

微纳米粉体技术

理论基础

李凤生 刘宏英
陈 静 罗驹华
等◎编著

 科学出版社

微纳米粉体技术理论基础

李凤生 刘宏英 陈 静 罗驹华等 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

微纳米粉体是微纳米材料的一个重要组成部分,是制备各种新型功能材料的基础。本书内容涉及微纳米粉体的制备、改性、复合与组装以及应用等方面的理论基础。

本书可供微纳米粉体领域的本科生、研究生、教师、科研人员及工程技术人员阅读和参考。

图书在版编目(CIP)数据

微纳米粉体技术理论基础/李凤生等编著. —北京:科学出版社,2010

ISBN 978-7-03-029702-0

I. 微… II. 李… III. 纳米材料-粉体-技术 IV. TB383

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 2388893 号

责任编辑:张淑晓 王国华 / 责任校对:陈玉凤

责任印制:钱玉芬 / 封面设计:耕者工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

丽源印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010年12月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2010年12月第一次印刷 印张:19

印数:1—2 500 字数:371 000

定价:58.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

随着现代科学技术的发展,微纳米技术作为当今三大高新技术之一,在现代科学技术及国民经济中起着越来越重要的作用,其研究与应用遍及当今各学科领域和各行各业。微纳米粉体是微纳米材料的一个重要组成部分,是制备各种新型功能材料的关键基础材料,它赋予各种新型复合材料诸多优异的特性。

微纳米粉体技术在我国起步较晚,但近年来发展非常迅速,在各级政府和企业的的大力支持下及广大科技工作者的辛勤努力下,已取得了一批有代表性的成果,产业化遍及全国。然而,产品的性能及成本和能耗与国际先进水平相比仍有一定差距,而且在应用方面,往往不能获得理想的效果。目前,国内大多只注重工艺方法与装备的研究,对于微纳米粉体制备、性能及应用理论基础的研究还很欠缺,在制备与应用过程中出现的问题往往缺乏理论上的解释,更无法从理论上去指导如何解决。

当前国内关于微纳米粉体技术方面的专著不少,但大多集中于生产过程的描述、设备及产品性能的介绍。关于制备与应用过程中的机理及相关理论基础缺乏系统的归纳、总结与提升。国内许多读者及教学、科研及生产单位都迫切希望这类专著的出版。鉴于此,我们根据近 30 年来从事微纳米粉体技术的教学、科研和研究生培养以及与国内外同行的交流中所积累的知识尝试撰写了此书。微纳米粉体技术涉及面很广,是一种多学科交叉的高新技术,而目前国内外相关理论基础方面的文献资料很少,故撰写十分困难,加之作者水平有限,书中疏漏和错误之处在所难免,欢迎读者批评指正,希望借此书以达到抛砖引玉的目的。

本书内容包括微纳米粉体制备技术理论基础、微纳米粉体改性技术理论基础、微纳米颗粒复合与组装理论基础、微纳米粉体应用理论基础等。

全书共分 5 章,第 1 章由李凤生教授执笔;第 2、3 章由陈静博士(2.1, 2.10, 3.1, 3.5)、胡涛博士(2.2, 2.5, 3.2)、吴剑博士(2.6, 2.7, 3.4)、端木传嵩博士(2.8, 2.9, 3.3)、丁师杰博士(2.3, 2.4)执笔,金叶玲教授指导协助;第 4 章由罗驹华教授执笔;第 5 章由张峰博士执笔。刘宏英研究员参与了第 2 章部分内容的编写及全书的协调指导工作。全书由李凤生教授统稿并对各章节的内容进行删减、修改、补充与完善。李苗苗博士承担了本书的汇总编排工作。

本书的内容大多是李凤生教授领导的国家特种超细粉体工程技术研究中心多年来在微纳米粉体领域研究工作的总结、归纳与提升,同时也参考并引用了国内外许多同仁在这方面的研究论文与著作。此书的撰写还得到了南京理工大学国家特

种超细粉体工程技术研究中心诸多研究人员及博士生、硕士生和留学生的大力支持与帮助。在此一并表示衷心的感谢!

