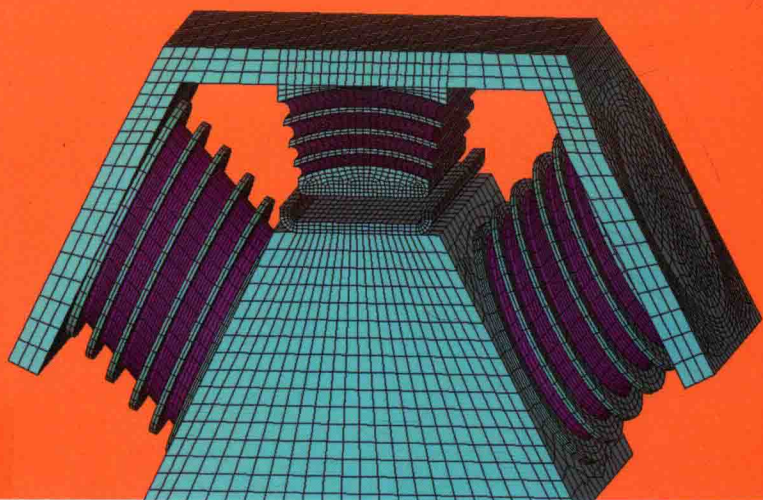


橡胶构件的疲劳、应力和应变 设计工程师指南

Fatigue, Stress, and Strain of Rubber Components
A Guide for Design Engineers



〔美〕 Judson T. Bauman 著
张 浩 陈高升 苏正涛 译

 科学出版社

橡胶构件的疲劳、应力和应变 设计工程师指南

Fatigue, Stress, and Strain of Rubber Components
A Guide for Design Engineers

[美] Judson T. Bauman 著

张 浩 陈高升 苏正涛 译

科学出版社

北 京

图字：01-2017-8702 号

内 容 简 介

本书重点讲述弹性体的力学行为，描述橡胶材料的分子结构和微观构型及其产生宏观力学行为的机理。本书的内容涵盖橡胶材料力学行为特点、测试及其产生的机理；橡胶构件的经验计算公式，尤其是橡胶金属层叠轴承的计算和设计；橡胶构件的疲劳计算和测试方法，包括疲劳测试要选用的试样、对测试数据进行曲线拟合的方法以及如何使用这些方程进行疲劳寿命预测；还介绍了应用有限元方法来确定橡胶构件中易于发生疲劳破坏的应力集中区域等。全书内容丰富，可读性和实用性强。

本书不仅全面覆盖橡胶构件中所需的各种基础知识，而且还提供了许多工程实例，可以为从事橡胶构件相关科研和工作人员的设计工作提供详细指导，具有较好的参考价值，有助于帮助设计工程师对橡胶材料的实际使用寿命进行评估和测试。

Fatigue, Stress, and Strain of Rubber Components: A Guide for Design Engineers, 1st edition

By Judson T. Bauman

Copyright© 2008 Carl Hanser Verlag, Munich

All rights reserved

图书在版编目 (CIP) 数据

橡胶构件的疲劳、应力和应变：设计工程师指南/(美)贾德森 T. 鲍曼(Judson T. Bauman)著；张浩，陈高升，苏正涛译。—北京：科学出版社，2018.1

书名原文：Fatigue, Stress, and Strain of Rubber Components: A Guide for Design Engineers

ISBN 978-7-03-055966-1

I. ①橡… II. ①贾… ②张… ③陈… ④苏… III. ①橡胶制品-工程材料-指南 IV. ①TQ336-62 ②TB333.2-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 309808 号

责任编辑：翁靖一 高 微 / 责任校对：王 瑞

责任印制：肖 兴 / 封面设计：东方人华

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码：100717

http://www.sciencep.com

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018 年 1 月第 一 版 开本：720 × 1000 1/16

2018 年 1 月第一次印刷 印张：12 1/4

字数：246 000

定价：88.00 元

(如有印装质量问题，我社负责调换)

译者前言

橡胶是一种常见而复杂的材料。橡胶材料的力学特性和疲劳特性与金属材料有显著的不同，因此给橡胶构件设计带来了很大的困难。

本书是一本专门面向橡胶构件设计人员的指南，是由 Judson T. Bauman 博士在其 30 多年的橡胶构件设计、计算和测试的丰富工作经验基础上完成的。本书的内容包括橡胶材料力学行为特点、测试及其产生的机理；橡胶构件的经验计算公式，尤其是橡胶金属层叠轴承的计算和设计；橡胶构件的疲劳计算和测试方法。本书不仅全面覆盖橡胶构件中所需的各种基础知识，还给出许多工程实例，可以为相关人员的设计工作提供详细指导。

