

特种超细粉体 制备技术及应用

Application and
Manufacture
Technology
of
Special
Superfine
Powder

李凤生 著

国防工业出版社

**特种超细粉体
制备技术及应用**
**Application and
Manufacture Technology of
Special Superfine Powder**

李凤生 著

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

特种超细粉体制备技术及应用/李凤生著. —北京:
国防工业出版社, 2002. 1

ISBN 7-118-02685-9

I. 特... II. 李... III. 超细粉(金属) — 粉末技术 IV. TF123.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 076566 号

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

北京奥隆印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 850×1168 1/32 印张 10¼ 265 千字

2002 年 1 月第 1 版 2002 年 1 月北京第 1 次印刷

印数: 1 — 3000 册 定价: 28.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

致 读 者

本书由国防科技图书出版基金资助出版。

国防科技图书出版工作是国防科技事业的一个重要方面。优秀的国防科技图书既是国防科技成果的一部分,又是国防科技水平的重要标志。为了促进国防科技和武器装备建设事业的发展,加强社会主义物质文明和精神文明建设,培养优秀科技人才,确保国防科技优秀图书的出版,原国防科工委于 1988 年初决定每年拨出专款,设立国防科技图书出版基金,成立评审委员会,扶持、审定出版国防科技优秀图书。

国防科技图书出版基金资助的对象是:

1. 在国防科学技术领域中,学术水平高,内容有创见,在学科上居领先地位的基础科学理论图书;在工程技术理论方面有突破的应用科学专著。

2. 学术思想新颖,内容具体、实用,对国防科技和武器装备发展具有较大推动作用的专著;密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的高新技术内容的专著。

3. 有重要发展前景和有重大开拓使用价值,密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的新工艺、新材料内容的专著。

4. 填补目前我国科技领域空白并具有军事应用前景的薄弱学科和边缘学科的科技图书。

国防科技图书出版基金评审委员会在总装备部的领导下开展工作,负责掌握出版基金的使用方向,评审受理的图书选题,决定

资助的图书选题和资助金额,以及决定中断或取消资助等。一经评审给予资助的图书,由总装备部国防工业出版社列选出版。

国防科技事业已经取得了举世瞩目的成就。国防科技图书承担着记载和弘扬这些成就,积累和传播科技知识的使命。在改革开放的新形势下,原国防科工委率先设立出版基金,扶持出版科技图书,这是一项具有深远意义的创举。此举势必促使国防科技图书的出版随着国防科技事业的发展更加兴旺。

设立出版基金是一件新生事物,是对出版工作的一项改革。因而,评审工作需要不断地摸索、认真地总结和及时地改进,这样,才能使有限的基金发挥出巨大的效能。评审工作更需要国防科技和武器装备建设战线广大科技工作者、专家、教授,以及社会各界朋友的热情支持。

让我们携起手来,为祖国昌盛、科技腾飞、出版繁荣而共同奋斗!

**国防科技图书出版基金
评审委员会**

国防科技图书出版基金

第四届评审委员会组成人员

名誉主任委员	陈达植			
顾问	黄 宁			
主任委员	殷鹤龄			
副主任委员	王 峰	张涵信	张又栋	
秘书长	张又栋			
副秘书长	崔士义	蔡 镭		
委 员	于景元	王小谟	甘茂治	冯允成
(按姓名笔画排序)	刘世参	杨星豪	李德毅	吴有生
	何新贵	佟玉民	宋家树	张立同
	张鸿元	陈火旺	侯正明	常显奇
	崔尔杰	彭华良	韩祖南	舒长胜

前 言

超细粉体技术是随着现代科学技术的发展而发展起来的一门跨学科的新技术,是材料科学的一个重要组成部分,在理论研究与工程应用上都具有十分重要的意义,在各个领域都具有广阔的应用前景。

特种超细粉体是指在军事、航空、航天、电子、信息、舰船、生物工程及基因工程等领域急需的一些特殊超细粉体。它们包括易燃易爆材料(例如:强氧化剂、强可燃物及火炸药等)、热敏性材料、生物活性材料、纤维材料、塑性材料、韧性材料、复合材料及刚柔混合材料等。

