

# 电厂废气中挥发性有机物 (VOCs) 治理技术研究

张 弘

国家能源集团元宝山发电有限责任公司 内蒙古 赤峰 024000

**摘要:** 挥发性有机物 (VOCs) 是电厂废气中的关键污染物, 因其对环境和健康的潜在威胁而备受关注。本文深入探讨了电厂废气中VOCs的产生机理, 详细评估了现有的治理技术, 并提出了预防性策略, 旨在为电厂实现低VOCs排放提供全面的理论指导和技术支持。

**关键词:** 电厂废气; 挥发性有机物; 产生机理; 治理技术; 预防性策略

## 引言

随着电力工业的快速发展, 电厂废气排放对环境的影响日益凸显。挥发性有机物 (VOCs) 作为废气中的重要组成部分, 其产生、排放和控制已成为环境保护领域的研究热点。本文旨在系统分析电厂废气中VOCs的产生机理, 探讨有效的治理技术, 并提出预防性策略, 为电厂废气的综合治理提供有益参考。

### 1 电厂废气中 VOCs 的产生机理

电厂废气中的VOCs主要产生于燃料的燃烧过程以及电厂运行过程中使用的有机溶剂和添加剂的挥发。具体来说, VOCs的产生机理包括以下几个方面: (1) 燃料燃烧: 在电厂锅炉中, 燃料 (如煤、油) 在高温下燃烧, 其中的有机成分在高温和氧气的作用下发生热解和氧化反应, 生成小分子的VOCs。这些VOCs随烟气排放到大气中。(2) 有机溶剂和添加剂挥发: 电厂在运行过程中会使用各种有机溶剂和添加剂, 如润滑油、清洗剂等。这些有机化合物在使用过程中会挥发到空气中, 成为废气中VOCs的来源之一。(3) 不完全燃烧: 如果燃料燃烧不完全, 会产生大量的未完全燃烧的有机物, 包括VOCs。这些有机物在废气中占据一定比例, 对环境造成污染。

### 2 电厂废气中 VOCs 治理技术研究

#### 2.1 燃烧法

燃烧法, 作为一种传统的废气处理技术, 在电厂废气中VOCs的治理中发挥着重要作用。该方法通过高温燃烧的方式, 将废气中的挥发性有机物 (VOCs) 彻底氧化分解为二氧化碳和水等无害物质, 从而实现废气的净化处理。燃烧法具有处理效率高、适用范围广的优点。无论是低浓度还是高浓度的VOCs废气, 都可以通过调整燃烧条件和处理工艺来实现高效处理。此外, 燃烧法还可以处理多种不同类型的VOCs, 具有较强的通用性。然而, 燃烧法也存在一些不可忽视的问题。首先, 该方法

能耗较高, 需要消耗大量的燃料来维持高温燃烧环境, 导致处理成本增加。其次, 燃烧过程中可能产生二次污染, 如氮氧化物、二氧化硫等有害气体。这些二次污染物同样会对环境和人体健康造成危害, 因此需要采取相应的措施进行控制。在实际应用中, 为了降低燃烧法的能耗和减少二次污染的产生, 可以采取一些改进措施。例如, 优化燃烧室结构、提高燃烧效率、采用低氮燃烧技术等<sup>[1]</sup>。此外, 还可以将燃烧法与其他废气处理技术相结合, 形成组合式处理工艺, 以提高处理效果和降低成本。燃烧法虽然是一种有效的电厂废气中VOCs治理技术, 但在实际应用中需要综合考虑其经济性和环保性。

#### 2.2 吸附法

吸附法是一种重要的废气处理技术, 在电厂废气中VOCs的治理领域具有广泛应用。该方法利用吸附剂的独特吸附性能, 将废气中的挥发性有机物 (VOCs) 有效捕集下来, 从而实现废气的净化处理。活性炭和分子筛是常用的吸附剂材料。活性炭以其较大的比表面积和丰富的微孔结构而闻名, 这些特性使其能够表现出优异的吸附性能, 对废气中的VOCs具有很强的捕集能力。分子筛则以其特定的孔径和吸附性能, 在特定条件下对VOCs进行选择性的吸附。吸附法具有操作简单、能耗低的显著优点。在实际应用中, 废气通过装有吸附剂的吸附床层, VOCs分子被吸附剂表面的活性位点吸附并固定在吸附剂上, 从而实现废气中VOCs的去除。这种方法适用于处理低浓度的VOCs废气, 特别适用于处理大风量、低浓度的废气排放情况。然而, 吸附法也存在一些局限性, 为了克服吸附法的局限性, 研究人员正在努力提高吸附剂的吸附容量和选择性, 并探索新的再生技术和处理方法<sup>[2]</sup>。例如, 通过改性活性炭或开发新型吸附剂材料来提高吸附性能; 采用热再生、化学再生或微生物再生等方法来实现吸附剂的循环利用; 将吸附法与其他废气处理技术相结合, 形成组合式处理工艺, 以提高处理效果和降低

