

汽车减振器设计与特性仿真

周长城 著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

汽车减振器设计与 特性仿真

周长城 著

机械工业出版社

本书是作者对汽车减振器设计及特性仿真多年研究成果的总结编写而成的,基本思路是根据对车辆行驶振动平顺性的要求,对基于车辆安全性和舒适性相统一的悬架系统及阻尼匹配进行研究,然后对液压筒式减振器的结构和工作原理、减振器设计及特性仿真基本理论进行分析,建立液压筒式减振器节流阀参数设计数学模型和优化设计方法及减振器特性仿真模型,在此基础上对减振器节流阀参数 CAD 及特性仿真软件开发进行研究。随后对减振器阀系参数设计及影响因素进行了分析,对可控减振器设计进行了讲述,对减振器特性仿真及影响因素进行了分析。最后,对减振器结构零部件设计进行了分析,并结合实例对减振器特性试验与整车平顺性试验进行了介绍。

本书可作为车辆工程、交通运输及相关专业的本科生和研究生的学习参考书,亦可作为车辆工程技术人员进行液压筒式减振器设计的重要参考资料。

图书在版编目 (CIP) 数据

汽车减振器设计与特性仿真/周长城著. —北京:机械工业出版社, 2012. 4

ISBN 978-7-111-37673-6

I. ①汽… II. ①周… III. ①汽车—减振装置—仿真设计 IV. ①U463.330.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 040494 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:何士娟 责任编辑:何士娟

版式设计:霍永明 责任校对:樊钟英

封面设计:路恩中 责任印制:乔宇

三河市国英印务有限公司印刷

2012 年 5 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·18 印张·241 千字

0001—3000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-37673-6

定价:56.80 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

读者购书热线:(010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

作者简介

周长城，男，博士，教授，1962年出生，山东省泰安人。1986年本科毕业于山东理工大学，1993年研究生毕业于江苏大学，2006年博士毕业于北京理工大学。博士论文研究课题“汽车减振器阀系解析计算与特性综合仿真研究”，获得北京理工大学“全国百篇优秀博士论文育苗奖励基金”的资助，并获得北京理工大学优秀博士学位论文奖。博士毕业后一直在山东理工大学从事车辆悬架设计及理论研究，建立了减振器设计基本理论和方法，解决了一直制约减振器阀系参数设计的关键性问题，先后发表车辆悬架设计及理论方面的研究论文96篇，其中，EI收录46篇，国外期刊论文4篇，出版教材和专著9部。

作者在车辆悬架设计及理论方面取得的创新研究成果有：建立了减振器节流阀片变形、应力解析计算方法、减振器叠加阀片等效厚度解析计算公式和叠加阀片等效拆分设计原则和方法，建立了减振器油液非线性节流损失解析计算方法，建立了基于多点速度特性和车辆参数的减振器阀系参数曲线拟合优化设计方法，建立了减振器特性仿真分段函数数学模型，开发了汽车减振器CAD及特性仿真软件，并推广应用，真正实现了汽车减振器现代化计算机辅助设计（CAD）。所建立的减振器设计理论和方法及所开发的汽车减振器CAD及特性仿真软件，得到了国内外同行专家的关注和认可，2010年获得“2010年度中国汽车工业科技进步三等奖”，获得山东省淄博市科技进步一等奖。同时，作者对空气悬架、油气悬架、半主动悬架和主动悬架设计及理论也进行了研究，建立了油气悬架设计理论和方法，建立了车辆悬架钢板弹簧解析优化设计理论和方法，建立了悬架稳定杆橡胶衬套变形和刚度解析计算方法，及悬架稳定杆的设计理论和方法，建立了基于安全性和舒适性相统一的车辆半悬架实时最佳阻尼匹配数学模型，为车辆半主动悬架及主动悬架设计奠定了理论基础。

作者所建立的汽车减振器设计与特性仿真实论和方法，对于提高我国车辆悬架设计研究领域理论水平，提升我国在车辆悬架研究领域的自主创新能力，提高我国汽车行业在国际上的竞争实力，推动车辆悬架及减振器行业的发展将发挥重要作用。同时，作者所开发的“汽车减振器CAD及特性仿真软件”，可提升减振器企业现代化CAD设计手段，对加快减振器设计开发速度，降低设计和试验费用，提高减振器设计水平和制造质量，提高车辆行驶平顺性、操作稳定性和乘坐舒适性都将产生积极推动作用。

前 言

车辆悬架决定和影响车辆的行驶平顺性、操作稳定性和乘坐舒适性，而汽车行驶过程是随路面和车速而变化的随机振动过程，其中，汽车行驶平顺性和安全性是由悬架系统所决定的，也是悬架系统设计的重要目标。减振器是车辆悬架系统的重要部件之一。减振器种类很多，目前在汽车上应用最为广泛的是液压筒式减振器，其结构简单，工作可靠，性能稳定，价格低。