大量研究及实践证明,采用常规的超细技术及设备无法对上述材料进行安全、高效、可靠的超细化,必须采用一些特殊的超细技术及设备。然而,全面系统地介绍这些特种超细粉体的制备技术及其应用方面的专著至今未见出版。为了满足目前我国这些特殊行业的生产与研究的需要,作者将近 20 年来在这方面的研究成果、工程化与产业化方面的实践与经验和国内外交流中所学到的知识及收集到的资料撰写成此书,献给在这些领域的读者,以促进我国特种超细粉体技术的发展,使其更好地为我国国防现代化及国民经济建设服务。

本书内容涉及目前在军工、航空、航天、电子对抗、医药、生物工程等领域所采用的各种特殊超细粉体(包括:微米、亚微米及纳米粉体)的制备技术及其在各领域的实际应用和意义。综述了当前国内外在这方面的研究新进展,重点介绍了特种超细粉体制备

技术中的最新研究成果。它包括这些特殊材料的超细化新原理、新工艺、新技术,以及这些特殊超细粉体在军事、生物工程及其他民用领域中的实际应用和对武器性能的实际影响与规律性。

本书在撰写过程中得到了作者所在的南京理工大学超细粉体与表面科学技术研究所的全体同事和国内许多兄弟单位的同仁(如:董培林研究员、李上文研究员、王大安研究员、魏田玉高工、沙恒博士、陈舒林教授、宋洪昌教授、刘宏英研究员、韩爱军高工、叶明泉高工、李春俊讲师、白华萍工程师、邓国栋工程师、余大桂高工等)以及作者的博士、博士后及硕士生的大力支持和帮助,并参考了上述有关人员的研究论文;另外,刘宏英研究员还参与了本书资料的整理汇编及全部图稿的绘制,金雷花同志承担了全书文稿的打印,在此一并表示衷心感谢!

由于时间仓促,加之作者水平有限,对书中错误及不足之处恳请读者批评指正。

著 者

2001 年 10 月于南京

PREFACE

The manufacturing technology of superfine powder, a new intersected technology, is an important part of material science. It is of great significance on theoretical study and engineering application and has a wide application in military and civilian fields.

Special superfine powder is a kind of powder used in the field of military, aviation, aerospace, electron, information technology, naval vessels, biologic engineering and gene engineering. It includes combustible and volatile material, hot sensitive material, biologic activity material, fiber material, plastic material, tenacious material, composite material and rigid and flexible compound material.

A lot of results of study and practice have proved that said materials could not be superfined safely and efficiently by the traditional superfine equipment and technology. In this case, a special superfine technology and some equipments are needed. However, up to now, special books systematically introducing the manufacturing technology and application of said special materials have not come out yet. To meet the needs of manufacturing and study on these special fields, the author accumulated over 20 years of experience in study and manufacturing of special materials to publish this book.

The manufacture technology and application in various fields of diversified special superfine materials (such as micron, submicron and nanometer materials) are included in this book. The special superfine materials can be applied in military industry, aerospace, electronic fight, medicine and biologic engineering field and so on. The latest progress in said fields is introduced in this book. And the content of

this book is emphasized. The latest progress of “the manufacturing technology of special superfine powder” which was awarded the First Prize of National Sci & Tech. Development in China is emphasized in this book. This progress include the new superfining mechanism and technique for military and civil combustible and volatile material, electronic fight material, fiber material, tenacious material, biologic engineering material and rigid and flexible compound material, and so on.

During the compilation of this book, all the colleagues in the Superfine Powder Institute, Nanjing University of Sci. & Tech and many doctoral, postdoctoral and master students of the author have afforded a great deal of support and assistance. The author acknowledges to them from the botton of his heart.

There must be many mistakes in this book, please point them out so that they can be corrected, and comments from the readers are welcome.

