

doi: 10.7690/bgzdh.2025.02.014

3 维可视化设计虚拟变电施工方案的现场模拟研究

董永永, 吕海玲, 李超, 任天磊, 黄玉柱

(内蒙古电力(集团)有限责任公司包头供电分公司, 内蒙古 包头 014030)

摘要: 针对变电站建设过程中设备种类多、布线复杂、场地施工难度大的问题, 将建筑信息化模型 (building information modeling, BIM) 技术和虚拟现实技术相结合, 建立施工现场 3 维模型, 实现对变电站现场施工的精细化管理。根据变电站建筑、设备特征, 进行设备模型族划分, 采用 Revit 软件建立不同模型簇的 3D 模型, 由 BIM 制定合理的停送电施工方案、进行 3 维碰撞试验检测, 实现对具体施工步骤的实时监测和进度安排。结果表明: 该方案可不断调整优化施工方案, 有效缩短施工周期, 降低施工成本。

关键词: BIM; 变电站建设; 协同管理; 碰撞检测; 施工优化

中图分类号: TU71 **文献标志码:** A

Study on 3D Visualization Design and Field Simulation of Virtual Substation Construction Scheme

Dong Yongyong, LYU Hailing, Li Chao, Ren Tianlei, Huang Yuzhu

(Baotou Power Supply Company, Inner Mongolia Power (Group) Co., Ltd., Baotou 014030, China)

Abstract: In the process of substation construction, there are problems such as many kinds of equipment, complex wiring and difficult site construction. It is proposed to combine BIM technology with virtual reality technology to establish a 3D model of the construction site, so as to realize the fine management of the substation construction site. According to the characteristics of substation buildings and equipment, the equipment model family is divided, and the Revit software is used to establish 3D models of different model clusters. BIM is used to formulate a reasonable construction scheme of power outage and transmission, and to carry out 3D collision test, so as to realize the real-time monitoring and schedule of specific construction steps. The results show that this scheme can continuously adjust and optimize the construction scheme, effectively shorten the construction period and reduce the construction cost.

Keywords: BIM; substation construction; collaborative management; collision detection; construction optimization

0 引言

建筑信息化模型 (BIM) 将建筑物构架几何、材料、运行参数等信息融合在 3 维数字模型中, 实现对建筑生命全周期设备管理和信息交互共享^[1-3]。目前, BIM 技术在房屋建筑行业得到广泛应用, 但在变电站建设项目仍处于初始阶段^[4]。变电站建设项目作为电网工程主要组成部分, 设备种类繁多、布线复杂、场地施工难度大^[5-7]。通过 BIM 技术和虚拟现实技术, 将建筑物现场 3D 模型、施工进度、施工支援和场地信息集于一体, 形成施工信息模型, 进行变电站设计—施工—运营为一体的科学管理^[8-10]; 通过 BIM 技术进行变电站信息的参数化, 实现变电站工程造价和能耗信息的智能化^[11]; 利用可视化的 3 维模型, 直观展示变电站的细节处理, 进行碰撞检测、距离测试, 降低施工更改次数, 有效提升工程效率^[12-15]。

笔者在相关研究的基础上, 通过将 BIM 技术和 3D 立体模型相结合进行变电站施工管理, 对变电站施工场地布置、施工方案优化和可视化施工技术进行分析, 并以某 500 kV 变电站施工项目为对象, 进行 BIM 技术的变电站施工建设系统分析。

1 BIM 在变电站施工建模

1.1 变电站的模型结构

变电站作为电力系统重要组成部分, 项目的设计施工相较于民用建筑, 场地平整工作量大, 附属建筑和地上设备类型多, 挖填量存在严重不平衡, 对施工工艺和质量要求较高。针对变电站工程特征, 笔者在 BIM 施工技术的基础上, 根据变电站建筑、设备特征, 将变电站内所有建筑以及构件设备分为宏观建筑模型、中观设备线路模型、微观结构组装模型 3 种类别, 如图 1 所示。

收稿日期: 2024-07-13; 修回日期: 2024-08-20

基金项目: 内蒙古电力(集团)有限责任公司科技项目(510112180007)