尽管国内外很多专家对液压筒式减振器行了大量的研究，但因受减振器设计理论的制约，对于汽车液压筒式减振器节流阀参数设计一直都没有可靠的设计方法，大都是采用“经验+反复试验”的传统方法，即首先凭经验确定车辆悬架及零部件的关键参数，然后经过反复试验和修改，最终确定出所设计的悬架及零部件的关键参数值。由于减振器节流阀参数之间会相互耦合和影响，因此，需要做大量的试验才可以确定出满足特性要求的减振器节流阀参数。而对于减振器特性仿真没有建立可靠的仿真模型，先前大都是采用现成的仿真软件通过建模进行特性仿真，但是由于建模所需要的参数必须通过试验才可以获得，因此，很难建立准确可靠的特性仿真模型。随着汽车工业的快速发展和行驶速度的不断提高，对减振器设计提出了更高的要求，而先前减振器节流阀参数设计及特性仿真方法，不能满足汽车工业快速发展的要求，同时，随着汽车工业国际竞争的不断加剧，要提高我国汽车自主研发能力，开发具有自主知识产权的汽车产品，必须从基本原理和理论出发，根据车辆行驶平顺性、操作稳定性和乘坐舒适性的要求，建立新的减振器设计理论和方法。

目前，国内外有关汽车液压筒式减振器设计理论和方法的书很少。本书是作者对汽车液压筒式减振器多年研究成果的总结编写而成的，包含了作者的最新理论研究成果。本书为高等院校汽车工程专业的本科生及研究生提供了比较系统的有关汽车减振器设计理论和方法，对于从事汽车或其他车辆工程技术人员也具有重要实际参考应用价值。本书力求深入浅出，循序渐进，以车辆行驶振动简化模型为研究模型，以车辆行驶平顺性、操作稳定性和乘坐舒适性为研究目标，以汽车液压筒式减振器设计理论和方法为主线，分别对车辆简化模型的振动及特性进行分析，对车辆悬架最佳阻尼匹配进行探讨；对汽车液压筒式减振器设计基本理论进行了分析，对减振器节流阀参数优化设计方法进行了介绍，对减振器特性仿真模型的建立进行了阐述；对减振器节流阀参数设计和特性仿真影响因素进行了定量分析；对减振器结构零部件的设计理论、方法及注意事项进行了介绍；对可控减振器节流阀参数设计及控制规律进行了探讨；对汽车液压筒式减振器节流阀参数 CAD 及特性仿真软件进行了介绍，并对研发的软件工具和相关技术进行了说明；最后，结合实例介绍了汽车液压筒式减振器特性试验及整车行驶平顺性试验。内容精简，叙述力求深入浅出，层次分明，既有理论分析，又有特性试验。各章节注重前、后的逻辑性和衔接性，将新理论和方法与实际设计相结合。



在本书编写过程中，得到了山东理工大学领导的支持，同时所指导研究生赵雷雷、毛少坊、郭剑、李红艳、高春蕾和文森森等同学也做了大量工作，他们对书中的文字内容进行了校对，对书中的插图进行了绘制，在此表示衷心的感谢。

由于作者水平有限，书中难免有错漏、不妥之处，恳请读者批评指正。

著 者

目 录

作者简介

前言

第1章 绪论	1
1.1 车辆悬架的作用及性能要求	1
1.2 车辆悬架的组成	3
1.3 液压筒式减振器发展及研究状况	7
1.4 减振器特性仿真研究现状	10
1.5 液压筒式减振器的发展趋势	11
第2章 车辆简化模型及振动	13
2.1 车辆振动简化模型	13
2.2 单质量车身振动及特性	14
2.3 双质量车身车轮振动	22
2.4 双轴汽车垂直和俯仰平面振动	26
2.5 “人-车”三自由度系统的振动	28
第3章 汽车行驶振动	31
3.1 道路路面不平度的统计描述	31
3.2 平顺性分析	35
3.3 车辆平顺性及评价	47
第4章 悬架系统阻尼匹配	58
4.1 基于舒适性的悬架系统最佳阻尼比	58
4.2 基于安全性的悬架系统最佳阻尼比	60
4.3 基于舒适性和安全性的最佳阻尼比	60
4.4 被动悬架系统最佳阻尼可行性设计区	64
4.5 悬架系统最佳匹配减振器的阻尼特性	65
第5章 液压筒式减振器	69
5.1 液压减振器的分类	69
5.2 液压筒式减振器的结构和工作原理	69
5.3 减振器特性及特性参数	71
5.4 减振器的安装及其对特性的影响	76
第6章 减振器油液及节流损失	78
6.1 减振器油液的物理、化学性质	78
6.2 减振器油液压力冲击及气蚀	82
6.3 油液流动定理	85
6.4 油液压力损失	86
6.5 减振器油液的使用要求	90
6.6 油液流经小孔和缝隙的流量	91



