

高性能橡胶密封材料

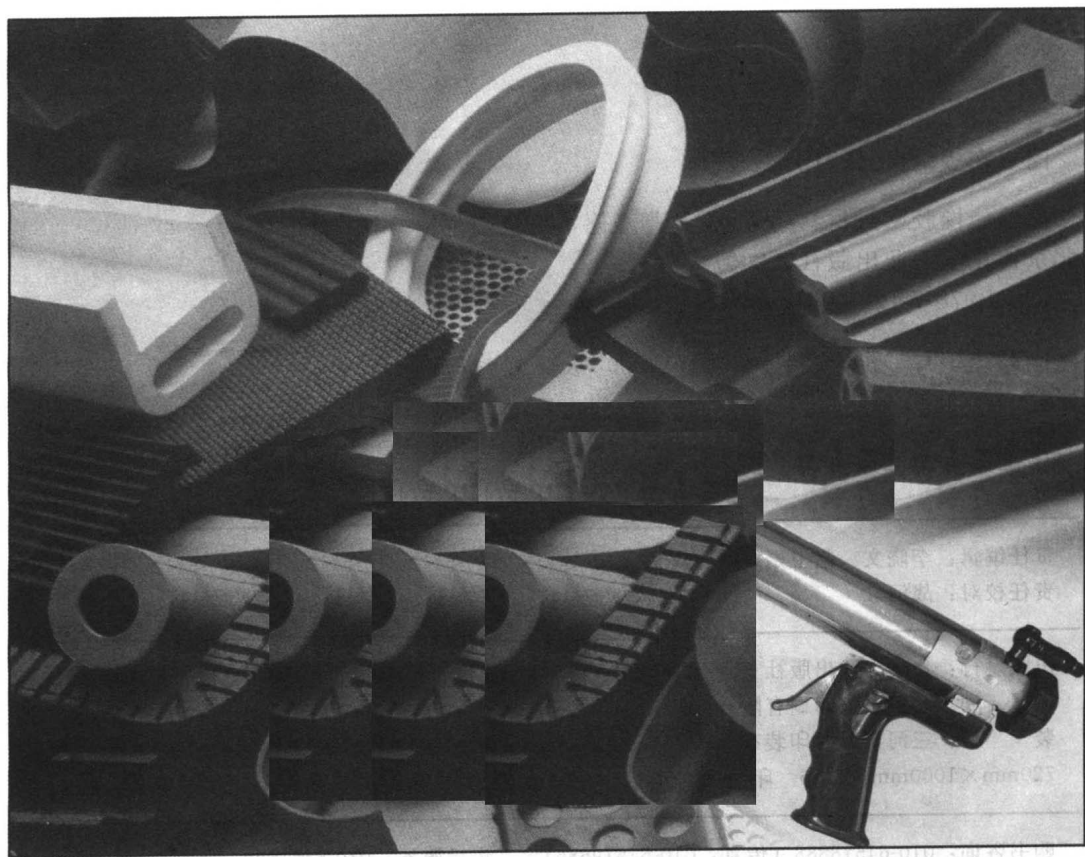
张洪雁 曹寿德 王景鹤 主编



化学工业出版社

高性能橡胶密封材料

张洪雁 曹寿德 王景鹤 主编



化学工业出版社

·北京·

元 00.00 : 售 定

本书作者结合近 50 年来橡胶和密封剂领域的研究成果,系统地介绍了工程上应用的各种橡胶材料和密封剂。本书分两篇,第 1 篇为橡胶篇,详述了用于密封制品的各种橡胶胶料的化学结构、特性、混炼胶制备工艺,制造方法和硫化胶各项性能等。第 2 篇为密封剂篇,详述了密封剂基体材料的化学结构、特性,各类配合剂的结构特性及密封剂的制备工艺、性能和应用实例,以及密封剂使用过程中出现的各类问题和解决方法。

本书在突出材料实用性同时融入高分子材料的理论知识,使实用性和知识性相结合,可供各工业领域从事密封结构设计、选材和应用的工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

高性能橡胶密封材料/张洪雁,曹寿德,王景鹤主编.

