

Handbook
of
Elastomers

Second Edition

热塑性弹性体手册

(原著第二版)

(捷克) 乔治·德罗布尼 | 著
(Jiri George Drobny)

游长江 | 译



化学工业出版社

**Handbook of
Thermoplastic
Elastomers**

Second Edition

热塑性弹性体手册

(原著第二版)

(捷克) 乔治·德罗布尼 | 著
(Jiri George Drobný)



译



化学工业出版社

· 北京 ·

本书首先对热塑性弹性体用添加剂与加工方法等基础知识进行了介绍；然后重点论述了苯乙烯类嵌段共聚物、动态硫化热塑性弹性体、聚烯烃类热塑性弹性体、含卤素聚烯烃热塑性弹性体、热塑性聚氨酯弹性体、聚酰胺类热塑性弹性体、聚醚酯热塑性弹性体、离聚体型热塑性弹性体、其他热塑性弹性体、再生橡胶和塑料类热塑性弹性体的合成、特性及加工；最后对热塑性弹性体的应用进行了介绍。

本书可供从事热塑性弹性体研究、生产和应用各类技术人员参考。

Handbook of Thermoplastic Elastomers, Second edition/by Jiri George Drobny

ISBN 978-0-323-22136-8 Copyright © 2015 by Elsevier. All rights reserved. This edition of *Handbook of Thermoplastic Elastomers* by Jiri George Drobny is published by arrangement with ELSEVIER INC., a Delaware corporation having its principal place of business at 360 Park Avenue South, New York, NY 10010, USA. Responsibility for the accuracy of the translation rests solely with Chemical Industry Press.

Authorized translation from the English language edition published by Elsevier Inc.

本书中文简体字版由 Elsevier Inc. 授权化学工业出版社独家出版发行。

本版本仅限在中国内地（不包括中国台湾地区和香港、澳门特别行政区）销售，不得销往中国以外的其他地区。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：01-2016-5976

图书在版编目 (CIP) 数据

热塑性弹性体手册/ (捷克) 乔治·德罗布尼 (Jiri George Drobny) 著；游长江译. —北京：化学工业出版社，2018.3

书名原文：Handbook of Thermoplastic Elastomers

ISBN 978-7-122-31520-5

I. ①热… II. ①乔… ②游… III. ①热塑性-弹性体-手册 IV. ①TQ334-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 026574 号

责任编辑：赵卫娟

装帧设计：韩 飞

责任校对：吴 静

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：三河市延风印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 25 $\frac{3}{4}$ 字数 593 千字 2018 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：150.00 元

版权所有 违者必究

《热塑性弹性体手册》的第一版于 2007 年出版。从那时起，热塑性弹性体(TPEs) 行业发生了巨大变化，许多新技术已经涌现，新产品和新应用已经被开发和商业化，一些产品已经停产，一些公司被出售、购买、重组或更名。热塑性弹性体产品在过去几年以年均 4% 的速度增长，而且增长速度不断提高，未来将达到 5.5% 以上。

热塑性弹性体(TPEs) 行业的动态增长是各种因素作用的结果，包括市场全球化、经济转型、行业内部竞争日益激化。创新的增长速度令人吃惊，例如在第一版发布的 40 个美国 TPEs 技术专利，大约是四个月的时间(2006 年 10 月初至 2007 年 1 月底)。而后来，仅一个多月的时间内(2013 年 11 月中旬至 2013 年 12 月中旬)就发布了相同数量的美国专利。

显然，所有这些变化和发展都必须体现在此版本的书中。本书在各章中作了许多改动和扩充，特别是在新产品和新应用方面。在附录 2 中添加或更改了几家公司。附录 5 中的产品及其性能已大大修改和扩充。此外，词汇表已修订和扩充，并添加了新的缩略语和首字母缩略词，修改或更换了几个插图和表格。这些改动和扩充的一个非常重要的来源是会议、研讨会(包括网络研讨会)上收到的信息，以及同事、学生、客户和各种研讨会与培训会的参加者对作者进行的反馈。

