

化工设备检维修期间职业病高发环节的识别与预防

徐丹 姚轶丽 叶玉芬

浙江多谱检测科技有限公司

DOI:10.32629/jsse.v4i2.19953

[摘要] 化工设备检维修期间系统物理与化学边界的破坏,导致作业环境由稳态转向非稳态,成为急性职业中毒及各类职业病的高发期。本文针对化工检维修作业期间的职业病高发环节,提出通过JSA工具刚性落实作业许可与能量隔离;依托强制机械通风与逆向开启法实施工程阻断;基于毒物特性科学配置特种个体防护装备;建立连续实时气体监测与专科医学救援相协同的应急保障机制的预防控制策略。

[关键词] 化工检维修; 职业病危害; 预防控制

中图分类号: TS294+.7 **文献标识码:** A

Identification and prevention of high-risk occupational disease links during chemical equipment maintenance and repair

Dan Xu Yili Yao Yufen Ye

Zhejiang Duopu Testing Technology Co., Ltd.

[Abstract] During the inspection and maintenance of chemical equipment, the disruption of system physical and chemical boundaries leads to a shift from a steady state to a non-steady state in the working environment, making it a high-risk period for acute occupational poisoning and various occupational diseases. This article focuses on the high-risk links of occupational diseases during chemical inspection and maintenance operations, proposing prevention and control strategies through the rigid implementation of work permits and energy isolation using JSA tools; relying on forced mechanical ventilation and reverse opening methods to implement engineering blockades; scientifically configuring special personal protective equipment based on toxicant characteristics; and establishing an emergency support mechanism that coordinates continuous real-time gas monitoring with specialized medical rescue.

[Key words] chemical inspection and maintenance; occupational hazards; prevention and control

化工生产系统具有连续性强、工艺条件苛刻、物料危险属性复杂等固有特征。在常规运行状态下,完善的密闭化与自动化系统能够有效阻断有毒有害物质向外环境的逸散,职业病危害处于相对可控的稳态区间。然而,当生产装置进入停车检维修周期时,系统的物理与化学边界被人为打破,原有的稳态防护体系瞬间瓦解。检维修作业并非标准化的流水线操作,而是呈现出高度的临时性、动态性与复杂性,大量非常规作业集中爆发。在此非稳态过程中,作业人员不可避免地需要直接或间接接触各类高浓度化学毒物、粉尘及物理危害因素。从历年职业健康监护数据与职业病危害事故调查结果来看,化工设备检维修阶段已成为急性职业中毒、迟发性职业病损甚至人员伤亡事件的高发期。

1 化工设备检维修作业特点及职业病危害特征

1.1 化工设备检维修作业的突出特点

化工设备检维修是对生产装置物理结构及工艺状态的解构

与重构,其作业形态与正常生产截然不同。显著特征之一是边界条件的频繁打破与重建。正常生产时,物料被严格限制在管道与设备内部,而检维修涉及法兰拆卸、人孔开启、管线切割等破坏性动作,直接导致物料暴露面剧增。特征之二是作业环境的极端非标准化。同一套装置内,塔器顶部可能面临高空强风与紫外辐射,而底部暗处则可能存在积水与缺氧;不同设备因残留物料的差异,其周边微观环境呈现高度异质性。特征之三是多工种深度交叉。在有限的平面与空间内,往往同时存在盲板抽堵、动火焊接、脚手架搭设、防腐喷漆等作业,不同工序间的干扰不仅增加了物理碰撞风险,更促成了不同类型职业病危害因素的耦合叠加。

