

考虑风险偏好的污染治理外包合同设计

陈晓红^{1,2}, 余章美¹, 李金霖^{1†}

(1. 中南大学 商学院 湖南省两型社会与生态文明2011协同创新中心, 长沙 410083;

2. 湖南商学院 大数据与互联网创新研究院, 长沙 410205)

摘要: 研究排污者将污染治理业务外包给治污者的两部制线性计费的合同设计问题. 在考虑双方风险偏好的前提下讨论3种情况下的最优合同参数: 完全信息、不完全信息提供单一合同、不完全信息提供可选合同. 结果表明: 1) 当信息完全时, 治污方的薪酬均等于其治污成本与风险成本之和, 只能获得保留收益. 2) 当信息不完全时, 排污方总可以通过提供可选择合同提高自身收益. 3) 不同的风险偏好组合下, 单位可变支付随边际治污成本和环境扰动的变化是不同的. 4) 双方均为风险中性时, 排污方收益最大; 而双方均为风险规避时, 排污方收益最小.

关键词: 环保税; 信息甄别; 激励机制; 第三方环保市场

中图分类号: F062.5

文献标志码: A

Outsourcing contract for pollution abatement service with risk preference consideration

CHEN Xiao-hong^{1,2}, YU Zhang-mei¹, LI Jin-lin^{1†}

(1. Resource-conserving & Environment-friendly Society and Ecological Civilization 2011 Collaborative Innovation Center of Hunan Province, School of Business, Central South University, Changsha 410083, China; 2. Institute of Big Data and Internet Innovations, Hunan University of Commerce, Changsha 410205, China)

Abstract: This paper studies the contract design problem between a polluter and an environmental company (called "EC" hereafter) providing pollution abatement service. The risk preference of both sides are considered and the payment from the polluter to the EC is assumed to be composed of two parts: A fixed payment and a linear variable payment depending on the realized abatement. The optimal fixed/variable payments are discussed in three scenarios: Under complete information, a single contract under information asymmetry, a menu of contracts under information asymmetry. The results show that: 1) When the information is complete, the expected revenue of the EC is equal to the sum of pollution abatement cost and risk cost. 2) When the information is incomplete, the polluter can always benefit from providing a menu of alternative contracts rather than a single contract. 3) The effect of abatement cost and environmental uncertainty on the optimal variable payment depends on the risk preference of two sides. 4) The polluter gets maximal/minimal expected utility when both sides are risk neutral/averse.

Keywords: environmental tax; information screening; incentives mechanism; third-party environmental markets

0 引言

随着经济的快速发展,我国环境污染越来越严重. 2013年11月,党的十八届三中全会通过《中共中央关于全面深化改革若干重大问题的决定》明确提出了环境污染第三方治理模式,紧接着2015年1月,国务院办公厅再次发布《第三方治理意见》,从国家层面上确立了环境污染第三方治理的基础和地位. 环境污染第三方治理是指排污方委托专门的治污方进行污染治理,然后按照合同约定支付费用的新模式.

在第三方环保市场的委托代理关系中,排污方是委托人,治污方是代理人,作为代理人的治污方比作为委托人的排污方拥有更多有关治污技术等内部信息,因此排污方为信息劣势的一方,而治污方是信息优势的一方. 根据信息经济学和博弈论,信息不对称会导致逆向选择问题以及道德风险问题^[1],从而导致市场缺乏效率. 同样,在第三方环保市场也存在此类问题,如何解决委托治污过程中的代理风险问题是确保治污业务顺利进行的重要因素. 本文试图运用委

收稿日期: 2018-03-23; 修回日期: 2018-06-09.

基金项目: 国家自然科学基金项目(71431006, 71790615); 国家自然科学基金青年科学基金项目(71501194); 教育部哲社重大攻关项目(16JZD013).

责任编辑: 王光臣.

†通讯作者. E-mail: lj11019@163.com.

托代理理论模型化排污方与治污方之间的关系,并将排污方和治污方不同风险偏好组合融入到模型中,研究当排污方与治污方之间存在不同风险偏好组合时,环保税政策下信息不对称对排污方产生的代理风险以及排污方如何克服代理风险的问题。

现阶段,对于环境污染第三方治理的研究,国外学者主要从政府的角度出发,将排污方和治污方当作交易的双方进行研究。文献[2]研究了不同政策工具(税收、配额、标准设计以及自愿协议)对排污方引入治污方服务的影响;文献[2-4]研究了治污产品和服务由不完全竞争的治污企业提供时的最优税收情况;文献[5]详细介绍了在处理垂直化古诺情景下最优化税收的问题,其主要研究了排污企业和环保企业双方的市场力量如何影响最优化税收。但是,国外对环境污染的第三方治理主要是将排污方和治污方作为排污产品的需求者和供给者,分析环境政策工具对第三方治污市场的影响,从而探讨环境政策工具的优化选择。鲜有学者从信息经济学的角度,利用委托代理框架研究第三方环保市场的契约设计问题。在国内,我国对环境污染的第三方治理尚处于起步阶段,机制体系还不够成熟,国内学者对其研究主要是从定性的角度分析我国环境污染第三方治理存在的障碍以及解决措施。文献[6]提出了我国环境污染第三方治理存在的责任转移、税收、经济风险以及技术等障碍,并且建议从设立国家环保基金、实施税收优惠政策、以及强化政府责任等方面进行改进,以推行环境污染第三方治理;文献[7]研究了上海推进环境污染第三方治理的必要性后外部压力不足、委托第三方治理的内生动力不足等问题,并提出了完善的责任体系、强化约束监督等改善建议。

