

橡胶循环利用技术丛书



丛书主编：纪奎江 程源

硫化橡胶粉

——原理·技术·应用

纪奎江 袁仲雪 陈占勋 编著

LIUHUA XIANGJIAOFEN
YUANLI JISHU YINGYONG



化学工业出版社

橡胶循环利用技术丛书



丛书主编：纪奎江 程源

硫化橡胶粉

——原理·技术·应用

纪奎江 袁仲雪 陈占勋 编著



化学工业出版社

· 北 京 ·

该书是《橡胶循环利用技术》丛书的一个分册。全书共 12 章, 主要对硫化橡胶粉的基础知识、制造技术、实际应用以及标准、检测方法等进行介绍。具体包括胶粉的分类和性质、工业生产方法、活化与改性, 胶粉与塑料并用、胶粉与热塑性弹性体并用, 胶粉在橡胶工业中的应用, 橡胶沥青, 胶粉在非橡胶工业中的应用, 废钢丝和废纤维的应用, 标准、质量检测及生产设备与自动化控制等。

该书内容全面、具体, 实用性强, 可供从事橡胶综合利用、橡胶粉生产的技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

硫化橡胶粉——原理·技术·应用/纪奎江等编著.

北京: 化学工业出版社, 2015.9

(橡胶循环利用技术丛书)

ISBN 978-7-122-24878-7

I. ①硫… II. ①纪… III. ①橡胶制品-硫化矿物

IV. ①TQ336

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 185645 号

责任编辑: 赵卫娟 宋向雁

装帧设计: 关 飞

责任校对: 王素芹

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: 三河市胜利装订厂

710mm×1000mm 1/16 印张 22 字数 407 千字 2016 年 1 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: 88.00 元

版权所有 违者必究

《橡胶循环利用技术》丛书编委会

主任委员：朱 军

副主任委员：马连湘 袁仲雪 韦俊康 纪奎江

丛书主编：纪奎江 程 源

委员（按姓氏笔画为序）：

马连湘 马瑞刚 王书光 王带兴 王彩霞 韦俊康 牛 斌

仇世剑 毛庆文 卢灿辉 田建国 朱 军 朱信明 延万华

刘双喜 刘彦昌 刘裕平 纪奎江 杜爱华 吴琼英 余 强

辛振祥 汪传生 张万明 张树清 陈占勋 林从海 易泽文

罗亚中 赵冬梅 宫相勤 袁仲雪 倪雪文 徐建光 高世兴

高孝恒 黄祥洪 郭素炎 韩清洁 程 源 程一祥

秘书长：辛振祥

秘书处：周兆敏 陈春花 谭钦艳 刘 娟

本书编写人员名单

第1章	总论	纪奎江			
第2章	胶粉的分类和性质	卢灿辉	张新星		
第3章	胶粉的工业生产方法	纪奎江	袁仲雪	庄素霞	张雷
第4章	胶粉的活化与改性	陈占勋	卢娜		
第5章	胶粉与塑料并用	陈占勋	张振秀		
第6章	胶粉与热塑性弹性体并用	张振秀			
第7章	胶粉在橡胶工业中的应用	纪奎江	许广森	袁仲雪	由顺先 于寒
		石超			
第8章	橡胶沥青	王旭东	李美江	余强	刘力
第9章	胶粉在非橡胶工业中的应用	李文博	纪奎江		
第10章	废钢丝和废纤维的应用	纪奎江			
第11章	胶粉的标准及质量控制	周兆敏	纪奎江		
第12章	胶粉生产设备与自动化控制	赵冬梅	张树清	徐建光	蒋毅 丁振江
		邓磊	刘杰兵		
附录		纪奎江			
全书统稿、审定		纪奎江			

