

PTA制造企业中仪表设备选型与性能优化研究

张怀超

浙江逸盛石化有限公司 浙江 宁波 315000

摘要：文章针对PTA制造企业，深入研究的仪表设备选型与性能优化。剖析PTA制造工艺对仪表设备的需求，提出准确性、可靠性等选型原则与方法；构建涵盖测量、可靠等维度的性能评价指标体系，采用模糊综合评价法评估；从设备维护、技术升级等方面提出优化策略。研究成果有助于提升PTA制造企业仪表设备运行效率与生产效益，为企业智能化发展提供技术支持。

关键词：PTA制造企业；仪表设备选型；性能优化；自动化控制

1 PTA 制造工艺与仪表设备需求分析

1.1 PTA制造工艺概述

精对苯二甲酸（PTA）作为聚酯工业的关键原料，其制造工艺复杂且对生产条件要求严苛。当前主流的PTA制造工艺以对二甲苯（PX）为原料，采用高温液相氧化法，整个生产流程涵盖氧化反应、加氢精制、结晶分离、干燥包装等核心环节。在氧化反应阶段，以醋酸为溶剂，在催化剂作用下，PX与氧气发生氧化反应生成对羧基苯甲醛（4-CBA）和对苯二甲酸（TA）；加氢精制环节则是通过钨碳催化剂，将4-CBA还原为易溶于水的对甲基苯甲酸，以提升PTA产品纯度；结晶分离过程借助多级结晶器，使PTA从溶液中结晶析出，并通过离心机实现固液分离；最后经干燥处理，得到符合质量标准的PTA产品。每个环节都对温度、压力、流量、浓度等工艺参数有着严格的控制要求，任何参数的波动都可能影响产品质量和生产效率，这也凸显了仪表设备在PTA制造中的重要性。

1.2 仪表设备在PTA制造中的作用

仪表设备是PTA制造过程的“眼睛”和“神经中枢”，承担着参数监测、过程控制和安全保障等关键任务。在参数监测方面，温度仪表实时监测反应釜、加热器等设备的温度变化，确保氧化反应在适宜的温度区间（约180-230℃）进行，避免因温度过高引发副反应或安全事故；压力仪表则精确测量系统内的压力，防止超压导致设备损坏或物料泄漏^[1]。在过程控制上，流量仪表通过调节物料的输入输出量，维持反应系统的物料平衡；浓度分析仪在线检测反应液中各组分浓度，为工艺参数调整提供依据，保障产品质量稳定。仪表设备还与安全联锁系统紧密配合，当检测到异常参数时，立即触发报警并启动应急措施，如切断物料供应、启动泄压装置等，有效降低生产风险，保障人员和设备安全。

1.3 不同生产环节对仪表设备的需求差异

PTA制造各生产环节工艺特点不同，对仪表设备的需求也存在显著差异。在氧化反应环节，由于反应体系具有强腐蚀性、高温高压的特点，要求温度仪表具备耐高温、耐腐蚀性能，如采用特殊材质的热电偶或热电阻；压力仪表需选用抗腐蚀的隔膜压力表，以防止醋酸等介质对仪表的侵蚀。加氢精制过程中，对氢气等易燃易爆气体的流量控制要求极高，需配备高精度、高可靠性的质量流量计，并具备防爆功能。结晶分离阶段，为准确监测结晶器内固液两相的状态，需要使用浓度计、液位计等仪表，其中液位计应能适应高粘度、含晶体颗粒的介质环境，避免堵塞和测量误差。干燥包装环节则更注重物料重量的精确计量，需采用高精度的称重仪表，同时对包装过程中的温度、湿度进行监测，确保产品在适宜环境下储存和运输。

2 PTA 制造企业仪表设备选型原则与方法

2.1 准确性原则

准确性是仪表设备选型的首要原则，直接关系到生产过程控制和产品质量。在PTA制造中，仪表测量值必须真实反映工艺参数，误差需控制在极小范围内。例如，在氧化反应温度控制中，温度仪表的测量误差若超过±1℃，可能导致反应速率和产品纯度发生变化。因此选型时应优先选择精度等级高、重复性好的仪表，如选择精度等级为0.2级的温度传感器，同时考虑仪表的校准周期和校准方法，确保测量数据的准确性和可靠性，还需结合实际工况，对仪表的量程进行合理选择，避免因量程过大或过小影响测量精度。

2.2 可靠性原则

PTA生产连续化程度高，仪表设备一旦故障将影响整个生产流程，甚至引发安全事故，因此可靠性至关重要。选型时应选择经过市场验证、质量稳定的品牌和型号，

优先考虑具有较长使用寿命和良好售后保障的产品^[2]。对于关键工艺参数的监测仪表,如反应釜的压力传感器、氢气流量控制器等,可采用冗余配置方案,当一台仪表出现故障时,另一台能立即投入使用,保证生产过程不间断。同时需考虑仪表的环境适应性,针对PTA生产中高温、高湿、强腐蚀等恶劣环境,选择具备防护等级高、抗干扰能力强的仪表设备。