环境污染第三方治理内涵说明排污方和治污方是委托——代理关系。但是,在现阶段,委托代理理论主要专注于供应链管理以及投资管理等应用领域(如文献[8-18]),而对环境污染第三方治理的契约设计相对较少。文献[19]研究了环境污染第三方的合同设计问题,但是其主要讨论的是委托方固定支付的约束问题,没有考虑排污方和治污方的风险偏好对契约设计的影响。而现阶段对委托代理的研究大都假设委托方是风险中性,代理方是风险规避^[20-24],虽然文献[25]研究了不同风险偏好组合对委托代理合同的影响,但是其只讨论了契约设计中的道德风险问题,没有讨论逆向选择问题。因此,本文与上述文献的区别主要在于:1)本文以第三方环境治理为问题背景,运用委托代理理论,构建第三方环保市场中排污

方与治污方之间的博弈模型,研究在环保税情况下,逆向选择和道德风险共存时的单一合同设计和可选择合同设计;2)为突破以往文献假设委托方为风险中性、代理方为风险规避的限制,本文主要考虑排污方和治污方在不同风险偏好组合情况下的合同设计问题,并探讨不同风险组合下各参数对合同设计的影响机制,最后通过数值仿真探讨不同风险组合不完全信息对排污方收益的影响。本文所得结论可为环境污染第三方治理市场的运营提供参考。

1 问题描述及假设

考虑单个排污方与单个治污方组成的治污委托代理关系,排污方委托治污方进行污染治理,污染物的治理量受3个因素影响:1)治污方的技术水平;2)努力程度;3)环境干扰因素(例如降雨、温度、微生物活性等)。排污方不能准确观测治污方的技术水平,也不能直接观测到治污方的努力程度。由于存在信息不对称,排污方需要通过设计合适的信息甄别机制以及激励机制来防止治污方因夸大自身的技术水平而使排污方付出高成本,并激励治污方努力治污。基于上述内容,本文做出以下假设。

假设1 排污方和治污方均是以自身收益最大化的理性人,且双方风险偏好组合如表1所示。

表1 排污方和治污方的风险偏好组合

排污方的风险偏好程度	治污方的风险偏好程度	
	风险中性	风险规避
风险中性	✓	✓
风险规避	✓	✓

注1 本文不考虑排污企业和治污企业的风险爱好的情况,因为对于委托方和代理方的企业而言,其对风险的表现通常为风险中性或风险规避,其经济学意义为:对于财富拥有者,其所拥有的财富边际效用是递减的。

假设2 治污方的成本与其努力程度 e 密切相关,设治污方在治污过程中的成本函数为 $C(e) = 1/2be^2$,其中 b 为治污方治污过程中成本参数。

假设3 治污方的治污量与治污方的技术水平 t_x 以及努力程度 e 有关,并受环境干扰因素影响,记治污方的治污量 $g(e) = t_x e + \varepsilon$ 。其中: ε 为环境干扰因素,服从正态分布 $\varepsilon(0, \delta^2)$;技术参数 t_x 为治污方的私有信息。为研究简便,假定治污方的技术参数根据技术水平的高低分为高技术 t_H 和低技术 t_L 两种类型,排污方只知道治污方高低技术参数的概率分别为 p_H 和 $1 - p_H$ 。

假设4 排污方根据最终的治污量 $g(e)$ 对治污方进行线性支付,表示为 $R(g(e)) = \alpha + \beta g(e)$.其中 α 为固定支付, β 为可变支付(即为鼓励治污方努力治污而给予的激励支付).

假设5 记上级部门的单位环保税率为 T ,若排污方将治污业务委托给治污方,则治污方每治理一单位污染物,其就能少支付环保部门 T 单位的税收,表示为 $Tg(e)$,这部分减少的税收值相当于排污方将业务委托给治污方后的收益值.

根据以上假设,治污方的收益值可表示为

$$\pi_x = \alpha + \beta(t_x e + \varepsilon) - \frac{1}{2} b e^2.$$

即治污方的收益等于排污方给予的薪酬减去治污成本.另外,由于治污方的风险偏好未知,假定其效用函数为负指数效用函数,其风险规避特征函数满足 $\mu = -e^{r_a \pi_a}$,其中 r_a 为治污方的风险系数($r_a > 0, r_a = 0$ 分别表示治污企业是风险规避、风险中性的),因此,治污企业等价期望收益表示为

$$E(\pi_x) = \alpha + \beta t_x e - \frac{1}{2} b e^2 - \frac{1}{2} r_a \beta^2 \delta^2.$$

同样,排污方的收益值可表示为

$$\pi_p = T(t_x e + \varepsilon) - [\alpha + \beta(t_x e + \varepsilon)] = (T - \beta)(t_x e + \varepsilon) - \alpha.$$

即排污方的收益等于节省的税收收入减去给予治污方的薪酬,与上述类似,由于排污方的风险偏好也未知,假定排污企业的效用函数也为负指数效用函数,其风险规避特征函数满足 $\mu = -e^{r_p \pi_p}$,其中 r_p 为治污企业的风险系数($r_p > 0, r_p = 0$ 分别表示排污企业是风险规避、风险中性的),因此,排污企业等价期望收入表示为

$$E(\pi_p) = (T - \beta)t_x e - \alpha - \frac{1}{2} r_p (T - \beta)^2 \delta^2.$$

本文排污方和治污方在契约制定和执行过程中是典型的Stackelberg博弈,其中,排污方先决定契约变量(即支付参数 (α, β)),治污方再决定努力程度,所设计的契约不仅要考虑有效地区分治污方的技术类型,还要有效地激励治污方努力治污.

2 完全信息条件下的合同设计

在完全信息时,排污方可以观测到治污方技术类型,但是不能观测到治污方的努力水平.因此,该情况下不存在逆向选择问题,合同规划如下:

$$\begin{aligned} \max E(\pi_p) = \\ (T - \beta_x^c) t_x e_x^c - \alpha_x^c - \frac{1}{2} r_p (T - \beta_x^c)^2 \delta^2; \end{aligned} \quad (1)$$

$$\text{s.t. } \alpha_x^c - \beta_x^c t_x e_x^c - \frac{1}{2} b e_x^c^2 - \frac{1}{2} r_a \beta_x^c \delta^2 \geq 0, \quad (2)$$

$$e_x^c = \arg \max \alpha_x^c - \beta_x^c t_x e - \frac{1}{2} b e - \frac{1}{2} r_a \beta_x^c \delta^2, \quad (3)$$

$$x \in \{H, L\}.$$

为与下文的固定支付和可变支付进行区分,这里用 (α_x^c, β_x^c) 表示完全信息时的固定支付和可变支付.

