

[激光雷达]

基于激光雷达技术探讨架空输电线路巡检实践

文/赵雷¹ 卢愿² 张海强¹ 牛永光²

1. 国网菏泽供电公司; 2. 山东鲁软数字科技有限公司

文章旨在探讨激光雷达技术在架空输电线路巡检中的应用及其实践。研究首先介绍激光雷达技术的基础知识，随后分析架空输电线路巡检的需求，强调巡检的重要性，并讨论在巡检过程中遇到的常见问题与挑战。在此基础上，详细阐述激光雷达巡检系统的组成，数据采集与处理方法，并通过具体应用案例展示了激光雷达在巡检中的实际效果。通过这些内容，为架空输电线路的高效、安全巡检提供全面的理论与实践指导。

随着电网规模的不断扩大和电力需求的日益增长，传统的输电线路巡检方法已难以满足现代电力系统对巡检效率和准确性的要求。据相关统计，电力系统故障中约有80%与输电线路有关，而架空输电线路的巡检工作是预防和减少这些故障的关键环节。因此，探索一种高效、精确的巡检技术显得尤为迫切。激光雷达技术，以其高准确度、高效率和非接触式的特点，在架空输电线路巡检领域展现出巨大的应用潜力。激光雷达技术正是以其简洁的技术原理和强大的数据处理能力，为架空输电线路巡检提供了新的解决方案。

激光雷达技术基础

1. 激光雷达技术概述

激光雷达技术（Light Detection and Ranging, LiDAR），是一种利用激光脉冲测量目标距离的遥感技术。它通过发射激光束并接收反射回来的光波，计算光波往返时间来确定目标物体的位置和距离。如图1所示，在架空输电线路巡检中，激光雷达技术以其高准确度、高效率和非接触式测量的特点，成为电力系统维护的重要工具。如激光雷达可以在不中断电力供应的情况下，快速准确地检测输电塔的结构完整性、绝缘子的状况以及导线的磨损程度。

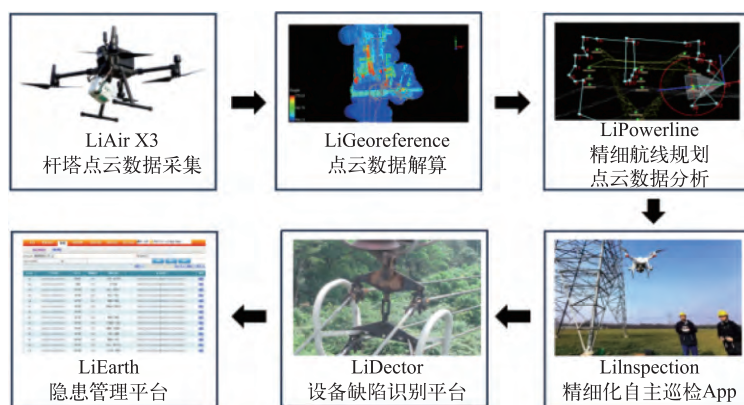


图1 架空线路巡检技术方案

2. 激光雷达在电力巡检中的应用优势

激光雷达技术在架空输电线路巡检中的应用，以其高准确度和高效率的特点，显著提升电力巡检的准确性和安全性。如通过激光雷达的三维扫描能力，可以精确地获取输电塔和导线的空间位置信息，误差范围可控制在厘米级，这对于确保输电线路的稳定运行至关重要。在一项针对高压输电线路的巡检案例中，激光雷达技术成功检测出导线的微小磨损和绝缘子的裂纹，这些细微的缺陷在传统巡检方法中往往难以被发现，而它们被及时发现和修复，能够有效避免可能的电力中断和安全事故。激光雷达技术的应用减少了对人力的依赖，降低巡检成本，并通过自动化数据处理和分析模型，提高巡检数据的处理速度和准确性，从而为电力系统的可靠性和效率提供有力的技术支持。

