

# 石化企业泄漏检测与修复工作指南

## 编制说明

环境保护部环境工程评估中心  
挥发性有机物污染控制工作组  
2015. 10



---



## 一、项目背景

### （一）任务来源

为落实国务院印发的《大气污染防治行动计划》（国发〔2013〕37号）中的关于控制挥发性有机物的相关要求，石化行业 VOCs 污染源排查工作指南》。

2013 年，国务院颁布《大气污染防治行动计划》（国发〔2013〕37号），要求石化行业实施 VOCs 综合整治并开展泄漏检测与修复（LDAR）技术应用。2014 年 12 月，环境保护部发布《石化行业挥发性有机物综合整治方案》（环发〔2014〕177号）。2015 年 10 月 1 日开始试行的《挥发性有机物排污收费试点办法》（财税〔2015〕71号）（财政部会同国家发展改革委、环境保护部颁布），设备动静密封点是 VOCs 排污收费的重要源项。为了落实相关要求，环境保护部委托环境保护部环境工程评估中心编制《石化企业泄漏检测与修复工作指南》。编制过程

### （二）工作启动

在环境保护部环境工程评估中心（简称“中心”）及挥发性有机物污染控制工作组（简称“工作组”）大量前期研究基础上，从 2014 年 12 月开始，由中心组织牵头，从工作组中抽调了中石化、中石油、中海油和斯尼福公司等单位相关人员共同参加起草了本指南。

本指南制定参照 GB/T1.1《标准化工作导则第 1 部分：标准的结构和编写规则》，GB/T1.2《标准化工作导则第 2 部分：标准中规范性技术要素内容的确定方法》要求进行。

### （三）工作过程

“指南”编制启动后，工作组收集了大量国内外泄漏检测与修复有关的资料，并通过认真梳理，初步确定了引用或参考的国内外标准。2014年11月-12月分别到天津大港石化公司和燕山石化公司，分类统计了典型炼油装置（蒸馏、重整）密封点数量，考察企业泄漏检测专业队伍的现场实际操作和LDAR运行状况。听取了石化企业目前开展LDAR的基本情况介绍，共同探讨了泄漏检测与修复项目实施过程中存在的问题和应对策略。

为了广泛了解国内LDAR项目的开展情况，评估中心先后组织相关人员参加了天津市环科院的《泄漏检测与修复项目验收技术指南》等文件论证会（2015年3月12日）、《中国石化LDAR操作与管理手册》交流会（2015年3月6日）和广东省环境保护厅组织的石化行业LDAR示范项目验收暨茂石化湛江东兴石化LDAR工作启动会（2015年1月8日）。同时与开展LDAR技术服务专业公司开展了技术交流，并通过Email与美国EPA标准起草专家针对阀门、机泵密封计数、PID检测数据处理等内容进行了咨询与交流。鉴于国内外LDAR标准法规基本没有涉及设备泄漏维修方法的实际情况，向石化设备专家咨询了石化生产设备常见泄漏故障的维修或处理手段。

在认真听取和分析各地环保部门、石化企业和国外专家对开展LDAR的建议基础上，结合国内石化企业LDAR实施现状，参考《泄漏和敞开液面排放的挥发性有机物检测技术导则》、《石油炼制工业污染物排放标准》等国家标准和国外相关标准法规，初步确定了本指南中的各项内容，形成了《石化企业泄漏检测与修复工作指南》征求意见稿。

2015年5月6日，环保部在其官方网站上发布了本指南的本征求意见稿，在全国范围内公开征求意见。共72个单位或部门反馈意见。其中包括环保部科技标准司等10个司局，环科院等12个直属科研单位，44个地方政府相关部门、中国石化等6家企业。反馈意见共94条，其中采纳73条，占77.7%。2015年7月初工作组向环保部污防司作了征求意见汇总处理情况专题汇报。根据污防司领导的意见，工作组对指南进行了多次讨论、修改和完善，形成报批稿（初稿）。

为了提高本指南的可行性，工作组2015年9月13日和9月16日分别举行了《石化企业泄漏检测与修复工作指南》专家、企业讨论会，两次会上分别征求了11位专家和11家企业代表对工作指南的意见。两次会议共提意见118条，其中采纳或部分采纳74条，占63%。增加了LDAR总体流程图、记录和报告内容，删除了一些国内石化企业现阶段难以达到的要求。通过与国外著名环境咨询公司（Sage、Providence等）探讨，确认了某些有争议问题的解决方案，完善了指南报批稿。

#### （四）征求意见稿内容调整说明

##### 1.修改概况

2015年5月6日，环保部在其官方网站上发布了本指南征求意见稿，在全国范围内公开征求意见。共72个单位或部门反馈意见。其中包括环保部科技标准司等10个司局，环科院等12个直属科研单位，44个地方政府相关部门、中国石化等6家企业。反馈意见共94条，其中采纳77条，占82%。2015年7月初工作组向环保部污防司作了征求意见汇总处理情况专题汇报。根据污防司领导的意见，工

