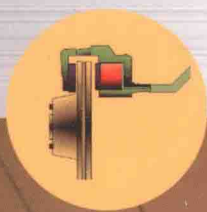
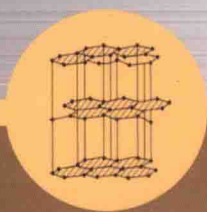


树脂基纤维 增强汽车制动摩擦材料

姚冠新 牛华伟 侯明深 编著

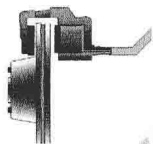
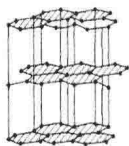


SHUZHJI XIANWEI
ZENGQIANG QICHE
ZHIDONG
MOCA CAILIAO

 江苏大学出版社
JIANGSU UNIVERSITY PRESS

脂基纤维 增强汽车制动摩擦材料

姚冠新 牛华伟 侯明深 编著



SHUZHIMI XIANWEI
ZENGQIANG QICHE
ZHIDONG
MOCA CAILIAO

 江苏大学出版社
JIANGSU UNIVERSITY PRESS
镇 江

图书在版编目(CIP)数据

树脂基纤维增强汽车制动摩擦材料 / 姚冠新, 牛华伟, 侯明深编著. — 镇江: 江苏大学出版社, 2015.12
ISBN 978-7-5684-0108-1

I. ①树… II. ①姚… ②牛… ③侯… III. ①汽车—制动装置—树脂基复合材料—摩擦材料 IV. ①TB39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 308081 号

树脂基纤维增强汽车制动摩擦材料

Shuzhiji Xianwei Zengqiang Qiche Zhidong Moca Cailiao

编 著/姚冠新 牛华伟 侯明深

责任编辑/郑晨晖

出版发行/江苏大学出版社

地 址/江苏省镇江市梦溪园巷 30 号(邮编: 212003)

电 话/0511-84446464(传真)

网 址/<http://press.ujs.edu.cn>

排 版/镇江华翔票证印务有限公司

印 刷/江苏凤凰数码印务有限公司

经 销/江苏省新华书店

开 本/787 mm×1 092 mm 1/16

印 张/19.75

字 数/468 千字

版 次/2015 年 12 月第 1 版 2015 年 12 月第 1 次印刷

书 号/ISBN 978-7-5684-0108-1

定 价/40.00 元

如有印装质量问题请与本社营销部联系(电话:0511-84440882)

前 言

摩擦片是车辆离合器总成和制动器上的关键安全零件,它影响车辆行驶的安全性、舒适性。

随着运输设备和机械逐渐向高速、重载、安全及舒适等方向发展,人们对摩擦材料性能的要求越来越高,如要求产品具有良好的摩擦磨损性能、优异的抗高温性能、使用寿命长、低噪音或无噪音、价格低等。因此,在摩擦材料产品的制造过程中,会遇到越来越多的问题,这就要求工程技术人员必须掌握必要的材料科学与工程知识,具有正确选择材料和制造加工处理方法、合理安排加工工艺路线、科学组织和管理生产的能力。

本书综合阐述了摩擦及磨损理论的基础知识、摩擦材料的基本组分及其作用、制品生产工艺及流程、制品性能检测手段和方法等。本书以树脂基摩擦材料为研究对象,详细介绍了粘结剂的改性原理及改性方法;介绍了增强纤维及填料的分类、成分、性能;介绍了摩擦材料的加工工艺路线;介绍了制品性能的检测方法。

摩擦材料涉及摩擦学、矿物学、高分子材料、无机非金属材料、机械制造加工等多个学科。本书的主要特点在于围绕其核心内容“组分、作用、制品生产技术、检测”,按逻辑思维进行内容编排,较系统地阐述了制动摩擦材料的性能要求、各种组分材料的性质和作用及摩擦材料的生产技术方法原理、工艺过程、特点及应用等。

本书结构清晰,信息量大,每章相互衔接,文字叙述力求准确精炼,科学性、实用性强。

本书由姚冠新教授、牛华伟、侯明深编著,张宝玉、陶飞、罗玲、王玉玲、甘贵江、高冬、刘兴保、魏龙庆、王红侠、夏园等为本书的编写付出了辛勤的劳动,在此表示感谢。

鉴于作者学识有限,书中不足和欠妥之处在所难免,敬请各位同行专家不吝赐教。

扬州大学 姚冠新

目 录

第 1 章 绪论 / 001

- 1.1 制动摩擦材料的发展历史与现状 / 001
- 1.2 制动摩擦材料的分类及应用范围 / 006
- 1.3 制动摩擦材料的技术要求 / 007
- 1.4 制动摩擦材料的组成 / 009
- 1.5 制动摩擦材料的发展趋势 / 013
 - 1.5.1 制动摩擦材料生产技术的发展 / 013
 - 1.5.2 制动摩擦材料的研究和开发 / 014

