

电厂热控测量仪表典型故障分析与智能维护

周磊磊

阳城国际发电有限责任公司 山西 晋城 048100

摘要: 本文聚焦电厂热控测量仪表,分析典型故障。涵盖温度、压力/差压、流量、烟气分析等仪表的常见故障现象及成因。探讨故障机理与特征提取方法,引入失效模式与影响分析。阐述智能诊断技术,包括阈值、专家系统、机器学习诊断。介绍智能维护系统架构,涉及预测性维护模型、智能仪表自诊断技术及维护管理系统集成,为保障电厂热控系统稳定运行提供思路。

关键词: 热控仪表;故障分析;智能诊断;预测性维护;火电厂

引言:在火电厂运行中,热控测量仪表至关重要,其准确监测机组各项参数,保障机组安全稳定运行。然而,受环境、介质、设备自身及人为等多种因素影响,热控测量仪表常出现各类故障,影响机组运行效率与安全性。深入分析这些典型故障,并探索智能诊断与维护技术,对提升电厂热控系统可靠性、降低故障发生率、减少经济损失具有重要意义。

1 电厂热控测量仪表典型故障分析

1.1 温度测量仪表常见故障

电厂温度测量仪表主要包括热电偶、热电阻及温度变送器,其常见故障直接影响机组热力参数监测准确性。热电偶常见故障有热电势输出异常、显示值偏高或偏低,多由电极腐蚀、接线松动、补偿导线选型错误或绝缘损坏导致,例如高温环境下热电偶电极氧化会使热电势衰减,接线端子松动则会引入接触电阻,造成测量偏差。热电阻故障主要表现为显示值跳变、无显示,多因电阻丝断路、短路或接线盒进水受潮,导致电阻值异常,尤其在锅炉炉膛、汽轮机缸体等高温高压区域,热电阻易因振动、磨损出现损坏^[1]。温度变送器故障多为零点漂移、量程不准,多由电源异常、电路板老化或校准失效引起,故障发生时会导致温度信号失真,影响机组启停及负荷调节,需及时排查接线、校准仪表并更换损坏部件。

1.2 压力/差压测量仪表常见故障

压力/差压测量仪表是电厂监测汽包压力、主蒸汽压力、炉膛负压等关键参数的核心设备,常见故障分为测量不准、无输出、显示波动过大三类。测量不准主要原因是取压管路堵塞、泄漏或冷凝水不足,例如取压管内积灰、结垢会导致压力传导滞后,泄漏则会造成测量值偏低,冷凝水不足会影响差压变送器的测量精度。无输出故障多由电源故障、变送器膜盒损坏、接线错误导

致,膜盒作为核心部件,在高温、高压或介质腐蚀环境下易发生变形、破损,导致无法感知压力变化。显示波动过大主要源于取压点不合理、管路振动或仪表阻尼设置不当,例如取压点靠近湍流区域会导致压力信号波动,阻尼设置过小则会放大波动,影响参数稳定监测,需通过疏通管路、加固接线、调整阻尼等方式解决。

1.3 流量测量仪表常见故障

电厂流量测量仪表主要有差压式、电磁式、涡街式,常见故障为测量值偏差大、无显示、显示跳变,影响给水、蒸汽等介质流量调控。差压式流量计故障多由节流装置堵塞、取压管路泄漏、变送器故障导致,积污会改变流通面积产生偏差,泄漏会造成差压信号失真。电磁流量计常见故障为显示值为零或偏差大,多由电极结垢、衬里损坏、介质导电率不足或接地不良引起,结垢影响信号采集,衬里损坏破坏测量环境。涡街流量计故障主要是显示波动大、无输出,多由流速过低、管道振动、探头损坏导致,需定期清理校准。以汽轮机振动保护测点为例,某600MW机组因振动探头安装支架共振,振动值从50 μ m骤升至250 μ m,触发跳机,事后检查探头本体无故障,仅支架刚度不足。该案例表明,核心保护测点的故障不限于仪表本身,安装工艺、机械结构同样关键,需纳入故障分析范畴。

1.4 烟气分析仪常见故障

烟气分析仪用于监测电厂锅炉烟气中SO₂、NO_x、O₂等组分含量,是环保达标及燃烧优化的关键设备,常见故障有测量偏差大、零点漂移、无显示、响应迟缓。测量偏差大主要由采样管路堵塞、过滤元件失效、传感器老化导致,采样管路积灰、结露会造成烟气组分吸附,过滤元件堵塞则会导致采样量不足,传感器老化会降低测量灵敏度。零点漂移多由环境温度变化、载气纯度不足或校准不及时引起,漂移过大会导致测量结果失

