

·学科进展与展望·

# 拥挤道路使用收费的研究进展和实践难题

黄海军\*

(北京航空航天大学管理学院,北京 100083)

**[摘要]** 拥挤道路使用收费是现代城市交通管理的有效措施之一,它可以引导和调节交通流量,达到缓解城市交通拥挤的目的,同时也增加了城市的财政收入;但是,拥挤道路使用收费在实践中遇到了各种各样的困难。本文综述了拥挤道路使用收费的发展过程,包括它的经济学原理、理论研究进展、实践效果和社会反响等,还从社会福利角度分析了收费收入的再分配问题,对正确使用收费提出了若干建议。

**[关键词]** 拥挤道路使用收费,交通需求管理,边际成本定价原理,动态收费系统

## 1 理论基础

拥挤道路使用收费 (congested road-use pricing) 不同于传统意义上的高速公路(桥梁)收费。后者主要是为了缓解公路建设资金的短缺问题,收取的费用大部分用于偿还贷款本息;而前者是在城市交通严重拥挤的情况下,通过对使用者收费来引导和调节交通需求,达到缓解交通拥挤的目的,增加财政收入只是副产品。

从行为科学角度分析,驾车者在选择出行路径和出发时间时,往往只考虑自己能感知或者说自己将付出的成本。当道路的通行能力充足时,这种“自私”的行为不会影响到其他人的出行。但是,当交通流量接近通行能力时,拥挤程度上升,道路上每新增加一个出行单位都会使系统中所有成员的利益受损。此时,如果大家都坚持原来的出行计划,不另择他路或改变出发时间,就会使交通系统拥挤不堪,直到瘫痪。如果硬逼某一部分人改变行驶路径和出发时间,也是不可能的。最好的办法是用经济手段。

出行者之所以坚持在拥挤路段出行,就在于他们仅仅考虑自己的感知成本或者边际个人成本,而没有支付他们给其他出行者所带来的“外部不经济”,即出行者没有为其出行支付全部社会费用(即边际社会成本,还可以包括由交通导致的环境污

染),从而鼓励了交通量的无节制增长。经济学家相信:缓解城市交通拥挤一个最直接、经济上最有效的办法就是对拥挤路段的使用者收费,付费的人还可以在原来的路上和时段行驶,不想付费的人就另择他路或改变出发时间,这样,原来拥挤的路段就被缓解了。收取费用的大小等于边际社会成本和边际个人成本之差,从而使城市道路网络的使用达到最优。

设  $x$  是路段上的交通流量,  $t(x)$  是由行驶时间折算的成本,是能够反映拥挤效果的升函数,则所有出行者的总行驶成本是  $T = xt(x)$ 。若不考虑其他固定费用支出,则边际个人成本是  $MPC = t(x)$ , 边际社会成本是  $MSC = t(x) + xdt(x)/dx$ , 边际成本定价原理认为,收费水平应设置为  $xdt(x)/dx$ , 此即每一个新增出行者给系统带来的外部不经济。

经济学家习惯用供需平衡关系来说明收费可以调节交通流量,见图 1。令  $D^{-1}(w)$  为需求函数的逆函数,则所有出行者由出行带来的总收益(一种效用)是  $\int_0^x D^{-1}(w) dw$ , 而系统的净收益是  $NB = \int_0^x D^{-1}(w) dw - xt(x)$ 。极大化  $NB$  导致  $D^{-1}(w) = t(x) + xdt(x)/dx$ , 所以,最佳的交通流量是逆需求函数与边际社会成本曲线的交点,即图 1 中的流量  $x_2$ 。显然,  $x_2 < x_1$ , 说明拥挤程度下降了。图中,  $BCDEB$  是交通流量减少导致的出行收益损失,  $ABE-DA$  是拥挤下降导致的成本节约,所以,系统的净收

\* 1998 年度国家杰出青年科学基金获得者。

本文于 2003 年 4 月 25 日收到。

益是  $ABCA = ABEDA - BCDEB$ 。

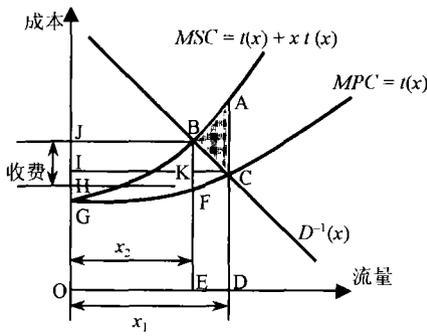


图 1 边际成本定价原理示意图

在上面浅显易懂的理论基础上,许多学者做了进一步的扩展工作,这些工作可以分为静态和动态模型理论两种。Hao<sup>[1]</sup>的一篇世界银行报告详细分析了静态收费理论的原理与相关问题,其中对收费产生的社会福利影响做了比较深刻的分析。