第 2 章 汽车制动摩擦学 / 017

- 2.1 汽车制动器 / 017
 - 2.1.1 鼓式制动器 / 017
 - 2.1.2 盘式制动器 / 019
 - 2.1.3 影响制动的因素 / 021
- 2.2 制动摩擦与磨损机理 / 023
 - 2.2.1 制动摩擦 / 023
 - 2.2.2 制动摩擦材料的磨损 / 034
- 2.3 制动摩擦材料的摩擦磨损特点 / 037

第 3 章 粘结剂 / 042

- 3.1 摩擦材料粘结剂概述 / 042
 - 3.1.1 酚醛树脂的发展史及特点 / 042
 - 3.1.2 摩擦材料用改性酚醛树脂生产中的几个技术问题 / 044
- 3.2 酚醛树脂的合成机理 / 047
 - 3.2.1 合成酚醛树脂的原料 / 047
 - 3.2.2 合成工艺和反应机理 / 051

- 3.2.3 酚醛树脂的固化 / 059
- 3.2.4 摩擦材料用酚醛树脂改性方法 / 065
- 3.3 单一改性酚醛树脂 / 068
 - 3.3.1 硼改性酚醛树脂 / 068
 - 3.3.2 钼改性酚醛树脂 / 070
 - 3.3.3 锆改性酚醛树脂 / 072
 - 3.3.4 腰果壳油改性酚醛树脂 / 076
 - 3.3.5 桐油改性酚醛树脂 / 078
 - 3.3.6 三聚氰胺改性酚醛树脂 / 080
 - 3.3.7 丁腈橡胶改性酚醛树脂 / 082
 - 3.3.8 有机硅改性酚醛树脂 / 084
 - 3.3.9 亚麻油改性酚醛树脂 / 087
- 3.4 复合改性酚醛树脂 / 090
 - 3.4.1 有机化蛭石 - 硼 - 桐油复合改性酚醛树脂 / 090
 - 3.4.2 三聚氰胺和腰果壳油改性酚醛树脂 / 093
 - 3.4.3 钼改性酚醛树脂的研究 / 094
- 3.5 纳米改性酚醛树脂 / 098
 - 3.5.1 纳米 Al_2O_3 改性酚醛树脂 / 099
 - 3.5.2 纳米 SiO_2 改性酚醛树脂 / 105
 - 3.5.3 纳米 SiC 改性酚醛树脂 / 108
 - 3.5.4 纳米蒙脱土改性酚醛树脂 / 110
 - 3.5.5 纳米铜改性酚醛树脂 / 114

第 4 章 增强纤维 / 119

- 4.1 概述 / 119
- 4.2 传统石棉纤维 / 120
 - 4.2.1 石棉的结构与性质 / 120
 - 4.2.2 温石棉的性质 / 120
 - 4.2.3 石棉的摩擦作用 / 122
- 4.3 有机纤维 / 124
 - 4.3.1 英特 ETF 纤维 / 124
 - 4.3.2 芳纶纤维 / 125
 - 4.3.3 棉纤维 / 128
 - 4.3.4 麻纤维 / 128
 - 4.3.5 聚乙烯醇纤维(维纶) / 129
- 4.4 无机纤维 / 130
 - 4.4.1 玻璃纤维 / 130

- 4.4.2 FKF 纤维 / 131
- 4.4.3 海泡石纤维 / 133
- 4.4.4 纤维水镁石 / 135
- 4.4.5 针状硅灰石 / 135
- 4.5 碳纤维 / 138
- 4.6 金属纤维 / 141
- 4.7 纤维在摩擦材料中的应用与研究 / 142
 - 4.7.1 Kevlar 短纤维对摩擦材料性能的影响效应 / 142
 - 4.7.2 玻璃纤维增强酚醛基摩擦材料摩擦磨损性能研究 / 146
 - 4.7.3 碳纤维增强汽车摩擦材料的研究 / 149
 - 4.7.4 钢纤维对摩擦材料性能的影响 / 152
 - 4.7.5 剑麻纤维增强摩擦材料的研制 / 155
 - 4.7.6 钛酸钾晶须、芳纶、坡缕石复合矿物纤维摩擦材料的摩擦性能研究 / 158
 - 4.7.7 芳纶、玻纤、硅灰石、钛酸钾混杂纤维增强汽车制动器摩擦材料的性能研究 / 161
 - 4.7.8 陶瓷纤维增强摩擦材料的性能研究 / 164

第 5 章 填料 / 168

- 5.1 概述 / 168
 - 5.1.1 填料在摩擦材料中的作用 / 168
 - 5.1.2 填料的分类 / 169
 - 5.1.3 填料特性对摩擦材料性能的影响 / 169
 - 5.1.4 磨尘填料 / 175
- 5.2 增摩填料 / 176
 - 5.2.1 重晶石 / 176
 - 5.2.2 氧化铝 / 176
 - 5.2.3 氧化铁 / 177
 - 5.2.4 硅灰石 / 177
 - 5.2.5 萤石 / 177
 - 5.2.6 锆英石 / 177
 - 5.2.7 长石 / 178
 - 5.2.8 蛭石 / 178
 - 5.2.9 沸石 / 178
 - 5.2.10 铝矾土 / 178
 - 5.2.11 硅藻土 / 179
 - 5.2.12 石英岩 / 179

