

北京市公共汽车平均车速统计分析<sup>\*</sup>

孙逢春 王震坡 王 军

(北京理工大学, 北京 100081)

[摘要] 通过对北京市多条公共交通路线公共汽车行驶车速的实测和统计, 分析了公共汽车平均车速的影响因素, 研究了平均车速的三种统计计算方法, 确立加权平均车速法为最佳统计计算方法。对北京市公共汽车平均车速的在不同类型道路上分布的情况和统计分布规律进行了总结, 提出北京市公共汽车平均车速分布遵循对数正态概率分布规律。为公共汽车及今后电动公共汽车车辆选型、运营方式确定及运营成本分析提供了科学依据。

叙词: 北京市, 公共汽车, 平均车速, 统计

## Statistical Analysis on the Average Speed of Public Buses in Beijing

Sun Fengchun, Wang Zhenpo &amp; Wang Jun

Beijing Institute of Technology, Beijing 100081

[Abstract] According to the test data of the speed of buses running on several routes in Beijing, this paper analyzes the factors affecting the average speed of buses. After studying three calculation methods of the average bus speed, the weighting method is regarded as the best one. By summarizing the distribution of average speed on different types of road and the statistical distribution rule, it is concluded that the distribution of average bus speed in Beijing follows the law of logarithmic normal distribution. The study provides a scientific basis for the type selection of electric buses, the determination of operation mode and the analysis of operation costs for Beijing public transportation.

Keywords: Beijing, Public bus, Average speed, Statistics

## 1 引言

北京市现有 700 多条公共汽车线路, 近两万辆公共汽车, 行驶在市区及近郊几乎所有道路上。作为城市交通的重要组成部分, 它担负着北京市居民及外地来京人员的出行任务, 同时也对北京市控制机动车尾气排放, 改善城市大气环境质量起着至关重要的作用。研究公共汽车平均车速可为评价公共汽车的油耗量是否正常、驾驶操作是否规范、车辆的选型是否合理、车辆性能是否满足使用要求、车队车辆调度是否合理, 以及今后电动公共汽车运营模式确定、运行成本分析等方面提供科学依据。同时平均车速研究是进行行驶工况研究的基础, 对车辆行驶工况模型的建立有至关重要的作用。在对北京市

现有公共交通路线公共汽车行驶车速实测和统计分析的基础上, 分析了公共汽车平均车速的影响因素和统计计算方法, 得出了北京市公共汽车平均车速在不同类型道路上的分布情况和统计分布规律。

## 2 平均车速调查方法

平均车速包括整个行驶工况的平均车速和平均技术车速(不包含上下乘客, 但包括遵循交通规则停车时间计算所得平均车速)。

在平均车速调研中, 除考虑公共汽车路线在市区、市郊的分布和在北京市市区典型路况上的分布, 即在有立交桥的准高速路(二环、三环或四环路)和一般市区道路(四环内的有红绿灯的平面交叉市区