成本。

### 2.3 冷凝法

冷凝法是一种针对电厂废气中挥发性有机物（VOCs）的治理技术，其基本原理是通过降低废气的温度，使VOCs凝结成液体或固体形态，从而实现与废气的有效分离。这种方法在处理高浓度VOCs废气时表现出色，具有较高的回收价值（详见表1）。当废气中的VOCs浓度较高时，通过冷凝法可以将这些有机物冷凝成液体或固体，便于后续的回收和处理。这种处理方法不仅有助于减少VOCs对环境的污染，还能实现资源的再利用，具有显著的经济和环境效益。然而，冷凝法也存在一些局限性。首先，该方法的能耗较高，因为需要消耗大量的冷却能量来降低废气的温度<sup>[3]</sup>。这在一定程度上增加了处理成本，限制了其在一些场合的应用。其次，对于低浓度的VOCs废气，冷凝法的处理效果有限。因为当VOCs浓度较低时，即使降低废气的温度，也难以将其完全冷凝下来。因此，在实际应用中，冷凝法往往需要结合其他技术进行综合处理。例如，可以将冷凝法与吸附法、燃烧法等技术相结合，形成组合式处理工艺。通过先冷凝回收高浓度的VOCs，再对剩余的废气进行吸附或燃烧处理，可以提高整体的处理效果和经济效益。（注：下表数据仅为示例，以表示应用效果）

表1 冷凝法在电厂废气中挥发性有机物（VOCs）处理中的应用效果示例

VOCs浓度范围	处理效率(%)	回收率(%)	能耗(kWh/m <sup>3</sup> )	二次污染物生成
高浓度 (> 1000ppm)	85-95	75-85	150-250	较低
中浓度 (100-1000ppm)	70-85	60-75	80-150	中等
低浓度 (< 100ppm)	< 50	< 40	30-80	较高

### 2.4 生物法

生物法是一种利用微生物的代谢作用来处理废气中挥发性有机物（VOCs）的方法。在这种方法中，特定的微生物菌种被用来降解废气中的VOCs，将其转化为无害的水、二氧化碳和其他小分子化合物。生物法的显著优点在于其能耗低且不会产生二次污染。与传统的物理或化学处理方法相比，生物法不需要高温、高压或强氧化剂条件，因此能耗相对较低。同时，由于微生物的代谢作用是将VOCs转化为无害物质，所以不会产生新的污染物，具有环境友好性。生物法特别适用于处理低浓度的VOCs废气。在废气浓度较低的情况下，微生物能够更有效地降解VOCs，同时也不会因为废气浓度过高而对微

生物的生长和活性产生抑制作用。然而，生物法的处理效率受到多种因素的影响。因此，在实际应用中，需要根据具体情况对生物法进行优化设计。

### 2.5 催化氧化法

催化氧化法，作为一种高效且环保的废气处理技术，被广泛应用于电厂废气中挥发性有机物（VOCs）的治理。该方法通过催化剂的作用，将废气中的VOCs在较低温度下氧化分解为无害的二氧化碳和水，从而实现废气的净化处理。催化氧化法具有处理效率高、无二次污染等显著优点。由于催化剂的存在，VOCs的氧化分解反应可以在较低的温度下进行，从而提高了处理效率。同时，催化氧化反应过程中不产生新的污染物，避免了二次污染的问题。因此，这种方法在处理低浓度至高浓度的VOCs废气时都表现出良好的效果。在催化氧化法中，催化剂的选择和设计至关重要，直接影响着处理效果和成本。目前，常用的催化剂类型包括贵金属催化剂和过渡金属氧化物催化剂。贵金属催化剂如铂、钯等具有优异的催化活性和稳定性，但成本较高。过渡金属氧化物催化剂如二氧化锰、二氧化钛等则具有较低的成本和良好的催化性能，成为研究的热点。为了降低催化氧化法的成本并提高处理效果，研究人员正在致力于开发新型高效催化剂。例如，通过纳米技术制备纳米级催化剂，可以显著提高催化活性和比表面积，从而提高处理效率。

### 2.6 膜分离技术

膜分离技术是一种新型的废气处理技术，通过利用特殊设计的膜材料对废气中的挥发性有机物（VOCs）进行选择性和回收。这种技术以其能耗低、操作简便以及能够实现VOCs回收利用等优点，在电厂废气治理中展现出广阔的应用前景。膜分离技术的核心在于膜材料的选择和设计。膜材料需要具有优异的分选性能和选择性，以确保对废气中的VOCs进行有效分离和回收。目前，常用的膜材料类型包括聚合物膜和无机膜。聚合物膜具有良好的柔韧性和加工性能，适用于大规模的废气处理。无机膜则以其高温稳定性、化学稳定性和机械强度等优点，在特定条件下表现出优异的分选性能<sup>[4]</sup>。在实际应用中，膜分离技术可以实现废气中VOCs的高效分离和回收。通过优化膜材料的结构和性能，可以进一步提高分离效果和降低成本。