北京:化学工业出版社,2007.7

ISBN 978-7-122-00330-0

I. 高… II. ①张…②曹…③王… III. 橡胶-密封材料-研究 IV. TB42 TQ33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 060034 号

责任编辑:李晓文 赵卫娟

装帧设计:潘 峰

责任校对:战河红

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 刷:北京永鑫印刷有限责任公司

装 订:三河市万龙印装有限公司

720mm×1000mm 1/16 印张 29 1/4 字数 635 千字 2007 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: 60.00 元

版权所有 违者必究

编写人员名单

主 编 张洪雁 曹寿德 王景鹤

编写人员 （按姓氏拼音排列）

曹寿德 韩永采 黄梅星 李跟华 栗付平
蔺艳琴 刘 嘉 刘金岭 马恩弟 米志安
潘大海 潘广萍 齐士成 苏正涛 王景鹤
王 珍 吴松华 张洪雁 周军辉

主 审 杨希仁

序

材料是社会技术进步的物质基础与先导，材料对国民经济的发展和国家安全具有重要作用。现代高新技术特别是先进装备的发展，更是紧密依赖于材料科学的发展，“一代材料，一代装备”。

密封技术是由设计、材料、制造技术密切结合的一门较复杂的通用技术。长期以来由于密封技术一直不被人们所重视，导致许多产品和装备经常出现泄漏，使用寿命短，甚至引起燃烧、爆炸等事故。美国挑战者号航天飞机因橡胶圈密封泄漏造成空中爆炸、七名宇航员殒命就是一例惨痛教训。我国神州号宇宙飞船也将密封技术列为四大关键技术之一，所以密封技术是现代高科技军民产品可靠性和长寿命的技术关键，应引起工程技术人员的高度重视。

目前，我国尚缺乏较全面、系统地介绍橡胶材料和密封剂在工程上应用的理论与实践专著，而这项工作现已由北京航空材料研究院橡胶和密封剂专业科技人员，在收集、总结橡胶和密封剂两个领域近 50 年来在武器装备研究及生产的有关成果，并结合自己从事科学研究的理论知识与实践经验基础上编著完成。该书是科研、生产、应用的全面总结，并融入了高分子材料的理论知识，内容丰富翔实，图文并茂，竭力做到实用性和知识性相结合，供各工业领域从事设计、材料应用的技术人员参阅，希望对他们的进取、提高和创新有所帮助。

中国科学院院士 颜鸣春

2007 年 1 月 11 日

前 言

系统的密封与结构设计、制造技术及选用的密封材料是密切相关的，其中密封材料的性能决定系统密封的可靠性和使用寿命。本书内容反映出了 50 年来橡胶和密封剂领域的研究成果，也体现了 20 世纪 90 年代中国航空橡胶和密封剂技术水平。内容涉及的近 400 个材料牌号是航空航天领域武器装备使用材料，并经过多年使用和材料牌号性能优选保留下的具有优异性能的材料。此外还详细介绍了材料在力学、耐温、耐介质等方面性能数据、使用工艺和应用的范围，这无疑会对结构设计人员的选材和材料工程人员生产实践提供有力的支持。本书分两篇：第 1 篇为橡胶篇，共计 10 章。详述了用于航空武器装备密封制品的橡胶胶料，包括各类橡胶的化学结构、特性、混炼胶制备工艺，密封制品制造方法和硫化胶各项性能。第 2 篇为密封剂篇，共计 10 章。详述了用于航空、航天、建筑、水利水电、城市市政建设等方面所用密封材料基础知识，包括密封剂基体材料的化学结构、特性，各类配合剂的结构特性及密封剂的制备工艺、性能和应用实例以及密封剂使用过程中出现的各类问题及解决方法。在突出材料实用性同时相应地融入高分子材料的理论知识，使实用性和知识性相结合，理论指导生产实践。