第一作者: 董永永(1977—), 男, 内蒙古人。

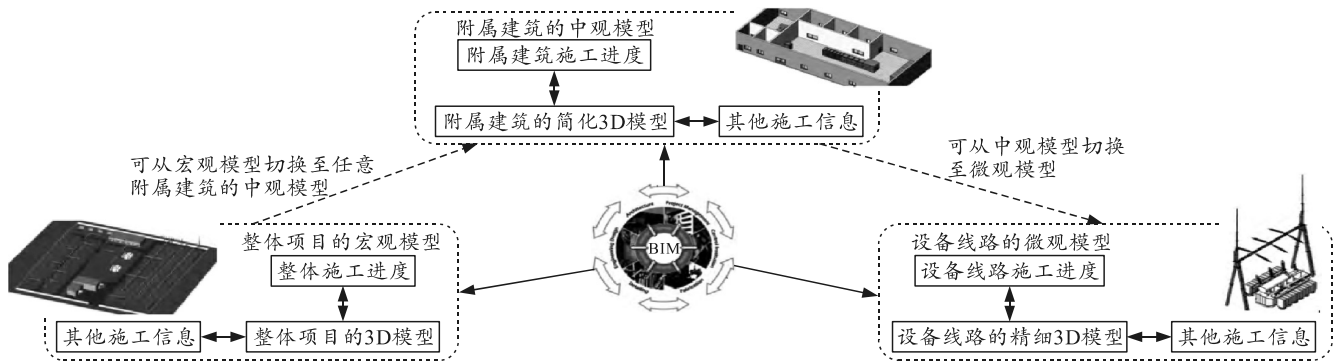


图 1 变电站施工的 BIM 模型结构

宏观建筑模型主要由变电站建筑 3D 模型、施工进度和工程信息关联构成；中观设备线路模型包括简化的 3D 设备和相应的进度信息、施工信息；微观模型包括自定义的电气设备族，内在集成的所有构件以及相关的施工进度和施工信息，实现对变电站的精细化管理。通过 3 层模型构成整个变电站项目的 BIM 子模型，各模型间相互关联、信息互通。各层次不同维度间模型施工信息包括工程质量、工程进度、成本指标等。

1.2 施工模型建模

在 BIM 建模过程中，根据系统建立施工任务分解结构来执行各层次施工计划，其中，中观和微观模型通过自定义族表示电气线路、管道对象设备，并使用 Revit 软件创立 BIM 模型导入 Navisworks 中，建立模型预施工任务分解结构的对应关联关系，形成 3D-BIM 施工模型，根据施工进度状态添加施工任务和进度计划等信息。为避免模型构建中可能出现结构重复创建、信息冲突等问题，采用逐步建模法^[16]，按照宏观模型-中观模型-微观模型分布建模，不同模型间通过点选操作进行切换来提高便利性，图 2 为典型的 BIM 施工模型建模流程。

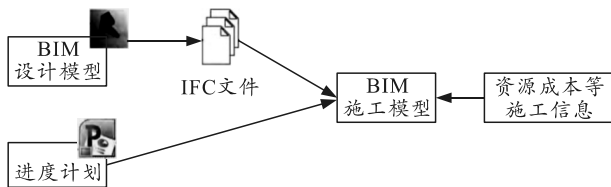


图 2 BIM 施工建模

2 BIM 的变电站施工管理

2.1 工程建设宏观管理

宏观 BIM 模型展示变电站整体建筑设备规划布局，实现项目的可视化展示，在模型中通过点选相应区域设备达到快速查询目的，为跟进项目建设的进度查询，在建立的工程时间轴上标识项目整体

时间线和各区域里程碑节点，建立项目建设日程表，用户可通过选择任意点来查询该点工程量和成本，施工方和建立方能快速了解施工进度，把控项目建设时间点和资金流。用户可在视图界面查看具体的某建筑、设备、管线信息，包括设备名称、中标时间、施工方监理方信息和进度安排。针对变电站建筑和设备的内部布局信息，采用点选的模式选中模型构件，通过切换视图查看建筑内部结构或者剖面图、平面布局图，实现精细化管理，还可查看内部布局施工信息，包括设备摆放、几何尺寸、布置形式以及进度计划、成本信息。

2.2 模型分析和功能

BIM 模型辅助施工主要对施工过程进行可行性分析，一方面与设计阶段建立的 3D 模型进行协调管理，对预先指定的施工方案进行优选，通过施工模拟对场地使用情况、3 维控制和计划进行分析，并执行碰撞试验，距离检测等；另一方面衔接项目运营阶段的维护计划、施工成本管控进行协同管理^[17]。针对变电站施工管理实际状况，采用 Revit 和 Navisworks 创建的附属建筑、设备、管线模型，进行可视化分析。

