

输电线路在线监测技术研究

莫修权 康渭铨

国网长沙供电公司 湖南长沙 410000

摘要：输电线路作为电力系统的关键组成部分，其稳定运行对于保障电力供应至关重要。随着电力需求的不断增长以及电网规模的持续扩大，输电线路面临的运行环境日益复杂，故障风险也相应增加。输电线路在线监测技术应运而生，成为保障输电线路安全、可靠运行的重要手段。输电线路在线监测技术在保障输电线路安全运行、提高电力供应可靠性方面有着不可替代的作用，随着技术的不断发展，其在未来的电力系统中将发挥更加重要的作用。本研究旨在深入探讨输电线路在线监测技术。从目的来看，主要是为了全面了解在线监测技术的各个环节，包括数据采集、故障诊断等技术的原理、特点以及应用情况。

关键词：输电线路；在线监测；技术

引言

输电线路在现代电力系统中扮演着极为关键的角色。它是连接发电站与变电站、变电站与用户之间的桥梁，确保电能能够从生产端高效、稳定地传输到消费端。随着现代科技的不断发展，特别是传感器技术、通信技术和数据处理技术的进步，输电线路在线监测技术应运而生。

一、输电线路在线监测技术具体应用

（一）气象环境监测中的应用

输电线路的运行状况受到气象环境的显著影响。在线监测技术能够对气象环境进行实时监测，包括温度、湿度、风速、风向、降雨量等多种气象要素。例如，在一些多风的地区，如我国的沿海地带或者西北的风口地区，强风可能会导致输电线路的杆塔倾斜或者导线舞动。通过在输电线路沿线设置风速和风向传感器，当监测到风速达到一定阈值（如超过25米/秒），可能引发导线舞动的危险风速时，相关部门就可以提前采取防范措施，如加强对线路的巡检，或者调整线路的运行参数。

湿度和温度对于输电线路的影响也不容忽视。在高湿度的环境下，输电线路的绝缘子可能会出现污闪现象。当温度过低时，导线上可能会出现覆冰现象。以某山区的输电线路为例，冬季时由于湿度较大且温度经常低于0摄氏度，导线上容易形成覆冰。通过在线监测技术中的温度和湿度传感器，能够及时发现这种气象条件的变化。当湿度达到80%以上且温度接近0摄氏度时，就可以预判覆冰风险增加，从而启动融冰装置或者安排人工除冰作业，确保输电线路的正常运行。

（二）杆塔状态监测中的应用

杆塔是输电线路的重要支撑结构，其状态的稳定与否直接关系到输电线路的安全。在线监测技术在杆塔状态监测方面有着广泛的应用。首先是杆塔倾斜监测，通过在杆塔基础部位安装倾斜传感器，可以精确测量杆塔的倾斜角度。正常情况下，杆塔的倾斜角度应在一定范围内（例如小于0.5度）。一旦倾斜角度超过这个阈值，就可能表明杆塔基础出现了沉降或者受到了外部力量的破坏，如山体滑坡、洪水冲刷等。

另外，对于杆塔的振动监测也是重要的一环。在一些交通繁忙的地区，如铁路或者高速公路附近的输电线路杆塔，可能会受到车辆行驶产生的振动影响。通过在杆塔上安装振动传感器，能够实时监测杆塔的振动频率和幅度。如果振动幅度超过正常范围（如正常振动幅度在0.1毫米以内，当超过这个数值时），就需要对杆塔的结构进行检查，看是否存在螺栓松动、构件损坏等情况。

（三）导线状态监测中的应用

导线是输电线路中电能传输的载体，其状态对于输电效率和安全至关重要。在线监测技术可用于监测导线的温度、弧垂和损伤情况等。导线温度过高可能会导致导线的电阻增大，从而增加电能损耗，甚至引发线路故障。通过在导线上安装温度传感器，能够实时掌握导线的温度变化。例如，在夏季高温时段或者大负荷运行期间，导线的温度可能会显著升高。当监测到导线温度超过70摄氏度（根据不同导线的材质和设计参数而定）时，就需要调整输电线路的负荷，以避免温度进一步升高。

弧垂是指在相邻两杆塔之间的导线下垂的程度。弧垂过大或者过小都会影响输电线路的安全运行。通过在

线监测技术中的弧垂传感器，可以实时测量弧垂的大小。正常情况下，弧垂应保持在设计规定的范围内（如根据不同电压等级和档距，弧垂在2-5米之间）。如果弧垂超出这个范围，可能是由于导线的张力变化、温度变化或者线路老化等原因引起的。对于导线的损伤监测，可利用无损检测技术，如超声波检测或者光纤传感技术。当导线上出现微小的裂纹或者磨损时，这些监测技术能够及时发现，从而及时进行修复或者更换，避免因导线损伤导致的断线等严重事故。

