超重力技术在环境领域的应用

李红宝

苏州珐玛德克净化设备有限公司

摘要：工业尾气的处理方法通常包括燃烧法、光催化法、活性炭吸附法、吸收法、冷凝法以及生物处理法等。然而，这些方法存在处理成本高、效率低，再生步骤复杂，以及产生二次污染等问题。燃烧法尤其显著，其易引发更具危害性的物质如二氯氤的产生，导致污染转移和二次污染。超重力 VOCs 吸收技术是一种可实现吸收剂再生循环使用的方法，有助于国家和企业回收并再次利用大量有机溶剂。

关键词：超重力 VOCs 吸收技术；尾气；燃烧法；光催化法；活性碳吸附法

1　超重力技术的基本概念和发展过程 [1]

地球上的许多自然规律都受到其重力场的影响和制约。在微重力和超重力这两种极端物理条件下，科学研究得到了新的发展空间。超重力是指物质在加速度超过地球标准重力加速度 9.8 m/s² 的环境中所承受的引力和排斥力。

1976 年，英国帝国化学工业公司（ICI）开始涉足相关研究，设计了一种能够产生 200 ～ 1 000 g 超重力条件的旋转填充床。约两年后，首个示范装置投入使用。到 1985 年，第一台超重力设备成功售出，用于清除地下水中污染的挥发性有机化合物。

由于超重力技术具备显著的经济利益潜力和在特定领域的应用，ICI、Glitsch 以及其他公司很少对这一技术发表详细的技术报告，而主要发布应用相关的研究结果和商业宣传。1984 年，我国高校也开始进行这方面的研究，并陆续发表论文。1989 年，北京化工大学的超重力研究被列入国家重点科研项目。

以前，由于舱内二氧化碳浓度的限制，常规潜艇在水下停留的时间有限，因此引进了国外的潜艇。发现他们的潜艇上配备了一种装置，该装置利用亨利定律，通过加压条件下将舱内的二氧化碳溶解在水中，使得潜艇在水下可以停留更长时间。

经过从 0 到 1 的逐步启蒙，掌握了亨利定律的原理之后，国内又从 1 推进到了 99，这为超重力技术的发展开辟了新路径。如今，国内通过这一原理，把超重力技术应用于尾气中挥发性有机化合物的吸收、雾霾的净化、水中氨气的去除以及水中二氧化硫的去除等方面。世界最大规模的超重力离心模拟装置已经在杭州建成，标志着我国在这一科研领域取得了重要的技术突破。

2　超重力技术原理及其在环境领域的应用案例 [2]

2.1　超重力装置原理

如图 1 所示，超重力装置的工作原理相对简单。待处理的气体被引流风机引导，通过待处理的入口进入超重力离心机。由于超重力的影响，气体中的目标物被转移至液相。经过处理的气体作为达标尾气排出，而液相在饱和后被回收或送至污水处理站进行处理。所用的液相介质可以是水、水溶液或高沸点液体，具体选择取决于待去除物质的特性。

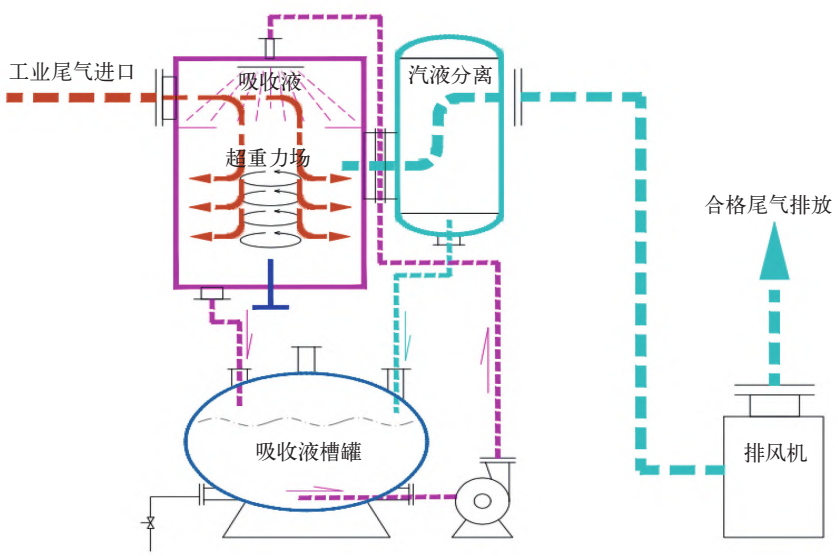

图 1　超重力装置的原理图

2.2 超重力技术在排放尾气处理领域的应用案列

超重力技术在尾气治理方面应用广泛且已经较为成熟，在精细化工（见图 2）、制药业、实验室排放、动物房通风系统、烟草及香精尾气处理等领域均有成功案例。如表 1 展示了一些典型的案例合集。

