

机械混合法改性微纳米粉体的设备设计

崔平^{1,2}, 李凤生¹, 杨毅¹, 姜伟¹, 刘宏英¹

(1.南京理工大学 国家特种超细粉体工程技术研究中心, 江苏 南京 210094; 2.安徽工业大学 化学与化工学院, 安徽 马鞍山 243002)

摘要: 粉体表面改性与复合设备是实现粉体表面改性与复合技术中的一个重要环节。在研究现有微纳米粉体表面改性与复合设备结构特点的基础上, 结合微纳米粉体改性与复合的工作原理, 针对微纳米粉体的表面特性, 提出了机械混合法改性微纳米粉体的典型设备及其设计思想。本设计的特点在于在半椭球形容器下半部的圆柱面上设有两组8个与母线成 ($> 90^\circ$) 角的大小喷嘴成对角布置, 以利于粉体和改性剂的分散与混合。

关键词: 机械混合法; 改性设备; 设计原理

中图分类号: TQ 127, TQ 121 文献标识码: A

文章编号: 1008-5548(2006) 01-0017-04

Design of Typical Device for Powder Surface Modification of Micron and Nano-sized Powder by Mechano-mixed Method

CUI Ping^{1,2}, LI Feng-sheng¹, YANG Yi¹,
JIANG Wei¹, LIU Hong-ying¹

(1. National Special Superfine Powder Engineering Research Center,
Nanjing University of Science and Technology, Nanjing, 210094;

2. School of Chemistry and Chemical Engineering, Anhui University of
Technology, Ma'anshan 243002, China)

Abstract The equipment of surface modification and complex of powder is an important device to accomplish the modification and complex process. The design thought of typical device for surface modification and complex of nano-sized and micron powders was supposed, which was based on the research of the structure characteristics of nowadays equipments and the operating principle of surface modification and complex of nano-sized and micron powder. In this design, there were 2 groups (4 bigger and 4 smaller) spray nozzles under the half ellipsoid, and these nozzles was symmetry and opposite, each nozzle was ($> 90^\circ$) angle with the generatrices of the half ellipsoid so as to be beneficial to disperse and blend of powder and modifiers.

Key words: mechano-mixed method; modification device; design principle

收稿日期: 2005-04-19。

基金项目: 国家自然科学基金 编号: 50306008, 江苏省自然科学基金项目 编号: BK2003421, 安徽省教育厅自然科学基金重点项目 编号: 2004KJ054-zd 资助。

第一作者: 崔平 (1964-), 男, 博士研究生。

粉体表面改性是指用物理、化学、机械等方法, 对粉体物料表面进行处理, 根据应用的需要有目的地改变粉体表面的物理化学性质。近年来, 随着我国粉体工业的迅猛发展和微纳米技术在国民经济领域的广泛应用, 有关粉体的加工相关技术越来越引起人们的广泛关注, 研究低耗、高效的粉体表面改性与复合设备是有效实现粉体混合、分散和表面改性与复合的重要手段。目前使用的改性设备大都来自现有的化工单元设备, 主要有混合机、高速搅拌机、高速捏合机、流化床、能流磨和反应釜等^[1], 难以全面满足微纳米粉体的改性与复合需要。在研究现有设备结构特点的基础上, 结合微纳米粉体改性与复合的工作原理, 针对微纳米粉体的表面特性, 本文中提出了机械混合法改性微纳米粉体的典型设备及其设计思想。