对于那些支付费用继续出行的人来说,每人的时间费用节省值为  $KF$ ,大家的总节省为区域  $KFHJK$ 。但是,这些人需要支付的使用费为每人  $BF$ ,总的使用费为区域  $BFHJB$ ,显然,他们节省的时间价值小于支付的费用,总损失为区域  $BKIJB$ 。因此,在所有出行者都具有相同的时间价值假设下,支付道路使用费继续出行的人与实施收费政策前相比,遭受了损失。

对于那些不愿付费、转而选择其他出行方式/路线/时间的人来说(数量为  $x_1 - x_2$ ),其利益也受到损害。因为这些人被迫选择其不情愿的出行方式/路线/时间,他们原来的净收益是  $BCKB = BCDEB - KCDEK$ ,现在没有了,所以福利损失是  $BCKB$ 。原来不选择这种交通方式/这条路线/这段时间的人,是否会从收费措施中得利呢?不会。因为一部分( $x_1 - x_2$ )中的人可能会加入到这支队伍中来,增加交通拥挤程度,导致他们也要蒙受损失。

上述分析表明,三个主要群体都没有从拥挤道路使用收费中受益,谁是真正的受益者呢?答案是实施收费政策的组织机构(假设是政府),对于政府来说,它从收费政策中得到的总收入是区域  $BFHJB$ 。表 1 总结了各方的福利得失。我们不排除在那些支付费用继续出行的人当中,有一部分时间价值较高的出行者,他们的时间节省价值高于其支付的费用。所以,拥挤道路使用收费政策的受益者为收费机构和部分时间价值较高的出行者。如果不对政府获取的收入进行合理的再分配,拥挤收费这一政策是难

以获得公众支持的。

表 1 拥挤道路使用收费中各方的福利得失

支付费用继续出行者	改选其他者	政府	净增减
- BKIJB	- BCKB	+ BFHJB	+ ABCA

在福利经济学中,实施一项政策如果能够使每个人的处境较以前更好,或者至少有一个人处境变好、其他人的处境没有变坏,就是能够令社会福利得到改善的好政策。显然,拥挤道路使用收费不是这样的政策。如果政府能够将其收益补偿受损者的损失,并且还有余额,拥挤道路使用收费才是一项好政策。所以,对政府从道路使用收费中获取的收入进行再分配是问题的关键。

静态模型理论易于理解,为大多数经济学家所常用<sup>[2]</sup>,但他们的分析一般限于只有一条或两条路段的简单网络,忽视了城市交通系统的复杂网络特征,因而交通工程师对边际收费原理一直存有疑虑。Yang & Huang<sup>[3]</sup>将边际收费原理推广至一般网络,并且在模型中考虑了路段通行能力的硬性约束,大大扩展了该理论的应用范围。

静态模型理论的其他不足之处是:不能分析车辆排队的消涨过程,不能让出行者有提前或推后出发的自由,不能分析不同时间价值的人们对收费政策的不同反应,不能实现动态的收费体制。下面,我们介绍动态收费模型理论。

## 2 动态收费模型

诺贝尔经济学奖得主 Vickrey<sup>[4]</sup>应用确定性排队理论,首先在 1969 年提出了道路收费系统的瓶颈模型。考虑有一条公路连接生活区 H 和工作区 W、公路入口处有一个瓶颈、瓶颈通过能力为每单位时间  $s$  辆车的简单交通网络,假设每日早晨有  $N$  辆车需要从 H 出发去工作地 W 上班,如果公路上 H 处的汽车离开率超过了瓶颈的通过能力,排队就发生了。令  $u(t)$  为  $t$  时刻的离开率,  $q(t)$  为  $t$  时刻的排队长度,则有  $dq(t)/dt = u(t) - s$  若  $q(t) > 0$ 。汽车从 H 至 W 的总计路上时间为  $t_1 + q(t)/s$ ,其中  $t_1$  是从瓶颈出口至 W 的常态行驶时间,  $q(t)/s$  是瓶颈前的排队等待时间。

