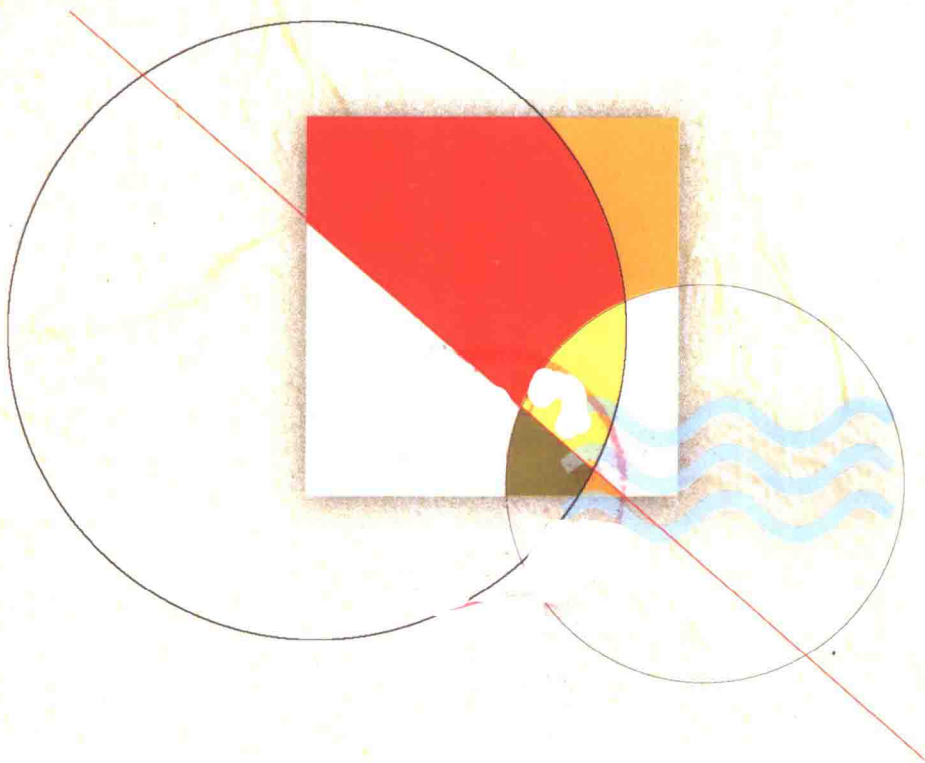


粉体表面改性

FENTI BIAOMIAN GAIXING

(第二版)

郑水林 编著



中国建材工业出版社

粉体表面改性

(第二版)

郑水林 编著

中国建材工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

粉体表面改性/郑水林编著.(第二版)—北京:中国
建材工业出版社,2003.8

ISBN 7-80159-479-7

I.粉… II.郑… III.粉体-表面改性 IV.TB44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 054645 号

内 容 提 要

本书从理论与实践相结合及发展的角度论述了粉体表面改性的原理、方法、工艺、设备、表面改性剂的性能及应用,无机填料、颜料,吸附与催化材料及纳米粉体的表面改性和粉体插层改性的方法、实践以及粉体表面改性产品的检测与表征方法等。全书包括绪论、粉体的表面物理化学性质、粉体表面改性工艺方法、表面改性设备、表面改性剂、无机填料的表面改性及无机颜料的表面改性、粉体插层改性、吸附与催化材料的表面改性、纳米粉体的表面改性、粉体表面改性产品的检测与表征等 11 章。

本书可供从事矿物加工与矿物材料、粉体加工、化工、轻工、高分子材料、复合材料、无机非金属材料、纳米粉体加工与应用以及涂料、颜料、油墨、化妆品、无机填料等领域的研究开发和工程技术人员及大专院校师生参考。

粉 体 表 面 改 性

(第二版)

