

电厂化学仪表设备状态监测与故障诊断

钟丁平

广州粤能电力科技开发有限公司 广东 广州 510699

摘要：电厂化学仪表对电力生产至关重要，用于监测和控制介质成分与性质。本文先介绍其分类与选型配置原则，接着阐述状态监测技术，包括关键参数、常用监测技术和监测系统构建。随后探讨故障诊断方法，涵盖传统与智能方法及诊断流程。最后介绍状态监测与故障诊断系统实现，包括架构设计、功能实现，并结合案例评估效果。该系统能降低故障发生率、减少维护成本，提高电厂运行安全性与稳定性。

关键词：电厂化学仪表；状态监测；故障诊断

1 电厂化学仪表设备概述

1.1 电厂化学仪表的分类

电厂化学仪表按监测参数和应用场景可分为三类。一是水质分析仪表，监测电厂水处理系统水质参数，如pH值、电导率等。pH值仪表测氢离子浓度确定酸碱度，测量误差需控制在 $\pm 0.02\text{pH}$ 以内；电导率仪表反映水中离子总浓度，超纯水监测时精度需达 $0.05\mu\text{S}/\text{cm}$ ；溶解氧仪表监测水中溶解氧含量，锅炉给水监测中需 $\leq 7\mu\text{g}/\text{L}$ 。二是气体分析仪表，监测电厂燃烧气体成分，如氧气、二氧化碳等。氧气分析仪表测量精度 $\pm 0.1\%$ ，可将燃烧效率提升约3%；氮氧化物分析仪表检测下限低至1ppm，满足超低排放要求^[1]。三是物理参数测量仪表，液位仪表测量误差 $\leq \pm 10\text{mm}$ ，流量仪表精度等级 ≥ 0.5 级，压力仪表量程覆盖0-10MPa时精度达 $\pm 0.2\%\text{FS}$ 。

1.2 电厂化学仪表的选型与配置原则

选型与配置需遵循多原则。准确性方面，监测锅炉给水水质时，pH值仪表误差需 $\leq \pm 0.05\text{pH}$ ，电导率仪表 $\leq \pm 0.1\mu\text{S}/\text{cm}$ 。可靠性上，仪表平均无故障工作时间（MTBF）需 ≥ 10000 小时，材质需耐 300°C 以上高温与5%浓度酸碱腐蚀。适用性方面，大型火电厂水处理系统选自动化程度 $\geq 95\%$ 的仪表，小型水电厂可选用手动校准型（年维护次数 ≤ 4 次）。配置时关键参数设冗余仪表，如锅炉汽包水位监测装3台不同原理仪表（电容式、差压式、磁翻板式），测量偏差超5mm时自动报警，某电厂应用该配置后水位监测故障率下降42%。

2 电厂化学仪表设备状态监测技术

2.1 状态监测关键参数

在电厂化学仪表设备状态监测中，关键参数起着至关重要的作用。测量精度要求严格，允许偏差需控制在 $\leq \pm 0.5\%\text{FS}$ ，这确保了测量数据的准确性，为后续分析提供可靠依据。稳定性方面，24小时漂移量要

$\leq 0.1\%\text{FS}$ ，若稳定性不佳，仪表读数会随时间出现较大偏差。响应时间需 $\leq 5\text{s}$ ，快速响应能及时捕捉设备状态变化。输出信号方面，4-20mA电流信号波动要 $\leq \pm 0.05\text{mA}$ ，保证信号传输的稳定性。某电厂对100台仪表进行统计发现，稳定性超标的仪表故障发生率是达标仪表的3.2倍，严重影响设备正常运行；响应时间超10s的仪表，在异常工况处理时延误率增加60%，可能导致故障扩大，造成更大损失。因此，严格控制这些关键参数，是保障电厂化学仪表设备可靠运行的基础。

2.2 常用监测技术

2.2.1 传感器直接监测技术

传感器直接监测技术是电厂化学仪表设备状态监测的重要手段。温度监测采用PT100传感器，其精度可达 $\pm 0.1^\circ\text{C}$ ，能精准感知温度变化。当温度波动超过 $\pm 2^\circ\text{C}$ 时，仪表测量误差会增加1.2%，影响测量结果的准确性。振动传感器采样频率高达1000Hz，可快速捕捉设备的振动信息。当振动加速度超过 0.5g 时，机械故障风险会提升4倍。某电厂应用该技术后，通过实时监测温度和振动数据，机械故障提前发现率达到78%，能够及时采取措施进行维修和保养，避免设备损坏，降低维修成本，提高设备的可靠性和使用寿命^[2]。

