

港口集疏运通道投资与多车型拥挤收费均衡^①

董 岗¹, 朱道立²

(1. 上海海事大学经济管理学院, 上海 201306; 2. 上海交通大学中美物流研究院, 上海 200030)

摘要: 针对承担货运和客运且通过不同辖区的港口集疏运通道, 每个腹地区域独立进行所辖通道的投资规模决策和拥挤收费策略, 基于多车型换算系数构建港口集疏运通道的客货运输均衡和腹地福利模型, 并采用逆向归纳法进行两阶段非合作博弈分析. 研究发现: 实施差别拥挤收费策略对港口货运收费最高, 而统一拥挤收费策略对腹地客运收费最高; 实施各种拥挤收费策略后港口集疏运通道的投资规模均呈下降趋势, 且只对货运车辆实施拥挤收费策略时通道投资的规模最低. 通过数值算例并以拥挤收费前作为参照, 对比分析港口集疏运通道客货运结构对均衡投资规模和拥挤收费以及腹地福利和通道总福利的影响.

关键词: 集疏运通道; 客货运结构; 车型换算系数; 通道投资; 拥挤收费

中图分类号: U169 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-9807(2013)05-0083-12

0 引言

由于现代港口物流业的发展, 传统港口点与点的竞争形式逐渐转变为以港口为核心节点的物流链竞争. Notteboom 和 Rodrigue^[1] 认为在港口功能从专业化到区域化的演变过程中, 总拥挤成本取决于港口物流链中最脆弱的连接或节点. Yeo 等^[2] 认为最有竞争力的港口主要依赖于高效的腹地通道系统, 提升港口竞争力不仅需要通道基础设施进行更多投资, 还需要通过现代运营管理手段提高港口与腹地连接的质量. Yossi^[3] 发现纽约新泽西港与腹地的高速公路上每新增 6% 的集装箱运输量, 将导致每年的拥挤成本总量在 6.63 到 16.2 亿美元之间, 其中承运人和腹地居民承担的拥挤成本约占 62%.

目前, 世界各地港口通常是对内陆腹地的普通道路或高速公路进行通道投资以提升通行能力, 而拥挤收费尽管在实践中还不常见, 但在学术和政策研究领域已早有讨论: Pigou^[4] 首次提出拥

挤收费思想, 政府通过制定收费政策以增加道路使用成本, 从而改变人们出行行为, 进而使交通流量在时空上重新分布以达到缓解交通拥堵的目标; Krepes 和 Scheinkman^[5] 提出对称寡头情形下拥挤设施的收费策略主要有古诺策略和贝特朗策略; Braid^[6] 研究存在拥挤情形且相互替代的两条道路, 实施不同的拥挤收费策略将对通行量和通行效率产生不同影响; 黄海军等^[7] 针对公共与个体两种交通方式并存的竞争系统, 推导和比较各种交通收费政策下流量分布和系统总成本并讨论了收费补贴政策; Borger 等^[8] 研究隶属不同政府的并行道路拥挤收费和税收竞争问题, 比较分析运输结构和区域特征对拥挤收费的影响; Dender^[9] 强调在拥挤的运输网络中, 港口或机场等特定设施与其他一般设施的拥挤收费对运输量影响的差异较大; Maloni 和 Jackson^[10] 调查发现美国港口管理者在港口扩张计划中最为关心的是腹地公路造成的通行能力约束; Zhang^[11] 研究门户港实施拥挤收费对腹地高速公路最优收费、拥挤状

① 收稿日期: 2011-05-20; 修订日期: 2012-12-03.

基金项目: 国家自然科学基金重点资助项目(70432001).

作者简介: 董 岗(1979—), 男, 安徽太和人, 博士, 副教授. Email: gangdong@shmtu.edu.cn

况和社会福利的影响;唐毓敏和冯苏菁^[12]探讨政府采用拥挤收费政策参与博弈的情形下,出行者行为以及道路总成本的改变;刘南等^[13]研究在公平限制条件下城市道路系统多时段一般路网的次优拥挤定价问题.

此外,通行能力是指在一定时段和交通、管制条件下,通过车道或道路上的一点或均匀断面的最大小时交通量.曹凌峰等^[14]基于港区道路及交通构成特性,针对天津港利用实测方法计算出各类车型的换算系数;邵长桥等^[15]在分析通行能力不确定性及其产生原因基础上应用数理统计给出通行能力不确定性度量方法;董洁霜^[16]建立以系统最优为目标基于广义费用多货种、多方式的港口集疏运网络综合平衡优化模型;张戎和黄科^[17]建立集装箱港口集疏运体系影响因素通径分析模型.

本文基于国内外港口集疏运通道的发展实际,针对连接沿海门户港与内陆无水港的集疏运通道通常存在拥堵情形,将通道投资决策与通道运营管理进行有机结合,基于多车型的港口货运与腹地客运构建港口集疏运通道运输均衡和腹地区域福利模型,采用逆向归纳法进行两阶段非合作博弈分析均衡的通道投资和拥挤收费,通过数值算例实证理论分析结果,并以拥挤收费前作为参照,对比分析港口集疏运通道客货运结构对均衡投资规模和拥挤收费以及腹地区域福利和通道总福利的影响.

1 通道投资与多车型拥挤收费模型

由于总拥挤成本是由港口物流链中最脆弱的连接或节点所决定,因此,最有竞争力的港口主要依赖于高效连接内陆腹地的集疏运通道.如在北美,从跨大西洋运输主要中转地的蒙特利尔港到位于东西交通干道的温尼伯内陆港,典型的港口集疏运通道需要过境美国,即蒙特利尔—多伦多—底特律—芝加哥—温尼伯;在欧洲,从北欧(比利时、荷兰)安特卫普、鹿特丹港到中南欧腹地(瑞士、奥地利、意大利)的港口集疏运通道需要过境法国或德国;而在中国长三角,从上海港到

安徽合肥内陆港,港口集疏运通道需要过境江苏省,上海—常州—南京—合肥;而从宁波港到江西景德镇内陆港,港口集疏运通道需要过境安徽省,宁波—杭州—黄山—景德镇.因此,从沿海门户港和内陆无水港的港口集疏运通道通常途径具有各自行政管辖权力的腹地区域;此外,港口集疏运通道不仅承担沿海港口的货物运输,还承担内陆腹地的客运运输;港口货运车辆从沿海门户港和内陆无水港需要通过整条港口集疏运通道,而腹地客运车辆只经过所在区域的部分集疏运通道,如图1所示.

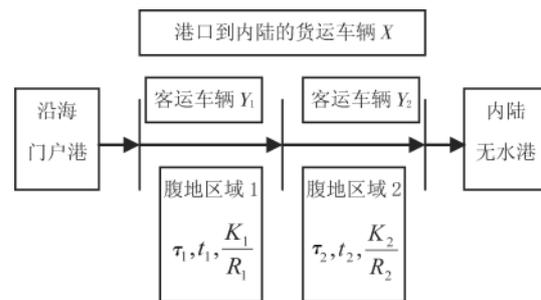


图1 港口集疏运通道模型

Fig. 1 Port collecting and distributing corridor model

图中 X 和 Y_i 分别表示承担港口货运和腹地客运的车辆数量; τ_i 和 t_i 分别为港口集疏运通道途径的腹地区域 i 对港口货运和腹地客运车辆征收的拥挤费; R_i 表示港口集疏运通道通行能力的倒数,因为通道通行能力与拥挤成本成反比,即通道通行能力越大则拥挤成本越小,并假设拥挤成本是通道通行能力倒数的严格递增函数且二次可微; K_i 表示腹地区域 i 为提升所辖集疏运通道能力而进行通道投资的固定单位成本^[18].于是 K_i/R_i 表示腹地区域 i 为提升所辖集疏运通道能力而付出的通道投资成本.假定港口集疏运通道的运营维护成本和通行能力成本可以分离,且提升通行能力的通道投资保持规模报酬不变;另外,为重点研究港口集疏运通行能力的投资规模与拥挤收费的均衡关系,假设通道运营维护成本为零.

