

资
助

国家自然科学基金项目 (51468051)
宁夏自然科学基金项目 (NZ14053)
宁夏高等学校教育教学改革项目
宁夏大学优秀学术著作基金
宁夏交通运输厅科研项目

基于驾驶特性的 公路线形安全研究

■ 王芳◎著



黄河出版传媒集团
阳光出版社

资
助

国家自然科学基金项目
宁夏自然科学基金项目 (NZ14053)
宁夏高等学校教育教学改革项目
宁夏大学优秀学术著作基金
宁夏交通运输厅科研项目

基于驾驶特性的 公路线形安全研究

■ 王芳◎著



宁夏出版传媒集团
阳光出版社

图书在版编目(CIP)数据

基于驾驶特性的公路线形安全研究 / 王芳著. —银川: 阳光出版社, 2015.7

ISBN 978-7-5525-2018-7

I. ①基… II. ①王… III. ①公路线形—线形设计
IV. ①U412.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 159903 号

基于驾驶特性的公路线形安全研究

王 芳 著

责任编辑 王 燕

封面设计 黄 健

责任印制 岳建宁

黄河出版传媒集团 出版发行
阳 光 出 版 社

地 址 宁夏银川市北京东路 139 号出版大厦(750001)

网 址 <http://www.yrpubm.com>

网上书店 <http://www.hh-book.com>

电子信箱 yangguang@yrpubm.com

邮购电话 0951-5014244

经 销 全国新华书店

印刷装订 银川金利丰彩色印刷有限责任公司

印刷委托书号 (宁)0017628

开 本 700mm×1000mm 1/16

印 张 14.5

字 数 200 千字

版 次 2015 年 7 月第 1 版

印 次 2015 年 7 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5525-2018-7/U·3

定 价 39.00 元

版权所有 翻印必究

前 言

随着我国公路建设的快速发展,公路设计已步入“功效性”阶段,传统“汽车动力学”为基础的路线设计方法日益体现出其弊端,有必要从交通安全角度对现行设计方法进行深入研究。

本书在分析国内外相关研究现状基础上提出研究思路,即从驾驶员角度出发,结合驾驶员行为模型,综合考虑驾驶员视觉搜索特性、视觉信息负荷、脑力工作负荷和速度控制对行车安全影响,以行车试验为基础,以数据分析和模型建立为手段,通过对驾驶员行车数据的生理参数、眼动参数的回归分析确定驾驶员心理、生理参数与公路线形的相关性,并应用极值定理和拉格朗日中值定理,确定驾驶员生理参数和眼动参数发生突变的极值点和突变点及对应的公路线形指标,对合理指标值提出建议。

最后,在建立模型和研究结果基础上,提出考虑驾驶员视觉搜索、视觉信息负荷、脑力工作负荷和速度控制等四方面因素的公路线形指标的建议值。

本书参考和引用了许多专家和学者的研究成果,在此向文献作者们表示衷心的感谢。限于作者的学识和经验,不妥之处,诚请读者批评指正。

目 录

第 1 章 绪论	001
1.1 研究背景	001
1.1.1 驾驶特性的涵义和核心	001
1.1.2 交通安全研究的全球趋势	003
1.1.3 我国交通事故的特点	003
1.1.4 我国公路设计和建设的发展阶段	005
1.2 研究意义	006
1.2.1 考虑驾驶员的行驶安全性,完善公路线形设计理论与方法	006
1.2.2 基于公路系统展开研究,加强学科之间的联合性	006
1.2.3 综合考虑驾驶员交通特性,丰富评价指标	006
1.2.4 对现行《路线规范》进行必要的补充	007
1.2.5 减少交通事故率,降低人身财产损失	007
1.3 国内外研究现状及分析	007
1.3.1 国外研究现状	007
1.3.2 国内研究现状	011
1.3.3 现状分析	016
1.4 主要研究内容和技术路线	017

