

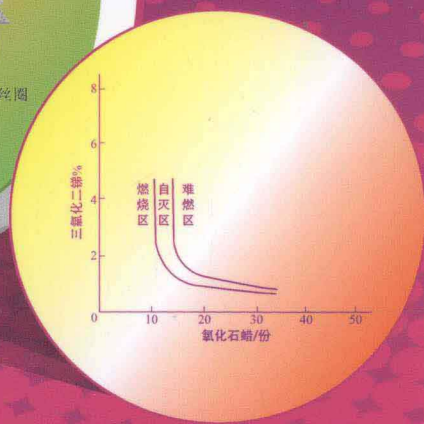
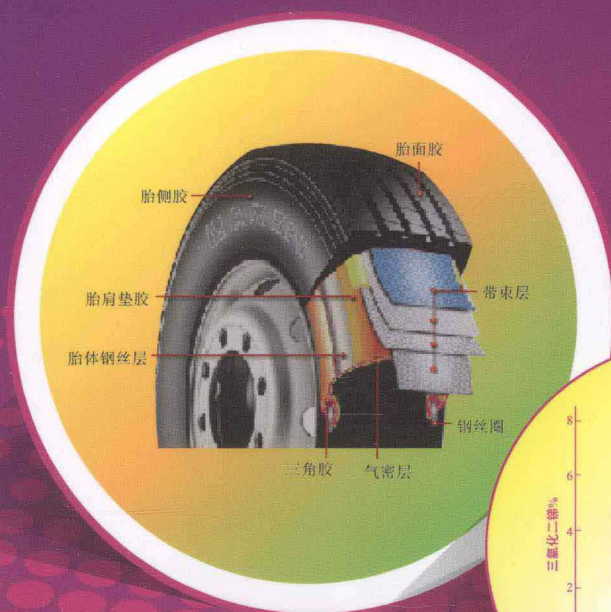


高职高专“十二五”规划教材

橡胶配方设计技术 项目化实训教程

张兆红 主编

XIANGJIAO PEIFANG SHEJI JISHU
XIANGMUHUA SHIXUN JIAOCHENG



化学工业出版社

高职高专“十二五”规划教材

橡胶配方设计技术 项目化实训教程

张兆红 主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本教材以项目为主线阐述了轮胎、普通胶管、耐热胶管、胶鞋、耐油密封圈、阻燃输送带、泡沫鞋底、医药塞等常用橡胶制品胶料的配方设计,从制品的使用条件和性能分析入手,主要对生胶、配合剂的选择要点以及性能测试方法进行详细介绍。

本书适合高职高分子材料应用技术专业学生进行配方设计训练使用,也可供相关人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

橡胶配方设计技术项目化实训教程/张兆红主编. 北京:化学工业出版社,2013.7

高职高专“十二五”规划教材

ISBN 978-7-122-17676-9

I. ①橡… II. ①张… III. ①橡胶制品-配方-教材
IV. ①TQ330.6

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第137545号

责任编辑:于 卉

文字编辑:林 丹

责任校对:宋 夏

装帧设计:刘丽华

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:化学工业出版社印刷厂

787mm×1092mm 1/16 印张8¼ 字数195千字 2013年9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:24.00元

版权所有 违者必究

前言

配方设计实训是高分子应用专业的一门专业技术综合实训环节，是构造从事橡胶制品结构专业技术应用型人才知识结构、素质结构与能力结构的实训课，是培养学生工程技术观点与橡胶配方设计实践技能的重要环节。本实训环节是在学习配方设计知识课程之后的理论应用。实训注重理论与实践相结合，强调实践技能训练及学生动手能力和分析问题、解决问题能力的培养。

橡胶配方设计能力是高分子应用技术专业学生应该具备的一种专业核心能力，经过配方设计的实训使学生熟练掌握橡胶制品的配方设计流程和方法，形成用工程观点观察问题、分析问题、处理配方设计过程中遇到的问题的能力，树立良好的职业意识和职业道德观念，为提高职业能力打下基础。

