

材料科学与工程系列



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

Powder Technology

# 粉体工程

主 编 盖国胜

副主编 陶珍东 丁 明

清华大学出版社

材料科学与工程系列



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

Powder Technology

# 粉体工程

主 编 盖国胜  
副主编 陶珍东 丁 明

清华大学出版社  
北 京

## 内 容 简 介

本书结合作者在粉体工程教学与科研方面积累的丰富经验以及国内外粉体工程与理论的发展现状,以粉体加工为主线,从粉体的基本概念、特性入手,系统介绍了典型粉体单元操作的原理、理论基础、应用工艺与设备;内容上强化了粉体加工助剂、耐磨部件、研磨介质、自动控制、粉尘爆炸、安全防护、标准化等内容;针对粉体技术在新材料和生物医药等高新技术中的应用,增加了颗粒复合、整形、生物粉体技术等方面的基础知识。

本书既适合大专院校的师生、科研院所的科研人员学习,也适合政府部门的领导、粉体加工与应用企业的技术人员以及对粉体工程学感兴趣的读者参考。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

### 图书在版编目(CIP)数据

粉体工程/盖国胜主编. —北京:清华大学出版社,2009.12

(材料科学与工程系列)

ISBN 978-7-302-21007-8

I. 粉… II. 盖… III. 粉末技术—高等学校—教材 IV. TB44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 165188 号

责任编辑:宋成斌 洪 英

责任校对:刘玉霞

责任印制:王秀菊

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, [c-service@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

质 量 反 馈:010-62772015, [zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn)

印 刷 者:清华大学印刷厂

装 订 者:三河市溧源装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:175×245 印 张:51.5 字 数:1062 千字

版 次:2009 年 12 月第 1 版 印 次:2009 年 12 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:79.00 元

---

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770177 转 3103 产品编号:021783-01

普通高等教育“十一五”国家级规划教材  
《粉体工程》编辑委员会

主 编：盖国胜

副主编：陶珍东 丁 明

委 员：（按姓氏笔画为序）

丁 明	丁 浩	王玉蓉	田长安
任 俊	李 刚	李 冷	刘建平
吴 琛	张长森	张全争	张学旭
杨玉芬	杨连威	杨济航	武洪明
赵娣芳	赵晓燕	陶珍东	盖国胜
韩成良	鲁红典	焦宝祥	程俊华
程继海	董 怀	管航敏	


# 序

盖国胜研究员于20世纪80年代初开始从事粉体技术研究与应用工作,在近30年的研发工作中,他在潜心基础研究的同时结合具体的产业化应用,积累了丰富的工程经验,已出版6部粉体技术专著,其中《微纳米颗粒复合与功能化设计》被评为2008年全国第二届“三个一百”原创出版工程优秀图书。

粉体技术起源于各类固体原材料加工,逐渐发展成为现代高技术产业的技术基础。该技术的基本理论来自物理、化学、数学、力学、测试技术和计算机模拟等诸多学科,以该技术为体系形成的粉体工程学涵盖了超细粉碎、精密分级、高均匀度混合、分散、包覆复合、改性改质、干燥、成型、储存、包装、输送、纳米粉体合成、粉体性能分析等实际工业操作环节,已被广泛应用到建材、机械、能源、塑料、橡胶、矿山、冶金、医药、食品、饲料、农药、化肥、造纸、资源再生、生物工程、环境工程、电子信息、航空航天、交通运输等几乎国民经济的各个领域。随着材料、化工、信息、生物、环境和机械工程技术的相互交融,作为各类固体原材料加工共性技术的粉体工程学将会得到快速发展。

本书作为国家“十一五”重点教材,盖国胜研究员与作者们在丰富本书内容、扩大有效信息量和理论联系实际方面下了很大工夫。本教材以粉体加工为主线,从粉体的基本概念、特性入手,系统介绍了典型粉体单元操作的原理、基础理论、应用工艺与设备;内容上强化了粉体加工助剂、耐磨部件、研磨介质、自动控制、粉尘爆炸、安全防护、标准化等内容;针对粉体技术在新材料和生物医药等高新技术中的应用,增加了颗粒复合、整形、生物粉体技术等方面的基础知识。本书反映了粉体工程学涉及各环节的研究现状与发展趋势,因此,具有很强的实用性和理论参考价值。

