

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.12.019

# 基于 BIM 的综合管廊交互设计与协同管理应用

钟 炜<sup>1</sup>, 李志勇<sup>1</sup>, 万振东<sup>2</sup>

(1. 天津理工大学 管理学院, 天津 300384; 2. 中国建筑第六工程局有限公司 华南分公司, 广东 深圳 518000)

**摘 要:** 为解决复杂空间内“设计冲突”,提高综合管廊设计工作协同效率,提出以交互设计为理念的创新设计思路及理论方法,系统论述管廊交互设计流程与协同管理体系,并结合 BIM 技术构建设计与协同管理平台,探索智慧城市建设中协同设计新模式。以实际工程为研究对象,应用该理论方法和流程体系进行研究,结果表明,利用 BIM 技术对综合管廊项目进行交互设计可将设计工作提前并行,有效集成综合管网信息,避免因专业间信息割裂而产生“错、漏、碰、缺”,能够将设计参数与运维管理工作进行协同分析,实现可视化条件下的方案优化,显著提升其设计精度、方案合理性与协同一致性。

**关键词:** 建筑信息模型; 综合管廊; 交互设计; 协同管理; 信息集成

**中图分类号:** TU990.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2021)12-0104-05

## Interactive Design and Collaborative Management Application of Utility Tunnel Based on BIM

ZHONG Wei<sup>1</sup>, LI Zhi-yong<sup>1</sup>, WAN Zhen-dong<sup>2</sup>

(1. School of Management, Tianjin University of Technology, Tianjin 300384, China; 2. South China Branch, China Construction Sixth Engineering Division Corp. Ltd., Shenzhen 518000, China)

**Abstract:** In order to resolve the “design conflicts” in complex spaces and improve the synergistic efficiency of utility tunnel design, innovative design ideas and theoretical methods based on the concept of interactive design were proposed, and interactive design process and collaborative management system of utility tunnel were systematically discussed. In addition, a design and collaboration platform combined with BIM technology was established, and a new model of smart city construction was explored. The method was applied in a practical project. The use of BIM technology in the design of utility tunnel project could parallel the design work in advance, effectively integrate the pipeline network information, and avoid “errors, omissions, collisions, and deficiencies” caused by information fragmentation between majors. In addition, the method was able to analyze design parameters and operation and maintenance management collaboratively, realize program optimization under visual conditions, and significantly improve its design accuracy, program rationality and coordination consistency.

**Key words:** building information modeling; utility tunnel; interactive design; collaborative management; information integration

基金项目: 教育部人文社科规划基金项目(20YJAZH141)

通信作者: 钟炜 E-mail: 895638705@qq.com

综合管廊内部管网种类众多、管线高度集中,进行设计时需要综合考虑各专项配套设施排布,涉及多专业在纵横空间内满足多项规范要求整体化设计,是一项较为复杂的系统工程<sup>[1-3]</sup>。为此,如何借助现代化技术手段支持,打破传统二维设计模式与协同管理方式壁垒,提高设计人员对复杂空间下交叉设计方案的准确性与工作效率是亟待解决的问题。交互设计(Interaction Design, IxD)因其交互和可用性特点可有效集成多专业设计领域信息<sup>[4]</sup>,建筑信息模型(Building Information Modeling, BIM)技术可将管线设计进行可视化仿真模拟<sup>[5]</sup>,通过将设计与创建在构件上的元素信息进行关联,所有参与方可实现信息共享和协同工作,有效解决综合管廊工程设计冲突与协同效率低下的问题。

### 1 交互设计在管廊设计中的价值分析

综合管廊工程目前在我国还处于试点推行阶段,对于管廊的复杂空间设计,尤其是管廊交叉节点设计使设计人员需付出巨大精力进行反复校调,审核人员即使经过审查也很难在平面、立面、剖面比较中找到“冲突”。而采用交互设计思想,不仅可以将多专业管线设计人员和审核人员作为交叉沟通的个体元素,而且是作为联动整体进行信息传递,可极大提高信息表达流畅度,使其各专业工程师在本专业设计时有效考虑其他管线专业规范与业主需求,也可将部分运维管理工作前置,以期达到设计精准服务运维,提升综合协同效率。

