

# PC主体结构装配率智能计算方法研究

于佳鑫 张学辉 杨博涛 李鹏阳 米大倩 安军海

(河北科技大学 建筑工程学院, 石家庄 050000)

**【摘要】**当前国内装配式建筑的装配率都是在设计阶段根据施工图纸按照相关规范进行人工计算,这种计算方式产生了大量的时间和人力的成本,且同一种计算思路,所得结果也不尽相同,正确率难以得到保证。鉴于此,本文提出了一种基于BIM的计算方法,以Net Formwork 4.7为框架采用C#语言,对BIM核心软件Revit进行二次开发,将《装配式建筑评价标准》以及规定的装配率计算方法编入插件中,通过建立构件自定义编码体系,识别并获取构件数据信息,来计算装配式预制混凝土(Precast Concrete,简称PC)的主体结构装配率。最后以实际工程项目为例,验证本方法的可行性。研究表明,通过这种方式大大减少计算时间与人力成本,并提高了精度。

**【关键词】** BIM; 装配率; 二次开发; 装配式; 构件编码

**【中图分类号】** TU17 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1674-7461(2021)03-0148-06

**【DOI】** 10.16670/j.cnki.cn11-5823/tu.2021.03.22

## 引言

近年来,随着国内工业化建筑的不断发展及国家政策性的引导,中国建筑将向着智能化、数字化方向发展<sup>[1]</sup>。国家提倡发展因地制宜的装配式建筑,并将全国按照人口比例划分为重点推进区、积极推进区、鼓励推进区,明确了一系列具体任务<sup>[2]</sup>,同时对装配式建筑实施过程提出新的要求,其中装配率计算是一个非常重要的指标。为了使装配式建筑在中国取得良好发展,2017年国家发行《装配式建筑评价标准》(GB/T51129-2017)采用综合打分的形式判断装配化程度<sup>[3]</sup>,也有地方实施意见中采用“两率”(预制率、装配率)的方式进行双控。

装配式建筑中预制构件通常以毫米为单位,其中预留预埋问题,精确的定位问题给设计方和施工方带来了一定程度上的经济与时间损失,针对这一问题,本文利用建筑信息模型(Building Information Modeling)将部品部件进行高效集成,充分发挥BIM自身优势,并结合Revit二次开发手段,依据《装配式建筑评价标准》(GB/T51129-2017)装配率计算规

则,简化主体结构应用比例统计方式,提出一种基于Revit的智能装配率的计算方法,大大提升了计算速度和准确性,通过这种计算方法可以在项目方案中快速衡量装配化程度。

## 1 传统装配率计算方法概述

我国发行的《装配式建筑评价标准》将以往的“预制率”、“装配率”合二为一,使用装配率作为唯一指标,采取综合打分的形式来判断装配化程度,该标准分为预评价和项目评价两个阶段;评价指标都为装配率,其中计算原则是指单体建筑室外地坪以上的主体结构,围护墙和内隔墙、装修和设备管线等预制部品部件的综合比例<sup>[4]</sup>。同时根据标准规定装配式建筑装配率不低于50%。装配率计算方法如下:

$$\text{公式: } P = \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3}{100 - Q_4} \times 100\% \quad (1)$$

其中,P—装配率;

$Q_1$ —主体结构指标实际得分,通过 $q_{1a}$ 、 $q_{1b}$ 的比例对应到表1,得到对应评价分值;

**【基金项目】** 河北省自然科学基金(编号:E2019208150)

**【作者简介】** 于佳鑫(1995-),男,在读硕士研究生,主要研究方向:BIM技术研究与应用;张学辉(1980-),男,博士,副教授,主要研究方向:BIM技术研究与应用。

$Q_2$ —围护墙和内隔墙指标实际得分值;

$Q_3$ —装修和设备管线指标实际得分值;

$Q_4$ —评价项目中缺少的评价分值总和;

公式中的各项分值通过计算预制构件、建筑部品的数量(或面积)占同类构件部品总数量(或面积)的方法计算出,主体结构评价标准表与计算方法如表 1:

