

基于 BIM 的城市地下综合管廊建模与系统实现

贾昭旭¹, 吕希奎^{1,2}, 蒋 政¹

(1. 石家庄铁道大学 交通运输学院, 河北 石家庄 050043;

2. 石家庄铁道大学 省部共建交通工程结构力学行为与系统安全国家重点实验室, 河北 石家庄 050043)

摘要:针对目前城市地下综合管廊二维管理模式存在的直观性差、效率低问题,采用 BIM 技术,对综合管廊构件进行编码和族库构建。在此基础上,提出了综合管廊结构主体模型、入廊管线模型和附属结构模型的参数化建模方法,实现了管廊模型的快速生成,有效地提高了建模效率。基于 C# 编程语言、数据库技术、Revit、Unity 平台和 Dynamo 的二次开发技术,开发了地下综合管廊建模平台,实现了综合管廊模型的有效集成、信息查询和三维漫游展示,解决了地下综合管廊可视化运维管理的关键问题,为地下综合管廊整体可视化运维管理奠定了良好的基础。

关键词:地下综合管廊;三维建模;BIM 技术;管廊建模平台

中图分类号: TU990.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0373(2024)01-0068-006

0 引言

城市地下综合管廊集中敷设了电力、热力、通信、给水、排水、燃气等多种类型市政管线,是保障城市运行的“生命线”^[1]。但管线众多、布置紧密,且地下空间相对封闭,这种环境的可用信息相对较差,目前仅靠二维 CAD 图纸的二维管理模式直观性差,难以满足复杂的地下综合管廊运维管理需求^[2],可视化运维管理成为解决上述问题的有效途径^[3]。许多学者都对此进行了研究。许云骅^[4]开发的“上华综合管廊设计系统”,利用 CAD 作为开发平台实现综合管廊设计。李剑洋等^[5]、杜欣俊^[6]基于 Revit 软件平台,根据综合管廊定位线和关键节点,采用手工建模方式完成了管廊模型的创建。宋羽等^[7]结合 SLAM 与 LiDAR 获取地下管廊点云数据,在 3ds Max 中手工创建了综合管廊模型。任立夫^[8]采用 Bentley 软件,依据勘测数据管线布置图及高程信息表完成了地下管线的建模。钟炜等^[9]将 BIM 与 VR 技术进行结合,以 3D 模型复现的方法再现地下管廊设备设施情况,实现了对管廊设备设施的可视化管理。KANG et al^[10]通过 BIM 技术与物联网相结合,将综合管廊监控数据存储于数据库中,可视化展示在综合管廊 BIM 模型上,构建了不同阶段的综合管廊模型。以上研究均可以基本满足地下综合管廊运维管理需求,但是由于管廊内部管线种类繁多,利用 Revit、3ds Max 等建模软件手工建模方法,建模难度大、效率低,无法满足管廊设计阶段的频繁设计变更需求。因此,需要寻求一种更高效的管廊建模方法,以此提高管廊的建模效率,实现可视化运维管理。

针对以上难题,基于 BIM 技术、Unity 平台、数据库技术和二次开发技术,研究入廊管线模型、综合管廊附属设施模型和综合管廊结构模型参数化快速自动化建模方法,构建基于 BIM 的综合管廊建模平台,解决综合管廊自动化快速建模关键问题,实现快速构建城市地下综合管廊模型。

1 综合管廊族库创建

综合管廊内部结构复杂,部分复杂结构无法有效通过参数化建模方法实现,为更快捷地实现综合管

收稿日期:2023-11-01 责任编辑:车轩玉 DOI:10.13319/j.cnki.sjztdxxb.20230291

基金项目:国家自然科学基金(51278316);河北省自然科学基金(E2021210027);中央引导地方科技发展资金项目(236Z0804G)

作者简介:贾昭旭(1999—),男,硕士研究生,研究方向为工程数字化设计理论与方法。E-mail:jia101106@126.com

贾昭旭,吕希奎,蒋政.基于 BIM 的城市地下综合管廊建模与系统实现[J].石家庄铁道大学学报(自然科学版),2024,37(1):68-73.

