

面向安全提升的 行人过街行为研究

周竹萍 王 炜 任 刚 著



科学出版社

面向安全提升的行人过街行为研究

周竹萍 王 炜 任 刚 著

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

步行是最古老的出行方式,也是与人类生活密不可分的一项交通活动。随着我国交通安全形势的日趋严峻,行人交通安全已开始成为学者普遍关心的问题。本书以信号控制交叉口、人行天桥与地道、路段过街人行横道等过街设施处的各种过街现象为基本出发点,以提升行人过街交通行为的安全性为应用目标,运用交通规划、数理统计、系统科学、行为科学、社会心理学、复杂网络理论、生理学等理论与方法,在大量数据调查的基础上,系统分析行人过街的交通特征、生理特征、心理特征与行为特征。以行为分析结论为基础,选取行人过街行为安全性评价指标,提出行人过街行为安全性评价指标体系与评价方法。通过量化研究不同类型人车冲突和违法过街行为的危险度,从交叉口改进措施、安全过街策略、安全过街宣教等方面提出行人过街行为安全性提升方法,为制定和实施行人交通安全提升对策提供理论支撑。

本书可作为交通工程、交通运输及交通安全等专业方向的研究生教材和高年级本科生选修教材,也可供从事交通管理工作及交通安全研究的相关人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

面向安全提升的行人过街行为研究/周竹萍,王炜,任刚著. —北京:科学出版社, 2014.11

ISBN 978-7-03-042470-9

I. ①面… II. ①周… ②王… ③任… III. ①行人-交通管理-研究 IV. ①U491.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 263078 号

责任编辑:伍宏发 曾佳佳/责任校对:刘小梅

责任印制:肖 兴/封面设计:许 瑞

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2014 年 11 月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2014 年 11 月第一次印刷 印张:15

字数:300 000

定价:78.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

步行交通是与人类生活密不可分的一项交通活动。随着我国城市化的发展,城市交通的形式和内容都发生了质的变化,但步行交通仍是满足人们日常生活需要的一种基本交通方式,同时也是各种交通方式相互衔接的桥梁或补充。

行人是车外、无防护的交通参与者,在道路交通事故中最容易受到伤害,常形成死亡或重伤的恶性交通事故。据统计,全世界 1/3 的交通事故都与行人有关。欧盟对道路交通事故分析显示,行人死亡人数是车内乘员的 9 倍。在我国交通事故中,步行交通方式死亡人数比例也较高。以 2009 年全国道路交通事故统计为例,我国因道路交通事故死亡 67 759 人,其中行人死亡 16 683 人,占交通事故死亡总人数的 24.62%。同样是 2009 年,美国共有 4092 个行人在交通事故中丧生,只占交通事故总死亡人数的 12.10%。可见我国行人交通安全问题不可小觑。

行人过街交通秩序混乱,在交叉口不注意信号灯、随意穿越的“中国式过马路”现象随处可见。造成行人过街交通问题的原因有很多,总体上可分为三个方面:①行人过街环境差、设施设置不当,重机动车交通而忽略行人交通特性;②交通参与者行为约束力弱,交通安全意识和文明意识淡薄;③城市交通部门决策和管理存在不足,管理控制手段缺乏科学理论依据支撑。上述问题的解决虽然应从不同方面着手,然而,人是由人、车、路、环境所组成的交通系统中最活跃的因素,行人始终是步行交通的主体,行人行为始终是步行交通问题的主要影响因素和作用载体。

减少交通事故以预防为主,人的因素自然是关注重点。而且,数据表明大多数的交通事故都伴随着明显的交通违法行为,对行为特性的研究更是交通事故成因分析的关键点和难点。

本书旨在对行人过街行为开展解析、建模、仿真及评价,为提升行人交通安全和道路交通运行效率提供理论依据。对从源头上有效解决行人过街交通问题,构建“以人为本、综合路权”的城市交通系统具有现实指导意义。

本书由国家自然科学基金项目“基于行为机理分析的行人过街安全提升方法研究”(批准号 No. 51308298)及住房和城乡建设部科学技术项目“基于行为机理的行人过街设施设置依据与方法研究”资助。

