

附件三：

吸附法工业有机废气治理工程技术规范

（征求意见稿）

编制说明

《吸附法工业有机废气治理工程技术规范》编制组

2011年2月

目 次

1 任务来源.....	1
2 标准制定的必要性.....	1
3 主要工作过程.....	2
4 国内外相关标准研究.....	3
5 同类工程现状调研.....	5
6 主要技术内容及说明.....	15
7 标准实施的环境效益及经济技术分析.....	30
8 标准实施建议.....	30
9 征求意见汇总处理情况说明.....	30
10 技术审查工作情况说明.....	30

1 任务来源

原国家环境保护总局办公厅《关于开展 2008 年度国家环境保护标准制修订项目工作的通知》（环办函【2008】44 号）下达计划《气态污染物治理工程技术规范 吸附法》，项目序号 366，统一编号 1421。经讨论建议更名为《吸附法工业有机废气治理工程技术规范》。

本标准主要起草单位：中国环境保护产业协会、中国人民解放军防化研究院、中科院生态环境中心、福建嘉园环保股份有限公司、北京绿创大气环保工程有限公司、北京云辰天环保科技有限公司、宁夏丰源活性炭有限公司、江苏苏通碳纤维有限公司等。

2 标准制定的必要性

挥发性有机污染物（Volatile Organic Compounds, VOCs）大多数有毒、有害，具有一定的致癌性；参与光化学反应，形成光化学烟雾；部分可破坏臭氧层。我国一些城市空气中 VOCs 的浓度是美国城市空气浓度 5~15 倍，工业排放有机废气已经成为城市主要污染源之一。

涉及 VOCs 排放的工业行业包括石油化工、精细化工、喷涂、包装印刷、医药与农药制造、半导体及电子产品制造、人造板与木制家具制造、皮革、漆包线、制鞋、涂料、油墨、粘合剂生产、金属铸造等等，行业众多，各行业中所产生的 VOCs 种类繁多，组成复杂，常见的组成成分有碳氢化合物、苯系物、醇类、酮类、酚类、醛类、酯类、胺类、腈（氰）类等。目前，在我国 VOCs 污染源主要分布在全国各地城市与城市群，分布面广，其中 90% 以上尚未治理，对大气环境影响严重，应依据相关污染治理法规的要求进行治理。

以上所列举的行业在生产过程中均存在大量的 VOCs 污染，其中由于溶剂的使用引起的有机物的排放是目前控制的重点。以包装印刷行业为例，我国目前有包装印刷企业 9 万多家，其中从事包装装潢印刷的企业为 3.7 万多家，具有一定规模的软包装彩印（复合膜）企业有近 8 千家，其中约 1300 家软包装彩印生产企业具有 3 条生产线，最大的软包装彩印企业生产线达 16 条之多。单是 8 千家软包装彩印（复合膜）行业的年有机物排放总量就有 200 万吨以上。据推算全国包装印刷行业的年有机物排放总量在 600 万吨以上。例如：某包装印刷企业具有九条生产线，日平均排放有机溶剂（甲苯、乙酸乙酯、甲乙酮和异丙醇）9~12 吨，年平均排放量在（3240~4320）吨。

喷涂企业的数量更多，污染情况也更为复杂，年有机物排放总量也高于包装印刷行业。例如：某手机零部件喷涂企业，总排风量为 75 万 m^3/h ，废气成分复杂（以甲苯和酯类、酮类为主），非甲烷总烃浓度在 $300\text{mg}/\text{m}^3$ 左右，日平均排放有机溶剂 5.4 吨，年平均排放量约

(1900~2000) 吨。

根据行业内的推算，目前全国总的工业 VOCs 年排放量应该在 2000 万吨以上，达到甚至超过了全国 NO_x 的排放水平，而且随着国民经济的发展呈现出不断增长的趋势。

近二十年来，我国的 VOCs 治理技术和设备已经有了较大的发展，一些新技术在治理工程中得到了应用。但由于缺乏设备制造、工程实施等方面的技术规范，各个厂家生产的设备千差万别，甚至鱼龙混杂，质量上没法保障，和进口的同类型设备相比存在很大的差距，实际上由于缺乏设备的制造规范和运行检查制度，设备安装以后大部分成为摆设，难以正常运行，甚至根本就不运行。这个问题在很多环保行业中都存在，在有机废气治理领域尤为突出。

随着我国经济发展、人们对生存环境认识水平的不断提高和国家政策的导向作用，环境治理工程越来越得到广泛重视。目前我国正在逐步完善气态污染物的排放标准，但治理工程设备和设施的规范还没有跟上。制订气态污染物治理的工程技术规范，对环境工程建设的规范化影响深远。对技术相对成熟、应用面广的工程技术进行规范，能大大提高环境工程建设的技术和管理水平，指导主管部门对环境工程全过程实施科学管理。

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。在目前我国有机废气治理设备中，吸附净化设备以及以吸附技术为基础的集成设备约占总数的 50%左右。因此本规范制定以后可以规范我国有机废气治理中接近 50%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全面提高我国 VOCs 治理水平，必将极大地推进我国固定源有机废气的治理减排工作。

3 主要工作过程

3.1 确立制定本标准的原则

(1) 与目前我国各类吸附法有机废气治理技术的发展水平相适应，以国内外常用的吸附工艺和最佳实用污染控制技术为基础，充分考虑技术成熟程度和可行性、各种技术的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吸附技术。对于特异性、行业性较强但通用性较差的工艺技术考虑在以后的行业标准中体现，对于具有重要的应用前景、目前技术上还不太成熟的工艺技术待相对成熟以后再考虑。

(2) 充分反应吸附法治理气态污染物的特点和优势，体现行业特征，并考虑不同地域和时期的差异，符合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

2008年初，原国家环境保护总局下达《气态污染物治理工程技术规范 吸附法》的编制任务，中国环境保护产业协会组织相关单位及人员成立标准编制小组，确定参编单位及人员名单。

2008年12月，完成标准的开题报告和标准编制大纲。

2009年1月，环境保护部科技标准司在北京主持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。

2009年6月，完成《气态污染物治理工程技术规范 吸附法》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2011年2月形成征求意见稿，并将标准名称修改为《吸附法工业有机废气治理工程技术规范》。

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

济和社会发展计划，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) 各行业废气排放标准

如《大气污染物综合排放标准》、《恶臭污染物排放标准》、北京地方排放标准《大气污染物综合排放标准》等。

(5) 气态污染物相关检测标准

如《固定污染源排放气中颗粒物测定与气态污染物采样方法》。

(6) 相关环保产品、工程建设技术要求和技术规范

如《环境保护产品技术要求 工业废气吸附净化装置》、《大气污染治理工程技术导则(报批)》等。

(7) 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(报批)》等。

4.2 国内外相关技术标准、技术政策、指南制订情况分析

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催化法和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。2007年北京市颁布了比较严格的地方排放标准《北京市大气污染物综合排放标准》(DB 11/501-2007)和《炼油与石油化学工业大气污染物排放标准》(DB 11/447-2007)，对北京市 VOCs 的治理工作起到了重要的推动作用。同时也出台了一些相关废气治理设备的制

造标准和产品技术要求，如《环境保护产品技术要求》系列标准《工业有机废气催化净化装置》(HJ/T 389-2007)、《工业废气吸附净化装置》(HJ/T 386-2007)、《工业废气吸收净化装置》(HJ/T 387-2007)等。各省市也正在制定和酝酿地方综合排放标准(如福建省、广东省、深圳市等)。在“十一五”期间正在大量的安排制定相关行业的综合排放标准(如橡胶、皮革、人造革、电子、半导体、喷涂等行业)和治理工程技术规范。我国将形成一套严格的技术标准体系，对有机污染物的排放要求也会越来越严格。

