



“十二五”国家重点出版规划
精品项目

先进航空材料与技术丛书

航空橡胶与密封材料

Aeronautical Rubber and
Sealing Materials

刘嘉 苏正涛 栗付平 著



国防工业出版社
National Defense Industry Press



“十二五”国家重点出版规划
精品项目

先进航空材料与技术丛书 ·

航空橡胶与密封材料 ·

刘嘉 苏正涛 栗付平 著 ·

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书介绍了当前航空、航天等装备使用的橡胶材料和密封剂,包括 50 年来使用效果好的成熟材料及近 10 年研制的新材料,基本反映出 21 世纪初我国航空橡胶材料和密封剂整体水平,也凸现该领域发展的总趋势。本书分两篇:第 1 篇为橡胶材料,第 2 篇为密封剂。第 1 篇详述了橡胶材料的化学结构、基本特性、混炼胶制备工艺和硫化胶物理力学性能以及应用范围;第 2 篇介绍了基体材料的化学结构和特性、密封剂制备工艺以及应用过程中出现的问题和解决方法。

本书在突出材料实用性的同时并融入高分子理论知识,尽力做到理论指导实践,可供各领域从事密封、减振降噪结构设计、选材和应用的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

航空橡胶与密封材料 / 刘嘉, 苏正涛, 栗付平著.

—北京: 国防工业出版社, 2011.5

(先进航空材料与技术丛书)

ISBN 978-7-118-07438-3

I. ①航... II. ①刘...②苏...③栗... III. ①航空材料:橡胶复合材料②航空材料:密封材料 IV. ①V25

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 077624 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

北京嘉恒彩色印刷有限责任公司

新华书店经售

*

开本 710×960 1/16 印张 30 字数 568 千字

2011 年 11 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—3000 册 定价 68.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

《先进航空材料与技术丛书》

编 委 会

主 任 戴圣龙

副主任 王亚军 益小苏

顾 问 颜鸣皋 曹春晓 赵振业

委 员 (按姓氏笔划为序)

丁鹤雁 王志刚 王惠良 王景鹤

刘 嘉 刘大博 阮中慈 苏 彬

李 莉 李宏运 连建民 吴学仁

张庆玲 张国庆 陆 峰 陈大明

陈祥宝 周利珊 赵希宏 贾泮江

郭 灵 唐 斌 唐定中 陶春虎

黄 旭 黄 敏 韩雅芳 骞西昌

廖子龙 熊华平 颜 悦

序

一部人类文明史从某种意义上说就是一部使用和发展材料的历史。材料技术与信息技术、生物技术、能源技术一起被公认为是当今社会及今后相当长时间内总揽人类发展全局的技术,也是一个国家科技发展和经济建设最重要的物质基础。

航空工业领域从来就是先进材料技术展现风采、争奇斗艳的大舞台,自美国莱特兄弟的第一架飞机问世后的 100 多年以来,材料与飞机一直在相互推动不断发展,各种新材料的出现和热加工工艺、测试技术的进步,促进了新型飞机设计方案的实现,同时飞机的每一代结构重量系数的降低和寿命的延长,发动机推重比量级的每一次提高,无不强烈地依赖于材料科学技术的进步。“一代材料,一代飞机”就是对材料技术在航空工业发展中所起的先导性和基础性作用的真实写照。

回顾中国航空工业建立 60 周年的历程,我国航空材料经历了从无到有、从小到大的发展过程,也经历了从跟踪仿制、改进改型到自主创新研制的不同发展阶段。新世纪以来,航空材料科技工作者围绕国防,特别是航空先进装备的需求,通过国家各类基金和项目,开展了大量的先进航空材料应用基础和工程化研究,取得了许多关键性技术的突破和可喜的研究成果,《先进航空材料与技术丛书》就是这些创新性成果的系统展示和总结。

本套丛书的编写是由北京航空材料研究院组织完成的。19 个分册从先进航空材料设计与制造、加工成形工艺技术以及材料检测与评价技术三方面入手,使各分册相辅相成,从不同侧面丰富了这套丛书的整体,是一套较为全面系统的大型系列工程技术专著。丛书凝聚了北京航空材料研究院几代专家和科技人员的辛勤劳动和智慧,也是我国航空材料科技进步的结晶。