本书由张洪雁、曹寿德、王景鹤研究员策划和主编。此外参加橡胶篇编写的还有王珍、刘金岭、苏正涛、马恩弟、米志安、李跟华、栗付平。参加密封剂篇编写还有周军辉、刘嘉、吴松华、齐士成、黄梅星、潘大海、蔺艳琴、韩永采、潘广萍。全书由杨希仁研究员审校。在编写的过程中得到李利、方沅荣、蒋洪罡、周易文、史敏、罗华同志的热心帮助，在此表示感谢。

希望本书能对从事结构设计、选材和应用的工程技术人员有所帮助，对新装备的发展起到一定促进作用。由于水平有限，不当之处在所难免，敬请批评指正。

编者

2007 年 1 月 8 日

目 录

绪论	1
参考文献	5

第 1 篇 高性能橡胶胶料

第 1 章 天然橡胶胶料	8
1.1 概述	8
1.2 生胶的结构和特性	8
1.3 硫化胶的物理及力学性能	9
1.4 胶料加工工艺	12
1.5 应用	13
参考文献	14
第 2 章 丁苯橡胶胶料	15
2.1 概述	15
2.2 生胶的结构与特性	17
2.3 丁苯硫化胶的物理及力学性能	20
2.4 丁苯橡胶胶料加工工艺	21
2.4.1 丁苯橡胶胶料的配合技术	21
2.4.2 丁苯橡胶胶料的加工	22
2.5 应用	22
参考文献	23
第 3 章 氯丁橡胶胶料	24
3.1 概述	24
3.2 氯丁橡胶的结构和特性	25
3.2.1 耐热性	26
3.2.2 耐寒性	26
3.2.3 耐臭氧性	26
3.2.4 阻燃性	27
3.2.5 电性能	27
3.2.6 耐介质性能	27
3.3 硫化胶的物理及力学性能	27
3.4 氯丁橡胶胶料的加工工艺	29
3.4.1 氯丁橡胶胶料的配合技术	29
3.4.2 氯丁橡胶胶料的加工	31
3.5 应用	31

参考文献	33
第4章 乙丙橡胶胶料	34
4.1 概述	34
4.2 生胶的结构和特性	35
4.2.1 生胶的结构	35
4.2.2 生胶的特性	37
4.3 硫化胶的物理及力学性能	39
4.4 乙丙橡胶胶料的加工工艺	42
4.4.1 乙丙橡胶胶料的配合技术	42
4.4.2 乙丙橡胶胶料的加工	46
4.5 应用	47
参考文献	47
第5章 丁腈橡胶胶料	48
5.1 概述	48
5.1.1 羧基丁腈橡胶	50
5.1.2 丁腈酯橡胶	50
5.1.3 氢化丁腈橡胶	50
5.2 生胶的结构和特征	51
5.2.1 耐介质性能	52
5.2.2 耐寒性能	53
5.2.3 耐热性能	54
5.2.4 物理及力学性能	56
5.2.5 耐透气性	56
5.3 硫化胶的物理及力学性能	59
5.4 胶料加工工艺	69
5.4.1 胶料的制备	69
5.4.2 橡胶制品的成型	70
5.4.3 橡胶制品的硫化	72
5.5 应用	74
参考文献	76
第6章 硅橡胶胶料与氟硅橡胶胶料	77
6.1 硅橡胶胶料概述	77
6.1.1 硅橡胶的结构与特性	78
6.1.2 硅橡胶硫化胶物理及力学性能	89
6.1.3 硅橡胶胶料加工工艺	93
6.1.4 应用	94
6.2 氟硅橡胶胶料	95
6.2.1 概述	95
6.2.2 氟硅橡胶的结构和特性	95
6.2.3 特殊性能的氟硅橡胶胶料	103

