

文章编号: 1001-0920(2009)04-0570-04

# 核准与收益不确定性条件下的项目投资决策研究

臧宝峰<sup>1</sup>, 胡汉辉<sup>2</sup>

(1. 国家开发银行 青岛市分行, 山东 青岛 266071; 2. 东南大学 集团经济与产业组织研究中心, 南京 210008)

**摘要:** 基于实物期权理论和序贯投资决策理论, 建立了政府核准和项目现金流双重不确定条件下的项目投资决策模型. 针对两种随机变量的非齐次特征, 利用 Riskoptimizer 软件包设计仿真优化算法进行求解. 在给定算例的条件下, 定量刻画了核准耗时、核准成本、核准通过率等核准不确定性因素和项目收益对项目投资决策的共同影响.

**关键词:** 项目投资; 核准不确定性; 双重随机; 实物期权; 仿真优化

中图分类号: F224.1 文献标识码: A

## Investment decision in project with dual uncertainties from examination and benefit flow

ZANG Baofeng<sup>1</sup>, HU Hanhui<sup>2</sup>

(1. Qingdao Branch of China Development Bank, Qingdao 266071, China; 2. Research Centre of Industry Organization Group Economy, Southeast University, Nanjing 210008, China. Correspondent: ZANG Baofeng, E-mail: zbf101@yahoo.com.cn)

**Abstract:** Investment decision in new project under examination uncertainty and benefit flow is studied in this paper. Based on real option theory, a sequential decision model is built up for starting examination process and starting construction process in which the above dual uncertainties are both involved. For the different characteristics of these two uncertainties, the simulation and optimization algorithm is designed based on Riskoptimizer software package. A numerical example and the sensitivity analysis describe the quantitative influences on the optimal starting time by examination and project benefit uncertainties.

**Key words:** Investment in new project; Examination uncertainty; Dual stochastic; Real option; Simulation optimization

### 1 引言

项目投资核准制是我国现行基本投资管理制度. 所有政府类资金项目和限制类投资项目, 必须提交项目申请报告, 并经政府投资主管部门核准后方可开工建设. 对投资者而言, 核准是有成本的(如规划、咨询、设计费用), 也是需要时间的, 而核准的结论也是不确定的, 这些都会影响企业的投资决策行为. 然而, 现有讨论项目投资决策的文献较多地关注市场因素的不确定性(从而关注项目收益的不确定性), 包括价格波动<sup>[1]</sup>、需求增减<sup>[2]</sup>、竞争对手的战略相互影响<sup>[3,4]</sup>等, 引入实物期权、随机动态博弈、期权博弈等现代决策理论和发放进行建模研究, 也有少量文献探讨了政策的不确定性对电网项目投资激励和效果的影响<sup>[5]</sup>, 但尚未见到对核准不确定性进行数学建模和定量研究的文献.

本文在市场不确定性从而涉及项目收益不确定因素的基础上, 引入对项目核准成本、核准耗时、核准通过率等不确定变量的分析, 基于实物期权理论和序贯投资决策理论, 建立了包含核准程序启动决策和建造程序启动决策的项目两阶段序贯决策模型, 设计了基于 Riskoptimizer 软件包的仿真优化算法. 借助数值算例, 定量地刻画了项目现金流和核准变量的双重随机不确定性对项目最优决策时机选择的共同作用.

### 2 项目投资序贯决策模型

考虑核准不确定因素时, 项目投资决策是一个特殊的两阶段序贯决策过程: 投资者首先需要做出核准程序启动决策, 才有可能做出投资建造程序启动决策; 如果核准不通过, 则项目投资为 0. 投资者(确切地说应该是潜在投资者)启动核准程序时同时

收稿日期: 2007-12-18; 修回日期: 2008-10-23.

基金项目: 国家自然科学基金项目(70473013).

