



汽车先进技术译丛



Springer

智能车辆手册 (卷II)

Handbook of Intelligent Vehicles
(Vol.2)

[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Ⅱ）

[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Ⅱ）》涵盖目前国际上有关智能车辆各分领域技术发展的最新介绍，卷Ⅱ的内容包括驾驶人疲劳检测与预警、视觉系统、车辆通信系统、全自动驾驶、智能车辆未来展望等。

Translation from English language edition:

Handbook of Intelligent Vehicles (Vol. 2)

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、澳门特别行政区以及台湾地区）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：01-2014-4449 号。

图书在版编目（CIP）数据

智能车辆手册. 卷Ⅱ/(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. 2

ISBN 978-7-111-54834-8

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 218265 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: 杜凡如 刘 焯

责任校对: 陈延翔 张 征 封面设计: 鞠 杨

责任印制: 李 飞

北京铭成印刷有限公司印刷

2017 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

169mm × 239mm · 43.25 印张 · 2 插页 · 833 千字

0001—3000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-54834-8

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杰出的项目主任

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。于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, 包括一个汽车驾驶模拟器和一个货车驾驶模拟器。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本和编辑卷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院奖。

Eskandarian 博士曾服务于包括美国运输部/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)、美国运输研究委员会 (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,因此,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、张书玮。全书由边明远、李克强审校并统稿。没有他们的积极参与,在短时间内本书的翻译工作是难以完成的,译者在此要对他们的辛勤付出表示感谢。

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、通信和各种自动化技术来提高交通的安全性、吞吐量和效率，同时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，而道路交通则是其中的一个重点。智能车辆显然是智能交通系统中的一个组成部分。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。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初级和高级驾驶任务的执行，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，警告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）或者驱动力以及稳定性控制等，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，为车辆增加地理信息和智能换挡变速，或者是利用智能导航系统优化行程规划，则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，在此过程中其会躲避障碍物并且严格遵守交通法规。

如上文所述，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、发展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，美国电子电气工程师学会（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选配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, 向人们提供相关的基础知识并进一步开发相关资源, 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, 鉴于智能车辆行业发展的所有权性质的独特性, 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顶尖的研究工作, 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, 涵盖各学科领域。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 30 章 主动行人保护 1

Stefan Schramm · Franz Roth · Johann Stoll · Ulrich Widmann

第 31 章 泊车辅助 36

Michael Seiter · Hans-Jörg Mathony · Peter Knoll

第 32 章 碰撞救援系统 66

Jeffrey S. Augenstein · George T. Bahouth

第 33 章 ADAS 地图数据 79

John Craig

第 7 篇 驾驶人疲劳检测与预警

Azim Eskandarian

第 34 章 利用数据融合的疲劳驾驶辅助系统 93

Darrell S. Bowman · William A. Schaudt · Richard J. Hanowski

第 35 章 疲劳驾驶姿势、面部和眼部监测方法 109

Jixu Chen · Qiang Ji

第 36 章 疲劳驾驶问题的重要性与基于驾驶人控制行为的检测 133

Azim Eskandarian · Ali Mortazavi · Riaz Akbar Sayed

第 37 章 疲劳驾驶预警、对策与辅助 163

Riaz Akbar Sayed · Azim Eskandarian · Ali Mortazavi

第 8 篇 视觉系统

Alberto Broggi

第 38 章 车用图像处理 185

Massimo Bertozzi

第 39 章 摄像机技术 195

Paolo Grisleri

第 40 章 感知任务：车道线检测 205

Luca Mazzei · Paolo Zani

第 41 章 感知任务：障碍物检测 215
Stefano Debattisti

第 42 章 感知任务：交通标志识别 224
Pier Paolo Porta

第 43 章 基于视觉的自适应巡航 241
Matteo Panciroli

第 44 章 基于视觉的盲点监测 249
Elena Cardarelli

第 9 篇 车辆通信系统
Scott Andrews

第 45 章 车载通信的要求与挑战 267
Scott Andrews

第 46 章 基于 V2V 和 V2I 的协同驾驶 293
Scott Andrews

第 47 章 探测车与智能车 312
Christopher Wilson

第 48 章 车辆网络威胁模型、威胁鉴定与威胁关键管理 337
Stan Pietrowicz

第 49 章 安全、隐私、身份认证 373
William Whyte

第 10 篇 全自主驾驶
Christian Laugier

第 50 章 自主式驾驶：背景及研究现状 419
Javier Ibañez-Guzmán · Christian Laugier · John-David Yoder · Sebastian Thrun

