

泡·沫·塑·料·丛·书



泡沫塑料

——法规、工艺和产品技术与发展

Polymeric Foams:

Technology and Developments in Regulation, Process, and Products

[美] 李绍棠

Shau-Tarn Lee

[德] 迪特·肖尔茨 编

Dieter Scholz

张玉霞 王向东 译



POLYMERIC FOAMS SERIES

POLYMERIC FOAMS

Technology and Developments in
Regulation, Process, and Products

Edited by Shau-Tarn Lee
and Dieter Scholz



CRC Press
Taylor & Francis Group



化学工业出版社

泡·沫·塑·料·丛·书



泡沫塑料

—法规、工艺和产品技术与发展

Polymeric Foams:

Technology and Developments in Regulation, Process, and Products

[美] 李绍棠

Shau-Tarng Lee

[德] 迪特·肖尔茨 编

Dieter Scholz

张玉霞

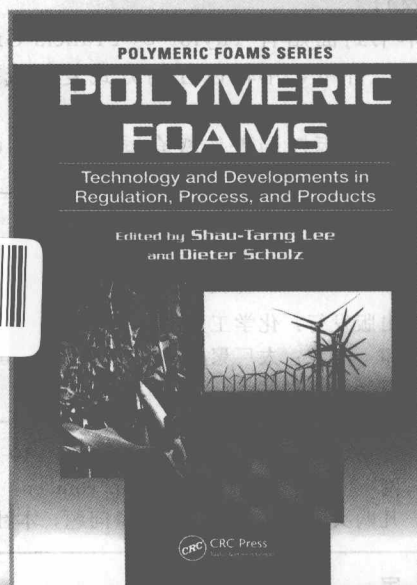
王向东 译

书

YZLI



YZLI0890075967



化学工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

泡沫塑料——法规、工艺和产品技术与发展/[美] 李绍棠, [德] 迪特·肖尔茨编; 张玉霞, 王向东译. —北京: 化学工业出版社, 2011.1

(泡沫塑料丛书)

书名原文: Polymeric Foams: Technology and Developments in Regulation, Process, and Products
ISBN 978-7-122-11001-5

I. 泡… II. ①李…②迪…③张…④王… III. 泡沫塑料-研究
IV. TQ328

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 071907 号

Polymeric Foams: Technology and Developments in Regulation, Process, and Products edited by Shau-Tarng Lee and Dieter Scholz.

ISBN 978-1-4200-6125-3

Copyright© 2009 by Taylor & Francis Group LLC. All rights reserved.

Authorized translation from the English language edition published by CRC Press, Part of Taylor & Francis Group LLC.

本书中文简体字版由 Taylor & Francis Group LLC. 授权化学工业出版社独家出版发行。

本书封面贴有 Taylor & Francis Group LLC. 公司防伪标签, 无标签者不得销售。未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分, 违者必究。

北京市版权局著作权合同登记号: 01-2010-4572

责任编辑: 王苏平

文字编辑: 颜克俭

责任校对: 王素芹

装帧设计: 张 辉

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 装: 大厂聚鑫印刷有限责任公司

710mm×1000mm 1/16 印张 14 1/2 字数 252 千字 2011 年 8 月北京第 1 版第 1 次印刷

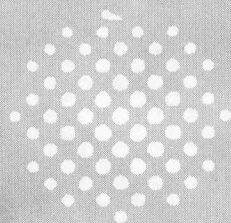
购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

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: 38.00 元

版权所有 违者必究



序

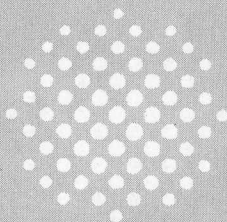
泡孔是一项完美的创造：精致的球形形状、美丽的弯曲弧度、最小的个体表面积。如果没有泡孔，那么艺术和科学的范畴肯定会窄得多。泡孔由弱相和强相构成，强相包围并支撑着弱相，就像传统的中国美德——谦虚。尽管发泡现象可能是宇宙中比较神秘的现象之一，但幸运的是，研究者和从业人员已经能够利用它生产出发泡产品，在我们现在的日常生活中普遍应用。

