

三维数字化设计在架空输电线路工程中的应用及展望

李金文

(湖北省电力勘测设计院有限公司, 湖北 武汉 430040)

摘要 《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》提出:“加快数字化发展 建设数字中国”, 阐明了数字化发展的国家战略意图, 各行各业数字化转型和建设如火如荼。输电线路工程三维设计是基于工程信息、地理信息数据, 通过三维建模技术、数字化协同设计技术的集成应用, 完成输电线路工程的三维可视化设计和信息化的一体化。三维设计产品是数字化产品, 对辅助施工、运维、调度都有重要应用价值。

关键词 三维数字化设计; 输电线路; 勘测专业; 电气专业; 结构专业

中图分类号: TM75; TP3

文献标识码: A

文章编号: 1007-0745(2023)09-0067-03

本文结合笔者参与的工程实践, 总结、思考了三维数字化设计在输电线路设计各阶段、各专业中的应用和协同, 展望了三维数字化在施工、运维、调度中的应用前景。

1 数字化设计组织模式

输电线路三维数字化设计的组织模式: 由电气专业、结构专业、勘测专业和数字化支撑专业、技经专业和其它专业等多类专业人员协同完成。与传统设计不同, 这些设计工作是在同一个平台上协同完成的。勘查专业是测量专业、地质专业和水文气象专业的统称, 人员来自勘测业务部门, 主要负责线路三维数字化设计所需基础数据的收集和采集; 数字化支撑专业人员由数字化设计部门(中心)和各业务部门的数据管理人员共同组成, 主要负责基础资料和三维模型的数字化和标准化入库, 三维数字化设计流程制定和管控; 电气专业和结构专业人员来自输电业务部门, 主要负责线路的电气设计和结构设计任务; 技经专业主要根据经济政策和工程量, 计算、分析工程造价; 其他专业主要包含环保专业等, 为工程绿色建造保驾护航。

2 三维数字化设计平台

三维设计需要搭建一个平台, 目前国内有很多单位开发了自己的平台, 各平台功能及目标大致相同。测量、地质、水文气象、电气、结构、技经、环保等多专业的人员基于同一平台, 同一三维空间协同配合, 各专业间数据多方向正向贯通, 专业之间的互提资料, 快速、准确、方便、自动, 通过模型化、数据化、信息化、

可视化的平台运行, 提高了设计质量和效率。三维设计平台至少包含了四个层次: 数据层、协同层、应用层、成果层。

1. 数据层: 工程勘察数据, 如交叉跨越、地层岩性及物理力学指标及模型等; 水文气象数据, 如气象资料及分析、跨越河流水利设施要求等; 专题数据, 如冰区图、风区图、污秽区图、雷区图、舞动区图等设计基础数据以及通道敏感区信息资料数据等; 航片、卫片数据, 是根据需要, 采集、下载所需分辨率的航测、卫星影像 DOM 和对应的 DEM, 作为地理信息系统基础数据等; 三维实景建模, 是将无人机与三维实景建模技术结合应用到工程勘测中, 为平台提供高精度、可视化的数据基础, 方便相关人员了解建设环境, 优化方案; 移动终端数据是采用移动平板电脑和高精度 RTKGPS 互联技术将 GPS 测量点数据即时导入移动平板电脑中, 高效获取测量数据。

2. 协同层: 各专业按工作逻辑相互联系、互提资料、共享数据, 通力协作完成设计目标, 按协同任务, 可分为流程协同和专业协同。

3. 应用层: 电气、结构、地质、测量、水文、环保、技经、数字化等专业, 互相配, 根据上游数据, 合完成各自专业的计算分析, 完成专业设计工作, 自动完成各专业模型、文件归档工作。

4. 结果层: 根据用户需要, 出版二、三维图纸文件, 数字化移交及 VR 应用需求产品。

平台建设完成后, 可在平台二三维场景下, 进行线路路径的选择及优化, 快速统计相关的信息和耦合

专题数据；与架空输电线路软件联接开展空间间隙的计算和验证；与二三维专业排杆定位软件联接实现杆塔优化排位、平断面的编辑、提取，结合排杆定位结果进行金具绝缘串、防振锤、间隔棒、接地装置等配置及统计；与三维金具组装软件接口实现金具绝缘串的组装和机电施工图的制作及输出；平台调用其它专业提供数据，利用杆塔及基础专业设计软件，进行杆塔及基础设计，根据设计成果来解析生成相应的三维模型并入库管理，用于排杆及展示等；平台可调用多源方式获取的影像及DEM数字高程数据，实现线路方案数据的发布和共享；与协同合作可实现设计人员配置，设计内容提资，校审、批准过程控制及设计资料及文件数字化归档等业务工作；与数字档案部门联接实现工程档案归档查询和调阅。

