

文章编号:1671-1637(2015)05-0085-06

## 基于大数据的高速公路运输趋势分析

肖润谋,李彬,陈荫三

(长安大学汽车学院,陕西西安 710064)

**摘要:**以中国高速公路联网收费系统数据库为主,辅以收费站典型抽样调查数据,分析了2008~2014年中国高速公路网运输量变化趋势。分析结果表明:2008年以来高速公路客车行驶量比重始终维持在58%~69%。乘用车旅客出行量的持续增长带动旅客运输量继续攀升,2014年高速公路客运量为 $1.67 \times 10^{10}$ 人次,同比增长14.99%,6年(2009~2014)年均增长15.21%。旅客周转量达到 $1.47 \times 10^{12}$ 人·km,同比增长12.07%,6年年均增长13.57%,客运量增速远超货运量增速的趋势将会进一步加强。受宏观经济影响,2014年中国高速公路货物周转量为 $2.33 \times 10^{12}$ t·km,同比增长约2.35%,6年年均增长11.69%,2014年增幅最小。高速公路空车走行率为24.15%,保持稳定态势;高速公路上超限30%以上的货车交通量从2008年的5.59%下降到2014年的2.85%,货车计重收费效果明显。

**关键词:**中国高速公路网;运输状态;大数据;运输统计;运输车辆;货运;客运

**中图分类号:**U491.13

**文献标志码:**A

### Trend analysis of expressway transportation based on big data

XIAO Run-mou, LI Bin, CHEN Yin-san

(School of Automobile, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China)

**Abstract:** Based on the database of expressway network toll system and the typical sampling investigation data at toll stations, the transportation changing trend of Chinese expressway network in 2008-2014 was analyzed. Analysis result shows that the proportions of buses kilometers in expressway network remained between 58% and 69% from 2008 to 2014. Due to the continuous growth of car travel, the passenger volume in expressway network rose to  $1.67 \times 10^{10}$  peoples in 2014 and increased by 14.99% compared with the value in 2013, and the annual average growth rate was 15.21% in past 6 years(2009-2014). Passenger turnover volume reached  $1.47 \times 10^{12}$  peoples·km and increased by 12.07% compared with the value in 2013, and the annual average growth rate was 13.57% in past 6 years. The trend that the growth rate of passenger turnover volume was further greater than the growth rate of freight turnover volume was strengthened. Because of macroeconomic impact, the freight turnover volume in expressway network reached  $2.33 \times 10^{12}$  t·km in 2014, an increase of about 2.35% was lowest in 6 years, and the annual average growth rate was 11.69% in past 6 years. The percentage of empty to loaded trucks kilometers was 24.15%, and remained a stable situation. The percentage of trucks with the overweight more than 30% decreased from 5.59% in 2008 to 2.85% in 2014, so the effect of charge-by-weight policy was significant. 6 tabs, 7 figs, 21 refs.

收稿日期:2015-07-25

基金项目:交通建设发展前期工作费研究项目(2013-7-4)

作者简介:肖润谋(1963-),男,陕西西安人,长安大学教授,工学博士,从事道路交通运输与安全研究。

**Key words:** Chinese expressway network; transportation status; big data; transportation statistics; transportation vehicles; freight transportation; passenger transportation