1.4.1	研究内容	017
1.4.2	技术路线	017
第2章 基于心理、生理学基础的驾驶特性试验分析		019
2.1	视觉感知的重要性及心理、生理学基础	019
2.1.1	视觉感知的重要性	019
2.1.2	视知觉的生理意义及驾驶员视觉模式特性	020
2.1.3	视觉研究的切入点	023
2.2	脑力工作负荷的定义及生理学基础	026
2.2.1	驾驶员脑力工作负荷研究的重要性	026
2.2.2	脑力工作负荷的定义	027
2.2.3	表征脑力工作负荷的生理学参数	027
2.2.4	基于驾驶绩效的理论模型的脑力工作负荷切入点	029
2.3	试验实施的总体介绍	030
2.3.1	试验仪器介绍	031
2.3.2	被试人员	034
2.3.3	试验路段	035
2.4	基于初步试验驾驶眼动参数和生理参数选取	036
2.4.1	初步试验目的	036
2.4.2	显著反映驾驶员心理、生理变化的参数选取	036
2.5	正规试验数据的采集	040
2.5.1	驾驶员生理参数和眼动参数的采集	040
2.5.2	动态行车速度数据采集	041
2.5.3	前方交通信息数据采集	041
2.5.4	数据测试保障	041
2.6	基于驾驶员生理参数的近似熵的数据处理和分析	041

2.6.1	近似熵的引入	042
2.6.2	驾驶员心理、生理指标近似熵分析的必要性和可行性 分析 ^[120]	043
2.6.3	基于 Matlab 的驾驶员心理、生理指标近似熵计算及 优点 分析	044
2.6.4	试验数据有效性的验证	045
2.6.5	驾驶员瞳孔直径近似熵和心电近似熵的相同相异性	048
2.6.6	驾驶员心理、生理参数近似熵值安全阈值的确定方法	049
本章小结		050
第 3 章 驾驶员速度控制模型分析及建立		051
3.1	驾驶员行驶速度模型建立重要性和必要性	051
3.1.1	行驶速度是影响驾驶员安全行驶的核心指标 ...	051
3.1.2	《公路项目安全评价指南》中运行速度预测模型 必要补充	052
3.2	驾驶员行驶车速模型建立方法和假设条件	053
3.2.1	直线段驾驶员速度变化的微观分析	053
3.2.2	曲线段驾驶员速度变化的微观分析	055
3.2.3	驾驶员车速变化模型和关键节点确定	055
3.2.4	驾驶员行驶速度模型样本数据的选取	056
3.3	曲线段行驶车速的影响参数分析及模型	057
3.3.1	平曲线半径小于 4000m 的曲线段行驶速度	057
3.3.2	半径大于 4000m 的圆曲线段行驶速度	058
3.3.3	曲线段驶入直线段行驶速度模型	059

3.3.4	由直线段驶入曲线段行驶速度模型	062
3.3.5	由曲线段 I 驶入曲线段 II 的行驶车速模型	063
3.4	直线段最大行驶速度模型	066
3.4.1	达到最大行驶速度的行驶时间	066
3.4.2	直线段最大行驶速度模型	067
3.4.3	直线段最大行驶速度维持时间	069
3.5	一般路段驾驶员行驶车速模型建立及考虑纵断面线形的修正	074
3.5.1	一般路段驾驶员行驶车速模型建立	074
3.5.2	直线段纵坡对行驶车速的影响及模型的修正 ..	074
3.5.3	曲线段纵坡对行驶车速的影响及模型的修正 ..	077
3.6	模型有效性和可靠性验证	080
3.6.1	模型有效性验证方法确定	080
3.6.2	实测速度典型路段行驶速度测试特征点选取 ..	080
3.6.3	模型的可靠性验证和分析	081
	本章小结	082
第 4 章	驾驶员视觉搜索与公路线形安全性分析	083
4.1	驾驶员视觉搜索测量方法分析和总结	084
4.1.1	眼动参数单因素测量法	084
4.1.2	注视点坐标的聚类方法	085
4.1.3	加权搜索区域的测量方法	086
4.2	驾驶员视觉兴趣区域指标的建立	087
4.2.1	驾驶员视觉兴趣区域建立的假设条件	087
4.2.2	单位时间视觉兴趣区域面积确定	088
4.2.3	视觉兴趣区域重心确定	090
4.2.4	基于 Matlab 的单位时间视觉兴趣区面积和重心	

