 DOI: https://doi.org/10.12349/edc.v8i4.9966

Green Benefit Evaluation and Key Technology Research of Modular Prefabricated Assembly Integrated Utility Tunnel

Jiqun Lv

Zhejiang Construction Vocational and Technical College, Hangzhou, Zhejiang, 310000, China

Abstract

With the continuous growth of urban infrastructure construction demands, integrated utility tunnels as critical infrastructure for underground utility systems have become a research focus due to their construction models and environmental benefits. The modular prefabricated assembly approach, centered on factory production and on-site assembly, achieves shortened construction cycles, improved resource efficiency, and reduced environmental impact. Based on green building evaluation principles, this study systematically assesses the energy conservation, emission reduction, construction safety, and operational benefits of modular prefabricated assembly utility tunnels. It also analyzes key technical aspects including module design, transportation and assembly, connection technologies, and intelligent monitoring systems. The research demonstrates that this approach significantly enhances construction efficiency, resource conservation, and environmental protection. Furthermore, optimizing key technologies can further improve green benefits, providing technical references and practical guidance for urban underground utility tunnel construction.

Keywords

modularization; prefabricated assembly; utility tunnel; green benefits; key technologies

模块化预制拼装综合管廊的绿色效益评价与关键技术研究

吕继群

浙江建设职业技术学院，中国·浙江 杭州 310000

摘　要

随着城市基础设施建设需求持续增长，综合管廊作为城市地下综合管线系统的重要载体，其施工模式和环境效益成为研究重点。模块化预制拼装综合管廊以工厂预制、现场装配为核心技术手段，实现施工周期缩短、资源利用效率提高和环境影响降低。本文基于绿色建筑评价理念，对模块化预制拼装综合管廊的节能、减排、施工安全及运维效益进行系统评价，同时分析关键技术环节，包括模块设计、运输装配、连接技术及智能监测。研究表明，模块化预制拼装综合管廊在施工效率、资源节约和环境保护方面表现显著，同时关键技术优化能够进一步提升绿色效益，为城市地下综合管廊建设提供技术参考和实践指导。

关键词

模块化；预制拼装；综合管廊；绿色效益；关键技术

1 引言

城市化进程加快导致地下综合管线系统布局复杂，传统现场浇筑施工方式存在施工周期长、资源浪费大、施工扰动高及安全风险突出等问题。模块化预制拼装综合管廊以工厂集中预制模块、现场快速拼装为核心施工方式，通过标准化设计、智能施工管理和绿色施工理念，实现施工效率和环境效益的双提升。绿色效益评价不仅关注施工阶段能源消耗、材料使用和环境影响，也包括运行和维护阶段的可持续性能。本文在分析综合管廊建设现状与绿色评价体系基础上，探讨模块化预制拼装综合管廊的绿色效益及关键技术应用路径，为城市基础设施建设提供可行方案和技术支撑。

【作者简介】吕继群（1973–），男，中国江西上饶人，硕士，副教授，从事市政工程研究。

2 模块化预制拼装综合管廊概述

2.1 模块化预制拼装技术特点

模块化预制拼装技术在综合管廊建设中以工厂集中生产与现场快速装配为主要施工模式。通过在设计阶段对管廊结构进行标准化划分，将整体结构分解为若干可独立生产的模块单元，并在工厂完成构件制作与质量检测，从而减少现场复杂施工环节。工厂化生产具有流程规范、质量可控和效率稳定等特点，能够有效提高构件加工精度，并降低施工过程中的人为误差。在现场施工阶段，模块通过吊装设备进行快速拼装，显著缩短工程建设周期。同时，模块化施工便于对工程进度进行统一管理和资源调度，使施工组织更加高效有序。通过减少现场湿作业和复杂工序，该技术不仅提升施

工效率，也为绿色施工和安全管理提供了重要基础 [1]。

2.2 综合管廊建设的绿色要求

在绿色发展理念不断深化的背景下，综合管廊建设逐渐强调资源节约和环境保护等目标。绿色建设要求在工程建设全过程中减少能源消耗与碳排放，同时优化材料利用率并降低施工对周边环境的影响。在施工阶段，需要通过合理规划施工方案和选择高效施工技术，减少施工噪声、粉尘及废弃物排放。此外，绿色建设还强调施工安全与后期运维效率，使工程在全生命周期内实现资源利用最大化。模块化预制拼装技术通过工厂预制和标准化管理，能够在施工阶段有效减少材料浪费和能源消耗，并降低施工过程中的环境扰动。因此，该技术不仅符合绿色建筑理念，也为综合管廊工程绿色效益评价提供了可量化的技术基础。

