

挥发性有机物泄漏检测与修复管理体系研究

魏自涛¹ 云箭² 邹丽蓉¹ 苟进军¹ 姬园¹ 李颖² 王磊³

(1. 中国石油长庆油田分公司第三采气厂; 2. 中国石油集团安全环保技术研究院有限公司;

3. 中国石油集团渤海石油装备制造有限公司)

摘 要 泄漏检测与修复(LDAR)是对工业生产活动中工艺装置泄漏现象进行发现和维修的一种技术。以苏里格气田天然气处理厂装置设备组件泄漏的挥发性有机化合物(VOCs)为例,应用 LDAR 技术开展装置泄漏检测与修复并统计数据,选择适合天然气处理厂的 VOCs 泄漏量核算方法,计算出泄漏损失量,建立了泄漏检测与修复技术管理体系,实现了对无组织挥发性有机物进行长期高效管理,具有较大的环境效益。

关键词 挥发性有机物; LDAR; 管理体系; 光化学; 排放源

DOI:10.3969/j.issn.1005-3158.2019.03.008

文章编号:1005-3158(2019)03-0026-05

0 引 言

挥发性有机物(VOCs)作为 PM_{2.5} 的主要前驱物之一,其排放控制逐渐得到国家、地方政府和社会各界的广泛关注。据相关研究表明,石化行业是 VOCs 主要人为排放源之一,其中无组织排放约占总排放量的三分之一甚至更高比例。设备的无组织排放是无意的损失,可能是由于正常磨损、部件装配不当或不完整、材料规格不充分、制造缺陷、安装或使用过程中的损坏、腐蚀、污染和环境影响造成的^[1-2]。在频繁的热循环、振动或低温环境下,部件的平均排放量往往更大。无组织排放不仅造成环境污染,而且引起原材料的加工损失,并可能引发各类安全事故,对其实施控制是实现 VOCs 减排的重要途径。近年来,国家环保部和地方政府的法律法规相继出台,《中华人民共和国大气污染防治法》要求将 VOCs 纳入监管,部分省市已对 VOCs 实施征收排污费。

1 概 况

1.1 天然气处理厂 VOCs 管理现状

苏里格气田天然气处理厂涉及 VOCs 的生产设施主要有脱油脱水装置、甲醇回收装置、罐区、压缩机房等存在的 VOCs 无组织排放的设备与管线,涉及的排放源主要有阀门、法兰、管道连接设备、泵、压缩机、卸压装置等。天然气处理厂尚未对无组织排放 VOCs 进行管控。

在内蒙古自治区环保厅发布的《内蒙古自治区

2016 年度大气污染防治实施计划》中,苏里格气田 5 座天然气处理厂被列为 VOCs 整治工作重点企业,根据其物料衡算计算结果,5 座天然气处理厂排放量 VOCs 7 550 t/a,减排目标 2 265 t/a,要求开展 LDAR 项目。

1.2 LDAR 技术体系

泄漏检测与修复(LDAR)是指对工业生产全过程物料泄漏进行控制的系统工程。通过固定或移动式检测仪器,定量检测或检查生产装置中阀门等易产生 VOCs 泄漏的密封点,并在一定期限内采取有效措施修复泄漏点,从而控制物料泄漏损失,减少对环境造成的污染。自 20 世纪 80 年代初以来,美国和欧盟通过 LDAR 技术的长期运行管理,大幅降低了化工和石化企业设备管件的 VOCs 无组织排放。美国为控制无组织排放(即阀门、连接器、泵、压缩机等管道部件的排放)实施了 LDAR 计划^[3],形成了较为完善的 LDAR 技术应用体系和管理模式,通过实施 LDAR 技术带来的 VOCs 减排效益显著^[4]。以卡塔尔的工厂 LDAR 项技术应用效果为例,LDAR 项目在的全面推广应用保持了较低的泄漏率,有效地减少了约 97% 的 VOCs 无组织排放^[5]。LDAR 技术已成为目前国际控制 VOCs 无组织排放的最佳可行技术。

根据国家环保部《石化企业泄漏检测与修复工作指南》相关要求,天然气处理厂厂区内流经气体/蒸汽、轻液、重液状态下的 VOCs 所在设备、管道等均需建立 LDAR 组件台账。天然气处理厂 LDAR 体系建

魏自涛,2006年毕业于西安石油大学石油工程专业,现在中国石油长庆油田分公司第三采气厂从事环保技术工作。通信地址:内蒙古自治区乌审旗苏里格气田生产指挥中心,017300。E-mail:wzt_cq@petrochina.com.cn。

