

# 基于Revit的基坑工程外族创建及BIM模型设计

尹传忠<sup>1</sup>, 卢艺伟<sup>1</sup>, 王林菲<sup>2</sup>, 徐跃冰<sup>3,4,5</sup>, 蒋先平<sup>1</sup>, 王文军<sup>1</sup>, 王晓密<sup>2</sup>, 刘磊磊<sup>\*3,4,5</sup>

(1. 中国有色金属长沙勘察设计研究院有限公司, 湖南长沙 410011;

2. 湖南师范大学地理科学学院, 湖南长沙 410081;

3. 有色金属成矿预测与地质环境监测教育部重点实验室(中南大学), 湖南长沙 410083;

4. 湖南省有色资源与地质灾害探查湖南省重点实验室, 湖南长沙 410083;

5. 中南大学地球科学与信息物理学院, 湖南长沙 410083)

**摘要:**目前,大多数BIM软件缺乏基坑支护工程设计相关族类,致使设计人员难以高效创建复杂的基坑工程BIM模型。本文基于Revit软件,采用参数化建模方法,依据构件标准化命名规则,设计开发了基坑工程中常用的支护族库,提出一套基坑工程各阶段模型构建及施工过程模拟方案。以长沙市某实际基坑项目为例,采用本文开发的外族创建基坑支护模型,验证了建模方案的可行性,最后基于Fuzor软件实现了该实际基坑施工过程的仿真模拟。结果表明,利用本文研究开发的基坑工程相关Revit外族体系,BIM技术可以更好地应用于基坑工程,从而为设计人员在基坑工程中应用BIM技术提供技术便利。

**关键词:**基坑工程;BIM技术;外族;Revit;Fuzor;施工过程模拟

**中图分类号:**TU47 **文献标识码:**A **文章编号:**2096-9686(2023)01-0133-09

## Revit-based foreign family construction and BIM model design for foundation pit engineering

YIN Chuanzhong<sup>1</sup>, LU Yiwei<sup>1</sup>, WANG Linfei<sup>2</sup>, XU Yuebing<sup>3,4,5</sup>, JIANG Xianping<sup>1</sup>,

WANG Wenjun<sup>1</sup>, WANG Xiaomi<sup>2</sup>, LIU Leilei<sup>\*3,4,5</sup>

(1. China Nonferrous Metals Changsha Investigation and Design Research Institute Co., Ltd.,

Changsha Hunan 410011, China;

2. School of Geographic Science, Hunan Normal University, Changsha Hunan 410081, China;

3. Key Laboratory of Metallogenic Prediction of Nonferrous Metals and Geological Environment Monitoring (Central South University), Ministry of Education, Changsha Hunan 410083, China;

4. Hunan Key Laboratory of Nonferrous Resources and Geological Hazards Exploration, Changsha Hunan 410083, China;

5. School of Geosciences and Info-Physics, Central South University, Changsha Hunan 410083, China)

**Abstract:** To date, the commonly used BIM software lacks foundation pit engineering related families, making it difficult for designers to create complex foundation pit models. Based on Autodesk Revit software, this paper supplements and develops Revit families related to foundation pit engineering, and tries to provide convenience for designers to apply BIM technology in foundation pit engineering. The foreign family of foundation pit engineering is constructed, the design and creation of foreign family models are carried out, and a plan is proposed for model construction and construction process simulation for various stages of foundation pit engineering. Relying on the actual

收稿日期:2022-06-19; 修回日期:2022-09-30 DOI:10.12143/j.ztgc.2023.01.019

第一作者:尹传忠,男,汉族,1979年生,正高级工程师,地质工程专业,工程硕士,主要从事岩土工程勘察、设计及施工工作,湖南省长沙市雨花区振华路579号康庭园1栋101号,512539931@qq.com。

通信作者:刘磊磊,男,汉族,1987年生,副教授,地质工程专业,博士,从事地质工程方面的教学与科研工作,湖南省长沙市麓山南路932号,csulll@foxmail.com。

引用格式:尹传忠,卢艺伟,王林菲,等.基于Revit的基坑工程外族创建及BIM模型设计[J].钻探工程,2023,50(1):133-141.

YIN Chuanzhong, LU Yiwei, WANG Linfei, et al. Revit-based foreign family construction and BIM model design for foundation pit engineering[J]. Drilling Engineering, 2023,50(1):133-141.

project, the families developed in this paper are used to create the foundation pit support model, and the feasibility of the modeling scheme is verified. Finally, the simulation of the foundation pit construction process is realized via the Fuzor software. The result shows that BIM technology can be better applied to foundation pit engineering by the developed Revit families.

**Key words:** foundation pit engineering; BIM Technology; Revit; Fuzor; construction process simulation

## 0 引言

20世纪以来,我国经济建设发展迅速,人们对于地下商场、地下交通工程等大规模地下建筑的需求不断加大,几十年来我国兴建了许多地下建筑,比如海口日月广场、上海SOHO天山广场等。地下建筑涉及的基坑工程施工区域性显著(地质条件复杂、岩土类型和参数多变)、风险大、时空效应强(土体强度会随着土体蠕变而降低)、综合因素多(基坑工程受土体强度、地面变形、渗流效应等多种因素的影响)和环境效应突出(基坑施工极易导致土体变形,同时也会影响施工场地周围的交通状况)等特点,给基坑工程的设计和施工带来了巨大的挑战<sup>[1-3]</sup>。

