

活性炭工艺在VOCs污染治理工程中的运用方法分析

陈晶晶 陈 宁

义乌市义环通环保服务有限公司 浙江 义乌 322000

摘要: 随着工业化的快速发展, VOCs的排放问题愈发凸显。VOCs不仅对环境造成污染, 还对人体健康产生严重影响。因此, 寻求有效的VOCs治理技术成为当下环境保护领域的重要课题。活性炭工艺作为一种成熟且广泛应用的VOCs治理技术, 其在VOCs污染治理工程中发挥着重要作用。本文将对活性炭工艺在VOCs污染治理工程中的运用方法进行分析, 以期为该领域的研究与实践提供参考。

关键词: 活性炭工艺; VOCs污染治理工程; 优势; 运用方法

引言

VOCs是一类在常温常压下易挥发的有机化合物, 广泛存在于工业生产、交通运输、印刷、涂装等行业中。VOCs的排放不仅会造成环境污染, 还可能对人体健康产生不利影响。因此, VOCs污染的治理已成为环保领域的重要任务。

1 活性炭工艺在VOCs污染治理工程中运用的优势

1.1 具有较强的吸附能力

活性炭具有极高的比表面积和丰富的微孔结构, 使其对VOCs分子具有出色的吸附能力。活性炭的高度发达的孔隙结构为VOCs分子提供了大量的吸附位点, 而活性炭表面的富氧官能团又能增强与VOCs分子的亲和力, 从而实现对各种极性和非极性VOCs的高效吸附^[1]。不同来源和制备方法的活性炭具有不同的孔径分布和表面性质, 可以根据特定的VOCs种类进行优化选择, 从而最大限度地发挥其吸附性能。

1.2 降低污染治理成本

活性炭工艺操作简单、投资成本相对较低, 易于实现工业化应用。活性炭吸附装置的设计和构建相对简单, 无需复杂的设备和严格的反应条件, 只需将VOCs废气通过活性炭吸附床即可实现高效去除。此外, 活性炭在使用一段时间后可以经过热再生或化学再生等方式进行再生利用, 从而降低了运行成本, 提高了经济效益。

1.3 避免二次污染

活性炭吸附过程是一种物理吸附过程, 不会产生有毒副产物或二次污染, 符合环保要求。与催化燃烧或光催化氧化等需要高温或光照条件的技术相比, 活性炭吸附过程在常温常压下即可进行, 操作更加安全、节能。

作者简介: 陈晶晶(1989年09月-), 女, 汉族, 浙江省义乌市人, 本科, 助理工程师, 主要研究方向为环境工程。

同时, 活性炭在吸附过程中不会发生化学反应, 不会产生任何有害副产物, 避免了二次污染的风险。

2 活性炭工艺在VOCs污染治理工程中的运用流程

2.1 废气收集

2.1.1 集气罩选择

对于点源排放的废气, 可以采用固定式集气罩或移动式集气罩进行收集。固定式集气罩一般应用于连续排放、风量稳定的污染源, 而移动式集气罩则适用于间歇性排放或位置变化的污染源。对于面源排放的废气, 如储罐区、装卸区等, 可以采用局部排风系统或全面通风系统进行收集。局部排风系统通过在污染源上方设置集气罩或集气管道, 将废气收集后导入处理设施。全面通风系统则是在整个区域内设置排风管道和排风口, 通过负压吸引将废气收集后统一处理。

2.1.2 管道铺设

管道材质的选择应根据废气的性质、温度、压力等因素来确定, 常用的材质有PVC、不锈钢、玻璃钢等。管道的直径和长度需要根据风量、风速、压力损失等参数进行计算和优化, 以确保废气在管道中的顺畅传输。管道的铺设应尽量减少弯头和阀门的数量, 以降低压力损失和能耗。同时, 管道应设置合适的坡度, 避免废气在管道中的积聚和凝结。

