低碳经济下政府与未 IPO 风险投资企业间的博弈研究

李忠民，于江波
(陕西师范大学 国际商学院，陕西 西安 710062)

摘　要：在工程 BOT 模型的基础上对我国未进行 IPO 的风险投资企业与政府间在融资期限、碳价格以及单位投资成本方面进行了博弈分析。研究结果表明，融资期限越长、碳价格越高，风险投资更愿意投向低碳产业，而政府对未能进行 IPO 的风险投资的碳价格制定得越高，风险投资越愿意提高单位技术成本的投资。

关键词：博弈理论；低碳经济；风险投资
DOI：10.3969/j.issn.1001-7348.2010.22.03
中图分类号：F832.48　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1001–7348(2010)22–0009–03

0　引言

最近几年，我国对"绿色行业"的风险投资力度不断加大，如在 2008 年底启动的 4 万亿投资计划中，环境基础设施建设、新能源开发和能效的提高被视为重点投资领域。虽然我国政府不断加大财政预算支出，但是由于低碳企业的风险投资大、回收周期长等原因，银行业并没有全方位地支持低碳行业的发展。

风险投资作为我国发展低碳产业的支柱性力量，在鼓励其对低碳产业投资时，应充分考虑资金安全问题。因此，如何确保我国风险投资的回报率、选择好低碳产业风险投资资金的退出机制，就成为一个亟待研究的课题。因此本文研究的是对未能进行 IPO 的低碳行业的风险投资金的安全以及盈利问题。我们借鉴肖条君在工程项目中针对 BOT 模型的博弈研究方法，来解决低碳项目融资中政府与未能进行 IPO 的私人风险投资基金间的利益博弈问题，从而找到纯策略纳什均衡解。政府进行投资的主要目标在于最大限度地减少温室气体的排放，使得社会福利最大化；私人风险投资的目标在于投资利益最大化。本文的研究将为政府的财政融资决策提供实用价值。

1　模型假设与博弈分析

1.1　模型的假设

假设一，技术进步是降低 CO_2 等温室气体含量最重要的条件，我们把技术进步量化为 Y，即 Y 代表了每减少一单位温室气体所需要的技术投资成本。我们假设风险投资资金全部用于技术进步，即投资成本是技术进步的函数，记为 I(Y)，此时 I(Y)>0，即随着单位技术投资成本的增大投资总成本呈正比例增长关系。

假设二，我们假设政府对单位碳排放额具有定价权，记为 X，则所减少的 CO_2 的额度为 V(X，Y)，即减少的 CO_2 额度依附于碳价格和单位技术投资成本，当碳价格越高，风险投资额度越大，风险投资收益越大，则所减少的温室气体排放额越大，即为 $\frac{\P V(X,Y)}{\P X}>0$，同理，我们可得单位技术投资成本越大，所减少的温室气体排放额度越大，即为 $\frac{\P V(X,Y)}{\P Y}>0$.

假设三，基于对低碳行业的风险投资具有回收期长、风险大的特点，最好的结果是通过 IPO 进行出售，而对于大多数无法进行 IPO 但是又对环境造成极大威胁的小型公司，我们借鉴公路建设工程中的 BOT 模型，对风险投资不能通过 IPO 进行资金回收的风险投资企业将由政府进行回购。我们假设政府对风险投资有特许经营期限的优惠，即在特许经营期限内由风险投资企业进行经营和管理，待特许经营期限到期后交给政府经营管理，我们把特许经营期限记为 T。

假设四，假设我国的环境交易所专为本国中小企业的碳排放额交易服务。我们这样假设的目的在于我国的风险投资可以最大程度地通过 IPO 进行资金回笼，并且取得应得的收益。除此之外，假设政府对未进行 IPO 的低碳企业进行收购，进而在交易所内作为参与主体与其它主体一起进行温室气体的交易，从而使政府对未进行 IPO 的低碳企业的碳排放价

收稿日期：2010–08–18
基金项目：国家社会科学基金项目(10BJY012)
作者简介：李忠民(1966–)，男，河南人，陕西师范大学国际商学院教授、博士生导师，研究方向为金融发展理论；于江波(1985–)，男，陕西人，陕西师范大学国际商学院硕士研究生，研究方向为低碳金融。

