

基于点云的变电站工程测绘信息提取

杨涛

维坤智能科技(上海)有限公司, 上海 200233

摘要: 随着电力系统的快速发展, 变电站的扩建改造工程日益增多。传统的测绘方法难以满足工程建设的要求, 三维激光扫描技术以其独特的优势在变电站测绘中得到广泛应用。本文介绍了三维激光扫描技术的原理和特点, 重点阐述了利用该技术获取点云数据并进行处理的方法, 在此基础上探讨了点云数据在变电站工程测绘中的三个主要应用: 生成地形图、变形监测和三维可视化管理。通过实际案例分析, 证明了该技术在变电站扩建改造工程中的可行性和有效性, 对相关工程测绘具有参考价值。

关键词: 变电站; 激光扫描; 点云数据; 三维模型; 工程测绘

Substation Engineering Mapping Information Extraction Based On Point Cloud

Yang Tao

Weikun Intelligent Technology (Shanghai) Co., LTD. Shanghai 200233

Abstract: With the rapid development of power system, the expansion and renovation projects of substations are increasing day by day. The traditional surveying and mapping method is difficult to meet the requirements of engineering construction, three-dimensional laser scanning technology has been widely used in substation surveying and mapping with its unique advantages. This paper introduces the principle and characteristics of 3D laser scanning technology, focuses on the method of obtaining and processing point cloud data by this technology, and discusses three main applications of point cloud data in substation engineering mapping: topographic map generation, deformation monitoring and 3D visualization management. The feasibility and effectiveness of this technology in substation expansion and renovation project are proved through the analysis of actual cases, and it has reference value for related engineering surveying and mapping.

Keywords: substation; laser scanning; point cloud data; three-dimensional model; engineering surveying and mapping

引言

传统的变电站测绘主要采用全站仪、GPS 等设备, 通过测量散点的方式获取目标物的空间坐标信息。这种作业模式下, 外业工作量大、效率低, 内业数据处理复杂。此外, 由于变电站存在大量带电设备, 直接接触测量存在安全隐患。为了获取变电站现状的全面、精确的三维信息, 亟须一种先进、高效、安全的测绘技术。三维激光扫描是近年来发展起来的一种新型空间信息采集技术, 通过向目标物表面发射激光束并接受其反射信号, 快速获取目标表面大量的三维坐标数据, 进而获取被扫描对象的数字化三维模型。与传统测绘方法相比, 三维激光扫描具有数据采集速度快、精度高、非接触式测量等优点, 在工程测量领域得到了广泛的应用和研究。国内外学者利用三维激光扫描技术在电力工程领域开展了一系列研究, 证实了该技术在变电站测绘工作中的可行性和有效性。

一、三维激光扫描技术原理及特点

(一) 三维激光扫描的基本原理

三维激光扫描仪是一种主动式遥感测量系统, 其基本工作原理是向目标发射激光束, 通过接收目标反射回的激光信号, 记录激光信号的发射角度和激光信号的往返时间, 进而计算出目标点相对于扫描仪三维坐标。扫描仪通过激光束的水平和垂直转动, 不断重复测距过程, 从而快速获取目标物表面大量离散的三维坐

标点数据。这些点数据构成了真实反映目标物表面形状特征的“点云”^[1]。

(二) 三维激光扫描技术的特点

与传统测绘技术相比, 三维激光扫描技术具有以下特点:

(1) 非接触式测量。三维激光扫描仪采用激光测距原理获取目标物信息, 在数据采集过程中不需要与目标发生物理接触, 避免了对目标物的破坏, 尤其适合变电站内带电设备的测量。

