

110kV-220kV输电线路的运行维护研究

秦建军

国网临汾供电公司输电运检中心

摘要: 输电线路是电力系统的重要组成部分,负责将电力从发电厂输送到变电站,再通过配电线路输送到终端用户。110kV-220kV输电线路是中压输电系统的主力,其运行状况的良好与否直接影响着电网的稳定性和供电可靠性。本文针对110kV-220kV输电线路的运行维护现状和面临的主要问题进行分析和研究,重点探讨了输电线路巡检、缺陷处理、在线监测等关键环节的优化措施,旨在为输电线路的安全高效运维提供参考和借鉴。

关键词: 输电线路; 运行维护; 巡检; 缺陷处理; 在线监测

【DOI】10.12252/j.issn.2096-6261.2023.11.082

引言

随着经济社会的快速发展,电力需求持续增长,对电网的安全稳定运行提出了更高要求。作为输电系统的主体,110kV-220kV输电线路承担着将大量电力从发电厂输送到城乡负荷中心的重要职责。然而,输电线路线路长、跨越区域广、受自然环境影响大等特点,使得其运行过程中经常面临着各种问题和威胁,如线路故障、设备老化、气象灾害等,给线路的安全运维带来了巨大挑战。为确保110kV-220kV输电线路安全高效运行,电力公司通常采取例行巡视、定期检修、状态监测等措施对线路进行运维。但由于线路长度大、检修工作量大、检修成本高等原因,现有的运维模式已经无法完全满足日益增长的线路运维需求。如何有效地提高线路维护质量、降低维护成本,已经成为摆在电网公司面前的一个紧迫课题。

一、110kV-220kV输电线路运行维护现状及面临的主要问题

1. 现状概述

110kV-220kV输电线路作为中压输电系统的主力军,在我国电网运行中扮演着极其重要的角色。截至2022年底,我国110kV及以上输电线路总长度达到77.6万公里,其中110kV输电线路长度约43万公里,220kV输电线路长度约28万公里。目前,电网公司对110kV-220kV输电线路实行定期巡视、状态检修和重点养护的运维模式。具体包括:

(1) 线路巡视检查

线路巡视检查是输电线路运行维护中最基础、最常见的手段。它通过组织专业人员定期对沿线进行全面巡视,及时发现并报告线路上的各种缺陷和异常情况,如导线弧垂过大、绝缘子串污秽严重、线路树枝挡挂等,为及时排查和处理这些问题提供第一手信息。除了传统的人工巡视外,近年来航空无人机和直升机等新型设备的广泛应用,使得线路巡视的效率和质量得到了极大提升。通过航线巡视,可以更加全面、准确地掌握线路的整体运行状况,而且可以对一些复杂区段和重点部位进

行重点观察和拍摄,为专业人员的检查和判断提供更加翔实的数据支持。

(2) 设备状态检测

定期对线路设备的各种状态参数进行检测是保证线路安全运行的重要手段。通过人工或自动化的方式,对线路杆塔的钢结构、导线的绳股、绝缘子串的泄漏电流、接地电阻、避雷器的泄漏电流等指标进行测量,评估设备的运行状态和潜在缺陷隐患。对于一些关键设备,还需要利用相应的检测设备进行专项检测,如利用红外热像仪对绝缘子串的温升情况进行扫描,利用测高仪检测导线的最大弧垂等。这些检测手段可以有效揭示设备的老化、腐蚀、受损等异常情况,为制定维护措施提供依据。

(3) 设备缺陷及故障处理

通过线路巡视和设备检测,一旦发现线路上存在缺陷或故障隐患,相关维护人员将及时介入进行处理。对于一般缺陷,可采取修补、加固、局部更换等维修手段进行缺陷修复;对于严重缺陷,则需要对相关设备进行全面更换或重建。同时,必须认真分析故障成因,排查故障隐患,防止类似故障的再次发生。缺陷和故障的处理需要遵循相关的作业流程、操作规程和安全规范。根据缺陷等级和故障类型,制定合理的抢修方案,落实人员、设备、材料等,高效、安全地开展作业。处理完成后还需要进行复查,确保问题得到彻底解决。