目标函数(1)为排污方期望收益最大化目标,约束(2)表示治污方的参与约束,约束(3)表示治污方的激励相容约束.通常情况下,排污方在设计合同时考虑治污方的最大化自身收益的行为后保证其参与约束成立即可,因为没有必要多支付薪酬给治污方,即将约束(2)改为等号,然后代入目标函数中,得到如下结论.

结论1 在完全信息合同时,有

$$e_x^{c*} = \frac{t_x \beta_x^{c*}}{b}, \quad \beta_x^{c*} = \frac{T(t_x^2 + b r_p \delta^2)}{t_x^2 + b(r_a + r_p) \delta^2},$$

$$\alpha_x^{c*} = \left(-\frac{t_x^2}{2b} + \frac{1}{2} r_a \delta^2 \right) \beta_x^{c*2}.$$

证明 当信息完全时,排污方提供合同,模型规划为

$$\max E(\pi_p) = (T - \beta_x^c) t_x e_x^c - \alpha_x^c - \frac{1}{2} r_p (T - \beta_x^c)^2 \delta^2;$$

$$\text{s.t. } \alpha_x^c + \beta_x^c t_x e_x^c - \frac{1}{2} b e_x^c^2 - \frac{1}{2} r_a \beta_x^c \delta^2 \geq 0, \quad (4)$$

$$e_x^{c*} = \frac{t_x \beta_x^{c*}}{b}, \quad (5)$$

$$x \in \{H, L\}.$$

通常情况下,排污方在设计合同时只需要保证治污方的参与约束成立即可,因为没有必要多支付薪酬给治污方,即将式(4)改为等号,得到固定支付表达式为

$$\alpha_x^c = -\beta_x^c t_x e_x^c + \frac{1}{2} b e_x^c^2 + \frac{1}{2} r_a \beta_x^c \delta^2.$$

然后将固定支付表达式和式(5)代入到目标函数中,对 β_x^c 求导,得到

$$\beta_x^{c*} = \frac{T(t_x^2 + b r_p \delta^2)}{t_x^2 + b(r_a + r_p) \delta^2}.$$

将该表达式和式(5)代入到固定支付表达式中,得到 $\alpha_x^{c*} = \left(-\frac{t_x^2}{2b} + \frac{1}{2} r_a \delta^2 \right) \beta_x^{c*2}$. \square

由结论1可知,当信息完全时,排污方可以观测到治污方的技术类型,不能观测到治污方的努力水平时,排污方给予治污方的薪酬刚好等于其治污成本与风险成本之和,治污方只能收获保留收益.其次,治污方的努力水平与其成本参数成反比关系,与环保税率

以及排污方给予的可变支付成正比关系。

由结论1可得以下推理:

- 1) $\beta_x^{c*} \in (0, T], \frac{\partial \beta_x^{c*}}{\partial T} > 0$;
- 2) 当 $r_p = 0, r_a = 0$ 时, $\beta_x^{c*} = T$; 当 $r_p = 0, r_a > 0$ 时, $\frac{\partial \beta_x^{c*}}{\partial b} < 0, \frac{\partial \beta_x^{c*}}{\partial \delta} < 0$; 当 $r_p > 0, r_a = 0$ 时, $\beta_x^{c*} = T$; 当 $r_p > 0, r_a > 0$ 时, $\frac{\partial \beta_x^{c*}}{\partial b} < 0, \frac{\partial \beta_x^{c*}}{\partial \delta} < 0$ 。

当信息完全时,可从以下两方面理解以上推理:

- 1) 排污方给予治污方的可变支付值介于零至单位税收 T 之间,当税率增加时,排污方需给予治污方更多的激励使其能尽心治污。当治污方为风险中性时,其可变支付等于 T ,获得治污的全部剩余索取权。
- 2) 当治污方为风险规避时,排污方给予治污方的可变支付随治污方的成本参数、环境不确定的增加而降低。

3 不完全信息时单一合同设计

排污方提供单一合同是指无论治污方是高技术类型还是低技术类型,均采用该合同,这与现实中的排污方与治污方签订的合同情况一致。因为排污方在设计合同时不区分治污方的技术类型,仅考虑治污方的努力程度不可观测而引发的道德风险,在这种情况下,合同规划模型为

$$\max E(\pi_p) = \sum_{x \in \{H, L\}} p_x \left[(T - \beta^s) t_x e_x - \alpha^s - \frac{1}{2} r_p (T - \beta^s)^2 \delta^2 \right]; \quad (6)$$

$$\text{s.t. } e_x^s = \arg \max \alpha^s + \beta^s t_x e - \frac{1}{2} b e^2 - \frac{1}{2} r_a \beta^{s^2} \delta^2, \quad (7)$$

$$\alpha^s + \beta^s t_x e_x^s - \frac{1}{2} b e_x^{s^2} - \frac{1}{2} r_a \beta^{s^2} \delta^2 \geq 0, \quad (8)$$

$$x \in \{H, L\}.$$

为区分在不同合同设计时相同的参数设置,本节相同的变量都含有上标 s 。

目标函数(6)表示排污方期望收益最大化目标,约束(7)是不同技术类型的治污方的激励相容约束,约束(8)是不同技术类型的治污方的参与约束。由上述内容可得最优单一合同 $(\alpha^{s*}, \beta^{s*})$ 如下。

结论2 当排污方提供单一合同时,其最优合同满足

$$\alpha^{s*} = \left(\frac{r_a \delta^2}{2} - \frac{t_L^2}{2b} \right) \beta^{s*2},$$

$$\beta^{s*} = \frac{T(p_H(t_H^2 - t_L^2) + b r_p \delta^2 + t_L^2)}{2p_H(t_H^2 - t_L^2) + b(r_p + r_a)\delta^2 + t_L^2}.$$

证明 当排污方提供单一合同时,排污方的规划为

$$\max E(\pi_p) = p_H \left[(T - \beta^s) t_H e_H - \alpha^s - \frac{1}{2} r_p (T - \beta^s)^2 \delta^2 \right] + p_L \left[(T - \beta^s) t_L e_L - \alpha^s - \frac{1}{2} r_p (T - \beta^s)^2 \delta^2 \right].$$

$$\text{s.t. } e_H^s = \frac{\beta^s t_H}{b}, e_L^s = \frac{\beta^s t_L}{b}; \quad (9)$$

$$\alpha^s + \beta^s t_H e_H^s - \frac{1}{2} b e_H^{s^2} - \frac{1}{2} r_a \beta^{s^2} \delta^2 \geq 0; \quad (10)$$

$$\alpha^s + \beta^s t_L e_L^s - \frac{1}{2} b e_L^{s^2} - \frac{1}{2} r_a \beta^{s^2} \delta^2 \geq 0. \quad (11)$$

不难证明约束(11)为紧约束,由此可得 $\alpha^s + \beta^s t_L e_L^s - \frac{1}{2} b e_L^{s^2} - \frac{1}{2} r_a \beta^{s^2} \delta^2 = 0$ 。将该表达式和式(9)代入目标函数中,然后对 β^s 求导可得

$$\beta^{s*} = \frac{T(p_H(t_H^2 - t_L^2) + b r_p \delta^2 + t_L^2)}{2p_H(t_H^2 - t_L^2) + b(r_p + r_a)\delta^2 + t_L^2}.$$

然后将该表达式以及式(9)代入到 $\alpha^s + \beta^s t_L e_L^s - \frac{1}{2} b e_L^{s^2} - \frac{1}{2} r_a \beta^{s^2} \delta^2 = 0$ 中,可以得到 $\alpha^{s*} = \left(\frac{r_a \delta^2}{2} - \frac{t_L^2}{2b} \right) \beta^{s*2}$ 。□

由结论2可知,当存在不完全信息时,排污方提供单一合同,治污方不能实现与完全信息时相同的努力水平。从结论2还可推断出,当治污方为低技术水平时,排污方给予治污方的薪酬刚好等于其治污成本与风险成本之和,治污方只能收获保留收益,而当治污方为高技术水平时,其能获得额外的信息租金 $\frac{t_H^2 - t_L^2}{2b} \beta^{s*2}$,而高技术治污方获得的严格正的信息租金是由其信息优势带来的。

由结论2可得以下推理:

$$1) \beta^{s*} \in (0, T], \frac{\partial \beta^{s*}}{\partial T} > 0.$$

$$2) \text{ 当 } r_p = 0, r_a = 0 \text{ 时, } \frac{\partial \beta^{s*}}{\partial p_H} < 0; \text{ 当 } r_p = 0,$$

$$r_a > 0 \text{ 时, } \frac{\partial \beta^{s*}}{\partial b} < 0, \frac{\partial \beta^{s*}}{\partial \delta} < 0 \text{ 且满足 } b r_a \delta^2 < t_L^2 \text{ 时,}$$

$$\frac{\partial \beta^{s*}}{\partial p_H} < 0; \text{ 当 } r_p > 0, r_a = 0 \text{ 时, } \frac{\partial \beta^{s*}}{\partial b} > 0, \frac{\partial \beta^{s*}}{\partial \delta}$$

$$> 0, b r_a \delta^2 < t_L^2 \text{ 时, } \frac{\partial \beta^{s*}}{\partial p_H} < 0; \text{ 当 } r_p > 0, r_a > 0 \text{ 且}$$

$$\frac{r_p}{r_a} > 1 + \frac{t_L^2}{p_H(t_H^2 - t_L^2)} \text{ 时, } \frac{\partial \beta^{s*}}{\partial b} > 0, \frac{\partial \beta^{s*}}{\partial \delta} > 0, \text{ 此外,}$$

$$\text{当满足 } r_a - r_p < \frac{t_L^2}{b \delta^2} \text{ 时, } \frac{\partial \beta^{s*}}{\partial p_H} < 0.$$

$$3) \alpha^{s*} \text{ 存在小于0的情况.}$$

当排污方提供单一合同时,可从以下3方面理解以上推理: 1) 排污方给予治污方的可变支付值介于零至单位税收 T 之间,即在同时存在逆向选择和道德风险问题时,治污方不能获得治污的全部剩余索取权,且随着单位税率的增加,排污方需给予治污方更多的激励使其能尽心治污。2) 当双方的风险偏好满

足一定条件时,排污方认为市场中存在高技术类型治污方的可能性增加,为了保护自身收益值,降低对治污方的可变支付;其次,值得注意的是,当双方的风险偏好不同时(或者双方偏好相同但满足一定条件时),其可变支付随治污成本以及不确定因素的变化是相反的. 3) 固定支付值存在小于0的情况,即可认为治污方获得治污权而向排污方交纳部分的特许运营费.

4 不完全信息时可选择合同设计

排污方提供可选择合同是指排污方在设计契约时,考虑不同技术类型的治污方之间的差异,希望通过设计合同 $(\alpha_x, \beta_x), x \in \{H, L\}$ 来区分不同技术类型的治污方,排污方希望当治污方为高技术类型时,其能自觉选择 (α_H, β_H) ,而低技术时选择 (α_L, β_L) . 因此,接下来研究排污方面对逆向选择与道德风险问题共存时的最优合同设计 (α_x^*, β_x^*) .

