



国际制造业先进技术译丛

提高橡胶胶料性能 实用方案1500例

How to Improve Rubber Compounds
1500 Experimental Ideas
for Problem Solving

(美)John S. Dick (约翰 S. 迪克) 主编
史新妍 译



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



国际制造业先进技术译丛

提高橡胶胶料性能 实用方案 1500 例

[美] 约翰 S. 迪克 主编
史新妍 译



机械工业出版社

本书由美国著名橡胶专家约翰 S. 迪克先生在阅读大量参考文献并咨询相关领域经验丰富的技术专家的基础上编写而成。本书系统介绍了能够提高橡胶胶料某种具体性能的 1500 多个实验方案和想法, 全书分为概述、硫化胶料物理性能的改善、提高硫化胶料的抗降解性、改善加工性能、减少不利加工因素和轮胎性能 6 章及附录硫化体系。此外, 为方便读者深入阅读, 本书还提供了每个方案的详细参考来源。

随着我国汽车工业的迅猛发展, 各种各样的大中小型橡胶厂遍布全国各地, 这些工厂中的技术人员水平参差不齐, 很多技术人员缺乏各种橡胶知识的系统培训。拥有一本这样指导性的书籍, 就能帮助他们较快地解决橡胶配合生产中的实际问题。本书也可供橡胶研发人员参考。

How to Improve Rubber Compounds 1500 Experimental Ideas for Problem Solving
by John S. Dick/ISBN: 1-56990-361-1

Copyright© Carl Hanser Verlag, Munich/FRG 2004

Authorized translation from the original German language edition published by Carl Hanser Verlag, Munich/FRG. All rights reserved.

China Machine Press is authorized to publish and distribute exclusively the Chinese (Simplified Characters) language edition. This edition is authorized for sale throughout Mainland of China. No part of the publication may be reproduced or distributed by any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

北京市版权局著作权合同登记号: 01-2009-1322

图书在版编目 (CIP) 数据

提高橡胶胶料性能实用方案 1500 例/ (美) 迪克 (Dick, J. S.) 主编; 史新妍译. —北京: 机械工业出版社, 2013. 2

(国际制造业先进技术译丛)

书名原文: How to Improve Rubber Compounds 1500 Experimental Ideas for Problem Solving

ISBN 978-7-111-41382-0

I. ①提… II. ①迪…②史… III. ①橡胶制品—性能—研究 IV. ①TQ336

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 034844 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 孔 劲 责任编辑: 孔 劲

版式设计: 张 薇 责任校对: 张 力

封面设计: 鞠 杨 责任印制: 乔 宇

保定市申画美凯印刷有限公司印刷

2013 年 3 月第 1 版第 1 次印刷

169mm×239mm·16.75 印张·315 千字

0001—3000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-41382-0

定价: 56.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心: (010)88361066 教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售一部: (010)68326294 机工官网: <http://www.cmpbook.com>

销售二部: (010)88379649 机工官博: <http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线: (010)88379203 封面无防伪标均为盗版

策 划 编 辑: (010)88379772



作者简介

约翰 S. 迪克在橡胶工业领域工作了 30 多年。他曾在 B. F. Goodrich 公司工作，之后在 Uniroyal Goodrich 任部门经理和开发科学家。1991 年，他加入孟山都橡胶仪器部（现在的 Alpha Technologies 公司）任高级市场技术服务专家。迪克先生已发表学术论文 50 余篇，出版专著 4 部。他于 1994 年获得孟山都“杰出技术服务奖”，1995 年获得美国化学学会橡胶分会的“最佳论文奖”，1998 年，因为阿克隆大学继续教育项目授课而获得大学颁发的“感谢奖”。迪克先生是美国 ASTM 会员，1990 年曾获“功勋奖”。近 20 年来，他代表美国参与 ISO 标准活动。其中，1992 年他被任命为美国代表团领队参与 ISO TC - 45 橡胶部分标准的制定。他还为阿克隆大学和威斯康辛大学的继续教育学院讲授橡胶课程。他是美国化学学会、流变学会和 ASQ 的会员，还是美国橡胶制造商协会代表，入选美国名人录。迪克先生于 1970 年在美国弗吉尼亚理工学院获得学士学位，1979 年在阿克隆大学获得硕士学位。他已婚，并有两个孩子，业余爱好是摄影和无线电。