**Author resume:** XIAO Run-mou(1963-), male, professor, PhD, +86-29-82334456, xrm@chd.edu.cn.

## 0 引 言

以往基于全社会公路运输量的经济计量模型在趋势分析上使用效果欠佳,主要是因为中国交通统计的基础数据缺乏对数学模型的有效支撑,并且统计口径的变化也会导致统计数据出现较大波动,从而影响模型使用效果。由于统计数据的采集方式、统计方法和统计制度不完善,使得部分统计指标的准确性存在一定缺陷,得到的统计数据不能真实地反映交通运输发展现状,如果采用这些数据预测运输趋势和经济发展情况,得到的结果不准确<sup>[1-2]</sup>。左庆乐等将公路运输量分为区域运输量和线路运输量,初步开展公路线路运输量特别是高速公路运输量的统计调查<sup>[3]</sup>;陈荫三提出了通道和区域高速公路运输量统计方法<sup>[4]</sup>;张荣光等建立了采用公路交通量推算运输统计量的简便方法<sup>[5]</sup>;袁长伟等分析了高速公路线路运输量,得到了高速公路货物运输产出的基础数据<sup>[6]</sup>;陈善智等建立了高速公路货运量与货车轴重的关系模型<sup>[7]</sup>,减小了货运量统计成本与人为因素的影响;美国运输量统计的基础是商品流动调查(CFS)和全国家庭出行调查(NHTS),结合交通调查、铁路运单抽样、水运统计、跨境陆运与农业普查等数据,通过货运分析框架提供各种运输方式的货运状况<sup>[8]</sup>。以上运输量统计还是建立在传统的统计基础上,没有从全样本统计的大数据思想分析高速公路整体运输量走势。

全样本统计的大数据具备 4 个特点:大量、高速、多样与价值。自 2008 年全国高速公路运输量统计正式开始,每年中国高速公路运输数据都在大幅增加,年均约 45 亿辆次,2014 年更是达到 65 亿辆次。收费高速公路数据库数据量大,且是全样本统计,应用价值高,数据内容丰富,具有典型的大数据特征,大数据的积累越多体现出来的显性和隐形价值就越大。本文分析了 6 年中国高速公路运输量数据,发现基于高速公路收费系统的运输量属于全样本统计,精度高,时效性好,对于分析全社会运输量趋势均具有指导意义。

## 1 高速公路数据采集与处理

### 1.1 数据采集

高速公路收费系统数据库是以非调查目的形成

的数据源,可以用于高速公路运输量统计。对于没有计重收费的 3 个省市,可以采集到每月交通流量的报表。采用以非调查目的形成的数据源进行高速公路运输量统计的优点是:可以获得大量数据;节省人力、财力与时间。但是收费系统数据库不可能完全满足高速公路运输量统计的需要,因此,还必须在收费站开展抽样问卷调查,补充必要的数据库。

### 1.2 数据处理

先将高速公路收费系统数据库的数据预处理为便于运输量统计的格式,剔除个别的异常数据。除上海市、北京市和海南省外,其余省市的数据中有货车轴型、轴重和总质量信息。先依据特征性轴重来划分出空驶车辆,求得各个轴型货车处于运输状态下的平均空车质量,进而得到各轴型货车的载货量。部分省市的数据中没有质量信息,在划分客车和货车,并得到货车的轴型构成后,参照相关省市各个轴型(含空车)货车平均载货量,计算出各个车型货车的平均载货量。

由于各车型客车乘坐人数分布离散程度不同,所以为保证将 90%置信度下的相对误差控制在 5%范围内,所需调查车辆数也不尽相同。在调查各车型客车实载率时,按照穿越过境、到达省内、发送省外和省域内等 4 种车流分别确定每种车流中各个车型所需的调查车辆数和实载率。经过多年验证,数据采集与处理方法精度和可靠性均符合置信度与误差要求<sup>[9]</sup>。

## 2 高速公路旅客运输趋势分析

中国高速公路网络越来越密集,客运系统不断完善,旅客出行更加便捷。2014 年,高速公路旅客周转量达到  $1.47 \times 10^{12}$  人·km,是铁路旅客周转量的 1.27 倍,见图 1。从 2009 年起,高速公路旅客周转量高于铁路旅客周转量,营业性客车旅客周转量增幅平缓,乘用车旅客周转量持续快速增长<sup>[10-11]</sup>。2014 年中国高速公路总的行驶量为  $4.83 \times 10^{11}$  veh·km,其中货车的行驶量为  $1.55 \times 10^{11}$  veh·km,客车的行驶量为  $3.28 \times 10^{11}$  veh·km。2014 年客车行驶量占总行驶量的 67.91%,远低于美国公路上客车行驶量比重(美国国家运输统计报告显示,近 10 年来客车行驶量占总行驶量的比重保

