Reputation Mechanism in Multiphase Game to Control the Moral Hazard of Aging Service Supplier

Zhiyong Zhang^{1,a}, Haiping Wu^{1,b,*} and Yongqiang Shi^{1,c}

¹ School of Economics and Commerce, South China University of Technology, Guangdong, China

azhyzhang@scut.edu.cn, b15902080070@163.com, cyyqshi@scut.edu.cn

Keywords: Aging Service Supply Chain; multiphase game; reputation mechanism; moral hazard.

Abstract. Aging service supply chain is a new trend of aging service development. In the supply chain, aging service Integrator and aging service supplier create a principal-agent relationship, which usually leads to moral hazard problem. This paper studies the problem of controlling Aging Service Supplier to Moral Hazard in Multiphase Game. This paper presents the evolution rule of the Aging Service Supplier's reputation by analysis, therefore, the reputation's implicit effect on restraining the Aging Service Supplier's moral hazard is revealed. A strong reputation mechanism is proposed indeed. And analyze the critical condition when the mechanism can control the risk of moral hazard. Finally, the conclusion has carried on the numerical analysis.

多期博弈下声誉机制对养老服务提供商道德风险的控制

张智勇^{1, a}, 吴海平^{1, b,*}, 石永强^{1, c}

¹华南理工大学经济与贸易学院, 大学城, 番禺, 广州, 中国

azhyzhang@scut.edu.cn, b15902080070@163.com, cyyqshi@scut.edu.cn

关键词: 养老服务供应链; 多期博弈; 声誉机制; 道德风险.

中文摘要. 养老服务供应链是我国养老服务业发展的新方向。在养老服务供应链中, 养老服务集成商和养老服务提供商构成委托代理关系。道德风险是委托代理关系中常出现的问题。本文在多期博弈的背景下, 研究了养老服务提供商道德风险控制问题。通过分析得到养老服务提供商声誉演化规律, 在此基础上分析声誉机制对养老服务提供商隐性的激励作用; 进一步提出强声誉激励机制, 并分析这一机制对道德风险起控制作用的临界条件; 最后对结论进行了数值分析。

1. 引言

随着我国老年人口的增加, 养老服务需求急剧增长并呈多样化发展的趋势。这对我国养老服务业提出了新的挑战。近几年来, 我国政府陆续颁布了 30 多项旨在推动养老服务业发展的政策及指导意见。养老服务供应链模式是养老服务业发展的一种创新管理模式[1], 其以养老服务集成商为核心, 整合集成散乱的养老服务资源, 再统一提供给老年群体。实际中, 养老服务供应链模式得到了广泛的推广。如北京、厦门等养老服务信息化平台, 以养老服务指导中心为养老服务集成商, 整合集成多家养老服务提供商, 老年人只需拨打特定热线, 便可享受家政、看护、送餐等定制化服务。台山颐和家园等养老地产项目中, 地产商作为养老服务集成商, 以社区为载体, 整合集成各养老服务提供商 (如家政中心、护理中心等), 为老年人提供生活照料、健康医疗、文化娱乐等一体化服务。此外, 还有“幸福 9 号”等老年人用

品商城。养老服务供应链模式使得服务供给与养老需求准确对接，降低了服务成本，提升了顾客满意度，有力地推动了我国养老服务业的发展。

在养老服务供应链中，养老服务集成商和养老服务提供商构成委托代理关系。由于养老服务质量不像产品质量一样易于测量，养老服务提供商不对称的事后行为信息无法在合约中得到约束。所以，养老服务集成商不可避免要面临养老服务提供商的道德风险问题。如何激励养老服务提供商提供高质量养老服务，控制道德风险问题的出现是养老服务供应链发展的关键。针对委托代理关系中的道德风险问题，委托方通过设计激励机制来控制代理方事后的行动是一个重要的解决方法[2-3]。Corbett 等研究了供应商如何设计激励机制以影响购买方行为而使自身利益最大化，避免了购买方成本信息不对称导致的道德风险问题[4]。Zhang 等认为采取有效的预防激励措施，能防止供应链中的道德风险，保证供应链正常运行[5]。马本江等则对电子市场中制造商和销售商构成的二级逆向供应链激励机制展开了研究[6]。朱立龙等探索了生产商存在降低其投资水平的道德风险情形下，购买商如何进行质量控制契约设计的问题[7]。

目前相关的研究更多着眼于委托方和代理方的单期静态博弈。然而，实际中供应链成员之间的合作关系经常是长久的，养老服务供应链亦是如此。故在养老服务集成商对养老服务提供商的激励设计中纳入对时间的考量很有必要，且具有重要的现实意义。在长期博弈中，声誉对合作关系有重要的影响[8]。Hamdi 指出在任务执行分配中考虑代理人的声誉时，代理人完成任务的可能性比不考虑声誉时高[9]。赵晋研究了服务外包过程中，声誉机制对代理人的激励问题，研究表明声誉模型能在一定程度上缓解承包方的道德风险[10]。养老服务集成商选择养老服务提供商时，声誉也是一个重要因素。在养老服务供应链中，对声誉的定量研究尚未展开。基于此，在多期博弈的情况下，研究养老服务供应链中声誉机制对养老服务提供商道德风险控制的问题，分析养老服务提供商的声誉演化过程和声誉机制对养老服务提供商的激励作用。