Email: john_dick@alpha-technologies.com www.rubberchemist.com

译丛序言

一、制造技术长盛永恒

先进制造技术是 20 世纪 80 年代提出的，它由机械制造技术发展而来，通常可以认为它是将机械、电子、信息、材料、能源和管理等方面的技术，进行交叉。融合和集成，综合应用于产品全生命周期的制造全过程，包括市场需求、产品设计。工艺设计、加工装配、检测、销售、使用、维修、报废处理、回收利用等，以实现优质、敏捷、高效、低耗、清洁生产，快速响应市场的需求。因此，当前的先进制造技术是以产品为中心，以光机电一体化

的机械制造技术为主体，以广义制造为手段，具有先进性和时代感。

制造技术是一个永恒的主题，与社会发展密切相关，是设想、概念、科学技术物化的基础和手段，是所有工业的支柱，是国家经济与国防实力的体现，是国家工业化的关键。现代制造技术是当前世界各国研究和发展的主题，特别是在市场经济高度发展的今天，它更占有十分重要的地位。

信息技术的发展并引入到制造技术，使制造技术产生了革命性的变化，出现了制造系统和制造科学。制造系统由物质流、能量流和信息流组成。物质流是本质，能量流是动力，信息流是控制。制造技术与系统论、方法论、信息论、控制论和协同论相结合就形成了新的制造学科。

制造技术的覆盖面极广，涉及机械、电子、计算机、冶金、建筑、水利、电子、运载、农业，以及化学、物理学、材料学、管理科学等领域。各个行业都需要制造业的支持，制造技术既有普遍性、基础性的一面，又有特殊性、专业性的一面，制造技术既有共性，又有个性。

我国的制造业涉及以下三方面的领域：

- 机械、电子制造业，包括机床、专用设备、交通运输工具、机械设备、电子通信设备、仪器等。
- 资源加工工业，包括石油化工、化学纤维、橡胶、塑料等。
- 轻纺工业，包括服装、纺织、皮革、印刷等。

目前世界先进制造技术沿着全球化、绿色化、高技术化、信息化、个性化和服务化、集群化六个方向发展。在加工技术上，主要有超精密加工技术、纳米加工技术、数控加工技术、极限加工技术、绿色加工技术等；在制造模

式上,主要有自动化、集成化、柔性化、敏捷化、虚拟化、网络化、智能化、协作化和绿色化等。

二、图书交流源远流长

近年来,国际间的交流与合作对制造业领域的发展、技术进步及重大关键技术的突破起到了积极的促进作用,制造业科技人员需要及时了解国外相关技术领域的最新发展状况、成果取得情况及先进技术应用情况等。

必须看到,我国制造业与工业发达国家相比,仍存在较大差距。因此必须加强原始创新,在实践中继承和创新,学习国外的先进制造技术和经验,引进、消化、吸收、创新,提高自主创新能力,形成自己的创新体系。

国家、地区间的学术、技术交流已有很长的历史,可以追溯到唐朝甚至更远一些。唐玄奘去印度取经,可以说是一次典型的图书交流佳话。图书资料是一种传统、永恒、有效的学术、技术交流方式。早在20世纪初期,我国清代学者严复就翻译了英国学者赫胥黎所著的《天演论》,其后学者周建人翻译了英国学者达尔文所著的《进化论(物种起源)》,对我国自然科学的发展起到了很大的推动作用。

图书是一种信息载体,图书是一个海洋。虽然现在已有网络、光盘、计算机等信息传输和储存手段,但图书更具有广泛性、适应性、系统性、持久性和经济性。看书总比在计算机上看资料要方便习惯,不同层次的要求可以参考不同层次的图书,不同职业的人员可以参考不同类型的技术图书,同时它具有比较长期的参考价值和收藏价值。当然,技术图书的交流具有时间上的滞后性,不够及时,翻译的质量也是个关键问题,需要及时、快速、高质量的出版工作支持。