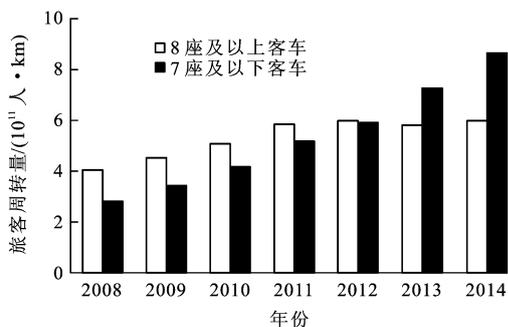


图1 旅客周转量

Fig.1 Passenger turnover volumes

持在 90%左右)<sup>[12-15]</sup>。2008 年以来中国高速公路上客车行驶量虽然持续上升,但其占总行驶量的比重则始终维持在 70%以下。

### 2.1 客运周转量和客运密度

旅客出行规模与人们的收入水平、消费模式、市场发育程度、人口结构与产业布局等密切相关,2014 年中国高速公路人均出行次数为 12.23,自 2008 年以来连续多年大幅增长<sup>[16]</sup>,年均增长率为 14.64%,见图 2。但是与欧美等发达国家相似发展阶段相比,仍然处于较低水平。

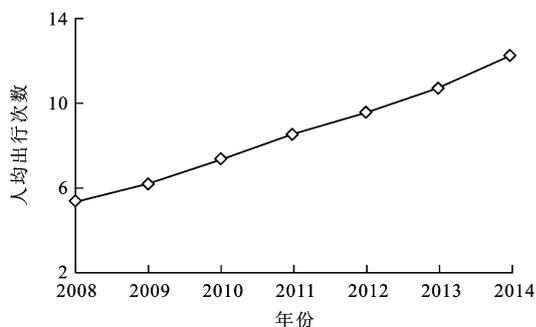


图2 旅客平均出行次数

Fig.2 Passenger average travel times

2014 年,随着东部地区高速路网规模的扩大,客运密度继续上升,比 2013 年增长了 4.56%。其中,高速公路上乘用车旅客运输密度(以下简称客运密度)为 776.89 万人·km·km<sup>-1</sup>,比 2013 年增长了 11.19%。由于受到中国城镇化进程加速、经济的发展、市场范围和规模扩大的影响,各种公务与商务出行的数量也会大幅度提高。预计中国旅客出行将继续保持较快增长速度,并会高于货运增速。

### 2.2 乘用车客运量与客车速度

在居民可支配收入增长、消费结构升级、居住和生活方式变化等诸多因素综合作用下,中国私人机动化交通需求的快速增长将成为一种无法阻挡的趋势,在高速公路运输方面,体现为乘用车客运量和旅客周转量在总的旅客运输量中的比重多年来持续快

速增长。2014 年,高速公路乘用车旅客周转量达到 8 696.24 亿人·km,同比增长了 19.17%,占高速公路旅客周转量的比重为 59.18%,比重同比增加 3.53%,见图 3。随着高速铁路对沿线客运的影响,以及私家车拥有量的不断提升,高速公路乘用车旅客运输量仍将保持较快增长态势。

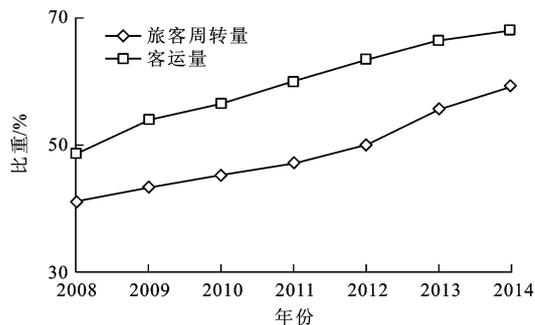


图3 乘用车客运比重

Fig.3 Passenger transportation proportions of cars

按照高速公路收费车型分类(I 型为 7 座及以下客车;II 型为 8~19 座客车;III 型为 20~39 座客车;IV 型为 40 座及以上客车),2014 年 I 型客车平均速度下降 0.49%,II 型客车平均速度下降 1.42%,III 型客车平均速度下降 0.66%,IV 型客车平均速度上升 0.04%,见表 1。