特别鸣谢 TPE Magazine International 杂志总编辑 Stephanie Wachbuschs 博士的持续支持和鼓励。Robert Eller Associates 总裁 Bob Eller 审阅了原稿的部分内容，并提供了有价值的评语和建议。Elsevier 的 Sina Ebnesajjad 博士、Matthew Deans 和 David Jackson 自始至终对手稿的准备工作给予了非常有力的帮助和鼓舞，也值得特别感谢。最后，要特别称赞 Elsevier 的 Jason Mitchell 及其制作团队，使本著作能圆满完成。

Jiri G. Drobny

麦立马加，新罕布什尔州和布拉格，捷克共和国

2013 年 12 月

本书总结了热塑性弹性体(TPEs)的化学合成、加工工艺、力学性能等基础知识及TPEs的应用。

绪言(第1章)涵盖了适用于所有TPEs的一些普通理论,如橡胶弹性原理、嵌段共聚物的相结构和相分离的热力学原理,还介绍了TPEs合成的一般方法、TPEs的分类,以及与常规硫化橡胶材料相比TPEs的优缺点。绪言之后,介绍了TPEs的简要历史,并且单列一章论述热塑性塑料的常用添加剂。

TPEs通常采用的加工方法在第4章有相当全面的论述。该章将对读者有所帮助,因为在阅读关于个别热塑性弹性体的加工部分以及要了解具体加工过程更详细的信息时,可参见提供的参考文献。在某些情况下,个别TPEs的工艺条件在相应的章节内。大多数商业TPEs的补充工艺数据在附录4中。

由于TPEs数量众多,涉及的化学品种类繁多,设置不同章节描述各种TPEs是非常有必要的,内容包含每一类TPEs的工业制造过程、性能、加工方法和条件。而TPEs的应用单列一章,包括每类TPEs应用的大量插图。

本书的重要组成部分是为加工厂家和这些材料用户提供的有用的工程数据。我们力图尽可能多地把这些内容包括在内,主要制造商提供的最新信息列在各自的附录中。应该指出的是,大量不同等级的TPEs不断发展,目前一些等级的TPEs也在更换,因此我们的数据表只能包括有限数量的信息。然而,即使信息数量有限,它们也将成为读者的宝贵资源。

附录包括参考文献,主要制造商名单和相应的商业名称、ISO命名和最近的专利,最后是一个相当全面的词汇表。

为了使本书对世界各地的读者都适用,SI单位和美国普遍使用的单位都尽可能并列使用。

本书的实践多于理论,目的是提供有用的参考文献和资源,为进入该领域的人员提供基础知识,并为已经参与聚合、加工和零件制造的人员提供最新的参考文献。本书也为最终用户提供丰富的资源,以及成为专门从事聚合物科学和技术或材料科学研究的学生的综合性教科书。每章的末尾列出进一步深入研究该学科的详细参考文献。参考文献、主要研讨会和关于热塑性弹性体的主要评论文件列于附录1。

在此,感谢William Andrew Publishing团队,特别感谢Sina Ebnesajjad博士、Valerie Haynes博士、Betty Leahy、Martin Scrivener和Millicent Treloar帮助我圆满完成本书。罗厄尔马萨诸塞大学的Geoffrey Holden博士、Nick Schott教授,布拉格技术大学的Vratislav Duchacek教授和斯洛伐克科学院的Ivan Choda'k博士在编写本书期间提供了有益的意见。

Jiri G. Drobny

麦立马加, 新罕布什尔州和布拉格, 捷克共和国

2006年11月

第1章 绪言

1.1 弹性和弹性体	001
1.2 热塑性弹性体	002
1.2.1 相结构	002
1.2.2 热塑性弹性体的合成方法	003
1.2.3 相分离	004
1.2.4 热塑性弹性体的分类	005
1.2.5 热塑性弹性体的优缺点	006
1.2.6 热塑性弹性体的需求及其增长	007
参考文献	010

第2章 热塑性弹性体发展简史

参考文献	013
------------	-----

第3章 添加剂

3.1 抗氧化剂	015
3.2 光稳定剂	016
3.2.1 UV吸收剂	016
3.2.2 猝灭剂	016
3.2.3 自由基消除剂	016
3.2.4 紫外光稳定性的评价	016
3.3 成核剂	017
3.4 阻燃剂	017
3.5 着色剂	019
3.5.1 着色剂的光学性能	019
3.5.2 着色剂的特性	020
3.5.3 无机颜料	020
3.5.4 有机颜料	021
3.5.5 特效颜料	021