机械工业出版社能够在先进制造技术的引进、消化、吸收、创新方面为广大读者做出贡献,为我国的制造业科技人员引进、纳新国外先进制造技术的出版资源,翻译出版国际上优秀的制造业先进技术著作,从而能够提升我国制造业的自主创新能力,引导和推进科研与实践水平的不断进步。

三、选择严谨质高面广

1) 精品重点高质 本套丛书作为我社的精品重点书,在内容、编辑、装帧设计等方面追求高质量,力求为读者奉献一套高品质的丛书。

2) 专家选择把关 本套丛书的选书。翻译工作均由国内相关专业的专家、教授、工程技术人员承担,充分保证了内容的先进性、适用性和翻译质量。

3) 引纳地区广泛 主要从制造业比较发达的国家引进一系列先进制造技术图书,组成一套“国际制造业先进技术译丛”。当然其他国家的优秀制造科技图书也在选择之内。

4) 内容先进丰富 在内容上应具有先进性、经典性、广泛性,应能代表相关专业的技术前沿,对生产实践有较强的指导、借鉴作用。本套丛书尽量涵盖制造业各行业,例如机械、材料、能源等,既包括对传统技术的改进,又包括新的设计方法、制造工艺等技术。

5) 读者层次面广 面对的读者对象主要是制造业企业、科研院所的专家、研究人员和工程技术人员,高等院校的教师和学生,可以按照不同层次和水平要求各取所需。

四、衷心感谢不吝指教

首先要感谢许多积极热心支持出版“国际制造业先进技术译丛”的专家学者;积极推荐国外相关优秀图书,仔细评审外文原版书,推荐评审和翻译的知名专家;特别要感谢承担翻译工作的译者,对各位专家学者所付出的辛勤劳动表示深切敬意;同时要感谢国外各家出版社版权工作人员的热心支持。

希望本套丛书能对广大读者的工作提供切实的帮助。欢迎广大读者不吝指教,提出宝贵意见和建议。

机械工业出版社

免责声明

本书所含内容均来源于实验，适用于训练有素的橡胶配合工作人员。本书作者、编审委员会成员、编辑以及出版商对本书中所含内容的准确性、通用性、完整性以及适用性不做承诺，对因过度或不当使用本书所提到的材料而造成的伤害、损失等不负有法律责任。

前言

橡胶配合是一门科学，也是一门艺术。本书是早期出版的《橡胶技术：配合与性能测试》的姊妹篇，正如上本书前言里提到的，橡胶的配合艺术就是合理成本与产品性能的完美结合，从而达到最好的折中平衡。

本书的目的是为那些训练有素的配方设计人员提供一些可行的实验方案和想法，用以提高胶料的某一种性能。当然，配方人员在考虑采用某种实验方案来提高胶料的某一特定性能时，不仅要考虑对目标性能的影响，而且要同时考虑对其他性能的影响。通常，一个配方因素的变化会导致多种其他性能的变好或变坏。这些“非预期后果”是必须通过实验室级别的测试、中试以及工厂生产级别的评价等来考察的。任何一个公司要进行配合生产中的任何改变，都需要有一套正式的批准和签字保证程序。大部分情况下，要想有效地改善胶料性能，往往不是改变一个量，而是明智地综合考虑多种因素的影响，才能更有效地满足制品的性能要求。

本书包含了 1500 多个实验方案和建议，用以提高胶料的某一具体性能。全书共分 6 章，包括概述、硫化胶物理性能的改善、提高硫化胶料的抗降解性、改善加工性能、减少不利加工因素和轮胎性能，以及附录硫化体系。本书中的大部分实验方案来自普通的橡胶文献（书中标记为 GEN），还有一部分实验方案来自前面提到的姊妹篇（书中标记为 RT）。另外，还有一个重要的来源就是本书的编审委员会成员的贡献（书中标记为 RP）。

本书所提供的实验方案不一定适用于所有的情况。改善目标性能的任何变化都会导致其他性能变好或变坏，但本书不对其他性能的改变加以阐述。本书也不对安全和健康问题加以解释。书中所包含的各种信息都来源于实验，本书面向那些训练有素和具有橡胶配合经验的技术人员。