当前,我国航空工业正处于历史上难得的发展机遇期。应该看到,和国际航空材料先进水平相比,我们尚存在一定的差距。为此,国家提出“探索一代,预研一代,研制一代,生产一代”的划代发展思想,航空材料科学技术作为这四个“一代”发展的技术引领者和技术推动者,应该更加强化创新,超前部署,厚积薄发。衷心希望此套丛书的出版能成为我国航空材料技术进步的助推器。可以相信,随着国民经济的进一步发展,我国航空材料科学技术一定会迎来一个蓬勃发展的春天。

A handwritten signature in black ink, appearing to read '李亮' (Liang Jing), written in a cursive style.

2011 年 3 月

前 言

航空装备的密封和减振降噪技术是一门较复杂的通用技术,它与结构设计、制造工艺及选用材料是密切相关的,而材料性能的优劣关系着系统性能的可靠性和使用寿命。现代高新技术特别是先进武器装备的发展,更是紧密依赖于材料科学的进步,所以全面熟悉材料、掌握各种材料的性能特点,做到正确的选用材料,对各行各业领域从事设计、材料应用的工程技术人员是十分重要的。本书是编者根据多年的实际工作经验并结合近 10 年最新的研究成果,如氟醚橡胶、氢化丁腈橡胶、防火阻燃胶料、高导电胶料、高阻尼胶料和直升机旋翼弹性元件、新型多功能密封剂等新材料以及为新武器装备研制的橡胶制品,通过以优代劣、精减材料牌号逐步形成我国航空橡胶和密封剂材料体系。该书的内容基本反映出 21 世纪初期我国航空橡胶材料和密封剂的总体水平以及国际合成橡胶工业发展的趋势。本书分两篇:第 1 篇为橡胶材料,共计 6 章。汇集了近年来在航空、航天等武器装备应用的近 400 牌号材料和制品的性能,并详细介绍了每个胶种的化学结构、特性和加工工艺、制品成形和硫化方法,胶料的使用范围。第 2 篇为密封剂,共计 7 章。详述了航空、航天、建筑、水利水电、城市建设所用密封剂的基础知识,包括材料的化学结构、特性及密封剂的制备工艺,应用实例和使用过程中会出现的问题及解决方法。本书在内容安排上尽力做到突出实用性,使读者方便了解各种胶料的使用特性,并通过应用实例起到举一反三的作用。为更深入掌握材料基本特性,在各章节内融入相关的高分子材料理论知识,使材料的实用性和知识性相结合,用理论指导选材工作。

本书由刘嘉、苏正涛、栗付平组织和撰写,此外参加橡胶篇撰写的还有张洪雁、王珍、章菊华、刘金岭、米志安、任玉柱、钱黄海、耿新玲、黄艳华、刘丽萍、周易文。参加密封剂篇撰写还有曹寿德、周军辉、刘刚、孙全吉、吴松华、范召东、蔺艳琴、柳

莹、潘广萍、李利、宋英红、杨亚飞、秦蓬波、章谏正、刘梅、吴娜。全书由张洪雁、曹寿德、王景鹤、杨希仁研究员审校。在编写过程中得到周易文、蒋洪罡、罗华同志的热心帮助,在此表示感谢。

本书希望能对从事航空、航天、武器装备设计、选材和加工的工程技术人员有所帮助,对新型装备的研制起到推进作用。由于编者能力所限,不妥之处敬请不吝指正。

编者

2011年3月

目 录

绪论	1
参考文献	7

第1篇 橡胶材料

第1章 通用橡胶材料	10
1.1 天然橡胶	10
1.1.1 结构和特性	10
1.1.2 胶料的力学性能	12
1.1.3 胶料的加工工艺	12
1.1.4 应用实例	13
1.2 丁苯橡胶	14
1.2.1 结构和特性	15
1.2.2 硫化胶的力学性能	17
1.2.3 胶料的加工工艺	18
1.2.4 应用实例	20
1.3 氯丁橡胶	21
1.3.1 结构和特性	22
1.3.2 胶料的力学性能	25
1.3.3 胶料的加工工艺	26
1.3.4 应用实例	28
1.4 乙丙橡胶	29
1.4.1 结构和特性	29
1.4.2 胶料的力学性能	35
1.4.3 胶料的加工工艺	37
1.4.4 应用实例	43
1.5 丁腈橡胶	44
1.5.1 结构和特征	45