本书由苏正涛研究员组织翻译，张浩博士和陈高升高级工程师完成翻译工作，全书译文由苏正涛核查审定，并得到清华大学危银涛教授的指导和帮助。在本书翻译过程中得到了北京航空材料研究院橡胶与密封研究所、减振降噪材料及应用技术重点实验室多位同事的协助，在此一并表示感谢。此外还要感谢 Judson T. Bauman 博士和 Hanser 出版社授权我们翻译此书。

限于译者的水平，翻译不妥之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

译者

2017年9月

原著前言

在 1982 年 3 月我刚刚参加工作时，是位于得克萨斯州爱文市的 Murdock 机械与工程公司的一名设计工程师。当时我有很好的金属构件设计和工程分析方面的背景。但 Murdock 公司是橡胶柔性接头的制造商。当时我对橡胶的全部了解仅限于它们是黑色的、可拉伸的材料，因此有很多知识需要学习。幸运的是，公司里有很多在设计柔性接头方面具有丰富经验的工程师，而我也有一位很好的导师，Robert Finney，是一名顾问。当时仅有的有关橡胶构件设计公式的文献资料是一本 45 页由 P. B. Lindley 所著的《天然橡胶的工程设计》。凭借 Lindley 的书以及其他工程师的帮助，我在橡胶构件工程方面的能力开始逐步加强。而这本书正是在 1982 年 3 月时迫切希望拥有的一本手册。我希望这本书可以为读者进行橡胶构件的设计、测试和分析时提供帮助。

在本书的撰写过程中，我对橡胶构件工程领域的专家表示诚挚的谢意。首先是在弹性体有限元分析方面给予我指导的 Robert Finney，其次是我在得克萨斯大学阿灵顿分校学习时的指导老师 Roger Goolsby 教授。同时感谢 Oil States 工业公司免费向我提供了他们的实验室，使我可以完成学位论文中橡胶疲劳裂纹扩展的测试工作。感谢阿克伦大学的图书馆员 Joan Long 帮助我完成了本书的文献查询工作。特别感谢 Michel Gerspacher，他允许我全权访问 Sid Richardson 公司内容非常丰富的技术图书馆。我还受到了美国化学学会橡胶分会许多同事的启发和帮助，其中之一是 Oon Hock Yeoh 博士。我与他在橡胶分会例会上共同建立了橡胶构件工程分会。还要感谢 Cooper 轮胎和橡胶公司的 Will Mars，他发现了一直困扰我的一个推导中的数学错误，从而挽救了本书一章的内容。最后感谢 Abaqus South 公司的 Rob Miller，他完成了第 7 章中的有限元分析工作。当然还有很多人在本书的完成过程中提供了帮助，由于篇幅限制在此不能一一列举。

Judson T. Bauman

2009 年 1 月

目 录

译者前言

原著前言

第 1 章 绪论	1
1.1 目标.....	1
1.2 橡胶的发明.....	1
1.2.1 首次硫化.....	2
1.2.2 早期橡胶制品的生产.....	2
1.2.3 补强作用的发现.....	2
1.2.4 橡胶的生产.....	2
1.3 橡胶分子.....	3
1.4 合成橡胶.....	3
1.4.1 固化与交联.....	4
1.4.2 填料与补强.....	5
1.4.3 硫化促进剂.....	5
1.4.4 其他添加剂.....	5
1.5 几种弹性体的主要应用.....	5
参考书目.....	7
第 2 章 橡胶应力-应变特性	8
2.1 橡胶性能带来的挑战.....	8
2.2 应力-应变行为的特点.....	8
2.2.1 低模量、高拉断伸长率和非线性.....	8
2.2.2 迟滞作用.....	9
2.2.3 应力松弛.....	10
2.2.4 蠕变作用.....	11
2.2.5 马林斯效应.....	11
2.2.6 补强.....	12
2.2.7 循环频率和应变率.....	12
2.2.8 温度.....	14
2.2.9 浸入效果.....	14