译者前言

目前,我国已经成为世界最大的橡胶材料消费国,2011年我国生胶消费总量近千万吨,占全球总消耗量的30%,这就意味着我国每年需要加工至少两千万吨以上的混炼胶。面对如此庞大的需求,我国混炼胶制备技术近年来虽然有大幅度改进,但与发达国家相比还有一定差距,特别是很多企业的配方技术基本停留在经验水平,缺乏科学性,混炼方法和工艺未见重大突破,低碳、效率、质量、环保等理念尚未得到真正确立和落实,不少企业因配方和混炼技术落后制约了自身的健康发展。

译者在美国阿克隆大学做访问学者期间,有幸认识了美国著名橡胶专家约翰 S. 迪克先生,并有机会聆听了他为美国橡胶工业界高级技术人员讲授的橡胶技术培训课程。译者为迪克先生在橡胶领域丰富的工作经验以及扎实的高分子科学功底所折服,希望能让更多的中国橡胶工程专业技术人员、大专院校师生和研发人员有机会分享迪克先生的研究成果。为此,译者尝试将他编写的著作《提高橡胶胶料性能实用方案 1500 例》介绍给中国读者,以便为解决橡胶生产或研究过程中遇到的问题提供指导。

《提高橡胶胶料性能实用方案 1500 例》一书由迪克先生在阅读大量参考文献并咨询相关领域经验丰富的技术专家的基础上编写而成。本书系统介绍了能够提高橡胶胶料某种具体性能的 1500 多个实验方案和想法,全书分为概述、硫化胶料物理性能的改善、提高硫化胶料的抗降解性、改善加工性能、减少不利加工因素和轮胎性能共 6 章,以及附录硫化体系。此外,为方便读者深入阅读,本书还提供了每一个配方的详细参考来源。

本书在翻译过程中得到青岛科技大学橡塑材料与工程教育部重点实验室的多位同事和研究生的协助。尽管全书经过认真校订,但限于译者的水平,难免有曲译、不妥和错误之处,敬请广大读者批评和指正。

译者于美国阿克隆

目 录

作者简介

译丛序言

免责声明

前言

译者前言

第1章 概述	1
1.1 胶料组分选择的复杂性	1
1.2 橡胶工业的复杂性	3
1.3 组分与性能之间关系的复杂性	4
1.4 实验方案	6
1.5 方案来源	7
1.6 编审委员会成员	8
第2章 硫化胶料物理性能的改善	9
2.1 提高拉伸强度	9
2.2 提高高温下的拉伸强度	19
2.3 提高拉断伸长率	20
2.4 提高硬度与模量	23
2.5 降低压缩或拉伸永久变形	31
2.6 提高回弹性和降低滞后	37
2.7 提高抗撕裂性能	48
2.8 提高抗热撕裂性能	55
2.9 改善低温性能	57
2.10 提高导电性能	62
2.11 提高导热性能	68
2.12 降低摩擦系数	70
2.13 降低气体渗透性（提高气密性）	71

2.14	提高橡胶与金属之间的粘合性	73
2.15	改善橡胶与织物之间的粘合性	77
2.16	提高阻燃性	78
2.17	降低胶料成本	81
第3章	提高硫化胶料的抗降解性	87
3.1	提高耐热空气老化或耐热老化性能	87
3.2	提高耐臭氧性	99
3.3	提高耐曲挠疲劳性/抗切口增长	106
3.4	提高耐磨性或耐久性	119
3.5	改善耐油性或耐溶剂性	128
3.6	改善耐变色性	134
3.7	改善耐天候性	136
3.8	改善耐水解性	138
第4章	改善加工性能	139
4.1	降低黏度	139
4.2	提高剪切变稀性	143
4.3	降低收缩性	144
4.4	提高自黏性	145
4.5	降低与金属表面的粘结性	149
4.6	提高炭黑及其他填料的分散性	151
4.7	提高格林强度	156
4.8	延长焦烧安全期	161
4.9	提高硫化速度	168
4.10	降低硫化返原	173
4.11	降低逐步增高定伸	177
4.12	减少冷流	178
第5章	减少不利加工因素	179
5.1	减少或消除未硫化和硫化胶中的泡孔、气泡或凹坑	179
5.2	混炼: 减少填料或炭黑混入时间	184
5.3	混炼: 缩短总混炼时间	186
5.4	混炼: 减少或消除排胶时结团	189
5.5	混炼: 减少脱辊现象	190

