

团 体 标 准

T/ EERT ××.3—2021
代替 DB / EERT

工业低浓度有机废气协同处理技术指南 第 3 部分：以生物法为核心

Technical guideline for coupling treatment of volatile organic waste gas
Part 3: biopurification as the core

(点击此处添加与国际标准一致性程度的标识)

(征求意见稿)

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..... | 5 |
| 6 工艺设计..... | 5 |
| 7 工艺设计要求..... | 7 |
| 8 运行维护..... | 8 |

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3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；
- 第3部分：以生物法为核心。

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、杭州楚环科技股份有限公司、杭州格林艾尔环保科技有限公司、××××××。

本文件主要起草人：成卓韦、陈东之、於建明、陈步东、俞云锋、曹飞飞、金顺利、赵景开、××××××。

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3部分：以生物法为核心

1 范围

本文件规定了以生物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、工艺设计要求和运行维护。

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 4208 外壳防护等级（IP代码）
- GB 12348 工业企业厂界环境噪声排放标准
- 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 50160 石油化工企业设计防火标准
- HG 20640 塑料设备
- HG/T 20229 化工设备、管道防腐蚀工程施工及验收规范
- HJ 2000 大气污染防治工程技术导则
- HJ 2026 吸附法工业有机废气治理工程技术规范
- SH/T 3038 石油化工装置电力设计规范

3 术语和定义

T/EERT 012.1—2021界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

吸收法 absorption

利用吸收液吸收废气中的气态污染物，使之与废气分离的方法。

注：可分为物理吸收和化学吸收。

3.2

化学吸收 chemical absorption

利用吸收液与废气中的气态污染物发生反应，使气态污染物得以去除的方法。

3.3

吸收液 absorbent

用于溶解气态污染物或与气态污染物发生反应的溶液或溶剂。

注：常用吸收液包括酸液、碱液、水、有机溶剂等。

3.4

生物净化法 biological purification

利用微生物的代谢活动，将废气中的气态污染物转化为低害甚至无害物质的处理方法。

3.5

生物净化装置 equipment of purifying waste gas by biological purification

利用微生物的代谢活动将废气中的有机物和无机恶臭物质分解甚至矿化，从而达到净化目的的净化装置。

注：按照反应类型，可分为生物过滤装置、生物滴滤装置和生物洗涤装置等三种。

3.6

高能粒子氧化 oxidation by high energy particles

利用高压电、紫外线等物理能产生的电子、光子等高能粒子去裂解废气中的气态污染物或激活废气中的氧气、水气等产生臭氧、羟基自由基等活性物质氧化气态污染物，使之转化为低害甚至无害物质的过程。

注：包括等离子体净化法和紫外光解法。

3.7

等离子体净化法 plasma purification

在介质阻挡放电、电晕放电等方式产生的高能电子及其衍生臭氧、羟基自由基的协同作用下，将废气中的气态污染物裂解、分解、氧化为低害甚至无害物质的处理方法。

3.8

紫外光解法 ultraviolet photolysis

在高压紫外线及其衍生臭氧的协同作用下，将废气中的气态污染物分解、氧化为低害甚至无害物质的处理方法。

3.9

停留时间 residence time

废气通过反应空间内的所消耗的时间。

3.10

气流分布系统 air distribution system

也称布气系统，为了确保生物净化装置中进气分布均匀而设置的一种装置，保证气流在填料层截面均匀分布，避免局部形成短流或沟流。

3.11

填料塔 packed tower

利用塔内的填料作为气液两相接触构件的传质吸收设备。

3.12

板式塔 plate column

板式塔是由筒形塔体和按一定间距水平布置在塔内的若干塔板组成，使得填料呈层状分布。

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) 化学吸收—生物净化技术；
- b) 高能粒子—生物净化技术。

4.2 适用条件

以生物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 | 浓度 | 颗粒物 | 其他 |
|-------------|-------|---------|---|----------------------|---|
| 化学吸收—生物净化技术 | <50 ℃ | / | <500 mg/m ³ | / | / |
| 高能粒子—生物净化技术 | <50 ℃ | 40%~90% | 500 mg/m ³ ~ 2000 mg/m ³ | <1 mg/m ³ | 若含有难降解VOCs，如氯代烃，难降解类TVOC浓度>100 mg/m ³ 建议采用 |

4.3 装置构成

4.3.1 化学吸收—生物净化技术

4.3.1.1 由化学吸收和生物净化装置组成，必要时需配备尾气深度净化装置、装置壳体保温、吸收液和渗滤液排放处理装置等（应配备）。

4.3.1.2 化学吸收装置一般由装置壳体、气流分布系统、吸收液配置系统、喷淋系统、电仪控制系统等组成。

4.3.1.3 生物净化装置一般由装置壳体、气流分布系统、营养液配置和喷淋系统、生物填料、电仪控制系统等组成。

4.3.2 高能粒子—生物净化技术

4.3.2.1 由产生高能粒子装置和生物净化装置组成，必要时需配备废气预处理装置（如增湿/除湿装置等）、常温 O₃ 分解型装置、尾气深度净化装置、装置壳体保温、清洗液和渗滤液排放处理装置等。