第 51 章 行为建模与学习 452
Dizan Vasquez · Christian Laugier

第 52 章 视觉与 IMU 数据融合：绝对尺度、速度和姿态的闭式确定 471
Agostino Martinelli · Roland Siegwart

第 53 章 基于视觉的拓扑导航：闭环的隐式求解方法 489
Youcef Mezouar · Jonathan Courbon · Philippe Martinet

第 54 章 自动驾驶技术中道路使用者的感知 515
Anna Petrovskaya · Mathias Perrollaz · Luciano Oliveitra · Luciano Spinello · Rudolph Triebel ·
Alexandros Makris · John D. Yoder · Christian Laugier · Urbano Nunes · Pierre Bessiere

第 55 章 迭代式运动规划与安全问题	563
Thierry Fraichard · Thomas M. Howard	
第 56 章 基于风险的导航决策	587
Anne Spalanzani · Jorge Rios-Martinez · Christian Laugier · Sukhan Lee	
第 57 章 车辆概率运动模型和风险估计	604
Christopher Tay · Kamel Mekhnacha · Christian Laugier	

第 11 篇 智能车辆未来展望

Michael Parent

第 58 章 驾驶辅助系统与自动驾驶的法律问题	639
Tom Michael Gasser	
第 59 章 智能车辆潜力及利益	647
Claude Lurgeau	
第 60 章 应用及市场展望	660
Michel Parent	

第 30 章 主动行人保护

1	简介	2
2	行人事故综述	3
2.1	各国行人事故比较	3
2.2	德国事故深度分析研究	4
3	基础设施和被动行人安全	6
3.1	基础设施	6
3.2	被动行人安全	7
3.3	当前被动行人安全测试规程	8
4	主动行人安全系统	10
4.1	集成车辆安全方案	10
4.2	环境感知系统概述	11
4.3	碰撞预测的功能算法	14
4.4	主动行人安全系统的执行器	16
5	主动行人安全系统的开发	18
5.1	主动行人安全系统的整体开发过程	19
5.2	主动行人保护系统的定义	19
5.3	主动行人安全系统测试	24
5.4	主动行人安全系统的实际效果评价	28
6	结论	33

摘要：在欧洲乃至全世界，行人保护都是车辆安全领域的重要方面。因此，各个国家都已通过针对车辆的行人保护法律法规。这些法律法规主要着眼于评估车辆被动的行人保护措施。此外，欧洲的行人保护法律对作为主动安全系统组成部分的制动辅助系统的安装也进行了规定。这是因为，基于实际事故数据的研究证明，它对降低行人事故中的碰撞速度有重要意义。未来，先进的主动安全措施将显著提高行人保护力度，因为这些技术有可能避免事故或减轻事故带来的伤害。在未来几年，主被动集成式安全的技术方案将成为最重要的发展目标，以进一步减少事故和伤亡。本章概述了主动行人保护系统，以及开发这些系统所面临的新挑战。本章首先对各个国家的行人事故进行了比较，基于深度事故数据库得出了分析结果。其次，本章阐述了在基础设施和被动安全领域的行人保护措施。此外主动安全系统主要包括环境感知系统、功能算法和执行器，本章将阐述这些组成部件或系统在主动行人安全系统中的功能，通过整合这些单一模块来实现整个系统的功能。本章对两种主要系统策略进行区分：一种是主动干预驾驶的系统策略，另一种是通过警告提高驾驶人对危险感知能力的系统策略。主动行人保护系统的开发需要设计开发工具，以及系统测试和评价的新方法，本章也将介绍这些工具和测试方案。

1 简介

在欧洲乃至全世界，行人保护都是车辆安全领域的重要方面。例如在欧洲（欧盟 27 国），在事故中死亡的道路使用者大约有 19% 是行人。在美国，行人事故死亡占事故死亡总数的 11.7%，所占比例相当大。在世界上其他国家也出现了类似的数据。因此，很多国家通过了保护行人的法律法规。同时，也出现了全球车辆技术法规（Global Technical Regulation, GTR）。除了这些法规，欧洲新车评估测试（New Car Assessment Programmes, NCAP）也对车辆行人保护进行评估。在 NCAP 和 GTR 的测试规范中，目前只考虑了被动行人保护系统的影响。欧洲的行人保护法律对作为主动安全系统组成的制动辅助系统的安装也进行了规定。

