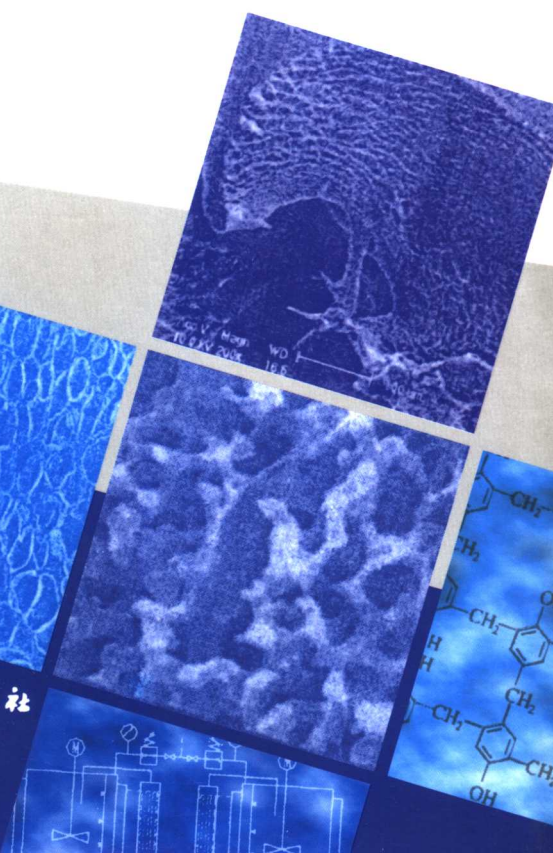


新型 聚合物发泡 材料及技术

何继敏 编著



化学工业出版社



763
2128

新型

聚合物发泡 材料及技术

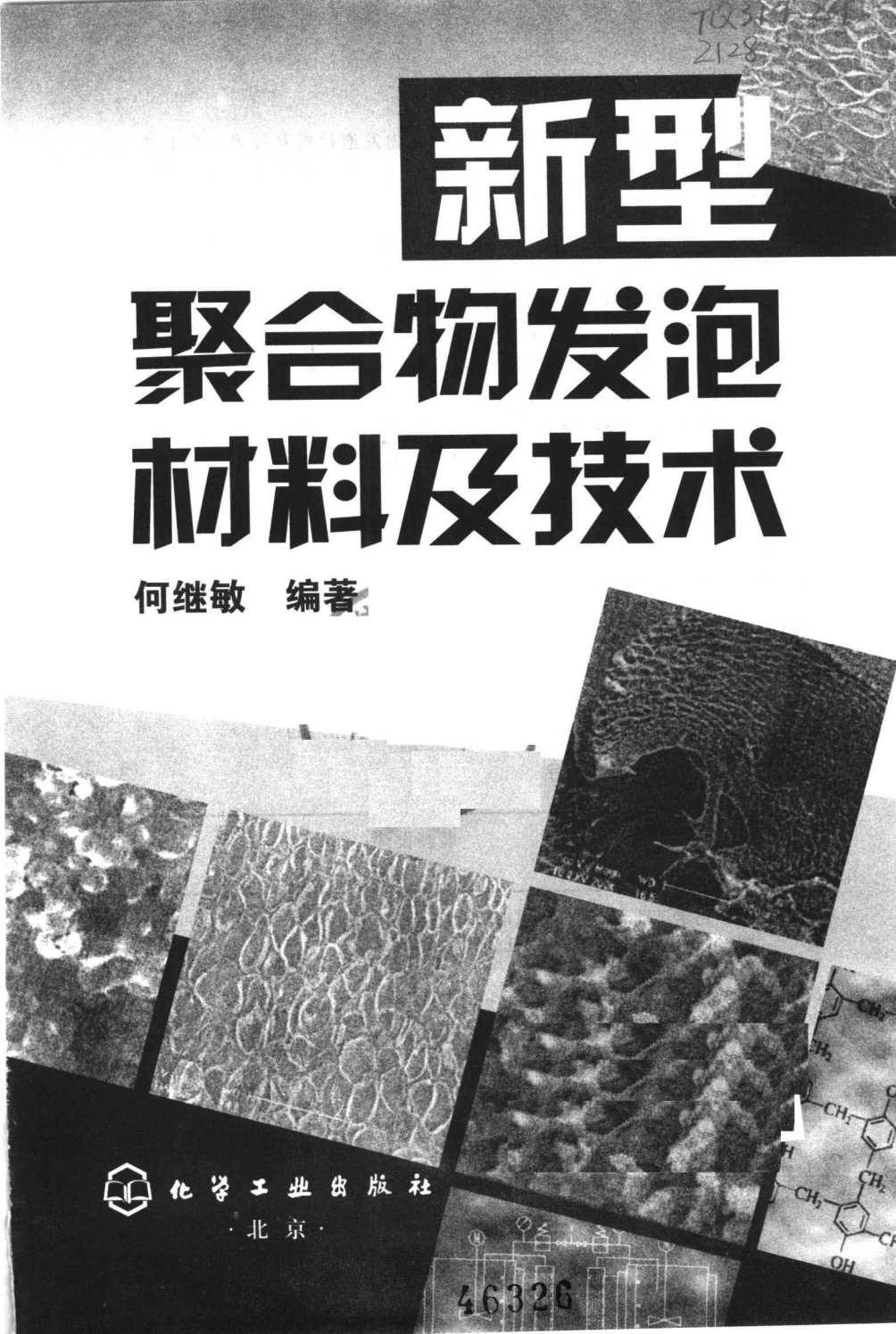
何继敏 编著



化学工业出版社

北京

46326



本书全面系统地介绍了关于新型聚合物发泡材料及技术。全书共17章,从性能及应用、发泡机理、配方及工艺、设备等方面,详尽阐述了氟里昂替代发泡、降解发泡、交联发泡、聚丙烯发泡、微孔发泡、挤出低发泡、结构注射发泡、阻燃和耐高温发泡材料、功能和改性发泡材料、开孔泡沫及微波发泡、原位发泡等新材料、新技术,并介绍了废旧泡沫塑料资源化再利用。

本书最大程度地网罗和全面总结了近年来聚合物发泡领域的最新进展和成果,其中许多内容是此前同类书籍所未曾涉猎的,图文并茂,并配有大量的实例和参考数据。

本书对相关领域的科研人员、工程技术人员,具有较高的实用和参考价值,也可作为大专院校相关专业师生的专业参考书。

图书在版编目(CIP)数据

新型聚合物发泡材料及技术/何继敏编著. —北京:化学工业出版社, 2007. 10

ISBN 978-7-122-01129-9

I. 新… II. 何… III. 高聚物-发泡剂 IV. TQ314.259

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第155858号

责任编辑:王苏平
责任校对:顾淑云

装帧设计:关飞

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:北京云浩印刷有限责任公司
装订:三河市前程装订厂
850mm×1168mm 1/32 印张28¼ 字数818千字
2008年1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:68.00元

版权所有 违者必究

前 言

“发泡”这一概念和泡沫材料的应用目前已深入到诸多领域，如泡沫塑料、泡沫金属、泡沫玻璃、泡沫混凝土等，甚至 2008 年北京奥运会被称为“水立方”的国家游泳中心也是世界上首次成功运用气泡原理而建成的体育场馆，其上部钢结构采用基于气泡理论的多面体空间钢架结构形式，外表则以充满“气泡”（由 ETFE 膜结构气枕经充气而成）的梦幻般形象呈现在世人面前。“发泡”的重要性和广泛性由此可见一斑。

在此之前，已有了《泡沫塑料成型》（吴舜英，徐敬一编著）、《泡沫塑料成型加工》（张京珍编著）等多本关于泡沫塑料的著作。近年来，高分子泡沫材料的品种和数量正在大幅度地增加，应用领域进一步拓宽。本书正是为了更加全面地综合反映聚合物发泡材料及技术的发展及现状而编著和出版。