在该情况下,合同设计问题表示为

$$\max E(\pi_p) = \sum_{x \in \{H, L\}} p_x \left[(T - \beta_x)t_x e_x - \alpha_x - \frac{1}{2}r_p(T - \beta_x)^2\delta^2 \right]; \quad (12)$$

$$\text{s.t. } e_x = \arg \max \left(\alpha_x + \beta_x t_x e - \frac{1}{2}be^2 - \frac{1}{2}r_a\beta_x^2\delta^2 \right), \quad (13)$$

$$e_x^y = \arg \max \left(\alpha_y + \beta_y t_x e - \frac{1}{2}be^2 - \frac{1}{2}r_a\beta_y^2\delta^2 \right), \quad (14)$$

$$\alpha_x + \beta_x t_x e_x - \frac{1}{2}be_x^2 - \frac{1}{2}r_a\beta_x^2\delta^2 \geq 0, \quad (15)$$

$$\alpha_x + \beta_x t_x e_x - \frac{1}{2}be_x^2 - \frac{1}{2}r_a\beta_x^2\delta^2 \geq$$

$$\alpha_y + \beta_y t_x e_x^y - \frac{1}{2}be_x^y{}^2 - \frac{1}{2}r_a\beta_y^2\delta^2, \quad (16)$$

$$x, y \in \{H, L\}.$$

与上述类似,目标函数(12)表示排污方期望收益最大化目标,约束(13)和(14)表示激励相容约束,约束(15)表示参与约束,约束(16)表示区分逆向选择情况下各排污方不谎报时的选择约束. 对上述规划求解可得 $(\alpha_H, \beta_H), (\alpha_L, \beta_L)$ 满足如下结论.

结论3 当排污方提供可选择合同时,有

$$\begin{aligned} \beta_H^* &= \frac{T(t_H^2 + br_p\delta^2)}{t_H^2 + b\delta^2(r_a + r_p)}, \\ \beta_L^* &= \frac{T(1 - p_H)(t_L^2 + br_p\delta^2)}{p_H t_H^2 + (1 - 2p_H)t_L^2 + (1 - p_H)b\delta^2(r_a + r_p)}, \\ \alpha_L^* &= -\frac{\beta_L^{*2}(t_L^2 - br_a\delta^2)}{2b}, \\ \alpha_H^* &= \frac{\beta_L^*(t_H^2 - t_L^2)}{2b} - \frac{\beta_H^*(t_H^2 - br_a\delta^2)}{2b}. \end{aligned}$$

证明 当排污方提供可选择合同时,排污方的规

划为

$$\begin{aligned} \max E(\pi_p) &= p_H \left[(T - \beta_H)t_H e_H - \alpha_H - \frac{1}{2}r_p(T - \beta_H)^2\delta^2 \right] + \\ & p_L \left[(T - \beta_L)t_L e_L - \alpha_L - \frac{1}{2}r_p(T - \beta_L)^2\delta^2 \right]. \end{aligned}$$

$$\text{s.t. } e_H = \frac{\beta_H t_H}{b}, e_L = \frac{\beta_L t_L}{b}; \quad (17)$$

$$e_H^L = \frac{\beta_L t_H}{b}, e_L^H = \frac{\beta_H t_L}{b}; \quad (18)$$

$$\alpha_H + \beta_H t_H e_H - \frac{1}{2}be_H^2 - \frac{1}{2}r_a\beta_H^2\delta^2 \geq 0; \quad (19)$$

$$\alpha_L + \beta_L t_L e_L - \frac{1}{2}be_L^2 - \frac{1}{2}r_a\beta_L^2\delta^2 \geq 0; \quad (20)$$

$$\alpha_H + \beta_H t_H e_H - \frac{1}{2}be_H^2 - \frac{1}{2}r_a\beta_H^2\delta^2 \geq$$

$$\alpha_L + \beta_L t_H e_H^L - \frac{1}{2}be_H^L{}^2 - \frac{1}{2}r_a\beta_L^2\delta^2; \quad (21)$$

$$\alpha_L + \beta_L t_L e_L - \frac{1}{2}be_L^2 - \frac{1}{2}r_a\beta_L^2\delta^2 \geq$$

$$\alpha_H + \beta_H t_L e_L^H - \frac{1}{2}be_L^H{}^2 - \frac{1}{2}r_a\beta_H^2\delta^2. \quad (22)$$

不难证明式(20)和(21)是紧约束,将这两个约束变为等式,并将式(17)和(18)代入等式约束中,可得固定支付 (α_H, α_L) 表达式,然后将该固定支付表达式以及式(17)代入到目标函数中,得到最优模型,根据一阶化最优条件分别对 β_H 和 β_L 求导,可得

$$\begin{aligned} \beta_H^* &= \frac{T(t_H^2 + br_p\delta^2)}{t_H^2 + b\delta^2(r_a + r_p)}, \\ \beta_L^* &= \frac{T(1 - p_H)(t_L^2 + br_p\delta^2)}{p_H t_H^2 + (1 - 2p_H)t_L^2 + (1 - p_H)b\delta^2(r_a + r_p)}, \end{aligned}$$

然后将 β_H^* 和 β_L^* 代入到固定支付表达式中,即得

$$\begin{aligned} \alpha_L^* &= -\frac{\beta_L^{*2}(t_L^2 - br_a\delta^2)}{2b}, \\ \alpha_H^* &= \frac{\beta_L^*(t_H^2 - t_L^2)}{2b} - \frac{\beta_H^*(t_H^2 - br_a\delta^2)}{2b}. \quad \square \end{aligned}$$

由结论3亦知,当排污方提供可选择合同、治污方为低技术水平时,排污方给予治污方的薪酬刚好等于其治污成本与风险成本之和,只能收获保留收益,而当技术水平为高技术水平时,治污方获得的收益扣除治污成本外,还能获得额外的信息租金 $\frac{t_H^2 - t_L^2}{2b}\beta_L^{*2}$.

由结论3可得以下推理:

- 1) $0 < \beta_L^* < \beta_H^* < T, \frac{\partial \beta_H^*}{\partial T} > 0, \frac{\partial \beta_L^*}{\partial T} > 0.$
 - 2) 当 $r_p = 0, r_a = 0$ 时, $\beta_H^* = T, \frac{\partial \beta_L^*}{\partial p_H} < 0;$
- 当 $r_p = 0, r_a > 0$ 时, $\frac{\partial \beta_H^*}{\partial b} < 0, \frac{\partial \beta_H^*}{\partial \delta} < 0, \frac{\partial \beta_L^*}{\partial b} < 0,$
- $\frac{\partial \beta_L^*}{\partial \delta} < 0, \frac{\partial \beta_L^*}{\partial p_H} < 0;$ 当 $r_p > 0, r_a = 0$ 时, $\beta_H^* =$

$T, \frac{\partial \beta_L^*}{\partial b} > 0, \frac{\partial \beta_L^*}{\partial \delta} > 0, \frac{\partial \beta_L^*}{\partial p_H} < 0$; 当 $r_p > 0, r_a > 0$ 时, $\frac{\partial \beta_H^*}{\partial b} < 0, \frac{\partial \beta_H^*}{\partial \delta} < 0, \frac{\partial \beta_L^*}{\partial p_H} < 0$ 且同时满足 $\frac{r_p}{r_a} > \frac{(1-p)t_L^2}{p_H(t_H^2 - t_L^2)}, \frac{\partial \beta_L^*}{\partial b} > 0, \frac{\partial \beta_L^*}{\partial \delta} > 0$.

当排污方提供可选择合同时,可以从3方面理解上述推理:1)随着单位税率的增加,排污方需给予治污方更多的激励使其能尽心治污;其次,当治污方为风险中性时,高技术治污方可获得全部的剩余索取权($\beta_H^* = T$),此时治污方的努力水平与完全信息时一致,而低技术治污方只能获得部分索取权。2)与单一合同的推理相同,当双方的风险偏好不同时(或者风险偏好相同但满足一定条件时),可变支付随治污成本以及不确定因素的变化是相反的。3)与单一合同的推理不同的是,无论排污方和治污方为何种风险偏好组合,排污方认为市场中存在高技术类型治污方的可能性增加,为了保护自身收益值,降低对低技术类型治污方的可变支付。

5 单一合同与可选择合同的对比

根据结论2和结论3得到如下结论。

结论4 总存在 $\beta_H^* \geq \beta^{s*} \geq \beta_L^*$, 仅当 $p_H = 0$ 时, $\beta_H^* = \beta^{s*} = \beta_L^*$ 。

证明 综合结论2和结论3得到:当 $r_p = 0, r_a = 0$ 时,有

$$\beta_H^* - \beta^{s*} = \frac{T p_H (t_H^2 - t_L^2)}{2 p_H (t_H^2 - t_L^2) + t_L^2} \geq 0,$$

$$\beta^{s*} - \beta_L^* = \frac{T p_H^2 t_H^2 (t_H^2 - t_L^2)}{[2 p_H (t_H^2 - t_L^2) + t_L^2][p_H t_H^2 + (1 - 2 p_H) t_L^2]} \geq 0.$$

同理可计算当 $r_p = 0, r_a > 0, r_p > 0, r_a = 0, r_p = 0, r_a = 0$ 时, $\beta_H^*, \beta^{s*}, \beta_L^*$ 的相对大小关系均满足 $\beta_H^* \geq \beta^{s*} \geq \beta_L^*$ 。□

综合结论2和结论3,结论4显示可选择契约能很好地区分不同技术类型的治污方。当排污方提供可选择契约时,低技术的治污方只能获得保留收益,而高技术治污方则能获得 $\frac{t_H^2 - t_L^2}{2b} \beta_L^{*2}$ 的额外收益。从治污方角度出发,低技术治污方对单一合同和可选择合同没有偏好选择,因为都只能获得保留收益,但是高技术的治污方则更偏好单一合同,因为其获得的信息租金大于可选择合同获得的信息租金值。反之,从排污方角度出发,其提供可选择合同时更有利于自身收益最大化。

结论5 记 $\Delta e_1 = e_H - e_H^{s*}, \Delta e_2 = e_L^{s*} - e_L$, 总存在 $\Delta e_1, \Delta e_2 \geq 0$, 仅当 $p_H = 0$ 时, 等号成立。

结论5显示,可选择合同与单一合同相比,低技术类型的治污方在单一合同情况下的努力水平高

于可选择合同时的努力水平,而高技术类型的治污方在单一合同时的努力水平小于可选择合同时的努力水平,因为在单位成本相同的情况下,可变支付(即激励支付)越大,其努力水平越大,结论4显示 $\beta_H^* \geq \beta^{s*} \geq \beta_L^*$, 由此可得 $\Delta e_1, \Delta e_2 \geq 0$ 。

6 数值仿真

上面已经对比分析了单一合同和可选择合同对治污方的期望收益影响,当排污方提供单一合同和可选择合同时,低技术类型治污方对两种合同没有偏好选择,但是高技术类型的治污方更偏好于单一合同。下面将对不同风险偏好组合下的高技术治污方概率(p_H)对单一合同和可选择合同下排污方的期望收益的影响进行仿真,以验证上述推论。

首先设定基本参数值 $T = 1, t_H = 10, t_L = 6, p_H = 0, b = 5, r_a = 0, r_p = 0, \delta^2 = 9$, 在控制其他参数不改变的情况下,改变高技术治污方概率值 p_H , 对比不同风险组合下单一合同以及可选择合同时排污方的期望收益变化,如图1~图6所示。