行人保护的法律法规和其他评估程序的要求对车辆的发展产生了重大影响。其中，车辆主动行人保护设计和整个前端技术受到明显影响。此外，对于车辆行人碰撞事故，由于碰撞的双方质量差异明显，被动安全技术的潜在益处有限。而且，被动安全技术对行人与周边区域目标的碰撞，如与道路的二次碰撞，没有影响。欧洲立法确定的第二阶段行人保护措施考虑了这些因素。基于真实事故数据的研究表明，制动辅助系统（Brake Assist Systems, BAS）相对于被动行人保护系统可以更多地减少行人伤亡。于是，2009 年 11 月以来欧洲强制要求装

备 BAS。

在未来，厂商将开发更先进的技术来保护行人和其他道路使用者，因为这些技术能防止事故发生或减轻其伤害。在未来几年，集成式主被动安全技术方案将成为最重要的发展目标，以进一步减少事故和伤亡。本章概述了主动行人保护系统，以及开发这些系统所面临的新挑战。

2 行人事故综述

在开发主动行人安全系统前，需要分析行人事故，以得出事故如何发生和为什么发生的结论，保证功能设计聚焦点的正确性。接下来的部分将阐述各国的行人事故，而收集的国家层面上的事故数据不够详细，不足以获得行人事故的深度信息。对此，须考虑采用深度数据库，如 GiDAS 项目（GiDAS，2010）建立的数据库，来解决这些问题。

2.1 各国行人事故比较

在欧盟和世界各国中，行人保护是车辆安全的重要方面。不同国家行人事故死亡人数显著不同。在德国，道路使用者事故死亡总数的 14.6% 是行人。在美国，事故死亡的道路使用者中 11.7% 为行人，在日本这一数据高达 34.9%（图 30-1）。同日本相似，韩国和俄罗斯的这项数据也较高。在东欧、中国和日本等国家，由于种种原因，行人死亡人数的比例更高。这些差异不仅仅是由于车辆的影响，更是由于道路安全教育、设施、城市化和救援等原因。

