

橡胶密封制品 实用加工技术

● 刘印文 刘振华 刘涌 编著



化学工业出版社

材料科学与工程出版中心

橡胶密封制品实用加工技术

刘印文 刘振华 刘涌 编著

化学工业出版社

材料科学与工程出版中心

·北 京·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

橡胶密封制品实用加工技术/刘印文, 刘振华, 刘涌
编著. —北京: 化学工业出版社, 2002.5
ISBN 7-5025-3430-X

I. 橡… II. ①刘…②刘…③刘… III. 橡胶制
品: 密封制品 IV. TQ336.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 004927 号

橡胶密封制品实用加工技术

刘印文 刘振华 刘涌 编著

责任编辑: 宋向雁

责任校对: 凌亚男

封面设计: 于 兵

*

化 学 工 业 出 版 社 出版发行
材料科学与工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

化学工业出版社印刷厂印刷

三河市前程装订厂装订

开本 850×1168 毫米 1/32 印张 15½ 字数 418 千字

2002 年 6 月第 1 版 2002 年 6 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-3430-X/TQ·1417

定 价: 35.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

橡胶密封制品是密封装置中的一类通用基础元件，在泄漏和密封这一对矛盾中扮演十分重要的角色。在人类征服自然的过程中，解决泄漏和密封问题。一直是推动技术进步、防止和减少环境污染的重要途径。随着科技的进步和人们生活水平的提高，各种密封装置将越来越多、越来越好，从而可以预见，“密封技术”或密封专业永远不会失业。橡胶密封制品是密封技术中广泛应用的一类橡胶制品。这是因为橡胶是具有宝贵弹性的高分子材料，在较宽的温度范围内，在不同的介质中，给予较小的应力就会产生较大的变形。这种变形可以提供接触压力，补偿泄漏间隙，达到密封的目的。其他橡胶制品如轮胎、胶布胶管、胶鞋、橡胶减震制品、模型制品、胶板和乳胶制品等，按国际标准分类，虽然不属于橡胶密封制品，但它们仍在不同程度地施展其密封性能。由此可见，研究橡胶密封制品技术，不仅对密封装置中的密封件有用，触类旁通，对其他橡胶制品的研究也有参考价值。当然橡胶密封制品加工技术也不是孤立存在的，它采用的基本理论和基本工艺过程与其他橡胶制品基本相同。尽管橡胶密封制品涉及的生胶材料和配合剂品种比其他橡胶制品多得多，其品种规格更复杂，但像炼胶、硫化等基本工艺都是必不可少的。因此，橡胶密封制品加工技术也是其他橡胶制品加工工艺的延伸和继续。

虽然我国橡胶密封制品比其他橡胶制品起步晚，但是在经历了由仿制、独创到引进国外先进技术几个阶段后，由于汽车、摩托车工业的带动，促使一些高科技的特种橡胶密封件，迅速由军工向民用的转变，从而使我国目前的橡胶密封制品加工厂家风起云涌，形成了鱼龙混杂的不平衡的格局。既有全部引进的现代化橡胶密封件厂、合资厂，也有十分简陋的小作坊。很多工厂既没有技术人员，

也没有测试手段，对橡胶密封制品的加工缺乏基本知识，加工工艺规程和安全生产都得不到保证。一些质次价低或质次价高的产品流入市场，不仅起不到密封作用，而且泄漏的介质（如油、气、化学药品等），还会污染环境。表面看来，橡胶密封制品结构简单，零件个头较小，工艺也不复杂。然而，要制造出寿命长、品质高、满足用户使用要求的橡胶密封制品也是很不容易的。尤其是一些新的密封装置在不断涌现，对密封制品的技术要求越来越苛刻，从而进一步推动新产品的研制和开发。因此，很有必要对橡胶密封制品的加工技术进行普及和提高。

为了使从事橡胶密封制品研究和生产的人员对橡胶密封制品的加工技术有一个系统的了解，作者根据自己多年从事密封制品科研和生产的经验和国内外有关橡胶密封制品生产厂家的相关资料，参照国际标准，仍以橡胶密封制品（Rubber seals）为关键词（把橡塑密封件、嵌金属的橡胶密封件、夹织物橡胶密封件等都作为以橡胶为主的密封件，统称为橡胶密封制品），从制品的密封理论入手，介绍了橡胶密封制品的加工工艺、结构设计、配方设计、胶料和半成品制造、骨架处理和硫化粘合、硫化、修整和胶料再生、模具和工装、检验、标志、包装、运输、贮存和安装等内容。由于编者的水平所限，谬误在所难免，敬请广大读者批评指正。