5.6	混炼: 减少后辊包胶现象	191
5.7	挤出: 降低口型膨胀 (改善尺寸稳定性)	192
5.8	挤出: 改善挤出物表面光洁性	196
5.9	挤出: 提高挤出速率并保持高质量挤出物	200
5.10	压延: 消除气泡	204
5.11	压延: 改善压延胶料脱辊性	205
5.12	生胶与混炼胶贮存: 提高有效保存期限	206
5.13	混炼胶贮存: 减少喷霜	207
5.14	模压/传递/注射成型: 改善脱模性	210
5.15	模压/传递/注射成型: 减少或消除模具积垢	211
5.16	模压/传递/注射成型: 改善胶料在模具中的流动性	214
5.17	模压/传递/注射成型: 降低制品收缩	215
5.18	模压/传递/注射成型: 改善表面光洁度	217
5.19	在泡沫橡胶硫化过程中提高发泡速率	218
5.20	防止成型时包入空气	220
5.21	减少开模缩裂	221
第6章	轮胎性能	223
6.1	改善轮胎抗湿滑性	223
6.2	改善轮胎干地制动性	227
6.3	改善冬季轮胎制动性和冰上抓着力	229
6.4	降低轮胎滚动阻力	231
附录	硫化体系	237
编审委员会成员简介		249

第 1 章

概 述

橡胶配合是一项很复杂的工作，其中包括各种相互作用和达到目标性能的各种配合途径，还要综合考虑成本和效益。本书的目的是向读者提供各种各样的实验方案和建议，指导开发更好的胶料和解决一些技术问题。

1.1 胶料组分选择的复杂性

橡胶配方通常是复杂的，涉及几个材料体系的选择，每个材料体系都会对最终橡胶制品的性能产生较大影响。以下列举了配方中的几个材料体系：

- 1) 橡胶或橡胶共混物基体材料。
- 2) 填料/油体系。
- 3) 硫化体系。
- 4) 抗降解剂体系。
- 5) 增黏剂体系（若需要使用）。
- 6) 粘合体系（若需要使用）。
- 7) 阻燃剂体系（若需要使用）。
- 8) 发泡体系（用于发泡橡胶）。
- 9) 特殊化学加工助剂。

基体胶（弹性体）对整个胶料性能的影响最大。目前有 30 多种橡胶，其中每一种橡胶都会有上百种不同的等级和规格，每一个等级的橡胶都会有不同的影响。例如，SBR 至少有 150 种不同等级的产品，BR 至少有 50 种，EPDM 有 150 种，NBR 有 280 种，硅橡胶有 100 多种，氟橡胶有 75 种。这些不同等级的橡胶都赋予胶料不同的性能。

更复杂的是，很多橡胶制品配方的基体材料为两种或三种橡胶并用。例如，很多胶料选用 SBR/BR 并用、NR/BR 并用，或 SBR、NBR、HIIR、CR 和 EPDM 之间并用。采用多种橡胶并用是达到胶料某些性能的一种很有效的方法。然而，虽然并用胶能够达到共硫化，但还是不相容的。因此，混炼后就出现了连续相和非连续相，这些不同相对各种填料如炭黑等有着不同的亲和

性, 炭黑在各相中的不同分布会对胶料的性能产生独特的影响。

配方中选择有效的填料/油体系也会对胶料的性能产生较大的影响。有很多种填料和补强剂都会被用在胶料中以提高胶料的物理性能。胶料中还会选用很多种石油系加工油和上百种合成酯类增塑剂。目前有 42 种标准商业级别的炭黑可以用在胶料配方中, 有些配方选用两种以上的炭黑来平衡胶料性能, 这使得配方变得更加复杂。

上千种有机促进剂和硫黄的联合使用使胶料获得了一定的硫化特性。除了普通的硫黄硫化体系外, 还有过氧化物和树脂类等其他硫化体系。为了对抗制品在使用中造成的降解, 胶料中还会选用各种抗氧剂或抗臭氧剂, 或两者并用。即使对于像硫黄和氧化锌这样最简单而常用的配料, 也有很多不同的商业级别。例如, 将一些不同网目尺寸和经化学处理过的硫黄用在一些特定的配方中是为了更好地分散; 选用不同粒径的氧化锌或者是经过处理的氧化锌的目的是为了提高某些物理性能等。

