驱动政策合规与品牌溢价，三者耦合形成多目标均衡的开发范式。该机制验证了技术赋能与管理固本的协同效应，为高周转、高敏感型项目提供了从理论到实践的全链条解决方案。

政策调控动态化与市场环境复杂性对技术适配性提出更高要求，需构建弹性更强的风险预测模型以应对多变量耦合效应。未来研究应聚焦动态风险模型的实时迭代算法开发、低碳技术低成本转化路径探索，以及跨企业数据共享机制设计，推动风险管理从静态防御向智能预判升级，支撑房地产行业在不确定性中实现韧性增长。

参考文献

- [1] 赵净. 建筑施工技术的创新管理与发展研究框架思路构建 [J]. 中国房地产业, 2022(23):118-121.
- [2] 张防全. 新时期建筑工程施工技术管理与创新分析 [J]. 冶金丛刊, 2020, 005(005):161-162.
- [3] 张迎峰. 建筑工程项目施工管理创新研究 [J]. 住宅与房地产, 2016(27):1.
- [4] 郭翔. 建筑工程施工过程中的安全风险管控探讨 [J]. 建筑建材装饰, 2016, 000(015):42, 44.
- [5] 向坤. 建筑工程项目管理中的风险规避策略 [J]. 住宅与房地产, 2017(9X):1.
- [6] 王信州. 建筑工程经营风险与应对策略的探讨 [J]. 房地产导刊, 2018, 000(012):254.
- [7] 孙宜江. 建筑工程安全监理中风险管理探析 [J]. 房地产导刊, 2015, 000(001):392-392.
- [8] 秉姣. 建筑工程施工安全监督管理中风险管理的应用 [J]. 中国房地产业, 2020(76):0177-0177.
- [9] 戚积岩. 关于建筑工程管理的技能创新的探讨 [J]. 黑龙江科技信息, 2017(13):176-176.
- [10] 高飞. 基于建筑工程管理中创新问题分析与研究 [J]. 房地产导刊, 2014, 000(013):330-330.

《装配式轻钢龙骨隔墙声桥效应控制技术研究》

——探索弹性连接件与龙骨间距对隔声量的影响

尉伟利

北京市久筑物业管理有限责任公司，北京 100020

DOI:10.61369/ADA.2025010004

摘要： 为研究装配式轻钢龙骨隔墙构造中的声桥效应控制技术，本文运用理论分析和实验验证考察弹性连接件的应用机制，探究龙骨间距参数对隔墙隔声性能产生影响的规律。先对声桥效应在轻钢龙骨隔墙体系里传播机理进行了剖析，明确刚性连接造成声能短路的根本缘由，随后从材料力学和声学互作用角度出发，叙述弹性连接件凭借柔性缓冲削减声桥效应的具体机理，并建立不同的弹性模量连接件和隔声量相关性联系模型，对比分析龙骨间距的隔声量频谱特性。结果表明在合理弹性连接件配置下，龙骨间距缩至300mm时，隔墙计权隔声量可提高4.2dB，弹性连接件非线性阻尼特性对中高频噪声抑制效果更佳。

关键词： 装配式建筑；轻钢龙骨隔墙；声桥效应；弹性连接件；龙骨间距；隔声量

"Research on the Control Technology of Sound Bridge Effect in Prefabricated Light Steel Stud Partition Wall" — Exploring the Influence of Elastic Connectors and Stud Spacing on Sound Insulation

Yu Weili

Beijing Jiuzhu Property Management Co., Ltd. Beijing 100020

Abstract： To investigate the control technology of the sound bridge effect in the construction of prefabricated light steel stud partition walls, this paper uses theoretical analysis and experimental verification to examine the application mechanism of elastic connectors and explore the influence of stud spacing parameters on the sound insulation performance of partition walls. Firstly, the propagation mechanism of the sound bridge effect in the light steel stud partition wall system is analyzed, and the fundamental reason for the short-circuiting of sound energy caused by rigid connections is clarified. Subsequently, from the perspective of the interaction between materials mechanics and acoustics, the specific mechanism of elastic connectors reducing the sound bridge effect through flexible buffering is described, and a correlation model between different elastic modulus connectors and sound insulation is established. The spectral characteristics of sound insulation for different stud spacings are compared and analyzed. The results show that with reasonable configuration of elastic connectors, when the stud spacing is reduced to 300mm, the weighted sound insulation of the partition wall can be improved by 4.2dB. The nonlinear damping characteristics of elastic connectors have a better effect on suppressing medium and high-frequency noise.

Keywords： prefabricated building; light steel stud partition wall; sound bridge effect; elastic connector; stud spacing; sound insulation

前言

在建筑工业化浪潮下，装配式轻钢龙骨隔墙凭借施工速度快、空间分隔灵活等优点，在商业建筑、住宅产业化等领域广泛应用。但现场实测结果表明，轻钢龙骨隔墙构造的计权隔声量（ R_w ）一般处于35–40dB区间，很难满足医院病房、录音室等对声学环境要求较高场所的需求，其中声桥效应引起的隔声量衰减问题较为突出。因此本文将以声桥效应控制为目标，通过理论建模、实验验证，构建弹性连接件–龙骨间距–隔声量的多参数耦合关系模型，希望能为装配式轻钢龙骨隔墙声学优化设计提供技术支持。

一、声桥效应机理分析

（一）声桥效应的物理本质

声桥效应本质是声波在固体介质中传播过程中，不同材料界面上声阻抗不匹配造成的能量泄漏现象，在装配式轻钢龙骨隔墙体系中，轻钢龙骨（钢材密度7850kg/m³，声速5000m/s）与石膏面板（密度900kg/m³，声速2800m/s）、主体结构（混凝土密度2400kg/m³，声速3800m/s）间存在巨大声阻抗差别，当三者通过刚性连接件（自攻螺钉）直接相连时，会产生声能传递的“低阻抗通道”。按照弹性波流理论，当入射声波频率达到 $f=vc/(2L)$ ，其中 v 为声速， c 为材料声速， L 为构件长度时，在刚性连接节点处会出现共振放大现象，致使声能透过损失明显增多。现场检测显示，传统刚性连接构造的声桥传声量占隔墙总传声量的35%~45%，成为限制隔声性能改善的主要因素。

（二）轻钢龙骨隔墙声桥传播途径

通过有限元仿真可知装配式轻钢龙骨隔墙声桥传播路径呈现三维网状特点，水平方向上龙骨与地面龙骨和主体结构楼板之间刚性连接形成横向声桥，垂直方向上竖龙骨与地龙骨之间固定连接形成纵向声桥，面内方向上面板与龙骨之间螺钉连接形成面内声桥网络。在声波作用于隔墙表面时，声能通过上述路径绕过空气层直接传到另一侧，形成声短路，特别是125—4000Hz中高频段，由于声桥的共振耦合，隔声量出现明显低谷，这与现场实测“说话声、音乐声等中高频噪声穿透性强”的现象吻合。

二、弹性连接件的主要作用

（一）柔性缓冲的声学原理

弹性连接件的主要作用是利用柔性界面改变声桥能量传递路径，从材料力学与声学耦合角度分析，弹性材料（氯丁橡胶、硅橡胶等）作为连接件时，其动态弹性模量 $E^*=E_0(1+j\eta)$ （ E_0 为静态模量， η 为损耗因子）的复数性质决定了其具有弹性存储与黏性耗散双重功能。声波作用到连接节点上时，弹性体的剪切变形会将部分声能转化为热能耗散，同时其刚度调制效应会改变节点的共振频率，使节点偏离主要噪声频段^[1]。弹性连接件损耗因子 $\eta>0.3$ 时，中高频段声能损耗率可达40%以上。

（二）连接件参数对隔声效果的影响研究

连接件的几何构型直接影响其动态力学性能。在柱形、锥形、波浪形三种构型中，波浪形构型由于具有更大的变形自由度和表面积，因此其声能耗散能力最强^[2]。通过有限元仿真，发现波浪形连接件的应力分布均匀性比柱形提高了27%，并且在1000Hz时损耗因子 η 为0.42，比柱形连接件高15%。因此本研究设计了波长 $\lambda=20\text{mm}$ ，波高 $h=5\text{mm}$ 的正弦波浪形弹性连接件，并且通过实验验证了其中高频段隔声量提升效果比传统柱形连接件平均高出1.8dB。

（三）非线性阻尼特性的应用

鉴于真实噪声环境的错综复杂，弹性连接件的非线性阻尼特性对于宽频噪声管控意义重大。当声波振幅超出一定数值以后，弹性材料的应力-应变联系就会表现出非线性特征，其损耗因子 η 随着振幅增长而增大，其属于“振幅依靠型”阻尼属性，这种状况能够有效防止突然出现噪声穿过。当硅橡胶连接件的应变幅

度为5%， η 值达到0.35，应变幅度增大到10%时， η 值增至0.52，增长百分比为50%，可改良其在实际使用中的感受。

三、龙骨间距的影响

（一）龙骨间距的力声耦合效应研究

龙骨间距属于轻钢龙骨隔墙的关键构造参数，其取值直接关系到墙体的整体刚度以及声桥分布的密集程度。从力学角度来讲，缩小龙骨间距能够提升面板的支撑刚度，削减面板的弯曲振动幅度；从声学角度来看，龙骨间距发生改变，可改变声桥连接点的空间分布，进而影响声能传递路径的阻抗特性^[3]。按照薄板振动理论，面板的固有频率 f 同龙骨间距 L 存在关联，即 f 正比于 $1/L^2$ ，当龙骨间距由600mm缩减到300mm的时候，面板的一阶固有频率从85Hz增长到340Hz，远离人声的主要能量频段（125—800Hz），从而削减共振引发的声能泄漏。

（二）声桥密度受间距变化的影响

声桥密度（ ρ_{bridge} ）定义为单位面积内的声桥连接点数，与龙骨间距 L 成反比关系： $\rho_{\text{bridge}}=1/(L \cdot S_{\text{joint}})$ ，其中 S_{joint} 为单个连接件的影响面积。当龙骨间距从600mm减小到300mm时，声桥密度增加4倍，理论上可加剧声桥效应，但实际隔声量测试结果却呈现先升后降的非线性变化。通过声强法测试发现，当龙骨间距小于400mm时，相邻声桥的声波干涉效应开始显现，部分声桥传递的声波因相位差产生相互抵消，这种“声桥阵列”的相干性效应使得声桥总传声量并非与密度呈线性正相关，为龙骨间距的优化设计提供了新思路。3.3 龙骨间距与面板共振的相互作用研究

面板共振同样是影响隔墙隔声的重要因素之一，龙骨间距和面板共振的相互影响是具有复杂的非线性特性。由上面的模态可以看出当龙骨间距 L 与面板尺寸 a 满足 $L=a/n(n \in \mathbb{Z})$ ，会产生面板的高阶共振模态，使得隔声量降低。选取目前应用较多且最常用的1200mm×2400mm的面板为例，龙骨间距选择600mm时，会产生（2,1）阶共振，其对应的共振频率为450Hz，而在此谐波附近频段内的噪声能量较弱，所以共振损失较小。龙骨间距选择400mm时，共振频率则转移至1010Hz，这附近频段内的噪声能量较弱，共振损失小。

四、实验设计和方法

（一）实验模型构建

利用正交实验设计原理，构建3*3*3多参数耦合实验模型，主要控制变量为：弹性连接件类型（A：氯丁橡胶、B：硅橡胶、C：聚氨酯）、龙骨间距（L：600mm、400mm、300mm）、面板层数（N：单层12mm石膏板、双层12mm石膏板），实验模型按照GB/T19889.3-2017《声学建筑和建筑构件隔声测量第3部分：建筑构件空气声隔声的实验室测量》制作，隔墙尺寸为2.4m×2.5m，四周采用弹性支撑与实验室刚性框架连接，模拟实际建筑中的悬浮安装条件。

（二）测试系统与方法

通过采用双室法隔声测试系统，由声源室、接收室和测试用的声学测量仪器设备组成，声源室内设16通道扬声器阵列，声源

可以产生100—5000Hz的粉红噪声，声压级约为 95 ± 2 dB，接收室内采用4个B&K4189型传声器阵列，利用PULSE3560D采集系统进行频谱测量。声桥效应的量测采用声强扫描技术，采用B&K3548型声强探头对龙骨连接处节点区域进行扫描，扫描分辨率采用 $10\text{mm} \times 10\text{mm}$ ，绘制得到声能流密度图谱。

（三）弹性连接件性能表征

实验前对三种弹性连接件进行动态力学性能测试，使用TAInstrumenDMAQ800设备，测试条件为温度 $23 \pm 1^\circ\text{C}$ ，湿度 $50 \pm 5\%$ ，频率范围10—1000Hz，应变幅值 $0.5\% \sim 10\%$ ，通过测试得到连接件的储能模量 E' 、损耗模量 E'' 以及损耗因子 η 随频率和应变变化曲线，为后面的数据分析提供材料参数。氯丁橡胶连接件损耗因子在1000Hz时为0.38，硅橡胶为0.45，聚氨酯为0.32，说明不同材料阻尼不同。

（四）数据处理方法

采用统计能量分析（SEA）与有限元仿真相结合的数据处理方式。首先对实测隔声量数据进行1/3倍频程分析，得到计权隔声量 R_w 及频谱修正量 C 、 C_{tr} ；然后在ANSYSWorkbench中建立隔墙的有限元模型，使用Solid185单元模拟石膏面板，Beam188单元模拟轻钢龙骨，Combin14单元模拟弹性连接件，进行模态分析和瞬态动力学分析验证实验结果；显著性分析使用SPSS26.0软件，采用方差分析（ANOVA）得到各个参数对于隔声量的影响权重，显著性水平设为 $p < 0.05$ 。

五、实验结果分析

（一）弹性连接件类型对隔声量的影响研究

由实验结果（表1）可知，不同类型的弹性连接件对隔声量提升的效果差异较大（ $p < 0.01$ ），在龙骨间距400mm单层面板工况下，硅橡胶连接件的计权隔声量 R_w 为42.3dB，比刚性连接（38.5dB）提升3.8dB，氯丁橡胶连接件为41.2dB，提升2.7dB，聚氨酯连接件为40.1dB，提升1.6dB。通过声强扫描发现，硅橡胶连接件节点的声能流密度比刚性节点降低62%，说明其对声桥效应的抑制效果最好。

表1：实验结果

弹性连接件类型	龙骨间距（mm）	计权隔声量 R_w （dB）	声桥传声量占比（%）	吻合效应低谷频率（Hz）
刚性连接	—	38.5	42	2500
硅橡胶（60N/mm）	600	43.2	31	2700

硅橡胶（60N/mm）	400	47.8	18	3150
硅橡胶（60N/mm）	300	46.5	22	3300
氯丁橡胶（40N/mm）	400	44.3	25	2900
聚氨酯（80N/mm）	400	42.1	28	2800

（二）龙骨间距对隔声量的影响研究

龙骨间距影响隔声量呈现非线性规律，连接件为硅橡胶、面板双层时，600mm间距对应的 R_w 为43.5dB，400mm时升至46.8dB，300mm时达47.7dB，即间距从600mm减小到300mm，隔声量提升4.2dB，但进一步分析1/3倍频程数据可知，间距300mm时2500Hz处隔声量有小幅下降（约1.5dB），这系因过小间距造成声桥阵列近场干涉增强，部分声能经多重反射形成新传递路径，有限元仿真结果与实验数据吻合良好，误差在 $\pm 0.8\text{dB}$ 范围，表明间距优化有效。

（三）声桥效应的优化控制组合

根据实验结果提出声桥效应控制的优化技术方案，选取邵氏硬度45A硅橡胶波浪形连接件（波长20mm、波高5mm），龙骨间距选取350mm（避开面板尺寸整数倍），双层12mm石膏板加50mm岩棉填充，此优化构造实测计权隔声量 R_w 为51.2dB，可达到医院病房（ $R_w \geq 45\text{dB}$ ）、录音室（ $R_w \geq 50\text{dB}$ ）的要求。从声强扫描可见优化构造的声桥传递系数 β 为0.08，比传统刚性构造的声桥传递系数降低了77%，声桥传递控制效果明显。从经济性来看，该优化构造的成本较传统构造提高了约12%，然而优化构造的隔声量提高很大，性价比较好。

六、结束语

综上所述，本文全面探讨装配式轻钢龙骨隔墙声桥效应控制技术，揭示声桥效应能量传递规律，明确弹性连接件与龙骨间距对于隔声的影响。结果显示采用硅橡胶弹性连接件、其刚度60N/mm、龙骨间距400mm时，隔墙计权隔声量为47.8dB比传统构造提高9.3dB，声桥传声量比由42%降低到18%，改进后的构造符合相关标准。

参考文献

[1] 陈建兵, 张现通, 刘聪, 等. CR连接件弹性抗剪刚度计算方法研究 [J]. 重庆交通大学学报 (自然科学版), 2024, 43(10): 7-18.
[2] 杜云威, 王荣辉, 甄晓霞, 等. 钢混桥塔结合段内剪力连接件的弹性刚度计算 [J]. 华南理工大学学报 (自然科学版), 2023, 51(02): 76-87.
[3] 赵慧, 王亮. 基于 WPF 的超轻钢龙骨隔墙工程计量研究 [J]. 土木建筑工程信息技术, 2024, 16(03): 60-64.

气体检测报警器检定风险及预防措施分析

所彬

鞍山市检验检测认证中心, 辽宁 鞍山 114001

DOI:10.61369/ADA.2025010005

摘 要 : 气体检测报警器检定是保障工业生产安全和公共安全的关键手段, 但在实际操作中, 会面临多重风险, 包括操作风险、技术风险和管理风险。基于此, 本文以有效预防安全事故发生为目的, 立足气体检测报警器检定的重要性, 围绕检定风险, 针对性提出气体检测报警器检定风险预防措施。

关 键 词 : 气体检测报警器; 检定风险; 预防措施

Analysis of Verification Risks and Preventive Measures for Gas Detection Alarm Devices

Suo Bin

Anshan Inspection, Testing and Certification Center, Anshan, Liaoning 114001

Abstract : Gas detection alarm calibration is a key means to ensure industrial production safety and public safety, but in practical operation, it will face multiple risks, including operational risk, technical risk, and management risk. Based on this, this article aims to effectively prevent safety accidents, emphasizes the importance of gas detection alarm calibration, and proposes targeted risk prevention measures for gas detection alarm calibration around calibration risks.

Keywords : gas detection alarm; verification risk; preventive measure

前言

工业化进程逐渐加快的背景下, 气体检测报警器在石油、化工和餐饮等领域中的应用也愈加广泛, 能够实现对有毒有害气体和易燃易爆气体的有效检测, 俨然成为安全生产的“第一道防线”。但当前因气体检测报警器检定失效导致的误报问题和漏报问题已成为重大安全隐患。故此, 需要积极提高气体检测报警器检定水平, 保证气体检测报警器检定有效性。下面, 本文将对气体检测报警器检定风险及预防措施展开相关探讨。

一、气体检测报警器检定的重要性

(一) 预防安全事故发生

气体检测报警器是有效监测工业环境有毒气体泄漏和可燃气体泄漏情况的核心设备, 因此, 气体检测报警器的有效性与生产安全具有直接关系^[1]。通过积极开展检定工作, 可及时发现气体检测报警器传感器零点漂移和灵敏度下降等情况, 从而能够始终保证气体检测报警器的有效性, 并有效防止中毒、火灾和爆炸等事故的发生^[2]。

(二) 保障监测数据准确

传感器是气体检测报警器可以对气体浓度进行精准检测的关键器件, 但受到环境干扰和长期使用的影响, 传感器可能会出现性能衰减的情况, 从而导致气体检测报警器出现漏报或误报的情况。而通过积极落实检定工作, 则可以对示值误差、响应时间等

参数进行校准, 从而可以确保气体检测报警器具备良好的测量精度。同时, 以检定工作为抓手, 利用标准气体源对灵敏度进行调节, 还可以有效避免因传感器老化导致的监测数据失真情况发生。

(三) 落实法规强制要求

《JJG693-2011》、《CJJ/T146-2011》等国际标准指出: 可燃气体检测报警器的检定周期不能超过1年, 且检定工作需要由具备专业资质的机构执行。强制落实检定工作, 要求企业定期上交检测报告, 可倒逼企业积极完善气体检测报警器管理制度和管理方法, 进而可以从源头上保证气体检测报警器的有效性和合规性^[3]。

二、气体检测报警器检定风险

(一) 操作风险

操作风险主要体现在四个方面: ①高空作业安全隐患。部分

气体检测报警器安装在储罐顶部、化工管道等2~3米以上的高空位置，因此，在对其进行检定时，需要利用升降设备、攀爬脚手架等，存在一定的坠落风险。若没有做好高空作业的防护工作，则十分容易导致检定人员受伤^[4]。②防护措施缺失。若气体检测报警器安装在高毒和易燃易爆的环境中，且检定人员在开展检定工作时，没有使用防爆工具、没有穿戴防静电服，则会在一定程度上导致爆炸事故发生。③安装与维护错误。部分企业在安装气体检测报警器后，并没有撕掉传感器吸入口的保护膜，导致仪器起不到防护作用，不能起到良好监测作用。此外，有部分企业为了避免气体探测器被腐蚀，用塑料布将整个气体检测报警器包裹，导致其完全丧失了报警作用。同时，也有部分企业不能在正确位置安装气体检测报警器，导致无法监测到待测气体，起不到守护作用。④协同作业效率低。复杂环境或高空条件下对气体检测报警器进行检定，需要2~4名人员协同配合，但若存在操作不同步或沟通不畅的情况，就有可能出现延误处置时机的情况^[5-10]。

（二）技术风险

技术风险主要体现在四个方面：①传感器老化与失效。气体检测报警器暴露在腐蚀性气体和高温环境中，其传感器会出现零点漂移和灵敏度下降的情况，从而出现误报和漏报的情况。②校准技术不足。在开展检定工作时，并没有按照 GB/T3836.1-2010 要求对实值误差进行校准，或使用低精度标准气体源进行校准工作，导致检测数据结果失真，不能真正证明气体检测报警器的有效性。③环境干扰影响。受到温湿度波动、氧气不足和电磁场等因素的影响，传感器信号会受到一定干扰，进而会对检定结果产生影响，从而出现误判的情况。④设备兼容性差。部分气体检测报警器并不具备压力、水浸等参数的检测功能，因此，不能对复合风险进行有效预测^[10-15]。

（三）管理风险

管理风险主要体现在四个方面：①制度执行不严。当前，部分企业并没有按照《JJG693-2011》要求，落实“1年1检”的气体检测报警器检定工作，或存在委托无资质机构开展检定工作的情况，不能充分保证气体检测报警器的有效性，埋下了安全隐患。②维护记录缺失。部分企业气体检测报警器的管理方面，没有积极地建立完善的设备档案，导致不能对传感器的校准历史和更换历史等进行有效溯源，影响维护效果，导致维修工作落后。同时，也会在一定程度上影响传感器寿命。③人员培训不足。部分检定人员不能全面掌握标准气体校准方法或缺乏应急处置知识，增加了操作失误风险。④第三方监管缺位。部分区域并没有建立起有效的社会公用计量标准，给企业提供了“钻空子”的机会，拖延气体检测报警器检定周期^[15-17]。

三、气体检测报警器检定风险预防措施

（一）操作风险预防措施

为能够实现对操作风险的有效预防，则要针对性地采取预防措施：①加强高空作业安全管理。具体来说，针对需要在高空进行的检定作业，要基于实际工作现状和安全需求，制定完善且健

全的高空作业安全操作规程，并以该规程为抓手，积极对安全要求、作业步骤和应急措施等进行明确，实现对检定人员检定行为的有效控制。同时，要为检定人员配备符合标准的安全带和防坠落装置等个人防护装备，实现对检定人员生命安全的全面保护。此外，在高空作业中，还应为检定人员配备安全性高、稳固性良好的攀爬脚手架和升降设备等，同时，也要派遣专业人员在现场进行监护。这能实现对检定人员的充分保护。需要注意的是，还应定期对高空作业设备落实好检查、维护和保养的工作，既充分保障高空作业设备的可靠性和安全性，又切实延长高空作业设备使用寿命。②强化个人防护措施。即要根据实际的作业环境，为检定人员配备相应的防爆工具、防静电服和呼吸防护装备等，保证其可以在复杂的环境中，安全、有序地开展检定工作。其次，要定期对检定人员的个人防护用品进行检查和更换，以能始终保证个人防护用品性能的有效性。与此同时，也要对检定人员开展定期的安全培训工作和应急演练活动，切实提升其安全意识和紧急事件应对能力。③规范安装与维护流程。首先，要从气体检测报警器的安装位置、安装要求和维护周期等方面入手，制定完善的安装与维护规程，以强制性的规章制度，充分保证气体检测报警器的有效性。其次，要对企业进行指导，避免企业出现“五花八门”的错误使用气体检测报警器的行为，包括传感器吸入口保护膜需要撕掉，不能用塑料布等物品包裹气体检测报警器等，保证气体检测报警器可以对气体进行有效检测。最后，要引导企业积极建立定期的维护制度，即要对气体检测报警器的检定时间进行明确，确保其处于良好工作状态。④提高协同作业效率。即面向检定人员，要明确各检定人员的职责和任务，且在协作之前，做好沟通和交流，确保手势信号的正确性，以为操作同步进行提供良好基础。同时，针对检定人员，还应积极开展协同作业演练活动，切实提升其应急响应速度和团队协作能力^[17-20]。

（二）技术风险预防措施

为能切实解决传感器老化、校准误差、环境干扰和设备兼容性不足等问题，并有效提高检定的可靠性与精准度，则要针对性做好技术风险预防措施：①定期更换传感器并优化选型。首先，要对气体检测报警器做动态更换周期管理，即要能根据气体检测报警器的使用场景，制定差异化更换策略：针对普通工业环境，更换时间可延长至1年；针对能接触硫化氢等高腐蚀性气体的环境，则更换时间应为6月。同时，在更换过后，需要基于标准气体，对气体检测报警器做功能测试，保证其灵敏度符合相关行业标准。其次，要合理设置报警值：针对不同的气体和环境条件，需要合理设置报警值。既不能过低导致频繁误报，也不能过高导致漏报。通过科学的设置，可以使气体检测报警器能够在关键时刻发挥应有的作用。此外，在对气体检测报警器进行购买时，也应选择经过认证、品质可靠的气体报警器，能够确保其准确性和稳定性，显著降低误报风险，从而能为安全生产提供有力保障。②强化校准技术标准化。在对气体检测报警器进行检定时，应当利用高精度标准气体源进行量程校准和零点校准工作。同时，为能避免单一校准点误差累积，还可以结合多点校准法对多点校准法进行合理验证，充分保障气体检测报警器的有用性。此

外，若检定环境为温湿度波动环境或电磁干扰环境，则应强化对数字滤波算法的应用，以能有效修正传感器信号，助力环境适应性检定工作顺利开展。③多维度降低环境干扰。针对需要长期工作在电磁场等复杂区域的情况，应当为其加装金属屏蔽罩，且需要积极采用差分信号传输技术，以此实现对信号的优化。此外，还可以在气体检测报警器内部设置温湿度补偿模块，以实现对传感器输出值的有效修正。④提升设备兼容性与智能化水平。具体而言，要优先选用支持氧气、可燃气体和有毒气体复合监测的气体检测报警器，以实现对复核风险的有效预防。

（三）管理风险预防措施

为能实现对管理风险的有效预防，充分保证气体检测报警器的有效性，则要从以下四个方面入手，积极做好管理风险预防措施：①严格执行检定制度。要强化对企业的引导，确保企业能根据《JJG693-2011》的要求，落实“1年1检”的气体检测报警器检定计划，始终保证气体检测报警器能够对危险气体进行有效检测。同时，企业在选定检定机构时，应选择信誉和资质良好的检定机构，保证检定工作的有效性和合法性。在此基础上，还应积极建立检定工作台账，对每次检定的时间、地点、人员和结果等信息进行详细记录，以为后续的查询工作和追溯工作提供有力

支持。②建立完善设备档案，即企业应当从设备的基本信息、校准历史和维修记录等方面入手，积极制定完善的设备档案管理制度，为气体检测报警器后续的维修和管理提供有力支撑。同时，还应对设备档案进行深入分析，以能及时发现设备存在的潜在问题和隐患，从而为设备的更换提供有力依据。③加强人员培训和教育。即针对检定人员，要从应急处置知识和标准气体校准方法等方面入手，积极落实针对性培训活动，切实提升检定人员专业技能和应急处置能力。④强化第三方监管力度，即政府相关部门应切实发挥自身监管作用，加强对气体检测报警器检定工作的监管力度，并积极制定健全的监管制度和措施。同时，要建立有效的社会公用计量标准，为气体检测报警器检定工作的高质量开展提供支持。

四、结束语

气体检测报警器在检定过程中面临着操作风险、技术风险和管理风险等多重挑战。因此，为充分保证检定工作顺利开展，能有效保障气体检测报警器的有效性和稳定性，则要从多个方面入手，积极做好应对措施，为安全生产提供有力保障。

参考文献

[1] 卢威. 气体检测报警器检定风险及预防措施 [J]. 大众标准化, 2024(21): 161-163.
[2] 李杰兴. 有效推进可燃气体检测报警器计量检定与计量管理的探讨 [J]. 中文科技期刊数据库 (全文版) 工程技术, 2024(10): 0151-0154.
[3] 闵世俊. 基于大数据的可燃气体检测报警器管理 [J]. 计量与测试技术, 2024, 51(1): 120-122.
[4] 李文荣. 复合型气体检测报警体系在氯碱生产中的应用 [J]. 聚氯乙烯, 2023, 51(2): 43-44.
[5] 王宝营. 可燃气体检测报警器检定过程中气路长度对误差和重复性影响的分析 [J]. 石油石化物资采购, 2025(3): 14-16.
[6] 陈岚, 施马凯, 包亦杰. 可燃气体检测报警器检定装置计量比对结果分析 [J]. 上海计量测试, 2024, 51(6): 57-60.
[7] 张艳芳. 可燃气体检测报警器检定注意事项分析 [J]. 产品可靠性报告, 2023(10): 41-42.
[8] 蒋晓光. 可燃气体检测报警器检定结果的影响因素与对策分析 [J]. 中国高新科技, 2023(11): 74-75.