建筑信息模型(Building Information Modeling, BIM)是近些年来国内外快速发展的一种技术。依靠信息技术手段,BIM不仅能够提供建设项目的3D视觉效果,而且将施工过程信息数字化,进行基坑支护结构与地下主体结构的碰撞检查,提前修改模型和设计图纸,减少因碰撞问题造成的工程返工、工期延误和经济损失,对加快我国基坑工程发展进程有着十分重要的意义<sup>[4-5]</sup>。族是BIM中对同一类别图元的总称,通常根据参数(属性)集的共用、使用上的相同和图形表示的相似来对其进行分组,由许多族构成的集合称为族库。由于BIM软件自带的族有限,常需要从外部导入用户自定义的族,这类外部导入的族称为外族。

关于BIM技术在基坑工程中的应用,众多学者开展了大量研究。例如,蒋先平等(2022)<sup>[6]</sup>提出将基坑工程BIM全过程构件族类化,利用Revit API二次开发技术实现基坑工程造价自动化计算。孙斌等(2021)<sup>[7]</sup>依托萧山机场项目南长廊S5基坑,通过Revit软件创建了深基坑三维模型及该区域内建筑的结构模型,优化结构设计。汪慧等(2021)<sup>[8]</sup>基于BIM技术对基坑工程施工仿真系统进行了研究,将Revit基坑工程模型进行信息化处理后,导出JSON格式模型,以JSON模型为核心,搭建Web端基坑工

程施工仿真系统,实现基坑工程的可视化施工仿真模拟。郭延辉等(2020)<sup>[9]</sup>以某商业小区深基坑工程为背景,对基坑的支护进行综合设计,应用Revit软件建立该深基坑工程三维可视化模型,采用Navisworks软件对深基坑工程施工工艺及流程进行仿真模拟。王薇(2020)<sup>[10]</sup>以某建筑深基坑支护工程为案例,采用Revit建立基坑三维模型,同时借助Navisworks进行施工模拟和碰撞检查,检查初始设计中存在的问题并对其进行优化,从而使得设计过程更加高效准确,且在一定程度上实现了施工过程可视化。孙博(2019)<sup>[11]</sup>基于Autodesk Revit平台,对基坑工程参数化建模及计算功能进行二次开发,实现了基坑工程建模、计算和出图一体化。袁志华等(2019)<sup>[12]</sup>采用Revit进行深基坑的建模,但建模精度和效率较差。曹建涛(2019)<sup>[13]</sup>基于Revit软件平台,开展了基于BIM技术的公路隧道正向设计研究,为基于三维地质环境进行隧道正向设计提供参考。李畅(2019)<sup>[14]</sup>基于Revit二次开发技术,提出了一个针对类Weaire-Phelan(WP)多面体为基本单元的多面体空间结构参数化建模的新方法,实现了类WP多面体空间结构的建模。

综上所述,已有研究主要集中于BIM模型建成后的分析处理,而较少关注基坑工程相关Revit族库的构建和基坑工程建模方法,尚不能满足基坑工程快速建模的需求。为此,针对当前Revit软件中适用于基坑工程建模的族库不完善的现状,提出采用参数化建模方法,依据构件标准化命名规则,构建一套适用于基坑工程施工全过程的族库,为BIM技术在基坑工程中的应用提供模型基础和支撑平台。最后,结合实际工程案例三维建模分析验证了所建族库的有效性。

## 1 基坑工程外族类体系的设计与实现

### 1.1 软件选择

目前,主流的BIM软件可以分为2大类:一类以

建模为主,而另一类以模型辅助为主。本研究以实现建模功能为主,可选择的主要建模软件包括 Revit、Bentley 和 ArchiCAD 等。Bentley 软件用户操作界面太过复杂,不易上手,且价格昂贵;ArchiCAD 用户操作界面友好,但其在批量建模方面的功能较差,难以快速建立复杂的基坑工程模型;而 Revit 软件界面友好,具有强大的面功能,借此可快速布置项目中所需的构件且方便定位,同时也可利用概念体量的方法,完成曲面造型的创建。因此,本研究最终以常用的 Revit 软件作为主要设计工具。

### 1.2 基坑工程施工流程

基坑工程通常由 2 个阶段组成:前期施工准备阶段以及地基与基础施工阶段。第一阶段主要包括工程设计资料处理及施工场地搭建,这一阶段涉及到的主要是地层模型,不属于外族类,需按照工程背景设计。第二阶段主要为土方开挖→基坑支护→桩基施工→基础垫层混凝土浇筑→防水层及保护层施工→基坑回填,可以通过族库构建实现。

### 1.3 外族类体系设计与构建

依据前述基坑施工阶段,本文将外族类体系分为:土方开挖体系、支护体系、保护及防水体系三大类。其中支护体系有多种形式,本文以桩锚支护、复合土钉墙支护及重力式水泥挡土墙支护为主要研究对象进行设计,外族类体系分类情况见表 1。

表 1 外族类体系情况

Table 1 Foreign family system

外族类体系	外族模型
土方开挖体系	原始土体、土方开挖体、开挖后土体
支护体系·重力式水泥挡土墙	挡土墙
支护体系·桩锚支护	桩、锚杆、锚索、锚具、冠梁、腰梁、砼护面
支护体系·复合土钉墙	砼护面、土钉
支护体系·地下连续墙	砼护面、钢筋
支护体系·放坡开挖	砼护面
保护及防水体系	排水沟、止水帷幕

