

文章编号:1005-0523(2018)03-0097-07

基于 Revit 的地下连续墙识别算法研究

张维锦¹, 龙飞宇¹, 张惊忆²

(1. 华东交通大学土木建筑学院, 江西 南昌 330013; 2. 杭州市地铁集团有限责任公司, 浙江 杭州 310000)

摘要:使用 Revit 进行翻模的效率问题是建模迫切需要解决的难题。通过分析地铁车站结构施工图, 提出一种能自动识别地下连续墙的方法, 并在此基础上提出区分地连墙形状和内外侧的方法。采用 C# 编程语言, 基于 Revit 提供的函数库进行二次开发, 根据地连墙分段闭合的结构特征研究出快速识别连续封闭图形的算法, 使用封闭多边形的各边绘制拉伸实体完成三维模型的创建。通过大量图纸验证, 该方法能够准确识别出图纸中所有地下连续墙段并生成三维模型, 提高建模速度和效率。

关键词:Revit; 地下连续墙; 二次开发; 结构施工图

中图分类号:TU476+3 **文献标志码:**A

一个建筑工程全生命周期包括前期的设计规划、施工和后期的更新、拆除和维护等过程, 这些过程都需要耗费大量的人力物力, 因此如何有效节约资源对于一个工程来说至关重要^[1]。通过 BIM 可以建立清晰、系统的信息储存。在整个建筑生命周期中, 信息是相互联通的^[2], 只要改动一处数据, 其他相关联的数据会自动修改, 使得整个建筑周期对工程进行变动时更加准确和高效。BIM 的核心是信息, 而参数化的模型是 BIM 技术应用的基础。BIM 技术在国内的应用主要在参照 CAD 图纸人工绘制三维模型^[3]。人工翻模工作量大且不能保证模型的准确性。所以提出利用二次开发技术提取图纸中的信息自动生成三维模型。

通过分析地下连续墙的结构特征, 结合 Revit 二次开发技术, 研究出自动识别封闭多边形的算法, 实现地下连续墙的快速建模功能。通过提取图纸信息自动生成三维模型的方式提高了建模效率。由于建模是由计算机自动完成, 再根据图纸进行复核, 能保证模型和实际工程的一致性。

1 地下连续墙识别过程

1.1 程序开发流程

本次建模基于 .NET 平台, 采用 Visual Studio2013、Revit API 和 Revit SDK 作为开发工具实现应用程序的编写。程序开发主要分为识别封闭多边形算法的实现和模型生成两部分。

在 Revit 中进行二次开发要遵循 API 的应用流程^[4], 二次开发的基本流程如图 1 所示。在 Execute()方法中写入生成地连墙三维模型的算法, 通过调用提取封闭多边形的方法得到围成封闭多边形的线段, 将这些线段作为实体的边创建拉伸实体, 完成三维模型的建立。

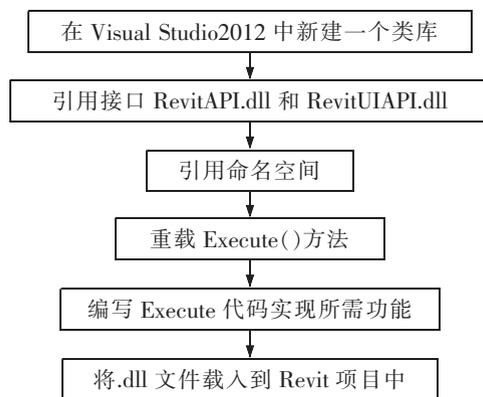


图 1 二次开发流程

Fig.1 The flow chart of the second development

收稿日期:2018-01-25

基金项目:江西省教育厅科学技术研究项目(150549)

作者简介:张维锦(1962—),男,副教授,研究方向为三维 CAD 及算量软件的开发与应用。

1.2 地下连续墙特点

地下连续墙(以下简称地连墙)作为可靠的基坑围护结构,因其具有刚度大、整体性好、施工振动小等优点^[5],被广泛的应用于各建筑工程结构中。图2为地铁车站地连墙的部分结构施工图,其中包含表示地连墙段的平行线和位于平行线之间的分幅线。地连墙段按形状分为标准幅(一字形)和异形幅(L形、T形等),各槽段之间由工字钢、十字钢和锁口管等构件连接^[6]。