丛书序言

中国正处于 21 世纪前 20 年的重要战略机遇期，由于人口众多，资源人均占有率低，环境容量已不容乐观。由于粗放型的经济增长模式尚未发生根本性转变，发展循环经济、建设生态文明已成为历史的必然趋势。循环经济本质上是一种生态经济，它要求遵循生态学规律，合理利用自然资源和环境容量，在物质不断循环利用的基础上发展经济，使经济系统和谐地纳入到自然生态系统的物质循环过程中，实现经济生活的生态化。它倡导的是一种与环境和谐的经济发展模式，遵循“减量化、再利用、资源化”原则，使“资源—产品—废弃物”的线性增长模式，转变为“资源—产品—废弃物—再生资源”的闭环反馈式循环过程，最终实现可持续健康发展之目的。今后的中国再不能以牺牲环境和对能源过度消费为代价来取得经济高速增长。

橡胶是具有高弹性的高分子材料，是公认的战略物资。我国现已成为橡胶工业大国，2012 年的原料橡胶消耗量高达 730 万吨，约占世界橡胶消耗量的 20%，轮胎生产量达 4.56 亿条，均居世界第一位。很显然废橡胶（轮胎）的产生量也将是世界上最多的国家之一，其中废旧轮胎约有 3 亿多条。经过 60 余年的发展过程，我国的废旧橡胶（制品）循环利用产业现已发展成四大门类：旧轮胎翻修再制造；硫化橡胶粉；再生橡胶；废橡胶热裂解。国家发改委发布的《“十二五”资源综合利用指导意见》中指出：“规范废旧轮胎回收利用，加速推进废旧轮胎综合利用技术研发和产业升级，提高旧轮胎翻新率，鼓励胶粉生产改性沥青等直接应用，推广环保型再生橡胶等清洁生产工艺，提升无害化利用水平。”这将进一步促进我国废旧橡胶资源再利用企业的发展。

本丛书以“建设资源节约型和环境友好型”的循环经济社会指导思想为基础，并按我国已形成的四个产业部门编写。全面地介绍当前废旧橡胶循环利用现状、利用技术、回收方法、工艺装备、标准和检测手段等内容，是新中国成立以来该领域第一套出版的系列科技类图书。其目的是为我国从事橡胶循环利用产业的部门和相关人士提供完整的可供学习参考的适用书籍，让我们共同走一条最有效利用资源和保护环境的循环经济之路。

该套丛书是由该领域的众多专家教授参与，历时四年多，在中国轮胎翻修与循环利用协会的领导下，由青岛科技大学高分子科学与工程学院具体实施并完成的系

列科技著作。希望能对橡胶循环利用产业发展有所帮助。

需要特别提出的是：青岛软控股份有限公司、赛轮股份有限公司、中胶橡胶资源再生有限公司、三力士股份有限公司和青岛海力威股份有限公司的鼎力支持，及中国化学工业桂林工程有限公司、肇庆骏鸿实业有限公司、东莞市鸿运轮胎有限公司、江苏逸盛投资集团有限公司、河北瑞威科技有限公司、上海裕浩轮胎有限公司、青岛海佳助剂有限公司、济南世纪华泰科技有限公司、滨州丰华橡胶粉制造有限公司、江西亚中橡塑有限公司、焦作市艾卡橡胶工业有限公司、四川乐山亚联机械有限公司、青岛新天地静脉产业园、青岛万方循环利用环保科技有限公司、山东金山橡塑装备科技有限公司、唐山兴宇橡塑工业有限公司、天津海泰环保科技发展有限公司、南通回力橡胶有限公司、台州中宏废橡胶综合利用有限公司对丛书出版给予的大力支持，丛书编写工作还得到了青岛科技大学热情周到的安排，特此致谢。

尽管编著者全力以赴，不足之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

丛书编委会

2014年8月

序

由我国著名橡胶工程专家、青岛科技大学纪奎江教授倡导并组织编写的《橡胶循环利用技术》丛书，在业内专家、学者的共同努力下，历时四年终于面世了。本套丛书作为我国轮胎翻新与循环利用行业的第一部系列科技、教育丛书，是长期工作在生产、教学、科研第一线的专家和学者向本行业的广大科技工作者和从业员工及大专院校师生献上的一份厚礼。在此，我谨代表中国轮胎翻修与循环利用协会，对本书的问世表示热烈祝贺，对几年来辛苦撰写丛书的诸位专家、学者表示衷心的感谢！

