

团 体 标 准

T/CIECCPA XXX—20XX

煤气化行业废气与挥发性有机物（VOCs） 排放控制及回收技术规范

Technical specifications for emission control and recovery of exhaust
gases and volatile organic compounds (VOCs) in the coal gasification
industry

(征求意见稿)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中国工业节能与清洁生产协会 发布

目 次

前 言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 总体要求	3
5 排放控制	3
6 净化、回收技术	5
7 二次污染控制	17
附录 A （资料性）确定某排气筒最高允许排放速率的内插法和外推法	18
附录 B （规范性）无组织排放监控点设置方法	19
图 1 电除尘技术工艺流程示意图	5
图 2 袋式除尘技术工艺流程示意图	6
图 3 克劳斯硫回收工艺流程示意图	7
图 4 WSA 湿法制酸工艺流程示意图	8
图 5 选择性催化还原法脱硝回收工艺流程示意图	9
图 6 选择性非催化还原法脱硝回收工艺流程示意图	9
图 7 吸附法处理 VOCs 的典型工艺流程	10
图 8 吸收法处理 VOCs 的典型工艺流程	11
图 9 冷凝法处理 VOCs 的典型工艺流程	12
图 10 膜分离法处理 VOCs 的典型工艺流程	12
图 11 热力燃烧法处理 VOCs 的典型工艺流程（*视情况加入）	13
图 12 常规催化燃烧处理 VOCs 工艺流程图	14
图 13 蓄热催化燃烧处理 VOCs 工艺流程图	14
图 14 生物洗涤法处理 VOCs 的典型工艺流程	15
图 15 生物过滤法处理 VOCs 的典型工艺流程	15
图 16 生物滴滤法处理 VOCs 的典型工艺流程	16

图 B.1 有明显风向和风速时监控点设置	19
图 B.2 无明显风向和风速时监控点设置	20
表 1 煤气化废气与 VOCs 排放限值	4

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。

本文件由中国工业节能与清洁生产协会提出并归口。

本文件起草单位：清华大学山西清洁能源研究院、中化环境大气治理股份有限公司、新疆广汇新能源有限公司、广东中南钢铁股份有限公司、国能新疆化工有限公司、阳煤集团太原化工新材料有限公司、新疆庆华能源集团有限公司、新疆天业汇合新材料有限公司、可迪尔空气技术(北京)有限公司、青岛华世洁环保科技有限公司、云南水富云天化有限公司、新疆广汇煤炭清洁炼化有限责任公司。

本文件主要起草人：张建胜、刘青、马小礼、宁亚南、崔廷政、宋正发、赵海平、王道元、元宁、张小欢、李嘉、张晋玲、张瑞梅、吴野、连帆、高源、尹文越、徐庆、李刚、杨志强、段志勇、张进、马昭、陈保磊、陈凯、张忠贤、杨文玲、郝文俊、郑雨嘉、王岳婷、陈午凤、郭科、潘祥玲、乔思涵、王仁智、王金龙、罗楨、成霞、钟发、薛晓腾、葛昕、刘升学、叶展、陈小帆、沈叶。

煤气化行业废气与挥发性有机物（VOCs）排放控制及回收技术规范

1 范围

本文件规定了煤气化行业废气与挥发性有机物（VOCs）排放控制及回收的总体要求、排放控制、净化、回收技术和二次污染控制。

国家发布的行业污染物排放标准中对 VOCs 无组织排放控制已作规定的，按行业污染物排放标准执行。

因安全因素或特殊工艺要求不能满足本文件规定的 VOCs 无组织排放控制要求，可采取其他等效污染控制措施，并向当地生态环境主管部门报告或依据排污许可证相关要求执行。

本文件适用于法律允许的污染物排放行为；新设立污染源的选址和特殊保护区域内现有污染源的管理，按照《中华人民共和国大气污染防治法》、《中华人民共和国水污染防治法》、《中华人民共和国海洋环境保护法》《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》、《中华人民共和国放射性污染防治法》、《中华人民共和国环境影响评价法》等法律、法规、规章的相关规定执行。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过本文中的规范性引用而构成本技术规范必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期的对应版本适用本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本技术规范。

- GB 535 硫酸铵
- GB 5085.7 危险废物鉴别标准 通则
- GB 8978 污水综合排放标准
- GB 16297-1996 大气污染物综合排放标准
- GB 18599 一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准
- GB/T 29154 燃煤锅炉袋式除尘器
- GB 31570-2015 石油炼制工业污染物排放标准
- GB 37822-2019 挥发性有机物无组织排放控制标准
- GB/T 40514 电除尘器
- HJ 562 火电厂烟气脱硝工程技术规范 选择性催化还原法
- HJ 563 火电厂烟气脱硝工程技术规范 选择性非催化还原法
- HJ 1093-2020 蓄热燃烧法工业有机废气治理工程技术规范
- HJ 2001 火电厂烟气脱硫工程技术规范 氨法
- HJ 2016 环境工程 名词术语
- HJ 2026-2013 吸附法工业有机废气治理工程技术规范
- HJ 2027-2013 催化燃烧法工业有机废气治理工程技术规范
- JB/T 8129 工业锅炉旋风除尘器技术条件

3 术语和定义

GB 16297-1996、HJ/T179、HJ 2001和HJ2016界定的及下列术语和定义适用于本技术规范。

3.1

还原剂 reductant

脱硝系统中用于与NO_x发生还原反应的物质或原料。

3.2

挥发性有机物 volatile organic compounds (VOCs)

参与大气光化学反应的有机化合物，或者根据《挥发性有机物无组织排放控制标准》（GB 37822-2019）确定的有机化合物。

注：在表征VOCs总体排放情况时，根据行业特征和环境管理要求，可采用总挥发性有机物（以TVOC表示）、非甲烷总烃（以NMHC表示）作为污染物控制项目。

3.3

总挥发性有机物 total volatile organic compounds (TVOC)

采用规定的监测方法，对废气中的单项VOCs物质进行测量，加和得到VOCs物质的总量，以单项VOCs物质的质量浓度之和计。实际工作中，应按预期分析结果，对占总量90%以上的单项VOCs物质进行测量，加和得出。

3.4

非甲烷总烃 non-methane hydrocarbons (NMHC)

采用规定的监测方法，氢火焰离子化检测器有响应的除甲烷外的气态有机化合物的总和，以碳的质量浓度计。

3.5

无组织排放 fugitive emissions

大气污染物不经过排气筒的无规则排放，包括开放式作业场所逸散，以及通过缝隙、通风口、敞开门窗和类似开口（孔）的排放等。

3.6

密闭 closed

污染物不与环境空气接触，或通过密封材料、密封设备与环境空气隔离的状态或作业方式。

3.7

密闭空间 closed space

利用完整的围护结构将污染物质、作业场所等与周围空间阻隔所形成的封闭区域或封闭式建筑物。该封闭区域或封闭式建筑物除人员、车辆、设备、物料进出时，以及依法设立的排气筒、通风口外，门窗及其他开口（孔）部位随时保持关闭状态。

