

文章编号: 1002-0268 (2006) 10-0150-05

基于轴载谱的公路货运运力结构预测研究

何杰, 杭文, 李旭宏, 毛海军
(东南大学 交通学院, 江苏 南京 210096)

摘要: 针对传统数据采集和研究模式中的不足, 论文提出了基于车辆轴型分类的车辆轴载谱来分析高等级公路车流轴载、公路货运车辆运营成本和超限严格管制下公路货运运力结构预测的新方法, 其基本思路为按轴型和车辆载重状态划分车型、开展轴载和交通量调查、计算不同车型的轴载谱、对各车型各轴型的轴载谱进行 Gauss 曲线拟合、再根据拟合函数进行车辆轴载、运营成本和运力结构的计算, 文中还结合世行安徽公路项目 II (超载运输课题研究) 进行了实际应用。

关键词: 轴型; 轴载谱; 车流当量轴次; 运营成本; 运力结构; 超限运输

中图分类号: U492.3

文献标识码: A

Prediction of Highway Freight Truck Fleet Configuration Based on Table of Axle Load

HE Jie, HANG Wen, LI Xu-hong, MAO Hai-jun
(Transportation College, Southeast University, Jiangsu Nanjing 210096, China)

Abstract: Given the fact of the shortage of data collected and research methods in the related research of highway truck fleet configuration, the new way to analyze conversion model of axle load of high-grade highway transportation, highway vehicle operating cost, prediction of highway truck fleet configuration under over-limit prohibition based on table of axle load is put forward. The basic study process includes vehicle classification based on axle type and loading state, axle load and traffic flow survey, different vehicles' axle load distribution chart, different vehicles' axle load distribution chart matched curve fitting, finally, the vehicle axle load, highway vehicle operating cost and highway truck fleet configuration calculated based on the fitted functions. These new methods are used and tested in the analysis of the overloading contro in Anhui province.

Key words: axle type; table of axle load; equivalent axle load of traffic flow; operating cost; truck truck configuration; truck overloading

0 引言

当前, 我国高等级公路行驶的车辆类型繁多、装载情况复杂, 超限运输, 特别是轴重超限情况尤为普遍。沿用已久的交通量统计数据和传统的研究与计算方法将无法准确客观的反映出不同类型的车辆的轴载分布、基于车辆实际装载量的运营成本和超

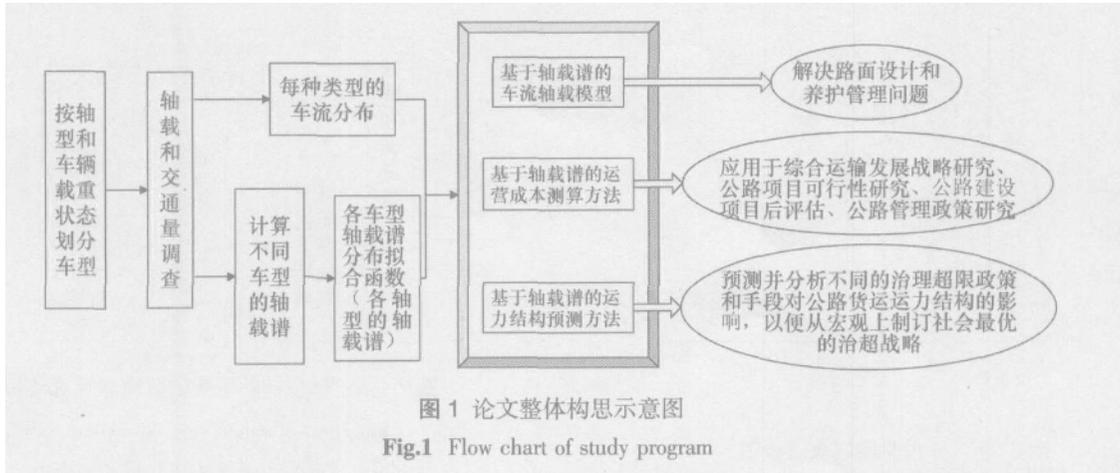
限治理后公路货运运力结构情况。

鉴于此, 本文在获取按轮轴类型划分的车型轴载谱的基础上, 提出了基于轴载谱的车流轴载模型、运营成本测算方法和运力结构预测方法, 其整体思路如图 1, 这套基于轴载谱的研究和计算方法以供公路货物运输、路面设计和养护以及超限研究和决策人员使用。