工作组对指南进行了多次讨论、修改和完善。

为了提高本指南的可行性，工作组 2015 年 9 月 13 日和 9 月 16 日分别举行了《石化企业泄漏检测与修复工作指南》专家、企业讨论会，两次会上分别征求了 11 位专家和 11 家企业代表对工作指南的意见。两次会议共提意见 118 条，其中采纳或部分采纳 74 条，占 63%。增加了 LDAR 总体流程图、记录和报告内容，删除了一些国内石化企业现阶段难以达到的要求。通过与国外著名环境咨询公司（Sage、Providence 等）探讨，确认了某些有争议问题的解决方案，形成了指南报批稿。

## 2. 主要修改内容及依据

### (1) “涉 VOCs 物料”的引入

征求意见稿中的术语中的受控装置和设备是基于《石油炼制工业污染物排放标准》5.3.2 的规定：“挥发性有机物流经以下设备与管线组件时，应进行泄漏检测与控制”。该标准未明确物料中含 VOCs 含量。因此征求意见稿给出的受控装置和受控设备也没有明确物料的 VOCs 含量。

在首次征求意见中有两份反馈意见（上海市、中石化）提出：指南应明确 LDAR 管控设备或装置的物料含量，提高可操作性，并建议宜 10% 为界，即设备接触的物料中 VOCs  $\geq 10\%$ ，纳入 LDAR 管控。

石化生产装置中有些单元含有微量的 VOCs（例如闪蒸后的酸性气、经过气提后的污水），如果划入 LDAR 实施范围，将大大增加企业的 LDAR 成本，而且由于 VOCs 含量低，控制效率较差。因此，工作组参照美国 EPA 标准 40CFR60 中的“in VOC service”概念，引入“涉 VOCs 物料”。同时变更了“受控装置”、“受控设备”、“受控

密封点”和“受控群组”等术语。

## (2) 不可达点辨识

征求意见稿给出“不可达密封点”定义为：“由于物理或化学因素导致无法定量检测的密封点。物理因素主要包括空间因素（密封点所有部位超出操作人员触及范围2米以上）导致仪器无法检测、保温或保冷等物理隔离、高温或辐射等；化学因素主要是密封点存在可能导致检测人员暴露于危险的有毒有害介质（如H<sub>2</sub>S等）”

反馈意见“化学因素中，对于任何石油化工行业都会有暴露在危险的有毒有害介质中，可能导致任何点都会是不可达密封点，此说法会有争议”

另外，炼油、化工生产工艺或安全要求部分设备或管线需要与外界环境绝热隔离，即进行保温或保冷处理。根据某石化公司的最近统计数据，炼油装置的保温密封点占10%。如果全归于难于检测，估算排放量就会产生较大偏差，难以真实呈现装置的设备泄漏状况。

因此，本指南对“不可达密封点”定义变更为：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。

新定义删除删除了“保温、保冷”，并在项目建立中新增了“不可达密封点辨识”规则，确定了安全因素中的受限空间、易燃易爆、有毒、缺氧富氧和电离辐射等危险边界。

## (3) 密封点检测台账建立

根据反馈意见，对征求意见稿中的“群组标识”等内容进行了充实、梳理，合成为“密封点检测台账建立”。并对群组编码格式重新设置，增加了区域和平台两级，便于删除或添加密封点。

#### (4) 数据处理简化

征求意见稿中的数据处理包含“常规检测数据”、“非常规检查结果处理”和“未检测、检查受控密封点处理”等内容。为了简化数据，便于计算，删除了“非常规检查结果处理”和“未检测、检查受控密封点处理”。

#### (5) 质量保证与质量控制充实

征求意见稿中，LDAR 的质量保证与质量控制分别对“项目建立”、“常规检测”和“泄漏维修”提出了要求。根据专家和企业（9月会议）意见，对前两项内容进行了调整和充实，提高了 QA/QC 的可操作性。其中“项目建立”QA/QC 包括：资料审核，项目建立质量保证（人员职责），密封点台帐审核；“常规检测”QA/QC 包括：检测前准备，检测、检查过程，漂移修正。漂移修正阈值从-25%提高到-10%，与 EPA 控制标准一致。