编者

2002年2月

内 容 提 要

橡胶密封制品是一类用于国民经济和国防工业各部门，特别是汽车、机械、航空航天等行业的重要部件。密封制品的性能和质量直接影响行业的发展水平。本书以橡胶密封制品的加工生产为主线，全面介绍了橡胶密封制品的分类和特点，重点内容为工艺流程、结构设计、配方与原材料、半成品制造、骨架处理与硫化粘合、硫化工艺及修整和再生技术。除此之外，还介绍了橡胶密封制品的模具和工装、检验等。本书的特点是资料新颖，紧密结合生产实际中出现的问题，非常全面和实用。书中大部分内容是作者几十年实际生产经验的汇集，同时也体现了国外密封制品的最新发展，对于广大从事橡胶密封制品科研开发和生产、应用的技术人员有很高的参考价值。

目 录

第一章 绪论	1
1.1 概述	1
1.2 橡胶密封制品的分类	3
1.3 橡胶密封的基础理论	5
1.3.1 静态橡胶密封的一般原理	6
1.3.2 橡胶密封的动态密封理论	6
1.4 橡胶密封制品的加工工艺特点	22
1.4.1 生产工艺管理复杂	22
1.4.2 加工工艺多元化	22
1.4.3 质量监控手段多样化	23
1.4.4 加工工艺精细化	24
1.5 橡胶密封制品的发展动向	24
1.5.1 密封理论	24
1.5.2 橡胶密封制品加工技术	26
1.5.3 橡胶密封制品原材料	28
1.5.4 标准和测试技术	31
参考文献	32
第二章 橡胶密封制品的生产工艺流程	34
2.1 橡胶密封制品的主要生产工艺过程	34
2.2 典型橡胶密封制品的生产工艺流程	35
2.2.1 橡胶 O 形圈	35
2.2.2 橡胶骨架油封	36
2.2.3 橡胶夹布密封件	37
2.2.4 其他橡胶密封件	39
2.3 不同品种生胶的胶料制造工艺流程	45
2.4 环保型橡胶密封制品生产工艺流程	46
参考文献	48

第三章 橡胶密封制品的结构设计	49
3.1 橡胶密封制品的设计依据	49
3.1.1 环境（工况）的影响	49
3.1.2 金属骨架和弹簧材料的影响	50
3.1.3 轴的影响	51
3.1.4 腔体	51
3.2 橡胶密封制品的设计原则	55
3.2.1 一般原则	55
3.2.2 典型橡胶密封制品的设计原则	57
3.3 典型橡胶密封制品的结构参数	80
3.3.1 O形橡胶密封圈	80
3.3.2 旋转轴唇形密封圈	83
3.3.3 往复运动唇形密封圈	90
3.3.4 金属骨架的设计	100
3.3.5 弹簧的设计	102
参考文献	106
第四章 橡胶密封制品的配方设计及主要原材料	107
4.1 橡胶密封制品的配方设计	107
4.1.1 基本配方（基础配方）	107
4.1.2 性能配方（技术配方）	108
4.1.3 生产配方（实用配方）	109
4.1.4 配方设计的程序	109
4.1.5 配方的格式和成本计算	111
4.1.6 配方的设计方法	114
4.2 典型配方介绍	122
4.2.1 一般橡胶密封圈	122
4.2.2 特种用途橡胶密封制品	132
4.3 橡胶密封制品主要原材料	135
4.3.1 橡胶类材料	135
4.3.2 塑料和树脂类	166
4.3.3 配合剂类	172
参考文献	199
第五章 橡胶密封制品的胶料及半成品制造工艺	201

