

Analysis of abnormal phenomena and countermeasures for installation and trial operation of petrochemical mechanical and electrical equipment

Dongchen Li Yongdong Liu

Lanzhou Petrochemical Company, Lanzhou, Gansu, 730060, China

Abstract

The effective implementation of trial operations for petrochemical electromechanical equipment can better ensure the stability and reliability of equipment operation, thereby facilitating the smooth progress and orderly development of petrochemical production. It is essential to identify common abnormal phenomena during the installation and trial operation of petrochemical electromechanical equipment and develop corresponding countermeasures. This article focuses on analyzing abnormal phenomena in the installation and trial operation of petrochemical electromechanical equipment, particularly in core scenarios such as mechanical vibration, abnormal temperature, and sealing leakage. The study explores how to leverage intelligent technologies like Industrial Internet, AI algorithms, and digital twin systems to enhance troubleshooting strategies, thereby improving the efficiency and quality of issue resolution.

Keywords

petrochemical electromechanical equipment; abnormal trial operation; intelligent technology; AI diagnosis

石油化工机电设备安装试运行异常现象分析与应对方法分析

李东宸 刘永东

兰州石化公司, 中国 · 甘肃 兰州 730060

摘 要

石油化工机电设备试运行工作的有效落实可以更好的保障机电设备运行的稳定性与可靠性, 进而影响石油化工生产的顺利推进和有序开展, 明确石油化工机电设备安装试运行的常见异常现象并找到应对策略是十分必要的。文章将石油化工机电设备安装试运行的异常现象分析聚焦于机械振动、温度异常、密封泄漏等核心场景, 分析如何借助工业互联网、AI算法、数字孪生等智能化技术提高异常问题的处置策略, 提高各类问题处理的效率和质量。

关键词

石油化工机电设备; 试运行异常; 智能化技术; AI诊断

1 引言

石油化工机电设备试运行期间的运行环境较为复杂, 在高温、高压、多介质等多重因素影响下很容易会出现各种各样的异常问题, 如机械振动、温度异常、密封泄露等等, 若单纯依赖人工处理则很容易会出现误判, 影响故障修复效率, 甚至可能会导致故障扩大。为了更好的解决这些问题, 就需要借助工业传感器网络、边缘计算网关、AI 故障诊断模型等智能化技术提高异常现象应对及处理能力, 而在此之前, 首先则需要明确智能化技术在石油化工机电设备安装试运行的应用基础。

【作者简介】李东宸 (1985-), 男, 中国甘肃兰州人, 本科, 从事化工机械研究。

2 智能化技术在试运行异常分析中的应用基础

想要更好的发挥智能化技术的技术优势, 就需要搭建“数据采集 - 传输 - 处理 - 应用”的智能化技术框架, 并根据实践应用需求做出针对性优化。

2.1 多维度数据采集层

可通过传感器技术的应用, 实时采集设施设备的运行状态数据, 实现振动数据、温度数据、密封泄露数据、电气参数数据的一键收集、整合, 实时存储, 为后续异常现象诊断及处理提供更多的信息参考。例如可于泵、压缩机的轴承座和机壳部位安装压电式加速度传感器, 捕捉 0.1mm/s 级别的微小振动, 进而及时的发现设备不平衡、不对中、轴承磨损等故障。温度监测中可借助无线无源 RFID 温度标签, 收集电机绕组、密封腔、齿轮箱等部位的温度数据。在法兰等部位可以配置激光气体传感器, 实时监测密封泄漏问题。在电气参数监测中则可以借助智能电量传感器完成电压、电

流、功率因数等参数的收集分析,为启动电流过载、三相不平衡等异常诊断提供帮助^[1]。

2.2 数据传输与边缘处理层

在数据传输及边缘处理层设计中应充分考量石化现场的生产特点,提高防爆、抗干扰能力,可通过边缘计算网关+5G/工业以太网传输架构的应用保障传输稳定。传感器收集的实时数据会通过网络输送至边缘网关,利用其内置算法完成数据的过滤和压缩,降低数据传输负荷的同时保障数据有效,在此之后可借助5G网络或工业以太网传输至云端平台,提高数据传输效率。

2.3 智能分析与应用层

智能分析与应用层是发挥智能化技术优势,提高异常问题处理效率和质量的核心,可通过数字孪生模型配合AI诊断算法提高应用成效。数字孪生模型应用前需要输入设备CAD图纸、安装参数、材质属性等数字信息,这些信息经过特定算法处理后会生成数字孪生体,在设备运行期间,传感器设备监测的数据信息会实时共享至数字孪生平台,数字孪生模型也会实时更新参数,更清晰的呈现设备内部温度场、振动分布、介质流动状态,避免巡检盲区的出现。

