[电缆沟]

基于电缆沟狭窄空间复合光线的智能监测与预警系统研究

文/熊　飞　孙　磊　吴艳春
国能大渡河公司龚嘴水力发电总厂

提出了一套基于电缆沟狭窄空间复合光线的智能监测与预警系统，包含数据监测层、数据处理层和大数据云平台层。该系统用于电缆沟的实时监测、预警和故障处理，通过光学技术获取电缆沟内部的信息，并传输给后台系统进行处理和分析，对未知的故障进行预测和解决。提供了基于知识库和数据驱动的两种电缆沟狭窄空间故障处理流程，在电缆沟内部的故障处理方面具有一定的优势。

电缆沟是敷设电缆的重要渠道，但由于其空间狭窄、环境封闭等，监测与管理存在一定的难点。电缆沟狭窄空间的困境主要在于：首先，电缆沟内空间狭小，电缆敷设密集，导致人工巡视和维护困难。电缆沟内管道填筑物较多，部分电缆沟的不同管道层次冲突严重，不利于采集数据、巡视和维护。其次，电缆沟内环境复杂，存在多种潜在机械和电气问题，湿度、水淹及氧气浓度等不易检测，需要通过实时监测系统进行监管，避免不必要的灾难。最后，传统人工巡视方式成本相对较高，效率较低，且存在一定的安全隐患。人工整体巡视检查一般无法覆盖所有细节和异常情况，易造成漏检和虚检，给电力设备和运维人员带来安全隐患，增加不必要的工作任务。因此，基于人工巡视的传统维护方式已无法满足电力设备监测和巡检需要。

电缆沟的特殊环境和狭小空间导致监测与管理困难，需利用现代监测技术进行智能化监测和预警。随着监测技术的不断发展，目前有以下解决方案：首先是传感器技术，通过传感器进行监测，采集温度、水位及水质等监测数据，传输到数据采集平台，系统可快速判断故障情况，实现全面监测，传感器还可以采集到由动物和人类引起的振动信号，及时发现损坏和干扰信号；其次是可见光监测技术，使用可见光摄像头采集电缆沟内数据并进行监测，实现对电缆沟内部情况的实时监测；最后是热成像技术，利用红外线摄像头对电缆沟的温度变化进行监测，检测出异常区域。

综合考虑，可以采用复合光线技术实现监测。复合光线监测技术是综合可见光、红外线和超声波等多种光源的光学技术，具有高分辨率和监测准确的特点。在电缆沟内进行全面监测和预警时采用复合光线技术，可克服传感器技术的局限性，防止传感器数据误判、丢失等情况发生。同时，复合光线技术较为灵活，可自由切换不同的光源进行监测，提高了监测的准确性和精度。在电缆沟狭窄空间环境下，复合光线技术能够提供更适合的监测方式。不但提供可见光和红外线的监测，还能采集电缆沟内物体的超声波信号，有效监测细微的物体变化和形变，特别是针对管道密集、管道层次冲突严重或存在墙角、转弯等位置的复杂电缆沟，能够快速确定故障点并提供快速的修复策略。

复合光线技术的集成方式、灵活性和监测准确度，使其在电缆沟监测和预警方面具有独特优势，实现全面监测和及时警报，提高电力设备的运行效

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

率和设备安全性。

基于复合光线技术的智能监测与预警系统

本文提出一种基于复合光线技术的智能监测与预警系统，通过在电缆沟内设置大量的复合光线传感器，以实时监测和预警为基础，为电力输送的安全运行提供保障。系统架构分为数据监测层、数据处理层和大数据云平台层，如图1所示。

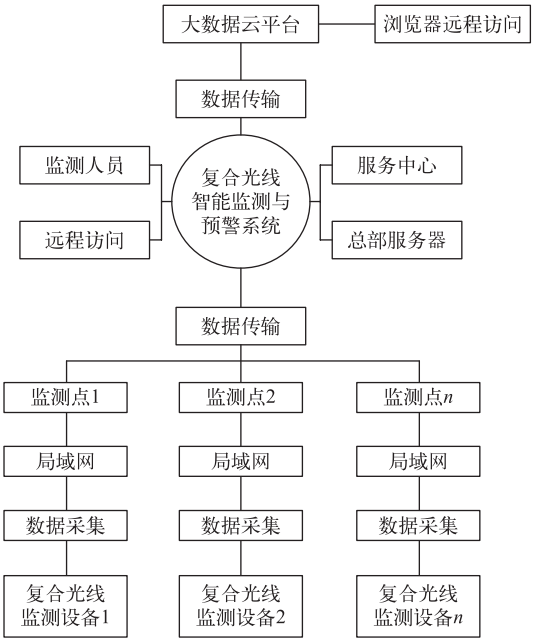

图1　基于复合光线技术的智能监测与预警系统架构

1. 数据监测层

复合光线传感器安装在电缆沟内部，对电缆沟内部环境及电缆运行状态的各项数据进行实时采集。复合光线技术是一种多光源综合技术，在电缆沟内实现全面监测和预警。与传统的光学传感器相比，复合光线技术同时采用可见光、红外线及超声波等多种光学原理进行监测，通过多光源的切换获取更为清晰、全面的图像，更准确地判断电缆沟的状态。还具有高分辨率、高灵敏度及高可靠性等优点，可有效避免传感器数据误判和丢失等情况的发生。复合光线传感器通过记录温度、水质、湿度和水位等数据，实时监测电缆沟的状态，保证了传感器的多样性和监测实效性，所有传感器数据通过局域网上传到监测点。

