

2004年

道路工程学术交流论文集

2004 Nian

Daolu Gongcheng

Xueshu Jiaoliuhui Lunwenji



中国公路学会道路工程分会

主编



人民交通出版社

China Communications Press

2004年

道路工程学术交流会论文集

2004 Nian
Daolu Gongcheng
Xueshu Jiaoliuhui Lunwenji

中国公路学会道路工程分会 主编



人民交通出版社

China Communications Press

内 容 提 要

本论文集共收集论文 60 篇,包括综合、路基、沥青路面及水泥混凝土路面四部分。本论文集以西部交通科技项目的研究和相关论文为主题,关注目前行业内的高新技术和发展趋势,在一定程度上体现了当前公路交通行业的整体科技创新能力和科研水平,有其实用价值与参考价值。

本论文集可供公路交通行业科研、设计、施工、管理技术人员阅读,也可供大中专院校相关专业师生参考。

图书在版编目 (C I P) 数据

2004 年道路工程学术交流会论文集 / 中国公路学会道路工程分会编. —北京:人民交通出版社,2004.9

ISBN 7-114-05296-0

I .2... II .中... III .道路工程-学术会议-2004-文集 IV .U41-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 103715 号

书 名: 2004 年道路工程学术交流会论文集

著 作 者: 中国公路学会道路工程分会

责任编辑: 沈鸿雁

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010)85285838,85285995

总 经 销: 北京中交盛世书刊有限公司

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京凯通印刷厂

开 本: 787 × 1092 1/16

印 张: 25.75

字 数: 642 千

版 次: 2004 年 10 月 第 1 版

印 次: 2004 年 10 月 第 1 版 第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-114-05296-0

印 数: 0001-1500 册

定 价: 60.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

前 言

近年来,伴随着我国如火如荼的公路建设热潮,公路科技开发和创新力度明显增强。在东中部地区,以进一步提高公路通行能力和服务水平为目标,紧紧围绕高速公路养护和改扩建工程,开展了大量调查和试验研究;在西部地区,针对地形地貌多变、水文地质复杂、气候条件恶劣、生态环境脆弱的特点,大力开展了西部交通建设科技项目的研究,为西部地区的公路建设提供了强有力的技术支撑。在这一形势下,为总结、交流公路工程新技术、新思路,尤其是西部课题新的科研成果,提高和促进科技进步,中国公路学会道路工程分会组织召开2004年学术交流会,同时出版论文集。

本论文集是在全国广泛征集论文的基础上,从117篇来稿中优选出60篇编辑完成的,其中力求反映西部科研项目新技术、新成果的论文近30篇。论文集由四部分组成,其中综合部分9篇,涉及公路安全评价、通行能力等方面内容,以及特殊地区自然区划、路用岩石性能等科研成果。路基部分16篇,主要包括路基施工控制、沉降分析、水文状况以及土工材料参数等方面研究内容。沥青路面部分24篇,以沥青路面病害分析和处理方面的内容为主,论文集中有约10篇相关文章;以及由此引发的对沥青路面的总体思索、设计方法以及标准的研究和探讨,相关文章有7篇。西部交通科技项目论文从西部地区路用材料普查、路面结构设计到地方性材料的应用研究,涵盖了西部公路建设的关键技术,为西部地区路用材料的使用性能提供了技术支持。水泥混凝土路面部分11篇,主要包括多孔混凝土配合比设计及路用性能的研究,对水泥混凝土路面损坏情况的分析以及旧路养护和加铺层施工技术研究。这些论文关注目前行业内的高新科技和发展趋势,一定程度上体现了当前公路交通行业的整体科技创新能力和科研水平,有一定的实用和参考价值。

此论文集的编辑出版得到了各省、市、自治区公路学会、学会理事、论文作者以及协助学会工作的各位公路界同行、朋友的大力支持,在此一并表示感谢!因篇幅所限,有些论文未能入集,还望作者见谅。

由于编审水平有限,论文集中不尽人意之处在所难免,希望读者给予谅解并批评指正。

编 者

2004年8月

目 录

一、综 合

新疆公路自然区划研究 《新疆公路自然区划及环境研究》课题组	3
公路横向力系数研究 孙家凤 徐建伟	8
收费公路收费系数模型建立与分析 张 军	13
初探总量控制与系统平衡相结合的交通量预测方法 潘艳荣 常立峰	22
210国道宁陕段公路安全性评价 周荣贵 桂志敬 方 靖 孙家凤	26
重庆山区二、三级公路平曲线半径与运行速度的关系研究 吕庆丰 高光秀 刘志军	33
北京市高速公路小修保养定额的编制与研究 贺玉龙 刘小明 张恒利	37
岩石室内抗压强度试验研究 谢松林	44
西部地区工业废渣路用性能研究 刘 英 田 波	53

