



基于BIM的全过程智能建造 技术研发及综合应用

——以北京城市副中心剧院项目为例

■ 北京建工集团有限责任公司

核心看点:剧院建筑是国际公认的高难度公共建筑,具有声学标准高、楼中楼结构复杂、舞台工艺与建筑、机电综合深化难度大等典型特点。为保障项目完美品质交付,北京城市副中心剧院项目在设计阶段、施工阶段、运维阶段开展了基于BIM全过程智能建造技术研发与应用。通过声学软件、三维激光扫描、参数化编程等智能手段辅助剧院工程声学施工;利用自动套料、虚拟预拼装、信息化管理平台等辅助钢结构全过程施工;利用参数化设计及自主研发的MES制造执行系统,辅助拧扭铝折板幕墙全流程系统化型材加工;对60多个机电电子系统和综合支吊架提前完成深化设计及正向出图,辅助现场机电安装;通过数模分离的方式完成数字化交付。



项目概况

北京城市副中心剧院项目位于北京市通州区大运河畔,建筑面积12.5万平方米,由3座单体组成,分别是位于中央的歌剧院和两侧的戏剧院、音乐厅,是副中心战略中的重要民生工程、百年地标性建筑、世界级超一流剧场。

项目团队以推进自主可控BIM在工程全生命周期的全面应用为宗旨,健全“数字住建”标准体系,满足建设副中心及数字城市要求,制定了各阶段BIM应用目标,并基于应用目标开展全专业、全要素、全过程BIM+智能建造应用。

项目参建方多、数字化交付要求高,为了确保各方的BIM成果质量统一,项目结合实际重难点,根据ISO19650的BEP编制流程理念,开展BIM执行计划书的编制和落实工作,最终实现“图纸、模型、实体”一致的全面数字交付。

全过程BIM+智能建造应用

剧院工程声学实施要求高

方案设计选型考虑声学分析

项目声学要求极高,不同的结构设计方案对建筑走廊、房间的设置均有影响,均会对声学效果造成影响。

项目团队采用SOFISTIik进行结构初步方案设计,通过OBJ实时同步Oden声学软件,将结构选型、建筑布局的与声学影响综合考虑。通过方案模型与声学软件的数据交互和模拟,确保设计方案符合声学要求。

激光扫描辅助声线折射复核与装饰设计调整纠偏

项目各演艺厅空间对于噪声控制严格,土建施工精确度对声学效果影响极大,结构施工偏差会造成声学反射偏差,影响部分座位的视听效果。

项目团队利用激光扫描捕获实际结构施工成果,并更新BIM模型。模型通过OBJ格式导入声学模拟软件,辅助声学顾问根据实际施工成果的声学折射模拟、调整和优化声学设计。

通过激光扫描复核实际结构对声学折射效果进行重新模拟验证,并基于点云模型调整精装修尺寸,以满足声学折射要求。

参数化编程辅助房间声学合规性检查

剧院工程特殊功能房间多对声学要求高,对机电管线路由有专项要求。所有房间和机电系统添加声学参数,通过Dynamo录入项目声学要求,在管线综合过程中,自动判断管线路由是否符合各房间声学效果。深化设计过程中,对设计成果的声学合规性进行动态判断,确保剧院各特殊功能房间的声学要求。