当港口货运和腹地客运的车辆通过集疏运通道时,包括时间和资源在内的拥挤成本函数如下

$$C_i(V_i) = \alpha_i + \beta_i(V_i R_i), V_i = nX + Y_i \quad (1)$$

式中 $C_i(\cdot)$ 表示腹地区域 i 所辖港口集疏运通道的拥挤成本; α 和 β 为拥挤成本函数参数,且 α ,

$\beta > 0$; $V_i(\cdot)$ 表示按车型拥挤贡献换算后腹地区域 i 所辖集疏运通道承担的标准型车辆总流量, 该流量与拥挤成本成正比, 即在通道能力一定时, 流量越大则拥挤成本越高; n 表示不同港口货运车辆与腹地客运车辆的当量换算系数, 通常 $n > 1$.

考虑港口集疏运通道途径的腹地区域能够独立决策所辖通道的投资规模和拥挤收费策略以提升通道通行能力, 与一般道路收费是为了偿还建设投资或银行贷款的目的不同, 本文考虑的集疏运通道拥挤收费主要是为了降低通道的拥挤程度, 并根据不同车型对于通道拥挤的贡献以及通道整体拥挤最优进行计算. 当沿海门户港与内陆无水港之间的集疏运通道中港口货运和腹地客运达到均衡状态时则有

$$P^X(X) = g^X = \sum [C_i(V_i R_i) + \tau_i] \quad (2)$$

$$P_i^Y(Y_i) = g_i^Y = C_i(V_i R_i) + t_i \quad (3)$$

式中 $P^X(X)$ 和 $P_i^Y(Y_i)$ 分别表示港口货运和腹地客运的逆需求函数, 严格向右下倾斜; g^X 和 g_i^Y 分别表示港口货运和腹地客运通道使用者的边际成本, 包括拥挤时间资源成本和拥挤收费成本. 由于港口货运和腹地客运的逆需求函数反映了用户使用通道获得的边际收益, 当通道运输达到均衡状态时, 即港口货运和腹地客运两类通道使用者的边际收益都等于边际成本.

由于港口集疏运通道承担货运和客运且通过不同的腹地区域, 因此辖有集疏运通道的腹地区域追求包括当地居民客运出行的消费者剩余、对通道客货运征收的拥挤费收入以及对通道投资成本在内的福利最大化, 即

$$\max_{t_i, \tau_i} W_i = \int_0^{Y_i} P_i^Y(y) dy - g_i^Y Y_i + t_i Y_i + \tau_i X - \frac{K_i}{R_i} \quad (4)$$

式中 $\int_0^{Y_i} P_i^Y(y) dy - g_i^Y Y_i$ 表示腹地区域居民客运出行的消费者剩余; $t_i Y_i + \tau_i X$ 表示腹地区域对所辖通道客货运征收的拥挤费收入.

2 通道投资与多车型拥挤收费均衡

沿海门户港与内陆无水港之间的集疏运通道

投资决策和拥挤收费策略将对通道能力产生相互影响, 但对港口集疏运通道等基础设施进行投资通常是长期决策行为. 相对而言, 对港口集疏运通道的拥挤收费策略则属于短期决策行为. 此外, 辖有集疏运通道的各腹地区域是平等的, 在没有达成任何有约束力协议情况下, 腹地区域之间在通道投资规模和拥挤收费策略方面的博弈是非合作的. 因此, 采用逆向归纳法进行两阶段非合作博弈分析, 第一阶段港口集疏运通道途径的腹地区域进行通道投资决策; 第二阶段再对通道进行拥挤收费策略选择.

2.1 拥挤收费阶段

2.1.1 对港口货运和腹地客运车辆实施差别收费

给定港口集疏运通道现有的通行能力和其他腹地区域的拥挤收费水平, 腹地区域 i 如何对所辖港口集疏运通道上的港口货运和腹地客运车辆进行差别拥挤收费从而实现该腹地区域福利最大化?

首先进行拥挤收费博弈, 将式(4)腹地区域福利函数对 t_i 和 τ_i 求一阶条件并令其为零, 得

$$P_i^Y \frac{\partial Y_i}{\partial t_i} - g_i^Y \frac{\partial Y_i}{\partial t_i} - Y_i \frac{\partial g_i^Y}{\partial t_i} + t_i \frac{\partial Y_i}{\partial t_i} + Y_i + \tau_i \frac{\partial X}{\partial t_i} = 0$$

$$P_i^Y \frac{\partial Y_i}{\partial \tau_i} - g_i^Y \frac{\partial Y_i}{\partial \tau_i} - Y_i \frac{\partial g_i^Y}{\partial \tau_i} + t_i \frac{\partial Y_i}{\partial \tau_i} + X + \tau_i \frac{\partial X}{\partial \tau_i} = 0$$

另外, 由式(3)客运用户的最优均衡可知

$$P_i^Y(Y_i) = g_i^Y = C_i(V_i R_i) + t_i$$

$$\frac{\partial g_i^Y}{\partial t_i} = C_i \left(n \frac{\partial X}{\partial t_i} + \frac{\partial Y_i}{\partial t_i} \right) R_i + 1$$

$$\frac{\partial g_i^Y}{\partial \tau_i} = C_i \left(n \frac{\partial X}{\partial \tau_i} + \frac{\partial Y_i}{\partial \tau_i} \right) R_i$$

因此, 整理腹地区域福利函数的一阶条件为

$$- Y_i \left[C_i \left(n \frac{\partial X}{\partial t_i} + \frac{\partial Y_i}{\partial t_i} \right) R_i + 1 \right] + t_i \frac{\partial Y_i}{\partial t_i} + Y_i + \tau_i \frac{\partial X}{\partial t_i} = 0$$

$$- Y_i \left[C_i \left(n \frac{\partial X}{\partial \tau_i} + \frac{\partial Y_i}{\partial \tau_i} \right) R_i \right] + t_i \frac{\partial Y_i}{\partial \tau_i} + X + \tau_i \frac{\partial X}{\partial \tau_i} = 0$$

联立上述两方程求解, 可分别得腹地区域 i 对所辖港口集疏运通道上港口货运和腹地客运车辆征收的均衡差别拥挤费为

$$t_i^D = C_i R_i (Y_i + X) \quad (5)$$

$$\tau_i^D = nC_i R_i Y_i - X \frac{\partial Y_i / \partial t_i}{\partial z_i / \partial t_i \cdot \partial X / \partial \tau_i} \quad (6)$$

对于上述均衡差别拥挤收费的经济学解释如下:对腹地客运和港口货运的拥挤收费都超过了腹地区域的边际外部成本($C_i R_i Y_i$),其中,对于港口货运的拥挤收费高于腹地客运的拥挤收费则说明拥挤费收入存在转移行为,而对腹地客运的拥挤收费高于边际外部成本主要在于腹地客运和港口货运在对通道产生拥挤之间存在相互作用,这种相互作用意味着腹地客运增加的机会成本不仅是腹地客运的边际外部成本,还包括港口货运拥挤费收入损失,因为腹地客运需求的增加提高了通道拥挤水平,进而减少了港口货运的通道需求。

2.1.2 对港口货运和腹地客运车辆实施统一收费

若腹地区域 i 只能对所辖通道上的港口货运和腹地客运征收相同的拥挤费 θ ,则港口集疏运通道途径的腹地福利函数及对 θ_i 求一阶条件并令其为零,为

$$\max_{\theta_i} W_i = \int_0^{Y_i} P_i^Y(y) dy - g_i^Y Y_i + \theta_i (X + Y_i) - \frac{K_i}{R_i}$$

$$P_i^Y \frac{\partial Y_i}{\partial \theta_i} - g_i^Y \frac{\partial Y_i}{\partial \theta_i} - Y_i \frac{\partial g_i^Y}{\partial \theta_i} + \theta_i \left(\frac{\partial X}{\partial \theta_i} + \frac{\partial Y_i}{\partial \theta_i} \right) + (X + Y_i) = 0$$