表 1 客车平均速度

Tab.1 Average speeds of buses

车型	座位数	平均速度/(km·h <sup>-1</sup> )	样本数量/veh
I	≤7	86.22	2.21×10 <sup>9</sup>
II	8~19	80.86	5.19×10 <sup>7</sup>
III	20~39	79.57	5.85×10 <sup>7</sup>
IV	≥40	80.41	6.28×10 <sup>7</sup>

## 3 高速公路货物运输趋势分析

现有多数研究主要是对高速公路基础设施建设方面的评价,如路网密度、连通度与可达性等,而运输功能的体现才更应该作为评价高速公路作用的重要指标<sup>[17-19]</sup>。根据调研数据发现,高速公路上机械设备和电器等高附加值产品在货运需求中所占的比重将逐渐提高,同时,轻工医药和农林牧渔等一般消费品运输需求也将持续快速增长。随着中国产业和产品结构的升级,促进消费政策的实施,运输货类中高附加值货物的比重将不断提高。

### 3.1 货物运输趋势

目前,中国处于经济转型期,煤和冶炼物资等货类运输需求趋缓,经过铁路货运改革,在中国境内,干线货运体系中铁路货运量的占比波动下行,2014 年

铁路货物周转量出现负增长,同比降低 5.63%。统计数据表明,2014 年中国高速公路货物周转量达到  $2.33 \times 10^{12} \text{ t} \cdot \text{km}$ ,同比增长约 2.35%,年均增长率为 13.57%,见图 4。2014 年中国高速公路货物周转量占全社会营业性货车货物周转量的 38.11%,比 2013 年降低了 2.65%;高速公路货物周转量相当于铁路货物周转量的 84.46%,相当于内河和沿海水运货物周转量的 63.12%。

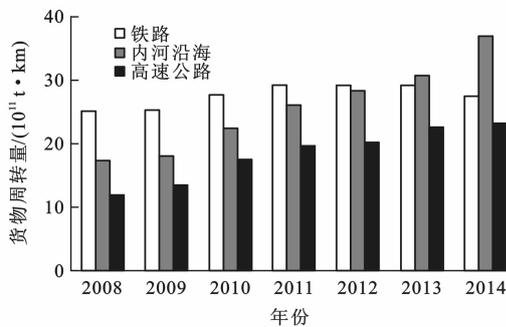


图 4 2008~2014 年货物周转量

Fig. 4 Freight turnover volumes in 2008-2014

与 2013 年相比,货车 2 轴 4 胎单车平均速度上升了 1.60%,2 轴 6 胎单车平均速度上升 1.09%,3 轴和 4 轴单车平均速度上升 1.48%,半挂列车平均速度上升了 1.40%,见表 2。由此可见,各种轴型的货车平均运行速度均有所提升。对比表 1、2 中客、货车的平均运行速度,可以发现高速公路客货车速度差异明显,这也是发生交通事故的一项重要原因。

表 2 货车平均速度

Tab. 2 Average speeds of trucks

车型	轴型	平均速度/( $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ )	样本数量/veh
单车	2 轴 4 胎	71.34	$9.29 \times 10^7$
	2 轴 6 胎	62.99	$2.31 \times 10^8$
	3 轴和 4 轴	58.83	$1.11 \times 10^8$
半挂列车	3~6 轴	56.65	$2.92 \times 10^8$

### 3.2 货车运输结构趋势分析

在中国经济“调结构促转型”的发展形势下,工业结构将实现由以能源、原材料等重型化工业为主,导向重加工工业和技术密集型产业为主导。同铁路主要运输的煤炭、钢铁、金属矿石和粮食等大宗散货相比,高速公路运输的消费性与高附加值产品具有典型的重量轻、体积小、价值高与批次多等特点,货运需求特征主要表现为对运输可靠程度要求高、快速、高效与安全,甚至要求运输企业能够针对不同客户提供个性化运输服务<sup>[20]</sup>,因此,公路货物运输对货车专业化程度与货运企业运输服务质量的要求将越来越高。

#### 3.2.1 货车构成

2014 年,高速公路主要轴型货车的车数、行驶量和周转量比重由天津、河北、山西、黑龙江、江苏、江西、福建、山东、河南、湖北、湖南、广西、重庆、贵州、陕西与青海合计 16 个省市数据统计分析所得,见表 3,这些省市高速公路里程占全国高速公路通车里程的 59.85%。