在 BIM 施工中，不同专业人员将数据上传到数据中心中，各类数据在系统中显示。专业人员根据设计参数和实际施工参数比较，预测是否会存在施工冲突，发现问题给出优化方案。工作人员在可视化的变电站 BIM 3 维模型基础上，对变电站整体布置状况实时有效查验，对模型整体实施碰撞试验，对变电站范围内各设施的电气安装距离实施有效测试和检验，确保检测结果的准确性，更好地改善和调整导线和设备的布置位置。

对施工难度大、工序复杂的设备安装和管线布置进行微观精细化管理，避免返工、窝工等问题，确保施工进度。同时对模型安装过程进行优化，对

施工进度、施工成本、质量安全进行精细化管理，还支持每周、每月工作量动态计算，成本管控和工程款支付等。

3 BIM技术的工程实例应用

3.1 项目背景

以某500 kV变电站为对象，通过BIM技术对项目的施工管理进行仿真分析。原变电站装设4台750 MVA主变压器，按照6、3、4、5号由南向北布置500 kV出线8回，3/2接线间隔6串；220 kV出线18回，采用双母线双分段接线。项目拟定新建4台1200 MVA自耦主变压器替换现有4台750 MVA主变器，新建500 kV屋内GIS配电装置，形成7个完整串，4台主变进串，拆除现有500 kV敞开式配电装置，建设10回500 kV出线，图3为改造后场地布置。



图3 改造后变电站场地布置

3.2 3维模型建立

BIM模型库由各式各样常规族和特定族组成。在项目模型中，常规族可通过现有参数控制，实现项目适用性和独特性。由于本项目中常规族缺少一定的电气设备族，为保障操作可行性，实现了特定族文件的搭建，总共设计85个文件，确保设备覆盖模型达到80%。当族库完成后，根据采集现场数据图纸建模，图4为变电站部分场地模型，包括铁塔、避雷针、断路器、门式钢架等，观察BIM模型与现场实际差异，BIM模型对于现场还原水平相当出色。

3.3 可视化交底

技术交底是确保施工质量的重点。基于BIM这一项出色的工具，是支持对施工状况作可视化展示的。相较于工程图纸，采用BIM结合虚拟现实技术实现施工人员与建筑间的互动感知，提高现场施工理解能力减少缺陷、事故发生可能性。

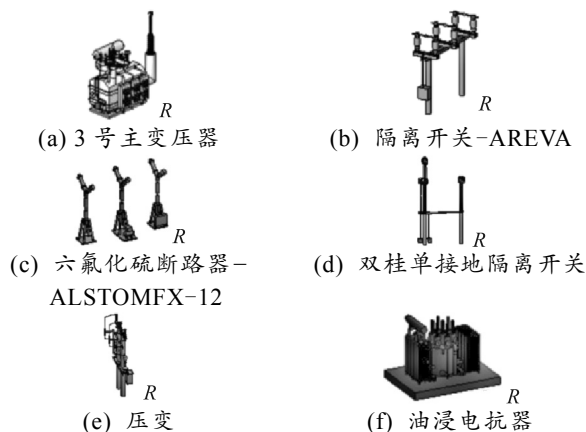


图4 部分设备族模型

如66 kV GIS室高支模这部分难点较高、复杂程度大的项目，安排可视化交底。在操作层面，可借助BIM工具，完成这部分工作具体内容的动画呈现，而动画内容中，则可涉猎到施工的具体方法及工艺，阐明检查要点，给出明确的安保办法等，以直观且富有生动性的动画，给予充分的演示，能够将方案要点、危险点、侧重关注点等作出清晰的阐述。依托该工具，针对现场施工工作监督，对比实际结果，发现3D可视化交底是出色的，效果如图5所示。



图5 盘扣式脚手架模型

3.4 场地布置优化

变电站施工过程中，施工位置与空间需有一定的间距，或做好隔离。借助BIM模型，则可以针对场地布置状况，作出灵活的安排，清晰呈现出布置要点与内容。如在施工初期，由于原6号主变处于正常运行状态，需要在外侧引入围栏以保障安全，如图6(a)所示。在BIM模型应用时，了解到其作业下侧位置存在220 kV线路，考虑到上侧作业一旦出现坠落物，则会引发安全事故，需在上方搭设棚架保护，如图6(b)所示。