入廊管线主要包括给水、电力、通信、天然气、热力等多类管线,其设计使用年限多为 100 年。综合管廊项目造价成本高昂,对复杂管廊空间进行设计时要求各专业管线统筹安排,人行流线与排管流线布置合理。例如,热力管道不应与电力电缆同舱敷设;考虑到综合管廊安全性指标,天然气管道应在独立舱室敷设,110 kV 以上电力电缆不应与通信电缆同侧布置等<sup>[6]</sup>。通过对基于传统二维图纸综合管廊设计与管理工作的重(难)点分析,结合项目管理理论构建综合管廊工程可视化交互设计方案流程体系<sup>[7-8]</sup>,以 BIM 技术辅助开展仿真应用为导向的复杂空间管网精准布局、三维系统化设计理论方法研究。为此,对某高铁站枢纽片区管廊项目建立工作任务信息集成体系平台以增强信息协同,运用 VR 仿真设计以进行人机交互条件下方案模拟优化与岗位巡查推演,应用可视化分析以提升管廊净空

检测与碰撞筛查效率,将设计与施工和运维衔接,使得 BIM 设计成果在后期运营管理中发挥更大作用。

### 2 综合管廊交互设计流程

以交互设计“可用性”和“用户体验”两个层次将设计流程按两阶段三步骤进行划分<sup>[9]</sup>,主要包括方案比选阶段的初步设计、图纸细化阶段的施工图设计和设计冲突优化。

从工作流程上分析,传统 CAD 设计步骤呈流水性,由建筑、结构设计完成后再进行各专业管线及附属设施工程设计,整个过程各专业人员分工明确,但缺少全专业间协同联动,使其存在设计“信息孤岛”。从数据传递方式上分析,传统 CAD 为二维图纸信息,进行协同设计时各专业设计人员需要与外专业协同作业,频繁的交互作业与设计修改极易产生多头管理、无效协同。采用 BIM 技术辅助综合管廊设计,通过建立协同工作集与综合 BIM 模型关联各专业设计师,有效避免因信息沟通不畅而产生“打架”,使其整个工作流程更加合理,数据信息流转更为快捷,其 BIM 辅助综合管廊设计流程如图 1 所示。

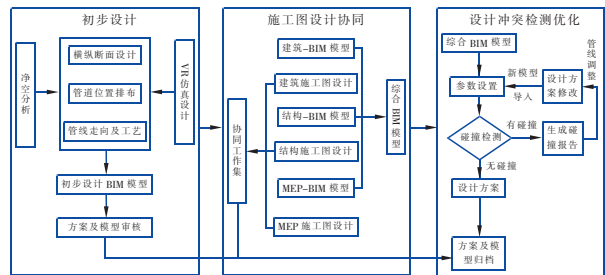


图 1 BIM 辅助综合管廊设计流程示意

Fig. 1 Schematic diagram of BIM-aided utility tunnel design process

### 3 协同管理体系构建

在传统工程设计中,设计人员是将三维构思转化为二维平面图纸的单向表达过程,业主、施工方、监理方依据二维图纸理解设计师意图,如在普通房建项目、市政项目中具有较大相似性,各参建项目工程师可依据经验理解。但是,在综合管廊项目中主要呈现空间结构复杂(管线分舱)和协调难度大(多专业管线综合)的特性,主要表现为:断面分舱、受地形及上层道路影响、防火及抗震等级高、空间布局有限、涉及专业较多且具有庞大的数据资料。而综合管廊的出入口、逃生口、吊装口、进风口、管线分支

口等设计要求也较为精细,在二维模式下进行多专业分散设计极易产生“错、漏、碰、缺”,具体表现为方案论证时沟通效率低下、资料管理混乱和易产生误解。

为此,采用创建设计协同平台与信息集成平台相结合(见图 2)的方式提高项目信息化管理水平,该协同设计平台结合复杂空间设计难点,优化作业流程,同步更新设计文件,实现内部信息充分共享,其具体工作原理见图 2(a);为促使信息流在项目全生命周期内有效集成,设计方案完成后也可通过信息集成平台实现基于成果共享的项目级协同,保证各利益相关方信息沟通一致性,其具体工作原理见图 2(b)。