1.5.2	胶料的力学性能	52
1.5.3	胶料加工工艺	57
1.5.4	应用实例	62
1.6	氢化丁腈橡胶	64
1.6.1	HNBR 的结构和特性	64
1.6.2	胶料的力学性能	70
1.6.3	胶料的加工工艺	74
1.6.4	应用实例	75
	参考文献	75
第2章	硅橡胶和氟硅橡胶材料	77
2.1	硅橡胶	77
2.1.1	硅橡胶的结构与特性	78
2.1.2	硅橡胶硫化胶物理力学性能	94
2.1.3	硅橡胶胶料加工工艺	96
2.1.4	应用实例	97
2.2	氟硅橡胶	98
2.2.1	氟硅橡胶的结构和特性	98
2.2.2	氟硅橡胶的物理及力学性能	111
2.2.3	胶料加工工艺	113
2.2.4	应用实例	114
	参考文献	115
第3章	氟橡胶和氟醚橡胶材料	117
3.1	结构和特性	119
3.1.1	氟橡胶的结构表征	120
3.1.2	耐热性能	123
3.1.3	低温性能	126
3.1.4	耐介质性能	130
3.1.5	其他性能	134
3.2	硫化胶的物理力学性能	137
3.3	胶料加工工艺	144
3.4	应用实例	147
	参考文献	149
第4章	特殊功能橡胶材料	150
4.1	阻尼减振橡胶	150
4.1.1	阻尼和振动隔离的基本原理	150

4.1.2	阻尼减振橡胶材料的配方设计	158
4.1.3	阻尼减振橡胶及其制品的性能	160
4.1.4	阻尼减振技术的应用	164
4.2	导电橡胶	164
4.2.1	导电的基本原理	165
4.2.2	导电填料类型和特征	166
4.2.3	导电橡胶的配方设计	169
4.2.4	国内外导电橡胶性能	173
4.2.5	导电橡胶制品生产工艺	175
4.2.6	应用实例	176
4.3	阻燃防火橡胶	176
4.3.1	橡胶的燃烧特性与阻燃防火途径	177
4.3.2	阻燃橡胶胶料	179
4.3.3	防火橡胶胶料	186
4.3.4	阻燃防火橡胶的应用实例	192
	参考文献	194
第5章	橡胶胶黏剂	195
5.1	选择胶黏剂的基本要求	195
5.1.1	胶黏剂与密封剂的关系	195
5.1.2	粘接破坏的形式	196
5.1.3	选择适宜胶黏剂应考虑的因素	196
5.2	粘接的基本理论	199
5.2.1	粘接力 and 内聚力	199
5.2.2	粘接理论	200
5.3	各种橡胶胶黏剂特点和性能	203
5.3.1	天然橡胶胶黏剂	204
5.3.2	氯丁橡胶胶黏剂	205
5.3.3	丁腈橡胶胶黏剂	206
5.3.4	硅橡胶胶黏剂	208
5.3.5	氟橡胶胶黏剂	211
5.3.6	橡胶制品防老化涂料	214
5.3.7	胶粘底涂和胶粘促进剂	216
	参考文献	224
第6章	橡胶—金属复合制品	225
6.1	直升机旋翼弹性元件	225

6.1.1	旋翼弹性轴承的发展	225
6.1.2	弹性轴承的技术分析	227
6.1.3	旋翼阻尼器的发展	229
6.1.4	几种型号国产弹性元件的主要性能	230
6.2	宇航用高性能卡箍	232
6.2.1	MS21919 环形支撑卡箍	233
6.2.2	AS 21919 环形支撑卡箍	243
6.2.3	AN735 环形卡箍	247
6.2.4	AN742	249
6.2.5	ST1428 环形卡箍	253
6.2.6	ST1850 环形卡箍	255
6.2.7	带耐高温芳纶纤维浸渍带(KP)衬垫卡箍	256
6.2.8	带金属网带衬垫卡箍	257
6.3	高速列车用橡胶减振器	258
6.3.1	橡胶减振器的减振原理	259
6.3.2	橡胶—金属复合减振器在高速机车应用的特性	260
6.3.3	橡胶减振器使用材料	262
6.3.4	橡胶减振器在列车车辆上的应用	262
	参考文献	265