2.2.10	应变结晶	14
2.2.11	永久变形	15
2.2.12	恢复	16
	参考书目	16
第 3 章	弹性体应力-应变关系理论	17
3.1	引言	17
3.2	弹性体的内部结构	18
3.3	假设与前提条件	18
3.3.1	线圈弹簧类比	18
3.3.2	链段和末端	20
3.3.3	链段长度和链段末端距离的统计分布	21
3.3.4	范德华键	22
3.3.5	颗粒旋转引起的补强效果	25
3.3.6	缠结的迁移	28
3.3.7	温度引起的链段振动	29
3.3.8	变形中键的破坏和重新形成	29
3.3.9	平行性诱导结晶	29
3.4	弹性体的行为	30
3.4.1	非线性应力-应变曲线	30
3.4.2	马林斯效应	31
3.4.3	低弹性模量和高拉伸伸长率	33
3.4.4	迟滞	34
3.4.5	填料补强的硬化	34
3.4.6	应变率的硬化	34
3.4.7	温度响应	34
3.4.8	应力松弛和周期性应力松弛	35
3.4.9	蠕变和周期条件下的蠕变	35
3.4.10	永久变形	35
3.4.11	恢复	35
3.4.12	应变结晶	36
	致谢	36
	参考文献	36
第 4 章	应力-应变测试	38
4.1	引言	38

4.2	拉伸测试	38
4.2.1	试样	38
4.2.2	哑铃型试样测试	39
4.2.3	平面应力试样测试	43
4.2.4	环形试样测试	45
4.3	剪切测试	46
4.3.1	应力-应变状态	46
4.3.2	试样	46
4.4	双轴应变测试	49
4.4.1	鼓泡测试	49
4.4.2	十字交叉试样	55
4.5	压缩测试	56
4.6	小结	57
	参考文献	58
第 5 章	设计方程	59
5.1	引言	59
5.1.1	设计方程的使用	59
5.1.2	弹性常数	59
5.2	各种几何形状的设计方程	60
5.2.1	橡胶层的剪切	60
5.2.2	弹性体层的扭转	62
5.2.3	衬套	63
5.2.4	弹性体层的压缩	65
5.2.5	长条的压缩	69
5.2.6	实心橡胶滚柱	70
5.2.7	空心橡胶滚筒	71
5.2.8	橡胶球的压缩	71
5.2.9	实心橡胶轮胎的压缩	72
5.2.10	圆形截面实心橡胶环的压缩	73
5.2.11	矩形截面实心橡胶环的压缩	73
5.2.12	平头圆柱压头	74
5.2.13	球形压头	74
5.2.14	圆锥压头	74
5.2.15	长窄平头压头	75

5.2.16	通过圆孔凸起	75
5.2.17	通过长窄缝隙的凸起	76
5.3	小结	76
	参考文献	76
第 6 章	球面弹性轴承的计算方法	77
6.1	引言	77
6.2	球面弹性轴承的历史	77
6.3	轴承的数学描述	78
6.3.1	轴承整体参数	78
6.3.2	特定层的参数	79
6.3.3	力矩	81
6.4	角度偏转条件下某层的剪切应变	82
6.5	轴向载荷	85
6.5.1	轴向力下弹性体层的压缩	86
6.5.2	膨胀剪切应变	88
6.5.3	计算小结	89
6.6	扭转载荷	90
6.6.1	扭转条件下弹性体层的剪切应变	90
6.6.2	计算步骤	91
6.6.3	局限性	91
	参考文献	91
第 7 章	有限元分析	93
7.1	引言	93
7.2	步骤	93
7.2.1	对称性	94
7.2.2	载荷及边界条件	94
7.2.3	单元选择及网格划分	94
7.3	材料模型及本构方程	95
7.3.1	简单本构方程	96
7.3.2	高阶本构方程	96
7.4	利用试验数据进行方程拟合	97
7.5	承压条件下的 O 型密封圈	98
7.6	橡胶护套	100
7.7	小结	100