4.3.2.2 紫外光解装置主要由装置壳体、气流分布系统、紫外灯辐照系统、紫外灯清洗系统、电仪控制系统等组成。

4.3.2.3 低温等离子体装置主要由装置壳体、气流分布系统、放电盘、高压电源、放电盘清洗系统、电仪控制系统等组成。

4.4 其他配套要求

- 4.4.1 应遵照 HJ 2000 等大气污染治理工程相关规范进行设计，按照 HG 20640 等设备制作规程进行制造。
- 4.4.2 净化装置结构部件应设置合理，强度高，防腐蚀、防火性能好，无渗漏点、气孔、裂痕等加工缺陷。
- 4.4.3 应设置安装口、应急检修口、循环液和渗滤液排放口。
- 4.4.4 应安装温度、pH 值、压力指示及异常变化报警系统。
- 4.4.5 室外布置时，避雷要求应符合 GB 50057 的规定。
- 4.4.6 电气仪表的防爆等级应符合 GB 50058 的规定，防护等级应符合 GB/T 4208 的规定。
- 4.4.7 应具备断路保护和接地保护功能，接地电阻应小于 4 Ω。

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，具体参考HG/T 20229。装置设计寿命不低于10年。

4.5.2 生物填料

4.5.2.1 应具有足够的机械强度、良好的气液流通性和稳定的化学性；还应含有充分的无机营养，满足微生物代谢活动所需。

4.5.2.2 过滤填料使用寿命一般不低于 3 年，滴滤填料和洗涤填料使用寿命不低于 5 年。

4.5.2.3 过滤填料一般采用天然材料制成，滴滤填料一般采用高分子材料制成，两者应符合《废气生物净化装置技术要求》（T/CAEPI 29-2020）标准。

4.5.3 微生物菌种

应根据废气组分和浓度进行选择，通常采用活性污泥和特征降解菌或人为构建的复合微生物菌群组成，但不应是致病菌。

4.5.4 化学氧化装置

一般采用板式塔或填料塔，材质除了满足4.5.1要求外，还必须对具有强氧化性的吸收液（如次氯酸钠、双氧水等）具有耐腐蚀性能。

4.5.5 紫外灯光解装置

一般采用不锈钢材料，模块化设计制造，以满足现场灵活使用的要求。根据处理气量的大小布设紫外灯管数量，通常采用臭氧产生量>30mg/m³的紫外灯管，垂直布设在气流方向上。

4.5.6 低温等离子体装置

一般采用不锈钢材料，模块化设计制造，以满足现场灵活使用的要求。低温等离子体一般采用（双）介质阻挡放电，放电盘垂直布设在气流方向上，并带有自动清洗装置。

4.5.7 管道和阀门

管道及阀门除满足4.5.1要求外，特别是设置在高能粒子氧化装置后的管道及阀门，应对臭氧等具有氧化性的物质具有耐腐蚀性能。

4.5.8 辅料要求

4.5.8.1 化学吸收剂

应避免使用对微生物有明显毒害作用的吸收剂。

4.5.8.2 高能粒子主材要求

紫外灯的寿命应不小于10000 h，放电盘的寿命应不小于30000 h。

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 | 净化效率 | 预处理效率 | 漏风率 | 其他 |
|-------------|------|---------|--------|----------------------|
| 化学吸收—生物净化技术 | >90% | 20%~30% | <5% | 化学吸收液处理处置 |
| 高能粒子—生物净化技术 | >90% | 40%~60% | <2%~3% | 尾气中O ₃ 浓度 |

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。高能粒子-生物净化工艺还必须包括臭氧浓度在线监测系统。

5.2 场地选择与总图布置

见T/EERT 012.1。

6 工艺设计

6.1 化学吸收—生物净化技术

6.1.1 一般采用化工吸收塔或化工填料塔，气液逆流，生物净化一般采用生物滴滤塔（箱）和生物过滤塔（箱），具体根据污染物的性质进行选择，常规工艺见图 1 和图 2。

