



同济大学 1907-2017
Tongji University



同济博士论丛
TONGJI Dissertation Series

总主编 伍江 副总主编 雷星晖

阎莹 郭忠印 著

高速公路运行车速预测模型 及其应用研究

Research on Operating Speed Prediction
Model and Application of Freeway



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

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

阎莹 郭忠印 著

高速公路运行车速预测模型 及其应用研究

Research on Operating Speed Prediction
Model and Application of Freeway

 同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

内 容 提 要

本书以我国不同类型高速公路及运行车辆为研究对象,从道路交通系统主客观安全性的角度出发,以运行车速为中介指标,将车速、交通安全、道路线形有机结合为一个整体,对基于运行车速的高速公路线形安全性设计与评价中的关键技术和理论进行了深入研究。本书可供相关专业的科学技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

高速公路运行车速预测模型及其应用研究 / 阎莹,
郭忠印著. —上海: 同济大学出版社, 2018. 5
(同济博士论丛 / 伍江总主编)
ISBN 978-7-5608-7810-2

I. ①高… II. ①阎… ②郭… III. ①高速公路—车
辆—行车速度—研究 IV. ①U491.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 076442 号

高速公路运行车速预测模型及其应用研究

阎 莹 郭忠印 著

出 品 人 华春荣 责任编辑 郁 峰 胡晗欣
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 13.25
字 数 265000
版 次 2018 年 5 月第 1 版 2018 年 5 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5608-7810-2

定 价 63.00 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

“以人为本、安全至上”是我国公路建设新时期的新理念和指导思想。目前,我国公路事业发展迅速,但也存在较为突出的交通安全问题。在公路设计阶段消除各种可能的安全隐患,制定和采取相应安全的公路设计策略尤为重要。车速是公路几何设计的控制技术指标,基于运行车速理念的公路线形设计理论与方法是解决公路安全设计问题的核心技术,也是公路安全设计的发展趋势。因此,有必要深入开展我国运行车速理论及其应用研究。

本书以我国不同类型高速公路及运行车辆为研究对象,从道路交通系统主客观安全性的角度出发,以运行车速为中介指标,将车速、交通安全、道路线形有机结合为一个整体,对基于运行车速的高速公路线形安全性设计与评价中的关键技术和理论,即高速公路运行车速预测模型及高速公路线形设计一致性评价模型及评价方法进行了深入研究。

首先提出运行车速及其特征指标的概念,通过对高速公路大量断面车速的数据观测和分析,针对断面车速分布特征进行了研究,采用分布假设检验方法确定了车速特征分布形式,运用统计学原理,根据车速频率分布及累积频率分布函数,提出运行车速特征指标及其量化方法。

在高速公路线形研究方面,分析了反映公路线形空间几何特征的平、纵、横线形技术指标对车速及公路安全性的影响机理,提出表征公路线形客观安全性的公路线形综合指标的概念,并对各单项线形指标与综合指标的一致性关系进行了研究;采用系统建模方法,分别构建平、纵、横线形综合指标函数,对线形描述函数中各参数进行了标定;基于空间几何学原理及公路线形设计



特点,以平、纵线形综合指标为主,横断面线形指标作为修正的方式,并考虑桥梁、隧道等结构物的影响,建立包括曲率、曲率变化率、曲线转角、纵坡度、车道宽度等指标的三维公路线形综合指标描述模型,同时对线形综合指标的敏感性进行分析。

针对高速公路典型代表车辆——小客车和大型载重车的运行特点,在不同线形条件下车速变化规律以及公路几何线形空间综合指标与运行车速的相关性研究基础上,注重前、后线形对运行车速的影响,考虑车辆运行车速的连续性变化及驾驶员视觉需求,确定车辆行驶中前方 100~250 m 有效注视范围为前方线形对车速的影响范围;根据不同类型车辆的加减速性能,确定后方 200 m 加减速长度范围为后方线形对车速的影响范围;通过对前、后线形影响范围内公路线形综合指标的累积效果与运行车速的相关性分析,分别构建适用于我国 4~8 车道高速公路 I 类指标、II 类指标 A 型车和 D 型车的运行车速预测模型并进行了参数标定;采用统计检验原理,对预测模型进行了有效性检验。

以道路安全设计与线形设计一致性的理论为基础,根据线形设计一致性研究的特点,确定路段划分方法;针对行车中车速的协调性和连续性需求,提出车速标准差、车速变异系数、客货差极差比、断面车速差、车速降低系数、路段车速离散度等指标;以运行车速特征指标及事故率分别作为道路线形设计一致性评价与安全性研究量化指标,通过分析两者之间的相关性,建立基于多项运行车速特征指标的高速公路线形设计一致性综合评价模型;根据我国的实际情况,确定了我国高速公路安全性服务水平,提出线形设计一致性评价标准和评价方法。