收稿日期: 2005-12-05

基金项目: 世界银行安徽公路项目 II (超载运输课题研究) 资助项目

作者简介: 何杰 (1973), 男, 安徽潜山人, 副教授, 工学博士, 研究方向为道路运营管理、物流规划与管理。(hejie@seu.edu.cn)



1 公路货运车辆轴载谱的获取

1.1 调查车型

国内外已有的研究成果表明，对路面造成损坏的主要是 2 轴 4 轮以上的货车。按车辆的连接形式可分为整车类、半挂车类和全挂车类；按车辆的轴型可以分为单轴、双联轴和三联轴；按轮型可分为单轮和双轮组。国内常见的 2 轴 4 轮以上车型的轴轮组合有单轴单轮、单轴双轮、双联轴双轮、三联轴双轮和双轴单轮，按出现频率如图 2 所示，每轴型对应一个数字编号。一般车辆的前轴(组)为单轮轴，后轴(组)为双轮轴。

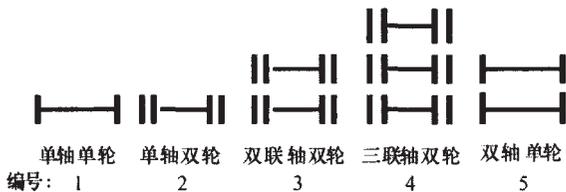


图 2 常见轴型

Fig.2 Conventional axle type

调查时应按照车辆的轮轴类型进行车型划分，每个地区常见的车型有一定的区别，以安徽省为例，2 轴 4 轮以上车辆主要有 9 种车型：1+2 (SU2)、1+3 (SU3)、5+3、1+2+s/2、1+2+s/3 (2S2)、1+2+s/4、1+3+s/3、1+3+s/4、1+2+f/2+2，最常见的主要有 5 种类型，如图 3 所示。其中，数字表示轴型；用字母 s/表示半挂车，f/表示全挂车；+表示轴之间的连接。

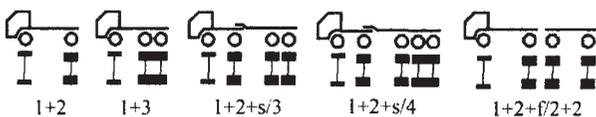


图 3 安徽省常见车型

Fig.3 Conventional axle type in Anhui

由于 2 轴 4 轮以下车辆对路面损坏较小，而其他轮轴类型车辆在交通量中所占比例很小，因此在

轴载称重调查时可以不考虑这两部分车辆。

1.2 轴载称重调查

将调查车辆按照轮轴类型进行分类，在各轮轴类型车辆中抽取一定比例进行轴载称重测量，对于区域内常见车型应采用较高的抽样率以取得较完整和准确的轴载分布，对于其他车型可仅以少量的样本获得典型轴载数据即可。称重时应取得车辆的总重和每根轴(组)的轴重数据并记录该车辆的轮轴类型编号。

1.3 交通量调查

为了与轴载称重调查相配合，需要提供按轮轴类型划分的交通量数据。而各地公路管理部门一般是按照功能或车辆吨位(货车)进行交通量调查及统计，与轴载调查的数据无法直接对应。因此，在轴载称重的同时，还需进行按轮轴类型分类的交通量调查。

调查时将货车按照轮轴类型与实际载/空载情况进行分类或考虑当地的实际空载率。

1.4 分车型的轴载谱

对于常见轮轴类型重载车辆，由于样本量较大，可以由各轴组的称重数据统计出轴载谱。轴载谱用每个轴载级位出现的频率来表示，即各轴载级位车辆轴组出现的次数占总轴组数的比例，单轴以 1 t 为单位分级，双联轴以 2 t 分级。在分析轴载谱时需将车辆空/实载轴载谱按照交通量调查中的空载率进行合并，以描绘出该类型车辆某一轴组完整的轴载谱^[4]。对于非常见类型重载车辆，由于样本量较小，可以以称重数据的平均值作为代表其轴载。