3.8

VOCs 物料 VOCs-containing materials

本文件是指VOCs质量占比大于等于10%的物料，以及有机聚合物材料。本文件中的含VOCs原辅材料、含VOCs产品、含VOCs废料（渣、液）等术语的含义与VOCs物料相同。

3.9

挥发性有机液体 volatile organic liquid

任何能向大气释放VOCs的符合下列条件之一的有机液体：

- a) 真实蒸气压大于等于0.3kPa的单一组分有机液体；
- b) 混合物中，真实蒸气压大于等于0.3kPa的组分总质量占比大于等于20%的有机液体。

3.10

煤气化废气 Coal gasification waste gas

粗煤气的生产环节中因各种原因，诸如反应不完全、生产工艺不完善、生产过程不稳定、产生不合格的产品、生产过程中的跑冒滴漏，事故性的排放以及部分炉型炉内排空气等产生和排放的污染大气的有毒有害气体。

4 总体要求

4.1 一般规定

- 4.1.1 应遵循综合治理、循环利用、达标排放、总量控制的原则。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。
- 4.1.2 企业应把回收治理设备作为生产系统的一部分进行管理，回收治理设备应与产生废气的相应生产设备同步运转。
- 4.1.3 经治理后的污染物排放应符合国家或地方相关大气污染物排放标准的规定。
- 4.1.4 回收治理工程在建设、运行过程中产生的废气、废水、废渣及其他污染物的治理与排放，应执行国家或地方环境保护法规和标准的相关规定，防止二次污染。
- 4.1.5 应按国家相关法律法规、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。

4.2 系统构成

- 4.2.1 系统包括除尘系统、硫脱除和回收系统、氮氧化物(NO_x)脱除和回收系统、挥发性有机物(VOCs)收集和处理系统、公辅系统等。
- 4.2.2 公用系统包括废水排放系统、废气收集系统、废气预处理系统、压缩空气系统等。
- 4.2.3 辅助系统包括电气系统、热工自动化系统、采暖及空气调节系统、连续监测系统等。

5 排放控制

5.1 排放速率标准分级

本文件按污染源所在的环境空气质量功能区类别，执行相应级别的排放速率标准，即：

- a) 位于一类区的污染源执行一级标准（一类区禁止新、扩建污染源，一类区现有污染源改建时执行现有污

T/CIECCPA XXX—20XX

染源的一级标准)；

b) 位于二类区的污染源执行二级标准；

c) 位于三类区的污染源执行三级标准。

5.2 最高允许排放速率

若某排气筒的高度处于表1列出的两个值之间，其执行的最高允许排放速率以内插法计算，内插法的计算式见本文件附录A，当排气筒的高度大于或小于表1列出的最大或最小值时，以外推法计算其最高允许排放速率，外推法计算式见本文件附录A。

表 1 煤气化废气与 VOCs 排放限值

序号	污染物	最高允许排放浓度(mg/m ³)	酸性气回收装置	排气筒高度(m)	最高允许排放速率(kg/h)		无组织排放监控浓度限值	
					二级	三级	监控点	浓度(mg/m ³)
1	二氧化硫	960 (硫、二氧化硫、硫酸和其它含硫化合物生产)	400	15	2.6	3.5	周界外浓度最高点*	0.4
				20	4.3	6.6		
				30	15	22		
				40	25	38		
				50	39	58		
		60		55	83			
		70		77	120			
		80		110	160			
		90		130	200			
		100		170	270			
2	氮氧化物	1400 (硝酸、氮肥生产)	-	15	0.77	1.2	周界外浓度最高点	0.12
				20	1.3	2.0		
				30	4.4	6.6		
				40	7.5	11		
				50	12	18		
		60		16	25			
		70		23	35			
		80		31	47			
		90		40	61			
		100		52	78			
3	颗粒物	18 (碳黑尘)	-	15	0.51	0.74	周界外浓度最高点	1.0
				20	0.85	1.3		
				30	3.4	5.0		
				40	5.8	8.5		
				50	6.0	9.4		
		120 (其他)		15	3.5	5.0	周界外浓度最高点	1.0
				20	5.9	8.5		
				30	23	34		
				40	39	59		
				50	60	94		

				60	85	130		
4	硫酸雾	45（火炸药厂外其他企业）	30**	15	1.5	2.4	周界外浓度 最高点	1.2
				20	2.6	3.9		
				30	8.8	13		
				40	15	23		
				50	23	35		
				60	33	50		
				70	46	70		
5	非甲烷总 烃	120（使用溶剂汽油或其他混 合烃类物质）	-	15	10	16	周界外浓度 最高点	4.0
				20	17	27		
				30	53	83		
				40	100	150		
*周界外浓度最高点一般应设于排放源下风向的单位周界外 10m 范围内。如预计无组织排放的最大落地浓度点超出 10m 范围，可将监控点移至该预计浓度最高点，详见附录 B。								
**酸性气体回收装置生产硫酸时执行该限值。								

6 净化、回收技术

6.1 电除尘

6.1.1 基本原理

含尘气体经过高压静电场时被电离，尘粒与负离子结合带负电后，趋向阳极表面放电而沉积。电除尘技术除尘效率高，能够收集 $1\mu\text{m}$ 以下的颗粒，且能够处理高温烟气和腐蚀性气体，适用于高浓度粉尘的治理。

6.1.2 工艺流程

- 煤气化废气经过公称直径较小的过滤器进行初步过滤，去除大颗粒物质；
- 去除大颗粒物的废气被引入预收集器中，通过调整预收集器的速度和风量，将其中的颗粒物进一步分离，预收集器利用其内部动力特性，将重颗粒存储在下部；
- 轻颗粒物被送入电除尘器，电除尘器产生高压电场，使带电粒子受到高压电场的作用力，被引导至收集电极上。

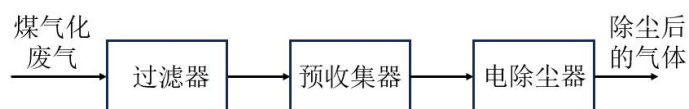


图 1 电除尘技术工艺流程示意图

6.1.3 工艺控制参数

- 干式电除尘器入口废气温度宜不大于 400°C ，电除尘器的产品类型应与废气温度匹配。
- 采用低低温电除尘器时入口废气温度应低于酸露点温度 $3^{\circ}\text{C}\sim 5^{\circ}\text{C}$ ，气化中低硫煤时，一般为 $90^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$ 。采用低低温电除尘器时废气灰硫比应大于100。

c) 湿式电除尘器入口废气温度宜小于60℃。

6.1.4 主要设备

初步过滤器、预收集器、电除尘器、清灰系统等。

6.2 袋式除尘

6.2.1 基本原理

含尘气体通过滤袋时，粉尘被阻留在滤袋的内侧或外侧表面，而净化后的气体则通过滤袋排出。袋式除尘技术对粒径在 $1\mu\text{m}$ 左右的微粒具有较高的除尘效率，特别适用于处理高电阻率粉尘，但对含尘气体温度有一定限制，高温滤料的工作温度一般不超过 260℃ ，不适合用于含油、含水和高湿度的气体净化。

6.2.2 工艺流程

- a) 煤气化废气在风机的作用下通过进气口进入除尘器；
- b) 经过挡板、气流分布板等装置，实现气流的均匀分布，含尘气体通过滤袋，粉尘被阻隔在滤袋表面，并进一步收集处理；
- c) 除尘后的气体通过排气口排出除尘器。