作者

2010年7月于南京

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 微纳米粉体技术的基本内涵及其在现代科技与国民经济中的作用和地位	1
1.1.1 微纳米粉体技术的基本内涵	1
1.1.2 微纳米粉体技术在现代科技与国民经济中的作用和地位	2
1.2 微纳米粉体技术的现状	3
1.2.1 微纳米粉体技术国外现状	3
1.2.2 微纳米粉体技术国内现状	4
1.3 微纳米粉体技术理论基础的主要内涵及主要技术领域	5
1.3.1 微纳米粉体技术理论基础的主要内涵	5
1.3.2 微纳米粉体技术理论基础涉及的主要技术领域	5
1.4 研究微纳米粉体技术理论基础的必要性及重要性	6
参考文献.....	7
第 2 章 微纳米粉体制备技术理论基础	8
2.1 微纳米粉体制备技术分类	8
2.2 机械法制备微纳米粉体的理论基础	9
2.2.1 机械法制备微纳米粉体技术的基本原理及主要理论.....	9
2.2.2 机械法制备微纳米粉体技术分类	13
2.2.3 几种典型的机械法制备微纳米粉体的理论基础	14
2.3 高速流能法制备微纳米粉体的理论基础.....	27
2.3.1 高速气流粉碎法制备微米粉体的基本原理及理论	28
2.3.2 高速液流法制备微纳米粉体的基本原理及理论	38
2.4 高压膨胀法制备微纳米粉体的理论基础.....	40
2.4.1 高压膨胀法制备微纳米粉体的基本原理	40
2.4.2 高压膨胀法制备微纳米粉体的装备结构设计	41
2.5 超临界法制备微纳米粉体的理论基础.....	43
2.5.1 超临界法制备微纳米粉体的基本原理	43
2.5.2 超临界法制备微纳米粉体的技术关键	44

2.6	液相法制备微纳米粉体的理论基础	45
2.6.1	液相法制备微纳米粉体的主要类型和基本原理	46
2.6.2	结晶沉淀法制备微纳米粉体的基本原理	48
2.6.3	溶胶-凝胶法制备微纳米粉体的基本原理与影响因素	51
2.6.4	水热法制备微纳米粉体的基本原理与影响因素	53
2.6.5	微乳液法制备微纳米粉体的基本原理与影响因素	55
2.7	气相法制备微纳米粉体的理论基础	57
2.7.1	气相法制备微纳米粉体的主要类型	57
2.7.2	物理蒸发法制备微纳米粉体的基本原理与主要类型	57
2.7.3	气相化学法制备微纳米粉体的理论基础	61
2.8	固相法制备微纳米粉体的理论基础	67
2.8.1	固相反应法的基本历程	67
2.8.2	固相反应的热力学	68
2.8.3	固相反应的动力学	68
2.8.4	影响固相反应法制备微纳米粉体的主要因素	73
2.9	燃烧法制备微纳米粉体的理论基础	77
2.9.1	燃烧合成法简介	77
2.9.2	燃烧合成反应的基本历程和相关机理	78
2.9.3	影响燃烧合成反应的因素	86
2.10	微纳米粉体制备技术的发展方向	87
2.10.1	微纳米粉体制备技术的原理与理论创新	89
2.10.2	微纳米粉体制备技术的过程创新	91
2.10.3	微纳米粉体制备技术的装备设计创新	93
	参考文献	94
第3章	微纳米粉体改性技术理论基础	99
3.1	微纳米粉体改性的目的与意义及主要方法	99
3.1.1	微纳米粉体改性的目的与意义	99
3.1.2	微纳米粉体主要改性方法	100
3.2	微纳米粉体物理法改性理论基础	101
3.2.1	微纳米粉体物理法改性的基本原理及主要方法	101
3.2.2	微纳米粉体物理法改性主要装备结构设计原理	111
3.2.3	微纳米粉体物理法改性主要影响因素与质量控制原理	116
3.3	微纳米粉体化学法改性理论基础	119
3.3.1	微纳米粉体化学法改性的基本原理及主要方法	119