笔者结合自己的研究经验，参阅大量的文献资料编写此书，力求做到“新”和“全”。即从新的视角，介绍新的泡沫材料和新的泡沫成型加工技术，并且全方位、多角度，全面系统地总结了近年来聚合物发泡材料及技术的最新进展、成果及发展趋势，几乎网罗了与聚合物发泡相关的各个方面。

本书所述内容范围广泛，不仅包括塑料泡沫材料，也涉及橡胶、弹性体、天然高分子等泡沫材料。为了保持全书结构的完整性，除了详细介绍新材料、新技术，对一些出现较早但生命力依然旺盛的传统泡沫材料和技术也进行了陈述。

全书共 17 章，在阐述发泡基本理论的基础上，从性能及应用、发泡机理、配方及工艺、设备等方面，详尽介绍了环保发泡材料及技

术、高性能发泡材料及技术、功能化发泡材料及技术、发泡材料的降解与回收及其他发泡新工艺、新产品。

本书尽可能地将此前同类书籍所未曾涉猎的许多主题和内容纳入其中，以展现一个丰富而精彩的泡沫世界，使读者通过本书对各种类型的聚合物发泡材料及技术有更新、更全面的了解和认识。对于相关领域的科研人员、工程技术人员而言，本书具有较高的参考和实用价值，也可作为大专院校相关专业师生的专业参考书。由于笔者的经验和水平所限，书中难免会存在不足之处，敬请读者批评指正。

本书出版之际，向所参阅文献的作者致以敬意和谢意，同时向在我的成长和研究工作中给予支持、协助的老师、同事和我的学生表示衷心感谢！

谨以此书向一直给我动力、给我支持的家人表示感谢！

何继敏

2007年8月于北京化工大学

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 聚合物发泡材料的定义及分类	1
1.1.1 发泡材料定义	1
1.1.2 发泡材料分类	2
1.2 泡孔结构及表征	3
1.2.1 气体结构单元概念	3
1.2.2 开孔结构和闭孔结构	3
1.2.3 泡孔构型	4
1.2.4 泡孔结构的表征	6
1.3 发泡成型基础理论	7
1.3.1 聚合物/气体溶液体系的形成	7
1.3.2 泡孔成核理论	7
1.3.3 气泡生长理论	14
1.3.4 泡体固化及其非稳定过程	17
1.4 新型发泡材料及技术特点	19
参考文献	21
第 2 章 新型发泡剂及其特性	23
2.1 发泡剂种类与性能	23
2.1.1 物理发泡剂	24
2.1.2 化学发泡剂	24
2.1.3 复合发泡剂	29
2.2 发泡剂 AC 的改性	33
2.2.1 纯 AC 发泡剂的不足与改性	33

2.2.2	发泡剂的活化	34
2.2.3	发泡剂粒子的微细化和分级	38
2.2.4	提高分散性和模具的去垢	39
2.2.5	发泡的抑制	40
2.2.6	发泡剂复配	41
2.3	吸热型发泡剂	42
2.3.1	发泡剂特性	42
2.3.2	典型产品及其性能	43
2.4	吸-放热平衡型发泡剂	44
2.4.1	吸-放热平衡型发泡剂特性及典型产品	44
2.4.2	发泡效果比较	45
2.5	氟里昂替代发泡剂	46
2.5.1	臭氧层破坏机理及替代发泡剂要求	47
2.5.2	第二代发泡剂——HCFCs	48
2.5.3	第三代发泡剂	51
2.5.4	其他零 ODP 值发泡剂	59
2.6	物理发泡微胶囊	60
2.6.1	制备原理	60
2.6.2	原料选择	62
2.6.3	制备方法及操作原则	66
2.7	核-壳微球发泡剂	67
2.8	母料型发泡剂	68
	参考文献	68

第3章	氟里昂替代发泡技术	71
3.1	聚氨酯 HCFC-141b 发泡技术	71
3.1.1	HCFC-141b 的理化性能	71
3.1.2	与 CFC-11 发泡体系的性能比较及改进措施	72
3.1.3	发泡成型工艺	74
3.1.4	产品性能	75
3.1.5	航天飞机失事引出的问题	76
3.2	聚氨酯 HFC-245fa 发泡技术	77

