

基于 Revit 的二次开发在脚手架设计中的应用研究*

李正农^{1†}, 朱爱民¹, 吴红华¹, 刘安远², 王文剑², 张明亮³

(1. 湖南大学 建筑安全与节能教育部重点实验室, 湖南 长沙 410082; 2. 广东星层建筑科技股份有限公司, 广东 广州 510623; 3. 湖南建工集团有限公司, 湖南 长沙 410004)

摘要:通过借助于 Revit API 函数,重点研究基于 Revit 平台的扣件式钢管脚手架程序开发.具体方法是创建脚手架所需族构件,以 C# 作为程序开发的语言来编程,借助于 Revit API 把零散琐碎的脚手架建模工作自动化,实现快速建模,同时将脚手架的计算功能集成到 Revit 中,达到在 BIM 平台下脚手架专项工程安全计算和智能建模目的.并以一个工程实例来测试程序的稳定性与适用性.程序最终能够实现在较短的时间一键智能创建符合工程要求的脚手架三维可视化模型,且模型携带丰富的工程信息,大大提高了设计人员和施工人员的工作效率.

关键词:脚手架; BIM; Revit API; 二次开发; C#

中图分类号: TU241; TU242

文献标志码: A

Research on the Design of Scaffold Based on Application of Secondary Development in Revit

LI Zhengnong^{1†}, ZHU Aimin¹, WU Honghua¹, LIU Anyuan²,
WANG Wenjian², ZHANG Mingliang³

(1. Ministry of Education Key Laboratory of Building Safety and Energy Efficiency, Changsha 410082, China;
2. Guangdong Xingceng Building Technology Co Ltd, Guangzhou 510623, China;
3. Hunan Construction Engineering Group Co Ltd, Changsha 410004, China)

Abstract: This paper focuses on the development of steel tubular scaffold with couplers in construction, based on Revit, through the aid of Revit API. The specific method is to create required family members of the scaffold by using C# as the programming language. Revit API can automate the rivial modeling of scaffold, which can assist the designers to build the moulding in short time, and meanwhile integrate the computing functions of scaffold into Revit. This program finally achieves the functions of scaffold safety calculation and intelligent modeling. Moreover, taking a specific instance to illustrate the stability and applicability of this method, this program can realize a 3D visualization model of scaffold in a short time, which satisfies the engineering requirement and provides rich engineering information. Finally, it significantly improves the work efficiency of the designers and constructors.

Key words: scaffold; BIM; Revit API; secondary development; C#

* 收稿日期:2017-07-16

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51478179,51678233), National Natural Science Foundation of China(51478179,51678233)

作者简介:李正农(1962-),男,湖北武汉人,湖南大学教授,博士生导师

† 通讯联系人, E-mail: lzhn88@263.net

当前,BIM技术正经历着从设计建模到模型数据应用的趋势发展,即从BIM 1.0向BIM 2.0阶段过渡,但总体而言对BIM技术的研究尚属于初级阶段.清华大学的马智亮^[1]给BIM技术的定义是: BIM技术是利用BIM的特性改进建筑工程设计、施工、运维等过程的技术.

脚手架工程^[2]是工程项目中的重要环节.传统脚手架工程项目设计时,几乎完全是架子工在施工现场依照二维平面图纸手工排布脚手架,施工前无可视化模型作为参照.此时这种临时的支架体系^[3],如设计不当,计算校核有误^[4-5]极易导致安全隐患或材料浪费,因为脚手架设计不当而造成重大经济损失和人员伤亡的报道不绝于耳.

郑清广^[6]基于Revit开发出简易的三维盘式钢管脚手架模型,软件尚未完全应用于实际工程,也未涉及脚手架计算功能;崔晓强等^[7]对于悬挑脚手架进行专家系统开发,支持BIM平台下脚手架智能化、自动化设计,有较好的工程实践应用反馈,但对于具体的脚手架结构形式研究不够透彻;武雷等^[8]将安全信息引入脚手架三维模型中,把脚手架安全管理纳入PDCA循环中进行动态控制,其中脚手架安全信息模型中的事前控制及事中控制具体工作还有待进一步深化;穆文奇等^[9]研究了BIM技术在脚手架施工精细化管理方面的应用,以说明该技术在脚手架施工降本增效及助推绿色施工中的积极作用.

实际脚手架工程中更好地应用BIM技术,实现脚手架的智能安全施工过程,具有较大的实用价值与经济价值.目前国内市场上有品茗、广联达等脚手架建模软件,但均基于二维平台开发,虽然做到了三维可视化交底,但在很多环节上依旧囿于二维平台的限制,所以尚欠真正意义上基于BIM平台的脚手架软件.

应用程序接口(Application Programming Interface,简称API)是软件开发人员将第三方应用程序集成到已有相关软件中的桥梁.在国外,已经有很多专家学者借助API开发插件,定制新的功能进行结构建模、结构分析、绿色建筑协同设计等研究^[10-12].当前,Autodesk Revit(下文简称Revit)以其强大的适用性与信息交互的便捷性成为BIM建模以及二次开发的佼佼者.相比较于其他类软件,Revit中有丰富的API函数,故仅在Revit平台^[13]就几乎可满足建筑全生命周期的所有工作.

