

# 泄漏检测与修复技术在某石化厂的应用研究

孔祥军\*, 王教凯, 谢源, 庞博胜

(海油总节能减排监测中心有限公司, 天津 300452)

**摘要:**采用泄漏检测与修复(LDAR)技术对某石化厂的聚丙烯装置、甲乙酮装置、MTBE 装置和气质装置开展全面泄漏检测和统计分析工作,发现泄漏密封点 287 个,泄漏率 1.07%,其中修复 209 个,修复率 72.8%;修复后 VOCs 排放量为 28.2919 t/a,减排率为 37.6%。通过实施 LDAR 技术,减少了 VOCs 排放,取得较好的经济效益和环境效益。

**关键词:**泄漏检测与修复;石化厂;挥发性有机物

**中图分类号:**X506

**文献标志码:**A

**文章编号:**0253-4320(2018)03-0210-04

**DOI:**10.16606/j.cnki.issn 0253-4320.2018.03.047

## Study on application of leakage detection and repair technology in a petrochemical plant

KONG Xiang-jun\*, WANG Jiao-kai, XIE Yuan, PANG Bo-sheng

(CNOOC Energy Conservation & Pollution Reduction Monitoring Center Co., Ltd., Tianjin 300452, China)

**Abstract:** In order to find and decrease leakages in a petrochemical plant, the leakage detection and repair (LDAR) technology is used to perform overall leakage detection and statistics analysis on a petrochemical plant's production facilities of polypropylene, methyl ethyl ketone, MTBE and gas separation. As a result, 287 sealing points that happen leakage are found, the overall leakage rate is 1.07%. Of which, 209 leakage points have been repaired by LDAR, with repair rate of 72.8%. The VOCs emission amounts to 28.2919 tons per year after these repairs, and the emission reduces by 37.6%. Through the implementation of LDAR, the VOCs emissions in this petrochemical plant are reduced, and good economic and environmental benefits are achieved.

**Key words:** LDAR; petrochemical plant; volatile organic compounds

石油化学工业是指以石油馏分、天然气等为原料,生产有机化学品、合成树脂、合成纤维、合成橡胶等的工业<sup>[1]</sup>。石化厂生产装置在运行过程中,设备的动静密封点会因泄漏而产生挥发性有机化合物(volatile organic compounds, VOCs)的无组织排放,一方面造成生产原料和产品的损失,另一方面 VOCs 是形成颗粒物(PM<sub>2.5</sub>)、臭氧(O<sub>3</sub>)等二次污染物的重要前体物<sup>[2-3]</sup>。

泄漏检测与修复技术(leak detection and repair, LDAR)是使用便携式挥发性有机气体检测仪器,定量检测装置和设备的阀门、法兰、泵、连接件、开口管线、压力释放设备或取样连接系统等组件,发现泄漏并在规定时间内修复泄漏处,达到控制 VOCs 的泄漏,降低物料损失,减少环境污染的目的。

经过几年的探索、研究和实践,我国 LDAR 技术要求和管理体系日趋完善,环保部相继颁布了《挥发性有机物排污收费试点办法》、《石化行业 VOCs 污染源排查工作指南》(环办[2015]104号)和《石化行业泄漏检测与修复工作指南》(环办[2015]104

号)等法规,大部分相关企业已经开展 LDAR 工作,国家管控 VOCs 的排放进入了一个新的阶段。

本文中中海油某石化企业的 10 万 t/a 聚丙烯装置、3 万 t/a 甲乙酮装置、5 万 t/a 甲基叔丁基醚(MTBE)装置和 20 万 t/a 气质装置开展 LDAR 工作,对大量数据进行统计,并分析各装置密封点的泄漏率、修复率、VOCs 排放量、VOCs 减排量等。

### 1 泄漏检测与修复工作流程

泄漏检测与修复的主要流程包括密封点基本信息建立、现场检测、泄漏维修、信息系统建立 4 部分。①根据企业实际情况,现场调研并收集相关资料,如物料平衡表、PID 图、操作规程、设备台账等,通过分析工艺流程、介质类型,剔除不需要开展 LDAR 工作的组件,采用中海油企业编写的组件识别指南(图像法)对需开展的组件进行识别、编码、建档;②制订泄漏检测方案,对已建立的密封点档案,按照一定顺序,使用便携式挥发性有机气体分析仪进行检测,记录检测结果;③对超过泄漏定义的密封点挂警示

信息牌,在规定时间内开展泄漏维修,修复成功的泄漏密封点摘牌记录,对于延迟修复的泄漏密封点说明原因;④建立 LDAR 信息管理系统,将检测结果导入 LDAR 信息管理系统管理平台,通过管理系统统计、分析检测数据,如泄漏率、修复率、VOCs 排放量、VOCs 减排量等,最终编写相关分析报告,完成材料归档管理。

