文章编号：1003－207(2011)05－0147－06

基于合作性投资和价格策略的多式联运企业协作行为博弈分析

刘　舰，俞建宁，李引珍，牛惠民

（兰州交通大学交通运输学院，甘肃 兰州　730070）

摘　要：本文对联合运输中不同运输企业间的协作行为进行了研究。考虑了两家提供互补运输服务的寡头运输企业之间的合作和竞争的博弈决策问题，通过定义合作强度参数，并将其引入收益函数，构造了合作性投资和价格策略的两阶段动态博弈模型，讨论了该博弈子博弈完美 Nash 均衡解的存在条件，推出了一些重要的结论。研究发现：当双方投资效果系数组合在(0,1)区间时，随着市场潜量的增加，投资增长；随着价格弹性的增加，投资下降。而当双方投资效果系数组合在(1,2)区间时结论相反。最后通过算例和所设计的免疫遗传算法进行了不同参数环境下的数值模拟，验证了结论的正确性。

关键词：联合运输；协作行为；两阶段动态博弈；免疫遗传算法

中图分类号：F506；U15　　文献标识码：A

1　引言

联合运输是指通过不同运输方式间的组合，完成一项运输业务的新型运输组织模式。在联合运输中由于综合了多种运输方式的优点，使传统运输服务的内涵和外延得到了极大的丰富，并成为综合运输系统的重要组成部分。

联合运输中涉及的点多、面广的特点以及分散决策下自利行为的存在决定了各参与方之间的协作是联合运输组织工作的核心，该问题已日益引起各方学者的关注。文献[1,2]对联合运输的研究现状进行了分析，指出目前对于联合运输的研究仍然处于起步阶段，并且指出参与者成本、收益函数的构成以及相互间协调策略的制定是值得研究的领域之一。这是迄今为止已见最为完整的两篇详细介绍有关联合运输研究现状的综述性文献。文献[3,4]对联合运输的相关作业环节进行了分析，从运输的时效性出发，以综合运输成本最小为目标，对相关作业环节进行了整体优化。但是以上研究均从集中决策者的角度出发，主要分别考虑了需求或供给因素的约束，没有考虑竞争机制下各参与方间博弈行为对于协调决策的交互影响。而对于竞争机制下多个参与方交互决策的分析，博弈论是适用的研究工具。目前，在运输领域内，从博弈的视角针对联合运输中各参与方行为协调的文献很少，值得借鉴的相关文献主要有：文献[5]研究了网络下多发运人和承运人的竞争行为，运用博弈论设计了一个二部制契约，通过对契约参数均衡条件的讨论证明了该契约下发运人和承运人之间的均衡。文献[6]在文献[5]的基础上将承运人细分为运输企业和路网设施的拥有者，依然通过二部制契约讨论了局中人的均衡策略。并且运用合作博弈理论，讨论了使三个局中人行为协调的利润分配策略。文献[7]考虑了同一道路运输系统下两个局中人的博弈行为，其中一个局中人的目标为成本最小，另一局中人的目标为收益最大。文献[8]研究了双寡头运输市场上，空装备调整的价格策略问题，并且提出其均衡价格满足分段函数的特点。文献[9]从虚拟企业的角度研究了我国运输代理市场的发展，认为运输代理人的出现是实现联运协调的重要力量。

在实际中某一联运产品的推出，依赖于不同运输企业之间某种协作机制的建立。当某一运输企业发现潜在联运商机时，会积极寻求其他运输企业进行合作从而使联合运输成为可能。这其中双方或多

收稿日期：2010－07－19；修订日期：2011－07－16

基金项目：国家自然科学基金资助项目(60870008,50968009)

作者简介：刘舰(1974－)，男(汉族)，山东菏泽人，兰州交通大学交通运输学院副教授，博士生，研究方向：供应链协调、多式联运的组织与管理.

