

# 石油天然气管道电气设备故障诊断与预警技术研究

李鹏程 孙小龙 宋玉祥

国家管网集团北京管道公司山西输油气分公司兴县作业区 山西 吕梁 033600

**摘要:** 随着石油天然气行业的快速发展,管道电气设备的安全运行对于保障能源供应、维护社会稳定具有重要意义。然而,由于环境因素、设备老化、操作失误等多种原因,管道电气设备故障频发,给安全生产带来严重威胁。因此,开展石油天然气管道电气设备故障诊断与预警技术研究,对于提高设备可靠性、减少事故损失具有重要意义。

**关键词:** 石油天然气管道; 电气设备; 故障诊断; 预警技术

## 引言

石油天然气管道电气设备是管道系统的重要组成部分,包括高压配电柜、变压器、开关设备、保护装置等。这些设备的正常运行直接关系到管道的安全输送和能源供应的稳定性。然而,由于管道运行环境复杂,设备易受腐蚀、老化等因素影响,加之操作人员的技能水平参差不齐,导致设备故障频发。因此,开展电气设备故障诊断与预警技术研究,对于提高设备可靠性、保障安全生产具有重要意义。

## 1 石油天然气管道电气设备故障诊断技术

在石油天然气管道运输系统中,电气设备作为核心组成部分,其稳定运行直接关系到整个管道系统的安全性和可靠性。然而,由于设备长时间运行、环境恶劣以及人为操作不当等因素,电气设备故障时有发生。为了保障石油天然气管道的高效运行,及时准确地诊断电气设备故障显得尤为重要。

### 1.1 传统故障诊断方法

传统电气设备故障诊断方法主要依赖于技术人员的经验和直观判断,包括直观法、电压电流测试法、元件置换法等。直观法是一种最为基础且简单的故障诊断方法。技术人员通过观察设备的外观、气味、声音等异常现象来判断故障点。例如,设备外壳变形、烧焦气味、异常噪音等都可能是设备故障的直观表现。这种方法虽然简单易行,但对技术人员的经验要求较高,且对于某些隐蔽性故障难以有效发现。电压电流测试法是通过测量设备各点的电压和电流,与正常值进行对比来判断故障。技术人员使用万用表、示波器等仪器对设备进行电气参数测量,通过对比分析找出异常值,从而定位故障点。这种方法相对准确,但对于复杂电路和间歇性故障的诊断效率较低。元件置换法则是将怀疑有故障的元件更换为正常元件,观察故障是否消除。这种方法适用于元件明显损坏或老化的情况,但对于故障原因不明的故

障,盲目更换元件可能造成资源浪费和时间延误<sup>[1]</sup>。总的来说,传统故障诊断方法虽然简单易行,但存在诊断效率低、准确性不高的问题。随着科技的进步和电气设备复杂性的增加,传统方法已经难以满足现代电气设备故障诊断的需求。

### 1.2 现代故障诊断技术

随着科技的飞速发展,现代电气设备故障诊断技术得到了快速发展和应用。这些技术主要基于数据分析、专家系统以及神经网络等先进技术,极大地提高了故障诊断的准确性和效率。

#### 1.2.1 基于数据分析的故障诊断技术

基于数据分析的故障诊断技术是通过收集设备的运行数据,运用大数据分析技术和人工智能算法,对设备运行状态进行实时监测和预警。这种技术能够充分利用设备运行过程中产生的大量数据,通过数据挖掘和分析,揭示设备运行的内在规律和潜在问题。具体来说,基于数据分析的故障诊断技术可以利用分段函数、多元回归等统计方法对设备参数进行趋势分析,预测设备参数的劣化趋势,从而提前发现潜在故障。此外,深度神经网络等先进的人工智能算法也可以应用于故障诊断中。通过训练深度神经网络模型,使其能够自动学习设备故障特征,并对实时数据进行快速准确的故障判断。基于数据分析的故障诊断技术具有诊断准确率高、实时性强等优点,能够大大提高设备的可靠性和安全性。同时,这种技术还能够为设备的维护和管理提供科学依据,优化维护策略,降低维护成本。

#### 1.2.2 基于专家系统的故障诊断技术

专家系统是一种模拟人类专家决策过程的计算机系统,它能够将专家多年的故障处理经验和知识以规则的形式存储起来,并通过推理机制进行故障诊断。基于专家系统的故障诊断技术就是利用这种系统对设备故障进行快速准确诊断。在构建故障诊断专家系统时,首先

