



中国汽车工程学会

汽车工程图书出版专家委员会 推荐出版



车辆工程先进技术研究丛书

汽车碰撞

安全工程

Vehicle Crash Safety Engineering

邱少波 著

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS



中国汽车工程学会

汽车工程图书出版专家委员会 推荐出版



车辆工程先进技术研究丛书

汽车碰撞

安全工程

Vehicle Crash Safety Engineering

邱少波 著

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书系统地探索了困扰汽车安全界的多个关键问题,如整车耐撞性与约束系统的能量均衡、传统约束系统与安全气囊的技术极限突破、用微结构化技术解决耐撞性与轻量化之间的冲突、被动安全与主动安全的系统整合等。同时将安全、轻量化和智能化等进行有机整合,提出了安全技术未来发展的多途径解决方案,并在最后提出了如何从人文立场出发制定科技发展策略,以及如何保证让科技服务于社会的问题。

本书可供车辆工程的汽车安全工程师、结构工程师、产品工程师等工程技术人员学习参考,也可供车辆工程专业学生学习参考。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

汽车碰撞安全工程/邱少波著. —北京:北京理工大学出版社, 2016. 1

ISBN 978-7-5682-1047-8

I. ①汽… II. ①邱… III. ①汽车-安全性-碰撞试验 IV. ①U461.91

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第190541号

出版发行/北京理工大学出版社有限责任公司

社 址/北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编/100081

电 话/(010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址/<http://www.bitpress.com.cn>

经 销/全国各地新华书店

印 刷/北京通州皇家印刷厂

开 本/787毫米×1092毫米 1/16

印 张/23

字 数/481千字

版 次/2016年1月第1版 2016年1月第1次印刷

定 价/96.00元

责任编辑/孟雯雯

文案编辑/多海鹏

责任校对/周瑞红

责任印制/王美丽

图书出现印装质量问题,请拨打售后服务热线,本社负责调换

我与本书的作者已共事超过 25 年，他始终工作在汽车安全技术研究与产品开发的前沿，是我国在该领域的学术带头人之一。他与其团队的工作业绩见证了中国汽车安全行业从无到有、从小变大的发展历程：2000 年，在一汽红旗轿车上开发出中国市场上第一个机械式安全气囊；2002 年，在红旗轿车上开发出中国第一个电子安全气囊；2007 年，在国内首次推出配有侧撞气帘的奔腾 B70 轿车；2012 年，全新自主研发的红旗 H7 轿车通过欧洲 ENCAP 五星测评；2013 年，国内首款搭载 ACC、AEBS、LDW 等先进驾驶辅助功能的自主车型红旗 H7 轿车面市……

当前，能源、环保、交通和安全方面的四大公害已是汽车产业发展必须解决的问题，低碳化、信息化、智能化成为汽车技术发展的重大方向。我与本书作者在此方面经常进行交流，他在安全研究方面的学术底蕴，特别是在智能汽车和智慧城市方面的前瞻思考和深入钻研给我留下了深刻印象。今天，我十分高兴看到他将多年的研究经验总结成专著，这其中既凝聚了他与团队的成就，也是对我国汽车技术创新的一个重要贡献。

这本著作从科学理论和应用技术两个维度思考问题，较系统地探索了困扰汽车安全界的多个关键问题，如整车耐撞性与约束系统的能量均衡、传统约束系统与安全气囊的技术极限突破、用微结构化技术解决耐撞性与轻量化之间的冲突、被动安全与主动安全的系统整合，等等。这不仅是作者多年经验知识的总结，又是他对未来汽车安全技术的前瞻性审视。此外，作者对传统的汽车碰撞安全机理进行了梳理，叙述了自己的能量分析理论模型及其应用，同时将安全、轻量化和智能化等进行有机整合，提出了安全技术未来发展的多途径解决方案。著作中叙述了很多下一代技术与产品方案，无论是对基础理论研究，还是对技术创新、产品开发，都会起到开拓思路的参考作用。

该著作的结尾第 11 章还对汽车安全技术引入了人文思考，从科技之外反思科技，提出了如何以人文立场为上层建筑制定科技发展策略，以及如何保证科技的理性与尊严的问题。作者以超越专业的视角审视本专业的技术挑战，并在著作中手绘许多插图，用一种简洁、直接的思维逻辑把理论原理准确地传达给读者。

我认为，本书是汽车安全技术研究方面一本难得的专著，对工程师而言是一本宝贵的参考书，是作者几十年来的理论造诣和实践的结晶。作为同事，我为作者感到骄傲，也衷心祝愿他再接再厉，在汽车安全技术以及智能汽车与智慧交通的自主创新方面取得更大的成绩。

中国工程院院士

李骏

本书为具有一定汽车安全基础知识的工程师编写，试图从产品诞生过程的角度对安全性能开发方法进行分析，从社会环境的角度对技术发展进行理解，对于车辆技术法规、NCAP 试验规则、人体伤害评价与测试方法、有限元仿真分析方法、多刚体仿真分析方法等相关基础知识，建议读者参阅更详细的相关专著文献。本书只帮助读者理解如何运用这些知识和工具，而没对相关基本原理进行系统性介绍。

20年前国内汽车界被动安全设计才开始起步时，关于车体结构设计和乘员约束系统匹配的知识很零散，还找不到能系统解答本专业技术问题的参考书，所以只能尝试着将杂志上散落发表的知识拼凑成自己想象的理论构架。虽然经过一段时期的工作以后，对基本的被动安全知识有了一定的了解，但是针对一个设定的产品安全目标，往往还是觉得茫然，不知应当如何下手去规划一个开发路线和计划。随着经验的积累，当初某些模糊的概念与猜测已逐渐变得清晰起来。每当一个长期困惑得出解释的时候，你会发现道理其实非常简单，但它却花费了自己太多的搜索时间。为此，本人一直希望能同刚开始车辆安全工作的年轻同事们分享自己的经验，避免他们走不必要的弯路。

虽然有些问题会得到暂时的答案，但这些答案经常会引发更多的问题。所以本书不着重提供知识，而只是尝试一些分析问题的方法，所得到的结论远非“正确”。从这个角度讲，本书并不是一本教材，而是一个“对话”。

进行车体设计时，遇到的第一个问题是：“什么是‘好’的碰撞波形？”本书在总结工业界关于这个问题的共识答案的基础上，通过对美国高速公路安全管理局（NHTSA）新车评价试验（NCAP）数据库的分析，制定了车体碰撞波形质量的评判标准，可用来对车体的碰撞性能进行对比控制。可以说，如果车体的波形响应没有达到一定的质量标准，后续的约束系统调整工作将会十分困难，有时甚至是注定要失败的。随之而来的问题是，确定了那些目标波形以后，如何用结构设计去实现它呢？目标波形是指在时间域里对碰撞特性的描述，是没有办法直接体现其与结构尺寸的对应关系的。为此，本书强调了位移域内对目标波形进行分析的重要性，并提供方法建议，以便使车体结构工程师们可以针对目标波形开展结构设计的“能量管理”，将时间域内的碰撞波形与空间域内的结构强度分布联系起来。

即便是结构工程师们已经设计出了“好”的碰撞波形，也并不意味着一定会取得优异的乘员保护效果，因为特定的乘员约束系统并不具备普通的接口性能，只有和车体的碰撞响应进行“匹配”才能发挥其最佳潜能。本书的观点认为，成功匹配约束系统的一个前提是能够把足够的人体碰撞动能导入车体变形吸能渠道里去，而不是单独让约束系统去承担。本书将

这个双渠道吸能现象称为“重叠吸能”现象，并通过对美国 NCAP 数据库的观察，总结了控制重叠吸能率的设计方法。在保证足够的乘员碰撞动能被车体变形吸收以后，约束系统工程师可以根据本书第 4 章提供的图示分解法对子约束系统（安全带、安全气囊、转向柱、仪表板）进行外特性概念设计。虽然目前仿真工具已经很发达，但是在进行运算之前，工程师还需要对算题进行边界条件定义。约束系统的边界变量种类繁多，相关影响错综复杂，可以说是“牵一发而动全身”，进行遍历性组合尝试显然很不现实。掌握概念设计方法，可以让工程师在执行大量仿真运算之前，有选择地确定计算计划，针对性地设置边界变量。随着仿真工具能力的提升，工程师有越来越过度依赖于 CAE 软件的倾向，从而退化了自己的工程判断能力。本书第 3 章和第 4 章利用碰撞力学和统计分析方法对基本概念进行了解析，希望能引起工程师对碰撞过程事物本质的重视，以便让工程师在拥有强大计算能力的同时能够掌握明确的方向感。

2 用于碰撞安全性能开发的资金有时会占车型开发总费用的三分之一，是耗资最大的验证领域之一。车型项目经理能否按照项目的安全性能目标、资金限制、时间节点做好周密的安全开发计划，关系到整个车型开发的成败。几乎每一个车型都会纠结于充分验证和削减消耗的矛盾之中，一方面是因为安全性能验证在时间上贯穿车型的三个研发阶段，方法上又在 CAE、台车与整车三个层面上同时开展，其间的交错有时令人眼花缭乱，项目经理很难判断“验证矩阵”的合理性；另一方面，增加一项试验或减少一项验证，项目经理如果没有安全专业背景，很难理解其连带后果是什么。按照本书第 5 章的推荐方法，读者可以建立起一个安全工程师与项目经理沟通的平台。安全工程师也可以参照这种思维角度，有条不紊地编制整车碰撞、台车碰撞、CAE 仿真三个层面的验证矩阵，同时清晰地意识到哪些是自己有意忽略掉的未验证内容，以便在研发资源、时间、成本上取得综合平衡。

从事技术研发领导工作的读者可以参考本书观点，延伸阅读相应的参考文献，理解本专业的前沿技术趋势，对新技术的研发方向进行决断。

汽车安全工程师必须认识到，技术法规永远不是车辆安全设计的最终目标，那只是安全性能的最低要求，汽车耐撞性设计也不是碰撞安全的最终解决方案。汽车安全对策必须放在社会大环境里去思考，现有的产品安全技术以及安全性能设计工具必须加以根本变革，才能应对智能化时代与第四次工业革命带来的挑战和机遇。安全工程师应当用社会和未来的眼光看待技术开发。为此，本书对未来安全技术从约束系统、轻量化车身、CAE 工具和智能避撞四个领域进行了趋势分析与判断。结合亲历的前瞻技术研究项目，吸气式气囊、微结构材料应用、分布式 CAE 仿真平台被选择为前三个领域里的代表性技术加以介绍。需要指出的是，车辆安全的技术发展极有可能会在这四个领域里取得突破，但是不会局限于书中所述的解决方案。

被动安全技术已经开始出现与主动安全技术融合的趋势。例如，利用现有的避撞技术进行碰撞的提前预警，尽早起爆气囊，就会挽救更多的生命。互联智能驾驶技术也会使事故率大大降低。若车辆结构和行为发生改变，事故模式也许会与现在有所不同，约束系统将会发生相应进化，而避撞技术会使当今坚固的耐撞车身重量大大降低。

本书第 10 章提醒安全工程师们要随时对这些趋势加以关注。

一个有责任的安全工程师肯定不会止步于车辆的五星安全，他一定会更关注一切技术措施所带来的最终社会效益。发源于北欧的道路交通“零”伤亡运动的理念是：为移动出行而付出的任何伤亡代价都是不可接受的。交通系统的安全性能起因于车辆，但措施并不局限于车辆。要想达到“零”伤亡目标，一定要关注车辆在交通环境里的行为表现，一切技术法规都是以事故现象观察为依据的。我们对国内道路交通事故的成因、机理的对策分析还不够充分，通过本书的第 11 章叙述，希望唤起工程界对此的关注，为营造一个没有交通事故的社会而努力。

本书的编写是在众多同事与同行的帮助下完成的。

我的同事们，一汽技术中心安全研究室的郝玉敏、朱学武、于佰杰为第 3 章、第 4 章、第 5 章的概念验证提供了 CAE 运算支持和工程实例信息；周剑参加了第 3 章、第 4 章 NCAP 数据处理及 4.3.3、4.4、4.5 节的编写，并对作者的先期数据进行了补充和修正。徐楠对照片进行了处理和编辑。鞠伟、单勇参加了 3.5 节的编写。唐洪斌博士为 6.3 节提供了参考素材，包括多年以前的技术研究存档。刘维海博士为第 6 章提供了大量实验信息。张惠博士、刘斌、尚炳旭、朱明为 10.2 节内容提供了 H7 轿车 ADAS 系统的研发过程信息，并对 10.2 节提出了修改意见。

一汽技术中心 CFD 设计室的潘作峰提供了 3.4 节中相关的研究报告及插图。一汽技术中心“开发策划与科技信息部”的高波部长与张晓艳策划了本书的撰写计划，并促成了与北京理工大学出版社之间的愉快合作。没有他们二位的精心组织，恐怕本书将永远是草稿状态。

我的合作伙伴们给本书提供了诸多指导与灵感。马正东教授（Mechanical Engineering, University of Michigan, Fellow of ASTM）与本人共同编写了 8.3 节和第 9 章。马正东教授在材料科学与计算力学领域的造诣和成就令本人十分叹服。本人所在机构与密西根大学就上述章节内容（微结构轻量化材料、数字化汽车与分布式计算平台）开展了合作，并卓有成效。一汽技术中心的同事李亦文博士、秦民博士提供了中方研究素材，密西根大学机械工程系的曲悦同学为第 8 章制备了 U of M 方面的素材。

本人曾与美国 ATI/ITI 公司和中国台湾创盟公司就第 7 章所述内容（吸气式约束系统）进行合作。ATI/ITI 的于彬先生、David S. Breed 博士和创盟公司的骆光祚博士为第 7 章提供了详尽的研发背景素材。于彬先生曾与本人所在单位合作共同开发了国内首次上市的机械式安全气囊（1995 年）和电子式安全气囊（1997 年），并促成了国内首次上市的先进驾驶辅助系统（ADAS）的开发（一汽 H7 轿车，2013 年）。在国内对被动安全专业还很陌生的时候，于彬先生毫无保留地与国内同行分享了他的专业知识与见地，本人至今仍受益匪浅。另外，作为气囊技术的发明人之一，Breed 博士，H. H. Bliss 奖项得主，在业界备受尊重。书稿撰写得到此二位资深专家鼎力支持，本人深感荣幸。

吉林大学的硕士研究生马悦对公式（4.37）进行了理论修正，极大地提高了拟合精度。吉林大学的博士研究生武栎楠对本书初稿进行了文字校对并修正多遍，同时还补充了很多在编写过程中遗失的参考文献索引信息。与其一起分担这项工作的还有博

士/硕士研究生金景旭、张秋实、周浩和谢力哲。

北京理工大学出版社的李炳泉和李秀梅两位女士，给予本人以全方位的信任，并付诸艰辛努力谋求最佳的表达效果，而非甘于草率和简陋。多海鹏老师用严谨的学术态度提供了很多专业表达的修改意见。

我的朋友，福特先进工程研究中心（Ford Research and Advanced Engineering）的安全技术总监 Saeed Barbat 博士对第 4 章约束系统设计的能量理论提出了诸多宝贵的意见。Stanford 大学的 PhD 研究生 Lina Y. Qiu，对 3.3.6 节的数据分析方法提供了详细指导。

一汽技术中心的李红建博士为本书的编写提供了资源、信息、人力等全方位的支持，同时也是本人开展车身性能、被动安全、主动安全以及智能驾驶等多方面研究工作的坚强后盾和伙伴。其独立的研究成果和丰富的实践经验也给本书提供了丰富的观点。

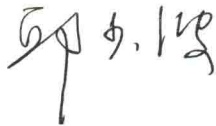
吉林大学的张君媛教授长期以来一直鼓励本人发表独立见解，并与本人开展了多年愉快的合作，其中包括理论和实践方法方面的深入探讨，同时也给本书相关研究提供了持续和无偿支持。本人受益于多项由张君媛教授主持的研究项目，因此，特请她对本书的观点进行全面检查。

没有这些同事与同行的支持和鼓励，本人无法完成本书的撰写任务。尤其是李骏院士，他是一汽“安全技术平台”和“智能化技术平台”的倡导者，为平台建设投入了大量的精力。李骏院士在日常工作中也给本书相关内容提供了技术支持，并不辞辛劳为本书作序。为此，本人向以上同人表示深深的谢意。