我相信本书的出版不仅能满足相关专业师生的教学需要,也适合科研人员、政府领导、粉体加工应用企业技术人员等对粉体工程感兴趣的读者。本教材的发行对普及粉体技术基础知识、推动粉体工程学科发展以及相关行业技术进步必将起到重要的促进作用。



中国工程院 院士  
清华大学化学工程系 教授、博导  
2009年12月于北京

# 前 言

粉体工程学是以颗粒和颗粒的集合体(粉体)为对象,研究其性质、行为、测定、功能设计、制备处理和过程控制的横向交叉学科。粉体工程学的基本理论涉及物理学、化学、物理化学、数学、力学、机械工程学、测试分析、计算机应用等诸多学科。

从单元操作的纵向分类来看,粉体工程学涵盖了超细粉碎、精密分级、高均匀度混合、分散、包覆复合、改性改质、干燥、成型、储存、包装、输送、纳米粉体合成应用、粉体性能分析等环节;从横向应用来看,粉体工程学已广泛应用到建材、机械、能源、塑料、橡胶、矿山、冶金、医药、食品、饲料、农药、化肥、造纸、资源再生、生物工程、环境工程、电子信息、航空航天、交通运输等几乎国民经济发展的各个领域。

粉体技术既属于传统原材料的加工,也是现代高技术产业的技术基石。随着材料工程、化学工程、信息工程、生物工程、环境工程的相互交融促进,功能粉体材料和粉体技术已成为当今科学技术发展的重要支撑。粉体工程学的内容也随之更加扩展和深入。粉体工程学已经成为一门多学科交叉,既有加工业的实用性,又有科学探索的前瞻性的综合性学科。

本书力图兼顾深度与广度,采用深入浅出的阐述,使其既适合大专院校师生和科研人员的入门和提高,也适合政府部门的领导、粉体加工与应用企业的技术人员的实际应用指导。

本书编写团队由多年从事粉体工程教学与科研工作的人员组成,在广泛搜集国内外相关技术资料的同时,将各相关院校在粉体工程教学中的精华教案汇集于一册。全书共分 20 章,具体内容和编写人员分述如下:第 1 章绪论(盖国胜、李冷、杨玉芬);第 2 章粉体的基本特性及表征(陶珍东、鲁红典、盖国胜);第 3 章粉碎与超细粉碎(陶珍东、张学旭、盖国胜);第 4 章机械力化学效应(丁明、管航敏);第 5 章筛分与超细分级(陶珍东、张学旭、盖国胜);第 6 章超细粉体制备(张全争、鲁红典、程继海);第 7 章超细粉体表面包覆与改性(丁浩、杨玉芬);第 8 章固液分离与干燥(张长森、焦宝祥);第 9 章气固分离与收尘(赵娣芳、田长安、鲁红典);第 10 章超细粉体的分散(任俊)。第 11 章混合与造粒(程俊华、董怀、焦宝祥);第 12 章微米纳米颗粒复合与整形(盖国胜、杨玉芬);第 13 章粉体的输送与仓储(田长安、赵娣芳、韩成良);第 14 章生物粉体技术(王玉蓉、赵晓燕、杨玉芬);第 15 章粉体包装(韩成良、赵晓燕、杨玉芬);第 16 章粉体加工助剂(吴琛、盖国胜);第 17 章耐磨部件与介质(武洪明、杨连威、盖国胜);第 18 章粉体加工过程控制与自动化(刘建平、杨济航);第 19 章粉尘

爆炸与安全防护(李刚);第20章粉体技术标准化(盖国胜、杨玉芬)。全书最后由杨玉芬负责整理,由盖国胜负责审订和统稿。

作为入选国家“十一五”重点教材的图书,作者在丰富本书内容、扩大有效信息量和理论联系实际方面下了很大的工夫。本书具有很强的实用性和理论参考价值,反映了粉体工程学涉及各环节的研究现状与发展趋势。在本书即将付梓之际,笔者要特别感谢创作团队的每一位成员,感谢大家在近两年的时间里付出的努力与辛劳,没有大家的真诚合作与配合,就没有粉体工程学体系的完善,更没有这本书。因此,笔者要向上述合作者和其他直接或间接参与本书编写工作的同行、朋友、同事表示诚挚的感谢!