2.3 适用性原则

不同的工艺环节对仪表的功能、类型和安装方式有不同要求。例如,在结晶器的液位测量中,超声波液位计适用于清洁液体的测量,但在含晶体颗粒的介质中易受干扰,此时应选择放射性液位计;在气体流量测量方面,对于大流量、低压力的气体,可选用涡街流量计,而对于小流量、高精度测量的氢气,质量流量计更为合适。另外,还需考虑仪表与现有控制系统的兼容性,确保新选型的仪表能够无缝接入生产自动化系统,实现数据的实时传输和集中控制。

2.4 经济性原则

经济性原则要求在满足生产需求的前提下,降低仪表设备的采购、安装、维护和运行成本。在选型时,需综合考虑仪表的价格、使用寿命、能耗以及维护费用。对于一些非关键工艺参数的测量,可选择性价比高的国产仪表替代进口产品,在保证测量精度的同时降低采购成本。应优先选择模块化设计、便于安装和维护的仪表,减少安装调试时间和维护工作量。通过优化仪表配置方案,避免过度选型造成资源浪费,如对于一些波动较小、要求不高的参数,可适当降低仪表精度等级,以降低成本。

2.5 先进性原则

随着自动化和智能化技术的发展,PTA制造企业应紧跟技术趋势,选择具有先进性的仪表设备。先进的仪表设备不仅具备更高的测量精度和可靠性,还能实现远程监控、故障诊断和数据智能分析等功能。例如,采用具备物联网功能的智能仪表,可实时将测量数据上传至云端,通过大数据分析和人工智能算法,预测仪表故障和生产异常,提前采取维护措施,减少停机时间。在选型时,应关注仪表的技术更新换代情况,选择具有发展潜力和升级空间的产品。

3 PTA 制造企业仪表设备性能评价指标体系构建

3.1 性能评价指标的选取原则

构建仪表设备性能评价指标体系时,需遵循科学性、全面性、可操作性和动态性原则。科学性要求指标能够准确反映仪表设备的性能本质和内在规律,如选择

测量误差、重复性等指标评价仪表的准确性;全面性要求指标涵盖仪表设备的各个方面,包括测量性能、可靠性、维护性、经济性等;可操作性要求指标数据易于获取和计算,避免过于复杂的指标设置;动态性则要求指标体系能够适应生产工艺的变化和技术的发展,及时进行调整和完善。

3.2 性能评价指标体系的建立

基于上述选取原则,建立PTA制造企业仪表设备性能评价指标体系。该体系包括一级指标和二级指标,一级指标分为测量性能、可靠性、维护性、经济性和先进性五大类。其中,测量性能的二级指标包括测量精度、重复性、响应时间等;可靠性指标包含平均无故障时间、故障率等;维护性指标有维护周期、维护难度等;经济性指标涵盖采购成本、运行成本、维护成本等;先进性指标则包括智能化程度、数据处理能力等。

3.3 性能评价方法

采用模糊综合评价法对仪表设备性能进行评价,该方法将定性评价与定量评价相结合,能够有效处理评价过程中的模糊性和不确定性。根据评价指标体系构建模糊评价矩阵,邀请行业内具有丰富经验和专业知识的专家对各指标进行打分,专家依据自身的实践经验和理论知识,对仪表设备在各个指标上的表现进行客观评价。然后,结合各指标权重,通过模糊变换计算出综合评价结果。指标权重的确定可采用层次分析法、熵权法等方法,综合考虑各指标在评价体系中的重要程度。根据评价等级标准,确定仪表设备的性能等级。还可运用灰色关联分析、主成分分析等方法对评价结果进行验证和补充,灰色关联分析能够分析各指标之间的关联程度,主成分分析则可以对多个指标进行降维处理,提取出主要信息,从而提高评价的准确性和可靠性^[3]。

4 PTA 制造企业仪表设备性能优化策略研究

4.1 基于设备维护的性能优化

科学合理的设备维护是保障仪表设备性能的关键,在PTA制造过程中,仪表设备长期处于高温、高压、强腐蚀等复杂工况,其性能极易受到影响,因此完善的维护体系不可或缺。建立预防性维护计划时,需综合考量仪表使用频率、工作环境和历史故障数据。对于安装在氧化反应环节的仪表,由于长期接触醋酸等强腐蚀性介质,应将校准周期从常规的半年缩短至三个月,(考虑到正常装置运行时间通常为一年,但在此环境下,建议采用适当的在线校准技术或方法,以确保仪表的准确性,同时减少停机时间)。同时每周检查防腐涂层,一旦发现涂层破损,立即进行修复,避免仪表核心部件被