（四）绝缘子状态监测中的应用

绝缘子在输电线路中起到绝缘和支撑导线的作用。其性能的好坏直接影响到输电线路的绝缘水平。在线监测技术可对绝缘子的泄漏电流、污秽程度和破损情况进行监测。泄漏电流是反映绝缘子绝缘性能的重要指标。当绝缘子表面受到污染或者受潮时，泄漏电流会增大。通过在绝缘子串上安装泄漏电流传感器，当监测到泄漏电流超过一定数值（如500微安，具体数值根据绝缘子的类型和运行环境而定）时，就表明绝缘子可能存在污秽或者受潮情况，需要及时清洗或者更换。

绝缘子的污秽程度也可以通过光学传感器等进行监测。在一些工业污染较为严重的地区，如化工园区附近的输电线路，绝缘子表面容易积累污垢。通过监测绝缘子表面的污秽物的光学特性，能够判断污秽的程度。如果污秽程度达到一定等级（如根据污秽等级划分标准，达到重度污秽等级），就需要对绝缘子进行清洁维护。对于绝缘子的破损情况，利用图像识别技术，对绝缘子的外观进行实时监测。一旦发现绝缘子有破损、掉片等情况，就能够及时安排更换，确保输电线路的绝缘性能良好。

二、输电线路在线监测技术应用优化措施分析

（一）传感器性能提升措施

传感器在输电线路在线监测技术中起着关键作用。为了提升传感器性能，首先在材料选择上要精益求精。例如，在监测线路温度时，传统的传感器可能采用普通金属材料，其对温度变化的敏感度有限。而新型的光纤传感器，利用光纤的特殊光学性质，对温度的微小变化能够精准感知。根据相关实验数据，光纤传感器在温度监测方面的精度可达到 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ，相比传统传感器提高了近一个数量级。

传感器的封装技术也需要优化。合理的封装能够保护传感器免受外界恶劣环境的影响，如潮湿、风沙等。例如，在一些沿海地区的输电线路监测中，盐分较高的空气容易腐蚀传感器。采用密封且抗腐蚀的封装材料，可以大大延长传感器的使用寿命。通过优化传感器的结

构设计，减小其体积和重量，使其更容易安装在输电线路路上，降低对线路的附加负荷。

（二）数据处理算法优化

在输电线路在线监测中会产生大量的数据，数据处理算法的优劣直接影响监测结果的准确性。对于数据的滤波处理，传统的均值滤波算法在处理复杂干扰信号时效果不佳。采用小波变换算法则可以有效地去除噪声，提取出有用的信号特征。

另外，在故障诊断方面，基于机器学习的算法优化具有重要意义。例如，支持向量机（SVM）算法通过合理选择核函数和调整参数，可以提高故障分类的准确性。在对输电线路的短路、漏电等故障类型进行分类时，经过优化后的SVM算法的分类准确率可达到95%以上。深度学习算法如卷积神经网络（CNN）也开始应用于输电线路数据处理，其能够自动学习数据中的复杂模式，对于处理图像类型的监测数据（如绝缘子表面状态监测图像）具有独特的优势。

（三）通信网络优化

稳定的通信网络是输电线路在线监测数据传输的保障。目前，很多输电线路监测系统采用无线通信方式，如GPRS、3G/4G网络等。然而，在一些偏远山区或者信号遮挡严重的地区，信号强度较弱。为了解决这个问题，可以采用多网络融合的方式。例如，将ZigBee短距离无线通信与GPRS远程通信相结合，ZigBee网络负责将监测节点的数据汇聚到本地基站，然后再通过GPRS网络传输到监控中心。

另外，提高通信设备的发射功率和接收灵敏度也是优化通信网络的有效措施。在一些长距离输电线路监测中，增加通信设备的发射功率可以增强信号的传输距离。优化通信天线的设计，如采用定向天线，可以提高信号的传输效率。根据实际测试，在同等条件下，采用定向天线比全向天线的信号传输距离提高了约30%。

（四）系统集成与协同工作优化

输电线路在线监测涉及多个子系统，如传感器子系统、数据采集子系统、通信子系统和监控子系统等，这些子系统需要良好的集成和协同工作。在系统集成方面，采用标准化的接口设计是关键。例如，定义统一的传感器接口协议，使得不同厂家生产的传感器能够方便地接入数据采集系统。

在协同工作方面，各子系统之间的任务调度和数据共享需要优化。以故障预警为例，当传感器检测到异常数据后，数据采集子系统应及时将数据传输给数据处理子系统，数据处理子系统快速分析判断后，通过通信子

