

团 体 标 准

T/ EERT ××.2—2021

工业低浓度有机废气协同处理技术指南 第 2 部分：以吸附法为核心

Technical guideline for coupling treatment of volatile organic waste gas
Part 2: Adsorption as the core

(点击此处添加与国际标准一致性程度的标识)

(工作组讨论稿)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

2021 - ** - **发布

2021 - ** - **实施

浙江省生态与环境修复技术协会 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 处理技术要求.....	3
5 总体要求.....	6
6 工艺设计.....	7
7 工艺设计要求.....	7
8 运行维护.....	9

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。

本文件是T/EERT 012《工业低浓度有机废气协同处理技术指南》的第2部分。T/EERT 012已发布以下部分：

——第1部分：总则；

——第2部分：以吸附法为核心。

本文件中的某些内容可能涉及专利，文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本文件由××××提出。

本文件由浙江省生态与环境修复协会标准化技术委员会归口。

本文件起草单位：浙江工业大学、浙江泷赢环境科技有限公司、浙江省环境工程有限公司、××××××。

本文件主要起草人：於建明，成卓韦，孟捷，蔡少卿，华俊杰，刘莹、×××××××。

本文件为首次发布。

工业低浓度有机废气协同处理技术指南

第 2 部分：以吸附法为核心

1 范围

本文件规定了以吸附法为核心的协同处理技术处理工业低浓度有机废气的处理技术要求、总体要求、工艺设计和运行维护。

本文件适用于以吸附法为核心的协同处理技术工程的建设和运行管理，可作为建设项目环境影响评价、环境保护设施的工程咨询、设计、施工、验收及建成后运行与管理的参考依据。

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 151 热交换器

GB/T 3923.1 纺织品织物拉伸性能 第1部分 断裂强力和断裂伸长率的测定(条样法)

GB/T 7701.2 煤质颗粒活性炭 净化水用煤质颗粒活性炭

GB/T 9124 钢制管法兰

GB/T 12224 钢制阀门 一般要求

GB 13347 石油气体管道阻火器

GB 50160 石油化工企业设计防火标准

GB 50316 工业金属管道设计规范

HJ 1093 蓄热燃烧法工业有机废气治理工程技术规范

HJ 2026—2013 吸附法工业有机废气治理工程技术规范

HG/T 20229 化工设备、管道防腐蚀工程施工及验收规范

3 术语和定义

T/EERT ××.1—2021界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

吸附法 adsorption

利用吸附剂将废气中一种或多种有机物吸附于表面，使之与废气分离的方法。

3.2

吸附剂 adsorbent

具有表面吸附能力的多孔性固体材料。如颗粒活性炭、蜂窝活性炭、活性炭纤维、球状分子筛、蜂窝分子筛和大孔树脂等。

3.3

蜂窝活性炭 honeycomb-type activated carbon

指把粉末状活性炭、水溶性胶合剂、润滑剂和水等经过配料、捏合后挤出成型，再经过干燥、炭化、活化后制成的蜂窝状吸附材料。

3.4

蜂窝分子筛 honeycomb-type molecular sieve

指把粉末状活性炭、水溶性胶合剂、润滑剂和水等经过配料、捏合后挤出成型，再经过干燥、炭化、活化后制成的蜂窝状吸附材料；或将粉末状分子筛、水溶性粘合剂和水等配制的浆料涂敷再纤维材料上，经过折叠、干燥后制成的类似蜂窝状的吸附材料。

3.5

颗粒活性炭 granular activated carbon

指把含碳物质经过磨粉、混捏、固化、炭化、活化后制成的具有一定外形尺寸的多孔性人造炭质吸附剂。颗粒活性炭按生产原料分为椰壳颗粒活性炭、煤质颗粒活性炭、果壳颗粒活性炭等。

3.6

活性炭纤维 activated carbon fiber

指以高聚物纤维（如酚醛基纤维、PAN基纤维、黏胶基纤维、沥青基纤维等）为原料，经高温碳化和活化而制备的一种纤维状高效吸附分离材料。

3.7

大孔树脂 macroporous resin

指由聚合单体和交联剂、致孔剂、分散剂等添加剂经聚合反应制备而成的对有机物具有浓缩、分离作用的高分子聚合物。

3.8

吸附剂再生 regeneration of adsorbent

指利用高温水蒸气、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

有机废气吸附装置 organic waste gas adsorber

利用吸附剂的表面吸附能力，把废气中的挥发性有机物转移到吸附剂中的净化装置，包括固定床、移动床、流化床、转轮等不同形式的设备。

3.10

固定床吸附装置 fixed bed adsorber

指吸附过程中，吸附剂料层处于静止状态的吸附设备。

3.11

移动床吸附装置 moving bed adsorber

指吸附剂按照一定的方式连续通过，依次完成吸附、脱附和再生并重新进入吸附阶段的装置。

3.12

蓄热燃烧装置 regenerative thermal oxidizer (RTO)