格具有绝对的控制权。对始终不能进行 IPO 的企业，我们假设特许期限到期后政府对此低碳企业进行收购。

综上假设，政府对特许经营期限和碳交易价格具有更大的决策权，而风险投资企业对低碳行业的单位技术成本具有更大的决策权。在政府与风险企业签订协议时，双方的决策存在一定的冲突，一方的决策变化会影响另一方的效用，进而影响另外一方的决策。从风险投资企业的角度看，希望投资越少越好，碳交易价格越高越好；从政府的角度看，希望投资越多越好，碳交易价格越低越好。由于政府与风险投资企业之间存在着利益冲突，我们将在政府的社会福利最大化与私人风险投资利益最大化之间进行博弈分析。我们假设双方的信息是对称的，参与方同时制定策略。于是，两者进行完全信息静态博弈，政府决定特许经营期限和碳价格，而风险投资者决定单位技术投资成本，其决定会影响减排技术，进而影响低碳企业对温室气体的减排额。

1.2　模型的提出与分析

我们假设私人风险投资企业的效用函数为：

$$\max\prod(T,X,Y)=\sum(V(X,Y)X-I(Y)/T) \qquad (1)$$

式(1)中，T 表示政府对未进行 IPO 私人风险投资的经营期限，即政府对未进行 IPO 的低碳企业的经营管理时间长短。对特许经营期限有上限和下限之分，用 TU 表示上限，TD 表示下限，则 1＜TD＜T＜TU，特许经营期限上下限的确定是根据政府总的政治经济战略以及私人风险投资的接受能力确定。式(1)中，第一项表示碳排放权总的收益，它主要受两个变量的影响，即政府决定的碳价格和单位技术成本投资额；第二项表示单位时期内的成本总额，这项主要受一个变量影响，即单位技术投资成本，此处忽略减排所需要的固定成本，Y 只表示单位变动成本，忽略的原因在于常数不影响最优决策.

假设政府社会福利最大化，最大限度减少温室气体排放的效用函数为

$$\max W(T,X,Y)=U(X,Y)-\sum I(Y)/Y+T^{-1}\sum D(Y)T^{1-\theta} \qquad (2)$$

式(2)中，U(X，Y)表示单位时期内的社会福利效用，右边第二项表示单位时期内私人风险投资的成本，第三项表示特许经营期限到期后风险投资企业交还给政府的单位剩余价值。此时，D(Y)＞0，$D(Y)'$＞0，即私人风险投资单位技术成本越高，特许经营期限到期后移交给政府的项目剩余价值越大。式中，θ-1＞0 表示的是风险投资企业在移交给政府的剩余价值的衰减速度，θ 越大，衰减速度越快，从而剩余价值越小。

我们假设政府和私人风险投资同时采取行动，将特许经营期限、碳价格、技术投资成本 3 个变量提前决定，我们将首先考虑解的存在性，因此先要证明目标函数是关于决策变量的严格凹函数。我们将首先证明 W(T，X，Y)是(T，X)的严格凹函数。

如果∑I(Y)/D(Y)≥1，且 U(X，Y)关于 X 的 Hessian 矩阵是负定的，则当 TD＞8 且 θ＞1 时，W(T，X，Y)是(T，X)的严格凹函数。

证明：由于 U(X，Y)关于 Hessian 矩阵是负定的，于是 U(X，Y)是 X 的严格凹函数，则：

$$\frac{\partial^2 W(T,X,Y)}{\partial T^2}=-2T^{-3}\sum I(Y)+q(q+1)\sum D(Y)T^{-(q+2)}$$

因为 ∑I(Y)/∑D(Y)≥1

$$\frac{\partial^2 W(T,X,Y)}{\partial T^2}\le\left[-2+q(q+1)T^{-(q-1)}\right]T^{-3}\sum D(Y)$$

我们设 $A(q,T)=-2+q(q+1)T^{-(q-1)}$

我们现在证明 TD＞$\left[\frac{q(q+1)}{2}\right]^{\frac{1}{q-1}}$，因为 θ＞1，可以推知 $\left[\frac{q(q+1)}{2}\right]^{\frac{1}{q-2}}\le q^{\frac{2}{q-1}}$。我们记 $B=q^{\frac{2}{q-1}}$，两边取对数并且对 θ 求导，则

$$\frac{1}{B}B'=-\frac{1}{(q-1)^2}lnq+\frac{1}{(q-1)q}$$

$$=\frac{1}{(q-1)^2q}\left[-qlnq+(q-1)\right]$$

要 B'＜0，只要 $-qlnq+(q-1)$＜0，当 $q=1$ 时不等式左边等于 0，那么只要证明不等式左边关于 q 的导数小于 0，即是 q 的减函数。对 $-qlnq+(q-1)$＜0 求导，得 $qlnq$ —1+1＜0，θ＞1，因此 B 是 θ 的严格减函数。对 B 求导得，$\lim_{q\to 1+}q^{\frac{2}{q-1}}=\lim_{q\to 1+}\left[(q-1)+1\right]^{\frac{2}{q-1}}=e^2$＜8，又因为 TD≥8，所以

