

装配式建筑自上而下设计信息协同与模型构建

朱慧娴, 徐 照

(东南大学土木工程学院, 江苏 南京 210000)

摘 要: 为顺应国家建筑产业化、智能化发展的政策引导, 针对当前装配式建筑专业信息缺乏关联、模型利用不充分、数据传递效率低下等问题, 提出基于建筑信息模型(BIM)技术的自上而下设计方法。以装配式建筑的设计阶段为切入点, 详细阐述了基于 BIM 技术的装配式建筑自上而下设计流程。结合装配式建筑的标准化构件设计和组装特点, 提出一种基于自上而下设计的装配模型, 并从层级和专业 2 个角度描述了模型的架构。针对各专业模型传递时的数据信息标准化、一致性问题, 通过工业基础类(IFC)标准对装配模型进行实体和属性集的扩展, 提出基于 IFC 标准的各专业、各阶段的自上而下设计信息协同。经实例验证了 IFC 扩展装配模型的自上而下设计可行性, 为装配式建筑的协同设计提供了有益的方法借鉴。

关 键 词: 建筑信息模型; 自上而下设计; 装配模型; 工业基础类扩展; 协同设计

中图分类号: TP 751.1

DOI: 10.11996/JGj.2095-302X.2021020289

文献标识码: A

文章编号: 2095-302X(2021)02-0289-10

Research on information collaboration and model construction for top-down design of prefabricated buildings

ZHU Hui-xian, XU Zhao

(Department of Civil Engineering, Southeast University, Nanjing Jiangsu 210000, China)

Abstract: In order to comply with the national policy of building industrialization and intelligent development and solve such problems as the disconnectedness to professional information, insufficient use of models, and low efficiency of data transmission, a top-down design method based on the building information modeling (BIM) technology was proposed. Starting with the design stage of prefabricated building, the BIM technology-based top-down design process of prefabricated building was elaborated in detail. Combined with the characteristics of standardized component design and assembly of prefabricated buildings, an assembly model based on top-down design was proposed, and the structure of the model was described from the perspectives of hierarchy and specialty. To tackle the problems of standardization and consistency of data information during the transmission of professional models, the entities and property sets of assembly model were extended based on the industry foundation classes (IFC) standard, and the information collaboration using the IFC standard-based top-down design was proposed for each specialty and each stage. Finally, the application of the example verified the feasibility of the IFC-based top-down design of the extended assembly model, which can provide a useful method for collaborative design of prefabricated buildings.

收稿日期: 2020-07-07; 定稿日期: 2020-09-09

Received: 7 July, 2020; Finalized: 9 September, 2020

基金项目: 教育部人文社科基金项目(20YJAZH114); 江苏省自然科学基金项目(BK20201280); 国家自然科学基金项目(72071043)

Foundation items: Humanities and Social Sciences Foundation of Ministry of Education (20YJAZH114); Natural Science Foundation of Jiangsu Province (BK20201280); National Natural Science Foundation of China (72071043)

第一作者: 朱慧娴(1995-), 女, 江苏盐城人, 硕士研究生。主要研究方向为建筑信息模型、工程管理等。E-mail: zhuhuixian666@163.com

First author: ZHU Hui-xian (1995-), female, master student. Her main research interests cover BIM and engineering management, etc.

E-mail: zhuhuixian666@163.com

通信作者: 徐 照(1982-), 男, 江苏徐州人, 副教授, 博士, 硕士生导师。主要研究方向为建筑信息模型、工程管理等。E-mail: xuzhao@seu.edu.cn

Corresponding author: XU Zhao (1982-), male, associate professor, Ph.D. His main research interests cover BIM and engineering management, etc.

E-mail: xuzhao@seu.edu.cn

Keywords: building information modeling; top-down design; assembly model; industry foundation classes extension; collaborative design

一直以来,建筑产品的设计均遵循着严谨的设计流程。现阶段,无论从行业政策还是技术需求方面,打破繁琐低效建筑设计模式,推行更符合建造逻辑的设计模式已成为必然趋势。装配式建筑作为实现建筑工业化的必经之路,其标准化、数字化的内在要求与建筑信息模型(building information modeling, BIM)的信息化、可视化特点不谋而合^[1],而 BIM 的建立就是基于工业基础类(industry foundation classes, IFC)标准对数据信息的标准化表达。将基于 BIM 技术的自上而下设计应用于装配式建筑,具有积极的现实意义。

目前 BIM 技术在装配式建筑设计中已经有了较多的应用,主要集中于在传统设计流程基础上提出的软件优化、多主体协同、信息编码、数据库建立等。针对 BIM 自上而下设计,黄高松和焦柯^[2]从推广实施层面提出了设计企业 ISO 质量管理体系,杨新等^[3]建立了以关系型数据库和模型图纸文件管理器为核心的协同设计平台,曾旭东等^[4]结合不同工程实例总结出 BIM 技术在设计各阶段的工作要点;从模型的 IFC 扩展角度,孟晓晔等^[5]基于结构分析模型的交换需求扩展了 IFC 结构体元件,高秋亚和高新闻^[6]对预制构件的生产信息组织与表达方式进行了研究,高洋^[7]提出了基于 IFC 的进度实体与成本实体的扩展方法,王勇等^[8]以建筑结构构件模型为核心扩展了施工图设计模型和结构内力描述模型。从上述内容可以看出,虽然现阶段对

BIM 自上而下设计和装配式建筑进行了大力推广研究,但自上而下设计的流程并没有系统、清晰的阐述,缺乏针对装配式建筑特点的设计及自上而下协同过程分析。

本文通过对建筑设计层面的高度总结,提出了更符合装配式建筑特征的装配模型并对其进行 IFC 扩展,通过 IFC 标准实现了基于自上而下设计的装配模型信息协同,最后通过实例验证了 IFC 扩展装配模型的自上而下设计的可行性。

1 装配式建筑自上而下设计

建筑设计一般分为方案设计、初步设计、施工图设计 3 个阶段。基于 BIM 技术的自上而下设计是指从方案设计开始就直接在三维模型中进行参数化设计、协同管理、模型优化,是建筑模型从粗略到细致的迭代变化的过程。

目前大多数设计还停留在翻模层面,属于逆向设计方式^[9]。在设计过程中, BIM 模型被视为附加设计成果,是设计院为应对政府和甲方要求而采取的“被信息化”手段,未体现 BIM 的真正价值。

相比于传统设计方式,自上而下设计是一种更高效的设计思维。将自上而下设计引入装配式建筑的设计中,可极大提升其质量和效率。图 1 展示了基于 BIM 的自上而下设计方法与装配式建筑设计的整体配合过程:在方案设计阶段,经过建筑规划方案的对比决策,形成粗略的 BIM 方案模型,进行