根据式(3) 客运用户的最优均衡可得

$$P_i^Y(Y_i) = g_i^Y = C_i(V_i R_i) + \theta_i$$

$$\frac{\partial g_i^Y}{\partial \theta_i} = C_i R_i \left(n \frac{\partial X}{\partial \theta_i} + \frac{\partial Y_i}{\partial \theta_i} \right) + 1$$

则腹地区域 i 对客货运车辆的统一拥挤收费为

$$\theta_i^U = \frac{Y_i C_i R_i (n \partial X / \partial \theta_i + \partial Y_i / \partial \theta_i) - X}{\partial X / \partial \theta_i + \partial Y_i / \partial \theta_i} \quad (7)$$

2.1.3 只对腹地客运车辆实施拥挤收费

若腹地区域 i 只能对所辖通道的腹地客运车辆进行拥挤收费,而无法对港口货运征收拥挤费时,则通道途径的腹地福利函数为

$$\max_{t_i} W_i = \int_0^{Y_i} P_i^Y(y) dy - g_i^Y Y_i + t_i Y_i - \frac{K_i}{R_i}$$

将上式对 t_i 求一阶条件并令其为零,有

$$P_i^Y \frac{\partial Y_i}{\partial t_i} - g_i^Y \frac{\partial Y_i}{\partial t_i} - Y_i \frac{\partial g_i^Y}{\partial t_i} + t_i \frac{\partial Y_i}{\partial t_i} + Y_i = 0$$

$$\text{因为 } P_i^Y(Y_i) = g_i^Y \text{ 和 } \frac{\partial g_i^Y}{\partial t_i} = C_i \left(n \frac{\partial X}{\partial t_i} + \frac{\partial Y_i}{\partial t_i} \right) \times$$

$R_i + 1$ 因此,腹地区域 i 只对所辖港口集疏运通道上腹地客运车辆征收的均衡拥挤费为

$$t_i^H = C_i R_i Y_i \left(1 + \frac{n \partial X / \partial t_i}{\partial Y_i / \partial t_i} \right) \quad (8)$$

2.1.4 只对港口货运车辆实施拥挤收费

若腹地区域 i 只对所辖通道的港口货运实施拥挤收费时,腹地福利函数为

$$\max_{\tau_i} W_i = \int_0^{Y_i} P_i^Y(y) dy - g_i^Y Y_i + \tau_i X - \frac{K_i}{R_i}$$

将上式对 τ_i 求一阶条件,并令其为零,则有

$$P_i^Y \frac{\partial Y_i}{\partial \tau_i} - g_i^Y \frac{\partial Y_i}{\partial \tau_i} - Y_i \frac{\partial g_i^Y}{\partial \tau_i} + \tau_i \frac{\partial X}{\partial \tau_i} + X = 0$$

$$\text{因为 } P_i^Y(Y_i) = g_i^Y \text{ 和 } \frac{\partial g_i^Y}{\partial \tau_i} = C_i \left(n \frac{\partial X}{\partial \tau_i} + \right.$$

$\left. \frac{\partial Y_i}{\partial \tau_i} \right) R_i$, 则腹地区域 i 只对所辖港口集疏运通道

上港口货运车辆征收的均衡拥挤费为

$$\tau_i^P = \frac{Y_i C_i (n \partial X / \partial \tau_i + \partial Y_i / \partial \tau_i) R_i - X}{\partial X / \partial \tau_i} \quad (9)$$

2.2 通道投资阶段

2.2.1 实施差别拥挤收费策略下通道投资规模

因为第一阶段的通道投资隐含在港口集疏运通道途径的腹地福利函数最大化之中,考虑到第二阶段博弈中纳什均衡拥挤收费对于通道投资的依赖,将差别拥挤收费策略下腹地福利函数式(4)对通道投资的倒数求一阶条件,并令其为零,则有

$$P_i^Y \frac{dY_i}{dR_i} - g_i^Y \frac{dY_i}{dR_i} - Y_i \frac{dg_i^Y}{dR_i} + t_i \frac{dY_i}{dR_i} + Y_i \frac{\partial t_i}{\partial R_i} + \tau_i \frac{dX}{dR_i} + X \frac{\partial \tau_i}{\partial R_i} + \frac{K_i}{R_i^2} = 0$$

根据港口集疏运通道的拥挤成本函数式

(1)、用户最优均衡式(2)和(3)可知

$$P_i^Y(Y_i) = g_i^Y = \alpha_i + R_i \beta_i (nX + Y_i) + t_i$$

$$\frac{dg_i^Y}{dR_i} = \beta_i \left[V_i + \left(n \frac{dX}{dR_i} + \frac{dY_i}{dR_i} \right) R_i \right] + \frac{\partial t_i}{dR_i}$$

$$\frac{dY_i}{dR_i} = \frac{\partial Y_i}{\partial R_i} + \frac{\partial Y_i}{\partial t_i} \frac{\partial t_i}{\partial R_i} + \frac{\partial Y_i}{\partial \tau_i} \frac{\partial \tau_i}{\partial R_i} + \frac{\partial Y_i}{\partial \tau_{-i}} \frac{\partial \tau_{-i}}{\partial R_i}$$

$$\frac{dX}{dR_i} = \frac{\partial X}{\partial R_i} + \frac{\partial X}{\partial t_i} \frac{\partial t_i}{\partial R_i} + \frac{\partial X}{\partial \tau_{-i}} \frac{\partial \tau_{-i}}{\partial R_i} + \frac{\partial X}{\partial \tau_i} \frac{\partial \tau_i}{\partial R_i} + \frac{\partial X}{\partial \tau_{-i}} \frac{\partial \tau_{-i}}{\partial R_i}$$

将 $P_i^Y(Y_i) = g_i^Y$ 和 $\frac{dg_i^Y}{dR_i}$ 的表达式代入腹地区域福利函数一阶条件, 得

$$-Y_i \left\{ \beta_i \left[V_i + \left(n \frac{dX}{dR_i} + \frac{dY_i}{dR_i} \right) R_i \right] + \frac{\partial t_i}{\partial R_i} \right\} + t_i \frac{dY_i}{dR_i} + Y_i \frac{\partial t_i}{\partial R_i} + \tau_i \frac{dX}{dR_i} + X \frac{\partial \tau_i}{\partial R_i} + \frac{K_i}{R_i^2} = 0$$

将 $\frac{dY_i}{dR_i}$ 、 $\frac{dX}{dR_i}$ 以及 t_i^D 、 τ_i^D 代入上式, 则差别拥挤策略下港口集疏运通道的均衡投资满足

$$\beta_i V_i Y_i + (n\beta_i R_i Y_i - \tau_i) \left(\frac{\partial X}{\partial R_i} + \frac{\partial X}{\partial t_{-i}} \frac{\partial t_{-i}}{\partial R_i} + \frac{\partial X}{\partial \tau_{-i}} \frac{\partial \tau_{-i}}{\partial R_i} \right) + (\beta_i R_i Y_i - t_i) \left(\frac{\partial Y_i}{\partial R_i} + \frac{\partial Y_i}{\partial t_{-i}} \frac{\partial t_{-i}}{\partial R_i} + \frac{\partial Y_i}{\partial \tau_{-i}} \frac{\partial \tau_{-i}}{\partial R_i} \right) = \frac{K_i}{R_i^2} \quad (10)$$

上述方程的经济学意义, 在于均衡通道投资方程的左边是通道运输需求及其区域福利受通道能力变化的影响: 第 1 项是对通道用户成本的直接影响, 第 2 项和第 3 项则表示通道需求变化产生的净福利影响。右边是通道投资扩张的边际成本。因此, 腹地区域通道能力的提高将对腹地客运需求产生两方面的影响: 首先是正的直接效应, 因为给定港口货运需求水平, 更高的通道能力降低了通道拥挤水平, 进而导致腹地客运需求的增加; 其次是负的间接效应, 较高的通道能力降低了通道拥挤水平, 从而吸引更多的港口货运需求, 反而又进一步提高了通道拥挤水平, 进而导致腹地客运需求的减少。综合两方面的影响, 腹地区域通道能力的提升将增加该区域的客运需求, 此时正的直接效应占主导; 而减少其他腹地区域的客运需求, 此时负的直接效应占主导。