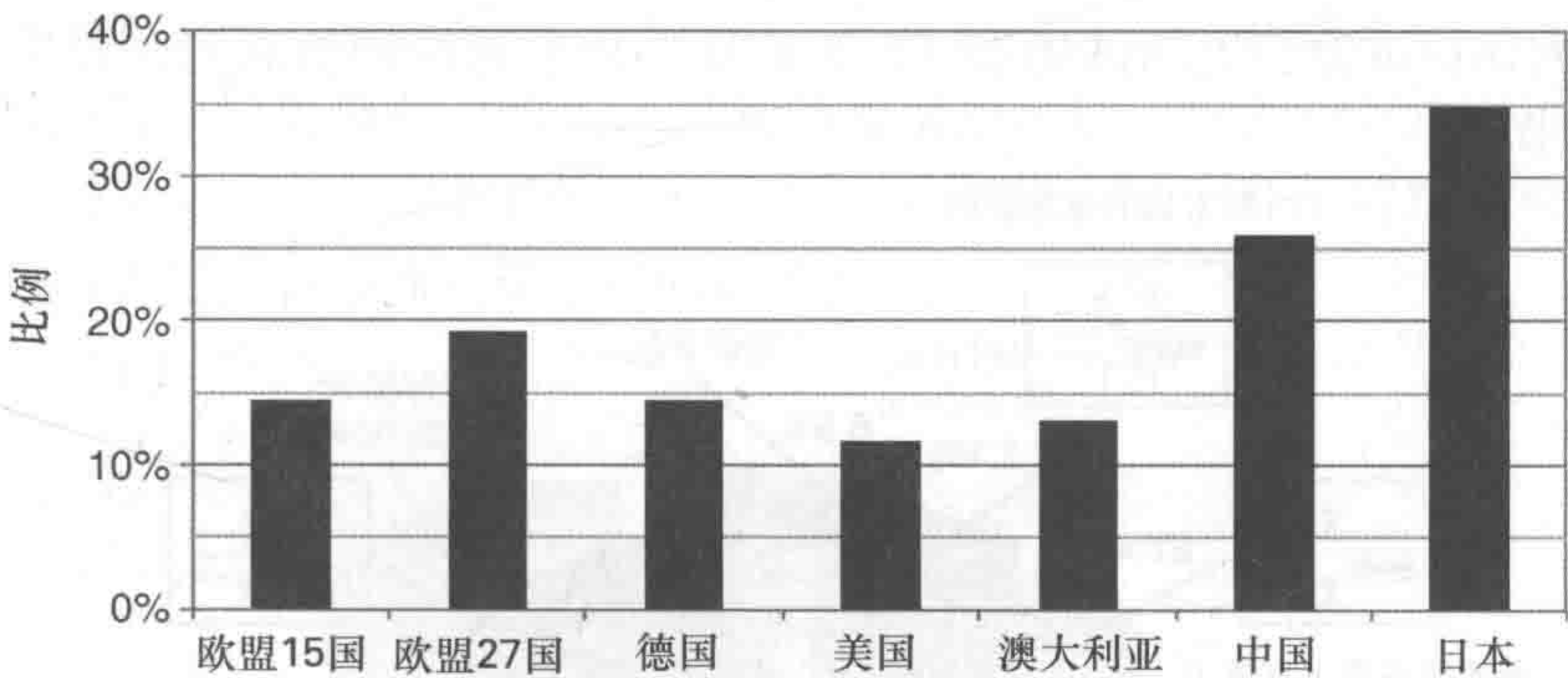


图 30-1 2008 年各国行人事故死亡占交通事故死亡人数比例（韩国 2006 年，中国 2007 年，欧盟 27 国数据——不含意大利、塞浦路斯和保加利亚）（WHO，2009；IRTAD，2010）

2.2 德国事故深度分析研究

为获得更加详细的行人交通事故信息,应该分析深度事故数据库。GiDAS (German In-Depth Accident Study) 项目建立了一个深度事故数据库。下面的章节将简单解释 GiDAS 项目中事故信息的收集方式。而且,从数据库中获得的分析结果摘录也在下面章节中列举出来了。

2.2.1 GiDAS 项目: 深度事故调查

GiDAS 项目由现场事故调查研究小组开展。现场事故调查研究小组于 1999 年由德国汽车工业研究协会 (German Automotive Industry Research Association) 和联邦公路研究所 (Federal Road Research Institute) 合作建立。事故调查在德国的德累斯顿和汉诺威两个城市进行。GiDAS 项目是德国最大的现场事故研究项目,从各种有人员伤亡的事故中收集数据。该调查包括了每年约 2000 场的事故总数,以及每场事故的 3000 个参数数据,该调查的采样计划由联邦调查统计局制订,保证样本的代表性。

2.2.2 行人事故分析结果

GiDAS 事故数据库中行人事故记录包含了非常详细的碰撞事故的原因和过程信息。事故数据分析的结果被当成输入参数用于主动行人安全系统的开发和测试,只有用这种方法才可以提高系统在实际事故中的效果。在乘用车和受到 MAIS2+ (AAAM, 2005) 损伤的行人正面碰撞事故中,事故类型分布如图 30-2 所示。图 30-2 表明接近 86% 的行人事故发生在行人横穿直道时; 59% 的事故中,驾驶人的视野没有被遮挡,且车辆行驶在直道上; 仅 7% 的碰撞事故发生在车辆转弯时。事故类型的数据提供了事故发生原因的详细信息。这些信息成为定义行人保护试验装置测试场景 (5.3.1 节) 和车辆在环仿真测试程序的基础 (5.3.2 节)。