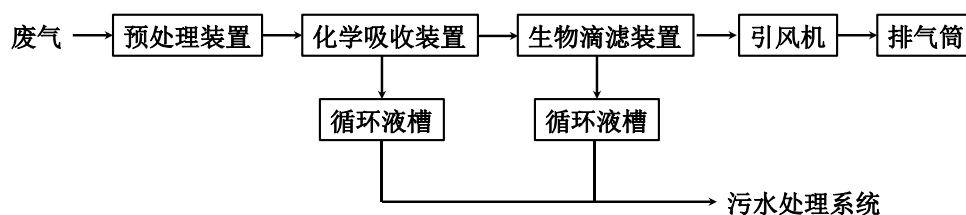


图1 化学吸收—生物滴滤净化工艺流程示意图

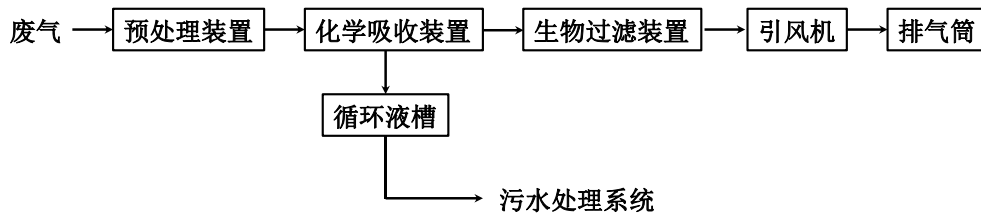


图2 化学吸收—生物过滤净化工艺流程示意图

6.1.2 当化学吸收工艺对污染物的净化效率 $<10\%$ 时应更换化学吸收液，经化学洗涤后的废气进入生物净化工艺被转化为二氧化碳、水和细胞生物量，必要时需要对生物净化出气中生物气溶胶进行处理。

6.1.3 化学吸收工艺设计停留时间为 $3\text{ s}\sim 5\text{ s}$ ，生物净化工艺设计停留时间 $15\text{ s}\sim 30\text{ s}$ 。

6.1.4 当生物净化工艺采用过滤工艺时，经化学吸收工艺后排气湿度超过 90% 时，应采用除湿工艺，调节排气湿度至适当范围后再进入生物过滤装置中。

6.2 高能粒子—生物净化技术

6.2.1 常规工艺见图3和图4。

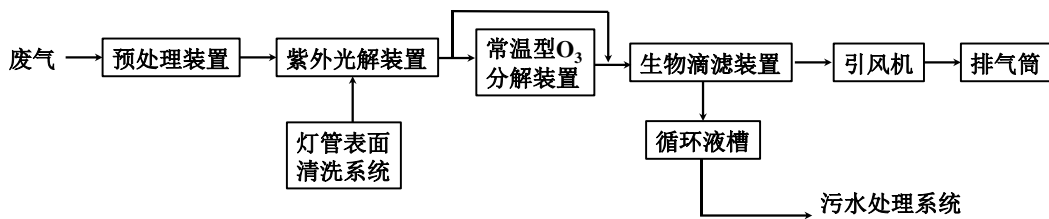


图3 紫外光解—生物滴滤净化工艺流程图

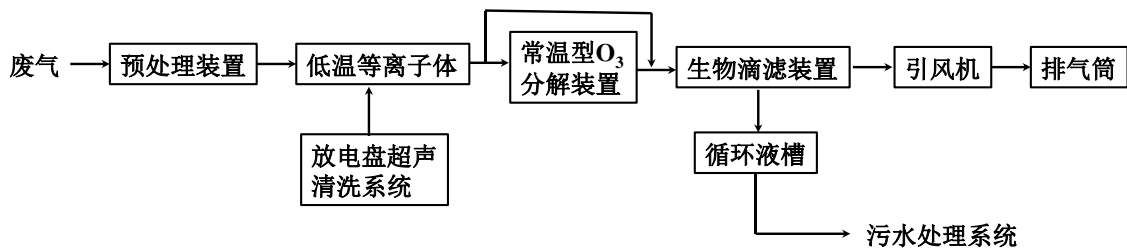


图4 低温等离子体—生物滴滤净化工艺流程图

6.2.2 当高能粒子氧化工艺无法满足处理要求时，应添加商业催化剂，紫外光解工艺一般用 TiO_2 催化剂，低温等离子体一般用锰系催化剂。

6.2.3 紫外光解工艺设计停留时间 $8\text{ s}\sim 10\text{ s}$ ，低温等离子体工艺设计停留时间 $0.1\text{ s}\sim 2\text{ s}$ ，生物净化工艺设计停留时间 $15\text{ s}\sim 30\text{ s}$ 。

6.2.4 高能粒子氧化工艺后应设置在线臭氧浓度监控仪器，以测定进入生物净化装置处理气体中臭氧浓度；若臭氧浓度过大时($>20\text{ mg/m}^3$)，需将高能粒子氧化后气流先通入常温型 O_3 分解装置，经 O_3 分解型催化剂将 O_3 催化分解后，再通入生物净化装置中。

6.2.5 常温型 O₃ 分解催化剂一般为蜂窝状，活性成分为银-锰复合物或铜-锰复合物，当废气湿度在 80% 以内时，常温分解效率 90% 以上。

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、性质和影响吸收过程的物质性质（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 进入化学吸收装置的废气应不含有容易与吸收液起泡的组分，必要时添加消泡剂进行消泡。