#### 1.3.1 土方开挖体系

土方开挖中涉及的模型需依据实际工程案例进行设计,且基坑工程一般分层分段施工,所以此分类体系中涉及的特定模型包括原始土体、各层各段土方开挖体以及开挖后土体模型,具体实施方法如下。

(1)原始土体模型。以工程项目资料为基础,采用 Revit 概念体量中的拉伸功能完成。通过基坑工程平面图中所得到的基坑顶边线、底边线及各自对应的绝对标高,绘制出土体顶边线及底边线,选中此 2 条边线构建实心形状即可得到原始土体。

(2)各层各段土方开挖体模型。利用基坑支护的剖面图,整理出各段各层支护的绝对标高,计算出各层各段土方开挖顶边缘线和底边缘线的绝对标高。例如,在各层各段土方开挖时,若某层支护使用了锚杆(锚索),则土方开挖高度高于该层锚杆(锚索)标高 0.50 m;若支护使用了土钉,则土方开挖高度高于该层土钉标高 0.30 m。然后,以基坑底边线为基础,根据坡比及高差计算出的各层基坑开挖边缘线,基于上一层的偏移量,绘制出各层各段基坑开挖边缘线。偏移量计算公式为:

$$S_x = S_n / \tan\alpha \quad (1)$$

式中: $S_x$ ——偏移量; $S_n$ ——相邻两层开挖边缘线高差; $\tan\alpha$ ——坡比。

选中相邻两层基坑边缘线构建实心形状即可创建出一层开挖实体。

(3)开挖后土体模型。利用原始土体剪切某一阶段所对应的土方开挖体模型所得。

#### 1.3.2 支护体系

基坑工程中常见的支护方式主要有以下几种:重力式挡土墙、桩锚、复合土钉墙、地下连续墙、放坡。由于篇幅有限,此处仅以挡土墙和锚杆的构建过程为例进行展示,其余几种支护方式可以通过类似方法自主创建。

(1)重力式挡土墙。挡土墙采用常规模型样本文件,利用拉伸功能完成,其可调节参数包括:墙长度、墙高度、墙底厚度、墙体厚度,具体创建流程如图 1 所示。

(2)锚杆组合。锚杆组合中包含锚杆及锚杆锚具,采用常规模型样本文件,锚杆利用放样功能完成。锚杆体需按照 1.5~2 m 的距离设置定位支架,而由于锚杆长度不一,所需的定位支架数也不同,因此本文创建了 3 种固定长度的锚杆:6、9、12 m。锚杆锚具利用空心融合、融合及拉伸功能完成,其可调节参数包括:保护罩长度及半径、钢筋长度及半径、定位支架半径、锚具孔半径。以上参数可结合实际工程需要进行更改和设置。锚杆组合三维设计结果如图 2 所示。