6.2.4	氟硅硫化胶的物理及力学性能	105
6.2.5	胶料加工工艺	108
6.2.6	应用	109
	参考文献	109
第7章	氟橡胶胶料	112
7.1	概述	112
7.1.1	氟烯烃共聚物	112
7.1.2	四丙氟橡胶	112
7.1.3	亚硝基氟橡胶	113
7.1.4	磷、氮、碳主链的含氟弹性体	113
7.2	生胶的结构和特性	114
7.2.1	氟橡胶的结构表征	115
7.2.2	耐热性能	116
7.2.3	低温性能	119
7.2.4	耐介质性能	122
7.2.5	其他性能	125
7.3	硫化胶的物理及力学性能	127
7.4	胶料加工工艺	136
7.5	应用	138
	参考文献	140
第8章	阻尼减振橡胶	141
8.1	概述	141
8.2	阻尼和振动隔离的基本原理	141
8.2.1	阻尼的基本原理	141
8.2.2	振动隔离的基本原理	142
8.2.3	附加阻尼减振	144
8.2.4	阻尼减振橡胶的特性	145
8.3	阻尼减振橡胶材料的配方设计	149
8.3.1	不同用途的阻尼减振结构对动态性能的要求	149
8.3.2	阻尼减振橡胶的组分对动态性能的影响	150
8.3.3	两种不同用途阻尼减振橡胶配方特点	150
8.4	阻尼减振橡胶及其制品的性能	151
8.4.1	减震器用胶料及制品的性能	151
8.4.2	阻尼处理用减振橡胶材料的性能	155
8.5	阻尼减振技术的应用	158
	参考文献	158
第9章	导电橡胶胶料	160
9.1	概述	160
9.2	导电橡胶的基本原理	160
9.3	导电填料类型和特征	162

9.3.1 炭系列导电填料	162
9.3.2 金属类导电填料	163
9.3.3 导电填料的基本性能	164
9.4 导电橡胶的配方设计	164
9.4.1 导电填料的选择	164
9.4.2 导电橡胶基胶的选择	166
9.4.3 硫化体系的选择	166
9.4.4 影响橡胶导电性的其他因素	167
9.5 国内外导电橡胶性能	168
9.6 导电橡胶制品生产工艺	170
9.7 应用	170
参考文献	171
第10章 橡胶胶黏剂	172
10.1 概述	172
10.2 粘接的概念和选择胶黏剂的基本要求	172
10.2.1 胶黏剂与密封剂的关系	173
10.2.2 粘接破坏的形式	173
10.2.3 选择适宜胶黏剂应考虑的重要因素	173
10.2.4 对胶黏剂和被粘材料的基本要求	173
10.3 粘接的基本理论	176
10.3.1 粘接力和内聚力	176
10.3.2 粘接理论	176
10.4 各种橡胶胶黏剂特点和性能	179
10.4.1 天然橡胶胶黏剂	180
10.4.2 氯丁橡胶胶黏剂	181
10.4.3 丁腈橡胶胶黏剂	183
10.4.4 硅橡胶胶黏剂	185
10.4.5 氟橡胶胶黏剂	188
10.4.6 橡胶制品防老化涂料	190
10.4.7 胶黏底涂和胶黏促进剂	192
参考文献	197

第2篇 密 封 剂

第11章 聚硫密封剂	200
11.1 概述	200
11.2 聚硫密封剂基体材料类型、结构、合成和基本特征	200
11.2.1 聚硫密封剂基体材料类型、化学结构和合成	200
11.2.2 硫端基液体聚硫聚合物的基本特性	203
11.2.3 硅烷-硫基团端基液体聚硫聚合物的基本特性	205