二、路 基

浅谈公路地基处理及沉降观测分析 冯立群 彭惠玲 李 伟	61
加宽路堤的沉降计算与预测分析 王鹏飞 马松林 王彩霞	70
填石路基施工质量沉降检测法的评价标准 沙爱民 贾 侃 涂圣武	75
路基拓宽工程的损坏模式和设计指标 凌建明 钱劲松 黄琴龙	82
公路排水沟管的水力计算诺谟图 谈至明	89
目前常用软基设计程序使用时应注意的若干问题 郭大华	95
黄土地基处理前后承载力的试验研究 刘怡林 王亚军	104
土石混合料大型三轴剪切试验研究 阎宗岭	108
浸水+环刀法测定干燥风积沙密度 金昌宁 李志农 祝 解 张天华 阿米娜	114
气泡混合轻质土的主要特性及其应用 陈忠平 谢学钦	122
青藏公路沿线多年冻土分布及影响因素分析 汪双杰 章金钊 路 勳 陈建兵	133
膨胀土路基对广西平百公路路面破坏的影响以及处理对策 翁剑成 魏中华 荣 建 任福田	140
沿海地区地下水位的特征及其影响因素 谢华昌	146
双指标控制粉质土路基压实的合理性探讨 刘少文	151
路基压实度的面波检测技术 赖思静 贾学明 杨建国	156
高边坡多台阶石方路堑条形洞室加预裂一次成型爆破技术在焦晋高速公路上的应用 刘远征	161

三、沥 青 路 面

沥青路面技术研究的思考与探索 张肖宁	171
提高半刚性基层沥青路面使用性能的几个措施 孟书涛	178

GTM 和马歇尔设计方法沥青路面抗车辙性能对比研究	张志毅 王国清	185
沥青混合料大型马歇尔击实试验方法与技术标准探讨	刘朝晖 黄云涌 李宇峙	192
沥青路面的疲劳设计标准	孙立军 刘黎萍 邵敏华 罗芳艳	199
柔性基层沥青路面结构加速加载试验研究	徐全亮 孟书涛	205
室内单、双层车辙试验及其对道路结构的评价	张金喜 藤原忠司	211
西部地区地方性材料的路用性能评价	田 波 牛开民 夏玲玲 刘 英	219
APAO 改性沥青试验研究	孔令云 周进川 严秋荣	228
SBS 改性沥青混合料劲度模量试验研究	王随原 周进川 何 演	235
橡胶粉改性沥青性能研究	李美江 王旭东	242
透层油应用现状及高渗透乳化沥青	秦永春 黄颂昌 徐 剑 吴德龙 李向阳	249
碎石封层技术暨在我国的应用前景	徐 剑 黄颂昌 秦永春 李储鹏	255
OGFC—13 级配表面层在西安—咸阳机场高速公路的应用	严晓生 刘建兰	261
路面缺陷与行驶质量关系	朱 晶 谈至明 胡跃军 柳正华	269
沥青路面集料级配变异性分析	扈惠敏 沙爱民	276
利用 RLWT 对沥青路面车辙现象的整体性评价及展望		
李嘉图 N. 韦拉考特	刘宗波译	286
浅析高速公路沥青路面出现早期车辙现象的原因	周艳东	295
沥青路面失稳性车辙的病害原因分析	王桂霞	303
高速公路路面早期破坏原因及预防性养护对策	张雅涛	314
高等级沥青路面早期病害与热再生养护先进技术		
——适合国情的热再生技术与设备	马 琳	318
浅议沥青混凝土面层离析问题解决方案	朱文军	323
105 国道中山段试验路早期病害分析及处治	李远军 刘瀚飏	332
厂拌热再生沥青技术在广佛高速公路路面大修工程的应用	刘先森 朱战良	
王 欣 何文锋		339