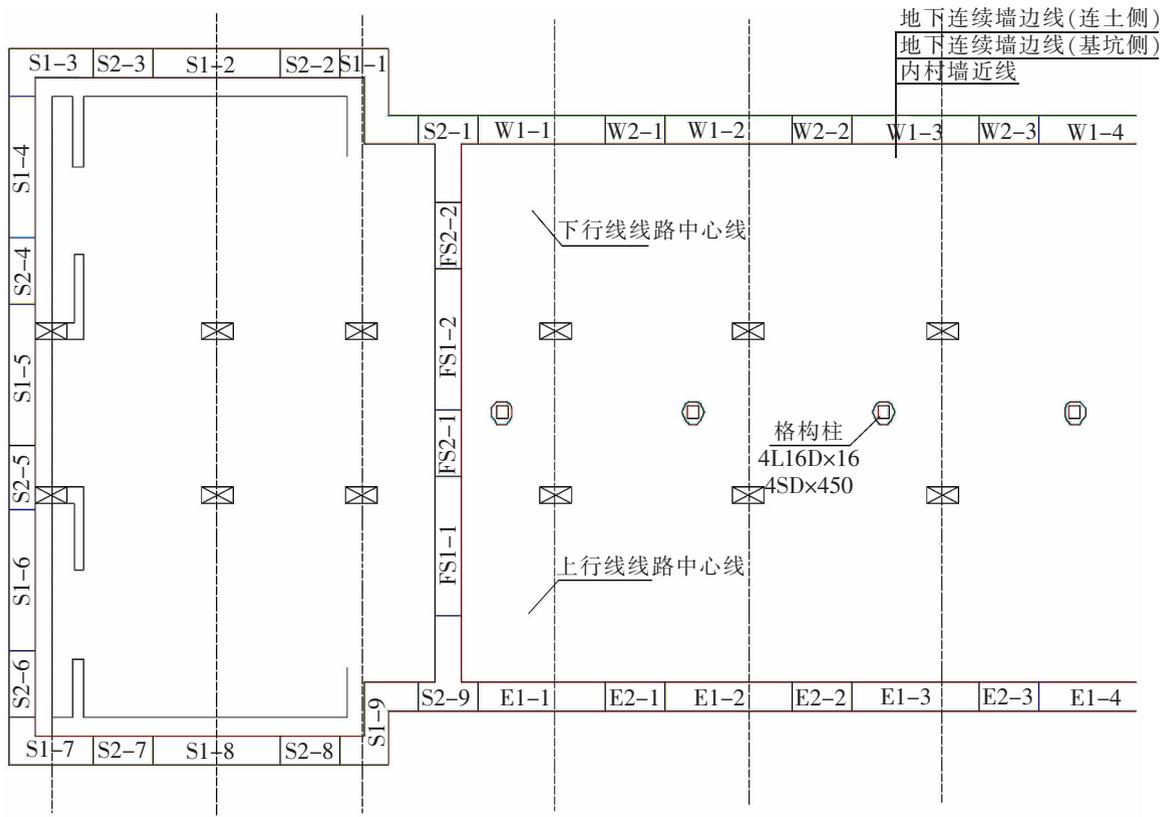


图2 地下连续墙结构施工图

Fig.2 Diaphragm wall structure construction drawing

目前 Revit 还没有专门针对地下连续墙的建模工具,已有的方法是根据图纸分段绘制地连墙三维模型。人工建模需要将每一段的墙体单独创建实体再进行拉伸,这项工作重复性高且工作量大,由于地连墙分段较为复杂,翻模过程中可能产生一定的误差。

1.3 地下连续墙自动识别思路

首先通过分析地连墙结构施工图得出地连墙的结构特征。每段地下连续墙都是一个封闭的多边形,因此识别地下连续墙可以简化为识别最小封闭多边形。基本识别步骤为:① 图元过滤;② 墙线分段,保证各线段首尾相连围成封闭图形;③ 为封闭图形的各个角点坐标进行排序编号,将图元坐标按由小到大顺序储存;④ 根据结点之间的连线按逆时针方向依次找到相连线段围成的封闭图形,得到的这个图形必须是面积最小的封闭多边形且图形内没有多余线段,这样得到的闭合多边形就是一段完整的地连墙段;⑤ 循环以上步骤得到所有的地连墙段。