## 2 仪器与计算方法

仪器:TVA2020C 有毒挥发气体分析仪;FLIR GF320 红外成像仪;Excaml600 防爆数码照相机。

VOCs 排放量计算方法:采用《石化行业 VOCs 污染源排查工作指南》(环办[2015]104号)附录1中相关方程计算 VOCs 排放量,装置的运行排放时间按 8 760 h 计算。

## 3 结果与讨论

### 3.1 密封点数量统计分析

#### 3.1.1 各装置密封点数量统计

某石化厂各装置密封点数量统计情况如表 1 所示。

表 1 各装置密封点统计

装置名称	图像档案数/张	密封点数量/个	可达密封点数量/个	不可达密封点数量/个
聚丙烯装置	821	6603	6567	36
甲乙酮装置	1352	12715	12649	66
MTBE 装置	357	1722	1702	20
气分装置	854	5787	5669	118
总计	3384	26827	26587	204

注:不可达密封点是指,由于物理因素、安全因素或环境因素导致检测仪器无法检测到的密封点。

(上接第 209 页)

因此,催化裂化系统压力的确定,在工程设计时应有一个优化。

## 5 结论

(1)在反应时间不变条件下,反应压力增加,转化率和汽油产率单调减少,焦炭产率增加、汽油辛烷值下降。反应压力由 0.125 MPa 升至 0.243 MPa,转化率下降 4.85 个单位,汽油产率降低 3.07 个单位,焦炭产率增加 1.71 个单位,汽油 RON 下降 1.2 个单位。说明对催化裂化反应而言,适当降低反应压力是有利的。

(2)系统压力提高有利于降低催化裂化装置能

耗。由表 1 可知,某石化厂各生产装置,共建立图像档案 3 384 张,密封点共 26 827 个,其中可达密封点 26 587 个,不可达密封点 204 个。检测中,可达密封点采用 TVA2020C 有毒挥发气体分析仪进行检测,不可达密封点采用 FLIR GF320 红外成像仪进行检测。

#### 3.1.2 不同密封点类型数量统计

由表 2 可知,所有装置法兰、阀门和连接件的密封点数量最多,分别为 11 053、9 163、5 034 个,各占密封点总数的 41.2%、34.1%、18.8%。

表 2 各装置不同组件密封点数量统计

密封点类型	密封点数量/个	所占比例/%
阀门	9163	34.1
法兰	11053	41.2
连接件	5034	18.8
开口管线	1052	3.91
取样连接系统	20	0.07
泵	151	0.60
压力释放设备	354	1.32

#### 3.1.3 密封点介质数量统计

由表 3 可知,所有密封点流经介质中,大部分为轻质液,共有密封点 23 010 个,占 85.5%,其次是气体介质,共有 3 817 个,所有装置流经介质无重质液。通过统计,开展 LDAR 4 套装置中,大部分介质为气体和轻质液,介质中的 VOCs 较易挥发,组件发生泄漏的可能性较大。

表 3 密封点流经介质类型统计

流经介质	密封点数量/个	所占比例/%
轻质液	23010	85.8
气体	3817	14.2

耗。系统压力由 0.125 MPa 升至 0.243 MPa,系统能耗减少 176 MJ/t。

(3)产品分布与能耗影响催化裂化装置综合经济效益,较低的反应压力有利于提高综合经济效益。

## 参考文献

- [1] Blanding F H.Reaction rates in catalytic cracking of petroleum[J]. Ind Eng Chem,1953,45(6):1186-1193.
- [2] Wollaston E G,Haffin W J,Ford W D,et al.FCC model valuable operating tool[J].Oil Gas J,1975,87:87-94.
- [3] 张刚刚.反应压力对催化裂解工艺的影响及反应机理研究[J].炼油技术与工程,2010,40(3):6-9.
- [4] 李秋芝,孟凡东,闫鸿飞,等.催化裂化系统压力对产品分布及能耗的影响[J].石油炼制与化工,2017,47(9):59-62.■

### 3.2 泄漏密封点统计分析

#### 3.2.1 各装置泄漏密封点数量统计

根据《石油化工工业污染物排放标准》(GB 31571—2015)规定,出现以下情况,认定密封点为泄漏点位:有机气体和挥发性有机液体(轻质液)流经的设备与管线组件,泄漏检测值大于等于 2 000  $\mu\text{mol/mol}$ 。