四、水泥混凝土路面

发展水泥混凝土路面技术的思考——湖南、广西、广东三省调查报告和建议	李连生	
徐加锋 洪柏钧		349
旧水泥混凝土路面上连续配筋混凝土加铺层结构设计	苏纪开 赵建安 李宇峙	
刘朝晖 黄伟雄 严 岩		354
多孔混凝土配合比设计方法研究	郑木莲 王崇涛 王秉纲 陈拴发	359
水泥混凝土路面快速修补材料的研究	邓素素 罗立峰	364
多孔混凝土路用性能研究	王秉纲 王崇涛 郑木莲 陈拴发	370
连续配筋混凝土加铺层施工技术探讨	汪晓天 刘瀚飏 刘朝晖 苗丰田 欧阳晓军	375
水泥混凝土路面板底灌浆检测及评价技术初探	覃润浦 蔡友清 江羽习	379
国外水泥路面改造的侧裂压实技术	潘炬坤	385
水泥混凝土路面破碎稳固施工工艺与质量控制	范小响 甄京山 赵 静	389
路面基层材料溶蚀破坏的研究	梁军林 谭 华	393
清连一级公路损坏原因的调查、研究与分析	苏文忠	397

一、综合

ZONGHE

新疆公路自然区划研究

《新疆公路自然区划及环境研究》课题组

(新疆交通科学研究院 乌鲁木齐 830000)

摘 要 新疆由于其辽阔的疆域、独特的地理、地貌和气候条件,使公路建设在各区具有明显的差异。本文根据新疆实际的自然条件和筑路实践进行公路三级区划,建立一整套区划体系和方法并提出各区的自然特点及土基回弹模量建议值,使路基路面设计更加因地制宜、经济合理。

关键词 公路三级区划 区划原则 指标体系 土基回弹模量

1 概 述

新疆地域辽阔,其山盆结构的特点决定了各地自然条件的多样性和复杂性,自然气候不仅沿南北疆呈纬向地带性差异,且存在东西向的水平地带性差异,而纵剖面由山地向盆地的过渡则呈垂直地带性差异。如气温有创全国最高气温记录 49.6°C 的吐鲁番地区,也有创全国最低气温 -51.5°C 的阿勒泰、富蕴地区;又如降水量:有年降水量达 1000mm 的伊犁巩乃斯谷地,也有年降水量不足 10mm 的吐都托盆地。这些复杂的地貌和气候水文条件,不仅赋予地表形态的多样性,还对地表的物质组成等其他自然条件起着地域分异的作用,反映出各种自然条件的地域差异性。准噶尔、塔里木两大盆地边缘主要以砾质戈壁、荒漠戈壁为主,并分布有部分含盐的细土平原。盆地腹部则分布有大面积的风积沙。阿尔泰山、天山、昆仑山的中高山区则分布有多年冻土或季节性冻土区。这些自然条件的差异与公路建设有着直接、密切相关性。在我国公路一、二级自然区划中,新疆分有二个一级区,即 IV_2 绿洲—荒漠区和 IV_3 阿尔泰山地冻土区;其中含 6 个二级区和 2 个副区: IV_2 绿洲—荒漠区, VI_3 阿尔泰山地冻土区, IV_4 天山界山山地区, IV_{4a} 塔城副区, IV_{4b} 伊犁河各副区, VII_1 祁连—昆仑山地区, VII_2 柴达木荒漠区, VII_4 羌塘高原冻土区。二级区划基本反映了以潮湿系数 K 为主导标志的干旱气候特征,但在地貌形态、地表组成物质、筑路材料、公路病害等方面仍存在着巨大的区内差异。为了更好地区分不同地理区域的自然条件对公路工程影响的差异性,并在路基路面的设计、施工和养护中采取适当的技术措施和合适的设计参数,以保证路基、路面的强度和稳定性,在新疆进行公路三级区划,并提出符合各区实际的土基回弹模量等参数,使公路自然区划更为符合实际,有效地指导公路设计和施工。

2 公路自然区划的原则和框架体系

公路二级区划是在一、二级区划基础上的细化。为了加强实用性和可操作性,应该遵循以下原则:

(1)科学性原则

以新疆的综合自然条件为基础,以公路工程实践为依据,分析各自然因素及其相互作用的异同性,尤其是在表现结果上的异同性,从空间分布规律和时间发展阶段揭示对公路建设影响的差异性和相似性。

(2)继承性原则

继承一、二级公路自然区划的基础理论,即地带性和非地带性理论,采用自然因素的综合性和主导性相结合的原则。

(3)地方性原则

新疆地貌具有山盆格局明显的特点,区划主要依据山地盆地两者的特点进行。山地呈鲜明的垂直地带性特点,而盆地则不仅具有纬向地带性,还存在受各种因素影响的非地带性,即隐喻性特点。因此,地方性原则主要是从新疆山地的垂直地带性和盆地的隐喻性综合考虑,进行划区。

