

文章编号:1671-6833(2008)02-0127-05

公路运输车辆荷载处理方法与轴载模型研究

王保良^{1,2}, 吕彭民¹

(1. 长安大学 教育部道路施工技术与装备重点实验室, 陕西 西安 710064; 2. 洛阳理工学院 机械系, 河南 洛阳 471023)

摘要:在对现有轴载模型分析的基础上,采用更明确表述车辆荷载力学效应和交通特征的轴载应用系数,以高等级公路实测货车轴载数据为样本,用数理统计方法建立了正常交通道路和重载交通道路运输车辆的轴载模型。结果表明,无论是正常还是重载交通,车辆轴载都服从正态分布,除单轴单轮之外,其他3种轴型的空载和重载也服从正态分布。笔者所建立的模型,避开车型干扰,降低交通调查的难度,弱化模型应用的制约因素,便于工程应用。

关键词:道路工程;轴载应用系数;轴载模型;正态分布;轴型

中图分类号:U 416.2

文献标识码:A

0 引言

公路运输车辆轴载是交通荷载的直接表现形式,一直是交通运输工程从业者重视的热点问题。黄仰贤对车辆荷载进行了详细的定义和分类^[1],并给出了进行交通分析时考虑各种交通因素的方法;我国规定了适合不同时期特点的车辆荷载处理方法^[2-3],倪富健从运输经济角度出发,采用约束因子建立了不同轴限下的货运车辆轴重分布模型^[4];王选仓实测了选定重载交通路段的实际轴载,得到了轴载谱^[5];杭文将运输车辆按轴型和载重状态及不同车型的车流量和总交通量进行分类,得到了轴载分布模型^[6];COHEN研究了不同轴限下不同车型的载重谱对道路和桥梁强度及疲劳寿命的影响^[7];在轴载换算方面,AASHO方法占有举足轻重的地位,直接采用AASHO的换算方法已成为一种“公理”,没有人会怀疑结果的合理性^[8],而轴载模型对车辆人为地割裂分析,使应用受到制约。当前实际轴载偏离理论轴载可达到50%,而轴载的正负偏差对轴载换算结果的影响并不等价^[9],致使进行寿命估算时出现较大的误差。因此,如何使车辆荷载处理方法简单且更接近于实际情况,便于应用成为必须解决的课题。

1 轴载模型的建立

1.1 方法的提出

额定载重量相同车辆在实际应用中有空载、半载、满载和超载之分,因此,在轴载模型中必须有反映实际装载量的因子;车型和货物堆放位置不同,相同载重量分配在每根轴上的荷载也存在差异,直接用载重量作为因子会带来较大的误差;轴型不同,即使相同的轴载作用在同一路面上对道路造成的损伤也不同。以实际轴载为参数可以较为准确地描述车辆荷载对道路的损伤,同时避开现有轴载换算计入车型的繁琐。因此笔者以轴型、实际载重状态作为分类依据,用如下无量纲系数表明车轴实际承载状态:

$$k_i = \frac{P_i}{P_a} \quad (1)$$

式中: k_i 为第*i*种轴型轴载应用系数。 $k_i > 1$ 表明车辆处于超载状态; $k_i = 1$ 对应额定轴载; $k_i < 1$ 表明处于欠载运输状态。*i*为轴型结构参数。单轴单轮时*i*=1;单轴双轮时*i*=2;二联轴时*i*=3;三联轴时*i*=4。 P_i 为第*i*种轴型实际轴载,kN; P_a 为第*i*种轴型轴限,kN。

1.2 各轴型轴限的确定

我国规定的各种轴型允许最大轴载如表1^[10]所示。

收稿日期:2007-12-30;修订日期:2008-03-14

基金项目:西部交通建设科技计划资助项目(200531881212)

作者简介:王保良(1963-),男,河南巩义人,长安大学博士生,洛阳理工学院教授。研究方向:结构疲劳设计。E-mail:blwang63@tom.com.