\* 北京市科学计划项目(H020320010011)。

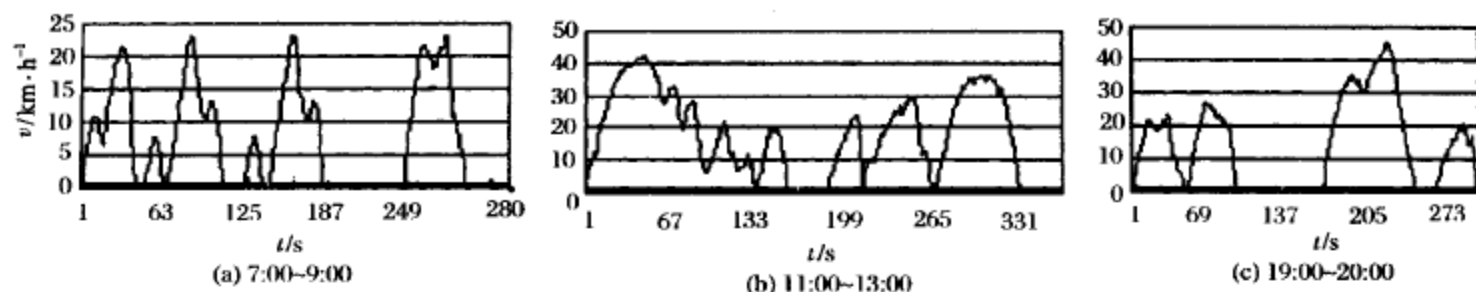


图1 时间-速度分布曲线

道路)两种路况上的分布,还考虑所选道路的交通流量大小、车辆堵塞程度、早晚交通流量变化明显程度以及是否容易对城市造成严重污染。总之,所选公交线路必须能够综合反映北京市公共交通的整体状况。在调查中主要采用按照所选的不同类型路线,在不同日期(工作日、休息日),不同时段(早、中、晚),逐条道路进行数据采集。调查时采取随车流按公交工况行驶和随机跟踪一辆在线行驶公共汽车两种方式相结合。试验时间选择在5:00~23:00,包括上下班高峰的时间段。数据采集选用非接触式车速仪(AM-1200),纪录采用时间-速度曲线。典型结果如图1所示。

### 3 平均车速的影响因素分析

#### 3.1 车辆的功率水平

汽车的行驶方程式和功率平衡方程<sup>[1]</sup>为

$$F_t = F_f = F_i + F_w + F_j \quad (1)$$

$$P_e = F_t v \quad (2)$$

式中  $F_t$  为驱动力,  $F_f$  为滚动阻力,  $F_i$  为坡度阻力,  $F_w$  为空气阻力,  $F_j$  为加速阻力,  $P_e$  为驱动功率,  $v$  为车速。从公式可以看出,在驱动阻力一定时,车速与输出功率成正比,提高车速就要增加输出功率;在输出功率一定时,车速与驱动阻力成反比。公共汽车普遍车速较低,极少以超过 60km/h 的车速行驶,所以空气阻力的影响较小;北京市处于平原地区,除在环线路立交桥外,坡度阻力影响较小;公共汽车在市区行驶,路况复杂且乘客频繁上下车以至公共汽车起步加速频率高;乘客人数随时间变化大,车辆总质量变化明显,所以加速阻力和滚动阻力是影响车速的主要因素。

#### 3.2 公共汽车的安全要求

为了保证行车安全和乘客乘坐安全,公共汽车要求加速平顺、制动平缓,起步加速度和制动减速度偏低,为保证在有限的距离内停车,车速必须加以限制。

#### 3.3 道路交通量

道路交通流量随时间、区域、通行方向有很大的

变化,以至公共汽车的行驶车速受到交通流量大小的影响。有统计表明,道路出行时间随道路承载量的增长而增加。当路段承载量达到通行能力的40%时,路段通行时间迅速增加;当路段承载量接近该路段容量时,通行时间接近最大值<sup>[2]</sup>。

另外,经济性要求、道路特征、地理特征、气候条件都将对车速产生影响。

### 4 平均车速统计分析方法

以市区某路公交线路为典型路段,说明统计过程中平均车速的几种统计计算方法。

#### 4.1 概率平均车速

通过统计计算,得出各个车速段的使用概率分布,如图2所示。取各个车速段的中间值为计算基准计算概率平均车速。计算公式如下。

$$\bar{v} = \sum_{i=1}^m v_i p_i \quad (3)$$

其中  $\bar{v}$  为概率平均车速,  $v_i$  取车速段车速平均值,  $m$  为时段数,  $p_i$  为车速段概率。以图2中的概率分布计算的此路线平均技术车速为 20.26km/h。

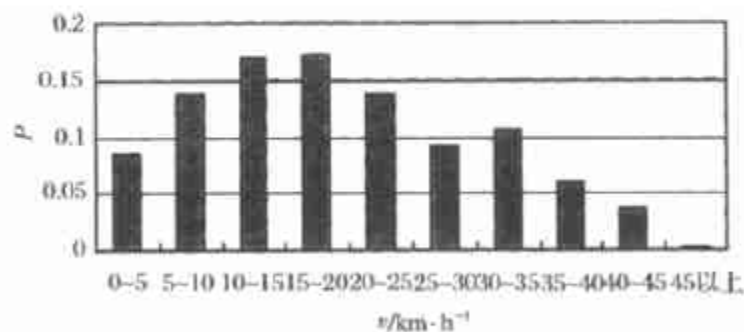


图2 各车速段使用概率分布

#### 4.2 时间平均车速

以时间段为测量基准,统计若干天同一时间段的平均车速。

$$\bar{v} = \left[ \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{T_i} \right] \frac{1}{n} \quad (4)$$

