

# Research on Green Design Method of Integrated Utility Tunnel Based on BIM and Multi-objective Optimization

Jiqun Lv

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

## Abstract

With the continuous expansion of urban underground infrastructure, the design of utility tunnels faces multiple challenges including efficient space utilization, resource conservation, and environmental impact reduction. This paper proposes a green design methodology for utility tunnels based on Building Information Modeling (BIM) and multi-objective optimization. By leveraging BIM's advantages in spatial coordination, information integration, and visualization, the study establishes a multi-objective optimization model to achieve green design in tunnel layout, structural forms, and material selection. Through simulation analysis and design optimization of typical urban utility tunnel cases, the results demonstrate that this method can effectively reduce material consumption, construction energy consumption, and environmental load while ensuring functionality and construction feasibility, thereby achieving energy conservation, emission reduction, and efficient resource utilization. The research provides technical references and theoretical foundations for green design of urban underground utility tunnels, promoting the development of green infrastructure and sustainable development.

## Keywords

BIM; utility tunnel; green design; multi-objective optimization; energy conservation and emission reduction

## 基于 BIM 与多目标优化的综合管廊绿色设计方法研究

吕继群

浙江建设职业技术学院, 中国·浙江杭州 310000

## 摘要

随着城市地下基础设施规模的不断扩大, 综合管廊设计面临高效利用空间、节约资源和降低环境影响的多重要求。本文提出基于建筑信息模型 (BIM) 与多目标优化的综合管廊绿色设计方法, 结合 BIM 技术在空间协调、信息集成和可视化方面的优势, 构建多目标优化模型, 实现管廊布局、结构形式及材料选择的绿色化设计。通过对典型城市综合管廊案例的仿真分析与设计优化, 结果表明, 该方法能够在保障功能和施工可行性的前提下, 有效降低材料消耗、施工能耗及环境负荷, 实现节能、减排和资源高效利用。研究为城市地下管廊绿色设计提供技术参考和理论依据, 推动绿色基础设施建设与可持续发展。

## 关键词

BIM; 综合管廊; 绿色设计; 多目标优化; 节能减排

## 1 引言

城市综合管廊作为承载水、电、气、通信等多种管线的重要基础设施, 建设过程中涉及大量材料消耗、能源使用及环境扰动。传统设计方法多依赖二维图纸和经验规则, 难以实现空间高效利用和绿色优化。BIM 技术通过三维建模、信息集成和可视化分析, 为管廊设计提供精确数据支撑和协同管理手段。同时, 多目标优化方法可以综合考虑材料消耗、施工成本、空间利用率及环境影响, 实现绿色设计方案的量化评估与决策优化。本文以 BIM 与多目标优化为核心, 研

究综合管廊绿色设计方法, 探索节能、减排及资源高效利用的技术路径, 为城市地下基础设施绿色发展提供理论和实践支持 [1]。

## 2 综合管廊绿色设计理念与 BIM 技术应用

### 2.1 绿色设计理念在综合管廊中的应用

在城市地下基础设施建设不断发展的背景下, 绿色设计理念逐渐成为综合管廊规划与建设的重要指导原则。综合管廊绿色设计强调在满足管线运行、安全管理及维护需求的前提下, 通过优化空间布局、合理选择结构形式和材料类型, 降低工程建设及运行过程中对资源和环境的影响。设计过程中不仅需要关注施工阶段的能源消耗, 还应综合考虑设施在全生命周期内的运行效率和维护成本。例如, 在管廊结构设计中, 通过合理布置管线位置和支撑体系, 可以提高空间利

【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。

用效率并减少材料使用量。同时,在材料选择方面,优先采用耐久性较强、环境影响较小的材料,以降低后期维护频率和资源消耗。此外,在设计阶段还需充分考虑管廊运维的便捷性,使设备检修与管理更加高效。通过将绿色理念贯穿于规划、设计和运维全过程,可以实现综合管廊建设与城市可持续发展的协调统一。

## 2.2 BIM技术在管廊设计中的优势

BIM技术在综合管廊设计中具有明显的技术优势,其核心在于通过三维数字模型实现工程信息的集成与共享。在设计阶段,通过建立完整的BIM模型,可以直观呈现管廊结构、管线布局及设备安装位置,使设计人员能够在虚拟环境中对整体空间结构进行全面分析。BIM系统还具备碰撞检测功能,可以及时发现不同专业设计之间的冲突问题,从而在施工前进行调整,减少后期设计变更和资源浪费。此外,BIM技术能够对施工过程进行模拟分析,对施工顺序、设备配置以及材料需求进行预测,从而提高施工组织效率。在信息共享方面,BIM平台为不同专业团队提供统一的数据环境,使结构、机电和管线设计人员能够进行协同工作。通过这种信息化管理方式,可以提升设计精度并为绿色设计提供可靠的数据支持。