第7章 液压筒式减振器阻尼构件分析	96
7.1 活塞缝隙阻尼分析	96
7.2 复原阀阻尼构件分析	97
7.3 压缩阀阻尼构件分析	100
7.4 流通阀阻尼构件分析	101
7.5 补偿阀阻尼构件分析	102
第8章 节流阀片变形量与应力及等效厚度计算	103
8.1 节流阀片在均布压力下的变形量解析计算	103
8.2 节流阀片在均布压力下的应力解析计算	106
8.3 节流阀片在非均布压力下的变形量解析计算	109
8.4 节流阀片在非均布压力下的应力解析计算	113
8.5 节流阀片在环形集中力下的变形	114
8.6 节流阀片在环形集中力下的应力计算	120
8.7 减振器叠加节流阀片等效厚度的计算与拆分设计	125
第9章 液压筒式减振器节流阀参数设计	128
9.1 减振器阀系参数设计顺序和设计方法	128
9.2 基于速度特性的减振器复原阀参数设计数学模型	130
9.3 基于速度特性的减振器压缩阀参数设计数学模型	133
9.4 减振器节流阀参数的曲线拟合优化设计方法	135
9.5 减振器节流阀参数黄金分割优化设计方法	139
9.6 基于车辆参数的减振器阀系参数设计	145
第10章 减振器节流阀参数设计影响因素	149
10.1 阀系设计参数与影响因素	149
10.2 设计参数影响因素分析	151
10.3 参数优化选择基本原则	164
第11章 可控减振器节流阀参数及控制规律设计	168
11.1 可控减振器结构及其工作原理	168
11.2 可控减振器节流阀参数设计	168
11.3 可控减振器可调阻尼孔控制规律设计	174
第12章 减振器特性分段函数建模与仿真	179
12.1 减振器特性	179
12.2 减振器特性分析	180
12.3 减振器外特性仿真	184
12.4 内特性仿真	187
12.5 特性仿真与特性试验比较	193
第13章 减振器特性的影响因素	194
13.1 常通节流孔的影响	194
13.2 节流阀片的影响	196
13.3 活塞缝隙的影响	202
13.4 油液粘度的影响	204
13.5 油液温度的影响	207
第14章 减振器节流阀参数 CAD 及特性仿真软件	212
14.1 减振器节流阀参数 CAD 软件简介	212



14.2	CAD 软件研发工具软件及相关技术	217
14.3	减振器 CAD 软件的功能设计	218
14.4	减振器 CAD 软件的数据传递接口设计	220
14.5	减振器 CAD 软件的控件技术实现图形与图纸处理	221
14.6	减振器特性仿真软件简介	222
14.7	减振器特性仿真系统的功能设计	232
14.8	减振器特性软件的研发工具及相关技术	233
第 15 章	减振器结构零部件设计	236
15.1	减振器内、外缸筒设计	236
15.2	减振器活塞杆总成的设计	237
15.3	减振器活塞总成的设计	238
15.4	减振器底阀总成的设计	240
15.5	导向器及油封的设计	242
第 16 章	减振器特性试验与整车平顺性试验	244
16.1	减振器特性试验内容与试验设备	244
16.2	减振器特性试验	245
16.3	平顺性振动测试系统	251
16.4	平顺性试验常用的仪器和设备	256
16.5	某轻型越野车行驶平顺性试验实例及测试结果分析	265
16.6	某轿车减振器室内特性试验与整车振动试验	270
16.7	某农用三轮车减振器特性试验与整车行驶平顺性试验	272
参考文献		277

第 1 章 绪 论

车辆悬架是指汽车的车架与车桥或车轮之间的一切连接装置的总称，是由减振器、弹簧及导向系统组成的，其作用是传递作用在车轮和车架之间的力和力矩，缓冲行驶过程中由路面不平所引起并传递给车架或车身的冲击力，衰减由此引起的振动，以保证汽车能平顺地行驶，保证乘坐舒适和货物完好。悬架系统决定着车辆的操纵稳定性、乘坐舒适性和行驶安全性，其中，减振器是悬架系统的重要部件之一。

1.1 车辆悬架的作用及性能要求

1.1.1 车辆悬架

16 世纪的四轮载人和载货马车为解决“路上感觉非常颠簸”的问题，将车厢用皮带吊在底盘的四根柱子上，就像翻过来的桌子一样。因为车厢是挂在底盘上的，所以人们渐渐将其称为“悬架（suspension）”，并沿用至今，以描述整个一类的解决方案。车厢吊起式的悬架还不是一个真正的弹簧系统，但它确实使车厢与车轮的运动分离开来。半椭圆形的弹簧设计（也称为车载弹簧）迅速取代了皮带式的悬架。半椭圆形弹簧广泛用在四轮或两轮载人、载货马车上，并且通常在前、后轴上使用。不过，它们容易造成前后晃动，并且有较高的重心。当动力汽车面世时，人们陆续开发出其他更高效的弹簧系统，使乘客享有更平稳的行驶感觉。车辆悬架在现代汽车中的装配，如图 1-1 所示。

