

基于 BIM 的装配式建筑协同设计方法

李希胜 刘勤文 王 军

(南京林业大学 土木工程学院, 南京 210037)

【摘要】为促进 BIM 在装配式建筑设计中的应用,本文对 BIM 协同设计与传统设计方法进行比较,基于 BIM 技术 IDM(Information Delivery Management)要求建立 PCP 协同设计概念模型,确定不同设计阶段 BIM 模型精度,利用参数化设计工具 Dynamo 和 Structural Precast for Revit 对装配式建筑进行预制构件拆分、钢筋配置、结构分析,通过实例验证基于 BIM 的建筑协同设计方法的有效性。

【关键词】 BIM; 装配式建筑; 协同设计

【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。

引言

装配式建筑因其效率高、对环境影响小,是我国建筑业转型升级的最佳选择。装配式建筑不仅是一种建筑形式,更是一个复杂的系统工程,需要用系统工程的方法和思想去解决实际问题^[1]。就装配式建筑设计而言,装配式建筑设计不仅增加了构件拆分、深化设计等内容,从设计理念、流程、方法等也应有相应的改变。BIM 技术的推广和日渐成熟,为装配式建筑协同设计的实现提供了新的方法和平台。目前,BIM 在装配式建筑中的应用大都停留在施工和生产阶段^[2],在设计阶段的研究多局限于对结构设计^[3-4]、构件连接^[5-6]、构件拆分和深化设计^[7-11]等某一方面的研究,对装配式建筑的设计流程、设计内容,以及标准化、参数化设计缺乏系统性和完整性。本文基于建筑协同设计理论方法,建立了基于 BIM 的装配式建筑 PCP 协同设计概念模型,确定了装配式建筑设计的内容和流程,基于标准化、参数化设计要求,研究了预制构件拆分、设计优化的具体方法。

1 BIM 协同设计

1.1 协同设计概念

所谓协同工作,是指基于计算机支持的网络环

境,团队通过信息共享、转换和相互协作机制,有效地完成工作任务。建筑协同设计是协同工作在设计领域的分支,通过构建基于网络的协同设计环境,利用统一专业标准和协同设计软件,实现设计数据实时共享,以进一步提高设计效率^[12]。建筑工程领域中,协同设计一般分为二维协同设计和三维协同设计。二维协同设计是以 CAD 软件的外部参照为基础的直线式、文件级协同,是基于二维图纸的定期更新的阶段性协同方式; BIM 三维协同设计是一种新的设计范式,是在同一环境下,各专业人员基于三维模型进行的平行设计,通过信息共享、沟通协作完成同一项目设计工作的协同模式。BIM 协同设计不再是设计外的加载技术,而是设计过程本身的一部分。BIM 协同设计较二维协同设计其设计内容更加丰富、效率更高,更具有优势^[13]。

1.2 BIM 协同设计与传统设计对比

传统设计方法在项目设计中是阶段性、单向的,缺乏交流,设计过程快速简单,在过程组织、任务快速分配上有一定的优势,但项目各参与方之间缺乏交流,无法进行方案的最优化配置^[14]。同时,由于各专业设计工具不尽相同,信息缺乏统一性,导致各专业间的信息数据无法完全共享。BIM 协同设计方法强调“设计迭代”,即建筑设计从初期的概

【基金项目】 江苏省住房与城乡建设厅资助项目“建筑集成设计与优化研究”(编号:js2017jh08)

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

念设计到最终的施工图设计不断迭代,在设计前期将所有关于设计问题的各方思想统筹考虑,建筑师不再是唯一决策者^[15]。BIM 协同设计是基于同一个三维模型的“闭环”,各专业可以通过网络服务器实现同步设计,信息可在上下游专业之间无缝传递共享,缩短了专业之间协调时间^[16]。两种设计方法的主要区别见表 1。

2 基于 BIM 的装配式建筑协同设计实现

BIM 协同设计从协同的内容角度可以分为三个层面,即全过程协同、专业协同和构件协同。全过程包括方案设计到深化设计的四个设计阶段,并考虑施工阶段主要施工工艺;专业协同是指建筑师、结构师、暖通水电、构件加工、施工安装等不同专业工种的协同;构件协同即指三维模型的设计精度和模型交付所需要的信息。以上三者的信息交互协同是基于 BIM 三维模型实现的,其中全过程协同是原则,专业协同是实现手段,构件协同是基础。