因此, 腹地区域的通道投资具有战略互补性, 因为腹地区域通过通道投资提高通行能力, 将吸引更多的港口货运通过该条集疏运通道, 为了抑制增加的港口货运对本地客运产生的负面福利影响, 则其他腹地区域的最优反应也是进行通道投资以提高通行能力。

2.2.2 实施统一拥挤收费策略下通道投资规模

为求解均衡港口集疏运通道投资, 将统一拥挤收费策略下的腹地区域福利函数对 R_i 求一阶条件, 得

$$P_i^Y \frac{dY_i}{dR_i} - g_i^Y \frac{dY_i}{dR_i} - Y_i \frac{dg_i^Y}{dR_i} + \theta_i \left(\frac{dX}{dR_i} + \frac{dY_i}{dR_i} \right) + (X + Y_i) \frac{\partial \theta_i}{\partial R_i} + \frac{K_i}{R_i^2} = 0$$

因为 $P_i^Y(Y_i) = g_i^Y = \alpha_i + R_i \beta_i (nX + Y_i) + \theta_i$, 所以

$$\frac{dg_i^Y}{dR_i} = \beta_i \left[V_i + \left(n \frac{dX}{dR_i} + \frac{dY_i}{dR_i} \right) R_i \right] + \frac{\partial \theta_i}{\partial R_i}$$

$$\frac{dY_i}{dR_i} = \frac{\partial Y_i}{\partial R_i} + \frac{\partial Y_i}{\partial \theta_i} \frac{\partial \theta_i}{\partial R_i} + \frac{\partial Y_i}{\partial \theta_{-i}} \frac{\partial \theta_{-i}}{\partial R_i}$$

$$\frac{dX}{dR_i} = \frac{\partial X}{\partial R_i} + \frac{\partial X}{\partial \theta_i} \frac{\partial \theta_i}{\partial R_i} + \frac{\partial X}{\partial \theta_{-i}} \frac{\partial \theta_{-i}}{\partial R_i}$$

将 $P_i^Y(Y_i) = g_i^Y$ 和 $\frac{dg_i^Y}{dR_i}$ 、 $\frac{dY_i}{dR_i}$ 、 $\frac{dX}{dR_i}$ 以及 t_i^U 和 τ_i^U

的表达式代入相应腹地区域福利函数的一阶条件, 则统一拥挤策略下港口集疏运通道的均衡投资满足

$$\beta_i V_i Y_i + (n\beta_i R_i Y_i - \theta_i) \left(\frac{\partial X}{\partial R_i} + \frac{\partial X}{\partial \theta_{-i}} \frac{\partial \theta_{-i}}{\partial R_i} \right) + (\beta_i R_i Y_i - \theta_i) \left(\frac{\partial Y_i}{\partial R_i} + \frac{\partial Y_i}{\partial \theta_{-i}} \frac{\partial \theta_{-i}}{\partial R_i} \right) = \frac{K_i}{R_i^2} \quad (11)$$

2.2.3 只对腹地客运实施拥挤收费下通道投资规模

只对腹地客运车辆拥挤收费策略下, 将腹地区域福利函数对通道能力的倒数求一阶条件, 得

$$P_i^Y \frac{dY_i}{dR_i} - g_i^Y \frac{dY_i}{dR_i} - Y_i \frac{dg_i^Y}{dR_i} + t_i \frac{dY_i}{dR_i} + Y_i \frac{\partial t_i}{\partial R_i} + \frac{K_i}{R_i^2} = 0$$

因为

$$\frac{dg_i^Y}{dR_i} = \beta_i \left[V_i + \left(n \frac{dX}{dR_i} + \frac{dY_i}{dR_i} \right) R_i \right] + \frac{\partial t_i}{\partial R_i}$$

$$\frac{dY_i}{dR_i} = \frac{\partial Y_i}{\partial R_i} + \frac{\partial Y_i}{\partial t_i} \frac{\partial t_i}{\partial R_i} + \frac{\partial Y_i}{\partial t_{-i}} \frac{\partial t_{-i}}{\partial R_i}$$

$$\frac{dX}{dR_i} = \frac{\partial X}{\partial R_i} + \frac{\partial X}{\partial t_i} \frac{\partial t_i}{\partial R_i} + \frac{\partial X}{\partial t_{-i}} \frac{\partial t_{-i}}{\partial R_i}$$

将 $P_i^Y(Y_i) = g_i^Y$ 和 $\frac{dg_i^Y}{dR_i}$ 、 $\frac{dY_i}{dR_i}$ 、 $\frac{dX}{dR_i}$ 以及 t_i^H 的表

达式代入相应腹地区域福利函数一阶条件, 则只对腹地客运车辆拥挤收费策略下通道的均衡投资满足

$$\beta_i V_i Y_i + n\beta_i R_i Y_i \left(\frac{\partial X}{\partial R_i} + \frac{\partial X}{\partial t_{-i}} \frac{\partial t_{-i}}{\partial R_i} \right) + (\beta_i R_i Y_i - t_i) \left(\frac{\partial Y_i}{\partial R_i} + \frac{\partial Y_i}{\partial t_{-i}} \frac{\partial t_{-i}}{\partial R_i} \right) = \frac{K_i}{R_i^2} \quad (12)$$

2.2.4 只对港口货运实施拥挤收费下通道投资规模

只对港口货运车辆拥挤收费策略下,将腹地区域福利函数对 R_i 求一阶条件,有

$$P_i^Y \frac{dY_i}{dR_i} - g_i^Y \frac{dY_i}{dR_i} - Y_i \frac{dg_i^Y}{dR_i} + \tau_i \frac{dX}{dR_i} + X \frac{\partial \tau_i}{\partial R_i} + \frac{K_i}{R_i^2} = 0$$

因为

$$\frac{dg_i^Y}{dR_i} = \beta_i \left[V_i + \left(n \frac{dX}{dR_i} + \frac{dY_i}{dR_i} \right) R_i \right]$$

$$\frac{dY_i}{dR_i} = \frac{\partial Y_i}{\partial R_i} + \frac{\partial Y_i}{\partial \tau_i} \frac{\partial \tau_i}{\partial R_i} + \frac{\partial Y_i}{\partial \tau_{-i}} \frac{\partial \tau_{-i}}{\partial R_i}$$

$$\frac{dX}{dR_i} = \frac{\partial X}{\partial R_i} + \frac{\partial X}{\partial \tau_i} \frac{\partial \tau_i}{\partial R_i} + \frac{\partial X}{\partial \tau_{-i}} \frac{\partial \tau_{-i}}{\partial R_i}$$

将 $P_i^Y(Y_i) = g_i^Y$ 和 $\frac{dg_i^Y}{dR_i}, \frac{dY_i}{dR_i}, \frac{dX}{dR_i}$ 以及 τ_i^p 的表达式代入腹地福利函数一阶条件,则只对港口货运车辆拥挤收费策略下通道的均衡投资满足

$$\beta_i V_i Y_i + (n\beta_i R_i Y_i - \tau_i) \left(\frac{\partial X}{\partial R_i} + \frac{\partial X}{\partial \tau_{-i}} \frac{\partial \tau_{-i}}{\partial R_i} \right) + (\beta_i R_i Y_i) \left(\frac{\partial Y_i}{\partial R_i} + \frac{\partial Y_i}{\partial \tau_{-i}} \frac{\partial \tau_{-i}}{\partial R_i} \right) = \frac{K_i}{R_i^2} \quad (13)$$

2.2.5 均不实施拥挤收费策略下通道投资规模

在腹地区域 i 对所辖集疏运通道的港口货运和腹地客运车辆均不收费策略下,腹地福利函数为

$$\max W_i = \int_0^{Y_i} P_i^Y(y) dy - g_i^Y Y_i - \frac{K_i}{R_i}$$

将均不收费策略下腹地福利函数对 R_i 求一阶条件并令其为零,有

$$P_i^Y \frac{dY_i}{dR_i} - g_i^Y \frac{dY_i}{dR_i} - Y_i \frac{dg_i^Y}{dR_i} + \frac{K_i}{R_i^2} = 0$$

