

附件 3

国家环境保护标准制修订项目

项目统一编号：2014-1

《挥发性有机物无组织排放控制标准》编制说明

（征求意见稿）

标准编制组

二〇一七年三月

目 录

1	项目背景	1
2	标准制订必要性	1
2.1	挥发性有机物的危害	1
2.2	为改善区域环境质量，需重点控制 VOCs	2
2.3	VOCs 排放特性决定需要制订通用控制标准	2
3	VOCs 无组织排放与控制技术分析	3
3.1	VOCs 无组织排放分析	3
3.2	VOCs 控制技术分析	13
4	国内外标准现状调研	16
4.1	国内相关标准	16
4.2	美国相关标准	16
4.3	欧盟相关标准	20
4.4	德国相关标准	22
5	标准制订的基本原则和技术路线	23
5.1	制订原则	23
5.2	技术路线	24
6	标准主要技术内容	25
6.1	适用范围	25
6.2	VOCs 无组织排放收集和处理系统	25
6.3	设备与管线组件泄漏控制	27
6.4	挥发性有机液体储存与装载控制	32
6.5	敞开液面逸散控制	34
6.6	企业厂区内及厂界 VOCs 监控	37
6.7	监测要求	38
7	与国内外相关标准的对比和分析	39
7.1	本标准与国内相关标准的对比	39

7.2 本标准与国外相关标准的对比	43
8 实施本标准的环境效益及经济技术分析	45
8.1 实施本标准的环境效益.....	45
8.2 实施本标准的经济技术分析.....	45
9 标准实施建议	48
9.1 充分发挥企业的能动性.....	48
9.2 强化第三方环境服务机构的作用.....	49
9.3 配套相应的实施规范和最佳可行技术	49

1 项目背景

《挥发性有机物无组织排放控制标准》是环境保护部 2014 年标准制修订计划项目，由中国环境科学研究院环境标准研究所牵头组织标准的制订工作。

根据工作需要，中国环境科学研究院环境标准研究所与上海市环境监测中心、中国轻工业清洁生产中心、北京市环境保护科学研究院共同组成了标准编制组。

环保部科技标准司于 2014 年 7 月组织召开了标准的开题论证会。会后，编制组开展了挥发性有机物(VOCs)无组织排放典型行业生产工艺与污染控制状况调查和监测、国内外相关标准以及控制技术等工作。在此基础上，标准编制组完成了标准征求意见稿草稿。

环保部大气管理司分别于 2016 年 6 月和 10 月组织召开了标准研讨会，同年 12 月又召开了标准征求意见稿的技术审查会。标准编制组根据专家意见，完成了标准征求意见稿。

2 标准制订必要性

2.1 挥发性有机物的危害

挥发性有机物的大气污染分为臭氧（ O_3 ）污染、细颗粒物（ $PM_{2.5}$ ）污染，有害空气污染物（Hazardous Air Pollutants, HAPs）污染和臭味污染。

臭氧污染。大部分的 VOCs 具有高度的光化学反应性，在阳光下经由紫外线照射，这些 VOCs 与大气中其它化学成分如 NO 反应，形成高浓度的 O_3 及其它过氧化物如 PANs。 O_3 是强氧化剂，会刺激和破坏深呼吸道粘膜和组织，对眼睛有轻度刺激性。

细颗粒物污染。VOCs 参与了大气中二次气溶胶的形成。这样形成的二次气溶胶大多数在细颗粒范围（ $< PM_{2.5}$ ），不易沉降，能较长时间滞留于空中，对光线的散射力较强，从而显著降低大气能见度，形成灰霾天气。

有害空气污染物污染。HAPs 包括 VOCs、多环芳烃化合物、重金属及二噁英等。1990 年美国《清洁空气法（Clean Air Act）》公告的 189 种有害空气污染物中，VOCs 占 70% 以上。我国《工业场所有害因素职业接触限值》（GBZ 2—2002）所列的有害物，绝大多数也是 VOCs。VOCs 最主要的健康影响，在于长时间低浓度暴露下将使人体致癌几率增加。

臭味污染。臭味是人体受物质刺激感受的嗅觉反应，当人对某种气味感到厌恶，即构成臭味污染。臭味物质均具备下列几个共同特性：挥发性高；含还原态氮或硫；含碳数较低的不饱和碳氢化合物或环状化合物结构等。多数 VOCs 具有特殊的气味。

2.2 为改善区域环境质量，需重点控制 VOCs

目前我国以 PM_{2.5} 和 O₃ 为特征污染物的大气复合污染形式严峻，主要表现在能见度低、大气氧化性增强（意味着形成光化学烟雾危险性增强）。改善大气环境质量的關鍵问题是控制 PM_{2.5} 和 O₃。

2010 年 5 月，国务院办公厅转发环境保护部等部门《关于推进大气污染联防联控工作改善区域空气质量指导意见的通知》。《通知》指出挥发性有机污染物是大气污染联防联控的重点污染物之一，应开展挥发性有机物污染防治。

2012 年 9 月，国务院批复了《重点区域大气污染防治“十二五”规划》。《规划》对以大气灰霾为代表的区域复合污染问题十分重视，指出对细颗粒物和臭氧贡献较大的挥发性有机物控制尚处于起步阶段，现有污染控制力度难以满足人民群众对改善环境空气质量的迫切要求。为此，《规划》明确要求开展挥发性有机物摸底调查，完善重点行业挥发性有机物排放控制要求和政策体系，控制石化、有机化工、表面涂装等行业或工艺的挥发性有机物排放。特别重要的是，《规划》对储罐、设备与管线组件泄漏、废水挥发等 VOCs 无组织排放控制有非常具体的规定。例如，要求石化行业全面推行针对设备与管线组件泄漏的 LDAR（泄漏检测与修复）计划，采用高效密封的浮顶罐，废水处理设施（曝气池、气浮池等）加盖密闭；要求有机化工、医药化工等企业提升装备水平，严格控制跑冒滴漏，对于实际蒸汽压大于 2.8 千帕、容积大于 100 立方米的有机液体储罐，采用高效密封方式的浮顶罐或安装密闭排气系统进行净化处理等。

2013 年《国家大气污染防治行动计划》（“气十条”）要求：在石化、有机化工、表面涂装、包装印刷等行业实施挥发性有机物综合整治。

2015 年新修订《中华人民共和国大气污染防治法》第二条：“对颗粒物、二氧化硫、氮氧化物、挥发性有机物、氨等大气污染物和温室气体实施协同控制”。

2.3 VOCs 排放特性决定需要制订通用控制标准

VOCs 无组织排放按源类型的不同，分为设备与管线组件泄漏、有机液体储罐、有机液体装载操作、废水挥发以及工艺过程无组织排放 5 类源，其中设备与管线组件泄漏、有机液体储罐、有机液体装载操作、废水挥发为通用设施无组织排放源。因 VOCs 的易挥发特性，决定了其无组织逸散较多，在石化等一些行业，70% 以上的 VOCs 排放来自无组织逸散。通用设施的无组织排放源具有行业共通性，可通过大致相同的策略（如泄漏检测与修复 LDAR 计划、储罐的高效密封、废水池等敞开液面加盖等）予以控制，因此可以超越各 VOCs 具体排放行业，提出具有普遍性的统一控制要求，制订通用 VOCs 排放设备（设施）的大气污染物排放标准，即 VOCs 无组织排放控制标准。通用标准的制订既避免了各行业标准制订过程中重复工作，提高控制效率，又防止了具体行业排放标准制订时的随意性，使标准体系设置更加合理、科学。

目前 VOCs 行业排放标准多是针对工艺有组织排气制订的标准，这些行业的无组织排放既可执行《挥发性有机物无组织排放控制标准》，也可在行业标准中进行补充规定或另行规定；没有 VOCs 行业排放标准的行业，则执行《挥发性有机物无组织排放控制标准》。

3 VOCs 无组织排放与控制技术分析

3.1 VOCs 无组织排放分析

3.1.1 典型行业 VOCs 无组织排放

VOCs 无组织排放典型行业可以分为三类。一类是 VOCs 的生产行业，如炼油、基础化学原料生产；一类是以 VOCs 为原料的生产行业，如合成材料、化学制药、农药、有机精细化工（涂料、油墨、染料、胶粘剂）等；还有一类是含 VOCs 产品的使用行业，如合成革与人造革、制鞋与皮革制品、人造板、家具制造、工业涂装、铸造、纺织印染、印刷包装、电子等。除上述行业外，在油品、有机溶剂的储存和运输过程中也会发生 VOCs 无组织排放。

3.1.2 挥发性有机污染物无组织排放特点

VOCs 控制与传统大气污染物控制的不同点在于其污染产生形式。传统大气污染物如 NO_x 、 SO_2 等，大多由燃烧过程或加热设备产生，经引风设备收集至污染防治装置后排放，所以控制方向以烟道气检测为主。

但是对于 VOCs 而言，由于其具有挥发性，凡是使用含有 VOCs 物质的储存、运送、混合、搅拌、清洗、涂装、干燥及其它处理工序，均可能造成 VOCs 的排放。因此对其控制方式由传统的排气筒排放控制，扩展到所有可能排放 VOCs 的过程。

VOCs 按排放形式，可分为固定管道排放与无组织排放两大类。固定管道排放是指污染物经由排气筒（烟囱）的有组织排放。无组织排放是指工艺操作中不经排气筒的污染物无组织逸散，包括设备与管线组件泄漏、挥发性有机液体储存和装载、废水收集、处理和储存设施的逸散以及挥发性有机物料输送、分离、精制等工艺过程中的逸散。

3.1.3 设备与管线组件泄漏

在生产及输送 VOCs 相关产品时，大多使用密闭的输送管道运送至生产设备、储罐、装载设施或其它工艺过程。输送过程必须使用大量相关设备和组件，然而在长期使用及空气中酸性物质腐蚀情况下，VOCs 易从设备组件的轴封与配件缝隙处泄漏出来。

可能造成 VOCs 逸散的设备与管线组件包括泵、压缩机、阀门、法兰、释压阀、开口管线、取样连接装置、搅拌器、工艺排出口等。泵与压缩机为流体的动力输送设备，输送过程中消耗的热能会传导给流体而造成 VOCs 排放，此外动力输送时所造成的压力

差与机械振动，会加速 VOCs 的挥发速率而导致 VOCs 逸散量增加。阀门的用途主要在于管路流量的控制、储运设备的装卸，以及储罐与反应器的安全排气（安全阀）。设备与管线组件逸散排放特性见表 3-1；图 3-1为美国石油公司各污染源排放比例，设备与管线的泄漏占 27%。

表 3-1 设备与管线组件逸散排放特性

设备与管线组件	排放源	流体系统
泵	驱动轴封	气体、液体
压缩机	驱动轴封	气体
阀门	阀杆、轴封盖	气体、液体
释压阀	阀座、法兰面	气体
法兰	面封	气体、液体
开口管线	阀门、法兰	气体、液体
取样连接装置	阀门、法兰	气体、液体
搅拌器	驱动轴封	气体、液体
工艺排泄口	与空气接触面	流体/废水

设备与管线组件的逸散排放连续而缓慢，泄漏频率高低与流体特性、组件材质、操作条件、维护状况等因素有关，其中以气体阀、轻质液阀、轻质液泵的泄漏频率较高。图 3-2显示，阀门、泵的泄漏分别占设备与管线泄漏的 43%和 27%。针对上述设备与管线组件，若进行适当检测维修，则可有效降低 VOCs 排放总量。

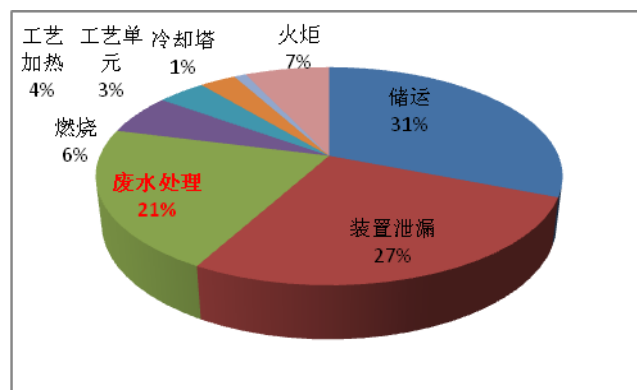


图 3-1 美国石油公司 VOCs 各排放源排放量比例

¹ 陆立群，石化企业储罐无组织排放现状及定量方法比较.

² 蔡仁良，阀门易挥发物逸散的检测方法.

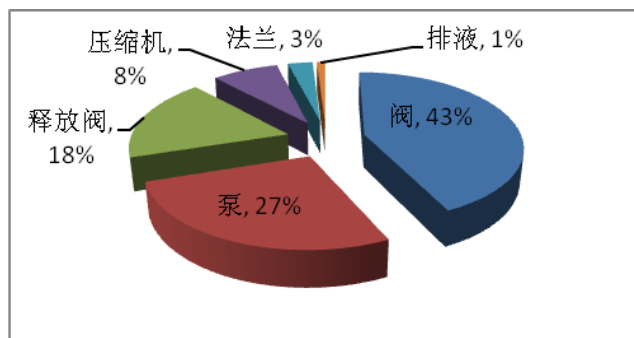


图 3-2 设备与管线逸散分布

3.1.4 挥发性有机液体储存与装载

3.1.4.1 挥发性有机液体储罐逸散

依操作压力的不同，一般可分为常压储罐及压力储罐。常压储罐会有经常性的 VOCs 逸散排放，分为 3 种：固定顶罐、内浮顶罐及外浮顶罐。

固定顶罐的 VOCs 逸散排放来自呼吸损失及工作损失。呼吸损失系指由于温度与压力变化造成蒸气的逸出；工作损失则是装载操作时蒸气置换，以及液体抽出时吸入罐中的空气超过罐内空间容量所产生的逸散。

浮顶罐的 VOCs 逸散排放来自静置储存损失及抽取损失。内浮顶罐的静置储存损失包括板层边缘密封损失、板层附属配件损失、板层接缝损失。

外浮顶罐仅有板层边缘密封损失，无板层接缝损失。

3.1.4.2 挥发性有机液体装载逸散

将挥发性有机液体装入罐车时，空罐内的挥发性有机物蒸气被装入的液体置换而排入大气中。该蒸气包含了：

- ①空罐中，因上一次载运的剩余有机液体所挥发的蒸气；
- ②有机液体卸料时，由蒸气平衡系统传送到罐内的蒸气；
- ③灌装时，储罐内所产生的蒸气。

装载分顶部装载和底部装载两类，顶部装载又可分为溅洒式与浸没式两种。

3.1.5 敞开液面的逸散

在工艺用水的冷却过程中（如冷却塔），由于热交换器接头存在小隙缝，造成挥发性有机物向冷却管外的冷却水中扩散，再挥发排至大气；其它排放源，如厂内废水沟渠、

油水分离池、废水处理设施等，因具有较大的大气接触表面，亦会有较多的 VOCs 排放。

污水中有机性物质可能因其水中溶解性及挥发性，反复地穿梭于气体与液体之间。例如在使用洗涤塔污染防治设备时，许多水溶性 VOCs 可能溶于水中。这些洗涤水被送往污水处理厂后，如果以传统曝气方式处理污水，则原先溶入的 VOCs 再度蒸发至大气，造成 VOCs 排放及局部空气污染。

污水处理初级设施，如集水池（调节池）、隔油池等因废水尚未处理，VOCs 逸散浓度高。鼓风曝气池、气浮池这类对废水进行鼓风、溶气操作的废水处理设施，因大量通入空气，原先溶入的 VOCs 再度蒸发至大气，VOCs 逸散浓度虽不高，但总量很大，也应予以控制。

3.1.6 工艺过程中无组织排放

对于以 VOCs 为原料的生产行业，其使用的挥发性有机物料在原料准备、化学反应、产品分离精制等过程中会排放有机废气，需收集至废气收集系统排放和（或）经污染处理设施净化后排放。