浅谈大型设计单位的企业安全管理现状及应对措施研究

高光超

上海市城市建设设计研究总院(集团)有限公司, 上海 200125

DOI:10.61369/ADA.2025010006

摘 要 : 本文通过对工程领域中某大型设计单位在多元化、混业经营业态中存在的不确定性风险因素、安全管理组织架构不健全、专职安管人员配置不足、管理人员安全意识差,管理职责权限边界不清晰等安全管理问题,进行思考和重点分析研究,并结合当下模式企业安全管理的实际现状,提出了针对性应对管控措施,对设计单位探索企业安全管理模式具有参考价值,对推动设计单位企业安全管理提升方面具有现实指导意义。

关 键 词 : 大型设计单位; 安全管理; 分析研究; 应对措施

A Brief Discussion on the Current Situation of Enterprise Safety Management and Research on Countermeasures in Large Design Units

Gao Guangchao

Shanghai Urban Construction Design Research Institute (Group) Co., Ltd. Shanghai 200125

Abstract : This article reflects on and conducts key analytical research on safety management issues in a large design unit in the engineering field, such as uncertain risk factors in diversified and mixed business operations, inadequate safety management organization structure, insufficient allocation of full-time safety management personnel, poor safety awareness among management personnel, and unclear boundaries of management responsibilities and authorities. Based on the actual current situation of enterprise safety management in the current model, it proposes targeted management and control measures, which have reference value for design units to explore enterprise safety management models and have practical guiding significance for promoting the improvement of enterprise safety management in design units.

Keywords : large design unit; safety management; analytical research; countermeasures

引言

安全生产事关人民福祉,事关经济社会发展大局,党的十八大以来,习近平总书记就安全生产管理工作提出了一系列的新理念、新思想、新战略,对安全生产工作高度重视,在重要场合多次作出安全重要指示,要求企业要增强责任意识,落实安全生产负责制,务必要把安全生产工作摆到首要位置,要牢固树立安全发展理念,健全风险防范化解机制,真正把问题解决在萌芽之时,成灾之前。最新修订的《安全生产法》中,规定了生产经营单位应加强安全生产管理,建立健全全员安全生产责任制和安全生产规章制度,改善安全生产条件,加强安全生产标准化、信息化建设,构建安全风险分级管控和隐患排查治理双重预防机制,健全风险防范化解机制,提高安全生产水平。无论是习近平总书记安全重要工作指示,还是新安法中的法律条文,无不凸显出安全生产责任重于泰山,以人为本,生命至上的价值核心,设计单位如何履行安全生产主体责任,如何强化企业安全管理,确保生产平稳安全,显得尤为重要。

一、某大型设计单位企业安全管理问题分析

(一) 多元化、混业经营业态下存在的不确定性风险因素

以某大型设计单位为例,该单位作为国内综合性设计咨询研究单位,当前正处于深化改革、转型提升、创新创效及高质量发展阶段,在拓展新型城市基础设施建设,城市更新业务再升级的新时期,主营业务具有业务板块多元化、覆盖范围广和风险复杂多样等特点。从业务结构分析来看,勘察设计、EPC工程及工

程监理业务仍旧是安全生产的三大重点板块,不同业务板块存在着多样化安全风险因素,安全管控思路与解决问题的方法也有所不同,同时从企业安全的角度看,网络安全、消防安全、交通安全、食品安全、综治维稳以及舆情管控等都是企业安全管控所涉及的领域。近年来安全生产工作总体是好的、可控的但随着业务领域的扩展、业务范围的扩大,也出现了“苗头性”“重复性”“顽固性”的不确定性安全风险及安全隐患。

（二）企业安全管理架构及人员配置不足

目前对设计单位的安全管理组织架构设置及专职安全管理人员配置要求上缺乏相应的法律法规依据，从建筑施工层面上则是要求的更细更多更明确，但对从事项目的勘察、设计单位没有明确具体的安全管控配置要求，在一定程度上制约了设计单位安全管理工作的健康发展^[1]。从实践发展过程来说，中小型设计单位，在考虑到市场经营环境及人力成本多重压力下，在成立企业安全管理组织机构及专职安全管理人员配备上捉襟见肘，甚至不配置专人管控，由兼职人员进行安全管理，这些都极大地降低了企业安全管理质量及管理效率，大型设计单位虽设置了安全管理组织机构或专职安全管理人员，但其受重视程度及系统性安全管理建设能力仍有不足，分支机构（专业设计院、分子公司）等分层分级安全管理组织架构仍不健全，人员配置数量缺失不足，安全生产责任悬空未落实等问题依然突出，与此同时项目层级上经常出现频繁更替专职管理人员或一人多岗等问题^[2]，安全管理工作不能深入有效开展，疲于应付，也为项目埋下很深的风险隐患。

（三）人员安全管理意识差，安全管理职责边界不清晰

传统的勘察、设计业务居多，大多数设计管理人员认为，把图纸画好就是把任务工作完成了，不关注项目本身存在及后续阶段涉及到的安全风险，设计安全交底流于形式，针对性不足，针对危险作业多依赖于施工单位的安全管控，未形成良好的安全管理意识，其次是设计单位牵头的联合体工程总承包项目，法律法规虽对联合体组成形式、资质要求、责任划分、和联合体补充协议做出了一些规定，但对于联合体法律特征及法律性质未予以明确，设计单位牵头联合体工程总承包项目人员配置要求也未明确，在事故责任划分中设计单位如何证明履行了牵头方自身安全生产职责，而减轻或免于事故责任的边界依然模糊^[3]，管理人员责任不清晰，履职不到位，未对联合体方有效约束，管控效率低下，都会给企业带来风险影响^[4-5]。

二、设计单位企业安全管理应对措施

如何加强企业安全生产管理，如何落实企业安全生产主体责任，做好大型设计单位安全风险控制，保障企业安全平稳健康发展，需做好以下几个方面的应对措施：

（一）建立健全安全制度体系，组建多层次高效管理架构

基于某大型设计单位传统勘察设计、工程总承包、监理服务及新兴业务管理的实际需求，结合企业内部文化，建立完善符合设计单位特色的安全管理制度，明确管理依据，厘清管理职责，统一管理标准，提高管理效率。目前已建立完善安全类管理制度20多项，主要内容涉及到明确岗位安全生产责任制、安全风险分级管控及隐患排查、安全生产费用投入及应急管理，构成了一个综合性的安全管理制度体系，企业内部，要求独立法人子公司根据各自企业性质和业务特点，依法依规建立健全自身安全管理制度，为本企业安全生产提供管控依据，确保各层级制度与集团公司管理相向而行。同时设立完善安全管理组织架构，明确各层

级安全管理组织机构，配足各级专职安管人员，构建“总部”、“专业设计院、分子公司”、“项目部”的三级机构多层次管控模式，厘清安全监督条线和安全实施条线界限，防止安全履职错位、缺位风险，为安全生产管理奠定坚实的基础。

（二）压实管理责任、狠抓执行落实

在不断完善安全管理体系基础之上，持续健全“层层负责、人人有责、各负其责”的全员安全生产责任体系，责任传递做到纵向到底横向到边。首先是切实加强安全责任组织领导。从企业层面加强统筹推进，分层分级签定全员安全生产责任书，把安全责任落实到岗位、落实到人。特别是领导层要始终坚持安全生产三管三必须，重点关注企业重大风险、安全生产资源配置、供应链安全管理等，做到对企业管理现状知根知底。其次是建立安全生产管理重要事项快速决策机制。对企业安全管理组织架构设立、安全管理目标与计划安排、安全生产费用投入预算、教育培训计划及重大风险管控措施等安全生产过程中遇到的重要重大事项，根据实际情况通过党委会、总经理办公会、安委会等途径和渠道进行快速响应、有效决策，提升企业安全管控效率。在执行端，夯实领导带班安全检查、安全管理机构监督检查、项目自查，不走形式，下沉一线，了解现场真实管理现状，检查动作是否闭环，剖析发现问题的背后原因，推动解决办法落到实处，见到实效。领导干部还要率先垂范，做一个具备安全感召力的领导，用员工可以“看到、听到、体验到”的方式展现自己对企业安全的承诺和管理，担负起“促一方发展，保一方平安”的政治责任。

（三）加强全员安全教育培训，提升风险应对能力

教育培训是提升企业本质安全的重要手段和举措，是“人料机法环”中的第一环。通过新员工第一课、安全网络学堂、专项培训、日常培训等平台 and 渠道，分层分级开展全员安全教育培训，进一步深化安全法治理念，增强安全风险意识，强化底线思维，提升安全技能，做到入脑入心，见诸行动。

基于某大型设计单位年度安全工作计划，着重对三年行动治本攻坚管控要点、建设工程生产安全重大事故隐患判定标准、生产事故案例教育等进行宣讲，通过多次培训，推动三年行动治本攻坚方案、重大事故隐患判定标准等在各业务板块项目上的落实，加强事故案例教育警示，达到“一厂出事故、万厂受教育，一地有隐患、全国受警示”，从而提升安全意识，强化安全责任。同时，严格落实企业重点管理人员持证上岗准入机制，尤其是企业三类人员，特别是领导干部，不仅局限于集团层面，各专业设计院、分子公司主要负责人，要根据业务特点持证上岗，鼓励参加安全资格A证考核，以培带教，以考带学，切实提升高层管理人员安全意识，促进企业各层级战略决策层高度重视安全。安全培训力争做到内容丰富、形式多样，让管理部门负责人讲安全法律、专业设计院、分子公司负责人讲安全政策、项目负责人讲安全措施，开展安全法律法规考试、安全知识技能大赛、项目交叉检查、师徒带教以检带培等方式为广大员工开辟了学习安全知识、增长技能的新渠道，讲得生动，听到实效。

（四）聚焦过程管控，严格履行考核体系

企业安全管理，预防为主是原则，结果导向是目标，过程管

控是重点。设计单位勘察设计、工程总承包项目、监理咨询服务项目安全管理的核心工作是过程管控，加强对各种风险源的动态监测，推进风险防控工作科学化、精细化，不让小风险演化为大风险，不让个别风险演化为综合风险，不让局部风险演化为区域性或系统性风险。勘察作业过程管控的重点是工序验收，勘察钻孔一定要摸清现场情况，查清有无管线、地下构筑物及危险物后再作业，物探有限空间作业一定要确保“先通风、再检测、后作业”原则，未经通风和检测，严禁作业人员进入有限空间作业，尤其是小项目、简单项目，越是要当心操作，不能大意。工程设计项目的质量安全必须要发挥有经验总工的作用，加强过程严格审核把关，确保设计规范、施工工法的安全，做好安全风险事项提示与交底作业流程，杜绝设计质量安全事故发生、杜绝因设计管理行为缺陷导致的安全生产事件发生。工程总承包项目必须要加强现场管理，关键工序重点部位施工，项目负责人一定要现场履职，人员交底和安全检查要做实，遇到风险问题该叫停的、该惩罚的、该停工整顿的决不能心慈手软。监理咨询项目就是要提升自身业务能力，做到现场人员到位，人证合一。善于发现问题，敢于直面问题，通过规范化的监理行为，为业主履行好监管职责。

结合企业实际现状，进一步修订完善企业安全奖惩制度，重点补充完善一般事故隐患及重大事故隐患处罚及奖励标准，增加对供应链合作伙伴的安全处罚管理依据。过程中严格落实奖惩制度，对待事故隐患采用类似“亮牌”制度，常规隐患亮蓝牌提示，多发隐患亮黄牌警告，督促限时整改，累发隐患、重大隐患亮红牌，开具罚款通知书，约谈责任人。对年度安全目标完成较好，取得安全管理工作良好业绩的单位及个人开展创先评优激励奖励，通过正向激励，增强企业安全条线的凝聚力，提升企业员工的安全意识，培养企业良好的安全文化，做好人人都讲安全，让安全成为习惯。

（五）规范应急管理，提升应急处置能力

强化应急准备，加强应急预案管理，提高设计单位应急预案的针对性、操作性，强化应急预案培训交底与应急演练效果，加强风险监测预警提示，及早制定针对性防范措施，保障应急处置所需人员、物资装备和资金等应急资源配备到位。加强统筹协调力度，按专业设计院、分子公司、项目部等不同层级、不同区域建立应急管理责任区，强化应急管理责任区协同联动，共同提高应急管理资源统一调度使用。建立工程应急响应机制，强化应急值守与信息报告，严格执行节假日值班值守和事故报告制度，确保应急信息及时发现、及时处置、及时上报，杜绝迟报、漏报、瞒报，加强与属地化应急管理部门沟通渠道建设、提升应急处置能力。提级管理，建立轻微事故（事件）上报流程，及时有效开展应急处置，对于突发事件，相关责任人要第一时间赶赴现场组织应急处置，确保妥善处置，严肃生产安全事故处理。

三、结束语

随着我国建设工程不断的发展，在设计单位业务多元化发展与企业转型升级迫切需求下，企业安全管理角色定位愈发重要，并在不断的探索发展中积累经验，为后续发展提供可靠支撑，为企业稳定发展夯实基础，为安全管理工作创新拓宽道路。本文在根据某大型设计单位在企业安全管理管理中暴露出来的问题，提出健全企业安全管理体系，组建多层次管理架构，压实安全管理责任，强化全员安全教育培训，提升安全生产意识，聚焦过程风险管控，严格履行考核体系，建立应急响应机制，提升应急处置能力，并形成安全生产长效管控机制，用实际行动筑牢企业安全生产防线。对于当前设计单位企业安全管理模式中遇到的实际问题具有进一步指导意义，为设计单位企业安全管理运行顺畅提供新的探索思路。

参考文献

[1] 李泞江,王通.勘测设计企业牵头 EPC 项目安全管理研究 [J].工程技术研究,2022,7(23):125-127.
[2] 张海涛,刘泊滢,晁玉艳.浅谈设计单位牵头的国内总承包项目的安全管理 [J].石油规划设计,2018,29(03):46-48+52.
[3] 许国东.工程承包联合体法律属性分析 [J].建筑经济,2022,43(增1):679-681.
[4] 汪焱.设计单位牵头的 EPC 联合体总承包项目安全管理探讨 [J].水电站设计,2024,40(01):32-34.
[5] 王少伦.设计牵头的 EPC 总承包项目综合管控研究 [J].建筑经济,2023,44(S2):188-190.

基于高性能集群的倾斜摄影三维建模技术

聂海滨

黄河勘测规划设计研究院有限公司, 河南 郑州 450003

DOI:10.61369/ADA.2025010007

摘 要 : 海量倾斜影像的快速、高效处理是三维实景模型重建中迫切需要解决的问题, 本文基于分布式并行处理思想配置集群环境, 研究探讨了该集群环境下的倾斜摄影三维建模技术, 并完成某测区约 38.4 km² 的三维实景重建, 结果表明该模式配置下的集群建模能充分有效利用计算资源, 快速完成测区重建, 缩短生产周期且模型绝对精度满足测区建模需求。

关 键 词 : 倾斜摄影; 三维建模; 集群处理; 分布式计算

Research on real 3D Modeling Supported by High-Performance Clusters Technology

Nie Haibin

Yellow River Engineering Consulting Co., Ltd. Zhengzhou, Henan 450003

Abstract : The fast and efficient processing of massive tilted images is an urgent problem in the reconstruction of 3D real-world models. This paper configures a cluster environment based on the idea of distributed parallel processing, and discusses the 3D modeling technology of tilt photography in this cluster environment. The 3D real-world reconstruction with an area of about 38.4 km² shows that the cluster modeling in this mode configuration can make full use of computing resources, quickly complete the reconstruction of the survey area, shorten the production cycle, and the absolute accuracy of the model can meet the needs of the survey area modeling.

Keywords : tilt photogrammetry; 3D modeling; cluster technology; distributed computing

引言

随着无人机续航能力和相机分辨率的大幅提升, 利用倾斜摄影平台快速获取多角度倾斜影像并处理生成具有真实空间位置信息和丰富纹理信息的三维模型, 已成为当前三维城市建设、水利工程规划等领域获取空间数据的有效方式之一^[1]。倾斜摄影测量三维建模技术已相对成熟, 并且已经在测绘、城市规划、水利工程、地质灾害等方面得到了较好的应用。

然而, 随着倾斜摄影建模技术应用越来越广泛, 低空无人机倾斜摄影的数据量也越来越大, 尤其是针对大范围的场景重建时, 通常有几十万张海量倾斜影像进行处理, 普通计算机是很难满足该类自动化建模需求的, 即使选购高配置性能的工作站也会存在计算资源匮乏的问题^[2]。而集群技术通过高性能网络将多台服务器集中在一起, 每台服务器执行相同处理任务, 能提高单位时间内的任务执行效率, 具有负载均衡、高扩展性、高伸缩性、高可用性的特点, 可有效缓解并发处理压力, 为大范围测区任务的自动化建模处理提供强有力的技术支撑^[3]。因此本文就对基于集群技术的大范围倾斜摄影三维实景建模技术进行研究。

一、基于集群的三维建模原理

(一) 无人机倾斜摄影建模原理

无人机倾斜摄影测量技术是通过在同一飞行平台上搭载多台传感器, 同时从多个角度获取地面影像, 利用计算机视觉原理自动识别匹配同名点, 生成三维密集点云, 构建不规则三角网 (TIN), 最终完成采集对象的三维模型重建。其处理流程主要包含数据预处理, 空中三角测量和三维模型重建三大步。其中空中三角测量是三维模型重建中最关键的一步, 空三解算结果不好时, 重建的三维模型容易存在拉花、分层、建筑物和地物变形等

问题, 需根据平差结果反复调整平差直至空三解算满足精度要求后方可进行后续三维重建, 数据量比较大时该过程对 CPU 的开销比较大且耗时较长^[4]。三维模型重建包含密集点云匹配生成、三角网 (TIN) 构建、纹理映射三大步, 利用常规机器处理时运算慢且耗费时间较长, 生产效率严重不足。而高性能的计算机集群通过将多台计算机通过局域网连接起来可以分布式并发的完成倾斜摄影测量各模块中毫无逻辑关系的子任务, 并在任务计算结束后返回结果合并, 从而极大的节约生产耗时量, 提高生产效率^[5]。

(二) ContextCapture 集群模式下建模流程

Bentley 公司的 ContextCapture 软件是目前生产中广泛使

用的可集群建模软件，它集合了先进的数字影像处理技术和计算机虚拟现实技术，具有高兼容性，能对各种对象各种数据源进行精确无缝重建。软件包含 Master、Engine、Setting 等模块，其中 Master 是用户使用主要模块，可以通过它建立任务，管理任务，提交任务，监控任务处理过程；Engine 是任务处理工作模块，用来接收并处理指向 JOB 中的任务，处理顺序取决于提交数据的先后顺序或定义的优先级，可在后台独立运行，不与用户交互；Setting 主要用来帮助设置 Engine 指向的任务路径 JOB^[6]。ContextCapture 遵循主从模式，由主节点 Master 分配任务到 JOB 队列，从节点 Engine 端分别从 JOB 队列接收分配任务并完成计算返回结果，当在多台计算机上运行多个 Engine 端时，建模过程中的多个无逻辑关联任务就可以同时并行计算，从而大幅降低处理时间。

但在实际生产中，由于数据量的庞大和重建算法的限制，即使是高性能的集群配置仍然会存在计算机硬件资源的限制且当空中三角测量模块完成关键点提取和自动连接点匹配进行区域网约束平差时仅需要一个 Engine 端工作，集群中的其它引擎端闲置，又会造成计算资源的浪费^[7]。综合考虑，本文基于分布式并行处理思想配置集群进行三维重建，首先将连接到局域网的所有节点主机中性能最好的主机作为数据存储和业务处理的服务器，并映射为共享磁盘，设置 JOB 工作序列，接着将局域网内的所有节点主机都指向该任务队列，所有工程都建立在该共享磁盘上，从而使每个节点主机既可以作为主机端 (Master) 使用又可以作为副机端 (Engine) 使用且都可以通过万兆交换机实现海量数据的高速并行存储访问；然后将大测区范围的倾斜数据划分为多个区块 block (每个 block 的数据量可按集群资源允许的最大计算量确定)，并选择一台或多台主机作为 Master 提交一个或多个 block 处理任务，JOB 队列会按先提交先处理的原则将任务自动分配、排队等待^[8]：当一个空三解算任务或瓦片 (Tiles) 任务空余出引擎端时，JOB 队列会自动分配下一个空三解算任务或切片 (Tiles) 任务到多个闲置引擎端^[9]。该分布式模式配置下的集群三维重建，各个任务模块的计算结果互不影响，且计算资源也得到了充分利用，可大幅提升倾斜摄影三维重建的生产效率，具体实现过程如图 1 所示。

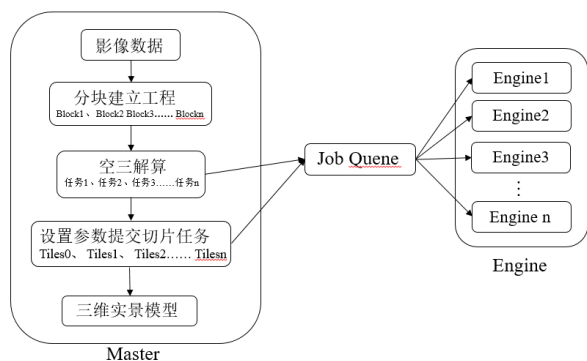


图 1 ContextCapture 集群模式下建模流程

二、工程应用

(一) 工程概况

工程案例使用某水库淹没影响区房屋拆迁测量数据，测区总面积约 15km²，整体范围呈不规则形，地形为丘陵地带，植被丰富，居民地散落分布。本工程使用飞马的 V100 垂起固定翼无人机搭载四镜头倾斜相机采集影像数据，航向重叠 85%，旁向重叠 70%，拍摄倾斜角度 45°，相对航高 400m，共飞行了 16 个架次，航飞面积约 38.4km²，地面分辨率约 0.04m，获取像片 90000 余张。根据测区地形条件，外业均匀布设了 59 个像控点和 15 个检查点，并采用 RTK 测量了平面和高程数据。

实验将 CPU 配置 2 颗英特尔至强 4114，主频 2.2GHz，内存 64GB，硬盘存储 100TB 的戴尔 R540 机型作为数据高速存储访问的服务器，5 台处理器为 i9-7900X 10 核 3.3GHz，内存 128G，显卡 NVIDIA 2080Ti，显存 11GB 的图像工作站（戴尔 T5820）及 25 台处理器为 i7-8700K 6 核 3.7GHz，内存 64GB，显卡 NVIDIA 2080Ti，显存 11GB 的图像工作站（戴尔 T3630）通过华为万兆光交换机（S6720）连接组成局域网搭建了集群环境。将服务器的存储盘映射到网络驱动，测区的所有影像数据和建模工程都存储在该网络映射盘上。所有图像工作站均安装同一版本 ContextCapture 软件，其中 5 台戴尔 T5820 图像工作站作为主机端，可打开 Engine 使用 Master 模块建立工程、分配任务；25 台戴尔 T3630 图像工作站作为副机端，只使用 Engine 模块执行任务；所有的工作站都指向关联到了同一 JOB 工作队列。这样，在该计算机集群环境下同时提交多个工程任务时，就可以充分利用计算机计算资源有序、分布式的并行处理子任务，实现高效率三维实景重建。

(二) 数据处理

根据测区范围大小和最大化利用计算机资源的原则，将 16 个飞行架次共 90000 余张影像分成了五个区块并利用 4 台高配置主机端分别创建工程，加入控制点，提交了空三计算，JOB 队列自动按照先提交先处理原则动态分配子任务至多台闲置引擎端，完成后再将空三成果返回各主机端合并；然后设置三维建模的坐标原点和范围，设定切片大小、匹配模式和孔洞修复方式等参数并提交重建任务，多个引擎端并行完成点云密集匹配、TIN 构建与优化，纹理自动关联等处理；最后再将各个区块的切片数据合并接边得到整个测区的实景三维模型^[10]。

(三) 成果分析

项目最终生成的三维模型如图 2 所示，从中可以发现建筑物轮廓清晰，细节信息较好且各面纹理完整，地物颜色、形状、位置等与实际环境一致，中心区域的房屋、树木、电杆、路灯、车辆等都得到了较好还原。但是三维模型的绝对精度是否能满足生产需要，还需要进一步进行定量精度分析。本文将在三维模型上直接量测的检查点的三维坐标与外业实测三维坐标值进行对比来评价三维模型的绝对精度。



图2 局部三维模型

根据中误差及点位中误差的计算公式可得

$$\begin{aligned} m_x &= \sqrt{\frac{1}{15} \sum_{i=1}^{15} \Delta x_i^2} = 3.5 \text{ cm} \\ m_y &= \sqrt{\frac{1}{15} \sum_{i=1}^{15} \Delta y_i^2} = 1.9 \text{ cm} \\ m_z &= \sqrt{\frac{1}{15} \sum_{i=1}^{15} \Delta z_i^2} = 3.6 \text{ cm} \end{aligned} \quad (1)$$

由式(1)计算可得,测区的15个检查点中X方向的中误差为3.5cm,Y方向的中误差为1.9cm,Z方向的中误差为3.6cm,可见该测区的三维模型精度是符合测区建模需求的。

另外在建模效率上,整个测区90000余张像素大小6000×4000的影像数据,覆盖面积约38.4km²利用该集群计算资源从数据整理到三维模型处理完成共耗时6.5天,极大节约了生产时间,提高了生产效率。

三、结语

本文基于分布式并行思想配置集群环境,并结合ContextCapture软件完成了某水库约38.4km²大范围场景的集群三维重建,结果表明,该模式配置下的集群能有效利用计算资源,大幅提升倾斜摄影三维重建生产效率、缩短项目生产周期,且完成的三维模型绝对精度满足测区建模需求,可广泛应用于城市规划、大型水利工程等的建设中。

参考文献

- [1] 汪舜敏,杨博雄,李社蕾,等.高性能集群计算环境下实景三维高效建模[J].中国信息界,2024(2):225-227.
- [2] 刘政.基于云渲染的大规模二三维数据多尺度可视化研究[D].长安大学,2023.
- [3] 张永刚,张小宏.无人机倾斜摄影测量技术在村庄规划编制项目中的应用[J].测绘通报,2023(S1):21-23,31.
- [4] 颜丽玲,沙晋明.基于计算特征的分布式空三计算任务调度研究[J].科技创新与应用,2024,14(21):61-64,69.
- [5] 李保华.倾斜摄影测量在农村地籍测绘中的应用研究[J].农业开发与装备,2024(11):130-132.
- [6] 王倩,刘攀.基于三维激光扫描技术的无人机倾斜摄影测量三维建模研究[J].科技与创新,2024(1):69-72.
- [7] 韩婷婷,赵琳,范宪创,等.基于倾斜摄影的实景三维建模技术实践——以平寨水库为例[J].现代信息科技,2023,7(12):108-111.
- [8] 孟星.基于倾斜摄影建模多技术融合的1:1000地形图测绘[J].地矿测绘,2023,6(4):62-64.
- [9] 颜明捷.无人机倾斜摄影技术在城市实景三维建模中的应用[J].科技创新与应用,2023,13(10):173-176.
- [10] 许承权,黄小琴,施政等.消费级无人机倾斜摄影测量1:500测图方法及精度研究[J].测绘地理信息,2020,45(1):117~120.

连续油管技术在井下作业中的应用浅谈

蒋军

工程技术增产作业公司, 天津 300452

DOI:10.61369/ADA.2025010008

摘要： 本文围绕连续管技术在井下作业中的应用进行讨论，对连续管技术的工作原理和特点进行详细的阐述，对其在钻、修井、采油等方面的具体应用场景和案例进行深入的分析，同时对其应用中遇到的问题进行探讨，并提出相应的解决措施，以期对进一步认识和促进其在井下作业中的创新和优化应用具有一定的借鉴意义，对提高井下作业效率、降低成本、保证作业安全具有重要意义。

关键词： 连续油管技术；井下作业；钻井；修井；采油

Application of Continuous Tubing Technology in Underground Operations

Jiang Jun

Engineering Technology Production Increase Operation Company, Tianjin 300452

Abstract： This article discusses the application of continuous pipe technology in underground operations, elaborates on the working principle and characteristics of continuous pipe technology, and conducts in-depth analysis of its specific application scenarios and cases in drilling, well repair, oil production, and other aspects. At the same time, the problems encountered in its application are discussed, and corresponding solutions are proposed, in order to provide certain reference significance for further understanding and promoting its innovative and optimized application in underground operations. It is of great significance for improving underground operation efficiency, reducing costs, and ensuring operation safety.