2. 数据处理层

当传感器上传数据后，系统开始处理、分析监测数据，用统计学方法分类分析并将数据组合成监测综合数据。系统从数据中识别出异常情况，对异常情况采取快速处理策略，并对温度、水质及湿度等不同类型的数据进行分类管理和存储。数据处理层的作用是确保监测数据的真实性和完整性，为后期的数据分析和研究提供有力的支持。

3. 大数据云平台

数据通过数据处理层处理后存储到云端，任何有权限的人可随时进行远程检测、分析和下载数据。此外，大数据云平台配备高反应能力的服务器，具有快速处理数据的能力，可有效地对监测数据进行全方面的汇总、处理及分析，提供基于大数据的高质量解决方案。大数据云平台帮助电缆沟运维部门及企业进行数据监测和运营的优化，便于电缆沟的优化和改进。

通过复合光线智能监测与预警系统，成功实现了电缆沟内的实时监测和异常预警，提高了电缆沟的监测质量和运行效率，为电力输送的高效安全运行提供了有效的技术支持。

基于知识库和数据驱动的电缆沟狭窄空间故障处理流程

随着电力行业的快速发展，电缆系统已成为电力工程中不可或缺的一部分。电缆沟是电缆系统中非常重要的组成部分，起到将绝缘电线排列在合理位置的作用。然而，由于电缆沟内部空间狭窄，工作环境恶劣，在使用过程中可能出现各种故障，导致在实际应用中面临极大的困难。

1. 基于知识库的电缆沟狭窄空间故障处理流程

利用专家对电缆沟狭窄空间故障处理的经验，搭建故障处理库，通过该库的信息提取和筛选，快速、准确地识别电缆沟内部的故障并给出相应的解决方案。利用专家知识库将电缆沟狭窄空间内的故障处理时间大大缩短，提高故障处理效率，减少流程中人为干扰的因素，使问题得到更加精确的处理。流程如图2所示。

该流程分为四个环节：一是获取复合光线监测数据，通过在电缆沟内安装复合光线传感器，获取电缆沟内湿度、水位、温度、水质和机械状态等多种数据，并进行存储；二是进行数据预处理及特征提取，预处理包括去除异常值、降噪、归一化处理

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

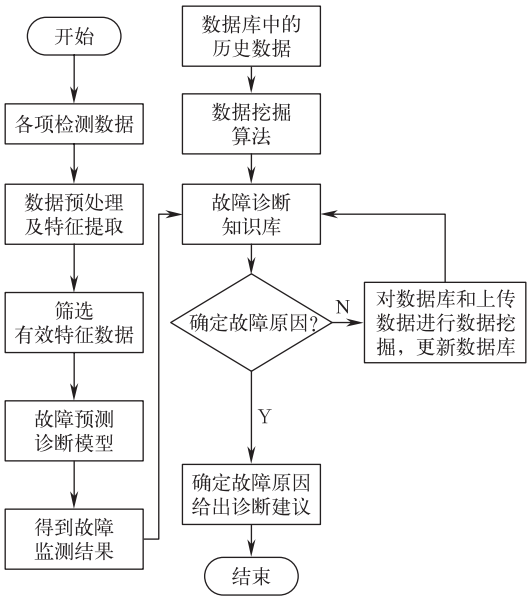

图2　基于知识库的电缆沟狭窄空间故障处理流程

等，特征提取是将原始数据转换为特征向量，减少数据量；提高数据处理效率；三是将特征向量输入故障预测诊断模型中，利用人工智能等技术，结合历史故障数据和故障分类模型进行故障预测，预测结果包括故障类型、故障位置、故障概率等信息；四是将预测结果导入故障诊断知识库，若结果在故障诊断知识库中存在，则通过诊断知识库中存储的故障处理方案解决电缆沟的故障；若故障类型不在诊断知识库中或知识库中已有的方案不能解决故障，则需对知识库进行更新，增加新的故障处理方案。

以实际故障为例，工作人员通过公司内的计算机终端设备，实时访问监测设备发送的复合光线数据，通过软件快速对获取到的数据进行处理，并通过特征提取模块将固定时间内的多个数据合并为特征向量保存至数据库中，随后故障预测模型根据特征向量预测故障类型、位置、概率等信息，根据模型的预测结果，初步判断可能出现水浸涝等故障类型。如果故障预测模型判断的故障类型已存在于数据库中，则可以通过该方案对电缆沟进行处理，比如采取抽水排涝等措施；如果故障类型不在诊断知识库中，则需要重新编辑和更新知识库，将新的故障类型的处理方法加入到数据库中，便于下一次故障出现时的处理。

