



汽车先进技术译丛

 Springer

智能车辆手册 (卷I)

Handbook of Intelligent Vehicles
(Vol.1)

[美] 阿奇姆·伊斯坎达里安 (Azim Eskandarian) 主编
李克强 等译



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

汽车先进技术译丛

智能车辆手册 (卷 I)

[美] 阿奇姆·伊斯坎达里安 (Azim Eskandarian) 主编
李克强 等译

机械工业出版社

《智能车辆手册（卷 I）》涵盖目前国际上有关智能车辆各分领域最新技术发展的介绍，卷 I 的内容包括智能车辆系统与研究方法综述、车辆纵横向控制系统、特殊车辆系统、定位/导航与轨迹控制系统、驾驶辅助系统、安全与舒适系统等。

Translation from English language edition:

Handbook of Intelligent Vehicles (Vol. 1)

by Azim Eskandarian

Copyright © 2012 Springer London.

Springer London is a part of Springer Science + Business Media.

All Rights Reserved.

This title is published in China by China Machine Press with license from Springer. This edition is authorized for sale in China only, excluding Hong Kong SAR, Macao SAR and Taiwan. Unauthorized export of this edition is a violation of the Copyright Act. Violation of this Law is subject to Civil and Criminal Penalties.

本书中文简体版由 Springer 授权机械工业出版社在中国境内（不包括香港、澳门特别行政区及台湾地区）出版与发行。未经许可之出口，视为违反著作权法，将受法律之制裁。

北京市版权局著作权合同登记 图字：01-2014-4448 号。

图书在版编目（CIP）数据

智能车辆手册. 卷 I / (美) 阿奇姆·伊斯坎达里安 (Azim Eskandarian) 主编; 李克强等译. —北京: 机械工业出版社, 2016. 11

(汽车先进技术译丛)

书名原文: Handbook of Intelligent Vehicles, Vol. 1

ISBN 978-7-111-54833-1

I. ①智… II. ①阿… ②李… III. ①智能控制—汽车—技术手册 IV. ①U46-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 218269 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: 杜凡如 连景岩 责任编辑: 孟 阳

责任校对: 刘志文 肖 琳 封面设计: 鞠 杨

责任印制: 常天培

北京圣夫亚美印刷有限公司印刷

2017 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

169mm × 239mm · 42.5 印张 · 2 插页 · 821 千字

0001—3000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-54833-1

定价: 299.00 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

服务咨询热线: 010-88361066

读者购书热线: 010-68326294

010-88379203

封面无防伪标均为盗版

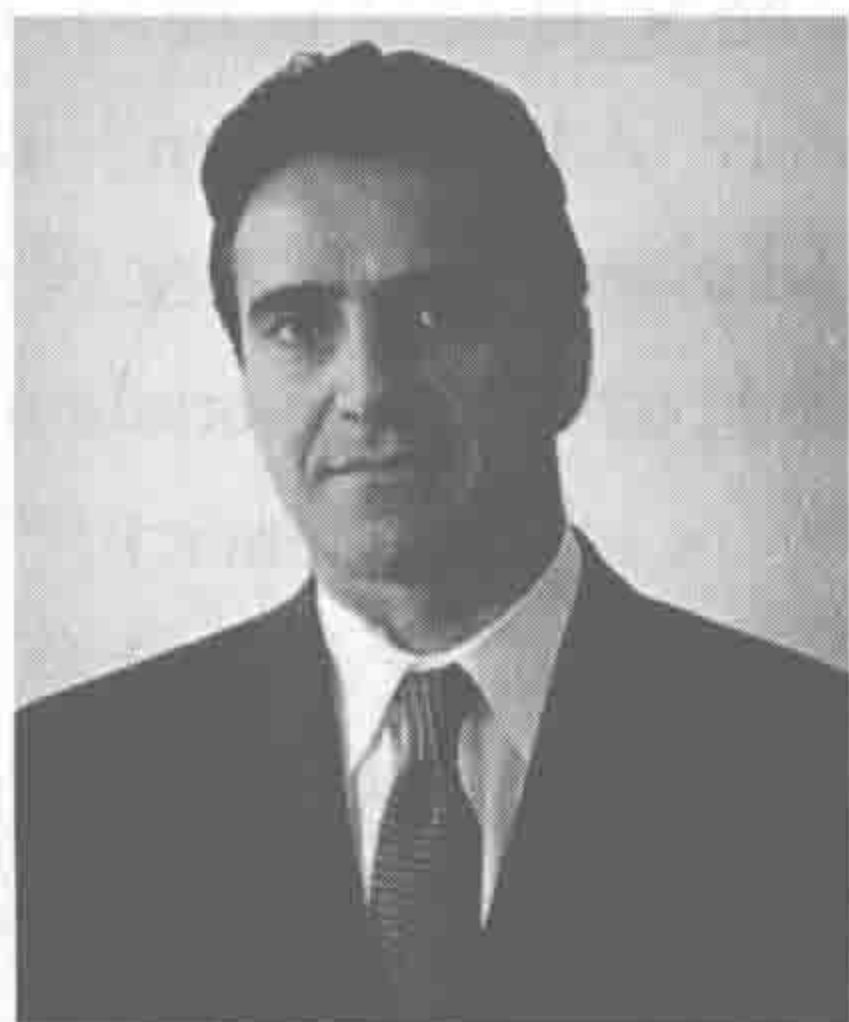
网络服务

机工官网: www.cmpbook.com

机工官博: weibo.com/cmp1952

金书网: www.golden-book.com

教育服务网: www.cmpedu.com



阿奇姆·伊斯坎达里安 (Azim Eskandarian), 理学博士

工程与应用科学教授

智能系统研究中心主任, GW 交通安全与安保领域卓越计划项目主任

美国华盛顿特区, 乔治·华盛顿大学, 工程与应用科学学院, eska@gwu.edu

Azim Eskandarian, 乔治·华盛顿大学 (the George Washington University, GWU) 工程与应用科学学院教授。他自 1996 年担任智能系统研究中心 (the Center for Intelligent Systems Research, CISR) 创会理事, 同时担任该大学“先进研究领域: 交通安全与安保项目”交叉学科主任。Azim Eskandarian 博士于 1992 年参与创立了国家碰撞分析中心 (the National Crash Analysis Center, NCAC), 并于 1998 年至 2002 年间担任该中心主任。他从事动力系统、控制、智能系统和应用与计算力学在汽车工程、交通运输安全、智能车辆以及机器人方面的应用研究, 拥有近三十年的研发和工程设计经验。

作为智能系统研究中心主任, 他的研究集中于智能车辆系统中的未来车辆和交通安全与效率方面。他建立了四个新的研究实验室, 包括一个轿车驾驶模拟器和一个载货车驾驶模拟器。他在 IEEE 学报所发表的智能交通系统领域文章属于引用率最高的一类。他还担任过 2011 年第 14 届国际 IEEE 智能交通系统大会的会议主席。

自 1994 年起, Eskandarian 博士的教学工作对乔治·华盛顿大学“交通安全”这一崭新且独特的研究生课程的开设起到了推进作用。在进入乔治·华盛顿大学前, Eskandarian 博士于宾夕法尼亚大学纽约校区担任助理教授。在进入学术界之前, 他在国防工业领域从事工程与项目管理工作 (1983—1989 年)。

Eskandarian 博士曾发表文章 135 篇, 著有专著 1 本和编著 3 卷。自 2007 年起, 他两次被选为 IEEE 智能交通系统协会理事会成员, 并于 2009 年受邀加入 IEEE 交通运输与航天航空政策委员会。同时, 他还活跃于美国机械工程师学会 (American Society of Mechanical Engineers, ASME) 汽车和运输系统技术委员会动力系统与控制部, 并担任五大期刊 [包括 IEEE 智能交通系统学报和英国机械工程师学会 (Institution of Mechanical Engineers, IMech E.) 的多体动力学期刊] 的副主编和编委。2011 年, 他被授予乔治·华盛顿大学工程与应用科学学院杰出研究学者奖。

Eskandarian 博士曾服务于包括美国交通部/国家公路交通安全管理局 (Department Of Transportation/National Highway Traffic Safety Administration, DOT/NHTSA)、美国国家科学基金会 (National Science Foundation, NSF)、全国航空委员会 (National Air Council, NAC)、美国交通研究委员会 (Transportation Research Board, TRB) 和加拿大卓越中心 (Canadian Centers of Excellence), 以及加拿大创新基金会 (Canada Foundation for Innovation) 等在内的若干委员会、董事会和评审小组, 并担任业界和政府的顾问。他还是 ASME、IEEE、SAE、ITS America、Sigma XI (2000—2003) 专业协会, 以及 Tau Beta Pi 和 PI Tau Sigma 工程荣誉协会的成员。他于乔治·华盛顿大学分别获得机械工程理学学士学位 (荣誉) 和理学博士学位, 于弗吉尼亚理工大学获得理学硕士学位。

译者序

随着现代科技的发展，智能车辆已成为近年来的发展热点和技术前沿，吸引了汽车及其他相关领域广大研究人员的关注。智能汽车所涉及的技术非常广泛，然而，目前尚没有能够全面涵盖智能汽车技术的中文参考书籍。为此，译者很荣幸能应机械工业出版社汽车分社之邀，翻译 Azim Eskandarian 教授所主编的“Handbook of Intelligent Vehicles”（中文译名《智能车辆手册》）一书。

本书涵盖了智能车辆所涉及的各项技术领域，在内容的深度和广度方面都领先于同类书籍。在翻译过程中，译者曾与 Azim Eskandarian 教授进行了交流与沟通，他对译者的翻译工作给予了很大的鼓励和支持，译者在此表示真诚的感谢。

译者的课题组成员也参与了本书的翻译工作，他们是：谢伯元、丁洁云、陈龙、王肖、秦晓辉、李晓飞、俞倩雯、张放、曹坤、徐成、王迪、徐彪、郑洋、谢国涛、熊辉、刘曰、边有钢、李洋、黄彬、常雪阳、郑讯佳、王礼坤、王庭晗、陈超义、余大蒙、郭宇昂、张书玮。没有他们的积极参与，本书的翻译工作是难以在短时间内完成的，译者在此要对他们的辛勤付出表示感谢。全书由李克强、边明远、许庆审校并统稿。

由于译者水平有限，译文中难免会有疏漏、不当之处，恳请广大同行和读者批评指正。

李克强

2016 年 6 月于清华园

前言

智能交通系统 (Intelligent Transportation Systems, ITS) 是指利用计算机、控制、通信和自动化技术, 提高交通的安全性、运输量和效率, 降低能源消耗并减少对环境影响的系统。智能交通系统是多模式的, 道路交通则是其中的一个重点, 而智能车辆显然是智能交通系统中的一个必要组成部分。在这一概念下, “智能” 这一术语的定义很宽泛, 它是指将一定水平的机器智能融入到车辆的操作中。如今, 电子设备、传感器、微处理器、软件和嵌入式机电系统的进步, 使得车辆的自动、自主功能得到了显著提高。其中一些功能对驾驶人是完全透明的, 并且可以自动启动, 而其他的功能则以驾驶辅助系统的形式为驾驶人提供帮助。

车辆与驾驶人、环境和基础设施之间是在不断进行交互的。而在智能车辆中, 传感器的使用、信息的交换以及各种主要和次要驾驶任务的执行, 使得这些交互得到了增强。这种交互涵盖范围广泛, 从简单的信息交换到复杂的自主功能, 都包含在内。这里给出现有系统或者原型系统在提高驾驶安全性和效率方面的一些简单实例。第一个实例是, 当前方为结冰路面或浓雾区域时, 预警系统及时向驾驶人提供相关信息, 从而提高驾驶安全性。这需要利用智能交通系统和车路通信来实现环境感知能力。另一个实例是, 当感知到附近区域的危险情况后, 车辆自动做出反应, 通过增强制动力 (如制动力辅助系统, Brake Assist System, BAS) 或者进行驱动力及稳定性控制等, 使车辆在车道内保持安全的预定轨迹。基于雷达或视觉的防撞系统可以感知前方的障碍物, 并在驾驶人未能及时制动时进行自动制动, 从而避免可能发生的碰撞。此外, 向车辆传输更多的地理信息并进行智能换挡控制, 或者是利用智能导航系统优化行程规划, 均可以改善车辆的能耗。另一个极端的实例是无人驾驶汽车, 它可以自主驾驶, 完成从始发地到目的地的整个行程, 在此过程中会躲避障碍物并且严格遵守交通法规。

如上所述, 智能车辆涵盖了大量不同领域的技术, 包括车辆动力学、信息、通信、电子、自动化以及人因工程等。因此, 智能车辆的研究、开发和设计需要各学科的专业技术和知识。所幸, 我们可以从不同的科学期刊、会议和工程专业协会中获得有关智能车辆的某些方面的内容, 但它们都太过专一于某一领域。例如, 一些期刊包含控制系统和车辆动力学, 而另一些期刊则专注于通信和人因工程等。在工程学会中, 美国电气电子工程师学会 (Institute for Electrical

and Electronics Engineers, IEEE) 和美国汽车工程师学会 (Society of Automotive Engineers, SAE) 主管的一些具体部门、会议和学报, 涵盖了与智能交通系统和智能车辆相关的众多领域。此外, 某些期刊也专注于这一主题。然而, 以上这些协会、会议、期刊提供的科学文章通常聚焦于非常具体的问题, 并不一定会针对如“智能车辆”这样广义的主题进行宏观的描绘, 或是综合性的表述。目前, 智能车辆的发展已经取得了长足的进步。许多系统已经以高端车型可选配置的方式投放到市场中, 而许多原型系统也已在实验室条件下实现了示范应用。同时, 智能车辆的发展依旧迅猛。对于消费者来说, 无论是处于当前发展状态的智能车辆, 还是未来更加自主的智能车辆, 都会对其出行产生影响, 并进一步影响其日常生活。因此, 作为对智能车辆已有一定认知的学者, 为推动智能车辆的发展, 向人们提供相关的基础知识和必要的资源, 成为当务之急。

由于智能车辆涉及多种技术, 目前还没有任何书籍或者参考资料能够提供涵盖该课题的所有必需内容。本手册旨在填补这一空白。还应注意的是, 鉴于汽车行业研发的知识产权问题, 公开的文献中很少有深度涉及实际实现技术的知识和方法的资料。本手册汇集了国际化的编辑和作者团队来探讨有关智能车辆的最新课题, 他们都是所在专业领域内公认的学术权威。其中, 大多数作者都曾在所述课题中领导过前沿的研究工作, 因此他们能够提供最新的发现和方法。

本手册共分 11 篇, 通过合理的组织形式, 对与智能车辆相关的内容进行了全面、深入的介绍。每一篇包含多个章, 涵盖多个研究方向。据编者所知, 目前尚无任何有关智能车辆这一主题的资料能够达到本手册的深度和广度。

本手册可供对智能车辆研究、设计和开发感兴趣的汽车工程师、科技人员、研究人员、学生和技术管理人员使用。希望本手册在可预见的未来能够成为相关工程、研发和学术团体的重要资源。同时, 希望本手册能够得到同行和学生们的认可, 并为他们的独立研究提供帮助。

Azim Eskandarian

2012 年 1 月, 于美国华盛顿特区

致 谢

本人要感谢所有参与本手册工作的各篇的编辑，他们在草拟和组织本手册的过程中付出了巨大的努力，奉献了大量时间和精力，并提出了宝贵的意见。他们都是所在专业领域内的杰出专家。在参与编辑工作之外，他们中的许多人还撰写或联合撰写了一些章节，这也大大增加了本手册的价值。

本人要特别感谢所有为本手册做出贡献的作者。他们选择并撰写了各自专业领域内最优秀的材料，这些工作所产生的影响是不可磨灭的。他们的巨大贡献使本手册真正成为所有读者独一无二的珍贵资源。

本人还要真诚地感谢斯普林格出版社（Springer-Verlag London Ltd.）的所有编辑和管理人员，他们努力工作、坚持不懈，为本手册的作者和编辑们提供尽心尽力的支持，使得相应工作得以按计划进行。他们辛勤和不懈的努力为本手册的及时完成提供了保障。

最后，本人还要感谢斯普林格出版社联系我们来承担这项浩繁却有价值的工作。

殷切希望本手册能够为研发和工程团体提供有益的帮助。

Azim Eskandarian

目 录

译者序

前言

致谢

第 1 章 智能车辆简介 1

Azim Eskandarian

第 1 篇 智能车辆系统与研究方法综述

Bart Van Arem

第 2 章 车辆智能化功能的总体方案 15

Bart van Arem

第 3 章 智能车辆的传感器和执行器 26

Angelos Amditis · Panagiotis Lytrivis · Evangelia Portouli

第 4 章 智能车辆的态势感知 50

Zoltán Papp

第 5 章 分层、智能与自动控制 68

Bart De Schutter · Jeroen Ploeg · Lakshmi Dhevi Baskar · Gerrit Naus · Henk Nijmeijer

第 6 章 行为适应与接受度 98

Marieke H. Martens · Gunnar D. Jenssen

第 7 章 智能车辆的仿真方法 119

Bart van Arem · Martijn van Noort · Bart Netten

第 2 篇 车辆纵横向控制系统

Azim Eskandarian

第 8 章 车辆纵向控制 143

Jihua Huang

第 9 章 自适应巡航与协同式自适应巡航 164

Fanping Bu · Ching-Yao Chan

第 10 章 车辆横向和转向控制 179

Damoon Soudbakhsh · Azim Eskandarian

第3篇 特殊车辆系统

Ernst Pucher · Alfred Pruckner · Ralf Stroph · Peter Pfeffer

第11章 线控驾驶 203

Alfred Pruckner · Ralf Stroph · Peter Pfeffer

第12章 智能车辆中的能源和动力总成系统 245

Ernst Pucher · Luis Cachón · Wolfgang Hable

第4篇 定位、导航与轨迹控制系统

Peter Handel

第13章 全球卫星导航系统——车载导航的推动者 267

John-Olof Nilsson · Dave Zachariah · Isaac Skog

第14章 通过地图匹配优化车辆定位数据 293

Mohammed A. Quddus · Nagendra R. Velaga

第15章 用于轨迹控制的态势感知和道路预测 314

Christian Lundquist · Thomas B. Schön · Fredrik Gustafsson

第16章 应用地图支持的导航和道路约束车辆的追踪 342

Fredrik Gustafsson · Umut Orguner · Thomas B. Schön · Per Skoglar · Rickard Karlsson

第17章 车载导航系统综述 375

Isaac Skog · Peter Händel

第18章 车载导航系统的演变 398

Koichi Nagaki

第5篇 驾驶辅助系统

Azim Eskandarian

第19章 驾驶辅助基础 421

Azim Eskandarian

第20章 驾驶人行为建模 458

Samer Hamdar

第21章 基于自然驾驶研究的驾驶辅助系统的设计、测试和评价 477

Gregory M. Fitch · Richard J. Hanowski

第22章 智能车速调节系统 496

Jeremy J. Blum · Azim Eskandarian · Stephen A. Arhin

第6篇 安全与舒适系统

Werner Huber and Klaus Kompass

第23章 安全性与舒适性系统	517
Klaus Kompass · Werner Huber · Thomas Helmer	
第24章 自适应巡航控制	524
Hermann Winner	
第25章 前向碰撞预警和预防	562
Markus Maurer	
第26章 车道偏离与车道保持	589
Jens E. Gayko	
第27章 综合安全	607
Klaus Kompass · Christian Domsch · Ronald E. Kates	
第28章 换道辅助	623
Arne Bartels · Marc-Michael Meinecke · Simon Steinmeyer	
第29章 转向与避撞辅助	649
Thao Dang · Jens Desens · Uwe Franke · Dariu Gavrilă · Lorenz Schäfers · Walter Ziegler	

第 1 章 智能车辆简介

- 1 背景 2
- 2 交通安全 2
- 3 能源与环境 4
- 4 政府工作：智能交通系统 5
- 5 智能车辆的基本定义 7
- 6 本手册创作目的和涉及范围 9
 - 6.1 创作目的 9
 - 6.2 主题涵盖内容 10

1 背景

汽车的问世推动了人类出行方式的变革。随着汽车数量的增加，为适应城际和市内出行需求、加强城镇间的联系，街道和公路越建越宽。与此同时，为保障车辆的有序行驶及交通安全，相应的交通法规也相继出台。随着科技的进步，车辆的性能和行驶里程得到大幅提升，甚至达到了颠覆城市扩张方式和现今人类生活方式的程度。近些年来，车辆已经演变成为融汇尖端科技的机械设备，它赋予休闲、舒适、豪华和运动等多方面涵义，对部分人来说甚至成为形象及个性的延伸和表达。正如其他技术一样，出行方式的进步已经给安全、环境和能源需求方面带来挑战。近年来，汽车已经成为生活的必需品，贯通了我们日常生活的几乎每一个方面，各项法律法规相继出台，车辆设计、生产以及与环境 and 驾驶人交互接口的标准也已制订。如今，大量的工程设计、原型开发、测试、评估和再设计渗透到了车辆的生产过程当中，进而确保预期的车辆性能、安全、节能和环保需求能够得到满足。除此之外，车辆设计的一个重要方面是驾驶人与车辆的交互，这种交互包括车辆控制这一主要任务，以及所有附加和次要的、通常需要驾驶人进行操作的任务。

虽然自车辆发明伊始，驾驶人就一直在主导其行驶操控任务，但为改善车辆制动和操控的响应性能，一些智能系统已经引入到车辆控制中。微处理器和计算机的发展已经对车辆的设计产生了巨大的影响，但它们尚未发挥全部潜能。如今，车辆上装有许多传感器和电子系统，它们有助于对具有一系列功能的子系统进行自动控制。这些功能涵盖了从车辆动力学控制（如 ABS 和牵引力控制）到驾驶人出行计划和路径规划辅助（如导航系统）等多个方面的内容。智能车辆旨在利用现有技术，通过提高操纵性、安全性、效率和驾驶舒适性等方式来为驾驶人提供辅助。后文将对汽车“智能”概念的组成内容进行详细阐述。

首先，本章将对智能车辆进行简单的介绍，并突出强调交通事故带来的巨大的安全性挑战，同时将介绍美国车辆运输领域的巨大节能需求。其次，本章将从智能交通系统的角度对美国和其他国家在开发智能车辆方面所做的工作进行介绍，并将给出智能车辆组成内容的基本定义。最后，本章将对本手册的创作目的、涉及范围和主题内容进行说明。

2 交通安全

车辆的安全问题仍然是人类面临的重大挑战。2009 年，美国国内的交通事故共造成 33808 人死亡，220 万人受伤，导致的经济损失约 2306 亿美元（交通

安全数据, Traffic Safety Facts 2009, 2010)。交通事故伤害持续成为美国青少年的首要死亡原因。世界其他地区也面临着类似的情况。世界卫生组织 (World Health Organization, WHO) 的报告显示, 交通事故每年在世界范围内造成 120 万人死亡, 2000 ~ 5000 万人受伤 (全球道路安全现状报告, Global status report on road safety, WHO 2009)。其中, 有一半死者属于“易受伤害道路使用者”, 依据 WHO 定义, 其包括: 行人、自行车骑行者或者两轮机动车驾驶人。在美国, 报道出来的死亡人员中有 35% 属于“易受伤害道路使用者”。

直接的统计结果揭示了问题的严重性, 而与此同时, 所有车辆行驶里程每 1 mile (约 1.61 km) 造成的死亡人数, 则成为衡量公路安全趋势的更精确指标。2009 年, 美国所有车辆行驶里程每 1 亿 mile 造成的死亡人数是 1.13 人, 而每 10 万人中的死亡人数是 11.01 人。由于每年的车辆实际行驶里程均基于粗略的估计, 因此即使这些数据不适用于详细的安全性分析, 却仍可以作为评价多年趋势的一般指标。