因为 $P_i^Y(Y_i) = g_i^Y = C_i(V_i R_i)$ 则

$$\frac{\partial C_i(V_i R_i)}{\partial R_i} = \beta_i \left[V_i + R_i \left(n \frac{\partial X}{\partial R_i} + \frac{\partial Y_i}{\partial R_i} \right) \right]$$

所以均不收费策略下通道的均衡投资满足

$$\beta_i V_i Y_i + n\beta_i R_i Y_i \frac{\partial X}{\partial R_i} + \beta_i R_i Y_i \frac{\partial Y_i}{\partial R_i} = \frac{K_i}{R_i^2} \quad (14)$$

3 通道投资和拥挤收费均衡分析

3.1 各种策略下的拥挤收费比较

首先,比较差别收费和统一收费策略对于腹

地客运车辆征收的拥挤费,根据式(5)和(7)可得

$$\theta_i^U - t_i^D = \frac{1}{\frac{\partial X}{\partial \theta_i} + \frac{\partial Y_i}{\partial \theta_i}} \times \left\{ Y_i C_i R_i (n-1) \frac{\partial X}{\partial \theta_i} - X \left[1 + C_i R_i \left(\frac{\partial X}{\partial \theta_i} + \frac{\partial Y_i}{\partial \theta_i} \right) \right] \right\}$$

由拥挤成本函数式(1),用户最优均衡式(2)和(3)可知,腹地客运是港口货运、腹地客运车辆拥挤收费和港口集疏运通道投资的函数

$$Y_i = z_i(X, \theta_i, R_i)$$

因为

$$\frac{\partial Y_i}{\partial \theta_i} = \frac{\partial z_i}{\partial X} \frac{\partial X}{\partial \theta_i} + \frac{\partial z_i}{\partial \theta_i}$$

$$\frac{\partial z_i}{\partial \theta_i} = \frac{1}{\frac{\partial P_i^Y}{\partial Y_i} - C_i R_i}$$

$$\frac{\partial X}{\partial \theta_i} = \frac{C_i R_i \frac{\partial z_i}{\partial \theta_i} + 1}{\frac{\partial P^X}{\partial X} - C_i R_i \left(n + \frac{\partial z_i}{\partial X} \right) - C_{-i} R_{-i} \left(n + \frac{\partial z_{-i}}{\partial X} \right)}$$

整理 $1 + C_i R_i \left(\frac{\partial X}{\partial \theta_i} + \frac{\partial Y_i}{\partial \theta_i} \right)$ 可得

$$\frac{\frac{\partial P_i^Y}{\partial Y_i} \left[\frac{\partial P^X}{\partial X} - C_{-i} R_{-i} \left(n + \frac{\partial z_{-i}}{\partial X} \right) - C_i R_i (n-1) \right]}{\left(\frac{\partial P_i^Y}{\partial Y_i} - C_i R_i \right) \left[\frac{\partial P^X}{\partial X} - C_i R_i \left(n + \frac{\partial z_i}{\partial X} \right) - C_{-i} R_{-i} \left(n + \frac{\partial z_{-i}}{\partial X} \right) \right]}$$

因为

$$\frac{\partial z_i}{\partial X} = \frac{n C_i R_i}{\partial P_i^Y / \partial Y_i - C_i R_i}$$

则

$$n + \frac{\partial z_i}{\partial X} = \frac{n \partial P_i^Y / \partial Y_i}{\partial P_i^Y / \partial Y_i - C_i R_i}$$

由于港口集疏运通道运输的逆需求函数严格向下倾斜且拥挤成本函数严格递增,存在 $\frac{\partial P^X}{\partial X} <$

$0, \frac{\partial P_i^Y}{\partial Y_i} < 0, C_i > 0, n > 1$ 则有

$$n + \frac{\partial z_i}{\partial X} > 0, \frac{\partial P^X}{\partial X} - C_i R_i \left(n + \frac{\partial z_i}{\partial X} \right) - C_{-i} R_{-i} \left(n + \frac{\partial z_{-i}}{\partial X} \right) < 0$$

因此 $1 + C_i R_i \left(\frac{\partial X}{\partial \theta_i} + \frac{\partial Y_i}{\partial \theta_i} \right) > 0$ 即 $\frac{\partial X}{\partial \theta_i} \frac{\partial Y_i}{\partial \theta_i} < 0$

所以 $\theta_i^U - t_i^D > 0$ 即统一收费策略下均衡拥挤费高于

差别收费策略下对腹地客运车辆征收的拥挤费。

其次,比较差别收费策略和只对腹地客运收费策略下对于腹地客运车辆征收的拥挤费。

根据均衡的拥挤费计算式(5)和(8)可得

$$t_i^D - t_i^H = C_i R_i \left(X - Y_i \frac{n \partial X / \partial t_i}{\partial Y_i / \partial t_i} \right)$$

根据式(1)和(2),港口货运的逆需求函数为

$$P^X(X) = C_i [(nX + z_i(X, t_i)) R_i] + \tau_i + C_{-i} [(nX + z_{-i}(X, t_{-i})) R_{-i}] + \tau_{-i}$$

将该函数对 t_i 求一阶条件,有

$$\frac{\partial P^X}{\partial X} \frac{\partial X}{\partial t_i} = C_i \left[n \frac{\partial X}{\partial t_i} + \left(\frac{\partial z_i}{\partial X} \frac{\partial X}{\partial t_i} + \frac{\partial z_i}{\partial t_i} \right) \right] R_i + C_{-i} \left[n \frac{\partial X}{\partial t_i} + \left(\frac{\partial z_{-i}}{\partial X} \frac{\partial X}{\partial t_i} \right) \right] R_{-i}$$

则港口货运车辆与腹地客运收费的增量关系为

$$\frac{\partial X}{\partial t_i} = \frac{C_i R_i \frac{\partial z_i}{\partial t_i}}{\frac{\partial P^X}{\partial X} - C_i R_i \left(n + \frac{\partial z_i}{\partial X} \right) - C_{-i} R_{-i} \left(n + \frac{\partial z_{-i}}{\partial X} \right)}$$

因为 $C_i > 0, \frac{\partial z_i}{\partial t_i} < 0$, 则 $\frac{\partial X}{\partial t_i} > 0, \frac{\partial Y_i}{\partial t_i} < 0$ 故

$t_i^D - t_i^H > 0$, 即差别收费策略下对腹地客运车辆征收的均衡拥挤费高于只对腹地客运收费策略下征收的均衡拥挤费。

再次,比较只对腹地客运收费策略下的均衡拥挤收费与均不收费。

因为 $\frac{\partial Y_i}{\partial t_i} = \frac{\partial z_i}{\partial X} \frac{\partial X}{\partial t_i} + \frac{\partial z_i}{\partial t_i}$, 将 $\frac{\partial X}{\partial t_i}$ 代入可得

$$1 + \frac{n \frac{\partial X}{\partial t_i}}{\frac{\partial Y_i}{\partial t_i}} = \frac{\frac{\partial P^X}{\partial X} - C_{-i} R_{-i} \left(n + \frac{\partial z_{-i}}{\partial X} \right)}{\frac{\partial P^X}{\partial X} - C_i R_i n - C_{-i} R_{-i} \left(n + \frac{\partial z_{-i}}{\partial X} \right)}$$

由于 $\frac{\partial P^X}{\partial X} < 0, C_i > 0, n + \frac{\partial z_i}{\partial X} > 0$, 所以 $1 + \frac{n \partial X / \partial t_i}{\partial Y_i / \partial t_i} > 0$,

$$\text{即 } t_i^H = C_i R_i Y_i \left(1 + \frac{n \partial X / \partial t_i}{\partial Y_i / \partial t_i} \right) > 0$$

所以,只对腹地客运车辆实施拥挤收费策略下的均衡拥挤费大于零。

综上所述,各种策略下对腹地客运车辆征收的均衡拥挤费从高到低依次为:首先是统一拥挤收费策略,其次是差别拥挤收费策略,再次是只对腹地客运实施拥挤收费策略,最后是只对港口货运实施拥挤收费策略。同理,各种策略下对港口货

