

建筑材料与纳米技术

刘吉平 张艾飞 编著



化学工业出版社

· 北 京 ·

纳米技术是 21 世纪高科技的前沿技术。本书紧密结合我国建筑材料发展需求的最高成就和前沿,系统地阐述了纳米科学的理论及其在建筑材料各不同领域中的应用,全面介绍了该领域研究成果以及国内外纳米技术在建筑材料中研究与应用的最新进展,反映了建筑材料领域中应用纳米技术及研究现状。

本书可供建筑材料研究、生产人员参考,也可供广大科研人员、相关专业人员和大专院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

建筑材料与纳米材料/刘吉平,张艾飞编著. —北京:
化学工业出版社, 2007. 3
ISBN 978-7-5025-9286-8

I. 建… II. ①刘…②张… III. 建筑材料: 纳米材料 IV. TU5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 037208 号

责任编辑: 朱 彤

文字编辑: 王 琪

责任校对: 周梦华

装帧设计: 张 辉

出版发行: 化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 大厂聚鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市前程装订厂

850mm×1168mm 1/32 印张 12 $\frac{3}{4}$ 字数 338 千字

2007 年 4 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888(传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价: 28.00 元

版权所有 违者必究

前 言

在相当长的时间内，我国建筑材料生产质量和生产方式以及品种等受到传统观念的制约而难以改变。为了满足未来经济、社会和环境协调发展对建筑材料的需求，建筑材料的洁净使用与城市容貌的改变必须以科学发展观，依靠科技进步，走出一条兼顾高效、环保和经济的新型建筑材料制备的工业化道路。发展基于纳米技术和纳米改性的建筑材料，只是改善一些加工工艺和环境条件，使其更精细化，将可导致现有建筑材料发生质的变化，通过挖掘潜力，改善建筑材料制造的硬件及技术途径等手段可使建筑材料的质量、使用效果、使用时间、耐候性能、功能特征等得到制造商和使用者的认可。以纳米技术和纳米粒子为基础改性的建筑材料，不仅能较好地弥补原有建筑的某些功能或缺陷，而且能较好地突出原来建筑材料的功能特征，对于全面提高我国建筑材料功能及质量有重要意义。

本书涉及纳米材料的众多领域，如化学、物理、力学和纳米材料的制备与技术，催化剂、黏合剂技术、无机材料、有机材料、稀土材料以及陶瓷材料、玻璃和电器材料、阻燃材料，建筑防火、隔热保温材料等，因为这些材料与人们的衣食住行及生活有紧密联系。在建筑材料中引入纳米技术，说明我国材料科学发展已渗透到各个领域，是保证我国建筑材料可持续发展的重要基础。

在纳米改性建筑材料中，纳米技术是系统中最重要核心技术和关键，尽管我国建筑材料发展已有千年历史，但现代建筑设施需要高新技术和方法生产出来的产品。从 1990 年 2 月在美国巴尔的摩召开的第一届国际纳米科学会议，到 2001 年 3 月在北京召开的中国第一届国际纳米会议，经众多科学家们共同努力，已将纳米技

术推进到各个领域的前沿，在国家“八五”、“九五”、“十五”攻关和“十一五”以及“863”等科技计划的支持下，通过产、学、研联合攻关，已开发出各种纳米改性涂料、纳米抗菌、自洁净地砖、纳米改性陶瓷、纳米改性玻璃和纳米家用电器、纳米阻燃塑料等多种产品并广泛深入人心，这些标志我国建筑材料行业与国际水平的差距越来越小，高新技术已迈向工业化。