由于作者的能力和水平有限,加之编写过程有些仓促,书中难免会有疏漏之处,敬请各位读者给予批评指正。联系信箱:gaigs@tsinghua.edu.cn。

盖国胜

2009年11月于清华园

# 目 录

<b>第 1 章 绪论</b> .....	1
1.1 颗粒 .....	1
1.1.1 颗粒的概念 .....	1
1.1.2 颗粒的特性 .....	2
1.2 粉体 .....	2
1.2.1 “粉”与“粒”的关系 .....	2
1.2.2 粉体的概念 .....	3
1.2.3 粉体的特性 .....	3
1.3 粉体技术 .....	5
1.3.1 粉体技术的沿革 .....	5
1.3.2 粉体技术发展趋势 .....	6
1.4 粉体工程 .....	7
1.4.1 内涵与外延 .....	7
1.4.2 研究方法 .....	7
1.4.3 粉体工艺特点 .....	7
1.4.4 粉体制备方法及特点 .....	8
1.4.5 粉体工程与技术的发展趋势 .....	8
参考文献 .....	13
<b>第 2 章 粉体的基本特性及表征</b> .....	14
2.1 粉体的基本特性 .....	14
2.1.1 颗粒的形态特性 .....	14
2.1.2 粒度与粒度分布 .....	21
2.1.3 比表面积 .....	34
2.1.4 粉体几何特性的测定 .....	34
2.2 粉体堆积与压缩特性 .....	40
2.2.1 填充程度评价指标 .....	40
2.2.2 填充与堆积 .....	40
2.2.3 粉体的压缩特性 .....	48



2.3	粉体的物理化学特性 .....	52
2.3.1	粉体的表面效应 .....	52
2.3.2	粉体表面的润湿性 .....	52
2.3.3	粉体层中的液体 .....	54
2.3.4	化学与催化性能 .....	54
2.4	粉体的物理特性 .....	55
2.4.1	光学性能 .....	55
2.4.2	热学性能 .....	58
2.4.3	电学性能 .....	59
2.4.4	磁学性能 .....	62
2.4.5	声学特性 .....	63
2.5	颗粒流体力学特性 .....	64
2.5.1	颗粒的沉降 .....	64
2.5.2	流体透过颗粒层流动 .....	68
2.5.3	颗粒流态化 .....	70
2.6	粉体采样与分样 .....	72
2.6.1	采样的基础理论 .....	72
2.6.2	采样的几种基本方法 .....	73
2.6.3	分样方法及分样装置 .....	74
	参考文献 .....	76
<b>第3章</b>	<b>粉碎与超细粉碎 .....</b>	<b>77</b>
3.1	粉碎基本理论 .....	77
3.1.1	物料的基本特性 .....	77
3.1.2	粉碎过程施力方式 .....	81
3.1.3	粉碎过程机理 .....	82
3.1.4	粉碎过程能耗理论 .....	84
3.1.5	粉碎过程模型 .....	88
3.2	传统粉碎粉磨设备 .....	95
3.2.1	破碎设备 .....	95
3.2.2	粉磨设备 .....	106
3.3	超细粉磨设备 .....	110
3.3.1	高速机械冲击式粉碎机 .....	110
3.3.2	气流磨 .....	112
3.3.3	振动磨 .....	118
3.3.4	胶体磨 .....	119