TD＞$\lim_{q\to 1+}q^{\frac{2}{q-1}}\ge q^{\frac{2}{q-1}}>\left[\frac{q(q+1)}{2}\right]^{\frac{1}{q-1}}$。

由 T≥TD＞$\left[\frac{q(q+1)}{2}\right]^{\frac{1}{q-1}}$ 和 θ＞1，可以推得 $A(q,T)$ ＜ 0，从而 $\frac{\partial^2 W(T,X,Y)}{\partial T^2}$＜0。

同时，注意到 $\frac{\partial^2 W(T,X,Y)}{\partial X\partial T}=\frac{\partial^2 W(T,X,Y)}{\partial T\partial X}=0$

记 $\bar{W}(T,X)=W(T,X,Y),\bar{U}(X)=U(X,Y)$，因此，$W(T,X,Y)$ 关于 (T,X) 的 Hessian 矩阵

$$\nabla^2\bar{W}(T,X)=\begin{bmatrix}\frac{\partial^2 W(T,X,Y)}{\partial T^2} & 0\\ 0 & \nabla^2\bar{U}(X)\end{bmatrix}$$

是负定的，所以 $W(T,X,Y)$ 是 (T,X) 的严格凹函数。

记 λ 为 X 的 lagrange 乘子 λ_a 组成的向量，$\mu=(\mu_1,\mu_2)$ 是 T 的 lagrange 乘子的向量，则可以写出社会福利最大化函数的 Lagrange 函数，为

$$L(T,X,\mu,\lambda)=-W(T,X,Y)-\mu_1(T-TD)-\mu_2(TU-T)-\sum\lambda_a X$$

$$\frac{\partial L(T,X,\mu,\lambda)}{\partial T}=-\left[T^{-2}\sum I(Y)-qT^{-(q+1)}\sum D(Y)\right]-\mu_1+\mu_2=0$$

$$\frac{\partial W(T,X,Y)}{\partial T}=T^{-2}\sum I(Y)-qT^{-(q-1)}\sum D(Y)\ge T^{-2}\left(1-qT^{-(q-1)}\right)\sum D(Y)$$

因为 $q>1$，所以 $T\ge TD>\left[\frac{q(q+1)}{2}\right]^{\frac{1}{q-1}}>q^{\frac{1}{q-1}}$，又因

为 $1-qT^{-(q-1)}>0$，于是 $\frac{\partial W(T,X,Y)}{\partial T}>0$，即特许经营期限越长，社会福利越高，减少的温室气体越多。

接下来，我们将介绍风险投资企业的最优反映函数记 λ 为 Y 的 Lagrange 乘子，有

$$\bar{L}(Y,\lambda)=-\pi(T,X,Y)-\sum\lambda Y$$

$$\frac{\partial\bar{L}(Y,\lambda)}{\partial Y}=-\left[\frac{\partial V(X,Y)}{\partial Y}X-T^{-1}I'(Y)\right]-\lambda=0$$

$$\lambda Y=0,\lambda\geq 0,Y\geq 0$$

设 $Y^*(T,X)$ 为最优反映函数。

根据式(1)和式(2)中政府和私人风险投资的目标函数，我们假设 V(X，Y)和 U(X，Y)都是(X，Y)的连续函数，X 和 Y 都有上界，并且满足条件①W(T，X，Y)是(X，Y)的严格凹函数，和条件②∏(T，X，Y)是 Y 的严格凹函数。肖条君在《博弈论及其应用》中指出，此时政府和私人风险投资之间存在一个纯策略纳什均衡。

我们首先考虑政府的决策对私人风险投资者的决策影响。当 $Y^*(T,X)>0$ 时，根据隐函数存在定理，则

$$\frac{\partial Y^*(T,X)}{\partial T}=-\frac{T^{-2}I'(Y)}{\frac{\partial^2V(X,Y)}{\partial Y^2}X-T^{-1}I''(Y)}>0$$

$$\frac{\partial Y^*(T,X)}{\partial X}=-\frac{\frac{\partial^2(V(X,Y)X)}{\partial Y\partial X}}{\frac{\partial^2V(X,Y)}{\partial Y^2}X-T^{-1}I''(Y)}>0$$

