

自动化控制技术在降低化工企业职业危害中的应用实践

姚轶丽 叶玉芬 徐丹

浙江多谱检测科技有限公司

DOI:10.32629/jsse.v4i2.19954

[摘要] 化工生产过程中的传统人工操作模式易导致作业人员长期暴露于有毒有害物质与粉尘环境中, 职业病发病风险居高不下。本文剖析了自动化改造对削减粉尘逸散、毒物无组织排放及物理因素危害的具体成效, 提出应基于职业健康风险评估科学规划升级路径, 将环境监测数据深度融入分布式控制系统实现多维联动, 并关注“人机共融”过渡期操作人员的技能转型与新型健康管理, 以持续提升化工企业本质安全水平与职业健康保障能力。

[关键词] 自动化控制技术; 化工企业; 职业病危害

中图分类号: TS294+.7 **文献标识码:** A

Application of automation control technology in reducing occupational hazards in chemical enterprises

Yili Yao Yufen Ye Dan Xu

Zhejiang Duopu Testing Technology Co., Ltd.

[Abstract] The traditional manual operation mode in chemical production processes often leads to long-term exposure of workers to toxic and harmful substances and dust environments, resulting in persistently high risks of occupational diseases. This article analyzes the specific effectiveness of automation transformation in reducing dust dispersion, unorganized emissions of toxic substances, and hazards from physical factors. It proposes that based on occupational health risk assessment, a scientific planning of the upgrade path should be conducted, deeply integrating environmental monitoring data into distributed control systems to achieve multi-dimensional linkage. Additionally, attention should be paid to the skill transformation of operators during the "human-machine integration" transition period and new health management, in order to continuously enhance the intrinsic safety level and occupational health protection capabilities of chemical enterprises.

[Key words] automation control technology; chemical enterprises; occupational disease hazards

化工生产体系因涉及大量易燃易爆、有毒有害及腐蚀性物料, 长期以来始终是职业病危害防控的重点与难点领域。在传统的工艺运行模式下, 受限于装备水平与控制手段, 生产过程的物料投加、状态调整、指标监测以及设备维护高度依赖人工现场介入。这种密集型的人力作业方式使得操作人员不可避免地长期暴露于化学毒物、粉尘及物理危害因素之中, 导致职业中毒与尘肺病等发病概率居高不下。随着微电子技术、计算机网络与传感测量技术的深度融合, 自动化控制技术在化工领域的应用已从单一参数的局部调节, 跨越至全流程协同控制的全新阶段。将自动化控制技术深度嵌入化工生产各环节, 重构作业流程与劳动组织形式, 已成为化工企业落实职业病危害“源头治理、本质安全”核心理念的必然路径。

1 传统化工生产中职业危害现状与人工干预痛点

1.1 化工企业典型职业危害因素的分布特征

化工生产过程中的职业危害因素呈现出显著的多样性、隐蔽性与伴生性。在固体物料的破碎、筛分与输送环节, 以矽尘、煤尘及其他化学性粉尘为主的悬浮颗粒物广泛弥散, 构成了呼吸系统损伤的主要诱因。在化学反应与物料分离环节, 伴随温度与压力的剧烈变化, 一氧化碳、硫化氢、氯气及各种挥发性有机溶剂以气态形式持续或间歇性逸出, 这些化学毒物因具有脂溶性或强刺激性, 极易通过呼吸道黏膜及受损皮肤侵入人体, 造成多器官器质性损害。此外, 高压流体在管道节流处的放空、大型压缩机组与制冷机组的连续运转, 以及高温反应釜的辐射散热, 共同交织出高强度的噪声与高温热辐射环境, 引发听觉损伤与热应激反应。

1.2 传统人工操作模式下的高暴露风险分析

在缺乏有效自动化隔离的传统作业架构下, 操作人员的职责重心被聚焦于现场。以物料投加为例, 人工拆包倾倒固体原料

时, 粉尘瞬间扬起形成高浓度暴露云团; 采用手动阀门调节反应釜进料流量时, 由于管路系统存在压力脉动, 操作人员需长时间滞留于阀门井或管道密集区, 极易因法兰垫片老化或阀杆填料受损而遭遇有毒物料喷射。在取样分析环节, 传统操作需先通过放空阀泄压, 再打开取样口抽取液态或气态物料, 此过程中物料直接与作业环境大气发生置换, 操作人员首当其冲吸入高浓度挥发气。现场巡检则要求人员按照固定频次穿越高噪声区与高温区, 通过“听、看、摸、闻”等主观经验判断设备状态, 这种强依赖人力感官的干预模式, 使得作业人员实质上充当了工艺系统异常的“第一道屏障”, 导致职业病危害暴露呈现出频次高、时间长、防护难度大的结构性痛点。