目 录

前言

第一章 绪论	1
1.1 研究背景及意义	1
1.2 行人交通现状	3
1.2.1 行人过街交通流	4
1.2.2 行人过街行为特征	5
1.2.3 行人过街行为心理学	6
1.2.4 行人过街设施设置	7
1.2.5 行人交通发展趋势	8
1.3 主要研究内容	12
1.4 研究方法	13
第二章 行人交通事故分析	16
2.1 事故数据分析的意义	16
2.2 交通事故数据分析方法	16
2.2.1 计数数据模型	16
2.2.2 离散选择模型	17
2.2.3 路径模型和结构方程模型	18
2.3 行人交通事故全球概况数据分析	18
2.3.1 全球行人交通事故总体特征	18
2.3.2 全球行人交通事故死亡人数分析	19
2.3.3 行人交通事故特点	21
2.4 中美两国行人交通事故数据对比分析	22
2.4.1 交通事故总量	22
2.4.2 行人在交通事故中的伤亡数据分析	23
2.4.3 行人交通事故原因分析	24
2.4.4 行人事故死亡人数的性别和年龄分布	26
2.5 行人交通事故的影响因素分析	29
2.6 交通事故致因分析	31
2.6.1 能量转移论	31
2.6.2 轨迹交叉论	32
2.6.3 多米诺骨牌事故模型	33
2.6.4 系统论的人因素模型	33

第三章 行人过街设施及交通特征分析	35
3.1 行人过街设施的分类	35
3.2 交叉口行人过街设施	36
3.2.1 人行横道	36
3.2.2 信号灯	36
3.2.3 信号交叉口人行横道	38
3.2.4 安全岛	39
3.3 路段行人过街设施	40
3.3.1 无信号控制人行横道	40
3.3.2 立体过街设施	40
3.3.3 路段触摸式行人过街信号	41
3.4 行人过街交通特征	43
3.4.1 行人到达规律	43
3.4.2 行人过街过程	43
3.4.3 行人过街速度	44
3.4.4 行人流量	46
3.4.5 行人密度	46
3.4.6 行人空间占有量	47
第四章 行人过街生理特征分析	49
4.1 实验原理	49
4.1.1 心理状态的生理反应	49
4.1.2 心理紧张的生理学基础	49
4.1.3 生理指标选取	50
4.2 实验仪器及方案设计	52
4.2.1 实验仪器	52
4.2.2 实验方案设计	53
4.3 预备实验	55
4.4 心率参数的变化规律	56
4.4.1 实验对象步行交通行为分析	56
4.4.2 不同过街设施上的心率变化	57
4.4.3 不同群体的平均心率值	58
4.4.4 不同行为情况下的心率变化	58
4.4.5 信号控制交叉口不同等待时间下的心率变化	59
4.5 实验结论	61
第五章 行人过街心理特征分析及建模	62
5.1 不同群体行人的心理特征	62
5.1.1 儿童行人	62
5.1.2 中青年行人	62

5.1.3 老年行人	63
5.1.4 乡村行人	63
5.1.5 残疾行人	64
5.2 行人过街心理指标分析	64
5.2.1 过街等待心理极限	64
5.2.2 过街环境安全感知	65
5.3 行人过街行为的需要层次理论分析	66
5.3.1 行人过街需要的层次分析	67
5.3.2 违法过街行为形成的需要理论解释	68
5.4 个体违法过街行为的期望理论分析	69
5.4.1 期望理论	69
5.4.2 期望理论对行人违法过街行为的解释	70
5.5 结伴违法过街行为的计划行为理论建模	73
5.5.1 计划行为理论概述	73
5.5.2 基本变量的模型表达	75
5.5.3 基本模型改进	76
5.5.4 问卷设计及调查	77
5.5.5 结伴过街行为特征	81
5.5.6 TPB 建模结果分析	83
5.5.7 行人的违法行为矫正和安全教育	84
5.6 从众过街行为的心理分析及建模	85
5.6.1 社会影响理论的解释	85
5.6.2 从众行为的发生条件	87
5.6.3 从众行为的信息流分析	89
5.6.4 基于复杂网络的从众违法过街行为建模	91
第六章 无信号控制过街处行人过街行为特征分析	104
6.1 无信号控制过街处行人过街交通流分析	104
6.1.1 无信号控制过街处混合交通流的自组织现象	104
6.1.2 混合交通流的协同分析	106
6.2 无信号控制过街处行人过街行为调查	107
6.3 无信号控制过街处行人过街行为特征分析	108
6.3.1 临界穿越间隙	108
6.3.2 停驻次数与停驻时间	109
6.4 行人穿越及机动车避让的影响因素	110
6.4.1 行人穿越机动车决策的影响因素	110
6.4.2 机动车避让行人的影响因素	110
6.5 行人过街率与车辆到达速度的相关性	111

