

## 硝酸生产中智能化控制系统对安全与效率的影响分析

段 颖

唐山中浩化工有限公司, 河北 唐山 063000

[摘要]文中全面且细致地梳理了硝酸生产所涉及的基本工艺流程,同时也对其在控制方面的需求做了详尽剖析。文中着重探讨了传统控制方式在响应速度、精度以及自适应能力等诸多方面所呈现出的种种局限性。与此还对智能化控制系统的诸多构成要素进行了阐述,这其中涵盖了硬件架构、软件算法核心以及数据采集与通信网络等,另外也对其各自的功能特点予以了说明。从多个不同维度来分析智能化控制系统所带来的积极作用,像实时风险监测与预警、事故应急自动响应、操作规范化以及人为失误的降低等方面,以此来阐述其对安全水平的提升效果。

[关键词]硝酸生产;智能化控制系统;安全;工艺优化

DOI: 10.33142/ect.v3i11.18337

中图分类号: TP3

文献标识码: A

### Analysis of the Impact of Intelligent Control System on Safety and Efficiency in Nitric Acid Production

DUAN Ying

Tangshan Zhonghao Chemical Co., Ltd, Tangshan, Hebei, 063000, China

**Abstract:** The article comprehensively and meticulously outlines the basic process flow involved in nitric acid production, and also provides a detailed analysis of its control requirements. The article focuses on exploring the various limitations of traditional control methods in response speed, accuracy, and adaptability. Furthermore, the various components of intelligent control systems were elaborated, including hardware architecture, software algorithm core, and data acquisition and communication networks. In addition, their respective functional characteristics were also explained. Analyze the positive effects of intelligent control systems from multiple dimensions, such as real-time risk monitoring and warning, automatic response to accidents, standardized operation, and reduction of human errors, in order to illustrate their effectiveness in improving safety levels.

**Keywords:** nitric acid production; intelligent control system; safety; process optimization

### 引言

硝酸作为一种具有腐蚀性、易燃易爆特性的危险化学品,对其储存环境有着严格的要求。传统控制方式主要依赖人工操作和简单自动化仪表,往往存在响应迟缓误差累积和过度依赖人员经验等缺陷,难以应对复杂工艺条件下实时变化的风险因素和效率优化需求。随着信息技术和人工智能技术的飞速发展,智能化控制系统通过融合传感器网络先进算法和高速通信技术,为硝酸生产实现安全高效运行提供了全新的解决方案。在此背景下,提升硝酸存储安全管理效率,以前沿技术实现主动、精准、超前预警报警,建设智能化的硝酸仓储监测预警系统势在必行。

### 1 硝酸生产工艺及控制需求

#### 1.1 硝酸生产的基本工艺流程

硝酸生产所采用的主流工艺是氨氧化法。这种方法包含

好几个连续的步骤,像是氨空混合、催化氧化以及吸收与浓缩等环节。具体来讲,会先把氨气和空气依据一定的比例混合好,然后经过预热器将其加热。之后,在铂铑催化剂的作用之下,并且处在高温的环境当中,就会发生氧化反应,进而生成一氧化氮气体。生成的一氧化氮接着还会与空气当中的氧气进行反应,转化成二氧化氮<sup>[1]</sup>。而这个二氧化氮会被水吸收,从而形成稀硝酸溶液。再通过浓缩塔来提纯,最终得到所需要的浓度的硝酸产品。整个这个流程当中,涉及到十分复杂的化学反应以及物理变化过程,对于温度、压力、流量以及浓度等这些关键的工艺参数,其稳定的控制有着极高的要求。要是出现任何微小的偏差,都有可能致使反应失去控制,或者设备遭到损坏,甚至引发安全事故的发生。

#### 1.2 传统控制方式的局限性

传统控制通常依靠模拟仪表以及手动调节,操作人员

依据仪表盘所呈现的数据,结合自身经验来调整阀门开度或者设备运行状况,此种方式有着不少与生俱来的限制,比如响应速度比较慢、控制精度不高,并且容易受到人为因素的影响,在硝酸生产这样存在高风险的化工环节当中,传统控制很难做到对工艺参数进行实时监测以及动态调整,没办法及时发出针对潜在风险,如温度出现异常或者压力发生波动的预警,使得事故预防的能力有所欠缺,安全方面的问题也频频出现,而且因为控制策略是固定的,并且缺少自适应优化的功能,在生产过程中能源以及物料的消耗往往会处于较高的水平,设备运行效率的提升也受到了限制,整体的生产经济效益并不理想。

## 2 智能化控制系统的构成与功能

### 2.1 系统硬件架构

智能化控制系统所涉及的硬件架构,是由多种不同类型的传感器、执行器、控制器以及通信设备共同构成的。这些设备借助工业以太网或者现场总线技术相互连接起来,进而形成一个分布式的网络,以此达成数据采集与设备控制方面的协同运作。其中,传感器主要承担着实时采集诸如温度、压力、流量以及浓度等一系列工艺参数的任务;而执行器则是依据控制指令来对阀门、泵机还有加热器等设备的状态做出相应的调整;至于控制器,它作为整个架构的核心处理单元,负责运行智能算法并且生成控制策略。在整个硬件架构的设计环节当中,充分考量到了硝酸生产环境所具有的高温、高压以及具备腐蚀性的诸多特点,并且采用了防爆以及防腐材料,从而保证系统能够稳定可靠地运行。

