

DOI 编码: 10.3969/j.issn.1672-884x.2016.06.015

基于连续时间动态博弈的供应链企业社会责任研究

颜 波 刘 巳

(华南理工大学经济与贸易学院)

摘要: 基于目前企业履行的社会责任项目存在着时间跨度长、需持续投入、影响力衰减等特征,建立不同领导者的 Stackelberg 博弈模型,将社会责任等级与相关投资线性关联,从时间角度将社会责任等级衰减速率引进模型,宏观上建立跨 T 个连续时间段的供应链企业社会责任动态博弈,通过 Hamiltonian 函数和微分对策模型进行数值分析。研究表明:供应商领导的供应链承担社会责任会做得更好;博弈前期主要由跟随者承担社会责任投资支出,博弈中后期由领导者承担;领导者社会收益参数增加会使社会责任等级减少,跟随者则相反;单个返税比系统返税更能促进社会责任等级增加。

关键词: 企业社会责任; 供应链; Hamiltonian 函数; 责任等级衰减; 微分对策模型

中图分类号: C93 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-884X(2016)06-0913-09

Research on Corporate Social Responsibility of Supply Chain Based on Dynamic Game in Continuous Time

YAN Bo LIU Si

(South China University of Technology, Guangzhou, China)

Abstract: The projects, which enterprise carried out to shoulder CSR, need a long time span and continuous investment. The impact will decrease with time going. In this background, two Stackelberg game models with different leader are established. Then we carry on the linear correlation processing between the social responsibility level and related investment. The decay rate of the social responsibility level is introduced into the model. From the macro point of view, we establish the dynamic game process of enterprise social responsibility in the supply chain enterprises, which spans T time phase. Finally, by constructing the Hamiltonian function and differential game model, we analyze the game process and conduct a numerical example. Finally, a series of conclusions are drawn.

Key words: corporate social responsibility; supply chain; Hamiltonian function; differential game model; decay rate of the social responsibility level

1 研究背景

随着国内企业社会责任意识的觉醒,越来越多的企业开始认识到社会责任对企业和社会可持续发展的重要性,企业社会责任已逐渐成为企业战略规划的重要组成部分。企业和社会的可持续发展需要的是持续不断的社会责任建设,短期内较大支出的企业社会责任项目虽然在短时间内能带来较大的社会影响和经济效

益,但从长远来看,其效果不及相同成本支出下持续的中长期企业社会责任项目^[1]。然而,时间跨度较长、涉及范围较广的企业社会责任项目往往需要经过时间的沉淀才能发挥影响力,因此,在研究此类企业社会责任项目时,应站在长远的角度,将企业社会责任项目的时间跨度等影响因素考虑在内。同时,企业能否履行社会责任,履行的社会责任项目能否持续下去,这不仅是企业的事情,还需要一定的社会环境来

收稿日期: 2015-12-09

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(2015XZD14,2015KXKYJ02);广东省软科学研究计划资助项目(2013B070206013,2015A070704005);广东省自然科学基金资助项目(2016A030313485);广东省哲学社会科学“十二五”规划资助项目(GD15CGL15);广东省科技计划资助项目(2013B040500007,2013B040200057)

推动。这里的社会环境主要包括政府和民众,民众对企业承担社会责任的认可会有力地促进企业收益增长,政府的政策补助可为项目提供持续进行的资金来源。另外,供应链企业也会根据其其在供应链系统中的地位,而采取不同的措施去履行企业社会责任。上述因素都会影响到新常态下企业社会责任建设进程,都是目前需要思考的问题。

企业社会责任是鲍恩^[2]于1953年提出的概念。关于企业社会责任的研究在不同的时代经济背景下一直是学术界的热门话题。目前,涉及企业社会责任的研究主要集中在以下两个方面:①关于企业社会责任本身的研究,比如企业社会责任管理系统构成研究^[3];②将企业社会责任与其他对象相结合进行研究,比如媒体治理^[4]。由于供应链管理在企业战略管理中的重要性提升,越来越多的学者将目光转向供应链管理与企业社会责任相结合的研究。

国外学者对供应链企业社会责任的研究主要有以下3个方面:①不同类型供应链中的企业该如何履行与推进企业社会责任。如CRUZ等^[5]研究了在企业社会责任环境下的动态供应链网络决策模型;HSUEH^[6]研究了新型收益共享协调契约背景下的供应链系统企业社会责任改良;PERRY等^[7]从概念架构发展的角度研究了服装供应链中的企业社会责任实现。②供应链全球化背景下的企业社会责任管理。如CRUZ^[8]研究了集中决策与风险管理环境下的全球供应链系统企业社会责任管理;SCHWARTZ等^[9]指出,全球供应链中核心企业和跨国公司应根据贸易伙伴企业所属产业不同,对其寄予差异化的企业社会责任期望;ARORA等^[10]研究发现,更高标准的供应链企业社会责任要求是国际商业伙伴构建可持续性全球供应链的战略要求;ANNER^[11]从企业合法性与控制权的角度研究了全球供应链系统的企业社会责任建设。③从供应链成员的角度研究供应链系统的企业社会责任管理。如KUMAR等^[12]通过构建解释结构方程,研究了供应链系统在供应商选择过程中的企业社会责任问题;GUO等^[13]从绿色环保的角度研究了绿色供应链中制造商的企业社会责任管理与评价;YE等^[14]从消费者的角度对营养餐饮市场的供应链企业社会责任管理进行了评价。

在国内的相关研究中,对供应链企业履行企业社会责任的研究一般集中在以下3个方面:①微观的企业社会责任评价标准。如缪朝

炜等^[15]对企业社会责任的组成成分分别计量,并对企业社会责任与供应链管理绩效的关系进行了实证检验;张蓓等^[16]构建了农产品供应链核心企业质量安全控制意愿模型,分析了农业企业能力等8个前因变量对农产品供应链核心企业在安全质量构建方面的企业社会责任意愿的影响。②某一时间点某一具体行业的企业社会责任研究。如缪朝炜等^[17]以我国鞋服行业为研究对象,分析了该行业中企业实施供应链企业社会责任的驱动力;许建等^[18]以汽车行业为例,在可持续供应链管理中纳入企业社会责任共同治理标准,对可持续供应链进行了风险评价;周鲜成等^[19]以食品供应链为例,分析了食品供应链企业社会责任缺失的表现和特征,并对其原因进行了深层次剖析。③供应链渠道管理中的企业社会责任研究。如梁佑山等^[20]基于企业社会责任的产品差异化视角,研究了供应链双渠道的竞争与协调;郭春香等^[21]从企业社会责任的角度研究了由供应商、制造商组成的两层供应链的定价及其利润分享问题。