模型的实现	092
4.3 单位时间驾驶员视觉兴趣区域指标的宏观影响分析	092
4.3.1 不同公路平面线形条件下的单位时间视觉兴趣区 的差异性分析	094
4.3.2 车辆行驶速度对驾驶员视觉兴趣区域面积的影响	095
4.3.3 交通流对驾驶员视觉兴趣区域指标的影响	096
4.4 单位时间视觉兴趣区域指标与公路线形指标的相关分析	099
4.4.1 直线段单位时间视觉兴趣区指标的影响因素确定 及合理取值	099
4.4.2 曲线段单位时间视觉兴趣区指标的影响因素确定 及安全分析	102
4.4.3 直线段与曲线段过渡段之间的视觉兴趣区面积微观 变化分析	107
4.4.4 纵断面线形对单位时间视觉兴趣区面积的折减 ...	111
本章小结	114
第5章 驾驶员视觉信息负荷水平与公路线形安全性分析	115
5.1 驾驶员视觉信息负荷评价方法	115
5.1.1 现有相关研究的视觉信息量测度方法	116
5.1.2 本研究视觉信息量模型的建立方法	120
5.1.3 光流对视觉信息模型建立的假设条件	122
5.2 公路视觉信息的模型建立	126
5.2.1 直线段视觉信息模型建立	126
5.2.2 曲线段视觉信息模型建立	128
5.2.3 纵断面线形对平面线形视觉信息的修正	131

5.2.4	竖曲线对公路视觉信息量的修正	133
5.2.5	计算实例及分析	134
5.3	驾驶员在行驶过程中的瞳孔直径近似熵变化宏观分析	134
5.3.1	交通流对瞳孔直径近似熵的影响分析	135
5.3.2	不同平面线形条件下瞳孔直径近似熵宏观分析	135
5.4	瞳孔直径近似熵与公路线形视觉信息量的相关性及安全分析	136
5.4.1	自由流条件下直线段瞳孔直径近似熵与视觉信息量的相关性分析	136
5.4.2	自由流条件下曲线段驾驶员视觉信息负荷的安全性分析	140
5.4.3	自由流条件下缓和曲线段驾驶员视觉信息负荷的安全分析	141
5.4.4	纵断面线形对驾驶员视觉信息感知的折减	143
	本章小结	148
第6章	驾驶员脑力工作负荷与公路线形的安全性分析	149
6.1	驾驶员脑力负荷评价的必要性	149
6.2	交通流对驾驶员脑力工作负荷的影响分析	150
6.3	直线段驾驶员心电近似熵影响因素分析及模型建立	151
6.3.1	长直线段行驶速度与驾驶员心电近似熵的统计分析	152
6.3.2	平曲线间短直线心电近似熵的统计分析	154
6.4	直线段到曲线段过渡驾驶员近似熵的微观变化分析	161
6.5	曲线段驾驶员心电近似熵影响因素分析及模型建立	163
6.5.1	平曲线半径小于4000m驾驶员心电近似熵的统计	

分析	164
6.5.2 平曲线半径大于 4000m 驾驶员心电近似熵的统计 分析	166
6.5.3 心电近似熵在曲线段的微观变化分析	168
6.6 纵断面线形对驾驶员心电近似熵的折减分析	170
6.6.1 纵坡度与驾驶员心电近似熵的统计分析	170
6.6.2 纵断面线形对曲线段驾驶员心电近似熵模型的影响 分析	170
本章小结	175

第 7 章 基于驾驶特性的公路线形指标安全分析及验证

.....	176
7.1 评价内容和评价指标	176
7.2 直线段安全性分析和部分指标建议	178
7.2.1 短直线段长度建议值	178
7.2.2 长直线段建议值	178
7.2.3 直线段最大行驶车速及高速行驶状态视觉速度 适应性路段确定	179
7.3 曲线段线形指标的安全行驶分析与部分指标建议	180
7.3.1 圆曲线半径建议	180
7.3.2 平曲线段长度建议	182
7.3.3 小偏角平曲线长度建议	184
7.4 纵断面对驾驶员交通特性要求的公路线形指标折减	185
7.4.1 纵坡度对驾驶员视觉安全影响的折减	185
7.4.2 纵断面对驾驶员心电近似熵突变点的折减	187
7.5 平面衔接的安全性分析和部分指标建议	188
7.5.1 曲线段接直线段接曲线段衔接方式	188

7.5.2 曲线段衔接的安全指标	190
本章小结	190
第8章 结论与展望	191
8.1 研究主要完成的工作和主要结论	191
8.1.1 明确驾驶特性的研究核心	191
8.1.2 系统展开驾驶员心理、生理参数测试行车试验	191
8.1.3 建立驾驶员行驶速度模型	192
8.1.4 驾驶员视觉搜索与公路线形的关系研究	193
8.1.5 研究驾驶员视觉信息负荷与公路线形的相关性	194
8.1.6 驾驶员脑力工作负荷与公路线形的关系研究	195
8.1.7 提出驾驶员交通特性的公路线形指标建议值	195
8.2 研究展望	195
附录	197
附录1 不同直线段长度测试值和模型值比较	197
附录2 不同平曲线半径特征点行驶车速测试值和模型值比较	198
附录3 试验路段不同曲线半径区间的速度均值差异性检验	200
附录4 1号被试人员在被试路段上的视觉信息量	201
附录5 沪宁高速公路南京连接线事故多发段按里程统计	201
参考文献	202
后记	220

