

电力系统变电运维中的智能监测与故障诊断研究

麻杰 马璇

国网山西省电力公司超高压变电分公司 山西省太原市 030000

摘要: 随着电力系统设备复杂度的增加,传统的人工巡检和故障诊断方法已难以满足现代变电站的需求。基于知识图谱的大数据分析和智能监测系统,通过实时采集和分析设备数据,能够有效地进行故障预警和诊断,显著提高故障响应速度和诊断准确率。本文详细探讨了该系统在变电运维中的应用,实现了故障响应时间、停机时间和维护成本的显著减少,提高了运维效率和设备的可靠性。

关键词: 智能监测; 故障诊断; 知识图谱; 大数据分析

引言

变电设备的高负荷、高电压运行环境使得故障隐蔽性和复杂性不断增加,延误的诊断和维护可能导致重大设备损坏或停运事故。因此,提升运维效率、确保系统安全、规范故障诊断流程及提高判断精度,已成为现代变电运维中的重要目标。本文基于知识图谱、物联网和云计算技术,设计并实现了一种智能监测与故障诊断系统,旨在提高故障响应速度、准确性和设备的可靠性。

1. 电力系统变电运维中智能监测与故障诊断的必要性

随着电力系统规模的不断扩大,变电设备日益复杂,传统的人工巡检和故障诊断方法已难以满足现代电力系统的需求。故障诊断不仅需要依赖人工经验,还受到人员、设备、环境等多方面因素的影响。特别是在高负荷、高电压的环境下,故障隐蔽性和复杂性不断提高,延误的诊断和维护可能导致重大设备损坏或停运事故。而通过引入知识图谱和大数据分析技术,能够对故障进行更加精准的推理和分析,从多个维度对故障原因进行深度挖掘,确保判断结果的客观性与准确性。

2. 电力系统变电运维智能监测与故障诊断的关键技术

2.1 知识图谱技术在故障诊断中的应用

知识图谱作为一种重要的图形化数据表示方法,近年来在电力系统变电运维领域得到了广泛应用。通过将结构化和非结构化的数据进行图形化整合,知识图谱能够有效地将设备故障诊断的知识、设备参数、历史故障记录以及专家经验等各类数据形成一个多维度、动态更新的知识库。在变电站的运维管理中,知识图谱技术可以帮助构建设备的故障诊断

模型,建立设备各类状态参数与故障类型之间的关联关系,从而为故障检测和判断提供可靠依据。基于知识图谱的故障诊断系统通过图谱推理,可以在设备发生异常时自动识别故障模式。例如,系统可以通过对设备的各类监测数据进行分析,识别出设备潜在的故障隐患,甚至可以追溯到潜在的故障源头,从而实现提前预警。

2.2 大数据分析机器学习在设备监测中的应用

在变电运维领域,设备状态监测系统通过大量传感器实时采集设备的运行数据,包括油色谱、气体成分、温度、压力、电流、负荷等重要指标。这些海量数据通过大数据技术进行存储、处理和分析,为设备的运行状态提供全面的监控支持。大数据分析技术可以通过实时监控数据的存储和处理,挖掘出设备运行过程中潜在的故障模式。

2.3 物联网与云计算在智能诊断中的应用

物联网(IoT)和云计算是当今电力系统智能诊断中不可或缺的两大技术。物联网技术为电力设备的远程监控和实时数据采集提供了技术基础,借助无线传感器、智能设备和网络通信技术,变电站内的各种电力设备可以实现24小时不间断的在线监控。通过实时采集变电设备的运行数据,包括设备负荷、温度、电流、电压、气体成分等,系统能够在第一时间发现设备状态的异常,及时反馈给运维人员。而云计算平台能够集中存储来自不同设备的数据,并通过云端服务器对海量数据进行实时处理和分析。云计算的弹性扩展性使得系统能够在面对大量数据时,仍能保持高效的数据处理速度和响应时间。云计算平台能够将分布在不同变电站、设备之间的实时监测数据进行整合,为设备故障的智能诊断和

预测提供支持。

3. 基于知识图谱驱动变电运维中的智能监测与诊断系统设计

本系统主要由三大模块组成：数据获取、数据分析和数据服务模块。数据获取模块首先接收来自不同来源的原始数据，这些数据包括专家知识、设备故障数据和实时监测数据。数据获取后，系统会对这些数据进行标准化处理，以便后续的知识抽取与诊断分析。数据分析模块利用这些数据，通过构建知识图谱来实现故障诊断模型，而数据服务模块则为用户提供故障诊断查询服务。

