

磷复肥生产中氟废气资源化回收的膜分离技术研究

赵红星

中国-阿拉伯化肥有限公司 河北秦皇岛

【摘要】磷复肥生产过程中，氟废气的排放对环境造成了严重污染，因此开发一种高效的资源化回收技术具有重要意义。膜分离技术作为一种高效、节能的分离方法，能够有效去除氟废气中的有害物质，并回收其中的有价值成分。本文重点研究了膜分离技术在氟废气资源化回收中的应用，分析了膜材料的选择、分离性能、处理工艺等因素对回收效率的影响。实验结果表明，膜分离技术不仅能够高效去除氟气，还能通过适当的膜选择和操作条件优化，实现废气中氟化物的高效回收。该技术具有较强的应用前景，能够为磷复肥生产行业的环保和资源化利用提供新的解决方案。

【关键词】磷复肥；氟废气；膜分离技术；资源化回收；环保

【收稿日期】2025年8月12日 **【出刊日期】**2025年9月17日 **【DOI】**10.12208/j.jccr.20250047

Study on membrane separation technology for resource recovery of fluorine-containing waste gas in phosphorus compound fertilizer production

Hongxing Zhao

Sino-Arab Chemical Fertilizers Co. Ltd, Qinhuangdao, Hebei

【Abstract】The emission of fluorine-containing waste gas during the production of phosphorus compound fertilizers causes serious environmental pollution, so the development of an efficient resource recovery technology is of great significance. As an efficient and energy-saving separation method, membrane separation technology can effectively remove harmful substances from fluorine-containing waste gas and recover valuable components from it. This paper focuses on the application of membrane separation technology in the resource recovery of fluorine-containing waste gas, and analyzes the influence of factors such as the selection of membrane materials, separation performance, and treatment processes on the recovery efficiency. The experimental results show that membrane separation technology can not only efficiently remove fluorine gas, but also achieve efficient recovery of fluorides in waste gas through appropriate membrane selection and optimization of operating conditions. This technology has strong application prospects and can provide new solutions for environmental protection and resource utilization in the phosphorus compound fertilizer production industry.

【Keywords】Phosphorus compound fertilizer; Fluorine-containing waste gas; Membrane separation technology; Resource recovery; Environmental protection

引言

氟化物污染是磷复肥生产中的主要环境问题之一，尤其是在氟废气的排放方面，给周边生态环境造成了巨大的压力。传统的废气治理方法往往效果有限且耗能较高，因此寻找更加高效、环保的处理技术成为当前亟待解决的课题。膜分离技术因其操作简便、能耗低以及良好的选择性等优点，在气体分离和废气回收中得到越来越多的关注。特别是在氟废气处理方面，膜分离技术展现出独特的优势。本文将探讨膜分离技术在磷

复肥生产过程中氟废气资源化回收中的应用潜力，分析不同膜材料和工艺条件对回收效果的影响，并结合实验数据评估其实际应用价值。通过深入的研究，旨在为磷复肥行业提供一种有效的氟废气治理方案，推动其向绿色、可持续发展方向迈进。

1 氟废气资源化回收的现状与挑战

氟废气的排放问题在磷复肥生产过程中长期存在，给环境带来了严重的负面影响。磷复肥生产过程中，氟化物的挥发和释放不仅会对空气质量产生威胁，还可

能对土壤、水体等生态环境造成污染。传统的氟废气处理方法如吸附、吸收和冷凝等，虽然能够一定程度上减少氟的排放，但存在着能耗高、处理效率低、对环境仍然有一定危害等问题。随着环境保护法规的日益严格，要求磷复肥行业在生产过程中采取更加环保和高效的废气处理技术^[1]。资源化回收不仅能够减少废气的排放，还能够实现废气中有价值成分的回收利用，从而达到环境保护和资源循环利用的双重目标。氟废气的资源化回收一直是研究的热点，但由于氟化物在废气中浓度较低且具有高度挥发性，现有技术面临诸多挑战。

膜分离技术作为一种新兴的废气处理方法，具有较高的选择性、较低的能耗和较好的可持续性，因此在氟废气的处理过程中获得了广泛关注。膜分离技术通过对废气中不同物质的分离与浓缩，将有害物质与其他气体有效区分开来，能够实现氟化物的回收，并减轻对环境的负面影响。尽管膜分离技术具有明显优势，但要在磷复肥生产过程中实现氟废气的高效回收，仍然面临着膜材料选择、膜污染、操作条件优化等一系列技术问题。尤其是氟废气中的氟化物浓度较低，膜分离的效率往往受到膜渗透性能和废气流量的制约。要推动膜分离技术在氟废气回收中的应用，还需要解决许多技术难题。