本书作者长期从事高新技术与材料科学研究，很早便思考纳米技术的概念而且在纳米技术方面也取得了多个成果。

由于时间关系，书中疏漏在所难免，希望能得到广大读者及同行的批评与指正。

编著者

2007 年 2 月

目 录

第 1 章 纳米科学与技术	1
1.1 纳米科学的基本概念	1
1.2 纳米科技的主要进展	2
1.2.1 纳米科技发展简史	2
1.2.2 纳米技术发展的可能阶段	8
1.3 纳米技术的应用领域	9
1.3.1 纳米技术的主要研究领域	9
1.3.2 纳米科学的主要应用领域	12
参考文献	13
第 2 章 纳米材料的特性	15
2.1 纳米材料的基本分类	15
2.1.1 纳米粒子	15
2.1.2 纳米块体材料	16
2.1.3 纳米组装体系	16
2.2 纳米粒子的基本特性	18
2.2.1 表面效应	18
2.2.2 体积效应	18
2.2.3 量子尺寸效应	19
2.2.4 宏观量子隧道效应	20
2.3 纳米粒子的特殊性质	20
2.3.1 光学性质	20
2.3.2 电磁性质	22
2.3.3 力学性能	24
2.3.4 化学和催化性能	25
2.3.5 Hall-Petch (H-P) 关系	26

2.3.6	热学性质	27
2.3.7	其他性质	28
2.4	纳米材料的表征方法	28
2.4.1	纳米材料表征概述	28
2.4.2	纳米材料的表征技术	30
2.5	纳米材料的特性及表征展望	41
	参考文献	42
第3章	纳米粒子的制备及分散方法	47
3.1	纳米粒子的制备方法概论	47
3.2	纳米材料的物理制备方法	48
3.2.1	惰性气体冷凝法	48
3.2.2	超重力技术	48
3.2.3	高能机械球磨法制备纳米粉体	48
3.2.4	非晶晶化法制备纳米晶体	49
3.2.5	等离子体法	49
3.2.6	深度范性形变法制备纳米晶体	49
3.2.7	物理气相沉积方法制备纳米薄膜	50
3.2.8	低能团簇束沉积法制备纳米薄膜	50
3.2.9	压淬法制备纳米晶体	50
3.2.10	脉冲电流非晶晶化法制备纳米晶体	50
3.2.11	溅射法	51
3.2.12	混合等离子法	51
3.2.13	激光诱导化学气相沉积法	52
3.2.14	电弧法	52
3.2.15	爆炸丝法	53
3.2.16	分子束外延法	54
3.2.17	扫描探针显微镜法	54
3.2.18	其他物理方法	55
3.3	化学法	55
3.3.1	沉淀法	56
3.3.2	微乳液法	57

3.3.3	溶胶-凝胶法	61
3.3.4	溶剂热法	63
3.3.5	模板合成法	65
3.3.6	Langmuir-Blodgett 膜法	67
3.3.7	气相法	67
3.3.8	固相法	68
3.3.9	SPD 法	69
3.3.10	超声场中湿法	70
3.3.11	自组装法	70
3.3.12	气相燃烧合成技术	71
3.3.13	辐射合成法	71
3.3.14	金属有机化合物热解法	72
3.4	电化学合成法	73
3.4.1	模板电化学合成法	73
3.4.2	电化学还原法	76
3.4.3	脉冲超声电化学法合成纳米微粒的研究	78
3.4.4	电化学表面原子台阶边缘修饰法	80
3.5	纳米粒子的分散	81
3.5.1	纳米粒子在介质中的分散理论	81
3.5.2	纳米粒子的分散方法	84
3.6	纳米粒子制备与分散方法展望	87
	参考文献	89
第4章	纳米改性涂料	94
4.1	纳米改性涂料的研究进展	94
4.1.1	纳米改性涂料的概念	94
4.1.2	纳米改性涂料的发展概况	94
4.1.3	纳米改性涂料的综合性能	98
4.2	不同功能纳米改性涂料的作用原理	100
4.2.1	纳米抗菌涂料	100
4.2.2	纳米改性防水涂料	102
4.2.3	纳米光催化环保涂料	104