1 设计原理

1.1 粉体改性与复合的工作原理及影响因素

机械混合法对微米/纳米粉体进行表面改性与复合的基本原理是, 将在一定温度下具有较好粘附力或吸附力的两种或两种以上的微米/纳米粉体粒子, 通过对流与扩散, 使得在混合过程中, 一种或几种表面改性粒子均匀地吸附或粘附于被改性粒子的表面, 并在外力 (气动力、重力及机械力) 作用下, 使它们之间紧密结合, 进而达到包覆或捏合在被包覆粒子的表面, 从而完成粒子的表面改性与复合。影响微米/纳米粒子表面改性效果的主要因素是微米/纳米粒子和表面改性剂的分散程度、两种粉体在混合设备内所处的状态、搅拌速度以及粒子在混合设备内受到的机械力的大小等。分散程度越高, 粒子在混合设备内的接触面积和接触几率就越大; 粒子在混合设备内所处的状态越分散, 被包覆的就越均匀; 搅拌速度越快, 粒子的分散就越均匀, 越有利于粒子的包覆, 但搅拌速度过快, 就会影响粒子间的结合力, 不利于粒子的包覆; 粒子受到的机械力越大, 粒子间

的结合力就越大,被包覆粒子与包覆粒子间结合越紧密,但机械力过大,可能引起包覆后的粒子的再破碎,影响粒子的形貌和粒子之间的复合比^[2]。

1.2 设计原理

机械混合法是一种纯物理过程的粉体粒子的表面改性方法,机械混合法对粒子进行表面改性,依赖于粒子的雾化和粒子在改性设备内的运动状态以及粒子所受到的外力(机械力或气动力)的大小。因此,用于机械混合法对微米/纳米粒子进行表面改性复合的设备设计应该遵从如下原则:

(1) 所设计的混合改性复合设备应能产生符合理论计算要求的搅拌机械力或气动力,这种作用力可以利用可调节高速搅拌装置或高速气流来实现,从而使粉体与表面改性剂在混合设备内得到理论期望的分散状态;

(2) 设备所产生的作用力既能使粉体与表面改性剂处于理想的分散状态,又有充分接触和作用机会,使得表面改性剂能够均匀紧密地包覆在被改性粒子的表面,以达到均匀的单分子层吸附、减少改性剂用量;

(3) 为了有利于粒子的分散、混合与改性,粉体在设备内的温度和停留时间必须可以调节。对于温度来说,可以通过设置夹套,夹套内既可以通入冷却水进行冷却,又可以通入热水、蒸汽或油进行加热,冷却或加热的温度可以通过调节流体的流量进行控制。此外,还要考虑单位产品能耗和磨损、粉尘污染以及设备的运转状态等^[3]。

对于连续操作的粉体复合与改性,系统应设计有计量输送系统、成品收集系统、控制系统和连接管道等。

2 设备的结构与材料设计

2.1 粉体预分散设备的结构设计

对于微米/纳米粉体粒子的机械混合改性来说,改性质量的好坏与改性剂和被改性颗粒的分散程度有很大的关系,为了提高包覆效果并减少改性剂的用量,必须注意改性剂和被改性粒子的均匀分散。粉体预分散设备的主要作用就是将需要改性或复合的几种不同性质的微米/纳米粉体、或微米/纳米粉体与改性剂(固体或液体)进行预先分散,使得微米/纳米粉体或改性剂处于高度分散状态,并进行简单的

混合与包覆或粘合。为了实现这一目标,经过多次模拟实验,我们选择一种直立的半椭球形容器作为预分散设备的筒体,筒壁为夹层式,用于加热、保温或冷却;在半椭圆形容器下半部的圆柱面上设有两组与母线成($>90^\circ$)角的喷嘴,其中一组喷嘴有4个大喷头,均匀分布于圆柱面上,其作用是将给料输送系统送来的被改性粉体物料(母粒子)吹散成雾状;另一组喷嘴有4个小喷头,分别与4个大喷头相对应均匀分布于圆柱面上,并与改性剂输送管道相通,其作用是将改性剂或改性物料(子粒子)吹散成雾状。粉体和改性剂经两组喷嘴从对角方向成雾状喷出,从而得以充分混合。为了使混合后的母粒子与子粒子之间进一步混合,并进行初步的包覆或粘合,在容器内还应该设计有搅拌混合工件,搅拌混合工件的形状根据需要可以设计成叶轮形或叶片形;为了突出功效,搅拌混合工件应设计成转速可调控式,便于根据物料性质的不同进行调节。搅拌混合后的物料依靠重力的作用沉积于容器的下面,经输送设备送入改性混合主体设备。为了对物料实现实时监控,容器内应设计有测温、控温和观察、取样系统。此外,容器内壁为不锈钢材质;整个容器除进出料口外,均应密封,以防粉尘外漏。图1为理想的预分散设备结构示意图。