3.3.5 搅拌磨 .....	120
3.3.6 超细粉磨设备选型原则 .....	121
参考文献 .....	122
<b>第 4 章 机械力化学效应 .....</b>	<b>124</b>
4.1 机械力化学的发展历程 .....	124
4.2 机械力化学作用及机理 .....	124
4.2.1 粉碎平衡 .....	124
4.2.2 固体活性 .....	126
4.2.3 晶体结构的变化 .....	127
4.2.4 机械力诱发的化学变化 .....	130
4.2.5 机械力化学反应的机理 .....	132
4.3 机械力化学的应用 .....	134
4.3.1 表面改性 .....	134
4.3.2 制备无机颜料 .....	138
4.3.3 制备新材料 .....	138
4.3.4 在湿法冶金中的应用 .....	148
4.4 机械力化学反应器与工艺 .....	149
4.4.1 反应器的特点 .....	149
4.4.2 影响因素分析 .....	153
参考文献 .....	154
<b>第 5 章 筛分与超细分级 .....</b>	<b>157</b>
5.1 分级理论 .....	157
5.1.1 分级效率 .....	157
5.1.2 分级粒径(切割粒径) .....	158
5.1.3 分级精度 .....	159
5.1.4 分级效果的综合评价 .....	159
5.2 分级设备 .....	159
5.2.1 筛分设备 .....	159
5.2.2 重力分级设备 .....	172
5.2.3 离心分级设备 .....	173
5.3 超细分级原理及设备 .....	182
5.3.1 超细分级原理 .....	182
5.3.2 干式超细分级 .....	184
5.3.3 湿式超细分级 .....	195

5.4	超细分级设备的选型原则与相关问题	199
5.4.1	选型原则	199
5.4.2	超细分级的相关问题	199
5.5	分级与粉磨组合工艺	201
5.5.1	负荷循环率的计算	201
5.5.2	闭路系统工艺分析	202
5.5.3	粉碎分级工艺组合与优化	203
5.5.4	典型粉磨工艺系统	206
	参考文献	207
<b>第6章</b>	<b>超细粉体制备</b>	<b>208</b>
6.1	物理制粉技术	208
6.1.1	雾化法	208
6.1.2	物理蒸发冷凝法	211
6.2	化学制粉技术	213
6.2.1	固相法	213
6.2.2	液相法	217
6.2.3	气相法	231
6.3	超声波在粉体制备中的应用	237
6.3.1	超声空化作用	237
6.3.2	超声波在粉体制备中的应用	238
	参考文献	240
<b>第7章</b>	<b>超细粉体表面包覆与改性</b>	<b>243</b>
7.1	表面有机改性	243
7.1.1	改性方法	243
7.1.2	改性机理	245
7.1.3	改性装置	246
7.1.4	改性工艺	249
7.1.5	改性效果评价	251
7.2	表面包覆改性	255
7.2.1	表面包覆改性的作用	255
7.2.2	表面包覆改性方法	256
7.3	固体法制备矿物/TiO <sub>2</sub> 复合粉体	260
7.3.1	制备工艺	260
7.3.2	性能表征	261

7.3.3	矿物与 TiO <sub>2</sub> 颗粒间作用性质的分析	263
7.3.4	应用性能评价	264
7.4	液相法制备表面纳米化结构复合粉体	266
7.4.1	重质碳酸钙表面纳米化修饰	266
7.4.2	白云石表面纳米化修饰	271
7.4.3	复合微珠的制备与性能表征	273
7.5	超细粉体改性 with 包覆技术的发展趋势	278
	参考文献	279
<b>第 8 章</b>	<b>固液分离与干燥</b>	284
8.1	固液分离	284
8.1.1	基础知识	284
8.1.2	重力沉降与浓密机	292
8.1.3	水力旋流器	297
8.1.4	过滤机	299
8.2	干燥	319
8.2.1	基础知识	319
8.2.2	箱式和带式干燥器	323
8.2.3	流化床干燥器	327
8.2.4	气流干燥器	331
8.2.5	喷雾干燥器	332
8.2.6	其他干燥设备	339
8.2.7	干燥与节能	345
	参考文献	347
<b>第 9 章</b>	<b>气固分离与收尘</b>	348
9.1	基础知识	348
9.1.1	粉尘的特性及分类	348
9.1.2	微粉捕集与收尘	350
9.1.3	粉尘浓度与排放标准	351
9.1.4	收尘器类型与分离效率	353
9.2	重力收尘器	356
9.2.1	工作原理及分类	356
9.2.2	类型及结构	356
9.3	离心式收尘器	357
9.3.1	工作原理与分类	357

