

汽车碰撞的

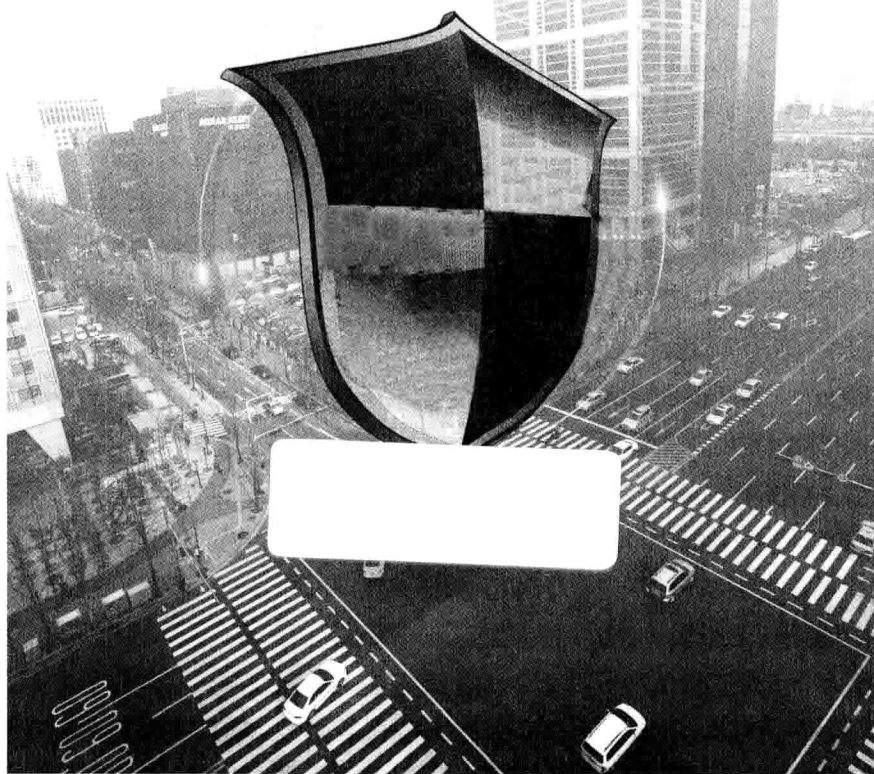
安全性

柳艳杰 著



汽车碰撞的 安全性

柳艳杰 著



黑龙江大学出版社
HEILONGJIANG UNIVERSITY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

汽车碰撞的安全性 / 柳艳杰著. -- 哈尔滨 : 黑龙江大学出版社, 2014.3

ISBN 978 - 7 - 81129 - 606 - 8

I. ①汽… II. ①柳… III. ①汽车 - 碰撞(力学) - 安全性 - 设计 IV. ①U462

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 104881 号

汽车碰撞的安全性

QICHE PENGZHUANG DE ANQUANXING

柳艳杰 著

责任编辑 张永生 高 媛

出版发行 黑龙江大学出版社

地 址 哈尔滨市南岗区学府路 74 号

印 刷 哈尔滨市石桥印务有限公司

开 本 720 × 1000 1/16

印 张 13.5

字 数 203 千

版 次 2014 年 3 月第 1 版

印 次 2014 年 3 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978 - 7 - 81129 - 606 - 8

定 价 31.00 元

本书如有印装错误请与本社联系更换。

版权所有 侵权必究

前 言

我国地处环太平洋地震带和地中海—喜马拉雅地震带交汇部分,是一个地震活动频繁、强度大、震源浅、分布广的震灾严重国家。据《国家防震减灾规划(2006—2020年)》,我国50%的国土面积位于Ⅶ度以上的地震高烈度区域。所以,当自然灾害发生时,如果道路受损,地动引起道路行驶车辆发生碰撞,造成交通不畅,就会给抢险救灾带来极大的困难。目前,我国道路灾害的动态监测和预警系统建设仍不健全。调查表明,多数高速公路上运行的车辆在灾害过程中由于碰撞破坏处于瘫痪状态,致使灾害信息不畅,救援工作延缓,造成灾害范围及程度的升级。

地震对道路结构物及行驶车辆造成严重破坏,影响道路的正常通行功能。1974年5月云南昭通发生地震(7.1级)时,将200 m长的一段公路推到河谷的对岸,由于地震地动引发汽车碰撞;1994年1月17日,美国洛杉矶发生6.7级地震,震中30 km范围内的高速公路发生毁坏或倒塌造成上千辆车辆发生碰撞;1995年1月17日,日本发生7.2级地震,造成大阪、神户之间高速公路10处断裂、8处崩塌,汽车碰撞灾害严重;2001年11月14日,青海昆仑山口西发生8.1级强烈地震,导致通过该地区的109国道沿线长约20 km的路面发生翘起变形、路基开裂、涵洞毁坏等公路病害,汽车发生碰撞事故的损失巨大。另外,2008年5月12日四川汶川发生地震,由于灾区道路运输受到破坏,救援人员还需通过空降这一途径才能抵达受灾地点,极大地增加了救援难度,对国家财产和人民生命安全造成极大损失。

地震中汽车碰撞的灾害已经得到了普遍关注,汽车碰撞的安全性

受到科研工作者的高度重视。

地震是不可抗拒的,但地震引起的汽车碰撞事故的损失如何才能降到最低,是科研工作者关注的课题。本书主要针对地震地动作用下,发生碰撞的汽车如何减少碰撞损失和维修成本展开研究。不仅在地震地动中涉及汽车碰撞问题,日常生活中由于汽车保有量的增加,碰撞也时有发生,因此碰撞安全性得到了关注。汽车碰撞分高速碰撞和低速碰撞,本书着重研究汽车的低速碰撞。发生低速碰撞时,汽车前端的吸能部件在汽车安全性方面起着举足轻重的作用,因此,提高汽车低速碰撞时吸能部件的抗撞性能成为汽车安全性的重要因素。

本书结合黑龙江省教育厅科学技术研究项目,通过分析国内外汽车低速碰撞领域的研究现状,根据国际现行汽车碰撞安全法规的特点,采用数值仿真与试验相结合的方法,研究了在低速状态下汽车发生碰撞时,汽车的安全性能。重点研究汽车低速碰撞时不同吸能部件的抗撞性能以及对汽车维修成本的影响,并且主要进行了以下几方面的研究。

依据汽车正面碰撞和低速碰撞的特点,应用显式有限元动态仿真方法,对吸能部件完全重叠低速正碰进行数值模拟,并通过试验方法与理论分析对其进行了验证。对比碳钢和铝合金材料吸能部件的抗撞性能,不同材料的吸能部件对于结构的峰值碰撞力和最大吸能量都有一定的影响。

对不同截面形状铝合金材料吸能部件的抗撞性能进行了研究,发现正方形截面吸能部件的抗撞性能最佳。根据预变形理论对结构吸能特性的影响,采用设置诱导槽的方法对结构进行了优化设计,诱导槽的设置削弱了吸能部件的刚度,降低了结构的吸能能力;改变吸能部件壁厚,设计出了满足碰撞性能参数的汽车吸能部件。

根据汽车修理研究协会(Research Council for Automobile Repairs, RCAR)法规,对安装了碳钢和铝合金吸能部件的某轿车分别进行了40%偏置低速碰撞的数值仿真模拟,分析两种吸能部件的吸能特性,发现铝合金吸能部件具有显著的优势。将装有铝合金吸能部件的实

车进行偏置碰撞试验,获得试验数据,对仿真模拟结果进行了验证。

汽车保险杠系统中铝合金材料的应用,不仅减轻了汽车的质量,而且显著提高了保险杠系统的性能,为汽车的轻量化设计奠定了研究基础。

具有良好吸能部件的汽车,在发生低速碰撞时,可有效地提高其抗撞性能,避免与吸能部件连接的前纵梁等汽车主要部件受到损坏,减少维修费用,降低保险费率。

本书为汽车吸能部件的设计提供了重要技术参考,丰富了汽车低速碰撞的内容,为减少震害中的碰撞损失以及维修成本做出了有益的贡献,并为实际工程中存在的类似安全性评估提供了参考依据。

目 录

第 1 章 国内外汽车碰撞安全性的研究现状	1
1.1 汽车碰撞安全性研究现状及进展	1
1.2 国内外相关领域的研究现状及进展	5
1.3 研究目的和意义	17
1.4 研究的主要内容	19
第 2 章 汽车吸能部件设计理论和方法的研究	20
2.1 汽车吸能部件设计理论和方法	20
2.2 显式非线性有限元法基本理论	28
2.3 重要结论	35
第 3 章 汽车被动安全性评价体系及吸能部件抗撞性能	
指标	36
3.1 汽车被动安全性评价体系	36
3.2 汽车吸能部件抗撞性能评价指标	44
3.3 吸能盒的变形模式	57
3.4 重要结论	60
第 4 章 汽车完全重叠低速正碰吸能部件仿真分析	61
4.1 汽车完全重叠低速正碰吸能部件概况	61
4.2 薄壁直梁的建模方法和试验验证	63

4.3	材料对吸能部件特性的影响	76
4.4	铝合金材料吸能部件理论分析	80
4.5	重要结论	85
第5章 铝合金材料吸能部件的改进研究		86
5.1	不同截面形状吸能部件的抗撞性能	86
5.2	正方形吸能部件的优化设计	91
5.3	重要结论	99
第6章 汽车40%偏置低速碰撞数值模拟与试验验证		101
6.1	汽车40%偏置低速碰撞概况	101
6.2	汽车吸能部件碰撞仿真模拟研究	102
6.3	汽车偏置实车碰撞试验	113
6.4	试验结果与仿真模拟结果的对比分析	116
6.5	汽车保险杠系统的轻量化研究	117
6.6	吸能部件对前纵梁维修成本的影响	122
6.7	重要结论	124
参考文献		125
附录		142
附录 I 汽车正面碰撞安全法规、标准与法规评价体系		142
附录 II 汽车侧面碰撞完全法规、标准与评价结果		161
附录 III 汽车后部碰撞法规与标准		180
附录 IV 汽车低速碰撞法规简介		187
附录 V 行人保护法规简介		202

第 1 章 国内外汽车碰撞安全性的研究现状

1.1 汽车碰撞安全性研究现状及进展

我国是世界上地震的多发地区,历来也是遭受地震灾害最严重的国家之一,仅近半个世纪来就发生了海城地震、邢台地震、云南澜沧耿马地震、唐山地震和汶川地震等大地震。地震对道路结构物造成严重破坏,影响道路的正常通行功能。道路上行驶的车辆发生相互碰撞,致使交通不畅,就会给抢险救灾工作带来极大的困难。调查表明,多数高速公路运行车辆在灾害中受到碰撞破坏处于瘫痪状态,致使灾害信息不畅,救援工作延缓,造成灾害范围及程度的升级。

21 世纪以来,随着我国经济的高速发展,汽车产业日见壮大。我国汽车产销量也在成倍递增,2011 年我国汽车生产量已经达到了 1 842 万辆,继美国和日本之后成为第三个汽车生产大国,年产汽车突破千万辆。汽车作为生活消费品已经走进了寻常百姓的生活,代表我国经济实力的汽车品牌也已经迈向了世界。统计数字显示,我国汽车累计出口量逐年递增:2005 年 17 万辆,2006 年 34.2 万辆,2007 年翻了一番达到 61.2 万辆,到 2011 年整车出口超过 80 万辆,创历史新高。但在这高速增长的背后,藏着巨大的隐患和危机。各种交通事故发生率迅猛增长,在这些交通事故中包括正面碰撞(完全重叠和偏置碰

撞)、侧面碰撞、追尾碰撞和滚翻(见图 1-1)。我国公安部交通管理局对碰撞事故的统计显示:汽车正面碰撞事故约占所有碰撞事故的 66.9%,侧面碰撞事故约占 28%,追尾碰撞和滚翻的比例稍低。由此可见汽车交通安全已经成为公共安全问题上重要的部分。



(a) 正面偏置碰撞



(b) 正面角碰撞



(c) 正面碰撞



(d) 侧面碰撞



(e) 滚翻



(f) 追尾

图 1-1 汽车各类碰撞形式

安全、节能、环保一直是汽车领域的三个主要课题,其中安全问题越来越受到人们的关注。汽车交通安全包括主动安全性和被动安全性,主动安全性是指汽车通过识别潜在的危险因素,从而自动地减速,或者当遇到突发因素时,在驾驶员的操纵下能够避免碰撞事故发生,也就是车辆在未出现事故时,预防事故出现的能力。被动安全性是指不可避免的交通事故发生时,汽车能够保护车内乘员或车外行人,避免发生伤害或者降低伤害的性能。区分二者的分界线就是事故本身,碰撞事故发生前,体现的是主动安全性,事故发生后,更多的安全性则由被动安全性体现。汽车主动安全性技术在交通安全中的作用越来越重大,但碰撞事故仍然不可避免地会发生,这时,避免人员受伤或死亡的唯一保障将是汽车被动安全性技术。保护车内乘员和行人安全的主要对策将是汽车被动安全性技术。因此,汽车碰撞事故中的抗撞性能的提高将成为汽车被动安全性研究领域中的一个至关重要的环节。

随着我国高速公路和高等级公路的迅速发展,车速也在不断提高,一旦行驶的汽车发生正面碰撞,汽车所携带的巨大动能将在碰撞瞬间以其他的能量形式释放出来,对车体和人员造成严重伤害,交通事故的发生率和破坏度也在加大,这种严重的状况引起了人们的重视,因此汽车的高速碰撞得到了汽车厂商、消费者、政府部门的高度关注。

但是在城市中大多数的交通事故,如在上下班时间或者堵车的情况下,以及进出停车场时经常会与其他车辆发生碰撞,80%碰撞只是车辆损坏而没有人员伤害的碰撞,属于低速状态下的前碰、侧碰或后碰,由于低速碰撞时对人员的伤害比较小,人们并没有对它产生足够的重视。但由于汽车工业的高速发展和各项法规的建立、完善,设计人员的焦点必将投注到汽车的安全性能上,高速碰撞需要进行研究,但低速碰撞的探讨将更具有理论与现实价值。

在国外,保险公司通过保险费的调节,鼓励安全驾驶,促进安全性高、维修费用低的汽车产品的销售。目前在国外某款新车上市前都需

要进行低速时的抗撞性能测试,即保险碰撞测试,保险费用将由车辆碰撞后的毁坏情况和维修费用的多少来决定。在欧盟,车辆的保险等级将受 AZT 维修费用试验结果的直接影响,被评价为较高保险等级的车辆,在同等条件下顾客要多支付保险费用。因此碰撞性能好的车型,其前部构件具有较好的吸能性,在进行碰撞测试时可以吸收全部的动能,并且使撞击力保持在一定的水平,汽车车身在碰撞过程中将不会受到很大的冲击而发生破坏,如果对汽车进行修理,由于前部构件可以拆卸,则只需更换损坏的汽车前部构件,减少了修理费用,保险费也很低。但是如果前部构件的碰撞性能差,则车身结构包括其中的重要部件也会由于受到撞击力而发生损坏,将需要花费巨大的修理费用,相应的保险费也会提高。因此碰撞性能越好,修理费越低,用户缴纳的保险费也相应降低,这样的车型自然会吸引更多的用户购买,从而给汽车生产厂家带来巨大利润。因此消费者、生产厂家以及保险公司均十分关注汽车低速碰撞的性能研究。而国内消费者、保险公司与生产厂家之间的这种经济关系似乎还不明显,保险费并不是由碰撞结果决定的。但国内汽车要想走出国门,低速碰撞性能研究不容忽视。

在汽车事故索赔上,世界各个国家的保险公司每年都支付了大量资金,其中有相当一部分费用与汽车损坏时的维修成本有关。一直以来,修复好投保人的车辆是一项昂贵和费时的业务,因此保险公司一直努力控制车辆的维修成本。国际保险业为了这一目标的实现,一直期待研究机构的研究成果,以便控制或减少汽车的修复费用。汽车制造商的重要工作是车辆的优化设计,其中的关键环节之一就是提高汽车的低速碰撞性能,降低整体修复费用。因此,汽车性能和使用成本可更精确地由保险等级评价试验来反映。随着国内汽车保有量的迅速增加和汽车保险业与国际的接轨,国内汽车业亦将开展相关的研究。

汽车发生低速碰撞时,首先接触的是汽车前保险杠,前保险杠是吸收撞击力以及保护车身安全的防护装置。碰撞事故发生时,汽车保险杠系统不仅起到保护车内乘员和外部行人安全,使伤害程度尽量降

低的作用,也起到使车辆和其他部件的损坏程度降低的作用,这样在车辆碰撞发生后,其维修成本才会降低。但美国公路安全保险协会(IHS)的测试结果显示,微型车和大部分小型车配置的汽车保险杠系统目前远没有达到使维修成本降低的目的。因此汽车保险杠系统除了应该具有足够的强度、刚度以满足汽车较强的抗撞性能外,还应当具有相当的缓冲吸能能力,以此来减弱碰撞时产生的撞击力。

综上所述,汽车低速碰撞安全性已成为汽车被动安全技术领域研究的一个新课题。发生低速碰撞时,决定其抗撞性能的关键部件是汽车保险杠系统的吸能部件,吸能特性好的部件将把碰撞产生的能量全部吸收,避免车体的其他结构永久变形,从而保护汽车前纵梁、发动机等重要部件免受损坏,这也是设计人员追求的主要目标。因此无论从理论上还是从现实意义上研究低速碰撞时汽车吸能部件的抗撞性能都显得尤为重要。

1.2 国内外相关领域的研究现状及进展

1.2.1 汽车碰撞研究现状及进展

1.2.1.1 国外汽车碰撞研究现状

有资料显示第一次碰撞事故发生在1889年的美国纽约,汽车安全性研究的帷幕由此被拉开。一直以来,国外汽车工业界研究的重点都是汽车安全性的设计及研究。

汽车碰撞的研究经历了三个阶段:由19世纪初期至1935年是第一个阶段,这一阶段的研究重点都放在了提高部件的强度上,采用了全钢材料的车架;1936年至1965年是第二个阶段,该阶段汽车制造商引入了很多防碰撞装置,比如1955年汽车座椅安全带的出现,在这一阶段,第一次进行了车与固定壁的前端碰撞测试;1966年美国国家公

路交通安全管理局(NHTSA)制定了美国联邦机动车安全标准(FMVSS),自此,对汽车碰撞的研究就进入了第三个阶段。

目前发达国家已建立了一套比较完善的试验与检测体系,其中最主要的就是 FMVSS 法规和联合国欧洲经济委员会法规(ECE 法规),其他国家的技术法规大多是参照上述两个法规体系制定的。

FMVSS 法规:该法规的核心内容是联邦机动车安全标准。截至 1996 年 12 月 31 日,该法规制定和实施的标准项目共有 54 项,其中包括防止事故发生的标准 29 项;减轻碰撞事故发生时对人员的损伤的标准 21 项;以及发生事故后的防护标准 4 项。FMVSS 法规主要是针对轿车而制定的,并逐步将轿车法规的适用范围扩大到轻型载货汽车、多用途客车等车型上。

ECE 法规由联合国欧洲经济委员会于 1958 年统一制定。截至 1996 年,正式实施的 ECE 法规有 99 项,涉及汽车的安全、环保及节能等领域。其中,关于汽车安全方面的法规有 81 项,主动安全法规占 55 项,被动安全法规占 26 项。与 FMVSS 法规不同的是,ECE 法规局限于汽车的装备和部件,只有装备和部件的认证而无整车认证。

1951 年日本根据《道路运输车辆法》制定了道路车辆安全标准,然后吸收了 FMVSS 法规和 ECE 法规等标准的优点,结合自身特点形成了比较健全的日本道路车辆安全指标体系。到 1995 年底,日本道路车辆安全标准包含车辆构造、装置标准共 95 条,其中安全标准 68 条;试验方法标准 88 条,其中安全标准 76 条。

在汽车碰撞法规的基础上,发达国家又进一步实施了新车评估测试 NCAP(New Car Assessment Program),在更高的碰撞速度、更多的碰撞形式以及更严酷的平均指标下考核车辆的碰撞安全性能,这对汽车的碰撞安全性提出了更高的要求。

对于发达国家,19 世纪 30 年代的研究主要集中在进行简单的实车碰撞试验上,50 年代开始进行台车碰撞试验,80 年代开始进行基于有限元理论的 CAE 仿真分析。如 Mahmood, Wierzbicki 等人利用解析法对车身典型构件的解析公式进行了推导,计算结果与试验结果具有

较高的一致性,可为概念设计提供充足的依据;Monclus-Gonzalez 等人从试验到仿真分析对汽车被动安全性问题进行了深入研究;自 1986 年 LS-DYNA 首次成功地模拟了整车大变形后,基于动态显式非线性有限元的计算机仿真方法用于预测汽车的抗撞性能。

目前,国外从事汽车碰撞试验的研究机构主要有美国公路安全保险协会,欧盟新车安全评鉴协会(E-NCAP),荷兰国家应用科学技术研究院(TNO),英国的米拉实验室(MIRA),法国汽车、摩托车、自行车联合会(UTAC),澳洲新车评价程序(A-NCAP),日本汽车研究所(JARI)和日本国家汽车安全及受害者援助组织(OSA)等。从事汽车碰撞法规研究与制定的机构有:美国国家公路交通安全管理局(NHTSA),联合国欧洲经济委员会(ECE),欧洲共同体试验车辆委员会(EEVC),日本运输省以及国际标准化组织(ISO)等。

以上的研究机构主要致力于研究高速碰撞,鉴于目前低速碰撞的热点是对保险杠系统的评测,美国和欧洲都制定了车辆前、后端(保险杠)碰撞保护标准。但是现在许多欧洲国家设计的保险杠性能也较差,不能保护重要元件而导致昂贵的维修费用,这主要是由不稳定的接触特性与车辆结构的不匹配引起的,因此部分汽车制造商的保险杠系统设计仍在进行改进。

低速时的前碰或者后碰,车辆保险杠系统应该能吸收这些碰撞能量,以便保护其他比较昂贵的部分。不幸的是,目前设计的大部分保险杠只适合比较低的标准,因为即使有保险杠系统评估测试标准,仍然允许在小的碰撞中损失数千美元,所以对生产商来说没有很大的动力改善他们的保险杠系统。

对于大多数汽车而言,日常发生低速碰撞的损害概率更高。美国公路安全保险协会就一般的交通或是停车场等低速碰撞,对 17 款美国市场在售轿车进行了一场碰撞测试,测试结果显示,只有 3 款中级轿车——三菱戈蓝、丰田凯美瑞和马自达 6,在每项的保险杠系统撞击测试中,损失低于 1 500 美元。某些车款在单一项测试的损失甚至超过 4 500 美元,其中更有两款车总损失金额达到 9 000 美元之多。这

