

钢厂电气自动化控制系统故障诊断与处理研究

咎志民 魏明鑫 杨满光

安阳钢铁集团有限责任公司综合利用开发公司, 河南 安阳 455000

[摘要]钢厂电控自动化系统是保证钢铁生产的不间断稳定的基石,故障排查的能力决定了生产的效率以及稳定性。文章详细探讨了供电系统、PLC 控制系统的、传感器与检测设备、电机与变频器四种主要出现的故障的原因及特征,在信息采集、在线检测与监控、PLC 故障诊断、变频器故障诊断、人工智能诊断、故障报警与预知性维护 6 个方面介绍诊断手段并且提出相应的解决方案,希望能给电厂电力自动化系统稳定运行带来帮助。

[关键词]电气自动化;故障诊断;PLC 控制系统;预测性维护;钢厂

DOI: 10.33142/hst.v9i5.19898

中图分类号: TM762

文献标识码: A

Research on Fault Diagnosis and Handling of Electrical Automation Control System in Steel Plant

ZAN Zhimin, WEI Mingxin, YANG Manguang

Comprehensive Utilization and Development Company of Anyang Iron & Steel Group Co., Ltd., Anyang, He'nan, 455000, China

Abstract: The electronic control automation system of steel mills is the cornerstone of ensuring uninterrupted and stable steel production, and its ability to troubleshoot determines the efficiency and stability of production. The article discusses in detail the causes and characteristics of four main types of faults in power supply systems, PLC control systems, sensors and detection equipment, motors and frequency converters. It introduces diagnostic methods and proposes corresponding solutions in six aspects: information collection, online detection and monitoring, PLC fault diagnosis, frequency converter fault diagnosis, artificial intelligence diagnosis, fault alarm and predictive maintenance. It is hoped that this will help stabilize the operation of power plant automation systems.

Keywords: electrical automation; fault diagnosis; PLC control system; predictive maintenance; steel plant

引言

随着钢铁行业自动化程度越来越高,电气自动化控制已经成为当代钢铁厂生产系统的重要一环,它的好坏直接影响着整个钢铁生产系统的运转效能。钢铁厂电气自动化设备种类繁多,数量庞大,工作环境较差,维护保养知识欠缺,如果发生问题会造成局部生产停滞,严重时会导致整个钢铁生产线停工以及事故的发生,在实际生产过程中,由于变频器 IGBT 元件烧毁造成数小时非计划停车,每次故障损失金额达到几十万元以上,传统式的“事后修理”,无法适应新的生产对于机械设备可靠性的需求,也难以适应新型生产对于设备运行经济性的需要。把系统的故障诊断技术和智能运维技术结合起来,做到对电气自动化控制系统的故障能及时准确判断并合理解决,这对保证钢铁公司生产的持续安全平稳,节约维修费用,提高设备的寿命期间利益有着重大工程技术价值。

1 钢厂电气自动化控制系统常见故障分析

1.1 电源系统故障

供电系统是电气自动控制系统中提供能量的基础部

分,它的稳定性直接影响整个系统的稳定性。钢铁厂供电系统出现的问题主要是外网问题与内部电源问题两大类,而外网问题则又可分为市电变动、电压突降、缺相运行以及谐波干扰等问题,在复杂多变的供电环境中往往会给诸如变频器之类的高科技产品带来毁灭性的打击,而内供电源的问题就是开关电源损坏、电源模块过热坏损、电池电量低等等,炼钢厂 LF 炉 35KV 高压真空断路器由于每炉钢需开断 8~10 次,频繁分合导致该断路器的故障率很高,并且一旦离线检修完毕就很难判断是否能够达到重新上线的要求,很容易造成生产线停工甚至事故的发生。对炼钢厂烧结区 PLC 网络时断时续的问题进行了详细的探究,经过实地考察并进行分析之后发现导致这个现象出现的主要原因为防雷、接地措施不到位、停止使用信号线的处理不够彻底、公共系统的管控不当、PLC 备用零件更换不到位等。

1.2 PLC 控制系统故障

PLC 是钢铁厂电气自控系统的主控单元,它的失灵会对整个生产线产生重大影响。PLC 故障可以分为硬件

故障以及软件故障还有通讯故障。硬件上的错误主要有 CPU 模块损坏; I/O 模块损毁; 电源模块烧坏; 存储芯片数据丢失等等。软件上的错误是程序出错, 参数设定失算, 死循环等等错误。通讯上的问题是现场总线中断了、网络闪断还有插头接触不良等等问题^[1]。现场所用到的通讯协议是现场总线 PROFIBUS-DP 通讯方式, 每台主电机变频器都配有 DP 链接插口, 在其接通的时候如果存在插头松动或者是断掉的情况都会使得后续通讯出现问题。此种通讯中断故障较多出现在对磁场强抗干扰能力要求极高的钢铁厂内, 济钢 3#20000m³h 制氧机 AC800FDCS 控制系统反复出现报警情况, 极大地影响了生产设施设备的正常运转。

1.3 传感器与检测装置故障

传感器及检测仪表是电气自动化控制系统的感觉器官, 它们的可靠程度直接影响到对整个控制系统反馈的速度和精确度。而钢铁企业的传感器工作环境十分恶劣, 高温、灰尘、震动、电磁干扰等因素使得传感器容易出故障而损坏的概率远大于普通工况下的企业。位移传感器由于部件摩擦损耗出现误差增大, 温差传感器由于热电偶老化造成测温漂移, 流量传感器由于介质污染造成反应滞后等都是钢铁工厂电气系统里比较典型的传感器失效情况。对于钢铁、大飞机以及电子等极限环境下制造来说, 一般包括高温黑箱制造、百万级的零件/组件拼接, 怎样在极限制造微观、细小缺陷预测、大数量节点、复杂工作任务需要时做到工业智能高效协同管理成为问题所在。

1.4 电机与变频器故障

电动机以及变频器组成了一条钢铁厂电力传动系统的主要动力源, 其发生问题的时候会直接影响到整个工厂设备的运转效率。变频器的主要问题体现在以下几个方面: 过电压, 过载、过流以及欠电压等四种基本形式。变频器调试过程中反复出现 F31118 和 F07902 异常报警, 造成变频器停机, 不能正常工作。这是由电机失步原因引起的, 当电机在一定范围内速度超过规定的时间, 一般情况下都是由于电机编码器受到干扰所造成的。重庆钢铁在轧钢厂热卷生产线粗轧出料辊道处, 因为电机问题引起变频器跳闸, 造成生产线产量屡次降低。经检测故障电流跳过断路器直接触发变频器过流跳闸, 从而连锁也会导致粗轧段停车。电机方面的故障主要是绕组绝缘老化、轴承磨损、转子断条等机电综合失效形式, 某热轧厂 R3 粗轧机双绕组同步电动机交变频装置多次报警以及发生过电流严重故障, 每次故障均能自动消除, 但消除后又能正常运转, 这种断续性的故障判断处理十分困难。

2 钢厂电气自动化控制系统故障诊断方法

2.1 故障信息采集与分析方法

故障数据的收集是故障诊断的基础和前提, 合理的数据收集及处理方式可使故障查找更为精准, 在钢铁厂电气系统中应该设置多数据来源的数据收集机制, 同时进行电压电流波形以及温度值、振动频率、通讯帧信息等多种数据的收集工作。对于数据分析来讲, 需要使用时间域分析及频率域分析并用的方式来进行故障波形特征值的抽取及辨识, 在设备正常工作状态下形成历史模板, 并与当前监测状态进行对比即可迅速找出偏差以及警兆。把振动监测诊断、红外检测诊断以及现场动平衡技术有机地结合起来, 极大地降低了高炉重要区域突然故障带来的损失, 确保了整座高炉系统的稳定可靠运行。诊断数字量故障的过程, 就是把 PLC 正常情况下的输入点状态值同对应的输入点的实际状态值进行比较, 此方法也可同样应用于模拟量信号的阈值比较当中。

2.2 在线监测与实时诊断技术

在线检测技术对电气设备工作状态实施不间断动态观察, 为及时排查隐患提供了保证。安装无线传感器网, 对重要设备的振动、温度以及电流等各种指标进行了实时采集。方大九钢新区炼钢泵站冷却塔无线温振监测系统上线以后运行良好, 在线对冷却塔的工作情况进行实时监测。冷却塔平时处于不停地快速运转状态, 依靠以往的现场巡检方法很难对其内部的减速机与电机的状态进行有效的检测^[2]。及时诊断系统可以把传统的现场巡检转变为全天候自动化巡检, 通过对在线的数据分析、报警处理、诊断分析、工单关联形成闭环管理, 做到 PDCA 闭环管理。联合特钢公司使用无线测温装置对各处电气回路的连接部位实行全天 24h 不间断监测, 极大地减少了设备在岗巡视次数, 做到超前告警。