表 1 主体结构装配式建筑评分

评分项	评价要求	评价分值	最低分值	
主体结构 (50 分)	柱、支撑、承重墙、延性墙板等主体结构竖向构件	$35\% \leq \text{比例} \leq 80\%$	20 ~ 30	20
	梁、板、楼梯、阳台、空调板等构件	$70\% \leq \text{比例} \leq 80\%$	10 ~ 20	20

表 2 应用比例计算方法

构件所属类别	应用比例
柱、支撑、承重墙、延性墙板等主体结构竖向构件	$q_{1a} = \frac{V_{1a}}{V} \times 100\%$
梁、板、楼梯、阳台、空调板等构件	$q_{1b} = \frac{A_{1b}}{A} \times 100\%$

式中,以主体结构为对象, $q_{1a}$ 为竖向构件中预制部品部件的应用比例; $q_{1b}$ 为竖向构件混凝土总体积  $V_{1a}$  为竖向构件中预制混凝土体积之和,  $V$  为竖向构件混凝土总体积; $A_{1b}$  为各楼层中预制构件的水平投影面积之和;  $A$  为各楼层建筑平面总面积。

在传统计算方法中,各部品的体积或面积需通过对 CAD 图层单独提取操作进行各部分体积或面积的计算,且需要人工逐个统计水平竖向构件所占应用比例,通过查表算出评价分值并累加出各项分值,对于体量较大的建筑物,会浪费大量时间且易存在人为误差,针对此问题,本文通过 Revit 二次开发手段,通过对构件进行自定义编码,实现自动识别并过滤各构件信息数据,把本应逐项计算或不规则构件进行数据的一键提取,极大地节省了时间成本,有利于推动整个方案设计阶段时间进度。

## 2 研究思路

由于在装配率  $P$  的计算方法里,软件无法自动完成如管线装修一体化的判断,管线分离长度判定,干式工法楼面集成卫生间判定问题,即  $Q_2$  与  $Q_3$  取值受主观因素影响较大,且个别问题需根据地方

专家评审会中进行鉴定与判断,为保障计算准确性、有效性,本文针对主体结构  $Q_1$  进行了智能化装配率计算,利用 Revit 平台,使用 Visual Studio 开发工具,通过建立自定义编码系统进行构件归类,提取构件几何信息,准确计算主体结构中水平构件和竖向构件应用比例,方便在实际工程中快速获取主体结构装配化程度信息,设计插件功能思路流程如图 1 所示。

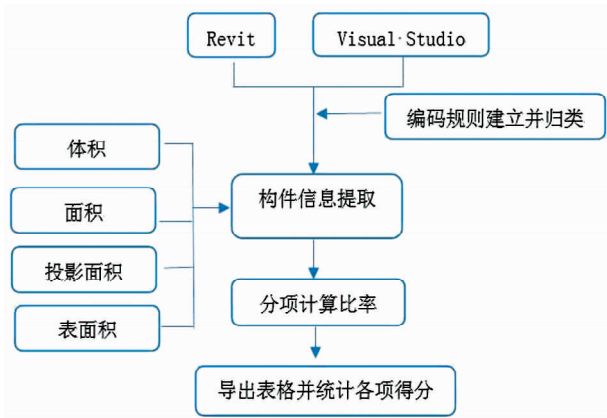


图 1 设计思路

### 2.1 建立构件编码系统

为了更好地把装配式建筑部品部件进行归类,本系统建立服务于项目的构件编码体系,编码本身具有唯一性、合理性、简明性、规范性、可拓展性等特点<sup>[5]</sup>,对构件进行编码同时也进行了归类管理;根据构件的不同类别进行“唯一”编码得到建筑构件归类编码系统,该方法适用于所有建筑物构件,通过此归类方式可将建筑物的所有构件分为结构主体、围护墙和内隔墙、装饰和设备管线三大类,具体模型编码规则如表 3。

表 3 模型编码规则

构件	命名
预制柱	ZT_预制_Z_XXX
预制楼板	ZT_预制_LB_XXX
预制空调板	ZT_预制_YKB_XXX
预制阳台板	ZT_预制_YTB_XXX
预制楼梯	ZT_预制_LT_XXX
混凝土阳台板	ZT_现浇_YTB_XXX
混凝土柱	ZT_现浇_Z_XXX
预制外墙	WH_预制_WQ_XXX
预制内隔墙	WH_预制_NGQ_XXX

