

国内工业 VOCs 废气治理的现状与发展

乔惠贤 尹维东 袁义胜 冯卿

防化研究院 北京 10083

摘 要 本文指出了 VOCs 对人体及环境的危害, 总结、评述了国内外 VOCs 废气治理工艺的发展现状及国内应用情况, 根据实际经验, 对 VOCs 废气治理的工艺选择提出建设性意见。

关键词 VOCs 废气治理 工艺选择

1 前言

挥发性有机化合物 (Volatile Organic Compounds, 即 VOCs) 是指沸点在 50~260℃、常温下饱和蒸汽压超过 70Pa (室温下) 的有机化合物, 通常包括烃类、BTX (苯、甲苯、二甲苯)、氯代甲烷、氯代乙烯, 含杂原子衍生物 (包括醛、酯、酸、硫醇、胺等), 另外还包括甲醛、氯代苯等。随着国内工业的飞速发展, VOCs 废气的排放量与日俱增, 从室内到室外都具有排放总量大、影响范围广的特点。国内外对 VOCs 废气的控制都极为重视, 对 VOCs 废气的治理也成为当前环境问题的热点之一, 1990 年美国通过了“污染防治案”提高了 VOCs 等废气的排放标准, 1991 年通过的“有关大气污染议定书”与近年出台的 ISO14000 都对 VOCs 的排放作了严格的规定。我国在 1996 年新制定的《大气污染物综合排放标准》(GB 16297-1996) 中, 对包括 VOCs 在内的各种废气排放标准也较原先执行的地方标准有了显著提高。

本文主要关注 VOCs 废气的产生及对人体和环境的危害, 重点介绍与评述国内对工业 VOCs 废气 (尤其是工业废气) 治理的实用技术及其发展方向。

2 VOCs 废气的来源及危害

2.1 VOCs 废气的来源

VOCs 废气主要来源是: 首先由汽车尾气排放, 其次是由石油化工、制药、制鞋、印刷、喷漆涂漆、轻化工等各种工业生产车间排气, 再就是由垃圾、废料、污水池等处产生。

2.2 VOCs 废气对人体的危害

总挥发性有机化合物 (TVOCs) 的组成极其复杂, 常见的有烃类、醛类、苯类、氯代烃类、萘、二异氰酸酯类等。TVOC 多有臭味, 表现出程度不同的毒性、刺激性, 而且有些化合物有基因性毒性。TVOC 能引起机体免疫力水平失调, 影响中枢神经系统功能, 出现头晕、头痛、嗜睡、无力、胸闷等自觉症状, 还可能影响消化系统, 出现食欲不振、恶心等, 严重时甚至可损伤肝脏和造血系统, 出现变态反应等。其中苯类与甲醛是 VOCs 废气中危害较大并要求严格控制的有害气体。

苯是一种无色、具有芳香气味的液体, 经常接触苯, 皮肤可因脱脂而变干燥、脱屑, 有的出现过敏性湿疹。长期吸入苯能导致再生性障碍性贫血。甲苯进入体内以后约有 48%

在体内被代谢，经肝脏、脑、肺和肾最后排出体外，在这个过程中会对神经系统产生危害，自愿者实验证明，当血液中甲苯浓度达到 $1250\text{mg}/\text{m}^3$ 时，接触者的短期记忆能力、注意力持久性以及感觉运动速度均显著降低。

甲醛是原浆性毒物，能与蛋白质结合，吸入高浓度甲醛后，会出现呼吸道严重刺激和水肿、眼刺痛，头痛，也可发生支气管哮喘。皮肤直接接触甲醛，可引起皮炎、色斑、坏死。经常吸入少量甲醛，能引起慢性中毒，出现粘膜充血、皮肤刺激症、过敏性皮炎、指甲角化和脆弱、甲床指端疼痛等；全身症状有头痛、乏力、胃纳差、心悸、失眠、体重减轻以及植物神经紊乱等。甲醛对人体健康的影响主要表现在嗅觉异常、刺激、过敏、肺功能异常、免疫功能异常等方面。长期接触低浓度甲醛气体，可出现头痛、头晕、乏力、两侧不对称感觉障碍和排汗过剩以及视力障碍，且能抑制汗腺分泌，导致皮肤干燥皲裂；浓度较高时，对粘膜、上呼吸道、眼睛和皮肤具有强烈刺激性，对神经系统、免疫系统、肝脏等产生毒害。

