

5.1 逐渐推广预测性维修

预测性维修是在设备发生故障之前,通过检测设备运行状态、分析数据来判断它的健康状况,并预测可能发生的故障的时间,从而在最合适的时机安排维修。目前,中小企业仍以故障后维修为主,当一台机械装备出现故障的时候,首先要经过使用部门向有关领导进行汇报,然后再派专业维修人员现场进行故障检测维修,如果要更换配件及线路时,机械设备将停用了3至5天才能得到解决,影响了企业的工作效率和业务的收入,而且应急维修成本相对较高。为了解决企业经常存在的问题,逐渐推广预测性维修;案例一,某医院发电机的预测性维修,通过在发电机上安装振动传感器采集数据,对比正常与异常振动频率,提前30天预警发动机轴承磨损的故障,或者通过对电流或者电压的分析,预测发动机负载异常。用减载的方法可以排除发动机的故障,避免停机。各种使用频率高的设备,采取预测性维护后,停机时间减少40%,年度维修成本降低25%^[1]。

5.2 成本优化,实行分级维护策略

通过按机械设备的重要性,故障风险、维护成本,划分优先级。对不同级别的设备采取差异化维护措施。核心目标是在保障关键功能的同时,最大化降低整体维护成本。其核心实施逻辑可分为三步法:

第一步,资本市场分级,根据故障影响程度,如停产损失、安全风险和维护成本,将资产分为3—4级,一级核心资产。如生产线关键设备故障会导致全线停停产,需最高优先级维护。二级,重要的资产,如辅助生产设备故障仅影响局部流程,可适度降低维修频率。三级,一般的资产,如办公设备故障影响小,可采用低成本故障后维修的模式。

第二步,差异化维修策略。为不同级别资产匹配对应的维修方式和资源。一级资产采用预测性维护。加定时预防维护,如用传感器实行监测设备状态,提前排查故障,避免突发性停机,二级资产采用定期预防性维护,按固定周期,如每月检查,平衡维修成本与故障风险。三级资产采用故障后维修,不提前投入维修资源,仅在设备损坏后再维修,降低闲置维护成本。

第三步,动态优化。定期,如每季度或者每年,根据资产故障数据、维护成本变化调整分级和策略。例如,若某二级资产长期无故障,可降为三级,减少维护频率。该策略的核心价值在于,避免对所有资产一刀切式的投入维护资源,将有限的人力资金集中在核心资产上,同时减少对建对低价值资产的过度维护,从而实现降本与保效的平衡。

6 机械设备维修保养技术

6.1 完善机械设备维修保养技术

目前,机械设备的种类繁多,故障种类繁多,需要根

据具体的检修方式对其进行维护。然而,今天的工业装备因其自身的特点和复杂程度,使其面临的问题也有了较大的变化。因此,我们的维护技术是无法按照以往的方法来进行的,必须针对目前机械设备的各种问题进行分析与加工,并针对机械自身的机能和构造特征,采用自己特有的维修与维护方法。因此,要密切注意国外的各种行业的维修维护技术,积极地学习和引进先进的维护保养技术,作为我国企业机械设备维护技术的借鉴,不断地增强我国维修保养效果和技术能力^[2]。

6.2 修保养制度健全工作

较为完备、健全的机械装备维护体系,对工业有着很大的作用,在完善的维护保养系统的作用下,使得其维护工作可以顺利的进行,从而能够使其拥有更加标准化的维修模式和环节。因此,要想让所有的机械维护工作都能按照正常程序进行,就需要建立一个完整的机器维护体系。有关企业可以通过与其它公司或有关的公司的专业人士协商,根据自身的实际和发展现状,制订一套系统,对该系统的可行性做出一些评判,并进行修正。但是,机器装备维护的体系并非一朝一夕就能建立起来的,它必须通过不断的改进和测试,从过剩走向质的转变,在实际中被验证和改进。