## 2.2 构件数据提取

参数化是 BIM 技术的巨大优势,在 Revit 中其参数类型包括类型参数和实例参数<sup>[6]</sup>,类型参数代表一类构件的属性,实例参数则是每一个构件的特定属性;所以在建模初期阶段需要对构件赋予特定的属性参数。根据上文的编码原则在建模过程中对构件进行编码如图 2 所示,充分体现相同类构件的唯一性;以便于分类提取建筑构件信息,Revit API 提供一种机制,用于过滤和迭代 Revit 文件中的图元,获取一组相关图元,如项目中所有的预制外墙或者预制柱<sup>[7]</sup>,对于预制构件来讲,通过提取“构件编码”这一参数信息,就能够自动识别该预制构件,通过获取 GeometryElement 的实例,遍历其属性获取其 Volume、Area、SurfaceArea、Curve、Line、ID 等具体信息。

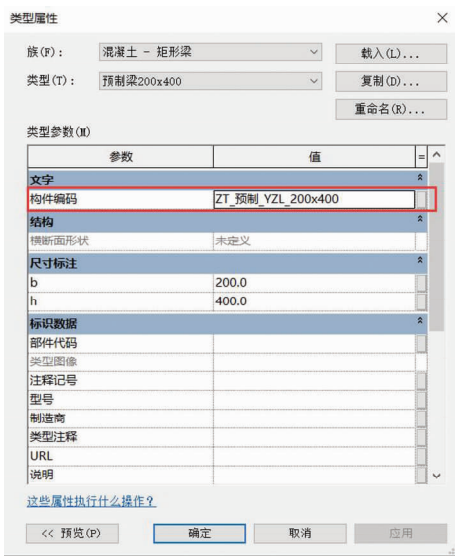


图 2 自定义编码

## 3 开发平台及开发工具

本文采用 Revit2019 平台进行的功能扩展,使用 Visual Studio2019、Revit Add In Manager、Revit Lookup 开发工具,目标框架为 .NET Formwork4.7,通过调用 Revit API (Application Programming Interface) 进行二次开发,添加装配式模块插件。

### 3.1 Revit2019

Revit 是当前国内受认可度很高的 BIM 建模软件,其模型所携带的信息与现实具有一致性特点,软件本身兼容性较高,导出格式种类较多、可拓展

性和接口技术都比较成熟<sup>[8-9]</sup>,使得 Revit 在国内工程领域地位遥遥领先于其它 BIM 软件。

### 3.2 Visual Studio2019 和 C#

通过 Visual Studio2019 创建最终文件为外部 dll 文件,被 Revit 识别与读取,使用 VS 建立功能类库<sup>[10]</sup>。利用 C# 程序语言,结合 Revit2019 提供的外部接口,实现在 Revit 中进行构件的归类 and 主体结构装配率计算及规范展示功能。

### 3.3 Revit API、Revit Lookup 及 Add - In Manager

Revit 为开发者提供了开放的 API,通过这些接口调用外部功能应用并集成到 Revit 软件中,实现访问模型各类数据,其中包括图形数据和参数数据,通过对 Revit 二次开发来创建插件形式完成对一些对模型参数提取的智能化。

Revit Lookup 工具可以查看 Revit 后台的数据参数名,方便开发人员在开发过程中对模型信息的查询和提取。

Revit Add - In Manager 用来动态加载 .dll 文件,使得不用重复打开 Revit 就可以进行调试,提高了开发效率<sup>[10]</sup>。

## 4 插件功能实现

### 4.1 界面设计

通过 RevitAPI 访问和拓展 Revit,在插件中实现外部接口 IExternalApplication,通过 IExternalApplication 外部重载 OnStartup 和 OnShutdown 函数,在 Revit 启动和关闭时候定制所需的功能,在 Visual Studio2019 平台下构造类库,建立 YZLCalculation 类、ZPL 类、ShowPDF 类、MainWindow 类、UIDemo 类 FamilyInstanceGeometry 类、WindowI、Area calculation 类、Assembly rate calculation 主窗体类等,创建功能栏部分代码如图 3 所示,菜单标签页如图 4 所示,单击功能面板按钮以模态形式展示窗体,并在每一个控件的事件通过调用不同类的计算方法,来达到开发者想实现的功能。