2 地连墙识别算法

2.1 图元过滤

工程图预处理是工程识图一项基本流程,同时也是三维建模工作中重要的第一步^[7]。其操作目的是排除识图过程中可能产生的干扰项,并做好识图前的准备工作。图元过滤是工程图预处理的第一个步骤。

图元是组成 CAD 的最基本元素,包括点、直线、圆弧等。图元过滤的目的是将与建模无关的信息在图中过滤出去,防止其对后续的操作产生干扰。在规范的工程图纸中表示不同类型构件的图元都以不同的图层来绘制^[9],因此可以通过过滤图层的方法来得到表示一个或多个类别的所有图元。

将 CAD 图纸通过链接的形式导入 Revit 中。通过 Revit API 提供的交互选择在图中提取出表示地连墙和分幅线的线段,将其储存在集合 List<ModelLine>ModelLines 中,得到识别地下连续墙需要的图元,其余未被储存的图元则不再被选中,通过这一方法排除干扰信息。

2.2 坐标排序

为了避免重复生成地下连续墙,且保证生成的地连墙无重叠,在识别时必须按照一定的顺序。所以首先需要将组成地连墙的所有线段结点进行排序,首先按照 Y 坐标由小到大的顺序排列,当 Y 坐标相同时,再按照 X 坐标从小到大的顺序排列。

具体实现方法如下:循环 ModelLines 中的线段,通过 ModelLines[i].GeometryCurve.GetEndPoint(int index) 得到所有线段的端点,int index 为 0 时得到线段的起点,int index 为 1 时得到线段终点。将得到的结点储存在集合 List<XYZ>points 中,此时集合中包含表示地连墙线段的所有结点。

得到所有结点后进行坐标排序,将坐标按由小到大的顺序进行排列。首先人为设定一点为最小点,为了保证所有结点都比这点小,设定最小点 mixPoint 为(1 000 000,1 000 000,0),然后将集合中所有点的 Y 坐标依次和该点的 Y 坐标进行比较,若 points[i].Y<=1 000 000,则将 point[i]赋值给 mixPoint,将最小值替换,直到找出最小的 Y。然后在具有最小 Y 的坐标结点中用同样的方法找到最小的 X,即得到最小坐标点。将最小坐标点从 points 中移除,再循环上述步骤,直至将所有结点重新排序储存。完成排序后结点编号示意图如图 3 所示。

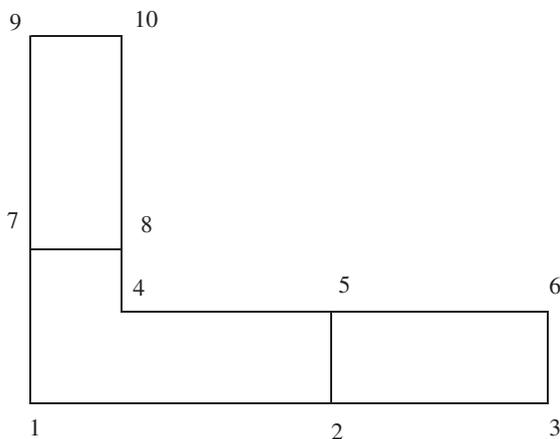


图 3 结点编号顺序

Fig.3 The order of node numbers

2.3 地连墙内外侧区分

地下连续墙分为迎土侧(外侧)和基坑侧(内侧)。由于地下连续墙内侧和外侧的钢筋保护层厚度不同,因此进行钢筋布置前需要区分地连墙的内外侧。在识别地连墙之前可以先将地连墙内外侧进行区分。

区分地连墙内外侧本质上也是识别封闭多边形。图 4 为地铁车站地连墙示意图,地连墙线和分幅线围成的小的闭合多边形表示分段的地下连续墙,除此之外所有的地连墙线段也围成若干个大的封闭多边形。图中可以看出所有的地连墙线(红线)都是围成闭合多边形的一部分,没有多余的线段。