9.3.2	几种常用的旋风收尘器 .....	359
9.3.3	选型计算 .....	362
9.3.4	主要影响因素分析 .....	363
9.4	过滤式收尘器 .....	365
9.4.1	袋式收尘器的原理、构造及分类 .....	365
9.4.2	滤料和滤袋 .....	369
9.4.3	颗粒层收尘器 .....	369
9.5	电收尘器 .....	371
9.5.1	工作原理 .....	372
9.5.2	类型及结构 .....	372
9.5.3	电收尘器的主要参数 .....	378
9.5.4	主要影响因素分析 .....	380
9.5.5	新型电收尘器及其发展方向 .....	382
9.6	湿式收尘器 .....	383
9.6.1	工作原理及性能 .....	383
9.6.2	类型及结构 .....	384
9.7	收尘系统与工艺 .....	389
9.7.1	气体管道 .....	389
9.7.2	收尘器的选择要点 .....	393
9.8	收尘与劳动保护 .....	395
9.8.1	粉尘对人体健康的影响 .....	395
9.8.2	收尘对劳动保护的意义 .....	396
	参考文献 .....	397
<b>第 10 章</b>	<b>超细粉体的分散 .....</b>	<b>398</b>
10.1	基础知识 .....	398
10.1.1	超细粉体分散体系 .....	398
10.1.2	分散相与分散介质 .....	399
10.1.3	超细颗粒界面特性 .....	400
10.1.4	分散体系的流变性 .....	401
10.1.5	分散效果评价 .....	401
10.2	超细粉体在液体中的分散 .....	403
10.2.1	在液相中分散的主要调控因素 .....	405
10.2.2	在液相中的分散手段 .....	408
10.3	超细粉体在空气中的分散 .....	412
10.3.1	颗粒间作用力 .....	413

10.3.2	在空气中的分散手段 .....	415
10.4	超细粉体分散的应用 .....	418
10.4.1	在超细加工中的应用 .....	418
10.4.2	在粉体粒度测试中的应用 .....	419
10.4.3	在颜料工业中的应用 .....	420
10.4.4	在油田钻井中的应用 .....	421
10.4.5	在矿物加工中的应用 .....	422
10.4.6	在农药中的应用 .....	423
10.4.7	在混凝土工程中的应用 .....	424
10.4.8	在水煤浆工业中的应用 .....	424
	参考文献 .....	425
<b>第 11 章</b>	<b>混合与造粒 .....</b>	<b>427</b>
11.1	混合 .....	427
11.1.1	混合机理与随机性分析 .....	427
11.1.2	影响混合工艺的因素 .....	429
11.1.3	混合质量评价 .....	431
11.1.4	连续混合 .....	435
11.1.5	气力均化设备 .....	438
11.1.6	粉料预均化 .....	442
11.2	造粒 .....	454
11.2.1	基础知识 .....	454
11.2.2	压缩造粒 .....	462
11.2.3	挤出造粒 .....	463
11.2.4	滚动造粒 .....	464
11.2.5	喷浆造粒 .....	468
11.2.6	流化造粒 .....	470
	参考文献 .....	471
<b>第 12 章</b>	<b>微纳米颗粒复合与整形 .....</b>	<b>472</b>
12.1	微纳米颗粒复合 .....	472
12.1.1	颗粒复合化系统 .....	472
12.1.2	金属基复合粉体 .....	474
12.1.3	聚合物基导电复合粉体 .....	489
12.1.4	聚合物基导热型复合粉体 .....	494

12.2	颗粒整形 .....	501
12.2.1	PCS 整形机理及工艺 .....	502
12.2.2	钛粉整形 .....	503
12.2.3	石墨整形 .....	506
	参考文献 .....	509
<b>第 13 章</b>	<b>粉体的输送与仓储 .....</b>	<b>512</b>
13.1	粉体输送基础知识 .....	512
13.1.1	粉体的流动特性 .....	512
13.1.2	粉体压力计算 .....	514
13.1.3	粉体的重力流动 .....	516
13.2	粉体物料的储存 .....	524
13.2.1	物料储存的作用与分类 .....	524
13.2.2	料仓及料斗的结构 .....	524
13.2.3	料仓常见故障与对策 .....	525
13.3	粉体的输送 .....	527
13.3.1	胶带输送机 .....	527
13.3.2	螺旋输送机 .....	533
13.3.3	斗式提升机 .....	536
13.3.4	链板输送机 .....	538
13.3.5	给料机 .....	542
13.4	气力输送 .....	547
13.4.1	稀相气力输送 .....	548
13.4.2	脉冲气力输送 .....	554
13.4.3	气力输送装备与系统 .....	555
	参考文献 .....	561
<b>第 14 章</b>	<b>生物粉体技术 .....</b>	<b>562</b>
14.1	基础知识 .....	562
14.1.1	植物源生物粉体 .....	563
14.1.2	动物源超细粉体 .....	564
14.1.3	矿物源超细粉体 .....	564
14.1.4	生物陶瓷粉体 .....	565
14.2	生物超细粉体制备 .....	565
14.2.1	常用设备 .....	566
14.2.2	生物超细粉体表面包覆 .....	568

