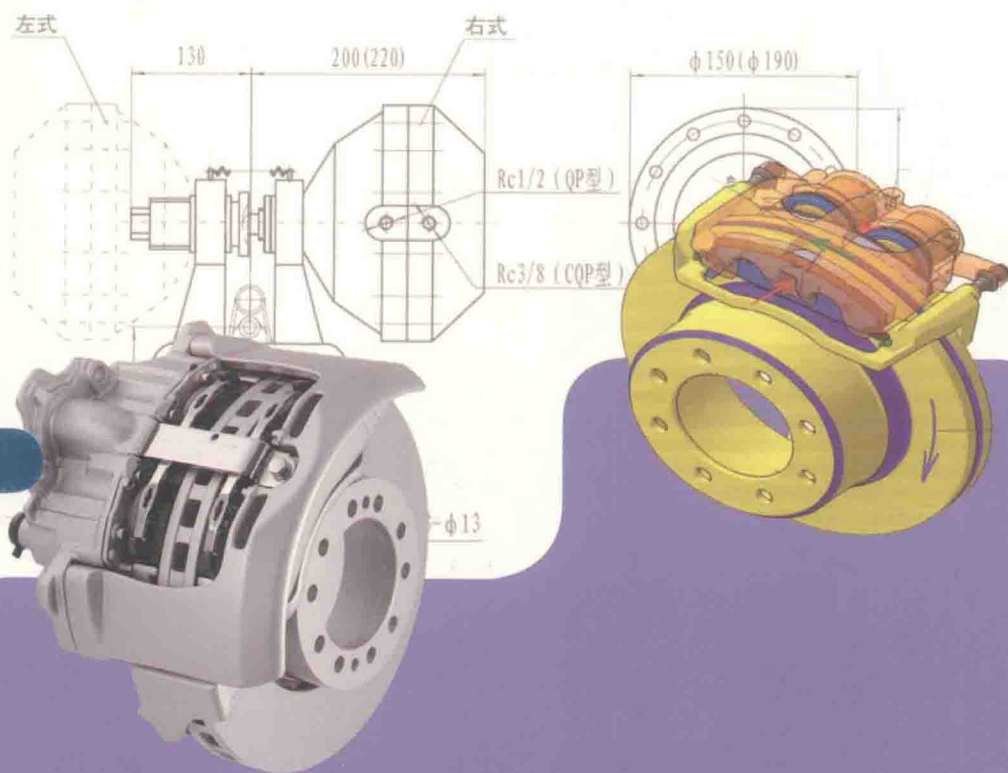


TESTING AND INTELLIGENT FORECASTING
TECHNOLOGY FOR TRIBOLOGICAL
PERFORMANCE OF DISC BRAKE

盘式制动器摩擦学 性能测试与智能预测技术

鲍久圣 著



科学出版社

江苏省高校优势学科建设工程项目资助出版

盘式制动器摩擦学性能测试与智能 预测技术

Testing and Intelligent Forecasting Technology for
Tribological Performance of Disc Brake

鲍久圣 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书系统介绍了盘式制动器摩擦学性能测试方法及装置,研制了盘式制动器模拟制动试验台,开展了汽车盘式制动器摩擦学性能试验研究;提出了基于人工神经网络的盘式制动器摩擦学性能智能预测方法,并利用摩擦学试验数据构建了智能预测模型;开发了盘式制动器摩擦学性能智能预测软件系统,并考虑汽车制动系统结构特点设计了盘式制动器摩擦学性能在线监测预警系统。

本书可作为机械工程、车辆工程等专业的研究生参考教材,也可供从事制动技术、摩擦学和人工智能等相关领域研究工作的科研和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

盘式制动器摩擦学性能测试与智能预测技术=Testing and Intelligent Forecasting Technology for Tribological Performance of Disc Brake/鲍久圣著. —北京:科学出版社,2015.3

ISBN 978-7-03-043744-0

I. ①盘… II. ①鲍… III. ①汽车-盘式制动器-摩擦-研究 IV. ①U463.51

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 051365 号

责任编辑:耿建业 陈构洪 / 责任校对:张怡君
责任印制:徐晓晨 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京建宏印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015 年 3 月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2015 年 3 月第一次印刷 印张:10 5/8