本项目化教材是校企合作教材，编写过程中与企业工程师进行了通力合作，认真选取项目，合理设置教学目标。所选项目均来源于生产实际，针对真实橡胶制品胶料配方进行设计，涉及不同类型的橡胶制品，如轮胎、普通胶管、耐热胶管、胶鞋、耐油密封圈、阻燃输送带、泡沫鞋底、医药瓶塞。

本教材由张兆红主编，负责全书的策划和统稿工作。具体分工是：张兆红（项目一、项目四和项目五）、邢立华（项目二和项目三）、张小萍（项目六和项目七）。非常感谢在编写过程中翁国文教授给予的指导。

本教材在编写过程中企业工程师积极参与，从选取项目、设立任务，到每个项目的具体内容编排进行了充分论证和认真编写。参加教材编写的企业工程师有徐州轮胎有限公司陈忠生、无锡第二橡胶有限公司陈亮，在此表示感谢。由于编者水平有限，书中不妥之处欢迎广大读者批评指正。

编者
2013年5月

目录

概述	1
模块一 通用橡胶制品的配方设计	
项目一 斜交轻型载重轮胎胎冠胶料的配方设计	6
任务一 斜交轻型载重轮胎胎冠胶料使用条件分析	6
任务二 斜交轻型载重轮胎胎冠胶料性能指标和检测项目确定	9
任务三 斜交轻型载重轮胎胎冠胶料的配合剂选择	9
任务四 斜交轻型载重轮胎胎冠胶料的配方设计实践	12
任务五 实训报告撰写	25
任务六 实训总结交流、评价	26
技能与知识拓展 子午线轮胎的配方设计特点	26
项目二 胶鞋大底胶料的配方设计	28
任务一 胶鞋大底的工作环境认识和使用条件分析	29
任务二 胶鞋大底胶料性能指标和检测项目确定	29
任务三 胶鞋大底胶料的配合剂选择	29
任务四 胶鞋大底胶料的配方设计实践	32
任务五 实训报告撰写	36
任务六 实训总结交流、评价	36
模块二 特种橡胶制品的配方设计	
项目三 耐热胶管内层胶料的配方设计	39
任务一 耐热胶管内层胶料使用条件分析	39
任务二 耐热胶管内层胶料性能指标和检测项目确定	40
任务三 耐热胶管内层胶料的配合剂选择	40
任务四 耐热胶管内层胶料的配方设计实践	43
任务五 实训报告撰写	49
任务六 实训总结交流、评价	49
技能与知识拓展 胶管的发展趋势	49

项目四	阻燃输送带覆盖胶料的配方设计	51
任务一	阻燃输送带覆盖胶料的使用条件分析	51
任务二	阻燃输送带覆盖胶料性能指标和检测项目确定	52
任务三	阻燃输送带覆盖胶料的配合剂选择	52
任务四	阻燃输送带覆盖胶料的配方设计实践	64
任务五	实训报告撰写	72
任务六	实训总结交流、评价	72
技能与知识拓展	新型阻燃剂的发展前景	73
项目五	耐油密封圈胶料的配方设计	75
任务一	耐油密封圈的工作环境和使用条件分析	75
任务二	耐油密封圈胶料性能指标和检测项目确定	76
任务三	耐油密封圈胶料的配合剂选择	78
任务四	耐油密封圈胶料的配方设计实践	81
任务五	实训报告撰写	88
任务六	实训总结交流、评价	89
项目六	泡沫鞋底胶料的配方设计	90
任务一	泡沫鞋底胶料使用条件分析	90
任务二	泡沫鞋底胶料的性能指标和检测项目确定	90
任务三	泡沫鞋底胶料的配合剂选择	91
任务四	泡沫鞋底胶料的配方设计实践	98
任务五	实训报告撰写	103
任务六	实训总结交流、评价	103
技能与知识拓展	发泡鞋底材料发展趋势	103
项目七	医药瓶塞胶料的配方设计	107
任务一	医药瓶塞的使用条件和性能分析	107
任务二	医药瓶塞胶料性能指标和检测项目确定	108
任务三	医药瓶塞胶料的配合剂选择	109
任务四	医药瓶塞胶料的配方设计实践	110
任务五	实训报告撰写	113
任务六	实训总结交流、评价	114
技能与知识拓展	丁基橡胶医用瓶塞的优势	114
附录 1	配方设计训练所用的表格汇总	116
附录 2	配方设计训练的考核标准	119
参考文献		122