4.2.4	耐老化纳米涂料	104
4.2.5	纳米隐身涂料	105
4.2.6	纳米抗静电涂料	106
4.2.7	纳米透明耐磨涂料	106
4.2.8	纳米阻燃涂料	107
4.3	纳米 SiO_2 对涂料性能的影响	108
4.3.1	纳米 SiO_2 的性能特点	108
4.3.2	纳米 SiO_2 的含量对涂料附着力的影响	108
4.3.3	纳米 SiO_2 含量对聚氨酯涂膜的拉伸强度和断裂 伸长率的影响	109
4.3.4	纳米 SiO_2 含量对纳米 SiO_2 改性聚氨酯涂料抗 老化性能的影响	109
4.3.5	分散剂种类对 SiO_2 抗紫外性能的影响	110
4.4	纳米 TiO_2 对涂料性能的影响	110
4.4.1	纳米 TiO_2 的特性和用途	110
4.4.2	纳米 TiO_2 对涂料耐候性的影响	111
4.4.3	纳米 TiO_2 对涂料耐污染性的影响	112
4.4.4	纳米 TiO_2 对大气的净化作用	113
4.4.5	纳米 TiO_2 的随角异色效应	113
4.4.6	纳米 TiO_2 对涂料加工性能的影响	115
4.4.7	纳米 TiO_2 对涂料力学性能的影响	115
4.4.8	纳米 TiO_2 改性外墙乳胶漆的制备	116
4.4.9	纳米 TiO_2 涂料的发展前景	117
4.5	纳米 ZnO 对涂料性能的影响	119
4.5.1	纳米 ZnO 的特性	119
4.5.2	纳米 ZnO 的抗老化性能	119
4.5.3	纳米 ZnO 改性纯丙乳液外墙涂料的制备	121
4.6	其他纳米改性涂料	121
4.6.1	纳米黏土在涂料中的应用	121
4.6.2	掺铈二氧化锡纳米涂料	123
4.6.3	纳米碳酸钙在涂料中的应用	124

4.6.4 纳米水性乳液	124
4.7 纳米涂料的发展展望	125
参考文献	126
第5章 纳米改性陶瓷	129
5.1 纳米改性陶瓷的发展概况	129
5.1.1 纳米改性陶瓷概念的由来	129
5.1.2 纳米改性建筑陶瓷的发展概况	130
5.2 纳米陶瓷的作用原理	134
5.2.1 强韧化原理	134
5.2.2 抗菌原理	135
5.3 纳米建筑陶瓷中纳米原料的制备	138
5.3.1 概述	138
5.3.2 纳米陶瓷原料的合成方法	139
5.3.3 粉碎法制备微米/纳米陶瓷原料	140
5.3.4 紫木节的微米/纳米制粉工艺研究	141
5.3.5 煤矸石的微米/纳米制粉工艺研究	141
5.3.6 长石的微米/纳米制粉工艺研究	144
5.3.7 由普通陶瓷原料制备纳米 Al_2O_3	144
5.3.8 纳米银盐抗菌剂的制备	147
5.4 纳米改性陶瓷的制备	148
5.4.1 高强高韧纳米墙地砖的制备	148
5.4.2 纳米抗菌陶瓷的制备	150
5.4.3 稀土化合物对银盐抗菌效果的影响	153
5.5 稀土化合物对 TiO_2 抗菌自洁净效果的影响	154
5.5.1 稀土对 TiO_2 抗菌效果的影响研究	154
5.5.2 TiO_2 自动光催化性能测试	155
5.6 银盐、 TiO_2 复合抗菌效果的研究	157
5.7 纳米改性建筑陶瓷的发展展望	159
参考文献	160
第6章 纳米改性水泥	163
6.1 水泥发展简史	163