- 5.3 减摩填料 / 180
 - 5.3.1 石墨 / 180
 - 5.3.2 三硫化二锑 / 180
 - 5.3.3 二硫化钼 / 180
 - 5.3.4 滑石 / 181
 - 5.3.5 云母 / 181
 - 5.3.6 焦炭 / 181
 - 5.3.7 金属填料 / 181
 - 5.4 有机填料 / 183
 - 5.4.1 腰果壳油摩擦粉 / 183
 - 5.4.2 粉末橡胶 / 183
 - 5.4.3 轮胎粉 / 184
 - 5.4.4 胺基酯 / 184
 - 5.5 摩擦粒 / 184
 - 5.5.1 摩擦粒的作用 / 185
 - 5.5.2 摩擦粒的制备 / 186
 - 5.5.3 摩擦粒的性能 / 187
 - 5.5.4 含摩擦粒配方的缺点 / 188
 - 5.6 填料在摩擦材料中的应用与研究 / 188
 - 5.6.1 石墨在半金属摩擦材料中的作用及其对摩擦性能的影响 / 188
 - 5.6.2 无机填料对制动摩擦材料摩擦磨损性能的影响 / 192
 - 5.6.3 填料对制动摩擦材料制动噪声的影响 / 196
 - 5.6.4 填料的粒度对摩擦材料性能影响的比较 / 202
 - 5.6.5 减摩填料对重型汽车摩擦材料摩擦磨损性能的影响 / 205
 - 5.6.6 增摩填料对汽车制动摩擦材料的影响 / 211
 - 5.6.7 碳酸钙晶须在摩擦材料中的性能研究 / 214
 - 5.6.8 钛酸钾晶须、钛酸钾镁片晶作填料对摩擦材料性能的影响 / 218
- 第 6 章 模压型摩擦材料制品的生产工艺 / 221**
- 6.1 概述 / 221
 - 6.2 干法生产工艺 / 221
 - 6.2.1 直接混合法工艺 / 222
 - 6.2.2 热辊炼法工艺 / 224
 - 6.2.3 冷辊炼法工艺 / 225
 - 6.3 湿法压塑料生产工艺 / 227
 - 6.3.1 短纤维材质的生产工艺 / 227
 - 6.3.2 连续纤维的生产工艺 / 231

- 6.4 压塑料的工艺性能 / 232
 - 6.4.1 固化速度 / 232
 - 6.4.2 流动性 / 233
 - 6.4.3 颗粒均匀度 / 235
 - 6.4.4 比容 / 235
 - 6.4.5 压缩率 / 236
 - 6.4.6 压坏性 / 236
- 6.5 预成型 / 237
 - 6.5.1 预成型的目的 / 237
 - 6.5.2 模压预成型 / 238
- 6.6 成型和固化 / 240
 - 6.6.1 热压成型固化工艺 / 240
 - 6.6.2 辊压法成型固化工艺 / 255
 - 6.6.3 冷压一次成型工艺 / 257
- 6.7 制压品的后加工处理 / 259
 - 6.7.1 热处理 / 259
 - 6.7.2 磨削加工 / 260
 - 6.7.3 钻孔 / 263
 - 6.7.4 印标 / 264

第7章 制品性能检测设备及试验方法 / 266

- 7.1 摩擦性能检测设备及试验方法 / 266
 - 7.1.1 小样摩擦试验机 / 266
 - 7.1.2 实样摩擦试验机 / 278
 - 7.1.3 惯性台架试验机 / 280
- 7.2 摩擦材料理化性能检测 / 282

参考文献 / 291

附 录 / 294

- 附录 A 汽车制动摩擦材料性能要求及试验规范 / 294
- 附录 B 常用标准代号含义 / 302
- 附录 C 部分常见标准 / 303

第 1 章

绪 论

1.1 制动摩擦材料的发展历史与现状

两个相互接触的物体相对运动产生摩擦,而摩擦材料就是为吸收摩擦产生的能量或传递动能所设计的。摩擦材料按其摩擦特性分为低摩擦系数材料和高摩擦系数材料。低摩擦系数材料又称减摩材料或润滑材料,其作用是减少机械运动中的动力损耗,减少机械部件磨损,延长使用寿命。高摩擦系数材料(又称摩阻材料)通常简称为摩擦材料。

摩擦材料是一种应用广泛又十分重要的材料。任何机械设备与运动的各种车辆,都必须有制动或传动装置,由摩擦材料制成的制动片和离合器片是制动或传动装置上的关键部件,它最主要的功能是通过摩擦来吸收或传递动力。由于摩擦材料的特殊功能,因此被广泛地应用在汽车、摩托车、火车、农用车辆、飞机、船舰、石油钻机、矿山机械及各类工程机械设备上。