字数:204 000

定价:78.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

盘式制动器自 20 世纪初问世以来,已逐渐发展成为现代社会各类车辆和设备的主流制动装置。盘式制动器依靠摩擦片与制动盘之间的摩擦作用实现减速、限速和停车等制动功能,因此制动摩擦副的摩擦学性能对制动器的制动效能和工作可靠性具有决定性的影响。制动器摩擦学性能除了受摩擦副材料的内在特性影响以外,还要受制动工况、环境条件等外在因素的影响。长期以来,研制各种高性能摩擦材料一直是提高盘式制动器工作效能与可靠性的主要研发方向,但实际上任何一种摩擦材料也不可能无限制承受各种恶劣工况条件的影响。若能准确把握并预测盘式制动器摩擦学性能参数随制动工况条件的变化规律,则当预测到摩擦学状态将出现明显劣化趋势时,就可以提前发出预警信号,提醒操作人员或通过自动控制系统对有关制动工况参数及时进行调整,从而避免因制动器摩擦学性能劣化而引发的各类制动事故。因此,开展盘式制动器摩擦学性能测试与智能预测技术研究,对于提高盘式制动器的制动可靠性、保障机械系统安全运行将具有重要实际意义。

近年来,本书作者在国家自然科学基金(项目号:51205395、51205393)、中国博士后科学基金(项目号:20100471405)和江苏省“六大人才高峰”高层次人才项目(项目号:2011-ZBZZ041)等基金项目的资助支持下,较为系统地开展了盘式制动器摩擦学性能测试技术、摩擦学行为与机理以及摩擦学性能智能预测技术等方面的科学研究工作。本书就是在这些工作的基础上经整理和扩充而写成的,本书的出版得到了江苏省高校优势学科建设工程项目的资助。

在开展以上研究工作的过程中,作者得到了中国矿业大学童敏明教授和朱真才教授的悉心指导,也得到了课题组阴妍老师的大力支持,在此特向他们表示诚挚的谢意。此外,作者指导的研究生陆玉浩、李增松和纪洋洋等在本书研制盘式制动器模拟制动试验台的过程中付出了大量辛勤劳动,而在本书成稿之际,研究生杨帅、胡东阳和卢立建等也帮助完成了资料整理和文稿校对等工作,在此作者也向她们一并致谢。最后,作者还要向本书中所有参考文献的作者表示感谢,他们的智慧结晶是本书前进的基础和源泉。

限于时间和水平,本书内容难免存在欠妥之处,诚挚欢迎广大读者批评指正!

鲍久圣

2014 年 11 月于中国矿业大学

目 录

前言	
第 1 章 盘式制动器概述	1
1.1 盘式制动器发展历程	1
1.2 盘式制动器结构原理	2
1.2.1 汽车盘式制动器	2
1.2.2 提升机盘式制动器	3
1.2.3 盘式制动器优缺点	4
1.3 制动摩擦材料组分与性能	5
1.3.1 制动片类型	5
1.3.2 摩擦材料种类	6
1.3.3 摩擦材料成分组成	8
1.3.4 摩擦材料性能要求	9
1.4 盘式制动器制动性能检测技术研究现状	11
1.4.1 制动力矩检测	11
1.4.2 闸间隙检测	11
1.4.3 空动时间检测	12
1.4.4 制动减速度检测	12
1.4.5 制动温度检测	12
1.4.6 制动振动和噪声检测	13
1.5 盘式制动器摩擦学问题研究现状	15
1.5.1 摩擦材料制备及性能	15
1.5.2 制动摩擦学行为与机理	16
1.5.3 制动摩擦热	18
1.5.4 研究发展趋势	20
参考文献	20
第 2 章 盘式制动器摩擦学性能测试方法及装置	26
2.1 盘式制动器摩擦学性能测试方法	26
2.1.1 试验标准与方法概述	26
2.1.2 小样试验法	28
2.1.3 台架试验法	30

2.1.4	道路试验法	39
2.1.5	小样与台架试验法对比分析	42
2.2	小样摩擦试验机	43
2.2.1	定速摩擦试验机	44
2.2.2	恒摩擦力试验机	48
2.3	台架式摩擦试验机	50
2.3.1	Krauss 试验机	50
2.3.2	惯性台架试验机	52
2.4	汽车盘式制动器模拟制动试验台研制	56
2.4.1	总体方案	56
2.4.2	机械传动系统	57
2.4.3	盘式制动系统	61
2.4.4	测控系统	63
2.4.5	系统集成	68
	参考文献	68
第3章	盘式制动器摩擦学性能试验研究	70
3.1	盘式制动器摩擦学试验设计	70
3.1.1	模拟制动试验装置	70
3.1.2	摩擦副材料	72
3.1.3	摩擦学性能参数及其测试原理	73
3.1.4	制动工况参数及其取值范围	74
3.2	盘式制动器干摩擦机理	75
3.2.1	制动摩擦力构成	75
3.2.2	制动摩擦力变化规律	78
3.2.3	制动摩擦机理	79
3.3	制动工况对盘式制动器摩擦学性能的影响	80
3.3.1	制动初速度的影响	80
3.3.2	制动压力的影响	83
3.3.3	温度的影响	86
3.3.4	影响规律小结	89
	参考文献	89
第4章	盘式制动器摩擦学性能智能预测方法	91
4.1	人工智能及其应用	91
4.1.1	人工智能理论基础	92
4.1.2	人工智能应用	97

