

化工仪表的可靠性维护及经济性分析

凌景秀 叶剑成 (中海壳牌石油化工有限公司, 广东 惠州 516086)

摘要: 在化工生产过程中自动化和智能化程度越来越高, 化工仪表能否稳定可靠的运行成为保证设备安全, 优化工艺操作和提高经济效益等关键环节, 通过对化工仪表在化工生产所起的关键作用进行分析, 说明了影响化工仪表工作可靠性的原因并提出了综合可靠性维护策略, 同时对有关经济性进行了多维度细致的分析, 从而给化工企业在保证生产稳定高效的前提下, 获得企业最大经济效益提供科学决策。

关键词: 化工仪表; 可靠性; 经济性分析

中图分类号: TQ056

文献标识码: A

文章编号: 1674-5167 (2026) 010-0052-03

Reliability Maintenance and Economic Analysis of Chemical Instruments

Ling Jingxiu, Ye Jiancheng (CNOOC Shell Petrochemical Co., Ltd., Huizhou Guangdong 516086, China)

Abstract: As the automation and intelligence levels in chemical production processes continue to rise, the stable and reliable operation of chemical instruments has become a critical link in ensuring equipment safety, optimizing process operations, and enhancing economic efficiency. By analyzing the key roles of chemical instruments in production, this study identifies factors affecting their operational reliability and proposes comprehensive reliability maintenance strategies. Additionally, a multi-dimensional detailed analysis of economic aspects is conducted to provide scientific decision-making support for chemical enterprises in achieving maximum economic benefits while ensuring stable and efficient production.

Keywords: chemical instrumentation; reliability; Economic analysis

化工生产是一个复杂而持续的过程, 其中化工仪表肩负了各种工艺参数的监控和调节工作, 是确保生产安全、平稳和产品质量的一个关键因素, 在化工产业不断发展壮大的今天生产工艺越来越复杂, 人们对于化工仪表可靠性提出了更高的要求, 对化工仪表可靠性的维护以及对其经济性的深入剖析有利于化工企业合理地控制成本, 以提高市场竞争力同时促进生产效率和质量。

1 影响化工仪表可靠性的因素

1.1 仪表自身质量因素

仪表设计是否合理, 制造工艺水平高低, 是直接影响仪表可靠性的关键因素, 高超的设计可以综合考虑各工况对性能的要求, 选择适宜的材料与零件, 以保证仪器在复杂的环境中平稳的工作, 而先进技术则能确保零部件加工精度及组装质量、降低由于制造缺陷造成故障的概率。仪表中各种元件(电阻、电容和芯片)的质量好坏显著地影响着整个仪表的可靠性, 高品质元件性能较好稳定、抗干扰性强、使用寿命较长、能减少仪表发生电气故障几率。

1.2 工作环境因素

化工生产中的气温与湿度波动很大, 温度过高或者过低, 湿度太大均会对仪表的工作性能及可靠性造成影响。高温可造成仪表电子元件的性能降低, 机械部件热膨胀变形等, 低温会使一些物质变得脆弱, 润滑剂固化, 湿度大将导致仪表内电气元件潮湿腐蚀从而诱发短路和其他故障。

化工生产流程往往会遇到各种有腐蚀性的物质, 危害到仪器外部构造、感应元件及传输线路等继而造成仪器破坏或测量结果不准确, 化工生产设备运行过程中有可能会造成现场设备振动, 这类振动会给仪表带来不利影响, 而在设备装配和现场操作环节也会出现脚手架施工等与其他工作发生错误撞击破坏仪表的情况, 长期振动干扰和碰撞冲击将使仪器连接部分变松, 焊接处脱落和机器零件发生磨损等从而降低了仪器的工作稳定性。

1.3 操作与维护不当

操作人员在仪表操作中不够娴熟或者违章操作规程会造成仪表损害以及测量不准等现象, 另外, 化工仪表还需定期保养, 若保养不及时其性能就会慢慢降低, 出现故障的概率也就越来越大了。与此同时若采取了不当的维护方法还会给仪表可靠性带来影响, 比如用了不适合的清洁剂就有可能对仪表表面产生腐蚀作用, 而错误的修理方式则会对仪表内部结构产生破坏。

1.4 系统兼容性因素

在化工生产过程中, 各种仪器和其他机器一起构建了一个相当复杂的体系, 这些仪器需要和这个体系中的其他物理部件在连接方式与通讯规范以及电子性能等多个方面保持一致和协调。如果设备的兼容性不够好就会造成数据传送异常, 对有智能操控功能的设备来说它的软件必须与整个系统的软件相容, 软件版本不符或程式存在缺陷都可能使设备的操控逻辑陷入