3.5.6 着色剂形式	021
3.6 抗静电剂	022
3.6.1 抗静电剂的类型	022
3.6.2 导电材料	022
3.7 爽滑剂	023
3.8 防粘剂	023
3.9 加工助剂	023
3.10 填料和补强剂	023
3.10.1 立方填料和球形填料	024
3.10.2 片状填料	025
3.10.3 纤维填料	025
3.10.4 纳米填料	026
3.11 增塑剂	026
3.11.1 增塑剂种类	026
3.11.2 增塑剂的混合方法	027
3.12 其他添加剂	027
3.13 添加剂的选择	028
3.14 健康、卫生和安全	029
参考文献	030

第 4 章 热塑性弹性体加工方法

4.1 概述	033
4.1.1 性能对加工的影响	033
4.1.2 预处理	038
4.2 混合和共混	040
4.2.1 混合的基本概念	041
4.2.2 聚合物共混物	043
4.2.3 混合设备	044
4.2.4 给料和进料设备	051
4.2.5 修整工序	052
4.3 挤出	055
4.3.1 挤出工艺的基础	056
4.3.2 挤出机	056
4.3.3 挤出过程控制	069
4.4 注射成型	070
4.4.1 一般注意事项	070
4.4.2 基本技术	071
4.4.3 工艺过程	071
4.4.4 注射成型机械	071

4.4.5	注塑模具	077
4.4.6	注射成型进料系统	081
4.4.7	注塑模具特点	086
4.4.8	注塑机各部件所用材料	089
4.4.9	部件尺寸稳定性	090
4.5	模压成型	092
4.5.1	模压模具类型	093
4.5.2	模压成型机	094
4.5.3	热塑性树脂的模压成型	095
4.6	传递模塑	095
4.6.1	背景	096
4.6.2	传递模塑成型	097
4.6.3	柱塞式成型工艺	098
4.6.4	螺杆式传递模塑	098
4.6.5	传递模具的种类	098
4.6.6	热塑性弹性体的传递模塑	101
4.7	吹塑成型	102
4.7.1	吹塑成型工艺	103
4.7.2	挤出吹塑成型	105
4.7.3	注坯吹塑成型	107
4.7.4	拉伸吹塑成型	107
4.7.5	浸渍吹塑成型	108
4.7.6	多模吹塑成型	109
4.7.7	共挤吹塑技术	109
4.7.8	连续挤出	109
4.7.9	吹塑模具	110
4.7.10	吹塑零件实例	112
4.8	滚塑成型	112
4.8.1	背景	113
4.8.2	基本工艺技术	114
4.8.3	滚塑成型设备	115
4.8.4	设备和工艺设计	117
4.8.5	滚塑工艺的操作	119
4.8.6	旋转过程	123
4.8.7	聚合物熔融和部件形成	124
4.8.8	故障排除	125
4.8.9	结论	125
4.9	热塑性树脂的发泡	126
4.9.1	引言	126
4.9.2	背景	126

4.9.3	发泡技术	126
4.9.4	发泡工艺	129
4.10	热成型	130
4.10.1	工艺基础	130
4.10.2	加工的影响因素	131
4.11	压延	134
4.12	二次成型过程	135
4.12.1	膜和片材定向	135
4.12.2	焊接	138
4.12.3	胶黏剂黏结	146
4.12.4	机械紧固	152
4.12.5	装饰	152
4.12.6	交联	155
4.13	热塑性弹性体通用加工技术	155
4.13.1	热塑性弹性体的配合	155
4.13.2	注射成型	156
4.13.3	包覆成型	157
4.14	过程仿真	157
4.15	3D 打印	158
4.16	产品开发与测试	158
	参考文献	159

第 5 章 苯乙烯类嵌段共聚物

5.1	概述	166
5.2	聚苯乙烯-聚二烯嵌段共聚物	167
5.2.1	聚苯乙烯-聚二烯嵌段共聚物的合成	167
5.2.2	聚苯乙烯-聚二烯嵌段共聚物的形态	169
5.2.3	相畴形成的临界分子量	169
5.2.4	聚苯乙烯-聚二烯嵌段共聚物的性能	170
5.2.5	苯乙烯热塑性弹性体制备	173
5.2.6	配合	174
5.2.7	苯乙烯类嵌段共聚物的混合物的加工	176
5.3	通过碳阳离子聚合合成苯乙烯嵌段共聚物	178
5.3.1	聚合过程	179
5.3.2	S-IB-S 嵌段共聚物的性能	179
5.4	新产品开发	181
	参考文献	182