综上,国内外关于供应链企业社会责任方面的研究还存在以下不足:①没有从宏观角度去探讨政府政策对供应链系统及其中各成员的影响;②研究视野局限在某个时间点,没有考虑到时间因素对企业社会责任的影响,现实生活中企业承担的社会责任效果一般会随着时间流逝而影响力衰减。面对影响力衰减现象,供应链企业的决策也会根据其在供应链系统中的地位不同、时间跨度的不同及相关政府政策的不同而有很大的区别。

笔者在已有研究的基础上,分别建立以供应商和制造商为领导者的Stackelberg博弈模型;同时,将时间跨度和社会责任衰减速率等时间因素引进模型,构建基于政府政策下的多时间段的动态博弈过程,对其博弈结果进行研究,使政府监管部门对供应链企业社会责任管理的政策选择有了更清晰的认识,也对供应链企业在一个长的时间跨度范围内如何承担企业社会责任有了新的启示。

2 模型假设及符号说明

在模型构建过程中,根据问题研究方向的不同,可以构建出不同的供应链博弈模型。在一个具体的供应链系统中,往往会有一到两个不可替代的成员对供应链系统更具统治力,比如拥有垄断地位的制造商(波音飞机等),垄断原材料的供应商(巴西淡水河谷公司等),以及

诸如沃尔玛等成功的零售商等。基于此,供应链系统常见的决策模型是在更具统治力的企业做出决定后,其他的企业才会依此做出决定。考虑到实际情况,本研究选择了 Stackelberg 博弈模型,具体的模型设计见图 1。

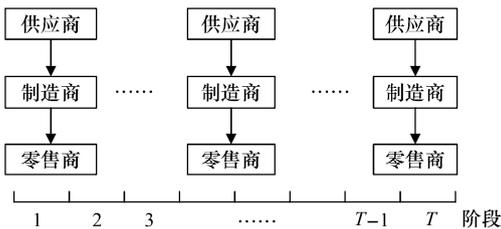


图 1 市场模型结构

在图 1 构建的模型中,假定存在一个三级供应链系统,对于单个制造商而言,其拥有一群零部件供应商和产品零售商。现假设供应商群体和零售商群体中的个体都是相同和对称的,因此,群体中的个体都能同时制定计划和做出决定。为了更好地简化模型,假定该三级供应链系统中分别只存在一个供应商和零售商。结合现实中的供应链系统,制造商既可以决定产品的批发价格,也可以通过特许经营费用或者二部定价法等手段来控制零售商的产品零售价格^[22],但制造商对于原材料的购买价格没有议价权。同时,供应商也控制了供应给制造商的零件和原材料数量及质量,在一定程度上决定了产品的技术水平等级。

2.1 符号说明

在需要构建的模型中,相应的参数和符号的具体意义如下。

t 指正处于第 t 个时间阶段期; T 指总的博弈周期; q_t 表示在第 t 个阶段期产品的市场需求量; P 是产品市场价格,其中 P^M 是制造商对零售商的销售价格, P^S 是供应商对制造商的销售价格; a 是市场对产品的潜在需求; b 是价格敏感系数; c 是供应商的单位成本系数; f 是特许经营费用; x_t 是状态变量,是各阶段社会责任的等级变量; u_t 是其协状态变量; H^S 和 H^M 分别是供应商和制造商的 Hamiltonian 函数矩阵; F_t^S 和 F_t^M 分别是供应商和制造商在单一时间阶段内的收益函数; J_t^S 和 J_t^M 分别是供应商和制造商总的目标收益函数; $B^S(x_t)$ 和 $B^M(x_t)$ 分别是当整个供应链系统承担了 x_t 个单位的社会责任后分别为供应商和制造商带来的社会效益; T_t^S 和 T_t^M 分别表示政府给予承担社会责任的供应商和制造商的政府返税; I_t^S 和 I_t^M 分别表示供应商和制造商承担社会责任的投资支

出;考虑到供应商在承担社会责任方面的投资构成中有相当一部分比例实际上是由制造商以多种方式来承担的, d 表示供应商在承担社会责任项目投资支出中所占的实际支出比例; ω 是供应商出售原材料的价格; δ 和 $\bar{\delta}$ 分别是供应商和制造商的社会收益参数; α 是当前社会责任等级的衰减速率; τ 是单个返税比例; θ 是基于整个供应链系统投资的返税比例; β_1 和 β_2 分别是供应商和制造商在社会责任方面支出的转化比率。

2.2 模型假设

模型的基本假设具体如下。

(1) 市场上的产品需求价格函数为 $P^M(q_t) = a - bq_t$,零售价格主要受到产品数量的影响。

(2) 为了防止丢失市场份额,制造商会通过控制下游的价格去防止双重边际效应的产生,在模型中,假设制造商通过向零售商征取特许经营费用 f 来攫取利润,因此,可以推导出制造商的价格需求函数为 $P^M(q_t) = a - bq_t - f$ 。

(3) 状态变量主要是供应链中公司承担的社会责任等级;同时,公司在承担社会责任方面的支出被假定为投资 I_t 。本时间段企业承担的社会责任等级是上个时间段社会责任等级及公司该阶段在承担社会责任方面支出投资的函数,在这里将公司承担的社会责任等级进行线性关联处理,有: $x_{t+1} = \alpha x_t + \beta_1 I_t^S + \beta_2 I_t^M$,每个时间段的企业承担的社会责任等级将被量化处理。

(4) 企业承担社会责任将会为企业带来一定收益,假设存在函数 $B_S(x_t) = \delta x_t^2$ 和 $B_M(x_t) = \bar{\delta} x_t^2$ 。

