

结构专业 BIM 三维正向设计探索与实践

高绪聪

同济大学建筑设计研究院（集团）有限公司

摘要：本文简要阐述了 BIM 三维正向设计的含义及发展现状，结合某商业综合体项目工程实例，介绍了采用正向设计模式在项目启动前的准备工作，以及正向设计中结构专业的工作流程和注意事项，分析结构专业采用正向设计的优势与特点，并就三维出图的工作效率及出图率现状进行分析，文末对正向设计全面推广普及提出建议。

关键词：BIM，三维正向设计；结构设计；三维出图

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.03.063

一、国内 BIM 正向设计发展环境与现状

BIM技术引入国内已十年有余，无论是国家政策导向还是行业发展推动，都使得BIM技术的应用深度和广度有了显著提升。近几年，一些大型设计院已开始探索在项目中采用BIM三维正向设计。

之所以强调“正向”，是因为现阶段，设计院大量运用的还是传统的BIM应用项，即通过“逆向”建模，进行管线综合和净高优化，发现二维图纸上的错漏碰缺，从而达到提升图纸质量、减少施工现场拆改的效果。但是显然，这样的BIM应用并非建筑设计过程中的核心要素。

正向设计则强调的是，在三维模型的基础上直接完成本专业设计任务和专业间设计协调，保证图纸模型一致性，并使设计人员角色统一，设计节奏更顺畅，真正意义上完成从二维到三维的转变，实现设计手段质的飞跃。同时，三维设计也符合全面打造智慧城市的政策导向，顺应行业数字化转型的大趋势^[1]。

本文以民用建筑设计中应用范围最广的BIM软件Autodesk Revit，计算软件盈建科YJK为平台展开讨论。

二、项目概况及设计难点

本工程为乌鲁木齐市某商业综合体项目（图1），建筑功能为商业、商务、住宅和地下车库（以下依次），建筑面积15万m²，房屋高度：15m/171m/99m/10.2m，结构类型：框架/框-筒/剪力墙/框剪，结构安全等级一级，抗震设防类别：乙类（商业）/丙类（其他），抗震设防烈度8度0.2g，地震分组第二组，II类场地。场地南侧30m处有一晚更新世地震断裂带，按抗震不利地段地震作用放大1.1倍。

本项目由于地处高烈度区、受地震断裂带影响、平面体型不规整（超高层和裙房）、业态多样化等综合影响，导致结构构件尺寸无法做到很小，如何在保证结构安全性的前提下，借助三维设计的先天优势，高品质地

完成专业间协同、净高控制、与幕墙单位和钢构厂家实现一体化配合设计，都是本项目需要挑战的。

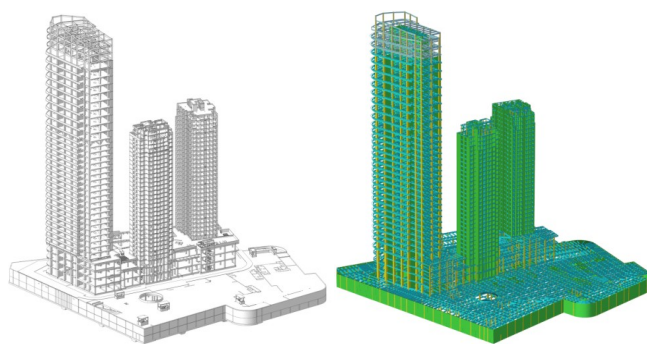


图1 某商业综合体项目 BIM 模型及计算模型

三、正向设计流程与方法

（一）设计准备

正向设计项目需安排一名BIM项目经理，一般可由BIM经验丰富的设计经理或建筑师兼任，对整个项目的三维工作标准进行约束和管理。在项目启动前需编制好本项目的BIM执行计划书，编制包括但不限于BIM应用目标、软硬件配置、团队架构、专业代码管理、命名规则、模型拆分原则、模型发布策略等，同时搭建好适用于三维设计的文件储存架构。确定好轴网、项目基点、链接方式后，各参与专业可基于revit共同开展设计工作。