4.2 神经网络及其摩擦学应用	100
4.2.1 神经网络模型	101
4.2.2 神经网络特点	102
4.2.3 BP 神经网络	102
4.2.4 神经网络在摩擦学领域应用现状	104
4.3 基于神经网络的盘式制动器摩擦学性能智能预测方法	107
4.3.1 隐含层	108
4.3.2 输入和输出层	109
4.3.3 初始权值和阈值	109
4.3.4 学习方法	110
4.3.5 传递函数	110
4.3.6 学习率	111
4.3.7 网络训练次数	111
4.3.8 再学习机制	112
参考文献	113
第 5 章 盘式制动器摩擦学性能智能预测模型	116
5.1 盘式制动器摩擦学性能数据处理	116
5.1.1 数据矩阵化	116
5.1.2 样本归一化	118
5.1.3 样本划分	119
5.2 盘式制动器摩擦学性能智能预测模型建模与仿真	119
5.2.1 仿真程序设计	119
5.2.2 网络建模与参数仿真	120
5.2.3 训练函数仿真试验	124
5.2.4 网络结构参数	131
5.3 盘式制动器摩擦学性能智能预测试验	132
5.3.1 智能预测模型使用方法	132
5.3.2 摩擦学性能预测结果分析	133
5.3.3 预测误差分析	139
5.3.4 摩擦学性能变化趋势预测	140
参考文献	141
第 6 章 盘式制动器摩擦学性能智能预测系统	142
6.1 VB 与 MATLAB 混合编程	142
6.1.1 混合编程方法	142
6.1.2 VB 环境下的 ActiveX 调用	143

6.1.3	VB接口程序设计	143
6.2	盘式制动器摩擦学性能智能预测软件系统	144
6.2.1	预测主界面	146
6.2.2	学习模块	147
6.2.3	帮助模块	148
6.2.4	通用配置模块	149
6.3	盘式制动器摩擦学性能在线监测预警系统	150
6.3.1	系统方案	150
6.3.2	传感检测系统	151
6.3.3	数据采集系统	155
6.3.4	计算处理系统	156
6.3.5	系统工作流程	160
	参考文献	161

第 1 章 盘式制动器概述

1.1 盘式制动器发展历程

在汽车、列车等各种交通运输车辆以及电梯、输送机等各类机械装置中,无一例外都要为其配备制动器来实现速度调节和减速、停车等制动功能。制动器俗称刹车或闸,它依靠制动摩擦副之间的摩擦作用实现减速、限速和停车等制动功能,因此一般也称为摩擦制动器或机械制动器。为了使行进中的车辆或运行中的设备减速或停止,制动装置需要消耗吸收巨大的能量,因此制动过程实质上是一个能量转换的过程,它通过制动器摩擦副之间的机械摩擦作用,将车辆行驶或设备运转时产生的动能转换成热能消耗掉,从而使其减速或停止。

摩擦制动器根据摩擦副结构形式不同,主要可分为鼓式和盘式两大类。鼓式制动器是最早设计的摩擦制动装置,早在 1902 年就已使用在马车上,1920 年左右开始在汽车工业上应用,并且在此后相当长的一段时间内都在汽车制动器领域占据着统治地位。20 世纪初,盘式制动器问世,并于 30 年代后期开始应用于列车、坦克及飞机的制动装置上。随着制造技术的进步和人们对制动装置认识的提高,盘式制动器的优点开始逐渐被汽车设计师认识^[1]。在国外,液压盘式制动器首先得到广泛应用,但由于结构特点的限制,其使用范围仅局限于轿车及轻型载货汽车。20 世纪 80 年代,气压盘式制动器的研制工作取得了实质性进展,其制动效率高、性能优良且智能化复合能力强,发展前景较为可观,市场需求不断提高。自此,盘式制动器开始风靡欧、美、日等发达国家,其技术逐渐走向成熟,规格、型号也越来越丰富,并且开始广泛应用于多级别的轿车、客车以及各类中、重型车辆的制动系统。

盘式制动器在我国车辆系统上的应用相对较晚,20 世纪 80 年代后期开始在部分轿车上使用,1997 年左右开始在大客车和载重车上推广使用,但大多是引进国外的成品或散件,成本较高,因此最初只应用于高端产品。到 21 世纪初期,我国开始对气压盘式制动器进行研究,但所取得的成效并不高。2004 年国家政策要求 7~12m E 型客车必须配备盘式制动器,国产盘式制动器由此得到了快速发展。同时,带盘式制动器也开始应用在部分高档客车上。随着对盘式制动器研发工作的不断深入,国内多家汽车公司已完成盘式制动器在重型汽车方面的试验及技术储备工作。近几年,我国汽车产销数量不断提高,且制动器行业的下游产业不断振兴,国产盘式制动器得到了很好的发展,其应用范围也越来越广泛。目前,国产中、

