

基于 Revit 二次开发的独立基础参数化建模方法研究

邓鹏, 谭文正, 罗慧明, 李帅, 杨斌

(中国轻工业长沙工程有限公司, 湖南 长沙 410114)

摘要: 随着建筑信息模型(BIM)技术在工程设计领域的广泛应用, 由 Revit 平台驱动的三维正向设计在上部结构中已形成了较为成熟的解决方案。然而, 独立基础作为结构的重要组成部分, 其三维建模与出图仍存在效率低、信息完整性差等问题, 且因主流的结构分析软件数据接口封闭, 直接提取基础数据库文件的配筋信息并同步至 Revit 构件属性也极具挑战。为此, 利用 Revit API 与 MVVM 架构模式, 提出了一种基于 AutoCAD 图层与字段识别的独立基础参数化建模算法。将 YJK 结构分析软件生成的基础平面布置与配筋标注图导入至 Revit 平台, 通过图层识别方法计算基础中心定位坐标与平面尺寸, 再根据基础与配筋标注的相对位置关系, 建立两者间的匹配逻辑, 进而利用字段识别获取基础对应标注中的编号、高度及配筋信息, 并将其自动写入模型的族属性中。此外, 通过提取模型属性与几何面参照, 还实现了基础尺寸与配筋自动标注等功能。最后, 以某冷柜自制厂房为工程案例开展了独立基础参数化建模及出图应用实践, 并与常规方法进行了对比。结果表明, 该算法能显著提高独立基础三维建模与标注出图效率, 且对 PKPM 软件导出的计算文件具有良好的适配性。

关键词: 独立基础; 参数化建模; Revit; 二次开发; 建筑信息模型

中图分类号: TU 17

DOI: 10.11996/JGj.2095-302X.2026010194

文献标识码: A

文章编号: 2095-302X(2026)01-0194-10

Research of parametric modeling methods for isolated foundation based on Revit secondary development

DENG Peng, TAN Wenzheng, LUO Huiming, LI Shuai, YANG Bin

(China CEC Engineering Corporation, Changsha Hunan 410114, China)

Abstract: With the widespread application of Building Information Modeling (BIM) technology in the field of engineering design, the Revit platform-driven 3D forward design has developed into a relatively mature solution for superstructure. However, as a critical structural component, isolated foundations still face challenges such as low efficiency and poor information integrity in 3D modeling and drawing generation. Moreover, due to the closed data interfaces of mainstream structural analysis software, it is extremely challenging to directly extract reinforcement information from fundamental database files and synchronize to the properties of Revit elements. To address this limitation, a new parametric modeling algorithm for isolated foundations based on AutoCAD layer and text recognition was proposed, utilizing the Revit Application Programming Interface (API) and the Model-View-ViewModel (MVVM) design pattern. By importing foundation layout and reinforcement annotation drawings generated by structural analysis software (e.g., YJK) into Revit, the algorithm calculated the center coordinates and planar dimensions of foundations using layer-recognition methods. Then, a matching logic was established between foundations and reinforcement annotations according to their relative positions. Subsequently, text recognition was employed to extract the

收稿日期: 2025-06-12; 定稿日期: 2025-09-08; 通信作者: 邓鹏, E-mail: 1522958838@qq.com

Received: 12 June, 2025; Finalized: 8 September, 2025; Corresponding author: DENG Peng, E-mail: 1522958838@qq.com

基金项目: 中国海诚数字化研发创新基金(0307RD2024001)

Foundation items: The Digital Research and Development Fund of China Haisum Engineering Co., Ltd (0307RD2024001)

corresponding annotations' numbering, height, and reinforcement information, which were then automatically written into the family properties of the model. Additionally, the extraction of model attributes and geometric face references enabled automatic annotation of foundation dimensions and reinforcement. Finally, the proposed method was applied to the parametric modeling and drafting of isolated foundations for a self-built cold storage factory and was compared against conventional methods. The results demonstrated that this algorithm significantly improved the efficiency of three-dimensional modeling and annotation drawing for isolated foundations, while exhibiting excellent compatibility with calculation files exported from PKPM software.

Keywords: isolated foundation; parametric modeling; Revit; secondary development; building information modeling

随着工程建设行业数字化转型的深入推进,以建筑信息模型(Building Information Modeling, BIM)为代表的新技术凭借其数据集成性广、模型精细度高、三维可视化强等优势在工程项目前期规划、设计、施工以及运维等多领域广泛应用^[1]。尤其在工程设计领域,相较于传统的计算机辅助设计(Computer Aided Design, CAD),采用以 Revit 平台为主的全专业 BIM 三维协同设计不仅能在设计阶段避免易出现的构件和管线碰撞问题,还能基于模型属性信息将设计成果进一步应用于工程量计算^[2]与数字化交付^[3]中,且随着 Revit API (Application Programming Interface)逐渐发展成熟,该软件已成为能满足不同设计群体定制化需求的主流 BIM 设计平台,因此引起不少学者在该领域开展研究。

王海俊等^[4]建立了常用形式的挡土墙参数化模型库,通过二次开发实现了该类结构自动化建模、三维配筋及钢筋标注功能,并在模型创建过程嵌入抗滑移稳定计算程序,提高结构设计效率;YANG 等^[5]基于 Revit API 实现了基于全站仪点云和地面激光扫描数据的参数化梁自动创建,通过几何建模、参数化构件管理与结构分析的有机结合,为历史建筑尤其是木屋顶结构的保护提供了新思路;LIU 等^[6]利用 Revit API 实现了钢筋混凝土结构中梁柱节点 BIM 模型自动创建,并基于 APF (Artificial Potential Field)方法提出了智能钢筋布局框架,解决了节点处钢筋的碰撞和拥挤问题;刘世龙和马智亮^[7]构建了基于 BIM 的钢筋骨架语义设计点云自动生成算法,利用 Revit 二次开发提取模型中钢筋信息,并通过格式转换生成各钢筋语义设计点云,解决了传统预制构配件钢筋骨架质量检查效率低、易出错等问题;朱致远等^[8]基于 MVVM (Model-View-ViewModel)架构模式,开发了水闸工程挡土墙的稳定计算分析程序,拓展了 BIM 技术在水闸结构设计的应用范围;卞明月等^[9]基于 Revit 平台开发了摇摆钢支撑快速建模工具,仅需输入参