3.5 施工方案优化

项目拟在原站点建立1200 MVA主变压器、500 kV敞开式设备改造，一些施工安排，要求停电条件下施行。为此，需给出详实的停送电计划，引

入 BIM 建模, 可实现该方案的高效编制, 确定停电范围和时

给予清晰体现, 形成基本模型。确定不停电范围, 如图 7 为施工线路布



(a) 外设围栏 (b) 棚架保护

图 6 场地优化布置

安装 500 kV 规格的新架构基于 BIM 工具, 可以实现原站内架构的全等比例还原, 对其内部状况

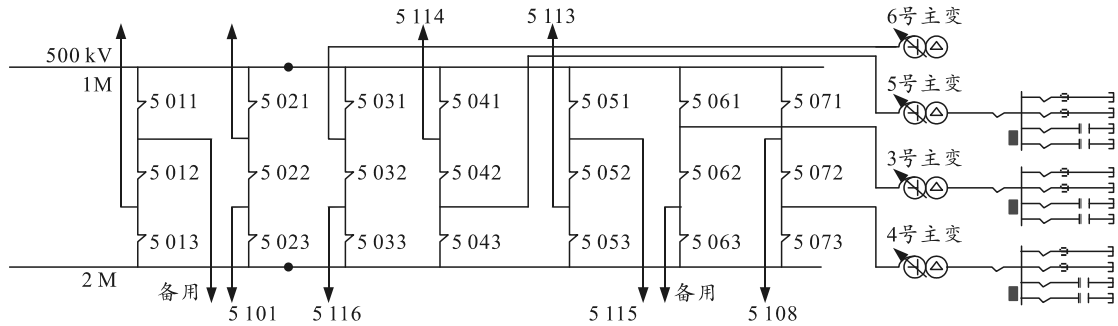


图 7 施工停送电布设

从 BIM 中可取得现场线路布置状况信息, 了解风险点所在, 这些信息可以支撑起现场布置。借助模型, 可针对停电方案给予干预、优化, 让同停时间得到最大程度的降低。在对配电装置运输吊装过程中, 通过施工模拟进行吊装优化, 以 500 kV 配电装置场地为例。纵向尺寸主要有相邻间隔不停电、本间隔内调查电子断路器单元、母线或母线设备, 与进线高压套管均压环满足安全净距决定。根据 500 kV GIS 断路器单元重量, 考虑采用 100 t 吊车自出线套管侧吊装, 如图 8 所示, GIS 不停电吊装过程中, 控制进出线套管间距 20 m 能满足相邻间隔不停电吊装要求。

3.6 模型的碰撞检测

对建立的模型进行管线碰撞测试, 避免施工过程中出现管线碰撞, 影响工作进度和工作效率。以 550 kV 变电站线路铺设为例进行碰撞检查, 如图 9 所示, 可以明显看到变电站 GIS 出现间隔过小, 发生硬碰撞。分析碰撞原因是由于原本设计 GIS 出线间隔跨距为 7 000 cm, 施工过程中由于线缆间存在牵引力作用, 导致距离 GIS 室 40 m 处线缆间距仅为 5 037 cm, 造成 GIS 出线间的隔离碰撞。同时, 在进行 GIS 电缆出线施工中, 原本设定的钢梁高度为 5.6 m, 导致 GIS 出线电缆开孔位置正好与下方梁相碰。