设对象为脱油脱水装置、甲醇回收装置、罐区、压缩机房涉及到 VOCs 的区域。天然气处理厂 VOCs 检测的泄漏阈值:气体/蒸汽与轻液为 2 000 $\mu\text{mol}/\text{mol}$;重液为 500 $\mu\text{mol}/\text{mol}$ 。现阶段我国泄漏检测与修复技术尚处于探索阶段,若不实施 LDAR 技术,按照全国各地区 VOCs 排污费收费标准中最低单价 1.2 元/当量计算,将来苏里格气田天然气处理厂每年将缴纳 VOCs 排污费 954 万元。因此需开展 VOCs 泄漏检测来核定天然气处理厂 VOCs 的实际排放量,并通过建立 LDAR 技术管理体系对泄漏点进行控制。

2 LDAR 技术管理体系建设

2.1 资料收集与工艺分析

装置工艺分析的目的是查询装置涉及的全部物料属性,依据“LDAR 适用范围判定原则”,对各工艺单元和设备管线及其物料进行审核和评估,初步确定 LDAR 项目的实施范围。

2.2 图纸分析与核对

图纸分析与核对是在装置工艺分析成果的基础上,结合管线内物质相态的判断,在工艺流程图、管道仪表流程图上将不同类型管道进行彩色标注、管线号标记,并对密封点数进行客观预估。

2.3 排放源定位

在图纸标记的基础上通过挂 Flag 阻燃标记带的方式,对纳入 LDAR 项目的具体管线进行准确定位,并对在现场适用管线上的密封点进行拍照、Flag 标记。即对纳入 LDAR 项目范围的管线,按照工艺流程方向,使用有编号的 Flag 标记带进行标记,针对不同管线使用不同颜色标记,标记原则如表 1 所示,并记录 Flag 号及其对应的所有信息(如管线号、管线内物质等),为建立排放源信息奠定基础。

表 1 排放源标记规范

泄漏源分类	现场 Flag 标记带颜色
气体/蒸汽	红色
轻质液	绿色
重质液	橙色
真空等豁免的管线、设备	蓝色
公用工程等不适用管线和设备	蓝色

2.4 组件挂牌、拍照与描述

将现场采集的每个 Flag 组件信息进行描述,并电子化,建立组件信息台账。信息台账包括组件类型、子类型、标签号、尺寸大小、位置描述和其它信息等。并将这些信息导入到数据库中,同时对每一类合规组件分配法规段。法规段中对各类组件的检测方法、频率、泄漏阈值、维修期限、最小检测停留时间等进行了规定。检测人员根据这些信息,迅速在现场找到检测位置,并对相应的组件进行检测。项目所用 Tag 牌示例、现场图片建档后示例见图 1。



图 1 项目所用 Tag 牌示例、现场图片建档后示例

2.5 确定检测依据及 LDAR 技术泄漏量核算方法

2.5.1 检测依据

结合天然气处理厂生产工艺流程、设备设施等,对目前国内现行的相关标准进行对比分析,最后确定《石化企业泄漏检测与修复工作指南》《泄漏和敞开液面排放的挥发性有机物检测技术导则》、QSH 0546—2012《石化装置挥发性有机化合物泄漏检测规范》及美国环保署(EPA)出台的 Method 21 中规定的检测方法适合苏里格天然气处理厂,并应用相对应的检测方法实施检测。

2.5.2 LDAR 技术泄漏量核算方法

现阶段,中国针对泄漏检测与修复的泄漏量核算方法主要参考 EPA 公布的 4 种核算方法,对石化、化工装置设备及管阀件的泄漏排放量估算主要方法有平均排放系数法、筛选范围系数法、相关曲线方程法、特殊设备相关系数法^[6-7]。不同方法适用范围及优缺点对比见表 2。

表 2 不同方法适用范围及优缺点对比

方法	适用范围	优点	缺点
平均排放系数法	未开展 LDAR 工作或不可到达点。	耗时短	代表性差
筛选范围系数法	用于不可到达法兰或连接件,检测所有管阀件后,分别用 $\geq 10\ 000\ \mu\text{mol}/\text{mol}$ 和 $< 10\ 000\ \mu\text{mol}/\text{mol}$ 的排放系数计算并统计泄漏排放量。	/	仅限于法兰或连接件
相关曲线方程法	检测所有管阀件的 VOCs 浓度后,按经验公式计算并统计泄漏排放量。	同类型组件用同一方程	/
特殊设备相关系数法	采取包装袋方法收集所有密封点的泄漏气量,并分析泄漏气体组成最终计算排放量。	检测结果准确	人力、物力、财力高

