



现代橡胶技术丛书  
XIANDAI XIANGJIAOJISHU CONGSHU

丛书主编 游长江

# 功能橡胶制品

■ 游长江 编著

GONGNENG  
XIANGJIAO ZHIPIN



化学工业出版社



现代橡胶技

XIANDAI XIANGJIAOJISHU CONGSHU

丛书主编 游长江

# 功能橡胶制品

GONGNENG  
XIANGJIAO ZHIPIN

■ 游长江 编著



化学工业出版社

本书以应用特点为主,介绍了医用橡胶和弹性体制品、光功能橡胶制品、导电橡胶制品、磁性橡胶制品和声学功能橡胶制品五类国内外应用广泛、具有良好市场前景的功能橡胶制品,重点介绍了其结构、性能、制法、应用范围与使用方法。每章提供了详细的参考文献、主要的生产厂家和产品图片。

本书可供橡胶工业从事橡胶制品科研、设计、生产、应用、管理等方面的人员使用,也可供高等院校、高职院校、中专学校有关专业的教师、学生阅读和参考。

图书在版编目(CIP)数据

功能橡胶制品/游长江编著. —北京:化学工业出版社, 2013.5

(现代橡胶技术丛书)

ISBN 978-7-122-16831-3

I. ①功… II. ①游… III. ①橡胶制品  
IV. ①TQ336

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 057847 号

责任编辑:赵卫娟

文字编辑:冯国庆

责任校对:陶燕华

装帧设计:韩飞

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:三河市延风印装厂

710mm×1000mm 1/16 印张12 字数230千字 2013年7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: 48.00 元

版权所有 违者必究

# 前 言

---

功能材料是指具有声学、光学、电学、磁学、力学、化学、生物医学功能以及特殊的物理、化学、生物效应，并能完成功能相互转化，应用于高科技领域的高新技术材料。

功能材料种类繁多，日新月异，广泛应用于尖端科技、国民经济和国防建设，涉及的领域包括信息技术、生物工程技术、能源技术、纳米技术、环保技术、空间技术、计算机技术、海洋工程技术等，正在形成一个规模宏大的高新技术产业群，有着非常广阔的市场前景，对推动高新技术的发展和相关产业的转型升级起着重要的作用。

功能材料具有极为重要的战略意义，受到世界各国的高度重视，是新材料研究发展的热点和重点，也是高新技术发展战略的重点。在全球新材料研究领域中，功能材料约占 85%。在我国，许多功能材料的项目列入高技术研究发展（863）计划、国家重点基础研究发展（973）计划、国家自然科学基金项目中。

功能橡胶材料是重要的功能材料之一，是新型的弹性体材料。它除了具备橡胶特有的高弹性外，还兼具不同的特殊功能。这些特殊功能可以通过共聚、共混、接枝、互穿聚合物网络（IPN）以及纳米复合等物理、化学方法获得。这些特殊功能涉及很多方面，如力学方面的超高强度、超低硬度，与热学有关的热敏性，电学上的超导，光学上的光敏、光刻、光蓄，以及生物医学功能等。随着科学技术的深入发展，功能橡胶材料已经受到越来越多的关注和应用。

本书共分 5 章。第 1 章医用橡胶和弹性体制品；第 2 章光功能橡胶制品；第 3 章导电橡胶制品；第 4 章磁性橡胶制品；第 5 章声学功能橡胶制品。全书由华南理工大学游长江编著。

本书重点介绍了功能橡胶制品的原料、结构、性能、制法、应用范围与使用方法。每章提供了详细的参考文献、主要的生产厂家和产品图片，供读者参考。希望读者从中得到启迪。

本书在编写过程中，参阅了大量的文献资料和其他技术资料，并得到华南理工大学、河源职业技术学院、徐州工业职业技术学院、广州橡胶工业制品研究所有限公司、中国兵器工业集团第五三研究所、株洲时代新材料科技股份有限公司、广州市华南橡胶轮胎有限公司、北京万源瀚德汽车密封系统有限公司、广州