同时，还要感谢研究生时代的导师王立江教授。虽然已毕业多年，导师的严密学风和批判精神一直在深深地影响着学生的研习行为，虽不能时时伴尊师以左右，但谆谆教诲总能响在耳边。借此之际，谨表对导师的敬意和感激。

令人敬仰的前辈耿鼎发先生对本人的激励难以言表，特此表达崇敬之意。

最后，尤其要感谢我的家人李海丰女士和胡勤孝大人，她们总会用智慧引导我前行，永远是我生活中的支柱，更要感谢她们在本书编写期间的理解和付出。



谨以此书献给我的父亲

邱飞坦先生

第1章 概论	1
1.1 道路交通安全现状	1
1.2 车辆碰撞安全技术目标	3
1.3 碰撞安全技术现状与未来	6
第2章 乘员伤害评价	11
2.1 损伤度量方法	11
2.2 头部伤害	13
2.3 颈部伤害	17
2.4 胸部伤害	19
2.5 下肢伤害	21
2.6 损伤风险曲线	23
第3章 车体耐撞性	33
3.1 车体前方耐撞性要求	33
3.2 前端结构碰撞刚度设计	38
3.2.1 碰撞安全性对前端刚度的要求	38
3.2.2 刚度与碰撞加速度峰值	42
3.2.3 前端压缩空间的最低要求	51
3.3 碰撞波形优化	53
3.3.1 波形时域分析	54
3.3.2 波形位移域分析	55
3.3.3 车体加速度波峰平均高度对乘员伤害的影响	56
3.3.4 二阶能量比	57
3.3.5 碰撞波形长度的影响	63
3.3.6 碰撞波形质量综合评价	63
3.3.7 正面刚性壁障碍碰撞结论的扩展	66
3.4 如何实现碰撞波形目标	67
3.4.1 纵向能量管理	67
3.4.2 横向能量管理	72
3.4.3 前端结构能量管理总结	77
3.5 行人保护	80
3.5.1 行人头部保护	80
3.5.2 行人小腿保护（基于 FIEX-PLI 腿型）	84
第4章 乘员约束系统设计	89
4.1 乘员约束能量分解	89
4.2 约束系统与车体的耦合判据	92

4.3	吸能分配比的实现方法	98
4.3.1	时间判据	99
4.3.2	乘员车内位移判据	103
4.3.3	乘员速度判据	106
4.3.4	应用案例分析	108
4.4	约束系统能量单阶梯形图解分析法	108
4.4.1	单阶梯形能量图的应用方法	110
4.4.2	安全带参数计算	111
4.4.3	安全气囊刚度与泄气孔参数计算	111
4.4.4	气囊点火时间 (TTF)	113
4.4.5	转向柱设计	114
4.4.6	应用案例分析	114
4.4.7	单阶梯形法求解系统参数流程	115
4.5	约束系统能量双阶梯形图解分析法	116
4.5.1	双阶梯形的构造	116
4.5.2	双阶能量梯形的应用	119
4.6	约束系统试验主观评价	133
4.7	向其他试验条件的推广	135
4.8	约束系统的未来发展趋势	136
第 5 章	碰撞安全开发过程管理	138
5.1	安全性能验证	138
5.2	编制正面碰撞试验计划	140
5.2.1	气囊起爆条件	142
5.2.2	根据区域性法规进行试验矩阵设计	149
5.2.3	阶段性碰撞验证规划	162
5.3	整车碰撞矩阵、台车矩阵与 CAE 活动之间的交互关系	173
5.4	侧撞矩阵	180
第 6 章	碰撞安全试验验证技术	183
6.1	整车试验	183
6.2	正面碰撞滑车试验	189
6.3	侧面碰撞滑车试验	199
6.4	乘员约束系统部件与子系统外特性试验	204
第 7 章	未来约束系统技术	210
7.1	概述	210
7.2	被动安全技术发展趋势	212
7.2.1	传感技术	213
7.2.2	气体发生器技术	221