2.2.2 数据分析法

数据分析法通过对历史数据的深入挖掘，为设备状态监测提供有力支持。趋势分析采用滑动窗口5min的方式，对数据进行动态监测。当数据偏离正常范围超过 3σ 时，系统会发出预警。在某案例中，该方法提前12小时发现pH计漂移，为及时调整设备参数提供了充足时间。相关性分析则关注不同参数之间的关系，例如电导率与盐度相关系数异常偏离 0.95 ± 0.03 时，表明水质可能出现异常，此时水质异常检出率达92%。通过数据分析法，能够及时发现设备潜在问题，提前采取预防措施，保障电

厂化学系统的稳定运行。

2.2.3 远程在线监测技术

远程在线监测技术实现了对电厂化学仪表设备的实时、远程监控。该技术要求数据传输延迟 $\leq 100\text{ms}$ ，确保管理人员能够及时获取设备状态信息。当覆盖80台以上仪表时，管理人员的工作效率可提升50%。某集团电厂应用该技术后，跨厂区数据共享耗时从原来的2小时缩短至5分钟，大大提高了信息传递的速度和效率。同时，集中监测模式使维护人员减少30%，降低了人力成本。远程在线监测技术打破了地域限制，实现了对多个厂区设备的统一管理，提高了设备管理的智能化水平。

2.3 监测系统的构建

监测系统的构建需要综合考虑硬件和软件两个方面。硬件方面，数据采集设备采样率达到10Hz，同步精

度为1ms，能够准确采集设备数据。传感器年故障率需 $\leq 5\%$ ，保证传感器的可靠性。通信模块要支持5G/以太网，且丢包率 $\leq 0.1\%$ ，确保数据传输的稳定性。软件方面，数据存储容量要 $\geq 1\text{TB}$ ，能够保存1年的数据，为后续分析提供丰富的数据支持。数据分析算法准确率需 $\geq 90\%$ ，以保证对设备状态的准确判断。报警响应时间要 $\leq 10\text{s}$ ，及时通知管理人员处理异常情况。某系统构建后，数据完整率达到99.8%，异常识别及时性提升65%，有效提高了设备状态监测的效率和准确性。

3 电厂化学仪表设备故障诊断方法

3.1 传统故障诊断方法

传统故障诊断方法凭借其操作简便、成本较低等优势，在电厂化学仪表设备故障排查中发挥着基础性作用，以下表格为常见传统方法及具体说明：

表1 传统故障诊断方法

方法名称	详细说明	示例
外观检查法	通过观察化学仪表的外观、指示灯、显示屏等直观部分，判断是否存在明显故障。仪表外壳破损可能使内部元件受损；连接线松动可能造成信号传输中断，影响仪表正常工作。	若发现仪表外壳有裂缝，内部线路可能暴露在外，易受潮或遭受外力破坏，导致仪表无法准确测量或直接损坏；连接线 with 仪表接口处松动，会使传输的电信号不稳定，仪表显示数据异常或无显示。
参数对比法	将化学仪表当前测量参数与历史正常参数或标准参数进行对比，以此判断仪表是否故障。如在监测锅炉水质时，当前pH值与历史正常值差异大，且其他相关参数也异常，可能仪表测量故障或水质异常。与标准参数对比能更精准判断仪表性能。	在监测电厂循环水的电导率时，若当前测量值远高于历史正常范围，且同时温度、压力等参数无明显变化，可初步判断电导率测量仪表可能存在故障，如传感器污染或校准偏差；若与行业规定的标准电导率范围对比也超出，则需进一步排查是仪表问题还是水质本身恶化。
逐步排查法	当化学仪表出现故障时，按一定顺序逐步检查仪表各部分，缩小故障范围，确定故障具体位置。一般先检查电源，再查信号输入、数据处理和输出部分等。	若某化学分析仪表无显示，先检查电源插头是否插好、电源开关是否打开，用万用表测量电源电压是否正常；若电源正常，接着检查信号输入线路是否有断路或短路，查看传感器连接是否牢固；然后检查仪表内部的数据处理电路板是否有元件烧毁、虚焊等情况；最后检查输出部分，如输出信号线路是否正常、输出接口是否损坏等。

3.2 智能故障诊断方法

智能故障诊断方法主要包括基于专家系统的方法、基于神经网络的方法和基于模糊逻辑的方法等。基于专家系统的方法是利用专家的知识 and 经验，建立一个故障诊断知识库，通过推理机对仪表的故障现象进行分析和判断，得出故障诊断结果。专家系统具有知识表达直观、推理过程明确等优点，但知识获取困难，对专家的依赖性较强^[3]。基于神经网络的方法是模拟人脑的神经网络结构和工作原理，通过大量的样本数据对神经网络进行训练，使其具有故障诊断的能力。神经网络具有自学习、自适应和非线性映射等优点，能够处理复杂的故障诊断问题，但需要大量的样本数据进行训练，且训练过程较为复杂。基于模糊逻辑的方法是利用模糊集合理论处理故障诊断中的不确定性和模糊性问题。通过建立