5.1 胶料配炼	201
5.1.1 生胶及配合剂的加工	201
5.1.2 胶料配合工艺	203
5.1.3 炼胶工艺	204
5.1.4 滤胶工艺	226
5.1.5 混炼胶的快速检验	227
5.2 橡胶密封制品胶料半成品的制造	232
5.2.1 热炼工艺	232
5.2.2 半成品胶坯的制造	233
5.2.3 半成品的停放与贮存	251
参考文献	252
第六章 橡胶密封制品的骨架处理和硫化粘合	253
6.1 橡胶密封制品的骨架处理	253
6.1.1 嵌金属骨架的处理	253
6.1.2 非金属材料的表面处理	262
6.2 橡胶-金属密封制品的硫化粘合	267
6.2.1 粘合的基本理论	267
6.2.2 涉及粘合的基本力学知识	268
6.2.3 橡胶与金属粘合用硫化型粘合剂	270
6.3 橡胶与其他非金属材料的硫化粘合	289
6.3.1 橡胶与树脂成型品的硫化粘合	289
6.3.2 树脂注射成型嵌入硫化橡胶的粘合	290
6.3.3 橡胶与聚四氟乙烯的粘合	291
6.3.4 橡胶与橡胶的粘合	291
参考文献	294
第七章 橡胶密封制品的硫化	296
7.1 橡胶密封制品硫化机理	296
7.1.1 硫化	296
7.1.2 硫化反应历程	296
7.1.3 橡胶密封制品硫化的目的	296
7.1.4 硫化三要素	296
7.1.5 硫化曲线	298
7.1.6 正硫化状态的确定	298

7.2 橡胶密封制品硫化条件	299
7.2.1 等效硫化时间	300
7.2.2 硫化温度的确定	304
7.2.3 硫化压力的确定	305
7.3 橡胶密封制品硫化方法	306
7.3.1 模型硫化（一段硫化）	306
7.3.2 连续硫化	334
7.3.3 硫化罐硫化	343
7.4 橡胶密封制品二次硫化	346
7.4.1 二次硫化的目的	346
7.4.2 二次硫化的方法	347
7.4.3 取消二次硫化	349
7.5 脱模剂的选择和应用	352
7.5.1 脱模剂的分类	353
7.5.2 脱模剂的特点	353
7.5.3 典型脱模剂介绍	355
7.5.4 对脱模剂的性能要求和选择要点	357
参考文献	358
第八章 橡胶密封制品的修整及再生技术	360
8.1 橡胶密封制品的修整	360
8.1.1 手工修整	360
8.1.2 机械修整	361
8.1.3 橡胶密封制品的后处理技术	366
8.2 橡胶密封制品胶边的再生技术	369
8.2.1 二烯类橡胶含硫黄硫化体系橡胶密封件胶边的再生技术	369
8.2.2 氟橡胶硫化胶的再生	375
8.2.3 其他硫化橡胶的再生利用	377
参考文献	381
第九章 橡胶密封制品的模具和工装	382
9.1 橡胶密封制品的模具	382
9.1.1 模具在橡胶密封制品生产中的作用及其特点	382
9.1.2 模压制品废品原因分析	384
9.1.3 橡胶密封制品模具的材质要求	387

9.1.4	橡胶密封制品模具的结构种类和定位	392
9.1.5	胶料收缩率的测定及其规律性	394
9.1.6	模具各部位尺寸的确定	398
9.1.7	模具的表面污染及清洗方法	401
9.2	橡胶密封制品工装	414
	参考文献	418
第十章	橡胶密封制品的检验、包装、运输、贮存	419
10.1	橡胶密封制品的检验	419
10.1.1	外观质量检验	419
10.1.2	成品的性能试验	431
10.2	橡胶密封制品的标志、包装、运输和贮存	433
10.2.1	橡胶密封制品的标志	433
10.2.2	橡胶密封制品的包装	436
10.2.3	橡胶密封制品的运输	436
10.2.4	橡胶密封制品的贮存	436
10.3	橡胶密封制品的安装与装配示例	438
10.3.1	安装	438
10.3.2	装配示例	443
	参考文献	450
附录 1	橡胶密封制品国家及行业标准目录	451
附录 2	橡胶密封制品所需材料代号和商品名	457
附录 3	橡胶密封制品术语	460
附录 4	主要橡胶材料与各种介质的相容性	464