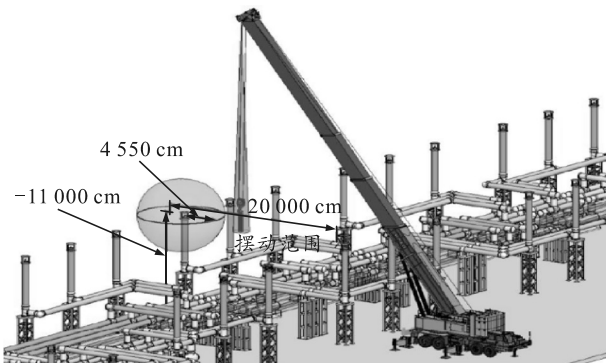
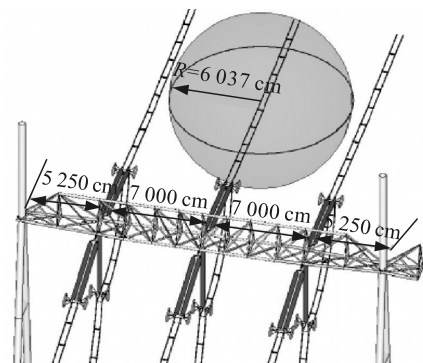
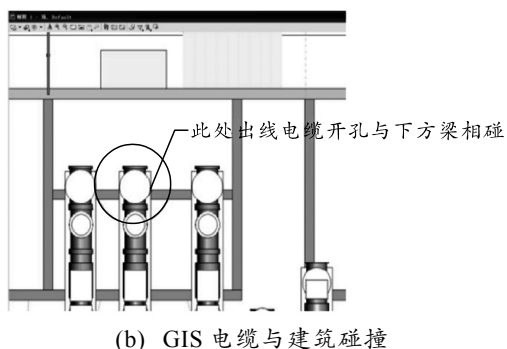


图 8 500 kV GIS 断路器模块带电吊装



(a) GIS 出线间隔跨线碰撞



(b) GIS 电缆与建筑碰撞

图 9 线路的 3 维模型碰撞检查

同时，利用 3 维软件碰撞功能模拟带电空间线路带电距离校验，避免带电距离过小而造成施工过程的触电事故。变电站施工中，内接线错综复杂，尤其是导线间的距离在实际过程中难以把握。通过 3 维软件选定 2 条导线，在对话框中会显示相应的最短距离，当发生碰撞时，则最短距离显示为 0，当导线间间距小于安全距离时，则发出警报提示，如图 10 所示。

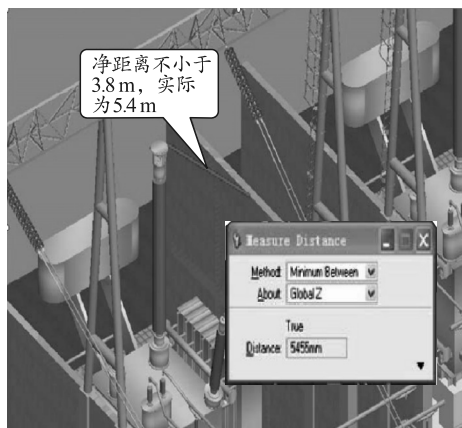


图 10 电缆套管安全距离校验

通过碰撞检查可为正式施工前对模型进行检查测试，及时发现碰撞错误，能够在施工过程中发生错误后再修改图纸，不仅延长了施工周期，而且带来了大量资金和人力的浪费。

3.7 BIM 的协同管理

依托 BIM 工具可以实现各类信息的整合，为高质量协同实现给予充分支持，其汇聚了合同、物流、成本、图纸、施工进度等一系列系统，可借助这些信息的处理，协同安排工程作业。BIM 数据库中集成了关联文件的线上预览功能，如图 11 所示，这也意味着在实际操作中，可基于需求，高效率调阅、管理各类资料。对于文件夹方面，其存在着较多层级，每个层级的权限都是可设定与调整的，这也规避了文档丢失问题。当各方需要下载部分资料时，

建设方通过资料风险来实现各方需求。材料数据协同中，通过跟踪模型构建全面信息，可涵盖地点、时间、现场、任务等各部分因素，支持对材料明细状况作出动态化展示。借助材料现场监控界面，可以观察材料安装是否符合要求、是否存在位置错误等。各类信息的高度汇聚与深度整合，BIM 为协调管控实现提供了可能。



图 11 资料的协同管理

4 结论

通过采用 BIM 技术建立变电站施工 3 维模型，进行 3 维建模，施工场地、施工方案优化、现场协同管理，提升变电站施工管理的合理性和精细化。通过利用软件的 3 维协同设计特性，创建变电站附属建筑、设备、管线模型，对变电站平面布置的调整优化，保障现场施工安全和施工进度安排。在施工过程中，利用 BIM 建模合理规划停送电施工方案、进行碰撞试验检测，确保施工区域的施工安全性和高效性，避免返工、窝工。在工程项目投运过程中，应用项目协同管理功能，完成项目模型、数据资料、材料信息协同管理，跟踪项目整体进度安排。

参考文献：

- [1] 陈海波, 郑健. 虚拟现实技术在电力系统中的典型应用[J]. 电网与清洁能源, 2016, 32(2): 20-25.