由表 4 可知,本次共检测密封点 26 827 个,发现泄漏密封点 287 个,泄漏率为 1.07%,其中聚丙烯装置泄漏密封点数量最多,为 98 个,泄漏率为 1.48%;MTBE 装置的泄漏率最高,为 2.38%。各装置整体泄漏率偏高,这主要是因为各装置内的介质为轻质液或气体,介质的挥发性较强,容易发生泄漏现象。

表 4 各装置密封点泄漏统计

装置名称	密封点数量/个	泄漏密封点数量/个	泄漏率/%
聚丙烯装置	6603	98	1.48
甲乙酮装置	12715	76	0.60
MTBE 装置	1722	41	2.38
气分装置	5787	72	1.24
总计	26827	287	1.07

#### 3.2.2 不同泄漏密封点类型数量统计

由表 5 可知,各装置的泄漏密封点中阀门、法兰和开口管线的泄漏数量最多,分别为 115、89、64 个,泄漏率分别为 1.26%、0.81%、6.08%,其中开口管线的泄漏率最高,为 6.08%,其次泵的泄漏率较高,为 3.31%。

表 5 各装置不同组件泄漏密封点数量统计

密封点类型	阀门	法兰	连接件	开口管线	泵	压力释放设备
泄漏密封点数量/个	115	89	7	64	5	7
泄漏率/%	1.26	0.81	0.14	6.08	3.31	1.98

#### 3.2.3 泄漏原因分析

通过泄漏检测发现,阀门、法兰和开口管线的泄漏数量较多,阀门通常是因为经过多次启闭操作后,导致填料与阀杆的接触压力降低,预紧力不够且填料松动而导致泄漏;法兰泄漏浓度最大的部位是在密封垫片四周,垫片长期使用后老化、龟裂,以及管道热变形、机械变形、振动等都可能造成密封垫片与法兰端面之间密合不严而发生泄漏;开口管线一般

是由于需要经常进行开闭操作,使用频繁,容易造成阀门磨损、腐蚀等,导致泄漏点较多,通常是由控制阀门内漏造成的;连接件主要泄漏部位为螺纹接头,因螺纹接头长期使用后,螺纹连接处容易被腐蚀而发生泄漏;泵在机械密封处检出的泄漏浓度最大,这是由于机械密封属于动密封,经过长时间运行后,密封环磨损老化等原因会造成密封性能下降,容易发生泄漏。

### 3.3 VOCs 排放量统计分析

#### 3.3.1 不同装置 VOCs 排放量

由表 6 可知,通过泄漏检测,各装置的密封点 VOCs 排放量为 45.027 6 t/a,其中可达密封点 VOCs 排放量为 36.517 8 t/a,不可达密封点 VOCs 排放量为 8.509 8 t/a,其中甲乙酮装置的 VOCs 排放量最高,为 20.025 6 t/a,占有排放量的 44.5%。

表 6 不同装置 VOCs 排放量统计

装置	可达密封点/ ( $\text{t}\cdot\text{a}^{-1}$ )	不可达密封点/ ( $\text{t}\cdot\text{a}^{-1}$ )	小计/ ( $\text{t}\cdot\text{a}^{-1}$ )	所占 比例/%
聚丙烯装置	5.2467	2.0043	7.2510	16.1
甲乙酮装置	17.7070	2.3186	20.0256	44.5
MTBE 装置	8.8269	0.6048	9.4317	20.9
气分装置	4.7372	3.5821	8.3193	18.5
所有装置	36.5178	8.5098	45.0276	—

#### 3.3.2 不同密封点类型泄漏排放量

由表 7 可知(统计的排放量包括可达点和不可达点),阀门的 VOCs 排放量最大,排放量为 20.309 0 t/a,约占 45.1%,其次是法兰和开口管线,排放量分别为 10.687 0、10.103 8 t/a,约占排放总量的 23.7%、22.5%。泵、压力释放设备、连接件和取样连接系统的排放量逐渐递减,其中取样连接系统的排放量最小,仅为 0.0110 t/a,占 0.02%。

表 7 不同密封点类型泄漏排放量统计

密封点类型	聚丙烯装置/ ( $\text{t}\cdot\text{a}^{-1}$ )	甲乙酮装置/ ( $\text{t}\cdot\text{a}^{-1}$ )	MTBE 装置/ ( $\text{t}\cdot\text{a}^{-1}$ )	气分装置/ ( $\text{t}\cdot\text{a}^{-1}$ )	小计/ ( $\text{t}\cdot\text{a}^{-1}$ )	所占 比例/ %
阀门	3.6080	6.5750	3.4380	6.6880	20.3090	45.1
法兰	2.2859	3.8926	3.6208	0.8877	10.6870	23.7
连接件	0.0457	0.0776	0.0167	0.3880	0.5280	1.17
开口管线	0.1090	7.4916	2.2176	0.2856	10.1038	22.5
取样连接系统	0.0007	0.0055	0.0048	0	0.0110	0.02
泵	0.0489	1.9506	0.1094	0.0621	2.1710	4.82
压力释放设备	1.1528	0.0327	0.0244	0.0079	1.2178	2.70