另外，征求意见稿中，多数条目都需要记录文件，系统性不强，因此，工作组参照 EPA 做法，将记录和报告分别单独描述。

#### (6) 泄漏控制浓度与响应因子的关系

依据《石油炼制工业污染物排放标准》（GB31570-2015）密封点泄漏确认条件为：“挥发性有机液体或有机气体流经的设备与管线组件，采用氢火焰离子化检测仪（以甲烷或丙烷为校正气体），泄漏检测值大于等于 2000  $\mu\text{mol/mol}$ ”。氢火焰离子化检测仪（FID）以甲烷或丙烷为校正气体，检测其他气体时，仪器读数与实际气体浓度在多数情况下并不完全一致，有时甚至会差别较大。EPA《设备泄漏排放评估协议》和本指南对响应因子使用给出了明确的要求。而 EPA 排放标准中的泄漏控制浓度没有涉及响应因子。工作组认为既然泄漏排

放计算考虑响应因子影响了，泄漏认定也应采取统一的原则。

## 二、指南内容和编制依据

### （一）指南结构

指南由石化企业 LDAR 工作流程、项目建立、常规检测、泄漏修复和质量保证与控制等构成等 11 部分构成。为了更好地指导企业有序、规范开展 LDAR 工作，工作组编制了装置编码等 4 个资料性附录，可供相关人员参考。

### （二）引用、参考标准法规

设备泄漏检测与修复起源于美国。早在上世纪七十年代美国石化企业就已经开始检测设备有害物质的泄漏并加以修复，积累了相当的数据和经验。八十年代初开始着手制定和颁布相关控制设备泄漏排放标准，部分标准如《新固定源标准》在本世纪初进行了修订或补充。欧洲等发达国家基本上参照美国 EPA 标准，制定了相应的 LDAR 标准、指南。因此本指南除引用国家或行业相关标准外，主要参考了 EPA40CFR60、61、63。在充分甄别各标准的差异基础上，主要引用或参考了以下国内外标准法规或文件：

《石油炼制工业污染物排放标准》（GB31570-2015）；

《石油化学工业污染物排放标准》（GB31571-2015）；

《泄漏和敞开液面排放的挥发性有机物检测技术导则》（HJ 733-2014）；

《挥发性有机化合物泄漏测定》（方法 21，美国联邦法规 40 CFR part 60，A-7）；

《有机合成工业设备 VOCs 泄漏标准》(美国联邦法规 40 CFR 60 新固定源标准 Subpart VV, 适合 1981 年 1 月 5 日-2006 年 11 月 7 日期间开始建设、改建的装置);

《有机合成工业设备 VOCs 泄漏标准》(美国联邦法规 40 CFR 60 新固定源标准 Subpart VVa, 适合 2006 年 11 月 7 日以后开始建设、改建的装置);

《石油炼制工业设备 VOCs 泄漏标准》(美国联邦法规 40 CFR 60 新固定源标准 Subpart GGG, 适合 1983 年 1 月 4 日-2006 年 11 月 7 日期间开始建设、改建的装置);

《石油炼制工业设备 VOCs 泄漏标准》(美国联邦法规 40 CFR 60 新固定源标准 Subpart GGGa, 适合 2006 年 11 月 7 日以后开始建设、改建的装置);

《设备泄漏排放标准》(有害空气污染物排放标准 Subpart V, 40 CFR 61);

《设备泄漏排放有机有害空气污染物排放标准》(有害空气污染物分类排放标准 Subpart H, 40 CFR 63)。

### (三) 本指南适用范围

根据国外 LDAR 的实施经验, 项目建立是规范后期检测、维修以及数据分析的基础, 美国炼油企业在 LDAR 初期阶段数据不统一造成后期许多数据无法进行统计 (API), 因此本指南特别提出了 LDAR 项目建立、数据格式的要求。同时为了指导企业或第三方机构采取统一 LDAR 流程, 本指南涵盖了泄漏检测与修复全流程的多个要素。包括项目建立、常规检测、非常规检查、泄漏确认与标识、检测频次、数据处理、泄漏修复和质量保证与控制等技术要求等内容。

本指南适用于石油炼制工业、石油化学工业开展设备泄漏检测与修复工作。其它涉及设备 VOCs 泄漏排放工业如煤化工、制药等行业也可参照执行。其中石油炼制工业的界定是根据《石油炼制工业污染物排放标准》的定义，即以原油、重油等为原料，生产汽油馏分、柴油馏分、燃料油、润滑油、石油蜡、石油沥青和石油化工原料等的工业；石油化学工业定义为以石油馏分、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，与《石油化学工业污染物排放标准》一致。

#### （四）术语和定义

##### 1.VOCs 定义

本指南采用了《石油炼制工业污染物排放标准》给出的 VOCs 定义。国内外较为流行的挥发性有机物（VOCs）定义主要可以分为两大类，分别是光化学性质和物理性质两个角度进行定义，其中从物理性质角度的定义有可以分为两种。

