

典型高速公路轴载特性分析

杨若冲 黄晓明

东南大学, 交通学院, 南京 210096

摘要: 根据典型测点的各型车辆轴载谱数据, 研究了高速公路轴载特性。分析了车辆类型分布系数、月调节系数及轴载分布系数的变化规律, 采用多个独立样本的非参数假设检验研究了上述轴载谱参数随时间变化趋势的抽样数据是否来自同一总体, 根据轴载谱数据采用假设检验的方法, 分析了轴载超载现象。研究结果表明可将不同测点的车辆类型分布系数按 B1.2、U1.2 及 S1.2.3 三种车型比例进行分类; 三年的车辆类型分布系数、月调节系数及轴载分布系数数据较为稳定, 在统计学上不存在明显差异; 各轴型均存在一定程度的超载现象, 其中以双联轴双轮组尤为突出。

关键词: 道路工程; 轴载特性; 轴载谱参数; 非参数假设检验

中图分类号: U491.1²

文献标识码: A

文章编号: 1672-4747(2010)04-0035-08

Analysis of Axle Load Spectrum on a Typical Expressway

YANG Ruo-chong HUANG Xiao-ming

Transportation College, Southeast University,

Nanjing 210096, China

Abstract: The properties of axle loads on an expressway were studied according to the axle load spectrum data of vehicles of different types on the typical testing sites. The variation laws of the vehicle type distribution coefficient, adjustment coefficient of transportation volume per month and the axle load distribution coefficient on the survey sites were analyzed. The change law of the sample data of these axle load spectrum parameters over time was studied to verify whether the data came from the same population according to a non-parametric hypothesis testing method with many independent samples. The phenomenon of over-loading was analyzed based on the axle load spectrum with non-parametric hypothesis testing method. The results indicated that the vehicle type distribution coefficient could be classified into three categories by using the percent of the total vehicle amounts of B1.2, U1.2 and S1.2.3. The data of the adjustment coefficient of transportation volume per month, the vehicle type distribution coefficient and the axle load distribution coefficient in three

收稿日期: 2009-12-01.

作者简介: 杨若冲 (1977-), 男, 汉族, 广东潮州人, 东南大学交通学院博士后。

years were close to unanimous by statistical analysis. Over-loading phenomena existed in various axle types, the phenomena was most obvious in the double axes with two tires.

Key words: Road engineering, property of axle loads, axle load spectrum parameters, non-parametric hypothesis testing

0 引言

交通荷载是影响路面使用性能最重要但也最难精确确定的因素之一。使用轴载谱来描述交通荷载,是发达国家路面设计方法中交通参数的主要数据来源^[1-4],它可有效减少当量轴载换算的误差,对交通荷载的描述也更为全面。随着各地高速公路逐步设置动态称量系统,使用轴载谱数据分析各典型高速公路的轴载特性成为可能。目前,国内对轴载谱的研究,主要集中在轴载谱数据的收集及对轴载谱参数的分析,在此基础上将轴载谱参数应用于路面设计之中^[5-8]。但轴载谱参数随时间或地点的变化规律尚未有量化方法加以阐述。

有鉴于此,本文首先根据江苏省高速公路的具体测点称重数据给出了江苏省高速公路的主要车辆类型。本次研究的各测点均为江苏省高速公路根据全省高速公路轴载的实际情况所设立的观测点,因而具有很好的典型性。在此基础上,分析了车辆类型分布系数、月调节系数及轴载分布系数等轴载谱参数抽样数据的特点,并就典型测点上述参数随时间的变化规律进行非参数假设检验。最后,采用数理统计的方法分析了不同车型特定轴型轴载超载状况。

1 高速公路主要车型

根据 20 个典型测点动态称重数据,将高速公路上的主要车型分为客车及货车两大类型。对于货车,字母 U 代表固定车身的整车, S 代表半挂车型。对于客车,目前由单轴单轮组前轴及单轴双轮组后轴的客车轴型组成达到客车总数量的 99% 以上,因此,不考虑其它客车车型。采用 1 代表单轴单轮, 2 代表单轴双轮, 3 代表双联轴双轮, 4 代表三联轴双轮组。客

