

团 体 标 准

T/GDAEPI 41—2025

“绿岛”模式挥发性有机物(VOCs)治理活性 炭再生技术指南

Technical guidelines for activated carbon regeneration technology in volatile organic
compounds (VOCs) treatment under the green island model

2025 - 09 - 30 发布

2025 - 10 - 29 实施

目 次

前言	II
引言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 总则	2
5 分散吸附	2
6 废活性炭的更换、运输与贮存	2
7 集中再生	3
8 再生活性炭出厂	4
9 运维能力及服务管理	4
附录 A（规范性） 废气收集参数和活性炭装填量、更换周期参考表	5
附录 B（规范性） 工业有机废气治理用活性炭常规技术指标	7
附录 C（资料性） 废活性炭管理台账	8
附录 D（规范性） 工业有机废气治理用活性炭基本技术参数	9
参考文献	10

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。

本文件由广东省环境保护产业协会提出并归口。

本文件起草单位：广州华科环保工程有限公司、广东环协科技咨询开发中心、生态环境部华南环境科学研究所、广东汇德科技有限公司、佛山市智荟蓝天环保科技有限公司、广东绿炭活性炭有限公司、广东健态实业有限公司、韶关市和成环保技术有限公司、中山市格源环保设备有限公司、紫科装备股份有限公司、天津天迈节能设备有限公司。

本文件主要起草人：庄志鹏、刘玉兵、冯伟铭、苏荣欢、何梦琪、陈雄波、石波、杨乐能、严兰明、朱湘林、李云飞、王宜志、许晓婷、冯道、石海佳、曾文豪、彭蜜权、郭珊珊、刘庆昌、阮文华、黄德智、张仲军、严超群、刘溯源、廖康维、王鲁。

引 言

“绿岛”模式是按照“集约建设、共享治污”的理念，建设集中式、共享式的环保公共基础设施，实施污染物统一收集、集中治理与处理稳定达标排放，帮助中小企业大幅降低污染治理成本的污染治理模式。该模式包括“分散收集-集中治理”、“分散吸附-集中再生”两种方式。

其中，“分散吸附-集中再生”是指在一定的区域范围内，产生挥发性有机物(VOCs)的企业在各自的生产地采用活性炭吸附的方式吸附VOCs，待活性炭吸附饱和后，通过具备再生失效活性炭能力的单位(如活性炭再生中心)，提供活性炭集中统一再生的方式。该治理体系由活性炭吸附用户、收集运输单位、集中再生企业等组成。活性炭吸附用户和集中再生企业宜根据实际情况选择以下有机废气治理模式：

集中再生模式：集中再生企业对活性炭分散吸附用户的VOCs治理工程进行投资、设计、建设、运营和维护管理，并拥有环保设施的所有权，失效活性炭可由集中再生单位进行再生。

建设运营模式：第三方服务单位或集中再生企业对活性炭吸附用户的有机废气治理工程进行投资、设计、建设、运营和维护管理，并拥有环保设施的所有权，失效活性炭由第三方服务单位交由集中再生企业进行再生或由集中再生企业自行回收并进行再生。

委托运营模式：活性炭吸附用户对有机废气治理工程进行投资、设计、建设，将有机废气治理设施的运营、维护等相关工作委托第三方服务单位或集中再生企业完成，失效活性炭由第三方服务单位交由集中再生企业进行再生或由集中再生企业自行回收并进行再生。

采用“绿岛”模式，针对不具备建立活性炭原位脱附再生设备的企业建立活性炭再生中心，实现活性炭“分散吸附-集中再生”，是解决企业环保成本压力大、再生技术参差不齐等问题的有效方式。目前，我国尚未出台适用于“绿岛”模式下利用活性炭再生技术治理VOCs的相关标准。

本文件结合我国VOCs综合治理方案等政策要求和广东省中小企业降本增效与环保合规的双重诉求，对这一技术全链条过程进行全面梳理与分析总结，推动VOCs治理及活性炭再生行业的绿色发展。