式中  $L_i$  为某时间段  $T_i$  内行驶距离;  $T_i$  为行驶时间;  $n$  为测试天数。图3显示了7:00~14:00以1小时为时间分段的平均车速。从图中还可以看出不同时间段平均车速的变化情况,从而确定运营中不

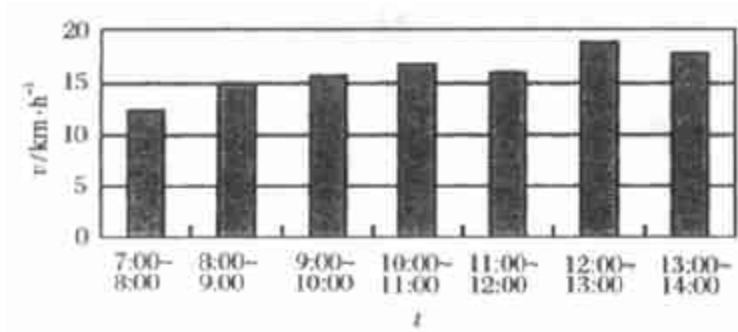


图 3 不同时间段平均车速

同时间段同一路线的行车时间,对公共汽车调度,发车时间调节提供依据。通过对各个时间段的车速进行平均,可以计算全天的车辆行驶平均车速。各个时间段在一天中出现的概率均等,所以按公式  $\bar{v} = \sum_{i=1}^m (\bar{v}_i \sqrt{m})$  计算平均车速,  $\bar{v}$  为全天时间平均车速,  $\bar{v}_i$  为分时段计算的平均车速,  $m$  为时段数。按此法计算此路车的平均车速为 16.75km/h, 平均技术车速为 20.77km/h。

4.3 加权平均车速

表 1 不同时间段加权系数

时间段	7:00—8:00	8:00—9:00	9:00—10:00	10:00—11:00	11:00—12:00	12:00—13:00	13:00—14:00
加权系数 $k_i$	0.171	0.185	0.137	0.137	0.068	0.151	0.151

5 不同类型道路平均车速分布规律

在不同类型的道路上,道路特征、道路交通量是影响公共汽车平均车速的主要因素。图 4 中给出了不同类型道路典型公共汽车线路平均车速的情况。其中路线 1、2、3 为一般市区道路;路线 4、5、6 为环线准高速路,且依次属于二环,三环和四环;路线 7、8、9 为市郊道路。从图 4 中可以明显看出,公共汽车最高平均车速为最低平均车速的 2 倍,体现出不同路面上交通量、道路条件的差别。一般市区道路由于交通量大、车流密集、车辆行驶路况复杂,公共汽车平均车速主要分布在 13~18km/h 之间,平均技术车速在 16~23km/h 之间,明显低于环线准高速路和市郊道路。在环线准高速路上,虽然车流量大,但没有红绿灯,车流顺畅,公共汽车平均车速主要分布在 25~34km/h 之间,平均技术车速在 27~37km/h 之间。随距市中心距离增加,二环,三环和四环车流量、人流量逐步减小,平均车速呈上升趋势。在市郊道路上,由于道路车流量和人流量相对较小,总体平均车速较高。在这种道路上,公共汽车平均车速的离散性最大,主要分布在 23~37km/h 之间,平均技术车速在 26~40km/h 之间。形成这

在实际统计工作中,只测量类似时间段中的一段,其他时间段按类似程度定义一个加权系数。根据试验经验,定义 7:00~14:00 各个时间段的加权系数如表 1 所示。加权系数大小在 0~1 之间,且  $\sum_{i=1}^m k_i = 1$ ,  $k_i$  为加权系数。