Keywords： continuous tubing technology; underground operations; well drilling; well repair; oil extraction

前言

石油天然气开采过程中，井下作业涉及到钻、修、采等多个环节，是保证油气生产安全的重要环节。随着油气资源勘探开发向深部和复杂地质区发展，传统的井下开采工艺已难以满足其高效、安全和环境保护的要求。连续油管作为一项新兴的井下作业技术，以其特有的优点，近年来发展迅速，应用范围也越来越广。连续油管是由特殊设备连续送至井下，与各类井下工具配合使用，可实现多种作业功能。连续油管自上世纪60年代问世以来，经过几十年的发展，已经在世界范围内得到越来越广泛的应用，技术水平也在不断提高，已经成为推动井下作业技术革新的一支重要力量。

一、连续油管技术概述

连续管技术以其柔性、高强度等特点为核心，在地面设备的牵引与控制下，将连续管及其携带的工具送至指定位置，完成各项作业任务。连续管作业车、注液头、滚筒等地面设备协同作业，实现连续管的收放、速度控制及压力调整。同时，利用与之相匹配的钻头、封隔器和喷砂器等井下工具，进行钻井、完井、修井和增产等作业。如连续油管钻井时，连续油管由注水井向井下，连续油管驱动钻头旋转破岩，并在管内循环钻井液，达到携

岩、清孔的目的。

二、连续油管技术在井下作业中的应用

（一）在钻井作业中的应用

1. 欠平衡钻井

欠平衡钻进技术是连续管钻井技术的重要发展方向，其核心思想是利用连续管装置在钻井过程中，将井底压力控制在低于地层压力的水平，驱动地层流体向井底流动，从而实现对地层流体

作者简介：蒋军（1981.09-），男，汉族，四川省广安市人，中级工程师，学历：大学本科，学位：学士，主要研究方向：从事修完井井下作业技术研究，擅长连续油管相关技术研究。身份证号码：513623198109261615。

的有效控制。这一独特的压差设计，可有效降低钻井液对储层的损害，避免常规钻井过程中由于液柱压力过高造成的油气层污染，实现油气井产能的大幅提升。介绍一种适用于页岩气开发的连续管欠平衡钻进工艺。在生产过程中，通过对连续油管注流量及井口压力的精确控制，使油管处于欠平衡状态。同时，利用连续管柔性好、转向灵活等优点，可在复杂地质条件下钻进，有效避免井壁坍塌等风险。相较于传统钻进方法，单井产量可提高30%以上，大幅提高页岩气开发效率，同时也证明连续管欠平衡钻在非常规油气资源开发方面的巨大潜力^[1]。

2. 小井眼钻井

小井眼钻井具有成本低、占地面积小等优点，在老油田加密井和边际油气藏开发等领域受到青睐，连续管正适合于小井眼钻井。连续管外径小，能在狭窄的井眼内自由穿行，并能携带小而高效的钻具，保证钻井作业的顺利进行。在某老油田进行的密井工程中，应用连续管小井眼钻进工艺，取得较好的经济效益。小井眼空间受限，常规管柱联接极易发生卡钻事故，连续油管具有连续无缝特征，可有效解决这一问题。在降低钻井成本的基础上，进一步提高油气开采效率，实现老油田剩余储量的有效利用，为油田可持续发展提供有力支撑^[2]。

3. 侧钻水平井

连续管侧钻水平井技术是深挖老井资源、高效利用老井资源的一种新工艺。该技术是在既有直井或定向井中，采用套管开窗侧钻的方式，在现有直井和定向井中，通过套管开窗侧钻，形成新的水平井段，实现剩余油气资源的高效利用，大幅降低开发成本。针对某海上油田部分油层开采困难，常规开发方法经济效益不高的现状，提出采用连续管侧钻水平井技术，实现资源高效开发。连续油管在作业过程中，利用其灵活的转向能力，准确地钻出满足设计要求的水平眼井段，并能迅速下入完井工具，大大缩短作业时间。该技术已成功开发一批难采的油层，增加较多的原油产量，充分体现管侧钻水平井技术在提高油气采收率和盘活老井资产方面的应用价值^[3]。

（二）在修井作业中的应用

1. 清蜡、清砂作业

在石油、天然气井开采过程中，经常会遇到结蜡、出砂等问题。石蜡沉积在油管的内壁上，会使流动截面减小，流动阻力增大，严重时会造成油管堵塞；地层中的沙粒进入井筒后，不仅对井下设备造成磨损，而且容易堆积，造成管柱堵塞，影响油气的正常生产。连续管具有柔性、可连续工作等特点，是实现高效清蜡、清砂的关键技术。作业中，连续油管携带专用的刮蜡工具和冲砂工具，经地面设备将高压流体注入管内。清蜡过程中，刮蜡装置在高压流体的推动下，沿管壁运动，刮去蜡屑，沿环空循环至地表。针对一口高含蜡原油，采用常规清蜡方法，需要多次起下管柱，单次清蜡时间超过8小时，对油层的扰动较大。采用连续油管清蜡工艺，在2小时内完成作业，大大缩短油井恢复生产时间，避免多次下管柱对油层的损害，投产后油井产量提高12%；在清砂过程中，连续管带着冲砂工具深入积砂段，高压流体以高速喷射的方式冲击砂床，使沙粒悬浮，再循环出井。在海上某气井清砂作业中，采用连续油管清砂技术，对30m井段的积砂进行清砂，较传统方法提高40%，有效地保证气井的稳定生产^[4]。

2. 解堵作业

地层堵塞是导致油气井产量下降的主要原因，主要有地层结垢、有机物质沉积和钻井液固相颗粒滞留等。连续油管解堵作业能将解堵剂精确地输送到堵塞层，有针对性的解决问题。在施工前，先用测井方法查明堵塞部位及类型，然后选用酸、有机溶剂、生物酶等解堵剂。在施工过程中，连续管直接到达堵塞层，以准确的压力、流量向地层内注入解堵剂。在页岩气井解堵过程中，由于支撑剂的返排不畅，造成近井区的堵塞，产量降低60%。将自行研制的具有溶解堵塞物和抑制二次运移的复合解堵剂注入连续油管。连续管采用分段注气技术，对不同堵塞度段进行压裂改造，投产后台井产量恢复到原来水平，验证连续管解堵法的有效性和精确性^[5]。

3. 打捞作业

井下工具或管柱脱落将导致生产中断，传统打捞方式受限于复杂井眼环境，连续油管因操作灵活、控制精准等优势，在打捞作业中表现出独特的优势。连续管搭载各种类型的打捞工具，如抓钩、捞矛和篮式捞筒等。在作业过程中，首先利用井下摄影机或测井仪器来判断落物的位置及姿态，然后在连续油管下入合适的打捞工具。在某油田某定向井施工过程中，由于封隔器解封失效而造成管柱堵塞，用常规方法很难解决。利用连续油管携带专用旋转抓钩实施打捞，在地面上控制连续油管旋转提拉，实现对封隔器的精确抓取，3次尝试后成功取出，省去大修工作，节约上百万元的费用。将连续油管打捞技术应用于复杂的井下作业，为井下事故处理提供一种高效经济的方法^[6]。

（三）在采油作业中的应用

1. 注液增产作业

在油气田开发过程中，普遍存在着储层渗透率降低和产能下降的问题。连续油管注液作业是将压裂液、酸化等特种流体注入油层，能有效地改善油层的渗流状况，增加原油产量。连续管是压裂过程中高压流体的输导通道，它能准确地将压裂液输送到靶层。施工过程中，地面装置向连续油管内注入高粘压裂液，在井底形成高压，压裂岩石形成新的裂缝，同时采用石英砂、陶粒等支撑剂使裂缝张开，增加油气运移通道。针对某低渗透油田常规直井采出能力低的问题，采用连续管分段压裂技术，将油层分为多段压裂，并分段注压裂液、支撑剂。该工艺充分利用连续管在不同井段的灵活性，克服常规作业中频繁下管柱的弊端，将单井日产量由3吨提高到8吨，大大提高采收率；另外，酸化作业也离不开连续管的精确注水能力。针对因结垢、堵塞等原因造成产能降低的油层，采用连续油管注酸，溶解地层中的碳酸盐、硫化物等堵塞物，恢复并提高油层的渗透率。在碳酸盐岩储层中，采用连续管酸化工艺对近井段钙质沉积物进行酸化处理，取得较好的增产效果^[7]。

2. 气举采油作业

气举采油是一种利用高压气体降低井下流体密度，将原油提升到地表的一种采油方式。连续管是气举采油过程中高效注气通道，具有较强的适应性与灵活性。连续管气举在深井、低产井生产中的应用具有明显的优越性。作业过程中，高压气体通过连续管注入至井底适当深度，与原油发生混合，降低原油密度，并在井口回压及油层压力的共同作用下将原油提升至地表。针对某海上边际油田的实际情况，提出用常规方法进行采油的方法。采用

连续管气举工艺后,可根据油井的具体情况灵活地调整注气深度及注气量。通过对井口压力、产量的实时监测,对气举参数进行动态优化,使濒临停产的油井恢复稳定生产,单井平均日产量达到5吨,使边际油藏资源得到有效活化^[8]。

3. 井下监测与数据采集

随着油田智能化的发展,井下监测和数据采集已成为油田优化生产的一个重要环节。连续油管因其柔性好、承载能力强等特点,可将各种高精度传感器搭载到井下,实现对储层动态参数的实时监测。井下常用的传感器有:压力传感器,温度传感器,流量传感器,含水量传感器等等。在智能化油田示范区中,采用连续油管将分布式光纤传感器送入井内,实现对井下温度、应变等参数的连续测量,实现油层产出剖面的精细监测。通过对油层温度变化的分析,准确地判断油层中不同部位的产液状况;利用这些数据,及时地发现套管的变形和其他潜在的问题。另外,在连续管上还安装电磁流量传感器,对各个层段的油、水流量进行准确测量,为储层动态分析、生产决策提供可靠的数据支持。在此基础上,油田操作员可根据实时监测数据,及时调整采油方案,优化注采参数,提高油井平均产量15%以上,减少盲目开采造成的资源浪费与设备损失,促进油田生产向智能化、高效方向发展^[9]。

三、连续油管技术应用面临的挑战及对策

(一) 面临的挑战

1. 设备与材料问题

连续管装备生产工艺要求高,一些高端装备、关键部件依赖进口,生产成本高。同时,为更好地适应井下复杂的地质环境,还需要进一步提高材料的强度和抗腐蚀性能。在井下高温高压强腐蚀环境下,油管极易发生疲劳断裂、腐蚀穿孔等失效现象,严重影响生产安全与生产效率。

2. 作业工艺复杂性

连续油管作业涉及到钻、修井、采油等多个技术环节,各工序间的协作要求很高。由于井下复杂情况,需要综合考虑地层特征、井眼轨迹、设备等因素,才能更好地进行钻井作业。另外,连续油管在运行过程中的参数控制较为复杂,如压力、流量、流速等参数的准确控制,直接关系到生产效果与安全^[10]。

3. 人员技术水平不足

连续油管施工技术是一项需要熟练操作、熟练操作,具有较

高专业素质的综合技术。目前,我国具有熟练操作连续油管设备及掌握相关操作技术的专业人才较少,部分操作人员对设备的使用与维护不够熟练,对复杂工艺的理解与应用能力有限,难以满足实际生产需要。

(二) 应对对策

1. 加强设备与材料研发

鼓励企业与高等院校、科研院所开展联合攻关,形成具有自主知识产权的高端连续管装备及高性能材料,提升我国装备国产化水平及材料性能。如研究开发新的高强韧防腐连续管,延长其使用寿命;对连续油管作业设备进行优化设计,提高设备的自动化和智能化程度,减少设备费用,降低操作难度。

2. 优化作业工艺

通过对不同井下连续油管作业技术特点及规律的研究,结合实际工作经验,不断优化作业流程。建立完备的生产过程数据库与模型,运用计算机仿真技术演练与优化生产过程,提高生产过程科学合理。加强各工序间的协调与协作,制订标准化操作程序及操作规程,保证生产过程安全高效。

3. 加强人员培训

建立和完善连续油管专业技术人员的培训体系,加强与高等院校和科研院所的合作,开展多种形式的培训。培训内容应从设备使用、维护、操作流程、安全管理等方面进行。同时,鼓励企业开展内部培训、技术交流等活动,营造学习氛围,促进科技人才的成长与进步。

四、结论

连续管技术因其作业效率高、适应性强、安全环保等优点,在井下钻、修井、采油等方面发挥着不可替代的作用。在钻探领域中,利用该技术,欠平衡钻进、小井眼钻进、侧钻水平井等作业,大大提高生产效率和产能;在修井作业中,由于连续管的使用,清蜡清砂、解堵、打捞作业更加精确、高效;在生产过程中,还进行液体注入、气举和井下监测等方面的优化。然而,该技术在设备、工艺、人员等方面还存在着设备依赖进口,材料性能有待提高,过程复杂和参数调控困难,缺乏专业人才。未来,连续管技术将向装备智能化、材料高性能化、操作流程不断优化、大数据、物联网等技术的深度融合,使其在复杂的井下作业中发挥更大的价值,促进油气产业的技术创新和可持续发展。

参考文献

- [1] 张健. 浅谈连续油管技术在井下作业中的应用现状及思考 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2021, 41(17): 179-180.
- [2] 何君涛. 连续油管技术在井下作业打捞解卡中的运用 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2022, 42(1): 174-175.
- [3] 朱德儒, 高秋菊. 连续油管技术在井下作业中的应用 [J]. 石油工程建设, 2022, 44(9): 172-174.
- [4] 刘申策, 王 冬, 倪庆怀. 连续油管技术在井下作业中的可靠性评估 [J]. 工程施工新技术, 2025, 4(6).
- [5] 倪庆怀, 刘申策, 王 冬. 基于连续油管技术的井下作业风险评估 [J]. 工程施工新技术, 2025, 4(4).
- [6] 倪庆怀, 刘申策, 王 冬. 连续油管技术在井下作业压裂中的应用与优化 [J]. 工程管理与技术探讨, 2025, 7(6).
- [7] 朱楠, 张莹. 试论连续油管技术在井下作业中的应用 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2024, 44(16): 171-173.
- [8] 蔡孟哲. 浅谈连续油管井下作业技术应用及前景展望 [J]. 中国设备工程, 2021(12): 211-212.
- [9] 马浩楠. 新形势下油田井下作业中的连续油管技术 [J]. 工程施工新技术, 2024, 3(15).
- [10] 张拢. 连续油管在井下作业中的应用分析 [J]. 石化技术, 2023, 30(1): 85-87.。

深基坑支护施工技术在房建工程中的应用策略

肖和平

湖南天城建设有限公司，湖南 常德 415000

DOI:10.61369/ADA.2025010009

摘 要： 为了提高房屋建筑工程的质量，就必须对深基坑支护施工技术加以应用，只有这样才能更好地提高建筑工程的整体水平。本文将结合具体施工案例，围绕着房建工程当中的深基坑支护施工技术的应用展开深入研究，分析了该技术在实际应用过程中的优势以及不足，并提出了相应的解决措施。希望通过本次研究能够为相关人员提供有价值的参考建议，从而促进我国房屋建筑行业的健康发展，推动社会经济的进步与发展。

关 键 词： 深基坑支护；房建工程；施工质量

Application Strategy of Deep Foundation Pit Support Construction Technology in Building Engineering

Xiao Heping

Hunan Tiancheng Construction Co., Ltd. Changde, Hunan 415000

Abstract： In order to improve the quality of housing construction projects, it is necessary to apply deep foundation pit support construction technology, only in this way can the overall level of construction projects be better improved. This article will conduct in-depth research on the application of deep foundation pit support construction technology in housing construction projects, based on specific construction cases. The advantages and disadvantages of this technology in practical application will be analyzed, and corresponding solutions will be proposed. I hope that this study can provide valuable reference suggestions for relevant personnel, thereby promoting the healthy development of China's housing construction industry and advancing the progress and development of the social economy.

Keywords： deep foundation pit support; building construction projects; construction quality

引言

随着我国城市化进程的不断加快，在城市中兴建房屋、桥梁等基础设施的建设数量也越来越多。特别是一些高层建筑和大型建筑项目的兴建，往往都会出现深基坑施工这一问题。由于地下土层的分布比较复杂，并且具有一定的空间跨度，因此在进行基坑开挖的过程中，常常会出现较大的不安全因素。为了避免这些问题对工程造成不利影响，就需要对深基坑支护施工技术进行应用，从而确保房建工程的质量与稳定性^[1]。目前，对于深基坑支护施工技术研究主要集中于三个方面：首先，从理论方面来说，通过结合具体的地质条件以及环境状况来优化支护结构的设计，使其能够更好地适应实际的施工环境^[2]；其次，从应用角度来说，通过结合实际情况来选择合适的施工技术，并综合考虑成本、工期、质量等多个方面的因素，从而提高施工效率^[3]；最后，从控制管理方面来说，通过加强现场施工人员的技术培训以及管理监督力度，从而有效提高其工作效率和技术水平^[4]。因此，由于不同地区的地质条件不同，所以在应用深基坑支护施工技术的过程中也会存在一定的差异。因此，相关部门必须做好充分的市场调研工作，以此来了解当地的地质条件和环境状况，并根据实际情况来选择合适的支护方案。只有这样才能保证支护结构的安全性，并且提升整体施工质量^[5]。

一、项目概况

某项目工程为一栋23层的住宅楼，总建筑面积约为13662.15m²。本工程基坑深度约为13m，周边环境较为复杂，施工难度较大，该项目采用长螺旋灌注桩进行基坑支护，长螺旋灌

注桩的主要作用是抵抗基坑周边侧压力，保证基坑稳定，从而保证基坑开挖和基础施工能安全、顺利地进行，避免对周围的建筑物、道路和地下管线等产生危害，该项目深基坑支护的特点是基础埋深大、场地条件复杂、周边环境条件复杂、工期紧张。为了保证该项目深基坑施工的安全，在进行基坑支护时应综合考虑周

边环境因素、地质条件等因素，并结合工程实际

情况制定合理的施工方案，从而确保深基坑施工的顺利进行。

二、房建工程深基坑支护施工

（一）深基坑支护技术概述

深基坑指的是当建筑物所在的土层埋深超过一定深度时，通常就被称之为深基坑。根据实际情况来看，在某些特殊地段施工的过程中，会对地下水位产生较高的要求，因此需要对地下水进行严格的控制，从而保障基坑周边环境不受影响。从目前的实际发展情况来看，深基坑支护技术已经得到了广泛应用，成为城市建设和经济发展过程中的重要组成部分。伴随着社会不断地发展，城市建设也逐渐走向现代化，对于基础设施工程以及公共建筑工程而言，为了能够更好地适应城市现代化的发展趋势，就必须充分考虑到地下空间的开发利用，合理地设计出具有高效性、经济性以及安全性的深基坑支护技术，从而有效地提高整个工程的施工质量^[6]。但从目前的实际情况来看，我国的基坑支护技术还存在着一定的问题，相关部门应该采取有效的措施加以解决，只有这样才能促进经济社会的可持续发展。

（二）房建工程中深基坑支护施工技术的优势分析

（1）能够有效防止边坡坍塌。由于房建工程的基坑深度较深，所以其在开挖施工时，如果遇到了一些地质条件较为复杂的区域，就会很容易发生边坡坍塌的情况，这不仅会给周围的建筑带来安全隐患和威胁，同时也会对正常的生产生活造成严重影响。而深基坑支护技术可以通过对土壤进行加固处理，从而保证边坡稳定性，并且还能起到控制基坑变形的作用，进而确保地下结构的稳定性。

（2）能够加快基坑挖掘速度。通过对深基坑支护施工技术的应用，不仅可以提高挖掘进度，同时也可以降低挖掘难度，使得整个工程项目得以顺利开展。

（3）能够有效降低施工成本。随着社会的快速发展，人们对于住房质量提出了更高的要求，而深基坑支护施工技术凭借着自身的诸多优势，在很多房建工程当中都得到了广泛应用。从经济角度来看，该技术的应用可以大大节约工程造价，从而为企业带来更大的经济效益。

（4）能够有效提升安全系数。由于深基坑属于建筑基坑中的一种特殊类型，所以在进行开挖的过程中，就需要采取相应的支护措施，以确保施工人员的生命财产安全不受威胁。而利用深基坑支护技术则可以有效保证施工安全，从而保障整个工程的顺利完成。

（三）深基坑支护中长螺旋灌注桩施工

1. 场地平整

在进行长螺旋灌注桩施工之前，需对施工现场进行场地平

整，包括清除障碍物、平整土地表面、确保施工区域无障碍等。场地平整的目的是为施工设备提供稳定的工作平台，确保施工过程的顺利进行。

2. 桩位放样

本工程基础埋深较大，垂直测量与平面测量的精度要求高。考虑该工程的施工放线的重要性，企业应成立以技术负责人为组长的工程测量方案研讨小组，以研究解决施工测量重点和难点。采用极坐标法和直角坐标法相结合的办法，配备先进的仪器，同时对边坡和周边地面进行变形观测。检测红线桩，在红线桩边上测设建筑物轴线控制桩（边长相对的误差1/2400；测量角误差 $\pm 9^\circ$ ），测设后并做好延长保护桩^[7]；建立场区高程控制网；基础开挖施工测量；基础开挖标高控制，基坑开挖至最后一步土时，根据场地标高点采用全站仪三角高程法向施工层预测标高控制点，后根据高程控制点开挖基底标高。

3. 钻机就位

将调试好的钻机移动到指定的桩位上，并进行就位调整。确保钻机的钻杆垂直度、钻进深度等参数符合施工要求。在钻机就位后，还需要进行桩位复检，确保钻头中心与桩位偏差小于规范的允许值。

4. 钻孔

钻机就位后，开始进行钻孔作业。在钻孔过程中，需要控制钻进速度和钻进深度，避免出现卡钻、偏斜等问题。钻进至设计孔深后，起钻时需对孔底虚土进行清理。一般用沉渣处理钻头（带挡板的钻头）来排出沉渣，若沉淀时间较长，则应采用水泵进行浊水循环。孔内排出或抽出的泥浆手摸无2~3mm的颗粒；泥浆比重不大于1.1；含砂率小于2%；黏度17~20s。检查沉渣厚度：沉渣厚度不大于100mm。

5. 埋设护筒

根据桩位点设护筒，护筒的内径应大于钻头直径100mm，护筒位置应埋设正确稳定，护筒中心和桩位中心偏差不得大于50mm，倾斜度的偏差不得大于1%。埋设深度1.5m。护筒高出地面50cm。

6. 终孔验收

终孔验收是对钻孔质量的最后一次检查。在验收过程中，需要对孔径、孔深、孔底沉渣厚度等指标进行详细检查，确保钻孔质量符合设计要求。如果验收合格，则可以进行下一步施工；否则需要进行补孔或重新钻孔。

7. 泵送混凝土进行灌注

混凝土采用拌和站统一拌制，混凝土运输车运至现场，输送泵灌注混凝土。混凝土灌注采用泵送法，将输送泵与导管连接进行灌注，导管采用 $\Phi 300$ mm无缝钢管制作，每节长2.0~4.0m，配1、2节长0.5~1.5m短管，丝扣连接。使用前对导管进行水密、承压和接头抗拉试验，保证导管不漏水。导管安装后，其底部距孔底留30~50cm的空间。混凝土浇筑支架用20型钢制作，

用于支撑悬吊导管，吊挂钢筋笼，上部放置混凝土漏斗。漏斗容积（即首批混凝土方量）应满足封底时导管埋深不得小于1m并不宜大于3m。导管顶部放置隔水皮球，封底后移走大漏斗，换上小漏斗，小漏斗旁设置储料槽，泵送混凝土先进入储料槽后通过滑槽入小漏斗。在浇注混凝土过程中，应测量孔内混凝土顶面位置，保持导管埋深在1~3m范围。导管提升时利用吊机，灌注的混凝土坍落度控制在18~22cm，混凝土要连续灌注，不能停顿，每根桩宜8h内浇注完成。浇注完毕后，位于地面以下及桩顶以下的孔口护筒应在混凝土初凝前拔出。

8. 振动下钢筋笼

钢筋严格按设计图纸下料，主筋按设计要求配置，加强筋用特制绞盘缠绕环状，焊接成型，箍筋用螺旋箍按间距要求缠绕在钢筋骨架上。钢筋笼制作完毕，质检员填写《隐蔽工程检查记录》，并请监理方检查验收。验收合格后，钢筋笼通过振动器振动下放到桩身内部，确保钢筋笼的位置准确且稳定。钢筋笼振动下放时使用直径15cm的杉木杆分段绑扎以提高整个钢筋笼的刚度，木杆在入孔时依次拆除，防止钢筋笼起吊时变形破坏。



图2：钢筋笼制作现场

（四）成桩验收

在验收过程中，需要对桩身质量、桩位偏差、承载力等指标进行详细检查，确保成桩质量符合设计要求。如果验收合格，则可以进行后续的施工工序；否则需要进行补桩或重新施工。

（五）施工过程中应注意的问题

（1）由于深基坑开挖深度大，而基坑周围的土体也比较松软，在开挖过程中存在较多的不安全因素。为了有效避免施工事故发生，必须做好开挖前的准备工作，首先要根据地质资料及岩土工程勘察报告确定基坑开挖的平面位置、轴线以及开挖边线等，同时还需要对开挖土方进行测量，以确保施工期间各项数据的准确性。除此之外，还应加强对深基坑周围土体的稳定性和强度测试工作^[8]。

（2）由于深基坑内部存在大量地下水，所以会使周围土体产生一定的位移，进而影响整个施工进度。因此，在进行支护结构施工时，有必要选择合理的施工工艺，并采取有效措施保证支护桩的持力层厚度^[9]。另外，在施工过程中，应加大对围护结构质量的监管力度，避免出现裂缝或渗漏现象。

（3）对于大型房建工程而言，若采用常规的深基坑施工技术，则需要耗费大量的资金和人力资源，这必然会增加企业的经济成本。因此，相关部门可以积极借鉴国外先进经验，将地下连续墙技术应用于深基坑支护施工中，从而节省了大量的成本支出。但是，由于该方法主要是通过钻机钻孔来形成地下连续墙，因此就无法控制墙体的垂直度，并且也很难满足整体要求，这也导致了该技术的应用受到限制。

（4）由于深基坑周围土质较差，而且还有很多碎石土，如果没有做好开挖前的准备工作，那么就会给后续的开挖工作带来极大的困难。此外，由于深基坑面积较大，而围护结构所需的钢筋用量也非常大，因此在施工过程中也存在的问题^[10]。例如：混凝土浇筑时间长、振捣次数过少、模板变形过大等问题，这些都会导致深基坑结构的质量无法得到保证。

（5）由于深基坑中含有很多水分，再加上支护结构与地下水之间存在着相互渗透的现象，从而使周围土体固结速度变慢，最终导致支护结构变形严重，甚至会出现倾斜、开裂等情况。因此，在开挖过程中，应设置排水系统，并且要定期观察基坑周边的地面沉降状况，只有这样才能为今后的基坑支护工作提供重要依据。

（六）应用建议

（1）对地质资料进行细致的调查，在施工前要详细地了解工程周围的地质状况以及水文情况，根据地质情况做出合理的设计方案，同时还应该加强技术交底工作，保证各项工作能够有序开展。

（2）采取措施保护基坑周边环境，减少施工活动所产生的影响。对于建筑物与基坑之间的距离应该严格按照要求来控制，避免由于距离太近而导致地面下沉或者是建筑物变形的现象出现，另外还要及时处理好降水以及排水等工作。

（3）加强安全管理工作。为了使深基坑支护施工技术得到有效地应用，就必须加强安全管理工作。首先，应该制定完善的安全管理制度，并明确各个人员的职责范围；其次，要加强员工安全教育培训工作，使他们都能够自觉遵守安全规定；再次，要做好施工现场的巡视工作，及时发现和解决问题；最后，应该定期组织应急演练，提高员工的应变能力。

三、结语

随着我国经济水平的不断提高，人们对住房的需求也越来越高，同时建筑施工领域对于深基坑支护施工技术也有了更高要求。所以，为了更好地满足当前的建设需求，相关工作人员要注重对深基坑支护施工技术进行科学合理地应用与推广，从而提高整体工程项目的质量。但是就目前情况来看，我国大多数房建工程都没有得到充分地重视，这就导致在施工过程中经常出现一些安全问题。比如：基坑坍塌、周边建筑物破坏等。所以，相关工

作人员一定要引起高度重视，积极做好防范措施，为后期顺利施工奠定基础。（1）加强工程勘察和设计管理。（2）优化支护结构形式。（3）改进施工技术和方法。（4）完善技术交底制度。（5）落实监控预警制度。（6）强化基坑排水。（7）落实监测巡查制度。（8）建立应急处理机制。

参考文献

[1] 胡新昊 . 基于建筑工程施工中深基坑支护施工技术应用研究 [J]. 石油化工建设 , 2024, 46(9): 120-122.

[2] 黄凤琴 . 岩土深厚软土基坑支护设计和质量控制 [J]. 建筑工程技术与设计 , 2021(35): 353-354.

[3] 柳洪强 . 建筑工程施工中深基坑支护施工技术的重要性及应用实践 [J]. 中小企业管理与科技 , 2022(13): 121-123.

[4] 胡剑雄 . 复杂条件下深基坑施工关键技术研究 [J]. 现代装饰 , 2023, 556(23): 111-114.

[5] 冯志威 . 建筑工程中的深基坑支护施工关键技术的应用研究 [J]. 房地产导刊 , 2021(11): 73.

[6] 武安仪 , 杨锦飞 . 基于基坑支护技术在市政结构设计与施工中的应用研究 [J]. 建材与装饰 , 2023(10): 78-80.[

[7] 黄文 . 孤立岩块区深基坑支护旋挖成孔灌注桩施工技术研究 [J]. 西部资源 , 2024(4): 52-55..

[8] 俞和生 . 建筑工程施工中深基坑支护的施工技术管理对策分析 [J]. 中国房地产业 , 2020(28): 142.

[9] 黄亚云 . 高层深基坑工程可回收预应力锚索支护的研究 [J]. 中国建筑金属结构 , 2024, 23(8): 105-107.

[10] 曾伟 . 岩土工程中深基坑支护施工技术的应用研究 [J]. 低碳世界 , 2022, 12(2): 95-97.

基于乡村振兴理念下的湘西传统村落建筑探析

——以湘西吊脚楼为例

包敏辰, 陶媛

长春理工大学, 吉林 长春 130000

DOI:10.61369/ADA.2025010010

摘 要 : 在乡村振兴战略全面推进的时代背景下, 湘西传统村落建筑留存着丰富的历史文化内涵与地域特色。党的十九届五中全会提出, 优先发展农业农村, 全面推进乡村振兴。乡村振兴需要健康有序推进, 科学把握各地差异和特点, 注重地域特色, 体现乡土风情, 特别要保护好传统村落、民族村寨、传统建筑^[6]。本文选取湘西吊脚楼为例, 深度剖析其在乡村振兴理念下的特殊意义, 以湘西传统村落建筑典型代表——吊脚楼为例, 其建筑形式将当地地形与自然环境结合在一起, 体现了精湛的建筑本领与民族特色。从空间分布、结构特性到装饰工艺, 都留存着湘西地区的民俗风情及精神信仰, 在乡村振兴的进程里, 吊脚楼是传承地域文化不可或缺的载体, 有利于提升乡村文化自信, 推动文化迈向振兴之路, 本次借助对湘西吊脚楼的深入探究, 为乡村振兴形势下湘西传统村落建筑保护、传承与发展提供理论参考与实践借鉴。

关 键 词 : 乡村振兴; 湘西建筑; 村落设计; 文化传承; 建筑设计

Analysis of Traditional Village Architecture in Xiangxi under the Concept of Rural Revitalization — A Case Study of Xiang xi Stilt Houses

Bao Minchen, Tao Yuan

Changchun University of Science and Technology, Changchun, Jilin 130000

Abstract : Under the backdrop of the full advancement of the rural revitalization strategy, the traditional village architecture in Western Hunan retains rich historical and cultural connotations as well as regional characteristics. The Fifth Plenary Session of the 19th Central Committee of the Communist Party of China proposed giving priority to the development of agriculture and rural areas and comprehensively promoting rural revitalization. The advancement of rural revitalization needs to be carried out in a healthy and orderly manner, scientifically grasping the differences and characteristics of various regions, paying attention to regional characteristics, and reflecting the local customs. In particular, traditional villages, ethnic villages, and traditional buildings should be well protected [6]. This article takes the stilted buildings in Western Hunan as an example to deeply analyze their special significance under the concept of rural revitalization. Taking the stilted buildings, a typical representative of the traditional village architecture in Western Hunan, as an example, their architectural form combines the local terrain with the natural environment, reflecting exquisite architectural skills and ethnic characteristics. From the spatial distribution, structural characteristics to the decorative techniques, the folk customs and spiritual beliefs of the Western Hunan region are preserved. In the process of rural revitalization, stilted buildings are an indispensable carrier for inheriting regional culture, which is conducive to enhancing rural cultural self-confidence and promoting the cultural rejuvenation. Through in-depth exploration of the stilted buildings in Western Hunan, this article provides theoretical references and practical experiences for the protection, inheritance, and development of traditional village architecture in Western Hunan under the situation of rural revitalization.

