

智能传感器在输电线路中的融合应用研究

邝石 卢明 靳巍

(国网郑州供电公司, 河南 郑州 450007)

【摘要】随着智能电网建设的深入, 智能传感器在输电线路中的应用逐渐增多。本文综述了智能传感器在输电线路监测、预警、故障诊断等方面的融合应用现状, 分析了技术优势及面临的挑战。

【关键词】智能传感器; 输电线路; 融合应用; 故障诊断; 运维管理; 安全防范

引言:

随着能源需求的增长和电力行业的快速发展, 输电线路作为电力系统的重要组成部分, 安全稳定运行对电网的可靠性和供电质量至关重要。然而, 传统的输电线路监测手段无法满足电网运行的需求。智能传感器作为一种新型的监测技术, 具有实时监测、数据传输快速、信息准确等优势, 为输电线路的监测、故障诊断、运维管理提供了新的解决方案。

一、智慧输电线路建设的重要意义

建设智慧输电线路不仅是保障电网安全可靠运行的必然要求, 应对复杂的自然灾害和外部影响, 降低大面积停电风险, 确保电网的稳定运行, 实现电网运维检修提质增效的必然趋势, 解决输电设备规模增长与输电专业人才储备不足的矛盾, 提升运检效率和质量。也是助推世界一流能源互联网企业建设的必要手段, 通过整合升级现有多维度专业系统, 强化信息融合与数据挖潜, 实现资源共享和有效互动, 打造输电共享共赢生态圈, 推动公司向“枢纽型、共享型、平台型”优势企业转型, 实现质量、动力、效率的全面变革。

二、智能传感器在输电线路监测中的应用

(一) 输电线路状态监测

1. 导线温度监测。智能温度传感器通过接触导线表面或利用红外测温技术, 实时测量导线的温度。当导线温度超过预设的安全阈值时, 传感器会触发报警机制, 及时通知运维人员进行处理。例如在某高压输电线路中, 运维人员利用智能温度传感器对导线进行实时监测。某日, 由于负荷增加和环境温度升高, 导线温度逐渐升高超过预设的安全阈值。传感器立即触发报警机制, 将报警信息发送到监控中心。运维人员收到报警后迅速采取措施降低负荷加强散热, 成功避免了导线过热引发的安全事故。

2. 导线弧垂监测。弧垂传感器通过测量导线与地面或相邻物体之间的距离, 来判断导线的弧垂状态。当弧垂过大或过小, 可能引发接地或短路等事故时, 传感器会发出预警信号, 提醒运维人员调整导线张力或采取其他措施。例如在某山区输电线路中, 由于地

形复杂和气候变化大, 导线弧垂状态难以稳定控制。运维人员利用弧垂传感器对导线进行实时监测, 根据监测结果调整导线张力。在一次大风天气中, 传感器监测到导线弧垂过大, 及时发出预警信号。运维人员根据预警信息调整导线张力, 成功避免了导线与相邻树木发生碰撞的事故。

3. 导线舞动监测。舞动传感器通过监测导线的振动频率、振幅等参数, 来判断导线是否发生舞动。舞动可能导致导线与相邻物体发生碰撞或磨损, 严重时甚至可能引发断线事故。及时监测和预警舞动状态对于保障线路安全至关重要。例如在某跨江输电线路中, 由于江风较大, 导线容易发生舞动。运维人员利用振动传感器对导线进行实时监测, 根据监测结果采取防范措施。在一次强风天气中, 传感器监测到导线发生剧烈舞动, 立即发出预警信号。运维人员根据预警信息及时关闭附近施工区域的作业, 避免了导线与施工机械发生碰撞的事故。

4. 导线风偏监测。风偏传感器通过测量导线在风力作用下的偏移角度和偏移量, 来评估导线的风偏状态。当风偏过大时, 可能导致导线与相邻物体发生接触或碰撞, 引发安全事故。实时监测风偏状态及时采取防范措施是确保线路安全运行的重要手段。例如在某沿海地区输电线路中, 由于海风较大, 导线风偏状态较为严重。运维人员利用风偏传感器对导线进行实时监测, 根据监测结果调整线路布局和防护措施。在一次台风天气中, 传感器监测到导线风偏过大, 及时发出预警信号。运维人员根据预警信息加强了对线路的巡查和维护, 确保了线路在恶劣天气下的安全运行。