第 6 章 动态硫化热塑性弹性体

6.1 概述	185
6.2 动态硫化过程	186
6.3 动态硫化制备的共混物的性能	187
6.3.1 三元乙丙胶-聚烯烃共混物热塑性硫化胶	187
6.3.2 二烯橡胶和聚烯烃的热塑性硫化胶	188
6.3.3 基于丁基橡胶、卤化丁基橡胶和 PP 树脂的热塑性硫化胶	189
6.3.4 丁二烯-丙烯腈橡胶和聚酰胺制备的热塑性硫化橡胶	190
6.3.5 基于聚丙烯酸酯橡胶和聚酰胺的 TPVs	191
6.4 热塑性硫化胶的加工和制造	191
6.4.1 流变性	191
6.4.2 挤出成型	192
6.4.3 注射成型	192
6.4.4 模压成型	193
6.4.5 吹塑	193
6.4.6 热成型	194
6.4.7 压延	194
6.4.8 挤塑发泡	194
6.4.9 TPVs 的粘接	194
6.5 新产品开发	195
参考文献	196

第 7 章 聚烯烃类热塑性弹性体

7.1 引言	198
7.2 热塑性聚烯烃共混物	198
7.3 形态	200
7.4 热塑性聚烯烃的性能	200
7.4.1 热塑性聚烯烃的力学性能	200
7.4.2 使用温度	201
7.4.3 耐候性	202
7.4.4 耐化学品性	202
7.4.5 粘接	202
7.4.6 电性能	202
7.5 热塑性聚烯烃的加工	203
7.5.1 注塑	203
7.5.2 挤出	204

7.5.3 其他加工方法	205
7.6 热塑性聚烯烃喷涂	205
7.7 新产品开发	206
参考文献	207

第8章 含卤素聚烯烃热塑性弹性体

8.1 概述	209
8.2 聚氯乙烯/丁腈橡胶共混物	209
8.2.1 熔融混炼和加工	210
8.2.2 物理机械性能	210
8.2.3 其他性能	211
8.3 聚氯乙烯与其他弹性体的共混物	211
8.3.1 聚氯乙烯/COPEs 共混物	211
8.3.2 聚氯乙烯/热塑性聚氨酯弹性体共混物	212
8.4 可熔融加工橡胶	213
8.4.1 物理机械性能	213
8.4.2 耐化学性	215
8.4.3 耐候和阻燃	215
8.4.4 电性能	216
8.4.5 MPR 的等级	216
8.4.6 MPR 与其他聚合物的共混物	217
8.4.7 加工	217
8.5 热塑性氟碳弹性体	221
8.6 新产品开发	221
参考文献	222

第9章 热塑性聚氨酯弹性体

9.1 概述	224
9.2 热塑性聚氨酯弹性体合成	225
9.2.1 软段原材料	225
9.2.2 硬段原材料	226
9.2.3 其他原材料	226
9.3 形态	227
9.4 热转变	228
9.5 性能	228
9.5.1 力学性能	228
9.5.2 热性能	231

9.5.3	水解稳定性	232
9.5.4	耐化学性	232
9.5.5	耐磨耗性能	232
9.5.6	紫外光稳定性	233
9.5.7	电性能	233
9.6	聚氨酯热塑性弹性体的加工	234
9.6.1	聚氨酯热塑性弹性体的流变	234
9.6.2	干燥	234
9.6.3	注塑	236
9.6.4	挤出	238
9.6.5	压延	239
9.6.6	吹塑	239
9.6.7	热成型	239
9.7	TPU 与其他聚合物的共混物	239
9.8	粘接与熔接	240
9.8.1	热熔接与密封	240
9.8.2	溶剂和胶黏剂粘接	240
9.9	在 TPU 中使用生物基原料	241
9.10	新产品开发	241
	参考文献	241