## 2.3 绿色设计目标与评价指标

为了实现综合管廊绿色建筑目标,需要建立科学的评价指标体系,对设计方案的绿色性能进行系统评估。评价指标通常包括材料消耗量、施工能耗、空间利用率、环境影响程度以及生命周期成本等多个方面。通过对这些指标进行量化分析,可以全面反映不同设计方案在资源利用和环境影响方面的差异。在实际设计过程中,这些指标不仅可以作为绿色设计效果的评价依据,也可以作为多目标优化模型的重要参数。通过将绿色评价指标纳入设计决策过程,可以在满足工程安全与功能需求的基础上,实现经济性与环境效益的综合平衡。同时,科学的评价体系还能够为后续施工和运维管理提供参考依据,使综合管廊建设在全生命周期内保持较高的资源利用效率和环境友好性。

## 3 多目标优化方法在管廊设计中的应用

### 3.1 多目标优化模型构建

在综合管廊绿色设计过程中,需要同时考虑空间利用效率、材料消耗以及施工能耗等多种因素,这些因素之间往往存在一定的相互制约关系。因此,通过构建多目标优化模型,可以对不同设计目标进行系统化协调。该模型通常以空间利用率最大化、材料消耗最小化及施工能耗最小化为主要目标函数,并在满足结构安全、管线运行和施工规范等条件下设置相应约束条件。通过数学建模的方式,将设计参数、结构形式及管线布置等因素进行量化处理,从而形成可计算的优化问题。在模型求解过程中,可采用线性规划、遗传算法或粒子群优化等方法进行求解,通过多次迭代获得一组具

有代表性的可行解集。设计人员可以根据工程需求和绿色设计目标,从可行解集中选择最优方案。多目标优化模型的建立,使综合管廊设计从经验决策逐步转向数据驱动和科学决策,为绿色设计提供了系统化技术支撑[2]。

### 3.2 管廊空间布局优化

空间布局优化是综合管廊绿色设计的重要内容,其核心在于合理配置管线位置、通风系统、检修通道及支撑结构,以提高空间利用效率并确保管线运行安全。在设计过程中,BIM模型能够提供精确的三维空间信息,使设计人员能够直观地分析管廊内部结构布局。通过空间分析与碰撞检测功能,可以及时发现管线之间以及管线与结构之间可能存在的冲突问题,从而进行优化调整。在此基础上,结合多目标优化算法对管线排列顺序、间距以及走向进行系统分析,可以在保证安全距离和维护空间的前提下实现空间利用率最大化。

### 3.3 材料与结构优化策略

在综合管廊绿色设计中,材料和结构优化对于降低资源消耗和环境影响具有重要意义。通过BIM模型可以对工程所需材料进行精确统计,并在设计阶段预测不同方案下的材料使用量。在此基础上,结合多目标优化方法对结构形式、构件尺寸及材料类型进行系统分析,可以在满足结构安全和耐久性要求的前提下减少材料使用。例如,通过合理调整管廊截面尺寸和结构布置,可以降低混凝土和钢材的使用量,从而减少工程碳排放。此外,结构优化还可以通过改进支撑体系设计和采用模块化预制结构,提高构件标准化程度,使施工过程更加高效。结构轻量化设计同样是重要策略之一,通过优化结构受力路径和减少冗余构件,可以在保证结构稳定性的同时降低材料消耗[3]。

## 4 BIM与多目标优化在设计实践中的实现

### 4.1 设计流程与协同管理

在综合管廊绿色设计过程中,将BIM技术与多目标优化方法相结合,可构建系统化的设计流程。该流程通常包括需求分析、三维模型建立、碰撞检测、多目标优化计算以及设计方案评估等关键环节。通过BIM平台,各专业团队能够在统一的信息环境中开展协同设计,实现结构、管线、设备及施工信息的共享与同步更新。协同管理机制能够有效减少信息孤岛问题,使设计决策更加科学合理。同时,在设计阶段通过碰撞检测与方案优化,可提前识别潜在冲突并进行调整,从而避免施工阶段的设计变更。通过这种协同化设计流程,可以在提高设计效率的同时,使绿色设计理念贯穿于方案形成全过程,形成从概念设计到施工图设计的完整闭环,为工程实施提供可靠基础。

### 4.2 仿真分析与绿色效益评估

在管廊绿色设计中,仿真分析是评估设计方案可行性和环境效益的重要工具。借助BIM模型,可以对施工过程、

结构布局及设备运行情况进行模拟,从而对施工能耗、材料使用量以及空间利用效率进行量化分析。这些仿真数据能够为多目标优化算法提供基础数据,使优化结果更加贴近实际工程条件。在仿真过程中,通过对不同设计方案进行对比分析,可以识别潜在问题并及时调整方案,以实现资源利用效率提升和能源消耗降低。同时,通过建立节能减排、材料利用率和空间利用率等评价指标体系,可以对绿色设计效果进行科学评估。