表 3 货车运输情况

Tab. 3 Transportation states of trucks

车型	运输比例/%		
	交通量	行驶量	周转量
2 轴 4 胎单车	13.28	7.74	0.58
2 轴 6 胎单车	29.17	23.13	7.25
3 轴单车	6.09	6.69	3.16
	1.46	1.01	0.50
4 轴单车	8.10	7.41	7.01
	2.75	2.16	0.70
半挂列车	0.07	0.17	0.16
	2.61	2.49	1.67
	2.60	2.81	3.01
	0.45	0.51	0.57
	16.22	19.79	32.14
	17.21	26.08	43.25

2008~2010 年,中国高速公路货车 2 轴 6 胎、3 轴与 4 轴单车交通量较大幅度下滑,而半挂列车有显著增幅。2011~2014 年各种货车交通量比重均比较稳定。2 轴 6 胎货车交通量虽然比重较高,约占总交通量的 30%,但是完成的行驶量年均均为 24.08%,货物周转量年均仅为 7.31%。3 轴与 4 轴单车与半挂列车完成的货物周转量基本维持在 90%左右,见图 5~7。

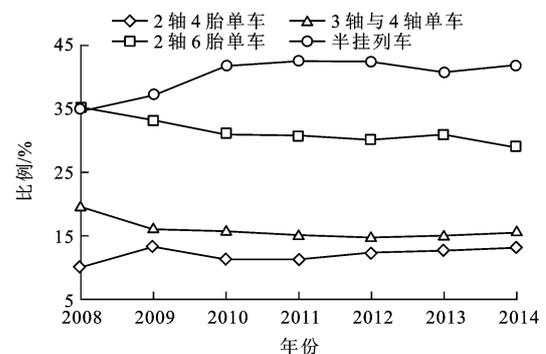


图 5 货车交通量比例

Fig. 5 Amount proportions of trucks

调研数据表明,在高速公路跨省长距离运输中,半挂列车的车辆数占到 60%以上。高速公路上不

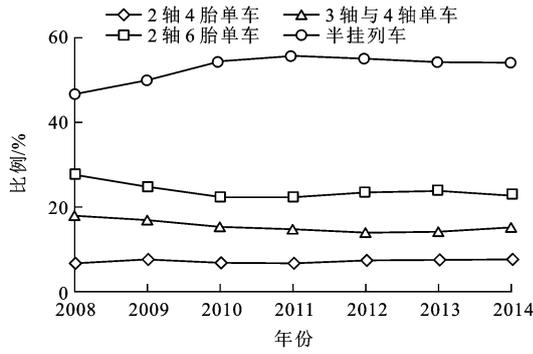


图 6 货车行驶量比例

Fig. 6 Kilometers proportions of trucks

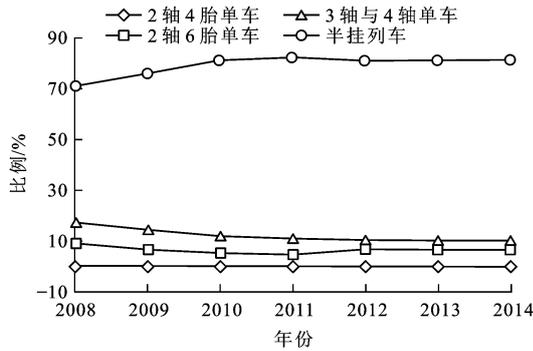


图 7 货车完成的货物周转量比例

Fig. 7 Proportions of freight turnover volumes for trucks

同货类的平均运距相差较大,最小的为水泥,仅为 82 km,而长距离运输的是高附加值的轻工医药产品,平均运距高达 724 km。随着专业化程度的提升,中国公路运输将彻底摆脱以往“缺重少轻”的运力结构,在中长距离运输中多轴大吨位货车将进一步巩固优势地位。

### 3.2.2 货车空驶状况

高速公路路网空车走行率为 24.15%,同比上升 2.93%,见表 4、5。空车走行率等于空车行驶量比重车行驶量。跟踪 7 年来的货车行驶状况,发现空驶现象持续上升,但是上升幅度不大,主要体现在轻型和中型货车空驶现象明显增加,但是多轴大吨位货车空驶率上升不大。轻、中型货车主要参与中短途运输,等候货物的时间成本较高,特别是在货车向轻型和重型发展过程中使得轻型货车竞争日益加剧。中国道路运输业经营主体多,企业规模小,运输组织松散,竞争力和抗风险能力弱,因此,外部环境的变化易造成企业经营成本上升,导致运输车辆空载现象增加<sup>[21]</sup>。

### 3.2.3 货车超限运输状况

按国家强制标准《道路车辆外廓尺寸、轴荷及质量限值》(GB 1589—2004)规定的限值,超限率(超

表 4 三种货车空车走行率  
Tab. 4 Percentages of empty to loaded kilometers for 3 types of trucks %

车型	年份	省内运输	跨省运输	总量
2 轴单车	2014	45.30	29.67	39.73
	2013	41.39	28.34	36.78
	2012	33.92	21.41	29.37
	2011	35.30	26.13	31.65
	2010	37.60	29.10	33.30
	2009	34.77	24.95	30.48
	2008	32.78	18.84	26.33
3 轴与 4 轴单车	2014	48.18	21.91	32.09
	2013	42.14	17.66	26.96
	2012	37.64	13.04	22.61
	2011	34.44	12.30	20.23
	2010	34.17	12.42	17.93
	2009	35.03	9.46	16.95
	2008	36.40	10.81	18.05
半挂列车	2014	37.17	10.85	18.55
	2013	36.51	10.88	17.59
	2012	35.34	10.15	17.04
	2011	43.27	10.84	18.48
	2010	31.34	13.14	14.90
	2009	34.14	7.90	14.73
	2008	42.67	10.16	18.37

表 5 全体货车空车走行率

Tab. 5 Total percentages of empty to loaded truck kilometers %

年份	省内运输	跨省运输	总量
2014	42.11	15.34	26.01
2013	39.54	14.57	24.15
2012	35.00	12.41	21.22
2011	38.33	13.55	22.24
2010	34.42	16.37	20.05
2009	34.56	11.68	19.84
2008	36.71	12.37	20.97

限车数比货车总数)为 24.98%,比 2013 年下降 1.02%,其中超限 30%以上的货车比重为 2.85%,比 2013 年下降了 0.14%,见表 6。按路政部门治超规定的限值,超限率为 8.81%,同比上升 2.94%,超限 30%以上的货车比重为 1.13%,同比上升 0.28%。

按国家强制标准(GB 1589—2004),高速公路上超限 30%以上的货车车数已经从 2008 年的 5.59%下降到 2014 年的 2.85%,可以看出利用经

表 6 货车比重  
Tab. 6 Percentages of trucks

治超标准	空车	不超限重车	超限 0~30%	超限 30%~50%	超限 50%~100%	超限大于 100%
国家强制标准	30.28	44.73	22.13	1.73	0.97	0.15
路政治超标准	30.28	60.91	7.68	0.82	0.23	0.07

济杠杆“货车计重收费”政策对超载运输起到了很好的抑制作用。

#### 4 结 语

2014 年中国高速公路通车里程为 111 936 km, 占公路总里程的 2.51%, 高速公路实现的货物周转量占全社会营业性货车货物周转量的 38.11%, 大于等于 20 座客车实现的旅客周转量占全社会营业性客车旅客周转量的 46.16%, 乘用车旅客周转量占 59.18%, 这表明高速公路客货运输在综合运输体系中起到了重要的干线通道运输作用。随着经济“调结构促转型”的进一步发展, 技术密集型产业将逐渐成为支柱型产业, 高速公路会不断减小对大宗散货的运输需求, 而对消费品与高附加值产品的运输将会有比较大的增长, 客运需求将会进一步增长, 并且高于货运的增长速度, 特别是能够提供个性化出行需求的乘用车运输量还将继续保持高速增长。高速公路运输量统计、分析对了解中国经济运行和 GDP 的稳定增长态势提供了有力的支撑。