模糊规则库，将仪表的故障现象和故障原因进行模糊描述，然后根据模糊推理规则进行故障诊断。模糊逻辑方法能够处理不确定信息，但模糊规则的建立需要一定的经验和技巧。

3.3 故障诊断流程

电厂化学仪表设备故障诊断一般遵循以下流程。首先，收集故障信息，包括仪表的故障现象、运行环境、历史维护记录等。通过与操作人员沟通、观察仪表的运行状态等方式，全面了解故障情况。然后，对故障信息进行初步分析，判断故障的可能原因和范围。根据故障现象和经验，初步确定是仪表的电源问题、信号传输问题还是测量传感器问题等。接着，采用相应的故障诊断方法进行详细诊断。可以先使用传统故障诊断方法进行外观检查、参数对比和逐步排查，如果无法确定故障原

因,再使用智能故障诊断方法进行深入分析。最后,根据故障诊断结果,制定维修方案并进行维修。维修完成后,对仪表进行测试和验证,确保仪表恢复正常运行。同时,对故障诊断过程进行总结和记录,为今后的故障诊断提供参考。

4 电厂化学仪表设备状态监测与故障诊断系统实现

4.1 系统架构设计

电厂化学仪表设备状态监测与故障诊断系统普遍采用分层架构设计模式,主要由数据采集层、数据传输层、数据处理层以及应用层构成。数据采集层承担着采集化学仪表测量数据与状态信息的关键任务,借助数据采集设备和传感器达成目标。数据采集设备必须具备高精度、高可靠性与实时性特质,如此才能精准采集各类仪表的数据。例如,其测量精度误差需控制在极小范围内,确保数据准确反映仪表实际状态。数据传输层负责把采集到的数据从现场传输至监控中心,可采用有线或无线通信方式。有线通信如以太网、RS485等,具备传输稳定、速度快的优势,数据传输延迟可控制在极低水平,如以太网传输延迟通常小于10ms;无线通信如Wi-Fi、ZigBee等,具有安装便捷、灵活性高的特点,能在复杂环境下快速部署。数据处理层是系统的核心所在,负责对采集数据进行处理与分析,涵盖数据存储、清洗、分析及故障诊断等功能。该层应采用高效的数据处理算法与模型,以快速且准确地处理海量数据,确保数据处理时间在合理范围内,如对1GB数据处理不超过10分钟。应用层为用户提供交互界面,用户可通过该层查看仪表实时数据、历史数据、故障报警信息等,并进行相关操作与管理。应用层需具备友好用户界面与丰富功能,方便用户使用,界面响应时间应小于2s。

4.2 系统功能实现

系统涵盖数据采集与存储、状态监测、故障诊断、报警管理及报表生成功能。数据采集与存储方面,能实时采集pH计、电导率仪等多种化学仪表的测量数据与状态信息,并准确存入数据库,数据存储准确率超99.9%,方便后续查询分析。状态监测功能实时分析处理采集数据,监测测量精度、稳定性等运行参数,若测量精度偏

差超 $\pm 0.5\%FS$,5s内发出报警。故障诊断借助传统与智能方法,准确率达90%以上,并提供详细故障信息与维修建议^[4]。报警管理可按用户设定的阈值,通过声音、短信、邮件等方式实时报警,短信送达率超98%。报表生成能按需生成日报等,内容含运行数据等,1分钟内生成,为用户决策提供支持。

4.3 系统应用案例与效果评估

某大型火力发电厂引入该系统前,化学仪表设备维护靠定期巡检和事后维修,维护成本高、故障发现迟,年均维护成本500万元,故障发现平均延迟2小时。应用系统后,实时监测运行参数,提前3小时发现电导率仪测量偏差异常,经检查校准避免水质问题。系统实现多设备集中监测管理,管理人员可同时监控设备从20台增至100台。数据分析功能为电厂优化运行提供决策依据。一段时间后,故障发生率从每月5次降至1次,维护成本降至每年200万元,还提升了运行安全性和稳定性,证明该系统应用效果显著,值得推广。

结束语

电厂化学仪表设备状态监测与故障诊断是保障电厂安全稳定运行的关键环节。通过构建完善的监测系统,运用多种监测与诊断技术,可实时掌握仪表运行状态,及时发现并处理故障隐患。实际应用案例充分证明了该系统的有效性与实用性,不仅能降低设备故障发生率与维护成本,还能提升电厂运行的安全性与稳定性。未来,随着技术不断进步,该领域将进一步完善,为电力行业发展提供更有有力支持。

参考文献

- [1]孙立衡,孙书平,李仁波.对发电厂pH在线化学仪表检验方法的探讨[J].轻工科技,2023,39(04):140~143.
- [2]王健,王飞.浅谈在线化学仪表的常见问题及日常维护[J].科技风,2022,(30):56~58.
- [3]印亮亮.电厂化学仪表设备状态监测与故障诊断[J].中国仪器仪表,2025(1):93-95.
- [4]付宁.热控化学仪表的在线维护分析[J].水利电力技术与应用,2024,6(20).