3.2.1	HFC-245fa 的理化性能	77
3.2.2	HFC-245fa 组合料性质	79
3.2.3	HFC-245fa 发泡及产品性能	80
3.3	聚氨酯环戊烷发泡技术	83
3.3.1	环戊烷发泡剂的理化性能	83
3.3.2	环戊烷模塑发泡成型设备	85
3.3.3	环戊烷系聚氨酯组合料的物理性质	88
3.3.4	环戊烷发泡及产品性能	89
3.3.5	环戊烷发泡的安全措施	92
3.4	聚氨酯混合烷烃发泡技术	92
3.4.1	环戊烷-异戊烷混合发泡体系	92
3.4.2	正戊烷-异戊烷混合发泡体系	95
3.4.3	环戊烷-丁烷混合发泡体系	96
3.4.4	不同烷烃发泡体系的优缺点比较	96
3.5	聚氨酯全水发泡技术	97
3.5.1	全水发泡技术路线分析	97
3.5.2	全水发泡中各因素对泡沫性能的影响	98
3.5.3	全水发泡聚醚多元醇研究进展	100
3.5.4	全水发泡聚氨酯的配方、工艺及性能	101
3.6	聚氨酯 CO ₂ 发泡技术	102
3.6.1	CO ₂ 发泡工艺特点	103
3.6.2	液态 CO ₂ 发泡的 Cardio 工艺	104
3.6.3	液态 CO ₂ 供液系统	106
3.6.4	发泡设备改造	108
3.6.5	与传统泡沫的比较及存在的问题	110
3.7	丁烷及液化石油气挤出发泡技术	111
3.7.1	丁烷挤出发泡 EPE 片材	111
3.7.2	液化石油气挤出发泡 EPE 片材	118
3.7.3	丁烷发泡挤塑 XPS 保温板	121
3.8	EPS 珠粒发泡成型	126
3.8.1	EPS 珠粒生产工艺	126
3.8.2	EPS 珠粒料发泡成型工艺	129

3.9 水发泡材料及技术	133
3.9.1 水发泡热塑性弹性体	133
3.9.2 水发泡硅橡胶海绵	136
3.9.3 水发泡聚乙烯绝缘同轴电缆	137
3.9.4 水发泡聚苯乙烯	139
3.9.5 水填充发泡剂母料	139
参考文献	140
第4章 降解发泡材料及技术	142
4.1 可降解的合成树脂发泡材料	142
4.1.1 聚苯乙烯降解发泡材料	142
4.1.2 聚烯烃降解发泡材料	146
4.1.3 生物降解型聚氨酯泡沫材料	148
4.2 生物降解塑料的分类	154
4.2.1 微生物合成型	154
4.2.2 化学合成型	154
4.2.3 天然高分子型	155
4.3 微生物合成型生物降解发泡材料	155
4.3.1 PHB 的性能	155
4.3.2 PHB 发泡成型	155
4.3.3 发泡 PHB 的降解特性	156
4.4 化学合成型生物降解发泡材料	157
4.4.1 PLA 的性能	157
4.4.2 PLA 的改性	158
4.4.3 PLA 挤出发泡及应用	159
4.5 天然高分子生物降解发泡材料	161
4.5.1 淀粉基生物降解发泡材料	161
4.5.2 植物纤维发泡材料	175
4.5.3 存在的问题和发展前景	184
参考文献	185
第5章 聚氨酯发泡材料及技术	187
5.1 反应注射成型技术	187