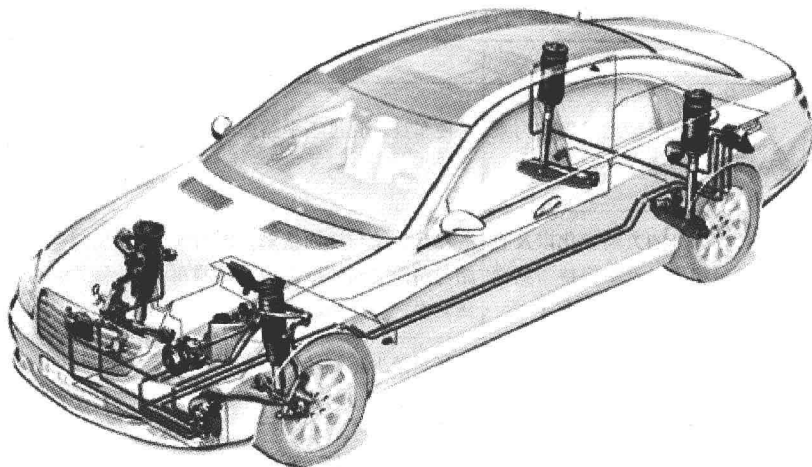


图 1-1 车辆悬架在汽车上的装配图

由汽车构造可知，车辆底盘包含了位于车身下方的所有重要系统，其中包括：

1) 车架——承载负荷的结构性部件，用于支撑汽车的发动机和车身，而它本身车架由



悬架支撑。

- 2) 悬架系统——用于支撑重量、吸收和消除振动以及帮助维持轮胎接触的装置。
 - 3) 转向系统——使驾驶人能够操控车辆方向的机械。
 - 4) 轮胎和车轮——利用抓地与路面的摩擦力使车辆能够运动起来的部件。
- 因此，车辆悬架在任何车辆中都是主要系统之一。

1.1.2 车辆悬架的作用

在考虑汽车的性能时，通常会关注功率、转矩和从静止到 100km/h 加速时间等参数。但是如果驾驶人无法操控汽车，那么活塞发动机产生的所有动力都将毫无用处。鉴于此，车辆工程人员在掌握了四冲程发动机技术后，立即就把注意力转向了车辆悬架系统。

汽车悬架的工作是最大限度地增加轮胎与路面之间的摩擦力，提供能够良好操纵的转向稳定性，以及确保乘客的舒适度。但由于道路往往并不平坦，即使是新铺的高速公路，其路面也会有些微凹凸不平而对汽车车轮造成影响，路面将力作用在车轮上。根据牛顿第三定律，车轮也会给地面一个反作用力，力的大小取决于车轮颠簸的程度。总之，车辆在通过颠簸不平路面时，使车轮垂直于路面上、下运动，并使车轮产生一个垂直加速度。如果没有一个居间结构，所有车轮的垂直能量将直接传递给在相同方向上运动的车架。在此情况下，车轮会完全丧失与路面的接触，然后在重力作用下再次撞回路面。因此，车辆需要一个能够吸收垂直加速车轮的能量，使车轮顺着路面上下颠簸的同时车架和车身不受干扰的系统，即悬架系统。

车辆行驶中的动力学特性包括行驶特性和操纵特性，其中，车辆的行驶特性是指汽车平稳驶过崎岖不平的路面的性能；而车辆的操纵特性是指汽车安全地加速、制动和转弯的性能。这两个特征可通过路面隔离性能、抓地性能和转弯性能指标要求来反映，如表 1-1 所示。

表 1-1 路面隔离性能、抓地性能和转弯性能指标要求

性能指标	定 义	目 标	解决方案
路面隔离性能	车辆吸收路面振动或将其与乘客席隔离的性能	使车身在驶过不平路面时不受干扰	吸收并消化路面颠簸产生的能量，从而使车辆不至于产生过度的振动
抓地性能	在各种类型的方向变化以及直线行驶过程中，汽车保持与路面接触的程度	保持轮胎与地面接触，因为轮胎与路面之间的摩擦力会影响车辆转向、制动和加速性能	尽量减少车身重量的左右和前后转移，因为这会降低轮胎的抓地性能
转弯性能	车辆沿弯路行驶的性能	尽量减少车辆转弯时车身的翻滚趋势	转弯时将汽车的重量从较高的一侧转移到较低一侧

车辆悬架及其各种部件提供了上面所述性能指标要求，即路面隔离性能、抓地性能和转弯性能的全部解决方案。

1.1.3 车辆悬架系统的性能要求

汽车悬架性能是影响汽车行驶平顺性、操纵稳定性和行驶速度的重要因素，在悬架的设



计中应满足如下性能的要求:

1) 保证汽车有良好的行驶平顺性。为此, 汽车应有较低的振动频率, 乘员在车中承受的振动加速度应满足国际标准 ISO2631-1—1997 规定的人体承受振动界限值。

2) 有合适的减振性能。它应与悬架的弹性特性很好匹配, 保证车身和车轮在共振区的振幅小、振动衰减快, 使汽车具有良好的乘坐舒适性。

3) 保证汽车有良好的操纵稳定性。导向机构在车轮跳动时, 应不使主销定位参数变化过大, 车轮运动与导向机构运动应协调, 不出现摆振现象。转向时整车应有一些不足转向特性。