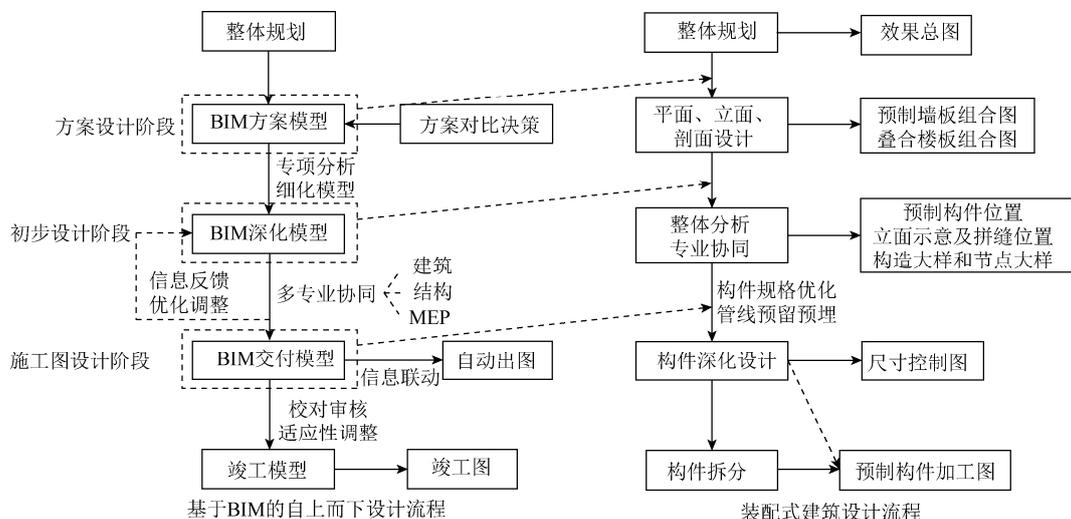


图 1 装配式建筑自上而下设计

Fig. 1 Top-down design of prefabricated buildings

建筑的平面、立面、剖面设计; 在初步设计阶段, 模型进一步细化形成 BIM 方案模型, 此阶段强调多专业的协同设计, 整体分析、优化调整, 最终确定预制构件位置、立面示意等; 在施工图设计阶段, 形成 BIM 交付模型, 此阶段模型主要是对构件的深化设计, 并生成详细尺寸控制图和预制构件加工图, 完成装配式建筑的自上而下设计。

为了简洁、精炼地表达面向多专业的自上而下设计过程, 本文针对装配式建筑的标准化构件设计和组装特点, 提出一个支持自上而下设计、专业协同的装配模型。

2 基于 IFC 的装配模型建立

2.1 建筑装配特征与装配关系

装配是指将零件按规定的技术要求组装, 经过调整、检测成为合格产品的过程, 而建筑业在发展过程中也一直采用装配的理念, 将整栋建筑进行拆分, 通过在工厂中预制每一块构件, 最终只需在现场进行安装连接, 实现建筑的装配。将装配式建筑视为一个可以拆分的模型, 实现预制构件乃至预埋件的装配关系的体系化, 是创建装配式 BIM 的目的。

(1) 装配特征。装配式建筑贯彻的是预制装配的理念, 一般存在由 n 个零件组成的构件 $P=(p_1, p_2, \dots, p_n)$, 而当其满足条件: ① n 个零件之间的连接关系使得 P 是一个稳定的、单独成型、不可拆分的; ② 零件连接得到的 P 不影响整体其他构件的装配, 将 P 称为一个子装配体, 即一个构件。

对于由多个子装配体和零件构成的装配体, 装配特征是装配体中与装配有关的属性信息的集合, 即不同的零件与某装配方式有关的属性, 以及描述这些零件如何按照设计要求组装成整体的属性信息集合, 根据构件数据项 $P=\{P_i|i=1,2,\dots,n\}$ 和计算方法 $f(x)$ 表示为装配特征 $S=f(P)$ 。

对于装配式建筑, 装配特征是零件、构件与装配相关的一组数据信息, 这些数据信息集中体现了子装配体的装配功能。

(2) 装配关系。是对零构件之间的相对关系的描述, 其反映零构件之间的相互约束。零构件之间的装配关系包括零件之间、构件之间、零件和构件之间的装配信息。在装配式建筑中, 装配关系主要包括配合关系和联接关系 2 种。

配合关系是 2 个零、构件的几何特征之间的接触约束关系, 其描述 2 个相互配合的零、构件如何

通过若干几何表面的相互接触来实现其之间的相互联系^[10], 是产生建筑装配顺序的重要依据。几何关系信息= $\{\text{装配零/构件, 几何元素, 配合关系类型}\}$, 根据构件数据项 $P=\{P_i|i=1,2,\dots,n\}$ 、零件数据项 $p=\{p_i|i=1,2,\dots,n\}$ 、几何元素数据项 $m=\{m_i|i=1,2,\dots,n\}$ 、配合关系数据项 $coo=\{coo_i|i=1,2,\dots,n\}$ 和计算方法 $r(x)$, 数据结构可表示为 $R_1 \in r(P, p, m, coo)$ 。

联接关系由若干零件通过其他联接零件或自身的联接特征联接在一起, 构成稳定的、整体的特殊装配关系, 如钢筋和混凝土之间通过自身材料黏合形成整体的钢筋混凝土构件。联接关系信息= $\{\text{装配零/构件, 联接关系类型, 联接关系详细信息}\}$, 根据构件数据项 $P=\{P_i|i=1,2,\dots,n\}$ 、零件数据项 $p=\{p_i|i=1,2,\dots,n\}$ 、联接关系数据项 $con=\{con_i|i=1,2,\dots,n\}$ 、联接关系详细信息 $s=\{s_i|i=1,2,\dots,n\}$ 和计算方法 $r(x)$, 数据结构可表示为 $R_2 \in r(P, p, con, s)$ 。

(3) 装配模型。将各个零件和构件在空间上进行有序放置^[11], 通过装配关系组装形成建筑模型。在装配模型中, 将零件作为装配模型的最小单元, 当某一零件的装配特征或装配关系发生更改, 其对应的子装配体随之发生更改。因此, 将装配模型表达为零件、构件和装配关系的函数集合, 根据计算方法 $u(x)$ 表示为 $M=u(S, R_1, R_2)$ 。

2.2 基于自上而下设计的装配模型

在实际建筑设计过程中, 从方案设计阶段、初步设计阶段到施工图设计阶段, 每个设计阶段通常是不连续的, 而是迭代的、递归的和混合的^[12], 不同阶段之间没有明确的界限。基于此, 建立基于自上而下设计的装配模型, 对装配式建筑的自上而下设计过程进行辅助表达。