聚合物发泡技术涉及精密的科学机理、精细的加工技术、独特的形态转变和结构形成；综合了材料原理、工程设计、加工方法和性能表征。在 20 世纪的最后 25 年中，泡沫塑料从实验室规模产品发展到试生产试样，最后成功商业化，是 20 世纪成功的案例。目前，这项技术不仅被看作是一项技术，也被看作是一项已经稳定的产业，而且通过不断创新，挑战臭氧排放、回收和环境问题，已经发展成一项强大的产业。

由于泡沫塑料已经遇到了各方面的挑战——材料/技术、气体排放/环保问题、性能/应用，所以从多方面考虑，保持泡沫塑料的内聚性已经非常关键。丛书旨在讨论材料/机理、科学/技术、结构/性能和应用/使用后等问题，使读者能够对泡沫塑料有一个比较全面、透彻的理解。必须要承认的是，发泡技术在某些领域仍然很神秘。我想全面而透彻的理解不仅会增强现有泡沫塑料业的结构，也会产生更多的开发成果、揭示更多的基本真理。让我们牢记：生命与真理同在。

丛书编辑：李绍棠（音译）

美国新泽西州密封气体公司



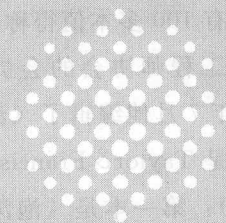
前言

自 20 世纪 60 年代以来，泡沫塑料技术已经发展成为一项稳固的产业，几乎影响了我们生活的每个方面。随着人们生活水平的提高，泡沫塑料的用量也在不断增加。业界人士长期的努力为泡沫塑料科学和技术打下了坚实的基础，从而使其渡过了 70 年代的能源危机、解决了 80 年代的臭氧问题和 90 年代的回收/再利用问题。总之，泡沫塑料科学和技术的创新使新应用的开发和工业性能的提高成为可能。毋庸置疑，这一工业会持续健康地向 21 世纪发展。

由于制造业全球化发展，发展中国家极大地受益于提高的技能，经济迅速发展起来。随着全球人民生活水平的提高，全球聚合物泡沫业在产量和质量上都有了发展，以满足消费品的新需求。每年，在国际泡沫塑料会议上都会涌现出许多新概念、创新技术和开发成果。

《泡沫塑料丛书》的前几本阐述了泡沫塑料的机理、工艺、科学、技术和材料。但发展的步伐和社会环境变化迅速，正如在最近的泡沫塑料会议上所指出的，性能、可持续利用资源和能源安全问题都变得越来越重要了。于是，我们在 2005 年开始商议收集著名的泡沫塑料出版物，把它们融合成一本书，使广大读者能够对泡沫塑料的发展有一个全面的了解。经过频繁的协商，我们得到了足够的资料，编辑了本书。总之，本书内容包括发泡剂的早期开发、工艺优化、专业泡沫塑料开发和当前的发展趋势，由世界著名作者分数章撰写而成，他们大多数是来自欧洲的专业人士。

本书第 1 章阐述了泡沫塑料从 20 世纪 50 年代诞生到 21 世纪全球化生产的发展进程和趋势。第 2 章论述了发泡剂的发展以及这项技术是如何转变成产业的。第 3 章和第 4 章分别论述了物理发泡剂在发泡挤出和注射成型工艺上的应用。第 5 章举例说明了可持续利用泡沫塑料开发的有趣工作。第 6 章提出了日本研究者开发的纳米复合材料泡沫塑料。第 7 章和第 8 章总结了新型泡沫塑料产品和能源安全泡沫塑料。本书旨在为业界从业人员、研究者、大学教授和学生提供泡沫塑料发展的全面情况，使他们更积极地投身到这项已经发展起来的事业中，使其未来更加繁荣。



致谢

我们非常感谢编辑在创作本书时具有的高度责任心，特别是因为本书涉及了最先进、最专业的泡沫塑料技术。本书编辑完成之后，尽管我们可以松一口气了，但是泡沫塑料工作是一项不断发展、具有挑战性的工作。对于在本书编辑过程中给予我们鼓舞、提供方便的人们表示感谢——尤其是当我们想要放弃、无路可走的时候；还要对那些在不断增加的工作压力面前努力克服困难、为本书申请出版以及获取版权许可而四处奔波的人们致以衷心的感谢。此外，本书作者都是来自各方面的世界级权威人士，为了编辑本书，他们努力克服了文化差异，没有他们的贡献，本书就不可能面世。

主编还要感谢加拿大国家研究协会的 Richard Gendron，美国俄亥俄州立大学的 James Lee 教授、威斯康星大学的 Tom Jurng 教授以及 Andrew Pacquet 博士（以前在陶氏化学公司工作），他们在检查本书时给予了透彻的解释，提出了极有价值的意见，毫无疑问地提高了本书的质量、更新了资料。密封气体公司的 Luis Costa 与 Slavek Kubicz 帮助我们制备格式图、查阅资料，对他们的帮助我们表示感谢。

我们还要对我们的妻子 Friederike Scholz 和 Mjau-lin Lee 表示特别的感谢，当我们必须出差或者在耗时费力的编辑工作中因压力过大而在家里发生争吵时，她们能够坚定而有耐心地支持我们。Nyack 神学院的 Joseph Lee 和宾夕法尼亚州研究生 Matthew Lee 帮助校正语法，对他们也表示感谢。

编者

李绍棠（音译）生长于中国台湾省台北市，获得台湾“清华大学”工程学士学位。1980 年，他加入史蒂文斯技术学院化工系，师从 Joseph Biesenberger 教授，研究泡沫增强的脱挥发作用。1981 年和 1982 年，他获准在 Farrel 公司进行暑期实习，研究脱挥发作用中的泡孔现象，同时他还获得斯坦利奖学金和国家科学基金的赞助，支持他在史蒂文斯技术学院的研究工作。在获得工程硕士学位和博士之后，他于 1986 年加入密封气体公司。从那时起，他作为开发工程师、助理研究主任和

研究主任致力于泡沫塑料挤出的研究、开发和生产支持。

李博士有 100 多本值得称赞的出版作品，包括 26 项美国专利。2001 年，他被推选为塑料工程师协会的会员，2003 年又荣登密封气体公司的“发明者荣誉大厅”。2000 年 7 月他编辑了《泡沫塑料挤出：原理与实践》一书，由 CRC 出版社出版（现在是 Taylor&Francis 集团的分社），他还编辑了《泡沫塑料丛书》（CRC 出版社出版）：第一本是《泡沫塑料：机理和材料》，由李绍棠和 N. S. Ramesh 编辑，2004 年出版；第二本是《热塑性泡沫塑料加工：原理和发展》，由 Richard Gendron 编辑；第三本是《泡沫塑料：科学和技术》，由李绍棠、C. B. Park 和 N. S. Ramesh 编辑，于 2007 年出版。另外，他还是《泡沫塑料杂志》的合作总编辑。他的妻子是 Mjau-Lin Tsai，他们有 3 个孩子，Joseph、Matthew 和 Thomas。目前，他们居住于新泽西州的奥克兰市。李博士是一位基督徒，积极从事亚洲的宗教事务。

Dieter Scholz 1938 年 3 月 1 日出生于德国。1955 年毕业后，他与某公司签订了培训合同，为员工上化学课，重点是有机化学和有机合成化学品（精细化学品——主要用于研发用的半成品、着色剂、化学品等）。完成培训之后，他作为化学家在该公司一直工作到 1960 年。随后加入 Battelle Memorial 学院（法兰克福），作为化学家，再次研究有机合成化学品，但主要目标是单体和聚酰亚胺。为了提高自己的化学水平，他参加了夜校，学习机理和工艺工程，于 1965 年完成工程学习。

