



同济大学 1907-2017
Tongji University



总主编 伍江 副总主编 雷星晖

张圆圆 汪光焘 陈小鸿 著

道路网络结构的 交通安全分析方法

Traffic Safety Analysis Method for Road
Network Pattern



 同济博士论丛
TONGJI Dissertation Series
总主编 伍江 副总主编 雷星晖

张圆圆 汪光焘 陈小鸿 著

道路网络结构的 交通安全分析方法

Traffic Safety Analysis Method for Road
Network Pattern

 同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

内 容 提 要

本书以道路网络结构为研究对象,为研究其对于交通安全的影响建立完整的分析方法。该方法以小区为分析单元,从对路网构型的描述及指标计算、空间数据处理、统计模型构建,以及整套方法的应用4个部分进行阐述。本书提供的整套方法可以分析各种类型路网结构与不同类型交通事故之间的关系,不仅可以用来分析实例应用中路网连通性与慢性交通安全的关系,同时还可以扩展到分析路网构型其他的属性指标与不同事故群体、不同事故严重程度的关系。

图书在版编目(CIP)数据

道路网络结构的交通安全分析方法 / 张圆圆,汪光
焘,陈小鸿著. —上海: 同济大学出版社, 2018. 2
(同济博士论丛 / 伍江总主编)
ISBN 978-7-5608-7742-6

I. ①道… II. ①张… ②汪… ③陈… III. ①道路网
—网络结构—交通运输安全—研究 IV. ①U412.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 024222 号

道路网络结构的交通安全分析方法

张圆圆 汪光焘 陈小鸿 著

出 品 人 华春荣 责任编辑 陆克丽霞 卢元姗

责任校对 徐春莲 封面设计 陈益平

出版发行 同济大学出版社 www.tongjipress.com.cn
(地址:上海市四平路 1239 号 邮编:200092 电话:021-65985622)

经 销 全国各地新华书店

排版制作 南京展望文化发展有限公司

印 刷 浙江广育爱多印务有限公司

开 本 787 mm×1092 mm 1/16

印 张 14

字 数 280 000

版 次 2018 年 2 月第 1 版 2018 年 2 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5608-7742-6

定 价 78.00 元

本书若有印装质量问题,请向本社发行部调换 版权所有 侵权必究

“同济博士论丛”编写领导小组

组 长：杨贤金 钟志华

副 组 长：伍 江 江 波

成 员：方守恩 蔡达峰 马锦明 姜富明 吴志强
徐建平 吕培明 顾祥林 雷星晖

办公室成员：李 兰 华春荣 段存广 姚建中

“同济博士论丛”编辑委员会

总 主 编：伍 江

副 总 主 编：雷星晖

编委会委员：（按姓氏笔画顺序排列）

丁晓强	万 钢	马卫民	马在田	马秋武	马建新
王 磊	王占山	王华忠	王国建	王洪伟	王雪峰
尤建新	甘礼华	左曙光	石来德	卢永毅	田 阳
白云霞	冯 俊	吕西林	朱合华	朱经浩	任 杰
任 浩	刘 春	刘玉擎	刘滨谊	闫 冰	关佶红
江景波	孙立军	孙继涛	严国泰	严海东	苏 强
李 杰	李 斌	李风亭	李光耀	李宏强	李国正
李国强	李前裕	李振宇	李爱平	李理光	李新贵
李德华	杨 敏	杨东援	杨守业	杨晓光	肖汝诚
吴广明	吴长福	吴庆生	吴志强	吴承照	何品晶
何敏娟	何清华	汪世龙	汪光焘	沈明荣	宋小冬
张 旭	张亚雷	张庆贺	陈 鸿	陈小鸿	陈义汉
陈飞翔	陈以一	陈世鸣	陈艾荣	陈伟忠	陈志华
邵嘉裕	苗夺谦	林建平	周 苏	周 琪	郑军华
郑时龄	赵 民	赵由才	荆志成	钟再敏	施 骞
施卫星	施建刚	施惠生	祝 建	姚 熹	姚连璧