图 2 为装配模型的整体架构, 在装配式建筑的自上而下设计过程中, 随着设计深度的扩展, 其被分解成几个子装配体或零件, 对每个子装配体执行自上而下设计。当某些子装配体仍然有子装配体时, 进一步深化设计。最后, 当每个子装配体完成时, 设计完成。

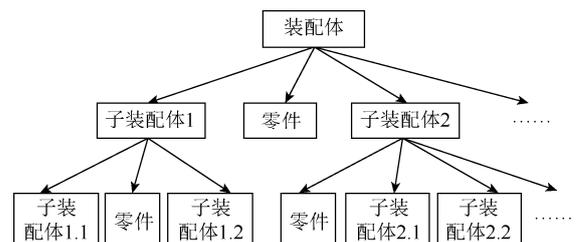


图 2 装配模型整体架构

Fig. 2 Overall structure of assembly model

2.2.1 装配模型的层级建立

装配式建筑由多个预制构件组成，预制构件相当于装配式建筑的子装配体，而每一块的预制构件又由多个零件组成。根据零件、预制构件和装配式建筑之间的层级关系以树状结构来表达整体的装配。

由于装配式建筑自身的结构特点，每一种预制构件均可视为建筑的子装配体，与门窗构件同为构件层的一层，在此基础上由构件层再下一层零件层。零件层包含零件和部件，部件是由最小单位的

零件组成，是可独立实现一定功能的单位，如预制叠合板中的桁架筋为构成叠合板的部件，但由下一层的上弦筋、下弦筋和腹筋通过一定的装配关系连接而成。最终得到装配式建筑的层级分布，如图 3 所示。节点代表不同层级的子装配体，主要包含的是实体属性，即几何物理属性，几何信息包括外观尺寸、保护层厚度等，物理属性包括材料、硬度等；节点之间的虚线则表示各构件或零部件之间存在一种或多种装配关系。因此，装配模型表达的是层次与关系混合模型，反映了整个三维模型的框架。

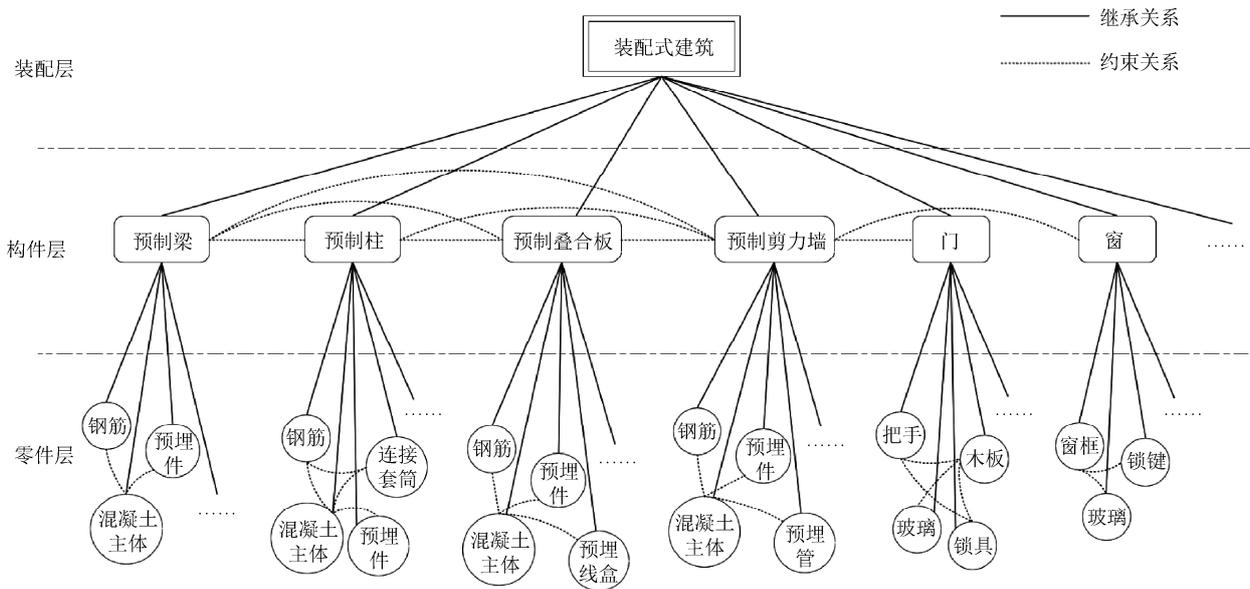


图 3 装配模型层级分布结构

Fig. 3 Hierarchical distribution structure of assembly model

2.2.2 装配模型的专业分布

为有效支持装配模型的协同设计，装配模型由建筑、结构、MEP(电气、暖通、给排水)专业 3 个部分组成。建筑设计模型作为 BIM 数据的中心文件，为本地组件，结构和 MEP 专业模型为具有与本地组件接口的相关组件^[13]。利用工作集的形式对中心文件进行划分，便于帮助各专业设计人员了解相关设计信息，并协同确定有关参数。

图 4 为装配模型的专业分布结构，其 A 代表建筑设计模型，即 BIM 数据的中心文件，分为 A1 和 A2 两部分，是装配模型的本地组件。B 和 C 分别代表结构和 MEP 设计模型，由于此部分模型需要在部分建筑设计的基础上进行专业设计，因此将 B 和 C 表示为 A1 的相关组件，而 A2 则是与 B、C 无关联的建筑专业内部组件。

此处装配结构中的每个节点表示没有几何信息的零构件，其主要功能是记录整个设计结果，支

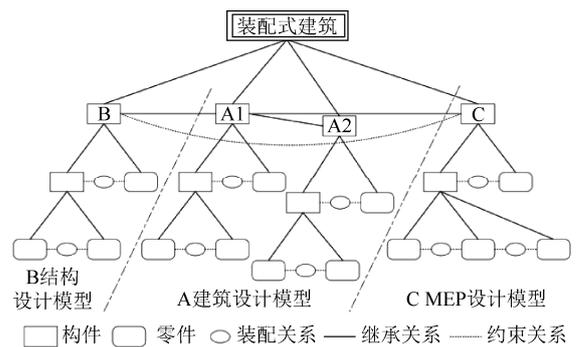


图 4 装配模型专业分布结构

Fig. 4 Professional distribution structure of assembly model

持保证多专业分布的装配模型一致性所必需的设计变更信息交付。在整个设计阶段的数据信息的传输和流动中，建筑模型居于中心的支配地位，由其产生的数据信息分别被结构和 MEP 专业设计所继承和提取，而 MEP 设计又继承和提取结构模型产生的数据信息。各专业信息反复提取与整合，最终