假设一辆汽车的总出行费用由时间消耗、上班早到或晚到惩罚和道路使用费这三部分构成,则对  $t$  时刻出发的车来说,其总出行费用为

$$\begin{aligned}
 C(t) &= \alpha[t_1 + q(t)/s] + \beta[t^* - (t + t_1 + q(t)/s)] \\
 &\quad + p(t) \quad \text{for } t \in [t_b, t_o], \\
 &= \alpha[t_1 + q(t)/s] + \gamma[(t + t_1 + q(t)/s) - t^*] \\
 &\quad + p(t) \quad \text{for } t \in [t_o, t_e]
 \end{aligned}$$

其中,  $\alpha$  = 时间价值系数,  $\beta(\gamma)$  = 上班早到(晚到)的惩罚系数,  $t^*$  = 工作开始时刻,  $p(t)$  =  $t$  时刻的道路使用费,  $t_b$  = 排队开始时刻,  $t_e$  = 排队消失时刻,  $t_o$  = 能使车辆准时到达  $W$  的离开时刻, 即  $t_o + t_1 + q(t_o)/s = t^*$ 。根据调查结果, 应设  $\gamma > \alpha > \beta$ 。

我们先看不收费的情形, 即  $p(t) = 0$ 。在平衡态, 每个出行者不能通过单方面改变出发时刻来降低其出行费用, 即  $dC(t)/dt = 0$ 。最早和最后出发的车不参与排队, 且具有相同的出行费用, 所以  $\alpha t_1 + \beta[t^* - (t_b + t_1)] = \alpha t_1 + \gamma[(t_e + t_1) - t^*]$ 。在  $[t_b, t_e]$  期间, 瓶颈的通过率是  $s$ , 则有  $N = s(t_b - t_e)$ 。由这两个方程和  $t_o$  的定义, 我们可以确定三个时间未知数和  $[t_b, t_e]$  期间每位出行者经受的成本

$$\begin{aligned}
 t_b &= t^* - \delta N / \beta s - t_1, \quad t_e = t^* + \delta N / \gamma s - t_1, \\
 t_o &= t^* - \delta N / \alpha s - t_1, \quad C = \delta N / s + \alpha t_1
 \end{aligned}$$

其中  $\delta = \beta\gamma / (\beta + \gamma)$ 。经济学家认为, 可以实施一种动态收费策略调节车辆的出发时间, 使  $[t_b, t_e]$  期间的离开率(或到达瓶颈的到达率)为常值  $s$ , 这样就消除了排队, 系统中每人的出行成本仍然是  $C = \delta N / s + \alpha t_1$ , 为此, 时变的动态收费水平应该是

$$\begin{aligned}
 p(t) &= C - \beta[t^* - (t + t_1)] - \alpha t_1 \quad \text{for } t \in [t_b, t_o], \\
 &= C - \gamma[(t + t_1) - t^*] - \alpha t_1 \quad \text{for } t \in [t_o, t_e]
 \end{aligned}$$

显然, 不想排队而又希望在最理想时刻到达  $W$  的人, 就应多付钱; 不愿付钱的人只要早出发或晚出发也可以不排队。

瓶颈模型的出现, 引来一大批追随者, 纷纷扩展 Vickrey 的结果, 这方面 Amott, de Palma, Lindsey 三人小组做的工作最多, 包括: 考虑多条并行路径网络中的路径选择问题<sup>[5]</sup>, 考虑出行者的行为差异与福利得失<sup>[6]</sup>和考虑需求弹性的结构性模型<sup>[7]</sup>。

Braid<sup>[8]</sup>对比分析了弹性需求瓶颈模型中的均匀收费与时变收费之间的差别, 后来又考虑两条路径、一条收费另一条不收费的问题, 提出了第二最优收费的思想, Verhoef 等人也做了类似工作<sup>[9]</sup>。由于连续动态收费在实践中比较难实施, 有的学者提出了阶梯收费制度。

在瓶颈模型的框架下, 分析收费政策对不同属性的出行人群的福利影响的研究还有许多, 如 Cohen<sup>[10]</sup>, Henderson<sup>[11]</sup>, Glazer<sup>[12]</sup>等。他们将出行者

分成若干组, 赋予不同组以不同的  $\alpha, \beta, \gamma$  值, 定量地分析收费政策对不同人群的利益的影响。总的来讲, 有钱人(往往是时间价值很高的人)从收费政策中获益, 穷人的利益受损。