含 VOCs 产品的使用行业涉及涂装（包括涂布和喷涂）、印刷、清洗、黏合、浸渍、成型等作业，作业过程中排放的有机废气，需经废气收集系统和（或）污染处理设施净化后排放。

3.1.6.1 以 VOCs 为原料的生产行业

以 VOCs 为原料的生产行业（如医药、农药、涂料、染料、黏合剂等生产），虽原料和产品表现出巨大的差异，但工艺过程基本一致，即都要经过原料准备、化学反应、产品分离精制、溶剂回收、配料加工成最终商品 5 个基本步骤（如图 3-3）。

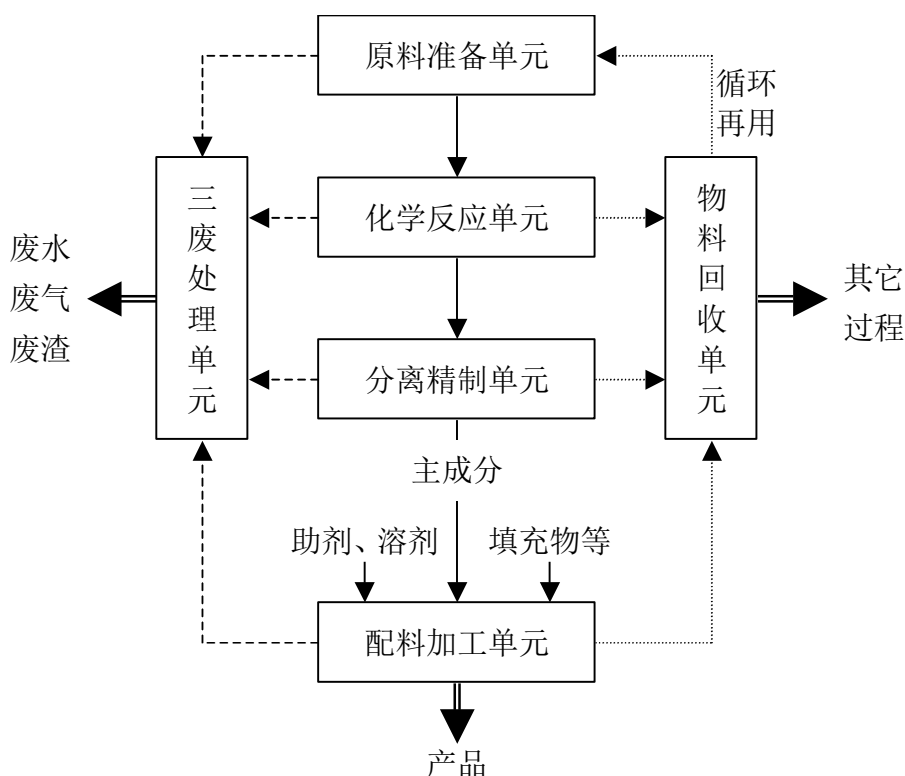


图 3-3 VOCs 为原料的生产行业工艺过程

(1) 原料准备

原料准备是为工艺生产准备物质和创造条件的过程，包括对原料进行储存、输送、装卸料，以及原料制备、加热（或制冷）、增压（或抽真空）等操作过程。

在对挥发性有机物料（原料、中间体、产品以及废料）输送、以及储存过程中除设备管线和储罐的无组织逸散外，还会通过敞开的容器逸散排放；对于非管道密闭投料以及卸料操作，也会发生无组织逸散；通过真空泵或压缩机输送有机气体和有机液体时，真空泵或压缩机会产生排空废气。

(2) 化学反应

化学反应过程是化工生产的核心工艺。反应物在一定介质环境（如溶剂）和反应条件（温度、压力、催化剂等）下，发生化学变化产生出新的化学物质，也包括生物发酵过程。生产装置主要是各种反应釜（器）以及发酵罐，图 3-4 是典型的机械搅拌反应釜示意图（有温度控制）。

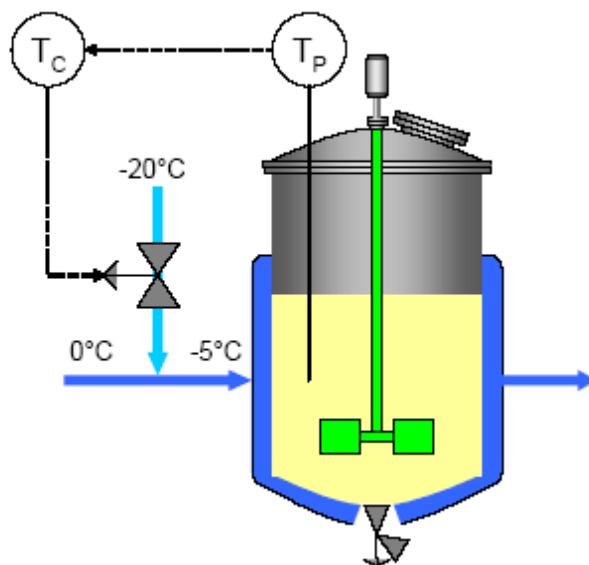


图 3-4 机械搅拌反应釜

液体进料置换/挥发排气，以及反应尾气（如空气氧化尾气、发酵排气）是典型的化学反应装置废气排放。

(3) 产品分离精制

分离精制阶段，可利用的单元操作过程很多，如蒸馏、吸收/洗涤、萃取、过滤、离心、沉降、干燥、结晶、冷冻等，它们利用物质相态（气态、液态、固态）或性质（沸点、溶解度等）的不同，分离混合物（未反应的原料、副产物、溶剂、催化剂等），对产品进行精制，都是物理过程。干燥、蒸馏、萃取、吸收、吸附等单元操作过程都有废气排放。表 3-2 列出了一些典型的化学反应过程和单元操作过程。

表 3-2 主要单元反应步骤和单元操作

化学反应过程	单元操作过程
酰化反应	装料（反应物和溶剂）
加成反应	惰化
烃化反应	反应
羧化	卸料
羧甲基化	结晶
缩合	过滤
重氮化和重氮基的转化反应	产品洗涤

酯化		干燥
卤化		萃取
硝化		电渗析
氧化		吸收
重组		相分离
还原		吸附
取代		蒸馏
亚硫酸化		研磨
磺化		设备清洗

(4) 物料回收

物料回收主要是溶剂回收，包括吸收法、吸附法以及冷凝法等，吸收、吸附、冷凝等单元操作会排放废气。图 3-5 为吸收法工艺流程。

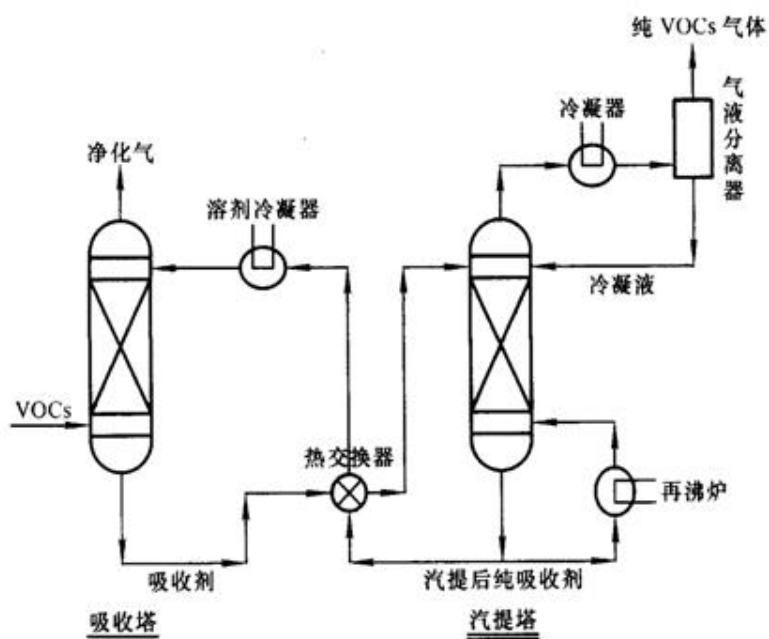


图 3-5 吸收法工艺流程

(5) 配料加工

多种物料（主成分、溶剂、助剂、填充物等）按一定比例和次序混合调配，（没有化学反应过程，为物理过程）加工制成市售商品，这是油漆、涂料生产的主体工艺，也

是医药、农药、染料、颜料等最终产品或制剂的制造工艺。

下面以涂料为例，对其生产工艺和污染物的排放进行说明：

涂料主要由树脂、颜料及溶剂等三种成份调配而成，再加入各种不同特性的添加剂、填充剂等助剂，研磨制成适合各种不同用途的涂料。涂料生产所使用合成树脂的种类包括醇酸树脂、压克力树脂、环氧树脂、酚醛树脂、聚氨基甲酸酯树脂、聚酯树脂等，而常用的溶剂包括甲苯、二甲苯、醋酸乙酯、丙酮、丁酮、甲醇、乙醇及异丙醇等。典型的涂料制造流程如图 3-6 所示，由原料依比例称重、调配后，送入搅拌桶内搅拌均匀，再利用研磨机研磨至客户要求的微细程度，并经调色及装罐后成为成品。涂料制造因原料本身为溶剂，在混合、搅拌或配料过程中会发生逸散排放。

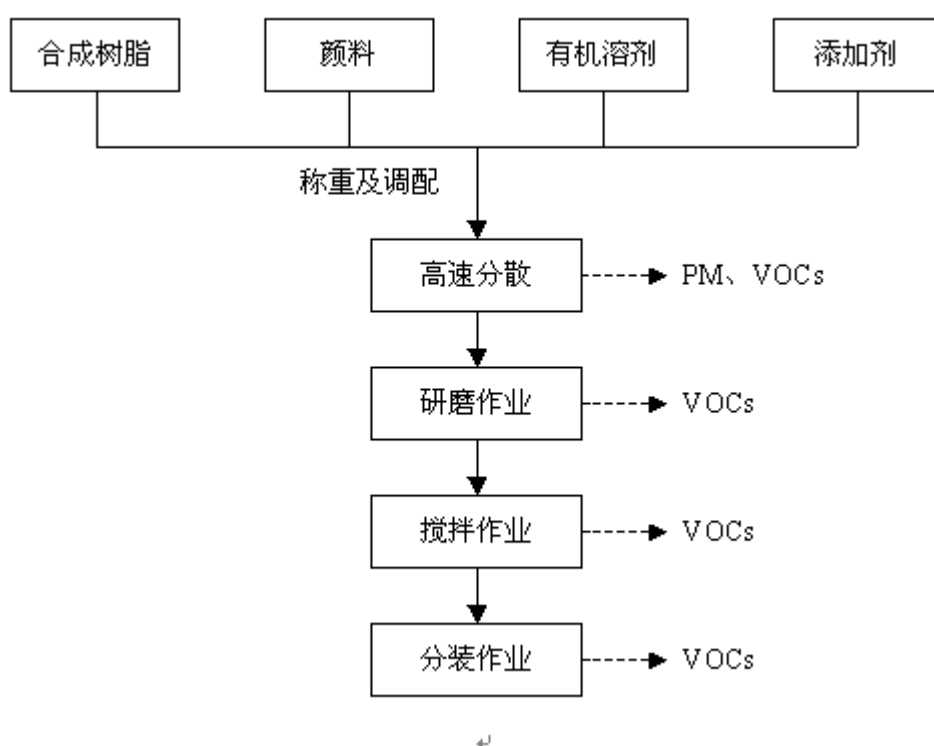


图 3-6 涂料制造流程和污染物排放

3.1.6.2 含 VOCs 产品的使用行业

(1) 汽车涂装过程

汽车涂装工艺流程如图 3-7 所示。底涂采用电泳漆涂装，VOCs 产生量相对比较小。中涂和面漆喷漆采用自动静电喷涂法，目前喷漆线上已用机器人喷涂，实现了喷涂无人化。为了达到良好的涂层效果，喷漆室必须进行强制通风，以排出漆雾和 VOCs。通风量考虑喷漆工艺技术、涂料种类（如固体份、溶剂含量）和涂装线速度等因素，通常达到每小时几十万立方米到上百万立方米，是产生 VOCs 的最主要工艺。烘干是喷漆、电

泳之后的工序，烘干室通风量一般在每小时几千立方米到几万立方米，有机废气经催化燃烧或者直接燃烧后排放，控制效果比较好。

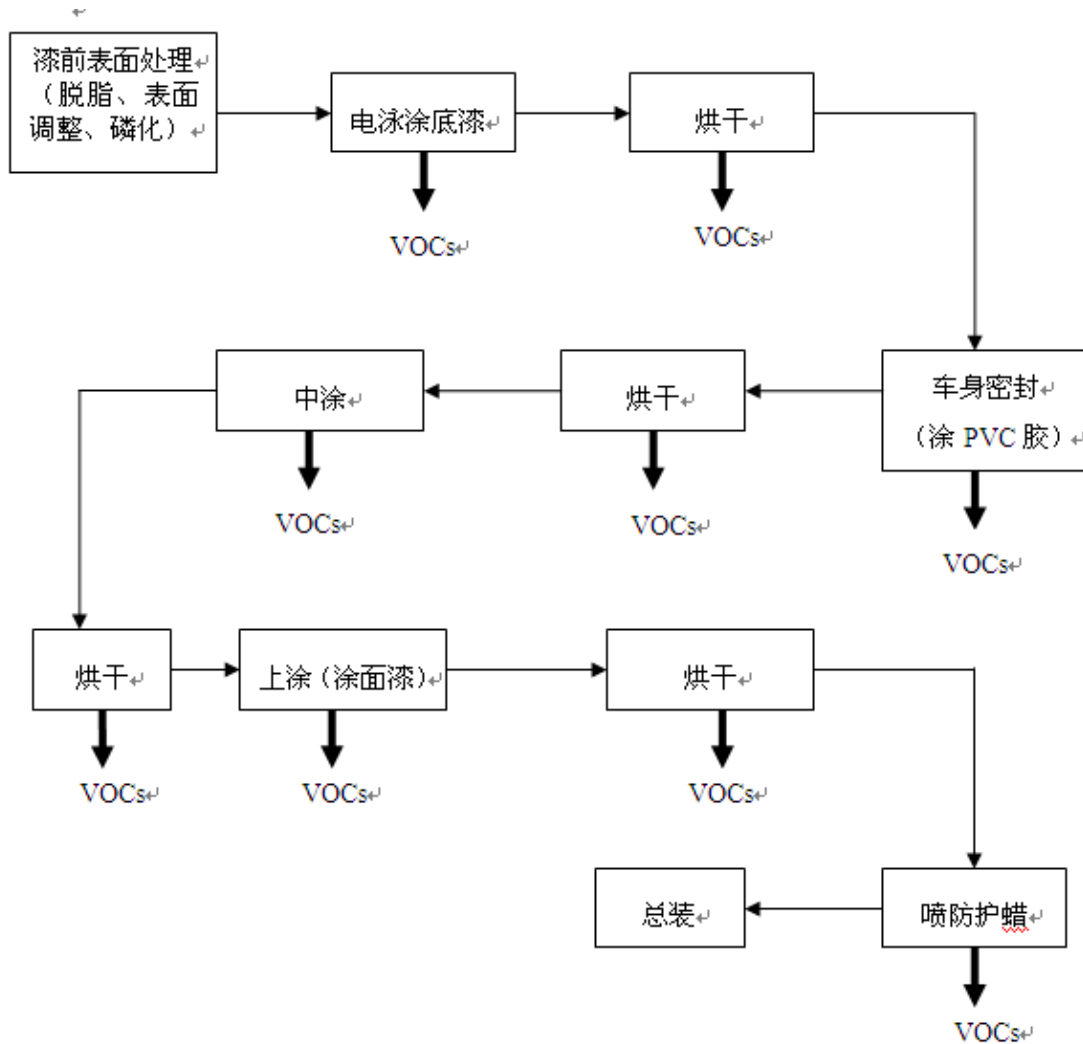


图 3-7 汽车涂装工艺流程和污染物排放

(2) 人造板生产

以干法生产工艺生产的中密度纤维板，是以木质纤维或其他植物纤维为原料，施加脲醛树脂或其他合成树脂，在加热加压条件下，压制而成的一种板材。生产工艺如图 3-8 所示。有机废气主要来源施胶、纤维干燥过程、纤维板热压和冷却过程。