2.1 PCP 概念模型

基于 BIM 的协同设计 PCP(Professional-Component – Process)模型系统表述了装配式建筑构件设计、专业协同、构件生产等关键环节之间的关系,如图 1 所示。图中打“√”者为协同设计设计选项。

(1)构件设计与专业协同结合。构件设计即应用 BIM 建模软件完成的包含图形信息和非图形信息的三维模型。预制构件(Component)设计应与专业(Professional)相关联,根据不同专业分工要求,利用网络平台不断补充完善模型信息。一般来说建筑师首先提出设计方案,其后结构、水暖电工程师、构件制造生产商等先后介入,这种次序是传统设计

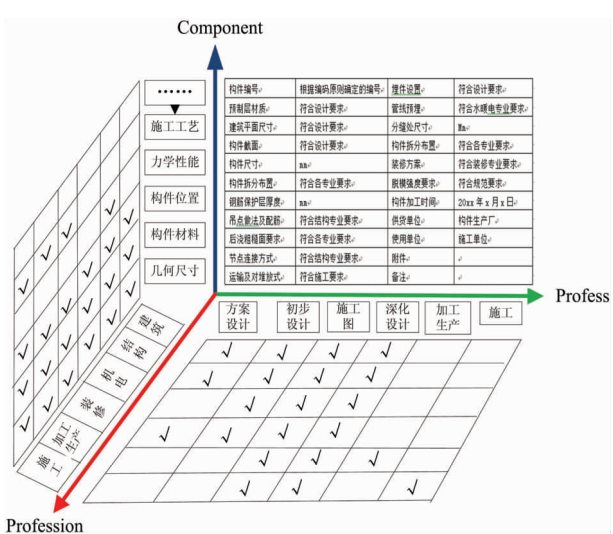


图 1 PCP 集成设计概念三维模型

的流程,但含有丰富信息的三维模型和高效的网络协同平台可以实现信息的及时共享,并且通过设定权限的方法对实现对三维模型的浏览、编辑下载、下载上传,可以极大提高设计效率。

(2)构建设计与生产过程结合。预制构件(Component)设计应与实际生产过程(Process)相结合,因不同设计阶段内容和深度各不相同,构件包含的信息各有差异,但具有迭代性,模型信息的精度和细度根据 IDM 信息交付标准规范来确定,以满足使用要求为目标,尽量使模型轻量化,避免信息冗余。

(3)专业设计与生产过程结合。不同生产阶段对应不同的专业工作,但生产过程和专业工作的成果并非是线性的传递过程,可以利用 BIM 虚拟仿真工具,对后续工作进行模拟分析,在 BIM 模型中实现过程集成和专业集成,以提高设计质量和效率。

表 1 两种设计方法的区别

区别	传统设计	BIM 协同设计
设计理念	以规划和功能为重点,提供满足使用要求的设计方案,外立面以造型的美观作为判断标准	在满足规划和功能的前提下,将功能及平面模块化,用模块化的设计方式组织平面,在满足工艺需求和造型美观之间找到平衡点
设计内容	各专业设计内容符合相关规范要求	除现浇设计内容外,需对构件节点、连接做法等细节进行深化设计,且将各专业设计内容整合在一起
设计流程	立项→设计→施工→使用	立项→策划→设计→生产→施工→装修→使用→更新
多专业协同	方案设计以建筑布局、功能、形体为主,初步设计阶段各专业介入,施工图设计阶段各专业密切配合后各自深化并出图	结构专业介入方案设计,确定结构体系和拆分平面后,建筑专业完善平面和立面;初步设计阶段各专业密切配合,在同一个模型中完善图纸;施工图阶段各专业在同一平台上深化设计工作,出构件拆分大样图
协同工具	CAD、相关插件	Revit + CAD + 协同平台
图纸表达	二维表达	二维 + 三维表达
工地验收	施工现场验收	对构件厂和施工现场均进行验收