自 1965 年起，他又在 Diversey 公司工作了 6 年；1972 年夏天，他加入 Boehringer Ingelheim 公司。在最初几年里，他所负责生产的化学品的应用，调整产品符合德国以及国际食品标准（FDA 等），使产品能够获得批准使用。有了这方面的经验，他对各行业所用化学品的许多工艺都有了一个比较全面的理解。其中之一是 Hydrocerol 产品系列——这是聚苯乙烯和聚乙烯泡沫塑料生产中气体成核作用（分布）所用的第一种易于使用的产品；后来他又发现，这种材料也可作为化学发泡剂使用，从而开创了易于使用的吸热型发泡剂在塑料加工业上的应用。

在 Boehringer Ingelheim 公司工作了 25 年之后，Dieter Scholz 于 1998 年退休。此后，他参加了小型、时间短的发泡和塑料加工项目，帮助筹备了国际塑料泡沫塑料会议，与相关行业和研发机构的新、老同事保持着联系。

撰稿人

Axel Cramer RWTH 亚琛大学塑料加工学院（IKV），德国亚琛；

Ernesto Di Maio，那不勒斯 Federico II 大学材料和生产工程系，工程系，意大利那不勒斯；

Laura Florez, RWTH 亚琛大学塑料加工学院 (IKV), 德国亚琛;

Robert Heinz, RWTH 亚琛大学塑料加工学院 (IKV), 德国亚琛;

Salvatore Iannace, 意大利国家研究协会复合材料和生物材料学院, 意大利

Portici;

Dirk Kropp, RWTH 亚琛大学塑料加工学院 (IKV), 德国亚琛;

李绍棠 (音译), 密封气体公司, 美国新泽西州 Saddle Brook;

Walter Michaeli, RWTH 亚琛大学塑料加工学院 (IKV), 德国亚琛;

Masami Okamoto, 高级聚合材料工程所, 丰田技术学院工程研究生院, 日本

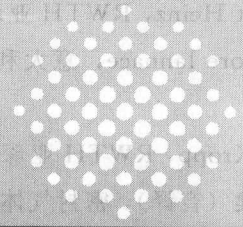
名古屋 Tempaku;

Dieter Scholz (从 Boehringer Ingelheim 公司退休), 德国 Gau-Algesheim;

Holger Schumacher, RWTH 亚琛大学塑料加工学院 (IKV), 德国亚琛;

Neil Witten, Zotefoams 有限公司, 英国英格兰克罗伊登市;

翁长明 (音译), 材料和化学研究所, 工业技术研究院, 中国台湾新竹。



目录

1	从工艺和产品到性能和法规看聚合物泡沫的发展历史及发展趋势	1
1.1	简介	1
1.2	基础：科学实验室与中试	5
1.3	技术：工艺与产品	10
1.4	性能：性能与应用	14
1.4.1	物理性能	15
1.4.2	力学性能	16
1.4.3	热性能	17
1.4.4	声学性能	19
1.5	法规：环境方面的法规和法规要求	21
	参考文献	27
2	吸热型化学发泡剂、成核剂及发泡工艺的发展	31
2.1	历史	31
2.1.1	泡沫塑料是如何得到应用的	31
2.1.2	成核剂和发泡剂	32
2.2	物理发泡及其成核	32
2.2.1	直接气体发泡挤出	34
2.2.2	注射成型直接发泡	37
2.3	化学发泡剂	38
2.3.1	注射成型的发泡制品	38
2.3.2	挤出	42
2.3.3	其他发泡工艺	46
2.4	结论	47
2.5	常用缩写	48
	参考文献	49

3 用CO₂作发泡剂的挤出发泡

52

3.1 简介	52
3.2 CO ₂ 对聚合物熔体流变性能的影响	52
3.2.1 含有发泡剂的熔体的剪切黏度的测量	53
3.2.2 聚合物/发泡剂混合物黏度的计算	54
3.2.3 含有 CO ₂ 的聚合物熔体的流变性能	56
3.3 流道几何形状对泡沫质量的影响	58
3.4 芯棒支架对发泡片材厚度分布的影响	60
3.4.1 熔体温度的影响	62
3.4.2 机头温度的影响	64
3.4.3 芯棒支架几何形状的影响	65
3.5 挤出机头压力分布对泡沫结构的影响	67
3.6 术语	72
参考文献	73

4 用物理发泡剂发泡的泡沫塑料注射成型工艺及其分析

76

4.1 注射成型热塑性泡沫塑料的特性	76
4.1.1 注射成型泡沫塑料工艺的优缺点	76
4.1.2 化学发泡剂和物理发泡剂	78
4.1.3 聚合物基体的性能	80
4.1.4 成核和泡孔增长机理	81
4.2 泡沫塑料注射成型工艺概念	85
4.2.1 泡沫塑料注射成型工艺基础	85
4.2.2 将发泡剂注入挤出机	85
4.2.3 将发泡剂注入塑化装置	86
4.2.4 将发泡剂注入专用发泡装置	86
4.2.5 预浸渍发泡剂粒料的加工	87
4.2.6 用专用喷嘴注射发泡剂	88
4.3 泡沫塑料注射成型过程中工艺参数的实验研究	89
4.3.1 用 IKV 发泡剂注射喷嘴进行的实验	89
4.3.2 预浸渍发泡剂的聚碳酸酯的实验研究	93
4.4 发泡注塑件表面质量的优化	97
4.4.1 银纹的出现	97

4.4.2 通过改进模具设计和工艺优化提高发泡注塑件表面质量的可能性	100
4.4.3 “呼吸”型模具和气体反压工艺研究	101
4.5 结论	103
参考文献	104

5 聚己内酯与PLA及其纳米复合材料的发泡 106

5.1 简介	106
5.2 用 CO ₂ 和 N ₂ 作发泡剂发泡 PCL 和 PLA 时的主要问题	107
5.2.1 PCL 的发泡	107
5.2.2 PLA 的发泡	110
5.3 PCL 和 PLA 的分子改性	111
5.3.1 PCL 的支化/交联	111
5.3.2 PLA 的扩链	114
5.4 纳米复合材料	116
5.4.1 PCL 和 PLA 基纳米复合材料的流变性能、气体吸收性、传质现象和结晶行为	116
5.4.2 PCL 和 PLA 基纳米复合材料的发泡	120
5.4.3 泡孔与纳米粒子的结晶成核作用	122
5.5 结论	125
参考文献	125

6 聚合物/层状硅酸盐纳米复合材料中纳米结构的形成及其发泡过程 133

6.1 简介	133
6.2 纳米结构的形成	134
6.2.1 熔融插层	134
6.2.2 有机改性层状硅酸盐填料 (OMLFs) 的层间结构和插层	134
6.3 流动诱导的结构形成	142
6.3.1 拉伸流动和应变诱导硬化	142
6.4 发泡	143
6.4.1 PP 基纳米复合材料的发泡	144
6.4.2 发泡的现场观察	148
6.4.3 PLA 基纳米复合材料的发泡	150
6.4.4 泡孔结构与发泡温度的关系	152

6.4.5	CO ₂ 的压力依赖性	154
6.4.6	TEM 分析	156
6.4.7	聚碳酸酯基纳米复合材料泡沫	157
6.4.8	纳米复合材料泡沫的力学性能	159
6.4.9	纳米复合材料基多孔陶瓷材料	160
6.5	结论与展望	161
	参考文献	161

7 氮气高压釜工艺制备新型泡沫的发展 166

7.1	简介	166
7.2	简史	166
7.3	氮气高压釜工艺	167
7.3.1	原材料	167
7.3.2	工艺概述	168
7.3.3	第一步——片材挤出	168
7.3.4	第二步——高压釜	169
7.3.5	第三步——低压釜	171
7.3.6	质量	172
7.3.7	其他交联聚烯烃发泡工艺	172
7.4	泡沫块技术	173
7.5	半连续（辊）发泡工艺	175
7.6	氮气高压釜交联聚烯烃发泡制品	176
7.6.1	泡沫种类	176
7.6.2	交联高密度聚乙烯泡沫	177
7.6.3	交联茂金属聚乙烯泡沫	177
7.6.4	市场和应用	178
7.7	新型泡沫的发展	179
7.7.1	ZOTEK F PVDF 泡沫	180
7.7.2	ZOTEK N 聚酰胺（PA 6）泡沫	185
7.8	结论	189
	参考文献	189