致谢	101
参考文献	101
第 8 章 疲劳测试	102
8.1 引言	102
8.2 影响应变-寿命曲线的参量	102
8.2.1 需要说明的参量	102
8.2.2 选择应变幅值	103
8.3 失效准则	103
8.4 R 比	104
8.5 组合应变状态	105
8.6 波形	105
8.7 蠕变及应力松弛	106
8.8 频率及应变率	107
8.9 温度的影响	107
8.10 置于液体之中	109
8.11 恢复	109
8.12 预变形	109
8.13 批次间的变化	110
8.14 贮存	110
致谢	110
参考文献	110
第 9 章 应变-寿命曲线的拟合	111
9.1 引言	111
9.2 建立 N 与 ϵ_a 、 R 及 T 的方程	111
9.3 考虑 Nagel 温度方程的应变-寿命曲线	114
9.4 使用经验温度公式的应变-寿命曲线	114
致谢	116
参考文献	116
第 10 章 疲劳寿命估计	117
10.1 引言	117
10.2 单一波形 ϵ - N 方法	117
10.3 Miner 数	117
10.4 确定性的疲劳谱	118
10.5 计算 Miner 数的示例	118
10.6 白噪声	120

第 11 章 疲劳裂纹扩展及撕裂能	123
11.1 引言.....	123
11.2 Griffith 应变能释放率.....	123
11.2.1 Griffith 准则.....	123
11.2.2 推导.....	123
11.2.3 Griffith 断裂条件.....	125
11.2.4 关键假定.....	126
11.3 Rivlin、Thomas 及撕裂能.....	126
11.3.1 Griffith 准则针对金属断裂的修正.....	126
11.3.2 应用于橡胶材料.....	126
11.3.3 关键假定说明.....	128
11.4 计算 T 的便捷公式.....	128
11.5 将撕裂能应用于疲劳裂纹扩展.....	130
11.5.1 疲劳的探索研究.....	130
11.5.2 撕裂能定义的修改.....	130
11.6 局限性.....	131
11.6.1 疲劳裂纹扩展参量.....	131
11.6.2 利用 T 或者 ϵ_a 来表示失效循环次数?.....	133
11.7 小结与结论.....	135
致谢.....	135
参考文献.....	135
附录 I 橡胶专业术语	137
附录 II 疲劳专业术语	144
附录 III 英制与公制转换	152
附录 IV 应变-寿命曲线拟合	154
附录 V 撕裂能公式推导	164
附录 VI 球面弹性轴承公式推导	169

第1章 绪 论

1.1 目 标

如果你是一个机械工程师，你所需要设计的构件中金属部分易于处理，而橡胶部分是一个挑战的话，那么本书就是为你准备的。同样，如果你是一个熟悉橡胶长链分子概念的化学家，但需要估计构件机械性能的话，本书也是为你准备的。在阅读本书之前，具备有关橡胶材料性能的背景知识可能会有所帮助，但并不是必需的。

本书重点关注的是弹性体的力学性能，讨论橡胶材料的分子和微观结构，以及它们导致的宏观机械性能的机理。然而本书并不包括其化学性能、化学配方及配方中各种化合物的作用。本书的目的是分析构件的性能。

1.2 橡胶的发明

据说 Christopher Columbus 在向新大陆的第二次航行过程中，曾在如今海地的位置看到当地的美洲原住民玩一种橡胶球的游戏。欧洲最早的关于橡胶的文字记载出现在 1530 年，是由一位效力于西班牙宫廷的意大利人 Pietro Martire d'Anghiera 所记录的。在他的著作中将其描述为“最黏的”（gummi optimum）。新大陆的其他一些早期到访者还提到了阿兹台克人的礼仪游戏中使用的一种橡胶球，以及将胶乳应用于布料上用于防水。

在接下来的几个世纪里，欧洲的文献中只有偶然几次提到橡胶。然而在 18 世纪，两个法国人使橡胶吸引了当时科学界的广泛关注。Charles Marie Condamine 代表法国科学院，带领探险队于 1735 年来到南美洲。一年之后，在基多（厄瓜多尔首都），他送回了一种黑色树脂状物质的样品。他模仿克丘亚语，将这种样品称为“caoutchouc”，意思是流泪的树木。另一位生活在卡宴（法属圭亚那的首都）的法国人 Fresneau 于 1747 年探索了圭亚那的森林，目的是寻找当地橡胶制品的原料。在那里，他发现了许多产生胶乳的树木，包括巴西护谟树（*Hevea brasiliensis*），即橡胶树。他还利用胶乳制造了一双靴子。Fresneau 于 1751 年向科学院汇报了他的发现。1770 年，橡胶的命名人英国化学家 Joseph Priestly 发现利用这种物质的摩擦（rub），可以去除纸上铅笔的笔迹。因此将这种物质命名为橡胶（rubber）。