目前,相关曲线方程法是国外石化、化工行业常用的计算方法,并且也是环保部出台的《石化行业泄漏检测与修复工作指南》^[8]所用的计算方法。

根据天然气处理厂生产工艺流程、设备设施等生产实际,结合 4 种核算方法应用范围,苏里格气田天然气处理厂 VOCs 排放量实施 LDAR 技术后按平均排放系数法、相关曲线方程法进行综合计算。

2.6 质量控制

为确保现场检测过程的真实性及合规性,从“人、机、料、法、环”等要素进行综合控制,尤其是控制其中的人员、设备等关键点^[9-10]。

2.6.1 严格检测人员检测技能培训

为确保检测数据的有效性,组织了系统的 LDAR 技术管理体系建设及现场检测的培训,培训内容包括 Method 21、《泄漏和敞开液面排放的挥发性有机物检测技术导则》《石化装置挥发性有机化合物泄漏检测规范》《石化企业泄漏检测与修复工作指南》《挥发性气体检测仪、VOCs 红外气体成像仪等仪器使用操作培训》以及《管维-LDAR 软件使用培训》。通过系统的培训,检测人员可熟练使用 LDAR 软件系统进行任务下载及数据上传,并在检测过程中严格遵守操作规范,同时要求泄漏检测人员技能考核合格后方可上岗。

2.6.2 严格遵守操作规范

检测人员现场检测时,严格遵守操作规范,仪器使用之前,对仪器性能进行核查,以确保各项仪器性能指标满足相应规定要求。每日现场检测前和检测结束后,均需对检测仪器进行校准,确保当天检测值有效。各类型组件检测的滞留时间按照表 3 的规定

执行。确保现场检测过程符合规定。LDAR 软件系统正常运行后,应采用现场检测数据采集软件,进行任务下载及数据上传工作,实现现场检测数据电子记录,以确保现场检测数据真实有效。

表 3 检测探头在待检组件的最小停留时间参考

组件尺寸/mm	有阀盖的阀门检测 时间区间单位/s	无阀盖的阀门检测 时间区间单位/s
50	15~25	8~12
100	20~40	10~20
150	25~50	10~25
200	35~60	12~30
300	40~80	20~40
400	50~100	25~50

2.6.3 严格检测设备选型

在天然气处理厂装置中的密封点被分为两类:常规检测点、难于检测点(DTM)。

常规检测点指检测员能用便携式 VOCs 分析仪检测得到的密封点,使用检测仪 TVA-2020。它可实现检测数据的实时采集和通过无线通讯直接上传至 LDAR 项目管理系统平台,还可协助控制检测人员现场检测操作的合规性,如:检测时停留时间不足则检测数据无效。

难于检测点是指由于空间距离、隔离等物理因素或安全因素,难以或无法实施常规检测的密封点,使用非常规检测方法——目视检查。

2.7 现场检测

针对苏里格气田天然气处理厂生产工艺流程、设备设施等,选择出合适的检测方法对脱油脱水装置、甲醇回收装置、罐区、压缩机房等全面实施 LDAR 项目,共计检测 18 920 个常规检测点,84 个非常规点位。根据国家环保部定义的泄漏阈值规定,首次检测结果超过泄漏阈值的共有 85 个,泄漏率为 0.45%,检测值超过 5 000 $\mu\text{mol}/\text{mol}$ 有 33 个,见表 4。

表 4 密封点检测值分布(按组件类型)

检测值区间/ ($\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$)	组件类型				小计
	阀门	法兰	开口 管线	连接 件	
<500	4 768	8 234	505	5 328	18 835
500~999	0	0	0	0	0
1 000~1 999	0	0	0	0	0
2 000~4 999	7	27	13	4	51
5 000~9 999	1	16	5	0	23
10 000~49 999	1	9	1	0	11
$\geq 50\ 000$	0	0	0	0	0
合计	4 777	8 286	524	5 333	18 920

3.3 经济效益估算

根据地方环保局的物料衡算法,苏里格气田5座天然气处理厂VOCs的排放量为7 550 t/a,若不实施完整的LDAR项目,统计19 004个密封点的排放量,用平均排放系数法估算排放量为67.194 t/a,由于苏里格气田实施了完整的LDAR管理体系,因此采用平均排放系数法、相关曲线方程法进行综合计算排放量为6.174 t/a,维修泄漏点后2017年VOCs年排放量达到4.982 t,2017年减排量达到1.192 t。