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，其中只是涉及到吸附净化单元，而对于吸附剂的脱附再生方法、溶剂的回收方法、系统控制措施、吸附剂的选择与要求等方面未予规定或规定不全，对系统安全措施的规定过于简单。在吸附对象中没有划分有机废气和无机废气，实际上二者的吸附过程存在巨大的差别。在吸附设备中也没有划分固定床、移动床和流化床，实际上不同的吸附设备的设计、型式、控制措施、安全措施以及对吸附剂的要求也存在巨大的差异。

5 同类工程现状调研

5.1 概述

目前的 VOCs 的治理技术主要有两类：一类是回收技术，一类是销毁技术。回收技术是通过物理的方法，改变温度、压力或采用选择性吸附剂和选择性渗透膜等方法来富集分离有机气相污染物的方法，主要有吸附技术、吸收技术、冷凝技术及膜分离技术。销毁技术主要是通过化学或生化反应，用热、光、催化剂和微生物将有机化合物转变成为二氧化碳和水等无毒害或低毒害的无机小分子化合物，主要有直接燃烧、催化燃烧、生物氧化、光催化氧化、等离子体破坏等。目前使用较多的 VOCs 的治理技术主要有活性炭和活性炭纤维吸附、溶剂吸收、降温冷凝等回收技术和直接燃烧、催化燃烧等销毁技术，其中又以吸附技术和催化燃烧技术的应用居多。

工业固定源 VOCs 的排放主要是低浓度、大风量的排放污染问题。工业生产过程中通常由于生产场所的强排风，使得所排出的废气中有机物的浓度很低(通常小于 $1500\text{mg}/\text{m}^3$)，

风量很大（通常超过 1 万 m^3/h ，甚至达十几万 m^3/h 、几十万 m^3/h ），治理难度大，是目前城市中有机化合物污染的重要来源。经济高效的排放控制技术是解决大面积 VOCs 污染问题的关键。吸附法适用于处理低浓度、大风量的气态污染物的治理，操作方便，易于实现自动化，并且对于有再利用价值的有机溶剂，能通过脱附进行回收，实现废物资源化。

5.2 吸附法VOCs治理技术的发展

吸附法是利用各种固体吸附剂（如活性炭、活性炭纤维、分子筛等）对排放废气中的污染物进行吸附净化的方法。吸附法设备简单、适用范围广、净化效率高，是一种传统的废气治理技术，也是目前应用最广的治理技术。具体的吸附净化工艺可以分为吸附回收工艺（回收有机溶剂）和吸附氧化工艺（回收热量）两种；具体的吸附技术主要包括固定床吸附技术、移动床（含转轮）吸附技术、流化床吸附技术和变压吸附技术等；吸附设备可以分为固定床、移动床和流化床吸附器三种。

从不同吸附净化技术的应用范围和工艺设备的成熟程度来看，固定床吸附/水蒸气脱附/冷凝回收工艺和固定床吸附/热空气脱附/催化燃烧工艺目前我国应用范围最广，工艺设备成熟，是我国有机废气吸附净化的主体工艺，在我国有机废气净化中具有主导地位。在具体的 VOCs 治理工艺中应该采用何种技术，通常由 VOCs 的排放工艺和排放工况决定。在有些工况条件下以回收有机溶剂为主，可以实现资源的再利用；而在有些工况条件下以回收热量为主，将有机物燃烧所产生的热量回用于生产工艺或者用于其本身的分解净化。

利用吸附回收技术可以将废气中有价值的有机化合物进行回收。国外有机废气的治理思路是在技术允许的情况下尽量地使用回收技术回收有机溶剂，以实现资源的再利用。使用的吸附材料主要包括活性炭、活性炭纤维和分子筛，吸附设备主要包括固定床和移动床吸附器，吸附剂的再生通常采用水蒸气再生和热空气流再生两种，在油气回收中则通常采用真空脱附再生。国内目前主要是采用固定床吸附回收技术，吸附剂通常为颗粒活性炭和活性炭纤维。国外和我国台湾地区近年来较多地采用了移动床和流化床吸附回收设备，如日本多采用分子筛转轮吸附浓缩设备，利用高温空气脱附后冷凝回收。在我国有机废气净化的分子筛吸附剂的生产技术还没有突破，目前分子筛转轮吸附技术尚处于开发阶段。

吸附浓缩-催化燃烧技术是将吸附技术和催化燃烧相结合的一种集成技术，将大风量、低浓度的有机废气经过吸附/脱附过程转换成小风量、高浓度的有机废气，然后经过催化燃烧净化，可以有效的利用有机物的燃烧热。该方法适合于大风量、低浓度或浓度不稳定的废气治理，通常用于低于 $1500 \text{ mg}/\text{m}^3$ 的有机废气的治理。国内由防化研究院于 1990 年研制成功的固定床有机废气浓缩装置（“一种处理有机废气的空气净化装置”，专利号 CN2175637），

采用低阻力的蜂窝状活性炭作为吸附剂,以福州嘉园环保股份有限公司为代表的多家企业对该技术进行了大规模的推广应用,成为目前我国喷涂、印刷等行业大风量、低浓度有机废气治理的主体设备之一。北京绿创大气环保工程有限公司采用薄层的活性炭纤维作为吸附剂,使用固定床吸附浓缩装置用于造船业废气治理,取得了较好的效果。杭州天祺环保设备有限公司近年来研制的回转式吸附浓缩催化设备(RCCO),使用活性炭作为吸附剂,存在易着火、运行安全性差等问题,至今没有推广应用。日本的东洋仿、美国的卡尔岗等企业于上世纪八十年代末和九十年代初分别研制了转轮式吸附浓缩装置,一开始使用活性炭和活性炭纸作为吸附剂,但由于安全性差,在热脱附过程中易着火(我国在1989年曾引进三套东洋仿的装置,后因操作不慎着火报废),目前改用蜂窝状的成型分子筛为吸附剂,并得到的较为广泛地应用。

吸附材料以活性炭、活性炭纤维和分子筛为主。为了处理低浓度、大风量的有机污染物,要求吸附材料具有高吸附容量、高燃烧温度和良好的床层动力学性能,即要求吸附床层具有低的气流阻力。通常是将粉末状的活性炭或分子筛加工成为蜂窝状的成型体,可以使得吸附床层的气流阻力大幅度地降低。通过对活性炭孔隙结构调整、去除杂质和改变成型方法等措施可以提高活性炭的应用性能,目前国内外就此问题正在开展大量的基础研究工作,有望获得突破。对于分子筛的研究主要是对分子筛的表面进行改性,提高其疏水性能和对有机化合物的吸附性能。国外已经较好地解决分子筛的成型技术,国内的成型技术还有待深入研究。

5.3 实际工程案例调研情况分析

自2008年3月至2009年10月,我们选择性的对一些典型的治理工程进行了实地调研,并通过书面形式对几个骨干废气治理企业的治理工程案例进行了调研分析。

5.3.1 福州嘉园环保股份有限公司——大连中集集装箱有限公司集装箱喷漆废气治理工程 II期

福州嘉园环保股份有限公司以蜂窝状活性炭作为吸附剂,采用吸附浓缩-催化燃烧技术治理低浓度的有机废气(工艺流程见图1),广泛应用于印刷、集装箱、造船等行业。我们考察了该公司在大连和青岛等地区的4个治理工程。低浓度的废气经过吸附床浓缩以后最终进入催化反应器进行催化燃烧净化,催化燃烧器的净化效率设计在95%以上,从实际运行时的检测结果来看也可以达到95%的净化效率。