如装配式建筑方案设计阶段,结构专业应提前介入,结构专业根据建筑专业确定的建筑布置形式初步确定结构形式,并做出结构方案,进行构件初步拆分和预拼装模拟。

PCP 概念模型从概念上解释了装配式建筑协同设计的内涵和内容。在实际应用时应从以下几方面入手:其一,过程中应在原有设计流程中增加深化设计、生产加工和施工安装环节。尤其是预制生产阶段应与充分考虑项目总体设计和施工安装;其二,各专业协同设计工作应严格依照《建筑信息模型设计交付标准》(GB/T 51301 - 2018),除满足模型精细度和粒度要求之外,尤其要注意对象和参数及文件的命名规则;其三,建立装配式建筑的标准构件库。装配式建筑的特点是模块化、标准化、参数化,丰富的构件库可以极大提高设计效率。

2.2 BIM 模型交付标准

协同设计的关键工作是各确定模型设计深度和精度。按《建筑信息模型设计交付标准》(GB/T 51301 - 2018)装配式建筑预制构件各专业 BIM 模

型精细度如表 2 所示。装配式建筑主设计主要分为 4 个阶段:

(1)方案设计。结构工程师介入,模型精细度为 LOD200。根据建筑布局初步确定结构形式,进行构件拆分、预拼装模拟,配合业主和建筑设计师进行方案可行性评估;

(2)初步设计。暖通设备工程师介入,模型精细度为 LOD300,完成构件的土建、钢筋、设备、管线布设等信息;

(3)施工图及深化设计。对节点连接等内容进行深化及补充建模,达到 LOD400 的要求,进行碰撞检查、施工模拟、施工图设计优化;

(4)施工阶段。模型精细度为 LOD500,要求模型中包含以实际施工工艺为主的时间、成本、采购、加工及运输等工程管理内容。

2.3 构件参数化设计

装配式建筑设计需要采用工业化建造的思维,要求标准化、参数化、精细化,以满足工业化批量生产的要求^[17]。构件拆分、构件深化设计是装配式建

表 2 不同专业的模型精细度

LOD100			LOD200		LOD300	LOD400	LOD500
建筑专业	模型精度	略	略		建筑外观细节:扶手、楼梯;内墙、隔墙、管道井;家具、卫浴装置	建筑外观细化;预孔洞预留	内部二次装修、细节深化;隐蔽工程
	典型用途	概念设计	方案设计		初步设计、碰撞检测	施工图设计、现场模拟	施工和竣工模型
结构专业	模型精度		主要预制构件:叠合梁、外墙板、柱、叠合板等		次要构件:楼梯、洞口、空调板等	节点钢筋模型,所有未提及的结构设计、安装加工模型	施工支护、围护结构、临时支撑、预埋件
	典型用途	结构概念	结构布置方案		结构初步设计、碰撞检测	深化设计、详细碰撞检测、结构展示	施工模拟、施工碰撞检测
机电专业	模型精度	—	主干管线、桥架		分支管路、机房设备、线管、配电箱、控制柜	毛细管路、管路末端设备、阀门、卫浴装置、灯具	开关面板、支架、特殊三通/四通加工模型
	典型用途	—	方案设计		初步设计、碰撞检查、预留孔洞	施工图设计、碰撞检查	施工管理、细部表现

表 3 预制构件拆分原则

构件类型	拆分原则
叠合梁	单梁拆分取为梁墙交界面,遇有次梁搭接,主次梁连接处进行拆分,拆分处用后浇带连接梁跨中位置拆分,梁总长 = 叠合梁 + 后浇段 + 叠合梁拆分,后浇段范围为 700 ~ 1000mm;
楼板	楼板一边长度大于 6m,进行拆分; 楼板拆分可直接按单向板拆分; 宜优先采用大板、单向板;
剪力墙	受力较大的剪力墙、关键部位的剪力墙应尽量采用现浇; 边缘构件现浇,其余墙体预制;
非主体结构 预制构件	阳台板、空调板、遮阳板以墙板外侧为边界;楼梯以梯梁的位置为边界;女儿墙以屋面梁顶为边界; 拆分楼梯时要预留满足主体结构唯一要求的缝隙,注意预制楼梯端部在支承构件上的最小搁置长度。

筑结构设计特有的内容。BIM 协同设计为实现装配式建筑的参数化设计提供了技术支撑, Autodesk 公司提供的基于 Revit 建模工具的 Dynamo 和 Structural Precast for Revit 插件, 可用于构件拆分和结构分析计算。