2.3 模块化预制与传统施工对比

与传统现场浇筑施工方式相比，模块化预制拼装技术在施工效率、工程质量以及环境影响方面具有明显优势。传统施工通常依赖大量现场作业，包括混凝土浇筑、模板安装及长时间机械作业，施工周期较长且资源消耗较大，同时容易产生噪声、粉尘等环境问题。模块化预制施工则通过在工厂提前生产构件，并在现场进行快速装配，大幅减少现场施工时间和湿作业环节，从而降低能源消耗和环境扰动。同时，由于构件在工厂环境中完成生产，其质量更容易得到控制，施工安全风险也相对较低。此外，模块化施工方式还能够减少材料浪费，提高工程整体效率，为城市地下基础设施建设提供更加高效和绿色的施工模式 [2]。

3 模块化预制拼装综合管廊的绿色效益评价

3.1 节能与减排效益

模块化预制拼装技术在综合管廊建设中能够显著提升工程的节能与减排效果。通过将大量施工环节转移至工厂环境完成，施工现场对大型机械设备、混凝土搅拌及模板支撑等高能耗作业的依赖明显降低，从而减少施工阶段的能源消耗。工厂化生产具有标准化和规模化特点，可以通过精确控制材料用量和施工流程，有效减少施工废料和返工现象，降低资源浪费。同时，在模块设计阶段通过结构优化，可以在保证承载能力的前提下减少材料使用量，从而实现节材目标。施工过程中产生的粉尘、噪声及碳排放也相应减少，对环境影响显著降低。综合来看，模块化预制拼装技术能够在工程建设阶段实现节能降耗与污染控制，为绿色城市基础设施建设提供重要支撑。

3.2 施工安全与环境影响

模块化预制拼装施工方式在提升工程安全性和减少环境影响方面具有明显优势。与传统施工方式相比，该技术通过在工厂完成大部分构件制作，显著减少了现场施工环节，从而降低了高空作业、模板支撑和大量湿作业带来的安全风险。施工现场主要进行构件运输、吊装和拼接作业，施工流程更加简化，有利于提高安全管理水平。同时，现场机械设备数量减少，施工过程中的噪声和粉尘排放明显降低，对周边环境和居民生活影响较小。此外，模块化施工能够有效缩短工程建设周期，使施工现场管理更加集中和高效。通过减少长期施工带来的环境扰动，可以在保障工程质量的同时实现施工安全与生态保护的协调发展。

3.3 运维管理与长期绿色效益

在综合管廊投入使用后，模块化预制拼装结构同样能够为运维管理带来长期绿色效益。模块化设计使管廊结构具备较好的标准化和可替换性，当局部结构或管线设备出现问题时，可以通过更换相应模块进行维护，从而减少大规模维修所带来的资源消耗和运营成本。同时，模块化结构便于管廊内部设施的合理布局，使检修通道和设备空间更加清晰，提高运维效率。结合智能监测系统和信息化管理平台，可以实时监测管廊内部结构状态和设备运行情况，实现快速故障定位和及时维护。通过科学的运维管理模式，不仅能够延长管廊使用寿命，还能够降低长期运行过程中的能源和资源消耗，从而实现城市地下基础设施的可持续发展目标 [3]。

4 关键技术研究

4.1 模块化设计与结构优化

在综合管廊建设中，模块化预制拼装技术的应用需要在设计阶段进行系统规划，以保证结构安全性与施工可行性。模块化设计应综合考虑模块尺寸标准化、节点连接方式、荷载分布以及现场装配条件，使各构件能够在工厂预制后顺利完成运输与现场拼装。通过合理划分结构单元，可以使管廊结构形成标准化模块体系，从而提高构件生产效率并降低施工难度。在结构优化方面，应重点关注模块连接节点设计，通过采用高强度连接结构或预应力连接方式，提高整体结构的稳定性与承载能力。同时，还需要结合工程环境条件，采取抗震加固、防水及防腐措施，以确保管廊在长期运行中的安全性与耐久性。模块化设计不仅能够减少现场施工环节，还能有效降低材料浪费和施工能耗，使工程建设更加符合绿色施工理念，从而实现工程质量、施工效率与环境效益的协同提升。

4.2 运输与现场装配技术

模块运输与现场装配是模块化管廊施工过程中的关键环节，其技术水平直接影响施工效率和工程安全。在运输阶段，需要根据模块尺寸、重量及运输条件合理规划运输路线和运输方式，通过优化运输路径和采用专用运输设备，提高运输效率并降低安全风险。同时，应对运输过程中的支撑和固定方式进行设计，以避免构件在运输过程中产生变形或损伤。在现场施工阶段，装配技术则成为保证工程质量的重要因素。通过采用智能吊装设备、模块定位系统以及精确对接技术，可以有效提高构件安装精度并缩短施工周期。在装配过程中，还应通过实时监测和精细化管理控制装配误差，确