AI故障诊断可大幅降低故障诊断对人力的依赖性,可通过历史故障数据整合不断训练算法,提取不同故障的特征信息,在出现异常数据时,人工智能技术则会精准识别故障类型,避免故障识别失误带来的损失,相较于人力识别,人工智能算法支持下的故障诊断,准确率可以达到95%以上^[2]。

3 典型试运行异常的智能化分析与应对方案

3.1 机械振动异常智能诊断及应对

振动异常的构成原因复杂,例如叶轮结垢、联轴器不对中等问题都有可能引发机械振动异常,传统人工诊断需要耗费较多时间锁定故障原因,且诊断的时效性也无法得到保障,这时则可以借助人工智能技术进行智能化分析,实现提前预警和精准溯源,最大化降低机械振动异常的负面影响。

可借助数字孪生平台构建设备模型,并实时监控设施设备的运行参数,根据设备的使用手册和运行需求进行综合评价,若设备的综合评分低于固定数值,系统则会自动触发警报,由专业维修人员到场处理。孪生平台除了可以记录当下数值以外,还可以对历史数据进行趋势分析,例如基于振动幅值、频率分布、谐波成分综合评分评价设备健康指数,若设备健康指数连续三次检测都成下降趋势同样也会触发警报,由工作人员进行处理^[3]。

针对诊断数据,人工智能技术会自动评价分析问题构成原因并对接数据库启动应急预案,甚至可以实现自动化处理,例如出现设备振动异常问题,人工智能技术可通过数字模型分析确定构成原因并快速生成应急处理方案。首先,紧急停止设备运行,避免故障扩大引发损失增加,在此之后通过模型分析显示联轴器不对中是振动异常的主要

原因,系统则会启动激光对中仪,并通过和数字孪生模型联动的方式显示调整偏差,控制并调整联轴器,直至目标偏差 $\leq 0.05\text{mm}$ 。在此之后系统则会对调整后的设备的振动值,跟踪故障处理成效,不断调整处理方案,直至振动值降至 4mm/s 以下。

3.2 设备温度异常

温度异常问题也是石油化工机电设备安装试运行中的常见异常问题,在过去的温度异常处理中,工作人员需要借助热电偶进行局部温度测量,因测量点有限,因此常常会出现漏判问题,而智能化技术的应用则可以实现全域覆盖,避免漏判问题的出现。

可借助无线RFID温度标签进行温度数据采集,根据机组运行特征和常见温度异常点确定监测点位,如电机绕组、轴承、齿轮箱等位置都可布置温度监测点位^[4]。RFID温度标签采集的数据会实时共享至数字孪生平台,生成设备温度场云图,该云图不仅可以直观呈现不同设备及不同位置的温度变化,同时还可以通过温度分布差异初步断定温度异常的构成原因及解决办法。例如齿轮箱齿面温度异常问题处置中,采用传统模式往往需要温度上升至 80°C 才会报警,但是温度设备场云图可以提前 5min 响应,避免错过最佳维修时间,若监测数据发现某齿面温度达 75°C ,已经超过设计上限的 70°C 时则会触发警报,而经过温度对比发现周边齿面为 65°C ,系统则可以以此为依据判定为局部齿面磨损导致摩擦过热。

在初步诊断后,人工智能技术会根据AI模型和监测数据分析温度上升速率如5分钟内升温 10°C 、相邻点位温差(10°C)及历史数据,对故障成因进行深度排查,分析具体原因,例如若因润滑不足导致的温度异常也会呈现出整体升温的特点,但该案例中只是局部升温,故排除,经过系统分析将故障原因锁定为齿面磨损,并根据数字模型数据和运行数据进行趋势分析,得出剩余安全运行时间约30分钟,为故障修复提供明确的安全时间节点^[5]。

最后,在故障处理的过程中还可以联动物联网系统,分析备件库中是否有备用齿轮,在此基础上进行资源调配,确定停机检修流程。为保障运行安全,在更换齿轮后,可通过数字映射,用数字模型模拟运转,分析齿轮更换后的运行温度,在确保温度下降至正常值后启动设备。

3.3 密封泄漏异常

在过去,密封泄露问题多是通过人工巡检发现并加以处理,很有可能会出现疏漏,可通过智能化技术应用提高密封泄露异常的察觉能力。

可借助激光气体传感器完成密封腔周边介质浓度的实时监测,当浓度从 0ppm 升至 5ppm (远低于安全限值 100ppm)时,系统则判定存在泄露问题,触发警报,同时泄露位置还会自动标注在模型上。人工智能技术会自动分析气体泄露数据,明确变化趋势,如每小时升高 2ppm ,同时,

