

石油炼制工业挥发性有机物污染防治可行 技术要求

Requirements on available techniques of VOCs pollution prevention and control for
petroleum refining industry

2023 - 04 - 24 发布

2023 - 05 - 24 实施

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 生产工艺与 VOCs 产生	3
5 污染预防	3
6 污染治理	6
7 环境管理措施	6
8 VOCs 污染防治可行技术	7
附录 A（资料性） 石油炼制工业典型生产工艺	9
附录 B（资料性） 各 VOCs 污染治理技术特点	10
参考文献	12

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由山东省生态环境厅提出并组织实施。

本文件由山东省环保标准化技术委员会归口。

石油炼制工业挥发性有机物污染防治可行技术要求

1 范围

本文件规定了石油炼制工业挥发性有机物污染防治可行技术。

本文件适用于石油炼制工业企业或生产设施建设项目的环境影响评价、挥发性有机污染物排放标准制修订、排污许可管理和污染防治技术选择。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB 14554 恶臭污染物排放标准
- GB 15562.1 环境保护图形标志—排放口(源)
- GB/T 16157 固定污染源排气中颗粒物测定与气态污染物采样方法
- GB 30981 工业防护涂料中有害物质限量
- GB 31570 石油炼制工业污染物排放标准
- GB 37822 挥发性有机物无组织排放控制标准
- GB 50341 立式圆筒形钢制焊接油罐设计规范
- HJ/T 397 固定源废气监测技术规范
- HJ 853 排污许可证申请与核发技术规范 石化工业
- HJ 880 排污单位自行监测技术指南 石油炼制工业
- HJ 944 排污单位环境管理台账及排污许可证执行报告技术规范 总则（试行）
- SH 3009 石油化工可燃性气体排放系统设计规范
- DB37/ 2801.6 挥发性有机物排放标准 第6部分：有机化工行业
- DB37/ 3161 有机化工企业污水处理厂（站）挥发性有机物及恶臭污染物排放标准

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

挥发性有机物 volatile organic compounds (VOCs)

参与大气光化学反应的有机化合物，或者根据规定的方法测量或核算确定的有机化合物。

3.2

石油炼制工业 petroleum refining industry

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。

[来源：GB 31570—2015，3.1]

3.3

泄漏检测与修复 leak detection and repair (LDAR)

通过常规或非常规检测手段，检测或检查密封点，并在一定期限内采取有效措施修复泄漏点，对工业生产全过程物料泄漏进行控制的系统工程。

[来源：HJ 1230—2021，3.11]

3.4

泄漏检测值 leakage detection value

采用规定的监测方法，检测仪器探测到的设备（泵、压缩机等）或管线组件（阀门、法兰等）泄漏点的VOCs浓度扣除环境本底值后的净值（以碳计）。

[来源：GB 31570—2015，3.18]

3.5

真实蒸气压 true vapor pressure

有机液体工作（储存）温度下的饱和蒸气压（绝对压力），或者有机混合物液体气化率为零时的蒸气压，又称泡点蒸气压，可根据GB/T 8017等相应测定方法换算得到。

注：在常温下工作（储存）的有机液体，其工作（储存）温度按常年的月平均气温最大值计算。

[来源：GB 37822—2019，3.9]

3.6

挥发性有机液体 volatile organic liquid

任何能向大气释放VOCs的符合以下任一条件的有机液体：（1）20℃时，挥发性有机液体的真实蒸气压（3.5）大于0.3 kPa；（2）20℃时，混合物中，真实蒸气压（3.5）大于0.3 kPa的纯有机化合物的总浓度等于或者高于20%（重量比）。

[来源：GB 31570—2015，3.16]

3.7

双封式密封 double seals

浮顶边缘储罐内壁间设置两层密封的密封形式，又称双重密封。下层密封称为一次密封，上层密封称为二次密封。

3.8

无组织排放 fugitive emission

大气污染物不经过排气筒的无规则排放。包括工艺无组织排放，装置及管线组件泄漏，挥发性有机液体（3.6）存储与调和挥发，原料、产品装卸过程逸散，废水收集处理过程排放，冷却塔/循环水冷却系统释放，采样过程排放，非正常工况（3.9）排放等。

