

CPCIF
中国石油和化学工业联合会团体标准

T/CPCIF XXXX—XXXX

工业有机废气治理工程技术规范—
—树脂吸附法

Technical specifications for resin adsorption of industrial organic
emissions treatment project

（征求意见稿）

20XX-XX-XX 发布

20XX-XX-XX 实施

中国石油和化学工业联合会 发布

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 污染物与污染负荷.....	3
5 总体要求.....	3
6 工艺设计.....	3
7 主要工艺设备.....	6
8 检测与过程控制.....	6
9 主要辅助工程.....	6
10 工程施工与验收.....	6
11 运行与维护.....	7
附录 A.....	9
(资料性)	9
典型的有机废气吸附工艺流程图.....	9
附录 B.....	11
(规范性)	11
吸附树脂比表面积和孔体积测定方法.....	11

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》的规则起草。

本文件由中国石油和化学工业联合会提出。

本文件由中国石油和化学工业联合会标准化工作委员会归口。

本文件主要起草单位：南京大学、浙江赛璞环保科技有限公司、江苏南大华兴环保科技股份有限公司、南京华创环境技术研究院有限公司、南京大学盐城环保技术与工程研究院、浙江中欣氟材股份有限公司、广药白云山化学制药（珠海）有限公司。

本文件主要起草人：龙超、李爱民、李大伟、周宏鸣、……

工业有机废气治理工程技术规范——树脂吸附法

1 范围

本文件规定了工业有机废气树脂吸附法治理工程的设计、施工、验收和运行管理的技术要求。

本文件适用于工业有机废气的树脂吸附治理工程，可作为环境影响评价、工程咨询、设计、施工、验收及建成后运行与管理的技术依据。

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/T 5757 离子交换树脂含水量测定方法
GB/T 5758 离子交换树脂粒度分布测定方法
GB/T 8331 离子交换树脂湿视密度测定方法
GB 12348 工业企业厂界环境噪声排放标准
GB/T 12496.7 木质活性炭的试验方法 pH值的测定
GB/T 12598 离子交换树脂渗磨圆球率、磨后圆球率的测定
GB 13347 石油气体管道阻火器阻火性能和试验方法
GB/T 16157 固定污染源排气中颗粒物测定和气态污染物采样方法
GB 50016 建筑设计防火规范
GB 50019 工业建筑供暖通风与空气调节设计规范
GB 50051 烟囱设计规范
GB 50057 建筑物防雷设计规范
GB 50058 爆炸危险环境电力装置设计规范
GB/T 50087 工业企业噪声控制设计规范
GB 50140 建筑灭火器配置设计规范
GB 50187 工业企业总平面设计规范
GB 50727 工业设备及管道防腐蚀工程施工质量验收规范
HG/T 20675 化工企业静电接地设计规程
HJ/T 1 气体参数测量和采样的固定装置
HJ/T 386 工业废气吸附净化装置
HJ 2027 催化燃烧法工业有机废气治理工程技术规范
JJF 1049 温度传感器动态响应校准

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

工业有机废气 industrial organic waste gas

工业过程排出的含挥发性有机物的气态污染物。

3.2

爆炸极限 explosive limit

可燃气体或蒸气与空气混合后能发生爆炸的浓度范围。又称爆炸浓度极限

3.3

爆炸极限下限 lower explosive limit

爆炸极限的最低浓度值。

3.4

BET 比表面积 BET specific surface area

利用BET法测试的单位质量吸附剂的表面积，单位 m^2/g 。

3.5

固定床吸附装置 fixed bed adsorber

吸附过程中，吸附剂料层处于静止状态的吸附设备。

3.6

工作吸附量 dynamic adsorption capacity

把一定质量的吸附剂填充于吸附柱中，令浓度一定的污染空气在恒温、恒压下以恒速流过，当吸附柱出口中污染物的浓度达到设定值时，计算单位质量的吸附剂对污染物的平均吸附量。该平均吸附量称之为吸附剂对吸附质在给定温度、压力、浓度和流速下的工作吸附量，单位 mg/g 。

3.7

净化效率 purification efficiency

治理工程或净化设备捕获污染物的量与处理前污染物的量之比，以百分数表示。计算公式如下：

$$\eta = \frac{C_1 Q_{sn1} - C_2 Q_{sn2}}{C_1 Q_{sn1}} \times 100\% \quad (1)$$

式中：

η ——治理工程或净化设备的净化效率，%；

C_1 、 C_2 ——治理工程或净化设备进口、出口污染物的浓度， mg/m^3 ；

Q_{sn1} 、 Q_{sn2} ——治理工程或净化设备进口、出口标准状态下干气体流量， m^3/h 。

3.8

吸附剂再生 regeneration of adsorbent

利用高温水蒸气、热气流吹扫或降压等方法将被吸附物从吸附剂中解吸的过程。

3.9

吸附剂原位再生 in-site regeneration of adsorbent

吸附了污染物的吸附剂在吸附装置中原地进行再生的过程。

3.10

不凝气 uncondensable gas

混合气体经过低温冷凝后未被液化的部分。

4 污染物与污染负荷

4.1 树脂吸附处理技术适用于处理中、低风量有机废气，其中的有机物沸点宜小于 150 °C 且常温下为液态。

4.2 进入吸附装置的废气风量宜低于 10000 m³/h。

4.3 进入吸附装置的废气温度宜低于 40 °C。

4.4 进入吸附装置的颗粒物含量宜低于 1 mg/m³。

5 总体要求

5.1 一般规定

5.1.1 治理工程建设应按国家相关的基本建设程序或技术改造审批程序进行，总体设计应满足《建设项目环境保护管理条例》的规定。

5.1.2 治理工程应遵循综合治理、循环利用、达标排放、总量控制的原则。治理工艺设计应本着成熟可靠、技术先进、经济适用的原则，并考虑节能、安全和操作简便。

5.1.3 治理工程应与生产工艺水平相适应。生产企业应把治理设备作为生产系统的一部分进行管理，治理设备应与产生废气的相应生产设备同步运转。

5.1.4 经过治理后的污染物排放应符合国家和地方相关大气污染物排放标准、排污许可的规定。

5.1.5 治理工程在建设、运行过程中产生的废气、废水、废渣及其它污染物的治理与排放，应执行国家或地方生态环境保护法规和标准的相关规定，防止二次污染。

5.1.6 治理工程应按照国家相关法律法规、大气污染物排放标准和地方环境保护部门的要求设置在线连续监测设备。

5.2 工程构成

5.2.1 治理工程由主体工程和辅助工程组成。

5.2.2 主体工程包括废气预处理、树脂吸附、树脂再生和解吸气体后处理单元。若治理过程中产生二次污染物时，还应包括二次污染物治理设施。

5.2.3 辅助工程主要包括检测与过程控制、电气仪表和给排水等单元。

5.3 场址选择与总图布置

5.3.1 场址选择与总图布置应参照标准 GB 50187 规定执行。

5.3.2 场址选择应遵从降低环境影响、方便施工及运行维护等原则，并按照消防要求留出消防通道和安全保护距离。

5.3.3 治理设备的布置应考虑主导风向的影响，以减少有害气体、噪声等对环境的影响。

6 工艺设计

6.1 一般规定

- 6.1.1 在进行工艺路线选择之前,根据废气中有机物的回收价值和处理费用进行经济核算,优先选用回收工艺。
- 6.1.2 治理工程的处理能力应根据废气的处理量确定,设计风量宜按照最大废气排放量的120 %进行设计。
- 6.1.3 吸附装置的净化效率不得低于95 %。
- 6.1.4 排气筒的设计应满足GB 50051的规定。