3.3.2	几种典型微纳米粉体化学法改性的过程设计原理和技术关键	123
3.3.3	微纳米粉体化学法改性质量控制原理	144
3.4	微纳米粉体的物理-化学法改性理论基础	145
3.4.1	微纳米粉体物理-化学法改性的基本原理及主要方法	145
3.4.2	几种典型微纳米粉体物理-化学法改性过程设计及装备结构设计原理	158
3.4.3	微纳米粉体物理-化学法改性质量控制原理	164
3.5	微纳米粉体改性技术的发展方向	167
3.5.1	微纳米粉体改性技术的原理与理论创新	167
3.5.2	微纳米粉体改性技术的过程创新	168
3.5.3	微纳米粉体改性技术的装备设计创新	170
	参考文献	171
第4章	微纳米颗粒复合与组装理论基础	176
4.1	微纳米颗粒复合与组装的目的与意义及主要方法	176
4.1.1	微纳米颗粒复合与组装的目的与意义	176
4.1.2	微纳米颗粒复合与组装的主要类型	178
4.2	微纳米颗粒复合与组装的基本概念与基本原理及机理	179
4.2.1	微纳米颗粒复合与组装的基本概念	179
4.2.2	微纳米颗粒复合与组装的基本原理及机理	181
4.3	微纳米颗粒物理、物理化学复合与组装过程及机理	184
4.3.1	微纳米颗粒物理复合与组装过程及装备	184
4.3.2	微纳米颗粒物理复合与组装的机理	187
4.3.3	微纳米颗粒复合的典型物理化学制备法	190
4.4	微纳米颗粒化学复合与组装过程及机理	191
4.4.1	微纳米颗粒化学复合与组装过程的设计原理	191
4.4.2	几种典型的微纳米颗粒化学复合与组装过程及机理	192
4.5	微纳米颗粒复合与组装技术的发展方向	236
4.5.1	微纳米颗粒复合与组装结构概念的创新	236
4.5.2	微纳米颗粒复合与组装技术原理及理论创新	237
4.5.3	微纳米颗粒复合与组装技术过程及装备创新	237
	参考文献	238
第5章	微纳米粉体应用理论基础	241
5.1	微纳米粉体的特性及功效	241
5.1.1	微米及亚微米粉体的特性	241
5.1.2	纳米材料的特性及功效	241

5.2 微纳米粉体在各领域的应用原理	244
5.2.1 在光学领域的应用原理	244
5.2.2 在医药生物领域的应用原理	248
5.2.3 在化工及催化领域的应用原理	260
5.2.4 在微电子领域的应用原理	266
5.2.5 在日用化工领域的应用原理	272
5.2.6 在军事领域的应用原理	274
5.3 影响微纳米粉体在应用中功效充分发挥的机理	276
5.3.1 微纳米粉体在应用中所遇到的主要问题	276
5.3.2 影响微纳米粉体功效充分发挥的机理	276
5.4 充分发挥微纳米粉体在各领域中功效的技术途径	282
5.4.1 微纳米粉体的表面改性与复合改性	282
5.4.2 干态微纳米粉体分散技术与机理	283
5.4.3 液态微纳米粉体分散技术与机理	285
5.5 微纳米粉体在应用中的危害机理与防治措施	288
5.5.1 微纳米粉体的危害机理分析	288
5.5.2 微纳米粉体的危害防治措施	292
参考文献	293

第 1 章 绪 论

1.1 微纳米粉体技术的基本内涵及其在现代科技 与国民经济中的作用和地位

1.1.1 微纳米粉体技术的基本内涵

微米粉体通常是指粒径大于 $0.1\ \mu\text{m}$ 的粉体,其中粒径小于 $1\ \mu\text{m}$ 、大于 $0.1\ \mu\text{m}$ 的粉体称为亚微米粉体。关于微米粉体粒径的上限,国内外至今没有统一定义,有人将颗粒粒径上限为 $100\ \mu\text{m}$ 的粉体称为超细粉体,英文用“very fine”表示,有些人定义颗粒粒径上限为 $30\ \mu\text{m}$ 或 $10\ \mu\text{m}$ 的粉体为超细粉体,英文用“super fine”或“ultra fine”表示。

粉体颗粒粒径小于 $0.1\ \mu\text{m}$ (即 $100\ \text{nm}$)、大于 $1\ \text{nm}$ 的粉体通常称为纳米粉体。不过,目前科技界对纳米材料有较为严格的定义,即在三维尺度中至少有一维处于 $100\ \text{nm}$ 以下,而且与普通块体材料相比,其性能有显著差别材料才称为纳米材料^[1~3]。

微纳米粉体技术涉及微纳米粉体的制备技术、颗粒特性的描述与表征技术、颗粒表面改性技术、微纳米颗粒的复合与颗粒组装技术,以及微纳米粉体的应用技术等。

微纳米粉体制备技术涉及微纳米粉体的制备方法设计、制备装备的设计与制造,以及制备原理与相关理论基础研究和相关工艺条件研究。

微纳米颗粒特性的描述与表征技术涉及微纳米颗粒的表面效应,界面效应,光、电、磁、热、力学效应,量子隧道效应,尺寸效应,以及比表面积、孔隙率和表面形貌特征等^[4,5]。