方先期进行的投资活动是使合作成为可能的前提和必要条件。但是在双方进行合作性投资的过程中，出于个人收益最大化的考虑又会就价格因素进行竞争，因此相互间更多体现出一种合作和竞争相互交融的动态关系。文献[10]研究了生产相关产品企业为组建横向企业集团进行的博弈，通过均衡分析说明相关参数的选择对企业合作组建集团及最优产量的影响。文献[11]考虑了不同信息结构，研究了互补品和替代品分别进行 Bertrand(Cournot)博弈的均衡策略。但以上研究多仅考虑了单一影响因素、单一阶段的一次博弈，缺乏对诸如投资等多种因素环境下和多阶段各企业间博弈行为的分析，并且尤其缺乏对竞争环境下联合运输中不同运输企业间合作行为的定义、度量和分析。

本文考虑了两家分别拥有不同运输方式且将货物承运、设备提供和管理为一体的区域垄断性综合运输企业，由于各自提供的运输服务具有互补性，为了开展联合运输双方展开投资——定价的两阶段同时行动动态博弈。同大多现有文献不同，本文以幂乘的形式定义了合作强度的概念，并将其引入运输需求函数中，从而将竞争环境中的合作行为加以量化，并将讨论从传统的线性需求函数向非线性需求函数转变，使其更加贴近实际和运输产业发展的特点。另外，结合问题讨论了子博弈完美 NASH 均衡满足的条件。最后，对于非线性规划问题在算例部分借鉴生物免疫原理设计了免疫遗传算法进行求解，并对推导的理论进行了验证。从而期望从不同的视角和方法对联合运输这一新领域中的协作问题进行深入的研究。

2 博弈模型

假设区域运输市场由两家提供互补运输产品服务的风险中性的运输企业构成，两家企业既提供运输服务，又负责各自运输基础设施的建设和管理。现两家运输企业决定合作开展联合运输业务，提供一种远程的联合运输产品。对于货主而言，联合运输具有一次承运、一次计价的特点。而对于参与联合运输的各服务方而言，整个联合运输链在各方分散决策下形成了基于契约的类似虚拟企业的一种组织模式。各运输企业之间会达成一个基于合理利润分配的协议，主要内容为各自运价的制定和投入的多少，而这些因素同时也是影响运输需求的主要因素。据此，本文构造联运市场的需求函数为：

$$q = D - (\alpha_1 p_1 + \alpha_2 p_2)/s \qquad (1)$$

其中，q 为联运市场的实际需求量；D 为联运市场的潜在需求量；s 为开展联运业务两企业间的合作强度，且满足 $s = I_1{}^a I_2{}^b$。$I_i(i=1,2)$为 i 企业为开展联合运输进行的前期投资(合作性投资)。a、b 分别为各企业投入对合作效果影响的伸缩系数，且 $a>0$、$b>0$。显然，其他因素不变的情况下投资越高需求越大，但投资的边际需求递减，即 $\partial q/\partial I_i > 0$，$\partial^2 q/\partial I_i^2 < 0$。$p_i$ 为 i 企业提供联运服务的单位运价，$\alpha_i(\alpha_i > 0, i = 1、2)$为 i 企业的价格对需求的敏感系数，反映出单位运价的变化对需求的影响程度。

企业 i 的收益函数为 $R_i = (D - \sum_i \alpha_i p_i/s)(p_i - c_i) - I_i(i = 1,2)$，其中 c_i 为 i 企业的边际可变成本。两企业的联合收益为 $R = \sum_{i\in(1,2)} R_i$。

两企业同时行动通过如下的两阶段博弈进行决策：阶段一：为了该远程联合运输产品的开发成功双方各自从行动集中选择投入 I_1, I_2 进行合作，最大化联合收益。在该阶段企业的策略即为各自的行动。阶段二：双方在阶段一的基础上从行动集中选择 p_1, p_2 最大化各自的利润。该阶段博弈的实质是基于竞争环境下企业间的利润分配问题。