郑水林 编著

出版发行:中国建材工业出版社

地 址:北京市海淀区三里河路 11 号

邮 编:100831

经 销:全国各地新华书店

印 刷:北京鑫正大印刷有限公司

开 本:787mm×960mm 1/16

印 张:18.25

字 数:347 千字

版 次:2003 年 8 月第一版

印 次:2003 年 8 月第一次

印 数:1~3000 册

书 号:ISBN 7-80159-479-7/TU·240

定 价:33.80 元

本书如出现印装质量问题,由我社发行部负责调换。联系电话:(010)68345931

序

本书是在1995年版《粉体表面改性》的基础上,根据近年来粉体表面改性技术的发展修订而成的。

1995年以来,粉体表面改性原理、方法、工艺、设备和表面改性(处理)剂及各种粉体的表面改性实践的研究以前所未有的速度向其深度和广度推进,申报的发明专利和发表的论文逐年增多。表面改性粉体在塑料、橡胶、胶粘剂、功能化纤等高分子材料或高聚物基复合材料,功能涂料和涂层材料,吸附、催化和环保材料,电绝缘材料,生物化工材料及无机复合材料等领域中的应用也日趋广泛。粉体表面改性技术已成为与现代高技术和新材料发展密切相关的功能粉体原料(填料、颜料)及非金属矿物材料(吸附、催化和环保材料,层间化合物、生物化工及无机复合材料等)的重要深加工技术之一。同时,伴随近年来纳米粉体制备技术的发展,纳米粉体的表面改性也已成为科技工作者越来越关注的课题。

基于上述背景,新版《粉体表面改性》从结构和内容上对1995年版《粉体表面改性》做了如下修改:增加了“粉体插层改性”、“吸附和催化材料的表面改性”及“纳米粉体的表面改性”等三章;将原书第二章“粉体的表面特性与测定方法”分成“粉体的表面物理化学性质”和“粉体表面改性产品的检测与表征”两章,并对其内容作了相应的补充;将原书第三章“粉体表面改性的方法与设备”分成“粉体表面改性工艺方法”和“表面改性设备”两章,补充了表面改性工艺和近几年新发展的表面改性设备;还增补了表面改性剂的部分内容,特别是关于“表面活性剂”、“水溶性高分子”和偶联剂(硅烷)选择方面的内容;增加了无机复合填料、超细水镁石 $[Mg(OH)_2]$ 、氧化铁红的表面改性以及粉体表面改性基本原理方面的内容;同时将原书第七章“珠光云母制备技术”和第八章“有机膨润土制备技术”分别纳入“颜料的表面改性”和“粉体插层改性”章节中,目的是使新版《粉体表面改性》内容更加丰富、科学和实用,能更好地满足广大读者的需要。

作者在编著和修订过程中参阅了大量国内外相关学科专家学者和工程技术人员的著作和论文以及表面改性剂和表面改性设备生产厂家的产品说明书,在新版《粉体表面改性》出版之机,一并致以诚挚的谢意!同时还要特别感谢中国建材工业出版社的领导和编辑!正是因为有了1995年的初版才有今天的新版或第二版。

在新版《粉体表面改性》的编著过程中,虽然作者酝酿了较长时间,也做了较

大努力、投入了较多精力,但还会存在某些不足甚至错误之处,恳请专家学者和广大读者批评斧正!

郑水林
2003年4月于北京

目 录

第一章 绪论	1
1.1 粉体表面改性的目的	1
1.2 粉体表面改性的研究内容	3
1.3 粉体表面改性技术的发展趋势	4
第二章 粉体表面物理化学性质	7
2.1 比表面积与表面能	7
2.1.1 比表面积	7
2.1.2 表面能	7
2.2 表面润湿性	8
2.3 表面吸附特性	9
2.3.1 概述	9
2.3.2 粉体对气体的吸附	10
2.3.3 粉体在溶液中的吸附	13
2.4 表面电性.....	16
2.5 表面化学性质.....	18
第三章 粉体表面改性工艺方法	21
3.1 表面改性方法.....	21
3.1.1 物理涂覆.....	21
3.1.2 化学包覆.....	23
3.1.3 沉淀反应.....	27
3.1.4 机械力化学	29
3.1.5 胶囊化改性	30
3.1.6 高能表面改性	31
3.2 表面改性工艺.....	31
3.2.1 干法工艺.....	31
3.2.2 湿法工艺.....	33
3.2.3 复合工艺.....	34
第四章 表面改性设备	35
4.1 干法表面改性设备.....	35

