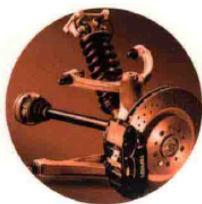

汽车悬架弹簧现代设计方法研究

QICHE XUANJIA TANHUANG XIANDAI SHEJI FANGFA YANJIU

史小辉 张明慧 著



华中科技大学出版社
<http://www.hustp.com>

汽车悬架弹簧现代设计方法研究

史小辉 张明慧 著

华中科技大学出版社
中国·武汉

内 容 提 要

本书主要介绍近年来作者在汽车悬架弹簧设计方面的研究成果,具体内容包括汽车悬架弹簧的发展历史及国内外悬架弹簧研究现状、悬架弹簧的基本特性、悬架弹簧的建模技术与成形工艺研究、悬架弹簧的有限元分析、基于 S-E 模型的优化设计算法等。此外,本书还介绍了作者基于多种汽车弹簧设计、优化算法和知识库而开发的 CAPP 系统。

本书可供从事汽车悬架弹簧研究的人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

汽车悬架弹簧现代设计方法研究/史小辉,张明慧著. —武汉:华中科技大学出版社, 2018. 12
ISBN 978-7-5680-2102-9

I. ①汽… II. ①史… ②张… III. ①汽车-车悬架-设计 IV. ①U463.330.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 185989 号

汽车悬架弹簧现代设计方法研究

史小辉 张明慧 著

Qiche Xuanjia Tanhuang Xiandai Sheji Fangfa Yanjiu

策划编辑:余伯仲

责任编辑:姚同梅

封面设计:原色设计

责任监印:周治超

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

电话:(027)81321913

武汉市东湖新技术开发区华工科技园

邮编:430223

录 排:华中科技大学惠友文印中心

印 刷:武汉科源印刷设计有限公司

开 本:710mm×1000mm 1/16

印 张:9.5

字 数:193千字

版 次:2018年12月第1版第1次印刷

定 价:49.80元



华中出版

本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

感谢西南交通大学许明恒教授多年悉心教导与培养!

前 言

汽车悬架弹簧是汽车底盘的关键零件之一,它关系着汽车行驶的安全性、乘坐的舒适性和车体对复杂路面的适应性。因此,良好的汽车悬架弹簧是保障汽车运行性能的关键因素之一。

本书以汽车螺旋悬架弹簧为研究对象,以弹性力学、计算数学等基础理论为基础技术,以多模型 CAE 数值求解为主体技术,以悬架弹簧的试验验证为支撑技术,针对以集悬架弹簧设计、优化算法和知识库于一体的 CAPP 系统为应用平台的汽车悬架弹簧现代设计方法研究,探讨了不同类型悬架弹簧的设计优化算法和相关理论,为悬架弹簧的设计提供了可靠、有效的方法。本书中给出了实例解读,解决了汽车悬架弹簧设计制造中的一系列关键技术难题,为保证汽车悬架弹簧的制造质量提供了保障。

本书的主要特色如下。

(1) 分析了悬架弹簧的基本特性,给出了不同特性下悬架弹簧的工作机理。

首先,通过悬架弹簧的基本特性分析,指明了不同类型悬架弹簧适合的分析状态,为不同的悬架弹簧理论研究提供了基本判断依据。其次,针对当今悬架弹簧的两大主题——断裂与衰减,分析了悬架弹簧断裂和衰减的基本机理和解决方法。最后,给出了悬架弹簧的应力范围和材料规格的搭配,为悬架弹簧的设计提供了选择材料方面的理论依据。

(2) 基于 CAD 研究为悬架弹簧的工艺优化提供了新的方法。

本书首先通过三种不同的 3D 软件提供了快速建模的关键技术选择方案。其次,借助有限元分析软件对不同类型的弹簧进行有限元分析,实现了参数的快速优化。在此基础上,给出了悬架弹簧的基于 S-S 模型的宏观和微观 CAE 分析法以及两种分析方法的关键技术。

(3) 通过分析弹簧的不同工作机理,提出了不同角度的力学分析方法。

本书通过研究悬架弹簧吸收和储备能量以达到变形的工作机理,分析其能量变化与体积、最大工作剪应力的关系,确立了轻量化、高应力的研究方向,重点解决了高应力的理论分析。

从简化模型应力分析法、传统应力分析法、表面应力分析法和轴线应力分析法出发,给出了不同状态下悬架弹簧最大工作剪应力的数学模型、结构设计和材料选择标准,为快速设计、验证提供了力学参考依据。