6.2	水泥的分类	166
6.2.1	通用水泥	166
6.2.2	特种水泥	168
6.3	纳米技术在水泥中的应用概述	171
6.3.1	普通水泥的结构特征	171
6.3.2	纳米材料在水泥中的研究进展	172
6.3.3	水泥改性中使用的纳米材料	173
6.4	纳米 SiO_2 改性水泥的研究	175
6.4.1	纳米 SiO_2 改性水泥进展	175
6.4.2	纳米 SiO_2 和硅粉在水泥中活性比较	177
6.4.3	纳米 SiO_2 改性水泥的力学性能	178
6.4.4	纳米 SiO_2 对浆体流动性的影响	179
6.4.5	纳米 SiO_2 对凝结时间的影响	180
6.4.6	对水泥安定性能影响	181
6.4.7	低温稻壳灰制 SiO_2 改性水泥的性能	181
6.5	纳米 ZrO_2 改性水泥	183
6.5.1	试样制备与测试	184
6.5.2	纳米 ZrO_2 粉体特征	184
6.5.3	纳米 ZrO_2 粉体复合水泥抗压强度	184
6.6	碳纳米管改性水泥	186
6.7	纳米 TiO_2 改性吸水水泥	188
6.7.1	原料和方法	188
6.7.2	试样制备	189
6.7.3	不同吸波材料对水泥基复合材料吸波性能的影响	189
6.7.4	纳米 TiO_2 分散方式对水泥基复合材料吸波性能的影响	190
6.7.5	纳米 TiO_2 的用量对水泥基复合材料吸波性能的影响	190
6.8	纳米黏土改性水泥	191

6.8.1	原料	192
6.8.2	试验方法	192
6.8.3	纳米材料对水泥净浆流动度的影响	192
6.8.4	纳米材料对水泥净浆水胶比的影响	193
6.8.5	纳米材料对混凝土抗渗性能的影响	193
6.8.6	纳米材料对混凝土抗冻性能的影响	194
6.9	纳米纤维-微粉复合水泥	194
6.10	纳米水泥的发展展望	196
	参考文献	197
第7章	纳米改性玻璃	200
7.1	玻璃制品的总体要求	200
7.2	玻璃制品的种类及用途	201
7.2.1	节能玻璃	201
7.2.2	高强度玻璃	202
7.2.3	微晶玻璃	203
7.2.4	有机玻璃	203
7.2.5	导电玻璃	203
7.2.6	新的功能玻璃品种	203
7.3	纳米改性玻璃的制备	205
7.3.1	纳米改性普通玻璃	205
7.3.2	纳米改性半导体微晶玻璃	207
7.3.3	纳米自洁净玻璃	212
7.3.4	红外反射玻璃	224
7.3.5	紫外吸收玻璃	224
7.3.6	节能玻璃	225
7.3.7	纳米改性透明有机玻璃	225
7.3.8	纳米聚丙烯酸丁酯改性有机玻璃	229
7.3.9	纳米 Al_2O_3 改性有机玻璃	234
7.3.10	纳米改性微孔玻璃	238
7.4	纳米改性玻璃的发展方向	242
	参考文献	243

第 8 章 建筑用纳米改性多功能塑料	244
8.1 纳米改性塑料简述	244
8.1.1 纳米改性塑料的概念	244
8.1.2 纳米改性塑料的制备方法	246
8.1.3 纳米塑料的性能	250
8.1.4 几种重要的纳米改性塑料	254
8.2 纳米阻燃塑料	257
8.2.1 阻燃聚碳酸酯	258
8.2.2 PA6/LS 纳米复合材料	259
8.2.3 膨胀型无卤素阻燃聚丙烯	260
8.3 纳米 SiO_2 改性塑料	262
8.3.1 纳米粒子改性高分子材料的理论基础	262
8.3.2 纳米 SiO_2 改性聚合物的方法	263
8.3.3 几种典型的纳米 SiO_2 改性塑料	265
8.4 纳米透明塑料	267
8.4.1 光学透明塑料的研究进展	267
8.4.2 光学透明塑料的研制手段	270
8.5 插层复合纳米塑料	272
8.5.1 插层复合纳米塑料的特点	272
8.5.2 插层复合纳米塑料的合成	273
8.5.3 插层复合纳米塑料的主要性能	278
8.5.4 典型插层复合纳米塑料举例	280
8.6 建筑管材用纳米塑料	285
8.6.1 建筑用塑料管材的发展现状	285
8.6.2 纳米碳酸钙强化 PVC 树脂及其管材	286
8.6.3 聚合物/层状硅酸盐纳米复合材料及其管材	287
8.6.4 纳米塑料管材的功能化	288
8.7 纳米泡沫塑料	289
8.7.1 纳米填充泡沫塑料	290
8.7.2 纳米泡孔泡沫塑料	292