概 述

橡胶配方，就是一份表示胶料中各种原材料名称、规格和用量的配比表。配方设计是根据产品的性能要求和工艺条件，通过试验、优化、鉴定，合理的选用原材料，确定各种原材料的用量配比关系的过程。橡胶配方包含生胶体系、硫化体系、补强填充体系、防护体系、软化增塑体系五大基本体系。随着科学技术的不断发展，对橡胶制品的性能要求不断提高，为了赋予材料特殊的性能，除了已有的橡胶五大体系之外，还经常使用一些特殊用途的助剂，如防焦剂、塑解剂、分散剂、增容剂、硬化剂、增黏剂、防黏剂、润滑剂、脱模剂、消泡剂、抗静电剂、芳香剂、除臭剂、改性剂、着色剂等，因此配方设计现已发展到包括特殊性能体系在内的六大体系。

生产中有时配方则包含更详细的内容，其中包括：胶料的名称及代号、胶料的用途、生胶及各种配合剂的用量、含胶率、相对密度、成本、胶料的加工工艺、工艺性能和硫化胶的物理性能等。

(1) 配方设计实训的任务和目的 配方设计实训的主要任务是结合学生的就业方向 and 兴趣使学生对橡胶加工工业中主要制品的配方设计基本知识、基本理论和基本设计能力加以应用，并受到必需的基本设计技能训练，为学生将来从事橡胶工业技术设计工作打下更好的更高层次的基础。本实训是在学习配方设计知识后，根据产品使用条件和性能进行的集中训练、练习教学环节，对典型橡胶产品的配方设计，能根据任务书要求，完成设计任务，经试验验证和配方优化，最终形成具有一定使用价值的配方。

配方设计实训的目的包括两方面。

① 能力教学目标：

- a. 具有一般橡胶制品的配方设计能力；
- b. 能处理配方设计过程中常见的问题；
- c. 提高橡胶制品配方设计的试验操作技能；
- d. 具有学习配方设计新知识、新技术的能力；
- e. 具有查阅和使用常用工业手册、资料的能力。

② 职业素养目标：

- a. 初步具备运用工程技术观点观察、分析和解决橡胶工程中的一般问题的能力；
- b. 具备对一般橡胶制品的定性知识和定量知识；



- c. 具有热爱科学、实事求是的学风和严谨的工作作风；
- d. 树立创新意识、团结协作意识、质量意识、成本意识和环境保护意识。

(2) 配方设计的内容 橡胶配方设计是橡胶制品生产过程中的关键环节，对产品的质量、加工性能和成本均有决定性的影响。

应用各种橡胶和配合剂，通过试验设计优化组合，便可制出工艺性能不同的胶料和技术性能各异的硫化胶。橡胶配方设计的内容包括以下几方面：

- a. 确定符合制品工艺性能要求的硫化胶的主要性能以及这些性能指标值的范围；
- b. 确定适于生产设备和制造工艺所必需的胶料的工艺性能以及这些性能指标值的范围；
- c. 选择能达到胶料和硫化胶指定性能的主体材料和配合剂，并确定其用量比。

(3) 配方设计的原则 橡胶配方设计的原则可以概括为 3P+1C，即价格+性能+工艺和环境。具体概括如下：

- a. 保证硫化胶具有指定的技术性能，使产品符合使用性能；
- b. 在胶料和产品制造过程中加工工艺性能良好，使产品易于加工制造；
- c. 成本低、价格便宜；
- d. 所用各种原材料容易得到；
- e. 劳动生产率高，在加工制造过程中能耗少；
- f. 符合环境保护及卫生要求。