袁万城	莫天伟	夏四清	顾 明	顾祥林	钱梦弼
徐 政	徐 鉴	徐立鸿	徐亚伟	凌建明	高乃云
郭忠印	唐子来	閻耀保	黄一如	黄宏伟	黄茂松
戚正武	彭正龙	葛耀君	董德存	蒋昌俊	韩传峰
童小华	曾国荪	楼梦麟	路秉杰	蔡永洁	蔡克峰
薛 雷	霍佳震				

秘书组成员：谢永生 赵泽毓 熊磊丽 胡晗欣 卢元姗 蒋卓文

总序

在同济大学 110 周年华诞之际,喜闻“同济博士论丛”将正式出版发行,倍感欣慰。记得在 100 周年校庆时,我曾以《百年同济,大学对社会的承诺》为题作了演讲,如今看到付梓的“同济博士论丛”,我想这就是大学对社会承诺的一种体现。这 110 部学术著作不仅包含了同济大学近 10 年 100 多位优秀博士研究生的学术科研成果,也展现了同济大学围绕国家战略开展学科建设、发展自我特色,向建设世界一流大学的目标迈出的坚实步伐。

坐落于东海之滨的同济大学,历经 110 年历史风云,承古续今、汇聚东西,秉持“与祖国同行、以科教济世”的理念,发扬自强不息、追求卓越的精神,在复兴中华的征程中同舟共济、砥砺前行,谱写了一幅幅辉煌壮美的篇章。创校至今,同济大学培养了数十万工作在祖国各条战线上的人才,包括人们常提到的贝时璋、李国豪、裘法祖、吴孟超等一批著名教授。正是这些专家学者培养了一代又一代的博士研究生,薪火相传,将同济大学的科学研究和学科建设一步步推向高峰。

大学有其社会责任,她的社会责任就是融入国家的创新体系之中,成为国家创新战略的实践者。党的十八大以来,以习近平同志为核心的党中央高度重视科技创新,对实施创新驱动发展战略作出系列重大决策部署。党的十八届五中全会把创新发展作为五大发展理念之首,强调创新是引领发展的第一动力,要求充分发挥科技创新在全面创新中的引领作用。要把创新驱动发展作为国家的优先战略,以科技创新为核心带动全面创新,以体制机制改

革激发创新活力,以高效率的创新体系支撑高水平的创新型国家建设。作为人才培养和科技创新的重要平台,大学是国家创新体系的重要组成部分。同济大学理当围绕国家战略目标的实现,作出更大的贡献。

大学的根本任务是培养人才,同济大学走出了一条特色鲜明的道路。无论是本科教育、研究生教育,还是这些年摸索总结出的导师制、人才培养特区,“卓越人才培养”的做法取得了很好的成绩。聚焦创新驱动转型发展战略,同济大学推进科研管理体系改革和重大科研基地平台建设。以贯穿人才培养全过程的一流创新创业教育助力创新驱动发展战略,实现创新创业教育的全覆盖,培养具有一流创新力、组织力和行动力的卓越人才。“同济博士论丛”的出版不仅是对同济大学人才培养成果的集中展示,更将进一步推动同济大学围绕国家战略开展学科建设、发展自我特色、明确大学定位、培养创新人才。

面对新形势、新任务、新挑战,我们必须增强忧患意识,扎根中国大地,朝着建设世界一流大学的目标,深化改革,勠力前行!

万 钢

2017年5月

论丛前言

承古续今,汇聚东西,百年同济秉持“与祖国同行、以科教济世”的理念,注重人才培养、科学研究、社会服务、文化传承创新和国际合作交流,自强不息,追求卓越。特别是近 20 年来,同济大学坚持把论文写在祖国的大地上,各学科都培养了一大批博士优秀人才,发表了数以千计的学术研究论文。这些论文不但反映了同济大学培养人才能力和学术研究的水平,而且也促进了学科的发展和国家的建设。多年来,我一直希望能有机会将我们同济大学的优秀博士论文集中整理,分类出版,让更多的读者获得分享。值此同济大学 110 周年校庆之际,在学校的支持下,“同济博士论丛”得以顺利出版。