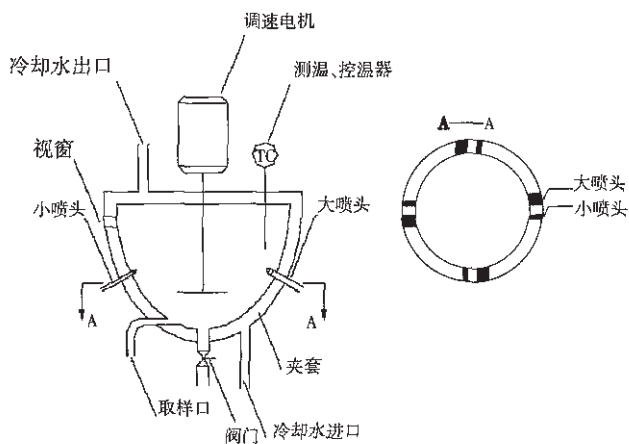


图1 理想的粉体预分散设备结构示意图

Fig.1 Ideal structure of equipment for pre-dispersion of powder

2.2 高速搅拌混合设备的结构设计

高速搅拌混合设备是机械混合法进行微米/纳米粉体表面改性复合的关键设备,也是机械混合法改性处理中最常用的设备。其作用是将经初步预分散和预包覆的母粒子和子粒子进行充分的分散与

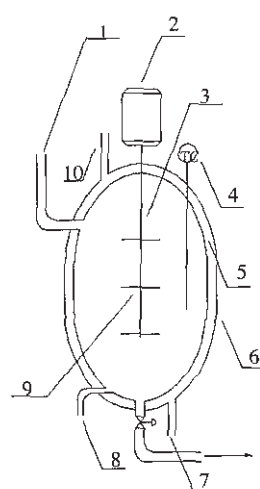
混合,在混合过程中,使子粒子均匀紧密地包覆在母粒子表面,使子粒子与母粒子之间因界面作用产生界面结合力、毛细压力和粘结力以及分子间的范德华力、库仑力和其它化学键能。粉体表面改性效果的好坏,主要取决于物料在改性机内的运动状态、处理温度、处理时间等。机械混合法是在微米/纳米粉体粒子的机械混合过程中实现表面改性的,粉体粒子与改性剂必须充分分散混合,才有利于改性剂对粉体粒子进行最大限度的包覆或活化,因此,设备的设计必须保证粉体粒子与改性剂在设备内能够充分均匀地分散,并使母粒子与子粒子之间有充分均匀混合接触的时间。

综合以上考虑,高速搅拌混合设备应该由内筒体、夹套、外壳、出料口和搅拌叶片组成。筒体最好设计成立式椭圆形,便于物料的运动分散与收集;筒体外壁设计有夹套,供冷、热水循环使用,便于物料的冷却、保温和加热;内筒体有可控制速度的高速旋转的搅拌轴带动叶片作高速旋转运动,叶片根据需要可以设计成多层(一般3层),使得高速旋转的叶片能够借助表面与物料的摩擦力和侧面对物料的推力使物料沿叶轮切向运动。同时,借助于离心力的作用,物料被抛向混合室内壁,并且沿壁面上升到一定高度后,由于重力作用,又落回到叶轮中心,接着又被抛起,这种上升运动与切向运动的结合,使物料实际上处于连续的螺旋状上、下运动状态,便于物料的翻转与搅动。由于叶轮转速很高,快速运动着的颗粒之间相互碰撞、摩擦,使得物料分散,物料温度相应升高,同时迅速地进行着交叉混合,使得物料在分散的同时,与改性剂之间充分接触,从而实现粒子的表面改性复合。筒体的内壁、搅拌轴、叶片等与粉体接触的部位,设计成耐冲刷、耐腐蚀的不锈钢材质。典型的高速搅拌混合改性装置的内筒体结构如图2所示。

