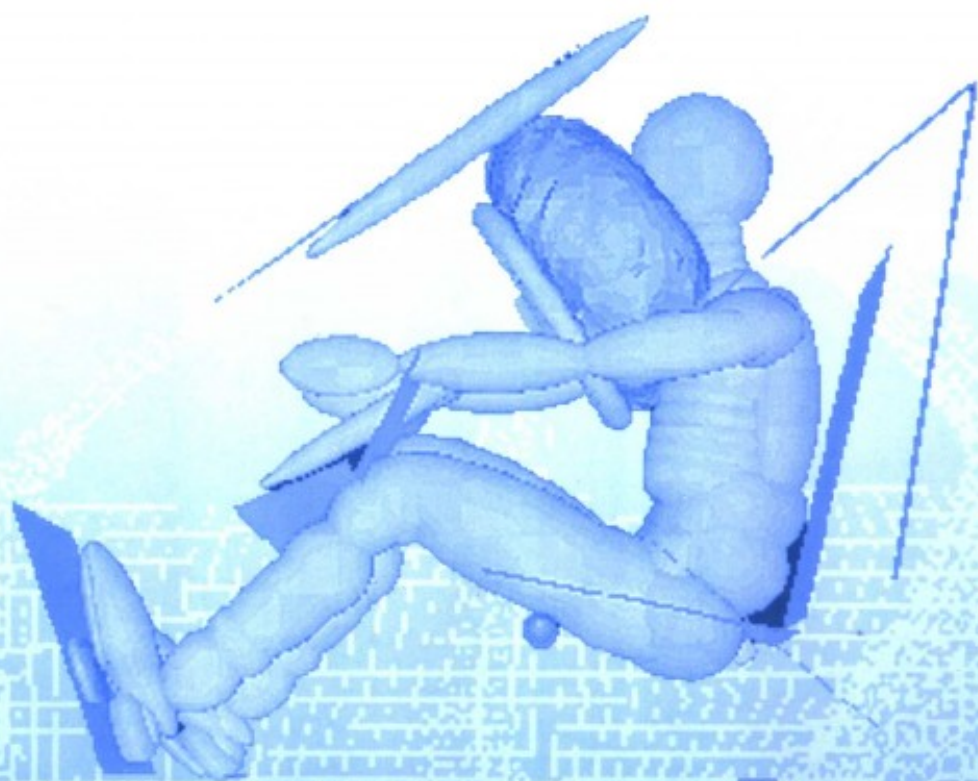


机械工业出版社高水平著作出版基金资助项目


汽车碰撞安全技术

Automotive Crash Safety Technology

钟志华 张维刚 曹立波 何文 著



6

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



● ISBN 7-111-12344-1/U-621(课)

封面设计 / 电脑制作 : 姚毅

ISBN 7-111-12344-1



9 787111 123446 >

定价: 28.00 元

地址: 北京市百万庄大街22号 邮政编码: 100037
联系电话: (010) 68326294 网址: <http://www.cmpbook.com>
E-mail: online@cmpbook.com

机械工业出版社高水平著作出版基金资助项目

汽车碰撞安全技术

Automotive Crash Safety Technology

钟志华 张维刚 曹立波 何文 著



机械工业出版社

本书以作者多年的研究成果为基础,较为系统地讨论了汽车碰撞安全技术问题。内容主要包括汽车碰撞安全技术及碰撞安全法规的发展历史与现状,汽车碰撞安全性设计与改进的基本方法,汽车碰撞过程计算机仿真的理论与方法,汽车碰撞过程计算机仿真建模与应用,汽车乘员保护系统及汽车碰撞试验技术与应用等。这些问题各有特点,又相互关联,是现代汽车碰撞安全技术研究中不可缺少的重要内容。本书既涉及理论与方法,又包含相关技术与装备;既讨论了碰撞仿真技术,也研究了碰撞试验技术;既注重汽车结构的碰撞安全性问题,又考虑了乘员保护系统。本书所讨论的理论、方法和技术都经实践证明有效,并应用在工程实际中,产生了显著的社会效益和经济效益。

本书可作为高等院校车辆工程专业研究生教材、本科生选修课教材以及工程技术人员的参考书,也可作为相关技术管理人员的决策参考书。

图书在版编目(CIP)数据

汽车碰撞安全技术/钟志华等著. -北京:机械工业出版社,2003.7
ISBN 7-111-12344-1

I. 汽… II. 钟… III. 汽车—行车安全—安全设备 IV. U491.6

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第044100号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:林松 赵爱宁 版式设计:冉晓华 责任校对:樊钟英

封面设计:姚毅 责任印制:闫焱

北京瑞德印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2003年8月第1版第1次印刷

787mm×1092mm 1/16·13.25印张·328千字

定价:28.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68993821、88379646

封面无防伪标均为盗版

前 言

随着我国经济的不断发展，汽车作为现代交通工具越来越普及。车辆的急剧增加一方面给人们的生活和生产带来极大的方便，但同时也带来不少的负面影响，如环境污染、能源危机和交通安全问题等。国内外大量统计数据表明，汽车交通事故造成的人员伤亡和财产损失是巨大的，已成为一大社会公害。随着社会的不断进步和人们生活水平的迅速提高，交通安全问题受到越来越多的关注。

作为交通安全问题的重要内容之一，汽车碰撞安全性问题也得到越来越多的重视。这将有力地带动我国汽车碰撞安全技术的发展，并促进我国汽车产品碰撞安全性水平的迅速提高。目前我国已开始实施部分强制性碰撞安全法则，使得大部分乘用车必须通过一定的碰撞法规检验才能上市销售。同时，汽车消费者也在逐步将安全性指标作为选择汽车的一个重要考虑因素。因此，汽车碰撞安全技术已从不同角度越来越多地影响人们的生产和生活。

