

朱吕民 刘益军 等编著

聚氨酯泡沫塑料

第三版



Chemical Industry Press



化学工业出版社
材料科学与工程出版中心

聚氨酯泡沫塑料

第 三 版

朱吕民 刘益军 等编著



化学工业出版社
材料科学与工程出版中心

· 北 京 ·

(京)新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据

聚氨酯泡沫塑料/朱吕民, 刘益军等编著. —3片

北京: 化学工业出版社, 2004.8

ISBN 7-5025-6075-0

I. 聚… II. ①朱…②刘… III. 聚氨酯-泡沫塑料

IV. TQ328.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 089580 号

聚氨酯泡沫塑料

第三版

朱吕民 刘益军 等编著

责任编辑: 龚浏澄

责任校对: 李 林

封面设计: 潘 峰

*

化学工业出版社 出版发行

材料科学与工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里3号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

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

*

新华书店北京发行所经销

北京永鑫印刷有限责任公司印刷

三河市东柳装订厂装订

开本 850mm×1168mm 1/32 印张 31½ 字数 856 千字

2005 年 1 月第 3 版 2005 年 1 月北京第 6 次印刷

ISBN 7-5025-6075-0/TQ·2072

定 价: 68.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

京工商广临字 2004—012 号

第三版 前言

聚氨酯泡沫塑料是聚氨酯合成材料中最大品种，其总产量约占聚氨酯材料的 60%。自进入 21 世纪以来，聚氨酯的全球年产量已突破 1000 万吨，且每年仍以 6%~9% 的增长速度发展。我国聚氨酯产量近几年均以 10% 的速度增长。这一切，均依托于聚氨酯合成材料自身独特的化学性能和高科技应用。

随着我国改革开放的深入及国民经济实力的增强，我国加入 WTO 之后，近期又将陆续建成 16 万吨/年世界级异氰酸酯装置及聚醚生产线，这将极大地促进我国聚氨酯工业上一个新台阶。

CFC 替代是聚氨酯泡沫塑料行业工作之重点。近十多年来，国内外在 CFC 替代发泡技术方面取得了许多进展，由此以及由其它的工业应用需求引发了一系列新技术、新工艺、新品种。

《聚氨酯泡沫塑料》1984 年首次出版，修订后 1994 年发行第二版，至今已分别有 20 年和 10 年的时间，这期间中国的聚氨酯工业发生了令人瞩目的发展，书中的部分内容已不适应于快速发展着的形势。

鉴于以上情况，本次修订版在尊重原著的基础上进行了修订，其中部分章节内容作了较大幅度的修改或重写。新内容包括：新型发泡体系，例如全水发泡泡沫、环戊烷发泡泡沫、HFC 发泡泡沫、液态二氧化碳发泡技术及变压发泡等新工艺；符合建筑和汽车工业要求的难燃级（氧指数高达 32%）的泡沫塑料；符合汽车工业要求的低 VOC 值、湿热老化性能好的车用泡沫垫材等新品种等。

由于原著几位作者相继退休，现邀请从事聚氨酯泡沫塑料工作的几位新秀参与这次修订工作。具体分工如下：本人负责第 1、2、6、9、11 章及附录；刘益军负责第 3、4、5、8 章；苏醒负责第 7 章；陈荣虎负责第 10 章；徐标、邱志平负责第 12、13 章；宋聪梅

负责第 14、15 章。全书由本人补充和审定。刘益军参加审稿和统校，并作初步的编辑排版。

鉴于作者学术水平所限，内容难免有遗漏及不妥之处，敬请读者给予指正。作者最大的心愿是借此书的出版发行，以求我国 PU 泡沫工业与世界大公司接轨，进一步促进我国 PU 泡沫塑料工业的发展。也愿同行们以本书为入门引导，抛砖引玉，深入专题研究，光大聚氨酯工业。

朱吕民

2004 年 7 月

第二版 前言

聚氨酯泡沫塑料是现代塑料工业中发展最快的品种之一，其特点是通过改变分子中链节的结构，能较大幅度地进行各种改性，并在改变工艺配方的情况下，可获得从软到硬、不同密度和性能的泡沫塑料制品。加上成型、施工的简便，从而广泛地应用于各种绝热、防震、隔音、轻质结构件和坐垫、包装、汽车内装饰件等方面。因此，聚氨酯泡沫塑料在世界塑料工业中占有重要的地位。