2. 基于数据驱动的电缆沟狭窄空间故障处理流程

基于数据驱动的电缆沟狭窄空间故障处理流程建立在数据密集监测的基础上，核心是将监测的电缆沟数据进行集中处理和归类，通过计算和分析，识别出数据中的潜在故障，预测可能出现的故障和异常状况。这种流程相较于基于知识库的流程，具有更高的可靠性和预测性，并且能够较为全面地分析和处理一些潜在的故障，使得故障的处理更加准确。流程如图3所示。

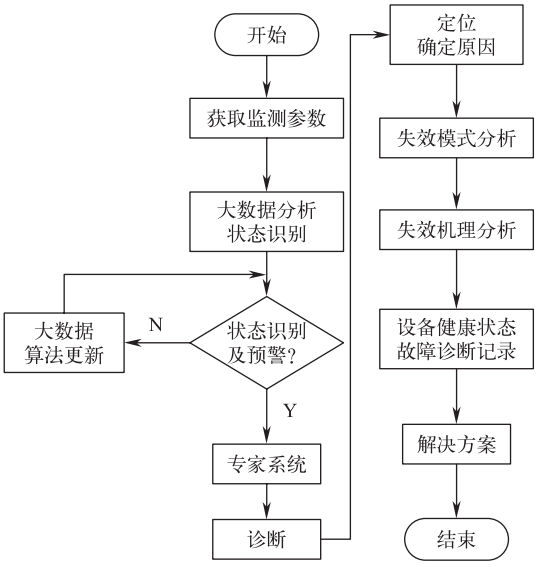

图3　基于数据驱动的电缆沟狭窄空间故障处理流程

与基于知识库的电缆沟狭窄空间故障处理流程类似，基于数据驱动的流程首先是获取监测参数，并通过大数据分析进行标签识别，随后标签数据进入专家系统进行故障诊断，在确认了电缆沟出现故障后，需要对故障点进行精准定位。在故障定位完成后，需要对故障的失效模式进行详细分析，确定相关的失效机理，明确电缆的失效原因，为设备维修提供指导。失效机理分析是该方案的核心环节，需要对失效数据和关键特征进行探索性分析，依据统计特征和先验知识确定失效点的关键特征和影响因素，以及直接和间接影响失效的因素，输出故障维护结果。

以实际案例举例，在故障发生后，某维护人员首先通过电缆沟内的传感器获得电缆沟内部的监测参数，随后通过大数据分析进行标签识别，将不同时刻、不同区域内的监测数据进行比较，自动检测异常数据。将检测到的异常数据送入专家系统中，依据专家系统的反馈结果，确认可能的故障类型和原因，故障维修人员可寻找到相应的工具进行维修

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

操作。随后依据所得到的故障类型和原因判定可能出现故障的区域，并对故障所在点进行定位。再进行失效模式分析，即对故障造成影响的机制、过程和影响程度进行分析，找出故障的失效模式。最后是失效机理分析，通过对失效模式进行深层次分析，确定故障的机理模型，为修复提供指导。在维修完成后，还将输出设备健康状态，完善故障诊断记录，为未来的故障处理提供指导。

结束语

基于知识库的流程是一种应用范围广泛的处理方式，能够快速准确地处理电缆沟内部的故障问题，可将专家知识方便地整合到知识库中，既能够提高环节的效率，帮助处理人员更好地了解故障处理的全过程，又能够保证处理结果的准确性与稳定性。而基于数据驱动的流程通过不断积累电缆沟的监测数据以及分析处理，实现对潜在故障的快速预测，在更有针对性地解决某些特定问题方面具有明显的优势。在实际应用过程中，两种流程在电缆沟内部故障的处理方面都具有一定的优势。**EA**

（收稿日期：2023-05-29）

参考文献

[1] 张恒，班革革．基于多物理场耦合模型的三芯电缆群温度在线监测[J]．电力科学与工程，2022，38(9)：65-73．

[2] 朱自强，洪波，章俊辉．分布式电缆沟环境监测报警装置在变电站内的应用[J]．安徽电气工程职业技术学院学报，2022，27(2)：64-71．

[3] 张雨婷．基于拉曼分布式光纤传感的高压电缆温度监测研究[D]．太原：太原理工大学，2022．DOI：10.27352/d.cnki.gylgu.2022.000486．

[4] 贾玉涛，王洪晓，郑才伟．人工智能在电缆沟代运维系统开发中的应用分析[J]．电子元器件与信息技术，2022，6(1)：167-168．DOI：10.19772/j.cnki.2096-4455.2022.1.073．

[5] 康达．电力电缆温度场分布仿真及其在线监测系统设计与实现[D]．恩施：湖北民族大学，2021．DOI：10.27764/d.cnki.ghbmz.2021.000002．

[6] 刘姝，顾升霖，蒋洪亮，等．基于UHF-RFID/RBF的电力电缆温度监测研究[J]．电气应用，2022，41(7)：49-56．

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net