Keywords : rural revitalization; architecture in western hunan; village design; cultural inheritance; architectural design

作者简介:

包敏辰 (1977-), 男, 汉族, 吉林通化人, 硕士, 现任职于长春理工大学文学院, 教授, 研究方向: 环境设计;
陶媛 (2002.02-), 女, 汉族, 吉林长春人, 硕士研究生, 环境设计专业, 长春理工大学学生。

一、乡村振兴理念在湘西传统村落建筑中的应用

（一）乡村振兴理念的内涵与原则

中央一号文件每年都将传统村落保护与发展作为重要内容作出具体部署，一系列国家政策与文件都显示：保护与传承好本土文化，是多元化乡土文化保护本身的需要^[1]，也是建立中国文化自信的需要，更是保护国家文化安全的需要。中国实施“乡村振兴”战略，是中国政府为推进乡村振兴和乡村经济社会可持续发展而提出的一种重大战略。乡村振兴是全方位、全领域、全系统的振兴，致力于达到产业兴旺、生态宜居、乡风文明、治理有效、生活富裕的总要求^[8]。乡村振兴理念作为新时代推进农业农村现代化的核心战略，其内涵源于对城乡发展失衡的系统性反思与乡村价值体系的重构需求。该理念将城乡融合发展作为基本方略，突出通过产业升级、文化传承、生态保护以及治理创新等多维度协同，实现乡村社会经济领域的全面振兴，其基本的原则可概括成系统性、在地性、可持续性与以人为本这四重维度：系统性体现为对生产、生活、生态空间做统筹的有机更新，防止零碎化改造对乡村肌理形成破坏。

（二）湘西传统村落建筑在乡村振兴中的作用与价值

湘西传统村落建筑具有深厚的历史文化内涵，凸显了湘西地区独特的民俗风情与生活方式，这些传统建筑有吊脚楼、土家楼以及木结构房屋等，它们的建筑样式、构造特征以及装饰技艺皆是湘西地区文化传承的关键载体，湘西传统村落建筑在乡村振兴中发挥着不可忽视的功效，具有多样重大价值。

从经济领域的层面看，独特的建筑模样吸引了大量的游客，促进乡村旅游业繁荣崛起，带动民宿、餐饮等周边产业，增添就业岗位，提升村民的经济，成为驱动乡村经济上扬的重要动力。

就文化传承而言，传统村落建筑容纳着湘西地区古老的历史文化、民俗风情与民族精神，堪称珍贵的文化瑰宝，宛如湘西吊脚楼，其别具一格的建筑结构和营造工艺反映出当地人与自然和谐共生的智慧，见证着民族的发展脚步，维系着民族文化基因。

从社会价值的层面看，传统村落建筑是村民凝聚力和归属感的重要根基，公共空间及建筑布局推动了邻里间交流的开展，维系起传统社会的关系网络，增添了村民对家乡的认同与自豪心理，利于乡村社会实现和谐稳定。

从生态价值层面讲，传统村落的建筑多数采用当地天然材料，依从因地制宜的标准，展现出良好的生态适应效果，为现代乡村生态建设呈上宝贵的借鉴意义，助力实现乡村的可持续发展，湘西传统村落建筑传统村落集群保护发展必须依托其内部资源要素，利用外部资源要素^[7]，依托其经济、文化、社会以及生态等多方面价值，成为推动乡村振兴的核心支撑。

此外，旅游业的发展还可以促进基础设施建设和公共服务水平的提升，改善农村居民的的生活环境和福利待遇。

二、湘西传统村落建筑的历史与文化背景

（一）湘西地区的地理与人文环境湘西地区的地理与人文环境

湘西地区地处中国湖南省的西部，它的地域特色与人文景观深刻地影响着传统村落的建筑形态。

（1）地理特点：

湘西多为山区和丘陵，地形复杂，高山深谷，是一个典型的山区。这一特殊的地理特征，使湘西地区具有多雨、热、热、雨等多种气候特征，为当地的农业发展创造了有利的条件。湘西地区有众多的河流、湖泊和水库，水资源丰富。其中，湘江、沅江等是湖南省的重要支流，为当地的农业生产和生活用水提供了保障。

（2）人文景观：

湘西是一个多民族聚居的地方，土家族，苗族，瑶族在这里繁衍生息，孕育出了灿烂灿烂的民族文化。

各民族在长期的生产生活中，形成了独特的建筑风格和传统文化，这些文化元素深刻地影响了当地的传统村落建筑。

湘西地区有许多历史悠久的建筑遗迹，如古代寺庙、庙宇、城堡等。这些建筑遗迹代表了湘西地区悠久的历史，对当地传统村落建筑的形成和发展产生了重要的影响。

（二）湘西传统村落建筑的起源与演变

湘西传统村落建筑的历史演变过程可以概括为以下几个阶段，每个阶段都反映了当时社会、经济、文化等方面的变化，并在建筑风格与文化内涵上产生了相应的影响。

湘西属于多民族聚居的区域，瑶族于这里长久生存，催生了光辉灿烂的民族文化。各民族经过长期的生产生活阶段，造就了别具一格的建筑风格与传统文化，当地传统村落建筑明显受到这些文化元素的影响。这里拥有多种的民间风俗，既是对传统村落建筑的一种保全，又会成为对地方旅游开发的一种有益补充。

起始在古代早期的湘西地区村落建筑以土木结构为主，把土坯、木材等当作主要建材，建筑风格主要是受到自然环境所影响，看重与自然相契合，以适应山地丘陵地方的地形模样，文化内涵主要借助民间传说、宗教信仰等方面展现，建筑当中普遍存在的吉祥图案、神兽图案等饱含浓厚的民俗色彩。湘西地区苗族传统村落的空间形态、建筑、景观等方面受到当地自然环境和历史文化的影响，因此湘西苗族传统村落空间在发展中获得了完整且有效的传承，不同的村落在空间布局特征方面也具有多样性和差异性^[4]。

在近现代至今阶段，伴随现代化建设的不断推进，湘西地区的村落建筑同样经历了一系列的改动和更新，传统村落建筑的保护与修复成为当地一项重要工作，一方面看重保留传统建筑的历史文化价值，另一方面也逐步引进现代建筑技术及设计理念，增加建筑的实用功能和舒适水平，建筑风格在传统跟现代之间造就了一种平衡，一边留存着传统特色，添加了现代的元素，体现出时代的发展与革新，所承载的文化内涵也出现了新变动，融入了现代的生活样式，造就了新的文化内涵。

（三）吊脚楼作为湘西传统村落建筑的代表性形式

吊脚楼作为一种特殊的建筑形态，多数坐落于中国的某些山区地带，如湘西、贵州、四川等地。它的名称来源于其建筑结构中的“吊脚”形式，即将建筑的下层空间留出来，悬挑在上层之上，造就一种别具一格的建筑形态。吊脚楼通常为多层建筑，上下两层结构分明，上层为居住区，下层为储藏或畜棚。在湘西传

统村落中，吊脚楼具有重要的地位与作用：

从文化象征方面来看，吊脚楼作为湘西地区的传统建筑形式之一，体现了当地独特的建筑文化和民族风情，是湘西地区历史文化的重要象征之一。

从居住与储藏方面来看，吊脚楼为村民提供了居住和储藏的空间，上层居住区可以提供安全的居住环境，下层储藏区则可以用于存放粮食、家畜等物品。

从社区活动场所的维度来看，吊脚楼的底层空间常常用于举办社区活动，诸如集会、庆典、婚礼等仪式，是村民生活和社交的重要场所。

从旅游景点方面来看，吊脚楼作为湘西地区独特的文化景观，吸引了大量游客前来观光游览，为当地的旅游业发展做出了重要贡献。

三、乡村振兴政策在吊脚楼保护与更新中的策略与方法

乡村振兴政策框架下的吊脚楼保护与更新需打造多维度协同策略体系，依靠技术路径创新、文化活态传承与制度保障整合，实现传统建筑保护同乡村发展的动态平衡。需要综合考虑多种因素，包括地理位置、环境质量、文化价值、社会需求等。通过公共空间改造、农业用地改造、文化创意产业开发和旅游资源开发等方式^[5]：

（一）景观规划

随着乡村振兴政策的推进，传统村落在谋求发展的同时不可避免地对原有村庄形态产生影响，目前大多数村落规划并未建立在理解村落空间结构基础上^[6]。在乡村振兴政策大力导向下，针对吊脚楼景观规划需以生态敏感性为基础，通过地域性景观基因的识别与转译，构建兼顾自然基底保护与文化空间延续的协同机制。在生态修复层面，优先保留原生植被群落与自然驳岸形态，植入雨水花园、生态植草沟等低干预设施以提升地表径流消解能力，运用乡土石材与竹木材料重构挡土墙、步道等景观小品，确保风貌协调性与技术在地性。

（二）建筑修复

湘西传统村落空间结构呈现出“生态—生产—生活”的总

体特征^[7]。乡村振兴政策框架下的吊脚楼建筑修复需遵循“真实性、可逆性、最小干预”原则，通过传统技艺考据与现代技术融合实现营建体系的原真性传承与性能提升。修复过程中应建立基于历史文献研究与残损构件测绘的双重验证机制，木构件修复需依据传统榫卯形制进行局部嵌补或整体替换，结合碳纤维布加固与钢构件暗藏技术提升结构抗震性能，同时在檐口、窗棂等装饰部位保留手工雕琢痕迹以维系工艺真实性。

（三）文化传承与教育

乡村振兴政策背景下的吊脚楼文化传承与教育实践需构建活态化、系统化的传播机制，通过物质载体与非物质要素的协同活化，实现传统营建智慧向当代社会的价值传递。建立非遗传承人工作站与匠师培养体系，将穿斗式木构技艺、装饰纹样符号等核心文化基因纳入地方职业教育课程，依托数字孪生技术对吊脚楼建造流程进行三维可视化解析，形成动态传承数据库。在实体空间层面，以火塘、晒台等传统公共空间为载体植入文化展演功能，通过场景复原与沉浸式叙事强化民族礼仪、口述历史的体验式传播。教育路径创新方面，开发乡土建筑研学课程体系，整合木构模型制作、纹样拓印等实践模块，联合高校建立传统村落研究基地。推动吊脚楼营造技艺向建筑学、文化遗产保护等学科的知识转化。数字化传播领域，运用VR虚拟漫游技术构建吊脚楼文化元宇宙，实现纹样符号的跨媒介转化与全球共享，同时通过短视频平台开展匠作工艺直播，扩大传统技艺的受众群体。

四、总结

综上所述，在乡村振兴政策推动下，湘西吊脚楼的保护及更新成效显著。景观规划注重与自然融合，建筑修复遵循原则并结合现代技术，实现性能提升与风貌延续。村落整治致力于基础设施完善与整体环境优化；文化传承与教育通过多种方式，让吊脚楼文化得以活态传承。这些策略与方法相辅相成，达到既保护了吊脚楼这一珍贵文化遗产，又借助其特色推动乡村产业发展、文化繁荣，为湘西传统村落的可持续发展奠定坚实基础。

参考文献

- [1] 赵丹青. 湘西南苗侗少数民族传统村落景观数字化保护应用 [J]. 现代园艺, 2024, 47(02): 150–152. DOI: 10.14051/j.cnki.xdyy.2024.02.027.
- [2] 周佳露, 邓运员. 传统村落建筑景观破碎化测度及影响机制 [J]. 衡阳师范学院学报, 2023, 44(03): 15–23. DOI: 10.13914/j.cnki.cn43-1453/z.2023.03.017.
- [3] 曹梦婷. 湘西苗族传统村落地域性景观有机更新设计 [D]. 长沙理工大学, 2023. DOI: 10.26985/d.cnki.gcsjc.2023.000024.
- [4] 何晖颖. 文化识别视角下湘西苗族传统村落风貌保护性设计研究 [D]. 长沙理工大学, 2023.
- [5] 张梦思. 活态传承视角下的湘西尽远古村空置民居建筑保护研究 [D]. 重庆师范大学, 2023. DOI: 10.27672/d.cnki.gcsfc.2023.000484.
- [6] 廖静. 湖南传统村落类型划分与其乡村振兴路径探索 [J]. 智慧农业导刊, 2024, 4(23): 89–93.
- [7] 李欢, 罗圣钊. 传统村落集群的资源要素特征与利用模式探索——湖南湘西的经验总结 [J]. 中外建筑, 2024, (07): 82–86.
- [8] 徐婷. 乡村振兴的内生动力 [D]. 吉首大学, 2024.
- [9] 李庆玲. 以农为笔，绘就乡村振兴新画卷 [N]. 青海日报, 2022-11-28(001).
- [10] 杨文杰. 农村绿色发展的外溢效应测度研究 [D]. 北京林业大学, 2022.

市政工程 EPC 联合体安全管理优化提升的实践与探索

罗锦州

礼泉县建筑工程质量安全监督站, 陕西 咸阳 713200

DOI:10.61369/ADA.2025010011

摘 要 : EPC 联合体是建设工程参建各方重要的组织形式, 在城市市政工程建设中相对常见。该模式有助于资源整合, 减少施工成本, 但是由于市政工程规模增大, 技术相对复杂, 加上参建各方技术标准、安全管理要求和体系有所不同, 对安全管理制度的落实造成一定负面影响, 值得 EPC 联合体高度重视。本文将结合市政工程 EPC 联合体安全管理特点, 讨论 EPC 联合体安全管理优化提升策略, 希望带来一定借鉴意义。

关 键 词 : 市政工程; EPC 联合体; 安全管理; 优化提升

Optimization and Enhancement of Safety Management of Municipal Engineering EPC Joint Venture: Practice and Exploration

Luo Jinzhou

Liquan County Construction Engineering Quality and Safety Supervision Station, Xianyang, Shanxi 713200

Abstract : EPC consortium is an important organizational form for all parties involved in the construction of construction projects, which is relatively common in the construction of urban projects. This model helps to integrate resources and reduce construction costs, but due to the large scale of municipal projects, relatively complex technology, and differences in technical standards, safety management and systems among the parties involved, it has a certain negative impact on the implementation of safety management system, which is worthy of serious attention from EPC consortium. This paper will the optimization and improvement strategy of safety management of EPC consortium in combination with the characteristics of safety management of EPC consortium in municipal engineering, hoping to provide some reference

Keywords : municipal engineering; EPC consortium; safety management; optimization and improvement

一、市政工程 EPC 联合体安全管理特点

(一) 主体多元化, 管理内容复杂

市政工程 EPC 联合体包括多方主体, 包括施工承包单位、设计单位、设备供货单位、专业分包单位等, 尽管都是参与管理的主体, 但是不同单位在管理流程、标准和理念上有一定差异。举例而言, 施工单位对施工现场更熟悉, 对作业风险关注度更高, 也可能因为赶工期等因素, 放松材料进场检验和工序验收等环节的要求。设计单位则更重视工程结构的合理性与安全性, 会在设计环节排除安全隐患。多元化的主体管理难度较大, 内容也更为复杂, 会给予管理房更多责任划分、权责统一方面的挑战, 需保证各方安全管理目标一致, 防止各自为战^[1]。

(二) 责任界定模糊, 可能互相交叉

EPC 联合体安全管理职责可能互相重叠, 一旦出现安全事故, 责任主体不明晰, 对责任的认定也会存在诸多争议。举例而言, 正常情况下, 设计单位出具的设计图纸, 需要由施工单位组织人员审核, 并结合施工现场情况, 核对设计图纸存在的问题。如果设计单位未能合理预估地质条件, 对后续施工造成影响, 则施工单位和设计单位可能不会认定自身为责任方。设备供应商如

果提供设备出现质量问题, 也很难依照合同划定责任方^[2]。

(三) 技术整合性强, 资源配置更优

EPC 联合体各单位均具备自身技术优势, 可以调动各项资源参与工程建设。具体而言, 设计单位可基于先进技术模拟施工过程, 找出施工各工序的安全隐患。设备供应单位可提供具备智能监测的施工机具, 以及具备报警功能的劳保设备。施工单位能采取大数据、物联网等信息技术, 实时监控施工现场异常情况。参建各单位能够基于自身技术优势, 集合优势资源, 辅助安全管理体系的建立与完善。

(四) 全生命周期管理, 覆盖面更广

EPC 联合体管理模式覆盖工程建设各个流程。工程设计环节, 设计人员需将施工可行性、结构安全性和运维便利性等, 纳入考量范围。设备采购环节, 采购人员需重点考察设备质量, 判断设备是否可正常工作, 是否符合施工标准, 以降低安全事故发生率。施工环节, 施工单位需对高大模板安装、深基坑开挖等危险性较大工程加强安全管理。和常规施工承包模式相比, EPC 联合体覆盖项目全生命周期, 项目实施初始环节, 各方就需要将项目未来正常运行纳入考量要素中, 以降低项目风险^[3]。

二、市政工程 EPC 联合体安全管理优化提升策略

（一）优化组织架构

优化组织架构，旨在构建协同管理机制，应做好以下几方面工作：首先，完善安全管理组织架构。EPC 联合体应成立联合安全管理委员会，联合体单位代表均需参加委员会，以便后续决策实现信息互联互通。针对市政工程的危险性较大工程，委员会需在项目实施之前，通过开会方式，实现资源配置和协调，减少工程施工阻力，并对施工单位安全防护措施进行监督。与此同时，应成立安全管理团队，辅助安全管理工作的落实执行，例如安全技术交底、隐患排查与现场巡查等工作。在施工重要工序中，各方应当共享信息，保证安全管理工作有序执行。

其次，应明确安全管理权责。联合体成立之初，需要在合同中，对各方安全管理责任进行界定，设计单位应出具符合国家规范的设计图纸，施工单位人员应按图施工，并通过各类安全培训活动，树立人员安全意识。设备供应单位需提供符合市政工程安全要求的材料与设备。各方权责需清晰明了，防止因权责模糊互相推卸责任。同时应构建责任追溯机制，机制需涵盖下至作业人员，上至管理层的所有人员。举例而言，如果因为施工操作不符合规程，导致安全事故，可查阅安全日志，对安全管理责任人进行追溯。若事故因设备质量问题导致，可对设备供应单位责任进行追究^[4]。

最后，应注重协同管理机制的完善。EPC 联合体各方应重视常态化沟通机制的建立，每隔一段时间通过会议方式，对施工中各项问题进行总结，并搭建通讯平台，共享安全信息，方便安全管理工作的开展。项目实施阶段，EPC 联合体因重视安全培训工作的开展，保证安全管理要求的统一性。培训内容需全面，包括案例分析、安全技术和法律法规等，树立项目人员安全意识。项目方还应每隔一段时间，针对施工中常见问题开展应急演练，对各类事故现象进行模拟，考察人员面对突发事件的应变与处理能力，增强人员对事故处理流程的熟悉感，以缩短应急处理时间，减少事故损失^[5]。

（二）优化制度流程

制度流程的优化，可以为安全管理工作提供有效指导作用。首先，应明确各方管理职责。各方权责应在制定联合体协议时表明，不同单位人员应明确市政工程项目实施不同阶段主要存在的的风险，从而提高安全管理的针对性。举例而言，设计单位应评估工程结构风险，结合勘察单位提供的资料，科学评估设计方案的可行性，同步出具设计图纸和安全设计说明。施工单位应依照安全防护要求，开展人员安全培训，使人员操作符合操作规程要求。联合体参建单位应逐步分解安全责任，使安全责任更加细化，并以个人为单位落实岗位责任。

其次，应统一现有安全管理标准。EPC 联合体各方应依照各参建单位实际情况，完成安全管理标准的制定和优化，保证标准的统一性，避免不同参建主体在规则理解上出现歧义。尤其是施工环节，施工工艺质量控制、设备操作方法和安全防护等级等，都需要统一贯彻。只有标准统一，才有助于安全事故率的降低，

实现安全规范化管理^[6]。

另外，应注重沟通协作机制的优化。联合体各方需构建沟通平台，实现多层次沟通。每隔一段时间针对市政工程安全管理存在的问题，进行协商与协调。尤其是施工环节面临的重大安全风险，更需要提前开展专题会议，研究可行性较大的方案。信息传递流程也需要进一步规范，时间、方式、内容与相关人员，均需要作为信息传递流程优化的主要内容。举例而言，施工中涉及重大设计变更，设计单位应快速出具设计变更可行性说明，告知监理与施工单位变更风险。施工单位在施工环节发现隐患，也应在不超过 2 小时的时间段内，向上级报告相关信息。通过协奏机制的优化，使信息交流效率得到提升，保证信息准确传递^[7]。

最后，加强监督考核机制完善。EPC 联合体项目方应构建完善的安全考核指标体系，各项指标应尽量细化，起到对人员的指导作用。评估方式也应全面科学，举例而言，可通过理论与实操技能并重的考核方法，判断人员安全培训效果是否达到预期标准，以便对后续安全管理工作做出有效调整。针对考核结果，应适当给予奖惩措施。奖励方式可选择证书等表彰形式，也可给予待遇提升、现金发放等物质奖励，提高人员管理积极性。惩罚方式包括限制投标、扣除保证金等，使参建各方引以为戒。

（三）加强技术创新

技术的引进与创新，可提高 EPC 联合体安全管理智能化水平。当前市政工程安全管理技术，主要有以下几个方向：首先，智能监测预警技术。项目放课讲物联网传感器，布置在施工现场，包括气体浓度传感器、温度传感器、湿度传感器、位移传感器、压力传感器等。在施工关节工序，例如高大模板支护、深基坑开挖等，物联网传感器能够实时收集各项数据，向安全管理平台传输。若数据不符合阈值标准，系统可以第一时间预警，方便工作人员及时处理^[8]。也可选择无人机智能分析技术，无人机可装在红外热成像仪，对施工现场加强巡检。无人机能够施工现场进行大面积覆盖，收集热成像数据，并基于分析技术，对安全隐患进行识别。也可同步生成报告，方便人员查阅巡检情况。

其次，可采用机器人与自动化技术。机器人技术可选择具备巡检功能的机器人，施工重要阶段，机器人可以代替人员开展巡检工作，基于视觉传感器、雷达等设备，收集施工环境数据，检查安全防护设施与电气线路等是否存在异常现象。一旦发现问题，机器人可预警，同步向管理平台反馈，自动完成安全巡检工作。自动化技术则以各类自动化施工设备实现，设备能够依照程序编程，完成施工定位、故障预警，提高施工的精准性，最大程度防止人工带来的操作风险。管理系统会实时接收设备运行数据，方便管理人员查阅施工进度情况，了解设备状态，并排除潜在隐患^[9]。

另外，也可应用人工智能与大数据技术。人工智能能够分析影响施工的各项因素，结合历史信息与安全管理规则，给出正确判断，定位问题优先级，明确问题严重程度，辅助人员隐患排查，实现应急处理效率的进一步提升。大数据技术则可以对施工现场数据进行收集与分析，涵盖人员行为、设备运行、安全事故次数、事故严重程度和检查记录等。大数据技术能够深入挖掘数

据价值，辅助安全风险预测模型的构建，量化分析施工现场发生安全事故的几率，判断事故发生可能性。对一些易于引发事故的影响因素，例如人员疲劳施工、操作不当、安全巡查频次不足等，大数据技术也会给出确切报告，方便项目方针对性完善安全管理工作^[10]。

三、结束语

综上所述，市政工程 EPC 联合体安全管理面临的挑战更多，

基于主体多元化的实际情况，各方在权责划分上存在一定模糊地带，而安全管理工作贯穿市政工程项目始终，需要各方高度重视。未来 EPC 联合体各方应从优化组织架构，优化制度流程和加强技术创新等层面入手，构建完善的组织架构，保证流畅的信息沟通机制，践行安全管理制度要求，并辅以信息技术，提高智能化管理水平，真正提高工程安全性。

参考文献

[1] 苏龙. 在 EPC 工程总承包模式下的智能化工程项目运作方式及设计管理探讨 [J]. 智能建筑, 2020(10): 16-18.

[2] 杨光磊, 马洪涛. EPC 工程总承包项目设计管理研究 -- 以越南某大型火力发电厂项目为例 [J]. 中国勘察设计, 2021(7): 60-63.

[3] 杨明, 吴映栋, 王玉松, 张艳红. 并行工程理论在 EPC 工程总承包项目中的实践与探讨 [J]. 浙江建筑, 2021, 38(2): 62-65.

[4] 史春芳, 苏岩, 孙君, 焦成飞. 联合体模式下工程总承包项目管理的探索与实践 [J]. 中国勘察设计, 2023(1): 67-69.

[5] 王龙, 胡永亮, 朱少东, 王振宇, 贾宝. EPC 总承包项目设计及施工管理存在的问题及对策 [J]. 工程技术研究, 2021, 6(23): 133-135.

[6] 骆敏杰. 浅析 EPC 总承包模式与传统工程承包模式在污水处理厂工程建设的实例对比 [J]. 现代物业 (中旬刊), 2022, 21(11): 157-159.

[7] 王华林, 江志学, 廖诗蔚, 潘伟明. 设计院开展工程总承包业务的实践和思考 —— 以设计牵头工程总承包项目为例 [J]. 建筑设计管理, 2021, 38(9): 16-22.

[8] 万冬君, 苏朝蓬. 基于 DEMATEL-ISM 的 EPC 联合体项目设计施工协同影响因素研究 [J]. 工程管理学报, 2023, 37(3): 96-101.

[9] 雷运良, 邓博, 沈伯昭, 樊浩锐, 荣立岩. EPC 模式下市政道路设计施工 BIM 应用现状及其发展策略 [J]. 交通工程, 2023, 23(2): 49-53.

[10] 卜庆萌, 李波, 李扬, 刘欢. 勘测设计企业视角下 EPC 总承包项目质量管理 [J]. 电力勘测设计, 2023(S01): 7-14.

超危大工程施工现场安全管理

冷棉

湖南省第四工程有限公司, 湖南 常德 415100

DOI:10.61369/ADA.2025010012

摘 要 : 为进一步加强超危大工程的安全管理工作, 督促指导参建各方主体落实责任, 有效防范化解重大风险, 遏制重特重大事故发生, 根据《住房和城乡建设部关于印发房屋市政工程施工安全专项治理行动方案的通知》(建质[2015]92号)要求, 住房和城乡建设部决定在全国范围内组织开展房屋市政工程施工安全专项治理行动。本文以某商业综合体项目为例, 针对超危大工程的特点及安全管理措施进行分析探讨, 供同行参考借鉴。

关 键 词 : 超危大工程; 施工现场; 安全管理

Safety Management of Ultra Hazardous Construction Sites

Leng Mian

Hunan Fourth Engineering Co., Ltd. Changde, Hunan 415100

Abstract : In order to further strengthen the safety management of ultra hazardous projects, supervise and guide all parties involved in the construction to fulfill their responsibilities, effectively prevent and resolve major risks, and curb the occurrence of major accidents, in accordance with the requirements of the "Notice of the Ministry of Housing and Urban Rural Development on Issuing the Special Action Plan for Construction Safety of Housing and Municipal Engineering" (Jianzhi [2015] No. 92), the Ministry of Housing and Urban Rural Development has decided to organize and carry out a special action for construction safety of housing and municipal engineering nationwide. This article takes a commercial complex project as an example to analyze and explore the characteristics and safety management measures of ultra hazardous engineering, providing reference and guidance for peers.