8 聚苯乙烯泡沫塑料及真空隔热保温板保温性能的改进 191

8.1	真空隔热保温板简介	191
-----	-----------------	-----

8.2	PS 的性能	194
8.3	PS 的发泡	195
8.4	泡沫塑料的传热	203
8.5	用 PS 泡沫作芯材的真空隔热保温板的热导率	209
8.6	结论	213
8.7	常用缩写	213
8.8	术语	214
	参考文献	215

1

从工艺和产品到性能和法规看聚合物泡沫的发展历史及发展趋势

1.1 简介

我们遇到的每种材料都有其自然来源。人类不能凭空创造出东西来，不论做什么，我们只能根据某些别的东西创造出其他东西来，而且还要遵守质量守恒定律。随着科学成果越来越多，我们能更好地利用自然资源为自己服务。聚合物与木材和金属一样，都源自自然资源，用途广泛。确实，生产和利用聚合物大大提高了人们的生活水平，改变了现代文明^[1,2]。

聚合物的基本成分来源于石油、植物或动物。将这些成分合成之后，聚合物就具备了耐用性，应用很多。聚合物合成这门科学在实验室建立起来后，在 19 世纪引起了全球的关注，20 世纪得到了迅速发展，规模随即扩大直至商业化生产。第二次世界大战之后极其普遍，消费量在 30 年之内超出了木材和金属，是现代世界用量最多的材料。20 世纪 30 年代后期，杜邦公司开发出了尼龙，立即受到纺织和服装业的欢迎^[3]。今天，塑料袋和泡沫塑料包装材料已是常用的聚合物产品。

聚合物本身具有独特的结构排列，将键间化学力与键内范德瓦耳斯力结合起来，使其形成明显不同的熔融和结晶转变，因而具有特殊的性能应用范围。聚合物的单位质量加工成本低、性能优异，因此投资持续增加满足需求；利润再投资于深入的研究和创新开发新技术，扩大应用范围，形成良性投资。

然而，聚合物的生命周期，如图 1.1 所示，是时间的数量级问题，是生命周期评估（LCA）的基础。很明显，从埋葬的植物和有机物到石油的形成，这一过程数量级很大，实际上不能再生资源。这样，资源会不断减少。第二大数量级是聚合物产品的用后分解，难怪填埋空间对于需求来说已经不足，而且还要持续减少了。只要聚合物的降解问题或者是替代产品没有解决，这种现象就将持续下去。值得一

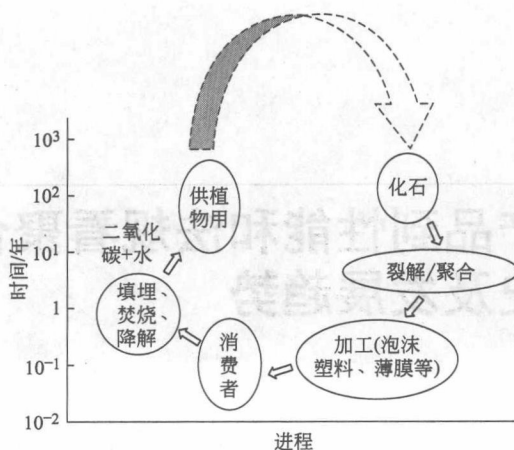


图 1.1 有机生命循环

提的是，聚合物的分解只能解决空间或“存在”问题^[4]，即使分解成初始成分也未必有助于促进循环利用。例如，聚乙烯裂解为乙烯，乙烯比空气轻，蒸发到大气中，不参与生命周期的任何进一步循环。