图 4 为安徽省 2004 年 2-S2 型车第三轴的轴载谱，运用最小二乘法通过一定的连续分布函数(常用的轴载分布函数有 Gauss 分布、Weibull 分布和对数 Gauss 分布)对离散型的调查轴载谱进行曲线拟合，得出的轴载概率分布函数曲线。

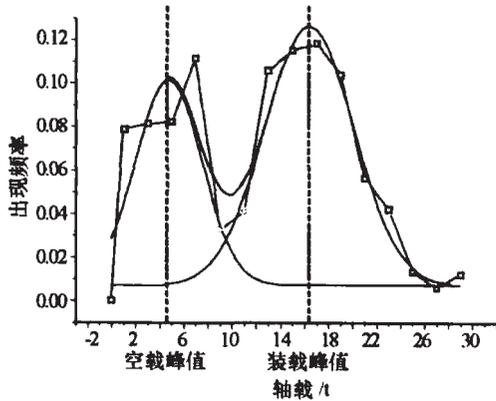


图 4 轴载分布曲线拟合示意图
Fig.4 Axle load distribution curve

1.5 分轴型的轴载谱

由于每种轮轴类型车辆的轮轴数是固定的，因此可以根据按轮轴类型划分的交通量调查所获得的交通组成，计算出各类型轴出现的频率。以各车型车辆的有效AADT(AADT扣除2轴4轮以下车辆交通量)比重为权重，将分车型的轴载谱进行加权合并，即可得到该调查路段的某一轴型的轴载谱数据。以合肥—六安路为例，其单轴和双联轴轴载谱图如图5、图6所示。

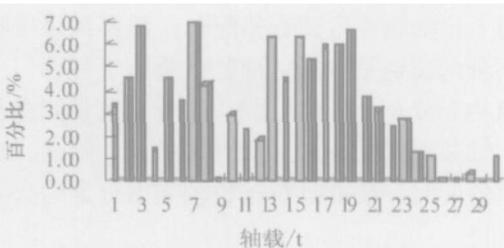


图 5 合肥—六安公路单轴轴载谱图
Fig.5 Single axle load chart of Hefei—Luan

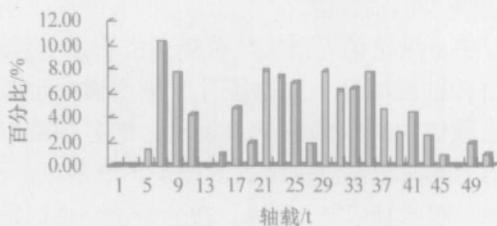


图 6 合肥—六安公路双联轴轴载谱图
Fig.6 Double axle load chart of Hefei—Luan

2 公路货运车辆轴载谱的应用研究

2.1 建立基于轴载谱的车流轴载模型

为解决交通流当量轴次的计算问题，在分析交通流构成和分布的基础上，利用轴载谱、轴载分布函数、单车当量轴次、车流当量轴次等一系列概念，建立了公路车流轴载模型，其基本思路如图7所示。

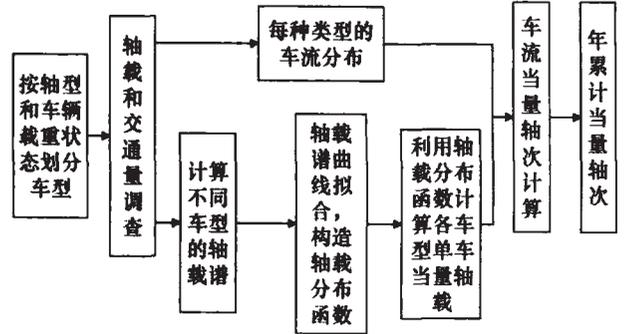


图 7 基于轴载谱的车流轴载模型计算流程图

Fig.7 Flow chart of calculating equivalent axle load of traffic flow via using axle load distribution