指将工业有机废气进行燃烧净化处理，并利用蓄热体对待处理废气进行换热升温、对净化后排气进行换热降温的装置。蓄热燃烧装置通常由换向设备、蓄热室、燃烧室和控制系统等组成。

3.13

冷凝法 condensation

将废气降温至气态污染物露点温度以下，使其凝结为液态并加以回收的方法。

3.14

冷却剂 coolant

用于降低废气温度，使废气中一种或几种气态污染物凝结的物质，又称冷却介质。

3.15

不凝气 uncondensable gas

指混合气体经过低温冷凝后未被液化的部分。

3.16

冷凝器 condenser

通过冷流体部分热量传递给热流体，从而把气体或蒸汽转变成液体的设备。

3.17

爆炸下限 lower explosive limit

指爆炸极限的最低浓度值。

4 处理技术要求

4.1 工艺技术路线

以吸附法为核心的协同处理设计包括但不限于以下工艺路线：

- a) 吸附脱附—冷凝液化技术；
- b) 吸附脱附—蓄热燃烧技术。

4.2 适用条件

以吸附法为核心的协同处理技术适用条件见表1。

表1 技术适用条件

工艺		温度	湿度	组分/风量	浓度	颗粒物	其他
吸附脱附—冷	颗粒活性炭吸附+蒸汽脱附+冷凝液化	<40 °C	<60 %	易冷凝	低于25%爆炸下限	≥1 mg/m ³	不含高分子和易聚合成

凝液化技术	活性炭纤维吸附+蒸汽脱附+冷凝液化						分、不含焦油
	大孔树脂吸附+蒸汽脱附+冷凝液化						
吸附脱附—蓄热燃烧技术	固定床吸附脱附+蓄热燃烧技术	<45 °C	<75 %	≤50000 m ³ /h	<200mg/m ³	<5 mg/m ³	不宜处理卤素、易聚合的低沸点或高沸点
	移动床吸附脱附+蓄热燃烧技术			>50000 m ³ /h	<1000mg/m ³		

4.3 装置构成

4.3.1 一般构成

由吸附单元、脱附单元及脱附气处理单元构成。

- 吸附单元包括固定式吸附罐和吸附箱、旋转式吸附筒或吸附盘、吸附风机及仪表、阀门、管件；
- 脱附单元包括脱附气加热器、换热器、脱附风机及仪表、阀门、管件；
- 凝液化单元包括饱和和蒸汽阀组、冷凝器、分液器、分层槽、溶剂储罐等；
- 燃烧处理单元包括换向设备、蓄热室、燃烧室和控制系统等组成。

4.3.2 吸附脱附—凝液化技术

4.3.2.1 由吸附装置和再生装置组成，必要时需配备废气预处理装置（如冷却器、除尘器、洗涤器等装置，其选用可参照 HJ 2026—2013 中 6.3.2 预处理）、凝液处置装置以及尾气深度净化装置等。

4.3.2.2 吸附装置一般由吸附装置壳体、气流分布系统、进出风管及阀组管件、吸附剂、热控仪表、电气控制系统等组成。

4.3.2.3 再生装置一般由冷凝器壳体（列管式、板式和翅片式等）、气液分离器、蒸汽阀组、干燥冷却器、热控仪表、分层槽、溶剂储罐等组成。

4.3.3 吸附脱附—蓄热燃烧技术

4.3.3.1 由沸石转轮浓缩装置和蓄热式热力燃烧装置组成。必要时需配备废气预处理装置（如冷却器、颗粒物去除装置等）、吸附剂处理装置、尾气降温装置等。

4.3.3.2 沸石转轮浓缩装置一般由装置壳体、气流分布系统、吸附剂、再生热源装置、电仪控制系统等组成。

4.3.3.3 蓄热式热力燃烧装置主要由蓄热体、燃烧器、燃料供给装置、电仪控制系统等组成。

4.4 其他配套要求

4.4.1 系统应具有事故自动报警装置，并符合安全生产、事故防范的相关规定。

4.4.2 管道系统应安装阻火器和泄爆片，应符合 GB 13347 的规定。

4.4.3 设备应设置安全阀、吸附剂装卸口、应急检修人孔、观察孔、循环液和渗出液排放口。

4.4.4 系统应安装各监控参数的观察、指示、变送、报警、联动系统。

4.4.5 系统应充分考虑防爆和防护要求，现场电气仪表和电机应不低于现场防爆等级。

4.4.6 系统应充分考虑消防、防雷和静电接地要求。

4.5 装置材质及辅料要求

4.5.1 装置材料

装置壳体、管道及附件、承重结构应设置合理，强度、刚性高，与腐蚀性介质直接接触的组件应选用耐腐蚀材料制造或进行防腐处理，可按HG/T 20229。装置设计寿命不低于10年。