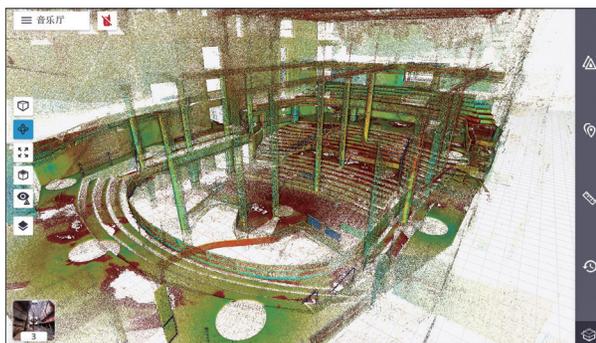
钢结构工程的施工难度大

设计和深化设计阶段钢结构BIM应用

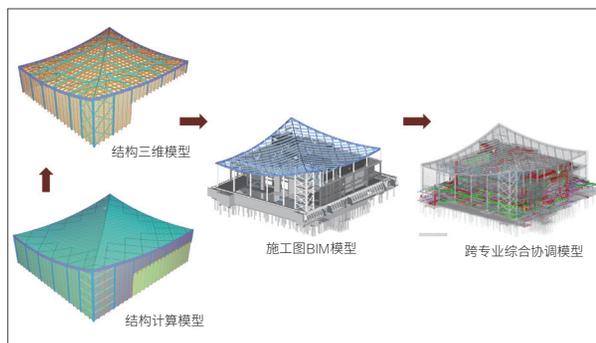
设计和深化设计阶段建立钢结构模型,并开展跨专业设计综合协调。通过SOFISTIik插件将初设模型导入Revit,建立LOD300施工图BIM模型,后期基于施工图BIM模型开展深化设计。SOFISTIik导入Revit减少建模工作量,深化设计节约用钢量650吨。

辅助施工方案部署和工况模拟

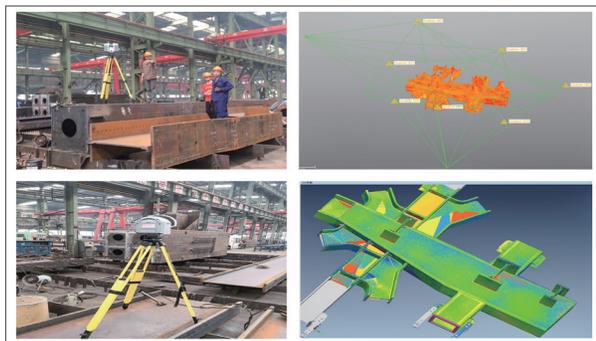
由于项目钢结构安装施工工况复杂,科学合理选择施工方案难度大,如何保证屋盖安装、卸载后的最终状态达到设计要求,做到屋盖结构的精细化控制,是该工程的重中之重。