3.9

非正常工况 malfunction/upsets

生产设施生产工艺参数不是有计划地超过装置设计弹性变化的工况。

[来源：GB 31570—2015，3.23]

3.10

密闭 closed/close

污染物质不与环境空气接触，或通过密封材料、密封设备与环境空气隔离的状态或作业方式。

[来源：GB 37822—2019，3.5]

3.11

密闭空间 closed space

利用完整的围护结构将污染物质、作业场所等与周围空间阻隔所形成的封闭区域或封闭式建筑物。该封闭区域或封闭式建筑物除人员、车辆、设备、物料进出时，以及依法设立的排气筒、通风口外，门窗及其他开口（孔）部位应随时保持关闭状态。

[来源：GB 37822—2019，3.6]

3.12

污染防治可行技术 available techniques of pollution prevention and control

根据一定时期内环境需求和经济水平，在污染防治过程中综合采用污染预防技术、污染治理技术和环境管理措施，使污染物排放稳定达到污染物排放标准的规模应用技术。

4 生产工艺与 VOCs 产生

4.1 生产工艺

主要包括石油分离工艺、石油转化工艺、石油精制工艺等。

4.1.1 石油分离工艺包括常压蒸馏、减压蒸馏、轻烃回收等子工艺。

4.1.2 石油转化工艺包括热裂化和催化裂化、重整、烷基化、聚合、异构化、焦化、减粘裂化等子工艺。

4.1.3 石油精制工艺包括加氢脱硫、加氢精制、化学脱硫、酸气脱除、脱沥青等子工艺。典型生产工艺见附录 A。

4.2 VOCs 的产生环节

VOCs 主要来源于工艺有组织排放，火炬排放，工艺无组织排放，装置及管线组件泄漏，挥发性有机液体存储与调和挥发，原料、产品装卸过程逸散，废水收集处理过程逸散，冷却塔/循环水冷却系统释放，采样过程排放，非正常工况排放等环节。VOCs 主要产生环节见表1。

表 1 VOCs 主要产生环节一览表

序号	排放形式	排放源项	产生环节	
1	有组织	工艺有组织排放	连续重整催化剂再生	
			硫醇氧化抽提	
			沥青氧化	
2		火炬排放	—	
3		工艺无组织排放	延迟焦化切焦、冷焦	
			常减压蒸馏等工艺的临时放空	
4		装置及管线组件泄漏	—	
5	无组织	挥发性有机液体存储与调和挥发	挥发性有机液体储罐，包括固定顶罐、浮顶罐（内浮顶罐、外浮顶罐）、压力储罐等	
6		原料、产品装卸过程逸散	挥发性有机液体原料及产品装卸、分装	
7		废水收集处理过程逸散	敞开式的废水集输、储存和处理设施，包括沟/渠、储存池/罐等	
8		冷却塔/循环水冷却系统释放	被含VOCs物料污染的循环冷却水	
9		采样过程排放	采样管线内物料置换和置换出物料的收集储存过程	
10		非正常工况排放	检维修、设备调试、生产异常等	
11			其他	储罐检修涂装、危废暂存

5 污染预防

5.1 工艺无组织排放

5.1.1 宜采用全密闭、连续化、自动化等生产技术，以及高效工艺与设备等，减少工艺无组织 VOCs 废气排放。

5.1.2 延迟焦化装置应采用密闭除焦技术，实现切焦、冷焦全流程密闭作业，产生的 VOCs 废气集中输送至处理装置。

5.1.3 常减压蒸馏等工艺安全阀、泄压阀临时放空排放的无组织 VOCs 废气宜密闭收集，经处理满足 GB 31570、DB37/ 2801.6、DB37/ 3161 等要求后排放。

5.2 装置及管线组件泄漏

5.2.1 在设计、生产过程中，应采用减少密封点或提高密封性能的方法控制 VOCs 废气的无组织排放。管线宜采用焊接方法，减少法兰连接。在符合工艺要求、确保安全的前提下，所有开口管线或开口阀门应加装丝堵或盲板。