车采用 B1.2 表示。将货车细分为中型、重型、三轴半挂、四轴半挂货车等,分别采用 U1.2、U1.3、S1.2.2、S1.2.1、S1.1.3、S1.1.1.3、S1.3.3、S1.2.4 表示。上述 9 种车型占本地区高速公路交通总流量的 98% 以上,可充分代表高速公路的荷载特性。本文在此划分方式的基础上对车辆轴载特性进行研究。

2 轴载谱参数分析

2.1 车辆类型分布系数

根据收集到的 20 个典型测点动态称重数据进行分析,按 B1.2 型车、U1.2 及 S1.2.3 三类主要车型的分布系数大小进行分类,具体见图 1。

由图 1 可知,可分为 B1.2 比例小、U1.2 及 S1.2.3 型车比例大, B1.2、U1.2、S1.2.3 型车比例较大及 B1.1' 比例小、U1.1'、S1.1'.2 型车比例大三大类型,其中有 12 个典型测点属于第一类,有 5 个典型测点属于第二类,仅有 3 个典型测点属于第三类。说明 B1.1' 型车比例小、U1.2 及 S1.2.3 型车比例大是各测点车辆分布系数的主要特征。20 个典型测点的各型货车中,U1.2 及 S1.2.3 型车总数大多为交通流总量的 85% 以上,因此,重点加强对 U1.2 及 S1.2.3 型车进行超限监管尤为重要。

2.2 月调节系数

2.2.1 各测点月调节系数

为分析各典型测点各型车辆月调节系数的规律,并便于各测点间的比较,对收集到的动态称重数据进行分析得到了车辆的月调节系数,选取车辆分布系数较高的 U1.2 及 S1.2.3 型车对各测点车辆月调节系数进行比较,具体见图 2。而典型测点各型车辆月调节系数见图 3。