(4)相似性原则

在辨识综合自然条件的影响、分布和公路工程建设特点的基础上,分析公路工程建设与自然环境的关系,了解公路工程与自然环境的区域组合,区分区域差异,认识其发展规律。以期在同一区内,与公路建设密切相关的自然条件类似,对公路建设产生的影响类似,并具有筑路相似性。

(5)实用性原则

三级区划为地方性区划,注重实用性,从地方公路建设的具体要求出发,选取与公路工程紧密结合的自然因素作为区划指标,直接体现在公路设计施工中,使其更具实用性。

3 三级区划的方法和思路

三级区划的方法基本可分为两种:一是按照地貌、水文和土质类型将二级自然区划进一步划分为若干类型单位的类型区别;另一种是继水热、地理、地貌等为标志将二级自然区进一步划分为若干更低级区域的区域划分。根据新疆地域中典型的山盆构造,其地貌、水热条件及公路建设条件等都呈现明显的区域性,而土质、水文、类型则具有相当的重叠性和交叉繁杂的特点。因此,采用水热、地貌等自然因素为标志进行进一步的区域划分更为符合新疆实际。

为使三级区划更具体地体现出公路工程特点,即公路建设的相似性和差异性,首先进行地理、地貌、气象、水文、地质等诸多自然因素与公路工程的相关性分析,辨识各自然因素在不同的区域单元、不同的公路建设条件下的相关程度,进行排列筛选,建立起区划标志群。同时分析不同区域自然因素的特点,提炼出最具区划意义的主导标志,作为基本区划的指标。而将其其他相关性相对较弱,但在体现筑路相似性方面又不可缺少的一些自然因素作为区划的描述指标。区划指标主要用于划区,描述指标主要用于体现公路工程问题和现象,二者结合共同体现某个特定三级区的自然条件和公路工程特点,达到三级区划为工程服务的目的。

上述思路可用图1简要说明。

根据上述方法和思路,通过相关分析,确定地貌单元、地表自然坡降、地表起伏度、潮湿系数、年平均气温、土质类型6个自然因素作为主要的划区标志,即区划指标。而将海拔高度、最大冻深、年极值气温、土质岩性等与路基路面强度和稳定性有关的22个自然因素作为描述指标来反映各区的公路工程问题和现象。

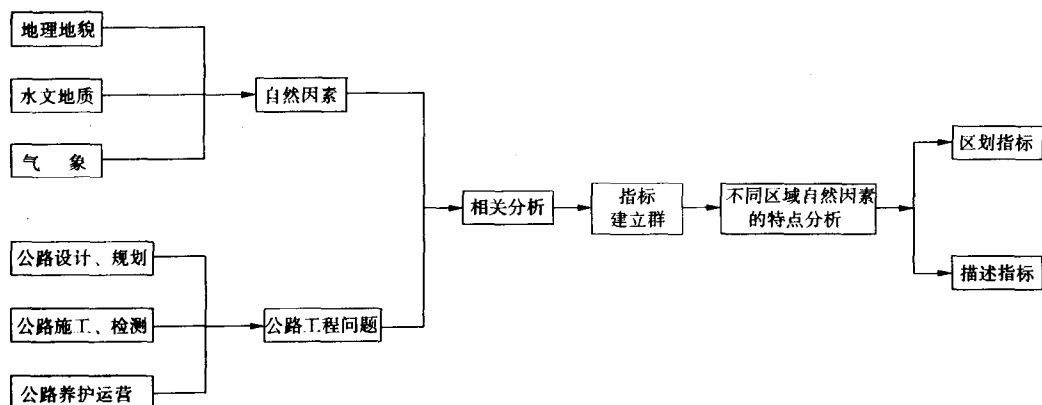


图 1

4 三级自然区划的指标体系

根据分区原则,建立三级区划的指标体系,见表 1~表 3 所列。

新疆公路三级自然区的标志体系

表 1

区划影响因素	地质地貌	水热条件	其他因素
区划标志	地表自然坡度	潮湿系数	土质
	地表起伏度	年平均气温	
	地貌单元		

新疆公路自然区划描述指标

表 2

公 路 建 设		考 虑 因 素		主要自然影响因素		区划描述指标	
路网规划		布局形式		地貌		地貌外力作用类型、海拔高度、地表起伏度、地面坡度	
公路等级		等级高低					
路线设计		线形指标					
路基设计		路基强度与稳定性	气候的潮湿状况		潮湿系数、年降水量、年蒸发量		潮湿系数、年平均降水量、年蒸发量、年平均气温、地下水埋深、土质岩性多年平均最大冻深
			路基的水温状况		水源、温度及变化、年平均气温		
			路基干湿类型		填料种类、地下水、地表水		
路面设计		路面稳定性	高温稳定性		夏季最高气温		7月平均最高气温、年极端最低气温、年平均降水量、蒸发量
			低温稳定性		年极端最低气温		
			水稳定性		年降水量、年极端最低气温		
			冻稳定性		道路冻深		
构造物设计		基础埋置深度		地基土的冻胀性、最大冻土深度		土质岩性、多年平均最大冻深	