Tabuchi<sup>[13]</sup>在一条含瓶颈的公路旁边, 加上一条并行的公交线路, 研究不同收费体制下两种交通方式之间的竞争。Huang<sup>[14]</sup>将 Tabuchi 的工作推广至含两组不同属性人群的情形, 并且研究了用拥挤收费的收入补贴公交的可能性, 还研究了公交车内的体触拥挤问题。

必须注意的是, 上述研究都假设瓶颈的通行能力为常数, 存在一种动态收费体制消灭所有的排队, 果真如此吗? 在现实中, 收费站完全可能根据车辆的排队长度来增减收费通道的数量, 表现为瓶颈的通行能力是可能依系统状态而变化的。在正常关系下, 排队长度越长, 瓶颈的能力越大; 在超拥挤(hypercongestion)情形下, 能力反而随拥挤加剧而下降。Yang & Huang<sup>[15]</sup>用最优控制理论严格证明: 当瓶颈的通行能力为常数时, 确实存在消灭所有排队的动态收费体制; 否则, “正常关系”下, 适当的排队有利于交通系统的总体最优化使用。后来, 他们又将这种研究方法用在含多条并行路径、且需求为弹性的公路/公交线并存的交通系统中<sup>[16]</sup>。还可以将收费理论与其他交通管理措施结合起来, 得到一些新颖的结果, Huang 等人<sup>[17]</sup>研究了搭车、HOV 专用线与收费的联合实施问题<sup>[18]</sup>, 发现收费可以诱导人们搭车和选用公共交通工具。

由于动态交通分配模型的研究进展十分缓慢, 使得在一般网络结构中研究时变收费问题非常艰难, Wie<sup>[19]</sup>将连续最优控制理论与微分对策论结合推出了代表收费项的特殊算子。

### 3 实践进展

拥挤道路使用收费的理论研究已经有好几十年了, 有关的各种问题都被学者探讨过、思考过。这一节, 我们来看看实践方面的进展。

由于技术、政治、经济等方面的原因, 完全与理论相符的收费实践是找不到的。世界上许多国家一直在拥挤道路使用收费的实践方面进行着有益的探索, 出于不同的考虑, 各国采用的具体实施方案不尽相同。近年来随着电子、通信、自控技术的不断发展, 自动车辆识别系统、自动车型分类系统、逃费抓拍系统等技术的不断成熟, 不少城市正在尝试不停车电子收费系统(Electronic Road Pricing)。

新加坡是世界上最早实施城市道路收费并且获得成功的国家之一,其发展经历了从最初的区域通行证方案到最近刚刚采用的电子收费系统两个阶段。1975年开始实施的区域通行证方案划定覆盖中心商业区最拥挤的725公顷区域作为交通控制区,在边界上设立27个车辆入口处,载客不足4人的车辆要想在高峰期进入控制区,必须出示购买的区域通行证。经过20多年的运行,区域通行证方案被证明是控制高峰期拥挤的有效手段:(1)早高峰期进入控制区的机动车辆从74000辆/日下降到41500辆/日;(2)提高了车辆行驶速度;(3)导致出行方式向公共交通转移,工作出行中乘坐公共交通的比例从33%增加到69%;(4)增加了财政收入。1995年,新加坡在其东海岸公园大道实施道路收费系统,同样取得了显著的效果。1998年5月改为ERP系统。ERP主要由车内装置、两个相距15米的收费匝口、计算机中心处理系统组成。初步结果表明,ERP在控制交通流量方面成效显著,在限制时间内进入控制区的机动车辆从16000/日下降到13000辆/日,出行速度提高到50-60km/h。与区域通行证方案相比,ERP更公平、方便、可靠。1998年8月,新加坡政府将ERP扩充到整个中心商业区、高速公路和交通拥挤的区域<sup>[20]</sup>。

挪威政府先后在奥斯陆、贝尔根、特斯赫姆等城市实施了道路收费系统。以奥斯陆的环形通行费系统为例,初期投资(收费站建立、设备)为2.5亿克朗,每年运营费用为0.66亿克朗。1990年实施后每年为奥斯陆政府带来6亿克朗的财政收入,进入城市中心商业区的交通量减少了6%-7%,使用公共交通的人数增加。