“同济博士论丛”的出版组织工作启动于 2016 年 9 月,计划在同济大学 110 周年校庆之际出版 110 部同济大学的优秀博士论文。我们在数千篇博士论文中,聚焦于 2005—2016 年十多年间的优秀博士学位论文 430 余篇,经各院系征询,导师和博士积极响应并同意,遴选出近 170 篇,涵盖了同济的大部分学科:土木工程、城乡规划学(含建筑、风景园林)、海洋科学、交通运输工程、车辆工程、环境科学与工程、数学、材料工程、测绘科学与工程、机械工程、计算机科学与技术、医学、工程管理、哲学等。作为“同济博士论丛”出版工程的开端,在校庆之际首批集中出版 110 余部,其余也将陆续出版。

博士学位论文是反映博士研究生培养质量的重要方面。同济大学一直将立德树人作为根本任务,把培养高素质人才摆在首位,认真探索全面提高博士研究生质量的有效途径和机制。因此,“同济博士论丛”的出版集中展示同济大

学博士研究生培养与科研成果,体现对同济大学学术文化的传承。

“同济博士论丛”作为重要的科研文献资源,系统、全面、具体地反映了同济大学各学科专业前沿领域的科研成果和发展状况。它的出版是扩大传播同济科研成果和学术影响力的重要途径。博士论文的研究对象中不少是“国家自然科学基金”等科研基金资助的项目,具有明确的创新性和学术性,具有极高的学术价值,对我国的经济、文化、社会发展具有一定的理论和实践指导意义。

“同济博士论丛”的出版,将会调动同济广大科研人员的积极性,促进多学科学术交流、加速人才的发掘和人才的成长,有助于提高同济在国内外的竞争力,为实现同济大学扎根中国大地,建设世界一流大学的目标愿景做好基础性工作。

虽然同济已经发展成为一所特色鲜明、具有国际影响力的综合性、研究型大学,但与世界一流大学之间仍然存在着一定差距。“同济博士论丛”所反映的学术水平需要不断提高,同时在很短的时间内编辑出版 110 余部著作,必然存在一些不足之处,恳请广大学者,特别是有关专家提出批评,为提高同济人才培养质量和同济的学科建设提供宝贵意见。

最后感谢研究生院、出版社以及各院系的协作与支持。希望“同济博士论丛”能持续出版,并借助新媒体以电子书、知识库等多种方式呈现,以期成为展现同济学术成果、服务社会的一个可持续的出版品牌。为继续扎根中国大地,培育卓越英才,建设世界一流大学服务。

伍 江

2017 年 5 月

前言

不同道路网络结构对于交通事故的影响存在争论：连通性良好的方格类路网可能由于较多的交叉口而形成较多的人车冲突，导致更多的交通事故；但是交叉口的出现使得车辆速度大大降低，且连通性的良好促进更多的步行和骑行交通，均迫使驾驶员更加集中注意力。与其相反的另一个路网类型——断头路曲线网，同样存在类似的争论，较差的连通性避免了大量的通过交通，因此减少了人车冲突的概率，从而有利于交通安全；但是曲线网络通视不佳，并且行人和自行车出行较少，都会导致驾驶员放松警惕，交通事故发生的概率有增大的可能。面对不同路网结构特点的争论，城市对于道路网络构型的选择几经反复：最初，传统的方格网被批评为拥挤和呆板，因而被田园风格的断头路曲线网所取代；之后，这种频繁使用曲线道路的花园城市，被指出导致了冷漠的城市氛围，并且对慢行出行不友好，从而出现了如今规划界对于传统路网的回归和新传统主义的盛行。存在争论的同时，城市规划师和设计师们正站在规划趋势的转折点，迫切需要全面地理解路网构型的特点，如何描述不同网络的属性？如何分析对于既定地区，使用不同类型的路网结构方案会对交通安全水平造成怎样不同的影响？为解答这些问题，首先需要选择合适的路网特征指标，满足交通安全分析的特殊要求；而路网特征的安全性作为一个区域层面的分析，又需要在区域层面集计和处理路网结构指标、区域特征数据和事故数据，满足以区域安全分析对于数据匹配性要求；最后，针对空间数据自身的空间信息，以及数据关系在区域层面的空间差异



