

大直径盾构隧道 BIM 建模方法的探究

崔 晓

(中铁第一勘察设计院集团有限公司,西安 710043)

【摘要】文章以大直径盾构隧道 BIM 模型为案例探究了环状盾构隧道的建模方法和步骤并解决了模型搭建过程中遇到的难点。通过对大直径盾构隧道结构特点的分析,选择了适用于大直径盾构隧道 BIM 模型创建工作的软件,并对建模的具体实施步骤进行了详细表述。通过研究论证,实现了依托设计数据进行大直径盾构隧道 BIM 模型的精准建模。

【关键词】盾构隧道; BIM 模型; 建模方法; 建模步骤

【中图分类号】TU17;U25 **【文献标识码】**A

【版权声明】本文被《土木工程信息技术》、中国知网重要会议论文全文数据库(CPCD)收录上网,未经授权严禁登载。

引言

在工程设计领域,随着计算机图形学 CG (computer graphics) 的发展与完善,计算机辅助设计 CAD (computer aided design) 引发了工程设计行业的第 1 次革命。近年来建筑信息模型 BIM (Building Information Modeling) 的出现,将会引发建筑、工程、结构 A/E/C——(architecture/engineering/construction) 领域的第二次革命^[1]。

BIM 是一种利用数字技术表达建设项目几何、物理和功能信息,应用于工程设计建造管理中的数据化工具^[2]。目前 BIM 技术在国内发展已十年有余,相较于国外 BIM 技术的发展,国内在工程建设项目的设计与施工阶段已有部分功能应用,尤其是在建设项目的设计优化阶段和施工组织阶段已经能够产生一定的生产价值,但对于建筑全生命周期中的建筑运营管理和维护阶段而言,该技术在国内应用的方式和手段尚不成熟,还存在许多技术上的不足,仍处于研究发展阶段^[3]。

BIM 技术在设计阶段的应用仍主要集中在通过对既有设计资料进行翻模,通过三维模型检查在传统二维设计中难以发现的设计冲突和错误,以达到对设计图纸进行查错优化的目的。而通过 BIM 技术进行正向设计的生产方式尚处于探索阶段。近

年来,随着 BIM 技术的不断发展,BIM 技术的应用领域从单一的建筑领域向交通基础设施领域广泛延伸^[4],在模型创建工作中,民用建筑领域的技术手段已经相对成熟,成功案例已不胜枚举,但对于公路、铁路、地铁、市政管廊等大型基础设施工程的建模应用仍有不少难点。

隧道工程作为具有复杂空间曲线的呈长大带状分布的地下工程,其建模过程具有独特的难点,目前尚未有便捷、通用且成熟的建模方式。隧道工程不同于工业、民用建筑的集中区域建设的特点,导致工业、民用建筑的 BIM 技术路线无法适用于隧道工程。受隧道工程特点影响,隧道区间的建模方式较为困难^[5]。

盾构隧道作为隧道工程的一种结构形式,建设规模和速度都达到了相当的高度。盾构管片是盾构施工中最主要的装配构件,作为盾构隧道的一次衬砌同时也是盾构隧道的永久衬砌^[6]。围绕盾构隧道施工的各种信息流量大且多,传统的二维表达形式在信息应用、传递、共享方面给工程施工人员造成了很大的困扰,不利于施工的顺利进行^[7]。因此应用 BIM 技术通过三维模型对盾构隧道的设计信息进行表达显得尤为必要。目前,隧道 BIM 建模方法的研究可分为两大类:一是直接使用 BIM 软件建立隧道模型,二是 BIM 软件结合编程方法建立隧

道模型^[8]。

盾构隧道模型创建的主要难点有二：

(1)受制于盾构管片具有独特的几何特征以及复杂的细部构造,管片模型的创建成为盾构隧道 BIM 模型创建的难点之一；

(2)受隧道线路为平滑空间曲线的影响,盾构管片的拼装过程必然无法通过手动拾取插入点进行模型组装的方式,因此盾构隧道管片环模型如何依照线路曲线进行整体模型组合成为建模的难点之二。