5.2.2 物料输送、投加、分离、抽真空与干燥宜使用无泄漏或泄漏量小的泵、管阀件、压缩机、过滤器、离心机、干燥设备等。对真实饱和蒸气压大于 27.6 kPa 的物料宜采用无泄漏泵。

5.2.3 应每周对生产、储罐、VOCs 治理设备与管线组件进行目视观察，检查是否存在可见泄漏现象。

5.2.4 应定期开展生产、储罐、VOCs 治理设备与管线组件 LDAR 工作，泵、压缩机、阀门、开口阀、开口管线、气体/蒸气泄压设备、取样连接系统每 3 个月检测一次；法兰及其他连接件、其他密封设备每 6 个月检测一次。

5.2.5 设备与管线组件初次启用或检维修后，应在 30 d 内进行泄漏检测。

5.3 挥发性有机液体存储与调和挥发

5.3.1 应根据物料特点合理选择罐型，罐体应保持完好、不变形，不应有漏洞、缝隙或破损。物料与罐型匹配选择按表 2 执行。

表 2 物料与罐型匹配选择表

序号	判断条件	罐型要求
1	储存真实蒸气压大于等于 76.6 kPa 的挥发性有机液体	应采用压力储罐
2	储存真实蒸气压大于等于 5.2 kPa 但小于 27.6 kPa 的设计容量大于等于 150 m ³ 的挥发性有机液体	应采用内浮顶罐、外浮顶罐 或者固定顶罐
3	储存真实蒸气压大于等于 27.6 kPa 但小于 76.5 kPa 的设计容量大于等于 75 m ³ 的挥发性有机液体	
4	苯、甲苯、二甲苯	应采用内浮顶罐

5.3.2 5 000 m³ 及以上内浮顶罐宜采用密封性好的焊接装配全接液式浮盘，不宜采用存在静密封点的全接液浮盘，且浮盘应符合 GB 50341 的规定。

5.3.3 浮顶罐浮顶边缘密封不应有破损，支柱、导向装置等附件穿过浮盘时，应采取密封措施。

5.3.4 内浮顶罐的浮盘与罐壁之间应采用浸液式、机械式鞋形、双封式等高效密封方式；外浮顶罐的浮盘与罐壁之间应采用双封式密封，且初级密封采用浸液式、机械式鞋形等高效密封方式。

5.3.5 浮顶罐浮盘上的开口、缝隙密封设施，以及浮盘与罐壁之间的密封设施在工作状态下应保持密闭。浮盘应至少每 6 个月检查一次，记录浮盘密封设施的状态，记录应保存至少 5 年以上。

5.3.6 浮盘边缘一级密封圈与罐壁之间任一缝隙的任一部分的宽度应小于 3.81 cm，二级密封圈与罐壁

之间任一缝隙的任一部分的宽度应小于 1.27 cm。

5.3.7 采用设计容量大于等于 150 m³ 的固定顶罐储存真实蒸气压大于等于 5.2 kPa 但小于等于 27.6 kPa 的挥发性有机液体，或采用设计容量大于等于 75 m³ 的固定顶罐储存真实蒸气压大于等于 27.6 kPa 但小于 76.5 kPa 的挥发性有机液体时，应安装密闭排气系统，并连接至 VOCs 废气回收或处理装置。

5.3.8 固定顶罐或建设有机废气治理设施的内浮顶罐宜配备压力监测设备，罐内压力低于 50% 设计开启压力时，呼吸阀、紧急泄压阀泄漏检测值不宜超过 2 000 μmol/mol。

5.3.9 苯、甲苯、二甲苯介质储罐在采用内浮顶罐的基础上，应安装密闭排气系统，并连接至 VOCs 废气回收或处理装置。

5.3.10 宜采用油品在线调和技術。

5.3.11 储罐应配套自动切水装置，且宜采用罐区密闭切水系统。

5.4 原料、产品装卸过程逸散

5.4.1 挥发性有机液体宜采用管道输送，减少中间罐区停留以及罐车和油船装卸作业。

5.4.2 挥发性有机液体宜采用底部装载方式，接头采用密封式快速接头或锁紧式接头，底部装载结束，断开接头时，滴洒量不应超过 10 mL，滴洒量取连续 3 次断开操作的平均值。无法实现底部装载的应采用顶部浸没式装载方式，出口距离罐底高度应小于 200 mm。