第 2 篇 密封剂材料

第 7 章	聚硫和改性聚硫密封剂	268
7.1	概述	268
7.2	聚硫和改性聚硫密封剂的基体材料的结构和特性	268
7.2.1	聚硫和改性聚硫密封剂基体材料的结构	268
7.2.2	聚硫和改性聚硫密封剂的基体材料的特性	269
7.3	聚硫和改性聚硫密封剂基本组成和制备工艺	279
7.3.1	聚硫和改性聚硫密封剂基本组成	279
7.3.2	聚硫和改性聚硫密封剂制备工艺	299
7.4	聚硫和改性聚硫密封剂的性能	300
7.4.1	聚硫密封剂的性能	300
7.4.2	改性聚硫密封剂的性能	306
7.5	应用实例	309

7.5.1	聚硫密封剂	309
7.5.2	改性聚硫密封剂	323
参考文献		345
第8章	聚硫代醚密封剂	346
8.1	概述	346
8.2	聚硫代醚生胶的结构和特性	346
8.2.1	聚硫代醚生胶的结构	346
8.2.2	聚硫代醚生胶的特性	346
8.3	聚硫代醚密封剂基本组成和制备工艺	347
8.3.1	聚硫代醚密封剂基本组成	347
8.3.2	聚硫代醚密封剂制备工艺	349
8.4	聚硫代醚密封剂的性能	349
8.4.1	聚硫代醚密封剂的理化性能	349
8.4.2	聚硫代醚密封剂的工艺性能	351
8.5	应用实例	351
8.5.1	HM1101 聚硫代醚密封剂	352
8.5.2	HM1102 聚硫代醚密封剂	352
参考文献		354
第9章	有机硅密封剂	355
9.1	概述	355
9.2	有机硅密封剂的基本组成和制备工艺	356
9.2.1	有机硅密封剂的基本组成	356
9.2.2	有机硅密封剂的制备工艺	361
9.3	有机硅密封剂的性能	362
9.3.1	单组分缩合型有机硅密封剂	362
9.3.2	多组分缩合型有机硅密封剂	364
9.3.3	加成型有机硅密封剂	369
9.4	功能型有机硅密封剂	371
9.4.1	耐高温抗密闭降解有机硅密封剂	371
9.4.2	阻燃防火有机硅密封剂	375
9.4.3	导电有机硅密封剂	381
9.4.4	导热有机硅密封剂	385
9.4.5	有机硅泡沫密封剂	388
9.4.6	吸波有机硅密封剂	392
9.4.7	耐高温硅树脂基密封剂	395

参考文献	399
第 10 章 氟硅密封剂	400
10.1 概述	400
10.2 氟硅密封剂基体材料的结构和特性	400
10.2.1 氟硅密封剂基体材料的结构	400
10.2.2 氟硅密封剂基体材料的特性	401
10.3 氟硅密封剂基本组成和制备工艺	402
10.3.1 加成型液体氟硅密封剂的基本组成和制备工艺	402
10.3.2 羟基封端氟硅密封剂基本组成和制备工艺	402
10.4 密封剂的性能	403
10.4.1 乙烯基封端氟硅密封剂的性能	403
10.4.2 羟基封端氟硅密封剂的性能	403
10.5 应用实例	403
10.5.1 HM803 氟硅密封剂	404
10.5.2 HM804 双组分氟硅密封剂	407
10.5.3 HM806 高温耐油密封剂	407
参考文献	407
第 11 章 不硫化密封剂	409
11.1 概述	409
11.2 不硫化密封剂生胶类型、结构和基本特性	410
11.2.1 有机硅类不硫化密封剂生胶类型、结构和基本特性	410
11.2.2 丁基橡胶生胶类型、结构和基本特性	411
11.2.3 聚异丁烯橡胶生胶类型、结构和基本特性	412
11.2.4 不硫化聚丁二烯密封剂生胶类型、结构和基本特性	412
11.2.5 不硫化氯丁橡胶密封剂生胶类型、结构和基本特性	413
11.2.6 不硫化聚氨酯密封剂生胶类型、结构和基本特性	413
11.3 不硫化密封剂基本组成和制备工艺	413
11.3.1 基本组成	413
11.3.2 制备工艺	417
11.4 不硫化密封剂性能和应用实例	418
11.4.1 不硫化有机硅类密封剂性能和应用实例	418
11.4.2 不硫化丁基密封剂性能和应用实例	428
11.4.3 不硫化聚异丁烯密封剂性能和应用实例	433
11.4.4 不硫化聚硫橡胶密封剂性能和应用实例	434
11.4.5 不硫化聚丁二烯密封剂性能和应用实例	434