2. 问题描述与模型假设

考虑由一个养老服务集成商和一个养老服务提供商组成的养老服务供应链，养老服务集成商委托养老服务提供商向老年人提供养老服务，如助浴、助医、护理和家政服务等。由于养老服务具有无形性、异质性、产销同时性等特点，故养老服务质量不可契约。即使养老服务集成商要求养老服务提供商尽可能地提高养老服务质量，后者也有可能利用事后行动的信息优势，从自身利益角度考虑，为节省成本，提供有悖于养老服务集成商要求的养老服务质量，导致道德风险问题出现。

在多期博弈的情境下，养老服务集成商根据实际运行情况确定合约周期。在每个周期开始时与养老服务提供商签订合约，并以养老服务提供商的声誉作为激励手段。即在第 1 周期开始时，养老服务集成商根据养老服务提供商的先验声誉确定合约报酬，在该周期结束时调查养老服务质量的的高低，并根据调查结果对养老服务提供商的声誉和合约报酬进行修正。

在此基础上，首先对“声誉”的概念进行界定：根据现有文献[11]，声誉是指代理方如实执行合约的可能性；本文中声誉是指养老服务集成商认定的，养老服务提供商提供高质量养老服务的概率。

以下给出相关符号的定义：

- (1) n ：合作时期总数；
- (2) t ：合作时期， $1 \leq t \leq n$ ；
- (3) r_t ：养老服务集成商在时期 t 认定的养老服务提供商的声誉， $0 \leq r_t \leq 1$ 。
- (4) e_t ：养老服务提供商在时期 t 的努力水平。养老服务提供商在时期 t 可以选择投入高努力水平（ $e_t = e^{(H)}$ ）和低努力水平（ $e_t = e^{(L)}$ ），对应高养老服务质量和低养老服务质量。
- (5) S_t ：养老服务集成商在时期 t 末对养老服务提供商提供养老服务质量的调查结果。

根据现有文献^[12]，用老年群体的满意度来衡量养老服务质量，表示时期 t 中满意老年人占全体老年人数量的百分比，通常由养老服务集成商通过调查问卷、回访等方式来获得。养老服务集成商对养老服务质量的调查有两种可能的结果：高满意度（ $S^{(H)}$ ）和低满意度（ $S^{(L)}$ ），对应高养老服务质量和低养老服务质量。界定满意度高低的值可由养老服务集成商根据实际情况来确定。

(6) $Y_t = Y(e_t)$ ：时期 t 养老服务提供商努力水平为 e_t 时，养老服务集成商的收益， $Y'(e_t) > 0$ 。

(7) $W_t = W(r_t)$ ：时期 t 养老服务集成商给予声誉 r_t 的养老服务提供商的报酬， $W'(r_t) > 0$ 。特别的，在事前确切知道养老服务提供商提供高质量养老服务和低质量养老服务时，养老服务集成商给予的报酬分别为 W_H^* 和 W_L^* 。

(8) $C_{s,t} = C_s(e_t)$ ：时期 t 养老服务提供商的努力成本，由其投入的努力水平决定，且 $C'_s(e_t) > 0$ ， $C''_s(e_t) > 0$ 。 $C_s^{(H)}$ 、 $C_s^{(L)}$ 分别表示养老服务提供商投入高努力水平和低努力水平时所需的努力成本。

(9) $\pi_{I,t}^{(i)}$ 、 $\pi_{S,t}^{(i)}$ ：养老服务集成商、养老服务提供商在时期 t 的利润。上标 $H(L)$ 表示养老服务提供商提供高（低）质量的养老服务时，二者对应的利润。

(10) $\Pi_{S,t,\Omega}^{(i)}$ ：养老服务提供商在时期 t 之后（包括时期 t ）的全部收益之和，上标 $H(L)$ 表示养老服务提供商提供高（低）质量的养老服务的情形， $E(\Pi_{S,t,\Omega}^{(i)})$ 为期望值。

(11) π_s ：养老服务提供商的保留效用。如果养老服务提供商的期望收益小于该值，则拒绝与养老服务集成商签订合约。在实际中，养老服务提供商的保留效用主要体现为经营的盈亏平衡值。

假设：

(1) 养老服务集成商和养老服务提供商具有足够长的合作： $n \geq 1$ 。

(2) 双方均为风险中性，且贴现率均为1。

(3) 养老服务提供商在各个合作周期的保留效用相同。

(4) $\pi_{I,t} = Y(e_t) - W(r_t) - C_I$ ， $\pi_{S,t} = W(r_t) - C_s(e_t)$ 。

(5) 记养老服务提供商提供高质量养老服务时，被调查为高满意度的概率为 $\alpha = P(S = S^{(H)} | e = e^{(H)})$ ，提供低质量养老服务时被调查为低满意度的概率为 $\beta = P(S = S^{(L)} | e = e^{(L)})$ 。设调查结果与提供养老服务质量相符的概率都大于 $\frac{1}{2}$ ，即 $\alpha, \beta > \frac{1}{2}$ ，可推断出 $\beta > 1 - \alpha$ 。

3. 多期博弈下养老服务提供商的声誉演化分析

在多期博弈的情况下，养老服务集成商的声誉激励机制策略为：如果调查结果符合养老服务提供商提供了高质量养老服务的标准，则调高养老服务提供商的声誉、增加下一周期的合约报酬；反之则降低养老服务提供商的声誉、减少下一周期的合约报酬。养老服务提供商从长远利益出发，有可能更加重视自身的声誉，从而控制道德风险问题的出现。

养老服务集成商和养老服务提供商的博弈可以用图1表示，即：在任一时期 t 开始时，养老服务集成商根据养老服务提供商提供高质量养老服务的可能性，确定合约的报酬。养老服务提供商投入努力水平 e_t ，给老年人提供养老服务。在时期 t 末，养老服务集成商调查老年人满意度，并根据调查结果，利用条件概率和全概率公式将养老服务提供商的声誉修正为 r_{t+1} 。在下一时期 $t+1$ 开始时，养老服务提供商根据修正的声誉修正合约报酬。重复上述步骤至博弈结束。

