

# 工业废气中VOCs废气治理技术分析

黄兆彬

广东南环生态环境科技有限公司 广东 广州 510070

**摘要:** 工业化步伐的加快导致挥发性有机化合物(VOCs)废气排放问题日益严重;这些废气对人体和环境构成双重威胁,治理需求迫切。VOCs废气治理技术多种多样,主流技术包括吸附、热破坏法等。本文深入剖析了VOCs废气的热破坏法,详细阐述了各类燃烧方法的优劣,为提升治理效果,我们提出了针对性的改进建议,旨在推动环保事业,实现可持续发展。通过本文的探讨,希望能为VOCs废气治理提供有益的参考。

**关键词:** 工业废气; VOCs废气; 治理技术

**引言:** VOCs废气作为一种常见的环境污染源,对生态环境和人体健康造成了严重影响;本文综述了VOCs(挥发性有机化合物)废气的定义、来源及其对环境与人体健康的危害。并重点探讨了工业VOCs废气的热破坏法治理技术,包括直接火焰燃烧技术和催化燃烧技术的基本原理、主要技术分析及优势。热破坏法展现出高效处理能力、催化剂辅助提升效率、热回收潜力大以及技术成熟度高等多重优势,为实现废气的有效净化和环保排放提供了可行方案。

## 1 VOCs 废气概述

### 1.1 VOCs废气的定义

VOCs废气,全称为挥发性有机物废气,是一类在常温常压条件下易于挥发的有机化合物,其沸点通常位于50℃至260℃之间。这类化合物在常温状态下具有较高的挥发性,因此容易释放到大气中,对环境和人体健康构成一定的威胁。根据世界卫生组织(WHO)的权威定义,VOCs的组成成分相当复杂,主要包括烃类、卤代烃、氧烃和氮烃等一系列有机化合物<sup>[1]</sup>。具体而言,VOCs涵盖了苯系物、有机氯化物、氟里昂系列化合物、有机酮、胺、醇、醚、酯、酸以及石油烃化合物等多种物质。这些化合物不仅来源广泛,而且对人体健康和生态环境的影响也备受关注,因此,对VOCs废气的有效治理和控制显得尤为重要。

### 1.2 VOCs废气的来源

VOCs废气来源较为广泛,不仅来源于大自然,也有一部分是人为因素造成的。其中植物群落排放、野生动物排放和森林火灾都属于自然由来,而工业生产、日常生活都是人力因素产生的。尽管挥发性有机化合物在自然中使用普遍,但是人类活动仍是VOCs废气主要由来,在人们生活中,油烟和秸秆的燃烧会造成挥发性有机化合物,汽车尾气也会造成一定量的VOCs废气;在很多的

工业制造环节中,产生的VOCs废气对自然环境影响比较严重。

## 2 工业 VOCs 废气的危害

### 2.1 危害身体健康

据不完全统计,在约九百余种已知确定或实际存在的化学和生态物质中,已经有约三百五十余种化学物质被归类于VOCs废气,其中又有二十多种物质是高致癌物和有毒的化学物质。如果在我们所生存的地球大气中存在着大量的VOCs废气,就会导致大量人类死亡;轻者可以产生头痛、恶心、腹泻、咳嗽等现象,重者还可以发生晕厥和肝中毒,吸入VOCs废气多少会对人体造成一定的伤害,严重危及人们生命健康和安全。

### 2.2 污染生态环境

VOCs废气是雾霾的重要组成部分,排放物可与空气中的氮氧化物、二氧化硫等气体结合,在充足光照情况下可形成大量硝酸盐等细小尘埃颗粒。它们不易沉降,可能会长时间漂浮在空中;在光散射的影响下,这种颗粒会降低整个环境中空气的能见度,从长远来看,这可能导致覆盖区域的生态失衡,进一步恶化当地环境,造成严重的环境污染。因此,VOCs废气排放不仅会造成严重的空气污染,还可能造成更严重的环境破坏等问题。

## 3 工业废气中 VOCs 的热破坏法治理技术

### 3.1 热破坏法的基本原理

热破坏法是一种针对工业生产过程中产生的有毒、有害且无需回收的有机废气(VOCs)的有效处理方法。其基本原理就是利用火直接点燃或辅助焚烧有机废气,并且使用适当的催化剂促进与VOCs的化学反应,进而显著地减少了有机物含量,使其不再对生态环境产生危害。热破坏方法主要包括直接火焰燃烧法和催化燃烧二种方法。直接火焰燃烧法通过提供足够的高温环境,使VOCs与氧气发生剧烈的氧化反应,生成二氧化碳和水,

达到净化废气的目的，其处理效率通常较高，可达99%以上。而催化燃烧的原理是在催化剂的影响下，降低了有机尾气焚烧时所需要的活化能，以便于在更低的工作温度下进行有效燃烧，这个技术不但用时较短，而且还可以降低氮氧化物的生成，因此适合于高浓度、较小流量的有机尾气处理中<sup>[2]</sup>。

### 3.2 热破坏法主要技术分析

#### 3.2.1 直接火焰燃烧技术

##### (1) 直接火焰燃烧技术的基本原理

直接火焰燃烧技术的基本原理是将废气中的可燃有害组分作为燃料进行直接燃烧，通过氧化反应转化为无害的二氧化碳、水和可能产生的氮氧化物。这种方法特别适合于处理高浓度或中热值的尾气，因此只有在燃烧释放的热力能补充散失的热能时，方可保持在燃烧点的最高温，以保证焚烧持续。一般利用燃煤锅炉、窑等装置进行，并将尾气引入锅炉用作燃料气的。燃烧过程中，废气中的可燃组分与氧气发生剧烈反应，释放大热量，支持燃烧反应持续，并可能被回收利用，提高能源效率。该技术温度一般较高，约1100°C，有助于污染物彻底氧化分解。但不适用于低浓度废气，需采取措施控制排放，降低氮氧化物生成量。

##### (2) 直燃式废气燃烧装置 (TO)

直燃式废气燃烧装置 (TO) 在处理废气时，需将燃烧温度严格控制在680~820°C范围内。当废气中的有害物质浓度较低，不超过3000mg/m<sup>3</sup>时，为了确保燃烧效果，需要依靠辅助燃料来提供额外的热量。这些辅助燃料可以包括天然气、液化石油气、电能或生物质燃料等，它们的作用是使废气中的可燃物质达到起燃温度，从而实现有效分解。特别需要注意的是，如果有机溶剂蒸汽混合气体的浓度接近爆炸极限值，那么在进入焚化炉之前，必须先采取稀释措施，以降低其浓度至安全范围。还需要补充适量的氧气，以确保燃烧过程的顺利进行。

#### 3.2.2 催化燃烧技术

##### (1) 催化燃烧技术的基本原理

催化燃烧技术是一种高效、环保的废气处理技术。其基本原理主要依赖于催化剂的神奇作用。在催化剂的活性表面上，可燃物分子或废气中的有机物被分解为原子或自由基。这一过程并非通过传统的火焰燃烧，而是在催化剂的助力下，平稳地将化学能转化为热能和光能。值得一提的是，催化剂的存在大幅度降低了反应所需的活化能，这意味着燃烧或氧化反应可以在更为温和的条件下进行。通常，这样的反应在200~300°C的温度范围内就能发生，远低于常规燃烧所需的温度。

##### (2) 催化燃烧装置 (CO)

###### 1) 催化燃烧预处理

催化剂燃烧预处理是保证催化剂燃烧设备有效、平稳地工作的关键环节。当尾气中的微粒浓度超过10mg时，就需要进行预处理，以防止颗粒物对催化剂的活性表面造成损害。常用的预处理方法是过滤，它能有效去除废气中的颗粒物。为了实时监控过滤装置的工作状态，过滤设备的两端均应装有压差计。当压差计表示的阻力大于设定值时，就意味着过滤器可能已经堵塞，这时需要及时清理或更换过滤材料，以保证预处理效果。另外，如果废气中的有机物浓度过高，直接进入催化燃烧装置可能会导致燃烧不完全或产生有害物质。

###### 2) 催化燃烧

催化燃烧法的实际应用过程中，要针对VOCs类型不同，选用不同的催化剂类型和调节适当的反应温度。在现场应用时，工作温度最宜掌握在300°C~350°C；VOCs氧化催化剂需有国家质检机关颁发的合格证明文件，并满足《工业有机废气催化净化装置》(HJI/T389-2007)标准中有关催化剂特性的要求；催化剂的温度需小于700°C，且能经受约900°C的短时间内高温冲击；催化剂燃烧装置的设计空速，一般在经10000h<sup>-1</sup>~40000h<sup>-1</sup>处理后，形成的高温烟气应采用热能处理方式。催化燃烧数据表如下表1所示，催化燃烧数据曲线图如下图1所示。

表1 催化燃烧数据表

项目	数值/范围
反应温度控制范围	300°C~350°C
催化剂工作温度上限	低于700°C
短时间高温冲击承受能力	900°C
设计空速范围	10000h <sup>-1</sup> ~40000h <sup>-1</sup>

这个数据表清晰地展示了催化燃烧过程中关键参数的控制范围和要求。

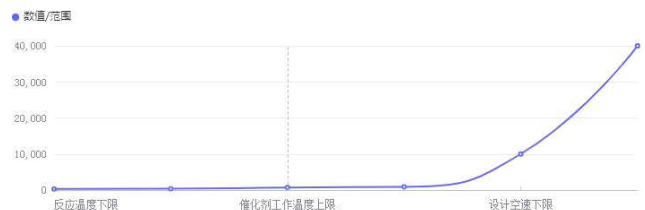


图1 催化燃烧数据曲线图

### 3.3 热破坏法的优势分析

#### 3.3.1 高效处理能力

热破坏法的核心优势在于其高效的处理能力，该技术通过创造高温环境，促使有机物发生热解和氧化反应，将有害的有机废气转化为无害的二氧化碳和水蒸气。这一过程不仅迅速，而且效果显著，特别是对于高

浓度、小流量的有机废气，热破坏法的处理效率可达到90%以上，甚至在某些理想条件下接近100%。这种高效的处理能力使得热破坏法成为处理工业废气的重要手段，广泛应用于各种需要高效去除有机污染物的场景，高效处理能力的背后，是热破坏法对有机物分解机制的深刻理解<sup>[3]</sup>。在高温下，有机物的分子链被打断，形成小分子或自由基，这些小分子或自由基进一步与空气中的氧气发生氧化反应，最终生成无害的二氧化碳和水蒸气。

### 3.3.2 催化剂辅助提升效率

在热破坏法中，催化燃烧技术是一个举足轻重的辅助手段，这项技术的核心在于催化剂的作用，它能够有效降低有机废气氧化反应所需的温度，使得在更低的温度下就能实现高效处理。这一技术的引入，不仅进一步提升了热破坏法的处理效率，还极大地节省了能源消耗。催化剂之所以能够实现这一效果，是因为它能够降低反应的活化能。活化能是化学反应进行所需要的最低能量，而催化剂的存在可以降低这一能量门槛，使得反应在较低的温度下就能进行。此种情形之下，加热废气的能耗就得到了显著降低，因为不需要将废气加热到如此高的温度就能引发氧化反应；随着催化剂技术的不断发展，催化燃烧技术的应用范围也在不断扩大。新型催化剂的研发和应用，为热破坏法提供了更多的技术支持和优势。

### 3.3.3 热回收潜力大

热破坏法在处理有机废气的过程中会产生大量的热能，这些热能如果得不到有效利用，就会造成能源的浪费。然而，通过合理的热回收设计，这些热能可以被回收利用于预热废气、供暖或其他工艺过程，从而实现能源的节约和再利用；热回收的实现方式多种多样，其中最常见的是利用热交换器将废气中的热能传递给进入反应炉的新鲜废气。此种情形之下，新鲜废气的温度就会得到提升，从而减少了加热所需的能耗，除了预热废气外，回收的热能还可以用于企业的供暖系统或其他需要热能的工艺过程。例如，在一些需要高温环境的生产工艺中，可以利用回收的热能来提供所需的温度条件，从

而节省额外的能源消耗，这种热能的再利用不仅有助于降低企业的能源成本，还有助于减少温室气体的排放和环境的污染。

### 3.3.4 技术成熟度高

热破坏法作为一种传统的有机废气处理技术，经过多年的发展和应用，其技术成熟度已经非常高。从设备设计、操作控制到废气处理效果监测等方面，都形成了完善的技术体系，这使得热破坏法在实际应用中更加稳定可靠，也降低了运行维护的难度和成本。（1）在设备设计方面，热破坏法的反应炉和相关设备已经经过了多年的优化和改进，现代的反应炉采用了先进的材料和技术，能够承受高温和腐蚀性的环境，保证长期稳定运行<sup>[4]</sup>。（2）在操作控制方面，热破坏法已经实现了自动化和智能化，现代的热破坏设备配备了先进的控制系统和传感器，能够实时监测废气的成分、温度和流量等参数，并根据这些参数自动调整操作条件以达到最佳的处理效果。

结语：综上所述，热破坏法作为一种先进的有机废气处理技术，展现出高效、可靠且多面的优势。该技术通过高温条件下的氧化分解反应，将有害的VOCs废气转化为无害的二氧化碳和水蒸气，实现废气的有效净化和环保排放。催化剂的应用进一步提升了处理效率，降低了能源消耗，使热破坏法更经济可行。并且，该技术具备显著的热回收潜力，实现了能源的节约和再利用，降低了企业运营成本和环境负担。热破坏法技术成熟度高，为可持续发展和绿色环保事业做出贡献。

### 参考文献

- [1]张远军.企业VOCs废气治理技术分析[J].皮革制作与环保科技,2020,11(06):103-105.
- [2]梁志程.VOCs废气危害及处理技术进展[J].化工管理,2020,19(30):120-121.
- [3]雷海森.冶金化工行业VOCs废气治理技术应用[J].中国金属通报,2020,4(09):295-296.
- [4]姜琳,丁艳.VOCs废气危害及处理技术浅析[J].绿色环保建材.2021(07):56-58.