5.4.3 挥发性有机液体性质相近以及空间位置相近的储罐之间收发挥发性有机液体，在确保安全的前提下，宜采用气相平衡技术，以及平衡控制进出罐流量、减少罐内气相空间等措施，减少 VOCs 废气排放。

5.4.4 酸性水、粗汽油、粗柴油等含溶解性油气的物料，在长距离、高压输送进入常压罐前，宜经过脱气罐回收释放气。

5.5 废水收集处理过程逸散

5.5.1 在含 VOCs 废水单独收集的前提下，应减少集水井、隔油池数量，将污水沟渠管道化。

5.5.2 用于输送、储存、处理含 VOCs 废水的集水井（池）、调节池、隔油池、气浮池、曝气池、浓缩池、污水罐等污水处理设施，敞开液面上方 100 mm 处 VOCs 检测浓度大于等于 100 μmol/mol 的，应加盖密闭；密闭材料应采用难燃、耐腐蚀材料，并满足抗紫外线要求；密闭盖板直接接近液面，密闭设施上的开口应设置封盖；封盖应设密封垫，开口不使用时保持密封。

5.5.3 应优化气浮池运行，严格控制气浮池出水中的浮油含量，石油类浓度应小于等于 20 mg/L。

5.5.4 污水处理厂（站）的密闭空间应保持微负压状态，并设置负压状态指示，防止 VOCs 废气泄漏；VOCs 废气经处理满足 DB37/ 3161 要求后排放。

5.6 冷却塔/循环水冷却系统释放

5.6.1 宜采用密闭式循环水冷却系统，且宜对其不凝气收集处理。

5.6.2 对于开式循环冷却水系统，流经换热器进口和出口的循环冷却水中的总有机碳（TOC）应每 6 个月至少开展 1 次检测。出口浓度大于进口浓度 10% 的，要溯源泄漏点并及时修复。

5.7 采样过程排放

5.7.1 采样口应采用闭式冲洗、闭式循环、闭式排气或无须置换残留液的密闭式采样系统。

5.7.2 开口管线采样系统不能采用密闭式采样方式时，应及时收集、有效处理冲洗管线的有机液体或气体，以减少 VOCs 废气排放。

5.7.3 采样点应纳入 LDAR 的管控范围内，按照 LDAR 管控要求进行管理。

5.8 非正常工况排放

5.8.1 应制定非正常工况的操作规程和污染控制措施，并加强操作管理，减少非计划停车及事故工况发生频次。

5.8.2 装置检维修过程管理宜数字化，计量吹扫气量、温度、压力等参数；宜通过辅助管道和设备等建立蒸罐、清洗、吹扫产物密闭排放管网。在难以建立蒸罐、清洗、吹扫产物密闭排放管网的情况下，可采用移动式设备处理检修过程排放的 VOCs 废气。

5.8.3 检维修过程应根据生产装置的工艺使用条件和材料、结构等状况，合理选用蒸汽、空气或水等清洗和吹扫介质。

5.8.4 检维修过程产生的气态物料应分类进入瓦斯管网或火炬系统，液态物料应进入带有 VOCs 废气处理装置的污油罐、酸性水罐或污水处理厂（站）。如不具备条件，可采用移动式回收或处理设施进行处理。

5.9 其他

5.9.1 罐壁涂料应符合 GB 30981 等要求，宜选择白色或浅色。储罐涂层应定期重刷，以保护罐体不被腐蚀和保持良好的反射阳光性能。

5.9.2 废催化剂、废吸附剂、蒸馏残液等危险废物贮存间 VOCs 废气应收集处理，满足 DB37/ 2801.6 要求后排放。

6 污染治理

6.1 VOCs 的治理可以采用冷凝、吸收、吸附、膜分离、生物、燃烧技术，或者是上述技术的组合。

6.2 VOCs 治理方案的选择，应综合考虑各方面因素，重视 VOCs 废气资源属性和能源属性，加强回收和综合利用，选择技术成熟、可靠节能、经济适用、符合实际、风险可控，能稳定运行且达到排放标准的最佳方案。应充分考虑 VOCs 废气治理装置异常和故障时 VOCs 废气排放控制和处理。

