

电力系统输电线路的智能化发展趋势研究

侯玉龙

国家电网延安供电公司 陕西 延安 716000

摘要：随着科技的飞速发展，电力系统输电线路正朝着智能化方向迈进。本文深入探讨了电力系统输电线路智能化发展的背景与意义，详细分析了其关键技术，研究了智能化在输电线路状态监测、故障诊断与预测、运维管理等方面的应用现状，并对未来发展趋势进行了展望，旨在为电力行业相关人员提供全面的参考，推动电力系统输电线路智能化进程的加速发展。

关键词：电力系统；输电线路；智能化；发展趋势

引言

输电线路传统上依赖人工巡检，但这种方法效率低、准确性差，难以实时监测。随着电力需求和电网规模的增长以及用户对供电可靠性的更高要求，传统维护模式已无法满足现代电力系统需求。而智能化技术通过智能传感、通信和大数据分析，实现了输电线路的实时监测和故障快速诊断，优化了运维管理。能够有效提升输电线路的可靠性、安全性和经济性，降低运维成本，提高电力系统的运行效率和质量。因此，深入研究其发展具有重要实践意义。

1 电力系统输电线路智能化的关键技术

1.1 智能传感技术

在输电线路的智能监测领域，智能传感技术发挥着极为关键的作用。其中，传感器类型丰富多样，涵盖电气量传感器与非电气量传感器。电气量传感器主要针对输电线路的电流、电压、功率等电气参数予以监测，以光纤电流传感器为例，其凭借高精度与强抗电磁干扰能力的特性，可精准测定输电线路中的大电流，为电力系统稳定运行供给不可或缺的关键数据支撑。^[1]而非电气量传感器则包含温度传感器、应力传感器、舞动传感器等，温度传感器能够实时追踪导线温度变化，以便及时察觉因过载或接触不良引发的过热现象；应力传感器可测定导线张力与应力分布状况，对预防断线事故意义重大；舞动传感器则用于检测输电线路在风力等外力作用下的舞动情形，有效规避因舞动幅度过大所致的线路跳闸故障。此外，传感器在输电线路上的合理布局对于保障监测的全面性与精确性至关重要，需综合考量线路长度、地形地貌、重要程度等要素来确定安装位置，如在易出故障线段、跨越重要区域的杆塔等关键部位适度加大传感器分布密度。同时，传感器的安装方式亦需兼顾不干扰输电线路正常运行以及确保其自身稳定性与可靠

性，对于像激光测距传感器这类非接触式传感器，在监测线路弧垂等参数时，必须精准调校安装角度与位置，从而获取精确的数据信息。

1.2 通信技术

通信技术主要涵盖有线通信技术与无线通信技术两类。就有线通信技术而言，光纤通信乃是输电线路智能化常用手段之一，其具备通信容量大、传输距离远以及抗干扰能力强等显著优势。借助于在输电线路杆塔上铺设光纤，可成功搭建起高速且稳定的通信网络架构，从而将传感器所采集的数据精准传输至监控中心。以部分长距离输电线路工程为例，光纤通信能够达成对线路全线数据的实时传输，为线路的状态监测以及故障诊断构筑起坚实的通信支撑体系。而在无线通信技术方面，无线传感器网络（WSN）技术于输电线路智能化领域同样有着极为广泛的应用。WSN由数量众多的传感器节点构成，这些节点以无线通信方式自发组织构建网络，进而将数据传输至汇聚节点，随后再借助如移动通信网络或卫星通信等其他通信方式将数据传输至监控中心。在一些山区或地处偏远的输电线路区域，因光纤铺设存在较大难度，采用无线传感器网络则可较为便捷地实现数据的采集与传输工作。值得一提的是，5G通信技术的迅猛发展为输电线路智能化注入了全新的活力与机遇，其高速率、低延迟的卓越特性恰好能够契合高清视频监控、实时控制等对通信质量要求颇高的应用场景需求，有力推动了输电线路智能化水平的进一步提升。

1.3 数据分析与处理技术

在输电线路智能化的技术体系中，数据分析与处理技术是实现高效运维与精准管理的核心环节，主要包含大数据分析技术以及人工智能技术。（1）大数据分析技术，其针对输电线路运行期间所产生的海量数据具有强大的挖掘与解析能力。通过深度整合历史数据与实时数