图 1 多期博弈下养老服务提供商声誉演化过程

基于此，有以下命题成立：

命题 1： 养老服务提供商的声誉具有如下演化规律：

$$r_{t+1} = \begin{cases} r_{t+1}^{(H)} = \frac{\alpha^2 r_t}{\alpha r_t + (1-\beta)(1-r_t)} + \frac{(1-\alpha)^2 r_t}{(1-\alpha)r_t + \beta(1-r_t)}, e_t = e^{(H)} \\ r_{t+1}^{(L)} = \frac{\alpha(1-\beta)r_t}{\alpha r_t + (1-\beta)(1-r_t)} + \frac{(1-\alpha)\beta r_t}{(1-\alpha)r_t + \beta(1-r_t)}, e_t = e^{(L)} \end{cases}$$

即养老服务提供商在时期 t 提供高质量的养老服务，其声誉则在时期 $t+1$ 得到提高；反之其声誉则在时期 $t+1$ 降低。

证明： 从养老服务集成商的角度来看，在时期 t 末，其对老年人满意度的调查有两种结果，高满意度和低满意度。在这两种情况下，对养老服务提供商声誉的修正：

(1) 养老服务集成商调查的结果为高满意度，由条件概率和全概率公式可求养老服务提供商的后验声誉。

$$\begin{aligned} & r_{t+1}|(S = S^{(H)}) \\ &= P(e = e^{(H)} | S = S^{(H)}) \\ &= \frac{P(S = S^{(H)} | e = e^{(H)}) \cdot P(e = e^{(H)})}{P(S = S^{(H)})} \\ &= \frac{P(S = S^{(H)} | e = e^{(H)}) \cdot P(e = e^{(H)})}{P(S = S^{(H)} | e = e^{(H)}) \cdot P(e = e^{(H)}) + P(S = S^{(H)} | e = e^{(L)}) \cdot P(e = e^{(L)})} \\ &= \frac{\alpha r_t}{\alpha r_t + (1-\beta)(1-r_t)} \end{aligned} \quad (1)$$

由于 $1-\alpha < \beta$ ，结合上式可以得到以下式子：

$$\begin{aligned} r_{t+1}|(S = S^{(H)}) &= \frac{\alpha r_t}{\alpha r_t + (1-\beta)(1-r_t)} \\ &= \frac{r_t}{r_t + \frac{1-\beta}{\alpha}(1-r_t)} > \frac{r_t}{r_t + \frac{\alpha}{\alpha}(1-r_t)} = r_t \end{aligned}$$

说明当养老服务集成商调查的结果为高满意度时，养老服务集成商认定的养老服务提供商的声誉也提高。

(2) 类似的，当养老服务集成商调查的结果为低满意度，由条件概率和全概率公式可求养老服务提供商的后验声誉。

$$\begin{aligned} & r_{t+1}|(S = S^{(L)}) \\ &= P(e = e^{(H)} | S = S^{(L)}) \\ &= \frac{(1-\alpha)r_t}{(1-\alpha)r_t + \beta(1-r_t)} \end{aligned} \quad (2)$$

由 $1-\alpha < \beta$ ，结合上式可以得：

$$r_{t+1}|(S=S^{(L)})$$

$$= \frac{r_t}{r_t + \frac{\beta}{1-\alpha}(1-r_t)} < \frac{r_t}{r_t + \frac{\beta}{\beta}(1-r_t)} = r_t$$

说明当养老服务集成商调查的结果为低满意度时，养老服务集成商认定的养老服务提供商的声誉也降低。

从养老服务提供商的角度来看，其在时期 t 可以选择投入高努力水平（ $e^{(H)}$ ）和低努力水平（ $e^{(L)}$ ），对应高养老服务质量和低养老服务质量。在这两种情况下，预期养老服务集成商在时期 $t+1$ 对其认定的声誉为：

（1）养老服务提供商投入高努力水平的情况。记这种情况下，养老服务提供商被修正的声誉 $r_{t+1}^{(H)}$ ，则

$$r_{t+1} = r_{t+1}^{(H)}$$

$$= P(e_{t+1} = e^{(H)} | e_t = e^{(H)})$$

$$= P(e_{t+1} = e^{(H)} | S_t = S^{(H)}) \cdot P(S_t = S^{(H)} | e_t = e^{(H)})$$

$$+ P(e_{t+1} = e^{(H)} | S_t = S^{(L)}) \cdot P(S_t = S^{(L)} | e_t = e^{(H)})$$

$$= \frac{\alpha^2 r_t}{\alpha r_t + (1-\beta)(1-r_t)} + \frac{(1-\alpha)^2 r_t}{(1-\alpha)r_t + \beta(1-r_t)} \quad (3)$$

