

DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2017.02.022

架空输电线路三维建模方法现状及展望

范亮, 汤坚

(中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663)

摘要: 介绍了基于二维图纸建模, 激光扫描建模和航测建模架空输电线路模型构建的几种方法, 并做了详细的对比分析, 结果表明: 利用设计图纸建模法效率和模型精细度较高, 但是数据量较大, 不利于系统的管理, 适用于新建线路; 利用施工图建模法效率低下, 资料较难获取, 精度无法保证, 适用于早期修建且资料完整的线路; 基于激光雷达建模法精度和模型精细度较高, 但是作业强度大、成本高, 适用于小面积、精度要求较高的平原地区线路及变电站; 基于航测建模法可以制作已有线路走廊通道和线路本体三维模型数据, 效率和精度较高, 可以满足运维管理的需求, 同时也可作为线路净空距离分析等各种深化应用分析的第一手数据, 值得推广应用。

关键词: 架空输电线路; 三维建模; 二维图纸; 激光雷达; 倾斜摄影

中图分类号: TM75

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2017)02-0120-06

Expectation and Review on Overhead Transmission Lines 3D Modeling Methods

FAN Liang, TANG Jian

(China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, China)

Abstract: This paper introduces several methods of aerial transmission line model construction; based on two-dimensional drawing modeling, based on laser scanning modeling, based on aerial modeling. And the results show that the efficiency of the design drawing method and the fineness of the model are high, but the data volume is large, which is not conducive to the management of the system. It is suitable for the new route. The efficiency of the construction drawing method Low precision, data is difficult to obtain, the accuracy can not be guaranteed, suitable for early construction and complete data lines; based on laser radar modeling accuracy and model of high precision, but the work of large strength, high cost, suitable for small area, High-level plain lines and substations; aerial modeling method can be used to make existing channel corridor channel and line ontology three-dimensional model data, high efficiency and accuracy, to meet the needs of operation and maintenance management, but also as a line clearance analysis And other deep application of the first-hand analysis of data, it is worth promoting the application.

Key words: overhead transmission lines; 3D modeling; dimensional drawings; lidar; tilt photography

近年来, 随着我国经济迅猛发展, 各行各业对电能的需求不断提升, 电网规模不断扩大, 线路规范化、精益化管理要求也越来越高。一般而言, 架空输电线路距离较长, 走廊通道环境复杂多样, 与地理空间位置密切相关, 特别在垂直方向上的层次信息尤为重要^[1]。而基于二维视觉效果运维管理

手段在空间表达和分析能力上具有一定的局限性, 已无法满足电网运维部门对输电线路规范化、精益化管理的要求。因此以三维视觉效果为核心的技术将大力应用于电力领域, 架空输电线路三维模型的建立势在必行。

目前, 架空输电线路三维建模的主要方法有: 基于二维图纸的建模法、基于激光扫描的建模法、基于航测的建模法。不同建模方法的原理、效率、精细度、成本、数据量大小、地理精度等有所区别。本文对上述3种方法进行对比分析, 有助于读者根据实际情况选取合适的建模方法。其中本文提

收稿日期: 2017-05-31

作者简介: 范亮(1985), 男, 河南安阳人, 工程师, 硕士, 主要从事地面激光雷达及无人机技术在勘测中的应用研究工作(e-mail) fanliang@gedi.com.cn.

出一种基于航测的架空输电线路三维场景建模方法。

1 架空输电线路三维建模方法研究现状

1.1 基于二维图纸的架空输电线路三维建模方法

利用现有输电线路设计、施工、竣工阶段二维、符号化的成品图快速转换为架空输电线路三维模型是目前电网三维信息化较为常见的技术手段。其特征是在二维 CAD 等平台中设计完成后, 利用三维建模软件或者参数驱动程序构建三维电网设备及其场景^[2]。

由于输电线路存在大量可复用的单元。例如金具、金具串、塔型、基础、电力线等。因此, 一般采用“先搭建静态元件库, 再构建动态输电线路”的基本思路。作业流程如下:

1) 收集资料: 包含线路金具图(含参数表)、线路路径图、线路塔位坐标、金具拼接图、铁塔塔形装配图纸、铁塔加工图(含参数表)、电力线参数、线路其他相关材料等。

2) 搭建元件库: 根据收资情况, 对输电线路金具、金具串、塔形、杆塔基础及电力线元件库进行三维参数化建模和属性信息的配置, 搭建相应的元件库, 如图 1 所示。

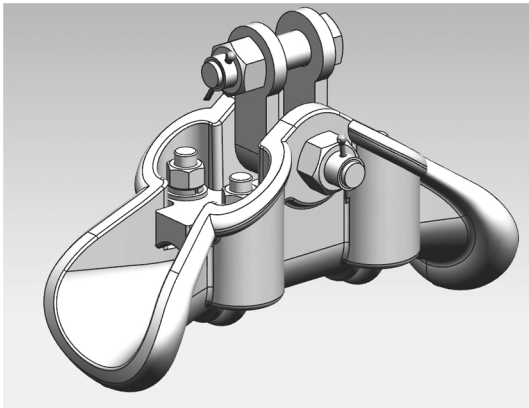


图 1 金具模型

Fig. 1 Gold fittings model

3) 铁塔拼接: 利用线路计算说明书, 调用铁塔拼接程序, 自动完成铁塔各模块的拼接。由于较早的工程一般没有线路计算说明书, 需利用 AutoCad、3dmax 等专业绘图软件, 按照一定比例采用圆柱体、圆锥体、圆环、立方体等人工构建架空输电线路的三维模型, 如图 2 所示。

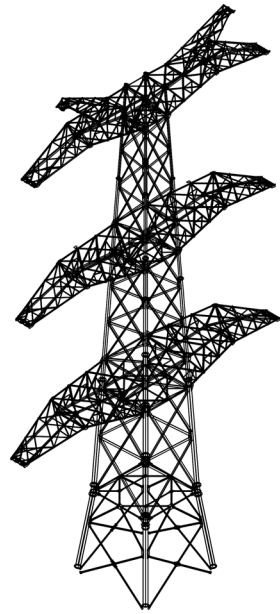


图 2 铁塔模型

Fig. 2 Tower model

4) 线路建模: 根据线路坐标和相应参数, 利用铁塔拼接成果和金具串拼接成果, 自动搭建输电线路全线模型。

5) 成果输出: 根据线路建模成果, 输出相应的 XML 配置文件和对应的原始数据模型, 输出成果至 GIS 应用系统, 如图 3 所示。



图 3 架空输电线路模型

Fig. 3 Overhead transmission line model

1.2 基于激光雷达的架空输电线路三维建模方法

激光雷达扫描技术是一种“实景再现”技术。按照搭载平台划分, 可分为机载激光雷达、地面激光雷达及手持激光雷达。该技术具有不接触被量测目标、扫描速度快、点位和精度分布均匀、获得数据真实全面等特点^[3], 为空间三维信息的获取提供了一种全新的技术手段, 在数字城市、文物保护等领

域发挥着重要作用。其中刘求龙利用地面激光雷达技术对 500 kV 惠泉变电站精行了三维重建^[4]，建模作业流程如下：

1) 数据获取：获取被测物体的点云数据及影像信息。

2) 数据预处理：不同测站点云数据拼接，去噪、重采样等处理。

3) 三维建模：利用 PointCloud、Cyclone 等软件采用参数化建模方法调用多边形线、面、圆管、方管、长方体、球体圆柱等几何对象的创建命令在点云上拟合成型，快速构建三维线框模型和实体^[3]。