(4) 对基于 S-E (SPRING-END) 模型的优化算法进行了深入研究。

本书通过深入研究 S-E 模型,介绍了基于 S-E 模型的分段线性试算分析法、基于 S-E 模型的数学优化方法、基于 S-E 模型的有限元方法,给出了悬架弹簧设计的优化方法。通过试验综合验证,提出了悬架弹簧的有效设计手段,从而解决了通过结构优化原理改变最大工作剪应力的技术难题。基于 S-E 模型的优化算法和 S-E 设计通用算法,为不同的悬架弹簧设计提供了有效的结构设计、优化数学模型选材的新的分析思路。

(5) 介绍了基于悬架弹簧关键技术研究而开发的 CAPP 系统。

在研究工作中,作者将悬架弹簧的特性(材料特性、应力特性、疲劳特性)、多种设计计算算法、优化模型、基于 S-E 模型的优化算法和 S-E 设计通用算法融合,以弹性力学、应用数学为基础,采用 Delphi 软件,结合 Microsoft SQL Server 开发了基于汽车悬架弹簧设计、优化算法和知识库的 CAPP 系统,本书对该系统进行了介绍。

与本书相关的研究工作得到了陕西省教育厅专项科研项目(2013JK1034)基金的资助,在此致以诚挚的谢意。

作者

2018年7月

目 录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 汽车悬架弹簧研究概念	(1)
1.1.1 汽车悬架弹簧概述	(1)
1.1.2 汽车悬架弹簧研究的重要性	(2)
1.2 汽车悬架弹簧研究的学术背景和研究内容	(2)
1.2.1 研究的学术背景	(2)
1.2.2 研究内容	(3)
1.3 汽车悬架弹簧发展历史与弹簧研究现状	(3)
1.3.1 汽车悬架弹簧的发展历史	(3)
1.3.2 汽车悬架弹簧设计与验证现状	(7)
1.3.3 汽车悬架弹簧可靠性设计与最优化现状	(9)
1.3.4 国外汽车悬架弹簧设计模式	(10)
1.3.5 国内汽车悬架弹簧的设计模式	(11)
1.3.6 CAE 需求与关键技术	(12)
1.4 本书研究的目标	(13)
1.5 拟解决的关键问题、研究方法及技术路线	(13)
1.5.1 本书拟解决的关键问题	(13)
1.5.2 本书的研究方法及技术路线	(14)
第 2 章 悬架弹簧的基本特性分析与研究	(15)
2.1 悬架与悬架弹簧	(15)
2.1.1 悬架的作用与分类	(15)
2.1.2 悬架弹簧的作用与分类	(16)
2.2 汽车螺旋悬架弹簧的基础特性分析	(18)
2.2.1 悬架弹簧的特性曲线	(18)
2.2.2 弹簧的变形能	(19)
2.2.3 弹簧的固有频率	(20)
2.3 悬架弹簧的失效特性分析	(20)
2.3.1 悬架弹簧的断裂	(20)
2.3.2 悬架弹簧性能的衰减	(21)
2.3.3 与弹簧失效有关的因素	(22)
2.4 汽车悬架弹簧的材料特性分析	(22)

2.4.1	弹簧材料概况	(23)
2.4.2	常用材料的化学成分	(23)
2.4.3	常用材料的力学性能及应力范围	(26)
2.4.4	常用材料的内部质量	(28)
2.5	悬架弹簧的力学特性分析及研究	(29)
2.5.1	胡克定律的引入	(29)
2.5.2	简化模型应力分析法	(32)
2.5.3	传统应力分析法	(33)
2.5.4	表面应力分析法	(34)
2.5.5	轴线应力分析法	(35)
2.6	本章小结	(36)
第3章	基于CAD的悬架弹簧成形工艺优化	(38)
3.1	建模技术与成形工艺	(38)
3.1.1	螺旋线的提出	(38)
3.1.2	建模技术和成形工艺的关系	(39)
3.2	基于SolidWorks的CAD建模技术研究	(41)
3.2.1	SolidWorks三维成形软件	(41)
3.2.2	基于SolidWorks的螺旋弹簧建模关键技术	(42)
3.2.3	福特C01悬架弹簧的CAD建模与成形工艺优化研究	(43)
3.2.4	基于SolidWorks建模的工艺优化技术小结	(48)
3.3	基于CATIA的建模技术	(50)
3.3.1	CATIA三维成形软件	(50)
3.3.2	基于CATIA的悬架弹簧建模的关键技术	(51)
3.3.3	CATIA建模后处理	(52)
3.4	基于ANSYS的建模技术	(52)
3.4.1	基于ANSYS悬架弹簧建模的关键技术	(52)
3.4.2	加载求解关键过程分析	(52)
3.4.3	ANSYS建模技术小结	(53)
3.5	本章小结	(54)
第4章	基于CAE的悬架弹簧分析与关键技术研究	(55)
4.1	基于SolidWorks Simulation的有限元分析方法	(55)
4.1.1	SolidWorks Simulation有限元分析步骤	(55)
4.1.2	基于S-S模型的宏观CAE分析法	(57)
4.1.3	基于S-S模型的微观CAE分析法	(62)
4.1.4	试验验证	(66)
4.1.5	长安铃木雨燕185弹簧CAE分析	(73)

4.2	基于 ANSYS 的有限元分析	(77)
4.2.1	ANSYS 有限元分析基本思想	(77)
4.2.2	基于 ANSYS 的悬架弹簧分析方法	(77)
4.2.3	基于 ANSYS 的悬架弹簧有限元分析关键技术	(78)
4.3	本章小结	(81)
第 5 章	CAE 实例分析	(82)
5.1	FXXX 悬架弹簧 CAE 分析	(82)
5.1.1	基本参数部分	(82)
5.1.2	算例快捷结果	(86)
5.1.3	全系列分析结果	(89)
5.1.4	本实例分析结果	(95)
5.2	汽车前后螺旋弹簧的 3D 建模与设计	(95)
5.3	本章小结	(105)
第 6 章	基于 S-E 模型的优化设计算法的研究	(106)
6.1	S-E 模型优化算法的提出	(106)
6.1.1	基于 S-E 模型的分段线性设计	(107)
6.1.2	基于 S-E 模型的分段线性试算	(107)
6.1.3	基于 S-E 模型的传统计算方法与有限元方法对比	(111)
6.2	基于 S-E 模型的数学分析方法	(112)
6.3	基于 S-E 模型的宏观分析	(114)
6.3.1	宏观模型的基本要求和原则	(114)
6.3.2	基于 S-E 模型的宏观分析原理	(114)
6.4	S-E 设计通用算法	(117)
6.4.1	通用 S-E 模型	(117)
6.4.2	S-E 设计通用算法原理	(118)
6.5	S-E 模型优化算法的应用	(119)
6.6	本章小结	(122)
第 7 章	基于悬架弹簧设计、优化算法和知识库的 CAPP 系统研究	(123)
7.1	基于 Delphi 工具开发的 CAPP 系统	(123)
7.1.1	CAPP 技术应用平台的开发与技术研究	(123)
7.1.2	CAPP_K 知识库技术平台	(128)
7.2	CAPP 系统开发采用的关键技术和硬件配置	(130)
7.3	本章小结	(131)
总结	(132)
参考文献	(134)

第 1 章 绪 论

汽车悬架弹簧是汽车底盘系统中的关键零件之一。它关系着汽车行驶的安全性、汽车乘员的舒适性和车体对复杂路面的适应性。近年来,汽车行业迅速发展,对悬架弹簧的需求无疑也随之增加。无论是微型汽车、小轿车,还是大货车,对悬架弹簧的需求量都有较大的增幅。先进的悬架弹簧设计技术、工艺技术一直是国外的核心技术,随着我国汽车制造业的大规模扩产和国际市场需求增加,悬架弹簧关键技术研究成为我国近年来的重要研究领域。

1.1 汽车悬架弹簧研究概念

1.1.1 汽车悬架弹簧概述

汽车悬架弹簧是连接汽车悬架可动部分和车体的关键零件。汽车的悬架弹簧种类繁多,常用的有螺旋式弹簧、钢板弹簧、扭杆弹簧、空气弹簧等四种。图 1-1 所示为螺旋悬架弹簧的一种装配方式。

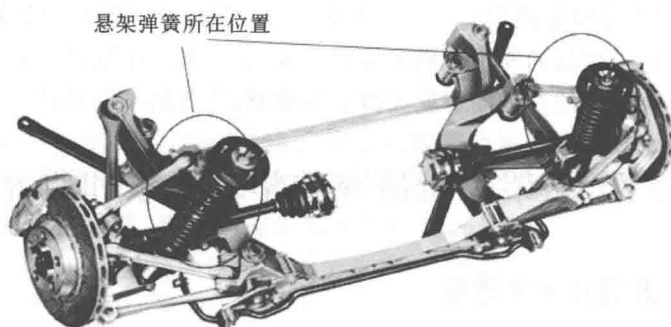


图 1-1 多连杆螺旋悬架弹簧的装配方式

螺旋悬架弹簧是轿车中采用最多的一种汽车悬架弹簧,与其他弹簧相比,其吸收冲击的能力强,可使人乘坐汽车时感觉非常舒适。

钢板弹簧常用于厢式载重汽车或者卡车等商用车,其由薄板状的弹簧钢重叠而成,与螺旋弹簧相比,承载能力强,结构相对简单,成本低廉,但是吸收冲击的能力较弱。

扭杆弹簧是利用弹簧钢棒的扭转特性而设计的一种弹簧,应用方法是将扭杆弹簧的一端固定在车体上,另一端连接在悬架上。当汽车产生上下颠簸运动时,扭杆弹簧发生扭转变形,起到弹簧的作用。采用这种弹簧的悬架高度紧凑,适用于小

型汽车或者单厢式汽车,乘坐舒适性不佳。

空气弹簧是将空气压缩在密闭的容器中,利用空气的可压缩性吸收冲击振动而起到弹簧的作用的。空气弹簧多用于客车等,轿车中也有用的,其弹性系数具有渐增性。

1.1.2 汽车悬架弹簧研究的重要性

由于汽车螺旋悬架弹簧的成形比较容易,不论是低应力的冷卷还是高应力的热卷成形过程,以及回火处理、强化抛丸等工艺技术都比较成熟。此外,制造螺旋悬架弹簧的配套设备研发备受关注,其应用比较广泛。国内外产量最大的乘用车所使用的基本上都是螺旋悬架弹簧。

悬架弹簧与如下几个汽车主要指标相关。

(1) 汽车的驾乘舒适性。悬架弹簧在汽车通过颠簸路面的过程中,可起到车身与轮胎之间减震和缓冲的调节作用,从而改善汽车的驾乘舒适性。因此,悬架弹簧是保证汽车驾乘舒适性的关键零件之一。

(2) 高速行驶的安全性能。悬架弹簧在运行过程中承受着高频交替载荷,若出现断裂现象,将导致车身失去平衡,或者其断口扎破车胎,从而可能发生车祸。可见,悬架弹簧又是保证行车安全的重要零件之一。

(3) 行驶过程中的操控性能。汽车在行驶过程中加速、减速、转弯、刹车、颠簸等时都有作用力直接施加在悬架弹簧上,悬架弹簧又直接影响到汽车行驶的操纵性能。

因此,无论汽车驾乘的舒适性、行驶安全性还是行驶过程的操控性,对悬架弹簧的质量都提出了很高的要求。研究悬架弹簧,提高其设计制造质量,并快速响应市场对汽车悬架弹簧的苛刻需求就显得尤为重要,并且具有重大意义。

1.2 汽车悬架弹簧研究的学术背景和研究内容

1.2.1 研究的学术背景

2005年,国内开始了大规模的轿车生产投资,而轿车的关键零件——悬架弹簧,却很少有人研究,悬架弹簧生产中存在的问题也一直无法得到圆满的解决。

西南地区某汽车集团的研究院提出了自主研发汽车悬架弹簧,并且成立了地处的成都的某汽车弹簧有限公司。该公司在连续5年为本集团和国内其他汽车生产厂家供应螺旋悬架弹簧的过程中,生产非常顺利,从研发、工艺方面来说,该公司为行业中的后起之秀。

2007年,该公司为了进入更高档轿车的悬架弹簧制造阵营,开始与福特、铃木、丰田、克莱斯勒等公司接触,洽谈合作供货事宜。在拿到悬架弹簧订单后,按照订货方提供的图样进行弹簧生产,但所生产的弹簧在疲劳试验中却远达不到对方

的技术要求。在这种情况下,该公司与西南交通大学合作,确定了《汽车悬架弹簧关键技术的研究》校企合作课题,开展螺旋悬架弹簧的专项研究与新产品开发。

当时,该公司的汽车悬架弹簧科研与生产现状是:

(1) 产品设计开发方式落后,只能通过材料力学推导出来的简单公式对客户来图进行验证并按图生产,对较为复杂的产品设计缺乏必要的强度、寿命、性能分析方法等。

(2) 汽车悬架弹簧产品生产过程中的工艺技术落后,生产上缺乏必要的特殊处理方式,检测手段不能满足主机厂要求。

(3) 汽车悬架弹簧产品现有的技术来源与技术支撑主要依赖整车厂和企业自身二次开发及少部分自主研发,无法实现自主快速研发,也无法满足市场和企业发展的需要。

综合考虑各方面现实情况可知,汽车悬架弹簧的现代设计、制造关键技术的研究和研究尤为必要。

1.2.2 研究内容

笔者经过与弹簧生产企业在主机厂连续数月的论证与分析后,决定从以下几个方面进行螺旋悬架弹簧的研究与开发。

(1) 螺旋悬架弹簧应力分析与验证的应用研究及有效设计。

(2) 螺旋悬架弹簧快速建模与有限元分析、参数优化和验证方法研究。

(3) 螺旋悬架弹簧的计算机辅助工程(CAE)、计算机辅助工艺规划(CAPP)软件的应用研究与开发。

(4) 螺旋悬架弹簧的其他关键技术研究。

通过上述任务的确立,可以快速实现螺旋悬架弹簧的开发、验证,为开发部门缩短开发周期,这是在当今车型较多的情况下急需解决的问题。在研发过程中,弹簧的应力分析相当重要,贯穿螺旋悬架弹簧研究的始末。有限元分析方法、CAE技术、CAPP技术以及其他关键技术则为汽车悬架弹簧进入高档车型阵营提供技术支持,不仅仅为悬架弹簧的研究提供更加科学的研究方法,而且为企业的快速成长与发展注入新的活力。

1.3 汽车悬架弹簧发展历史与弹簧研究现状

1.3.1 汽车悬架弹簧的发展历史

弹簧是一种进行能量储放的弹性元件,在我国古代就早已出现的弓和弩即是两种广义的弹簧。而严格意义上的弹簧概念,则是由英国科学家胡克(Robert Hooke)提出的。在胡克生活的那个时代,螺旋弹簧已经被广泛应用,但是直到“胡

克定律”的出现,人们才有了完整认识弹簧的理论依据。胡克定理表述了弹簧的伸长量与弹簧所承受载荷的大小成正比这一力与变形之间的对应关系。1776年弹簧秤的问世,是胡克定律的工程化成果。不久,胡克发明了钟表弹簧,使机械钟表的性能大为提升,也为机械钟表的推广应用打下了良好的基础。由此,弹簧在胡克定律引导下,从概念形成实物,从理论走向工程应用,并被广泛应用于生活、生产的各个领域。

由于其结构的特殊性,弹簧在使用过程中承受拉力、压力、弯矩、扭矩时,将会分别发生拉伸、压缩、弯曲、扭转等变形。当载荷卸去后,就会恢复到最初的形状。由此可见,弹簧必须具备足够的弹性。弹簧的弹性直接与弹簧材料的弹性相关,此外,还与弹簧的设计造型和成形的工艺过程相关。经过专业设计造型,充分利用材料的弹性,可制造出各种结构、各种形状的弹性元件。悬架弹簧便是其中之一。

汽车悬架作为车身与车轴之间连接的传力机构,是保证汽车行驶安全的重要部件,因此,汽车悬架被列入了汽车的技术规格表,汽车悬架的性能成为衡量汽车质量的指标之一。悬架包括弹性元件、减震器和传力装置三部分,它们分别起缓冲、减震和传递力的作用。悬架中的弹性元件便是悬架弹簧,它用于承受垂直载荷、缓和及抑制不平路面对车体的冲击,具有占用空间小、质量小、结构简单和不需润滑的优点。所以,如何提高悬架弹簧这一关键元件的性能和质量就成为汽车研究领域需重点研究的问题之一。

悬架弹簧在汽车中的安装位置如图 1-2 所示。

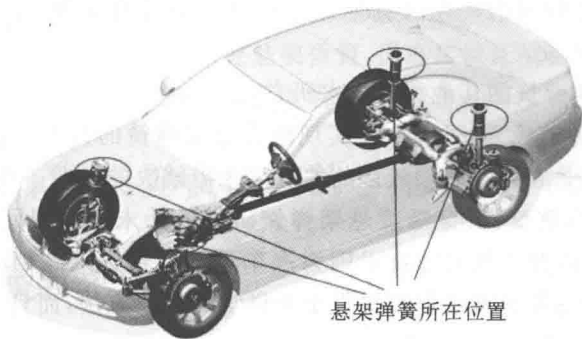


图 1-2 悬架弹簧在车体中的位置

“路漫漫其修远兮”这句古语同样适用于汽车悬架弹簧的发展。

研究汽车悬架弹簧的发展,无法脱离汽车的发展历程。汽车发展的漫长历程总体上可以分为四个阶段,分别是汽车发明试验阶段、汽车技术完善阶段、汽车工业迅速发展阶段和汽车高科技广泛应用和创新阶段。

第一阶段,汽车发明试验阶段。

人类最初的工作完全是由人类自身来完成的,根本没有什么汽车和发动机,如果说有的话,就是在未使用牛和马之前使用的人体这台“发动机”。

在1705年,纽科门发明了依靠机械做功的蒸汽机。该蒸汽机适用于驱动机械,因此,才有了第一次工业革命。蒸汽驱动的出现,为汽车的诞生奠定了基础。

1769年,法国工程师居纽制造出了世界上第一台采用蒸汽驱动的三轮汽车。1804年,Trouithick自行设计并制造了一辆蒸汽汽车,这辆蒸汽汽车可载10 t货物在公路上连续行驶15.7 km,从而揭开了汽车远程行驶的历程。

1831年,美国人哥德史沃奇·勒用一辆蒸汽汽车在相距15 km的格斯特夏和切罗腾哈姆两地之间做运输服务,开创了蒸汽汽车连续行驶45 min的新纪录。此后三年,在伦敦街头也出现了蒸汽公共汽车。

内燃机的出现始于1800年,在这一年艾提力·雷诺制造了一种与燃料在外部燃烧的蒸汽机不同的发动机,此发动机实现了让燃料在发动机内部燃烧,被称为“内燃机”。

1876年,德国工程师尼古拉斯·奥托发明了对进入汽缸的空气和汽油混合物进行压缩、点火,达到提高发动机工作效率的目的的方法,并利用四冲程循环原理发明了发动机。

1885年,德国工程师卡尔·本茨制造出了第一辆本茨专利三轮汽车,如图1-3所示,它采用了0.9米制马力两冲程单缸的汽油机。这种车型具备了现代汽车的一些基本特点,即用后轮驱动前轮转向,用电火花点火,并具有钢板弹簧悬架、钢管车架、水冷循环和制动设备等。同年,德国人戴姆勒制造出了世界上第一辆由汽油发动机驱动的四轮汽车,该车功率为1.1米制马力,行驶速度为18 km/h。

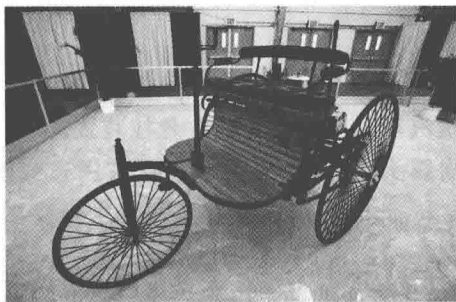


图 1-3 世界上第一辆汽车

一般认为1886年是汽车元年,但有的学者把卡尔·本茨制造第一辆三轮汽车的1885年作为汽车的诞生年,本茨和戴姆勒也被尊为汽车工业的鼻祖。

第二阶段是汽车技术完善阶段,主要指从1911年到1940年这一段时期。在此期间,德国把高速路建设和国民汽车生产提上日程,把发展汽车工业及与其相关的行业摆到了十分显著的位置。因此,德国的汽车工业形成了相当深厚的研究基础。戴姆勒-奔驰、奥迪、大众等汽车公司在这一阶段均已具备一定的生产规模,从而成为真正体现20世纪30年代以后相当长一段时间内的汽车技术发展水平的代表。

第三阶段是从 1941 年到 1960 年这段时期,为汽车工业迅速发展阶段。

在这一阶段,德国、美国、法国、日本、中国等国的汽车工业都开始了快速发展。中国的第一辆轿车是 1958 年 5 月 12 日诞生的东风牌轿车。此时德国汽车产量已经达到 200 万辆,年增长率达 21%,成为欧洲最大的汽车生产国和出口国。

