

基于 DCS 的自动化仪表故障诊断与预测性维护策略研究

张 斌 韩卫华 王含冰

河南省安阳钢铁股份有限公司动力作业部电气作业区 河南 安阳 455004

【摘要】：为满足河南省安阳钢铁股份有限公司动力作业部电气作业区生产需要，本文选取动力系统的 DCS 平台、现场自动化仪表以及电气控制系统作为研究对象，在钢铁企业的动力介质供应过程中对温度、压力、流量、液位以及执行机构等仪表可能出现的问题进行总结归纳，分析基于 DCS 实时数据、报警信息、趋势曲线以及设备台账等因素形成的故障诊断方法并结合状态监测、分层告警、闭环处理、预防性检修等手段对以上问题进行解决。即 DCS 不仅是一个生产控制系统而且还是仪表健康状态监控的一个入口。采用“采集—诊断—预测—检修—复盘”管理模式可以提高动力作业区仪表故障识别率，减少非计划停机，有利于保障钢铁企业动力系统的安全、稳定、经济运行。

【关键词】：DCS；自动化仪表；故障诊断；预测性维护；钢铁企业；电气作业区

DOI:10.12417/2705-0998.26.08.065

引言

钢铁企业动力作业部负责向炼铁厂、炼钢厂、轧钢厂等生产单位提供氧气、蒸汽、压缩空气、循环水、电力等动力介质，其工作情况对整个企业的正常生产起到至关重要的作用。而对河南安阳钢铁股份有限公司来说，动力作业部电气作业区不仅要保证配电室、联锁屏柜、控制柜、DCS 站以及各种仪表回路的正常运转，还要承受现场高温、粉尘、振动、腐蚀、负载变化等多种不利环境的影响。传统的仪表维修方式主要是定期巡检、事后修理，可以处理一些明显的故障问题，但是对于信号漂移、测量滞后、通讯时有时无、控制阀动作不灵活等问题就无能为力。近年来，自动化仪表故障 DCS 诊断及远程维护得到重视，有学者认为，DCS 可以实现对仪表的数据采集、故障诊断以及提供远程支持等功能^[1]。因此，把 DCS 从一个“控制系统”发展到一个“诊断平台”、“维护决策平台”，对于动力车间进行精细化、智能化设备管理具有重要意义。

1 动力作业部电气作业区自动化仪表运行特点

1.1 仪表分布广、关联链条长

动力系统仪表不像单一生产线设备那样集中布置，在制氧大型空分设备、在泵站、风机房、煤气柜、换热站、管网阀室、配电室以及控制室内都有分布。压力变送器、热电偶、流量计、液位计、电动执行机构、气动调节阀、分析仪表和电能表等组成现场监测点。任何一个位置出现问题都会影响到 DCS 画面显示、自动调节、联锁保护以及操作人员判断。比如如果蒸汽总管压力测量值偏移，会导致调节阀不能正常工作；而循环水泵出口压力突然变化会造成误报警或者误切换；煤气系统的压差、氧含量或阀门开度的变化都会给安全带来很大威胁。因此，仪表故障诊断不应该只是简单的一点更换，而应该考虑工艺对象、控制回路以及电气执行链条等进行分析。

1.2 现场环境对仪表可靠性影响突出

钢铁企业动力区温差大、灰尘多、潮湿易生锈、有较强电

磁干扰、设备震动以及维修交叉作业频繁等。仪表电缆接线端子松动、屏蔽层接地不好、导压管堵塞或泄露、传感器老化、阀门定位器反馈错误等情况，一般不会是一下就发生的，而是有一个过程逐渐积累。智能仪表预测性维护认为仪表本身问题会导致所获取的数据失真或者不可信从而降低生产管理的效果以及人员判断能力^[2]。动力区电气专业如果仅以报警后进行处理的方式，则会忽略一些细微的问题。所以需要通过 DCS 的趋势以及设备的历史来预见性的发现“亚健康”。

2 基于 DCS 的自动化仪表故障诊断逻辑

2.1 以 DCS 数据为核心建立故障识别基础

DCS 系统持续收集现场仪表实际值、设定值、输出值、阀位反馈、报警记录、联锁状态以及操作信息等大量信息，对事故分析起到重要作用，在动力中心可针对重要点位进行分类处理，即安全联锁类、生产调节类、能源计量类及辅助监视类等，不同类别的监测点有不同的检测要求。安全联锁类监测点主要是检查信号突变、断线、越限或者冗余监测点差异较大等问题；生产调节类监测点主要检查设定值、过程值和控制输出的关系是否正常；能源计量类监测点主要检查长时间漂移、零点偏移或者负载不平衡等现象；而辅助监视类监测点主要看趋势异常以及巡检确认即可。这样划分后，DCS 报警不仅是一盏“红灯”，而且可以成为分层次诊断的线索。