### 3.4 泄漏修复情况统计分析

维修人员对 287 个泄漏密封点进行不停工维修,首次维修成功的密封点记录、存档,首次维修未成功的在规定时间内进行再次维修,再次维修不成功的密封点录入延迟维修名单,并写明原因。主要泄漏密封点维修措施见表 8<sup>[3]</sup>。

表 8 泄漏密封点维修措施

密封点类型	维修措施
连接件	扭紧螺帽、螺母;重新缠绕密封生料带或涂抹密封胶;更换管帽、丝堵
开口管线	关闭末端阀门、管线末端安装盲板、丝堵或管帽
法兰	扭紧螺栓螺母;更换法兰垫片
阀门	扭紧压盖和压板螺栓上的螺母;增加预紧力
泵	扭紧螺栓螺母;更换密封件
压力释放设备	调整螺栓预紧力;更换密封垫

#### 3.4.1 各装置泄漏密封点修复统计分析

由表 9 可知,通过泄漏维修,各装置共修复 209 个密封点,修复率 72.8%,其中聚丙烯装置修复密封点数量最多,为 78 个,修复率为 79.6%,其余未修复的密封点已录入延迟维修清单,待厂区进行停工检修时再进行维修。

表 9 各装置泄漏修复情况统计

装置名称	泄漏数量/个	修复数量/个	维修成功率/%
聚丙烯装置	98	78	79.6
甲乙酮装置	76	60	78.9
MTBE 装置	41	21	51.2
气分装置	72	50	69.4
总计	287	209	72.8

#### 3.4.2 不同泄漏密封点类型修复统计分析

各装置不同组件密封点修复情况统计见表 10。

表 10 各装置不同组件密封点修复情况统计

密封点类型	泄漏数量/个	修复数量/个	维修成功率/%
阀门	115	80	69.6
法兰	89	60	67.4
连接件	7	6	85.7
开口管线	64	53	82.8
泵	5	3	60.0
压力释放设备	7	7	100

由表 10 可知,各装置阀门的修复密封点数量最多,共 80 个,修复率为 69.6%,其次法兰和开口管线的修复密封点数量最多,分别为 60、53 个,其中压力释放设备的修复率最高,为 100%。

#### 3.4.3 修复效果分析

泄漏密封点修复后减排量统计见表 11。

表 11 泄漏密封点修复后减排量统计

单元名称	修复前 VOCs	修复后 VOCs	减排量/ (t·a <sup>-1</sup> )	减排率/ %
	排放量/ (t·a <sup>-1</sup> )	排放量/ (t·a <sup>-1</sup> )		
聚丙烯装置	7.2510	3.0994	4.1516	57.3
甲乙酮装置	20.0256	11.2938	8.7318	43.6
MTBE 装置	9.4317	6.4886	2.9431	31.2
气分装置	8.3193	7.4101	0.9092	10.9
总计	45.3193	28.2919	17.0274	37.6

由表 11 可知,通过对泄漏密封点的维修,各装置 VOCs 排放量共减少 17.027 4 t/a,减排率为 37.6%,修复后 VOCs 排放量为 28.291 9 t/a。

## 4 结论

(1)某石化厂 4 套装置共检测密封点 26 827 个,发现泄漏密封点 287 个,泄漏率为 1.07%。通过修复,共修复泄漏密封点 209 个,修复率为 72.8%。

(2)通过计算,修复前各装置 VOCs 排放量为 45.319 3 t/a,修复后 VOCs 排放量为 28.291 9 t/a, VOCs 减排量 17.027 4 t/a,减排率为 37.6%,减排效果比较明显,既降低了物料损耗,又减少了对周边环境的影响。

(3)各装置阀门、法兰和开口管线的泄漏数量较多,设备运行期间要加强对此类密封点的日常管理和维护,并定期开展 LDAR 周期性检测。

## 参考文献

- [1] 环境保护部科技标准司.GB 31571—2015.石油化学工业污染物排放标准[S].北京:中国环境科学出版社,2015:5.
- [2] 张时佳,彭茵,陈璐,等.炼油行业泄漏检测与修复技术实践研究[J].环境科学与管理,2016,41(3):41-44.
- [3] 郑临奥,赵东风,卢磊,等.泄漏检测与修复技术在煤化工烯烃分离装置的应用[J].安全、健康和环境,2016,16(11):31-34.■