以安徽省合肥—六安一级公路为例，通过SU2型车轴载概率使用 Gauss 分布曲线拟合，得到其轴载谱分布函数为前轴公式(1)，后轴公式(2)。

$$f_1(x) = 0.049 + [0.069 / (0.714 \times \sqrt{1/2})] \times \exp\{-2 \times [(x - 2.69) / 0.714]^2\} + [0.499 / (1.330 \times \sqrt{1/2})] \times \exp\{-2 \times [(x - 5.92) / 1.330]^2\}, 1 \times 9, \quad (1)$$

$$f_2(x) = 0.017 + [0.160 / (0.533 \times \sqrt{1/2})] \times \exp\{-2 \times [(x - 2.57) / 0.533]^2\} + [0.119 / (1.469 \times \sqrt{1/2})] \times \exp\{-2 \times [(x - 6.94) / 1.469]^2\} + [0.348 / (5.449 \times \sqrt{1/2})] \times \exp\{-2 \times [(x - 16.59) / 5.449]^2\}, 1 \times 23. \quad (2)$$

假设：车辆装载时已经对货物放置进行了优化，反映到模型中即意味着在同一车辆总重的情况下，相同轴型车辆的各轴轴载相等。此时，单车当量轴次的计算公式^[9]如下

$$pu_i = \begin{cases} \sum_j C_1 C_2 \left(\int_{P_{ijmin}}^{P_{ijmax}} f_{ij}(x) (x_{ij} / P_0)^{4.35+d} dx \right) \text{ 沥青路面,} \\ \sum_j \left(\int_{P_{ijmin}}^{P_{ijmax}} f_{ij}(x) (x_{ij} / P_0)^{17.76} dx \right) \text{ 水泥混凝土路面,} \end{cases} \quad (3)$$

式中，i为车型代码，i [1, 5]; pu_i为该i型的单车当量轴载；j为单车各轴序号，j [1, 5]; C₁为轴数系数；C₂为轮组系数；_{ij}为轴数系数；f_{ij}(x)为i型车j轴的轴载分布密度函数，表征一定轴重出现的概率；x_{ij}为i型车辆载货时第j轴组的轴载，x_{ij} [P_{ijmin}, P_{ijmax}], P_{ijmin}, P_{ijmax}分别为其最小、最大轴载；P₀为标准轴载；d为轴重超限附加系数，当轴载超过13t时，d=0.06(x_{ij}-13)。

对式(3)积分时可使用数学工具软件采用数值积分的方法进行计算。

车流量是指各种类型车辆通过测点的次数。车流量 n_i 数值上等于总车流量 n 与车流分布 r_i 的乘积, 单位为辆/d。(4) 式中, 总车流量 n 即观测路段的有效 AADT。

$$n_i = n \times r_i \quad (4)$$

以各车流分布为权重计算单车当量轴次的加权平均值, 该值即为交通流的车流当量轴次 pu ,

$$pu = \sum_i (pu_i \times r_i)$$

通过车流当量轴次与年总交通量的乘积可以很方便地求得年累计当量轴次 $PU = pu \times AADT_{有效} \times 365$ 。也可以通过年车流量与单车当量轴次直接求得年累

$$PU = \sum_i (pu_i \times n_i \times 365)$$

计当量轴次。基于轴载谱的车流轴载模型同时兼顾车辆的类型和载重状况的特点, 与沿用已久的交通量统计数据及传统算法比较, 更能反映车辆运行的实际情况、更具科学性, 且统计计算过程也比较明晰。