Keywords : ultra hazardous engineering; construction site; safety management

引言

近年来,随着我国经济的快速发展,建筑业也得到了飞速发展。建筑行业作为我国国民经济的支柱产业之一,其质量与安全直接影响着社会和谐稳定和经济持续健康发展。但在建筑施工过程中,由于违法分包、转包、挂靠等现象大量存在,加之施工现场管理不到位,导致工程建设领域事故频发^[1]。据统计,2023年全国共发生各类生产安全事故6.6万起,死亡9473人;其中,建筑业事故起数、死亡人数同比分别上升8.7%和8.3%,建筑施工企业连续两年成为我国第一重大事故主体,“三超”问题突出,违规使用人货电梯、违规搭设脚手架等行为屡见不鲜,给人民群众生命财产带来严重损失。

一、工程概况

该项目建筑面积13.8万平方米,结构类型为框剪结构,基坑开挖深度为-9.5米。由于该工程地下室和裙房的地下一层、二层均有4根主柱采用了后浇带施工工艺,而上部结构尚未完成混凝土浇筑,在后浇带位置形成了局部高大模板支撑体系。该区域由于没有排水系统,且周边无降水设施,一旦出现因混凝土凝结导致支撑材料失稳坍塌的情况,将对现场人员造成严重伤害,并对基坑及邻近建筑物造成威胁。同时,由于该工程紧邻城市主干道,北侧是快速路,南侧是人行道,东侧是住宅小区,西侧是铁路,

外部环境十分复杂,这就要求施工现场必须进行封闭管理,且实施分区分段施工,以减少安全风险^[2]。因此,该工程被列为超危大工程。根据《危险性较大的分部分项工程施工方案编制指南》(JGJ26-2011)相关规定:“危大工程的范围包括:深基坑、高支模、起重吊装与安装拆卸工程”,该工程属于危大工程中的危大工程。

二、超危大工程施工现场特点分析

(1) 工程体量大,施工周期长。该商业综合体项目总建筑面

作者简介:冷棉(1989.08-),男,汉族,湖南省常德市人,中级工程师,学历:本科,研究方向:建筑施工,身份证号码:430703198908121114。

积约32万平方米，其中地上26万平方米，地下6万平方米；基坑开挖深度达30米，采用直径4米、长度为128米的超大矩形旋挖机进行土方开挖。

（2）工期紧，项目在开工前需完成主体结构封顶、二次结构砌筑、管线迁改等一系列工序，由于工期较紧，整个项目需要多专业协同配合才能有序推进。

（3）交叉作业面多，对安全管控要求高。项目内有5个区域同时进行土建施工，存在大量的人货电梯及物料提升设备（如塔吊、爬架、外脚手架、临时用电）共用通道和空间，且各楼层之间相互连通，在平面布置上错综复杂，给现场安全管理带来了极大难度。

（4）大型机械多，特种设备安全风险突出。项目内部分区域采用高大支模、模板支撑系统，现场使用最大的是混凝土输送泵车2台、16T以上汽车吊9台，最大的钢结构跨度达20余米，涉及起重吊装设备、深基坑支护、钢结构、市政交通、钢结构焊接等众多领域。

（5）作业环境复杂多变，事故隐患突出。项目基坑紧邻城市快速路和居民区，周边建筑物密集，外部道路坡度陡，车辆通行频繁，交通流量巨大。此外，基坑四周还分布着燃气管道、给水管道、电力电缆、弱电通信管道等重要管线，一旦出现险情，后果不堪设想。

（6）高处坠落事故频发，风险防控压力大。项目地处闹市区，工人数量多、流动性强，农民工占比超过70%。为加快施工进度，项目采用“两班倒”的作业方式，作业人员工作时间长，劳动强度大，疲劳状态下操作失误概率增加，极易发生高处坠落事故。

（7）夜间施工作业频繁，安全管控难度大。项目整体高度达150余米，地下部分采用暗挖施工工艺，基坑开挖过程中要不断破除围护桩、回填土方、浇筑冠梁、设置支护结构，现场作业人员、施工机具、材料运输车辆众多，产生的噪音和振动将持续影响周边居民生活，且因项目临近商业繁华区，夜间照明效果差，视线条件不佳，夜间施工安全风险较高。

三、超危大工程施工现场安全管理措施

（一）超危大工程施工现场安全风险因素识别

根据该工程特点，总结安全风险因素如表1所示，其中红色（极高风险）包括深基坑、大型机械、高处坠落；橙色（高风险）包括交叉作业、夜间施工；黄色（中风险）包括临时用电、交通组织。

表1：超危大工程施工现场安全风险因素识别

风险类型	风险具体表现	潜在后果	管控建议
深基坑施工风险	基坑开挖深度30米，紧邻城市快速路、居民区及地下管线（燃气、电力等）	基坑坍塌、周边建筑沉降、管线破裂引发次生灾害（如燃气泄漏）	实时监测基坑位移、水位；采用分层开挖+钢支撑支护；制定应急预案并演练。
大型机械作业风险	使用超大矩形旋挖机、16T以上汽车吊9台、混凝土泵车2台，钢结构跨度20米	机械倾覆、吊装物坠落、碰撞事故	特种设备持证操作；设置安全警戒区；每日检查设备状态。

交叉作业风险	5个区域同时施工，塔吊、爬架、外脚手架共用通道，平面布置复杂	高空坠物、人员机械碰撞、通道堵塞	分时段错峰施工；设置硬质隔离防护；专人协调作业顺序。
高处坠落风险	建筑高度150米，农民工占比70%，“两班倒”作业疲劳操作	人员坠落伤亡、脚手架坍塌	强制使用安全带、防坠器；限制连续加班；开展防坠落专项培训。
夜间施工风险	夜间照明不足、视线差，临近商业区噪音控制严，暗挖工艺持续振动	操作失误、交通事故、居民投诉	补充移动照明设备；限制高风险夜间作业；安装噪声监测系统。
工期压力风险	多专业协同压缩工期，主体结构、管线迁改等工序穿插	抢工忽视安全措施、验收流于形式	合理制定进度计划；设置安全红线节点；加强过程质量抽查。
临时用电风险	现场用电设备密集（塔吊、焊机等），电缆敷设复杂	触电、火灾	三级配电二级保护；电缆架空敷设；每日巡检配电箱。
交通组织风险	外部道路坡度陡、车流量大，内部材料运输车辆频繁	车辆碰撞、物料散落伤人	规划专用运输路线；设置减速带和指示牌；高峰时段交通疏导。

（二）安全风险管控措施

（1）加强对施工人员的安全教育培训，强化安全意识^[3]。首先要提高自身对项目危险性较大分部分项工程和安全生产管理的认识，真正理解到超危大工程危险性较大的特点，然后在保证安全技术交底落实到位的前提下，进一步明确职责分工、责任区域、技术措施、安全注意事项等内容，提高施工人员的自我防护能力^[4]。

（2）强化特种作业人员持证上岗制度。根据天津市《关于进一步加强建筑施工领域特种作业人员持证上岗工作的通知》（津建质安函[2018]64号）要求，项目部要求特种作业人员必须经过专门的安全技术培训并考核合格后，取得特种作业操作证，方可上岗作业^[5]。

（3）做好材料源头管理，杜绝违规行为。各分包单位进场施工前应将所有物料进行查验，严禁使用不符合标准的钢管扣件、安全网、木方、竹胶板等，同时做好相应的登记备案工作，严禁分包队伍擅自更换材料供应商^[6]。

（4）严格按照规范及设计图纸进行施工。针对每一个分分项工程的特点，组织相关专业技术人员研究制定专项方案，建立专项应急救援预案；针对不同的风险点采取相应的管控措施，如：通过搭设满堂脚手架、挂设密目式安全网、设置临边防护栏杆等方法降低高处坠落的风险^[7]；利用附着式升降脚手架、爬梯等设备工具或设置爬梯通道，减少高处作业时的攀高涉险；对现场作业人员进行定期体检，排除职业禁忌证等。

（5）做好应急准备工作。项目部成立以项目经理为组长的安全生产领导小组，下设安全质量部，配备专职安全员，负责做好各项应急救援准备工作。

（三）事故隐患排查

（1）项目安全部根据安全生产责任制的要求，按照《建筑施工安全检查标准》（JGJ59-2011）和《危险性较大的分部分

项工程施工安全管理办法》(住建部令第37号)等相关法律法规对施工现场进行隐患排查,对查出的隐患及时整改,并认真做好记录^[8]。

(2) 施工单位、监理单位在接到建设主管部门的隐患整改通知后,应立即组织技术力量逐项进行分析研究,落实整改措施,做到责任、资金、时间、预案“四落实”^[9]。同时,应将排查出的安全隐患及时报送建设主管部门及行业主管部门。

(3) 对于重大事故隐患,由市建委安委会办公室挂牌督办,督促各有关单位限期消除隐患;需要进行处罚的,由市建委安委会办公室移交相关部门依法处理。

(4) 发现有下列行为之一的,由建设行政主管部门责令改正,处1万元以上3万元以下的罚款;情节严重的,责令停业整顿,降低资质等级或者吊销资质证书:(一)施工单位未实行安全生产责任制度或者未按规定设置安全生产管理机构、配备安全生产管理人员的;(二)施工单位主要负责人和专职安全生产管理人员未经安全生产知识考核合格的;(三)特种作业人员未取得特种作业操作资格证书上岗作业的^[10];(四)危险物品的生产、经营单位以及矿山、金属冶炼企业的主要负责人和安全生产管理人员未按照国家有关规定经过专门的安全生产培训并取得相应资格,上岗从事危险物品相关工作的。

(四) 应急救援演练

为提高应对突发事件的快速反应能力,确保发生事故时能够迅速、高效地展开救援工作,减少人员伤亡和财产损失,项目部在积极完善应急预案的同时,定期组织开展应急救援演练。

本次演练活动模拟在高空作业过程中,一名工人不慎从高空坠落,情况十分危急。项目立即启动应急预案并组织救援小组成员实施救援工作:(1)由现场安全员对事故进行初步调查,确认是否有人受伤及伤害程度;(2)按照职责分工,向领导汇报事故情况并请求支援;(3)成立临时救治小组,根据伤者伤势进行紧急处置;(4)设置警戒区域,维护现场秩序;(5)组织撤离至安全地带,等待救护人员到来;(6)全面调查事故原因,制定

整改措施,总结经验教训。整个演练过程紧张有序、配合密切,达到了预期效果。通过演练,使全体参演人员进一步明确了自身在事故发生时的职责,增强了应急处置能力,提高了自救互救技能,营造出“人人参与安全生产,事事关乎企业存亡”的良好氛围。

四、结语与建议

施工单位对超危大工程的安全生产是一项系统工程,必须全面落实主体责任。同时,由于各地区、各行业安全监管职责权限不同,加之各类风险点分布广泛、隐蔽性强,因此,施工单位应做好长期作战的准备,持续加强安全管控力度。在政府主管部门的大力推动下和全社会的共同参与下,我国建筑行业近年来取得了长足发展,但依然存在一些问题。特别是部分项目存在“重进度、轻质量”现象,导致“以量补价”、赶工期、抢任务等恶性竞争行为,给建筑工程质量带来隐患。作为行业主管部门,住房城乡建设部一直高度重视工程质量和安全,不断完善法律法规标准体系,健全质量安全监管体制机制,创新工作方法,提高治理能力。与此同时,随着建筑业改革开放的深入推进,新技术、新工艺、新材料、新设备得到广泛应用,加之城镇化建设步伐加快,高层、超高层建筑拔地而起,建筑规模越来越大,建设周期越来越短,随之也产生了许多新问题、新挑战。为此,住房城乡建设部通过开展专项治理行动、制定出台系列文件制度、加大违法违规处罚力度等方式,集中解决突出问题,堵塞监管漏洞,有效遏制重特大安全事故发生。针对目前施工现场存在的安全生产事故多发频发的态势,各地纷纷采取行动,开展“百日行动”“百日攻坚行动”“冬春安全整治攻坚战”等专项行动。各级监管部门严格按照上级部署要求,进一步强化企业主体责任落实,严格检查,严厉执法,全面排查治理安全隐患,切实改善安全生产条件,全力保障人民群众生命财产安全。

参考文献

[1] 刘超,肖伟霞.公路路基高边坡锚杆防护施工技术管理措施[J].中华建设,2020,(09):108-109.
[2] 姚屹雄.危大工程施工安全管理的问题与优化策略[J].居业,2024,(09):97-99.
[3] 刘勇.完善危大工程安全管理实施细则的几点建议——以《安徽省危险性较大的分部分项工程安全管理规定实施细则》为例[J].淮北职业技术学院学报,2024,23(03):108-112.
[4] 李鹏江,张有斌.危大工程施工现场安全管理问题及其优化对策研究[J].工程技术研究,2024,9(02):155-159.
[5] 高宝军.危大工程施工现场安全管理问题研究[J].四川建材,2023,49(11):227-229.
[6] 朱帆,张科攀.智能技术支持下危大工程的安全管理系统构建及应用[J].中国建筑金属结构,2023,22(10):145-147.
[7] 南京建设监理协会.建设工程安全生产监理工作指南[M].南京东南大学出版社:202306.172.
[8] 赵凯霞.危大工程施工安全管理的问题与优化策略[J].住宅与房地产,2023,(08):26-28.
[9] 付鑫浩.危大工程施工现场安全管理问题与对策[J].砖瓦,2022,(12):82-85.
[10] 杜中华.超危大基坑工程在施工中的安全风险隐患辨识浅析[J].新疆有色金属,2022,45(04):67-68.

中美装配式建筑在碳中和背景下的发展策略

陆俊

苏州嘉盛宝成建筑科技有限公司, 江苏 苏州 215101

DOI:10.61369/ADA.2025010013

摘要：中美两国作为建筑体量大国与碳排放主要来源，其装配式建筑发展路径与碳减排策略在政策导向、产业结构、技术演进及治理机制等层面呈现显著差异。本文系统梳理中美装配式建筑在碳中和背景下的发展逻辑重塑过程，深入对比双方近年来的发展现状与典型碳减排路径，进而提出具有战略性、前瞻性与可操作性的未来发展策略。分析发现，中国装配式建筑更倚重政策引导与体系推进，而美国则强调市场驱动与模块技术创新。面向未来，需重构建筑全生命周期的碳绩效体系，构建区域绿色建造生态，并强化金融机制、设计范式与智能系统的多维协同，以实现建筑业深度脱碳的目标。

关键词：装配式建筑；碳中和；中美对比；碳绩效；绿色建造

Development strategies of prefabricated buildings in China and the United States in the context of carbon neutrality

Lu Jun

Suzhou Jiasheng Baocheng Building Technology Co., LTD. Suzhou, Jiangsu 215101

Abstract：As major countries in terms of building volume and primary sources of carbon emissions, China and the United States exhibit significant differences in their development paths and carbon reduction strategies for prefabricated buildings, particularly in policy direction, industrial structure, technological evolution, and governance mechanisms. This article systematically examines the process of reshaping the development logic of prefabricated buildings under the backdrop of carbon neutrality in both countries. It provides a deep comparison of the current development status and typical carbon reduction pathways of both countries in recent years, and proposes strategic, forward-looking, and actionable future development strategies. The analysis reveals that China's prefabricated building sector relies more on policy guidance and system promotion, while the United States emphasizes market-driven approaches and module technology innovation. Looking ahead, it is essential to reconstruct the carbon performance system throughout the entire lifecycle of buildings, establish a regional green construction ecosystem, and enhance the multidimensional coordination of financial mechanisms, design paradigms, and intelligent systems to achieve the goal of deep decarbonization in the construction industry.

Keywords：prefabricated building; carbon neutrality; China and the United States comparison; carbon performance; green construction

引言

随着全球气候变化治理进入深度减排阶段，碳中和目标已由倡议走向强制履约。建筑行业作为能源消费与碳排放的核心部门，其减排路径直接关系国家“双碳”战略的实现路径与全球减碳进程的推进效率。装配式建筑以其工业化、集成化、标准化的建造逻辑，在资源节约、环境友好和能效提升等方面展现出巨大潜力，正逐渐从边缘技术选项转变为主流低碳建造范式。在此趋势下，中美两国在装配式建筑领域的实践路径与战略部署愈发值得系统性比较与交叉验证。

一、装配式建筑概述

装配式建筑是指把传统建造方式中的大量现场作业工作转移到工厂进行，在工厂加工制作好建筑用构件和配件（如楼板、墙

板、楼梯、阳台等），运输到建筑施工现场，通过可靠的连接方式在现场装配安装而成的建筑。装配式建筑主要包括预制装配式混凝土结构、钢结构、现代木结构建筑等，因为采用标准化设计、工厂化生产、装配化施工、信息化管理、智能化应用，是现

代工业化生产方式的代表^[1]。

装配式建筑具有以下优点：节能环保：装配式建筑通过标准化设计和工厂化生产，能够有效节约资源和减少施工污染。提高效率：这种建筑方式可以提升劳动生产效率和施工质量。广泛应用：在欧美和日本等国家，装配式建筑已经得到了广泛应用，类似于乐高积木的拼装方式。这种建筑方式不仅符合绿色建筑的要求，还能促进建筑业与信息化的深度融合。

二、中美装配式建筑发展现状与碳减排路径对比

（一）中美装配式建筑发展现状

1. 中国：政策驱动与高速发展

在碳达峰、碳中和战略指引下，中国的装配式建筑在近三年呈现高速发展态势。国家层面将装配式建筑视为绿色低碳转型的重要抓手，住房和城乡建设部（住建部）等部门相继出台政策规划，明确要求提高新建建筑中装配式比例。例如，中国设定到2025年新建建筑中装配式建造方式的占比达到30%的目标。各地落实这一目标，在住宅和公共建筑领域推行装配式建筑标准化设计与施工。政策扶持下，全国装配式建筑新开工面积快速攀升，2023年新开工装配式建筑面积约7.5亿平方米，占当年新建建筑面积的28.5%。这一比例较2015年的2.7%有显著跃升，表明了中国近年大力推广装配式建筑成效显著。技术路线上，中国以预制装配的钢筋混凝土和钢结构为主：2023年新开工装配式混凝土结构建筑约占65%，钢结构约占30%（其余为木结构等）。庞大的产能体系逐步形成，全国预制构件设计产能超2亿立方米，数千家构件生产企业支撑着住宅和公共建筑的构件供应。标准体系方面，中国已建立起完备的装配式建筑评价标准和技术规程，对构件生产、设计施工、验收运行等全过程加以规范^[2]。

2. 美国：市场导向与稳步推进

相较于中国，美国装配式建筑的发展更多由市场和技术推动，近年来在碳中和背景下也呈稳步上升趋势^[3]。联邦层面虽无强制性装配式建筑比例目标，但通过能源部、环保署等机构倡导，提高建筑业生产力与减碳效果的新兴技术。美国能源部于近年推动“先进建筑建造”（Advanced Building Construction, ABC）计划，资助工业化建造技术研发与示范，旨在以装配化手段实现高性能、零碳的新建和改造建筑^[4]。例如，2022年能源部拨款3.18亿美元支持7个团队示范快速、低成本且低碳的建筑建造技术，用于社区住房改造。在市场层面，美国装配式建筑主要以模块化建筑（工厂预制模块单元）和预制构件形式应用于住宅、公寓、学校、办公楼等领域。据模块化建筑研究所（MBI）编制的北美商业模块化建筑行业2024年年度报告，2023年北美商业模块化建筑新建项目价值约146亿美元，占新开工建筑的6.64%，较2015年的2.14%大幅提升，显示出装配式在美国正被日益接受。其中，美国模块化建筑广泛应用于多单元住宅（约占20%）、办公及政府建筑（18%）、教育建筑（15%）等公共建筑领域。技术路径上，美国偏好采用木结构和钢结构的装配化：2023年商业模块化项目中木框架结构约占50%，钢框架约42.9%，混凝土预制仅约7.1%。这一材料选择差异体现出美国多用于中低层住宅和临建模块。产业发展方面，美国拥有大量中小型模块化建筑企业，据模块化建筑协会统计，北美约有255家从事商业装配式建造的制

造企业。虽缺乏中国式的集中规划，但行业协会（如美国模块化建筑研究院）和地方政府在推动标准化方面发挥作用。

（二）中美装配式建筑碳减排路径对比

1. 绿色建材应用方面

中国大力推动绿色建材认证与低碳材料的规模化应用，以降低装配式建筑的碳足迹^[5]。近三年，住建部联合相关部门完善绿色建材标准体系，到2024年已发布87项绿色建材标准，51类建材产品建立了碳核算与分级认证规则，大宗建材的环境产品声明逐步普及。截至2022年，全国已有48个城市和地区试点政府采购优先采用绿色建材，用公共项目带动低碳材料市场。在装配式建筑中，中国广泛使用高性能低碳混凝土、再生钢材和新型保温材料，并推广装配式内装减少装修浪费^[6]。这些举措有力减少了建筑材料生产和施工过程中的隐含碳排放。相比之下，美国主要通过市场和法规引导绿色材料使用。联邦政府于2022年启动“清洁采购”（Buy Clean）计划，在基础设施和联邦项目中优先选用低碳水泥、钢铁等材料，部分州（如加州、华盛顿州）也立法要求提交建筑材料碳强度报告并设定上限^[7]。同时，USGBC在LEED认证中引入低碳材料优选和全生命周期碳绩效评分，鼓励开发商采用经环境认证的建材。美国装配式建筑企业尤其注重采用可再生木材（如CLT板材）等低碳材料构件，这不仅降低了embodied carbon（隐含碳），也符合当地建筑规范对可持续性的要求。

2. BIM+LCA 协同机制方面

中国和美国均认识到将建筑信息模型（BIM）与生命周期评估（LCA）相结合，是优化装配式建筑设计、降低碳排放的有效手段。中国近年在大型公共建筑和住宅项目中试行“BIM正向设计+碳排放核算”模式，通过在BIM模型中集成各构件的碳排放因子，实现设计阶段的碳足迹模拟和优化。住建部出台的绿色建筑评价标准和建筑碳排放计算规范中，开始纳入全生命周期碳评估要求，并鼓励依托BIM进行数据采集与计算^[8]。部分领先企业建立了基于BIM的建材碳数据库，实现设计方案变更时即时更新碳排放量。据报道，中国典型公共建筑的单位面积全生命周期碳排放量约为美国的两倍（与电力结构和建造方式差异有关），因此中国正加速探索通过BIM+LCA协同来缩小差距。而在美国，BIM和LCA的结合应用已由行业自发实践并逐步制度化。众多设计公司使用插件工具（如Tally、One Click LCA）直接从BIM模型提取工程数量，用于快速生成LCA报告，比较不同材料和构造方案的碳排放。LEED v4.1就已设立全生命周期碳分析的试点学分，而LEED v5（2025年发布）更将LCA纳入强制评估，并把近一半的认证权重与碳减排挂钩。由此，2022年以来美国许多大型项目在设计阶段即开展结构和围护系统的碳优化分析，以选择低碳方案。相较中国的自上而下要求，美国是在市场需求和认证导向下自下而上地实施BIM+LCA协同机制，但目标一致：提高数据透明度和决策科学性，在设计源头减少不必要的碳排放。

3. 智能建造系统方面

智能建造的导入为装配式建筑提质增效、减碳降耗提供了新路径。中国将“智能建造与建筑工业化协同发展”作为战略方向，推广建筑机器人、物联网监测、大数据分析等技术在预制构件生产和施工现场的应用。近年来出现了全自动钢筋加工流水线、智能混凝土预制工厂、现场装配机器人等，使构件生产精度

和施工效率大幅提高，施工现场人员和机械的碳排放相应降低。政府支持建设了一批“智慧工地”，利用传感器网络实时监控能耗和排放，实现精细化管理^[9]。装配式建筑与智能装配装备的结合，在桥梁、高层建筑等项目上取得显著成效。例如，中国首个全装配式建造的高桩码头项目通过智能化装配，码头装配率达到72%以上，较传统结构预制构件数量减少80%以上，缩短建设工期40%以上，节约钢筋混凝土用量30%以上，水上周转材料使用量减少90%以上”。这证明智能建造与装配式技术结合能够大幅提升资源利用效率。反观美国，智能建造更多由科技公司和先行企业推动。在装配式住宅工厂中，美国企业开始采用机器人焊接、自动化木构件切割等技术，提高生产精度和减少材料浪费。建筑工地上则应用无人机和3D扫描进行施工进度和质量监控，减少因误差造成的返工材料浪费。美国能源部的ABC项目亦关注这一领域，如支持研制自主喷涂绝缘机器人大幅降低人工能耗。

三、中美装配式建筑在碳中和背景下的未来发展策略

在建筑业加速脱碳转型的全球背景下，中美两国装配式建筑体系的发展已步入战略重构期，其未来发展路径将不再局限于构件预制与工厂化施工等传统范畴，而是围绕碳中和目标进行系统性再定义。

中国装配式建筑未来发展策略应聚焦三大核心维度：全生命周期碳绩效引导、区域低碳建造生态重塑、以及系统集成能力再构建。在碳绩效引导机制方面，必须强化装配式建筑碳指标的硬约束地位。未来应制定装配式建筑专属碳排放基准值体系，并在项目立项、设计审查、竣工验收等阶段嵌入碳审计程序，建立从设计源头到运维终点的碳路径评价模型，推动BIM与碳评估工具的深度集成。此外，应建立装配式建筑项目的碳信用量化机制，构建建筑碳账户制度，以数据化手段提升碳管理的可视化与决策透明性。在区域层面，建议着眼于低碳建造生态系统构建，推动以装配式建筑为核心节点的绿色产业集群协同。具体可考虑在具备工业基础的城市设立碳中和建造产业特区，鼓励构件生产、绿色材料、数字平台与碳资产运营企业聚合发展，打通建材、设计、施工、运维全过程碳闭环链条^[10]。系统集成能力方面，需打

破当前装配式项目中部件优先与系统滞后的结构性失衡，构建以装配式主体、机电、内装、运维一体化的集成建造体系，提升协同效率与减碳效能的边际回报率。

美国在装配式建筑未来发展中，应强化以低碳设计驱动的模块创新机制、跨产业协同模型以及绿色投资金融体系的制度支撑。在设计导向层面，建议拓展“构造—性能—碳足迹”三元耦合设计范式，以模块单元为基础引入可复用、可拆卸、可扩展的构造机制，提升装配式建筑在使用周期中的灵活性与碳减排适应性。在此基础上，强化高集成度建造系统包的研发与迭代，形成低碳结构+机电集成+隔热一体化的工业产品线，取代传统现场装配逻辑。在协同模型层面，应深化与能源、交通、市政等部门的数据共享与系统对接，以构建多规融合的区域碳排放动态响应系统，提升装配式建筑在城市低碳系统中的嵌入性与响应能力。与此同时，应推动地方政府制定针对装配式建筑的净零性能地图，把能源消费、材料碳强度与结构系统集成度指标分区设限，引导开发商采纳低碳技术组合。在投融资体系方面，联邦及州政府需建立装配式建筑绿色金融试点，设立碳中和建筑专项债券，鼓励银行等金融机构嵌入建筑碳绩效评估机制，推动绿色评级与融资成本挂钩，提升资本对低碳建筑价值的识别与响应能力。

四、结语

在碳中和战略约束下，中美两国装配式建筑正面临由量的扩张向质的跃迁转型，如何实现高质量、低碳化、系统性发展，成为未来战略部署的关键议题。分析表明，中国应继续深化以碳绩效为核心的政策架构构建，通过完善全过程碳定额机制、推进区域建造生态协同及优化集成建造系统，提升装配式建筑在碳管理体系中的制度嵌入度与执行效能。而美国则应基于其模块化建造优势，强化低碳设计范式与技术集成路径，推动绿色投融资机制常态化，构建高效灵活的市场响应体系。在两种发展模式之外，构建中美双边绿色建造合作机制亦具有现实意义，通过碳数据互通、标准协同、金融工具共享等方式实现治理经验与低碳技术的互补共赢。

参考文献

[1] 刘亮俊, 李鹏飞, 秦志浩. 碳中和背景下绿色装配式建筑发展前景展望 [J]. 绿色环保建材, 2021, (06): 132–133.
[2] 赵茜茜. 碳中和背景下装配式住宅建筑设计技术研究 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2025, (13): 85–87.
[3] 陈广城, 顾连胜. “双碳”目标下装配式建筑碳减排路径研究 [J]. 中华民居, 2024, 17(09): 48–50.
[4] 张思凡, 杨晖, 汤小芳, 等. 装配式建筑碳排放量核算与减排策略研究综述 [J]. 煤气与热力, 2024, 44(03): 11–16.
[5] 孙利军. 推广装配式建筑助力碳达峰碳中和 [J]. 浙江经济, 2023, (08): 76–77.
[6] 刘永国, 韩立红. 装配式建筑碳排放影响因素及减排路径研究: 基于改进的DEMATEL–ISM方法 [J]. 工程管理学报, 2024, 38(04): 26–31.
[7] 韩宇恒, 于哲, 陈滕. 基于碳排放系数法对不同装配率的装配式建筑碳排放测算与分析 [J]. 建筑结构, 2023, 53(S1): 1337–1342.
[8] 贾潇, 刘刚, 占升. “双碳”背景下装配式建筑的技术发展 [J]. 智能建筑与智慧城市, 2023, (01): 115–117.
[9] 徐静. 双碳背景下建筑企业装配式建筑业务绿色低碳发展路径研究 [J]. 价值工程, 2022, 41(17): 165–168.
[10] 徐辛. 明日世界: “双碳”目标下的未来城市与建筑的思考 [J]. 建筑与文化, 2023, (03): 39–41.

110kV 输变电工程绿色设计应用研究 ——以雄安新区容城 1 号变电站为例

孟磊

上海电力设计院, 上海 200000

DOI:10.61369/ADA.2025010014

摘要： 本研究以雄安新区容城 1 号变电站为对象，基于可持续发展与生态建筑理论，结合新区地理环境与绿色建筑指标要求，开展 110kV 输变电工程绿色设计实践。通过土建设计中环保材料应用与建筑布局优化、电气设计的高效设备选型和智能配电系统构建，以及噪声控制、废弃物处理等环保措施，实现节能、节水、节材目标。数据显示，变电站年能耗较传统设计降低约 20%，线损率降低约 10%，非传统水源利用率超 30%，材料损耗率控制在 5% 以内。

关键词： 110kV 输变电工程；绿色设计；雄安新区；容城 1 号变电站

Research on the Application of Green Design in 110kV Power Transmission and Transformation Project — Taking Rongcheng No.1 Substation in Xiong'an New Area as an Example

Meng Lei

Shanghai Electric Power Design Institute, Shanghai 200000

Abstract： This study takes Rongcheng No.1 Substation in Xiong'an New Area as the object, based on the theories of sustainable development and ecological architecture, combined with the geographical environment of the new area and the requirements of green building indicators, to carry out green design practices for 110kV power transmission and transformation projects. Through the application of environmentally friendly materials in civil engineering design and optimization of building layout, efficient equipment selection and intelligent power distribution system construction in electrical design, as well as environmental protection measures such as noise control and waste disposal, the goals of energy saving, water saving, and material saving are achieved. Data shows that the annual energy consumption of the substation is reduced by about 20% compared with traditional design, the line loss rate is reduced by about 10%, the utilization rate of non-traditional water sources exceeds 30%, and the material loss rate is controlled within 5%.