胶管厂有限公司、青岛橡六集团有限公司橡六输送带厂、广州加士特密封技术有限公司、湛江市汇通药业有限公司等单位及其专家、教授、工程技术人员的大力支持和帮助。由于参加编写的单位和个人很多，在此恕不一一列举，谨向他们表示衷心的感谢。

虽然全书经过了认真校对，但由于资料来源与编者水平的局限，难免有疏漏之处，敬请读者指正。

**编者**  
**2013年2月**

# 目 录

---

<b>第 1 章 医用橡胶和弹性体制品</b> .....	1
1.1 医用橡胶和弹性体制品概述 .....	1
1.2 医用橡胶和弹性体 .....	2
1.2.1 聚氨酯 .....	2
1.2.2 硅橡胶 .....	4
1.2.3 其他用于生物学方面的橡胶和弹性体 .....	5
1.3 医用橡胶制品的分类 .....	6
1.4 医用橡胶制品的结构、性能和用途 .....	7
1.4.1 医用手套 .....	7
1.4.2 医用橡胶瓶塞 .....	9
1.4.3 医用橡胶导管 .....	12
1.4.4 脑外科橡胶制品 .....	15
1.4.5 五官科橡胶制品 .....	18
1.4.6 胸外科橡胶制品 .....	20
1.4.7 消化系统橡胶制品 .....	22
1.4.8 腹外科系统橡胶制品 .....	24
1.4.9 麻醉系统橡胶制品 .....	26
1.4.10 整形外科橡胶制品 .....	29
1.4.11 泌尿生殖系统橡胶制品 .....	30
1.4.12 其他医用橡胶制品 .....	32
参考文献 .....	35
<b>第 2 章 光功能橡胶制品</b> .....	38
2.1 引言 .....	38
2.2 光导材料 .....	38
2.2.1 光波导 .....	38
2.2.2 光纤 .....	42
2.3 光敏材料 .....	48
2.3.1 光敏聚合物分类 .....	48
2.3.2 光敏性聚合物的功能 .....	49
2.3.3 光固化快速成型 .....	49



2.3.4 光响应型双亲聚合物.....	50
2.4 光能转换材料.....	51
2.4.1 太阳能的利用形式.....	51
2.4.2 太阳能电池.....	52
2.5 光功能产品的结构、性能和用途 .....	56
2.5.1 光波导产品.....	56
2.5.2 光纤通信产品.....	58
2.5.3 光纤传感器.....	60
2.5.4 光敏材料.....	63
2.5.5 太阳能电池.....	66
参考文献 .....	67

**第3章 导电橡胶制品..... 71**

3.1 引言.....	71
3.2 导电橡胶的分类和应用.....	72
3.2.1 按导电特性分类.....	72
3.2.2 按用途分类.....	72
3.3 导电橡胶的导电机理.....	74
3.3.1 导电通道理论.....	74
3.3.2 隧道效应理论.....	75
3.3.3 场致发射效应.....	76
3.4 导电橡胶的材料.....	77
3.4.1 生胶.....	77
3.4.2 导电填料.....	78
3.5 影响导电性能的因素.....	88
3.6 导电橡胶制品的结构、性能和用途 .....	91
参考文献 .....	95

**第4章 磁性橡胶制品..... 99**

4.1 引言.....	99
4.2 物质磁性的基本原理.....	99
4.3 物质的磁性分类 .....	101
4.4 磁性材料分类 .....	102
4.4.1 软磁材料 .....	102
4.4.2 永磁材料 .....	102
4.4.3 磁记录材料 .....	102
4.4.4 特磁材料 .....	103
4.5 磁性聚合物材料的发展 .....	103