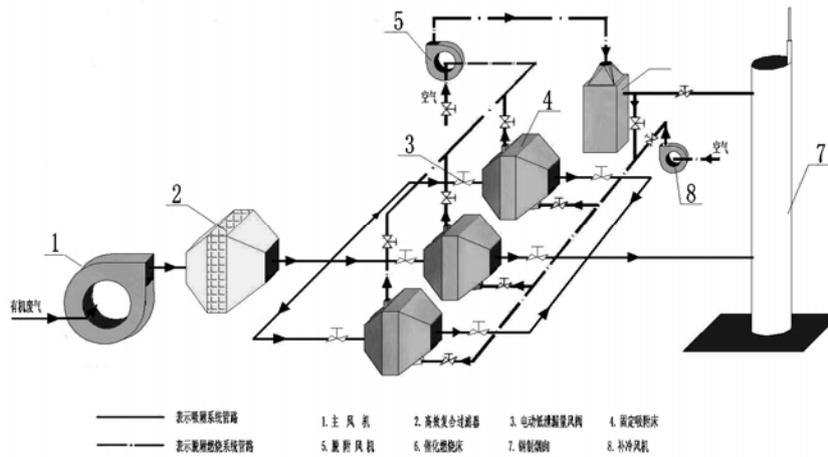


图 1 JY-C 型有机废气净化装置工艺流程图

大连中集集装箱有限公司在生产过程中每年耗用 1000 多吨稀释剂，在喷涂、烘干、补漆等过程产生大量有组织排放的 VOCs 污染，污染物中含有二甲苯、甲苯、苯、乙苯、苯乙烯等污染物（见表 1）。

表 1 大连中集集装箱有限公司有机废气排放量统计表

序号	工序名称	废气排放浓度 (ppm)	风量 (万 m ³ /h)	排放量(kg/h)	稀料用量 (kg/d)
1	打砂预处理	701	3.6	42	3200
2	富锌漆预涂	46	8	6.18	960
3	手工富锌底漆	653	11.5	125.4	
4	中间漆	354	11.5	68	640
5	内面漆喷涂	212	12	42.4	680
6	沥青漆预涂	164	5.5	15.1	
7	外面漆预涂	90	8	12	600
8	面漆	464	11.5	89.2	
9	补漆	285	8	38	
10	分界线	39	5.5	3.6	
11	沥青漆	20	16.5	5.5	
12	防水箱喷涂	200	12	40	120
13	托盘箱喷涂	200	12	40	100
合计		3428	125.6	527.7	6300
	有组织排放的 VOC 总量(kg/d)				5277
	有组织排放量占总排放量的比例				84%

福州嘉园环保股份有限公司共在该厂的不同工段建造了七套 JY-PC 型有机废气净化装置，总处理风量合计为 38 万 m³/h。

漆雾预处理装置采用空气净化过滤专用无纺布作为过滤材料，催化剂采用杭州凯明催化剂有限公司生产的 KMF 系列铂钯催化剂，吸附剂使用景德镇特种陶瓷研究所生产的高性能

TF 型蜂窝状活性炭。

表 2 JY-PC 型有机废气净化装置主要设备工艺设计参数

纤维过滤器（1 座） 型号 GL-1200，尺寸 2795*3126*2573	单台处理风量	120000 m ³ /h
	进出口流速	11.57 m/s
固定吸附床（3 台） 型号 XFB-600，尺寸 3128*2346*4663.5	单台处理风量	60000 m ³ /h
	吸附进出口流速	11.57 m/s
	脱附进出口流速	10.41 m/s
	停留时间	0.5s
催化燃烧床（1 座） 型号 XFB-600，尺寸 3128*2346*4663.5	处理风量	6000 m ³ /h
	进出口流速	12.04/10.42m/s
	电加热总装功率	105kW
	换热面积	145 m ²

a)辅助设施：净化装置须设置必要的辅助设施如阶梯、测量孔、测试架、人孔等以便操作、维修、监测，辅助设施具体位置、详细做法由设计人员与现场管理人员确定后施工；管道和部分设备的支架、基座、加强筋由现场确定，要求结构合理、用材节省、外形美观符合公司规范的相应要求。

b)设备防腐：风管、管件、烟囱、设备底处理应采用喷砂工艺。经检验合格后涂刷铁红醇酸防锈漆两道、醇酸船壳漆（颜色待定）两道；烟囱内表面经良好除渣及除锈后涂刷环氧沥青漆（甲+乙双组分）两道；吸附、前端系统管件内壁需除锈后涂刷铁红醇酸防锈漆两道；吸附床、催化床、过滤器、阻火器、混流器等主要设备防腐措施应严格按照设备图纸说明执行；所选用的油漆品牌、种类应符合公司规范的相关要求。

c)设备保温：脱附所有管道及管件需加以保温（保留操作和检修位置）。保温层必须包缚完整，不得有空隙，拼缝宽度不得大于 5mm。外部保护层所有接头及层次应密实、连续，无漏设和机械损伤；表面无气泡、翘口、脱层、开裂、划伤、漏水等缺陷。

d)电气及控制：在电气及自控方面，JY-C 型有机废气净化设施采用 PLC 全自动化控制方式，特设电脑触摸屏实时监控、记录，主要特点有：（1）实现操作过程全自动，大大降低操作人员的劳动强度；（2）实现处理设施的自动、连续、稳定运行；（3）采用触摸屏使控制系统具有良好的人机界面和重要工作参数的实时记录和储存功能；（4）采用 PLC 控制方式，便于调整设施的工作参数；（5）PLC、变频器和触摸屏均采用国外品牌，同时系统配套精度很高的电动模拟量调节阀。PLC 自控系统的控制水平达到国内先进水平。低压电气控制柜由具有相关生产资质的厂家提供。

e)运行费用：JY-P1200C 型有机废气净化设施为例，运行费用分析如下：

表 3 JY-P1200C 型有机废气净化设施运行费用

序号	费用名称		金额 (万元/a)	备注
1	电费	a. 脱附风机 7.5kw, 混流风机 4kw	12.29	电费 0.6 元/kwh ⁻¹ , 生产 330d/a, 24h/d, 电机实际功率按 0.80 计, a 项连续工作, b 项 20h/d, 合计: [24×(7.5+4.0)×0.80+20×20]×330×0.6×10 ⁻⁴ =12.29 万元/a
		b. 电加热平均功率 20kw		
2	维 护 费	a. 预处理材料费	0.72	a. 以 0.04 万元/60d,330d/a 计 0.04×330/60=0.22 万元/a b. 日常维护保养费用 0.5 万元
		b. 日常维护保养费用		
3	人工费		1.60	2 人兼职管理, 以 0.8 万元/(年·人)计 0.8×2=1.6 万元/a
4	年运行费用总计		14.61	(1)+(2)+(3)
5	单位运行费用(元/km ³)		0.15	146100÷(330×24×120)=0.15 元/km ³

即处理每 1000 立方米的有机废气的费用仅为 0.15 元。

f)说明: 1、以上运行成本分析不包括主风机的运行费用及活性炭、催化剂的更换费用;
2、一套活性炭及催化剂总成本约 49.80 万元, 按三年更换 2/3 计算, 则每年活性炭与催化剂的费用约为 11.07 万元。

g)净化效果: 经过治理后, 大连中集集装箱有限公司的 6 个烟囱排放口均达到《大气污染物综合排放标准》(GB 16297-1996) 中新污染源二级排放标准, 环保监测合格。

5.3.2 福州嘉园环保股份有限公司——三星重工业(荣成)有限公司喷漆废气治理工程

a)有机废气来源: 三星重工业(荣成)有限公司在船体分段的喷漆过程中,油漆、溶剂的挥发产生大量的漆雾和有机废气, 主要以苯、甲苯、二甲苯为主。废气浓度: 甲苯 (200-500) mg/m³, 非甲烷总径 (300-800) mg/m³, 处理风量: 合计 16 万 m³/h。福州嘉园环保股份公司建造二套 JY-800C 型有机废气净化设施, 对喷漆产生的有机废气进行治理。

b)预处理: 因喷漆废气中夹带大量的漆雾及少量的其它尘杂, 若不予以有效去除, 将堵塞蜂窝状活性炭微孔, 影响吸附效果并给设备造成安全隐患, 因此在治理流程中设置高效复合纤维过滤器作为预处理设施, 以去除废气中夹带的漆雾及少量的其它尘杂, 确保设施的安全及稳定。

c)吸附设备: 每套装置设三台吸附床, 即废气从二台吸附床经过, 另一台处于脱附再生阶段或备用阶段, 从而使吸附过程可连续进行, 不影响车间生产。

d)主要设备类型和规格:

表 4 JY-800C 型净化设施主要设备

序号	项目名称	规格型号	数量
1	高效复合过滤器	GL-800 型	1 台
2	固定吸附床（含蜂窝活性炭）	XF-400 型	3 台
3	催化燃烧床（含贵金属催化剂）	CR-40 型	1 台
4	主风机（含减振体系）	THF1400E	1 套
5	脱附风机	ZGF560C	1 台
6	补冷风机	4-79№4A	1 台
7	拉锁式钢制烟囱	φ1500, 30m	1 座
8	精密电动调节阀+执行器		1 套
9	阻火器	ZH-80 型	1 台
10	电控系统	DK-80 型	1 套

e)控制措施、控制设备及控制水平：同上。

f)治理效果：治理后有机废气中的苯、甲苯、二甲苯达到《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）中新污染源二级排放标准。

g)治理成本：二套净化设施年运行费用约为 29.86 万元/年（不含活性炭、催化剂更换费用）。

5.3.3 北京绿创大气环保工程有限公司——解放军 4309 厂净化装置

北京绿创大气环保工程有限公司使用活性炭纤维作为吸附剂，采用吸附浓缩-催化燃烧技术治理低浓度有机废气（表 5）。我们考察了该公司在北京、大连和青岛地区共 5 个治理工程。下表为北京绿创大气环保工程有限公司在解放军 4309 厂的净化装置，处理风量 60000m³/h。

表 5 解放军 4309 厂的净化装置参数表

设备名称	活性炭纤维有机废气催化净化装置	
设备型号	LC-XC II -60k	
处理风量（Nm ³ /h）	60000	
废气有害成份	含苯、甲苯、二甲苯等有机气体	
废气浓度（mg/ m ³ ）	≤1500	
适用废气进口温度（℃）	≤40	
净化效率（%）	95 以上	
废气出口浓度和排放速率	符合《大气污染物综合排放标准》GB16297-1996 中规定的二级标准	
噪声（dB（A））	≥85	
设备阻力（Pa）	≤1800	
预热功率（kW）	52	
热风机	型号	BY5-48NO.4C
	功率（kW）	4
总功率（kW）	56	

设备尺寸	长×宽×高 (mm)	7500×3300×3200
主机自重 (kg)		9000
地坪负载 (kg/m ²)		550
压缩空气消耗 (0.2—0.4MPa)		0.6m ³ /h
活性炭纤维	主要性能	比表面积: ≥1300m ² /g
		碘吸附量: ≥1000mg/g
	苯吸附量: ≥35%	
	设备装填量	450kg/台
连续使用时间	30000 小时以上	
催化剂	种类	蜂窝陶瓷贵金属催化剂
	空速	15000 小时 ⁻¹
	单块尺寸	100*100*40
	反应起燃温度	260℃
	反应温度	280℃
	装填量 (升)	180
	连续使用时间	30000 小时以上
设备阻力 (Pa)	初始阻力	≤1200
	运行阻力	≤1800
吸附脱附催化燃烧循环周期		1~120min 可以调节
电器控制		自动控制装置留有接口, 可与涂装生产线 总控系统连接, PT 型热电偶采用普通导 线连接, K 型热电偶采用补偿导线连接

治理工艺流程图如下:

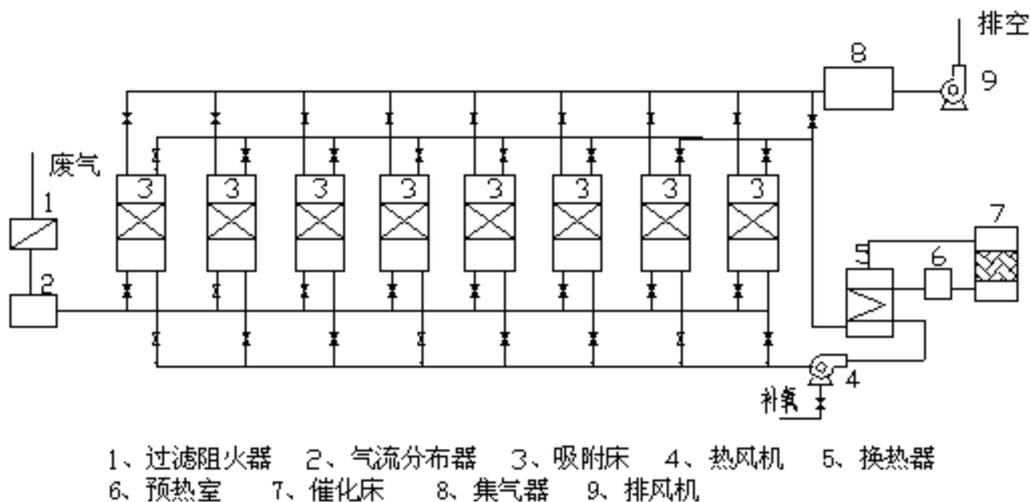


图 2 有机废气吸附浓缩催化反应工艺流程

设备的运行费用主要由动力消耗、设备关键的易耗品、设备折旧、低值易耗品等几部分组成。其中动力消耗包括电耗和压缩空气消耗, 设备关键的易耗品费用包括碳纤维和贵金属蜂窝催化剂更换费用, 低值易耗品主要为电器元气件更换。在此类设备中, 由于处理的废气浓度低、处理气量大, 因此不但工程投资较大, 运行费用也较高。

5.3.4 北京云辰天环保科技有限公司——水松纸厂活性炭纤维溶剂回收乙醇装置

a)废气参数：成分：乙醇；尾气量：烘箱 15000m³/h，印刷机收集风量（10000~15000）m³/h；浓度：10g/m³，（70~80）%进入回收系统；尾气温度：烘箱<90℃，印刷机<40℃。

b)系统布置：印刷机上部排风与整条印刷机周围系统挥发气体实行分离单独引入，在风管上分别设三通阀控制。从烘箱中出来的尾气预先在空气冷却器中用循环冷却水冷却至 40℃左右，再用低温冷却水进一步深度冷却至 30℃左右才能进入吸附器进行吸附。

吸附装置由三个吸附箱体组成，每个吸附箱体内配置 8 套活性炭纤维吸附芯。两个吸附箱进行吸附、一个吸附箱体进行再生，整个工艺过程由 PLC 程序控制，自动切换，交替进行吸附、再生和干燥三个工艺过程的操作。

c)相关设备的参数：活性炭纤维用量：总用量为 960kg，每个回收单元为 320kg；蒸汽用量的用量：回收一吨乙醇精馏耗蒸汽 3.5 吨；公用工程消耗如表 6。

表 6 水松纸厂活性炭纤维溶剂回收乙醇装置公用工程消耗表

蒸汽 (万元)	电用量 (万元)	循环水 (费用)	活性炭纤维 (万元)	设备折旧费 (万元)	总计 (万元)
47.4	63.9	1.2	25	20	157.5

d)投资与经济效益的分析：按每天使用 5000 公斤乙醇，70%进入回收系统，回收效率按 80%计算，每年运转 300 天计算。回收一吨乙醇精馏耗蒸汽 3.5 吨，按每吨乙醇蒸汽费用为 564 元。乙醇按 4500 元/吨计，年回收效益为 378 万元。

5.4 吸附法VOCs治理工程中存在的主要问题

5.4.1 工艺水平较低，难以做到达标排放

由于缺乏治理工程技术规范的约束，很多企业甚至没有设备制造的企业标准，在工艺设计上基本上以经验为主，缺乏计算依据和设计规范，工艺设计水平难以固化和提高，在具体项目设计上随意性较大。