任何一个橡胶配方都不可能在所有性能指标上达到全优。在许多情况下，配方设计应确定哪些是主要哪些是次要，以满足主要要求为主。

要使橡胶制品的性能、成本和工艺可行性三方面取得最佳的综合平衡，即用最少物质消耗、最短时间、最小工作量，通过科学的配方设计方法，掌握原材料配合的内在规律，设计出实用配方。

(4) 配方设计的程序 实际生产中实用配方拟定程序如图 0-1 所示。

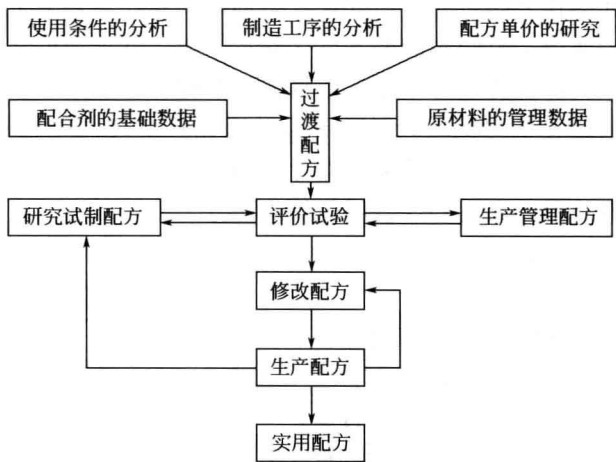


图 0-1 实用配方拟定程序

综上所述，可以看出配方设计过程并不局限于试验室的试验研究，还包括如下几个研究阶段：

- a. 研究、分析同类产品 and 近似产品生产中所使用的配方；

- b. 制定基本配方, 并在这个基础上制定连续改进配方;
- c. 根据确定的计划, 在试验室条件下制定出改进配方的胶料, 并进行试验, 选出其中最优的配方, 作为下一步试制配方;
- d. 在生产或中间生产的条件下进行中试, 制备胶料进行工艺(混炼、压出、压延等)和物理性能试验;
- e. 进行试生产, 做出试制品, 并按照标准和技术条件进行试验。

根据上述各个试验阶段所得到的试验数据, 就可以帮助选定最后的生产配方。如不能满足要求, 则应继续进行试验研究, 直到取得合乎要求的指标为止。

根据实际试验条件, 本实训主要内容为分析制品性能要求和使用条件, 确定胶料主要物性指标、拟定胶料配方、胶料成本分析、胶料性能测试与鉴定、配方优化、确定配方。

(5) 主要学习资源 在实训过程中需要查阅相关技术资料, 主要的技术资料为《橡胶工业手册》1~7册、《化学工业标准汇编——轮胎 轮辋 气门嘴》、《橡胶制品工艺》、《现代橡胶配方设计》等, 以及相关专业期刊如《橡胶工业》、《轮胎工业》、《中国橡胶》等。

(6) 完成实训项目的基本步骤 各类橡胶制品在生产生活中的作用不同, 生产量也各不相同, 根据学生的就业方向或兴趣选取常用橡胶制品的胶料配方设计作为训练项目。班级学生分组组成项目组, 每个项目组从中选取一个项目, 各项目组同时展开训练。

各项目组选择好实训项目后, 项目组成员共同讨论, 需按照以下流程完成实训项目。

分析实训项目→搜集查阅技术资料→确定制品使用条件和性能→确定胶料性能指标和检测项目→选择所需要的配合剂品种→拟定初步配方, 计算配方成本→讨论、评价所拟定配方→试验鉴定配方→分析试验数据→优化调整配方→试验鉴定优化后配方→分析试验数据→确定配方→撰写实训报告→实训交流汇报、考核、评价。

其中的试验鉴定配方步骤包含制定试验工作计划(包括试验设备仪器、试验条件、仪器操作步骤等)、原材料配制操作、胶料塑混炼、胶料硫化特性测定、试样硫化、物理机械性能测试。

实训报告包含制品一般介绍、制品国际标准、使用条件和性能分析、性能指标确定、拟定初步配方、五大体系的选择与论证、实验测试数据、实验结果讨论与分析、配方改进方案、最终设计配方等。