a) 高浓度 VOCs 废气 ($>30\,000\text{ mg/m}^3$)，宜采用吸收、冷凝、吸附、膜分离等组合技术回收处理，不能达标时再辅以其他技术实现达标排放。

b) 中高浓度 VOCs 废气 ($3\,000\text{ mg/m}^3\sim 30\,000\text{ mg/m}^3$)，有回收价值时宜采用吸收技术回收处理，无回收价值时宜采用燃烧技术。

c) 中低浓度 VOCs 废气 ($<3\,000\text{ mg/m}^3$)，宜采用生物技术、燃烧技术、吸附浓缩—燃烧技术等。

6.3 不应仅采用水或水溶液洗涤吸收方式处理含非水溶性组分的 VOCs 废气。

6.4 高浓度 VOCs 废气不宜直接与大风量、低浓度 VOCs 废气混合，VOCs 废气不宜与含颗粒物等其他污染物的废气混合。

6.5 企业应采取控制或处理污染治理设施产生的二次污染物。

6.6 冷凝、吸收、吸附、膜分离、生物、燃烧技术的优缺点，适用于处理的 VOCs 废气种类见附录 B。

7 环境管理措施

7.1 企业应按照 HJ 944 的要求建立台账，记录含 VOCs 原辅材料的名称、采购量、VOCs 含量、使用量、回收量、废弃量、去向，VOCs 废气收集系统的保养维护事项与主要操作参数，污染治理设施的工艺流程、运行参数、投运时间、启停时间，耗材更换时间和更换量，生产、VOCs 治理设备与管线组件目视观察和 LDAR 工作（包括密封点基本信息、检测仪器基本信息、现场检测记录表、泄漏修复记录表等），自行监测等情况。台账保存期限不少于 5 年。

7.2 企业应按照 GB/T 16157、HJ/T 397、GB 15562.1 等要求，设计、建设、维护永久性采样口、采样测试平台和排污口标志。

7.3 企业应按照 HJ 853 和 HJ 880 要求开展自行监测。

7.4 企业应加强可燃性气体的回收，火炬燃烧装置一般只用于工艺装置开停车、火灾事故、公用工程事故及其他事故等紧急状态下的应急处置，不应作为日常大气污染处理设施。应设置视频监控装置对火炬系统长明灯进行监控，禁止熄灭长明灯。氮气占比过高的不燃性废气等不宜排入火炬气系统。火炬及相关管网、水封、储气柜、长明灯等设计应符合 SH 3009 要求。

7.5 企业应对污染治理设施进行定期维护保养及维修，保证其正常运行。污染物排放应符合 DB37/2801.6、GB 14554、GB 31570、GB 37822 等要求。

8 VOCs 污染防治可行技术

VOCs 污染防治可行技术见表3。

表 3 VOCs 污染防治可行技术

可行技术	排放源项	预防技术 ^a	治理技术 ^a	NMHC 排放水平 ^b mg/m ³	技术适用条件	典型技术路线
1	工艺有组织排放	—	燃烧技术	≤20	适用于连续重整烟气、氧化脱硫醇尾气、氧化沥青尾气等处理	TO
2	挥发性有机液体存储与调和挥发	合理选择罐型及密封方式	吸收+燃烧技术	≤20	适用于成品油、石脑油罐等排放的高浓度 VOCs 废气处理。进入燃烧炉的废气中有机物浓度应小于其爆炸极限下限 (LEL) 的 25 %	低温柴油/汽油吸收+ RTO
3			吸收+碱洗+燃烧技术	≤20	适用于酸性水罐、污油罐、高温蜡油及沥青罐等排放的高浓度 VOCs 废气处理。进入燃烧炉的废气中有机物浓度应小于其 LEL 的 25 %	①低温柴油/汽油吸收+碱洗+RTO；②低温柴油/汽油吸收+碱洗+CO
4	原料、产品装卸过程逸散	采用全密闭装卸方式	冷凝+吸附+燃烧技术	≤20	适用于汽油、柴油装车油气回收废气处理，进入燃烧炉的废气中有机物浓度应小于其 LEL 的 25 %	①三级冷凝+活性炭吸附+工艺炉焚烧；②三级冷凝+RTO
5			冷凝+燃烧技术	≤20		
6	废水收集处理过程逸散	用于输送、储存、处理含 VOCs 的废水设施应密闭，密闭空间保持微负压状态	碱洗+燃烧技术	≤20	适用于污水处理厂（站）总进口集水井、均质池（罐）、隔油池（斜板、平流）、气浮池、污油池（罐）、浮渣池（罐）散发的高浓度废气的处理，进入燃烧炉的废气中有机物浓度应小于其 LEL 的 25 %	碱洗+RTO

