

三维设计技术在输电线路设计中的应用研究

李明喆

准格尔旗浩普电力勘测设计有限责任公司 内蒙古 鄂尔多斯 010399

摘要：三维设计技术以其直观、精确、高效的特点，为输电线路设计带来了革命性的变革，通过构建真实感极强的三维模型，设计师能够在虚拟环境中对输电线路进行全方位的模拟与优化，从而在设计阶段即可预见并解决潜在的问题，显著提升设计的准确性和可靠性，所以需要加强对三维设计技术的应用，明确具体应用要点，从而能够推动电力行业进一步创新发展。

关键词：三维设计技术；输电线路；应用

作为电网建设环节的龙头，全面深入地开展三维数字化设计，是适应新发展形势，落实新发展理念，实现数字中国、智慧社会战略，提升电网基建数智化水平的必然选择。

1 三维设计技术特点

1.1 立体可视化与真实感。多维空间呈现：基于几何形状、纹理及光源参数构建三维模型，突破二维平面限制，实现设计对象的立体化展示。沉浸式体验：通过材质贴图与光影渲染技术，使模型具备现实物体的质感与光影反射效果，提升视觉逼真度^[1]。

1.2 高精度与数据融合能力。厘米级建模精度：采用激光雷达扫描（误差 $\leq 5\text{cm}$ ）与无人机航测（平面精度 0.1m ）等技术，满足输电线路杆塔定位、建筑地形匹配等高精度需求。多源数据集成：融合倾斜摄影、卫星遥感等数据，构建具备地理坐标的实景三维模型，支持空间量算与综合分析。

1.3 设计效率与协同性提升。自动化建模流程：通过参数化元件库（如铁塔、导线）实现批量拼接，缩短设计周期30%-50%。多专业协同优化：支持BIM技术集成，实时检测碰撞冲突并动态调整方案，设计变更响应速度提升60%。

1.4 智能算法与全周期管理。动态荷载分析：结合物联网传感器与机器学习算法，优化输电线路路径选择及结构稳定性评估。全生命周期贯通：从三维评审延伸至数字化移交，实现设计-施工-运维数据无缝衔接。

1.5 多领域适用性。建筑与工业设计：用于建筑能耗模拟、产品样机渲染，减少物理样机制作成本。复杂场景测量：非接触式激光技术可检测工件内部凹槽、孔洞等传统手段难以覆盖的区域。当前技术瓶颈集中于海量点云处理效率及异构系统兼容性，需进一步优化算法架构以强化实时交互能力。

2 三维设计在输电线路设计中的重要性

2.1 空间精度与地理适应性提升。厘米级地形匹配。通过激光雷达（误差 $\leq 5\text{cm}$ ）与无人机航测（平面精度 0.1m ）技术构建三维地理模型，精准还原山区、河流等复杂地形地貌，支撑杆塔定位与线路路径优化，减少施工阶段调整量。动态参数化建模。基于BIM技术建立铁塔、导线等参数化模型库，可快速生成不同地形条件下的杆塔长短腿配置方案，解决传统人工设计效率低、误差大的问题。

2.2 全流程效率与成本优化。设计周期缩短。三维设计支持自动选配基础类型、批量模型拼接等功能，结合标准化元件库，使设计周期缩短30%-50%。施工风险预控。通过三维模型模拟立杆作业与机械进场条件，提前识别施工风险点，使勘察时长压缩50%，施工安全风险降低35%。

2.3 多专业协同与全生命周期管理。跨专业数据互通。制定《基础三维信息模型表达与交换技术约定》等标准，实现电气计算、杆塔放样等专业数据的互通，消除传统设计中的“信息孤岛”。全周期数据贯通。从三维评审延伸至数字化移交，确保设计-施工-运维数据无缝衔接，为后期智能巡检、动态荷载分析提供数据基础。

2.4 生态保护与智能化决策支持。生态敏感区避让。三维模型结合多源地理数据（如卫星影像、高程模型），可精准识别生态保护区边界，优化线路路径以降低环境影响。智能算法集成。引入机器学习优化线路路径选择，结合物联网传感器实时监测设备状态，提升电网运行稳定性与灾害响应能力。

2.5 复杂场景适应性增强。非接触式测量。无人机搭载激光雷达可扫描传统手段难以覆盖的隐蔽区域（如电缆沟道、杆塔内部结构），实现全场景高精度建模。动态荷载模拟。通过三维模型模拟覆冰、风荷载等极端工