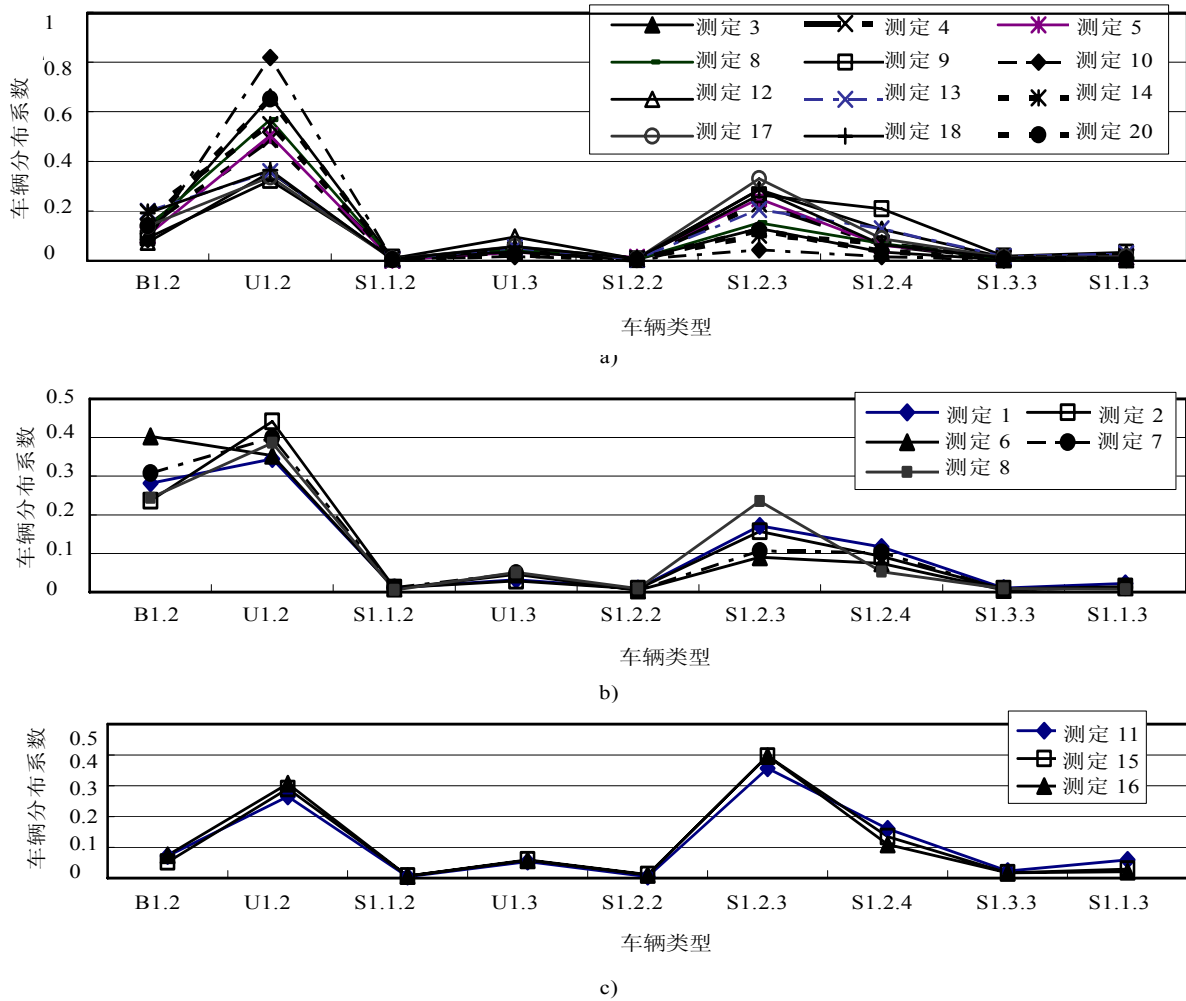
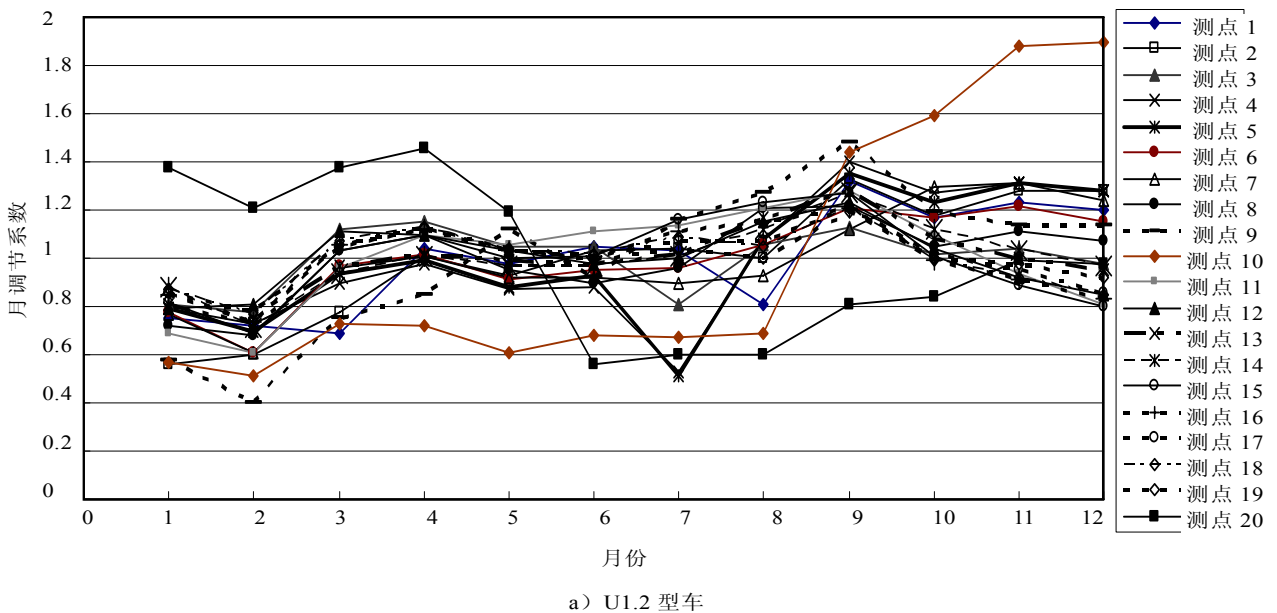