第 8 章 轻量化耐撞车身设计	231
8.1 轻量化耐撞设计要求	231
8.2 各种轻量化材料的应用	234
8.2.1 高强度钢	234
8.2.2 铝	237
8.2.3 镁	238
8.2.4 碳纤维和碳纤维复合材料	241
8.3 轻量化微结构材料	246
第 9 章 计算分析技术	261
9.1 碰撞仿真分析现状	261
9.2 虚拟碰撞实验室	263
9.3 网络分布式虚拟汽车平台	263
9.4 分布式仿真平台的中央求解器 Mega-Solver	266
9.5 分布式仿真平台的若干关键技术	268
9.5.1 分布接口算法技术	268
9.5.2 分布式网络结构设计	269
9.5.3 XML 模型描述	269
9.5.4 黏合算法	270
9.5.5 非匹配界面的处理	276
9.6 网络分布式仿真平台的搭建	281
第 10 章 避撞安全技术	288
10.1 智能化汽车发展趋势	288
10.2 现阶段智能化解决方案	291
10.3 自动驾驶汽车发展趋势	303
10.4 智能驾驶技术未来发展的挑战	308
第 11 章 迈向“零”目标	320
11.1 政府管理与组织的关键作用	320
11.2 系统性道路安全措施	324
11.3 道路安全管理最佳实践	325
11.4 国家道路安全战略的重要性	328
11.5 设立国家与地区道路安全目标的重要性	329
11.6 道路安全事故数据的重要性	330
11.7 我国现状	336
11.7.1 国家战略	336
11.7.2 道路伤亡数据	336
11.8 车辆安全性设计对道路安全数据的需求	340
附录	347

1.1 道路交通安全现状

联合国 WHO 组织发布的 2004 年、2009 年、2013 年《世界预防道路交通伤害报告》表明^[1]，每年全世界的道路交通死亡人数高达 124 万人，致伤 5 000 万人。90% 的道路交通致死事故发生在中国，每年会给这些国家带来 1 000 亿美元的损失，达到了其国民生产总值的 1.0%~1.5%，已经到了影响持续性发展的程度。WHO 预计 2020 年全球道路交通死亡人数将增至 190 万，道路交通伤亡已经成为 5~29 岁儿童/青少年死亡的全球性首因。

观察每 10 万人口死亡率数据可以发现，通过采取系统性针对措施，经济发达国家在降低死亡率方面取得了显著成就，但是发展中国家道路交通死亡率仍然居高不下，甚至呈现上升趋势。从统计数据上看，我国道路交通死亡在 2001 年以后经历了一个从上升转为下降的过程。

2009 年 11 月，第一次道路安全问题全球部长级会议在莫斯科举行，会议肯定了许多经济发达国家在过去 30 年间有针对性的、以数据为基础的伤害预防规划及实施而做出的努力，并由此看到了实现无伤亡道路网络的希望。会议肯定了《世界预防道路交通伤害报告》提出的措施建议，并促使联合国大会宣布 2011—2020 年为“道路安全行动十年”。

鉴于“全球性道路交通安全危机”已经形成，联合国大会责成 WHO 组织实施 2011—2020 年的“十年道路安全行动”^[2]，行动目标为“到 2020 年，稳定并随后降低预期的全球道路死亡水平”。行动计划由下列 5 项支柱性内容组成：

- (1) 道路安全管理；
- (2) 更安全的道路与基础设施；

- (3) 更安全的车辆;
- (4) 更安全的交通参与者行为;
- (5) 迅速的事故后响应。

其中, 车辆安全技术的进步对降低交通事故死亡率的贡献是非常显著的。美国国家高速公路管理局 NHTSA 估计, 1960—2002 年, 汽车的安全技术至少挽救了 328 551 个生命。“十年道路安全行动”在车辆安全方面的主要努力方向是: 制定全球统一的技术法规; 推广 NCAP (新车评价试验) 活动; 所有新车强制装配最低标准安全装备; 推广避撞技术; 鼓励营运车辆购买、使用和保有更安全的车辆。文献 [1] 尤其强调了以下车辆安全技术的重要性。

