

# 石化企业 LDAR 管理数字化系统的研发与应用

## Development and Application of LDAR Management Digital System in Petrochemical Enterprises

赵欣梅

Xinmei Zhao

石化盈科信息技术有限责任公司 中国·北京 100007

Petro-Cyber Works Yingke Information Technology Co., Ltd., Beijing, 100007, China

**摘要:** 在对泄漏检测与维修 (LDAR) 技术背景和业务需求分析的基础上, 基于石化企业 LDAR 工作流程进行 LDAR 管理数字化系统的设计与研发, 支持“设备动、静密封泄漏排放清单”的 VOCs 泄漏检测、维修、复测闭环管理, 支撑 VOCs 统计核算与 VOCs 综合整治工作, 形成石化企业 LDAR 管理数字化解决方案, 将该系统应用于某石化集团取得了较好成效, 为石化企业开展 LDAR 工作提供实践参考。

**Abstract:** Based on the analysis of the technical background and professional requirements of leakage detection and maintenance (LDAR), the design and development of the digital system of LDAR management are carried out based on the LDAR workflow of petrochemical enterprises, which supports the closed-loop management of VOCs leakage detection, maintenance and retest of “equipment dynamic and static seal leakage emission list”, supports the statistical accounting of VOCs and the comprehensive treatment of VOCs, and forms a digital solution for LDAR management of petrochemical enterprises. The application of the system in a Petrochemical Group has achieved good results, which provides practical reference for petrochemical enterprises to carry out LDAR work.

**关键词:** LDAR; VOCs; 环境保护; 数字化转型

**Keywords:** LDAR; VOCs; environmental protection; digital transformation

**DOI:** 10.12346/emr.v4i4.6844

## 1 石化企业 LDAR 技术背景

### 1.1 LDAR 技术概述

挥发性有机化合物 (volatile organic compounds) 简称为 VOCs, VOCs 是大气污染物的重要组成部分。石化企业排放的 VOCs 包括有毒有害空气污染物、恶臭污染物及臭氧前体等, 不仅污染大气环境, 也引起加工损失。石化企业 VOCs 排放源主要包括炼化装置设备与管阀件泄漏、各类储罐的呼吸与泄漏、油品装卸逸散、污水处理系统逸散及各类工艺尾气等。炼化装置设备管线、阀门、法兰的密封泄漏等是 VOCs 排放主要来源, 大部分为无组织排放。据美国 EPA 估算, 设备泄漏产生的 VOCs 排放量约占炼油厂原油加工量的 0.01%<sup>[1]</sup>。

泄漏检测与修复 LDAR (Leak Detection and Repair) 技

术是指对工业生产全过程物料泄漏进行控制的系统工程, 采用固定或移动检测仪器, 定性或定量检测生产装置中阀门等易产生泄漏的密封点, 并修复超过一定浓度的泄漏点, 从而控制物料泄漏损失, 减少对环境造成的污染。该技术被广泛应用于石化企业设备及管阀件泄漏的检测与维修, 能够较好地控制 VOCs 排放。

### 1.2 LDAR 技术进展

LDAR 技术在其他国家应用比较早。美国是最早提出对石化行业 VOCs 泄漏排放进行严格要求的, 把 LDAR 技术纳入《清洁空气法》修正案, 美国 EPA 先后颁布了《设备泄漏排放估算协议》(1993 年)、适用于 Smart-LDAR 的 AWP 规范 (2008 年), 全面推行 Smart-LDAR 技术。该技术是传统 LDAR 效率的 4.3 倍, 检测效率大幅提高, 但成

【作者简介】赵欣梅 (1973-), 女, 中国吉林白城人, 博士, 高级工程师, 从事安全环保业务咨询与信息化建设研究。

本却高于传统技术设备十几倍。欧盟将无组织排污确定为 VOCs 控制的重点方向,认为 LDAR 是对管线、设备泄漏等无组织排放 VOCs 的最好控制方法,1999 年开始在成员国实施 LDAR 技术。国际上认同美国 EPA Method21 法作为 LDAR 工作模式,并用作检测标准方法。

