

# 城市工业区 VOCs 污染治理技术优化研究

高然 吴海燕

邢台熙泰环保科技有限公司，河北省邢台市，054000；

**摘要：**随着城市工业化程度的不断提高，VOCs（挥发性有机物）污染问题逐渐凸显出来，如何有效治理已经成为当务之急。我们从城市工业区出发，按照研究方法，进行了 VOCs 污染治理技术的优化研究。首先，我们分析了工业区 VOCs 的主要来源，以及它们的污染特性与风险性。然后，我们对比分析了目前应用的 VOCs 治理技术，包括物理法、化学法和生物法，并根据实际工况制定行之有效的处理方案。接下来，我们根据实验数据，评估了各种治理技术的效率和成本效益，通过模型优化求解选出了最优的治理技术组合。研究发现，不同的 VOCs 种类、浓度和温度等条件，其最佳的治理技术组合有所不同。可见，对于 VOCs 污染问题，我们不能一刀切，需要根据具体情况进行个性化治理。通过本研究的模型优化技术，将有利于帮助工业区实现 VOCs 的高效减排。

**关键词：**VOCs 污染；治理技术；模型优化

**DOI：**10.69979/3029-2727.24.12.062

## 引言

随着我国城市化步伐的加快，工业生产如火如荼，为社会经济带来了巨大的推动力。然而，工业发展带来的一个副产品就是挥发性有机物（VOCs）的排放，这个问题引起了人们的广泛关注。作为大气污染的一个非常顽固的组分，VOCs 也是形成区域性光化学烟雾的关键因素，它们给我们的环境和健康带来了不容忽视的风险。处理工业区的 VOCs 问题，传统的粗放式应对措施已经不再行得通，这种方法早已不适应当前对环境保护日益严格的标准。所以，急切需要找到一种既科学又经济的处理方式来解决 VOCs 带来的污染。要有效打击工业区 VOCs 的排放，第一步是精准识别出它们的主要来源，弄清楚它们具体的污染特点和潜在风险，这对于采取针对性的治理措施至关重要。然后，通过掌握并深入研究目前各种 VOCs 治理技术—物理法、化学法和生物法等，我们尝试寻找一种综合效果最优的处理方案。鉴于不同的 VOCs 种类、浓度和温度等条件，其最佳的治理技术组合是有差异的，进行个性化治理就显得尤为必要。本文基于这样的理念，提出模型优化技术以发掘最优管理策略，以期实现工业区 VOCs 的高效减排。

## 1 VOCs 污染现状与源头探析

### 1.1 城市工业区 VOCs 污染现状

随着城市化进程加快和工业活动的增多，城市工业区的 VOCs 污染问题日益严重<sup>[1]</sup>。VOCs 是一类结构复杂且活泼性强的有机化合物，广泛存在于城市工业排放中。尤其是在炼油、化工、制药及电子制造等行业，VOCs 的释放尤为显著。这些污染物不仅对城市空气质量构成严重威胁，还对生态环境和人类健康造成潜在危害。其高浓度排放可导致光化学烟雾的形成，进而引发一系列环境问题。VOCs 在大气中可与其他污染物反应生成臭氧和二次有机气溶胶，进一步提高空气中细颗粒物浓度及其氧化能力。近年来，全球对 VOCs 污染的关注程度逐步提高，许多国家和地区制定了更加严格的排放标准和法规。在实践中，由于污染源分布复杂且成分多样，VOCs 治理往往面临技术和经济上的挑战。在此背景下，深入探讨城市工业区 VOCs 污染的现状及其带来的环境压力，对于实现有效治理具有重要意义。

### 1.2 城市工业区 VOCs 的主要来源

城市工业区的 VOCs（挥发性有机物）主要来源于多个方面，工业生产过程是其中最为突出的一个<sup>[2]</sup>。许多制造业活动，如化工、涂料、印刷、家具制造等，在生产和加工过程中释放大量 VOCs。这些行业在使用有机溶剂、

涂料以及各种化学试剂时，会导致 VOCs 的大量挥发。石油化工区的储存和运输环节也是重要的 VOCs 来源，油品在储存过程中因温差变化容易挥发。工业园区内的废水、废气处理系统若运行不当，也会成为 VOCs 的释出源头。车辆尾气及燃料燃烧同样贡献了部分工业区内的 VOCs 排放。定期维护和监测，以及工艺改进，是控制这些源头的重要措施，这不仅可以减少 VOCs 排放，还可提高工业区内空气质量。

### 1.3 VOCs 的污染特性与风险性研究

VOCs 具有高度可挥发性，易于进入大气中形成空气污染，其化学成分复杂多样。不同种类的 VOCs 在大气中可发生光化学反应，生成臭氧和二次有机气溶胶，导致光化学烟雾和雾霾等严重环境问题。部分 VOCs 如苯、甲醛对人体健康构成直接威胁，具有致癌、致突变和生殖毒性。在高温、强光或者静稳天气条件下，VOCs 的活性更为显著，污染风险加剧。VOCs 与氮氧化物协同作用，显著加剧区域性大气污染，对生态环境和人类健康构成长期潜在危害。针对不同 VOCs 的特性，需采取相应的控制和管理措施。