5.1.1	原理、特点及应用	187
5.1.2	反应注射成型工艺	189
5.1.3	增强反应注射成型工艺	190
5.1.4	结构反应注射成型工艺	190
5.1.5	低密度结构增强反应注射成型工艺	192
5.1.6	反应注射成型加工设备	194
5.2	聚氨酯整皮泡沫塑料	199
5.2.1	结构、性能及应用	199
5.2.2	表皮形成原理	200
5.2.3	配方及工艺控制	201
5.2.4	模具设计	203
5.2.5	采用环保发泡剂的整皮发泡工艺	204
5.3	高回弹聚氨酯泡沫塑料	206
5.3.1	性能及应用	206
5.3.2	工艺流程	207
5.3.3	配方及性能指标	208
5.4	网状聚氨酯泡沫塑料	210
5.4.1	结构及特性	210
5.4.2	防火抑爆机理	213
5.4.3	制备方法	216
5.4.4	爆炸法工艺对泡沫网化的影响	218
5.4.5	碱液法工艺对泡沫网化的影响	221
5.4.6	应用	222
5.5	变压发泡技术	225
5.5.1	发泡原理	226
5.5.2	配方及试验方法	226
5.5.3	变压参数对泡沫结构的影响	227
5.5.4	应用	229
5.6	微孔聚氨酯弹性体	230
5.6.1	合成原理	230
5.6.2	分类及多元醇的影响	231
5.6.3	鞋底材料的制备	232

5.6.4	汽车用微孔弹性体	235
5.7	聚氨酯泡沫塑料防腐保温管道	238
5.7.1	结构和性能	239
5.7.2	预制成型工艺	240
5.7.3	预制工艺的选择	243
5.8	其他新型聚氨酯发泡材料及技术	245
5.8.1	双硬度聚氨酯泡沫塑料	245
5.8.2	慢回弹聚氨酯泡沫塑料	249
5.8.3	挤出发泡聚氨酯板材	250
	参考文献	250
第6章	交联发泡材料及技术	253
6.1	交联发泡聚乙烯	253
6.1.1	结晶型聚合物发泡特性	253
6.1.2	性能及应用	255
6.1.3	辐射交联聚乙烯泡沫	258
6.1.4	化学交联聚乙烯泡沫	263
6.2	交联发泡线型低密度聚乙烯	271
6.2.1	挤出常压交联发泡 LLDPE	271
6.2.2	模压交联发泡 LLDPE	272
6.3	交联发泡乙烯-乙酸乙烯酯共聚物	272
6.3.1	注射交联发泡 EVA	273
6.3.2	模压交联发泡 EVA	275
6.4	交联发泡聚氯乙烯	276
6.4.1	交联反应机理	276
6.4.2	一步法模压交联 PVC 泡沫	277
6.4.3	二步法交联高发泡软质 PVC 泡沫	280
	参考文献	281
第7章	聚丙烯发泡材料及技术	283
7.1	性能及应用	283
7.1.1	性能特点	283
7.1.2	应用领域	284

7.2	发泡特性	291
7.3	“熔体强度”概念及表征	292
7.4	高熔体强度聚丙烯及其制备	294
7.4.1	影响熔体强度的因素	294
7.4.2	HMSPP 的特性	295
7.4.3	HMSPP 制备工艺	297
7.4.4	HMSPP 树脂品种	301
7.5	聚丙烯发泡技术发展现状	303
7.6	聚丙烯发泡成型工艺	306
7.6.1	模压交联发泡	306
7.6.2	可发性聚丙烯珠粒发泡	307
7.6.3	挤出后常压交联发泡	311
7.6.4	直接挤出发泡	316
7.6.5	共挤出发泡	320
7.6.6	HMSPP 发泡	321
7.6.7	共混挤出发泡	323
7.6.8	注射发泡	324
	参考文献	328
第 8 章	微孔发泡材料及技术	331
8.1	性能及应用	331
8.2	微孔发泡成型原理	333
8.2.1	超临界流体的性质	333
8.2.2	超临界流体制备微孔发泡材料的基本原理	335
8.3	微孔间歇发泡成型	336
8.4	微孔挤出发泡成型	338
8.4.1	成型工艺过程	338
8.4.2	微孔挤出发泡与传统挤出发泡技术比较	339
8.4.3	发泡剂注入及装置	341
8.4.4	聚合物/气体均相体系形成机理及装置	342
8.4.5	成核发泡机理及装置	344
8.4.6	成型应用实例	352