微纳米颗粒的表面改性技术涉及微纳米颗粒的表面改性机理,表面改性方法,表面改性剂的设计、制备与选择以及表面改性工艺装备的设计与制造等。

微纳米颗粒的复合与颗粒组装技术涉及微纳米颗粒的复合与组装机理、复合与组装工艺技术、复合与组装装备、复合与组装后的协同效应等。

微纳米粉体的应用技术涉及微纳米粉体的分散技术、混合技术、与其他母料的相容技术、活化技术,以及使其功能充分发挥从而获得最佳应用效果的多项综合技术等。

1.1.2 微纳米粉体技术在现代科技与国民经济中的作用和地位

粉体技术是一门古老的科学技术,粉体自远古以来一直存在于世界,微纳米粉体自远古就一直存在于普通粉体之中。如尘埃自远古就存在于粉体之中,其中有许多颗粒是处于亚微米或纳米尺度;燃烧木材的烟道中的烟灰自古就存在,它是一种典型的微纳米粉体;荷叶上的绒毛就是由纳米材料组成的,动物与人类的牙齿也是由纳米晶粒组成的,合金材料的晶粒(格)大多也是处于纳米级^[6]。

近年来人们对微纳米材料进行了深入研究,发现这类材料具有许多奇异的性能,在使用时可以获得超常的效果。如其光、电、磁、力、热及表面与界面特性等都发生了奇特的变化。尤其是纳米材料表现出的小尺寸效应、表面与界面效应以及量子隧道效应等,对微电子学和光电子学、表面科学与界面科学、电子能谱学、声学、热力学及化学等起着显著的促进作用。

随着现代科技的发展,微纳米技术作为当今三大高新技术之一,正在飞速发展,在现代科技中起着越来越重要的作用,其研究与应用遍及当今各科学领域和各行各业。

当今的新材料领域无一不涉及微纳米技术与微纳米材料的应用。将微纳米材料与技术引入复合材料和高分子材料领域后,新的多功能材料就随之而生,声、光、电、磁、热多功能材料随之进入工业化生产与应用。新的功能塑料、功能橡胶很快进入各高新技术领域并得到大量应用,许多高新产品也随之投放市场,其附加值大幅度增加,产生了巨大的社会效益与经济效益。

将微纳米技术与材料应用到陶瓷领域,使传统的陶瓷性能获得质的飞跃,使传统的脆性陶瓷变成了坚硬如钢的高硬度、高韧性陶瓷,可以代替金刚石作为工具钻头与刀具使用^[7],在军事领域可代替装甲钢板使用。

在生物材料领域,将羟基磷灰石等微纳米化后,制成的材料坚硬如牙,可作为新型高强度骨骼材料使用。将珍珠、鲜骨微纳米化后,加工成生物补钙材料,既可外用,又可内服,其生物利用度和吸收率成倍提高,可获得很好的医疗效果。

在催化领域,将传统的催化剂进行微纳米处理后,由于其比表面积大幅度增加,表面活性显著提高,因而其催化效果成倍提高。例如,在固体推进剂领域,将其中某催化剂由原来的 $50\ \mu\text{m}$ 超细化处理成 $70\ \text{nm}$ 时,推进剂的燃烧速度几乎提高了一倍^[8~10]。

在染料领域,将某还原染料由原来的 $30\ \mu\text{m}(D_{100})$ 处理成 $0.2\ \mu\text{m}(D_{100})$ 时,其印染效果大幅度提高,同时染料的使用量大幅度减少,由此产生的社会与经济效益十分巨大。

在军事、航空、航天及电子领域,利用微纳米材料及技术可制造隐身材料,用于

隐身飞机、隐身舰船和坦克。利用微纳米陶瓷粉可制成超硬塑性抗冲击材料,用其制造坦克和装甲车复合板,这种复合板较普通坦克钢板质量轻 30%~50%,而抗冲强度提高 1~3 倍,因而是一种极好的新型复合材料。再如,将固体氧化剂、炸药及催化剂微纳米化后,制成的推进剂的燃烧速度较普通推进剂的燃烧速度可提高 1~10 倍,这对制造高性能火箭及导弹十分有利。在电子领域,微纳米氧化铁粉可制造高性能磁性材料,微纳米高纯氧化硅可制造高性能电阻材料,用高质量微纳米石墨可制造出高性能的显像管及电子对抗材料。

综上所述,微纳米技术在国民经济各领域都有着广泛的用途,对提高产品质量起着十分重要的作用。微纳米技术及应用方面的研究在我国起步较晚,我国应加强这方面的研究开发和利用,使其更好地为我国科技的发展和国民经济建设服务。