第 1 章 绪论

1.1 研究背景

1.1.1 驾驶特性的涵义和核心

如表 1-1 所示,1979 年英国的 Sabey 等,1979 美国的 Treat 等和 2002 年日本 Robert E. Dewar 等先后进行了道路交通事故中驾驶员因素造成交通事故分析,研究证实人的因素占事故致因的比例高于 90%,且发现驾驶员在行驶过程中感知错误和判断错误是造成交通事故的主要因素。如表 1-2 所示,王武宏教授在《道路交通系统中驾驶员行为理论与方法》^[1]中对驾驶员因素引起的交通事故进行调查,并得出同样的结论。可见,驾驶员在行车过程中视觉感知错误(注意力不集中或注意力不当,感知迟滞)和驾驶员判断错误是驾驶特性研究的核心。

通过对以上学者的研究成果总结和分析并结合图 1-1 所示的“驾驶员行为模式”,可将驾驶特性研究范畴进一步归纳为驾驶员在信息感知判断过程中的视觉搜索特性、视觉信息负荷和脑力工作负荷研究以及驾驶员在动作行为执行阶段的速度控制。

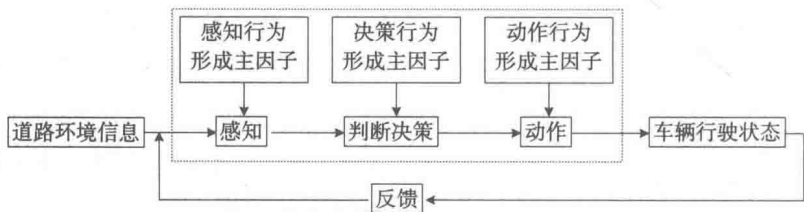


图 1-1 驾驶员行为模式

表 1-1 国外汽车驾驶员事故分析^{[2][3][4]}

Sabey 等人研究结果(调查 2036 起交通事故)		
驾驶员因素	主要原因	百分比(%)
感知错误	没注意	17
	注意力分散	16
	没有引起注意和警觉	6
判断错误	判断错误	5
	速度和距离判断错误	5
Treat 等研究结果		
驾驶员因素	主要原因	百分比
感知错误	注意力不当	23
	没注意	15
	注意力不集中	9
判断错误	判断错误	13
操作错误	超速行驶	17
Treat 等研究结果(38625)		
驾驶员因素	主要原因	百分比
感知错误	注意力不当或没注意	21.6
	视野被遮挡	8.1
	感知迟滞	7

表 1-2 我国汽车驾驶员事故分析^[1]

人的因素	事故起数	事故起数	百分率(%)
察觉较晚	1191	656	59.6
判断失误	697	384	34.8
驾驶错误	96	53	4.9
其他	16	2	0.8
合计	2000	1102	100

1.1.2 交通安全研究的全球趋势

据世界卫生组织统计^[5],每年全球有超过 126 万人死于道路交通事故,其中大约 70% 的死亡人数发生在发展中国家,65% 的死亡涉及行人,而 35% 的死亡行人是儿童。如不采取紧急措施,估计在未来 10 年内,发展中国家将有 600 万人因此死亡,另有 6000 万人受伤。表 1—3 是美国哈佛大学出版的一书中关于对 1990 年和 2020 年全球致死比例的预测^[6]。该预测表明,道路交通事故在 2020 年将成为人类第三大致病和致死因素之一。近几年随着交通事业的发展、道路安全研究的不断深入,世界各国都已认同驾驶员因素是造成交通事故的主要因素,同样也认为驾驶员因素是道路交通安全中最难控制和保障的因素。

表 1-3 1990 年与 2020 年全球疾病负担(DALYsa)前十大原因的排序

序次	1990 年疾病或伤害	序次	2020 年疾病或伤害
1	下呼吸道感染	1	缺血性心脏病
2	腹泻病	2	抑郁症
3	围产期疾病	3	道路交通伤害
4	抑郁症	4	脑血管疾病
5	缺血性心脏病	5	慢性阻塞性肺病
6	脑血管疾病	6	下呼吸道感染
7	结核病	7	结核病
8	麻疹	8	战争
9	道路交通伤害	9	腹泻病
10	先天性畸形	10	艾滋病病毒感染