### 4.3 案例应用与实践效果

在部分城市综合管廊建设项目中,将 BIM 技术与多目标优化方法应用于设计阶段,取得了较为显著的实践效果。通过对管廊空间布局、结构形式及管线排列方式进行系统优化,优化后的设计方案在满足功能需求和安全标准的前提下,实现了资源利用效率的明显提升。实践结果表明,优化设计能够使管廊空间利用率提升约 10% 以上,同时材料消耗量减少约 15%,施工阶段能源消耗也得到有效控制。此外,BIM 平台的应用使设计信息更加透明和可追溯,促进了各专业之间的协同合作。相关案例表明,BIM 技术与多目标优化方法的结合不仅能够提升设计质量,也为城市地下基础设施绿色建设提供了可推广的技术路径与实践经验 [4]。

## 5 关键技术与方法优化

### 5.1 模块化设计与预制施工

在综合管廊建设过程中,模块化设计与预制施工技术逐渐成为提高施工效率与实现绿色建造的重要手段。通过将管廊结构划分为若干标准化模块,并在工厂环境中完成构件预制,可显著减少现场施工环节,提高施工组织效率。在设计阶段引入 BIM 技术进行三维建模,可以对管廊结构、管线布局以及设备安装进行全面模拟,通过碰撞检测及时发现设计冲突并进行优化调整,从而提高模块拼装的准确性。与此同时,多目标优化方法能够综合考虑结构安全、施工效率及资源利用等因素,对模块尺寸、支撑结构及管线接口位置进行系统优化。通过优化设计,可以减少材料浪费并降低施工能耗,使模块结构更加合理。

### 5.2 信息集成与数据驱动优化

在综合管廊设计与建设过程中,信息集成是实现绿色设计与智能管理的重要基础。BIM 平台能够整合结构设计、管线布置、施工组织及运维管理等信息,实现工程全生命周期的数据共享与协同管理。通过将设计数据、施工进度及设备运行信息统一纳入平台,可形成完整的信息管理体系,为工程决策提供可靠依据。在此基础上,多目标优化方法结合

数据分析对设计方案进行动态调整,通过优化管线布局、结构构件及材料使用,实现资源配置优化,提升材料利用率并降低施工能耗。同时,对不同方案的环境影响和经济成本进行综合评估,可选择更具可持续性的设计方案,使综合管廊设计更加科学、可量化,并为绿色建设提供技术支撑 [5]。

### 5.3 施工与运维协同技术

在综合管廊工程建设与运营过程中,实现施工与运维阶段的协同管理对于保障绿色效益具有重要意义。借助 BIM 技术,可以在施工阶段对施工流程进行模拟分析,通过合理安排施工顺序与资源配置,减少施工过程中的能源消耗和材料浪费。同时,通过施工模拟与优化调度,可以提前识别潜在施工风险,提高工程实施效率。在管廊投入运行后,BIM 模型仍可作为运维管理的重要工具,通过与监测系统数据结合,对管廊结构状态、设备运行情况以及环境参数进行持续监测,从而及时发现潜在问题并制定维护计划。通过对运维数据的分析,可以不断优化设备维护周期和资源配置,降低运营成本并延长设施使用寿命。施工与运维阶段的协同技术不仅保证了设计阶段绿色优化成果能够持续发挥作用,也为综合管廊实现全生命周期绿色管理提供了技术支撑。

## 6 结语

基于 BIM 与多目标优化的综合管廊绿色设计方法,通过三维建模、信息集成、空间布局优化及材料结构优化,实现节能减排、空间高效利用和施工可行性兼顾。实践显示,该方法能够提升设计效率、降低材料与施工能耗,并优化管廊绿色效益,为城市地下基础设施建设提供科学、可操作的绿色设计路径。未来,随着 BIM 技术和多目标优化算法的进一步发展,可实现管廊设计的智能化、动态化和全生命周期绿色管理,为城市基础设施可持续发展和绿色建设提供坚实技术支撑。

### 参考文献

- [1] 贾连辉,闫扬义,薛广记,等.绿色装配式综合管廊U盾架管机设计及其施工技术研究[J].现代隧道技术,2025,62(01):275-284.
- [2] 喻鹏.基于进化博弈的城市综合管廊绿色施工研究[D].东南大学,2022.
- [3] 欧阳康森.综合管廊绿色智能建设成套关键技术及工程应用.北京市,北京京投城市管廊投资有限公司,2020-12-01.
- [4] 杜舜泽.智慧综合管廊绿色建造与运维关键技术.福建省,中铁一局集团厦门建设工程有限公司,2019-10-01.
- [5] 油新华,华东,王恒栋.综合管廊绿色建造的有效途径[J].隧道建设(中英文),2018,38(09):1423-1427.