#### 参 考 文 献 :

#### References :

[1] 李连成. 运输需求发展趋势的分析方法[J]. 综合运输, 2011(12):14-18.  
LI Lian-cheng. Analysis method of transportation demand trends[J]. China Transportation Review, 2011(12): 14-18. (in Chinese)

[2] 谢雨蓉, 罗仁坚. 公路水路运输量统计数据存在的问题及对策[J]. 综合运输, 2009(10):69-71.  
XIE Yu-rong, LUO Ren-jian. The problems and countermeasures of highway and waterway transportation statistics[J]. China Transportation Review, 2009(10): 69-71. (in Chinese)

[3] 左庆乐, 张莹. 我国公路运输量统计调查的新思路[J]. 交通标准化, 2005 (138/139):40-43.  
ZUO Qing-le, ZHANG Ying. New thoughts on statistics and investigation of our highway transport volume [J]. Communications Standardization, 2005 (138/139): 40-43. (in Chinese)

[4] 陈荫三. 高速公路运输量研究[J]. 中国公路学报, 2005, 18(2):94-98.  
CHEN Yin-san. Study of freeway transportation volume[J]. China Journal of Highway and Transport, 2005, 18(2):

94-98. (in Chinese)

[5] 张荣光, 李婧, 邵春福. 公路实测交通量与统计运输量关系模型研究[J]. 现代交通技术, 2007, 4(6):56-59.  
ZHANG Rong-guang, LI Jing, SHAO Chun-fu. Modeling of relationship between traffic volume and transport volume[J]. Modern Transportation Technology, 2007, 4(6): 56-59. (in Chinese)

[6] 袁长伟, 王建伟. 高速公路货流统计方法与实证分析[J]. 公路交通科技, 2009, 26(10):149-158.  
YUAN Chang-wei, WANG Jian-wei. Analysis of statistical method of expressway freight flow volume and verification[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2009, 26(10): 149-158. (in Chinese)

[7] 陈善智, 张建勇, 李超, 等. 高速公路货运量与轴重关系研究[J]. 交通标准化, 2010(224):26-30.  
CHEN Shan-zhi, ZHANG Jian-yong, LI Chao, et al. Relationship of freight volume and axle load on expressway[J]. Communications Standardization, 2010(224): 26-30. (in Chinese)

[8] 杨铭, 秦华容. 中美公路运输量统计比较[J]. 交通企业管理, 2009(2):69-71.  
YANG Ming, QIN Hua-rong. A comparative study of Chinese and American highway traffic statistics [J]. Transportation Enterprise Management, 2009(2): 69-71. (in Chinese)

[9] 交通运输部综合规划司. 2008 中国高速公路运输量调查分析报告[R]. 北京:交通运输部综合规划司, 2008.  
Department of Comprehensive Planning, Ministry of Transport. Report of survey and statistics of expressway transportation volume in China in 2008[R]. Beijing: Department of Comprehensive Planning, Ministry of Transport, 2008. (in Chinese)

[10] 铁道部. 2013 年铁道统计公报[R]. 北京:铁道部, 2013.  
Ministry of Railways. Railway statistics bulletin in 2013[R]. Beijing: Ministry of Railways, 2013. (in Chinese)

[11] 铁道部. 2014 年铁道统计公报[R]. 北京:铁道部, 2014.  
Ministry of Railways. Railway statistics bulletin in 2014[R]. Beijing: Ministry of Railways, 2014. (in Chinese)

[12] Bureau of Transportation Statistics, US Department of Transportation. National transportation statistics 2012[R]. Washington DC: Bureau of Transportation Statistics, US Department of Transportation, 2012.

[13] Bureau of Transportation Statistics, US Department of Transportation. National transportation statistics 2013[R]. Washington DC: Bureau of Transportation Statistics, US Department of Transportation, 2013.

