

高等级公路收费站通行能力分析

丁创新, 曾应昆

(昆明理工大学 交通工程学院, 云南 昆明 650224)

摘要: 高等级公路收费站的通行能力直接影响着路段通行能力, 从而在总体上制约着公路的交通运行状况. 因此提高高等级公路收费站的通行能力和服务水平, 是改善高等级公路通行能力及服务水平的有效方法. 本文根据高等级公路收费站交通流特性的分析, 建立了收费站的排队模型. 在深入分析实地调查数据的基础上, 应用 M/G/K 模型, 计算出了适合在不同服务水平下的收费站最大服务交通量, 并提出了分析收费站通行能力的方法.

关键词: 高等级公路; 收费站; 通行能力

中图分类号: U412.366.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-855X(2005)06-0090-04

Traffic Capacity Analysis of High - Level Highway Tollgates

D NG Chuang-xin, ZENG Ying-kun

(Faculty of Communication Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650224, China)

Abstract: The traffic capacity of tollgates on the high - level highways influences the traffic capacity of highway section directly, thus the traffic conditions is restricted on the whole. So improving the traffic capacity of the tollgates and their service level is an effective method. According to the analysis of the traffic flow characteristics on the highways, a tollgate model of standing in line is set up in this paper, and the maximum service volume of different level of service is presented through analyzing the field data in detail with M/G/K model. The method to analyze traffic capacity of tollgates is put forward.

Key words: high - level highway; tollgate; traffic capacity

0 引言

公路收费站是公路交通流的瓶颈, 收费站的通行能力直接影响着路段通行能力, 从而在总体上制约着收费公路的交通运行状况. 因此研究收费站的通行能力是解决道路通畅的保证, 是规划建设收费站的依据, 是进行收费站设计和经济评价的基础, 也是研究各种收费系统的依据. 对于公路收费站的通行能力, 国内外学者均作了一定的研究^[3]. 美国、日本等国部分学者以等候理论为基础, 将高峰小时流量依车种分配到各收费站, 将收费站的通过流量视为车辆平均到达率, 将通过收费站时间视为服务时间, 经过等候理论模型推导, 求出收费站平均每车等候时间与平均车辆等候长度, 从而评估收费站的服务水平. 其它发达国家对收费站的通行能力研究也仅限于经验值. 我国台湾省以排队理论为基础, 在高峰小时, 按车型分派到各收费车道. 根据收费站上游的车辆平均到达率以及收费站的服务时间, 利用排队理论模型, 推导出每车在收费站前平均等候时间与平均排队长度, 从而评估收费站的服务水平. 我国大陆对通行能力的研究起步较晚, 但在路段、路口实际调查以及理论研究方面做了许多工作, 并取得了一些阶段性成果. 国内对公路收费站通行能力的研究处于起步阶段, 以往进行收费站设计时, 通常根据工作人员的经验, 采用估计值, 并以收费站通行能力大于路段通行能力为原则进行, 常出现一定的偏差. 因此, 开展收费站通行能力的研究, 形成一套规范的指标迫在眉睫.

收稿日期: 2004 - 11 - 18 **基金项目:** 云南省交通厅科技基金 (项目编号: 117ATST2001).

第一作者简介: 丁创新 (1975. 8 ~), 男, 在读硕士研究生. 主要研究方向: 高等级公路收费站通行能力.

E - mail: dcx_xinxin@hotmail.com

1 高等级公路收费站的交通特性

公路收费站通行能力研究的基础与前提是利用数学方法来描述交通流的具体特征,在研究上最早采用的是概率论,其后出现了跟驰理论、流体力学理论和车队排队理论.在公路收费站通行能力研究中,主要采用概率论和车队排队理论.

1.1 车辆到达分布

根据交通流理论,交易量较小的路段上车辆的到达分布符合泊松分布(Poisson),即一定时间间隔内到达收费站的车辆分布符合泊松流.公路路段上的交易量一般较城市道路路段交通量小,可以用泊松分布描述车辆的到达.

t 时间间隔内到达收费站的车辆数为 n 的概率为:

$$P(n) = \frac{(\lambda t)^n e^{-\lambda t}}{n!}$$

式中: λ —车辆的单位时间平均到达率(辆/h).

通过现场观测,可以发现车辆到达收费站(某时段)符合以下条件: 车辆到达是随机的; 在任意小的时间段内车辆到达率与时间的长度成正比; 任意小的时间段中车辆到达的概率不受以前到达的影响.