廊建模,对于管廊复杂结构,在 Revit 平台中建立综合管廊构件族库,用于后面程序调用。在“公制风管弯头”族样板中按照规范要求对弯头尺寸参数进行了添加,见表 1。其中,管件外径=入口直径+25 mm,长度=默认中心半径 $\tan(\text{角度}/2)$,中心半径=1.5 中心半径。

表 1 公制风管弯头尺寸

| 入口直径/mm | 管件外径/mm | 长度/mm | 中心半径/mm | 角度(默认值)/(°) | 内衬厚度/mm | 隔热层厚度/mm |
|---------|---------|-------|---------|-------------|---------|----------|
| 300.0 | 325.0 | 186.4 | 450.0 | 45.0 | 0.1 | 0.1 |

参数添加完成之后,选择放样模式绘制弯头放样线,绘制放样轮廓,生成弯头族。可通过调整入口直径和弯头角度,生成不同角度的水管弯头。对于入廊管线其他管件,可在族样板中创建,如图 1 所示。

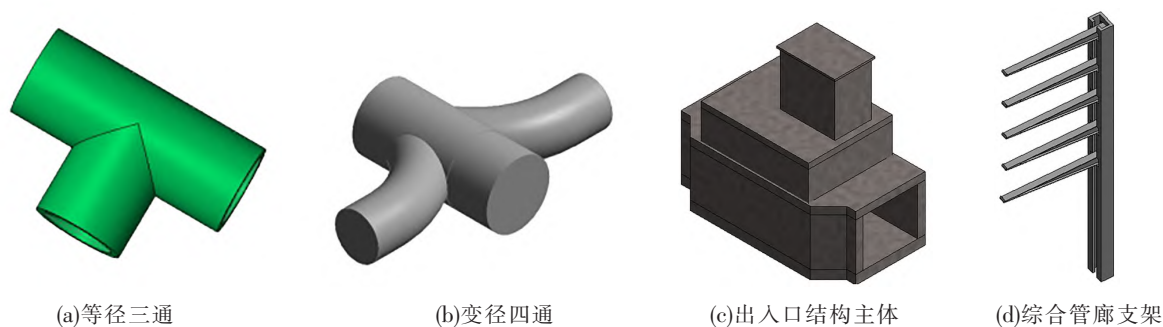


图 1 管廊构件族库

2 综合管廊三维建模方法

地下管廊建模主要包括结构主体、入廊管线和附属结构的三维建模,建模流程如图 2 所示。将 Excel 管廊数据文件存入管廊数据库中,地下管廊三维建模平台读取数据库中数据,创建地下管廊主体结构和入廊管线三维模型,实现地下管廊模型的自动建模。

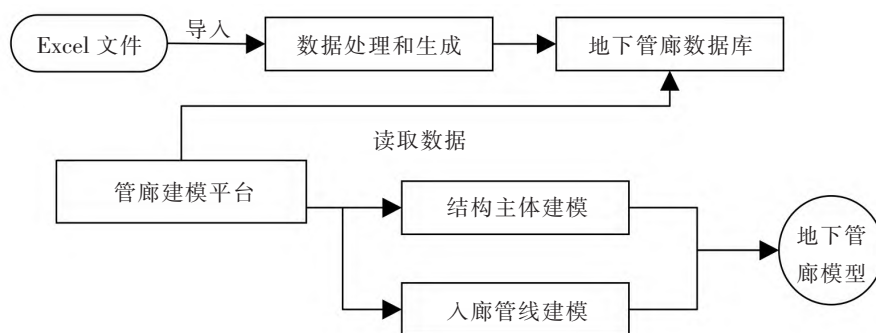


图 2 地下管廊三维建模流程

2.1 结构主体建模

综合管廊的结构主体中管廊截面在管廊交叉口等关键节点位置会发生变化,为适应结构主体更为复杂多变的情况,采用将综合管廊结构主体建模分为综合管廊标准段建模和综合管廊关键节点建模细分的建模方法加以解决。