4) 纹理映射：纹理信息映射到模型上，形成模型的真实纹理^[5]。

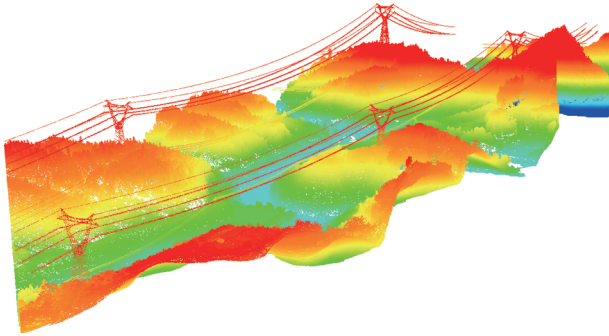


图4 点云模型数据
Fig. 4 Point cloud model

1.3 基于航测的架空输电线路三维建模

1.3.1 线路走廊通道三维建模

采用倾斜摄影技术构建线路走廊通道非单体化的三维模型。该技术通过摄影测量原理对获得的倾斜影像数据进行几何处理、多视匹配、三角网构建、自动赋予纹理等步骤，最终得到三维模型。该过程仅依靠简单连续的二维图像，无需依赖激光点云扫描辅助设备、POS 定位系统，也无需人工干预便可以完成海量三维模型的批量处理。工作流程如下：

1) 数据获取：采用固定翼(内置 PPK GPS)或者多旋翼无人机搭载双拼相机按照航向 70% ~ 80%，旁向 30% ~ 40% 的重叠度获取走廊通道的倾斜影像数据。为了提高测量精度，需要在地面布设一定数量的像控点，像控点布设图形宜呈矩形。当受地形等条件限制时，可采用不规则区域网布点，在凹角转折处或凸角转折处应布设像控点。

2) 数据检查：影像质量应确保影像清晰，反差

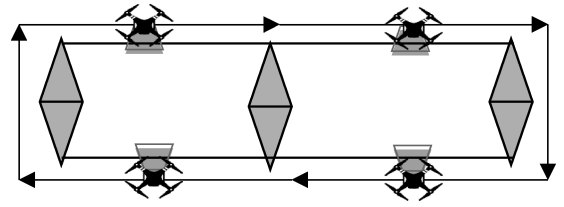


图5 航飞路径图
Fig. 5 Flight path

适中，颜色饱和，色彩鲜明，色调一致^[6]。

3) 空中三角测量：采用光束法并结合像控点进行区域网整体平差，以单张像片组成的一束光线作为一个平差单元，以中心投影的共线方程作为平差单元的基础方程，通过各光线束在空间的旋转和平移，使模型之间的公共光线实现最佳交会，将整体区域加入到控制点坐标系中，从而恢复地物间的空间位置关系。

4) 影像密集匹配：利用高精度的影像匹配算法，匹配出所有影像中的同名点，并从影像中抽取更多的特征点构成密集点云，从而更精确地表达走廊通道环境的细节。

5) 纹理映射：由空中三角测量和影像密集匹配后建立的影像之间的三角关系构成不规则三角网(简称“TIN”)，再由 TIN 构成白模，从影像中计算对应的纹理，并自动将纹理映射到对应的白模上，最终形成线路走廊通道真实三维场景。

6) 成果输出：线路走廊通道三维模型成果为真三维模型，数据格式主要有 dae、osgb 和 obj。模型成果所有建筑物的空间关系和纹理，均采用分层显示技术(LOD)，分层多达 20 层以上，以保证任何配置的计算机均能流畅地显示地物模型，充分详细地表达建筑物细部特征，如图 6 所示。



图6 线路走廊通道三维模型

Fig. 6 Three-dimensional model of transmission line channel

1.3.2 线路本体三维建模

因为线路本体为镂空结构, 利用倾斜摄影建模技术会出现杆塔出现扭曲, 电力线丢失无法建模的情况, 如图7所示。



图7 扭曲变形的铁塔模型

Fig. 7 Distal deformation of the tower model

本文采用精细化三维建模技术, 对杆塔导线人工交互式提取, 进而对线路本体进行单体化建模。作业流程如下:

1) 数据预处理: 通过规范命名将航飞像片与杆塔进行关联, 便于后续数据处理。

2) 杆塔连接点刺点: 选择每一基杆塔的多幅航飞照片, 确保这些照片具有同名点, 并对杆塔的关键连接点部位进行刺点。为保证刺点精度, 要求一个连接点选择4张照片, 这些关键连接点将作为后续杆塔建模的主要轮廓依据, 如图8所示。