数即可自动完成构件布置与节点连接,并将其成功应用于某框架结构加固项目的 BIM 建模;牛立军等^[10]基于 Revit API 与 MVC (Model-View-Controller)编程模式,提出了一套水利工程 BIM 正向设计实现方法,并以落地槽为例开发了相应的程序,实现了基于模型快速生成图纸、计算书、概预算等设计成果的功能;陈菁等^[11]等开发了基于 BIM 的施工深化图纸自动生成系统,能够准确识别模型中的异形构件,通过信息提取和自动标注生成符合特定制图要求的图纸,在保证图纸质量的同时大幅提升了出图效率;陈泽云等^[12]开发了叠层橡胶、滑移摩擦等类型隔震支座的 BIM 建模工具,将传统隔震层建模操作流程简化至 2 个步骤,且生成的模型与实际工程具有较好的一致性;LI 等^[13]基于 Revit 二次开发实现了桥梁上部结构模型几何信息的提取、筛选与重组,并生成 MCT 格式文件用于 Midas Civil 计算分析,提高了桥梁结构有限元建模的效率和精准度。

尽管 Revit 因便捷的 API 接口使其已广泛应用于不同行业的设计中,但在与人们密切相关的工业与民用建筑领域仍存在 BIM 技术的应用壁垒。与梁、柱等上部结构可使用商用插件快速导入计算模型,并根据配筋计算结果自动生成施工图不同,基础的三维设计仅局限于模型生成层面,尚不具备灵活且完善的计算及配筋出图等功能。针对这一问题,张维锦和陈五琴^[14]提出了一种桩基承台自动设计算法,通过读取结构分析软件导出的柱(墙)底内力 CAD 图,结合单桩承载力特征值与竖向构件截面形式自动计算桩基数量与承台尺寸,最终生成满足规范要求的基础模型,但其生成的承台不含配筋信息,且程序缺乏出图功能;孙祥^[15]创建了不同类型桩基的参数化族,并依据桩基设计规范开发了桩基自动建模与承载力计算工具,但基于轴网交点生成模型的方式在使用上欠缺灵活性,且其未实现桩基配筋功能;贺林^[16]开发了基于 Revit

的独立基础与桩基承台参数化建模工具，并实现了 Revit 至 Tekla 的结构模型转换接口，避免了由 IFC 格式标准传递模型造成参数丢失的问题，但其钢筋建模仍依赖 Tekla 的原生功能，效率略显不足；文献[17-20]先后针对独立基础、桩基础、条形基础、筏形基础参数化建模展开研究。根据不同类型的基础结构样式建立和完善了 Revit 族库，利用 C#语言开发了各类基础快速建模工具，能够通过输入地质土层与荷载信息自动完成承载力校核、内力及配筋计算，并根据计算结果创建实体钢筋模型用于生成基础施工图。该方案虽具备基础建模、计算与出图的完整功能，但需逐一手动输入参数才可对基础进行承载力验算和配筋计算，且无法生成基础计算书，在结构复杂的大规模项目中适用性有待提高。

基于上述结构基础参数化建模方法的系统分析，研究发现当前文献提出的解决方案普遍存在模型属性信息缺失或出图功能不完善等局限性，导致其应用受限。本文以常规独立基础为研究对象，利用 Revit API 与 MVVM 架构模式，提出了一种基于 AutoCAD 图层与字段识别的独立基础参数化建模算法，既可与主流结构分析软件形成完整 workflow，充分发挥成熟软件的计算功能优势，又创新性地配筋集中标注转换为 Revit 图元，提升了标注文字识别及与基础匹配的准确性。最后，以某冷柜自制厂房为案例完成了由 YJK 软件计算的 395 个独立基础的建模和标注出图工作，并与手动方法、TSRS2023 和 Revit-YJKS7.0.0 插件进行建模出图耗时对比，结果表明：本方法的参数化建模效率分别提升约 5.6 倍、1.0 倍和 1.0 倍；标注出图效率分别提升约 5.0 倍、5.0 倍、0.7 倍。此外，还验证了算法对 PKPM 软件导出的计算文件具有良好的适配性。

1 Revit API 与 MVVM 架构模式

1.1 Revit API 介绍

为满足用户定制化的功能需求，并确保能与其他同类型软件进行信息交互，Revit API 类库提供了 RevitAPI.dll 与 RevitAPIUI.dll 等多个程序集，不仅具备所有与操作和 UI 界面有关的接口，还包含了访问 DB 级别的方法^[21]，涵盖视图控制、元素管理、参数修改、几何分析、标注创建等方面，是本文研究成果实现的基础。其中，部分方法名称及功能见表 1，方法需传入的参数在 Revit 2020 官方文档中已有详细说明，此处不再赘述。

表 1 Revit API 中的部分方法与功能

Table 1 Partial methods and their functions in Revit API

方法名称	功能
GetOutline()	获取边框界的最大和最小坐标点
ZoomAndCenterRectangle()	居中缩放显示当前视图指定区域
NewFamilyInstance()	创建新的 Revit 族实例
Set()	修改 Revit 元素参数值
Delete()	删除指定的 Revit 元素
get_Geometry()	获取 Revit 元素的几何信息
NewDimension()	创建线性尺寸标注
Create()	创建结构基础标记

通过继承并实现外部命令与外部应用接口，利用 C#语言调用 API 方法、创建与管理事务，从而实现对 Revit 文件的修改与数据访问，其二次开发流程如图 1 所示。

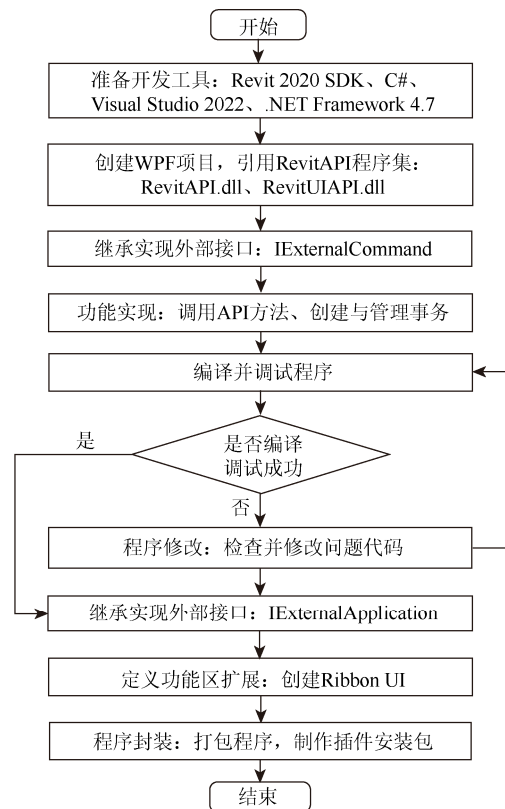


图 1 Revit 二次开发流程

Fig. 1 Revit secondary development process

1.2 MVVM 架构模式

MVVM 是一种用于简化用户界面开发过程的软件架构设计模式。如图 2 所示，该模式将应用程序分为 3 个核心组件：Model(模型层)代表业务逻辑和数据，能够将数据的变化通知到 ViewModel(视图模型层)；View(视图层)采用数据绑定机制与 ViewModel 关联，负责用户界面的呈现与交互，能够自动响应数据变化而更新界面；ViewModel 负责利用接口请求与 Model 进行数据交互，同时又与