2.1.3 风机选型与配置

风机的类型选择应根据废气的风量、压力、温度等特点来确定, 常见的类型有离心风机、轴流风机、罗茨风机等。风机的功率和转速需要根据系统的阻力和风量要求进行计算和调节, 以确保系统的稳定运行。此外, 风机还应配备相应的控制和保护装置, 如变频器、压力开关、防爆装置等, 以满足系统的自动化和安全需求。

2.2 预处理

2.2.1 过滤

过滤是一种常用的预处理方法，其目的是去除废气中的颗粒物和液滴，避免其对后续设备造成堵塞或腐蚀。过滤设备的选择需要考虑废气的温度、湿度、颗粒物浓度等因素。常见的过滤设备包括初效过滤器、中效过滤器、高效过滤器、活性炭过滤器等^[2]。初效过滤器适用于去除较大颗粒物，如纤维、絮状物等，过滤效率较低，但阻力小，成本低。中效过滤器和高效过滤器的过滤效率更高，可以去除微小颗粒物，但阻力较大，需要定期更换。活性炭过滤器不仅可以去除颗粒物，还可以吸附部分VOCs，但容易受到温度和湿度的影响。

2.2.2 冷却

冷却的目的是降低废气的温度，减少水分和VOCs的含量，避免对后续设备造成影响。冷却设备的选择需要考虑废气的温度、湿度、流量等因素。常见的冷却设备包括表面冷却器、喷淋塔、冷凝器等。表面冷却器利用冷却介质与废气进行间接换热，冷却效果好，但换热面积大，占地面积大。喷淋塔通过喷淋冷却液与废气直接接触，冷却效果好，同时还可以吸收部分水溶性VOCs，但容易产生废液，需要进一步处理。冷凝器利用低温冷却介质与废气进行换热，可以有效去除废气中的水分和高沸点VOCs，但能耗较高，运行成本较高。

2.2.3 除尘

除尘是一种针对含尘废气的预处理方法，其目的是去除废气中的颗粒物，避免对后续设备造成磨损或堵塞。除尘设备的选择需要考虑废气的温度、湿度、颗粒物浓度、粒径分布等因素。常见的除尘设备包括旋风除尘器、布袋除尘器、电除尘器等。旋风除尘器利用离心力将颗粒物与气流分离，结构简单，运行稳定，但除尘效率较低，适用于去除大颗粒物。布袋除尘器利用纤维滤料截留颗粒物，除尘效率高，可以去除细小颗粒物，但阻力较大，需要定期清灰和更换滤袋。电除尘器利用静电力将颗粒物吸附在极板上，除尘效率高，能耗低，但初始投资大，适用于大风量、高浓度的废气。

2.3 活性炭吸附

2.3.1 选择合适的活性炭材料

活性炭的吸附性能与其物理化学性质密切相关，如比表面积、孔径分布、表面官能团等。一般而言，比表面积越大，微孔体积越高，对VOCs的吸附能力越强。同时，活性炭的制备原料和工艺也会影响其性能，如以椰壳、煤质、木质等为原料制备的活性炭，其吸附性能各不相同。因此，需要根据目标污染物的种类和浓度，选择吸附性能匹配的活性炭材料。

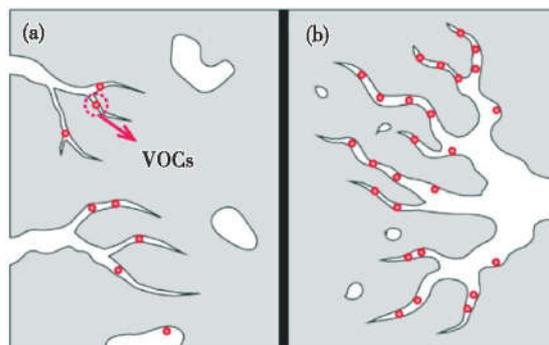


图1 不同比表面积的活性炭对VOCs的吸附作用效果示意图

2.3.2 合理设计活性炭吸附装置

常见的活性炭吸附装置包括固定床、移动床和流化床等类型，不同类型的吸附装置在处理能力、操作灵活性和再生方式等方面各有特点。固定床吸附装置结构简单，操作维护方便，但处理能力相对较低；移动床吸附装置可实现连续操作，处理能力较高，但结构相对复杂；流化床吸附装置能够实现气固充分接触，吸附效率高，但对活性炭的机械强度要求较高。