结构专业同理，选定担任BIM结构负责人角色的人员，完成结构专业内部模型组织与管理，包括但不限于创建本专业项目样板文件，进行浏览器架构、工作集、族库、参数、填充样式、过滤器、构件命名、字体等建模规则管理，并在项目开展过程中监督应用情况。同时，需根据行业制图标准及所在设计院绘图习惯，设定工作视图样板、提资视图样板和出图视图样板，规定软件设置要求（如线型、线宽、标记、标注样式、模型剪切原则等），形成三维制图标准，供本专业设计人员执行。

（二）结构专业 BIM 正向设计流程

根据本项目特点，结构专业BIM正向设计流程大致分为以下几个步骤：

（1）建筑与设备荷载提资——其中建筑专业提资为其工作使用的Revit模型存放路径，并辅以相对固化的提资形式备查，如导出CAD或Naviswork；

（2）YJK建模计算——与传统二维设计类似；

（3）Revit模型准备——创建轴网、标高、项目基点、工作集，链接建筑、水、暖、电、场地等专业

Revit模型；

(4) YJK导入Revit——将计算模型中的构件及计算结果导入Revit，确认导入标高及坐标，本步骤可借助市面上成熟的插件或YJK自带接口；

(5) Revit构件精修——①由于YJK等计算软件节点定位会在CAD或Revit中呈现细微偏差，需特别核对Revit中竖向构件与轴网的位置关系，消除碎数；②同时，链接建筑模型完成竖向构件、梁偏位、升降板调整；③链接建筑和机电模型完成预留开洞；

(6) Revit中搭建计算模型不需要考虑的次要构件；

(7) 结构专业内部三维核查——在三维视图中链接地上地下模型，检查竖向构件及井道对位，链接临近单体模型利用三维体块梳理抗震缝两侧构件位置；

(8) 反资建筑及设备专业——反资形式同(1)；

(9) 配合机电专业——机电专业链接结构专业模型，完成管线综合和净高分析，结构专业配合调整构件截面及定位调整，如需重新计算，可重复执行步骤(4)；

(10) 全专业合模拍图；

(11) 基于三维模型，完成出图工作。

(12) 模型及图纸校审及修改；

(三) 结构计算软件与BIM设计软件的信息交互

结构设计中，很重要的一项工作是借助计算软件完成结构计算。然而长期以来，计算软件信息和BIM软件信息是相互独立存在的，即结构工程师需在计算软件和BIM软件中分别建模，然后再处理图面，加之结构又是下游专业，收到提资后剩余的时间本就不多，使得原本就繁重的结构设计工作变得更加艰巨，因此，结构专业是最抗拒且最难以适应三维正向设计的专业。

近几年，随着正向设计理念的推广，国内相关软件商也加快了开发配套插件接口的脚步，目前已可实现计算结果与BIM软件双向互通信息，传递的内容包括构件几何信息、定位信息、计算结果、配筋信息等。但在实战过程中，仅由计算软件单向向BIM软件传递信息更可靠且符合设计习惯。

在设计反复修改的过程中，相关插件接口还可以实现增量更新的功能，通过自主选择或自动识别需更新的内容，在设定范围内，相近相似的构件可被认知并关联，确保信息传递的精准性。结构计算软件与BIM软件信息交互的便捷实现，大大提高了结构工程师使用BIM正向设计的意愿和工作效率。

(四) 全专业协同配合

三维正向设计最大的优势之一是可以全专业模型相互链接实时更新，设计协调和合模拍图更直接、更高效^[2]，对于净高控制、碰撞检查，缺漏表达、空间梳理等具有明显优势。本项目商业裙房部分对净高要求极高，结构专业由于构造需要还增加了梁加腋、柱帽，建立对应部分模型不仅是结构图纸表达需求，还为机电管线给出空间避让警示。