系统将预警信息发送到监控子系统，整个过程需要在最短的时间内完成。通过建立协同工作的流程模型，并不断优化模型中的参数，可以提高系统整体的工作效率。

三、实际案例分析

(一) 案例背景简述

在某大型电力输送网络中，存在一条长达500千米的输电线路，该线路穿越多种复杂地形，包括山区、河流以及人口密集的城镇区域。这条输电线路承担着向多个重要工业区域和城市供电的任务，其稳定运行对于区域的经济发展和居民生活至关重要。然而，由于线路所处环境复杂，面临着诸多风险因素，例如山区的雷击风险较高，河流附近的湿度可能影响线路绝缘性能，城镇区域则可能遭受人为破坏或者建设活动的干扰。

根据以往的数据统计，该输电线路在过去五年内发生了超过10次故障，这些故障导致的停电时间累计达到了200小时，给当地的工业生产和居民生活带来了显著的不便和经济损失。例如，一次雷击故障导致一家大型工厂停产半天，直接经济损失达到数十万元；而一次因城镇建设施工误碰线路导致的故障，使得周边几个小区停电数小时，居民生活受到严重影响，同时也引发了众多投诉。

在这样的背景下，电力部门决定采用先进的输电线路在线监测技术来提高该线路的运行可靠性，降低故障发生的频率，并提高故障定位和修复的效率。

(二) 技术应用实施过程

在传感器布局方面，针对线路经过的不同地形区域进行了差异化布局。在山区，考虑到雷击风险，重点安装了雷电监测传感器，每10千米设置一个监测点。这些传感器能够实时监测雷电活动情况，包括雷电的强度、方向等信息。在河流附近区域，为了监测湿度和线路的绝缘性能，安装了湿度传感器和绝缘监测传感器，每5千米设置一组。在城镇区域，则安装了视频监控传感器和防外力破坏传感器，每2千米设置一组，以监控人为活动和防止意外破坏。

在数据传输方面，采用了光纤通信和无线通信相结合的方式。光纤通信用于传输大量的实时监测数据，确保数据传输的稳定性和高速性。无线通信则作为备用和补充，用于在光纤通信出现故障时或者在一些难以铺设光纤的区域传输数据。例如，在山区部分地段，由于地形复杂难以铺设光纤，无线通信发挥了重要的传输数据的作用。

在故障诊断方面，建立了智能故障诊断系统。该系统能够根据传感器采集到的数据，对故障类型进行智能分类。当监测到的数据出现异常时，系统会自动进行分

析。例如，当雷电监测传感器检测到高强度雷电活动，同时线路的电流出现瞬间波动时，系统会判断为雷击故障的可能性较大。根据预先设定的算法，系统会对故障位置进行初步定位，定位精度能够达到500米以内。

在实际实施过程中，整个技术应用的部署工作耗时三个月。期间，技术人员克服了诸多困难，如山区的恶劣地形条件下的设备安装、城镇区域的协调安装工作等。还对相关工作人员进行了培训，以确保他们能够熟练操作和维护新的监测系统。

(三) 成果评估与经验总结

经过一年的运行，成果显著。具体如下表1所示。

表1 成果评估分析

指标	改善前	改善后	改善效果
故障发生次数 (次/年)	>2	<1	故障次数显著降低
停电时间 (小时/年)	>40	<10	停电时间大幅减少
故障定位平均时间 (小时)	2	<0.5	定位时间明显缩短
某次故障修复时间 (分钟)	-	40	节省大量修复时间
传感器布局	缺乏针对性	合理布局，依地形区域调整	监测更全面有效
数据传输方式	单一	多种结合	系统可靠性提高
故障诊断	需优化	持续优化算法	准确性和精度提升
与外界沟通	较少	加强沟通协调	减少安装运行阻力

结束语

输电线路在线监测技术在电力系统的稳定运行中扮演着至关重要的角色。随着技术的不断发展和应用的日益广泛，其对保障输电线路安全、提高供电可靠性的意义越发凸显。

参考文献

- [1] 赵宝河, 孙耀南. 基于无线通信技术的智能输电线路在线监测技术研究 [J]. 数字化用户, 2023, 29: 7-9.
- [2] 陆国路. 输电线路在线监测技术研究 [J]. 光源与照明, 2023 (4): 162-164.
- [3] 左鹏. 压电-电磁复合式输电线路在线监测装置自供电技术研究 [D]. 太原理工大学, 2023.
- [4] 李伟祚, 范文政, 武永泉, 等. 输电线路避雷器在线智能监测技术研究 [J]. 电工技术, 2024 (17): 201-203.
- [5] 李成欢. 高压架空输电线路在线监测与故障诊断技术研究 [J]. 电力设备管理, 2024 (23).