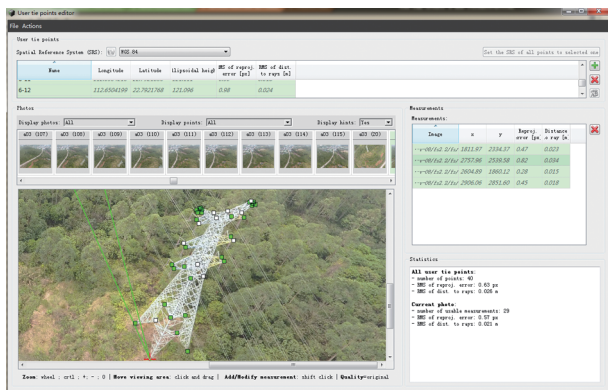


图8 杆塔连接点刺点

Fig. 8 The tower is connected to the point

3) 杆塔三维建模: 利用线路通道走廊自动建模的高精度空三成果和杆塔刺点坐标在三维建模视图下, 勾勒杆塔线划轮廓, 如图9所示。

4) 导线三维建模: 杆塔逐个绘制完成后, 根据



图9 提取杆塔线划轮廓

Fig. 9 Extract the outline of the tower

航片中线路间隔棒的位置, 模拟导线弧度, 完成整条输电线路的三维建模。如果线路电压等级较低, 在航片中无法清晰识别间隔棒的位置, 则采用人工模拟的方式, 建立导线。

为了检验上述建模方法的有效性及其效果, 笔者在广州采用 DJI Phantom 4 Pro 无人机获取 110 kV 某线路的影像数据, 利用航测的方法对通道走廊和线路本体进行了三维建模, 如图10和图11所示。

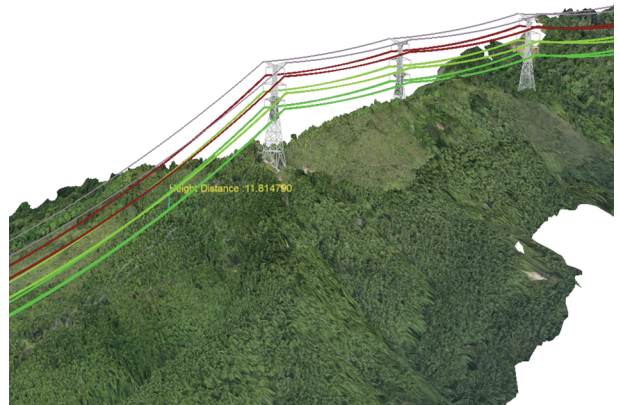


图10 杆塔三维模型

Fig. 10 Tower model

从图10和图11中可以看出, 线路走廊通道和线路本体三维场景模型与现场高度吻合, 依据实景模型, 量测出下导线与树木顶部之间的空间距离 11.814 m, 和地面激光雷达测量的值 11.705 m 相比, 误差不超过 20 cm, 充分满足树障巡视的要求。而且利用此模型可以模拟在不同工况下(如大风、覆冰、高温)的线路运行状态, 自动分析线路走廊内导线与植被、建筑物、交叉跨越等净空距离, 进而确定线路运行状态是否安全, 对线路安全性进行