Keywords： 110kV power transmission and transformation project; green design; Xiong'an New Area; Rongcheng No.1 Substation

引言

雄安新区作为国家级新区，以打造绿色、智能、创新城市为使命，是区域协调发展与生态文明建设的关键。在输变电工程建设中，新区坚守绿色可持续理念，这为 110kV 输变电工程绿色设计带来机遇与挑战，推动传统建设模式革新。在此背景下，以容城 1 号变电站为对象开展绿色设计研究意义重大。研究将探索绿色设计应用，形成可复制经验，通过量化评估展现其节能减排优势，增强行业认可度。容城 1 号变电站绿色设计实践不仅满足新区环保要求，还为生态敏感区域工程树立标杆。

一、输变电工程绿色设计理论

输变电工程绿色设计的理论基础主要来源于可持续发展理论与生态建筑理论。可持续发展理论强调在满足当代需求的同时不损害后代满足其自身需求的能力，这一理念为输变电工程的绿色

设计提供了重要的指导原则^[1]。具体而言，绿色设计需要从整体性原则出发，综合考虑技术、经济及环境影响等多方面因素，以确保电网的安全、经济与绿色运行。生态建筑理论则进一步强调通过优化资源配置和减少环境负面影响来实现人与自然的和谐共存^[2]。例如，在输电线路设计中，应遵循环境影响最小原则，尽

量避免对生物多样性敏感区域和自然保护区的干扰，同时采用环境友好型材料和建设方法以降低施工过程中的污染和资源消耗^[3]。

二、容城 1 号变电站工程概况

（一）地理位置

容城 1 号变电站位于雄安新区容城组团北翼安置区 RC02-04 街坊中南部的 RC02-04-20-02 地块内，地理坐标处于东经 115° 50′ 至 116° 10′、北纬 38° 45′ 至 39° 05′ 之间。站址周边地形以平原为主，原始地表高程约 10.4 米，规划场地标高按 12 米设计，高于周边场地 0.3-0.5 米，既满足防汛要求，又形成与城市绿地的自然地形过渡。站址东侧紧邻规划 XN23 路，南侧为 18 米宽规划绿地及城市干道豪丹路，西侧为规划公园绿地，北侧为规划 XE12 路。该区域地质以第四纪黄土和砂质黏土为主，土壤承载力稳定，为接地系统设计提供天然条件：通过建筑物大底板和桩基作为自然接地极，搭配人工敷设的 - 40×5 铜排水平接地体与垂直接地极，形成复合接地网。结合场地 12 米标高与周边 0.4 米的地形高差，接地网布置同步考虑排水坡度，将接地系统与地下电缆隧道、雨水调蓄池等结构联动设计，既降低接地电阻，又利用地形实现水土保持与接地效能的协同优化。

（二）周边环境

站址东侧规划绿地与南侧 18 米宽绿化带构成“城市绿地 - 建筑界面”的生态过渡带，形成“建筑 - 绿地 - 城市”三级互动体系。建筑外墙采用带芦苇图案的铝镁锰复合板，与绿地内种植的黄杨球、人工草坪等低矮植被形成视觉呼应，通过 0.4 米的标高差在建筑周边形成微地形生态沟。雨季时，屋面雨水与场地径流经绿地渗透净化后汇入雨水调蓄池，实现“建筑排水 - 绿地净化 - 市政调蓄”的闭环系统。站区绿化严格选用雄安适生植物，成活率不低于 90%，采用“乔木 + 灌木 + 草坪”复层结构，既增强生态系统稳定性，又通过植被缓冲降低建筑噪声传播。南侧 2 公里处季节性河流虽非直接水源，但变电站雨水管网末端设置调蓄池，汛期减少外排流量以减轻河流行洪压力；主变事故油池采用重力式油水分离技术，确保废水达标排放，避免对河流水质造成污染，实现建筑与区域水文循环的协同保护。

（三）工程规模与功能

作为雄安新区首座满足工业建筑节能设计 2 星标准的 110 千伏户内变电站，项目总占地面积 4835.4 平方米，建筑面积 3715.84 平方米，主体采用地上两层钢框架 + 地下一层钢筋混凝土结构。设计安装 2 台 50 兆伏安变压器，110 千伏侧 2 回出线、10 千伏侧 24 回出线，配套 135 米电缆隧道（单仓净尺寸 2.1×2.0 米），实现“紧凑布置 - 立体出线 - 智能运维”布局。建筑退东侧道路红线 16.5 米、南侧红线 9.66 米，退让空间与规划绿地通过生态植草砖铺地、低矮灌木围合连成整体，使建筑边

界自然融入城市绿化体系。外墙采用仿石材铝镁锰复合板，屋顶设置混凝土 + 钛锌金属板组合构造，既呼应“风拂芦苇荡”的设计立意，又通过金属表皮起伏造型与绿地景观形成动态互动。电气系统采用智能巡检、一键顺控技术，主变自冷方式较风冷减少 5kW 能耗，全站综合能耗较传统变电站降低 15% 以上，实现功能高效与生态界面的有机统一。



三、项目定位与绿色建筑指标要求

（一）项目定位

容城 1 号变电站作为雄安新区首批重点供电项目之一，其定位不仅在于满足新区快速发展的电力需求，更在于成为绿色、可持续建筑的示范工程。根据《雄安新区建筑风貌导则》的要求，市政配套类建筑需与城市环境相协调，并体现精细化、整体化的设计理念^[7]。具体数据见表 1 所示。容城 1 号变电站的设计充分响应了这一要求，将“共享型融入式”理念贯穿于整个项目规划中，力求实现与周边城市景观的和谐统一。此外，该变电站还被赋予了探索新区低碳发展路径的重要使命，其设计方向需兼顾城市迭代发展与上位规划理念的落实。

表 1 具体指标数据

分类	具体指标	数据
地理位置	站址地块位置	容城组团北翼安置区 RC02-04 街坊中南部的 RC02-04-20-02 地块
	地块边界尺寸	东西向长约 23.1m，南北向长约 63.1m
	退线距离	退东侧道路红线 16.5 米，退南侧用地红线最近 9.66 米，退西侧用地范围线 12.14m，退北侧用地红线 8.5 米
	总用地面积	4835.4m ²
建筑布局	建筑面积	3715.84m ² （配电装置楼）+79.16m ² （消防水泵房）
	场地设计标高	12.0m（高于周边场地 0.3-0.5m，高于内涝水位 2.8m）
	进站道路	宽度 4.0m，转弯半径≥9m，环形道路

从区位角度来看，容城 1 号变电站位于雄安新区核心区域，周边规划有多个城市公园和公共空间。这种特殊的地理位置要求变

电站的设计必须融入周边环境，避免对城市景观造成割裂感。因此，项目团队在设计初期便明确了“隐于城，融于景”的设计目标，通过优化建筑布局和采用覆土、结建等方式，最大限度地减少对土地资源的需求，同时提升与周边自然环境的协调性。

（二）绿色建筑指标要求

容城1号变电站的绿色设计严格遵循了国内外相关绿色建筑评价标准，并结合雄安新区的特殊需求，制定了涵盖节能、节水、节材及室内环境质量等多维度的具体指标要求。在节能方面，项目参考了《建筑节能设计标准》和《低碳建筑技术导则》，通过优化围护结构保温隔热性能、选用高效电气设备以及应用清洁能源等措施，力求在全生命周期内实现碳排放量的最小化。例如，变电站的外墙和屋顶采用了350mm厚的铝镁锰岩棉夹芯板，其传热系数降低至 $0.49\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ，较传统设计减少了约66%的热损失。此外，外窗玻璃配置为6Low-E+12Ar+6双层中空玻璃，并内充氩气，整窗传热系数仅为 $1.9\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ，遮阳系数降低到0.41，显著提升了建筑的隔热性能。

在节水方面，容城1号变电站采用了雨水收集系统和高效节水器具，以实现水资源的循环利用。根据设计，站区内的雨水收集池可满足站内绿化和部分冲洗用水的需求，非传统水源利用率达到30%以上，符合《绿色建筑评价标准》中关于水资源节约的相关要求。

节材方面，容城1号变电站优先选用了可循环利用的建筑材料，如再生钢材和环保型混凝土，其可循环材料使用比例超过20%。同时，通过精细化施工管理，项目将材料损耗率控制在5%以内，远低于行业平均水平^[8]。这些措施不仅减少了资源浪费，还降低了施工过程中的碳排放。在室内环境质量方面，变电站的设计充分考虑了运行人员的舒适度需求，通过自然采光和机械通风系统的结合，确保了室内空气质量和温湿度的适宜性。此外，项目还采用了低挥发性有机化合物（VOC）的装饰材料，以减少对室内环境的污染。

四、变电站绿色设计举措

（一）土建设计绿色举措

在容城1号变电站的土建设计中，环保材料应用与建筑布局优化相辅相成，共同推动绿色建筑目标的实现。项目优先选用新型墙体和绿色装饰材料，外墙采用铝镁锰板复合100mm厚岩棉保温板，传热系数低至 $0.49\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ；外窗配置6Low-E+12Ar+6双层中空玻璃并充氩气，传热系数仅 $1.9\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ，大幅降低热量损失，提升围护结构保温隔热性能。这些材料兼具可回收性与低环境负荷特性，其中铝镁锰板耐久性强、抗腐蚀性优，能延长建筑使用寿命；岩棉生产碳排放低且防火性能良好；低VOC涂料则改善室内环境质量，减少对人员健康危害。

在建筑布局上，项目充分考量雄安新区地理气候，采用南北

通透形式，结合大面积玻璃幕墙与遮阳设施，实现自然采光最大化，同时避免夏季过热。通风设计中，通过可调节百叶窗、优化开窗位置，利用风压与热压效应促进自然通风，降低空调使用频率；屋顶架空层搭配光伏板，既增强隔热效果，又提供清洁能源。环保材料与科学布局的协同作用，使变电站年能耗较传统设计降低约20%，为输变电工程绿色设计积累了宝贵经验。

（二）电气设计节能降耗

在容城1号变电站的电气设计中，高效电气设备选型与智能配电系统构建起绿色化转型的技术核心。为降低运行能耗与环境影响，项目采用低损耗变压器和高效开关柜等核心设备，主变压器运用非晶合金铁芯材料，使空载损耗较传统硅钢片变压器降低约30%，负载损耗减少15%以上；开关柜选用洁净空气绝缘型GIS设备，以氮气与氧气混合气体替代强温室效应的六氟化硫气体，全寿命周期内碳排放减少超97%，折合减碳量达5911.29tCO₂e，既提升节能性能，又消除气体泄漏的环境风险。

智能配电系统则通过智能化技术实现电能的精准管理与高效利用。系统集成智能监测、控制和优化调度功能，借助高精度传感器与智能终端实时采集分析运行数据，动态调整供电策略，自动优化变压器档位和无功补偿装置状态；其强大的故障诊断和自愈能力，可通过大数据与人工智能算法预测设备风险、快速隔离故障，减少停电时间与能源浪费^[9]。最终，智能配电系统使变电站线损率较传统设计降低约10%，与高效设备选型共同为输变电工程的绿色化发展提供了兼具创新性与实用性的实践范例。

（三）环保设计

在容城1号变电站的环保设计中，噪声控制与废弃物处理是两大核心板块。针对变压器、电抗器等设备产生的电磁噪声和机械噪声，设计团队从设备选型、布局优化和隔音设施三管齐下。选用低噪声主变压器，较传统设备降噪约10分贝；将高噪声设备集中布置在远离居民区处，并通过双层隔音结构外墙与吸声材料填充，削弱噪声传播；在变电站周边设置绿化带和隔音屏障，进一步阻隔噪声扩散，实测厂界噪声完全符合国家标准。

废弃物处理方面，施工阶段严格分类建筑垃圾，可回收材料专业回收，不可回收物无害化处理，同时采用装配式建筑技术减少垃圾产生^[10]。运营阶段，废旧电气设备通过专业渠道提取贵金属和可再利用部件，生活垃圾按“减量化、资源化、无害化”原则分类处置。从施工到运营，容城1号变电站通过系统化的噪声控制与废弃物处理措施，既降低对周边环境的影响，又推动资源循环利用，为输变电工程的可持续发展提供了实践范例。

五、结论与建议

综上所述，容城1号变电站通过系统化绿色设计，在土建设计、电气设计与环保设计等方面实现创新突破，成功达成节能、节水、节材及环保目标，显著降低工程全生命周期内的资源消耗

与环境影响。其采用的低损耗电气设备、智能配电系统、环保材料及生态友好型施工运营策略，有效提升了变电站运行效率与环境效益。该项目不仅满足雄安新区高标准供电需求，还为输变电工程绿色化转型提供了实践样本，其量化评估方法与技术路径对全国绿色电网建设具有示范价值，为后续工程在生态敏感区域的建设提供了重要参考，有力推动了电力行业可持续发展理念的落地实施。

参考文献

[1] 李爱晶;王玺;赵笑笑;朱宗旺.110kV 输电线路工程绿色设计研究 [J].山东电力高等专科学校学报,2022,25(6):27-30.

[2] 李炼群;胡宇行;徐凡.变电站工程绿色低碳应用分析 [J].工程抗震与加固改造,2024,46(2):10006-10006.

[3] 孙浩;孟庆成;海阳春.110 kV 输电线路的设计及优化路径探究 [J].今日自动化,2024,(4):61-62.

[4] 于志力;萨仁高娃;阿如汉;张振;聂建春.基于绿色低碳理念的内蒙古电网变电工程技术应用分析 [J].内蒙古电力技术,2024,42(2):55-60.

[5] 徐凌悦;黄晓.输变电工程对环境的影响及防治措施分析 [J].当代化工研究,2023,(8):194-196.

[6] 远航;周慧荣.(封面内容介绍)雄安新区容西片区首座变电站 -- 段沙 110 千伏变电站顺利投运 [J].电力科学与工程,2022,38(8):11-11.

[7] 周国良.共享型融入式变电站的实践思路分析——雄安新区河西 110 千伏变电站的设计理念 [J].地产,2021,(24):165-167.

[8] 王梦林;程梦雨;康皓;姜立.变电建筑碳排放计算方法研究与低碳案例实践 [J].智能建筑与智慧城市,2023,(4):98-100.

[9] 王卓.基于全生命周期的 110 kV 变电站降碳方案研究 [J].电工电气,2022,(1):66-69.

[10] 张浩.变电站绿色建筑探讨 [J].中国新技术新产品,2011,(24):77-77.

档案展览策划的流程要点及优化路径

丁健峰, 李姝霓

航天印刷所, 北京 100048

DOI:10.61369/ADA.2025010015

摘 要 : 档案展览策划工作的主要内容是档案编研与档案利用, 档案展览策划人员十分注重档案展览工作的内容完善与机制优化, 用档案说话既要尊重客观事实, 又是需要充分调动相关工作人员的主观能动性, 是具有创造性和专业性的工作。本文就将重点介绍档案展览策划工作, 围绕展览设计方向探讨策划工作的主要流程内容, 分析不足缺陷问题, 给出具体的工作优化路径。希望全方位深入理解档案展览策划的工作特色, 提升内容策划与设计结合的整体工作水平, 深化档案工作存史资政育人的积极作用。

关 键 词 : 档案利用; 档案展览; 展陈设计; 主要流程; 优化路径

Key Points and Optimization Paths of Archives Exhibition Planning

Ding Jianfeng, Li Shuni

Aerospace Printing House, Beijing 100048

Abstract : The main content of archives exhibition planning work is archives compilation and archives utilization. Archives exhibition planners attach great importance to improving the content and optimizing the mechanisms of archives exhibition work. Using archives to speak requires respecting objective facts while fully mobilizing the subjective initiative of relevant staff. It is a creative and professional job. This article will focus on introducing the work of archives exhibition planning, exploring the main process content of planning work around the direction of exhibition design, analyzing deficiencies and problems, and providing specific work optimization paths. We hope to comprehensively understand the work characteristics of archives exhibition planning, improve the overall work level of content planning and design integration, and deepen the positive role of archives work in preserving history, assisting government, and educating people.

Keywords : archives utilization; archives exhibition; exhibition design; main process; optimization path

前言

档案展览是直观展示档案利用和档案编研成果的关键性工作, 是结合档案资源发挥档案教育功能的重要形式。策展团队结合馆藏资源、馆藏特色、学术成果、通过对档案进行精心梳理、组合和展示设计, 充分将档案背后的故事和历史价值呈现给观众。可以说, 档案展览是档案利用最直观也最具艺术化的呈现方式。档案展览策划工作的主要流程内容比较丰富, 下文将具体展开研讨。

一、档案展览策划工作的主要流程要点

档案展览策划工作注重策划, 更强调设计, 在企业单位内部开展档案展览策划工作, 需要根据办展目的对展览组织工作开展全盘规划。其中包括主题选择、展陈项梳理、展陈大纲与展陈内容设计、以及档案展览艺术策划, 下文分别来谈。

(一) 选择主题

选择主题包括档案展览主题概括, 初步确立档案展览策划内

容, 这一流程通常需要以策展专家为主导, 结合馆藏实际情况和展览目标, 科学合理、严谨清晰的逐步确立。档案展览的展示内容、主题资源通常以文献档案, 声像档案和实物档案为主所以策展工作中如何充分结合馆藏档案资源, 发挥档案优势显得尤其重要。

对于档案工作单位本身而言, 主题的合理确定也是档案编研、档案利用等工作成果的重要外化形式, 同时对于参观观众也会起到普及历史教育和引人深思、催人奋进的精神鼓舞效果。档

作者简介:

丁健峰 (1992-), 男, 汉族, 山西临汾人, 职称: 工程师, 学历: 硕士研究生, 研究方向: 展陈设计;

李姝霓 (1995-), 女, 汉族, 河北秦皇岛人, 职称: 工程师, 学历: 大学本科, 研究方向: 业务管理。

案编研的重要主题，叙事结构往往是档案展览主题确立的一个重要参考标准。

档案相关工作单位为配合重大活动有时也会开展档案展览活动，例如各种节日、纪念日或者大型纪念、庆祝活动。这些活动则可以通过选择与展览目标相统一的典型档案资料，以便于进行展览主题的选择。

所以主题是档案展览策划工作的核心灵魂，它能够决定展览创办的基本思路与方向，甚至影响展览的逻辑体系构建以及展示设计方式。选择主题过程中要做好主题提炼工作，保证主题准确、内涵丰富、客观呈现展览效果，把握档案展览时代热点以及焦点。同时，展览的档案选题也应兼顾到内外部观众的情感认同，达到既契合单位的核心工作内容，又服务观展人群的具体需求。例如某些单位会全面围绕档案主题，提高政治站位，为服务单位员工创建重要的精神纽带，以档案展览形式教育员工，提高员工思想觉悟，同时又达到宣传工作目的。

在举办档案展览活动过程当中，主题选择必须把握时机、讲求时效性、确保展出及时。档案展览策划在主题选择阶段需要提前研究，深挖档案宣传价值，发挥档案编研工作的特有优势，在主题选择方面争取找到最独特的视角，为后续展览设计工作内容丰富、展览水平提高创造条件。

（二）展陈项梳理形成展陈大纲

在展陈项梳理形成展陈大纲时，应确保档案展览中大量主题叙事元素与档案展品能够严格围绕展览主题进行选择及编研，对空间布局优化与光影色彩进行有序调整，必要时可采用多媒体技术作为辅助展示形式以求展览效果达到最佳水平。所筛选的档案内容应该注重内容策划的有效延伸，全方位多角度对展览主题进行诠释。提高展览水准，优化展览效果。考虑到档案展品内容组成比较复杂，存在碎片化、离散化、去情境化等诸多特征，所以单独通过某一单品类展品来表达主题思想可能性不大，要在筛选档案展览内容时形成零散档案的体系化、知识化、逻辑化、学术化的叙事结构，应充分发挥策划人员和档案工作人员以及设计人员的能动性作用。策划设计人员在充分了解档案馆藏内容时，还要准确把握档案之间良好的关联关系，最终筛选出优秀的展品内容，形成展览完整的组织架构，追求一种量体裁衣的档案展览内容筛选效果^[1]。最终形成相对完备并可执行的展陈大纲。

从档案编研或利用工作的角度分析，档案展品的筛选过程特别注重研究和创新，深度融入筛选工作机制很有必要。在展品筛选组织过程中不断填充内容，丰富展览活动内容，实现档案从理念到实体层面的有效转变。在不断丰满档案展品展览体系过程中，筛选的基本原则则要做到少而精，而且要体现实用性和主题性原则。在分析馆藏档案内容时，必须提取精华并进行展示，保证所展示展品内容尊重史实，没有异议，与主题活动提纲挈领，将它们展示于合适位置。某些可能与展览主题脱节或者不相干的馆藏内容无需展示，同时也要筛选掉雷同内容，满足上述的少而精原则。在筛选档案时，针对档案中的珍品、真迹展示也常有必要，但也应根据档案展品本身的敏感属性与受保护属性综合考量。

（三）展览设计

档案展览活动设计一定要保证较高鲜活性，展览工作包含知识性、历史性以及艺术鉴赏性等诸多属性，且其政治属性较强，文化宣传属性融合。所以，必须注重所运用文化内容的鲜活性，为展览设计方案设计推陈出新。

在展览设计环节，主要包含总体设计、空间设计、动线设计、立面设计（包含平面设计与色彩设计）、展项设计等。

总体设计要保证所筹办档案展览活动综合设计到位，例如布置档案展览展板，保证所设计文字精炼，图文并茂，确保照片、档案文件以及相关实物展示均能有效结合，综合展示档案展览设计价值。同时可根据实际需要，充分利用声、光、电、色等多种多媒体技术手段，体现档案展览设计的互动性、直观性以及可操作性，烘托主题展览氛围，提高展览设计水平。

这里以色彩设计为例，色彩设计要追求从和谐角度设计优化，保证档案展览设计给人愉悦感，刺激观众的沉浸体验，可以考虑在满足档案主题及编研成果的本质特征和档案相关单位的视觉识别系统的前提下采用设计学上经典的色彩理论来满足色彩组合形成与应用要求。在色彩理论方面讨论展厅设计可参考的如互补色配色设计原则，在色相环基础上满足180°范围内设计两种颜色，构成相对和谐的双色组合。可以考虑在设计中加入一个红色鲜亮色调来展示档案内容，然后互补色用绿色并调暗，暗化程度恰好与红色互补，形成强烈的对比色，提高色彩对比度，吸引更多观众在参展过程中注意，也增加展览中色彩冲突感。例如，在某单位档案展览色彩设计中，其档案海报设计就采用互补色色彩组合，突出汉字部分红色色彩，然后背景采用淡绿色作为互补色，体现互补色彩冲突感，如此就令档案展览画面更加淡雅和稳重。

又比如更复杂的四色配色方案，在色环选择中采用两对互补色，在色彩排列位置方面相互垂直，形成正方形色环，如此就能形成12色互补，包含多个色环。在这些色环中所采用的是黄色、紫色、红色、绿色等多种颜色。色彩设计要把握整体性原则，确保档案展览设计内部空间色彩绝对统一，避免出现色彩过于杂乱情况，引发观展受众视觉不适。当然，灵活的色彩设计则能够令空间中多种材质都能发挥各自优势，例如通过色彩差异为观展受众心理上造成差异。可以通过墙面灯光来影响色彩组合效果，更好还原色彩。档案展示设计中色彩的设计也会受到环境温度、湿度等影响而产生一定的褪色效应。设计人员要深度思考档案展览设计与色彩设计细节，保证二者设计相互契合，为观展受众同时带来视觉与心灵上的至高享受。

（四）策划档案展览的艺术要素

在档案展览艺术要素策划过程中，一定要确保视觉传达与展示展览内容丰富，体现档案资料知识的视觉化表达与有序有效传播。大体来讲，单位展示视觉化档案内容需要将复杂的知识、信息内容形象化、直观化表达，有效降低知识的传播难度。另外就是采用纸质档案、声像档案、实物档案、艺术化处理的展项等形式来体现视觉化手段优越性，激发并强化展览受众的思维意识，满足受众在审美及精神层面的追求。客观讲，档案展览并非是简

单罗列、堆砌展品，应该是有效融合了包括平面设计、空间元素、造型、多媒体运用等多手段共同来揭示和引导档案展览主题，体现展览叙事化、艺术美学等诸多内容，体现策划档案展览的高艺术价值^[2]。

在视觉传达方面，则希望通过展厅空间大小与动线设计来体现展品组合有效有序排列，确保档案图文资料、实物展品的比例结构有所优化，通过展板造型优势特色，结合色彩、灯光等手段烘托良好氛围，这些都会客观影响档案展览活动的最终呈现效果。满足视觉传达与主题表达艺术要求，共同体现展览优秀内涵。

二、档案展览策划工作的缺陷问题指出

如上文所述，档案展览策划工作可能存在档案展品相对单一、展览形式单调问题。实际项目工作中展览策划工作也常受限于场地空间，办展规模不大。同时可能还伴随筹备时间相对紧张、办展经验不足、经费缺少等客观问题。为有效解决这些问题，必须提出档案展览策划工作缺陷问题的有效解决对策，尽可能地追求对展览策划活动的有效、有序改善^[3]。

三、档案展览策划工作缺陷问题的优化路径

（一）突出档案展品个性化特色

客观来说，许多档案相关工作单位展览策划工作缺乏特色，个性化不足，无法体现单位馆藏特色或编研成果，给观展人员的印象并不深刻。或者由于办展规模较小，所呈现的档案展品内容并不丰富，教育意义不足。为解决这些问题，应该在档案展品方面多思考，凸显个性化特色。例如在实地展览空间不足或经费紧张的情况下，可以通过开展线上档案展览策划及展陈工作，通过线上网站展示档案展品内容，但是也应尽量避免由于线上观展体验无法带来沉浸感和感染力的不足之处。亦或者将馆藏档案特色、珍贵且多元化的展品以特殊历史记忆为主题的形式呈现出来，保证档案展品与历史使命、单位文化等进行历史联动，达到教育与展示的良好效果。这也是在突出档案自身个性化特色，传承档案的精神文化内涵，汇聚特色展品，展现特别展览成果^[4]。

（二）彰显多元化展览手段

所谓多元化展览手段，主要要求档案工作部门能够突破传统展板与展柜结合的展览局限性，而选择运用先进的科学技术来激发声、光、电联动活力，营造仿真场景氛围，突破传统思维惯性

来设计展览现场，采用更加短、平、快且引人入胜、印象深刻的展览方式手段，使展示档案效果更加理想。

另外，可以考虑采用先进的信息化技术来展示档案展项，例如采用3D实景还原技术、VR虚拟现实技术、全息影像技术、多媒体数字技术等。但是应当尽量避免这些技术在应用实践过程中所需要的大量资金投入，做到预算可控。对于预算不足的项目可更多利用计算机多媒体技术，通过PPT图片、影像展示形式来体现主题思想，生动再现档案主题展览内容，强化档案展览的视觉沉浸感以及冲击力。同时通过展板、展柜、对媒体及空间布置等各因素的有机结合，深化展览档案效果呈现形态，将办展水平与品位提高^[5]。

（三）确保展览策划专业性优化

最后，应确保档案展览策划工作的专业性优化，要体现出档案工作办展的专业化、学术化、和体现高水平编研利用成果，档案展览策划是档案编研的成果性与创造性的综合体现。要将最有特色、影响力的档案展示出来，克服展览工作难度，围绕展览主题、编研成果、大纲编纂、馆藏整理、展览活动方案设计、展品说明、陈列设计、宣传推广等方面来完善办展流程，体现展览工作的有效性与有序性。在本文看来，档案管理与展览工作必须邀请专业团队，或者由主办单位内部展览部门全程管理和参与，保证档案展览的高质量呈现。在办展过程中，要展现极高的理论水平和极佳的政治素养，同时展现艺术设计专业性内涵，选拔专业人才共同参与到档案展览活动中，完善内容与设计方案，共同办好展览。在设计方案方面，必须体现展示策划工作的专业性，提高展览品质。

四、总结

在档案编研成果展现和档案利用的工作当中，档案展览作为重要且直观的呈现形式，深受各方认可与支持。为此，档案工作部门需要加强对档案展览办展人才的有效培养，建议开设与展览活动相关的档案管理、展示专业课程，为档案展览工作创造利好条件。档案部门需要积极承担相应职责，将档案展览工作作为服务档案、服务社会、服务历史的重要途径。基于档案部门实际工作内容坚持做到档案展览活动始终围绕主题展开，并协同展览设计专业做到精准传递和呈现，力求与时俱进。在档案编研、展陈大纲梳理、展览设计形式、技术、手段等多方面下功夫、花精力、推陈出新，以求组织呈现出最精彩的档案展览，做好档案教育工作，体现档案资源资政育人的客观价值。

参考文献

- [1] 陈思宇,严瀚钦.中法深厚友谊的珍贵缩影——法国展出“外交官眼中的光影华夏”大型影像档案展[J].中国档案,2024(12):38-39.
- [2] 付彩霞.数智时代档案展览的组织与传播[J].档案天地,2025(1):44-46.
- [3] 张楠.面向文化传承的档案在线展览设计[J].山西档案,2025(2):123-125.
- [4] 梁悦.基于心流理论红色档案展览设计向度与策略研究[J].云南档案,2024(4):46-48.
- [5] 方兵,孙翠丽.红色档案展览的情感传播:筑基,共情,赋能[J].兰台内外,2024(14):79-81.

装配式景观装置的设计与实践

何昊天

康奈尔大学, 美国 14850

DOI:10.61369/ADA.2025010016

摘要： 装配式景观装置因其模块化构造、高效施工与绿色可持续特征，已成为城市空间设计中的重要组成部分。鉴于乐高理念及在康奈尔大学约翰逊艺术博物馆进行的户外布展实践，本文提出三位一体的装配式景观设计理念：标准模块—接口设计—拼接逻辑。通过多类型模块单元组合与连接策略，构建出具备形态可变性、功能可拓展性与场景适应性的景观装置体系。研究证明，借助乐高式模块理念构建的装配式景观系统，具备良好的工程通用性与景观美学表现力。

关键词： 装配式景观；乐高理念；模块拼接

Design and Practice of Prefabricated Landscape Installations

He Haotian

Cornell University, America 14850

Abstract： Prefabricated landscape installations, characterized by modular construction, efficient assembly, and green sustainability, have become a vital component of urban spatial design. Inspired by LEGO and the outdoor exhibition design practice of Johnson Museum of Art at Cornell University, this study proposes a trinity concept of prefabricated landscape design: standard modules – interface design – assembly logic. By combining diverse module types with strategic connection methods, the system achieves morphological variability, functional scalability, and contextual adaptability. The research demonstrates that the LEGO-inspired modular approach endows the prefabricated landscape system with strong engineering versatility and expressive landscape aesthetics.