7.1.3 废气中含有易聚物质（如环己酮、苯乙烯、甲醛等）或氧化后产生易沉积的物质，应采用洗涤、预吸附等工艺进行预处理后再进入高能粒子氧化装置。

7.2 化学吸收—生物净化技术

7.2.1 采用化学吸收的废气组分主要是水溶性组分，并且经化学吸收后不会产生毒性更大的组分。

7.2.2 化学吸收装置应配有化学吸收液的配置及处理处置系统。

7.3 高能粒子—生物净化技术

7.3.1 废气湿度控制宜在 50 % - 90 %，相对湿度低于或高于该范围时，宜采取增湿或除湿措施。

7.3.2 为维持生物净化装置中微生物正常生长，高能粒子氧化装置排气中臭氧等活性物质浓度 < 20 mg/m³。

7.3.3 应满足定期清洁的要求。若采用紫外光解工艺，紫外灯管便于拆卸，模块化设计便于连续运行；若采用低温等离子体工艺，带有自动清洗功能（脉冲气流或清水），模块化设计便于连续运行。高能粒子氧化装置应配有清洗介质的来源及处理处置系统。

7.4 二次污染控制

7.4.1 废气预处理所产生的废水应进行集中处理，当不具备集中处理条件时，应单独处理并满足相应排放标准要求。

7.4.2 预处理过程收集的粉尘以及更换后的废弃紫外灯管、放电盘等的处理应符合国家固体废物处理处置相关规定。

7.4.3 化学吸收后的吸收液不宜直接排入现场废水处理装置中，应进行详细分析后设计相应的吸收液处理处置系统，进行妥善地处理。

7.4.4 噪声控制应符合 GB 12348 和 GB/T 50087 的相关规定。

7.5 安全防控措施

7.5.1 治理系统应由事故自动报警装置和应急处理装置，并符合安全生产、事故防范的相关规定。

7.5.2 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 %。

7.5.3 紫外光解装置和低温等离子体装置的防爆泄压设计应符合 GB 50160 的相关规定。

7.5.4 当治理工程进风、排风管道采用金属材质时，应采用法兰跨接、系统接地等措施，防止静电的产生和积聚。

7.5.5 压缩空气系统应设置低压保护和报警装置。

7.5.6 风机、电机和置于现场的电气仪表等设备的防爆等级应不低于现场的防爆级别。

7.5.7 当高能粒子氧化装置内的温度超过 60 °C，应能自动报警并立即终止再生操作、启动降温措施。整套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。

7.5.8 治理设备应具备断路保护和接地保护功能，接地电阻应小于 4 Ω。

7.5.9 室外治理设备防雷设计应符合 GB 50057、SH/T 3038 的相关规定。

8 运行维护

8.1 紫外光解运行维护

8.1.1 在其他设备和电路正常的前提下开启紫外光解设备，根据实际工况要求选择紫外灯管组数。

8.1.2 定期擦拭紫外灯管，建议一个月一次。擦拭操作时注意务必先切断电源，以免损伤眼睛，难以擦拭干净时，用温水或碱水浸泡 10 min 后，晾干后再使用。

8.1.3 当废气中存在颗粒物时，需前置过滤棉单元，过滤棉的更换时间一般 5 天~7 天。

8.2 低温等离子体运行维护

8.2.1 启动低温等离子体设备时，操作人员应严格按照系统的启动和停机程序进行操作，等离子体设备部位带高压，切勿触碰。

8.2.2 低温等离子体设备停止运行后应使用干燥的气流继续对反应器放电室进行吹扫，避免反应器内残留臭氧等气体。

8.2.3 低温等离子体电源必须安全可靠的接地（接地电阻小于 2 Ω），定期检查接地是否良好；放电电极应安装稳固，确保运行过程中不会松动、脱落。

8.2.4 定期对低温等离子体放电盘等进行清洁护理，将所有部件拆下，用稀盐酸浸泡后超声，然后用去离子水冲洗干净，烘干后可以组装。

8.3 生物法运行维护

8.3.1 净化装置循环液 pH 值应控制在 6.0~8.0；当优势微生物为嗜酸菌属，循环液 pH 可控制在 2.0~4.0；循环液要求具有一定的缓冲功能。

8.3.2 净化装置循环液应定期更换，当循环液电导率<10000 us/cm 或者 MLVSS<5 g/L 需要更换，更换量一般为 3/4。

8.4 当生物填料层发生堵塞时，可采用高能粒子氧化装置出气（要求臭氧浓度>50 mg/m³）直接通入生物净化装置，利用臭氧的强氧化性对填料上的生物膜进行氧化脱落，改善填料堵塞情况。

8.5 其它应符合 HJ 2026 的规定要求。