第 10 章 聚酰胺类热塑性弹性体

10.1	概述	245
10.2	合成	245
10.2.1	PEAs、PEEAs 和 PCEAs 的合成	246
10.2.2	PE- <i>b</i> -As 的合成	246
10.2.3	其他热塑性聚酰胺弹性体的合成	247
10.3	形态	247
10.4	结构-性能关系	248
10.5	物理机械性能	249
10.5.1	拉伸性能	249
10.5.2	高温性能	250
10.5.3	撕裂强度	251
10.5.4	耐磨耗	253
10.5.5	压缩永久变形	253
10.5.6	耐屈挠性	254
10.6	耐化学性和耐溶剂性	254
10.7	电性能	254
10.8	其他性能	255

10.8.1 耐候性	255
10.8.2 粘接	255
10.9 配合	255
10.10 加工	256
10.10.1 流变	256
10.10.2 干燥	256
10.10.3 注塑	257
10.10.4 挤出	258
10.10.5 其他加工方法	259
10.11 粘接与熔接	259
10.11.1 粘接	259
10.11.2 熔接	259
10.12 新产品开发	259
参考文献	259

第 11 章 聚醚酯热塑性弹性体

11.1 概述	262
11.2 合成	262
11.3 形态	263
11.4 商品化 COPEs 的性能	263
11.4.1 应力-应变性能	263
11.4.2 动态性能	264
11.4.3 耐割口增长	265
11.4.4 抗冲击性能	266
11.4.5 对温度变化的反应	266
11.4.6 耐磨耗性能	266
11.4.7 电性能	267
11.4.8 耐化学性	267
11.4.9 其他性能	268
11.5 COPE 共混物	269
11.5.1 与不同级别 COPE 的共混物	269
11.5.2 与其他聚合物的共混物	269
11.6 加工	269
11.6.1 概述	269
11.6.2 熔融流变	270
11.6.3 注塑	271
11.6.4 挤出	273
11.6.5 吹塑	275
11.6.6 熔融流延	276

11.6.7	滚塑	276
11.6.8	熔接和粘接	277
11.6.9	整理	277
	参考文献	277

第 12 章 离聚体型热塑性弹性体

12.1	概述	280
12.2	合成	281
12.3	形态	281
12.4	性能和工艺过程	281
12.5	应用	283
	参考文献	283

第 13 章 其他热塑性弹性体

13.1	弹性星形嵌段共聚物	284
13.1.1	合成星形共聚物的常用方法	284
13.1.2	星形嵌段共聚物的物理性能	285
13.2	互穿网络型热塑性弹性体	286
13.2.1	互穿网络热塑性弹性体的合成	286
13.2.2	热塑性 IPNs 的性能与加工	287
13.3	基于聚丙烯酸酯的热塑性弹性体	287
13.3.1	三嵌段共聚物的合成	288
13.3.2	M-B-M 三嵌段共聚物	288
13.3.3	基于聚甲基丙烯酸甲酯和聚丙烯酸叔丁酯的弹性体的合成	288
13.3.4	全丙烯酸三嵌段和支化嵌段共聚物的力学性能	288
	参考文献	288

第 14 章 再生橡胶和塑料类热塑性弹性体

14.1	概述	291
14.2	EPDM 废料	291
14.3	NBR 废料	292
14.4	回收橡胶	292
14.5	废胶乳	292
14.6	废塑料	292
	参考文献	292

第 15 章 热塑性弹性体的应用

15.1 概述	294
15.2 苯乙烯类热塑性弹性体的应用	295
15.2.1 苯乙烯类热塑性弹性体替代硫化橡胶	295
15.2.2 苯乙烯类热塑性弹性体在胶黏剂、密封剂和涂料中的应用	299
15.2.3 苯乙烯类热塑性弹性体与其他聚合物的共混物	302
15.2.4 改性沥青	302
15.3 热塑性硫化橡胶的应用	303
15.3.1 引言	303
15.3.2 热塑性硫化橡胶与热固性橡胶材料的比较	303
15.3.3 热塑性硫化橡胶的商业应用	303
15.4 热塑性聚烯烃的应用	307
15.4.1 汽车	307
15.4.2 电线电缆	308
15.4.3 力学制品	308
15.4.4 其他应用	308
15.5 熔融加工橡胶的应用	309
15.5.1 工业软管	310
15.5.2 汽车	310
15.5.3 电线电缆	310
15.5.4 弹性片材	310
15.5.5 模塑制品	310
15.5.6 其他应用	311
15.6 聚氯乙烯类共混物	312
15.6.1 聚氯乙烯-丁腈橡胶共混物	312
15.6.2 聚氯乙烯/共聚酯弹性体共混物	312
15.6.3 聚氯乙烯-热塑性聚氨酯共混物	313
15.7 热塑性聚氨酯的应用	313
15.7.1 引言	313
15.7.2 商业应用	313
15.8 热塑性聚醚酯弹性体的应用	317
15.8.1 一般性能和加工	317
15.8.2 商业应用	317
15.9 聚酰胺热塑性弹性体的应用	319
15.9.1 引言	319
15.9.2 商业应用	320
15.10 离聚体型热塑性弹性体的应用	323
15.10.1 引言	323

