

VOCs 吸收工艺的市场发展前景与未来展望

李伟 杜令敏 (中国石化海南炼油化工有限公司, 海南 儋州 578110)

摘要: 我国的空气环境质量受到挥发性有机物 (VOCs) 的污染限制, 这已成为一个重要的问题。因此, 我们迫切需要寻找有效的 VOCs 治理技术。此外, VOCs 治理行业具有广阔的市场前景, 预计 2030 年全球 VOCs 治理市场规模将超过 1700 亿元, 从设备端看, 近年来随着国家对大气污染治理力度的不断加大。为此, 本文对目前已有的 VOCs 治理技术和市场前景进行了综述, 并对当前阶段的 VOCs 处理情况进行了分析。通过这样的研究, 我们可以了解到目前 VOCs 治理领域的现状和挑战, 为进一步改善空气质量提供参考。

关键词: 挥发性有机物; 治理技术; 市场前景; 市场规模

0 引言

在当今工业文明高度发达的社会中, 人类的工业生产和日常生活产生了许多种类的污染废气。这些废气中不仅包含各种化学污染物, 还含有许多微小颗粒状污染物。当这些物质大量排放到大气中时, 就会导致严重的雾霾天气。因此, 我们面临着对这些废气进行有效处理和控制在重要任务。VOCs 是 PM_{2.5} 和 O₃ 形成最重要的前体物质之一, 同时, 也是二次气溶胶形成的重要前体物之一。

表 1 工业 VOCs 代表性污染物

种类	代表性物质
烷烃类	苯、甲苯、正己烷、环己烷、石脑油等
卤代烃	三氯乙烯、全氯乙烯、三氯乙烷、三氯苯等
醛酮类	甲醛、乙醛、糠醛、丙酮、环己酮等
酯类	乙酸乙酯、醋酸丁酯、油酸乙酯等
醚类	四氢呋喃、甲醚、乙醚等
醇类	甲醇、乙醇、异丙醇、正(异)丁醇等
聚合用单体	氯乙烯、苯乙烯、醋酸乙烯等
酰胺类	二甲基酰胺、二甲基乙酰胺等
腈(氰)类	氢氰酸、丙烯腈等

据世界卫生组织发布的报告中指出, 每年大约有 700 万人由于长期暴露在空气污染中导致肺癌及呼吸道疾病而过早死亡。其中被认为是造成大气污染的主要原因是挥发性有机废气 VOCs, 我国目前是世界上最大的发展中国家, 工业化正处于向上发展阶段, 许多污染问题都还尚未得到有效的控制, 主要包括脂肪烃类、卤代烃类、芳香烃类、醇类、醛类、酯类、醚类、酮类、羧酸类、胺类以及含硫有机化合物等。并且随着工业的快速发展, 氮氧化物及挥发性有机物 VOCs 的排放日趋增加, 人民的生活水平和身体健康

也受到了严重影响。

针对这一现状, 我国自 21 世纪以来, 国家为了保护环境, 减少大气污染, 出台了一系列的政策措施, 通过严格的监督管理系统, 限制 VOCs 的排放量, 一定程度上缓解了我国的大气污染问题。基于此, 本文以综述了 VOCs 现有治理工艺和市场发展前景。

1 治理技术研究现状与市场前景

1.1 治理技术研究现状

工业上 VOCs 的排放具有数量大、浓度高、成分复杂等特点, 且不同的行业涉及到的 VOCs 也各不相同。我国的 VOCs 主要从源头处理、过程处理及末端处理三个方面进行治理。源头处理技术主要是通过通过对管道、阀门、泵等设备在选型以及材料等方面采用严格的监测技术实现对 VOCs 的源头处理; 过程控制技术主要针对的是生产过程中管道、设备的密闭性, 降低 VOCs 的泄漏, 从而降低 VOCs 的排放量。VOCs 的主要治理方法是末端处理。可将其分成两大类: 再生技术和销毁技术。

VOCs 的末端治理技术有两大类: 一是物理法, 二是化学法。物理方法主要有: 吸附法、膜分离法等, 物理方法是一种典型的循环利用技术, 它可以在不破坏 VOCs 的前提下, 将 VOCs 转化为其他有价值的材料。化学方法有燃烧法、低温等离子法等。燃烧方法主要有直接燃烧法、催化氧化法和蓄热法三种, 燃烧法可以在一定的条件下使 VOCs 气体燃烧、氧化成 CO₂、H₂O。目前燃烧法已经广泛运用于工业 VOCs 的处理中。这些方法都是通过破坏 VOCs 的化学结构从而得到水、二氧化碳等可以直接排放至空气中物质。

1.2 市场前景

根据目前市场调研的数据显示, 从 2015 年到 2023 年

VOCs 治理行业市场呈线性增长，2015 年的市场规模约为 300 亿元以上，2022 年已经超过 1000 亿元，预计 2023 年将超过 1200 亿元。因此，VOCs 治理行业具有良好的市场空间和发展前景。