近年来，随着我国国民经济快速增长、产业结构的调整，橡胶资源的供需矛盾越来越突出，而以节能环保和资源循环再利用为显著特征的轮胎翻新与循环利用行业，备受世人瞩目。在国家产业政策的支持和业内广大会员单位的努力下，轮胎翻新与循环利用行业呈现出了发展良好的态势和可喜的局面：生产规模不断扩大，产品品种不断增加，生产技术水平不断提升，产业结构日趋合理，废旧轮胎综合利用水平不断提高，人们的环保意识不断增强，并已经形成了旧轮胎翻新、废橡胶（轮胎）生产橡胶粉、再生橡胶和废橡胶热解的完整产业链，大大缓解了我国橡胶资源严重不足的局面。然而，在整体产业发展欣欣向荣的背后，也存在诸多的问题，比如，相关法律亟须进一步规范完善，管理制度亟待进一步建立健全等。其中，科技人才匮乏、生产装备和工艺流程缺少统一规范、相关技术标准缺失和不完善等，制约着整个行业向产业化、规模化、集约化发展。因此，在这样的产业背景下，《橡胶循环利用技术》丛书的出版堪称行业之幸事。

《橡胶循环利用技术》丛书从轮胎翻新、硫化橡胶粉、再生橡胶、废橡胶热解和热能利用及废橡胶循环利用设备五个方面入手，集技术性、权威性和学术性于一体。丛书在内容上力求技术水平先进、数据资料翔实，在体现科学性、先进性和系统性的基础上，努力突出实用性、全面性、简明性等特点，以反映行业的最新进展。在选材上，丛书力求吸纳成熟、可靠、稳定、先进的技术，对于轮胎翻新与循环利用行业的生产、工艺、设备、制造与发展具有较强的指导作用，对于促进我国轮胎翻新与循环利用事业的进一步提升具有重大的现实意义和深远的历史意义。

在本书付梓之际，我们应感谢各位专家的辛勤耕耘，为丛书提供集理论性、实

践性、前瞻性于一体的高质量文稿；特别是担任丛书主编的纪奎江教授与程源教授及各分册的主编高孝恒教授级高级工程师、袁仲雪研究员、朱信明教授、杜爱华教授，为使丛书呈现较高质量水平而付出不懈努力；同时要感谢青岛科技大学、青岛软控股份有限公司为编纂本书而付出的辛勤劳动和帮助，以及部分企业的资助和化学工业出版社的大力合作。正是由于社会各界的鼎力支持，才有《橡胶循环利用技术》丛书的出版。当然，囿于时间、精力，丛书中或有诸多不尽如人意之处，尚祈各位专家和读者不吝指正。

朱军

前言

中国已经成为橡胶工业大国，这是因为我国的橡胶消耗量从 2002 年起一直保持世界第一位，2013 年达 830 万吨，占全球橡胶消耗量的 1/3 以上；轮胎和其他橡胶制品产量也是位居世界第一位；汽车产销量从 2009 年起已连续 6 年保持全球第一位。毫无疑问，这导致我国的废橡胶产生量也将是世界上最多的国家，2013 年的废橡胶量达 1080 万吨。

废橡胶（轮胎）是固体废弃物中的一类，也是宝贵的二次资源。处理废橡胶（轮胎）是世界性的课题，这不仅是对再生资源合理和有效的循环利用，而且还能防止对环境造成的污染。我国正在建设资源节约型和环境友好型社会，既是国策，也是实现美丽中国的必由之路。

从材料学科看，废橡胶（轮胎）回收利用既能生产硫化橡胶粉，又可以进一步加工成再生橡胶，但这是两个不同的生产领域。制造硫化橡胶粉是大家公认的既节能又环保的绿色产业，毫无疑问应该大力发展胶粉工业。本书总结了国内外先进技术和装备，系统地从原理、制造方法和应用进行了全面介绍。相信对加快促进我国胶粉生产的持续发展，会具有现实和长远的意义，对发展我国的废橡胶循环利用产业将有所帮助。