达到设计要求。

2.3 装配模型的 IFC 表达

在装配模型中, 不仅保留了构件的结构信息, 还保留了构件、零件间的约束关系。基于 IFC 标准的装配模型表达, 将模型的装配结构信息、装配关系信息转化为统一的数据表达模式, 可实现装配模型的专业关联性和一致性。

2.3.1 构件表达

预制构件作为装配式建筑的基本对象在 IFC 标准的定义中主要包括几何信息、位置信息、属性信息和关联关系等。

以柱为例, 通过 IFC2×3 版本物理文件的 IfcColumn 实例和相关实例语句分析构件的 IFC 表达。如图 5 所示, 选择一个标准柱构件编号#170, 其属性信息通过 IFC 物理文件中#170 实例语句的 8 个属性值进行表达。其中, OwnerHistory, ObjectPlacement 和 Representation 3 个属性通过引

用其他语句进行具体表达。例如, 属性 Representation 通过实例 #161 表达几何外观: 其中, #153(IfcShapeRepresentation)描述了构件的几何形状, 为复用几何形状的定义, 使用了映射项 #151(IfcMappedItem); #158(IfcShapeRepresentation)指向构件的包围盒#157(IfcBoundingBox), 包括其位置#155(IfcCartesianPoint)和在 3 个坐标轴上的长度。对于实体之间的包含关系则以关联实体 IfcRelAggregates 进行关联, 如图 6 所示的 IFC 文件内容, 实体柱#291、#347(IfcColumn)通过关联实体 #503(IfcRelContainedInSpatialStructure)与空间实体楼层#129(IfcBuildingStorey)关联。

同样的, 构件之间也存在着依附关系。在 IFC 物理文件中, 门(IfcDoor)、窗(IfcWindow)、墙(IfcWallStandardcase)之间需依托开洞实体(IfcOpeningElement)进行关联^[14]。如图 7 所示, 墙构件#171(IfcWallStandardcase)与开洞实体

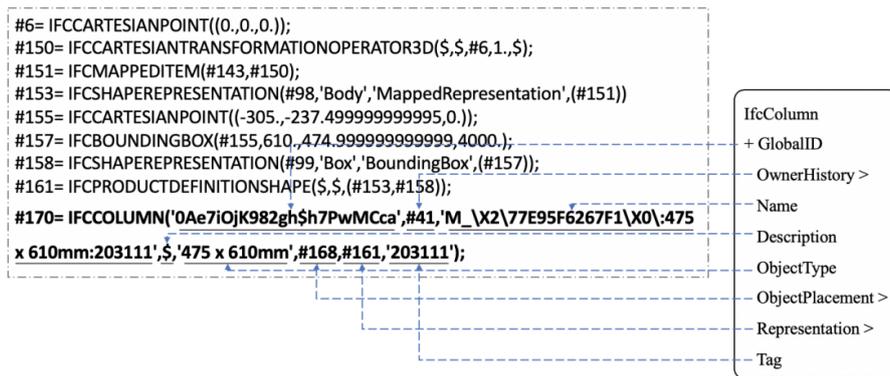


图 5 标准柱实例属性解析示例(IFC2×3)

Fig. 5 Example of property analysis of standard column instance (IFC × 3)

```

#129= IFCBUILDINGSTOREY('39Jy_wfX4Av2K3Y1mohcu',#41,'\X2\68079AD8\X0\ 2',$,$,#128,$,\X2
\68079AD8\X0\ 2',ELEMENT.,4000.);
#291= IFCCOLUMN('0Yv_Doek90yuwzfwlO9hPV',#41,'M_X2\77E95F6267F1\X0\475 x 610mm:203907',
$,475 x 610mm',#289,#284,'203907');
#347= IFCCOLUMN('0Yv_Doek90yuwzfwlO9hPK',#41,'M_X2\77E95F6267F1\X0\475 x 610mm:203912',
$,475 x 610mm',#346,#341,'203912');
#503= IFCRELCONTAINEDINSPATIALSTRUCTURE('14IOI8vZuHqv6B0066Fnc4',#41,$,$,(#291,#347),#129);
    
```

图 6 柱构件与楼层关联示例

Fig. 6 Example of column components associated with floors

```

#171= IFCWALLSTANDARDCASE('0IFollcnP0lexEQ0uyyr4B',#41,'\X2\57FA672C5899\X0\:\X2\5E3889C4\X0
\ - 200mm:203228',$,\X2\57FA672C5899\X0\:\X2\5E3889C4\X0\ - 200mm:249',#134,#167,'203228');
#468= IFCDOOR('0IFollcnP0lexEQ0uyyr4n',#41,'M_X2\53556247\X0\ - \X2\4E0E58999F50\X0\0915 x
2134mm:203238',$,0915 x 2134mm',#750,#462,'203238',2134.,915.);
#729= IFCOPENINGELEMENT('0IFollcnP0lexEQ1qyyr4n',#41,'M_X2\53556247\X0\ - \X2\4E0E58999F50\X0
\0915 x 2134mm:203238:1',$,Opening',#727,#722,$);
#734= IFCRELVOIDSELEMENT('0IFollcnP0lexEQ1eyyr4n',#41,$,$,#171,#729);
#746= IFCRELFILLELEMENT('36KPx35N18VRv5HXyKLCGZ',#41,$,$,#729,#468);
#123= IFCBUILDINGSTOREY('2dz5i9ySf0gAQYxvzv$V57',#41,'\X2\68079AD8\X0\ 1',$,$,#121,$,\X2
\68079AD8\X0\ 1',ELEMENT.,0.);
#644= IFCRELCONTAINEDINSPATIALSTRUCTURE('1vK3KfqgSHqv5Y0066FnIY',#41,$,$,(#171,#468),#123);
    
```

图 7 门、墙构件与楼层关联示例

Fig. 7 Examples of door and wall components associated with floors

#729(IfcOpeningElement) 以 关 联 实 体 #734(IfcRelVoidsElement) 进行关联，门构件 #468(IfcDoor)与开洞实体#729(IfcOpeningElement) 以关联实体#746(IfcRelFillsElement)进行关联，而关联实体#644(IfcRelContainedInSpatialStructure)则将墙构件、门构件与楼层#123(IfcBuildingStorey)关联起来，使得门窗也包含在楼层中。

2.3.2 装配模型的 IFC 扩展

基于开放的 IFC 标准体系，目前提供了 3 种扩展机制^[15]: 增加 IFC 实体定义的扩展、基于 IfcProxy 实体和属性集的扩展。基于装配式建筑的装配特征和装配关系，本文主要针对装配模型的构件实体、属性定义和关联关系进行 IFC 扩展，从而实现在 IFC 标准体系中对装配模型架构的描述，图 8 为装配模型的 IFC 扩展 EXPRESS-G 图。