性特点,需要使用反映空间关系的先进的统计模型,定量地解释道路网络结构的具体特征对于交通安全的影响。

出于对以上需求的考虑,本书以道路网络结构为研究对象,为研究其对于交通安全的影响建立完整的分析方法。该方法以小区为分析单元,从对路网构型的描述及指标计算、空间数据处理、统计模型构建以及整套方法的应用4个部分进行阐述。首先,提出了基于路网形态认知的路网构型特征描述逻辑,在此基础上建立了不同尺度下路网构型描述的体系,包括网络规模、元素形态、网络结构三个不同深度和细度的指标。同时,在网络结构层面又提炼出横向结构和纵向结构两个维度的特征指标,并针对不同类型交通事故分析提出了道路网络结构指标选取的建议,为区域层面的交通安全研究提供区域的路网构型特征数据。在此基础上,本书总结了区域层面交通安全研究所涉及的空间数据类型、内容和特征,根据以小区为分析单元的安全研究需要提出数据准备常见的问题及处理方法,并且详细介绍了对应的处理软件工具;在数据准备的基础上,本书介绍了地理加权回归模型的原理和发展过程,根据交通事故数据的特点提出对于服从泊松分布地理加权回归模型的应用。进一步结合以小区为分析单元的安全研究过程而讨论模型使用过程中对于变量选择、模型构建、模型选择、结果解释等重要内容。最后,作为实例应用展现本书提供方法的使用过程,选择以路网连通性为研究对象,分析其对于慢行交通安全的影响。该实例一方面示例了本书提供的数据处理、模型构建和指标提取的方法,同时针对具体的路网特征和具体类型的交通事故进行分析,既是对全文内容的应用,也得到了具体问题的分析结论。

本书的创新点和突破点在于:① 针对交通安全分析的需求,提供路网构型的描述指标及算法,并针对不同的安全分析对象提供指标选择的建议;② 为满足区域层面的交通安全研究,提供空间数据准备和处理的参考,指导研究过程中关于空间数据使用的相关问题的思考,系统而全面地指导以区域为分析单元的交通安全研究所需各类数据的空间匹配过程,并且提出了对于

边界数据分配方法的探讨和论证;③为满足交通安全分析模型对于解释力度的要求,充分考虑空间数据的空间信息表达,体现数据之间关系在区域层面特有的空间差异性,引入先进的局部空间统计模型,并针对交通事故分析的特征改进模型,提出了关于模型暴露变量选取、构建方法及结果解读的建议,最后从定量的角度再次论证了区域层面交通安全分析中边界问题的处理方法。本书对于路网构型特征指标体系的构建,除了为路网构型的交通安全研究提供分所需数据,还可用于研究路网构型与可达性、土地价值、气体排放等的关系。本书提供的整套方法可以用来分析各种类型路网结构与不同类型交通事故之间的关系,不仅可以用来分析实例应用中路网连通性与慢行交通安全的关系,同时还可以扩展到路网构型其他的属性指标与不同事故群体、不同事故严重程度的关系。书中提出的路网结构指标选取、边界问题处理以及交通安全分析对局部空间统计模型的改进,均是区域层面分析路网结构交通安全水平的难点和关键技术,也为交通安全的其他统计分析提供了参考依据。

目 录

总序

丛书前言

前言

第 1 章	引言	1
1.1	道路网络	1
1.1.1	路网的塑造与反塑造	1
1.1.2	双刃剑	2
1.1.3	反传统与回归传统	2
1.2	问题的提出——路网形态的交通安全性	3
1.3	研究难点	4
1.3.1	针对交通安全分析要求描述路网结构	4
1.3.2	区域层面数据匹配和再生	6
1.3.3	数据的空间相关性和数据关系的空间差异性	6
1.4	研究思路	7
1.4.1	研究对象	7
1.4.2	研究目的	7
1.4.3	研究框架	9
1.4.4	研究内容	11
第 2 章	研究综述	14
2.1	道路网络发展	14