令 $r_{t+1}^{(H)} = y = r^{(H)}(x) = \frac{\alpha^2 x}{\alpha x + (1-\beta)(1-x)} + \frac{(1-\alpha)^2 x}{(1-\alpha)x + \beta(1-x)}$ ，对其进行一阶求导得

$$r^{(H)'}(x) = \frac{\alpha^2(1-\beta)}{[(\alpha+\beta-1)x + (1-\beta)]^2} + \frac{(1-\alpha)^2\beta}{[(\alpha+\beta-1)x - \beta]^2}$$
，二阶求导得

$$r^{(H)''}(x) = -2(\alpha+\beta-1) \times \left\{ \frac{\alpha^2(1-\beta)}{[(\alpha+\beta-1)x + (1-\beta)]^3} + \frac{(1-\alpha)^2\beta}{[(\alpha+\beta-1)x - \beta]^3} \right\}$$
。易得

$$r^{(H)'}(1) = 1, \quad r^{(H)''}(1) = \frac{2(\alpha+\beta-1)^2}{\alpha(1-\alpha)}$$
。将 y 在 $x=1$ 处进行泰勒展开：

$$y = r^{(H)}(x) = r^{(H)}(1) + r^{(H)'}(1)(x-1) + \frac{1}{2!} r^{(H)''}(1)(x-1)^2 + o(x-1)^3$$
，易知

$$y = r^{(H)}(x) > r^{(H)}(1) + r^{(H)'}(1)(x-1) = x \quad (4)$$

由（3）式和（4）式可知

$$r_{t+1}^{(H)} = y = r^{(H)}(r_t) > r_t \quad (5)$$

这说明，如果养老服务提供商在时期 t 提供高质量的养老服务，则其在时期 $t+1$ 的声誉将会升高。

（2）类似的，养老服务提供商投入低努力水平的情况。记这种情况下，养老服务提供商被修正的声誉 $r_{t+1}^{(L)}$ ，则

$$r_{t+1} = r_{t+1}^{(L)}$$

$$= P(e_{t+1} = e^{(L)} | e_t = e^{(L)})$$

$$= \frac{\alpha(1-\beta)r_t}{\alpha r_t + (1-\beta)(1-r_t)} + \frac{(1-\alpha)\beta r_t}{(1-\alpha)r_t + \beta(1-r_t)} \quad (6)$$

令 $r_{t+1}^{(L)} = y = r^{(L)}(x) = \frac{\alpha(1-\beta)x}{\alpha x + (1-\beta)(1-x)} + \frac{(1-\alpha)\beta x}{(1-\alpha)x + \beta(1-x)}$ ，则

$$r_{t+1}^{(L)} = r^{(L)}(r_t) < r_t \quad (7)$$

这说明，如果养老服务提供商在时期 t 提供低质量的养老服务，则其在时期 $t+1$ 的声誉将会降低。证毕。

4. 声誉机制对养老服务提供商的隐性激励分析

通过命题 1 的分析，可以得到命题 2。

命题 2 如果养老服务提供商得到的合约报酬与努力成本满足 $W_H^* - C_S^{(H)} > W_L^* - C_S^{(L)}$ ，则在长期合作的情况下，声誉机制能在一定程度上控制道德风险问题的出现。

证明：对于任一时期 t ，假设在期初，养老服务集成商认定养老服务提供商的声誉 r_t ，则时期 t 养老服务提供商在投入努力水平时有两种选择：投入高努力水平（ $e_t = e^{(H)}$ ）和低努力水平（ $e_t = e^{(L)}$ ），对应高养老服务质量和低养老服务质量（道德风险）。

养老服务提供商投入高努力水平时，其利润为 $\pi_{S,t}^{(H)} = W(r_t) - C_S^{(H)}$ 。根据命题 1 可知，由于养老服务提供商提供高质量的养老服务，故在下一周期其声誉将会提高 $r_{t+1} = r_t^{(H)} > r_t$ ，合约报酬也会更高 $W_{t+1} = W(r_{t+1}) > W_t$ 。

类似的，当养老服务提供商投入低努力水平时，其下一期声誉将会降低 $r_{t+1} = r_t^{(L)} < r_t$ ，合约报酬也会减少 $W_{t+1} = W(r_{t+1}) < W_t$ 。

从整个博弈过程来看，如果养老服务提供商由博弈开始至博弈结束都选择投入高努力水平，由养老服务提供商声誉演化规律可知

$$r_{t+1} = r_t^{(H)} = \frac{\alpha^2 r_t}{\alpha r_t + (1-\beta)(1-r_t)} + \frac{(1-\alpha)^2 r_t}{(1-\alpha)r_t + \beta(1-r_t)} \geq r_t, \forall t \in n, \text{ 即养老服务提供商的声誉数列 } \{r_t^{(H)}\}_{k=1}^{+\infty} \text{ 为单调递增数列, 且在 } [0,1] \text{ 区间内取值。因此, 根据单调有界原理, 养老服务提供商的声誉数列存在极限, 且极限为函数 } y = r^{(H)}(x) \text{ 的不动点, 解方程 } x = r^{(H)}(x), \text{ 可求得不动点为 } x=1。 \text{ 即养老服务提供商声誉数列的极限为}$$

$$\lim_{t \rightarrow +\infty} r_t^{(H)} = 1 \quad (8)$$

这说明在足够长合作的情况下，如果养老服务提供商始终选择投入高努力水平，提供高质量养老服务，最终养老服务集成商会将其声誉修正为 1。

类似的，如果养老服务提供商由博弈开始至博弈结束都选择投入低努力水平，由养老服务提供商声誉演化规律可知，其声誉数列 $\{r_t^{(L)}\}_{k=1}^{+\infty}$ 单调递减，且极限为

$$\lim_{t \rightarrow +\infty} r_t^{(L)} = 0 \quad (9)$$

由（8）式和（9）式可知，对于任意小的常数 ε ，必然存在一个正整数 N ，使得当 $t \geq N$ 时， $r_t^{(H)} \geq 1-\varepsilon$ 且 $r_t^{(L)} \leq \varepsilon$ 。换言之，养老服务集成商提供给养老服务提供商的合约报酬满足 $W(r_t^{(H)}) = W_H^* - o(\varepsilon)$ 及 $W(r_t^{(L)}) = W_L^* + o(\varepsilon)$ 。因而养老服务提供商的利润为

$$\begin{cases} \pi_{S,t}^{(H)} = W(r_{t+1}^{(H)}) - C_{S,t}^{(H)} = W_H^* - C_S^{(H)} - o(\varepsilon) \\ \pi_{S,t}^{(L)} = W(r_{t+1}^{(L)}) - C_{S,t}^{(L)} = W_L^* - C_S^{(L)} + o(\varepsilon) \end{cases}, \text{ 由此可得}$$

$$\pi_{S,t}^{(H)} - \pi_{S,t}^{(L)} = (W_H^* - W_L^*) - (C_S^{(H)} - C_S^{(L)}) - o(\varepsilon)。 \text{ 因此, 如果有}$$