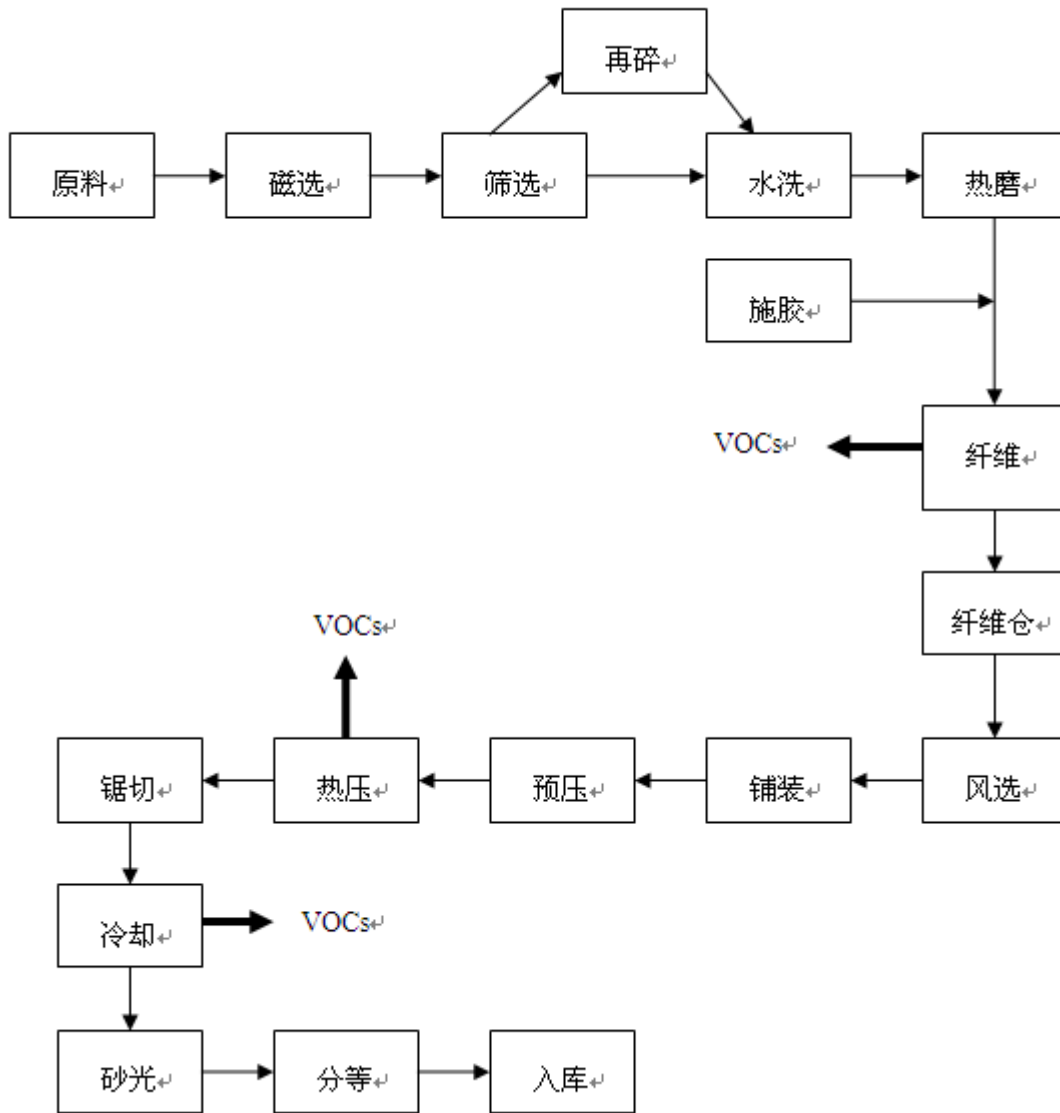


图 3-8 人造纤维板工艺流程和污染物排放

(3) 印刷

某塑料包装印刷企业，采用凹版印刷，主要生产流程和废气排放如图 3-9 所示。废气主要来自印刷烘干、配胶和复合过程。

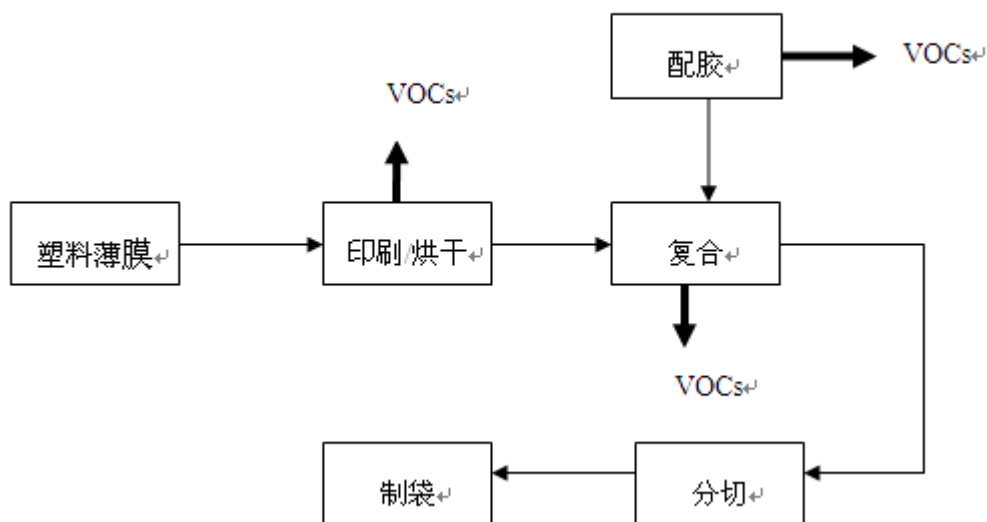


图 3-9 塑料包装袋工艺流程和污染物排放

3.2 VOCs 控制技术分析

VOCs 控制技术分为两大类：一类是预防性措施，包括改进工艺技术，加强设备维护管理；一类是以末端治理为主的控制性措施。

3.2.1 改进工艺

用不易挥发或不挥发的溶剂替代易挥发的溶剂，比如使用水性涂料代替油性涂料；用压缩天然气取代汽油等。对依赖于溶剂挥发的涂料、精加工和装饰过程，用其他不依赖溶剂挥发过程取代，如硫化床粉末涂料和紫外平版印刷工艺等。

3.2.2 加强设备维护

对于设备泄漏的控制包括正确选择密封件、正确安装和使用维护，以防止泄漏。

以法兰连接为例，应①选择合适的、正确的构件（法兰、垫片、垫圈、螺栓等）；②正确安装；③正确的螺栓预紧和装载；④定期检查、维护。

以阀门为例，应①正确选择填料的材料和结构；②将填料正确的填进填料函里；③定期检查、维修和替换填料；④关注可能引起泄漏的过程，比如危险位置阀门填料的完整性等。

3.2.3 VOCs 末端处理技术

从原料、工艺以及操作管理入手可以有效降低 VOCs 的产生量，但若达到 VOCs 的低排放，末端处理技术是最后一道防线。末端处理技术种类很多，主要可区分为破坏法（如热力燃烧、催化燃烧、生物处理）和回收法（如吸收法、吸附法、冷凝法、蒸汽平衡）两大类。

（1）热力燃烧

热力燃烧是利用燃料燃烧产生的热量，对污染物进行高温氧化反应，将 VOCs 转变成 CO_2 及 H_2O 等无害物质。优点为去除 VOCs 效果良好（正常操作处理效率可达 98% 以上），缺点为高温操作时易产生 NO_x 。

热力燃烧直接通过火焰氧化 VOCs，设计时主要考虑的因素包括燃烧温度、停留时间及燃烧器中气流的扰动程度与混合效果。燃烧器中产生的高温烟道气，具有较高的热能，需要进行热量回收。热回收方式有换热式和蓄热式两种。

（2）催化燃烧

催化燃烧是利用催化剂降低化学反应活化能，使 VOCs 的燃烧反应可在较低的温度（300~400℃）下进行，将废气中的 VOCs 氧化成无害的 CO_2 和 H_2O 。由于燃烧温度较直接热力燃烧低，所需的辅助燃料用量较少，相对热力燃烧方式操作费用低。

处理有机废气的催化剂主要有两种：金属氧化物（ Cr_2O_3 、 CuO 等）和贵金属（Pt、Pd 等）。一般而言，催化剂活性越大、比表面积越大、活性位置越多或催化剂涂覆越均匀，则 VOCs 处理效率越佳。

有机物催化燃烧的处理效率与操作温度、空间速度、VOCs 的组成与浓度、催化剂特性、在进气中是否有对催化剂产生毒害物质等因素有关，一般可以达到 95% 以上的 VOCs 去除效率。

（3）活性炭吸附

吸附法主要利用高孔隙率、高比表面积的吸附剂，通过物理吸附（可逆反应）或化学吸附（不可逆反应）作用，将 VOCs 气体分子自废气中分离，以达到净化废气的目的。

吸附效率的高低取决于接触面以及吸附气体的物理性质。常用的吸附剂有活性炭、分子筛（沸石）、活性氧化铝、硅胶等。设计良好的吸附系统处理效率可达 95%~99%。

利用吸附剂（常用活性炭）吸附去除废气中的有机污染物，吸附饱和后需更新/再生吸附剂以维持处理效率。

（4）吸收

吸收亦可称之为洗涤，是气态污染物与吸收液接触，利用分子扩散、紊流等质量传

递，以及化学反应等现象，使污染物由气相转移到液相，以达到净化废气的目的。

根据吸收原理，可区分为物理吸收与化学吸收二种。化学吸收主要是利用吸收剂与气态污染物产生反应而予以去除；物理吸收则主要是利用气体在液体中的溶解度，而达到去除气态污染物的目的。目前较常用的吸收系统包括喷雾塔、填充塔、板式塔等。吸收系统对于废气中污染物去除的决定因素包括污染物在溶剂中的溶解度、浓度、温度以及气液比。

吸收系统 VOCs 去除效率与吸收剂选择、系统设计及操作有关，一般最佳的吸收塔 VOCs 处理效率可达 99%。

(5) 冷凝

冷凝法是将废气降温至 VOCs 露点温度以下，使其凝结成为液态并加以回收的方法。

冷凝法对有机物质的回收程度，与废气中 VOCs 的浓度，以及冷却的温度和冷却介质的种类有关。VOCs 处理效率通常在 50%~95% 之间。

由于冷凝法回收 VOCs 成本较高，故一般用于具有高回收价值且成分单纯、浓度高的 VOCs 废气处理。

(6) 生物处理

生物处理是将 VOCs 通过生物处理系统，利用微生物的分解、氧化、转化等机制，将污染物完全氧化分解成 CO₂、H₂O 等无害的无机物。

生物处理法具有操作方便，能量消耗小且将污染物分解为无害物质等优点。依微生物形态，可分为生物滤床、生物滴滤塔与生物洗涤塔等三种。

处理技术的比较见表 3-3。VOCs 净化处理可以是单一处理技术，也可以是处理技术的组合，例如吸附浓缩燃烧技术等。

表 3-3 各种 VOCs 末端控制技术比较

控制技术	优点	缺点
热力燃烧	<ul style="list-style-type: none">◇ 适用 VOCs 物质的范围广◇ 对高浓度废气不需辅助燃料时，能源效率佳◇ 污染物破坏效率高◇ 可回收能源	<ul style="list-style-type: none">◇ 对低浓度废气，燃料成本高◇ 操作温度高
催化燃烧	<ul style="list-style-type: none">◇ 燃料消耗率低◇ 污染物破坏效率高◇ 可回收能源	<ul style="list-style-type: none">◇ 触媒易被毒化◇ 对某些污染物成分及浓度有所限制

活性炭吸附	<ul style="list-style-type: none"> ◇ 低操作成本 ◇ 适合于低浓度下的各种污染物 ◇ 可回收溶剂 	<ul style="list-style-type: none"> ◇ 高投资成本 ◇ 不适合高浓度废气 ◇ 不适合含水分的溶剂 ◇ 不适合含颗粒物的废气 ◇ 有火灾危险
吸收 / 洗涤	<ul style="list-style-type: none"> ◇ 低操作成本 ◇ 适合于多种污染物 ◇ 对臭味去除有很高的效率 	<ul style="list-style-type: none"> ◇ 不适合难溶性物质 ◇ 不适合低浓度废气 ◇ 产生废水（二次污染）
冷凝	<ul style="list-style-type: none"> ◇ 可回收溶剂 	<ul style="list-style-type: none"> ◇ 能源消耗高 ◇ 水溶性物质易溶于水汽中 ◇ 只适合高浓度废气
生物处理	<ul style="list-style-type: none"> ◇ 低投资成本 ◇ 低操作成本 ◇ 无二次污染问题 	<ul style="list-style-type: none"> ◇ 高浓度废气去除效率有限 ◇ 不适合生物难分解性物质 ◇ 占地面积较大

4 国内外标准现状调研

4.1 国内相关标准

国家于 2015 年发布了 GB31570-2015《石油炼制工业污染物排放标准》、GB 31571-2015《石油化学工业污染物排放标准》、GB31572-2015《合成树脂工业污染物排放标准》。北京、天津、河北又先后出台了 DB11/447-2015《炼油与石油化学工业大气污染物排放标准》、DB11/1385-2017《有机化学品制造业大气污染物排放标准》、DB12/524-2014《工业企业挥发性有机物排放控制标准》，DB13/2322-2016《工业企业挥发性有机物排放控制标准》。这些标准都对设备管线泄漏、有机液体储存和装载等 VOCs 无组织排放源提出了控制要求，详见表 7-1。上海则通过制订技术规程来控制 VOCs 无组织排放源，即《设备泄漏挥发性有机物排放控制技术规程（试行）》（2014）和《化工装置开停工和检维修挥发性有机物排放控制技术规程（试行）》（2014）。

针对固定污染源 VOCs 监测，国家先后发布了 HJ/T 38-1999《固定污染源排气中非甲烷总烃的测定 气相色谱法》、HJ 734-2014《固定污染源废气 挥发性有机物的测定 固相吸附-热脱附/气相色谱-质谱法》、HJ 733-2014《泄漏和敞开液面排放的挥发性有机物检测技术导则》等监测方法，还需配套 TOC（VOCs 物质加和）以及 VOCs 在线监测等相关标准。

4.2 美国相关标准

美国固定源大气污染物排放标准对 VOCs 无组织排放从工艺源头予以控制，制订了通用排放标准，见图 4-1，行业标准可以直接引用通用标准，也可以根据行业特点，对工艺排气、设备泄漏、废水挥发、储罐、装载操作 5 类源，分别规定排放限值或工艺设备、运行维护要求，见图 4-2。