我们可得政府给私人风险投资特许经营的期限越长，风险投资者更愿意投资低碳企业，即风险投资者对技术的单位投资成本越大，碳价格越高，风险投资者对低碳行业的投资更大。政府赋予风险投资者特许经营期限的时间越长，说明分摊到单位时间内的私人风险投资成本越小，风险投资者更愿加大对低碳企业的投资。碳价格越高会增加风险投资者的收益，风险投资者更愿意对新兴的低碳行业进行投资。

下面我们来研究私人风险投资企业的决策对政府决策的影响。当 $X^*(Y)>0$ 时，根据隐函数定理可得

$$\frac{\partial X^*(Y)}{\partial Y}=-\frac{\frac{\partial^2U(X,Y)}{\partial X\partial Y}}{\frac{\partial^2U(X,Y)}{\partial X^2}}>0$$

我们可以得到：风险投资企业对低碳企业的单位技术投资成本越高，碳价格将会越高；对技术成本的投资越大，政府应该给予风险投资企业更高的回报，这样风险投资企业才会有更大的投资需求。否则，风险投资者将没有积极性增加技术投资，这将会导致社会福利的下降。

2　结论与政策建议

本文借鉴工程中的 BOT 模型对我国碳金融领域里的风险投资利益最大化与政府社会福利最大化之间进行了博弈分析。研究建立在两个条件之下：第一，为鼓励私人风险投资对低碳行业的支持，我们假设政府对风险投资企业 IPO 的时间有干预，当时间过长而不能进行 IPO 的时候，政府进行收购；第二，假设我国有自己的交易所，即对于碳交易，国内企业可以在本国内进行碳排放权的交易，政府对碳价格有干预。基于以上假设，我们进行了政府与私人风险投资之间的博弈分析，发现在两者之间存在纯策略纳什均衡，最终得出政府给予风险投资企业的特许限越长，风险投资企业对低碳行业的投资越多这一结论。这主要是因为低碳行业是一个新兴行业，对新技术的投资回收需要更长的时间，时间越长，单位时间内的投资成本越低。政府给出的碳价格越高，风险投资企业更愿意投资，这是因为单位时期内的收益越大；反过来，私人风险投资者对低碳行业的单位技术投资越大，政府将给予更多的收益补偿，即碳价格越高。

基于以上结论，本研究给予以下政策建议：

第一，建立证券市场中的碳交易场所，只允许国内企业进行碳交易。此时，政府作为交易主体，交易从未上市低碳企业中购买的温室气体排放额度，目的在于鼓励更多的风险投资对低碳企业进行投资，制定适合于我国自己的上市标准，最大限度地支持我们的低碳企业在碳排放交易所进行交易。

第二，为支持低碳行业的风险投资，确保风险投资金的投资回报，政府对未进行 IPO 的企业进行回购，但是在时间上给予其更长期限，使得风险投资有足够长的时间进行投资回收。根据我们以上的博弈分析可得到，政府特许经营的期限越长，风险投资对低碳企业的支持力度越大。

第三，政府对未通过 IPO 进行资金回笼的风险投资企业进行回购之前，对碳价格进行管制，可根据对单位技术的风险投资额给予不同的碳价格支持，对风险投资额大的给予价格上的补偿，以激励更多的风险投资企业最大限度地对低碳行业进行投资。这里我们指的是单位技术投资成本，以便用于不同行业之间的比较。

参考文献：

[1] Cramton P.and S.Kerr，Tradable carbon permit auctions：How and why to auction not grandfather［J］.Energy Policy，2002，30.

[2] 于远光.排污权拍卖价格操纵的博弈分析［J］.求索，2010.

[3] 吴丽红.关于碳交易融资问题的文献综述［J］.商场现代化，2009(4).

[4] 戴璐.“双高”现象、银企博弈与转型经济融资环境的影响［J］.中国软科学，2010(2).

[5] 张维迎.博弈论与信息经济学［M］. 上海：上海人民出版社，1996：5.

[6] 谢识予.经济博弈论［M］. 上海：上海复旦大学出版社，2002：5.

[7] 肖条君.博弈论及其应用［M］. 上海：上海三联书店，2004：7.

(责任编辑：胡俊健)