2.1.1	路网的演变	14
2.1.2	路网的重新思考	23
2.2	路网结构研究	29
2.2.1	路网结构的重要性	29
2.2.2	路网结构研究	32
2.3	区域层面路网结构的交通安全研究	34
2.3.1	区域层面交通安全概念定义	35
2.3.2	研究历程	35
2.3.3	影响区域交通安全要素	38
2.3.4	道路网络结构特征对交通安全的影响	39
2.4	区域交通安全模型	40
2.4.1	安全分析模型发展	40
2.4.2	区域安全分析模型应用	42
第3章	面向交通安全分析的道路网络结构指标	43
3.1	交通安全分析对路网结构指标的要求	43
3.1.1	已有描述方法	43
3.1.2	交通安全分析的要求	48
3.2	路网结构指标体系	51
3.2.1	路网结构的认知逻辑	52
3.2.2	设施规模指标	61
3.2.3	设施形态指标	63
3.2.4	网络结构指标	66
3.3	交通安全分析中的路网结构指标选取	72
3.3.1	指标选取原则	72
3.3.2	指标选取建议	73
3.4	典型路网指标计算示例——中心度指标	75
3.4.1	算例数据	75
3.4.2	典型路网类型	75
3.4.3	指标计算及其描述性比较	77
3.5	本章小结	80

第 4 章	路网结构交通安全研究的空間数据处理	81
4.1	路网交通安全研究的数据要求	81
4.1.1	数据内容丰富	81
4.1.2	区域层面交通安全分析	82
4.1.3	体现数据空间信息	83
4.2	数据类型	84
4.2.1	面数据	85
4.2.2	线数据	88
4.2.3	点数据	90
4.3	区域层面交通安全分析空間数据特殊处理	92
4.3.1	分析单元的确定和选择	92
4.3.2	道路网络数据	102
4.3.3	边界数据的分配	105
4.3.4	空間数据处理工具	108
4.4	本章小结	118
第 5 章	使用地理权重回归的区域路网交通安全分析模型	119
5.1	地理权重回归模型的必要性	119
5.1.1	区域交通安全分析模型	119
5.1.2	区域路网交通安全分析的模型要求	120
5.1.3	局部性空間相关性模型——GWR 模型	122
5.1.4	模型比较	125
5.2	分析交通安全的 GWR 模型	130
5.2.1	满足泊松分布的 GWR 模型构造	130
5.2.2	权重方程	131
5.2.3	选择频带宽度	132
5.2.4	泊松 GWR 模型形式	133
5.3	区域交通安全分析中模型的使用	134
5.3.1	变量选择	134
5.3.2	模型结构	136
5.3.3	模型结果	138
5.3.4	边界数据分配方法再证	141

5.3.5	软件选择	143
5.4	本章小结	148
第6章	路网结构的慢行交通安全性分析——实例应用	149
6.1	研究对象	149
6.2	指标选取	149
6.2.1	影响慢行出行的路网特征	149
6.2.2	具体指标	150
6.3	数据处理	151
6.3.1	数据来源和分析单元	151
6.3.2	数据内容	151
6.3.3	数据空间匹配	157
6.4	模型分析	159
6.4.1	模型构建	159
6.4.2	连通性指标的系数估计	163
6.4.3	显著性水平	163
6.4.4	最优模型选择	166
6.5	结果解读	167
6.5.1	影响的方向	167
6.5.2	影响的程度	168
6.5.3	有效的连通性指标和模型	168
6.6	本章小结	169
第7章	结论与展望	170
7.1	研究成果	170
7.1.1	路网构型描述指标体系	170
7.1.2	空间数据处理	171
7.1.3	地理加权回归的应用	171
7.1.4	路网构型与交通事故关系分析的应用	172
7.2	研究创新点和突破点	173
7.2.1	面向交通安全分析的路网结构指标体系	173
7.2.2	满足区域交通安全分析的空间数据处理	173