11.4.6 不硫化氯丁密封腻子性能和应用实例·····	436
11.4.7 不硫化聚氨酯密封剂性能和应用实例·····	437
参考文献·····	437
第 12 章 密封剂粘接底涂·····	439
12.1 概述·····	439
12.2 粘接底涂的组成·····	439
12.3 粘接底涂的性能·····	444
12.3.1 粘接底涂的典型理化性能·····	444
12.3.2 粘接底涂的工艺性能·····	445
12.4 粘接底涂的制备工艺·····	445
12.5 粘接底涂应用实例·····	446
12.5.1 聚硫密封剂粘接底涂·····	446
12.5.2 有机硅密封剂粘接底涂·····	451
参考文献·····	453
第 13 章 表面保护密封涂料·····	454
13.1 表面保护密封涂料的组成·····	454
13.1.1 固体丁腈橡胶·····	454
13.1.2 树脂增黏剂和树脂固化剂·····	454
13.1.3 防老剂·····	455
13.1.4 红色染料·····	455
13.1.5 有机溶剂·····	455
13.2 表面保护密封涂料的性能·····	455
13.3 表面保护密封涂料的制备工艺·····	456
13.4 表面保护密封涂料·····	457
13.4.1 HM501 表面保护密封涂料粘接底涂·····	457
13.4.2 HM504 表面保护密封涂料·····	460
13.4.3 HM505 表面保护密封涂料·····	462
参考文献·····	463

绪 论

随着高新技术的发展,航空武器装备在高速、大功率、长寿命和舒适可靠性方面取得长足的进步。当今飞机速度达到声速的 3 倍,飞行高度超过 20000m,连续飞行 2 万 km 以上,这些成绩取得是一系列复杂技术问题得到解决后实现的,而密封技术、减振降噪技术就是保证飞行安全可靠的基本保证之一,也是一门各工业领域的通用技术。人在空间生存应具备维持生命的基本条件^[1]:氧气密度、环境温度、振动和噪声。随着飞行高度的增加高空的氧气密度和温度都在急剧下降,当高度超过 6000m 时空气中氧气分压低于人类呼吸最低允许值 $(0.62 \sim 0.66) \times 10^4 \text{Pa}$,此时人就会感到缺氧,思维能力和机体功能开始被破坏,进入生命的危险区域。飞行高度超过 10000m 环境温度降至 -56.5°C ,长期处于过冷状态人会因血液系统停滞而死亡,所以高空飞行必须有气密座舱并配置氧气增压、加温装置以及空调系统,而座舱和系统管路都离不开密封技术。一架远程飞机要带大量的燃料,如果飞机的重量有 180t,其中燃料贮量有 100t 以上。这么多燃料都贮存在机翼、机身的结构空间内,这需要用密封剂将机翼和机身未占用结构空间封闭起来贮存燃油,形成机翼、机身整体油箱。此外液压、冷气、氧气、润滑系统内都装配大量密封件,保证各功能系统密封和实施功能。初步估计一架大型客机使用橡胶密封件超过万件,密封剂达 1t 以上。航空发动机功率的提高带来强烈的振动和噪声,会造成受力结构产生多级共振,操作仪器仪表失灵,机械零部件疲劳寿命缩短,也损害人的神经系统,促使人的疲劳和器官病变。所以泄漏和振动噪声对航空装备造成的后果是灾难性的。美国挑战者号航天飞机、俄罗斯联盟号宇宙飞船返回舱都因为密封失效造成机毁人亡的惨剧。据初步统计由于密封、振动和噪声引起的故障约占航空、航天武器装备故障的 60%,所以尖端武器装备研制过程中应对系统的密封、减振降噪引起足够重视,做到正确选择密封和阻尼减振降噪材料,采用合理密封、减振结构,严格执行生产工艺才能使新型武器装备具有优良的可靠性。