传感器设备也会自动记录密封腔温度等数值进行问题分析，例如腔体温度为 60℃，介质压力为 1.2MPa，这时则可以排除压力波动导致的瞬时泄漏，确定泄露原因为静环密封圈老化。在锁定问题后，系统则会明确密封圈的更换要求，指导工作人员进行故障处理^[6]。

3.4 电气系统故障

首先，可借助智能电量传感器完成实时电流数据的采集，若在数据采集后发现启动电流超过额定电流的 7 倍，但设计上限为额定电流的 6 倍，持续时间也超过了 2s，这时则可以判定存在启动电流过载问题。其次，人工智能技术会进行数据分析，从电流波形、控制柜内温度、保护参数设置等多个维度明确问题的构成原因，得出结论为过载保护参数设置错误。最后，系统则会根据设备运行需求提出参数调整建议，例如将过载保护值设为额定电流的 6.5 倍，然后启动电机，观看修复效果。

3.5 系统联动失效

数字孪生平台可辅助系统联动，实现自动联锁，提高

问题处理效率。可借助数字孪生模型完成虚拟现实联动，同步设备的运行参数，如蒸发器液位（1.1m，接近高限值 1.2m）、紧急切断阀状态（待触发）、控制系统信号传输状态，在设备运转过程中，若运行参数达到联动要求但却并未有效执行，系统则会自动分析构成原因和解决对策，例如当液位升至 1.15m 时，检测发现液位信号未传输至切断阀控制器，这时则可以判定为信号链路故障，并发送预警信号^[6]。

人工智能技术会完成信号传输路径的追溯分析，如液位变送器→边缘网关→控制柜→切断阀，通过分析节点数据锁定问题，如边缘网关至控制柜的信号传输中断，最终确定问题成因为以太网网线松动。此后，系统则会明确网线检修位置（控制柜内第 3 个以太网接口），检修后数字孪生模型模拟液位升至 1.2m，切断阀自动动作^[7]。

4 智能化方案的实践效果

以某大型炼化厂机电设备安装试运行为例，应用上述智能化方案后，取得显著成效，具体如表 1 所示。

表 1 某大型炼化厂机电设备安装试运行成效

异常类型	智能化应对模式	核心技术支持	效率提升效果
机械振动异常	健康指数预警（未超标时），AI 精准溯源故障，5 分钟内定位	压电式传感器、AI 诊断模型	故障定位效率提升 92%
密封泄漏异常	ppm 级微泄漏捕捉，浓度超标即报警	激光气体传感器、边缘计算	泄漏识别灵敏度提升 100 倍
电气系统故障	跳闸前 0.5 秒预警，AI 快速定位参数 / 线路问题	智能电量传感器、云端参数修改	故障处置时间缩短 98%
系统联动失效	信号链路实时监测，提前预警故障节点	数字孪生联动、信号追溯算法	联动故障响应时间缩短 99%
设备温度异常	温度场云图全域监控，局部过热提前 5 分钟预警	无线 RFID 标签、数字孪生	漏判率降低 85%

5 结论与展望

智能化技术在石油化工机电设备试运行异常分析及解决中应用了进一步提高异常故障锁定及处理的效率，在保障异常故障处理效果的同时保障工作安全甚至降低异常处理成本，为石油化工机电设备试运行异常分析提供了全新解决方案，相关化工单位可通过“数据驱动 + 模型支撑”，打破了传统故障识别及处理的局限，实现了异常从“被动应对”到“主动防控”的转型。

当然，在石油化工机电设备安装试运行故障处理中，引入智能化技术并非重点，还有很多值得完善的地方，例如可以通过与虚拟现实技术融合的方式更直观的看到异常问题，也可以通过人工智能模型训练的方式不断的提高故障异常处理的自动化和智能化水平，为石化行业设备试运行的安全、高效推进提供更强支撑。

参考文献

[1] 山鹏飞. 石油化工机电设备安装工程施工技术分析 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2025, 45 (15): 160-162.

[2] 刘沛德. 石油化工机电设备试运行中的故障应对策略及要点 [J]. 造纸装备及材料, 2025, 54 (05): 46-48.

[3] 席占君,李成伟. 石油化工特种设备安装存在问题及改进措施研究 [J]. 中国机械, 2025, (14): 120-123.

[4] 李鹏. 浅析石油化工电气设备运行管理问题及处理 [J]. 中国设备工程, 2023, (24): 53-55.

[5] 杨行. 石油化工电气设备运行管理问题及处理策略 [J]. 化工管理, 2023, (05): 130-132.

[6] 郭振春. 石油化工工程中机电安装工程的质量管理研究 [J]. 造纸装备及材料, 2023, 52 (01): 35-37.

[7] 潘星五. 化工机电设备安装试运行异常现象分析 [J]. 化工设计通讯, 2019, 45 (11): 77+79