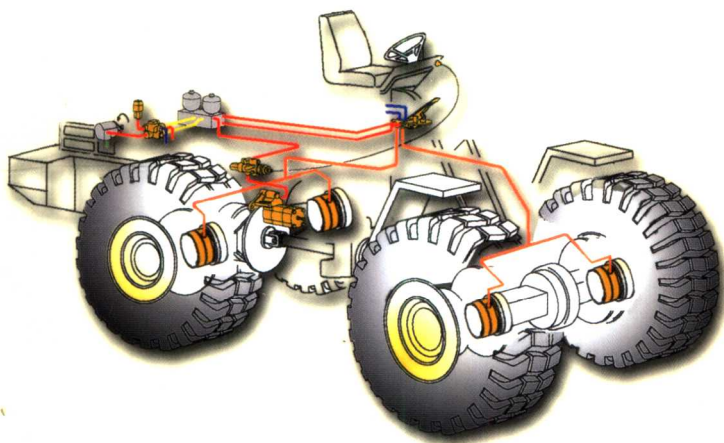


工程车辆全动力 制动系统

林慕义 宁晓斌 著



冶金工业出版社

<http://www.cnmp.com.cn>

工程车辆全动力制动系统

林慕义 宁晓斌 著

北 京

冶 金 工 业 出 版 社

2007

内 容 提 要

全动力液压制动系统的动态特性直接影响到车辆的行驶安全性。本书针对国内对全动力液压制动系统及制动器技术的要求,将元件的开发研制与系统参数及元件结构参数的变化对系统动态性能的影响相结合,对制动系统理论与技术进行了深入研究,为系统和元件的设计与改进提供了依据;为了提高制动器产品开发的成功率,降低开发成本,作者采用虚拟样机技术,应用机械动力学仿真分析软件 ADAMS,对重型汽车鼓式制动器进行了动力学分析,同时针对盘式制动器振动会降低其使用可靠性和寿命的问题,对各种参数对摩擦引起的制动盘非线性振动的影响进行了研究,为制动器设计方案的对比分析建立了基础。

本书适合于大专院校车辆工程专业的研究生、本科生及相关院所科技人员学习和参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程车辆全动力制动系统/林慕义,宁晓斌著. —北京:
冶金工业出版社, 2007. 8

ISBN 978-7-5024-4016-9

I. 工… II. ①林… ②宁… III. 工程车—制动装置
IV. U469. 606

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 115277 号

出 版 人 曹胜利 (北京沙滩嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009)

责任编辑 李培禄 美术编辑 张媛媛 版面设计 张 青

责任校对 卿文春 李文彦 责任印制 陈 鑫

ISBN 978-7-5024-4016-9

北京兴华印刷厂印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销

2007 年 8 月第 1 版, 2007 年 8 月第 1 次印刷

148mm×210mm; 8.375 印张; 245 千字; 252 页; 1-3000 册

30.00 元

冶金工业出版社发行部 电话: (010)64044283 传真: (010)64027893

冶金书店 地址: 北京东四西大街 46 号 (100711) 电话: (010)65289081

(本社图书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

工程车辆全动力制动系统

林慕义 宁晓斌 著

北 京

冶 金 工 业 出 版 社

2007

前 言

工程车辆全动力液压制动系统是车辆总体系统中的一个重要分系统,包含了蓄能器、制动阀、充液阀、制动泵及制动器等各元件。按照系统的观点,元件间不仅要在结构上做到耦合良好,更重要的是如何做到整个系统在性能上的优化匹配。尽管国外已有了相对成熟的产品,但对此类产品的研制与生产中采用的理论、方法及关键技术未见公开。

目前国内对该系统及主要元件的研究尚处于起步阶段,系统元件的选型与匹配以常规计算选择为主,元件的开发研制尚无法考虑系统参数及元件结构参数的变化对系统动态性能的影响。对于控制轮缸制动压力的液压制动阀,其特性是否合理直接关系到车辆制动的平稳性和有效性,国内未见有关双回路液压制动阀设计研究的相关文章,国外仅有少量介绍性文献,制动阀的设计缺乏理论依据。