(5) 政府会通过政策和法律规定迫使公司采取措施承担社会责任,同时,政府也将给予相应的奖励。奖励在该模型中主要是以政府返税的形式表现,返税主要分为系统返税和企业返税^[23],其中系统返税是政府基于整个产业承担企业社会责任的整体情况给予的产业补贴,而企业返税是根据企业的个体表现给予的政府补贴,其函数为: $T_t^S = \tau I_t^S [1 + \theta(I_t^S + I_t^M)]$ 和 $T_t^M = \tau I_t^M [1 + \theta(I_t^S + I_t^M)]$ 。

(6) 供应商在承担社会责任的投资支出构成中,有相当一部分比例实际上是由制造商用多种方式承担的,比如制造商会为了获取更加环保的原材料或者零件而向供应商支付得更多。

(7) 对于制造商和供应商而言,目标是在经历 T 个博弈周期后使得累计利润达到最大,整

个博弈过程将经历有限的 T 个周期,通常而言,长期投资的回报周期是 10 周年,所以在这里假定 $T=10$ 。

根据模型假设及符号说明,可得政府政策下供应商与制造商的相关函数。

供应商与制造商在单一时间段内的收益函数分别为

$$F_t^S = P_t^S q_t - c q_t + B_t^S(x_t) + T_t^S(I_t^S, I_t^M) - I_t^S + d I_t^M, \quad (1)$$

$$F_t^M = P_t^M(q_t) q_t - P_t^S q_t + B_t^M(x_t) + T_t^M(I_t^S, I_t^M) - I_t^M. \quad (2)$$

同时,可得在整个 T 周期内供应商与制造商的总目标函数分别为

$$J_t^S = \operatorname{argmax} \sum_{i=1}^T \{P_i^S q_i - c q_i + B_i^S(x_i) + T_i^S(I_i^S, I_i^M) - I_i^S + d I_i^M\}, \quad (3)$$

$$J_t^M = \operatorname{argmax} \sum_{i=1}^T \{P_i^M q_i - P_i^S q_i + B_i^M(x_i) + T_i^M(I_i^S, I_i^M) - I_i^M\}. \quad (4)$$

3 模型分析

由于供应链组成公司的不同,供应链系统将存在多种多样的决策模型^[24],因此,在模型分析中将分别构建以供应商和制造商为领导的 Stackelberg 博弈。同时,因为模型为多时间段的动态博弈过程,所以,采取逆向归纳法并结合 Hamiltonian 函数和微分对策理论对构建的博弈过程进行求解。

3.1 供应商作为领导者的模型分析

在现实生活的一些供应链系统中,由于供应商掌握着原材料以及零部件的质量水平和供应数量,所以,供应商在一定程度上决定着终端产品的技术水平和质量^[25],从而影响到制造企业的收益水平。在这样的供应链系统中,供应商往往拥有更大的自主权和义务去投入资金承担社会责任。

根据假设可知,供应链的博弈过程是时间跨度为 $T=10$ 的动态博弈过程,其中,假定公司所承担的社会责任等级为状态变量,而公司投入到社会责任的资金投资规模为控制变量。具体而言,由公司 j 在第 t 阶段所承担的社会责任支出可以被描述为投资 I_t^j 。若目前供应链累计的社会责任等级是 x_t ,那么供应链系统在下一个时间段的累积社会责任等级为

$$x_{t+1} = \alpha x_t + \beta_1 I_t^S + \beta_2 I_t^M. \quad (5)$$

供应商和制造商的目标是本身收益达到最大化,基于这个目标,他们必须尽量使得原材料成本和投资在社会责任的资金支出最小化;同

时,必须使得销售利润最大化以及更多地获得来自政府的返税补贴。将上述已知的各项条件代入式(3)和式(4),可得供应商和制造商的总目标函数:

$$J_t^S = \operatorname{argmax} \sum_{i=1}^T \{\omega q_i - c q_i + \delta x_i^2 + \tau I_i^S [1 + \theta(I_i^S + I_i^M)] - I_i^S + d I_i^M\}, \quad (6)$$

$$J_t^M = \operatorname{argmax} \sum_{i=1}^T \{(a - b q_i - f) q_i - \omega q_i + \delta x_i^2 + \tau I_i^M [1 + \theta(I_i^S + I_i^M)] - I_i^M\}. \quad (7)$$

在已构建各成员目标函数的基础上,将通过逆向归纳法,并结合 Hamiltonian 函数^[26]对该动态博弈过程求解,得出相应的博弈平衡结果。

根据 SETHI 等^[27]对最优化控制理论在经济管理中运用的介绍,可得,对于固定的 I_t^S 值,此时制造商的 Hamiltonian 函数为

$$H_t^M = J_t^M + P_{t+1}^M x_{t+1} = J_t^M + P_{t+1}^M (\alpha x_t + \beta_1 I_t^S + \beta_2 I_t^M). \quad (8)$$

这意味着对于领导者供应商宣称的任一投资支出决定 I_t^S ,跟随者制造商都将有满足以下条件的特殊最优解 I_t^M 存在

$$\frac{\partial H_t^M}{\partial I_t^M} = \tau + \theta \tau I_t^S + 2\theta \tau I_t^M - 1 + P_{t+1}^M \beta_2 = 0. \quad (9)$$

根据式(9)可得,此时的特殊最优解 I_t^M 为

$$I_t^{M*} = \frac{1 - \tau - \theta \tau I_t^S - P_{t+1}^M \beta_2}{2\theta \tau}. \quad (10)$$

结合 HE 等^[28]用 Stackelberg 微分对策模型求解两个博弈参与者在固定的有限时间内进行动态博弈的相关文献中所使用的方法,可进一步得到

$$x_{t+1} = \frac{\partial H_t^M}{\partial P_{t+1}^M} = \alpha x_t + \beta_1 I_t^S + \beta_2 I_t^M, \quad (11)$$

$$P_t^M = \frac{\partial H_t^M}{\partial x_t} = 2\delta x_t + \alpha P_{t+1}^M. \quad (12)$$

将 I_t^M 代入式(11)中,整理可得

$$x_{t+1} = \alpha x_t + \beta_1 I_t^S + \beta_2 \frac{(1 - \tau - \theta \tau I_t^S - P_{t+1}^M \beta_2)}{2\theta \tau} = \alpha x_t + (\beta_1 - \frac{\beta_2}{2}) I_t^S + \beta_2 \frac{(1 - \tau - P_{t+1}^M \beta_2)}{2\theta \tau}. \quad (13)$$