(1) 构件拆分

首先根据各构件拆分原则进行拆分, 拆分原则如表 3 所示。

(2) 构件结构分析

1) 设置钢筋

构件进行拆分后, 需要对拆分后的构件按设计规范配置钢筋。以叠合梁钢筋配置为例, 基本过程如图 2 所示: 从结构模型中拾取已有的现浇构件钢筋的相应尺寸、类型、直径、钢筋宿主 ID 等, 在 Dynamo 中根据规定进行重编辑, 通过中心线生成拆分后的构件的钢筋, 然后再给予位置、弯钩、直径等信息。

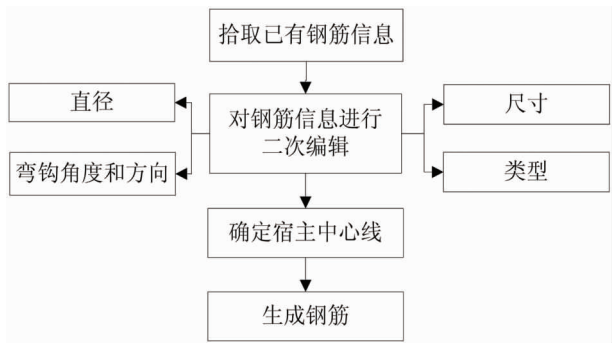


图 2 配筋流程图

Dynamo 运行步骤: ①输入钢筋的相关参数, 确定钢筋距离, 调取 Rebar. FollowingSurface 节点创建钢筋曲线; ②利用 Rebar. GetProperties 确定梁的 ID、钢筋的类型、直径及种类、起点和终点弯钩方向和角度; ③调取 Rebar. GetCenterlineCurve 节点得到梁的纵筋线段(纵筋中心线即叠合梁中心线方向); ④调用 Curve. PlaneAtSegmentLength 取得直线处垂直平面, 该垂直平面首尾确定为后浇段的的首尾; ⑤调用 Geomentry. Intersect 节点取得纵筋与垂直平面间的交点; ⑥根据已拆分的叠合 ID、梁中线方向以及已获取的钢筋直径、弯钩和类别等信息, 调用 Rebar. ByCurve 节点, 绘制叠合梁纵筋^[18]。Dynamo 程序图如图 3 所示, 创建完成的钢筋如图 4 所示。

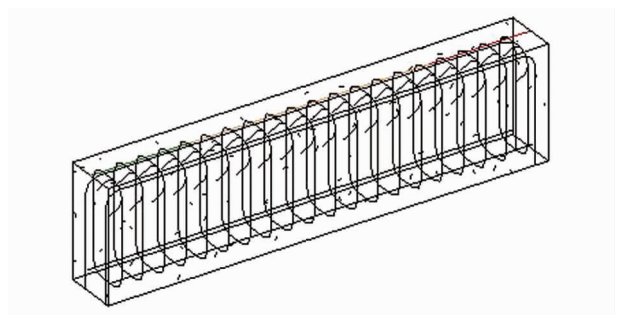


图 4 钢筋示意图

2) 结构分析

结构分析利用 Revit 和 Dynamo 结构分析包 (The Structural Analysis for Dynamo package) 进行参数建模和结构分析, 对 Dynamo 分析结果与设计标