第七章	立体过街设施处行人过街行为特征分析	112
7.1	立体过街设施概述	112
7.1.1	行人过街设施存在问题	112
7.1.2	立体过街设施的设置必要性	112
7.1.3	立体过街设施的形式	113
7.2	人行天桥使用特性	113
7.2.1	人行天桥的设施特性	113
7.2.2	人行天桥使用特性调查	117
7.2.3	人行天桥处行人过街行为特征	118
7.3	人行地道使用特性	120
7.3.1	人行地道的设施特性	120
7.3.2	人行地道使用特性调查	122
7.3.3	人行地道处行人过街行为特性	123
7.4	人行天桥与人行地道的比选设置	124
7.4.1	人行天桥与地道的优缺点对比	124
7.4.2	比选设置的主要因素	125
第八章	信号控制交叉口行人过街行为特征及机理分析	126
8.1	行人过街行为过程及特征分析	126
8.1.1	行人过街行为过程	126
8.1.2	守法行为与违法行为	127
8.1.3	个体行为与群体行为	134
8.2	行人过街行为影响因素	136
8.2.1	已有研究	136
8.2.2	个人属性	137
8.2.3	家庭属性	138
8.2.4	行人设施属性	138
8.2.5	交通状况特征	138
8.2.6	主观偏好	138
8.3	过街行为选择结果	139
8.3.1	过街行为分类	139
8.3.2	调查方法和数据	140
8.3.3	调查数据的描述性统计分析	142
8.3.4	各类过街行为的特性分析	143
8.4	过街行为选择的隐性变量建模	145
8.4.1	隐性变量的建模思路	145
8.4.2	模型求解的基本原理	146
8.4.3	模型拟合结果	147
8.5	行人个体过街行为选择的 MNL 模型	149

8.5.1	基础理论	149
8.5.2	建模框架与步骤	153
8.5.3	变量设置	154
8.5.4	模型标定	155
8.5.5	模型拟合精度检验	157
8.5.6	模型比较与解释	160
8.5.7	模型应用分析	162
第九章	行人过街行为危险度分析	165
9.1	研究思路和方法	165
9.1.1	研究思路	165
9.1.2	研究方法	166
9.2	基于事故数据的行人违法过街的相对危险度分析	169
9.2.1	已有研究	169
9.2.2	数据分析	170
9.3	行人-机动车交通冲突特性分析	171
9.3.1	交通安全的表征——交通冲突	171
9.3.2	行人交通冲突的基本定义	173
9.3.3	行人交通冲突的基本特性分析	176
9.3.4	行人交通冲突的类型分析	178
9.3.5	行人观察行为与交通冲突的相关性	183
9.3.6	行人违法率与交通冲突的相关性	185
9.4	不同类型行人-机动车冲突的严重性分析	187
9.4.1	冲突严重性指标数据提取	187
9.4.2	聚类分析方法	189
9.4.3	各类型交通冲突严重性分析	192
9.5	各交叉口和不同行为的冲突危险度	193
9.5.1	各交叉口的冲突危险度	193
9.5.2	不同过街行为的危险度	194
9.6	行人过街危险度的应用研究	194
9.6.1	交叉口行人过街安全性评价	194
9.6.2	基于冲突分析的行人过街安全性提升对策	196
第十章	行人过街行为安全性评价	200
10.1	评价指标	200
10.1.1	指标选取原则	200
10.1.2	评价指标体系	201
10.1.3	评价指标筛选	201
10.2	量表设计	202
10.2.1	量表分析方法	202