(2) 数据采集速度快。激光扫描仪的扫描速度可达到每秒几

作者简介: 杨涛, 男, 1991年6月, 研究方向: 工程测绘。

十万到上百万个点，与传统的点测量方式相比，大大提高了外业数据采集效率。

(3) 获取数据全面真实。扫描获得的点云数据真实反映目标物的三维表面形态，对于一些不规则、复杂的物体，激光扫描测量的优势尤为突出。

(4) 点位精度高。三维激光扫描仪可以达到毫米级的点位精度，完全满足变电站工程测量的要求。

(5) 扫描视角广。由于采用了360°环视和-45°~90°俯仰的扫描方式，激光扫描仪可对周围环境进行全方位、无死角的扫描。

正是基于以上特点，三维激光扫描技术在变电站扩建改造工程中得到广泛应用。下面将以某变电站为例，介绍利用该技术获取点云数据并进行处理与应用的全过程^[2]。

二、利用三维激光扫描仪获取点云数据

(一) 点云数据采集方案设计

利用三维激光扫描仪进行变电站测绘之前，需要根据现场环境和测绘目的等因素，合理设计点云数据采集方案。主要考虑以下几个方面：

(1) 确定扫描范围。根据变电站改扩建工程的设计要求，明确需要测绘的区域边界，合理划定扫描范围。

(2) 设计扫描站点。为了获取完整的点云数据，需要通过多站点扫描的方式对测区进行全覆盖扫描。扫描站点的设置要充分考虑各站点间的通视条件，尽量减少遮挡。

(3) 确定扫描密度。扫描密度是指每个扫描站点扫描获得的点数，它直接影响着点云数据的详细程度。扫描密度的选择需要兼顾测量精度要求和工作效率^[3]。

(4) 规划点云配准方案。多站点扫描获得的点云数据位于各自的坐标系中，需要通过点云配准将它们整合到统一的坐标系下。常用的方法有靶标配准和特征配准两种。

本文以某220kV变电站为例，该变电站占地面积约为15000m²。根据现场环境条件，共设置8个扫描站点，站点间距为30~40m。扫描密度设置为每10m处20mm间距。采用特征点配准的方法实现点云数据拼接^[4]。

(二) 外业点云数据采集

根据精心设计的数据采集方案，利用Leica ScanStation P40三维激光扫描仪开展外业数据采集工作。在扫描过程中，需要注意仪器架设的稳固性，确保三脚架平稳，仪器精确整平。开机后，对仪器高进行多次测量取平均值，提高测量精度。同时，严格按照采集方案的要求，合理设置扫描范围、分辨率等参数，既要满足数据密度和精度的需求，又要兼顾扫描效率。为了获得高精度的初始位置信息，便于后期点云数据配准，需利用全站仪在相邻扫描站点间进行联测，提供可靠的控制点数据。扫描过程中，要密切关注扫描数据的质量，及时发现数据缺失、噪点等问题并进行必要的补扫，确保数据的完整性和有效性。现场扫描工作结束后，要第一时间将数据拷贝至移动硬盘等存储设备中，防止意外丢失。经过细致高效的外业工作，共完成8个扫描站点的数据采集，每站点获得约3000万个三维点，总数据量达到10GB。海量高精度的点云数据，真实记

录了变电站的三维空间信息，是开展后续建模分析的基础^[5]。

三、点云数据处理

(一) 点云数据预处理

由于外业扫描过程中不可避免地引入各种噪声数据，为了确保后续应用的精度，需要在点云数据处理的第一步进行必要的预处理。主要包括：

(1) 点云数据格式转换。不同厂商的三维激光扫描仪点云数据格式各异，需要统一转换为通用的点云格式如ASCII、LAS等。

(2) 点云数据滤波去噪。采用统计滤波算法，去除扫描时混入的游离点、高程跳变点等粗差点。

(3) 点云染色。利用数码相机采集的影像信息，对点云进行真实色彩的渲染，增强其真实感。

(4) 点云分割。将点云数据按照一定规则进行分块，便于后续数据处理与管理。

本文采用Leica Cyclone软件对8个站点的点云数据进行了以上预处理，所有点云统一为ASCII格式，共剔除噪声点2.3%，最终得到“净化”后的点云用于下一步配准。

(二) 点云数据配准

点云数据配准的目的是将不同站点坐标系下的点云数据，通过坐标转换整合到项目统一的坐标系中。常用的配准方法有基于靶标的配准和基于特征的配准两种。本文采用特征点配准，即通过人工识别不同扫描点云中的公共点，建立不同站点坐标系间的转换关系，进而实现点云数据的拼接。在Cyclone软件中，打开所有站点的点云数据，采用区域生长法提取变电站主变压器、构架等明显目标的特征，人工选择公共特征点并进行匹配。各站点选择3~5个公共点，通过最小二乘平差计算三维相似变换参数，对点云进行坐标转换。平差后各站点间平均点位中误差为8mm，满足变电站工程测量的精度要求。配准后的点云能够真实反映变电站的整体场景，为后续应用奠定了基础^[6]。