4.1.1	高速加热式混合机	35
4.1.2	SLG 型粉体表面改性机	38
4.1.3	高速冲击式粉体表面改性机	40
4.1.4	PSC 型粉体表面改性机	42
4.1.5	卧式桨叶混合机	43
4.1.6	机械融合改性机	45
4.1.7	流态化床改性机	46
4.1.8	兼具粉碎或干燥功能的表面改性机	47
4.2	湿法表面改性设备	49
第五章	表面改性剂	51
5.1	偶联剂	51
5.1.1	钛酸酯偶联剂	51
5.1.2	硅烷偶联剂	60
5.1.3	铝酸酯偶联剂	66
5.1.4	其他偶联剂	70
5.2	表面活性剂	72
5.2.1	概述	72
5.2.2	阴离子表面活性剂	74
5.2.3	阳离子表面活性剂	74
5.2.4	非离子型表面活性剂	75
5.3	有机硅	76
5.3.1	聚二甲基硅氧烷	76
5.3.2	有机基改性聚硅氧烷	76
5.3.3	有机硅与有机化合物的共聚物	78
5.4	不饱和有机酸及有机低聚物	78
5.4.1	不饱和有机酸	78
5.4.2	有机低聚物	80
5.5	超分散剂	80
5.5.1	分子结构及品种	80
5.5.2	使用方法	82
5.6	水溶性高分子	83
5.6.1	水溶性高分子的分类和性能	83
5.6.2	主要品种和应用	86
5.6.3	使用方法	91

5.7 无机表面改性剂	91
第六章 无机填料的表面改性	92
6.1 概述	92
6.1.1 无机填料的种类及应用	92
6.1.2 影响无机填料作用效果的主要因素	94
6.1.3 无机填料的表面改性方法	95
6.1.4 填料表面改性效果的表征	97
6.2 碳酸钙	98
6.2.1 脂肪酸(盐)改性	99
6.2.2 偶联剂改性	100
6.2.3 聚合物改性	103
6.2.4 等离子和辐射改性	104
6.2.5 无机表面改性	107
6.2.6 超细粉碎与表面改性复合工艺	107
6.3 高岭土	108
6.3.1 硅烷偶联剂改性	109
6.3.2 有机硅油改性	113
6.3.3 有机酸改性	114
6.3.4 有机胺改性	114
6.3.5 无机表面改性	115
6.4 硅灰石	116
6.4.1 硅烷偶联剂改性	116
6.4.2 表面活性剂改性	117
6.4.3 聚合物改性	119
6.5 滑石	120
6.6 云母	124
6.7 二氧化硅	126
6.8 纤维填料	129
6.8.1 玻璃纤维	129
6.8.2 碳纤维	132
6.8.3 石棉	134
6.9 氢氧化镁和水镁石	136
6.10 复合无机填料	140
6.10.1 概述	140
6.10.2 重质碳酸钙/硅灰石复合填料	141

6.10.3	煅烧高岭土/硅藻土复合填料	145
6.10.4	滑石/透闪石复合填料	148
6.11	其他	151
6.11.1	叶蜡石	151
6.11.2	氢氧化铝	153
6.11.3	海泡石和凹凸棒土	154
6.11.4	粉煤灰	156
6.11.5	白云石	156
6.11.6	石墨	159
6.11.7	重晶石	160
第七章	颜料表面改性	162
7.1	概述	162
7.2	颜料表面有机改性	168
7.2.1	概述	168
7.2.2	表面改性剂	169
7.2.3	影响颜料表面有机改性效果的因素	174
7.3	颜料表面无机改性	181
7.3.1	概述	181
7.3.2	表面改性剂	182
7.3.3	表面改性工艺	184
7.3.4	TiO ₂ 表面无机包覆形成机理	186
7.4	珠光云母	188
7.4.1	概述	188
7.4.2	云母钛珠光粉制备工艺	189
7.4.3	影响云母钛珠光粉质量的因素	192
7.4.4	云母珠光颜料质量的检测方法	202
7.5	氧化铁红	210
7.5.1	概述	210
7.5.2	表面改性剂	211
7.5.3	表面改性机理	213
第八章	粉体插层改性	215
8.1	有机膨润土	215
8.1.1	概述	215
8.1.2	制备工艺方法	218
8.1.3	影响有机膨润土质量的主要因素	219