汽车碰撞安全技术涉及的问题很多，其核心是要在汽车碰撞事故中最大限度地保护乘员，努力做到“车毁人不亡”或“车伤人不伤”。汽车本身是一个十分复杂的机械电子系统，而汽车碰撞又是一个复杂的瞬态非线性力学过程，要优化设计汽车，使它在碰撞事故中有效地保护乘员并非易事。但多年来经过国内外科学家和工程师的艰苦努力和不断创新，积累了从经验法到试验法、从解析法到计算机仿真法的一系列碰撞安全性设计方法，并发明了一系列汽车碰撞缓冲吸能的结构和装置，在汽车碰撞事故中能有效地保护乘员。国内大量统计数据也表明，采用现代碰撞安全性措施挽救了大量人的生命，减轻了更多人的受伤程度，其社会效益和经济效益是巨大的。

基于作者多年的研究成果和工程应用经验，本书分7章较为系统地介绍了汽车碰撞安全技术的主要内容。第1章对汽车碰撞安全技术作了概要介绍。第2章重点介绍了国内外汽车碰撞安全法规，并作了对比分析。第3章介绍了汽车碰撞安全性设计与改进的基本方法。第4章讨论了作为汽车碰撞安全性设计与改进重要手段的汽车碰撞过程计算机仿真的理论与方法。第5章介绍了汽车碰撞仿真建模的关键技术及工程应用实例。第6章重点讨论汽车乘员保护系统，主要包括安全带和安全气囊等技术。第7章介绍了汽车碰撞试验技术及工程应用实例。

在本书的写作过程中，作者力求考虑不同读者的兴趣和需要的差别，内容上深浅结合，并尽可能采用通俗和规范的表达方式和术语。应当指出的是，汽

车碰撞安全技术是十分复杂的、内容广泛的综合技术，且处于不断的发展变化之中。本书更多反映的是作者已开展的研究与应用工作，不可能包括其全部内容，且难免有不妥之处，恳请读者批评指正。

作者

2003年3月于长沙

目 录

前 言

第 1 章 绪论

- 1.1 汽车安全问题 1
- 1.2 汽车碰撞事故分类及特征 1
- 1.3 汽车碰撞事故中的人体
损伤机理 4
- 1.4 汽车碰撞安全法规 5
- 1.5 碰撞安全措施 5
 - 1.5.1 汽车结构缓冲与吸能措施 5
 - 1.5.2 车内乘员保护措施 7
- 1.6 碰撞安全性设计与分析方法 9

第 2 章 汽车碰撞安全法规

- 2.1 概述 11
- 2.2 国外主要碰撞安全法规
简介及比较 14
 - 2.2.1 各国主要碰撞安全法规简介 14
 - 2.2.2 国外主要碰撞安全法规比较 18
- 2.3 我国碰撞安全法规 21
 - 2.3.1 我国汽车标准与法规体系 21
 - 2.3.2 我国强制性安全标准 21
 - 2.3.3 碰撞安全技术法规 22
 - 2.3.4 实车正面碰撞试验程序简介 24

第 3 章 汽车碰撞安全性设计与 改进的基本方法

- 3.1 概述 25
- 3.2 经验法和试验法 26
 - 3.2.1 经验法 26
 - 3.2.2 试验法 27
- 3.3 数学分析法 29
 - 3.3.1 解析法 29
 - 3.3.2 多刚体动力学法 29
 - 3.3.3 有限元法 30
- 3.4 汽车碰撞安全性设计 32

- 3.4.1 整车理想碰撞特性 32
- 3.4.2 碰撞安全性的反推设计法 33
- 3.5 碰撞吸能结构的设计 35
 - 3.5.1 焊点与吸能 36
 - 3.5.2 壁厚与吸能 38
 - 3.5.3 横截面与吸能 39
 - 3.5.4 预变形与吸能 40

第 4 章 汽车碰撞过程计算机 仿真基本理论与方法

- 4.1 概述 42
- 4.2 基本力学模型与方程 43
 - 4.2.1 基本概念 43
 - 4.2.2 基本方程 47
- 4.3 显式有限元理论与方法 51
- 4.4 薄壳理论与单元 53
 - 4.4.1 HL 类壳单元 54
 - 4.4.2 BT 类壳单元 58
- 4.5 弹塑性材料应力-应变
关系及计算 61
 - 4.5.1 概述 61
 - 4.5.2 三维等向硬化弹塑性模型 63
 - 4.5.3 三维随动硬化弹塑性模型 65
 - 4.5.4 三维综合硬化模型 66
- 4.6 接触界面的处理方法 67
 - 4.6.1 接触搜寻方法的基本概念 67
 - 4.6.2 级域理论与方法 69
 - 4.6.3 接触碰撞力的计算方法 74