特别是由于同行业中存在恶性竞争，为了降低成本，在原材料选择、设备规格型号的选择和工艺控制水平上都大打折扣，造成净化设备难以做到达标排放，设备使用寿命短。

5.4.2 新技术的研究与开发滞后，和国外相比存在较大的差距

目前我国的有机废气治理企业一般规模较小，技术研发能力弱，大部分的企业只掌握一种或两种技术工艺，长期以来工艺技术在水准上徘徊。同时国家在 VOCs 治理技术研发方面的投入也严重不足，目前和国外相比在新技术的研究与开发方面已经滞后，在关键技术上存在较大的差距。

在新材料的开发与应用方面，(1) 缺乏安全、可靠的吸附材料。目前我们在大风量有机废气的治理中普遍采用蜂窝状活性炭作为吸附剂，蜂窝状活性炭燃点低、吸附容量小、吸脱附速度慢。由于燃点较低在热脱附过程中床层易着火，在消防与安全方面存在很大的隐患。国外目前普遍利用分子筛作为吸附剂可以解决这个问题，但由于国产分子筛成型技术、疏水改性技术还没有得到完全解决，限制了分子筛在工业有机废气处理过程中的应用。(2) 缺乏溶剂回收专用活性炭。大多数的挥发性有机污染物是多环芳烃、酯类、醇类和卤代烃等分子尺寸比较大的化合物，吸附过程易造成空间位阻使得吸附剂难以再生。由于国内缺乏溶剂回收专用活性炭，各治理企业在进行溶剂回收时在活性炭的选择上存在很大的随意性，致使吸附装置效率低、吸附材料寿命短。

在新技术的研究与开发方面，目前国外固定床、流化床和移动床（含分子筛转轮）吸附器均有使用，特别是分子筛转轮在低浓度有机废气治理方面获得了大规模的应用，该技术具有吸附效率高、吸附剂利用率高和设备紧凑等优点。我国在 VOCs 治理方面使用的还主要是固定床吸附装置，移动床（分子筛转轮）目前在我国虽然已经有所应用，但在技术上尚不成熟；流化床吸附装置目前在国内还未见实际应用。近年来国外的相关设备开始进入国内市场，分子筛转轮、颗粒炭移动床等相关设备已经在国内应用。

5.4.3 标准不严，监管力度不够，废气净化装置运行率低

目前我国执行的有机物排放标准包括国家标准《大气污染物综合排放标准—GB16297-1996》和《恶臭污染物排放标准 GB 14554-93》，其中只规定了十四种（类）有机物的排放标准，和发达国家相比在排放要求上要宽松得多。在美国环保署 EPA 定义的污染物中 VOCs 占了 300 多种，而美国 1990 年的《清洁空气法》(Clean Air Act) 要求减少 90% 排放量的 189 种毒性化合物中，70% 属于 VOCs。

除了排放标准较为宽松以外，由于之前从国家层面上来讲，在废气排放的监管上工作重点一直在粉尘、SO_x 和 NO_x 上面，对 VOCs 的排放控制还没有引起各地环保执法部门的足够重视，监管的力度没有跟上。虽然很多污染企业迫于压力进行了 VOCs 排放源的治理，有些是为了“三同时”的需要，纯粹是为了应付环保而做，如很多喷涂工艺的尾气治理只是装设活性炭吸附罐，而没有吸附剂的再生设施；很大一部分企业在净化设备安装验收以后为了节省运行费用，设备运行少、不运行或在环保检查时才运行，这在目前我国废气治理装置，特别是规模较小的有机废气装置中是一个普遍的现象。这种状况使有机废气的治理工作不但没有起到环境治理的目的，反而增加了社会成本。除了加强检查和处罚力度外，对一些重点污染企业可以通过采取安装在线检测装置等方法进行监管，以期提高废气治理设备的运行率。

6 主要技术内容及说明

6.1 适用范围

在气态污染物的治理中，吸附法是一个非常笼统的概念，既包括有机污染物，又包括各种无机污染物，如二氧化硫、氮氧化物、含汞蒸气、含碘放射性气体等的吸附净化；既包括工业废气，又包括各种生活废气，如餐饮油烟、家装（室内空气净化）废气等的吸附净化。

有机污染物的吸附净化通常是纯粹的物理吸附法，而无机污染物的吸附净化通常是化学吸附，依靠改性的吸附材料和无机污染物进行化学和催化反应将无机物转化，如将二氧化硫转化为稀硫酸等，工艺过程复杂，不同的无机物的吸附转化的工艺路线具有很大的差异，难以在一个规范中进行界定。因此在该规范中限制在有机污染物的吸附净化，对于无机污染物的吸附净化，应该根据不同的行业单独制定技术规范。

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。吸附剂的再生和处置工艺可以划分为吸附抛弃工艺、变温再生工艺和变压（降压）再生工艺等。

吸附抛弃工艺中吸附剂一次性使用，用完以后即弃用，更换新的吸附材料，通常是采用廉价的粉状活性炭或颗粒活性炭吸附一些难以脱附的物质，如垃圾焚烧尾气、一些化工废气的处理等，目前应用面很窄，在本技术规范中没有进行考虑。

吸附剂的变温再生工艺是目前的主要工艺，包括高温水蒸气再生和高温气流（空气、惰性气体）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（空气、惰性气体）再生后产生的高浓度有机废气可以采用催化燃烧、高温焚烧工艺进行处理，也可以采用冷凝分离工艺回收溶剂。

吸附剂的降压再生工艺是指对吸附剂进行减压再生的工艺，即高压吸附，减压再生。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。

变压吸附技术指在一定温度下，采用较高压力（高压或常压）完成吸附，而采用较低的压力（常压或负压）完成脱附的操作方法，目前主要应用于石油炼气等小分子有机化合物以及一些无机化合物的吸附分离。其工艺路线和一般的常压吸附工艺具有很大的差别，难以在一个规范中涵盖。由于变压吸附技术目前应用的较多，建议对变压吸附技术单独制定技术规范。

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吸附法治理工艺。对于无机废气的吸附法治理工程和一些低分子量的有机气体（如石油炼气）的变压吸

附法治理工程则应通过另外的工程技术规范进行规定。

6.2 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。

6.3 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。

6.4 污染物与污染负荷

(1) 本章规定了吸附法治理有机废气的范围、进气的浓度要求和限值，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) 由于有机物的易燃性和存在爆炸的危险，在有机废气的治理中安全性是首先需要考虑的因素。对有机物的浓度要求一般规定为控制在其爆炸极限下限的 25% 以下。规范 4.1 给出了混合有机化合物的爆炸极限下限的计算方法。

(3) 粉尘易于附着在吸附剂的表面上，少量的粉尘就会对吸附剂的吸附能力产生很大的影响。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，就会对吸附剂的吸附能力和使用寿命产生很大影响，因此规范 4.2 规定经过预处理以后废气中的颗粒物含量应低于 $5\text{mg}/\text{m}^3$ 。

6.5 总体要求

6.5.1 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。

6.5.2 工程构成

在工程构成中, 主要对治理工程的主体工程系统、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。

6.5.3 场址选择

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。

6.6 工艺设计

6.6.1 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) 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。

(3) 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。今后国家可以考虑制定相关的回收补贴政策。

(4) 有机物的吸附主要是物理吸附, 温度越低, 吸附能力越强。目前常用的吸附剂, 如活性炭、活性炭纤维和分子筛等一般在 40℃ 以下对有机物具有良好的吸附效果。在某些生产工艺中, 如烘烤漆工艺和干燥工艺, 所产生的废气温度较高, 在进入吸附器之前应先进行降温处理。但对于一些沸点较高的化合物, 如三甲苯 (沸点 164.7℃) 等, 由于其易于吸附, 在较高的温度下也可以进行吸附净化, 因此其吸附温度可以适当地提高一些。