表 3 VOCs 污染防治可行技术（续）

可行技术	排放源项	预防技术 ^a	治理技术 ^a	NMHC 排放水平 ^b mg/m ³	技术适用条件	典型技术路线
7	废水收集处理过程逸散	用于输送、储存、处理含 VOCs 的废水设施应密闭，密闭空间保持微负压状态	碱洗+生物法+吸附技术	≤100	适用于污水处理厂（站）曝气池、A/O 池、氧化沟、膜生物反应器（MBR）、厌（缺）氧池、污泥池等废水生物处理设施散发的低浓度废气的处理。采用燃烧法时，进入燃烧炉的废气中有机物浓度应小于其 LEL 的 25 %	①碱洗+生物除臭+活性炭吸附；②碱洗+活性炭吸附+工艺炉焚烧
8			碱洗+吸附+燃烧技术	≤20		
^a 除本表所列技术外，其他能规模应用、稳定达到国家和山东省 VOCs 排放标准要求的技术也为可行技术。 ^b 按照本可行技术，NMHC 可达到的排放水平。企业污染物排放应按照国家、山东省相关标准规定执行。						

附录 A
(资料性)
石油炼制工业典型生产工艺

石油炼制工业典型生产工艺见图A.1。

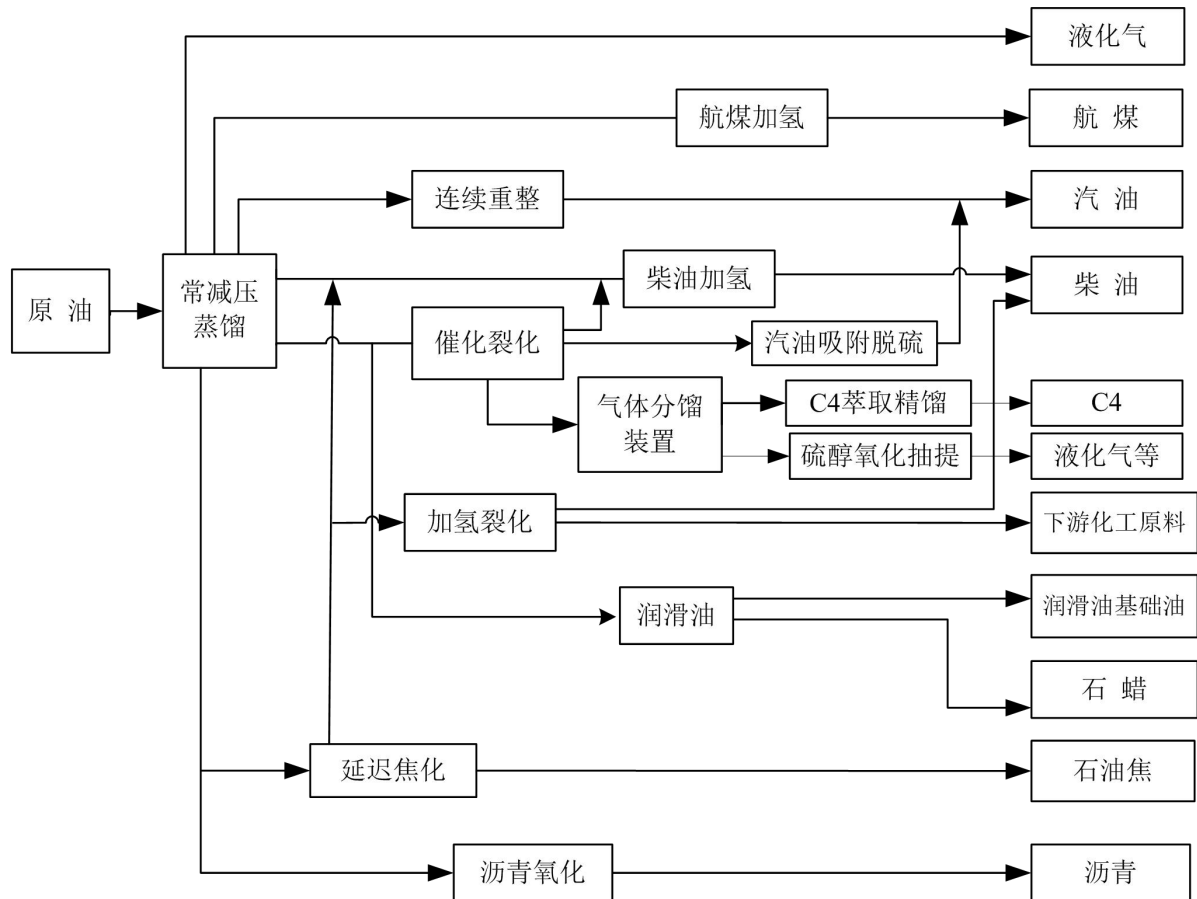


图 A.1 石油炼制行业典型生产工艺图

附 录 B
(资料性)
各 VOCs 污染治理技术特点

B.1 冷凝技术

B.1.1 适合处理高浓度VOCs废气，特别是组分单一且回收价值高的VOCs废气，可处理含有大量水蒸气的高温VOCs废气。当VOCs含量较高时，冷凝技术可作为燃烧或吸附处理的预处理工段，能降低后续净化装置的操作负荷。优点是可以回收有价值的VOCs。缺点是对VOCs废气的处理程度受到冷凝温度限制，对低沸点或低浓度VOCs废气处理效果不佳，能耗和处理成本高。

B.1.2 适用于汽油和石脑油装载作业排气油气回收，汽油、石脑油、喷气燃料、柴油、溶剂油、原油浮顶罐排气的处理。