中国石化行业 VOCs 排放是工业点源中的最主要的污染源之一,对 LDAR 技术引进从 21 世纪开始,得到了企业重视并有所应用<sup>[2]</sup>。2013 年,国务院颁布《大气污染防治行动计划》,要求石化企业实施 VOCs 综合整治并开展泄漏检测与修复(LDAR)技术应用。2014 年生态环境部发布《石化行业挥发性有机物综合整治方案》,并陆续颁布《石化行业 VOCs 污染源排查工作指南》《石化企业泄漏检测与修复工作指南》等,在全国石化行业全面开展 LDAR 工作。李亚雯等<sup>[3]</sup>分析了 10 家炼化企业的 LDAR 工作情况,通过 LDAR 技术实施实际减排率为 47.4%,表明对 VOCs 的减排效果明显。

## 2 石化企业 LDAR 管理系统研发

### 2.1 需求分析

依据《石化企业泄漏检测与修复工作指南》,石化企业开展 LDAR 工作流程主要包括项目的建立、现场检测和泄漏维修三个步骤。

#### 2.1.1 项目的建立

项目的建立是对企业涉及密封点的管线、阀门等设备进行资料收集,对设备流经的物料、装置分析,建立密封点台账等工作。对收集的资料进行分析,例如装置和设备的所流经的物料涉及 VOCs 成分则纳入 LDAR 实施范围,将受控密封点按设备类型分类,并对所属不同设备类型的密封点进行计数。按照空间位置和工艺流程可将受控设备划分为多个群组,对每个群组赋予唯一编码,从而建立密封点台账信息<sup>[3]</sup>。

#### 2.1.2 现场检测

现场检测是在项目建立的基础上进行的。LDAR 检测技术主要分为常规检测和非常规检测两大类。常规检测是指采用红外吸收检测仪、氢火焰离子检测仪等仪器直接对设备密封点处的 VOCs 逸散浓度进行检测;非常规检测包括光学检测、皂液检测等方式进行检测<sup>[4]</sup>。对发现的疑似泄漏点后根据规定的泄漏确认条件进行确认,并进行现场标识。

#### 2.1.3 泄漏与修复

泄漏与修复是整个 LDAR 实施过程中真正实现控制和减少 VOCs 排放的关键环节。泄漏点被发现后应及时修复。一般规定首次维修应在发现泄漏之日起的 5 个自然日内进行,首次未修复的应在 15 个自然日内进行实质性修复;对于特殊泄漏点如符合规定可延迟修复。泄漏密封点首次维修或实质性维修后,应在 5 个自然日内完成验证检测(复测);停工检修期间维修的延迟修复泄漏点,应在装置开工稳定后

15 个自然日内复测。

### 2.2 研发目标

石化企业在开展 LDAR 工作中,存在许多现实问题和困难亟待解决,包括 LDAR 引进技术的本土化问题,LDAR 执行过程的合规性问题,检测数据可信度欠缺及海量数据的存储、计算及深化运用问题,引进 LDAR 信息系统的高额投入及运行费用问题等。

因此,需要在学习发达国家成功经验基础上,结合我国石化企业生产经营实际,立足自主研发进行 LDAR 管理系统建设。针对“机泵、阀门、法兰等设备动、静密封处泄漏排放清单”,研究适合我国石化企业生产特点的技术体系和工作方法,实现泄漏检测、维修、复测的闭环数字化管理,支撑石化企业勘探开发、炼油、化工(含煤化工)、销售等企业开展 LDAR 工作。