第四阶段是 1961 年至今,是汽车高科技广泛应用及创新阶段。

在这一阶段,为了占据市场,创新研究,不断推出新技术、新车型,成为各汽车研发集团竞争的法宝。高科技成果在汽车上广泛应用和汽车设计、制造、营销、维护等技术的不断创新是这个阶段的特点,并且这种现象将继续下去。

涉及汽车悬架的国内外文献可追溯到 1776 年,当时马车所用到的叶片弹簧取得专利,并且一直到 20 世纪,叶片弹簧才被悬架弹簧所代替。

1908 年福特的第一辆 T 型车使用了悬架弹簧,该车原始车型如图 1-4 所示。当时车速为 40 km/h。悬架和悬架弹簧的概念由此而产生。

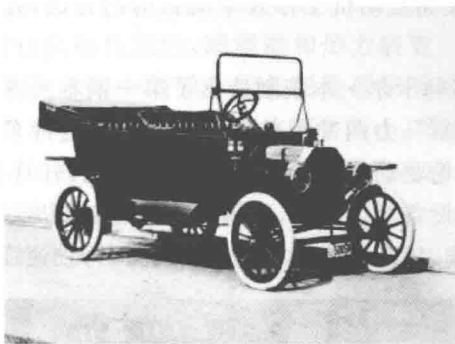


图 1-4 福特第一辆 T 型车

1922 年的美国蓝旗汽车采用了四轮独立悬挂装置。

1958 年中国轿车崭露头角,弹簧作为“配角”被用在我国第一辆轿车、第一辆卡车和第一辆坦克主机上,此时我国已具有了按需求开发军需配件弹簧新品种的能力。

1964 年,国内某弹簧生产企业购进洛阳机床厂生产的 4 mm 自动卷簧机,次年调试成功并投入生产。此举意味着我国弹簧生产专用自动化设备的首次启动,为后来国产自动卷簧机的开发奠定了基础。

1969 年,我国制造出第一台 14 mm 卷簧机。

在 1979—1990 年间,中国弹簧厂(现上海中国弹簧制造有限公司)先后试制和批量生产的弹簧共计有数百种规格。这些产品用在了我国的第一辆解放牌汽车、第一代东风牌汽车、第一颗导弹、第一辆上海牌轿车、第一辆红旗轿车、第一辆坦克、第一门大炮、第一台 60 kW 发电机组、第一架国产飞机等上。无数个“第一”的应用,促进了我国弹簧设计制造技术的发展。在这一期间,国内所生产的弹簧产品之精、品种之多也令人赞叹。其中弹簧钢丝直径最大达到 60 cm,最小能到 0.5

mm,规格多达2000多种,品种百余种,能为全国各行各业提供配套服务,螺旋悬架弹簧就是其中之一。

1986年为中国汽车悬架弹簧生产的元年,北京吉普、上海桑塔纳和天津夏利轿车等国产化轿车的发展均给悬架弹簧的发展带来了新的机遇。

从1996年开始,我国悬架弹簧无论是在产量上还是在技术能级上都有相当大的进步,但是无论是在生产技术、生产工艺、设计和验证,还是在材料选择上与国外的同一时期悬架弹簧相比都还有很大差距。

2005年,国内乘用车的生产与销售呈现快速增长状态,全年轿车和MPV(多用途汽车)等车的产量超过300万辆,对悬架弹簧的配套需求量在1200万件左右。剔除部分新车型没有完全国产化的因素,国产悬架弹簧的配套需求量超过1000万件。如果加上维修等方面需求250万件,全年对悬架弹簧的需求不低于1250万件。

2008年,我国基本型乘用车(轿车)销售504.69万辆,同比增长6.78%,而汽车总销量达到961.54万辆,仅国内所需要的汽车弹簧就至少为2000多万件。

2009年国内汽车销售数量达1364.5万辆,跃居世界第一,所需求的悬架弹簧的总数量已经超过3000万件。

综上所述,随着近年来我国汽车销售市场不断扩大,悬架弹簧市场也持续增长。

本书以汽车悬架弹簧为研究对象,旨在通过改进弹簧设计、制造过程中的关键技术,提高产品质量和生产效率,从而保证汽车的整车性能,增强国产汽车在世界市场上的竞争力。纵观各国悬架弹簧的研究始末不难发现,悬架弹簧的研究道路不仅崎岖与坎坷,而且充满挑战与机遇。