若参考浙江、江苏规定的VOCs排污收费政策,按照全国各地21省市VOCs排污费收费标准中最低单价1.2元/当量计算,按环保局核算的排放量我厂每年将缴纳VOCs排污费953.68万元,实施LDAR后核算出的排放量,2017年排污费为0.63万元,泄漏修复后节省排污费953.05万元,如表7所示。

表7 经济效益估算

项目	排放量/ (t·a ⁻¹)	2017年VOCs 排污费/万元
物料衡算法(市环保局文件)	7 550	953.68
不实施LDAR(平均排放系数法)	67.194	8.49
实施LDAR,修复前	6.174	0.78
实施LDAR,修复后	4.982	0.63
节约	/	953.05

4 结 论

苏里格气田通过对天然气处理厂开展LDAR项目,实践证明泄漏检测与修复技术是控制企业无组织排放的有效方法。建立LDAR管理体系,对无组织排放VOCs总量减排、改善环境、安全生产、经济效益等具有重要意义。

1)提升了环保管理合规性,降低了行政处罚风险。通过开展LDAR技术管理体系建设,完成了项目建立、现场检测及泄漏修复评估等工作,遵循了《中华人民共和国大气污染防治法》及地方环保部门关于VOCs的管理要求,提升了环保管理合规性,降低了行政处罚风险。同时为地方环保部门将来核定VOCs排污权,制定总量控制政策等提供技术、数据支撑。

2)建立了苏里格气田天然气处理厂VOCs LDAR管理体系。通过应用LDAR技术对天然气处理厂无组织排放气体进行管理,建设了“LDAR数据库管理平台”。该平台与地方环保部门衔接,并根据

LDAR实施技术规范,智能化制定检测工作计划,实现对检测、维修情况进行电子化跟踪和管理,定期出具符合用户需求的相关报告并验证其合规性,可对检测点进行长期高效管理,实现了对检测点的闭环管理。

3)降低泄漏损失量,减少安全隐患,保护环境。VOCs大多是易燃易爆物,且很多都是致癌、致畸、致突变物质,VOCs泄漏会使工作场所产生有毒环境,爆炸环境,检测并修复VOCs泄漏,降低了泄漏损失量,直接改善了岗位员工的工作环境,改善泄漏区域的空气环境,减少了安全隐患,降低了爆炸风险,也保证了安全生产。

参 考 文 献

- [1] 陈璐,张丽娜,周阳,等.挥发性有机物泄漏检测与修复技术规范体系的设想研究[J].环境科学与管理,2015,40(1):5-9.
- [2] CHRIS HORNE, ROGER MEDALLA, JULIUS BACANI. The experience in using LDAR for monitoring fugitive emissions of volatile organic compounds with special reference to rasGas' experience[C]. Proceedings of the 2nd Annual Gas Processing:51-58.
- [3] DAVID E, MIRIAM L O, HAL T, et al. Equivalent leak definitions for smart LDAR (Leak Detection and Repair) when using optical imaging technology[J]. Air & waste management association, 2007, 57: 1050-1060.
- [4] 鲁君,李莉,林立,等.挥发性有机化合物气体泄漏检测与修复技术[J].化工环保,2011,31(4):323-326.
- [5] FARHAN A K, KHALIFA A, KHALID B. Qatargas LDAR Fugitive VOC Emissions Program[C]. Proceedings of the 4th International Gas Processing Symposium: 301-308.
- [6] 原国家环保部.石化行业VOCs污染源排查工作指南[M].北京:中国环境出版社,2015:15-19.
- [7] 陈际雨,彭旭.LDAR技术在氟化工装置泄漏损失评估中的应用[J].浙江化工,2018,49(3):40-44.
- [8] 原国家环保部.石化行业泄漏检测与修复工作指南[M].北京:中国环境出版社,2015:1-23.
- [9] 张晓燕,高飞,吕金雯,等.挥发性有机物泄漏检测与修复技术经验研究[J].环境科学与管理,2017,42(4):138-142.
- [10] 肖安山,姜鸣,丁德武,等.泄漏检测与维修质量控制[J].安全、健康和环境,2014(4):20-22.

(收稿日期 2019-05-05)

(编辑 王蕊)