

文章编号:1671-6833(2005) 01-0020-04

# 高速公路桥梁活荷载参数研究

李广慧<sup>1</sup>, 张存超<sup>1</sup>, 王东炜<sup>1</sup>, 张会杰<sup>2</sup>

( 1. 郑州大学土木工程学院, 河南 郑州 450002; 2. 西南交通大学土木工程学院, 四川 成都 610031)

**摘 要:** 在高速公路桥梁结构极限承载力和可靠性研究中, 由于规范中没有车辆荷载的统计参数, 无法直接进行可靠性分析, 因此有必要首先进行荷载统计参数和加载模型的研究. 基于英国交通研究实验室于 1990 年进行的历时 2 周的统计调查所得的 WIM 数据, 利用 Microsoft Visual Basic ( 6.0 版) 编制分析程序, 首先根据各种不同车辆出现概率统计出 5 种最常见载重卡车; 然后分别统计其构形、轴重、总重及桥跨为变量时多辆卡车在桥梁上同时出现的概率. 统计结果可直接用于桥梁结构体系可靠性分析.

**关键词:** 桥梁; 卡车构形; 最大载重参数; 卡车同现概率

**中图分类号:** U 448.21 **文献标识码:** A

## 0 引言

随着交通运输业的蓬勃发展, 公路交通车辆不但数量急剧增多, 而且载重量也显著增大, 因此对现有桥梁结构的极限承载力和可靠性做出准确可靠的分析评价是非常必要的. 由于荷载和抗力的内在相关性, 承载力取决于卡车的构形、载重量、载重量在各轴上的分配以及卡车在桥上的位置等. 车辆荷载以多个参数( 车重或轴重、车间距、轴距) 影响着产生于桥梁结构中的效应, 由于设计规范中没有车辆荷载的统计参数, 即最大载重量的平均值和方差等, 因此直接进行桥梁可靠性分析有较大困难, 因此为了进行卡车作用下桥梁的可靠性分析, 必须首先进行车辆荷载统计参数和加载模型的研究. WIM 系统能够提供大量真实的车辆荷载数据<sup>[1,3]</sup>, 关键是如何对这些已测的 WIM 数据进行统计来决

定这些参数, 从而确定一个合理的车辆荷载加载模型. 本文作者运用英国交通实验室(Transport Research Laboratory TRL) 于 1990 年进行的历时两周的统计调查 WIM 数据, 统计了 5 种常见载重卡车的荷载参数, 包括其构形参数、最大载重量设计基准期外推值, 以及多辆重载卡车同时顺序行驶在同一车道上和并排行驶在两个车道上的概率, 可为桥梁可靠性研究提供一定的基础.

## 1 WIM 数据

英国交通研究实验室于 1990 年采用车辆动态测试仪, 在两条具有代表性的高速公路上布点, 连续两周测量实际发生的车辆荷载, 该 WIM 数据记载了各种不同类型车辆出现的时间、日期、类型、轴距、轴重、以及车重等. 表 1 是原始采样数据的一部分( 11 月 26 日) . 表中 ASC II 格式的每一行

表 1 车辆调查原始数据的一部分

Tab .1 The part of raw traffic data

时间	车 道/m	车 距	速度/ (km h <sup>-1</sup> )	类型车长 编号 /m	轴距/m								轴重/kg					总重量/kg				
00:04:57	2	40	131.938	1	4.2	2.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	398	282	—	—	—	—	—	—	—	680
00:05:28	1	988	82.059	54	15.4	2.29	1.26	6.39	2.03	0.00	0.00	0.00	7 735	6 233	12 071	7 560	5 273	—	—	—	—	38 872
00:05:38	1	244	86.886	56	15.4	2.48	1.36	5.10	1.27	1.30	0.00	0.00	6 224	4 215	6 816	5 558	6 865	6 447	—	—	—	36 125
00:05:43	1	137	102.976	31	9.6	5.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4 536	3 739	0	0	0	0	—	—	—	8 275
00:05:46	1	85	86.886	52	14.4	3.38	6.46	1.34	0.00	0.00	0.00	0.00	6 935	11 017	6 265	6 789	—	—	—	—	—	31 006

**收稿日期:**2004-09-20; **修订日期:**2005-01-05  
**基金项目:**国家自然科学基金资助项目( 50178064)  
**作者简介:**李广慧(1970-), 男, 河南省商丘市人, 郑州大学副教授, 博士后, 主要从事结构体系可靠性以及结构抗震性能分析等方面的研究.