8.1.4	有机膨润土制备实例	223
8.2	粘土层间化合物	223
8.2.1	插层粘土的有机化合物	224
8.2.2	原位插层聚合原理	224
8.2.3	粘土层间化合物制备方法	226
8.3	石墨层间化合物	230
8.3.1	石墨层间化合物的分类	230
8.3.2	石墨层间化合物的结构	231
8.3.3	石墨层间化合物的生成机理	232
8.3.4	石墨层间化合物的制备方法	233
第九章	吸附与催化材料表面改性	235
9.1	吸附与催化材料表面处理方法	235
9.1.1	浸渍	235
9.1.2	沉淀反应	237
9.2	吸附与催化材料表面改性实例	238
9.2.1	氧化铝	238
9.2.2	海泡石	240
9.2.3	硅藻土	245
第十章	纳米粉体表面改性	247
10.1	概述	247
10.2	纳米粉体表面改性的方法和工艺设备	248
10.2.1	有机表面改性	248
10.2.2	无机表面改性	253
10.2.3	表面改性设备	255
10.3	纳米粉体表面改性效果的检测与评价	255
10.4	纳米粉体表面改性技术的发展趋势	255
第十一章	粉体表面改性产品的检测与表征	256
11.1	润湿接触角	256
11.2	活化指数	258
11.3	表面能	259
11.4	溶液中的分散稳定性	260
11.5	吸附类型、包覆量与包覆率	261
11.5.1	吸附类型	261
11.5.2	包覆量与包覆率	261
11.6	粒度分布与颗粒形貌	263

11.7 表面结构和成分.....	265
11.8 其他.....	266
附录 常用聚合物缩写词.....	267
参考文献.....	275

第一章 绪 论

粉体表面改性(Surface modification or Surface treatment of powder)是指用物理、化学、机械等方法对粉体材料表面进行处理,根据应用的需要有目的地改变粉体材料表面的物理化学性质,如表面组成、结构和官能团、表面能、表面润湿性、电性、光性、吸附和反应特性,等等,以满足现代新材料、新工艺和新技术发展的需要。

1.1 粉体表面改性的目的

在塑料、橡胶、胶粘剂等高分子材料工业及高聚物基复合材料领域中,无机粉体填料占有很重要的地位。这些填料,如轻质碳酸钙和重质碳酸钙、高岭土、滑石、氢氧化铝、氢氧化镁、石英、硅藻土、白炭黑、云母、硅灰石、叶蜡石、石棉、玻璃微珠等,不仅可以降低材料的生产成本,还能提高材料的硬度、刚性或尺寸稳定性,改善材料的力学性能并赋予材料某些特殊的物理化学性能,如耐腐蚀性、耐候性、阻燃性和绝缘性等。但由于无机粉体填料与基质,即有机高聚物的表面或界面性质不同,相容性较差,因而难以在基质中均匀分散,直接或过多地填充往往容易导致材料的某些力学性能下降以及易脆化等缺点。因此,除了粒度和粒度分布的要求之外,还必须对无机粉体填料表面进行改性,以改善其表面的物理化学特性,增强其与基质,即有机高聚物或树脂等的相容性和在有机基质中的分散性,以提高材料的机械强度及综合性能。表 1-1 所列为部分无机填料经过表面化学改性后的应用及功能。由此可见,表面改性是无机填料由一般增量填料变为功能性填料所必须的加工手段之一,同时也为高分子材料及有机/无机复合材料的发展提供了新的技术方法,这是粉体表面改性最主要的目的之一。

表 1-1 经表面化学改性后的部分无机填料的应用和功能^[1]

无机填料	主要用途	主要功能
氢氧化铝	电线电缆、PVC、EPDM	阻燃、改善工艺性能
碳酸钙	PVC 管	提高填充量
高岭土	轮胎、EPDM、电线电缆	颜料代用品、电性能
硅灰石	尼龙	改善物理性能、代替玻纤
云母	聚烯烃	改善物理性能
石英粉	环氧树脂的磨铸料	电性能
滑石	工业橡胶	改善物理性能
有机粘土	涂料	改善分散性、触变性等