3 系统结构组合设计

对于一个完整的微米/纳米粉体表面改性系统,需要多个相关设备的组合设计。为了减少设备的能耗,缩短流程,在系统设计过程中,微米/纳米粉体的预分散设备安装在计量输送设备的上方,预分散设备的出料口正对输送设备的入料口,预分散设备的出料口与输送设备的入料口采用振动给料器连接,便于下料和流量控制;输送设备安装在高速搅

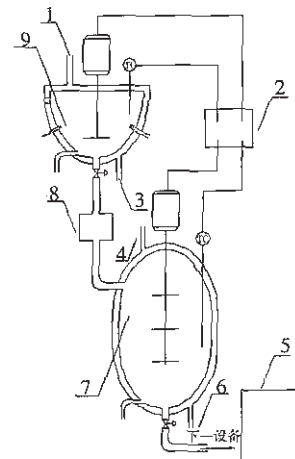
拌混合机的上方,出料口正对着高速搅拌混合机的入料口;高速搅拌混合机安装在基准地面上,其出料口经管道与产品收集器连接;控制设备安装在基准地面上,一般在设备的右侧,便于操作和观察,预分散设备、输送设备、高速搅拌混合设备以及除尘设备等需要控制的设备全部与控制设备相连接。至此,有关机械混合法对微米/纳米粉体进行表面改性与复合的主要系统结构组合设计就完成了。图3是这种组合设计的结构示意图。根据规格型号不同,这种设备可组装成台式、箱式,也可根据需要设计成分装式。



1-进料口;2-调速电机;3-搅拌轴;4-测温、控温器;5-夹套;6-外壳;7-冷却水进口;8-取样口;9-叶轮;10-冷却水出口;

图2 典型的高速搅拌混合改性机的筒体结构示意图

Fig.2 Typical structure of high-speed mechano-mixed modification device



1-冷却水出口;2-控制设备;3-冷却水进口;4-冷却水出口;5-收集设备;6-冷却水进口;7-高速搅拌混合机;8-输送设备;9-预分散设备;

图3 机械混合法对微米/纳米粉体进行改性复合的典型系统结构示意图

Fig.3 Typical structure of mechano-mixed modification device for nanometer and micron powder

4 效果评价

图4是改性复合后的粉体SEM照片,从照片中可以看出,经本设备处理后,细小的表面改性剂比较均匀地包覆在大的颗粒表面,粉体分散均匀、包覆效果好,基本达到了粉体改性的目的。

(下转第30页)

参考文献(References):