架空输电线路巡检需求分析

1. 输电线路巡检的重要性

据统计，全球每年因输电线路故障导致的停电事件高达数千次，给社会经济和人民生活带来巨大影响。如2019年美国加州的山火事件，部分原因就是输电线路故障引发的。因此，及时发现并处理输电线路的隐患，是保障电力供应连续性和安全性的关键。架空输电线路作为电力传输的重要组成部分，其巡检工作尤为关键。通过定期的巡检，可以有效预防和减少故障发生，保障电网的稳定运行。

2. 巡检中的常见问题与挑战

在架空输电线路巡检的实践中，常见的问题与挑战包括恶劣天气条件下的巡检难度、复杂地形对巡检效率的影响以及传统巡检方法的局限性。如雷雨、大风等极端天气威胁巡检人员的安全，严重影响巡检设备的正常运行。根据某电力公司统计，每年因恶劣天气导致的巡检延误次数占总延误次数的30%以上。山区、森林等复杂地形使得巡检人员难以接近输电线路，增加巡检的难度和成本。传统的人工巡检方法依赖于巡检人员的经验和判断，容易受到主观因素的影响，导致巡检结果的不一致性。针对这些挑战，激光雷达技术的应用提供一种创新的解决方案。激光雷达能够在恶劣天气条件下稳定工作，其高准确度的数据采集能力使得巡检人员能够准确识别线路的微小缺陷，从而提高巡检的准确

性和效率。如某电力公司在引入激光雷达巡检系统后，巡检效率提高40%，巡检数据的准确性得到显著提升。

3. 巡检技术需求分析

现阶段，传统的巡检方法已难以满足现代电力系统对巡检速度和准确性的要求。如根据某电力公司统计，采用人工巡检方式，平均每年每条线路的巡检时间约为10 h，而采用激光雷达技术后，这一时间可缩短至2 h以内，效率提升显著。如通过激光雷达获取的点云数据，可以精确到毫米级别，从而发现绝缘子的微小裂纹或导线的轻微磨损。

激光雷达在架空输电线路巡检中的应用

1. 激光雷达巡检系统组成

激光雷达巡检系统由激光发射器、接收器、扫描仪、数据处理单元和软件平台等关键组件构成。这些组件协同工作，确保架空输电线路巡检的高效与精确。激光发射器发出的脉冲激光束能够精确测量目标物体的距离，而接收器则负责捕捉反射回来的激光信号。扫描仪通过快速旋转或移动，使得激光束覆盖整个巡检区域，从而获取三维空间数据。数据处理单元对收集到的海量数据进行实时处理，通过先进的算法和分析模型，将原始数据转化为直观的三维图像和精确的测量结果。软件平台则为操作人员提供一个友好的界面，用于控制巡检过程、分析数据和生成巡检报告。如在某次巡检实践中，通过激光雷达技术，成功检测到了输电塔上微小的裂纹，这些裂纹在传统巡检方法中很难被发现，但它们预示着潜在的安全隐患。

2. 激光雷达数据采集与处理

激光雷达技术以其高准确度和高效率的数据采集能力，为电力系统的安全运行提供强有力的技术支持。激光雷达通过发射激光脉冲并接收反射回来的信号，能够精确测量目标物体的距离、速度和形状，生成高分辨率的三维点云数据。这些数据能够详细记录输电线路的物理状态，能通过对比历史数据，及时发现线路的微小变化，如导线磨损、绝缘子损坏或铁塔变形等问题。

如在某次巡检中，通过激光雷达采集到的点云数据，工程师们发现一处铁塔的轻微倾斜。通过分析这些数据，结合结构分析模型，能够评估倾斜对

整个输电线路稳定性的影响，并预测其发展趋势。这种基于数据的预测和分析，比传统的巡检方法更为准确和高效，大大提高巡检的科学性和预防性。

激光雷达数据的处理和分析需要依赖先进的算法和软件工具。通过应用机器学习和人工智能技术，可以自动化识别和分类点云数据中的异常情况，从而减少人工干预，提高数据处理的速度和准确性。