加权平均车速为

$$\bar{v} = \sum_{i=1}^m \bar{v}_i k_i \tag{5}$$

其中,  $\bar{v}_i$  为某时间段平均车速;  $\bar{v}$  为加权平均车速。按表 1 的加权系数及图 3 中各时段的平均车速计算的全天加权平均车速为 16.63km/h。同样方法可得平均技术车速为 20.62km/h。

从上述三种平均车速计算方法的计算结果看,误差率在 3%之内。所以均可以作为平均车速的统计方法。其中加权平均车速法最为实用且节约试验时间,所以在实际多条公交线路测试中采用。

种状况主要是由于市郊道路路面状况差别大,既有穿越村镇的公路也有连接市区与乡镇的高速公路。车站密集度受乡镇居民区和工业区分布影响在市郊分布差别大也在很大程度上影响了平均车速。

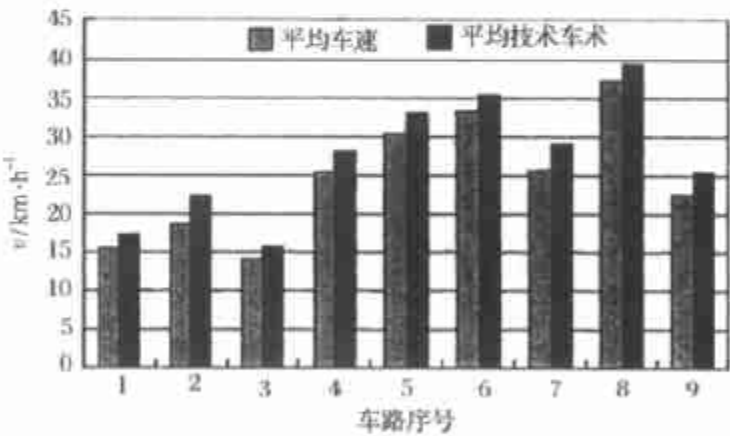


图 4 不同道路典型路线公共汽车平均车速

6 平均车速的统计分布规律

运用加权平均车速法对北京市多条公共汽车线路的平均车速进行统计分析,其统计结果的概率分布运用矩形图表示如图 5。图中矩形面积大小表示概率,图中曲线为取其车速分段中间值的概率分布拟合曲线。假设在上述车速分段中,概率成均匀分布,所以取概率分布分段车速中间值估计整体概率分布的均值和方差。均值和方差计算公式如下。

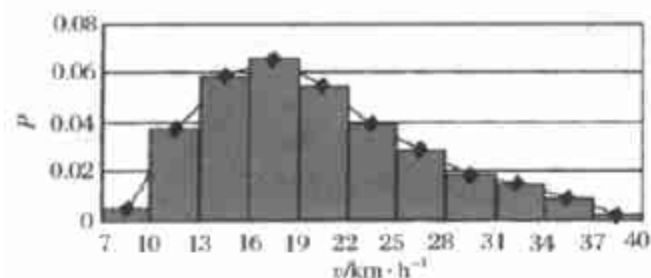


图5 平均车速统计分布

$$\begin{cases} \mu = E(x) = \sum_{i=1}^{11} \bar{v}_i P_i \\ \sigma^2 = E(x^2) - \mu^2 = \sum_{i=1}^{11} \bar{v}_i^2 P_i - \mu^2 \end{cases} \quad (6)$$

式中,  $\mu$ 、 $\sigma^2$  分别代表均值和方差;  $\bar{v}_i$  为分段后各段车速的中间值;  $P_i$  为各段车速概率。方差和均值的计算结果为:  $\mu = 20.059$ ,  $\sigma^2 = 444.334$ 。

从图5的拟合曲线分析,此概率分布结果与对数正态分布相似。对数正态分布的概率密度函数和其均值、方差分别为:

$$f(x) = \begin{cases} 0 & x \leq 0 \\ \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}} & x > 0 \end{cases} \quad (7)$$

$$\begin{cases} \mu' = e^{\mu + 0.5\sigma^2} \\ \sigma'^2 = e^{2\mu + \sigma^2}(e^{\sigma^2} - 1) \end{cases} \quad (8)$$