2 自动化控制技术降低职业危害的作用机理

2.1 空间隔离机理: 从“现场接触”向“远程控制”转变

自动化控制技术削减职业危害的最直观机理在于物理空间的强制剥离。通过在生产现场部署各类传感器与执行机构, 并在远离危害源的中控室构建分布式控制系统, 操作人员的作业地点由充满毒物与粉尘的生产装置区转移至具备空气调节与新风净化功能的集中控制室。这种空间上的隔离, 实质上切断了职业病危害因素传播链路中的“接触”环节。无论是管廊上的气动调节阀, 还是反应釜底的电动底阀, 其开度变化均由中控室计算后发出数字指令驱动, 人员在物理空间上彻底脱离了有害作业微环境, 从根本上消除了因长期逗留导致的慢性蓄积性中毒风险。

2.2 过程密闭机理: 全流程自动化减少物料无组织排放

职业危害的发生往往源于工艺介质的非预期外泄, 即无组织排放。自动化控制技术通过提升过程控制的精确度, 有效抑制了无组织排放的产生。传统人工手动调节具有滞后性与阶跃性, 容易引起系统压力的骤变, 导致安全阀起跳或密封点瞬间破裂。自动化回路通过比例积分微分算法, 能够根据设定值与实际测量值的偏差进行平滑的连续调节, 维持反应压力与液位的绝对平稳。同时, 在物料输送与转移环节, 采用密闭式自动输送系统配合程序控制, 使得物料在整个流转周期内始终处于封闭的管道与容器内部, 消除了人工倒料、转运带来的敞口暴露面, 从工艺源头大幅压缩了有毒有害物质的挥发与扩散当量。

2.3 预警阻断机理: 安全仪表系统遏制次生危害

化工生产中最为严重的急性职业中毒事件, 多由工艺参数失控引发的灾难性泄漏所致。安全仪表系统作为独立于过程控制的最高层级防护网, 其核心逻辑在于“预见危险并自动阻断”。当前端传感器检测到温度、压力或毒物浓度越过安全临界值时, 安全仪表系统不再依赖人工判断与干预, 而是按照预设的连锁逻辑, 在毫秒级时间内自动触发切断阀关闭、紧急停车或自动泄压导流等动作。这种预警阻断机理将事故消灭在萌芽状态, 有效避免了因工艺失控导致的剧毒物料大规模泄漏, 从而在系统层面杜绝了极端职业病危害事故的发生概率。

3 自动化控制技术在降低职业危害中的应用实践分析

3.1 固体投料与粉体输送环节的自动化改造

固体粉体物料的处理一直是化工车间粉尘危害的重灾区。在自动化控制改造实践中, 针对袋装固体原料, 引入了全自动密闭拆包机与负压投料站。操作人员只需将料袋放置于传送带上, 设备自动完成割刀破袋、物料倾倒入废袋压缩排出。投料瞬间, 连接在料斗上的高负压除尘系统同步启动, 将扬起的粉尘瞬间抽入布袋除尘器过滤, 排风经高效滤筒净化后达标外排, 使投料口区域维持微负压状态, 彻底阻断了粉尘外溢。在粉体输送环节, 淘汰了传统的敞开式螺旋输送与斗式提升机, 全面采用密闭式气力输送系统。通过可编程逻辑控制器精确调节各路压缩空气或氮气的压力与流量, 实现粉料在密闭管道内的悬浮输送, 不仅杜绝了沿途粉尘飞扬, 还消除了机械传动部件的润滑油脂污染。

3.2 危险化学反应环节的先进过程控制系统应用

在精细化工与制药中间体合成领域, 反应过程通常伴随剧烈的放热与多种中间产物的生成。依靠人工手动调节冷却水流量与进料速度, 极易因控制不及时导致反应体系“飞温”, 进而使得未完全反应的有毒原料随紧急放空管线排入大气。引入先进过程控制系统后, 系统构建了包含反应热力学与动力学模型的预测控制架构。该系统能够根据反应阶段的不同, 自动计算并提前预判温度变化趋势, 动态平滑地调整冷媒调节阀开度与原料计量泵转速。通过这种多变量的协同自动寻优, 反应温度的波动范围被严格控制在极小的偏差带内, 从根本上消除了因超温超压导致的物料冲料与放空泄压, 大幅降低了作业区域内刺激性气体与挥发性有机物的瞬时浓度峰值。

3.3 特种取样与现场巡检环节的“机器换人”实践

取样分析是获取工艺数据的必要手段, 也是操作人员面临最高频毒物暴露的环节。通过对取样回路实施自动化升级, 采用密闭式循环取样器替代传统的敞开式取样阀。操作人员在取样时, 只需将带有快接插头的取样瓶插入取样口, 通过操作手柄切换管路内部的三通阀, 反应器内的高温高压物料在密闭状态下经过冷却盘管降温降压后, 直接注入取样瓶中, 整个过程物料不与外界空气接触, 实现“零排放”取样。在厂区巡检层面, 对于高温、高噪声及存在毒气泄漏风险的防爆区域, 部署轨道式智能巡检机器人与四足仿生机器人。机器人搭载高清红外热成像仪、可燃有毒气体检测探头及声音采集阵列, 按照预设路径自主巡航, 将采集到的多维数据实时回传中控室, 完全替代了人工涉险踏线巡检。