第一章 绪 论

1.1 概 述

橡胶密封制品是以橡胶为基材制造的、用于防止流体介质从机械、仪表的静止部件或运动部件泄漏，并防止外界灰尘、泥沙及空气（对于高真空而言）进入密封机构内部的部件。橡胶是具有独特力学性能的高分子材料，主要表现为在低应力下会产生大变形，在变形后具有能恢复其原始形状的高弹性；其泊松比接近 0.5^[1]，即在压缩下体积可以基本保持不变，与液压和气动工作液或润滑剂有较好的相容性，通过变换橡胶品种及其配方可以调节它的各种性能。然而，孤立的橡胶密封件并不能表现出它的工作性能，必须与特定外界因素联系起来才有可能表现出工作特性。

密封装置是由橡胶密封制品（零件，复合件和组合件的结构形式和材质）、润滑介质（液体或其他减摩材料）、安装腔体（形状、表面特征、加工精度以及相对运动方式）3 部分组成的不可分割的整体^[2]。在橡胶密封件的设计、制造和应用过程中，必须与密封装置的相关部分相互衔接，配套实施。

橡胶密封制品的作用重要、结构独特，具有装配维修方便、使用可靠、成本适中、用途广泛等特点，早已引起国内外各工业部门的关注。在国民经济和国防工业各部门占有非常重要的地位^[3]，已经成为不可缺少的基础件。众所周知，除橡胶密封件外，还有其他密封件，例如塑料、石棉、皮革、机械密封件。在五类密封件中，橡胶密封件以其通用性、高效率、宽范围占有独特地位，而且随着机械行业的技术进步用量不断增加。例如 20 世纪 80 年代的 1 台汽车使用 36 件橡胶密封件，现在的轿车已用 240 多件；过去苏制火炮的复进机构采用牛皮做密封圈，现在一律改用橡胶密封件。例如

国防工业，从卫星上天到核潜艇下水，都离不开橡胶密封件。可以毫不夸张地说，现代工业离不开橡胶密封件。这些橡胶密封件，零件虽小，作用巨大，在关键部位的橡胶密封零件“差之毫厘，失之千里”。现代社会的 3 大支柱：材料、能源和信息产业更离不开橡胶密封件。在人类生存的环境中，泄漏和密封这一对矛盾，将始终存在，因此，以弹性体橡胶为代表的密封件专业也将长期存在。

橡胶密封制品的质量直接影响各种密封装置的使用性能，一旦密封失灵，不仅会漏油、漏水、漏气，甚至还可导致恶性事故。例如震惊世界的 1986 年美国“挑战者”号航天飞机在发射 74s 后爆炸，就是一起由于助推器尾部外壳连接间的两个氟橡胶密封圈失灵而引起的恶性事故。在煤炭工业中，我国在 20 世纪 70 年代实施了采煤综合机械化。在综合采煤设备的密封装置中，广泛采用了各种橡胶密封件，其中包括高压密封件、同轴密封件、印刷密封件等关键密封件，这些基础元件一旦在工作状态下失灵，就会出现“顶不住，开不动、走不了”等井下事故，直接影响采煤工人的生命安全。再如飞速发展的汽车工业，采用橡胶密封件的目的是防止泄漏、防止环境污染。一旦密封件失灵，不仅会造成事故，造成“行车一条线，停车一大片”的“三漏”现象，而且会危及周围环境。

随着密封装置的不断完善，其结构形式和使用性能的多样性，必然导致橡胶密封制品及其制作材料的多样性和复杂性。高性能、长寿命又是保证密封装置正常运转的先决条件。因此，不难发现橡胶密封件所涉及的橡胶品种及其原材料是橡胶行业中最多的专业，所涉及的材料学科，精密程度和方法、标准也是最广的。在某种意义上讲，橡胶密封件是多学科交叉的产物，它综合了高分子弹性体化学、力学、摩擦和润滑学等多种学科。因此，橡胶密封件不是一般的化工产品，而是精细化工产品；它不是易损件，而是通用基础元件。在机械行业中，它与液压元件，电器元件，弹簧，阀门等通用基础元件一样，属于必不可少的基础件。尽管在实际应用中还存在对橡胶密封件一些误解和偏见，但人们终究会在不断发展的进程中认识到它的价值。美国推出了汽车工业新的经营理念：优良的价

格/优质的性能，在包括橡胶密封件的零部件中实施。按照这一理念，宁肯多花几个美元买一个优质的橡胶密封件，减少维修次数或与汽车同寿命，也不愿意买多个便宜的低质量密封件，增加维修、更换的麻烦。