4) 汽车制动和加速时能保持车身稳定, 减少车身纵倾 (即“点头”或“后仰”) 的可能性。

5) 能够可靠地传递车身与车轮间的一切力和力矩, 零部件质量轻并有足够的强度和寿命, 保证车辆的正常行驶, 并且能减少轮胎磨损等。

1.2 车辆悬架的组成

典型的车辆悬架系统由弹性元件、导向机构和减振器等组成, 个别结构则还有缓冲块、稳定杆等, 如图 1-2 所示。

车辆悬架一般具备的三个基础部件是: 弹簧、减振器和防止侧倾的稳定杆。

1.2.1 弹簧

悬架弹簧的软硬对车辆行驶的安全性和乘坐舒适性有重要的影响。弹簧较软的汽车 (如林肯城市这样的豪华汽车) 可以彻底消除颠簸并提供极平稳的行驶感觉, 车辆的舒适性高, 但同时在制动和加速过程中易产生俯冲和蹲伏现象, 在转弯时易产生侧倾和翻滚趋势, 即车辆的安全性差。然而, 弹簧较硬的汽车 (如马自达 Miata 车型) 在颠簸路面上的平稳性稍差, 乘坐舒适性差, 但车身移动非常小, 这意味着即使是在转弯处, 也可以用较激烈的方式来驾驶, 即车辆的行驶安全性高。目前, 应用最多的是螺旋弹簧和钢板弹簧。

1. 螺旋弹簧

螺旋弹簧是最常见的弹簧类型。它其实是一个绕轴盘绕的重型扭杆, 通过伸缩来缓冲车轮的运动。螺旋弹簧结构简单, 制造容易, 应用最为广泛, 常见的车辆悬架螺旋弹簧如图 1-3 所示。

2. 钢板弹簧

钢板弹簧由若干片钢板组合在一起, 由充当一个单元的金属层 (称为“叶片”) 组成, 即由多片钢板弹簧叠加而成。扁平长方形的钢板呈弯曲状, 以数片叠成的底盘用弹簧, 一端

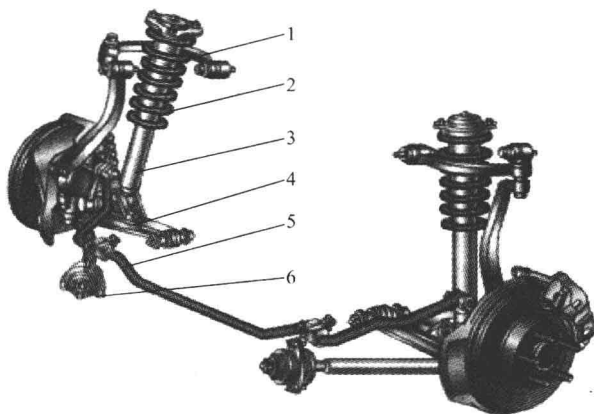


图 1-2 车辆悬架组成元件示意图

1—上摆臂 2—弹簧 3—减振器 4—下摆臂
5—稳定杆 6—纵向推力杆



以销子安装在吊架上，另一端使用吊耳连接到大梁上，使弹簧能伸缩。钢板弹簧起初在马车上使用，直到 1985 年才在大多数美国汽车上应用，目前适用于一些非承载车身的硬派越野车及中大型的货车，如图 1-4 所示。

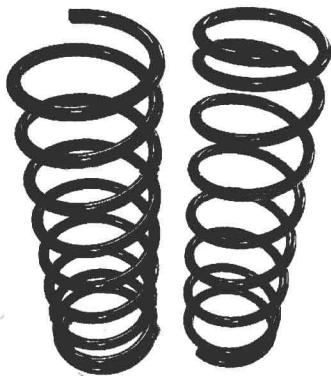


图 1-3 车辆悬架螺旋弹簧



图 1-4 钢板弹簧

钢板弹簧的种类主要有多片钢板弹簧、少片变截面弹簧、两级变刚度复式钢板弹簧、渐变刚度弹簧等。

钢板弹簧与车架的连接方式有两种，一种是摆动吊耳式连接，另一种是滑板式连接。其中，采用滑板式连接方式的钢板弹簧一端有卷耳，另一端没有卷耳，插入与车架固定连接的支架内并可滑动。第一片簧片为平直的端头，第二片的端部制有向下的弯角，以免车架剧烈跳动时钢板从支架中脱出。为避免钢板弹簧变形时直接摩擦支架，在后支架上装有滑块和两侧的垫板。由于钢板弹簧变形时，主片上表面与弧形滑块的接触点是变动的，因而钢板弹簧工作长度变化，其刚度也略有改变。当载荷小时，钢板弹簧有效长度较长，弹性好；而当载荷增大时，钢板弹簧的有效长度减小，刚度略有增加。

钢板弹簧有摩擦阻尼和变刚度两个特点。

(1) 摩擦阻尼 由于钢板弹簧在载荷作用下变形时，各片钢板之间有摩擦产生，对车辆振动有衰减作用。因此，在对减振要求不高的车辆，如一般中型货车的后悬架或重型货车悬架中，大都采用钢板弹簧的悬架，而不安装单独的减振器。但是各片钢板之间的干摩擦，将使车轮所受的冲击在很大程度上传给了车架，即降低了悬架缓和冲击的能力，并使各钢板之间的磨损加快。为了保证钢板片之间产生定值摩擦力以及消除噪声，可在钢板片之间夹入耐磨的塑料片，如在某些高级轿车的后悬架钢板弹簧，就采用了这种结构。

