

# 以装配率为导向的装配式建筑方案设计优化

刘勤文 李希胜 王 军

(南京林业大学 土木工程学院, 南京 210037)

**【摘要】**论文在系统分析装配式建筑设计标准 and 设计程序的基础上以装配率为目标导向,应用 BIM 和 Dynamo 参数化设计方法,建立基于 Dynamo 的装配式建筑方案设计和装配率自动计算模型,实现装配式建筑与装配率目标导向的有机结合,并通过统计分析提出不同装配率下预制构件应用比例的选择参考,最后通过实例验证了该方法进行装配式建筑方案设计的可行性。

**【关键词】**装配式建筑;装配率;Dynamo;设计方案;方案优化

**【中图分类号】**TU17 **【文献标识码】**A

**【版权声明】**本文被《土木建筑工程信息技术》、中国知网重要会议论文全文数据库(CPCD)收录上网,未经授权严禁登载。

## 1 引言

装配式建筑是由预制部品部件在工地装配而成的建筑<sup>[1]</sup>,以系统化、标准化、集成化为特点,并具有生产效率高、受天气影响小、环境影响小等优点,是我国“十三五”期间大力推广的建筑形式。迄今为止,国家出台了一系列相关规定及措施推进装配式建筑的发展。由于装配式建筑在设计、部件预制及现场安装等环节还存在诸多技术及管理问题,尤其是装配式建筑的评价指标和方法不统一,规定差别大、可实施和指导性不强、关键技术标准缺乏,阻碍了装配式建筑发展<sup>[2-3]</sup>。2018年2月1日,由住房和城乡建设部科技与产业化发展中心会同有关单位编制的国家标准《装配式建筑评价标准》(以下简称《标准》)正式实施。该标准作为国家强制标准,明确了相关概念,制定了统一的评价标准,为装配式建筑的发展指明了方向。

装配式建筑强调设计、生产、施工、运营维护一体化<sup>[4]</sup>,设计阶段在整个流程中发挥着核心和统筹作用。规范规定了装配式建筑设计的流程方法及相应的技术标准<sup>[5]</sup>。目前,装配式建筑设计的研究主要集中于模块化设计理念、BIM 技术运用、参数化

协同设计、构建拆分与深化设计<sup>[6-12]</sup>,以及对于装配式建筑构件剪力墙、梁、板等单项预制构件的结构拆分设计的研究<sup>[13-16]</sup>。以往研究虽然也涉及到装配率的概念,但不能体现装配率作为国家标准的强制性和导向性作用。“装配率”不仅是综合反映建筑装配化程度的指标,也是国家依据此标准作为对装配式项目实施经济补偿的重要标准。本文基于 BIM 技术和参数化设计理论,将正向设计和逆向设计相结合,研究以装配率为导向的装配式建筑方案设计优化。

## 2 基于《标准》的设计原则和预制构件选择

### 2.1 装配式建筑评价标准

#### (1)《标准》的内涵和外延

《标准》将《工业化建筑评价标准》中的构件预制率和建筑部品装配率概念进行整合,将各地区的预制率、预制装配率、装配化率等概念统一为“装配率”:即单体建筑室外地坪以上的主体结构、围护墙和内隔墙、装修和设备管线等采用预制部品部件的综合比例,并指出装配率是对单体建筑装配化程度的综合评价结果。《标准》以控制性指标明确了最低准入门槛,以主体结构、围护墙和内隔墙、装修和设备管线等

**【基金项目】**江苏省住房和城乡建设厅资助项目(编号:js2017jh08)

**【作者简介】**刘勤文(1995-),女,硕士研究生,主要研究方向:BIM 应用;李希胜(1970-),博士,教授,主要研究方向:BIM 应用、项目集成管理。

指标,确定装配率和建筑单体的装配化程度。

《标准》规定:“建筑装配率不低于 50%、采用全装修、主体结构部分的评价分值不低于 20 分、围护墙和内隔墙部分的评价分值不低于 10 分”的建筑为装配式建筑。并且主体结构竖向构件中预制部品部件的应用比例不低于 35%,可进行装配式建筑等级三级评价(见表 1),该标准不但明确界定了装配式建筑的内涵和外延,也为政府制定奖励机制提供了弹性范围。