提高涂料或油漆中颜料的分散性并改善涂料的光泽、着色力、遮盖力和耐候性、耐热性、抗菌防霉性和保色性等是粉体表面改性的第二个主要目的。涂料的着色颜料和体质颜料,如钛白粉、锌钡白、氧化锌、碳酸钙、碳酸钡、重晶石、石英粉、白炭黑、云母、滑石、高岭土、氧化铝等多为无机粉体,为了提高其在有机基质油漆或涂料中的分散性,要对其进行表面改性,以改善其表面的润湿性,增强与基体的结合力。在新发展的具有电、磁、声、热、光、抗菌防霉、防腐、防辐射、特种装饰等功能的所谓特种涂料中的填料和颜料不仅要求粒度超细,而且要求具有一定的“功能”。因此,必须对其进行表面处理。此外,为提高某些颜料的耐候性、耐热性以及遮盖力和着色力等,用一些性能较好的无机物包覆之,如用氧化铝、二氧化硅包覆钛白粉可改善其耐候性等性能。

在成为当今流行化趋势之一的水性建筑装饰涂料中,除了与其他组分的相容性和配伍性之外,还要求无机颜料和填料具有较长时间的分散稳定性和良好的流变性,这也是水性涂料中应用的颜料和填料必须要进行表面改性或表面处理的原因之一。

当今许多高附加值产品要求要有良好的光学效应和视觉效果,使制品更富色彩,这就需要对一些粉体原料进行表面处理,使其赋予制品良好的光泽和装饰效果。如白云母粉经氧化钛、氧化铬、氧化铁、氧化钴等金属氧化物进行表面改性后用于化妆品、塑料制品、浅色橡胶、油漆、特种涂料、皮革等,可赋予这些制品珠光效应,显著提高了这些产品的价值。

在无机/无机复合新材料中,无机组分之间的分散性对于材料的最终性能有很大的影响,特别是当小组分陶瓷颜料在大组分陶瓷坯料中分散时,例如在彩色陶瓷地砖中添加的陶瓷颜料,其分散性直接影响陶瓷制品色彩的均匀性和产品的档次。使用分散性能好的陶瓷颜料不仅可以使最终产品的色泽好,而且可减少昂贵的颜料的用量。因此,无机颜料或组分的表面处理(提高在无机相中的分散性)对无机/无机复合材料的发展也有重要意义。

在许多层状晶体结构的粉体材料中,利用晶体层之间较弱的分子键连接或层间离子的可交换性而进行的插层改性,可产生一种新型的矿物层间化合物,如粘土层间化合物和石墨层间化合物。这些层间化合物具有原矿物粉体所不具有的新的物化性质或功能。如石墨经过层间化学处理制成的层间化合物,其性质大大优于石墨,具有耐高温、抗热震、抗氧化、耐腐蚀、润滑性和密封性好等优良性能或功能,是制备新型导电材料、电极材料、储氢材料、柔性石墨、密封材料的原料,其应用范围已扩大到冶金、石油、化工、机械、航空航天、原子能、新型能源等领域。膨润土层间有机改性后的有机膨润土在非极性和弱极性溶剂中也显示出良好的膨胀、吸附、触变和粘结等特性。

对于吸附和催化粉体材料,为了提高其吸附和催化活性以及选择性、稳定

性、机械强度等性能,也需要对其进行表面处理或表面改性。例如,在活性炭、硅藻土、氧化铝、硅胶、海泡石、沸石等粉体表面通过浸渍法负载金属氧化物、碱或碱土金属、稀土氧化物以及 Cu、Ag、Au、Mo、Co、Pt、Pd、Ni 等金属或贵金属。

纳米粉体是在微米粉体基础上发展的一种新的粉体材料,具有良好的应用前景。但是纳米粉体的比表面积大、表面原子数多、表面能高,在制备、储运和使用过程中很容易团聚形成二次、三次或更大的颗粒,从而不能发挥其应有的纳米效应。因此,纳米粉体的表面处理或表面改性对改善和提高纳米粉体的应用性能、加速其工业应用具有至关重要的意义。

此外,为了保护环境,满足健康法的要求,对某些公认的对健康有害的原料,如石棉,进行表面处理,用对人体无害和对环境不构成污染,又不影响其使用性能的其他化学物质覆盖、封闭其表面的活性点,以维持其在未来矿产品的位置;对某些用作精细铸造、油井钻探等的石英砂进行表面涂敷以改善其粘结性能;对用作保温材料的珍珠岩等进行表面涂敷以改善其在潮湿环境下的防水和保温性能;对煅烧高岭土进行有机表面改性以提高其在潮湿环境下的电绝缘性能,等等。