在得出制造商的最优反应函数表达式之后,采取逆向归纳法对供应商的函数进行求解。为了得到供应商的 Stackelberg 博弈策略,通过构建 Hamiltonian 函数去求供应商目标函数的最大值,通过固定式(10)中的 I_t^M ,可得供应商对应的 Hamiltonian 函数为

$$H_t^S = J_t^S(x_{t+1}) + P_{t+1}^S(x_{t+1}) + u_t(P_t^M), \quad (14)$$

其中, u_t 为其协状态变量。将式(10)代入式(6),整理可得

$$J_t^S = \frac{\theta \tau (I_t^S)^2}{2} + \left[(\tau - 1) + \left(\frac{1 - \tau - P_{t+1}^M \beta_2}{2} \right) - \frac{d}{2} \right] I_t^S +$$

$$\omega q_t - c q_t + \delta x_t^2 + d \left(\frac{1 - \tau - P_{t+1}^M \beta_2}{2\tau\theta} \right). \quad (15)$$

同理,结合式(12)和式(13)可得

$$P_{t+1}^S x_{t+1} = P_{t+1}^S \left[\alpha x_t + (\beta_1 - \frac{\beta_2}{2}) I_t^S + \beta_2 \frac{(1 - \tau - P_{t+1}^M \beta_2)}{2\theta\tau} \right], \quad (16)$$

$$u_t(P_t^M) = u_t(2\delta x_t + \alpha P_{t+1}^M). \quad (17)$$

通过式(14)~式(17)可以推导获得作为领导者的供应商的特殊最优反应函数

$$\frac{\partial H_t^S}{\partial I_t^S} = \theta\tau I_t^S + \frac{\tau - 1 - P_{t+1}^M \beta_2}{2} - \frac{d}{2} + P_{t+1}^S (\beta_1 - \frac{\beta_2}{2}) = 0. \quad (18)$$

整理可得供应商的特殊最优解 I_t^{S*} 为

$$I_t^{S*} = \frac{d - \tau + 1 - P_{t+1}^S (2\beta_1 - \beta_2) + P_{t+1}^M \beta_2}{2\theta\tau}. \quad (19)$$

同理,可得其他相应的推导式为

$$x_{t+1} = \frac{\partial H_t^S}{\partial P_{t+1}^S} = \alpha x_t + (\beta_1 - \frac{\beta_2}{2}) I_t^S + \beta_2 \frac{(1 - \tau - P_{t+1}^M \beta_2)}{2\theta\tau}, \quad (20)$$

$$P_t^S = \frac{\partial H_t^S}{\partial x_t} = 2\delta x_t + \alpha P_{t+1}^S + 2\delta u_t, \quad (21)$$

$$u_{t+1} = \frac{\partial H_t^S}{\partial P_{t+1}^M} = \alpha u_t - \frac{I_t^S \beta_2}{2} - \frac{d\beta_2}{2\tau\theta} - \frac{P_{t+1}^S \beta_2^2}{2\tau\theta}. \quad (22)$$

根据式(19)~式(22),接下来通过构建离散型 Hamiltonian 矩阵对其进行进一步处理。假设存在 3 个 2×2 的矩阵 \mathbf{A} , \mathbf{B} 和 \mathbf{C} , 以及 2 个 2×1 的矩阵 \mathbf{D} 和 \mathbf{E} , 使得

$$\begin{bmatrix} \bar{x}_{t+1} \\ \bar{P}_t \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{A} & \mathbf{B} \\ \mathbf{C} & \mathbf{A} \end{pmatrix} \begin{bmatrix} \bar{x}_t \\ \bar{P}_{t+1} \end{bmatrix} + \begin{pmatrix} \mathbf{D} \\ \mathbf{E} \end{pmatrix}, \quad (23)$$

其中,

$$\begin{bmatrix} \bar{x}_{t+1} \\ u_{t+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{t+1} \\ P_t^S \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} \bar{P}_t \\ P_{t+1}^M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_t^S \\ P_{t+1}^M \end{bmatrix}. \quad (24)$$

将式(24)代入式(23),可分别得矩阵的表达式

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} \alpha & 0 \\ 0 & \alpha \end{bmatrix}, \mathbf{B} = \begin{bmatrix} \frac{(\frac{\beta_2}{2} - \beta_1)^2}{\theta\tau} & -\frac{\beta_2(\beta_1 - \frac{3\beta_2}{2})}{2\theta\tau} \\ -\frac{\beta_2(\beta_1 - \frac{3\beta_2}{2})}{2\theta\tau} & -\frac{\beta_2^2}{4\theta\tau} \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} 2\delta & 2\delta \\ 2\delta & 0 \end{bmatrix}, \mathbf{D} = \begin{bmatrix} \frac{(1 - \tau)(\beta_1 + \frac{\beta_2}{2}) + d(\beta_1 - \frac{\beta_2}{2})}{2\tau\theta} \\ -\frac{\beta_2(3d - \tau + 1)}{4\theta\tau} \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{E} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}.$$

在已知当前状态的基础上,为了推导获得每个博弈阶段的最优控制状态,假设在 \bar{x}_t 和 \bar{P}_t 之间存在简单的线性相关性,即存在 S_t, g_t , 使得 $\bar{P}_t = S_t \bar{x}_t + g_t$, 结合式(23)可得

$$\begin{cases} \bar{x}_{t+1} = (I_{2 \times 2} - BS_{t+1}) - 1(A\bar{x}_t + Bg_{t+1} + D), \\ S_t = C + AS_{t+1}(I_{2 \times 2} - BS_{t+1}) - 1A, \\ g_t = AS_{t+1}(I_{2 \times 2} - BS_{t+1}) - 1(Bg_{t+1} + D) + Ag_{t+1} + E. \end{cases} \quad (25)$$

可以看出, S_t, g_t 是通过向后方程^[29] 决定的,根据边界条件^[30] 可知,在博弈初始阶段的协状态变量为 0,即存在 $[\bar{x}_1] = \begin{bmatrix} x_1 \\ 0 \end{bmatrix}$ 。同时,在博

弈过程的结束阶段存在 $[\bar{P}_{t+1}] = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$ 。从而可

$$\text{得 } S_{t+1} = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}, g_{t+1} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}.$$