制动摩擦材料是车辆制动器的关键部件,其摩擦性能直接影响到车辆的安全性。传统摩擦材料的分类、特点、用途见表 1-1。

表 1-1 传统摩擦材料

类型		基材	粘结剂	特点	用途	
有机	编织	软质编织	石棉布	热固和(或)热塑性树脂并用	软质,适应鼓径变化	轻负荷工程机械用制动带
		特殊编织	石棉布	热固性树脂和天然橡胶	耐热、耐磨	工程机械用离合器片
		半模塑	石棉布	热固性树脂和天然橡胶	摩擦系数大	离合器片
	模塑	橡胶模塑	石棉绒和有机、无机填料	天然和合成橡胶	廉价、无噪音	中负荷制动片
		树脂模塑	石棉绒和有机、无机填料	热固性树脂	耐热、耐磨	汽车用制动片
		半金属	金属纤维或金属粉	热固性树脂	耐热、耐磨	盘式制动片

续表

类型		基材	粘结剂	特点	用途
无机	铜基粉末冶金	铜粉末	烧结	高温摩擦系数 稳定、耐磨	重负荷盘式制动片
	铁基粉末冶金	铁粉末	烧结	高温摩擦系数 稳定、耐磨	重负荷盘式制动片
	烧结陶瓷	无机物	烧结	高温摩擦系数 稳定、耐磨	飞机用摩擦材料

纵观制动摩擦材料的历史,它大体经历了以下几个发展阶段。

(1) 早期制动摩擦材料

在诸多石棉品种中,温石棉具有强度高、良好的耐热性和摩擦性能、柔软便于纺织、与树脂有很好的相容性等优点,是所有石棉中最受青睐的。单独的石棉线和石棉布强度低,导热性能差。掺入铜丝和其他金属丝后,编织成的石棉线和石棉布既能增加机械强度、改善导热性能和摩擦性能,又不使成本过高。这种复合纤维曾经为轿车、客车和载货车及各种不同的运动机械的安全制动做出了重大贡献。虽然目前市场上只能看到它的少量产品,但是材料复合包括纤维复合至今还是摩擦材料行业解决实际摩擦磨损问题行之有效的方法。用于制作石棉线和石棉布的石棉必须是较长纤维,但长纤维贮量小,价格高,影响摩擦材料的大规模生产。相反,短纤维贮量更大、价格更低。20世纪20年代初,摩擦材料的化学家开始研究用短的石棉纤维取代长纤维的可能性。最为成功的是把短的石棉纤维和其他成分混合后一起放入一个热压模具里压制成型。这就是现在工业生产上还广为使用的模压成型法。1926年,Blume和Frood在英格兰恩来海湾小教堂共同申请了第一批非编织石棉摩擦材料专利,有趣地发现新配方和早期粘结石棉配方惊人的相似:Frood研制的早期产品是铜丝增强编织石棉线和石棉布通过浸渍沥青、油和橡胶的混合物后制成的,Blume的模压配方使用同类型的石棉,只是长度更短;铜颗粒替代了铜丝;亚麻油和一种特低灰分、高挥发份的沥青煤替代了Frood早期配方中的沥青。后来研制的各种各样配方很少有超出这一原始构想的,并且来自涂料和油漆方面的化学家长时间地霸占这一行业,也是难以摆脱这种构想的原因之一。随后Frood第一次把自己研制的模压摩擦材料——干法拌和制动块用于伦敦地铁列车上。传统的铸铁刹车块制动后产生的金属粉尘被搁浅在铁轨上,缩短电控制系统的寿命。新的摩擦材料中金属成分很少,可以免除这种后顾之忧。

(2) 中期制动摩擦材料

1905—1907年,著名的酚醛树脂创始人比利时裔的美国科学家Backeland在酚醛树脂合成上获得了重大的突破,并于1910年取得了专利。依靠巴氏专利,德国、英国、法国和日本等都先后实现了酚醛树脂的工业化。早期的酚醛树脂主要用于制作电器绝缘制品,部分用于涂料、清漆等。1911年,Aylesworth发现应用六亚甲基四胺(hexamethylenetetramine, HEXA)可使当时认为具有永久可溶可熔的清漆树脂转变为不溶不熔的物质。这为酚醛树脂开辟了广阔的应用前景。到了20世纪30年代,这种热稳定性比沥青更好的柔性酚醛树脂也被应用到摩擦材料行业。它与干法拌和技术相结合,一种成分更复杂、今天还在使用的鼓式刹车片问世了。图1-1所示为汽车简易鼓式制动器的结构,它除

了鼓式刹车片外主要还包括制动鼓和制动蹄。与此同时,另一些来自橡胶工业的开拓者们也研制出了含橡胶的摩擦材料。他们利用编织石棉布及后来的编织石棉布涂上橡胶成分后,经折叠,用滚压机和轮压机压到要求的厚度来制作摩擦材料。后来,使用对传统的稍微改进的橡胶机械把橡胶和石棉纤维的混合成分制成(或挤压成)片状和块状来生产摩擦材料。这些生产工艺在世界上许多地方还能看到,如在东欧从早期的1939年到近代的1991年还有地区延续着这些原始的生产制造方法,甚至今天的无石棉配方工艺也部分吸纳了这些生产方法。