有效评估预警,从而安全高效地保障输电线路正常运行。

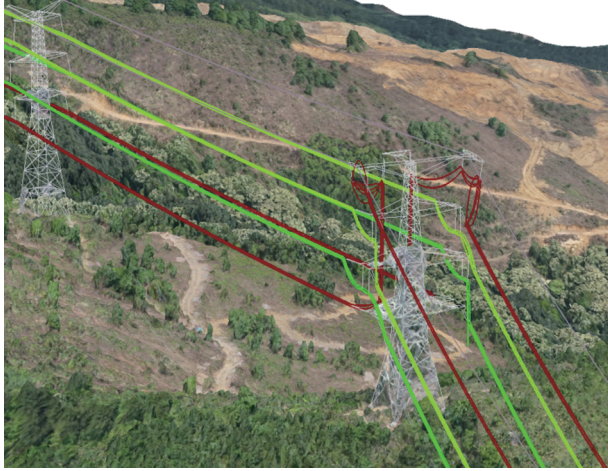


图 11 杆塔三维模型细节图

Fig. 11 Tower model detail map

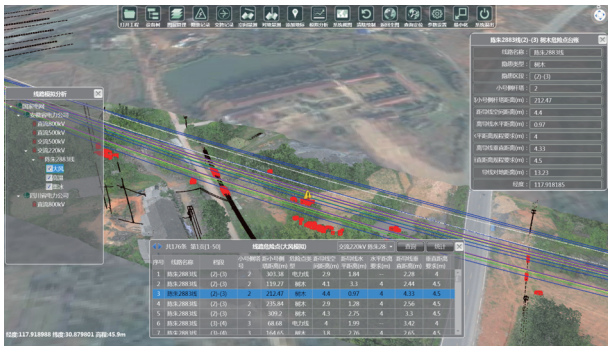


图 12 大风工况下线路危险点模拟

Fig. 12 Line of dangerous points under high wind conditions simulation

2 架空输电线路三维建模方法特点分析与讨论

通过理论与大量的工程实践表明,数字电

网建设过程中相继提出的 3 种建模方法,各有特点,如表 1 所示。

综上所述,由于数据来源的不同,基于二维图纸建模法又可以细分为利用设计图纸和利用施竣工图两种建模方法。其中利用设计图纸建模法由于需要利用计算说明书,所以仅适用于新建的线路,同时因为模型精细度非常高,产生的数据量也较大,批量数据在 GIS 平台中运行较卡;利用施竣工图法建模适用于早期修建的线路,但是由于早期的线路图纸很难获取,而且图纸质量参差不齐,对于比例不对的图纸很难进行建模,同样也存在模型数据量较大,在 GIS 平台中运行较卡的现象。

基于激光雷达的建模法作业强度大、采集成本高,后续数据处理工作量大,仅适用于小面积、精度要求较高的平原地区线路及变电站三维建模。

基于航测的建模法虽然模型表现不够精细,但是已经可以满足运维管理的需求,而且可获取时效性高、精度高、可视化程度高的线路走廊通道三维数据,并可以据此模型模拟在不同工况下(如大风、覆冰、高温)的线路运行状态,自动分析线路走廊内导线与植被、建筑物、交叉跨越等净空距离^[7]。但是线路本体建模工作受作业人员经验影响较大,需要制定相应的作业标准。

3 智能电网对架空输电线路建模的需求与分析

随着电网规模的扩大,电网设备集约化、智能化的管理对信息量需求的不断增加,架空输电线路三维模型需求从二维到三维的实景转变已成为趋势^[8]。国内运维部门对架空输电线路三维模型的数字化和信息化提出了需求,具体可归纳为:

表 1 几种建模方法比较分析

Tab. 1 Comparison and analysis of several modeling methods

	基于二维图纸建模法		基于激光雷达建模法	基于航测建模法
	利用设计图纸	利用施竣工图		
数据量	20 MB/基塔	15 MB/基塔	15 MB/基塔	0.1 MB/基塔
精细度	很高	高	高	中(金具可通过照片查看)
数据来源	计算说明书	施工图、竣工图	现场采集	无人机搭载相机采集
建模方式	自动	手动	手动	自动+手动
建模效率	快	慢(周/基塔)	慢	较快(30分钟/基塔)
地理精度	取决于图纸的地理精度	取决于图纸的地理精度	高	有控制点的情况下高

1) 真实反映架空输电线路设备细节和特征,让设备运维人员直观地了解架空输电线路设施设备的具体情况。

2) 作为基础空间数据,能实现架空输电线路资产的数字化管理。充分体现了各设备对象的空间位置、尺寸和拓扑关系等内容,为直升机、无人机巡检提供第一手准确的资料,使得线路巡视更智能、更精细。