据资源,能够精准洞察输电线路运行状态的动态变化规律,进而对潜在故障风险实施有效预测。例如,在对温度、电流等关键参数的长期监测数据展开分析时,大数据分析技术可构建起线路发热与负载、环境温度等多元因素之间的复杂关系模型,基于此提前发布因过载发热而可能诱发故障的预警信息,为运维人员预留充足的故障处置时间窗口,显著提升输电线路运行的可靠性与安全性。(2)人工智能技术,该技术在输电线路故障诊断领域彰显出极为重要的应用价值。其中,机器学习算法扮演着关键角色。以支持向量机(SVM)算法为例,其对输电线路的多种故障类型进行精准分类识别。通过对大量故障样本数据进行深度训练,该算法能够以较高的准确率判定故障究竟是源于雷击、短路抑或是其他复杂成因,为故障的快速定位与修复提供关键依据。人工神经网络(ANN)则侧重于输电线路运行状态的前瞻性预测,如精确预估导线的剩余使用寿命以及未来特定时段内的故障率等核心指标,助力运维策略的科学制定与资源的合理调配。此外,深度学习技术在图像识别维度的创新应用为输电线路的可视化监测赋予了全新的技术手段。例如,在对无人机巡检所获取的线路图像实施深度学习分析时,能够自动且高效地识别出线路存在的各类缺陷以及异物附着等异常情况,极大地提高了线路巡检的工作效率与缺陷发现的准确性,推动输电线路运维管理向智能化、自动化方向加速迈进。

2 电力系统输电线路智能化的应用现状

2.1 状态监测

在输电线路智能化体系中,状态监测是保障其安全稳定运行的关键环节,主要涵盖线路参数监测、线路环境监测以及线路本体监测三个重要方面。线路参数监测借助智能传感器实现对输电线路电气参数的实时精准监测,核心指标包括电压、电流和功率因数。^[2]分析这些参数有助于了解线路负载和电能质量。例如,在工业区,非线性负载可能导致功率因数下降。实时监测功率因数并实施无功补偿策略,可以提高输电效率,优化电力传输;线路环境监测聚焦于输电线路周边环境参数的动态监测,诸如温度、湿度、风速、风向等因素。环境因素显著影响输电线路稳定性。高温导致导线膨胀,增加线路弧垂,威胁安全;强风引起导线舞动,可能损坏杆塔和线路。实时监测环境参数,可提前采取措施,如高温时调整负载,强风前部署防舞动措施,提高线路抗风险能力;线路本体监测着重针对输电线路的导线、绝缘子、杆塔等关键本体部件开展监测工作。如监测绝缘子的泄漏电流和污秽程度有助于评估其绝缘性能,及时进

行清洗或更换,确保线路可靠性。同时,密切监控杆塔倾斜和基础沉降,可预警倒塌风险,预防事故,保障输电线路的稳定与安全。

2.2 故障诊断与预测

在输电线路智能化运维领域,故障诊断与故障预测是核心任务,二者对于保障输电线路可靠运行具有极为关键的意义。故障诊断依托智能传感器所采集的海量数据以及先进的数据分析技术,达成对输电线路故障的快速且精准判定。智能化输电系统在检测到线路故障时,能迅速分析电气和非电气变化,利用故障特征库准确识别故障类型和位置。例如,若发现电流激增、电压骤降并检测到雷击信号,可判断为雷击故障。通过分析传感器数据,系统还能大致定位雷击点,为维修人员提供准确信息,加快故障修复,提高电力恢复效率。故障预测则借助大数据分析人工智能算法,深度挖掘输电线路潜在故障信息。构建故障预测模型,分析特定输电线路历史数据。发现导线温度连续超阈值、环境湿度高时,会线路跳闸概率增加。便可据此提前检查和维护线路,采取措施如增强散热和绝缘性能,减少故障,提升输电稳定性和安全性,确保电力供应稳定。

2.3 运维管理

智能巡检与运维决策支持协同作用是确保输电线路的稳定运行与高效维护的关键支持。智能巡检通过引入无人机巡检、机器人巡检等前沿智能化巡检手段,极大地革新了传统巡检模式。无人机利用其高机动性,配备高清摄像头和红外热像仪等设备,能对输电线路进行全方位巡检。它们在复杂地形中快速移动,进行近距离高清拍摄和精确检测,及时发现线路问题。^[3]机器人巡检在特定环境下如变电站内部或跨海线路杆塔区段具有优势,能攀爬检查关键部件,具有高精度和稳定性,能在恶劣条件下工作,提高了巡检的可靠性和效率,为线路监测提供了精确数据。运维决策支持基于状态监测系统所获取的线路实时运行数据以及故障预测模型所输出的前瞻性结果,为运维管理工作提供科学且系统的决策依据与行动指南。例如,当运维管理系统通过大数据和智能算法预测到某输电线路未来故障率上升时,会考虑线路重要性和负载等因素,制定全面的运维计划。计划可能包括安排检修、调整负荷分配策略、准备抢修物资和人员配置。这种数据驱动的决策提升了运维的科学性和前瞻性,降低了成本,确保了输电线路的可靠运行,为电力传输提供了稳固的管理保障。