2 治理方法

2.1 吸收法

吸收法通过将有有机废气 VOCs 与吸收剂接触，运用相似相溶的原理，让 VOCs 溶解富集于吸收剂中，再利用吸收剂与 VOCs 分子之间存在的差异性进行分离的技术。吸收法的吸收过程可以用双膜理论进行描述。双膜理论的传质模型可以很好的解释吸收法吸收 VOCs 的过程，待处理废气进入吸收剂，当气液两相接触时，两相之间会产生一种相界面，在两相之间有一层流动的气体薄膜和液体薄膜，VOCs 分子可以通过气膜和液膜的扩散而被吸收。因此，VOCs 的吸收性能受分子扩散的影响最大，因此在吸收工艺中，吸收剂的选取对 VOCs 的去除有很大的影响。该方法具有工艺简单、投资少等优点，适合于高排放气体、高浓度、高压条件下气体污染治理。

2.2 吸附法

吸附法是通过具有多孔结构和强吸附性的吸附剂，将挥发性有机物吸附于其表面，以达到消除尾气中 VOCs 的作用。主要吸附剂是活性炭，其多孔结构可有效地吸收尾气中的 VOCs。以活性炭及碳纤维为吸附剂，对吸附物进行热源气化，经脱附介质进入冷凝装置，经冷凝分离回收有机溶剂。根据脱附介质的不同，可分为水蒸气脱附-溶剂再生法和热氮法脱附-溶剂回收法。

吸附法具有成本低廉、能耗低、经济效益好、可以利用脱附冷凝回收有机物质，操作简便，与空气接触即可。但它的缺点是，它的吸附量很低，而且它的吸附量会越来越来少，甚至会失去吸附作用，而且它只能将有毒的气体转移到其他地方，并不能起到降解的作用，反而会造成二次污染。

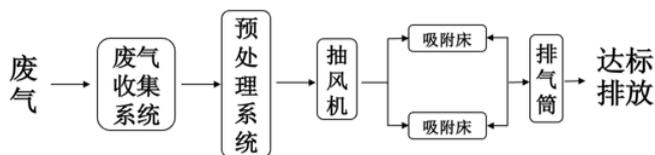


图 1 活性炭吸附技术工艺流程图

2.3 膜分离法

膜分离技术的特点在于其具有较高的分离选择

性、集成性以及操作条件温和，目前是被认为最具有潜力的分离技术之一。膜分离工艺是一种典型的速率分离工艺，膜分离工艺中 VOCs 的处理方法主要是根据膜的孔径和渗透率的选择来进行。利用压缩机或真空泵，在隔膜的两边产生一个压差，该压差作为推动力，用于处理 VOCs。膜两侧的压差越大，越有利于膜分离法处理 VOCs。

2.4 燃烧法

燃烧法包括直接燃烧、催化燃烧、蓄热燃烧三类方式。直接燃烧法是利用高温直接氧化 VOCs 在足够高的温度、过量空气和湍流条件下进行完全燃烧。直接燃烧法一般是针对高浓度，低流量的废气，直接燃烧法可以针对所有种类的废气，其燃烧设备一般为焚烧炉，燃烧炉的温度可以达到 700~800℃，废气的净化效率可以达到 99.8% 以上，但是直接燃烧法耗费的能源很高，投资成本较大，设备维护成本也较大。

催化燃烧是一种气体-固相催化反应，其本质上是一种强烈的氧化-还原反应。其基本原理是：在催化剂的作用下，通过降低 VOCs 的点火温度，使 VOCs 不直接燃烧，而在较低温下进行充分的反应，从而达到对 VOCs 的高效处理。在强风、低浓度的工业废气中，常采用催化燃烧技术。本方法是无火焰燃烧，具有良好的安全性，且因催化剂的存在而使 VOCs 的着火温度下降，使大多数有机物在 200~400℃ 时能进行反应。然而，本方法对工艺条件的要求很高，不能在废气中加入任何会影响催化剂使用寿命和效率的粉尘和液滴，同时也不能存在有毒的物质，以免造成催化剂中毒，故使用催化燃烧技术需要对有机废气进行预处理。

蓄热式燃烧技术是将有机废气加热至 760℃ 或更高的温度，将废气中的 VOCs 氧化为二氧化碳和水。高温的氧化气体通过特殊的陶瓷蓄热体，加热陶瓷从而“蓄热”，这个“蓄热”是对随后的有机废气进行加热。因此，在排气加热过程中节约了燃油消耗量。陶瓷蓄热室分为两个或多个，并按顺序进行蓄热-放热-清理，循环往复，不间断。当蓄热室“放热”后，要马上导入足够的清洁空气（确保 VOCs 的脱除率大于 98%），然后再进行“蓄热”，否则残留的 VOCs 随烟气排放到烟囱从而降低处理效率。该法的主要设备为蓄热室燃烧炉，工业上常见的一般为双室 RTO 系统。蓄热式燃烧法由于在我国起步较晚，目前仍然属于新型技术。该法的有点在于基本可以处理所有类型

的有机废气，可以实现自供热操作而不需要额外添加燃料，很大程度上降低了燃料费用，缺陷在于装置重量与体积都比较大。投资费用相对较高。

2.5 低温等离子技术

该技术是近几年来刚兴起的处理VOCs的新工艺。低温等离子体法是利用高能电子通过介质放电等方式产生电子、离子等具有极高化学活性的高能粒子，利用外加电场通过高能粒子对废气中各组分进行电离、裂解从而发生氧化反应的，将VOCs转化为其他无害物质加以回收的技术。该方法阻力小，能量消耗少，占用空间少等。目前国内该技术还不够成熟，主要在于资金投入比较少，作为一种处理VOCs的新技术，其成果尚还未得到企业与社会的广泛认可，并且该技术涉及到许多电器类设备，造成其投资成本进一步提高，在技术还不够成熟的现阶段，该技术处理VOCs暂时得不到有效推广。

2.6 沸石转轮法

沸石转轮主要有两种形式，其分别是盘式与筒式两种，其中筒式是近几年由于沸石转轮技术的不断发展而形成的一种新型的转轮，具有比表面积更大且能够自然冷却等优点；而盘式转轮技术十分成熟，仍然是目前常用的转轮。

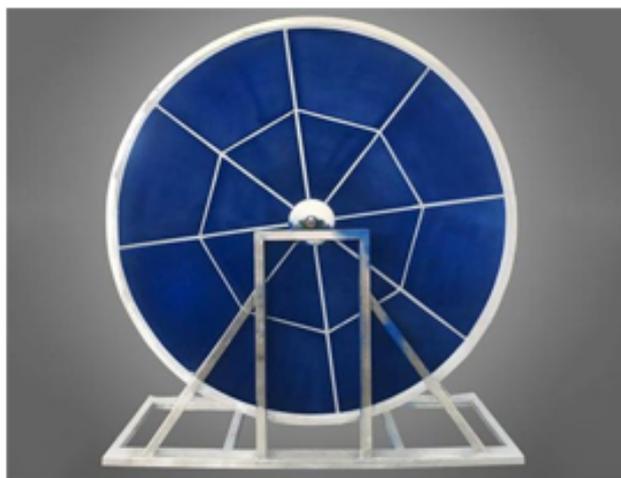


图2 盘式吸附转轮示意图

沸石转轮一般按照“吸附-脱附-冷却-再吸附”的原理处理废气，废气进入沸石转轮后，废气中的有机挥发物质吸附于沸石上，然后将余下的尾气排放到空气中或者传递到下一个净化装置处进行净化，达到排污标准后再排放到空气中。在该工艺中，转轮不断旋转，吸附于吸附区的挥发性有机物转移到脱附区，

并利用一股热气进行脱附。完成脱附处理后，转轮继续转动，通过冷却区后重新进入吸附区吸附废气中的挥发性有机物质，循环上述流程。沸石转轮用于将低浓度有机物质经吸附浓缩转化成高浓度有机物质，经高温焚烧、催化燃烧或凝结再生，从而减少了处理废气的成本。因此，本设备适合于处理低浓度的废气。

3 发展前景与展望

目前，随着环保政策的不断加强和人们环保意识的提高，VOCs吸收工艺的市场需求不断增长。未来的研究方向主要包括以下几个方面：

①提高吸收效率和稳定性：目前VOCs吸收工艺在吸收效率和稳定性方面还存在一定的问题，需要进一步改进和优化；②降低处理成本：VOCs吸收工艺的处理成本较高，需要进一步探索降低成本的方法，例如开发新型吸收剂和催化剂等；③开发新型吸收材料：目前VOCs吸收工艺主要采用化学吸收和生物吸收技术，需要进一步开发新型吸收材料，例如纳米材料和多孔材料等，以提高吸收效率和稳定性；④探索联合处理技术：VOCs吸收工艺可以与其他处理技术相结合，例如吸附、催化、光催化等技术，以提高处理效率和降低处理成本。

总之，未来VOCs吸收工艺的研究将会更加深入和广泛，在VOCs的治理技术上，不仅需要对传统的如吸附、吸收，燃烧法等工艺进行创新性研究，还需要创造出更多的新型技术，以实现VOCs无害化处理。

参考文献：

- [1] 陈臻. 我国挥发性有机废气治理现状与思考 [J]. 广东化工, 2021(06):186-187.
- [2] 栾志强, 郝郑平, 王喜芹. 工业固定源VOCs治理技术分析评估 [J]. 环境科学, 2011, 32(12):3476-3486.
- [3] 于梦琦. 新型吸收剂复配及对甲苯废气吸收性能研究 [D]. 郑州: 郑州大学, 2020.
- [4] 何佳洪. VOCs废气物理处理工艺研究进展 [J]. 四川有色金属, 2021(3):64-67.
- [5] 张凤. 浅谈VOCs燃烧法处理技术及发展 [J]. 资源节约与环保, 2022(08):105-108.
- [6] 陈晓飞, 杨景叶. VOCs处理技术分析及其前景展望 [J]. 山东化工, 2016, 45(23):2.
- [7] 廖正祝, 田红. 煤化工VOCs吸附处理技术研究进展及展望 [J]. 洁净煤技术, 2021, 27(1):14.
- [8] 陈铁坚. 双碳目标下工业VOCs废气治理新型技术分析和展望 [J]. 工业 A, 2022(6):3.