高级汽车已开始普遍配备盘式制动器作为制动装置。

1.2 盘式制动器结构原理

1.2.1 汽车盘式制动器

汽车盘式制动器主要由固定在轮毂上的制动盘、制动钳和摩擦块等部件组成,有液压驱动和气压驱动两种形式。按照其摩擦副中固定元件的结构不同,液压驱动盘式制动器又可分为全盘式制动器和钳盘式制动器两大类。在全盘式制动器中,摩擦副的旋转元件及固定元件均为圈形盘,制动时各盘摩擦表面全部接触,其作用原理与摩擦式离合器相同。由于此类制动器的制动盘散热条件较差,所以其实际应用远没有钳盘式制动器广泛^[2]。钳盘式制动器的固定摩擦元件是制动块,它安装在与车轴相连接但不能绕车轴轴线旋转的制动钳中。在此类盘式制动器中,制动块与制动盘的接触面积很小,在盘上所占的中心角一般仅为 $30^{\circ} \sim 50^{\circ}$ 。按制动钳的结构形式,钳盘式制动器又可分为定钳盘式制动器和浮钳盘式制动器两大类,其结构示意图如图 1-1 所示。

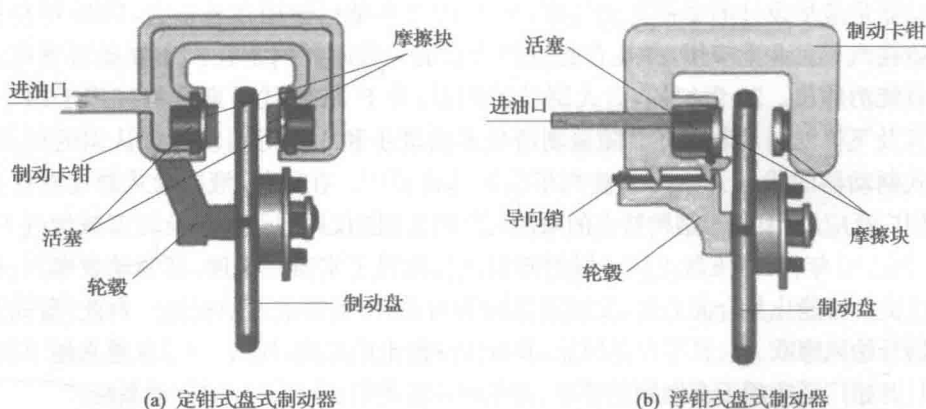


图 1-1 钳盘式制动器结构示意图

定钳式盘式制动器,顾名思义,就是其制动钳固定不动,制动盘与车轮相连并能在制动钳的开口槽中旋转。制动钳槽形部分两侧的孔内均装有与鼓式制动器相类似的活塞,当踩下制动踏板时,液压油推动活塞和摩擦块压向制动盘两侧表面。由于摩擦块夹紧制动盘产生摩擦力,形成与车轮旋转方向相反的摩擦力矩,迫使车辆减速或停车。从 20 世纪 50 年代初到 60 年代末,定钳式盘式制动器应用十分广泛,它主要有以下的优点:① 除活塞和摩擦块外无其他滑动件,易于保证制动钳的刚度;② 结构及制造工艺与鼓式制动器相差不大,容易实现从鼓式制动器到盘式

制动器的改造;③能很好地适应多回路制动的要求。

浮钳式盘式制动器的制动钳可以相对于制动盘轴向移动,其一侧的摩擦块安置在钳体上,另一侧的摩擦块与液压油缸相连。在制动过程中,压力油作用在活塞底部与缸筒底部之间,作用在活塞底部的压力使内侧蹄块压靠在制动盘内侧表面,而作用于缸筒底部的反作用力使制动钳向汽车中心线方向滑动,从而使得外蹄块总成靠在制动盘的外表面上,经压力油的进一步作用,摩擦块夹紧制动盘,使其降低转速直至停转,从而使汽车减速或停车。由于具有结构简单、零件少、易于维修等突出优点,浮钳式盘式制动器已在多数轿车上得到广泛使用,并逐渐代替了定钳式盘式制动器。

1.2.2 提升机盘式制动器

提升机上使用的制动器共有三大类型,即角移式制动器、平移式制动器和盘式制动器。我国20世纪五六十年代生产的卷筒直径3m以下的提升机采用角移式制动器,4m以上的提升机采用平移式制动器。角移式和平移式制动器均采用径向抱闸的结构形式,在实际应用中存在惯性大、动作慢、结构复杂、互换性差、维修调整不方便等缺点。自70年代以来,我国煤矿绝大多数提升机均开始使用盘式制动器。盘式制动器采用轴向抱闸的结构形式,以碟形弹簧作为制动力源,具有结构紧凑、反应速度快、闸的副数可按需要灵活增减等优点。