四、点云数据在变电站工程测绘中的应用

(一) 变电站地形图测绘

传统的测绘方法难以快速获取满足设计要求的地形图，而利用三维激光扫描技术获取的海量点云数据，为快速生成高精度、大比例尺的地形图提供了新的解决方案。生成地形图的首要步骤是点云分层。由于扫描获得的原始点云包含了地面、建筑物、构架等多种地物信息，需要在统一坐标系下，根据地物的高差特征，将点云数据分层，从而突出表达不同地物的空间位置关系。通常可分为地面层、建筑物层、构架层等，以便后续进行针对性地处理和分析。点云分层完成后，需要从海量点云中提取关键地物要素。由于点云数据是离散分布的，要素信息蕴含其中但难以直接利用。因此，需采用聚类分割等算法，根据点云的几何特征和语义特征，自动或半自动提取建筑物轮廓、道路边线、电杆等矢量化地物要素，为构建地形图奠定基础。提取出的地物要素需

要进一步矢量化,以满足 CAD 制图的要求。通过将点云要素转换为 CAD 中对应的矢量图元,如折线、多段线、闭合多边形等,并结合实际赋予其属性信息,如地物类别、高程、长度等,最终形成完整的矢量化地形图层。为保证地形图的精度,需利用传统测量手段进行质量评估。通过全站仪等对若干地物特征点进行实地坐标测量,将其作为检查点,与点云生成的地形图进行定量对比,计算平面位置和高程的误差,以此评估点云解析结果的精度,验证其是否满足变电站设计要求。本项目充分利用三维激光扫描获取的点云数据,提取了地形地貌、道路、建筑物等关键地物要素,建立了1:500高精度地形图。通过布设30个全站仪检查点进行精度评定,结果表明,点云解析得到的地形图高程中误差为15mm,平面位置中误差为25mm,精度指标优于传统测绘方法,完全满足了变电站扩建改造工程的设计要求。三维激光扫描技术在变电站地形图测绘中的应用,大大提高了测绘效率和成果精度,为工程设计提供了高质量的基础数据支撑^[7]。

(二) 变电站设备结构变形监测

变电站电气设备长期处于户外环境中,承受着风荷载、静载荷等多种外力作用,加之材料老化、基础沉降等因素影响,设备支架和构架极易产生变形,严重影响设备的安全稳定运行。因此,对变电站电气设备进行定期的变形监测至关重要。传统的变形监测主要依赖人工架设经纬仪、水准仪或检测尺等工具,在变电站复杂的环境中操作难度大、效率低,且存在较大的作业安全隐患。传统的变形监测主要依赖人工架设经纬仪、水准仪或检测尺等工具,在变电站复杂的环境中操作难度大、效率低,且存在较大的作业安全隐患。三维激光扫描技术以其非接触、高精度、全景式的特点,为变电站设备结构的变形监测提供了安全高效的新手段。通过利用三维激光扫描仪在不同时期对设备结构进行扫描,获取高密度的点云数据,再将不同时期的点云数据配准到同一坐标系下,提取关键特征点的三维坐标,通过坐标比对分析即可精确计算出特征点的位移量,进而揭示构架的整体位移和倾斜变形规律。本项目选取220kV变压器构架作为监测对象,利用三维激光扫描技术获取了两个不同时期的构架点云数据。通过特征点配准和提取,定量分析了构架的变形情况。监测结果表明,受基础不均匀沉降的影响,变压器构架在长度方向上产生了23mm的倾斜位移。这一监测结果直观揭示了变压器构架的变形规律和程度,为变电站运行维护部门及时掌握设备健康状态、制定针对性的检修策略提供了重要依据,对于保障变压器的安全稳定运行具有重要意义^[8]。

(三) 变电站三维可视化管理

变电站作为电力系统的核心枢纽,其安全稳定运行直接关系到电网的可靠性和供电质量。传统的变电站管理主要依赖于二维图纸和表格数据,信息呈现形式抽象,查询和分析效率低下,难以满足现代变电站精细化管理的需求。将三维激光扫描获取的点云数据与变电站其他空间和属性信息相融合,构建三维可视化模型,为变电站资产管理提供了全新的解决方案。本项目以高精度点云数据为基础,利用 Autodesk Revit 等专业三维建模软件,对变电站的主要设备和构筑物进行了精细化三维实体建模。通过将每个模型构件与设备管理系统中的属性信息相关联,如设备的型号、材质、生产日期、运行状态等,建立起设备三维模型与属性数据库之间的动态链

