

# 中法高速公路车流及荷载特性对比

阮欣,周军勇,石雪飞

(同济大学 桥梁工程系,上海 200092)

**摘要:** 选取中国和法国的两组利用动态称重设备实测的高速公路车辆数据进行统计,对实测车流的车型组成特性、车流时变特性及车辆到达特性,车辆特性,不同车道车流及荷载等特性进行了详细的对比与分析,总结了车流及车辆荷载的一般分布规律. 数据显示,国内车重、轴重及交通量等参数都显著高于法国,相对《公路桥涵设计通用规范》(JTJ D60—2004)中车辆荷载基础数据也提高很大;每天的交通量在低谷期重车比例最高,高峰期重车比例最低;各车道之间车流及荷载特性差异性很大,并不符合互不相关假定;我国实测车辆荷载的效应极值外推结果远大于现行规范值. 综合这些特性,建议对特殊桥梁的设计或评估,采用特定地点的车辆荷载;各车道汽车荷载模型应分别考虑;不同加载长度的汽车荷载模型应区别分析.

**关键词:** 车流及荷载特性; 动态称重; 多车道车辆荷载; 汽车荷载模型

中图分类号: U441.2

文献标志码: A

## Comparative Study on Highway Traffic Flow and Load Properties of China and France

RUAN Xin, ZHOU Junyong, SHI Xuefei

(Department of Bridge Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

**Abstract:** Two typical highway traffic data measured by weight-in-motion (WIM) equipment in China and France were compared, some statistics and analysis works were conducted. Traffic flow and load properties were compared in a detail way. The results show that axle weight, gross vehicle weight and traffic volume of France's are smaller than those of China's which indicate an obvious increase in comparison with the vehicle data used for the current bridge criterion (JTJ D60—2004). The constitution of daily traffic shows a timely change; trucks have a higher proportion during the low tide, but a lower proportion in peak time. Results can be concluded from the data that a basic hypothesis of vehicle load model for

China design code, in which all vehicle lanes are uncorrelated to each other, may not valid. Both China and France data show traffic flow and load properties in different lanes have obvious difference. Finally, a site-specific vehicle model is recommended for design and assessment. Different lanes are proposed to be considered, and a loading length depended load-model should be adapt for diversity span bridge for the actual extrapolated effect far outweighs the code value.

**Key words:** traffic flow and load properties; weight-in-motion; multi-lane vehicle load; vehicle loading model

车辆荷载是公路使用期间的主要可变荷载,它随机性大、不确定性和时变性强. 近 10 年来,我国经济与交通运输高速发展,交通量快速增长,超载重载现象严重,车辆荷载变异愈加显著,这使得结构在使用期间承受较大的累积损伤,结构使用寿命、退化特性等发生显著变化. 准确测取实际车辆车列数据,分析实际车辆荷载和车流状况对于公路工程的设计和已建工程的安全评估都有重要意义.

车辆特性是中小跨径桥梁车辆荷载效应的主要控制因素;车流分布等特性则是影响长加载跨径桥梁或公路路面车辆荷载效应的关键因素. 传统的车辆调查、录像等记录方式,无法获取车流的车列信息,目前,动态称重技术(weight in motion, WIM)<sup>[1]</sup>的发展为交通数据的获取提供很大帮助,它可以在不影响车辆运行的状态下准确测取车辆的轴重、轴距、车重、车速以及车辆间距、时距等各种车流与车辆特性参数,从而还原完整的车流信息,满足各种加载长度的交通特性及荷载效应研究要求,在这方面,国内外都已经在开展相关研究工作<sup>[2-4]</sup>. 本文选取来自广东省某高速公路和法国某高速公路的两组典型双向四车道 WIM 数据. 国内这条高速公路是连接广州市与周边城市的重要通道,运营 10 年以上,日交

收稿日期: 2012-09-28

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划(2009BAG15B02); 国家自然科学基金(51108338)