续上表

公路建设	考虑因素	主要自然影响因素	区划描述指标
公路病害	冻胀翻浆	土的冻胀性、春秋季的水分来源、冬季负温、春季升温	土质岩性、年平均降水量、地下水埋深、多年平均最大冻深
	盐渍土病害	土壤含盐性质及含盐量、水源、冬季负温、春季升温	盐渍化程度、年平均降水量、地下水埋深、多年平均最大冻深
	雪害	降雪量、积雪厚度、风力、山坡坡度、负温作用	最大积雪厚度、地面坡度、风力强度
	水毁	春夏季降水或融雪水、降水强度、土壤、植被	雨型、一日最大降水量、地面坡度、植被覆盖度、土质岩性
	沙害	沙的颗粒大小及含水量、风力、沙漠固定情况	风力强度、植被覆盖度、年平均降水量
施工条件	施工效率	海拔对施工的影响	海拔高度(大于 2000m 分界)
	施工期	施工中的温度要求	日平均气温稳定通过 5℃ 天数

新疆公路三级区划的划分结果及标志

表 3

一级区	二 级 区	三 级 区	区 划 标 志
西北干旱区	VI2 绿洲-荒漠区	VI2-A 准噶尔盆地边缘山前冲—洪积平原区	1. 主要标志: a. 地貌类型 b. 土质类型 c. 地貌单元 2. 参考标志: 年平均气温
		VI2-B 准噶尔盆地东部干燥作用丘陵区	
		VI2-C 古尔班通古特固定半固定沙漠区	
		VI2-D 天山东部干燥作用丘陵区	
		VI2-E 吐鲁番—哈密盆地洪—冲积平原区	
		VI2-F 焉耆盆地冲—湖积平原区	
		VI2-G 塔里木盆地边缘山前洪—冲积平原区	
		VI2-H 塔克拉玛干流动沙漠区	
		VI2-I 库木塔格流动沙漠区	
	VI3 阿尔泰山地冻土区	VI3-A 阿尔泰山冻融—流水作用山岭区	1. 主要标志: a. 潮湿系数 K b. 年平均温度 c. 地貌类型 d. 地貌单元 2. 参考标志: a. 海拔高度 b. 年平均降水量
		VI3-B 阿尔泰山干燥—半干燥作用山岭区	
	VI4 天山界山山地 区	VI4-A 天山冻融—流水作用山岭区	
		VI4-A1 昭苏盆地冲积—冻融作用平原副区	
		VI4-A2 巴音布鲁克盆地冻融作用平原副区	
		VI4-B 天山干燥—半干燥作用山岭区	
		VI4-B1 博格达山冻融—流水作用山岭副区	
		VI4-B2 巴里坤—哈尔里克山冻融—流水作用山岭副区	
		VI4-B3 巴里坤盆地冲—湖积平原副区	
		VI4-B4 拜城盆地洪—冲积平原副区	
	VI4a 塔城副区	VI4a-1 塔城盆地洪—冲积平原区	
		VI4a-2 准噶尔西部山地半干燥作用山岭区	
	VI4b 伊犁河谷地副区	VI4b-1 伊犁河谷冲—洪积平原区	

续上表

一级区	二级区	三级区	区划标志
VII 青藏高寒区	VIII 祁连—昆仑山地区	VIII-A 帕米尔—昆仑—阿尔金山冻融作用山岭区	
		VIII-A1 库木库里盆地冻融作用平原副区	
		VIII-B 帕米尔—昆仑—阿尔金山半干燥—干燥作用山岭区	
	VII2 柴达木荒漠区	VII2-A 托格拉萨依河谷洪—冲积平原区	
	VII4 羌塘高原冻土区	VII4-A 铁龙滩—肖库勒冻融作用高原区	