充液阀是保证全动力液压制动系统正常工作的核心部件之一,其操作是通过系统压力控制并与蓄能器协调匹配来完成的。目前国内对充液系统及充液阀的研究较少,采用的是静态计算方法,未考虑充液阀充液过程的动态性能。由于充液过程中,泵、蓄能器及充液阀内部反馈压力同时变化,现有的设计理论无法进行有效设计。

为克服气液制动系统的缺点并节约成本,将全动力液压制动系统用于普通钳盘式制动器驱动桥,需设计研制一种转换装置。在设计了这种转换器后,需对其结构参数对制动性能的影响、加入转换器后的全动力液压制动系统响应特性有无变化等进行分析检验。

对系统及各主要元件进行的动态特性分析有助于整个制动系

统的分析与优化,但理论分析涉及的计算参数较多,有些参数较难获得,建立的数学模型也有待验证。需进行全动力液压制动系统台架试验,验证系统与元件的仿真模型,对不同系统参数及多种工况下的系统动态响应特性进行试验研究。工程车辆作业环境恶劣,制动系统的设计必须对各种干扰因素具有稳健性。如何进行设计才能使系统与元件的性能更稳健也是目前面临的问题之一。

车辆鼓式制动器制动效能因数,如果按摩擦片与制动鼓接触力是线性的假设,计算得出的结果误差较大,需要建立非线性的鼓式制动器动力学模型来计算制动效能因数。

盘式制动器振动,降低了制动器使用的可靠性和使用寿命,同时对环境造成污染。制动器振动,静摩擦因数大于动摩擦因数、动摩擦因数与接触相对速度的非线性关系,引起了接触物体非线性的自激振动,所以需要分析各种参数对摩擦引起的非线性振动的影响。但是摩擦片与制动盘之间摩擦因数接近常数时,制动器仍然发生振动,而盘式制动器复模态分析,是用线性方法近似分析非线性振动,计算的振动频率与实际有误差,所以需要建立盘式制动器非线性振动模型研究盘式制动器振动。对刚性摩擦片-弹性制动盘非线性振动模型,需要作进一步完善,以分析支撑摩擦片弹簧刚度和阻尼器阻尼对振动的影响。对摩擦片、制动盘组成的连续振动模型,需考虑非线性接触力的作用,分析盘式制动器结构参数对振动的影响。

全书共分11章,其中第1章的1.3节、第2章、第9章、第10章、第11章由宁晓斌撰写,其余各章节由林慕义撰写。本书将元件的开发研制与系统参数及元件结构参数的变化对系统动态性能的影响相结合,对制动系统理论与技术进行了深入研究,力求为系统和元件的设计与改进提供依据;采用虚拟样机技术,应用机械动力学仿真分析软件ADAMS,对重型汽车鼓式制动器进行了动力学分析,同时针对盘式制动器振动会降低其使用可靠性和寿命的问题,对各种参数对摩擦引起的制动盘非线性振动的影响进行了研究,为制动器设计方案的对比分析建立了基础;研究了车

辆全动力液压制动系统的动态特性及元件主要参数对系统充液特性及制动压力响应特性的影响规律；基于台架试验及数值仿真对蓄能器充液阀和双回路制动阀进行了稳健设计，获得了元件结构参数的优化值；利用建立的鼓式制动器制动效能因数非线性动力学数学模型及ADAMS刚柔耦合仿真分析模型，研究了重型汽车鼓式制动器的制动效能因数并用于重型汽车鼓式制动器设计；利用建立的钳盘式制动器数学模型和仿真模型对其振动机理和消除振动的方法进行了研究。本书研究结果为工程车辆全动力液压制动系统的设计与性能改进提供了参考依据，可作为大专院校车辆工程专业研究生、本科生及相关科研院所科技人员的学习参考书。

本书是作者在进行相关课题研究的基础上完成的，得到了国家自然科学基金、山西省科技攻关计划、山西省自然科学基金项目的支持，为此对各相关项目人员表示感谢；同时感谢作者的博士生导师张文明教授，使作者在探索前沿、应用研究手段、解决实际问题等方面受益匪浅；在课题研究过程中还得到了北京科技大学方湄教授，太原科技大学孙大刚教授，王爱红博士给予的热情指导与帮助，在此表示诚挚的谢意。

