



BIM技术在装配式钢结构住宅建设中的运用

文_罗安仲(广西交通职业技术学院, 讲师、工程师)

彭 来(广西交通职业技术学院, 讲师、工程师, 硕士)

刘 芳(广西交通职业技术学院, 教授、工程师, 硕士)

梁承龙(广西交通职业技术学院, 讲师、工程师, 硕士)

随着国家综合实力不断增强和建筑行业技术的不断创新, 低能耗绿色可持续建筑已成为主流发展趋势。装配式钢结构住宅因其建筑污染少、抗震性能好、装配度高、便于后期操作和维护等优点而获得大力推广。2020年新型冠状病毒疫情暴发期间, 以武汉“火神山”“雷神山”医院为代表的装配式钢结构建筑成功完成了应对严重危机事故的快速施工任务。利用BIM技术建立的具有一定深度的建筑结构信息模型, 可用于结构计算与分析、结构正设计、制造装配式钢结构的深化设计、现场智能施工的基本模型以及施工交付后期的维护、运营和改造。它可以实现建筑虚拟与建筑单元的整合, 创建建筑数字孪生兄弟, 帮助国家建设数字智能城市。研究

BIM技术在装配式钢结构设计阶段的应用同样具有重要意义。BIM是建筑信息模型的缩写，模型的核心是包含所有建筑信息的数据库，相关人员可以通过调整数据库中的信息来调整建筑模型。BIM的3D可视化功能可对模型执行碰撞检查，并根据结果优化和更改模型，降低施工风险和返工率。预制装配式钢结构住宅是指将工厂加工的钢制件和构件运输到施工现场后再进行连接形成的住宅。因此，只有在设计阶段尽可能多地使用标准化尺寸部件，才能实现建筑施工的最大效率。

一、装配式钢结构住宅建筑构件库的建立

基于BIM的装配式钢结构住宅设计应为标准和通用钢构件创建统一的装配式构件库。其创建通常可分为六个步骤：组件分类选择、组件编码、组件生产、验证、存储和数据库管理。如果承重构件是根据常用的制造结构系统分类的，则不需要单独设计主要部件；如果是根据不同的结构系统分类，则主要部件通常不是通用的，需要单独设计。组件分类的整个过程如图1所示。



图1 组件分类

组件库中的组件应具有准确和简短的名称。由于制造结构预制构件的特殊性，UNIFORMAT II的分类系统可作为添加和删除相应构件信息的参考。预制钢筋的选择考虑了跨度、荷载、钢筋种类和其他影响因素，忽略了其他次要因素。预制梁、柱和柱的编码如图2所示。

预制构件的信息创建应基于3D模型添加几何与非几何信息。添加完成后检查员必须逐个检查部件信息，并对部件进行注释说明。在确保每个预制部件注释的唯一性后，才可将组件信息上传到现成的组件库。BIM技术在装配式钢结构规划中的应用表现为实际结构计算模型和BIM模型的转换，转换后的BIM模型解决了传统结构规划中存在的冲突问题，并为类似基于BIM技术的设计方法总结了经验。

二、BIM技术在装配式钢结构住宅建设中的运用

（一）创建BIM结构信息模型

创建BIM模型有两种方法：第一种方法是根据建筑设计方案中的信息创建模型；第二种方法是根据建筑物的二维绘图方案，确定建筑物内部的结构和功能要求（包括柱的位置和距离）并创建模型。

第一种方法需基于统一的BIM设计平台。架构专家在规划阶段提供架构模型，通过软件交互手动创建结构布局。将完成的BIM结构模型通过数据接口导入结构工程软件，在其中简化模型、修改和改进计算，调整BIM结构模型，直至最终交付。这种方法的缺点是目前国内的建筑规划周期很短，在建筑方案设计阶段没有考虑创建

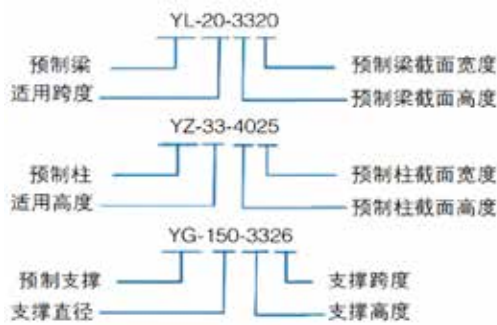


图2 编码情况分析

建筑结构模型。如果以后的建筑设计发生了重大变化，则必须先在BIM结构模型中对其进行修改，再将其导入计算软件，进行计算和修改。虽然可以使用计算结果模型修改Revit结构模型，但由于现有静力学计算软件中数据交互存在缺陷，计算结构模型与Revit模型的耦合变化会更加烦琐，不利于结构方案的选择。