## 2 VOCs 治理技术对比与评估

### 2.1 现有 VOCs 治理技术简介

各种 VOCs 治理手段，如物理吸附、化学氧化、生物降解等都有自己的擅长领域。举个例子，如果得用膜来分割不同的气体，或者采用活性炭这类材料来吸附气体，这些做法都算是利用物理方法处理 VOCs。这些技术动作迅速、上手容易，但要是遇上气体浓度高或者成分复杂就可能受限。化学方法又如何呢？比如说，用氧化剂直接让污染物分解，或者搞个光催化反应，又或者弄个等离子体来处理 VOCs，都是常见的化学手段。这些方法处理上游刃有余，不过它们也不是万能的，因为有时候会耗费不少能源或者反应条件挺苛刻的，还有可能带来二次污染问题。至于生物法，它通常使用的是生物滤池，或者通过洗涤技术，借助微生物的自然代谢能力来消灭 VOCs。这种方法以其对环境的友好性和总体成本较低而受到欢迎。简而言之，对 VOCs 的抑制，不是单一技术能搞定的，通常得因地制宜，选最合适的那一招。而我们在选的时候，既要考

虑到操作的实际效果，也不能忽视相关的环境成本。生物法的反应速度较慢，且对环境条件较为敏感，适用于低浓度和长期稳定操作的场合。各技术在具体应用时需根据污染物特性、工况条件及成本等因素进行选择和组合，以实现高效和可持续的 VOCs 治理。

### 2.2 VOCs 治理技术对比分析

VOCs 治理技术主要包括物理法、化学法和生物法，各有其适用领域和特点。吸附、冷凝和膜分离这些物理技术，特别适合那些 VOCs 含量不是很高的情况，优点在于使用起来挺方便，而且应用范围挺广的。但是，碰到 VOCs 含量高时，这些技术就有点捉襟见肘了。转到化学方法，催化燃烧和光催化氧化就发力了，它们能够有效地处理各种 VOCs，包括那些浓度高、不好处理的有机污染物，缺点嘛，就是成本上去了，而且得用到一些特别的材料。生物方法则是动用微生物来吃掉有机污染物，这种方式相对环保，成本也不高。但它对于 VOCs 的浓度、环境温度和湿度都挺挑剔的，所以，当 VOCs 浓度不是很高的时候，用生物方法还是挺好的。为了选择合适的技术，需要综合考虑污染物的种类、浓度和工业区的具体工况。通过对比分析，各治理技术的适用性、效率和经济性等指标为优化选择提供了科学依据。在实现 VOCs 高效治理的过程中，往往需要将多种技术进行组合，以发挥各自的优势，实现最佳的处理效果。

### 2.3 VOCs 治理技术效率和成本效益评估

VOCs 治理技术的效率和成本效益评估是实现污染减排的关键。物理法通常成本较低，但对微量或低浓度 VOCs 效率较差；化学法具有效率高、反应快速的优点，但运行成本高，需针对性设计；生物法在温和条件下具有一定的经济性，适合处理常温气流，但对高浓度和毒性高的化合物效果不佳。综合评估模型显示，不同环境下的技术选择，需在效率和成本之间平衡，以达到最佳的治理效果。

## 3 VOCs 污染治理技术优化模型建立

### 3.1 VOCs 污染治理技术优化模型的基本构成

VOCs 污染治理技术优化模型的基本构成旨在为城市工业区的挥发性有机物污染治理提供科学指导。模型设计涵盖多个关键要素，包括污染源分析、治理技术选择、效

益权衡与约束条件设定。污染源分析模块通过数据采集和分析，识别不同 VOCs 的种类、浓度及释放特性，有助于针对性地选择合适的治理技术<sup>[4]</sup>。模型的核心部分涉及多种治理技术的整合与优化，重点考量物理法、化学法和生物法在不同环境条件下的适用性，通过参数设置和仿真运算选出最优技术组合。效益评估模块则通过技术效率、经济成本及环境益处等多维指标进行权衡，以保证治理方案的可持续性。模型还需设定若干约束条件以保障其在实际应用中的有效性和可操作性，如政策法规、企业需求等。整体模型可作为决策支持工具，帮助政策制定者和企业管理者在复杂多变的环境中实现 VOCs 的高效治理和减排目标。

### 3.2 VOCs 污染治理技术优化模型的求解与应用示范

数学建模与优化算法携手合作，为 VOCs（挥发性有机化合物）污染治理技术的优化开辟了新路径。这一模型并非一成不变，而是根据 VOCs 的类型和浓度等具体情况，量身定制目标函数，该函数旨在不仅将污染物排放降至最低，还同时考虑成本效益，确保投入的资金能够最大化治理效率。