2.2 典型故障模式诊断

第一，信号中断以及通讯故障。如果在 DCS 画面上出现坏点或者量程上限、下限固定数值的情况时，需要首先排查供电、保险、隔离器、AI/AO 卡件、端子排连接情况以及通信模块等。若是同一块板上多个点出现问题则可能是由于模块、电源、网络等原因造成的问题；而如果是单个点出现问题那么大多数情况下都与现场设备、线路或者是导压管路有关。第二，测量漂移及趋势异常。压力、温度、流量、液位等仪表经常存在缓慢漂移的现象，在 DCS 的趋势画面中会发现其与其他临

近测量点之间不符合关系、不符合能量守恒原则或者不符合生产实际需求。自动化仪表及控制系统智能化研究指出,数据采集与处理、故障诊断与预警、远程监控等为智能化系统主要组成部分^[3],因此电气作业区应以趋势比较为常规诊断手段。其次,执行机构工作状态不佳。调节阀、电动阀或者变频执行器发生卡涩、反馈突变、死区增大的情况下,可以通过DCS输出信号、阀位反馈以及过程变量变化情况来判断:有输出而无反馈说明是执行机构问题。

2.3 诊断流程的闭环化

现场故障诊断要有一套固定模式:DCS报警初筛、趋势曲线复核、相关测点对比、现场回路核查、故障定位、处理结果登记及总结反思。比如循环水系统压力测点问题,在操作员观察到该压力瞬间降低后,不能马上判断是仪表故障还是生产工艺问题,而应该同时查看该泵电流、出口阀门开度、主管道压力、临近压力点以及报警信息等;如果泵电流平稳、临近的压力点也正常,只有这一个点反复报警,则主要考虑变送器电源供应、接线端子或者取压管的问题;如果有多个点同时出现异常情况,则需联系工艺人员一起查找整个管网或者泵的问题。这样可以避免不必要的换表、反复维修以及各部门之间互相推诿的情况发生。

3 预测性维护策略构建

3.1 从预防性维护转向预测性维护

预防性维护是定期检查、清洁、紧固与更换等操作,便于一般管理工作,但是无法体现不同仪表实际情况差异。而预测性维护是基于状态信息来预测发生故障可能性以及何时需要维修。有学者认为,仪表预测性维护可以利用智能化计算方法及算法实现对仪表健康状况评估、实时报警、故障检测以及安全保障等功能^[4]。安钢动力作业部电气作业区可以在现有点检基础上开发出重要仪表健康评分体系,在此基础上考虑报警次数、信号变化程度、校准时差、服役时间长短、工作环境级别、以往事故情况以及备件重要性等因素对其进行打分。得分较低仪表列入重点关注对象,安排带压对比、脱机校准或者提前检修等措施。评分稳定的仪表则适当优化检修周期,避免过度维护。

3.2 建立分级预警与维护决策机制

预测性维护不应将所有异常均作为同等严重程度报警进行推送。可以设定三个级别报警:第一级为趋势性报警,例如某一点变化速率增大、阀门操作次数增多、零点漂移增大等,在班组日常巡检中予以注意;第二级为维修报警,如同一仪表反复发生短时间内通信中断、相邻两点差值逐渐增大等情况,则需由相关技术人员制定相应维修方案;第三级为风险报警,如安全联锁点出现问题、重要回路输出饱和、执行机构失灵等,需要立即到现场核实并进行旁路、切换或者停车处理。而报警

分级的核心在于将DCS报警、设备台账以及检修工单关联起来,做到每一个异常都有迹可循、每一个处理都有回应、每一种重复问题都有解决办法。

3.3 数据模型与现场经验结合

动力作业区在推行预测性维护过程中,不应盲目使用高深算法,在大多数情况下,对于一般仪表回路,采用统计阈值、移动平均、同类测点比较、控制输出—过程响应等方法即可满足需求;而对于重要泵类、风机、煤气系统以及能源计量回路,则可以考虑逐步应用机器学习、异常检测及寿命预测等技术手段。钢铁企业的数字化远程监控与智能化设备运维经验显示,以工业互联网为基础进行状态监测、智能预警、诊断分析与移动应用融合的应用模式是可行的路径^[5]。但是模型输出需要经过现场经验验证,比如粉尘堵塞、冬季伴热失效、检修后接线松动等现象一般都有比较明显的现场特点,把算法结果与班组经验结合起来可以提升诊断准确率。