近年来，该品种在我国发展较快，其生产和应用范围正在迅速扩大和推广，已在国民经济各个领域的发展中发挥着越来越大的作用。为适应我国聚氨酯工业进一步发展的需要，我们结合自己多年的工作实践，并参照国内外有关文献，于1984年编著了《聚氨酯泡沫塑料》一书。并于1987年9月重印出版，共计发行20300册，仍未能满足国内需求。由于该书内容丰富，理论与实践结合，发行以来深受读者欢迎。从而获得全国“优秀著作奖”。随着聚氨酯科技的日新月异，及国内引进装置需要，这次修订是在原书各个章节基础上进行了必要的增添充实，着重增加了“反应注射成型”、“特殊聚氨酯泡沫塑料”、“聚氨酯化学和工艺中若干计算”和“聚氨酯发泡设备和装置”等4个章节。为帮助读者对国内外主要厂家和产品有所了解，书后列出这些厂家聚氨酯用的系列原料、助剂以及制造设备的牌号与规格。

本书是从事聚氨酯泡沫塑料工作近三十多年的几位高级工程师集体分工编著。具体分工如下：方禹声（第二、六章）；朱吕民（第三、四、八、十一、十三以及第九章中第二、三、四节）；秦志燕（第五、十四以及第九章中第一节）；方秀华（第七章）；钱泳源（第一、十二、十五章）；另外，特邀金陵石化公司塑料厂浦仁生高级工程师增写第十章。由于钱泳源同志工作变动，所以他在原版本

中选写的三章，分别由秦志燕（第一章）、方秀华（第十五章）、沈泽（第十二章）三人进行了部分修订、增补工作。而原版本中非法计量单位，统一由缪仲夏同志换算、校正。全书仍由方禹声高级工程师（教授级）最后审阅定稿。

由于作者水平所限、内容难免有不当之处，敬请读者给予批评指正。

作者

1993 年 10 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 概况	1
1.2 历史沿革	3
1.3 发展趋势	8
1.3.1 行业的国际化, 企业间并购、资产重组化	8
1.3.2 合成“绿色”聚氨酯泡沫材料	9
1.3.3 发展新技术、新工艺	12
主要参考文献	13
第 2 章 基本化学反应与泡沫塑料制造原理	17
2.1 异氰酸酯的反应特性	17
2.1.1 异氰酸酯和 NH 基反应	20
2.1.2 异氰酸酯和 OH 基反应	22
2.1.3 异氰酸酯和 SH 基反应	26
2.1.4 异氰酸酯的二聚反应	27
2.1.5 异氰酸酯的三聚反应	28
2.2 聚氨酯泡沫塑料的合成原理	31
2.2.1 基本反应	31
2.2.2 泡沫体的形成	34
2.2.3 泡沫塑料的基本配方及各组分的作用	36
2.3 泡沫形成过程中的胶体化学	42
2.3.1 泡沫的形成	43
2.3.2 泡沫的稳定	45
2.3.3 发泡过程中的黏弹性变化	51
2.4 聚氨酯结构对性能的影响	58
2.4.1 基本影响因素	59
2.4.2 聚氨酯中各基团对泡沫塑料性能的影响	62
2.4.3 交联度的影响	65

第 3 章 多异氰酸酯	72
3.1 概述	72
3.2 伯胺-光气化法工艺	76
3.2.1 光气化法的基本原理	76
3.2.2 几种光气化工艺	78
3.2.3 TDI 和 MDI 的光气化合方法	90
3.3 非光气化异氰酸酯合成工艺	99
3.3.1 TDI 的羰基化合成工艺	101
3.3.2 MDI 的羰基化合成工艺	104
3.3.3 二氧化碳羰基化合成工艺	109
3.3.4 其它方法	110
3.4 重要的有机异氰酸酯	110
3.4.1 甲苯二异氰酸酯及其衍生物	110
3.4.2 二苯甲烷二异氰酸酯 (MDI) 及液化 MDI	113
3.4.3 多亚甲基多苯基多异氰酸酯 (PAPI)	117
3.4.4 其它异氰酸酯	120
3.5 有机异氰酸酯的安全使用	125
3.5.1 异氰酸酯的毒害作用	126
3.5.2 操作注意事项	127
主要参考文献	129
第 4 章 多元醇	130
4.1 概述	130
4.2 聚醚多元醇	133
4.2.1 聚醚多元醇的原料	134
4.2.2 聚醚多元醇合成机理及物料计算	147
4.2.3 通用聚醚多元醇的生产	154
4.2.4 普通聚氧化丙烯多元醇	170
4.2.5 低不饱和度聚醚多元醇	183
4.2.6 特种聚醚多元醇	198
4.2.7 聚醚多元醇的贮存与毒性	219
4.3 聚酯多元醇	219
4.3.1 聚酯多元醇的原料	220
4.3.2 聚酯多元醇生产中的物料计算	220