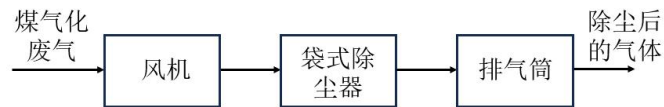


图 2 袋式除尘技术工艺流程示意图

6.2.3 工艺控制参数

- a) 工况条件下袋式除尘器处理含尘气体量小于 $6000000\text{m}^3/\text{h}$ 。
- b) 入口含尘废气温度应高于酸露点温度 15℃ 。
- c) 标准状态下进口废气含尘浓度小于 $2000\text{g}/\text{m}^3$ 。

6.2.4 主要设备

集尘罩、风机、除尘器、排气筒等。

6.3 离心式除尘

6.3.1 基本原理

通过旋转机构产生离心力，使气体中携带的颗粒物发生离心分离，形成内旋转核心区 and 外旋转环形区，固体颗粒在选择区域受到离心力的作用，与气流分离，沉积到离心器的壁面上，除尘后的气体被排出。离心式除尘技术适用于处理 $5\mu\text{m}$ 以上的颗粒物，在高温高压工况的场合应用较多。

6.3.2 工艺流程

煤气化废气进入除尘器中，除尘器内部的旋风装置使空气产生旋转运动，从而将粉尘和颗粒物分离出来，由于粉尘和颗粒物的质量较大，会被离心力作用而沉积在除尘器底部，进行回收，除尘后的气体通过出口排出。

6.3.3 工艺控制参数

- 单、双筒旋风除尘器：热态除尘效率 $\geq 85\%$ ；热态阻力 $\leq 900\text{Pa}$ ；漏风率 $\leq 5\%$ 。
- 多管旋风除尘器：热态除尘效率 $\geq 94\%$ ；热态阻力 $\leq 1200\text{Pa}$ ；漏风率 $\leq 5\%$ 。

6.3.4 主要设备

旋风分离器。

6.4 克劳斯法

6.4.1 基本原理

使煤气化废气中的硫化氢不完全燃烧后生成二氧化硫，生成的二氧化硫再与其余的硫化氢反应生成硫磺。

6.4.2 工艺流程

- 煤气化废气被送入预热器进行预热；
- 预热后的气体进入燃烧器与预热后的空气或氧气反应，使部分 H_2S 燃烧转化为 SO_2 ；
- H_2S 和 SO_2 （包括部分 COS ）气体进入克劳斯反应器进行克劳斯反应转化为硫磺和水，生成的硫磺被回收；
- 脱硫后的煤气化废气中仍含有少量 H_2S ，经燃烧炉燃烧转化为 SO_2 ；
- 降温后的 SO_2 送入尾气洗涤塔洗涤后排放。

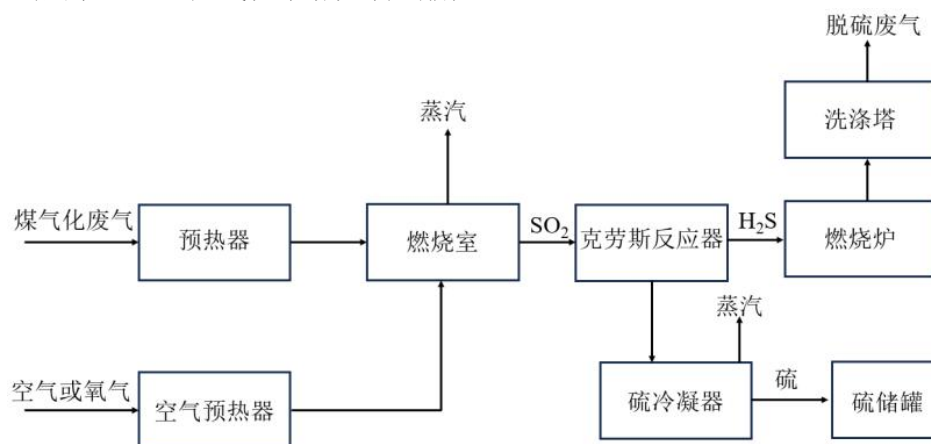


图 3 克劳斯硫回收工艺流程示意图

6.4.3 工艺控制参数

燃烧室中空气或氧气的摩尔量与煤气化废气中 H_2S 的摩尔量比值约为1:2。

6.4.4 主要设备

给料泵、预热器、空气预热器、燃烧室、硫冷凝器、克劳斯反应器、硫储罐、燃烧炉、洗涤塔等。

6.5 WSA 湿法制酸

6.5.1 基本原理

含 H_2S 的废气在焚烧炉中过氧燃烧生成 SO_2 ， SO_2 催化转化为 SO_3 并与水蒸气反应形成硫酸。

6.5.2 工艺流程

- 含 H_2S 的废气被送至焚烧炉，与助燃风机送来的空气或氧气充分混合后完全燃烧转化为 SO_2 ；
- 生成的 SO_2 被冷却到一定温度后送入二氧化硫转化器，在有水汽存在的条件下被催化氧化为 SO_3 ，并被催化剂床层间的冷却器冷却，部分 SO_3 水合生成 $H_2SO_4(g)$ ；
- 酸雾控制器喷射雾状硅晶，形成凝结核，与从二氧化硫转化器出来的含有 SO_3 和 H_2SO_4 的混合气体一起进入WSA冷凝器，用冷空气对其进行冷却，使其水合为 H_2SO_4 并流入酸收集器中；
- 脱硫后的废气经管道排出。

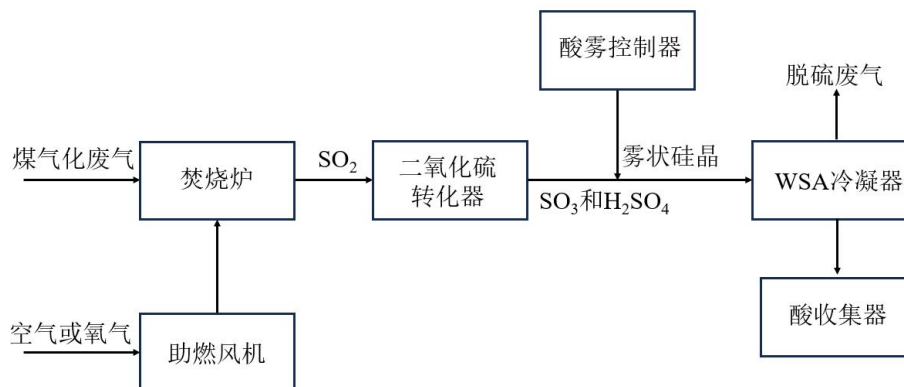


图 4 WSA 湿法制酸工艺流程示意图

6.5.3 工艺控制参数

- 焚烧炉内燃烧温度宜控制在 $950^{\circ}C\sim 1050^{\circ}C$ 。
- 焚烧炉内含氧量宜控制在 $3\%\sim 7\%$ 。

6.5.4 主要设备

焚烧炉、助燃风机、二氧化硫转化器、冷却器、冷却鼓风机、WSA冷凝器、酸收集器等。

6.6 选择性催化还原法（SCR）

煤中氮的形态和含量对氮氧化物的形成和释放具有重要影响，气化条件也会影响氮氧化物的生产和释放，此外，气化过程中事故性的废气排放及火炬燃烧也会有氮氧化物的形成和释放，为进一步优化煤的清洁利用，对于一些煤气化企业其废气需要进行脱硝处理。