5 土基回弹模量及 CBR 的值的确定

土基回弹模量 E_0 和加州承载比 CBR 是表征路基土强度的主要参数。新疆近 20 年来公路建设的高速发展,每个特定的公路建设项目施工、检测、质量、评定等阶段都积累了大量的有关 E_0 和 CBR 值的室内外试验数据。这些数据在绝大部分三级及区内均有分布,且具有相当的样本量。通过数据库的建立,以土质与土力学的基本理论为指导,采用数理统计的方法分析、比较,同时在某些样本量不足的三级区内进行补充室内外试验和验证,可以得到各三级区的 E_0 值和 CBR 值推荐范围。其数理统计分析推论区间推论指定保证率(置信度)为 95%。由此可知 μ 的置信度为 $1 - \alpha$ 的量信区间为:

$$\left(X - \frac{S}{\sqrt{n}} U \frac{\partial}{2}, X + \frac{S}{\sqrt{n}} U \frac{\partial}{2} \right)$$

6 结 语

公路三级区划过程中,参数的确定是一项涉及多学科、需长期积累、试验,并不断补充完善的工作。本文结合交通部西部科技项目《新疆公路自然区划及环境参数的研究》课题,介绍了课题的部分研究成果,以期在新疆公路界广泛征集意见,不断补充和完善此项领域的研究成果,使自然区划在新疆真正起到指导设计、施工的作用,使新疆的公路建设更能因地制宜,有据可依,发挥出更大的经济效益。

公路横向力系数研究

孙家凤¹ 徐建伟²

(1.交通部公路科学研究所 北京 100088; 2.浙江省公路管理局 杭州 310000)

摘 要 本文以实测数据为基础,针对不同的车型、人员类别和道路类型,从乘车人员的舒适性和行车的安全性两方面,综合研究确定公路横向力系数的取值标准。舒适性数据的取得基于乘车人的主观感受与客观的心电仪数据,二者综合平衡后确定不同条件下的横向力系数阈值,进而对极限最小半径和一般最小半径及不设超高的最小曲线半径都作出了相应的计算和规定。

关键词 横向力系数 舒适度 极限半径 超高

1 概 述

横向力系数是指汽车在弯道上行驶,由于离心力的作用,使车辆沿路面水平方向产生的一个横向分力。此横向分力与垂直地面的竖向力之比称为横向力系数 f 。横向力系数 f 是设计平曲线半径和超高的最基本的参数。其极限值为横向摩阻系数,主要受路面条件、轮胎材料和气压、车速以及荷载等因素的影响。

根据横向力系数、超高和平曲线半径三者之间的关系,汽车在弯道上行驶时,随着横向力系数 f 的不同,乘客的感觉也随之发生变化。 f 值的大小直接影响到行车的安全、经济和舒适性。因此,在曲线上,如何综合考虑超高的设置和横向力系数的取值,关系到车辆在弯道上的行驶条件,不仅影响行车的安全性与舒适性,还对公路修筑的工程数量及费用有举足轻重的影响。但迄今为止,我国尚未针对横向力系数 f 、超高与平曲线半径三者的关系进行系统研究。因此,为了科学地设计平曲线半径和超高,在全国范围内对横向力系数 f 展开调研,针对我国机动车型与驾驶员的感受,提出有充分依据的横向力系数 f 参数,取得可以信赖的设计依据具有重要意义。

2 国内外研究回顾

关于横向力系数,德国、美国和日本等机动化程度较高的国家开展相应的研究比较早,也比较深入,取得了大量可供应用的研究成果。美国和日本、澳大利亚等国家,基本是从乘客舒适性和安全性两方面综合确定横向力系数取值,德国则是从纵横摩阻系数比的角度来规定的。

我国近年来也进行了这方面的研究,但还不很深入和全面,也没有提出适合我国驾驶员和车辆特性的横向力系数的取值标准。在参考了国内外的研究经验与成果的基础上,本文主要从舒适性和安全性两方面综合确定横向力系数阈值。

3 研究的开展

由于此项研究主要是针对我国的驾驶员特性、车辆状况等开展的普遍调查研究,因此主要采取试验方法,针对不同的大、中、小型车,不同年龄的人员类别,不同区域、不同条件的道路路段,以采集到的充足的高精度的试验数据为基础,运用统计分析、对比等手段得到预期的结论。

试验采集的主要数据是不同道路条件、不同运行速度下的舒适度等级。试验人员在不同条件下舒适度的数据控制采取主观感受和客观的心律数据两种方法对照同时进行,综合平衡后确定速度与舒适性的关系,从而得出舒适度控制等级对应的横向力系数阈值。将舒适度分为 A、B、C、D 四个等级:

- A——乘客不感到弯道存在,很平稳;
- B——乘客略感到弯道存在,但尚平稳;
- C——已感到弯道存在,略感不舒服,行驶尚平稳;
- D——感觉强烈且不舒服,行驶不稳定,有倾倒的危险。

