

三维设计在架空输电线路中的应用

肖雨桐

沈阳电力勘测设计院有限责任公司, 辽宁 沈阳 110025

[摘要]在电力系统正经历从以往以集中发电为主的模式转向含有大量新能源的复杂体系这样一种转变的大背景之下,输电线路特别是那些长距离跨区域的架空输电线路,担负起了能源空间重构的关键任务。面对着复杂的地形状况、复杂的施工场景,再加上对于建设周期以及运维成本这两方面的严格约束条件,传统的二维设计方法在信息的表达能力以及跨专业的协同配合方面,都明显地呈现出诸多不足之处。而三维设计凭借其能够完整地表达空间信息以及跨专业的协同配合能力,还有能够将工程细节以可视化的形式予以还原的优势,受到了人们的广泛关注。文中结合工程实践情况以及对相关文献进行细致梳理之后,围绕原理、软件、应用场景以及综合效益等方面展开系统阐述,希望能够为工程设计单位以及研究机构给出一个较为完整的参考框架,从而有助于推动架空输电线路设计朝着数字化转型的方向迈进。

[关键词]三维设计; 架空输电线路; 三维建模; 数字化运维

DOI: 10.33142/hst.v8i9.17705

中图分类号: TM75

文献标识码: A

Application of 3D Design in Overhead Transmission Lines

XIAO Yutong

Shenyang Electric Power Survey & Design Institute Co., Ltd., Shenyang, Liaoning, 110025, China

Abstract: Against the backdrop of the power system undergoing a transformation from the traditional centralized power generation mode to a complex system containing a large amount of new energy, transmission lines, especially those long-distance and cross regional overhead transmission lines, have taken on the key task of energy space reconstruction. Faced with complex terrain conditions and construction scenarios, coupled with strict constraints on construction period and operation and maintenance costs, traditional two-dimensional design methods have obvious shortcomings in terms of information expression ability and cross disciplinary collaboration. 3D design has attracted widespread attention due to its ability to fully express spatial information and the advantage of visualizing engineering details. After combining engineering practice and carefully reviewing relevant literature, the article systematically elaborates on principles, software, application scenarios, and comprehensive benefits, hoping to provide a relatively complete reference framework for engineering design units and research institutions, which helping to promote the digital transformation of overhead transmission line design.

Keywords: 3D design; overhead transmission lines; 3D modeling; digital operation and maintenance

架空输电线路是电力系统的重要组成部分,在输电线路的设计上来讲,相较于传统的输电线路而言,三维设计在输电线路的应用大大提高了生产力,其设计理念将环保理念、可持续发展理念以及和谐发展理念有机的融合起来,提高了设计质量,同时具有可视化与数字化的特点。不仅推动了设计技术的进步,还实现了构建数字化电网、对施工过程进行三维仿真,从而提高施工效率的重要作用。

1 三维设计技术概述

1.1 三维设计的基本原理

三维设计最为关键之处在于其以空间几何作为根基,把地形、地质、杆塔还有导线等诸多构件一同融入到同一个三维坐标体系当中,借此达成在空间受到约束情况之下的相互检验以及在多种工况下展开仿真的目的。该体系着重于数据链的完整无缺,具体涵盖了地形数据的获取工作、利用点云或者激光雷达来开展三维采集操作、依据悬链线原理对导线进行重建处理以及对杆塔结构采用构件化的

表述方式等方面^[1]。当把工程实体予以数字化处理,并且按照工程所具有的语义赋予相应的属性之后,设计者便可以在虚拟构建起来的环境里提前将施工以及运维的实际场景还原再现出来,从而能够察觉到潜在存在的各类风险,进而对设计的各项参数做出相应调整。需要明确指出的是,三维设计绝不仅仅是单纯地让图形呈现出三维的效果,实际上它是一种由数据推动的流程重新塑造的方式,同时也是使设计质量的管控得以向整个生命周期的方向去延伸的一种途径。