接下来通过逆向归纳法,可得博弈阶段末期的第 t 阶段有 $S_t = C, g_t = E$ 。

综上,可以通过反向循环推导得到博弈过程中所有时间点 S_t, g_t 的不同取值。在求得 S_t, g_t 的基础上,可以正向推导进而得到 \bar{x}_t 和 \bar{P}_t 的对应取值;同时,更进一步可以推导出 $x_t, P_t^S, P_t^M, I_t^S, I_t^M$ 的取值,最终通过逆向归纳法获得整个博弈过程不同时间段的所有取值。

3.2 制造商作为领导者的模型分析

日常生活中较常见的供应链系统结构是以制造商为领导者的 Stackelberg 博弈模型。拥有垄断地位或规模经济优势的制造商通过决定批发价格,进而间接控制着产品的零售价格,并且可以依靠其垄断地位或者规模经济优势对供应商原材料的销售价格拥有一定的议价权力。

对固定的 I_t^M 值,可得制造商为领导者的 Stackelberg 博弈中供应商的 Hamiltonian 函数为

$$H_t^S = J_t^S + P_{t+1}^S x_{t+1} = J_t^S + P_{t+1}^S (\alpha x_t + \beta_1 I_t^S + \beta_2 I_t^M). \quad (26)$$

将式(26)代入式(3)后,令 $\partial H_t^S / \partial I_t^S = 0$, 可得跟随者供应商的特殊最优解 I_t^{S*} 为

$$I_t^{S*} = \frac{1 - \tau - \theta\tau I_t^M - P_{t+1}^S \beta_1}{2\theta\tau}, \quad (27)$$

同时,可得

$$x_{t+1} = \frac{\partial H_t^S}{\partial P_{t+1}^S} = \alpha x_t + \beta_1 I_t^S + \beta_2 I_t^M = \alpha x_t + (\beta_2 - \frac{\beta_1}{2}) I_t^M + \beta_1 \frac{(1 - \tau - P_{t+1}^S \beta_1)}{2\theta\tau}, \quad (28)$$

$$P_t^S = \frac{\partial H_t^S}{\partial x_t} = 2\delta x_t + \alpha P_{t+1}^S. \quad (29)$$

对固定的供应商特殊最优解 I_t^{S*} , 制造商对应的 Hamiltonian 函数为

$$H_t^M = J_t^M(x_{t+1}) + P_{t+1}^M(x_{t+1}) + u_t(P_t^S), \quad (30)$$

整理可得供应商的特殊最优解 I_t^{M*} 为

$$I_t^{M*} = \frac{P_{t+1}^M \beta_1 - \tau + 1 - P_{t+1}^M (2\beta_2 - \beta_1)}{2\theta\tau}. \quad (31)$$

同理,可得其他相应的推导式为

$$x_{t+1} = \frac{\partial H_t^M}{\partial P_{t+1}^M} = \alpha x_t + (\beta_2 - \frac{\beta_1}{2}) I_t^M + \beta_1 \frac{(1 - \tau - P_{t+1}^S \beta_1)}{2\theta\tau}, \quad (32)$$

$$P_t^M = \frac{\partial H_t^M}{\partial x_t} = 2\bar{\delta}x_t + \alpha P_{t+1}^M + 2\delta u_t, \quad (33)$$

$$u_{t+1} = \frac{\partial H_{t+1}^M}{\partial P_{t+1}^S} = \alpha u_t - \frac{I_t^M \beta_1}{2} - \frac{P_{t+1}^M \beta_1^2}{2\tau\theta}. \quad (34)$$

接下来构建离散型 Hamiltonian 矩阵, 对其进行进一步的处理, 假设存在 3 个 2×2 的矩阵 \mathbf{A} , \mathbf{B} 和 \mathbf{C} , 以及 2 个 2×1 的矩阵 \mathbf{D} 和 \mathbf{E} , 使得

$$\begin{bmatrix} \bar{x}_{t+1} \\ \bar{P}_t \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{A} & \mathbf{B} \\ \mathbf{C} & \mathbf{A} \end{pmatrix} \begin{bmatrix} \bar{x}_t \\ \bar{P}_{t+1} \end{bmatrix} + \begin{pmatrix} \mathbf{D} \\ \mathbf{E} \end{pmatrix}, \quad (35)$$

其中, $\begin{bmatrix} \bar{P}_t \\ \bar{P}_t^S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_t^M \\ P_t^S \end{bmatrix}$.

将式(35)代入式(31)~式(34), 可得

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} \alpha & 0 \\ 0 & \alpha \end{bmatrix}, \quad \mathbf{B} = \begin{bmatrix} -\frac{(\frac{\beta_1}{2} - \beta_2)^2}{\theta\tau} & \beta_1(\beta_2 - \frac{3\beta_1}{2}) \\ \beta_1(\beta_2 - \frac{3\beta_1}{2}) & -\frac{\beta_1^2}{4\theta\tau} \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} 2\bar{\delta} & 2\delta \\ 2\delta & 0 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{D} = \begin{bmatrix} \frac{(1-\tau)(\beta_2 + \frac{\beta_1}{2})}{2\tau\theta} \\ \frac{\beta_1(1-\tau)}{4\theta\tau} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{E} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}.$$

4 算例分析

为了更清晰地说明问题, 阐述供应链系统中各企业在不同市场结构中跨越连续时间承担

表 1 社会责任等级 x_t 数值变化表

T	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
供应商领导	0	1 049.49	1 994.49	2 844.99	3 610.44	4 299.34	4 919.36	5 477.37	5 979.59	6 426.95
制造商领导	0	450.28	855.28	1 219.78	1 547.83	1 843.07	2 108.79	2 347.94	2 563.18	2 759.38

供应商和制造商作为领导者的市场权力结构下的投资变动曲线分别见图 2 和图 3。从图中曲线的变化趋势可以得出以下结论: ①在供应商作为市场领导者的 Stackelberg 市场结构中, 供应商在承担社会责任方面的投资前 3 年没有支出, 从第 3 年开始逐步增长并于第 8 年达到最大值, 随后快速减少并于博弈结束阶段变为零支出; 而此时, 制造商在承担社会责任方