鉴于作者水平所限，书中不妥之处，敬请读者批评指正。

作 者

2007年3月

目 录

第1章 绪论	1
1.1 工程车辆制动系统概述	1
1.1.1 工程车辆制动系统的组成	1
1.1.2 制动器的类型	2
1.1.3 气顶液与全动力液压制动	5
1.1.4 工程车辆新型电液制动系统	9
1.2 全动力液压制动系统研究现状与方法	13
1.2.1 主要元件的研究	13
1.2.2 系统动态特性的研究	15
1.2.3 仿真与试验研究	18
1.2.4 稳健设计	21
1.3 制动器研究现状与方法	23
1.3.1 鼓式制动器研究	23
1.3.2 盘式制动器研究	26
1.3.3 湿式多盘制动器研究	32
1.4 本书研究内容	33
第2章 虚拟样机技术的理论基础	39
2.1 刚体动力学方程	43
2.2 柔性体动力学方程	46
第3章 全动力液压制动系统设计理论	55
3.1 全动力液压制动系统常规设计方法	55
3.1.1 系统参数确定	55
3.1.2 主要元件选择	57

3.2 制动管路传输特性及其对制动响应特性的影响	60
3.2.1 制动管路特性分析	60
3.2.2 管路传输滞后影响因素	62
3.3 蓄能器在制动及充液过程中的动态数学模型	63
3.3.1 充液过程	63
3.3.2 制动过程	64
3.4 制动轮缸在制动过程中的动态数学模型	65
3.4.1 空行程阶段	65
3.4.2 增压阶段	66
3.5 本章小结	67
第4章 蓄能器充液阀的静动态充液特性	68
4.1 充液阀原理及受力分析	68
4.1.1 结构原理	68
4.1.2 静态受力分析	70
4.2 充液系统静态特性分析	71
4.2.1 恒压充液特性	71
4.2.2 恒流充液特性	73
4.3 充液阀充液动态特性及影响因素	78
4.3.1 动态数学模型	78
4.3.2 动态特性分析	80
4.3.3 系统参数变化影响	84
4.3.4 充液阀结构参数变化的影响	87
4.4 全动力液压制动系统与整机的匹配	90
4.5 本章小结	93
第5章 双回路制动系统及制动阀的动态特性	95
5.1 制动阀原理与设计	95
5.1.1 制动阀原理	95
5.1.2 制动阀设计	97
5.2 双回路制动阀的稳态工作特性	100

5.2.1 受力分析	100
5.2.2 静态特性分析	102
5.3 双回路制动系统及制动阀的动态特性仿真分析	105
5.3.1 空行程动态特性	105
5.3.2 系统动态特性数学模型	109
5.3.3 仿真模型与结果	111
5.4 双回路系统响应特性主要影响因素及参数选择	113
5.4.1 系统参数变化	113
5.4.2 元件结构参数变化	115
5.4.3 阀芯内力分析	118
5.4.4 制动方式的影响	118
5.5 本章小结	120
第6章 双液动力转换器及其动态特性	123
6.1 双液动力转换器原理与设计理论	123
6.1.1 转换器原理	123
6.1.2 结构参数设计	124
6.2 双液动力转换器的建模与动态特性仿真	125
6.2.1 转换器数学模型	125
6.2.2 空行程过程中的转换器特性	127
6.3 双液动力转换器结构参数的选择	130
6.4 双液动力转换器对双回路全动力液压制动系统 动态特性的影响	133
6.4.1 系统完整模型	133
6.4.2 系统特性分析	136
6.5 本章小结	138
第7章 全动力液压制动系统试验	140
7.1 系统台架试验设计	140
7.1.1 试验标准	141
7.1.2 试验系统	141