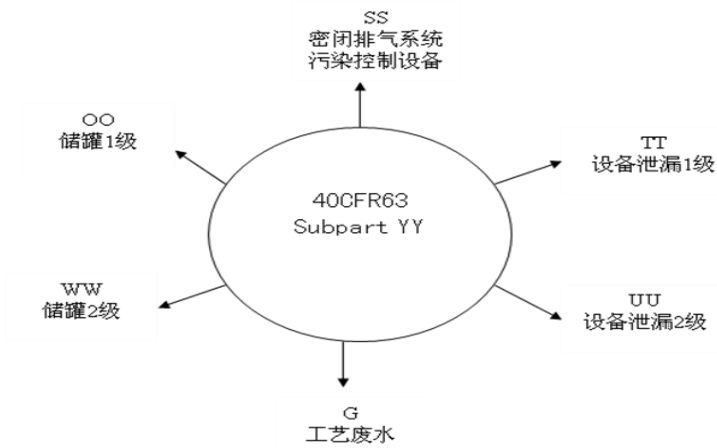


图 4-1 美国 VOCs 无组织逸散通用排放标准

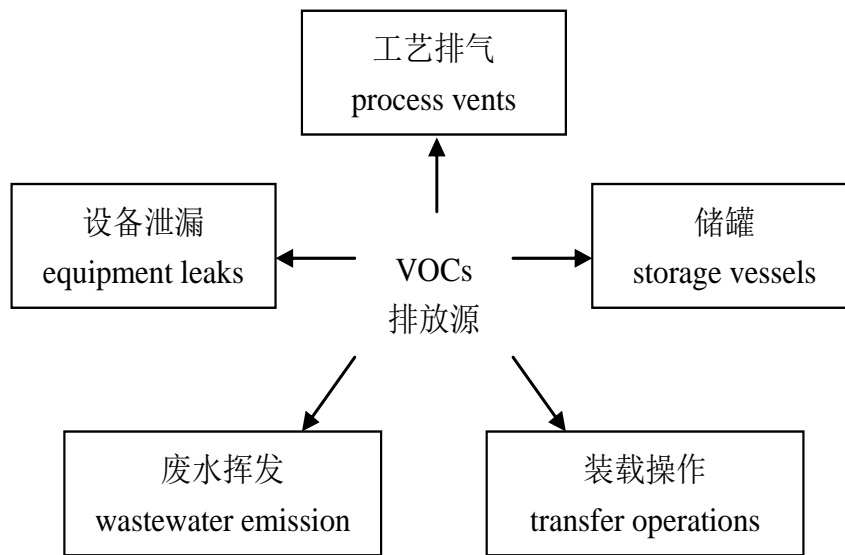


图 4-2 美国 VOCs 排放标准的源类划分

4.2.1 通用标准

美国针对 VOCs 无组织排放制定了一系列通用标准，如表 4-1 所示。

表 4-1 美国 VOCs 无组织排放通用标准

逸散类别	标准名称	适用范围
设备与管	40CFR63 Subpart TT 设备泄漏 (1)	该标准适用于设备泄漏产生的大气污染物

线的泄漏	级控制)	的排放控制, 通过其它标准引用本标准而生效
	40CFR63 Subpart UU 设备泄漏 (2级控制) 排放标准	
储罐	40CFR63 Subpart OO 储罐 (1级)	适用于非泥土材料 (如木材、混凝土、钢材、玻璃纤维、塑料等) 建造的固定顶罐, 通过其它标准引用本标准而生效
	40CFR63 Subpart WW 储罐 (2级)	适用于内浮顶罐 (IFR)、外浮顶罐 (EFR) 及等效控制措施, 通过其它标准引用本标准而生效
废水	40CFR63 Subpart G 有机合成化学工业工艺通风、储存、转运设施以及废水液面 HAPs 排放标准	适用工艺废水收集和处理过程中 VOCs 控制

4.2.2 储罐控制标准

美国除制定储罐通用标准外, 部分行业标准根据自身特点, 对储罐提出控制要求, 如表 4-2 所示。

表 4-2 美国储罐控制标准

40CFR63 Subpart OO 储罐排放标准	40CFR63 Subpart GGG 制药标准	40CFR63 Subpart MMM 农药标准
<p>固定顶罐: 固定顶和密封装置应在液体表面形成连续的屏障, 不得有可见的裂缝、孔洞等; 固定顶上的每个开口以及其它辅助系统, 应密闭良好, 并通过密闭排气系统连通至控制设备</p> <p>浮顶罐: ①内浮顶应采用液体镶嵌式密封、机械式鞋形密封或双封式密封, 外浮顶可采用液体镶嵌式密封及二次密封, 或者机械式鞋形密封及二次密封②内浮顶应每年检查1次, 储罐倒空时检查。外浮顶: 初次存储90天内检查; 一次密封每5年检查1次、二次密封每年检查1次; 储罐倒空时检查。③罐项目视检查, 发现以下问题证明失效: 浮顶上有存储的液体; 一次或二次密封有孔洞或磨损; 浮顶、配件、密封不能按设计要求发挥作用; 不符合运行要求; 任何密封处的缝隙大于0.32 cm</p>	<p>总HAP的最大真实蒸汽压≥ 13.1 kPa储罐, 应采用内浮顶、外浮顶以及能转换成内浮顶的外浮顶或配置密闭排气系统至污染控制设备</p> <p>对于容积≥ 38 m³但小于75 m³的液体储罐, 污染控制设备应满足进口总HAP削减90%以上; 出口TOC浓度小于或等于20ppmv</p> <p>对于设计容积≥ 75 m³的液体储罐, 污染控制设备应满足进口总HAP削减95%以上; 出口TOC浓度小于或等于20ppmv</p>	<p>现有源的容积≥ 75 m³、储存物料最大真实蒸汽压≥ 3.45 kPa的储罐, 或者新源的容积≥ 40 m³、物料最大真实蒸汽压≥ 16.5 kPa的储罐, 或新源的容积≥ 75 m³、物料最大真实蒸汽压≥ 3.45 kPa的储罐; 应采用内浮顶、外浮顶以及能转换成内浮顶的外浮顶或配置密闭排气系统至污染控制设备</p> <p>污染控制设备为燃烧控制设施应满足出口TOC浓度小于或等于20ppmv; 若送至非燃烧控制设施, 出口TOC浓度小于或等于50 ppmv</p>

4.2.3 设备管线控制标准

美国除制定设备管线泄漏控制的通用标准外, 部分行业标准根据自身特点, 对设备管线泄漏提出控制要求, 如表 4-3 所示。

表 4-3 美国设备管线泄漏标准

<p>40CFR63 Subpart TT设备泄漏（1级控制）标准 40CFR63 Subpart UU设备泄漏（2级控制）标准</p>	<p>40CFR63 Subpart MMM农药标准 40CFR63 Subpart GGG 制药标准</p>
<p>Subpart TT ①豁免条款：真空设备；年工作小于300小时的设备；不接触或包含制程流体的设备和管线组件 ②技术内容 泄漏限值定义为10000 ppmv</p> <p>Subpart UU ①豁免条款：真空设备；年工作小于300小时的设备；不接触或包含制程流体的设备和管线组件 ②技术内容 a. 泄漏限值定义为500 ppmv，但以下例外： a) 轻质液泵：用于聚合物制造的单体，为5000 ppmv；用于食品和医药，为2000 ppmv；其它为1000 ppmv（但大于2000 ppmv才需要修复） b) 重质液泵：用于聚合物制造的单体，为5000 ppmv；其它为2000 ppmv c) 搅拌器：10000 ppmv b. 泄漏修复：发现泄漏后15日内修复完成，第一次尝试修复应在5日内进行</p>	<p>①豁免条款：运行环境为非工艺流体的管线和设备不执行标准规定；公用设施和其他非工艺管线如加热冷却系统等不属于工艺部分；小规模试验工艺；真空运行的设备；运行中含有机HAP的设备，若其运行时间少于300h/y ②技术内容 a. 轻质液泵、气体/蒸汽搅拌器和轻质液搅拌器标准 a) 泄漏定义：对于搅拌器，设备读数大于等于10000ppm为泄漏。对于泵，读数大于等于2000ppm为泄漏 b) 泄漏修复：检测到泄漏后，应尽快进行修复。时间应不晚于泄漏检测日后15天。初次修复工作应在检测到泄漏后5天内进行 b. 气体/蒸汽阀门、轻质液阀门标准 a) 泄漏定义：仪器读数大于等于500ppm b) 泄漏修复：检测到泄漏后，应尽快进行修复。时间应不晚于泄漏检测日后15天。初次修复工作应在检测到泄漏后5天内进行。修复后头3个月至少检测一次</p>

4.2.4 敞开液面控制标准

美国除制定控制废水液面的通用标准外，部分行业标准根据自身特点，对废水液面的逸散提出了控制要求，如表 4-4 所示。

表 4-4 美国污水液面控制标准

<p>40CFR63 Subpart G 有机合成化学工业工艺通风、储存、转运设施以及废水液面HAPs排放标准</p>	<p>40CFR63 Subpart MMM农药标准</p>
<p>①适用条款： 现有源：废水中75种化合物的浓度$\geq 10000\text{ppmw}$或$\geq 1000\text{ppmw}$，且流量$\geq 10\text{ l/min}$ 新源：废水中75种化合物的浓度$\geq 1000\text{ppmw}$，且流量$\geq 10\text{ l/min}$或废水中24种化合物的单个物质浓度$\geq 10\text{ppmw}$，且流量$\geq 0.02\text{ l/min}$ ②废水收集系统逸散控制：污水罐、蓄水池、容器、独立排水系统、油水分离器 ③废水处理装置的大气排放控制：污水汽提、生</p>	<p>①适用条款： 同40CFR63 Subpart G ②污水罐 a. 除污水罐进行放热反应或处于喷发状态外，应配置固定顶 b. 采用以下排放控制技术中的一种：固定顶和密闭排气系统；废水池排出的有机HAP流经密闭排气系统后进入控制设施；固定顶和内浮顶；外浮顶</p>

<p>物处理、循环回到工艺中</p> <p>④对于废水收集系统和处理装置，密闭排气至控制设备应符合：减少95%的有机HAPs或TOC排放，或排放浓度小于等于20 ppmv</p>	<p>c. 所有通气孔（如舱口、采样口等）应一直处于关闭状态（使用通气孔进行废水采样、排出、设备检查和维护等除外）</p> <p>③蓄水池 采用盖子和密闭排气系统，或采用浮动柔性膜覆盖</p> <p>④容器 a. 处理、转移或储存废水或废水残留物的容器均应配有盖子。盖子和所有通气孔应一直处于封闭状态（通气孔进行检查、采样或卸压情况除外） b. 在废水处理期间，如曝气、加热处理等，无论何时打开容器，容器都应配有密闭排气系统</p> <p>⑤独立排水系统 单个排水系统的每处通风口均应附有盖子，若有气体排放，应使气体进入工艺过程，或者通过密闭排气系统，进入控制设施</p> <p>⑥油水分离器 应采用以下其中一种控制技术：固定顶和密闭排气系统；浮顶</p>
---	--

4.3 欧盟相关标准

欧盟工业排放指令（2010/75/EU）对使用有机溶剂的设施和作业规定了排放浓度、无组织逸散率以及总量排放三类控制指标，见表 4-5。

表 4-5 欧盟工业排放指令（2010/75/EU）

序号	作业 (溶剂消耗) (吨/年)	阈值(溶剂消耗) (吨/年)	废气排放限值 mgC/N m ³	无组织逸散率		总量排放限值		备注
				新源	现源	新源	现源	
1	热卷筒胶印 (>15)	15-25 >25	100 20	30 ⁽¹⁾ 30 ⁽¹⁾		—		⁽¹⁾ 成品中的溶剂不算在无组织排放中
2	转轮凹印 (>25)	—	75	10	15	—		
3	其它凹印、柔版印刷、圆网印花、塑封或者上光单元 (>15) 纺织品或纸板上的圆网印花 (>30)	15-25 >25 >30 ⁽¹⁾	100 100 100	25 20 20		—		⁽¹⁾ 这个阈值是指在纺织品或纸板上的圆网印花
4	表面清洗 ⁽¹⁾	1-5	20 ⁽¹⁾	15		—		⁽¹⁾ 阈值代表化合物总量

	(>1)	>5	20 ⁽¹⁾	10		mg/Nm ³ ,不是总碳
5	其他表面清洗 ⁽¹⁾ (>2)	2-10 >10	75 ⁽¹⁾ 75 ⁽¹⁾	20 ⁽¹⁾ 15 ⁽¹⁾	—	⁽¹⁾ 能向主管当局证明所使用的材料中有机溶剂的平均含量不超过 30% (重量计) 的可豁免
6	交通工具涂装 (<15) 和交通工具表面整修	>0.5	50 ⁽¹⁾	25	—	⁽¹⁾ 15 分钟的平均测量值
7	线圈表面喷涂 (>25)		50 ⁽¹⁾	5 10	—	⁽¹⁾ 溶剂回收装置的排放限值 150
8	其它涂层,包括金属、塑料、纺织品、织物 ⁽⁵⁾ 、薄膜和纸喷涂 (>5)	5-15 >15	100 ⁽¹⁾⁽⁴⁾ 50/75 ⁽²⁾ ⁽³⁾⁽⁴⁾	25 ⁽⁴⁾ 20 ⁽⁴⁾	—	⁽¹⁾ 适用于一定条件下的喷涂和干燥工艺操作 ⁽²⁾ 第 1 个排放限值适用于干燥工艺,第 2 个排放限值适用于喷涂 ⁽³⁾ 纺织品喷涂溶剂回收,喷涂干燥限值 150 ⁽⁴⁾ 对于造船、飞机喷涂可以豁免 ⁽⁵⁾ 纺织品圆网印花包含在 3 中
9	绕组线涂布 (>5)	—	—	—	10g/kg ⁽¹⁾ 5g/kg ⁽²⁾	⁽¹⁾ 适用于平均直径 ≤0.1mm ⁽²⁾ 适用于所有
10	木制表面喷涂 (>15)	15-25 >25	100 ⁽¹⁾ 50/75 ⁽²⁾	25 20	—	⁽¹⁾ 适用于一定条件下的喷涂和干燥工艺 ⁽²⁾ 第 1 个值适用于干燥工艺,第 2 个值适用于喷涂工艺
11	干洗	—	—	—	20g/kg ⁽¹⁾⁽²⁾	⁽¹⁾ 以清洗千克产品排放的溶剂的质量表示 ⁽²⁾ 文中 5(8) 的限值不适用此处
12	木材浸渍 (>25)	—	100 ⁽¹⁾	45	11kg/m ³	⁽¹⁾ 不适用于用木榴油处理的室外底漆木
13	皮革涂覆 (>10)	10-25 >25 (>10) ⁽¹⁾	—	—	85g/m ² 75 g/m ² 150 g/m ²	排放限值用生产 1 m ² 产品挥发的溶剂克数来表示 ⁽¹⁾ 用于家具和精细商品如包、皮带、钱包等
14	鞋生产 (>5)	—	—	—	25 g 每双	总排放限值用生产 1 双鞋挥发的溶剂克数来表

								示
15	木材和塑料胶合 (>5)	—	—	—	30g/m ²			
16	粘合层 (>5)	5-15 >15	50 ⁽¹⁾ 50 ⁽¹⁾	25 20	—			⁽¹⁾ 回收溶剂废气排放限值 150
17	涂料配制、清漆、油墨和粘合剂的生产	100-100 0 >1000	150 150	5 3	溶剂量的 5% 溶剂量的 3%			无组织排放限值不包括产品中溶剂
18	橡胶加工 (>15)	—	20 ⁽¹⁾	25 ⁽²⁾	溶剂量的 25%			⁽¹⁾ 溶剂回收废气排放限值 150 ⁽²⁾ 无组织排放限值不包括产品中溶剂
19	菜油和动物脂肪萃取和菜油精炼活动 (>10)	—	—	—	动物脂肪: 1.5 kg/t 海狸香: 3 kg/t 油菜籽: 1 kg/t 向日葵: 1 kg/t 大豆(压榨): 0.8 kg/t 大豆(白点): 1.2 kg/t 其它籽和其他蔬菜: 3 kg/t ⁽¹⁾ 1.5 kg/t ⁽²⁾ 4kg/t ⁽³⁾			⁽¹⁾ 总量排放限值的依据为最佳可行技术 ⁽²⁾ 适用于干燥工艺所有的分馏工艺, 但是不包括脱胶 ⁽³⁾ 适用于脱胶
20	药品的生产	—	20 ⁽¹⁾	5 ⁽²⁾	15 ⁽²⁾	溶剂量的 5%	溶剂量的 15%	⁽¹⁾ 溶剂回收废气排放限值 150 ⁽²⁾ 无组织排放限值不包括产品中溶剂

