

可视化技术在输电线路巡检中的应用

刘宏光 盛德琦 孙庆国

国网山东省电力公司淄博供电公司

摘要: 电力行业与市场经济发展有着密切关联性, 电力产业属于保障社会发展以及为居民正常生活提供支持的重要产业, 对整个社会发展有着决定性影响。输电线路属于电力系统的重要构成内容, 同时也是相当重要的角色, 对于电力运输有着显著的影响。对输电线路进行可视化巡检就能够很好解决运维问题, 提高智能电网的运行效率, 实现智能电网的经济运行。但是目前对于输电线路的巡检都是基于2D基础的, 无法实现输电线路可视化巡检的需求。本文介绍了开发智能可视管理系统的必要性, 分析了该系统的设计原则、功能及架构, 并结合实际情况, 围绕应用该系统所能取得的效果展开了讨论, 指出该系统在提高巡检效率、保证设备安全等方面均能发挥出十分重要的作用, 以期为相关人员提供帮助。

关键词: 可视化技术; 输电线路; 巡检

【DOI】10.12252/j.issn.2096-6288.2023.07.112

引言

输电线路无人机巡检主要采用多旋翼无人机对塔身以上设备拍摄杆塔、导地线、绝缘子、金具设备进行精细化巡检, 无人机巡检的普及提高了输电线路运维工作效率, 目前国内外正在开展无人机自主巡检技术研究及应用。在巡检图像处理方面, 目前运维单位主要采用人工审核的形式判断线路缺陷, 难以对日益增长的海量巡检数据进行及时处理。传统的模式识别方式通过人工设计特征来描述缺陷目标, 结合浅层机器学习模型进行缺陷识别, 其算法开发流程的固有的缺陷使检测效果始终无法满足应用需求。

一、输电线路巡检可视化概念

可视化的应用能够有效增强视觉感, 人类视觉对于以数字、文本等形式存在的非形象化信息的直接感知能力远远落后于对于形象化视觉符号的理解。一个合理的层级梳理, 以及可视化的视觉架构可以大大缩短人脑处理信息的时间。巡检可视化系统由智能终端、数据库服务器、分析展示系统组成, 能够辅助作业人员更直观地完成设备巡检和工况预判。可视化应用于输电线路的巡检和监控系统, 结合升压站、输电线路位置、结构、地理、状态等信息, 配合站内各设备的SCADA实时运行数据接入, 运用图像识别算法和巡检拍摄的图像高细粒度处理, 实现输电线路可视化展示与监控, 使运维人员得以对展现的巡检和运行数据进行观察和分析, 更好地掌控业务的性能, 全方位主动保障输电线路长时间、安全、可靠地运行。

(一) 可视化技术在输电线路运维中的工作原理。

可视化技术即通过在输电线路杆塔上安装监控摄像

头, 利用图像识别、智能分析等数字化技术, 对线路附近的可疑危险源进行抓拍、识别、判断, 从而达到对输电线路通道附近环境进行管控的目的。其工作逻辑一般为: (1) 监控设备对线路通道附近的车辆、机械、异物进行实时抓拍。(2) 系统利用智能算法对抓拍到的图像进行分析判断, 对危险性较小的小型车辆、机械等进行过滤, 对危险性较大的泵车、吊车、挖机等工程机械进行标记并推送告警。(3) 监控人员根据经验对系统告警做出判断, 若认为推送告警对线路安全运行无影响则进行消警处理; 若认为推送告警可能危及线路安全运行, 则通过系统进行派单, 联系附近网格化巡视人员赶赴现场进行管控。(4) 危险源确认后对派发工单进行闭环。

(二) 可视化技术的特点

可视化技术的优势。与传统的人工巡视相比, 可视化巡视具有以下优点: (1) 巡视范围广。可视化监控设备能对通道周围的大面积环境进行实时监测, 由于可视化设备的安装高度一般都较高, 通道附近的状况一览无余。(2) 巡视效率高。传统的人工巡视由于线路距离远, 长度长, 地形复杂等种种原因耗时长、效率低, 可视化设备对一条线路完成一次线路通道巡视往往只需要几分钟。(3) 环境限制小。恶劣天气往往也是人工巡视的薄弱期, 可视化巡视可以突破恶劣天气以及白天黑夜的限制, 实现对输电线路“全天候无死角”的监测。(4) 响应速度快。只要可视化设备监控范围内出现可疑危险源, 系统便会立即推送告警, 配合输电线路网格化巡视20分钟响应圈, 达到将危险消灭在萌芽中的效果。

（三）实践过程中的弊端

尽管与传统的人工巡视相比，可视化巡视具有无可比拟的优越性，但随着可视化技术的普及应用，使用过程中也暴露出种种弊端。（1）设备在线率不稳定。由于网络信号强度等原因，可视化设备的在线率一直处于波动状态，设备的离线具有相当的随机性和偶然性，且目前并没有太好的解决办法。设备离线期间就会形成监控的真空期，造成监控盲区，存在一定的外破风险。