运车辆征收的均衡拥挤费从高到低分别为:首先是差别拥挤收费策略,其次是统一拥挤收费策略,再次是只对港口货运实施拥挤收费策略,最后是只对腹地客运实施拥挤收费策略。

3.2 通道投资比较

通过比较式(10) (13)可知,均衡通道投资从高到低的拥挤收费策略分别是,对港口货运和腹地客运均不实施拥挤收费策略、只对腹地客运实施拥挤收费策略、对港口货运和腹地客运实施统一拥挤收费策略、对港口货运和腹地客运实施差别拥挤收费策略和只对港口货运车辆实施拥挤收费策略。

4 数值算例

港口集疏运通道不仅承担港口的货运车辆,还承担腹地的客运车辆,其中港口货运车辆包括集装箱车、加长集装箱车、货车、加长货车等多种货运车型。根据港口道路特点以及通道拥挤贡献计算的多车型当量换算系数见表 1。

表 1 多车型当量换算系数

Table 1 Multi-vehicle traffic equivalent ratio

车型	换算系数	车型	换算系数
小客车	1.0	轿车	1.0
普通货车	2.4	加长货车	3.5
集装箱车	2.5	加长集装箱车	3.6

假设连接沿海港口与内陆无水港的集疏运通道隶属能够独立决策所辖通道投资规模和拥挤收费策略的腹地,且港口货运和腹地客运需求函数均呈线性,分别表示为

$$P^X(X) = a - bX, P^Y(Y) = c - dY$$

港口集疏运通道运输的逆需求参数 a, b, c, d 和拥挤成本线性参数 α, β 以及通道投资的固定单位成本 K 见表 2。

表 2 运输逆需求和拥挤成本的函数参数

Table 2 Parameters of inverse demand and congestion function

a	567.12
b	0.34
c	283.56
d	0.17
α	34.34
β	23.92
K	17.89

4.1 对称运输通道

当沿海港口与内陆无水港之间的港口集疏运通道承担港口货运和腹地客运的车辆数量基本相同,即港口货运车辆占通道总流量的比重为50%.

各种拥挤收费策略中的拥挤收费从高到低分别为实施差别拥挤收费策略下港口货运的拥挤收费,只对港口货运车辆实施拥挤收费策略下的拥挤收费,实施统一拥挤收费策略下的拥挤收费,实施差别收费策略下腹地客运的拥挤收费,只对腹地客运车辆实施拥挤收费策略下拥挤收费.各种拥挤收费策略的拥挤收费如图2所示.

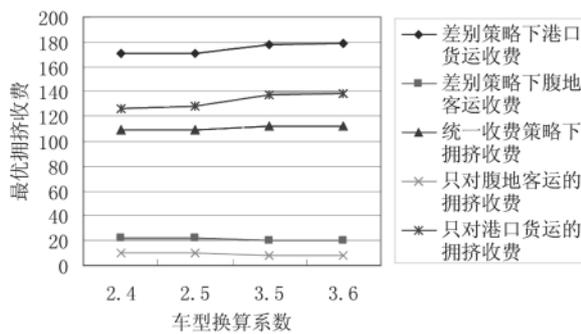


图2 对称运输通道的多车型均衡拥挤收费

Fig. 2 Congestion tolls of multi-model in symmetric traffic corridor

各种拥挤收费策略下均衡的通道投资如图3所示.

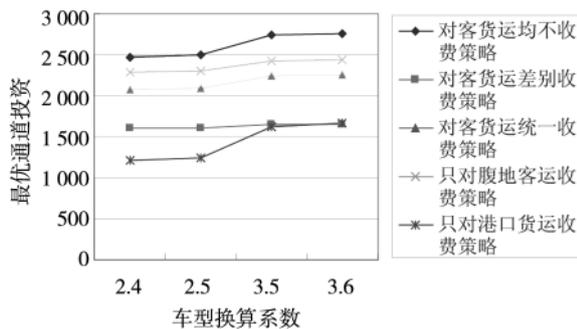


图3 对称运输通道的均衡投资

Fig. 3 Equilibrium investments of multi-model in symmetric traffic corridor

各种拥挤收费策略的政策效果分析.由于腹地区域福利等于腹地客运消费者剩余加上拥挤费收入再减去对腹地通道进行的投资规模,而通道总福利则等于腹地区域福利加上港口货运消费者剩余.当对港口货运和腹地客运均不实施收费策略下,籍有港口集疏运通道的腹地主要指标见表3.

表3 均不实施拥挤收费策略下腹地主要指标

Table 3 Key indicators of no toll case in hinterland region

车型换算系数 n	2.4	2.5	3.5	3.6
港口货运量 X / 辆	1 228	1 225	1 191	1 188
腹地客运量 Y / 辆	1 228	1 225	1 191	1 188
通道拥挤成本 C / 元	74.8	75.31	81.09	81.6
客运消费者剩余 CS_H / 千元	128.18	127.55	120.57	119.96
腹地拥挤费收入 TR / 千元	0	0	0	0
腹地通道投资 I / 千元	44.26	44.74	49.09	49.47
腹地福利 WA / 千元	83.92	82.81	71.48	70.50
货运消费者剩余 CS_P / 千元	256.36	255.11	241.14	239.93
港口集疏运通道总福利 TW / 千元	340.28	337.92	312.62	310.43
腹地福利占港口集疏运通道总福利的比重 WA/TW (%)	24.66	24.51	22.86	22.71

与均不实施拥挤收费策略相比,各种拥挤收费策略下港口货运量和腹地客运量均呈下降的是差别拥挤收费策略,统一拥挤收费策略,只对腹地客运实施拥挤收费策略;通道拥挤成本呈增加趋势的是只对港口货运车辆实施拥挤收费策略;拥挤费收入从多到少分别是统一拥挤收费策略,差别拥挤收费策略,只对港口货运和只对腹地客运的车辆实施拥挤收费策略;通道投资规模均呈下降且降幅从高到低分别是只对港口货运车辆实施拥挤收费策略,差别拥挤收费策略,统一收费策略和只对腹地客运车辆收费策略;腹地福利及其所占通道总福利比重均呈增加趋势且增幅从高到低分别是只对港口货运车辆收费策略,差别收费策略,统一收费策略和只对腹地客运车辆收费策略;总福利呈增加趋势的是只对港口货运车辆收费策略,具体指标见表4.

4.2 非对称运输通道

当港口集疏运通道承担港口货运和腹地客运的车辆数量存在较大失衡,若港口货运车辆占集疏运通道总流量的比重较低,只有10%.

各种拥挤收费策略下的均衡拥挤收费从高到低分别是只对港口货运车辆实施拥挤收费策略下的拥挤收费,差别拥挤收费策略下对港口货运的拥挤收费,统一拥挤收费策略下的拥挤收费,差别拥挤收费策略下对腹地客运的拥挤收费,只对腹地客运车辆实施的拥挤收费,如图4所示.

表 4 多车型拥挤收费策略下辖有对称运输通道的腹地主要指标

Table 4 Key indicators of toll strategies on symmetric traffic corridor in hinterland region

策略	差别收费策略				统一收费策略				只对客运收费策略				只对货运收费策略			
	2.4	2.5	3.5	3.6	2.4	2.5	3.5	3.6	2.4	2.5	3.5	3.6	2.4	2.5	3.5	3.6
n	2.4	2.5	3.5	3.6	2.4	2.5	3.5	3.6	2.4	2.5	3.5	3.6	2.4	2.5	3.5	3.6
X / 辆	299	294	247	243	671	667	631	628	1 097	1 087	1 000	992	315	316	317	318
Y / 辆	1 170	1 170	1 171	1 171	671	667	631	628	1 172	1 170	1 150	1 148	2 729	2 737	2 796	2 800
C / 元	62.54	62.70	63.77	63.83	60.66	61.05	64.58	64.92	74.02	74.61	80.10	80.60	103.26	101.86	91.86	91.13
CS_H / 千元	116.37	116.37	116.57	116.64	38.22	37.78	33.88	33.53	116.70	116.28	112.36	112.03	632.85	636.68	664.32	666.37
TR / 千元	76.70	75.87	68.15	67.44	146.05	145.57	140.98	140.52	12.12	11.83	9.20	8.95	39.97	40.48	43.81	44.03
I / 千元	28.62	28.73	29.59	29.70	37.07	37.39	40.20	40.43	41.02	41.31	43.47	43.65	21.65	22.36	29.09	29.73
WA / 千元	164.44	163.51	155.13	154.40	147.21	145.97	134.66	133.62	87.80	86.80	78.09	77.32	651.18	654.8	679.04	680.67
CS_P / 千元	15.15	14.65	10.36	10.01	76.44	75.56	67.77	67.06	204.54	200.90	169.92	167.27	16.94	17.03	17.24	17.22
TW / 千元	179.59	178.16	165.49	164.41	223.65	221.53	202.43	200.68	292.34	287.7	248.01	244.59	668.12	671.83	696.28	697.89
WA/TW (%)	91.56	91.78	93.74	93.91	65.82	65.89	66.52	66.58	30.03	30.17	31.49	31.61	97.46	97.47	97.52	97.53