### 2.3 技术要点

石化企业环保管理系统的数字化升级,首先应打破“管结果”的传统管理模式,向“管过程”转变,纵深到石化企业基层推动“绿色转型”。系统设计拟采用多维数据建模技术,搭建生产单元级污染物产排模型,依据现有环保指标监控、核算、统计规则的锥形优化建模,实现生产单元污染物排放即时跟踪、环保指标监控、统计分析。环保管理系统的工厂模型见图 1。由图 1 可见,工厂模型涵盖炼油、化工装置及废水/气污染治理等类设施,支撑污染源管控业务的运行与核算,包括测量网络层、生产操作层、统计归并层与核算模型层。测量网络层描述真实物理仪表或虚拟仪表,测量点包括在线监测与计量仪表、分析仪器、检测仪器等。生产操作层描述企业装置产排要素与污染源、治理设施的连接关系。统计归并层按业务统计规则及不同统计口径抽象描述环保拓扑逻辑关系。核算模型层描述企业污染产排的核算关系。

### 2.4 功能设计

石化企业 LDAR 管理系统基于 LDAR 工作流程进行结构化建模、功能设计,总体功能架构如图 2 所示。主要包括七个功能模块,分述如下。

#### 2.4.1 体系管理

将 LDAR 管理体系在系统中固化,实现 LDAR 组织机构、培训、法规标准及作业文件的体系化配置与更新。支持企业 LDAR 管理组织机构构建,包括 LDAR 领导小组和基础信息组、现场检测组、泄漏维修组及平台运维组组成的 LDAR 工作小组。支持人员培训管理,包括 LDAR 操作、基础信息采集、现场检测、平台使用等安全教育。

#### 2.4.2 项目建立

实现 LDAR 技术准备工作,包括首轮计划编制、组件筛选与标识、组件信息维护、组件分配法规、首轮项目建立等功能。首轮计划编制支持企业开始检测前的首轮计划编制,以最优检测路径为原则,并对首轮检测情况进行监控。



图 1 石化企业数字化环保管理系统的工厂模型



图 2 石化企业 LDAR 管理数字化系统功能框架

组件筛选与标识实现组件筛选、审核、现场挂牌功能。组件信息维护对已筛选组件的基本信息进行维护更新，支持 PID 图导入。组件分配法规实现组件与法规的匹配、泄漏判断。首轮项目建立实现对首轮检测项目进行完成情况的确认，支持开展后续的现场检测和维修工作。

### 2.4.3 现场检测

支持 LDAR 技术现场实施工作，包括检测计划、检测任务分配、检测仪器校准、检测数据录入、光学气体成像、泄漏提报、确认等功能。

检测计划支持检测计划的编写及发布，包括检测路径、检测密封点、检测人员和时间等，与后续检测自动匹配。检测任务分配由管理人员按照检测计划对应任务推送到具体责任人。检测仪器校准支持仪器校准数据的录入，作为进入检测流程的前置条件。检测数据录入实现手工录入和手持终端自动导入两种检测数据的录入方式。光学气体成像实现限于检测和难于检测点的光学气体成像仪检测记录。泄漏提报对巡检发现的非仪器检测泄漏点进行提报。泄漏确认对泄漏提报的泄漏点进行确认，确认后推送泄漏维修任务单。

### 2.4.4 泄漏维修

当检测到泄漏时，检测人员以维修任务单的形式通知维修人员在规定时间内对泄漏点进行维修，功能包括维修信息

下达、维修数据上传、多次维修及延迟修复等。维修信息下达实现系统根据泄漏情况自动生成维修任务单，并下发维修人员。维修数据上传支持维修人员在完成维修后，将维修情况包括维修时间、维修状态、维修方式等数据录入系统。多次维修及延迟修复实现多次维修和延迟修复密封点状态的展示、跟踪及检测值更新。

### 2.4.5 LDAR 统计核算与效果评估

实现各维度数据统计、查询，包括密封点基础数据、现场检测、泄漏维修情况等，支持数据核算及分析报表生成、提报。基于系统内泄漏量、减排量、维修率、维修及时率等相关 LDAR 业务数据，支持实施效果评估报告的编制及下载。

### 2.4.6 LDAR 看板与综合查询

实现不同维度、不同展示方式的泄漏综合展示，检测任务完成情况跟踪，LDAR 相关政策法规展示、通知公告等。实现培训管理、排放清单、检测内容、泄漏状况、维修状况、排放状况的综合查询。