3.1 数据获取模块

数据获取模块的主要功能是从多个来源收集数据，并进行结构化处理。变压器的故障诊断知识一般来源于三类数据：专家知识、故障数据和状态数据。

3.1.1 专家知识

通过总结经验与诊断流程，专家将故障原因、缺陷描述等信息进行结构化处理，形成知识库。这些知识构成了系统的理论基础。

3.1.2 故障数据

这些数据主要包括变压器设备的告警记录、维护历史等。系统通过数据清洗与融合，将原始数据转化为结构化数据，确保数据的可用性和精确性。

3.1.3 状态数据

指的是设备实时运行状态的数据，如油色谱、气体成分、温度、负荷等信息。这些数据用于动态监测设备的健康状态，帮助快速发现潜在问题。

这些数据最终形成实体，实体之间通过关系建立联系。通过构建实体-关系图（E-R模型），变压器的故障诊断知识被结构化地表示出来，为后续的诊断分析提供基础。

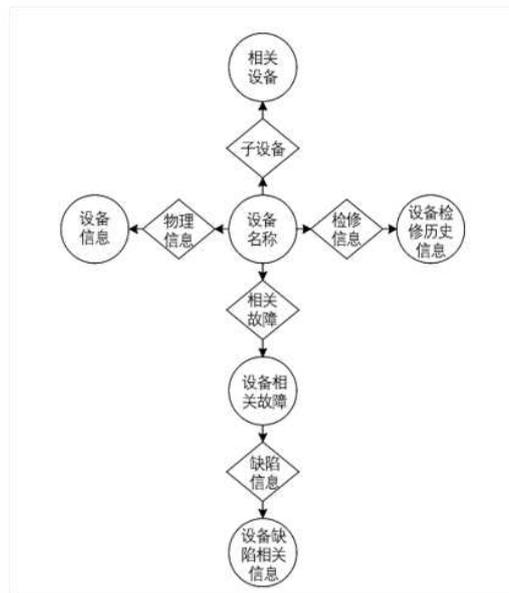


图 1 E-R 模型示意图

3.2 数据分析模块

数据分析模块是系统的核心，通过构建一个完整的三元组（实体、关系、值），形成知识图谱，知识图谱将故障诊断的知识以图形方式表示，便于后续查询与推理。在变压器的轻瓦斯故障诊断中，系统通过油气判断、油色谱判断等关系来分析变压器的状态。当设备出现异常时，系统可以通过查询知识图谱，快速定位问题所在，从而为维修人员提供故障排查建议。

3.3 数据服务模块

数据服务模块面向终端用户，通过 Python 语言对 Cypher 查询语言进行封装，提供简单易用的查询接口。

用户可以通过输入部分关键词，系统返回所有相关的实体，帮助用户定位问题。随后可以选择特定的实体及其关系，系统返回精确的诊断结果。当系统接收到在线监测告警时，根据实时数据对设备状态进行分析，及时诊断设备是否存在故障。

3.4 系统架构

本系统采用 C/S 架构，分为客户端与服务器端两部分。客户端使用 Vue 框架构建，负责与用户进行交互。服务器端使用 Python 语言，通过 Flask 框架实现业务层的功能，负责接收客户端请求、执行数据库操作并返回结果。系统架构包括四层设计：

数据层通过封装数据库操作，使用 Neo4j 图数据库存储知识图谱。系统利用 Py2neo 库连接数据库，并通过 Python 从 CSV 文件批量导入数据，构建变压器故障诊断知识图谱。与传统的 Cypher 语句相比，Py2neo 提供了更快速、直观的数据导入方式，并封装了数据访问接口以保证高效存取。

业务层封装服务器端功能模块，负责处理用户请求并提供数据查询与分析服务。通过 Python 语言封装 Cypher 语句，结合 Flask 框架提供的 API，支持 GET 和 POST 请求，提升系统的效率和稳定性。

逻辑层主要负责用户与业务层的交互，处理数据解析与转换。通过 Web 页面传递的参数，逻辑层识别请求类型并调用相应的查询功能，特别是在故障智能查询和智能诊断功能上。通过模糊检索与实体匹配，系统能够自动查询并返回诊断结果。

用户层提供友好的前端界面，采用 React 框架实现图形化展示。利用 React 可视化从 Neo4j 数据库查询到的数据，生成图形化故障路径，直观展示设备运行状态。该系统已成功应用于多个变电站的运维管理中，能够实时监测变压器状态，分析设备健康状况并预警潜在故障。

4. 应用效果分析

本系统已成功应用于多个变电站的运维管理中，尤其在大型电力公司和重要的变电设施中，表现出了显著的优势。通过对系统应用前后的对比分析，系统在提升故障诊断效率、提高准确性、减少设备停机时间和降低维护成本方面表现出了显著效果，具体如下表 1：

表 1 系统应用效果

项目	系统应用前	系统应用后
平均故障响应时间 (小时)	5.2 小时	1.3 小时
故障诊断准确率 (%)	82%	95%
年度停机时间 (小时)	120 小时 / 年	45 小时 / 年
年度维护成本 (万元)	150 万元	95 万元

通过该系统的应用，变电站故障诊断的效率和准确性得到了显著提高。系统通过智能化的数据处理和分析，实现了快速的故障检测和精准的诊断，从而降低了运维成本并提高了设备运行可靠性。

5. 结束语

基于知识图谱的智能监测与故障诊断系统为现代变电运维提供了有效的技术支持。系统通过大数据分析、机器学习及图谱推理等技术的集成，成功提升了设备故障诊断的精度和效率，降低了设备停机时间和维护成本。在实际应用中，该系统帮助多个变电站实现了故障的提前预测、快速诊断及精准排查，大大提高了变电设备的可靠性和运维效率。

参考文献：

- [1]Guo Q,Zhuang F,Qin C,etal.A surveyon knowledge graph–base drecommender systems[J].Scientia Sinica Informatiois,2020,50(7):937.
- [2]高思远. 电力变压器知识图谱自动构建技术研究 [D]. 长沙: 湖南大学,2021.
- [3] 巩宇,李碧薇,李德华,等. 基于知识图谱的电力设备故障知识库构建方法 [J]. 电子产品可靠性与环境试验,2021,39(4):72–77.
- [4] 贝浩波. 电力系统中的变电运行安全管理与变电设备的维护研究 [J]. 电器工业,2023(05)
- [5] 姜清雷. 基于电力系统变电运行安全管理与设备维护的探究 [J]. 中国设备工程,2022(05)
- [6] 赵洪海. 电力系统中变电运行的安全管理与设备维护问题分析 [J]. 中国设备工程,2021(24)
- [7] 韩立影. 智能变电站变电运维安全与设备维护探讨 [J]. 数字通信世界,2021(09)