依据世界卫生组织 2009 年的报告 (全球道路安全现状报告, WHO 2009), 道路交通伤害在所有死亡原因中排第九位, 占比达 2.2%, 预计 2030 年前将上升至第五位。该报告还显示, 道路交通伤害分别在 15 ~ 29 岁、5 ~ 14 岁和 30 ~ 44 岁人群范围的疾病致死原因中排第一、第二和第三位。这表明青少年已经成为最易受伤害的群体。世界卫生组织认为, 全面解决这一安全问题需要多个政府机构 (运输部门、公安部门、卫生机构等) 共同制订策略, 积极参与并协调应对。同时, 对于具有明确目的和目标, 旨在一定时期内降低死亡率和受伤率的相关活动, 政府给予财政支持也是必要的。然而, 全球只有三分之一的国家具有得到政府批准的国家道路安全战略。尽管最高的死亡率和受伤率均出现在中、低收入国家, 危险驾驶也仍然是高收入国家持续存在的问题。一组对比样例显示, 2004 年美国每 10 万人的死亡率是 13.9, 而在德国、中国和日本, 该数据分别是 6、6.7 和 5.2。即使在一些有更好的道路安全记录的国家 (如荷兰、瑞典和英国), 这方面仍然有很大的改善空间。例如, 瑞典作为世界上拥有最佳道路安全记录的国家, 其道路交通系统相比于铁路和航空等其他交通运输形式, 造成了更多的儿童死亡; 在瑞典, 单单是交通事故一项, 就造成了 20% 的 5 ~ 19 岁儿童死亡 (全球道路安全现状报告, WHO 2009)。

还应指出的是, 在美国, 道路交通伤害造成的人员死亡率和受伤率持续多年稳步下降。根据美国国家公路交通安全管理局 (2010 年交通安全事实研究附注, Traffic Safety Facts Research Note 2010) 的报告, 乘用车道路交通事故造成的死亡人数自 2009 年开始连续七年不断下降, 目前已达到从 1975 年该局开始收集事故死亡数据以来的最低水平。轻型货车道路交通事故造成的死亡人数连续四年下降, 达到了 1997 年以来的最低水平。另一方面, 摩托车驾驶人在道路交通

事故中的死亡率已经连续 11 年增加, 仅在 2009 年一年例外地下降了 24%, 总体上占据了交通死亡人数的 13%。另外, 美国所有车辆行驶里程数每增加 1 亿 mile 所造成的交通事故死亡人数也稳步下降, 从 1997 年的 1.73 下降到 2009 年的 1.13。其他高收入国家也存在类似的下降趋势。这也许要归功于先进的车辆安全技术、完善的道路和更具说服力的安全宣传活动, 同时, 法律的有力执行也是一个原因, 它使得人们更多地使用安全带, 倾向于低速行驶, 并尽量不在受影响的情况下驾驶车辆。

尽管交通安全呈现积极的发展趋势, 但是统计结果仍然令人担忧, 为实现道路交通运输接近或达到零死亡的目标, 这一问题仍需要更多的关注。世界卫生组织还强调, 尽管在过去五十年里, 高收入国家的道路交通事故死亡率一直在下降, 但是交通事故仍然是重要的致死或致残原因。为应对这一充满挑战性的问题, 需要一种在车辆碰撞前、碰撞中和碰撞后均能够采取有效措施且综合考虑人-车-环境间交互的系统方法。这种方法由美国国家公路交通安全管理局的首任行政官 William Haddon 提出。该策略所依赖的前提是所有人都会犯错误, 并且驾驶人的错误和伤害是事故的主要原因。因此, 为解决该问题, 除政府项目、公共教育和严格执法外, 采用技术手段的方案也得到了发展。汽车行业在这方面取得了显著进步, 而世界各国的政府也都加强了相关安全法规。