6.6.2 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吸附法治理中使用的主要是固定床吸附器。移动床和流化床吸附器在国外的有机废气治理中有所应用，但也是以固定床吸附器为主。其中，分子筛转轮连续吸附再生装置（实际上属于移动床的一种类型）是低浓度有机废气治理的主要设备之一，在美日等国应用较多，目前在国内也已经有所应用，但总体技术上还不够成熟，主要是分子筛吸附剂尚处在研究开发阶段，性能和国外相比还存在较大的差距。

在工业有机废气大部分由连续而稳定的生产工艺所产生，可以采用固定床、移动床和流化床吸附器进行净化。当采用固定床吸附器时，吸附剂定期进行再生，吸附器通常是采用一用一备或多用一备；当采用移动床和流化床吸附器时，吸附剂连续进行再生。当处理连续稳定的废气时，再生气流中有机物的浓度基本恒定，易于进行后处理，可以采用多种类型吸附器进行吸附；当处理非连续（间歇）或浓度不稳定的废气时，再生气流中有机物的浓度波动加大，宜采用固定床吸附器进行吸附。

(3) 根据吸附剂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，其它的一些工艺过程，如吸附-抛弃工艺、吸附剂的异地再生工艺等，由于不常用，在此不做规定。

典型工艺路线 1（图 3）：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置换再生--冷凝回收工艺，多采用固定床吸附器，吸附剂主要采用原位再生。

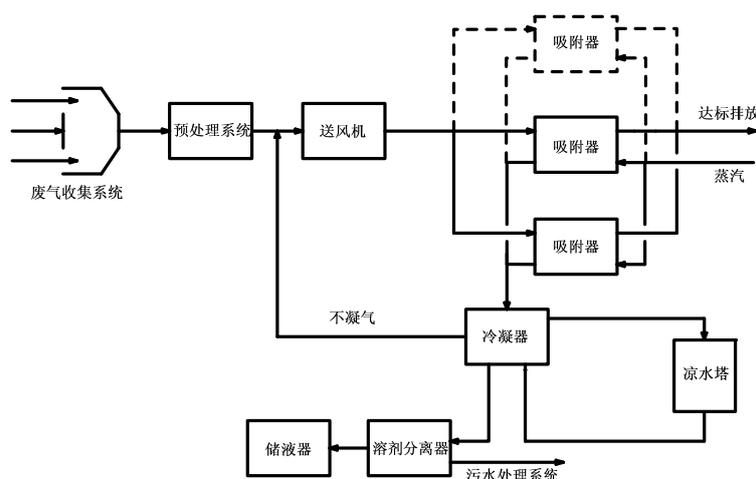


图 3 水蒸气再生--冷凝回收工艺流程

典型工艺路线 2（图 4）：热气流（空气或惰性气体）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。热气流（空气或惰性气体）吹扫再生--冷凝回收工艺

主要用于浓度很低、沸点较高有机物的处理，如锂离子电池生产中 N-甲基吡咯烷酮（NMP，沸点 202℃）的治理。由于热气流（空气或惰性气体）吹扫再生所产生的气体温度较高，对低沸点有机物的吸附回收，要低温冷凝，不适用该工艺。

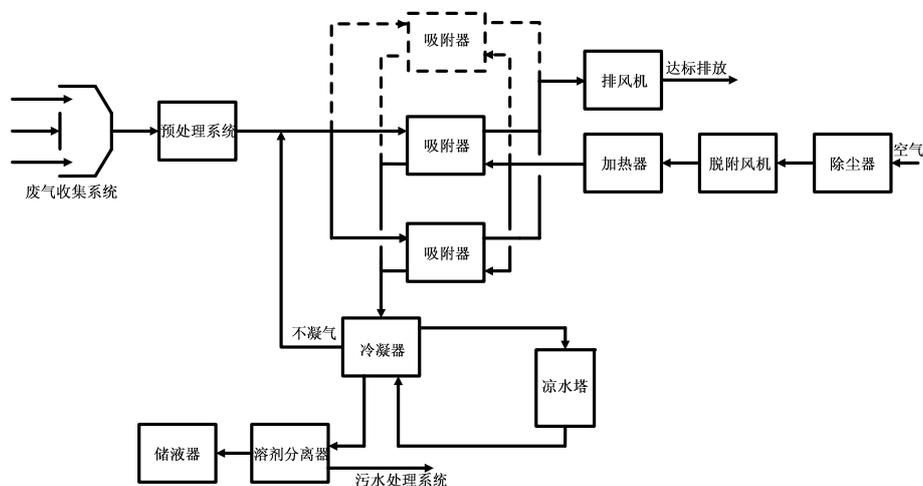


图 4 热气流（空气或惰性气体）再生--冷凝回收工艺流程

典型工艺路线 3（图 5）：热气流（空气、惰性气体或烟气）再生--催化燃烧或高温焚烧工艺。该工艺目前在国内外应用最多，主要由于低浓度、大风量、无回收价值的有机废气的治理。浓缩再生后的高浓度废气通常采用催化燃烧工艺进行分解净化，但当气流中含有引起催化剂中毒的成分时则采用高温焚烧工艺。在有些情况下，需要回收有机物焚烧所产生的热量时，也常采用高温焚烧工艺。

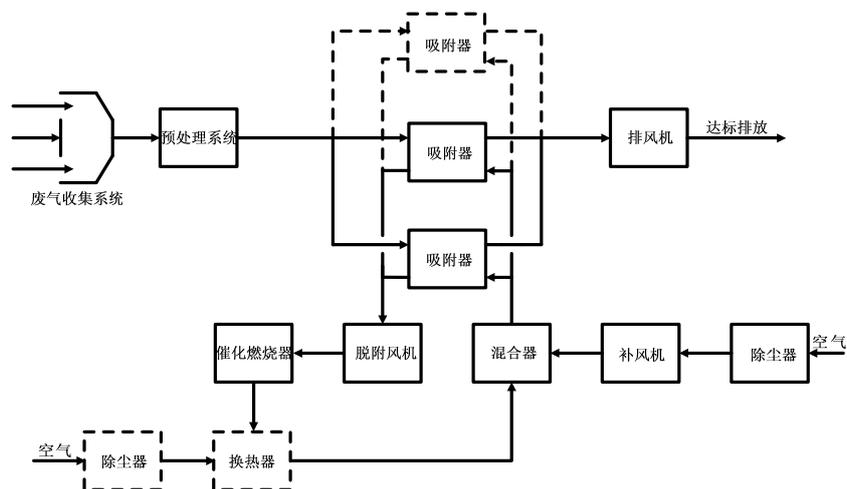


图 5 热气流（空气、惰性气体或烟气）再生--催化燃烧或高温焚烧工艺流程

典型工艺路线 4（图 6）：降压解吸再生--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。

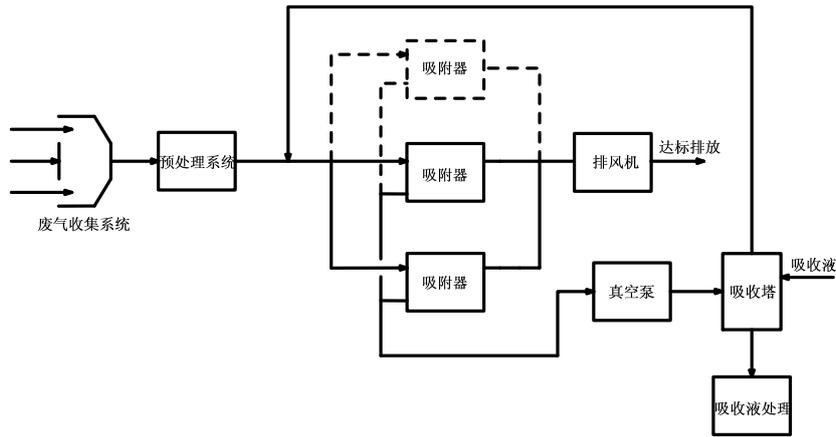


图 6 降压解吸再生--液体吸收工艺流程

(4) 当使用固定床吸附器时，由于吸附剂的装填和更换很不方便，劳动强度大，因此通常采用原位再生工艺。吸附器采用一用一备或多用一备的原则，吸附器的数量需要根据设计的单个吸附器有效吸附时间和再生时间确定。

