

文章编号: 1002-0268 (2003) S1-0096-05

收费广场通过能力及设计方法的研究

戴国仲¹, 杨 光², 杨 峰², 谢海明²

(1. 河北省京秦高速公路廊坊段管理处, 河北 廊坊 065400; 2 交通部公路科学研究所, 北京 100088)

摘要: 收费广场的设计方法和取值一直沿用日本标准, 通过观测和研究发现与我国的实际情况存在一定偏差, 我国应通过进一步调查研究制定符合国情的设计标准。

关键词: 收费广场; 服务时间; 通过能力; 高峰小时系数; 双向不均匀系数

中图分类号: U412 366 1

文献标识码: A

Study on Toll Plaza Capacity Design Method

DAI Guo-zhong¹, YANG Guang², YANG Feng, XIE Hai-ming

(1. Hebei Jingqin Expressway Langfang Section Administration Office, Hebei Langfang 065400, China;

2 Research Institute of Highway, Ministry of Communications Beijing 100088, China)

Abstract: The design method and parameters for toll plaza were based on those of Japanese Standard. However surveys and studies showed that they were not totally suitable for the concrete situation in China. This paper presents the findings of the surveys and studies and proposes further study to formulate the design standard suitable for the situation in China.

Key words: Toll plaza; Service time; Capacity; Peak hour coefficient; Bi-directional uneven factor

1 问题的提出

决定收费站建设规模最主要的因素是收费广场车道数的计算, 从高速公路建设之初至今, 我国一直沿用日本道路公团制定的《日本高速公路设计要领》第十七章“收费所及其广场的设计标准”。该设计标准根据设计小时交通量、收费所需的服务时间以及服务标准(以平均等待车辆数来衡量)3个要素并运用排队论的方法计算出所需的车道数。其中最核心的要素“服务时间”随收费方法和车辆类型而有所不同, 设计要领选取的开放式 8s、封闭式入口 6s 和出口 14s 的参数是针对小客车车型, 并且是根据日本几条高速公路的经验确定的。

这样的参数是否适用于我国, 以及最近几年出现的省界合建主线站的参数如何选取等, 一直是困扰设计人员的问题。

另外, 随着国民经济和人民收入的稳步增长, 私家车保有量迅速上升, 一些与旅游景点相联系的高速

公路(如北京—秦皇岛高速公路)已表现出典型的季节性旅游的特点, 在旅游高峰时其收费广场规模已经完全不能满足需要, 这些线路的收费广场设计参数应该如何选取也成为设计人员的新课题。

以上这些问题都需要通过现场测试和研究来找到答案, 为此依托《公路工程技术标准》中交通工程及沿线设施的修订工作开展了收费广场通过能力及设计方法的研究。

2 收费广场通过能力测试方法

2.1 车辆通过收费车道的阶段划分

通过现场观察可以将车辆通过收费车道的时间(服务时间)分为3个阶段: 进入阶段、收费处理阶段(入口发券、出口收费)和驶离阶段(见图1和图2)。

进入时间 $\Delta t_1(i) = t_1(i) - t_2(i-1)$

收费处理及驶离时间 $\Delta t_2(i) = t_2(i) - t_1(i)$

通过时间 $\Delta t_3(i) = t_2(i) - t_2(i-1) = \Delta t_1(i) + \Delta t_2(i)$

(1) 进入阶段 当前1辆车(i-1)驶离收费车



图1 收费广场通过能力现场测试

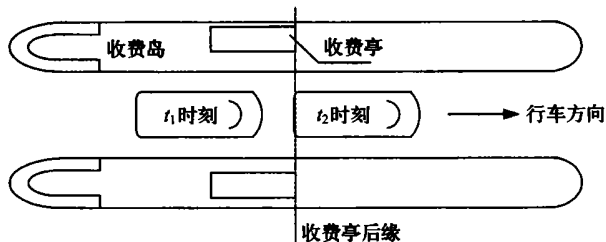
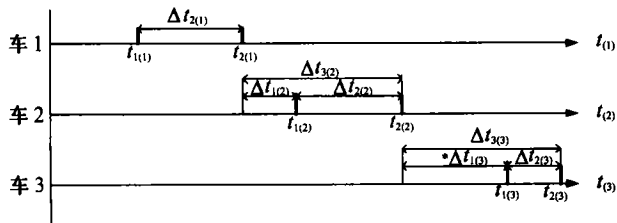
图2 t_1 、 t_2 时刻车辆位置图

图3 各时段关系示意图

图中, $t_m(i)$ m 代表时刻, i 代表车辆

道(车尾到达收费亭后缘)时,即为后 i 辆车 (i) 的进入提供了条件,这一时刻 $t_2(i-1)$ 即为车 (i) 进入阶段的起始时间;当车 (i) 进入车道并在收费亭侧停稳时 (t_1) 进入阶段即告结束,并将开始下一阶段。则 $t_1(i)$ 时刻即是进入阶段的结束时间和收费处理阶段的开始时间。

(2) 收费处理阶段 从车 (i) 停稳,经过发券或交费的过程到开始发动起步为收费处理阶段。

(3) 驶离阶段 从车 (i) 起步到车尾驶离收费亭后缘 (t_2) 为驶离阶段,则 $t_2(i)$ 为车 (i) 驶离阶段的结束时刻,同时也是后一辆车 ($i+1$) 进入阶段的起始时刻。而车 (i) 在收费车道总的通过时间是前车 $t_2(i-1)$ 时刻至本车 $t_2(i)$ 时刻之间的时间。由于研究关心的是每一辆车总的通过时间,所以调查时将后两阶段合为一体,不再记录中间的车辆起步时间。

2.2 理想的最大通过能力、实测的最大通过能力和实测的通过能力

通过实测得到平均每辆车的通过时间后,就可推算出收费车道的通过能力(以辆/h为单位)。

(1) 实测的最大通过能力 实测发现进入阶段所需时间 (Δt_1) 有多有少,最少的为 0s,由于司机或车辆的非正常原因个别可达数 10s,而车型的进入时间大多处在 10s 之内。为了得到更真实的结果,统计时将 $\Delta t_1 > 10s$ 的样本删除。同样,将收费处理及驶离时间明显偏离正常值范围(小型车 $> 25s$, 中型车 $> 30s$, 大型车 $> 35s$) 的样本也予以删除,这样最后统计的结果可以认为是实测的最大通过能力,这也是所需要的统计结果。

(2) 理想的最大通过能力 在前车驶离时,如果后车跟得很紧,那么前车尾部驶离收费亭后缘时后车已在收费亭侧停稳,则进入阶段所需时间为零,这时总的通过时间最少。如果将实测的最大通过能力所取样本车辆的进入时间均设为零,车道的通过能力将达到理论上的最大值,称为理想的最大通过能力。

(3) 实测的通过能力 如果将所有实测样本纳入统计范围就可以得到实测的通过能力,如果样本总数有限时,统计结果将由于个别车辆的偏差而出现很大的离散性,只有进行极大数量的统计才可以得到真实的结果,其值应趋近实测的最大通过能力。

2.3 车型划分及折算系数

本次测试将车型分为 3 类:小型车包括小客车、微型车、皮卡类货车等;中型车包括 20 座以下中型客车、2 轴货车等;大型车包括 20 座及以上客车、3 轴及以上货车等。

本次测试分别统计 3 类车型的通过能力,然后计算大中型车对小型车的折算系数,为将来计算小客车当量提供依据。

3 收费广场通过能力测试结果

3.1 开放式收费广场通过能力测试结果

本次选择陕西西临高速公路灞桥收费广场和北京京通快速路八里桥收费广场进行了测试。

3.1.1 灞桥收费广场

灞桥收费广场 2 个方向各 4 条收费车道,采用人工收费、计算机管理并打印发票的半自动收费方式,车道配有电动栏杆。各种车型收费额未作逢 5 (元)、逢 10 (元) 的归并,所以找零占用时间较长,测试结果见表 1。

3.1.2 八里桥收费广场

八里桥收费广场共 14 条收费车道,其中进京方向 6 条,出京方向 8 条。采用半自动收费方式,车道

配有电动栏杆。各车型费额作了逢 5 逢 10 的归并,找零效率高。测试结果见表 2。

灞桥收费广场统计结果 表 1

车型	有效样本数	实测最大通过能力			理想最大通过能力	
		平均服务时间 (s)	通过能力 (辆/h)	折算系数	平均服务时间 (s)	通过能力 (辆/h)
小型车	70	16. 51	218	1. 00	11. 94	300
中型车	37	18. 95		1. 15		
大型车	27	23. 65		1. 43		

八里桥收费广场统计结果 表 2

车型	有效样本数	实测最大通过能力			理想最大通过能力	
		平均服务时间 (s)	通过能力 (辆/h)	折算系数	平均服务时间 (s)	通过能力 (辆/h)
小型车	215	12. 04	300	1. 00	8. 2	440
中型车	20	18. 10		1. 50		
大型车	11	20. 27		1. 68		

3 1. 3 开放式收费广场通过能力加权平均结果

开放式收费广场加权平均统计结果 表 3

车型	有效样本数	实测最大通过能力			理想最大通过能力	
		平均服务时间 (s)	通过能力 (辆/h)	折算系数	平均服务时间 (s)	通过能力 (辆/h)
小型车	285	13. 14	~ 275	1. 00	9. 12	395
中型车	57	18. 65	~ 190	1. 42		
大型车	38	22. 65	~ 160	1. 72		

3 2 封闭式收费广场入口车道通过能力测试结果

3 2. 1 武宿收费站

武宿主线站采用人工发放非接触式 IC 通行卡(无 IC 卡机)方案,入口车道设有电动栏杆。

武宿站入口车道统计结果 表 4

车型	有效样本数	实测最大通过能力		
		平均服务时间 (s)	通过能力 (辆/h)	折算系数
小型车	16	9. 19	390	1. 00
中型车	7	12. 85	280	1. 40
大型车	7	18. 28	197	1. 99

3 2. 2 大羊坊收费站

大羊坊站采用人工发放纸质磁性通行券(有发券机)方案,入口车道不设电动栏杆。

大羊坊站入口车道统计结果 表 5

车型	有效样本数	实测最大通过能力		
		平均服务时间 (s)	通过能力 (辆/h)	折算系数
小型车	75	6. 08	592	1. 00
中型车	3	12. 00	300	1. 97
大型车	4	13. 00	277	2. 15

3 3 封闭式收费广场出口车道通过能力测试结果

3 3. 1 涿州主线站测试结果

涿州主线站为北京、河北合建共用站,1 个收费亭由 2 方收费员同时完成出口收费和入口发券工作,服务时间与单独出口收费基本相同。北京采用纸质印刷券,河北采用纸质磁性券方案。



图 4 1 亭 2 人的收费操作模式

涿州主线站出口车道统计结果 表 6

车型	有效样本数	实测最大通过能力			理想最大通过能力	
		平均服务时间 (s)	通过能力 (辆/h)	折算系数	平均服务时间 (s)	通过能力 (辆/h)
小型车	96	20. 20	178	1. 00	16. 08	224
中型车	17	24. 55	147	1. 17		
大型车	15	25. 20	143	1. 25		

3 3. 2 4 个主线站出口车道加权平均结果

大羊坊和枫泾主线站采用纸质磁性券方案,马群主线站采用非接触 IC 通行卡方案,4 个站的平均服务时间非常接近(小型车 18. 57 ~ 20. 2s),加权平均结果见表 7。

封闭式收费广场出口车道加权平均统计结果 表 7

车型	有效样本数	实测最大通过能力			理想最大通过能力	
		平均服务时间 (s)	通过能力 (辆/h)	折算系数	平均服务时间 (s)	通过能力 (辆/h)
小型车	194	19. 66	183	1. 00	15. 81	194
中型车	48	22. 96	163	1. 12		
大型车	37	27. 17	140	1. 31		

3 4 省界合建主线收费站通过能力测试结果

3 4. 1 临漳主线站出口车道统计结果

临漳站由河北与河南合建共用,每省负责自己出口车道的收费,同时代对方发券(1 亭 1 人模式)。河北省采用纸质磁性券方案,河南省采用二维条码券方案。

临漳主线站出口车道统计结果 表 8

车型	有效样本数	实测最大通过能力		折算系数
		平均服务时间 (s)	通过能力 (辆/h)	
小型车	23	26.33	136	1.00
中型车	5	33.40	108	1.27
大型车	10	47.90	75	1.82

3.4.2 潼关主线站出口车道统计结果

潼关站实行 1 亭 2 人的模式，陕西西潼路采用一维条码券方案，入口用热转印打印机打印通行券，出口用光电识读仪读取通行券信息，效率较高。河南采用二维条码通行券方案，但本站尚未安装设备，且因河南路段很长（至开封近 700km），平均收费额很高（大型车尤甚），所以清点钞票和发票占用较长时间。2 个方向的统计结果出现明显差异（陕西出口方向大型车平均 39.5s，河南方向则为 64.5s）。2 个方向加权平均的结果见表 9。

潼关主线站出口车道统计结果 表 9

车型	有效样本数	实测最大通过能力		折算系数
		平均服务时间 (s)	通过能力 (辆/h)	
小型车	21	27.81	130	1.00
中型车	6	37.17	97	1.34
大型车	35	58.80	61	2.11

3.5 收费广场通过能力测试小结

(1) 通过测试可以看出影响通行能力的主要因素有车型、收费方式（包括收费操作流程的合理性、自动化程度高低等）、费额的设定（包括费额高低、找零效率等）以及收费人员和司机的默契程度等，通行券方案的影响不大。

(2) 几条路实测小型车最大通过能力所需的服务时间与日本设计要领的取值存在一定偏差。

- ①开放式：实测 12~16s，平均 13.14s；日本 8s。
- ②封闭式入口：不设电动栏杆实测 6.08s；日本 6s。设电动栏杆实测 9.19s。
- ③封闭式出口：实测 19~20s，平均 19.66s；日本 14s。

(3) 省界合建共用收费广场的通过能力主要取决于操作模式。

- ①1 亭 2 人模式，通过能力与普通出口车道基本相同（如涿州站）；
- ②1 亭 1 人模式，通过能力与普通出口车道相比下降 25%~45%（如临漳站）。

4 旅游路线交通流特点及收费广场设计方法

4.1 旅游线路的交通流特点

近些年，私家车保有量迅速上升，北京地区私家车的数量已超过社会（单位）数量，这就使周边路网（尤其是旅游路线）的交通流特性发生了很大变化。

京秦高速公路将北京、天津（通过唐津高速公路）与秦皇岛海滨旅游胜地联系了起来，夏季 2、3 个月内交通量较其他月份大幅度上升；周五下午至周六上午北京到秦皇岛下行方向交通量激增，周日下午至晚间上行回京方向交通量剧增，而且这一交通量还集中发生在短短的几个小时之内，呈现明显的潮汐式特点，这就使得按常规设计的收费广场完全不能适应这一变化。

香河主线收费站位于京秦高速公路廊坊段 K46 处，图 5 示出 2002 年 8 月 11 日（周日）至 2002 年 8 月 18 日（周日）8 天中上下行交通量的变化；图 6 示出 8 月 11 日（全年最高日交通量发生日）上下行小时交通量的变化。

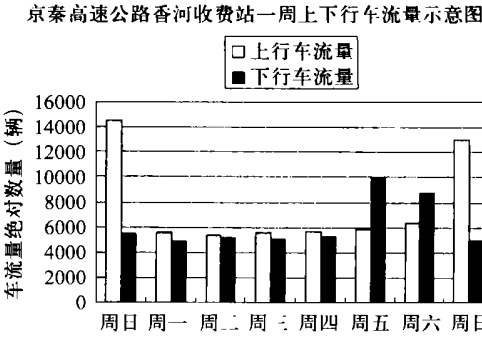


图 5 2002 年 8 月 11 日~18 日交通量变化图

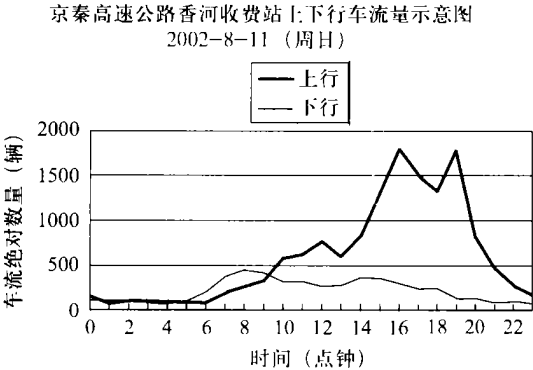


图 6 2002 年 8 月 11 日小时交通量变化图

4.2 香河主线站交通参数分析

本次调查得到香河主线广场 7 月 25 日~8 月 25 日双向交通量数据，双向月平均日交通量为 12 524 辆（绝对数量），其中上行 6 552 辆，下行 5 971 辆，双向

不均匀系数 $D=0.52$ 。

4.2.1 高峰日流量系数

8 月 11 日 (周日) 双向流量 19 957 辆 (绝对数量), 其中上行 14 476 辆, 下行 5 481 辆。上行高峰日流量系数 $= \frac{14\,476}{6\,552} = 2.21$ 即高峰日流量超过日均流量 1 倍多, 变化十分剧烈。

4.2.2 高峰小时系数 (K)

由于无法得到 2002 年全年的年平均日交通量 (AADT), 只能以 8 月平均日交通量 (12 524) 代替 (此值大于 AADT), 设计小时交通量也以最大小时交通量代替 (此值也将大于 30 位小时交通量)。8 月 11 日 16:00~17:00 出现双向最大小时交通量 2 100 辆, 其中上行 1 793 辆。

$$K_{\text{双向}} = \frac{2\,100}{12\,524} = 0.17$$

$$K_{\text{上行}} = \frac{1\,793}{6\,552} = 0.27 \quad (8 \text{ 月 } 11 \text{ 日 } 16:00 \sim 17:00)$$

此时的高峰小时系数远高于一般取值 $K=0.12$ 。

4.2.3 最大双向不均匀系数 (D)

8 月 11 日 16:00~17:00 上行交通量 1 793 辆, 下行 307 辆。 $D = \frac{1\,793}{2\,100} = 0.85$, 远高于一般取值 $D=0.6$ 。

4.2.4 最大小时交通量所需车道数

(1) 上行方向高峰小时交通量 上行方向高峰小时交通量 (绝对数量) 1 793 辆, 折算成小型车当量为 1 958 辆/h。

(2) 设计取值 取临漳站统计结果, 服务时间 26.33s, 通过能力 136 辆/h·车道 (注: 因香河站相

当于省界合建主线站, 除完成廊坊段收费外, 同时代北京和天津完成出口收费和入口发券功能, 所以服务时间较长)。所需上行车道数 14 条。根据旅游路线交通流的特点, 收费广场设计已不能按常规取值 (如 30 位小时交通量系数 K 和双向不均匀系数 D), 而需按最大可能高峰小时交通量取值, 以使“洪峰”顺利通过。

4.3 香河主线广场改建建议

目前香河主线广场为 9 入 9 出共 18 条车道, 暑期高峰时每条车道设 3 个人同时收费, 尚出现排队现象。据此分析 14 条车道也难以满足实际收费要求, 而且以后流量还会继续增长, 因此应着手大规模改扩建工作: (1) 主线广场如有条件应在两侧扩建收费车道。(2) 将中央的 10~12 条车道 (每侧 5~6 条) 改造为往复车道。(3) 利用主线广场纵深位置扩建复式广场, 争取上行 6 条, 下行 4 条。这样可以保证上行最多 20~21 条, 下行 18~19 条车道, 将可以满足未来几年内的需求。(4) 广场两侧预留电子 (不停车) 收费车道, 与北京、天津联合建立电子收费系统, 进一步提高收费广场的通过能力。

5 结语

本次研究对若干收费广场进行了现场测试和数据分析, 发现了以前设计上存在的问题。但因数据量不够, 并且国内不同地区的收费方式存在较大的差别, 统计结果 (尤其是折算系数) 离散性较大, 因此目前的统计结果尚不能作为标准直接引用, 今后还应组织力量作更深入的研究并制定出符合国情的收费广场设计标准。