$(W_H^* - W_L^*) - (C_S^{(H)} - C_S^{(L)}) > 0$ ，取 ε 足够小，则存在正整数 N ，使得当 $t \geq N$ 时，有 $\pi_{S,t}^{(H)} - \pi_{S,t}^{(L)} > 0$ 。从而当合作足够长时（ $n \rightarrow +\infty$ ），有

$$\left| \sum_{t=1}^N (\pi_{S,t}^{(H)} - \pi_{S,t}^{(L)}) \right| < \left| \sum_{t=N+1}^n (\pi_{S,t}^{(H)} - \pi_{S,t}^{(L)}) \right|, \text{ 即养老服务提供商由始至终投入高努力水平, 提供高质量}$$

养老服务得到的利润大于背离合约（道德风险）所得的利润。这意味着养老服务提供商不

会始终背离合约，从而在一定程度上控制了道德风险问题的发生。命题 2 得证。

推论 1 如果命题 2 中养老服务提供商得到的合约报酬与努力成本不满足 $W_H^* - C_S^{(H)} > W_L^* - C_S^{(L)}$ ，即 $W_H^* - C_S^{(H)} \leq W_L^* - C_S^{(L)}$ ，则声誉机制对道德风险的控制并不起作用。

证明 由命题 1 可知养老服务提供商若投入高努力水平，提供高质量养老服务，其声誉将会提高，合约报酬 W_t 也随着声誉的提高而增加。若养老服务提供商始终提供低质量养老服务（背离合约），则养老服务集成商在每个时期给予给养老服务提供商的合约报酬将是相应的最小值，记为 $W_{i,L}^*$ 。从而 $W_H^* > W_t > W_{i,L}^* > W_L^*$ ，可得 $W_H^* - C_S^{(H)} > W_t - C_S^{(H)}$ 和 $W_{i,L}^* - C_S^{(L)} > W_L^* - C_S^{(L)}$ ，又由 $W_L^* - C_S^{(L)} \geq W_H^* - C_S^{(H)}$ ，得到。即养老服务提供商每一期都选择投入低努力水平，提供低质量养老服务（背离合约）时能获得最大收益。推论 1 得证。

命题 2 和推论 1 说明，声誉机制对养老服务提供商道德风险起一定控制作用的充要条件是 $W_H^* - C_S^{(H)} > W_L^* - C_S^{(L)}$ 。

5. 强声誉机制对养老服务提供商的激励分析

由命题 2 可知，即使满足了条件 $W_H^* - C_S^{(H)} > W_L^* - C_S^{(L)}$ ，也无法保证完全消除养老服务提供商的道德风险。为更好地控制道德风险问题的出现，养老服务集成商考虑采用强声誉激励机制策略。具体为养老服务集成商在第一时期初，根据养老服务提供商的先验声誉确定合约报酬。养老服务提供商投入努力水平，提供养老服务。在第一时期末，养老服务集成商调查老年人满意度，若调查结果为高满意度，则根据命题 1 的声誉演化规律修正养老服务提供商的声誉并调整合约报酬；若调查结果为低满意度，则认为养老服务提供商背离了合约，不可再信任，将其声誉降为 $r = 0$ ，并终止合约。重复上述步骤至合约终止。

基于此，有命题 3 成立：

命题 3 如果养老服务提供商的保留效用满足 $\bar{\pi}_S < W(r_1) - C_S^{(H)} - \frac{C_S^{(H)} - C_S^{(L)}}{\alpha + \beta - 1}$ ，则在长期合作

的情况下，养老服务集成商采用强声誉机制策略，在最后一时期之前都能有效控制养老服务提供商的道德风险。

证明 采用逆向归纳法进行分析。

第一步，最后一时期（时期 n ）。若养老服务集成商和养老服务提供商的博弈能进行到最后一时期，说明养老服务集成商在时期 $n-1$ 末的调查结果为高满意度。在最后一时期，养老服务提供商的道德风险是无可避免的，其最后一时期的期望收益为：

$$E(\Pi_{S,n,\Omega}^{(L)}) = W(r_n) - C_S^{(L)} > E(\Pi_{S,n,\Omega}^{(H)}) = W(r_n) - C_S^{(H)}。$$

第二步，时期 $n-1$ 。时期 $n-1$ 初，养老服务提供商的声誉为 r_{n-1} ，若养老服务提供商在这一时期选择投入高努力水平（ $e_{n-1} = e^{(H)}$ ），提供高质量养老服务。在这一时期末养老服务集成商调查结果为高满意度的概率为 α ；此时，养老服务集成商继续与养老服务提供商合作；养老服务提供商后两期期望收益为