“绿岛”模式挥发性有机物(VOCs)治理活性炭再生技术指南

1 范围

本文件确立了“绿岛”模式下利用活性炭治理工业有机废气的总则，提供了分散吸附、废活性炭的更换运输与储存、集中再生、再生活性炭出厂、运维能力及服务管理等技术指导。

本文件适用于以“绿岛”模式为前提的利用活性炭吸附技术治理VOCs并具备可再生能力的行业。

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 5085.6 危险废物鉴别标准 毒性物质含量鉴别
- GB 15562.2 环境保护图形标志 固体废物贮存（处置）场
- GB 18597 危险废物贮存污染控制标准
- GB/T 27611 再生利用品和再制品通用要求及标识
- GB 37822 挥发性有机物无组织排放控制标准
- HJ 1276 危险废物识别标志设置技术规范
- HJ 2025 危险废物收集、贮存、运输技术规范
- HJ 2026 吸附法工业有机废气治理工程技术规范
- LY/T 3284 工业有机废气净化用活性炭技术指标及试验方法

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

活性炭再生 regeneration of activated carbon

通过生物、化学或物理等方法将使用过的吸附能力达不到工艺要求的活性炭进行再生处理，恢复其吸附能力的过程。

3.2

水蒸气再生 steam regeneration

利用高温水蒸气作为脱附介质，将活性炭孔隙中吸附的挥发性有机物脱附并分离，从而恢复活性炭的吸附能力的再生方式。

3.3

热气流再生 thermal regeneration

利用高温气体（如热空气、氮气等惰性气体）作为脱附介质，将活性炭孔隙中吸附的挥发性有机物加热脱附并随气流分离，从而恢复活性炭的吸附能力的再生方式。

4 总则

- 4.1 活性炭再生过程宜充分考虑处置和运行成本，做到经济合理，以保证活性炭再生全链条过程稳定运行。
- 4.2 由于有机废气治理过程产生的废活性炭属于危险废物，集中再生单位宜具备相应的收集、运输、暂存、资源化经营许可证或相关资格及废活性炭可再生能力。
- 4.3 气体通过时注意避免产生新的污染物。同时，无法再生的废活性炭，如其中剧毒物质、放射性元素或爆炸性物质含量超过 GB 5085.6 的规定，宜进行无害化处置，且处置过程尽量避免产生二次污染。

5 分散吸附

- 5.1 活性炭分散吸附装置设计要求宜依据 HJ 2026 的规定，活性炭装填量、更换周期宜与废气处理量匹配，具体技术参数宜符合附录 A 的规定。
- 5.2 活性炭吸附装置的进气颗粒物浓度宜小于 1 mg/m^3 ，进气温度宜低于 $40 \text{ }^\circ\text{C}$ ，进气相对湿度宜低于 80 %。
- 5.3 用于分散吸附的活性炭宜选用符合 LY/T 3284 规定的颗粒活性炭，常规技术指标宜符合附录 B 的规定。
- 5.4 考虑到物质特性，含苯乙烯、丙烯酸酯、低分子有机酸等易发生聚合、氧化等反应或高沸点难脱附成分的活性炭，以及蜂窝活性炭不宜进行再生。以上情况若需要通过活性炭再生中心进行处理，或新建活性炭再生中心回收并再生以上物质，宜进行技术与论证。
- 5.5 当废气中含有颗粒物、油雾、水分等物质时，宜采取多级过滤（初效过滤+袋式除尘）、静电除油、冷凝回收或吸附干燥等预处理措施。

6 废活性炭的更换、运输与贮存

6.1 更换

- 6.1.1 宜根据实际使用情况制定活性炭相关的危废管理计划，内容包括产生环节、种类、危害特性、更换周期、产生量、处置方式等。当活性炭吸附效率下降至设计值的 70% 以下时进行更换，更换周期在工艺设计或环评没有明确要求的前提下，不宜超过累计运行 500 h 或 3 个月。
- 6.1.2 在进行活性炭更换作业时，确保相应设备已停止运行，作业人员佩戴防爆型呼吸器、防静电服及耐腐蚀手套，轻拿轻放，避免破坏活性炭。
- 6.1.3 单次更换作业时长不宜超过 1 h，避免废活性炭在自然环境中裸露超过 15 min。
- 6.1.4 活性炭更换时宜同步对分散吸附装置内部进行检修、养护。
- 6.1.5 更换下来的废活性炭分类回收、密封存储分类储存方法宜依据 GB 18597、HJ 2025 的规定。