4.5.2 吸附罐

根据废气有机成分理化性质和浓度，吸附罐选用碳钢、不锈钢304、不锈钢316、双相钢等材质，并考虑是否采用喷氟、衬氟等表面处理工艺。根据脱附蒸汽压力选择合适的壁厚，建议6 mm~12 mm。保温材料选用岩棉或硅酸铝棉，厚度不小于50 mm。

4.5.3 冷凝器

冷凝器的制作应满足GB/T 151的要求。

4.5.4 燃烧装置

燃烧装置的制作应满足HJ 1093的要求。

4.5.5 其他罐体

根据需要选用碳钢、不锈钢304、不锈钢316、双相钢等材质，并考虑是否采用喷氟、衬氟等表面处理工艺。

4.5.6 风机

根据有机成分理化性质和浓度，选用碳钢、不锈钢304、不锈钢316、双相钢等材质，宜采用变频控制；并配备消声、减震装置。

4.5.7 水泵

根据回收液有机成分理化性质和浓度，水泵选用FRPP、PVDF、不锈钢304、不锈钢316等材质，并考虑是否采用衬氟泵。

4.5.8 阀门和法兰

阀门选用需满足GB/T 12224的要求，法兰的选用需满足GB/T 9124的要求。

4.5.9 管道辅材

管道的设计及制作需满足GB 50316的要求。

4.5.10 辅料要求

4.5.10.1 饱和水蒸气

根据有机物沸点选择适当压力的饱和水蒸气，蒸气系统需设置减压阀、安全阀和疏水阀等，管道做好保温措施。

4.5.10.2 压缩空气

压缩空气作为吹扫气，也作为仪表风，压力0.6MPa，露点：1℃~40℃；含油：<0.1ppm（wt%）；含尘：<0.5 mg/m³，也可用氮气替代。

4.5.10.3 冷媒

常用冷媒为常温循环水、7℃冷却水、0℃冷却介质。其中冷媒压力0.2 Mpa~0.3 MPa。

4.5.10.4 吸附剂

4.5.10.4.1 用于冷凝液化的吸附剂应满足以下要求：

- 颗粒活性炭的性能应满足 GB/T 7701.2 的要求，BET 比表面积应不小于 1200 m²/g；
- 活性炭纤维毡的断裂强度应不小于 5 N（测试方式按照 GB/T 3923.1 进行），BET 比表面积应不小于 1100 m²/g；
- 大孔树脂粒径范围 0.2 mm~1.0 mm，比表面积应不小于 1000m²/g。

4.5.10.4.2 用于燃烧的吸附剂应满足以下要求：

- 颗粒活性炭和活性炭纤维毡的性能要求见 4.5.10.4.1；
- 蜂窝活性炭和蜂窝分子筛的横向强度应不低于 0.3 MPa，纵向强度应不低于 0.8 MPa；
- 蜂窝分子筛的比表面积应不低于 350 m²/g，并具有较高的硅铝比，即较好的疏水性。

4.6 性能要求

协同处理技术性能要求见表2。

表2 技术性能要求

工艺	吸附剂	过滤风速（m/s）	净化效率
吸附脱附-冷凝液化技术	颗粒活性炭	0.2~0.6	>90%
	活性炭纤维	0.15~0.2	
	大孔树脂	0.15~0.2	
吸附脱附-蓄热燃烧技术	颗粒活性炭	0.2~0.6	>90%
	蜂窝活性炭	0.6~1.2	
	活性炭纤维	0.05~0.15	
	颗粒状分子筛		>95%
	蜂窝状分子筛		