(二) 环境参数监测

1. 智能传感器在监测线路走廊微气象中的作用及效果。(1) 实时监测与数据传输。智能传感器能够实时采集线路走廊的微气象数据, 通过无线通信技术将数据传输到监控中心。使得电力部门能够及时了解线路走廊的微气象状况, 为决策提供支持。(2) 预警与预防。通过对微气象数据的分析, 智能传感器能够预测可能出现的恶劣天气条件, 如大风、暴雨等。当达到预设的预警阈值时, 传感器会自动触发报警机制,

提醒电力部门及时采取措施，预防电力事故的发生。

(3) 提高运维效率。智能传感器的应用使得电力部门能够实现对线路走廊微气象的远程监控，减少了人工巡检的频率和成本。通过对数据的自动化处理和分析，可提高运维效率，降低误判和漏判的风险。

2. 智能传感器在监测线路走廊污秽度中的作用及效果。线路走廊的污秽度是影响电力线路绝缘性能的重要因素。智能传感器能够实时监测污秽度，为电力部门提供有效的污秽治理依据。(1) 污秽度实时监测。智能传感器通过特定的检测原理，能够实时监测线路走廊的污秽度，将数据传输到监控中心。这有助于电力部门及时发现绝缘子表面的污秽情况，便采取清污措施。(2) 污染等级划分与预警。通过对污秽度数据的分析，智能传感器能够判断污秽等级，在污秽度达到预设的预警阈值时发出报警。这有助于电力部门根据污秽等级制定相应的运维策略，确保电力线路的安全运行。(3) 污秽治理效果评估。智能传感器可持续监测污秽度的变化，为电力部门评估污秽治理效果提供依据。通过对比治理前后的污秽度数据，可评估治理措施的有效性，不断优化污秽治理方案。

(三) 数据融合与处理

随着科技的进步，传感器在各个领域的应用越来越广泛，通过收集整合多种来源的数据，可更全面、精确地掌握实际情况，为决策提供更加科学、合理的依据。一方面数据融合是指将来自不同传感器或不同来源的数据进行集成，获取更全面、准确的信息。常见的数据融合方法包括加权平均法、卡尔曼滤波法、贝叶斯推理法等。加权平均法简单易行，但可能忽略数据的差异性；卡尔曼滤波法适用于动态系统的数据融合，能够有效地去除噪声；贝叶斯推理法则是一种基于概率统计的方法，能够处理不确定性。在实际应用中，应根据具体场景和需求选择合适的数据融合方法。另一方面数据处理主要包括数据清洗、数据变换、数据压缩等步骤，目的是去除噪声、冗余信息，提高数据质量。数据分析则包括特征提取、模式识别、预测分析等内容，通过对数据的深入挖掘，揭示数据背后的规律和趋势。在这个过程中，可运用机器学习、深度学习等人工智能技术，实现自动化、智能化的数据处理和分析。

为了提高监测的准确性和可靠性，一是合理布置传感器，确保能够全面覆盖目标区域，避免数据冗余和冲突；二是选用性能稳定、精度高的传感器，减少误差和噪声；三是建立完善的数据质量评估体系，对收集到的数据进行严格筛选和校验，确保数据的准确性和可靠性；四是随着环境和条件的变化，数据模型也需要不断更新和优化，以适应新的监测需求。