表 1 汽车及挂车最大允许轴载
Tab.1 Allowed maximum loads of vehicles

kN		
车辆与轴类型		允许轴载
客车、半挂牵引车 (单轴)	每侧单轮胎	70
	每侧双轮胎:	
	非驱动轴/驱动轴	100/115
	每侧单轮胎/每侧双轮胎	60/100
货	二联轴	
	轴距 <1 000 mm	110
	轴距 1 000 ~ 1 300 mm	160
	轴距 1 300 ~ 1 800 mm	180
车	三联轴	
	轴距 ≥1 800 mm	200
	相邻距离 ≤1 300 mm	210
	相邻距离 1 300 ~ 1 400 mm	240

由表 1 可知,各轴型最大允许轴载有着明显的差异,但在车辆种类不同、轴结构相同时的差异较小.交通调查中区分车型易于实现,区分轴型、尤其是多连轴的轴距则较为困难.为便于应用,将

上表分为视觉上便于区分的单轴单轮、单轴双轮、二联轴、三联轴 4 类,设定轴限分别为:60 kN、100 kN、200 kN 和 240 kN.

1.3 轴载模型的建立方法

对实际的交通调查数据,按照轴型、空载和承载分类后,用式(1)计算轴载应用系数,按其大小进行分级,用数理统计方法建立轴载与作用次数之间的对应关系,得到不同轴型 $k_i \sim N$ 关系的轴载模型.

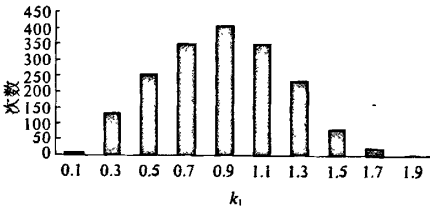
2 现阶段高等级公路的轴载模型

2.1 高速公路的轴载模型

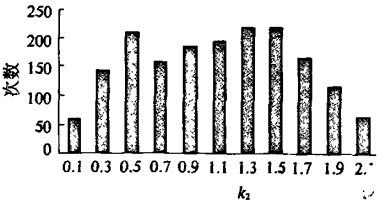
京珠高速在我国的交通运输中具有一定的代表性.考虑统计样本容量,笔者选取该路车流量较大收费站 24 h 实测轴载数据为对象,抽取对道路受力和使用寿命影响较大的货车轴重数据进行研究.按轴载应用系数分级后的统计结果如表 2 所示,其频次图如图 1 所示.

表 2 实测京珠高速轴载统计
Tab.2 Data of Jingzhu Expressway's axle load

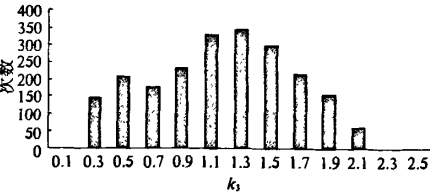
轴载应用系数	≤0.3	0.3	0.5	0.7	0.9	1.1	1.3	1.5
单轴单轮	10	133	253	352	406	350	236	85
单轴双轮	61	144	209	157	184	193	219	218
二联轴	2	147	208	176	234	329	347	296
三联轴	2	10	7	8	5	8	9	9
轴载应用系数	1.7	1.9	2.1	2.3	2.5	2.7	2.9	≥2.9
单轴单轮	22	4	1	0	0	1	1	—
单轴双轮	166	117	64	50	22	4	—	—
二联轴	213	157	61	2	3	3	3	1
三联轴	5	9	12	7	4	7	1	—