2.1.1 综合管廊结构主体标准段建模

在综合管廊三维模型创建过程中,建立管廊定位线,是对综合管廊主体结构建模以及管廊内部构造物定位的关键。但由于综合管廊平面图与纵断面图相互独立,采用 Civil3D 软件导入综合管廊平纵设计图对线路进行复现,通过 Civil3D 导出综合管廊定位线特征点的坐标,示例数据见表 2。

表 2 综合管廊定位线特征点坐标

| 测站 | 东距 | 北距 | 高程 |
|-----------|---------|--------|-------|
| 0+070.000 | 0 | 0 | 6.289 |
| 0+072.500 | -1.135 | 2.125 | 6.415 |
| 0+074.438 | -2.453 | 3.639 | 6.542 |
| 0+075.000 | -2.082 | 4.134 | 6.679 |
| 0+076.105 | -3.152 | 4.987 | 6.768 |
| 0+077.150 | -4.451 | 6.012 | 6.802 |
| 0+080.000 | -6.434 | 7.038 | 6.937 |
| 0+082.500 | -8.417 | 8.064 | 7.072 |
| 0+085.000 | -10.400 | 9.090 | 7.207 |
| 0+085.432 | -12.380 | 10.116 | 7.342 |
| 0+087.500 | -14.360 | 11.142 | 7.477 |
| 0+090.000 | -16.340 | 12.168 | 7.612 |
| 0+092.500 | -18.332 | 13.194 | 7.747 |
| ... | ... | ... | ... |

综合管廊标准段管廊截面尺寸不会发生变化,因此可将管廊定位线作为放样线,对综合管廊主体结构建模以及管廊内部构造物进行定位。采用特定截面沿放样线放样的方法生成综合管廊标准段结构主体模型。建模之前需要对综合管廊几何信息进行处理。将综合管廊标准段定位线的坐标数据和综合管廊截面各顶点的位置信息进行整理并存储在 Excel 中。

综合管廊标准段主体结构进行建模,建模方法如下:

(1)使用 Dynamo 读取 Excel 中综合管廊标准段定位线坐标数据,使用直线将坐标进行连接,生成综合管廊标准段放样线,如图 3 所示。

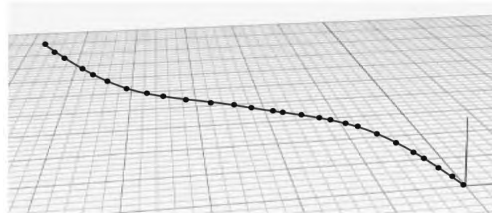


图 3 综合管廊放样线(定位线)

(2)通过 Dynamo 调用综合管廊断面轮廓族,并放置在综合管廊放样线进行放样,形成管廊标准段主体结构实体模型,如图 4 所示。



图 4 综合管廊标准段

2.1.2 综合管廊结构主体关键节点建模

不同的综合管廊节点其结构形式不同,但建模方法基本相同。以综合管廊出入口节点为例,依据出入口结构族创建主体实体模型,根据综合管廊出入口的具体结构形式,对实体进行开洞处理,并可根据实际情况,将门、窗等族和综合管廊出入口模型嵌套在一起。处理完成之后的模型如图 5 所示。使用相同的建模方法创建综合管廊关键节点结构模型,如图 6 所示。