注: DALY 为伤残疾病调整寿命年。测量健康损失的指标,包含因早死损失的寿命年和伤残造成的健康寿命损失年的信息来源。

1.1.3 我国交通事故的特点

(1) 我国公路交通事故的严峻性

我国公路建设起步较晚,从 20 世纪 80 年代至今,中国公路建设经历了辉煌的快速发展阶段。但随之带来的也是严峻的交通安全问题,如表 1—4 所示,自 2000 年以来,我国平均每年交通事故数都在 50 万次左

右,死亡人数在 10 万人左右,尽管 2002 年以后交通安全问题有所好转,但较发达国家相比交通安全问题还比较严峻。现阶段,我国交通事故的研究主要是从事故黑点的甄别并提出改善出发,事后型的交通安全研究虽然具有针对性,但是以牺牲道路使用者的生命和财产安全为代价的。因此,亟待寻找通过事前型的安全研究方法、寻找公路线形中存在安全隐患的路段。

(2)我国交通安全事故的特点

如表 1-4 所示,以 2002 年各国交通事故现状比较可发现我国交通事故具有如下特点^{[9][10]}。

①交通事故数居世界第一 交通事故死亡人数远高于其他国家。如果按相同标准计算,2002 年我国道路交通事故死亡人数是美国的 2.8 倍,是日本的 12.3 倍。

②交通事故致死率严重 我国目前交通事故致死率达到每百次交通事故死亡人数约为 15.3 人,而日本仅为 1 人,美国为 2.2 人,我国交通事故致死率是发达国家的 7~15 倍。

③高速公路交通事故比率大 国外高速公路的事故率平均为一般公路的 30%~50%,死亡率为一般公路的 43%~76%,而我国高速公路百公里事故率和百公里死亡率是普通公路的 8 倍和 5 倍。这与高速公路线形指标高、横向干扰小、行驶环境好的基本状况相矛盾。

④新手驾驶员交通事故比率大 随着我国经济建设的快速发展,人民生活水平得到提高,大量私家车进入家庭。非职业驾驶员的涌现使得近几年我国驾驶员的数量快速增加。而相关研究统计非职业驾驶人员肇事所占事故总数的比例为 35.6%,因此新手驾驶员的增加必然导致交通事故量的增加^[49]。随着我国经济快速发展,越来越多的新手会加入到驾驶员行列,这必然导致交通系统中存在更多的不稳定和不安全的因素。

表 1-4 我国 2000~2009 年交通事故统计^[8]

年份	汽车驾驶员人数	事故次数	死亡人数	受伤人数	直接经济损失(万元)
2000	37465123	616971	83853	418721	266890
2001	44626768	754919	105930	546485	308787
2002	48270803	773137	109381	562074	332438
2003	53680656	667507	104372	494174	336914
2004	71016414	567753	99217	451810	277478
2005	80177560	450254	98738	469911	188401
2006	93172381	378781	89455	431139	148956
2007	107087137	327209	81649	380442	120000
2008	122092132	265204	73484	304914	101000
2009*	—	107193	29866	128336	41000

注:*表中 2009 事故数据为 1~7 月交通事故数据。

1.1.4 我国公路设计和建设的发展阶段

国内外交通发展历史和趋势表明,公路建设经历了三种交通发展阶段形式^{[11][13]}:功能型阶段、安全型阶段和工效型阶段。每个发展阶段交通质量存在明显差异,其发展特点及要求也各具特色。功能型阶段是以保障公路的使用要求为根本目的,即保障人民快速、有效的出行路径;安全型阶段是在保障公路使用要求的前提下,以保障车辆行驶的安全性为根本目标,例如在公路设计中保证公路线形的连续性,消除公路线形的突变点,减少安全隐患;工效型阶段,是以工效学原则为主,注重“以人为本”的理念,从而达到“人—车—路—环境”的最大和谐。根据国内外相关研究可知^{[2][3][4][7]},公路系统中“人”是最关键的因素,也是最不稳定的因素,如果忽略“人”的因素,就存在舍本逐末的问题。随着公路安全研究的不断深入,我国的公路设计和建设也逐步进入安全型阶段到功效型阶段的转型期。2005 年交通部公路司出版的《公路设计新理念》^[14]提出:以用路者的交通需求和生理、心理反应特征作为道路线形设计的理论基础,注重“以人为本”的理念,满足视觉心理学、环境保护学及与地形条件适应、与周围景观协调等方面的要求,用动的观点设计路线的各个元素,力求协调。