根据尾气中排放物的不同，选择合适的相转移液相。这个液相可以是水溶剂，也可以是非水溶剂，具体选择依赖于排放物的化学性质。溶解后的液相有些能够直接进入污水处理系统，而有些则需要通过蒸馏再生后再利用。

2.3 尾气中氨化合物清除的验证案列

恶臭气体中富含氨类化合物，用户希望将平均浓度为 300 ppm 的尾气中氨的去除率达到 95%。设计中使用了一级超重力装置。在设备安装和调试完成后，用户在验收过程中连续监测了 24 h 的数据，如图 3 所示，处理前的平均浓度为 298.51 ppm，处理后的平均浓度降至 0.58 ppm。如图 4 所示，根据实际数据计算，超重力装置的平均去除率达到 99.81%（合同要求为 95%）。统计分析得出去除率的标准偏差为 8.03×10^{-5}，达到 99.7% 清除率的过程能力指数 Cpk 为 4.3。

3 结论

目前在尾气处理方面，尽管已有多种方法可供选择，例如催化燃烧法、吸附法、吸收法和等离子处理方法。这些技术各自都有优势，但也存在不足或应用上的限制。我们在表 2 中对它们进行综合比较。

超重力技术是一种过程强化的技术，不同分子大小之间的分子扩散和相间传质速度远快于正常重力环境。气液、液液和液固两相在超重力环境中（相当于地球重力的百倍到千倍）中，通过多孔介质或孔道发生流动接触。强大的剪切力把液体撕成微米到纳米级的液膜、液丝和液滴，形成了

表 1 超重力技术实际应用的案列

行业	处理标志物	处理风量	处理前浓度 mg/m³	处理后浓度 mg/m³	清除率 %	处理级数 *
化药生产行业	臭气	10 000 m³/h	2162（无量纲）	32	98.50	一级
	低浓度颗粒物		677	34	95.00	
	油烟		3.99	0.32	92.00	
生物制药	二氯甲烷	10 000 m³/h	2.40 × 104	48.3	98.80	三级
动物实验	氨	40 000 m³/h	30.7	未检出	100	一级
	硫化氢		4.58	未检出	100	
	臭气		977	42	96.00	
环保处理	二氧化硫	10 000 m³/h	530	小于 3**	99.40	一级
烟草行业	非甲烷总烃	10 000 m³/h	2750	65.7	97.00	三级
养殖业	氨	10 000 m³/h	73.4	0.58	99.40	一级