激光扫描点云模型



钢结构深化流程图

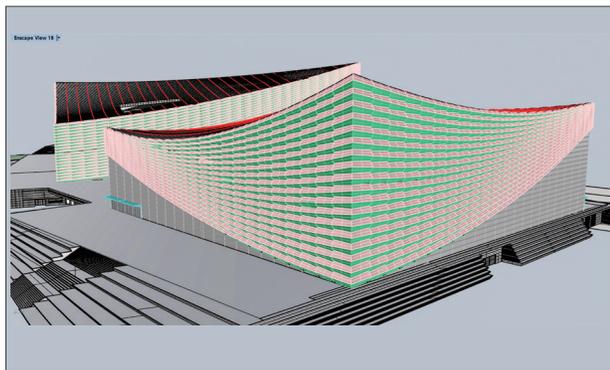


钢结构虚拟预拼装技术

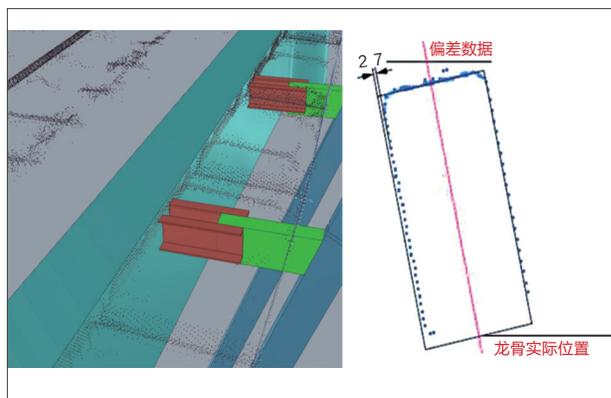
「创新杯」BIM应用大赛成果巡礼



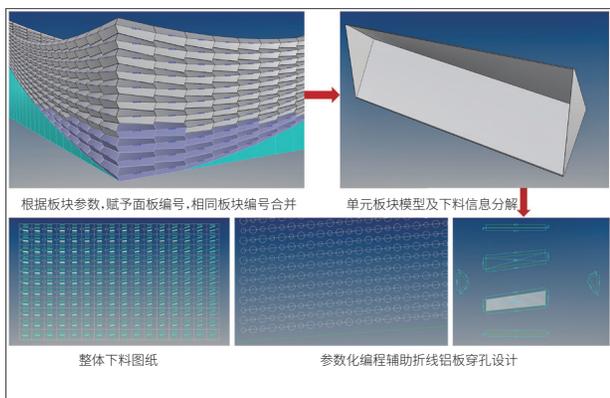
为构件赋予 ID



整体幕墙深化模型



激光扫描辅助龙骨、预埋件位置复核



BIM 模型参数化编程辅助排版和下料

自动套料、虚拟预拼装应用、钢结构全生命周期信息化管理平台

基于Tekla模型,采用Sinocam自动套料系统,自动生成套料版面,做到100%的数控切割率,材料利用率达到87.7%。在钢构件加工完成后,通过激光扫描还原加工构件,并通过不同构件的扫描成果进行虚拟预拼装。

基于RFID技术的钢结构物料管理

基于分段分节的深化设计模型,对每个构件赋予ID。利用RFID技术对构件的下料、运输、安装进行全过程追踪管理。通过无线射频识别,实时更新材料精确位置,优化排版取料顺序,减少材料浪费,现场基于条形码快速获取安装位置,加快施工进度。

异形曲面金属屋面和立面曲折线铝装饰板加工难度大

外立面包含折叠铝板幕墙系统,加工难度大,板块不可替代,项目穿孔三角铝板幕墙无国内外参照先例,微拧扭板块尺寸各异,要求空间定位精准。金属屋面为双曲面造型,每一个单元板块尺寸均不一致。

为了解决折叠铝板幕墙系统施工精确度要求极高、

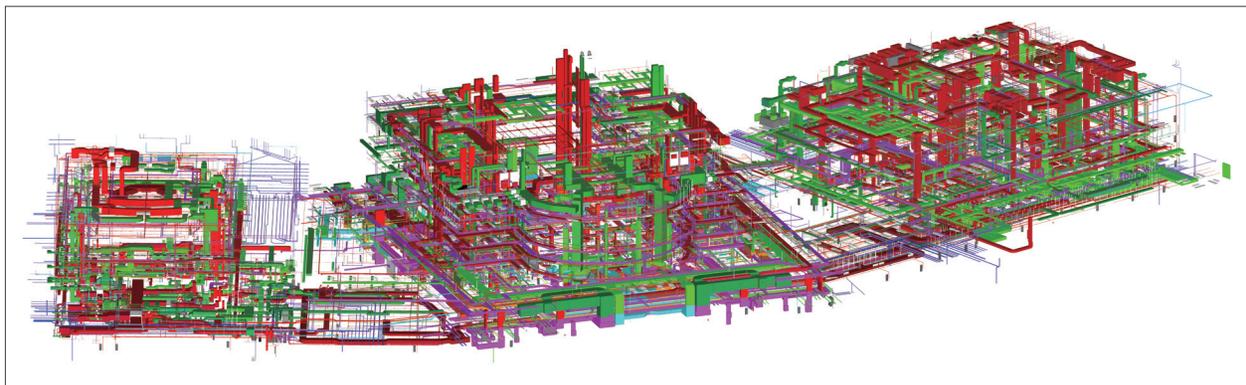
板块具有不可替代性、细微的加工和安装偏差造成的误差累积会造成后续板块无法安装的情况,对预埋件位置和板块的匹配度要求极高的施工难题,项目团队通过激光扫描对幕墙龙骨、预埋件进行复核,并作为折叠铝板单元板块的深化设计的依据。