增加 IFC 实体定义的扩展包括 IFC 实体的增加和实体属性的扩展。其中，增加 IFC 实体是模型扩展最直接的方式，图 8 中装配式建筑实体(IfcPrefabricatedBuilding)为新增实体，通过增加该实体可描述装配模型的整体架构，通过集合关联实体(IfcRelAggregates)与原有建筑实体(IfcBuilding)关联，与 IFC 数据模型有良好的融合，避免造成模型体系的歧义和冲突。对于装配模型的构件层 P_i ($i=1,2,\dots,n$)，IFC 模型中已经有较完善的描述体系，如门实体(IfcDoor)、窗实体(IfcWindow)、幕墙实体(IfcCurtain)等，在此基础上新增预制墙实体(IfcPrecastWall)、预制柱实体(IfcPrecastColumn)、预制梁实体(IfcPrecastBeam)、预制板实体(IfcPrecastSlab)，这些构件均派生自建筑构件实体(IfcBuildingElement)。

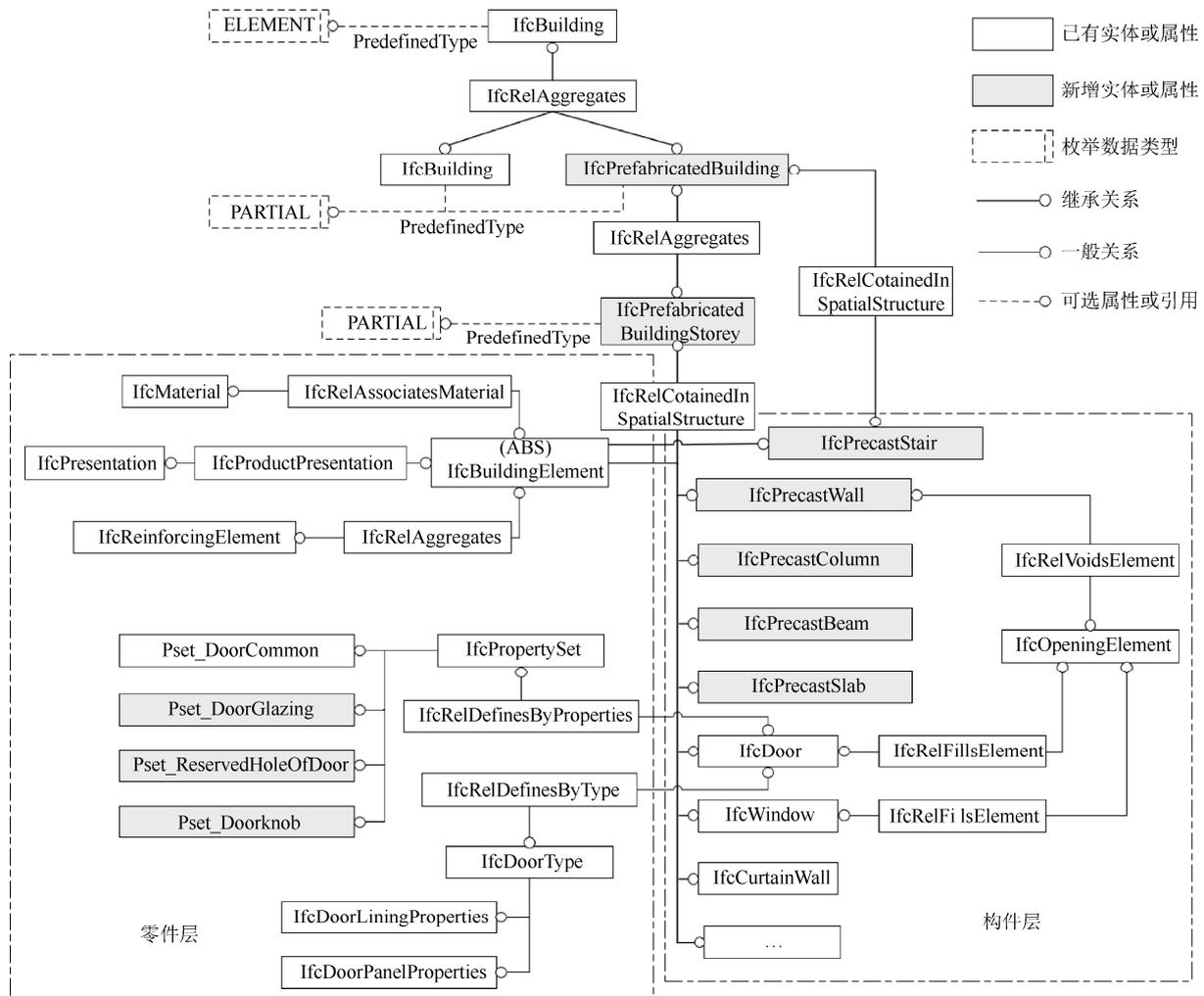


图 8 装配模型 IFC 扩展 Express-G 图

Fig. 8 Express-G diagram of assembly model extension based on IFC

基于属性集的扩展是另一种重要的 IFC 模型扩展方式，根据要求自定义属性，不会对原 IFC 模型

体系造成影响。对于装配模型的零件层 p_i ($i=1,2,\dots,n$)，可通过增加属性集的方式实现对零件

的扩展。以门构件为例,如图 8 中新增属性门玻璃窗 (Pset_DoorGlazing)、预留门洞 (Pset_ReservedHoleOfDoor)、门把手 (Pset_Doorknob) 等多个属性集 (IfcPropertySet), 通过属性关系实体 (IfcRelDefinesByProperties) 与多个门实体 (IfcDoor) 关联。同时, 对于模型的装配关系 R 中几何元素 m 、配合关系 coo 等, 则通过零构件的材料、几何、配筋信息等属性定义进行扩展确定。其中, 材料属性由材料实体 (IfcMaterial) 通过材料关联实体 (IfcAssociatesMaterial) 建立构件与构件材料之间的关联; 几何属性由构件的 Representation 属性与描述实体 (IfcRepresentation) 关联; 钢筋属性可通过关联实体 (IfcRelAggregates) 建立构件和加强件 (IfcReinforcingElement), 包括其派生的钢筋实体 (IfcReinforcingBar) 等信息的关联。

对于构件的关联关系, 除前文所述门、窗、墙构件之间依托开洞实体的关联外, 以梁、板为例, 预制梁实体 (IfcPrecastBeam) 与预制板实体 (IfcPrecastSlab) 可依托构件关联实体 (IfcRelConnectsElement) 进行关联, 当一个构件信息调整时, 相关联的构件将通过公用节点机制和构件关联实体^[8]更新实体的信息, 实现关联修改。此外, 不同专业的构件之间可基于分配到产品关系实体 (IfcRelAssignsToProduct) 建立关系, 当两者不满足