6.2 运输

- 6.2.1 废活性炭更换后由具有危废运输资质的单位接收，危废运输见《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》、《危险废物转移管理办法》、HJ 2025。
- 6.2.2 废活性炭宜采用防水、耐压的材料进行密封包装，确保废活性炭在装卸、运输过程中包装物完好，避免遗撒。
- 6.2.3 运输路线宜最大程度地避开市区、人口密集地区等地区，减少运输过程中可能造成的环境风险和二次污染。

6.3 贮存

6.3.1 宜建立废活性炭贮存专用场所，贮存场所的建设要求宜依据 GB 18597、HJ 1276 和 HJ 2025 的规定。

6.3.2 废活性炭贮存场所宜根据 GB 15562.2 张贴有关标识，并制定意外事故的环境污染防范措施和应急预案，并根据要求完成备案及定期组织演练。

6.3.3 建立废活性炭管理台账见附录 C，交接时认真核对是否与转移联单相符，并详细记录废活性炭的来源、数量、重量、入库时间、出库时间等信息，输入计算机管理系统长期保留备查。

7 集中再生

7.1 活性炭再生工艺及系统组成

7.1.1 “绿岛”模式下宜选用以空气、惰性气体或水蒸气为介质的热再生工艺。

注：热再生是指采用直接或间接加热的方式对废活性炭吸附的吸附质进行物理脱附和热化学分解，恢复其吸附能力的方法的统称。包括水蒸气再生、热气流再生等方式。

7.1.2 活性炭再生系统包含预处理单位、脱附和活化再生单元、废气处理单元、综合控制单元等。

7.2 预处理

7.2.1 废活性炭再生前宜进一步筛分与除杂，对不具备再生处理必要的废活性炭宜依据 GB 18597、HJ 2025 的规定进行存储和处理。

7.2.2 利用热气流再生工艺实现废活性炭脱附前，宜对废活性炭进行干燥处理，含水率宜 $<20\%$ 。采用水蒸气再生工艺时，则无需进行干燥处理。

7.2.3 对吸附有腐蚀性物质的废活性炭，宜根据实际情况选用中和处理、热处理等方法进行预处理。

7.2.4 对吸附重金属或难脱附有机物的废活性炭，宜通过酸洗溶解金属离子，或利用过氧化氢等氧化剂进行预氧化处理降解有机物。

7.3 脱附和活化再生

7.3.1 利用热气流再生工艺的废活性炭脱附过程，首先通入高温气体，脱附温度不宜低于 $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，以 $10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}\sim 20\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 速率升温至目标脱附温度，避免局部过热导致活性炭烧失；其次，保持恒温脱附，通过对流与扩散作用使吸附质从微孔中解吸，脱附时长通常 $30\text{ min}\sim 90\text{ min}$ ；最后，关闭热源后，切换为惰性气体吹扫降温至低于 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，防止高温炭与氧气接触复燃。

注：热气流中氧气(O_2)含量宜控制在 8% （体积比）以下，防止活性炭自燃或粉尘爆炸。

7.3.2 利用水蒸气再生工艺的废活性炭脱附过程，首先通入饱和蒸汽($0.3\text{ MPa}\sim 0.6\text{ MPa}$ ， $130\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 160\text{ }^{\circ}\text{C}$)，利用蒸汽热焓加热炭床，同时物理吹扫脱附低沸点污染物；其次，切换为过热蒸汽($1.0\text{ MPa}\sim 1.5\text{ MPa}$ ， $180\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 220\text{ }^{\circ}\text{C}$)，破坏高沸点污染物与活性炭表面化学键，脱附时间宜控制在 $60\text{ min}\sim 120\text{ min}$ ；最后，蒸汽-污染物混合气经冷凝分离后，蒸汽循环利用。