4.3.3	聚酯多元醇的生产	223
4.3.4	己二酸系列脂肪族聚酯多元醇	226
4.3.5	芳香族聚酯多元醇	228
4.3.6	聚己内酯多元醇	230
4.4	天然产物多元醇	232
4.4.1	蓖麻油及其衍生物	232
4.4.2	植物油多元醇	233
4.4.3	松香酯多元醇	234
	主要参考文献	238
第5章	助剂	239
5.1	催化剂	239
5.1.1	叔胺类催化剂	241
5.1.2	有机金属盐类催化剂	254
5.1.3	复合催化剂及延迟催化剂	260
5.1.4	低散发催化剂	261
5.1.5	软泡和硬泡的催化体系	263
5.2	泡沫稳定剂	264
5.2.1	泡沫稳定剂的分子结构及其合成方法	264
5.2.2	匀泡剂在聚氨酯泡沫制造中的应用	269
5.2.3	有代表性的泡沫稳定剂	273
5.3	阻燃剂	279
5.3.1	阻燃剂的种类和选择	279
5.3.2	添加型阻燃剂	280
5.3.3	反应型阻燃剂	289
5.3.4	阻燃剂的选加作用	291
5.4	发泡剂	291
5.4.1	聚氨酯发泡剂的历史沿革	291
5.4.2	HCFC 发泡剂	293
5.4.3	HFC 发泡剂	296
5.4.4	烷烃类发泡剂	298
5.4.5	其它发泡剂	301
5.5	其它助剂	302
5.5.1	扩链剂和交联剂	302

5.5.2	抗氧剂及光稳定剂	303
5.5.3	颜料及染料	304
5.5.4	填料	306
5.5.5	脱模剂	306
第6章	软质聚氨酯泡沫塑料	308
6.1	概述	308
6.2	软质聚氨酯泡沫塑料的制造方法	310
6.2.1	预聚体法发泡工艺	311
6.2.2	半预聚体法发泡工艺	320
6.2.3	一步法发泡工艺	321
6.3	机械发泡工艺	334
6.3.1	发泡机械	334
6.3.2	块状泡沫制品的生产工艺	338
6.3.3	模塑发泡工艺	347
6.3.4	整皮模塑发泡工艺	352
6.3.5	沫状发泡工艺	355
6.3.6	液态 CO ₂ 发泡技术	358
6.3.7	真空(减压)发泡技术	362
6.4	软质聚氨酯泡沫塑料其它品种	366
6.4.1	高回弹软质泡沫塑料	366
6.4.2	阻燃型软质泡沫塑料	377
6.4.3	半硬质泡沫塑料	381
6.4.4	超柔软泡沫塑料	386
6.4.5	高密度泡沫橡胶	388
6.4.6	亲水性软质泡沫塑料	390
6.4.7	抗静电软质泡沫塑料	391
第7章	硬质聚氨酯泡沫塑料	393
7.1	概述	393
7.2	原料	395
7.2.1	异氰酸酯	395
7.2.2	多元醇	398
7.2.3	发泡剂	400
7.2.4	催化剂	402