基于预埋件实际点云模型的折叠铝板深化,保障了深化和加工的精确度,避免了因安装误差累积造成后续板块无法安装情况的发生。

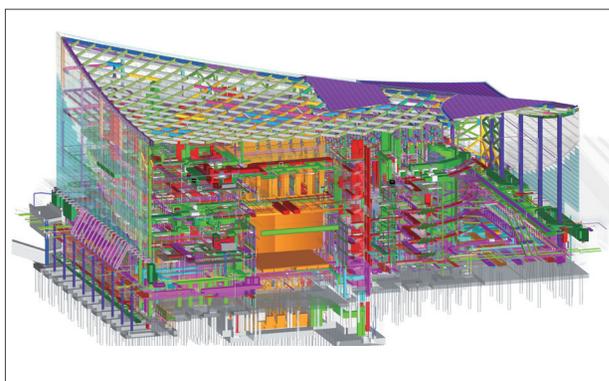
在激光点云模型基础上,项目采用Rhino与Grasshopper进行参数化设计,在控制整体造型的基础上,按照设计要求对金属屋面、外立面进行分割,并根据节点要求进一步深化面板(分类、扣除胶缝等)。

通过深化设计模型快速生成金属屋面、幕墙单元加工三视图,并提取点位导出CAD加工图纸和料单,辅助下料和加工,其中穿孔折叠铝板采用参数化编程进行下料深化。

项目在国内首次采用NC代码参数化编写双头锯可识别的加工数据文件,加工数据对接软件,按顺序发送切割数据并自动定位到切割锯的锯头。切割完成后,对接软件发送该加工件标签信息到打印机,打印出加工件标签信息。



剧院项目机电系统



歌剧院部分多专业综合模型



信息录入表单

通过编码与模型关联

信息录入表单和模型信息关联

机电专业系统多,管线综合复杂,现场施工难度大

该项目机电系统极其复杂,机电系统多达60多个,局部管线多达10多层,且项目对标世界级一流剧院标准规划设计,声学对管线综合提出了更高要求。机电深化涉及舞台机械、声学、消声降噪等多个专业,需要考虑的接口多,深化后需考虑声学专业影响,结合声学要求对深化进行调整和优化。

同时,该项目体量较大,机电分包、系统单位、涉及交叉工具的专业分包众多,协调难度大,如何保证机电施工有序进行是重点。

在设计阶段以净高控制为主要原则的管综基础上,项目在施工阶段的机电管线排布主要考虑综合支吊架的使用、管线保温层的影响、检修空间的预留、管线安装便利性、按照精装要求进一步优化净高、精装末端要求等因素的影响。

剧院声学专业要求部分房间通过管线的噪声值不应超过房间允许限值,超过限值的管线需重新调整路由方案。

在管综过程中,需综合考虑机电减震、避震等措施对管线空间的影响,如隔震支吊架减震器、隔声包裹等要求。

在深化设计过程中,项目要求舞台机械、灯光、音箱等专业定期提交BIM模型,开展多专业综合协调工作,避免跨专业碰撞,同时利用综合模型辅助大型舞台机械相关设备的安装及运输路径选型。

此外,该项目直接采用BIM正向出图,极大地保障了深化设计的准确性和跨专业协调的及时性。

实现图、模、实体一致的全专业、全要素数字交付

该项目系统单位、设备厂家多,业主要求的设备信息录入工作量大,确保参建各方的信息录入标准统一且符合业主方要求是难点。

为推进住建行业数字化发展,筑牢“数字住建”信息化基础底座,满足北京城市副中心数字城市建设要求,项目团队开展数字化交付研究,用于支撑北京市城市副中心数字城市建设的要求。项目部组织人手开展模实一致性的巡检复核工作,确保数字基座的准确性,按照业主要求的竣工交付设备信息录入清单,采用数模分离的方式交付,模型和数据通过部件代码、所在空间及顺序码进行数据挂接、匹配,确保了参建各方的信息录入格式统一,提升了信息录入效率。数模分离的管理方式为满足业主方的竣工信息模型交付提供了极大便利。