（2）设备维护压力大。由于监控设备安装在铁塔上，运行环境较为恶劣，再加上现在的监控设备大都采用太阳能和电池相结合的供电方式，无法保证提供稳定、连续、不间断的电能供应，设备经常出现长时间的离线，需要厂家定期对离线设备进行维护。（3）告警推送有间隔。可视化监控理想的状态应该是能实现全天候24小时不间断的监控告警，但由于供电方式的限制，监控设备无法长时间保持高功耗的视频或者图像拍摄以及图像传输，只能通过设置拍摄间隔的方式降低功耗，但拍摄间隔期同时也是监控的真空期，存在较大的外破风险。

（4）图形算法不成熟。监控得到的画面通过一定的智能算法进行识别，过滤掉一批对线路运行无影响的危险源，剩下无法进行确切识别判断的危险源再由人工进行进一步分析确认。目前的技术还无法实现隐患信息的实时告警、精准智能的分析决策以及在线监控装置的智能化应用。

二、输电可视化监控管理中的现状问题

输电可视化工作是一类新兴业务类型，在可视化系统日常运行和业务实际运作中，可视化管理人员通常面临着以下三方面现状问题。

（一）监控设备台账不实用

当前，监控设备台账主要依赖于可视化系统导出，由系统导出的设备台账，是站在厂家开发人员的角度，包含有大量设备版本、内部参数设置等信息，此类信息繁杂，对于线路运维工作属于无效信息，达不到线路运维人员方便查阅、一目了然的工作要求。实际上，线路运维人员更加关心某一杆塔上是否有监控设备、镜头朝向大小号侧以及整条线路的监控覆盖情况等，而由系统导出的监控设备台账难以直观体现此类信息，与线路运维中基础台账资料构建习惯不符，实用性不强。

（二）缺少可视化监控设备标准缺陷库

可视化监控设备悬挂于输电线路杆塔之上，暴露在户外运行，风霜雨雪等自然因素的作用，会加剧设备中的电子部件老化、劣化，镜头成像效果变差，设备功能

不断衰减，容易出现设备离线、镜头模糊等缺陷。此类状态异常的监控设备隐患预警功能减弱，甚至消失，进而影响到线路通道防护，令输电线路暴露于跳闸风险之中。另外，运行中的监控设备还会出现镜头歪斜、设备馈电、树木生长而遮挡视野等多种缺陷类型。然而，运维单位中专用于记录监控设备缺陷的标准缺陷库鲜有建立，相应的缺陷危急程度定级标准、消缺闭环管理缺失。

（三）无效隐患推送问题普遍存在

监控设备拍摄、预警的线路廊道隐患图片，传回输电可视化监控中心，由监控人员初筛后推送至线路巡视人员进行现场回访处置。但由于距离、角度和镜头成像等原因，经监控人员筛选并推送给巡视人员的预警信息并不一定实际有效。巡视人员到达现场后发现小型机械在高大铁塔线下施工、角度原因隐患实际位于线路防护区外很远等现象普遍存在，此类无效隐患推送，会浪费现场巡视人员力量，影响其他隐患到位及时性，降低可视化预警精准度和针对性，不利于线路巡视防护。

三、可视化技术在输电线路巡检中的应用

（一）激光点云测距与可视化融合应用

由电力巡检无人机搭载激光雷达对输电线路进行空中扫描，可以生成线路杆塔、导地线及一定范围内线路廊道的激光点云数据，该数据可以三维立体化标定被扫描物体位置，因而当线路下方出现施工机械时，结合导线点云位置和机械在监控画面中的位置，便可以计算出机械最高点与导线之间的距离，从而为监控人员判断隐患危急程度、提高推送准确性提供数据支撑。

（二）线路故障跳闸联动可视化抓拍

输电线路运维工作难免遭遇线路故障跳闸的情况，如吊车触碰导线造成线路外破跳闸，部分驾驶员因惧怕担责而将吊车收起逃离肇事现场，人员车辆逃逸过程时间短暂，通常运维人员在收到调度跳闸通知、组织故障巡视抵达线路时，已人去车空，这为故障点查找和事后追责取证工作增添了较大困难。因而便产生了在线路发生故障跳闸短时间之内，由可视化系统对全线进行抓拍留证的思路。为缩短抓拍时间，考虑由调度系统监测到线路跳闸信息后直接发送可视化系统进行抓拍动作。