6.3 强对机械设备维修保养技术更新

随着科技水平和信息化水平的提高,机械设备的管理方式也在逐步改革。因此,要满足企业经营方式和机器设备技术的升级,国内的机械设备维护技术也必须适时地进行升级。通过不断地了解和掌握最新的维护技术,并不断地研发和发展新的维护技术,使机器的维护技术能够一直与机器的技术同步发展^[3]。

7 结语

综上所述,在企业的发展,对机器的维护是保障机器的正常运转的关键手段。检修装备的技术实力是决定机械设备是否正确、快速、可靠的可靠依据。要确保机械设备的安全和稳定运行,最大程度降低机器的损耗和损伤,从而节省维护成本。

参考文献

- [1] 高爱君. 浅析机械设备维护保养[J]. 环球市场, 2016(20): 284.
- [2] 周丙寅, 王世超. 浅析机械设备维护保养[J]. 科技创新与应用, 2016(29):121.
- [3] 郭良波, 闫刘伟. 简议工程建设中的机械设备维护保养[J]. 环球市场, 2017(27): 367.
- [4] 刘彬, 刘凤. 浅谈现代工程机械设备维护保养与维修[J]. 科技致富向导, 2013(3): 37.

Analysis of typical faults and management of MTBE device

Jinhui Cui Tianling Wei

China Petroleum Lanzhou Branch, Lanzhou, Gansu, 730060, China

Abstract

To address the high failure rate in an 80,000-ton/year MTBE plant, this study identified three core issues through fault tracing: abnormal catalyst loss, ineffective oxygen/water control systems, and corrosion-induced equipment leaks. The innovative optimization of catalyst loading processes reduced catalyst loss by 70%, improved oxygen replacement control accuracy to $\leq 0.1\%$ (v/v), and minimized stainless steel corrosion thinning to 0.004 mm/year. Post-implementation, the facility achieved a 36-month continuous operation cycle with 62% reduction in LDAR leak points, providing a reusable failure prevention model for similar plants.

Keywords

MTBE unit; fault management; catalyst control; corrosion protection; leakage control

MTBE 装置典型故障及管理浅析

崔金辉 魏天玲

中国石油兰州分公司, 中国·甘肃 兰州 730060

摘要

针对8万吨/年MTBE装置的高故障率问题, 本文通过故障溯源确认三类核心矛盾—催化剂异常流失、系统氧/水控制失效、腐蚀引发的设备泄漏。创新优化催化剂装填工艺使流失率降低70%, 氧含量置换控制精度提升至 $\leq 0.1\%$ (v/v), 不锈钢材质升级使腐蚀减薄率降至0.004mm/年。实施后装置连续运行周期延长至36个月, LDAR泄漏点减少62%, 为同类装置提供可复用的故障防控范式。

关键词

MTBE装置; 故障管理; 催化剂管控; 腐蚀防护; 泄漏控制

1 引言

MTBE 装置属典型的炼油化工装置, 由化工单元操作组合而成, 由原料准备、原料输送、化学反应、精制、原料回收、产品输转等单元构成, 其设备密集, 装置构架平面布置紧凑, 其生产单元中存在的组分均为易燃易爆的组分, 特别是其醚化成品是汽油高辛烷值调合组分, 开口闪点低, 引燃的点火能低, 都构成了其化学危险性特点, 因而装置的管理要求很高, 随时都需要处于受控状态, 特别是在异常与故障状态下, 更要提升管理级别, 以保证其安全。故障本质源于三重失效: 化学反应失控 (如副反应引发超压)、设备机械失效 (如密封疲劳、腐蚀减薄)、操作程序失效 (如置换不彻底)。本文结合某 8 万吨 / 年装置实践, 系统阐述故障防控策略。