### 4.2 参数提取与计算

控制程序通过 FamilyInstance 过滤文档中的族实例图元,通过编码系统过滤获取到各类几何数据参数,通过构造函数进行不同分项的信息数据计算,过程如下:

1) 通过创建收集器来访问项目中所有对象,对

```

//预制柱
application.CreateIbbonTab("UITable");
//预制梁板柱
IbbonPanel rp = application.CreateIbbonPanel("UITable", "计算规范");
string assemblyPath = Assembly.GetExecutingAssembly().Location;
string classPath = "RevitAuton.zplibase";
//预制墙按钮
PushButtonData pbd = new PushButtonData("InnerNameCalculation", "装配率计算", assemblyPath, classPath);
//添加预制板柱
PushButton pushButton = rp.AddItem(pbd) as PushButton;
pushButton.LargeImage = new BitmapImage(new Uri("pack://application;,,,RevitAuton.component/pic/fav/icon_01.png", UriKind.Absolute));
pushButton.ToolTip = "构件的预制化比例";

```

图3 创建功能面板方法

```

1: 小引用
public static double GetFamilyInstanceSolidVolumn(GeometryElement geomElem)
{
    double result = 0;
    foreach (GeometryObject geomObj in geomElem)
    {
        if (geomObj is Solid)
        {
            Solid solid = (Solid)geomObj;
            if (solid.Volume > 0)
            {
                result = UnitUtils.ConvertFromInternalUnits(solid.Volume, DisplayUnitType.DUT_CUBIC_METERS);
            }
        }
    }
    return result;
}

```

图6 获取构件体积方法

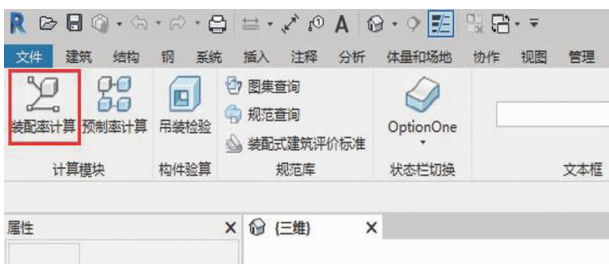


图4 功能面板

```

Document doc = commandData.Application.ActiveUIDocument.Document;
FilteredElementCollector collector = new FilteredElementCollector(doc);
//过滤元素
collector.OfClass(typeof(FamilySymbol)); //FamilyInstance
//foreach获取族实例
List<Element> elementList = new List<Element>();

foreach (var item in collector)
{
    if (item.Name.Contains("预制"))
    {
        elementList.Add(item);
    }
}

```

图5 过滤预制构件方法

的拆分方案可自行勾选过滤条件，一键计算来得到比率，筛选出最佳方案，计算界面如图7所示。同时通过在 Revit 内创建 Excel 表格方式进行导出各项计算结果，统计各构件几何信息来进行工程量校核。



图7 计算界面

项目所有构件进行过滤收集，首先实例化 FilteredElementCollector 类，通过 OfClass() 过滤族类别然后利用 foreach 循环筛选预制构件的族实例，代码如图5所示，并将所筛选出的构件数据进行绑定。

2) 按照上文建立的编码体系将构件编码与条件语句进行关联判断计算，若返回值为“Z”则程序自动通过调用自定义方法 GetFamilyInstanceSolidVolumn() 读取其 Solid 获取体积参数，这里 Revit 软件默认单位为英尺，需要进行单位转换，代码如图6所示；同理若返回值为“LB”则提取其水平投影面积参数；