## 3 预防性策略

### 3.1 选用低VOCs含量的燃料和原材料

在燃料选择上，电厂应优先考虑那些经过精炼处理、VOCs含量较低的燃料。这样的燃料在燃烧过程中，能够显著减少VOCs的生成量，从而降低废气中有害物质

的浓度。同样,在原材料的选择上,也应遵循低VOCs含量的原则。选择环保型、低挥发的原材料,不仅有助于减少生产过程中的VOCs排放,还能提升产品的环保性能。此外,电厂还应加强与供应商的合作,推动供应链的绿色化。要求供应商提供低VOCs含量的燃料和原材料,并建立严格的验收标准,确保进厂的原燃料符合环保要求。同时,电厂内部也应加强原燃料的管理和使用,避免不必要的浪费和挥发。

### 3.2 优化燃烧过程

电厂应对现有的燃烧设备进行升级和改造,引入先进的燃烧技术和设备。例如,采用低氮燃烧器、分级燃烧技术等,这些技术能够更充分地燃烧燃料,降低不完全燃烧产物的生成。同时,对于老旧的燃烧设备,应及时进行更新和替换,以确保其符合最新的环保标准。其次,调整燃烧参数也是优化燃烧过程的重要手段。电厂应根据燃料的种类和特性,合理设置燃烧温度、空气过剩系数等参数,以实现燃料的最佳燃烧状态。通过精确控制这些参数,可以避免燃料在高温或缺氧条件下的不完全燃烧,从而减少VOCs的生成<sup>[5]</sup>。此外,电厂还应加强燃烧过程的监控和管理。通过安装在线监测设备,实时监测燃烧过程中各项参数的变化,及时发现并处理异常情况。

### 3.3 加强设备密封和泄漏检测

加强设备密封和泄漏检测成为减少VOCs无组织排放的关键措施。电厂应建立完善的设备密封管理制度,明确各级设备的密封性能要求和检查周期。对于关键设备和易泄漏部位,如燃料输送管道、阀门、法兰等,更应缩短检查间隔,确保其始终处于良好的密封状态。在检查过程中,一旦发现密封失效或存在潜在泄漏风险,应立即进行修复或更换,防止VOCs的泄漏和排放。此外,电厂还应配备先进的泄漏检测设备和技,如便携式气体检测仪、红外成像仪等,对设备进行定期或不定期的泄漏检测。这些设备和技术能够在短时间内准确发现泄漏点,为及时修复提供有力支持。

### 3.4 建立完善的监测和管理体系

电厂在运营过程中,废气的排放是不可避免的,但通过建立完善的监测和管理体系,可以确保废气中挥发性有机物(VOCs)的排放得到有效控制。这一体系的建立,不仅有助于电厂实时掌握废气中VOCs的浓度和排放量,更为制定针对性的治理措施提供了宝贵的数据支持。电厂应安装先进的在线监测设备,对废气中的VOCs进行24小时不间断的监测。这些设备能够实时反馈废气中VOCs的浓度变化,确保一旦超标,电厂能够迅速采取措施进行处理。同时,定期的废气排放检测也是必不可少的,这可以帮助电厂了解不同时间段、不同工况下的VOCs排放情况,为优化生产流程、减少排放提供依据。除了硬件设备的投入,电厂还应定期组织环保知识培训,提高员工对VOCs危害和治理重要性的认识。

### 结语

本文详细探讨了电厂废气中VOCs的产生机理、治理技术和预防性策略。各种治理技术各有优缺点,在实际应用中需要根据废气特性、处理要求和经济性等因素进行综合选择。预防性策略同样重要,可以从源头上减少VOCs的产生和排放。未来研究方向包括开发新型高效低能耗的VOCs治理技术、提高现有技术的处理效率和经济性、探索多种技术联合使用的可能性以及进一步完善预防性策略等。通过不断深入研究和实践应用,有望为电厂废气中VOCs排放的有效控制提供更有力的支持。

### 参考文献

- [1] 张晓峰,徐香琴.VOC废气治理工程技术方案探究[J].新型工业化,2022,12(2):163-165.
- [2] 吴媛.VOC废气治理的实际应用[J].皮革制作与环保科技,2022,3(1):16-17+21.
- [3] 冯霞.探究VOC废气治理工程技术方案[J].低碳世界,2021,11(1):9-10.
- [4] 李文钊.VOC废气治理工程技术的解析[J].皮革制作与环保科技,2020,1(1):66-70.
- [5] 尚金金.VOC废气治理工程技术方案分析[J].科技创新导报,2020,17(9):105+107.