表 1 装配式建筑等级评价

| 等级    | 装配式建筑  | A 级       | AA 级      | AAA 级   |
|-------|--------|-----------|-----------|---------|
| 装配率标准 | 50% 以上 | 60% ~ 75% | 76% ~ 90% | 91% 及以上 |

(2)装配式建筑的设计程序

装配式建筑的设计程序分为方案设计、初步设计、施工图设计 3 个阶段,如图 1 所示。

1)方案设计阶段主要从户型设计、标准层设计、确定构件拆分原则以及 PC 布置方案几个方面进行。装配式建筑户型设计主要采用模块化的方式,将建筑空间根据功能分块,通过模块组合设计户型<sup>[17]</sup>。构件拆分原则见 2.2 节,并对其进行 PC 构件布置。

2)初步设计阶段对预制构件类型和尺寸进行合理选择,以此提升工业化生产效率。

3)施工图设计阶段主要进行 PC 构件的深化设计,扩展设计信息,提高设计质量。

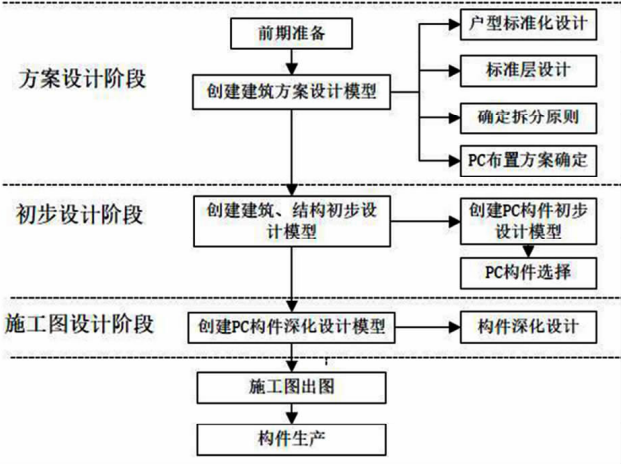


图 1 装配式建筑设计程序

(3)预制构件设计优先次序

装配式建筑按结构类型分为框架结构、框架 - 剪力墙结构、剪力墙结构、框架 - 核心筒结构四种类型,预制部件主要为预制剪力墙、预制外挂墙板、预制柱、预制叠合板、预制梁、预制楼梯和阳台、空调板等。鉴于剪力墙结构在我国的普及性,本文以装配式剪力墙结构体系为研究对象,通过对合肥蜀山产业园公租房等 11 项代表性装配式建筑工程的统计分析,得出装配式建筑剪力墙结构的外部权重和内部权重,以及评级标准规定的单项构件预制率的最低要求,结合《标准》评分表,剪力墙结构预制构件率最低要求和相应权重如表 2 所示。

表 2 剪力墙结构建筑 PC 构件权重评分表

| 评价项               | 构件类型    | 外部权重               | 内部权重 | 最低要求  | 评价要求    | 评价分值           | 最低分     |
|-------------------|---------|--------------------|------|-------|---------|----------------|---------|
| 主体结构<br>(50 分)    | 竖向承重构件  | 柱                  | 0.09 | 0.485 | 0 ~ 17% | 35% ≤ 比例 ≤ 80% | 20 ~ 30 |
|                   |         | 承重墙                | 0.12 | 0.515 | 18%     |                |         |
|                   |         | 梁                  | 0.21 | 0.27  | 18.9%   |                |         |
|                   | 楼(屋)盖构件 | 叠合板                | 0.32 | 0.64  | 44.8%   | 70% ≤ 比例 ≤ 80% | 10 ~ 20 |
|                   |         | 楼梯                 | 0.02 | 0.04  | 2.8%    |                |         |
|                   |         | 阳台板<br>空调板         | 0.03 | 0.05  | 3.5%    |                |         |
| 围护墙和<br>内隔墙(20 分) | 外围护墙    | 非承重围护墙<br>非砌筑(女儿墙) | 0.16 | 0.48  | —       | 比例 ≥ 80%       | 5       |
|                   | 内隔墙     | 内隔墙非砌筑             | 0.05 | 0.07  | —       | 比例 ≥ 50%       | 5       |
| 装修和设<br>备管线(30 分) | 全装修     | 1                  | 1    | 100%  | —       | 6              | 6       |