综上所述,相比较于其他学者的研究,本文的主要贡献是基于Revit平台进行二次开发^[14-15],对

扣件式钢管落地架、悬挑架进行深入探讨.程序最终完全在BIM的环境下运行,并实现两大重要功能:其一、生成符合规范要求的扣件式钢管脚手架计算书;其二、脚手架三维模型的智能生成.在通过若干实际工程的测试后,程序都有良好的表现,可以满足实际工程施工的需要.

1 脚手架构件族库的创建

1.1 Revit中族的定义

族(Family)是Revit中的一个很重要的概念,它是一个包含通用属性的集和相关图形表示的图元组,结构模型中的所有图元都是基于族来定义的.比如:梁族中的H型焊接型钢梁、带壁架的混凝土模板托梁、冷弯卷边Z型钢梁等;桁架族中的芬克式桁架、豪威氏人字形桁架等.每个族图元都可以在其内定义多种族类型(FamilySymbol),设计师可以根据自己的需求,对每种类型设定相应的尺寸、形状和材质参数等信息.

当把选定的族类型加载到项目中后,就成了一个个独立的族实例(FamilyInstance),族实例既具有族的属性也有其自身的独立属性.族、族类型、族实例都是元素(Element)的子类,他们的类图如图1所示.

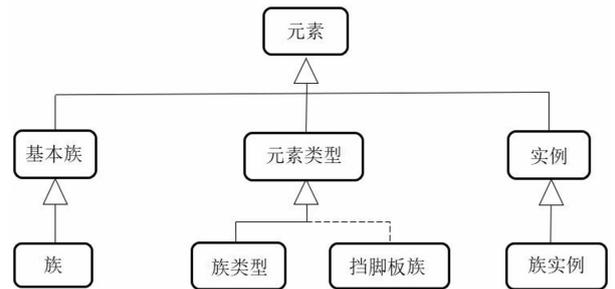


图1 族、族类型、族实例类图

Fig. 1 The class graphs of family, family symbol and family instance

1.2 Revit中族类型

Revit中有3种族类型,分别是系统族、标准构件族和内建族.系统族是Revit中已经定义好的族,包含基本的结构构件,例如梁、柱、楼板等.标准构件族是载入项目样板中的族,位于项目环境外,族文件扩展名是.rfa.可以使用族编辑器修改或创建所需的构件,也可以使用各种族样板创建新的族构件.故本文的脚手架族构件都是采用标准构件族创建的.内建族可以是特定项目中的模型构件,也可以是注释构件,只能在当前的项目中创建,因此只能用于该项目中的特定的对象.本文采用内建族的方法识别

特定项目中建筑物相应平面的外轮廓,并通过拉伸的功能达到脚手架所需创建高度,再运用已经载入 Revit 附加模块选项卡下的脚手架插件实现脚手架

模型的智能生成. 脚手架族构件创建流程如图 2 所示.

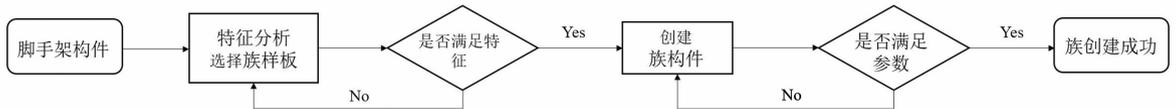


图 2 脚手架族构件创建流程图

Fig. 2 Creation of the scaffold family members flow diagram

1.3 脚手架族构件的创建

在 Revit 建模方面,本文采用标准构件族创建^[16]如下脚手架模型构件:钢管族(包括横杆、立杆、斜杆、剪刀撑、扫地杆)、扣件族(包括十字扣件、旋转扣件、对接扣件)、连墙件族、脚手板族、挡脚板族、可调托撑族、垫板族、悬挑架用型钢族和安全立网族. 具体如图 3 所示. 下面对于几个主要的族构件创建进行说明.

选择渐变类型为线性. 为了达到挡脚板警戒标识符的渐变效果,添加 4 种颜色渐变节点,RGB 值从左到右分别为:255 255 0→255 255 0→0 0 0→0 0 0 (其中中线左边为节点 2,右边为节点 3,节点 2 节点 3 重叠),并在“位置”按钮下修改旋转角度为 45°,具体如图 4(a)所示.

1.3.3 安全立网族创建

在 Revit 中很难找到一个材质可以很好保证其在真实模式下安全网与现实生活中安全网的吻合度. 如果只是单纯的选用玻璃材质,真实模式下是灰色透明的薄膜状;如果选用网材质,并在纹理编辑器中调整好参数编辑网的属性,真实模式下形态相似但是绿的程度太低,视觉冲击力偏弱. 因此,笔者创作性地将两者叠加在一起,发现最终的表现力极佳. 在不影响脚手架后期算量的前提下,保证了脚手架三维立面的可视化程度. 具体如图 4(b)所示,从左到右依次是网材质、玻璃材质以及两者的叠加.