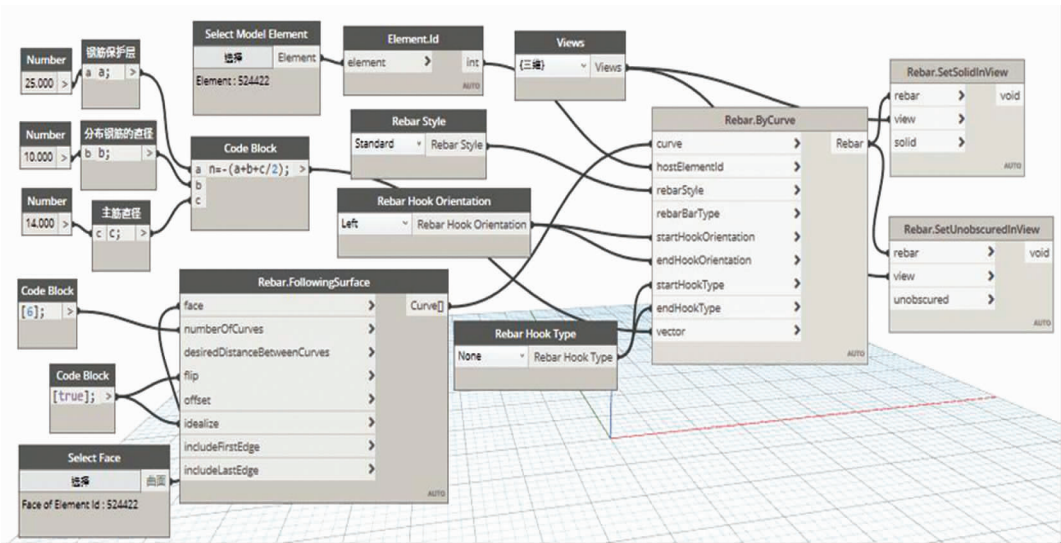


图 3 钢筋的创建

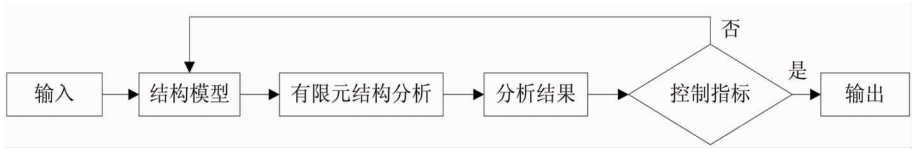


图 5 结构分析流程

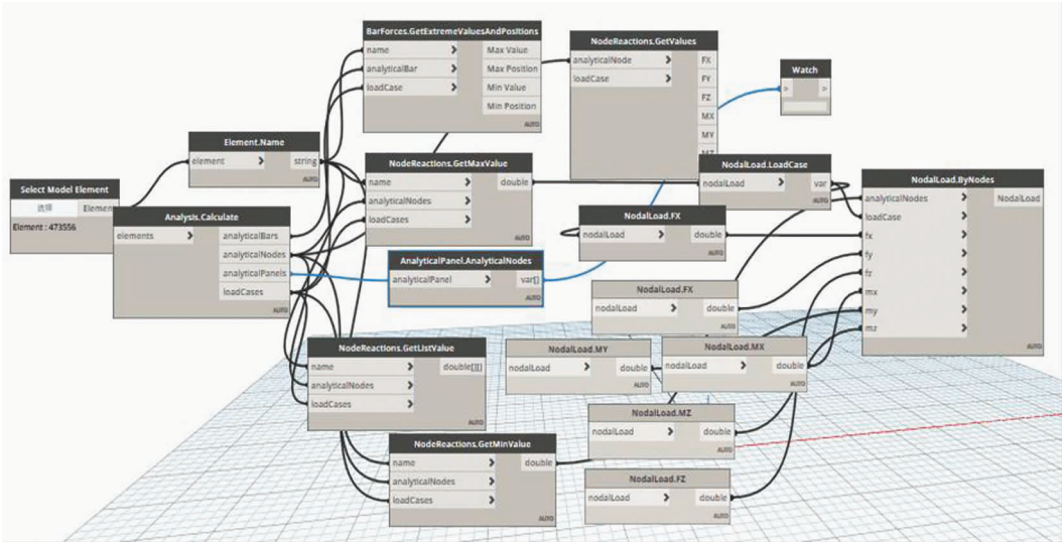


图 6 基于 Dynamo 结构分析程序图

准比对。Dynamo 参数化建模的优势在于结构荷载值与几何尺寸的变化是同步的,可实时优化设计方案。设计过程中需对单位面积重量、竖向位移、稳定性、内力调整等指标进行与标准的比较。

Dynamo 主要操作流程如图 5 所示:Revit 完成结构及建模后,在 The Structural Analysis for Dynamo package 结构分析包中调取 Ananalysis. Calculate 节点,对选中构件进行有限元结构分析;调取节点 analyticalBars、analyticalNodes、analyticalPanels 分别对构件点、线、面分析,具体如图 6 所示。分析结果主要包含单位重量、构件位移、内力和反力,并将分析结果与与装配式建筑剪力墙结构整体设计控制指标比较,若有不符合标准要求的,重新调整结构模型并运行 Dynamo,直至符合规范要求。

3 应用实例

3.1 项目概况

该项目为南京市保障性住房,位于江苏省南京市秦淮区,周围交通便捷。项目距离最近的装配式构件厂 50km,属合理运输范围。项目综合技术经济指标见表 4。图 7、8 为本项目的 BIM 三维模型和标