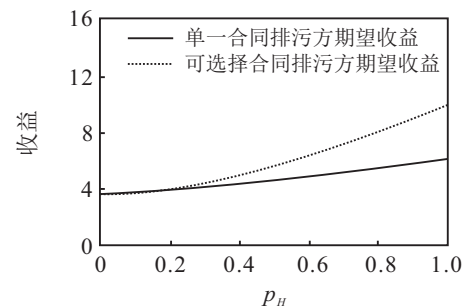


图1 双方均为风险中性时 p_H 对排污方的收益影响

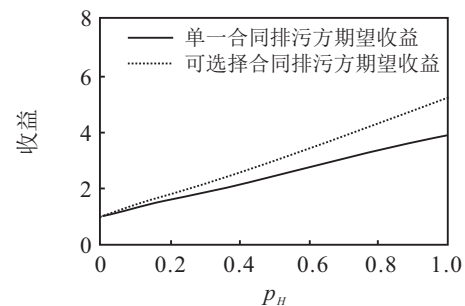


图2 排污方风险中性、治污方风险规避时 p_H 对排污方的收益影响

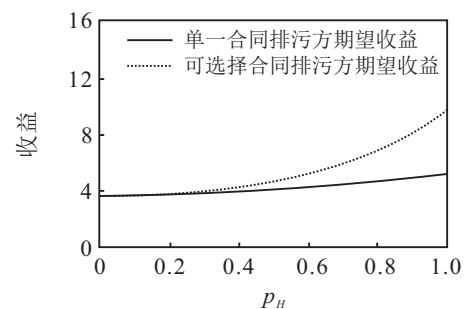


图3 排污方风险规避、治污方风险中性时 p_H 对排污方的收益影响

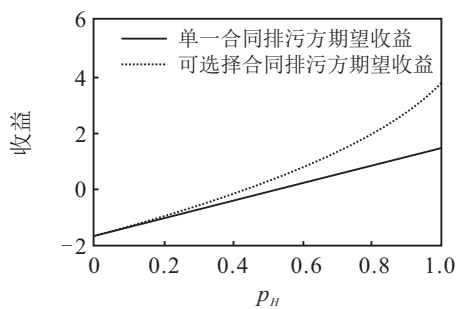


图4 双方均为风险规避时 p_H 对排污方的收益影响

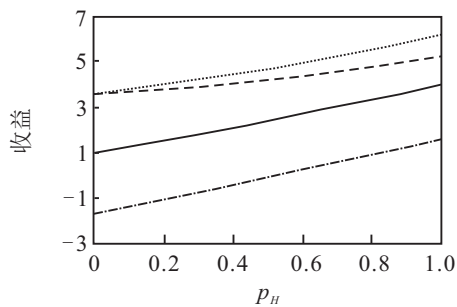


图5 不同风险组合及单合同下 p_H 对排污方收益的影响

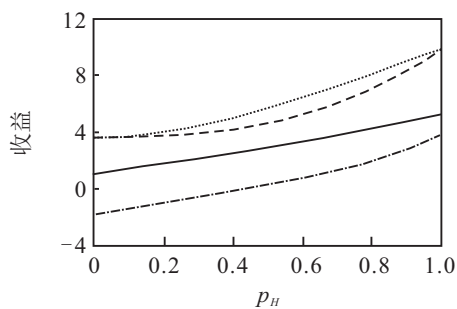


图6 不同风险组合及可选择合同下 p_H 对排污方收益的影响

在图5和图6中:点线表示双方均为风险中性,实线表示排污风险中性、治污方风险规避,虚线表示排污方风险规避、治污方风险中性,点划线表示双方均为风险规避。

在控制其他参数不变的情况下,图1~图4表明:排污方和治污方在不同的风险偏好组合下,排污方的期望收益都随 p_H 的增加而增加,并且排污方在提供可选择合同时获得的期望收益总高于提供单一合同时获得的期望收益,这点验证了结论4,因为在提供可选择合同时,排污方所支付的信息租金少于单一合同所需支付的信息租金,所以排污方提供可选择合同可实现收益最大化目标。图5和图6表明:无论排污方提供单一合同还是可选择合同,总存在 $\pi_p(r_p=0, r_a=0) > \pi_p(r_p>0, r_a=0) > \pi_p(r_p=0, r_a>0) > \pi_p(r_p>0, r_a>0)$,这表明当治污方为风险中性时,排污方可获得更高的期望收益或者治污方越是风险规避,排污方的期望收益越低;其次,当治污方的风险偏好一定时,排污方越保守,其获得的期望收益越低,双方均为风险中性时,排污方收益最高,双方均为风险规避

时,排污方收益最低。

7 结论

本文研究了在环保税情况下环保第三方市场的合同设计情况,分别讨论了排污方和治污方在不同风险偏好组合下完全信息情况时的合同设计和不完全信息情况时的单一合同设计和可选择合同设计情况。所得结论如下:1)当信息完全时,无论治污方为何种类型,排污方给予治污方的薪酬等于其治污成本与风险成本之和,治污方只能获得保留收益。2)当信息不完全时,从排污方角度分析,其提供可选择合同更有利于自身实现期望收益最大化目标,而从治污方角度分析,低技术类型的治污方对单一合同和可选择合同没有偏好选择,而高技术类型治污方更偏好于单一合同的选择。3)当双方的风险偏好不同时(或者双方偏好相同但满足一定条件时),其可变支付随治污成本以及不确定因素的变化是相反的。4)当排污方的风险偏好一定时,治污方越保守,排污方的期望收益越低;当治污方的风险偏好一定时,排污方越保守,其期望收益越低,双方均为风险中性时,排污方收益最高,双方均为风险规避时,排污方收益最低。

本研究的结论可为第三方环保市场的契约设计提供参考。但是,本文在研究时其前提是假设将治污方的技术类型设为高技术 and 低技术两种类型,而在现实中,技术类型大多是连续型的。对连续型技术类型的研究可在本文的基础上进行下一步探索。另外,本文是从单个排污方和单个治污方着手进行分析,可为下一步研究第三方环保市场中多个排污方和单个治污方的合同设计提供参考。

参考文献(References)

- [1] 张维迎. 博弈论与信息经济学[M]. 上海: 上海人民出版社, 1996: 397-447.
(Zhang W Y. Game theory and information economics[M]. Shanghai: Shanghai People Press, 1996: 397-447.)
- [2] David M, Sinclair-Desagné B. Environmental regulation and the eco-industry[J]. J of Regulatory Economics, 2005, 28(2): 141-155.
- [3] Canton Joan, Antoine Soubeyran, Hubert Stahn. Optimal environmental policy, vertical structure and imperfect competition[J]. Environmental and Resource Economics, 2008, 40(3): 369-382.
- [4] Nimubona A D, Sinclair-Desagné B. The pigouvian tax rule in the presence of an eco-industry[J]. Cirano Working Paper, 2005, 33(1): 747-752.
- [5] Canton J, Soubeyran A, Stahn H. Environmental taxation and vertical cournot oligopolies: How eco-industries matter[J]. Environ Resource Econ, 2008, 40(3): 369-382.