2.3.3 优化活性炭吸附工艺参数

影响活性炭吸附效果的工艺参数主要包括气体流速、吸附温度、床层高度等。气体流速过高会导致气固接触时间不足，吸附不完全；过低则会增加设备投资和运行成本。吸附温度过高会引起活性炭吸附容量下降和脱附再生困难；过低则会影响吸附动力学。床层高度过小会导致气体穿透过快，达不到预期的吸附效果；过大则会增加压降和运行成本。因此，需要通过试验研究和工程实践，优化各项工艺参数，实现活性炭吸附的高效低耗运行。

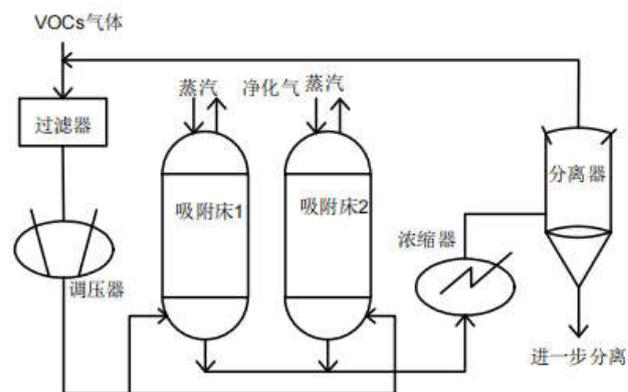


图2 活性炭吸附VOCs工艺流程图

2.4 脱附再生

2.4.1 热脱附。热脱附是利用高温加热使吸附在活性炭上的VOCs气体解吸脱离的过程。通常，热脱附温度控制在100~300℃之间，加热方式可采用直接加热或间接加热。直接加热是将热空气或惰性气体直接通入活性炭床

层,使其温度升高,VOCs气体从活性炭表面解吸进入气相;间接加热则是利用热媒如导热油、饱和蒸汽等加热活性炭床层,使VOCs气体解吸。热脱附过程中,为防止活性炭燃烧,通常采用惰性气体如N₂作为载气。脱附尾气一般须经冷凝回收或二次处理后达标排放。

2.4.2 蒸汽脱附。蒸汽脱附利用水蒸气作为脱附介质,通入活性炭床层使吸附的VOCs气体解吸。蒸汽温度一般控制在140℃,压力0.3MPa。蒸汽携带解吸的VOCs气体进入冷凝器,冷凝后的液相经油水分离回收VOCs,不凝气体则返回活性炭吸附塔进一步吸附处理。蒸汽脱附具有脱附条件温和、能耗低、脱附效率高等优点,但需要配备锅炉、冷凝器等附属设备,工艺流程相对复杂。

2.4.3 真空脱附。真空脱附是在真空条件下对饱和活性炭进行脱附再生。通过抽真空,降低吸附质的分压,促进VOCs从活性炭表面脱附。真空脱附的压力一般在1-10kPa之间,脱附温度相对较低,通常在50-100℃之间。脱附出的VOCs可以通过冷凝、吸收等方法进行回收处理。真空脱附法的优点是脱附温度低,能耗较低,对活性炭损伤小;缺点是脱附效率相对较低,设备投资和运行成本较高。