聚合物工业在 20 世纪 30 年代开始发展时，泡沫塑料科学随着其发展也建立起来了。泡沫塑料的成功应用（即第二次世界大战期间）鼓舞技术研究开始了一个非常好的开发-应用往复循环。其质轻的性能扩大了已有的聚合物性能范围，如特殊的缓冲、隔热保温和减震性能等。通过开拓新的应用领域、取代传统业务，泡沫塑料的市场份额持续增加。

第二次世界大战之前，人们发现在缩聚反应中需要产生气泡的化学反应（化学变化）^[5]。聚氨酯（PU）的开发首先是剑指纤维工业所用的与其竞争的聚酰胺（如尼龙）。然而，在 PU 泡沫开发成功之后，其性能很快就远远超出了纤维的研究范畴，应用迅速扩大到家具、建筑和运输业。同一时期，冷藏业发现氯氟烃（CFC）是极好的冷却化学品（还发现其是很好的聚合物泡沫发泡剂）^[6]。此时一个重要的推动力是出现了一种新技术，使热塑性聚合物获得了巨大的资金注入。聚苯乙烯（PS）用于制作泡沫塑料，而且开发出了连续挤出工艺，而非批处理工艺，生产率大大提高了。此时，树脂和聚合物都有了，最后一个要素是加工技术。LMP 公司在 20 世纪 30 年代末对机械进行了很大的改进^[7,8]，而且从“面食”加工中也获益匪浅。第二次世界大战后，保证了民间制造业获得更大的支持，业已证明这在提高加工技术上作用明显。形成聚合物泡沫技术基础的 4 个要素见表 1.1 所列。

表 1.1 聚合物泡沫形成的 4 个要素

工 艺	属 性
1. 发泡的化学原理	在聚合物基材中产生气体
2. 发泡剂	在聚合物中产生可溶解且稳定的气体
3. 树脂生产	材料强度足以支撑发泡
4. 加工技术	熔融、混合、冷却一步完成

在 20 世纪 40 年代和 50 年代建立的这一基础上, 又有两种泡沫塑料新产品诞生了。一种是热固性泡沫塑料, 如 PU; 另一种是热塑性泡沫塑料, 如 PS、聚氯乙烯 (PVC) 和聚烯烃等。由于泡沫塑料看起来十分有用, 因此这两种泡沫塑料从一开始就得到了认可, 从而由此成为泡沫塑料工业发展的强劲动力。在 20 世纪 50~70 年代期间, 许多新技术一项接一项地被开发出来, 因此将这一时期称为“技术时代”十分恰当。

就热固性泡沫塑料而言, 有两种: 软泡和硬泡。令人惊奇的是, 将同样的化学原理作用于不同形态结构的不同原材料会得到完全不同的性能, 从软得像海绵到硬得像岩石。现在为获得理想产品所需的反应已开发出来了各种设备。几十年后的今天, PU 泡沫塑料已成为多个领域的生力军: 家具、汽车、建筑、包装、运输和游乐设施等。

至于热塑性泡沫塑料, 陶氏化学公司在第二次世界大战期间首先采用挤出工艺生产 PS 泡沫塑料, 用于建造船坞。其漂浮性和隔热保温性能很快就被人们所认可, 随后, PS 的热成型、包装和结构性产品都开发出来了。聚烯烃泡沫塑料挤出、PS 模塑珠粒料、注射成型和交联聚乙烯 (X-PE) 技术的开发成功更是强化了这一技术。热塑性塑料不仅可批量生产, 服务于大众 (如杯子和盘子), 也可以为冷僻应用提供高质量的产品 (如 X-PE 泡沫塑料)。

20 世纪 80 年代可称为“应用时代”。泡沫塑料进军汽车内饰件、运输、飞机制造、游乐设施、建筑、医药、军事、石油钻井和海产品养殖等市场。而且, 泡沫塑料产品的市场规范也建立起来了, 指导开发工作。不仅如此, 很多性能也确定了, 如隔热、减震、隔声、耐久模量和发光等^[9]。尽管臭氧层的消失和微孔发泡技术的出现成为 80 年代的有趣课题, 但泡沫塑料的应用仍然保持着稳定发展的动力。其总体发展趋势就像一棵大树一样, 有树根、树干、树叶和果实, 如图 1.2 所示。