作者简介: 臧宝峰(1977—), 男, 山东临沂人, 博士后, 从事电力系统运行与控制的研究; 胡汉辉(1956—), 男, 江苏南通人, 教授, 博士生导师, 从事产业组织理论与决策理论等研究.

面临核准和项目收益的双重不确定性, 而其在启动建造程序时只需考虑项目收益的不确定性. 这样投资者就拥有两个期权, 一是启动核准程序的期权, 二是启动建造程序的期权, 但第 2 个期权依附于第 1 个期权. 假设项目投资权利永不过期, 则投资者是否启动核准过程的权利可以视为复合永久美式期权. 如果这一期权得到执行, 则以  $q$  的概率赋予投资者启动项目建设的权利. 下面对这一两阶段序贯决策过程进行建模和分析.

### 2.1 项目核准启动决策的实物期权模型

假定项目投产运营后的现金流服从如下几何布朗运动<sup>[6]</sup>:

$$dV = \alpha V dt + \sigma V dz. \quad (1)$$

其中:  $\alpha$  为漂移参数, 表示项目收益的增长速度;  $\sigma$  为方差参数;  $dz$  为维纳过程的增量. 考虑核准程序时, 投资者首先面临的决策问题是: 选择一个适当的时机  $T_1^*$  启动核准程序, 最大化项目建成后的动态收益净现值  $V_R(T)$ . 令  $\tilde{C}_R$  为核准成本即期权的执行成本,  $\bar{T}_R$  为核准耗时,  $\tilde{p}$  为核准许可概率, 注意到  $\tilde{C}_R$ ,  $\bar{T}_R$  和  $\tilde{p}$  均为不确定变量(假定此 3 个变量都服从均匀分布). 如前所述, 将投资者拥有的启动核准程序的权利视为复合永久美式期权, 这样, 企业启动项目核准程序的决策等同于决定何时执行这一期权. 以  $F_R(T_1)$  表示这一期权价值, 则最优决策等同于最大化形如下式所示的贝尔曼方程<sup>[6]</sup>:

$$F_R(T_1) = \max E\{[V_R(T_1) \cdot e^{-\tilde{q}T_1} - \tilde{C}_R]e^{-\tilde{q}T_1}\} = \max E\{\tilde{p}[(F_B(T_2^*))e^{-\tilde{q}T_1} - \tilde{C}_R]e^{-\tilde{q}T_1}\}. \quad (2)$$

其中:  $F_B(\cdot)$  为取得核准许可证之后, 企业拥有的启动项目建造程序的期权价值, 下文将给出其数学表达式;  $T_2^*$  为使  $F_B(\cdot)$  最大化的建造程序启动时机, 即启动核准程序的最优时机. 由式(2)可以发现, 只有首先求取最优建造启动时机  $T_2^*$ ,  $F_B(T_2^*)$  才能得到最优核准启动时机  $T_1^*$ , 因此上述模型的求解过程是一个逆向的倒推过程. 注意到式(2)中有 4 个不确定变量:  $V_R(T)$ ,  $\tilde{C}_R$ ,  $\bar{T}_R$  和  $\tilde{p}$ . 根据假定,  $V_R(T)$  服从几何布朗运动, 而后 3 个变量服从均匀分布, 因而这 4 个变量的不确定特征不同, 其数学描述无法满足齐次形式, 无法转化为单一不确定变量情形给出显式的解析解, 只能借助数值算法.

式(2)定义的最优化问题满足如下 3 个边界条件:

$$F_R(0) = 0, \quad (3)$$

$$F_R(T_1^*) = V_R(T_1^*) - C_R, \quad (4)$$

$$F'_R(T_1^*) = V'_R(T_1^*). \quad (5)$$

式(3)为初始条件, 这是由式(1)定义的随机过

程所决定的. 式(4)为价值匹配条件, 其中  $V_R(x)$  是做出启动决策时的项目期望净现值, 这一条件表明期权的价值必须等于通过执行期权获得的净值. 式(5)为“平滑粘贴”条件, 这意味着  $F_R(T_1)$  和  $V_R(T_1) - C_R$  的图像应相切于  $T_1^*$ .