令对数正态分布的均值和方差分别等于实际统计计算概率分布的均值和方差,即  $\mu' = 20.059$ ,  $\sigma'^2 = 444.334$ 。利用公式(8)可以计算对数正态分布中的参数  $\mu$  和  $\sigma$ , 其结果分别为  $\mu = 2.949$ ,  $\sigma = 0.315$ 。将计算结果代入对数正态分布概率密度公式(7), 得

$$f(x) = \begin{cases} 0 & x \leq 0 \\ \frac{1}{0.315x\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln x - 2.949)^2}{2 \times 0.0992}} & x > 0 \end{cases} \quad (9)$$

根据概率密度公式绘制概率分布曲线与实际分布拟合曲线对比,如图6所示。

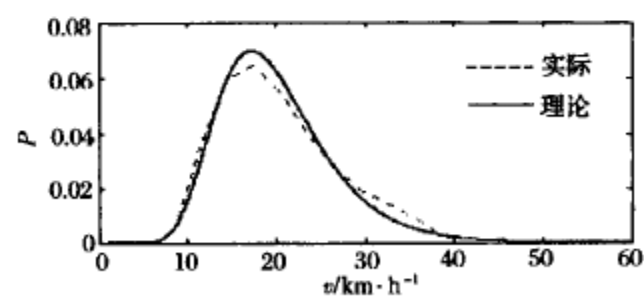


图6 平均车速分布概率实际与理论对比

从图中可以看出,北京市超过90%公共汽车的平均车速集中在10~30km/h之间,且在13~22km/h的概率最大,此平均车速范围占据了总体分布的60%。运用理论方法,即概率公式:

$$P = \int_{v_1}^{v_2} \frac{1}{0.315x\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln x - 2.949)^2}{2 \times 0.0992}} dx \quad \text{计算各个平均}$$

车速段的概率值。其结果与实际统计分布结果的对比如表2所示。按此概率模型,理论与实际概率差绝对值的最大值为0.0204,在一定程度上体现了理论与实际的接近程度。运用区间估计理论,可以对理论与实际的接近度作进一步的说明。假设对数正态概率分布方差已知,在实际的平均车速概率分布中,假设在各个车速分段中概率成均匀分布。在上述条件下,均值在不同置信水平的置信区间中理论与实际概率的误差率如表3所示,其中最大的误差率小于5%。概率模型做到了对实际情况很好的近似,随着统计数据的增加,平均车速概率分布必将进一步逼近理论的对数正态分布概率模型。

表2 理论与实际概率分布对比

车速/(km/h)	7~10	10~13	13~16	16~19	19~22	22~25
概率(实际)	0.015	0.112	0.176	0.197	0.165	0.118
概率(理论)	0.0194	0.0916	0.1769	0.2072	0.1803	0.1307
概率差的绝对值	0.0044	0.0204	0.0009	0.0102	0.0153	0.0127
车速/(km/h)	25~28	28~31	31~34	34~37	37~40	
概率(实际)	0.086	0.055	0.043	0.027	0.06	
概率(理论)	0.0842	0.0502	0.0285	0.0156	0.0084	
概率差的绝对值	0.0018	0.0048	0.0145	0.0114	0.0024	

表3 不同置信水平理论与实际概率值误差率

置信水平	95%	90%	85%	80%	70%
置信区间	11.05~35.95	13.06~33.94	14.36~32.64	15.36~31.64	16.92~30.08
概率(理论)	0.934	0.847	0.773	0.692	0.566
概率(实际)	0.926	0.835	0.741	0.681	0.544
误差率(%)	0.8	1.3	4.2	1.59	3.8

## 7 结论

(1)确立了平均车速调查路线选择原则和方法。

(2)通过对北京市多条公共汽车线路平均车速的统计,总结车辆功率水平、安全要求和道路交通量是公共汽车平均车速的重要影响因素。在不同道路类型上,交通量是平均车速的主要影响因素。