准层平面图。

表 4 综合技术经济指标

项目	单位	数值
总建筑面积	m ²	1 583. 85
设计使用年限	年	50
层高	m	8. 7
耐火等级	二级	
屋面防水等级	二级	
抗震设计	七度	
目标装配率	不低于 65%	
目标装配式建筑等级	A 级及以上	

3.2 建筑设计

1) 户型设计

本项目共两种户型,面积在 70 ~ 100m²。住宅空间需求倾向于经济、舒适、便利。套型平面图如图 9、11 所示,相对应三维图如图 10、12 所示。

2) 装配式设计要求

本项目为装配式剪力墙结构,梁、预应力叠合板、女儿墙、楼梯、外墙板为预制,结构柱、非预应力楼板和部分板为现浇。采用集成式厨卫,围护墙与保温、隔热、装饰一体化,内隔墙与管线装修一体

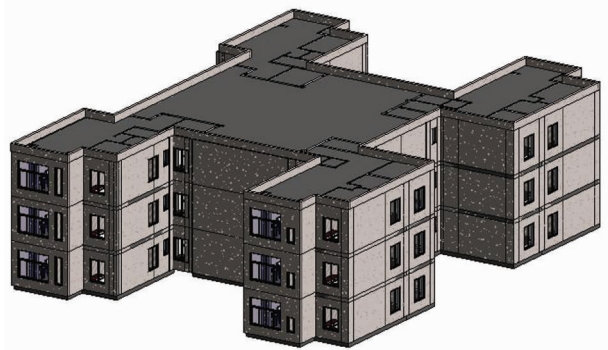


图 7 BIM 三维图

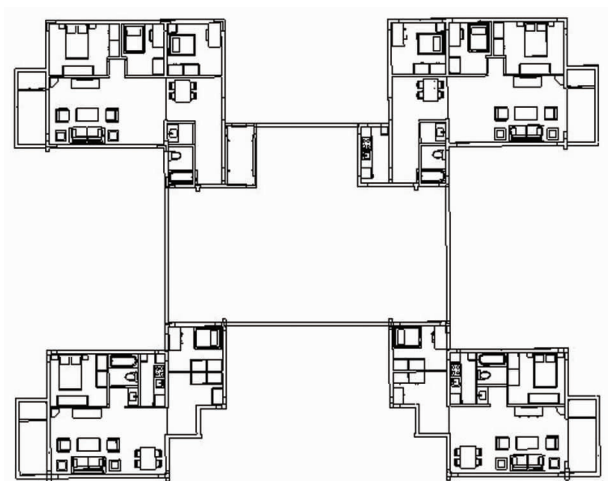


图 8 标准层平面图

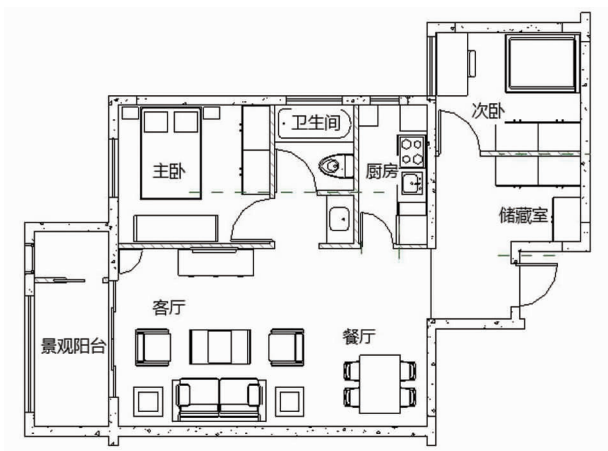


图 9 套型①平面图(74m²)

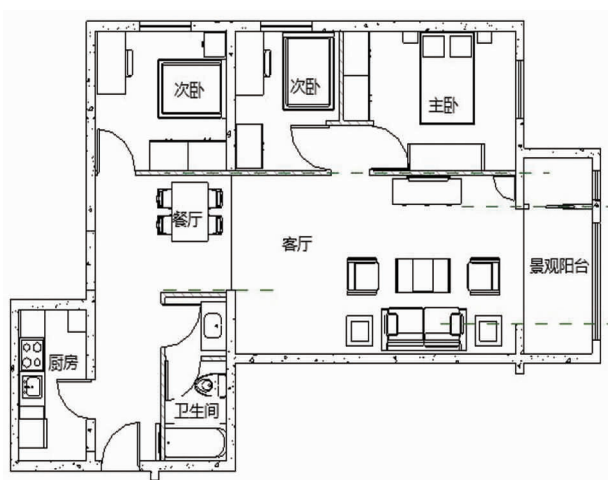


图 10 套型②平面图(93m²)



