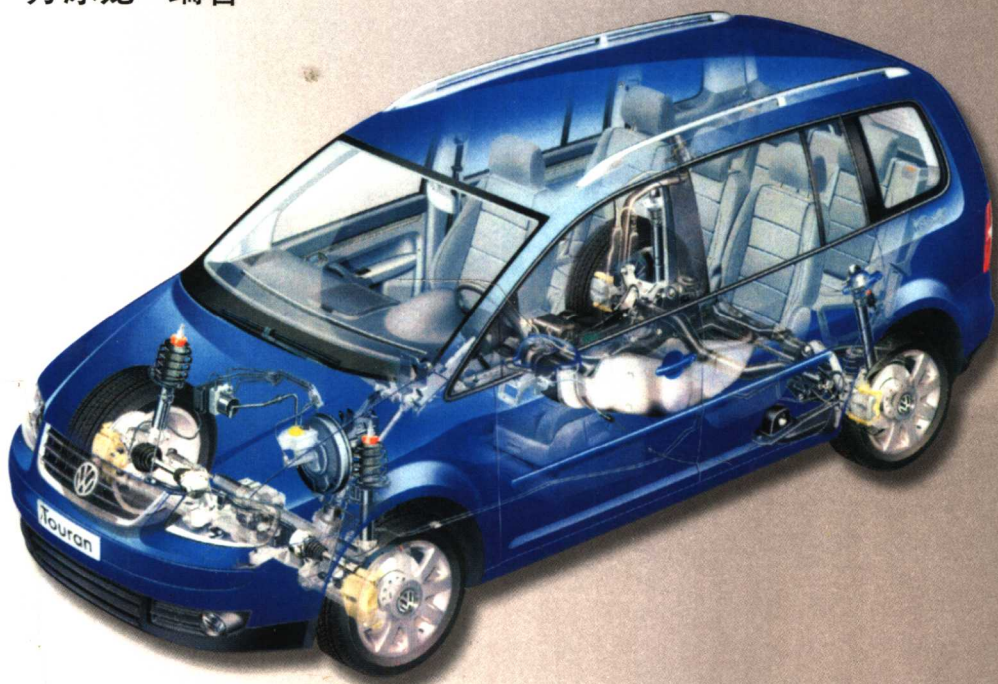


21世纪高等院校规划教材

汽车

制动理论与设计

方泳龙 编著



国防工业出版社

<http://www.ndip.cn>

21 世纪高等院校规划教材

汽车制动理论与设计

方泳龙 编著

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本教材是根据本科生的“汽车制动理论和设计”课和硕士研究生的“汽车制动理论和专家系统”课而编写的。本教材的内容与“汽车构造”、“汽车理论”和“汽车设计”3门课教学内容相衔接。通过这一课程学习,使学生掌握更丰富的汽车制动理论与设计知识,学习一些国外先进的制动性能设计方法,以便增强研究和分析汽车制动系统问题的能力。本书共分7章,主要介绍了汽车制动系统、制动过程动力学、制动性能分析与计算、制动器的振动与噪声、提高汽车安全性的制动控制系统和专家系统等。

本书可作为高等院校汽车专业的学生教材,对工程技术人员也具有参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

汽车制动理论与设计 / 方泳龙编著. —北京:国防工业出版社,2005.1

ISBN 7-118-03755-9

I.汽... II.方... III.①汽车-制动性能-理论
②汽车-制动装置-设计 IV.U461.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 127394 号

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 710×960 1/16 印张 11½ 218 千字

2005 年 1 月第 1 版 2005 年 1 月北京第 1 次印刷

印数:1-4000 册 定价:20.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

前 言

本教材是根据本科生的“汽车制动理论和设计”课程和硕士研究生的“汽车制动理论和专家系统”课程而编写的,其内容是与“汽车构造”、“汽车理论”和“汽车设计”3门课程教学内容相衔接。通过这一课程学习使学生掌握更丰富的汽车制动理论与设计知识,学习一些国外先进的制动性能设计方法,以便增强研究和分析汽车制动系统问题的能力。