4.5.1	磁性聚合物材料的分类 .....	103
4.5.2	影响磁性聚合物材料磁性能的因素 .....	104
4.6	磁性橡胶 .....	104
4.6.1	磁性橡胶的分类 .....	105
4.6.2	磁粉的种类 .....	105
4.6.3	影响磁粉性能的因素 .....	107
4.6.4	磁粉的选择与用量 .....	107
4.6.5	橡胶的选择 .....	108
4.6.6	加工助剂的选择 .....	109
4.7	纳米材料 .....	111
4.8	磁性纳米材料 .....	112
4.8.1	磁性纳米材料的单磁畴性质和矫顽力 .....	112
4.8.2	磁性纳米材料的超顺磁性和其他超磁性 .....	112
4.8.3	磁性聚合物/无机纳米复合材料 .....	113
4.8.4	纳米团聚现象与纳米粒子改性 .....	114
4.9	磁性纳米橡胶 .....	116
4.9.1	丁腈橡胶 (NBR) / $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ 磁性纳米橡胶 .....	117
4.9.2	天然橡胶/三元乙丙橡胶磁性纳米橡胶 .....	119
4.10	磁性橡胶制品的结构、性能与用途 .....	120
	参考文献 .....	126
<b>第5章 声学功能橡胶制品 .....</b>		<b>131</b>
5.1	引言 .....	131
5.2	声学概念及理论基础 .....	131
5.2.1	声波的基本性质 .....	131
5.2.2	可听声 .....	132
5.2.3	声波的速度 .....	133
5.2.4	声音的传播与衰减 .....	133
5.2.5	吸声系数 .....	134
5.2.6	吸声性能的评价 .....	134
5.2.7	声能的损耗 .....	137
5.2.8	吸声机理 .....	139
5.3	吸声材料的种类 .....	140
5.3.1	平板形吸声材料 .....	140
5.3.2	尖劈形吸声材料 .....	141
5.3.3	吸声涂层 .....	141
5.4	新型高吸声性阻尼材料 .....	142



5.4.1	高聚物阻尼材料 .....	143
5.4.2	聚合物基纳米复合材料 .....	143
5.5	吸声材料的结构 .....	144
5.5.1	共振式吸声结构 .....	144
5.5.2	渐变过渡结构 .....	146
5.5.3	夹芯层吸声结构 .....	146
5.5.4	微粒复合吸声结构 .....	147
5.5.5	压电式复合吸声结构 .....	148
5.5.6	多孔型吸声结构 .....	149
5.6	水声吸声材料 .....	150
5.6.1	吸声材料参数的影响 .....	151
5.6.2	背衬的影响 .....	151
5.6.3	声入射角度的影响 .....	152
5.7	声学橡胶的理论基础 .....	153
5.7.1	橡胶的特性 .....	153
5.7.2	橡胶的声速 .....	154
5.7.3	橡胶的特性声阻抗 .....	155
5.7.4	橡胶的吸声机理 .....	155
5.7.5	橡胶的声衰减常数 .....	156
5.7.6	用于声呐对抗的理论基础 .....	157
5.8	水声橡胶材料的种类 .....	157
5.8.1	水声吸声橡胶材料 .....	158
5.8.2	水声反声橡胶材料 .....	158
5.8.3	水声透声橡胶材料 .....	159
5.9	声学橡胶材料的结构 .....	160
5.9.1	填料型吸声橡胶 .....	160
5.9.2	泡沫型吸声橡胶 .....	161
5.9.3	结构型吸声橡胶 .....	162
5.9.4	多层均匀材料复合结构 .....	163
5.9.5	其他类型吸声橡胶 .....	163
5.10	吸声橡胶的设计 .....	163
5.10.1	理论计算指导材料设计 .....	164
5.10.2	提高材料低频吸声性能和增加有效吸声频宽 .....	164
5.10.3	提高材料耐水压、耐蚀性 .....	164
5.10.4	静压变化的影响 .....	165
5.10.5	聚氨酯水声吸声材料 .....	166
5.11	水声透声橡胶材料设计 .....	166

5.11.1	水声换能器水声透声橡胶材料要求.....	167
5.11.2	聚氨酯透声材料.....	167
5.12	吸声橡胶材料的发展方向.....	168
5.13	声学功能橡胶制品的结构、性能和用途 .....	169
	参考文献.....	176

# 第 1 章 医用橡胶和弹性体制品

## 1.1 医用橡胶和弹性体制品概述

随着现代医学和新型高分子材料技术的不断进步，生物高分子材料的研究手段越来越多。医用橡胶和弹性体作为生物高分子材料的重要组成部分，已广泛应用于医学的各个领域。它对于挽救生命，提高人类生活质量具有重要的意义。