第一作者: 阮欣(1977—),男,讲师,工学博士,主要研究方向为桥梁工程. E-mail: ruanxin@tongji.edu.cn

通讯作者: 周军勇(1990—),男,硕士生,主要研究方向为桥梁工程. E-mail: zhoujunyong\_fly@163.com

通量达到3.2~3.4万辆,在国内运营高速公路中较有代表性;该组数据是两车道(单向)连续量测2周,共获得577 882轴,237 899辆汽车的数据。法国这条高速公路是整个欧洲的重要运输通道之一,该组数据是两车道(双向)前后历时4周共641 899轴,198 839辆汽车的测量结果,这组数据也曾经是欧洲规范修订时的基础数据之一。

我国2004年颁布的《公路桥涵设计通用规范》<sup>[5]</sup>的车辆荷载模型,参考了国外规范的相关研究成果,特别是欧洲规范。因此,分析比较中法两组数据特性,对于现行规范的车辆荷载模型完善与修订具有重要意义。

## 1 车流特性的比较与分析

### 1.1 车型组成特性

车型组成分布是研究车辆交通荷载的基础。表1中按轴数将车型划为5类,对两组数据进行了比较。二轴车均占一半以上,国内甚至达到80.53%;法国四轴及四轴以上的多轴车比例显著高于国内,但超大型车辆(六轴及以上)分布,国内达到4.54%,而法国不到1.00%。

表2 日平均交通量的周变化规律

Tab.2 Change law for average daily traffic volume within a week

数据来源	日平均交通量/辆						
	星期一	星期二	星期三	星期四	星期五	星期六	星期日
法国高速	6 723	6 001	6 435	6 598	6 843	6 271	5 376
中国高速	16 816	16 315	16 719	16 798	17 528	17 010	17 762

平均每小时的交通流量(以下简称时均交通量,见图1a))的变化规律可以反映车辆在1d内的密集分布状况。对比发现两国车流的昼夜差异性均很明显且变化规律类似,日交通高峰期出现在每天的15:00~18:00时段,低谷期出现在凌晨2:00~5:00时段。

取每小时车辆总重与车辆数的比值,分析各小时的平均车重(以下简称时均车重)变化规律(图1b)),可知,国内外时均车重变化规律大体相同,但国外时均车重值显著高于国内;时均车重在交通量低谷的凌晨3:00~5:00达到最大值,而在交通高峰期最小,这反应了各时段内车型组成分布的不同;对于不同跨径桥梁,荷载效应最为显著的时段也是不同的。根据这一结果,超载车的控制重点应在凌晨03:00~06:00时段。

表1 车流组成特性对比

Tab.1 Comparison of vehicle constitution feature

数据来源	车流组成比例/%				
	二轴	三轴	四轴	五轴	六轴及六轴以上
法国高速	53.05	1.66	15.65	28.77	0.87
中国高速	80.53	7.54	5.00	2.39	4.54

### 1.2 车流时变特性

交通流量反映的是在某一段时间内通过观测断面的车辆实体数量,交通流量的大小反应公路的受荷密集程度。受多种因素影响,交通流量呈现高度时变性。

双车道(单向)日平均交通量在一周内的变化规律如表2所示。可以发现,国内日平均交通量达到1.6~1.7万辆,相当于双向四车道每天3.2~3.4万辆,这已经接近了设计流量,也代表了我国目前一些主要线路双车道高速公路的实际运营水平。国内各日均交通量均显著高于法国,一周的平均交通量是法国的2倍多;相比20世纪90年代我国测取的公路最大平均日交通量(双向四车道9 660辆)<sup>[6]</sup>也提高了两倍多。交通量的高峰日也显著不同,国内出现在周末,法国则出现在周五或周一,这反映了生活习惯的不同。