4.4 德国相关标准

“空气质量控制技术指南” TA Luft (2002) 中包含所有装置的详细法规和限值, 包括通用和行业两部分。VOCs 无组织逸散控制要求在通用部分, 如表 4-6 所示。

表 4-6 有机物逸散性排放通用标准

污染类型	控制内容
------	------

泵 (5.2.6.1)	<ul style="list-style-type: none"> ◇ 新泵应采用电动屏蔽泵、双端面机械密封、隔膜泵和贝娄泵等 ◇ 现有泵若输送一般有机液体可继续使用，直到被新泵取代
压缩机 (5.2.6.2)	<ul style="list-style-type: none"> ◇ 输送毒性气体采用多密封系统。如果使用湿密封系统，用于压缩机的密封液不得直排到大气。如果使用干密封系统，当输入惰性气体或排出泄漏物质时，排出气体应收集到集气系统
法兰 (5.2.6.3)	<ul style="list-style-type: none"> ◇ 紧固法兰技术应符合 VDI 2440 年指南(2000 年 11 月版)要求 ◇ 法兰密封的特性值应符合 DIN 28090-1 (1995 年 9 月版) or DIN V ENV 1591-2(2001 年 10 月版)要求
阀门 (5.2.6.4)	<ul style="list-style-type: none"> ◇ 使用波纹管密封截止阀或下游设置安全阀或类似效果的密封系统
取样 (5.2.6.5)	<ul style="list-style-type: none"> ◇ 采样点应密封或类似控制设备来确保排放只发生在取样时，取样时排放气体应被收集
装载 (5.2.6.6)	<ul style="list-style-type: none"> ◇ 采用油气回收或顶部浸入装载或当油气回收技术不可行时，将废气引入净化装置
储罐 (5.2.6.7)	<ul style="list-style-type: none"> ◇ 固定顶罐应配备安装密闭集气系统或废气净化装置(不适用于存储一般有机液体容积300m³以下储罐) ◇ 存储量超过20000 m³的原油储罐应存储在边缘有效密封的浮顶罐或带内部浮动盘的固定顶罐，与不带内部浮动固定顶罐相比排放可减少至少97% ◇ 对地面储罐，外壁和罐顶应涂覆合适的涂料，可降低热反射率最低至70% ◇ 只要与安全不冲突，从释压组件及排放设施排放的废气应排入蒸气收集系统或废气净化装置 ◇ 检测或储罐清洗排出的废气应排入焚烧系统或采取等效措施
<p>适用的有机液体：20℃，蒸气压大于 1.3 kPa 有机液体；质量超过 1% I 类有机物，II 类或 III 类致癌物或生殖毒性物质；质量超过 10 mg /kg I 类致癌物或诱变物质；缓慢降解,高度累积和高毒性有机物质。</p>	

5 标准制订的基本原则和技术路线

5.1 制订原则

(1) 污染预防、过程控制与末端处理相结合，控制 VOCs 无组织排放

VOCs 的控制首先采用先进工艺和设备以及加强设备维护管理，尽可能减少或消除 VOCs 的产生。对产生的 VOCs，优先采用吸收、吸附、冷凝等技术回收利用；对不能

回收利用的 VOCs，最终采用燃烧等技术。如图 5-1 所示。

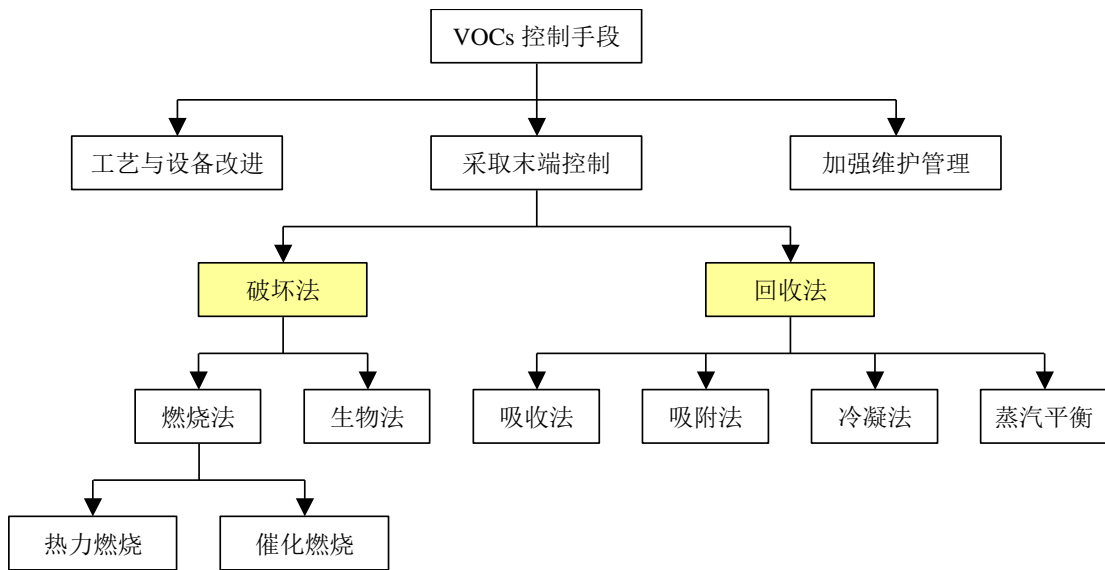


图 5-1 VOCs 控制策略

(2) 排放限值与技术管理规定相结合

根据可行污染控制技术制订排放限值，控制 VOCs 排放。同时对于 VOCs 无组织逸散（设备与管线组件、储罐、废水处理设施等），制订合理的污染控制技术与管理规定，更有效控制 VOCs 排放。例如，规定易挥发性液体储罐采用浮顶罐技术，对设备与管线组件 VOCs 泄漏建立巡检制度等。

5.2 技术路线

对典型 VOCs 行业（医药制造、农药制造、涂料制造、涂装等）进行调研，分析评估 5 类无组织排放源（设备与管线泄漏、有机液体的储存和装载操作、废水集输、储存和处理以及工艺过程无组织排放）排放现状、控制技术以及装备情况等，同时参考国外相关法规标准、国家相关产业政策要求以及达标成本和环境效益分析，最终确定排放标准限值和相关规定，如图 5-2 所示。

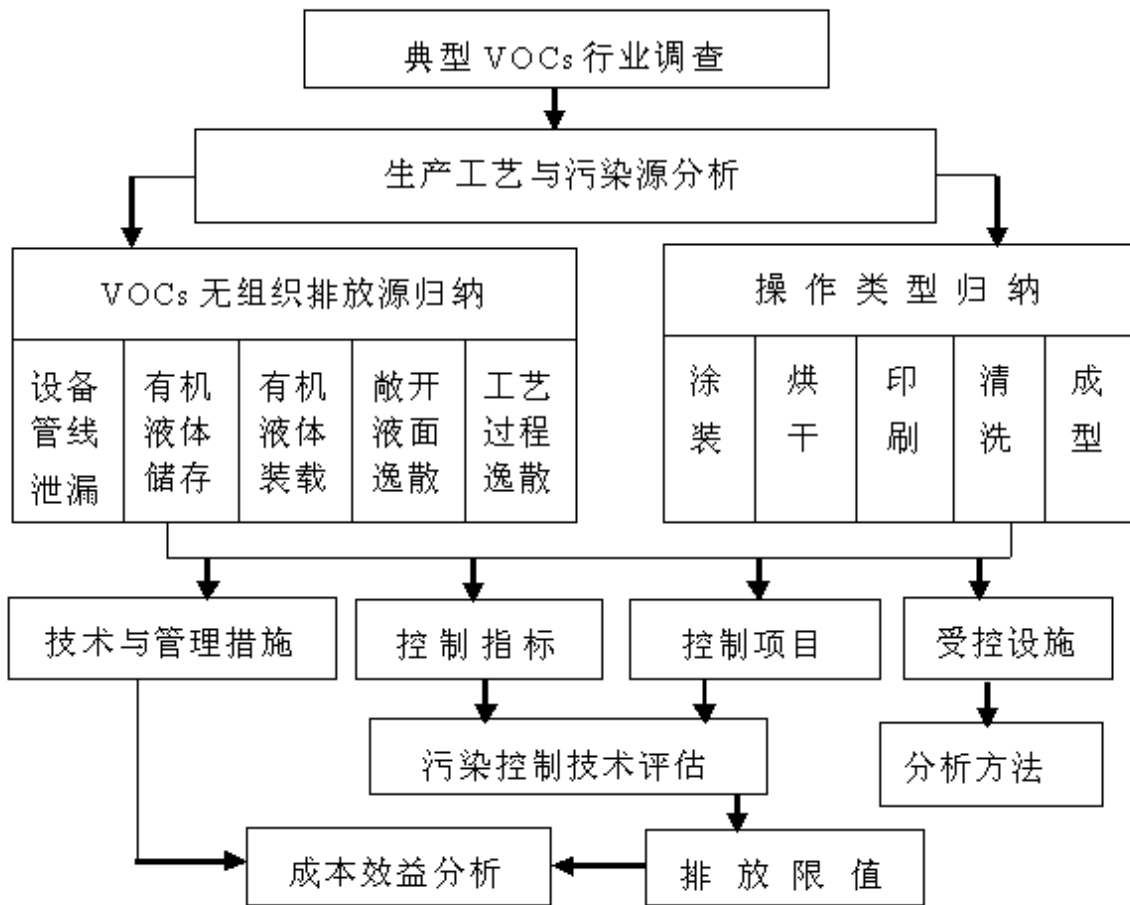


图 5-2 标准制订技术路线

6 标准主要技术内容

6.1 适用范围

本标准规定了 VOCs 无组织排放收集和处理系统，设备与管线组件泄漏，挥发性有机液体储存、装载，敞开液面逸散的 VOCs 无组织排放控制要求，以及工艺过程控制措施和企业厂区内及周边污染控制要求。

国家发布的行业污染物排放标准中对 VOCs 无组织排放已作规定的控制要求，按行业污染物排放标准执行，不再执行本标准。

因安全因素或特定工艺要求不能满足本标准规定的挥发性有机物无组织排放控制要求，经环境保护主管部门批准，可采取其他有效污染控制措施。

6.2 VOCs 无组织排放收集和处理系统

VOCs 无组织收集提出了总原则：产生 VOCs 的生产或服务活动，应当在密闭空间

或者设备中进行，废气经废气收集系统和（或）处理设施后排放。如不能密闭，则应采取局部气体收集处理措施或其他有效污染控制措施。

热力燃烧、催化燃烧、冷凝法和活性炭吸附法为目前最常用的 VOCs 控制技术。各种 VOCs 控制技术可达到的 VOCs 去除率见图 6-1，这与初始浓度有关。通常燃烧法的 VOCs 去除率很高（> 98%~99%），可使排放浓度低于 20 mg/m³。吸附法、吸收法的 VOCs 去除率在 95% 以上，通常排放浓度可控制在 100 mg/m³ 以下。冷凝法一般只适用于高浓度的有机废气。

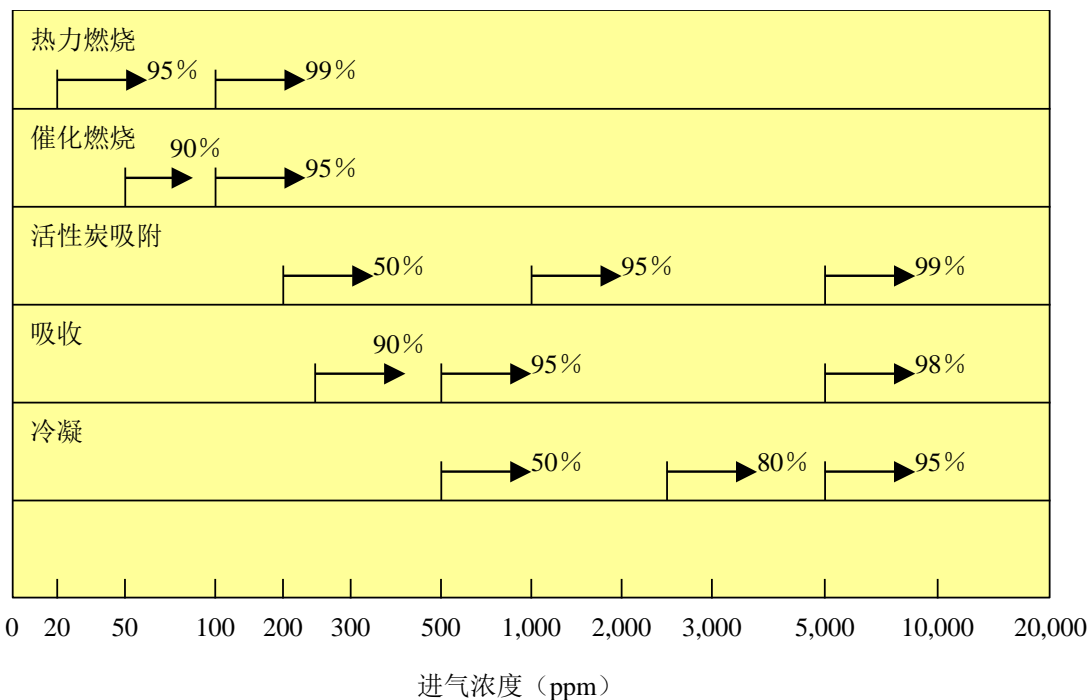


图 6-1 VOCs 控制技术的去除率

编制组对北京和上海地区的企业排放情况进行了监测，表 6-1 是部分企业的监测数据。从表 6-1 看，焚烧处理后非甲烷总烃排放浓度基本能保证 ≤ 20mg/m³，非焚烧处理后非甲烷总烃排放浓度基本能保证 ≤ 100mg/m³。考虑技术可达性、经济因素，兼顾实际排放水平以及达标稳定性，本标准确定排气筒的 VOCs 排放限值为 120mg/m³。

表 6-1 部分企业的非甲烷总烃排放情况

企业名称	生产工艺	非甲烷总烃排放浓度 (mg/m ³)	监测点位
上海某芯片制造厂	芯片制造	2.7~17.4	沸石转轮吸附焚烧净化设备出口
北京某半导体公司 1	芯片制造	4.2~12	沸石转轮吸附焚烧净化

			设备出口
北京某半导体公司 2	芯片制造	6~41	吸附焚烧净化设备出口
上海某聚乙氰酸酯生产厂	聚乙氰酸酯合成	49.2	活性炭净化装置出口
上海某涂料厂	酚醛漆、醇酸漆生产	16.0	搅拌、研磨、配漆工艺活性炭净化装置出口
上海某橡胶制品加工厂	橡胶件涂料喷涂	39.7	水幕加活性炭净化装置出口
上海某塑料制品加工厂	塑料软管表面喷涂	19.3	活性炭净化装置出口
上海某复合地板生产厂	地板表面喷涂	12.3~34.6	活性炭吸附净化装置进口
上海某家具生产厂	家具喷漆	20.7	漆雾活性炭净化装置出口
上海某PU革生产厂	干法压延工艺	34.9~250	废气净化装置出口
北京某汽车厂	电泳底漆烘干	3.7~6.4	焚烧装置出口
	涂 PVC 胶烘干	0.12~0.22	焚烧装置出口
	中涂烘干	3~11	焚烧装置出口
	上涂烘干	7.2~8.6	焚烧装置出口
北京某乐器厂	外壳喷涂	9.4~25	吸附焚烧净化设备出口

6.3 设备与管线组件泄漏控制

设备与管线组件逸散排放的改善方法，一是设备改良，如采用双轴封式（或无轴封）设备组件，以根本防止任何逸散的产生；一是对逸散组件加强筛选检测与维修。USEPA 研究认为，对 VOCs 逸散的控制，不但能减少 VOCs 排放量，而且能回收部分产品，有正效益。