4 面向安钢动力作业部的实施路径

4.1 完善基础数据治理

预测性维护的前提是可靠的数据,电气车间需整理出DCS测点表、仪表位号及其所处的位置、量程、校验周期、备件型号、控制回路、联锁关系以及以往发生过的故障,建立一个完整的清单,在位号不符合要求、画面标注不清楚、报警说明不清楚、历史工单无具体原因的情况下逐步进行改进,只有明确的对象才能有后续的趋势分析及故障统计有意义。

4.2 建设关键回路诊断模板

可以先从对生产影响较大的动力介质系统进行试点,比如高炉鼓风机相关的辅助系统、煤气加压、调压系统、蒸汽管网、循环水泵站、空压站以及重要的配电联锁回路等。对于每一个系统都制定相应的诊断模板,包含主要测点、相关参数、一般性故障、DCS判断标准、现场检查内容及处理措施等内容。班组人员发现异常时可以根据这些模板迅速找到问题所在,从而避免因每个人的经验不同而造成差异。

模板建设还需考虑电气作业区的专业范围以及相互间的配合工作。对于AI信号异常,要明确从安全栅、隔离器、卡件通道、端子排至现场变送器的排查流程;对于AO输出异常,要明确从DCS命令、定位器、气源、阀杆反馈及阀门本身的动作情况开始查找原因;对于通讯方面的问题,则需要分清是由于交换机、控制器、远程I/O、光纤或者网络冗余造成的故障等。模板越详细,就越能将老工人经验转化为全班组人员的知识,减少人员流动对于处理问题造成的影响。

4.3 推动检修计划与运行窗口协同

钢铁企业连续生产,仪表维护一般受生产工艺窗口限制,在出现故障之前进行预测性维护可以将其转变为可安排、可协

调的工作。电气车间根据健康状态评估以及分级告警信息，可以提前联系运行部、设备部、动力部等相关方，将标定、更换、疏通、紧固、接地整改及程序优化等工作列入月度或周检修计划中。对于无法立即停车处理的重要仪表需采取临时监护措施，例如增加人工比对次数、使用备用测量点、调整报警限值审批手续以及准备应急备件等。

同时，检修计划应与备件管理相结合，在高故障率、长采购周期以及停机影响较大的变送器、定位器、卡件、电源模块、通信模块上要设定最低库存量及备选型号；对于可维修备件需做好返修、检测、入库等工作。这不仅可以防止出现故障时“有方案无备件”的情况，还可以降低因过度储备而造成的资金占用。

4.4 形成复盘改进机制

每发生一起较大仪表故障都应该有总结报告，其内容为故障现象、DCS 证据、现场原因、处理时间、波及范围、耗材以及防范措施等，如果类似故障再次出现，则需要从设计选型、

安装环境、接线质量、伴热保护、接地屏蔽、巡检标准和人员培训等方面分析其根本原因，而复盘的结果还要反过来对诊断模板及健康评分进行修订完善，让预知性维修不断完善优化。

5 结论

基于 DCS 的自动化仪表故障诊断与预测性维护并非只是增加一个程序或者几种方法，而是一种对动力作业部电气作业区仪表运维模式重新构建。对于河南省安阳钢铁股份有限公司来说，制氧空分系统的正常可靠运行是整个企业安全生产以及节约能源的前提条件，在 DCS 上实时监测，同时配合日常巡检、设备台账、分级报警以及检修回访可以做到仪表维护从“事后维修”到“知其状态、预判其风险、控制其检修”。未来，在工业互联网、边缘计算以及智能仪表普及的情况下，动力作业区可以实现更多数据来源整合及远程协作故障诊断等功能，让自动化仪表成为设备健康监测一个关键环节，助力钢铁企业安全稳定生产、降低成本提高效益以及智能化发展起到更大作用。

参考文献:

- [1] 王永兴. 自动化仪表故障 DCS 诊断与远程维护技术[J]. 中国仪器仪表, 2025, (7): 89-92.
- [2] 王成城, 王金江, 张来斌, 等. 智能仪表预测性维护关键技术[J]. 仪表技术与传感器, 2024, (4): 29-37.
- [3] 曹文刚, 史树辉, 岳帅志. 自动化仪表及控制系统智能化研究[J]. 中国仪器仪表, 2024, (10): 68-71.
- [4] 夏庆男. 仪表预测性维护体系[J]. 中国氯碱, 2024, (9): 31-34.
- [5] 高帆, 曹小彬, 黄亮亮. 钢铁企业数字化远程监控及智能化设备运维的应用实践[J]. 冶金自动化, 2023, 47(1): 122-130.