第二种方法是由建筑专业人员提供二维施工平面图、高度图和剖面图，在结构计算软件中逐层创建相应的结构计算模型，然后在计算和分析完成后将其与BIM结构模型链接，最终实现二维或三维递送。其优点是结构计算模型简化后更便于结构分析和结构方案的选择。缺点是结构计算模型是简化后的模型，从Revit软件导出后，有许多部分需要改进，如装配式钢结构下降板、钢筋结、楼梯结等，因此效率不高。但是只要制定了适当的BIM规则 and 标准完善的组件族库，就可以有效避免此方法的缺陷，提高设计效率。两种建模方法的优缺点对比见表1。

表1 建筑信息模型建立的方法优缺点对比

结构建模方法	优点	缺点
将建筑模型转换成结构模型	能够清晰地体会建筑方案的意图；避免结构模型建立中考虑不周的情况。	荷载与边界条件等复杂数据在转换时较为困难。
使用结构分析软件直接建模	模型标高尺寸等较为精准，后期修改量较小，建模速度快；荷载、边界条件与结构受力模型简化方便，提高结构计算分析效率；提前考虑结构节点连接问题，避免后期修改。	导入结构分析软件后模型简化工作量较大；次要结构会加大结构分析软件计算量，降低计算效率；结构模型建立时可能忽略部分建筑细节，模型尺寸标高精度降低；未考虑次要结构，后期模型修正工作量大。

Revit（BIM模型的族库）中的族文件是由单元组成的最基本单元和构件。Revit中的所有图元都是基于单个族定义的，单个族文件具有自己的大小、形状、族类型、属性和名称，可以通过控制参数快速修改族。由于Revit系统自带的族文件无法满足各种项目的要求，因此通常需要通过Revit的自建族功能创建所需的族文件，或调用外部平台的族文件以满足要求。族库的建立和完善主要采用自建族的方式来完成复杂装配式钢结构节点的设计。通过为一些非通用节点建立新族，当类似的项目使用该节点以提高设计效率时，可以扩展并直接调用现有族库。公司通常会建立自己的族库平台或定制特殊的公共族库，以便于族库档案的统一管理和提高效率。对于装配式高层装配式钢结构住宅项目，预制构件与主体结构之间的连接必须由自建族库进行。目前，国内许多软件开发商已经发布了公共族库的插件，如宏华科技的族库大师、光联达组件坞、宏业科技的云家庭360族库、橄榄山族库等免费族库。这些族库的优点是拥有更多的数据资源，整合了所有的社会资源，避免了重复性工作和资源浪费；缺点是缺乏良好的统一管理，缺少相应的搜索引擎，不方便调用。

（二）BIM模型样板文件

Revit样本文件是项目模型文件的规则文件，是用于指定模型中的各种图元、族文件和视图的标准。模型文件有助于文档的标准化和统一，可以显著提高模型构建和协同设计的效率。在积极设计的过程中，各专业可以使用统一、协调设置的模型文件，也可以根据各专业的需要使用模型文件。正向设计中的模型文件通常包含设计公司自己的框架和标签、与CAD图层相同的线型设置、各种所需视图、网格高度、族文件等。

高层装配式钢结构住宅的BIM建筑模型通常是分层构建的，而BIM结构模型通常使用便于转换和适应的结构计算模型来构建。不同专业的设计方法不同，BIM结构模型的构建应取决于建筑模型，以确保建筑效果。由于房屋类型的一致性，高层装配式钢结构住宅项目具有标准楼层的概念，即每层结构设备的布局基本相同，只

有细微的变化，因此住宅项目的模型通常分为标准楼层和详细模型。BIM建筑模型的构建主要分为以下步骤：

（1）创建模板文件；（2）控制模块文件；（3）更改与默认层不同的每个层的位置；（4）复制监控结构钢柱支撑的位置，调整建筑布局；（5）填写模型摘要。

BIM结构模型的构建主要分为以下步骤：（1）模板文件的设置；（2）控制模块文件；（3）根据建筑物的特点，对结构的计算模型进行分层转换；（4）根据建筑布局调整模型中结构构件的位置；（5）补充计算模型中缺少的组件，例如建筑楼梯；（6）填写模型摘要。