$E(\Pi_{S,n-1,\Omega}^{(H)}) | S_{n-1} = S^{(H)} = W(r_{n-1}) - C_S^{(H)} + E(\Pi_{S,n,\Omega}^{(L)})$ 。然而，养老服务提供商提供高质量养老服务，却被调查为低满意度的概率为 $1-\alpha$ ，此时养老服务集成商终止与养老服务提供商的合作，养老服务提供商后两期期望收益为 $E(\Pi_{S,n-1,\Omega}^{(H)}) | S_{n-1} = S^{(L)} = W(r_{n-1}) - C_S^{(H)} + \bar{\pi}_S$ 。综上所述，在时期 $n-1$ ，养老服务提供商选择投入高努力水平，其后两期期望收益为

$$\begin{aligned} E(\Pi_{S,n-1,\Omega}^{(H)}) &= \alpha[W(r_{n-1}) - C_S^{(H)} + E(\Pi_{S,n,\Omega}^{(L)})] + \\ &\quad (1-\alpha)[W(r_{n-1}) - C_S^{(H)} + \bar{\pi}_S] \\ &= W(r_{n-1}) - C_S^{(H)} + \alpha E(\Pi_{S,n,\Omega}^{(L)}) + (1-\alpha)\bar{\pi}_S \end{aligned}$$

同理，若养老服务提供商在这一时期选择投入低努力水平（ $e_{n-1} = e^{(L)}$ ），提供低质量养老服务，则在这一时期末被调查为低满意度的概率为 β ，被调查为高满意度的概率为 $1-\beta$ 。养老服务提供商后两期期望收益为

$$\begin{aligned} E(\Pi_{S,n-1,\Omega}^{(L)}) &= \beta[W(r_{n-1}) - C_s^{(L)} + \bar{\pi}_s] + \\ &\quad (1-\beta)[W(r_{n-1}) - C_s^{(L)} + E(\Pi_{S,n,\Omega}^{(L)})] \\ &= W(r_{n-1}) - C_s^{(L)} + (1-\beta)E(\Pi_{S,n,\Omega}^{(L)}) + \beta\bar{\pi}_s \end{aligned}$$

第三步，在时期 $t(t < n)$ 。时期 t 初，养老服务提供商的声誉 r_t 。类似时期 $n-1$ 的情形，若养老服务提供商选择在时期 t 投入高努力水平（ $e_t = e^{(H)}$ ），则在时期 t 末养老服务集成商调查结果为高满意度的概率为 α ，低满意度的概率为 $1-\alpha$ ，由此可得从时期 t 起养老服务提供商的总期望收益为

$$E(\Pi_{S,t,\Omega}^{(H)}) = W(r_t) - C_s^{(H)} + \alpha \max\{E(\Pi_{S,t+1,\Omega}^{(H)}), E(\Pi_{S,t+1,\Omega}^{(L)})\} + (1-\alpha)(n-t)\bar{\pi}_s \quad (10)$$

同理，可得若养老服务提供商选择在时期 t 投入低努力水平（ $e_t = e^{(L)}$ ）时，从时期 t 起其总期望收益为

$$E(\Pi_{S,t,\Omega}^{(L)}) = W(r_t) - C_s^{(L)} + (1-\beta) \max\{E(\Pi_{S,t+1,\Omega}^{(H)}), E(\Pi_{S,t+1,\Omega}^{(L)})\} + \beta(n-t)\bar{\pi}_s \quad (11)$$

令 $\Delta\Pi_t = E(\Pi_{S,t,\Omega}^{(H)}) - E(\Pi_{S,t,\Omega}^{(L)})$ ，由（10）式和（11）式知

$$\Delta\Pi_t = (\alpha + \beta - 1) \left\{ \max\{E(\Pi_{S,t+1,\Omega}^{(H)}), E(\Pi_{S,t+1,\Omega}^{(L)})\} - (n-t)\bar{\pi}_s \right\} - (C_s^{(H)} - C_s^{(L)}) \quad (12)$$

若养老服务集成商和养老服务提供商一直保持合作，说明养老服务提供商始终提供高质量养老服务，由命题2可知，合约报酬 $\{W_t = W(r_t)\}_{t=1}^{n-1}$ 单调递增，故由（12）式得

$$\begin{aligned} \Delta\Pi_{n-1} &= (\alpha + \beta - 1)[E(\Pi_{S,n,\Omega}^{(L)}) - \bar{\pi}_s] - (C_s^{(H)} - C_s^{(L)}) \\ &= (\alpha + \beta - 1)[W(r_n) - C_s^{(L)} - \bar{\pi}_s] - (C_s^{(H)} - C_s^{(L)}) \\ &> (\alpha + \beta - 1)[W(r_n) - C_s^{(H)} - \bar{\pi}_s] - (C_s^{(H)} - C_s^{(L)}) \\ &> (\alpha + \beta - 1)[W(r_1) - C_s^{(H)} - \bar{\pi}_s] - (C_s^{(H)} - C_s^{(L)}) \end{aligned}$$

由 $\bar{\pi}_s < W(r_1) - C_s^{(H)} - \frac{C_s^{(H)} - C_s^{(L)}}{\alpha + \beta - 1}$ ，得 $\Delta\Pi_{n-1} > 0$ ，即 $E(\Pi_{S,n-1,\Omega}^{(H)}) - E(\Pi_{S,n-1,\Omega}^{(L)}) > 0$ ，从而