6.2 工艺路线选择

- 6.2.1 应根据废气的来源、性质(温度、压力、组分)及流量等因素进行综合分析后选择工艺路线。
- 6.2.2 根据吸附剂再生方式和解吸气体后处理方式的不同,可选用的典型治理工艺有:
 - a)水蒸气再生—冷凝回收工艺;
 - b)热气流(惰性气体)再生—冷凝回收工艺;
 - c)热气流(空气)再生—催化燃烧或高温焚烧工艺;
 - d)降压解吸再生—冷凝或液体吸收工艺。典型的有机废气吸附工艺流程图见附录A。
- 6.2.3 废气宜采用固定床吸附装置处理。当使用固定床吸附装置时,宜采用树脂原位再生工艺。
- 6.2.4 当废气中的有机物具有回收价值时,可根据情况选择采用水蒸汽再生、热气流(惰性气体)再生或降压解吸再生工艺。脱附后产生的高浓度气体可根据情况选择采用降温冷凝或液体吸收工艺对有机物进行回收。
- 6.2.5 当废气中的有机物不宜回收时,宜采用热气流再生工艺。脱附产生的高浓度有机气体采用催化燃烧或高温焚烧工艺进行销毁。
- 6.2.6 当废气中的有机物浓度高且易于冷凝时,宜先采用冷凝工艺对废气中的有机物进行部分回收预处理后再进行吸附净化。

6.3 工艺设计要求

6.3.1 预处理

- 6.3.1.1 预处理设备应根据废气的成分、性质和影响吸附过程的物质性质及含量进行选择。
- 6.3.1.2 当废气中颗粒物含量超过 1 mg/m^3 时,应先采用过滤或洗涤等合适方式进行预处理。
- 6.3.1.3 当废气中含有吸附后难以脱附或造成吸附剂中毒的成分时,应采用洗涤等合适预处理方式处理。
- 6.3.1.4 当废气温度较高时,采用换热等方式调节至满足4.3的要求。

6.3.2 吸附

- 6.3.2.1 树脂吸附剂技术指标应符合以下要求:
 - a)BET比表面积应不小于 $1000\text{ m}^2/\text{g}$ 、微孔体积不小于 0.4 ml/g 、总孔体积不小于 0.9 ml/g ,测试方法见附录B;
 - b)粒径 $0.45\text{ mm}-1.25\text{ mm}$ 之间大于95%,测试方法参见GB/T 5758;
 - c)磨后圆球率大于95 %,测试方法参见GB/T 12598-2001;
 - d)含水量为50 %-60 %,测试方法参见GB/T 5757;

e) 湿视密度 0.68 g/ml -0.7 g/ml, 测试方法参见 GB/T 8331;

f) pH 值 7.0-7.5, 测试方法参见 GB/T 12496.7。

6.3.2.2 选定树脂后, 吸附床层的树脂用量应根据废气处理量、污染物浓度和树脂的动态吸附量确定。

6.3.2.3 固定床吸附装置吸附层的气体流速应根据树脂的用量和吸附装置结构确定, 确保气体在吸附层的空塔停留时间不低于 2 s, 气速宜低于 0.15 m/s。

6.3.2.4 对于可再生工艺, 应定期对树脂动态吸附量进行检测, 当动态吸附量降低至设计值的 80 % 时宜更换树脂或对树脂进行深度再生。

6.3.2.5 吸附单元的压力损失宜低于 4.5 kPa。

6.3.3 树脂再生

6.3.3.1 当使用水蒸汽再生时, 水蒸汽的温度宜低于 140 °C。

6.3.3.2 当使用热气流 (惰性气体) 再生时, 热气流温度应低于 150 °C。

6.3.3.3 高温再生后的树脂应降温后使用。

6.3.4 解吸气体后处理

6.3.4.1 解吸气体的后处理应根据废气中有机物的组分、回收价值和处理成本等选择后处理方法。可采用冷凝回收、液体吸收、催化燃烧或高温焚烧等方法。

6.3.4.2 采用冷凝回收法处理解吸气体时, 应符合以下要求:

a) 可使用螺旋管式、列管式或板式气 (汽) - 液冷凝器等冷凝装置;

b) 当有机物沸点较高时, 可采用常温水进行冷凝; 当有机物沸点较低时, 宜采用低温水或常温 - 低温水进行多级冷凝;

c) 冷凝产生的不凝气应引入吸附装置前端进行再次吸附处理。

6.3.4.3 采用液体吸收法处理解吸气体时, 吸收液中有机物的平衡分压应低于废气中有机物的平衡分压。液体吸收后的尾气不能达标排放时, 应引入吸附装置前端进行再次吸附处理。

6.3.4.4 采用催化燃烧或高温焚烧法处理解吸气体时, 产生的烟气应达标排放。采用催化燃烧法处理解吸气体时, 应遵循 HJ 2027 规定。

6.4 二次污染物控制

6.4.1 预处理和后处理设备所产生的废水应集中处理, 并达到相应排放标准; 所产生的废液应送有资质单位处置。

6.4.2 预处理产生的粉尘和废渣以及更换后的过滤材料、树脂的处理应符合国家固体废物处理与处置的相关规定。

6.4.3 噪声控制应符合 GB/T50087 和 GB 12348 的规定。

6.5 安全措施

6.5.1 治理系统应有事故自动联锁报警装置, 并符合安全生产、事故防范的相关规定。

6.5.2 治理系统与主体生产装置之间的管道系统应安装阻火器 (防火阀), 阻火器性能应符合 GB 13347 的规定。

6.5.3 风机、电机和置于现场的电气仪表等应不低于现场防爆等级; 可能存在爆炸性气体的生产设施, 除进行电气设备防爆设计外, 应进行非电气设备防爆设计。当树脂采用降压解吸方式再生且解吸后的高浓度有机气体采用液体吸收工艺进行回收时, 风机、真空解吸泵和电气系统均应采用符合 GB 3836.4 要求的本安型防爆器件。

- 6.5.4 在吸附操作周期内,吸附了有机气体后吸附床内的温度应低于 60℃。当吸附装置内的温度超过 60℃时,应能自动报警,吸附装置内的温度超过 80℃时立即启动降温装置。
- 6.5.5 采用热空气吹扫方式进行吸附剂再生时,当吸附装置内的温度超过 6.3.3.2 中规定的温度时,应能自动报警并立即中止再生操作、启动降温措施。
- 6.5.6 治理装置安装区域应按规定设置消防设施。
- 6.5.7 治理设备应具备短路保护和接地保护,接地电阻应小于 4 Ω。
- 6.5.8 室外治理设备应安装符合 GB 50057-2010 规定的避雷装置。

7 主要工艺设备

- 7.1 主要工艺设备的性能应满足本标准 6.3 的要求,并有必要的备用。
- 7.2 吸附装置的基本性能应满足 HJ/T 386 的要求。
- 7.3 当废气中含有腐蚀性介质时,风机、管道、阀门和吸附装置等应满足相关防腐要求。
- 7.4 当吸附剂采用水蒸气再生时,吸附装置以及接触到水蒸气的管道和阀门均应采用相应防腐蚀材料制造。

8 检测与过程控制

8.1 检测

- 8.1.1 治理设备应设置永久性采样口,采样口的设置应符合 HJ/T 1,采样方法应满足 GB/T 16157-1996 的要求。采样频次和检测项目应根据工艺控制要求确定。
- 8.1.2 吸附装置内部应装设具有自动报警功能的多点温度检测装置。温度传感器应按 JJF 1049 的要求进行标定后使用。
- 8.1.3 应定期检测过滤装置两端的压差。

8.2 过程控制

现场应设置就地控制柜实现就地控制。就地控制柜应有集中控制端口,具备与集中控制室的连接功能,能在控制柜显示设备的运行状态。

9 主要辅助工程

9.1 电气系统

- 9.1.1 电源系统可直接由生产主体工程配电系统接引,中性点接地方式应与生产主体工程一致。
- 9.1.2 电气系统设计应满足 GB 50058 的要求。

9.2 给水、排水与消防系统

- 9.2.1 治理工程的给水、排水设计应符合相关工业行业给水排水设计规范的有关规定。
- 9.2.2 治理工程的消防设计应纳入工厂的消防系统总体设计。
- 9.2.3 消防通道、防火间距、安全疏散的设计和消防栓的布置应符合 GB 50016 的规定。
- 9.2.4 治理工程应按照 GB 50140 的规定配置移动式灭火器。