6.6.1 基本原理

在催化剂的作用下，利用还原剂（主要有液氨、尿素和氨水）有选择性地与煤气化废气中的 NO_x 反应并生成无毒无污染的 N_2 和 H_2O 。

6.6.2 工艺流程

- 液态还原剂经蒸发器蒸发汽化；
- 煤气化废气经除尘处理后进入SCR反应器中；
- 汽化后的还原剂与稀释空气混合，喷入SCR反应器中与煤气化废气充分混合进入脱硝催化层，在催化剂的作用下发生氧化还原反应，将 NO_x 转化为 N_2 和 H_2O ；
- 反应后的废气排出。

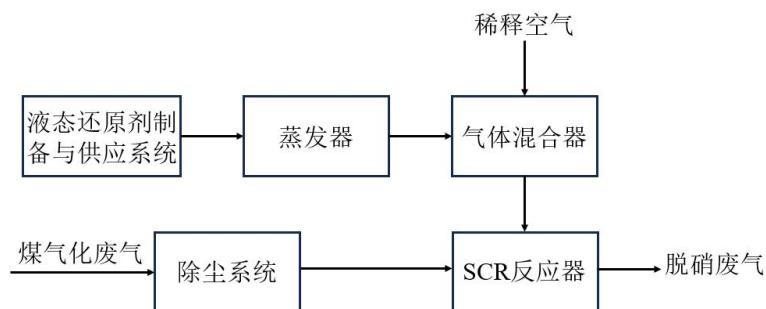


图 5 选择性催化还原法脱硝回收工艺流程示意图

6.6.3 工艺控制参数

- 氨逃逸质量浓度宜小于 $2.5\text{mg}/\text{m}^3$ 。
- 脱硝系统的煤气化废气压降宜小于 1400Pa ，系统漏风率宜小于 0.4% 。
- 采用氨水作为还原剂时，宜采用质量分数为 $20\%\sim 25\%$ 的氨水溶液。

6.6.4 主要设备

引风机、还原剂储罐、蒸发器、气体混合器、除尘器、SCR反应器等。

6.7 选择性非催化还原法（SNCR）

煤中氮的形态和含量对氮氧化物的形成和释放具有重要影响，气化条件也会影响氮氧化物的生产和释放，此外，气化过程中事故性的废气排放及火炬燃烧也会有氮氧化物的形成和释放，为进一步优化煤的清洁利用，一些煤气化企业其废气需要进行脱硝处理。

6.7.1 基本原理

利用还原剂（主要有液氨、尿素和氨水）在不需催化剂的情况下有选择性地与煤气化废气中的 NO_x 发生化学反应并生成 N_2 和 H_2O 。

6.7.2 工艺流程

- 储罐中的液态还原剂与稀释水混合；
- 稀释后的液体通过加压泵和输送管道送到炉前喷射系统；
- 液体经布置在气化炉四周的雾化喷嘴喷入炉膛与气化废气混合进行脱硝反应；
- 脱硝后的废气经管道排出。

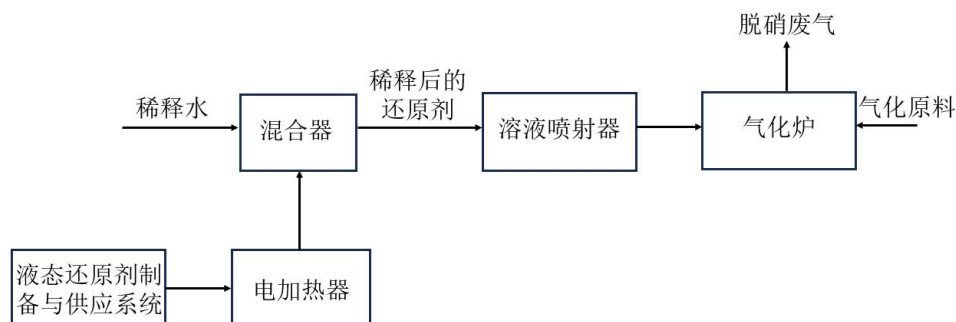


图 6 选择性非催化还原法脱硝回收工艺流程示意图

6.7.3 工艺控制参数

- 脱硝系统氨逃逸质量浓度应控制在 $8\text{mg}/\text{m}^3$ 以下。
- 以尿素为还原剂时，宜将尿素制备成为质量浓度为50%的尿素溶液储存，在喷入气化炉前，尿素溶液应与稀释水混合稀释，稀释后的质量浓度不得大于10%。
- 以氨水为还原剂时，宜使用质量分数为20%左右的氨水。

6.7.4 主要设备

输送泵、还原剂储罐、静态混合器、稀释系统、稀释水泵、加热器、溶液喷射器等。

6.8 VOCs 回收技术

在煤气化废水处理、焦油回收等过程中应先采取局部气体收集措施收集含VOCs的废气后对其进行处理。一般设置集气罩（排风罩）进行含VOCs的废气收集，集气罩（排风罩）的设置应符合GB/T16758的规定。采用外部排风罩的，应按GB/T16758、AQ/T4274-2016规定的方法测量控制风速，测量点应选取在距排风罩开口面最远处的VOCs无组织排放位置，控制风速不应低于 $0.3\text{m}/\text{s}$ 。

常用的VOCs回收技术主要有吸附法、吸收法、冷凝法以及膜分离法等。对于高浓度或比较昂贵的具有回收价值的VOCs，宜采用回收技术加以循环利用。

6.8.1 吸附法

6.8.1.1 基本原理

吸附法的原理是利用固体吸附剂对气体混合物中各组分吸附选择性的不同，将混合气体中的VOCs吸附在固体吸附剂表面从而达到分离的方法。吸附法控制VOCs一般为物理吸附，其吸附过程可逆，当吸附达到饱和后，采用高温水蒸汽、热气流吹扫或降压等操作对吸附剂进行脱附再生，回收VOCs，吸附剂再生后可循环使用。吸附法适宜处理大风量、低浓度的VOCs。吸附剂再生产生的高浓度废气通常采用燃烧、吸收、冷凝等工艺进行后处理。

吸附法的关键是吸附剂。吸附剂通常具有多孔结构，比表面积较大。常用的VOCs吸附剂有活性炭、新型多孔炭材料、沸石分子筛、黏土、金属有机骨架材料以及高聚物吸附树脂等。

6.8.1.2 工艺流程

- 含VOCs的废气通过风机输送至过滤器，去除废气中的粉尘、水分等；
 - 过滤后的气体进入到吸附塔1；
 - 吸附塔1达到吸附饱和后关闭阀门切换到吸附塔2进行吸附，此时吸附塔1开始进行脱附再生；
 - 吸附塔1和吸附塔2之间相互切换进行吸附和脱附操作，使吸附剂达到连续处理VOCs的效果。
- 采用吸附法处理VOCs的工艺，应满足HJ 2026-2013的要求。