3 Nash 均衡的存在性

假设两企业同时行动，采取决策，双方博弈的结果会达到子博弈完美 NASH 均衡，其中第二阶段为模型的子博弈。为了保证 NASH 均衡的存在必须满足如下条件。

引理 1 当满足条件

$2\alpha_1(p_1 - c_1)(\alpha_1 p_1 + \alpha_2 p_2) - a\alpha_1{}^2(p_1 - c_1)^2 - a(\alpha_1 p_1 + \alpha_2 p_2)^2 > 0$，和 R_i 是关于(p_i, I_i)的严格凹函数。

证明：先证明 R_1 是关于(p_1, I_1)的严格凹函数。已知当 $I_1>0$，$I_2>0$ 时，R_1 为连续函数，要证 R_1 为严格凹函数，只需证明 R_1 关于(p_1, I_1)的 Hessian 矩阵负定即可。

$$\because \quad \frac{\partial^2 R_1}{\partial p_1^2} = \frac{-2\alpha_1}{I_1^a I_2^b} < 0 \text{ 且}$$

$$\frac{\partial^2 R_1}{\partial I_1^2} = \frac{-(p_1 - c_1)a(a+1)(\alpha_1 p_1 + \alpha_2 p_2)}{I_1^{a+2} I_2^b}$$

$$\frac{\partial^2 R_1}{\partial I_1 \partial p_1} = \frac{\partial^2 R_1}{\partial p_1 \partial I_1} = \frac{a(2\alpha_1 p_1 + \alpha_2 p_2 - \alpha_1 c_1)}{I_1^{a+1} I_2^b}$$

要使 $\nabla^2 R_1(p_1, I_1) = \begin{vmatrix} \partial^2 R_1/\partial p_1{}^2 & \partial^2 R_1/\partial p_1 \partial I_1 \\ \partial^2 R_1/\partial I_1 \partial p_1 & \partial^2 R_1/\partial I_1{}^2 \end{vmatrix}$

负定，只需满足

$$\begin{vmatrix} \partial^2 R_1/\partial p_1{}^2 & \partial^2 R_1/\partial p_1 \partial I_1 \\ \partial^2 R_1/\partial I_1 \partial R_1 & \partial^2 R_1/\partial I_1{}^2 \end{vmatrix} > 0 \text{ 即可。}$$

$$\text{又} \because \begin{vmatrix} \partial^2 R_1/\partial p_1{}^2 & \partial^2 R_1/\partial p_1 \partial I_1 \\ \partial^2 R_1/\partial I_1 \partial R_1 & \partial^2 R_1/\partial I_1{}^2 \end{vmatrix}$$

$$= \frac{a}{I_1{}^{2a+2} I_2{}^{2b}} [2\alpha_1(p_1 - c_1)(\alpha_1 p_1 + \alpha_2 p_2) - a\alpha_1{}^2(p_1 - c_1)^2 - a(\alpha_1 p_1 + \alpha_2 p_2)^2]$$

∴当条件

$2\alpha_1(p_1 - c_1)(\alpha_1 p_1 + \alpha_2 p_2) - a\alpha_1{}^2(p_1 - c_1)^2 - a(\alpha_1 p_1 + \alpha_2 p_2)^2 > 0$ 满足时，其 *Hessian* 矩阵 $\bigtriangledown^2 R_1(p_1, I_1)$ 负定，即 R_1 是关于 (p_1, I_1) 的严格凹函数。

同理可证当条件：

$2\alpha_2(p_2 - c_2)(\alpha_1 p_1 + \alpha_2 p_2) - b\alpha_2{}^2(p_2 - c_2)^2 - b(\alpha_1 p_1 + \alpha_2 p_2)^2 > 0$