1.2 橡胶工业的复杂性

正如前面提到的，实际上有数不清的方法来选择原材料和设计配方来满足客户的要求。开发出能满足客户需要的胶料配方，其成本往往是很高的。因此很多橡胶生产企业往往对他们的配方保密，以保证他们具有竞争优势，这样橡胶工业中就会有成千上万种不同配方来满足不同客户的需求。

然而，橡胶工业的复杂性远不止是因为有数不清的配方，即使是两个公司用完全相同的配方和原材料，他们的产品仍然会具有不同的性能。例如，很可能相同的配方组分用不同的混炼设备或不同的混炼顺序而导致不同的状态。另外，相同胶料在不同的硫化时间、温度或压力下会得到不同的硫化胶性能。

1.3 组分与性能之间关系的复杂性

橡胶配合中的另一个难点是组分与性能之间关系的问题。配方设计者为了获得一种性能,如硬度,他要了解各组分对硬度的影响。例如,增加交联剂用量会得到更高的交联密度(X_1)从而导致更高的硬度值(Y_1)。另一方面,增加炭黑的填充量(X_2)也能从另一个方面增加硬度值(Y_1)。同样,大量地减少油的填充量(X_3)也能提高硬度值。这在橡胶配合中是常见的现象。这些独立的变量之间通常有相互作用,因为它们对胶料的作用并不一定是加和或线性的。改变硫化剂用量、改变填料或填充油用量、改变基体胶或并用胶、改变混炼方法($\cdots X_n$)等通常会影响一种性能,如硬度(Y_1)。然而,任何一种或多种组分的变化(独立变量)都会从另外的途径对胶料的其他性能造成影响,例如拉伸强度(Y_2)、拉断伸长率(Y_3)、回弹性(Y_4)、抗老化性(Y_5)、抗撕裂性(Y_6)、抗曲挠疲劳性(Y_7)、耐油性(Y_8)等。这种相互作用的另一个描述可以叫做“多重响应”。橡胶配合中有句很老的格言:“你永远别想只改变一件事情”(RP: R. J. Del Vecchio)。那些用来提高硬度的变量同时也会改变伸长率、拉伸强度、耐油性、压缩永久变形、曲挠疲劳等性能来改善或降低制品的性能,当然同时也会影响加工性能,或者改善加工性能,或者使加工性能变差,这些并不是所期望的后果。更复杂的是,这些多重响应是非线性的,能同时使胶料性能更优和更差。这种相互作用引起的多重响应在橡胶配合中是很常见的。因此,当你在利用本书的一些方法去改变或优化胶料性能时,我们只能向你保证,你所看到的影响仅仅是你能测到的,其中可能有很多作用会导致胶料性能的下降。

基于这样一个理论:“单个组分变量引起多重响应”,橡胶配方人员必须清楚单个组分变量会引起哪些不同的响应。一些组分的变化是独立于其他一些组分变化的(无相互作用),其他一些却有着很明显的相互作用。例如,如果改变两种炭黑的含量,只会影响每种炭黑的填充量;而硫黄和促进剂这个组合的含量发生变化时,不仅仅是硫黄或促进剂各自用量的变化,更重要的是会导致硬度和其他性能的较大变化。这叫做“化学反应”或“协同作用”(RP: R. J. Del Vecchio)。本书提供的一些方法是一次如何提高一种胶料性能。正如之前提到的,当想改变配方中的一个组分或加工参数来提高胶料的一种性能时,总是会引起其他性能的改善或劣化。如果配方人员要从单一组分变量或加工变量来预测其他组分或加工性能的变化,这个过程是复杂而且艰难的(RP: R. J. Del Vecchio)。一个熟练的配方人员能够综合折中各种性能来满足胶料的目标性能。这种能力来自于经验、直觉和不断地尝试,或者

RT: 2001年由Hanser出版社出版的John S. Dick编写的著作: Rubber Technology, Compounding and Testing for Performance; GEN: 来自各种期刊或会议的一般参考文献; RP: 来自本书顾问-编审委员会成员的建议。