数据代表一个车辆的通过,详细记录了在( 11 月 26 日) 的信息:时间( 00:00:00) 、车道( 整数米) 、车距( 整数米) 、速度( 公里/小时) 、类型编号( 整数) 、车长( 十进制米) 、轴距( 8 列, 十进制米) 、轴重( 9 列, 整数千克) 和总重量( 整数千克) .

2 5 种常见载重卡车类型

为了分析表 1 中的数据,利用 Microsoft Visual Basic ( 6.0 版) 编制了分析程序,将表 1 中数据读入后,首先通过对各种不同类型卡车出现概率进行分析,得到 5 种最常见载重卡车类型编号,按照出现概率大小的排列是( 括号内的百分数是其出现概率) :①卡车 31( 2 轴刚接, 32. 23%) ,②卡车 52( 2+3 轴铰接, 28. 78%) ,③卡车 55( 2+2 轴铰接, 21. 28%) ,④卡车 54( 3+3 轴铰接, 9. 71%) ,

⑤卡车 56( 3+2 轴铰接, 7. 00%) .

3 代表性载重卡车的轴距

对 5 种最常见的载重卡车的轴距进行了统计分析,得到每种类型卡车轴距的平均值,结果见表 2( 以 m 表示) .表 2 中所示轴距只是每种类型卡车轴距的平均值,而不是具体的载重卡车构形数据,因此还有必要对原始数据再次分析,以期找到与平均值最接近的实际载重卡车轴距,结果见表 3.

4 代表性载重卡车的轴重

对 5 种最常见的载重卡车的轴重进行了统计分析,得到每种类型卡车轴重的平均值,结果见表 4.

表 2 5 种常见卡车轴距均值

Tab .2 The average configuration of five frequent trucks							m
卡车类型	车长	1—2 轴距	2—3 轴距	3—4 轴距	4—5 轴距	5—6 轴距	
卡车 31	9. 154 6	5. 149 8	—	—	—	—	
卡车 52	14. 599 4	3. 241 1	6. 769 2	6. 759 2	—	—	
卡车 54	15. 274 7	2. 576 1	1. 276 0	6. 518 5	1. 502 9	—	
卡车 55	15. 486 6	3. 299 8	5. 631 9	1. 324 6	1. 325 6	—	
卡车 56	15. 962 9	2. 638 6	1. 283 6	5. 500 1	1. 371 0	1. 318 6	

表 3 5 种最常见载重卡车的轴距

Tab .3 The axes spaces of five frequent trucks							m
卡车类型	车长	1—2 轴距	2—3 轴距	3—4 轴距	4—5 轴距	5—6 轴距	
卡车 31	9. 20	5. 15	—	—	—	—	
卡车 52	14. 60	3. 21	6. 77	1. 37	—	—	
卡车 54	15. 60	2. 56	1. 23	6. 52	1. 86	—	
卡车 55	15. 60	3. 37	5. 63	1. 34	1. 37	—	
卡车 56	16. 00	2. 56	1. 31	5. 5	1. 32	1. 35	

表 4 5 种最常见载重卡车轴重平均值

Tab .4 The average axes weigh of five frequent trucks								t
卡车类型	1 轴重	2 轴重	3 轴重	4 轴重	5 轴重	6 轴重	总重	
卡车 31	3. 998	4. 453	—	—	—	—	8. 451	
卡车 52	4. 989	5. 372	3. 613	3. 608	—	—	17. 583	
卡车 54	5. 190	3. 714	5. 417	5. 285	5. 465	—	25. 071	
卡车 55	5. 538	6. 606	4. 244	4. 282	4. 278	—	24. 948	
卡车 56	2. 251	3. 864	4. 757	3. 908	4. 071	4. 245	26. 096	

5 最大载重量的外推

车辆调查得到的载重卡车最大重量是时长 2 周内的最大值,而桥梁结构的设计基准期英国为 120 年,我国为 100 年<sup>[ 3]</sup> ,因而必须将 2 周内出现的最大值外推至相应时间的水平. 这个过程中主要基于如下 2 个定理<sup>[ 1, 4]</sup> :