1.2.1 首次硫化

橡胶被发现之后的几个世纪里只有很少的橡胶制品。它偶尔被用来作为布料的防水涂层，或作为橡皮擦，但在其他方面极少使用。未硫化胶与口香糖类似，不能很好地维持其形状，受热后还会变黏。Charles Goodyear 于 1839 年发明了硫化工艺。他发现生胶和硫磺混合后加热，腻子状的物质没有了黏性，并且具备了弹性。它在变形之后能弹回原有的形状。这种弹性和对高温更好的适应性使得橡胶开始广泛应用于不同种类的消费产品中。

1.2.2 早期橡胶制品的生产

在 Goodyear 发明硫化工艺后的一个多世纪，所有的橡胶产品都是利用硫磺对天然胶片胶进行硫化而成的。在 20 世纪，发明了人工合成的生胶，并且实现了商业量产。它是通过特定的反应使得小分子量的单体形成长链分子。天然橡胶和合成橡胶统称弹性体（elastomers）。这个名词是通过“弹性”（elastic）和“聚合物”（polymers）合并而来。

1.2.3 补强作用的发现

炭黑的补强作用发现于 20 世纪第一个十年。这是一个巨大的进步，特别是对于轮胎生产商而言。补强作用极大地提高了弹性体的强度和刚度，从而使得轮胎可以持续使用更长的时间。目前，几乎所有的天然橡胶产品中均含有用于补强的炭黑。

1.2.4 橡胶的生产

橡胶的胶乳是利用橡胶树树皮上的割口收集得到的。橡胶树主要种植在马来西亚及其他热带国家。每隔一天，橡胶树就可以收集一次胶乳。割口会产生一种乳白色液体，接着液体会凝固并且制作成片状或胶片状用于运输。在这一阶段仍然是生胶状态，几乎没有实用价值。这种状态下，材料受到载荷之后，长链分子相互滑动。当受到的载荷移除之后，会仍然保持变形之后的形状。在温度达到 0℃ 附近或更低温度时，它易于结晶，而在热环境中它会变得又软又黏。

目前大部分天然橡胶胶乳是泰国和东南亚地区生产的。在 2007 年，全世界共生产了 990 万 t 天然橡胶胶乳，其中约四分之三用于轮胎的生产。

1.3 橡胶分子

木材、皮革、橡胶等类似的天然材料表现出来的性质与其化学式所显示的并不相同，19世纪的化学家非常难以理解。早在1826年 Michael Faraday 就确定橡胶的化学式为 C_5H_8 。1838年，Jean Baptiste Andre Dumas 对此进行了重新确认。1860年，Greville Williams 首次分离出了异戊二烯。1879年，Gustave Bouchardt (译者注：应为 Gustave Bouchardat) 确定异戊二烯实际上就是天然橡胶。但是其物理性质显示天然橡胶分子远大于分子式 C_5H_8 应有的尺寸。最终，在20世纪20年代 Hermann Staudinger 提出了革命性的概念：橡胶分子是巨型分子，也称高分子 (macromolecule)。常见的天然材料如纤维材料木材、棉花和皮革及塑料和橡胶都是由高分子组成。

这些天然材料除了属于高分子外，同样也属于聚合物。聚合物是由一系列重复单元构成的长链分子形成的物质。因此橡胶的化学式不是 C_5H_8 ，而应当是 $(C_5H_8)_n$ ，此处 n 的量级大约为 10000。重复单元 C_5H_8 称为单体。当它构成一个分子链时，则称为聚合物。天然橡胶包含多个由异戊二烯单体构成的分子链，也称聚异戊二烯。对于天然橡胶和大部分合成橡胶来说，碳原子组成了分子链的骨架。它们通过大量的单键和少量但重要的双键连接在一起。

异戊二烯具有确定且唯一的几何结构形式 (图 1.1)。任何其他排列方式均会导致材料具有完全不同的机械性能。天然橡胶的排列方式为顺式，因此其化学名称为顺-1,4-聚异戊二烯。异戊二烯单元的另一种排列方式为反式。杜仲胶即为反-1,4-聚异戊二烯。这样两个具有相同的化学式，但是由于单体中不同结构排列形式而引起巨大差异的聚合物称为异构体。因此聚异戊二烯有两个异构体：顺式聚异戊二烯和反式聚异戊二烯。