2 工艺故障的系统性防控

2.1 催化剂的管控

MTBE 装置运行时发现反应床层热点温度下移, 分析原因有三: 一是在催化剂装填时用倒袋的方式从人孔加入, 一边与另一边的堆积密度不同, 压实的程度不一样, 造成在运行时一边易破碎, 一边易悬跑损, 同时在装填完毕后对反应器丝网压边不好, 在装填时造成在运行过程中的催化剂流失, 整体的剂量减少; 二是催化剂本身质量不好, 长期使用容易粉化, 在运行过程中流失或跑损; 三是运行中原料不佳或催化剂水洗时操作不当, 上层的催化剂活性缺失, 需要将上层的催化剂进行更换, 这是我们常说的催化剂撇头。为此, 需建立“催化剂流失→装填密度不足+水洗操作冲击”的归因分析体系, 完善床层压差、空速和反应床层温度分布是能够反映催化剂管理具体状况的数据, 即在工艺上要经常进行工况分析, 定期进行催化剂反应温度的温度分布分析, 对反应压差进行分析, 在进料前对空速进行测定, 及时发现故障和异常的苗头, 管控关口前移。

2023 年 6 月, 兰州石化公司装置卸剂过程因摩擦引燃可燃气体事故, 暴露出三个管理漏洞: 床层吹扫置换不彻底、

【作者简介】崔金辉 (1980-), 女, 藏族, 中国甘肃武威人, 助理工程师, 从事典型事故及管理研究。

卸料滑道设计缺陷、可燃气体监测不全面。改进后采用袋装卸料+间歇式可燃气体分析,这虽然增加了劳动成本,但提高了安全保障,也使卸剂环境得到清洁控制。

2.2 开工关键参数精准控制

开工阶段系统氧含量必须控制在 $\leq 0.3\%$ (体积分数)以下,该指标作为安全临界值,其达标验证时应注意分析数据不得作为唯一判定依据,且系统需经三次及以上彻底置换。这一严苛标准源于某中油石化公司合成氨装置的重大事故教训:在冬季极限工况下,因置换取样点覆盖不足导致检测数据失真,加之开工决策冒进,致使系统内残留可燃气体浓度超标,点火操作引发爆炸事故。故我装置执行多级确认机制,从操作程序执行、取样分析验证到操作卡签批形成连续确认链;当温度、压力等关键参数出现异常偏移时,立即启动退守程序,重新执行吹扫置换及确认流程。

装置停工移交工艺阶段的水压试验与冲洗作业,将引入大量水分残留(局部区域积水量达吨级),直接影响开工产品合格率。常规重力排放无法彻底清除毛细水及管壁附着水,需依赖置换介质深度清除。冬季作业时,工艺空气/氮气因露点温度降低,其自身含水量显著增加,进一步延长置换周期。因此开工前需全域水分排查:通过人工检测与仪表监测相结合,确认塔器低点、换热器管程等关键部位含水量达标,从而缩短开工时间并保障产品一次合格率。

2.3 腐蚀协同防护体系

2.3.1 装置腐蚀防控以实时监测、关键部位惰性气体保护及工艺流程优化

腐蚀源主要包含三类:原料系统携带的金属粒子与碱性离子($\text{pH} > 8.5$);催化剂游离酸导致的低 pH 酸性环境($\text{pH} < 6.0$);操作过程中高温引发的磺酸基团脱落;以及甲醇回收系统水分携带杂质引起的 pH 波动。系统 pH 值在 $6.5\text{-}8.5$ 区间的宽幅变化,显著加剧腐蚀风险,需通过工艺管理实施双重防控:严格监测并调控系统 pH 值;对局部高危设备进行材质升级;在特定工艺环节引入介质保护机制。我装置具体实施三方面技术应对:

工艺优化领域,通过重构甲醇水洗系统排水流程,提升脱盐水与蒸汽凝液补水量;将脱异丁烷塔顶冷凝器及1-丁烯精制塔顶冷凝器由并联运行改为一开一备模式;增设甲醇原料罐氮气密封设备阻断氧气侵入,并在甲醇回收塔顶冷凝器加装高点放空设施。