注：避免液态水进入炭床，设置汽水分离器，防止炭颗粒遇冷碎裂或微孔坍塌。

7.3.3 采用水蒸气再生工艺的再生时长不宜小于 15 min ；采用通入惰性气体的热气流再生工艺的再生时长不宜小于 1 h 。

7.4 再生过程产生的废气处理

7.4.1 热气流再生产生的废气成分通常有高浓度 VOCs（如苯系物、醛酮类）、燃烧副产物（如一氧化碳、氮氧化物、二噁英）、活性炭粉尘。

7.4.2 废气宜先急冷，将废气温度在 1 s 内冷却至 200 °C 以下（冷却速率 ≥ 300 °C/s），防止二噁英的产生和废气的二次合成。

7.4.3 宜采用旋风除尘（除尘效率 $\geq 90\%$ ）或布袋除尘法（过滤效率 $\geq 99.5\%$ ），去除粉尘颗粒，排放浓度 ≤ 10 mg/m³，防止堵塞后续设备。

7.4.4 宜采用蓄热式焚烧炉（宜控制燃烧温度 ≥ 850 °C，停留时间 ≥ 2 s）或催化燃烧（催化剂床层温度宜维持在 300 °C~450 °C，空速 ≤ 15000 h⁻¹）等方法降解高浓度 VOCs，排放浓度宜依据 GB 37822 执行。

7.4.5 水蒸气再生产生的废气成分通常为水蒸气与 VOCs 混合气（如酚类、多环芳烃）。宜采用多级冷凝器分离蒸汽与污染物，净化后的蒸汽经由再沸器提纯，回输至再生单元，实现蒸汽的循环利用。

7.5 综合控制

7.5.1 采用热气流再生工艺的综合控制单元宜安装温控装置，并配套氮气消防系统。当活性炭温度超过设定的温度值（不宜 > 700 °C）时，系统宜在 10 s 内自动报警，并停火降温，同时氮气消防系统联动开启，充入氮气（氮气供应流量宜控制在 ≥ 50 m³/h，压力 ≥ 0.5 MPa，持续注入时间 ≥ 30 min）。同时，宜配有在线氧含量分析仪联动系统，严格监测脱附系统氧浓度（不超过 8 %~10 %）。

7.5.2 采用水蒸气再生工艺的综合控制单元宜设置多个泄压口，保证设备处于“微正压”状态（等于常压的 0.03 MPa），当设备内压力大于限定的压力值时，泄压阀门自动开启进行泄压。宜实时检测蒸汽干度，确保蒸汽干度 $\geq 95\%$ ，液态水含量超标时启动汽水分离器，并调节锅炉燃烧参数。

7.5.3 宜建立计算机综合控制系统和远程监管系统，实现再生系统整体调控和监管。

8 再生活性炭出厂

8.1 出厂前宜由质检部门或委托第三方检验机构，根据 LY/T 3284 规定的检验方法对再生活性炭进行检测，具体技术参数宜符合附录 D 的规定。

8.2 合格的再生活性炭出厂时宜依据 GB/T 27611 的规定标注再生利用品标识，并注明再生活性炭企业名称、企业地址、净重、批号、出厂日期以及用途等信息。

8.3 做好防潮、防湿、防火措施。不宜与其他化工产品混装。

9 运维能力及服务管理

9.1 运维单位宜具有独立承担民事责任的能力，有相关经营范围的营业执照；具有良好的商业信誉和健全的财务会计制度，有依法缴纳税收和社会保障资金的良好记录；具备履行合同所必需的设备和专业技术能力；配备与服务范围、服务内容相适应的专业、专职技术人员。

注：分散吸附用户也能作为运维单位自行运营。

9.2 运维单位宜具备或委托有危险废物运输资质的运输单位负责失效活性炭的运输。

9.3 制定设备台账、运行记录、定期检查、交接班安全检查等管理制度、操作和维护规程等技术文件。

9.4 定期对废气排放进行监测，监测废气特征因子、非甲烷总烃的排放浓度、速率，同时记录流量、温度、湿度。

附录 A
(规范性)