以美国 EPA 为代表的定义（以下简称定义 1）从光化学性质角度将 VOCs 定义为除 CO、CO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>、金属碳化物、金属碳酸盐、碳酸铵，任何参加大气光化学反应的碳化合物，并将光化学活性较小的碳化合物列入豁免清单。欧盟国家排放总量指令等也参照美国 VOCs 定义，但只豁免甲烷。

以 WHO 为代表的定义（以下简称定义 2）则是从物理性质角度，根据蒸汽压或沸点对 VOCs 进行定义；以欧盟有机溶剂使用指令为代表的定义（以下简称定义 3）更将其扩展到特定条件下具有相应挥发性的有机化合物。目前我国国内大部分标准的 VOCs 定义均采用了定义 2 或定义 3。

从定义上可以看出,定义 1 涵盖的物质为具有光化学活性的碳化合物(包括部分有机物和 CS<sub>2</sub> 等非有机物);定义 2 涵盖了大部分有机物,但能在高温条件下挥发并排入大气的高沸点有机物则被排除在外,对于炼油等行业显然并不适用;而定义 3 “特定条件下”的含糊概念则基本可以涵盖所有的有机物,基本可以管控住石油炼制工业中挥发到气相中的有机物。

可以看出,定义 1 体现了控制 VOCs 的原因是为了减少大气环境中的光化学反应,从而达到控制环境空气中臭氧形成的目的,进而控制 PM<sub>2.5</sub> 的产生。定义 2 和定义 3 则更注重有机物大气污染源(包括人群健康危害污染源)的控制,关心的是有机物挥发进入大气环境途径和污染源强,与实际的环境空气标准因子之间的联系难以界定,还容易与人群健康、职业卫生的管控领域相重叠,导致管控的目标不明确。

因此,定义 1 能体现污染物控制的针对性,有利于开展污染源的精细化管理,更能体现出环保部提出的将我国环境管理由“以环境污染控制为目标导向”向“以环境质量改善为目标导向”转变的思想,并避免“有机物”和“无机物”划分不够严谨的问题。

## 2.涉 VOCs 物料

《石油炼制工业污染物排放标准》5.3.2 规定:“挥发性有机物流经以下设备与管线组件时,应进行泄漏检测与控制”。该标准未明确物料中含 VOCs 含量,石化生产装置中有些单元含有微量的 VOCs(例如闪蒸后的酸性气、经过气提后的污水),如果划入 LDAR 实施范围,将大大增加企业的 LDAR 成本,而且由于 VOCs 含量低,控制效率较差。

美国《有机合成工业设备 VOCs 泄漏标准》规定接触 VOC 质量分数达到或超过 10% 的物料的设备应纳入 LDAR 管控，多年的实践表明行之有效。炼油和化工装置的 PFD 或操作手册等技术资料一般包括主要管线或设备的物料平衡表，因此采用该方法来划定 LDAR 实施范围相对简易，可行性较强。

另外，为了衡量企业的 LDAR 实施效果，需要计算由于设备泄漏造成的 VOCs 排放量。而目前世界上，多数国家认可的计算方法源于美国 EPA《设备泄漏排放估算协议》。该协议要求设备密封点按照接触物料的状态进行统计或计算。计算过程中物料分为气体、轻液（light liquid）和重液（heavy liquid）三种状态。其中轻液定义为：设备内流体为液体，且蒸气压大于 0.3 kPa（20℃时）的挥发性有机化合物组分占比不低于 20%（重量百分比）。而《石油炼制工业污染物排放标准》的挥发性有机液体定义为：任何能向大气释放挥发性有机物的符合以下任一条件的有机液体：（1）20℃时，有机液体的真实蒸气压大于 0.3 kPa；（2）20℃时，混合物中，真实蒸气压大于 0.3 kPa 的纯有机化合物的总浓度等于或者高于 20%（质量分数）。可以发现“挥发性有机液体”包含了 EPA 定义的“轻液”。为了与国标相一致，本指南提出了包含“挥发性有机液体”的“涉 VOCs 物料”的定义：VOCs 质量分数  $\geq 10\%$  的物料，主要包括有机气体、挥发性有机液体和重液体。同时明确了有机气体和重液体的定义，为 LDAR 受控边界划分提供了基础。

### 3. 严重泄漏密封点

根据 API 对炼油企业多年累积的 1156 万个检测 LDAR 数据分析（见表 1），可以看出，检测值大于等于  $10000\mu\text{mol/mol}$  的数据虽然

只有 0.128%，即平均每 770 个检测数据，才有 1 个数据大于等于 10000 $\mu\text{mol}/\text{mol}$ ，然而其排放量却占到了 83.91%。从国内 9 套乙烯裂解装置普查数据同样可以看出（图 1），检测值大于等于 10000 $\mu\text{mol}/\text{mol}$  的泄漏点排放量占 69%。可见国内外数据有相同的趋势，即检测值大于等于 10000 $\mu\text{mol}/\text{mol}$  的极少数密封点排放量明显高于检测值低于该值的密封点排放量。

