

变电设备带电检测数据管理与智能分析

王道志, 童劲松

国网荆州供电公司变电运维分公司, 湖北 荆州 434000

DOI:10.61369/EPTSM.2026010008

摘 要 : 本文系统阐述了变电设备带电检测数据运作及智能分析的关键技术体系。首先, 概括了带电检测的主要数据类型、采集手段以及预处理流程, 给后续分析形成数据基础。其次, 规划出包含数据存储、运作和可视化功能的数据运作系统架构。进而, 详细探究了从数据里获取特征、创建设备状态评价模型以及趋势预测的核心分析方法。最后, 论述了智能分析在异常识别、故障警报和决策支持方面的实际应用。此体系期望达成检测数据的高效运作和深度挖掘, 从而给变电设备的状态检修和智能运检提供关键技术支撑。

关 键 词 : 带电检测; 数据管理; 智能分析; 状态评估; 故障预警

Data Management and Intelligent Analysis of Live Testing for Substation Equipment

Wang Daozhi, Tong Jinsong

State Grid Jingzhou Power Supply Company Substation Operation and Maintenance Branch, Wuhan, Hubei 434000

Abstract : This paper systematically presents the key technical framework for operational and intelligent analysis of live detection data in substation equipment. First, it outlines the primary data types, acquisition methods, and preprocessing workflows for live detection, establishing a foundational data base for subsequent analysis. Second, it designs a data operation system architecture incorporating storage, processing, and visualization capabilities. Third, it explores core analytical methodologies for feature extraction, equipment condition evaluation model development, and trend forecasting. Finally, it demonstrates practical applications of intelligent analysis in anomaly detection, fault alerting, and decision support. This framework aims to achieve efficient data processing and in-depth mining, thereby providing critical technical support for condition-based maintenance and intelligent operation and maintenance of substation equipment.

Keywords : live detection; data management; intelligent analysis; condition assessment; fault warning

引言

智能电网创建不断推进之际, 变电设备智能化运维水平成了保障电力系统安全稳定的重点。以往的定期停电检修模式效率低, 反应迟缓。带电检测技术可在不断供电的情况下, 及时或者接近及时得到设备运行状况信息, 给状态检修构筑了牢靠的数据根基。但是, 大量来自诸多源头且形式不同的带电检测数据, 给高效运作和深入剖析造成了很大困难。如何做到数据的规范整合, 从数据当中得出体现设备良好状况的特征, 形成精确的考量和预测模型, 进而服务于运维决策, 这些都是当下迫切要解决的主要问题。本文希望全面创建起包含数据收集、运作、分析直至应用的完整技术体系, 促使带电检测数据由单纯记录朝着智能认知方向发展, 从而加强变电设备运维的前瞻性与积极性。

一、数据采集与处理

(一) 带电检测数据类型

带电检测的数据包含多种类型, 大致可归为如下几类。第一类是电气量数据, 局部放电产生的脉冲信号、泄漏电流、介质损耗因数等均属于此类, 它们会直接显示绝缘劣化的状况。第二类

是机械振动与噪声数据, 这类数据源自变压器、电抗器等设备的机械构造, 可以有效地判断内部绕组或者铁心是否存在松动、变形等瑕疵。第三类是温度与热像数据, 经由红外热像或者光纤测温得到设备表面以及关键结合点的温度分布情况, 这是察觉过热故障的一种有效方法。第四类是油中溶解气体数据, 对于油浸式设备来说, 剖析氢气、甲烷、乙炔等特征气体的成分及其含量,

作者简介: 王道志 (1988.10-), 男, 湖北公安人, 大学本科, 助理工程师, 研究方向: 变电运维技术。

就能敏锐地辨别内部放电、过热等潜在故障。这些数据类型包含诸多可评定设备状态的信息维度，这些数据类型共同构成了评估设备状态的多元化信息维度。

（二）数据采集方法

数据采集方法存在差别，这取决于传感器类型以及整合方式。局部放电、高频电流之类的瞬态信号，往往要依靠高频或者特高频传感器配合高速数据采集卡来获取，所以系统得要有较高的采样率和较宽的频带。至于振动、噪音等信号，则经由加速度计、声学传感器采集而来，要知道安装方式会给测量精度带来影响。红外测温一般用非接触式的红外热像仪，该仪器的采集效果会受到环境温度、距离以及发射率设置等因素的影响。油色谱数据大多借助在线监测装置或者实验室色谱仪定时取样分析得到。如果想要达成全面感知，现在的采集系统正在向多传感器融合和集成化方向发展，而且还要依照统一的通信协议和数据格式标准，以保证数据源稳定接入并做到同步。

（三）数据预处理

原始采集的数据往往存在噪声、缺失值以及异常值等情况，这些情况需经由严格的预处理之后才适合做后续的分析工作。数据清洗属于预处理流程中的关键环节，其主要目的在于去除那些由于电磁干扰、传感器自身故障或者传送过程出错而产生的突出离群点和无效值，常常利用统计手段或者设定阈值来达成目标。针对信号类别的数据而言，降噪操作非常必要，可以运用数字滤波、小波变换之类的方法，在守住有用特性之时削减背景噪音。至于数据对齐和同步方面的处理，则可化解多源头数据在时间标记、采样速率等方面存在的差异，从而给特征整合创造前提条件。而且还要展开必要的格式转换并执行归一化操作，以此去除不同物理单位所造成的影响，把数据调整到相同的水平之上，为构建高质量的分析数据集做好准备。^[1-5]

二、数据管理系统

（一）系统结构与功能

数据管理系统是连接数据采集与分析应用的核心枢纽，其结构通常采用分层设计。感知层负责接入各类在线监测装置与离线检测仪器上传的原始数据。网络层通过电力专用通信网或安全隔离装置，保障数据传输的可靠与安全。平台层是系统的核心，包含数据存储、处理与服务模块，提供统一的资源管理与计算支撑。应用层则面向运维人员，提供各类业务功能界面。系统需具备的核心功能包括：要达成多源异构数据的标准化接入及存储，还要做到海量数据的高效压缩与归档，需执行严格的数据安全与权限运作，并把设备台账同检测数据建立起全生命时段的联系，给上层分析应用赋予标准的数据服务接口，以保证数据的可用性和完整性。

（二）数据库设计

合理的数据库设计是保证系统性能与扩展性的根基。鉴于带电检测数据存在时序性突出、结构丰富等诸多特性，常常会采取关系型与非关系型数据库相融合的混合存储架构。关系型数据库

用来存储设备基本台账、检测任务安排、用户权限等结构化较高的元数据及经营信息。而针对大量的时序监测数据，诸如连续的局部放电信号、温度曲线之类的数据，更为合适由时序数据库来存储，从而满足高写入速度、高压缩比以及高效时间段查询的要求。数据库表结构的设计要充分顾及数据之间的联系，形成以设备唯一编码作为主键的关键索引系统，保证可以立即追踪到任何一个设备以往所有的检测数据。而且还要规划出恰当的数据分区和分表方案，以解决因数据不断增多而产生的问题。

（三）数据查询与展示

便捷的数据查询和直观的数据显示对于人机交互十分关键。系统要有多种灵活的查询方法，可以按照设备、变电站、检测种类、时间区间等条件实施综合查询和筛选，还要具备在复杂条件下执行高级查询的能力。查询到的结果应该立即作出反应，并以列表、图表等方式显现出来。在显示数据的时候，要同 GIS 地图关联起来，做到设备地理信息的可视化效果，使得可以在单线图上找到设备并查看它的状态。对于时序数据，要给予趋势曲线、对比分析、多参数联合分析之类的可视化工具。系统可自动生成标准检测报告及状态简报，具备数据导出功能，利于离线分析与汇报，把数据高效转为成可用作决策的信息。

三、数据分析方法

（一）数据特征提取

特征获取属于设备状态监测中的关键部分，它从原始数据当中提炼出体现设备状态实质特征的核心要素。就拿局部放电信号这种波形或者频谱类数据来说，可以获取它的统计特征，比如峰值、均值、偏度、峰度之类的；也能够获取它的频域特征，特定频段的能量、主要频率成分等等；还可以借助脉冲相位分析得到一些特征，放电相位分布谱图就是其中之一。至于那些随时间变化的数据，温度、震动趋势之类的情况，同样存在趋向性、规律性以及表示序列复杂程度的熵值这样的一些特征。特征获取目的在于得到一组对设备状态改变反应灵敏、多余成分少而且物理含义清晰的特征向量，给后面建模及评价赋予优质的输入，以此来切实缩减数据维数并优化分析速度。

（二）状态评估模型

状态考量模型期望凭借所获取的特征来对设备的健康状况执行量化分级。常见的模型包含依靠阈值判别的模型，即针对关键特征参量预设留意值、提示值之类的阈限。更前沿的手段则是凭借机器学习塑造起来的分类或者回归模型，采用支持向量机、随机森林等算法，用历史正常及故障数据去训练分类器，从而做到对状态的智能判断。模糊综合考量、灰色聚类等模型可以解决状态边界不清的情况，从大量立体度的特征当中得出一个综合的状态分数。模型的形成及改良需充分的历史数据与专家知识作支撑，其输出结果要能直观显示设备从正常到严重异常各不同状态等级，为运维决策提供直接依据。

（三）趋势预测方法

趋势预测关注设备状态未来的改变情况，这是做到预测性守

护的关键所在。传统的自回归整合滑动平均模型这样的时间序列分析法，比较适合存在明显趋势和期限性的单变量预测任务。针对那些多特征关联的复杂系统而言，长短期记忆网络之类的循环神经网络这种机器学习手段，凭借自身较强的时序建模能力而得到全面应用。而且，把设备退化机理和数据激发融合起来形成的模型，可以凭借历史退化资料来推算设备剩下的使用寿命。趋势预测重点在于把握状态参量的变规律，还要对将来的时段发展执行概率估算，进而给安排检修窗口、考量故障风险提供前瞻性信息，这属于智能分析高级功能的主要表现。

四、智能分析应用

（一）异常状态识别

异常状态识别属于智能分析的基本应用范畴，其目的在于做到设备早期故障或者性能下滑的自动察觉与及时掌握。这需形成起精确的设备正常状态基线或者模型才有可能达成。一旦即时或者定时输入的特征数据出现大幅偏离正常基线的情况，又或者是难以被正常状态模型有效地重新塑造起来的时候，就会启动异常提示机制。相关的识别手段涵盖依靠统计过程控制的控制图法、凭借孤立森林这种无监督学习算法执行异常判断，还有就是利用深度学习中的自编码器来考量重建误差大小以确定是否存在异常现象。这个系统既要能够找出比较直观且危害较大的明显异常状况，也要着重关注一些微小而缓慢但有可能逐步发展成重大问题的早期迹象，进而把潜在故障扼杀在摇篮里，使得运行维护工作变得更为敏锐高效。

（二）故障预警机制

故障警报以异常识别为根基加以推进，其不但要表明“有异常”，而且还要考量“风险级别”并推断“潜在影响”，进而预先发出警报。警报系统往往是一种多层次且相互配合的架构。低级警报依靠单个参数超越设定界限来启动。中级警报按照诸多参数之间的联系规则或者较为简单的状态评价模型，告知设备状况

已达到“留意”或者“异常”的层级。高级警报融合了趋向预测的成果，如果预测显示状况在未来某段时间会变差到故障限度，或者剩余使用期限低于预先设定的数值，那么就要事先给出维修警报。警报内容应包含等级、可能涉及的故障种类、风险分析以及应对提议，并经由平台、短信等各类途径发送出去，确保责任人员及时获知。

（三）分析结果应用

智能分析产生的各种结果要切实融入到运维业务的循环当中，以此来推动决策得到改善。状态考量的结果可以直接用于设备状态的分级，给不同的巡视和维修策略的制定给予依照，做到从“定期维修”向“状态维修”的过渡。趋势预测以及警报信息可以引导维修计划精确地制订出来，改良备品备件的库存情况，达成预测性的守护。所有的分析结果、历史记录以及处理反馈都应该被完整地归档起来，创建起设备知识库，这会为后续类似设备的分析赋予案例参照，而且还能用以模型的不断更新完善。为了提升变电设备的带电检测技术，需要不断的学习新知识、新技能，丰富自身的经验。特别是对于研发人员来说，其需要通过不断的信息交流和借鉴来提升自身的研发能力和水平，从而提升检测技术的效果。

五、结语

变电设备带电检测数据的经营与智能分析属于系统性工程，包含从数据源头到价值应用的整条链路。本文形成的技术框架，全面论述了数据采集处理、系统化经营、深度分析方法以及具体智能应用这些核心要点。凭借此框架的执行，可以把零散又大量的检测数据变成成对设备状态明晰、精确而且具备前瞻性的认识，进而强有力地支持变电设备运维模式朝着数字化、智能化、精益化的方向升级换代。未来，伴随传感技术、大数据和人工智能的持续提升，这个技术体系必定会越发精准、自主且高效，从而为塑造本质安全的智能电网构筑稳固根基。

参考文献

- [1] 陈大. 构建带电检测综合管理平台建设方案分析 [J]. 科技创新与应用, 2017, (31): 40+42
- [2] 巨思远, 卫昕卓. 带电检测技术应用在变电运维中的研究 [J]. 电工技术, 2025, (S1): 184-186
- [3] 康琪, 顾宇宏, 郝熠哲, 等. 用于状态评价的输变电设备带电检测数据管理模块的开发 [J]. 内蒙古电力技术, 2017, 35(03): 1-4.
- [4] 陈珉, 刘浩军, 何文林, 等. 多参量变电设备集成型带电检测系统设计与应用 [J]. 浙江电力, 2018, 37(08): 65-69.
- [5] 毛爱卿. 大数据技术在变电设备故障预测与健康管理中的应用 [J]. 电子技术, 2025, 54(06): 332-333.