7.2 系统与元件的仿真模型验证试验	144
7.2.1 系统模型验证	144
7.2.2 转换器模型验证	145
7.2.3 充液阀与蓄能器模型	146
7.3 多工况下系统动态特性试验	148
7.4 双回路制动阀及双液动力转换器性能试验结果	152
7.5 系统响应试验结果分析	153
7.5.1 制动方式变化	153
7.5.2 单回路工况	154
7.5.3 蓄能器工况	155
7.5.4 耦合工况	156
7.5.5 双液动力转换器	158
7.6 本章小结	159
第8章 全动力制动系统关键件的稳健设计	161
8.1 稳健设计策略	161
8.2 稳健设计的数学模型	163
8.2.1 质量模型	163
8.2.2 数学模型	165
8.3 基于充液时间的充液阀稳健设计	166
8.3.1 设计变量与噪声因素	166
8.3.2 参数设计	167
8.3.3 最佳组合及验证	169
8.4 基于制动响应特性的制动阀稳健设计	170
8.4.1 设计变量与噪声因素	170
8.4.2 参数设计	173
8.4.3 最佳组合及验证	175
8.5 本章小结	176
第9章 鼓式制动器制动效能因数的虚拟样机模型	177
9.1 鼓式制动器制动效能因数的线性静力学数学模型	177

9.2 鼓式制动器制动效能因数的非线性动力学数学模型	179
9.2.1 非线性接触力数学模型	179
9.2.2 鼓式制动器制动效能因数的非线性动力学 数学模型	182
9.3 鼓式制动器制动效能因数的虚拟样机模型	184
9.3.1 虚拟样机模型建立的一般过程	184
9.3.2 鼓式制动器虚拟样机模型的建立过程	186
9.4 本章小结	192
第10章 钳盘式制动器非线性振动的虚拟样机模型	193
10.1 摩擦因数变化引起非线性振动的虚拟样机分析	193
10.1.1 黏滑摩擦模型	195
10.1.2 负阻尼摩擦模型	196
10.2 模态耦合引起的盘式制动器振动理论分析	201
10.3 刚性摩擦片-弹性制动盘非线性振动模型的 虚拟样机分析	206
10.3.1 刚性摩擦片-弹性制动盘非线性振动的 数学模型	206
10.3.2 刚性摩擦片-弹性制动盘非线性振动的 虚拟样机模型	210
10.4 盘式制动器非线性连续系统振动的虚拟样机模型	215
10.4.1 盘式制动器非线性连续系统振动的数学模型	215
10.4.2 盘式制动器非线性连续系统振动的虚拟 样机模型	222
10.5 本章小结	225
第11章 制动器的虚拟样机应用实例	226
11.1 鼓式制动器制动效能因数虚拟样机模型分析	226
11.2 钳盘式制动器虚拟样机模型振动分析	232
11.3 制动性能分析和评价	232
11.3.1 鼓式制动器的制动性能	236

11.3.2 盘式制动器的制动性能	238
11.3.3 制动器的评价分析	240
11.4 本章小结	245
参考文献	246

第 1 章 绪 论

1.1 工程车辆制动系统概述

1.1.1 工程车辆制动系统的组成

从汽车诞生时起,车辆制动系统在车辆的安全方面就起着非常重要的作用。传统制动系统的主要结构形式有:机械式、气动式、液压式、气液综合式。它们的工作原理基本一致,即利用制动装置工作时产生的摩擦热来逐渐消耗车辆所具有的动能,以达到降低车辆速度或直至停车的目的^[1]。

早期的工程车辆一般采用与汽车相同的制动系统,主要由以下 4 部分组成:(1) 供能装置,即制动能源,为调节制动的各部件提供制动能量;(2) 控制装置,包括产生制动动作和控制制动效果的部件;(3) 传动装置,包括把制动能量传递到制动器的各个部件;(4) 制动器,产生阻碍车辆运动或者运动趋势的部件,也包括辅助制动系统中的部件。制动系统按照制动能源分类可分为以驾驶员的肌体作为唯一制动能源的人力制动系统、完全靠由发动机的动力转化而成的气压或液压形式的势能进行制动的动力制动系统以及兼用人力和发动机动力进行制动的伺服制动系统^[2~4]。