(3) 现代制动摩擦材料

20世纪50年代美国的S. K. Wellman公司借鉴烧结金属摩擦材料,并将该烧结金属摩擦材料广泛应用于工业和飞机的基础上推出了树脂粘结金属刹车片。这些树脂粘结金属或半金属材料是由铁粉、石墨和树脂组成的混合物,在20世纪70年代用于盘式制动器中。同时,采用不同的Wellman配方生产的大量刹车片被销往世界各地的配套和维修市场,并得到了广泛接受。必须指出的是,上文介绍的这些早期的生产方法都已被实践证明。20世纪60年代随着前轮驱动、减小车轮尺寸和改进汽车空气动力学等现代汽车的新特点提出,要求制动器做更多的摩擦功。图1-2给出了1974—1990年在下坡度为3.5%,车速为80 km/h的工况下,典型的5轴挂车列车的制动能量。

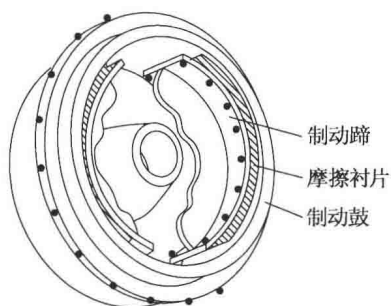


图 1-1 简易鼓式制动器的结构示意图

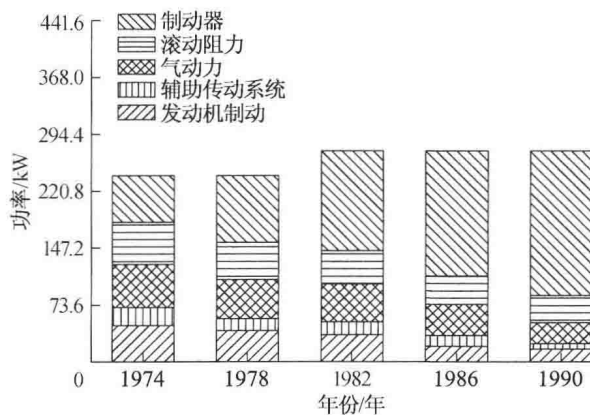


图 1-2 制动能量要求

从图1-2中可以看出:唯有制动器制动能量要求越来越高其他能量都趋于减小。为了适应制动器制动能量的这种变化,新一代摩擦材料的配方必须不断地研究并加以改进。20世纪70年代之前美国大部分汽车前后轴都安装了鼓式制动器。到了20世纪70年代,美国公路交通安全署(National Highway and Transportation Safety Administration, NHTSA)颁发了第105号联邦机动车安全标准(Federal Motor Vehicle Safety Standard Number 105, FMVSS No. 105)。标准规定:所有汽车出现高温制动或制动衰退以后,无论驾驶

员的状况如何,还是制动条件如何,要求仍能以最小的制动踏板力获得规定的制动效率(最小衰退趋势)以确保制动平稳可靠;并要求强制执行制动距离、摩擦衰退和防水标准,前轮制动系统必须贡献制动能量的70%~80%。这个规定促进了汽车制动系统向前桥采用盘式制动结构,后桥采用鼓式制动结构方向发展。2002年9月第135号联邦机动车安全标准(FMVSS No. 135)替代了FMVSS No. 105,但上述内容并未改变。

图1-3所示为汽车简易盘式制动器。与鼓式制动器相比,盘式制动器散热好,能承受过量载荷,制动平稳,采用液压方式推压刹车片响应快,高温下比鼓式制动器能保持较高的制动效能,还有优越的防水和抗衰退性能。这些特点加上石油危机和汽车数量的不断增加促成美国大量的盘式制动系统的生产。盘式制动器不仅用于轿车,20世纪70年代末开始用于轻型货车,后来又迅速推广到重型货车。现代汽车基本上采用前盘后鼓结构,也就是前轴上安装盘式制动器,后轴上安

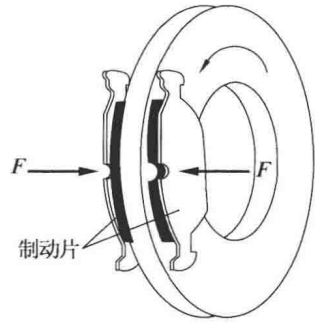
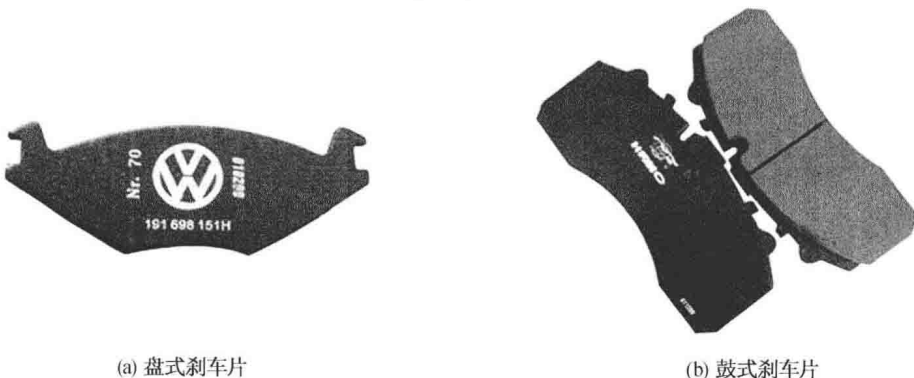