因此，本指南提出了将检测值大于等于 10000 $\mu\text{mol}/\text{mol}$  的密封点归于“严重泄漏密封点”，在指南提出了特殊统计报告的要求，与严重泄漏密封点相关的数据可以作为考核装置设备泄漏控制的重要指标之一。

表 1 API 统计炼油企业 LDAR 数据

检测值 ( $\mu\text{mol}/\text{mol}$ )	数据占比 (%)	排放量占比 (%)
0-499	99.58	10.73
500-9999	0.30	5.35
$\geq 10000$	0.13	83.91

图 1 国内部分乙烯裂解装置普查数据

## （五）项目建立

### 1. 不可达密封点

本标准将一些地方标准定义的难于（物理因素）和险于检测（安

全因素)密封点统一归于不可达密封点。国内各地方环保标准或要求有过相关定义或说明。如上海市《设备泄漏挥发性有机物排放控制技术规程》规定难于检测为:高于平台3米及以上才能检测的设备;广东省《广东省泄漏检测与维修制度(LDAR)实施的技术要求》中难于检测的组件指离地面5米以外或离平台2米以外的组件。天津市《工业企业挥发性有机物工业企业挥发性有机物排放控制标准》指不易采用监测仪器进行定量检测的设备与管线组件,包括从地面进行检测时,位于高于地面5m以上的设备与管线组件;或从平台进行检测时,位于高于该平台2m以上的设备。

上述地方标准或要求的共同点在于,难于检测只考虑了高处的密封点,不同之处仅在于高度标准稍有差别。然而难于检测并不只限于高处的密封点,例如部分需要采用临边作业方式才能检测的密封点。因此,本指南规定:超出检测人员的触及范围2m,无论是上下左右的密封点均应归于难于检测,与美国EPA要求一致。

另外,炼油或化工生产工艺或安全要求部分设备或管线需要与外界环境绝热隔离,即进行保温或保冷处理。例如:具有下列情况之一的设备或管道及组成件应予保温:(1)外表面温度高于50℃;(2)表面温度低于或等于50℃但工艺需要保温的设备和管道;(3)介质凝固点或冰点高于最低环境温度的设备和管道;(4)表面温度超过60℃但工艺要求不保温的设备或管道,需要经常维护又无法采用其它措施防止烫伤的部位,应在下列范围内设置防烫伤保温;A.高于地面或操作平台2.1m以内者;B.离开操作面0.75m以内者。常温以下的设备或管道,应在减少冷量损失的同时,确保保冷层外表面温度高于环境的露点温度。具有下列情况之一的设备和管道必须保冷;(1)需

减少冷介质在生产或输送过程中的温升或气化的设备和管道；(2) 需减少冷介质在生产或输送过程中的冷量损失或规定允许冷损失量的设备和管道；(3) 需防止在环境温度下，表面凝露的设备和管道。由于石化工艺特点，生产装置存在大量保温、保冷密封点，如果全归于难于检测，估算排放量就会产生较大偏差，难以真实呈现装置的设备泄漏状况，因此本指南没有将保温、保冷纳入不可达原因。

“安全因素”导致不可达在国内外标准中是指：检测作业过程可能对人员造成伤害。石化生产涉及大量易燃易爆、有毒有害物质，随时都有可能发生火灾爆炸或中毒伤亡事故。从这一角度考虑，绝大多数设备可归于“险于检测”。国内外 LDAR 相关标准未提出具体辨识指标，缺少操作性。本指南参照以下国家、行业标准和国外标准提出了受限空间、缺氧、火灾爆炸、有毒有害、电离辐射等危险环境具体判别指标：

《爆炸危险场所防爆安全导则》(GB/T29304-2012)

《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002)

《有毒作业场所危害程度分级》(AQ/T4208-2010)

Permit-required confined spaces, OSHA1910.146

《化学品生产单位受限空间安全规范》(AQ 3028-2008)

## 2. 群组的划分

为了提高密封点管理效率，提出了以设备或设备某一部分为中心的多个受控密封点集成的“群组”概念。

### (1) 常见群组划分

群组是 LDAR 数据管理和 LDAR 标识的基本单元。每个群组通常以阀、泵和压缩机等设备为核心，包含一个或者多个管阀件。设备

的拆解或管阀件组合方式有一定的弹性，也有一定的规律可循，拆解的基本原则是密封点易于定位或扩展编号，平均每个群组一般管控或附属不超过 30 个密封点。可按物料流向和空间位置对群组包含的密封点定位和二次扩展编号。为方便拍照辅助标识密封点和二次扩展编号，单个群组应尽量在一个平面内，密封点应可拍摄在一张照片中。