2.3 PLC 故障诊断方法

PLC 故障诊断要结合硬件测试、程序检查以及通讯调试等多种方式来进行, 在硬件方面先从 PLC 本身的 LED 灯来判断供电、CPU 以及 I/O 单元的基本健康状况, 再利用编程软件进行在线读取诊断缓冲区内错误提示; 而程序方面则是采用在线监视的方法, 监测程序运行过程中变量值的变化、逻辑转移及时间和延时等情况, 对于有可疑的程序部分进行逐一分析并推理其逻辑正确与否。西门子 S7-300 PLC 架故障组织块 (OB86): 当 PLC 机架、DP 主站系统、分布式 I/O 从站发生掉电导致断电重启, 或者总线电缆线松脱或断开, 或者 IO 系统的错误等原因造成异常时, CPU 的操作系统会执行组织块 OB86。故障

的发生与消失都会触发一次,可以依据 OB86 的激活情况在 OB86 内编写代码来判断发生故障或者是通讯中断了哪个机架或者分布式硬件。针对通讯故障的检测应该采用网络测试仪或协议解析设备进行,查看物理连接是否正常、信号强度及信号帧是否完好,对于 DP 网络这样的现场总线系统,则要额外注意终端电阻的阻值设置、屏蔽层的接地点以及信号传输过程中的损耗程度等问题。

2.4 变频器故障检测与分析方法

变频器故障诊断要结合报警信息、工作参数以及外部现象来进行综合分析,首先要观察变频器显示屏或者监控程序上的报警号并参照相应的技术资料找出可能出现的问题所在,过电压故障多半是因为制动单元或减速度设置不当引起;过载一般就是逆变单元和输出电路出现问题导致。使用电能质量测试仪测量电压、电流、功率因数及谐波含量等指标,根据实际测得的数据波形来剖析出损坏的原因,从而找到对策。如果是比较严重的变频模块熔断等情况,则需要拆开设备进一步查明原因及根源。福建三明钢铁中板厂精轧机交交变频主传动系统运行过程中发生转子过压、过流的现象,通过详细的探究得知引起这些故障现象的根本原因在于磁场特性设置不当、转子位置计算失误以及机械-电气振荡这三点。

2.5 基于人工智能的智能诊断技术

引入人工智能技术正颠覆传统的电气故障判别模式。利用深度学习算法对设备采集的数据做智能化探索,能自主地从数据中抽取出故障信息并形成模型。本文研发一种适用于机电一体化系统中的可编程逻辑控制器(PLC)智能化故障预报模型,在基于深度学习和时间序列分析的基础上对 PLC 工作状态的信息做深层次探索。模型构建了两层 LSTM 结构架构,整合了振动、温差、电流等不同维度信息,能够提前发现 PLC 控制系统可能存在的隐患并在第一时间发出警报。而在工业现场的应用场景里,小云智能开发的无线三轴温振智能传感器同时获取振动、温度、工况三个轴的三维数据,再加上自研的 AI 运维大模型的支持之下就可以达到对于机器故障的精确检测的效果,就像是一个 24h 在线的“AI 医生”。当机器发生故障之前,机器可能会有一些微弱的振动增大或温度上升的现象等,这是人很难通过感官观察到的^[3]。传感器像一个不知疲倦的警卫,一旦机器出现问题就会及时报警给 AI 设备运维系统,进而对机器进行定位故障点。AI 诊断系统的加入使工业巡检摆脱了依靠工程师经验维护的方法,做到设备故障提前预警及智能化判别。

2.6 故障预警与预测性维护技术

由事后修理转变到预先防范是电力系统运行维护的趋势,在线监测的技术就是依靠数据分析对可能出现的问题进行预判从而制定相应的措施。建设在线监测系统要分三层来搭建:数据获取层布置智能化传感器,数据分析研判环节用机器学习的方法创建机器的健康衰退模型,实施层把报警信息转换成工作任务单。无源三轴温振一体化智能探头可以同时监测振动、温度、状态等三方面数据,故障辨识灵敏度提高 40% 以上,并可做到每隔五分钟一组高频率波形数据上传。平台发布以后,巡检员可以预见性地掌握设备运转状态,准确分析未来可能出现的问题,变事后抢修为事先保养,能大大减少设备故障的发生概率,在一定程度上可以将设备检修时间增加 20% 以上,对重要设备停电、变频器过热等故障问题,研发故障分析算法以及异常警报功能,打破传统“被动处理”的局面。