图 1-3 简易盘式制动器示意

装鼓式制动器。只有少量汽车前、后轴上都装鼓式制动器或盘式制动器。鼓式制动器之所以没有完全被淘汰是由于它比盘式制动器有更好的驻车制动性能。所谓驻车制动就是已停驶的汽车在各种道路条件下(包括在坡道上)稳定停车而进行的制动。

图1-4是常见的盘式刹车片和鼓式刹车片。从外观看:盘式刹车片是平的,尺寸小,与制动盘有较小的接触面积,重量较轻,部分带有报警器。制动时从左右两侧挤压制动盘,产生摩擦力矩。鼓式刹车片是弧状的,尺寸较大,与制动鼓有较大的接触面积,制动时从内往外扩张顶住制动鼓,产生摩擦力矩,因此它方便驻车制动。盘式制动器和鼓式制动器都被安装在车轴上,并与车轮同轴。当刹车片与制动盘或鼓发生摩擦后,车轮便开始减速,直到制动器被完全锁住,车轮停止旋转。汽车制动过程是前、后制动器协同作用的结果,但实际制动时前、后制动器常常会不一致。若后轴车轮比前轴车轮先抱死拖滑,就可能发生后轴侧滑。后轴侧滑将引起汽车剧烈的回转运动,严重时使汽车调头。若能使前、后轴车轮同时抱死或前轴车轮先抱死,后轴车轮再抱死或不抱死,则能防止后轴侧滑。不过,前轴车轮抱死后将失去转向能力。



(a) 盘式刹车片

(b) 鼓式刹车片

图 1-4 常见盘式刹车片和鼓式刹车片

表 1-2 列出一些国家的轿车制动规范对行车制动器制动性能的部分要求。这些规定说明:当汽车制动时制动距离或制动减速度受制于路面状况,也就是轮胎与路面的摩擦,制动减速度并不能无限制地被增大,否则,车轮会打滑,汽车将失去方向性和稳定性。制动减速度也不能太小,否则会延长制动距离。一般地,日常制动减速度要求在 $5.8 \sim 7.0 \text{ m/s}^2$ 之间。

表 1-2 轿车制动性能的部分要求

项目	欧洲经济共同体	中国 GB 7258—1998	美国联邦 No. 135
试验路面	附着良好	附着系数 ≥ 0.7	Skid No. 81
载荷	一个驾驶员或满载	任何载荷	轻、满载
制动初速度/($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)	80	50	96.5
制动稳定性	不抱死跑偏	不许偏出 2.5 m 通道	不抱死偏出 3.66 m
制动距离	$\leq 50.7 \text{ m}$	$\leq 20 \text{ m}$	$\leq 65.8 \text{ m}$
最大踏板力/N	500	500	

另一方面,石棉的数量毕竟是有限的,质量有差别,并且价格在不断地攀升,许多摩擦材料公司致力研究刹车片基本成分——石棉的替代品问题。被考虑的替代品有玻璃纤维、矿物纤维、金属纤维及最近使用的碳纤维和合成纤维。同时,使用石棉的安全性引起了人们的关注。和其他粉尘一样,吸入石棉纤维会导致健康问题,如石棉职业病、肺癌和消化疾病。不过,并非所有尺寸的石棉对人体都能造成重大的危害。经研究发现,长度大于 $5 \mu\text{m}$,直径小于 $3 \mu\text{m}$ 和长径比大于 3:1 的石棉对人体的危害最大。美国职业安全与健康管理局(Occupational Safety and Health Administration, OSHA)已确定了有关石棉暴露标准,并把它列入十种强致癌工业原料之一。为了人类的健康,各国也都相继提出了石棉在空气中容许的最高浓度,及对石棉有接触的行业人员进行每年 X 射线体格检查次数。表 1-3 给出部分国家石棉的使用标准。不久,控制石棉纤维的安全规则在全世界被强制执行,尤其是欧美发达国家分别于 20 世纪七八十年代限制它的使用。许多生产厂家也拒绝经营它。相比我国石棉行业的生产条件远远没有达到这些要求,从这可以看出我们的工业化道路也是充满艰辛,在某种程度上以牺牲人的身体健康为代价才换得的。

表 1-3 部分国家石棉使用的标准

国家	空气中容许最高浓度/($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$)	每年 X 射线体格检查次数
欧洲经济共同体	0.60	>3
法国	1.00	1
德国	0.25	—
英国	0.50	>2
美国	0.10	取决于暴露情况