10 工程施工与验收

10.1 工程施工

- 10.1.1 工程设计、施工单位应具有国家相应的工程设计、施工资质。
- 10.1.2 工程施工应符合国家和行业施工程序及管理文件的要求。
- 10.1.3 工程施工应按设计文件进行建设,对工程的变更应取得工程设计单位的设计变更文件后再进行施工。
- 10.1.4 工程施工中使用的设备、材料和部件应符合相应的国家标准。
- 10.1.5 需要采用防腐蚀材质的设备、管路和管件等的施工和验收应符合 GB 50727 的规定。
- 10.1.6 施工单位除应遵守相关的施工技术规范外,还应遵守国家有关部门颁布的劳动安全及卫生消防等强制性标准的要求。

10.2 工程验收

- 10.2.1 工程验收应根据《建设项目(工程)竣工验收办法》组织进行。
- 10.2.2 工程安装、施工完成后应首先对相关仪器仪表进行校验,然后根据工艺流程进行分项调试和整体调试。
- 10.2.3 通过整体调试,各系统运转正常,技术指标达到设计和合同要求后启动试运行。

10.3 竣工环境保护验收

- 10.3.1 竣工环境保护验收应按《建设项目竣工环境保护验收管理办法》的规定进行。
- 10.3.2 工程验收前应进行试运行和性能试验,性能试验的内容主要包括:
 - a) 废气中非甲烷总烃和国家或地方相关排放标准中所规定的污染物进出口浓度(至少检测三次);
 - b) 风量;
 - c) 吸附装置净化效率;
 - d) 溶剂回收效率;
 - e) 系统压力降;
 - f) 耗电量;
 - g) 耗水量;
 - h) 水蒸气耗量等。

11 运行与维护

11.1 一般规定

- 11.1.1 治理设备应与产生废气的生产工艺设备同步运行。由于紧急事故或设备维修等原因造成治理设备停止运行时,应立即报告当地环境保护行政主管部门。
- 11.1.2 治理设备正常运行中废气的排放应符合国家或地方大气污染物排放标准的规定。
- 11.1.3 治理设备不得超负荷运行。
- 11.1.4 企业应建立健全与治理设备相关的各项规章制度,以及运行、维护和操作规程,建立主要设备运行状况的台账制度。

11.2 人员与运行管理

- 11.2.1 治理系统应纳入生产管理中,并配备专业管理人员和技术人员。
- 11.2.2 在治理系统启用前,企业应对管理和运行人员进行培训,使管理和运行人员掌握治理设备及其它附属设施的具体操作和应急情况下的处理措施。培训内容包括:

- a) 基本原理和工艺流程;
- b) 启动前的检查和启动应满足的条件;
- c) 正常运行情况下设备的控制、报警和指示系统的状态和检查, 保持设备良好运行的条件, 以及必要时的纠正操作;
- d) 设备运行故障的发现、检查和排除;
- e) 事故或紧急状态下人工操作和事故排除方法;
- f) 设备日常和定期维护;
- g) 设备运行和维护记录;
- h) 其它事件的记录和报告。

11.2.3 企业应建立治理工程运行状况、设施维护等的记录制度, 主要记录内容包括:

- a) 治理装置的启动、停止时间;
- b) 吸附剂、过滤材料等采购量、使用量及更换时间;
- c) 治理装置运行工艺控制参数, 至少包括治理设备进、出口浓度和吸附装置内温度;
- d) 主要设备维修情况;
- e) 运行事故及维修情况;
- f) 定期检验、评价及评估情况;
- g) 吸附回收工艺中的污水排放、副产物处置情况。

11.2.4 运行人员应遵守企业规定的巡视制度和交接班制度。

11.3 维护

11.3.1 治理设备的维护应纳入全厂的设备维护计划中。

11.3.2 维护人员应根据计划定期检查、维护和更换必要的部件和材料。

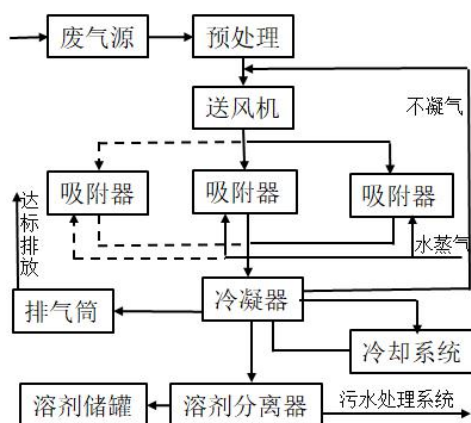
11.3.3 维护人员应做好相关记录。

附录 A

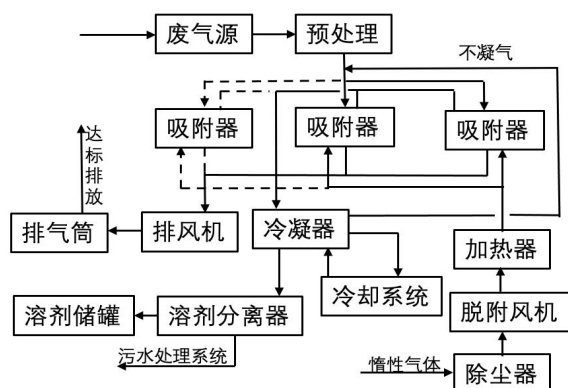
(资料性)

典型的有机废气吸附工艺流程图

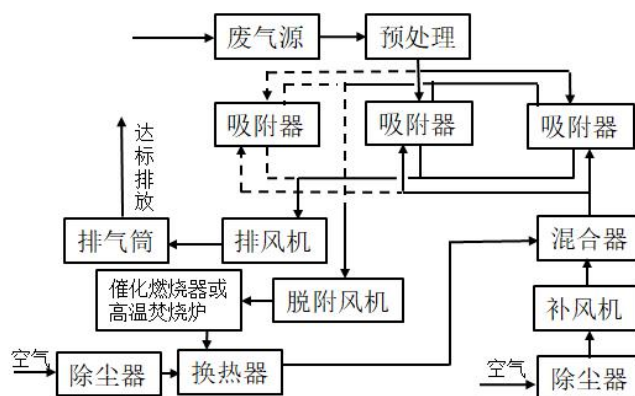
A1. 水蒸气再生—冷凝回收工艺



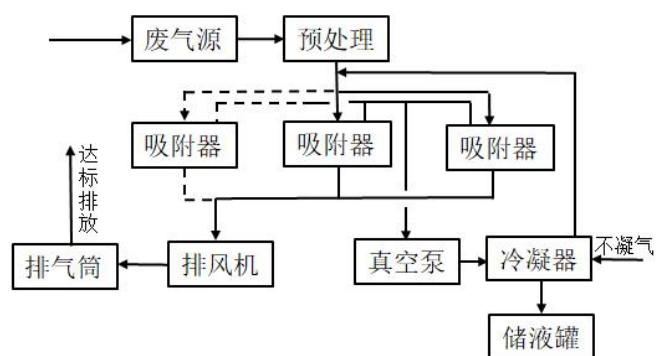
A2. 热气流(惰性气体)再生—冷凝回收工艺



A3. 热气流(空气)再生—催化燃烧或高温焚烧工艺



A4. 降压解吸再生—冷凝工艺



附录 B

(规范性)

吸附树脂比表面积和孔体积测定方法

B.1 定义

比表面积：每克树脂所具有的内、外表面积的总和，即树脂的表面积/树脂的重量 (g)，单位为 m^2/g ，根据 77K 下测定的 N_2 吸附等温线、采用 BET 模型方程计算；