综上所述,虽然粉体表面改性的目的因应用的领域不同而异,但总的目的是改善或提高粉体原料的应用性能或赋予其新的功能以满足新材料、新技术发展或新产品开发的需要。

1.2 粉体表面改性的研究内容

粉体表面改性或表面处理与很多学科,如粉体工程、物理化学、表面与胶体化学、有机化学、无机化学、高分子化学、无机非金属材料、高分子材料、复合材料、结晶学、化学工程、矿物加工工程、环境工程与环境材料、光学、电学、磁学、微电子、现代仪器分析与测试技术等学科密切相关。可以说,粉体表面改性是粉体工程或颗粒制备技术与其他众多学科相关的边缘学科。粉体表面改性主要包括以下四个方面的内容。

(1) 表面改性的原理和方法

粉体表面改性的原理和方法是粉体表面改性技术的基础。它主要包括:①粉体(包括改性处理后的粉体)的表面与界面性质及与应用性能的关系;②粉体表面或界面与表面改性处理剂的作用机理和作用模型,如吸附或化学反应的类型,作用力或键合力的强弱,热力学性质的变化等;③表面改性方法的基本原理或理论基础,如粉体表面改性处理过程的热力学和动力学以及改性过程的数学模拟和化学计算等。这是粉体表面改性或表面处理最主要的研究内容之一。

(2) 表面改性剂

在大多数情况下,粉体表面性质的改变或新功能的产生是依靠各种有机或

无机化学物质(即表面改性剂)在粉体粒子表面的吸附或反应来实现的。因此,从某种意义上来说,表面改性剂是粉体表面改性技术的关键所在。此外,表面改性剂还关系到粉体改性(处理)后的应用特性。因此,它的选用还与应用领域或应用对象密切相关。表面改性剂的研究内容涉及表面改性剂的种类、结构、性能或功能及其与各种颗粒表面基团的作用机理或作用模型;表面改性剂的分子结构、分子量大小或烃链长度、官能团或活性基团等与其性能或功能的关系;表面改性剂的用量和使用方法;经表面改性剂处理后粉体的应用特性(如表面改性填料对塑料或橡胶制品力学性能等的影响,改性颜料对其湿润性、分散稳定性及对涂料遮盖力、耐候性、抗菌性、耐热性和光学效果等的影响)以及新型、特效表面改性剂的制备或合成工艺。

(3) 表面改性工艺与设备

表面改性工艺与设备是最终实现按应用需要改变矿物表面性质的重要环节。其主要研究内容包括:不同类型和不同用途粉体表面改性的工艺流程和工艺条件;影响表面改性效果的因素;表面改性剂的配方(品种、用量、用法);设备类型与操作条件;高性能表面改性设备的研制开发,等等。表面改性工艺与设备是互相联系的,好的改性处理工艺必然包括高性能的改性处理设备。

(4) 表面改性过程的控制与产品检测技术

这一研究领域涉及表面改性或处理过程温度、浓度、酸度、时间、表面改性剂用量等工艺参数以及表面包覆量、包覆率或包膜厚度等结果参数的监控技术;表面改性产品的湿润性、分散性、粒度分布特性、表面形貌、比表面能、表面改性剂的吸附或反应类型、表面包覆量、包覆率、包膜厚度、表面包覆层的化学组成、晶体结构、电性能、光性能、热性能等的检测方法;此外,还包括建立控制参数与指标之间的对应关系,以及过程的计算机仿真和自动控制等。

1.3 粉体表面改性技术的发展趋势

虽然早在 20 世纪 50 年代,研究人员就已经注意到,对无机颜料,如钛白粉,用二氧化硅或三氧化二铝等进行表面复合或包膜处理可以改善其保光性和耐候性,但是在更广的范围内和更深的程度上认识粉体表面改性的意义并将其作为一种重要的粉体深加工技术来进行研究、开发则是近一二十年的事,背景是现代高新技术和新材料,尤其是功能性复合材料、新型高分子材料、特种涂料、生物化学材料、电子信息材料、吸附型环保材料和催化材料等的发展。材料功能化不仅与其体质性能有关还与其表面性质密切相联。在热塑性复合材料和热固性复合材料中,各种组分的表面性质及相容性,特别是有机高聚物基料与无机填料的相容性对材料的综合性能或某一方面的功能有至关重要的影响。现代新材料的“设计”离不开粉体表面性质的“设计”——即表面处理。因此,粉体表面改性技术的