(2) 变刚度 钢板弹簧采用不同的安装方式，可得到二级刚度钢板弹簧和渐变刚度钢板弹簧。

当货车上采用纵置式钢板弹簧非独立悬架时，如果主钢板弹簧的上面叠加副钢板弹簧，主、副钢板弹簧用 U 形螺栓固定装到后桥上，其中，主钢板弹簧上端的连接如前所述，副钢板弹簧两端平直。如图 1-5 所示，便可得到二级刚度钢板弹簧。

由图 1-5 可知，当汽车载荷不大时，其两端上表面与铆接在车架上的副簧托架之间存在空隙而不接触，故只有主簧起作用，副簧不起作用。当汽车重载或满载时，主簧变形大，副簧与托架接触，此时主、副簧同时工作，悬架刚度随之增大。

为了提高汽车的平顺性，有些轻型货车把副簧置于主簧下面，便形成渐变刚度的钢板弹

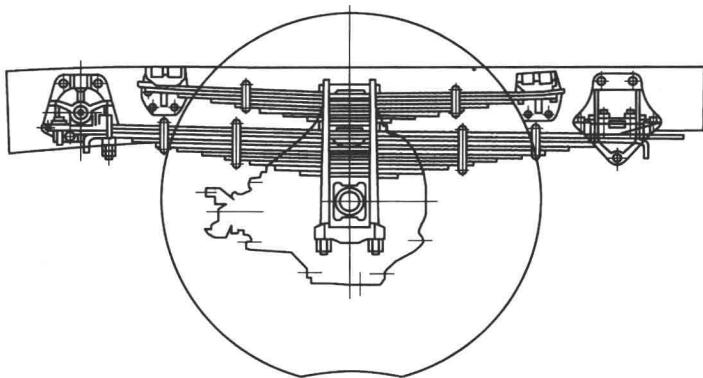


图 1-5 二级刚度的主、副钢板弹簧悬架

簧，如图 1-6 所示。

由图 1-6 可知，渐变刚度钢板弹簧的主钢板弹簧较薄，刚度小，挠度大，而副钢板弹簧较厚，刚度大，挠度小，主、副钢板弹簧通过中心螺栓叠加在一起，在两端主、副钢板弹簧之间有间隙。因此，当载荷小时，仅有主钢板弹簧起作用，而当载荷增大到一定程度时，副簧开始与主簧逐片接触，悬架刚度也随之平缓变化，从而改善了汽车行驶的平顺性。

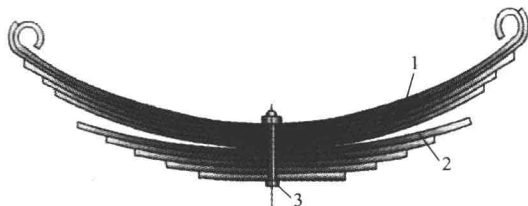


图 1-6 渐变刚度钢板弹簧悬架

1—主钢板弹簧 2—副钢板弹簧 3—中心螺栓

1.2.2 稳定杆

稳定杆，也叫防侧倾杆、横行稳定杆，它是汽车悬架系统的一部分，与减振器或滑柱配合使用，以便为汽车行驶提供附加稳定性，其结构如图 1-7 所示。

稳定杆是一个横跨整个车轴的金属杆，它连接到前轮前方的车架上，但要用衬套连接以使其可以旋转，两臂连接到两侧的前悬架梁上，将悬架的两侧有效地连接在一起。

如果汽车左右轮分别通过不同路面凸起或坑洞时，也就是左右两轮的垂直高度不相同，会使稳定杆扭转而产生防倾阻力抑制车身侧倾。也就是说当左右两边的悬架上下同时动作时稳定杆就不会发生作用，只有在左右两边悬架因为路面起伏或



图 1-7 车辆悬架稳定杆

转向过弯造成的不同步动作时稳定杆才产生作用。稳定杆只有在起作用时才会使悬架变硬，不像硬的弹簧会全面地使悬架变硬。当汽车转弯时，弯道外侧的前悬架梁会向上推稳定杆的臂，从而对稳定杆施加转矩，转矩会使另一端的臂发生转动，导致车辆另一侧的悬架也发生压缩，这样可以使行驶更平稳，并减少了车辆的倾斜度，尤其是它能抵消转弯时悬架上的汽车的侧倾趋势。如果不安装稳定杆，而完全依靠弹簧来减少车身的侧倾则需要非常硬的弹簧，更要用阻尼系数很高的减振器来抑制弹簧的弹跳，这样必然会造成乘坐舒适性变差、行



经不平路面时循迹性不良的后遗症。但是如果配合适当的稳定杆不但可以减少侧倾，还可以提高车辆的舒适性和循迹性。鉴于此，当今几乎所有汽车都将稳定杆作为标准配备。

稳定杆和弹簧所提供的防倾阻力是相辅相成的，而且防倾阻力是成对发生的，也就是说车头的防倾阻力是和车尾防倾阻力伴随发生，但是由于车身配重比例以及其他外力的作用会使前后的防倾阻力并不平衡，这样便会直接影响车身重量的转移和操控的平衡。后轮的防倾阻力太大，会造成转向过度；前轮的防倾阻力太大，会造成转向不足。为了改善操控，不仅可利用稳定杆来抵制车身侧倾，还可以用来控制车身防倾阻力的前后分配比例。稳定杆的功能就是保持车身的良好平衡和限制过弯时的车身侧倾，以及改善轮胎的贴地性。因此，设计合适刚度的稳定杆，在不影响车辆转弯性能情况下，不仅可降低车身侧倾度，还可改善车辆的舒适性。