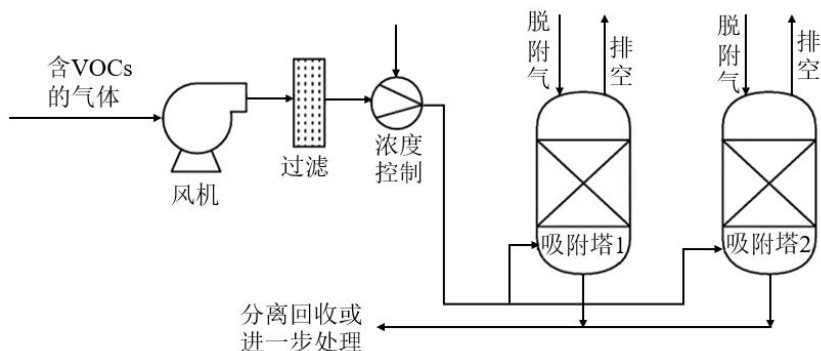


图 7 吸附法处理 VOCs 的典型工艺流程

6.8.1.3 主要设备

风机、过滤器、吸附塔。

6.8.2 吸收法

6.8.2.1 基本原理

吸收法是以低挥发或不挥发液体为吸收剂,利用含VOCs的气体中各组分在吸收剂中溶解度或化学反应特性的差异,使VOCs溶解转移至液相中,然后对液相中的VOCs进行回收或消除处理。适用于VOCs浓度较高、温度较低和压力较高的场合。

吸收剂选取的原则是:对VOCs溶解度大、选择性强、蒸气压低、无毒、化学稳定性好等。常用的VOCs吸收剂主要为高沸点油类物质,如柴油、洗油等。

6.8.2.2 工艺流程

- 含VOCs的气体由底部进入吸收塔,在上升的过程中与来自塔顶的吸收剂逆流接触而被吸收,被净化后的气体由塔顶排出;
- 吸收了VOCs的吸收剂通过热交换器后,进入汽提塔顶部,在温度高于吸收温度或压力低于吸收压力时得以解吸;
- 吸收剂再经过溶剂冷凝器冷凝后进入吸收塔循环使用;
- 解吸出的VOCs气体经过冷凝器、气液分离器后以纯VOCs气体的形式离开汽提塔,被进一步回收利用。

常用的吸收设备有填料塔、板式塔、喷淋塔、文丘里洗涤器等。

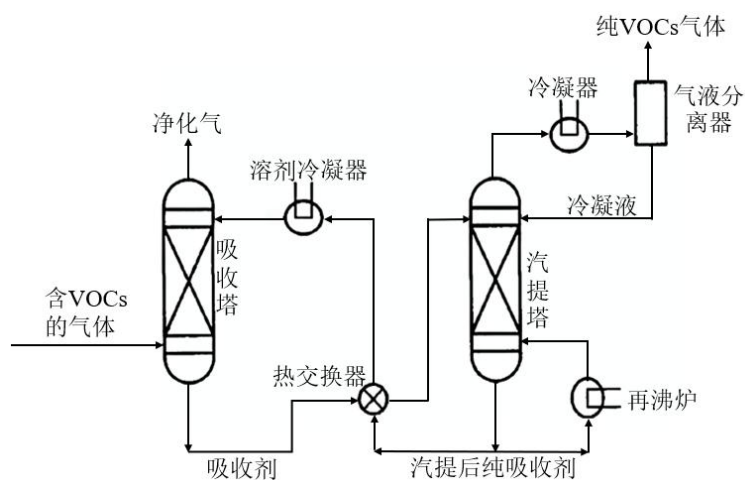


图 8 吸收法处理 VOCs 的典型工艺流程

6.8.2.3 主要设备

吸收塔、溶剂冷凝器、热交换器、汽提塔、再沸炉、气液分离器等。

6.8.3 冷凝法

6.8.3.1 基本原理

冷凝法是利用不同物质在不同温度下具有不同饱和蒸气压这一性质,通过降低系统温度或提高系统压力,使某些有机物凝结为液体后从废气中分离出来的方法。常用的冷却介质主要有冷水、冷冻水和液氨等。

冷凝法适用于低风量、高浓度、较低温度、较高沸点、特别是含单一组分VOCs气体的回收处理,对多组分、低浓度的废气处理效率低。冷凝法一般是作为前处理技术并与其它VOCs治理技术结合使用。

6.8.3.2 工艺流程

- a) 含VOCs的气体经过初步除尘和脱水后，被送入冷凝器中，VOCs凝结成液态后流出并被回收；
- b) 净化后的气体排放至外界。

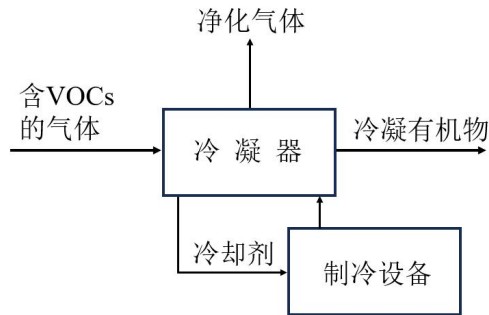


图 9 冷凝法处理 VOCs 的典型工艺流程

6.8.4 膜分离法

6.8.4.1 基本原理

膜分离法是采用对有机化合物具有选择性渗透的高分子膜，在一定的压力推动作用下，使混合气中的VOCs组分渗透到膜的另一侧而富集分离的方法。为提高渗透驱动力，通常在膜的截留侧（废气侧）使用压缩机加压，而在渗透侧（有机蒸气浓缩侧）使用真空泵或采用冷却、冷凝、吸附的方法减压。

膜分离法可用于回收高浓度有价值的VOCs。单一的膜分离技术对有机废气的分离效果并不好。通常采用集成化系统，在膜分离处理法的基础上融合冷凝技术，从而高效处理有机废气。

6.8.4.2 工艺流程

- a) 含VOCs的气体经压缩后进入冷凝器；
- b) 冷凝下来的VOCs被回收，未冷凝的气体进入膜分离装置；
- c) VOCs分子优先透过高分子膜，含高浓度的VOCs渗透气再返回到压缩机中；
- d) 脱除VOCs的净化气达标排放。

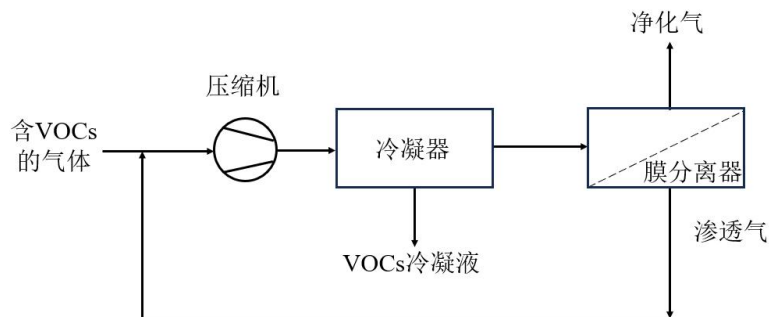


图 10 膜分离法处理 VOCs 的典型工艺流程

6.8.4.3 主要设备

压缩机、冷凝器、膜分离器。

6.9 VOCs 销毁技术

常用的VOCs销毁技术主要有燃烧法、生物法等。

6.9.1 燃烧法

通过燃烧将VOCs中的有害组分转化为无害物质。燃烧法适用于处理浓度较高的VOCs废气，且只能净化可燃的或是在高温下可分解的有害物质。燃烧法虽不能回收到有用物质，但燃烧时放出的热量可回收利用。根据燃烧方式的不同可分为直接燃烧、热力燃烧和催化燃烧，直接燃烧法易生成NO_x、二噁英等二次污染物，不推荐使用。