模块一

通用橡胶制品的 配方设计

本模块主要进行轮胎、普通胶管、胶鞋的配方设计，通过完成胶料的配方设计达到以下目标。

► 能力目标

- ① 会分析轮胎、普通胶管、胶鞋的使用条件和基本性能要求。
- ② 能拟定轮胎、普通胶管、胶鞋胶料的配方。
- ③ 会制备胶料、硫化试样。
- ④ 会测试胶料的硫化特性、可塑度等工艺性能。
- ⑤ 会测试胶料的拉伸性能、硬度、耐磨性。
- ⑥ 能分析胶料配方对性能的影响并调整优化配方。
- ⑦ 具有汇总设计资料、整理实验数据、形成总结报告的能力。

► 知识目标

- ① 了解 NR、BR、SBR、橡胶配合剂的结构和性能特点以及配合方法。
- ② 理解配合体系对拉伸强度、硬度、耐磨性、弹性的影响。
- ③ 掌握轮胎、普通胶管、胶鞋胶料配方设计方法。

► 素质目标

- ① 提高计划、组织和协调能力。
- ② 培养查阅汇总资料的能力。
- ③ 培养团结协作、吃苦耐劳精神。
- ④ 培养勇于探索、勇于创新、一丝不苟的职业素养。
- ⑤ 树立较强的质量意识、成本意识、安全操作意识。
- ⑥ 培养沟通交流的基本素质。

项目一



斜交轻型载重轮胎胎冠胶料的配方设计

情境描述

在某轮胎公司技术部，根据市场调研和用户要求，需开发 7.50-16 轻型载重轮胎。作为配方设计技术人员，各项目组需根据要求设计该规格轮胎的胎冠胶料配方，以便使产品顺利投产，满足用户要求。

各项目组接到配方设计任务后，应对项目要求进行认真分析，逐步完成以下任务。

任务一 斜交轻型载重轮胎胎冠胶料使用条件分析

任务二 斜交轻型载重轮胎胎冠胶料性能指标和检测项目确定

任务三 斜交轻型载重轮胎胎冠胶料的配合剂选择

任务四 斜交轻型载重轮胎胎冠胶料的配方设计实践

任务五 实训报告撰写

任务六 实训总结交流、评价

任务一 斜交轻型载重轮胎胎冠胶料使用条件分析

轮胎是供车辆、农业机械、工程机械行驶和飞机起落等用的圆环形弹性制品。它是车辆的主要配件，固定在汽车轮辋上形成整体，起支承车辆重量，传递车辆牵引力、转向力和制动力的作用，并使车辆行驶时吸收因路面不平产生的震动和外来冲击力，使乘坐舒适。

轮胎是橡胶工业中的主要制品，是一种不可缺少的战略物资。在橡胶工业中，轮胎的产量最大，耗胶量约占总耗胶量的 60%~65%。

轮胎种类繁多，达数百种以上，一般习惯根据轮胎的用途、结构、规格、气压等因素进

行综合分类。按结构不同，可分为普通结构轮胎（斜交轮胎）和子午线轮胎两类。外胎由胎面、胎体和胎圈三个大部件组成。胎面包括胎面胶和胎侧胶，斜交轮胎胎体包括帘布层和缓冲层，子午线轮胎的胎体包括帘布层和带束层。外胎各部件组成如图 1-1 所示。

轮胎在负载条件下滚动，由于受到负荷作用和路面的反作用力，在行驶过程中经历了复杂的动态变形和磨损。随着公路的发展、车速的提高，轮胎的形变和磨损更为复杂，寿命和安全性及其对汽车操纵稳定性的影响，成为人们日益关注的问题。因此对汽车轮胎的结构设计、配方设计及其相应的工艺进行了大量研究和改进。