注:外部权重指该类预制构件占有所有构件的占比,内部权重指该类预制构件占所属总构件类型中的占比

由表 2 中可知,主体结构部分占比较大,其中梁、叠合板以及预制非承重外围护墙对装配率的贡献程度最高,承重墙次之,其余次要结构受力构件贡献率最小。根据现有的装配式建筑设计经验,在构件选择时,除考虑构件占比外,还需结合预制构架的制作、施工工艺和安装等特点进行综合考虑<sup>[18]</sup>。一般来说,预制构件的选择顺序如图 2 所示,此外,通过统计分析,得到不同评价等级对应的构件

应用比例(如表 3),因预制构件中梁、板对装配率影响最大,所以装配率的变化主要以调整梁、板应用比例为主。

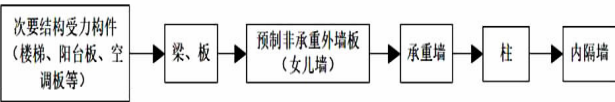


图 2 预制构件选择顺序

表 3 不同评价等级的构件应用比例

| 构件类型 \ 装配率 | 50% 以上 |        | 60% ~ 75%     |                        | 76% ~ 90% |        | 91% 以上 |
|------------|--------|--------|---------------|------------------------|-----------|--------|--------|
|            | 方案 1   | 方案 1   | 方案 2          | 方案 1                   | 方案 2      | 方案 1   | 方案 1   |
| 柱          | -      | ≥17%   | -             | ≥17%                   | -         | ≥17%   | ≥17%   |
| 承重墙        | -      | ≥18%   | -             | ≥18%                   | -         | ≥18%   | ≥18%   |
| 梁          | ≥18.9% | ≥18.9% | 22.9% ~ 24.9% | ≥18.9% / 22.9% ~ 24.9% | -         | ≥32.9% | ≥32.9% |
| 叠合板        | ≥44.8% | ≥44.8% | 48.8% ~ 50.8% | ≥44.8% / 48.8% ~ 50.8% | -         | ≥58.8% | ≥58.8% |
| 楼梯         | ≥2.8%  | ≥2.8%  | -             | ≥2.8%                  | -         | ≥2.8%  | ≥2.8%  |
| 阳台板、空调板    | ≥3.5%  | ≥3.5%  | -             | ≥3.5%                  | -         | ≥3.5%  | ≥3.5%  |
| 女儿墙        | ≥80%   | ≥80%   | -             | ≥80%                   | -         | ≥80%   | ≥80%   |
| 内隔墙非砌筑     | -      | -      | -             | ≥50%                   | -         | ≥50%   | ≥50%   |
| 集成厨房、卫生间   | -      | -      | -             | -                      | 满足        | 满足     | 满足     |
| 管线分离       | -      | -      | -             | -                      | -         | 满足     | 满足     |

在等级评价过程中,若装配评价等级要求达到 A 级及以上,在优先选择 PC 构件时应同时满足该构件的最低要求。另外,装修和设备管线中全装修为必选项,体现了装配式建筑采用全装修的导向。虽然这一整体项占分较低,但从长远发展的需求看,在设计时使用主体结构和装修、管线全分离形式、装修全干式工法作业、集成式装配厨卫等,可以提高施工的精度和质量,实现装修的部品化和产品化,在一定程度上可以提高预制装配率。