[14] Bureau of Transportation Statistics, US Department of

(下转第 117 页)

- University, 2011, 37(1): 51-54. (in Chinese)
- [12] WANG Ning. An intelligent spatial collision risk based on the quaternion ship domain[J]. *Journal of Navigation*, 2010, 63(4): 733-749.
- [13] ZHU Xiao-lin, XU Han-zhen, LIN Jun-qing. Domain and its model based on neural networks[J]. *Journal of Navigation*, 2001, 54(1): 97-103.
- [14] HANSEN M G, JENSEN T K, LEHN-SCHIÖLER T, et al. Empirical ship domain based on AIS data[J]. *Journal of Navigation*, 2013, 66(6): 931-940.
- [15] SZLAPCZYNSKI R. A unified measure of collision risk derived from the concept of a ship domain[J]. *Journal of Navigation*, 2006, 59(3): 477-490.
- [16] WANG Ning, MENG Xian-yao, XU Qing-yang, et al. A unified analytical framework for ship domains[J]. *Journal of Navigation*, 2009, 62(4): 643-655.
- [17] WANG Ning. A novel analytical framework for dynamic quaternion ship domains[J]. *Journal of Navigation*, 2013, 66(2): 265-281.
- [18] LIU Shao-man, WANG Ning, SHAO Zhu-rong, et al. A novel dynamic quaternion ship domain[C]//IEEE. The Fifth International Conference on Intelligent Control and Information Processing. New York: IEEE, 2014: 175-180.
- [19] CHANG S J, HSIAO D T, WANG W C. AIS-based delineation and interpretation of ship domain models[C]//IEEE. OCEANS 2014. New York: IEEE, 2014: 1-6.
- [20] 初秀民,刘 潼,马 枫,等.山区航道 AIS 信号场强分布特性[J]. *交通运输工程学报*, 2014, 14(6): 117-126.
- CHU Xiu-min, LIU Tong, MA Feng, et al. Distribution characteristic of AIS signal field intensity along mountainous waterway[J]. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 2014, 14(6): 117-126. (in Chinese)
- ~~~~~
- (上接第 90 页)
- Transportation. National transportation statistics 2014[R]. Washington DC: Bureau of Transportation Statistics, US Department of Transportation, 2014.
- [15] Bureau of Transportation Statistics, US Department of Transportation. National transportation statistics 2015[R]. Washington DC: Bureau of Transportation Statistics, US Department of Transportation, 2015.
- [16] 肖润谋,李 彬,陈荫三. 2013 年中国高速公路网运输状态[J]. *交通运输工程学报*, 2014, 14(6): 67-73, 99.
- XIAO Run-mou, LI Bin, CHEN Yin-san. Transportation status of Chinese expressway network in 2013[J]. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 2014, 14(6): 67-73, 99. (in Chinese)
- [17] 杨云峰,杨 琦,周 伟. 高速公路运输选择与需求预测的效用理论模型[J]. *中国公路学报*, 2007, 20(6): 122-126.
- YANG Yun-feng, YANG Qi, ZHOU Wei. Utility theory model of freeway transport options and demand forecast[J]. *China Journal of Highway and Transport*, 2007, 20(6): 122-126. (in Chinese)
- [18] 刘秉镰,赵金涛. 中国交通运输与区域经济发展因果关系的实证研究[J]. *中国软科学*, 2005(6): 101-106.
- LIU Bing-lian, ZHAO Jin-tao. Empirical study on causality between transportation and regional economic development in China[J]. *China Soft Science*, 2005(6): 101-106. (in Chinese)
- [19] 李晓锋,张亚东,于世军. 高速公路网络布局的区域适应性评价指标研究[J]. *公路*, 2008(3): 113-117.
- LI Xiao-feng, ZHANG Ya-dong, YU Shi-jun. A study on evaluation indices on adaptability between expressway network layout and regional characteristics[J]. *Highway*, 2008(3): 113-117. (in Chinese)
- [20] 李欠标. 中国经济发展环境变化及运输需求发展趋势[J]. *综合运输*, 2010(12): 58-61.
- LI Qian-biao. Change of economic development environment and transport demand development trend in China[J]. *China Transportation Review*, 2010(12): 58-61. (in Chinese)
- [21] 王 林. 山西高速公路货车空驶问题研究[D]. 西安: 长安大学, 2013.
- WANG Lin. Research on the problem of trucks deadhead on the expressway in Shanxi[D]. Xi'an: Chang'an University, 2013. (in Chinese)