## (2) 不规律设备群组划分

### A. 过滤器、塔、反应器和罐

此类设备本体附属件和本体与外界相连管线并不具有规律性，在划分群组时，要依具体情况而定，例如：1) 设备管线上相关联的管阀件可划分同一群组； 2) 与本体相连的管线和附件单独划分群组； 3) 将体型较小的此类设备本体作为一个群组； 4) 体型较大的此类设备也可将本体按照空间区域划分成多个群组。

### B. 加热炉

热炉是比较复杂的设备，一般分为加热的介质系统和燃料系统。介质系统按照物料管线的划分原则划分即可，燃料系统根据每个火盆里火嘴和长明灯系统来划分。

### C. 压缩机

压缩机也属于较特殊的设备，可以把它看做复杂的机泵，但由于压缩机体型庞大，机体附件较多，需要详细划分群组。群组划分主要依据入口、出口、本体和其他附属设备和管线。压缩机入口管线：要区别入口以及入口反出口管线，相邻管线用途不同不可划分为一个群组。压缩机出口管线：相对简单，但要注意是否有支路管线，如果主管线被支路管线截断，即使主管线上管阀件相邻再进，也需要把支路管线截断处群组进行区别划分，防止引起歧义。压缩机本体：压缩机

缓冲罐如果结构简单，可以整体换位一个群组，如缓冲罐管线较多，需要按不同管线和罐本体来划分群组。

### (3) 群组划分注意事项

A.不同管线相邻很近的管阀件不宜划为一个群组。

B.多个管阀件组合在一起，但空间上不在一个平面时不宜划为一个群组。

C.关联较紧密，但空间距离较远的管阀件组合不宜划为一个群组。

## (六) 常规检测

### 1.仪器的选择

从理论上讲，可以检测 VOCs 的仪器很多，据美国 EPA 推荐，有火焰离子化（FID）、光离子化（PID）、催化燃烧式和红外吸收等工作原理的检测仪器可以检测 VOCs。其中催化燃烧式检测器主要用于监测石化装置运行过程突发性事故泄漏，已在石化企业广泛应用。红外吸收目前主要使用在要求长期稳定工作特殊环境，例如钻井平台、高含硫化氢集气井站等特殊作业场所，监测可燃气体或蒸气的泄漏。以火焰离子化、光离子化为原理的检测仪器由于使用成本较高、操作较为复杂，石化企业在开展 LDAR 之前使用较少。

EPA 建议的四类仪器具体性能指标可简要归结为表 2

表 2 常见 VOCs 检测器性能比对

项目	催化燃烧检测器	红外吸收检测器	光离子化检测器	氢火焰离子化检测器
灵敏度	1%LEL, ( $10^2\mu\text{mol/mol}$ 数量级)	1%LEL, ( $10^2\mu\text{mol/mol}$ 数量级)	( $10^{-1}$ - $10^{-3}$ ) $\mu\text{mol/mol}$	(0.1-0.5) $\mu\text{mol/mol}$
检测	(0-100%)LEL,	(0-100)%L	(0-10000)	(0-50000)

项目	催化燃烧检测器	红外吸收检测器	光离子化检测器	氢火焰离子化检测器
范围	由于各种气体的爆炸下限不同，对不同的气体检测范围不同，例如，对于甲烷，检测范围为(0-44000) $\mu\text{mol/mol}$ ，对于戊烷为：(0-22000) $\mu\text{mol/mol}$	EL 或 (0-100)%VOL	$\mu\text{mol/mol}$	$\mu\text{mol/mol}$
检测对象	可以检测绝大多数 VOCs	根据仪器带通滤波器，检测的气体存在较大差异。	只能检测 IP 低于入射紫外光光子能量的气体	可以检测绝大多数 VOCs
抗中毒	易受硫化物等组分影响，中毒失效。	不会因中毒失效	不会因中毒失效	不会因中毒失效
抗高浓度 VOCs	易烧毁检测器	没有影响	没有影响	没有影响
响应时间	<15s	<35	<5s	<5s
环境影响	基本不受环境 $\text{CO}_2$ 、水蒸气影响，检测过程需要一定量的氧气	在湿度不高的情况下，不受影响。检测不需要氧气存在。	湿度可以导致读数漂移达 30%。检测不需要氧气存在。	基本不受环境温度和湿度影响。需要氢气燃料，检测需要一定量的氧气。
与标准关联	需要换算	需要换算	需要换算	可直接使用
费用	低	中等	中等	高