定理 1. 如果概率密度函数  $F(x)$  服从正态

分布,则概率密度函数  $F_T(x)$  也近似服从正态分布,且统计参数按以下取值:

$$\mu_{Q_T} = \mu_{Q_\tau} + 3. 5( 1 - 1/\sqrt{N}) \sigma_{Q_\tau} \quad ( 1)$$

$$\mu_{Q_T} = \mu_{Q_\tau} / \sqrt{N} \quad ( 2)$$

定理 2: 如果概率密度函数  $F(x)$  服从极值—Ⅰ型分布,则概率密度函数  $F_T(x)$  也服从极值—Ⅰ型分布,其均值和标准差分别取:

$$\mu_{Q_r} = \mu_{Q_\tau} + (\ln N) / \alpha \tag{3}$$

$$\sigma_{Q_r} = \sigma_{Q_\tau} \tag{4}$$

式中： $F_Q(x)$  和  $F_T(x)$  分别代表最大载重量  $Q(t)$  在时段  $\tau$  或  $N$  上的概率密度函数； $N$  是  $T$  年内的时段数  $(N = \frac{T}{\tau})$ 。

所以，当卡车最大载重量 2 周的统计参数已知时，即可以根据以上定理推求设计基准期时的

代表值。

根据对英国交通研究实验室 WM 数据的统计，5 种最常见的卡车 2 周最大载重量的统计参数见表 5。

根据交通研究实验室的报告，载重卡车的最大载重量服从正态分布，因此可以利用定理 1 和 2 中的公式，分别按照中英两国规范的设计基准期，推导最大的载重量统计参数，结果见表 5。

表 5 5 种最常见卡车 2 周、100 年和 120 年最大载重量的统计参数

Tab. 5 The maximum gross weight of five frequent trucks for two weeks, 100 and 120 years t

卡车类型	平均值			标准差		
	2 周	100 年	120 年	2 周	100 年	120 年
卡车 31	8.451	18.208	18.281	3.252	0.465	0.444
卡车 52	17.583	36.006	36.142	6.140	0.877	0.838
卡车 54	25.071	50.967	51.159	8.631	1.233	1.178
卡车 55	24.948	51.937	52.137	8.996	1.285	1.228
卡车 56	26.097	51.637	51.827	8.513	1.216	1.162

一旦建立结构系统可靠性分析的抗力—荷载模型，表 5 中的数据可以直接用于卡车作用下桥梁可靠性分析中<sup>[3]</sup>。

6 多辆卡车在桥上同时出现的概率

以上推导的桥梁设计基准期内卡车最大载重量，只考虑了单车道单辆卡车的情况，而一般情况下多辆卡车同时作用在桥梁上时对结构更为不利。当考虑多辆载重卡车的同时出现时，如两辆卡车双车道并行或同车道顺序行驶，由于两辆载重卡车在桥梁上同时出现的概率必定小于单辆卡车出现概率，所以应该对以上推导的桥梁设计基准期内卡车最大载重量乘以一个小于 1 的多车道横向折减系数进行折减。多车道横向折减系数应基于日交通量、卡车载重量的频率分布、设计基准期以及卡车通过影响线最大位置所需时间等参数推导，但是以往的多车道横向折减系数推导多是假定卡车通过影响线最大位置的时间相等，没有考虑桥梁跨度对同时出现概率的影响。

为此，利用上述程序对多辆卡车同时出现在桥梁上的概率进行了统计，为下一步考虑桥梁跨度对多车道横向折减系数影响做准备，统计结果见表 6。统计的记录个数是 318 833 个，并假定卡车在桥上的行驶速度为 96.540km/h。该样本容量比较大，结果有一定的参考价值。

分析结果表明，桥梁跨径对多辆卡车在桥上同时出现概率有一定影响，但并不十分显著。

表 6 多辆车同时出现在桥梁上的概率

Tab. 6 The occurrence probability of multi-trucks occurring on bridge

桥跨/m	同现概率/%	桥跨/m	同现概率/%
100	18.28	800	23.39
200	21.58	1 000	23.46
300	22.43	1 250	23.51
400	22.84	1 500	23.54
600	23.22		

7 结束语

经过对英国交通实验室实测 WM 数据进行编程分析，统计了常见载重卡车实际构形、中英两国桥梁规范设计基准期内最大载重值以及多辆卡车在桥上同时出现的概率；由此统计参数可以通过对不同桥型、各种跨径桥梁的计算求得具有控制作用的各类荷载效应，从而建议一个比较合理的桥梁评估车辆荷载模型；以后一旦建立结构系统可靠性分析的抗力—荷载模型，所得出的统计数据即可直接应用于桥梁结构体系可靠性分析中。