2.2 基于轴载谱的运营成本研究

我国正处于公路基础设施建设的高峰时期, 受传统研究方法与统计数据的限制, 目前针对车辆运营成本的深入研究仍较为缺乏, 较常用的分析方法其基本思路如图 8 所示。

由于大吨小标与超限运输现象的普遍存在, 导

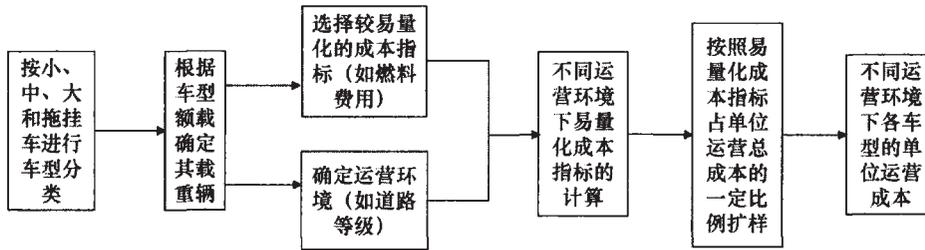


图 8 传统的货运车辆运营成本计算流程图

Fig.8 Flow chart of calculating vehicle operating cost based on traditional method

致使用车辆行驶证、运货单等记录数据或运用目测判断等传统方法无法有效地获得货运车辆的真实装载情况, 从而无法准确地进行车辆运营成本的分析研究^[10]。鉴于此, 提出了基于车辆轴型分类的车辆

运营成本分析模式, 力图在轴载调查的基础上根据车辆的实际装载量进行运营成本分析, 其基本思路如图 9 所示。

2.3 基于轴载谱的运力结构预测方法

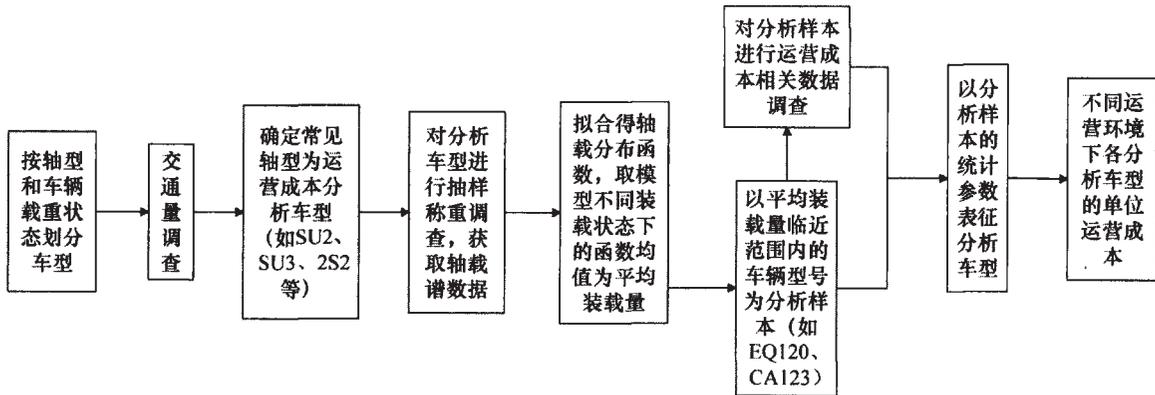


图 9 基于轴载谱的货运车辆运营成本研究思路

Fig.9 Study method of calculating vehicle operating cost based on axle load distribution

目前, 国内对超限运输影响的定量分析研究中, 在车辆当量轴次等指标的对比分析时, 往往是基于将车辆超限部分轴载转化为同一车型满轴载通过并按比例增加交通量的假设^[9]。这种简化的预测方法忽略了车辆装载量的限制对货运车辆车型结构和其他货运方式的影响, 无法正确地模拟超限治理后的实