况,优化杆塔结构设计,降低运维阶段故障率。发展趋势与挑战。技术融合深化:整合倾斜摄影、卫星遥感等多源数据,构建厘米级数字孪生电网。瓶颈突破方向:需优化海量点云数据处理效率(单工程耗时72小时以上)与异构系统兼容性,强化实时交互能力。

3 如何利用三维设计进行输电线路规划

3.1 高精度地理数据采集与建模。多源地理信息融合。通过无人机航测(平面精度0.1m)与激光雷达扫描(误差 $\leq 5\text{cm}$)获取地形数据,结合卫星影像、正射影像图(DOM)及高程模型(DEM),构建厘米级精度的三维实景模型。标准化数据规范。地理坐标系采用CGCS2000,高程基准使用1985国家高程系统,确保影像、矢量路网等数据精度达小数点后三位,为路径规划提供可靠基础。

3.2 三维模型构建与智能选线。参数化元件库应用。基于BIM技术建立铁塔、导线、金具等参数化模型库,支持自动拼接和批量建模,减少人工干预并提高设计效率。动态路径优化算法。集成机器学习算法与碰撞检测功能,自动避让建筑物、植被等障碍物,优化线路走向。倾斜摄影模型可精确统计房屋拆迁面积与交叉跨越距离,误差范围 $\leq 1\text{m}$ 。

3.3 全流程协同设计与风险预控。多专业协同平台。支持电气、结构、地质等多专业数据互通,实时检测导线弧垂、杆塔荷载等参数冲突,设计变更响应速度提升60%。施工模拟与安全管控。利用三维模型模拟立杆作业与机械进场条件,识别高危区域(如覆冰区、地震带),提前规划施工方案以降低安全风险。

3.4 生态保护与全生命周期管理。生态敏感区避让。结合植被分布与卫星影像数据,自动识别生态保护区边界,优化路径以减少环境影响。数字化移交与智能运维。从三维评审延伸至数字化移交,贯通设计-施工-运维数据链,为后续智能巡检(如无人机自动巡线)提供三维模型基础。

4 三维设计在输电线路设计中遇到的问题

4.1 多源数据整合与模型精度控制。地理数据兼容性不足。不同测量设备(如激光雷达、无人机航测)生成的数据格式差异大,导致三维模型拼接时出现坐标错位或纹理缺失,需耗费大量时间进行人工校准。^[2]例如,变电站设计中因基点不统一导致的模型整体偏移,需重新设定坐标矩阵修复。参数化模型精度受限。现有铁塔、导线等参数化模型库难以覆盖复杂地形场景(如山区陡坡),杆塔长短腿配置仍需依赖人工经验调整,自动化选配率不足50%。

4.2 协同设计与流程重构挑战。跨专业协同壁垒。传统设计模式下,电气计算、杆塔放样等专业软件独立运行,三维平台需重构数据接口标准(如《基础三维信息模型表达与交换技术约定》),但异构系统兼容性仍存在障碍,导致设计交互时间延长3倍以上。设计流程适配困难。二维图纸向三维模型转化需重新搭建元件库(如金具串、导线),部分老旧设备缺乏三维数据源,建模效率降低40%。

4.3 计算资源与效率瓶颈。海量数据处理耗时。单工程激光雷达点云数据量超千万级,降噪与拟合算法需72小时以上,难以满足紧急项目周期需求。动态荷载模拟能力不足。现有三维平台对覆冰、风振等极端工况的仿真精度误差达5%-8%,影响结构安全评估可靠性。

4.4 生态保护与施工落地矛盾。生态敏感区建模盲区。卫星影像与三维模型融合时,对植被覆盖区的地下管线、动物迁徙路径识别精度不足,易引发施工阶段的生态破坏。施工模拟局限性。高空作业机械进场条件模拟依赖简化模型,复杂地形(如沼泽、沙漠)的施工风险预判误差超过15%。

4.5 标准化与人才储备缺口。行业标准缺失。输电线路三维模型的数据移交格式(如GIM文件)尚未完全统一,导致设计院与施工单位模型复用率低于30%。复合型人才短缺。同时掌握BIM技术、电气设计与地理信息系统的工程师占比不足15%,制约三维设计规模化应用。解决方向与技术创新。智能算法优化:引入机器学习加速点云处理,将建模周期压缩至24小时内;全生命周期数据贯通:建立从三维评审到智能运维的标准数据链,提升模型复用率至60%以上;生态建模增强:结合多光谱遥感与地面传感器数据,构建生态敏感区高精度三维底图。