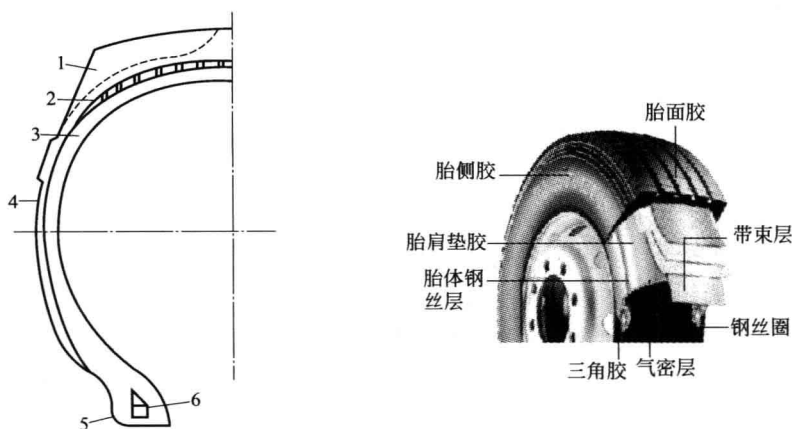


图 1-1 斜交轮胎断面及子午线轮胎剖面

1—胎面；2—缓冲层；3—帘布层；4—胎侧；5—胎圈；6—钢丝圈

胶料及骨架材料作为轮胎的组成部分，其物理性能和工艺性能关系到轮胎制造工艺的可行性和轮胎的使用性能，因此胶料配方设计就成为轮胎工业的重要组成部分。随着轮胎设计、原材料应用及加工工艺的不断发展，轮胎胶料配方设计也有较大的发展和变化。这是因为，胶料配方设计必须首先满足轮胎使用性能要求，同时又要求制造工艺是可行的、经济上是合理的，原材料的来源是可靠的。

轮胎作为车辆滚动时力的承受者，其基本功能包括：

- ① 承受车辆全部负荷并传递；
- ② 具有吸震和缓冲性能；
- ③ 操纵稳定性好；
- ④ 具有抗湿滑性能；
- ⑤ 安全性好；
- ⑥ 环保无污染。

轮胎本身必要的使用性能包括：

- ① 胎面胶耐磨耗和抗刺扎性能好；
- ② 滚动阻力小，油耗低；
- ③ 温升高，行驶寿命长；
- ④ 噪声低；
- ⑤ 安全性高。

配方设计者要针对轮胎基本功能和使用性能进行设计，以满足其综合要求。轮胎使用性能不是一成不变的。随着汽车工业发展，公路修建对轮胎使用性能的要求日益苛刻。



首先是速度要求。随着汽车的发展,公路建设的发展完善,汽车行驶速度已增高很多,轮胎的高速性能,尤其是高速安全性就成为高速轮胎的主要技术指标。首先要解决的是提高高速行驶时轮胎的驻波速度及其高速破坏速度,其次是增大轮胎的抓着力和提高抗湿滑性能,还需要提高舒适性和降低噪声。

其次是节省能源。随着生产发展,能源需求日益增加,尤其是西方工业发达国家,节省能源成了当务之急,一些国家交通部门为此还专门制定了有关法规,因此,降低轮胎滚动阻力的研究成为主要课题之一。许多可降低胎面胶滚动阻力的原材料随之大量涌现,从而也大大促进了配方研究的发展。子午线轮胎滚动阻力小,节油效果显著,是任何其他结构轮胎都望尘莫及的。由于其力学性能完全不同于斜交轮胎,因此,胶料配方设计也就大大不同。节油要求也促使无内胎轮胎大力推广,从而对气密层配方的研究也相应发展起来。

总之, 配方设计要适应车辆对轮胎使用性能的日益苛刻的要求。为了避免应力集中和减小剪切应力, 满足轮胎的使用要求, 各部件胶料配方设计必须满足其力学状态和功能的要求。轮胎胎冠胶直接与路面接触, 承受苛刻的外部应力作用, 主要的破坏形式是磨损。为保证胎冠胶有良好的耐磨性, 要求胶料耐磨性好, 拉伸强度大和撕裂强度大, 弹性大, 以减小轮胎生热, 提高抗刺扎性能, 降低轮胎滚动阻力, 提高摩擦系数以提高与路面特别是湿路面的抓着力, 耐疲劳和耐热氧、耐臭氧老化性能好。在设计胎冠胶配方时应寻求这些性能的最合理匹配。斜交轻型载重轮胎规格和使用条件不同, 对胎冠胶的要求也不同, 生热成为影响斜交轻型载重轮胎的可靠性和使用性能的关键因素。