总孔体积：77K 下测定的 N_2 吸附等温线上 $P/P_0 = 0.98-0.99$ 处所对应的孔体积；

微孔体积：孔径为 0-2 nm 之间的孔体积，采用 Horvath-Kawazoe 模型方程计算。

B.2 测试仪器

ASAP2010C 吸附仪

B.3 测试步骤

(1) 取样

按 NG001 中规定的方法进行取样。

(2) 预处理

试样按 NG002 中预处理方法进行。

(3) 用 ASAP2010C 吸附仪测比表面积

ASAP2010C 吸附仪进行比表面的测定方法是低温物理吸附容量法。定容注入吸附质，根据压力平衡的变化测定样品的吸附量，然后运用各自的理论公式计算出比表面积等参数。

a. 开机

打开物理吸附控制开关。接着打开主机电源，启动吸附仪控制软件

b. 样品处理

根据样品实际所需处理温度进行样品管空管处理。直至真空度在应允范围内不再变化（一般为 $2 \sim 3\text{mHg}$ ）。关闭温度控制器，等样品管冷却至室温，取下称重 W_1 ，然后加入样品重新处理。方法如上。样品处理完毕，取下称重 W_2 ，则样品重 $W=W_2-W_1$ 。

c. 样品参数设置

<1>在 ASAP 菜单中打开 Sample Information，在 File Name 中写入样品名。点击[OK]。

<2>在 Sample Information 中输入 Sample Id, Operator Id, Submitter Id 及样品重量。在 Type of Data 中选中 Automatically collected。

<3>在 Analysis Conditions 中输入分析控制条件。

<4>在 Adsorptive Properties 中选择 77K 的 N_2 为吸附质。

<5>在 report options 中，选择所需报告类型

BET Surface Area Report Options

BJH Adsorption Report Options

BJH Desorption Report Options

Horvath-Kawazoe Pore Volume Report Options

d. 结果

分析数据自动进行，实验结束后，打出结果报表。

两次测定值之差不得大于 2.0%，取两次测定值的算术平均值为测定结果。

B.4 允许误差

同一实验室内允许误差为 2.0%；不同实验室间允许误差为 3.5%。

《树脂吸附法工业有机废气治理工程技术规范》

编制说明

（征求意见稿）

标准编制组

2021 年 8 月

目 录

1 任务来源.....	1
2 标准制定的必要性.....	1
3 标准制订原则与主要工作过程.....	2
4 国内外相关标准研究.....	3
5 主要技术内容及说明.....	5
6 标准实施的环境效益及经济技术分析.....	17
7 标准实施建议.....	18

1 任务来源

2020 年 3 月，中国石油与化学工业联合会印发了《关于印发 2020 年第一批中国石油与化学工业联合会团体标准项目计划的通知》（中石化联质发（2020）28 号），下达了制定“树脂吸附法工业有机废气治理工程技术规范”的编制任务。

本标准制定的组织单位为中国化工环保协会，主要编制单位：南京大学、浙江赛璞环保科技有限公司、南京华创环境技术研究院有限公司、江苏南大华兴环保科技股份有限公司、南京大学盐城环保技术与工程研究院。

2 标准制定的必要性

挥发性有机污染物（Volatile Organic Compounds, VOCs）是形成细颗粒物（PM_{2.5}）和臭氧（O₃）的重要前体物。近年来，我国 PM_{2.5} 污染控制取得积极进展，但 PM_{2.5} 浓度仍处于高位，超标现象依然普遍。同时，我国 O₃ 污染问题日益显现，京津冀及周边地区、长三角地区等区域 O₃ 浓度呈上升趋势，尤其是在夏秋季节已成为部分城市的首要污染物。相对于颗粒物、二氧化硫、氮氧化物等污染控制，VOCs 已成为我国大气污染防治的重中之重。

VOCs 排放来源广泛，包括石油化工、精细化工、制药、涂装印刷、皮革橡胶、半导体及电子产品制造、家具制造等等，各行业中所排放的 VOCs 种类繁多，废气成分浓度复杂多变，迫切需要高效的 VOCs 治理技术。

吸附法是一种传统的有机废气治理技术，也是目前我国有机废气治理的主要技术之一，其中主要使用的吸附材料为活性炭、活性炭纤维和分子筛等。吸附树脂是一类人工合成的高分子聚合物，具有可控的孔结构和化学结构，以及好的物理和化学稳定性，对挥发性有机物具有优异的吸附性能。南京大学首先提出采用吸附树脂处理有机废气，基于所开发的工艺技术于 2011 年建成国内首套采用吸附树脂处理 VOCs 治理工程，于 2017 年建成国内首套达标排放的树脂吸附 VOCs 治理装置。吸附树脂完善了传统一些吸附材料需定期更换、吸附效率持续下降等缺陷，为 VOCs 治理问题提供了更好的解决方案。随着树脂吸附技术的进一步开发推广，相应的技术规范需求日益凸显。由于相应工程技术规范的缺失，行业内的生产企业缺

少设计依据，吸附树脂的选择和工艺设计随机性较大，往往造成治理工程难以实现长期稳定达标运行。

为落实蓝天保卫战要求，2019 年生态环境部发布《重点行业挥发性有机物综合治理方案》（环大气〔2019〕53 号），要求“规范工程设计。采用吸附处理工艺的，应满足《吸附法工业有机废气治理工程技术规范》要求”。但是，原国家环境保护部发布的《吸附法工业有机废气治理工程技术规范》(HJ 2026-2013)，重点针对采用活性炭、活性炭纤维、分子筛等吸附材料的技术路线，来规范工艺设计、设备制造、工程建设、运行调试、维护与管理等方面的技术标准。上述标准制定时，吸附树脂还未在有机废气治理上获得应用，但吸附树脂与活性炭等吸附材料在特性与性能上既有相似性也有较大的差异。因此，为规范和指导树脂吸附法工业有机废气治理工程，亟需编制改工程技术规范。

3 标准制订原则与主要工作过程

3.1 确立制定本标准的原则

（1）与目前我国树脂吸附法有机废气治理技术的发展水平相适应，以国内外常用的树脂吸附工艺方案和最佳可行技术路线为基础，充分考虑技术成熟程度和可行性、适用范围和适用对象，优先考虑目前技术成熟、适应范围广、对大规模的节能减排具有重要作用的树脂吸附技术路线。

（2）充分反应树脂吸附法治理气态污染物的特点和优势，符合树脂吸附法治理气态污染物的技术发展趋势，并适当与国外先进标准衔接。

（3）技术规范中所界定的工艺设备和治理设施应兼顾技术可行性和先进性，便于工程实施，实际操作，运行维护。

（4）技术规范的制订考虑技术可行性和经济性的统一，充分考虑工程实施过程中相关各方的经济承受能力。

（5）以国家环境保护和污染防治相关法律、法规、规章、技术政策和规划为根据，促进环境效益、经济效益和社会效益的统一，并有利于相关法律、法规和规范的实施。

3.2 主要工作过程

2020年初，中国石油与化学工业联合会下达“树脂吸附法工业有机废气治理工程技术规范”的编制任务，中国化工环保协会组织相关单位及人员成立标准编制组，确定工作计划和任务分工。

2020年5月，完成标准的开题报告和标准编制大纲。

2020年9月，召开了本标准的开题论证会议。在开题论证会上明确了标准的编制方向和原则，通过了编制大纲。

2020年12月，完成《树脂吸附法工业有机废气治理工程技术规范》及编制说明的初稿，经多次讨论并征求专家和相关管理者意见，于2020年12月形成征求意见稿。

4 国内外相关标准研究

4.1 编制依据

本标准的编制以工业固定源有机废气的排放和污染现状、各行业的排放特点及其污染治理情况为基础，充分考虑吸附法治理技术的发展水平、成熟程度、应用范围和覆盖度，并结合国家现有的废气排放控制标准、各省市的地方排放标准和各行业相关标准，严格按照各种标准编制指导文件进行编制。涉及的部分法律法规、管理文件和标准有：

(1) 《中华人民共和国环境保护法》

该法第二十四条规定：“产生环境污染和其他公害的单位，必须把环境保护工作纳入计划，建立环境保护责任制度；采取有效措施，防治在生产建设或者其他活动中产生的废气、废水、废渣、粉尘、恶臭气体、放射性物质以及噪声、振动、电磁波辐射等对环境的污染和危害。”第二十五条规定：“新建工业企业和现有企业的技术改造，应当采用资源利用率高、污染物排放量少的设备和工艺，采用经济合理的废弃物综合利用技术和污染物处理技术。”