当车辆到达比较拥挤,自由行驶机会不多时,采用二项分布来描述车辆到达规律.

$$P_k = C_n^k \left(\frac{\lambda t}{n}\right)^k \left(1 - \frac{\lambda t}{n}\right)^{n-k} \quad (k = 0, 1, 2, 3, \dots, n)$$

式中: P_k —在计数间隔 t 内到达 k 辆车的概率; λ —平均车辆到达率(辆/s); t —每个计数间隔持续时间; n —正整数.

1.2 车辆服务时间分布

根据服务时间的分布拟合检验发现:一般情况下,车辆领卡或领验票的服务时间服从正态分布,交费找零服务中包括两种服务:其一是无找零的服务时间,这种服务也符合正态分布;其二是找零服务时间,该服务时间与正态分布虽有一定的偏差,但假设检验证明符合正态分布.表 1 给出了昆曲高等级公路某一收费站服务时间统计结果.

表 1 服务时间统计参数结果

平均收费时间 /s	8.6
服务时间方差 ²	5.5

1.3 车辆离开时间

根据离开时间定义,不同车型的离开时间明显存在差异,鉴于交通流中特大型车比例很小,调查中得到的样本数据太少,不能说明一般情况,因此表 2 仅列出了小型车和大中型车两种车型的离开时间均值和方差.

表 2 不同车型离开时间统计参数

Tab 2 Statistical parameters of leaving time of different type of vehicles

小型车	平均收费时间 /s	5.5
	收费时间方差 ²	1.83
大中型车	平均收费时间 /s	8.3
	收费时间方差 ²	5.5

2 公路收费站车辆延误分析

车辆通过收费站的延误时间是进行收费站车辆折算系数研究和评价收费站服务水平研究的重要依据之一.当车辆通过收费站时,其延误主要包括以下几个部分.

1) 车辆进入收费站的减速时间 $t_1 = \frac{v_0}{3.6a_1}$ (1)

2) 车辆在收费站的平均逗留时间 $W = E[S] + W_q$ (2)

3) 车辆驶离收费站的加速时间 $t_2 = \frac{v_0}{3.6a_2}$ (3)

式中: v_0 —正常车流车速, km/h; a_1 —车辆的减速度, m/s²; a_2 —车辆的加速度, m/s²; W_q —平均排队时间,

s $E(S)$ —服务时间期望值, s

平均延误时间主要通过调查车辆通过收费站上下游两个观测断面的时间差获取. 在实际应用中, 公式(1)、(3)的计算时间在不同交通量条件下一般无大的差异. 但不同交通量会导致平均逗留时间明显不同, 公式(2)是延误计算的重点.

3 收费站通行能力计算

3.1 收费站车辆折算系数

收费站的通行能力分析需要度量不同车型对收费通道通行能力的影响程度, 通常以车辆折算度量其影响程度. 根据调查得知, 主线收费站的交通组成与路段一致, 小型车在交通流中的比例远高于其他车辆(约70%)^[1]. 因此, 收费站的车辆折算系数标准车型选用小型车.

表3 收费站车辆折算系数

Tab 3 Converting coefficient of vehicles in tollgate

车型	车辆折算系数
小型车	1.0
大中型车	1.3
特大型车	1.7

从前面的研究可知, 不同车型对收费站通行能力的影响程度主要表现为离开时间(因为我们不再区分不同车型的服务时间分布差异性)的不同. 因此, 在收费站通行能力研究中, 车辆折算系数的计算标准为收费时间. 根据收费时间的不同, 计算得到适合云南省收费站通行能力分析的车辆折算系数, 如表3所示, 其中特大型车的折算系数为外推计算而得.

3.2 单通道通行能力

收费车道的基本通行能力是指道路与交通处于理想情况下, 每一条收费车道在单位时间内能够通过的最大交通量. 按下面公式计算

$$C_b = \frac{3600}{T_s + T_G} \quad (4)$$

式中, C_b —收费车道的基本通行能力; T_s —标准车服务时间; T_G —标准车离开时间.

收费站的理想道路条件是指收费车道宽度不小于3m, 收费岛的宽度不小于2.2m, 收费岛的长度不小于30m, 收费广场具有开阔的视野, 良好的平面线形和路面情况^[3]. 理想的交通条件是指车辆组成为单一的标准车, 即小型车, 车辆之间保持适当的最小车头时距, 且无任何方向的干扰. 实际观测的收费车道一般均能满足理想的道路条件. 利用小型车的服务时间和离开时间可以计算出不同类型收费站收费车道的基本通行能力. 由公式可知: 收费车道的基本通行能力与收费时间成反比.