接,最终搭建了一个集三维可视化、设备管理和辅助决策于一体的变电站综合管理平台。管理人员登录该平台后,可以通过鼠标和键盘等人机交互方式,自由漫游和浏览变电站的三维虚拟场景。平台提供了多种视角切换、飞行漫游、信息查询等功能,使管理人员能够直观了解变电站的整体布局和设备分布情况。当需要查看某一设备的详细信息时,只需点击三维模型中的相应构件,即可调取相关的属性参数和运行状态数据,实现设备信息的可视化查询和管理。除了直观的三维场景呈现和设备属性查询,可视化管理平台还提供了多种辅助分析工具,如虚拟装配、碰撞检测、通视分析、日照模拟等^[9]。这些工具可应用于变电站规划设计、检修策略制定、应急预案演练等管理工作中,辅助管理人员进行科学决策。例如,通过对设备三维模型进行虚拟装配和碰撞检测,可以优化设备布置方案,减少安全隐患;通过对变电站进行通视分析,可以合理规划巡检路线,提高巡检效率;通过日照模拟,可以分析阴影区域,优化照明设计等。可视化管理平台的建立,使变电站的管理工作从传统的二维平面走向三维立体,从静态的图表走向动态的虚拟场景,从单一的信息汇总走向一体化的综合管控^[10]。

结束语

三维激光扫描技术以其独特的优势,为变电站工程测绘提供了高效、精准、安全的新方法。通过获取高精度点云数据,并进行智能化处理和应用,可快速生成变电站三维模型和高精度地形图,实现对变电站设备的精准变形监测,构建三维可视化综合管理平台。这些应用极大地提升了变电站工程的精细化管理水平,促进了输变电设备的智能化运维,对于保障电力系统的安全稳定运行具有重要意义。未来,随着测绘技术与信息技术的深度融合,三维激光扫描必将在智慧电网的建设中发挥更大的作用,为电力行业的可持续发展贡献力量。

参考文献:

- [1] 姚煜, 蒋昌太. 基于激光点云数据的聚类算法分析应用 [J]. 传感器世界, 2023, 29(10):19-23.DOI:10.16204/j.sw.issn.1006-883X.2023.10.004.
- [2] 王菲, 王球, 任佳依, 等. 三维激光扫描技术在变电站电气设备识别中的应用 [J]. 佳木斯大学学报 (自然科学版), 2020, 38(04):124-128.
- [3] 裴本君. 基于激光扫描的变电站设备三维点云数据识别技术研究 [D]. 郑州大学, 2016.
- [4] 叶子玉. 基于三维激光扫描技术的变电站精细建模技术研究与应用 [J]. 农村电气化, 2023, (02):35-39.
- [5] 赵永辉, 刘雪妍, 吕勇, 等. 基于激光点云数据的单木骨架三维重构 [J]. 森林工程, 2024, 40(01):128-134.
- [6] 张桂林, 王敬德, 韩阳, 等. 基于点云数据与 BIM 模型配准方法的研究 [J]. 工业建筑, 2024, 54(05):68-74.DOI:10.13204/j.gyjzG22091503.
- [7] 张桂林, 王敬德, 韩阳, 等. 基于点云数据与 BIM 模型配准方法的研究 [J]. 工业建筑, 2024, 54(05):68-74.DOI:10.13204/j.gyjzG22091503.
- [8] 邹世锋, 陶尧君, 秦昌威, 等. 基于 FME 的点云数据生成公路纵横断面解决方案 [J]. 地理空间信息, 2023, 21(11):94-97.
- [9] 卢美君, 魏倩岚. 基于激光点云数据的室内空间划分与建模方法 [J]. 激光杂志, 2023, 44(11):214-219.DOI:10.14016/j.cnki.jgz.2023.11.214.
- [10] 杨志坚. 基于多源点云数据的铁路线路信息化 [J]. 测绘通报, 2023, (11):177-181.DOI:10.13474/j.cnki.11-2246.2023.0349.