需要收集并整理大量专家经验和知识,形成知识库。然后,通过设计推理机制,使系统能够根据输入的设备故障现象,自动匹配知识库中的规则,进行故障诊断和决策。基于专家系统的故障诊断技术具有诊断速度快、准确性高等优点,能够大大减轻技术人员的负担,提高故障诊断的效率<sup>[2]</sup>。同时,这种技术还能够实现知识的共享和传承,使新入职的技术人员能够快速掌握故障诊断技能。

### 1.2.3 基于神经网络的故障诊断技术

神经网络是一种模拟人脑神经元结构的计算模型,它具有强大的自学习和自适应能力。基于神经网络的故障诊断技术就是通过训练神经网络模型,使其能够自动识别设备故障特征,并进行故障诊断。在训练神经网络模型时,首先需要收集大量设备正常运行和故障状态下的数据作为训练样本。然后,通过设计合适的网络结构和训练算法,对神经网络进行训练,使其能够学习到设备故障的特征和规律。训练完成后,神经网络模型就可以对实时数据进行故障判断,输出故障诊断结果。基于神经网络的故障诊断技术具有自适应性强、故障诊断准确率高等优点。它能够自动适应设备运行状态的变化,对新型故障和复杂故障进行准确诊断。同时,这种技术还能够实现故障诊断的自动化和智能化,提高故障诊断的效率和准确性。

## 2 石油天然气管道电气设备故障预警技术

在石油天然气管道运输系统中,电气设备作为关键组成部分,其稳定运行是保障整个管道系统安全、高效运行的基础。然而,由于设备长时间运行、环境恶劣以及人为操作不当等因素,电气设备故障时有发生,给管道运输带来潜在的安全隐患。为了有效预防电气设备故障,提高设备的可靠性和安全性,故障预警技术应运而生。

### 2.1 故障预警系统构建

故障预警系统是一种基于现代信息技术和智能算法构建的先进系统,能够实时监测设备运行状态,预测故障发生的可能性,并提前发出预警信号,为设备的维护和管理提供科学依据。该系统主要包括数据采集模块、数据处理模块、故障预警模块和用户界面模块,各模块相互协作,共同实现故障预警的功能。

#### 2.1.1 数据采集模块

数据采集模块是故障预警系统的基础,负责收集设备的实时运行数据。这些数据包括但不限于电压、电流、温度、振动等关键参数。为了确保数据的准确性和可靠性,数据采集模块通常采用高精度的传感器和仪表,对设备进行全天候、全方位的监测。同时,模块还具备数据存储和传输功能,能够将实时数据上传至数据

处理模块进行进一步分析。

#### 2.1.2 数据处理模块

数据处理模块是故障预警系统的核心,运用大数据分析技术和人工智能算法,对采集到的数据进行处理和分析。首先,模块会对原始数据进行清洗和预处理,去除噪声和异常值,确保数据的准确性<sup>[3]</sup>。然后,通过运用数据挖掘、机器学习等算法,对处理后的数据进行深入分析,提取故障特征。这些故障特征能够反映设备运行状态的变化和潜在问题,为故障预警提供有力依据。

#### 2.1.3 故障预警模块

故障预警模块是故障预警系统的关键输出部分,根据数据处理结果,判断故障发生的可能性,并提前发出预警信号。模块会根据预设的预警阈值和规则,对处理后的数据进行实时判断。一旦发现数据异常或超过预警阈值,模块会立即发出预警信号,并通过用户界面模块通知操作人员。这样,操作人员可以及时了解设备运行状态,采取相应的维护措施,防止故障的发生。

#### 2.1.4 用户界面模块

用户界面模块是故障预警系统与人机交互的桥梁,提供直观、易用的用户界面。通过用户界面,操作人员可以方便地查看设备运行状态、实时数据、预警信息等内容。同时,界面还支持数据查询、报表生成等功能,满足操作人员对设备管理和维护的多样化需求<sup>[4]</sup>。用户界面模块的设计注重人性化和易用性,确保操作人员能够快速上手并熟练使用故障预警系统。

## 2.2 故障预警算法研究

故障预警算法作为故障预警系统的核心组成部分,其性能直接关系到预警的准确性和及时性。随着数据科学和人工智能技术的快速发展,多种高效的故障预警算法应运而生,并在实际应用中取得了显著成效。目前,时间序列分析、支持向量机以及深度学习是三种常用的故障预警算法。时间序列分析是一种基于设备历史运行数据的预测方法。它通过分析设备运行数据随时间变化的规律,提取时间序列特征,如趋势、季节性、周期性等,进而预测未来故障发生的可能性。时间序列分析算法能够充分利用设备的历史数据,对设备的长期运行趋势进行准确预判,为故障预警提供有力支持。支持向量机是一种基于统计学习理论的分类型算法。在故障预警中,支持向量机算法通过构建分类模型,对设备运行状态进行分类,判断设备是否存在故障隐患。该算法在处理高维数据和非线性问题时具有显著优势,能够有效识别设备的异常状态,提高故障预警的准确性。深度学习是一种模拟人脑神经网络结构的机器学习方法。通过训