The Author
Oct. 2001 in Nanjing, China

目 录

第一章 绪 论	1
第一节 超细粉体及超细粉体技术概述.....	1
第二节 特种超细粉体及其制备技术的特点.....	2
第三节 特种超细粉体及其制备技术对国防现代化的 作用及意义.....	4
第二章 超细氧化剂的制备与应用	8
第一节 粉碎法制备特种超细粉体的基本理论.....	8
第二节 超细氧化剂的制备技术及设备	13
一、超细氧化剂制备中的关键问题.....	13
二、气流粉碎法制备超细氧化剂.....	14
三、球磨粉碎法制备超细氧化剂.....	52
四、超低温结晶法制备超细氧化剂.....	76
第三节 超细氧化剂的应用	76
一、特种固体推进剂中的应用.....	77
二、超细氧化剂在烟火剂、燃烧剂、 火工、延期药中的应用	83
三、超细氧化剂在高性能电池中的应用.....	84
第三章 超细炸药的制备及应用	85
第一节 采用 LS 型超细粉碎机制备超细炸药的原理、 装置及方法	85
一、LS 型超细粉碎机的粉碎原理	85
二、采用 LS 型超细粉碎机制备超细炸药的工艺流程 及方法.....	87
三、采用 LS 型超细粉碎机生产超细炸药时的粉碎效	

果及影响因素·····	90
四、超细炸药的干燥与防团聚·····	92
五、超细炸药生产过程中的安全问题·····	95
第二节 采用 LG 型超细粉碎机制备超细炸药的工艺	
方法及影响因素·····	98
一、采用 LG 型超细粉碎机制备超细炸药的工艺流程	
及设备·····	98
二、采用 LG 型超细粉碎机生产超细炸药	
粉碎效果及影响因素·····	100
第三节 高速射流撞击法制备超细炸药的原理、装置	
及方法·····	107
一、靶板式射流粉碎·····	107
二、对撞式射流粉碎·····	110
三、对撞式射流粉碎与靶板式射流粉碎的优缺点·····	112
四、高速射流撞击法制备超细炸药的工艺改进	
及新用途·····	112
第四节 超声粉碎法制备超细炸药·····	113
一、超声粉碎法制备超细炸药的基本原理·····	113
二、超声粉碎系统的结构及工作过程与影响因素·····	113
三、超声波对炸药的粉碎效果评价·····	115
第五节 溶剂-非溶剂法制备超细炸药·····	115
一、溶剂-非溶剂法制备超细炸药晶粒的理论基础·····	116
二、溶剂-非溶剂法制备超细炸药的工艺过程	
及影响因素·····	127
第六节 超临界法制备超细炸药·····	130
一、超临界法制备超细炸药的原理·····	130
二、超临界法制备超细炸药的工艺过程及设备·····	131
第七节 超细炸药的应用·····	132
一、超细炸药在高能固体推进剂中的应用·····	132
二、超细炸药在气体发生器中的应用·····	135

第四章 超细强可燃物的制备及其应用	136
第一节 赤磷的超细化及其应用	136
一、超细赤磷制备原理、工艺及设备.....	136
二、超细赤磷的烘干及烘干设备与安全问题	142
三、超细赤磷的应用	146
第二节 硫磺的超细化及其应用	147
一、采用涡轮粉碎机进行粉碎	147
二、采用 LS-5 型粉碎机进行粉碎	149
三、采用气流粉碎机生产超细硫磺	150
四、超细硫磺的应用	151
第三节 磷酸盐类可燃物的超细化及其应用	153
一、磷酸盐类可燃物超细化生产工艺流程及设备	153
二、超细磷酸盐类可燃物的应用	155
第四节 超细铝粉及镁粉的制备	157
一、熔融喷雾法	157
二、研磨粉碎法	161
第五章 黑火药及烟火、火工、延期药剂的超细化及其 应用	165
第一节 黑火药的超细化	165
一、球磨粉碎法	166
二、气流粉碎法	167
第二节 烟火、火工、延期药剂的超细化及其应用	170
一、球磨粉碎法	171
二、气流粉碎法	171
三、高效研磨法	171
第六章 纳米燃烧催化剂的制备及应用	175
第一节 纳米粒子制备方法与分类	176
一、固相法	176
二、液相法	176
三、气相法	180