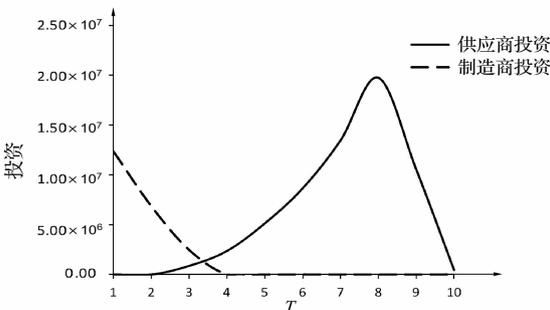


图 2 供应商领导下的 Stackelberg 模型投资变动曲线

企业责任的动态博弈过程, 通过仿真实验给出具体算例。以下对上述描述进行算例分析, 参数设置如下: $a=10\ 000$, $b=0.2$, $f=0.5$, $T=10$, $d=0.5$, $\delta=0.1$, $\bar{\delta}=0.2$, $\alpha=0.9$, $\tau=0.2$, $\theta=0.001$, $\beta_1=0.9$, $\beta_2=0.9$ 。

结合数据用 Matlab 7.0 软件进行求解, 可得在跨越 $T=10$ 的连续时间段内, 不同市场结构情况下的供应商与制造商在承担企业责任方面的投资、利润及相关参数对企业社会责任等级演化过程的影响, 具体见表 1。

由表 1 可以看出, 在跨越 $T=10$ 的连续时间内, 两种市场结构的社会责任等级 x_t 都一直处于增长状态, 不同之处在于, 供应商作为领导者的市场结构在承担企业社会责任方面要比制造商作为领导者的市场结构做得更好, 其社会责任等级初始增长率高于制造商作为领导的市场结构; 同时, 增长率的衰减程度小于制造商是领导者的市场结构。存在这种现象的主要原因是, 在供应商承担社会责任方面的投资中, 有相当一部分比例 d 实际上是由制造商以多种方式承担, 使得供应商作为领导者的 Stackelberg 博弈市场结构在承担企业社会责任方面支出得更多, 从而促使整个供应链系统的社会责任等级 x_t 增长得更多。

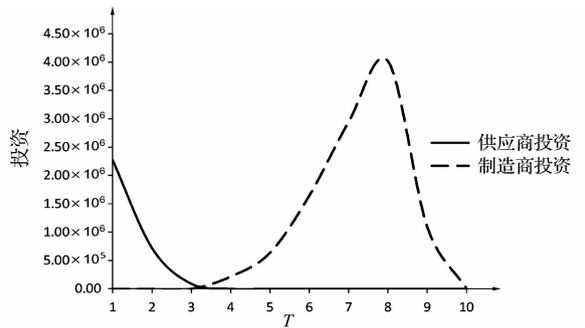


图 3 制造商领导下的 Stackelberg 模型投资变动曲线

面的投资前 3 年比供应商支出多, 但会呈现为递减状态, 从第 4 年开始减少为零并在接下来的动态博弈连续时间内一直维持在零支出的状态。②在制造商作为市场领导者的 Stackelberg 市场结构中, 制造商在承担社会责任方面的投资前 3 年没有支出, 从第 3 年开始逐步增长并于第 8 年达到最大值, 随后快速减少并于博弈结束阶段变为零支出; 而此时, 供应商在承

担社会责任方面的投资前3年比供应商支出多,但会呈现为递减状态,从第4年开始减少为零并在接下来的动态博弈连续时间内一直维持在零支出的状态。③两种市场结构下的投资变动趋势大抵相同,都是博弈前期阶段主要由跟随者承担该方面的社会投资支出,而此时领导者支出较少;博弈中后期供应链系统的社会责任主要由领导者来承担,而此时跟随者在这方面的支出较少;同时,可以观察到,供应商作为领导者的市场结构在承担社会责任方面的整体投资支出大于制造商为领导者的市场结构。

供应商和制造商作为领导者的市场权力结构下的收益变动曲线分别见图4和图5。从图中曲线的变化趋势可以得出以下结论:对于不同市场权力结构的收益变动趋势大抵相同,在博弈阶段初期,领导者的收益将小于跟随者,随着博弈的进行,跟随者的收益将逐渐降低,并于连续时间的中后期呈现稳定状态,而领导者的收益会逐年增加,于博弈阶段后期的某一时间点达到收益最大化,随后开始降低。值得注意的是,供应商领导的 Stackelberg 市场结构的收益远大于制造商领导的 Stackelberg 市场结构,其主要原因在于,制造商领导的 Stackelberg 市场结构的企业社会责任等级相对较低,从而来自政府的返税补贴及社会效益相对较小,继而影响了该供应链系统的收益情况。