10.2.2	评价指标对应量表设计·····	203
10.3	评价方法·····	207
10.3.1	基本理论·····	207
10.3.2	评价程序·····	209
10.4	评价等级确定·····	212
10.5	示例分析·····	213
10.5.1	基本思路·····	213
10.5.2	评价因子的确定·····	213
10.5.3	评价函数的确定·····	213
10.5.4	模糊积分的计算·····	215
10.5.5	模糊识别·····	216
参考文献·····		218

第一章 绪 论

1.1 研究背景及意义

近年来,随着我国道路交通安全形势的日趋严峻,行人交通安全也已开始成为学者普遍关心的问题。因为行人是车外交通参与者,又是无防护的交通参与者,在道路交通事故中最容易受到伤害,常形成死亡或重伤的恶性交通事故^[1]。据统计,全世界 1/3 的交通事故都与行人有关。欧盟对道路交通事故分析显示,行人死亡人数是车内乘员的 9 倍^[2]。在我国交通事故中,步行交通方式死亡人数比例也较高。以 2009 年全国道路交通事故统计为例,我国因道路交通事故死亡 67 759 人,其中行人死亡 16 683 人,占交通事故死亡总人数的 24.62%^[3]。同样是 2009 年,美国共有 4092 个行人在交通事故中丧生,只占交通事故总死亡人数的 12.10%^[4]。可见我国行人交通安全问题不可小觑。

城市步行交通一般可分为沿街交通、过街交通和场站枢纽交通(如步行街、车站、广场、码头等交通场所)。行人沿街交通基本不会与机动车流、非机动车流产生冲突;过街交通则会与机动车流、非机动车流发生冲突。据统计资料显示,行人交通事故较易在行人过街时发生,如信号控制交叉口、无信号控制过街处等。例如,日本有超过 60%的行人交通事故发生在交叉口;我国约有超过 40%的行人事故发生在信号控制交叉口^[5]。其中,由违法穿越车行道、违反交通信号等违法交通行为引起的事故是行人交通事故的重要组成部分。如 2008 年、2009 年、2010 年,由行人闯红灯引起的交通事故占行人违法导致事故总数的 35.98%、36.37%、33.02%^[3]。

减少交通事故以预防为主,人的因素自然是关注重点。而且,上文数据也表明大多数的交通事故都伴随着明显的交通违法行为,对行为特性的研究更是交通事故成因分析的关键点和难点。因此,行人过街交通是行人交通安全研究的核心和焦点,研究过街交通特性对于处理好行人交通有着重要意义。

我国行人过街的交通现状主要存在以下问题。

1) 行人过街环境差、设施设置不当

由于许多大城市交通拥堵现象严重,如何缓解机动车拥堵成了城市管理者和社会各界热议的焦点问题。但还有一个更需要注意和着重解决的问题显然是被忽

略了,这就是行人在城市交通中的尊严、地位和困境。

目前我国城市道路行人过街交通状况普遍较差,许多城市道路上缺少必要的行人过街设施,或者有相关设施但设计不合理,普遍存在“出行难、过街难”现象,行为过街问题已成为引发我国城市道路交通混乱与交通事故的主要原因之一。

行人过街设施主要包括人行横道、行人过街天桥和行人过街地道。如交叉口人行横道过长、行人过街信号过短、穿越街道绕行距离太远、过街设施的设置不符合人体工学、交通标志标线不明显等。行人交通设施设计的不合理,迫使行人为了满足快捷方便的出行而与机动车相互干扰、争道抢行^[6]。同样,由于配套设施设计不到位,行人有时不愿使用过街天桥和人行地道。