- [6] 骆建华. 环境污染第三方治理的发展及完善建议[J]. 环境保护, 2014, 42(20): 16-19.
(Luo J H. Proposal on the development and improvement of third-party management over environmental pollution[J]. Environmental Protection, 2014, 42(20): 16-19.)
- [7] 张全. 以第三方治理为方向加快推进环境治理机制改革[J]. 环境保护, 2014, 42(20): 31-33.
(Zhang Q. Accelerating the reform process of environmental management mechanism with third-party management as the direction[J]. Environmental Protection, 2014, 42(20): 31-33.)
- [8] Kaya Onur, Caner Serra. Supply chain contracts for capacity decisions under symmetric and asymmetric information[J]. Central European J of Operational Research, 2018, 26(1): 67-92.
- [9] Mustafa Akan. Asymmetric Information and economies of scale in service contracting[J]. Manufacturing & Service Operations Management, 2011, 13(1): 58-72.
- [10] Terry A Taylor, Erica L. Plambeck. Simple relational contracts to motivate capacity investment: Price only vs. price and quantity[J]. Manufacturing & Service Operations management, 2007, 9(1): 94-113.
- [11] Charles J Corbett, Xavier de Groote. A supplier's optimal quantity discount policy under asymmetric information[J]. Management Science, 2000, 46(3): 444-450.
- [12] Charles J Corbett. Stochastic inventory systems in a supply chain with asymmetric information: Cycle stocks, safe stocks and consignment stock[J]. Operations Research, 2001, 49(4): 487-501.
- [13] Charles J Corbett, Zhou D, Tang C S. Designing supply chain contracts: Contract type and information asymmetry[J]. Management Science, 2004, 50(4): 550-559.
- [14] Ozer O, Wei W. Strategic commitment for optimal capacity decision under asymmetric forecast information[J]. Management Science, 2006, 52(8): 1238-1257.
- [15] 王先甲, 张柳波. 基于改进线性分成契约的逆向供应链协调机制[J]. 系统工程理论与实践, 2014, 34(3): 701-709.
(Wang X J, Zhang L B. Study on reverse supply chain coordination mechanism based on improved linear revenue-sharing contract[J]. System Engineering — Theory & Practice, 2014, 34(3): 701-709.)
- [16] 徐玖平, 陈书建. 不对称信息下风险投资的委托代理模型研究[J]. 系统工程理论与实践, 2004, 24(1): 19-24.
(Xu J P, Chen S J. The study of venture capital's principal-agent model base on asymmetric information[J]. System Engineering — Theory & Practice, 2004, 24(1): 19-24.)
- [17] 庄新田, 黄小原. 委托代理框架下实物期权最优投资策略研究[J]. 控制与决策, 2003, 18(3): 332-339.
(Zhang X T, Huang X Y. Research on optimal investment tactics of real option under trust-agent conditions[J]. Control and Decision, 2003, 18(3): 332-339.)
- [18] 田厚平, 刘长贤. 非对称信息下分销渠道中的激励契约设计[J]. 管理科学学报, 2009, 12(3): 77-82.
(Tian H P, Liu C X. Incentive contract design in distribution channel with asymmetric information[J]. J of Management Science in China, 2009, 12(3): 77-82.)
- [19] Leon Y C, David E M Sappington. Designing optimal gain sharing plans to promote energy conservation[J]. J of Regulatory Economics, 2012, 42(2): 115-134.
- [20] 曹柬, 杨春节, 李平, 等. 不对称信息下供应链线性分成制契约设计研究[J]. 管理科学学报, 2009, 12(2): 19-30.
(Cao J, Yang C J, Li P, et al. Design of supply chain linear shared-saving contract with asymmetric information[J]. J of Management Science in China, 2009, 12(2): 19-30.)
- [21] Cristopher P. On the long run implication of repeated moral hazard[J]. J of Economic Theory, 1998, 79(2): 174-191.
- [22] Kim S K, Wang S S. Linear contracts and the double moral hazard[J]. J of Economic Theory, 1998, 82(3): 342-378.
- [23] 曹柬, 胡丽玲, 姚清钦, 等. 基于激励理论的政府与逆向供应链系统协调机制[J]. 系统工程学报, 2015, 30(6): 821-835.
(Cao J, Hu L L, Yao Q Q, et al. Coordination mechanism between government and reverse supply chain system based on incentive theory[J]. J of System Engineering, 2015, 20(6): 821-835.)
- [24] 陈克贵, 黄敏, 王兴伟. 双重信息不对称下虚拟企业监督策略[J]. 控制与决策, 2013, 28(9): 1288-1302.
(Chen K G, Huang M, Wang X W. Monitoring strategies of virtual enterprise under dual information asymmetry[J]. Control and Decision, 2013, 28(9): 1288-1302.)
- [25] 田厚平, 刘长贤, 吴萍. 非对称信息下参与人不同风险偏好组合的委托代理问题[J]. 管理工程学报, 2007, 21(3): 24-28.
(Tian H P, Liu C X, Wu P. Principal agent model under players' different risk attitude combination with asymmetric information[J]. J of Industrial Engineering, 2007, 21(3): 24-28.)

作者简介

陈晓红(1963—), 女, 教授, 博士生导师, 中国工程院院士, 从事决策理论与决策支持系统、两型社会与生态文明等研究, E-mail: c88877803@163.com;

余章美(1994—), 女, 硕士生, 从事决策理论与决策支持系统、可持续运作管理的研究, E-mail: 1015375165@qq.com;

李金霖(1986—), 男, 讲师, 博士, 从事可持续运作管理、绿色供应链管理等研究, E-mail: ljl1019@163.com.

(责任编辑: 闫 妍)