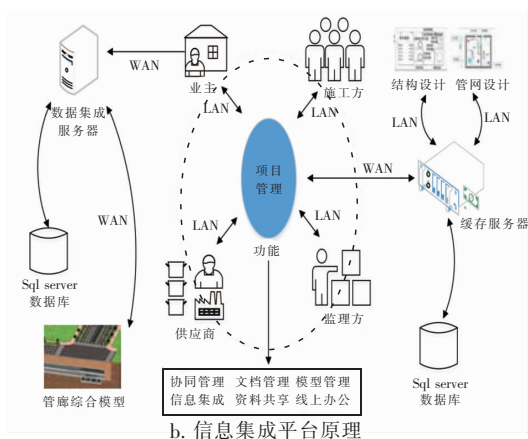
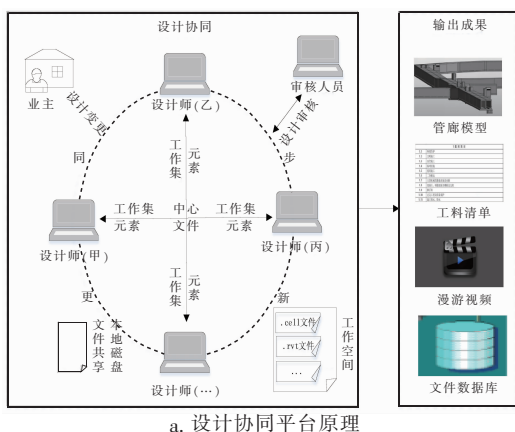


图 2 设计协同与信息集成原理

Fig. 2 Principles of design collaboration and information integration

在实际设计工作中,参与管廊设计与审核的工作人员来自多个企业或同一个企业多个部门,为确保交互设计为同步更新,平台搭建时考虑到了设计的分布性、交互性与动态性。

#### 4 工程实例

某综合管廊工程位于河北省某高铁站枢纽片区,为一期项目,其中干、支线综合管廊包含 E3 路综合管廊(N1-N9)、E4 路综合管廊(N1-N10)、E5 路综合管廊(N1-N9)、N6 路综合管廊(K1-E32)、N9 路综合管廊(K1-咎白公路)、K1 路综合管廊(K4+400-K8+350),合计 14.96 km。根据能源需求,本工程采用单层箱型结构形式,结构内净尺寸(宽×高)为 8.00 m×3.40 m。入廊管线包括给水、再生水、电力、通信、天然气、热力管线,舱室布置由南向北依次为能源舱、综合舱、燃气舱。其项目规划与交叉节点效果见图 3。

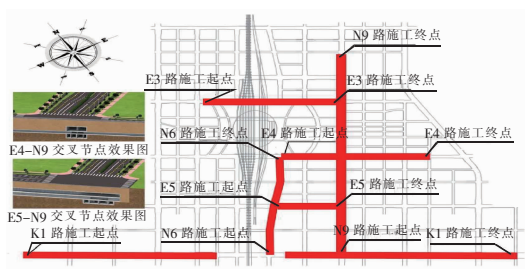


图 3 项目规划与交叉节点效果图

Fig. 3 Project planning and cross-node renderings

#### 4.1 工作任务信息集成处理

管廊设计既要考虑各专业管线合理衔接,又要保证净高使用及人行通道流线与管道流线避让,通过建立工作集进行协同设计,由 BIM 总设计师创建中心文件,建立工作集将设计任务进行分配,并确定给水、再生水、电力、通信、天然气、热力设计师编辑权限;项目基于工作集建立的中心文件,通过设计协同平台完成文件共享与模型同步,借用图元方式实现跨专业构件的编辑权限获取与释放,各专业工程师可通过该平台下载需用文件,如标高、轴网等。各专业设计师动态更新设计成果,外专业工程师和设计小组成员可及时了解整个项目进展状况,从而使自己设计与项目团队保持一致性。

#### 4.2 设计冲突检查与净高分析

管廊项目设计冲突检测划分原则见表 1,在进行区段内设计冲突检测时各专业设计人员可在整个设计过程中同步更新设计模型,通过 Navisworks 软件平台的 Clash Detective 模块直接检测冲突碰撞点;如进行区段间设计冲突检测则需要两区段模型全部搭建完毕后以链接的形式,整合两相邻区段模型,再导入 Navisworks 进行碰撞检测。



表 1 设计冲突检测

Tab.1 Design conflict detection

| 项 目  | 碰撞类型                       |  |
|------|----------------------------|--|
| 碰撞区间 | 区段内碰撞:实体交集位置发生在管廊区段内       | 区段间碰撞:实体交集位置发生在管廊区段连接处                                     |
| 碰撞形式 | 硬碰撞:实体在空间上存在交集             | 间隙碰撞:实体 1 与实体 2 在空间上并不存在交集,但两者之间的距离 $d$ 比设定的公差 $D$ 小时产生的交集 |
| 碰撞专业 | 单专业碰撞:单个专业自身进行碰撞检查时产生的碰撞交集 | 多专业综合碰撞:包括多专业管线及建筑、结构、设备之间进行碰撞检查时产生的碰撞交集                   |