编者出国留学期间在日本五十铃汽车公司参加了开发研究汽车制动系性能设计专家系统的工作,在开发期间阅读和整理了大量的资料。回国后以制动专家系统的资料为基础,开设了本科生的“汽车制动理论与设计”课程和硕士研究生的“汽车制动理论与专家系统”课程。为了提高教学质量,有必要编写反映汽车制动理论分析、设计计算和制动性能设计专家系统的教材,以满足本科生和研究生的需要,而目前国内还没有出版过类似的教材。

本书共7章。第1章绪论简要介绍了变比值制动力分配、利用附着系数与ECE(欧洲经济委员会的简称)制动法规、踏板力与制动减速度,制动器的振动与噪声,提高汽车安全性的制动控制系统和汽车制动专家系统。第2章主要讲述了制动系统的4种制动系统,制动系统的组成以及制动系统功能及评价指标。第3章是讲制动过程动力学,这一章主要分析车轮上所受的制动力、制动距离与制动减速度,讲述了制动强度、利用附着系数与同步附着系数的概念。第4章是制动性能分析与计算,这一章分析了变比值制动力分配、ECE制动法规、踏板力与液压输出特性、踏板力与制动减速度、踏板力与制动距离的分析计算、动力助力终了点与制动减速度分析与计算、制动主缸行程的计算分析、制动踏板行程的计算分析、真空泵容量的计算分析、感载比例阀应力分析、静特性分析计算和动特性分析计算等,把制动系统性能设计专家系统有关的22项计算分析项目编写在一起,以符合整个汽车制动系统性能分析与设计的系统性。第5章讲述了制动器振动的分类及其原因和制动器噪声的分类与发生因素等。第6章讲述提高汽车安全性的制动控制系统,主要内容包括汽车制动防抱死系统(ABS),汽车驱动防滑控制系统(TCS),车辆横向稳定性控制系统(VSC),制动器辅助系统(BA)。第7章简要地介绍了汽车制动性能设计专家系统:专家系统的组成;专家系统的开发工具;专家系统的特点与

IV

基本功能;专家系统的推理方法以及汽车制动系统性能设计专家系统。汽车制动系统性能设计专家系统的内容繁多,由于本教材篇幅所限,有些部分不能详细地讲述,只能简要地进行介绍。

由于本人水平所限,时间仓促,书中不当之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编 者

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 变比值制动力的分配	1
1.3 利用附着系数与 ECE 制动法规	2
1.4 踏板力和制动减速度	2
1.5 制动器的振动与噪声	2
1.6 提高汽车安全性的制动控制系统	3
1.7 汽车制动专家系统	3
第 2 章 汽车制动系统	5
2.1 制动系统	5
2.2 汽车制动系统的组成	6
2.3 制动系统功能及评价指标	7
第 3 章 制动过程动力学	9
3.1 车轮上所受的制动力	9
3.2 制动距离与制动减速度	10
3.3 制动强度、利用附着系数与同步附着系数	12
第 4 章 制动性能分析与计算	15
4.1 理想制动力分配	15
4.2 理想的液压分配线	20
4.3 实际液压分配线	22
4.4 理想与实际制动力分配线	26
4.5 ECE 制动法规制动力分配线的要求	32
4.6 实际利用附着系数与 ECE 制动法规	38
4.7 路面附着系数利用率	52
4.8 制动器效能因数 BEF 的计算	58
4.9 制动主缸行程的分析与计算	66
4.10 制动踏板行程的分析与计算	83
4.11 制动助力器的特性计算	91

4.12	踏板力 - 液压输出特性	96
4.13	踏板力 - 制动减速度分析	99
4.14	动力助力终了点 - 减速度分析	100
4.15	踏板力 - 制动距离的计算分析	102
4.16	真空泵容量的计算	104
4.17	制动液储油杯容量的计算	106
4.18	感载比例阀应力计算	108
4.19	感载比例阀静特性分析	111
4.20	感载比例阀动特性计算	118
4.21	液压助力器的特性计算	121
4.22	驻车制动能力的计算	123
第 5 章	制动器的振动与噪声	127
5.1	制动器振动的分类及其产生原因	127
5.2	制动器振动激振力的作用	128
5.3	制动器噪声的分类与影响因素	129
5.4	制动器噪声的激振力	131
第 6 章	提高汽车安全性的制动控制系统	132
6.1	汽车制动防抱死系统的基本原理	132
6.2	驱动防滑控制系统	154
6.3	车辆横向稳定性控制系统	156
6.4	制动器辅助系统	158
6.5	结束语	160
第 7 章	专家系统	161
7.1	专家系统的组成	161
7.2	专家系统的开发工具	163
7.3	专家系统的特点和基本功能	164
7.4	推理方法	165
7.5	汽车制动系统设计专家系统	166