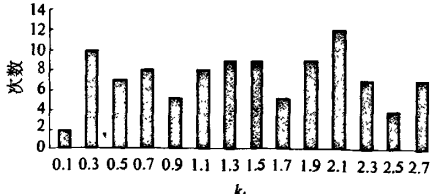
(a) 京珠高速单轮轴载频次图



(b) 京珠高速双轮轴载频次图



(c) 京珠高速二联轴轴载频次图



(d) 京珠高速三联轴轴载频次图

图 1 正常交通轴载频次图

Fig.1 Sketches of Jingzhu Expressway's axle load

由图 1 可知,除单轴单轮外,其它轴型轴载数据呈现较为明显的双峰分布,与车辆后轴在空车和重车时轴载差异对应,因此需将空车和重车的数据分开处理.处理时用 t 检验判断轴载是否服从正态分布,若是则给出其特征参数,统计时采用的显著水平为 0.05.该过程用 Matlab 软件完成,处理结果如表 3 所示.表中 \bar{k}_i 为第 i 种轴型轴载应用系数均值; σ_k^2 为方差; V_1 为偏斜度, $V_1=0$ 时为对称分布, $V_1>0$ 表示位于均值右边的数值多于左边的数值,称为右偏态,反之为左偏态; V_2 为峰度, $V_2>0$ 表示分布有沉重的尾巴,即数据中含

有较多偏离均值的数据; h 为用于判断是否为正态分布的参数, $h=0$,表示在设定的显著水平下不能拒绝原假设(笔者假设样本服从正态分布); $h=1$,表示在设定的显著水平下可以拒绝原假设,即样本不服从正态分布假设; sig 为检验假设为真时的概率,取值较小时对原假设提出质疑.

2.2 重载交通高速公路轴载模型

选择晋煤外运道路某段 24 h 交通调查数据为样本,按轴载应用系数分级后的结果如表 4 所示,其频次图如图 2 所示.采用与 2.1 中相同方法,处理结果如表 5 所示.

表 3 正常交通轴载模型特征参数
Tab.3 Parameters of axle load's modules on normal way

	$AKk-D _i$	σ_k^2	V_1	V_2	h	sig
单轴单轮	0.890 6	0.117 5	-0.000 1	0.000 2	0/0	0.99
单轴双轮	0.480 8/1.464 2	0.046 1/0.175 9	0.000 1/0.007 8	0.001 2/0.000 2	0/0	0.98/0.99
二联轴	0.527 6/1.395 6	0.033 2/0.131 0	-0.005 9/-0.000 9	0.004 7/0.000 3	0/0	0.99/1
三联轴	0.542 9/1.839 7	0.054 6/0.283 5	-0.015 8/-0.000 17	0.007 3/0.000 2	0/0	0.92/0.99

注:表中“/”下的数据为第二个峰值即重车的特征参数.

表 4 重载交通高速轴载统计
Tab.4 Data of axle load on heavy traffic way

轴载应用系数	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9	1.1	1.3	1.5	1.7	1.9	次
单轴单轮	11	42	128	80	114	70	35	15	4	1	—
单轴双轮	11	36	38	31	24	18	23	16	17	9	12
二联轴	1	1	2	13	14	16	2	1	3	4	4
三联轴	0	0	0	0	3	4	3	2	0	0	1
轴载应用系数	2.3	2.5	2.7	2.9	3.1	3.3	3.5	3.7	3.9	4.1	次
单轴单轮	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
单轴双轮	12	21	3	3	—	—	—	—	—	—	—
二联轴	4	7	7	7	5	5	4	6	6	6	6
三联轴	2	1	0	1	0	0	0	1	1	1	8

表 5 重载交通轴载模型特征参数
Tab.5 Parameters of axle load's modules on heavy traffic way

	\bar{k}_i	σ_k^2	V_1	V_2	h	sig
单轴单轮	0.7800	0.1120	-0.0021	0.0006	0	1
单轴双轮	0.5015/1.7417	0.0514/0.3077	-0.0015/0.0004	0.0017/0.0003	0	0.99/0.99
二联轴	0.8429/2.9195	0.0539/0.8962	0.0024/-0.0001	0.0016/0.00004	0	0.96/0.99
三联轴	1.1667/4.2625	0.0422/2.2511	-0.0046/0.0001	0.0039/0.0002	0	0.99/1

注:表中“/”下的数据为第二个峰值即重车的特征参数.