当使用移动床和流化床吸附器时，吸附剂连续进行再生，再生系统的再生能力应根据吸附剂的再生速度和吸附器所产生的吸附剂的量进行计算，吸附和再生容量需匹配。

(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（空气或惰性气体）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。

当采用热气流（空气或惰性气体）吹扫再生，后处理过程采用降温冷凝回收工艺（典型工艺路线 2）通常是最为经济、安全的处理工艺。也可以采用液体吸收回收工艺，需要进行经济性核算后确定。

降压解吸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。由于解吸后尾气中有机物浓度非常高，极易被同类油品所吸收，如利用柴油吸收高浓度的汽油蒸气，吸收以后的吸收剂通常也不需要后处理，经济可行。因此解吸后的尾气宜采用液体吸收回收工艺。

(6) 根据回收有机物的价值和回收费用进行核算，对于一些低浓度的废气，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。

(7) 当废气中的有机物浓度高,可先采用冷凝等方式回收再进行吸附净化的组合工艺。如化纤生产废气中硫化氢和二硫化碳废气的治理就是采用该工艺。

(8) 当废气中含有不适于再生处理的有毒物质时,吸附了有毒物质的吸附剂整体进行处置。如废气中含有某些剧毒或恶臭物质时,吸附以后不宜进行脱附,通常与吸附剂一起进行整体处置。

6.6.3 工艺设计要求

6.6.3.1 废气收集

本规范主要对排风罩设计和安装的通用原则提出了技术要求,对排风罩的具体设计在本规范中不做具体规定。强调的是在保证集气和排风效果的基础上,集气罩的配置应与生产工艺协调一致,尽量不影响工艺操作。同时尽量减少排风量,以减轻吸附装置的负担。

6.6.3.2 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 6.3.2 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。吸附剂对粉尘、漆雾和气溶胶非常敏感,会严重影响吸附剂的吸附能力。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或强极性化合物,如电器喷涂废气中的二甲基戊酮(沸点 164℃)、化纤生产废气中的硫化氢等,被吸附剂吸附后难以脱附而造成吸附剂中毒。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,吸附剂很快就会中毒失效。高沸点的大分子有机化合物可以采用活性炭的预吸附装置去除,硫化氢等极性化合物可以通过液体吸收去除。

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。

6.6.3.3 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。

目前我们常用的吸附剂主要包括活性炭（颗粒活性炭和蜂窝活性炭）、活性炭纤维、分子筛（颗粒分子筛和蜂窝分子筛）、颗粒硅胶和颗粒氧化铝等。其中硅胶和氧化铝在有机废气净化中很少使用，颗粒硅胶在国外的油气净化装置中有所应用，在国内目前还没有应用。因此在本规范中只对活性炭、活性炭纤维和分子筛的性能进行了规定。

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。颗粒状吸附剂（活性炭和分子筛）的粒度一般在 ϕ （20~40）之间，吸附速度较快，在床层阻力为 2kPa 左右时，气流风速一般在（0.20~0.60）m/s；活性炭纤维毡对有机物的吸附速度非常快，但其床层阻力也非常大，在床层阻力低于 2.5kPa 的情况下，气流风速一般应低于 0.15m/s；蜂窝状吸附材料是专门为低浓度、大风量的废气治理而制备的，目的是为了降低吸附器的床层阻力，在与颗粒吸附剂床层阻力相同的情况下，气流风速可以提高到 1.20m/s，通常情况下可以选择在（0.80~1.60）m/s 之间。

在吸附剂选定后，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（Schieloeff）公式或其它的经验算法进行计算。对于希洛夫（Schieloeff）公式或其它的经验算法在此不做进一步的解释。

吸附器的净化效率应不低于 90%，同时吸附装置出口污染物的排放浓度应低于国家、地方和行业相关排放标准的要求。在 HJ/T 386-2007《工业废气吸附净化设备》中，只是规定吸附器的净化效率应不低于 90%。但对于浓度较高的废气，即使 90%的净化效率也达不到排放要求。因此规范 6.3.3.5 规定吸附器的净化效率应不低于 90%，同时排放浓度应低于国家、地方和行业相关排放标准的要求。

吸附器的压力损失宜低于 4kPa。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，特别是在使用活性炭纤维毡为吸附剂时，有时设计阻力会高于 2.5kPa。根据目前活性炭纤维和颗粒活性炭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 4kPa 为宜。

6.6.3.4 吸附剂再生

分子筛的吸附容量要低于活性炭和活性炭纤维，当采用降压解吸再生时，由于高温引起

着火的危险性较小，通常采用活性炭材料作为吸附剂。但当采用热气流吹扫再生时，活性炭和活性炭纤维的安全性较差，当需要较高温度再生时使用分子筛要比活性炭材料安全。

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热气流吹扫再生时，在安全上存在很大的隐患。在我国长期的工程实践表明，对于活性炭和活性炭纤维吸附剂和一般的有机化合物，再生热气流温度应低于 120℃，否则着火的危险性非常大。分子筛的安全性要高于活性炭材料，再生热气流温度可以提高，日本的一些企业使用温度可以达到 200℃。

利用热气流再生吸附器时，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。

6.6.3.5 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 6.3.5 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碳氢、化、氧元素时，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，经过催化燃烧后会产生 SO₂、HCl、NO_x 等二次污染物，因此对燃烧尾气需要进一步进行处理达标后方可排放。

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，再采用催化燃烧设备进行处理。进入催化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%。

经过催化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。

6.6.4 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。

当使用湿法前处理装置时，会产生一定量的含有机物的废水；当吸附剂的再生采用水蒸气置换再生，后处理采用冷凝分离装置时，会产生少量但浓度很高的有机废水，都需要进行处理达标后排放。但是对于废气处理装置而言，单独设计一套废水处理系统往往是不经济的，如果企业本身具有污水集中处理系统，在设计负荷允许的情况下可以排入进行集中处理。

(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。

治理装置所产生的固体废弃物主要是干法和湿法前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，都需要收集后进行集中处理。催化剂中由于含有贵金属成分，可以送到相关单位进行回收。

(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 6.3.5 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。

6.6.5 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以及催化燃烧装置与管道系统之间安装阻火器。

(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。在油气回收装置中，油气中汽油的浓度非常高，可以达到 1500g/m^3 左右，吸附床的温升非常明显，当吸附器内超过一定温度时将会发生危险。德国的 COOL SORPTION 公司经过论证和实际经验确定在油气回收过程中吸附器的温度控制在 83°C ，美、日等国的一些治理公司通常控制在 80°C 以下。因此规范 6.5.4 规定“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 83°C ”。当吸附器内的温度超过 83°C 时应自动报警，并立即中止吸附操作。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) 当使用活性炭和活性炭纤维作为吸附剂，并采用热气流吹扫方式再生时，根据经验，热气流的温度控制在 120°C 以下是相对比较安全的。

(6) 当使用分子筛作为吸附剂，并采用热气流吹扫方式再生时，根据经验，热气流的温度控制在 200°C 以下是相对比较安全的。

(7) 对于有机废气的催化燃烧装置，必须设置防爆泄压装置。为了防止发生爆炸后对人员造成伤害，泄压口应该安装在燃烧装置的顶部或背部能够避开操作人员的位置。催化燃烧器主体的温度很高，进行整体保温，降低热量损失。外表面温度应低于 60°C ，防止人员烫伤。