B.2 吸收技术

B.2.1 适合处理高压、低温、高浓度VOCs废气。通常采用沸点较高、蒸气压较低的低挥发性液体（如柴油、煤油等）为吸收剂，将VOCs从气相转移到液相中。低温柴油吸收温度宜高于所用柴油凝固点5℃～10℃，一般吸收温度为-5℃～15℃。含酸废气可使用碱性液体吸收作为预处理。优点是占地空间小、吸收液可反复使用，适用废气量范围广，投资成本低。缺点是吸收液的净化效率下降较快。

B.2.2 适用于汽油和石脑油装载作业排气及挥发性有机液体储罐排气的处理。

B.3 吸附技术

B.3.1 通常采用活性炭、碳纤维等为吸附剂。采用活性炭作为吸附剂时，脱附气体的温度宜控制在120℃以下，含有酮类等易燃气体时，不应采用热空气再生。采用颗粒活性炭作为吸附剂时，其碘值不宜低于800 mg/g；采用蜂窝活性炭作为吸附剂时，其碘值不宜低于650 mg/g。采用碳纤维作为吸附剂时，其比表面积不宜低于1 100 m²/g。吸附和脱附的相关技术参数应满足HJ 2026和HJ/T 386要求。优点是对于浓度和气量变化适应性强，在VOCs处理上应用广泛。缺点是无再生系统时吸附剂更换频繁；沸点较高的VOCs需要热再生，热再生费用较高；易聚合物料不宜采用该技术；不易对活性炭碘值进行实时监控，部分情况下活性炭吸附有自燃风险。

B.3.2 适用于煤油、柴油、芳烃、石脑油、溶剂油、原油装载作业排气，以及污水处理厂（站）低浓度VOCs废气的处理。

B.4 膜分离技术

B.4.1 利用膜表面超薄功能层（通常为硅橡胶）材质，在膜两侧压力差、浓度差的驱动下，利用不同气体分子透过膜的速度差异，实现VOCs的富集，并实现气相主体的净化。适合高浓度油气回收与成分复杂VOCs废气的处理。优点是过程连续、无放热、安全性好、不产生二次污染，适用性广，单位体积处理能力较强。缺点是用于低浓度VOCs废气的深度处理时成本较高。