选取某一机房处碰撞点为例,根据碰撞报告中所提供的碰撞构件类型、名称及 ID 编码可以迅速对冲突位置进行定位,并按照碰撞涉及专业派发相应设计人员进行修改。通过 BIM 进行辅助设计可以将问题在施工前及时暴露,预先发现设计图纸“错、漏、碰、缺”,有效减少本项目的返工与浪费现象发生,其碰撞检查如图 4(a)所示。由于本项目涉及高铁桥桩建设,综合管廊穿越桥桩段结构预留包含四个区段,合计 1.38 km。为确保预留准确性及运维管理阶段人员检修空间符合要求,特对管廊内部进行人行通道净空检查,其检查结果见图 4(b)。

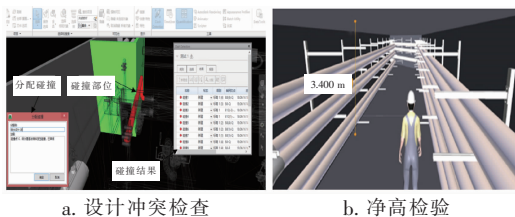


图 4 碰撞检查与净高检验

Fig.4 Collision check and clear height check

#### 4.3 管廊与管网数据管理

管廊运维在其整个生命周期内时间占比最长,且涉及多专业管线信息综合管理,统筹协调难度大。项目通过 BIM 信息集成与协同平台整合运维管理信息,利用手持终端及视频监控将采集的各干、支管线及设备信息动态输入平台以可视化的方式分配给各管线维保人员,各专项维保负责人员可远程接收与调用日常巡检记录,实现对管道分段、分专业精确监管。对于舱室安全管理,使其与消防系统进行互联,一旦发生气体泄漏,发出声光报警信息可在 BIM

模型精确定位,在平台内进行检索查询,迅速调取干支管廊名称、专业图名称、道路名称等信息,协助管理者调配相关资源。平台对管廊与管网运行阶段所产生的巡查日志、管道及设备监测指标、能耗统计信息等信息进行集成管理,利用中心控制平台派发与收集各专项任务,实现业务留痕与精细化管控。

#### 4.4 管廊虚拟仿真场景设计

综合管廊建设目的是为城市提供更加安全与便捷的服务,在设计阶段提前考虑人与管廊设施及周围环境的一致性也是设计与运维管理的交互协同。人作为整个运维管理的核心,将 BIM + VR 技术进行结合,对实际运维场景进行沉浸式模拟,可实现人机交互条件下的方案优化。以人为中心的设计理念:通过模拟运维人员巡检和任意角度漫游进行实景视觉与感官体验,对比体验评价以校验设计方案,实现设计精准服务运维;在设计阶段对必要设备进行信息提前植入,接入信息集成平台,进行设计—厂家—施工组件全流程控制,将运维管理工作前置。

在管廊运维管理中管线单位责权关系复杂且各主体单位需求不尽相同,通过 BIM + VR 以 3D 模型复现的方法直观再现地下管廊设备设施情况,对各管线单位进行多角色多岗位模拟推演,使其各专业维保人员熟知管道与设备运行原理,能够更加高效巡检和清晰地对设备故障进行定位。通过 VR 设备沉浸式体验结合实景漫游效果对维保人员做安全培训与岗前教育,进一步提高地下管廊应对包括火灾、管道爆裂引发溢水、透水、气体泄漏等突发事件的应急指挥和快速处置能力。VR 虚拟仿真见图 5。

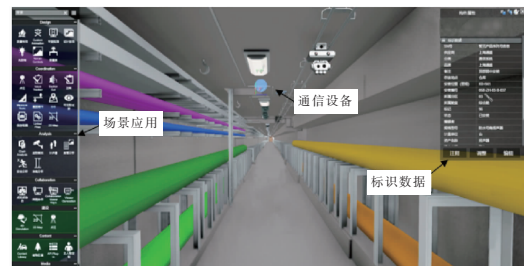


图 5 综合管廊虚拟仿真示例

Fig.5 Virtual simulation example of utility tunnel

## 5 结论

交互设计在综合管廊的具体应用,不仅以设计“产品”为导向,而且重视设计过程中人员的行为,强调各专业间信息共享和动态更新,使得设计工作实现提前并行,设计信息割裂状况得到有效改善,避