2.3 VOCs 废气对环境的危害

VOCs 废气是空气污染的主要来源之一，不仅是一次污染源，而且还能够造成光化学烟雾等二次污染。环境中的 VOCs 是光化学反应的前体，在有太阳光（主要是紫外光部分）照射时，VOCs 与空气中氮氧化物及其它悬浮化学物质发生一系列光化学反应，主要生成臭氧，形成光化学烟雾，从而在更大范围内发生光化学污染和危害^[1]。光化学烟雾也会进一步危害人的健康和植物生长。

3 工业环境的 VOCs 控制及废气治理

对环境中的 VOCs 废气治理，首先是对由汽车尾气产生的废气治理，其次是工业废气的治理（即本文讨论的重点）。工业 VOCs 废气治理可采用的技术工艺有多种^[2]，现按照原理和特点分类为：吸收法、氧化法、吸附法、生物法、低温等离子法等。最常用的工艺方法为燃烧氧化法和吸附法，吸收法现在应用较少，光催化法、生物法和等离子法是当前 VOCs 废气治理的前沿热点技术。

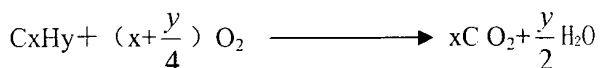
3.1 吸收法

吸收法是传统的工艺方法，该方法是利用 VOCs 与大部分油类物质互溶的特点，用高沸点、低蒸汽压的油类作为吸收剂来吸收 VOCs 废气。常见的吸收器是填料洗涤吸收塔^[3]，吸收剂为柴油、灯油、碳酸丙烯酯及水溶液等，还可添加表面活性剂或水组成的乳液来提高吸收剂对 VOCs 的溶解度。

该方法设备简单，一次性投资费用低。主要缺点是净化效率较低，一般在 80% 以下，还需对吸收后的液体进行处理，而且设备易腐蚀。虽然该方法至今仍有使用，但在执行新的大气污染物排放标准情况下，用于 VOCs 废气治理难以大面积推广。

3.2 氧化治理法

氧化治理法是利用热能、催化剂、特定光源等条件，将 VOCs 废气氧化分解，最终产物是 CO_2 和 H_2O ，以烃类 VOCs 为例，反应通式为：



在工艺上分为：燃烧氧化、催化燃烧氧化、光催化氧化。

3.2.1 燃烧氧化法

燃烧氧化法分为直接燃烧和热力燃烧。

直接燃烧是利用可燃的有机物作燃料，在有火焰的高温下氧化消除，一般在可燃污染物浓度足够高时才能适用。

热力燃烧氧化法是利用辅助燃料（如煤油、柴油、液化石油气或天然气等）燃烧放出的热量，将含有 VOCs 的混合气体加热到要求的氧化净化温度，使废气及其它可燃组分在高温下氧化成为无害的 CO_2 和 H_2O ，使排气得到净化。该工艺是将待处理的废气预热到 $600\sim 800^\circ\text{C}$ ，此时还可烧掉废气中可燃的超细微粒与气溶胶颗粒，适用于对成分复杂的 VOCs 废气的净化治理。设备结构简单，占用空间和面积较小，设备投资和维护费用低。

热力燃烧氧化法的主要缺点是运行过程持续耗能，从而使运转费用较高，对较低浓度的 VOCs 废气，靠燃料助燃则要消耗大量燃料，尤其在大气流量时，设备运转能耗及费用太高。尽管如此，因该工艺可以处理成分复杂、杂质含量大并且不宜采用其它工艺处理的 VOCs 废气，因此国内外至今仍有一定的市场。

近年来由冶金行业采用并引伸来的蓄热式燃烧技术已用在了 VOCs 废气治理中^[4]。应用该技术可较好地解决运转耗能问题。该技术所用的蓄热式热氧化系统是由陶瓷蓄热床、自动控制阀、燃烧室等部分组成，其工艺系统流程见图 1。