7.2.5	泡沫稳定剂	404
7.2.6	阻燃剂	405
7.2.7	其它添加剂	406
7.3	发泡工艺与成型方法	407
7.3.1	发泡方法	407
7.3.2	浇注发泡成型	409
7.3.3	喷涂发泡成型	416
7.3.4	复合板材和管道绝热层的加工成型法	420
7.3.5	结构泡沫与反应性注射模塑	430
7.4	冰箱用硬质聚氨酯泡沫塑料	435
7.4.1	流动性	436
7.4.2	脱模性	441
7.4.3	冰箱组合料及硬泡性能要求	444
7.4.4	高压机械发泡与手工发泡比较	445
7.5	硬质聚氨酯泡沫塑料 CFC-11 的替代技术	446
7.5.1	CFC 在硬泡发展历史所起的作用以及对环境的影响	446
7.5.2	硬质聚氨酯泡沫塑料 CFC-11 替代技术路线	448
7.5.3	真空绝热板	482
7.5.4	各国 CFC 替代状况	486
7.6	硬质聚氨酯泡沫塑料组合料	487
7.6.1	多元醇预混物不稳定的原因	487
7.6.2	稳定化措施	488
7.7	阻燃型硬质聚氨酯泡沫塑料	494
7.7.1	阻燃技术概要	494
7.7.2	添加型阻燃剂	496
7.7.3	反应型阻燃剂	505
7.7.4	其它阻燃方法	510
7.7.5	抑烟技术	511
7.7.6	CFC-11 替代品发泡的硬泡阻燃性	513
7.8	聚异氰脲酸酯泡沫塑料	514
7.8.1	制备聚异氰脲酸酯泡沫塑料的技术路线	515
7.8.2	聚异氰脲酸酯泡沫塑料的原料	517
7.8.3	聚异氰脲酸酯泡沫塑料的改性	521

7.8.4	成型工艺和泡沫塑料性能	525
7.8.5	聚酯型聚氨酯改性聚异氰脲酸酯泡沫	530
7.8.6	应用	534
7.9	单组分硬质聚氨酯泡沫塑料	535
7.9.1	单组分硬质聚氨酯泡沫塑料的固化反应	536
7.9.2	单组分硬质聚氨酯泡沫塑料的性能	536
7.9.3	单组分硬质聚氨酯泡沫塑料的特点	538
7.9.4	单组分 PU 填充剂的用途	539
7.9.5	施工要求	539
7.9.6	使用方法	539
7.10	增强硬质聚氨酯泡沫塑料	542
7.10.1	玻璃纤维增强硬质聚氨酯泡沫塑料的性质	542
7.10.2	玻璃纤维增强硬质聚氨酯泡沫塑料的生产	547
7.10.3	玻璃长纤维单向增强泡沫塑料	548
7.10.4	玻璃中空小球增强泡沫塑料	549
7.10.5	增强聚异氰脲酸酯硬泡	551
7.10.6	增强硬泡的应用	551
7.11	硬质聚氨酯泡沫塑料的性能	552
7.11.1	泡孔结构	552
7.11.2	密度	553
7.11.3	力学性能	554
7.11.4	热导率	558
7.11.5	吸水性	561
7.11.6	高温和低温下的尺寸稳定性	562
7.11.7	热膨胀系数	563
7.11.8	耐化学性能	563
7.11.9	电性能	565
7.11.10	吸声性	566
7.11.11	使用寿命	566
第 8 章	反应注射成型工艺及泡沫制品	568
8.1	概述	568
8.1.1	RIM 聚氨酯的发展历史	568
8.1.2	RIM 工艺特点	570

8.2 RIM 工艺及设备	572
8.2.1 RIM 工艺及工艺参数	572
8.2.2 RIM 设备	578
8.3 RIM 的原料体系	581
8.3.1 异氰酸酯化合物	581
8.3.2 聚醚	583
8.3.3 助剂	586
8.4 增强 RIM 工艺及聚氨酯制品	590
8.4.1 RRIM 工艺及聚氨酯材料的特点	590
8.4.2 增强材料及其对 RRIM 制品性能的影响	592
8.4.3 SRIM 聚氨酯	598
8.4.4 LFI 工艺	599
8.5 RIM 聚氨酯配方及制品性能	601
8.5.1 硬质 RIM 聚氨酯及结构泡沫塑料	601
8.5.2 软质及半硬质 RIM 聚氨酯泡沫塑料	605
主要参考文献	611
第 9 章 特种聚氨酯泡沫塑料制品	612
9.1 微孔聚氨酯鞋底	612
9.1.1 发展概况	612
9.1.2 原料	613
9.1.3 生产工艺	615
9.1.4 性能	617
9.1.5 新品	620
9.2 聚氨酯自结皮泡沫塑料	624
9.2.1 前言	624
9.2.2 制造技术	626
9.2.3 应用与制品性能	631
9.2.4 新进展	635
9.3 网状泡沫塑料	639
9.4 慢回弹泡沫塑料	642
9.5 包装用聚氨酯泡沫塑料	646
9.5.1 技术路线与典型配方	647
9.5.2 影响因素	648