（三）可视化导线舞动监测

输电线路导线在风力、覆冰等作用下，会发生一种低频率、大振幅的自激振动，即导线舞动。舞动的发生会对输电线路造成巨大破坏，如相间跳闸，金具、导

线、杆塔损坏等，因而对导线舞动情况的监测是恶劣天气下输电线路运维的重点检查项目。目前采用的舞动监测装置，须在线路停电时，由人工出导线加装，不仅安装条件受限，也具有较高的安全风险。而导线大振幅舞动的现象，可通过可视化监控系统进行监拍，不必再进行额外的设备安装。当前，可视化舞动监测功能已上线运行，恶劣天气下，监控设备可录制短视频回传后台，供监控人员直接查看舞动情况，另外还具备描绘导线运动轨迹、估算导线振幅等功能。

（四）线路隐患热力图

除了监控设备方面的拓展应用，监控室每日推送的线路隐患，可以累积形成隐患管理台账，在线路隐患管理方面深化应用，如形成线路隐患热力图。隐患热力图可以分为两类进行描绘，一类是线路隐患地理热力图，图中从地理位置上标记出近一个月内线路隐患高发区，给出线路隐患区域性分布情况；另一类从单条线路的角度出发，横轴表示线路每个档，纵轴表示某时间段内（以月度为例）的隐患推送频次，某条线路外破隐患高发区段可直观图示，并用以指导现场巡视人员进行重点防护。

（五）建议与展望

针对目前可视化技术的不足之处，在现有的条件下只能采用以下方法加以弥补：（1）缩短拍摄间隔。通过缩短设备拍摄间隔达到增加抓拍频率的目的，从而减少漏报概率，但这也会造成告警数量成倍增加和设备能耗增大。（2）加强人员培训。通过对监控人员开展专业技能培训，提高人员素质，加强监控人员对危险源的识别判断能力和事故预警能力。（3）开展事故演练。常态化模拟事故发生应急处置演练，加强人员、设备、系统之间的配合，锤炼20min快速反应圈内应急处置能力。

四、架空输电线路无人机运维巡检技术

（一）数据采集

通过无人机进行输电线路巡检时，采集的输电线路运行状态数据，需要符合如下要求：有效性、一致性、无偏性。这就要求无人机采集数据过程中，能够消除环境、对焦和多次摄像等因素的影响。同时，随着无人机采集数据的增加与时间的推移，这些数据需保持稳定。而且随着光照、拍摄角度、飞行平台等因素的变化，数据质量稳定，能够实现光学矫正、几何矫正、空间矫正等功能。无人机只有满足这些要求，才适合进行无人机巡检作业，采集高质量的数据信息。

（二）图像处理技术

采用的图像处理技术为全景-生成技术，其技术原理就是：将无人机在工作过程中通过摄像头拍摄到的线路图片进行相关处理，得到整个塔身附近的全景的图像。第一，将飞行器收集到的图片进行整合，多视角对拍摄的线路进行分析，然后做出判断；第二，利用该项技术，对图片进行处理，全景图的生成，要经历折叠转换、图片整合、处理等过程。

（三）无人机巡检数据的分析和整理

运用该项技术，能够扩大监控面积，使巡查效率提高，也能够快速找出故障点，精准定位，节约巡检时间。已巡检的视频也可以自动保存，方便工作人员后期的记录，后期可以对比相关信息，找出相关规律、进行分析。使用过程中，还可以根据飞行状况实时进行调节，确保其满足工作需要，大大提升了工作效率，降低安全风险。

结束语

可视化设备在供电方式、电池、通信技术等方面的突破以及图像识别智能算法上的改进，使得监控设备稳定性、续航性大大提高，系统的流畅性、智能程度不断增强，可视化技术才能真正促进输电精益化管理工作水平持续提升，保证输电设备安全稳定运行。

参考文献

- [1] 钱金菊, 张睿卓, 王柯, 等. 输电线路巡检可视化管理系统及其应用[J]. 广东电力, 2018, 9(16): 27-29.
- [2] 周宏辉, 汪从敏, 江炯, 等. 基于地理信息系统的输电线路无人机巡检管理平台研究与实现[J]. 浙江电力, 2019, 9(7): 11-13.
- [3] 邵校嘉, 屈勇, 陈铸成, 等. 基于无人机云端控制的智慧输电业务巡检方法[J]. 电网与清洁能源, 2021, 11(18): 29-32.
- [4] 刘冲, 马晓昆, 郑宇, 等. 基于5G技术的无人机在输电线路巡检的应用[J]. 电力信息与通信技术, 2021, 7(9): 11-13.
- [5] 程绳, 范杨, 王宝峰, 等. 基于AR智能眼镜的输电线路巡检标准化作业系统研究[J]. 电工技术, 2021, 13(4): 11-13.
- [6] 赵轩, 徐涛, 彭冲, 等. 基于多数据融合的输电线路巡检智能交互平台建设方案[J]. 自动化应用, 2021, 12(14): 26-28.