### 2.2 软件与算法核心

软件与算法在智能化控制系统当中占据着极为关键的地位,其涵盖了诸多模块,像数据预处理、模型预测、优化控制以及故障诊断等等。这些模块都是依托机器学习、神经网络还有模糊逻辑这类较为先进的算法来加以开发的。就数据预处理模块而言,它是针对所采集到的原始数据展开一系列的操作,比如滤波去噪以及归一化处理等;模型预测模块会凭借历史数据展开相应的训练,进而建立起工艺过程的数字孪生模型;优化控制模块会依据实时数据来动态地对控制参数做出调整,以此达成最佳的运行状态;而故障诊断模块则是借助模式识别技术来检测设备可能出现的异常情况以及潜在的故障状况。

### 2.3 数据采集与通信网络

数据采集以及通信网络属于智能化控制系统当中的基础设施部分,其主要职责在于把传感器所获取的数据实时地传送到控制器那里,并且要把控制指令下发给执行器。

该网络运用的是分层架构模式,其中涵盖了现场层、控制层以及管理层这三个层级。现场层会借助无线或者有线的方式去连接传感器以及执行器;控制层则是凭借工业交换机来达成数据的汇聚以及处理工作;而管理层能够为人机交互界面以及数据存储功能予以提供。在通信协议方面,选用的是像 Modbus 或者 OPCUA 这样的标准化工业协议,以此来保证数据传输所具备的实时性以及可靠性,并且在设计网络的时候还特意赋予了它冗余以及容错机制,从而能够妥善应对可能出现的通信中断情况。

## 3 智能化控制系统对安全的影响

### 3.1 实时风险监测与预警

智能化控制系统整合了多种高精度传感器以及先进算法,可达成对硝酸生产流程里温度、压力、流量还有气体浓度等关键参数的连续且实时的监测工作。要是察觉到参数出现偏离正常范围的情况,系统会立刻启动多级预警机制。此系统不但对瞬时数值加以监测,而且借助算法剖析参数变化的趋势以及速率,进而针对潜在的风险做出超前的判断。比如说,在氧化反应器的温度以非正常的速率快速上升之时,即便还未达到安全阈值,系统同样会发出早期预警,提醒操作人员去核查。这样一种依据动态趋势展开的预警模式,切实提高了事故预防工作的主动性与预见性,促使安全管理工作从单纯的被动应对转变为积极主动的干预方式。

### 3.2 事故应急自动响应

当侦测到清晰的异常情况或者事故征兆时,智能化控制系统可依照内置的专家知识库以及预设的逻辑树,自动施行一系列按等级划分的应急响应举措。比如说,要是系统确定发生了氨气泄漏事故,它就会自动联动着去关闭上游的进气阀门,同时启动区域内的强制通风装置,并且激活喷淋吸收装置。这一整套响应流程能够在秒级的时间内完成,大幅度地削减了因人员确认以及手动操作而产生的时延。如此这般快速且自动的响应机制,是能够有效地把事故遏制在刚刚冒头的阶段,或者是对其影响范围加以限制的。

### 3.3 操作规范化与人为失误降低

智能化控制系统把标准操作规程融入控制逻辑里,并且配合严格的权限管理以及操作确认机制,有力地推进了生产操作规范化的进程。该系统针对关键操作步骤设置了逻辑互锁以及顺序控制,强制操作人员依照规定来执行。就好比在停炉检修之前,系统规定必须要依次完成降压、降温、吹扫等好几个确认步骤,要是没完成这些步骤,那么后续指令就没办法执行<sup>[2]</sup>。操作规范化进程不断推进,

在技术层面上对操作行为的随意性进行了约束,使得人为失误发生的可能性被大幅压缩。与此系统会针对所有的操作进行不可篡改的日志记录,这不但方便事后的回溯分析,还形成了有效的行为约束。人为失误降低所具有的深层价值就在于把生产安全建立在了一个更为稳固的系统性基础之上,而不是更多地依赖于个体的状态与经验。

### 3.4 设备状态诊断与预防性维护

智能化控制系统会借助部署在关键设备之上的传感器阵列来持续收集振动、温度、电流以及压力等诸多维度的运行数据,并且运用机器学习模型针对这些数据展开深度剖析,以此达成对设备健康状况的实时诊断以及故障预测的目的。比如说,该系统能够通过对离心泵轴承的振动频谱特性加以分析,提前好几周便能够识别出微弱的疲劳损伤迹象,并且生成预警信息。依照这种预测性的诊断结果,系统能够触发精准的预防性维护工单,指导维护人员在计划停机的时间段里完成具有针对性的检修工作,进而防止出现非计划停机的情况。这样从“故障后维修”模式转变为“预测性维护”模式,一方面直接消除了因设备突发故障而引发的次生安全方面的风险,另一方面也大幅度提升了设备运行的可靠性以及其寿命周期。

