

废气治理工程中的VOCs回收与利用

王万康

浙江洁天环保科技有限公司 浙江杭州 311255

摘要: VOCs (挥发性有机化合物) 废气排放对环境和人体健康构成了严重威胁。废气治理工程中的VOCs回收与利用技术, 不仅能够减少环境污染, 还能实现资源的有效循环利用。本文首先介绍了VOCs的来源与危害, 随后详细探讨了废气治理中的VOCs回收技术, 包括冷凝法、吸附法、吸收法以及膜分离法等, 并分析了这些技术的优缺点。接着, 文章阐述了VOCs的利用途径, 如作为能源、化工原料以及溶剂等。最后, 提出了提高VOCs回收与利用效率的策略, 包括技术创新、政策引导以及企业自律等方面。通过本文的研究, 旨在为废气治理工程中的VOCs回收与利用提供理论支持和实践指导。

关键词: 废气治理工程; VOCs回收; 利用

引言

VOCs (挥发性有机化合物) 是指常温下饱和蒸汽压大于70Pa、常压下沸点在260℃以下的有机化合物, 或在常温常压下任何能挥发的有机固体或液体。这些化合物广泛存在于工业生产和日常生活中, 如涂料、油漆、溶剂、塑料、汽车尾气以及家庭使用的清洁剂等。VOCs的排放不仅会导致空气质量恶化, 形成臭氧和细颗粒物等二次污染物, 还可能对人体健康产生严重影响, 如引发头痛、呼吸道疾病甚至致癌风险。因此, 废气治理工程中的VOCs回收与利用显得尤为重要。废气治理工程中的VOCs回收与利用技术, 旨在通过一系列物理、化学或生物过程, 将废气中的VOCs分离并回收利用, 从而减少环境污染并实现资源的有效循环利用。这些技术不仅有助于改善空气质量, 还能为企业带来经济效益, 推动社会的可持续发展。

一、VOCs的来源与危害

(一) 来源

VOCs的来源广泛, 主要包括工业生产、日常生活和运输燃料等方面。

1. 工业生产: 涂料、油漆、溶剂、塑料、橡胶、制药、印染等行业是VOCs的主要排放源。这些行业在生产过程中大量使用有机溶剂和原料, 其挥发和泄漏导致了VOCs的排放。

2. 日常生活: 家庭使用的清洁剂、空气清新剂、香水等产品中也含有VOCs。此外, 装修过程中使用的油漆、涂料等也是VOCs的重要来源。

3. 运输燃料: 汽车尾气、燃料的挥发等也会释放大量的VOCs。随着汽车保有量的增加和城市化进程的加速, 这一来源的VOCs排放量不断上升。

(二) 危害

VOCs的危害主要体现在对空气质量和人体健康的影响上。

1. 对空气质量的影响: VOCs是形成臭氧和细颗粒物的重要前体物质。在阳光照射下, VOCs与氮氧化物发生光化学反应, 生成臭氧和细颗粒物等二次污染物, 导致城市雾霾加重, 空气质量恶化。

2. 对人体的影响: 长期暴露于高浓度VOCs环境中, 人体可能出现头痛、恶心、呕吐、乏力等症状。此外, VOCs还可能引发呼吸道疾病、神经系统疾病甚至致癌风险。孕妇、儿童和老年人等敏感人群更容易受到VOCs的危害。

二、废气治理中的VOCs回收技术

(一) 冷凝法

冷凝法作为处理VOCs废气的重要手段之一, 其原理是基于物质的物理特性, 通过降低废气的温度, 让其其中的VOCs达到露点温度从而凝结成液态, 以此达成与废气主体的分离以及回收目的。这种方法在高浓度VOCs废气处理领域有着显著的适用性。冷凝法具备诸多突出优点。操作层面上, 它相对简单直接, 不需要复杂的设备和工艺流程, 易于工作人员掌握和执行。在回收效率方面表现出色, 能够高效地将高浓度废气中的VOCs回收, 尤其是对于那些有价值的有机溶剂, 通过冷凝回收后可以再次投入生产使用, 既降低了生产成本, 又提高了资

源利用率。然而，冷凝法也存在不可忽视的局限性。为了维持低温环境以实现 VOCs 的有效冷凝，需要消耗大量的能量，这使得运行成本居高不下。而且，当面对低浓度 VOCs 废气时，由于废气中 VOCs 的含量较少，冷凝过程难以充分实现其凝结，导致回收效率大幅降低。在这种情况下，为了达到更好的处理效果，冷凝法往往需要与其他处理技术联合使用，比如与吸附法结合，先通过冷凝回收大部分高浓度的 VOCs，再利用吸附法处理剩余的低浓度部分，从而提升整体处理效率。