在构建模型时，还需综合考虑多种约束条件，如技术适应性，设备稳定性，能源可行性及排放标准等，这些约束条件确保了所选技术方案的可行性和实用性。

多目标优化算法在此模型中发挥着关键作用，在变量参数的复杂空间中不断寻找最优解，直至找到最令人满意的技术组合，以工业园区为例，该模型通过实际数据测试，发现对于剧毒的中高浓度烃类 VOCs，吸附技术与氧化技术的结合表现出色，高效，而在低浓度 VOCs 且温度波动较大的场景下，生物治理技术则以其经济性和稳定性脱颖而出。

模型优化结果成功应用于示范项目，实现 VOCs 排放达标与治理成本控制的双赢，为城市工业区 VOCs 污染治理策略提供科学依据。

### 3.3 VOCs 污染治理技术优化模型的局限性与改进思路

VOCs 污染治理技术优化模型虽然在技术组合选择上具有一定优势，但仍存在一些局限性。最明显的问题是模型对输入数据的依赖性较高，数据质量直接影响模型精确

性。模型在应对多样化的污染情境时可能缺乏足够的灵活性。改进思路包括增强模型的自适应能力，提高对多变量条件的适应性，以及结合大数据和人工智能技术，进一步提升模型的预测精度和实时应用效果。这样有望更为全面地适应复杂的治理需求。

## 4 VOCs 污染个性化治理策略与展望

### 4.1 根据 VOCs 种类浓度和温度选择个性化治理策略

在 VOCs 污染治理中，个性化策略的选择至关重要。VOCs 种类、浓度和温度等因素直接影响治理技术的选择和实施效果。芳香烃类与卤代烃类 VOCs 因化学性质差异，需采用不同的治理手段，如化学氧化与热破坏法。浓度高低决定了治理技术的经济性和适用性，低浓度时吸附法或生物法更经济，高浓度则适合热氧化或膜分离法。温度变化影响处理效率，高温下催化燃烧法效果更佳，低温则需预处理提升效率。

因此，制定个性化治理策略需综合考虑 VOCs 特性、浓度及温度，确保在各种工况下达到最佳污染控制效果。应优先考虑综合技术方案，结合多种治理手段，实现 VOCs 高效减排与治理成本优化。通过深入理解这些因素并灵活调整策略，城市工业区 VOCs 治理的整体绩效将得到有效提升，为环境保护和可持续发展贡献力量。

### 4.2 城市工业区 VOCs 污染治理技术的实施建议

针对城市工业区 VOCs 污染治理，需结合各区域实际，灵活调整治理策略。针对 VOCs 的不同组分和浓度，优选组合治理技术，如高浓度时采用物理吸附与化学吸收联用，低浓度时则运用生物过滤技术，确保高效治理。同时，加强治理设备维护，保障其稳定运行，是持续治污的关键。在选择治理技术时，需兼顾经济性和可持续性，通过生命周期成本分析，评估技术实施的长期效益。政策层面，政府应出台严格排放标准，提供税收优惠，激励企业采用高效治理技术。此外，集中建设与共享污染治理设施，可降低企业治污成本，增强协同效应。建立实时监测和评估机制，根据污染变化及时调整策略，提升治理效果。综上，通过政策引导、技术优化、资源共享及多方协作，城市工业区 VOCs 污染问题可望得到有效解决，空气质量得以整体提升，为城市居民创造更加宜居的环境。

## 5 结束语

本研究从城市工业区的实际情况出发,深入分析了工业区 VOCs 的来源,污染特性与风险性,通过比较了物理法、化学法和生物法等 VOCs 治理技术,结合实验数据和模型优化方法,提出了多元化、因地制宜的污染治理方案。治理挥发性有机化合物 (VOCs) 可不能用同一个方案去套所有场景。得看这些化合物的类型、数量以及周围温度这些元素,每一个都可能让效果大不相同。比如,文章通过实验数据挖掘和模型精细调整,推进了一个针对工业区的高效 VOCs 降低方案,应对环境保护的挑战。然而,这项研究也不是无懈可击,它还没覆盖到所有 VOCs 类型,这就得接下来继续拓展领域。模型优化方面也能进一步完善。希望更多的研究者能够投身进来,一起推动前进。VOCs 污染问题其实挺复杂的,涉及好几门学科,想要搞透彻,

就必须大家协作、集思广益。对付 VOCs 污染的研究仍需不断深化,咱们的目标是在更多的领域找到更管用的策略。

## 参考文献

- [1] 吴炯美. 分析 VOCs 污染现状与治理技术 [J]. 区域治理, 2020, (26): 0180-0180.
- [2] 费波杨超. 某工业区 VOCs 典型末端治理技术实际处理效果 [J]. 上海环境科学, 2021, 40(04): 173-176.
- [3] 刘冰, 董昊鑫, 高玉平, 李宏强. VOCs 污染治理技术绩效评价方法研究 [J]. 化工安全与环境, 2023, 36(09): 48-53.
- [4] 任静. 浅析 VOCs 的污染与治理技术 [J]. 山西化工, 2020, 40(05): 180-182.
- [5] 王谦谦. 工业源 VOCs 污染综合治理技术研究进展 [J]. 中文科技期刊数据库 (全文版) 自然科学, 2020, (06).