1.3.4 其他脚手架构件族创建

运用 Revit 中编辑族的拉伸、融合、旋转、放样、放样融合这 5 大工具,辅以参照平面,同样可以创建脚手架其他构件族,限于篇幅笔者不再赘述. 其他主要构件族见图 4(c)~4(f).

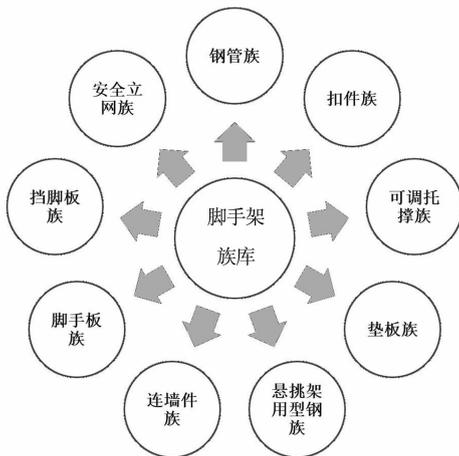


图 3 脚手架族库

Fig. 3 The family library of scaffold

1.3.1 钢管族创建

选择族样板文件中的公制常规模型创建钢管族,根据《建筑施工扣件式钢管脚手架安全技术规范》(JGJ 130—2011),脚手架钢管采用 $\Phi 48.3 \text{ mm} \times 3.6 \text{ mm}$ 钢管. 在“创建”上下文选项卡“属性”面板中点选“族类型”按钮,添加长度族参数,并按照规范要求创建其材质为碳素结构钢.

1.3.2 挡脚板族创建

同样采用公制常规模型来创建挡脚板族. 规范规定其高度不低于 180 mm,本文取 200 mm. 为了使外观标识更加逼真,打开“材质浏览器”,选择外观→常规→渐变,打开“纹理编辑器”,在外观按钮下

2 Revit 二次开发技术

上文主要研究脚手架构件族的创建,这些族是脚手架整体建模的基础. 如果采取手工建模需要很长时间,并且模型后期的调整也需要花费很多精力. 本文通过 Revit API 进行二次开发^[17-18],借助于 Revit API 可以把零散琐碎的脚手架建模工作自动化、智能化,可以在很短的时间一键建模,同时借助于 Revit API 可以将更多额外的功能集成到 Revit 中,本文内嵌了脚手架的计算功能,从而实现在一个平台完成几乎所有的工作,大大提高了脚手架设计的连贯性与适用性.