3 三维设计应用流程

输电线路三维设计在工程应用中，是通过GIS、RS和虚拟现实技术，集成多源异构海量数据，构建了三维地理信息系统，在三维场景下，以输电设备三维数字化模型为对象，以多专业高效协同为引擎，以设计标准和相关规定为依据，以数据多维贯通和共享为支撑，以三维可视化表现形式，以各专业设计软件为保障来开展数字化设计工作，涵盖线路路径方案比选，线路排杆优化排位，电气设计，结构设计、环保设计、经济分析及线路三维展示。

三维数字化设计贯穿于勘测、初步设计、施工图设计、竣工图设计和数字化移交、物资招标全过程中，并自动生成三维模型，方便了设计成果的拓展应用。

物资招标阶段，依据施工图阶段的设计方案模型，统计电气、结构材料量，完成金具绝缘子串、导地线、杆塔材料等材料的招标工作。

竣工图阶段，依据在施工图阶段发生的设计变更进行模型和设计方案适当变更，保证竣工模型和实际施工情况相符。

数字化移交阶段，依据竣工图阶段的全线模型，通过设计的数字化移交接口，非常便捷地将杆塔模型、金具绝缘子串模型、基础模型、导地线参数、各种连接挂点、线路通道模型及数据等需要移交的工程数据进行打包输出，供业主、施工和运行单位管理参考。

4 勘测专业三维技术应用

4.1 测量专业

勘测专业根据项目要求收集栅格地形图、正射影像图、数字高程模型、基础地理数据、地质资料和水文气象资料，并整理提交给数字化支撑专业后发布到

数字化设计平台中。在设计过程中，勘测专业根据现场排定位后，将实测的塔基断面图或地形图，将实测的线路平断面图、土壤电阻率、水文气象资料发布提交给电气专业^[1]。

4.2 地质专业

在电气专业确定塔位后，地质专业即可将地质工作成果录入三维地质软件，软件通过地质探测成果可生成地质体的空间形态与分布，还可以快速生成各类地质剖面，将塔基工程地质条件发布提交给结构专业。

4.3 水文气象专业

在线路路径确定后，水文气象专业即可将气象、水文数据输入平台中。该功能利用三维成像技术，计算洪水淹没区，并通过三维平台显示，可更直观地显示，以便于选着塔位及基面高程。

5 电气专业三维技术应用

5.1 选线、排杆定位

5.1.1 选线

路径方案确定是决定工程造价的关键。路径方案的过程也需要多专业协同工作才能最终确定。工作流程如下：

1. 根据线路初步设计路径、障碍物，初步选择路径。
2. 路径的平面校核。
3. 对障碍物的水平距离是否满足要求，不满足的调整路径^[2]。

4. 平台利用DEM生成平断面，初选金具串进行初步排位、进行初步电气校核是否存在大档距、大高差、不均匀档距、杆塔超规划条件等断面不合理情况，重要交叉跨越距离是否满足要求，初步统计如不满足要求，重新调整路径。

5. 现场进行定位，各专业判断理论塔位（微调整）是否适合立塔，塔位不成立的调整排位方案或路径。

6. 结构、测量、地质、水文专业开展现场工作。

7. 各专业外业成果录入三维设计平台，结构专业对铁塔高低腿、基面进行配置并保存至平台中。

8. 电气专业根据各专业反馈的数据再次进行详细的电气计算校核，自动放松导线、更新绝缘子金具串配置，进行断面的水平、垂直、净空距离的校核及三维空间间隙的校核，根据校核结果对部分塔型、塔高进行调整，必要时对塔位、路径进行调整，校核结果反馈各专业，反复直至各专业均满足规程要求。