香港政府1983-1985年之间,投资4000万港元试验针对私家车收费的电子收费系统(ERP)<sup>[21]</sup>。在历时12个月的实验中,港府总共调动了2600辆车并且设置了18个收费站,在每辆上安装了电子车牌。当车辆通过收费站时,传感器会将车辆的信息传送到设置在路边的计算机,然后计算机来完成数据处理和自动按月收取费用。交通署对这些车辆在出行方式、出行时间等方面的变化进行了一系列调查,并且与区域通行证方案、车辆购置限制方案进行了比较。结果表明,电子收费系统优于其他方案。尽管电子收费系统在经济、技术等方面的表现令人鼓舞,港府最终还是没能立即实施这一系统。究其原因,既有1982年整个香港股市、证券市场出现危机大气候的影响,也有公众对电子收费系统认可方

面的原因。从公众的角度来说,私家车主认为电子收费系统是侵犯了公民的出行隐私权<sup>[22]</sup>。最近,有学者和部分政府机构重提旧事,认为过去的问题已经被信息技术的发展给解决了。

1970年,伦敦规定在高峰期进入中心市区的车辆要支付2美元,该措施大量减少了高峰期的交通量,使市区车速提高40%。1985年,伦敦规划委员会提出了伦敦的新交通发展战略,考虑得较多的是怎样用交通限制手段(包括收费)而不是增加基础设施的方法来解决交通拥挤问题。伦敦拥挤收费系统的研究是由英国交通部在1991年发起的,用了3年。新设计的收费系统有3个同心的环行收费子系统,并且用分界线把伦敦分为6大块,车辆进出环形区域或经过边界线时要缴纳费用(高峰与低谷时不一样)<sup>[23]</sup>。模拟分析表明,该系统可以使伦敦内城的交通量减少15%,伦敦中心的交通量减少25%,支付使用费的人主要是城郊的车主。一环将有130个收费站,初期投资1.5亿美元,每年运营费用9700万美元,设立3种收费标准(3.5至14美元)。系统每年可以收费2.85亿美元。伦敦的拥挤收费系统在2003年3月正式全面运行。在英国的剑桥也曾试验过拥挤收费系统,其运作最接近拥挤收费的理论,即根据拥挤程度改变收费水平,但该系统由于得不到政府的支持而遭搁浅。

在法国,A1高速公路实施了拥挤收费,高峰期与低谷期的收费水平不一样,目的是为了限制高峰期进入巴黎的车辆数。结果表明,高峰期的流量减少了4%,有1/5的出行者会调整他们的出发时间。

美国是最早认识到收费具有缓解拥挤、有效利用稀有道路资源的国家之一<sup>[24]</sup>。在1940-1956年期间,为了筹集公路建设资金,收费被广泛使用。美国的ITS技术发展迅速,作为ITS重要组成部分的ERP也得到了极大的重视。

#### 4 实践中的难题

拥挤收费实践中的主要难题不是技术,也不是没有效果,而是公众支持不支持的问题,公众的支持程度又决定了政府的政策取向。前面的福利效果分析表明,除了代表政府的城市道路管理机构 and 一部分时间价值高的出行者外,大部分的出行者会从拥挤收费中遭受利益损失。因此,公众,特别是其中的受害者会认为城市道路收费是不公平的。此外,公众习惯性认为城市路网是公共设施,是用大家的税收建起来的,再对他们收费太不应该了。

对公众的难以理解, Borins<sup>[25]</sup>和 Verhoef 等人<sup>[26]</sup>做了比较详细的调查, 将公众的态度归纳为以下几点: (1) 人们习惯于为得到什么交费, 而不是为避免什么交费; (2) 人们认为自己是交通拥挤的受害者, 而没有认识到自己也是拥挤的“贡献者”; (3) 人们还是认为拥挤是由于路网能力不够造成的; (4) 人们认为拥挤还没有发展到非要靠收费来控制流量的程度, 目前还宁愿忍受拥挤和消磨路上时间; (5) 人们担心收费会导致违章行驶的事件增多; (6) 人们担心电子收费系统的技术不过关, 可能会错误收费; (7) 电子收费系统记录了车辆的行踪, 侵犯了人们的出行隐私权; (8) 收费真的能减少个人小汽车的使用吗? (9) 对收费产生的周边效应怎么解决? 即在收费站附近会有大量的车辆聚集, 以避免交费; 若收费太低, 周边效应不会明显, 但收费对交通流的调节作用也减低了; (10) 交费继续使用拥挤道路的人是否是必须使用这条路的人? 有钱人是否就一定可以占用稀缺资源, 而不论其出行的必要性?