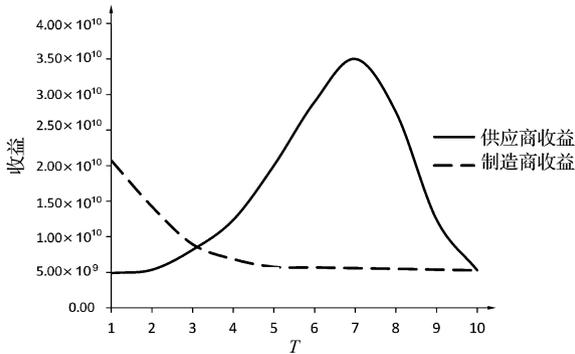


图4 供应商领导下的 Stackelberg 模型收益曲线

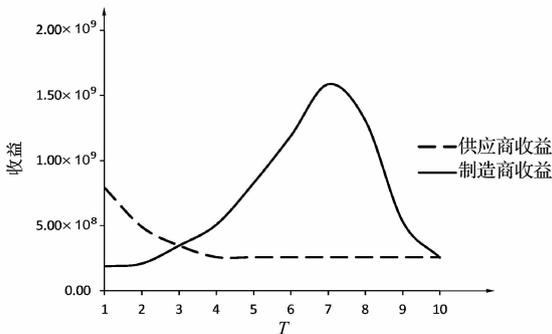


图5 制造商领导下的 Stackelberg 模型收益曲线

接下来研究不同参数设置对于供应链系统承担企业社会责任等级的影响,并深入探究背后存在的经济管理现象及原因,见图6。

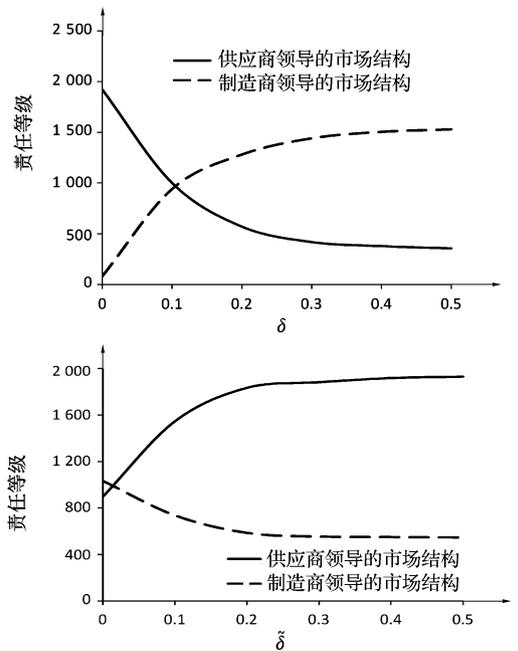


图6 社会收益参数对于社会责任等级的影响

社会收益参数对于社会责任等级影响的趋势变动可见图6。根据图6可以得出以下结论:①在保持制造商的社会收益参数不变的情况下,随着供应商社会收益参数的增加,由供应商作为领导者的 Stackelberg 市场结构的企业社会责任等级将呈现递减状态,而制造商作为领导者的 Stackelberg 市场结构的企业社会责任等级将呈现递增状态,双方都在后期趋于平稳状态;②同样在保持供应商的社会收益参数不变的情况下,随着制造商社会收益参数的增加,由制造商作为领导者的 Stackelberg 市场结构的企业社会责任等级将呈现递减状态,而供应商作为领导者的 Stackelberg 市场结构的企业社会责任等级将呈现递增状态,双方都在后期趋于平稳状态;③对于同一个市场结构,领导者的社会收益参数增加会导致供应链系统整体的社会责任等级减少,而跟随者的社会收益参数增加则能在一定程度上促进供应链系统整体的社会责任等级增加。

政府返税政策变动对于不同权力结构下企业社会责任等级的影响情况可见图7。由图7可以得出以下相关结论:①对于两种市场权力结构而言,政府返税政策越强,越有利于增加该系统的社会责任等级,即越能促进供应链系统内部成员投入资金去承担企业社会责任;②就政策本身而言,提高单个返税比率 τ 比系统返

税比率 θ 更能促进供应链系统社会责任等级的提高。

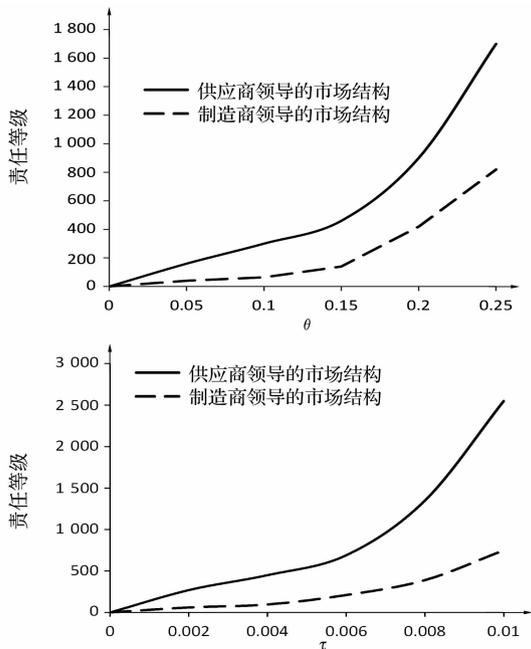


图 7 政府返税政策变动对于企业社会责任等级的影响

5 研究结论与管理建议

综上所述,可得以下结论:①供应商作为领导者的市场结构在承担企业社会责任方面比制造商作为领导者的市场结构做得更好。②无论是哪种市场结构,其投资变动趋势都是博弈前期阶段主要由跟随者承担社会责任投资支出,而此时领导者支出较少;中后期供应链系统的社会责任主要由领导者来承担,而跟随者支出较少;同时,供应商作为领导者的市场结构在承担社会责任方面的整体投资支出大于制造商为领导者的市场结构。③对于不同市场权力结构的收益变动趋势大抵相同,在博弈阶段初期,领导者的收益将小于跟随者,随着博弈的进行,跟随者的收益将逐渐降低,并于连续时间的中后期呈现稳定状态,而领导者的收益会逐年增加,于博弈阶段后期的某一时间点达到收益最大化,随后开始降低,供应商领导的 Stackelberg 市场结构的收益远大于制造商领导的 Stackelberg 市场结构。④对于同一市场结构,领导者的社会收益参数增加会导致供应链系统整体的社会责任等级减少,而跟随者的社会收益参数增加则能在一定程度上促进供应链系统整体的社会责任等级增加。⑤就政策本身而言,提高单个返税比率 τ 比系统返税 θ 更能促进供应链系统社会责任等级的提高。

在上述结论的基础上,如果企业打算进行一个时间跨度较长的企业社会责任项目,可以

从民众、企业、政府等视角参考以下管理建议:①对于不同领导者的供应链系统而言,考虑到单个成员的奖励比对系统的奖励更能促进社会责任等级的提高,以及不同时期供应链成员投入成本不一,因此,在项目的不同阶段政府扶助的重点也应该不同:在项目初始阶段,政府应该选择对供应链系统中的跟随者进行重点扶助;在项目后中后期则对供应链系统的领导者进行重点扶助,扶助主要可采取减少项目实施成本,增加政府补贴等手段。②供应链系统内部企业成员因为项目不同时期收益情况不一,会在一定程度上打击成员的积极性。基于此,应该在供应链系统中建立收益共享契约,将双方的收益通过协调契约使得成员前后收益不致于相差过大,从而影响企业的积极性。③由于一个供应链系统的社会责任项目影响力更多地会被供应链系统领导者获得,而领导者的社会收益参数增加会导致供应链系统整体的社会责任等级减少,因此,从民众角度而言,应该更多地关注供应链系统中跟随者的贡献,同样,政府也应该将舆论导向更多地投向供应链中跟随者的贡献,增加跟随者的社会收益参数;④考虑到供应商领导的供应链在承担社会责任方面的整体投资支出都更大,同时,供应商领导的供应链在承担企业社会责任方面也做得更好,由此,政府应该加大对供应商领导供应链的系统奖励。