满足时，R_2 是关于 (p_2, I_2) 的严格凹函数，证毕。

又由于 $\partial^2 R/\partial I_1^2 < 0$，$\partial^2 R/\partial I_2^2 < 0$ 可知 R 分别是 I_1，I_2 的凹函数，根据引理 1 可知 R_i 分别是各自策略空间的凹函数，且在实际中 p_i、I_i 均有上确界。结合 Debreu(1952) 关于纯策略 Nash 均衡存在性定理[8]，可知第一阶段，第二阶段博弈至少分别存在一个纯策略 Nash 均衡。综合以上分析，得到如下定理。

定理 1　在双寡头的运输市场上，提供互补运输服务的两企业开展联合运输所进行的投资和价格的两阶段博弈中至少存在一个纯策略 Nash 均衡。

4　各阶段博弈分析

用逆向归纳法对上述两阶段动态博弈模型求解。

(1)第二阶段：价格决策

在给定第一阶段合作性投入水平 I_1，I_2 的基础上两企业选择价格 p_i 进行 Bertrand 博弈。两企业的目标为：

企业一：

$$\max R_1(p_1, I_1) = (p_1 - c_1)\left(D - \frac{\alpha_1 p_1 + \alpha_2 p_2}{I_1^a I_2^b}\right) - I_1 \qquad (2)$$

企业二：

$$\max R_2(p_2, I_2) = (p_2 - c_2)\left(D - \frac{\alpha_1 p_1 + \alpha_2 p_2}{I_1^a I_2^b}\right) - I_2 \qquad (3)$$

根据其一阶条件得到如下反应函数：

$$\begin{cases} p_1(p_2) = (I_1^a I_2^b D - \alpha_2 p_2 + \alpha_1 c_1)/2\alpha_1 \\ p_2(p_1) = (I_1^a I_2^b D - \alpha_1 p_1 + \alpha_2 c_2)/2\alpha_2 \end{cases} \qquad (4)$$

联立求解可以得到 Bertrand-Nash 均衡为：

$$\begin{cases} p_1 = (I_1^a I_2^b D - \alpha_2 c_2 + 2\alpha_1 c_1)/3\alpha_1 \\ p_2 = (I_1^a I_2^b D - \alpha_1 c_1 + 2\alpha_2 c_2)/3\alpha_2 \end{cases} \qquad (5)$$

由式(5)可知，联运企业的价格策略同双方的投入、边际可变成本、市场潜量以及价格敏感度有关，进一步分析，得出如下性质：

性质 1　由于 $\partial p_i/\partial s > 0 (i = 1, 2)$，说明双方的投资性合作对于价格策略的制定具有重要影响，合作程度越高可以制定较高的价格。

性质 2　由于 $\partial p_i/\partial \alpha_j < 0 (i, j = 1、2, i \neq j)$，说明企业 i 的价格策略受到合作企业市场需求价格敏感度的影响，合作企业市场的需求价格敏感度越大，企业 i 制定的价格越低。

性质 3　由于 $\partial p_i/\partial I_i > 0 (i = 1, 2)$，因此企业的投入越大，制定的价格越高。

(2)第一阶段：合作性投资决策阶段

在这一阶段联运产品的开发有赖于两企业的合作程度即先期的合作性投入水平，这也反映出两企业的努力程度。在这个阶段两运输企业会选择在联合收益最大化的目标下决定自己合理的投资水平，即求解如下最优化问题。

$$\max_{I_1, I_2} R = R_1 + R_2$$
$$= \left(D - \frac{\alpha_1 p_1 + \alpha_2 p_2}{I_1^a I_2^b}\right)(p_1 + p_2 - c_1 - c_2) - I_1 - I_2$$
$$\text{s. t. } R_1 > 0, R_2 > 0, I_1 > 0, I_2 > 0 \qquad (6)$$

其中的约束 R_1，$R_2 > 0$ 为参与约束，体现出企业选择参与的个人理性的原则，而目标函数最大化则体现了集体理性的原则。

构造如下拉格朗日函数：

$$L(I_1, I_2, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4)$$
$$= R_1 + R_2 + \lambda_1 R_1 + \lambda_2 R_2 + \lambda_3 I_1 + \lambda_4 I_2 \qquad (7)$$