(4) 重点区段和部位的重点养护

对于一些重点区段和重要部位,电网公司通常会采取更加密集和专项的维护保养措施,以确保其安全可靠运行。这些重点区域可能是自然环境恶劣、地质条件复杂、交通不便的线路走廊;也可能是压力大、重要性高、事故影响重大的关键线路或部位。针对重点区段和部位的特殊情况,电网公司会加大巡视、检测的频次和力度,及时发现和处理各种潜在问题。同时,对一些容易老化的关键部件,将采取更加频繁的保养和局部更换措施,以确保其性能处于良好的可靠状态。

2. 面临的主要问题

(1) 维护成本不断攀升

输电线路维护是一项投入高、周期长的系统工程，需要大量的人力、物力和财力投入。由于线路长度大、跨越区域广、地形环境复杂等因素，维护作业的工作量巨大、作业难度较高，导致维护成本居高不下。近年来，随着人工成本、材料费用的不断上涨，以及对维护质量要求的提高，输电线路的维护成本还在持续攀升。据统计，目前110kV-220kV输电线路的年维护费用约占电网公司运营成本的15%—20%，且呈逐年递增趋势，给电网公司的运营带来了沉重的财务压力。

(2) 及时性和有效性有待提高

目前主流的输电线路维护模式依赖于定期人工巡视和状态检测，这种被动式的维护方式很难及时全面地发现线路上的各种隐患和缺陷。很多潜在的缺陷和故障可能长期隐藏，直到明显恶化或致使线路故障才被发现，影响了维护的及时性。另外，定期的抽检式监测也很难对线路的运行状态进行全面、实时地监控，难以及时发现线路上的瞬时异常情况，不利于故障的快速诊断和处理。一旦发生严重故障，往往会导致停电事故，影响供电的连续性和可靠性。

(3) 部分区域和环节的维护困难

输电线路往往跨越区域广、地形复杂，其中不乏偏远、环境恶劣的线路区段，给维护工作带来了极大的困难。如一些高海拔、地质条件差的山区线路，或者处于恶劣气候环境的沙漠、极地等线路区域，人工巡视和检修面临诸多障碍和风险。此外，输电线路还有一些特殊构型或特殊位置的部件和设备，如杆顶合钻接头、高空电缆铝钢接头等，由于位置高空或构型特殊，用常规方法进行检修和维护也存在一定困难，对维护质量和作业安全带来一定影响。

(4) 人员技能及储备不足

由于输电线路分布广、线路长度大，对从事线路维护的人员数量和专业技能都提出了很高的要求。线路维护工作不仅需要大量的基层巡视、检修人员，而且还需要大量熟悉各类检测设备的专业技术人才，以及具备丰富经验的维护管理人员。然而，目前从事输电线路维护的专业人才储备还较为不足。一方面，高素质复合型人才紧缺；另一方面，年龄结构不够合理，老龄化趋势逐渐显现，给后续的人才培养和知识传承带来压力。人员技能和储备的不足已经成为制约输电线路维护质量提升的瓶颈之一。

(5) 老化问题日益突出

随着投运时间的增加，杆塔、导线、绝缘子等关键设备的老化度将不断加深，如金属材料腐蚀、绝缘子绝缘性能下降等，将极大影响线路的安全运行。目前我国已有大量110kV及220kV输电线路的运行年限超过30年，