由于石棉对人体可能的危害,摩擦材料的更新换代已不可避免,这使半金属摩擦材料显示了特别的吸引力。半金属摩擦材料制动噪音低,摩擦水平高而且在高温也较稳定,耐磨性良好,特别适用于尺寸较小的盘式制动器的特点。不过,半金属摩擦材料太硬,并非适用各种汽车的理想产品,在鼓式制动器中它不能使用。鼓式刹车片需要有一定的柔性,使用过程中受热发生膨胀引起鼓径的增加,鼓式刹车片要能适应这种变化。因此,到20世纪70年代后期,鼓式刹车片的研制以玻璃纤维和其他纤维替代原来的石棉为主。20世纪80年代初期,添加玻璃纤维的无石棉鼓式刹车片作为配套产品在Ford和Volkswagen等大公司使用并得到广泛认可。

20世纪90年代后期以来,NAO(无石棉有机物)型摩擦材料在欧洲的出现。NAO型摩擦材料是无石棉摩擦材料,它与半金属摩擦材料的不同之处在于不含钢纤维及铁粉或只含有少量钢纤维,它所使用的是非金属型的无机纤维和耐热有机纤维。一般认为NAO型摩擦材料有助于克服半金属型摩擦材料固有的高密度、易生锈、易产生制动噪声及导热系数过大等缺点。目前,NAO型摩擦材料在欧盟国家已经得到广泛应用,且有取代半金属摩擦材料的趋势。

1.2 制动摩擦材料的分类及应用范围

摩擦材料是一种多元复合材料,是由粘结剂(树脂和橡胶)、增强纤维和填料三大主要组分及其他配合剂经一系列制造加工工艺制成的,其制品具有良好的摩擦系数和耐磨性,同时还具有一定的耐热性和机械强度。

大多数情况下,摩擦材料都是同各种金属对偶相摩擦的。一般公认,在干摩擦条件下,同对偶摩擦系数大于0.2的材料,都称为摩擦材料。

本书所述对象是摩阻材料,简称为摩擦材料。摩擦材料分类如下。

(1) 按工作功能分

按工作功能摩擦材料可分为传动与制动两大类。如传动作用的离合器片,系通过离合器总成中离合器摩擦片的贴合与分离将发动机产生的动力传递到驱动轮上,使车辆开始行走。制动作用的刹车片(分为盘式与鼓式刹车片),通过车辆制动机构将刹车片紧贴在制动盘(鼓)上,使运行中的车辆减速或停下来。

(2) 按产品形状分

按产品形状摩擦材料可分为刹车片(盘式片、鼓式片)、刹车带、闸瓦、离合器片、异性摩擦片。盘式片呈平面状,它受力面积小,所承受的制动负荷较高,在各类汽车制动摩擦材料中,其性能要求最高;鼓式片呈弧形,分为铆接型鼓式制动片和粘结型鼓式制动蹄片。闸瓦(火车闸瓦、石油钻机)为弧形产品,要求能够承受较大的制动负荷和具有较高的摩擦性能,因此要比普通弧形刹车片厚得多,达到25~30mm。刹车带常用于农机和工程机械上,属软质摩擦材料。离合器片一般为圆环形状制品,热稳定性好,具有较好且稳定的摩擦系数和较高的机械强度。异性摩擦片多用于各种工程机械方面,如摩擦压力机、电葫芦等。

(3) 按产品材质分

按产品材质摩擦材料可分为石棉摩擦材料、无石棉摩擦材料两大类。

① 石棉摩擦材料的分类。

a. 棉纤维摩擦材料,又称为石棉绒质摩擦材料。生产应用:各种刹车片、离合器片、火车合成闸瓦、石棉绒质橡胶带等。

b. 线质摩擦材料。生产应用:缠绕型离合器片、短切石棉线段摩擦材料等。

c. 棉布质摩擦材料。生产应用:制造层压类钻机闸瓦、刹车带、离合器面片等。

d. 棉编织摩擦材料。生产应用:制造油浸或树脂浸刹车带、石油钻机闸瓦等。

随着车辆不断高速、高效、节能、轻量化,特别是自20世纪70年代起,由于社会环保及安全的突出要求,摩擦材料呈多元化的发展趋势。

② 无石棉材料的分类。

a. 树脂基摩擦材料(NAO)。从广义上它是指非石棉-非钢纤维型摩擦材料,但现在盘式片也含有少量的钢纤维。NAO中的基材在大多数情况下为两种或两种以上纤维(以无机纤维,并有少量有机纤维)混合物。因此NAO是非石棉混合纤维摩擦材料。通常刹车片为短切纤维型摩擦块,离合器片为连续纤维型摩擦片。

b. 半金属摩擦材料。应用于轿车和重型汽车的盘式刹车片。其材质配方组成中通常含有30%~50%的铁质金属物(如钢纤维、还原铁粉、泡沫铁粉),半金属摩擦材料因此而得名。这是最早取代石棉而发展起来的一种无石棉摩擦材料。其特点:耐热性好,单位面积吸收功率高,导热系数大,能适用于汽车在高速、重负荷运行时的制动工况要求,但其存在制动噪音大、边角脆裂等缺点。