研究已引起粉体工程和化学工程专家以及材料科学家的广泛重视,有关的专利和发表的论文逐年增多^[2]。

无机填料的表面改性(处理)满足了现代高分子材料及高聚物基复合材料、胶粘材料、功能化学纤维、涂料提高综合性能的需要,将成为粉体表面改性的一个重要的应用领域之一。据估计,仅仅在塑料工业中,经过表面改性处理的无机填料的用量今后将以每年约10%以上的速率增长,其增长速度将显著高于普通无机填料^[3]。粒径微细化、表面活性化、结构复杂化被认为是未来无机填料发展的三大方向,因此“复合”处理工艺,即将结构复杂(即复合)、粒径微细化(即超细粉碎)、表面活性化(即表面改性)在同一工艺过程或系统中完成,将成为未来无机填料加工技术的主要发展趋势。

颜料是表面改性的另一个用量呈上升趋势的重要应用领域。颜料的表面处理大大提高了涂料的外观效果、光泽、耐候性、化学稳定性、环境友好功能和涂膜的强度,并赋予涂层特殊功能,如吸波、隔热、抗辐射等,适应了当代涂料和涂层材料及特种漆料发展的要求。新一代的云母珠光颜料赋予制品多彩和高雅的外观,已成为汽车面漆、高档塑料和皮革制品、高级化妆品的重要颜料之一,发展前景十分看好。

插层化合物或层间化合物是表面或界面改性另一个重要的发展领域之一。插层改性技术赋予层状结构非金属矿物粉体或矿物材料全新的功能,可以根据高技术、新材料和环保等发展的要求对层间化合物有目的地进行设计,发展前景广阔。

表面处理或表面改性是吸附和催化粉体材料所必需的加工技术之一。表面处理技术为高性能吸附和催化材料的发展提供了新的技术手段和开发领域。这些吸附和催化粉体材料广泛用于石油、化工、化肥的生产以及环境保护,具有良好的发展前景。通过表面改性提高吸附和催化材料的吸附和催化活性、选择性、稳定性、机械强度等性能以及降低其生产成本将成为吸附和催化材料的主要发展方向之一。

改善和提高纳米粉体材料的分散性、在多项复合材料中的相容性,并优化其表面或界面性能是粉体表面改性技术伴随纳米粉体制备技术而发展的一个新的应用领域。今后,纳米粉体的表面改性技术将与纳米粉体制备技术同步发展。

现代高技术和新材料的发展将对粉体原料的表面性质提出新的要求。由于大多数改性后的粉体物料只是作为一种填料、颜料或其他性质及功能的原料,并非最终的材料或制品,因此,粉体表面改性技术也将不断发展和提高以灵活适应相关应用领域的发展和现代科学技术日新月异的变化。

在粉体表面改性的原理和方法方面今后将在重视基本原理研究和改进现有方法的基础上借鉴其他学科方法,发展简单可靠、容易控制的新的表面改性方法

并优化现有的方法和工艺以适应各种不同粉体原料和不同功能要求的表面改性或表面处理。

表面改性剂在粉体的表面改性中起重要作用。表面改性剂的发展方向：一是降低现有改性剂，尤其是各种偶联剂的成本。这就涉及表面改性剂原料来源的选择和生产工艺的革新。二是研究开发应用性能好、成本低或有专门性能或特殊功能的新型表面改性剂及使用方法。在这一方面，研制那些与基质材料在化学成分、分子结构紧密相关的“衍生物”，将大大改善粉体与基质的相容性和应用性能，具有良好的发展前景。

现今粉体表面改性的大多数设备是借用一些通用的化工设备，如高速捏合（混合）机、研磨机、反应釜等，专用设备还较少。今后将加快发展连续生产、对粉体及表面改性剂的分散性好、粉体与表面改性剂的接触或作用机会均等、改性温度可调、单位产品能耗低、无粉尘污染、操作简便、运行平稳、适应性强的专门的表面改性（处理）机和成套工艺设备。

目前对表面改性产品尚缺乏标准化或规范化的质量检验和评价方法，随着表面改性技术的发展、表面改性产品用途的扩大和用量的增加以及产业的逐步壮大，将按用途建立一套较完整的质量标准和相应的检验、评价方法^[4]。