参考文献：

[1] 李广慧. 高速公路桥梁结构体系可靠性评估[R]. 北京:中国地震局地球物理研究所, 2003.  
[2] MAO T J, CHAN T H T. Bridge live load models from WM data[J]. Engineering Structures, 2002, (2): 202~210.  
[3] GB/T 50283—1999, 公路结构可靠度设计统一标准

[S]

[ 4 ] 张建仁,刘 扬,许福友,等.结构可靠度理论及其在桥梁工程中的应用[ M ] .北京:人民交通出版社,2002.

[ 5 ] 李广慧,刘晨宇,托拉欧·尼弗里奥.响应面方法及其在桥梁体系可靠度分析中的应用[ J ] .郑州大学学报(工学版),2004,25( 3 ):16~21.

Study on Live Load Parameter for Highway Bridge

LI Guang -hui<sup>1</sup>, ZHANG Cun -chao<sup>1</sup>, WANG Dong -wei<sup>1</sup>, ZHANG Hui -jie<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>.School of Civil Engineering ,Zhengzhou University ,Zhengzhou 450002,China ;<sup>2</sup>.School of Civil Engineering ,Southwest Jiaotong University ,Chengdu 610031,China)

**Abstract :** We have been unable to make a reliability analysis about the highway bridge structure because the previous study lacks related statistical parameters about vehicle load in bridge specifications . Therefore , a study of the loading model must be enforced for developing an appropriate loading model for the system reliability analysis . The research in this paper based on the analysis of the WIM data from British Transportation Research Lab (tested last ing two weeks in 1990) and the analysis program by Microsoft Visual Basic ( 6.0) . Two main aspects are involved in it . The first one is to find out which trucks are the most frequent according to the probability they turn up . The second one is to count up these trucks ' configurations , axle weigh , gross weigh respectively and the occurrence probability of more than one truck going side by side or in lane as the bridge span is variable . The statistical data concluded from this paper may be used to study reliability assessment of bridges once the resisting force -load model of bridge has been established .

**Key words :** bridge ; truck configuration ; maximum gross weight ; occurrence probability of coincident trucks side by side or in lane

( 上接第 15 页)

[ 2 ] 张立洲.带旋转自由度的精化平面三角形单元[ J ] .辽宁工学院学报,1999,19( 2 ):10~14.

[ 3 ] 须 寅,龙驭球.采用广义协调条件构造具有旋转自由度的三角形膜元[ J ] .工程力学,1993,10( 2 ):31~39.

[ 4 ] 冯仲齐,梅占馨.有旋转自由度的高精度三角形单元[ J ] .计算力学学报,1998,15( 3 ):293~300.

[ 5 ] 须 寅,龙驭球,龙志飞,等.引入泡状位移含旋转自由度的广义协调三角形膜元[ J ] .工程力学,2000,17( 3 ):1~9.

[ 6 ] 文学章,龙驭球,何放龙.带旋转自由度的广义协调三角形膜元[ J ] .工程力学,2002,19( 6 ):11~15.

[ 7 ] FELIPPA C A .A study of optimal membrane triangles with drilling freedoms[ J ] . Computer Methods in Applied Mechanic Engineering ,2003,( 192 ):2125~2168.

[ 8 ] 王利霞,王 蓓,申长雨.工艺参数对注塑制品质量的影响研究[ J ] .郑州大学学报(工学版),2003,24( 3 ):62~66.

The All man 's Element Without the Spurious Zero Energy Mde

SHEN Chang -yu , HUANG Mng , ZHAO Zhen -feng , GUO Heng -ya

(National Engineering Research Center for Advanced Polymer Processing Technology , Zhengzhou University , Zhengzhu 450002,China)

**Abstract :** Based on the original All man 's element with drilling degree of freedom and the drilling degree definition , a modified element is presented by means of perfecting the variational functional  $\Pi_p$  of All man 's element in the paper . The spurious zero energy mode , which is the main shortcoming of All man 's element , is successfully removed . However , it still keeps the strong points of All man 's element ; simplicity and high accuracy . The given examples show the good features of the element .

**Key words :** finite element method ; drilling degree of freedom ; spurious zero energy mode ; triangle element