构建BIM结构建筑模型关键节点族文件的步骤如下所示。

（1）楼梯节点：预制混凝土楼梯具有三个优点。一是形状质量易于控制，预制楼梯在工厂制造，形状统一。钢筋易于绑扎，不易出错。二是现场施工简单，施工现场以干作业为主，湿作业较少，无须模板施工和钢筋胶带，吊装方便。三是预制楼梯与主体结构的分离减少了预制楼梯对整体结构的刚度影响，现场安装速度快，安装后即可使用，方便施工。目前，传统做法是在预制混凝土楼梯两端预留安装孔，将钢梯梁顶部的螺栓焊接到安装孔中，并在钢梁上翼缘放置聚四氟乙烯板，以减少预制楼梯与主体结构之间的摩擦面。这样，孔和螺栓直接形成的空腔在密封时满足建筑标准要求后，可减少预制楼梯水平振动对整体结构的影响。这种类型的预制混凝土楼梯一端有铰接支撑，另一端有滑动支撑，以避免弯曲力矩对支撑处整体结构的不利影响。BIM信息模型中的3D显示可以更直观地增加施工人员对该节点的理解。

（2）梁柱节点：钢梁与钢柱之间的连接根据钢梁对钢柱的受力刚度（转动刚度）大致可分为三类：铰接节点、半刚性节点和刚性节点。在高层装配式钢结构建筑中，钢梁与钢柱之间的连接一般采用刚性连接设计。采用相同强度的连接，除了可在梁端传递剪力外，这种连接还可以传递梁端部的弯矩，并保持连接构件的连续性。刚性连接通常采用螺纹连接和焊接。

（3）外墙板节点：外墙板是一种非承重墙板，它使用特殊的连接件与主装配式钢结构连接。外墙系统与主体结构系统之间的连接形式可以是嵌入式、外置式或组合式，连接时应设置分层悬挂或支撑。本工程外墙板采用的是安徽富煌装配式钢结构公司开发的“下承上拉”连接节点，通过顶部悬挂和底部支撑以达到与主体结构的稳固连接。

（4）地面相关节点：住宅楼板支撑板由于其施工方便且不需要承重元件的优点而被广泛使用。在装配式钢结构建筑中，住宅楼组合楼板与钢框架的连接通常以楼板四边的钢筋为节点。组合楼板与钢梁之间的连接则是通过在钢梁上部打入螺栓后浇筑混凝土来实现。在组合楼板与钢柱的连接处，必须将角钢焊接在组合楼板的钢材下或与相邻钢梁上的角钢连接，形成45°三角形支撑。

（三）BIM模型数据转换和优化

Revit建筑模型和结构分析模型目前以两种方式进行转换：一种是创建IFC标准文件，并将IFC文件用作数据传输的桥梁；另一种是基于Revit二次开发的插件，可将模型文件转换为所需的格式文件。基于Revit API的二次开发插件可以有效解决指定软件格式的数据交互问题，在特定操作环境下开发的Revit插件将更有利于指定模块的操作，如数据传输插件、装配式钢结构插件、用于安装施工的插件和用于道路和桥梁设计的插件等。如今，工程师已经针对Revit和结构分析软件之间的接口开发了许多复杂的插件，如PKPM-BIM、Yjk for Revit、3D3S和TSRevit。本文以阜阳某高层住宅工程为例，采用两种方法将结构计算模型转化为结构信息模型。第一种方法是将PKPM计算文件和YJK计算文件数据转换为Revit；第二种方法是使用PKPM BIM平台将PKPM计算模型导入PKPM-PS和PKPM DetailWork软件。经过测试，发现PKPM的深化软件存在一些不可避免的信息错误。数据加载完成后，将建立Revit与静态计算分析软件之间的通道，并在比较截面后获得相应的Revit模型。表2显示了不

同软件转换前后的BIM结构模型单元数统计结果。

表2 统计结果

软件名称	梁数目	柱数目	支撑数目
PKPM	3062	966	220
YJK	3052	966	220
YJK FOR REVIT	3001	966	220
TSRevit	2085	966	220

通过对转换前后BIM结构模型组件数量和转换前后BIS结构模型组件数量的统计分析可以确定垂直组件（如立柱和垂直立柱）的数据在交互过程中没有丢失。比较发现，在导入钢梁等水平钢筋的过程中，BIM装配式钢结构软件会将一些主梁或次梁与次梁切割成一个完整的钢梁，钢梁数量因此减少，但在结构分析和计算软件中，由于节点断裂问题，杆的数量会有所增加。因数据交互过程中信息丢失的原因相对复杂，本文在此不做详细讨论。