三、智能传感器在输电线路故障诊断中的应用

(一) 输电线路故障的类型和原因分析

常见的输电线路故障主要包括线路断线、短路、

接地故障等。断线故障往往由于线路老化、风吹雨打、冰雪覆盖等自然因素，或是外力撞击、施工损坏等人为因素导致。故障原因可归结为几个方面。一是自然环境因素对输电线路的稳定运行构成了很大威胁。如雷电、风暴、冰冻等恶劣天气都可能引发线路断裂或短路。二是设备的老化和劣化也是一个重要因素，包括导线的腐蚀、绝缘材料的老化等，这些都可能导线路性能下降，增加故障风险。三是人为因素如施工不当、误操作、盗窃线路设备等也会导致输电线路故障。四是设计缺陷和维护不足也是故障发生的原因之一，如线路设计不合理、检修不及时等，都可能影响线路的安全稳定运行。

(二) 智能传感器在输电线路故障诊断中的应用方法

智能传感器在输电线路故障诊断中的应用方法，是一种高效且精准的技术手段。

一是智能传感器被部署在输电线路的关键节点，通过实时监测线路的各种参数，如电流、电压、温度、湿度等，获取丰富的数据。这些数据能够反映线路的运行状态，为故障诊断提供依据；二是通过内置的信号处理算法，智能传感器对收集到的数据进行处理和分析。例如，可检测线路中是否存在异常的温度变化，这往往是线路故障的前兆。智能传感器还可利用模式识别技术，对数据的模式进行学习和识别，区分正常状态和故障状态；三是一旦智能传感器检测到可能的故障，会立即将相关信息发送给中央监控系统。中央监控系统通过对多个传感器的数据进行综合分析和对比，可准确判断故障的类型和位置。这大大减少了人工巡检的工作量，提高了故障诊断的效率和准确性；四是智能传感器还可与其他系统（如地理信息系统、气象系统等）进行联动，获取更全面的信息。例如，通过结合地理信息系统的数据，可精确地定位故障发生的位置；结合气象系统的数据，可分析故障是否与天气条件有关。

(三) 智能传感器在输电线路故障预警中的应用

输电线路是电力系统的重要组成部分，运行的安全稳定直接关系到电力供应的可靠性和质量。一是智能传感器凭借高度集成化、智能化和网络化的特点，能够实时采集输电线路的各种运行参数，如电压、电流、温度、湿度等，通过内置的数据处理算法对这些参数进行实时分析和处理。一旦监测到异常数据或参数超出预设阈值，智能传感器便能迅速触发预警机制，将故障信息及时上传至监控中心，为运维人员提供及时、准确的故障位置和原因信息。

二是智能传感器还具有强大的通信能力，能够实现与监控中心、传感器及智能设备的互联互通。这使得在输电线路故障预警中，智能传感器不仅能够单独工作，还能够与其他设备协同作战，共同构建一个高效、智能的故障预警系统。例如，通过与视频监控设备的

联动，智能传感器可在发现异常数据时，自动调用附近的摄像头进行实时画面捕捉，为运维人员提供更直观的故障现场信息。

四、智能传感器在输电线路运维中的应用

智能传感器在输电线路运维中的应用是一个复杂且关键的环节，涉及对输电线路状态的实时监测、故障诊断及运维管理的多个方面。一是智能传感器在输电线路运维中起到了实时监测的作用。通过安装在输电线路上的智能传感器，可实时采集线路的温度、湿度、张力、振动等数据，反映输电线路的实时运行状态，为运维人员提供重要的参考信息。运维人员可通过对这些数据的分析，及时发现线路可能存在的问题或隐患，采取相应的措施进行预防或修复；二是智能传感器在输电线路故障诊断中发挥着重要作用。当输电线路出现故障时，智能传感器可迅速采集故障发生时的相关数据，如故障电流、故障电压等。通过对这些数据的分析，可准确地判断故障的类型、位置及原因。有助于运维人员快速定位故障点，减少故障排查的时间，提高故障处理的效率；三是智能传感器还可用于输电线路的运维管理。通过收集大量的线路运行数据，可建立输电线路的健康档案，对线路的运行状态进行长期跟踪和分析。有助于运维人员了解线路的运行规律，预测可能出现的问题，制定科学合理的运维计划。智能传感器还可与其他智能设备或系统进行联动，实现输电线路的智能化管理，提高运维的自动化水平。