$\max\{E(\Pi_{S,n-1,\Omega}^{(H)}), E(\Pi_{S,n-1,\Omega}^{(L)})\} = E(\Pi_{S,n-1,\Omega}^{(H)})$ ，同理可得

$$\begin{aligned} \Delta\Pi_{n-2} &= (\alpha + \beta - 1)[E(\Pi_{S,n-1,\Omega}^{(H)}) - 2\bar{\pi}_s] - (C_s^{(H)} - C_s^{(L)}) \\ &= (\alpha + \beta - 1)[W(r_{n-1}) - C_s^{(H)} - \bar{\pi}_s + \alpha(W(r_n) - C_s^{(H)} - \bar{\pi}_s) + \alpha(C_s^{(H)} - C_s^{(L)})] - (C_s^{(H)} - C_s^{(L)}) \quad \text{由} \\ &> (\alpha + \beta - 1)[W(r_{n-1}) - C_s^{(H)} - \bar{\pi}_s + \alpha(W(r_n) - C_s^{(H)} - \bar{\pi}_s)] - (C_s^{(H)} - C_s^{(L)}) \\ &> (\alpha + \beta - 1)[W(r_1) - C_s^{(H)} - \bar{\pi}_s + \alpha(W(r_1) - C_s^{(H)} - \bar{\pi}_s)] - (C_s^{(H)} - C_s^{(L)}) \end{aligned}$$

于 $\bar{\pi}_s < W(r_1) - C_s^{(H)} - \frac{C_s^{(H)} - C_s^{(L)}}{\alpha + \beta - 1}$ ，而 $W(r_1) - C_s^{(H)} - \frac{C_s^{(H)} - C_s^{(L)}}{(\alpha + \beta - 1)} < W(r_1) - C_s^{(H)} - \frac{C_s^{(H)} - C_s^{(L)}}{(\alpha + \beta - 1)(1 + \alpha)}$ ，

因此 $\bar{\pi}_s < W(r_1) - C_s^{(H)} - \frac{C_s^{(H)} - C_s^{(L)}}{(\alpha + \beta - 1)(1 + \alpha)}$ ，从而 $\Delta\Pi_{n-2} > 0$ ，

$\max\{E(\Pi_{S,n-2,\Omega}^{(H)}), E(\Pi_{S,n-2,\Omega}^{(L)})\} = E(\Pi_{S,n-2,\Omega}^{(H)})$ 。

同理可得

$$\begin{aligned}
\Delta\Pi_{n-3} &= (\alpha + \beta - 1)[E(\Pi_{s,n-2,\Omega}^{(H)}) - 3\bar{\pi}_s] - (C_s^{(H)} - C_s^{(L)}) \\
&= (\alpha + \beta - 1)[(W(r_{n-1}) - C_s^{(H)} - \bar{\pi}_s) + \alpha(W(r_{n-1}) - C_s^{(H)} - \bar{\pi}_s) + \\
&\quad \alpha^2(W(r_n) - C_s^{(H)} - \bar{\pi}_s) + \alpha^2(C_s^{(H)} - C_s^{(L)})] - (C_s^{(H)} - C_s^{(L)}) \\
&> (\alpha + \beta - 1)[(W(r_1) - C_s^{(H)} - \bar{\pi}_s) + \alpha(W(r_1) - C_s^{(H)} - \bar{\pi}_s) \\
&\quad + \alpha^2(W(r_1) - C_s^{(H)} - \bar{\pi}_s)] - (C_s^{(H)} - C_s^{(L)}) > 0
\end{aligned}$$

重复上述计算过程，可得

$$\begin{aligned}
\Delta\Pi_t &= (\alpha + \beta - 1) \left\{ \sum_{i=t+1}^n \alpha^{i-(t+1)} (W(r_i) - C_s^{(H)} - \bar{\pi}_s) + \alpha^{n-(t+1)} (C_s^{(H)} - C_s^{(L)}) \right\} - (C_s^{(H)} - C_s^{(L)}) \\
&> (\alpha + \beta - 1) \left[\sum_{i=t+1}^n \alpha^{i-(t+1)} (W(r_i) - C_s^{(H)} - \bar{\pi}_s) \right] - (C_s^{(H)} - C_s^{(L)}) (1 \leq t \leq n-1)
\end{aligned}$$

由 $\bar{\pi}_s < W(r_1) - C_s^{(H)} - \frac{C_s^{(H)} - C_s^{(L)}}{\alpha + \beta - 1}$ ，得 $\Delta\Pi_t > 0$ 。这说明对于养老服务提供商而言，在最后一

时期之前都选择投入高努力水平，提供高质量养老服务是最优选择。因此养老服务提供商的道德风险在最后一时期之前都能得到有效控制。证毕。

命题 3 说明养老服务集成商对养老服务提供商实行强声誉激励机制的门槛是

$\bar{\pi}_s < W(r_1) - C_s^{(H)} - \frac{C_s^{(H)} - C_s^{(L)}}{\alpha + \beta - 1}$ 。若养老服务集成商要扩大激励的范围，激励具有更高保留效用的

的养老服务提供商，则养老服务集成商要付出更高的成本，即有意识地提高第一时期的合约报酬 $W(r_1)$ 。

6. 数值分析

6.1 不同先验声誉下声誉的演化趋势

为分析养老服务提供商的声誉演化过程，取定 α 、 β 均为 0.8。当养老服务提供商先验声誉取不同值时（ $r_1 = 0.3, 0.6, 0.9$ ），其声誉演化如图 2 所示。考察 α 、 β 取不同值的情况，养老服务提供商声誉演化趋势相同。