2.2 构件拆分原则

装配式建筑构件拆分是设计的关键环节,本文

利用 Structural Precast for Revit 插件对 PC 构件拆分。Structural Precast for Revit 是 Autodesk 2017 年发布的一款插件,主要功能是根据拆分原则设定的拆分条件分割结构楼板、基础底板或者结构墙体,进行预制构件分块设计。根据《预制预应力混凝土装配式整体式框架结构技术规程》JGJ224-2010 和相关文献中的规定<sup>[5,19]</sup>,对构件的拆分一般遵循“少规格、多组合”的原则,具体规定见表 4。此外,设计者还需根据项目实际情况进行拆分,方便拆分、生产及装配。

表 4 构件拆分原则

| 预制构件    | 拆分原则                                                                | 备注                                           |
|---------|---------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| 预制承重剪力墙 | 边缘构件现浇,其余墙体预制                                                       | 需考虑套筒或灌浆孔道的留设布置                              |
| 外挂墙板    | 有洞口的墙板有效宽度不宜低于 300mm;采用墙梁整体预制,单块墙板的长度不超过 6m                         |                                              |
| 预制梁     | 拆分位置可设在梁端或在梁跨中,拆分位置在梁的端部时,梁纵向钢筋套管连接位置距离柱边不宜小于 1.0h(h 为梁高),不应小于 0.5h | 主梁一般按柱网拆分为单跨梁,当跨距较小时可拆分为双跨梁;次梁以主梁间距为单元拆分为单跨梁 |

(续)

| 预制构件    | 拆分原则                                                                                                       | 备注                            |
|---------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| 预制楼板    | 拆分为单向叠合板时,楼板沿非受力方向划分,在任意位置拼接;拆分为双向叠合板时,预制底板间宜设置 300mm 宽后浇带用于预制板底钢筋连接预制底板宽度一般不超过 3m,跨度一般不超过 5m,单间内应尽量选择等宽拆分 | 楼板按单向叠合板和双向叠合板进行拆分            |
| 预制柱     | 拆分位置一般在楼层标高处                                                                                               | 装配式住宅建筑层高宜为 2.9 m             |
| 楼梯      | 按单块斜板预制,不带梯梁和休息平台                                                                                          | 预制楼梯端部在支承构件上的最小搁置长度应符合表 5 的要求 |
| 阳台板、空调板 | 结合梁独立预制                                                                                                    |                               |

3 基于 BIM – Dynamo 的参数化设计

BIM 作为我国十三五期间大力推广的技术,是推广装配式建筑有力的工具,可以实现基于网络的信息共享和协同工作,实现项目设计、构件制作、构件安装及后期运营的集成化管理目标。

3.1 Dynamo 平台

Dynamo 是一个运行在 Autodesk Vasari 和 Revit 上的开源可视化编程平台,2017 及以上的 Revit 版本中,Dynamo 已经成为默认安装的插件。Dynamo 的节点库中包含了一系列用于选择、创建、编辑、查询 Revit 中图元的节点。Dynamo 深度集成了大量的 Revit API 命令,可以实现图形化算法编辑器来访问 Revit 数据,实现深层次的数据信息挖掘。其一方面补充了 Revit 的功能,可以进行异性复杂形体的创建;另一方面对于流程中机械重复的工作,通过 Dynamo 程序提升作业效率,提升设计质量和效率<sup>[20]</sup>。

3.2 基于装配率的 Dynamo 参数化方案优选设计流程

根据 2.2 节介绍的拆分原则,预先确定及预制构件,结合 Dynamo 参数化平台,进行装配式建筑方案设计。基本思路是:首先确定和选中构件图元,利用 Dynamo 提取模型构件参数信息,然后根据各评价项应用比例公式对各项评分(评分标准见表 1),利用评分值进行装配率计算,最后根据装配率进行等级评价。若装配率未达标,可以通过 Dynamo 中的相关节点进行交互式设计,快速调整设计方案,直到装配率和评级等级达到期望,具体流程如图 3 所示。