1.2 主流三维设计软件及其功能

当前在输电线路三维设计当中常用到的软件大致可分成三类。其一是以点云以及地形处理作为主要功能的测绘与三维重建工具,其二是以结构计算还有有限元分析当作核心内容的工程仿真平台,其三是面向工程协同以及BIM整合的综合设计环境。测绘与三维重建工具在处理无人机激光点云以及航空影像方面较为擅长,能够生成高

精度的地形表面,并且还支持数据配准。工程仿真平台能够开展杆塔受力分析、风振响应方面的分析,还能进行导线弧垂与温度效应的仿真操作。而 BIM 化的协同环境会提供属性管理、构件模型族、版本控制以及多专业接口等相关功能,以此来支撑设计变更以及数据下发等工作。常常会把多种类别的软件借助数据中间格式来进行耦合,进而达成设计闭环的目的。应用时常见的一种工作模式是,先是进行高精度地形建模的操作,接着在这一基础之上开展杆塔布设以及导线悬链线重建的工作,之后再展开结构与电气校核方面的相关事宜,最终完成施工图的生成以及移交模型的相关工作。

2 三维设计在架空输电线路中的具体应用

2.1 地形与地质建模

地形精度在很大程度上决定了导线以及杆塔布置的最初边界范围。三维设计会借助激光点云处理、航空影像解析还有地面测量数据融合等方式来构建出较为精细的数字地形。对于那些地形复杂的山地以及峡谷区域而言,三维模型能够极为真实地还原出坡度、断层带以及跨越河谷的立体关系,进而对多方案的杆塔定位以及跨越策略给予有力支持^[2]。在具体的操作方法方面,通常会采用点云滤波、TIN 三角网重建以及地表坡度分区等一系列技术步骤,并且针对关键截面还会采用细致的地质剖面叠加方式,如此一来便能够针对桩基类型以及基础处理给出具有一定工程性的相关建议。这里值得一提的是,那种基于悬链线的穿地校核方法能够在很大程度上有效地发现三维模型当中存在的导线穿地错误情况,这种方法是依靠导线等间距取点以及地面高程对比这样的算法来直接降低模型与现场出现不一致状况所引发的返工风险的。而该方法所具有的工程价值已经在相关的专利以及实际应用当中得到了很好的体现。

在地形数据的来源以及时效性方面,设计单位应当优先选用近几年所采集的数据,并且要明确标注出采集的时间以及精度情况。原因在于,地形自身以及人为改造所产生的变更情况,会对长期开展的工程的可靠性产生影响。从实际操作的角度来讲,在项目的各个关键阶段,可以采用无人机点云的方式进行复测,以此来确保设计模型和现场状况能够保持高度的一致性。将无人机巡检技术同点云自动识别技术相互结合起来,能够让三维模型的更新工作变得更加便捷而且更具经济性,同时还能在施工阶段以及运维阶段持续地对风险识别起到有力的支持作用。

2.2 杆塔结构优化设计

杆塔属于输电线路的主要承载构件,在对其进行结构优化时,一方面需要满足承载以及稳定性的相关要求,另一方面还要顾及材料消耗情况以及施工的便捷程度。借助三维设计方式,可将杆塔构件以参数化模型的形式予以存储,如此一来,便能凭借由参数驱动所形成的族库,在不

同场地条件之下迅速生成多种不同的替代方案,并且可以通过开展有限元分析来对杆塔在遭遇风荷载、冰荷载以及组合工况时的应力与位移分布状况加以评估。参数化设计有着这样的优点,即能够把结构优化这一问题转化成在参数空间当中展开搜索的问题,进而结合遗传算法或者梯度法来实现快速求解,最终在确保满足安全系数要求的基础之上达成材料的最优配置效果。