本书共分 12 章。第 1 章总论，第 2 章胶粉的分类和性质，第 3 章胶粉的工业生产方法，第 4 章胶粉的活化与改性，第 5 章胶粉与塑料并用，第 6 章胶粉与热塑性弹性体并用，第 7 章胶粉在橡胶工业中的应用，第 8 章橡胶沥青，第 9 章胶粉在非橡胶工业中的应用，第 10 章废钢丝和废纤维的应用，第 11 章胶粉的标准及质量控制，第 12 章胶粉生产设备与自动化控制。

本书编著过程中得到了青岛科技大学的关怀和支持，特别是得到高分子科学与工程学院橡胶循环应用研究中心的同事们的全面鼎力相助。在此表示深深的感谢。

限于编著者水平，书中不妥之处，恳请读者批评指正。

编著者于青岛科技大学

2015 年 7 月

目 录

目 录

第1章 总论 /1

1.1 硫化橡胶粉与粉末橡胶	1
1.2 主要发达国家废橡胶利用现状	2
1.2.1 美国	2
1.2.2 欧盟	4
1.2.3 日本	4
1.3 中国废橡胶资源和回收利用	5
1.4 废橡胶回收利用方法	6
1.5 中国胶粉工业发展历史	7
1.6 中国胶粉工业现状及展望	9
1.6.1 现状	9
1.6.2 展望	10
参考文献	11

第2章 胶粉的分类和性质 /12

2.1 胶粉的分类	12
2.1.1 按制备方法分类	12
2.1.2 按粒径大小分类	12
2.1.3 其他分类方法	13
2.2 胶粉的性质	13
2.2.1 胶粉的粒径及其分布	13
2.2.2 胶粉的形态学	14
2.2.3 胶粉的物理性质	16
2.2.4 胶粉的化学性质	19
2.3 添加胶粉的胶料物性	30
2.3.1 添加胶粉对混炼胶流变特性的影响	30

2.3.2 添加胶粉对混炼胶硫化特性的影响	33
2.4 添加胶粉的硫化橡胶物性	36
参考文献	40

第3章 胶粉的工业生产方法 / 44

3.1 废橡胶的预加工处理	44
3.2 常温粉碎法	45
3.2.1 粉碎	45
3.2.2 分离与输送	48
3.2.3 筛分与包装	49
3.3 低温粉碎法	49
3.3.1 发展概况	49
3.3.2 低温粉碎原理	50
3.3.3 低温粉碎特点	52
3.3.4 液氮冷冻粉碎法	52
3.3.5 空气循环涡轮膨胀冷冻粉碎法	54
3.3.6 利用 LNG 冷能低温粉碎法	56
3.4 国外典型的低温粉碎法	59
3.4.1 北美冷冻粉碎技术	59
3.4.2 德国冷冻粉碎技术	60
3.4.3 日本冷冻粉碎技术	61
3.4.4 乌克兰冷冻粉碎技术	61
3.5 其他胶粉生产方法	62
3.5.1 RAPRA 法	62
3.5.2 超音速流体(水射流)制造胶粉技术	62
参考文献	63

第4章 胶粉的活化与改性 / 65

4.1 概述	65
4.2 胶粉活化改性的内涵与目的	65
4.3 胶粉活化改性机理	66
4.3.1 界面活化增容作用机理	67
4.3.2 促进共交联作用机理	67
4.3.3 胶粉表面降解作用机理	67

4.3.4 胶粉表面极性基团化作用机理·····	68
4.4 胶粉的活化改性方法·····	68
4.4.1 引言·····	68
4.4.2 界面活化改性·····	69
4.4.3 低聚物包覆改性·····	71
4.4.4 塑解降黏改性·····	71
4.4.5 卤化和磺化改性·····	72
4.4.6 接枝反应改性·····	73
4.4.7 降解法改性·····	74
4.4.8 再生(脱硫)法改性·····	74
4.4.9 力化学法改性·····	75
4.4.10 互(相贯)穿聚合物网络法改性·····	75
4.4.11 酚醛的树脂法改性·····	76
参考文献·····	77