3. 激光雷达在巡检中的具体应用案例

以某电力公司采用的LiAirX4自主飞行激光雷达采集系统为例，该系统通过搭载在无人机上的激光雷达设备，对输电线路进行高精度扫描，能够快速获取线路及周围环境的三维数据。在一次具体的巡检案例中，该系统在不到2 h内完成了对一条长100 km的输电线路的全面扫描，相较于传统的人工巡检方式，效率提升了数十倍。激光雷达数据的高精度特性使得巡检人员能够发现并记录下直径仅为几毫米的绝缘子裂纹，这在以往的巡检中是难以实现的。通过对比分析激光雷达采集的数据与历史数据，巡检人员能够准确评估线路的健康状况，并及时发现潜在的风险点，从而采取预防性维护措施。

LiAirX4是数字准确绿土研发的新一代自主飞行激光雷达采集系统，集成轻小型32线激光雷达、

高精度惯导、高分辨率测绘相机以及高算力边缘计算平台。如图2所示。



图2 LiAirX4自主飞行激光雷达采集系统

架空输电线路巡检实践

1. 巡检前的准备工作

必须对激光雷达巡检系统进行全面检查，包括硬件设备的完好性、软件系统的更新状态以及数据传输链路的稳定性。如激光雷达传感器的准确度必须满足特定的技术指标，如测量准确度需达到 ± 1 cm，以确保能够准确捕捉到输电线路的微小缺陷。根据过往案例分析，巡检前的天气预报和地形地貌研究是不可或缺的环节。因为恶劣天气条件或复杂地形可能会对激光雷达的扫描效果产生不利影响。在技术层面，应用适当的飞行规划软件，如Drone Planner或Mission Planner，可以优化无人机的飞行路径，从而提高数据采集的效率和质量。激光雷达工况模拟如图3所示。

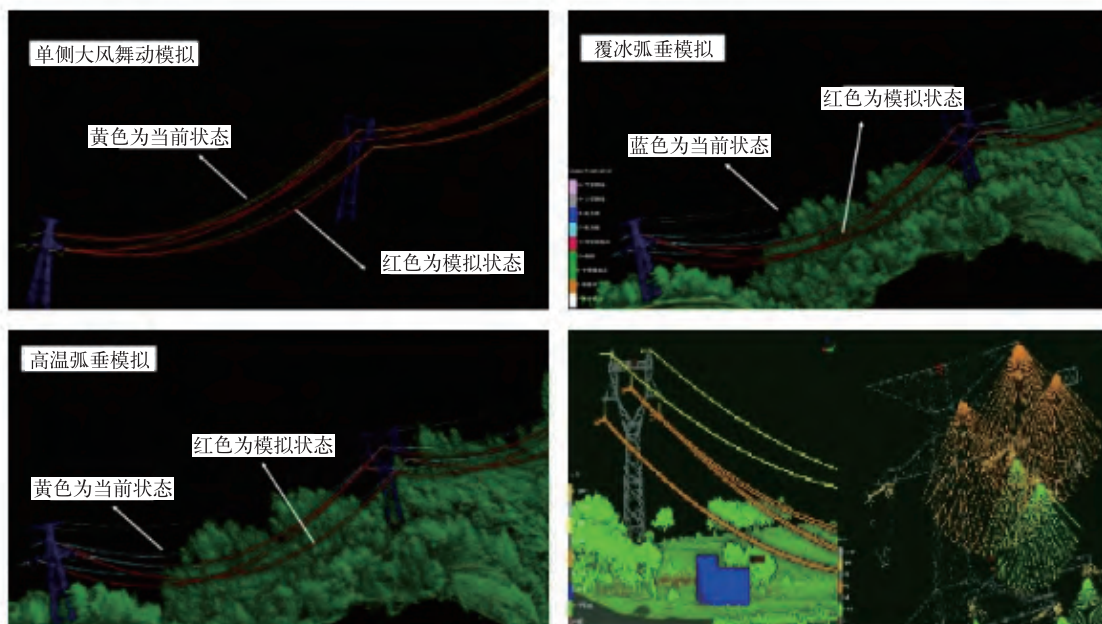


图3 激光雷达工况模拟

2. 巡检过程中的操作流程

激光雷达技术的应用显著提高巡检的精确度和效率。通过部署无人机激光雷达系统，LiAir X3C-H 是数字绿土自主研发的一款轻小型无人机激光雷达系统，作为LiAir300产品的升级版，采用一体化设计方案，内置高分辨率测绘相机。