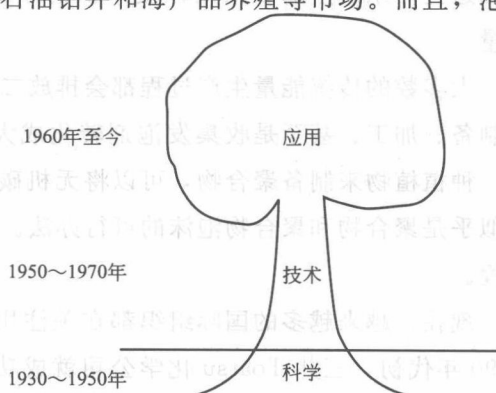


图 1.2 泡沫塑料发展树

进入 21 世纪以来, 社会和环境气候变化巨大。全球变暖、可降解泡沫塑料、能源安全和可持续利用资源已成为越来越重要的问题了。回收包括再利用和再加工, 在 20 世纪 90 年代中期很普遍。在美国尽管为公众构建了一种分类系统, 但是由于受到居住分布和收集设施的限制, 不如在日本方便, 效果不太明显。另一个因素是石化产品价格, 25 年来一直比较稳定。但是自从 2004 年以来石化产品价格开始随着原油价格的升高而上涨, 从每桶 20 美元上涨到 2007 年的 100 美元以上, 2008 年继续攀升。除了汽油价格被迫调整外, 聚合物所用原材料价格也受到严重影响。因此, 开发聚合物替代资源的压力大大增加了。

20 世纪 80 年代后期, 由于发现了臭氧层消失, 联合国环境规划署起草了《蒙特利尔协议书》, 要逐步停止使用 CFCs、氢氯氟烃 (HCFCs) 这两种导致臭氧层消失的卤化气体^[10]。臭氧层消失导致全球变暖, 是气候变化的主要威胁。1996 年, 又起草了《京都议定书》, 要求在低大气层中保持中性无机二氧化碳流通量。地球在大多数情况下都处于一种各种参数互相平衡的状态, 所有这些参数都限定在一个边界内, 如果一个参数越过了这一边界, 那么在其他参数内产生的连锁反应会导致全球性的灾难, 这一灾难可能已经开始, 也可能即将发生。地球温度升高源于极地冰块融化, 从而导致海平面上升、减少已有陆地面积、使现有资源吃紧。

无机二氧化碳排放在任何能源生产过程中都是不可避免的, 因此它对工业化国家产生了巨大问题。一方面, 科学技术方便了人们的生活, 但同时又产生二氧化碳排放问题, 可能导致全球变暖, 降低人们的生活质量。由于人口和地理位置起着决定性的作用, 因此要保证《京都议定书》的成功实施就必须进行可信的测量来量化碳排放问题。我们都知道, 植物可以将无机二氧化碳转化为有机碳, 是产生无机碳的能量过程的逆向过程, 还有一些其他过程也能产生类似的逆向过程, 因此人们建议用这些体系产生的碳信用额度来抵消掉工业设施排放的二氧化碳, 实现中性碳通量。

大多数的传统能量生产过程都会排放二氧化碳, 如汽车燃烧汽油等。聚合物树脂制备、加工、甚至是收集发泡剂转化成大气中的碳等全都涉及二氧化碳排放问题。种植植物来制备聚合物, 可以将无机碳转变成有机碳, 从而获得碳信用额度, 这似乎是聚合物和聚合物泡沫的可行办法。表 1.2 列举了一些产生二氧化碳的常见过程。

现在, 越来越多的国际组织都在关注用可持续发展的资源生产聚合物。20 世纪 90 年代初, 三井 Toatsu 化学公司就成功生产出聚乳酸 (PLA) 泡沫^[11]。这种想法似乎令人十分好奇。目前, 单纯是石油价格上涨就足以刺激可持续发展泡沫塑