对应用于医学领域的橡胶和弹性体制品的性能要求十分苛刻。根据不同的应用，材料要具有生物相容性、生物功能性和无毒性。

生物相容性，是指医用橡胶和弹性体材料与生物体的相互作用情况，包括血液相容性、组织相容性及生物降解吸收性，是作为医用材料必不可少的条件。

生物功能性，是指橡胶和弹性体材料具有在其植入位置上行使功能所要求的物理和化学性质，包括可检查与诊断疾病；可辅助治疗疾病；可满足脏器对维持或延长生命功能的性能要求；可改变药物吸收途径，控制药物释放速度与部位，满足疾病治疗要求的功能等。

无毒性，是指材料本身无害，也不产生有害物质。

对于不同用途的医用橡胶和弹性体材料，往往有一些具体要求。在医用橡胶和弹性体材料进入临床应用之前，都必须对其物理机械性能以及材料与生物体的相互适应性进行全面评价。

作为医用的橡胶和弹性体材料，其理化指标必须符合医药法规标准。而且作为结构材料时，医用橡胶和弹性体必须具有一定的强度、硬度、回弹性等力学性能；而作为功能材料时，必须具有相应的功能。在一些应用方面，医用橡胶还必须具有耐热、耐低温、耐医药化学品侵蚀等性质，绝不能溶出钡、铅、汞、砷等离子，而且还要具有气密性好、适宜针刺、落屑少的特性。植入人体的橡胶制品还必须耐生物老化，有良好的相容性，不引起排异反应等。

当橡胶和弹性体植入产品失效时，患者通常会直接起诉植入产品的生产厂家、外科医生及有关人员，有时也会起诉医院、装置销售商、部件生产厂家，甚至会起诉原材料生产厂家。人们对供应用于植入产品所用的材料的潜在责任都很关注。

美国 DuPont 公司曾为诉讼案而撤出了植入产品原材料供应商的行列。General Electric、Goodyear、Dow Chemical/Dow Plastics、Dow Corning、Allied Signal、Altec、Ausimont USA、BASF、Celanese、Furakawa、Industrial

Techtronics、Montell Polyolefins、Oxychem、Rehau、Shell 和 Victrix 等公司都曾短期或永久撤出了植入产品原材料供应商的队伍。

美国食品医药管理局长期要求测试植入产品的过敏性，特别是天然橡胶乳液的过敏已成为一个严重的问题。降低天然橡胶乳液中的水溶性蛋白质是解决问题的方法之一。增塑剂或硫化化学品可能对天然胶乳手套的过敏反应有影响，因此，要保证在可能有过敏反应的应用中使用非过敏抗氧化剂和其他化学添加剂。

## 1.2 医用橡胶和弹性体

在医疗器械方面有许多令人兴奋的新发展。橡胶和弹性体在这些发展中起了重要的作用。

目前，作为医用材料使用的橡胶和弹性体有聚氨酯（polyurethane, PUR）、硅橡胶（silicone rubber, MVQ）、丁基橡胶（butyl rubber, IIR）、聚异丁烯（polyisobutylene, PIB）、天然橡胶（natural rubber, NR）、氯丁橡胶（polychloroprene rubber, CR）、热塑性弹性体（thermoplastic elastomer, TPE）、聚烯烃橡胶（polyolefin rubber, POR）及其他改性弹性体材料。由于橡胶和塑料相互渗透和改性，也出现一些橡塑共混的医用弹性体产品。其中，医用级的材料比较多，植入级的材料数量较少。

在用于医用材料的橡胶和弹性体中，用于植入产品的主要是聚氨酯和硅橡胶。在过去的十几年，硅橡胶没有太大的变化，而聚氨酯有显著的变化。通过在聚氨酯的主链引入碳酸酯和硅酮（聚硅氧烷）等所开发的新型聚氨酯具有更好的抗氧化能力和耐水解性。

### 1.2.1 聚氨酯

聚氨酯是在高分子主链上含有许多重复—NHCOO—基团的高分子化合物。一般聚氨酯体系由二元或多元有机异氰酸酯与多元醇化合物（聚醚多元醇或聚酯多元醇）相互作用而得。因此，根据选用的原料不同会得到不同类型的聚氨酯。