第1章 绪论

1.1 引言

汽车的“行驶”、“转弯”、“停车”3个最基本机能之一的停车机能,是由制动装置来完成的。我们希望轻轻地踩下制动踏板时,汽车就能很平稳地停止在所要停车的地方。为了达到这一目的,必须充分考虑制动系统的控制机构和制动执行机构的各种性能。

制动系统是汽车的一个重要组成部分,它直接影响汽车的安全性。随着高速公路的迅速发展和车流密度的日益增大,交通事故也不断增加。据有关资料介绍,在由于车辆本身的问题而造成的交通事故中,制动系统故障引起的事故为总数的45%。可见,制动系统是保证行车安全的极为重要的一个系统。此外,制动系统的好坏还直接影响车辆的平均车速和车辆的运输效率,也就是保证运输经济效益的重要因素。

虽然,最近几年从德国大众、法国雷诺、美国通用等国外汽车公司引进了轿车,不少零配件的国产率也比较高,但引进的主要是总成及零配件,没有引进开发技术。所以,我国自行开发轿车的能力,跟汽车发达国家相比差距还很大。

近年来,我国出版过一些汽车制动方面的专著,但从数量上和深度上都远远不能满足汽车工业及汽车运输业发展的要求。特别是在汽车制动系统的开发设计方面与汽车发达国家相比水平差距深远,这是因为我国很长时间主要设计制造载货汽车,许多尖端技术问题对我们来说迄今还不太了解。

1.2 变比值制动力的分配

有些汽车理论书往往注重固定比值的制动力分配,对变比值的制动力的分配没有详细讲述。本书将详细讲述利用比例分配阀(PV)、感载比例阀(LSPV)、差压比例阀(BLENDPV)和加速度比例阀(DSPV)来调节前后制动力分配,以达到理想的变比值制动力分配。

众所周知,固定比值制动力分配不可能在所有路面上前轮先抱死,而且其路面的附着系数利用率低,影响制动方向的稳定性、操纵性和缩短制动距离。所以很难满足制动法规的要求。

如果在汽车上安装调节前后制动力分配的各种比例阀,完全可以在所有的路面上使前轮先抱死,而且不管是在空载或满载都可以保持高的路面附着系数利用率,保证制动时的方向稳定性,能够满足制动法规的要求。

1.3 利用附着系数与 ECE 制动法规

理想的制动力分配关系不仅用理想的前后制动力关系曲线(简称 I 曲线)来表示,而且还可以用制动强度和利用附着系数关系来表示。在 ECE 制动法规的曲线上,把前轴利用附着系数和后轴利用附着系数表示出来,那么可以判定制动力分配的合理性。一是要看前轴利用附着系数和后轴利用附着系数是否满足 ECE 法规要求,二是要看前轴利用附着系数和后轴利用附着系数是否靠近 $\phi = Z$ 理想曲线。

1.4 踏板力和制动减速度

利用制动助力装置的输入、输出特性曲线,可以求得踏板力—液压输出特性,再利用踏板力—液压输出特性曲线和理想与实际液压分配关系曲线,可以求得任意踏板力下的制动减速度、动力助力终了点的制动减速度和制动距离等。

1.5 制动器的振动与噪声

进行制动时产生的振动、噪声会给用户带来不舒服的感觉。所以,降低振动和噪声是与汽车本身的性能同样重要的技术课题。

在高速公路上行驶中进行轻微制动时,汽车的车身、转向器或转向器立柱中的某一部件产生振动,都会使制动踏板产生脉冲振动,我们把这些现象称为制动器振动。其振动和汽车的速度有关,其振动的频率范围在 15Hz ~ 60Hz。

