

化工管道泄漏检测与修复管理提升探讨

洪旭鹏（中石化（天津）石油化工有限公司，天津 300000）

摘要：管道泄漏检测与修复技术是目前治理挥发性有机物无组织泄漏控制的一项实用技术，目前已广泛应用于石油化工企业。本文近乎全面论述了开展泄漏检测与修复工作的管理方法与提升手段，从受控密封点识别与建档、现场检测、泄漏认定、泄漏修复、质量管控与提升等管理方面着手，对挥发性有机物气体泄漏的现场检测进行了探讨和研究，可为石化企业开展管道泄漏检测与修复工作管理与提升工作提供借鉴，并对促进密封点泄漏“早发现、早治理”和环境质量改善有着重要意义。

关键词：管道；泄漏检测与修复；泄漏点

1 引言

近年来，我国环保管理形势日趋严峻，挥发性有机物（简称 VOCs）是石油化工行业主要气体排放源之一，其中设备和管道密封点无组织排放约占其总体排放量的三分之一以上。管道泄漏检测与修复（简称 LDAR）技术是化工管道上法兰、阀门等密封点挥发性有机物泄漏治理的一项有效且实用的技术，主要是通过通过对涉及 VOCs 的密封点定期检测，对泄漏点及时维修，从而减缓或消除泄漏，控制排放量。欧美国家自上个世纪 80 年代已开始应用该技术，我国技术引进相对较晚，自 2013 年开始在石化企业逐步推行，并逐步向印染、制药等行业拓展。历经多年实践，验证了 LDAR 技术对控制管道密封点 VOCs 泄漏的有效性，但随着技术精细化管理、大数据分析、环保标准规范修订，对 LDAR 技术管理的规范化要求日益严格，石化企业对质量管控与管理工作提升需求迫切。本文从管理实践经验出发，结合国家、行业标准规范和发展趋势，提出了管理流程规范化与工作提升建议。

2 主要管理流程与质量控制

2.1 受控密封点识别与建档

受控密封点指管道组件可能泄漏 VOCs 物料的密封点。企业应组织工艺员、设备员及现场信息采集人员共同开展管道密封点识别与建档工作。首先收集生产装置工艺流程图、物料平衡表、工艺操作规程、管道台账等，通过对装置物料、产品组分和含量分析，筛选出涉 VOCs 受控装置清单。然后，划分出涉及 VOCs 工艺流程上的管道。根据 PFD 和 PID 物料状态辨识、工艺参数可将受控管道组件内 VOCs 物料按照气体、轻液、重液分为三类。按照密封点类型划分，包括阀门、法兰、连接件等共 10 类。

台账建立包括划分群组并编号、密封点标识和编

号、群组和密封点现场信息采集、台账编辑等工作。每个群组编号应有唯一性，采取装置代码加数字的组合方式，“装置代码”共 6 位字符、“数字”共 8 位字符。管道密封点台账的基本信息包括密封点编号、密封点类型、物料状态、公称直径、是否为可达点等内容。

2.2 现场检测

2.2.1 检测人员要求

经过对 15 家以上石化企业调研，目前各企业采用检测队伍形式不一，主要有外委第三方、内部改制队伍和装置员工自测三种，有些合资企业也采用外委与自测相结合的方式。由此，检测人员的技术水平也参差不齐，但至少应通过企业或专业机构组织的技术培训并取得合格成绩，具备相应的技术能力，方可开展装置现场检测。

2.2.2 检测仪器要求

根据《工业企业挥发性有机物泄漏检测与修复技术指南》HJ1230 要求，泄漏检测分为常规检测和非常规检测两种。企业开展常规检测宜配备氢火焰离子化检测仪；开展非常规检测应配备包括但不限于光学、超声、光离子化等原理的设备以及其他可以发现泄漏的仪器，例如红外热成像仪、泄漏超声探测仪、光离子化检测仪等。