3.3 多通道通行能力

从以上分析可知: 在具有多通道情况下, 选择M/G/K排队模型可较好地描述收费站的实际运行状态, 公式(5)~(9)是M/G/K模型的统计参数计算公式.

平均排队时间:

$$W_q = \frac{D[S+G] + [E[S+G]]^2}{2E[S+G] + [K - E[S+G]]} \cdot \left[1 + \sum_{i=0}^{K-1} \frac{(K-1)! [K - E[S+G]]}{i! [E[S+G]]^{K-i}} \right]^{-1} \quad (5)$$

$$\text{平均逗留时间: } W = E[S+G] + W_q \quad (6)$$

平均排队长度:

$$L_q = \frac{D[S+G] + [E[S+G]]^2}{2E[S+G] + [K - E[S+G]]} \cdot \left[1 + \sum_{i=0}^{K-1} \frac{(K-1)! [K - E[S+G]]}{i! [E[S+G]]^{K-i}} \right]^{-1} \quad (7)$$

由于服务时间和离开时间均服从正态分布, 因此下面公式成立:

$$E[S+G] = E[S] + E[G] \quad (8)$$

$$D[S+G] = D[S] + D[G] \quad (9)$$

式中: λ —平均来车强度; K —收费车道数; $E[S]$ —服务时间期望值; $E[G]$ —离开时间期望值; $D[S]$ —服务时间的方差; $D[G]$ —离开时间的方差.

根据M/G/K排队论模型, 利用收费站服务时间和离开时间的期望和方差, 可以计算出各种收费站在

不同收费车道数以及不同排队程度下可以处理的最大车辆数.表 4 是根据昆曲高等级公路某收费站的调查结果所得的计算值.

表 4 主线收费站可以服务的最大小时流量

Tab 4 Largest hour volume which the thread charge station can serve

K	1	2	3	4	5	6	7	8
1	160	171	180	187	195	201	205	208
2	326	346	357	365	372	378	383	386
3	489	516	537	552	563	572	579	583
4	662	697	721	739	751	759	765	769
5	845	881	912	930	944	953	958	961
6	1 031	1 089	1 132	1 168	1 189	1 208	1 219	1 226

从表 4和图 1的结果可以看出,随着收费通道数的成倍增加,可以服务的车辆数并不呈相同比例地增加,而是要稍微偏大一些,这是由于车辆到达后在有多通道时,车辆的分配不是简单地按通道数平均分配,因此用 M/G/K模型更能表现收费通道车辆分配的实际情况.同时研究表明,在不同类型的收费站中,在相同的收费车道数下,排队车辆数不同导致收费站能处理的车辆数也不同,随着排队车辆数的增加,收费站能够处理的车辆数也在不断增加.平均排队车辆数从 1辆增加到 4辆时,收费站的通行能力增加幅度较大;从 4辆到 6辆时,收费站的通行能力增加幅度趋缓;从 6辆到 8辆时,收费站的通行能力增加幅度进一步减缓.

4 收费站服务水平等级的确定

收费站的服务水平是描述收费站内部交通流的运行条件对司机与乘客感受的一种质量标准.一般评价收费站服务水平标准有:收费时间的长短、车辆在收费站延误时间的长短、排队长度的长短.研究表明:收费时间的长短受收费制式、收费设备以及收费人员素质等的影响较大.车辆在收费站的延误时间的长短虽然可以较好地评价收费站的交通条件质量,但易造成在相同的延误下,不同类型收费站的服务水平不一致且延误数据不易获得、精度低.

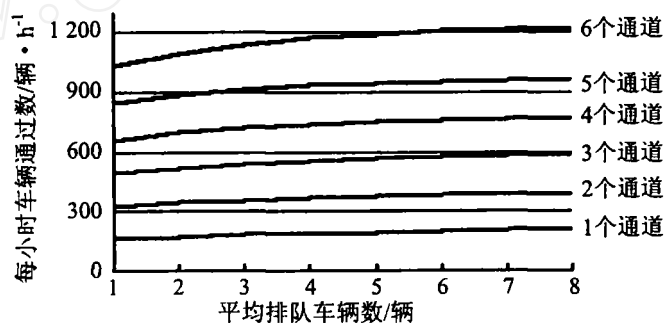


图1 主线收费站可以服务的最大小时流量

Fig.1 Largest hour volume which the thread charge station can serve

目前我国高等级公路收费站的服务水平可以采用车辆的平均排队等候时间来划分服务水平.