紊乱状态,进而降低其稳定性。

2 化工仪表的可靠性维护策略

2.1 制定以可靠性为中心的维护策略,精准防控失效风险

可靠性中心维护策略的核心就是要围绕着关键仪表的失效模式进行科学地分析,并有针对性地进行维护保证计划实施,摒弃了盲目常规大修等行为并最终达到风险可控和成本最优的均衡,其制定过程分为3个步骤:首先对关键仪表的失效形式进行了精确识别,并针对故障模式、影响和危害性进行了分析(FMECA)对故障原因及发生可能性与结果进行了剖析;综合考虑了历史运行数据并计算出平均无故障工作时间和平均故障间隔时间(MTBF),准确地确定了失效的基本原因;在综合考虑有效性、经济性和安全性的前提下有针对性地制定了维护计划。

对于某石化企业生产过程中使用的常关式失灵闭环型气动阀门而言,初始状态决定了其存在的主要问题是在遇到联锁启动的情形下,尽管有必要急速封闭以排除危险物质,但这种故障却很难被强制解除,对之前的历史运作情况,尤其是其故障发生机制进行调查后发现,由于长时间没有动态操作导致门轴内积累了许多外来物,密封元件可能趋向损耗和损坏,这些因素极大程度上增加了在第一次操作过程中出现停顿的可能性。如果发生故障便有可能引发安全隐患及其他不利后果,经常采用定期进行全面拆分及大范围维修的方式会对机器造成很大的伤害,并会使维护工作变得很昂贵。

因此有针对性地提出了准确可靠的预防措施:在生产程序容许的情况下每6个月给阀门进行一次性小规模开启试验,以确认其物理效能并且在同一时间记录行程周期和其他关键要素,随时观察仪器退化的倾向等等,这一战略既能成功处理卡住或变钝的问题又不会额外提高维护费用,适合基于运行寿命以及一定量性能检测来维持系统稳定。

2.2 区分维护策略类型,适配不同应用场景

化工仪表有多种类型和功能,其失效后果和维护需求有很大不同,需要综合考虑仪表的重要程度与失效规律和安全要求等因素,配对相应的维护策略来实现维修资源的合理配置。

①事后修理。适用非关键和冗余配置或者故障后不严重的仪器,不需要进行预防性维护只需故障失效时修;核心优点在于维护成本很低且不需要投入人力和物力定期巡检,缺点就是当一些非关键仪表出现扎堆故障时就会占据运维资源从而对核心设备的维修造成影响,只适配不影响生产连续性的辅助仪表。

②定期预防性维护。按照固定的时间或者使用周期运行,适应配戴损耗和老化程度明显的仪器和元件,例如气动切断阀经常进行小开度试验,可以事先干预以减速仪表的恶化,减少故障的发生,其核心是在避免周期太短加大成本、周期太久造成失控风险的情况下,对维修周期进行合理的设置。

③状态预防性维护。状态预防性维护的经济效益明显,对于化工中核心仪表而言,以振动分析、红外热成像和阀位定性的诊断方法为在线或者离线监测工具对仪表的工作状况进行实时评价,当装置的状态到达设定阈值后启动有针对性的维护策略能够准确地识别出早期故障的发生,从而避免了过度维护或者维护不到位的问题,适用于核心工艺仪表和高价值仪表。

④安全联锁仪表专项维护。SIS联锁阀门和其他涉及安全的仪表,SIL等级是其核心属性需要按照规范定期进行测试、校验、保证设备达到要求的性能,例如当对SIL2级别联锁阀执行测试时必须严格按照既定的标准来进行,以保证其故障的几率在指定的限制范围内。

2.3 夯实全生命周期支撑措施,保障维护策略落地

为了确保化工仪表可靠性的维护计划得以实施需要建立一个全生命周期的闭环管理体系并筑牢四大支撑措施。

①源头把控选型采购。综合考虑工艺介质需求及现场实际工况等因素,优选品质可靠、便于维护、技术兼容性好的仪表进行选择,对供应商产品质量及技术支持能力和售后保障水平等方面进行全面评价,从根本上减少设备失效率。

②规范的安装及调试。严格按照工程规范,进行安装作业以避免因安装应力及恶劣工况而导致的设备损害,安装结束之后需要进行全面的试运行以验证仪表参数准确和工作稳定以夯实以后的安全运转。

③加强日常运维和校准和校验。日常工作中要对仪表外观进行常规检查清洗固定和润滑,并根据标准参数发现早期的异常现象防止小故障放大。根据仪表的重要程度,运行情况和环境条件确定合理的校准间隔并使用标准器进行校准,以确保仪表量值准确,同时保证测量精度和控制性能可靠。

④完善故障处置与全流程数据管理。健全故障处置和全流程数据管理机制,借助直观检查、专业仪器检测和AMS系统等多种手段准确定位故障根因并编制切实可行的维修方案;检修结束后对仪表进行全面核查以保证设备正常工作;对故障信息、维修过程以及测试结果进行详细记录,对之后维护策略优化起到了一定的数据支持作用;同步加强运维人员培训和管