c. 粉末冶金摩擦材料。它又称为烧结摩擦材料,是将铁基、铜基粉状物料经混合、压型,并在高温下烧结而成,适用于较高温度下的制动与传动工况条件。例如,飞机、载重汽车、重型工程机械的制动与传动。优点:使用寿命长;缺点:制品价格高,制动噪音大,重而脆性大,对偶磨损大。

d. 碳纤维摩擦材料。它是用碳纤维为增强材料制成的一类摩擦材料。碳纤维具有高模量、导热好、耐热等特点。碳纤维摩擦材料是各种类型摩擦材料中性能最好的一种。碳纤维摩擦片的单位面积吸收功率高及比重轻,特别适合生产飞机刹车片,国外有些高档轿车的刹车片也使用。因其价格昂贵,故其应用范围受到限制,产量较少。在碳纤维摩擦材料组分中,除了碳纤维外,还使用石墨、碳的化合物。组分中的有机粘结剂也要经过碳化处理,故碳纤维摩擦材料也称为碳-碳摩擦材料或碳基摩擦材料。

1.3 制动摩擦材料的技术要求

摩擦材料作为车辆和机械离合器、制动器中的关键安全零件,在传动和制动过程中,主要应满足以下技术要求。

(1) 适宜而稳定的摩擦系数

摩擦系数是评价任何一种摩擦材料的一个重要的性能指标,关系到摩擦片执行传动和制动功能的好坏。它不是一个常数,而是受温度、压力、摩擦速度或表面状态及周围介

质因素等影响而发生变化的一个系数。理想的摩擦材料应具有理想的冷摩擦系数和可以控制的温度衰退。由于摩擦产生热量,升高了工作温度,导致了摩擦材料的摩擦系数发生变化。温度是影响摩擦系数的最重要的因素。摩擦材料在摩擦过程中,温度会迅速升高。一般当温度达到 200 ℃ 以上时,摩擦系数开始减小;当温度达到树脂和橡胶分解温度范围后,摩擦系数会骤然减小。我们称这种现象为“热衰退”。严重的“热衰退”会导致制动效能变差和恶化,在实际应用中会降低摩擦力,即降低制动作用。这很危险,是必须避免的。在摩擦材料中加入调节高温摩擦系数的填料,是减少和克服热衰退的有效手段。经过热衰退的摩擦片,当温度逐渐降低时摩擦系数会逐渐恢复至原来的正常情况,但有时会出现摩擦系数高于原来正常摩擦系数的现象,称之为“过恢复”。

摩擦系数通常随速度的增大而减小,但过多的降低也是不能忽视的。我国汽车制动器衬片台架试验标准中就有对制动力矩速度稳定性的要求,因此当车辆行驶速度加快时,要防止制动效能的下降。

摩擦材料表面沾水时,摩擦系数也会减小。当表面的水膜消除,恢复至干燥状态后,摩擦系数就会恢复正常,称之为“涉水恢复性”。

摩擦材料表面沾有油污时,摩擦系数显著减小,但应保持一定的摩擦力,使其仍有一定的制动效能。

(2) 良好的耐磨性

摩擦材料的耐磨性是其使用寿命的反映,也是衡量摩擦材料耐用程度的重要经济技术指标。耐磨性越好,表明其使用寿命越长。但是摩擦材料在工作过程中的磨损,主要是由摩擦接触表面产生的力所造成的。工作温度也是影响磨损量的重要因素。当材料表面温度达到有机粘结剂的热分解温度范围时,有机粘结剂如树脂与橡胶将产生分解、碳化和失重现象,随着温度的升高,这种现象加剧,粘结作用下降,磨损量急剧增大,我们称这种现象为“热磨损”。选用合适的减磨填料和耐热性好的树脂、橡胶,能有效地减少材料的磨损,特别是热磨损,从而延长其使用寿命。

摩擦材料的耐磨性指标,有多种表示方法。在我国 GB 5763—1988“汽车制动器衬片”国家标准中,规定的磨损指标是:测定材料样品在定速式摩擦试验机上从 100~350 ℃ 温度范围的每挡温度(50 ℃ 为一挡)时的磨损率。磨损率是样品与对偶件表面进行相对滑动过程中做单位摩擦功时的体积磨损量,可根据测定其摩擦力的滑动距离和样品因磨损减少的厚度计算得出。

但由于被测样品在摩擦性能测试的过程中,受高温影响会产生不同程度的热膨胀,掩盖了样品的厚度磨损,有时甚至出现负值,即样品经高温磨损后的厚度反而增加,这就不能真实反映出实际磨损,故有时除测定样品的体积磨损外,还要测定样品的重量磨损率。

国内一些汽车制造厂,对配套用的刹车片的磨损率有要求,在对检测样品进行定速式摩擦试验中,从 100,150,200,250,300 ℃ 五挡温度下的磨损率总和不应超过一个限定值,一般规定为 $2.5 \times 10^{-7} \text{ cm}^3 / (\text{N} \cdot \text{m})$ 。

(3) 良好的机械强度和物理性能

摩擦材料制品在装配使用之前,需要进行钻孔、铆装、装配等机械加工,才能制成