11.3 聚硫密封剂基本组成和制备工艺	205
11.3.1 聚硫密封剂基本组成	205
11.3.2 聚硫密封剂的制备工艺	215
11.4 聚硫密封剂的性能	216
11.4.1 硫端基聚硫密封剂的性能	216
11.4.2 硅烷-硫基团端基聚硫密封剂的性能	221
11.5 应用示例	221
11.5.1 各类飞机上使用的硫端基液体聚硫密封剂	221
11.5.2 燃料系统用硫端基聚硫密封剂	225
11.5.3 飞机座舱等空气系统用硫端基聚硫密封剂	231
11.5.4 硅烷-硫基团封端聚硫聚合物为基体的密封剂	237
参考文献	239
第12章 改性聚硫密封剂	240
12.1 概述	240
12.2 改性聚硫密封剂基体材料类型、结构、合成和基本特性	240
12.2.1 聚硫代醚聚合物的类型、结构、合成和基本特性	240
12.2.2 双硫端基聚合物改性液体聚硫橡胶的结构、合成和基本特性	242
12.3 改性聚硫密封剂基本组成和制备工艺	244
12.3.1 聚硫代醚聚合物密封剂的基本组成和制备工艺	244
12.3.2 双硫基二乙基硫醚改性硫端基液体聚硫橡胶密封剂基本组成和制备工艺	245
12.4 改性聚硫密封剂的性能	246
12.4.1 硫端基氨基酯基改性液体聚硫橡胶基密封剂性能	246
12.4.2 聚硫代醚聚合物基密封剂性能	246
12.4.3 双硫基二乙基硫醚改性密封剂的性能	248
12.5 应用实例	249
12.5.1 聚硫代醚聚合物基密封剂应用实例	249
12.5.2 北京航空材料研究院研制的 Permapol P-5 基密封剂应用实例	250
参考文献	251
第13章 丁腈橡胶密封剂	252
13.1 概述	252
13.2 通用型固态丁腈橡胶密封剂基本组成和制备工艺	252
13.2.1 单组分丁腈橡胶密封剂基本组成	252
13.2.2 单组分丁腈橡胶密封剂的制备工艺	253
13.3 单组分丁腈橡胶密封剂的性能	253
13.4 应用实例	254
参考文献	257
第14章 有机硅密封剂	258
14.1 概述	258
14.2 有机硅密封剂基体聚合物的类型、结构、合成与基本特征	259

14.2.1	液体聚硅氧烷类型和结构	259
14.2.2	生胶的合成	260
14.2.3	生胶基本特性	260
14.3	有机硅密封剂基本组成和制备工艺	261
14.3.1	基本组成	261
14.3.2	有机硅密封剂制备工艺	266
14.4	有机硅密封剂的配方与性能	267
14.4.1	缩合型有机硅密封剂的配方与性能	267
14.4.2	加成型有机硅密封剂的配方及性能	271
14.5	有机硅密封剂的应用实例	273
14.5.1	单组分有机硅密封剂应用实例	275
14.5.2	缩合型多组分有机硅密封剂应用实例	278
14.5.3	加成型有机硅密封剂应用实例	283
	参考文献	284
第 15 章	氟硅、氟硅亚苯基密封剂	285
15.1	概述	285
15.2	氟硅、氟硅亚苯基密封剂基体材料类型、结构和基本特性	285
15.2.1	氟硅低聚物类型和结构	285
15.2.2	氟硅低聚物基本特性	286
15.3	密封剂基本组成和制备工艺	289
15.3.1	加成型液体氟硅密封剂的基本组成和制备工艺	289
15.3.2	羟基封端氟硅密封剂基本组成和制备工艺	290
15.4	密封剂的性能	290
15.4.1	乙烯基封端氟硅密封剂的性能	290
15.4.2	羟基封端氟硅密封剂的性能	290
15.4.3	羟基封端氟硅亚苯基密封剂的性能	290
15.5	应用实例	291
15.5.1	羟基封端氟硅类密封剂应用实例	291
15.5.2	羟基封端氟硅亚苯基密封剂应用实例	293
	参考文献	296
第 16 章	聚氨酯密封剂	297
16.1	概述	297
16.2	聚氨酯密封剂基体材料类型、结构与合成	297
16.2.1	聚氨酯密封剂基体材料类型、结构	297
16.2.2	聚氨酯预聚体的合成	311
16.2.3	聚氨酯预聚体的特性	314
16.3	聚氨酯密封剂基本组分和制备工艺	315
16.3.1	聚氨酯密封剂基本组分	315
16.3.2	聚氨酯密封剂制备工艺	316
16.4	聚氨酯密封剂的性能	317