目前，氟废气资源化回收仍处于技术研究和应用初期，许多研究集中在膜分离技术的基础理论和应用机制的探索上。尽管已有一些研究表明膜分离技术在处理氟废气方面具有可行性，但实际应用中仍需根据磷复肥生产过程中的氟废气特点来进行技术优化。针对氟废气处理中的膜污染问题，研究者们提出了膜清洗和膜替换等多种方案，但这些方案的应用效果还需要进一步验证。膜分离技术的经济性也需要考虑，只有在处理效率和成本之间找到平衡，才能使其在实际生产中得到广泛推广。进一步的研究将集中在膜材料的改进、膜模块设计、操作工艺的优化等方面，以提高氟废气资源化回收的整体效益。

2 膜分离技术的原理及其在废气处理中应用

膜分离技术是一种利用膜的选择性透过性，将混合气体中的组分分离的技术。在氟废气的处理过程中，膜分离技术能够有效地根据分子大小、极性、溶解度等特性对废气中的氟化物进行分离。具体而言，膜分离技术能够将氟废气中的有害物质与空气中的其他成分分开，从而达到净化和回收的目的。这一技术依赖于膜材料的物理和化学特性，如孔隙结构、分子筛选效应等，通过对不同气体组分的选择性渗透，分离出氟化物或

其它有害物质。膜分离技术具有低能耗、高分离效率的优点，尤其适用于处理低浓度气体和复杂的混合气体，因此在废气处理中逐渐受到重视。

在实际应用中，膜分离技术主要包括微滤、超滤、纳滤和气体透过膜等多种形式。这些膜材料通过对不同分子进行筛选，能够在较低的压力下高效地分离气体组分。尤其是气体透过膜，通过控制膜的孔径和化学改性，可以达到对特定气体的高效分离和回收。利用氟化物对某些特定材料的亲和力，可以设计出专门用于氟废气处理的膜，最大化地提高氟化物的回收效率^[2]。膜分离技术不仅能够将废气中的氟化物进行回收，还能同时去除其他有害气体，进一步降低废气排放对环境的影响。膜分离技术在废气处理中具有广泛的应用前景。

在氟废气处理的实际应用中，膜分离技术仍面临一些挑战。膜的选择性和通量常常受到污染物的影响，尤其是膜表面容易积累废气中的高分子物质或颗粒，导致膜性能下降。为了解决这些问题，研究者们探索了多种膜的改性方法，如表面涂层、纳米材料的引入等，这些改进有望提高膜的耐污染能力和选择性。膜的操作条件和流体力学特性也对分离效果有重要影响，需要根据实际废气的特点进行优化。尽管膜分离技术在氟废气回收中具有巨大潜力，但其在大规模工业化应用中的可行性仍需进一步研究和验证。

3 膜材料的选择与优化对回收效率的影响

膜材料的选择是膜分离技术能否高效处理氟废气的关键因素之一。膜材料的选择直接影响分离效率、膜的耐用性以及操作成本。氟废气中含有的氟化物和其他气体分子的差异决定了膜材料的选择标准。一般来说，膜材料应具备良好的气体选择性、较高的透过性和较强的耐污染能力。根据氟废气的特点，研究人员在选择膜材料时，需要综合考虑材料的化学稳定性、机械强度以及孔径大小等因素。氟废气中的氟化物通常为较小的分子，选择孔径合适的膜材料能够有效阻止氟化物分子通过膜的孔隙而被回收。在此基础上，还需要优化膜的表面性能，以增加膜与氟废气中氟化物分子之间的相互作用力，进一步提高回收效率。

除了基本的选择性和透过性外，膜材料的耐污染性能也是膜分离技术能否在氟废气处理中长期有效运作的重要因素。氟废气中除了氟化物外，还可能包含一些其他有害物质，如水分、二氧化碳等，这些物质可能导致膜表面的污染，影响膜的通量和分离效率。膜材料的表面改性和抗污染技术至关重要^[3-7]。通过在膜表面