2) 交通参与者交通安全意识和文明意识淡薄、行为约束力弱

交通参与者守法意识、安全意识和文明意识淡薄,遵守交通法规的观念不强,交通行为约束力偏弱,不同交通参与者相互干扰,形成了机动车道“人不让车”、交叉口和路段人行横道“车不让人”的状况,降低了道路的通行效率和安全性,也让城市丢失了文明的形象。此外,行人安全意识较机动车驾驶员更为薄弱,在自我约束力较低的情况下,行人的步行交通行为还存在突出的从众性和随意性特征。由于行人存在从众心理,在交叉口有行人带头闯红灯就会吸引更多的行人违法,人车抢道而行的现象比比皆是。行人的行为也存在很大的随意性,经常在极端危险的交通环境中随意改变过街方向和路线,造成机动车驾驶员的困扰。

3) 城市交通部门决策和管理存在不足,有效管理控制手段缺失

信号控制交叉口人行横道处缺乏有效控制和管理,行人过街常会违反交通法律法规。行人信号灯只是起到划分道路通行权的作用,而对通行权的遵守就需要交管部门实行管理和控制,很多情况下,与其说行人和机动车驾驶员交通素质低,不如说有效的交通管理缺失。交通管理者缺乏有效管理手段,无法将有限的道路资源在机动车、非机动车和行人之间进行科学合理的分配,我国特有的混合交通流与相对落后的交通流组织、管理和控制间的矛盾既不利于行人过街安全,也妨碍了机动车与非机动车的正常通行。

可将造成以上现象的原因归结为:行人过街设施的设计标准相对片面和落后,重点考虑机动车交通而忽略行人交通特性;城市交通部门的决策和管理不当;交通参与者的宣教力度不够,效果不明显。上述问题的解决虽然应从不同方面着手,但人的因素肯定是核心要素,行人始终是步行交通的主体,行人行为始终是步行交通问题的主要影响因素和作用载体。对行人的过街行为特性的研究都是根本出发点,提升其过街安全性、效率和舒适性都是最终目的。因此,科学分析行人过街行为特性具有重要的理论价值和现实意义。详细来说,开展行人过街特征及行

为机理的研究主要有以下几点意义:

(1) 交通设施设置方面, 研究行人过街行为对于优化道路交通资源, 科学设置行人交通设施, 减少交通事故, 保证人、车安全具有重要意义。而在保证城市整体道路交通需求的情况下, 为城市居民创造一种安全、连续、高效、文明的出行环境, 构建人性化城市交通, 恰是现代交通“以人为本”思想的一个重要体现。

(2) 对行人交通参与者, 分析其行为的内在致因, 能准确定位交通行为安全性提升对策的出发点和关键点。特别是针对重点群体的干预措施, 对减少其不安全过街行为的产生, 保护行人交通安全有着显著的积极意义。

(3) 对交通管理者, 以行为机理分析为基础的理念和管理措施更有助于混合交通的管理, 能有力减少行人和机动车相互干扰, 有效约束行人违法交通行为的产生。从而降低事故发生率, 保持道路畅通和保障交通安全, 促进和谐交通环境的形成。

1.2 行人交通现状

对于步行活动和步行系统的研究, 西方早在 20 世纪五六十年代就已经开始。研究内容包括: 步行对于人们交往和城市活力的意义、步行对城市交通模型的影响探讨等, 着重从人及其活动对物质环境的要求这一角度进行研究, 强调重视人的步行权利以及公共空间的质量。1975 年, Pushkarev 和 Zupan 编写了“*Urban Space for Pedestrians*”一书, 对行人交通与城市环境的研究产生重要影响^[7]。在不断改善行人交通环境的同时, 国外学者对行人交通系统的理论研究也在不断深入, 主要集中在步行交通特征、行人交通流理论、行人设施的设置、行人交通事故等方面。

国内在行人过街方面的研究起步较晚。从 20 世纪 80 年代开始, 段里仁开展了这方面的研究工作, 着力于改善行人交通环境, 不断加深对行人交通的研究, 在交叉口、路段行人过街交通特性、行人交通安全和行人信号设计方面取得许多成果^[8]。近年来, 行人过街的研究集中于行人信号的设计、行人交通管理、行人过街安全设施等方面。如同济大学的学者对行人信号设置方法进行了系统的研究, 杨晓光、马万经等对设置行人专用信号的必要性、二次过街条件下行人相位的设计方法等进行了研究。