也并不是公众对城市交通拥挤漠不关心, Jones<sup>[27,28]</sup>在英国的调查表明, 公众对城市道路收费政策的支持与如何使用收费的收入有密切的关系。学者认为政府应该把收费产生的收益以各种形式(减少车辆注册费、燃油税、改善公共交通等)直接或间接地返还给城市道路的使用者。在英国伦敦的调查表明, 当把城市道路使用收费作为单独的交通需求管理措施时, 只有 43% 的支持率, 而如果把城市道路使用收费作为改善交通综合措施中的组成部分, 将所产生的收入用作改善公共交通、减少车辆购置税时, 公众的支持率上升到 63%。挪威、瑞典等国电子收费系统的实践也表明, 如果拥挤收费的收入用作改善道路和公共交通, 大多数出行者并不反对实施拥挤收费。

对收费收入的使用问题, 有学者提出了简单的三分法原则: 1/3 作政府财政收入、1/3 用于修建城市道路、1/3 用于改善公共交通。不少学者对拥挤收费的收入提出了更详细的分配方案: 新建和改善道路, 使那些选择支付拥挤费用继续出行的人受益; 改善公共交通, 使那些选择其他出行方式或时间的人和原来选择非高峰期或公共交通的人受益; 改善城市环境, 使其他在拥挤收费政策中受损的人受益。

除了用好收费收入外, 为拥挤收费做好宣传也十分重要。城市交通拥挤、环境污染确实已经成为公众关心的话题, 但对收费减轻拥挤的认识还不普遍。需要加强宣传工作, 说清楚当前交通拥挤的严

重程度, 展示收费带来的好处, 解释如何用好收费收入, 还要让公众理解交通需求管理的必要性。

## 5 结论

在我国的大城市, 每天上下班需要 1 小时以上的职工占总数的 60% 以上, 上海市每年因交通拥堵造成的经济损失高达 48 亿元。根据 10 年前的测算, 美国 39 个主要城市的年损失是 410 亿美元, 其中 12 个大城市的损失超过 120 亿美元。

解决交通拥挤的传统办法是增加交通供给, 即新建道路和扩展既有道路, 但是, 新增道路又会带来新的交通需求, 城市环境进一步恶化, 况且城市里可以用来修建道路的空间总是有限的。近半个多世纪的历史经验告诉了我们这点。由新道路诱发新的交通需求在高速发展的城市中相当普遍, 对此, 我国要有心理准备, 并提前做好应对政策的研究。

1975 年以后, 解决城市交通拥挤的重点转向交通管理对策, 不是构筑新的路网而是考虑如何用好现有网络。这是西方的历史经验, 我国城市正处于发展与变革阶段, 现在就谈停止修路自然为时过早, 但有的城市, 如北京, 拥堵的主要原因显然是管理上的问题。美国提出了交通系统管理, 包括改善交通信号系统、大力发展公共交通和实现智能交通系统。现在, 交通科学家又提出了交通需求管理 (TDM) 的概念, 认为应该从供求两个方面协调解决交通拥挤问题, TDM 包括用各种政策和手段使交通需求在时空上平均化、对拥有车辆进行控制等。

作为一项交通需求管理政策, 拥挤道路使用收费在理论上是最为有效的控制交通需求、缓解交通拥挤的措施之一。拥挤收费带来的财政收入还可以作为交通项目建设的资金来源, 收费削减了交通量, 从而也就减少了城市的环境和噪声污染。

要对收费带来的财政收入进行再分配以补偿受害者(有多种直接的或间接的补偿途径), 最起码也要做到收费收入去向的透明化。拥挤收费不能独立实施, 应将其与其他交通需求管理措施配套协调使用, 一道构成一个城市交通需求管理的综合系统。

## 参 考 文 献

- [1] Hau T D. Economic fundamentals of road pricing: a diagrammatic analysis. World Bank Policy Research Paper Series, WPS 1070. The World Bank, Washington DC, 1992.
- [2] Button K J. Transportation Economics, 2<sup>nd</sup> edn. Edward Elgar, England, 1993.
- [3] Yang H, Huang H J. Pricing of marginal-cost pricing: how does it