工程车辆的使用特点是:场地道路标准低,道路弯道坡路多,转弯半径小,多数情况是满载连续工作,发动机和传动系统满负荷运行时间长,下坡时连续制动;工作环境差,采场粉尘多,通风条件差,气温温差大;连续长时间运行,由多人轮流驾驶;可靠性较低,故障较多;备件价格昂贵,供应周期长。制动系统作为车辆最重要的组成部分之一,对整机性能起关键性的作用。目前采用液力机械传动的工程车辆,普遍采用了钳盘式、湿式多盘这两种形式的制动器,供能装

置则采用操纵力较小的动力制动或伺服制动形式^[5,6]。

钳盘式制动器制动平稳,制动感良好,且制动力矩与车辆运动方向无关;摩擦因数对制动力矩影响较小,稳定性好。钳盘式制动器的制动盘部分外露,减少了摩擦热衰减现象、水衰退现象,但钳盘式制动器摩擦片接触面积单位压力高,对摩擦材料和制造精度有较高的要求,而且钳盘式制动器难以完全防止尘污和锈蚀。湿式多盘制动器完全密封,避免了水衰退现象,制动器的使用寿命长。湿式多盘制动器摩擦盘与摩擦片之间间隙一般不用调整,维护工作量极小。湿式多盘制动器摩擦副改变,可输出不同大小的扭矩,易于实现系列化和标准化。但湿式多盘制动器造价高,摩擦盘磨损的金属颗粒,随冷却油进入油路造成液压油污染^[7-9]。

1.1.2 制动器的类型

产生阻止车辆运动或运动趋势的力的部件叫做制动器。利用固定元件与旋转元件工作表面间的摩擦而产生制动力矩的叫做摩擦式制动器。摩擦式制动器又可分为鼓式与盘式两大类。鼓式制动器中的旋转元件为制动鼓,其工作表面为一圆柱面。盘式制动器的旋转摩擦元件为圆盘状的制动盘,以其端面作为工作面。

鼓式制动器制动时制动蹄在促动装置作用下向外旋转,外表面的摩擦片压靠到制动鼓的内圆柱面上,对鼓产生制动摩擦力矩。以液压制动轮缸作为制动蹄促动装置的制动器称为轮缸式制动器;以凸轮作为促动装置的制动器称为凸轮式制动器,如图 1-1 所示;用楔作为促动装置的制动器称为楔式制动器。

由制动盘和制动钳组成的制动器称为钳盘式制动器。图 1-2 所示的钳盘式制动器中,制动盘 7 用螺钉固定在轮毂 8 上。制动钳安装在制动盘的外圆处,并用螺钉固定在桥壳 1 的凸缘上。制动块 6 是用酚醛树脂热压在钢制底板上组成的。它通过两个导向销装在钳壳 2 上,并可沿导向销做轴向移动。制动钳壳的内外两侧壳体都是液压制动轮缸的缸体,其中装有活塞 5。在轮缸的缸壁上有梯形截面的环槽,其中装有矩形截面的密封圈。活塞外端装有防尘罩,以防杂质进入滑动表面。内外侧液压缸间用油管连通。