项目中建筑、结构、幕墙深化三个团队根据整合的模型，一道道剖切，逐步理清幕墙与主体结构的关系，确定预埋件定位，对于有凹凸收进、异形曲面的复杂幕墙是强大的设计质量保障。同理，在升降板区域、楼梯、坡道、夹层等易出错、易缺漏的部位，可以通过三维模型可视化的特点，让全专业参与人员都对设计空间有更明晰的认识，在设计阶段就避免掉大部分设计错误(图2)。



图2 扶梯空间设计协调

传统二维时代，专业间设计提资是相对固定的、固化的，结构专业在接到建筑机电提资后，可以“关起门”工作，仅在有问题时讨论协调即可。但由于三维正向设计各专业都是实时更新模型工作的，即使其他专业提资完成后，仍可以通过重载模型获取其他专业最新设计信息，这一点确实给结构专业工作带来了一定的困惑：如果视而不见，这不符合结构设计师的责任感与职业素养，但如果跟随其他专业继续修改，工作时长将大幅提高。因此，三维设计的作业模式下，需要在时间进度上提前规划，控制好提资内容和提资深度，并且在多方案讨论过程中、或者不确定因素较大时，善于运用“不可见工作集”或“设计选项”等功能进行管理，减少对其他专业不必要的困扰。

(五) 精细化设计

本项目在裙房大悬挑部分和超高层中均设计了型钢混凝土构件，其梁柱节点部分的钢筋排布通常需要予以特别关注。三维设计中，可以选择典型节点和特殊复杂节点进行实体钢筋建模排布(图3)，选择合适的连接方式确保钢筋避让，后期亦可载入钢结构深化厂家钢骨模型，二次验证施工可操作性。

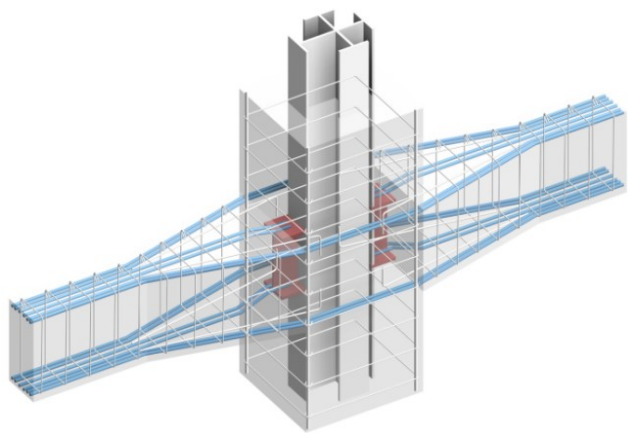


图3 钢骨节点钢筋排布

一般情况下,当地下室集水井、电梯基坑、筏板厚度变化等多种情况交织在一起时,很多结构设计师仅表达平面布置、提供典型详图,并未想清楚放坡的几何关系,丢给现场处理了事。在三维设计时,可以调取相应的族,软件自动相互剪切,通过剖切可以快速得到节点详图轮廓。

四、BIM 三维正向设计出图

(一) 三维正向设计出图特点

BIM的本质理念是将所有信息要素装进三维模型中,当达到这个终极目标时,则不再需要绘制二维图纸,直接将三维模型传递至施工单位,依据模型施工即可。但由于二维图纸仍是现阶段工程建设中具有法律效力的主要成果文件之一,故仍需在设计模型的基础上通过剖切得到结构专业需要的平面图、剖面图、详图等。正向设计图纸具有以下两大特点:

(1) 图模一致。三维正向设计时,模型与图面具有关联性和一致性,即修改模型时图面表达同步自动修改,最大程度上的保证图模一致。(2) 复杂空间表达。对具有特殊空间造型或异形表皮的项目,结构专业需要配合实现建筑方案的设计意图,此时,三维设计可以大大发挥自身优势,完成结构构件的精确找形和定位,还可借助三维轴侧视图直观表达结构设计内容。