表 1 钢厂电气自动化控制系统常见故障与诊断方法

故障类型	典型表现形式	主要诊断手段	预警特征
电源系统故障	电源模块烧毁、接地不良、电压波动	电源质量分析、接地电阻测试、UPS 状态监测	电压畸变率超标、接地电流异常
PLC 控制系统故障	CPU 停机、I/O 模块损坏、网络闪断	诊断缓冲区分析、在线监控、自诊断程序	通信误码率上升、扫描周期延长
传感器故障	信号漂移、数据失真、响应迟钝	信号比对校准、阈值判断、冗余校验	测量值与工况偏离、波动幅度异常
变频器故障	过压过流报警、模块炸毁、散热不良	故障代码解析、波形分析、解体检查	温度超限、电流谐波含量上升

3 钢厂电气自动化控制系统故障处理措施

面对上述故障现象及解决办法,应该制定一系列完整的故障排查步骤以保证系统的平稳运行。从硬件上来说要实行分层检修原则,对电源模块、PLC 模块、变频器冷却装置、光电开关等主要零件进行日常清理以及检测工作,并且做好中间继电器、接触器这类易损件的寿命记录表按时予以更换。重庆钢铁机械小组为解决皮带电机故障问题,将原使用的空气开关精细替换,使每一个电机都配有单独保险保护装置,一旦出现故障做到及时切断电源,不会波及整个生产线,在更换一个空气开关时比原先节省了一个小时左右的时间。针对电磁干扰问题,在电磁干扰处理上,把动力电线的地线和控制电线的地线分开是最有效地消除电磁干扰的方式,也就是动力装置接地端子接到地上,而控制装置接地端子接到相应装置柜体的金属外壳上^[4]。在技能培训方面,应加强故障分析培训,培养既有电气知

识又有全面电控管理技能的技术人才团队,使其能够实现对整个电气设备全过程的管理。从管理上来说需要制定一个“隐患分类清单”,根据高压柜、PLC 系统、传动装置等的不同设备类型进行隐患分类,“线路老化”“参数漂移”“接口松动”等这些都是很常见的隐患,在隐患排查、隐患整改以及效果验证中构建一个完整的隐患闭环管理。针对备品备件来说要制定重要设备的备用策略,针对那些容易损坏的比如 PLC 电源模块、变频器功率单元、传感器探头等这些都要保持一定的存量,除此之外还要做好程序数据的离线备份避免因 CPU 故障而导致程序丢失的情况发生。

4 结语

钢铁厂电气自动化监控系统出现故障的识别以及解决是跨多个学科的技术体系。本文围绕着供电系统、PLC 控制系统、传感器检测设备、电动机及变频器四个方面对常见的故障及其原因进行了系统的总结归纳,介绍了故障信号收集分析、在线监视及即时诊断、PLC 故障排查、变频器故障检测、人工智能诊断分析、故障预告警及预防性维护等六种故障分析的方式,并给出了相应的故障解决方案。在新一代信息技术与工业自动化控制系

统不断融合的趋势下,钢厂的电气自动化控制系统必然朝着更智能、准确、有效的故障识别和维修方向进行升级,从而更好地服务于钢铁行业的发展并推动其走向智能化改革之路。

[参考文献]

- [1]保超年.钢厂电气设备故障诊断与预测的研究与应用[J].冶金与材料,2023,43(10):4-6.
 - [2]余志双,孙凤江.钢厂电气设备故障与处理对策[J].科学技术创新,2019,15(34):149-150.
 - [3]邵正宇.钢厂电气设备故障与处理对策[J].中国科技投资,2021,20(17):134-135.
 - [4]郑建伟,陈秀强.基于边缘计算的钢厂关键设备电气故障预测与智能诊断研究[J].互联网周刊,2025,08(15):18-20.
- 作者简介: 昝志民(1981—),男,汉族,四川广元人,安钢职业技术学院高中,电工二级技师,现就职于安阳钢铁集团有限责任公司综合利用开发公司从事电气维修工作,研究方向为钢厂电气自动化控制系统故障诊断与处理研究;魏明鑫(1991—),男,郑州航空工业管理学院,现就职于安阳钢铁集团有限责任公司综合利用开发公司,电气助理工程师,研究方向为电气及自动化。