提升机盘式制动器按液压缸所在位置可分为前腔式盘式制动器和后腔式盘式制动器。由于前腔式盘式制动器存在前腔压力油容易泄漏导致闸瓦与制动盘之间的摩擦因数降低的缺点,目前提升机大多采用后腔式盘式制动器,如图1-2所示。

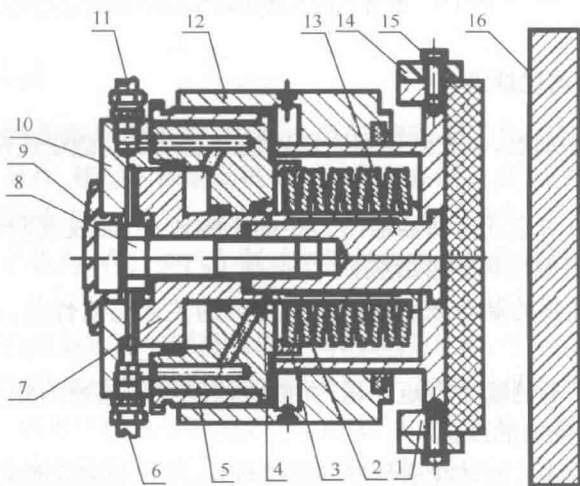


图 1-2 后腔式盘式制动器结构示意图

1-筒体;2-碟形弹簧;3-弹簧座;4-挡圈;5-制动油缸;6-泄漏油口;7-活塞;8-连接螺栓;9-油缸盖;10-液压缸盖;
11-控制油口;12-制动器体;13-筒体衬板;14-压板;15-闸瓦;16-制动盘

后腔式盘式制动器采用碟形弹簧前置式结构,将碟形弹簧置于活塞前端,松闸的压力油注入后腔,从而避免了闸瓦和制动盘的油污染;同时,活塞的移动直接拉动固定闸瓦的筒体,因而松闸过程中活塞与闸瓦的移动具有较好的一致性,克服了闸瓦浮贴于闸盘的缺点。其工作原理为:当制动高压油液从液压缸排出时,碟形弹簧的预压缩恢复张力通过活塞杆推动闸瓦,使其紧贴制动盘,此时制动器处于施闸状态;当制动高压油液充入液压缸时,活塞在压力油的作用下后移使碟形弹簧压缩,此时闸瓦脱离制动盘,制动器处于松闸状态。由此可见,提升机盘式制动器采用油缸充油进行松闸、油缸泄油进行施闸的工作方式,属于事故保安型制动器,这样一旦液压控制系统发生故障,制动器可以自行抱闸。在提升机上安装使用时,将若干个单独的盘式制动器用螺栓成对地固定在支架上,通过夹持提升机制动盘产生制动力矩,实现对提升机的制动,如图 1-3 所示。

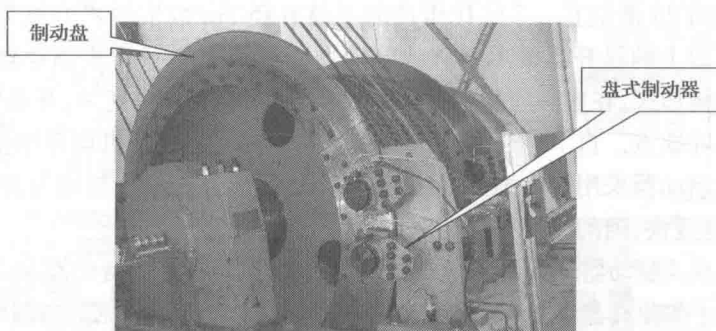


图 1-3 提升机盘式制动器现场应用图

1.2.3 盘式制动器优缺点

相比于鼓式制动器,盘式制动器之所以能迅猛发展且颇受欢迎,是因为其具有以下一系列优点:

(1) 摩擦因数对盘式制动器输出力矩的影响较小,而鼓式制动器尤其是增力式鼓式制动器对摩擦因数非常敏感;

(2) 盘式制动器的制动减速度与油管压力的关系是线性的,而鼓式制动器是非线性的;

(3) 盘式制动器的输出力矩平稳,而鼓式制动器的输出力矩曲线中间是马鞍形,起点和终点有翘曲的现象;

(4) 盘式制动器的制动盘通风冷却效果较好,所以热稳定性好,特别是带通风孔的制动盘散热性能尤佳,热稳定性更优,而鼓式制动器的热稳定性较差,它不仅抗衰退性差,恢复性能也不稳定;