1.2 微纳米粉体技术的现状

当今微纳米技术的研究重点大多集中在微纳米材料与器件及其相关产品的制备技术、应用技术与表征技术。在制备技术领域,主要集中了微纳米材料的制备新技术与新设备的开发、微纳米器件的组装与制造技术研究、微纳米材料与器件在各领域的应用性能研究,以及微纳米材料与器件及产品的性能研究与表征。到目前为止,微米材料的制备技术研究与工艺及设备较为成熟,其许多产品已实现了工业化生产,并已在各领域取得实质性应用。

1.2.1 微纳米粉体技术国外现状

微纳米粉体技术处于前列的国家是美国、日本和德国以及俄罗斯。美国在纳米材料研究方面的论文与专利为全世界之最。他们在纳米材料的制备、性能表征、表面改性处理及颗粒复合与组装及应用方面开展了全方位研究。政府及军事部门先后都投入了大量经费支撑这方面的研究。他们将纳米药物制成微胶囊而获得了很好的疗效,将纳米材料制成了各种纳米器件,采用纳米金属粉及纳米炸药制备出了许多高性能的火炸药、火箭发动机及隐身隐形飞机、坦克、舰艇等。

日本和德国在微米、亚微米材料加工制造方面也处于世界前列。他们研发出了许多微纳米粉体的制备技术与装备,同时也研制出了许多用于微纳米粉体改性复合的配套技术与装备,并在应用领域做出了卓越贡献。

以英国为首的欧洲国家对纳米粉体(材料)的研究持慎重态度,他们对纳米材料的副作用、对人类健康的负面影响十分重视,以至于他们在纳米技术的研究与应用方面关卡重重,阻力很大,进展缓慢。关于微米技术的研究,他们给予了高度重视。

俄罗斯也十分关注微纳米技术研究,他们的研究重点大多集中于军事方面的应用,因此十分保密,公开报道的资料较少。

1.2.2 微纳米粉体技术国内现状

微纳米粉体技术研究国内起步较晚,我国自 20 世纪 70 年代末 80 年代初才开展这方面的探索研究,当时主要依赖于少量单位自筹和国家自然科学基金的支持。80 年代末至 90 年代末国家投入了大量经费,并列有许多专项来支持纳米技术的发展。近十年,国内在纳米技术的发展方面取得了长足进步,发表的论文及申请的专利在国际上名列第 2 或第 3 位。

然而,纳米材料的制备技术与工艺目前大多仍处于研发阶段,只有一小部分正在向产业化转化,距大批量、大规模工业化生产与应用尚有较长一段距离。最近有人统计,全国从事纳米材料生产的企业约 300 家,而年产值并不高,这与国家的大量投入很不相称。其主要原因在于:纳米材料具有很高的表面能和表面活性,在制备、储存、运输及使用过程中极易发生团聚,很难保持具有高表面能和高表面活性的单分散状态。因此在实际使用过程中性能大大下降,很难表现出原有的奇特性质,因此严重制约了纳米材料的大规模工业化应用。以精细化工领域为例,为了充分利用和发挥微纳米材料的优异特性,我们必须研究出微纳米材料的制备新技术与新设备,更重要的还要研究出微纳米材料在精细化工产品中的分散技术、表面改性技术与混合成型技术、各成分的合适配比与组合技术等。只有这些技术都得到妥善解决,才可获得具有奇特功能的优异精细化工产品,获得良好的经济与社会效益。

纳米器件的研究进展较快,已取得一批有代表性成果,如纳米传感器、纳米机芯的研究正在进行中试放大并转向产业化^[11~13]。

纳米材料(粉体)在军事上的应用也初见成效,一批成果正在进行实际应用研究。

微米技术在国内的研究与产业化进展迅速,已研发出了一批新的微米、亚微米粉体制备技术与装备,部分技术已处于国际先进水平。在微米粉体改性与颗粒复合方面也研发出了一批新技术与新装备,许多技术与装备已处于国际先进水平。该领域的产业化进展顺利,所生产出的产品能满足国内各领域的需求,有些产品已出口国外,进军国际市场。然而微米粉体的深加工及应用技术仍待深入研究与开发,使微米粉体的应用性能获得进一步提高。