这一制动器的振动是由摩擦材料和制动盘或者摩擦材料和制动器制动鼓之间的摩擦引起的。其摩擦力的变化成了振动激振力,从而使制动器的组成部件、悬架、车身部分发生共振。具体地说,当盘式制动器的制动盘或者鼓式制动器的制动鼓的滑动面出现凹凸不平,当制动鼓相对于旋转中心有偏心,当制动盘的摩擦面上的铁锈引起的局部摩擦系数有变化等情况下,制动盘或者制动鼓就会发生摩擦力的变化。由于这些激振引起悬架系统的共振而引起制动器振动。

随着装备自动变速器汽车的增加,使汽车在低速进行轻微制动的机会不断增加,从而增加了产生制动器噪声的使用环境。另外,在对汽车肃静性的要求越来越高的情况下,降低制动器等噪声、实现汽车的肃静性成为更重要的课题。

1.6 提高汽车安全性的制动控制系统

提高汽车的安全性关系到多方面组合的重要课题,在事故预防、事故回避等预防安全领域里与汽车运动性能之间有密切的关系。从事故发生的时间流程来考虑,事故预防的中心作用是驾驶员,也就是驾驶员在事故发生之前和之后的瞬间里对汽车的作用非常大。对事故发生之后瞬间的乘客保护的冲突安全部分是属于事故发生前的预防安全领域,在事故回避上与制动器控制系统有密切的关系。在汽车的预防安全领域和冲突安全领域里人一车一环境的作用是不同的。也就是事故预防、事故回避、乘客保护、救出乘客等环节中人一车一环境的作用是不同的。在事故预防环节中人和环境的作用是主要的,在事故回避环节中车的作用是主要的,在事故发生之后的乘客保护环节中车的作用是主要的,在救出乘客的环节中车和环境的作用是主要的。

以1970年使用的制动防抱死系统(Anti-Lock Brake System, ABS)为开端,不断开发并商品化了的驱动防滑控制系统(Traction Control System, TCS)、车辆横向稳定性控制系统(Vehicle Stability Control System, VSC)、制动器辅助系统(Brake Assist System, BA)等都是有效的制动控制系统。

ABS是在紧急制动时或容易滑动的路面上制动时防止车轮抱死、保证汽车的方向稳定性和操纵性为目的的制动器控制系统。

TCS是在雪路和结冰路面等容易滑动的路面上进行加速时,防止发生驱动轮的打滑,提高车辆稳定性和加速性的控制系统。

VSC是在急剧操纵方向盘和路面状况急剧进行变化等不可预测状态下,防止横摆运动和横向侧滑的控制系统。VSC是控制制动系统和发动机的输出转矩来维持汽车横向稳定性。

对于汽车紧急制动时驾驶员的动作,通过模拟分析和紧急制动工况试验后确认,紧急制动时一般是驾驶员没有利用足够的力量来踩制动踏板。为了辅助这一现象,判定为紧急制动工况时,辅助制动器制动力的装置就是制动器辅助系统(BA)。

1.7 汽车制动专家系统

目前,汽车制造和销售正面临着低成本、高性能、高质量的激烈竞争时代。把专家系统(Expert System, ES)引进到汽车工业的开发设计、制造工艺等方面已成为强劲的趋势。

专家系统是人工智能(Artificial Intelligence)学科领域中的一个重要分支,也是

AI 技术中发展最活跃,并且应用比较成熟的主要领域。

汽车专家系统是专家系统在汽车领域的具体体现,它将许多汽车专家所积累的经验知识和设计技术存入专家系统的知识库和推理机构,用于汽车设计的开发研究。一般技术人员(初级技术人员)利用该专家系统进行设计,可以达到和专家相同的设计水平,是设计的汽车有良好的使用性能。在达到节省人力和节省时间(缩短设计周期)的条件下得到最佳的设计方案。

目前,在国际上对汽车开发性设计和性能预测的要求越来越精确,要求新产品(新车型)的开发周期越来越短。那么,传统的开发设计方法已不能适应这些要求,而汽车设计专家系统则正是解决这些问题的良好的途径和有效的措施。