第 5 章 汽车碰撞过程计算机 仿真建模与应用

- 5.1 概述 77
- 5.2 汽车零部件建模技术与
要点 78
 - 5.2.1 零部件几何模型的建立 78
 - 5.2.2 单元划分 79

5.2.3 材料模型	80	6.4.3 座椅系统的安全性结构	143
5.2.4 接触界面的定义	83	6.4.4 座椅系统的安全性能要求及 试验方法	148
5.2.5 约束问题	83	6.5 转向系统	151
5.3 整车建模技术与要点	85	6.5.1 概述	151
5.3.1 整车分析	85	6.5.2 能量吸收式转向柱的结构 原理与设计	152
5.3.2 部件联接	85	6.5.3 几种能量吸收型转向柱	153
5.3.3 静态校核与验证	86	6.6 仪表板设计	156
5.4 零部件碰撞仿真的应用实例	86	第7章 汽车碰撞试验技术与应用	
5.4.1 转向机构的碰撞仿真设计	86	7.1 概述	159
5.4.2 智能化安全气囊的仿真研究	91	7.2 机械储能式汽车碰撞试验 系统	160
5.4.3 车体碰撞吸能结构部件的仿真	96	7.2.1 系统组成及其工作原理	160
5.5 整车碰撞仿真的应用实例	100	7.2.2 碰撞试验控制系统及数据 采集的 LabVIEW 实现	163
5.5.1 轿车法规碰撞仿真	100	7.3 台车碰撞的试验技术	168
5.5.2 微型车法规碰撞仿真	104	7.3.1 台车碰撞的试验方法	169
第6章 汽车乘员保护系统		7.3.2 台车碰撞的缓冲吸能装置	169
6.1 概述	109	7.4 实车碰撞的试验技术	171
6.2 安全带系统	110	7.4.1 实车碰撞的试验方法	171
6.2.1 概述	110	7.4.2 实车碰撞的试验准备	172
6.2.2 安全带的工作原理及使用效果	110	7.4.3 实车碰撞试验合格的要求	173
6.2.3 安全带的种类	111	7.5 汽车碰撞试验系统的数据 采集与图像处理	174
6.2.4 安全带的基本构件	113	7.5.1 数据采集的要求	174
6.2.5 安全带的发展方向	117	7.5.2 数据采集系统的选型与设计	175
6.2.6 汽车安全带的试验方法	118	7.5.3 汽车碰撞试验中的图像处理	185
6.3 安全气囊系统	118	7.6 工程应用的实例	187
6.3.1 概述	118	7.6.1 台架试验	187
6.3.2 安全气囊系统的组成及工作 原理	119	7.6.2 台车试验	194
6.3.3 安全气囊的设计	123	7.6.3 实车试验	204
6.3.4 安全气囊技术的新发展	127	参考文献	206
6.3.5 安全气囊的性能及试验研究	131		
6.3.6 安全气囊工作过程的计算机 仿真研究	131		
6.4 座椅系统	142		
6.4.1 概述	142		
6.4.2 座椅系统的安全性功能	143		

第 1 章 绪 论

1.1 汽车安全问题

汽车安全与节能和环保问题已成为当今汽车工程领域三大具有重要社会、经济意义的研究热点，并且得到了有关政府部门的高度重视。

汽车安全性可分为主动安全性和被动安全性两大类，其中主动安全性是指汽车避免发生意外事故的能力；被动安全性，则是指汽车在发生意外事故时对乘员进行有效保护的能力。通俗地讲，主动安全性就是要使汽车在行驶时“有惊无险”；而被动安全性则要做到汽车发生事故时“车毁人不亡”。由于汽车被动安全性总是与广义的汽车碰撞事故联系在一起，故又称为“汽车碰撞安全性”。

汽车碰撞安全性问题自汽车诞生以来就存在，但在早期由于车速较低，车辆相对较少而未引起人们的重视。随着轿车的大规模生产和使用，也由于车速的不断提高，碰撞安全性问题变得越来越突出。汽车发生碰撞事故后，不仅给车辆本身造成损坏，更重要的是造成乘员受伤，甚至死亡。当汽车与行人发生碰撞时，还会造成行人的伤亡。据统计，目前全世界每年死于车祸的人数达 100 万人，伤残的人数达数千万，而国内每年车祸致死的人数超过 8 万，致伤者数百万。因此，汽车交通事故已成为当今威胁、残害人类生命的一大公害。汽车交通事故造成的大量人员伤亡自然带来一系列社会和经济问题，严重影响了人们的生活和生产，不得不引起人们的高度重视。

1.2 汽车碰撞事故分类及特征

汽车碰撞事故可分为单车事故和多车事故，其中单车事故又可细分为翻车事故和与障碍物碰撞事故。翻车事故一般是驶离路面或高速转弯造成的，其严重程度主要与事故车辆的车速和翻车路况有关，既可能是人车均无大恙的局面，也可能造成车毁人亡的严重后果，图 1-1 ~ 图 1-3 列举了翻车的几种典型状态。与障碍物碰撞事故主要可分为前撞、尾撞和侧撞，

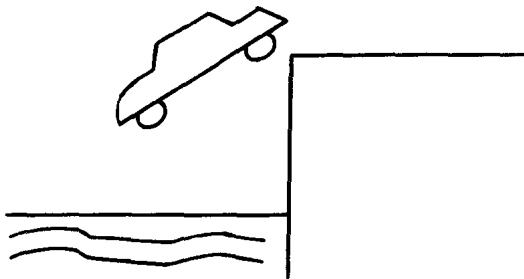


图 1-1 正向坠崖翻车示意图

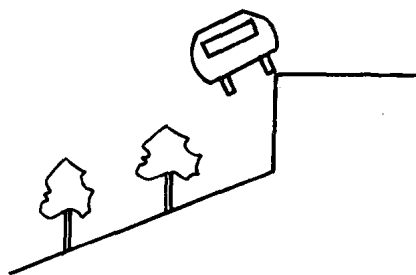


图 1-2 侧向坠崖翻车示意图

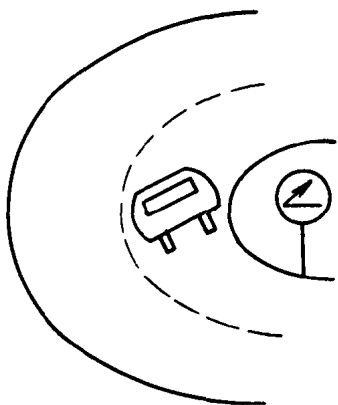


图 1-3 高速转弯翻车示意图

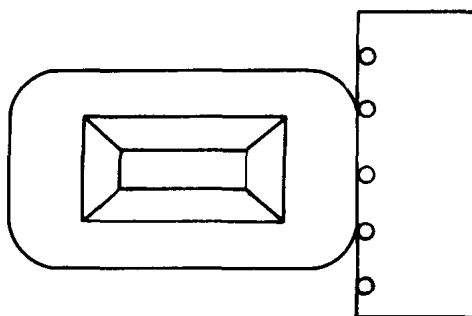


图 1-4 与刚性墙正碰

其中前撞和尾撞较常见，而侧撞较少发生。与障碍物碰撞的前撞和尾撞又可根据障碍物的特征和碰撞方向的不同再分类，图 1-4 ~ 图 1-9 为几种典型的汽车与障碍物碰撞案例。尽管在单车事故中，侧撞较少发生，但当障碍物具有一定速度时也有可能发生，如图 1-10 所示。