国内外研究行人过街问题的角度和侧重点有所不同, 国外研究偏重于调查数据, 国内研究则看重理论方法。无论从理论上还是规划实践上, 已有成果都具有值得借鉴的地方。但是由于受到传统以研究机动车交通为主的影响, 长期以来对行人过街方面不够重视, 相关工作未深入展开。尤其是对微观层面的行人过街行为以及其相关生理、心理特征的研究不够系统。缺少对行人过街的行为机理、某

些具体行为下心理状态的分析,在理论上有待于进一步拓展和深入。

行人过街交通的研究经历了不同的发展阶段:早期的研究以经典的行人交通流三参数建模为主;20世纪90年代以来,结合行人交通流的基本思想,开始对大型活动或应急疏散情况下的行人运动特性进行建模与仿真,在应用方面的研究主要集中在行人过街设施的设置方法上;21世纪初,主要集中于开展行人过街行为及心理的交叉研究;近几年,随着交通安全形势的严峻和现代交通“以人为本”思想中的“保障行人安全”理念的推行,如何减少行人事故、提高行人安全保障程度,逐渐受到学者的广泛关注。

1.2.1 行人过街交通流

作为行人交通早期的代表性著作,Fruin的博士学位论文“*Pedestrian Planning and Design*”详细分析了步行交通的速度、人行横道上的交通流特征、步行空间和冲突、行人的排队特征等,为行人交通的后续研究发展奠定了基础^[9]。

除了HCM(2010)对不同出行目的下行人交通流速度-密度、速度-流量的数学关系进行了研究之外,Hughes和William等都通过严密的数学建模分析基本参数之间的关系^[10-12]。在数据分析方面,美国宾夕法尼亚州交通研究所Knoblauch等也对步行速度和行人启动时间进行了调查研究^[13],约旦的Mohammed对行人过街速度进行了调查研究^[14]。

在行人交通流仿真建模方面,日本静冈大学(Shizuoka University)机械工程学院热力学系有突出贡献。利用晶格气体模型分别描述无分隔道路均匀密度条件下行人双向运动的随机特性^[15]、部分分隔的道路上行人的随机运动特性^[16]、无分隔有分界线下双向行人交通特性^[17]、无分隔交叉口处的行人交通^[18]、瓶颈路段的行人交通^[19]。除了Vietor和Burstedde运用经典的元胞自动机模型模拟行人交通流外,Roger利用二维细胞自控模型模拟行人行为^[20-22]。

行人交通流的基本原理是和机动车相类似的,因此国内对行人交通流研究主要是仿照机动车交通流理论建立行人交通流的流量、速度、密度等参数之间的关系^[23]。东南大学的徐吉谦、边扬等研究了步行交通流特征和步行交通服务水平评价方法^[24]。徐良杰建立了行人过街平均等待时间模型、过街行人穿越左右转机动车的临界间隙模型、行人穿越数及等待通行数计算模型^[25]。哈尔滨工业大学的王迎华对封闭人行通道行人交通流进行模拟,分析了影响行人通行能力的因素^[26]。北京工业大学孙智勇利用二次多项式模型构造了行人交通流运行的统计模型,最后给出北京市人行横道的通行能力推荐值^[27]。龚晓岚等用大量的实测数据建立了不同步行设施上行人的自由速度分布模型^[28]。

1.2.2 行人过街行为特征

行人行为的复杂特性,各研究机构根据其研究背景,关注不同的行人行为属性。有很多领域学者都关注行人行为,包括交通领域、数学领域、计算机领域、城市规划领域、城市生态学和社会学领域、人因工程及工业设计等多个方面^[29]。

交通领域的行人行为研究,较早阶段集中在两个方面:第一,日常条件下城市街道和非连续行人设施的混合交通流中的行人行为,例如交叉口、各类街道、城市社区的行人行为特性^[30-33];第二,侧重于行人交通安全(与机动车冲突相关的交通安全问题)里面涉及的行人行为^[34,35]。近年来,随着新问题的不断出现,大型活动或突发事件下的行人行为和行人行为的心理学、行为学研究成为了重要的研究方向。对于信号控制交叉口的行人过街行为,研究内容主要包括以下几点。