第5章 胶粉与塑料并用 / 79

5.1 与通用聚烯烃树脂并用·····	79
5.1.1 与PE树脂并用·····	79
5.1.2 与PP树脂并用·····	82
5.1.3 与PS树脂并用·····	83
5.2 与通用极性树脂并用·····	84
5.3 与通用工程树脂并用·····	85
5.4 与树脂基复合材料并用·····	86
5.4.1 胶粉改性木塑材料·····	86
5.4.2 胶粉改性钙塑材料·····	87
5.4.3 胶粉改性玻璃钢·····	88
5.5 胶粉与PU并用·····	89
5.6 胶粉与POE并用·····	91
5.7 胶粉与CPE并用·····	91
5.8 胶粉与EVA并用·····	91
参考文献·····	92

第6章 胶粉与热塑性弹性体并用 / 93

6.1 热塑性弹性体(TPE)的性能和特征·····	94
----------------------------	----

6.2	聚丙烯/胶粉热塑性弹性体	97
6.3	聚乙烯/胶粉热塑性弹性体	103
6.4	聚氯乙烯/胶粉热塑性弹性体	110
6.5	胶粉与其他材料并用的热塑性弹性体	112
	参考文献	113

第7章 胶粉在橡胶工业中的应用 / 116

7.1	胶粉直接加工各类橡胶制品	117
7.1.1	胶粉胶板	117
7.1.2	彩色橡胶地砖	118
7.1.3	胶粉直接反应成型	118
7.2	硫化胶粉在轮胎中的应用	119
7.2.1	使用硫化胶粉应考虑的一些因素	119
7.2.2	使用硫化胶粉的轮胎配方调整	121
7.2.3	胶粉在轮胎外胎中的使用	122
7.2.4	硫化胶粉在轮胎中应用的实例	123
7.2.5	使用硫化胶粉的轮胎胶料的加工工艺	129
7.3	胶粉在轮胎翻新工业中的应用	130
7.3.1	普通胶粉在翻新轮胎中的应用	130
7.3.2	活化胶粉在翻新轮胎中的应用	131
7.4	胶粉在胶鞋工业中的应用	134
7.4.1	胶粉在各种鞋材中的应用	134
7.4.2	活化胶粉在各种鞋材中的应用	138
7.5	胶粉在胶带中的应用	141
7.6	胶粉在胶管中的应用	142
7.7	胶粉在其他橡胶制品中的应用	142
	参考文献	144

第8章 橡胶沥青 / 145

8.1	橡胶沥青与改性沥青	145
8.1.1	橡胶沥青	145
8.1.2	改性沥青	146
8.2	橡胶沥青发展简史	147
8.2.1	国外橡胶沥青应用情况	147

8.2.2	中国橡胶沥青发展历程	149
8.3	橡胶沥青改性机理	151
8.3.1	溶胀反应	152
8.3.2	脱硫反应	154
8.3.3	四组分试验分析及其组成的物理模型	156
8.3.4	改性机理阐释	158
8.4	橡胶沥青性能的特点及影响因素	160
8.4.1	橡胶沥青的性能特点	160
8.4.2	胶粉的影响	161
8.4.3	基质沥青品种的影响	162
8.4.4	外掺剂的影响	164
8.4.5	搅拌工艺的影响	164
8.4.6	反应时间的影响	165
8.4.7	反应温度的影响	167
8.4.8	影响因素汇总	168
8.5	橡胶沥青的性能指标	168
8.5.1	国外橡胶沥青技术指标体系	168
8.5.2	我国橡胶沥青性能指标	173
8.5.3	我国橡胶沥青评价指标	180
8.6	橡胶沥青的加工	180
8.6.1	橡胶沥青设计	180
8.6.2	橡胶沥青的加工流程	182
8.6.3	橡胶沥青的加工参数	184
8.6.4	橡胶沥青的质量控制	188
8.7	橡胶沥青在道路工程中的应用	193
8.7.1	抗车辙型橡胶沥青混凝土路面	193
8.7.2	低噪声橡胶沥青混凝土路面	194
8.7.3	抗裂型橡胶沥青混凝土路面	195
8.7.4	橡胶沥青防水黏结层和应力吸收层	196
8.7.5	桥面铺装工程	197
8.8	橡胶沥青工程应用典型案例	199
8.8.1	胶粉改性沥青评价指标	199
8.8.2	胶粉改性沥青工厂化生产方式	200
8.8.3	胶粉改性沥青混合料	201
8.8.4	胶粉改性沥青工程应用典型案例	201