图 1 各车型车辆类型分布系数

Fig.1 Vehicle distribution coefficients of different vehicle types



a) U1.2 型车

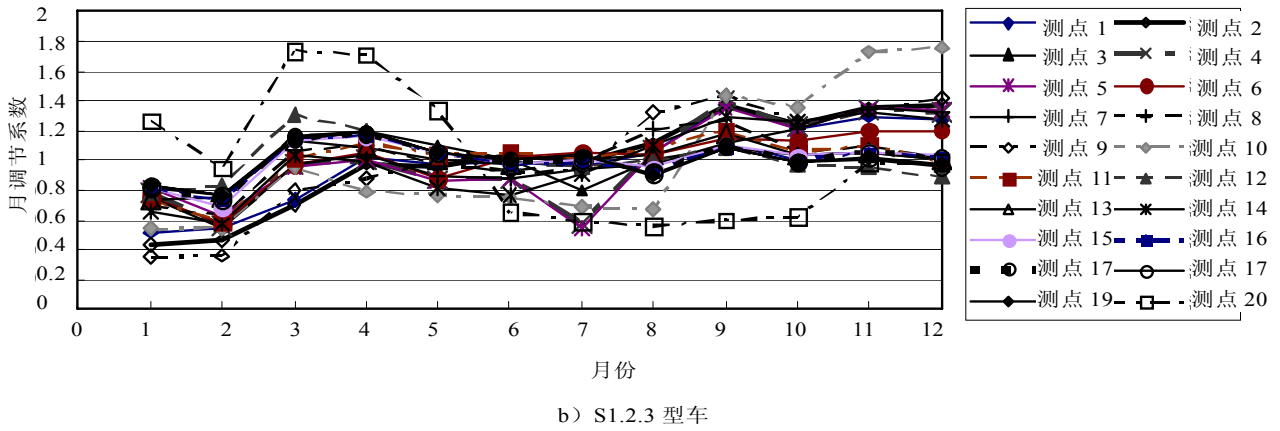


图 2 各测点车辆月调节系数

Fig.2 Month regulating coefficients of the different measuring points

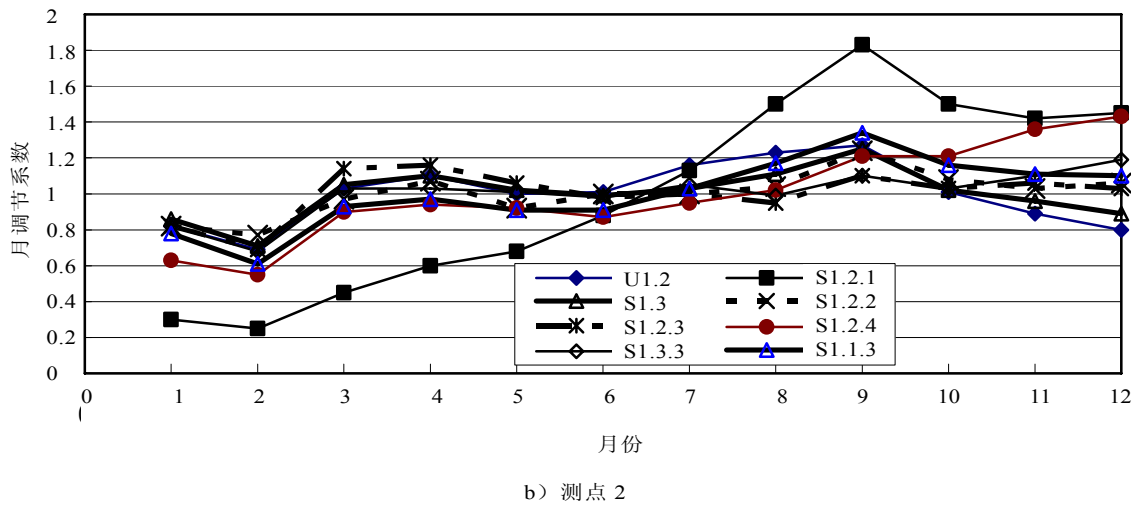
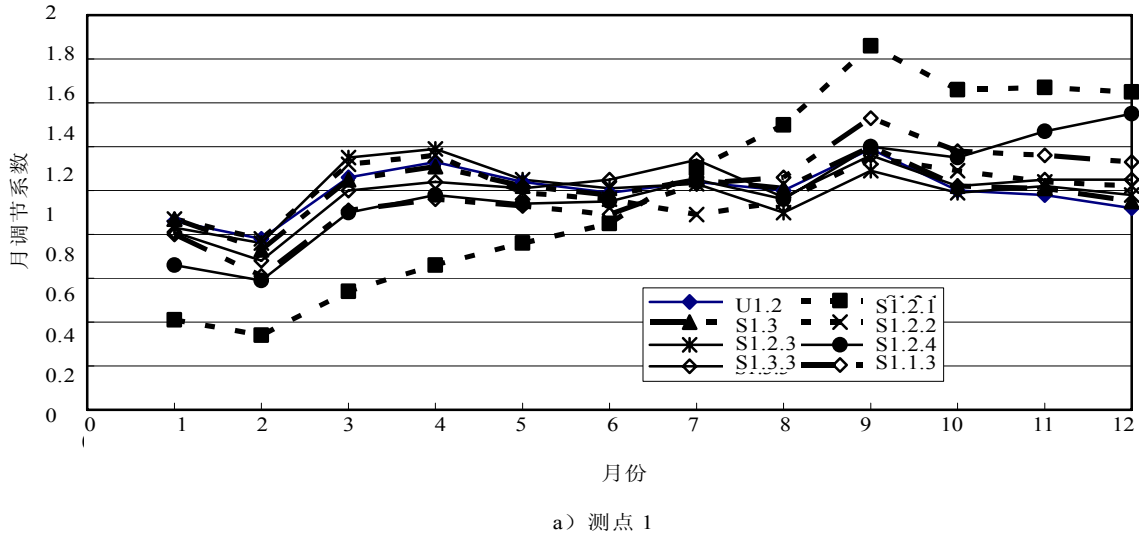