- [1] WANG Aiqin, ZHENG Chengzhi, ZHANG Ningsheng. Study of the influence of the particle size distribution on the properties of cement[J]. Cem Concr Res, 1997, 27 (5): 685-695.
- [2] 黄新, 龙世宗, 袁润章. 复合水泥粒径分布对强度影响的初步探讨[J]. 中国建材科技, 2000, 9 (5): 18-21.
HUANG Xin, LONG Shi-zong, YUAN Run-zhang. A tentative research on the effect of particle size distribution of composite cement on strength [J]. China Building Materials Science and Technology, 2000, 9 (5): 18-21. (in Chinese)
- [3] 谢友均, 刘宝举, 龙广成. 水泥复合胶凝材料体系密实填充性能研究[J]. 硅酸盐学报, 2001, 29 (6): 512-517.
XIE You-jun, LIU BAO-ju, LONG Guang-cheng. Study on dense packing properties of cementitious materials[J]. Journal of The Chinese Ceramic Society, 2001, 29 (6): 512-517. (in Chinese)
- [4] 朱宝林, 黄新, 马保国, 等. 大流动度水泥净浆流变参数的测试方法[J]. 建筑材料学报, 2005, 8(6): 691-694.
ZHU Bao-lin, HUANG Xin, MA Bao-guo, et al. Method to evaluate rheological behavior of cement paste with high fluidity[J]. Journal of Building Materials, 2005, 8(6): 691-694. (in Chinese)
- [5] Stovall T, Delarrard F, Buil M. Linear Packing. Density Model of Grain Mixtures, Powder Technology, 1988 48: 1-12.
- [6] De Larrard F, Sedran T, Optimization of ultra_high_perfor-
- mance concrete by the use of a packing model. Cem. Concr. Res. 24 (1994) 997- 1009.
- [7] WANG Aiqin, ZHANG Chengzhi, ZHANG Ningsheng. The theoretical analysis of the influence of the particle size distribution of cement system on the property of cement [J]. Cem Concr Res, 1999, 29 (10): 1721-1726.
- [8] 黄新, 袁润章, 龙世宗, 等. 水泥粒径分布对水泥石孔结构与强度的影响[J]. 硅酸盐学报, 2004, 32 (7): 888-891.
HUANG Xin, YUAN Run-zhang, LONG Shi-zong, et al. Influence of cement particle size distribution on pore structure and strength of cement paste[J]. Journal of The Chinese Ceramic Society, 2004, 32 (7): 888-891. (in Chinese)
- [9] 冯奇, 刘光明, 巴恒静. 颗粒级配对水泥基材料有害孔隙率的影响[J]. 同济大学学报 自然科学版, 2004, 32 (9): 1168-1172.
FENG Qi, LIU Guang-ming, BA Heng-jing. Relation of grain grading and deleterious porosity of cement-based Materials[J]. Journal of Tongji University (Natural Science), 2004, 32 (9): 1168-1172. (in Chinese)
- [10] 乔岭山. 水泥的最佳颗粒分布及其评价方法[J]. 水泥, 2001, (8): 1-5.
QIAO Ling-shan. Optimum particle size distribution of cement and evaluating methods[J]. Cement, 2001, (8): 1-5. (in Chinese)

(上接第 19 页)

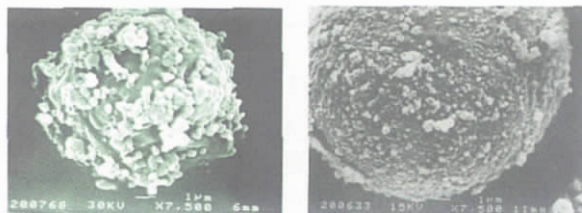


图 4 粉体表面改性后的扫描电镜照片
Fig.4 SEM image of modified particles

5 粉体表面改性与复合设备发展方向

现有粉体表面改性的大多数设备还是借用一些通用化工设备, 专用设备还较少, 因此, 今后将发展适应性强的专门的表面改性处理设备。对微米/纳米粉体来说, 粒径微细化、表面活性化、晶体结构复杂化被认为是今后的 3 大发展方向。但是, 现今这“三化”的处理工艺是独立设置的, 今后将发展复

合“处理工艺, 即将粒径微细化、表面活性化、晶体结构复杂化组合进行, 在同一工艺设备中达到几种目的。因此, 发展“复合”表面改性处理设备是今后粉体表面改性处理设备的发展方向之一。

参考文献 References):

- [1] 李凤生. 超细粉体技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2000.
LI Feng-sheng. Superfine Powder Technology [M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2001. (in Chinese)
- [2] 刘伯元. 中国粉体表面改性设备的进展[J]. 中国粉体技术, 2003, 9(3): 32-35.
LIU Bo-yuan. Progression of equipments of powders surface modification in China[J]. China Powder Science and Technology, 2003, 9(3): 32-35. (in Chinese)
- [3] 郑水林. 影响粉体表面改性效果的主要因素[J]. 中国非金属矿工业导刊, 2003, 4(1): 13-16.
ZHENG Shui-lin. Effect of some factors on powder surface modification[J]. China Non-metallic Mining Industry Herald, 2003, 4(1): 13-16. (in Chinese)