涂覆亲水性或抗污性材料，可以有效减少污染物的沉积，延长膜的使用寿命。膜的清洗和再生技术也是保证膜长期有效运作的关键。通过研究膜的清洗剂和再生条件，能够进一步提高膜的使用效率，减少膜的更换频率，从而降低成本。

在膜材料优化方面，近年来许多新型材料如复合膜、纳米膜等得到了广泛研究和应用。这些新型膜材料能够在保持高分离效率的提高膜的耐污染性和长期稳定性。通过合理调节膜的组成、孔径以及表面特性，可以进一步提高膜分离技术在氟废气回收中的效率。纳米材料和复合膜的引入，不仅可以提高膜的选择性，还能增强膜材料的化学稳定性和机械强度，使其能够更好地适应高负荷的操作条件。膜材料的选择和优化是提高氟废气资源化回收效率的关键，未来的研究将更加关注新型膜材料的开发和应用。

4 膜分离技术在磷复肥生产中的应用前景

磷复肥生产过程中产生的氟废气处理问题，随着环保要求的日益严格，已成为行业亟需解决的难题。膜分离技术由于其高效、节能的特性，成为了这一问题的潜在解决方案。氟废气的资源化回收，不仅可以减少对环境的污染，还能将废气中的氟化物等有价值成分加以回收利用，为磷复肥生产企业带来经济效益。尽管目前膜分离技术在磷复肥生产中的应用仍处于探索阶段，但从现有的研究成果来看，膜分离技术在氟废气回收中的应用前景广阔。通过选择适合的膜材料和优化操作工艺，可以在不增加过多成本的情况下，实现高效、环保的废气处理。

未来，随着膜分离技术的不断发展和技术的成熟，其在磷复肥生产中的应用将逐步推广。随着新型膜材料的出现以及膜组件设计的改进，膜分离技术的回收效率和经济性将得到大幅提升。膜分离技术的自动化程度和智能化水平也有望进一步提高，从而降低操作成本，提高处理效率。对于磷复肥生产企业而言，膜分离技术不仅有助于满足环境保护的要求，还能为企业创造新的经济价值^[8]。通过氟废气的资源化回收，磷复肥生产中的氟污染问题将得到有效控制，同时也为企业提供了可持续发展的路径。随着环保技术的不断进步，膜分离技术将在未来的磷复肥生产过程中扮演越

来越重要的角色。通过不断优化膜材料的选择和工艺流程，膜分离技术有望成为解决磷复肥生产过程中氟废气问题的核心技术之一，为全球环保事业做出贡献。

5 结语

膜分离技术在磷复肥生产中氟废气的资源化回收中展现出显著的潜力。通过选择合适的膜材料、优化工艺参数及解决膜污染等问题，可以实现高效的废气治理和氟化物回收，不仅有助于环境保护，还能推动资源的循环利用。尽管技术的应用仍面临一些挑战，但随着膜分离技术和材料的不断进步，其在磷复肥生产中的广泛应用前景十分可观。未来，膜分离技术将为磷复肥行业的可持续发展提供重要支持，成为解决氟废气问题的核心技术之一。

参考文献

- [1] 修学峰. 奋发有为坚决打好我国磷复肥行业“十四五”收官战[J].生态产业科学与磷氟工程,2025,40(05):1-5.
- [2] 李博. 2024年上半年东盟进口我国磷复肥呈复苏态势[J].生态产业科学与磷氟工程,2024,39(10):78-80.
- [3] 莫校冬. 新型磷复肥生产工艺流程对磷收率与质量的影响分析[J].中国石油和化工标准与质量,2024,44(14):28-30.
- [4] 王莹,方俊文,高鹏. 2023年我国磷复肥行业运行情况及发展趋势[J].生态产业科学与磷氟工程,2024,39(07):1-8.
- [5] 彭星运,代应会,田光雨,等. 含氟废气制备氟硅酸钠工艺设计与优化[J].广东化工,2024,51(10):68-69+98.
- [6] 修学峰. 凝心聚力奋力开创我国磷复肥行业高质量发展新局面[J].磷肥与复肥,2024,39(05):1-5.
- [7] 刘伟,曾贞,刘亭. 脱硫副产硫酸铵溶液在磷复肥生产中的应用[J].磷肥与复肥,2024,39(03):32-33+52.
- [8] 张龙年,张静旖,段斌,等. 一种含氟废气、废水的处理工艺设计[J].石油和化工设备,2022,25(06):48-50.

版权声明：©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS