

文章编号: 1002-0268 (2001) 03-0056-04

高速公路收费站通行能力研究

周 刚¹, 常成利²

(1. 广东省交通科研所, 广东 广州 510420; 2 交通部公路科学研究所, 北京 100088)

摘要: 收费站的通行能力分析是公路建设中设计收费站时的一项重要工作。本文在深入分析实地调查数据的基础上, 应用 M/G/K 模型, 计算得到适合我国国情的在不同服务水平下的收费站最大服务交通量, 并提出了一套分析收费站通行能力的计算方法。

关键词: 高速公路; 收费站; 通行能力; 服务水平

中图分类号: U495; U412 366 1 **文献标识码:** A

Expressway Tollgate Capacity Study

ZHOU Gang¹, CHANG Cheng-li²

(1. Guang Dong Province Research Institute of Communication, Guangdong 510420 China;
2. Research Institute of Highway MOC, Beijing 100088, China)

Abstract: Tollgate capacity analysis is very important in expressway design phase. This paper presents the maximum service volume of different level of service (LOS) through analyzing the field data in detail with M/G/K model and a set of calculation method.

Key words: Expressway; Tollgate; Capacity; LOS

0 概述

“借贷修路, 收费还钱”是国外许多国家进行公路建设的成功经验, 我国近 10 年来在这方面也取得了长足进步。广东省作为我国最早改革开放的省份之一, 新建高速公路及国道主干线的改造基本上采用了这一模式, 建设收费道路必须建设相应的收费系统。收费系统中最主要的组成部分是收费站。收费广场所需的车道数是由交通量、单个收费通道的通行能力和设计服务水平等级 3 个因素决定的。收费站的大小和收费通道的多少对建设初期的土建投资以及运营管理费用有决定性的影响。根据经验资料, 在有效经营的情况下, 运营成本与收入比率为 5%~10%, 如果经营不善, 则可能高达 30%以上。目前, 我国关于收费站通行能力方面的研究尚处于起步阶段, 现有的设计指标基本上沿用国外的研究成果。因此, 确定适合我国实际状况的收费站通行能力指标体系具有十

分现实的社会、经济意义。

目前, 广东省高速公路收费站的收费制式主要有两种: 一种是单一收费制, 另一种是按里程收费制(封闭收费)。两种收费制式的收费站在收费公路上的布置方式如图 1、图 2 所示。



图 1 单一收费制的收费站布置示意图

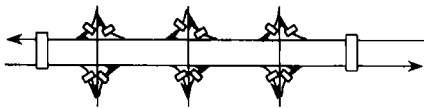


图 2 封闭收费的收费站布置示意图

单一收费制是一种最简单的收费制式, 一般用于地方公路或较短的高速公路, 封闭收费制是高速公路最常见的收费方式。在各种形式的收费站中, 主线收

费站是高速公路交通的瓶颈，如何确定收费通道的数量和开启多少通道来满足交通需求是一个非常具有实际意义的工作。本文以广东省具有代表性的高速公路主线收费站为研究对象，为收费站的设计和建设运营提供可靠的参数，结论同样适用于匝道收费站。

1 高速公路收费站的交通特性

1.1 车辆到达、离散特性

收费车辆在收费站前减速进入收费广场，选择某一收费通道交费，车辆的到达特性实际上与某一断面的车头时距有着密切关系，车头时距反映了车辆到达的时间间隔，正常情况下，主线收费广场车辆到达特性与上游路段的车辆到达特性是一致的，主线路段的车辆到达符合泊松分布，车头时距符合负指数分布，这表明收费广场的车辆到达也符合泊松分布。其离散过程是与到达过程相对应的。

1.2 收费时间的统计特性

目前，公路收费仍以计算机辅助的人工收费为主，不停车收费极少。因此，本文研究重点仍以人工收费系统为主。为研究工作的方便，我们定义收费时间包括服务时间和车辆离开时间两部分。服务时间是指从接受服务的车辆停车接受服务至车辆开动的一段时间；车辆离开时间为本车驶离收费口，后车到达并停驶的一段时间。

1.2.1 服务时间

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。图3是广州北环广氮收费站的服务时间的统计分布图，表1给出了相应的统计结果。

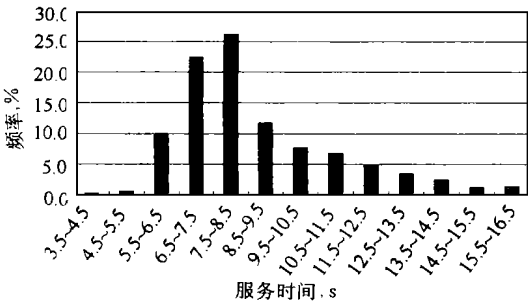


图3 服务时间统计分布

1.2.2 离开时间

根据离开时间定义，不同车型的离开时间明显存

服务时间统计参数结果		表 1
平均收费时间 (s)	8.6	
服务时间方差 σ^2	5.5	

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。

不同车型离开时间统计参数		表 2
小型车	平均收费时间 (s)	5.5
	收费时间方差 σ^2	1.83
大中型车	平均收费时间 (s)	8.3
	收费时间方差 σ^2	5.5

1.3 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

$$t_1 = \frac{V_0}{3.6a_1} \tag{1}$$

(2) 车辆在收费站的平均逗留时间

$$W = E[S] + W_q \tag{2}$$

(3) 车辆驶离收费站的加速时间

$$t_2 = \frac{V_0}{3.6a_2} \tag{3}$$

式中， V_0 ——正常车流车速，km/h；

a_1 ——车辆的减速度， m/s^2 ；

a_2 ——车辆的加速度， m/s^2 ；

W_q ——平均排队时间，s；

$E(S)$ ——服务时间期望值，s。

平均延误时间主要是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。

2 收费站通行能力计算

2.1 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%左右)。因此，收费站的车辆折算系数标准车型选用小型车。

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，计算得到适合广东省收费站通行能力分析的车型折算系数，如表 3 所示，其中特大型车的折算系数为外推计算而得。

收费站车辆折算系数 表 3

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

2 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

$$C_b = \frac{3600}{T_s + T_G} \tag{4}$$

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。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。

2 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：

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

平均逗留时间：

$$W = E[S+G] + W_q \tag{6}$$

平均排队长度：

$$L_q = \frac{\lambda D(S+G) + \lambda [E(S+G)]^2}{2E(S+G)[K - \lambda E(S+G)]}$$

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

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：

$$E[S+G] = E[S] + E[G] \tag{8}$$

$$D[S+G] = D[S] + D[G] \tag{9}$$

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 是根据广州北环高速广氮收费站的调查结果所得的计算值。

主线收费站可以服务的最大小时流率 表 4

k	1	2	3	4	5	6	7	8
1	210	221	228	233	236	238	240	242
2	426	447	459	468	474	478	482	484
3	645	674	692	703	712	718	723	727
4	866	903	925	940	951	959	966	971
5	1 089	1 132	1 159	1 177	1 190	1 200	1 208	1 214
6	1 313	1 363	1 393	1 414	1 430	1 441	1 451	1 458
7	1 538	1 594	1 628	1 652	1 670	1 683	1 694	1 702
8	1 764	1 826	1 864	1 890	1 910	1 925	1 937	1 946
9	1 991	2 058	2 100	2 129	2 150	2 167	2 180	2 191
10	2 219	2 291	2 336	2 368	2 391	2 409	2 423	2 435

从计算结果上看，随着收费通道数的成倍增加，可以服务的车辆数却不是倍数增加，而是倍数稍微偏大，这是由于车辆到达后在有多个通道时，车辆的分配不是简单的按通道数平均分配，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。

3 收费站服务水平分级

3 1 服务水平的分级指标

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的标准有：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的素质等影响较大。而车辆在收费站的延误时间的长短虽然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。

收费站的平均排队长度是描述收费站内各收费车道等待接受服务的平均车辆数。排队车辆数的多少直接影响司机和乘客对交通条件的感受；排队车辆多，司机和乘客认为将要等待的时间长，反之要等待的时间短。排队车辆的多少容易获得，较直观，可操作性强。本文采用收费通道的平均排队车辆数作为评价收费站服务水平的主要参数。

3 2 分级标准

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的增加。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8辆时，收费站的通行能力增加幅度趋缓；从8辆到10辆时，收费站的通行能力增加幅度进一步减缓。因此，可以把收费站的服务水平划分为4级，各级服务水平描述如下。

一级服务水平：收费站内几乎没有形成排队，大部分车辆没有排队直接进入收费车道接受服务，一部分车辆需要等待一个收费周期就可以接受服务，司机和乘客感觉较为舒适和方便。

二级服务水平：收费站内已经形成排队，但排队长度较短，大部分车辆需要等待两到三个收费周期才能通过收费站，一部分车辆可能会等待较长的时间才能通过收费站，司机和乘客能够感觉到等待，但时间较短。

三级服务水平：收费站内排队长度较长，排队车辆较多，几乎所有车辆需要等待较长的时间才能通过收费站，个别车辆可能会等待更长时间才能通过收费站，司机和乘客感觉到等待明显，且时间较长，部分司机和乘客开始抱怨。

四级服务水平：收费站内形成很长的排队，所有

的车辆必须等待较长的时间才能够通过收费站，有时会发生排队长度持续增长的情况，司机和乘客感觉到明显的不便，不能忍受这种长时间的等待。

根据上述服务水平的描述，由广氮收费站数据统计参数计算得到的服务水平划分和收费站的服务通行能力具体结果见表5。

收费站各级服务水平的最大服务小时流率 表 5

k	服务水平			
	一 级	二 级	三 级	四 级
	$L_q \leq 1$	$L_q \leq 4$	$L_q \leq 8$	$L_q > 8$
1	210	233	242	244
2	426	468	484	489
3	645	703	727	734
4	866	940	971	979
5	1089	1177	1214	1224
6	1313	1414	1458	1470
7	1538	1652	1702	1715
8	1764	1890	1946	1961
9	1991	2129	2191	2207
10	2219	2368	2435	2453

4 结语

本文通过广东省高速公路收费站的大量实地调查数据的分析，给出了收费站服务水平划分及通行能力的建议值，根据远景交通量的预测可确定收费站的分期修建。根据实际交通量的年、月、周、日的变化特性可确定不同服务水平下的收费车道的开启数，以期减少运营成本，具有较为深远的社会、经济价值。

参考文献

[1] Roger P Roess, William R McShane, Elena S Prassas. Traffic Engineering (2nd Edition) Prentice Hall.
[2] Special Report 209 Highway Capacity Manual. Third edition. Washington D C: TRB, National Research Council, 1994.
[3] 饭田恭敬著，邵春福等译. 交通工程学. 人民交通出版社, 1994.