1.2 检维修期间职业病危害的显著特征

与正常生产期间长期低浓度的慢性暴露不同,检维修期间的危害特征集中表现为“三高”。一是隐蔽性与突发性极高。部分设备在停车置换后看似平稳,但内部死角处的沉积物在受到

扰动、升温或遇水后,可能瞬间释放大量高浓度有毒气体,且由于无色无味或气味被其他溶剂掩盖,作业人员极难在第一时间察觉。二是暴露浓度与强度极高。在清淤、内件清理等环节,有毒物质往往以气溶胶或高浓度蒸气形态存在,局部浓度可能超过国家职业接触限值数十倍甚至上百倍,极易突破人体的代偿耐受极限,直接引发急性中毒。三是危害因素叠加效应显著。受限空间内的高温高湿环境会显著加速毒物的经皮吸收,并加剧人体的应激反应;同时吸入刺激性气体与焊接烟尘的混合物,其呼吸道黏膜损伤程度远大于单一因素作用。

2 化工设备检维修期间职业病高发环节识别

2.1 停车吹扫与置换环节

停车阶段的物料退料与吹扫置换是切断危险源的第一步,却也是极易发生大面积职业危害的环节。在退料过程中,若阀门内漏或管线倒流,极易导致易燃易爆及有毒液化气体的意外泄漏。在蒸汽或氮气吹扫环节,高流速气体携带残留物料进入火炬系统或废气收集管网,一旦管网压力失衡,毒气便会从密封薄弱点反窜至现场作业面。更为隐蔽的风险在于“死角置换不彻底”,部分塔盘、盲肠管段或换热器壳程内的重质物料或高沸点溶剂无法被有效吹出,在后续设备开启时形成隐形杀手。

2.2 设备开启与清淤作业环节

这是物理隔离屏障被彻底移除的瞬间,也是职业病危害因素由“潜在”转向“显性”的转折点。当拧开最后一颗塔底入孔螺栓时,设备内外压差可能导致内部残存的有毒气体呈喷射状溢出。清淤作业则是整个检维修周期中高危暴露时间最长的环节。塔器、反应釜及储罐底部的沉积物通常含有硫化物、聚合物、重金属催化剂等复杂成分。在人工使用铁锹、风镐进行清理时,机械扰动会使沉积物中的硫化氢、挥发性有机物剧烈释放,同时扬起高浓度的有毒粉尘。由于清淤作业劳动强度极大,作业人员肺通气量激增,导致毒物与粉尘的吸入量呈指数级上升。

2.3 密闭空间受限作业环节

受限空间历来是职业病死伤事故的“重灾区”。进入塔、罐、容器、地下管廊等受限空间,面临着缺氧与中毒的双重致命威胁。除了前述的残留毒物释放外,受限空间内金属构件的生锈氧化、有机物残留的微生物厌氧发酵,均会持续消耗空间内的氧气,导致氧含量低于19.5%的安全下限。更为棘手的是空间内部的气体分层现象,密度大于空气的硫化氢、氯气等容易沉积在底部,而密度小于空气的可燃气体则积聚在顶部,若仅在人孔中上部进行一次气体检测,极易得出错误结论,导致进入底层作业的人员瞬间陷入窒息或深度中毒状态。

2.4 动火与切割拆除作业环节

动火作业是连接设备拆除与新件回装的关键工序。在涉及旧管线、旧设备的切割拆除中,即使已经过吹扫,管壁内表面附着的微量物料或氧化皮在高温切割下仍会气化。电焊作业本身会产生以氧化铁为主,夹杂锰、铬、镍等金属离子的电焊烟尘,长期吸入具有明确的致尘肺病及锰中毒风险。若动火点周围存

在未完全隔离的含碳氢化合物管线,高温不仅会引发火灾爆炸,其不完全燃烧产生的一氧化碳会迅速在局部区域聚集,导致动火作业人员及监护人员发生急性一氧化碳中毒。

2.5 防腐保温与局部修复作业环节

设备表面的防腐喷漆与保温层修复往往安排在检维修中后期进行。传统的溶剂型防腐涂料富含甲苯、二甲苯、苯乙烯等芳香烃类化合物,这些物质不仅具有强烈的麻醉和中枢神经系统毒性,部分还具有血液系统致癌性。喷漆作业在露天或半露天环境下进行时,受风向影响极大,极易对下风向的其他工种造成交叉毒害。此外,在拆除老旧保温层时,细微的纤维粉尘极易悬浮于空气中,这些人工合成纤维具有耐酸碱性,沉积于肺泡后难以被巨噬细胞清除,长期暴露可引发严重的不可逆间质性肺损伤。