废气收集参数和活性炭装填量、更换周期参考表

表A.1、表A.2规定了废气收集参数和活性炭装填量、更换周期参考表（ M_1-T ）、（ $T-M_2$ ）。

表 A.1 废气收集参数、活性炭装用量和更换周期参考表（ M_1-T ）

编号	Q 废气处理量 Nm^3/h	C_{in} 进口VOCs 浓度 mg/Nm^3	C_{out} 出口VOCs 浓度 mg/Nm^3	C 削减VOCs 浓度 mg/Nm^3	处理效率 %	S 动态吸 附量 %	M_1 活性炭 用量 kg	t 运行时间 h/d	T 更换周期 d
1	10 000	50	30	20	40%	15	556	8	52.1
2		100	30	70	70%	15	556	8	14.9
3		150	60	90	60%	15	556	8	11.6
4		200	90	110	55%	15	556	8	9.5
5	20 000	50	30	20	40%	15	1 111	8	52.1
6		100	30	70	70%	15	1 111	8	14.9
7		150	60	90	60%	15	1 111	8	11.6
8		200	90	110	55%	15	1 111	8	9.5
9	30 000	50	30	20	40%	15	1 667	8	52.1
10		100	30	70	70%	15	1 667	8	14.9
11		150	60	90	60%	15	1 667	8	11.6
12		200	90	110	55%	15	1 667	8	9.5

注1：风量超过30 000 Nm^3/h 的活性炭最少装填量参照本表进行估算。

注2：如以非甲烷总烃（NMHC）指标表征，则VOCs浓度：NMHC浓度比参照按2:1进行估算。

注3：活性炭用量 M 参照以下公示计算，根据设计参数，以颗粒活性炭为例：

$$M = Q/3600/v \times D \times \rho \times 1000$$

其中， M —活性炭用量，单位为千克（kg）； Q —风量，单位为标立方米每小时（ Nm^3/h ）； v —气体流速，一般低于0.60米每秒（m/s）； D —活性炭装填厚度，一般不低于0.3米（m）（即300毫米（mm））； ρ —颗粒炭密度，按400千克每立方米（ kg/m^3 ）计算；3 600—风量变换系数，单位为秒每小时（s/h）。

注4：活性炭更换周期 T 参照以下公式计算：

$$T = M \times S / C / (10 - 6) / Q / t = M \times S / (C_{in} - C_{out}) / (10 - 6) / Q / t$$

其中， T —更换周期，单位为天（d）； M —活性炭用量，单位为千克（kg）； S —动态吸附量，%（一般取值15%）； C —活性炭削减的VOCs浓度，单位为毫克每标立方米（ mg/Nm^3 ）； C_{in} —进口的VOCs浓度，毫克每标立方米（ mg/Nm^3 ）； C_{out} —出口的VOCs浓度，毫克每标立方米（ mg/Nm^3 ）； Q —风量，单位为标立方米每小时（ Nm^3/h ）； t —运行时间，单位为小时每天（h/d）。

注5：活性炭实际更换周期请根据实际情况计算，更换周期不宜超过累计运行500 h或3个月。

表 A.2 废气收集参数、活性炭装用量和更换周期参考表 (T-M₂)

编号	Q 废气处理量 Nm ³ /h	C_{in} 进口VOCs 浓度 mg/Nm ³	C_{out} 出口VOCs 浓度 mg/Nm ³	C 削减VOCs 浓度 mg/Nm ³	处理效率 %	S 动态吸附量 %	t 运行时间 h/d	T 更换周期 d	M_2 活性炭最少装填量 kg
1	10 000	50	30	20	40%	15	8	90	960
2		100	30	70	70%	15	8	90	3 360
3		150	60	90	60%	15	8	90	4 320
4		200	90	110	55%	15	8	90	5 280
5	20 000	50	30	20	40%	15	8	90	1 920
6		100	30	70	70%	15	8	90	6 720
7		150	60	90	60%	15	8	90	8 640
8		200	90	110	55%	15	8	90	10 560
9	30 000	50	30	20	40%	15	8	90	2 880
10		100	30	70	70%	15	8	90	10 080
11		150	60	90	60%	15	8	90	12 960
12		200	90	110	55%	15	8	90	15 840