对应关系时, 可将构件进一步分解, 从而满足两者之间一对一或多对一的关系^[5], 另外, 不同材料零件的联接关系 con , 如钢筋与混凝土的关联, 也可基于此关系实体进行扩展表达。

2.3.3 装配模型的 IFC 信息协同

由于专业分工不同, 各专业对装配模型的信息表达侧重点也不同^[16]。建筑设计侧重于表达装配模型各个构件的外观造型、空间分布; 结构设计着重表达各构件、零件之间的截面尺寸、拓扑关系、节点连接以及力学分析; MEP 设计则侧重于表达设备管线的空间布局、在构件上的预留孔道。尽管各专业在模型信息的表达上存在一定的差异, 但结构和 MEP 设计模型的形成却都是建立在建筑模型的基础上。

通过装配模型的 IFC 表达, 集成装配模型中的建筑、结构、MEP 信息, 结构、MEP 专业提取装配模型中的基本对象数据信息, 结合本专业设计条件建立结构设计模型和 MEP 设计模型。如图 9 所示, 以预制墙构件 (IfcPrecastWall) 在装配模型的建筑和结构专业中的 IFC 信息协同为例, 结构设计人员从装配模型中提取建筑设计已添加的预制墙基本数据信息, 如墙体预定义类型 (PredefinedType)、长度 (Length)、高度 (Height)、墙体开洞数量 (OpeningQuantity)、开洞面积 (OpeningArea) 等, 根

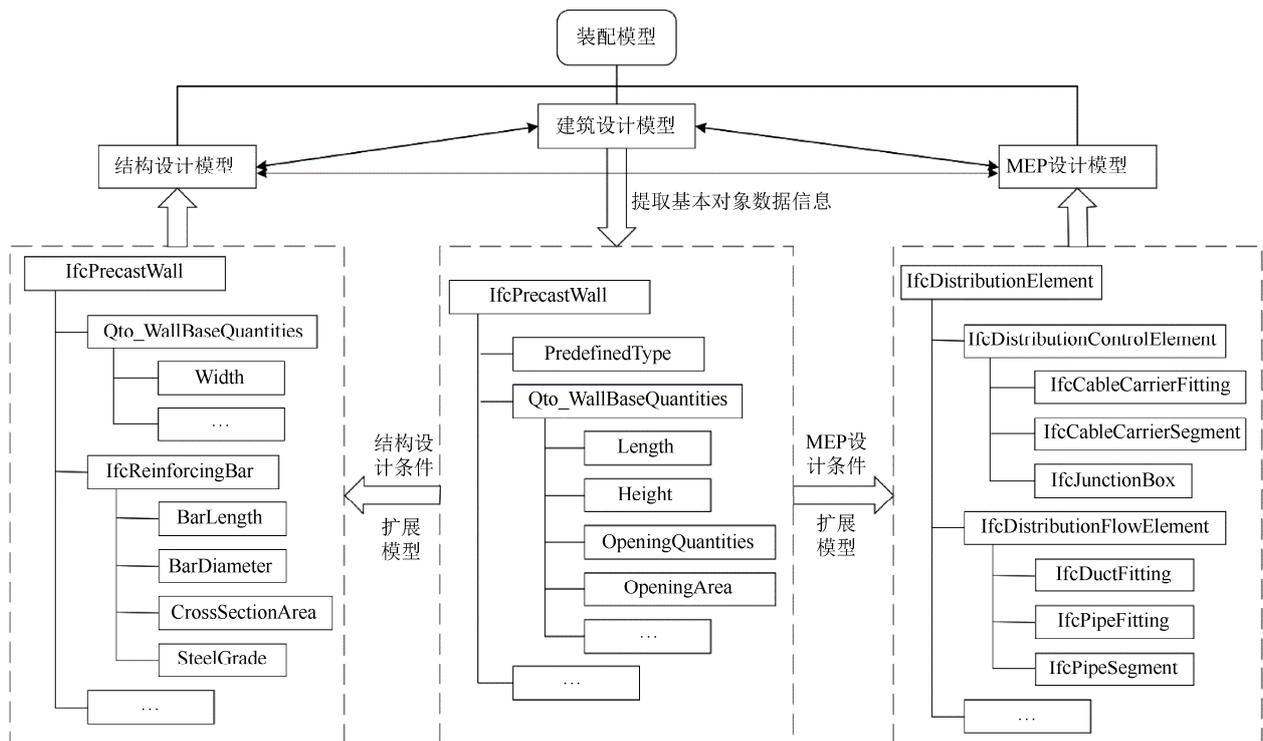


图 9 预制墙构件的 IFC 信息协同

Fig. 9 Information collaboration of precast wall components based on IFC

据既定结构类型与体系,选取结构抗震设防目标、荷载、材料强度、构件截面尺寸,在装配模型中添加预制墙的结构数据信息,如墙体厚度(Width)、钢筋(IfcReinforcingBar)的长度(BarLength)、直径(BarDiameter)、截面(CrossSectionArea)、等级(SteelGrade)等,形成结构设计模型的建立。MEP设计人员则提取墙体的建筑和结构基本参数,根据水暖电系统和设备的选型,确定墙体中预埋电缆、管道等的布置,如电缆托架配件(IfcCableFitting)、电缆托架组件(IfcCableSegment)、接线盒(IfcJunctionBox)、通风管道配件(IfcDuctFitting)、给排水管道配件(IfcPipeFitting)、给排水管道组件(IfcPipeSegment)等,形成MEP设计模型。

3 基于IFC的装配式建筑自上而下协同设计

协同设计是指各单位相互协作、信息共享,实现各个专业和各个环节一体化设计。与现浇混凝土建筑相比,协同设计对于装配式建筑更为重要。装配式建筑的工厂构件生产和现场组装方式决定了设计时对预埋件、预留孔洞等设置的精准性,且国家标准中规定装配式建筑需满足管线分离、同层排水^[17],均体现了相关专业进行协同设计的必要性。

在开展协同设计时,应以建筑设计为主,结构设计为辅,MEP设计配合的模式来进行。如图10所示,基于IFC的装配式建筑自上而下协同设计支持不同的设计单位在同一模型中采用统一标准进行各自的设计部分,横向和纵向分别代表不同的设计阶段和设计专业。

方案设计阶段:此阶段作为协同设计的基础,需要明确BIM模型的质量交付标准、阶段建模精度、统一轴网和标高。首先由建筑专业设计人员按照规划条件和业主要求建立建筑方案模型,以满足建筑的用途、功能和造型需求;然后基于IFC标准提取装配模型基本对象数据信息,并结合结构与MEP等专业设计要求,如确定结构类型、结构体系和构件布局以及供水排水、消防排烟、电气节能方案等,完成结构和MEP方案模型的设计。