1.3.2 汽车悬架弹簧设计与验证现状

悬架弹簧因市场的需求不同,其制造工艺不同。常规的悬架弹簧制造流程是:设计与验证、材料选择、弹簧成形、去应力回火、强化抛丸、探伤、冷强压(部分弹簧回火后不经过抛丸环节便开始热预压)、喷涂、刚度分组、产品标识标记、包装和入库,其中设计与验证为基本环节,该环节不仅对弹簧的结构有关键性的影响,对于弹簧材料性能的发挥也至关重要。

研究悬架弹簧的制造流程不难发现,弹簧的设计是关键。而国内庞大的悬架弹簧市场需求对国产弹簧的设计、制造提出了更广泛、更高的要求,汽车悬架弹簧的设计、验证、生产、保养也应有一个全新的概念。

悬架弹簧工作机理是其受载荷作用后吸收和积蓄能量,通过能量的变化产生形变。弹簧的变形能与弹簧的形变和弹簧应力有关,而形变又关系到弹簧材料的体积和最大工作剪应力,体积增大则意味着质量和成本的增加,因此,人们普遍追求轻量化的设计,高应力自然成为悬架弹簧设计的主要发展方向,高应力弹簧也成

为该领域的研究热点之一。

其次,大多企业采用的都是传统的弹簧设计方法和生产工艺,一般很难设计和制造出高精度的弹簧。随着科技的进步和汽车制造商对汽车弹簧生产的苛刻要求,弹簧制造商必须在弹簧的设计、验证、生产工艺、后续技术处理等方面不断创新。

对于高应力弹簧的设计,以往的很多理论公式不再通用,必须以通用公式为基础,研究更为准确的计算方法。目前,有限元分析法及各种优化算法已成为研究高应力弹簧的利器。

弹簧的设计应力提高后,螺旋升角加大,会使弹簧的疲劳源由簧圈的内侧转移到外侧,这是经典公式无法解决的问题。然而,由于弹簧结构的优化,其应力变化也会随之而改变,从而会给准确的应力分析带来一定的困难。为了快速建模,确定设计应力,必须采用现代科学的优化方法,探索并掌握关键的设计制造技术。

确定应力必须从材料研究做起。日本在汽车悬架弹簧新材料研究领域处于世界最前列。

日本的三菱制钢、大同特钢、神户钢厂等企业,对高应力条件下使用的悬架弹簧材料进行了大量的研究,所开发的 HDS12、HDS13、UHS1900、UHS2000 等新材料,分别用于 1200 MPa 和 1300 MPa 的高应力悬架弹簧生产。这些材料在抗拉强度大于 2000 MPa 的情况下,甚至在 2100~2200 MPa 时,仍有良好的塑性与较高的韧度,并保持了较好的耐腐蚀、抗疲劳性能。

在国内,高应力弹簧钢大部分采用的都是进口材料,主要包括日本的杉田制线弹簧钢(国内的江阴杉田弹簧制钢)、热炼公司弹簧钢和韩国的三和弹簧钢。

国内生产高应力弹簧钢的企业主要是宝钢集团上海二钢有限公司(简称上海二钢)。

国内轿车所用的悬架弹簧设计应力多低于 1000 MPa,而国外的新车型特别是高档车型,弹簧设计应力相对较高,有的甚至高达 1200 MPa,部分材料可以达到 1300 MPa 以上。目前超高应力弹簧材料主要有 SRS60(1100 MPa)、UHS1900(1200 MPa)和 UHS2000(1300 MPa)、UHS1970(1300 MPa)等系列。

由图 1-5 可以清楚地看到,悬架弹簧的设计应力已经达到 1300 MPa,相对应的材料标号依然为日本的 UHS。

高应力目标实际上也是轻量化目标。而在研究弹簧轻量化的同时,弹簧的衰减(衰减是指弹簧在连续的动、静载荷的交替作用下发生塑性变形,无法恢复到原来外形尺寸形状的性能)也成为研究热点。国内外在弹簧性能的衰减方面做了大量的研究工作。

1975 年,美国从安全角度出发,提出要保证汽车整车的平稳性能,要求车身高度必须保持在一定范围内,由此提出了弹簧的抗弹减性的概念。此后,日本等国也对弹簧抗弹减性相继开展了研究工作,多年来,在理论研究、试验方法、成分设计及