1) 提高车辆能见度

所谓“昼间行车灯”, 就是指白天行车时打开的前车灯, 用来增加其本身的能见度。奥地利、加拿大、匈牙利、北欧国家以及美国某些州的法律要求汽车在白天要不同程度地开灯行驶。这一措施可使道路交通事故减少 8%~15%, 被汽车撞倒行人和骑自行车者的事故分别减少了 15% 和 10%。从一个为时四年, 涉及美国九个州的研究结果来看, 装有自动昼间行车灯的车辆比不装昼间行灯的车辆涉入多车相撞事故的比例要少 3.2%。在匈牙利推行昼间行车灯法律以后, 白天发生的正面相撞事故减少了 13%。除了前面提到的昼间行车灯以外, 安装高位刹车灯、双轮机动车昼间行车灯及提高非机动车能见度, 都可以大幅降低事故率。

2) 车辆碰撞保护设计

研究表明, 车辆防撞设计是减少道路交通伤亡的最有效措施。英国对 1980—1996 年期间的事故分析表明, 在耐撞性设计方面所做出的努力可减少 15% 的交通伤亡, 相比之下, 酒精控制措施可减少 11%, 道路设施措施可减少 6.5%。碰撞保护设计包括:

(1) 保护行人和骑自行车者的车辆前端设计。

(2) 保护乘员: 保证车体的完整性, 保护乘员不受内饰的伤害, 避免乘员被抛出于车外, 避免对车内其他乘员造成伤害, 改善不同级别车辆之间的碰撞兼容性。

(3) 与路边障碍相撞时的保护: 目前法规里规定的试验工况主要模拟两车正面偏置相撞和侧面车—车相撞。根据美国的事数据统计^[3], 79% 的伤害来自于正面相撞事故中的偏置碰撞。侧撞的事故发生率虽然低于正面碰撞, 但是危险性却远高于正面碰撞, 因为侧撞时乘员的身体直接暴露于碰撞区。除此之外, 车辆与路边障碍的碰撞, 例如与树木、杆柱、道路护栏的碰撞, 也越来越受到关注。代表消费者利益的新车评级试验 NCAP 就已经把侧向柱撞列为评价内容。

(4) 碰撞兼容性: 欧洲的工作重点放在轿车与轿车之间“正面—正面”或“正面—侧面”碰撞的兼容性; 中低收入国家则更注重轿车与卡车之间的碰撞兼容性问题, 除了考虑正面相撞的兼容性, 同时还要考虑与卡车后面相撞的兼容性。卡车的碰撞区设计必须同时考虑与小型机动车、行人、非机动车相撞的可能性。据估计, 在卡车的前端、侧面、后端加上吸能式防护装置, 可减少此类死亡事故约 12%^[4]。

3) 车辆智能化技术

新技术的产生为安全保护提供了更多的选择措施。智能化技术可用来完成使车辆规避险境、避免碰撞、降低伤害、自动进行事故后处理等任务。新一轮智能安全技术的出现主要是受技术进步的驱动,且新的高端技术为这些功能提供了可能性,但是用户和社会公众对这些新技术的反应还有待观察。因此,法规应当对这些新技术加以规范。这类技术主要包括电子稳定控制(ESC)、主动巡航(ACC)、自动避撞(AB)、偏道预警(LDW)、盲区探测(BSD)、倒车后视、酒精探测自锁、限速识别与自适应速度控制,等等。

1.2 车辆碰撞安全技术目标

实践证明,在高收入国家行之有效的安全技术研究方法是:“事故伤害观察—总结提炼模型—采取防护措施。”可见,对事故特征、成因的分类分析是一切措施的起点。事故数据库越完善,安全防范措施就越有针对性,措施效能就越高。可靠的数据是描述道路交通事故损失、评估危险因素、制定应对措施、给政策制定者提供信息和形成公众意识的基础。没有可靠的信息,就无法理性地、令人信服地抓住预防道路交通事故的重点。

一些国家有全国性的协同数据库系统,可以更全面地分析事故成因,例如美国的国家“汽车抽样系统”NASS(National Automotive Sampling System),包括了“死亡分析报告体系”FARS(Fatality Analysis Reporting System)、“总体性评估系统”GES(General Estimates System)、“碰撞特性数据系统”CDS(Crashworthiness Data System)和“碰撞伤害研究与工程网络”CIREN(Crash Injury Research and Engineering Network)共4个数据库的内容。