参 考 文 献

[1] HOLLINGWORTH D, VALENTINE S. Corporate Social Responsibility, Continuous Process Improvement Orientation, Organizational Commitment and Turnover Intentions [J]. International Journal of Quality & Reliability Management, 2014, 31(6): 629~651

[2] 鲍恩 H R. 商人的社会责任[M]. 肖红军, 王晓光, 周国银, 译. 北京: 经济管理出版社, 2015

[3] 买生, 李俊亭, 杨英英. 企业社会责任管理系统构成研究[J]. 科研管理, 2015, 36(3): 145~151

[4] 徐珊, 黄健柏. 媒体治理与企业社会责任[J]. 管理学报, 2015, 12(7): 1 072~1 081

[5] CRUZ J M, MATSYPURA D. Supply Chain Networks with Corporate Social Responsibility through Integrated Environmental Decision-Making[J]. International Journal of Production Research, 2009, 47(3): 621~648

[6] HSUEH C F. Improving Corporate Social Responsibility in a Supply Chain through a New Revenue Sharing Contract[J]. International Journal of Production Economics, 2014, 151: 214~222

- [7] PERRY P, TOWERS N. Conceptual Framework Development: CSR Implementation in Fashion Supply Chains[J]. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 2013, 43 (5/6): 478~501
- [8] CRUZ J M. Modeling the Relationship of Globalized Supply Chains and Corporate Social Responsibility[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2013, 56: 73~85
- [9] SCHWARTZ B, TILLING K. 'ISO-Lating' Corporate Social Responsibility in the Organizational Context: A Dissenting Interpretation of ISO 26000[J]. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 2009, 16(5): 289~299
- [10] ARORA D, DHARWADKAR R. Corporate Governance and Corporate Social Responsibility (CSR): The Moderating Roles of Attainment Discrepancy and Organization Slack[J]. *Corporate Governance*, 2011, 19(2): 136~152
- [11] ANNER M. Corporate Social Responsibility and Freedom of Association Rights the Precarious Quest for Legitimacy and Control in Global Supply Chains [J]. *Politics and Society*, 2012, 40(4): 609~644
- [12] KUMAR D T, PALANIAPPAN M, KANNAN D, et al. Analyzing the CSR Issues behind the Supplier Selection Process Using ISM Approach[J]. *Resources, Conservation and Recycling*, 2014, 92: 268~278
- [13] GUO W F, ZHOU J, YU C L, et al. Evaluating the Green Corporate Social Responsibility of Manufacturing Corporations from a Green Industry Law Perspective[J]. *International Journal of Production Research*, 2015, 53(2): 665~674
- [14] YE C, CRONIN Jr J J, PELOZA J. The Role of Corporate Social Responsibility in Consumer Evaluation of Nutrition Information Disclosure by Retail Restaurants[J]. *Journal of Business Ethics*, 2015, 130(2): 313~326
- [15] 缪朝炜, 伍晓奕. 基于企业社会责任的绿色供应链管理: 评价体系与绩效检验[J]. *经济管理*, 2009 (2): 174~180
- [16] 张蓓, 黄志平, 杨炳成. 农产品供应链核心企业质量安全控制意愿实证分析——基于广东省 214 家农产品生产企业的调查数据[J]. *中国农村经济*, 2014 (1): 62~75
- [17] 缪朝炜, 蔡舜, 徐迪, 等. 我国鞋服行业供应链社会责任驱动力与供应链绩效实证研究[J]. *管理工程学报*, 2015, 29(3): 216~221
- [18] 许建, 田宇. 基于企业社会责任的可持续供应链风险评价——以汽车行业为例[J]. *湖南大学学报: 社会科学版*, 2015, 29(3): 71~78
- [19] 周鲜成, 贺彩虹. 食品供应链企业社会责任缺失的深层透视[J]. *湖南社会科学*, 2015(2): 126~129
- [20] 梁佑山, 倪得兵, 唐小我. 基于企业社会责任的供应链双渠道竞争模型[J]. *中国管理科学*, 2013, 21 (S2): 453~460
- [21] 郭春香, 李旭升, 郭耀煌. 社会责任环境下供应链的协作与利润分享策略研究[J]. *管理工程学报*, 2011, 25(2): 103~108
- [22] WANG V, LAI C H. Franchise Fee, Competition and Economic Growth [J]. *Economic Modelling*, 2011, 28(5): 2 090~2 099
- [23] WALLACE C. Substantial Texas Sales Tax Refund Opportunities Available for the Oil and Gas Industry [J]. *Petroleum Accounting and Financial Management Journal*, 2013, 32(2): 35~45
- [24] WIBLE B, MERVIS J, WIGGINTON N S. Rethinking the Global Supply Chain[J]. *Science*, 2014, 344(6 188): 1 100~1 103
- [25] YUE D J, YOU F Q. Game-Theoretic Modeling and Optimization of Multi-Echelon Supply Chain Design and Operation under Stackelberg Game and Market Equilibrium [J]. *Computers and Chemical Engineering*, 2014, 71: 347~361
- [26] LIU Y H, LI C W, WANG W Z. Decentralized Excitation Control of Multi-Machine Multi-Load Power Systems Using Hamiltonian Function Method [J]. *Acta Automatica Sinica*, 2009, 35(7): 919~925
- [27] SETHI S P, THOMPSON G L. *Optimal Control Theory: Applications to Management Science and Economics*[M]. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2000
- [28] HE X, SETHI S P. Optimal Slotting and Pricing Decisions in a Dynamic Supply Chain Involving an Innovative Durable Product [J]. *Journal of Optimization Theory and Applications*, 2008, 137(2): 363~379
- [29] SINGER H. Importance Sampling for Kolmogorov Backward Equations [J]. *Asta Advances in Statistical Analysis*, 2014, 98(4): 345~369
- [30] YIN H. Solvability of Forward-Backward Stochastic Partial Differential Equations [J]. *Stochastic Processes and Their Applications*, 2014, 124(8): 2 583~2 604

(编辑 桂林)

通讯作者: 颜波(1970~),男,湖南怀化人。华南理工大学(广州市 510006)经济与贸易学院教授、博士研究生导师。研究方向为物联网、物流工程、供应链管理。E-mail:yanbo@scut.edu.cn