BIM模型钢节点数据转换是装配式钢结构建筑中最复杂的部分。结构计算与分析软件PKPM和YJK均包含装配式钢结构图节点计算模块，这些模块通过读取主框架结构的计算结果，生成整个建筑的三维节点和二维节点结构图。因目前国内开发的插件没有完善的数据转换功能，故将装配式钢结构节点导入BIM结构模型有两种方式：（1）使用数据转换接口，通过空间坐标定位等方法，与用于Revit和PKPM-PS软件的Yjk类似。（2）使用数据转换接口将荷载和计算结果导入原始结构计算模型到BIM结构模型中，与Explorer Steel Structure BIM插件TSRevit-T3PT类似。示例工程采用了这种方法，使用的软件为Yjk for Revit2020、TSRevit for 2020-T3PT和PKPM-BIM2.3。

值得注意的是，通过Yjk for Revit 2020导入的装配式钢结构节点仅保留次梁的铰接连接，钢柱与主梁之间的连接节点严重丢失。但是，TSRevit重新计算生成的装配式钢结构节点正好相反：只生成了钢柱和主钢梁之间的连接节点，次梁的铰接连接丢失。如果要获取所有钢梁节点，则需要将这两个节点生成的模型节点组合起来。

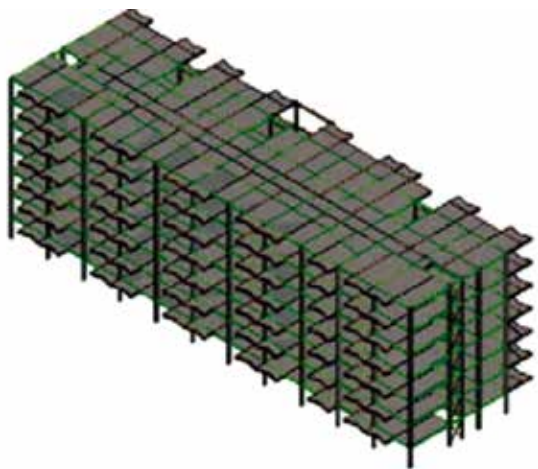


图3 拟设计住宅楼的整体BIM模型

从图3分析转换后的BIM模型中可以看出,为满足当前项目的需求,该模型需要进行相应调整。(1)调整格栅并确定其尺寸。结构计算软件中的结构计算单元和分析模型单元位于同一轴上,因此轴的数量大且无序,需按照国家设计标准重新编号,保留主轴并标记网格,让每个阶段的此类模型可以在相同的标准尺寸下共同设计,这有利于改进后期设计。(2)级别更改。住宅楼承板短跨两端置于结构钢梁顶部,住宅楼底部支撑板的大跨度方向末端通过螺栓与钢梁抗剪。因此,钢梁顶部高度应等于建筑高度减去施工实践和楼板厚度之和。经过比较,在未处理楼层高度之前,钢梁和混凝土楼板处于同一高度,这与实际情况不符。处理后的地板应放置在钢梁的上翼缘上。(3)调整组件连接。为了避免前文提到的组件连接的交叉布线问题,应调整连接位置。

装配式钢结构建筑与高层混凝土住宅相比,节点类型很多,而节点是完成高层装配式钢结构住宅的关键因素,涉及住宅防水、防火、隔热和隔音等方面。如果处理不当,可能会出现冷桥效应导致墙板开裂,发生安全事故。一般来说,结构专业人员在设计装配式钢结构建筑时会汇集大量相同类型的节点,以降低设计难度和经济成本,这种设计方式最容易在主体结构和墙板之间的连接节点及外墙板之间的连接节点出现问题。由于构件连接精度不足,连接质量低,在施工过程中会出现墙体开裂、墙板缝隙和渗漏量过大的现象,削弱了建筑的防水性能和保温效果。BIM技术的应用可以有效地避免上述问题,基于BIM模型的可视化功能,设计人员可以模拟这些问题进行并提前进行纠正。在此基础上,运用虚拟装配技术调整和控制组件连接方式,确定偏差范围,以确保其功能在实际施工中不会受到损害。施工结束后,BIM信息管理系统可将现场完工情况传输至BIM质量管理体系,使监理和规划师能够审查其设计和施工效果,为项目施工质量提供有效保障,如图4所示。



图4 预制构件信息联系

三、结语

随着时代的进步,传统的建筑技术施工方法已不能满足当今的需要。装配式钢结构建筑已成为建筑产业的主力军。BIM技术可以通过建立建筑信息模型来优化装配式钢结构建筑的设计、施工、管理、运行和维护等环节。本文总结了BIM技术在现阶段高层装配式钢结构住宅结构设计和应用中的研究成果。依托某安置小区装配式钢结构高层住宅实际项目,校核体系的实用性和安全性,研究BIM技术在高层装配式钢结构住宅结构设计阶段的应用价值。C