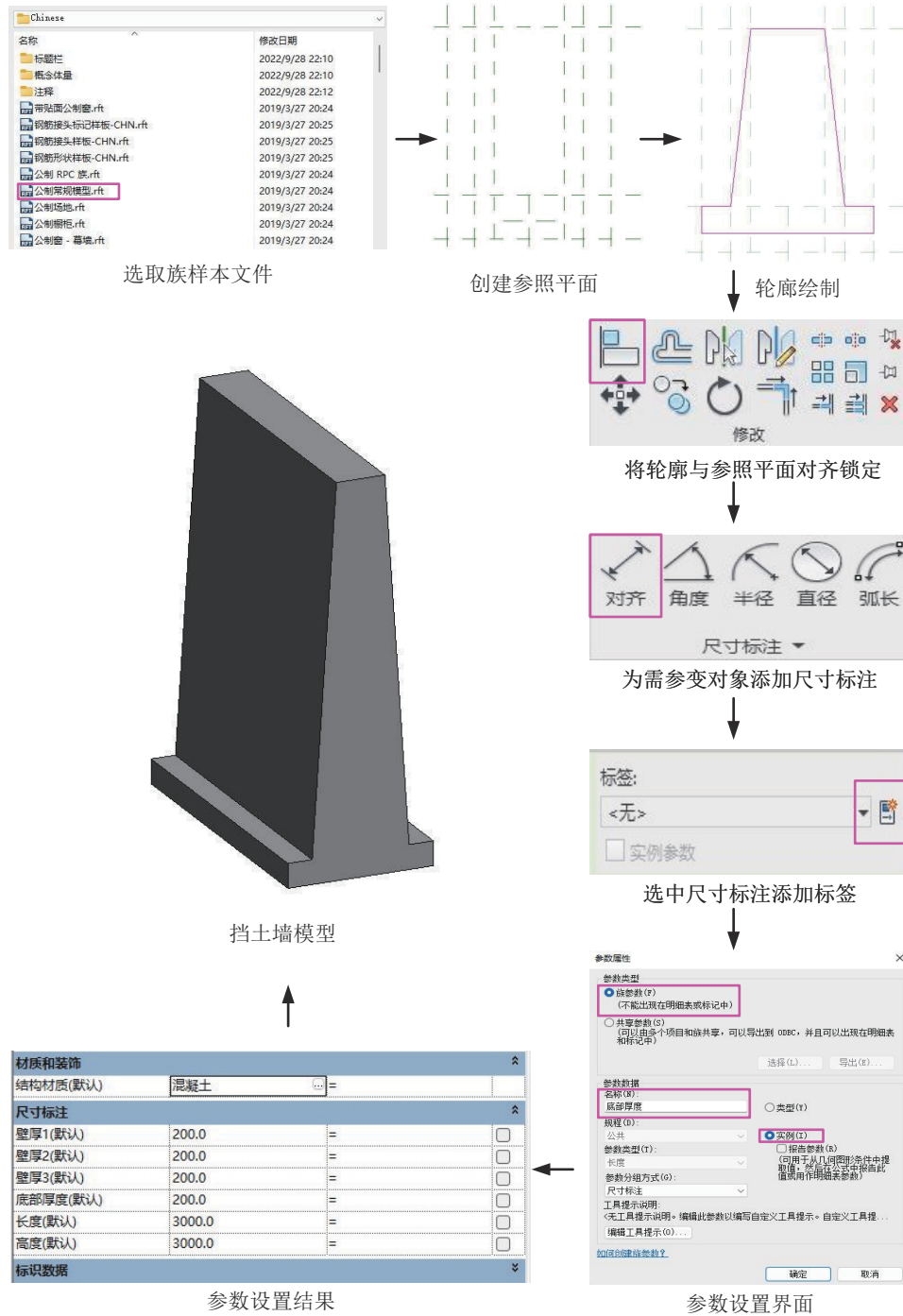


图1 挡土墙创建流程

Fig.1 Procedure for creating the retaining wall

### 1.3.3 保护及防水体系

此体系涉及到的构件主要为止水帷幕和排水沟等。此处,仅以排水沟为例进行说明。排水沟一般是在基坑开挖完成后进行布置,目的是防止地面雨水渗入到基坑内影响基坑边坡的稳定。排水沟的设

计包括壁厚、深度等的确定。排水沟采用结构框架样本文件,利用拉伸功能完成,其可调节参数包括排水沟壁厚度、排水沟深度、长度和宽度。排水沟三维设计结果如图3所示。



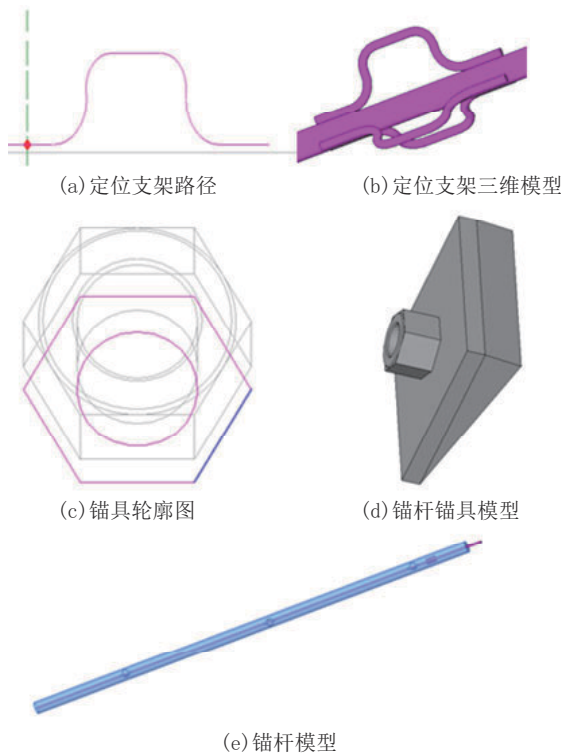


图 2 锚杆组合设计结果

Fig.2 Design process for bolt components

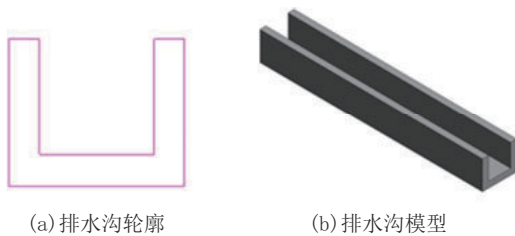


图 3 排水沟外族设计结果

Fig.3 Design process for the drainage ditch

## 2 案例分析与施工模拟

### 2.1 工程背景

长沙市某基坑分为南北 2 个部分,北侧地下层数为 2 层,南侧地下层数为 1 层,标高介于 36.64~43.47 m,平面图如图 4 所示。基坑支护长度约 435 m,基坑支护共分为 10 段,各段的安全划分等级如下:

- 一级:BB'、B'C、CD、DD'、D'E;
- 二级:AB、EF、FG、GA;
- 三级:G'D。

设计采用放坡+复合土钉墙支护、人工挖孔灌注桩+锚索、自然放坡+喷射砼支护相结合的基坑

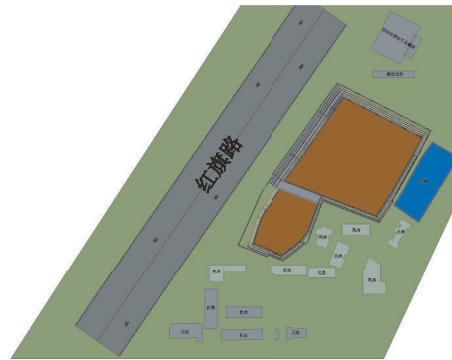


图 4 基坑及其周围环境示意

Fig.4 Schematic illustration of the foundation pit and its surrounding environment

支护方案。基坑施工过程中,包含土方开挖、锚杆锚索、基坑底板浇筑、高压喷射砼护坡、腰梁冠梁、止水帷幕等工序。由于篇幅限制,本文只展示 AB 段支护剖面,如图 5 所示。