其中,C 级是舒适、稳定行驶的结束,不舒适、不稳定行驶的开始,所以将 C 级作为乘客舒适度的一个控制点,是极限横向力系数的取值依据。B 级作为一般平曲线半径对应横向力系数的取值标准。

4 从舒适性考虑的极限横向力系数阈值的确定

在确定设计用横向力系数阈值时,必须综合考虑离心力对各种车型和各类人员的影响。图 1 是大、小客车及货车在同样的条件下根据乘客的舒适度感受等级所对应的横向力系数阈值。图中直线表示最终推荐的横向力系数取值曲线。这是综合考虑了客车、货车的特点及货车的发展趋势后得出的结论。在确定横向力系数标准时充分考虑货车与小客车之间的差别,考虑大多数用路者的舒适性需要。表 1 为各设计车速对应的横向力系数取值表。

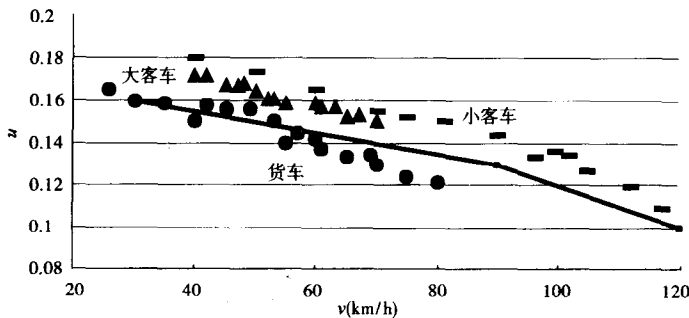


图 1 各车型横向力系数阈值取值散点图
(直线为最终推荐的横向力系数取值)

各设计车速对应的横向力系数取值表

表 1

速度 $v(\text{km/h})$	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
横向力系数阈值 u	0.17	0.16	0.15	0.15	0.15	0.14	0.13	0.12	0.12	0.10	0.10

根据上述结论所得出的横向力系数阈值,不仅满足正常路面条件下的横向安全性,而且在路面横向摩阻力降低后,仍然是安全的。另外,在现有的极限横向力系数阈值的基础上可以适

当增大横向力系数从而换来工程造价的降低和工程量的减少,这在山区高速公路设计时是很有意义的。

4.1 寒冷地区极限半径对应参数的规定

我国部分寒冷地区常年或一年大部分时候都有冰雪,路面的摩阻系数很低,而且最大超高值仅为 6%。从安全角度考虑,根据试验得出的极限横向力系数阈值,运用到寒冷结冰地区时应该进行折减或作出不同的规定。

各种路面与轮胎之间的极限横向摩阻系数不同,一般水泥混凝土路面的 f 值取 0.4~0.6,沥青路面取 0.4~0.8,路面冰冻积雪时 0.2~0.3,在平滑的积雪路面上若不加防滑链时 0.1~0.2。在决定寒冷冰滑地区极限最小平曲线半径时,为保证横向安全,最大横向力系数必须小于冰滑路面与轮胎之间的最大横向摩阻系数,即小于 0.1,同时小于 0.1 的横向力系数也能充分保证乘客的舒适性,因此取横向力系数 0.8、最大超高 6% 来计算寒冷冰滑地区的极限最小平曲线半径。

4.2 一般平曲线半径及对应横向力系数的确定

根据对司乘人员舒适度感受的分类等级,选取 B 级舒适度作为一般最小半径对应横向力系数的选择标准。

根据图 2 的散点趋势分析,舒适度 B 级对应的横向力系数在不同的速度区间其取值稍有差别,取其各段的均值作为各速度下一般最小半径对应的横向力系数阈值。其取值范围与现行标准及其接近,可以保持原标准值不变。

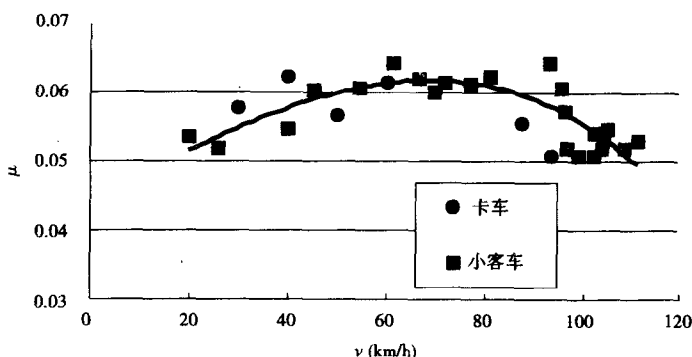


图 2 各设计速度对应的两种车型 B 级舒适度对应横向力系数

4.3 极限横向摩阻系数(安全性考虑)