16.4.1	自流平型、非下垂型聚氨酯密封剂性能	317
16.4.2	双组分浇注灌封密封料的性能	317
16.5	应用实例	319
16.5.1	单组分非下垂型聚氨酯密封剂	319
16.5.2	双组分自流平型聚氨酯密封剂	320
16.5.3	双组分非下垂型聚氨酯密封剂	322
16.5.4	双组分浇注灌封密封料	323
16.5.5	有机硅改性耐水聚氨酯粘接密封剂	326
	参考文献	327
第 17 章	特殊功能密封剂	328
17.1	阻蚀型密封剂	328
17.1.1	概述	328
17.1.2	阻蚀型密封剂基本组成和制备工艺	329
17.1.3	阻蚀型密封剂的性能	331
17.1.4	阻蚀密封剂应用实例	332
17.2	低粘接力密封剂	335
17.2.1	低粘接力密封剂基本组成和制备工艺	335
17.2.2	低粘接力密封剂的性能	336
17.2.3	低粘接力密封剂应用实例	337
17.3	阻燃密封剂	339
17.3.1	阻燃密封剂基本组成和制备工艺	340
17.3.2	阻燃密封剂的性能	345
17.3.3	应用实例	345
17.4	导电密封剂	348
17.4.1	概述	348
17.4.2	导电密封剂基本组成和制备工艺	354
17.4.3	导电密封剂的性能	358
17.4.4	应用实例	358
17.5	导热密封剂	361
17.5.1	概述	361
17.5.2	绝缘导热密封剂基本组成和制备工艺	361
17.5.3	绝缘导热密封剂的性能	362
17.5.4	导热密封剂应用实例	362
17.6	发泡密封剂	364
17.6.1	概述	364
17.6.2	发泡密封剂基本组成和制备工艺	365
17.6.3	发泡密封剂的性能	371
17.6.4	发泡有机硅密封剂应用实例	371
17.7	防霉密封剂	373
17.7.1	概述	373

17.7.2	防霉密封剂基本组成和制备工艺	373
17.7.3	防霉密封剂的性能	375
17.7.4	防霉密封剂应用实例	377
	参考文献	378
第18章	密封剂粘接底涂	380
18.1	概述	380
18.2	密封剂粘接底涂的类别、结构、基本特征、组成和制备工艺	380
18.2.1	偶联型粘接底涂的类别、结构、基本特征、组成和制备工艺	380
18.2.2	异氰酸酯型粘接底涂的类别、结构、基本特征、组成和制备工艺	385
18.2.3	环氧型粘接底涂的类别、结构、基本特征、组成和制备工艺	386
18.3	密封剂粘接底涂的应用	386
18.3.1	粘接底涂的使用工艺	386
18.3.2	粘接底涂的性能	387
	参考文献	392
第19章	不硫化密封剂	393
19.1	概述	393
19.2	不硫化密封剂生胶类型和基本特性	394
19.2.1	有机硅类不硫化密封剂生胶类型和基本特性	394
19.2.2	丁基橡胶生胶类型和基本特点	395
19.2.3	聚异丁烯橡胶生胶类型和基本特点	395
19.2.4	不硫化聚丁二烯密封剂生胶类型和基本特点	395
19.2.5	不硫化氯丁橡胶密封剂生胶类型和基本特点	396
19.2.6	不硫化聚氨酯密封剂生胶类型和基本特点	396
19.3	不硫化密封剂基本组成和制备工艺	397
19.3.1	基本组成	397
19.3.2	制备工艺	400
19.4	不硫化密封剂性能和应用实例	401
19.4.1	不硫化有机硅类密封剂性能和应用实例	401
19.4.2	不硫化丁基密封剂性能和应用实例	408
19.4.3	不硫化聚异丁烯密封剂性能和应用实例	412
19.4.4	不硫化聚硫橡胶密封剂性能和应用实例	413
19.4.5	不硫化聚丁二烯密封剂性能和应用实例	414
19.4.6	不硫化氯丁密封剂性能和应用实例	415
19.4.7	不硫化聚氨酯密封剂性能和应用实例	416
	参考文献	418
第20章	密封工艺	419
20.1	前言	419
20.2	密封工艺	419
20.2.1	室温硫化密封剂密封工艺基本要求	419
20.2.2	密封工艺技术要求	419