- work in a general road network? *Transportation Research-A*, 1998, 32: 45—54.
- [4] Vickrey W S. Congestion theory and transport investment. *American Economic Review*, 1969, 59: 414—431.
- [5] Amott R, de Palma A, Lindsey R. Departure time and route choice for the morning commute. *Transportation Research-B*, 1990, 24: 209—228.
- [6] Amott R, de Palma A, Lindsey R. Route choice with heterogeneous drivers and group-specific congestion costs. *Regional Science and Urban Economics*, 1992, 22: 71—102.
- [7] Amott R, de Palma A, Lindsey R. A structural model of peak-period congestion: a traffic bottleneck with elastic demand. *American Economic Review*, 1993, 83: 161—179.
- [8] Braid R M. Uniform versus peak-load pricing of a bottleneck with elastic demand. *Journal Urban Economics*, 1989, 26: 320—327.
- [9] Verhoef E. *The Economics of Regulating Road Transportation*. Edward Elgar, Brookfield, 1996.
- [10] Cohen Y. Commuter welfare under peak-period congestion tolls: who gains and who loses? *International Journal of Transport Economics*, 1987, 14: 239—266.
- [11] Henderson J V. Road congestion: A reconsideration of pricing theory. *J of Urban Economics*, 1974, 1: 346—365.
- [12] Glazer A. Congestion tolls and consumer welfare. *Public Finance*, 1981, 36: 77—83.
- [13] Tabuchi T. Bottleneck congestion and modal split. *Journal of Urban Economics*, 1993, 34: 414—431.
- [14] Huang H J. Fares and tolls in a competitive system with transit and highway: The case with two groups of commuters. *Transportation Research-E*, 2000, 36: 267—284.
- [15] Yang H, Huang H J. Analysis of time-varying of a bottleneck with elastic demand using optimal control theory. *Transportation Research-B*, 1997, 31: 425—440.
- [16] Huang H J, Yang H. Optimal utilization of a transport system with auto/transit parallel modes. *Optimal Control Applications and Methods*, 1999, 20: 297—313.
- [17] Huang H J, Yang H, Bell M G H. The models and Economics of car-pools. *The Annals of Regional Science*, 2000, 34: 55—68.
- [18] Yang H, Huang H J. Carpooling and congestion pricing in a multilane highway with high-occupancy- vehicle lanes. *Transportation Research-A*, 1999, 33: 139—155.
- [19] Wie B W. A differential game model of Nashi equilibrium on a congested traffic network. *Networks*, 1993, 23: 557—565.
- [20] Phang S Y, Toh R S. From manual to electronic road pricing: the Singapore experience and experiment. *Transportation Research-E*, 1997, 33: 97—106.
- [21] Dawson J A L, atling I. Electronic road pricing in Hong Kong. *Transn. Res.-A*, 1986, 20: 129—134.
- [22] Pretty R L. Road pricing: a solution for Hong Kong? *Transpn. Res.-A*, 1988, 22: 319—327.
- [23] Richard M, Gilliam C, Larkinson J. The London congestion charging research programme: 1. The programme in overview. *Traffic Engineering and Control*, 1996, 37: 66—71.
- [24] Transportation Research Board. *Curbing Gridlock: Peak Period Fees to Relieve Traffic Congestion: Special Report 242*. Washington, DC. 1994.
- [25] Borins S F. Electric road pricing: an idea whose time may never come. *Transpn. Res.-A*, 1988, 22: 37—44.
- [26] Verhoef E T, Nijkamp P, Rietveld P. The social feasibility of road pricing. *Journal of Transport Economics and Policy*, 1997, 31: 255—176.
- [27] Jones P M. Gaining public support for road pricing through a package approach. *Traffic Engineering & Control*, 1991, 32: 194—196.
- [28] Jones P M. Urban road pricing: public acceptability and barriers to implementation. In: *Road Pricing, Traffic Congestion & Environment: Issues of Efficiency and Social Feasibility*. Edward Elgar Publishing Ltd., 1998.

## RESEARCH AND PRACTICE PROGRESSES OF CONGESTED ROAD-USE PRICING

Huang Haijun

(Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083)

**Abstract** Congested road-use pricing, as one of the effective means of managing urban transportation, can alleviate congestion through adjusting traffic demand and raise additional revenue for the city. However, various difficulties appear when implementing this new technology in reality. This paper presents an overview on the history of developing road pricing, including fundamental economic principle, progresses on theoretical researches and practical applications, and social welfare issues. Some suggestions are given for correctly using the revenue from pricing.

**Key words** congested road-use pricing, traffic demand management, marginal cost pricing, dynamic pricing