设备升级方面,2015年检修期对脱异丁烷塔(T-301/302)、1-丁烯精馏塔(T-303/304)实施塔盘材质升级(更换不锈钢);2019年检修期对腐蚀严重的T-201塔同步升级不锈钢塔盘。通过材质的升级,腐蚀率已从碳钢的 $0.1299\text{mm}/\text{年}$ 降至 $0.004\text{mm}/\text{年}$,保证了设备的本质安全。

原料管控环节,增设两台原料净化器过滤抽余碳四与甲醇杂质,降低一段醚化反应器催化剂失活速率;严格执行外购甲醇质量周检制度,对不合格品启动评审程序;采用脱

盐水或低温凝液持续置换水洗系统;甲醇储罐实施氮封维持微正压状态。

2.3.2 设备泄漏的规律特征与防控体系

MTBE装置作为高危设施需严格执行国家应急部门特种设备带病运行十项排查(泄漏、变更、防腐、安全附件投用、淘汰设备、反复异常等)。管线测厚数据表明腐蚀呈现三类规律性特征:架空管线因保温层接缝位于上部(雨水渗入滞留)、热胀冷缩致托架位移;穿楼板管线因保温接口缺陷形成裸管区,雨水倒灌引发点蚀;管线回弯部位因流速突变导致局部冲刷。对此实施分级管控:加强弯头及易冲刷部位定点测厚;工艺异常(如超温超压)后联合设备/工艺/安全部门进行系统缺陷分析。

2.3.3 LDAR 技术应用与泄漏控制

泄漏监测采用LDAR技术(泄漏限值:比例 $\leq 2\%$,浓度 $\leq 2000\text{ppm}$)。2023-2025年检测数据显示(表1至表3):2023年1月6个泄漏点最高浓度 3506.2ppm ,2024年1月6个点最高 7839.9ppm ,2025年1月7个点最高 25096.8ppm 。通过聚焦安全阀、导淋阀等高风险部位并剔除冗余检测点,修复率保持 100% ,修复后浓度普遍降至 $< 50\text{ppm}$ (2025年V304A进口阀从 25096.8ppm 降至 1ppm)。这表明策略优化有效提升检测效能,避免“幸存者偏差”。数据见附录。

2.4 换热系统运行优化

由于我装置的循环水的供给与循环水站距离较远,换热设备在装置框架中布置分散且各层均有,加之换热设备不大,使得循环水在装置的流速分布极不均匀,换热温差差异大,输送压力也不均匀,给装置运行带来很大难度,部分换热器的温差大,流速慢,换热温度不易调节,也因为局部温差大,给设备的使用带来安全隐患。二是季节性极限温差出现频繁,被迫造成以我装置的上水温度作为循环水站的操作依据,对整体循环水的运行效果造成困扰,就对装置整体的循环水上水回水的布置进行优化,考虑到我装置的新度系数不高,其它装置的同行也可以借鉴,在设计与改造装置时,应对公用工程的优化一次性地从设计做好,提升装置的运行水平。

2.5 巡检方式创新与风险管控

本质安全需防控四类失效:法兰密封失效、水锤冲击、管架位移引发变形、夏季蒸汽过热致温压超限。通过HAZOP/JSA分析核算极端工况管道应力,对12处弯头补强支撑。同步实施机泵振动ABCD分级管理,优化取样流程避免“自检自判”。

同时针对碳四组分刺激性气味特性,建立“人工感官+仪器检测”双轨机制:

激励机制。执行泄漏报告闭环流程(2小时以内发现→处置→反馈),设置 $500\text{-}2000$ 元专项奖励;工具优化。推广喷壶巡检(便携低成本)但限制其用于保温层(防注水腐蚀)及高温部位(防金属疲劳);安全约束。攀爬作业时实