20.2.3 密封质量检验 435

20.2.4 密封失效的修理 436

20.2.5 安全与卫生 438

参考文献 438

结束语..... 439

附录一 橡胶胶料的研制和生产单位 442

附录二 密封剂的研制和生产单位 445

绪 论

流体（气体、液体）的密封是国民经济各个领域所必需的一门通用技术，不仅建筑、石油化工、船舶、机器制造、能源交通、环境保护等工业都离不开密封技术，航空、航天、武器装备等尖端工业也与密封紧密相关。20 世纪以来飞机制造业取得了长足的进步：飞行速度最高达到了音速的 3 倍，飞行高度超过 20000m，连续飞行距离达到 20000km 以上。这种“更高、更远、更快”成就的取得是在一系列复杂技术问题得到解决后实现的，而密封技术就是实现这个目标的关键技术之一。人类在高空飞行的生存空间必须能满足维持生命的基本条件，即氧气的密度和环境温度。随着飞行高度的增加，氧气密度和环境温度都要急剧下降。人类肺部呼吸的氧气能使血液饱和程度达 80%~85% 时，氧气分压最低允许值为 $(0.62 \sim 0.66) \times 10^4 \text{ Pa}$ ，这个压力相当于 4500m 高度的氧气分压值，超过这个高度人就会感到缺氧和出现高空病反应，这也是非气密座舱飞机飞行的极限；超过 6000m 高度，人的思维能力和机体功能开始被破坏，称为生命危险区；在 8000m 高度以上，人的生理机能大部分被破坏，即使是迅速供养和降低高度也不能挽救生命。飞机每升高 100m，大气层温度降低 0.65°C ，达到 11000m 时温度降至 -56.5°C ，长时间的过冷会引起人的死亡，所以实现高空飞行必须采用气密座舱并配置氧气增压、加温装置以及空气调节系统。一架远程客机如果起飞质量为 150~180t，其中燃料质量为 50%~55%，亦即在飞机上大约要携带 100t 燃料，解决携带燃料最佳方法是利用飞机结构中未被占用空间作为容积来贮存燃料，这就是机翼和机身整体油箱。此外，飞机的燃油、液压、冷气、氧气、润滑系统和操纵运动的伺服机构内都装配有大量的密封零件来保证发动机正常工作和飞机安全飞行。一架大型客机上使用的密封制品达 10000~15000 项，密封剂的用量达 1t。密封技术的应用领域是十分广泛的，凡是涉及流体贮存、传输、能量转换的装置都存在着密封问题。密封失效造成的后果也是十分严重的，轻者“跑、冒、滴、漏”造成能源和资源的浪费，重者会使操纵失效，甚至产生爆炸、火灾并危及人身安全。1986 年美国挑战号航天飞机推进器内 O 形密封环出现故障造成机毁人亡，俄罗斯联盟号宇宙飞船返回舱燃料泄漏，数名宇航员死于非命；我国东方红三号卫星升空后管路泄漏无法正常工作。据初步统计机械设备和武器装备的质量事故中 1/3 以上是由于密封失效引起的漏油、漏气、漏液，所以机械设备设计者和制造厂应对密封问题加以足够重视。

一台机器设备和贮存流体的容器是由零部件装配而成的。零部件连接处的间隙就是流体泄漏的通路，借助具有塑性和弹性的密封材料或制品使零部件连接面紧密贴合，堵塞缝隙，阻止液体的渗出和气体的逃逸，起到密封作用。两个有相对运动的零部件间隙的密封称为活动密封，两个零部件相对静止间隙的密封为固定密封。贮存流体的容器是用成型的板材、加强肋和衍条通过铆接、螺接、焊接或胶焊装配