3 高发环节典型职业病危害因素深度剖析

3.1 化学毒物类危害因素

检维修现场的化学毒物呈现出“种类杂、活性强、毒效快”的特点。以硫化氢为例,作为化工行业最常见的剧毒气体,它不仅对眼结膜和呼吸道黏膜具有强烈的刺激腐蚀作用,更能直接抑制细胞色素氧化酶的活性,阻断细胞内呼吸链。在清淤环节高浓度的暴露下,可引发“电击样”死亡。一氧化碳则利用其与血红蛋白结合的能力远超氧气的特性,迅速形成碳氧血红蛋白,导致组织重度缺氧,且中毒后容易遗留迟发性神经精神障碍。对于涉及氯碱、聚氯乙烯生产的装置检修,氯气的强氧化性会对肺泡上皮细胞造成直接烧伤,极易诱发严重的化学性肺水肿与急性呼吸窘迫综合征。

3.2 粉尘类危害因素

检维修期间的粉尘危害往往被化学毒物所掩盖,但其远期致病后果同样严重。电焊烟尘因其粒径极小,能直接穿透呼吸道防御屏障到达肺泡深处,其中的锰离子可穿透血脑屏障进入中枢神经系统,引发类似帕金森综合征的震颤麻痹;六价铬化合物则被明确列为人类致癌物。在催化剂更换、清灰作业中产生的催化剂粉尘,通常负载着铂、钯、镍等重金属活性组分,这些粉尘不仅具有致肺部纤维化作用,还可经呼吸道吸收后导致全身性重金属中毒。

3.3 物理因素类危害

物理危害在检维修中表现为高频次、非持续性的脉冲式暴露。高压清洗机、气动扳手、空压机等临时引入的设备,其产生的噪声往往超出90分贝甚至100分贝,且以高频尖啸为主,极易引起作业人员暂时性听阈位移,长期累积则演变为永久性听力损伤。夏季高温期间,金属塔器外壁受阳光直射表面温度可达60摄氏度以上,而在受限空间内部,通风不畅加上作业人员高强度体力劳动产热,极易形成高温高湿的热应激环境,引发热射病、热痉挛等重症中暑职业危害。

4 检维修期间职业病高发环节的预防与控制策略

4.1 强化管理控制,落实作业许可与风险交底

管理控制是阻断检维修职业病风险的第一道防线,其核心

在于将非标作业转化为标准化流程。必须建立严苛的作业许可分级审批制度,特别是针对受限空间、动火、抽堵盲板等高危作业,坚决杜绝“先作业后补票”或“口头授权”。风险交底不能流于形式的安全宣讲,而应引入工作安全分析工具,由工艺技术员、安全员与作业班长共同在现场实地逐步拆解作业流程,精准辨识每一个步骤可能释放的职业病危害因素。在能量隔离方面,必须将工艺隔离与物理隔离深度结合,不仅要关闭阀门,更要在拆开设备的第一道法兰处插入符合压力等级的盲板,并建立盲板台账,确保能量彻底隔离,防止残余物料在检修过程中反窜。