View 进行双向数据绑定。通过将 View 的状态与行为抽象化, 能够实现 View 与 Model 解耦, 提高代码的可维护性和可测试性^[22]。

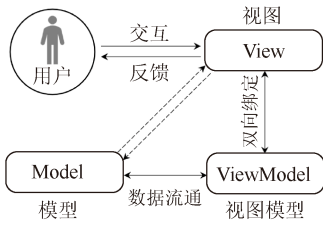


图 2 MVVM 架构逻辑
Fig. 2 MVVM architecture logic

2 独立基础参数化建模方法

2.1 参数化族建立

在 Revit 平台, 族是构成模型的基本单元, 根据其创建方式和功能特性不同可分为系统族、可载入族和内建族 3 类。其中, 系统族由 Revit 平台原生提供, 无法导出为独立文件存储; 可载入族支持用户自主创建, 以 RFA 格式存储, 可跨项目调用; 内建族专为特定项目定制, 不具备重复使用特性。通过上述族的集合式表达可创建各种型式的结构模型。本文综合考虑独立基础模型的几何特点和使用场景, 采用可载入族的形式建立参数化族供后续建模使用。根据国家建筑标准设计图集 22G101-3 (简称“国标图集”) 的相关规定, 现浇普通独立基础可按基础底板截面形状不同划分为锥形与阶型 2 种截面, 其中阶型截面又可细分为单阶、二阶与三阶基础, 如图 3 所示。利用 Revit 平台提供的公制结构基础族样板, 通过拉伸、放样融合完成基础形体的构建。为了使所建族能满足不同尺寸基础的通用性建模与出图要求, 还需设置参数与控制几何形体的尺寸进行绑定, 并建立基础编号、基础顶部与底部钢筋等共享参数, 以达到利用模型属性信息进

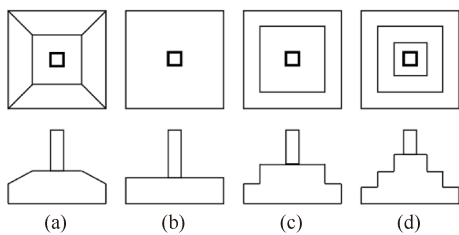


图 3 独立基础类型((a) 锥形单阶; (b) 阶形单阶; (c) 阶形二阶; (d) 阶形三阶)

Fig. 3 Isolated foundation types ((a) Tapered single-stage; (b) Stepped single-stage; (c) Stepped two-stage; (d) Stepped three-stage)

行基础出图的要求。

2.2 AutoCAD 图层识别

目前国内建筑行业主要使用 YJK 和 PKPM 这 2 款主流结构分析软件, 因其功能特点和操作流程均相似, 故先利用 YJK 软件生成所编程序的输入文件, 再对 PKPM 软件生成的计算文件进行程序适配性验证。在 YJK 基础设计模块完成建模与计算后, 可在施工图后处理模块创建基础施工图。将其导出为 DWG 格式的文件存储, 软件可根据不同构件和标注类型以不同图层对其进行区分。因导出的文件包含几何与文字 2 类图元信息, 为方便程序读取识别, 可将其拆分为基础平面布置和平法配筋标注 2 个独立文件, 并将其分别导入 Revit 平台。在此基础上, 通过调用 Revit API, 利用图层及图元信息区分的特点获取所有基础轮廓线的几何实例对象。

以二阶独立基础为例, 介绍其平面尺寸和中心定位坐标计算方法。如图 4 所示, 以 AutoCAD 文件的原始基点为坐标原点 o , 水平方向为 x 轴, 经逆时针旋转 90° 为 y 轴, 建立基础局部坐标系 xoy 。同时以 Revit 项目基点为坐标原点 O , 水平方向为 X 轴, 经逆时针旋转 90° 为 Y 轴, 建立整体坐标系 XOY 。其中, c 点为基础中心定位点; θ 为基础在 xoy 坐标系下的旋转角度, 其取值范围为 $[0, \pi/2)$; pl_1 为基础外阶轮廓线, pl_2 为基础内阶轮廓线, 两者均为 Revit API 中 PolyLine 类的实例对象; A 和 B 点分别为 xoy 坐标系下 pl_1 对应的轴对齐矩形边界框的上、下角点, C 和 D 点则分别为 xoy 坐标系下 pl_2 对应的轴对齐矩形边界框的上、下角点; $A', B', C', D', E, F, G, H$ 分别为 pl_1 与 pl_2 上对应角点。

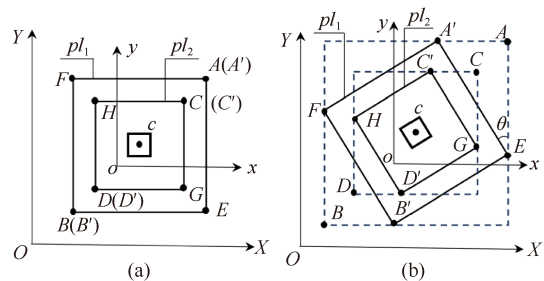


图 4 二阶独立基础几何计算简图

Fig. 4 Simplified geometric calculation diagram for two-stage isolated foundation ((a) $\theta=0$; (b) $0 < \theta < \pi/2$)

当 $\theta=0$ 时, 点 A 和 B 分别与基础轮廓线 pl_1 的上、下角点 A' 和 B' 重合; 点 C 和 D 分别与 pl_2 的上、下角点 C' 和 D' 重合。此时, 利用 Revit API 中

GetOutline()方法的MaximumPoint属性可分别得到 A 和 C 这 2 点在 oxy 局部坐标系下坐标向量 $C_{loc,A}$ 和 $C_{loc,C}$, 通过 MinimumPoint 属性分别得到 B 和 D 这 2 点在 oxy 局部坐标系下坐标向量 $C_{loc,B}$ 和 $C_{loc,D}$ 。获得 pl_1 与 pl_2 各角点的坐标后, 可利用式(1)~式(2)计算基础各阶的平面尺寸, 即

$$\begin{bmatrix} C_{loc,A}^T & C_{loc,C}^T & C_{loc,B}^T & C_{loc,D}^T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_A & x_C & x_B & x_D \\ y_A & y_C & y_B & y_D \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{cases} l_1 = x_A - x_B, l_2 = x_C - x_D \\ w_1 = y_A - y_B, w_2 = y_C - y_D \end{cases} \quad (2)$$