### 1.3 车辆到达特性

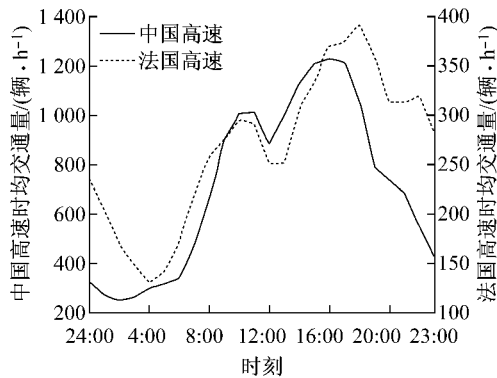
车辆到达特性反映车辆的排队特性,是描述车队构成的重要参数。车辆到达特性一般以车头时距和车头间距衡量,车头间距直观反映在某一时刻路面车辆分布状况,车头时距则反映了交通量的大小。对两组数据的车头时距和车头间距分别进行统计拟合,结果表明,两组数据符合对数正态分布,其分布参数如表3所示,法国数据中的车头时距和车头间距均显著大于国内,说明同一时刻在一定加载长度上,国内的车辆密度较大。

为比较车辆行驶密集程度的变化,结合我国20世纪90年代在207,328,305,101这4条国道上测量的车头时距和车头间距统计结果<sup>[6]</sup>(该组数据是我国《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2004)车辆荷载模型基础,以下简称“04规范基础数据”),

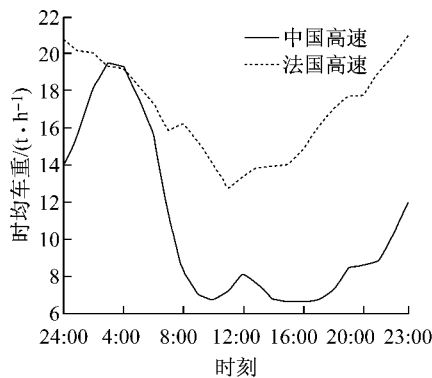
表 3 车辆到达特性统计拟合

Tab.3 Statistics and fitting for vehicle arrival feature

数据来源	拟合参数	拟合类型	均值	标准差	形状参数	尺度参数
法国高速	车头时距	对数正态	29.34	44.91	2.638 0	1.257 8
	车头间距	对数正态	1 780	1 931	6.885 5	1.192 0
中国高速	车头时距	对数正态	10.03	10.61	1.807 5	1.024 8
	车头间距	对数正态	247	338	4.914 9	1.087 7



a 时均交通量变化规律



b 时均车重变化规律

图 1 车流特性的时均变化规律

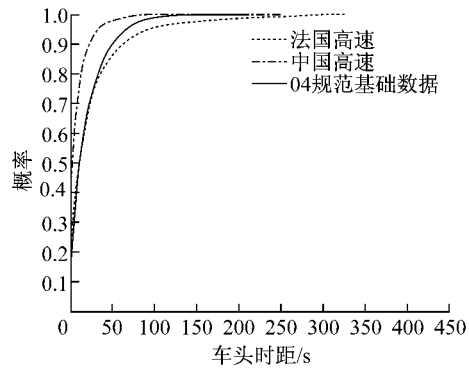
Fig.1 Change regulation for traffic features per hour

将 3 组数据的车头时距和车头间距累积概率分布绘于图 2。对比发现,我国车辆车头间距显著大于法国,但相比 04 规范基础数据变化不大;车头时距在同一累积概率水准下,国内的车头时距要小于 04 规范基础数据,也远小于法国数据,反映的是交通流量发生了很大增长,印证了表 2 交通量的统计结果。