2.5 尾气处理

经过脱附后,含有高浓度VOCs的尾气需要进行后续处理,以避免二次污染。常用的尾气处理方法包括冷凝回收、催化燃烧氧化和吸收等。冷凝回收是通过降低尾气温度,使VOCs分子液化并回收的方式。催化燃烧氧化是在催化剂的作用下,将VOCs分子氧化分解为二氧化碳和水。吸收则是利用吸收液吸收VOCs分子,形成可处理的废液。根据尾气成分和浓度的不同,可灵活选择合适的处理工艺。

3 活性炭工艺在VOCs污染治理工程中运用的优化策略

3.1 研发新型活性炭材料

传统活性炭多以煤质或木质等为原料,比表面积和孔隙率相对较低,限制了其吸附性能的发挥。因此,选用高比表面积、多孔结构发达的新型碳材料作为VOCs吸附剂,可以显著提高活性炭对有机废气的吸附容量和选择性。例如,以石墨烯、碳纳米管等纳米碳材料为基础,通过化学改性、掺杂等方式制备出兼具高比表面积和疏水特性的复合活性炭,能够有效增强对非极性VOCs的吸附能力。同时,引入氮、硫、磷等杂原子可以调控活性炭表面化学性质,增强与特定VOCs分子间的化学作用力,提高吸附选择性和稳定性。

3.2 改进活性炭再生技术

活性炭的再生通常采用高温热解或水蒸气再生等方

法,存在能耗高、碳损失大等问题。为此,研究开发节能高效、环境友好的再生新技术成为当务之急。微波辅助再生技术利用微波的选择性加热和体积加热特点,能够快速均匀地加热活性炭,显著缩短再生时间和降低能耗^[1]。等离子体再生技术通过高能电子轰击和活性粒子氧化,可在较低温度下实现活性炭表面吸附物的快速脱除和碳表面的原位修复,避免了因高温热解导致的碳结构破坏和性能劣化。

3.3 加强活性炭与其他治理技术的联合应用

将活性炭吸附与其他VOCs治理技术相结合,形成联合净化体系,可以取长补短、优势互补,达到"1+1>2"的协同增效作用。例如,将低温等离子体技术与活性炭吸附相结合,利用等离子体的高能电子和自由基对VOCs进行氧化分解,产生的小分子化合物再经活性炭吸附,可有效减轻活性炭的吸附负荷,延长使用寿命。光催化氧化与活性炭吸附的组合工艺同样具有协同效应,光催化剂能将吸附态VOCs氧化分解为CO₂和H₂O等无害产物,减少活性炭再生频次,而活性炭对残留VOCs的吸附作用又能提高光催化效率。

3.4 提高活性炭生产和使用过程的环保性

从原料选取、炭材制备到实际应用、再生循环的各个环节,都应充分考虑其环境影响因素。优先选用可再生的生物质原料,如农林废弃物、污泥等,代替不可再生的化石资源,既能实现废物资源化利用,又能减少碳排放。在活性炭制备过程中,采用清洁高效的物理活化或低污染的化学活化工艺,减少有毒化学品的使用量和"三废"的排放量。同时,对于再生失效的活性炭,宜采用热解气化制备生物质燃料或改性制备土壤改良剂等资源化途径,最大限度地减少填埋等终端处置方式。

4 总结

综上所述,活性炭工艺在VOCs污染治理工程中发挥着重要作用。通过优化吸附条件、再生方式、制备工艺等,活性炭吸附技术必将在VOCs治理领域有更广阔的应用前景。同时,随着新型功能化活性炭材料的不断开发,活性炭工艺在解决VOCs污染问题方面也将展现出更加广阔的应用空间。

参考文献

- [1]徐秀丽.浅谈活性炭工艺在VOCs污染治理工程中的应用及缺陷[J].清洗世界,2023,39(8):1-3.
- [2]陶宇鹏,陈中明,代茂节,杨劲翔.挥发性有机物(VOCs)污染治理中吸附技术的相关应用[J].低温与特气,2015,33(6):45-50.
- [3]许平.活性炭吸附+催化燃烧组合工艺在VOCs治理过程中的应用[J].化工管理,2023(10):62-65.