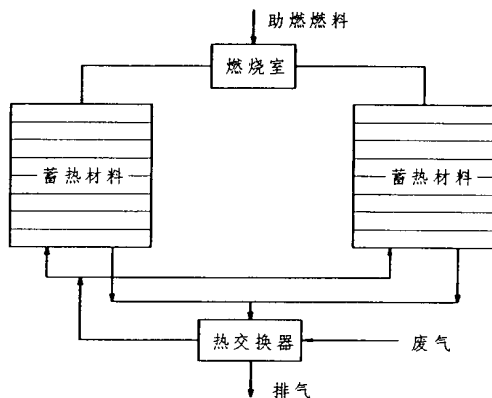


图 1 蓄热燃烧技术工艺流程

蓄热的耐高温陶瓷可通过周期性改变气流方向将高温气体的热量蓄留，再由燃烧器补燃以保持燃烧室对 VOCs 废气的燃烧温度，还可通过热交换器回收尾气余热，因而降低了助燃燃料的消耗，使该工艺系统比原热力燃烧净化法治理 VOCs 废气的运行能耗及费用明显降低。目前国内开发的蓄热式燃烧系统（RTO）在线路印刷、涂装、制药等行业已有规模性工程应用^[5]，这种技术在今后的国内大气污染控制治理中将起到重要作用。

3.2.2 催化燃烧氧化法

在催化剂的作用下，废气中的可燃组分（VOCs 等）在较低的温度（ $250\sim 400^\circ\text{C}$ ）下进行燃烧氧化，转变为 CO_2 和 H_2O 。催化燃烧氧化法的主要特点是：预热温度低，VOCs 废气的净化过程为无焰燃烧，安全性好，也可回收热能，对 VOCs 废气的浓度和热值限制小，运转费用相对较低^[6]。其典型的工艺流程见图 2。

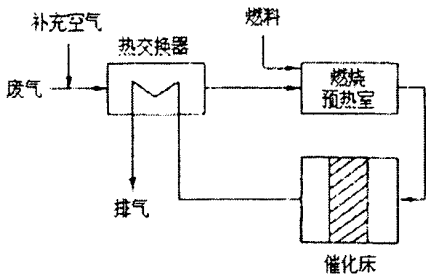


图2 催化燃烧工艺流程

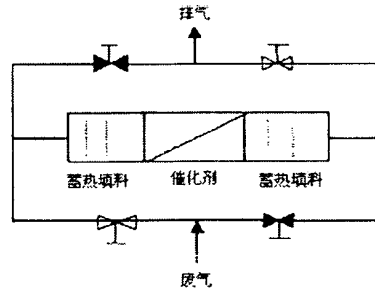


图3 流向变换催化燃烧工艺流程

传统的催化燃烧法的主要缺点是：在排气中含重金属、卤素、硫化物时催化剂易中毒、失效；另外在气流流量大、VOCs 废气的浓度太低时，仅靠可燃物燃烧放热难以维持催化床层必需的净化反应温度，因此在设备启动、运行中仍需耗费较多的能量或燃料。

为了提高催化燃烧处理工艺的经济性，人们除了继续进行催化剂性能的改进研究外，还进行了新工艺的研究与探索。近年来研究较多的是利用蓄热技术的流向变换催化燃烧技术^{[7][8]}，流向变换催化燃烧技术在工艺上具有独特的优势，在环境工程、低品位能源利用方面有了大量的应用，国外已将该技术工业化，目前已有上百套装置在运行^[9]。我国近年来也注意到该技术的经济性特点与实用价值，进行了应用基础研究与工程实践。该技术的系统主要包括催化床、高热容惰性填料（蜂窝陶瓷）层及实现周期性流向变换的阀门等组成，工艺流程见图3。

目前国内亟待研发出一种低能耗，适用于低温、低浓度的 VOCs 废气处理工艺与设备进行大面积推广，将流向变换催化燃烧技术应用于环保废气治理领域很有实用价值。

3.2.3 光催化氧化法

光催化氧化法是利用某些催化剂的光催化特性，在特定的光源照射下，使吸附在催化剂表面的 VOCs 废气氧化，生成 CO_2 和 H_2O 。常见的催化剂是金属氧化物和金属硫化物，如 TiO_2 、 ZnO 、 Fe_2O_3 、 WO_3 、 ZnS 、 CdS 、 PbS 等，其中由于 TiO_2 具有较高的催化活性和化学稳定性，因此是目前最常用的光催化剂材料^[10]。光催化氧化法可将大部分的 VOCs 废气彻底转变为无害和低害的无机分子，副产物少。但是该方法存在催化剂失活和催化剂难以固定的问题^[2]，目前还不适合处理大流量的废气，因此用于工业 VOCs 废气治理还必须在工程应用方面做大量工作。

3.3 吸附法

吸附法是通过吸附剂对有机物分子的吸附作用达到废气的净化，常用的吸附剂是活性炭、分子筛、沸石、活性氧化铝、硅胶等，因活性炭有对 VOCs 废气的固有亲和作用与疏水性质，多年来在对 VOCs 废气的吸附净化中一直广泛应用。利用吸附法治理 VOCs 废气污染工艺成熟，能耗低，净化率高，操作简单。

为节省材料消耗，吸附剂吸附了有机物后需进行脱附再生，采用活性炭作吸附剂其再生脱附温度一般都控制在 140°C 以下，这样的温度对于沸点在 140°C 以上的 VOCs（如苯乙烯、二甲苯、二噁英等）则难以脱附。而当活性炭吸附了这类气体后，在 140°C 以上进行脱附时炭层很容易发生阴燃。近年来国内外都注意到耐温非炭吸附剂的研究，Yun 等人^[11]对亲水的沸石进行改性，可使改性后的沸石在湿度 90% 的环境中仍能有效地吸附除去

VOCs 废气。研发抗高温的新型吸附材料仍是吸附法发展所面临的课题。

吸附法的主要缺点是设备庞大，气流中的杂质对吸附剂的性能影响很大，各种吸附剂对 VOCs 废气的吸附容量都有限，若不进行再生重复使用，则废气治理运转费会很高。将吸附法与其它工艺组合使用将会避免诸多缺点，在实际应用中，一般将吸附法与蒸汽脱附工艺或者催化燃烧工艺组合使用。

3.3.1 吸附—蒸汽脱附—冷凝回收法

吸附—蒸汽脱附—冷凝回收法是一项传统的成熟工艺^[3]，该工艺将吸附、蒸汽脱附及溶剂冷凝回收的过程结合在系统中，在活性炭吸附了有机废气后，再用过热水蒸汽（~120℃）加热炭层，将吸附的有机物解吸出来，再利用气态物质在不同温度、压力下蒸气压的差别，通过调节温度和压力，使某些过饱和的有机物发生凝结作用，然后进行溶剂回收。通常的工艺流程见图 4。

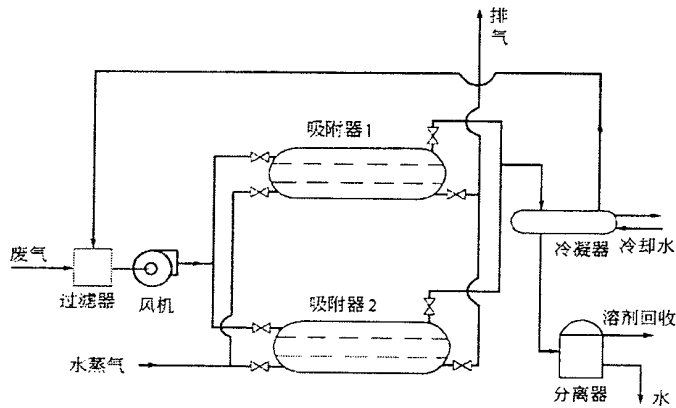


图 4 吸附—蒸汽脱附—冷凝回收法工艺流程图

该方法的治理系统常用活性炭作吸附材料，一般是颗粒活性炭与纤维状活性炭。使用这两种活性炭作吸附剂，工艺系统的原理基本相同，但在设备的外形结构和操作控制方面有很大不同。用颗粒活性炭作吸附剂时，多采用层状式结构装填，吸附与脱附的周期较长，吸附周期可以从几个小时到几天，脱附一般都要 4 小时以上，国内手动和自动控制都在采用；使用活性炭纤维作吸附剂时，因其炭层阻力相对较大，吸附层多采用套装环形的装填型式，系统运行时吸附、脱附的周期都很短（15~30min），一般采用自动控制。另外，用活性炭纤维作吸附剂回收的溶剂产物杂质较少^[12]，易于提纯，溶剂宜回用。

吸附—蒸汽脱附—冷凝回收法治理 VOCs 废气，可回收有再利用价值的溶剂，近年来在技术工艺上虽未有明显的发展，但在国内掌握与应用该技术的环保企业多达数十家^[13]，今后数年仍将是国内 VOCs 废气治理不可或缺的重要技术。

3.3.2 吸附—催化燃烧法

吸附—催化燃烧法是将吸附与催化燃烧两种工艺进行组合，把两种不同工艺设备合理地组装在一个系统中，通过吸附过程来对污染的排气进行净化，为了减少排气阻力，该系统吸附装置的吸附剂多采用蜂窝状活性炭材料，系统中催化燃烧装置的作用是：首先利用尾气的热气流对吸附达到饱和的吸附床进行脱附再生，同时将脱附出的 VOCs 废气进行

催化氧化净化处理并回收热能。该方法室和斥力无回收利用价值的 VOCs 废气，有两种不同的工艺系统。

(1) 蜂窝吸附—催化燃烧处理系统^[12]：该净化系统是在 20 世纪 70 年代由日本发明的一种有机废气处理系统，现在国外仍在应用此系统与设备，净化系统的工艺流程见图 5。

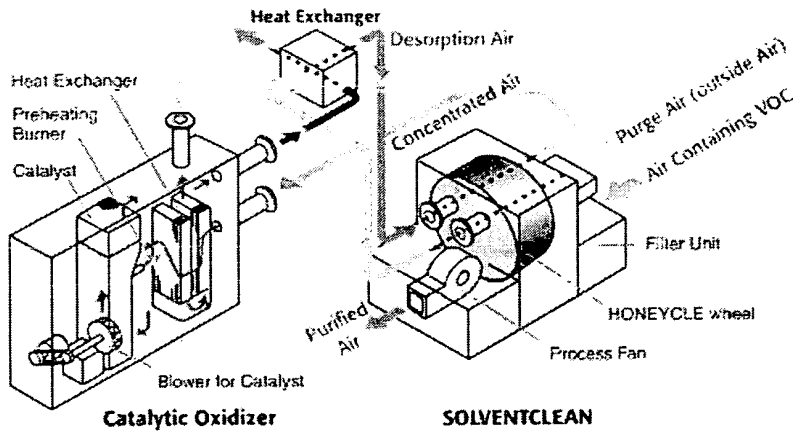


图 5 蜂窝轮回转吸附—催化燃烧再生净化系统

吸附用装置是用活性炭纤维或含炭材料抄制的瓦楞型纸板组装起来的蜂窝转轮，吸附与脱附气流的流向相反，两个过程同时进行。这种系统在 20 世纪 80 年初也在我国进行引进和仿制，但由于吸附元件（蜂窝）以及系统关键部位连接技术都不过关，吸附与脱附的串风问题未得到根本解决，设备性能不稳定，因此国内用较少，一直未得到推广。

(2) 固定床吸附—催化燃烧处理系统^[14]：中国人民解放军防化研究院在 20 世纪 80 年代末研制设计了固定床吸附—催化燃烧处理系统。该系统是将吸附材料（50×50×100mm 蜂窝状活性炭）装填在固定床中，再将吸附床与催化燃烧装置组合成净化处理系统，其工艺流程见图 6。

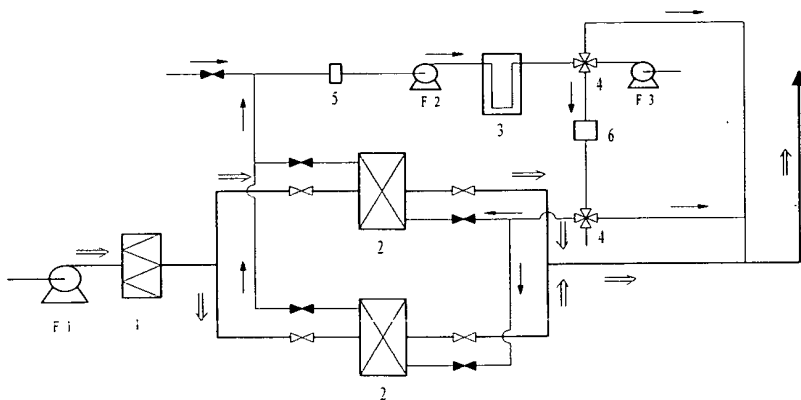


图 6 吸附-催化燃烧净化工艺流程图

1—预滤器 2—吸附床 3—催化燃烧设备 4—四通阀 5—阻火器 6—温度缓冲器

该工艺系统的原理与上述蜂窝吸附—催化燃烧法基本相同，但由于单件吸附床的吸附与脱附再生过程分开进行，在操作上克服（避免）了蜂窝净化系统吸、脱附易串气的缺点。

经不断改进,使系统配置合理,净化效率高,运行节能效果显著,在技术上达到国际先进水平。该工艺系统非常适合处理大气体流量、低浓度的 VOCs 废气,其单套系统的废气处理量可以从几千到十几万 (m^3/h)。

该技术是我国真正自主创新的 VOCs 废气治理工艺,自 1989 年首次应用不久,就在国内得到大面积推广,到目前已有数百套该类系统与装置在使用,在对轻化工、制鞋、家电、印刷等行业以及造船和集装箱行业产生的 VOCs 废气治理应用中获得良好效果,目前成为国内工业 VOCs 废气治理的主流产品之一,并预计在“十一五”期间仍有很大的产品应用市场。

3.4 生物法

生物法净化 VOCs 污染物的过程,是通过污染物由气态转移到液相或固相表面的液膜中的传质过程,将污染物在液相或固相的表面吸附,然后被微生物降解净化。该技术适合处理无回收利用价值又污染环境的低浓度 VOCs 废气,属于目前世界上工业 VOCs 废气净化领域的前沿热点技术^{[15][16]}。国外在 20 世纪 80 年代开始进行技术基础开发研究,90 年代初进行技术应用研究,90 年代末则进入到工业实用技术及净化装置的推广应用阶段。目前在德国与荷兰就已有 500 多套生物处理废气装置,日本与北美也已经有了实际工程应用,废气处理风量也可以从几千到十几万 m^3/h 。我国在 90 年代开始进行该项技术的研究,现在已有中试规模的生物法治理工业有机废气的应用实例。

生物法治理 VOCs 废气运行维护费用低,据称在各种治理工艺方法中其运行费用是最低的^[17],过程无二次污染,对治理低浓度、大部分易降解的 VOCs 具有很好的应用前景,但此法对有些难以降解的 VOCs (如多氯代烷)存在去除效果较差和占地面积大的问题,以致影响到该方法的应用普遍性。该方法今后须在微生物菌种、无机营养物以及 VOCs 降解过程控制方面进一步开展工作。

我国在生物法治理 VOCs 废气方面近年来已进行了大量的研究工作,但在工程应用方面还远远落后于发达国家,亟待加快基础与应用研究,使该工艺方法尽快推广,形成规模化工程应用,以期在工业 VOCs 废气治理中发挥更大作用。

3.5 低温等离子法^[3]

等离子体即处于电离状态的气体,由大量的离子、中子、中性原子、激发态原子和自由基组成,体系中电子和正离子的电荷数相等,整体表现为中性。一般气体放电产生的离子,因体系中粒子的非平衡碰撞,使等离子体内部产生电子、离子自由基和激发态,从而使等离子体中可能发生各类化学反应,为那些需要很大活化能的分解反应及大气中的污染物的降解消除提供了有效的途径,因此也完全适用于对工业排气中 VOCs 废气等污染物进行净化处理。

常见的产生等离子体的方法是气体放电。根据放电原理,能产生等离子体的放电主要有辉光放电、电晕放电、介质阻挡放电、射频放电、微波放电,其中电晕放电和介质阻挡放电能在常压 (105Pa) 下产生低温等离子。1988 年以来美国国家环保局进行了 VOCs 和有毒气体的电晕破坏研究^[18],结果表明电晕法可以有效去除 VOCs 和其它有毒气体。近年来已经研发并用于工业废气治理的技术有电子束 (EBA) 法、脉冲电晕法、介质阻挡放电和等离子法及其装置。

最近几年国外还进行了将等离子体技术与催化剂技术组合的研究,催化剂在等离子体

反应器中对去除包括 VOCs 的多种有害气体的作用很大，等离子体与催化剂相结合可以克服各自的缺点，降低催化反应所需的温度和运行能耗，提高对 VOCs 废气的降解率，还可用于对含卤素 VOCs 废气的降解。多种原理与工艺的结合可使等离子体的应用范围进一步扩大，目前用低温等离子治理 VOCs 废气的技术与各类装置已经发展到实用阶段。

4 对 VOCs 废气治理的工艺选择

对工业 VOCs 废气的治理，从原理上看可供选择的工艺与方法很多，在本文提到的各种工艺方法中，每种技术与工艺都有其独特的优点，显然也都存在各自的缺点与局限性。由于要治理的污染源、污染物情况的千差万别，因此在选用工艺设备时需要视具体情况来决定。对有些治理场所，有些工艺就不适用，在能适用的方法中，也存在优化选型问题，因此选择治理 VOCs 废气的技术与工艺应从多反面综合考虑^[19]。