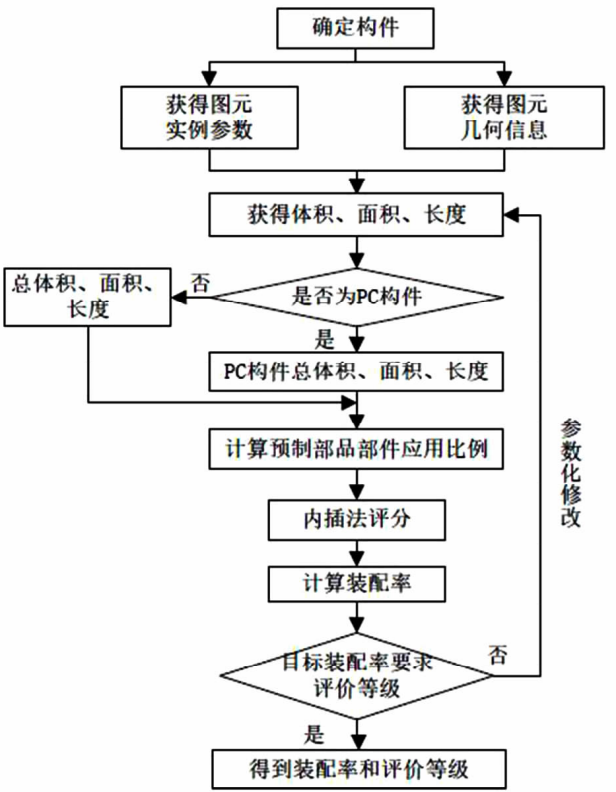


图 3 Dynamo 参数化设计流程图

4 应用实例

4.1 工程概况

本工程为两层剪力墙结构住宅,共计 4 户,二类建筑,采用 65 m<sup>2</sup> 标准化户型模块,建筑总面积 570.16 m<sup>2</sup>,共两层,设计使用年限 50 年,建筑耐火等级不低于 2 级,屋面防水等级为 2 级,耐用年限 15 年,抗震设计七度设防。采用装配剪力墙结构体系,目标装配率为 78%,AA 级装配式建筑,工程全装修。图 4 为本工程的 BIM 三维图。

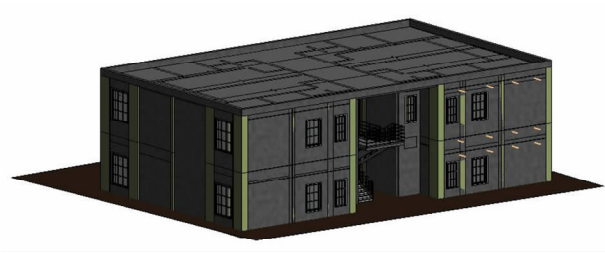


图4 BIM 三维图

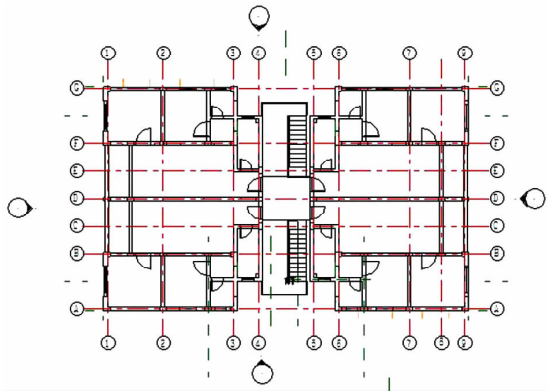


图5 标准层平面图

4.2 标准化设计

(1) 户型标准化设计

通过归纳整理住宅户型设计及组合形式,本文户型设计主要有 35 m<sup>2</sup>、50 m<sup>2</sup>、65 m<sup>2</sup> 三种标准化户型,图 5 为基于标准化设计的基本户型平面布置图。