注：* 处理级数为超重力装置的串联级数；** 系统的最小检测限位 3mg/m³

图 2 卷烟厂超重力装置现场

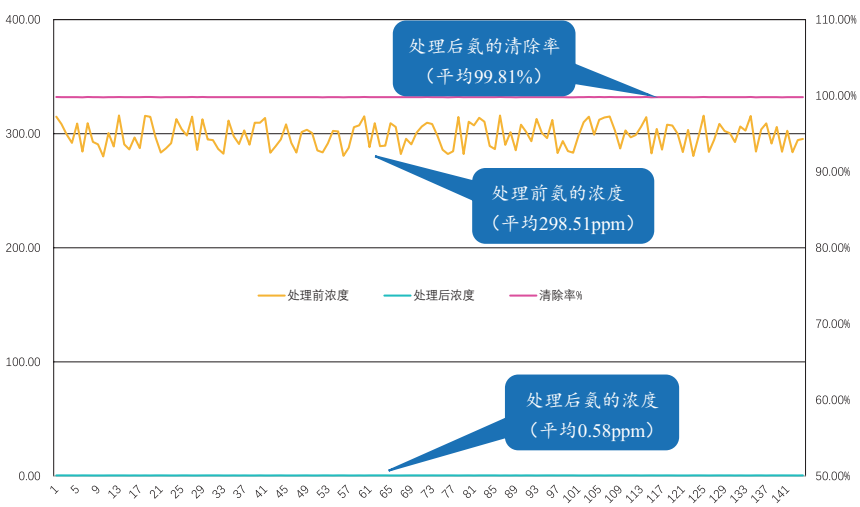

图 3 尾气中氨化合物清除实验数据汇总曲线

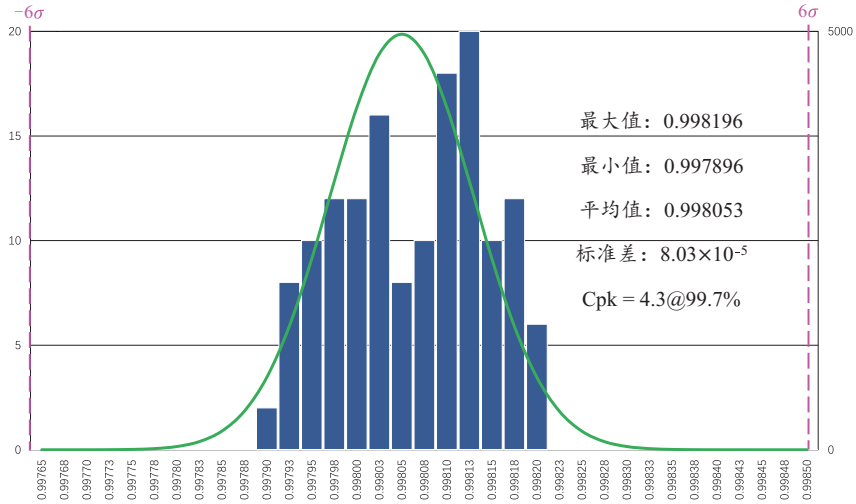

图 4　尾气中氨化合物清除超重力装置的控制数据

表 2　各种尾气中有机挥法组份处理技术的对比

处理方法	方法简介	优点	缺点	适用范围
催化燃烧法	在氧化催化剂的作用下，将碳氢化合物氧化为 CO_2 和 H_2O，温度范围 200 ～ 400℃	效率可达 99% 以上。并能回收高浓度可余热	低浓度消耗燃料，不适合非连续生产，不适用于氯代烃等有机挥发组份	适用于含非卤代烃及苯系列尾气
吸附法	利用吸附剂对有机挥发组份进行常温吸附	物理过程，吸附剂可再生循环	不适用于高浓度尾气，吸附剂容易失活	适用于中、低浓度尾气
吸收法	利用吸收剂对尾气中的有机挥发组份进行常温吸收	物理过程，吸附剂可再生循环	吸附剂容易失活。对于大量尾气，设备投入大、运行成本高	适用于高、中、低浓度尾气，可处理含颗粒废气
等离子	依靠电晕放电产生自由基来进行	成本低、对恶臭效果明显	大分子、卤代烃和杂环化合物处理不彻底时，很容易导致二次污染，并且可能引发爆燃。	低浓度、小分子有机挥发组份
超重力处理	通过超重力增强技术促进相变。这是一个纯粹的物理过程。	物理过程。设备投资少，运行成本低，萃取液相可再生循环使用	不显著	基本适用于各种场合

极大且快速更新的相界面。这使得相间传质速率在传统塔设备中的提升达到 1 至 3 个数量级，显著加强了微观上分子的混合和传质过程。同时，在超重力作用下，液泛速度和气体线速度显著提高，设备单位体积的生产效率得到了 1 至 2 个数量级的提升，时空效率提高了千倍至万倍。

随着超重力技术的不断发展，它不仅被广泛的应用于尾气的处理，在纳米材料制备、高端化学品合成、反应与分离过程强化等工业领域，从而使得超重力技术的应用范围得到极大的拓展，已进入一个全新的发展阶段。

参考文献：

[1] 陈建峰等．超重力技术及应用 [EB/OL]. (2025-02-18) [2025-08-20]. https://chuangshi.qq.com/read/41807413/14.

[2] 张亮亮，邹海魁，初广文，等．超重力技术在工业尾气净化中的应用研究进展 [C]. 中国工程院化工、冶金与材料工程学部第九届学术会议论文集．北京：中国工程院，2017: 483-489.

广告