图 11 套型①BIM 三维效果



图 12 套型②BIM 三维效果

化,结果见表 5。

3.3 结构设计

1) 构件拆分

根据《装配式混凝土结构住宅建筑设计示例(剪力墙结构)15J939-1,以板构件拆分为例,拆分过

程为:首先对模型中的预制构件做预拆分处理,在拆分时需要对拆分参数进行控制。如,在 4.1 节所述楼板跨度应小于 6m,楼板重量限制在 6 000kg 以内,且以大板和单向板优先。拆分后的部分板如图 13 所示。本项目中,叠合板的种类根据计算规则为单向叠合板,共计 2 种。本项目核心筒区域及部分卫生间区域为现浇,在扣除该区域后,标准层叠合梁共计 6 个,其中框架梁 4 个,次梁 1 个,连梁 1 个。预制外墙为非承重混凝土墙 9 个,拆分结果见表 6。

表 5 构件类型						
类型	结构柱	梁	楼板	女儿墙	楼梯	墙板
现浇	√		√			√
预制		√	√	√	√	√

表 6 拆分构件类别		
类型	类别	共计
预制墙板	预制外墙(9)	9 个
叠合梁	框架梁(4) 次梁(1) 连梁(1)	6 个
叠合楼板	单向叠合板(2)	2 个

2) 配筋及结构分析

将拆分后的构件进行配筋并进行结构分析。以柱梁组合为例,根据规范 15J939-1 及图 8 所示 Dynamo 的计算程序进行配筋设计,进行结果如图 14 所示;并利用图 6 所示的计算程序计算可得节点位移、构件位移、内力、反力如表 7 所示。经比较,设计结果符合设计规范。

4 结论

装配式建筑是建筑业转型的方向,BIM 技术是促进装配式建筑实施的有效平台和方法,基于 BIM 的参数化集成设计方法有助于装配式建筑设计模

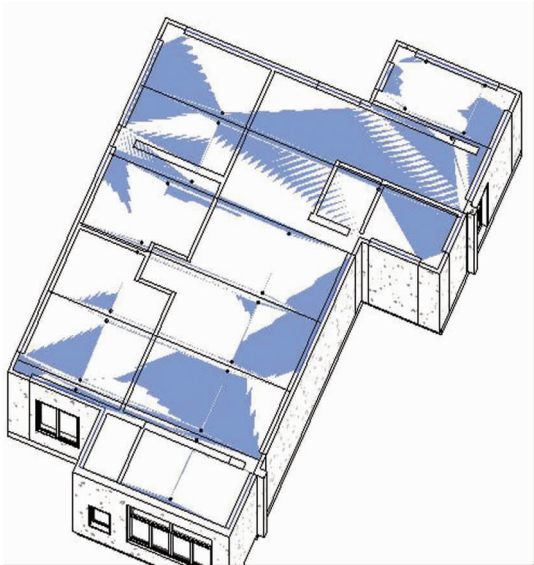


图 13 部分板的拆分结果

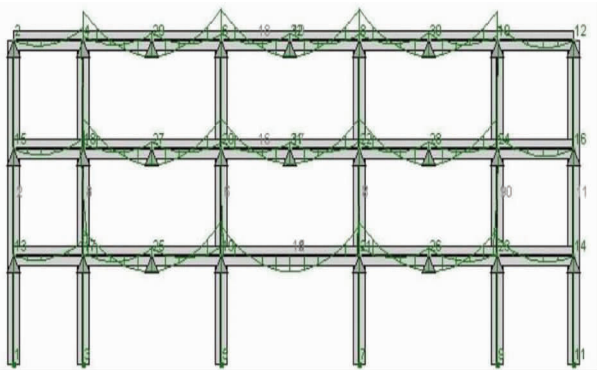


图 14 一榀框架示意图

块化、标准化、通用化,参数化设计可以极大提高设计效率,有助于设计方案的优化比选。本文采用的基于 Dynamo 的构件参数化设计方法,仍属于弱参数化应用,如何在 BIM 平台下以 PCP 概念模型为切入点,建立不同结构形式的装配式建筑参数化设计平台是未来研究的重点。