老化已经成为影响线路安全运行的重要因素。如何全面评估和科学把控线路老化状况，制定合理的更新改造计划，是亟待解决的一个重大课题，关系到输电系统的可持续发展。

二、110kV-220kV输电线路运行维护的优化措施

1. 智能化巡检优化

智能巡检技术利用机器视觉、图像识别等先进技术，结合无人机、机器人等智能装备，构建全自动化的线路巡检系统，可以极大提升巡检的质量和效率。传统的人工巡视虽然可以发现一些明显的缺陷，但由于人员能力和经验的差异，很难对所有缺陷进行精准识别，且成本高、效率低。而智能巡检系统则能够通过航拍获取线路的全方位高清影像，并利用深度学习等人工智能技术对影像数据进行智能分析，自动识别出导线断股、绝缘子串污秽、线夹松动、树挡、排挡等绝大部分典型缺陷，且识别准确率可达95%以上，大幅超过人工水平。在无人机或者机器人的支持下，智能巡检系统可以全天候工作，对偏远和复杂地形线路进行高效覆盖，无须像人工巡视那样长途奔波。同时，通过大数据技术对历史巡检数据进行汇总分析，可以深入挖掘线路缺陷的规律和趋势，为制定针对性的维护方案提供依据。此外，无人机和机器人的应用还能够避免人员进入危险作业区域，从而极大提高了巡检作业的安全性。另一方面，智能巡检系统的自动化运行可大幅降低人力成本，且效率远高于人工，可实现线路的高频次全覆盖巡检，从而及时发现并处理各种潜在缺陷和隐患，有效避免故障扩大和事故发生，确保线路安全可靠运行。

2. 在线监测与故障诊断优化

通过在关键部位和重点区段布设各类智能传感器，构建覆盖全线路的在线监测体系，可以实时监控线路各类运行状态数据，及时发现异常情况，为故障的快速诊断和处理提供重要支撑。传统的线路运维模式主要依赖人工巡视和定期检测，存在滞后性和被动性，很难及时全面地监控到线路的实时运行状况，一旦发生故障，往往会导致较大的事故损失。而在线监测技术则可以通过对线路的温度、电流、张力、振动、泄漏电流等关键参数进行7×24小时不间断监测，捕捉各种瞬时异常情况。在线监测体系中，沿线会布设大量的温度传感器、视频监控、导线振动传感器、绝缘子泄漏电流在线检测装置等先进设备。这些设备将实时采集线路运行数据，通过无线传输方式将数据上传至监控中心。监控中心的在线监测平台会对海量数据进行智能分析，一旦发现异常，可及时触发预警，并根据大数据分析结果指导故障诊断和处理。同时，结合机器学习等人工智能技术对历史监测数据进行深度挖掘，可以发现设备缺陷和故障的一些潜在规律和早期征兆，从而实现了对故障的提前预警

和预测性维护，避免故障的进一步扩大和恶化。另外，在线监测系统还可以为线路设备状态评估和剩余寿命评估提供准确可靠的数据支撑，优化设备更新改造的决策。

3. 检修作业自动化优化

通过应用各类机器人和智能化装备，可以有效减少甚至完全替代人工参与危险、重复、劳动密集型的检修作业，极大提升了作业的安全性和效率，降低了劳动强度和人力成本。在输电线路检修中，有诸多艰苦、危险的工作环节需要开展。比如，杆塔及其支撑构件的检修需要人员进入高空危险作业区域；导线压扁点、绝缘子串的检修需要人员进行多次攀登和高空作业；输电线路沿线的树木、杂物清理也是一项非常繁重的体力劳动。如果全部依赖人工作业，不仅存在安全隐患，也效率低下，给检修施工带来了很大困难。近年来，随着机器人技术和智能装备在电力行业的推广应用，输电线路的检修作业自动化水平正在不断提高。比如，钢管杆机器人可以代替人工进行导线压扁点的打磨修复，同时能对杆塔本体进行外观检查并拍摄数据；电力绳索机器人可以攀爬沿线的输电线路，对线路和绝缘子进行全面检测和获取影像资料；遥控/自主导航的航线智能加工装备可以自动对沿线的树木障碍物加工清理。另外，无人机和无人直升机也可以用于线路巡视、缺陷修复等多项工作。上述智能装备均能远程遥控或自主完成检修任务，不需要人工进入危险作业区，极大提高了检修的安全性。同时，智能化装备的应用也大幅提高了检修作业的效率和质量，降低了人工劳动强度，减轻了人力压力。