橡胶密封件的多样性，除表现在橡胶材料品种多、配方技术比较复杂，结构多样、工艺多样、质量监控手段和测试方法标准繁多外，模具工装的设计与加工，金属嵌件和卡紧弹簧的配套，织物纤维的应用和各种粘合剂的采用，涉及的技术理论和实用技术方法也是多学科渗透交叉、精彩纷呈。橡胶密封件的这些特点，必然要求采用科学的严密的生产管理方式和质量保证体系。

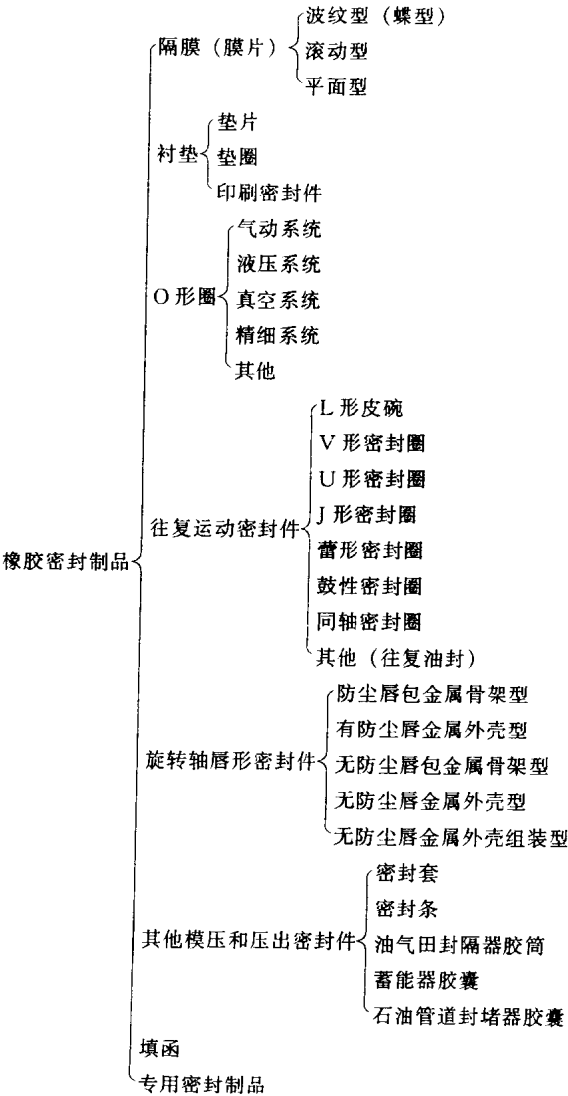
纵观国内外橡胶密封件制造者，尤其是一些技术先进的国家，都在跟踪和瞄准用户，根据主机厂对橡胶密封件提出的最严格、最苛刻的技术要求，不断开发和研制高性能的新产品，同时不断改进和完善现有产品的质量和加工工艺，以产品性能的一致性、均匀性、可重现性和可预报性，最大程度地满足用户的要求，积极抢占市场份额。一些高附加值、高性能的橡胶密封件正在普及；一些高效率、高精度的生产和测试设备和工装正在不断的出现。随着现代工业的发展，以汽车为代表的先进制造技术的引进，有力地促进了与其配套的高精度橡胶密封件制造技术的发展，并日趋多样化、现代化。近几年来，国内的橡胶密封制品行业，风起云涌、蓬勃发展，但产品质量和生产规模，仍然参差不齐。因此，质次价低和优质优价的产品竞争将更加激烈，优胜劣汰是必然趋势。为了使自己的产业不被淘汰，必须采取相应措施，尤其是在密封件生产过程中逐步做到如下几点：橡胶及其主要辅料的标准化、系列化；炼胶、硫化、半成品、修整等主要工序机械化、自动化和半自动化；工序衔接配套化；检测手段和方法标准化、实用化；生产管理和质量监控电脑化。