五、智能传感器在输电线路安全防范中的应用

智能传感器在输电线路安全防范中的应用具有深远的意义。通过集成先进的传感技术、数据处理能力和通信技术，为输电线路的安全监测和预警提供了强大的支持。一是智能传感器可用于实时监测输电线路的环境条件。通过部署温度、湿度、风速、风向等传感器，可获取线路走廊内的环境数据，为判断火灾、覆冰等隐患提供依据，经过处理和分析，帮助预测恶劣天气条件对线路可能产生的影响，提前采取相应的预防措施；二是智能传感器在火灾预警方面发挥着重要作用。基于火焰探测技术的智能传感器能够实时监测线路走廊内的火焰情况。一旦检测到火焰信号，传感器会立即触发报警机制，通过无线通信网络将报警信息传输到监测中心。监测中心可根据接收到的信息迅速做出反应，启动应急预案，防止火灾蔓延减少损失；三是智能传感器还可用于监测输电线路的电气参数。例如，电流传感器可实时监测线路的电流情况，一旦发现异常电流，如雷击导致的过电流或绝缘子闪络引起的短路电流，传感器会迅速发送报警信息。四是智能传感器还可与视频监控系统集成，实现对输电线路的全方位监控。通过高清摄像头和智能分析算法，可实时监测线路走廊内的人员和车辆活动，对潜在的外力破坏行为进行预警和制止。

六、技术优势及面临的挑战

（一）技术优势

一是智能传感器具备实时监测和数据快速传输的能力，能够实时获取输电线路的环境条件、电气参数等信息，为运维人员提供及时、准确的数据支持；二是通过对监测数据的分析，智能传感器能够预测潜在的故障风险，提前发出预警，有助于运维人员及时发现并处理问题，减少停电时间，提高电网运行的可靠性；三是智能传感器的应用实现了对输电线路的自动化监测和管理，降低了人工巡检的频率和难度，提高了运维效率和质量；四是智能传感器能够监测线路走廊内的环境变化和人员活动，有效预警火灾、外力破坏等安全风险，保障输电线路的安全运行。

（二）面临的挑战

一是智能传感器在输电线路中的应用尚未形成统一的技术标准和规范，不同厂家、不同型号的传感器之间存在兼容性问题，影响了数据的共享和互通；二是智能传感器产生的海量数据需要进行有效处理和分析，以提取有价值的信息。现有的数据处理和分析技术尚不能满足需求，需要进一步提高数据处理的效率和准确性；三是智能传感器在输电线路中的应用涉及数据传输、存储等多个环节，可能面临数据泄露、黑客攻击等安全风险。恶劣的自然环境也可能影响传感器的稳定运行和数据的准确性；四是智能传感器的研发、生产和部署需要投入大量的资金和资源，对于部分经济条件较差的地区或企业而言，可能难以承担相关成本。智能传感器的维护和更新也需要持续地投入。

结束语：

随着智能电网的发展，智能传感器在输电线路监测中发挥着越来越重要的作用。它们能够实时监测输电线路的状态，提供准确的数据，为故障诊断和运维管理提供有力支持。智能传感器的应用不仅提高了电网的可靠性和供电质量，还有助于解决输电设备规模增长与专业人才储备不足的矛盾，提升运检效率和质量。同时，智能传感器也是建设世界一流能源互联网企业的关键手段，推动电网向更加智能化、共享化和平台化方向发展。

参考文献：

- [1]王兴川.面向输电线路监测的无线传感器网络关键技术研究[D].华北电力大学(北京),华北电力大学,2013.
- [2]马跃涛.基于多源信息融合的无人机智能避障系统的研究与应用[D].华北水利水电大学,2024-03-15.
- [3]王杰.用于智能电网的无线传感器网络能量问题研究[D].合肥工业大学,2024-03-15.
- [4]屈志宏,李方,郭明威.信息融合技术在智能无线传感器网络监测系统中的应用研究[C]//中国航空学会控制与应用第十三届学术年会.2024-03-15.