3 电力系统输电线路智能化的未来发展趋势

3.1 技术融合创新

技术融合创新主要体现在多技术集成应用以及新技术的引入这两个关键方面。就多技术集成应用而言,展望未来,智能传感技术、通信技术、数据分析与处理技术等势必会达成更为深度的融合态势。如将纳米传感器、5G技术和边缘计算相结合,实现数据的快速、低延迟传输,并在边缘设备上初步处理。这减少了数据传输量,减轻了云端压力,并提高了系统响应速度和实时性。同时,人工智能与物联网的融合会赋予设备和传感器智能决策能力。进而根据监测数据自动调整运行状态或发出预警,实现输电线路的自感知、自诊断和自修复,显著提升了智能化运维水平。在新技术的引入方面,一是量子通信技术能够提供高安全性的数据传输,特别适合电力系统监控。二是生物技术,如生物传感器能精确检测环境中的特定物质,如有害气体对绝缘子的影响,从而改善线路维护策略,促进智能化发展。

3.2 智能电网协同发展

在智能电网的发展框架下,输电线路智能化与分布式能源及储能系统的协同发展成为至关重要的研究课题,对于提升整个电力系统的性能具有深远意义。智能化输电线路能实时监测分布式能源的发电功率和电能质量,根据电网负荷和运行状态灵活调整潮流分布,提高分布式能源的消纳效率。例如,在某地区太阳能发电功率突然增加时,智能化系统能迅速调整负荷分配,将多余电能输送到其他地区,防止电网不稳定。此外,输电线路还能提供电压支撑、频率调节等辅助服务,增强电力系统的稳定性和可靠性,确保系统在分布式能源波动下稳定运行。与储能系统紧密合作,能够实现对储能设备充放电的精确控制和管理。在用电低谷期,智能输电系统调节储能设备充电以储存额外电力。在用电高峰期,系统则使储能设备放电,以减轻供电压力并稳定电力供应。^[4]此外,储能系统的缓冲和调节作用能够提升电力系统电能质量和供电可靠性,确保系统在复杂能源供应环境下的稳定运行。输电线路智能化能通过与储能系统的合作,更好地应对分布式能源的间歇性和波动性问题。

3.3 智能化标准体系完善

随着输电线路智能化技术的不断发展,建立统一的技术标准成为当务之急。技术标准将涵盖智能传感器的性能指标、通信协议规范、数据分析与处理算法标准等方面。例如,制定统一的传感器数据格式和通信接口标准,确保不同厂家生产的传感器能够相互兼容,实现数据的无缝对接和共享。对于数据分析与处理算法,制定标准的评估指标和验证方法,保证算法的准确性和可靠性,促进智能化技术的规范化发展。与此同时,输电线路智能化涉及大量的数据传输和控制操作,安全标准至关重要。安全标准将包括数据安全标准、网络安全标准、设备安全标准等。例如,在数据安全方面,规定数据的加密方式、访问权限管理等,防止数据泄露和非法访问;在网络安全方面,制定防火墙设置、入侵检测与防范等标准,抵御网络攻击;在设备安全方面,明确智能设备的电气安全、机械安全等要求,确保设备在恶劣环境下可靠运行,保障电力系统的安全稳定。

结语

电力系统输电线路的智能化发展是电力行业发展的必然趋势。未来,随着技术融合创新、与智能电网协同发展以及智能化标准体系的完善,输电线路智能化将迈向更高的水平,进一步提高电力系统的可靠性、安全性和经济性,为社会经济的持续发展提供坚实的电力保障。电力行业相关企业和研究机构应加大对输电线路智能化技术研发和应用的投入,积极参与智能化标准体系的建设,推动电力系统输电线路智能化进程的快速发展。

参考文献

- [1]程广鹏,黄梓轩.输电线路的智能化运行维护策略分析[J].集成电路应用,2024,41(02):216-217.
- [2]陈明耀,黄锦标,姜校观.输电线路工程中的智能化技术应用[J].集成电路应用,2023,40(10):226-227.
- [3]刘高,郭锦超,丰江波.输电线路的智能化运行维护技术策略[J].电子技术,2022,51(06):172-173.
- [4]施俊,陈友宏,李泽鹏,等.输电线路智能化建设实现路径[J].电工技术,2020,(14):115-116.