目前,国内还没有开发研究成熟的汽车制动系统设计专家系统。在国外,汽车专家系统的研究开发不断地发展,从 1980 以后,相继开发了汽车主要部件总成的专家系统,如 1989 年日本丰田(TOYOTA)汽车公司发表的“车身结构设计专家系统”,1993 年日本五十铃(ISUZU)汽车公司开发出了“轻型汽车制动系统性能设计专家系统”等。

第 2 章 汽车制动系统

2.1 制动系统

汽车的制动系统可以分为 4 种制动系统,即行车制动系统、应急制动系统(第 2 制动系统)和驻车制动系统,另外还有辅助制动系统。

2.1.1 行车制动系统

行车制动系统:汽车在行驶中降低速度甚至停车的制动系统称为行车制动系统,是在汽车行驶过程中经常使用的。

行车制动系统不论车速高低、载荷大小、上坡还是下坡,必须能控制车辆的行驶,并且能使车辆安全、迅速、有效地停止。行车制动系统的制动作用必须是可控制的,必须保证驾驶员在其座位上无须将双手离开方向盘,就能实施制动作用。

行车制动系统必须能实现渐进制动。

制动力矩和制动力的大小可以在驾驶员的控制下、在一定范围内逐渐变化的制动称为渐进制动。

2.1.2 应急制动系统(第 2 制动系统)

应急制动系统:在行车制动系统失效的情况下,保证汽车能实现减速或停车的制动系统称为应急制动系统。

应急制动系统必须能在行车制动系统失效的情况下,在一般适当的距离之内将车辆停住。其制动作用必须是可控制的,必须保证驾驶员在其座位上,在至少有一只手握住方向盘的情况下,就能实施控制作用。

应急制动系统有的是渐进的,有的是非渐进的。但按国际标准化组织(ISO)的定义,第 2 制动系统的作用必须是渐进的。

2.1.3 驻车制动系统

驻车制动系统:用以使已经停止的汽车驻留原地不动的一套装置,称为驻车制动系统。

驻车制动系统必须能使其工作部件靠纯机械装置锁住,即使在没有驾驶员的情况下,车辆也能停在坡道上(上坡或下坡)。驾驶员必须能在其座位上实施制动

作用。

驻车制动系统若是非渐进的,则也没有必要作渐进制动系统。

2.1.4 辅助制动系统

为在下长坡时保持稳定车速,避免超速失事,并减轻或能解除行车制动装置的负荷,汽车可装有辅助制动系统(减速制动器)。

辅助制动器一般有:排气减速制动器、液力减速制动器和电动减速制动器。

目前在电动减速制动中使用电涡流缓速制动器的很多。汽车安装电涡流缓速制动器后,可以承担汽车减速时所需制动能力的85%左右,大大提高汽车紧急制动的安全性,行车制动器的使用寿命可延长5倍~10倍。由于电涡流缓速制动器是一种非接触式制动装置,制动时迅速而柔和,从而汽车行驶的舒适性也得到大大提高。

行车制动、应急制动和驻车制动的各制动系统,在满足一定条件下,部件可共用。

驻车制动和行车制动有共用的例子,如后轮制动器一方面作为行车制动器,另一方面作为驻车制动器使用。

2.2 汽车制动系统的组成

汽车制动系统由以下2个机构组成,即执行机构和控制机构。

2.2.1 执行机构

汽车的执行机构是产生阻碍车辆的运动或运动趋势的力(制动力)的部件。包括制动鼓、制动蹄、制动盘、制动钳和制动轮缸等。

2.2.2 控制机构

汽车制动的控制机构是为适应所需制动力而进行操纵控制、供能、调节制动力、传递制动能量的部件。包括助力器、踏板、主缸、储油杯、真空泵、真空罐、比例阀、ABS和软管等。执行机构里还应包括报警装置、压力保护、故障诊断等部件。

按制动能量的传输方式,制动系统又可分为:

机械式——小型拖拉机、农用车;

液压式——轿车、轻型车;

气压式——中、重型车;