稳定杆的软硬度是由制作的材质、杆身、杆径、杆臂的长度以及杆臂与杆身所成的角度决定的。杆身越长横向稳定杆就越软，但杆臂的角度和长度却是容易调整的。一般来说稳定杆的材质大同小异，所以要改变稳定杆的软硬度都是通过改变杆径来实现的。另外，根据杠杆原理，改变悬架与稳定杆臂的连接点就可改变杆臂的力矩，可调式稳定杆就是从这里着手的。此外，把固定稳定杆的橡胶垫换成硬的材质会有意想不到的效果，在实际测试中，使用一支直径 20mm 的稳定杆配上硬质的衬垫和使用直径 25mm 的稳定杆配上橡胶衬垫具有相同的效果。要计算所需稳定杆的软硬度是很复杂的，不但要考虑自身的软硬度，更要考虑与弹簧的搭配情况，因此，要升级和调校好一套优秀的稳定杆系统，除了进行合理优化设计外，还应该多次进行弯道的行驶测试。

1.2.3 减振器

弹簧具有极佳的能量吸收或释放性能，但在耗散能力方面要稍差一些。因此，如果车辆不使用阻尼结构，也无其他阻尼部件，汽车弹簧将以不可控制的速率弹开并释放它所吸收的振动能量，并继续按其自身频率往复振动，直到耗尽最初施加在它上面的所有能量。所以，仅构建在弹簧上的悬架会使汽车根据地形以弹跳方式行驶且不受控制，势必使汽车振动加剧，甚至发生共振。因此，为了满足车辆的行驶安全性、乘坐平顺性和操纵稳定性的要求，车辆悬架一般都安装一个重要的阻尼部件，即悬架减振器，并且使其阻尼特性与弹性元件特性相匹配。

减振器也称为缓冲器，它通过一种称为阻尼的过程来控制不希望发生的弹簧运动。在车辆悬架中所采用的减振器有很多，按照能量转换介质、结构和作用方式等的不同，减振器有不同的分类。

(1) 按能量转换介质分类 按能量转换介质的不同，减振器可分为摩擦式减振器、液压式减振器和电磁式减振器，如图 1-8 所示。其中，摩擦式减振器原先用在重型货车，现已很少使用；液压式减振器，目前广泛使用；电磁式减振器可分为电流变减振器和磁流变减振器，国外已经有应用，目前国内正处于开发研制

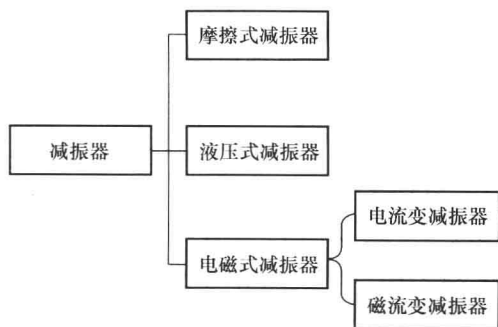


图 1-8 按能量转换介质减振器分类框图



阶段。

(2) 按结构分类 减振器分为摇臂式减振器和筒式液压减振器，如图 1-9 所示，其中，摇臂式减振器目前很少使用。

(3) 按作用方式分类 按作用方式的不同，减振器可分为双向作用式减振器和单向作用式减振器，如图 1-10 所示。其中，双向作用式减振器在复原和压缩行程都起作用，在汽车上广泛采用；单向作用式减振器仅在复原行程时起作用，现在很少采用。

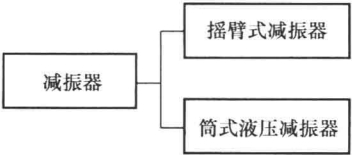


图 1-9 按结构减振器分类框图

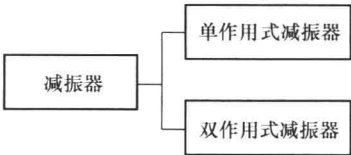


图 1-10 按作用方式减振器分类框图

(4) 按阻尼是否可调进行分类 按阻尼是否可调，减振器可分为不可调阻尼减振器和可调阻尼减振器，如图 1-11 所示，而可调阻尼减振器又可分为有级可调式和无级可调式减振器。