8.8	纳米改性农用塑料	293
8.8.1	功能性覆盖材料	293
8.8.2	提高塑料的阻隔性和耐水性能	294
8.8.3	增强紫外线屏蔽与抗老化性能	294
8.8.4	纳米抗菌、保鲜及除臭材料的应用	294
8.8.5	二元协同界面纳米塑料的应用	295
8.9	结束语	295
	参考文献	297
第9章	纳米电器材料在建筑和家居中的应用	300
9.1	纳米家用电器的概念	300
9.2	纳米电器产业化最新进展	303
9.2.1	纳米电器涂层	303
9.2.2	稀土纳米投影屏的制备	303
9.2.3	显示器用碳纳米管和线圈	304
9.2.4	纳米电子元件	304
9.2.5	纳米存储设备	305
9.2.6	纳米抗菌材料	306
9.2.7	纳米透明耐磨材料	306
9.3	家用电器中的纳米功能塑料	306
9.3.1	抗菌塑料	307
9.3.2	增韧增强塑料	307
9.3.3	阻燃塑料	308
9.3.4	导电塑料	308
9.3.5	磁性塑料	309
9.3.6	家用电器中的纳米功能塑料	309
9.4	纳米电源材料	310
9.4.1	纳米电源材料概述	310
9.4.2	锂离子电池的电化学反应原理	312
9.4.3	锂离子电池负极材料的研究进展	312
9.4.4	碳负极材料	313

9.4.5	金属电极材料	314
9.4.6	碳纳米管负极材料	314
9.4.7	负极材料研究的最新方向	315
9.5	抗电磁辐射材料	317
9.5.1	纳米材料的吸波机理	317
9.5.2	纳米铁防辐射材料	319
9.6	碳纳米管在纳米电器中的应用	320
9.6.1	纳米电子学简介	320
9.6.2	纳米电子器件	321
9.6.3	碳纳米管的结构	322
9.6.4	单壁碳纳米管的电学特性	323
9.6.5	碳纳米管可能成为纳米电子器件的主流材料	323
9.6.6	碳纳米管优化反馈放大电路	324
9.7	结束语	325
	参考文献	325
第 10 章	纳米改性防水材料	327
10.1	纳米膨润土改性防水材料	327
10.1.1	膨润土的一般特性	327
10.1.2	钠膨润土在防水工程中应用的特性	328
10.1.3	用膨润土防水的优点	329
10.1.4	纳米膨润土防水产品及施工方法	329
10.2	纳米聚氨酯防水涂料	336
10.2.1	聚氨酯防水涂料概述	336
10.2.2	彩色聚氨酯防水涂料	337
10.2.3	沥青聚氨酯防水涂料	338
10.2.4	双组分聚醚型聚氨酯防水涂料	338
10.2.5	羟丁型聚氨酯防水涂料	339
10.2.6	聚氨酯复合防水工艺	339
10.3	纳米粉煤灰改性防水涂料	339
10.3.1	主要原材料	340