5.1.2 排杆定位

采用二三维协同排杆定位系统可以在两个屏幕上同步展示二维、三维的平断面杆塔布置图，除了常规

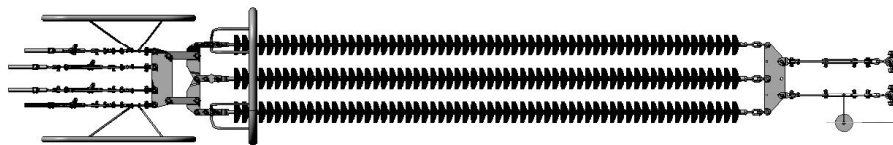


图 1 550kV 盘形绝缘子三联耐张串俯视图

的二维断面图，还可以在三维界面中直观地观察弧垂和地表模型。这样的辅助工具能够非常便捷地确认每个杆塔的具体位置，判断塔位是否合理^[3]。

5.2 金具组装

三维绝缘子金具串设计模块能够实现对接具串的组装的快速组装和逼真模拟，并提供对接具串的三维观察，连接关系、尺寸配合、碰撞等多方面进行全自动校核检查、强度分析，生成传统图纸、生成三维 PDF 格式和金具材料的耗量统计等功能，并且可以编辑添加新金具入库，还可以实现快速添加部件、智能添加可连接部件。

5.3 机电施工图

系统就能读取之前输入的工程基本条件等参数，自动生成机电施工图，包括：导地线力学特性曲线及架（表）、连续倾斜档线夹安装位置调整表、导地线绝缘子金具串组装图、换位（相）及跳线图、接地装置图、导地线防振锤及间隔棒、防舞装置安装图等。

6 结构专业三维技术应用

6.1 杆塔设计

根据电气专业输入杆塔设计条件，可生成三维间隙球及二维间隙圆，结构专业根据间隙球（圆）即可确定杆塔塔头尺寸，塔头尺寸确定后，就可以在专业计算软件等杆塔建模平台中建立核心模型。核心模型是带有结构几何尺寸、材料性能等信息的单线立体模型，建立完成后其他专业即可用于后续计算应用等^[4]。

结构专业进行荷载计算，对杆塔结构进行优化，优化完成后就可以进行节点的设计，合理有效地布置螺栓，检测不同面上构件端头的相对关系，避免碰撞；同时可以合理布置主角钢两肢上的螺栓，可以充分考虑螺栓穿向要求和检测螺栓碰撞，解决传统二维设计长期以来存在的不足。

完成杆塔三维设计图之后，可以方便地生成二维设计详图，在生成二维详图的过程中，还可以生成详细的材料统计表，便于后期设备材料清册的编制。

6.2 基础设计

测量专业将现场测量的塔基地形数据录入平台后，即可生成各塔位的地形 DEM 模型，地质专业的现场数

据录入后，结合测量数据，生成地质体的空间形态与分布。电气专业确定塔位、塔型、呼高后，加上勘测录入的数据，结构专业即可进行基础的配置计算了。通过提取杆塔数据库，可以得到各个塔型的作用力，实现逐腿选配^[5]。利用测量专业生成的地形 DEM 模型，进行护坡、挡土墙、排水沟的设计，有效地提高数据的价值和使用效率，并能够给非专业人员更加直观的效果展示。

7 结语

三维数字化设计是设计单位数字化转型的一个重要部分。各单位都在适应形式需要，正在加大资源投入，着力推进、完善、提高本单位数字化设计水平，以提高核心竞争力。随着“大、智、移、云、物、区”的技术不断发展，三维数字化设计也将向深度及广度不断演变。从深度来说，就是要更精确、更智能。从原始数据的导入，要采用精度及分辨率更高的遥感数据，以适应可研、初步设计、施工图设计的需要；各设备模型及计算分析模型要更为精准，以提高设计优化的空间；上道工序的数据批量导入，更专业协同能力的提升，设计过程的自动控制，设计重点的分析及差异化的处理，根据实际情况自动选择设计方案，是提高智能化的方向。

参考文献：

- [1] 殷金华, 郑小兵, 邹立. 海拉瓦技术在变电所勘测设计中的应用 [J]. 电力勘测设计, 2004(04):28-31.
- [2] 住房和城乡建设部, 国家质量监督检验检疫总局. GB 50545-2010 110kV~750kV 架空输电线路设计规范 [S]. 2010-01-18.
- [3] 国家电网有限公司. Q/GDW 11810.2-2018 输变电工程三维设计建模规范 第 2 部分: 架空输电线路 [S]. 2019-02-15.
- [4] 国家能源局. DL/T 5486-2020 架空输电线路杆塔结构设计技术规程 [S]. 2020-10-13.
- [5] 孟遂民, 李光辉, 王正平. 输电线路 GIS 的总体设计 [J]. 武汉水利电力大学学报, 1999(04):334-337.