3) 可与各设备的在线监测等管理应用无缝连接,从而辅助电网运行与维护,提高电网管理的技术水平。

4) 通过三维环境,可以将故障点附近的路况信息,实时地理位置,设备台账信息等直观,立体的展现出来。同时可以进行设备,应急点等的定位,对于分析更为有效的调配策略,更为合理的路径选择起到至关重要的作用。

5) 通过在电力系统中运用三维技术真实再现电网设备所处的环境信息等场景,进行直观的观察和分析,从而进行输电走廊,变电站选址等电网规划设计。

可见,电网设备三维模型真实地为规划、设计、应急、运维等管理部门提供输电线路的地理位置信息、模型设备信息和其它各种专业属性信息,实现资源的运营、维护与管理的信息化、系统化,不仅降低管理成本、提高工作效率,而且为宏观决策提供依据,对于电网的运营管理和辅助决策有着重要的意义。

4 结论

根据国家电网建设智能电网的需求,由于计算机技术及三维建模技术的飞速发展,电网的发展与人民的需求的迫切,三维建模技术在电网领域的应用越来越广泛。由此需要根据实际情况选择三维建模的方法,避免重复建设。

通过本文的研究,对三维建模的一些原则及方法做出了系统的分析。基于二维图纸建模法构建的模型精细度非常高,数据量较大,对GIS系统要求较高,仅适用于新建线路;基于激光雷达建模法作业强度大、采集成本高,后续数据处理工作量大,仅适用于小面积、精度要求较高的平原地区线路及变电站三维建模;基于航测的建模法能够满足电网运维管理的需求,而且可获取时

效性高、精度高、可视化程度高的线路走廊通道三维数据,值得推广应用,但需要制定相应的作业标准。

参考文献:

- [1] 许斌锋,孙海龙. 三维输电线路构建方法的研究与应用[J]. 现代电子技术, 2015, 38(20): 121-124.
XU B F, SUN H L. Research and application for construction method of 3D transmission line [J]. Modern Electronics Technique, 2015, 38(20): 121-124.
- [2] 王庭松. 三维建模技术在电网工程中的应用研究[J]. 电力勘测设计, 2012(8): 61-64.
WANG T S. Application of three dimensional model to electricity grid [J]. Electric Power Survey and Design, 2012(8): 61-64.
- [3] 胡峰,范亮. 三维激光扫描技术在变电站扩建工程中的应用研究[J]. 南方能源建设, 2016, 3(8): 92-95.
HU F, FAN L. Research on the application of 3D laser scanning technology in substation expansion project [J]. Southern Energy Construction, 2016, 3(8): 92-95.
- [4] 刘求龙,胡伍生. 利用点云数据进行惠泉变电站三维重建[J]. 地矿测绘, 2009, 25(4): 7-8.
LIU Q L, HU W S. Reconstruct of 3D model of huiquan substation from pointcloud [J]. Surveying and Mapping of Geology and Mineral Resources, 2009, 25(4): 7-8.
- [5] 史宜南,代侦勇,刘鹏. 激光点云建模与传统建模方法的比较[J]. 地理空间信息, 2016, 4(8): 41-43.
SHI Y N, DAI Z Y, LIU P. Comparison of laser point cloud modeling with traditional modeling method [J]. Geospatial Information, 2016, 4(8): 41-43.
- [6] 郑晖. 无人机视频流影像快速拼接方法研究[D]. 中国矿业大学(北京), 2016.
ZHENG H. Research on fast stitching method of uav video stream image [D]. China University of Mining and Technology (BeiJing), 2016.
- [7] 赵雪松,陈方东,郭昕阳,等. PLS-CADD在输电线路运行维护中的应用[J]. 华北电力技术, 2013(1): 67-70.
ZHAO X S, CHEN F D, GUO X Y, et al. Application of PLS-CADD in operation and maintenance of transmission lines [J]. North China Electric Power, 2013(1): 67-70.
- [8] 王仁德,杜勇,沈小军. 变电站三维建模方法现状及展望[J]. 华北电力技术, 2015(8): 19-23.
WANG R D, DU Y, SHEN X J. Expectation and review on substation 3D modeling methods [J]. North China Electric Power, 2015(8): 19-23.