(2) 预制构件设计原则

本项目结构设计执行《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1-2014 相关规定以及上述的构件拆分原则,其中主体部分结构采用预制剪力墙、叠合板、预制楼梯等预制部品。

(3) 预制构件选择顺序

本项目预制构件选择顺序为楼梯、女儿墙、叠

合板、内墙、剪力墙。

4.3 装配率计算及方案优选

(1) 装配率计算

利用 Structural Precast for Revit 插件对 Revit 模型中的构件进行拆分,拆分界面和拆分部分结果分别如图 6 和图 7 所示,当楼梯、内墙、剪力墙、叠合板、女儿墙等构件分别采用预制构件的情况下,利用 Dynamo 通过计算规则计算预制部品部件的应用比例,其应用比例计算结果见表 6。最后通过编写 python 评分公式对相关项评分,得出装配率为 58.8%,程序运行的工作空间如图 8 所示。

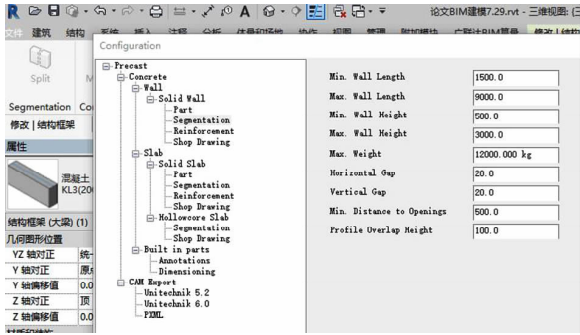


图6 Structural Precast for Revit 拆分界面

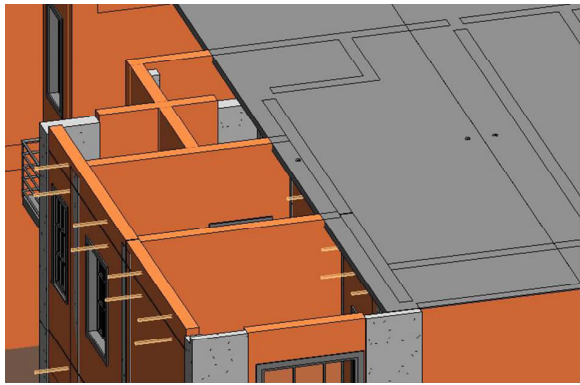


图7 板、墙拆分示意图

表 6 单体建筑应用比例计算表

| 序号 | 预制构件类别     | 各类预制构件<br>体积/面积(m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ) | 各类构件体积/<br>面积(m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ) | 总混凝土体积/<br>面积(m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ) | 应用<br>比例 | 评价<br>分值 |
|----|------------|--------------------------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------------------|----------|----------|
| 1  | 预制墙板(体积)   | 176.53                                           | 240.36                                         | 303.77                                         | 58.11%   | 25.14    |
| 2  | 预制叠合楼板(面积) | 461.90                                           | 746.99                                         | 763.51                                         | 60.5%    | 2.7      |
| 3  | 预制楼梯(面积)   | 16.52                                            |                                                |                                                | 2.2%     |          |
| 4  | 女儿墙(外表面积)  | 27.84                                            | 27.84                                          | 27.84                                          | 100%     | 5        |
| 5  | 全装修        | -                                                | -                                              | -                                              | -        | 6        |
| 6  | 装配率        |                                                  | 58.8%                                          |                                                |          |          |