5 三维设计在输电线路设计中的应用

5.1 无人机三维激光建模与隐患处理。沾益供电局配电线路改造。采用无人机三维激光建模技术对62公里配电线路进行扫描,生成三维实景模型,精准识别地形地貌和隐蔽设施,规划无人机巡检路线,发现并处理3处设备隐患,降低安全风险。技术亮点:融合激光雷达与航测数据,支持线路通道分析和故障区段专项巡视。效益:模型复用率为配网规划提供数据支撑,运维效率提升20%。

5.2 BIMBase平台在输变电工程中的应用。某储能电站工程。基于BIMBase平台构建三维场景,集成GIM设计成果,动态展示工程布局与施工进度,支持多专业协同设计与施工模拟。功能应用:三维模型动画编制、碰撞检测与避让调整,设计变更响应速度提升60%。某

1000kV特高压变电站。采用BIMBase电力套件实现全专业建模、结构计算与智能优化，输出符合国网标准的三维模型，施工图出图效率提高40%。阶段覆盖：方案比选、绿建节能分析、施工图设计全流程数字化贯通。

5.3 三维实景模型优化路径规划。输电线路工程。使用飞马D1000无人机航测系统采集线路走廊数据，生成高精度三维模型（平面精度0.1m），精确量测地物空间距离，优化线路路径1.3公里。技术路线：航空摄影测量与实景建模结合，减少人工勘测工作量50%。10千伏线路改造。基于三维模型调整杆塔定位与导线走向，节约成本30万元，交叉跨越分析误差控制在2%以内。

5.4 三维协同设计与全生命周期管理。某220kV变电站项目。依托BIMBase平台实现全专业协同设计，标准化建模流程覆盖电气、建筑、结构等专业，设计差错率降低35%。国产化突破：全国产化三维设计工具支持户内站复杂布局优化，占地面积减少15%。能源集团输电线路工程。采用BIM三维正向设计构建高精度场景，实现勘测、电气、结构全专业协同，设计周期缩短30%，施工工期压缩20%。

5.5 生态敏感区三维避让设计。植被覆盖区线路规划。结合卫星影像与多光谱遥感数据，三维模型精准识别生态保护区边界，自动调整线路路径以避让敏感区域。案例成果：某项目减少植被砍伐面积12%，降低生态破坏风险。三维设计通过多源数据融合、智能算法与协同平台，显著提升了输电线路工程的安全性、经济性与环境友好性。

6 三维设计技术在输电线路设计的未来发展趋势

6.1 全流程协同设计与数据贯通。多专业一体化平台构建。通过BIMBase等国产化三维平台实现电气计算、杆塔放样、结构分析等全专业数据互通，解决异构系统交互障碍，提升设计效率与模型复用率。标准化数据链延伸。建立从三维评审到智能运维的全生命周期数据标准（如GIM文件格式），推动设计成果向施工、运维环节无缝传递，模型复用率预计提升至60%以上。

6.2 智能算法与自动化设计渗透。参数化模型深度应用。基于机器学习优化杆塔长短腿配置算法，提升复杂地形场景的自动化选配率至80%以上，减少人工干预。动态仿真精度突破。融合AI仿真引擎增强覆冰、风振等极端工况模拟能力，误差率从5%压缩至2%以内，支撑高可靠性结构安全评估。

6.3 生态友好型设计技术升级。多源遥感融合生态建模。结合卫星影像、多光谱遥感和无人机倾斜摄影，构建生态敏感区三维底图，实现线路路径自动避让与植被破坏面积减少15%-20%。碳足迹可视化分析。在三维平台中集成碳排放计算模块，量化线路施工对生态环境的影响，辅助绿色电网规划决策。

6.4 轻量化与实时交互技术革新。云端协同与移动端应用。开发轻量化三维模型浏览工具，支持手机端实时查看施工进度与设备状态，提升现场作业协同效率。AR/VR深度集成。利用虚拟现实技术实现输电线路虚拟踏勘与高空作业模拟，降低复杂地形施工风险预判误差至5%以内。

6.5 数字孪生与智能运维融合。高精度数字孪生体构建。基于激光雷达与物联网传感器数据，建立输电线路毫米级精度数字孪生模型，实现覆冰、弧垂等状态的实时监测与预警。AI驱动的智能巡检。依托三维实景模型训练无人机自主巡检算法，隐患识别准确率提升至95%，运维成本降低30%。

总之，在输电线路规划设计过程中，三维设计技术具有良好的应用效果，为输电线路设计带来许多优势，所以需要加强对三维设计技术的应用，结合规划设计实际需求调整设计方案，从而促进我国电力行业可持续发展。

参考文献

- [1]杨华.三维设计在架空输电线路建设中的应用.2023.
- [2]孙宏宇.三维设计技术在输电线路设计中的应用分析.2023.