### 2.2 施工过程 BIM 模型构建

#### 2.2.1 土体方量创建

(1)原始土体创建。首先新建外族,选择概念体量文件,再将基坑平面图的 CAD 文件插入到 Revit 中。CAD 图的比例尺为 1:1000,因此导入 Revit 中时需将平面图放大 1000 倍。利用拾取线功能,基于基坑平面图拾取基坑底边线,并将底边线的标高设置为 31.65 m,拾取顶边线并将其标高设置为 43.65 m(综合各段基坑顶标高的最高标高),最后利用基坑底边线与基坑顶边线创建实心形状即可完成原始土体的创建。

(2)开挖体创建。在原始土体的基础上,首先根据标高整理结果新建出各层各段的标高,再利用基坑底边线及各段各层的坡比计算所得偏移量,拾取出各层各段的开挖边缘线到对应标高,各层各段开挖边缘线如图 6 所示。同段中相邻两段开挖边缘线即可形成一层开挖实体,各层各段土方开挖实体如图 7 所示。

(3)开挖后土体模型创建。本工程中各段支护层数不同,支护层数最多的段为 AB 段,共 7 层支护且该段的基坑顶标高低于 D'E 段基坑顶标高,因此本次工程将分成 9 层进行施工。首先,需创建出 9 个土方开挖后的土体模型,开挖后的土体模型以原始土体与开挖体为基础,利用修改中的剪切工具,将开挖体设置为空心(如进行第二次开挖后的土体模型