5 总体要求

5.1 工程构成

5.1.1 废气治理工程由主体工程和辅助工程组成。主体工程见 4.3。

5.1.2 辅助工程主要包括工艺过程控制系统、污染物监测及分析系统、蒸汽/压缩空气系统、电力供应系统、给排水与消防系统、防火防爆系统。

5.2 场地选择与总图布置

见T/EERT 012.1。

6 工艺设计

6.1 吸附脱附—冷凝液化工艺

6.1.1 吸脱附冷凝液化工艺可分为一吸一脱、多吸一脱、多吸多脱等多种形式，常规工艺见图 1。

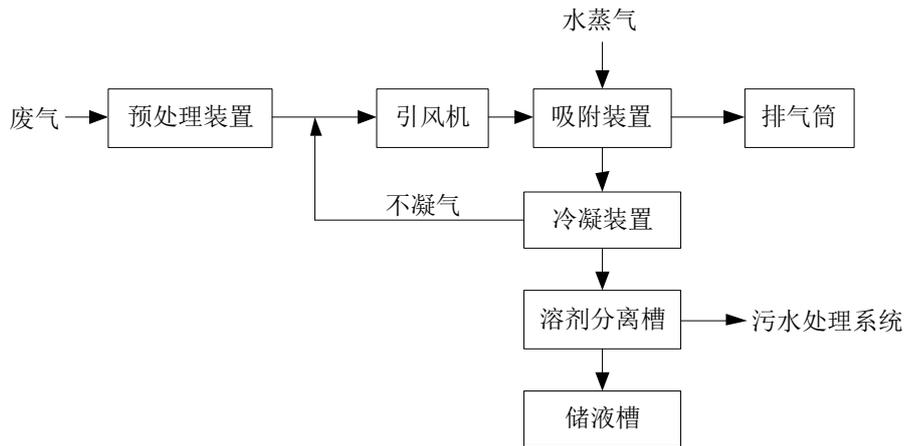


图1 吸附脱附—冷凝液化技术工艺流程示意图

6.1.2 当吸附剂吸附饱和后，采用热蒸汽再生工艺，脱附后产生的高浓度混合气体采用降温冷凝方式对有机物进行液化收集储存。

6.2 吸附脱附—蓄热燃烧技术

6.2.1 根据蓄热式燃烧装置的结构，沸石转轮浓缩-蓄热式热力氧化工艺可分为沸石转轮浓缩-蓄热式热力燃烧和沸石转轮浓缩-旋转式热力燃烧等两种组合工艺，常规的工艺见图 2。

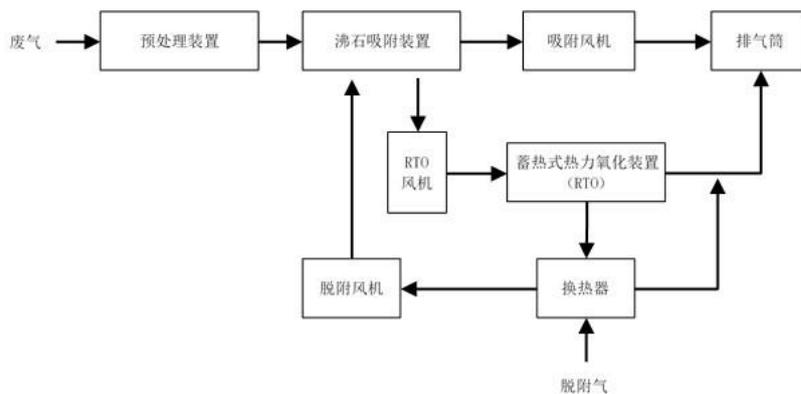


图2 沸石转轮浓缩—蓄热式热力燃烧工艺流程图

6.2.2 当吸附剂吸附饱和后，采用热蒸汽再生工艺，脱附后产生的高浓度混合气体采用热力燃烧方式对有机物进行彻底净化成二氧化碳及水蒸气。

7 工艺设计要求

7.1 预处理

7.1.1 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(温度、湿度)和含量进行选择。经预处理后的废气应满足表 1 规定的要求。

7.1.2 当废气温度较高时,前端采用直接换热(喷淋)或间接换热(气气板式换热器或气液管式换热器)形式对废气进行降温,降温方式的选择要通过经济性、合理性等方面综合考虑决定。

7.1.3 当颗粒物浓度较大时,一般采用干式和湿式两种处理方法,干式处理设备主要有干式过滤箱、袋式除尘器等,滤料应选择阻燃型或不染型材料,湿式处理设备主要有湿式旋风除尘、空塔喷淋、旋流板塔等。