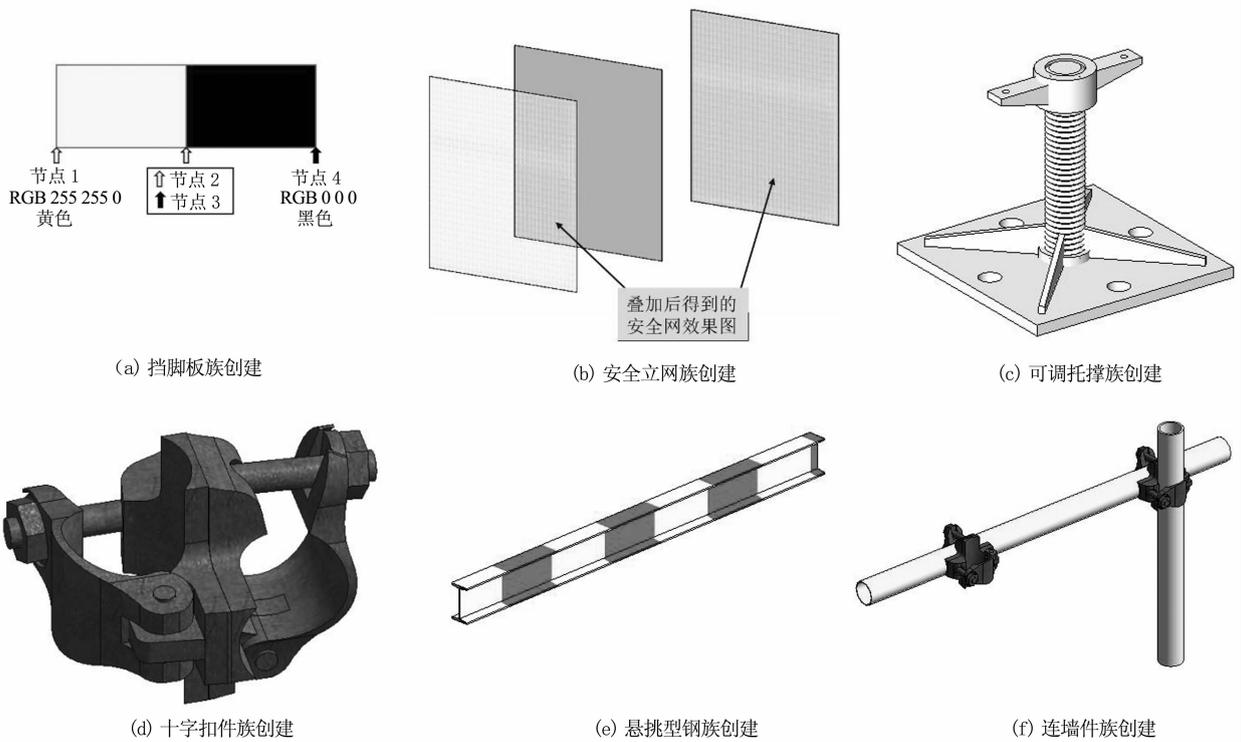


图 4 脚手架族构件创建

Fig. 4 Creation of scaffold family members

需要强调的是,由于悬挑梁布置本身的复杂性,本文悬挑梁的布置采用半手动的方式.规范规定,架体高度 20 m 及以上悬挑式脚手架工程需要进行专家论证.故如何使得悬挑架的布置更加智能化,尤其是 20 m 及以上的布置还值得深入研究.

2.1 Revit API 定义与使用前准备工作

2.1.1 Revit API 定义

Revit API 是一套事先编辑好的、可以与外界程序相关联的函数,它是一个类库.一方面 API 可以实现对 Revit 已有功能的覆盖,完成模型的创建,并更深层次地对整个模型进行分析和调整;另一方面,它也给用户提供了一个研发的平台,用户可以根据自身功能需求来尝试对 Revit 创建新的命令,使之能够满足更多细节上的要求,进一步实现它在功能上的缩放,进而使开发者能够更加便捷地访问模型的图形数据、参数数据;创建、修改、删除模型元素;集成第三方应用来完成诸如连接到外部数据库、转换数据到分析应用等.

在脚手架工程的设计建模过程中,依靠 Revit 已经相对成熟的软件平台,通过 API 进行二次开发,把交互操作和程序控制的优点有机地结合起来,

充分利用 API 以编程的方式完成一些工作量较大、规律性较强的工作.比如,架体连续多跨多步一样;脚手架阴阳角处立杆的处理;横杆布置时,在结构侧面奇数偶数不同时,横杆避让问题等,这些工作都由预先编写的算法完成.实际操作中能够大大简化相关建模过程,快速、高效地实现需求的功能,从而显著提升建模效率.

2.1.2 使用 Revit API 的准备工作

在进行基于 Revit 进行二次开发前,首先需要安装 Revit 2016,同时下载 Revit 2016 SDK (Software Development Kit,即软件开发工具包)里面主要包含的 Revit API 帮助文档及 RevitLookup;其次安装 Visual Studio 2015,本文选择其中的 C# 语言编程.同时也可以通过 Revit 自带的宏功能来实现相应的插件. Autodesk 公司通过提供 AddinManager 来加载 Revit 插件.

2.2 Revit API 在脚手架建模中的应用

2.2.1 Revit API 两个程序集

Revit API 提供一套机制和规范来扩展在 Revit 中创建脚手架模型的功能.在进行脚手架插件开发时需要引用两个程序集,分别为 Revit API.dll 和

Revit APIUI.dll,它们包含的主要内容见表 1.

表 1 Revit API 程序集
Tab. 1 The procedure set of Revit API

类型	内容
Revit API.dll	Parameter 方法
	访问 DB 级别的 Element
	访问 DB 级别的 Document
	访问 DB 级别的 Application
	IExternalDBApplication 接口
Revit APIUI.dll	Selection 选择
	TaskDialogs 任务对话框
	IExternalCommand 相关接口
	IExternalApplication 相关接口
	RibbonPanel 及其子类

2.2.2 实现脚手架建模继承的接口

Revit 2016 是基于 .NET 的运行环境,本文使用 C# 语言在 Visual Studio 2015 平台下对 Revit 软件进行功能扩展,主要使用外部命令和外部应用两种方式.

如果 Revit 中没有其他命令在运行或者没有处于编辑模式,则已经注册了的外部命令就可以被激活.一旦插件被选中,外部命令对象将被创建出来,开发工程师通过外部命令来扩展 Revit 时必须在外命令中继承 IExternalCommand 接口,并重载接口中的抽象函数 Execute 来实现接口功能.通过外部命令方式开发的过程流程图如图 5 所示.同样通过外部应用来定制脚手架建模开发所需相关功能,在外部应用中继承 IExternalApplication 接口,并重新加载其中的两个抽象函数 OnShutup 和 OnShutdown 编译代码来实现程序的开发.通过外部应用方式开发的过程流程图如图 6 所示.

2.3 通过 Revit API 将脚手架结构计算功能集成到 Revit 中

为了使得最后的脚手架模型符合工程施工的要求,本文在脚手架建模之前,首先进行脚手架的专项安全计算,依据《建筑施工扣件式钢管脚手架安全技术规范》(JGJ 130—2011)(以下简称《规范》),得到《落地式扣件钢管脚手架专项方案计算书》和《型钢悬挑式扣件钢管脚手架专项方案计算书》两个 word 模板,里面的脚手架参数信息会根据用户的个人设定而发生联动改变,并根据改变后的参数重新给出计算结果,在所有计算都符合要求的情况下才进行下一步的脚手架建模工作.