真,需定期用标准气体校准。无显示或响应迟缓故障多由电源故障、传感器损坏、信号线路接触不良导致,例如 O_2 传感器中毒、 SO_2 传感器腐蚀会导致无法正常采集信号,线路松动则会造成信号传输中断,需定期检查传感器状态、清理采样管路并校准仪表。以炉膛压力保护测点为例,某300MW机组因取样管路长期积灰未清理,导致炉膛压力信号滞后达5秒,在机组快速升降负荷时保护系统误判为压力异常而触发MFT动作。事后分析表明,该测点为三取二逻辑中的关键测点,单点故障即可诱发误动,凸显核心保护测点需纳入更高频次维护与自诊断功能。

2 仪表故障机理与特征提取

2.1 故障形成机理分析

电厂热控仪表故障形成机理复杂,主要与环境因素、介质因素、设备自身因素及人为因素相关,各类故障均有明确的产生逻辑。环境因素方面,电厂锅炉、汽轮机区域高温、高压、强振动、强电磁干扰,会导致仪表部件老化、绝缘损坏、信号干扰,例如高温会加速热电偶电极氧化、变送器电路板老化,强振动会导致接线松动、传感器探头损坏^[2]。介质因素方面,被测介质的腐蚀性、结垢性、导电性会损伤仪表接触部件。设备自身因素主要是制造工艺缺陷、部件磨损、老化,例如电阻丝材质不合格易发生断路,膜盒焊接缺陷易导致泄漏。人为因素包括安装不当、校准不及时、操作失误,例如取压点安装不合理、校准周期过长,均会诱发仪表故障,各类因素相互作用,最终导致仪表测量异常或失效。

2.2 故障特征提取方法

仪表故障特征提取是故障诊断的核心,需结合仪表类型、故障类型,采用针对性的提取方法,确保特征参数准确、可靠,为故障识别提供依据。常用方法包括时域分析法、频域分析法、小波分析法及数据融合法。时域分析法主要通过分析仪表输出信号的均值、方差、峰值、波动频率等时域参数,识别故障特征,适用于显示波动、零点漂移等故障,例如温度仪表输出信号的方差异常增大,可判断为测量不稳定故障。频域分析法通过傅里叶变换将时域信号转换为频域信号,分析信号的频率特征,适用于振动、干扰类故障,例如压力仪表信号中出现异常频率成分,可判断为管路振动或电磁干扰。小波分析法可有效提取非平稳信号的特征,适用于故障初期的微弱信号识别,能精准捕捉仪表故障的早期特征。数据融合法结合多传感器数据,综合提取故障特征,提高特征提取的准确性,适用于复杂工况下的仪表故障识别。

2.3 失效模式与影响分析(FMEA)

失效模式与影响分析(FMEA)是电厂热控仪表故障预防与管控的重要方法,通过系统梳理仪表各类失效模式,分析其对机组运行的影响,制定针对性的防控措施。首先明确分析对象,涵盖各类热控测量仪表,梳理每种仪表的潜在失效模式,例如温度仪表的失效模式包括热电势异常、显示无输出、测量偏差大,压力仪表的失效模式包括取压管路堵塞、变送器膜盒损坏等。其次分析每种失效模式的发生概率、严重程度及检测难度,采用风险优先数(RPN)对失效模式进行分级,优先管控高风险失效模式。最后结合分析结果,制定预防措施与改进方案,例如针对变送器膜盒损坏这一高风险失效模式,制定定期检查、介质防腐、优化安装环境等措施,降低失效概率。

3 智能诊断技术应用

3.1 基于阈值的简易诊断方法

基于阈值的诊断方法预设仪表正常参数阈值范围,通过对比实际测量值与阈值判断故障^[3]。首先根据仪表量程、精度及工况设定上下限阈值、波动阈值等,例如温度仪表设定正常范围0-600℃,波动阈值 $\pm 5^\circ\text{C}$,超出则判定故障。该方法操作简单、成本低,可快速识别无输出、测量值严重偏差等明显故障。但局限性明显:无法识别阈值范围内的轻微故障、隐性故障,且阈值受工况影响较大,需定期调整避免误判、漏判,常作为辅助其他诊断方法的基础环节。

3.2 基于专家系统的故障诊断

基于专家系统的诊断方法利用专家经验构建知识库,通过推理机对故障信号进行分析,实现故障识别与定位,可有效解决阈值诊断无法识别的隐性故障。首先构建知识库,梳理故障现象、原因、诊断及处理措施,形成规则库与案例库。推理机接收故障信号,结合知识库规则进行推理,定位原因并给出建议。该方法的优点是诊断准确性高、可解释性强,但存在知识库更新滞后、难以适应新型仪表故障的问题,需定期收集专家经验更新知识库,提升诊断适应性。