本文即围绕解决以上两个问题进行论述。

1 建模软件的选择

目前主流的 BIM 软件供应商主要为欧特克公司(Autodesk)、本特利公司(Bentley)和达索公司(Dassault)公司,三家公司的软件产品占据了大部分 BIM 软件市场份额^[9]。考虑到盾构隧道为模块化组装的空间条带状曲线结构的特点,并结合 BIM 软件市场应用的广泛性,决定以目前市场上主流的 BIM 建模软件:Autodesk 公司的 Revit 软件作为本案例的基础建模平台。

众所周知,BIM 技术的应用并非单一软件平台的运用,而是多软件的协作,并且要求信息模型能够在各软件之间无损交换、无缝链接^[10]。考虑到盾构隧道每环分别由一个封顶块、2 个临界块和多个标准块组成,管片上分布各类型孔洞,为了达到精细化建模目的,决定结合 Autodesk 公司的 Inventor 软件对管片进行建模操作,Inventor 是 Autodesk 公司旗下的一款主要应用于机械行业的三维可视化实体模拟软件,不同于 Revit 基于传统的六面建模方式,Inventor 可以以任意角度方向的平面为工作面进行草图设计和模型创建工作,它拥有更加灵活的工作面,可以在三维空间中更方便的创建任意方向的模型文件。而盾构隧道管片正是一个具有复杂构造形式的工程结构,其上分部各种方向、角度和形状各异的凹槽、孔洞等构造。显然,相较于 Revit 软件,Inventor 软件的建模思路更加有利盾构隧道管片模型的创建,故在本次建模过程中决定应用 Inventor 软件进行盾构隧道模型的管片建模工作。由于 Revit 在自动建立、排布盾构管片时存在较为明显的计算误差,使得盾构管片模型难以依照线路曲线进行准确拟合,决定应用基于 Revit 软件的可视

参数化插件 Dynamo,通过在 Revit 中创建和处理复杂的逻辑关系^[11],对构件进行程序化控制进行盾构隧道的整体组装。

整个建模过程分为一下三项工作进行：

(1) Inventor workflow

充分利用 Inventor 灵活的建模特性,准确的按照设计数据创建出各管片分块的结构模型,并将构建完成的管片分块模型在 Inventor 中进行整环组装。

(2) Revit workflow

将 Revit 软件平台作为该大直径盾构隧道模型的整体搭建平台,依照设计线路数据绘制出引导隧道模型走向的空间曲线。

(3) Dynamo workflow

利用 Dynamo 强大的编程能力,将设计意图进行程序化的表达,使管片环模型得以在 Rveit 软件中进行完整隧道模型的精准组装。

本案例建模流程如图 1 所示。

2 盾构隧道模型创建

本研究的建模对象基本数据设定为外径 $R = 6300\text{mm}$ 内径 $r = 5750\text{mm}$ 的大直径盾构隧道模型,每环管片中心厚度为 2012mm ,楔形量为 12mm 的大直径圆形盾构模型。如图 2 所示,每环管片由 1 个封顶块(F)、2 个临接块(L1、L2)和 6 个标准块(B1、B2、B3、B4、B5、B6)组成。由于盾构管片需要满足线路曲线的转向需求,因此在设计中所有的 F、L1、L2、B1、B2、B3、B4、B5、B6 块尺寸均不相同。在创建管片模型时,应从环状管片整体考虑切割方式,保证各类型的盾构管片能够满足盾构隧道结构的实际变化。

2.1 创建管片模型

建模过程严格按照设计参数要求,首先应用 Inventor 软件对管片环进行大样建模,并依据分块参数对创建好的管片环进行管片切割,分割并创建出各类管片实体模块。如图 3 所示。