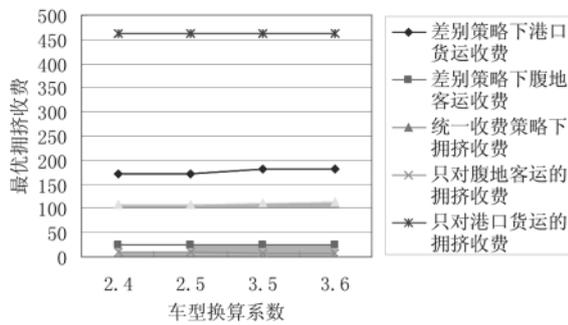


图 4 非对称运输通道的多车型均衡拥挤收费

Fig. 4 Congestion tolls of multi-model in asymmetric traffic corridor

各种拥挤收费策略下的均衡通道投资规模如

图 5 所示.

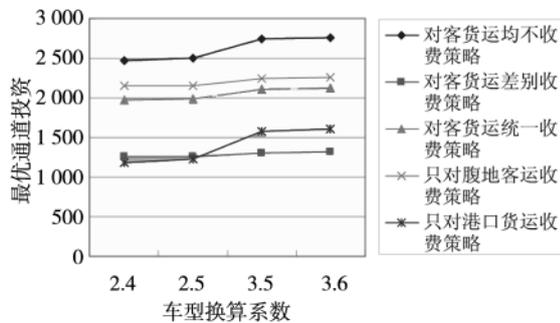


图 5 非对称运输通道的均衡投资

Fig. 5 Equilibrium investments of multi-model in asymmetric

traffic corridor

其中,各种拥挤收费策略下的均衡通道投资规模从高到低分别是均不实施拥挤收费策略,只

对腹地客运车辆实施拥挤收费策略,对货运和客运实施统一拥挤收费策略,只对港口货运车辆实施拥挤收费策略,对货运和客运实施差别拥挤收费策略;且同一拥挤收费策略下均衡的通道投资规模都与车型换算系数成正比.

各种拥挤收费策略的政策效果分析.当对港口货运和腹地客运均不实施拥挤收费策略时,辖有港口集疏运通道的腹地主要指标见表 5.

表 5 均不收费策略下腹地主要指标

Table 5 Key indicators of no toll case in hinterland region

车型换算系数 n	2.4	2.5	3.5	3.6
港口货运量 X / 辆	224	225	238	239
腹地客运量 Y / 辆	2 013	2 027	2 144	2 153
通道拥挤成本 C / 元	245.54	245.27	243.06	242.89
客运消费者剩余 CS_H / 千元	344.35	349.23	390.81	394.08
腹地拥挤费收入 TR / 千元	0	0	0	0
腹地通道投资 I / 千元	44.26	44.74	49.09	49.47
腹地福利 WA / 千元	300.09	304.49	341.72	344.61
货运消费者剩余 CS_P / 千元	8.50	8.62	9.65	9.73
港口集疏运通道总福利 TW / 千元	308.59	313.11	351.37	354.34
腹地福利占总福利比重(%)	97.25	97.25	97.25	97.25

与均不实施拥挤收费策略相比,各种拥挤收费策略下非对称运输通道的港口货运量增幅从大到小分别是只对腹地客运车辆实施收费策略,统一拥挤收费策略,只对港口货运车辆实施拥挤收

费策略;而腹地客运量增加的是只对港口货运车辆收费策略,而其他拥挤收费策略下均呈下降趋势且下降幅度从大到小分别是统一收费策略,差别收费策略和只对腹地客运车辆收费策略;各种拥挤收费策略下通道拥挤成本均呈下降趋势且下降幅度从高到低分别是统一收费策略,差别收费策略,只对腹地客运和只对港口货运的车辆收费策略;腹地拥挤费收入从大到小依次为统一收费策略,差别收费策略,只对港口货运和只对腹地客

运的收费策略;通道投资增加的是统一收费策略和只对腹地客运车辆收费策略;腹地福利及其所占通道总福利比重增加的是只对港口货运车辆收费策略,其余均呈下降趋势且降幅从大到小分别只对腹地客运车辆收费策略,统一收费策略和差别收费策略;总福利增加的是只对港口货运车辆收费策略,而其他拥挤收费策略下总福利均呈下降趋势且下降幅度最大的是差别收费策略,主要指标见表 6.

表 6 多车型拥挤收费策略下辖有非对称运输通道的腹地主要指标

Table 6 Key indicators of toll strategies on asymmetric traffic corridor in hinterland region

策略	差别收费策略				统一收费策略				只对客运收费策略				只对货运收费策略			
	2.4	2.5	3.5	3.6	2.4	2.5	3.5	3.6	2.4	2.5	3.5	3.6	2.4	2.5	3.5	3.6
n	261	255	203	199	662	657	620	616	1 078	1 067	973	964	309	310	308	307
$X/$ 辆	261	255	203	199	662	657	620	616	1 078	1 067	973	964	309	310	308	307
$Y/$ 辆	1 115	1 115	1 124	1 125	662	657	620	616	1 157	1 155	1 133	1 131	2 722	2 730	2 787	2 792
$C/$ 元	67.57	67.67	67.93	67.91	61.71	62.13	65.95	66.31	76.04	76.70	82.69	83.25	104.34	102.96	93.25	92.55
$CS_H/$ 千元	105.59	105.70	107.32	107.51	37.26	36.79	32.66	32.29	113.83	113.34	109.07	108.69	629.91	633.67	660.46	662.39
$TR/$ 千元	74.33	73.36	64.47	63.65	144.72	144.20	139.14	138.64	12.49	12.19	9.40	9.13	39.18	39.65	42.51	42.66
$I/$ 千元	22.42	22.51	23.38	23.45	35.19	35.46	37.77	37.94	38.43	38.62	40.16	40.27	21.18	21.86	28.09	28.66
$WA/$ 千元	157.50	156.55	148.41	147.70	146.79	145.53	134.04	132.98	87.89	86.90	78.31	77.55	647.90	651.46	674.88	676.40
$CS_p/$ 千元	11.57	11.06	7.03	6.71	74.51	73.58	65.33	64.57	197.61	193.71	160.92	158.10	16.27	16.34	16.15	16.08
$TW/$ 千元	169.07	167.61	155.44	154.41	221.3	219.11	199.37	197.55	285.5	280.61	239.23	235.65	664.17	667.8	691.03	692.48
$WA/TW(%)$	93.16	93.40	95.48	95.65	66.33	66.42	67.23	67.31	30.78	30.97	32.73	32.91	97.55	97.55	97.66	97.68

5 结束语

针对承担货运和客运且通过不同腹地区域的港口集疏运通道,通过综合考虑通道投资决策和实施拥挤收费两种方案,基于多车型的港口货运与腹地客运构建集疏运通道运输均衡和腹地福利模型,采用逆向归纳法进行两阶段非合作博弈分析:首先是拥挤收费策略阶段,对港口货运和腹地客运拥挤收费最高的分别是差别拥挤收费策略和统一拥挤收费策略;其次是通道投资决策阶段,实施拥挤收费策略后通道投资规模均为下降且降幅较大的是只对货运车辆实施的拥挤收费策略.最后通过数值算例实证理论分析,并以实施拥挤收费前作为参照,探讨运输结构对通道投资决策和拥挤收费策略以及腹地福利和港口集疏运通道总福利的影响.由于港口货运的需求弹性小于腹地客运的需求弹性且港口货运车辆按车型

换算系数衡量的集疏运通道拥挤贡献大于腹地客运车辆,为实现腹地区域的福利最大化,籍有港口集疏运通道的腹地通常采取只对港口货运车辆实施拥挤收费的歧视性策略.