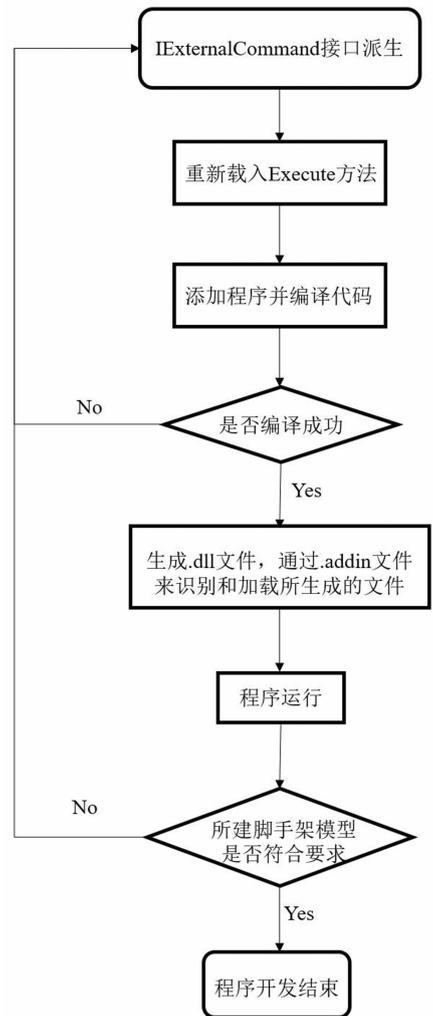


图 5 外部命令方式开发的流程图
Fig. 5 The development of external command flow diagram

2.3.1 扣件式钢管脚手架计算书内容

计算书中需要用到脚手架以下的主要参数信息:立杆的纵距 l_b 、横距 l_a 、步距 h 、脚手架搭设高度 H 、连墙件步数跨数、连墙件竖向间距、活荷载参数、风荷载参数、静荷载参数、地基参数、型钢悬挑梁参数、钢丝拉绳(斜拉杆)参数以及钢管的截面信息.由于规范规定脚手架钢管采用 $\Phi 48.3 \text{ mm} \times 3.6 \text{ mm}$ 钢管,故钢管截面信息固定,具体见表 2 所示.

在脚手架所有的参数录入进 Revit 中指定面板后,程序在后台进行纵向水平杆计算、大小横杆强度计算或验算、扣件抗滑力计算、脚手架荷载标准值计算、立杆稳定性验算、连墙件强度稳定性计算或验算.此外,落地架需要进行立杆的地基承载力计算、悬挑架需要进行型钢悬挑梁抗弯强度挠度稳定性计算或验算、水平钢梁与楼板压点钢筋拉环强度计算、螺栓锚固强度计算及楼板局部受压承载力计算.当这些计算全部符合规范要求时,程序将给定下

一步操作指示,否则可以选择自动调整脚手架参数信息或者用户手动调整相应的参数,程序调整完成后重新计算,直至通过。

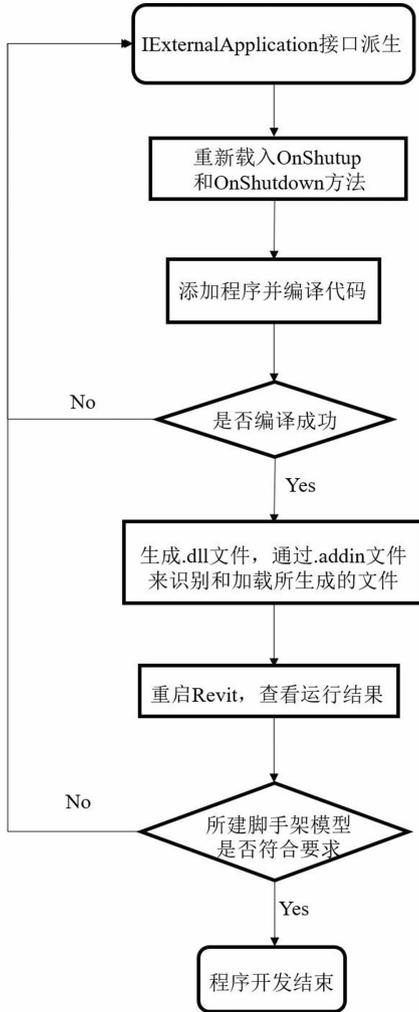


图6 外部应用方式开发的流程图

Fig. 6 The development of external application flow diagram

2.3.2 特殊悬挑部位设计计算

在脚手架设计计算中,规范给出了落地架和悬挑架悬挑梁的受力计算,这部分参照《规范》来编写算法。由于悬挑架与建筑结构连接的复杂性,对于特殊悬挑部位的处理方法,规范中并没有明确的说明,笔者查阅了相关文献,参照实际工程中的相关计算方法,将悬挑架中的水平钢梁与楼板压点钢筋拉环强度及螺栓锚固强度的计算说明如下。