(5) 水对鼓式制动器的影响较大,而对盘式制动器的影响极微,甚至可忽略

不计;

(6) 车速变化对盘式制动器的影响较小,而对鼓式制动器的影响较大;

(7) 当制动鼓温度较高时,鼓的热变形较大,导致踏板行程增大,而盘式制动器的制动盘厚度变形较小,踏板行程变化不大。

由于上述因素对盘式制动器输出力矩的影响较小,装有盘式制动器的小轿车左右轮和前后轮的制动平衡性能较佳,从而保证了高速制动时的稳定性及可靠性。美国通用、福特及克莱斯勒三家汽车公司通过对汽车制动器进行制动试验,发现由盘式制动器制动的轿车比由鼓式制动器制动的轿车的制动距离缩短了 5.4%,从而更加肯定了盘式制动器具有较好的制动性能。

然而,尽管盘式制动器具有很多突出的优点,但其也存在一些缺陷^[2,3]:

(1) 由于摩擦面积小,单位压力较高,摩擦片工作温度相对较高,所以对摩擦材料的性能要求更为苛刻;

(2) 由于盘式制动器本身没有增力作用,所以需要为其配备制动助力装置;

(3) 盘式制动器对油缸密封性能要求较高,对制动液、橡胶圈及车轮轴承润滑剂的抗热性能要求也较高。

1.3 制动摩擦材料组分与性能

摩擦制动器的关键部件之一就是制动摩擦材料,俗称刹车片、摩擦片或闸瓦等。制动摩擦材料最主要的功能是通过与配偶件之间的摩擦作用来吸收动能,从而使运行中的车辆减速或停止。

1.3.1 制动片类型

摩擦材料在制动器上以制动片的形式存在,进行制动作用的制动片分为盘式制动片和鼓式制动片,通过车辆制动机构使其紧贴在制动盘(或鼓)上,实现实时减速或停车。盘式制动片大多以干法工艺生产,主要用于轿车,其特点是面积较小,能承受较高的制动负荷,在各类汽车制动摩擦材料中性能要求最高^[4],其结构形状如图 1-4 所示。

鼓式制动片按照制动片与制动蹄铁之间的连接方式,可分为铆接型和黏结型两种类型。铆接型制动片能承受较大的制动负荷,在减少和克服噪声上没有盘式制动片苛刻,其主要用于中重型载重汽车,在 20 世纪 60 年代以前用湿法工艺生产,70 年代以后大多用干法工艺生产^[5]。黏结型鼓式制动片的制动负荷比铆接型小,主要用于轿车和轻微型汽车,采用干法工艺或湿法工艺生产。常见鼓式制动片结构形状如图 1-5 所示。

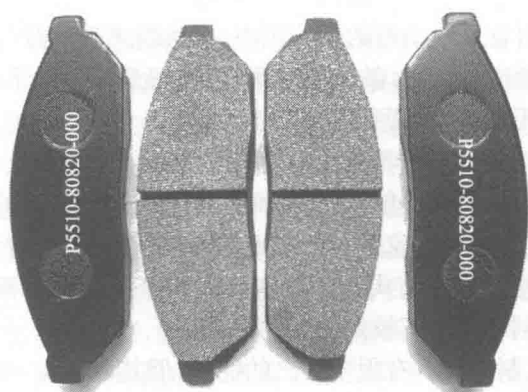


图 1-4 盘式制动片

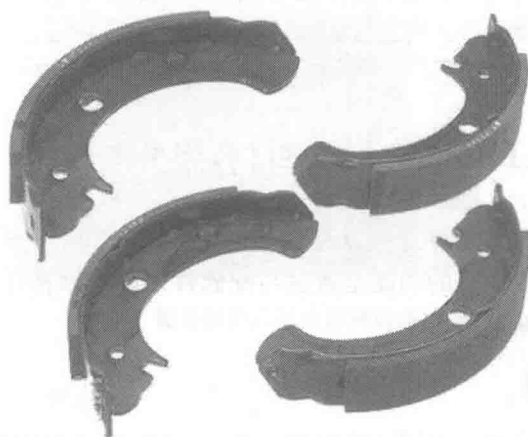


图 1-5 鼓式制动片

1.3.2 摩擦材料种类

摩擦材料的发展大致经历了三个时期:20 世纪 70 年代中期以前为第一个时期,这时候的摩擦材料几乎全部采用石棉型材料,仅某些特殊用途才采用金属基或金属-陶瓷基摩擦材料;70 年代中期至 80 年代中期为第二个时期,因为石棉被确认为是一种强致癌工业原料,所以必须寻找一类新型的高性能材料来代替它,如半金属摩擦材料、粉末冶金摩擦材料等都是这一时期的产品;80 年代中期至 90 年代初为第三个时期,各国都在大力研制和使用无石棉型摩擦材料,我国则在 90 年代后期才开始无石棉型摩擦材料的研发。