3) 通过程序循环过滤方式，统计出竖向构件如预制柱、承重墙等预制部分与现浇部分体积，应用表2中公式进行计算得到应用比例；同理得到水平构件面积的应用比例。

4) 利用此种参数提取方式，应用于项目中所有被编码的构件。依据评价标准在方案阶段对不同

### 4.3 建立装配式规范库

Revit 本身并不能查询规范，为方便设计人员在方案阶段对装配率把控与查询工作，通过上文叙述开发手段，在主窗口内点击按钮触发事件并实例化子窗体，利用 WPF 的 WebBrowser 控件读取本地文件，代码如图8所示，将《装配式建筑评价标准》编入插件中，如图9所示，辅助设计人员快捷查询所需规范，提高设计效率，补充软件功能。

```

public partial class ShowStandard : Window
{
    1: 小引用
    public ShowStandard()
    {
        InitializeComponent();
        Uri LocationThree = new Uri(@"C:\Desktop\正式版《装配式建筑评价标准》GB51129-2017.pdf");
        Standard.Navigate(LocationThree);
    }
}

```

图8 窗体展示规范方法



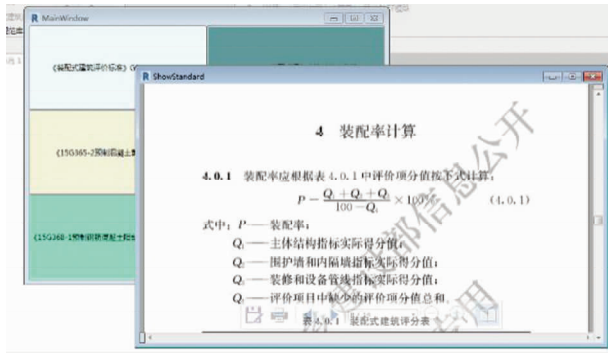


图9 标准、规范展示界面



图11 标准层 BIM 模型

## 5 项目应用

河北省某装配式项目,地上建筑共 21 层,采用装配式剪力墙结构形式,规划建筑高度 59.5m,其中竖向构件 F4-F21 层实施装配式,水平构件 F3-F20 顶板实施装配式,抗震设防烈度 7 度,预制底部加强区采用现浇结构。为满足当地对该项目装配率要求,对外墙、叠合板底板、内隔墙、楼梯进行提前预制,结构墙体统一厚度为 200mm,水平预制叠合板厚度为 130mm,底板布置图见图 10 所示。以 F4 标准层为例,在 Revit 中对相关构件进行系统分类并计算其主体结构装配率,建立 BIM 模型如图 11 所示。通过面板功能一键计算水平和竖向构件应用比例,实现 PC 主体结构智能装配率计算。

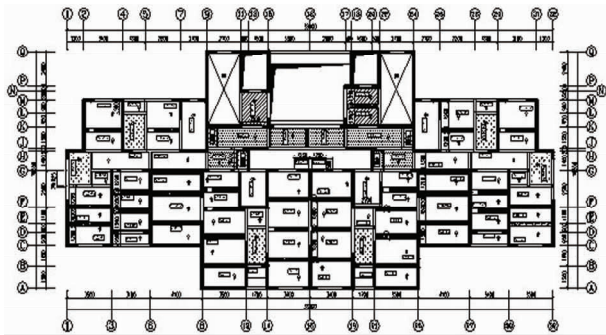


图10 预制底板布置图

本项目主体结构中根据评价标准统计竖向构件应用比例为 51%,水平构件应用比例为 76%,根据内插法计算主体结构 Q1 总得分为 39.6,插件统计竖向构件应用比例 51.9%,水平构件应用比例 75%,如图 12 所示,同理 Q1 得分为 38.8,经计算最终装配率分别为 57.6% 和 56.8% 如表 4 所示,相差接近 1%,具有参考意义。

竖向构件	预制体积(m <sup>3</sup> )	应用比例(%)
<input type="checkbox"/> 预制柱		
<input checked="" type="checkbox"/> 预制内墙	38.1	22.4
<input checked="" type="checkbox"/> 预制外墙	50.2	29.5
<input type="checkbox"/> 其他		

水平构件	水平投影面积(m <sup>2</sup> )	应用比例(%)
<input type="checkbox"/> 预制梁		
<input checked="" type="checkbox"/> 叠合板	309.3	68.2
<input checked="" type="checkbox"/> 预制楼梯	24.0	5.3
<input type="checkbox"/> 预制阳台板		
<input checked="" type="checkbox"/> 预制空调板	6.5	1.5