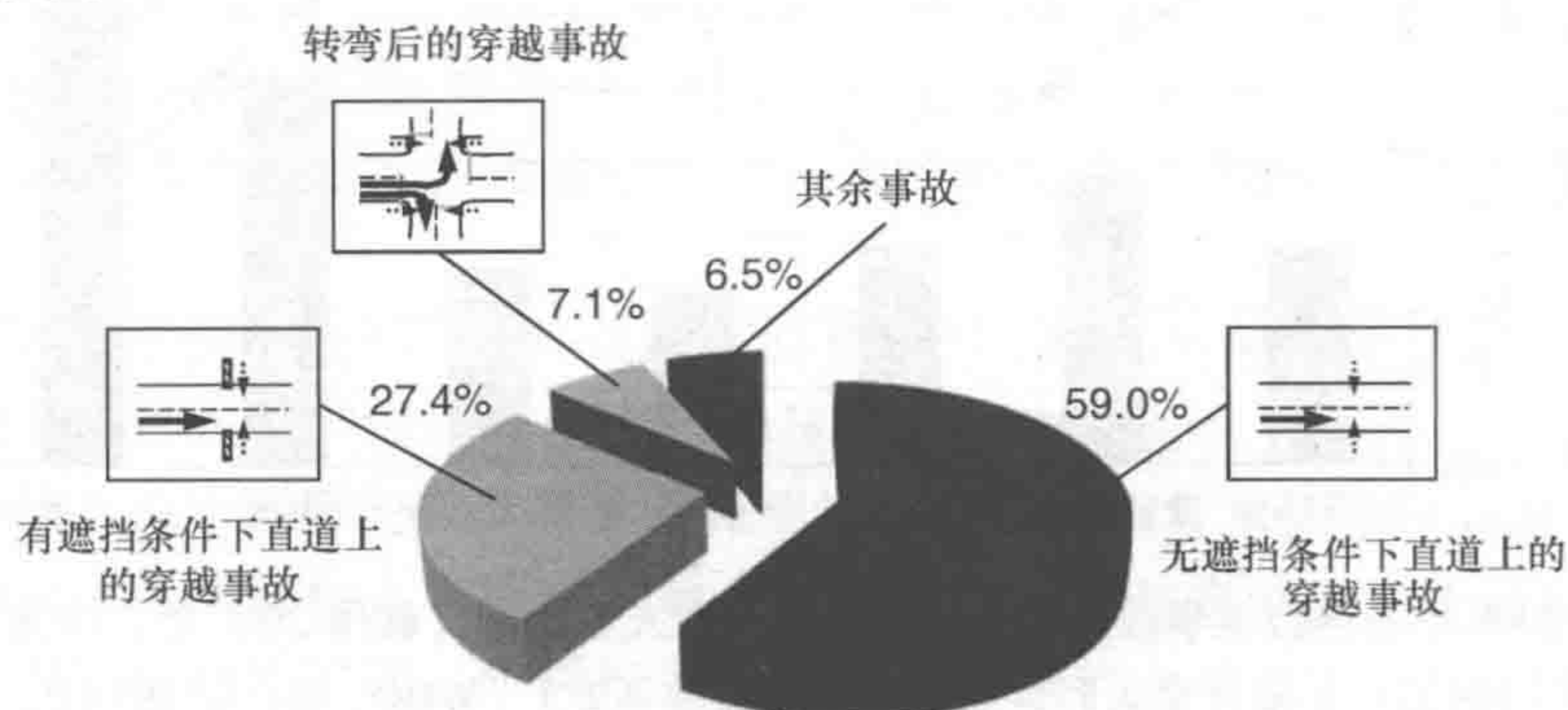


图 30-2 乘用车和受到 MAIS2+ (AAAM 2005) 损伤的行人的正面碰撞事故类型分布 (GiDAS 事故数据库)

通过分析行人交通事故发生的时间可以发现：57% 的事故发生在白天，35% 的事故发生在夜间，8% 的事故发生在黎明或黄昏。3 种事故类型发生的时间分布如图 30-3 所示。在直道上的两种交通事故的对比分析结果表明：在没有视线遮挡的情况下，行人横穿马路事故发生在夜间的比例较高。但是，有视线遮挡情况下，行人横穿马路事故在白天发生频率更高。这个结果也被用于定义主动安全措施的真实测试场景。而且，这个结果也影响用于检测行人的传感器技术（5.2 节）。