15.10.2 商业应用	323
15.11 其他热塑性弹性体的应用	324
15.11.1 星形嵌段共聚物的应用	324
15.11.2 热塑性互穿聚合物网络的应用	324
15.11.3 特殊共混物和专有胶料的应用	324
参考文献	326

第 16 章 热塑性弹性体的回收

16.1 概述	330
16.2 热塑性弹性体回收方法	330
参考文献	331

第 17 章 最新发展趋势

17.1 现状	332
17.2 热塑性弹性体增长的驱动因素	332
17.3 技术发展趋势	333
17.3.1 使用生物原料	333
17.3.2 TPO 单层屋顶膜	334
17.3.3 各种 TPEs 发展趋势	334
17.4 其他新发展	335
参考文献	336

附 录

附录 1 著作和主要综述文献	337
附录 2 热塑性弹性体及其混合料的主要供应商	338
附录 3 热塑性弹性体的 ISO 术语	342
附录 4 商品热塑性弹性体和混合料的工艺数据	345
附录 5 热塑性弹性体及其混合料的商业技术数据表	354
附录 6 有关 TPE 专利	389
附录 7 绿色化学的十二条原则	391

缩写与首字母缩略词

第 1 章 | 绪言

1.1 弹性和弹性体

橡胶类材料由具有高度柔顺性和运动性的聚合物长链构成。橡胶的分子链可以交联成网络结构，交联后的橡胶受外力作用发生变形时，具有迅速复原的能力。

因为橡胶分子链运动性高，当受到外部应力时，分子链可能会相当快地改变它们的构象。

当分子链连接成网络结构的时候，体系呈现固体的特征，在外部压力下，分子链不能相对运动。

橡胶常常可以拉伸到其原始长度的 10 倍。除去外力后，又迅速地恢复到其原始尺寸，基本上没有残留的或不可恢复的应变。

当受到外力时，普通的固体，如结晶或玻璃化的材料，两个原子之间的距离可能仅改变几个埃（符号为 \AA ， $1\text{\AA}=10^{-10}\text{m}$ ），变形是可以恢复的。在更高的变形下，这种材料会流动或断裂。

橡胶的反应完全是在分子内，即外部施加的力通过链节传递到长链，改变长链的构型，像弹簧一样对外力做出反应，除去外力后能恢复原状^[1]。

高分子量聚合物通过分子相互交织形成缠结 [参见图 1.1 (a)]，在本体状态下，具有特定的分子结构的空

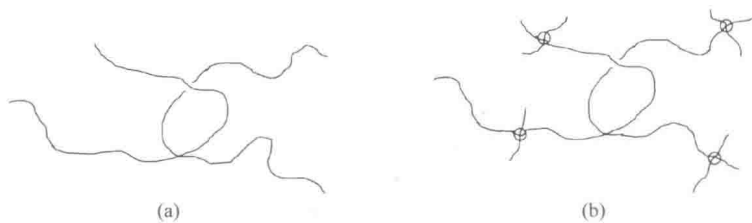


图 1.1 (a) 高分子量聚合物的缠结和 (b) 通过交联的分子缠结

空间特征用缠结点之间的分子量 (M_e) 表示，几种弹性体分子量 (M_e) 也见表 1.1。因此，即使没有任何永久分子间键，高分子量聚合物熔体也将显示瞬间的橡胶状行为^[2]。

在交联的弹性体中，这些缠结被永久锁定 [参见图 1.1 (b)]，在交联度足够高时，它们可以视为完全等同于交联键，因此它们有助于该材料的弹性响应。在冷却到足够低的温度时，热塑性塑料表现出硫化胶的性能。