成的，将密封剂涂覆在零部件间隙内的密封称为缝内密封；涂覆零部件表面称为缝外（表面）密封，在缝内和表面都涂覆密封剂称为混合密封。如果零部件刚度大、变形小，可在金属结构件中加工沟槽，在沟槽内充填不硫化密封剂即腻子，这种密封形式称为沟槽密封。

（1）密封的结构形式 橡胶密封结构形式是十分繁多的，主要根据机器设备的功能和被密封零部件的工况条件来选取。最常用的密封结构是：各种壳体和机盖、管接头、端头密封多采用各种截面形状（圆形、矩形、V形）的密封圈或垫片进行固定密封；伺服机构助力作动筒的活塞头和杆、油泵的旋转轴采用活动密封结构方式；在舱体、门窗和各种口盖部位选用各种截面形状的橡胶型材，利用型材的唇部、空腔、凸缘等部位的弹性与接触表面产生的接触压力起密封作用；歼击机座舱采用气密胶带的密封形式，胶带嵌入机身与舱盖接触边缘，当充入压缩空气，胶带膨胀紧密压合在舱盖边缘，保证座舱的密封，放出压缩空气后，胶带恢复原状，座舱盖与机身出现间隙，很容易打开座舱。这些零部件的密封是靠各种形状的橡胶制品达到的，在过盈配合下橡胶制品被压缩，其弹性恢复对密封表面形成接触应力，使橡胶与被密封面紧密贴合保证流体不泄露。对一些大型结构件，如飞机客舱和整体油箱，宇宙飞船壳体结构，火车、汽车、船舶厢体，房屋建筑防雨、绝热玻璃密封，桥梁结构和公路路面伸缩缝，污水处理沉淀池和曝气池池体的密封，其密封面庞大、形状复杂，难于采用橡胶制品进行密封，多采用膏状密封剂进行间隙的密封。将密封剂涂覆于密封结构表面和填堵渗漏间隙，对所接触的结构表面产生足够粘接力确保密封。

（2）密封用橡胶及其他合成材料 随着科学技术的发展，密封结构的工作条件更加苛刻。由于被密封流体的温度、压力和腐蚀性有大幅度的提高，传统的密封材料如毛毡、麻丝、石棉丝、油灰等已不能满足使用要求，其逐渐被橡胶及其他合成材料所代替。橡胶和其他合成材料是一种高分子聚合物，在大分子链上带有不同特征的官能团（如氯、氟、氰基、乙烯基、巯基、异氰酸基、羟基、烷氧基、肟基等）而成为活性交联点。在催化剂、硫化剂或高温、高能射线作用下，大分子活化点间交联呈网状结构，这个过程称为硫化。硫化后的橡胶和其他合成大分子由线型结构、支化结构转变成网状结构，大分子失去原有的流动性，成为具有高弹变形的弹性体。近70年来新兴工业的不断出现，特别是尖端工业和武器装备的发展，由橡胶树汁提炼成的天然橡胶使用受到限制，高分子合成工业根据需求研制出一大批耐低温、耐油和化学介质、力学性能优异的合成聚合物加入密封材料行列。在现代工业中主要使用的有天然橡胶、氯丁橡胶、氯醇橡胶、丁基橡胶、丁苯橡胶、乙丙橡胶、氟橡胶以及有固体和液体两种物理状态的合成聚合物，如丁腈橡胶、顺丁橡胶、聚异丁烯橡胶、聚氨酯橡胶、聚氨酯树脂、丙烯酸酯橡胶、丙烯酸树脂、聚硫橡胶、硅橡胶、有机硅树脂、氟硅类橡胶、氟醚橡胶等基体材料。聚合程度高的聚合物是固状物，大部分用于制造各种橡胶密封制品；分子量较小（聚合度 $2 \sim 10^4$ ）的低聚物是黏稠液体，主要用于制造密封剂。

由橡胶制作橡胶制品时，一般要先进行塑炼，然后加入各种填料、防老剂、增