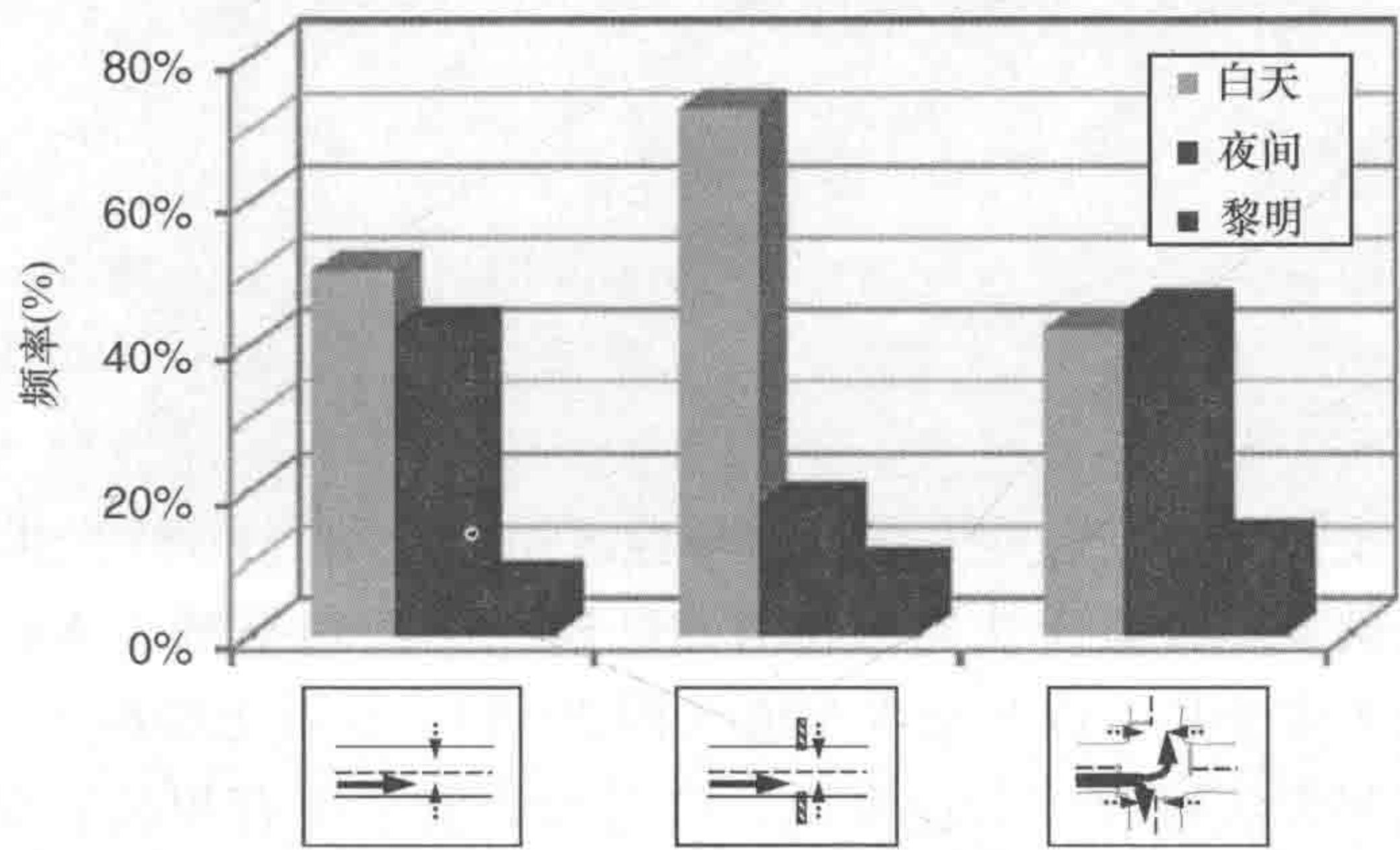


图 30-3 乘用车和受到 MAIS2 +（AAAM 2005）损伤的行人的正面碰撞事故类型发生时间分布（GiDAS 事故数据库）

驾驶人制动行为的分析结果表明：接近 37% 的行人碰撞事故在碰撞前的阶段，驾驶人未踩制动（图 30-4）。51% 的事故中，驾驶人采取了强制制动（减速度大于或等于 6m/s^2 ）。约 13% 的事故伴随着轻微制动（减速度小于 6m/s^2 ）。特别是在这些驾驶人没有采取制动的事故中，有可能通过自动制动或警告驾驶人的方式有效减轻事故对那些驾驶人采取制动的事故来说，预警的方式有可能使驾驶人提前做出反应。上面的结论明确表明：从实际事故中得出的结论能够用于制定主动行人避撞策略和定义系统测试场景。