老人和儿童作为交通参与者中最脆弱的人群,其行为特性受到了国外学者的广泛关注。Pardo、Andrew、Ampofo、Van Schagen 等分别分析了老人或儿童的过街行为危险度、危险感知、安全过街的判断和安全过街知识的宣教和训练^[36-39]。Lam 通过电话调查,研究了父母带领儿童过街时,父母的安全过街行为对儿童的行为有显著影响^[40]。

Li 通过调查单向街道行人躲避障碍和躲避车辆的危险避让行为,分析行人安全认知能力,利用二分 Logit 模型描述了行人的危险感知度^[41]。Rosenbloom 等观察了两个宗教中心附近的交叉口行人闯红灯、机动车道旁行走、无行人过街标志标线处随意穿越、穿越街道前不观察交通状况和携儿童过街五个方面数据,研究了宗教对行人过街行为的影响^[42]。Hatfield 发现过街时使用手机的行人步速缓慢,不注意周围交通状况,认知能力下降,故为了安全建议过街时避免使用手机^[43]。David 通过问卷和交通调查,分析不同性格人群的过街行为特性,Carol 则通过不安全过街行为特性的统计,得出不同年龄、性别人群的行为差异性^[44,45]。

近年来,国内对行人过街行为特性的研究已由宏观的定性判断转为微观的建模研究。吴建平使用视频采集和数据分析技术收集自行车和行人在交叉口的行为,得出信号交叉口自行车和行人的各种微观行为特征和基础行为模型^[46]。北京交通大学的高易尧、赵雪娟在其硕士学位论文中分别分析了行人期望等候时间与行人试图穿过的数量之间的关系,以及信号交叉口行人与非机动车微观违章行为的规律^[47,48]。吉林大学景超分析了行人过街的规律性,依照行人过街的客观环境、行人过街的主观需求、行人过街的行为过程三个环节,描述了行人过街行为规律^[6]。针对无信号控制处行人过街特性,吉林大学王芳、重庆交通大学刘胜洪通过对不同年龄、性别、人数行人过街行为的细化和比较,明确了行人过街安全/不安全行为的范畴及行人过街不安全行为产生的影响因素^[49,50]。武汉理工大学王延锋通过 Logistics 建模分析,得出道路两侧行人吸引点、其他行人影响、过街时间特性、

行人年龄、过街结伴人数对行人违章穿越行为有显著影响^[51]。

通过对行人过街交通特性和行为研究概况分析可知，对行人过街行为的研究内容主要集中在路径选择模型、重点群体行为特性、个体属性和外界环境对行人的影响以及新安全措施的效果分析等方面。针对不同的研究侧重点，研究方法和建模思路也不尽相同，详细的分析见表 1-1。

表 1-1 行人过街行为各研究点的主要研究方法

研究内容	数据获取方法	研究方法和理论
行人过街路径选择模型	视频录像	数学建模、物理建模、计算机仿真
重点群体(儿童、老人)的行为特性，不同群体的安全感知	观察实验、问卷调查	科学实验、统计分析
个体属性(年龄、性别等)和建成环境(built environment)对过街行为的影响，可忍受等待时间等心理参数	问卷调查(self-report 数据)	计划行为理论、健康信念模型等社会心理学模型
新设施、新的安全宣教方法对行人过街行为的影响	视频录像	Before-after, Case-control, Pre-test and post-test

对比分析国内外学者在行人交通领域的研究进展可看出，国外学者在该领域已经取得了丰硕的成果。其中行人交通流理论的研究最为成熟，已经较为完善和多元化，能成功运用多种数学方法和物理方法进行行人交通流建模。关于行人过街行为的研究是近些年的研究重点，其研究内容较为细化、深入，对于国外的行人设施规划设计有较好的指导意义。