式中: l_1 和 l_2 分别表示基础外阶和内阶轮廓线的长度; w_1 和 w_2 分别表示基础外阶与内阶轮廓线的宽度。

当 $0 < \theta < \pi/2$ 时, 基础轮廓线不再与其对应的轴对齐矩形边界框重合, 此时需分别遍历 pl_1 和 pl_2 的角点坐标值, 结合式(3)判断该轮廓线上各角点所处的位置, 并确定对应坐标值, 即

$$\begin{cases} x_A = x_E, y_A = y_A' \\ x_B = x_F, y_B = y_B' \\ x_C = x_G, y_C = y_C' \\ x_D = x_H, y_D = y_D' \end{cases} \quad (3)$$

在此基础上, 利用式(4)可计算得到基础各阶的平面尺寸。同时, 可根据式(5)~(6)计算得到基础在 xoy 坐标系下的旋转角度 θ , 即

$$\begin{cases} l_1 = \sqrt{(x_{A'} - x_F)^2 + (y_{A'} - y_F)^2} \\ l_2 = \sqrt{(x_{C'} - x_H)^2 + (y_{C'} - y_H)^2} \\ w_1 = \sqrt{(x_F - x_{B'})^2 + (y_F - y_{B'})^2} \\ w_2 = \sqrt{(x_H - x_{D'})^2 + (y_H - y_{D'})^2} \end{cases} \quad (4)$$

$$\theta = \arcsin\left(\frac{\overline{EA'} \cdot \mathbf{U}}{|\overline{EA'}|}\right) \quad (5)$$

$$|\overline{EA'}| = |\overline{B'F}| = w_1 \quad (6)$$

式中: \mathbf{U} 表示 xoy 坐标系下 oy 方向的单位向量 $[0, 1]$; $\overline{EA'}$ 与 $\overline{B'F}$ 分别表示 xoy 坐标系下向量 $[x_{A'} - x_E, y_{A'} - y_E]$ 和 $[x_F - x_{B'}, y_F - y_{B'}]$ 。

由 GetOutline()方法获得 pl_1 与 pl_2 对应的轴对齐边界框的角点坐标后, 可利用式(7)计算各基础轮廓线在局部坐标系 xoy 的中心定位坐标, 即

$$\begin{cases} C_{loc,c_1} = \frac{1}{2}(C_{loc,A} + C_{loc,B}) \\ C_{loc,c_2} = \frac{1}{2}(C_{loc,C} + C_{loc,D}) \end{cases} \quad (7)$$

式中: C_{loc,c_1} 和 C_{loc,c_2} 分别表示 pl_1 和 pl_2 中心点 c_1 和 c_2 在 xoy 坐标下的坐标向量。

根据基础轮廓线几何实例对象的坐标恒等变换原则, 可得到该基础所在局部坐标系的转换矩阵, 因基础平面尺寸及定位在 XOY 平面坐标系即可确定, 故实际转换矩阵可简化为

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & X_o \\ 0 & 1 & Y_o \end{bmatrix} \quad (8)$$

式中: X_o 和 Y_o 分别表示 o 点在 XOY 坐标系下坐标。

此时利用 Transform 类中坐标转换方法, 通过式(9)~式(10)将基础中心 c 点转换为 XOY 坐标系下坐标, 即

$$C_{glo,c} = \mathbf{R}C'_{loc,c} \quad (9)$$

$$C'_{loc,c} = [x_c, y_c, 1]^T \quad (10)$$

式中: $C_{glo,c}$ 表示 c 点在 XOY 整体坐标系下坐标向量 $[X_c, Y_c]^T$; $C'_{loc,c}$ 表示 c 点在 xoy 局部坐标系下坐标的修正向量。

对于独立基础类型判断, 首先需联立式(7)~(9)计算得到 pl_1 与 pl_2 中心点 c_1 和 c_2 在 XOY 坐标系下坐标。再根据同一坐标值对应的基础几何轮廓线中心点的数量等于基础阶数的逻辑, 利用式(11)判断基础阶数。当存在 j 个中心点坐标分量相等时, 则该基础为 j 阶独立基础, 即

$$\begin{cases} X_{c_1} = X_{c_2} = \dots = X_{c_j}, j = 1, 2, 3 \\ Y_{c_1} = Y_{c_2} = \dots = Y_{c_j} \end{cases} \quad (11)$$

式中: X_{c_j} 和 Y_{c_j} 分别表示基础轮廓线 pl_j 中心点 c_j 在 XOY 坐标系下对应的坐标分量。

2.3 基础与标注匹配逻辑建立

独立基础平法配筋集中标注是依据国标图集定义的一种标准化表示方法, 能通过引线标注的形式将独立基础编号、高度与配筋等信息集中标注在平面布置图中, 从而用于指导现场施工。通过上述 AutoCAD 图层识别方法, 可确定独立基础的类型、平面尺寸及 XOY 坐标系下的中心定位坐标。为了满足 BIM 模型几何与信息完整度要求, 还需进一步确定基础编号、各阶高度、配筋等信息。该信息存储于仅包含文字类图元的平法配筋标注中, 故需建立其与基础间的匹配逻辑, 完成基础集中标注信息读取。

如图 5 所示, 根据国标图集定义的独立基础平法配筋标注样式, 可将该集中标注分为详细标注和简单标注 2 种类型。其中, 详细标注通过完整的标

注内容明确表达基础编号、截面高度及配筋形式等参数;简单标注作为平法配筋集中标注的简化表示方式,仅标注基础编号,其隐含的截面高度、配筋形式等信息则参照同编号详细标注的具体内容。

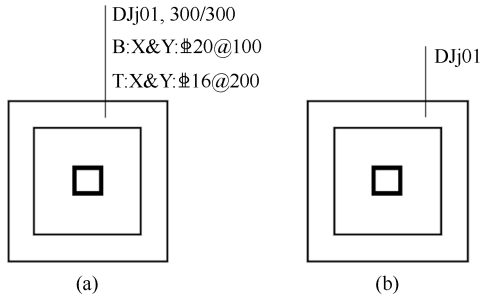


图 5 平法配筋标注样式((a) 详细标注; (b) 简单标注)
 Fig. 5 Reinforcement annotation style based on the Flat Method ((a) Detailed annotation; (b) Simple annotation)

利用 Revit 图元分解功能将基础的平法标注转换为 Revit 图元,此时可调用 Revit API 中 TextNote 类的 Coord 属性获取每行文字左上角点的坐标值,并将其与基础外轮廓线的轴对齐矩形边界框的角点坐标进行对比,从而建立基础与对应文字标注间的匹配逻辑。当满足匹配条件时,两者坐标分量的关系可表示为

$$\begin{cases} X_B \leq X_{\text{text},i} \leq X_A \\ Y_B \leq Y_{\text{text},i} \leq Y_A \end{cases} \quad (12)$$

式中: $X_{\text{text},i}$ 和 $Y_{\text{text},i}$ 表示第 i 个集中标注文字在 XOY 坐标系下的坐标分量; X_A , Y_A , X_B 和 Y_B 分别表示点 A 和 B 在 XOY 坐标系下的坐标分量。

当存在文字坐标与任一基础均不满足式(12)时,则表示该文字位于基础轮廓范围以外,此时判定其与基础匹配失败。为快速检索定位匹配失败的文字标注,可采用记录文字对应 Id 属性的方式,并通过 UIView 类中的 ZoomAndCenterRectangle()

方法将其居中缩放显示。通过执行 Move 命令将该文字移动至基础轮廓范围内,按式(12)重复对比基础与文字标注间的坐标关系,直至两者匹配成功。

在基础与集中标注匹配关系建立后,需进一步解析集中标注的文字内容,进而对其读取利用。根据图 5 国标图集对独立基础集中标注表示方法的规定,可将文字在内容层面进行拆解,见表 2。其中,编号前缀“DJz”与“DJj”分别表示锥形与阶型独立基础,利用前缀表示的差异性,可对式(11)中基础类型判断方法进行修正,解决锥形单阶基础误判为阶型二阶基础的问题;在锥形单阶基础高度中,“ h_1/h_2 ”中的 h_1 为基础底面至锥形斜面底部高度, h_2 为锥形斜面底部至基础顶面高度。在阶型独立基础中,“ h_1 ”“ h_1/h_2 ”和“ $h_1/h_2/h_3$ ”中的 h_1 , h_2 和 h_3 分别为基础底面至顶面各阶的高度;而在配筋形式上,根据基础受力特点可分为仅配置底筋与同时配置底筋、顶筋 2 种情况。以方式③为例:“B”和“T”分别表示配置底部与顶部钢筋,“X&Y”表示在 X 与 Y 的 2 个方向配置的钢筋相同,“Φ”表示钢筋的级别,其后的“xx”为钢筋直径,“@”表示钢筋间距,其后的“xxx”为钢筋间距值。其余表示方式与此类似,不再赘述。以图 5(a)为例,介绍文字信息提取过程。当平法标注转换成 Revit 图元后,原始的标注将变为相互独立的单行文字,即“DJj01,300/300”“B:X&Y:Φ20@100”和“T:X&Y:Φ16@200”。首先通过文字是否包含特定的字符串判断其所指代的内容,如编号前缀“DJj”或“DJz”、钢筋配置位置“B”或“T”;接着利用字符串中的特殊字符对其进行分割存储,如集中标注各行文字中的“,”、“/”、“.”和“;”等,从而实现基础编号与各阶高度、基础底部和基础顶部 X 与 Y 方向配筋的信息分离;最后将所提取的文字信息写入对应的基础属性。

表 2 独立基础集中标注内容

Table 2 Isolated foundation centralized annotation content

基础类型	编号前缀	高度	配筋形式	
			仅底筋	底筋与顶筋
锥形单阶	DJz	h_1/h_2		方式③: B:X&Y:Φxx@xxx T:X&Y:Φxx@xxx
阶型单阶	DJj	h_1	方式①: B:X&Y:Φxx@xxx	
阶型二阶	DJj	h_1/h_2	方式②: B:X:Φxx@xxx; Y:Φxx@xxx	方式④: B:X:Φxx@xxx; Y:Φxx@xxx T:X:Φxx@xxx; Y:Φxx@xxx
阶型三阶	DJj	$h_1/h_2/h_3$		

2.4 模型生成与标高调整

通过 2.2 节所述方法,由式(2)、式(4)、式(9)和式(11)确定各基础的平面几何尺寸、中心定位坐标及基础类型。历遍基础中心定位坐标,利用 Revit

API 中的 NewFamilyInstance()方法,在每个基础中心处创建基础族的实例对象,并将该实例对应的族类型名称修改为从 1 开始逐渐递增的连续数字编号。此时可对所有基础完成平面上的几何修改,但

高度仍为默认值,且编号与配筋信息未写入基础族属性。

根据基础与集中标注建立的匹配关系,检索平面中详细标注类型的集中标注,通过字段识别方法获取基础的编号、各阶高度与配筋信息,并利用 Revit API 中 Parameter 类的 Set()方法将其写入到对应的族属性中。当识别基础的编号前缀为“DJz”时,需将对应基础类型替换为锥形单阶基础,其余参数与替换前保持一致。由此可对所有采用详细标注的基础完成空间上的几何修改,并将编号与配筋信息写入基础族属性,但采用简单标注的基础仅有编号属性,其高度未修正,且配筋属性为空值。

为解决上述问题,可遍历所有基础实例对象,优先读取和对比基础编号属性,搜集所有基础编号一致的族实例。因相同编号的基础仅有一个采用详细标注,其族属性信息完备,故能通过判断该基础配筋属性是否存在将其准确找出,并将其族类型名称修改与基础编号属性一致。最后将其他配筋属性为空值的基础族类型替换为上述采用详细标注的基础族类型,从而实现所有采用简单标注的基础属性信息的替换,其实现流程如图 6 所示。

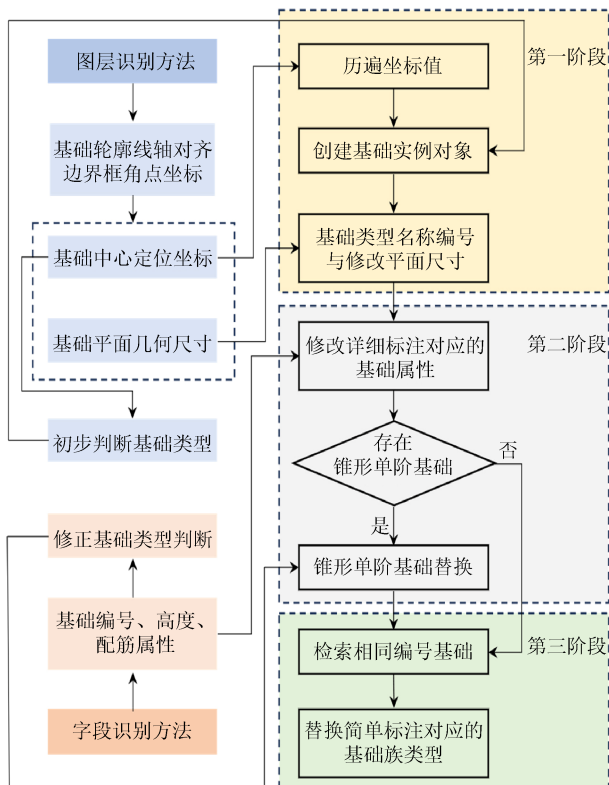


图 6 独立基础模型创建流程

Fig. 6 Isolated foundation model creation process

然而,在基础模型生成时以连续递增数字命

名的族类型完成修改替换后,剩余以数字命名的族类型将转为冗余的中间数据,其在项目文件中不存在基础实例与之对应,可通过读取该类型的 Id 属性,再利用 Revit API 中 Document 类的 Delete()方法批量删除。且因基础创建过程中未修改标高属性,在基础模型生成后需根据实际设计情况调整标高,通过 UI 界面输入方式,选择需要调整的基础模型,利用 Revit API 中 Parameter 类的 Set()方法将其写入到对应的族属性中,进而实现标高批量调整。

2.5 尺寸定位与配筋平法标注

由于 Revit 中无针对基础尺寸标注的快捷方式,且实现基础尺寸自动标注需高度依赖配套族做定制开发,因此可通过 Revit API 提供的方法实现此功能。在创建尺寸标注前,需先选择特定的基础族实例,根据轴线与基础定位坐标的关系,判断并获取与基础产生关联的轴网。同时利用 Element 类中的 get_Geometry()获得基础的 GeometryElement 对象,进而通过几何表面的法向量方向找出需要标注的平面。最后,将上述获得的轴网和平面转换为 Reference 对象,利用 Document 类中的 NewDimension()方法即可生成尺寸标注。而对于基础的配筋平法标注,Revit 虽在注释模块中提供了全部标记功能,但该方法只能同时生成详细或简单标注,使用上欠缺灵活性,因此可遍历基础族实例,利用 IndependentTag 类的 Create()方法逐一对基础创建详细标注,当某编号基础已存在对应的详细标注时,则将其改为简单标注,从而保证相同编号基础仅有一个为详细标注,以此满足实际出图需要。

3 工程应用实践

3.1 项目概况

某冷柜自制厂房,按建筑功能不同划分为主厂房与配套辅助用房,其平面尺寸为 421 m × 70 m,共 2 层(局部 3 层),Revit 三维设计模型如图 7 所示。结构类型为混凝土框架结构,主厂房屋面为轻钢屋面。该项目抗震设防烈度为 7 度,地震加速度为 0.10 g,设计地震分组为第三组,场地类别为 II 类。根据勘察单位提供的地质勘察报告显示,项目所在场地地层结构简单,在勘探深度范围内,土层自上而下依次划分为:①素填土;②粉质黏土;③全风化砂岩;④强风化砂岩;⑤中风化砂岩。本项目以第②层粉质黏土为地基持力层,取地基承载力特征值 $f_{ak}=160$ kPa,基础设计底标高为 -2.000 m。



图 7 自制厂房三维模型

Fig. 7 Three dimensional model of self-made factory building

3.2 独立基础参数化建模与出图方法对比

目前在 Revit 平台中实现带配筋属性的独立基础参数化建模有 2 类方法, 即手动直接建模和商用插件辅助建模(以 TSRS2023 与 Revit-YJKS7.0.0 插件为例), 其操作流程包含 5 个步骤, 如图 8 所示。实践表明: 手动直接建模方式效率低且易出错; 而各种商用插件辅助建模方式则长短兼具, 尽管能快速导入基础计算模型(其中 Revit-YJKS 目前仅支持导入 YJK 软件计算的基础模型), 但都存在模型无配筋、编号属性的等问题, 需人为干预替换模型。在后续出图中, 手动方法与 TSRS 插件对基础尺寸定位与配筋标注均缺乏高效解决方案; Revit-YJKS 插件虽能根据计算结果生成基础尺寸定位与配筋标注, 但因模型缺乏关键属性使其与配筋标注无法进行联动修改, 且不支持用户选择性地创建基础尺寸定位标注, 因此整体效率欠佳。

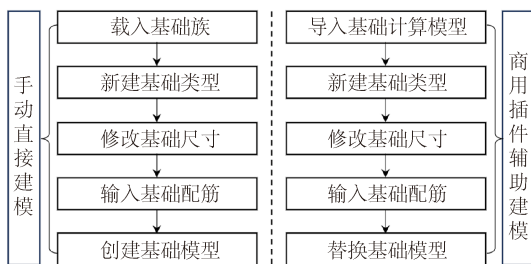


图 8 独立基础常规建模方法

Fig. 8 Isolated foundation conventional modeling method

根据第 2 节提出的独立基础建模算法, 基于 C#语言与 WPF (Windows Presentation Foundation) 界面技术完成 Revit 二次开发插件编写, 其用户操作界面如图 9 所示。该插件优化了 Revit 平台结构基础三维正向设计流程, 通过拾取图层、文字匹配和创建基础 3 个步骤即可完成独立基础参数化和信息化建模, 并可基于模型进一步实现基础定位尺寸和配筋自动标注。其中, 在图层拾取方面支

持用户自定义输入和图中拾取 2 种方式, 可适配不同的图层命名规则; 而在出图标注方面, 插件也可自动读取 Revit 样板文件预设的标注样式, 支持用户指定样式进行批量标注。

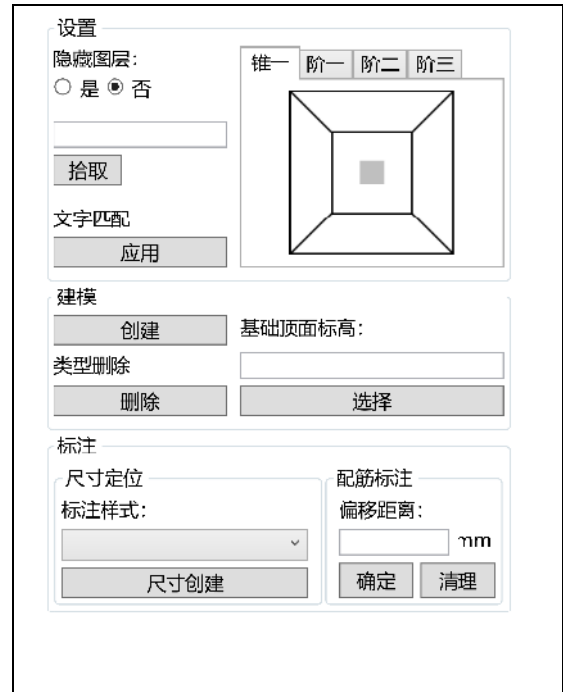


图 9 Revit 二次开发插件界面

Fig. 9 Revit secondary development plugin interface

3.3 Revit 二次开发插件应用

本项目独立基础数量共 395 个, 基础种类共 117 种, 均为矩形常规独立基础。对于异形基础, YJK 等软件仅能通过矩形基础对其等效计算, 且因其几何特征具有不确定性, 无法预设参数化族, 后续优化方案拟采用拉伸内建族实现其精准建模, 此处不做具体讨论。因不同版本的 YJK 软件导出的基础平面布置图均具有以图层区分图元的特点, 故采用较新版本的 YJK6.1.0 进行基础结构计算, 按照第 2.2 节所述方式将 AutoCAD 文件导入至 Revit 平台, 最终建模及标注结果如图 10~11 所示。

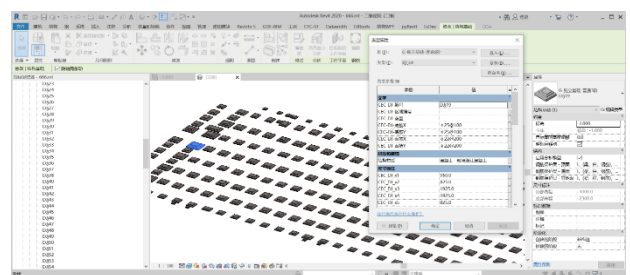


图 10 独立基础局部建模结果

Fig. 10 Partial modeling results of isolated foundation

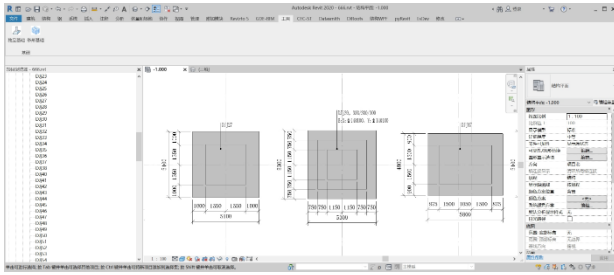


图 11 独立基础局部标注结果

Fig. 11 Partial annotation results of isolated foundation

通过对比导入的基础平面布置文件,并对基础中心坐标值进行提取验证发现:插件生成的基础几何尺寸与计算模型完全一致,且 Revit 平台显示的基础中心坐标值最高可达小数点后 14 位,而独立基础构件的几何形式相对简单,在模型生成过程中涉及的坐标系转换和几何尺寸计算的总运算次数有限,实际产生的累计误差极小,其精度完全满足结构施工图的出图要求。通过对基础生成的平法配筋集中标注进行准确性验证,结果表明:所有基础的编号及配筋参数均表达完整,未出现因解析方法不足而导致的符号遗漏等问题,其标注结果与计算软件施工图后处理输出完全一致。由此验证了本方法的可行性与程序的正确性。

为进一步对比各方法操作效率,分别使用不同方法完成该项目基础参数化建模与标注出图,通过人工计时统计得到各阶段耗时,见表 3。

表 3 不同方法下独立基础建模与标注出图时间/min
Table 3 Modeling and drafting time for isolated foundation under different methods/min

方法	参数化建模			标注出图
	模型生成	建模处理	总耗时	
手动方法	120.0		120.0	90.0
TSRS	1.1	35.0	36.1	90.0
Revit-YJKS	0.8	35.0	35.8	25.0
本文方法	1.2	17.0	18.2	15.0

由表 3 可知,在参数化建模中,Revit-YJKS 的模型生成算法运行时间最短,约 0.8 min; TSRS 次之,约 1.1 min; 本方法稍长,约 1.2 min。这一差异主要源于前两者在模型生成时未将配筋等关键信息写入构件属性,而手动方法模型生成耗时最长,约 120.0 min。在模型处理阶段,TSRS 与 Revit-YJKS 均需在模型生成后进行配筋属性设置与模型替换,耗时约 35.0 min; 本方法则需在模型生成前对 AutoCAD 文件进行预处理,耗时约 17.0 min。从整体耗时上看,相较于手动方法、TSRS 和 Revit-YJKS,本方法效率可分别提升约 5.6 倍、

1.0 倍和 1.0 倍。在标注出图效率方面,手动方法与 TSRS 耗时相同,均为 90.0 min, Revit-YJKS 因具备一定的标注功能,耗时稍短,约 25.0 min,本方法耗时约 15.0 min。相较于前 3 种方法,本方法效率分别提升约 5.0 倍、5.0 倍和 0.7 倍。综上所述,本方法对独立基础参数化建模与标注出图效率提升显著。

此外,为验证程序对 PKPM 计算文件的兼容性,本研究还选取了该自制厂房的西侧辅房作为测试案例,并基于 PKPM2.1.3 导出的计算文件完成了对应基础的自动建模与标注出图。研究表明:PKPM 各版本软件与 YJK 软件采用相似的图层划分逻辑,其差异仅体现在图层命名规则不一致,而该程序的图层拾取功能可适配不同图层命名体系,故模型的生成结果与计算模型也高度一致。此外,PKPM 与 YJK 的施工图后处理模块均遵循国标图集绘图规范,基于字段识别的集中标注信息提取方法同样适用于该软件。综上所述,本算法对 PKPM 软件导出的计算文件同样展现出良好的适配性能。

4 结束语

针对独立基础三维正向设计存在建模出图效率低、模型属性信息缺失等问题,本文提出了一种基于 AutoCAD 图层与字段识别的独立基础参数化建模算法,并开发了相应的配套程序。最后,以某冷柜自制厂房为工程案例,分别对 YJK 和 PKPM 软件导出的计算文件进行程序验证,并与常规方法进行效率对比,研究表明:

1) 本方法生成的独立基础参数化模型具有完整、准确的编号及配筋属性,与计算模型保持高度一致,且方法对 YJK 与 PKPM 软件导出的计算文件均展现出良好的适配性。

2) 本方法优化了独立基础三维设计流程,与传统手动方法、TSRS2023 及 Revit-YJKS7.0.0 插件相比,其参数化建模效率分别提升约 5.6 倍、1.0 倍和 1.0 倍;标注出图效率分别提升约 5.0 倍、5.0 倍和 0.7 倍。

3) 结合 BIM 技术未来发展趋势,采用基于模型属性的出图方式,不仅为后续利用属性信息进行基础工程量计算奠定基础,还可为其他类型基础的参数化建模提供参考,具有良好的扩展性。

4) 本方法目前仅能根据模型属性生成平法配筋标注,尚不支持基于属性驱动基础详图联动修改。后续将研究模型属性与基础详图的深度融合应

用, 以适应海外项目图纸多样化的表达需求。

参考文献 (References)

