

超重力传质技术及其应用

北京新特科技发展公司 杨村 冯武文 刘玮 于宏奇

摘要 超重力技术是利用强大的离心力场代替重力场来强化传质过程的,自上个世纪问世以来,在国内受到广泛的重视,但大多仅限于应用基础研究,工业化应用报道不多。北京新特科技发展公司现已成功地将超重力技术应用于热敏性物质的脱臭、超细粉体的制备以及氢化过程中的加氢,并且已经建成工业示范性装置。本文重点介绍了超重力技术在超细碳酸钙生产中的应用。

关键词 超重力技术 超细碳酸钙 离心传质 超细粉

Supergravity Mass Transfer Technology and Its Application

Yang Cun

Abstract Supergravity strengthens mass transfer process by using strong centrifuge field instead of gravity field, which has gained wide attention at home and abroad since it came out last century. But most of the work has been in basic application research, reports on commercial application are little. Beijing Xinte Technology Development Company has successfully applied this technology in deodorizing thermal sensitive matter, producing superfine powder and hydrogenation process, and a commercial demonstration facility has been built. This article emphasizes the application of supergravity technology in producing superfine calcium carbonate.

Key words supergravity technology, superfine calcium carbonate, centrifuge mass transfer, superfine powder

气液传质过程是化学工业中最基本的过程,不仅大量的单元操作如精馏、吸收、解析等离不开这一过程,而且化学反应过程,尤其是气液固多相反应过程也极大地受制于传质的速率。对于传统的气液平衡传质设备如填料塔、鼓泡塔等,由于在重力场下操作,其泛点和气液相传质速率不可避免地受到重力场的影响,许多研究早已揭示了这些影响的规律。因此,要缩小传统设备体积,强化传质过程,就必须突破重力场的影响。超重力传质技术正是在此背景下产生的一种离心传质技术,它利用强大的离心力场代替了重力场,从而实现了传质过程的强化。

1 超重力技术的结构及原理

超重力分离技术的核心部件为一高速旋转的环状转子,转子内由塔板或填料组成,形成了气液相接触的表面通道,液体从伸入转子中心的静止液体分布器引入,先经分布器预分布后喷向转子内缘,

在离心力作用下向外甩出,气体由转子的外缘进入转子,依靠气体压力,由外向内与液体逆流接触。气、液两相在转子产生的极大离心力场中进行传质交换,在离心力的作用下,液体形成的液膜很薄,表面更新极快,而且液体内的微元湍动程度加大,因此极大地强化了液相传质系数,使传质单元高度由 1g 下的 50cm 左右下降到 200 g 下的 2cm 左右。另外,由于离心力极大地提高了设备操作的液泛限,使气液相的流率和填料比表面均比传统塔器大大提高,因此体积传质强度比传统设备提高了两个数量级。这样,一个很高的塔器就变成一个十分矮小的超重力传质机,不仅极大地降低了设备的材料成本,而且降低了设备操作的能耗。

2 超重力技术发展概况

利用离心力场强化传质过程的思路最早可追溯到上世纪 60 年代。Podbiniak 曾设计过“离心气液接触器”,Todd 改进过这一设备提高了其效果,并

将其成功地应用于植物油的脱臭，他们当时设计的转子为板式结构。Vivian 等人曾用实验研究过离心力场对气体吸收的影响，他们利用由填料构成的转子测试了 CO_2 在水中的溶解情况，发现液相体积传质系数随着离心力成 0.41 ~ 0.48 次方的变化关系。至 70 年代末，英国 ICI 公司 Ramshaw 等人推出了一系列“Higee”技术专利，将该项技术应用于吸收与精馏过程，并公开了该技术的应用领域，提出了多种结构的专利保护。美国一些公司与大学也进行了一系列的研究工作，如华盛顿大学的 Dudukovic 等人于 1989 年曾报道了他们在离心传质方面的理论与实验工作，分别从离心加速度对气液接触面积和相传质系数的影响解释了超重力技术使传质系数增大的原因，他们认为，体积传质系数正比于转速的 0.61 ~ 0.89 次方。