(8) 一般只是在高浓度的废气治理中吸附剂才会采用降压解吸方式再生。如在油气回收中有机物的浓度非常高，可以达到 1500g/m^3 以上，已经达到或超过了其爆炸极限范围，

但由于在解吸和吸收过程中隔绝氧气，可以控制爆炸的危险，但对系统风机、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。

(9) 在国内外的有机废气吸附净化装置中，吸附器发生着火的现象时有发生，因此应该常备消防装置。当吸附剂着火后，水喷淋是最好的灭火方式。

6.7 主要工艺设备与材料

6.7.1 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，象苯类、酮类、醛类等气体基本没有腐蚀性或腐蚀性较小，有机酸类气体则具有较强的腐蚀性。在有些情况下还会含有一些无机气体，如硫化氢等，腐蚀性非常强。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。

催化燃烧器的最高温度可以达到 600℃ 以上，在高温下有机蒸气存在时，对设备具有较强的腐蚀性。之前由于我国对催化燃烧器和高温焚烧炉的材料要求没有规定，一些厂家利用普通碳钢制造的催化燃烧器的使用寿命往往很短，也就是 1~2 年的时间。因此，在此明确规定催化燃烧器主体（含加热器和反应器）应选用防腐耐温不锈钢材料制造。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。

6.7.2 吸附剂

活性炭根据其应用对象的不同可以分为液相处理用活性炭、气相处理用活性炭、催化剂载体用活性炭、溶剂回收用活性炭等，主要是其孔隙结构上存在差别。我们在有机溶剂回收装置中，以前由于我国在溶剂回收用活性炭的制造方面存在困难，使用的都是一般的气相处理用活性炭，溶剂回收效率很低。关于溶剂回收用活性炭，我国在 1997 年就已经制定了 GB/T 7701.2-1997《回收溶剂用煤质颗粒活性炭》的产品标准，对煤质颗粒活性炭进行了规定，不包括木质活性炭。目前我国已经可以生产质量较高的溶剂回收用活性炭，在选用时可以参考 GB/T 7701.2-1997。

当采用颗粒活性炭和颗粒分子筛作为吸附剂，并采用热气流吹扫方式再生时，颗粒活性炭的性能应满足 GB/T 7701.5-1997《净化空气用煤质颗粒活性炭》的要求，这是一个一般气相处理用活性炭的产品标准，采用非煤质活性炭时可以参照该标准；对于分子筛，目前还没有产品标准，根据对日本的一些相关产品的分析，我们认为规定其 BET 比表面积应不低于

350m²/g 就可以达到处理废气的要求。

蜂窝活性炭目前在我国的有机废气处理装置中用的较多，主要是采用热气流吹扫再生。之前由于对其性能没有规定，各个企业生产的蜂窝活性炭的性能差别很大，主要是其比表面积和强度上的差别。近年来，我国在蜂窝活性炭的制造方面已经有了明显的进步，比表面积和强度都有较大的提高，可以很容易地生产 BET 比表面积高于 750m²/g、强度较高的产品。在此规定其 BET 比表面积不低于 750m²/g，横向强度不低于 0.3MPa，纵向强度不低于 0.8MPa 是合适的。

同样规定蜂窝分子筛的强度和蜂窝活性炭相同，其比表面积和颗粒分子筛相同。

目前我国活性炭纤维的制造技术也已经有了一定的提高，但各个厂家的产品参差不齐，性能差别大。在此规定 BET 比表面积不低于 1100m²/g，苯的动态吸附量不低于 30%，强度为在 1 米见方垂直状态下，在下方均布 7-8kg 拉力下不断裂，厚度均匀。代表了目前我国活性炭纤维生产的一般水平，在使用时可以很容易进行选择。

6.7.3 催化剂

从催化组分上来分，氧化催化剂可以分为贵金属（Pt、Pd）和非贵金属（过渡金属和稀土金属）催化剂。其中贵金属催化剂的起燃温度和使用温度都较低，实际的操作温度一般在 250~350℃之间，按最高 200℃的温升来算，反应后的温度一般不会超过 600℃。非贵金属催化剂主要是针对一些含 S、N、Cl 等的杂原子有机物使用，这些元素会引起贵金属催化剂的中毒。其起燃温度和使用温度都较高，实际的操作温度一般在 350~500℃之间。按最高 200℃的温升来算，反应后的温度一般不会超过 700℃。因此，规定催化剂的使用温度应低于 700℃是合适的。在某些极端的情况下，如发生生产事故造成排放浓度突然升高，进入催化床的有机物浓度突然升高，可能会造成短时间内催化床的温升过高，但一般不会超过 400℃，因此规定催化剂应能承受 900℃短时间高温冲击。

由于催化剂价格较高，要求尽量长的使用寿命。如果进入催化剂床层的气体中不含能够引起催化剂中毒的物质，在粉尘含量较低的情况下，一般氧化催化剂的寿命可以达到 3 年以上。对于某些在高温条件下使用的催化剂，由于烧结和积炭的影响，其使用寿命会降低。目前在设计上普遍规定其使用寿命不低于一年，即 8500h。

6.8 检测与过程控制

6.8.1 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。考虑到风量较小的治理项目装设废气浓度在线连续检测装置的费用过高，在此规定：处理气量 $\geq 10000\text{m}^3/\text{h}$ 的系统应装设废气浓度在线连续检测装置；处理气量 $< 10000\text{m}^3/\text{h}$ 的系统可以不装设废气浓度在线连续检测装置，但应配备相应的浓度检测仪器定期进行废气浓度检测。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总烃检测仪。在大多数情况下使用总烃检测仪就可以满足检测要求。

(3) 吸附器、催化燃烧器的加热室和反应室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，包括预热温度和反应器进出口气流温度等。

在吸附和吸附剂的再生过程中，吸附器内的温度都在不断地发生变化。特别是对于较高浓度气体的吸附，由于吸附放热，床层的温升明显。在吸附剂的再生过程中，特别是使用热气流吹扫再生和高温水蒸气置换再生时，再生气流温度过高，床层中达到一定的温度时就会发生危险，因此一般要求对吸附器的温度进行监控。催化燃烧器的加热室和反应室内部应装设具有自动报警功能的多点温度检测装置是催化燃烧器设计的基本要求。

6.8.2 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 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。

6.9 辅助工程设计

6.9.1 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与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。

6.9.2 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风险，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。

6.10 工程施工与验收

6.10.1 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。

目前在吸附法治理工程中，在材料的选择上比较混乱，特别是在吸附剂和催化剂的选用上，对其性能控制不严，经常造成退货等情况。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。

6.10.2 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。吸附法净化设备由于设计上的不合理，往往在开始阶段净化效果良好，但运行一段时间后净化效果显著下降，因此特别对设备试运行的时间进行了规定（7 日）。另外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。

6.10.3 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。一要文件齐全，特别是经过批准的设计文件和设计变更文件；二要有完整的试运行记录和检测报告。在以往的废气治理设备验收中，经常存在运行记录和检测报告不全的情况。10.3.2 和 10.3.3 对试运行期间应进行性能试验进行了规定。

6.11 运行与维护

由于设备运行费用较高，且监督检查跟不上，导致实际设备运行率低。因此，规范 11.1 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，这些都是环保部门对治理工程进行检查的依据。

7 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吸附法治理工程而制定。吸附法在目前我国有机废气治理应用最多，约占我国有机废气治理设备总数的 50%左右。因此本规范制定以后可以规范我国有机废气治理中接近 50%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 50%采用吸附净化技术，如果对我国的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 $2000 \times 50\% = 1000$ 万吨/年有机废气的治理量。

8 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。

9 征求意见汇总处理情况说明

（待征求意见后补充）

10 技术审查工作情况说明

（待审议会后补充）