10.3.2	基本配方	340
10.3.3	生产工艺	340
10.4	水泥基纳米防水复合材料	341
10.4.1	XPM 外加剂的主要特点	341
10.4.2	XPM 外加剂在水泥中的化学反应	342
10.4.3	XPM 外加剂在防水领域中的应用	342
10.5	纳米粒子改性防水乳胶	344
10.5.1	前言	344
10.5.2	主要原材料	345
10.5.3	防水乳胶的敏感波长	345
10.5.4	纳米粒子的光吸收特性	345
10.5.5	纳米改性防水乳胶的性能	346
10.6	三元乙丙橡胶基防水材料	347
10.6.1	前言	347
10.6.2	主要原材料和防水材料的制备工艺	347
10.6.3	纳米 CaCO_3 添加量对样品力学性能的影响	348
10.7	其他防水材料	349
10.8	多种防水技术的比较	349
10.9	纳米防水材料发展展望	352
	参考文献	352
第 11 章	纳米改性隔热保温材料	354
11.1	纳米材料隔热保温的理论基础	354
11.1.1	普通绝热材料中热传导的基本原理	354
11.1.2	影响绝热材料热导率的因素	355
11.2	纳米隔热涂料	359
11.2.1	原料及配方	360
11.2.2	仪器与装置	360
11.2.3	透明隔热涂料的制备	360
11.2.4	施工工艺	361
11.2.5	透明隔热涂料的表征	361

11.2.6	结果与讨论	362
11.3	聚酰亚胺泡沫绝热保温材料	363
11.4	硅质纳米孔超级绝热保温材料	367
11.5	聚合物互穿网络酚醛型绝热保温材料	369
11.6	多孔纳米保温隔热材料	372
11.6.1	溶胶-凝胶法制备 SiO_2 气凝胶	372
11.6.2	保温隔热薄膜和保温隔热试验块制备	372
11.6.3	多孔结构形成条件的影响	373
11.6.4	SiO_2 纳米多孔材料保温隔热机理分析	374
11.7	空心微珠改性复合隔热材料	376
11.7.1	复合隔热材料的制备	376
11.7.2	EP/纳米 SiO_2 /空心微珠复合材料的热 物理性能	376
11.8	低辐射保温玻璃	377
11.8.1	低辐射保温玻璃简介	377
11.8.2	低辐射保温玻璃的种类	378
11.8.3	低辐射膜的构造及镀膜方法	379
11.8.4	国内外低辐射膜玻璃应用现状	380
11.9	纤维型纳米隔热材料	383
11.9.1	固体火箭发动机外壳的隔热保温	383
11.9.2	纤维型隔热材料的热物理常数	384
11.9.3	纤维型隔热材料的隔热机理分析	385
11.10	结束语	387
	参考文献	387

第 1 章 纳米科学与技术

1.1 纳米科学的基本概念

纳米科学与技术是指纳米级 ($0.1\sim 100\text{nm}$) 尺度材料的物理、化学行为的科学及其设计、制造、测量、控制和产品的技术。原子层间的距离为 $0.1\sim 0.3\text{nm}$, 故纳米科技已是深入到原子级微观世界的新科技, 这是一个新的科技发展领域, 有可能使多个科技领域, 例如, 化学、材料、航空航天、计算机、电子、机械、生物等产生重大突破。世界各国都给予极大重视, 例如, 美国已经将纳米技术列入国家重点发展的 12 项关键技术之一, 最近又把它列为重中之重的“信息技术、生命科学和纳米科技”三项优先发展的最重点科技之一。

纳米科学, 是研究 $0.1\sim 100\text{nm}$ 范围内物质所特有的现象和功能的科学, 是研究在十亿分之一到一千万分之一米内, 原子、分子和其他类型物质的运动和变化的科学。也就是说, 几十个原子、分子或成万个原子和分子“组合”在一起时, 表现出既不同于单个原子、分子的性质, 也不同于宏观物质的性质。有时这种组合被称为“超分子”或“人工分子”, 以区别于正常的原子和分子。这种“超分子”往往具有人们意想不到的性质。天然分子的大小范围从微小的 3 个原子的水分子到具有几百个原子的蛋白质和具有几百万个原子的 DNA 分子, 都在纳米尺度。在纳米量级内, 物质颗粒的尺寸已经接近原子, 这时量子效应已开始影响到物质的性能和结构, 如金属 Cu 到纳米级就成为电的不良导体, SiO_2 具有优良的绝缘性, 当达到 20nm 时开始导电。由于纳米微粒 ($0.1\sim 100\text{nm}$) 的独特