（二）吸附法

吸附法是处理 VOCs 废气的常用方法，它主要借助吸附剂对废气中的 VOCs 进行吸附分离。在众多吸附剂中，活性炭、分子筛等凭借各自独特的性能特点被广泛应用。该方法特别适合处理低浓度的 VOCs 废气。吸附法的优势明显，操作简便，不需要复杂的设备和高昂的技术门槛，企业容易实施。同时，它在回收效率方面也有不错的表现，能够有效地从废气中吸附 VOCs 并实现回收。在吸附法的运行过程中，吸附剂的再生和更换是至关重要的环节。通过热脱附、蒸汽脱附等方式，可以使吸附剂恢复吸附性能，实现重复利用，同时回收被吸附的 VOCs。不过，吸附剂存在饱和度问题，一旦达到饱和，其吸附能力就会下降，需要及时再生或更换。而且，再生效率也会对整个处理过程产生影响，如果再生不彻底，会降低吸附剂的使用寿命和处理能力。另外，吸附剂的成本以及再生过程中的能耗也是需要重点考量的因素。不同类型的吸附剂价格差异较大，再生所需的能量消耗也不尽相同，这都关系到企业的运营成本。

1. 活性炭吸附法

活性炭以其超高的比表面积和卓越的吸附性能，在吸附法处理 VOCs 废气中占据着核心地位，成为最为常用的吸附剂。尤其在处理低浓度、大风量的 VOCs 废气方面，活性炭吸附法展现出独特的优势。在实际应用场景中，活性炭吸附器通常采用固定床或流化床两种形式。固定床吸附器结构相对简单，操作稳定，通过定期更换活性炭来保证吸附效果。而流化床吸附器则具有更好的传质性能，能够更高效地与废气接触，实现 VOCs 的吸附。无论是哪种形式，都需要关注活性炭的吸附性能变化，及时进行更换或再生操作。为了进一步提升活性炭的吸附效率和处理能力，科研人员不断探索创新，开发出了活性炭纤维、活性炭毡等新型吸附材料。这些新型材料在保留活性炭原有优势的基础上，进一步优化了其物理结构和化学性质，使其具有更高的吸附容量和更快

的吸附速度，能够更有效地应对复杂多变的 VOCs 废气处理需求，为工业废气治理提供了更多有力的选择。

2. 分子筛吸附法

分子筛作为一种特殊的无机晶体材料，拥有规则的孔道结构，这一独特的结构赋予了它对特定分子的选择性吸附能力，使得分子筛吸附法在处理含有特定 VOCs 组分的废气方面发挥着重要作用。通过精准调整分子筛的孔径和表面性质，可以实现对目标 VOCs 的高效吸附和分离。例如，针对某些特定大小和化学性质的 VOCs 分子，设计与之匹配的分子筛孔道尺寸和表面活性位点，能够极大地提高吸附效率。然而，分子筛吸附法也面临一些挑战。其再生过程相对复杂，需要严格控制温度、压力等操作条件。如果再生条件不合适，不仅无法有效恢复分子筛的吸附性能，还可能对其结构造成破坏，缩短使用寿命。而且，由于对操作条件要求较高，这增加了实际运行过程中的难度和成本，需要专业的技术人员进行操作和维护，在一定程度上限制了其大规模的推广应用。

（三）吸收法

吸收法是处理 VOCs 废气的一种重要手段，它的原理是利用吸收剂对废气中的 VOCs 进行溶解或者发生化学反应，进而实现 VOCs 与废气的分离以及回收利用。这种方法在处理中等浓度的 VOCs 废气方面具有良好的适用性。在吸收法中，吸收剂的选择至关重要。常见的吸收剂包括水和有机溶剂等。通过精心挑选合适的吸收剂，并合理设置操作条件，如温度、压力、流量等，可以显著提高 VOCs 的回收效率，实现资源的有效利用。例如，对于一些易溶于水的 VOCs，可以选择水作为吸收剂；而对于难溶于水但能与特定有机溶剂发生反应的 VOCs，则选用相应的有机溶剂作为吸收剂。尽管吸收法具有一定的优势，但也存在一些不足之处。首先，运行成本较高，这主要体现在吸收剂的采购、补充以及后续处理等方面。其次，吸收剂的选择和再生过程对处理效果有着决定性的影响。如果吸收剂选择不当，可能无法有效吸收 VOCs；而再生过程如果不完善，会导致吸收剂性能下降，影响长期处理效果。此外，对于某些难溶于水的 VOCs，吸收法的处理效果会受到很大限制，难以达到理想的处理标准。

（四）膜分离法

膜分离法是一种较为先进的处理 VOCs 废气的技术，它依靠半透膜对废气中的 VOCs 进行选择性渗透和分离。这种方法具有一系列显著优点，操作简便，不需要复杂的设备和繁琐的工艺流程，降低了企业的运营难度。同