相对而言，国内学者对行人的关注程度不够。无论是经典的行人交通流理论还是行人过街行为方面，国内的研究都存在内容过于宏观，方法相对单一的问题。对设施设计的分析，能较好地适应我国交通特点，但是不够系统和深入，特别缺乏引进先进设施设计理念和技术的前瞻性文献。

1.2.3 行人过街行为心理学

行为指受思想支配而表现出来的外表活动，即人的行为是心理活动的结果^[52]。因此，从心理活动角度探讨行为成因是一个重要研究方向。行人过街等待心理极限是过街行为心理特性的重要体现，Baass 指出 40s 以上的等待时间会导致行人冒险穿越，日本的 Asaba 和 Saito 的调查表明行人在等待 21~28s 后，会出现不耐烦的情绪^[53,54]。

Yagil 针对信号控制交叉口行人过街行为，详细分析行进环境和个人状态对行人意识的影响，同时也描述了行人的过街心理，发现女性比男性更容易意识到红灯期间行人违法过街对机动车驾驶员的干扰；心情愉快会改善交通安全行为；交

通流量和交通环境影响男性的行为,而女性易受其他行人行为影响^[55]。Sisiopiku 对各类步行交通设施处行人的交通行为和心理感受进行了调查,得出不同设施的适用性,是一个较为全面的研究^[56]。2004 年, Toshihiro 综合了 Epstein 和 Harrell 的研究后,将行人步行行为认定为基于环境状况的偶然行为,这种精神刺激来自两个方面,一个是来自其他行人的刺激,称为行人刺激(pedestrian-stress);另一个是如果行人不能通过最短路径到达目的地,那么就会受到来自目的地的刺激,称为目的地刺激(destination-stress)^[57]。

此外,也有不少学者引进了认知心理学中的计划行为理论、健康信念模型等来刻画行人过街过程中的心理状态^[55]。例如, Emilio 运用计划行为理论分析了行人违反交通规则时的心理特性^[58]。同样运用计划行为理论, Holland 对比分析了危险环境中的不同年龄、性别行人冒险过街行为,认为不同群体应当使用不同的安全设施^[59]。

北京交通大学孙世君在研究信号交叉口行人违法过街行为时发现,行人的违法行为与性别、年龄等无关;并运用期望理论,从心理角度分析行人违章行为产生的原因、违章行人的心理特征和心理活动过程^[60]。苑红伟等分析了行人出行认知心理与行为的关系,建立行人信息处理过程的概念模型;同时分析了过街行人的交通心理及行为特点,群体行为对交叉口交通安全的影响^[61]。同济大学李开兵等基于计划行为理论,从社会心理学的视角研究了行人违规交通行为的动因^[62]。熊文等通过意愿调查,分析了少年、青年、老年 3 组行人在各级干路过街的绕行距离阈值和等候时间阈值^[63]。

1.2.4 行人过街设施设置

对行人过街设施设置的讨论,国外学者进行了深入全面的分析。Dixon 等研究了减速设施对驾驶员在人行横道处驾驶行为的影响^[64]。Knoblauch 等研究了不同形式的人行横道标线对机动车车速的影响^[65]; Zegeer 等对无控制条件下设施标线人行横道和无标线人行通道的安全性进行了讨论,提出了两种设施的设置依据^[66]。Mikko 等通过视频调查和问卷调查数据的分析,获知了影响行人选择使用人行天桥的主要因素,并提出增加过街天桥吸引力的有效措施^[67]。

Carston 等研究了智能信号控制对行人行为和安全性的影响^[68]。Van Houten 等调查了各种信号的视认距离及其使用效果,建议使用一种带有动画眼的行人信号,以帮助弱视行人过街,它能有效吸引行人(特别是弱视者)注意转弯车辆,从而减少交通事故^[69]。Huang 等利用事前事后对比分析法(before-and-after study),研究了人行横道上触摸式信号按钮的设置效果^[70]。Nasar 研究了不同交通标志牌对驾驶员为行人停车让行行为的影响^[71]。George 等比较分析了各类路段行人信号的使用特性,得出不同几何线型、不同机动车、行人流量路段的行人信号设置方法^[72]。