1) 水平钢梁与楼板压点采用钢筋拉环

水平钢梁与楼板压点的拉环强度计算公式为:

$$\sigma = \frac{R}{2A} \leq 0.85f \quad (1)$$

式中: R 为水平钢梁与楼板压点的拉环受力; f 为拉环钢筋抗拉强度,按《混凝土结构设计规范》(GB 50010-2010),每个拉环按2个截面计算的吊环应力不应大于 50 N/mm^2 ;折减系数为0.85,根据《JGJ 130-2011 规范》第5.6.7条,当型钢悬挑梁锚固段压点处采用2个(对)及以上U形钢筋拉环或螺栓锚固连接时,其钢筋拉环或螺栓的承载能力应乘以0.85的折减系数; A 为压环钢筋的截面积。

2) 螺栓锚固强度计算

螺栓锚固深度:

$$h \geq \frac{N}{\pi d [f_b]} \quad (2)$$

式中: N 为锚固力,即作用于楼板螺栓的轴向拉力; d 为楼板螺栓的直径; $[f_b]$ 为楼板螺栓与混凝土的容许粘接强度,即混凝土轴心抗拉强度设计值 $[f_b] = f_t$; $[f]$ 为钢材强度设计值,取 215 N/mm^2 ; h 为楼板螺栓在混凝土楼板内的锚固深度。

表2 钢管截面信息

Tab. 2 The section information of steel tube

外径 φ /mm	壁厚 t /mm	截面积 A /cm ²	惯性矩 I /cm ⁴	截面模量 W /cm ³	回转半径 i /cm	每米质量 /(kg·m ⁻¹)
48.3	3.6	5.06	12.71	5.26	1.59	3.97

2.3.3 word 模板处理

在脚手架结构计算通过后,程序支持导出专项工程 word 计算书,方便用户查看与使用。word 计算书模板解决以下几个方面的问题:计算书中的图形和表格的遍历;段落的遍历;计算公式配置与计算不符合要求时异常提醒。最后通过改变 C# 中的工程设置来实现其通过脚手架模板自动创建符合要求的 word 文档。

3 Revit 二次开发技术在脚手架结构设计中的应用

在创建好脚手架模型所需族库,并研究总结出符合规范要求的脚手架计算书后,利用 Revit 二次开发技术可以开发出一套应用于实际工程中的基于 BIM 平台的脚手架安全计算与建模软件。下面以一

个实际工程为例,来具体说明本文的研究成果。

某棚户区改造拆迁安置点建设项目,建设规划占地 367.62 亩,整个项目分为 1 号、2 号和 5 号 3 个地块,其中 5 号地块分为 1、2、3、4 期,总建筑面积 96.76 万 m^2 ,总计 64 栋单体建筑楼。由于项目的 64 栋都为塔式建筑,笔者选择不同结构形式的楼体进行测试,并在文中具体说明其中的 18 号楼的测试结果。18 号楼结构高度 55 m,结构层数 18 层,采用框架剪力墙结构体系。由于规范规定,落地架结构高度不宜超过 50 m,悬挑架结构高度不宜超过 20 m,本工程结构高度为 55 m,因此需要同时用到落地架和悬挑架。为了体现施工工艺流程,可以自行选择结构

标高平面来创建相应脚手架模型。

如前所示,本文采用内建族的方式来识别建筑物的外轮廓线,从而在内建模型的基础上创建脚手架模型。将扣件式钢管脚手架软件加载到 Revit 中,在“附加模块”上下文选项卡下找到“扣件式钢管脚手架”面板,里面有三个按钮,分别为“参数设置”、“导出计算书”和“智能生成模型”。

在脚手架安全计算方面,先根据落地架和悬挑架的不同配置参数,其中落地架包括“布置参数”和“荷载参数”的配置,悬挑架还需要进行“悬挑参数”的配置;参数配置完成后进行计算校核,具体如图 7 所示。



(a) 脚手架设置参数



(b) 脚手架设计校核

图 7 在 Revit 中进行脚手架安全计算

Fig.7 Safety calculation of the scaffold in Revit

Revit 中脚手架模型创建的具体操作流程是:首先在项目里创建与该住宅楼模型外形一致的内建族,再输入脚手架参数信息,计算校核通过后,就可以智能创建脚手架模型,具体如图 8 所示。

程序最终在 Revit 中快速稳定地生成了该高层住宅楼的三维可视化脚手架模型,并支持导出该专项工程脚手架安全计算书。该高层脚手架模型真实模式下的三维视图如图 9 所示。

作者通过将该脚手架程序应用于本项目的其他不同的结构体系中,发现依然可以在极短的几分钟

时间内迅速生成符合工程施工要求的脚手架模型,说明本文所开发出的脚手架软件具有一定的稳定性和适用性,具有良好的工程实用价值。

4 结 论

本文选择基于 Autodesk Revit 进行二次开发,重点研究在 BIM 平台下脚手架结构的设计。具体得到如下结论:

1)族是创建脚手架三维可视化模型的基础,本

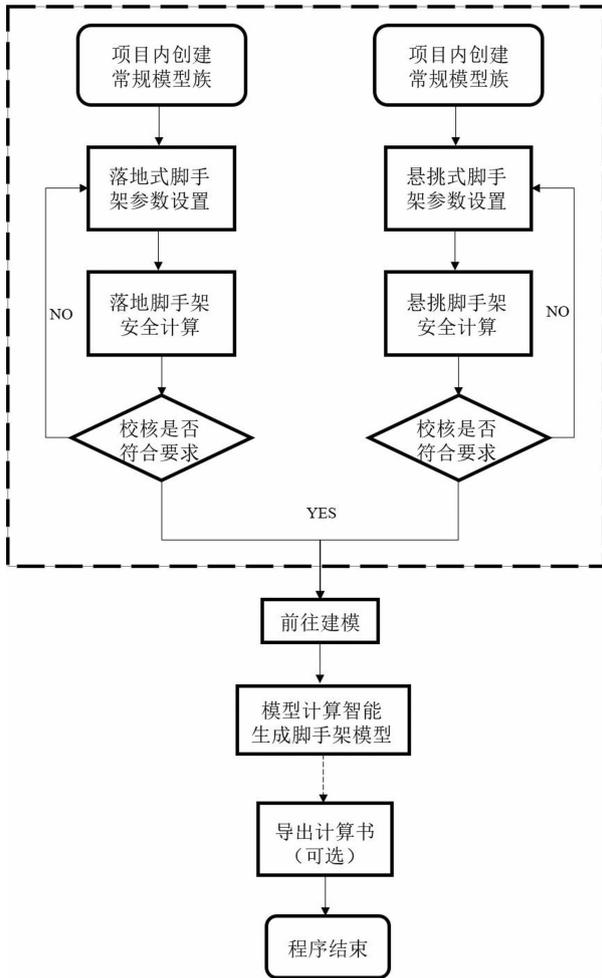


图8 Revit中智能生成脚手架模型流程图
Fig. 8 The scaffold molding flow diagram

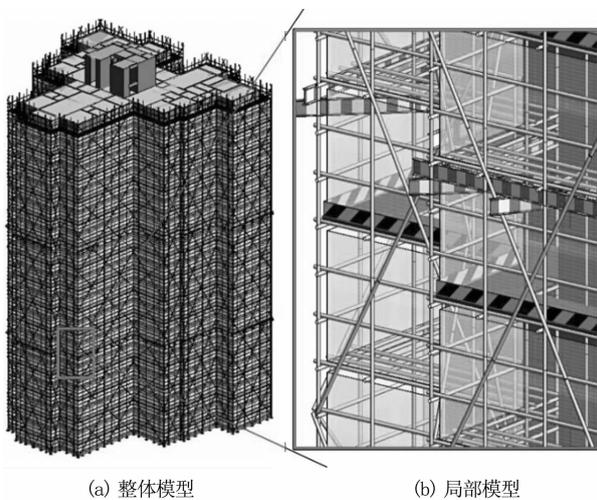


图9 Revit中真实模型下生成的脚手架整体及局部放大三维模型图
Fig. 9 Overall and local appearance of the scaffold in 3D model

2) 本文借助 Revit API 进行脚手架程序开发, 充分利用 API 以编程的方式完成一些工作量较大、规律性较强的工作, 并通过若干工程实例来检验程序的稳定性, 最后能够实现在几分钟的时间实现高层建筑落地式和悬挑式脚手架模型的创建。

3) 通过借助 Revit API 笔者将脚手架结构计算功能集成到 Revit 中, 在脚手架建模之前首先进行脚手架的安全验算, 只有所有的验算都通过才能进行下一步的建模工作。

4) 本文是真正意义上的基于 BIM 平台的二次开发, 摆脱了二维平台的局限性, 得到的脚手架模型的每一个构件都是携带信息的。在实现本文计算和建模的基础上, 对后期的算量分析也有极大的指导意义。

5) 本文所开发出的脚手架程序还有待更多的工程实例的测试, 并且由于悬挑架本身的复杂性和特殊性, 目前只能支持半手动设计, 故程序还有待进一步的优化, 以提高其本身的适应性与通用性。