3.3 基于机器学习的智能诊断

基于机器学习的智能诊断利用算法对仪表运行数据进行训练,构建诊断模型,实现故障的自动识别、分类与预测,无需依赖专家经验。常用算法包括神经网络、支持向量机等,首先收集正常运行与故障状态下的数据,经预处理、特征提取后划分训练集与测试集,训练模型并验证性能。该方法可处理大量复杂数据,能识别隐性故障与早期故障,适用于大规模仪表集群诊断,但

需要大量训练数据,模型训练与维护难度较大,需结合电厂实际工况优化算法。

4 智能维护系统架构与实现

4.1 预测性维护(PHM)模型

预测性维护(PHM)模型是电厂热控仪表智能维护系统的核心,其核心目标是通过分析仪表运行数据,预测仪表故障的发生时间与类型,提前开展维护工作,避免故障扩大,降低停机损失。该模型主要由数据采集模块、数据预处理模块、故障预测模块及维护决策模块组成。数据采集模块通过传感器、数据采集器,实时采集仪表的运行参数、环境参数及故障信号;数据预处理模块对采集的数据进行清洗、去噪、标准化处理,去除异常数据,提取有效特征;故障预测模块利用机器学习、深度学习算法,结合历史故障数据,构建预测模型,预测仪表的剩余使用寿命与潜在故障;维护决策模块根据预测结果,结合机组运行工况,制定个性化的维护计划,包括维护时间、维护内容、备件准备等。PHM模型可实现从“事后维修”向“事前预测”的转变,提升仪表维护的针对性与有效性,保障机组稳定运行。这一转变的本质是从“故障后被动响应”升级为“故障前主动干预”。传统模式下,仪表故障后才停机维修,造成非计划停机和发电损失;PHM模式下,通过持续监测仪表退化趋势(如热电偶热电势衰减速率、变送器膜盒压力漂移量),提前7-30天发出维护预警,将突发故障转化为计划性检修,维修成本降低约30%,非计划停运风险减少50%以上。

4.2 智能仪表自诊断技术

智能仪表自诊断技术是智能维护系统的重要组成部分,其核心是通过仪表内置的诊断模块,实时监测仪表自身的运行状态,自动识别故障并发出报警信号,为维护工作提供精准依据。智能仪表内置传感器、微处理器及诊断算法,可实时监测自身的电源、电路、传感器探头、接线等部件的运行状态,例如监测热电偶的热电势、热电阻的电阻值、变送器的膜盒压力等。当检测到异常参数时,自诊断模块会自动分析故障类型与原因,通过显示屏、通讯接口发出报警信号,同时将故障信息上传至维护管理系统^[4]。该技术可实现故障的实时监测

与快速定位,减少人工巡检的工作量,提高故障排查效率,尤其适用于难以人工巡检的高温、高压、高风险区域的仪表,可及时发现早期故障,避免故障扩大,降低维护成本。

4.3 维护管理系统(CMMS/EAM)集成

CMMS/EAM集成是实现电厂热控仪表智能维护的关键,通过将PHM模型、智能仪表自诊断系统与CMMS/EAM集成,实现数据共享与流程联动,构建全流程智能维护体系。集成后,自诊断系统与PHM模型的故障信息、预测结果实时上传至CMMS/EAM,系统自动记录故障信息、维护记录、备件消耗,形成完整维护档案。CMMS/EAM根据预测结果自动生成维护工单,分配人员,明确任务与时间节点,同时实现备件库存与采购管理。另外,集成系统可对维护数据进行统计分析,优化维护计划,合理分配资源,降低维护成本。通过系统集成,实现了仪表故障诊断、预测、维护的全流程智能化。因此,电厂热控仪表维护模式完成从“故障后维修”到“主动智能维护”的根本转变:人工巡检升级为系统自诊断,被动响应升级为预测性主动干预,单表离散管理升级为全流程数字化闭环管控。

结束语

电厂热控测量仪表的稳定运行是火电厂安全高效生产的关键。通过对典型故障的深入分析,明确故障形成机理与特征提取方法,借助智能诊断技术实现故障精准识别与预测,依托智能维护系统架构达成全流程智能维护,可有效降低故障发生率,减少停机损失。未来,随着技术发展,需持续优化智能诊断与维护技术,为电厂热控系统稳定运行提供更有保障。

参考文献

- [1]卫文娟.热工仪表故障及解决策略[J].农村电气化,2022(8):22-24.
- [2]李新芳.浅析火电厂热控仪表常见故障类型及应对措施[J].中国设备工程,2025(23):169-171.
- [3]金桥.电厂热控仪表的故障及预防措施分析[J].科学与信息化,2025(20):73-75.
- [4]项东.火电厂热控仪表常见故障改善策略分析[J].仪器仪表用户,2024,31(7):107-109.