第二节 燃烧催化剂纳米碳酸铅的制备方法·····	182
一、沉淀法制备纳米碳酸铅催化剂的原理、方法及其影响因素·····	183
二、沉淀转化法制备纳米级碳酸铅的原理、方法及影响因素·····	192
第三节 燃烧催化剂纳米亚铬酸铜的制备·····	197
一、机械研磨法制备纳米亚铬酸铜的原理与过程·····	197
二、采用 LG-80 型强研磨超细粉碎机制备纳米亚铬酸铜时的影响因素·····	198
第四节 纳米镍粉的制备·····	202
一、等离子体法制备纳米镍粉·····	203
二、激光法制备纳米镍粉·····	205
第七章 复合超细材料的制备与应用·····	207
第一节 目前常用的超细复合粒子制备方法及原理·····	207
一、机械法·····	209
二、异相凝聚法·····	210
三、种子异相聚合法·····	211
四、微乳液法·····	213
五、沉积法·····	213
第二节 亚铬酸铜-高氯酸铵超细复合粒子的制备及特性·····	215
一、化学法制备纳米级亚铬酸铜·····	215
二、采用溶剂-非溶剂法制备 AP-Cu 复合粒子·····	217
三、采用搅拌研磨法制备 AP-Cu 复合粒子·····	221
四、复合超细粒子的热分解特性·····	224
五、推进剂中的实际应用效果·····	227
第三节 RDX-A1 超细复合粒子的制备及其特性·····	227
一、RDX-A1 超细复合粒子的制备方法·····	228
二、研磨法制备 RDX-A1 超细复合粒子的影响因素·····	229
第四节 采用 SPCP-CVD 方法制备多功能复合	

超细粉体·····	235
一、SPCP 方法的装置结构及制备超细粒子的原理 与特点 ·····	235
二、SPCP 方法的应用 ·····	242
第八章 塑性、韧性及纤维类材料的超细化与应用 ·····	258
第一节 废旧橡胶固态剪切挤出粉碎技术·····	258
第二节 塑料超细粉的制备及应用·····	261
一、塑料超细粉的制备技术 ·····	261
二、塑料超细粉体的应用领域及范围 ·····	267
第三节 超细茶叶的应用及其制备方法·····	268
一、超细茶叶的应用 ·····	268
二、超细茶叶的制备工艺 ·····	269
三、超细茶叶粉的表面改性 ·····	271
第四节 超细蚕丝粉及超细壳聚糖的应用与制备·····	272
一、超细蚕丝粉及超细壳聚糖的应用 ·····	272
二、超细蚕丝粉及超细壳聚糖的制备 ·····	273
第五节 超细中药材的应用及其制备技术·····	275
一、超细中药材的应用 ·····	275
二、超细粉体应用于中医药领域所存在的问题 ·····	277
三、中药材超细化后对溶出度的影响 ·····	278
四、中药材超细化后对体内吸收过程的影响 ·····	280
五、剧毒中药材马钱子超细化后对体内吸收过程 的影响 ·····	282
六、超细中药材的制备技术 ·····	284
七、超细粉体技术在中医药领域的展望 ·····	288
第九章 生物细胞与植物孢子的破壁超细化技术及其 应用 ·····	291
第一节 血红细胞的破壁原理及方法·····	291
一、超声波破壁粉碎 ·····	292
二、软性冲击、剪切、挤压破壁粉碎方法 ·····	293

第二节 生物酶细胞的破壁原理及方法·····	294
一、低温深冷冻破壁粉碎法 ·····	294
二、振动球磨破壁粉碎法 ·····	295
第三节 植物花粉及孢子的破壁粉碎原理及方法·····	298
一、流化床对撞式气流粉碎法 ·····	298
二、振动棒磨法 ·····	299
参考文献·····	301

CONTENTS

1	Introduction	1
1.1	Introduction of Superfine Powder and Its Technology . . .	1
1.2	Characteristics of Special Superfine Powder and Its Manufacture Technique	2
1.3	Function and Significance of Special Superfine Powder and Its Manufacture Technique on Modernization of National Defense Industry	4
2	Preparation and Application of Superfine Oxygenant	8
2.1	Fundamental Principle of Pulverizing Technique during Producing Special Superfine Powder	8
2.2	The Facility and Manufacture Technique for Superfine Oxygenant	13
2.2.1	Key Point in Producing Superfine Oxygenant	13
2.2.2	Producing Superfine Oxygenant by Jet Mill	14
2.2.3	Producing Superfine Oxygenant by Ball Mill	52
2.2.4	Producing Superfine Oxygenant by Super-low Temperature Crystallization	76
2.3	Application of Superfine Oxygenant	76
2.3.1	Application in Special Solid Propellant	77
2.3.2	Application in Fireworks, Burner, Pyrotechnics, Delay Composition	83
2.3.3	Application in High Energy Battery	84