其一阶条件为

$$\begin{cases} \dfrac{\partial R_1}{\partial I_1} + \dfrac{\partial R_2}{\partial I_1} + \lambda_1 \dfrac{\partial R_1}{\partial I_1} + \lambda_2 \dfrac{\partial R_2}{\partial I_1} + \lambda_3 = 0 \\ \dfrac{\partial R_1}{\partial I_2} + \dfrac{\partial R_2}{\partial I_2} + \lambda_1 \dfrac{\partial R_1}{\partial I_1} + \lambda_2 \dfrac{\partial R_2}{\partial I_1} + \lambda_4 = 0 \end{cases} \qquad (8)$$

松弛条件为

$$\begin{cases} \lambda_1 R_1 = 0 & R_1 > 0 & \lambda_1 \geqslant 0 \\ \lambda_2 R_2 = 0 & R_2 > 0 & \lambda_2 \geqslant 0 \\ \lambda_3 I_1 = 0 & I_1 > 0 & \lambda_3 \geqslant 0 \\ \lambda_4 I_2 = 0 & I_2 > 0 & \lambda_4 \geqslant 0 \end{cases} \qquad (9)$$

由于约束条件为松，所以拉格朗日乘子为零，即 $\lambda_1,\lambda_2,\lambda_3,\lambda_4=0$，此时 K-T 条件变为：

$$\begin{cases}\dfrac{\partial R_1}{\partial I_1}+\dfrac{\partial R_2}{\partial I_1}=0\\ \dfrac{\partial R_1}{\partial I_2}+\dfrac{\partial R_2}{\partial I_2}=0\end{cases}\tag{10}$$

将式(5)代入，进一步变换后可得式(11)，其中 $\Delta=\alpha_1c_1+\alpha_2c_2-I_1^aI_2^bD$。

$$\begin{cases}I_1=-\dfrac{a\Delta}{9}\left(\dfrac{\Delta}{I_1^aI_2^b}+2D\right)\left(\dfrac{1}{\alpha_1}+\dfrac{1}{\alpha_2}\right)\\ I_2=-\dfrac{b\Delta}{9}\left(\dfrac{\Delta}{I_1^aI_2^b}+2D\right)\left(\dfrac{1}{\alpha_1}+\dfrac{1}{\alpha_2}\right)\end{cases}\tag{11}$$

式(11)是一个不动点问题可以通过迭代算法求解。由于 I_i 的解析式非常复杂且难以得出，为了推导出相关有益的性质，需要进行简化处理。对运输产业而言，资本密集度高是各种运输方式的基本特点，其成本结构中边际可变成本往往很小，固定成本是最重要的组成部分（这也是有些国家制定低运价政策的依据之一）。因此，同其他产业相比运输成本曲线的“U”形特征并不明显[12]。据此设 $c_1=c_2=0$，式(11)变为

$$\begin{cases}I_1=\dfrac{aD^2I_1^aI_2^b}{9}\left(\dfrac{1}{\alpha_1}+\dfrac{1}{\alpha_2}\right)\\ I_2=\dfrac{bD^2I_1^aI_2^b}{9}\left(\dfrac{1}{\alpha_1}+\dfrac{1}{\alpha_2}\right)\end{cases}\tag{12}$$

$$\Rightarrow I_1=\left[\frac{9a^{b-1}\alpha_1\alpha_2}{D^2b^b(\alpha_1+\alpha_2)}\right]^{\frac{1}{a+b-1}}$$

$$I_2=\left[\frac{9b^{a-1}\alpha_1\alpha_2}{D^2a^a(\alpha_1+\alpha_2)}\right]^{\frac{1}{a+b-1}}\tag{13}$$