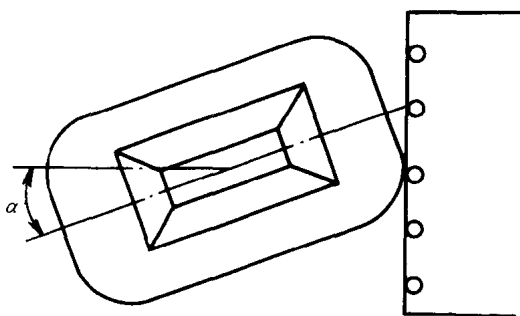


图 1-5 与刚性墙斜碰

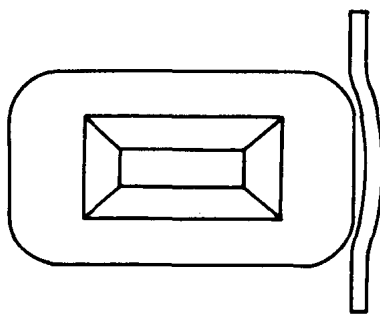


图 1-6 与护栏正碰

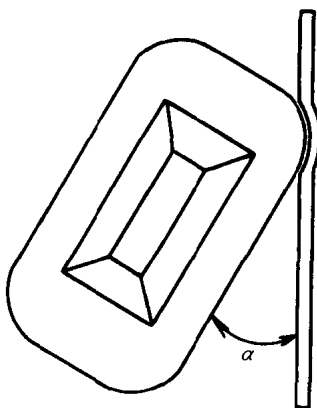


图 1-7 与护栏斜碰

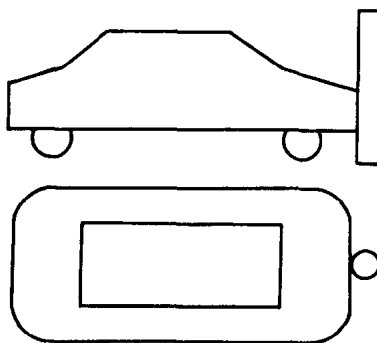


图 1-8 与刚性柱碰撞

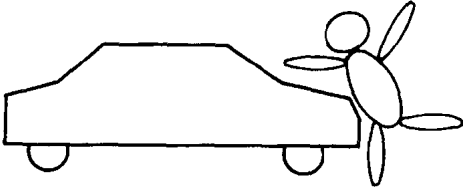


图 1-9 与行人碰撞

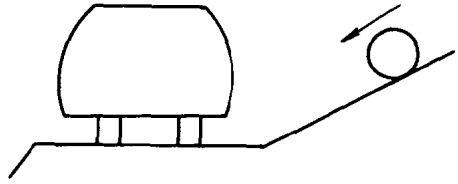


图 1-10 单车侧碰事故示意图

从上述讨论不难看出，单车事故中汽车可受到前、后、左、右、上、下的冲击载荷，且对汽车施加冲击载荷的障碍物可以是有生命的人体或动物体，也可以是无生命的物体。显然障碍物的特性和运动状态对汽车事故的后果影响较大。这些特性包括质量、形状、尺寸和刚性等。这些特性参数的实际变化范围很大，如人体的质量远比牛这类动物体的质量小，而路面和混凝土墙的刚性远比护栏和松土的刚性大。障碍物特性和状态的千变万化导致的结果是对事故车辆及乘员造成不同类型和不同程度的伤害。由于对人体的伤害机理和损伤分类远比对汽车的损坏分类复杂，这里只对单车事故中车辆结构损坏和状态改变进行初步讨论，而将对人体的伤害问题放在 1.3 节中单独讨论。上面提到单车事故中可受到来自前、后、左、右、上、下六个方向的冲击载荷，这些载荷将在相应的方向使汽车的运动和动力学特性改变，如产生变形和加速度（或减速度）等。由于汽车刚度和强度的不均匀性以及障碍物的不均匀性，汽车的变形和加速度等特性参数的分布也将是极不均匀的，因此难以用少数的参数来完全描述。但从安全性分析的角度来看，提炼出一些特征参数来定性表述安全性的好坏是非常有益的。这些特征参数包括乘员空间在上述六个方向的最大变形量和汽车质心加速度分量等。显然，乘员空间变形造成了对乘员直接损伤的威胁，而汽车的加速度则通过改变乘员与汽车的相对运动关系间接威胁乘员的安全。由于轮胎的缓冲作用和汽车底部具有较大刚性的结构的保护，一般由来自汽车下面的冲击载荷产生的乘员空间变形和加速度，远比其他方向冲击载荷产生的乘员空间变形和加速度小。

多车事故为两辆以上的汽车在同一事故中发生碰撞，如图 1-11 所示。尽管多车事故中，可能有两辆以上的汽车同时相撞，但讨论其特征时可只考虑两辆车相撞的情形，如图 1-12 所示。图 1-12a 所示的正面相撞和图 1-12c 所示的侧面相撞都是具有极大危险性的典型事故状态，且占事故的 70% 以上。追尾事故在市内交通中发生时，一般相对碰撞

速度较低。但由于追尾可造成被撞车辆中乘员颈部的严重损伤和致残，其后果仍然十分严重。从图 1-12 不难看出，在多车事故中，不同车辆所受的碰撞类型是不一样的，如在图 1-12a

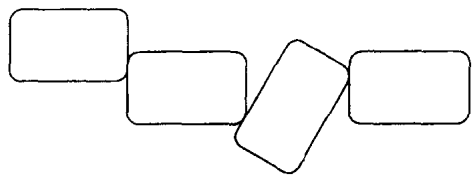


图 1-11 多车事故示意图

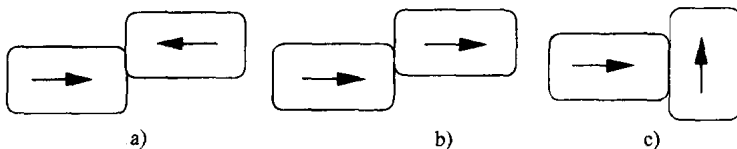


图 1-12 两车相撞的几种典型状况

a) 正撞 b) 追尾 c) 侧撞

所示的正面碰撞中，两辆车均受前撞；在图 1-12b 所示的追尾事故中，前面车辆受到尾撞，而后面车辆却受前撞；在图 1-12c 所示的侧撞事故中，一辆汽车受侧碰，而另一辆汽车却受前撞。在多车事故中，汽车的变形模式也是千变万化的，但与单车事故比，它有两个明显的特征：即①在多车事故中一般没有来自上、下方向的冲击载荷；②给事故汽车施加冲击力的均为其他车辆，尽管不同车辆的刚性不一样，但没有单车事故中障碍物的刚性变化大。

在实际生活中，除了以上描述的典型单车事故和典型多车事故外，还有这两类典型事故的综合型事故，如多车事故中，一辆或多辆车与行人或其他障碍物发生碰撞。对于这类综合型事故的分析，可结合典型单车事故和典型多车事故的分析方法来讨论。

以上讨论了汽车碰撞事故的一些典型类型，但在实际生活中，汽车事故发生的状态和结果千差万别，很难用有限的篇幅描述全部可能出现的情况。同时，从上述分析可以看出，尽管单车事故看上去只涉及单一车辆，似乎情况相对简单，但车辆本身可能造成的损伤比多车事故更复杂，因为单车事故包括了上、下受冲击载荷的情形，而多车事故中一般不包括这一情形。因此，在以后的讨论中，将主要以单车事故的状态为参考，有关方法和结论仍然适用于对多车事故的分析。

1.3 汽车碰撞事故中的人体损伤机理

由汽车碰撞事故造成伤亡的人员有两类，即车内乘员和车外行人。对行人而言，汽车碰撞事故对人体的损伤都是通过汽车对人体的直接碰撞作用造成的。但对于车内乘员而言，碰撞造成的人体损伤机理较为复杂。如果没有安全带的有效保护，乘员在正撞中很容易向前翻飞，前排座乘员常撞碎挡风玻璃，飞出车外。若安全带发生作用，乘员一般不会飞离座位，但可能与汽车内饰件发生碰撞，导致不同部位的损伤。即使乘员在安全带的有效作用下不与汽车内饰件发生碰撞，乘员头部和颈部等也可能由于承受过大的加速度而损伤，或者胸部由于承受过大的安全带压力而损伤。当安全气囊发生作用时，乘员一般可免受与内饰件碰撞，但与气囊覆盖件和气囊的接触可能导致外伤或烧伤。

综上所述，大多数情况下车内司乘人员伤亡都是由于汽车碰撞导致司乘人员与车内部件的碰撞造成的。为讨论方便，人们常将汽车的碰撞称为“一次碰撞”，而将人体与车内部件的碰撞称为“二次碰撞”。显然“二次碰撞”是由于“一次碰撞”导致人体与汽车快速相对运动而造成的。

根据人体生物力学的特性，汽车碰撞造成的人体损伤可分为机械损伤、生物损伤和心理损伤。机械损伤指人体在外界直接的碰撞载荷作用下产生的内伤和外伤，如骨折和皮肉撕裂等，也即外载的强度超过了人体骨骼或肌肉组织的承受极限；生物损伤指在碰撞导致的加速度作用下人体某些部位如大脑产生的生物功能损伤，如脑组织发生分离而失去知觉等；心理损伤指碰撞过程对人的心理造成的惊慌和恐惧感等。

司乘人员在碰撞过程中受到损伤的主要原因可归纳为以下四点：

- 1) 一次碰撞过程过分剧烈，以致传递到司乘人员身上的加速度值超过了人体的耐受极限，使人体器官受到损伤。
- 2) 碰撞过程中乘坐室外部刚硬物体（如发动机）侵入乘坐室内部，直接将司乘人员挤压伤亡。

- 3) 司乘人员在车内遭受单次或多次“二次碰撞”而受伤。
- 4) 在碰撞过程中,乘坐室变形太大,以致司乘人员缺乏生存空间而伤亡。

1.4 汽车碰撞安全法规

为了减轻汽车碰撞事故对人类造成的危害,汽车工业发达国家先后针对汽车碰撞事故中常见的人体损伤和其他危害制定了相应的汽车碰撞安全法规。其中最著名的是美国和欧洲碰撞安全法规,除此之外,日本、澳大利亚和我国也都先后建立了自己的碰撞安全法规。汽车安全法规一般包括防止事故发生、减轻碰撞事故时对乘员的损伤以及发生事故后的防护等内容。对车辆而言,最难以满足的性能要求也就是法规关于碰撞安全性方面的要求。

碰撞安全法规主要规定车辆对车内乘员、路上行人的碰撞保护性能。目前,美国、欧洲、日本和澳大利亚等国家的汽车碰撞安全法规针对的主要碰撞事故类型是前碰撞(包括正面碰撞与偏置碰撞等)和侧面碰撞,但发展的方向会将行人碰撞保护包括在内,目前碰撞安全法规主要是针对轿车而制定的,并将逐步扩大到轻型载货汽车、多用途客车等车型上。

相对于欧、美、日等汽车工业发达国家来说,我国的汽车碰撞安全法规制定得较晚,直到2002年才开始实施,并且目前法规涉及的主要内容也只是车辆前部正面碰撞,其中最主要的法规是CMVDR 294——《关于正面碰撞乘员保护的设计规则》。随着我国加入WTO,我国的汽车碰撞安全法规将会很快达到与国际接轨的程度。

为更好地指导汽车碰撞安全性的设计与改进,本书将在第2章进一步介绍汽车碰撞安全法规。

1.5 碰撞安全措施

由于汽车碰撞安全法规是指导汽车碰撞安全性设计与改进的依据,改善碰撞安全性的措施一般都瞄准如何直接和间接地降低法规所规定的伤害指标这一总目标。纵观国内外现有技术状况,汽车碰撞安全措施主要可分为两类,即①汽车结构缓冲与吸能措施;②车内乘员保护措施。以下分别对这两类安全措施作一简介。

1.5.1 汽车结构缓冲与吸能措施

尽管“二次碰撞”是造成人体损伤的直接原因,但“一次碰撞”在很大程度上决定了“二次碰撞”的剧烈程度,因此“一次碰撞”对人体损伤有很大影响。控制好“一次碰撞”,对减少人体损伤有重要的意义,合理设计汽车结构的缓冲与吸能特性是控制好“一次碰撞”的关键。为便于汽车碰撞安全性分析,汽车可分为如图1-13所示

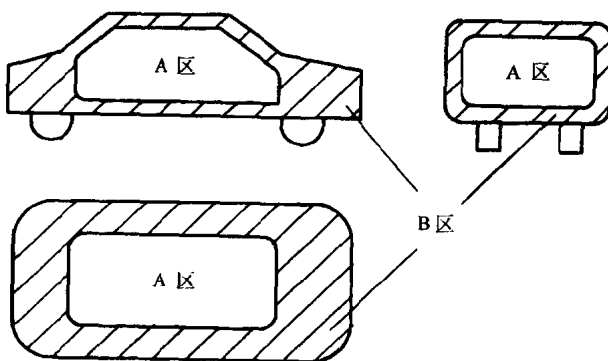


图 1-13 汽车乘员安全区和缓冲吸能区示意图
A 区—乘员安全区 B 区—缓冲吸能区

示的两类区域，即乘员安全区（A区）和缓冲吸能区（B区）。

很显然，仅从乘员不被汽车碰撞变形后产生挤压受伤的角度看，乘员安全区在碰撞中的变形越小越好。要使A区变形小，就要求缓冲吸能区（即B区）有较大的总体刚度，但B区的刚度过大又会影响汽车的缓冲吸能性能。从缓冲吸能角度讲，B区的刚性应足够小，变形应足够大，这就导致了A区变形小与B区变形大的矛盾。为解决这一矛盾，B区必须设计成“外柔内刚”式的结构，即B区与A区交界处设计成具有较大刚性的结构，而在B区外围设计成具有较小刚性和较好缓冲吸能的结构。由于汽车的结构特点所限，B区抗侧向和上方的碰撞能力较差，而抗前撞和尾撞的能力相对较好。如前面所述，由于汽车轮胎的作用和受汽车底部结构刚性较大的保护，所有汽车抗击来自下方的冲击能力很强，而且，除非汽车坠崖，来自下方的碰撞冲击力一般也较小，所以一般不考虑针对下方冲击载荷的缓冲与吸能。

针对汽车前撞和尾撞的缓冲吸能机构，一般多采用不同截面形状的金属薄壁吸能管，如图1-14所示。这类薄壁吸能管在经受一定的轴向载荷后便会产生如图1-15所示的折叠式塑性变形，从而消耗大量碰撞动能，达到缓冲的目的。通过改变吸能管的截面形状、尺寸、壁厚和材料特性等参数，就能使其具有不同的缓冲吸能特性，从而满足不同汽车结构和性能的要求。尽管薄壁吸能管已成为国内外前撞和尾撞缓冲吸能的主要结构措施，但汽车其他结构的缓冲吸能性能也不容忽视，如车身骨架和覆盖件等在前撞和尾撞中都有重要的缓冲和吸能作用。

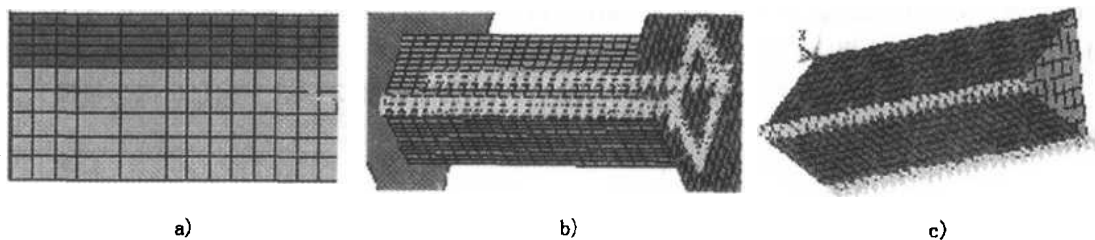


图 1-14 不同类型的金属薄壁吸能管
a) 矩形截面点焊式 b) 矩形截面焊缝式 c) 三角形截面焊缝式

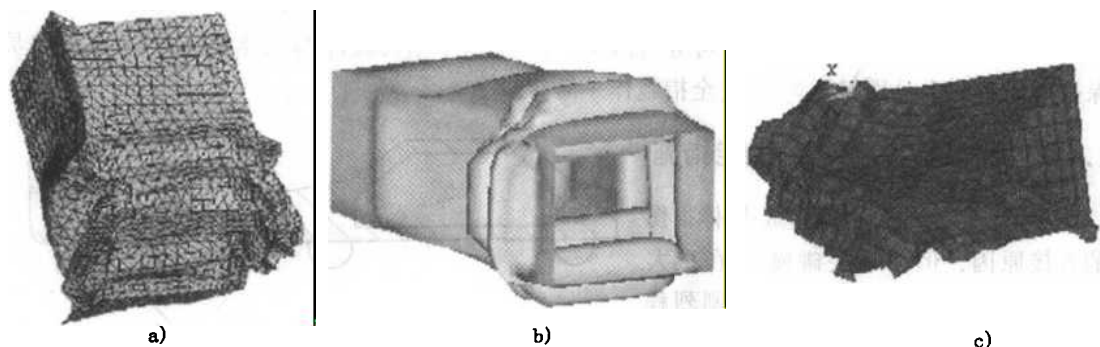


图 1-15 不同类型的金属薄壁管的变形模式
a) 矩形截面点焊式 b) 矩形截面焊缝式 c) 三角形截面焊缝式

对于侧撞而言，缓冲吸能结构的设计比较麻烦，其中最大的问题在于即使有足够好的材料来制作缓冲吸能结构，但能用于缓冲和吸能的区间却十分有限。从理论上讲，现有的大多数汽车结构设计都难以提供能与前撞和尾撞耐撞性能相比的耐侧撞性能。现在常用的改进抗

侧撞性能的方法主要包括两个方面，即增加 B 区两侧的厚度和加大 B 区两侧的内部刚度。值得提出的是，如果突破传统的汽车底盘设计思路，有可能从本质上改善汽车的抗侧撞性能，如车轮按菱形布置的汽车就因为车轮能参与抗击侧撞变形而具有特别优良的抗侧撞特性，如图 1-16 所示。

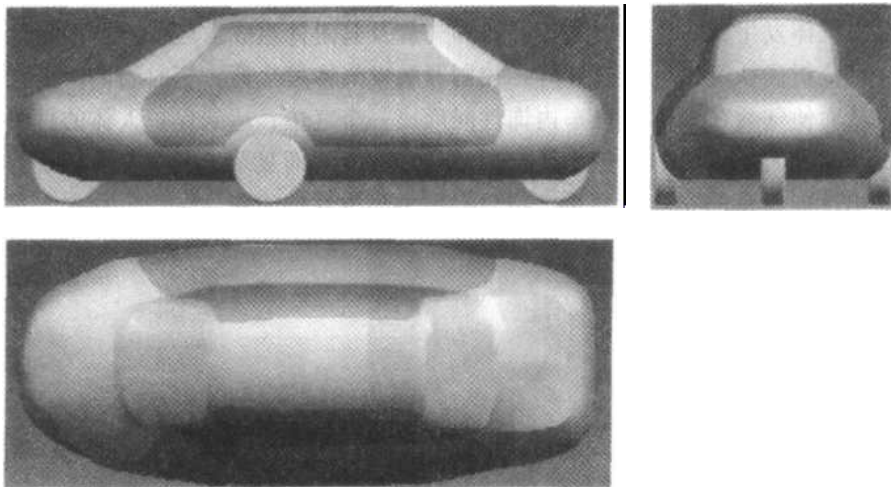


图 1-16 具有优良抗侧撞性能的车轮按菱形布置的汽车

如果汽车在碰撞中发生翻滚，就可能受到车顶方向的冲击载荷。由于车顶方向的刚度很低，这种载荷很容易造成乘员安全区的大变形。要改善这一方向的刚度特性主要靠加强车辆 A 柱（指前风窗与前门之间的立柱，简称风窗立柱）、B 柱（指前门与后门之间的立柱）和 C 柱（指后门与后窗之间的立柱）的刚度及顶棚的刚度，但由于顶棚的结构厚度受到汽车总体尺寸和总质量的限制，车顶棚的刚度增加是非常有限的。庆幸的是，即使发生翻车，作用在顶棚上的冲击载荷一般也比正撞或侧撞时作用在汽车上的冲击载荷小得多，因而车顶棚的刚度可以比其他部位的刚度小很多。

合理设计汽车的结构，以使乘员安全区在变形尽可能小的情况下获得优良的缓冲与吸能性能，是汽车碰撞安全性设计与改进的基本目标。

1.5.2 车内乘员保护措施

为了减轻“二次碰撞”给人体造成的伤害，车内乘员碰撞保护措施越来越被重视，且其性能也在不断提高。车内乘员碰撞保护措施主要包括安全带、安全气囊、安全转向系统、安全座椅和仪表板等。

安全带的作用是使乘员在汽车碰撞时不飞离座椅与汽车内饰件发生剧烈碰撞。图 1-17 为典型安全带系统示意图。当汽车受到碰撞载荷时，人体作用在安全带上的力使安全带的运动速率超过一定的阈值后，安全带系统的锁紧机构发生锁止，限制安全带继续抽出，从而达到约束乘员运动的目的。由于汽车碰撞时加速度值一般都较高，用于约束人体的力要相当大才能达到有效保护的目的，因此安全带要求有



图 1-17 典型三点式安全带系统

足够高的强度，并且其固定点和锁紧装置要在规定的极限碰撞载荷作用下保证不失效。安全带的另一个重要性能指标是冲击载荷作用下的延伸率，延伸率过大将降低保护效果。此外，安全带固定点位置和锁紧装置的敏感性和刚度都对其保护性能有重要影响。

安全气囊是避免乘员与汽车内饰件发生直接碰撞的有效手段。目前主要有防正撞和防侧撞气囊两大类型，如图 1-18 所示。无论是防正撞气囊还是防侧撞气囊，其系统组成都是一样的，即都由气体发生器、传感器与控制器和气囊及其附件组成。当传感器探测到相关的碰撞信号，并经分析确认气囊应被打开时，控制器触发气体发生器，短时间内产生大量气体对气囊充气，从而使气囊在人体与汽车内饰件间形成一个气垫，达到保护人体的目的。虽然安全气囊的工作原理看上去简单，但由于它的工作过程短暂而复杂，并受众多因素的影响，所以设计制造出性能优良的安全气囊是一项具有很大挑战性的工作。

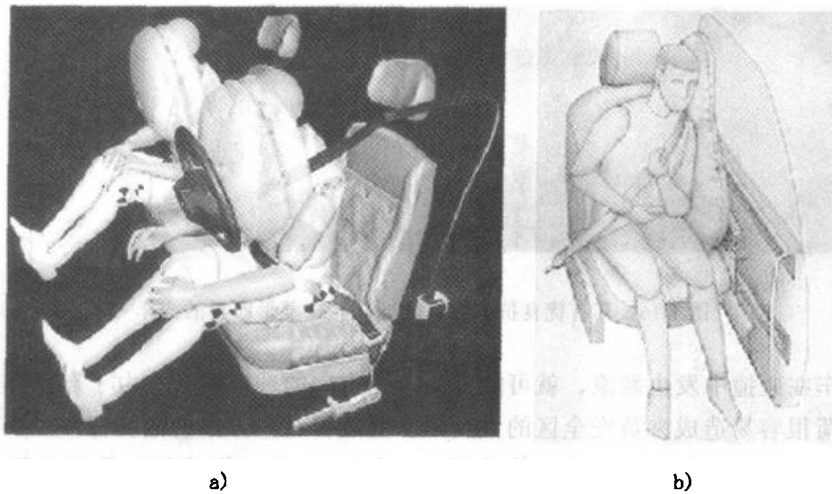


图 1-18 汽车安全气囊工作示意图
a) 防正撞安全气囊 b) 防侧撞安全气囊

安全转向系统主要包括转向盘和压塌式转向管柱。当汽车发生前撞时，驾驶员的头部或胸部较易与转向盘发生碰撞，从而加大头部和胸部的伤害指标值。为解决这一问题，可将转向盘的刚度进行优化，使其在满足转向刚性要求的前提下，尽量降低抵抗驾驶员的碰撞刚度；同时使转向盘的塑胶覆盖层尽量软化，以降低其表面接触刚度。压塌式转向管柱可有多种形式，其主要功能要求是当转向盘受到的碰撞力达到一定阈值时，转向管柱能顺利地产生位移（被压塌），从而将转向盘提供的碰撞阻力限制在一定的峰值。

安全座椅包括两类，即标准配置中的安全座椅和专为小孩配置的安全座椅。对于标准配置中的安全座椅，一方面应考虑与安全带配合防止乘员在汽车前撞中发生“潜水”现象；另一方面应优化设计头枕，以使乘员颈部在尾撞中少受或免受伤害。防“潜水”现象的座椅设计一方面要考虑座椅表层材料具有合适的摩擦特性，另一方面要提供合理的椅垫形状，以获得足够的抗“潜水”阻力。专为小孩配置的安全座椅一般都朝向向后安置，主要保护前撞中的未成年乘员少受或免受伤害，其主要特性要求包括足够的刚性和表层缓冲吸能性能。目前国内几乎没有专为小孩配置的安全座椅。

仪表板的安全性设计也是至关重要的，其中要考虑的因素主要是在保证基本刚度以满足结构功能要求的前提下，提供尽可能好的缓冲吸能性能。性能优良的仪表板设计可有效降低

“二次碰撞”对人体头部和腿部的损伤。

以上仅讨论了从汽车结构和车内设施方面提高汽车碰撞安全性涉及的一些主要问题，为本书对这些问题的进一步讨论作个铺垫，具体的碰撞安全性分析、设计和优化理论与方法将在以后相关章节专门探讨。

1.6 碰撞安全性设计与分析方法

上节简短地讨论了提高汽车碰撞安全性的主要途径。如何通过这些途径真正达到满足碰撞安全法规要求的目的是，是一个非常复杂而又具极强挑战性的问题。众所周知，汽车碰撞过程一般是一个复杂的瞬时物理过程，它包含成百上千个零件的复杂变形和相互作用，具有很强的非线性特性，其中包括以大变形、大应变为特征的几何非线性，以弹塑性变形为特征的材料非线性，以不同零部件表面接触摩擦作用为特征的边界非线性。这些非线性特性综合作用的结果是，使汽车碰撞过程的设计和分析变得非常棘手。正因如此，早期的汽车碰撞安全性设计主要凭工程师的直觉、经验和试验方法来完成。

在进行安全性设计时，人们首先要确定一个设计目标，即在什么样的条件下达到什么样的要求。在早期阶段，由于车速较低，缓冲吸能问题一方面不很突出，另一方面被认识和受重视程度都不够，所以人们直觉地将汽车设计成刚性足够大，并在前面和后面安装防撞保险杠，而其他结构则主要根据相应的功能要求来确定其形状与尺寸，很少会综合考虑到碰撞安全性的问题。随着车辆的增多、车速的提高，碰撞事故越来越多，人们便逐渐认识到碰撞安全问题的重要性，同时碰撞事故的结果也为工程师提供了碰撞安全性设计与改进的参考依据。碰撞事故中很多共性的东西被提炼出来，变成人们的共识和公认的设计规范，从而使汽车碰撞安全性设计水平不断进步。这是一个自然的从实践到理论，再从理论到实践的认识世界和改造世界的过程，尽管有效，但周期太长，远远满足不了社会经济快速发展的要求。

为了更快、更好地研究和设计汽车的碰撞安全性，人们开始系统地开展碰撞过程的理论分析和试验研究。这方面的工作包含两个部分，一部分是理论分析方法和试验研究方法本身的研究，另一部分是这些方法的工程应用。在理论分析方法中，人们通过解剖碰撞过程，了解它的细节，从而了解碰撞缓冲、吸能和对人体的损伤机理。同时，通过解析的方法，建立相对简单的碰撞动力学模型，试图通过定量分析来评估碰撞过程的有关重要特性。由于碰撞过程太复杂，解析方法能提供的帮助是非常有限的，这种定量分析手段一般也只能给出一个定性的结论。另一方面，人们开展了碰撞试验技术的系统性研究，发明了各种实车碰撞、台车碰撞和零部件碰撞试验技术与装置，建立了试验标准和规范。由于其直观性和真实性，碰撞试验不仅在生产实际中有力地帮助了汽车碰撞安全性的改进和提高，而且还极大地丰富了碰撞理论，为推动碰撞安全技术的进步起到了重要作用。

尽管汽车碰撞试验能为汽车碰撞安全性设计提供强有力的帮助，但由于它依赖于实物，并且要通过反复的试验——修改——再试验的迭代过程，不仅周期长、费用高，而且由于试验手段和条件的限制，并不能解决设计人员希望解决的全部问题，如真实的吸能分布等。随着计算机技术和计算方法的发展，汽车碰撞过程的计算机仿真技术应运而生，且日益成熟，在汽车碰撞安全性设计与改进中显示出巨大的作用和潜力。通过对汽车碰撞过程建模和仿真，人们在计算机中就能对汽车碰撞过程进行详细的分析和评估，从而发现问题，为下一步