近年来，国内外形成了研究超重力传质技术的热潮，发表的报道及研究论文已近百篇，涉及的领域也多种多样，但大多仅限于应用基础研究，工业化应用的报道不多。这主要是由于该项技术还比较新，有许多方面还有待进一步研究改进，尤其是大型装置的结构还需要根据具体的物系进行合理设计。

北京新特科技发展公司致力于超重力技术装备与应用的工业化综合开发，目前已成功地将超重力技术应用于热敏性物质的脱臭、超细粉体的制备，如超细 CaCO_3 、 MgCO_3 及白炭黑的制备以及氢化过程中的加氢等。目前，已建成工业示范性装置。

3 超重力分离技术的特点及其应用前景

超重力分离技术由于在离心力场下操作，极大地强化了传质系数，因而可适用于一切由扩散控制的传质及反应过程，尤其适用于气液固多相流反应体系。其主要特点归纳起来有以下几个方面：①传质系数大、体积小；②物料停留时间短；③摆脱了重力场的影响；④启动、停车迅速；⑤维修、清洗方便；⑥对物料粘度适应性广。

鉴于以上特点，超重力分离技术可应用于以下方面：

(1) 可代替传统塔器，缩小其体积，尤其适宜于代替贵金属制作的传统设备及加压设备。

(2) 可进行热敏性物料的处理，减少分解损失；可进行传质控制的化学沉淀反应，制备超细粉

体。

(3) 可适用振动较大的环境，如海上平台，激烈的振动会使塔器倾斜造成重力偏流而使分离失效，而超重机因不受重力影响而保持优良的分选性能。

(4) 适应于小批量、多品种产品的生产。

(5) 可适用于处理传统设备无法处理的粘度大的体系，如高分子物质脱除单体等。

综上所述，超重力分离技术具有设备体积小、效率高、能耗低并且停留时间短和适应性广的特点，可被广泛地应用于具有扩散控制的传质及反应体系中。从已有的研究表明，它在精馏、吸收、解析、电化学反应、聚合反应以及聚合物脱单体、生化反应等方面均具有广阔的应用前景。可以预见，该项技术的应用可大大缩小传统工厂的规模，使其向微型化、室内化的方向发展，并会带来更多工业领域的革命性变化。但任何一种技术均有其应用优势及局限，如何将该技术应用到其最适宜场合中，并采用最合理的设备结构及操作优化的工艺，是目前该技术应研究的方向。

4 超重力技术在制备超细碳酸钙中的应用

4.1 超细碳酸钙的形成过程

超细碳酸钙通常是指粒径在 0.02 ~ 0.1 μm 之间的碳酸钙，由于其具有分散性及补强性能好等优点，因此可广泛应用于轿车漆、油墨、塑料、橡胶等的生产领域中。

超细碳酸钙的生产方法通常是碳化法，即利用石灰乳中的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 与 CO_2 气体反应生成 CaCO_3 沉淀。该碳化反应过程主要由 CO_2 从气相向液相的扩散、液相中 CO_2 与 OH^- 结合为 HCO_3^- 及 HCO_3^- 电离生成 CO_3^{2-} 、 Ca^{2+} 与 OH^- 从 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 固相表面向液相主体的扩散 [$\text{Ca}(\text{OH})_2$ 固相的溶解]、 CaCO_3 晶核的形成及 Ca^{2+} 和 CO_3^{2-} 从液相主体向 CaCO_3 固相表面的扩散 (CaCO_3 晶体的生长) 等串联步骤组成。其中 CO_2 的扩散与 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 的溶解速度的相对大小决定了过程进行的快慢，而 CaCO_3 晶核的形成及 CaCO_3 晶体的生长速度的相对大小决定了 CaCO_3 晶粒的大小。在碳化反应的前期，由于溶液中有足够的 Ca^{2+} 离子，因此， CO_2 的扩散步骤是整个碳化反应的控制步骤。而在碳化