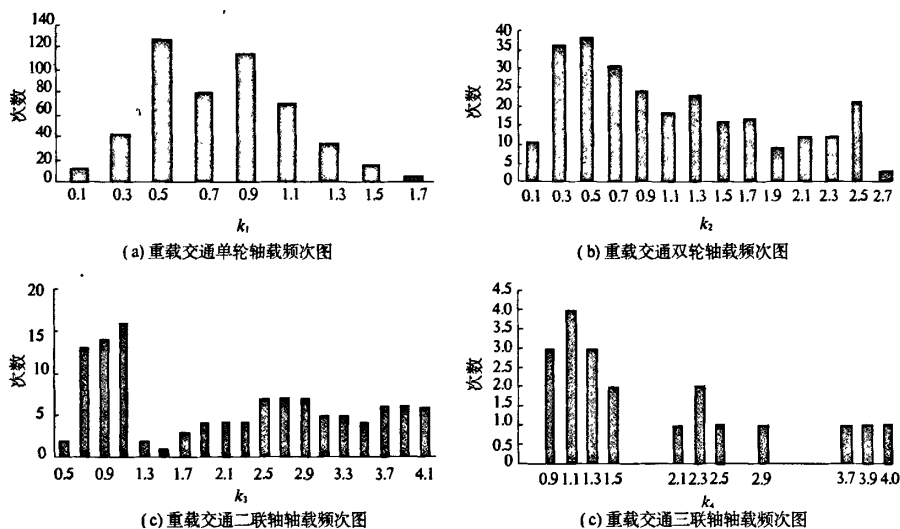


图2 重载交通轴载频次图

Fig.2 Sketches of heavy traffic expressway's axle load

3 讨论

现阶段我国高等级公路正常交通情况如表2所示,货车轴载应用系数为0.1~3.1;统计得到单轴单轮、单轴双轮、二联轴和三联轴轴载超限($k_i > 1$)运输的比例分别是38%、58%、65%和70%,个别车辆甚至达到190%,这表明交通处于严重的轴载超限运输状态;表3统计特征值表明所有工况下实际轴载服从无偏态的正态分布,且没有明显的尾巴。

现阶段我国高等级公路重载交通,如表4所示,货车的轴载应用系数为0.1~4.1;对其数据进行统计得到单轴单轮、单轴双轮、二联轴和三联轴轴载超限运输($k_i > 1$)的比例分别是25%、49%、75%和89%,超限200%($k_i > 2$)的分别达到0、19%、49%和57%,个别车辆甚至大于500%,与正常交通相比处于更为严重的轴载超限运输状态;表5统计特征值表明所有工况下的实际轴载为轻微偏态的正态分布,且没有明显的尾巴。轻微的偏态和较短的尾巴可能是样本较小所致,对统计和拟合的精度无显著影响。

服从正态分布的货车轴载模型,可用轴载应用系数密度函数表述,有如下形式:

$$f(k_i) = \frac{1}{\sigma_i \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(k_i - \bar{k}_i)^2}{2\sigma_i^2}\right) \quad (2)$$

式中各符号意义同前,正常交通和重载交通统计学特征参数 \bar{k}_i 和 σ_i^2 分别列于表3和表5。

进行道路强度校核、寿命估算或进行新修道路设计缺少实测轴载数据时,可由式(2)计算轴载应用系数,结合1.2轴限值数值转换为轴载进行设计和估算。

需要说明的是,随着车辆制造技术水平提高,轴载会发生相应的变化,致使轴载模型具有强烈的时效性。因此轴载模型应根据实际情况及时更新,以期接近道路荷载的实际情况。

4 结论

(1)应用轴载应用系数进行交通分析能更为明确地表述车辆荷载力学效应和交通特征;

(2)各种货车轴载均服从正态分布,其分布概率密度函数的特征参数列于表3和表5;

(3)现阶段我国高等级公路重载交通与正常交通均处于较为严重的轴载超载运输状态,二者相比,前者处于更为严重的轴载超限运输状态。

参考文献:

- [1] 黄仰贤.路面分析与设计[M].余定选,齐成译.北京:人民交通出版社,1998:19~21,192~212.
- [2] JTJ 014-97,公路沥青路面设计规范[S].北京:人民交通出版社,1997.
- [3] JTG D50-2006,公路沥青路面设计规范[S].北京:人民交通出版社,2004.
- [4] 倪富健,邓学均.公路运输车辆合理轴重限值研究[J].中国公路学报,2000,13(4):111~120.
- [5] 王选仓,王新歧,李春平,等.重载水泥混凝土路面

- 研究[J]. 中国公路学报. 1999, 12(1): 14 - 20.
- [6] 杭文, 李旭宏, 何杰. 高等级公路车流轴载模型研究[J]. 公路交通科技. 2006, 23(1): 52 - 55.
- [7] COHEN H, FU G K, DEKELBAB W. et al. Prediction truck load spectra under weight limit changes and its application to steel bridge fatigue assessment[J]. J. Bridge Eng. 2003, 8(5): 312 - 322.
- [8] 孙立军著. 沥青路面结构行为理论[M]. 北京: 人民交通出版社, 2005: 681 - 682.
- [9] 马松林, 冯德成, 王彩霞, 等. 车辆轴载偏差对路面使用寿命的影响[J]. 哈尔滨建筑大学学报. 2000, 33(6): 121 - 123.
- [10] GB1589 - 2004, 道路车辆外廓尺寸、轴荷及质量限值[S]. 北京: 人民交通出版社, 2004.

Treatment of Vehicle Load and Axle Load Model

WANG Bao-liang, LÜ Peng-min

(1. Key Laboratory for Highway Construction and Equipment of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710164 China;
2. Mechanical Engineering Department, Luoyang Institute of Science and Technology, Luoyang 471023 China)

Abstract: Base on analysis of axle load model of vehicle, coefficient of axle load application is set up by this research, the concept has ability what illustrate affect of mechanics and characteristic of traffic more clearly; the data of lorry's axle load as sample, and statistic as tool, the new model of axle load is set up by the paper too. It is shown that weather normal or heavy traffic, lorry's axle load of single wheel which single axle, double wheels which single axle, double axles and tri-axles styles under loading and unloading get close to Gauss' Distribution. Axle structure, loading and unloading of vehicle are parameters of the model. The model has advantages what disturb of vehicle style is avoided, the calculation's error which caused by the difference between theory load axle and actual load axle is avoided too, at the same time, it make investigation of traffic easy, estimation of road more well and usage in engineering convenient.

Key words: coefficient of axle load application axle load model Gauss' Distribution axle structure loading vehicle unloading vehicle

(上接第115页)

- [9] Liu YJ, Nishimura N, Otani Y, et al. A fast boundary element method for the analysis of fiber-reinforced composites based on a rigid-inclusion model. J Appl Mech, 2005.
- [10] 郭同德, 杜云海. 自由边半平面体裂纹问题的超奇异积分方程法[J]. 郑州大学学报(工学版), 2003.
- [11] 刘文写, 谷去东. 连续属性的离散化算法[J]. 郑州大学学报, 理学版, 2006, 38(04): 41 - 43.

A New Kind of Discrete Method with FM-BEM about 3D Potential Problem

LIU Jian-ping, CHEN Yi-ming, YU Chun-xiao, BAI Si-lin

(1. College of Science, Yanshan University, Qinhuangdao 066004, China; 2. HeBei Normal University of Science & Technology, QinHuangDao 066004, China)

Abstract: By applying fast multipole expansion, the boundary integral equation about 3D potential problem is made discrete. In boundary, because basic solutions contain singular term, which influences the application of multipole expansion method, but by Laplace transformation it can be reduced to exponential series. Then this method avoids the originality of FMM, gets the new discrete equality and provides a new method for theory analysis of FMM.

Key words: fast multipole expansion; Laplace transformation; potential problem; basic solution