图12 应用比例计算结果

表4 统计方式对比

统计方式	智能统计结果	人工统计结果
Q1	39.6	38.8
Q2	10	10
Q3	8	8
Q4	0	0
P (%)	57.6	56.8

这种计算方法可扩展应用到各类装配式混凝土结构项目中,对于设计阶段多种构件拆分方案之间进行对比,通过改变构件类型参数,可以快捷的获取更改后项目主体结构预制构件应用比例。得到 Q1 值,计算结果并以 Excel 形式输出构件尺寸信息,极大地节省人力成本,缩短项目施工周期,同时这种统计方式实现了快速获取不同方案的装配化程度并能准确的进行经济算量,并筛选出最佳方案,有助于后续建设。

## 6 结语

本文利用信息化手段针对《装配式建筑评价标准》中装配率的计算方法进行研究与分析,使用 Revit 平台通过创建扩展性功能,将规范编入到插件中,通过计算机程序辅助快速获取构件几何信息并计算主体结构装配率,本着一种构件归类计算的思想,利用信息化手段可以代替传统手算的部分工作,并产生经济效益,大大节省时间成本,使得在实际工程中智能化装配率计算成为可能,通过实际项目案例验证,这种方法可行、可用,有效缩短人工计算时间同时提升了计算精度。

### 参考文献

- [1] 刘勤文,李希胜,王军. 以装配率为导向的装配式建筑方案设计优化[J]. 土木建筑工程信息技术,2019,11(2): 122-128.
- [2] 张艾荣.《装配式建筑评价标准》解读[J]. 城市住宅,

- 2019,26(1): 45-48.
- [3] 赵为民,古小英,张超,等. 装配式建筑评价方法对比研究[J]. 施工技术,2018,47(12): 10-16.
- [4] GB/T51129-2017,装配式建筑评价标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社,2017.
- [5] 吴双月. 基于 BIM 的建筑部品信息分类及编码体系研究[D]. 北京交通大学,2015.
- [6] 韩春楠. 基于 BIM 的装配式混凝土结构建筑预制装配率计算方法与应用框架研究[D]. 东南大学,2018.
- [7] Autodesk Asia Pte Ltd. 二次开发基础教程[M]. 同济大学出版社,2015.
- [8] 邓玉辉. 基于 Revit 的装配式建筑装配率计算方法研究与应用[J]. 建材与装饰,2019,570(9): 80-81.
- [9] 陈远,康虹. 基于 Revit 二次开发的 PC 建筑预制率计算方法研究[J]. 土木建筑工程信息技术,2018,10(4): 12-16.
- [10] 李亚克,于海丰,王国鑫,等. 基于 Revit 的管道放坡系统研究与实现[J]. 土木建筑工程信息技术,2019,11(3):128-133.

## Research on Intelligent Calculation Method of PC Main Structure Assembly Rate

Yu Jiaxin, Zhang Xuehui, Yang Botao, Li Pengyang, Mi Daqian, An Junhai

(College of Architectural Engineering, Hebei University of Science and Technology,  
Shijiazhuang 050000, China)

**Abstract:** At present, the assembly rate of prefabricated buildings in China is calculated manually under relevant specifications according to construction drawings at the design stage. This kind of calculation generates a lot of time and labor costs. Moreover, the same calculation method has different results, and the accuracy is difficult to be guaranteed. In view of this, this paper proposes a calculation method based on BIM. With Net Formwork4.7 as the framework, C# language was used to carry out secondary development of BIM core software Revit. And the assembly rate calculation method stipulated in the Prefabricated Building Evaluation Standard is incorporated into the plug-in, and the assembly rate calculation of the main structure is realized by establishing the component custom coding system, identifying and obtaining the component data information to calculate the assembly rate of main structure of Precast Concrete (PC). Finally, this paper uses a practical engineering project as an example to validate the feasibility of this method. The research shows that the calculation time and labor cost are greatly reduced and the precision is improved.

**Key Words:** BIM; Assembly Rate; Secondary Development; Fabricated; Component Coding