4.1 弄清标的场所的污染情况与治理目标

首先要对治理的具体场合，包括场地、空间和环境作全面了解，其次对污染物的排放情况了解清楚，包括废气的组成、浓度及排放量、排放条件（温度、压力等）要尽量详细掌握，对其它情况（排气中是否有灰尘、烟雾、气溶胶及其含量）也必须弄清楚，再就是要切实弄清治理的目的和目标，特别要注意在执行现有国家及地方新环境标准情况下，怎样做才能达到排放标准。

4.2 合理选择治理技术与工艺设备

对 VOCs 废气的治理，一种场合可以有多种技术与工艺设备能够适用，因而必须进行优化选型，如果选择不当，不但达不到治理的目的和效果，还会为以后的使用带来经济的负担与损失。所以在选择治理技术与工艺设备时，必须进行充分调研和论证，在确定一种工艺与设备之前，确实了解该设备的特点，首先要考虑治理效果，同时也要从经济方面进行比较，既要注意工程设备方面的投资费用，又要注意到使用后的运转维护费用和稳定治理效果，还应在设备使用空间及对周边环境的影响等多方面进行综合对比，优化选型，必要时多咨询有实际工程治理经验的专家。

4.3 关注废气治理的善后事宜

不管采用哪种工艺进行废气治理都会伴随副产品（废渣、废水、废液）的产生，比如采用吸收法有废液，采用生物法有废渣与废水，采用溶剂回收法则有废水与回收液，采用氧化法有时有酸性气体（HCl、SO₂）产生，等等，因此在设计治理工程、选择治理废气的工艺设备时必须尽可能周到细致，切实采取有力措施，做好善后处理，避免造成二次污染。

5 结语

随着经济建设的发展，我国对 VOCs 废气的治理经历了近 30 多年的消化吸收和自主创新的过程。近年来在基础研究、工艺设计和工程治理方面都有了长足的进步。工业 VOCs 废气治理是一个较为复杂的过程，治理工程的实施涉及到多门学科，每一项工程都带有一定的特殊性，要真正做到每项治理都达到理想的效果并非轻而易举，因此在工程设计与工艺选型方面必须慎重。今后的发展方向可简单归结为：①新工艺的研制设计和治理过程的优化设计；②针对各种治理工艺和技术的新材料研究；③各种工艺和技术的合理组合。

预计在“十一五”期间，我国的工业 VOCs 废气治理的市场将有 30% 的递增，年产值有可能达到 10 亿元，市场形势可观，前景看好，同时任务繁重。今后应当在继续提高、推