注1: 风量超过30 000 Nm³/h的活性炭最少装填量参照本表进行估算。

注2: 如以NMHC指标表征, 则VOCs浓度: NMHC浓度比参照按2:1进行估算。

注3: 活性炭用量 M 参照以下公式计算:

$$M = T \times C \times 10^{-6} \times Q \times t / S = T \times (C_{in} - C_{out}) \times 10^{-6} \times Q \times t / S$$

其中, M —活性炭用量, 单位为千克 (kg); T —更换周期, 单位为天 (d); S —动态吸附量, % (一般取值15%); C —活性炭削减的VOCs浓度, 单位为毫克每标立方米 (mg/Nm³); C_{in} —进口的VOCs浓度, 单位为毫克每标立方米 (mg/Nm³); C_{out} —出口的VOCs浓度, 单位为毫克每标立方米 (mg/Nm³); Q —风量, 单位为标立方米每小时 (Nm³/h); t —运行时间, 单位为小时每天 (h/d)。

注4: 活性炭实际用量请根据实际情况计算, 更换周期不宜超过累计运行500 h或3个月。

附录 B
(规范性)

工业有机废气治理用活性炭常规技术指标

表B.1规定了工业有机废气治理用活性炭常规技术指标。

表 B.1 工业有机废气治理用活性炭常规技术指标

编号	特性	限值	特性值		
			颗粒活性炭	蜂窝活性炭	活性炭纤维毡
1	碘吸附值/(mg/g)	≥	800	650	—
2	比表面积/(m ² /g)	≥	850	750	1 100
3	抗压强度/MPa	≥	—	横向: 0.8	—
				纵向: 0.3	
4	断裂强力/N	≥	—	—	—
5	四氯化碳吸附率/%	≥	60	30	—

附录 C
(资料性)
废活性炭管理台账

表C.1给出了废活性炭管理台账。

表 C.1 废活性炭管理台账

废活性炭类型	废活性炭来源	废活性炭重量	包装形式	入库日期	存放库位	经办人	出库日期	经办人

附 录 D
(规范性)

工业有机废气治理用活性炭基本技术参数

表D.1规定了工业有机废气治理用活性炭基本技术参数。

表 D.1 工业有机废气治理用活性炭基本技术参数

编号	特性	限值	特性值	
			颗粒活性炭	蜂窝活性炭
1	水分含量/%	≤	15	10
2	耐磨强度/%	≥	90	—
3	四氯化碳吸附率/%	≥	60	30
4	着火点/°C	≥	300	400
5	丁烷工作容量/(g/100 mL)	≤	9	—
6	甲苯吸附率/(mg/g)	≥	300	250
7	苯吸附率/(mg/g)	≥	400	300

注1：结合实际选做此类指标。
注2：以上指标均在常温环境及标准大气压下测量，检测检验方法依据LY/T 3284进行。

参 考 文 献

- [1] GB/T 7702 (所有部分) 煤质颗粒活性炭试验方法
 - [2] GB/T 12496.1 木质活性炭试验方法 表观密度的测定
 - [3] GB 14554 恶臭污染物排放标准
 - [4] 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
 - [5] GB 16297 大气污染物综合排放标准
 - [6] HJ/T 1 气体参数测量和采样的固定位置装置
 - [7] 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)
 - [8] HJ 2000 大气污染治理工程技术导则
 - [9] DB32/T 5088 废活性炭综合利用污染控制技术规范
 - [10] DJG330424/T 72 挥发性有机物活性炭分散吸附-集中再生管理与服务技术规范
 - [11] 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》
 - [12] 《危险废物转移管理办法》
 - [13] 《深圳市工业有机废气治理用活性炭更换技术指引 (试行)》 (深环办〔2023〕66号)
 - [14] 《浙江省分散吸附-集中再生活性炭法挥发性有机物治理体系建设技术指南 (试行)》
-