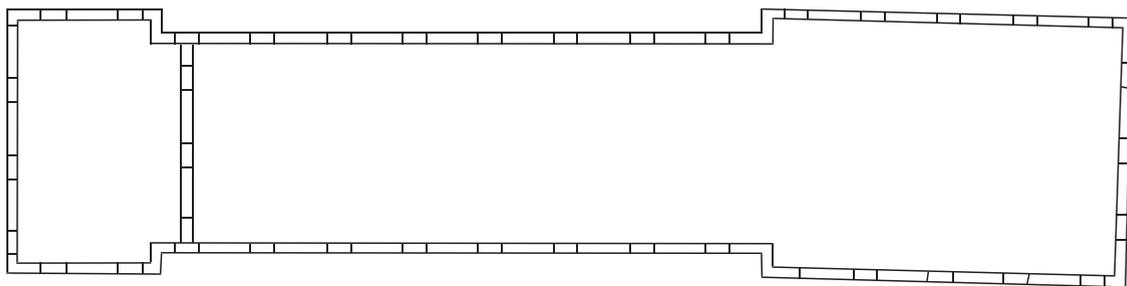


图 4 地连墙段线示意图

Fig.4 Schematic diagram of underground continuous wall line

根据图纸得出结论,在地连墙线围成的若干个封闭多边形中,围成周长最大多边形的线段为地连墙外侧线段,其余的地连墙线段则为内侧线段。

在墙线还没有分段之前得不到表示地连墙段的小多边形,所以不考虑图中墙线和分幅线组成的多边形的影响。在所有的线段中找到首尾相连的若干条线段得到第一个闭合多边形,然后计算该多边形的周长,将这些线段从 `modelLines` 中删除储存在另一集合中。再从 `modelLines` 中找到下一闭合多边形,计算周长,将该周长与上一多边形周长进行比较,若周长大于上一多边形,则将这些线段替换上一多边形的线段储存在集合中。最后集合中储存的线段则为地连墙外侧线段,其余组成闭合多边形的线段为内侧线段。

2.4 墙线分段

在识别封闭多边形时必须保证每一个封闭图形都是由首尾相连的线段组成。所以在识别之前要先将所有线段在相交的地方分段,使之在围成每一封闭图形时都是独立的线段。在已经排好序的结点集合 `orderPoints` 中找到与第一条线段相交的所有结点,按顺序储存起来,在每两个相邻结点之间创建一条新的模型线,将原有的线段从 `ModelLines` 中删除,将这些新建的线段储存进去。第一条线段分段完成之后再下一条线段的分段,直到所有的线段分段完成。墙线分段方法的片段代码如下:

```
for (int n = 1; n < lineInterPoints.Count; n++) //根据线段上的交点个数建立新的分段的墙线
{
    XYZ pt1 = lineInterPoints[n];
    XYZ pt2 = lineInterPoints[n - 1];
    Line line = Line.CreateBound(pt1, pt2);
    Plane plane = doc.Application.Create.NewPlane(pt2.CrossProduct(pt1), pt1);
    SketchPlane skplane = SketchPlane.Create(doc, plane);
    ModelCurve modline = doc.Create.NewModelCurve(line, skplane);
    newmodelLines.Add(modline);
}
```

2.5 地下连续墙识别

2.5.1 选择封闭多边形起点坐标

处理完前期准备工作之后开始识别地下连续墙。首先选择一点作为识别地连墙的起始点。在地连墙围成的封闭多边形中,每个结点连接不同数量的线段,即每个结点和若干个多边形共用,其中必定存在只连接两条线段的结点,这样的结点只为一个多边形所用。选择这样的结点作为起始点,有利于下一多边形的识别。

找到只连接两条线段的最小坐标点作为起始点。在第一个多边形识别完成后,将与起点连接的两条线段删除不会对其他多边形产生影响。删除后即得到下一个只连接两条线段的结点作为下一起始点。这一方法能够高效完成所有封闭多边形的识别并且有效的避免重复识别。