图 3 典型测点各型车辆月调节系数

Fig.3 Month regulating coefficients of vehicle types on the typical measuring points

由图 2 及图 3 可知：

1) U1.2、S1.2.3 型车的各测点车辆月调节系数与典型测点各型货车具有相似的变化规律，即由 1 月份月调节系数低于 1.0 逐渐增加至大于 1.0。

2) 除测点 10 及 20 外，U1.2 及 S1.2.3 型车的各测点车辆月调节系数呈现较为一致的变化趋势，即 1 月份及 2 月份的月调节系数低于 1.0，而 3 月~11 月的月调节系数绝大部分高于 1.0，12 月的月调节系数则无明显规律。

3) 对于典型测点 1 及 2，U1.2、U1.3、S1.2.3 和 S1.2.4，1 月份及 2 月份的月调节系数最小，其它月份的月调节系数在 1.0 上下波动。

2.2.2 随时间的变化趋势

为分析月调节系数随时间的变化趋势，选取典型测点比例较高的 U1.2、S1.2.3 型车进行研究。采用 Kruskal-Wallis H（葛斯卡尔-华里斯）及 Median（中位数）法进行非参数假设检验，分析各年车辆月调节系数是否存在明显差异。计算中置信水平取为 0.05，具体结果见表 1。

表 1 典型断面 B1.2 及 U1.2 型车概率分布的假设检验

Tab.1 Hypothesis testing of the probability distribution of B1.2 and U1.2 in the typical sections

检验方法	车辆类型		检验方法	车辆类型	
葛斯卡尔-华里斯法	U1.2	S1.2.3	中位数法	U1.2	S1.2.3
<i>p</i> -值	0.996	0.707	<i>p</i> -值	0.895	0.458

注：*p*-值为采用不同假设检验方法后的概率值，下同。

由表 1 可知，典型断面两种车型随时间的月调节系数略有不同，但是，总体上差异不大。通过葛斯卡尔-华里斯方法及中位数方法的非参数假设检验可知，两种车型随着时间的月调节系数在统计学意义上不存在明显差异。

2.3 轴载分布系数

轴载分布系数为各特定车型的具体轴型特定轴重位于某一轴重区间的轴数占该轴型总轴数的百分

比，是核心的轴载谱参数。限于篇幅，仅对 20 个典型测点具有代表性的 S1.2.3 型车的前轴、单轴及双联轴的轴载分布系数进行分析，同时对上述各轴型进行多个独立样本的非参数假设检验，以此判断 20 个典型测点间指定车型前轴、单轴及双联轴是否分别来自同一总体，计算中置信水平取为 0.05，具体结果见表 2。

表 2 20 个典型测点间

S1.2.3 型车各轴型概率分布的假设检验

Tab.2 Hypothesis testing of probability distribution of S1.2.3 on the twenty typical measuring points

检验方法	轴 型		
	前 轴	单 轴	双联轴
葛斯卡尔-华里斯法	0.999	0.931	0.984
<i>p</i> -值			
中位数法	0.989	0.995	0.992