Keywords： prefabricated landscape; LEGO concept; modular connection

景观设计采用装配式理念，正逐步调整城市公共空间的营造途径，与传统的施工手段相比，装配式景观拥有模块化构造、施工周期短以及后期维护容易等优势，可切实应对多样化场地及功能需求，乐高拼装模型设计逻辑具有单元模块标准化、接口通用性与组合方式的多元性，对景观装置模块化设计起到了启发作用，借助引入类似乐高的结构组织理念，景观装置不只能实现构件的多样排列与替换，还能在维持整体结构无损的情形下实现功能的延伸与形态的改新，提高景观设计在实际使用时的适应水平与生命周期质量。

一、基于乐高理念的装配式景观系统构建机制

（一）模块设计原则与尺度标准化逻辑

模块体系的构建必须建立在明确的模数控制逻辑之上。设计团队通过收集城市公共空间中主要景观构件（座椅、高台、围栏、展台等）的常用尺寸数据，将人机工学作为基本尺度依据，设定模块的主模数为300mm×300mm×300mm。该尺寸不仅与常规板材（如1200mm×2400mm）的开料比例相容，也便于运输与现场组装。在功能类型方面，模块体系被划分为承重模块、装饰模块与交互模块三类。承重模块作为结构主体，主要承担竖向荷载传导与整体稳定性维持功能，装饰模块使用铝板或可回收复合材料构造，主要承担立面视觉统一与肌理丰富功能^[1]。交互模块则集成光电元件或感应系统，适用于夜间照明、声音交互与信息展示等场景。

在连接界面设计中，所有模块均须满足快速拼接、重复拆装

与误差容纳能力三项要求。为此，可预设三类基础连接机制，包括承插连接（孔槽对位、插入锁固）、螺栓固定连接（用于结构加固与防脱落）、磁吸卡扣连接（主要用于装饰与交互件快速替换），以满足现场施工快速定位的技术要求。

（二）模块拼接方式与结构组装逻辑

在装配式系统中，模块组合方式决定了结构完整性与空间表达的多样性。设计阶段主要采用横向拼装与并列布置两种策略：前者适用于路径引导、边界框架等线性节点，后者多用于平台铺装，通过插槽与扣板完成横向连接。在立体结构构建中，系统采用柱式叠加与旋转插接相结合的方式提升高度表达力^[2]。柱式叠加借助钢套筒与定位销实现1~2.4m的竖向层级，旋转插接则通过齿状锁扣每90°定位一次，适用于构建螺旋楼梯、展台等复杂构件，有效控制结构变形，提高组装稳定性。

面对复杂场地如曲线边界与高差过渡，系统设置多角度转接构件与三角拼接模块进行边界细化。研究在Rhino平台进行了模

拟，模拟构建了斜面拼接数据库，其中包含 30°、45°、60°、75° 四种常规转角角度的连接件。模拟选取某社区广场观景台项目作为设计样本，观景台边缘总长为 18.2 米，需完成两个直角转折与一个弧线过渡段的处理。数据显示，使用 45° 倾角构件组合构建的观景台边缘，拼缝宽度控制在 5mm 以内，模块连接误差平均不超过 1.8mm，视觉连续性良好，结构稳定性满足《园林景观设计施工技术规范》的相关要求^[3]。

（三）系统集成平台与模型化设计工具

在设计施工全流程中，参数化建模平台提供了模块系统的高效集成能力。以 Rhino+Grasshopper 为建模核心平台，设计人员构建了模块几何生成器，能够通过输入参数（如长、宽、高、编号、接口类型等）自动生成模块模型。系统逻辑中预设每个模块的节点连接规则，确保不同模块之间的拼装可行性。配合参数化建模平台，模块数据库的建立成为标准化运维的基础支撑系统^[4]。数据库按功能、尺寸、材料与接口方式四级分类，每组模块均附带参数表、材质说明、节点连接图与施工编号信息，设计人员可通过标签查询系统实现一键调用，提升设计流程自动化水平。

在施工实施阶段，系统通过参数模型生成装配指导图与构件施工脚本。装配指导图包括分区拼装图、接口定位图与节点编号图三类，施工人员依据图纸可快速完成模块对应位置的拼装定位与接口对接，确保结构装配顺序与安全要求一致。施工脚本则导出为 Excel 表单格式，标明构件编号、起吊顺序、安装工具、操作时间与验收流程等信息，为现场施工组织提供精细化、流程化的操作依据。

二、模块拼接在景观装置实践中的适配路径

（一）场地分析导向的构型响应机制

城市开放空间常呈现不规则结构，具备多转折边界、狭长形态或局部突起等特点，对构件布设形成几何约束。在模块系统中，基于统一模数原则构建的标准单元可在二维与三维方向上实现高效布置，通过设置等间距、等厚度的模块连接关系降低边界干扰效应。现代景观空间中常集成休憩、引导、信息展示与互动功能，不同使用需求需通过物理结构实现有机组合。模块拼接通过通用接口机制将各类功能单元统一纳入装配序列，避免因功能冲突导致的结构割裂问题。

在环境协同方面，模块系统还需考虑地形起伏、水体边界、绿化节点等自然要素的嵌套关系^[5]。通过设置多级台阶单元、嵌入式底座或可调节节点构件，系统可在不破坏原始地貌的前提下完成稳定布设，提升系统与环境整体融合度。

（二）施工装配与可维护性的工程实现

施工层面的适配性表现为模块结构的预制效率、装配逻辑清晰性与拼接精度控制能力。装配式模块通常在工厂完成预加工，再运输至现场进行快速拼装其加工精度直接影响装配效率与整体结构稳定性。采用标准金属构件（如铝型材、热镀锌钢）制作的模块在激光切割与数控折弯工艺下可实现 ±1mm 以内的加工误

差，接口对接误差率控制在 3% 以下，有效保障构件拼装密闭性与整体刚性。

在装配操作中，拼接节点结构形式需兼顾力学稳定以及施工的便捷程度，常用节点包括插接、锁扣以及螺栓三类，垂直方向承压结构宜采用插接节点，调整角度可通过锁扣节实现成，构件加固多采用螺栓节点，为顺应长期运营的环境，模块系统应拥有高效拆装及维护能力，各构件相互间要采用可逆拼装策略，允许在周边结构完好无损的情况下替换单体模块，在构件底部可增设快速定位槽及滑轨接口，有助于在拆装进程中同步把控对位精度及作业效率，降低维护活动对整体装置稳定性的影响^[6]。

（三）交互性能与体验层面的设计扩展

交互机制作为增强场地活力与提升使用黏性的关键手段，其结构宜嵌入模块体系，而非额外构建，设计时需将光、电、声等传感与输出组件集成到功能模块内，且要预留安全可靠的供电通道与布线路径，保证模块装配完成后依然拥有完整的智能响应功能。

在感知响应阶段，模块单元需依据位置与人流密度的情形设置感应触发条件，在嵌入式光源或者声音播报系统中，可采用 5V 直流低压供电机制及无线触发控制，实现耗能控制和分区管理，在用户适配性方面，模块设计需兼顾儿童、老年人和其他特殊人群在使用安全与功能识别方面的能力^[7]。所有外露构件边缘需进行 ≥ 20mm 的圆角打磨处理，选用的表面材料需有抗污、防滑及热稳定的特性，且需把控模块离地高度，让其适配坐卧行为的标准，在行为数据反馈维度方面，系统可通过局部嵌入的传感器采集用户接触频率、互动时长与停留热区等数据，反向修正模块组合策略及位置摆放。

三、典型案例的应用分析

（一）高校庭院多功能景观装置实践

某综合类高校北区教学楼与图书馆之间的庭院面积约 600 平方米，场地狭长，平均宽度 7.2 米，存在功能单一、照明不足、设施老化等问题。2024 年，作者参与康奈尔大学约翰逊艺术博物馆（Johnson Museum of Art）户外展览概念设计并得到启发：其户外装配式景观装置在美观性、便捷性基础上，通过模块化设计、参数化调控与智能交互集成，构建了高度灵活可变的展示系统，可针对不同展览主题与作品特性实现快速适配，充分满足博物馆展品高频更新的需求。采用 300mm 标准钢框架模块，通过螺栓与插接组合形成基础结构，单个模块可承载 ≥ 200kg，满足雕塑、装置艺术等重型展品需求。同时模块还可根据场景进行变化。透明展柜模块：集成防紫外线玻璃与恒温恒湿系统，适配文物、书画等精密展品；磁吸展板模块：金属磁吸表面可快速吸附展板、灯箱或多媒体屏，灵活布展平面作品。模块采用磁吸卡扣 + 螺栓加固双重连接机制：装饰性模块（如展板、灯箱）通过磁吸接口实现 30 秒内快速更换；承重结构则通过热镀锌钢螺栓固定，确保抗风载（≥ 8 级）与抗震（设防烈度 7 度）安全。施工使用电锤、电动螺栓枪与激光水平仪进行装配。

表1 项目运行期内关键技术评估

评估维度	测量指标	基准值	实测值	评价结论
装配效率	单模块平均拼装时间 (min)	≤ 12	8.4	满足高效施工标准
结构稳定性	承载试验变形 (mm)	≤ 3.0	1.6	模块承载稳定, 变形可控
用户参与度	日均互动停留人次 (人)	≥ 120	184	使用频率显著提升
夜间识别率	亮度覆盖范围 (Lux/m²)	≥ 25	31.2	可视性优良

评估结果显示, 施工周期缩短 35%, 停留率提升 53%, 夜间照度为原系统 2.7 倍, 结构稳定性与拼缝精度均符合设计要求。

(二) 商业街区互动式展示装置试点

项目位于市中心商业步行街交汇区, 占地约 180 平方米, 日均人流超 8200 人次, 原有展板与坐凳结构单一, 驻足率仅 7.6%, 信息误读率达 22.3%。为提升空间利用与导视效率, 团队构建基于 600mm 模数的互动展示系统, 采用双层拼接结构整合展示与休憩功能, 装置高度控制在 1.6 米以内。设计环节通过 SketchUP 布设和节点逻辑校验, 材料为铝合金支架与亚克力面板, 连接采用铰接销轴与锁定件。系统内嵌压力感应与语音模块, 电源由 24V 直流与太阳能联合供电。施工实行定点组装, 三人一组每小时拼装 4.5 组模块。运行阶段连续监测 7 天, 评估维度涵盖安装精度、交互响应率、导视准确率与材料完整性, 数据由 MCU 主控板与红外感应器同步采集并上传至街区管理平台分析。结果如表 2 所示:

表2 项目的关键指标评估结果

评估维度	测量指标	基准值	实测值	评价结论
安装精度	模块拼缝误差 (mm)	≤ 4	2.3	拼装准确, 误差可控
交互响应率	单次交互识别成功率 (%)	≥ 90	94.6	识别稳定, 反馈及时
导视准确率	图文指引误读率 (%)	≤ 10	5.8	信息清晰, 指引有效
材料完整性	表面划痕发生率 (/100m²)	≤ 3	1.0	面板耐磨, 视觉一致性良好

结果显示, 系统交互响应率达 94.6%, 导视准确率 94.2%, 拼缝精度高, 运行稳定, 单模块更换时间不超 12 分钟, 维护效率良好。

四、结束语

模块拼接作为装配式景观构建体系的结构基础, 其核心价值不仅在于实现高效建造和灵活配置, 更在于推动公共空间设计范式由静态建构向动态生长的系统转变。通过标准模数、接口通用与功能复用的构造机制, 景观装置获得了更强的环境适应力、构型延展性与人机互动潜能。在复杂场地条件、多元使用需求和运行可持续性的协同要求下, 模块拼接技术展现出集成化、数据驱动化与体验导向化的综合能力, 为景观介入式系统提供了可演化、可维护、可持续的技术路径。

参考文献

[1] 成立, 曹媛媛. 融合绿化景观的装配式桥梁防撞护栏设计方案研究 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2025, (04): 190–195.
[2] 曾汀汀. 装配式构建方式在园林景观设计中的应用策略探析 [J]. 佳木斯职业学院学报, 2024, 40 (10): 52–54.
[3] 翁小妹. 装配式立体绿化技术在园林景观中的应用 [J]. 中国建筑金属结构, 2024, 23 (08): 127–129.
[4] 张毅. 预制装配式混凝土滴灌花槽立体景观施工技术探讨 [J]. 四川建筑, 2024, 44 (03): 256–257+261.
[5] 马嘉. 基于晶格空间打印的景观构筑物设计及建造研究 [D]. 西安建筑科技大学, 2024.
[6] 何明静. 装配式立体生态植被防护挡墙研究 [J]. 铁道建筑技术, 2024, (05): 171–174.
[7] 杨中举. 基于装配式理念的可移动餐饮建筑设计研究 [D]. 中国矿业大学, 2024.

劲性复合桩在高层建筑基础设计中的优化应用

王世林

上海水石建筑规划设计股份有限公司，上海 200235

DOI:10.61369/ADA.2025010017

摘 要： 随着城市化进程的加速和土地资源的日益紧张，高层建筑已成为现代城市发展的重要组成部分。然而，高层建筑对地基承载力和变形控制的要求极高，传统的桩基础形式往往难以满足这些要求。近年来，劲性复合桩作为一种新型的地基处理技术，逐渐在高层建筑基础设计中崭露头角。它通过刚性桩与柔性桩的结合，有效平衡了承载力与变形控制的需求，展现出显著的技术优势和经济效益。本文旨在探讨劲性复合桩在高层建筑基础设计中的优化应用，以期为相关工程实践提供有益的参考。

关 键 词： 劲性复合桩；高层建筑；基础设计；有效应用

Optimization Application of Stiff Composite Piles in Foundation Design of High-rise Buildings

Wang Shilin

Shanghai Shuishi Architectural Planning and Design Co., Ltd. Shanghai 200235

Abstract： With the acceleration of urbanization and the increasing scarcity of land resources, high-rise buildings have become an important component of modern urban development. However, high-rise buildings have extremely high requirements for foundation bearing capacity and deformation control, and traditional pile foundation forms are often difficult to meet these requirements. In recent years, as a new type of foundation treatment technology, rigid composite piles have gradually emerged in the design of high-rise building foundations. It effectively balances the requirements of bearing capacity and deformation control through the combination of rigid piles and flexible piles, demonstrating significant technical advantages and economic benefits. This article aims to explore the optimized application of stiff composite piles in the design of high-rise building foundations, in order to provide useful references for related engineering practices.

Keywords： rigid composite pile; high rise building; basic design; effective application

引言

随着城市化进程的加速推进，高层建筑凭借其土地利用率高、空间利用充分等优势，成为城市建筑的主要发展方向。在高层建筑建设中，基础工程作为建筑结构的关键部分，直接关系到建筑的整体安全与稳定性。传统的基础形式在面对复杂地质条件和高荷载需求时，逐渐暴露出局限性，难以满足现代高层建筑的建设要求。劲性复合桩作为一种新型桩基础形式，融合了刚性桩和柔性桩的优点，具有承载能力高、变形小、施工效率高显著特点，在高层建筑基础设计中得到了广泛应用。然而，在实际应用过程中，劲性复合桩仍存在设计不合理、施工质量不稳定等问题，影响其优势的充分发挥。因此，深入研究劲性复合桩在高层建筑基础设计中的优化应用，具有重要的理论意义和工程实用价值^[1]。

一、劲性复合桩的工作原理与技术优势

（一）工作原理

劲性复合桩是由刚性桩（如预应力混凝土管桩）和柔性桩（如水泥土搅拌桩）组合而成的复合桩基础。在施工过程中，先施工柔性桩，形成水泥土桩体，然后在水泥土桩体未完全硬化前，将刚性桩插入其中，使刚性桩与柔性桩共同工作，形成一个整体

的承载体系^[2]。

在承受上部荷载时，刚性桩凭借其较高的强度和刚度，迅速承担大部分荷载，并将荷载传递至深部土层；柔性桩则通过与周围土体的摩擦力，发挥侧摩阻力作用，辅助刚性桩共同承担荷载。同时，柔性桩对周围土体具有一定的挤密加固作用，可改善土体的物理力学性质，提高地基土的承载力。通过刚性桩和柔性桩的协同工作，有效提高了基础的整体承载能力和稳定性。

（二）技术优势

与传统桩基础形式相比，劲性复合桩具有多方面的技术优势。首先，承载能力高。劲性复合桩通过刚性桩和柔性桩的协同作用，充分发挥了两种桩型的优势，能够承受高层建筑带来的巨大竖向荷载和水平荷载。在相同地质条件和荷载要求下，劲性复合桩的单桩承载力明显高于传统灌注桩或预制桩^[3]。

其次，变形控制能力强。由于刚性桩和柔性桩的共同作用，劲性复合桩在承受荷载时能够有效控制基础的沉降和不均匀沉降，满足高层建筑对基础变形的严格要求。特别是在软土地基等不良地质条件下，劲性复合桩的变形控制优势更为突出。

再者，施工效率高。劲性复合桩施工工艺相对简单，可采用常规的桩基础施工设备进行施工，且施工过程中对周边环境的影响较小，噪音低、无泥浆污染。同时，其施工速度快，能够有效缩短工期，降低建设成本。此外，劲性复合桩还具有材料利用率高、适应性强等特点，可根据不同的地质条件和工程需求，灵活调整桩长、桩径等参数，满足多样化的工程应用场景。

二、劲性复合桩在高层建筑基础设计中存在的问题

（一）设计参数选取不够精准

在劲性复合桩设计过程中，设计参数的选取对桩基础的承载性能和经济性起着关键作用。目前，设计人员在确定桩长、桩径、刚性桩与柔性桩的配合比等参数时，往往依据经验公式和工程类比，缺乏对地质条件的深入分析和精确计算。例如，在确定桩长时，未充分考虑土层分布和各土层的力学性质，导致桩长过长或过短，既浪费材料又影响基础承载能力^[4]。

对于刚性桩与柔性桩的配合比，由于缺乏统一的设计标准和计算方法，不同设计人员的取值差异较大，难以实现刚性桩和柔性桩的最佳协同工作效果。此外，在考虑荷载组合和作用效应时，对高层建筑复杂的受力状态分析不够全面，导致设计的桩基础在实际使用过程中存在安全隐患。

（二）施工质量难以保证

劲性复合桩的施工质量直接影响其承载性能和使用寿命。在实际施工过程中，存在诸多影响施工质量的因素。首先，施工工艺控制不严。在柔性桩施工时，水泥浆的配比不准确、搅拌不均匀，会导致水泥土桩体强度不足；刚性桩插入时，若插入时间控制不当，在水泥土桩体硬化后插入，会破坏水泥土桩体结构，影响刚性桩与柔性桩的协同工作^[5]。

其次，施工设备和施工人员技术水平参差不齐。部分施工单位使用的施工设备陈旧、性能不稳定，无法满足劲性复合桩的施工要求。施工人员缺乏专业培训，对施工工艺和技术要点掌握不熟练，容易出现操作失误，如桩位偏差过大、垂直度不达标等问题，严重影响桩基础的施工质量。

此外，施工现场管理混乱，质量监督体系不完善，对施工过程中的关键环节缺乏有效的监督和控制，导致施工质量问题无法及时发现和整改^[6]。

（三）检测与评估体系不完善

目前，针对劲性复合桩的检测与评估方法相对滞后，无法全面、准确地评价桩基础的质量和承载性能。传统的桩基检测方法，如低应变法、高应变法和静载试验等，在应用于劲性复合桩检测时存在一定的局限性。低应变法主要用于检测桩身完整性，难以准确判断刚性桩与柔性桩的结合情况；高应变法和静载试验虽然能检测桩的承载力，但成本高、周期长，难以大规模应用。

同时，缺乏对劲性复合桩长期性能的监测和评估。劲性复合桩在长期荷载作用下，其承载性能和变形特性可能会发生变化，但目前尚未建立完善的长期性能监测体系，无法及时掌握桩基础的工作状态，为工程的安全使用带来隐患。此外，检测标准和规范不统一，不同地区、不同工程对劲性复合桩的检测要求和方法存在差异，给检测结果的准确性和可比性带来影响^[7]。

三、劲性复合桩在高层建筑基础设计中的优化应用策略

（一）优化设计参数选取

加强地质勘察工作，提高地质勘察的精度和深度。在设计前，应采用多种勘察手段，如钻探、物探、原位测试等，详细了解场地的地质条件，包括土层分布、岩土力学性质、地下水情况等。根据地质勘察结果，结合高层建筑的荷载特点和结构形式，运用先进的计算理论和方法，对劲性复合桩的设计参数进行精准计算和优化。

在确定桩长时，应综合考虑持力层的位置、厚度和承载力，确保桩端进入可靠的持力层，并满足最小桩长要求。对于桩径的选择，要根据荷载大小和土体性质进行合理确定，在保证承载能力的前提下，尽量减小桩径，降低成本。在刚性桩与柔性桩的配合比设计方面，可通过建立数值分析模型，模拟不同配合比下桩基础的受力和变形情况，结合工程实际经验，确定最佳的配合比方案，实现刚性桩和柔性桩的协同工作最优化^[8]。

同时，在设计过程中，要充分考虑高层建筑的风荷载、地震作用等水平荷载的影响，对劲性复合桩的水平承载性能进行验算，确保桩基础在复杂受力状态下的安全性。

（二）改进施工工艺与加强施工管理

优化施工工艺，制定科学合理的施工流程和操作规范。在柔性桩施工时，严格控制水泥浆的配比和搅拌时间，确保水泥土桩体的均匀性和强度。采用先进的搅拌设备和施工技术，如深层搅拌技术、高压旋喷技术等，提高水泥土桩体的施工质量。在刚性桩插入过程中，要准确控制插入时间，在水泥土桩体初凝前完成插入，并确保插入过程的垂直度和深度符合设计要求。

加强施工设备管理，定期对施工设备进行维护和保养，确保设备性能稳定。引进先进的施工设备和技术，提高施工效率和质量。同时，加强对施工人员的培训和管理，提高施工人员的专业素质和操作技能。定期组织施工人员进行技术培训和安全教育，使其熟悉劲性复合桩的施工工艺和技术要点，掌握正确的操作方法。建立健全施工质量管理体系，加强施工现场的质量监督和管

理^[9]。对施工过程中的关键环节，如桩位放样、成桩过程、桩体质量检测等，进行严格的质量控制，确保施工质量符合设计要求和相关标准。

（三）完善检测与评估体系

研发和应用先进的检测技术和方法，提高对劲性复合桩质量和承载性能的检测准确性。结合低应变法、高应变法、静载试验等传统检测方法的优点，探索新的检测技术，如声波透射法、钻孔取芯法等，实现对劲性复合桩桩身完整性、刚性桩与柔性桩结合情况以及桩端持力层质量的全面检测。

建立对劲性复合桩长期性能的监测体系，在工程建设过程中，对劲性复合桩的沉降、位移、应力等参数进行长期监测。通过实时监测数据，掌握桩基础在长期荷载作用下的工作状态，及时发现潜在问题并采取相应的处理措施。同时，加强对劲性复合桩检测标准和规范的研究和制定，统一检测方法和评定标准，提高检测结果的可比性和可靠性。鼓励开展对劲性复合桩检测技术的研究和创新，推动检测技术的发展和进步。

四、劲性复合桩在高层建筑基础设计中的应用案例分析

（一）案例概况

某高层建筑位于城市中心区域，地上20层，地下2层，建筑高度80米，总建筑面积4万平方米，框筒结构。该建筑场地地质条件复杂，表层为3-5米厚的杂填土，其下为8-10米厚的淤泥质土，再往下为粉质黏土和砂卵石层，桩基持力层砂卵石层。设计要求基础的单桩承载力特征值不低于3000kN，沉降量不超过50mm。

（二）基础设计方案

考虑到场地地质条件和建筑荷载要求，经综合比选，最终采用劲性复合桩作为基础形式。设计参数如下：柔性桩采用水泥土搅拌桩，桩径900mm，桩长27米，水泥掺量20%；刚性桩采用先张法预应力混凝土管桩，桩径600mm，桩长27米，插入水泥土桩体内27米。刚性桩与柔性桩的间距为2.1米，核心筒按正方形布置，柱下根据轴力大小分别布置4~8根不同桩数的独立承台，基础

计算按桩筏有限元模型计算^[10]。

（三）优化应用措施

在设计阶段，通过对地质勘察数据的详细分析，结合数值模拟计算，对劲性复合桩的设计参数进行了优化调整。将刚性桩与柔性桩的配合比进行了多次模拟试验，确定了最佳的插入深度和间距，提高了桩基础的承载能力和协同工作性能。

在施工过程中，严格按照优化后的施工工艺进行施工。采用新型的深层搅拌设备和高精度的桩位定位系统，确保了水泥土桩体的搅拌质量和桩位的准确性。加强对施工人员的培训和管理，对每道施工工序进行严格的质量检验，保证了施工质量。

在检测阶段，采用低应变法、声波透射法和静载试验相结合的检测方法，对劲性复合桩的桩身完整性和承载性能进行了全面检测。同时，在建筑内部和基础周边设置了沉降监测点，对基础的沉降进行长期监测。

（四）应用效果

工程竣工后，经过检测和监测，劲性复合桩的各项指标均满足设计要求。单桩承载力检测结果显示，平均单桩承载力特征值达到3500kN，超过设计要求。基础沉降监测数据表明，建筑竣工一年后，最大沉降量为35mm，沉降均匀，满足设计规定的沉降控制标准。该工程的成功应用表明，通过优化设计和施工，劲性复合桩能够在复杂地质条件下为高层建筑提供可靠的基础支撑。

五、结语

劲性复合桩凭借其独特的技术优势，在高层建筑基础设计中具有广阔的应用前景。然而，当前在应用过程中存在设计参数选取不精准、施工质量难以保证、检测与评估体系不完善等问题，制约了其优势的充分发挥。通过采取优化设计参数选取、改进施工工艺与加强施工管理、完善检测与评估体系等一系列优化应用策略，并结合实际工程案例的实践验证，能够有效提高劲性复合桩在高层建筑基础设计中的应用水平，保障建筑结构的安全与稳定。在未来的高层建筑建设中，应进一步加强对劲性复合桩的研究和应用，不断探索创新，推动劲性复合桩技术的发展和完善，为高层建筑基础工程提供更优质、更可靠的解决方案。

参考文献

[1] 郭栋. 基于模糊综合模型的高层建筑工程安全风险评价 [J]. 河南科技, 2023, 42(24): 155-158.
[2] 韩朋华. 高层建筑工程中的装配式施工工艺 [J]. 工程设计与设计, 2023, (24): 133-135.
[3] 范祥, 郭瑞华, 王杰, 等. 基于云模型及 BIM 技术的高层建筑施工风险管理研究 [J]. 建筑经济, 2023, 44(S2): 291-296.
[4] 李梦瑶, 周国燕, 张建华. 基于有限单元法的劲性复合桩抗拔承载力研究 [J]. 河南城建学院学报, 2024, 33 (06): 56-63.
[5] 张波, 任宝森. 劲性复合桩研究进展与趋势 [J]. 辽宁省交通高等专科学校学报, 2024, 26 (06): 19-25.
[6] 苏刚, 陈信升, 李志越, 等. 劲性复合桩承载性能现场试验研究 [J]. 甘肃科学学报, 2024, 36 (04): 76-82.
[7] 郑云, 李亚鑫, 贺玥森, 等. 劲性复合桩在砂土地基中的应用 [J]. 四川建筑, 2024, 44 (03): 74-76.
[8] 朱海超, 孔德坤, 来武清, 等. 劲性复合桩在超高层建筑中的应用 [J]. 重庆建筑, 2022, 21 (S1): 307-310.
[9] JGJ/T 327-2014 劲性复合桩技术规程 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2014.
[10] 基于价值工程与改进模糊层次分析法的基坑工程绿色施工方案优选研究 [J]. 戴文奎; 韩丽娟. 江西建材, 2023(12).

建筑的诗意构造——再谈宁波博物馆设计

陈嘉璇

北京交通大学，北京 100044

DOI:10.61369/ADA.2025010018

摘要： 本文以王澍设计的宁波博物馆为核心案例，从建构文化的理论视角出发，探索其表皮材料与建造方式中蕴含的诗意表达。通过对“瓦片墙”对历史记忆的保存与“竹模混凝土”对自然质感的转化的分析，揭示建筑如何通过物质语言传递精神内涵。这些实践与肯尼斯·弗兰姆普敦提出的“建构诗学”形成西方理性与东方“寓情于物”意境的对话，共同指向“建构”作为连接物质与精神、传统与创新的核心价值。宁波博物馆的设计不仅实现了历史与自然的双重对话，还通过建构将传统转化为当下的语言，触发普世的情感共振，展现了诗意构造在建筑设计中的重要性。

关键词： 建构诗学；宁波博物馆；材料设计

Poetic Construction of Architecture — Revisiting the Design of Ningbo Museum

Chen Jiaxuan

Beijing Jiaotong University, Beijing 100044

Abstract： This article takes the Ningbo Museum designed by Wang Shu as a core case study. From the theoretical perspective of tectonic culture, it explores the poetic expression embedded in its surface materials and construction methods. Through an analysis of the preservation of historical memory by the "tile fragment wall" and the transformation of natural textures by "bamboo formwork concrete", the article reveals how architecture can convey spiritual connotations through material language. These practices engage in a dialogue between Western rationality and the Eastern concept of "embedding emotion in objects" proposed by Kenneth Frampton's "poetics of construction", pointing to "construction" as the core value connecting material and spirit, tradition and innovation. The design of the Ningbo Museum not only achieves a dual dialogue between history and nature but also transforms tradition into a contemporary language through construction, triggering universal emotional resonance and demonstrating the importance of poetic construction in architectural design.