在所有结点中找到只连接两条线段的结点,按照 `orderPoints` 集合中由小到大的顺序找到符合要求的结点之后跳出循环,将得到的这一点作为起始点。分析地连墙结构施工图可以看出,左下角的最小角点始终为只连接两条线段的结点,符合起点的要求,所以当找到第一点时循环结束。当第一个多边形识别完成后删除这一结点和与之连接的线段。找到下一个只连接两条线段的结点作为识别第二个多边形的起点。根据结点排序的顺序可以看出,总是以左下角的最小结点作为起始点。

2.5.2 识别第一个封闭多边形

1) 选择起始线段 `line1`。在与起点连接的两条线段中选择与 X 轴正向夹角最小的线段作为起始线段,当夹角 α 大于 180° 时,令夹角等于 $(360^\circ - \alpha)$ 。

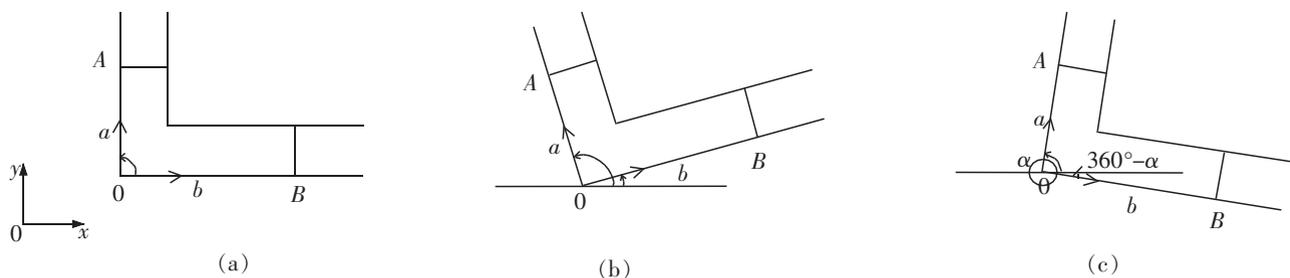


图 5 线段夹角示意图

Fig.5 Angle diagram of line segment

图 5 所示为起点连接线段可能存在的 3 种情况,起点 0 连接 OA 、 OB 两条线段。图 5(a)中 \overrightarrow{OB} 向量为水平方向的逆时针向量,图中可以看出向量 \overrightarrow{OA} 与 \overrightarrow{OB} 的夹角为 90° ,向量 b 与 X 轴正向的夹角为 0° 。选择夹角最小的边(OB)作为起始线段。图 5(b)所示情况可以直接看出向量 b 与 X 轴正向夹角最小,令 OB 为起始线段。图 5(c)中向量 b 与水平方向的夹角 α 大于 360° ,令 $\alpha=360^\circ-\alpha$,得到 α 为最小夹角,所以 OB 为起始线段。

2) 确定多边形的第二条线段。找到所有与起始线段终点连接的线段,将该结点作为每条线段的向量的起点,计算这些线段与 line1 的夹角,若夹角小于等于 180° 则加上 360° ,从其中找到和 line1 夹角最大的线段作为围成最小多边形的第二条线段 line2。