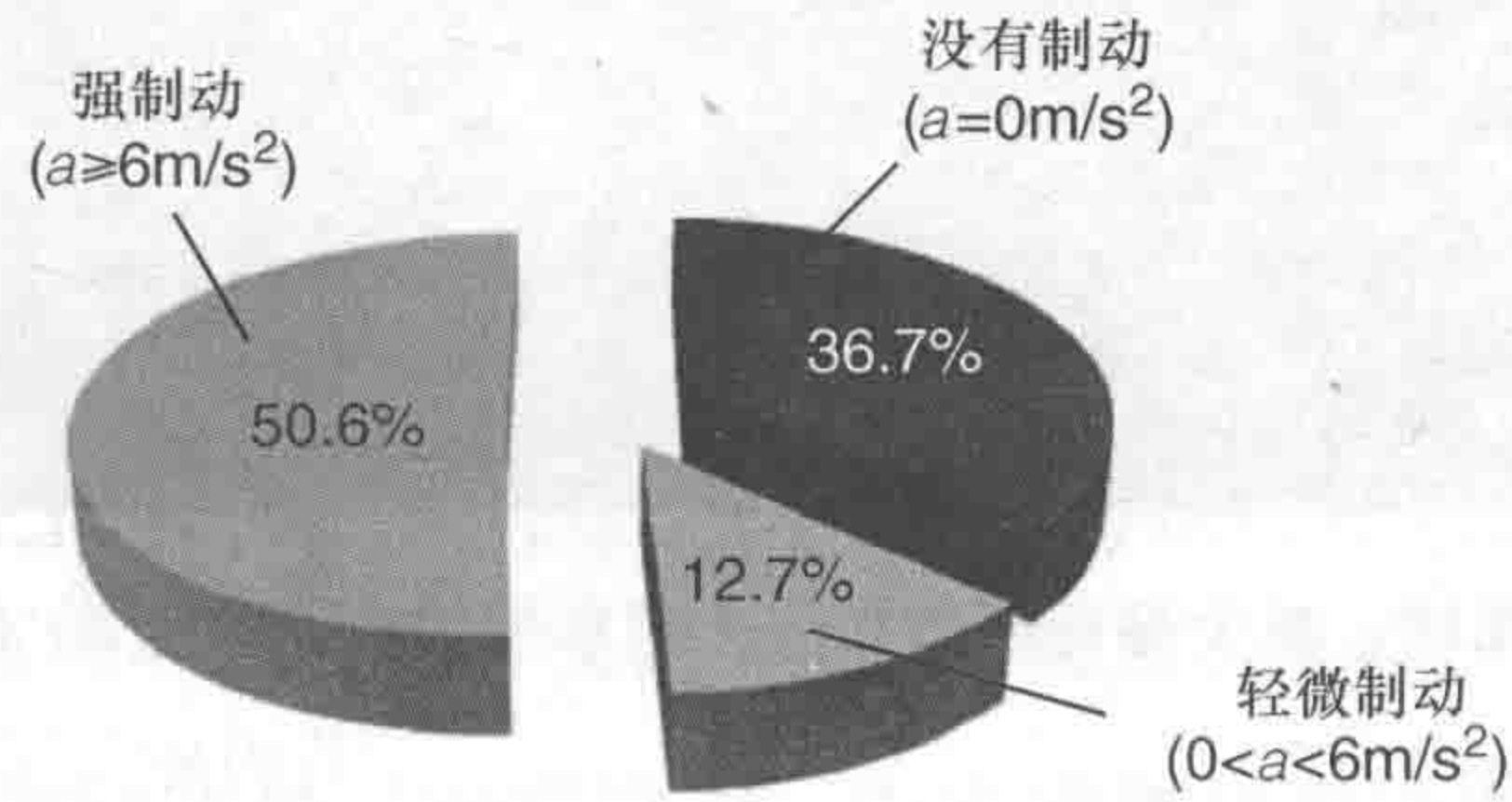


图 30-4 乘用车和受到 MAIS2 +（AAAM 2005）损伤的行人正面碰撞事故驾驶人制动行为分布（GiDAS 事故数据库）