6.9.1.1 热力燃烧法

6.9.1.1.1 基本原理

热力燃烧法是利用燃气或燃油等辅助燃料燃烧放出的热量，将VOCs废气加热到一定温度并驻留一定的时间，使可燃的有害物质在高温作用下氧化分解为无害物质。热力燃烧法一般用于处理含可燃组分浓度较低的废气，废气本身不能着火并依靠自身来维持燃烧，必须借辅助燃料的燃烧才能提高温度并将废气中的有害组分分解销毁。热力燃烧所需的温度通常约540°C-820°C。

6.9.1.1.2 工艺流程

- 将去除颗粒物和水分的VOCs废气与辅助燃料、助燃空气混合送过热焚烧炉进行燃烧反应，VOCs在高温下完全氧化为CO₂和H₂O；
- 燃烧产生的高温气体通过热交换器，将热量传递给进入的低温废气或其他热载体；
- 处理后的气体经涤气器净化后通过烟道排出。

为减少辅助燃料的消耗，可回收利用排出净化气所携带的热量，对废气进行预热处理。回收热量采用的换热器有两种：间壁式和蓄热式。应优先选用换热效率更高的蓄热式换热方式，采用蓄热式热力燃烧法处理VOCs的工艺，应满足HJ1093-2020的要求。

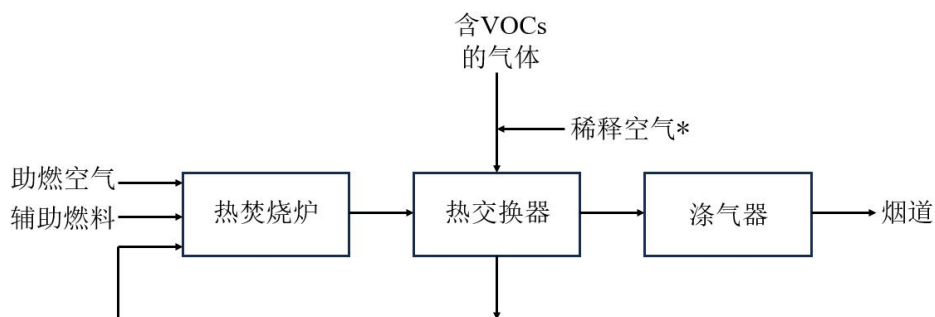


图 11 热力燃烧法处理 VOCs 的典型工艺流程 (*视情况加入)

6.9.1.2 催化燃烧法

6.9.1.2.1 基本原理

催化燃烧是在催化剂的作用下，将VOCs废气中的有害可燃组分在较低反应温度（200°C-400°C）下完全氧化分解为二氧化碳和水的过程。催化燃烧法需选择合适的催化剂，所处理的有机废气不能有使催化剂中毒、抑制反应、堵塞或覆盖催化剂活性中心的物质。

6.9.1.2.2 催化燃烧法工艺流程

- 将收集到的含VOCs的废气进行预处理，以去除其中的粉尘、水分等；
- 经预处理后的废气被排风机送入换热器进行预热；
- 预热后的废气进入加热室进一步加热，使其达到催化反应所需的起始温度；
- 达到催化反应温度的气体进入燃烧室进行低温无焰燃烧，分解成CO₂和H₂O，并产生大量热量；
- 含高热量的净化气回收进入换热器用于预热未经处理的有机废气，经过换热的净化气通过排气筒排出。

当废气中所含的有机物燃烧后所产生的热量可以维持催化剂床层自持燃烧时，应采用常规催化燃烧工艺，采用催化燃烧法处理VOCs的工艺，应满足HJ2027-2013的要求。

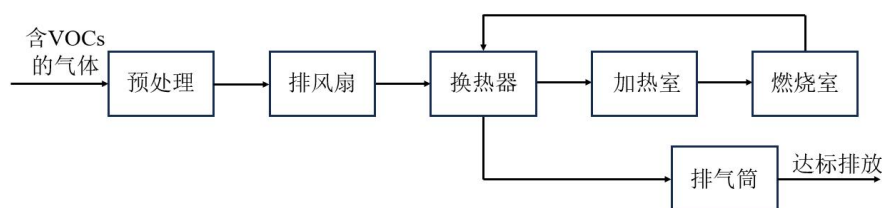


图 12 常规催化燃烧处理 VOCs 工艺流程图

6.9.1.2.3 蓄热催化燃烧法工艺流程

- 对收集的含 VOCs 的废气进行预处理，以去除其中的粉尘、水分等；
- 预处理后的废气经排风机送入蓄热室 I，被预热后进入燃烧室 I 催化燃烧；
- 燃烧后的气体进入加热室被加热至可维持催化剂床层自持燃烧的温度；
- 被加热的气体通过燃烧室 II 进入蓄热室 II，将热量传递给蓄热体后排出；
- 经过一定时间后，气流方向切换，废气从蓄热室 II 进入，蓄热室 I 排出，如此反复循环。通过这种方式，能使废气在高温下充分燃烧，将 VOCs 转化为 CO_2 和 H_2O 。

当废气中所含的有机物燃烧后所产生的热量不能够维持催化剂床层自持燃烧时，宜采用蓄热催化燃烧工艺。

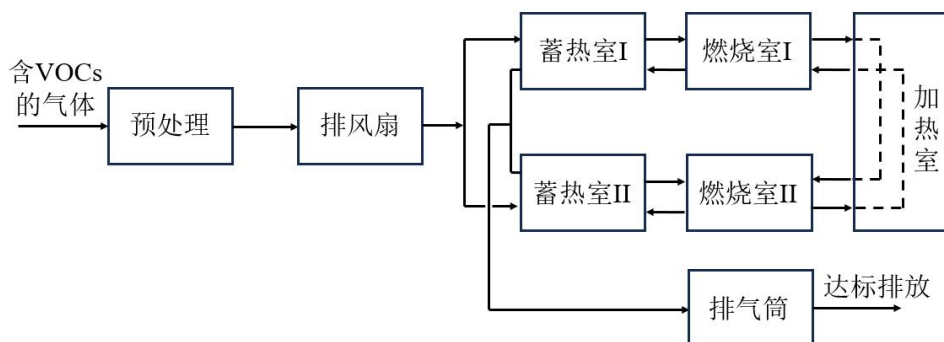


图 13 蓄热催化燃烧处理 VOCs 工艺流程图

6.9.2 生物法

生物法处理 VOCs 的实质是微生物利用废气中的有机成分作为碳源和能源，维持其生命活动，并将有机物转化为二氧化碳、水等简单无机物和细胞物质的过程。生物法对 VOCs 成分的可生化性要求较高，菌落对有机物成分具有较强的选择性，需根据实际排放 VOCs 废气组分和浓度培养特定菌落。

生物法可用于低浓度、无回收价值的有机废气的直接治理。常见的处理 VOCs 的生物法可分为生物洗涤法、生物过滤法、生物滴滤法。

6.9.2.1 生物洗涤法

主体净化装置由生物吸收塔和活性污泥反应器构成。有机废气从吸收塔底部进入，而洗涤循环液自吸收室顶部喷淋而下，废气中的 VOCs 和氧气通过溶解与吸收作用从气相转移至液相，再进入到活性污泥反应器中，在微生物的氧化代谢作用下，达到净化 VOCs 的目的。生物洗涤法适宜处理中低浓度、水溶性好的有机废气。生物洗涤法处理 VOCs 的典型工艺流程如图 14 所示。

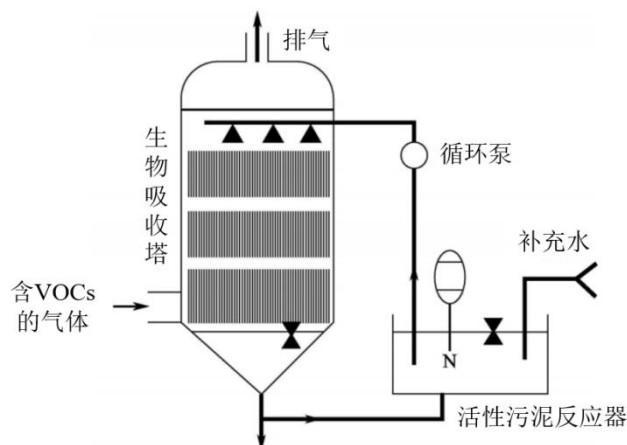


图 14 生物洗涤法处理 VOCs 的典型工艺流程

6.9.2.2 生物过滤法

主体净化装置由增湿塔和生物过滤塔组成。含VOCs的废气通过增湿塔增湿后进入生物过滤塔，与已经接种挂膜的生物滤料接触而被降解，最终生成 CO_2 、 H_2O 和微生物基质，净化后的气体由过滤塔顶部排出。通常选用具有较强吸附能力的生物填料，如土壤、堆肥、泥炭、木屑、树皮、颗粒活性炭和塑料材料，或者数种材料混合使用。需定期在过滤塔顶喷淋营养液，为滤料上的微生物补充养分、水分，并维持恒定的pH值。生物过滤法处理VOCs的典型工艺流程如图15所示。

生物过滤法可处理气量大、浓度低的有机废气，且废气需要满足以下特征：较好的亲水性能；能够被微生物降解并且生物毒性小；废气中颗粒物浓度低。

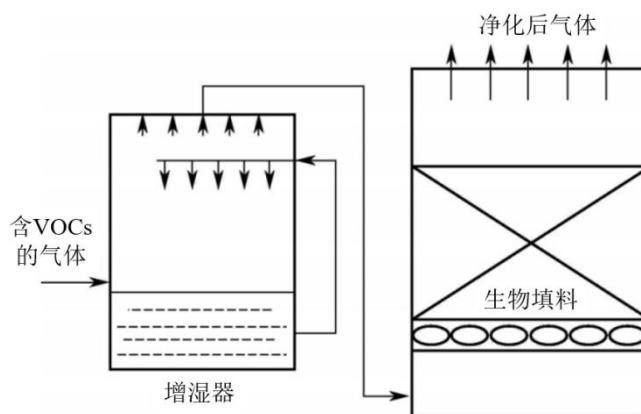


图 15 生物过滤法处理 VOCs 的典型工艺流程

6.9.2.3 生物滴滤法

含VOCs的气体由塔底进入，在流动过程中与生物膜接触而被净化，净化后的气体由塔顶排出。循环营养液从填料层上方喷淋而下，流经生物膜表面后在滤塔底部沉淀，上清液加入N、P、pH调节剂等循环使用，沉淀物排出系统。生物滴滤塔中所用的填料一般是陶瓷、碎石、聚丙烯小球等惰性材料，填料之间空隙较大，可为微生物提供一定的附着表面，但不能提供微生物生长所需的营养物质。滴滤系统中必须加入营养液，并以此来调节pH值和控制塔内湿度。生物滴滤器内的反应条件易于控制，适宜处理污染负荷较高以及污染物降解后会生成酸性物质的废气。生物滴滤法处理VOCs的典型工艺流程如图16所示。

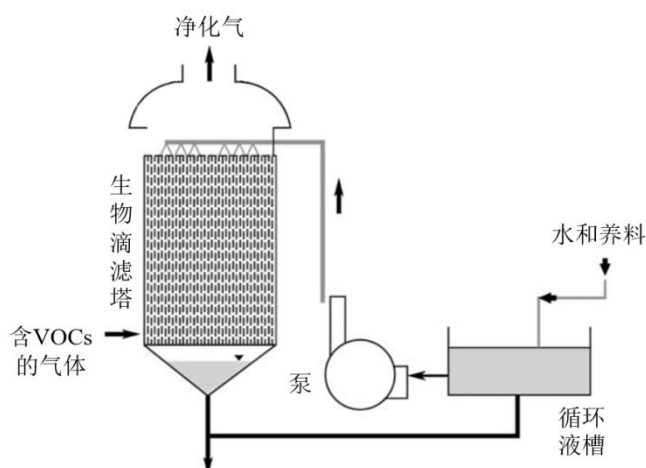


图 16 生物滴滤法处理 VOCs 的典型工艺流程

6.10 VOCs 组合处理技术

单一的VOCs治理技术各有利弊，因VOCs成分及工况复杂多样，为实现更好的治理效果，鼓励采用多种治理技术的组合工艺。常见的VOCs组合处理技术有以下几种。

- 吸附浓缩-催化燃烧技术：处理大风量、低浓度、无回收价值的 VOCs 时，可先通过吸附技术（蜂窝状活性炭或沸石转轮吸附）来提高 VOCs 的浓度，脱附后的浓缩有机废气再采用（蓄热）催化燃烧法转化为二氧化碳和水，最终达标排放；
- 吸附浓缩-吸收/冷凝回收技术：先利用吸附剂富集 VOCs 气体，脱附得到的高浓度 VOCs 再通过吸收法或冷凝法回收有价值的 VOCs 组分。该方法适宜处理大风量、低浓度、回收价值高的 VOCs；
- 低温冷凝-吸附技术：先利用冷凝技术对高浓度 VOCs 废气中有价值组分进行回收，未回收的低浓度余气再利用吸附技术进行后端处理，达标后排放。吸附饱和后的吸附剂（活性炭、沸石等）可采用负压脱附方式再生吸附剂，并将富集的高浓度 VOCs 送回前端冷凝装置。该方法适宜处理高浓度、有回收价值的 VOCs。

6.11 VOCs 治理技术的选择

应根据排放废气的浓度、组分、风量、温度、湿度、压力，以及生产工况、去除效率、二次污染、安全性、平面布置、投资费用与运行成本、使用年限等，综合考虑选择合适的VOCs治理技术。可采用多种技术的组合工艺，提高VOCs治理效率。对于新技术的应用，应进行充分论证。

VOCs治理技术的选择应遵循以下几个原则：

- 对于含高浓度 VOCs 的废气，宜优先采用冷凝技术、吸附技术等进行回收利用，并辅助以其他治理技术实现达标排放；
- 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燃烧技术净化后达标排放。当采用催化燃烧和热力燃烧技术进行净化时，应进行余热回收利用；
- 对于大风量、低浓度的 VOCs 废气，可先采用吸附浓缩技术提高浓度，再根据 VOCs 是否具有回收价值选择燃烧技术净化，或是选择吸收技术、冷凝技术来回收 VOCs；
- 非水溶性的 VOCs 废气禁止采用水或水溶液喷淋吸收处理；
- 含有有机卤素成分 VOCs 的废气，不宜采用燃烧技术处理；
- 生物技术仅可用于低浓度 VOCs，尤其是有恶臭异味的废气处理；
- 严格控制 VOCs 处理过程中产生的二次污染，对于催化燃烧和热力燃烧过程中产生的含硫、氮、氯等无机废气，以及吸附、吸收、冷凝、生物等治理过程中所产生的含有机物废水，应处理后达标排

放。

7 二次污染控制

7.1 废水

在资源化利用过程中产生的废水，应经综合处理后达到循环使用要求送至生产工艺中，不能达到循环使用要求的，进行无害化处理，排放应符合GB 8978及相关排放要求。

7.2 废气

在处理处置过程中产生的废气，进行无害化处理时，排放应符合GB 16297的要求。

7.3 废渣

在资源化利用过程中产生的废渣应按GB 5085.7的规定进行鉴别，并符合下列规定：

- a) 经鉴别属于危险废物，应根据自身条件进行无害化处理或交由有资质的专业危险废物处理机构进行处理；
- b) 经鉴别属于一般固体废物，应按GB 18599的要求进行处理。

附录 A
(资料性)

确定某排气筒最高允许排放速率的内插法和外推法

A.1 某排气筒高度处于表列两高度之间，用内插法计算其最高允许排放速率，按下式 (A.1) 计算：
..... (A.1)

式中：

- Q ——某排气筒最高允许排放速率；
- Q_a ——比某排气筒低的表列限值中的最大值；
- Q_{a+1} ——比某排气筒高的表列限值中的最小值；
- h ——某排气筒的几何高度；
- h_a ——比某排气筒低的表列高度中的最大值；
- h_{a+1} ——比某排气筒高的表列高度中的最小值。

A.2 某排气筒高度高于本标准表列排气筒高度的最高值，用外推法计算其最高允许排放速率。按下式 (A.2) 计算：
..... (A.2)

式中：

- Q ——某排气筒的最高允许排放速率；
- Q_b ——表列排气筒最高高度对应的最高允许排放速率；
- h ——某排气筒的高度；
- h_b ——表列排气筒的最高高度。

A.3 某排气筒高度低于本标准表列排气筒高度的最低值，用外推法计算其最高允许排放速率，按下式 (A.3) 计算：
..... (A.3)

式中：

- Q ——某排气筒的最高允许排放速率；
- Q_c ——表列排气筒最低高度对应的最高允许排放速率；
- h ——某排气筒的高度；
- h_c ——表列排气筒的高低高度。

附录 B
(规范性)
无组织排放监控点设置方法

B.1 由于无组织排放的实际情况是多种多样的,故本附录仅对无组织排放监控点的设置进行原则性指导,实际监测时应根据情况因地制宜设置监控点。

B.2 单位周界监控点的设置方法

当本标准规定监控点设于单位周界时,监控点按下述原则和方法设置:

B.2.1 下列各点为必须遵循的原则:

B.2.1.1 监控点一般应设于周界外 10m 范围内,但若现场条件不允许(例如周界沿河岸分布),可将监控点移至周界内侧。

B.2.1.2 监控点应设于周界浓度最高点。

B.2.1.3 若经估算预测,无组织排放的最大落地浓度区域超出 10 米范围之外,将监控点设置在该区域之内。

B.2.1.4 为了确定浓度的最高点,实际监控点最多可设置 4 个。

B.2.1.5 设点高度范围为 1.5m 至 15m。

B.2.2 下述设点方案仅为示意,供实际监测时参考。

B.2.2.1 当具有明显风向和风速时,可参考下图设点。

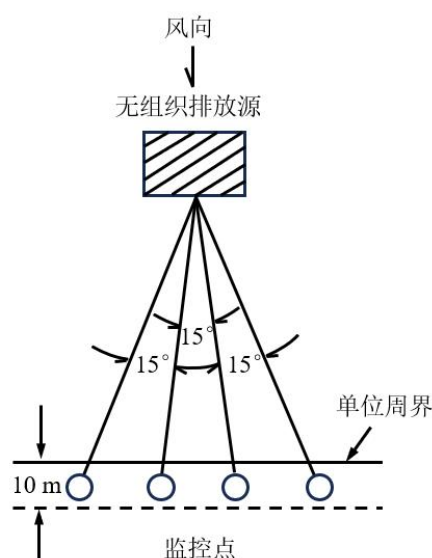


图 B.1 有明显风向和风速时监控点设置

B.2.2.2 当无明显风向和风速时,可根据情况于可能的浓度最高处设置 4 个点。

B.2.3 由 4 个监控点分别测得的结果,以其中的浓度最高点计值。

B.3 在排放源上、下风向分别设置参照点和监控点的方法

B.3.1 下列各点为必须遵循的原则:

B.3.1.1 于无组织排放源的上风向设参照点,下风向设监控点。

B.3.1.2 监控点应设于排放源下风向的浓度最高点,不受单位周界的限制。

B.3.1.3 为了确定浓度最高点,监控点最多可设 4 个。

B.3.1.4 参照点应以不受被测无组织排放源影响,可以代表监控点的背景浓度为原则。参照点只设 1 个。

B.3.1.5 监控点和参照点距无组织排放源最近不应小于 2m。

B.3.2 下述设点方案仅为示意，供实际监测时参考。

B.3.2.1 当具有明显风向和风速时，可参考下图设点。

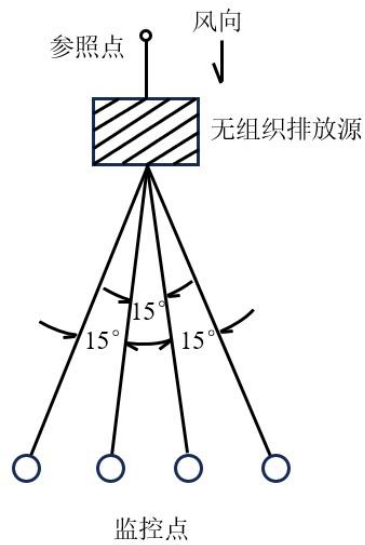


图 B.2 无明显风向和风速时监控点设置

B.3.3 按上述参考方案的监测结果，以 4 个监控点中的浓度最高点测值与参照点浓度之差计值。