时, 能耗较低, 相比一些传统处理方法, 能够有效节约能源成本。而且, 整个过程无二次污染, 符合环保理念, 对环境友好。通过科学选择合适的膜材料和优化操作条件, 如温度、压力、气体流速等, 可以实现对 VOCs 的高效分离和回收。不同的膜材料具有不同的选择性和渗透性, 针对特定的 VOCs 废气成分, 可以筛选出最适配的膜材料, 以达到最佳的分离效果。然而, 膜分离法也存在一些制约其广泛应用的因素。一方面, 处理能力有限, 难以满足大规模废气处理的需求。另一方面, 膜材料的成本较高, 这增加了项目的前期投资成本。而且, 膜材料的稳定性也是一个关键问题, 在长期运行过程中, 可能会受到废气成分、温度、压力等因素的影响, 导致性能下降, 需要定期更换膜材料, 进一步提高了运营成本。此外, 对于含有多种 VOCs 组分的废气, 膜分离法的选择性还有待进一步提高, 以实现更精准的分离回收。

三、VOCs 的利用途径

(一) 作为能源

回收的 VOCs 可以作为能源使用, 如作为燃料燃烧产生热能或电能。对于高浓度的 VOCs 废气, 通过冷凝或吸附等方法回收后, 可以直接作为燃料使用或与其他燃料混合使用。此外, 还可以将 VOCs 转化为氢气等清洁能源, 用于燃料电池等领域。

(二) 作为化工原料

许多 VOCs 是化学工业中的重要原料, 如乙烯、丙烯、苯、甲苯等。通过回收和利用这些 VOCs, 可以减少对新原料的需求, 降低生产成本。例如, 将回收的乙烯用于生产聚乙烯等塑料制品; 将回收的苯用于生产苯乙烯等化工原料。这些利用途径不仅有助于资源的循环利用, 还能减少环境污染。

(三) 作为溶剂

一些 VOCs 具有良好的溶解性能, 可以作为溶剂使用。例如, 回收的丙酮、甲醇等可以用于涂料、油漆等产品的生产中。通过回收和利用这些 VOCs 作为溶剂, 可以减少对新溶剂的需求, 降低生产成本, 并减少溶剂挥发对环境的污染。

四、提高 VOCs 回收与利用效率的策略

(一) 技术创新

技术创新是提高 VOCs 回收与利用效率的关键。通过研发新型吸附材料、优化膜分离工艺、提高催化氧化效率等技术手段, 可以实现对 VOCs 的高效回收和利用。此外, 还可以将多种技术相结合, 形成综合处理系统,

以提高整体处理效率和经济效益。

(二) 政策引导

政府应出台相关政策, 鼓励企业采用先进的 VOCs 回收与利用技术, 并对采用这些技术的企业给予一定的政策支持和资金补贴。同时, 应加强对 VOCs 排放的监管和执法力度, 确保企业按照规定的排放标准进行处理和排放。

(三) 企业自律

企业应自觉遵守环保法规, 加强内部管理, 提高环保意识。通过采用先进的 VOCs 回收与利用技术, 减少 VOCs 排放, 降低环境污染。同时, 企业还应加强技术创新, 不断提高 VOCs 回收与利用效率, 实现经济效益和环境效益的双赢。

(四) 公众参与

公众应积极参与 VOCs 的治理工作, 提高自身的环保意识。通过减少使用含有 VOCs 的产品、支持环保企业等方式, 共同推动 VOCs 的减排和资源的循环利用。此外, 公众还可以通过监督企业的环保行为, 促进企业加强 VOCs 治理工作。

结语

废气治理工程中的 VOCs 回收与利用不仅是环境保护的重要一环, 也是实现资源循环利用、推动可持续发展的关键举措。通过本文的探讨, 我们可以看到, 冷凝法、吸附法、吸收法以及膜分离法等多种技术在 VOCs 回收中发挥着重要作用, 而将这些回收的 VOCs 作为能源、化工原料或溶剂加以利用, 则进一步提升了其价值。未来, 随着技术的不断进步和政策的持续引导, 我们有理由相信, VOCs 的回收与利用效率将得到进一步提升, 其在废气治理和资源循环利用中的作用也将更加凸显。同时, 我们也应意识到, 这是一项长期而艰巨的任务, 需要政府、企业和公众共同努力, 形成合力, 才能最终实现环境保护和经济发展的双赢。

参考文献

- [1] 陈芳. 海滨城市颗粒物浓度变化特征及长期变化趋势研究[J]. 环境科学与管理, 2024 (07)
- [2] 易丹. 生态环境治理下大气污染物浓度变化特征监测研究[J]. 环境科学与管理, 2024 (01)
- [3] 吕恩奇, 蔡惠文, 薛文华, 刘畅. 气象因子对大气污染物浓度扩散影响研究[J]. 环境科学与管理, 2024 (01)