保模块连接稳定可靠。通过优化运输与装配技术，可以减少现场机械作业时间和能源消耗，同时降低施工过程中的噪声与环境扰动，从而实现绿色施工目标 [4]。

4.3 智能监测与运维管理技术

在综合管廊投入运行后，智能监测与运维管理技术对保障设施安全和提升管理效率具有重要作用。通过在管廊结构和管线系统中布设传感器，并结合数据采集与分析平台，可以实现对结构状态、温湿度环境、管线流量以及设备运行状况的实时监测。这些监测数据通过信息化平台进行集中管理，使管理人员能够及时掌握管廊运行情况。当系统检测到异常变化时，可通过远程预警机制及时发出警报，从而在问题早期阶段采取维护措施，避免事故扩大。与此同时，基于数据分析的智能运维系统还能够对设备运行状态进行评估，并制定科学的维护计划，以减少不必要的维修和资源浪费。通过将智能监测技术与模块化结构设计相结合，可以形成高效的运维管理体系，不仅提高管廊运行安全性，也有助于实现城市地下基础设施的长期绿色发展。

5 实践应用与案例分析

5.1 城市综合管廊建设实践

在城市地下基础设施建设过程中，模块化预制拼装技术在综合管廊工程中的应用逐渐增多。部分城市在管廊建设实践中，通过采用标准化设计和工厂预制方式，将管廊结构分为若干模块进行集中生产，再运至施工现场进行拼装。实践结果表明，该技术能够显著提升施工效率，整体工期相比传统施工方式缩短约 30%—40%，同时材料利用率提高约 15%。由于大量施工工序在工厂内完成，现场施工时间明显减少，从而降低了施工过程中的能耗、噪声和粉尘污染。此外，通过引入智能监测系统对管廊结构及运行状态进行实时监控，也进一步提升了管廊运行的安全性与管理效率。相关实践经验为模块化技术在城市综合管廊建设中的推广应用提供了重要参考。

5.2 施工管理与质量控制经验

模块化预制施工在施工管理和质量控制方面具有明显优势。通过将构件生产环节转移至工厂环境，可以利用标准化生产流程和自动化设备提高构件加工精度，从而增强施工质量的可控性。在现场施工阶段，施工单位通过精细化管理方式对装配过程进行严格控制，例如实施施工过程监控、关键节点验收以及装配精度检测等措施，以确保各模块之间连接可靠、结构稳定。同时，模块化施工减少了现场复杂作业和高风险工序，使施工过程更加安全有序。实践经验表明，通过规范化施工管理和严格质量控制，不仅能够有效降低施工返工率和材料浪费，还能够提升整体工程质量，为实现绿色施工目标提供保障 [5]。

5.3 运维管理与长效机制建设

在综合管廊建成并投入运行后，模块化结构同样为运维管理提供了便利条件。通过建立智能监测系统，可以对管廊内部结构状态、管线运行情况以及环境参数进行实时监控，从而及时发现潜在问题并采取相应维护措施。模块化设计使各结构单元相对独立，当某一部分出现故障或需要维护时，可进行针对性检修，减少大范围维修对管廊运行的影响。同时，通过建立周期性检测制度和信息化运维平台，可以对管廊运行数据进行长期记录和分析，为设施维护和管理决策提供依据。

6 结语

模块化预制拼装综合管廊在绿色建设和施工管理方面表现出显著优势，通过工厂预制、标准化设计、现场快速装配及智能化运维，实现施工能耗降低、资源节约、环境扰动减少及长期运维效率提升。关键技术包括模块化结构设计、运输装配优化及智能监测系统的应用，为绿色效益最大化提供支撑。实践表明，该施工模式不仅提升了施工效率和安全性，也为城市基础设施可持续发展提供了有效路径。未来，应进一步完善标准化模块设计、优化装配工艺和智能监测技术，推动模块化管廊在全国范围内广泛应用，为城市绿色建设和可持续发展提供坚实技术保障。

参考文献

[1] 康明睿.模块化组合综合管廊的设计与应用[J].特种结构,2025,42(03):7-11.

[2] 李鹏,杨志远,杨建华,等.基于模块化拼装综合管廊防水技术研究[J].城市道桥与防洪,2022,(05):237-241+27-28.

[3] 姜云龙,大型预制综合管廊机械化制作与安装成套技术.天津市,中冶天工集团有限公司,2020-04-23.

[4] 李忠林,吕洪涛,聂志亮,等.新型易拆卸拼装式爬梯在综合管廊中的设计应用[J].市政技术,2019,37(01):150-154.

[5] 詹涛涛.BIM技术在叠合式拼装综合管廊中的应用[C]//中国图学学会建筑信息模型(BIM)专业委员会,中国中铁股份有限公司.第四届全国BIM学术会议论文集.中铁四局集团建筑工程有限公司;,2018:248-252.