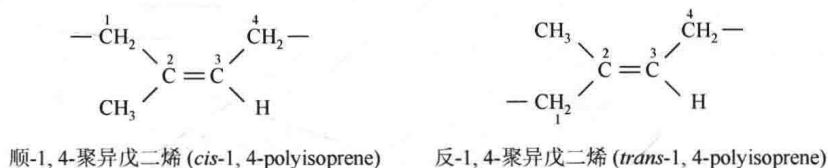


图 1.1 异戊二烯立体异构体

1.4 合成橡胶

在 Staudinger 提出橡胶是一种高分子的概念之后，人们开始努力合成天然

橡胶或者其他替代品。1929年，Thiokol A（一种聚硫橡胶）成为第一种商业化的合成橡胶。20世纪20年代末期和30年代，许多公司尤其是德国和美国的公司开始研发类橡胶化合物。由于天然橡胶的主要产地东南亚在第二次世界大战时期被封锁，德国法本公司的丁腈橡胶和标准石油公司的丁基橡胶被用来作为其紧急替代品。在之前工作的启发下，关于合成橡胶的研发在战后也持续进行。

1.4.1 固化与交联

橡胶混合物受热将会产生化学反应，称为硫化或固化。在硫化过程中，分子链会与其他分子链形成化学键，从而构成网络，因此将橡胶态流体转变为弹性固体状态。这些化学键及构成化学键的原子称为交联点。在这个过程中，长链分子会沿长度方向被处于不同位置的交联点绑定在一起。尽管交联点通常距离较远，但一个分子链上两个交联点之间可能有上百个骨架碳原子，因此对材料性能的影响非常显著。交联作用赋予了橡胶弹性。若交联密度增加，橡胶的强度、模量均会增加，同时残余变形和迟滞作用会减小。

对于大部分弹性体，产生交联的原子为硫原子。在固化过程中，硫原子将分子链存在碳碳双键的位置处连接起来。通常硫原子自身也会形成分子链，也就是说在两个聚合物链之间可能存在三个硫原子。

交联的程度和类型都很重要。当利用硫进行交联时，交联的类型取决于硫的数量、促进剂的类型、促进剂与硫的比例及固化时间。一般情况下，促进剂和硫的比例高、硫化时间长会增加单硫键的数量，而多硫键会相应减少。从另一方面来说，相对于含有单硫键较多的情况，大比例的多硫交联点会使材料具有较大的拉伸强度和较好的抗疲劳开裂性能。

橡胶一般利用硫交联进行硫化，如天然橡胶（NR）、合成天然胶（IR）、顺丁橡胶（BR）、丁苯橡胶（SBR）、丁腈橡胶（NBR）、丁基橡胶（IIR），括号中的缩写是美国材料与试验协会（ASTM）所规定的标准简写。

硫化过程一般使用金属模具，温度至少为140℃，并在一定的保压条件下进行，硫化时间从几分钟到几小时，这取决于所使用的硫化体系。

过氧化物是另一种常用的硫化剂。与使用硫磺的固化过程不同，过氧化物硫化不需要使用双键，因此常用来硫化饱和橡胶。过氧化物硫化通过自由基导致碳碳交联进行固化。这个过程相当稳定，其得到的材料具有较好的抗老化性能和抗压缩永久变形的性能。

适用于过氧化物硫化的弹性体包括三元乙丙橡胶（EPDM）和硅橡胶（Q）。还有一些弹性体，如聚氯乙烯，可使用金属氧化物进行硫化。

1.4.2 填料与补强

经过多年的发展,许多材料曾被尝试加入橡胶之中用于增加其硬度,同时降低成本。然而,只有两种特定的填料具有较好的补强作用:炭黑和二氧化硅。炭黑具有更强的硬化作用和强化作用。炭黑是通过不完全燃烧的油或天然气得到的。它是由直径为10~100nm的微小球形颗粒融合而成的聚集体。聚集体本身最大尺寸仅为100~500nm。

二氧化硅是通过燃烧四氯化硅或从硅酸钠溶液中经过酸沉淀得到的。聚集体的尺寸与炭黑相同。

橡胶配方中,填料数量通过每一百单位质量的生胶中填料的质量比来表示。表示为磅/每百磅(pounds per hundred),缩写为phd(译者注:文献中常见的单位为phr:parts per hundred rubber)。

对于上述两种填料,增加30phd可以将弹性模量提高2~3倍。同样也会显著提高材料的韧性和耐磨性。对于这种性能提升的机理,尽管文献中有很多种理论解释,但是并没有一个统一的结论。