电磁式——中、重型车。

同时采用2种以上传能方式的制动系统,可称为组合式制动系统。比如,气顶

油制动能量传输方式。

传递能量的装置采用单一的气压或液压回路的制动系统为单回路制动系统。传递能量的装置采用 2 套气压或液压回路的制动系统为双回路制动系统。在单回路制动系统中,只要有一处损坏而漏油(气),整个制动系统就失效。在双回路制动系统中,液压或气压管路分别是 2 个彼此独立的回路,这样即使其中一个回路失效,还能利用另一回路获得一定的制动力。我国自 1988 年 1 月 1 日开始,所有的汽车均采用双回路制动系统(见图 2-1)。

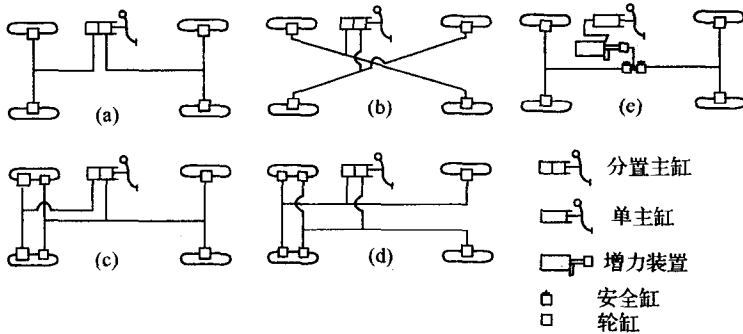


图 2-1 双回路制动系统

(a) 前后分开式; (b) 交叉式(X形式); (c) 前轮双重式; (d) 前轮双重后轮分开式。

2.3 制动系统功能及评价指标

2.3.1 制动系统功能

制动系统是影响汽车行驶安全性的重要部分。其功能如下:

(1) 可以降低行驶汽车的车速,必要时可以在预定的短距离内停车,且维持行驶方向的稳定性。

根据汽车行驶情况,如转弯,前面发现障碍物、红灯等,汽车可以缓慢地降低车速,或者,在规定的短距离内停车,并且保持行驶方向稳定性,即不跑偏、不用尾等。

(2) 下长坡时能维持一定的车速。经常在山区行驶的汽车,下长坡时必须维持一定的车速,否则车速过快,无法驾驶汽车。单靠行车制动系统来达到下长坡时稳定车速的目的,则可能导致行车制动系统的制动器过热而降低制动效能,甚至完全失效。故山区用汽车还应具备主要在下长坡时用以稳定车速的辅助制动系统。

(3) 驻车制动功能,也就是对已停驶的汽车,特别是在坡道上停驶的汽车,应使其可靠地驻留原地不动。汽车在上坡或下坡过程中停车时,必须稳定地驻留原地不动。

汽车制动系统应具备以上的功能。这些功能是设置在汽车上的一套专门的装置来实现的。这些装置是由制动控制机构和执行机构来组成的,也就是由供能装置、操纵机构、传动机构、制动器、调节制动力装置、制动防抱装置、报警装置和压力保护装置等组成。

2.3.2 评价指标

汽车的制动性能的好坏直接影响汽车的安全性,对此,各国对汽车制动性能的评价和要求都制定了一些法规。表 1-1 列出了一些国家对轿车行车制动系统的要求(制动性还应包括汽车在一定坡道上,能长时间停车不动的驻车制动器性能)。

表 1-1 一些国家对轿车行车制动系统的要求

项目	中国	欧洲经济共同体 (EEC)71/320	瑞典 F18	美国联邦 105
试验路面	干水泥路面	附着良好	$\Phi = 0.8$	Skid No.81
载重	满载	一个驾驶员或满载	任何载荷	轻、满载
制动初速	80km/h	80km/h	80km/h	96.54km/h (60mile/h)
制动时的稳定性	不许偏出 3.7m 通道	不抱死跑偏	不抱死跑偏	不抱死偏出 3.66m(12ft)
制动距离或 制动减速度	$\leq 50.7\text{m}$	$\leq 50.7\text{m}$ $\geq 5.8\text{m/s}^2$	$\geq 5.8\text{m/s}^2$	$\leq 65.8\text{m}$ (216ft)
踏板力	< 500N	< 500N	< 500N	66.7N ~ 667N (151b ~ 1501b)

由以上法规可见,制动系统的评价指标如下:

- (1) 制动效能,即制动距离与制动减速度;
- (2) 制动方向稳定性,即制动时汽车不发生跑偏、侧滑以及失去转向能力;
- (3) 制动效能的恒定性,即抗热衰退性和抗水衰退性。

第3章 制动过程动力学

3.1 车轮上所受的制动力

图3-1画出了在良好的硬路面上制动时车轮的受力情况。

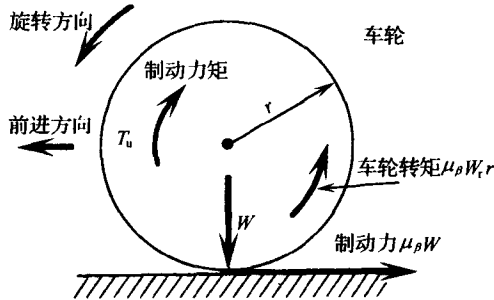


图3-1 制动时车轮受力

当驾驶员踩下制动踏板时踏板上的力通过传动机构到各车轮的轮缸,将驱动车轮内制动器中元件(指制动蹄和制动鼓或摩擦衬块和制动盘)形成摩擦力矩阻止车轮转动,称这种作用在车轮上的摩擦力矩为制动器制动力矩 T_u 。由于车轮与路面间有附着作用,车轮对路面作用一个向前的周缘力,称为制动器的制动力 F_u 。其大小为

$$F_u = \frac{T_u}{r}$$

式中 T_u ——制动器的制动力矩(N·m);
 r ——车轮半径(m)。

由上式可知,制动器的制动力只取决于制动蹄和制动鼓(制动钳与制动盘)间的摩擦力。

同时,路面对车轮作用一个向后的作用力 F_b ,称此为地面制动力。还是这个力由车轮经车轴和悬架系统传到车架和车身,迫使整个汽车产生一定的减速度,地面制动力愈大,制动减速度愈大,制动距离就愈短。如忽略滚动阻力偶矩和减速时的惯性力,则地面制动力 F_b 与制动器制动力矩 T_u 应有以下关系,即

$$F_b = \frac{T_u}{r}$$

地面制动力取决于 2 个摩擦副的摩擦力。一个是制动器内制动蹄和制动鼓(制动钳和制动盘)间的摩擦力,另一个是轮胎与地面间的摩擦力。

制动器制动力与踏板力成正比,但地面制动力受车轮与地面之间附着力 F_ϕ 的限制。图 3-2 所示为制动器制动力 F_u 、地面制动力 F_b 以及踏板力 F_p 三者的关系。

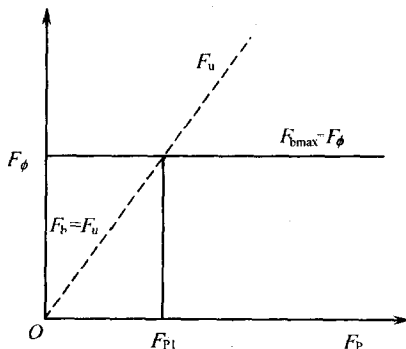


图 3-2 制动过程中制动器制动力、地面制动力及踏板力的关系

当踏板力在 $0 - F_{pt}$ 之间时,有 $F_u = F_b$,制动器制动力等于地面制动力。

当踏板力大于 F_{pt} 时,制动器制动力 F_u 随踏板力 F_p 成正比例继续增长,而地面制动力由于受地面附着力的限制不再增长。故有以下关系式:

$$F_b \leq F_\phi = F_z \cdot \phi$$

即得到最大地面制动力为

$$F_{bmax} = F_z \cdot \phi$$

式中 F_z ——作用在轮胎上的地面垂直反作用力之和;

ϕ ——附着系数。

此时车轮即抱死不转,而出现拖滑现象。

3.2 制动距离与制动减速度

制动距离是与行驶安全直接有关的一项制动效能指标,制动减速度是反映地面制动力的大小,是决定制动距离的一项重要因素。通常,制动距离是驾驶员开始踩着踏板到完全停车的距离,这个距离可从分析制动过程中求得。

图 3-3 所示画出了制动过程中的汽车减速度 a 、行驶速度 v 和行驶距离 S 的时间历程。图 3-3(a)为经过简化后的制动减速度曲线。对这一加速度求其时间