理工作以提高全局执行力。

3 化工仪表可靠性维护的经济性分析

3.1 成本分析

在前期投资成本方面由于仪表选型不一样, 购买成本有很大的不同, 高精度和高可靠性仪表通常比较贵, 为了适应特殊的使用环境的需要, 购买的费用将随之提高。安装所需材料及工具的费用和专业人员安装调试的费用, 复杂的仪表在安装和调试时可能要由专业技术人员来完成, 增加了人力成本, 为了保证安装环境达标, 也许还要做一些附加工程改造, 这就进一步加大了安装与调试的费用。

在仪表维护要求越来越高的情况下, 维护人员的专业技能也越来越高, 人力成本也在上升, 定期培训投入为保持并改善人员技能所必需, 维修工作中需耗用多种材料, 还需备有一定量的备件来应付突然发生故障的情况, 有些特殊仪表所需备件较贵, 而且储存条件也比较高, 这就加大了材料及备件的成本; 经常性地对仪表进行测试和调整要求采用具有高精度的标准测量设备, 这类测量设备无论是购买、校准还是日常维护都会带来高昂的成本。

仪表发生故障后由维修人员进行故障诊断, 修理及调整而花费的人工费用, 复杂的故障会占用较长的劳动与技术投入, 从而加大维护人工的成本, 故障检修期间如需换件, 则该件购置费用在故障检修费用中占有很大比重, 对某些进口仪表或者特殊规格零件来说可能会很昂贵。仪表故障会造成生产中断, 从而带来产品产量损失, 原材料浪费以及订单延迟等一系列费用, 生产中断时间愈长其费用也就愈高, 经常性地发生生产中断也会对企业信誉及市场竞争力产生一定的影响。

3.2 效益分析

有效实施可靠性维持能够降低仪表故障出现次数及维修时间, 保证了生产过程中持续平稳地进行, 这样有利于提高了设备利用率、增加了产品产量进而提高了企业生产效率, 生产效率提高意味着在单位时间里生产出较多的产品, 这就直接使企业销售额增加。

可靠的仪器可以准确地控制生产中各种工艺参数以确保产品质量稳定一致, 优质的产品更易得到市场的肯定, 可以提高产品的售价和企业利润的同时, 降低由于产品质量问题而造成退货、换货、赔偿和其他费用, 从而进一步促进了经济效益。

化工仪表可靠地进行维护可以及时发现并处理可能存在的安全隐患, 减少安全事故出现的可能性, 在安全事故出现时, 企业就会面临极大的经济损失, 通过减少安全风险来规避或者降低这些可能出现的损失

会给企业创造明显的经济效益。

合理地采取维护措施能够延缓仪表磨损及老化速度、提高仪表寿命, 这就减少仪表更换频率并降低设备采购成本, 新装调仪表会造成生产停运, 提高仪表使用寿命就可以避免由于经常更换仪表而造成生产停运损失。

3.3 成本效益平衡分析

制定成本效益模型, 把维护成本作为自变量, 生产效率提高, 产品质量得到保证, 减少安全风险和增加仪表使用寿命所产生经济效益作为因变量, 并借助数学模型来分析维护成本和经济效益的内在联系, 找出成本效益平衡点。根据对成本和效益的综合评估, 确定了最适合化工生产的可靠性和维护策略, 这样在确保化工产品能够安全稳定地进行的同时还能提高其效率, 并在此基础上有效地分配维护资源, 进一步优化了维护计划以达到维护费用与收益之间最优均衡。

4 结论

化工仪表可靠性维修对于化工生产的安全、平稳及高效率运行具有十分重要的意义, 采用综合可靠性维护策略能有效地改善化工仪表可靠性, 尽管可靠性维护需要花费一些成本, 但是在提高生产效率, 保证产品质量, 减少安全风险以及延长仪表寿命等多方面所产生的效果是明显的。

化工企业要加强对化工仪表可靠的维护, 并对其进行科学的经济性分析来制定出合理的维护计划, 从而找到一个成本和收益的最佳平衡点, 达到企业经济效益及社会效益最大化, 伴随着化工行业发展以及技术的进步, 化工仪表可靠性维修技术以及经济性分析方法都要不断地进行更新以及改进, 为化工企业持续发展提供了强有力的支撑。

参考文献:

- [1] 林泽群. 基于化工仪表的自动化控制与安全防护 [J]. 广州化工. 2025, 53(15): 140-142.
- [2] 余化君. 化工自动化仪表的可靠性及其发展趋势 [J]. 中国石油和化工标准与质量. 2024, 44(19): 120-122.
- [3] 张进. 化工仪表在工业生产过程中的应用与优化 [J]. 天津化工. 2024, 38(05): 70-72.
- [4] 马英. 化工仪表维护与故障检修的思路及措施探讨 [J]. 化工管理. 2023(28): 121-123+130.
- [5] 水生洲. 化工自动化仪表常见故障及日常维护 [J]. 化工管理. 2022(05): 104-106.

作者简介:

凌景秀 (1991-), 女, 四川江油人, 本科, 助理工程师, 从事石油化工维护工作。