贮存和传输流体的装备都存在密封问题,零部件的连接处间隙就是流体泄漏的通路。借助弹性的密封材料使连接件紧密贴合,堵塞间隙阻止流体渗出和逃逸起到密封作用。由于零件间连接形式不同,密封结构与方式也有较大差异。两个零部件相对静止间隙的密封称固定密封,可采用各种截面形状的密封件,如圆形、矩形、蕾形、V 形的密封圈和垫片等^[2]。两个有相对运动的零部件间隙的密封称活动密封,液压系统伺服机构动筒活塞头和杆采用圆截面 O 形圈密封,油泵的旋转

轴采用唇形皮碗(油封)密封件,舱体、门窗、口盖结构采用各种截面形状的橡胶型材,借助型材凸缘、空腔的弹性压紧在被密封表面形成的接触应力起密封作用。歼击机座舱盖是采用充气密封胶带,充气后胶带凸起压在机身的边框内,保证座舱气密性;放气后胶带恢复至原形状,座舱与机身出现间隙很容易打开座舱。这种橡胶制品的密封是在过盈配合下橡胶被压缩,其弹性恢复对密封表面形成接触应力保证流体不会泄漏。对由成形的板材、加强肋和桁条通过铆接、螺栓和焊接组装的,其结构复杂,尺寸大,很难用橡胶密封件进行密封的部位,需采用密封剂涂覆在接口的缝内和表面,经室温硫化形成粘附在接口间的弹性胶膜达到密封目的。如果零部件刚度大变性小,可在金属结构件上加工沟槽,在沟槽内充填不硫化密封剂即腻子施行沟槽密封^[3]。密封剂密封形式应用十分广泛,如飞机客舱和整体油箱、宇宙飞船壳体结构、火车和船舶厢体、房屋建筑方面、污水处理沉淀池水体密封都采用膏状密封剂涂覆到接触的结构表面和间隙内,借助优异的粘接力和抗变性能力确保结构的密封。

为了使航空武器装备飞的更快、飞的更远,必须提高航空发动机推重比,功率增大会带来强烈的振动和噪声,最初人们采用垫橡胶板隔离振动源,用羊毛毡降低噪声。为了进一步提高减振降噪效果,近年在大功率振动源如高速列车上都采用黏弹阻尼器、液弹阻尼器吸收振动能。直升机旋翼系统为消除三维振动和噪声研制出橡胶与金属件组合的弹性轴承和频率匹配器;仪器仪表隔离振源消除共振采用各种结构形状的减振器。在薄壳结构表面贴覆约束阻尼片,借助黏弹胶层与铝箔间剪切变形损耗掉薄壁的振动能,即降低薄壁壳体高频噪声并提高疲劳寿命1倍以上,达到了减低振动和降低噪声的目的。为了创造一个安静舒适的环境,还可利用多孔疏松纤维毡和胶黏剂制成隔音板,贴附于舱体壁上吸收振动能减小噪声的干扰。

橡胶是一种高分子聚合物,其分子是由千万个结构相同的链节聚合成线性的长分子。细长的分子链呈卷曲状态,受应力作用卷曲分子链被拉长,可产生原长度10倍以上变形,除去应力后其回缩至初始状态形成橡胶独具的高弹性变形。橡胶微观结构如同一团乱线头,每个细长分子链带有许多官能团,这些基团在化学药剂(硫化剂)的作用下可以相互交联(硫化)使生胶线团结构硫化成网状结构。分子的化学交联点和大分子链间物理缠结限制了橡胶大分子整体流动,而交联点间分子链段仍处于热运动状态。链段在应力下运动要克服分子间摩擦,使外加的机械能转变成热能而损耗。橡胶大分子高弹特性是密封、减振降噪作用的基础,也是橡胶材料所具有的两个基本功能。

尖端工业的发展使各种高新产品的工作环境更加苛刻,表现在被密封流体的温度、工作压力、介质的腐蚀性、振动的强度和频率范围都有大幅度提高。原有天然橡胶、毛毡、皮革、油灰等密封材料已不能满足使用要求,因而促进合成橡胶工业