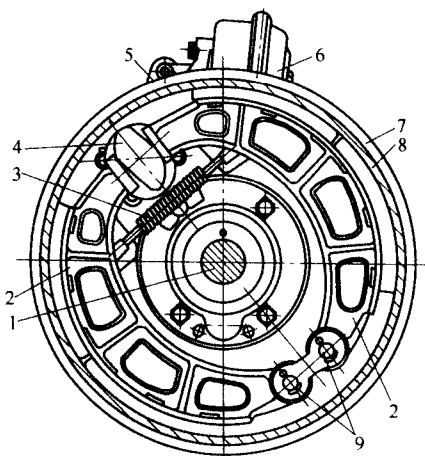


图 1-1 东风 EQ1091 型汽车前轮制动器

1—转向节轴颈；2—制动蹄；3—回位弹簧；
4—制动凸轮轴；5—制动调整臂；6—制动
气室；7—制动底板；8—制动鼓；9—支承销

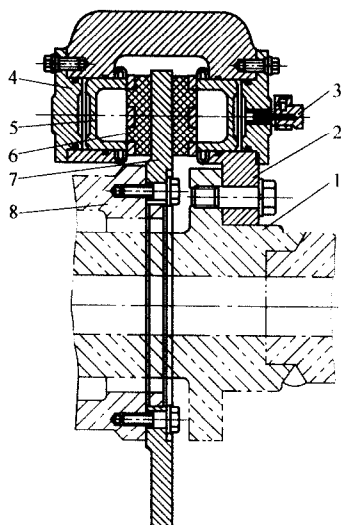


图 1-2 钳盘式制动器

1—桥壳；2—钳壳；3—油管接头；
4—盖；5—活塞；6—制动块；
7—制动盘；8—轮毂

钳盘式制动器与鼓式制动器相比,因制动盘露在空气中,散热条件好,又因制动盘对摩擦衬块无“助势”作用,制动效能受摩擦系数变化的影响较小,因此,制动器的热稳定性较好;制动力矩仅与轮缸油压成比例,制动较平顺;有较高的抗水衰退能力,而且衰退后能迅速恢复;制动盘升温后沿厚度方向的变形量比制动鼓的径向热变形量小得多,因此,引起的踏板行程变化很小;采用密封圈式间隙自调装置;结构简单,重量较小,保养维修方便。但是,由于尺寸限制,摩擦衬块的面积小,单位压力很高,对摩擦衬块的材料要求较高;防污性能较差。

为了获得较大的制动力矩,在某些重型车辆上采用了全盘式制动器。普通型湿式多盘制动器(图 1-3)采用压力操纵制动,卸压后由弹簧释放制动。压力油进入制动器油腔后作用在一个大活塞上,从而推动活塞压紧摩擦片制动。普通型湿式多盘制动器一般安装在各类车辆的轮边部分,作为行车制动。由于摩擦元件是浸在循环着的油液中

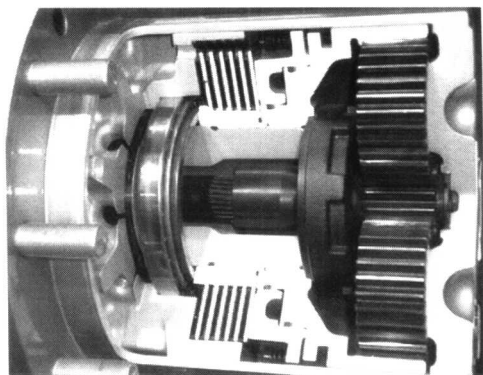


图 1-3 普通型湿式多盘制动器

工作,可使制动过程产生的热量及时地带给冷却器,因此,该制动器的寿命较长。它需要一个液压系统来操纵制动动作,一旦管路出现破裂等故障,就无法实现制动,给车辆安全行驶带来威胁。此外,为保证车辆停车后能够安全定位,还需设有一个停车制动器。两套制动器虽然保证了车辆的安全性,但增加了车辆零部件的数量。

湿式多盘失压制动器(图 1-4)是一种安全型湿式多盘制动器,

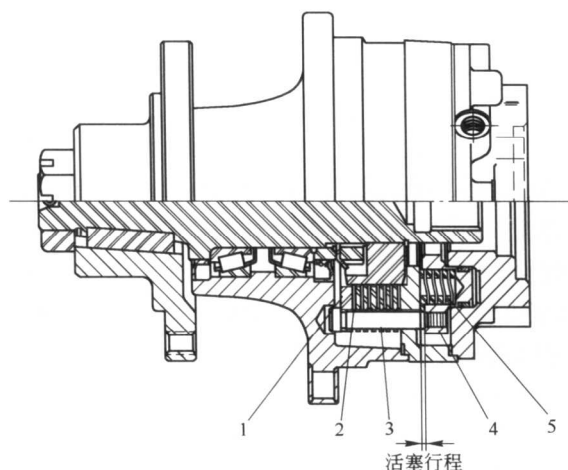


图 1-4 湿式多盘失压制动器

1—主压盘; 2—摩擦片; 3—固定盘; 4—活塞; 5—弹簧