为了对全国各区域、各种路面条件的道路极限摩阻系数有全面的掌握,统计了国内各代表性区域的 25 条高速公路自 1993~2001 年的极限摩阻系数值,区域遍及河北、山东、新疆、江苏、陕西等二十几个省市地区,分析和整理出了其变化规律和变化范围,得出了高速公路在不同的使用时期大致的横向摩阻系数范围,如图 3 和图 4 所示。

各条道路相互之间的极限摩阻系数值有一定的差别,但都在 0.3~0.7 之间,随着公路使用寿命的延长趋于 0.53 左右的稳定值。极限摩阻系数的稳定值和最低值都远大于根据舒适度感受得出的极限横向力系数取值,因此根据试验结果确定的横向力系数阈值应该是绝对安全的。

4.4 最小平曲线半径的确定

根据经典动力学公式,将设计车速及上述最大超高值、横向力系数阈值代入经典动力学公式中,求最小平曲线半径,结果如表 2 所示。

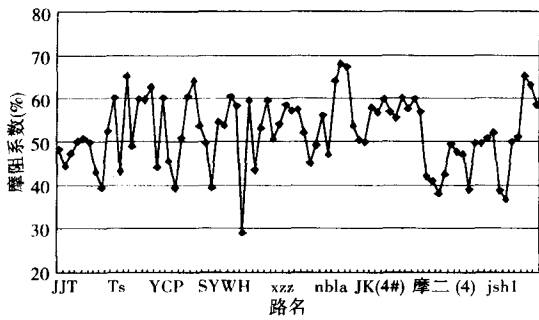


图3 各道路近年来极限横向摩阻系数平均值

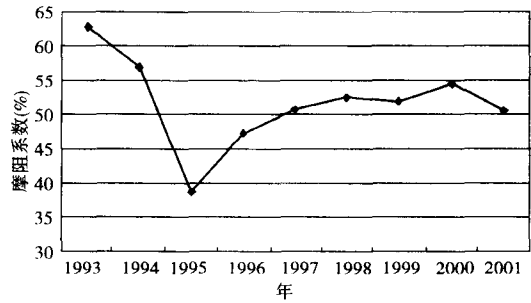


图4 各道路年平均极限横向摩阻系数衰减曲线

圆曲线最小半径(m)

表2

设计速度(km/h)			120	100	80	60	40	30	20
一般值(m)			1000	700	400	200	100	65	30
极限值(m)	一般情况	$i_{\max} = 10\%$	570	360	220	115	—	—	—
		$i_{\max} = 8\%$	650	400	250	125	55	30	15
		$i_{\max} = 6\%$	710	440	270	135	60	35	15
		$i_{\max} = 4\%$	—	—	—	150	70	35	15
		$i_{\max} = 2\%$	—	—	—	—	75	40	20
	积雪冰冻	$i_{\max} = 6\%$	810	565	360	205	90	55	25

其中考虑到各地区的气候、地形等的差异,不局限于现有的8%超高下一组最小半径值,针对不同的最大超高值,规定了几组对应的极限最小半径。

5 不设超高平曲线半径及对应横向力系数的确定

不设超高的最小平曲线半径应取决于在整个速度范围内出现一致的摩阻系数值。

对于平均路拱横坡分别为1.5%和2%的超高曲线,与每种设计速度对应的曲线半径和相应的横向力系数列于表3,这就是要求超高达到正常路拱横坡时的平曲线最大半径,因而称之为正常路拱断面下的极限值。表3中,横向力系数均匀且为低值的情况,说明了这些曲线半径就是正常路拱断面的理论极限值,同时也是不设超高平曲线半径的临界值。

正常路拱断面时横向力系数计算表

表3

设计速度 (km/h)	i 平均路拱 = 1.5%		i 平均路拱 = 2.0%	
	最小曲线半径(m)	反向路拱时横向力系数	最小曲线半径(m)	反向路拱时横向力系数
20	220	0.029	180	0.032
40	830	0.030	560	0.043
60	1550	0.033	1150	0.045
80	2490	0.035	1930	0.046
100	3480	0.037	2750	0.049
120	4950	0.038	3690	0.051
平均值		0.035		0.045

根据表3,正常路拱在1.5%和2%时不设超高对应的横向力系数在0.035~0.045,同时考虑到车辆超速的情况,为确保横向安全,横向力系数不宜过大,上限值取0.04。在计算 f 值时,