服务水平 A——车辆到达,可随时进入收费通道接受服务,无须排队等候;

服务水平 B——收费站前短时间内有车队形成,少部分车辆需停等,大部分车辆可无须停等进入收费站接受服务;

服务水平 C——收费站前逐渐形成车队,平均每个收费通道前有一辆车排队等候,驾驶员有延滞感;

服务水平 D——收费站前平均有三辆车排队等候,到达车辆须排队缓慢驶入收费站;

服务水平 E——收费站前平均有十辆车排队等候,驾驶员逐渐难以忍受长时间地等候;

服务水平 F——收费站前车辆排成长队,且后续车辆不断到达,服务率有限.

(下转第 104页)

果我们将类型转换者看作投资机构追逐最佳类型,我们的模型则与机构影响资产价格的理论相连.

2 结语

类型思维是人类思维的普遍现象之一,这一思维引致投资者的类型投资行为,也就是投资者将资产分为若干类型,并基于此在类型层面上分配资金,而不是在单个资产上分配资金,这一理论有助于解释市场资产共同运动现象.在先前类型投资理论中强调积极反馈类型投资者的作用,而忽视市场中另一群体反向类型投资者的存在,本文试图将这两部分市场成员都考虑在类型投资模型之中,并将转换者类型回报预期变量引入模型.目前国内外对类型投资的研究尚处于初步阶段,而对这个领域的深入研究可能提供一个新的视角与方式审视现存实证现象.

参考文献:

- [1] Barberis N, Shleifer A. Style investing[J]. Journal of Financial Economics, 2003, 68: 161 ~ 199.
- [2] Barberis, Nicholas, Andrei Shleifer, Jeffrey Wurgler. Comovement[A]. Mimeo, University of Chicago, 2002.
- [3] De Long JB, Shleifer A, Summers LH, Waldmann RJ. Noise Trader Risk in Financial Markets[J]. Journal of Political Economy, 1990, 98: 703 ~ 738.
- [4] Heit E. A Bayesian analysis of some forms of inductive reasoning[A]. In: Oaksford M, Chater N (Eds). Rational models of cognition[C]. Oxford: Oxford University Press, 1998. 248 ~ 274.
- [5] Ezra W Zuckerman, Hayagreeva Rao. Shrewd, Crude, or Simply Deluded? Comovement and the Internet Stock Phenomenon [Z], working paper, MIT Sloan School of Management, 2003.
- [6] Rosseel Y. Mixture Models of Categorization[J], Journal of Mathematical Psychology, 2002, 46: 178 ~ 210.
- [7] 何丽君,梁钧.股指期货对A股市场的影响及券商对策[J].经济理论与经济管理,2002,(3):42~44.
- [8] 何丽君,等.类型投资的思维机制探究[J].山西财经大学学报,2004,(4):128~131.
- [9] 何丽君.指数化类型投资行为的存在性研究[J].系统工程理论方法应用,2005,(2):162~165.

(上接第93页)

在公路收费站的规划、设计或评价时,根据标准延误流量曲线,通过各级服务水平的修正得到服务通行能力.在实际应用过程中,通常采用高峰小时的C级服务通行能力作为设计依据,D级服务通行能力作为评价依据.

5 结束语

本文通过昆曲高等级公路收费站的实地调查数据的分析,给出了收费站服务水平划分建议标准,根据对交通量的预测可确定收费站的分期修建.通过对公路收费站交通流运行特征和分布特性的分析,确定了影响公路收费口车辆延误的因素,提出了公路收费站车辆当量系数换算方法.在由延误确定收费站服务水平的基础上,得出了公路收费口的通行能力计算方法.在公路收费站的规划、设计或评价时,还可以结合收费站的受阻车辆、延误时间、排队长度、设计交通量、车种组成、收费道数等因素综合考虑,通过分析以得到符合实际的服务通行能力.

参考文献:

- [1] 徐吉谦.交通工程总论[M].北京:人民交通出版社,1991.51~57.
- [2] 沈志云.交通工程学[M].北京:人民交通出版社,1999.108~115.
- [3] 任福田.道路通行能力[M].北京:中国建筑工业出版社,1990.78~80.
- [4] 王炜.城市交通规划理论与方法[M].北京:人民交通出版社,1992.202~236.
- [5] 张智勇,曲峰.M/G/K排队模型的北京地区高速公路收费站通行能力研究[J].公路,2001,(7):128~133.
- [6] 周刚,常成利.高速公路收费站通行能力研究[J].公路交通科技,2001,18(3):56~59.
- [7] 郑建兴,江平.泉夏高速公路收费站设计[J].公路交通科技,1995,12(4):24~30.
- [8] 邓卫,吴海翔.公路收费口通行能力研究[J].中国公路学报,2000,13(2):87~90.