本文将通道投资决策与通道运营管理进行有机结合研究,有助于加深对复杂通道运输行为的理解,对改进通道投资决策和完善运营管理策略具有理论分析价值和政策指导意义,即在对港口集疏运通道进行硬件投资的同时,更加注重对现有通道设施的有效配置和存量优化,并为实现现代航运集疏运通道的资源优化配置和通行能力提升提供政策建议.进一步研究包括:港口集疏运通道隶属多个腹地时通道投资决策和拥挤收费策略的动态博弈,集疏运通道网络结构对通道投资和拥挤收费以及腹地福利的影响,并将区域政府制定拥挤收费的目标拓展到环境污染、交通事故等社会成本方面.

参考文献:

- [1]Notteboom T, Rodrigue J P. The future of containerization: Perspectives from maritime and inland freight distribution [J]. *Geojournal*, 2009, 74(1): 7-22.
- [2]Yeo G T, Roe M, Dinwoodie J. Evaluating the competitiveness of container ports in Korea and China [J]. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2008, 42(6): 910-921.
- [3]Yossi B. The social costs of global gateway cities: The case of the port of New York [C]// Vancouver: International Conference on Gateways and Corridors, 2007: 1-16.
- [4]Pigou A C. *The Economics of Welfare* [M]. London: MacMillan, 1920: 70-73.
- [5]Kreps D M, Scheinkman J A. Quantity precommitment and Bertrand competition yield Cournot outcomes [J]. *Bell Journal of Economics*, 1983, 14(2): 326-337.
- [6]Braid R. Peak-load pricing of a transportation route with an unpriced substitute [J]. *Journal of Urban Economics*, 1996, 40(2): 179-197.
- [7]黄海军, Bell M G H, 杨海. 公共与个体竞争交通系统的定价研究 [J]. *管理科学学报*, 1998, 1(2): 17-23.
Huang Haijun, Bell M G H, Yang Hai. Pricing and modal split in a competitive system of mass transit and highway [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 1998, 1(2): 17-23. (in Chinese)
- [8]Borger B D, Proost S, Dender K V. Congestion and tax competition on a parallel network [J]. *European Economic Review*, 2005, 49(8): 2013-2040.
- [9]Dender K V. Duopoly prices under congested access [J]. *Journal of Regional Science*, 2005, 45(2): 343-362.
- [10]Maloni M, Jackson C. North American container port capacity: An exploratory analysis [J]. *Transportation Journal*, 2005, 44(3): 1-22.
- [11]Zhang A M. The impact of hinterland access conditions on rivalry between ports [C]// Vancouver: OECD International Transport Forum, 2008: 1-30.
- [12]唐毓敏, 冯苏苇. 政策博弈下的道路交通拥挤定价 [J]. *管理科学学报*, 2008, 11(4): 76-82.
Tang Yumin, Feng Suwei. Model of traffic behavior based on game theory under road-pricing regulation of government [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2008, 11(4): 76-82. (in Chinese)
- [13]刘南, 陈达强, 吴兆峰. 带公平限制的多时段次优拥挤定价模型 [J]. *管理科学学报*, 2008, 11(5): 85-93.
Liu Nan, Chen Daqiang, Wu Zhaofeng. Second-best congestion pricing model on multiple time periods with equity constraints [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2008, 11(5): 85-93. (in Chinese)
- [14]曹凌峰, 赵凇, 龚凤刚, 等. 港口道路通行能力的分析与研究 [J]. *天津建设科技*, 2008, (6): 47-49.
Cao Lingfeng, Zhao Lin, Gong Fenggang, et al. Analysis and research of port road capacity [J]. *Tianjin Construction Science and Technology*, 2008, (6): 47-49. (in Chinese)
- [15]邵长桥, 周洁, 荣建. 道路通行能力不确定性分析方法研究 [J]. *武汉理工大学学报(交通科学与工程版)*, 2009, 33(4): 620-622.
Shao Changqiao, Zhou Jie, Rong Jian. Study on the roadway capacity uncertainty analysis methods [J]. *Journal of Wuhan University of Technology(Transportation Science & Engineering)*, 2009, 33(4): 620-622. (in Chinese)
- [16]董洁霜. 港口集疏运系统优化模型 [J]. *上海理工大学学报*, 2007, 29(5): 453-456.
Dong Jieshuang. Optimal model of collection and distribution system for the ports [J]. *Journal of University of Shanghai for Science and Technology*, 2007, 29(5): 453-456. (in Chinese)
- [17]张戎, 黄科. 集装箱港口集疏运体系影响因素通径分析 [J]. *同济大学学报(自然科学版)*, 2009, 37(1): 57-62.
Zhang Rong, Huang Ke. Path analysis of influential elements of collecting and dispatching system for container port [J]. *Journal of Tongji University*, 2009, 37(1): 57-62. (in Chinese)
- [18]Zhang A M. Congestion pricing and capacity investment in a gateway-hinterland intermodal system [C]// Vancouver: International Conference on Gateway and Corridor, 2007: 5-8.

Research on equilibrium investment and multi-vehicle congestion pricing strategy of port collecting and distributing corridor

*DONG Gang*¹, *ZHU Dao-li*²

1. School of Economics and Management, Shanghai Maritime University, Shanghai 201306, China;

2. Sino-US Global Logistics Institute, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200030, China

Abstract: For port collecting and distributing corridor conveying cargos and passengers through different hinterland regions, different regions make independent decisions regarding the investment scale and congestion pricing of the corridor under the jurisdiction. A traffic equilibrium and hinterland regional welfare model are constructed based on the traffic equivalent coefficient of port cargos and hinterland passengers, using a two-stage non-cooperative game where both regions strategically set investment scales in the first stage and play a pricing game in the second stage. Inspiring results are obtained: the maximum tolls of cargos and hinterland passengers respectively are the strategies of the differentiation and uniform congestion pricing; corridor investment scales are continuously decreasing after implementing the congestion pricing, among which the minimum investment scale is under the strategy of port cargo transit tolls only. Finally, the numerical analysis illustrates some theoretical insights and, compared with the situation where there is no toll equilibrium, the effects of the traffic structures of cargos and passengers on the equilibrium corridor investment scale, the congestion price as well as the welfare of the hinterland regions combining the traffic structure of the corridor are analyzed.

Key words: collecting and distributing corridor; traffic structure of cargo and passenger; vehicle equivalent ratio; corridor investment; congestion pricing

(上接第 68 页)

Research on collaborative B2B e-business model and value creation

MEI Shu'e, *XU Jun*

School of Economics & Management, Southeast University, Nanjing 210096, China

Abstract: Based on organizational theories of learning and process theory, collaborative B2B e-business models are classified into exploitative and explorative B2B e-businesses, and a model is proposed to study the mode of IT use in B2B e-businesses, the mode of B2B e-collaboration and organizational benefits. The model is empirically tested using data from 146 manufacturing firms in China by PLS-based structural equation model. The results demonstrate that e-collaboration plays a mediating role in linking information technology use and organizational benefits. Specifically, the results show that the exploitative use of IT in B2B e-business facilitates exploitative B2B e-collaboration, which promotes operational benefits, and that the explorative use of IT in B2B e-business enables explorative B2B e-collaboration, which creates strategic benefits. The results also suggest that explorative B2B e-business can enhance competitive performance, but exploitative B2B e-business can hardly increase competitive performance.

Key words: collaborative B2B e-business; e-business model; B2B electronic collaboration; exploitation; exploration; value creation