初步设计阶段:此阶段任务主要是深化方案阶段的设计内容,对建筑主要平、立、剖面 and 构件大部尺寸、色彩、材料等进行描述,完成荷载、材料强度、截面尺寸等的初步选取并进行结构计算分析,对给排水、采暖通风、配电、消防等系统工艺流程的设计和参数的确定。

施工图设计阶段:为模型的最终设计成果,各专业需进一步细化模型,完成节点做法和构件大样、设备材料清册等。该阶段各专业模型整合应更多地为施工和安装条件考虑,对专业间的碰撞冲突问题进行协商解决,不断完善和优化专业设计。在该阶段可进一步进行构件深化设计并生成构件加工图,指导后续构件生产与施工。

在整个自上而下协同设计中,基于IFC物理文件的装配模型基本对象数据信息和基于IFC数据模型的专业数据库是所有设计阶段模型的核心基础,各专业设计所使用的数据信息是相同的,因此可以共享设计成果。随着模型的细化和调整,各阶段信息不断积累且相互继承,每阶段设计完成后由建筑专业将各专业设计成果进行整合与调整,最终完成BIM设计阶段信息模型。

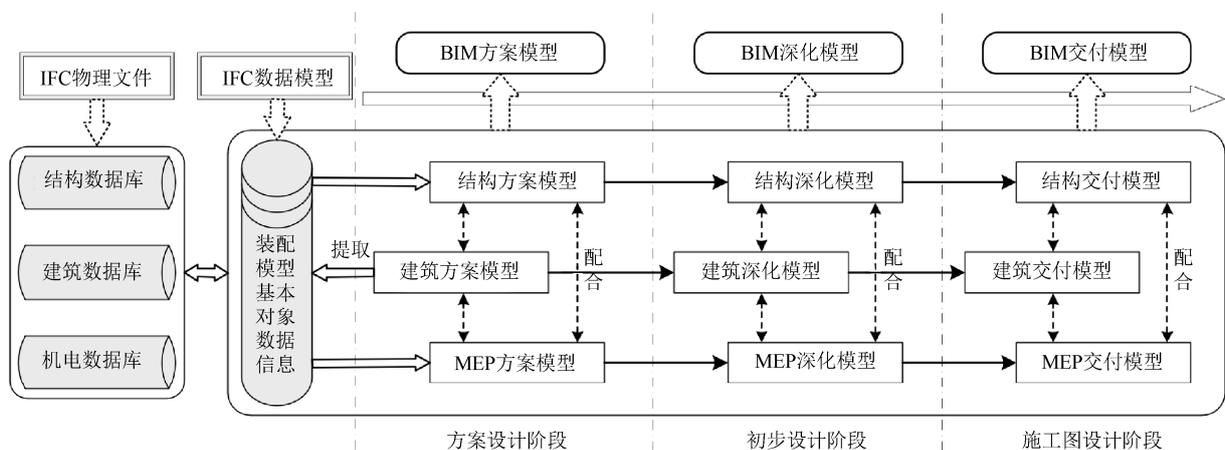


图10 基于IFC的装配式建筑自上而下协同设计框架

Fig. 10 Framework of top-down collaborative design of prefabricated buildings based on IFC

4 实例应用

图 11 为 Revit 平台下某装配式建筑地下一层的装配模型。该装配模型以建筑结构构件为核心, 构件层主要由预制柱、预制剪力墙、预制挡土墙板、预制叠合板、预制楼梯、预制坡道、栏杆、门等构成; 零件层包括钢筋、混凝土主体、预埋件、预埋线盒、连接套筒、木板、把手、锁具、钢管等。

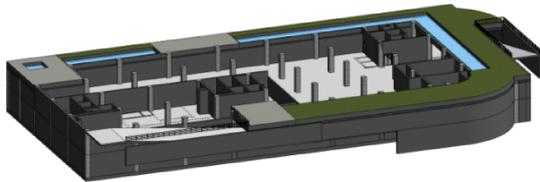


图 11 地下一层装配模型

Fig. 11 Assembly model of underground floor

完成方案设计后, 基于 IFC 标准的数据结构使用算法进行独立构件基本信息提取, 根据选择的构件类型, 从 IFC 物理文件中提取出目标构件, 基于

Windows10/64 bit 平台, 以 Python2.7 作为主语言, 使用 wxPython2.9 进行图形化用户界面设计, 借助 Crypto 进行程序保护形成的“IFC file extraction”软件, 将最终提取后的 IFC 物理文件通过 IFC 的实体扩展和属性集扩展方式, 在 IFC 标准体系中新增装配式建筑楼层实体 (IfcPrefabricatedBuildingStorey) 及与其通过关联实体 (IfcRelContainedInSpatialStructure) 相关联的预制柱、预制墙、预制板、预制楼梯、预制坡道等建筑构件实体 (IfcBuildingElement) 的派生子实体。表 1 列举了部分构件扩展实体和属性、属性集。

在提取出的建筑基本对象数据信息基础上, 进一步对结构和 MEP 专业构件、零件信息进行 IFC 扩展。经过专业内部深化设计和专业之间多次信息提取后的协同调整, 形成结构设计模型和 MEP 设计模型, 如图 12 和图 13 所示, 为 IFCWebServer 打开的装配模型结构和 MEP 专业 IFC 扩展的应用展示。

表 1 装配模型扩展构件实体及相关属性、属性集

Table 1 Entity and related attributes and property sets extension of assembly model components

| 实体名称 | 属性集名称 | 属性名称 |
|------------------|-------------------------------------------|---------------------------------|
| IfcPrecastColumn | Pset_PrecastColumn | EdgeDistanceToFirstAxis, ... |
| | Pset_ReinforcementBarPitchOfPrecastColumn | Description, ... |
| IfcPrecastWall | Pset_PrecastWall | NominalThickness, ... |
| | Pset_ReinforcementBarPitchOfPrecastWall | Reference, ... |
| | Pset_ReservedHoleOfPrecastWall | ReservedHoleShape, ... |
| IfcPrecastSlab | Pset_PrecastSlab | NominalThickness, ... |
| | Pset_ReinforcementBarPitchOfPrecastSlab | LongOutsideTopBarPitch, ... |
| | Pset_ReservedHoleOfPrecastSlab | ReservedHoleShapeArea, ... |
| IfcPrecastRamp | Pset_PrecastRamp | ToppingType, ... |
| | Pset_ReinforcementBarPitchOfPrecastRamp | LongInsideEndTopBarPitch, ... |
| IfcPrecastStair | Pset_PrecastStair | EdgeDistanceToFirstAxis, ... |
| | Pset_ReinforcementBarPitchOfPrecastStair | LongInsideEndLowerBarPitch, ... |