然后在各分块模板的基础上,利用 Inventor 软件便利的可以以个方向角度平面为工作面开展建模工作的便利特性,根据详细的设计参数对各个管片分块进行手孔、密封槽等管片细部构造进行建模,创建出各管片的实体模型如图 4 所示(标准块管片仅以 B1 块示于图中)。

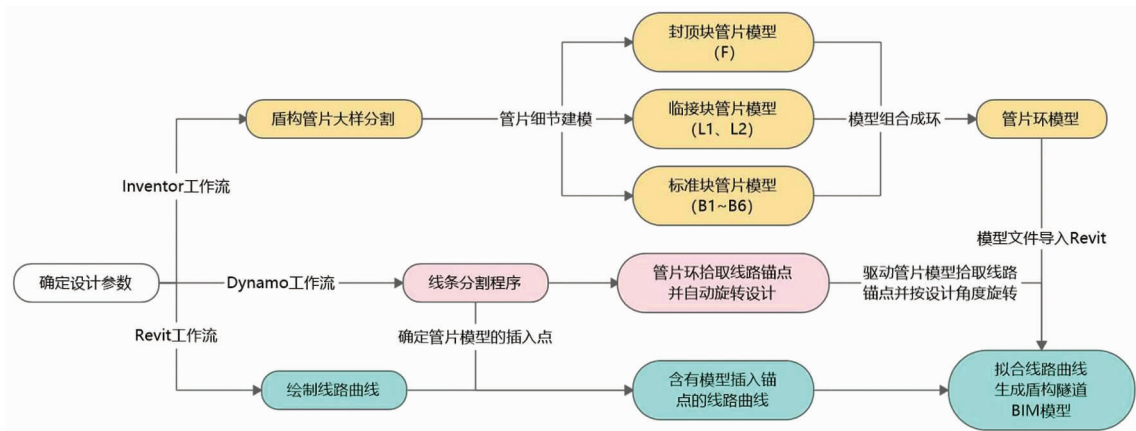


图 1 建模步骤流程图

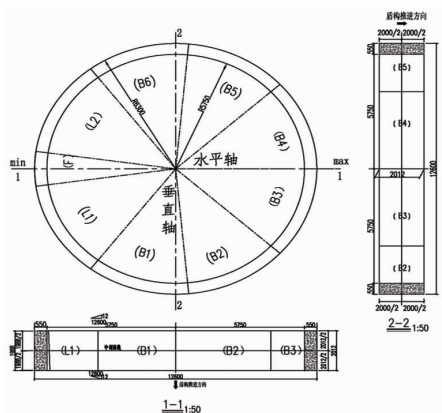


图 2 大直径盾构隧道管片组成示意图

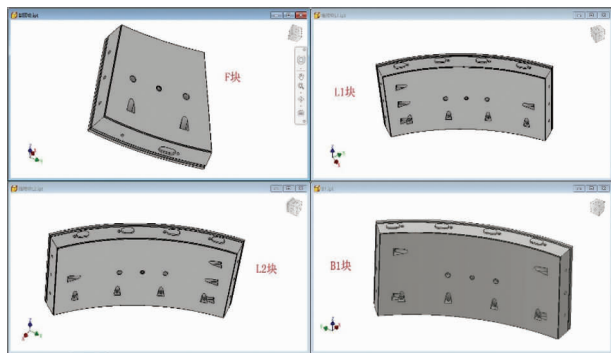


图 4 管片实体模型

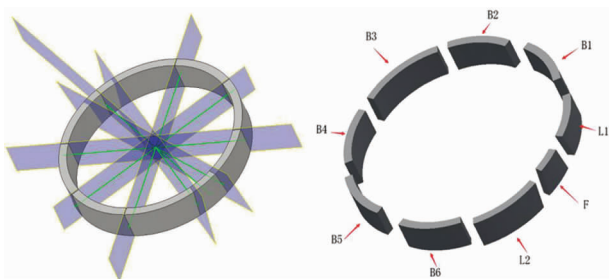


图 3 各类管片实体模板

最终将创建出的各管片模型在 Inventor 中以组件的方式约束成一整环,并将组装完成的管片环模型以 BIM 交换的方式导出为 Revit 软件的族文件。如图 5 所示。