参考文献	206
------	-----

第9章 胶粉在非橡胶工业中的应用 / 207

9.1 胶粉在水泥混凝土中的应用	207
9.1.1 水泥混凝土存在的问题	208
9.1.2 胶粉、胶块种类对水泥混凝土抗压性能的影响	208
9.1.3 改性胶粉对水泥混凝土抗压强度的影响	213
9.1.4 胶粉对水泥混凝土冲击韧性的影响	219
9.1.5 改性胶粉对水泥混凝土冲击韧性的影响	223
9.1.6 胶粉对水泥混凝土抗渗透性能的影响	228
9.1.7 胶粉对水泥混凝土材料防滑性能的影响	230
9.2 胶粉在防水卷材中的应用	231
9.2.1 防水卷材的生产要求及适用范围	231
9.2.2 胶粉改性沥青复合胎体增强防水卷材相关标准	234
9.2.3 胶粉的选择对改性沥青防水卷材的影响	238
9.2.4 活化胶粉在高耐寒型沥青防水卷材中的应用	240
9.3 胶粉改性沥青油毡冷黏结剂	242
9.3.1 原材料选择	243
9.3.2 工艺及配方	244
9.3.3 性能测试	244
9.4 胶粉在新型功能喷涂材料中的应用	245
9.4.1 Procoat 的产品特点及防护作用	245
9.4.2 Procoat 的产品性能和标准	246
9.4.3 Procoat 应用领域	247
9.5 胶粉在改良膨润土工程中的应用	249
9.5.1 材料性质	249
9.5.2 样品的制备与实验步骤	250
9.5.3 胶粉对膨润土物理性能的影响	250
9.6 胶粉在新型轻质建筑材料中的应用	254
9.6.1 原材料性质与试验方法	254
9.6.2 橡胶土的力学性能	255
9.7 胶粉在铁道工程中的应用	259
9.7.1 轨枕结构	260
9.7.2 轨枕技术参数	260
9.7.3 轨枕性能特点	260

9.8 胶粉在农业及其他领域中的应用	261
参考文献	261

第 10 章 废钢丝和废纤维的应用 / 263

10.1 废钢丝的回收利用	263
10.1.1 轮胎中用的钢丝	263
10.1.2 废轮胎胎体钢丝制造金属磨料	264
10.1.3 废轮胎胎圈钢丝制造钢丝切丸	264
10.2 废纤维的回收利用	266
10.2.1 含有废纤维橡胶板	266
10.2.2 短纤维与橡胶复合材料	266
10.2.3 树脂颗粒	267
参考文献	268

第 11 章 胶粉的标准及质量控制 / 269

11.1 废旧橡胶判定方法	269
11.1.1 热分解判定法	269
11.1.2 纸上斑点判定法	270
11.1.3 Parker 判定法	272
11.1.4 红外光谱判定法	272
11.2 胶粉标准	273
11.3 胶粉的质量控制	274
11.4 试验方法	275
11.4.1 外观	275
11.4.2 粒度及其分布的测定	276
11.4.3 筛余物的测定	277
11.4.4 体积密度的测定	278
11.4.5 加热减量	278
11.4.6 灰分的测定	279
11.4.7 丙酮抽出物的测定	279
11.4.8 橡胶烃含量的测定	280
11.4.9 炭黑含量的测定	282
11.4.10 金属铁含量的测定	283
11.4.11 纤维含量测定	283