车辆安全性能的发展主要受消费者需求和政府法规两种力量的驱动。近年来, 为提高车辆安全性, 人们开发了被动安全系统和主动安全系统。如 20 世纪 60 年的安全带、70 年代的变形吸能区、80 年代的气囊以及 21 世纪的智能气囊等, 这些被动安全系统的发明和结合, 大大提升了车辆的防撞性。与此类似的是处于并行发展阶段的主动安全系统, 如 20 世纪 70 年代的防抱死系统 (Anti-lock Braking System, ABS)、80 年代的牵引力控制系统 (Traction Control)、90 年代的电子稳定控制系统 (Electronic Stability Control) 和制动辅助系统 (Brake Assist)、21 世纪的自适应巡航控制 (Adaptive Cruise Control, ACC)、盲点监测系统 (Blind Spot Detection) 和车道偏离检测系统 (Lane Departure Detection), 它们对道路交通安全性的提升起到了显著作用。一些最新的技术, 如行人检测 (Pedestrian Detection) 和集成安全 (Integrated Safety) 概念等, 以及即将到来的智能车辆通信技术、驾驶辅助和自主 (无人) 驾驶等, 都有望在未来几年内引起下一波提升车辆安全性的浪潮。

3 能源与环境

交通系统所面临的另一些主要挑战是能源需求和对环境的影响。除一些经济衰退的年份外, 全球汽车数量和每年行驶里程总和都呈现出一种稳定、长期

和全球性的增长趋势。交通运输业的能源供给很大程度上依赖于化石燃料、汽油、柴油和天然气，而天然气所占据的市场比例是很小的。以下数据取自美国全国交通运输统计年鉴（National Transportation Statistics 网站）。2008 年，美国石油消耗量占世界总消耗量的 22.7%（1990~2005 年约为 25%，2005~2007 年约为 24%）。2008 年，美国国内石油消耗总量的 70.4% 用于交通运输（包括各种方式）。同样，2009 年和 2010 年，交通运输领域使用的石油总量分别占全美总量的 71.6% 和 71.3%。

2009 年，美国交通运输领域（包括各种交通方式）消耗的能源（ 26.94×10^{15} Btu）占全国总能耗（ 94.72×10^{15} Btu[⊖]）的 28.4%。交通、运输领域基本能源需求的 94% 依赖于石油（National Transportation Statistics 网站，表 4-3）。2009 年，美国国内 25421.3 万辆注册机动车辆消耗了 1681.4 亿 gal（约 6364.8 亿 L）汽油，折合每辆车平均油耗 661 gal（约 2502.2 L）。平均而言，美国交通运输领域的油耗占美国总燃油消耗量的 70% 以上，而其中超过 65% 用于私人车辆，也就是说，私人车辆消耗的燃油量约占美国总燃油消耗量的 45.5%（Energy Independence 网站）。

随着中国和印度等人口大国经济的不断增长，预计全球范围内的能源需求会有更大提高，尤其是在运输领域。能源需求的不断上升势必会在不久的将来对油价造成重要影响。因此，大多数发达国家一直在为能源需求寻找替代性资源。近年来，可以注意到，在众多以可再生替代能源为动力的车辆中，混合动力或者纯电动汽车已经成为主要的发展趋势。尽管目前电动汽车技术已取得重大进步，但其仍然无法提供与汽油车或者柴油车相当的行驶里程或者动力。当然，不可否认的是，该领域中的大量研究已经取得了一定进展。为满足电动汽车的充电需求，必要的基础设施和智能电网也应建设到位。从长远来看，如果没有合理地设计为电动汽车充电服务的基础设施资源，那么汽车电气化将仅局限于紧凑的城市地区，而电气化在降低排放方面也将带来显著的环境效益。

通过对动力系统和再生驱动系统的伺服控制（通过连续监控车辆和道路的状态），以及更高层次的路径决策和行程选择等方法，智能车辆将会降低能量消耗并减少对环境的影响。

4 政府工作：智能交通系统

作为大型运输系统的一部分，智能车辆旨在解决提高安全性和燃油经济性

⊖ Btu：英热单位，1 Btu ≈ 251.996 cal ≈ 1055.06 J