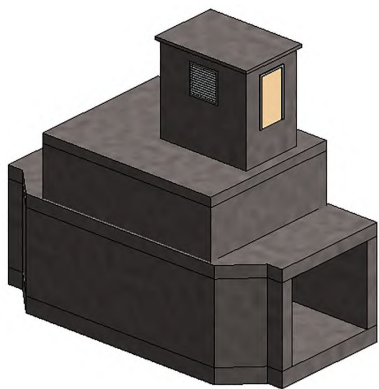


图 5 综合管廊出入口结构主体模型

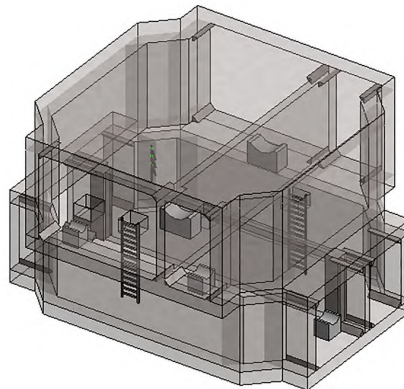


图 6 综合管廊关键节点结构模型

综合管廊结构主体各部分模型创建完成之后,将模型进行拼装,通过原点 to 原点的方式将模型链接到一起生成完整的综合管廊结构主体模型,如图 7 所示。

2.2 综合管廊入廊管线建模

综合管廊中包含了水管、天然气管、电缆等多种管线,均可简化为管点和管段 2 部分。相邻的 2 个管点确定一个管段,多个管段加上连接管段的管点形成一条管线,多条管线相互交错,共同构成综合管廊入廊管线。通过管点的位置信息可以完成对入廊管线的建模。

为了准确构建入廊管线模型,对每条管线进行编码。从管线的起点到终点依次获取管点的坐标信息和连接方式等信息,同时将管段的类型、尺寸、材质等信息进行整理,存储在数据库中。管线信息见表 3。

表 3 综合管廊入廊管线信息表

| 管段类型 | 管段编号 | 管点坐标 | | | 管点类型 | 直径/cm | 材质 |
|-------|------|--------|--------|-------|------|-------|-----|
| | | x | y | z | | | |
| 输水管道 | 1 | 19 080 | 44 924 | -58.3 | 弯头 | 1 000 | 钢管 |
| 输水管道 | 2 | 19 292 | 47 090 | -57.3 | 三通 | 1 000 | 钢管 |
| 输水管道 | 2 | 19 398 | 48 173 | -56.8 | 四通 | 1 000 | 钢管 |
| 输水管道 | 2 | 19 504 | 49 258 | -56.3 | 弯头 | 1 000 | 钢管 |
| 天然气管道 | 3 | 20 880 | 63 335 | -49.8 | 弯头 | 350 | 钢管 |
| 天然气管道 | 3 | 20 986 | 84 418 | -49.3 | 四通 | 350 | 钢管 |
| 中水管 | 4 | 21 198 | 68 584 | -48.3 | 弯头 | 350 | 钢管 |
| 中水管 | 4 | 21 304 | 67 667 | -47.8 | 弯头 | 600 | 钢管 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |

建模时根据各管线管点 z 坐标即可确定管线的坡度,计算公式为

$$pd_i = \frac{z_{i+1} - z_i}{d_i} \times 100 \quad (1)$$

式中, $d_i = \sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2}$ 。

管道类型创建好之后,需要设置弯头、首选连接类型、连接、四通、过渡段、活接头、法兰等布管系统配置。

利用 Revit 二次开发技术,根据管线的信息创建管线模型,实现过程如下:

(1)创建管线族。根据入廊管线的种类创建合适的管线族类型,依据相关设计规范对管件和管段的布管系统进行设置。

(2)创建管道模型。根据管道的系统族类型、管道类型、管道的标高以及管道的坐标信息,使用 Create 方法创建管道模型。

(3)使用 AddParameter 方法为管道添加颜色属性,用来区分不同的管线。

(4)组合连接模型创建。管件和管段通过连接器进行连接,在获取到需要进行连接的管段之后,根据综合管廊入廊管线数据,采用对应的管件进行连接。对于异型管件采用弯头和其他管件连接件组合连接的方法进行创建。根据创建的衔接管段与主要管段连接创建三通管件模型,再与斜接管段连接创建弯头模型,实现组合连接模型创建,如图 8 所示。采用相同方法对综合管廊入廊管线依次建模,最终生成的局部综合管廊入廊管线如图 9 所示。