7.2 吸附脱附—冷凝液化技术

7.2.1 吸附脱附

应符合HJ 2026的规定要求。

7.2.2 吸附剂冷却和干燥

7.2.2.1 高温脱附再生后的吸附剂应降温后使用。

7.2.2.2 吸附剂为活性炭或碳纤维时,蒸汽脱附后建议采用热风干燥后使用。

7.2.2.3 吸附剂为大孔树脂时,蒸汽脱附后建议采用循环水冷却,再采用压缩空气以及新鲜空气干燥后使用。

7.2.3 冷凝

7.2.3.1 解吸气体的后处理采用冷凝液化或排入污水站处理方式,根据有机物的组分、回收价值和处理成本等选择后处理方式。

7.2.3.2 冷凝液化装置排出的不凝尾气温度应低于废气中污染物的液化温度,若废气中有数种污染物,则不凝尾气的温度应低于主要污染物中液化温度最低的污染物的液化温度。

7.2.3.3 不凝尾气应引入吸附装置进行再次吸附处理。

7.3 吸附脱附—蓄热燃烧技术

7.3.1 基于废气排放要求、系统安全及热平衡等信息,浓缩倍数一般为 5~20 倍,当废气浓度较低时可达 30 倍;盘式一般 5~20 倍,废气浓度较低时可达 30 倍(从废气排放要求、系统安全及热平衡等角度自行选择),筒式甚至可达 50 倍。

7.3.2 在转轮选型时,吸附或脱附区截面流速要符合 $1 \text{ Nm/s} < v < 5 \text{ Nm/s}$ 的要求。

7.3.3 蓄热燃烧

应符合HJ 1093的规定要求。

7.4 二次污染控制

7.4.1 冷凝液化的有机物应进行回收再利用或集中处理。当冷凝液化产生的二次废气污染物应送回至吸附系统处理后达标排放。

7.4.2 燃烧尾气排放温度较高时,可在燃烧段出口设置热回收设备(换热器),为生产提供热风或热水。

7.4.3 燃烧尾气成分中含有 N, Cl 等元素时,需计算经末端热力氧化后副产物(如 NO_x、HCl 等)浓度是否超过相应标准,同时选择合适方法(如吸收法、选择性催化还原等)对气态副产物进行处理。

7.5 安全防控措施

7.5.1 当废气浓度波动较大时,应对废气进行实时监测,并采取稀释、缓冲等措施,确保进入吸附装置的废气浓度低于爆炸极限下限的 25%。

7.5.2 吸附装置的防爆泄压设计应符合 GB 50160 的相关规定。

7.5.3 在吸附时,当吸附装置内的温度超过 83℃,应能自动报警并立即终止再生操作、启动降温措施。吸附剂再生时,当吸附装置内的温度超过安全温度(140℃)时,应能自动报警并立即终止再生操作、启动降温措施,自动开启消防喷淋系统,对活性炭或转轮进行强制降温。吸脱附设备应设置安全可靠的温度监控系统、压力控制系统、降温控制系统等。

7.5.4 对吸附单元出口浓缩废气进行爆炸下限(LEL)检测,当 LEL 值高于设定值时,系统自动开启进口阀切断阀,应急旁通阀和新风阀,防止高浓度废气进入炉室,造成安全事故。

7.5.5 对燃烧单元炉室温度和压力进行连锁控制,当炉室压力变化和温度超过设定值时,系统自动开启高温旁通阀和新风阀,防止发生安全事故。

8 运行维护

8.1 冷凝运行维护

8.1.1 冷凝液化装置使用过程中应建立运行状况、设施维护等的记录制度,主要记录内容包括:

- 冷凝液化装置工艺运行参数,至少包括冷媒进出口温度和压力、冷凝液温度、冷凝液回收槽液位;
- 冷凝液化装置维修情况;
- 运行事故及维修情况;
- 定期检验、评价及评估情况;
- 冷凝液化装置的污水排放、冷凝液处置情况。

8.1.2 冷凝液化装置使用的冷媒温度不得低于被冷凝主要物质中凝固温度最低的物质的凝固温度,防止装置内部结冰堵塞。

8.1.3 应根据计划定期清洗冷凝装置,确保装置的冷凝液化效果。

8.2 燃烧运行维护

8.2.1 应建立燃烧装置运行状况、设施维护等的记录制度,主要记录内容包括:

- 过滤材料、吸附材料、蓄热体等的质量分析数据、采购量、使用量及更换时间;
- 治理设备的主要工艺控制参数,如废气处理量、进出口污染物浓度、操作温度、压力等;
- 主要设备维修情况、运行事故及处理、整改情况;定期检验、评价及评估情况;

8.2.2 应设置现场报警装置,对燃烧装置中的废气温度进行在线监测,当废气温度超过预先设定值则自动切换转向阀。

8.3 其他应符合 HJ 2026 的规定要求。