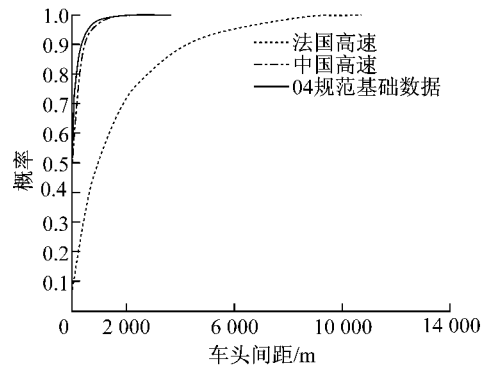
## 2 车辆荷载特性

车辆荷载特性是包含车重、车距、轴重、轴距和车速在内的描述车辆基本信息的参数,其中车重、轴重是桥梁汽车荷载分析的重要参数,也是公路路面累计损伤分析的重要参数;车距、轴距则是分析桥梁车辆荷载局部效应标准车的关键参数。

表 4 和表 5 分别对两国轴数和车重数据进行车辆荷载特性对比,结果显示法国的车重数据比较



a 车头时距累积概率分布



b 车头间距累积概率分布

图 2 车辆到达特性累积分布曲线

Fig.2 Cumulative distribution curve for vehicle arrival feature

集中,离散性小,最大车重 81.2 t,显著小于国内 172.6 t;分析各区段车重的概率分布,国内外车重一半以上小于 20.0 t,超过 60.0 t 的车辆法国占 0.07%,而国内超过 80 t 的车辆仍占 0.45%,这也反映了我国运营高速公路中超载普遍的现象。

将轴重特性以区段划分,见表 6。结果表明,法国轴重多集中于 0~15 t,而我国超过 20 t 的还有 1.04%;国内高速最大轴重 32.0 t,均值 3.78 t,变异系数 1.24;法国高速最大轴重 20.0 t,均值 5.81 t,变异系数 0.671。

为比较车重与轴重的变化,根据我国 04 规范基础数据统计结果<sup>[6]</sup>,将 3 组数据的车重与轴重累积概率分布绘于图 3 中。对比可知,在车重累积概率低于 0.74 及轴重累积概率低于 0.63 段,同一累积概率水准下我国现有的车重和轴重偏小;但是当累积

表 4 不同轴型车车重参数对比

Tab.4 Comparison of gross vehicle weight with different axial types

数据来源	参数	车重/t				
		二轴车	三轴车	四轴车	五轴车	六轴及六轴以上车
法国高速	平均值	3.76	14.18	25.63	31.75	33.73
	最大值	29.40	38.70	65.30	77.60	81.20
中国高速	平均值	4.50	9.20	33.00	39.10	50.00
	最大值	50.60	78.20	93.40	107.00	172.60

表 5 不同总重区段车重分布

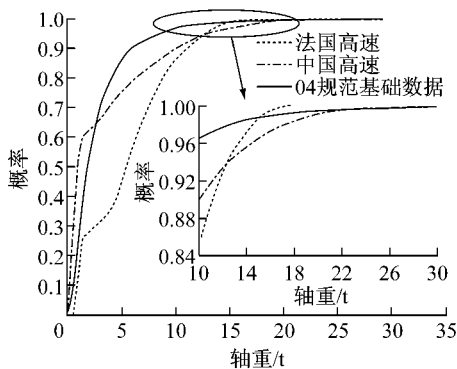
Tab.5 Gross vehicle weight distribution in different classified sections

数据来源	车重分布/%				
	(0~20] t	(20~40] t	(40~60] t	(60~80] t	80 t 以上
法国高速	64.42	23.19	12.32	0.07	0
中国高速	85.77	7.61	5.18	1.00	0.45

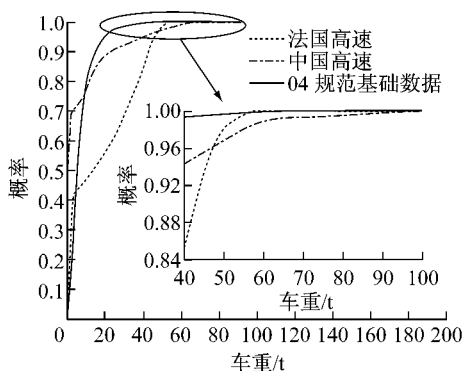
表 6 不同轴重区段轴重分布

Tab.6 Axial weight distribution in different classified sections

数据来源	轴重分布/%						
	(0~5] t	(5~10] t	(10~15] t	(15~20] t	(20~25] t	(25~30] t	(30~35] t
法国高速	42.27	42.65	13.40	1.67	0.01	0	0
中国高速	72.71	15.32	7.97	2.95	0.83	0.18	0.03



a 轴重累积概率分布



b 车重累积概率分布

图 3 车重与轴重累积概率分布

Fig.3 Cumulative distribution curve for gross vehicle weight and axial weight

为了深入分析重车对桥梁结构安全的影响,计算了 10,20,30 m 简支梁桥(单车道)在中法两国实

测车辆荷载下的跨中弯矩效应,并与规范计算值对比,如表 7 所示.采用文献 [6]中的短时数据的极值外推方法,得到了设计基准期效应标准值(静力效应),外推过程遵循了两国规范的荷载可靠度标准(欧洲规范汽车荷载标准值取 50 年内 95%保证率,我国 04 规范取 100 年内 95%保证率).规范值是两国规范<sup>[5,7]</sup>荷载模型计算结果.

测车辆荷载下的跨中弯矩效应,并与规范计算值对比,如表 7 所示.采用文献 [6]中的短时数据的极值外推方法,得到了设计基准期效应标准值(静力效应),外推过程遵循了两国规范的荷载可靠度标准(欧洲规范汽车荷载标准值取 50 年内 95%保证率,我国 04 规范取 100 年内 95%保证率).规范值是两国规范<sup>[5,7]</sup>荷载模型计算结果.

表 7 实测值外推效应与对应规范效应比较

Tab.7 Comparison of actual data extrapolation effect and corresponding specification effect

桥梁跨径/m	数据来源	跨中弯矩效应/(kN·m)		实测值/规范值
		实测值	规范值	
10	法国高速	1 655.74	8 62.50	1.92
		3 309.06	1 950.00	1.70
		4 991.29	3 262.50	1.53
20	中国高速	3 644.47	915.31	3.98
		7 429.34	2 501.25	2.97
		12 841.09	4 757.81	2.71

注:为与法国规范保持一致,中国规范值中包含了冲击力,冲击系数取最大值 1.45;效应值均为跨中弯矩效应.

比较可知,法国实测值是规范值的 1.5~2.0 倍,考虑设计计算中的荷载组合分项系数等,应该说吻合程度较好,规范基本反映了实际的荷载情况.我国实测值是规范值的 2.5 倍以上,最大的接近 4.0 倍,远大于规范荷载组合分项系数所能考虑范围,说明对于中小跨桥梁汽车荷载效应,我国现行规范估计不足,急需调整.

相比短加载跨径桥梁的荷载效应由重车控制,

长加载跨径主要由整体平均车重衡量;欧洲规范规定荷载模型适用于加载长度不超过 200 m 的公路桥梁设计,而我国在大跨桥梁设计中沿用了中小跨桥梁的车辆荷载模型,并以纵向折减系数考虑,这种以折减系数区分不同加载长度桥梁的汽车荷载效应方式有待改善。

根据车辆参数统计结果及规范荷载对实测值的反应程度,在我国现有车流量和超重车水平均大于规范现状下,建议规范对车辆荷载模型的界定,应就不同加载跨度分开考虑:短加载长度着重考虑重车效应,中加载长度应结合局部重车和整体车重水平考虑,长加载长度重点考虑整体车重水平。

### 3 不同车道的车流及荷载特性分析

我国现行桥梁车辆荷载模型采用了车道横向折减系数的方法,考虑不同车道的车流及荷载特性,其前提是假定各车道上车辆荷载互不相关<sup>[8]</sup>。欧洲的 EUROCODE 规范与英国的 BS5400 规范在考虑多车道加载问题时,则采用了横向不同车道上布置不同荷载形式的方法,分析不同车道车流及荷载特性对于多车道荷载模型研究显得尤为重要。