际情况, 往往导致试图短期内严格取缔超限的策略倾向, 并对可能出现的社会阻力估计不足^[8,9]。

鉴于此, 利用运力均衡思想并基于公路货运车辆轴载谱建立了超限严格管制条件下公路货运运力结构预测模型(简称均衡模型), 其建模思路如图 10 所示。

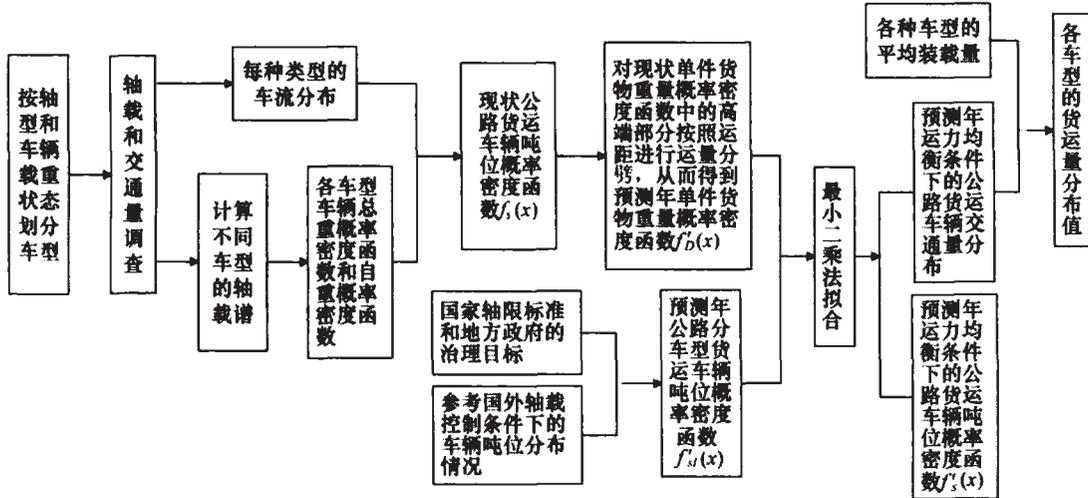


图 10 基于轴载谱的公路货运运力结构预测思路

Fig.10 Forecast process of highway truck fleet configuration based on axle load distribution

在运力均衡分析中假设路网供给能力无约束，此时运力均衡等同于车辆均衡。车辆均衡中，包含两方面的内容：总运量均衡和运量结构均衡。前者可由趋势外推等传统方法进行预测，后者则主要指货运需求对车辆吨位结构需求的均衡。

出于简化分析的目的，假定社会货运总量不变，在排除车辆车龄结构和专业运输需求的扰动之后，运力均衡可以简化为车辆吨位结构与货运需求吨位结构之间的均衡。即超限严格管制条件下公路货运运力结构预测，可以基于车辆吨位结构同构于货物吨位结构的假设。

3 结语

针对传统数据采集和研究模式中的不足，本论文在获取按轮轴类型划分的车型轴载谱的基础上，提出了基于轴载谱的车流轴载模型、运营成本测算方法和运力结构预测方法，并结合世行安徽公路项目 II(超载课题研究) 进行了应用和检验，结果表明这套基于轴载谱的研究和计算方法可供公路货物运输、

路面设计和养护以及超限研究和决策人员使用。

参考文献：

- [1] 安徽省交通厅, 东南大学交通学院. 安徽省超载运输调查报告[R]. 南京: 东南大学交通学院, 2004.
- [2] 何杰, 李旭宏, 杭文, 等. 世行安徽公路项目 II- 超载课题研究中后期报告[R]. 南京: 东南大学交通学院, 2004.
- [3] 朱障东. 沥青路面车流轴载模型及其在南京二桥路面管理中的应用[J]. 公路交通科技, 2002, 19(3): 1- 4.
- [4] 赵鸿铎. 轴载测定与轴载谱分析[J]. 公路, 2002, 12: 70- 75.
- [5] 陆原. 超限运输对道路使用性能影响的研究 [D]. 南京: 东南大学, 2001.
- [6] 联阳华. 重型车辆评选模式建立及其应用 [D]. 台北: 台湾大学土木工程研究所, 1994.
- [7] 彭波. 公路超重车辆对路面的损坏影响及管理对策分析[D]. 上海: 同济大学, 1999.
- [8] U.S. Department of Transportation, Report of Comprehensive Truck Size and Weight Study[R]. 2000.
- [9] Truck Costs and Truck Size and Weight Regulations [R]. Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, 1995.
- [10] ERIK VERHOEF. External Effects and Social Costs of Road Transportation[J]. Transport. Res.- A, 1994, 28A(4): 261- 271.