2.2.3 检测器材要求

企业应按照规范、标准要求配备检测所需气体，包括但不限于零气、校准气体、高纯氢气；辅助器材宜选配气象仪、防爆相机、群组标识牌和泄漏标识牌。

2.2.4 常规检测要求

除不可达密封点外，应采用常规检测方式检测，主要内容：①检测仪器应进行开机预热，预热时间至少 30min；然后进行气密性检查、仪器零点与示值校

准, 通入零气后读数平均值不应超过 $\pm 3 \mu\text{mol/mol}$, 标准气示值误差不大于 $\pm 10\%$, 方可检测。②雨雪或大风天气 (地面风速超过 8m/s) 不应进行室外检测。③检测前, 在装置现场每套装置每天至少进行一次环境本底值测试, 每次测试在装置边界和中心位置至少取 5 点并取平均值, 作为装置或单元当日环境本底值。④同一密封点包含 2 个及 2 个以上检测部位的, 按最大泄漏检测值记录。⑤将采样探头放置于可能发生泄漏的设备或管线组件相关部位, 并沿其外围以小于 10cm/s 的速度移动, 同时关注仪器读数。如果发现读数上升, 放慢采样探头移动速度直至测得最大读数, 并在最大读数处停住, 停留时间约为仪器响应时间 2 倍, 应记录最大读数。⑥静密封检测, 在确保检测人员安全和仪器不吸入油污、液体的前提下, 采样探头紧贴被测密封点密封边缘。⑦带有绝热层的管道密封点检测, 可对绝热层接缝或密封点暴露外部部分检测。发现疑似泄漏点, 可在安全前提下, 通过拆卸绝热层进一步确认泄漏点。

2.2.5 非常规检测或检查要求

在日常巡检中应采用目视检查方法确认是否泄漏, 在 LDAR 周期性检查中可采用光学检查、超声检查、皂液检查、光离子检测等非常规检测或检查方法对不可达密封点、易泄漏密封点进行检测, 对疑似泄漏点应采用常规检测方法进一步判别泄漏情况。

2.2.6 检测频次要求

连续式生产装置检测频次最低应按照行业污染物排放标准、排污许可技术规范或地方标准执行。间歇式生产装置, 在装置停产期间, 管道内不含 VOCs 物料的, 可豁免检测。其他情况还应满足如下要求: ①直接排放的泄压点泄压后, 应在泄压之日起 5 个工作日内, 对泄压点检测一次。②初次开工运行或检修后的管道组件, 应在开工后 30 日内检测一次。③对于装置上一个检测周期内整体泄漏率大于 0.4% 的气体和轻液阀门、开口阀或开口管线、取样连接系统, 检测频次提高至 1 次/月, 直至完成一轮检测。④重污染天气应急响应期间, 检测频次应按政府要求执行。⑤同一密封点连续三个检测周期无泄漏的, 检测周期可延长且最多延长一倍, 若在后续检测中该密封点再次出现泄漏, 则检测频次恢复标准执行。

2.2.7 检测数据上传要求

检测人员检测结束后应进行仪器漂移误差测定, 通过测试后, 上传企业信息化管理平台, 检测数据台

账显示密封点检测时间要精确到秒。

2.3 泄漏认定

泄漏阈值认定。国家标准、指南中, 可主要参考《石油炼制工业污染物排放标准》GB 31570 中要求的泄漏认定: 有机气体、挥发性有机液体流经的密封点, 采用氢火焰离子化检测仪检测泄漏净值超过 $2000 \mu\text{mol/mol}$; 对于重液点, 检测泄漏净值超过 $500 \mu\text{mol/mol}$ 认定为泄漏超标。企业需从严、从细设定 LDAR 泄漏阈值, 企业执行标准不应低于企业内部控制指标。对于国家、地方、企业标准, 选择其中最严格执行, 目前北京、上海、广州、海南等城市, 最严格密封点标准已控制 $100 \mu\text{mol/mol}$ 以下。

2.4 泄漏修复

2.4.1 泄漏修复时限要求

管道泄漏点应在发现泄漏之日起五日内进行首次尝试维修。首次尝试维修后仍然泄漏的, 除符合延迟修复条件外的, 应在发现泄漏之日起十五日内进行实质性维修并完成修复。延迟修复条件包括: 需在装置停车 (工) 条件下才能修复、立即维修存在安全风险、其他特殊情况共三种。企业应建立延迟修复清单, 并报生态环境主管部门备案。延迟修复密封点应在下次停工检修结束前完成修复。

2.4.2 复测要求

管道泄漏点首次尝试维修或实质性维修后, 应于五日内完成复测。停工检修期间维修的管道延迟修复泄漏点, 在装置开工稳定后十五日内复测。

2.4.3 多次严重泄漏管道密封点整治

严重泄漏点修复后 12 个月内再次发生严重泄漏, 企业应剖析反复泄漏原因, 针对性开展泄漏点治理。

2.5 其他质量控制

①检测过程中发现与现场实际情况不相符的密封点, 包括但不限于密封点遗漏、密封点增多、信息错误、管道信息变更等, 应及时采取密封点变更, 未识别的密封点数不应超过企业现有台账密封点总数的 0.05% 。

②氢火焰离子化检测仪应每年送具有资质的第三方机构定期校准评估并出具报告, 校准项目包括示值误差、漂移误差、重复性、响应时间等内容。

③检测时采样探头在待测设备或装置的相关部位外围移动速度不能过快, 避免漏检最高浓度点。前一个待测源检测结束后转移到下一个待测源检测开始前, 应确认仪器恢复到正常待测状态。