反应后期, 由于 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 的粒子减少, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 固相的溶解步骤又变为碳化反应的控制步骤。由于 CaCO_3 的溶度积很小, CO_3^{2-} 一旦形成, 液相中的 CO_3^{2-} 的浓度与 Ca^{2+} 的浓度的乘积就会大大地大于 CaCO_3 的溶度积, 使液相的过饱和度很大, 从而形成大量的 CaCO_3 晶核, 同时, 液相中的 CO_3^{2-} 与 Ca^{2+} 也以很快的速度通过紧靠晶核表面的液膜扩散至晶核表面使晶粒长大。当过饱和度较高时, CaCO_3 的晶核形成速度大于其晶体的生长速度, CaCO_3 晶体的粒度较小; 相反, 当过饱和度较低时, CaCO_3 晶核的形成速度小于其晶体的生长速度, CaCO_3 晶体的粒度就较大。因此, 要使生成的 CaCO_3 晶体的粒度小, 就必须提高过饱和度, 而要使过饱和度提高, 就必须强化 CO_2 的扩散速度及 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 的溶解速度。

4.2 超重力技术在超细碳酸钙生产中的应用

超重力技术由于可以极大地强化气-液相的传质系数, 可适用于强化一切由扩散控制的反应过

程, 因此, 将超重力机器用作超细碳酸钙碳化反应器显而易见地会极大地强化碳化过程, 并具有传统碳化器无法比拟的优点:

(1) 重力机器的体积传质系数比鼓泡塔提高了 1~2 个数量级, 极大地强化了溶液的过饱和度, 从而使超细碳酸钙的粒径变小。

(2) 传质速度的提高, 极大地缩短了反应时间, 使晶体生长的时间差别缩小, 从而使产品的粒度分布范围更窄。

(3) 重力机器由于在强大离心力场下操作, 形成的液膜薄而且表面更新快, 使该机器克服了放大效应, 而且操作性能稳定, 使生产出的产品质量稳定而且可控性能好。

北京新特科技发展公司的应用示范装置可生产 20~50nm 的超细碳酸钙产品, 且产品质量优于传统产品。

总之, 将超重力技术应用于传统工艺的改进可极大地提高生产技术水平, 使产品质量迈上一个新台阶。□

(上接第 61 页)

经国家部门检测, 该成核透明剂及其 PP 透明样品各项技术指标均满足合同要求, 并相当或优于国外同类产品, 售价仅为进口产品的 1/2。PP 透明制品无毒、无味, 广泛用于医疗器具、饮料杯、食品容器等。

(5) 新型高分子材料离子交换纤维 由该离子交换纤维制成的无纺布对工业环境中常见酸性气体具有很好的吸附净化作用, 可用于开发新型个体劳动保护用品及空气净化装置; 由其制成的针织布对人体常见的大肠杆菌、金黄葡萄球菌及白念珠球菌等具有较好的抑灭作用, 可以开发生产各种抗菌除异味保健内裤、杀菌敷料等医用品。

(6) 煤炭腐植酸的农业应用 该项目自 70 年代开始研究至今历时 20 余年, 首次提出黄腐酸应用于农业的四大作用, 即蒸腾作用、抑菌抗病作用、对农药及化肥的缓释增效作用和络合微量元素

的作用。根据它的研究结果先后开发出“抗旱剂一号”、“黄腐酸盐”、“黄腐酸农药增效剂”、“绿野地宝”、“多功能玉米拌种剂”、“棉花拌种剂”、“红薯保鲜粉”、“多效增糖灵”、“绿野 2000 高效液肥”等近 30 个系列产品, 在国家科技部、农业部、中国科学院等部门的大力支持下, 在全国大面积推广应用, 取得显著经济效益和社会效益。该成果获 1995 年国家科技进步三等奖、1995 年河南省科技进步一等奖。

(7) 速溶超高分子量聚丙烯酸钠 速溶超高分子量聚丙烯酸钠, 分子量 ≥ 3000 万, 溶解时间 ≤ 0.5 h, 产品质量居国内领先水平, 1999 年获河南省科技进步二等奖。该产品主要作为絮凝剂、增稠剂、食品和饲料添加剂使用, 用量较普通聚丙烯酸钠(分子量 1000 万左右)减少 50% 以上, 成本低, 效果好。□