(2) 《中华人民共和国大气污染防治法》

该法第二条规定：“国务院和地方各级人民政府，必须将大气环境保护工作纳入国民经济和社会发展规划，合理规划工业布局，加强防治大气污染的科学研究，采取防治大气污染的措施，保护和改善大气环境。”

（3）《国家环境保护标准制修订工作管理办法》

该法第六条规定：“标准制修订工作应遵循下列基本原则：①以科学发展观为指导，以实现经济、社会的可持续发展为目标，以国家环境保护相关法律、法规、规章、政策和规划为根据，通过制定和实施标准，促进环境效益、经济效益和社会效益的统一；②有利于保护生活环境、生态环境和人体健康；③有利于形成完整、协调的环境保护标准体系；④有利于相关法律、法规和规范性文件的实施；⑤与经济、技术发展水平和相关方的承受能力相适应，具有科学性和可实施性，促进环境质量改善；⑥以科学研究成果和实践经验为依据，内容科学、合理、可行；⑦根据本国实际情况，可参照采用国外相关标准、技术法规；⑧制订过程和技术内容应公开、公平、公正。”

（4）《挥发性有机物污染防治技术政策》

该文件第三章规定：（十二）在工业生产过程中鼓励 VOCs 的回收利用，并优先鼓励在生产系统内回用。（十三）对于含高浓度 VOCs 的废气，宜优先采用冷凝回收、吸附回收技术进行回收利用，并辅助以其他治理技术实现达标。（十四）对于含中等浓度 VOCs 的废气，可采用吸附技术回收有机溶剂，或采用催化燃烧和热力焚烧技术净化后达标排放。催化燃烧和热力焚烧技术进行净化时，应进行余热回收利用。（十五）对于含低浓度 VOCs 的废气，有回收价值时可采用吸附技术、吸收技术对有机溶剂回收后达标排放；不宜回收时，吸附浓缩燃烧技术、生物技术、吸收技术、等离子体技术或紫外光高级氧化技术等净化后达标排放。

（5）各行业废气排放标准

如《大气污染物综合排放标准》、《挥发性有机物无组织排放控制标准》、《恶臭污染物排放标准》、江苏省地方排放标准《江苏省化学工业挥发性有机物排放标准》、制药工业大气污染物排放标准等。

（6）气态污染物相关检测标准

如《固定污染源排气中颗粒物测定与气态污染物采样方法》、《固定污染源废气挥发性有机物的采样 气袋法》、《固定污染源排气中非甲烷总烃的测定 气相色谱法》、《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》等。

(7) 相关环保产品、工程建设技术要求和技术规范

如《吸附法工业有机废气治理工程技术规范》、《催化燃烧法工业有机废气治理工程技术规范》、《蓄热燃烧法工业有机废气治理工程技术规范》、《工业有机废气催化净化装置》等。

(8) 有关标准编制格式、内容的标准

如《环境信息术语》、《标准化工作导则》系列标准、《国家环境保护标准制修订工作管理办法》和《环境工程技术规范制订技术导则》等。

4.2 国内外相关技术标准、技术政策、指南制订情况分析

以颗粒活性炭、活性炭纤维和分子筛为吸附剂的有机废气吸附净化技术已经非常成熟，日本、美国和西欧等对吸附工艺、吸附材料、吸附设备和吸附工程控制等都有详细的规定，同时一些大公司也制定了自己的企业标准，以对工艺设备的设计制造和工程技术措施进行规范。

我国的工业 VOCs 排放治理工作虽然起步较早，自上世纪八十年代就已经有吸附法治理设备进入市场，但长期以来基本上处于自由发展状态。随着《中华人民共和国大气污染防治法》、《环境空气质量标准》、《大气污染物综合排放标准》(GB 16297-1996)、恶臭污染物排放标准(GB 14554-93)等法律法规和标准的实施，有机废气污染控制体系正在逐步完善。

我国在 2007 年底发布了中华人民共和国环境保护行业标准《环境保护产品技术要求工业废气吸附净化装置》(HJ/T 386-2007)，笼统地对工业废气吸附净化装置的技术要求、检验方法和检验规则进行了规定。在 2013 年初发布了《吸附法工业有机废气治理工程技术规范》(HJ 2026-2013)，在原来的吸附净化的行业标准基础上，进一步提出了对工业有机废气吸附法和催化燃烧法治理工程的设计、施工、验收、运行等方面的技术要求。然而这些工程技术规范尚未涉及到以吸附树脂材料为基础的吸附净化工艺，而对于吸附树脂工艺的脱附再生方法、溶剂的回收方法、系统控制措施、吸附树脂的评价与要求等方面的规定尚属空白。

5 主要技术内容及说明

5.1 范围

从实际应用来看，工业有机废气的吸附净化工艺有很多种，主要是吸附剂的再生和处置工艺不同，而吸附剂的再生和处置工艺是治理工程的主要组成部分。根据吸附剂的再生和处置工艺不同，吸附净化工艺可以划分为变温吸附工艺和变压（降压）吸附工艺等。

吸附树脂的变温吸附工艺是目前的主要工艺，包括高温水蒸气再生和高温气流再生工艺。高温水蒸气再生后产生的有机溶剂通过冷凝分离等方法进行回收，高温气流再生后产生的高浓度有机废气可以采用燃烧等相关工艺进行处理，也可以采用冷凝分离工艺回收溶剂。

吸附树脂的变压（降压）吸附工艺是指对吸附树脂进行减压再生的工艺，即常压吸附，减压（真空）再生。再生后产生的高浓度有机废气通过冷凝、吸收等方法回收。目前在油气回收、某些化工废气的治理中使用降压再生工艺。

鉴于以上的分析，本工程技术规范适用范围限定在:工业固定源有机废气的树脂吸附法治理工艺，包括变温吸附工艺和变压（降压）吸附工艺。

5.2 规范性引用文件

现行的国家法律法规、大气环境治理类的环保类标准、相关的行业标准是制定本规范的依据，其中有关条文是本规范的技术基础，引用此类文件，使本规范具有合法性和权威性。

对于树脂吸附法治理工程中的各类设备和材料的制造（作）、加工、运输、安装、测试、维修等方面的规定，均引用现行的国家标准及行业标准。

有关建设工程涉及的配套专业的工程施工、安装、测定调试、验收规范均成为本规范的引用文件。

5.3 术语和定义

为了便于对规范条文的理解，对本规范中涉及的技术名词予以定义。

对在其他法律、法规和技术规范上已经定义的术语如果适用于本规范的，在本规范中不再重新进行定义。对于有关标准和规范上没有标准定义而本规范中需要解释的给予了命名和规范。

对于本规范中涉及的一些最为核心的名词，虽然在其它标准中已有定义，在本规范中也重新进行了解释。

一些在其它标准中已经定义，但没有完全统一的名词在本规范重新进行了定义与说明。

5.4 污染物与污染负荷

(1) 本章规定了树脂吸附法治理有机废气的范围、进气的浓度要求，以及不适用于处理的废气情况，如对含有颗粒物及气溶胶类物质，需通过干法或湿法过滤等方式预先除去。

(2) 粉尘易于附着在吸附树脂层的表面上，会增加吸附床层的压力降，影响吸附系统的运行。根据经验，进入吸附器的废气中粉尘的含量达到 $10\text{mg}/\text{m}^3$ 时，就会对吸附产生很大影响，因此规范 4.1 规定经过预处理以后废气中的颗粒物含量应低于 $1\text{mg}/\text{m}^3$ 。

(3) 吸附树脂对有机物的吸附主要是通过物理吸附作用，废气的温度会对吸附树脂的吸附能力产生一定的影响，温度越低，吸附能力越强。一般情况下，建议进气温度低于 40°C ，保障吸附树脂对有机物具有良好的吸附效果。对于低沸点物质，建议其进气温度低于其沸点温度至少 10°C 。

5.5 总体要求

5.5.1 一般规定

在一般规定中，对工程总体设计中的“三同时”原则、工程设计者的资质要求、工艺配置与企业生产系统的适用性要求、处理后可达到的目标或排放标准以及净化设备运行过程中的环境保护要求等进行了原则性的规定。

关于净化系统产生的二次污染物的排放将在规范 6.4 二次污染物控制中进行详细说明。

5.5.2 工程构成

在工程构成中，主要对治理工程的主体工程和辅助工程系统的组成范围进行了界定。

规范 5.2.1 界定了治理工程的总体构成范围。5.2.2 和 5.2.3 针对具体的工程系统进行了详细的界定。

5.5.3 场址选择与总图布置

治理设备的布置应考虑主导风向的影响，以减少有害气体、噪声等对环境的影响。如果在下风向无居民区，应布置在主导风向的下风向。

对于有机废气的治理，在场址选择中主要考虑有机物的易燃和爆炸的危险，应按照消防要求留出消防通道和安全保护距离。同时要考虑因地制宜地利用厂区空间，降低治理成本。

5.6 工艺设计

5.6.1 一般规定

(1) 在进行工艺设计上要本着成熟可靠、国内先进、经济适用原则，同时要考虑节能、安全和可操作性，鼓励技术能力较强的治理厂家积极采用新工艺和新材料。

(2) 从资源利用的角度来讲，有机废气中所含的有机物成分应该尽量的回收利用。因此，在成本相近，且回收易行的前提下，应尽量采用吸附回收工艺对废气中的有机物成分进行回收。

(3) 在通常的废气治理设备中都会考虑留出一定的设计裕量。根据各个厂家的实际设计经验，对于有机废气的治理设备，设计裕量为(10-20)%为宜，在此规定设计裕量为 20%应该是合适的。

5.6.2 工艺路线的选择

(1) 在吸附法工业有机废气的治理中，根据吸附器的种类、吸附剂的再生方式、再生后高浓度有机废气的处理方式的不同，可以分为多种工艺路线。在进行废气治理工艺路线选择时，应通过对废气的组成、温度、压力、污染物的性质、污染物的含量、流量、污染物产生方式（连续或间歇、均匀或非均匀）等因素进行综合分析，选择经济适用、安全可靠的治理工艺。

(2) 目前, 在我国的工业有机废气的树脂吸附法治理中采用的主要是固定床吸附器, 移动床和流化床的吸附器尚处在研究开发阶段。

(3) 根据吸附树脂的再生方式和再生废气处理方式的不同, 废气的吸附净化工艺可以分为多种技术途径。在本规范附录中给出四种典型的工艺路线。

典型工艺路线 1 (图 1): 水蒸气再生--冷凝回收工艺。在有机溶剂的吸附回收工艺中, 目前采用的主要是水蒸气加热置换再生--冷凝回收工艺, 多用于固定床吸附器系统, 吸附树脂采用原位再生。

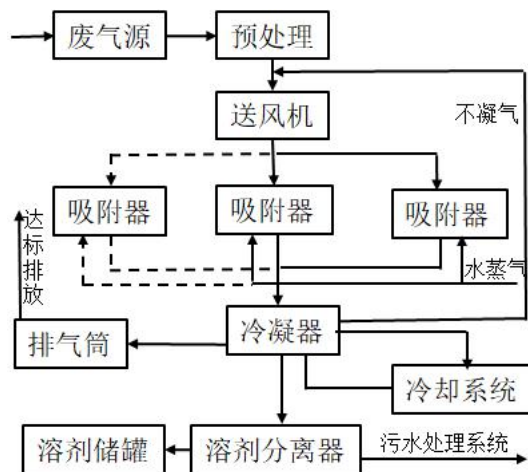


图 1 水蒸气再生--冷凝回收工艺流程

典型工艺路线 2 (图 2): 热气流(惰性气体)再生--冷凝回收工艺。固定床、移动床和流化床吸附器均可采用该工艺。

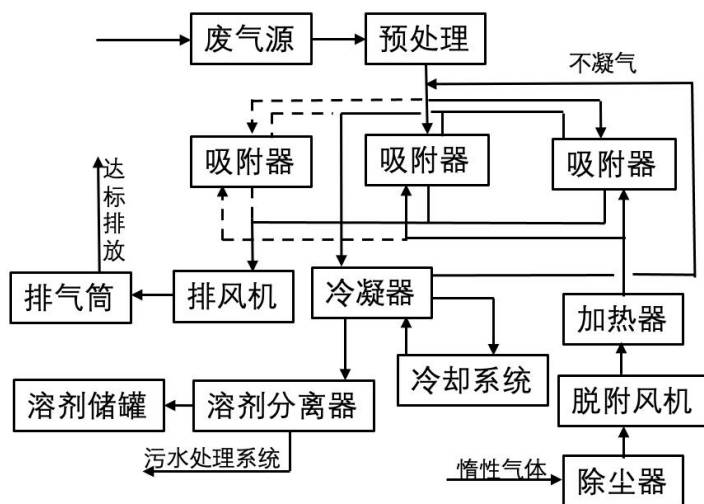


图 2 热气流(惰性气体)再生--冷凝回收工艺流程

典型工艺路线 3（图 3）：热气流(空气、惰性气体)再生--催化燃烧或高温焚烧工艺。该工艺主要用于低浓度、大风量、无回收价值的有机废气的治理，通过吸附树脂吸附浓缩后，再采用催化燃烧或蓄热焚烧的工艺进行分解净化。

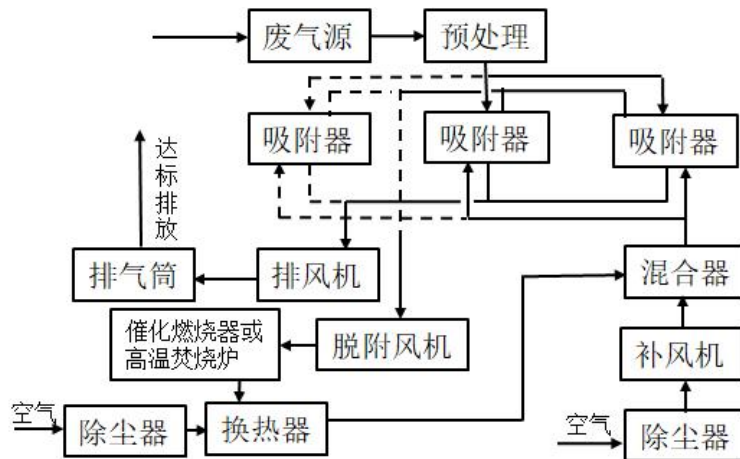


图3 热气流(空气、惰性气体)再生--催化燃烧或高温焚烧工艺流程

典型工艺路线 4（图 4）：降压解吸再生—低温冷凝或液体吸收工艺。该工艺目前在国内主要用于高浓度的溶剂回收和加油站、油库、工业溶剂储罐的油气回收等。在低浓度有机溶剂回收中采用该工艺往往不经济，因此很少采用。

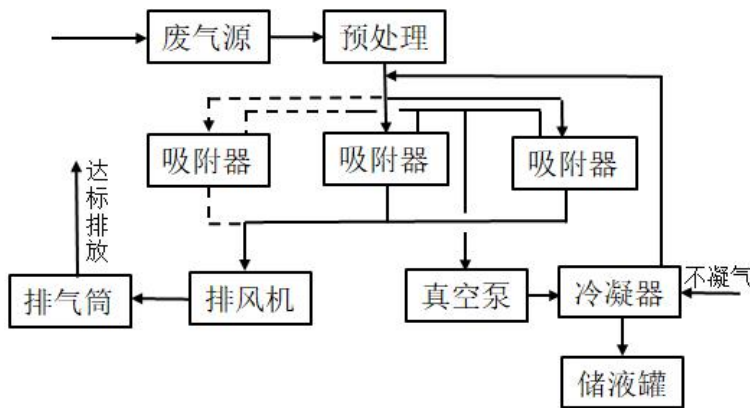


图 4 降压解吸再生--液体吸收工艺流程

(4) 当使用固定床吸附器时, 采用原位再生工艺。吸附器多采用 2 台或 3 台, 1 台 (或 2 台串联) 在吸附的同时 1 台在再生, 吸附器的数量需要根据所设计的单个吸附器有效吸附时间和再生时间确定。

(5) 当废气中的有机物具有回收价值时, 吸附剂的再生可选择水蒸气再生、热气流(惰性气体)吹扫再生或降压解吸再生工艺。吸附剂再生后产生的高浓度气体可选择降温冷凝或液体吸收工艺对有机物进行回收。

当采用水蒸气置换再生时, 只能采用降温冷凝回收工艺(典型工艺路线 1), 不溶于水的有机溶剂经冷凝分离后直接回收, 溶于水的有机溶剂需要进行进一步的分离后回收。

(6) 根据回收有机物的价值和回收费用进行核算, 对于难以分离或分离费用高的混合废气, 吸附回收通常在经济上不合算, 需要采用热气流吹扫再生, 再生后产生的高浓度废气多采用催化燃烧(典型工艺路线 3)进行分解净化, 同时可以回收热量, 或者利用燃烧后所产生的热量用于吸附剂的再生, 可以降低废气的治理成本。

5.6.3 工艺设计要求

5.6.3.1 预处理

由于各个行业中产生的废气的性质千差万别, 而吸附法对废气中的粉尘、气溶胶和一些引起吸附剂中毒的物质要求严格, 因此废气的预处理系统对吸附设备影响巨大。在规范 6.3.1 中对废气的预处理系统进行了进一步的说明。

在工业有机废气中, 通常含有少量的粉尘, 但在有些工艺废气中粉尘含量会很高, 在喷涂废气中则含有大量的漆雾。颗粒物等通常以气溶胶的状态存在。吸附系统对粉尘、漆雾和气溶胶非常敏感, 会严重影响吸附系统的稳定运行。因此, 在废气进入吸附器之前必须将粉尘、漆雾处理干净, 并对气溶胶进行破坏。目前我国的一些吸附法净化设备中, 由于对废气的前处理重视不够或者预处理设备使用不当, 吸附器的效率很低, 有些无法长时间使用。

废气预处理工艺主要有干法机械过滤和湿法喷淋吸收两种工艺, 也可以采用干法和湿法结合的组合工艺。

在喷涂、制药、精细化工、化纤生产等很多工艺所产生的混合废气中, 往往含有一些高沸点的大分子化合物, 如电器喷涂废气中的二甲基戊酮(沸点 164℃), 被吸附树脂吸附后难以脱附而造成吸附树脂中毒。这些物质虽然含量不高, 但被吸附

后难以解吸从而在吸附剂中积累，吸附树脂很快就会中毒失效。高沸点的大分子有机化合物在生产前端通过强化冷凝或采用活性炭/树脂的预吸附装置去除。

一般预处理装置的压力损失不会超过 1kPa，但采用布袋除尘器过滤时，压力损失会超过 1kPa。

5.6.3.3 吸附

在 HJ/T386-2007《工业废气吸附净化设备》中，对吸附装置的基本性能做出了原则性的要求。

吸附层的气流风速是固定床吸附器设计的主要参数。由于不同类型吸附剂的吸附能力、吸附速率和吸附层的阻力差别很大，气流风速应根据吸附速度和吸附层的阻力综合选择。吸附树脂颗粒粒径一般为 0.4-1.2 mm，在床层阻力低于 2kPa 的情况下，气流风速一般应在 0.15-0.25 m/s。

吸附剂用量应根据一个吸附周期内吸附床层的动态吸附量确定。动态吸附量是由吸附剂的饱和吸附容量、吸附速度、温度、压力和有机物的浓度等所决定的，一般应根据实验确定。在确定了吸附周期和吸附剂的动态吸附量后，吸附剂的用量常用希洛夫（Schlueff）公式或其它的经验算法进行计算。

吸附器的压力损失宜低于 4.5kPa。在 HJ/T 386-2007《工业废气吸附净化装置》中规定吸附装置的压力损失不大于 2.5kPa。我们在实际应用中，特别是在使用 2 塔串联的吸附工艺时，有时设计阻力会高于 2.5kPa。根据目前吸附装置的实际应用情况，在此规定吸附装置的压力损失宜低于 4.5kPa 为宜。

5.6.3.4 吸附剂再生

当使用水蒸气置换再生时，一般采用低压水蒸气，水蒸汽温度高，对设备耐压要求高。根据经验一般考虑水蒸气的温度应低于 140℃。

当吸附了有机化合物的吸附剂采用空气热气流吹扫再生时，在安全上存在很大的隐患。利用热气流再生吸附剂时，实际上是一个非稳态过程。如果进入吸附器的热气流的温度和风量不变，由于开始时吸附剂中的有机物较多，吸附器尾气中的有机物浓度也较高，有可能超过其爆炸极限下限的 25%浓度限制，造成爆炸的危险。因此关键是严格控制进入吸附器的热气流的温度，开始阶段温度可以低一些，随着再生过程的推进，再生气流的温度可以适当提高。

5.6.3.5 后处理

在吸附净化系统中，吸附剂再生工艺和脱附产物的处置方式具有多种途径，再生设备和再生废气的处理设备是关键设备。在规范 6.3.4 中对再生废气的处理设备和最终污染物的去向作了进一步的说明。

（1）冷凝回收

大部分的有机溶剂不溶于水或者在水中的溶解度很低，经过冷凝后可以通过分层分离回收。但对于醇类等易溶或与水混溶的有机物冷凝后需要进一步的分离处理。

对于高沸点的有机物（如沸点超过 100℃），采用常温水进行冷却即可。但对于低沸点的有机物，则需要采用低温水进行冷凝，比较经济的方法是采用常温-低温水两级冷却。冷却水需经过凉水塔降温或制冷后循环使用。

再生尾气经过冷凝后所产生的不凝气中有机物的浓度很高，不能直接排放，必须返回到吸附器的进口和工艺废气混合后进行再吸附处理。

（2）液体吸收

在液体吸收工艺中常用的吸收剂也是有机溶剂，如柴油等。吸收剂的挥发度必须低于废气中有机物的挥发度。

对吸收塔的设计在 HJ/T 387-2007《工业废气吸收净化装置》中已经有明确的规定。

经过吸收以后的尾气中还含有一定量浓度很高的有机物，必须返回到吸附器的进口和工艺废气混合后进行再吸附处理。

（3）催化燃烧或高温焚烧

当废气中的有机物中只含有 C、H、O 元素时，经过催化燃烧形成二氧化碳和水。对于一些含 S、N、Cl 等的杂原子有机化合物，一方面经过催化燃烧后会产生 SO₂、HCl、NO_x 等二次污染物，另一方面该类元素会造成常见催化剂中毒。因此含杂原子有机污染物不宜采用催化燃烧法后处理。

对于低浓度的有机废气，经过吸附和热气流解吸后，废气中的有机物被浓缩，再采用燃烧设备进行处理。进入燃烧器的气流中有机物的浓度应控制在其爆炸极限

下限的 25%以下。因此，实际上进入吸附器的有机物浓度应该是远低于其爆炸极限下限的 25%。

经过燃烧后产生的高温烟气的余热。在大多数情况下是用于吸附器的再生，降低设备的运行费用，也可以用于余热锅炉或引入生产工艺中。利用高温烟气的余热对吸附器进行再生的方式有两种：一是通过冷风机在高温烟气中补充部分新鲜空气，使烟气温度降到吸附剂再生所需要的温度后直接引入吸附器进行吸附剂的再生。二是增加一个气-气换热器，利用高温烟气加热新鲜空气至吸附剂再生所需要的温度后引入吸附器进行吸附剂的再生。

在 HJ/T 389-2007《工业有机废气催化净化设备》中，对催化燃烧器的基本性能进行了规定，可以作为设计的依据。

5.6.4 二次污染物控制

（1）预处理和后处理设备所产生的废水应集中进行处理，达到相应排放标准后排放，也可以排入企业的污水集中处理系统进行处理。

（2）干法和湿法预处理装置中所产生的粉尘和废渣，更换下来的过滤材料、吸附剂和催化剂应收集后进行集中处理。

（3）经过催化燃烧和高温焚烧后所产生的高温尾气的处理在规范 6.3.4 已有部分说明。对于含杂原子尾气可能造成二次污染的处理进行了规定。已经得到净化的废气应该根据大气污染物综合排放标准的要求进行高空排放。排气筒高度应符合相关大气污染物排放标准的规定，排气筒的设计应满足 GB 50051 的规定。

（4）系统噪声控制应满足 GBJ 87 和 GB 12348 的要求。

5.6.5 安全措施

（1）由于有机废气易燃、易爆，在进行有机废气治理装置的工艺设计时，安全措施是首先要进行考虑的因素。规定除了符合安全生产、事故防范的相关规定以外，工艺系统中必须安装事故自动报警装置。

（2）废气治理系统与主体生产装置之间、管道系统的适当位置，应安装可靠的阻火器，阻火器性能应按照 HJ/T 389-2007 中 5.4 的规定进行检验。至少应该在有机废气处理系统与主体生产装置之间安装阻火器。

(3) 风机、电机和置于现场的电气、电仪等应具有防爆功能。对于有机废气的处理必须选用具有防爆功能的风机、电机和电控柜。

(4) 由于吸附过程是一个放热过程，当处理高浓度有机废气时，如果吸附器的散热效果不好，吸附器会有明显的温升。吸附器内温度升高不但会降低吸附剂的吸附效果，还会造成着火和爆炸的危险。因此应该常备消防和防爆泄爆装置。实际上对于一般低浓度的有机废气的吸附，吸附床的温升往往是很低的。

(5) 当采用惰性气体热气流吹扫方式再生时，根据经验，热气流的温度控制在 150℃以下是相对比较安全的。

(6) 对于降压解吸工艺，对系统风机、真空解吸泵和电气系统都要求采用最高防爆级别，应采用符合 GB 3836.4 要求的本安型防爆器件。

5.7 主要工艺设备与材料

5.7.1 设备用材

不同的生产工艺所产生的有机废气的成分比较复杂。当废气中含有以上腐蚀性气体时，所有集气罩、管道、阀门、颗粒过滤器和吸附器均应采用耐腐蚀材料制造。

当吸附剂采用水蒸气置换再生时，由于高温水蒸气的存在，对设备的腐蚀非常严重，因此规定吸附器以及接触到水蒸气的部分管道和阀门均应采用不锈钢制造。

预处理和后处理喷淋吸收塔的材料选择在 HJ/T 387-2007 中已有规定。

需要防腐材料的设备和管路管件，按 HGJ 229 进行防腐蚀处理和验收。

5.7.2 吸附剂

目前我国吸附树脂的生产技术也已经有了一定的提高，但各个厂家、不同型号的产品参差不齐，性能差别大。在此规定吸附树脂的 BET 比表面积应不小于 1000 m²/g、微孔体积不小于 0.4 ml/g、总孔体积不小于 0.9 ml/g；粒径 0.45-1.25 mm 之间大于 95%；磨后圆球率大于 95%；含水量为 50-60%；湿密度 0.68-0.7g/ml；pH 值 7.0-7.5。

5.8 检测与过程控制

5.8.1 检测要求

(1) 目前我国有机废气治理工程中由于缺乏检测手段和管理不到位，治理设备的运行率非常低。也就是说，在设备安装验收以后的运行环节上存在管理上的漏洞，企业为了节省运行成本，在缺乏监督的情况下设备根本不运行。因此很多环保企业呼吁应在治理系统中装设废气浓度在线连续监测装置。在线连续监测系统的运行管理应符合国家自动监测系统管理办法的要求。

(2) 有机废气的浓度检测仪目前使用的主要是非甲烷总烃检测仪。在大多数情况下使用非甲烷总烃检测仪就可以满足检测要求。

(3) 为便于样品的采集，规定必须设置固定采样口和采样平台，相关设置与安装、采样条件、采样频次和检测项目应满足相关标准规定和要求。

(4) 吸附器内部装设具有自动报警功能的多点温度检测装置，用于温度的监控，如反应器进出口气流温度等。

5.8.2 过程控制要求

在一般情况下，废气治理设备与生产工艺相比应该先开后停，前后要有约 10-30 分钟的时间间隔，但需要与生产车间进行协调。

治理工程应采用总线分布控制模式，实现对过程的控制及进出口温度、压力和流量等的远程集中控制。

控制阀门应选用满足防爆和工艺要求的气动或电动控制。防爆措施采取隔爆型和本安型相结合。本安型防爆原理是将执行器或控制电磁阀中的线圈经过低功率技术处理限制了电压、电流，将功率限制在最低爆炸极限以下；隔爆原理的运用，如在防爆场合各种电气元件的连接采用特殊的防爆接头等。

5.9 辅助工程设计

5.9.1 电气系统

在规范 9.1 中提出了对电气系统的一般要求，即电气系统中性点接地方式应使用该装置系统主体工程一致；系统电源可直接由使用该装置配电系统接引，并满足 GB 50058 规范要求。

5.9.2 给、排水与消防系统

当使用湿法过滤装置时，治理系统给水排水设计应符合 GB 50015 和相关工业行业给水排水设计规范的有关规定。

由于存在爆炸和着火的危险，治理系统的消防设计应纳入工厂的消防系统总体设计。消防通道、防火间距、安全疏散的设计和消防栓的布置应符合 GB 50016 的规定，应保证有两支水枪的充实水柱同时到达治理系统的任何部位，治理系统范围内应按照 GB 50140 的规定配置一定数量的移动式灭火器。

5.10 工程施工与验收

5.10.1 工程施工

规范 10.1 是对治理工程施工的通用和基本的要求。

在废气治理工程的施工中出现局部变更的情况时，规范 10.1.3 特别强调工程的变更应取得工程设计单位的设计变更文件后再进行施工。

规范 10.1.4 特别强调工程施工中使用的设备、材料和部件应符合相应的国家标准，并应取得供应商的产品合格证后方可使用。

5.10.2 工程验收

规范 10.2 对工程竣工验收环节提出了具体的要求，对试运行期满应进行性能试验和性能试验的内容进行了规定，有利于保证工程建设的质量。

5.10.3 竣工环境保护验收

在规范 10.3 中，强调应严格按照《建设项目竣工环境保护验收管理办法》规定的条件进行。

5.11 运行与维护

本章节中除了对一般要求进行了规定外，特别强调要建立健全与治理设备相关的各项规章制度，以及运行、维护和操作规程，建立主要设备运行状况的台账制度。

6 标准实施的环境效益及经济技术分析

本标准是针对工业固定源有机废气的树脂吸附法治理工程而制定。树脂吸附法在高浓度有机废气治理应用较多，特别是卤代烃的吸附治理中有突出优势。因此本规范制定以后可以规范工业高浓度有机废气治理的工程技术和设备，在工艺设计、设备制造、工程建设、检验检查、运行维护与管理等各个方面可以全面提高我国 VOCs 治理水平，并将极大地推进我国固定源有机废气的治理减排工作。

根据行业内的初步估算，目前我国工业固定源有机废气的年排放量在 2000 万吨以上。我们以 2000 万吨计算，其中 10%采用树脂吸附净化技术，如果对我国工业固定源有机废气全部进行治理的话，则吸附法治理工程可以占到 $2000 \times 10\%$ ，200 万吨/年有机废气的治理量。

7 标准实施建议

本标准为首次制定，建议在实施过程中先试运行一段时间，根据实际应用情况，进行进一步的修订完善，以满足指导工业固定源有机废气吸附法治理工程建设的要求。