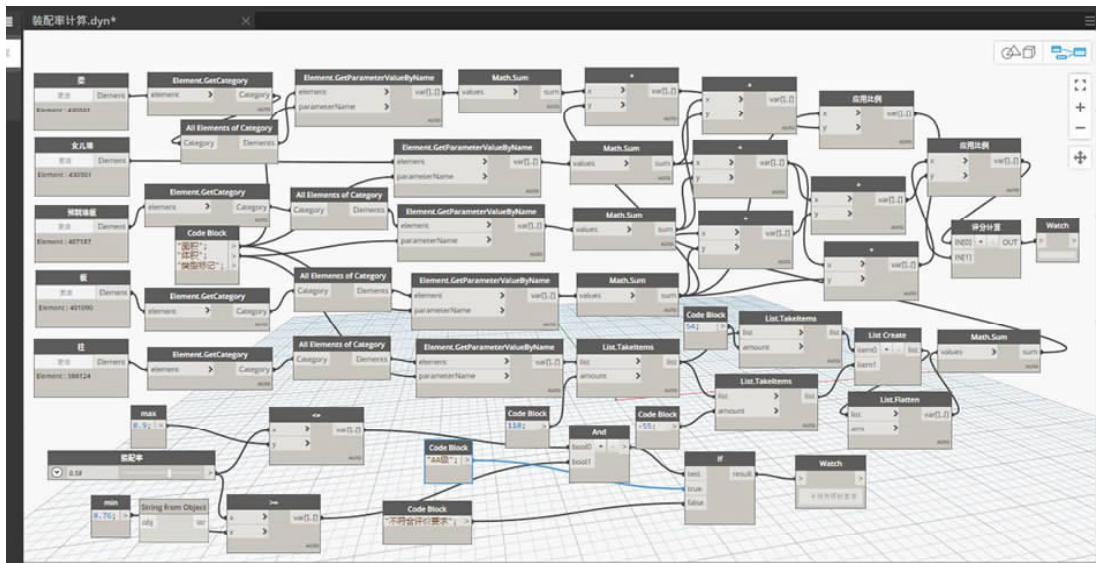


图 8 Dynamo 程序运行空间

(2)方案优化

上文计算出的装配率未达到目标,通过可滑动节点 Number Slider 将装配率调整为 78%, Dynamo 会按照构件权重比例更改构件应用比例,从而根据应用比例的变化,更改方案设计。项目修改装配率后,各构件应用比例如表 7 所示。

同时,在其他预制构件应用比例不变的情况下,分别增加预制梁和预制柱整体装配率亦会发生变化,只增加预制梁的情况下,预制梁的应用比例只需 7%,就可使装配率达到 78%,而只增加预制柱的情况下,预制柱的应用比例要达到 49.5% 才能使装配率达到 78%。

表 7 修改前后构件的应用比例

| 构件类型<br>方案 | 预制墙板   | 预制叠合楼板 | 预制楼梯  | 女儿墙  |
|------------|--------|--------|-------|------|
| 方案 1       | 58.11% | 60.5%  | 2.2%  | 100% |
| 方案 2       | 64.5%  | 70.04% | 2.84% | 100% |
| 增幅         | 6.39%  | 9.54%  | 0.64% | -    |

5 结语

以装配率为目标导向,利用 Dynamo 参数化插件和 BIM 技术对装配式建筑方案设计,有助于整体设计方案的拟定。在总体设计目标确定的基础上,依据现有技术手段和实践经验,优先确定预制构件和拆分设计,在此基础上进行预制构件的深化设计,是装配式建筑方案设计的关键。本文研究了预制构件拆分原则和优选顺序,通过参数化设计实现

了装配率的自动计算和方案优选,为装配式建筑方案设计提供借鉴和指导。

参考文献

[ 1 ] GB/T51129 - 2017. 装配式建筑评价标准[S]. 中华人民共和国住房和城乡建设部.

[ 2 ] 顾泰昌, 国内外装配式建筑发展现状[J]. 工程建设标准化, 2014(08): 48 - 51.

[ 3 ] 齐宝库, 张阳. 装配式建筑发展瓶颈与对策研究[J]. 沈阳建筑大学学报(社会科学版), 2015, 17(02): 156 - 159.