统计不同车道的各种车型占有比例如图 4 所示。由图 4 可知,不同车道上各车型占有比例区别很

大,二轴车在快、慢车道中均占较大比例,在快车道占 90%以上;多轴车主要分布于慢车道。比较而言,法国车辆的车道选择倾向明显,快慢车道区分更加显著。对于各车道车重和轴重的累计概率的研究(图 5)也说明了这一趋势:同组数据在同一累计概率水准下,快车道车重显著小于慢车道。

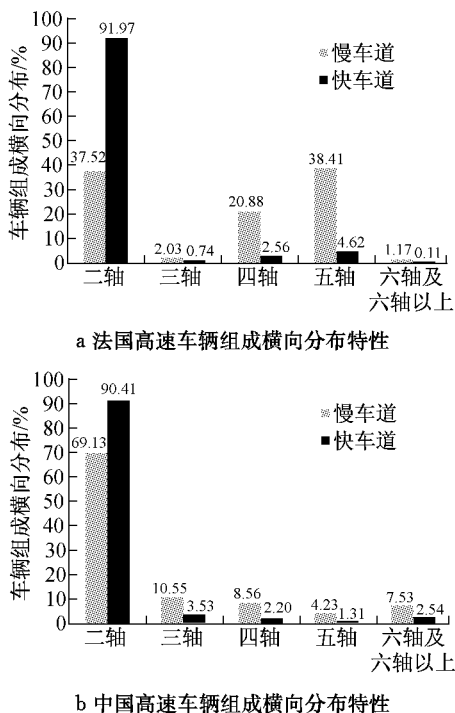


图 4 车辆组成的横向分布特性  
Fig. 4 Lateral distribution feature for vehicle constitution

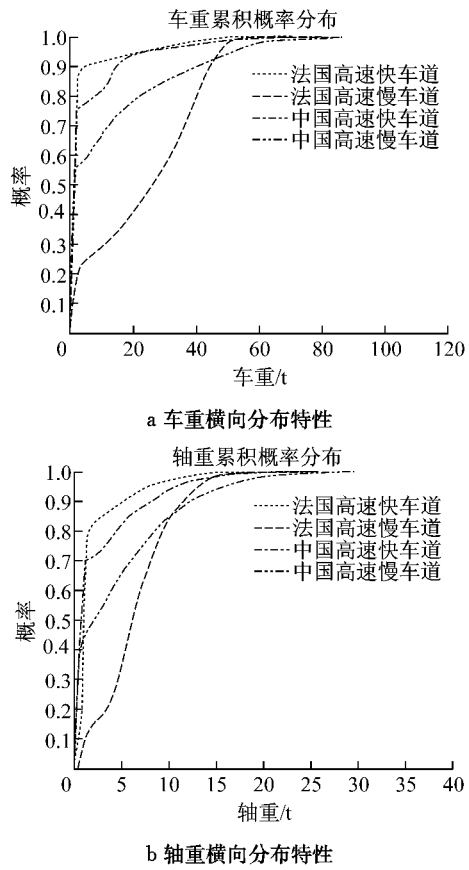


图 5 车辆特性横向分布特性  
Fig. 5 Lateral distribution feature for gross vehicle weight

综上可知,国内外多车道车流及荷载分布差异性都很大,各车型车辆对车道的选择倾向明显,各车道不同的车型分布形成了车辆荷载的显著差异,我国现行规范横向车道取用相同的荷载模式,未考虑车道间的差异性,这种基于车道间车辆荷载互不相关的假定有待商榷。

### 4 结论

通过对中法高速公路 WIM 数据的整理比较,对车流特性、车辆荷载特性及多车道车流与荷载等特性进行统计分析,归纳出车列分布的一般规律,并指出了我国现行规范的不足与建议修改方向。

(1) 选取我国典型高速公路车流车辆数据,在日

均交通量、重车分布比例及统计参数的变化规律上能很好反映我国高速的实际运营状况,与法国数据对比发现,数据的变化规律基本相同,交通量、车重、轴重、车头间距、车头时距等参数取值差异性很大.参考国外规范的车辆荷载模型,其适用性有待研究.