腐蚀。而在振动频繁的结晶分离生产工艺,针对压力变送器、流量计等仪表,每两周进行一次安装固定情况检查,使用专业的扭矩扳手确保螺栓紧固力度达标,防止因振动导致仪表松动、移位,进而影响测量精度。引入状态监测技术是实现主动维护的重要手段。

4.2 基于技术升级的性能优化

随着自动化与信息技术的飞速发展,新技术为PTA制造企业仪表设备性能提升带来了全新机遇。智能仪表搭载先进的微处理器和传感器技术,具备自动零点校准功能,每小时自动进行一次校准,相比人工校准,精度误差可降低60%,且校准效率提升数倍;量程调整功能可根据实际工况自动适配,无需人工频繁调试。故障自诊断功能更是一大亮点,当仪表出现数据异常、通信中断等故障时,能在10秒内定位故障点,并通过显示屏或网络向运维人员发送详细故障代码和解决方案,极大缩短故障排查时间。远程通信功能则支持通过5G、Wi-Fi等网络,将仪表数据实时传输至企业数据中心,便于管理人员远程监控。先进测量技术的引入同样意义重大,以激光在线粒度分析仪为例,传统离线分析方法需人工取样送检,从取样到获取结果至少需要2小时,且存在样品代表性不足的问题。而激光在线粒度分析仪可安装在结晶器出料口,每秒进行10次测量,实时反馈PTA晶体粒度分布数据。通过与工艺控制系统联动,一旦晶体粒度偏离设定范围,系统立即自动调整结晶温度、搅拌速度等参数,使晶体粒度合格率从原来的85%提升至98%,为PTA产品质量优化提供了强有力的数据支撑,助力企业实现智能化生产。

4.3 基于系统集成的性能优化

在PTA制造中,仪表设备分散于各生产环节,数据孤立,集成工作刻不容缓。构建统一数据平台是集成的核心,其分布式存储架构可稳定采集温度、压力等关键参数数据。借助大数据分析技术,深度挖掘数据关联,例如发现氧化反应釜温度升高1℃且压力波动超0.05MPa时,4-CBA转化率会下降2%。基于此,引入模型预测控制(MPC)算法,能依据实时与历史数据,提前30分钟预测工艺参数变化,自动调节进料量、催化剂注入速度等,使反应维持在最佳状态,产品纯度提升1.5个百分

点。仪表设备的联动控制保障了系统稳定性。如加氢精制环节氢气流量骤降30%时,系统会立即关闭进料阀门、降低氧化单元进料速度,并启动安全检测。通过集成与联动,PTA生产系统运行效率提高20%,异常处理时间缩短50%,有效提升生产的安全性与稳定性。

4.4 基于人员管理的性能优化

在PTA制造企业,人员素质直接影响仪表设备性能。构建系统化培训课程体系是提升人员能力的关键^[4]。理论授课邀请专家讲解仪表工作原理,结合PTA生产实际剖析选型依据;实际操作培训在模拟车间开展温度仪表校准、故障排查等10余个项目,强化员工动手能力;案例分析则选取企业仪表故障导致生产中断的真实事件,组织员工研讨总结经验。同时建立科学的绩效考核制度,将仪表故障率、校准及时率等量化为考核指标,设定每月仪表故障率不超1%等标准,明确奖惩措施。对提前预判并排除重大故障的员工给予奖金和晋升奖励,设立“金点子”机制鼓励员工提出改进建议。某员工提出的腐蚀性环境仪表防护套方案,使仪表寿命翻倍并获5000元奖励。这些举措充分调动员工积极性,形成全员参与仪表设备性能提升的良好局面。

结束语

本文系统研究了PTA制造企业仪表设备选型与性能优化,明确了需求、选型原则、评价体系及优化策略。通过科学选型与优化,可保障仪表设备稳定运行,提高生产质量与效率。未来,随着智能制造技术发展,PTA制造企业应持续探索新技术应用,进一步完善仪表设备管理体系,以适应行业高质量发展需求,增强企业核心竞争力。

参考文献

- [1]李佳.精对苯二甲酸工艺新发展[J].化工管理,2019(29):198-200.
- [2]王健,王飞.浅谈在线化学仪表的常见问题及日常维护[J].科技风,2022,(30).DOI:10.19392/j.cnki.1671-7341.202230019.
- [3]于海鹏,陈来夫.精对苯二甲酸装置中空气流量测量的研究与优化[J].石油化工自动化,2024,60(3):96-97,102.
- [4]王亚龙,李宝英,李秉谦,等.仪器仪表设备计量管理与维修[J].现代制造技术与装备,2020(1):181-182.