4.2 强化工程控制,推行隔离与通风排毒技术

在管理措施难以完全消除危害的场所,工程控制必须迅速补位。对于设备开启环节,应推行“逆向开启法”,即先松开顶部螺栓,利用设备内部残余正压泄放毒气,确认无异常后再对称拆除四周螺栓,避免物料直接对准作业人员面部喷发。在清淤与受限空间作业中,强制机械通风是降低毒物浓度的最有效手段。通风系统的设置需经过流体力学测算,送风口应设置在作业点上游清洁区,排风口应设置在下游污染区,避免形成气流短路或涡流死角。对于进入极度危险区域的作业,有条件的企业应推广使用长管呼吸器供气系统或移动式正压送风头罩,将作业人员的呼吸与有毒环境完全物理隔离。

4.3 强化个体防护,科学配备与使用特种防护装备

个体防护装备是保护作业人员生命安全的最后一道屏障,其选型错误或使用不当等同于形同虚设。在清淤、受限空间等存在未知高浓度毒气的环节,严禁使用过滤式防毒面具,必须强制配备正压式空气呼吸器,并由专业气防人员现场监测气瓶压力。过滤式防毒面具的使用必须基于明确的毒物种类与浓度监测数据,精准选配对应型号的滤毒盒,并严格遵守更换时间表,防止滤毒盒吸附饱和后发生“穿透”导致中毒。针对防腐喷漆作业,除了呼吸道防护,还必须配备防化学渗透的连体防护服、丁基橡胶手套及护目镜,切断甲苯、二甲苯等亲脂性毒物的经皮吸收途径。防护装备的穿戴与脱卸过程同样需要规范培训,防止在脱卸沾染污染物的防护服时发生二次暴露。

4.4 强化应急保障,完善现场监测与医学救援机制

动态的检维修现场必须匹配动态的监测与应急响应体系。气体检测必须从“单点定时检测”升级为“连续实时监测”。在受限空间作业时,不仅要配备泵吸式四合一气体检测报警仪,还应将传感器探头延伸至空间底部、中部和顶部分层布置,并与外部监护终端联动。一旦触发报警阈值,必须立即启动撤离程序。现

场必须常备与潜在危害相匹配的应急救援器材,如抗溶性泡沫、堵漏工具、便携式氧气呼吸器及解毒药品。医学救援方面,企业应建立与具备化学品中毒救治能力的定点医院之间的绿色通道,在检维修前将现场物料的安全数据表同步至医院,确保在发生急性职业中毒时,临床科室能够迅速明确毒物靶器官并采取精准的血液净化或特效药物干预,最大程度挽救生命并减少后遗症。

5 结语

化工设备检维修期间的职业病防控,是一场与隐蔽性、突发性危险因素激烈博弈的系统工程。高发环节的精准识别是前提,它要求管理者穿透工艺表象,洞察物料在非稳态下的释放规律;而多维度的预防控制策略则是落脚点,必须将管理制度的刚性、工程技术的有效性及个体防护的可靠性深度融合。随着化工产业向大型化、复杂化方向演进,传统的依赖人海战术与经验主义的检修模式已无法满足职业健康的高标准要求。未来,化工企业需加速引入物联网气体传感网络、智能穿戴生命体征监测设备以及远端遥控清淤机器人等先进技术,推动检维修作业由“人在回路中”向“人机协同、机器替人”转变,从根源上剥离人与职业病危害因素的直接接触,方能在保障装置长周期稳定运行的同时,筑牢劳动者生命健康的坚固堤坝。

[参考文献]

- [1]蔡少鸿.化工企业主要职业病危害因素及防治策略[J].石化技术,2025,32(6):310-312.
- [2]李丹莹.石油化工企业的职业病危害因素及控制措施[J].中国石油和化工标准与质量,2025,45(18):143-145.
- [3]邬永利,高艳.煤制甲醇化工项目职业病危害因素识别检测及防控讨论[J].内蒙古石油化工,2024,50(11):37-40.
- [4]高鹏.煤化工行业职业病防治技术研究与应用[J].化工管理,2024(31):110-112.
- [5]沈明志.某化工企业聚氨酯树脂项目职业病危害控制效果评价[J].劳动保护,2024(11):84-86.

作者简介:

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。

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。