(2)中法两组数据显示,多车道车流及荷载分布差异性很大,各车型对车道的选择倾向明显,各车道间车辆荷载分布显著不同.欧洲的EUROCODE规范考虑横向不同车道使用不同荷载形式的加载方法,体现了车道间荷载分布相关的特点,我国现行规范基于车道间车辆荷载互不相关的假定有待商榷.

(3)根据车辆参数统计结果和规范荷载取值对实测值的反应程度,在我国现有车流量和超重车水平均大于规范现状下,建议对我国现行规范的车辆荷载模型界定,以特定地点数据采集为基础,对不同加载长度分开考虑:短加载长度着重考虑重车效应,中加载长度应结合局部重车和整体车重水平考虑,长加载长度重点考虑整体车重水平.

由于本文的车辆荷载数据是选取一定区域高速公路的实测结果,文中某些数据对比结论可能不适用于所有地区的车辆运行状况,为此还需更多数据支撑以形成完善的车辆荷载特性规律.基于高速公路车流及荷载特性分析,对于开展现有规范的车辆荷载模型完善与修订等相关工作具有重要意义.

#### 参考文献:

- [1] Kishore A, Klashinsky R. Prevention of highway infrastructure damage through commercial vehicle weight enforcement [C/OL]. Annual Indian Roads Congress (IRC) Session, Calcutta; Council of the Indian Roads Congress, 2000.
- [2] 阮欣,阮静,陈艾荣,等.泰州大桥中间塔鞍座抗滑安全评估[J].中国工程科学,2012,14(5):71.  
RUAN Xin, RUAN Jing, CHEN Airong, et al. Anti-sliding safety assessment for main saddle on Middle tower of Taizhou Bridge [J]. Engineering Science, 2012, 14(5): 71.
- [3] 阮欣,周小隼,郭济.基于合成车流的桥梁车辆荷载效应极值预测[J].同济大学学报:自然科学版,2012,40(10):1458.  
RUAN Xin, ZHOU Xiaoyi, GUO Ji. Extreme value extrapolation for bridge vehicle load effect based on synthetic vehicle flow [J]. Journal of Tongji University: Natural Science, 2012, 40(10): 1458.
- [4] A Getachew. Traffic load effects on bridges; statistical analysis of collected and Monte Carlo simulated vehicle data [D]. Structural Engineering of Royal Institute of Technology, 2003.
- [5] 中交公路规划设计院. JTG D60—2004 公路桥涵设计通用规范[S].北京:人民交通出版社,2004.  
China Highway Planning and Design Institute. JTG D60—2004 General code for design of highway bridges and culverts[S]. Beijing: China Communications Press, 2004.
- [6] “公路桥梁车辆荷载研究”课题组.公路桥梁车辆荷载研究[R].北京:中交公路规划设计院,1997.  
“Vehicle Loads Research for Highway Bridge” Research Group. Vehicle loads research for highway bridge[S]. Beijing: China Highway Planning and Design Institute, 1997.
- [7] European Committee for Standardisation, et al. EuroCode1 (EN 1991—2:2003); Actions on Structures — part2; traffic loads on bridges[S]. [S. l.]: CEN, 2003.
- [8] 郑步全,张士铎.中、小跨径多车道横向折减系数的概率计算方法[J].重庆交通学院学报,1992,11(4):17.  
ZHENG Buquan, ZHANG shiduo. Probability computing method for middle and small span with multiple lane transverse reduction coefficient [J]. Journal of Chongqing Jiaotong Institution, 1992, 11(4): 17.
- [1] Kishore A, Klashinsky R. Prevention of highway infrastructure damage through commercial vehicle weight enforcement