**(1) 聚酯型聚氨酯** 聚酯型聚氨酯（polyester urethane）是由聚酯多元醇与二异氰酸酯加成反应而得的共聚物。聚酯型聚氨酯机械强度高，耐热老化性、耐臭氧性和耐化学药品性好。与聚醚型聚氨酯相比，机械强度高，耐寒性差。曾在20世纪50年代作为人工乳房植入体内，失败的原因是由于聚酯分子中的软段容易水解，不适合作为长期植入的医用材料。

**(2) 聚醚型聚氨酯** 聚醚型聚氨酯（polyether urethane）是聚醚多元醇与二异氰酸酯加成反应而得的共聚物。聚醚型聚氨酯力学性能和耐磨性好，耐热老化性、耐臭氧性、耐化学药品性良好，耐寒性和橡胶弹性优越，但耐热水性差。与聚酯型聚氨酯比较，聚醚型聚氨酯具有较好的水解稳定性，这是由于聚醚型聚氨酯结构中的醚键比酯键有更好的稳定性。

聚醚型聚氨酯橡胶具有良好的生物相容性和适当的血液相容性，使它广泛应用于心血管导管、人工器官等。曾在 1978 年用于心脏起搏器绝缘线。但聚醚型聚氨酯长期在生物体内容易在血液中由巨噬细胞所产生氧自由基的作用下氧化降解，导致生理条件下的应力开裂，造成性能稳定性下降，也不适合作为长期植入产品。聚氨酯曾因环境应力而失效，部分原因是心脏起搏器绝缘线的重金属离子引起的。从那时起，人们致力于寻找引起装置失效的原因，并开发对环境应力开裂几乎不敏感的聚氨酯。后来开发的聚碳酸酯型聚氨酯，在人体内比聚醚型和聚酯型聚氨酯的生物稳定性好得多。

**(3) 聚碳酸酯型聚氨酯** 聚碳酸酯型聚氨酯 (carbonate based polyurethanes) 是一种新型的生物稳定性聚氨酯材料。例如以聚 1,6-己二醇碳酸酯二醇 (PHMCD) 为软段，异佛尔酮二异氰酸酯 (IPDI) 和三羟甲基丙烷 (TMP) 为硬段的聚碳酸酯型聚氨酯 (PCU)。

与聚醚型聚氨酯相比，聚碳酸酯型聚氨酯用作长期移植的医用材料的可能性更大。聚碳酸酯型聚氨酯在体外实验中已经表现出良好的细胞黏附与生长、较低的血小板活性和较小的炎症反应等优异的生物稳定性。其生物稳定性主要是由于聚碳酸酯型聚氨酯的较大程度的相分离结构。

聚碳酸酯型聚氨酯最大的优点是比聚醚型聚氨酯具有更优异的耐氧化稳定性，但其水解稳定性并没有极大的提高，降解的程度主要依赖于硬段间相互作用的本质，如硬段之间的氢键、硬段与碳酸酯之间的氢键、结晶程度等因素。硬段区氢键作用越强，结晶度越大，则水解稳定性越好。而且软段结晶度和相分离也在一定程度上影响水解稳定性。

一般认为，二异氰酸酯、低聚物二醇和扩链剂对聚氨酯的生物稳定性起重要的作用。

根据所选二异氰酸酯的不同，降解的程度也不同。整个聚碳酸酯型聚氨酯分子链的水解稳定程度为：无氢键作用的碳酸酯键 > 无氢键作用的氨基甲酸酯键 > 氢键作用的碳酸酯键 > 氢键作用的氨基甲酸酯键。

在聚碳酸酯型聚氨酯中引入氟碳化合物后，氟碳化合物封端的聚碳酸酯型聚氨酯不但抗氧化性能优异，而且表面富集的氟碳端基能够提高材料的耐酶解性。

因此，聚碳酸酯型聚氨酯 (PCU) 和氟碳化合物封端的聚碳酸酯型聚氨酯 (PCUF) 可以作为性能优良的长期植入体内的材料使用。

聚氨酯长期以来用作生物医学弹性体。聚氨酯大分子链中的氨基甲酸酯与血液中蛋白质多肽链中含有的酰胺键极性相近，因此聚氨酯与生物体具有良好的生物相容性。聚氨酯还具有优良的生物稳定性、耐疲劳性、耐磨性，并有较高的强度以及使用所要求的刚性和其他性能。