在保证数据准确的同时,数据的获取和传播渠道也非常重要。交通事故数据系统需允许界外团体与各界人士获取,以保证数据的有效传播。在数据管理方面,美国走在了其他国家的前面,任何人都可以方便地从官方网站上下载NASS和美国NCAP试验数据,这不但有利于美国政府的管理和制定有力政策,同时也对全球性的技术发展起到了极大的促进作用。我国的交通事故数据通过《中国交通年鉴》《中国统计年鉴》进行定期公布^[5],同时,公安部、卫生部也会发布事故统计数据。除此之外,登录卫生部统计信息网页也可获取相关数据^[6]。

数据的分析结果会通过道路设施建设、交通法规、车辆技术法规等形式对社会产生影响。当对事故模式采取了针对性技术措施以后,通过同一种数据统计和分析模式,人们还可以观察这些措施的有效性。车辆设计首先以车辆技术法规要求为最基本性能目标,同时,每个车厂还会根据自己对事故数据的理解,在性能和功能上不同程度地超越法规的要求,一方面的动力是技术进步的主动愿望,另一方面的动力来源于市场上的竞争对手。

目前,各国的车辆安全技术法规主要来源于美国和欧洲两大体系,这两大体系制定的出发点是有差别的。例如,美国FMVSS系列法规制定的假设出发点是,交通参

与者，尤其是驾驶员的可教育性是有限的，所以并不能保证所有交通参与者都按照一个标准的、理想的行为模式参与交通。非标准的安全措施使用方式和人为疏忽是不可避免的。例如，理想状况是 100%的驾驶员在驾驶时都应当佩戴安全带，但事实上经过这么多年的宣传努力，前排和后排乘员的安全带佩戴率分别只有 82%和 76%^[7]。因此，美国政府立法机构在意识到教育作用局限性的同时，还强调人人享有均等的受保护权利，这意味着车辆设计要给系安全带的乘员和不系安全带的乘员提供同等等级的保护技术，不得有歧视或偏倚倾向。美国国会在 1998 年 6 月颁布了“21 世纪运输均等权利法案（The Transportation Equity Act for the 21st Century, TEA21）”^[8]，要求社会“依据 FMVSS 208 法规，改进对不同尺寸、系安全带与不系安全带的乘员的保护效果；同时，依靠智能安全气囊等技术，将气囊给婴儿、儿童和其他乘员带来的危险降至最低”，因此而引发了“智能安全气囊法规”（新版 FMVSS 208）的产生。

另一方面，欧洲的车辆安全法规以交通参与者遵纪守法为前提，在欧经会法规 ECE R94“关于车辆正面碰撞乘员保护认证的统一规定”中并不要求车厂对不系安全带的乘员保护效果进行检验，也就是假设所有人在驾驶过程中都必须按照交通法规要求使用安全带，如果不遵守交通法规规定，当事人应当为此付出相应代价。表面上看起来，美国的社会价值观也许和这种态度有些不一致，但是欧洲法规也确实在以下两方面带来了正面效果。

(1) 敦促公众系安全带。安全带是有史以来最有效的交通保护措施，这一点已经得到公认。从表 1.1^[7] 的统计结果来看，欧洲的安全带使用率确实远高于美国。

表 1.1 各国安全带使用率 %

国 家	前排佩戴率	后排佩戴率
奥地利	89	49
法国	98	83
德国	95~96	88
荷兰	94	73
挪威	93	85
瑞典	96	90
瑞士	86	61
英国	91	84~90
美国	82	76

(2) 降低车辆的技术成本，有利于整体经济的可持续性发展。以安全气囊系统为例，由于欧洲碰撞法规以乘员佩戴安全带为基本假设，所以气囊的容积、输出力都可以比美国 FMVSS 208 法规要求的低，随之带来的效益是气囊点爆展开时导致乘员伤害的概率变小，气囊成本价降低。为了满足美国 FMVSS 208“智能气囊”的要求，车型开发时所需要的碰撞试验样车数量将是依据欧洲法规开发时所需数量的 2~3 倍（见