图 7 综合管廊结构主体模型

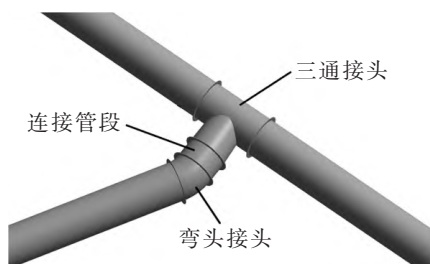


图 8 组合连接模型

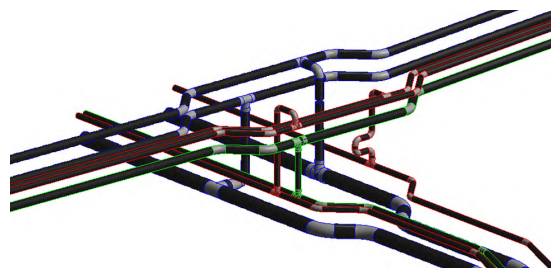


图 9 局部综合管廊入廊管线模型

2.3 附属结构建模

综合管廊中除了结构主体和入廊管线 2 部分外,还有如支架等附属结构,建模方法是利用二次开发技术,将族库中相应的构件按照一定的坐标进行布置,完成系统模型的创建。

以支架附属结构为例,在综合管廊中,支架布置在管廊墙壁上,其布置线形与管廊定位线相平行,建模实现流程如下:

(1)通过管廊支架底部位置的相对坐标计算出支架布置点处坐标。

(2)依次连接各参考点生成实际线路的样条曲线。采用 MoveElement 移动元素方法将支架布置到相应的坐标点处。

(3)对支架进行旋转最终完成支架的布置。布置完成之后的模型如图 10 所示。

使用相同的方法完成附属结构各系统中相关构件的布置,最终完成综合管廊附属结构建模。在综合管廊各系统模型创建完成之后,将所有的项目文件通过原点 to 原点的链接方式链接到一起,最终完成综合管廊模型的创建。链接完成之后的综合管廊整体模型如图 11 所示。

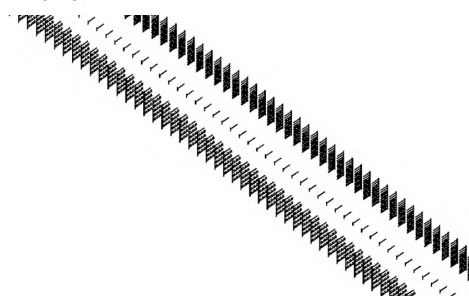


图 10 支架自动布置图

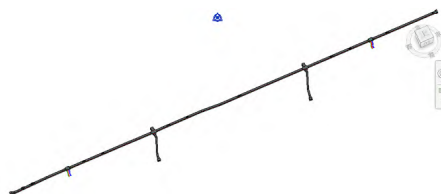


图 11 综合管廊整体模型

3 管廊建模系统实现与应用

在综合管廊结构主体建模、综合管廊入线建模、附属结构建模基础上,采用 C# 编程语言、Revit API 和 Unity 平台二次开发技术,建立了地下管廊建模系统,开发了地下管廊三维漫游、空间量算、编号查询、点选查询、监控预警及鸟瞰图等功能模块,实现了管廊模型的快速生成和综合集成,以某城市地下管廊建设工程为应用案例,利用地下管网设计数据与 BIM 深度融合技术,快速完成了地下综合管廊精细化 BIM 模型构建,实现了设计数据与管廊建模系统的无缝融合。图 12 为某城市综合管廊部分应用标准断面图,其中 EA2 路综合管廊建模与系统集成效果如图 13 所示。