8.5	微孔注射发泡成型	353
8.5.1	工艺特点	353
8.5.2	工艺过程及装置	355
8.5.3	超临界流体种类对成型的影响	360
8.5.4	成型应用实例	361
8.6	微孔发泡中空吹塑成型	362
8.7	微孔发泡热成型	362
8.8	微孔发泡塑料的其他制备方法	363
8.8.1	相分离法	363
8.8.2	压缩流体反溶剂沉淀法	364
8.9	微孔发泡技术存在的不足	364
	参考文献	365
第9章	低发泡与仿木发泡材料及技术	367
9.1	挤出低发泡工艺及原理	367
9.1.1	自由发泡工艺	367
9.1.2	向内发泡工艺	369
9.1.3	受限自由发泡工艺	370
9.1.4	共挤出发泡工艺	372
9.2	挤出低发泡设备	372
9.3	聚氯乙烯低发泡板材	373
9.3.1	PVC 结皮低发泡板材	373
9.3.2	PVC 共挤出低发泡板材	377
9.3.3	PVC 芯层发泡瓦板	378
9.4	低发泡仿木异型材及“合成木材”	381
9.4.1	PVC 低发泡异型材及模具设计	381
9.4.2	带木纹的 PVC 低发泡仿木异型材	385
9.4.3	带年轮状的 PVC 低发泡仿木异型材	388
9.4.4	PS 低发泡仿木异型材	389
9.4.5	PU 结构泡沫“合成木材”	390
9.5	微发泡木塑复合材料	395
9.5.1	PVC 微发泡木塑复合材料	396

9.5.2	PE微发泡木塑复合材料	405
9.5.3	PP微发泡木塑复合材料	408
9.5.4	PS微发泡木塑复合材料	408
9.5.5	PU微发泡木塑复合材料	408
9.6	聚氯乙烯低发泡管材	409
9.6.1	单机挤出PVC结皮低发泡管	409
9.6.2	双机共挤PVC芯层发泡管	413
9.6.3	三机共挤出PVC芯层发泡管	425
9.6.4	螺旋芯层发泡管	428
9.7	聚氯乙烯低发泡钢塑共挤出型材	430
9.7.1	性能和特点	430
9.7.2	工艺流程	431
9.7.3	设备及模具	432
9.7.4	配方及工艺	432
9.7.5	产品性能指标	433
	参考文献	434
第10章 结构注射发泡材料及技术		436
10.1	性能特点与应用	436
10.2	发泡原理及工艺过程	438
10.3	单组分结构注射发泡	440
10.3.1	低压结构注射发泡	440
10.3.2	高压结构注射发泡	448
10.3.3	气体逆压结构注射发泡	452
10.4	多组分结构注射发泡	458
10.4.1	顺序注射发泡成型	459
10.4.2	共注射发泡成型	463
10.4.3	多组分注射发泡制品的原料选择	466
10.4.4	多组分注射发泡的优势	469
10.5	多工位结构注射发泡成型机组	470
10.6	工艺参数对结构注射发泡成型的影响	472
	参考文献	477

第 11 章 阻燃发泡材料及技术	478
11.1 物质燃烧与阻燃原理	478
11.1.1 燃烧机理	478
11.1.2 阻燃作用原理	480
11.1.3 阻燃剂的类别	480
11.1.4 阻燃性能表征方法	486
11.2 阻燃聚乙烯泡沫塑料	487
11.2.1 PE 泡沫的燃烧和阻燃机理	487
11.2.2 PE 泡沫的阻燃方法	488
11.2.3 阻燃 PE 泡沫配方实例及其阻燃机理	491
11.3 阻燃可发性聚苯乙烯泡沫塑料	498
11.3.1 EPS 泡沫用阻燃剂品种	498
11.3.2 阻燃 EPS 泡沫生产工艺	499
11.4 阻燃聚氯乙烯泡沫塑料	504
11.4.1 硬质 PVC 泡沫的阻燃性	505
11.4.2 软质 PVC 泡沫的阻燃性	505
11.5 阻燃聚氨酯泡沫塑料	508
11.5.1 PU 泡沫燃烧和阻燃原理	509
11.5.2 PU 泡沫阻燃方法	510
11.5.3 PU 泡沫的无卤阻燃技术	527
11.6 阻燃橡胶泡沫	531
11.7 阻燃弹性体泡沫	533
参考文献	535
第 12 章 耐高温发泡材料及技术	538
12.1 聚异氰脲酸酯泡沫塑料	538
12.1.1 性能及应用	539
12.1.2 PU-PIR 泡沫塑料	540
12.1.3 软面层 PIR 泡沫复合板	541
12.1.4 PIR 泡沫在航天飞机中的应用	543
12.2 酚醛泡沫塑料	544
12.2.1 性能特点	544