聚合物在体内降解的最普遍的原因是水解和氧化。水解能够导致聚合物断链降解。在聚氨酯中，聚酯型聚氨酯一般对水解最敏感，然后是聚醚型聚氨酯，碳酸酯型聚氨酯对水解比较不敏感。聚合物氧化时会变脆，对植入产品进行消毒时，产

生的辐射会影响其耐氧化性能。聚碳酸酯型聚氨酯的耐氧化稳定性相对较好。

当应力和环境因素如溶剂，都存在时会导致聚合物产生环境应力开裂。聚氨酯也容易环境应力开裂。

聚氨酯具有优异的性能是由于其嵌段形态。采用不同的方法改变聚氨酯的形态，可以改善其生物稳定性。

不同类型的聚氨酯可能在制造方法上有限制。一些聚氨酯的分解温度太接近它的熔融温度，不能进行注射成型或挤出成型，一般采用溶剂浇注。一些聚氨酯只能在特定溶剂中进行溶液浇注，并且必须严格按照加工条件，以便保留它的强度和生物相容性。

**(4) 聚氨酯在生物医学方面的应用** 聚氨酯多年来用于左心脏辅助装置和全人工心脏的泵隔膜。这对于聚氨酯的要求非常苛刻，除了要求血液相容性外，还需要长期的耐疲劳性能，要可循环大约 5 亿次。如果装置失效，很可能导致死亡。大多数商用心脏辅助装置已经使用或准备使用聚氨酯隔膜。

聚氨酯优异的血液相容性和物理机械性能使其广泛应用于导管和球囊，也使其成为开发小直径人造血管的材料。

聚氨酯和多孔聚氨酯可用于将细胞连接到支架以及支架移植的组织工程方面。

聚氨酯还应用于介入导管、人工关节、人工软骨、神经导管、控制释放载体等。

聚氨酯可以通过共混或复合进行改性，扩大其应用范围。

- ① 通过共混或形成互穿聚合物网络改善其血液相容性。
- ② 通过血管移植和涂层支架可以改善生物相容性。
- ③ 用聚氨酯涂层镍钛记忆合金支架可以改善血液相容性，抑制腐蚀。该方法优于电解抛光、肝素涂层以及其他一些支架表面处理。
- ④ 改性聚氨酯的各种涂层可以改善血液相容性。
- ⑤ 用异丁烯取代聚醚嵌段以降低聚合物的水渗透性，用于心脏辅助泵隔膜的内层。
- ⑥ 通过共混或复合，可以使聚氨酯成为生物降解材料，在某些情况下用作组织工程产品的支架。

### 1.2.2 硅橡胶

硅橡胶是用作植入产品的第二大弹性材料，最常用的是聚二甲基硅氧烷。用白炭黑补强的硅橡胶具有相当高的强度，对体液和臭氧有良好的抗降解性。

硅橡胶具有优异的耐高温与低温性能、耐老化性能，而且具有高透气性、特殊的表面性能和生理惰性，可采用高压蒸汽消毒，抗腐蚀，与人体组织及血液有良好的生物相容性，有一定的抗凝作用，可作为缓释药物的载体，而且无毒无味，是制造静脉导管的理想材料。但是纯硅橡胶管本身无抗菌和抗凝血作用。



由于硅橡胶分子极性低，亲水性差，对人体有一定的异物反应，而且拉伸强度不够，容易导致制品破裂或撕裂。另外，植入人体的硅橡胶制品在放置至有效期满后必须取出，会增加使用者的痛苦和费用。