表 7 结构整体控制指标结果

节点位移			构件位移			内力			反力		
符号	数值	节点	符号	数值	杆件	符号	数值	杆件	符号	数值	支撑
Uxmin	-0.01cm	3	Uxmin	0.00cm	7	Nmin	-19.48 kN	1	Rxmax	2.25 kN	34
Uxmax	0.00 cm	9	Uxmax	0.00cm	1	Nmax	9.74 kN	1	Rxmin	0.00 kN	1
Uzmin	0.00 cm	7	Uzmin	-0.01cm	12	Qmin	-8.83 kN	13	Rzmax	123.31 kN	46
Uzmax	0.00 cm	1	Uzmax	0.01 cm	3	Qmax	8.80 kN	13	Rzmin	0.00 kN	1
Ufimin	0.00°	1	挠度 min	-0.01cm	12	Mmin	-9.40kN * m	13	Rmmax	0.00kN * m	1
Ufimax	0.00°	9	挠度 max	0.00 cm	9	Mmax	4.48kN * m	12	Rmmin	0.00kN * m	1

参考文献

- [1] 郝际平, 薛强, 黄育琪, 等. 装配式建筑的系统论研究[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版), 2019, 51(1): 14-20, 26.
- [2] 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(8): 14-16.
- [3] Tatum, C., Luth, G. Integrating Structural and Construction Engineering. Construction Research Congress 2012: 1301-1310.
- [4] Mansooreh Moghadam, Integrated BIM Base Production Line Schedule Model for Modular Construction Manufacturing, Construction Research Congress, 2012, (5): 271-280.
- [5] Jrade, Ahmad, Jalaee, et al. Integrating building information modelling with sustainability to design; building projects at the conceptual stage[J]. Building Simulation, 2013, 6(4): 429-444.
- [6] Negro P, Bournas DA, Molina F J. Pseudodynamic tests on a full-scale 3-storey precast concrete building: Global response[J]. Engineering Structures, 2013, 57(4): 594-608.
- [7] Parastesh H, Hajirasouliha I, Ramezani R. A new ductile moment-resisting connection for precast concrete frames in seismic regions: An experimental investigation[J]. Engineering Structures, 2014, 70(9): 144-157.
- [8] 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(5): 83-85.
- [9] 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.
- [10] Saeed Banihashemi Namini, Mahmoud Shakouri Hasanabadi, Yousef Karimi Vahed, et al. Prioritization of Industrialized Building System Components for BIM Applications[C]. International Conference on Construction and Project Management. 2012, 27(6): 45-47.
- [11] 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(8): 826-829.
- [12] 林良帆, 邓雪原. 建筑协同设计的 CAD 专业标准应用研究[J]. 图学学报, 2013, 34(2): 101-107.
- [13] 王巧雯, 张加万, 牛志斌. 基于建筑信息模型的建筑多专业协同设计流程分析[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2018, 46(8): 1155-1160.
- [14] 徐峰. 集成化建筑设计[M]. 中国建筑工业出版社, 2011.
- [15] 程斯莱. 基于 BIM 技术的绿色建筑设计应用研究[D]. 湖南大学, 2013.
- [16] 蒋慧, 李希胜. 基于 BIM 的建筑结构协同设计关键问题研究[J]. 森林工程, 2018, 34(6): 102-108.
- [17] 中华人民共和国建设部. 建筑模数协调标准(GB/T5002—2013)[S]. 中国建筑工业出版社, 2013, 11-12.
- [18] 刘春原, 许晓文, 付素娟. 部分装配式框架结构自动拆分办法[J]. 河北工业大学学报, 2018, 47(1): 103-109.

BIM-Based Collaborative Design Method of Prefabricated Buildings

Li Xisheng, Liu Qinwen, Wang Jun

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

Abstract: In order to promote the BIM application in the design of prefabricated building, this paper compares the BIM collaborative design method with the traditional design method. The BIM-based IDM (Information Delivery Management) requires to establish a PCP collaborative design conceptual model. The accuracy of BIM model in different design stages is determined, and the parametric design tools, Dynamo and Structural Precast for Revit, are applied to split prefabricated components, configure reinforcement and analyze structure of prefabricated buildings. The effectiveness of BIM based collaborative design method is verified through a practical case example.

Key Words: BIM; Prefabricated Building; Collaborative Design