将式(13)代入式(5)中可得 p_1、p_2。由于 p_1、p_2、I_1、I_2 为两个阶段的纯策略 Nash 均衡，且在逆向归纳法的框架下得出，不存在不可置信的威胁，因此是子博弈完美 Nash 均衡解。进一步分析可得出性质 4：

性质 4　当 $0<a+b<1$ 时各企业的合作性投资同联运市场的潜在需求量呈同向变动的关系，同价格对需求的敏感度系数呈异向变动的关系。当 $1<a+b<2$ 时各企业的合作性投资同联运市场的潜在需求量呈异向变动的关系，同价格对需求的敏感度系数呈同向变动的关系。

证明：首先推导各企业的合作性投资同潜在需求量之间的关系。

$\because a>0,b>0,\alpha_1>0,\alpha_2>0$ 根据

$I_1=\left[\dfrac{9a^{b-1}\alpha_1\alpha_2}{D^2b^b(\alpha_1+\alpha_2)}\right]^{\frac{1}{a+b-1}}$ 可知

$$\frac{\partial I_1}{\partial D}=$$

$$\frac{-18a^{b-1}D^{-3}\alpha_1\alpha_2}{(a+b-1)b^b(\alpha_1+\alpha_2)}\left[\frac{9a^{b-1}\alpha_1\alpha_2}{D^2b^b(\alpha_1+\alpha_2)}\right]^{\frac{2-a-b}{a+b-1}}$$

$\because \operatorname{sgn}(\partial I_1/\partial D)=\operatorname{sgn}(-1/(a+b-1))$

根据引理 1 可以推出：

$$0<a<\frac{2\alpha_1(p_1-c_1)(\alpha_1p_1+\alpha_2p_2)}{\alpha_1{}^2(p_1-c_1)^2+(\alpha_1p_1+\alpha_2p_2)^2}<1,$$

$$0<b<\frac{2\alpha_2(p_2-c_2)(\alpha_1p_1+\alpha_2p_2)}{\alpha_2{}^2(p_2-c_2)^2+(\alpha_1p_1+\alpha_2p_2)^2}<1$$

$\therefore$ 当 $0<a+b<1$ 时 $\partial I_1/\partial D>0$；当 $1<a+b<2$ 时 $\partial I_1/\partial D<0$。同样的方法运用于 I_2 可得出类似结果。

其次，推导投资同价格需求敏感系数之间的关系。由于

$$\frac{\partial I_1}{\partial\alpha_1}=$$

$$\frac{\alpha_2^2}{(a+b-1)(\alpha_1+\alpha_2)^2}\left[\frac{9a^{b-1}\alpha_1\alpha_2}{D^2b^b(\alpha_1+\alpha_2)}\right]^{\frac{2-a-b}{a+b-1}}$$

$\because \operatorname{sgn}(\partial I_1/\partial\alpha_1)=\operatorname{sgn}(1/(a+b-1))$

$\therefore$ 当 $0<a+b<1$ 时 $\partial I_1/\partial\alpha_1<0$；当 $1<a+b<2$ 时 $\partial I_1/\partial D>0$。同样的方法运用于 I_2 可得相应结果。从而得到性质 4 的结论。证毕。

5　数值分析

已知区域内有两家掌握不同运输方式开展运输服务的运输企业，经过调研两家企业决定合作推出一种新的多式联运产品。现两家企业进行投资—定价的两阶段动态博弈，利用逆向归纳法求解。在部分 4 中，我们通过一阶条件方法得出解的最优性条件，进而推导出一些性质。而由于式(6)为非线性规划问题，求解比较困难，免疫算法是近年发展起来的一种模仿生物免疫系统的智能仿生算法，具有简单、高效、并行及全局搜索的特性。本文算例部分借鉴人工免疫的基本原理[13]，并在种群更新阶段引入遗传算法中的交叉策略用于种群优化，设计出免疫遗传算法对规划问题式(6)求解。为了节省篇幅，在此仅列出主要步骤：将目标函数作为抗原，可行解作为抗体，通过亲和力计算、抗体的产生、促进和抑制、群体更新等技术进行迭代从而得到问题的满意解。并且针对不同的参数环境，模拟了潜在需求同均衡投资的变化曲线（表 1，图 1）、合作系数同均衡价格的变化（图 2）和价格敏感系数同定价、投资的关系（表 2，图 3）。算法的初始参数设置如下：抗体规模 60，记忆的最优抗体数为 20，变异概率 0.2，交叉概率 0.4。