### 2.4.7 基础数据设置

支持组织机构、作业文件、数据类型、法规标准等维护，实现检测与维修相关参数设置、标准气体管理、计算模型配置、检测路径设置及检测仪器维护等功能。

### 3 石化企业 LDAR 管理系统应用成效

LDAR 管理数字化系统的应用能够有效支撑石化企业在“绿色转型”和践行生态文明中的责任担当<sup>[5]</sup>。该系统支撑了石化企业 LDAR 工作，数字化定义了各级 LDAR 组织与岗位职责，实现了企业 LDAR 工作的过程管控、高效核算评估和透明化监管，实现了 LDAR 工作以数据管理、以数据决策。如某石化集团通过在几十家炼化企业应用该 LDAR 管理数字化系统，在推动“绿色革命”的进程中取得了一定的经验与成效。

#### 3.1 规范 LDAR 管理程序和工作流程

通过 LDAR 管理数字化系统实施，辅助该石化企业完成 LDAR 体系及组织机构的建立，支持海量检测数据的采集处理及复杂的 LDAR 工作流程，建立了以基层检测、检测值逐级汇总、排放量自动计算、泄漏及时预警、维修处置反馈的规范化闭环管理模式，提升了 LDAR 精细化管理水平和工作效率。

#### 3.2 推进挥发性有机物污染防治

系统实施保障了企业 LDAR 数据及法规有法可依、有据可查，推进了挥发性有机物污染防治工作。该石化集团 LDAR 管理系统投用以来，挥发性有机物排放量稳步降低。并通过设置不同组织机构层级的动静密封点排放口径，结合国家相关收费规定对排放收费进行核算，针对收费较高密封点进行整改，减少了排污费缴纳的同时，也降低了加工损失。

#### 3.3 助力空气质量保障，满足政府监管

通过 LDAR 管理系统支撑，保障排放数据有据可查、真实可靠，守住环保依法合规底线，满足国家和地方政府对石化企业泄漏检测及修复工作的监管要求。该石化集团依托 LDAR 系统的协助，很好地完成了近几年重大活动和秋冬季空气质量保障应对工作，保障了北京冬奥会、冬残奥会等特

殊时期的空气质量。

### 4 结论及建议

石化企业 LDAR 管理数字化系统的研发与实施推广，取得了较好的经济效益与社会效益。随着企业 LDAR 管理理念提升，先进数字化技术的不断发展，LDAR 工作及管理系统尚有提升空间。可应用地理信息技术，直观管控 LDAR 工作过程，并实现预警报警；探索基于 RFID 无线射频识别等技术，智能化标识 LDAR 组件信息，实现 LDAR 手持检测仪自动关联密封点，支持现场快速查找定位、精准检测、数据自动上传；可定制 LDAR 检测轨迹，与检测计划关联，支持检测人员轨迹跟踪、回放，规避漏检与违规检测；实现装置 P&ID 图导入及矢量化，自动匹配生成装置密封点台账，与现场检测密封点台账自动校核。

#### 参考文献

- [1] Provost L P, Wetherold R G, Harris G E, et al. Assessment of atmospheric emissions from petroleum refining: Volume 4. Appendices C, D, and E Final report Mar 76-Jun 79 1980[R].
- [2] Epperson D, Lev-On M, Taback H, et al. Equivalent leak definitions for Smart LDAR (leak detection and repair) when using optical imaging technology[J]. Journal of the Air & Waste Management Association, 2007, 57(9): 1050-1060.
- [3] 李亚雯, 陈杨欢, 张钢峰, 等. 化工行业设备泄漏检测与修复项目典型案例研究[J]. 上海化工, 2017, 9(42): 22-25.
- [4] 张钢峰. 泄漏检测与修复(LDAR)技术在国内外的应用现状及发展趋势[J]. 环境工程学报, 2016, 10(9): 4621-4627.
- [5] 牟雪江. 绿色转型“担当”——我国三大石油公司积极构建可持续能源供应体系[J]. 中国石油企业, 2016(6): 26-31.