项目	催化燃烧检测器	红外吸收检测器	光离子化检测器	氢火焰离子化检测器
重量	轻便	轻便	轻便	较重

早期的 EPA 标准规定的泄漏定义浓度为  $10000 \mu\text{mol/mol}$ ，而方法 21 中明确要求仪器的灵敏度要高于泄漏定义浓度的 2.5% 即  $250 \mu\text{mol/mol}$ 。目前国家和地方标准要求的最低泄漏定义浓度为  $500 \mu\text{mol/mol}$ ，催化燃烧检测器和红外吸收检测器对部分 VOCs 的灵敏度（如甲醛  $1\%LEL=700 \mu\text{mol/mol}$ ）甚至高于泄漏定义浓度，用于 LDAR 泄漏检测会导致较大偏差，不能满足 LDAR 检测的要求。

光离子化检测器在上述四种检测器中最为灵敏，是判断作业场所有毒有害物质浓度的重要技术。然而，光离子化检测器（PID）易收受水蒸气影响，可产生 30% 的误差。另外 PID 只能检测电离能（IP）低于入射紫外光光子能量的气体，C1 至 C4 的直链烷烃电离能较高，例如丙烷  $IP=10.95\text{eV}$ ，高于常见 PID 的电离能量（ $10.6\text{eV}$ ），不适用于检测石化装置涉及大量直链烷烃的设备密封，适用于 FID 检测仪器响应因子大于 10 的 VOCs 泄漏检测，可用于密封点泄漏排放估算，作为石化装置泄漏检测的辅助手段。

氢火焰离子化检测器（FID）的灵敏度在  $(0.1-0.5) \mu\text{mol/mol}$  范围内，远远低于泄漏定义浓度（ $500 \mu\text{mol/mol}$ ， $2000 \mu\text{mol/mol}$ ），因此可以用于判断设备或管件阀门泄漏。FID 的检测范围在  $(0-50000) \mu\text{mol/mol}$ ，FID 可以检测包括直链烷烃在内的绝大多数 VOCs，线性范围在  $(0-10000) \mu\text{mol/mol}$ 。检测数据可直接用于 VOCs 排放量评估计算，国标《石油炼制工业污染物排放标准》规定泄漏定义浓度以氢火焰离子化检测仪（以甲烷为校正气体）检测值为判别标准。因此，本指南确定 FID 为常规 LDAR 检测使用仪器。PID、催化燃烧等可作

为常规检测的辅助手段。

## 2. 响应因子的确定与应用

FID 检测仪的响应因子均可通过制造商提供，由于已知的 VOCs 有上千种，制造商难以提供每种物质的响应因子，因此石化企业需要购买或制备部分校准气体，测定仪器的响应因子。部分物质的校准气体可能难以获取或制备，企业可以采用特性相近（结构）物质作为校准气体的替代品。由于 EPA 采用真空包袋和载气吹扫法获取相关方程时，泄漏物料包含的组分基本在  $RF_m \leq 3$  范围内，因此，运用 EPA 相关方程，通过检测值估算排放量，无需修正检测值。如果  $RF_m > 3$  时，直接采用检测值，相关方程不成立或会产生统计意义上的偏差。因此需要先修正检测数据，使  $RF_m \leq 3$  成立。

## 3. 泄漏确认

依据《石油炼制工业污染物排放标准》5.3.4 中的泄漏确认条件：采用氢火焰离子化检测仪（以甲烷或丙烷为校正气体）出现以下情况，则认定发生了泄漏：

（1）有机气体和挥发性有机液体流经的设备与管线组件，泄漏检测值大于等于  $2000 \mu\text{mol/mol}$ ；

（2）其它挥发性有机物流经的设备与管线组件，泄漏检测值大于等于  $500 \mu\text{mol/mol}$ 。

北京、上海、天津、江苏、浙江、广东等地方标准的泄漏确认浓度见表 3，可以发现，地方标准泄漏确认多数是按照动、静密封点划分。北京、浙江、江苏、广东、天津的气体、挥发性有机液体的泄漏控制浓度为  $500 \mu\text{mol/mol}$ ，远低于《石油炼制工业污染物排放标准》规定的泄漏确认条件。鉴于上述情况，本指南提出了符合《石油炼制

工业污染物排放标准》、地方标准泄漏确认条件之一的泄漏辨识原则。使本指南与国家、地方标准有机统一。

表 3 各地方泄漏控制浓度汇总

地区	时间	密封点类别	泄漏控制浓度 ( $\mu\text{mol/mol}$ )	
			现有	新建
北京	2016 年 12 月 31 日前	泵、压缩机	2000	1000
		其它	2000	500
	2017 年 1 月 1 日起	泵、压缩机	1000	1000
		其它	500	500
上海		泵、搅拌器等	2000	1000
		其它	2000	500
天津	2015 年 12 月 31 日前	泵、压缩机、搅拌器等	5000	2000
		其它	1000	500
	2016 年 1 月 1 日起	泵、压缩机、搅拌器等	2000	2000
		其它	500	500
广东	2015 年 12 月 31 日前	泵、压缩机、搅拌器等	5000	2000
		其它	1000	500
	2016 年 1 月 1 日起	泵、压缩机、搅拌器等	2000	2000
		其它	500	500
浙江		所有密封点	500	500