4. 数字化运维管理优化

通过建立资产全生命周期管理体系，运用大数据分析和集成智能运维管理平台，可以实现对线路资产和运维工作的数字化、智能化管理，提高运维决策的科学性和精准性，降低运营成本，提升运维绩效。资产全生命周期管理体系旨在对输电线路资产从规划、设计、采购、施工、运维到报废的全过程进行统筹管理，建立线路资产的全面数字化模型和完整数据链。通过全生命周期数据跟踪和分析，可以科学评估线路的健康状态和剩余寿命，为制定维护策略、更新改造计划和资金投入提供依据，实现资产价值的最大化。在运维环节，可利用大数据分析技术对海量的历史运维数据、在线监测数据和巡检数据等进行深入挖掘，发现隐藏其中的内在联系和规律，为运维决策提供强大的数据支撑。比如，通过分析历史故障数据，可以预测故障类型和发生概率；通过分析在线监测数据，可以评估设备健康度并进行故障预警；通过分析巡检数据，可以制定针对性的维护方案。为实现运维工作的集成化、智能化管理，需要构建一体化的智能运维管理平台。该平台将集成诸如GIS地

理信息系统、设备管理系统、工作管理系统、物资管理系统、人力资源管理系统等多个子系统的功能，形成一个高度集成的运维指挥控制中心，实现对人员、物资、作业流的统一管控。平台还将融合大数据分析、人工智能等新兴技术，为运维决策者提供智能化辅助和建议。

5. 技术预防性维护优化

传统的“被动维护”模式存在滞后性，很难及时发现和处理设备隐患，而预防性维护则可以基于设备实时状态，主动制定维护策略，提前介入进行维护，避免故障发生，从根本上提高了输电线路的可靠性水平。预防性维护的核心是基于设备的实时状态数据，运用大数据分析、机器学习等技术，对设备的健康程度和剩余寿命进行动态评估，并据此制定维护计划。比如，通过对线路在线监测数据的分析，可以及时发现绝缘子泄漏电流异常、导线温度异常等早期缺陷征兆，从而对相关设备进行检修、更换，避免故障的进一步扩大。又如，通过对历史数据挖掘，可以预测设备的潜在失效模式和概率，从而主动对可能发生故障的部位采取预防措施。与被动等待故障发生后再维修相比，预防性维护可以大大减少停电时间和故障损失，提升供电可靠性。同时，主动维护还能最大限度延长设备使用寿命，避免过度老化而不得不提前更新设备，从而降低了资产投资成本。此外，优化线路设计、采用新型材料也是预防性维护的重要举措。比如，采用新型耐腐蚀、抗氧化的钢材，防污型绝缘子等，可以有效降低材料老化速度，延长检修周期；采用具有智能监测功能的新型线路构件，能够自动感知自身状态并主动发出维护需求信号。另外，优化线路走向，避开恶劣环境，减少外界因素对线路的影响，也有助于延缓线路老化。

结束语

综上所述，通过采用智能化巡检、在线监测与故障诊断、检修作业自动化、数字化运维管理和技术预防性维护等一系列优化措施，必将极大提升110kV-220kV输电线路的运行维护质量和效率，确保电网的安全稳定运行。电力企业应该紧跟技术发展趋势，大力推进输电线路运维的创新转型，以高水平的运维能力支撑电网现代化建设，为经济社会发展作出应有贡献。

参考文献

- [1] 王涛, 朱建, 夏永辉. 110~220kV输电线路的运行与维护要点探析[J]. 低碳世界, 2016, (32): 59-60.
- [2] 林德伟. 刍议110kV输电线路的运行和维护管理[J]. 企业技术开发, 2015, 34(17): 94+96.
- [3] 刘延来. 110kV-220kV输电线路的运行及维护[J]. 黑龙江科技信息, 2014, (31): 18.