2.2 整体组装盾构隧道模型

根据实际使用需求,每一环管片在组装过程中应具有错缝角度,并且在管片环旋转相应的错缝角度之后能同时满足前后环螺栓孔位相互吻合的要

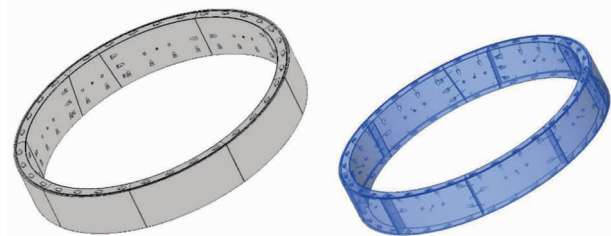


图 5 组装管片环

求,因此出于贴合实际应用角度考虑,并结合管片环上螺栓孔的相对角度,对管片环设定一组错缝角度: $\{-158.82^\circ, -105.9^\circ, -74.116^\circ, -31.764^\circ, 0^\circ, 31.764^\circ, 74.116^\circ, 116.468^\circ, 158.82^\circ\}$ 以保证在错缝拼装过程中依然保证螺栓孔的位置能够前后环相互吻合,同时满足预设线路曲线的转向要求。

由于 Revit 软件自身对线型建筑工程建模的支持度有限,不能精准的确定空间曲线的里程位置,因此在管片环的组装中,无法应用 Revit 软件本身将各个管片环在相应的精准里程位置上实现精准定位拼装,由此管片环的组装在盾构隧道 BIM 模型

的建模过程中成为一个难点。

所以在 Revit 项目文件中对盾构隧道模型进行整体拼装时需要寻求其他软件的帮助和支持。因此,在综合研究分析目前现有的建模软件后确定应用 Revit 软件中的 Dynamo 插件,依托其强大的逻辑可视化的程序控制功能,以达到对管片环模型进行程序化驱动,实现沿着预设线路曲线进行参数化拼装的目的。首先,在 Revit 项目文件中插入盾构管片环族,然后利用 Dynamo 插件强大的逻辑化参数建模的能力完成此盾构隧道管片环的组装任务。

2.2.1 创建模型线路并拾取管片环模型在线路上的插入点

首先在 Revit 中创建一条空间曲线作为本次大直径盾构管片组装的线路曲线,如图 6 所示。然后在 Dynamo 中利用节点程序在 Revit 中选择线路空间曲线线条,并利用脚码程序对选定的线路曲线进行等分,等分距离应以单环管片长度参数为基准进行确定并捕捉相应等分点生成列表。以此捕捉到的点作为各盾构管片环模型插入点的选择集合,工作逻辑表达如图 7 所示。

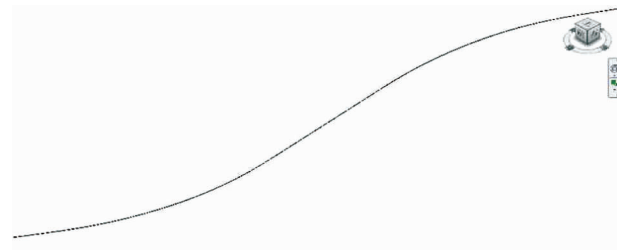


图 6 Revit 中的线路空间曲线

2.2.2 定位起终点里程桩号并生成各插入点相应的法向平面

利用“Code Block”节点输入需要生成盾构隧道模型的起点里程桩号和终点里程桩号,利用起终点里程桩号在 Dynamo 中将其间的曲线线段隔离。同

时结合 2.2.1 步骤中确定的等分长度在该曲线段上确定出适宜管片环组装的等分点,并利用节点“Curve. Tangent At Parameter”做出线路曲线上各等分点位置的切向量。将所有切向量利用“Plane. By Origin Normal”节点以各等分点为原点做出相应点位置的法平面。该步骤的逻辑节点组如图 8 所示。