3.4 后端包装与仓储物流环节的无人化作业

化工产品的后处理与包装环节往往存在溶剂残留挥发及繁重体力劳动交织的职业危害。在液态产品灌装线, 改造为全自动伺服称重灌装系统, 配合自动理盖、旋盖与贴标装置。灌装枪采用潜入式设计, 深入桶底进行液面下灌装, 配合随液面自动升降的追踪机构, 彻底消除了传统高位瀑布式灌装引发的液体飞溅与静电挥发。灌装完成后, 通过自动导引运输车组成的无人搬运矩阵, 将成品桶自动搬运至立体仓库指定货位。整个仓储物流区域实现无人化运转, 作业人员完全脱离了存在挥发性有机物残

留的包装车间与重型叉车穿梭的物流现场,不仅消除了化学毒物的吸入风险,同时彻底规避了搬运环节导致的肌肉骨骼系统劳损。

4 深化自动化控制技术应用以进一步控制职业危害的实施策略

4.1 基于职业健康风险评估的自动化升级路径规划

企业资源有限,自动化控制改造切忌盲目铺摊子,必须建立以职业健康风险为导向的科学决策机制。在实际操作中,应首先整合历年职业病危害因素检测数据、劳动者职业健康监护异常指标分布情况以及工艺物料的安全数据表,构建全厂职业病危害风险矩阵。针对风险等级处于“重大”或“不可接受”的作业节点,应作为自动化改造的“一号工程”优先投入资金与技术力量实施闭环隔离;对于风险一般的常规作业点,则可采取常规自动化仪表替代与局部排风相结合的策略。通过这种精准画像与分级治理,确保自动化改造投入在降低职业危害方面产生最大化的健康效益。

4.2 打通数据壁垒,分布式控制系统与职业卫生监测系统的融合

当前化工企业普遍存在“工艺控制”与“安全环保监测”两张皮的现象。生产部门的分布式控制系统关注温度压力,而安全环保部门的有毒气体报警器、粉尘监测仪则独立组网。为深化危害控制,必须在底层数据总线层面打通两者壁垒。将作业现场固定式毒气检测仪、粉尘浓度在线监测仪的实时数据,通过通讯协议直接接入分布式控制系统的操作员站画面。在监控界面上,将工艺流程图与职业危害浓度云图相叠加,使操作人员在调整工艺参数时,能够同步直观地看到操作行为对现场微环境毒物浓度的直接影响。当局部区域职业病危害因素浓度出现异常抬升趋势时,控制系统能够自动关联相关工艺参数,辅助定位泄漏源头,实现工艺调整与环境净化的联动响应。

4.3 “人机共融”过渡期的人员技能转型与健康管理体系

自动化控制技术的应用并非简单剥夺岗位,而是推动操作岗位从“体力型”向“智力型”转变。在这一过渡期内,人员管理策略必须同步迭代。在技能转型方面,需建立针对性的培训体

系,将培训重心从传统的阀门操作、现场巡检,转向自动化系统的逻辑解读、异常数据追溯分析以及突发状态下的远程应急处置。更为重要的是,需警惕“人机共融”阶段衍生的新型职业健康问题。由于操作人员转变为长时间坐在屏幕前进行监控,视觉疲劳、颈椎腰椎劳损以及精神高度紧张引发的心理焦虑成为新的职业危害隐患。企业应从人机工程学角度优化中控室工作环境配置,调整监控频次与交接班节奏,并将心理健康评估与骨骼肌肉系统干预纳入新的职业健康管理体系之中。

5 结语

自动化控制在化工企业的深度应用,重构了生产方式与劳动边界,为破解长期困扰化工行业的职业病危害难题提供了革命性的工程解法。从固体投料到危险反应,从密闭取样到无人仓储,自动化通过空间隔离、过程密闭与智能联锁,将职业危害防控由被动的末端防护提升至主动的源头消除。企业应持续探索智能算法与数字镜像技术在工艺优化与风险预警中的深层次应用,推动生产装置向更高维度的“少人化、无人化”演进,最终实现化工生产环境中劳动者职业健康权益的根本性保障。

[参考文献]

- [1]杨明江,明聪.基于模糊PID控制的化工企业锅炉自动化控制方法[J].自动化应用,2025,66(5):37-39.
- [2]韩军林,何平,柯昌全.工控物联网在化工企业生产自动化控制系统中的应用[J].自动化应用,2025,66(12):255-258.
- [3]王小飞.化工自动化控制在化工企业安全管理中的应用[J].化纤与纺织技术,2025,54(1):97-99.
- [4]景迪,孟令波.自动化控制在化工安全生产中的应用[J].化工管理,2025(1):105-108.

作者简介:

姚轶丽(1992--),女,汉族,浙江桐庐人,本科,中级职称,研究方向:职业卫生检测与评价。

叶玉芬(1995--),女,汉族,浙江丽水人,本科,中级职称,研究方向:职业卫生检测与评价。

徐丹(1992--),女,汉族,浙江海宁人,本科,中级职称,研究方向:职业卫生检测与评价。