B.4.2 适用于轻质油品、苯、甲苯、二甲苯装车过程以及汽油储罐排气的处理。

B.5 生物技术

B.5.1 适合处理浓度低且组分简单的VOCs废气。主要包括生物洗涤法、生物过滤法和生物滴滤法。生物脱臭装置应有营养液供应系统，塔内气速 $0.1\text{ m/s}\sim 0.3\text{ m/s}$ ，填料层空速 $200\text{ h}^{-1}\sim 600\text{ h}^{-1}$ ，塔内温度 $25\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。优点是设备简单，运行成本低，对臭味气体处理效果明显。缺点是降解速度慢，净化效率较低，对芳香烃和苯系物去除效率低，对非水溶性物质净化效果差，占地面积大，生物菌培养条件严格，不易控制。

B.5.2 适用于污水处理厂（站）低浓度VOCs废气的处理。

B.6 燃烧技术

B.6.1 直接燃烧（TO）

B.6.1.1 优点是结构简单、投资小，气体净化效率高。缺点是处理低浓度VOCs废气时运行成本高、能耗高，可能产生HCl、SO_x、NO_x等污染物。

B.6.1.2 适用于氧化沥青尾气，汽油、液态烃氧化脱硫醇尾气的处理。

B.6.2 蓄热式直接燃烧（RTO）

B.6.2.1 优点是系统弹性化，操作风量上下限范围大，热回收率能达到90%以上，VOCs去除效率能达到95%以上，连续运行稳定，操作运维简单，使用寿命较长。缺点是投资成本高，装置体积大，运行成本较高，易反应、易聚合的有机物以及含卤素的VOCs废气不宜采用该技术。技术参数应满足HJ 1093要求。

B.6.2.2 适用于经预处理后的挥发性有机液体储罐排气、装载作业排气、污水处理厂（站）高浓度VOCs废气的处理。

B.6.3 催化燃烧（CO）

B.6.3.1 优点是反应温度低、能耗低、不产生热力型NO_x，处理净化效率能达到95%以上，操作方便。缺点是当废气中含有硫化物、卤化物、有机硅、有机磷等物质时，可能致催化剂中毒。技术参数应满足HJ 2027要求。

B.6.3.2 适用于经预处理后的挥发性有机液体储罐排气、装载作业排气的处理。

B.6.4 蓄热式催化燃烧（RCO）

B.6.4.1 优点是安全性高，运行成本较RTO低，热回收率能达到90%以上，VOCs去除效率能达到95%以上。缺点是当废气中含有硫化物、卤化物、有机硅、有机磷等物质时，可能致催化剂中毒，不宜处理温度高于450℃的VOCs废气。技术参数应满足HJ 2027要求。

B.6.4.2 适用于经预处理后的挥发性有机液体储罐排气、装载作业排气的处理。

B.6.5 锅炉/焚烧炉直接燃烧

B.6.5.1 是将产生的VOCs废气直接引入到现有供电锅炉、供热锅炉或其他非废气处理专用的焚烧炉。优点是充分利用现有设备，不额外增加占地面积和设备投资。缺点是需要采取周密的安全控制措施，需通过预处理稳定VOCs废气流量和浓度，还应考虑锅炉/工艺炉非正常工况时VOCs废气的去向。

B.6.5.2 适用于挥发性有机液体储罐排气、装载作业排气等环节VOCs废气的处理。

参 考 文 献

- [1] GB/T 8017 石油产品蒸气压的测定 雷德法
 - [2] HJ/T 386 环境保护产品技术要求 工业废气吸附净化装置
 - [3] HJ 1093 蓄热燃烧法工业有机废气治理工程技术规范
 - [4] HJ 1230 工业企业挥发性有机物泄漏检测与修复技术指南
 - [5] HJ 2026 吸附法工业有机废气治理工程技术规范
 - [6] HJ 2027 催化燃烧法工业有机废气治理工程技术规范
-