在实际的工程项目当中,运用三维参数化族以及模块化预制构件这样的设计思路,能够在很大程度上缩减施工所花费的时间周期,并且能够有效地降低现场组装环节的难度。特别是在那些地处偏远且环境复杂的地段,预制化所能够带来的物流方面的便利以及安全方面的益处是十分突出的^[3]。对于存在跨越河谷情况并且高差比较明显的区段而言,三维软件能够在真实的地形之上直接对塔位的布设情况以及牵张施工的路径进行模拟操作,如此一来便可以削减设计阶段与施工阶段之间相互摩擦所产生的成本。近些年来,随着基建投资额度的增长,杆塔类设备的招标金额出现了较为显著的上升态势,整个行业在杆塔设计以及供应链这两个方面都呈现出一种规模化的趋势走向。

2.3 导线力学仿真与弧垂计算

导线属于柔性构件,其静力学方面所呈现出来的行为从根本上来讲是依据悬链线理论来加以描述的。温度、张力、风荷载还有冰荷载等诸多因素掺杂在一起,最终共同确定了导线弧垂以及张力的变化情况。三维设计系统把悬链线计算融入到三维场景当中,进而达成导线在真实地形以及杆塔发生位移这种情形下所进行的三维重建操作,同时针对不同工况展开在线仿真的工作。如此一来,在设计阶段就能够较为直观地去判断导线是否能够符合安全间隙的要求,而且在施工牵张的过程里还能够给出实时的张力控制策略,借此来削减因吊装与牵张误差所产生的安全隐患。在仿真期间,一般而言是需要将材料温度系数、导线自重系数以及跨中风振引发的动态放大效应等这些因素都考虑进去的,凭借对这些因素展开的多工况仿真,能够使得设计的鲁棒性获得大幅度的提升。多工况仿真在穿越公路以及铁路这类关键通道的时候显得格外重要。毕竟这类通道的安全间隙余量是比较小的,要是设计过程中对弧垂有所低估或者没把风振影响放在眼里,那极有可能会引发严重的后果。借助三维仿真,同时结合自动化碰撞检测算法,便能够在模型构建阶段就提前察觉到潜在的风险,进而降低施工现场出现调整的情况,让工程整体的可控性得以提升。相关的多工况仿真方法,在实用专利领域以及行业研究当中都已经获得了较为广泛的推广与应用。

2.4 电气间隙校验与碰撞检测

三维模型有着这样的核心价值,那就是能把电气间隙校验以及空间碰撞检测实现自动化。以往,这类校验得依靠二维剖面并且借助人工来计算,如此一来便存在着检出

率比较低、人工成本颇高的种种缺陷。可有了三维模型之后,在真实地形以及杆塔变形所产生的影响之下,就能够直接把各类绝缘间距还有电晕影响区给量化出来,并且还能开展碰撞检测工作。特别是在那些有多回路或者和其他地上物相互交叉的复杂通道当中,三维检测所给出的风险判定要比二维更加直观,同时也更为精确。自动碰撞检测模块一般是以构件包围盒又或者是精细网格当作基础,借助布尔运算或者空间索引的方式,可以迅速地去识别出潜在的冲突点,并且会把冲突信息跟属性数据联合起来呈现出来,这样就方便设计人员针对具体情况来调整杆塔的高度、相距或者是导线的高度了。三维校核于提升审图效率所做出的贡献同样颇为显著。其消减了因人工翻阅诸多图纸而可能出现的信息流失的风险,而且还能够凭借图形化的呈现方式,有效地向施工单位以及审批机构阐述工程设计方面的意图,进而促使沟通效率得以提升,同时让设计可视化的可信程度也有所增益。

3 三维设计的综合效益分析

3.1 提升设计精度与效率

三维设计能够完整且清晰地呈现空间信息,并且借助自动化校核的方式,让设计精度得以大幅度提高,有效消减了因信息转换以及人工绘图而产生的各类误差来源。参数化建模以及族库的应用,对于重复性工作有着极为明显的效率提升效果,这使得相同类型构件在开展多方案比较时,从时间成本方面来看更具优势。在实际操作过程中发现,于复杂地形的区段当中,运用三维建模和无人机点云复测的方法,可让设计阶段的返工率大幅降低。这样的效率提升一方面体现在设计周期有所缩短,另一方面则体现在后期审图以及施工沟通成本出现下降的情况。