6.3.1 日常检测维修

有的逸散源改善比较简单，只需在平时维护时，将其中老化垫片或松动的螺栓加以换除或压紧，即可使 VOCs 泄漏量大为减少。一般炼油与石化工厂皆要求进行的定期维修，如美国的研究报告显示³，日常的维修可使阀门的 VOCs 泄漏量减少 75% 左右，效果显著。

6.3.2 设备改良

某些泄漏源定期维修工作，并不能达到所需的改善要求（如某些泵和压缩机等），

³ VOC Fugitive Emissions in the Petroleum Industry—Background Information for Proposed Standard, USEPA, RTP, EPA-450 / 3-81-015a (Nov., 1982)

需要对设备进行根本性的改良，例如采用无泄漏或泄漏量极微的设备，或加装其他控制设备，如密闭燃烧系统、蒸汽回收等，泄漏现象才能得到控制。

对于各种不同类型的设备组件，用上述两种控制技术各有其优缺点。大体而言，直接改用双轴封式（或无轴封）设备的控制方式，可省掉日常的检测维修费，但初设费高且某些双轴封式（或无轴封）设备组件尚有许多经济上与安全上的限制。以加强检测维修的控制方式，初设费低，但检测维修费高，且对某些设备组件，若维修方法不当反而容易导致更大的逸散发生。

根据 USEPA 的研究，设备与管线组件的控制技术及效率见表 6-2。

表 6-2 设备与管线组件泄漏控制技术及其效率

逸散源		控制技术	控制效率 (%)
泵		·每月泄漏检测及维修	61
		·无轴封式泵	100
		·双机械轴封	100
		·密闭抽气系统	100
阀门	气体	·每月泄漏检测及维修	73
		·隔膜阀	100
	挥发性有机液体	·每月泄漏检测及维修	46
		·隔膜阀	100
释压阀		·破裂盘	100
		·密闭集气系统	100
开口管线		·加盖、盲封	100
压缩机		·止漏流体密封并以密闭抽气系统抽气	100
取样连接设备		·密闭回路采样	100

6.3.3 VOCs 泄漏检测

各逸散源的泄漏程度各有不同，一般在判定某个可能的逸散源有无泄漏时，通常以手提式 VOCs 检测仪器检测逸散源泄漏出的 VOCs 浓度（净检测值），若超过某个筛选值，即判定为发生了泄漏。

依据 USEPA 列出的参考方法，至少有四种仪器原理可以采用：火焰离子化（FID）；催化氧化或燃烧法；红外吸收法（IR 或 NDIR）；光离子化（PID）。

设备与管线组件逸散性排放控制，要求逸散源具有某种程度的检修频率，即制定“泄漏检测及维修计划（LDAR）”。LDAR 最主要原则为“定期检测，及时维修”。若能确实落实该原则，设备与管线组件的泄漏将可得到良好的控制。若要免除定期检修的负担，则需采用被证明为无泄漏或泄漏量极微的设备。

6.3.4 VOCs 泄漏检测值

美国的 VOCs 泄漏标准： I 阶段（0—1 年）10000ppmv ($\mu\text{mol/mol}$)； II 阶段（1—2.5 年）500ppmv； III 阶段（> 2.5 年）实施激励计划。

《石油化学工业污染物排放标准》（GB 31571-2015）VOCs 泄漏标准：有机气体和挥发性有机液体 2000 $\mu\text{mol/mol}$ ；其它 500 $\mu\text{mol/mol}$ 。

编制组分别对炼油、化工、医药、涂料以及农药企业进行了现状监测，部分企业的监测结果见表 6-3。

表 6-3 设备管线与组件泄漏检测

单位: $\mu\text{mol/mol}$

序号	企业类型	样本数	0-5 (%)	5-50 (%)	50-100 (%)	100-200 (%)	200-500 (%)	500-1000 (%)	1000-2000 (%)	2000-5000 (%)	5000-10000 (%)	10000-50000 (%)	50000-100000 (%)	≥ 100000 (%)
1	炼油 1	376913	60.198	37.307	0.856	0.592	0.448	0.2	0.102	0.105	0.08	0.09	0.02	0.002
2	炼油 2	227864	84.248	9.304	1.753	1.289	1.06	0.54	0.34	0.642	0.339	0.324	0.121	0.04
3	炼油 2	10003	89.252	5.718	0.88	0.92	1.1	0.47	0.43	0.46	0.29	0.36	0.11	0.01
4	化工 1	79387	82.932	11.124	1.804	1.25	0.966	0.466	0.287	0.565	0.228	0.247	0.092	0.039
5	化工 2	51880	89.366	6.783	1.099	0.854	0.56	0.378	0.337	0.264	0.127	0.174	0.039	0.019
6	化工 3	22456	88.965	6.911	1.314	0.877	0.659	0.37	0.178	0.374	0.174	0.129	0.049	0
7	涂料 1	3470	55.533	20.087	8.357	8.617	6.34	0.202	0.23	0.404	0.144	0.086	0	0
8	涂料 2	4688	37.756	44.262	10.388	2.944	2.453	0.384	0.768	0.576	0.32	0.149	0	0
9	涂料 3	2455	64.44	29.735	2.892	0.978	1.222	0.204	0.204	0.0	0.163	0.122	0	0
10	医药 1	18252	67.22	29.893	1.129	0.553	0.323	0.312	0.197	0.175	0.099	0.071	0.022	0.006
11	医药 2	8455	66.943	24.849	2.649	1.727	1.549	0.769	0.497	0.485	0.154	0.284	0.07	0.024
12	医药 3	20696	63.708	26.397	3.078	2.585	1.802	0.691	0.541	0.86	0.275	0.053	0.01	0

13	农药 1	2455	64.44	29.735	2.892	0.978	1.222	0.204	0.204	0.04	0.163	0.122	0	0
14	农药 2	2897	35.761	52.779	3.797	2.485	2.175	0.863	0.414	1.312	0.345	0.069	0	0
15	农药 3	299	45.8	42.475	6.68	1.338	2.00	0.334	0.334	0.334	0.669	0	0	0

对全部监测数据汇总分析，绘制出不同筛选值下 VOCs 逸散源的累计分布曲线，见图 6-2，高于 2000 ppm 占 0.7%；高于 500 ppm 只占 1.3%。由此说明只要对少数泄漏最严重的设备，积极进行检修维护，即可明显降低 VOCs 的逸散总量。

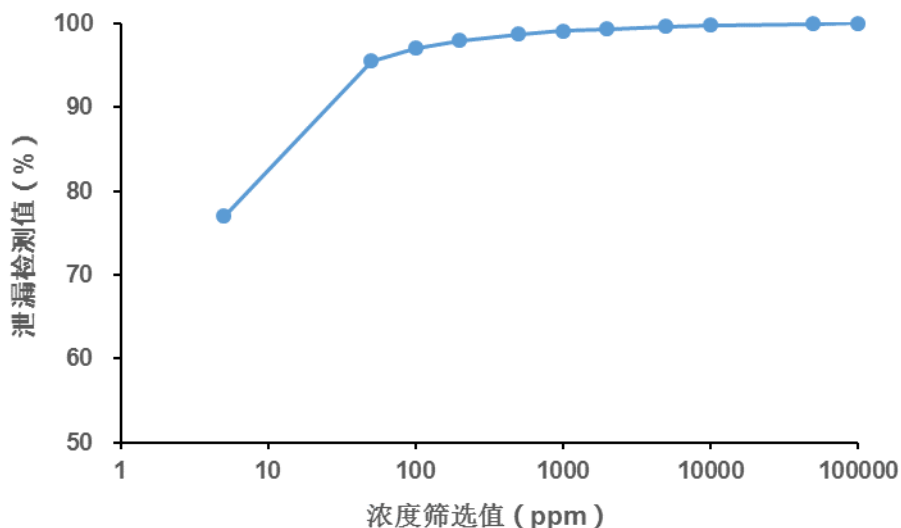


图 6-2 不同筛选值下 VOCs 逸散源的累积分布曲线

考虑泄漏源的性质，本标准规定出现以下情况，则认定发生了泄漏：

- a) 泵、压缩机、搅拌机的轴封等动密封点，泄漏检测值大于等于 2000 $\mu\text{mol/mol}$ 。
- b) 设备与管线组件的静密封点，泄漏检测值大于等于 500 $\mu\text{mol/mol}$ 。
- c) 密封点滴漏超过 3 滴/分钟。

6.4 挥发性有机液体储存与装载控制

6.4.1 控制对象

对挥发性较大的有机液体（如汽油，Fingas⁴实验证明汽油在干空气中于 80min 内可蒸发 80%）储运过程的控制措施为改良设备性能（如浮顶罐密封）和配套处理设施（如安装蒸气收集系统）。

表 6-4 是我国台湾、美国制药标准管制的对象。值得注意的是，由于美国联邦标准制订的很早（80 年代），控制相对宽松，各州的要求已经加严很多。欧盟国家对储罐的控制很严格，例如荷兰对蒸气压大于 1kPa、容积大于 50m³ 的储罐；德国对蒸气压大于 1.3kPa，容积大于 300m³ 的储罐要求安装蒸气处理装置或使用

⁴ M. F. Fingas, Studies on the Evaporation of Crude Oil and Petroleum Products, II. Boundary Layer Regulation, Journal of Hazardous Materials, Vol. 57, pp. 41~58, 1998.

浮顶罐。

综合考虑,本标准对于真实蒸气压 ≥ 2.8 kPa(容积 ≥ 75 m³)和真实蒸气压 ≥ 27.6 kPa, (容积 ≥ 50 m³)的储罐进行控制。

表 6-4 国内外标准储罐管制对象

标准名称	管制对象
我国台湾	真实蒸气压 ≥ 2.8 kPa, 储罐容积 ≥ 100 m ³ 真实蒸气压 ≥ 22.7 kPa, 储罐容积 ≥ 15 m ³
美国制药标准	真实蒸气压 ≥ 13.1 kPa, 储罐容积 ≥ 38 m ³
美国农药标准	真实蒸气压 ≥ 3.45 kPa, 储罐容积 ≥ 75 m ³ 真实蒸气压 ≥ 16.5 kPa, 储罐容积 ≥ 40 m ³
德国标准	蒸气压 ≥ 1.3 kPa , 储罐容积 ≥ 3000 m ³

6.4.2 储罐与装载设施的 VOCs 控制措施

压力罐由于采用高压设计,故不会有逸散发生。浮顶罐浮顶与罐壁之间安装封气设备,若密封设备良好,可有效控制逸散。目前采用的高效封气方式包括:液体镶嵌式密封;机械式鞋形密封;双封式密封。

至于固定顶罐则应装设密闭排气系统连通至控制设备。控制设备的选择基本上和点源(固定管道排放)相同。

装载操作设施的控制方式与固定顶储罐相同,亦应在装载操作设施上加装蒸气收集系统连通至处理设施(与点源同)或蒸气平衡系统(与储罐相连)。

企业对储罐的控制情况如表 6-5 所示。部分企业对于储罐的逸散尾气进行了收集,收集的气体或单独进行了处理,或通过工艺尾气的处理系统进行处理。

表 6-5 储罐的 VOCs 逸散排放控制现状

序号	企业	储罐类型	储罐容积 (m ³)	密封方式	储槽尾气污染控制技术
1	石化企业 1	固定罐、浮顶罐、压力罐	50~50000	外浮顶罐:双封式密封; 内浮顶罐:机械式鞋型密封	无控制
2	石化企业 2	浮顶罐、压力罐	—	—	无控制

3	石化企业 3	拱顶罐、浮顶罐、压力罐	200~50000	外浮顶罐：囊式密封 内浮顶罐：囊式密封	无控制
4	石化企业 4	固定罐、浮顶罐、压力罐	300~20000	外浮顶罐：囊式密封 内浮顶罐：舌型密封、囊式密封、蛇形带式密封	无控制
5	医药企业 1	固定罐、压力罐	0.3~70	固定罐：双封式密封 压力罐：双机封	大部分直排，部分接入净化塔或冷凝回收或水吸收
6	医药企业 2	固定罐	20	—	无控制
7	医药企业 3	—	30~150	双封式密封	部分连接至污染控制设备
8	医药企业 4	固定罐	5~145	双封式	冷凝后接入 RTO 焚烧装置
9	医药企业 5	—	9~21	机械密封	连接至污染控制设备
10	农药企业 1	固定罐	0.55~300	—	吸收、冷凝、碳纤维吸附或排空至装置的尾气吸收系统或储槽尾气系统或排气控制系统
11	农药企业 2	固定罐、内浮顶罐、压力罐	170~2500	—	采用冷凝回收技术
12	农药企业 3	固定罐	1.2~3	—	采用热氧化焚烧技术
13	农药企业 4	固定罐、压力罐	30~100	—	采用水吸收和活性炭吸附技术
14	涂料企业 1	固定罐	9~200	液体镶嵌式密封 双封式密封	部分连接控制设备
15	涂料企业 2	固定罐	15~30	—	无控制

综上，本标准针对储存物料真实蒸气压 ≥ 2.8 kPa 的一定容积的储罐规定了设备性能的控制要求（如储罐密封要求）、配套处理设施以及运行控制要求。

6.5 敞开液面逸散控制

美国 40CFR63 Subpart G 合成有机化学工业 HAPs 排放标准中对需要控制的工业污水的条件如表 6-6 所示。工艺废水中控制 75 种挥发性 HAPs，其中 24 种为最易挥发的 HAPs：烯丙基氯、苯、1,3-丁二烯、CS₂、CCl₄、异丙苯、乙苯、

氯乙烷、1,1-二氯乙烷、六氯丁二烯、六氯乙烷、正己烷、溴甲烷、氯甲烷、碳酰氯（光气）、四氯乙烯、甲苯、1,1,1-三氯乙烷、三氯乙烯、2,2,4-三甲基戊烷、氯乙烯、1,1-二氯乙烯、间-二甲苯、对-二甲苯。

表 6-6 需要控制污染的工艺污水的条件

Group 1	废水中浓度*(ppmw)	废水流量* (l/min)	化合物
现有源	> =10000 (合计)	不限	75 种化合物
	> =1000 (合计)	> =10	75 种化合物
新源	> =10000 (合计)	不限	75 种化合物
	> =1000 (合计)	> =10	75 种化合物
	> =10 (单独物质)	> =0.02	24 种化合物

对于污水挥发的 VOCs 排放控制，USEPA 建议的最佳控制技术有：浮动顶盖；液面 10cm 处的挥发性有机物 < 300 ppm（以甲烷计）；密闭式固定覆盖及气体回收系统，其回收及破坏总和效率需达 95%。

编制组按《泄漏和敞开液面排放的挥发性有机物检测技术导则》（HJ 733）对化工企业的污水处理厂进行了监测，结果见表 6-7 和 6-8。从表中可以看出曝气搅拌的废水液面，VOCs 逸散浓度高。

表 6-7 废水调节池（无曝气搅拌）测试结果

单位：μmol/mol

测试 点位	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	平均	顶角 平均	边中点 平均
第一次	41.7	30.9	22.9	28.0	39.9	22.3	36.1	31.8	31.7	35.2	28.3
第二次	59.9	53.3	46.2	30.5	21.2	20.8	37.2	34.2	37.9	41.1	34.7
第三次	57.1	64.4	44.3	36.8	24.7	23.4	40.9	35.2	40.8	41.8	39.8

表 6-8 废水调节池（曝气搅拌）测试结果

单位：μmol/mol

测试 点位	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	平均	顶角 平均	边中点 平均
----------	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----------	-----------

第一次	134	101	178	202	32.9	33.3	36.4	42.8	95.1	95.3	94.9
第二次	63.2	123	273	296	61.2	22.5	35.7	120	124	108	140
第三次	62.3	163	89.8	162	285	42.4	156	53.7	126	148	104

企业对废水液面的控制情况如表 6-9 所示。目前很多企业的污水处理厂为了防治恶臭，对调节池、隔油池、曝气池、水解池等都进行了加盖处理，收集的气体有些直接排空，有的收集后进行了处理。但对生产过程中的废水收集池，如水环真空泵的循环水槽等未进行加盖密闭。