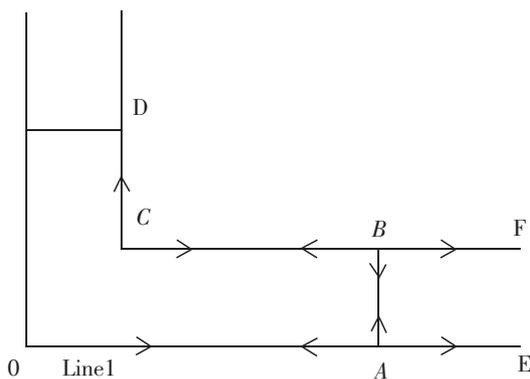


图 6 线段夹角计算图

Fig.6 Calculation chart of the line segment angle

图 6 所示,线段 line1 为起始线段,在 line1 的向量 \overrightarrow{OA} 终点 A 点处连接三条线段,以 A 为起点得到 3 条线段的向量 \overrightarrow{AO} 、 \overrightarrow{AB} 、 \overrightarrow{AE} ,计算它们和向量 \overrightarrow{OA} 逆时针方向的夹角,在图中可以看出向量 \overrightarrow{AO} 和 \overrightarrow{OA} 的夹角为 180° ,向量 \overrightarrow{AE} 和 \overrightarrow{OA} 的夹角为 0° ,向量 \overrightarrow{AB} 和 \overrightarrow{OA} 的夹角为 90° 。将小于 180° 的夹角加上 360° ,得到向量 \overrightarrow{AB} 和 \overrightarrow{OA} 的夹角为最大夹角 ($90^\circ+360^\circ$),所以在 A 点处选择线段 AB 为多边形的第二条边 line2, B 点为 line2 逆时针方向向量的终点。在 B 点连接的 3 个向量中找到与 line2 的向量 \overrightarrow{AB} 夹角最大的向量作为多边形的下一条边。 \overrightarrow{BA} 和 \overrightarrow{AB} 的夹角为 180° ,向量 \overrightarrow{BF} 和 \overrightarrow{AB} 夹角为 270° ,向量 \overrightarrow{BC} 和 \overrightarrow{AB} 的夹角为 $90^\circ+360^\circ$,选择线段 BC 为组成多边形的线段。C 点处只连接两条线段,同样可以根据夹角判断,向量 \overrightarrow{CD} 和向量 \overrightarrow{BC} 之间的夹角最大,选择线段 CD 为多边形的下一条边。

3) 将得到线段的终点坐标与多边形起点坐标比较,若不同则继续循环找到多边形的下一条边,直到线段终点与多边形起点坐标相同满足图形闭合的要求,即完成第一个闭合多边形的识别。

2.5.3 布置下一闭合图形

在循环下一闭合图形前先将多余的线段删除避免重复生成。

在第一个闭合多边形中可能存在一个或多个只连接两条线段的结点,这两条线段只与该多边形有关,对其他图形没有影响,因此在识别完第一个封闭多边形后将该多边形中连接两条线段的结点和该结点连接的线段从集合中删除。

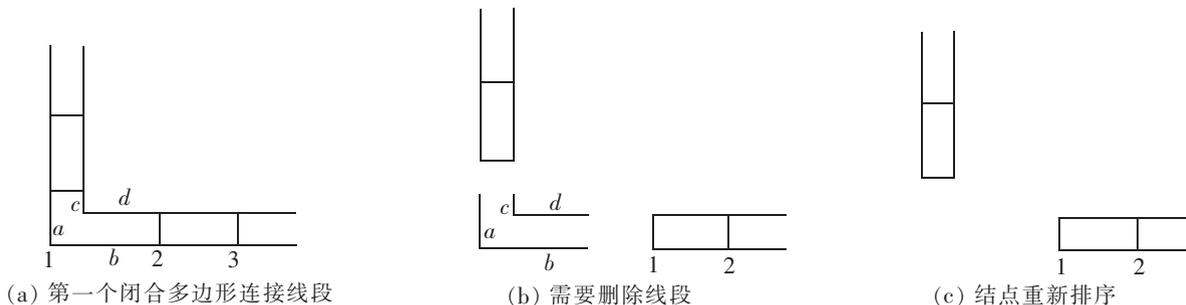


图7 删除线段示意图
Fig.7 Schematic view of deleted lines

图7中,第一个多边形有两个连接两条线段的结点,将这两个结点和结点连接的线段(a,b,c,d)从对应的集合中删除,删除之后结点重新排序,得到新的只连接两条线段的结点,在集合中找到最小的连接两条线段的结点作为识别下一闭合图形的起始点。找到起始点之后按照同样的方法得到闭合图形。循环上述步骤直到找到所有的封闭多边形。

2.6 地连墙段形状判断

不同形状的地连墙段钢筋设置不同,接头方式也有所区别,因此需要对地连墙段的形状进行判断。在对于矩形和L形的地连墙段,可以根据多边形结点的数量直接区分,4个结点为矩形墙段,6个结点为L形墙段。Z形和T形墙段都有8个结点,对于这两个形状可以根据内外侧边的数量来区分。找到所有八个结点的多边形,将其所有的边与地连墙的外侧线段进行比较,其中有3个边为地连墙外侧边的形状为Z形地连墙,有1个边为地连墙外侧面的为T形地连墙。