最后,依托已建太旧高速公路和拟建鹤大高速公路,将高速公路运行车速预测模型及其在线形设计一致性评价方面的研究成果应用于工程实践。

目 录

总序

论丛前言

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 研究背景	1
1.1.1 我国高速公路发展概况	1
1.1.2 我国高速公路安全现状	2
1.1.3 道路交通系统的主客观安全性分析	3
1.1.4 立题依据	4
1.2 研究的目的及意义	5
1.3 国内外研究现状	7
1.3.1 运行车速预测模型研究	7
1.3.2 公路路线设计方法研究	14
1.3.3 公路线形一致性评价研究	21
1.4 本书主要研究内容	27
1.4.1 高速公路断面车速分布特征及分布形式	27
1.4.2 高速公路线形综合指标描述模型	28
1.4.3 高速公路运行车速预测模型	28
1.4.4 高速公路线形一致性评价模型及评价方法	29
1.4.5 工程应用	29
1.5 研究思路及技术路线	30

第 2 章 高速公路断面车速分布特征及分布形式	32
2.1 运行车速特征指标的提出	32
2.1.1 运行车速及其特征指标的含义	32
2.1.2 理论分析	33
2.2 高速公路车速数据采集方法	35
2.2.1 测速仪器	35
2.2.2 测速路段	36
2.2.3 测速车型	36
2.2.4 测速方案	36
2.2.5 其他条件	38
2.3 高速公路断面车速分布研究的统计学基础	39
2.3.1 随机变量与推论统计	39
2.3.2 车速样本的总体频率分布	40
2.4 断面车速分布形式及分布函数	42
2.4.1 正态分布	43
2.4.2 威布尔分布	44
2.4.3 伽玛分布	45
2.4.4 Logistic 分布	46
2.5 断面车速频率分布检验	47
2.5.1 PP 正态概率图	47
2.5.2 皮尔逊 χ^2 拟合优度检验	51
2.5.3 单样本 K-S 检验	55
2.6 断面运行车速特征指标的计算	58
2.6.1 频率及累积频率分布曲线	58
2.6.2 特征指标量化	59
2.7 本章小结	60
第 3 章 高速公路线形综合指标描述模型	61
3.1 公路线形综合指标的提出	61
3.1.1 公路线形综合指标的含义	61
3.1.2 公路线形综合指标描述模型的建模思路	63
3.2 模型中指标的选取与分析	63

3.2.1	线形指标与车速的关系	63
3.2.2	线形指标与安全的关系	66
3.2.3	线形指标的选取	70
3.2.4	单项线形指标与线形综合指标的一致性分析	71
3.3	模型的建立	71
3.3.1	平面线形描述模型	72
3.3.2	纵断面线形描述模型	74
3.3.3	横断面线形修正模型	76
3.3.4	公路线形综合指标描述模型	77
3.3.5	试算与参数标定	78
3.4	敏感性分析	80
3.4.1	单指标分析	80
3.4.2	多指标组合分析	82
3.4.3	试算结果	84
3.5	本章小结	86
第4章	高速公路运行车速预测模型	87
4.1	运行车速影响因素分析	87
4.1.1	线形因素	87
4.1.2	车辆因素	88
4.1.3	驾驶员因素	88
4.1.4	其他因素	90
4.2	建模思路与基本框架	91
4.2.1	车辆运行特性初步分析	91
4.2.2	建模思路与基本框架	95
4.3	车速影响范围的确定	97
4.3.1	前方线形影响范围	97
4.3.2	后方线形影响范围	99
4.3.3	不同路段线形综合指标累积值的计算方法	100
4.4	运行车速预测模型的建立	100
4.4.1	A型车运行车速预测模型	101
4.4.2	D型车运行车速预测模型	106

4.5	运行车速预测模型的有效性验证	110
4.5.1	模型的统计检验	110
4.5.2	预测与实测数据的比较	113
4.5.3	横断面修正模型的检验	114
4.5.4	模型的适用条件	116
4.6	本章小结	116
第5章	高速公路线形设计一致性评价模型及评价方法	118
5.1	道路安全设计与线形设计一致性	118
5.2	数据分析方法	119
5.2.1	路段分析方法	119
5.2.2	车速分析方法	120
5.2.3	安全性分析方法	123
5.3	运行车速特征指标与事故率的相关性分析	124
5.3.1	直线路段分析	124
5.3.2	平曲线路段分析	126
5.3.3	线形组合路段分析	127
5.4	高速公路线形设计一致性评价模型	128
5.4.1	一致性量化指标的选取	128
5.4.2	设计一致性评价模型的构建	129
5.4.3	模型的有效性检验	135
5.5	高速公路线形设计一致性评价标准	135
5.5.1	高速公路安全性服务水平	135
5.5.2	线形设计一致性评价标准	140
5.6	基于运行车速预测的线形设计一致性评价流程	142
5.7	本章小结	144
第6章	工程应用	146
6.1	工程背景	146
6.1.1	太旧高速公路	146
6.1.2	鹤大高速公路	146
6.2	运行车速预测	148

6.2.1	线形数据整理	148
6.2.2	线形综合指标计算	151
6.2.3	运行车速预测	153
6.2.4	速度预测值沿桩号分布	159
6.3	线形设计一致性分析	161
6.3.1	路段划分	161
6.3.2	运行车速特征指标计算	162
6.3.3	线形设计一致性分析	164
6.3.4	相关结论	166
第7章	结论与展望	168
7.1	主要内容及结论	168
7.2	本书创新点	171
7.3	建议与展望	172
附录		174
参考文献		185
后记		190