由表 2 可知，根据假设检验结果，20 个典型测点间 S1.2.3 型车各轴型概率分布的假设检验值均远大于 0.05，说明 20 个典型测点间 S1.2.3 型车的特定轴型均来自同一总体；结合节 2.1，以典型测点 1 各轴型的轴载分布系数随时间的变化趋势可在一定程度上反映 20 个测点数据合并后的情况。

为进一步说明典型测点各年车辆轴载分布系数是否存在明显差异，采用葛斯卡尔-华里斯及中位数方法对具有代表性的 S1.2.3 型车各轴型轴重分布的概率密度函数进行统计分析。研究中置信水平取为 0.05，结果见表 3。

表 3 典型测点 S1.2.3 型车各轴型概率分布的假设检验

Tab.3 Hypothesis testing of the probability distribution of S1.2.3 on the typical measuring points

检验方法	轴 型		
	前 轴	单轴双轮组	双联轴
葛斯卡尔-华里斯法	0.962	0.887	0.740
<i>p</i> -值			
中位数法	0.819	0.866	0.650

由表 3 可知，不同轴型轴载分布系数随时间变化的假设检验值均明显大于 0.05，说明典型测点的

S1.2.3型车前轴、单轴双轮组及双联轴的轴载分布系数随着时间的变化在统计学意义上不存在明显差异,该典型测点三年的S1.2.3型车各轴型的轴载分布系数曲线基本上重合。

2.4 轴载超载状况及其统计分析

根据20个典型测点动态称重系统收集的数据,限于篇幅,仅对各车型轴型按单轴单轮组、单轴双轮组、双联轴双轮组等3种类型进行统计,三联轴车辆占交通总流量很少,因此未列入分析范围。列出测点1~5的各类轴型超载率,分别见表4~表6。

表4 各车型单轴单轮组超载率统计/(%)

Tab.4 Statistics of overloading rate for uniaxial mono-wheel of the different vehicles/(%)

典型测点	车 型								
	B1.2	U1.2	S1.2.1	U1.3	S1.2.2	S1.2.3	S1.2.4	S1.3.3	S1.1.3
1	4.08	8.73	7.70	32.91	11.58	5.29	25.12	12.6	29.47
2	28.87	13.70	15.89	49.60	9.43	6.19	33.94	20.02	28.93
3	31.09	8.29	12.48	38.12	8.58	5.06	21.09	9.26	32.07
4	9.58	9.49	6.6	28.89	2.78	5.45	20.82	10.38	25.74
5	8.84	7.73	8.23	40.91	3.46	3.55	23.08	17.25	21.49

表5 各车型单轴双轮组超载率统计/(%)

Tab.5 Statistics of overloading rate for uniaxial double-wheel of the different vehicles/(%)

典型测点	车 型					
	B1.2	U1.2	S1.2.1	S1.2.2	S1.2.3	S1.2.4
1	10.55	38.25	77.31	39.05	62.98	72.32
2	34.24	46.11	81.93	41.63	65.90	76.27
3	39.56	39.21	73.00	34.94	57.44	75.63
4	15.59	24.79	50.54	30.40	41.99	63.81
5	17.64	45.17	72.28	30.35	62.83	75.79

表6 各车型双联轴超载率统计/(%)

Tab.6 Statistics of overloading rate for tandem axles of the different vehicles/(%)

典型测点	车 型			
	U1.3	S1.1.3	S1.2.3	S1.3.3
1	63.14	71.45	62.75	60.82
2	78.66	86.34	64.65	61.32
3	64.90	76.48	57.86	57.20
4	55.77	66.64	44.44	43.15
5	69.73	80.38	63.96	57.45

由表4~表6可知:

1) 各典型测点的单轴单轮组轴型存在不同程度的超载现象。其中,U1.3型车的单轴单轮组超载率最高,各典型测点的超载率绝大部分在30%以上,B1.2型车单轴单轮组也存在超载现象,特别是典型测点2及3的超载率高达30%左右。