项新测试反映出日常驾驶最常发生的碰撞情形,而每年这些低速碰撞所造成的损失高达 600 万美元。

对于低速时的完全重叠正碰和偏置碰撞,车辆保险杠系统应能吸收这些碰撞能量,以便保护其他比较昂贵的部分。鉴于目前低速碰撞的关键是对保险杠系统的评测,欧美等国家制定了车辆前、后端(保险杠)碰撞保护标准。然而现在大部分保险杠系统性能较差,达不到碰撞的标准,不能保护重要元件。同时即使有保险杠系统评估测试标准,由于允许碰撞中损失几千美元,所以使生产厂商改善汽车保险杠系统的积极性受到限制,导致部分汽车制造商的保险杠系统设计存在较大缺陷,仍需进行改进。

同时国际上已经成立了汽车修理研究理事会,该组织致力于提高汽车的抗撞性、修复性、安全性和防盗性,降低保险成本。现在的 24 个成员机构分布在 17 个国家,由各大保险公司及其关联企业资助的研究中心组成。汽车修理研究理事会制定了 $(15 + 1) \text{ km/h}$ 的低速撞击测试标准,用以衡量汽车的抗撞性,在一些国家这是汽车保险费率厘定的风险因子之一。该标准在不同情况下对不同地区接受测试的汽车都有可参照性。

1.2.1.2 国内汽车碰撞研究现状

改革开放以来,我国的经济得到了飞速发展,直到 20 世纪 80 年代末期,汽车被动安全性方面的研究工作才刚刚开展起来。国内从事汽车碰撞测试的机构有:清华大学汽车碰撞实验室、交通部公路交通试验场、中国汽车技术研究中心、中国第一汽车集团公司技术中心(长春汽车研究所)、二汽襄樊汽车试验研究所、上海机动车检测中心、中国汽车技术研究中心汽车安全试验室等。虽然这些研究机构已经开展了汽车安全性的专门研究,但大部分都是对已定型的实车的检测,如中国汽车技术研究中心、清华大学、国家汽车质量监督检验中心以及湖南大学等都建立了研究和试验基地,对汽车配置保护以及汽车碰撞的燃油泄漏等相关内容进行研究。

由于汽车产品具有的特殊性,我国国家对汽车产品一直以来执行的都是政府强制认证制度。目前,我国已经建立和实施了汽车正面碰撞、侧面碰撞和后面碰撞的国家强制性标准体系。包括《乘用车正面碰撞的乘员保护》标准(GB 11551—2003)、《汽车侧面碰撞的乘员保护》标准(GB 20071—2006)和《乘用车后碰撞燃油系统安全要求》(GB 20072—2006)。这些碰撞标准的制定,大部分都是围绕高速碰撞展开的,低速碰撞法规还没有出台,因此对于低速碰撞的研究,将有重要的学术和应用价值。

1.2.2 车辆的抗撞性能

目前车辆抗撞性能测试的标准已经和汽车质量、款式、操作和燃油经济性等方面同等重要,因此汽车生产商、政府机构、保险公司和新闻媒体都将提供给消费者车辆安全的估值。而车辆安全的焦点主要集中在车辆结构的抗撞性能和减少车内乘员的损伤上,毫无疑问对这个问题的关注将进一步加强政府对相关法规的制定,并将促使工业的全球化。

过去,安全意味着增加车辆抗撞空间,因此必然将通过加大车辆的质量达到安全的目的,然而为了满足目前车辆轻量化的设计要求,以及对燃油经济性和再循环的能力的关注,最优的设计将是车辆的前后部分被设计得比较短,同时结构必须是轻质量的,有足够的刚度以使车辆在前碰、后碰、侧碰和翻滚中满足抗撞要求。

在早期阶段,车体是由木头制成的,抗撞性能设计的目的是避免车辆有大的变形。随着科技的进步,车体结构大大改进,通过接触区的塑性变形吸收部分碰撞动能,以提高抗撞性能。目前,利用不同加固技术的钢制车体结构,通过保持车厢的完整性和控制碰撞时的减速度以达到人们的要求,控制早期峰值的碰撞减速度并使之逐渐减退将对受限制的乘员大有益处。因此,抗撞性能设计的目标是优化车体的吸能部分,通过变形控制碰撞能量,使残余的能量以最小的碰撞力的