1.2 橡胶密封制品的分类

橡胶密封制品的分类原则基本上是按运动状态分类的，即按相

对静止和相对运动分为静密封和动密封两大类。由于运动方式不同，又把橡胶密封件基本密封类型分为五类^[4]：

表 1-1 橡胶密封制品分类表



① 沿两个静止表面维持压降的密封称为静密封，所采用的橡胶密封件为静密封件；

② 沿轴向两个方向作相对运动表面维持压降的密封称为往复密封，所采用的密封件为往复运动密封件；

③ 相互作 360° 以上相对运动（一般为一个方向）的表面间的密封件，称为旋转密封件；

④ 相互间的相对运动小于 360° 的来回运转的表面间的密封称为震荡密封，所采用的橡胶密封为震荡密封件；

⑤ 其他类型密封，包括径向密封（活塞、杆两种），面密封（内部、外部两种）。

ISO 国际标准密封装置分类系统基本上也是按运动方式进行分类的。根据这个分类系统，我国橡胶密封制品标准化归口单位早在 1982 年就制定了“橡胶密封制品标准化体系表”^[5]，现根据该体系表，结合我国现状，将橡胶密封制品分类如表 1-1。

1.3 橡胶密封的基础理论

密封材料不仅仅有橡胶的，还有石墨的、金属的（机械密封）。有关密封机理的理论，对橡胶密封制品而言，只能作为参考。密封装置类型不同，橡胶密封件所起的密封作用也不完全相同。但无论在何种类型的密封装置中，利用橡胶所具有的独特的弹性和回弹性起密封作用，又是基本相似的。因此，在流体密封中橡胶密封件特别有用。橡胶密封件，要在伸张状态下装进沟槽，装配后要受到大的弹性变形（过盈），从而使密封腔体依靠橡胶密封件的回弹性，在公差范围内产生所容许的密封力。橡胶所具有的弹性变形，使它在不同运动状态下，甚至在运转表面不同心的情况下，仍然能够保持其密封性，这就是低应力下的大变形。由于橡胶的泊松比较高，使橡胶密封件在所施加的轴向流体的压力下，能自动出现与之成正比的径向密封力（变形前后体积基本保持不变）。因而橡胶密封件可以成功地安装在比较简单的、加工精度不高的密封腔体内，并且比其他密封材料所要求的公差要宽些。橡胶密封件在密封流体的压

力下，能自动激发能量作用的根本原因，就是来自于橡胶的弹性和回弹性。无论是静态密封还是动态密封，都离不开橡胶的这种宝贵的特性。

1.3.1 静态橡胶密封的一般原理

关于密封原理，国内外已有大量论述^[6~8]。与密封相悖的两个概念是：“泄漏”和“渗漏”。橡胶密封件受压缩而产生的反弹力叫密封力，这种密封力的作用就是防止泄漏介质。通过密封件静止表面漏出来的现象叫做“泄漏”；介质通过密封材料机体“毛细管”孔道渗出来的叫做“渗漏”。这两种情况在橡胶的静态密封中都可能出现。通常认为渗漏是由垫圈材料的性能，配合表面的加工精度和粗糙度以及压紧程度决定的，试想如果材料无弹性，或者无强度（易压碎），根本起不到密封作用；同样，配合表面加工精度差、表面粗糙，形成沟槽，再加上压不紧等因素，也同样会从表面泄漏。值得考虑的是橡胶的弹性变形（或压缩永久变形）多大、强度多高才能使橡胶密封件获得足够高的密封力。相同的配合表面，相同的表面粗糙度，相同的压紧程度，橡胶密封件的性能差异有多大？这些都应在实践中不断总结，加深认识。可惜至今还没有一个精确的数学模型拟合并表述其相互关系。某些压缩永久变形临界值，仍然是用经验公式计算的。

渗漏是由于材料机体中存在着若干个毛细管孔道，从这些毛细孔道中泄漏流体。这主要取决于材料的抗渗透性能。可采取提高其交联密度、添加填充剂、阻塞毛细孔道等办法加以解决。也就是说，对橡胶材料而言，提高其交联密度，添加防渗透材料，选择耐渗透的橡胶基材，都可为针对性地解决某些密封制品的渗漏问题。当然，橡胶与密封介质之间还存在一个相容性问题，而且在不同温度下，其相容性也不同。因此必须首先弄清这个问题，才能考虑其他措施。

1.3.2 橡胶密封的动态密封理论

动态下使用的密封装置，实质上是研究“相对运动表面的相互作用的科学与技术”^[9]。围绕这个问题，不少国内外学者从不同的