(二) 出图效率

CAD制图已普及多年,配套工具型插件(软件)也被广泛采用,各个设计团队也会总结出一套成熟的绘图技巧,将绘图效率发挥到极致,所以,工作效率慢也是三维设计一直难以大规模推广的原因之一。前文提到的计算软件导BIM软件的配套插件接口,大多可同时提供基于BIM的绘图解决方案。比如,当绘制混凝土结构中梁平面图时,选择梁平面出图视图样板,软件可根据已读取的计算结果自动配出一版符合平法表示的梁图,此时,梁平法标签包括集中标注和原位标注均已放置到图面中相应的位置并关联至相关构件,设计师只需要根据自己的配筋习惯调整配筋数值,或少量调整标签族即可,相比手动赋予每根梁配筋信息后再逐一放置标签,效率大大提升。

另外,可以通过熟练运用视图样板、工作集、过滤器来统一图面效果和成图效率。还可以通过巧用明细表、图例功能来整理图纸目录、桩表、钢结构构件表、图面说明、层高表等,联动的“活”信息也有助于提高设计正确率。除了配合使用软件商提供的插件,本项目还采用了团队自主研发的基于Revit的三维辅助设计工具集(插件),该工具集解决了工作中遇到的碎而繁的近百种特殊诉求,提供包括批量载入共享参数、批量载入族、参数检查工具、剖面生成三维视图、工作集传递、批量图纸签章等小功能。

大约五年前笔者首次参与的三维正向设计项目,结构专业投入的精力和时间约为同类型项目采用CAD二维设计的1.5倍左右。通过几年来的不断努力,多措并举,现阶段熟练掌握三维软件的结构工程师已可以做到仅用1~1.1倍于二维设计的工作时长即可完成相同工作内容。

(三) 出图率分析

目前从技术难度上讲,结构专业已可以做到100%全三维设计软件出图,但不可否认,部分类型图纸由Revit绘制效率偏低。结合以往经验,本项目采用Revit绘制的图纸有:图纸目录、基础图、梁图、板图、墙柱平面图、楼梯坡道图、荷载图、混凝土节点详图(含墙剖);采用CAD绘制的图纸有:总说明、钢结构节点详图、柱配筋详图、剪力墙详图;三维出图率约为78%。不适用于三维软件出图的主要原因在于:前两者已有大量CAD资料积累,后两者的CAD配套插件功能成熟度远高于Revit,且Revit软件本身处理二维信息的流畅感也偏弱,但随着时间推移,这些问题都会被一一解决。

五、总结与思考

本文基于某工程项目全面讲述了结构专业BIM三维正向设计过程,并分析了其优势特性,BIM正向设计技术已逐步展现出其卓越的应用价值,真正实现了设计模式从二维向三维的转变。但该技术距离大规模推广普及还有一段艰巨的路要走,主要需在以下几个方面发力:

(1) 相关软件功能和性能需持续提升,设计团队不断完善自身三维设计的经验积累和知识管理,提高作业效率;(2) 通过培训、项目实战和政策导向,完成设计、校审、管理人员的梯队建设,补齐三维设计人才数量缺口;(3) 逐步建立起一套适用于三维设计的政府报批、审查、交付、存档的制度体系。期待并相信BIM三维正向设计定会成为未来的主流设计模式,助力建筑行业数字化转型。

参考文献

[1] 陶桂林, 马文玉, 唐克强, 杜奕呈. BIM正向设计存在的问题和思考[J]. 图学学报. 2020, 41(4), 612-623.

[2] 常婷, 韩巍, 于东晖, 王鑫鑫. 国家会议中心二期项目全专业协同BIM设计中结构专业探索研究与应用总结[J]. 建筑结构. 2021, 51(19), 116-120.