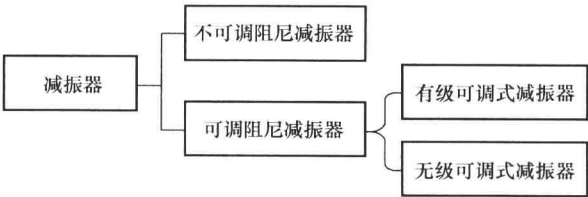


图 1-11 按阻尼调节方式减振器分类框图

目前应用最为广泛的是液压筒式减振器，如图 1-12 所示。

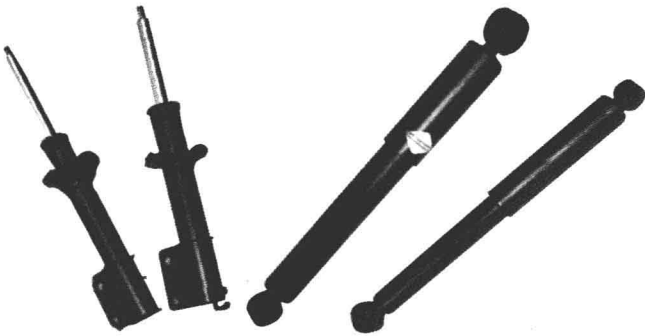


图 1-12 液压筒式减振器

减振器通过将悬架运动的动能转换为可通过液压油耗散的热能，来放缓和减弱振动性运动的大小。因为减振器和滑柱与汽车操控性能密切相关，因此将其视为非常重要的安全性能。已磨损的减振器和滑柱会使过多的车身重量向前后左右转移，从而导致轮胎的抓地性能以及操控和制动性能降低。

1.3 液压筒式减振器发展及研究状况

1.3.1 液压减振器发展状况

液压筒式减振器是汽车上最广泛使用的减振器，起初采用较多的是摇臂式液阻减振器。第二次世界大战期间，美军吉普车上采用了筒式液阻减振器并在战场上获得成功，此后筒式



液阻减振器很快成为主流产品。它具有工艺简单、成本低、寿命长、质量轻等优点，主要零件采用了冲压、粉末冶金及精密拉管等高效工艺，适于大批量生产。

节流阀结构和特性对减振器的特性有决定性影响。筒式减振器有三种典型的阀结构，分别为板阀式、滑阀式和弹性阀片式。其中，板阀式和滑阀式多用于早期轿车减振器，通过改变弹簧刚度和弹簧预变形量调节。有关文献已对其节流特性进行了理论分析和实验研究。这两种阀的优点是结构简单，工作可靠，但由于板阀较小的升程就会形成较大的流通面积，因此导致减振器速度特性呈软非线性特性；而滑阀与导向座之间存在摩擦，导致阀运动响应滞后或不连续。

弹性阀片式节流阀的突出优点是，易于通过增减阀片数量和垫片等措施改变阀的节流特性；缺点是要求加工精度要求较高，使用过程中当阀片与阀座间存在杂质颗粒导致阀片关闭不严时，会造成减振器阻尼力的显著下降。这种节流阀最初多用于赛车减振器，随着制造技术的提高，目前已广泛应用于现代轿车。

作为在汽车上应用最多的筒式减振器，其设计开发技术也正经历着由基于经验设计—试验修正的传统设计方法，向着基于 CAD/CAE 技术的现代设计方法转变。但是据有关资料分析，先前，国内外尚无适合节流阀片精确设计的解析式，缺少准确、可靠的设计方法以及特性仿真模型，因此制约了现代设计技术的实现和应用。

1.3.2 节流阀片研究状况

1. 阀片变形研究

对于汽车减振器节流阀片的变形，国内外已经很多学者进行了大量研究。大多是利用有限元分析软件，对阀片变形量进行数值分析。也有利用弹性力学原理，对阀片变形量进行分析研究，但是，只是通过阀片变形微分方程，利用边界条件列出一个通解，只表示节流阀片可利用弹性力学原理进行分析研究，而不能达到能实际应用的程度，没有创建一个可用于阀片厚度设计、变形计算的简单、准确、实用的解析式，难以在实际阀片设计中应用。

当今，弹性阀片变形计算方法有两种。一是利用《机械设计手册》的最大挠度系数和计算公式，二是利用现代流行的有限元分析软件，如 ANSYS。其中，利用《机械设计手册》根据阀片外半径 r_b 与内半径 r_a 之比 r_b/r_a ，查得阀片最大挠度系数和计算公式，可粗略地计算在一定压力下阀片在外半径 r_b 处的最大挠度。利用有限元分析软件，首先根据阀片的结构建立仿真分析模型，然后对模型划分有限元网格并施加载荷，最后利用仿真程序得到阀片变形量数值解。

以上两种计算方法对于阀片设计计算各有缺点。对于《机械设计手册》的最大挠度系数法，虽然具有计算解析式，可对阀片厚度进行粗略设计。但是，当实际阀片内、外半径比值在手册中没有给出时，就难以准确查得最大挠度系数。同时，该方法只能计算阀片在外半径 r_b 处的最大挠度，而实际阀片设计时需要计算在阀口位置半径 r_k 处的变形量。

对于有限元分析软件，虽然可以得到阀片在任意位置半径 r 处变形量的数值解，且比《机械设计手册》的最大挠度系数法精确。但是，由于该方法没有阀片变形量计算的解析式，不能对阀片厚度进行设计，只能对给定结构阀片进行变形量数值仿真验证。

因此，先前对阀片变形的两种计算方法，都不能满足对减振器参数进行精确设计、特性分析和仿真的要求。