2.2.3 管片环组装过程中的旋转控制

在盾构隧道 BIM 模型组装的过程中,如何使得管片环模型能够依照线路路径的空间曲线特征进行严丝合缝的组合是模型组装的难点,这里也成为整个大直径盾构隧道 BIM 模型建模成败的关键。

考虑到线路曲线空间曲率的影响,盾构隧道管片在设计时加入了楔形量参数,利用楔形量使得管片环能够在线路曲线段上通过相邻环之间错位旋转一定角度的方式对线路走向进行拟合。本案例中,根据线路设计数据,设计出楔形量为 12mm 的管片环,和旋转角度为 $\{-158.82^\circ, -105.9^\circ, -74.116^\circ, -31.764^\circ, 0^\circ, 31.764^\circ, 74.116^\circ, 116.468^\circ, 158.82^\circ\}$ 的管片环旋转方案,使得管片环能够通过以上角度的相互组合达到盾构隧道 BIM 模型沿着线路曲线组装的目的。实现该步骤的简述如下:

首先将利用 Inventor 创建出的管片环模型导出为 Revit 族文件插入到 Revit 项目文件中。并在 Dynamo 中通过节点“Family Types”拾取 Revit 中的管片环族文件。

然后通过 Dynamo 中编辑脚本程序制作节点“各角度管片环列表”拾取管片环模型旋转的所有角度方案,并将各角度方案汇编为列表,以便程序在大直径盾构隧道 BIM 模型的整体组装过程中调用。

最后利用节点“Vector. ByCoordinates”新建一个向量 $\vec{a} = (0, -1, 0,)$ (正负号由管片族的前后面方向决定) 的方向向量,并结合节点“Vector. Angle