## 4 智能化控制系统对效率的影响

### 4.1 工艺参数优化与自适应调整

智能化控制系统凭借其强大的实时计算以及优化算法,可针对硝酸生产全流程的工艺参数展开动态闭环优化与自适应调整。该系统把提升综合收率或者降低单位能耗当作优化目标,持续微调诸如反应温度、压力、空氨比以及吸收液流量等数量众多且相互关联的参数设定值。就好比在氨氧化这个环节,控制器依据实时反馈的一氧化氮浓度来自适应地调节催化网前的温度与混合气配比,让反应一直处在最佳的动力学区间内。这样一种持续不断的微优化进程,能够让生产装置自动应对原料气组分出现的波动、催化剂活性产生的衰减等一系列内外扰动,进而使整个生产过程稳定在最优的经济曲线附近开展运行。

### 4.2 能源与物料消耗降低

智能化控制系统对生产过程中的能源与物料流加以精准计量并实施平衡控制,由此达成了对消耗情况的精细化管理,并且从系统层面促使消耗得以降低。在能源方面,该系统将热能与动力网络模型予以集成,进而优化蒸汽、电力以及冷却水等公用工程的分配与使用时序<sup>[3]</sup>。举例来讲,会依据各塔器的实时负荷状况,智能地调度蒸汽透平与电机驱动组合,以此使总耗能量降至最小。在物料方面,

借助先进的过程控制算法,可提高反应转化率,同时减少跑冒滴漏的情况。比如在吸收塔里,通过精准把控循环酸的浓度以及温度,能够降低氮氧化物尾气的排放量,进而提升氨的利用率。

### 4.3 生产连续性提升与故障减少

智能化控制系统借助前文所提及的实时监控、预测性维护以及自适应控制等诸多手段,切实有效地减少了计划外停车以及工艺波动的情况出现,进而大幅度提升了生产运行的连续性。该系统可预先协调设备维护与生产计划,把必要的维护活动对生产流程可能产生的冲击降到最低限度,并且其具备的强大抗扰动控制能力可迅速平抑因外界因素引发的工艺波动,维持生产的稳定状态。生产连续性得以提升所带来的直接成效便是装置年有效运行时间得以延长,产能利用率也相应提高了。

### 4.4 管理决策的数据支持

智能化控制系统所构建起来的工厂数据平台,为处在不同层级的管理决策给予了以往不曾有过的数据方面的有力支撑以及更为敏锐的洞察能力。该系统一方面会提供实时的生产数据,另一方面也会给出历史趋势情况,并且还能够凭借数据挖掘的方式生成各式各样的性能指标报表、效率分析报告以及成本核算明细。生产管理人员能够依照这些极为精准的数据报告来识别出生产环节当中的瓶颈所在,去评估技术改造的效果如何,同时还能对排产计划加以优化<sup>[4]</sup>。而企业高层则可凭借汇总之后的效能指标展开更为科学合理的战略规划以及投资决策。这样一种由数据来驱动的决策模式,削减了因经验主义而产生的诸多不确定性,使得各项管理活动变得更加精准且高效。就像管理学家所说的那样,把生产运营从原本那种依靠经验的技艺转变成了一项依据数据的科学,这无疑是工业智能化发展当中极为重要的一项核心要义。

## 5 结束语

智能化控制系统在硝酸生产方面的应用,给安全以及效率带来了颇为深远的影响。借助实时风险监测,能够实现事故应急响应操作的规范化,同时设备预防性维护也得以强化,如此一来,安全水平得到了明显提升。通过对工艺参数加以优化,使能源消耗得以降低,生产连续性也获得了提升,并且还提供了管理决策方面的有力支持,这使得运行效率得到了大幅改善。虽说智能化控制系统在实施进程当中,可能会碰到技术集成成本以及人员培训等诸多挑战,不过它的长期效益以及转型价值是绝对不可以被忽视掉的。在未来的研究当中,需要进一步去探索算法优化

以及系统集成的方法,以此来推动硝酸生产朝着更加智能、更加安全、更加高效的方向不断向前发展,从而为化工行业的可持续发展贡献出自己的一份力量。

#### [参考文献]

- [1]刘元,金戈,闫碧成,等.基于AI视频分析的硝酸铵仓储智能化系统设计[J].现代职业安全,2025(6):21-24.
- [2]王迎春,赵晋华,杨刚,等.四元硝酸盐/ $\text{Ti}_3\text{C}_2\text{Tx}$  复合相变材料的制备及性能研究[J].冶金与材料,2025,45(12):13-15.

[3]王迎春,侯一雷,郭永红.三元硝酸盐/氧化铜复合相变材料的制备及性能研究[J].中国新技术新产品,2025(24):1-4.

[4]李昊泽,吕春蕾,任永刚,等.电感耦合等离子体原子发射光谱法检测铜冶炼烟灰、铜冶炼渣中的 Mo[J].实验与分析,2025,3(4):10-15.

作者简介:段颖(1991.11—),女,河北省唐山市人,汉族,本科学历,化工助理工程师,就职于唐山中浩化工有限公司,从事化工生产(硝酸生产和罐区储运)相关工作。