深度学习模型,使其能够自动学习设备故障特征,并从大量数据中提取有用的信息,实现故障预警。深度学习算法具有强大的自适应能力和泛化能力,能够处理复杂的故障模式,提高故障预警的及时性和准确性。

### 3 应用案例与效果分析

#### 3.1 国家管网山东公司光纤预警系统

国家管网山东公司,作为油气管道运输的重要企业,深知管道安全的重要性。为了进一步提升管道的安全保障能力,公司决定采用先进的技术手段,对管道进行智能化监测。经过深入调研和比选,公司最终选择了华为分布式光纤传感技术,打造了油气管道光纤预警系统。该系统沿管线部署了伴行光纤,通过感知光纤周围的振动信号,实现对管道周边环境的实时监测。系统核心采用了瀑布图算法,这是一种将振动信号以时间-空间二维图形展示的方法,能够直观地反映振动信号的变化趋势和分布特征。同时,系统还结合了告警压缩等模型,对振动波纹信息进行深入分析,有效滤除了干扰信号,提高了预警的准确性。自2023年12月正式启用以来,该系统已经覆盖了1173公里的管线,实现了对管道的全方位、全天候监测。在实际运行中,系统表现出了极高的性能和稳定性,成功精准识别并及时防控了第三方机械施工100余起。这些事件如果得不到及时处理,很可能对管道造成严重的破坏,甚至引发安全事故。而光纤预警系统的及时预警和准确定位,为公司的应急响应提供了有力的支持,有效避免了事故的发生。此外,该系统还具备远程监控和数据分析功能,使得管理人员能够随时随地掌握管道的运行状态,及时发现并处理潜在的安全隐患。这不仅提高了管道的安全保障能力,还大大降低了公司的运维成本和管理难度。

#### 3.2 阿尔及利亚Sonatrach公司联合创新项目

阿尔及利亚Sonatrach公司作为该国石油行业的领军企业,一直致力于提升油气管道的安全保障水平。为了应对管道巡检中的挑战,如光纤中断、人工挖掘、机械挖掘等事件,公司决定与华为展开合作,共同构建油气管道巡检方案。该方案采用了华为先进的光纤预警技

术,通过沿管线部署的光纤传感器,实时监测管道周边的振动信号。系统能够对不同类型的事件进行精准区分,如光纤中断、人工挖掘和机械挖掘等,实现了100%的事件类型区分率。这一特性使得管理人员能够迅速了解事件的性质和严重程度,从而采取相应的应对措施。同时,该方案还具备低误报率和高告警定位精度的优点。系统通过先进的算法和模型,对振动信号进行深入分析,有效滤除了干扰信号和误报信息,提高了预警的准确性。而高告警定位精度则使得管理人员能够迅速定位事件发生的地点,为应急响应提供了有力的支持。该方案的实施,不仅有效降低了运维成本,还大大提升了管道的安全保障能力。通过实时监测和预警,公司能够及时发现并处理潜在的安全隐患,避免了事故的发生。同时,方案的远程监控和数据分析功能,也使得管理人员能够随时随地掌握管道的运行状态,为公司的决策提供了有力的数据支持。

### 结语

石油天然气管道电气设备故障诊断与预警技术研究对于提高设备可靠性、保障安全生产具有重要意义。通过运用现代信息技术和智能算法,可以实现对设备运行状态的实时监测和预警,有效避免事故的发生。未来,随着科技的不断进步和应用场景的拓展,电气设备故障诊断与预警技术将迎来更广阔的发展前景。

### 参考文献

- [1]周宝杰.石油电气工程设备故障诊断系统研究[J].石化技术,2019,26(12):2+5.
- [2]罗霄,史大源,陈钰婷.天然气长输管道场站电气设备安全运行探究[J].科技资讯,2022,20(11):50-52.
- [3]夏晨冷,于明池,李小磊,等.天然气长输管道系统的电气设备管理措施[J].化工设计通讯,2019,45(03):32-33.
- [4]刘伟,李路路,夏琦.基于天然气输气站场电气设备施工改造及运行维护技术的探讨[C]//中国电力设备管理协会.全国绿色数智电力设备技术创新成果展示会论文集(一).国家管网集团西气东输公司,2024:3.