3 生成地下连续墙

采用公制常规模型的族模板来创建地下连续墙。首先打开公制常规模型的族模板,在竖直方向绘制一个参照平面用于控制地连墙的高度。水平方向的位置根据图纸确定,直接使用封闭多边形的各边作为定位线创建拉伸实体。在存储多边形所有线段的集合中按顺序找到首尾相连的若干条线段创建一个拉伸实体,在Z轴方向上进行拉伸,拉伸完成后将顶面与参照平面锁定,添加高度参数。完成一个实体的创建后将使用过的线段从集合中删除,进行下一实体的创建,直到所有实体创建完成。将创建好的实体按照正确的定位载入到项目中得到地连墙三维模型。

最后生成的地连墙模型如图8所示,生成的模型满足建模要求。

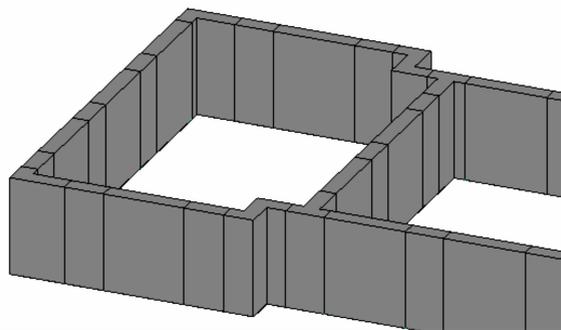


图8 地下连续墙生成实例
Fig.8 Generation example of underground continuous wall

4 结语

在 Revit 中对 CAD 图纸进行翻模,对于其中大量的重复性的工作可以利用二次开发来简化。通过二次开发可以实现模型的快速建立,以及完善 Revit 中还未涉及的功能,提高绘图的工作效率。二次开发有利于 BIM 技术在国内的普及和发展。本文基于 Revit API,在 Revit 中实现了自动生成地下连续墙功能,提出如何区分地连墙内外侧和判断地连墙形状的方法,对于地连墙钢筋布置还需进一步研究。

参考文献:

- [1] 何关培. BIM 和 BIM 相关软件[J]. 土木工程信息技术, 2010, 2(4): 110–117.
- [2] 张维锦, 龙伟, 龚鹏程. 基于 Revit 柱结构模型设计研究[J]. 华东交通大学学报, 2017, 34(5): 7–11.
- [3] 王建宇, 王昕妍. 二次开发实现从 AUTOCAD 到 REVIT 快速翻模技术研究[J]. 土木工程信息技术, 2015, 7(3): 111–115.
- [4] 马佰钰, 王子茹. 基于 Revit 斜拉桥建模研究[J]. 山西建筑, 2017, 43(11): 257–258.
- [5] 刘佰勇. 地下连续墙技术及成墙要点[J]. 技术研发, 2014, 21(4): 152–153.
- [6] 饶志华. 在 Revit 中实现地铁结构围护模型的快速生成[D]. 南昌: 华东交通大学, 2017: 29–31.
- [7] 万俊伟, 张维锦. 基于建筑图的板三维重建方法研究[J]. 山西建筑, 2009, 35(26): 362–364.
- [8] 王博. 基于 Revit 的地铁车站换乘通道结构模型自动生成算法研究[D]. 南昌: 华东交通大学, 2017: 10–11.

Research on Identifying Underground Continuous Walls Based on Revit

Zhang Weijin¹, Long Feiyu¹, Zhang Jingyi²

(1. School of Civil Engineering and Architecture, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China;

2. Hang Zhou Metro Group Co.Ltd., Hang Zhou 310000, China)

Abstract: The efficiency issue of turning over with Revit is a pressing problem to be solved. By analyzing the construction plans of the metro station structure, a method of automatically identifying the diaphragm wall is proposed, and, based on this method, this paper puts forward a method for distinguishing the shape of the ground connecting wall from the inside and outside sides. The C# programming language was used for secondary development based on the function database provided by Revit. According to the structure feature that the wall was closed in segments, an algorithm for rapidly identifying the continuous closed figures was developed. The drawing entities were drawn by using the closed polygons to complete the three-dimensional model. Through a large number of drawings' validation, this method can accurately identify all the underground continuous walls in the drawings and generate 3D models to improve the modeling speed and efficiency.

Key words: Revit; underground diaphragm wall; secondary development; structure construction drawing