12.2.2	发泡反应原理	547
12.2.3	原料选择及配方	550
12.2.4	酚醛树脂发泡成型方法及设备	554
12.2.5	应用及产品开发	555
12.3	环氧泡沫塑料	559
12.3.1	性能及应用	559
12.3.2	原料选择	560
12.3.3	发泡成型方法	563
12.3.4	电器灌封用环氧泡沫塑料的制备	564
12.3.5	空心微珠填充环氧泡沫保温材料的制备	565
12.4	聚甲基丙烯酸酯亚胺泡沫塑料	566
12.4.1	性能和特点	567
12.4.2	工艺流程及发泡反应原理	569
12.4.3	PMI 泡沫的二次加工方法	570
12.4.4	产品及应用	571
12.5	聚酰亚胺泡沫塑料	575
12.5.1	结构与分类	576
12.5.2	性能特点	576
12.5.3	PI 泡沫的合成方法	577
12.5.4	原料及生产工艺	579
12.5.5	应用领域	580
12.6	有机硅泡沫塑料	582
12.6.1	性能及应用	582
12.6.2	原料选择	584
12.6.3	制备工艺及反应原理	585
12.6.4	固体法、液体法制备有机硅泡沫的对比	589
12.7	其他耐高温泡沫塑料	589
12.7.1	改性 BMI 泡沫塑料	589
12.7.2	PES 泡沫塑料	591
12.7.3	PEEK 泡沫塑料	592
12.7.4	PBI 泡沫塑料	594
12.7.5	PET 泡沫塑料	595

参考文献	599
第 13 章 功能泡沫塑料	601
13.1 抗静电泡沫材料	601
13.1.1 泡沫材料的抗静电机理	602
13.1.2 抗静电 PU 泡沫塑料	603
13.1.3 抗静电聚烯烃泡沫	608
13.1.4 抗静电硅橡胶泡沫	610
13.2 吸波隐身泡沫塑料	613
13.2.1 吸波材料的吸波原理	613
13.2.2 吸波泡沫塑料的制造方法	614
13.2.3 吸波泡沫塑料的性能	616
13.2.4 吸波泡沫塑料的应用	617
13.3 聚四氟乙烯多孔泡沫塑料	618
13.3.1 成孔剂法	618
13.3.2 拉伸法	622
13.3.3 应用	625
13.4 聚乳酸医学组织工程泡沫材料	626
13.4.1 溶盐致孔法	627
13.4.2 层压法	628
13.4.3 超临界 CO ₂ 法	630
13.4.4 超临界 CO ₂ /盐析法	631
13.5 ICF 靶用低密度微孔泡沫塑料	633
13.5.1 低密度氘代聚苯乙烯泡沫	633
13.5.2 超低密度 PMP 泡沫	638
13.6 聚酰亚胺纳米泡沫介电材料	639
13.6.1 纳米泡孔形成原理及制备过程	640
13.6.2 PI 纳米泡沫材料合成方法	642
13.6.3 影响纳米泡沫体结构和性能的因素	645
13.7 化肥缓释泡沫塑料	647
13.7.1 缓释 PU 泡沫材料的制备	648
13.7.2 缓释效果及其影响因素	648