1.3 微纳米粉体技术理论基础的主要内涵及主要技术领域

1.3.1 微纳米粉体技术理论基础的主要内涵

微纳米粉体技术涉及制备技术、颗粒形貌与特性表征技术、颗粒的表面改性技术、颗粒复合与组装技术以及应用技术等。在微纳米粉体制备技术中,涉及被粉碎材料的特性研究与表征、破碎机理研究、破碎力场研究、能产生所需粉碎力场的粉碎设备研究以及流体力学、化学动力学与化学热力学,气相反应学与固相反应学等。这些研究都涉及许多基础理论问题。在粉体的分离与分级及混合与输送过程中,涉及诸多分离理论、分级理论、混合理论、流变学、流体力学和机械力学等基础理论。在颗粒表面改性技术中,涉及颗粒表面结构与特性研究,涉及诸多表面学、表面与界面科学、吸附理论、分散理论、浸湿理论、键合理论、流变学理论、黏附机理和脱黏机理等基础理论^[14]。在颗粒的复合与组装技术中,涉及颗粒的表面特性研究与分析理论、颗粒复合与组装机理、颗粒复合与组装理论中物理模型与数学模型的建立、推导及演算、表面能分析、表面能计算中物理模型与数学模型的建立及实际演算、能级匹配理论与模型的建立等。在微纳米粉体应用中,涉及物理与化学相似相容理论、分散理论、能级匹配理论和排他理论,以及应用效果综合分析理论等^[15~17]。本书将对其中的主要基础理论进行综述。

1.3.2 微纳米粉体技术理论基础涉及的主要技术领域^[18,19]

微纳米粉体技术理论基础涉及的技术领域十分广泛。首先,涉及微纳米粉体的制备技术领域,包括机械法制备技术、流能法制备技术、液相法制备技术、超临界法制备技术、气相法制备技术、气相化学法制备技术、固相法制备技术以及燃烧法制备技术等,并涉及粉体与其他介质的分离技术、粉体的分级技术、混合与输送技术等。在微纳米粉体性能表征方面,涉及微纳米粉体的尺寸与形貌表征技术、表面结构与特性表征技术、表面能表征技术等。在微纳米粉体改性技术方面,涉及微纳米粉体的表面电性与表面能综合分析评价技术、表面改性剂的设计与制备技术、表面改性方法与装备的设计与制造、表面改性工艺的设计与选择以及表面改性效果的检测与综合评价技术等。在微纳米颗粒复合技术方面涉及被复合的微纳米颗粒表面特性分析与评估技术、微纳米颗粒的复合匹配技术、微纳米颗粒的复合工艺技术及复合装备的设计与制造技术。在微纳米颗粒组装技术方面,涉及组装机理研究、组装工艺技术研究、组装后的产品性能研究与分析评估及表征^[15]。在微纳米粉体应用方面涉及微纳米粉体与母体材料的相容匹配技术、功能复合与复合协同效应的形成技术以及应用效果的综合分析与评价技术等。综上所述,微纳米粉体