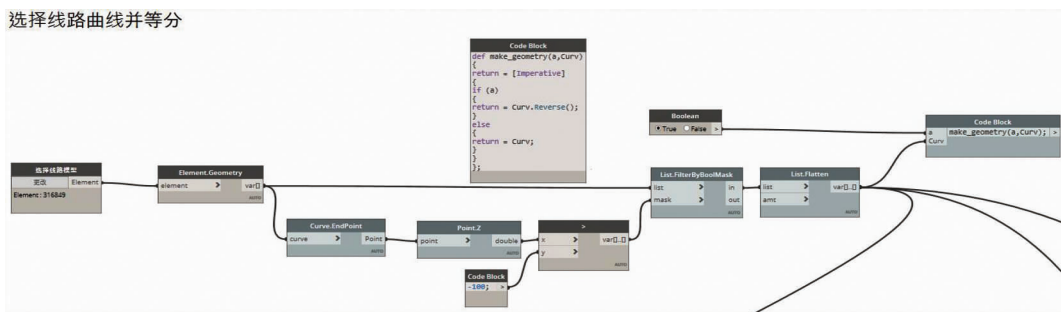


图 7 线路上各管片环插入点的拾取

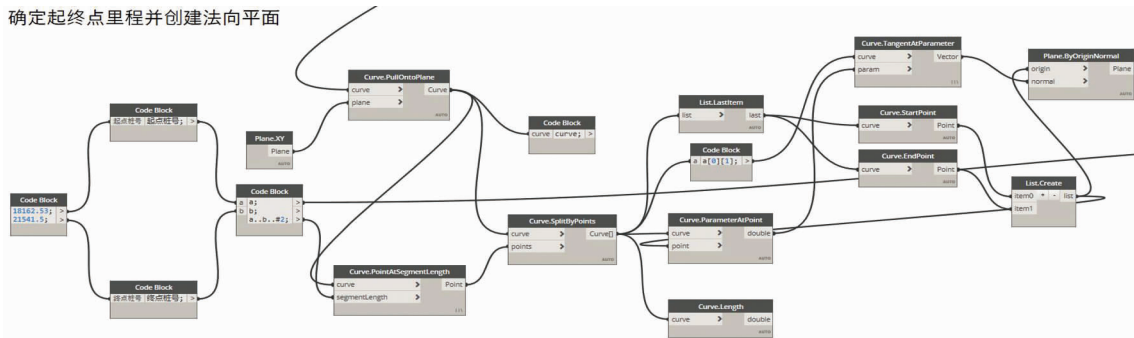


图 8 起终点里程确定和各插入点的法向平面

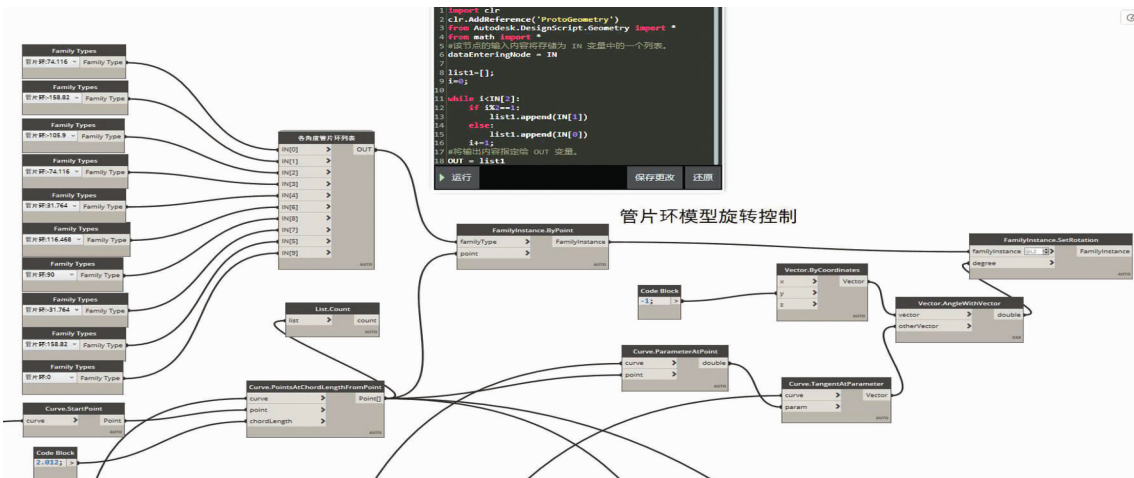


图 9 盾构管片环旋转角度选择逻辑图

WithVector”拾取 2.2.2 步骤中管片环各插入点的切向量集合,分别计算出各插入点切向量与 \vec{a} 的夹角 α 。利用节点“FamilyInstance. SetRotation”将 α 与各旋转角度的管片环集合相匹配出各插入点位置管片环应选用的旋转角度。

本过程中涉及到的“各角度管片环列表”节点脚本程序编码和各节点逻辑关系如图 9-10 所示。

```

1 import clr
2 clr.AddReference("ProtoGeometry")
3 from Autodesk.DesignScript.Geometry import *
4 from math import *
5 #将节点的输入内容存储为 IN 变量中的一个列表。
6 dataEnteringNode = IN
7
8 list1=[]
9 i=0;
10
11 while i<IN[0]:
12     if i%2==1:
13         list1.append(IN[1])
14     else:
15         list1.append(IN[0])
16     i+=1;
17 #将输出内容指定给 OUT 变量。
18 OUT = list1
    
```

图 10 管片环模型排列程序编码

通过以上操作,运行 Dynamo 程序即可在 Revit 中自动生成符合线路曲线特征的大直径盾构隧道 BIM 模型如图 11 所示。

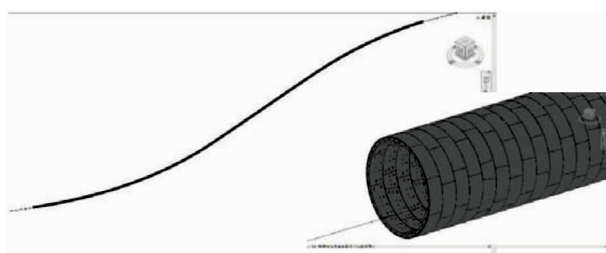


图 11 大直径盾构隧道 BIM 模型

3 成果及结论

针对在盾构隧道 BIM 建模过程中出现的两大技术难点:

- (1)由盾构隧道管片复杂构造导致管片细节建模的难点;
- (2)管片环模型通过自旋转拟合曲线线路的难点。

本案例通过对大直径盾构隧道 BIM 模型的建模验证,对以上两大技术难点提供了成功可行的解决方案,即利用多软件相互协同的建模方式。验证了以 Revit 软件为模型的整装平台,利用 Inventor 软件对管片模型精细准确地建模,并结合 Dynamo 强大的编程能力辅助整体模型组装为完整盾构隧道模型的可行性。通过充分发挥各软件优势,对项目进行优势互补,精准地表达了设计思路和意图,充分体现了基于 BIM 技术的正向设计相较于传统二维设计的优势:精准构建复杂模型、直观表达设计意图。为类似盾构隧道的精准建模工作提供了一种可参考的建模思路。

参考文献

- [1] 庞思雨,张弛.一种基于 BIM 技术的隧道参数化建模方法[J].隧道建设(中英文),2018,38(S2):239-246.
- [2] 任秋记,杨群砚,史春宇,贾绪建.基于 BIM 的绿色施工技术在高铁隧道中的应用[J/OL].交通世界,2019(32):139-140 [2020-01-06]. <https://doi.org/10.16248/j.cnki.11-3723/u.2019.32.066>.
- [3] 喻佳.铁路隧道设计中 BIM 技术的应用研究[J].建设

科技,2017(1):102-103.

- [4] 夏诗画,施彦.基于 BIM 的山地城市隧道工程三维设计及应用研究[J].公路交通技术,2019,35(6):73-80.
- [5] 余震,陆越,董海峰,张转转.基于 BIM 自动化盾构隧道建模方法研究[A].第四届全国 BIM 学术会议论文集[C].北京:中国建筑工业出版社数字出版中心,2018:164-168.
- [6] 陈奇良.基于 BIM 的地铁盾构隧道管片参数化设计技术研究[D].广州大学,2019.
- [7] 王亮.基于 BIM 技术的盾构隧道模型创建研究[J].住宅与房地产.2018,(24):224.
- [8] 程方圆,姚国明,奎永才,王建华,赵秀清.集成 GIS/BIM 的公路隧道数字化管理研究及应用[J/OL].隧道建设(中英文):1-8[2020-01-06].
- [9] 徐博.基于 BIM 技术的铁路工程正向设计方法研究[J].铁道标准设计,2018,62(4):35-40.
- [10] 田明阳,曾昊,曹力.基于 BIM 的铁路隧道辅助设计关键技术研究[J].铁路计算机应用,2019,28(6):36-41.
- [11] 车冠宇,毛伟栋.Revit + Dynamo 参数化隧道模型构建体系探析[J].公路交通科技(应用技术版),2018,14(4):246-248.

Research on BIM Modeling Method of Large Diameter Shield Tunnel

Cui Xiao

(China Railway First Survey and Design Institute Group Co., Ltd., Shanxi, Xi'an 710000, China)

Abstract: This paper has taken the BIM model of large-diameter shield tunnel as an example to explore the modeling methods and steps of ring shield tunnel and has solved the difficulties during the modelling process of the building. Based on the analysis of the structural characteristics of the large-diameter shield tunnel, the software which are suitable for the large-diameter shield tunnel BIM model creation have been selected, and the specific implementation steps of the model are described in detail. Through research and demonstration, the BIM model of large-diameter shield tunnel is accurately modeled based on the design data.

Key Words: Shield Tunnel; BIM Model; Modeling Method; Modeling Step