1.4.3 硫化促进剂

硫化促进剂是橡胶配方中很重要的一个组分,其作用是用于促进硫磺的交联过程。这些组分包括次磺酰胺、秋兰姆和噻唑。这些组分可以加速交联反应,使之更有效率。此外也常加入氧化锌和硬脂酸。这些组分一起作用,来加速交联反应过程。

1.4.4 其他添加剂

在硫化促进剂之外,生胶中还添加了多种物质用于影响材料的不同性能,其中包括防老剂、加工助剂、扩链剂及特种添加剂(如增黏剂、发泡剂或着色剂)。

1.5 几种弹性体的主要应用

本节中列出的几种弹性体在构件中较为常用,会对构件整体的设计和疲劳性能产生影响,需要对这些弹性体进行工程分析。而其他弹性体材料则没有列出,如常被用来做织物涂层的聚硫橡胶。

(1) 天然橡胶(NR)。天然橡胶具有强度大、抗疲劳性能好、成本适中、回

弹性及永久压缩变形优良等特点。其最主要的用途是与丁苯橡胶共混来制作轿车、越野车和卡车的轮胎。同时也广泛应用于其他方面的产品：运动鞋、柔性软管、三角带、传送带、桥梁和建筑物轴承支座、直升机旋翼轴承、海上张力腿平台使用的系索轴承等。如上面所示，天然橡胶是许多结构类设备和产品在工程设计之中的首选。

(2) 丁苯橡胶 (SBR)。丁苯橡胶与天然橡胶有很多相同的产品应用，尤其是轮胎、皮带和柔性软管。原因在于丁苯橡胶可以与天然橡胶较好地进行混炼，从而提高了混炼胶的耐磨性能。

(3) 顺丁橡胶 (BR)。顺丁橡胶具有较好的耐疲劳性能、非常优异的回弹性、优良的耐磨性和抗龟裂性、低迟滞性及优良的低温性能。用法取决于顺式-1,4-异构体含量。含量高的顺丁橡胶用来制作轮胎胎面、侧壁、胎体及其他轮胎部件。

(4) 合成天然橡胶 (IR)。合成聚异戊二烯 (polyisoprene) 这一术语表示其与天然橡胶具有相同的分子，但是通过人工合成得到的。它与天然橡胶具有相近的机械性能。

(5) 乙丙橡胶 (EPM 和 EPDM)。它们具有优良的耐臭氧性、抗氧化性和耐候性，因此也被用于轮胎的制作。此外，相对于其他轮胎用胶，三元乙丙橡胶可以承受较高的温度，因此在轿车车门、引擎罩、卡车密封条、屋顶防水层和工业软管中都有应用。

(6) 丁基橡胶 (IIR)。丁基橡胶气体渗透性低，热环境下稳定，具有优良的耐臭氧性和耐候性，振动阻尼性能较高，摩擦系数较高。其应用包括高温材料传送带、高温软管、轿车悬架止挡、电绝缘材料、天花板的橡胶片材。

(7) 丁腈橡胶 (NBR)。丁腈橡胶对许多不同种类的油、燃料和化学产品的耐受性较好。此外，相对于天然橡胶，它们对高温的耐受性好，且对气体的渗透性低。其应用包括密封件、容器的内衬、鞋底和鞋跟、电器零件、传送带、制纸轧辊、衬垫、软管和护套、用于核潜艇管路接头的层压轴承、海上钻井立管柔性接头。

(8) 氢化丁腈橡胶 (HNBR)。氢化丁腈橡胶的耐高温、耐油、耐化学产品性能比丁腈橡胶更加出色。目前用于制作轿车静密封件、动密封件、软管和皮带。在石油工业中用于扩张式封隔器、防喷器、轴杆、V型密封件以及井下工具。另外也应用于钢厂和造纸厂的设备之中。

(9) 氯丁橡胶 (CR)。氯丁橡胶的氧化速率低，耐臭氧的特性使它具有很好的耐候性。此外，它对相对高温的适应性较好，耐磨耗和抗挠曲裂纹的性能优良。它用于汽车上的垫圈、密封件、桥梁支座衬垫、潜水服、软管、护套、动力传输皮带和胶乳浸渍制品 (手套、气球等)。

(10) 氟橡胶体 (Teflon、Viton 等)。氟橡胶体有非常突出的耐高温暴露性能、