广主流产品的前提下, 不断加快研发先进实用技术, 尽快推广生物技术、蓄热燃烧与流向变换技术、低温等离子技术等, 使该领域的发展能够赶上国家经济发展的步伐。

参 考 文 献

- [1] Min Shao, Meiping Zhao, Yuanhang Zhang et. al., Biogenic VOCs Emissions and Its Impact on Ozone Formation in Major Cities of china. *J. Environ. Sci. Health*, 2000, A35 (10): 1941~1950
- [2] 张宇峰 邵春燕 张雪英等, 挥发性有机化合物的污染控制技术, 南京工业大学学报(自然科学版), 2003, 25 (3): 89-92
- [3] 周兴求主编, 《环保设备设计手册》. 北京: 化学工业出版社, 2004, P301~467
- [4] 蓄热式热氧化器 (RTO) [E]. 《中国环保产业》CEPI, 2003 (3): 44.
- [4] 张洁敏, 蓄热式热氧化系统处理高浓度有机废气的实例, 广东化工, 2006, 33 (6): 90~91
- [6] 卢军, 挥发性有机废气的催化治理. 贵金属, 2002, 23 (2): 53~55
- [7] Yurii Sh. Mat ros, Aleksandr S. Noskov, Viktor A. Chumachenko et al. Theory and application of unsteady catalytic detoxication of effluent gases from sulfur dioxide, nitrogen oxides, and organic compounds, *Chem. Eng. Sci.*, 1988, 43: 2061
- [8] Cunill, E., Van de Beld, L., Westerterp, K. R., Catalytic combustion of very lean mixtures in a reverse flow reactor using an internal electrical heater, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 1997, 36: 4198
- [9] 牛学坤, 陈标华, 周集义, 李成岳. 清除废气中VOCs的流向变换催化燃烧技术进展. 环境污染治理技术与设备, 2000, 1 (4): 87~95
- [10] Albericial R M, Jardim WE. Photocatalytic destruction of Jaeger VOC in the gas phase sing titanium dioxide[J]. *Applied Catalyst B: Environment*, 1997, 14 (1): 55~68.
- [11] Yun J, Chiang Pen Chi, Huang Chin Pao, et al. Adsorption of organic solvent vapors on hydrophobic Y-type Zeolite [J]. *AIChE Journal*, 1998, 44 (6): 1344~1352.
- [12] 立本英機, 安部郁夫主编, 高尚愚译编. 活性炭的应用技术, 南京: 东南大学出版社, 2002, 187~253
- [13] 鹿政理主编, 环境保护设备选用手册—大气污染控制设备. 北京: 化学工业出版社, 2002, 161~188
- [14] 乔惠贤, 尹维东等. 大流量 VOCs 废气治理技术. 环境工程, 2004 (1): 36~38.
- [15] Kiared K, Bieau L, Briezinski R, et al. Biological elimination of VOC in bio-filter[J]. *Environmental Progress*, 1996, 15 (3): 148~152.
- [16] 李琳, 刘俊新. 挥发性有机物与恶臭的生物处理技术及其工业选择[J]. 环境污染治理技术与设备, 2001, 2(5): 41~47
- [17] 苑宏英, 郭静. VOCs 恶臭污染物质的污染状况和一般处理方法. 四川环境, 2004, 23 (6): 45~49
- [18] 许业伟, 袁文辉. 可挥发性有机化合物废气治理新进展. 广东化工, 2001 (3): 12~13
- [19] Hisato Yano, Makoto Shoda. Selection and Substantiation of an Organic Solvent Removal Apparatus at a Print Shop by Comparative Experiments Using the Activated Carbon Adsorption and Catalytic Oxidation Methods. *J. Air & Waste Manage. Assoc.* 1999, 49: 324~331

Internal Situation and Development of Industrial VOCs Exhaust Treating Technique

Huixian Qiao Weidong Yin Yisheng Yuan Qing Feng

Research Institute of Chemical Defence Beijing 100083

Abstract The paper pointed out the volatile organic compounds (VOCs) do harm to personnel and environment, and reviewed the internal treating techniques for VOCs in common use. Based on practical experience, constructive advices were given on the selection of VOCs treating techniques.

Key words VOCs Exhaust Treating Technological selection

作者：乔惠贤，尹维东，袁义胜，冯卿

作者单位：防化研究院 北京 10083

相似文献(1条)

1. 学位论文 潘为森 黑化硝酸尾气中氮氧化物处理工艺的探讨 2008

黑龙江黑化集团有限公司是以煤为原料的煤化企业，毗邻嫩江水系，因该公司1983年投产的年产八万吨硝酸铵装置设备陈旧、资金投入少等原因，未对硝酸尾气的NO_x进行任何处理，达不到国家环保标准的要求。

本文介绍了NO_x危害性，并对比国内外开发的吸附法、吸收法、还原法、光催化氧化法、电化学法、膜技术等处理NO_x工艺技术的优缺点，指出传统的化学吸收法、选择性催化还原法、非选择性催化还原法等技术已经日趋成熟，并取得了很好的脱硝效果，同时新材料、新技术的开发为脱硝技术向更加环保、效率更高、更加节能的技术发展提供了保障。本文通过研究脱硝工艺技术的发展，并对比适合硝酸尾气脱硝技术的优缺点，按照黑化集团有限公司的实际条件，通过脱硝技术工艺选择、还原剂选择及模拟工艺计算等方式，最终确定以选择性催化还原法作为脱硝工艺，以氨库弛放气作为脱硝还原剂。本文通过对选择性催化还原法脱硝工艺流程、设备选型等设计工作，以及设备采购、设备安装等施工工作，2007年8月黑化集团有限公司选择性还原脱硝项目顺利投产成功，取得了尾气NO_x含量小于120ppm，脱硝效果95%，并节约投资20万元，增加热能回收1550×103KWh/d，节约运行费用140万元/年。

本文链接：http://d.g.wanfangdata.com.cn/Conference_6551829.aspx

授权使用：沈阳理工大学(sylgdx)，授权号：7c0884c7-1e95-4f23-bf1d-9e27013e1de6

下载时间：2010年11月7日