图 2 $\alpha=\beta=0.8$ 时不同先验声誉的演化规律

由图 2 的演化趋势可知：（1）养老服务提供商的演化规律是有效的，当养老服务提供商选择始终提供高质量养老服务时，其后验声誉会越来越高，反之养老服务提供商的后验声誉会越来越低。（2）养老服务提供商的先验声誉越高，在与养老服务集成商的后期合作中，其所获得的后验声誉也越高，反之其后验声誉越低，说明养老服务提供商的声誉演化具有保序性。（3）养老服务提供商的声誉在短时间内增长迅速，尤其是先验声誉较小的养老服务提供商，其声誉增长更快。这说明声誉机制具有较强的激励能力，能在短时间取得成效。到后

期, 不同先验声誉对声誉演化的影响已非常小。说明, 即使养老服务集成商对养老服务提供商的先验声誉存在误判的情况, 但只要养老服务提供商坚持提供高质量养老服务, 其声誉可以很快被修正。

6.2 α 、 β 对声誉演化的影响

为分析 α 、 β 对声誉演化的影响, 取定 $r_1 = 0.8$, 当 $\alpha = \beta = 0.6$ 、 $\alpha = \beta = 0.75$ 和 $\alpha = \beta = 0.9$ 时, 养老服务提供商声誉演化如图 3 所示。考察养老服务提供商的先验声誉 r_1 取不同值的情况, α 、 β 对声誉演化的影响相似。

图 3 $r_1 = 0.8$ 时 α 、 β 对声誉演化的影响

由图 3 可知: (1) 对于具有相同先验概率的养老服务提供商, α 、 β 的值越大, 其后验声誉增长 (提供高质量养老服务) 或下降 (提供低质量养老服务) 得越快。说明老年人的满意度越能真实反映养老服务质量的情况, 养老服务集成商就越有把握判断养老服务提供商是否正常履约。对实际的管理意义有, 养老服务集成商应采取措施提高满意度检测的准确率, 如完善调查问卷等。(2) 当 α 、 β 越大时, 养老服务提供商的声誉演化的拐点越明显。说明养老服务集成商对养老服务提供商道德风险的甄别能力越强时, 声誉机制发挥作用所需的时间就越短。

7. 结束语

在多期博弈的情况下, 研究了养老服务供应链中道德风险控制的问题。通过分析得到养老服务提供商的声誉演化过程, 以及声誉机制、强声誉机制能控制道德风险的临界条件。研究表明, 多期博弈下, 声誉机制能在一定程度上控制道德风险问题的出现, 强声誉机制在最后一时期之前都能有效控制养老服务提供商的道德风险。研究结论对实际中养老服务供应链的运作有指导意义。

本文假设养老服务提供商在各时期投入的努力水平为离散型 (高、低两种情况)。下一步可扩充假设范围, 研究养老服务提供商各时期投入的努力水平为连续型的情况。此外, 本文假设强声誉机制下, 养老服务集成商只要有一次的调查结果为低满意度, 则终止与养老服务提供商的合作。考虑到存在误判的情况, 下一步可研究连续两次调查结果为低满意度才终止合约的情形。

致谢

本文为国家社会科学基金资助项目《面向大中城市计生家庭基于服务质量监管的养老服务供应链管理策略研究》(No.12BGL025); 教育部人文社科青年基金项目《多元养老模式共存下养老服务资源的优化配置——基于系统动力学》(No.15YJC630109); 中央高校基本科

研业务费资助项目 《多元养老模式共存下养老服务资源的优化配置》（No.2015QNXM17）的阶段性成果之一。

References

- [1] Yongqiang Shi, Zhiyong Zhang, Jun Zhao. The analyses of the Elderly Service Supply Chain Management Strategy based on Service Quality Control and Cooperative Relationship [C]. COINFO'11, 2011.
- [2] Arshinder A K, Deshmukh S G. Supply Chain coordination: perspective, empirical studies and research directions [J]. International Journal of Production Economic, 2008, 115(2): 316-335.
- [3] Li Zhang, Wang Song, Li Fachao, et al. A few measures for ensuring supply chain quality [J]. International Journal of Production Research, 2011, 49(1):87-97.
- [4] Corbett C J, Zhou D, Tang C S. Designing supply contracts: Contract type and information asymmetry [J]. Management Science, 2004, 50(4): 550 – 559.
- [5] ZHANG C M. The Precaution for Moral Hazard in Supply Chain[C]. Management Science and Industrial Engineering (MSIE) International Conference, 2011:1366-1368.
- [6] Ma Benjiang, Xu Chen, Zhou Xiongwei. Design of incentive mechanism for the reverse supply chain of electronic products under asymmetric information [J]. Statistics & Decision, 2014, 03:56-60.
- [7] Zhu L L, Yu T, Xia T B. Product Quality Control Contract Model in a Two-Echelon Supply Chain[J]. Chinese Journal of Management Science,2013,01:71-79.
- [8] Dellarocas C. Reputation mechanism design in online trading environment with pure moral hazard [J]. Information Systems Research, 2005, 16(2): 209-230.
- [9] Hamdi Y. A Reputation-based Game for Tasks Allocation [J]. Enterprise Information Systems, 2009, 24: 728-736.
- [10] Zhao Jin, Zhang Jianjun, Huo Jiazheng. Research on Reputation Model of Moral Hazard in Service Outsourcing in Multi-Period Game [J]. Chinese Journal of Management Science, 2009, (17):372-377.
- [11] Zhang Jianjun, Zhao Jin, Zhang Hongjian, Zhang Yanxia. Study on Reputation Evolution in Perishable Product Supply Chain with Moral Hazard [J]. Chinese Journal of Management Science, 2013, 01:180-184.
- [12] Zhang Zhiyong, Zhao Jun, Shi Yuan. Analysis of Service Quality Decisions for Elderly Service Integrator [J]. Journal of Industrial Engineering and Engineering Management, 2015, 02:160-166.