技术理论基础涉及的主要技术领域可归纳为图 1.1。

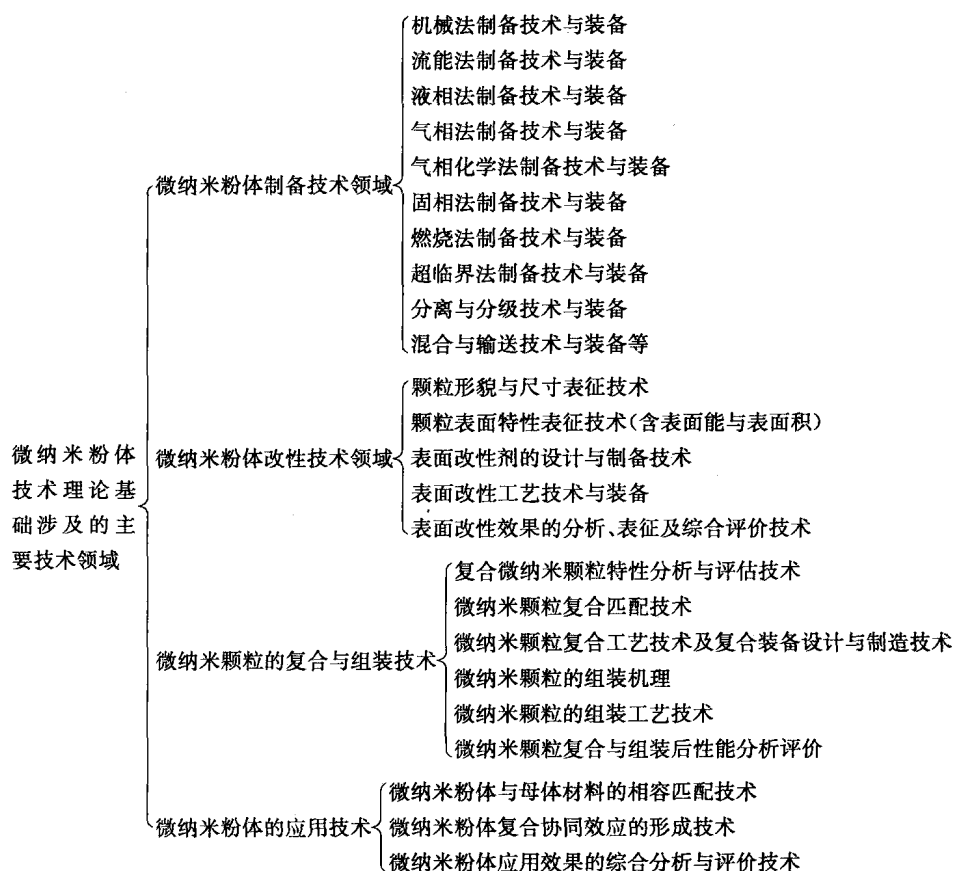


图 1.1 微纳米粉体技术理论基础涉及的主要技术领域

1.4 研究微纳米粉体技术理论基础的必要性及重要性

微纳米粉体技术在我国正处于高速发展期,各级政府及企业相继投入了大量经费开展这方面的研究与产业化。有的研究已取得了一定成果,产业化遍及全国。然而,产品的性能及成本和能耗与国际先进水平相比仍有一定差距。在使用性能方面,往往不能获得理想的效果。尤其是纳米粉体的应用性能与国外相比差距甚远。国内的研究大多只注重工艺方法与装备研究,微纳米粉体制备与性能及应用中的机理研究很欠缺,往往被忽视。在制备与应用中出现的问题往往缺乏理论解释,更不能从理论上指导解决生产过程中所出现的各种问题。目前国内外关于微纳米粉体技术方面的专著不少,但大多是集中于生产过程的描述、设备的介绍和产品性能的介绍,关于制备与应用过程中的机理及相关理论基础缺乏系统研究归纳、

总结与提升。

我国微纳米粉体技术已发展到了一个关键阶段,在制备与应用过程中所出现的问题严重制约了微纳米粉体技术的发展,要解决当前制备与应用过程中所出现的问题,仅靠简单朴实的经验与实验是很难解决的,很难取得突破性进展。只有从理论上全面仔细地研究微纳米粉体制备技术与应用技术及方法的机理与规律以及关键影响因素,才能从根本上找出解决目前存在问题的关键原因,并通过实验去验证,这样才有可能获得突破性进展,彻底走出当前微纳米粉体技术面临的困境。

另外,通过对微纳米粉体技术的基础理论的深入系统研究,从理论上指导微纳米粉体的制备过程并进行工艺条件的优化,可以制备出性能优异的微纳米粉体,并可有效地降低生产成本,实现节能降耗的目的,而且可以大大缩减盲目的实验过程,避免原材料的浪费,大大提高生产效率。