参考文献

- [1] 马智亮. 追根溯源看 BIM 技术的应用价值和趋势[J]. 施工技术, 2015, 44(6): 1-3.
MA Z L. Research on application value and development trend of bim technology [J]. Construction Technology, 2015, 44(6): 1-3. (In Chinese)
- [2] JGJ 130-2011 建筑施工扣件式钢管脚手架安全技术规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2011: 7-38.
JGJ 130-2011 Technical code for safety of steel tubular scaffold with couplers in construction[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2011: 7-38. (In Chinese)
- [3] 邓铁军, 朱敏. 现浇混凝土单侧模板及支架体系经济性设计的研究[J]. 湖南大学学报(自然科学版), 2015, 42(11): 133-138.
DENG T J, ZHU M. Research on economical design of cast-in-place single-side concrete formwork templates and support system[J]. Journal of Hunan University (Natural Sciences), 2015, 42(11): 133-138. (In Chinese)
- [4] 杨富涌. 扣件式钢管脚手架结构计算方法研究与程序开发[D]. 杭州: 浙江大学建筑工程学院, 2003: 34-41.
YANG F Y. Study on the computation method and software development of clip-holding steel-tube scaffold [D]. Hangzhou: College of Civil Engineering and Architecture, Zhejiang University, 2003: 34-41. (In Chinese)
- [5] 刘鑫. 扣件式钢管支架计算分析及其程序开发[D]. 杭州: 浙江大学建筑工程学院, 2005: 25-36.
LIU X. Studies on computing and analysis of tubular scaffold

文通过选择符合脚手架功能特性的族样板创建相应脚手架族构件, 为后续二次开发做好准备工作。

- joined by couplers and program development[D]. Hangzhou: College of Civil Engineering and Architecture, Zhejiang University, 2005:25-36. (In Chinese)
- [6] 郑清广. 建筑信息模型在盘式脚手架体系中的应用研究[D]. 北京:北京交通大学土木建筑工程学院,2016:1-32. ZHENG Q G. Application of building information modeling in the ring lock scaffold system[D]. Beijing: School of Civil Engineering, Beijing Jiaotong University, 2016: 1-32. (In Chinese)
- [7] 崔晓强,季方,李自可. 基于 BIM 的悬挑脚手架专家系统开发[J]. 建筑施工, 2017,39(5):673-675. CUI X Q, JI F, LI Z K. Development of cantilever scaffold expert system based on BIM[J]. Building Construction, 2017,39(5):673-675. (In Chinese)
- [8] 武雷,邵明民,夏聘. BIM 技术在脚手架安全管理中的应用研究[J]. 施工技术, 2016,45(18):15-17. WU L, SHAO M M, XIA P. Applied research of bim technology in scaffold safety management[J]. Construction Technology, 2016, 45(18):15-17. (In Chinese)
- [9] 穆文奇,徐炜,南芳兰,等. BIM 技术在模板脚手架工程施工精细化管理中的应用研究[J]. 施工技术, 2017,46(6):12-14. MU W Q, XU W, NAN F L, *et al.* Research on application of BIM technology in the fine management of formwork scaffold construction[J]. Construction Technology, 2017,46(6): 12-14. (In Chinese)
- [10] PÄRN E A, EDWARDS D J. Conceptualising the FinDD API plug-in: A study of BIM-FM integration[J]. Automation in Construction,2017,80:11-21.
- [11] MAIA L, MÊDA P, FREITAS J G. BIM Methodology, a new approach-case study of structural elements creation [J]. Procedia Engineering, 2015, 114:816-823.
- [12] ZOTKIN S P, IGNATOVA E V, ZOTKINA I A. The organization of autodesk revit software interaction with applications for structural analysis [J]. Procedia Engineering, 2016, 153: 915-919.
- [13] 黄红武,王子茹. 一种工程图学应用问题的计算机解法和绘图[J]. 湖南大学学报(自然科学版),1998, 25(2):29-32. HUANG H W, WANG Z R. A new solution for application of engineering graphics by computer analysis and drawing[J]. Journal of Hunan University(Natural Sciences),1998, 25(2): 29-32. (In Chinese)
- [14] 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]. 土木建筑工程信息技术,2015,7(3):111-115. WANG J Y, WANG X Y. Research on modeling technology from AUTOCAD to REVIT[J]. Journal of Information Technology in Civil Engineering and Architecture, 2015,7(3):111-115. (In Chinese)
- [15] JOHN Sharp. Visual C# 从入门到精通[M]. 第8版. 北京:清华大学出版社,2016:1-403. JOHN Sharp. Visual C# from entry to mastery[M]. 8th edition. Beijing: Tsinghua University Press, 2016: 1-403. (In Chinese)
- [16] 宋斌. BIM 技术在高大模板工程中的应用研究[D]. 南京:东南大学土木工程学院,2016:17-21. SONG B. Research on application of BIM Technology in high-formwork engineering[D]. Nanjing: School of Civil Engineering, Southeast University, 2016:17-21. (In Chinese)
- [17] Autodesk asia pte ltd. Autodesk Revit 二次开发基础教程[M]. 上海:同济大学出版社,2016:1-239. Autodesk asia pte ltd. The basic course of secondary development in Autodesk Revit [M]. Shanghai: Tongji University Press, 2016:1-239. (In Chinese)
- [18] 徐照,徐夏炎,李启明,等. 基于 WebGL 与 IFC 的建筑信息模型可视化分析方法[J]. 东南大学学报(自然科学版),2016, 46(2):444-449. XU Z, XU X Y, LI Q M, *et al.* Combing WebGL and IFC to create 3D visualization for building information models[J]. Journal of Southeast University (Nature Science Edition), 2016, 46(2):444-449. (In Chinese)