- [1] 徐照, 李启明. BIM 技术理论与实践[M]. 北京: 机械工业出版社, 2020: 11-12.
XU Z, LI Q M. BIM technology: theory and practice[M]. Beijing: China Machine Press, 2020: 11-12 (in Chinese).
- [2] 崔青玉, 孙晗凌, 吴洋. 基于模型数据驱动的城际铁路工程自动化计量研究与实践[J]. 建筑经济, 2023, 44(S2): 319-323.
CUI Q Y, SUN H L, WU Y. Research and practice of automatic calculation for intercity railway engineering based on model data driven[J]. Construction Economy, 2023, 44(S2): 319-323 (in Chinese).
- [3] 张兴军. 基于建筑信息模型的数字化交付在城市轨道交通工程中的应用[J]. 城市轨道交通研究, 2023, 26(7): 236-240, 245.
ZHANG X J. Application of digital delivery based on BIM in urban rail transit engineering[J]. Urban Mass Transit, 2023, 26(7): 236-240, 245 (in Chinese).
- [4] 王海俊, 宦国胜, 沈国华, 等. 信息模型技术在挡土墙设计中的应用与研究[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2017, 36(6): 75-79.
WANG H J, HUAN G S, SHEN G H, et al. Application and research of information model technology in retaining wall design[J]. Journal of Chongqing Jiaotong University (Natural Science), 2017, 36(6): 75-79 (in Chinese).
- [5] YANG X, KOEHL M, GRUSSENMEYER P. Parametric modelling of as-built beam framed structure in BIM environment[C]//3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures. Nafplio: The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2017: 651-657.
- [6] LIU J P, XU C R, WU Z, et al. Intelligent rebar layout in RC building frames using artificial potential field[J]. Automation in Construction, 2020, 114: 103172.
- [7] 刘世龙, 马智亮. 基于 BIM 的钢筋骨架语义设计点云自动生成算法[J]. 图学学报, 2021, 42(5): 816-822.
LIU S L, MA Z L. BIM-based algorithm for automatic generation of semantic as-designed point cloud of reinforcement skeleton[J]. Journal of Graphics, 2021, 42(5): 816-822 (in Chinese).
- [8] 朱致远, 牛志伟, 张宇, 等. Revit 二次开发在水闸工程挡土墙设计中的应用[J]. 人民长江, 2021, 52(2): 117-121.
ZHU Z Y, NIU Z W, ZHANG Y, et al. Application of Revit secondary development in retaining wall design of sluice engineering[J]. Yangtze River, 2021, 52(2): 117-121 (in Chinese).
- [9] 卞明月, 陈鑫, 谈丽华, 等. 摇摆钢支撑快速建筑信息模型建模技术及其 Revit 模块开发[J]. 科学技术与工程, 2021, 21(26): 11280-11288.
BIAN M Y, CHEN X, TAN L H, et al. Rapid building information modeling (BIM) modeling technology for rocking steel truss and its Revit module development[J]. Science Technology and Engineering, 2021, 21(26): 11280-11288 (in Chinese).
- [10] 牛立军, 梁燕迪, 王程. 基于 Revit 二次开发的水利工程 BIM 正向设计研究[J]. 人民黄河, 2022, 44(3): 155-159.
NIU L J, LIANG Y D, WANG C. Research on BIM forward design of hydraulic engineering projects based on Revit secondary development[J]. Yellow River, 2022, 44(3): 155-159 (in Chinese).
- [11] 陈菁, 余芳强, 易思坤, 等. 基于 BIM 的施工深化自动出图系统设计与开发[J]. 图学学报, 2023, 44(4): 801-809.
CHEN J, YU F Q, YI S K, et al. Design and development of automatic drawing system for construction deepening based on BIM[J]. Journal of Graphics, 2023, 44(4): 801-809 (in Chinese).
- [12] 陈泽云, 陈鑫, 谈丽华, 等. 基于 Revit 平台的隔震支座快速建模模块开发与应用[J]. 科学技术与工程, 2024, 24(2): 706-714.
CHEN Z Y, CHEN X, TAN L H, et al. Development and application of rapid modeling module for isolators based on Revit platform[J]. Science Technology and Engineering, 2024, 24(2): 706-714 (in Chinese).
- [13] LI J, SONG H X, ZHOU Z W, et al. A Revit-Midas/Civil conversion approach for bridge superstructures analysis[J]. Engineering Research Express, 2024, 6(1): 015109.
- [14] 张维锦, 陈五琴. 基于 Revit 的桩基承台自动设计算法[J]. 图学学报, 2019, 40(4): 771-777.
ZHANG W J, CHEN W Q. Automatic design algorithm of pile foundation cap based on Revit[J]. Journal of Graphics, 2019, 40(4): 771-777 (in Chinese).
- [15] 孙祥. 桩基设计计算的 BIM 应用及有限元分析[D]. 石家庄: 石家庄铁道大学, 2019.
SUN X. BIM application and finite element analysis of pile foundation design and calculation[D]. Shijiazhuang: Shijiazhuang Tiedao University, 2019 (in Chinese).
- [16] 贺林. 基于 Revit 和 Tekla 结构基础的 BIM 模型创建方法研究[D]. 沈阳: 沈阳建筑大学, 2021.
HE L. Research on BIM model creation method based on Revit and Tekla structure foundation[D]. Shenyang: Shenyang Jianzhu University, 2021 (in Chinese).
- [17] 贾诗颖. 基于 Revit 的独立基础参数化设计的研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2018.
JIA S Y. Research on parametric design of independent foundation based on Revit[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2018 (in Chinese).
- [18] 王晓宇. 基于 RevitAPI 的桩基础参数化设计[D]. 大连: 大连理工大学, 2020.
WANG X Y. Parametric design of pile foundation based on RevitAPI[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2020 (in Chinese).
- [19] 苗雨轩. 基于 Revit 的条形基础参数化设计[D]. 大连: 大连理工大学, 2021.
MIAO Y X. Parametric design of strip foundation based on Revit[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2021 (in Chinese).
- [20] 李浩然. 基于 Revit 的筏形基础参数化设计的研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2021.
LI H R. Research on parametric design of raft foundation based on Revit[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2021 (in Chinese).
- [21] Autodesk Asia Pte Ltd. Autodesk Revit 二次开发基础教程[M]. 上海: 同济大学出版社, 2015: 5-10.
Autodesk Asia Pte Ltd. Autodesk Revit secondary development basic tutorial[M]. Shanghai: Tongji University Press, 2015: 5-10 (in Chinese).
- [22] SMITH J. WPF apps with the Model-View-ViewModel design pattern[J]. MSDN Magazine, 2009, 24(2): 72-81.