综上所述,开展微纳米粉体技术的基础理论研究十分必要与重要。

参 考 文 献

- [1] 李凤生. 超细粉体技术[M]. 北京:国防工业出版社,2000.
- [2] 李凤生,杨毅. 特种超细粉体制备技术及应用[M]. 北京:国防工业出版社,2002.
- [3] 李凤生. 纳米/微米复合技术及应用[M]. 北京:国防工业出版社,2002.
- [4] 李凤生,杨毅,马振叶,等. 纳米功能复合材料及应用[M]. 北京:国防工业出版社,2003.
- [5] 李凤生,刘宏英,刘雪东,等. 微纳米粉体制备与改性设备[M]. 北京:国防工业出版社,2004.
- [6] 高濂,李蔚. 纳米陶瓷[M]. 北京:化学工业出版社,2002.
- [7] 戴遐明. 纳米陶瓷材料及应用[M]. 北京:国防工业出版社,2005.
- [8] 郑水林. 超细粉碎工艺设计与设备手册[M]. 北京:中国建材工业出版社,2002.
- [9] 盖国胜. 超细粉碎分级技术[M]. 北京:中国轻工业出版社,2000.
- [10] 张立德,牟季美. 纳米材料和纳米结构[M]. 北京:科学出版社,2002.
- [11] 张汝冰. 复合纳米材料制备研究(I)[J]. 火炸药学报,1999,22(1):45-48.
- [12] 张汝冰. 复合纳米材料制备研究(II)[J]. 火炸药学报,2000,23(1):59-61.
- [13] 李凤生,丁建中,罗付生,等. 微纳米复合粒子对固体推进剂性能的影响研究[J]. 过程工程学报,2002,(2):497-499.
- [14] 李凤生,罗付生. 可生物降解药物载体——纳米/亚微米壳聚糖微球的制备及性能研究[J]. 精细化工,2003,(3):12-16.
- [15] 张玉龙,高树理. 纳米改性剂[M]. 北京:国防工业出版社,2004.
- [16] Qu S, Huang F, Chen G, et al. Magnetic assembled electrochemical platform using Fe_2O_3 filled carbon nanotubes and enzyme [J]. Electrochem Commun, 2007, 9: 2812-2816.
- [17] Fan X B, Tan F Y, Zhang G L, et al. A novel strategy to fabricate $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ -MWCNTs hybrids with selectively ferromagnetic or superparamagnetic properties [J]. Mater Sci Eng A, 2007, 454-455: 37-42.
- [18] Wang S, Bao H M, Yang P Y, et al. Immobilization of trypsin in polyaniline-coated nano- Fe_2O_3 /carbon nanotube composite for protein digestion [J]. Anal Chim Acta, 2008, 612: 182-189.
- [19] Ersen O, Bégin S, Houllé M, et al. Microstructural investigation of magnetic CoFe_2O_4 nanowires inside carbon nanotubes by electron tomography [J]. Nano Lett, 2008, 8(4): 10133-10140.

第 2 章 微纳米粉体制备技术理论基础

微纳米粉体制备是当今材料领域中最富活力,对当今乃至未来科技发展及社会进步都有着重要影响的研究领域。微纳米粉体制备研究表现出鲜明的时代特点:基础研究和应用研究紧密联系;研究内涵及应用领域不断拓展;与各科研领域的交叉和相互渗透日趋活跃。

2.1 微纳米粉体制备技术分类

微纳米粉体的制备通常有两条途径:一是通过对大尺寸块状物料进行粉碎,获得微纳米粉体,通常称之为超细粉碎法^[1],目前超细粉碎(以机械法为代表)所能达到的最小粒径基本都在 $3\ \mu\text{m}$ 左右;二是控制晶体成核及生长条件,获得特定尺寸的微纳米材料,称为成核生长法,是获得超微颗粒(大于 $5\ \text{nm}$ 、小于 $100\ \text{nm}$)的主要方法。对大多数目标微纳米粉体而言,可以有不同制备途径,但不同制备途径意味着制备原理和技术存在差别,所得微纳米粉体在理化性能上也可能存在显著差异^[2]。因此,经济因素和产品性能均要求重视制备路径的选择。

微纳米粉体制备方法纷繁复杂,至今没有统一的分类标准。例如,按产品粒径大小,可分为微米粉体制备技术与纳米粉体制备技术两大类;按制备过程的变化形式,可分为化学法、物理法和物理-化学法;按制备过程的介质相态,可分为气相法、液相法和固相法;按制备工艺,又可分为机械法、高速流能法、高压膨胀法、超临界法、液相法、气相法、固相法及燃烧法等^[3]。本书按制备工艺对微纳米粉体的制备技术进行分类(图 2.1)。

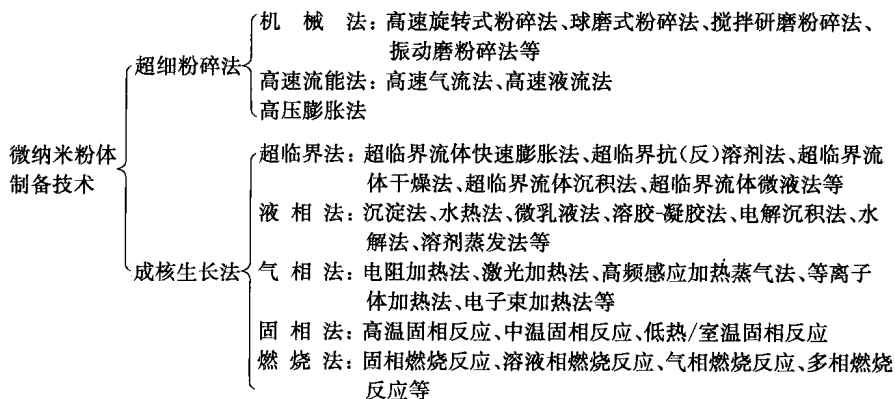


图 2.1 微纳米粉体制备技术分类