[ 4 ] 张健, 陶丰烨, 苏涛永. 基于 BIM 技术的装配式建筑集成体系研究[J]. 建筑科学, 2018, 34(01): 97 - 102 + 129.

[ 5 ] GB/T 51231 - 2016. 装配式混凝土建筑技术标准[S]. 中国建筑工业出版社.

[ 6 ] 张启志. 基于 BIM 软件下的装配式建筑结构设计[J]. 钢结构, 2018, (2): 114 - 117.

[ 7 ] 张德海, 陈娜, 韩进宇. 基于 BIM 的模块化设计方法在装配式建筑中的应用[J]. 土木建筑工程信息技术, 2014, 6(06): 81 - 85.

[ 8 ] 纪颖波, 周晓茗, 李晓桐. BIM 技术在新型建筑工业化中的应用[J]. 建筑经济, 2013(08): 14 - 16.

[ 9 ] 周文波, 蒋剑, 熊成. BIM 技术在预制装配式住宅中的应用研究[J]. 施工技术, 2012, (22): 72 - 74.

[ 10 ] Namini S B, Hassanabadi M S, Vahed Y K, et al. Prioritization of Industrialized Building System Components for BIM Applications [ J ]. Construction Machinery & construction Technology, 2012, 27 ( 6 ) :

- 45-47.
- [11] 程霄,王辉. Dynamo 可视化编程在预制装配式构件中的应用[J]. 四川建筑, 2018, 38(02): 25-27+29.
- [12] 李媛,王其明,李宝龙,等. 预制装配式停车楼的参数化生成设计[J]. 土木建筑工程信息技术, 2016, 8(05): 51-57.
- [13] 孙少辉,董龙峰,孙岩波,等. BIM 技术在装配式剪力墙结构施工中的应用[J]. 建筑技术, 2017, 48(08): 826-829.
- [14] 王可卿,盛超,朱忠阳,等. 装配式建筑单元设计及其结构试验研究[J]. 南京工业大学学报(自然科学版), 2017, 39(06): 130-135.
- [15] 冯青,陆小龙,汪德江,等. 基于 BIM 的装配整体式混凝土梁的拆分研究[J]. 土木建筑工程信息技术, 2016, 8(05): 83-85.
- [16] 王金,曹清,李妍. 装配式建筑叠合楼板设计中若干问题讨论[J]. 建筑结构, 2017, 47(S1): 890-892.
- [17] 焦柯,陈剑佳,杨新,等. 基于 BIM 的装配式高层住宅设计关键技术研究[J]. 土木建筑工程信息技术, 2018, (1): 27-36.
- [18] 朱宋煜,王勇. 装配整体式剪力墙结构预制率计算探讨[J]. 建筑技术, 2016, (z1): 104-106.
- [19] 邵明路. 装配式剪力墙住宅预制墙板的拆分设计方法[J]. 建筑工程技术与设计, 2017, (30): 313-314.
- [20] 曹阳,许后磊. 基于 Dynamo for Revit 的参数化设计在水力机械设计中的运用[J]. 土木建筑工程信息技术, 2018, 10(2): 29-34.

## Prefabrication Rate - Oriented Optimization of Prefabricated Construction Design Scheme

Liu Qinwen, Li Xisheng, Wang Jun

(College of Civil Engineering, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

**Abstract:** Based on the systematic analysis on the design standards and design procedures of prefabricated buildings, and aiming at improving the prefabrication rate, this paper develops a design scheme of prefabricated constructions, and establishes an automatic calculation model prefabrication rate through the parametric design method applying BIM and Dynamo. The study in this paper organically integrates the prefabrication rate goals into the prefabricated construction, and proposes the selection of application proportion of prefabricated components under different prefabrication rates for reference through statistical analysis. In the end, a case study is given to verify the feasibility of this method in the optimization of prefabricated construction design scheme.

**Key Words:** Prefabricated Construction; Prefabrication Rate; Dynamo; Design Scheme; Scheme Optimization