表 6-9 废水液面 VOCs 逸散排放控制现状

序号	行业	控制措施	备注
1	石化企业 1	斜板隔油池、一级气浮池、二级气浮池、水解酸化池加盖收集至催化燃烧设备处理	废水液面的平均浓度在 165 ~ 4112ppm 之间
		炼油一级生化池、二级生化池加盖高空排放	一级、二级生化池废水液面平均浓度分别为 115.9ppm、8.2ppm
		化纤一级生化池、二级生化池及 MBR 池未加盖	一级生化池、二级生化池废水液面平均浓度分别为 52.2ppm, 9.1ppm, MBR 池未测出
2	石化企业 2	隔油池、鼓风机曝气池、生化池加盖后引入生物除臭设施，采用生物催化氧化法处理	废气处理后非甲烷总烃 $\leq 30\text{mg}/\text{m}^3$
3	石化企业 3	对隔油池、浮选池、曝气池加盖，并对收集废气采取除臭措施	—
4	石化企业 4	对恶臭及 VOCs 进行收集并处理	—
5	石化企业 5	隔油池、气浮池、鼓风机曝气池加盖，收集废气采用两段生物法处理	未对污水池进行单独监测。废气经处理后非甲烷总烃排放浓度为 $28\text{mg}/\text{m}^3$
6	石化企业 6	①集水池为地下式，顶部全封闭 ②调节池、厌氧池全封闭式，废气收集经碱洗后通过光催化分解排放 ③初沉池、A 池、O 池、好氧池、污泥浓缩池顶部加盖后废气收集经两级碱洗高空排放	—
7	医药企业 1	无控制措施	废水液面的平均浓度在 0.3~20ppm 之间

8	医药企业 2	大部分污水处理设施（鼓风曝气池、气浮池等）进行密封及处理（主要为化学法），处理后达到废气相关标准要求	—
9	医药企业 3	①车间废水池采用水封密闭措施 ②集水池、厌氧池、沉淀池加盖接入三级喷淋装置（碱喷淋+次氯酸钠喷淋+水喷淋），处理后排放浓度 55ppm	废水液面的浓度在 20.5~320ppm 之间
10	医药企业 4	兼氧池加盖处理	—
11	农药企业 1	废水池加盖，负压吸收	—
12	农药企业 2	无控制措施	废水液面的浓度在 3.1~17.6ppm 之间
13	农药企业 3	调节池和深井曝气池加盖收集后经活性炭和光电消毒后排放	—
14	农药企业 4	鼓风曝气池加盖	—
15	涂料企业 1	①部分调节池、缓冲池加盖收集采用水喷淋+活性炭吸附 ②部分调节池、缓冲池、物化污泥贮池及综合调节池加盖收集后采用活性炭吸附； ③兼氧池、好氧沉淀池加盖、水喷淋；好氧池加盖收集采用碱喷淋 ④厌氧罐加盖收集后进行沼气发电 ⑤气浮装置、污泥浓缩及均质池未加盖	废水液面的平均浓度在 1.58~4.2ppm 之间，非甲烷总烃浓度在 9.46~115 mg/m ³

综上，本标准规定敞开液面上方 100 mm 处的挥发性有机物逸散浓度大于 200 μ mol/mol 要求采用浮动顶盖或采用固定顶盖，安装废气收集系统。

6.6 企业厂区内及厂界 VOCs 监控

为更有效的控制 VOCs 无组织排放，本标准不仅规定了厂界 VOCs 监控浓度限值，还规定企业厂区内大气污染物监控点 VOCs 监控浓度限值。

国家《涂料、油墨及胶黏剂工业大气污染物排放标准》（征求意见稿）以及北京市木质家具、涂装、印刷标准都规定了厂内 VOCs 监控浓度限值，见表 6-10。考虑本标准为综合标准，涉及不同行业，因此厂区内大气污染物监控点 VOCs 监控浓度限值取 10 mg/m³。

厂界 VOCs 监控浓度限值 4.0 mg/m³ 与《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）和《石油化学工业污染物排放标准》（GB 31571-2015）一致，见表 6-10。

表 6-10 国内部分标准无组织排放监控浓度限值

标准	监控点	限值 (mg/m ³)
大气污染物综合排放标准 (GB16297-1996)	厂界	4
石油化学工业污染物排放标准 (GB 31571-2015)	厂界	4
国标《涂料、油墨及胶黏剂工业大气污染物排放标准》(征求意见稿)	车间窗口、装置区、储罐区	10
	厂界	4
北京市印刷业挥发性有机物 排放标准 (DB 11/ 1201—2015)	印刷生产场所	I 时段: 6.0 II 时段: 3.0
	厂界	I 时段: 2.0 II 时段: 1.0
北京市木质家具制造业大气 污染物排放标准 (DB 11/ 1202—2015)	非封闭涂装车间工位/ 或封闭涂装车间门窗口	I 时段: 5.0 II 时段: 2.0
	厂界	I 时段: 1.0 II 时段: 0.5
北京市工业涂装工序大气污 染物排放标准 (DB11/ 1226—2015)	装工作间或涂装工位旁	5.0

6.7 监测要求

VOCs 无组织排放废气收集和处理系统,其排气筒中 TOC (物质加和) 控制项目没有配套的国家监测方法, NMOC 控制项目测定方法采用 HJ/T 38 《固定污染源排气中非甲烷总烃的测定 气相色谱法》。

设备与管线组件泄漏、敞开液面逸散的 VOCs 排放监测按 HJ 733 《泄漏和敞开液面排放的挥发性有机物检测技术导则》的规定执行,采用氢火焰离子化检测仪,以甲烷或丙烷为校正气体,以碳计。

企业厂区内大气污染物监控点设在车间门窗或生产装置、储罐区域外 1 m, 距离地面 1.5m 以上位置处。监控点的数量不少于 3 个,并选取浓度最大值。企业边界污染物的监测采样按 HJ/T 55 《大气污染物无组织排放监测技术导则》

的规定执行。VOCs 测定方法采用 HJ/T 38。

7 与国内外相关标准的对比和分析

7.1 本标准与国内相关标准的对比

目前涉及 VOCs 排放控制的已经发布的国家标准 13 项(其中正在修订 5 项),正在制订的标准 18 项,见表 7-1。

本标准为综合标准,其排气筒排放限值与《大气污染物综合排放标准》(GB16297-1996)一致;与行业标准比较,比《合成革与人造革工业大气污染物排放标准》(GB 21902-2008)严,比其他行业标准要宽松,见表 7-2。

表 7-1 国家挥发性有机物大气污染物排放控制标准体系总体框架

标准类型	排放标准	备注
综合类 (1 项)	大气污染物综合排放标准 (GB 16297-1996)	正在修订
特定污染物类 (1 项)	恶臭污染物排放标准 (GB 14554-1993)	正在修订
特定污染设施和工艺类 (3 项)	挥发性有机物无组织排放控制标准	正在制订
	涂装大气污染物排放标准	正在制订
	铸造工业大气污染物排放标准	正在制订
行业类 (26 项)	橡胶制品业大气污染物排放标准 (GB 27632-2011)	已发布
	合成革与人造革工业大气污染物排放标准 (GB 21902-2008)	已发布
	储油库大气污染物排放标准 (GB 20950-2007)	正在修订
	汽油运输大气污染物排放标准 (GB 20951-2007)	正在修订
	加油站大气污染物排放标准 (GB 20952-2007)	已发布
	轧钢工业大气污染物排放标准 (GB 28665-2012)	已发布
	炼焦化学工业污染物排放标准 (GB 16171-2012)	已发布
	饮食业油烟排放标准 (GB 18483-2001)	正在修订
	石油炼制工业污染物排放标准 (GB 31570-2015)	已发布
	石油化学工业污染物排放标准 (GB 31571-2015)	已发布
	合成树脂工业污染物排放标准 (GB31572-2015)	已发布
	陆上石油天然气开采工业污染物排放标准	正在制订
	煤化学工业污染物排放标准	正在制订
农药工业大气污染物排放标准	正在制订	

	涂料、油墨和黏胶剂工业大气污染物排放标准	正在制订
	染料工业大气污染物排放标准	正在制订
	家具制造业大气污染物排放标准	正在制订
	集装箱制造业大气污染物排放标准	正在制订
	制药工业大气污染物排放标准	正在制订
	电子工业污染物排放标准	正在制订
	纺织印染工业大气污染物排放标准	正在制订
	皮革制品业大气污染物排放标准	正在制订
	人造板工业大气污染物排放标准	正在制订
	印刷业大气污染物排放标准	正在制订
	干洗业大气污染物排放标准	正在制订
	林产化学工业污染物排放 炭与活性炭类	正在制订

表 7-2 排气筒中 VOCs 排放标准比较（国内）

单位：mg/m³

本 标准	GB 16297 -1996	GB 31570/1/ -2015	GB 31572 -2015	GB 28665 -2012	GB 16171 -2012	GB 27632 -2011	GB 21902 -2008
120	新源：120	新源： 120/ 去除效率 95%	新源：100	新源：80	新源：80	新源： 10/100	新源： 200

与国内相关标准相比，本标准在储罐控制方面，控制的对象范围更广；在设备管线泄漏控制方面，不考虑输送介质的性质，而是考虑泄漏密封点的性质，更便于操作；在废水液面控制方面，明确了密闭的条件和具体措施，更加合理。具体见表 7-3。

表 7-3 本标准与国内相关标准对比

标准名称	设备与管线组件 泄漏认定 ($\mu\text{mol/mol}$)	储罐控 制对象	装载控 制对象	废水液面控制
本标准	a) 泵、压缩机、 搅拌机的轴封的 动密封点检测值 ≥ 2000 b) 静密封点检测 值 ≥ 500	真实蒸 气压 \geq 2.8 kPa	真实蒸 气压 \geq 2.8 kPa	液面上方 100 mm 处的 挥发性有机物检测浓度 大于 200 $\mu\text{mol/mol}$ ，在 安全许可的条件下，应 密闭废水液面

石油炼制工业污染物排放标准 (GB 31570-2015)	a) 有机气体和挥发性有机液体检测值 ≥ 2000 b) 其他检测值 ≥ 500	真实蒸气压 ≥ 5.2 kPa	真实蒸气压 ≥ 0.3 kPa	集输、储存和处理含挥发性有机物、恶臭物质的废水设施密闭
石油化学工业污染物排放标准 (31571-2015)	同上	同上	同上	同上
合成树脂工业污染物排放标准 (31572-2015)	同上	同上	同上	同上
河北省工业企业挥发性有机物排放控制标准 (DB 13/ 2322-2016)	同上	同上	—	—
北京炼油与石油化学工业大气污染物排放标准 (DB 11/ 447-2015)	a) 气体、挥发性有机液体流经的泵、压缩机检测值 ≥ 1000 b) 其他检测值 ≥ 500	真实蒸气压 ≥ 2.8 kPa	真实蒸气压 ≥ 0.3 kPa	废水收集系统、隔油池、鼓风机曝气池、气浮池密闭，其他处理和储存设施液面上方 10cm 处的挥发性有机物检测浓度大于 300 $\mu\text{mol/mol}$ 应密闭
北京有机化学品制造业大气污染物排放标准 (DB11/ 1385-2017)	同上	同上	同上	集输、储存和处理含挥发性有机物的废水设施密闭
天津市工业企业挥发性有机物排放控制标准 (DB12/ 524-2014))	a) 泵/压缩机/搅拌检测值 ≥ 2000 b) 其他检测值 ≥ 500	同上	真实蒸气压 ≥ 2.8 kPa	废水收集系统、鼓风机曝气池、气浮池密闭，其他处理和储存设施液面上方 10cm 处的挥发性有机物检测浓度大于 300 $\mu\text{mol/mol}$ 应密闭

GB 31570-2015《石油炼制工业污染物排放标准》、GB 31571-2015《石油化学工业污染物排放标准》、GB 31572-2015《合成树脂工业污染物排放标准》三个

国家标准对通用设施（设备与管线组件泄漏、挥发性有机液体储罐和装载、敞开液面的逸散控制）无组织排放控制要求一致，本标准与 GB 31571-2015 进行了详细比较，两个标准的主要差异如下表：

表 7-4 本标准与 GB 31571-2015 对比

本标准条款	GB 31571-2015 相关条款	说明
设备与管线组件泄漏控制		
5.3 泄漏认定 a) 泵、压缩机、搅拌机的轴封等动密封点，泄漏检测值大于等于 2000 $\mu\text{mol/mol}$ b) 设备与管线组件的静密封点，泄漏检测值大于等于 500 $\mu\text{mol/mol}$ c) 密封点滴漏不得超过 3 滴/分钟	5.3.4 泄漏认定 a) 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 $\mu\text{mol/mol}$ b) 其他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 $\mu\text{mol/mol}$	本标准不考虑输送介质的性质，而是考虑泄漏密封点的性质，更便于操作
5.4.1 泄漏检测频次 b) 对泵、压缩机、搅拌机的轴封等动密封点每季度检测一次；连续两个季度动密封点检测泄漏率低于0.2%，可延长至每半年检测一次。若最近一次检测泄漏率高于0.2%，则恢复每季度检测一次 c) 对设备与管线组件的静密封点每半年检测一次；连续一年静密封点检测泄漏率低于0.05%，可延长至一年检测一次。若最近一次检测泄漏率高于0.05%，则恢复每半年检测一次 d) 对于泄压设备，检测其非泄压状态下。泄压设备泄压后，应在泄压之日起 5 个工作日内，对泄压设备进行检测	5.3.3 泄漏检测周期 a) 泵、压缩机、阀门、开口阀或开口管线、气体/蒸气泄压设备、取样连接系统每3个月检测一次 b) 法兰及其他连接件、其它密封设备每6个月检测一次	本标准增加了激励条款，泄漏率低，可减少检测频次；并增加了泄压设备的检测要求
5.4.2 检测豁免	—	本标准增加了检测豁免条款
5.4.3 检测平台的要求	—	本标准增加了对检测平台的相关要求
5.5.2 符合下列条件之一的设备与管线组件可纳入延迟修复范围。企业应将延迟修复方案报环境保护主管部门备案，并于下次停车检修期间完成修复 a) 装置停车条件下才能修复 b) 立即维修存在安全风险 c) 泄漏源立即维修产生VOCs排放量大于延迟修复的排放量	—	本标准细化了延迟修复的具体条件

5.7 运行控制要求	—	本标准增加了对泵、阀、法兰等运行控制要求
5.8 环境监督执法	—	本标准增加了环境监督执法的要求
挥发性有机液体储罐控制		
6.2.1 储存物料的真实蒸气压 ≥ 76.6 kPa, 且单一储罐容积 $\geq 50\text{m}^3$ 或同一场所同一储存物料的总储罐容积 $\geq 500\text{m}^3$ 的有机液体储罐: 采用压力罐; 采用非压力罐, 应安装密闭排气系统, 排气至VOCs控制设备; 其它等效措施	5.2.2 储存物料的真实蒸气压 ≥ 76.6 kPa: 采用压力罐	本标准缩小了应控制储罐的范围, 但增加了采用非压力罐的控制要求
6.2.2 储存物料的真实蒸气压 ≥ 2.8 kPa 但 < 27.6 kPa, 且单一储罐容积 $\geq 75\text{m}^3$ 或同一场所同一储存物料的总储罐容积大于等于 500m^3 的有机液体储罐; 以及储存真实蒸气压 ≥ 27.6 kPa 但 < 76.6 kPa, 且单一储罐容积的设计容积 $\geq 50\text{m}^3$ 或同一场所同一储存物料的总储罐容积大于等于 500m^3 的有机液体储罐	5.2.3 储存真实蒸气压 ≥ 5.2 kPa 但 < 27.6 kPa 的设计容积 $\geq 150\text{m}^3$ 的挥发性有机液体储罐, 以及储存真实蒸气压 ≥ 27.6 kPa 但 < 76.6 kPa 的设计容积 $\geq 75\text{m}^3$ 的挥发性有机液体储罐	本标准控制储罐的范围更广: 控制的储存物料真实蒸气压更低, 控制的储罐容积更小
6.2.3 运行控制要求	—	本标准增加了对储罐的运行控制要求
敞开液面的逸散控制		
7.2 若废水集输系统的敞开液面上方 100mm 处的挥发性有机物检测浓度大于 $200\mu\text{mol/mol}$, 在安全许可的条件下, 则应密闭废水液面 7.3 废水储存和处理设施的敞开液面上方 100mm 处的挥发性有机物检测浓度大于 $200\mu\text{mol/mol}$, 在安全许可条件下, 应符合下列规定之一: a) 采用浮动顶盖 b) 采用固定顶盖, 应安装密闭排气系统, 排气至VOCs控制设施 c) 其它等效措施	5.4.2 用于集输、储存和处理含挥发性有机物、恶臭物质的废水设施应密闭, 产生的废气应接入有机废气回收或处理装置, 其大气污染物排放应符合表4、表5的规定	本标准细化了废水集输、储存和处理设施需要加盖的条件和措施
7.4 对于敞开式循环水冷却系统, 其冷却塔集水池的敞开液面上方 100mm 处的挥发性有机物检测浓度应小于 $200\mu\text{mol/mol}$	—	本标准增加了对循环水的控制要求