美国 EPA 在《石油炼制工业设备 VOCs 泄漏标准》和《有机合成工业设备 VOCs 泄漏标准》规定：2006 年 11 月 7 日以前建成的炼油装置和化工装置，阀门、泵的泄漏确认条件为：净检测值大于等于 10000  $\mu\text{mol/mol}$ 。2006 年 11 月 7 日以前建成的炼油装置和化工装置阀门、泵的泄漏确认条件为：阀门净检测值大于等于 500  $\mu\text{mol/mol}$ ；泵净检测值大于等于 2000  $\mu\text{mol/mol}$ 。由此可以看出但从控制标准来看，我国部分地方明后年的 LDAR 控制标准甚至高于美国。

## （七）泄漏维修

### 1. 泄漏修复时限

首次维修时限与 EPA 标准一致即：首次维修不得迟于自发现泄漏之日起 5 日内。首次维修未修复的泄漏点，应在自发现泄漏之日起 15 日内进行实质性维修以修复泄漏。除非符合延迟修复条件，修复不应迟于自发现泄漏之日起 15 日内。企业应根据本指南要求制定内部维修管理方法和流程。

### 2. 延迟修复条件

本指南把泄漏点归入延迟修复主要从工艺、安全和环保三个方面考虑，参照 EPA 标准，符合以下条件之一的泄漏点可延迟修复：（1）若检测到泄漏后，在不关闭工艺单元的条件下，在 15 日内进行维修技术上不可行，则可以延迟修复；（2）立即维修存在安全风险；（3）泄漏密封点立即维修引发的 VOCs 排放量大于泄漏点延迟修复造成的排放量。应尽可能回收泄漏点延迟修复过程中排放的涉 VOCs 物料。

依据本指南规定的检测周期，定期检测延迟修复泄漏点。应在下次停工检修结束前完成延迟修复泄漏点修复。

### 3. 多次严重泄漏密封点多种途径整治

减少设备 VOCs 泄漏，一方面可以通过开展 LDAR 实现；另一方面可以通过改进工艺、设备达到目的。例如开口管线或开口阀末端加装丝堵、盲板，或本指南提出了对 LDAR 不敏感的多次严重泄漏点的解决原则，即提高密封质制订如更换或提升密封等级甚至整台设备、调整工艺条件或操作程序等整治方案。整治方案最迟不晚于在下次停车检修结束前完成实施。

#### 4. 延迟修复泄漏点管理

炼化企业为了提高效益，装置的运行周期在逐渐延长，部分装置运行周期已达到甚至超过 5 年。延迟修复密封点管理成为企业控制设备泄漏 VOCs 排放的关键性问题。随着装置运行时间的延长，设备密封在高温、深冷、腐蚀等多重作用下，发生老化、磨损是难以避免的。部分密封特别是动密封和阀门阀杆填料密封可能会随着运行时间延长，磨损而泄漏加剧。从埃克森美孚公司 2000 年至 2006 年对巴吞鲁日炼油厂、巴吞鲁日化工厂和异丙醇装置的 LDAR 检测数据(见表 4)可以看出，有 40%以上泄漏点的泄漏状态随装置运行而逐渐加剧。因此，本指南提出延迟修复泄漏点应纳入后续周期检测计划内。对于持续扩大的泄漏点，制定、实施应急措施抑制、回收泄漏物料，减少设备密封泄漏造成的 VOCs 排放。

表 4 埃克森美孚公司三家工厂（装置）设备密封检测情况

工厂（装置）	检测值上升	检测值下降	检测值基本不变
巴吞鲁日炼油厂	313963	291016	126910
巴吞鲁日化工厂	854379	882250	355540
异丙醇装置	20946	20597	6569

### 三、本指南实施建议

（一）本指南是企业的 LDAR 操作指南，对于新建、改扩建装置的环保评估、验收，可以本指南为依据审核企业 LDAR 建立、运行和维护。

（二）政策鼓励石化企业采用先进检测技术（OGI），探索不可达密封点的泄漏辨识标准方法，提高石化企业 LDAR 绩效。

（三）本指南宜与《石油炼制工业污染物排放标准》（GB31570-2015）、《石油化学工业污染物排放标准》（GB31571-2015）、《泄漏和敞开液面排放的挥发性有机物检测技术导则》（HJ 733-2014）配合使用。

（四）建议指南发布后，环保部相关部门尽快发文组织相关人员宣贯。