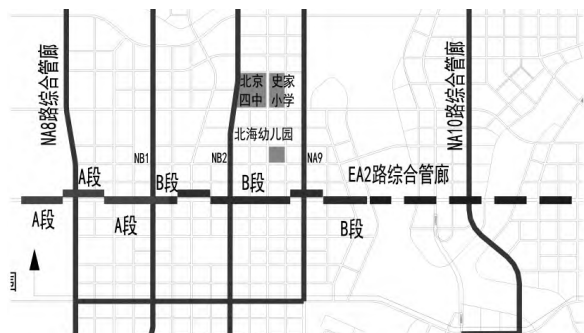


图 12 综合管廊应用标准断面图

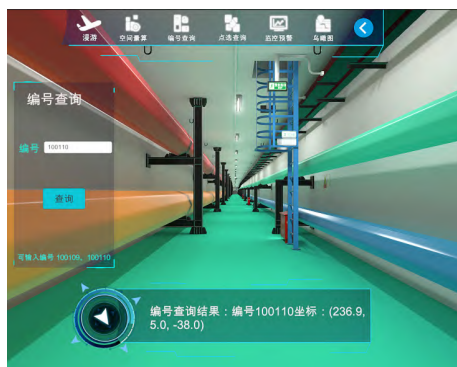


图 13 综合管廊建模集成效果图

4 结论

基于 Revit BIM 平台构建了综合管廊族库,采用 Unity 平台和 Dynamo 二次开发技术,实现了综合管廊结构主体的标准段和关键节点模型、入廊管线及附属结构模型的自动创建,解决了管廊部分结构无法通过参数化快速建模难题,实现了综合管廊整体模型的快速生成。开发了地下综合管廊建模系统,实现了管廊模型的可视化展示和管理。以某城市地下管廊建设工程为应用案例,表明研究成果较好地解决了地下综合管廊快速建模及可视化运维管理的关键问题。

参 考 文 献

- [1]饶传富,毛宇,熊小林,等.从城市地下综合管廊到新区地下市政综合体建设的思考[J].给水排水,2019,55(5):119-123.
- [2]CHAPMAN D, PROVIDAKIS S, ROGERS C. BIM for the underground-an enabler of trenchless construction[J]. Underground Space, 2020,5(4):354-361.
- [3]梁宁慧,兰菲,庄炀,等.城市地下综合管廊建设现状与存在问题[J].地下空间与工程学报,2020,16(6):1622-1635.
- [4]许云骅.基于 CAD 的综合管廊三维参数化设计[J].中国给水排水,2019,35(20):62-66.
- [5]李剑沣,李志霏,马翔山.综合管廊 BIM 协同设计模式及技术应用[J].市政技术,2022,40(9):220-228.
- [6]杜欣俊.BIM 技术在城市综合管廊设计中的应用研究[J].土木建筑工程信息技术,2021,13(5):102-107.
- [7]宋羽,陈喆,石信肖,等.地下综合管廊的三维可视化研究[J].测绘与空间地理信息,2020,43(9):186-188.
- [8]任立夫.基于 BIM 技术的地下管线建模应用分析[J].测绘通报,2021(2):149-152.
- [9]钟炜,李志勇,万振东.基于 BIM 的综合管廊交互设计与协同管理应用[J].中国给水排水,2021,37(12):104-108.
- [10]KANG Kai, LIN Jiarui, ZHANG Jianping. BIM- and IoT-based monitoring framework for building performance management[J]. Journal of Structural Integrity and Maintenance, 2018,3(4):254-261.

Modeling and System Implementation of Urban Underground Utility Tunnel Based on BIM Technology

JIA Zhaoxu¹, LYU Xikui^{1, 2}, JIANG Zheng¹

(1. School of Traffic and Transportation, Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang 050043, China;

2. State Key Laboratory of Mechanical Behavior and

System Safety of Traffic Engineering Structures, Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang 050043, China)

Abstract: In view of the existing problems of poor visibility and low efficiency of current two-dimensional management model of urban underground comprehensive corridors, BIM technology was adopted to encode the components of the comprehensive pipe gallery and build a family library. On this basis, a parameterized modeling method was proposed for the main model of the comprehensive pipe gallery structure, the inlet pipeline model, and the auxiliary structure model, which achieved rapid generation of the pipe gallery model and effectively improved modeling efficiency. By using C# programming language, database technology, Revit, Unity platform, and secondary development techniques of Dynamo, a modeling system for underground integrated pipe corridors and an underground utility tunnel modeling platform has been developed. This platform achieved effective integration of the utility tunnel model, information query and provided three-dimensional roaming display, which addressed the key issue of visualized maintenance and management of the underground utility tunnel. The research achievements established a good foundation for the overall visualized maintenance and management of the underground utility tunnel.

Key words: underground utility tunnel; 3D modeling; BIM technology; tunnel modeling platform