免了设计工作“信息孤岛”现象。运用 BIM 技术搭建管廊信息模型,通过实景漫游及碰撞分析等现代化技术处理设计冲突,与传统二维图纸设计相比极大程度提高了设计方案合理性;利用 VR 仿真设计与 BIM 信息集成将设计参数与运维管理交互协同,使设计更精准服务于运维管理,进一步提升 BIM 设计成果应用价值。

选取实际综合管廊项目加以验证,该方法能够改善复杂空间下多专业综合作业的协调性,保证各专业工程和工艺输出信息流畅;与传统 CAD 设计相比,设计方案展现更为直观,信息共享渠道更加畅通,有效提高设计方案准确性与协同工作效率,体现了交互设计信息横向传递、纵向传递的高效性。

#### 参考文献:

- [1] 何明亮. 基于 BIM 技术的地下综合管廊交叉节点优化设计研究[D]. 南京:东南大学,2018.  
HE Mingliang. Research on Optimal Design of Cross Node in Urban Utility Tunnel Based on BIM [D]. Nanjing:Southeast University,2018(in Chinese).
- [2] 朱记伟,郑思龙,刘建林,等. 基于 BIM 技术的城市综合管廊工程协同设计应用[J]. 给水排水,2016,42(11):131-135.  
ZHU Jiwei,ZHENG Silong,LIU Jianlin,et al. Application of collaborative design in urban utility tunnel based on BIM [J]. Water & Wastewater Engineering, 2016, 42(11):131-135(in Chinese).
- [3] 夏洪薇,郭路伟,龙博. 复杂地下空间结构中综合管廊优化设计探讨[J]. 中国给水排水,2018,34(16):69-72.  
XIA Hongwei, GUO Luwei, LONG Bo. Discussion on optimal design of utility tunnel with complex underground space construction conditions [J]. China Water & Wastewater,2018,34(16):69-72(in Chinese).
- [4] SHEDROFF N. Information Interaction Design:A Unified Field Theory of Design[M]. Massachusetts:MIT Press, 1999.
- [5] SUCCAR B. Building information modelling framework: a research and delivery foundation for industry stakeholders [J]. Automation in Construction, 2009, 18(3):357-375.
- [6] 住房和城乡建设部. 城市综合管廊工程技术规范:GB 50838—2015[S]. 北京:中国计划出版社,2015.  
Ministry of Housing and Urban-Rural Development. Technical Code for Urban Utility Tunnel Engineering: GB 50838-2015 [S]. Beijing: China Planning Press, 2015 (in Chinese).
- [7] 王巧雯,张加万,牛志斌. 基于建筑信息模型的建筑多专业协同设计流程分析[J]. 同济大学学报(自然科学版),2018,46(8):1155-1160.  
WANG Qiaowen, ZHANG Jiawan, NIU Zhibin. Architecture multi-disciplinary collaborative design process based on building information model[J]. Journal of Tongji University (Natural Science), 2018, 46(8):1155-1160(in Chinese).
- [8] 钟炜,王鹤霖,王帅. BIM 辅助市政道路工程交互设计及协同管理应用[J]. 中国给水排水,2018,34(12):74-78.  
ZHONG Wei,WANG Helin,WANG Shuai. Application of BIM in municipal road project interaction design and collaborative management [J]. China Water & Wastewater,2018,34(12):74-78(in Chinese).
- [9] BARENDREGT R, LAMO Y, RABBI F. A bottom up approach for synchronous user interaction design and workflow modelling [J]. Procedia Computer Science, 2016,98:340-347.

**作者简介:**钟炜(1977-),男,天津人,博士,教授,副院长,主要研究方向为 BIM、工程系统优化、三维信息仿真,主要研究成果为国家社科基金两项、教育部人文社科基金两项、天津市重大科技专项一项、出版专著 5 部、获得专利及软件著作权 4 项,荣获天津市科技进步二等奖、天津市特聘教授青年学者等荣誉。

**E-mail:**895638705@qq.com

**收稿日期:**2020-04-22

**修回日期:**2020-06-08

(编辑:孔红春)