按照材质的不同,摩擦材料可分为石棉摩擦材料和非石棉摩擦材料两大类。

1) 石棉摩擦材料

石棉摩擦材料是指以石棉作为增强材料的摩擦材料,根据所添加石棉材料的形式不同,又可分为以下几种:

(1) 石棉纤维摩擦材料,又称石棉绒质摩擦材料。主要有各种刹车片、离合器片、火车合成闸瓦、提升机闸瓦、石棉绒质橡胶刹车带等。

(2) 石棉线质摩擦材料,主要有缠绕型离合器片等。用做生产工程机械上的摩擦片等。

(3) 石棉布质摩擦材料,主要有钻机闸瓦、刹车带、离合器面片等。

石棉纤维摩擦材料(石棉绒质摩擦材料)的基材是石棉短纤维,纤维等级为五或六级,其中以五级石棉使用量最多。这类摩擦材料成本低,可以满足对材料的一般使用要求,是应用量最多的一种摩擦材料。石棉线质、布质类摩擦材料,是利用石棉的可纺性,将石棉短纤维纺制成线、布或编织带,用黏结剂树脂或橡胶溶液进行浸渍后,制成各种摩擦材料,其机械强度较高,适用于较高的工作要求。

石棉摩擦材料具有熔点高、摩擦因数尚可、力学强度高、与黏结剂有较强吸附力等优点,长期以来一直广泛用做制动器摩擦材料,但它也有一些难以克服的缺点:

(1) 石棉摩擦材料摩擦因数不高,一般为 0.45 左右,有的实际检测仅为 0.35,且易出现摩擦性能热衰退,导致摩擦因数不稳定;

(2) 石棉导热性差,摩擦热难以迅速消失,导致树脂热衰退层变厚,使磨损加剧;

(3) 石棉材料容易污染环境,特别是直径小于 $3\mu\text{m}$ 、长度为 $1\sim 100\mu\text{m}$ 的石棉纤维会使人体产生癌变;

(4) 由于石棉材料性能的局限,为了提高摩擦因数和散热性能而采用高硬度摩擦剂及钢棉,这样不仅会使摩擦材料产生火花和锈蚀,而且使制动盘产生剧烈磨损,并在制动时产生高频噪声。

2) 非石棉摩擦材料

自 20 世纪 80 年代石棉被确认为是一种强致癌工业原料以来,人们开始寻找各类新型高性能材料来代替它,于是非石棉摩擦材料得到了很大的发展。目前,非石棉摩擦材料主要有以下几种类型:

(1) 半金属摩擦材料,其材质配方中通常含有 30%~45% 的铁质金属物(如钢纤维、还原铁粉、泡沫铁等)。它是最早为取代石棉而发展起来的一种非石棉摩擦材料,其特点是耐热性好、面积吸收功率高、导热系数大,能适用于车辆及机械装备在高速、重负荷运行时的制动要求,但存在制动噪声大、边角脆裂等缺点。

(2) 粉末冶金摩擦材料,又称烧结摩擦材料,是将铁基、铜基等粉状金属物料经混合、压制,并在高温下烧结而成的。适用于较高温度下的制动与传动工况条

件,例如,飞机、重载汽车、重型工程机械的制动与传动,也可制成在油介质中工作的湿式制动器摩擦片。粉末冶金摩擦材料使用寿命较长,但这类制品价格高,制动噪声和脆性大,对偶磨损大,因此其使用受到一定限制。

(3) 碳纤维摩擦材料,是以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、导热性好、耐热性强等优点,因而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且比重轻,因此特别适合用做飞机刹车片,国外有些高档轿车的刹车片也采用碳纤维摩擦材料。但因碳纤维摩擦材料价格贵,故其应用范围受到限制,产量也很少。在碳纤维摩擦材料的组分中,除了碳纤维外,还使用石墨、碳的化合物,组分中的有机黏结剂也要经过碳化处理,故碳纤维摩擦材料也称为碳—碳(C—C)摩擦材料。

(4) 陶瓷纤维摩擦材料,是用陶瓷纤维作为增强材料制成的一类摩擦材料。陶瓷纤维是用石英砂等陶瓷材料经过高温熔化、甩丝、深加工除杂、切丝等工序加工而成的,其主要成分是二氧化硅和氧化铝。由于它具有很强的耐高温、耐化学腐蚀等优异性能,所以制成的摩擦材料具有良好的抗老化、低磨损和高温稳定摩擦性能等特点。