④泄漏密封点修复过程应记录实际维修时间、维

修方法、维修人等信息,做到可追溯。

⑤检测人员可根据装置、平台、管道群组位置进行视频、拍照、打卡等方式记录检测路径,具备条件的采取检测仪器采样探头视频拍照、北斗定位、移动轨迹记录或射频识别(RFID)等方式记录检测路径。涉密装置检测过程在装置人员全程监管下方可实施。

⑥企业应按照规范、标准要求建立密封点台账、检测记录和维修记录等,记录内容可进行电子化管理,密封点及其他记录台账保存时间不少于五年,并根据装置的变更情况定期更新。

3 管理提升建议

3.1 泄漏治理提升

针对反复泄漏的管道密封点,企业要逐项制定针对性维修措施,根本消除泄漏点。

3.1.1 静密封点外部泄漏整治

全面梳理、排查现场静密封点,对发现的泄漏点进行分类、分析,制定针对性整改方案。法兰泄漏主要通过打卡子、更换垫片、定力矩紧固等方法治理;阀门盘根泄漏通过切除更换或紧固进行修复;针对振动或设备基础下沉引起的接管接头应力泄漏,通过测绘调整沉降管线并重新紧固处理;管道本体泄漏通过补板、更换泄漏管段、更换膨胀节等方式处理。

3.1.2 其他密封点泄漏治理

对于密封老化引起的泄漏,采取更换密封或进行升级改造等措施,彻底解决密封泄漏问题。对于振动大引起的泄漏,根本性攻关治理振动超标问题后修复或更换密封;从监测、运行、操作、检修、培训、应急演练等方面建立长效管理机制。

3.1.3 持续抓好前期管理

企业专业技术人员深度参与装置设计及施工源头,依据介质特性、工艺条件等,对管道、阀门、法兰、垫片等材质、规格设计严格审核,避免材质选错或与工况不适应;采购制造环节,加强物资监造和质保管理,从源头控制质量;安装施工环节,注意过程检查和验收记录审查,保证安装施工质量。

3.1.4 泄漏排查治理与 TPM 管理相结合

紧密结合现场“跑冒滴漏”治理,持续开展规范、有效的装置 5S 活动,加大装置现场目视化管理力度,尤其对重点阀门、管线、管廊等部位的标识、泄漏点标识进行检查、完善,实现目视化管理的统一化、规范化。

3.1.5 深入做好管道法兰定力矩紧固应用

管道法兰密封泄漏较为常见,企业可推广应用法

兰定力矩紧固技术,实现螺栓均匀受力,确保法兰密封可靠性,实现“零泄漏、低排放、长周期”。

3.1.6 维保单位深度参与排查整治工作

维保单位将泄漏排查纳入日常巡检内容,发现泄漏问题及时报告所属装置,并积极配合现场消漏。对于工作积极、治理效果好的单位给予奖励,对于工作散漫、不能及时发现漏点问题的单位给予考核。

3.2 智能技术监督

企业可应用物联网、互联网、NFC、单点视频监控等新技术实现管道泄漏检测与修复过程中检测质量的监督检查。

①基于 LDAR 数据信息管理系统配套检测 APP,开发 NFC 扫码检测功能,NFC 扫码检测是一种现代化的泄漏检测与修复方法,可以提高检测效率和数据管理的准确性。每个密封组件匹配一个定位 NFC 标签,组件标签号和 NFC 标签号进行关联,通过检测 APP 开展现场检测时,设置 NFC 扫码模式,通过扫描 NFC 标签牌,获取关联的组件标签号及组件图像和密封点信息,提高密封点查询效率和准确性,以及识别检测人员是否到达密封组件现场。

②应用单点视频监控设备,通过视频监控设备提供的 WIFI 通讯协议,建立检测 APP 与视频监控设备的数据通讯,在开展检测时,对仪器校准、环境本底值检测、管道密封点单点检测实现全程视频录制,进一步监督检测流程合规性,检测行为真实性。建立视频审查功能,可以辅助管理人员进行快速定位问题区域,为后续分析提供直观的数据支持。

4 结语

管道泄漏检测与修复技术的应用,为企业精准查找泄漏源,在保障管道运行安全的同时,控制挥发性有机物料的排放,为企业提供安全、环保、经济的有力支撑。企业应从管道密封点识别与建档、现场检测、泄漏认定、泄漏修复等各方面做好“人机料法环”合规管理,做好现场反复泄漏点的攻关治理,并借助智能技术提升检测监督水平,进一步确保检测工作的真实性。

参考文献:

- [1] 林佳煌.LDAR 技术在石化企业应用的问题与建议[J].当代化工研究,2021(02):12-16.
- [2] 李龙,李凌波,石化企业泄漏检测与修复技术开发与应用[J].当代石油石化,2023(11):125-128.
- [3] 魏自涛,云箭,邹丽蓉等.挥发性有机物泄漏检测与修复管理体系研究[J].油气田环境保护,2019(01):45-47.