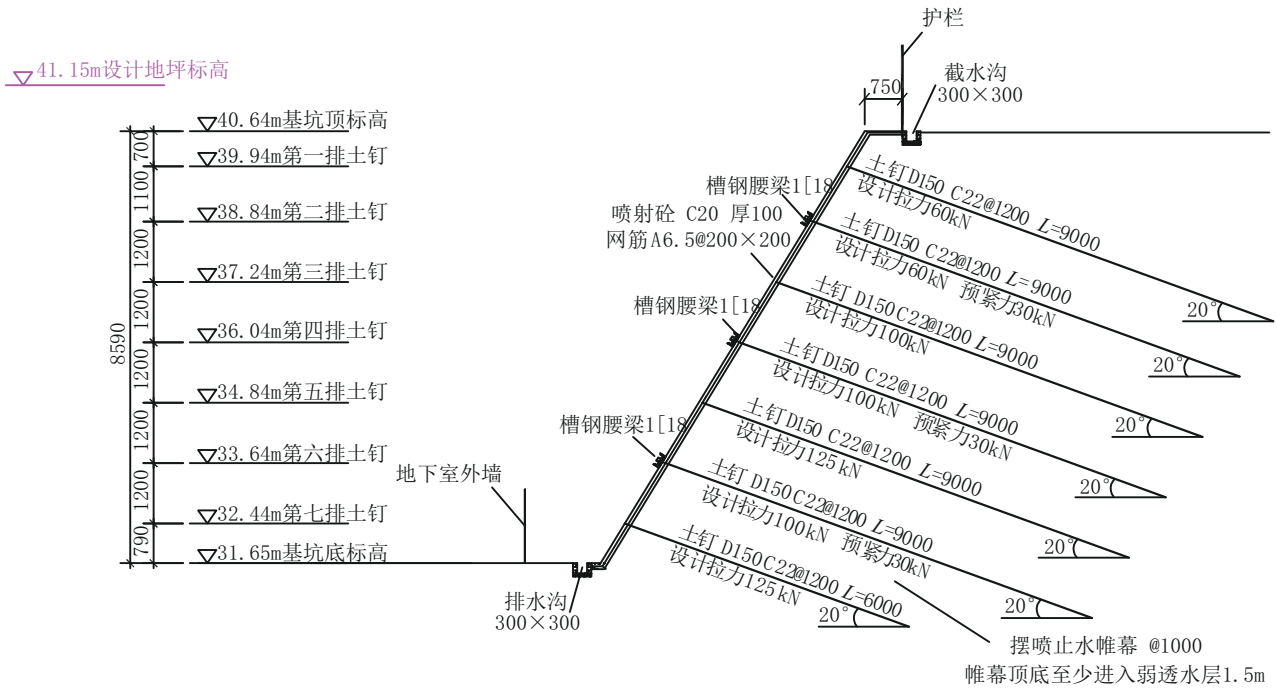


图5 AB段支护剖面

Fig.5 Support profile for Section AB

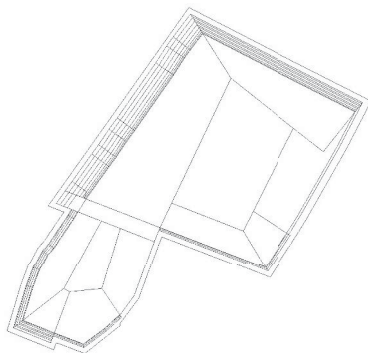


图6 各层各段开挖边缘线

Fig.6 Excavation edge lines for different layers and segments

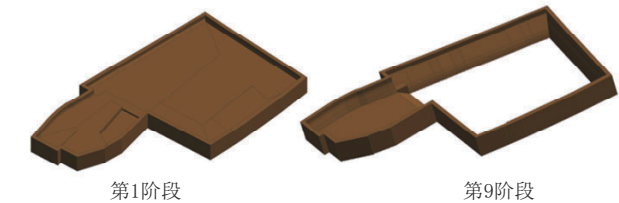


图8 开挖后土体模型

Fig.8 Soil model after excavation

创建时,保留各段自上而下的前两层的开挖体,并设置为空心,删除其余部分的开挖体)与原始土体进行剪切。各土体开挖模型创建方法同理,部分开挖后土体模型如图8所示。

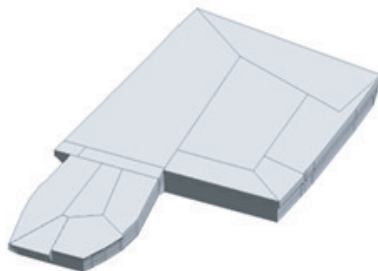


图7 各层各段土方开挖实体

Fig.7 Soil excavation entities for different layers and segments

### 2.2.2 基坑施工过程模型创建

需要创建出各段各层支护结构的标高。由于各次整体模型中所用到的土体开挖模型不同,为保证位置不变,需将9个开挖模型命名成相同名字,载入时进行替换即可。基坑支护结构的布置需在其对应的结构平面进行放置,放置过程主要通过阵列、移动、复制、旋转、组等修改功能完成。由于篇幅限制,仅以D'E段第一层支护为例对模型的具体构件进行说明。D'E段第一层布置的支护构造为6000 mm长锚杆,锚杆间距为1000 mm。首先,打开D'E段第

一层锚杆标高对应的结构平面,选择对应锚杆与锚杆锚具创建实例,通过修改功能将锚杆与锚杆锚具进行组合,并放置到对应起始位置,再选中锚杆及锚杆锚具进行阵列,阵列的间距为 1000 mm,最终完成 D/E 段第一层锚杆支护的布置,布置结果平面图如图 9 所示,细节图如图 10 所示。锚杆支护完成后还需创建喷射砼,本项目的喷射砼厚度为 120 mm,利用墙结构族将墙厚度设置为 120 mm,通过拾取土体表面即可完成喷射砼的创建。

其他支护构件的放置方法与 D/E 段第一层锚杆的布置方法相同,桩支护构件的间距为 2000 mm,其

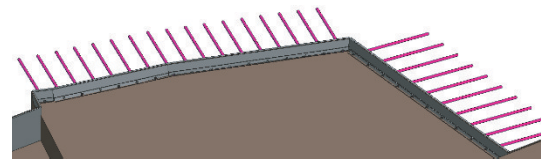


图 10 D'E 段细节

Fig.10 Design details for Section D'E

余支护构件的间距皆为 1000 mm,止水帷幕宽度为 1000 mm,位于桩锚支护段的止水帷幕放置在相邻两桩之间,其余部分止水帷幕需距离坡顶外侧 800 mm 以上。基坑底的底板则利用 Revit 自带的楼板族,通过拾取下基坑底面创建,厚度为 0.5 m。通过以上方法即可完成此项目各阶段的模型构建。

2.3 施工过程 BIM 模型构建

在每一阶段模型构建完成后需进行碰撞检查,本研究直接利用 Revit 平台自带的碰撞检查功能,碰撞检查就是检查两实体对象是否在空间上相交(本项目中锚具与锚索或锚杆之间、腰梁与锚杆及锚具之间、桩与冠梁之间的相交是允许有的,因为在实际施工中它们之间是必须有相交之处才能结合起来),若存在相交则会产生冲突报告,这里可看到第二阶段的原始设计是存在问题的,冲突结果如图 11 所示,这就需要对存在问题的族实例进行优化。

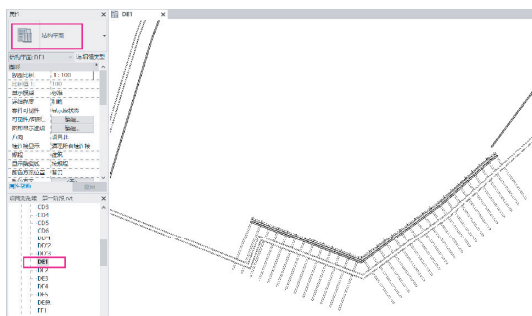


图 9 D'E 段第一层结构平面

Fig.9 Overview of the structure of the first floor for Section D'E

常规模型: 槽钢腰梁: 槽钢腰梁: ID 550206	常规模型: 槽钢腰梁: 槽钢腰梁: ID 551076
常规模型: 槽钢腰梁: 槽钢腰梁: ID 551076	常规模型: 槽钢腰梁: 槽钢腰梁: ID 551174
常规模型: 槽钢腰梁: 槽钢腰梁: ID 551174	常规模型: 槽钢腰梁: 槽钢腰梁: ID 551221
常规模型: 槽钢腰梁: 槽钢腰梁: ID 551221	常规模型: 槽钢腰梁: 槽钢腰梁: ID 551285
常规模型: 槽钢腰梁: 槽钢腰梁: ID 551285	常规模型: 槽钢腰梁: 槽钢腰梁: ID 551343
常规模型: 槽钢腰梁: 槽钢腰梁: ID 551343	常规模型: 槽钢腰梁: 槽钢腰梁: ID 551382
常规模型: 槽钢腰梁: 槽钢腰梁: ID 551382	常规模型: 槽钢腰梁: 槽钢腰梁: ID 551417

图 11 碰撞检测冲突结果

Fig.11 Conflict results of collision detection

优化原则是调整族实例的倾斜角度,因为小角度偏移对支护作用的影响最小。借助碰撞检查在实际施工前就可以尽早发现会发生的问题及矛盾,对不合理的设计方案进行及时调整或与项目方进行及时沟通商讨出最佳施工方案,大大提高项目施工效率,加快速度、节约成本。为了便于基坑施工过程仿真模拟,本文将基坑施工过程分为 9 个阶段,并创建了各个阶段的土方开挖模型。第 1 阶段,基坑原始土体未开挖;第 2~8 阶段,逐层开挖并进行支护;第