14.3	生物粉体性能表征 .....	570
14.3.1	物理性质 .....	570
14.3.2	化学性质 .....	576
14.3.3	体外溶出度 .....	580
14.3.4	体内生物利用度 .....	584
14.4	有效性与安全性评价 .....	586
14.4.1	药效试验 .....	586
14.4.2	毒理试验 .....	587
14.4.3	临床试验 .....	588
14.5	实际应用与前景分析 .....	589
14.5.1	在中药材加工领域的应用 .....	589
14.5.2	在食品与农产品加工领域的应用 .....	591
14.5.3	在饲料添加剂加工领域的应用 .....	594
	参考文献 .....	595
<b>第 15 章</b>	<b>粉体包装 .....</b>	<b>598</b>
15.1	基础知识 .....	598
15.1.1	包装技术与功能 .....	598
15.1.2	包装标准 .....	604
15.1.3	包装材料及发展趋势 .....	604
15.1.4	包装现代化 .....	610
15.2	超细粉体的密实和包装 .....	612
15.2.1	HMD200 排气式粉料密实机 .....	612
15.2.2	H400 型微纳米粉定量包装机 .....	613
15.2.3	CA300 型全自动粉末包装机 .....	614
15.2.4	H700 型定量阀口真空包装机 .....	615
15.3	生物粉体的包装与储藏 .....	616
15.3.1	包装与储藏的重要性 .....	616
15.3.2	包装的信息功能 .....	616
15.3.3	对包装材料的要求 .....	617
15.3.4	包装形式 .....	619
15.3.5	在线标记 .....	620
15.4	包装所涉及的环境问题 .....	620
15.4.1	粉尘的起因 .....	621
15.4.2	粉尘的影响 .....	621
15.4.3	粉尘消除机理 .....	622
	参考文献 .....	623



<b>第 16 章 粉体加工助剂</b> .....	624
16.1 助磨剂 .....	624
16.1.1 理论基础 .....	624
16.1.2 化学特征 .....	625
16.1.3 主要类型 .....	625
16.1.4 选用原则 .....	625
16.2 改性剂 .....	626
16.2.1 脂肪酸或其盐 .....	626
16.2.2 脂肪酸的低级酯 .....	627
16.2.3 表面活性剂 .....	628
16.2.4 偶联剂 .....	630
16.3 分散剂 .....	647
16.3.1 分散剂的选用原则 .....	649
16.3.2 水性体系的分散剂 .....	649
16.3.3 油性体系的分散剂 .....	650
16.3.4 气溶胶体系的分散剂 .....	651
16.4 絮凝剂 .....	651
16.4.1 选用原则 .....	652
16.4.2 常用的絮凝剂 .....	653
16.5 其他功能性助剂 .....	654
16.5.1 耐高温型助剂 .....	654
16.5.2 阻燃型助剂 .....	654
16.5.3 助留型助剂 .....	655
16.5.4 抗静电型助剂 .....	655
16.5.5 触变型助剂 .....	656
16.5.6 抑醛型助剂 .....	656
16.5.7 抑菌型助剂 .....	657
16.5.8 耐磨型助剂 .....	657
参考文献 .....	657
<b>第 17 章 耐磨部件与介质</b> .....	658
17.1 耐磨材料 .....	658
17.1.1 金属耐磨材料 .....	658
17.1.2 非金属耐磨材料 .....	663
17.1.3 复合材料 .....	665
17.2 耐磨部件 .....	667