轮胎是一个多部件组成的复合材料体,在复杂的形变作用下,各部件所处位置不同,其胶料性能各异,配方设计时不但要考虑各部件胶料本身的性能要求,还要考虑各部件胶料的相互影响和相互作用。轮胎整体配方设计时,应考虑定伸应力或硬度性能指标和硫化速度的匹配。

【案例 1】 某轮胎有限公司需对载重轮胎的配方进行设计，请分析载重轮胎胎面胶的使用性能。

分析：首先分析轮胎的使用环境、胶料所处部位，常见的损害方式，从而分析出具体的性能要求。该分析过程为定性分析，通过查找资料或参考书、市场调研描述出所设计胶料的性能要求。

载重轮胎一般装于载重汽车,用于长途运输,载重量较大。由于胎面是轮胎与路面直接接触的部位,承受着轮胎最苛刻的外应力作用,经常出现的损坏形式为胎面磨光、刺扎损坏、花纹崩花及裂口,胎面损坏易导致胎体爆破,影响轮胎的使用寿命。因此,载重胎胎面胶应具有优越的耐磨性,较高的拉伸强度和撕裂强度,良好的耐老化、耐屈挠、耐热、抗刺扎和抗花纹沟裂口等性能。

参照载重轮胎胶面胶料的分析方法，进行轻型载重轮胎胎冠胶料的使用性能分析，并将分析结果填入表 1-1 中。

表 1-1 轻型载重轮胎胎冠胶料的使用性能分析

胶料名称	使用环境	胶料所处部位	该部位主要 损害方式	使用性能要求

任务二 斜交轻型载重轮胎胎冠胶料性能指标和检测项目确定

胶料配方设计的主要依据就是橡胶制品的使用性能以及使用性能与硫化胶物理性能之间的关系，通过调节硫化胶的性能来满足制品的使用性能要求。

对制品胶料的物理性能指标做一个量化的规定，通过查找资料或标准确定所设计制品胶料的性能要求，同时根据教师下达的课题任务要求，最终确定所设计产品配方的性能指标。要求同学在查找资料时，尽量多翻阅资料，找到所设计制品胶料比较全面的信息。

【案例 2】 确定斜交轮胎农业胎胎冠胶性能指标和检测项目。

查阅《化学工业标准汇编——轮胎 轮辋 气门嘴》，农业胎的物理性能指标为：

拉伸强度 $\geq 15.5\text{MPa}$

拉断伸长率 $\geq 420\%$

阿克隆磨耗量 $\leq 0.4\text{cm}^3/1.61\text{km}$

通过以上资料的查阅和对农业胎胎冠的综合分析，以及教师所下达的课题要求，确定农业胎胎冠胶的性能指标为：

拉伸强度 $\geq 15.5\text{MPa}$

拉断伸长率 $\geq 420\%$

撕裂强度 $\geq 12\text{kN/m}$

300%定伸应力 $(8.0 \pm 0.5)\text{MPa}$

阿克隆磨耗量 $\leq 0.4\text{cm}^3/1.61\text{km}$

焦烧时间 $(120^\circ\text{C}) > 10\text{min}$

以上性能指标的检测方法有拉伸性能测试、撕裂性能测试、阿克隆磨耗试验、门尼焦烧试验，因此确定该项目需进行拉伸性能试验、撕裂性能试验、阿克隆磨耗试验、门尼焦烧试验。

同学们可根据本组项目确定胶料的性能指标和需要进行的测试试验，并将相应内容填入表 1-2。

表 1-2 斜交轻型载重轮胎胎冠胶料的性能指标和试验项目

项 目	性 能 指 标	对应的检测试验名称

任务三 斜交轻型载重轮胎胎冠胶料的配合剂选择

橡胶配方一般包括生胶体系、硫化体系、填充体系、软化体系、防护体系五大体系。

们的拉伸力学性能与并用比基本上呈线性关系。

1.3.2 硫化体系的选择

天然橡胶、丁苯橡胶、顺丁橡胶适用的硫化剂有：硫、硒、碲；硫黄给予体；有机过氧化物；酯类；醌类等。使用时应根据制品的不同性能要求而分别采用不同类型的硫化体系。硫黄硫化体系按促进剂的用量与硫黄用量的比例变化可以组成三种不同特点的硫化体系：普通硫黄硫化体系、半有效硫黄硫化体系、有效硫黄硫化体系。