2) 单轴双轮组轴型超载率多在20%以上。其中,以S1.2.1、S1.2.2及S1.2.4型车的超载率最为严重,各典型测点多在60%以上。

3) 双联轴双轮组轴型超载现象为三类轴型最为严重的,各车型的超载率多在50%以上。其中,以S1.3.3型车最为严重,约为75%左右。

为进一步分析各车型的超载状况,参考车辆超载率的定义,定义各轴型超载率为各轴型的超载轴数与混合交通该轴型总轴数的比。根据对各车型特定轴型的超载轴数与混合交通该轴型总轴数的比进行多个独立样本的假设检验结果,表明各车型的特定轴型不来自同一总体;因此,按各车型特定轴型的超载轴数与混合交通该轴型总轴数的比进行数据统计,通过统计分析其是否符合某些常见概率密度函数,并计算单轴双轮组及双联轴双轮组超载率95%保证率条件下的代表值,兹可为道路交通超载程度提供依据。需指出的是,尽管单轴单轮组存在超载现象,但是,因其难以反映实际道路各轴型的超载程度,因此,未对各车型的单轴单轮组超载率计算95%保证率的代表值,具体结果见表7~表9。

表7 各车型单轴单轮组超载率统计分析

Tab.7 Statistics analysis of overloading rate for uniaxial mono-wheel of the different vehicles

轴型	均值	标准差	p值	正态分布否
B1.2	0.0110	-	0.634	是*
U1.2	0.0223	0.0108	0.338	是
S1.2.1	0.0009	-	0.442	是*
U1.3	0.0153	0.0096	0.577	是
S1.2.2	0.0003	0.0002	0.935	是
S1.2.3	0.0082	0.0044	0.934	是
S1.2.4	0.0180	0.0107	0.846	是
S1.3.3	0.0019	-	0.671	是*
S1.1.3	0.0078	0.0047	0.998	是

注:“*”表示该样本服从指数分布。

表 8 各车型单轴双轮组超载率统计分析

Tab. 8 Statistics analysis of overloading rate for uniaxial double-wheel of the different vehicles

轴型	均值	标准差	<i>p</i> 值	正态分布否	95%保证率代表值
B1.2	0.0231	0.0203	0.513	是	0.05649
U1.2	0.1154	0.0424	0.766	是	0.18515
S1.2.1	0.0052	0.0029	0.706	是	0.00997
S1.2.2	0.0043	0.0018	0.914	是	0.00726
S1.2.3	0.1320	0.0870	0.936	是	0.27512
S1.2.4	0.0709	0.0452	0.890	是	0.14525

表 9 各车型双联轴超载率统计分析

Tab. 9 Statistics analysis of overloading rate for tandem axles of the different vehicles

轴型	均值	标准差	<i>p</i> 值	正态分布否	95%保证率代表值
U1.3	0.0887	0.0351	0.633	是	0.14644
S1.1.3	0.0791	0.0444	0.168	是	0.15214
S1.2.3	0.3384	0.1046	0.864	是	0.51047
S1.3.3	0.0315	0.0115	0.830	是	0.05042

由表 7~表 9 可知:

1) 除少数轴型外, 按服从正态分布的假定进行假设检验, 结果表明检验值均远大于 0.05, 20 个典型测点的各车型单轴单轮组超载率的数据基本上服从正态分布, 单轴双轮组及双联轴双轮组的服从正态分布。

2) 单轴双轮组及双联轴双轮组超载率在 95%保证率条件下的代表值, 分别约变化在 0.06~0.27 之间及 0.05~0.51 之间。其中, 单轴双轮组主要用于表征 U1.2 车型的超载状况, 而双联轴双轮组主要表征重型货车的超载状况。

重型货车是影响路面使用性能的关键因素, 因此, 对重型货车数/混合交通车辆数(定义为 Z 指标)进行统计分析, 考察典型测点重型货车的特性。采用统计软件对该指标的数据进行正态性检验, 正态性检验的 P-P 图及去势的正态 P-P 图见图 4。

由图 4 可知, 正态 P-P 图中的数据点基本分布在对角线上, 说明期望累积概率与实际累积概率较为吻

合, 表明分析的数据服从正态分布。而去势的正态 P-P 图(即累积概率的残差图)可看出, 绝大多数的残差绝对值在 0.05 以内, 全部在 0.10 以内, 说明数据的正态性不错。20 个典型测点的抽样数据服从正态分布。

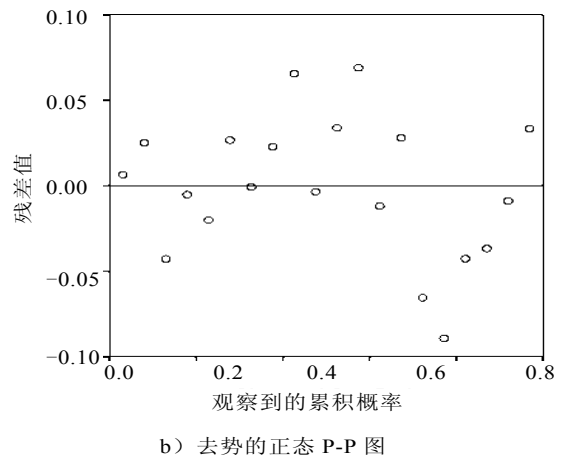
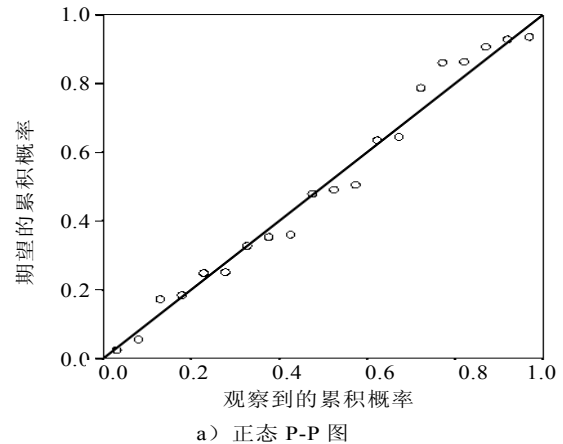


图 4 Z 指标的正态性检验的 P-P 图

Fig. 4 P-P plots figure of normality test of the Z index

通过计算, Z 指标抽样数据的均值 0.3889, 标准差 0.1824。Z 指标抽样数据变化范围约在 20%~70% 之间。说明当前典型高速公路的存在较为严重的超载现象, 且地区分布变异性较大。

3 结 论

综上所述, 根据对典型测点车辆称重数据的统计

分析, 可得以下结论:

1) 根据车辆类型分布系数特征, 可将 20 个典型测点分为三大类型, 即 B1.2 比例小、U1.2 及 S1.2.3 型车比例大, B1.2、U1.2、S1.2.3 型车比例较大及 B1.2 比例小、U1.2、S1.2.3 型车比例大的三大类型。

2) U1.2、S1.2.3 型车的各测点车辆月调节系数与典型测点各型货车具有相似的变化规律, 即由 1 月

份月调节系数低于 1.0 逐渐增加至大于 1.0。而 B1.2 车型在 2 月份月调节系数明显高于其它月份。

3) 除少数轴型外, 20 个典型测点的各车型单轴单轮组超载率的数据基本上服从正态分布, 单轴双轮组及双联轴双轮组的服从正态分布。

4) 当前典型高速公路的存在较为严重的超载现象, 且地区分布变异性较大。

参考文献

[1] ARA Inc., ERES Consultants Division. Guide for mechanistic-empirical design [S]: Washington : Transpiration Research Board, 2004:2.4.27-2.4.34.

[2] American Association of State Highway and Transportation Officials. Guide for design of pavement structure[S]: Washington: AASHTO, 2004.

[3] Bharath Kumar Sridhar. Characterization and development of axle load spectra to enhance pavement design and performance on the basis of new mechanistic-empirical design guide in Louisiana [D]. Baton rouge: Louisiana State University, 2008:5-15.

[4] Mohammad A. Al-Yagout, Mahoney Joe P., Pierce Linda M., et al. Improving traffic characterization to enhance pavement design and performance: Load spectra development [R]. Seattle: Washington State Transportation Center, 2005: 97-124.

[5] 杨永顺, 韦金城. 永久性沥青路面设计方法研究[R]. 济南: 山东省交通科学研究所, 2008: 144-150.

[6] 赵延庆. 江苏省高速公路轴载谱的调查研究[R]. 南京: 江苏省交通科学研究院, 2006.

[7] 赵鸿铎. 实测轴载谱道路当量轴载换算系数的确定[J]. 公路, 2004, (04): 1-6.

[8] 赵延庆, 王家杰, 何昌轩. 利用轴载谱确定高速公路沥青路面当量轴载换算系数[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2008, 27(05): 736-842.

(中文编辑: 吴继屏)