表 1　潜在需求变化下的均衡投资和价格

D	I_1	I_2	S	p_1	p_2
10000	56.5	27.3	3.11	21.73	19.93
15000	72.2	35.7	3.36	32.1	28.6
20000	84.9	42.1	3.53	42.5	37.3
25000	101.6	52.5	3.74	52.9	45.9
30000	112.3	57.7	3.86	63.3	54.6
35000	123.4	62.8	3.96	73.7	63.3
40000	127.2	64.9	4	84.1	71.9
45000	141.1	73.2	4.13	94.5	80.6
50000	155.6	75.5	4.23	104.9	89.3
55000	167.8	83.4	4.34	115.2	97.9
$\alpha_1=500,\alpha_2=600,a=0.2,b=0.1,c_1=5,c_2=6$					

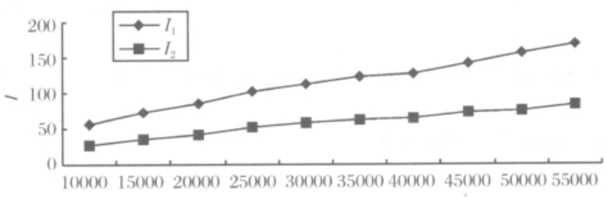

图 1　潜在需求同投资关系图

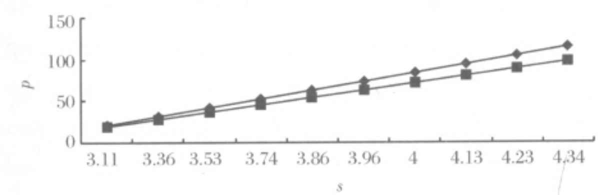

图 2　合作系数同价格关系图

表 2　需求价格系数(α_2)变化下的均衡投资和价格

α_2	I_1	I_2	p_1	p_2
300	150.5	72.3	30.1	47.7
450	131.8	66.8	28.5	32.1
520	122.4	60.1	27.5	27.7
600	112.3	57.7	26.6	24
660	99.8	50.2	25.4	21.5
700	93.4	46.7	24.8	20.1
710	90.4	45.2	24.5	19.7
730	86.4	43.2	24.1	19.1
750	83.1	41.7	23.7	18.5
900	61.9	30.6	21.2	14.9
$\alpha_1=500$				

通过图 1,图 2,图 3 可以看出在其他参数不变的情况下,随着市场潜在需求的上升,各企业的合作性投资逐渐上升;双方的合作程度越高,制定的价格越高;价格敏感度越高,定价越低,投资越低。这和文中相关性质的描述是一致的,从而也验证了相关结论的正确性。

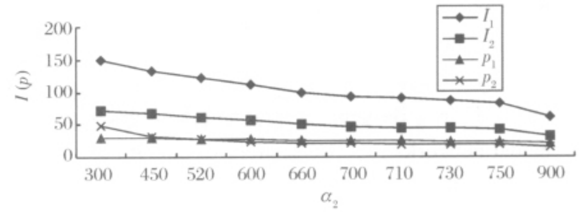

图 3　价格敏感系数同定价、投资关系图

6　结语

本文以区域运输市场两家提供互补服务的运输企业为背景,研究了企业间开展联合运输的建基于合作和竞争的博弈问题。通过建立一个投资——定价的两阶段动态博弈模型,在基于逆向归纳法的分析框架下分析了两企业开展联合运输的合作和竞争行为的策略。最后通过实例设计了免疫遗传算法求解并进行了数值模拟,结论显示不但联运参与方的合作程度对于价格的制定有直接的影响,而且潜在需求、价格敏感系数同各方投资额的关系受到双方投资效果系数组合的影响。当双方投资效果系数组合落在(0,1)区间时,随着市场潜量的增加,投资随之增长;随着价格弹性的增加,投资下降。当投资效果系数组合落在(1,2)区间时却会产生截然相反的结果。