普通硫黄硫化体系（常规硫化体系又称高硫低促体系）是采用高量的硫黄和低量的促进剂配合的硫化体系，其交联键以多硫键为主，老化前胶料的通用物理机械性能较好，表现为强度高、弹性好、耐磨性高，其成本低，但耐热性、耐老化性差，硫化时返原性大。由于天然橡胶不饱和度大，硫黄用量可比合成橡胶多，在软质橡胶制品中硫黄用量 2~3 份，最常用 1.75~2.75 份。促进剂用量在 1 份以下，硫黄用量在 2.5 份以上时，物理机械性能如拉伸强度、伸长率变化不大，而永久变形、硬度和定伸应力增加。

有效硫化体系有两种配合形式。一是高促低硫配合：促进剂用量在 2~3 份，硫黄用量在 0.5 份以下（0.1~0.5 份）。二是无硫配合：用给硫体（如 TMTD 用量或 DTDM 用量）进行硫化。这种体系生成的交联键以单硫键为主，硫化胶耐热老化性能优良，过硫后不出现硫化返原现象，但单用 TMTD 硫化，操作不安全，易焦烧，且喷霜严重。当要求在高温硫化条件下不发生硫化返原现象以及具有良好的耐高温、耐老化性能时，宜采用有效硫黄硫化体系。

半有效硫化体系介于普通硫黄硫化体系和有效硫黄硫化体系之间。半有效硫化体系是由中等硫黄用量 1~1.7 份和促进剂组成。交联键中既有多硫键也有单双硫键。其硫化胶兼有耐热耐疲劳和抗硫化返原等多种综合功能，因此获得广泛应用。

常用的有机促进剂有：M、DM、TMTD、CZ、NOBS 等，它们可以单用或并用。

天然橡胶可以用有机过氧化物硫化。最常用的有机过氧化物为过氧化二异丙苯（DCP）。硫化胶形成的交联键为碳碳键。硫化胶具有好的热稳定佳和优异的耐高温老化性能，蠕变小，压缩永久变形小，动态性能好，抗返原性好。缺点是胶料硫化速度慢，易焦烧，硫化胶撕裂强度低，与抗臭氧剂不相容，硫化模型易积垢。

天然橡胶硫黄硫化体系通常要配用氧化锌、硬脂酸等活性剂。

1.3.3 补强填充体系的选择

依据配方要求，加入炭黑可以提高胶料的耐磨和抗撕裂等性能，在天然橡胶配合中要求耐磨时可加入超耐磨炭黑（N110）、中超耐磨炭黑（N220）和高耐磨炭黑（N330）等。要求提高耐撕裂性时，以槽法炭黑效果最好。要求强力不高、弹性好、加工性能好时，可用快压出炉黑（N550）、通用炉黑（N660）、半补强炉黑（N770）等。选用炭黑时，要注意炭黑的粒径、结构、表面活性和 pH 值。pH 值影响硫化速度，因此要根据炭黑的酸碱性，相应调整硫化体系的品种和用量。对炉法炭黑应选用后效性促进剂，且用量不宜太大。

对于浅色、艳色制品，天然橡胶可加沉淀白炭黑、活性白炭黑、超细活性碳酸钙等作为补强剂。加沉淀白炭黑时应配有机活性剂二甘醇、甘油乙醇胺等调节硫化速度。

补强剂用量可根据制品性能要求和含胶率指标确定。一般来说，要获得最高强度，用量 40~45 份为宜，用量过大，强力反而降低。若要求低强力、低成本，则可添加陶土、CaCO₃ 等填充剂，以降低含胶率。