7.2 本标准与国外相关标准的对比

本标准排气筒排放限值与德国的控制指标相同, 都是质量浓度, 控制限值相对德国标准要宽松, 见表 7-5。

表 7-5 排气筒中 VOCs 排放标准比较（国外）

本标准	美国农药标准	德国	日本
120 mg/m ³	燃烧控制设施：TOC 浓度 ≤20ppm 非燃烧控制设施：TOC 浓度 ≤50 ppmv	50 mg/m ³ (以 C 计)	化学品制造、涂装、工业清洗、 粘接、印刷、VOCs 物质贮存： 400 ~60000 ppmv (以 C 计)

本标准设备与管线泄漏的限值与国外相关标准的比较见表 7-6。本标准结合国情，仅考虑了密封点的性质（动密封点和静密封点），没有再向美国标准那样区分流体的性质（气体、轻质液和重质液），这样更便于操作。泄漏限值与美国农药和制药标准相比有严有松。

表 7-6 本标准设备管线泄漏限值与国外相关标准的对比

标准	泄漏限值（μmol/mol）
本标准	动密封点：2000 静密封点：500
40CFR63 Subpart TT 设备泄漏 (1级控制) 标准 40CFR63 Subpart UU 设备泄漏 (2级控制) 标准	I阶段（0—1 年）10000ppmv II阶段（1—2.5 年）500ppmv；III阶段（> 2.5 年） 实施激励计划
美国40CFR63 Subpart MMM 农药标准 美国40CFR63 Subpart GGG 制药标准	搅拌器：10000 泵：2000 气体/蒸汽阀门、轻质液阀门：500

本标准储罐控制要求与国外相关标准的比较见表 7-7。相对于美国制药和农药标准，储罐控制措施基本一致，但本标准控制的储罐范围更广。

表 7-7 本标准储罐控制与国外相关标准的对比

标准	控制要求
本标准	①控制对象：容积≥50 m ³ 、真实蒸气压≥76.6 kPa 控制措施：采用压力罐；或采用非压力罐，应安装密闭排气系统，排气至VOCs控制设备 ②控制对象：容积≥75 m ³ 、真实蒸气压≥2.8 kPa但<27.6 kPa，容积≥50 m ³ 、真实蒸气压≥27.6 kPa但<76.6 kPa 控制措施：采用浮顶罐；或采用固顶罐，应安装废气收集系统，排气至VOCs处理设施
美国 40CFR63	①控制对象：总 HAP 的最大真实蒸气压≥13.1 kPa

Subpart GGG 制药标准	②控制措施：内浮顶、外浮顶以及能转换成内浮顶的外浮顶或配置密闭排气系统至污染控制设备
美国 40CFR63 Subpart MMM 农药标准	①控制对象：现有源：容积 $\geq 75 \text{ m}^3$ 、真实蒸汽压 $\geq 3.45 \text{ kPa}$ 的储罐，或者新源的容积 $\geq 40 \text{ m}^3$ 、真实蒸汽压 $\geq 16.5 \text{ kPa}$ 的储罐，或新源的容积 $\geq 75 \text{ m}^3$ 、真实蒸汽压 $\geq 3.45 \text{ kPa}$ 的储罐 ②控制措施：采用内浮顶、外浮顶以及能转换成内浮顶的外浮顶或配置密闭排气系统至污染控制设备

本标准敞开液面控制要求与国外相关标准的比较见表 7-8。本标准采用监测敞开液面上方浓度的方式确定需要控制的敞开液面，美国农药标准则是测量废水中的化合物的浓度确定需要控制的废水液面。美国标准的控制措施更加细化。

表 7-8 本标准敞开液面控制与国外相关标准的对比

标准	控制要求
本标准	①控制对象：敞开液面上方 100 mm 处的挥发性有机物检测浓度大于 $200 \mu\text{mol/mol}$ ②控制措施：采用浮动顶盖；或采用固定顶盖，应安装密闭排气系统,排气至VOCs控制设施
美国40CFR63 Subpart MMM 农药标准	①控制对象：现有源：废水中75种化合物的浓度 $\geq 10000 \text{ ppmw}$ 或 $\geq 1000 \text{ ppmw}$ ，且流量 $\geq 10 \text{ l/min}$ ；新源：废水中75种化合物的浓度 $\geq 1000 \text{ ppmw}$ ，且流量 $\geq 10 \text{ l/min}$ 或废水中24种化合物的单个物质浓度 $\geq 10 \text{ ppmw}$ ，且流量 $\geq 0.02 \text{ l/min}$ ②控制措施：针对污水罐、蓄水池、容器、独立排水系统、油水分离器提出具体控制要求

8 实施本标准的环境效益及经济技术分析

8.1 实施本标准的环境效益

挥发性有机物的危害主要为：部分具有毒性和致癌性；参与了光化学烟雾反应；参与了大气中二次气溶胶的形成；部分具有臭味。实施本标准，可削减无组织排放量的 40%~50%，有利于改善目前城市的灰霾和臭氧的污染，减少对人体健康的影响。

8.2 实施本标准的经济技术分析

国家层面上，根据关于《挥发性有机物排污收费试点办法》的通知（财税[2015]71号），从 2015 年 10 月起将对石油化工业和包装印刷行业试点开征 VOCs 排污费，VOCs 污染当量值暂定为 0.95 千克。

部分省市相继地出台了地方要求，以北京、上海和江苏省为例，说明如下：

北京市《关于挥发性有机物排污收费标准的通知》（京发改[2015]2003号）规定，排污费征收范围扩大到汽车制造、电子、家具制造行业。征收标准为每公斤20元。实施差别化收费政策，通过挥发性有机物清洁生产评估、排放浓度低于本市排放限值的50%（含50%），且当月未因污染环境受到规定部门处罚的，收费标准为每公斤10元；存在未安装废气治理设施，或废气治理设施运行不正常，或挥发性有机物超出本市排放标准等环境污染行为的，收费标准为每公斤40元。

《上海市挥发性有机物排污收费试点实施办法》（2015）规定，征收范围分阶段逐步覆盖VOCs排放重点行业，共包括石油化工、船舶制造、汽车制造、包装印刷、家具制造、电子等12个大类行业中的71个中小类行业。收费标准分三步逐步提高，自2015年10月1日起，征收标准为10元/千克；自2016年7月1日起，征收标准调整为15元/千克；自2017年1月1日起，征收标准调整为20元/千克。实施差别化收费政策，按本市工业VOCs治理方案要求完成废气治理，排放浓度不超出排放限值50%，且当年未受到环保部门处罚的，按收费标准的一半计收排污费；未按要求完成治理，或废气治理设施运行不正常，或有VOCs超标排放等污染环境行为的，按收费标准的两倍计收排污费；列入国家和本市限制类、淘汰类名录的相关企业，淘汰类的按收费标准的两倍计收排污费，限制类的按收费标准的1.5倍计收排污费。

江苏省《关于挥发性有机物排污收费试点实施办法的通知》（苏财综[2016]91号）规定，征收范围与国家一致。收费标准分步逐步提高，2016年1月1日至2017年12月31日，每污染当量3.6元；2018年1月1日起，每污染当量4.8元。VOCs污染当量值暂定为0.95千克。

2015年新发布的大气污染防治法第四章第四十五条规定：“产生含挥发性有机物废气的生产和服务活动，应当在密闭空间或者设备中进行，并按照规定安装、使用污染防治设施；无法密闭的，应当采取措施减少废气排放。”第四十七条规定：“石油、化工以及其他生产和使用有机溶剂的企业，应当采取措施对管道、设备进行日常维护、维修，减少物料泄漏，对泄漏的物料应当及时收集处理。”第七章规定：“违反本法规定，有下列行为之一的，由县级以上人民政府环境保护主管部门责令改正，处二万元以上二十万元以下的罚款；拒不改正的，责令停产整治。”

综上，企业目前的排污成本以及违法成本都比较高，需要通过源头、过程以及末端控制，减少VOCs的排放。

8.2.1 无组织排放收集与处理

依据新大气法，本标准要求：“产生VOCs的生产或服务活动，应当在密闭

空间或者设备中进行，废气经废气收集系统和（或）处理设施后排放。如不能密闭，则应采取局部气体收集处理措施或其他有效污染控制措施。”企业要将无组织排放的气体收集变为有组织经排气筒排放，需要设置整体或局部集气系统，一般废气收集系统的费用约占工程总造价的 5% 左右，属于可接受水平。

排气筒的 VOCs 排放限值为 $120\text{mg}/\text{m}^3$ ，与现行执行标准《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996） $120\text{mg}/\text{m}^3$ 一致。根据欧盟 BAT，燃烧法的 VOCs 去除率很高（ $>98\%\sim99\%$ ），可使排放浓度 $\leq 20\text{mg}/\text{m}^3$ ；吸附法、吸收法的 VOCs 去除率在 95% 以上，通常排放浓度可控制 $\leq 100\text{mg}/\text{m}^3$ 。因此只要配备污染处理设施，通过上述污染控制技术或技术组合是可以达标排放的。

VOCs 末端控制技术分回收法和破坏法两种。采用回收法，具有良好的环境效益和经济效益；采用破坏法，投资和运行费用合理可行。下面以工程实例具体说明。

某阿莫西林制药厂，排放的 VOCs 主要有二氯甲烷、丙酮和异丙醇等，采用卧式颗粒活性炭四罐两级吸附法，对二氯甲烷、丙酮和异丙醇进行吸附，然后将被吸附的组分脱附回收。项目的设计风量 $90000\text{m}^3/\text{h}$ ，工程总造价 262 万元，年运行费用约 485 万元，年回收物料的经济效益约 1218 万元。

某农药厂年产 5000 吨乐果，2000 吨稻丰散。排放的 VOCs 主要有甲醇、甲苯等，采用蓄热焚烧（RTO）处理技术。废气经碱洗预处理后进入 RTO 焚烧。项目设计风量 $10000\text{m}^3/\text{h}$ ，RTO 焚烧系统总投资 158 万元，运行费用 0.6 万元/d，按 10 年折旧，则每年工程投资和运行费用占企业利润的 6.4%。

8.2.2 泄漏和储存控制

按照新大气法要求，本标准要求：“对挥发性有机物流经以下设备与管线组件时，进行泄漏检测与控制。”所需要的费用是检测设备的费用（一台便携式有机气体分析仪几万到十几万）、配备专门人员费用以及泄漏维修的费用。多数泄漏是由于法兰螺栓、阀门等松动或垫片老化，只需将其中老化或松动加以换除或压紧，即可使 VOCs 泄漏量大为减少。通过加强设备检测与维修，对泄漏的控制效率可达 46%~73%。以某对苯二甲酸生产装置的氧化装置和制氢装置为例，检测组件 2264 个，对泄漏超过 $2000\mu\text{mol}/\text{mol}$ 的组件进行维修，泄漏组件 14 个，维修前泄漏量为 1.242 吨/年，维修后泄漏减排量为 0.595 吨/年，减少的物料损失的成本为 0.2 万元；按每公斤 10-20 元计，每年可减少的排污费为 0.6 万元~1.2 万元。

通过对物料储存和装载的控制也可有效减少物料的损耗。以 100m^3 常压甲苯储罐为例，按年周转量 $800\text{m}^3/\text{a}$ ，通过采用不同类型储罐，即采用浮顶罐替代固

顶罐，以中国石油化工系统经验公式计算，可减少 76% 的小呼吸损失（静置储藏损失），即每年减排 0.576 吨，按 0.6 万元/吨计，减少物料损耗成本为 0.3 万元。以年产 5 万吨苯企业为例，铁路槽车装运，根据实测，其每年装载过程苯的无组织排放量约为 20 吨，若将装载过程中排放苯收集，并采用活性炭纤维吸附回收苯，回收率按 90% 计，可减少排放 18 吨苯，即减少物料损耗成本为 10 万元。

综上所述可以看出仅通过设备改良和维护管理，即可大大减少物料的损耗，节约成本，取得良好的环境和经济效益。

8.2.3 污水液面的控制

目前很多化学制药、农药企业、城市污水处理厂等出于治理恶臭的目的，对其污水处理厂的设施进行了加盖以及废气处理，即控制了恶臭污染，又减少了 VOCs 排放，处理成本属于可接受水平。

以某城市 2013 年再生污水处理厂建设项目为例。项目建设规模 50 万 m³/d，本工程再生水处理系统采用“A/A/O+砂滤池”工艺。对污水处理构筑物进行了封闭，包括：粗格栅及进水泵房、细格栅及曝气沉砂池、初沉池、生物池、二沉池等污水处理构筑物。收集后集中进行处理，采用生物法。构筑物池体封闭除生物池好氧池外均采取的是钢筋砼低盖封闭的方式，设备检修处采用玻璃钢活动盖板；好氧池池体封闭采用两侧开巡视检查窗。废气处理系统 16 套，单套处理能力 50000m³/h。每套废气处理装置包括预洗池和生物滤池，主要设备有预洗池循环泵、生物滤池喷淋系统、预洗池填料、生物滤池填料和菌种、离心风机及电气控制系统等。项目工程费用（包括建筑、安装和设备费用）为 217120 万元，其中加平盖费用 5227 万元，加 3m 高盖费用 5427 万元，废气处理装置 3840 万元。固定资产折旧：取残值率为 4%，折旧期统一按排水工程取 20 年，即年综合折旧率为 4.8%。单方水处理成本（仅算工程费用）为 0.57 元，加盖和废气处理的单方成本为 0.038 元，占单方水处理成本的 6.7%。

9 标准实施建议

9.1 充分发挥企业的能动性

一方面标准中规定了设备泄漏、有机液体储运逸散的控制要求，帮助企业减少物料的损耗。对执行好的企业，在监控上给予倾斜，如对设备管理良好的企业，减少其设备泄漏检测频次。通过这些措施，调动企业积极性。

另一方面作为环境保护的主体，企业也应主动实施标准。本标准规定了大量的技术管理要求，没有企业自主实施，很难有效控制 VOCs 无组织排放。

9.2 强化第三方环境服务机构的作用

无组织的排放管理涉及很多技术管理要求，特别是设备管线泄漏，企业有成百上千上万个密封点，单靠环保部门执法难以为继。对无组织排放的监管应以第三方环境服务机构提供审核报告为主，环保部门抽查为辅，同时加强对服务机构的监督管理。

9.3 配套相应的实施规范和最佳可行技术

为了更好实施标准，应配套设备与管线组件 VOCs 泄漏检测与修复操作规范、控制 VOCs 储存排放和设备密封最佳可行性技术指南等技术文件。