9 阶段,基坑施工过程完成。通过对每一阶段都进行碰撞检查,最终得到 9 个阶段的最优模型,各阶段优化模型如图 12 所示。

2.4 施工过程仿真模拟

本研究进行施工过程仿真模拟选取的软件是 Fuzor。Fuzor 具有强大的渲染功能,可以与 Revit 双向实时同步模型<sup>[15]</sup>,模型修改便利,因此利用 Fuzor 可快速完成施工过程可视化模拟,可视化模拟流程如图 13 所示。

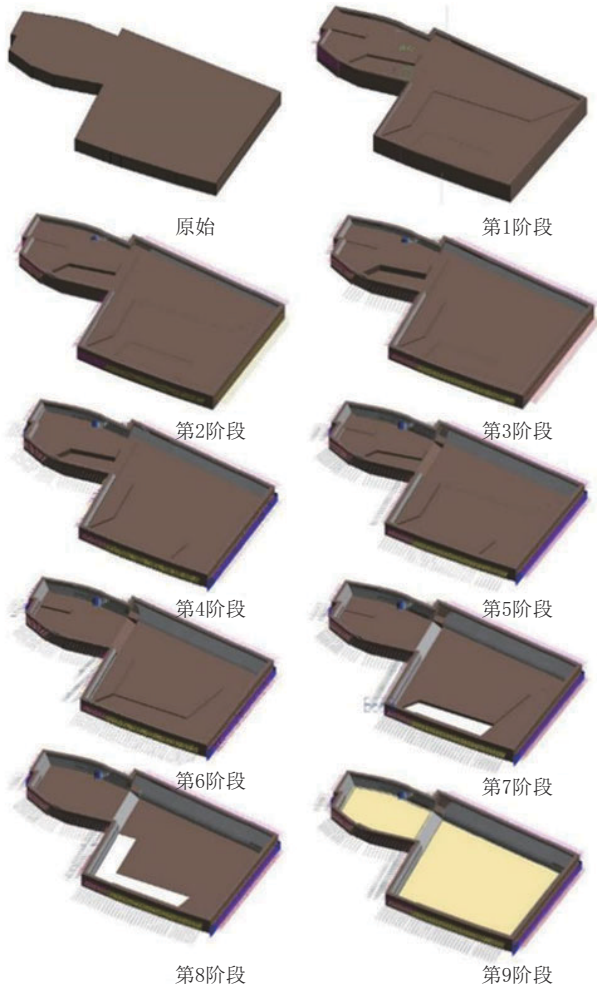


图 12 不同施工阶段基坑土方开挖模型

Fig.12 Soil excavation models at different stages

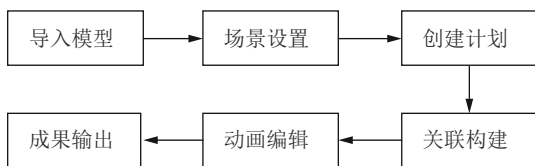


图 13 施工模拟流程

Fig.13 Flow chart for construction simulation

模型导入时需要设定一些参数,如模型的精细程度、坐标等。模型成功导入后,可在 Fuzor 软件中看到渲染后的模型,如图 14 所示。在 Fuzor 中进行施工模拟的关键是创建施工计划和进行动画编辑,此外还可以修改地形、日光分析和天气等场景设置,进行更加真实的施工模拟。最后,视点动画选择视频质量、视频帧速率、视频分辨率及视频宽高比,输出为 MP4 格式的视频文件,动画片段如图 15 所示。通常质量越高分辨率越高对应的渲染时间也就越

长,而输出的视频精度也越高。

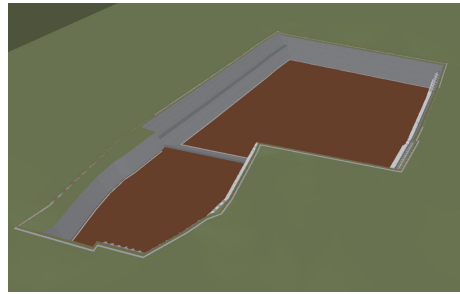


图 14 模型成功导入

Fig.14 Models successfully imported into Fuzor

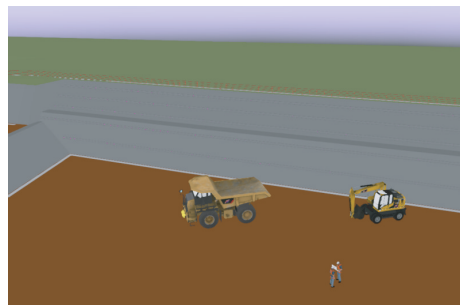


图 15 仿真模拟片段

Fig.15 Simulation footage

### 3 结论

本文针对 BIM 在基坑工程中的应用局限于对某一特定类型或者特定流程的分析,而缺少关于基坑施工各类型全过程的 BIM 应用研究现象,提出利用 Revit 以及 Fuzor 软件完成基坑施工各类型全过程模拟的目标,并以实际工程案例进行分析完成研究成果的展示,得到的主要结论如下:

(1) 针对 Revit 软件基坑工程族库不完善的现状,本文在已有族库的基础上开展外族及特定模型的设计,对 Revit 软件的族库进行补充,形成了一套包含锚杆、桩、土钉、锚索、锚杆锚具、锚索锚具、排水沟、止水帷幕、冠梁、腰梁等用于基坑工程的族库,该族库可以用于 BIM 模型的快速创建,使设计人员能专注于基坑结构的设计而非模型的设计。

(2) 提出了一种基坑土方开挖模型的创建方法,该方法使得在 Fuzor 软件中进行土方开挖模拟时较为简便,提高了施工模拟的效率,为其他类似工程模型的创建及施工模拟提供了一种有效的方法。

(3) 提出采用参数化建模方法,并依据构件标准化命名规则,构建了一套适用于基坑工程施工全过



程的族库。结合实际工程案例,采用所设计的族库进行基坑三维模型的构建,并在Fuzor中进行施工过程的仿真模拟,验证了所设计族库的有效性,为业主、设计、施工、管理等人员提供了工程项目可视化手段,为BIM技术在基坑工程中的应用提供模型基础和平台支撑。

### 参考文献(References):

- [1] 王景.《中国建筑施工行业信息化发展报告(2015) BIM深度应用与发展》盛大发布[J].中国建设信息,2015(16):10-13.  
WANG Jing. "China Building Construction Industry Informatization Development Report (2015) BIM Deep Application and Development" was grandly released[J]. Information of China Construction, 2015(16):10-13.
- [2] 谢秋明,张青平.南昌商业中心深基坑工程组合支护技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(9):75-80,96.  
XIE Qiuming, ZHANG Qingping. Composite support for the deep foundation pit of a commercial center in Nanchang[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020,47(9):75-80,96.
- [3] 张红涛.北京中关村科技园区丰台园东区基坑工程支护设计与施工[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(3):64-68,74.  
ZHANG Hongtao. Design and construction of foundation pit support in Fengtaiyuan east area of Zhongguancun Science and Technology Park, Beijing[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020,47(3):64-68,74.
- [4] 毛耀辉.基坑工程BIM参数化建模与三维可视化施工管理研究[D].济南:山东大学,2021.  
MAO Yaohui. Research on BIM parametric modeling and 3D visual construction management of foundation pit engineering[D]. Jinan: Shandong University, 2021.
- [5] 郝峰.融合三维地质体的Revit精细化基坑建模[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(10):67-74.  
HAO Feng. Revit fine foundation pit modeling fusing three-dimensional geological body[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(10):67-74.
- [6] 蒋先平,王晓密,谭家秀,等.基于Revit的基坑工程造价计算插件开发与应用研究[J].钻探工程,2022,49(2):145-152.  
JIANG Xianping, WANG Xiaomi, TAN Jiayou, et al. Development and application of a plug-in for calculation of foundation pit project cost based on Revit[J]. Drilling Engineering, 2022,49(2):145-152.
- [7] 孙斌,季小普,马金海,等.复杂深基坑工程施工中BIM综合应用[J].城市建筑,2021,18(33):36-38.  
SUN Bin, JI Xiaopu, MA Jinhai, et al. Comprehensive applica-
- tion of BIM in the construction of complex deep foundation pit engineering[J]. Urbanism and Architecture, 2021,18(33):36-38.
- [8] 汪慧,董文澎,房晓丰.基于BIM的基坑工程施工仿真系统研发与应用[J].应用技术学报,2021,21(2):179-184.  
WANG Hui, DONG Wenpeng, FANG Xiaofeng. Research and application of BIM-based foundation pit construction simulation system[J]. Journal of Technology, 2021,21(2):179-184.
- [9] 郭延辉,许春红,李海鸿,等.BIM技术在复杂环境下深基坑工程中的应用[C]//2020年全国土木工程施工技术交流会论文集(上册),2020:508-511.  
GUO Yanhui, XU Chunhong, LI Haihong, et al. Application of BIM technology in deep foundation excavation engineering under complex environment [C]//Proceedings of the 2020 National Civil Engineering Construction Technology Exchange (Previous), 2020:508-511.
- [10] 王薇.BIM技术在深基坑工程中的应用研究[J].四川建材,2020,46(2):88-89.  
WANG Wei. Application of BIM technology in deep foundation pit engineering[J]. Sichuan Building Materials, 2020,46(2):88-89.
- [11] 孙博.基于Revit的基坑工程参数化设计[D].大连:大连理工大学,2019.  
SUN Bo. Parametric design of foundation pit structure based on Revit[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2019.
- [12] 袁志华,温桃,张绍平,等.基于Revit的深基坑工程模型创建[J].项目管理技术,2019,17(12):21-26.  
YUAN Zhihua, WEN Tao, ZHANG Shaoping, et al. Establishment of deep foundation pit engineering model based on Revit[J]. Project Management Technology, 2019,17(12):21-26.
- [13] 曹建涛.BIM技术在公路隧道正向设计中的应用研究[D].北京:北京交通大学,2019.  
CAO Jiantao. Application research of BIM technology in forward design of road tunnel[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2019.
- [14] 李畅.基于Revit的多面体空间结构参数化设计研究[D].大连:大连理工大学,2019.  
LI Chang. Research on parametric design of polyhedral spatial structure based on Revit [D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2019.
- [15] 潘星,刘赞.BIM+Fuzor技术在建筑产业链中的应用研究[J].工程质量,2019,37(6):89-92.  
PAN Xing, LIU Yun. Research on the application of BIM+Fuzor technology in the construction industry chain [J]. Construction Quality, 2019,37(6):89-92.

(编辑 李艺)