硅橡胶医用产品从人工耳朵、人工乳房到阴道避孕环，种类很多。硅橡胶从1950年开始用作导管，1962年开始有了医用级硅橡胶。

早期的人工心脏阀曾采用硅橡胶球，但硅橡胶球从血液中吸收血脂后会溶胀失效，阀的设计后来用碳叶片代替硅橡胶。

尽管硅橡胶存在一些问题，但是许多植入产品仍然采用硅橡胶制造，例如长期使用的人工关节、假肢等。

对于非植入生物医学应用方面，硅橡胶有很多产品。其中一些是与身体或体液接触的制品，如用于防止睡眠呼吸窒息的口部定位装置、隐形眼镜、导管和分流装置等。

硅橡胶一般采用过氧化物或铂体系硫化，用铂体系硫化通常可以获得更耐疲劳或更高韧性的材料。但是要考虑硫化后残留的铂或过氧化物，必须将其控制在符合应用要求的安全水平。

### 1.2.3 其他用于生物医学方面的橡胶和弹性体

(1) **天然橡胶胶乳** 天然橡胶胶乳是从橡胶植物中采割或浸出等获得的。天然橡胶胶乳既不易被人体内的消化酶分解，也不易被细菌、真菌等微生物分泌的酶分解，具有良好的稳定性，而且不会被人体吸收，可以认为是无毒的。但是，在天然橡胶胶乳中含有的蛋白质会给容易过敏的人带来潜在的危险，乃至致命的应激反应，因此使用时必须特别注意。

(2) **聚异丁烯** 聚异丁烯是以单体异丁烯聚合而得，具有与聚乙烯相似的结构，因此这种聚合物的生物稳定性和生物相容性好，通常用于代替天然橡胶胶乳，因为它没有会引起过敏的天然杂质。高性能聚异丁烯应用于导管、外科手术手套、医用瓶塞、医用导管连接器、理疗带和个人护理产品等。

(3) **丁基橡胶** 丁基橡胶由异丁烯单体与少量异戊二烯共聚合而成，具有优良的气密性、良好的耐热、耐老化、耐酸碱、耐臭氧、耐溶剂以及低吸水性等性能。但是丁基橡胶硫化慢，加工性能差，互黏性差，与其他橡胶的相容性差，而且与补强剂之间的作用弱。

丁基橡胶有医用级和食品级，已用作左心脏辅助装置中的隔膜，在泵中置于聚烯烃橡胶的层间或聚氨酯橡胶的层间。

(4) **氯丁橡胶** 氯丁橡胶是氯丁二烯经乳液聚合而成，已经在许多医学方面应用，包括鞋垫、胶黏剂、矫形牙套和手套等。多年前，曾采用氯丁橡胶胶乳制造胃气球用于抑制进食。氯丁橡胶在医学方面的应用还包括拇指矫形器、联合夹板等。目前已有医用级的氯丁橡胶，但是用作植入产品还有很多问题。

(5) **热塑性弹性体** 热塑性弹性体是一种兼具橡胶和热塑性塑料特性，在常

温显示橡胶的高弹性，在高温下又能塑化成型的高分子材料。热塑性弹性体通常不需要添加增塑剂来保持其柔软，而且还具有相当的生物相容性。性能优异的聚烯烃热塑性弹性体可以用于非植入医学产品。

热塑性聚氨酯弹性体（TPU）的特点是：硬度范围宽，从75A~75D（邵尔）；具有很好的生物相容性；在承受低应力负荷时，它有良好的延伸性和耐翘曲性、显著的撕裂强度、优异的耐磨性；并具有熔接性，易于装配。导管的耐弯折性好，具有透明性。但TPU的耐水解性较差，不适于蒸汽消毒，加工后数小时内会发黏，加工有一定的困难。

苯乙烯-乙烯-丁二烯-苯乙烯嵌段共聚物（SEBS）具有弹性和生物相容性，无增塑剂抽出，可应用于许多生物医学制品。

异丁烯共聚物热塑性弹性体（isobutylene copolymer thermoplastic elastomers）也用于软组织。一些紧密相关的星形结构聚合物有希望用于制造人造血管和其他生物医学植入产品。

**(6) 聚烯烃橡胶** 炭黑补强的聚烯烃橡胶已用于人工心脏泵隔膜、手指关节、人工心脏辅助装置、人工椎间盘。这种材料的烯烃性质使其在人体内更耐氧化和耐降解，并具有优异的耐疲劳性能（DeMattia 弯曲疲劳大于5亿次），对气体的渗透性非常好，但不是很透水。缺点是撕裂强度较低。