(5) 复合纤维摩擦材料,是目前最新发展的一种非石棉摩擦材料,从广义上是指采用两种或两种以上纤维作为增强材料,经过特定的工艺将其和基体材料进行混合。目前,复合纤维摩擦材料所采用的纤维以无机纤维为主,有时也加入少量的有机纤维。通常刹车片为短切纤维型摩擦片,离合器片为连续纤维型摩擦片。

1.3.3 摩擦材料成分组成

目前,在各类盘式制动器中使用的摩擦材料大多数是高分子多元复合材料,由黏结剂、增强纤维、摩擦性能调节剂和填料等四大类主要成分及其他配合剂经一系列制造工艺加工而成,其制品应具有较高的摩擦因数和较好的耐磨性,同时还应具有一定的耐热性和机械强度。按照黏结剂类型,制动摩擦材料可分为有机合成摩擦材料和粉末冶金摩擦材料。按照增强纤维类型,有机摩擦材料分为石棉型、半金属型、混合纤维型和碳纤维型。半金属型摩擦材料由于具有良好的热稳定性、耐磨性和导热性,对环境污染小,广泛应用于轿车和重型汽车的盘式制动片。混合纤维摩擦材料采用多种纤维作为增强材料,能充分发挥每一种纤维的优势,弥补缺陷和降低成本,主要用于轿车和轻中型汽车制动片。碳纤维摩擦材料是各类摩擦材料中性能最好的一种,但其价格昂贵,目前主要用于飞机和高档轿车的制动片。

目前,用于汽车制动装置的摩擦材料多为有机摩擦材料,其主要成分包括四大部分^[6]。

1) 有机黏结剂

摩擦材料所用的有机黏结剂为酚醛类树脂和合成橡胶,而以酚醛类树脂为主。

它们的特点和作用是在处于一定加热温度下时先软化然后进入黏流态,产生流动并均匀分布在材料中形成材料的基体,最后通过树脂固化作用,把纤维和填料黏结在一起,形成质地致密、有相当强度并能满足摩擦材料使用性能要求的摩擦片制品。对于摩擦材料而言,树脂和橡胶的耐热性是非常重要的性能指标,选用不同的黏结剂就会得到不同的摩擦性能和结构性能。目前常用的黏结剂是酚醛树脂及其改性树脂,包括腰果壳油改性、橡胶改性及其他改性酚醛树脂等。

2) 增强纤维

增强纤维构成制动摩擦材料的基材,它赋予摩擦制品足够的机械强度,使其能承受生产过程中的磨削和铆接加工的负荷力,以及使用过程中由于制动和传动而产生的冲击力、剪切力和压力。我国有关标准及汽车制造厂根据刹车片的实际使用工况条件,对刹车片提出了相应的机械强度要求,主要评价指标包括冲击强度、抗弯强度、抗压强度、剪切强度等。为满足这些性能要求,需要选用合适的增强纤维,其基本性能要求是:①增强效果好;②耐热性好,在摩擦工作温度下不会发生熔断、碳化与热分解现象;③具有基本的摩擦因数;④硬度不宜过高,以免产生制动噪声和损伤制动盘或鼓;⑤工艺可操作性好。

3) 摩擦性能调节剂

根据摩擦性能调节剂在摩擦材料中的作用,可将其分为增摩剂和减摩剂两类。执行制动功能时,要求具有较高的摩擦因数,因此增摩剂是摩擦性能调节剂的主要成分之一。增摩剂的莫氏硬度通常为3~9,硬度越高,增摩效果越显著。对于莫氏硬度5.5以上的硬质增摩剂,要控制其用量和粒度。减摩剂一般为低硬度物质,特别是莫氏硬度低于2的物质,如石墨、 MoS_2 、滑石、云母、 Sb_2S_3 等,它们既能增加摩擦因数的稳定性,又能减少对偶材料的磨损,从而提高摩擦材料的使用寿命。摩擦材料中增摩剂和减摩剂的相对含量共同决定着材料的摩擦与磨损性能,因此需要根据对摩擦材料的性能要求选择性地添加不同含量的增摩剂和减摩剂。

4) 填料

摩擦材料中使用的填料包括功能填料和空间填料,用于改进摩擦材料的热导性、流变性能、成形加工性能、外观和降低成本等。制动摩擦材料中使用填料的各种性能与摩擦材料的性能有密切的关系,主要体现在以下几个方面:①调节和改善制品的摩擦性能、物理性能与机械强度;②控制制品热膨胀系数、导热性、收缩率,增加产品尺寸的稳定性;③改善制品的制动噪声;④提高制品的制造工艺与加工性能;⑤改善制品外观质量及密度;⑥降低生产成本。

1.3.4 摩擦材料性能要求

摩擦材料是保证车辆制动装置制动效能与可靠性的关键部件,在大多数情况下,摩擦材料都是同各种金属对偶件配副摩擦,因此在制动过程中,摩擦材料应满