3.2 降低工程全周期成本

从整个生命周期的角度来讲,三维设计所具有的价值并非仅仅体现在前期设计阶段能够节省时间这一点上,它更为关键的价值在于能为施工组织、材料配置以及运维计划给予具有前瞻性的有力支撑。在项目建设进入到高峰期时,由于电网投资规模不断得以扩大,所以工程效率以及成本控制便成了行业重点关注的对象。就国家层面的相关数据来看,在近些年当中,电网投资一直处于持续增长的态势,而且国网以及南网在多个年度里都增加了在设备以及线路方面的投入力度,这也促使工程设计朝着更加高效且更加容易把控的方向去发展,以此来与投资节奏相匹配。三维设计能够凭借减少现场出现变更的情况、缩短施工所用的周期以及降低检修方面的投入等优势,在较长一段时间内达成较为显著的成本回收效果。

3.3 增强多专业协同能力

输电工程属于一项多专业紧密耦合的系统工程,在设计阶段,土建、结构、线路、电气以及通信等各个专业之间需频繁地交换信息。三维模型能够充当共享数据平台的

角色,其可承载各专业的属性信息,并且支持版本控制以及权限管理相关事宜,如此一来便可在一定程度上减少跨专业沟通过程中出现的失真情况。在实际操作当中,运用三维协同平台之后,图纸变更的传递速度得以加快,工程冲突的识别也更为精准了,而且在移交阶段还能够把三维运维模型当作数字底册直接移交给运维单位,进而提升资产管理方面的连续性。从发展趋势来看,未来的诸多工具会更侧重于数据互操作性以及开放标准的兼容性方面,以此来进一步提高生态系统内各类软件的协同工作效率。

3.4 支持数字化移交与运维

在运维这个阶段,三维模型可同巡检数据、缺陷数据库还有物联网所采集的数据加以融合,进而达成基于位置来对缺陷予以追踪以及给维修决策给予支持的目的。无人机巡检所生成的影像以及点云能够径直和已有的三维模型完成配准,进而形成一种“基准模型加上增量观测”的运维模式,以此提升故障定位以及判断的速率。在未来要构建的智能运维框架当中,三维数字模型一方面充当着资产的数字孪生体,另一方面也是实现预防性维护以及状态评估的关键基础。此路径和行业里已经存在的诸多研究以及应用试点是相互能够印证的,展现出了颇为不错的工程推广方面的价值。

4 结束语

本文全面且细致地整理并分析了三维设计于架空输电线路设计及运维方面的实际应用情况,同时参照专利领域、行业相关研究以及行业投资方面的最新动态,着重指出了三维设计在地形建模环节、杆塔优化环节、导线仿真环节以及电气校核环节等一些关键环节所具备的工程价值。从学术层面来讲,作者秉持的观点是应当始终坚守工程数据能够追溯到源头的特性以及工程伦理原则,也就是说,在大力推广数字化工具的时候,务必要同步强化针对数据采集方面的规范性要求以及质量把控措施,以此来切实保证由模型驱动所做出决策的可靠性。具体而言,相关的建议内容涵盖了构建起统一的三维族库标准体系、推行实施定期开展的模型复测工作机制,还有在工程合同当中清晰明确三维模型所涉及的法律责任以及移交操作规范等方面。

[参考文献]

- [1]童圣凯,杨俊武,童小寒,等.架空输电线路三维立体影像巡检技术的应用研究[J].山西电力,2025(1):31-35.
 - [2]潘健,袁成胜,陆丽娟,等.基于三维激光扫描技术的架空输电线路点云数据提取[J].光源与照明,2025(5):206-208.
 - [3]吕严兵,方毛林.无人机航测数据在架空输电线路三维设计中的应用[J].电力勘测设计,2021(10):62-66.
- 作者简介:肖雨桐(1991.9—),毕业院校:沈阳建筑大学城市建设学院,所学专业:土木工程,当前就单位:沈阳电力勘测设计院,职务:设计师,职称级别:工程师。