9.5.3 泡沫性能与成型方法	651
第10章 聚氨酯泡沫塑料生产及加工设备	655
10.1 概述	655
10.2 块状泡沫塑料生产机械	656
10.2.1 块状泡沫塑料生产线的基本组成	656
10.2.2 水平块料发泡机械	666
10.2.3 垂直块料发泡机械	682
10.2.4 箱式发泡机械	685
10.3 软质泡沫塑料的加工机械	687
10.3.1 泡沫塑料的切割加工机械	688
10.3.2 软质泡沫塑料的压缩包装机械	702
10.3.3 软质泡沫塑料复合机械	703
10.4 模塑成型生产机械	706
10.4.1 模塑成型生产线的基本组成	707
10.4.2 模塑成型生产线	717
10.4.3 环戊烷高压发泡模塑硬泡生产成套设备	721
10.4.4 二氧化碳高压发泡模塑硬泡生产成套设备	726
10.4.5 反应注射模塑生产线	730
10.5 夹心板材生产机械	733
10.5.1 连续夹心板材生产机械	733
10.5.2 间歇夹心板材生产机械	738
10.6 硬质泡沫塑料喷涂设备	741
10.6.1 高压喷涂设备的原理	742
10.6.2 高压喷涂设备主要构成及特点	743
10.7 泡沫边废料的再生机械	746
10.7.1 粘接机械	747
10.7.2 填充再生机械	748
第11章 聚氨酯化学与工艺中的若干计算	750
11.1 概述	750
11.2 聚氨酯化学方面的公式	750
11.2.1 当量值	750
11.2.2 异氰酸酯的需要量	751
11.2.3 预聚体的合成	755

11.2.4	分子量与官能度	759
11.3	聚氨酯工艺方面的公式	765
11.3.1	聚氨酯泡沫塑料的收率	765
11.3.2	导热系数的校正	766
11.3.3	泡沫厚度的计算	767
11.4	聚氨酯制品的生产线设计依据	772
11.4.1	模具数的确定	772
11.4.2	生产能力的计算	773
11.5	聚酯多元醇合成配方的计算	773
11.5.1	聚酯多元醇单元链节分子量的计算	774
11.5.2	合成预定分子量的聚酯多元醇所需的酸和醇的用量	775
第 12 章	聚氨酯泡沫塑料的应用	778
12.1	家具、床具及其它家用品	778
12.1.1	沙发和座椅、靠背垫	778
12.1.2	床垫和枕头	779
12.1.3	仿木家具	782
12.2	在交通运输业中的应用	783
12.2.1	汽车制造	783
12.2.2	飞机制造	789
12.2.3	铁路车辆	790
12.2.4	船舶制造	792
12.2.5	冷藏车和冷藏厢	793
12.2.6	聚氨酯硬泡在路基上的应用	794
12.2.7	其它交通运输方面的应用	795
12.3	在建筑业的应用	796
12.3.1	绝热板材的应用	796
12.3.2	屋顶及墙体喷涂硬泡	797
12.3.3	单组分泡沫嵌缝材料	800
12.3.4	铝箔贴面硬质聚氨酯板在空调风管上的应用	801
12.3.5	房屋构件	802
12.4	冷藏冷冻设备及冷库	806
12.4.1	冰箱和冷柜	806
12.4.2	冷库	807

12.5 管道及罐体保温	809
12.5.1 管道绝热	809
12.5.2 贮罐的绝热	811
12.6 穿着用品	814
12.6.1 软泡复合材料	814
12.6.2 鞋材	816
12.6.3 衣服、鞋帽、手套	817
12.7 包装材料	817
12.7.1 直接浇注发泡封装技术	818
12.7.2 泡沫填充包装	819
12.7.3 夹层泡沫纸板	820
12.7.4 抗静电泡沫包装材料	820
12.8 运动和娱乐用品	821
12.8.1 运动娱乐器具	821
12.8.2 玩具	822
12.9 军事及航天应用	823
12.9.1 雷达天线罩	823
12.9.2 军事防伪	824
12.9.3 航天工业方舱保温材料	824
12.9.4 减振器材	825
12.9.5 深冷绝热材料	825
12.9.6 吸波材料	826
12.9.7 在低密度炸药制备中的应用	826
12.9.8 其它军事应用	827
12.10 农林和园艺业	827
12.10.1 新型无土栽培基材	827
12.10.2 人造花盆	829
12.10.3 在农林业的其它应用	829
12.11 声学材料	831
12.11.1 在舰船上的应用	833
12.11.2 室内吸声材料	833
12.11.3 在其它噪音控制方面的应用	834
12.12 其它应用	834