(3)建立了公共汽车平均车速统计计算的三种方法,确立加权平均车速统计方法为公共汽车平均车速的最佳统计计算方法,并得出了分时段加权统计的加权系数。

(4)总结了不同类型道路公共汽车平均车速的分布情况,建立了北京市公共汽车平均车速实际概率分布模型,得出北京市超过90%公共汽车的平均

(下转第242页)

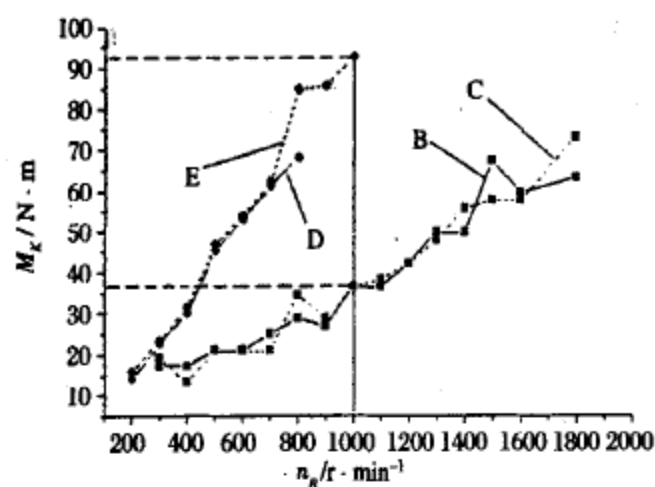


图 5 安装活动阀片组件前后的转速-力矩试验曲线

## 5 结论

通过对车用大功率液力减速制动器样机设计和试验研究,得以下结论。

(1)通过建立液力减速制动器工作油液循环流动时的内特性的数学模型,导出了液力减速制动器制动力矩与泵轮转速、结构参数的数学计算关系式。并对计算中主要能量损失系数的选取和计算方法进行了讨论。

(2)结合液力减速器内特性计算的数学模型,建

立了减速器空转时空气鼓风损失的数学模型,即研究了减速器在不同工作介质(油液和空气)时,其能量损失系数的不同选取方法。并针对液力减速器空转鼓风损失较大的特点,采用了解决这一问题的新型结构设计。

(3)以上述计算模型为理论基础,研制出了车用大功率液力减速器的样机,并进行了液力减速器的转速-制动力矩性能试验以及空气鼓风损失试验。试验结果表明,与液力减速制动器的计算模型有较好的吻合。计算模型可以为以后的设计工作提供参考。

## 参考文献

- 1 朱经昌,魏宸官,郑慕侨.车辆液力传动(上下册).北京:国防工业出版社,1982
- 2 Cooney Timothy J, Mowatt Jol E. Development of a Hydraulic Retarder for the Allison AT545R Transmission. SAE 952606
- 3 Cooney Timothy J, Paub Roberto Cassoli Mazzali, The MT643R-An Automatic Transmission with Retarder for the Latin American Market. SAE 973127
- 4 西安交通大学透平压缩机教研室.离心式压缩机原理.北京:机械工业出版社,1980
- 5 李世煌.水泵设计教程.北京:机械工业出版社,1990

(上接第 222 页)

车速集中在 10~30km/h。确定了理论对数正态分布模型的基本参数。对公共汽车及今后电动公共汽车选型,运营模式确定,运营成本分析,以及公交车设计要求,能耗标准制定等方面据有实际的参考价值。

## 参考文献

- 1 余志生.汽车理论.北京:机械工业出版社,1997

- 2 周溪召,范炳全.动态路线行程时间研究.上海理工大学学报,1999,(4)
- 3 何仁,舒昌洪.汽车行驶工况的统计分析.江苏理工大学学报,1998,(6)
- 4 李东军,郁增德等.中国典型城市车辆行驶状况的测试统计.汽车技术,1998,(3)
- 5 吴翊,吴孟达,成礼智.数学建模的理论与实践.长沙:国防科技大学出版社,1999
- 6 杨延相,蔡晓林,杜青等.天津市道路汽车行驶工况的研究.汽车工程,2002,24(3)