巡检人员能够在不接触高压线路的情况下，对输电塔和导线进行精确测量。系统采集的数据经过处理后，可以生成高准确度的三维模型，从而实现线路状况的实时监控。如在一次巡检中，激光雷达成功检测到一处导线的微小偏移，该偏移若不及及时发现，可能会导致短路事故。通过及时的维护，避免潜在的电力中断和经济损失。激光雷达技术在数据分析与处理方面，能够运用先进的算法模型，如机器学习和深度学习，对巡检数据进行智能分析，从而预测潜在的故障风险，实现预防性维护。

3. 巡检数据的分析与处理

激光雷达技术的应用为电力系统的安全运行提供强有力的数据支持，对巡检数据的深入分析与处理，可以有效识别线路的潜在风险和故障点。如在某次巡检中，激光雷达系统采集到的点云数据揭示一处铁塔的微小倾斜，经过三维建模和对比历史数据，发现倾斜程度已超过安全阈值。利用激光雷达技术，能够精确测量出倾斜角度，通过分析模型预测其发展趋势，从而及时采取维修措施，避免可能的电力中断事件。

数据处理过程中，采用先进的算法对激光雷达采集的海量点云数据进行滤波、分类和特征提取，是确保分析结果准确性的关键。如应用机器学习算法对输电线路周围的植被生长情况进行监测，可以有效预防因树木过长接触导线而引发的短路事故。在某次巡检中，通过对比不同时间点的巡检数据，发现特定区域的树木生长速度异常，及时进行了修剪，从而保障了输电线路的安全运行。

巡检数据的分析与处理涉及到对输电线路绝缘子污秽程度的评估。通过激光雷达技术获取的高准确度表面图像，结合环境数据如湿度、温度等，可以使用统计模型来评估绝缘子的污秽等级。在实际应用中，通过对比分析不同时间段的绝缘子表面图像，可以预测其污秽发展趋势，为制定清洗计划提供科学依据。

4. 巡检结果的应用与反馈

通过对巡检数据的深入分析，能够识别出输电线路的微小缺陷，如绝缘子的裂纹、导线的磨损以及铁塔的腐蚀等。如在某次巡检中，激光雷达系统成功检测到一处导线磨损，其磨损程度达到了原直径的15%，若未及时发现，可能会导致严重的电力中断事故。利用激光雷达采集的数据，结合先进的分析模型，能够预测设备的潜在故障，并制定相应的维护计划，从而实现预防性维护，减少突发性故障的发生。

巡检结果的应用与反馈限于技术层面，涉及管理决策和资源分配。根据巡检数据，电力公司能够优化巡检路线和频率，减少不必要的巡检次数，节约成本。同时，通过对比历史数据和实时数据，可以评估巡检策略的有效性，及时调整巡检计划。

巡检结果的应用与反馈促进跨部门的协作和信息共享。激光雷达技术提供的精确数据，使得工程师、维护人员和管理层能够基于同一套信息进行决策，从而提高决策的透明度和准确性。在某次巡检中，通过激光雷达检测到的铁塔倾斜问题，经过团队的分析，最终确定加固铁塔的方案，并成功避免一次可能的结构倒塌事故。这一案例充分展示巡检结果在跨部门协作中的重要性，以及在保障电力系统安全稳定运行中的关键作用。

结束语

随着激光雷达技术的不断进步，其在架空输电线路巡检领域的应用已经展现出显著的优势和潜力。通过精确的数据采集和高效的处理能力，激光雷达技术提高了巡检的准确性和安全性，大幅度降低了人力成本和时间消耗。未来的发展方向将集中在提高数据采集的精确度、处理速度以及系统的智能化水平。如通过引入更高分辨率的激光雷达传感器，可以实现对输电线路细节的更精细捕捉，从而提升巡检的准确性和效率。结合人工智能算法，如深度学习和机器视觉，可以进一步自动化数据处理流程，减少人工干预，提高巡检效率。案例分析显示，应用先进激光雷达技术的巡检系统，其故障检测率可提升至95%以上，显著高于传统人工巡检的效率。EA

(收稿日期：2024-11-16)