图 12 装配模型结构专业 IFC 扩展的应用

Fig. 12 Application of IFC extension of assembly model in structural

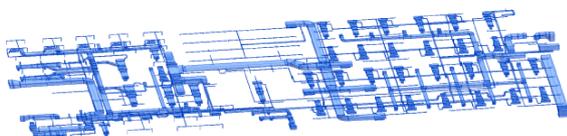


图 13 装配模型 MEP 专业 IFC 扩展的应用

Fig. 13 Application of IFC extension of assembly model in MEP specialty

5 结束语

基于 BIM 技术的自上而下设计是对建筑传统设计模式的一次革新, 受到国家、行业的大力推广。但自上而下设计目前尚处于起步阶段, 在技术和管理层面存在较大阻力。本文针对装配式建筑的自上而下设计描述了装配模型的整体架构和基于 IFC 标准的设计信息协同, 但在设计组织管理和模型自动出图方面仍需细化研究。随着 BIM 技术的研究和应用不断深化, 相信自上而下设计的流程体系和协同管理将会逐步规范, 应用于各类建筑的全生命周期, 解决信息传递效率低下、模型利用不充分等问

题, 实现 BIM 技术的价值最大化, 推动建筑行业在信息化时代中的创新发展。

参考文献 (References)

- [1] 余腾飞. BIM 技术在装配式建筑设计阶段中的应用研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2018.
YU T F. A study on the design of assembly buildings based on BIM technology[D]. Chongqing: Chongqing University, 2018 (in Chinese).
- [2] 黄高松, 焦柯. BIM 正向设计的 ISO 质量管理体系研究[J]. 建材与装饰, 2018(38): 74-75.
HUANG G S, JIAO K. Research on ISO quality management system of BIM forward design[J]. Construction Materials & Decoration, 2018(38): 74-75 (in Chinese).
- [3] 杨新, 焦柯, 鲁恒, 等. 基于 BIM 的建筑正向协同设计平台模式研究[J]. 土木建筑工程信息技术, 2019, 11(4): 28-32.
YANG X, JIAO K, LU H, et al. Research on forward collaborative design platform of buildings based on BIM[J]. Journal of Information Technology in Civil Engineering and Architecture, 2019, 11(4): 28-32 (in Chinese).
- [4] 曾旭东, 周鑫, 张磊. BIM 技术在建筑设计阶段的正向设计应用探索[J]. 西部人居环境学刊, 2019, 34(6): 119-126.
ZENG X D, ZHOU X, ZHANG L. Explorations on the forward design application of BIM technology in architectural design stage[J]. Journal of Human Settlements in West China, 2019, 34(6): 119-126 (in Chinese).
- [5] 孟晓晔, 金新阳, 黄立新. 基于实体单元需求的结构分析视图的扩展与应用[J]. 建筑科学, 2019, 35(1): 108-113.
MENG X Y, JIN X Y, HUANG L X. Extension and application of structural analysis view based on solid elements[J]. Building Science, 2019, 35(1): 108-113 (in Chinese).
- [6] 高秋亚, 高新闻. 基于 IFC 标准的预制构件生产信息模型研究[J]. 图学学报, 2018, 39(3): 538-546.
GAO Q Y, GAO X W. Research on production information model of prefabricated components based on IFC standard[J]. Journal of Graphics, 2018, 39(3): 538-546 (in Chinese).
- [7] 高洋. 装配式建筑构件信息产业链联动方法研究[D]. 北京: 北京建筑大学, 2019.
GAO Y. Research on linkage method of information industry chain in prefabricated building components[D]. Beijing: Beijing University of Civil Engineering and Architecture, 2019 (in Chinese).
- [8] 王勇, 张建平, 李久林. 基于 IFC 的建筑结构施工图设计信息模型描述[J]. 土木建筑工程信息技术, 2014, 6(4): 30-35.
WANG Y, ZHANG J P, LI J L. IFC-based model description for structural working drawing[J]. Journal of Information Technology in Civil Engineering and Architecture, 2014, 6(4): 30-35 (in Chinese).
- [9] 曹建涛. BIM 技术在公路隧道正向设计中的应用研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2019.
CAO J T. Application research of BIM technology in forward design of road tunnel[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2019 (in Chinese).
- [10] 刘云华, 刘巍. 异构装配信息的统一表达方法研究[J]. 计算机工程与科学, 2014, 36(1): 145-149.
LIU Y H, LIU W. Uniform expression of heterogeneous assembly information[J]. Computer Engineering & Science, 2014, 36(1): 145-149 (in Chinese).
- [11] 郭艳. 三维 CAD 模型局部特征重用方法研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2019.
GUO Y. Research on local feature reuse of 3D CAD models[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2019 (in Chinese).
- [12] CHEN X, GAO S M, YANG Y D, et al. Multi-level assembly model for top-down design of mechanical products[J]. Computer-Aided Design, 2012, 44(10): 1033-1048.
- [13] GAO S M, ZHANG S T, CHEN X, et al. A framework for collaborative top-down assembly design[J]. Computers in Industry, 2013, 64(8): 967-983.
- [14] 施平望, 林良帆, 邓雪原. 基于 IFC 标准的建筑构件表达与管理方法研究[J]. 图学学报, 2016, 37(2): 249-256.
SHI P W, LIN L F, DENG X Y. Research on representation and management of IFC-based building components[J]. Journal of Graphics, 2016, 37(2): 249-256 (in Chinese).
- [15] 陈立春, 赖华辉, 邓雪原, 等. IFC 标准领域层实体扩展方法研究[J]. 图学学报, 2015, 36(2): 282-288.
CHEN L C, LAI H H, DENG X Y, et al. Study on the method of expanding entities of domain layer of IFC standard[J]. Journal of Graphics, 2015, 36(2): 282-288 (in Chinese).
- [16] 刘照球, 李云贵, 吕西林, 等. 基于 BIM 建筑结构设计模型集成框架应用开发[J]. 同济大学学报: 自然科学版, 2010, 38(7): 948-953.
LIU Z Q, LI Y G, LV X L, et al. BIM-based integrated information framework for architectural and structural design model[J]. Journal of Tongji University: Natural Science, 2010, 38(7): 948-953 (in Chinese).
- [17] 渠立朋. BIM 技术在装配式建筑设计及施工管理中的应用探索[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2019.
QU L P. Exploration on the application of BIM technology in the management of prefabricated building design and construction[D]. Xuzhou: China University of Mining & Technology, 2019 (in Chinese).