几十年来，医用橡胶材料的研究取得了很大的进展，越来越多的医用橡胶制品应用于临床实践，促进了高分子材料和医疗卫生事业的发展。但是，现有的橡胶品种还不能完全解决临床医学上对材料的生物相容性、抗菌性、生物降解性、智能性、气密性、强度、韧性、使用温度等综合性能的要求。

### 1.3 医用橡胶制品的分类

在生物医学领域，医用橡胶制品从应用上可分为体内和体外两类。体内的应用包括短期留置于体内的医用胶管和长期留置于体内的产品。体外的应用包括与皮肤接触的产品，例如药物浸渍膜以及大量与医疗有关的产品，如一次性手术衣和手术台等。据统计，体外产品所用材料的用量超过体内产品。对植入产品中所用的材料有严格的要求，对于可能导致死亡的植入产品有很多相关的规定和标准。

医用橡胶制品从性能上可分为弹性制品、粘接制品、水分（细菌）不透过制品、热塑性制品；从与人体和医疗用品接触的程度可分为非接触、表面接触、体内和体外连接、植入人体内等；表面接触又可分为被接触部位是健康皮肤、黏膜和被损伤皮肤等。

医用橡胶制品主要有以下几类。

(1) 器官或组织代用品 分为长期和短期留置于体内的产品。长期留置于体内的产品有脑积水引流装置、人工肺、视网膜植入物、人工脑膜、人造心脏及瓣膜附件等。短期留置于体内，起到补液、抢救、引流注入、防粘连或消泡作用的

产品有静脉插管、导尿管、输血管和鼻插管等。

(2) 医疗器械关键部件 这些产品包括人工心肺机输血泵管、膜式人工肺机、胎儿吸引器和人工血液循环装置等。

(3) 整容和修复术 用硅橡胶来修补面容的缺陷, 这些产品包括用于修补前额、鼻子、下颊、额、脖颈和外耳缺陷, 用于颅骨、胸部整容手术和修补内脏等的硅橡胶修补材料, 以及人工乳房。

(4) 体外用品 这种产品种类很多, 包括弹性包扎带、外科手套、尿袋、医用粘接剂、输液袋、血浆袋、瓶塞、注射器密封垫圈、医疗导管等。还有用尼龙、聚酯纤维等增强的硅橡胶人造皮膜, 以及既能抽样检测又能灌洗和输液的医用硅橡胶管。

## 1.4 医用橡胶制品的结构、性能和用途

### 1.4.1 医用手套

- (1) 商品名称 医用手套 (medical gloves)。  
 (2) 结构: 医用橡胶手套如图 1-1 和图 1-2 所示。

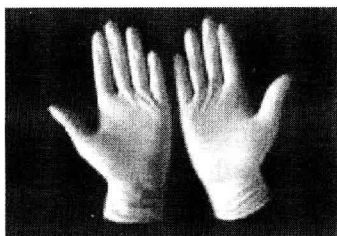


图 1-1 医用橡胶手套

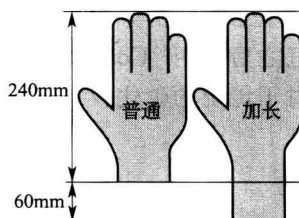


图 1-2 医用橡胶手套结构

- (3) 原料 天然橡胶、丁基橡胶、硅橡胶、聚氨酯、氯丁橡胶等。  
 (4) 制法

① 橡胶医用手套生产工艺 洗模→浸泡热水→浸凝固剂 (质量分数约为 5% 的氯化钙溶液)→烘干→浸胶乳→匀浆定形→沥滤→预干燥→卷边→烘干→浸泡热水→浸隔离剂→脱模→水煮硫化 (90℃×35min)→干燥硫化。浸渍胶乳基本配方实例见表 1-1。

表 1-1 浸渍胶乳基本配方实例

原材料	用量 /质量份	原材料	用量 /质量份	原材料	用量 /质量份
天然胶乳(以干胶计)	100	硫黄	0.8	促进剂 PX	0.2
氧化锌	2	促进剂 ZDC	0.8	防老剂 264	1

注: 浸渍胶乳固形物质量分数控制为 32%。