Keywords： poetics of construction; Ningbo Museum; material design

建筑的本质超越实用功能，成为一种承载文明记忆与情感共鸣的文化载体。本文以王澍设计的宁波博物馆为核心案例，从建构文化的理论视角出发，探索其表皮材料与建造方式中蕴含的诗意表达。通过分析“瓦片墙”对历史记忆的保存与“竹模混凝土”对自然质感的转化，揭示建筑如何通过物质语言传递精神内涵。这些实践与肯尼斯·弗兰姆普敦提出的“建构诗学”形成西方理性与东方意境的对话，共同指向“建构”作为连接物质与精神、传统与创新的核心价值。

一、中西建构文化中的诗意本源

（一）西方建构的理论阐释

“Tectonic”一词源自希腊语“Tekton”（意为“建造者、工匠”），其词根“tekhne”（技艺）与“tonos”（张力）隐含着“技艺性建造”的双重属性。

在西方建筑理论中，戈特弗里德·森佩尔在《建筑四要素》中系统解构“Tectonic”的本质，提出建筑起源于“炉灶、砌筑、框架、屋顶”四大要素，并以东方编织工艺为例，指出“表皮”并非结构附庸，而是通过材料编织（如竹、藤）形成独立的建构叙事^[1]。肯尼斯·弗兰姆普敦的《建构文化研究》（Studies

in Tectonic Culture）中，将“Tectonic”定义为“对建筑材料、结构逻辑与建造工艺的诗意整合”^[2]，一种通过结构逻辑和材料真实性传递文化内涵的方式，赋予材料以精神属性。“诗意的建造”强化了建造在建筑设计实践中对建筑艺术表现的重要影响，也强调了建筑师对建筑形式的主观把控以及所折射的社会文化及价值观^[3]，体现出建筑师对于世界的认识，通过体验构造与制作，将材料通过不同的组合形式，达到艺术的意境。

（二）东方语境的营造传统

在东方文化传统中，诗意构造则体现为一种物我交融的意境营造。中国园林的营造通过布局、材质与文学元素的互动，创造超越物理空间的精神体验，在材料的选用与组合蕴含着境界生象外

的哲学思想。例如王维诗中“木末芙蓉花，山中发红萼”以木材与花卉的自然属性，建构出“空寂”的意境。再如苏州园林中月洞门的设计不仅作为物理空间划分的介质，更以“圆”象征“圆满包容”之愿望，通过门洞框景将竹林、山石、流水转化为一幅动态画卷，行走其间形成移步易景、柳暗花明的沉浸体验。《红楼梦》中大观园的匾额楹联的设置也象征隐喻着人物思想和环境氛围，“宝鼎茶闲烟尚绿，幽窗棋罢指犹凉”，因室外的翠竹之绿，误以为室内茶烟尚绿；因室外的竹荫生凉，而感觉室内主人指之犹凉，将单纯的物质空间延伸至感官记忆，竹瓦等建筑材料与诗词书画共同作用，赋予潇湘馆的竹景以生命温度^[4]。

进一步看，东西方对建构的理解虽植根于不同土壤，却在诗意维度形成深刻共鸣，西方建构理论强调材料与结构的真实性，东方营造传统则更注重材料与自然的隐喻关系，这种差异与交融形成了宁波博物馆的设计基础，建筑师王澍所采用的回收旧砖瓦的“瓦爿墙”和旧材新作的“竹模混凝土”工艺，既是对建构理论中“循环建造”的理论实践，亦是对东方文化“寓情于物”的当代演绎，建筑的建构诗学，正在这种跨文化对话中显现其普世价值。

二、宁波博物馆的材料诗意：瓦爿墙的历史叙事

作为王澍“新乡土主义”风格的代表作，宁波博物馆以惊人的材料叙事重新定义了博物馆的文化角色。宁波是海上丝绸之路的重要港口城市，因此宁波博物馆的设计强调“山”“水”和“海”的设计理念，建筑师赋予了博物馆山地建筑的理念。建筑整体形似“半山半房”——下部为方正展馆，上部裂变为起伏山峦，隐喻宁波四明山与它山堰的地理意象，略微倾斜的山形建筑呈现出向南移动的趋势，与博物馆北侧水域相得益彰，气势如航行的巨轮^[5]。



图1 宁波博物馆实景图

（来源网络：https://p1.itc.cn/q_70/images03/20210928/fb195cb867c840f3afc68ff939e638e3.jpeg）

在建筑内部，两层以上高低起伏的公共活动平台，从建筑整体隆起出五个单体，各具状态，形神兼备，观照整个空间，虚实相间，似又成传统街区的格局与尺度；同时水域向北环绕建筑外围，使建筑环境具有江南水乡田园般诗情画意。整体的氛围也通

过建筑所代表的“山”与景观中的“水”的组合，形成了具有中国特色的审美意境。

这一形态不仅是对自然的抽象表达，更通过长达144米、高24米的“瓦爿墙”表皮，将历史记忆编织进建筑本体。博物馆的瓦爿墙采用宁波旧城改造中收集的百万余块废旧砖瓦，涵盖青砖、龙骨砖、陶瓦、缸片等二十余类材料。博物馆每平方米需要100块左右的砖瓦，整个瓦爿墙的面积是1.2万平方米左右，约占整个博物馆外墙的一半。也就是说，宁波博物馆所用的砖瓦在百万块以上，其年代跨越汉晋至民国，这种大规模回收策略极具开创性，赋予了建筑“收集历史”的史学意义。



图3 600多万片废砖瓦砌成的宁波博物馆

（来源网络：<http://www.zjky.com/data/attachment/porta/202108/25/201950o9ayaknwenxpg959.jpg>）

这样一个新建体系接续了“循环建造”的中国传统。因为这类砖、瓦、陶片都是自然材料，是“活的”，为建筑产生了一种和谐沉静的气氛。旧建筑材料的回收并被创造性地再使用，使得它们再一次彰显活力。建筑师对传统建造用现代技术进行改造，经过反复实验，发展出一种间隔3米的明暗混凝土托梁体系，保证了砌筑的安全^[6]。瓦爿墙只是博物馆的一道装饰性外墙，它内衬钢筋混凝土墙和使用新型轻质材料的空腔，使建筑在达到特殊的地域文化意味的同时，获得更佳的节能效果。这个颇具特色的瓦爿墙是50余个工匠一片片堆砌起来的，历时200余天。

瓦爿墙的建构诗意首先体现在其材料的时间维度。回收的旧砖瓦承载着几百年历史，它见证了消逝的过去，同时也在接续记录着材料的生长。在施工中，工匠以传统“瓦爿技术”将残砖碎瓦有机组合，形成错落肌理。例如北立面墙体浸入水池，青砖在水的侵蚀下逐渐生长青苔；南立面暴露于风雨，砖缝间偶有灌木萌芽。这种随时间持续演变的特质，使建筑从静态物体转化为“活的历史档案”。“待青苔遍布，我们触摸的不是墙，而是一座城市的记忆”。

在慈城等宁波古镇，碎砖砌墙本是民间智慧，王澍将其转化为现代建筑语言，瓦爿墙成为连接乡土与当代的媒介。墙体肌理看似无序，却在窗口、转角处形成有序韵律，暗合中国画“疏可跑马，密不透风”的美学。宁波博物馆的旧砖瓦来自三江口、天一阁等街区，市民参观时能辨认出“家”的痕迹，使建筑成为集体记忆的“拓朴地图”。这种设计超越了单纯的功能或形式，在建

构中注入情感共鸣——墙既是展品，又是展柜，更是宁波“从渡口到港口”千年旅程的史诗载体。



图4 材料的演变（来源网络：<https://nimg.ws.126.net/?url=http%3A%2F%2Fdingyue.ws.126.net%2Fde37THccaqy2XwwEkpoy%3D%3DvB4ky4PHCh2fMWckGkwqw-1487940043332compressflag.jpg&thumbnail=660x2147483647&quality=80&type=jpg>）

除了宁波博物馆，王澍在中国美院象山校区设计中也采用了浙江当地的红黏土混合砂石夯筑墙体，屋顶沿用小青瓦，夯土材料的热工性能适应江南气候，又延续了“以土为材”的营建智慧^[7]。隈研吾在长城脚下的竹屋，采用河北当地毛竹，通过交叉编织形成穹顶结构，竹材经防火处理后兼具耐久性与透光性^[8]。

三、建造方式的诗意转化：竹模混凝土的技艺创新

宁波博物馆的诗意构造不仅体现于“用什么材料”，更彰显在“如何建造”。建筑斜壁与内部墙体采用竹模清水混凝土工艺，这个过程先后经过多次试验，也尝试过木板等其他材料，最后选用了江南随处可见的毛竹。通过其天然肌理，将冰冷的工业材料转化为充满生命温度的江南画卷。这种工艺要求极高：毛竹剖条后编成模板，浇筑后拆模，竹筋的纤维纹理与开裂痕迹被拓印于混凝土表面，形成深浅交织的有机图案。王澍称其为“僵硬的混凝土发生的艺术质变”，使材料从均质的现代性象征，蜕变为承载地域自然意象的媒介。

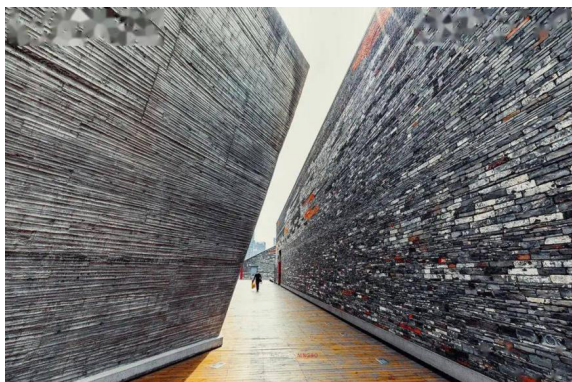


图5 “瓦片墙”和“竹条模板混凝土”

（来源网络：https://p6.itc.cn/q_70/images03/20210928/489b3e7f5f-1044caaf0a5f3e97ec5c97.jpeg）

竹在中国传统文化中象征气节与韧性，是文人精神的物化。宁波博物馆中，竹纹混凝土与瓦片墙并置，形成“竹骨砖瓦”的

建构意象——竹的垂直肌理呼应宁波水乡的芦苇丛，其斑驳光影则模拟竹林下的幽静氛围。这种工艺的使用由室外延申至室内，这正呼应了弗兰姆普敦对建构表现的定义：建造形式与材料特征在建筑表现中发挥相辅相成的作用。当参观者拾级而上，指尖拂过凹凸的竹纹，视觉与触觉共同唤起对四明山竹林与溪谷的记忆。王澍通过现代材料复现了东方园林“树影婆娑”的意境，但摒弃了符号化的仿古，转而以抽象肌理引发感知联想，此时混凝土不再是通常的无情感材料，而是成为自然景观的延伸。

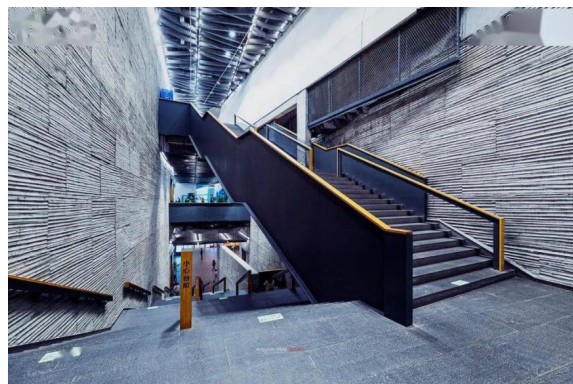


图6 室内材料的运用

（来源网络：https://p7.itc.cn/q_70/images03/20210928/cc7b9bd0403c4452858d2b8393271323.jpeg）

从建构技术看，竹模混凝土的精妙在于其双重真实性，一是结构逻辑的真实，不掩饰混凝土的承重属性，模板痕迹清晰展示浇筑过程；二是材料触感的真实：竹的天然纹路赋予表面温暖质感，消解混凝土的冰冷。

竹模混凝土的建构手法，在具有较高文化属性的博物馆、美术馆、教堂及学校等建筑中的运用并不鲜见。青龙山白垩纪恐龙蛋遗址博物馆的外墙采用竹跳板作为混凝土外模板，将旧瓦作为第二层隔热屋面，设置双层百叶实现阻隔式通风，建筑体量化整为零等设计手法，使遗址博物馆宛若自然地根植于恐龙蛋遗址上^[9]。在施工过程中，经过现场的多次实验打磨，才形成了最终“自然无序”的斑驳肌理。同样是竹模板的选用，由武重义建筑事务所设计的位于越南胡志明市的竹宅则用不同的工艺呈现出不同的人文气质，竹模板的整齐排列削弱了混凝土带来的凌厉质感，营造出整齐划一、明媚温暖的整体美感。



图7 青龙山白垩纪恐龙蛋遗址博物馆的外墙肌理

（来源网络：<http://www.libaofengstudio.com/>）



图8 竹宅

(来源网络: https://pica.zhimg.com/v2-65d784ae0f1fff0ff22d-574de3878928_1440w.jpg)

四、跨文化视角下的建构共识：从材料到精神的诗意升华

在外墙材料上的探索就是具象材质感的表现，正像建构中所强调的诗意的构造一样，设计师不是单纯的用一种“瓦片墙”或者单纯的使用“竹条模板混凝土”进行建筑墙面的装饰，而是进行精挑细选，仔细斟酌，包括建构的方式，建构的材料等等。构成建筑的基本单元的墙，如同古诗中的遣词造句，都有一定韵律和内在逻辑。城市的上位规划限制了建筑的体量，而建筑的体量又进一步的限制了墙的长宽高的尺度，室内空间的大小以及结构限制了墙的结构以及厚度等等。种种限定之下，建筑师通过结构形式、节点构造、材料选用等进行文化理念的传递和美术艺术的升华。

这些材料的实践与创新，展现出从技术到文化多维度的重要

意义：

(一) 生态可持续

乡土材料(如夯土、竹材)的本地化生产减少运输碳排放，其物理特性(如石材的蓄热、竹材的通风)天然适配地域气候，被动式设计减少机械制冷和供暖需求，实现了生态可持续的绿色发展理念。

(二) 文化在地性

废墟材料的斑驳痕迹(如旧砖的烧制印记、瓦当的纹饰)形成时间的层积，使建筑成为地域历史的物质索引，同时乡土材料的使用推动了传统技艺与现代建筑的融合，例如宁波博物馆再建造过程中，建筑师更注重的是“瓦片墙”如何与现代混凝土施工体系结合，传统最高8m的这种墙体如何能被砌到24m的高度，这些做法都再施工中经过了几十次的反复试验，是对传统技艺的再创新^[10]。

(三) 公众参与性

乡土材料的采集与加工常依赖本地居民参与，当旧建筑废料被重用于新建筑时，材料成为集体记忆的媒介。

(四) 诗意构造与美学升华

乡土与废墟材料的原生质感(如岩石的粗糙、旧木的包浆)体现出“建构”(Tectonic)中“结构与表皮的一性”的真实性表达，同时创新的组合方式打破常规建筑语法，形成了新的空间体验的创新性效果。

五、结语

宁波博物馆的设计，将材料、技艺与空间体验融合为一部无声的诗篇，为当代建筑提供了极具启示性的范式。其核心价值在于实现了历史与自然的双重对话：一方面，瓦片墙以百万块旧砖瓦重述宁波从渡口到港口的城市史诗；另一方面，竹模混凝土以抽象肌理再现四明山竹海的光影意境。其材料真实性呼应了弗兰姆普敦对“建构诗学”的西方定义，而其意境营造则延续了中国园林“寓情于物”的东方智慧。王澐自称该建筑为“新乡土主义”，其“新”并非样式创新，而是通过建构将传统转化为当下的语言。当建筑回归建造的本质——材料、工艺、场所的诚实表达时，便能跨越文化边界，触发普世的情感共振，在建构中重获人性的温度与诗意的高度。

参考文献

- [1] 戈特弗里德·森佩尔. 建筑四要素 [M]. 中国建筑工业出版社, 2010.
- [2] 肯尼思·弗兰姆普敦. 建构文化研究：论19世纪和20世纪建筑中的建造诗学 [M]. 中国建筑工业出版社, 2007.
- [3] 张承. 表皮设计中的建构逻辑研究及其启示 [D]. 天津大学, 2012.
- [4] 高雨薇. 大观园匾额、楹联中的园林艺术浅析 [J]. 绿色中国, 2015(8):9. DOI: CNKI: SUN: LSZG. 0. 2015-08-019.
- [5] Ding, Feng. Study on the Inheritance of Modern Architecture to Urban History Humanities by Taking Museums as Cases [C] // 2019.
- [6] 韩玉德, 吴庆兵, 陈海燕. 宁波博物馆瓦片墙施工技术 [J]. 施工技术, 2010(7):3. DOI: CNKI: SUN: SGJS. 0. 2010-07-034.
- [7] 麻响箭. 自然视角下的建筑传统文化回归——解读中国美院象山校区 [J]. 建筑与文化, 2014(1):2. DOI: 10.3969/j.issn.1672-4909.2014.01.032.
- [8] 隈研吾曰, 计丽屏译者. 《负建筑》[J]. 世界发明, 2008(12):1.
- [9] 李保峰, 丁建民, 徐昌顺. 青龙山白垩纪恐龙蛋遗址博物馆适宜建造研究 [J]. 建筑学报, 2014, (07): 102-106.
- [10] 王澐. 自然形态的叙事与几何宁波博物馆创作笔记 [J]. 时代建筑, 2009(3):14. DOI: CNKI: SUN: SDJZ. 0. 2009-03-014.

绿色施工理念在市政工程施工中的运用分析

王晔

武汉市桥梁工程有限公司, 湖北 武汉 430061

DOI:10.61369/ADA.2025010019

摘 要： 本文围绕绿色施工理念在市政工程中的应用展开研究。剖析绿色施工理念内涵，结合市政工程施工特点与现状，阐述其在道路施工、桥梁建设、管道铺设等环节的具体运用，并通过实际案例展现绿色施工在资源节约、环境保护与经济效益方面的成效。同时，指出当前面临技术难题、成本增加、施工人员意识不足及政策支持与监管不完善等挑战。未来，智能化施工技术、新型绿色建材应用将成趋势，政策支持体系逐步完善，行业间合作协同发展也将推动市政工程绿色施工迈向新高度。

关 键 词： 绿色施工理念；市政工程；施工运用；可持续发展

Analysis of the Application of Green Construction Concept in Municipal Engineering Construction

Wang Ye

Wuhan Bridge Engineering Co., Ltd., Wuhan, Hubei 430061

Abstract： This paper focuses on the application of green construction concepts in municipal engineering. It analyzes the connotation of green construction concepts and explains their specific applications in road construction, bridge construction, and pipeline laying, considering the characteristics and current status of municipal engineering construction. The paper also demonstrates the effectiveness of green construction in resource conservation, environmental protection, and economic benefits through practical cases. However, it points out challenges such as technical difficulties, increased costs, inadequate awareness of construction workers, and incomplete policy support and regulation. In the future, the application of intelligent construction technology and new green building materials will become a trend, the policy support system will gradually improve, and collaborative development among industries will also push green construction in municipal engineering to a new height.

Keywords： green construction concept; municipal engineering; construction application; sustainable development

引言

市政工程作为城市建设的核心组成部分，其施工质量与进程直接关乎城市的正常运转与居民生活质量。然而，传统市政工程施工方式存在资源过度消耗、环境污染严重等问题，对生态环境与城市可持续发展造成极大压力。在此背景下，绿色施工理念应运而生，它从能源、土地、水资源、材料及环境保护等多维度提出可持续发展要求，旨在实现市政工程建设与生态环境的和谐共生。深入研究绿色施工理念在市政工程中的应用，不仅有助于解决传统施工的弊端，还对推动城市可持续发展、提升城市建设水平具有重要的现实意义。

一、相关概述

（一）绿色施工理念内涵剖析

绿色施工理念强调节约资源和对生态环境的保护，控制污染。市政工程在施工过程中，难以避免地会对周边环境产生一定的影响，而将绿色施工理念应用于市政工程施工中，能够将施工对周边环境的影响降至最低，驱动市政工程与生态环境共同发展，促进可持续发展目标的实现^[1]。而绿色施工理念也从多维度

提出了可持续发展要求。能源利用上，采用太阳能路灯、智能能源管理系统等先进节能技术，选用低碳环保材料，降低建筑能耗与碳排放；土地利用时，科学规划施工场地，优化建筑布局，提高土地利用效率，减少资源浪费与生态破坏；水资源管理方面，运用节水设备、优化工艺，结合雨水收集和废水回用技术，降低水资源消耗；材料使用强调优化设计、使用可再生材料并建立回收体系，实现资源节约与成本控制；环境保护着重控制扬尘、噪音和污水排放，通过设置防护设施、采用低噪音设备、处理回用污

水，改善施工周边环境质量，推动城市可持续发展。

（二）市政工程施工特点与现状

市政工程作为城市建设的关键一环，施工范围广、涉及道路桥梁管道等多领域，施工环境常处于城市人口密集、交通繁忙区域，且工期要求严格，这些特点使得施工难度倍增，也给绿色施工技术的应用带来挑战，工期压力甚至可能阻碍绿色施工措施的落实。传统市政工程施工方式在资源利用和环境保护上弊病丛生，能源过度消耗推高成本并破坏生态，施工垃圾随意丢弃造成土地污染与资源浪费，噪音、扬尘和污水排放失控影响居民生活与生态健康，因此引入绿色施工理念迫在眉睫^[2]。尽管近年来绿色施工理念推广进程加快，但当前市政工程绿色施工仍存短板，技术应用不普及、施工单位认知浮于表面，管理机制不完善、政策监管缺位，加之部分单位受成本制约投入不足，均限制了绿色施工理念的深度发展，亟需多方协同发力，推动市政工程绿色施工实现质的提升。

二、绿色施工理念在市政工程各施工环节中的运用

（一）道路施工中的绿色运用

在道路施工领域，绿色施工通过节能技术革新、资源循环利用与生态环境保护三大维度协同发力，构建可持续发展的施工模式。节能层面，太阳能路灯借助光伏板实现独立供电，打破传统电网依赖；LED 灯具以高光效、低能耗特性取代传统照明设备，二者组合应用可使道路照明能耗降低 50% 以上^[3]。资源利用方面，将废弃混凝土破碎加工为再生骨料用于路面基层，既减少天然砂石开采，又妥善处理建筑垃圾；同时通过科学规划线路、采用模块化施工工艺，精准控制施工误差，最大限度减少资源浪费。环保举措聚焦扬尘、噪音污染防治与生态修复，通过设置立体围挡、高频次洒水作业抑制扬尘扩散；选用静音施工设备并合理规划施工时段，降低噪音干扰；同步开展原生植被保护与生态修复工作，实现工程建设与生态环境的和谐共生，为城市可持续发展筑牢根基。

（三）桥梁建设中的绿色运用

在桥梁建设迈向高质量发展的进程中，绿色发展理念已深度渗透至材料研发、施工管理与生态保护的全链条。高性能混凝土、可循环钢材等新型绿色建材，凭借卓越的力学性能和低碳生产工艺脱颖而出。这些材料不仅能降低工程材料用量、延长维护周期，还能显著减少施工阶段的碳排放，在保障桥梁结构安全的同时，实现资源的高效利用与可持续发展。

施工环节的绿色革新同样亮点纷呈。通过引入节能型机械设备并建立定期维护机制，结合智能化监控系统实时优化设备运行，有效降低了能源消耗。预制装配式施工技术的广泛应用，大幅缩短了现场作业时间，减少了能源损耗与环境污染。此外，太阳能等可再生能源的创新应用，为施工现场提供了清洁电力支持。

生态保护层面，桥梁建设者秉持“最小干预”原则，构建起全方位的环境保护体系。针对施工废水，采用沉淀池、污水处理设施进行多级净化，确保水质达标排放；通过覆盖防尘网、智能

洒水降尘等措施，有效控制扬尘污染；施工前开展详尽的生态调研，制定科学的生态保护方案，最大限度降低对生物多样性的影响，真正实现了交通基建与生态环境的和谐共生。

（三）管道铺设中的绿色运用

在管道施工领域，绿色施工理念深度融入资源节约、环境保护的各个环节。水资源与材料管理层面，循环用水系统对施工废水净化再利用，配合施工方案优化合理控制管道试压用水，有效降低新鲜水资源消耗；选用环保型管材并精准把控采购量，对施工剩余材料分类回收二次利用，既节省成本又减少环境负担。针对土壤和地下水保护，以高密度聚乙烯（HDPE）等耐腐蚀性强、密封性优的环保管材为基础，严格管控施工化学品用量，通过设置隔离层、防渗膜构建防护屏障，同时借助定期环境监测机制，及时排查处理潜在污染源，全方位守护地下生态环境^[4]。噪音与扬尘污染治理方面，采用低噪音设备、安装隔音屏障结合科学规划施工时间，减少施工噪音对周边居民生活的干扰；通过覆盖裸露土方、定时洒水降尘、增设扬尘防护设施，配合施工车辆清洗除尘，多管齐下遏制扬尘扩散，切实改善施工区域环境质量，实现管道工程建设与生态环境保护的协同发展。

三、绿色施工理念在市政工程施工运用中面临的挑战

（一）技术难题

绿色施工技术在市政工程中的实际应用面临诸多技术瓶颈，显著限制其推广与实施。新技术研发滞后是一大关键问题，绿色施工理念倡导以创新技术实现资源节约与环境保护，但契合市政工程特定需求的技术研发却存在短板。像道路建设中太阳能路灯和 LED 灯具虽已普及，然而桥梁施工、管道铺设等领域，能适应复杂环境的高效节能技术仍严重不足。此外，现有技术成熟度欠佳也阻碍了绿色施工的全面推广，不少新型绿色建材在实际使用中暴露出性能不稳定的状况，耐久性差、抗腐蚀能力弱等问题频出，致使施工单位对其可靠性产生疑虑^[5]。新技术研发不足与现有技术不成熟相互叠加，不仅加大了绿色施工的落地难度，还削弱了其在市政工程领域的推广成效。

（二）成本增加

绿色施工理念的运用往往伴随着成本上升，这对企业和项目的经济效益产生了显著影响。一方面，绿色材料的价格普遍高于传统材料，这使得施工企业在采购环节面临较大的经济压力。例如，高效隔热材料和双层玻璃等环保建材虽然能够显著降低建筑能耗，但其高昂的成本却让许多企业望而却步。另一方面，新技术设备的引入进一步加剧了成本负担。智能化施工设备和节能型机械通常需要较高的初始投资，且维护成本也相对较高，这对中小型施工企业而言尤为困难。此外，绿色施工还可能因工艺流程优化和资源回收利用等措施而导致间接成本增加。尽管从长期来看，这些措施可能带来一定的经济效益，但在短期内，成本的增加无疑对企业的资金流动性和项目可行性构成了挑战。

（三）施工人员意识不足

施工人员对绿色施工理念的认识不足及相关知识与技能的缺

乏，严重阻碍了绿色施工措施的有效落实。在实际施工过程中，许多施工人员未能充分理解绿色施工的重要性，仍然沿用传统的施工方式，忽视环保要求。例如，在垃圾管理和扬尘控制方面，部分施工人员未能严格按照绿色施工标准进行操作，导致施工现场环境污染问题频发。此外，由于缺乏系统的培训，施工人员对绿色施工技术的掌握程度较低，难以熟练运用新型节能设备或环保材料^[9]。这种意识与技能的双重缺失，不仅影响了绿色施工措施的执行效果，也在一定程度上削弱了绿色施工理念在市政工程中的推广力度。

（四）政策支持与监管不完善

当前政策对绿色施工的支持力度不足以及监管体系存在的漏洞，对绿色施工理念的全面推广产生了深远影响。政策层面的支持尚未形成系统化体系，尽管相关部门已出台《绿色施工导则》等指导性文件，但具体的激励措施和惩罚机制仍显不足。比如，对于采用绿色施工技术的企业，缺乏明确的税收优惠或补贴政策，这降低了企业主动践行绿色施工的积极性。监管体系的不完善进一步加剧了问题，在实际操作中，部分地区的监管部门对绿色施工标准的执行情况缺乏严格监督，导致一些企业敷衍了事，未能真正落实绿色施工要求^[7]。另外，跨部门协作机制的缺失也使得政策执行效率低下，难以形成有效的联动效应。因此，完善政策支持体系并强化监管力度，是推动绿色施工理念在市政工程中广泛应用的重要保障。

四、绿色施工理念在市政工程施工中的未来发展趋势

（一）新技术的应用

随着科技的不断进步，智能化施工技术和新型绿色建材将成为未来市政工程绿色施工的重要发展方向。智能化施工技术通过引入物联网、大数据和人工智能等先进技术手段，能够实现施工过程的精准控制和动态管理，从而有效减少资源浪费和环境污染。例如，智能监测系统可以实时监控施工现场的能耗、水耗以及污染物排放情况，为优化施工流程提供数据支持。此外，新型绿色建材的研发与应用也将为市政工程带来显著的环境效益。这些材料不仅具备优异的性能，还能够显著降低施工过程中的碳排放和资源消耗^[8]。例如，利用可再生资源或工业废料生产的高性能混凝土，既能满足工程需求，又能减少对自然资源的依赖。

（二）政策支持体系完善

政策的支持是绿色施工理念得以全面推广的重要保障。未来，政府有望在税收优惠、补贴政策以及标准规范等方面进行更多的调整与完善，以鼓励企业积极参与绿色施工实践。例如，通过出台针对绿色建材和节能设备的税收优惠政策，可以降低企业的采购成本，从而提高其采用绿色施工技术的积极性。同时，设立专项资金用于支持绿色施工技术研发和示范项目，也将为行业发展注入新的动力^[9]。此外，建立健全绿色施工评价标准与监管机制，能够进一步规范市场行为，确保绿色施工措施的有效落实。这些政策的实施不仅有助于缓解当前绿色施工推广过程中面临的成本压力，还能够为企业提供明确的发展方向，从而加速绿色施工理念在市政工程中的广泛应用。

（三）行业合作与协同发展

未来市政工程绿色施工的深入应用需要各行业之间加强合作，形成协同发展的模式。绿色施工涉及多个领域，包括建筑设计、材料供应、施工管理和环境保护等，单一行业难以独立完成所有任务。因此，构建跨行业的合作平台，整合各方资源和技术优势，将成为推动绿色施工理念深入应用的关键。例如，建筑材料供应商可以与施工单位合作，共同开发符合绿色施工要求的创新型材料；科研机构则可以通过技术转移，将最新的绿色施工技术应用于实际工程中^[10]。此外，政府部门也应发挥引导作用，通过组织多方参与的研讨会和交流活动，促进信息共享和经验传播。这种协同发展模式不仅能够提升绿色施工的整体水平，还能够为市政工程的可持续发展奠定坚实基础。

五、结束语

总的来说，绿色施工理念在市政工程中的应用已取得一定成果，通过在道路、桥梁、管道等施工环节的实践，实现了资源节约、环境保护与经济效益的统一，典型案例为行业发展提供了借鉴。但目前仍面临技术瓶颈、成本压力、人员意识不足及政策监管不完善等挑战，限制了绿色施工理念的全面推广。展望未来，随着新技术的不断涌现、政策支持体系的逐步完善以及行业间合作协同发展的推进，绿色施工理念必将在市政工程中得到更广泛、更深入的应用，为市政工程的可持续发展注入强大动力，助力城市建设迈向绿色、环保、高效的新征程。

参考文献

- [1] 陈江维. 绿色施工理念在市政工程施工中运用分析 [J]. 产品可靠性报告, 2023, (12): 158-160.
- [2] 沈承. 绿色施工理念在市政工程施工中的运用 [J]. 大众标准化, 2022, (03): 133-135.
- [3] 曹建峰. 绿色施工理念在市政工程施工中的运用分析 [J]. 陶瓷, 2023, (8): 67-69.
- [4] 初喜悦. 简析绿色施工理念在市政工程施工中的运用 [J]. 风景名胜, 2021, (4): 0350-0350.
- [5] 唐晓红. 绿色施工理念在市政工程施工中的运用 [J]. 市场周刊·理论版, 2020, (90): 121-121.
- [6] 李绍权. 基于绿色理念的市政公用基础设施施工技术探讨 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2023, (24): 130-132. DOI: 10.19569/j.cnki.cn119313/tu.202324044.
- [7] 夏元保. 浅谈绿色施工理念在市政工程施工中的运用 [J]. 现代物业 (中旬刊), 2021, 20(4): 144-144.
- [8] 苏循松; 郝守蓬. 绿色施工理念在市政工程中的应用研究 [J]. 住宅与房地产, 2018, (10X): 138-138.
- [9] 赵青. 市政工程绿色施工控制措施 [J]. 市场周刊·理论版, 2020, (93): 119-119.
- [10] 泮羽霜. 绿色理念在市政工程施工中的应用 [J]. 城市情报, 2022, (7): 151-153.