本文是在完全信息的框架下展开研究的,具有较为严格的前提假设的限制。为了便于分析,建模中仅考虑了两个参与人之间的博弈;构建收益函数时也仅考虑了投资、价格等少量影响因素;约束条件也仅考虑了参与约束。因此,建立的模型并不能完全反映现实实际,具有一定的局限性和应用范围的限制。而不完全信息下有关联合运输合作机制的建立更符合现实的实际,是今后值得研究的方向。另外,在实际中联合运输的参与人往往多于两个,因此两个以上局中人博弈策略的分析也是今后值得研究的方向。

参考文献:

[1] Macharis, C. , Bontekoning Y. M.. Opportunities for OR in intermodal freight transport research : A review [J]. European Journal of operational Research, 2004, 153(2): 400－416.

[2] Bontekoning, Y. M., Macharis, C., Trip, J. J.. Is a new applied transportation research field emerging?——A review of intermodal rail-truck freight transport literature [J]. Transportation Research Part A, 2004, 38:1－34.

[3] Shinghal, N., Fowkes, T.. Freight model choice and adaptive stated preferences[J]. Transportation Research Part E, 2002,38(5):367－378.

[4] Sheng, C. T.. Best routes selection in international intermodal networks [J]. Computers & operations research, 2008,35(9):2877－2891

[5] Hurley, W. J., Petersen, E. R.. Nolinear tariffs and freight network equilibrium [J]. Transportation Science. 1994, 28, 236－245.

[6] Xiao, F., Yang, H.. Three-player game-theoretic model over a freight transportation network [J]. Transportation research C, 2007,15:209－217.

[7] Castelli, L., Longo, G.. Two-player noncooperative games over a freight transportation network[J]. Transportation science, 2004,38:149－159.

[8] Zhou, W. H., Lee, C. Y.. Price and competition in a transportation market with empty equipment respositioning[J]. Transportation Research B, 2008,12:1－15.

[9] 马军. 基于虚拟企业的我国运输代理研究[D]. 北京交通大学,2004.

[10] 肖条军,盛昭瀚,程书萍. 组建横向型企业集团抉择的博弈分析[J]. 管理科学学报,2004,5:18－23

[11] Raju, J. S., Roy A.. Market Information and Firm Performance[J]. Management science, 2000, 46(8):1075－1084.

[12] 许庆斌,荣朝和,马运. 运输经济学导论[M]. 中国铁道出版社,1995.

[13] 蒙文川,邱家驹,张彦虎. 约束优化问题的免疫混沌算法[J]. 浙江大学学报(工学版),2007,41(2):301－302.

Cooperation Investment-Price Game Theoretic Model in the Intermodal Freight Transport

LIU Jian, YU Jian-ning, LI Yin-zhen, NIU Hui-min

(School of Transportation and Traffic, Lanzhoujiaotong University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: This study focuses on the collaborative behavior analysis of the different carriers in the intermodal freight transport, a making-decision problem on Cooperation and competition between the two oligopoly transportation firms which provide complementary transport service is considered. Based on the game theory, a two stage dynamic game model with complete information on cooperation investment and price strategies is formulated. We discuss the existence of unique subgame perfect Nash equilibrium of the game. Using backward induction approach to solve the problem, and some important conclusions are then deduced. In the end, a numerical example based on the immune genetic algorithm for solving the proposed model is provided to verify the validity of conclusions.

Key words: intermodal freight transport; collaborative behavior; two stage dynamic game model; immune genetic algorithm