### 2.2 项目建设启动决策的实物期权模型

如果项目通过核准, 投资者立即获取了一个是否以及何时启动项目建造程序的期权  $F_B(T_2)$ , 那么企业接下来面临的最优化问题是选择一个适当的时机  $T_2^*$ , 最大化项目收益动态净现值  $V_B(T_2)$  ( $V_B(T_2)$  为折现到核准通过时刻的值, 且有  $V_B(T_2^*) > V_R(T_1^*)$ ). 于是, 企业现在的最优化决策问题等同于最大化形如下式的贝尔曼方程:

$$F_B(T_2) = \max E\{[V_B(T_2)e^{-\tilde{q}T_2} - C_B]e^{-\tilde{q}T_2}\}. \quad (6)$$

其中:  $C_B$  为项目建造成本,  $T_B$  为建设期. 式(6)定义的最优化问题满足如下 3 个边界条件:

$$F_B(0) = 0, \quad (7)$$

$$F_B(T_2^*) = V_B(T_2^*) - C_B, \quad (8)$$

$$F'_B(T_2^*) = V'_B(T_2^*). \quad (9)$$

式(7)为初始条件, 类似于式(3), 这同样是由式(1)定义的随机过程所决定的. 式(8)和(9)分别为价值匹配条件和“平滑粘贴”条件, 其意义与式(4)和(5)类似.

将式(6)代入(2), 可得

$$F_R(T_1) = \max E\{\tilde{p}[E\{[V_B(T_2^*)e^{-\tilde{q}T_2} - C_B]e^{-\tilde{q}T_2}\}]e^{-\tilde{q}T_1} - \tilde{C}_R]e^{-\tilde{q}T_1}\}. \quad (10)$$

式(10)即为求解核准程序最优启动时机的贝尔曼方程. 综合式(1), (3) ~ (5), 可以对以上方程进行求解.

### 3 基于 Riskoptimizer 的仿真优化算法

上文中, 核准和收益的变动虽然都是随机的, 但前者服从均匀分布, 后者服从几何布朗运动, 因而两者并不具备齐次特性, 最终的期权价值曲线是一条自由边界(free boundary)而非固定值. 在这种情形下, 试图通过动态规划法或者或有债权法求取最优核准时机和最优建造时机的解析形式是非常困难的, 或者说是根本不可能的. 对于这类(非齐次)双重随机不确定条件下的实物期权模型求解问题, 需要用仿真优化方法进行数值求解<sup>[7]</sup>.

文献[8]给出了一种基于 Riskoptimizer 软件包的仿真优化算法, 以 Microsoft Excel 为基本运行环境, 不仅可以通过蒙特卡洛仿真给出各种不确定因素变动下的投资期权价值(或内部收益率)等指标

值,而且可以通过遗传寻优给出最优投资规则或最优投资时机,因而在期权定价和基于实物期权的最优投资决策方面得到了较为广泛的应用<sup>[10,11]</sup>.本文借助该软件及其仿真优化思想,对核准和收益双重不确定条件下项目投资决策模型进行了求解.主要步骤如下:

Step1: 选取  $T_2$  值编码,按式(1)进行 Monte Carlo 仿真,生成  $V_B$  的样本路径,按式(6)计算适应度函数值  $F_B$ .

Step2: 检验是否满足事先设定的迭代约束和仿真约束条件:若不满足则重复 Step1;若满足则计算生成目标单元格和仿真约束单元格可能结果概率分布的统计数字.

Step3: 检验是否满足事先设定的迭代约束和仿真约束条件:若不满足则重复 Step1;若满足则保存  $T_2$  值作为计算结果之一.

Step4: 选取  $T_1$  值编码,基于  $T_1$  按式(1)进行 Monte Carlo 仿真,结合  $T_2$  按式(2)计算适应度函数值  $F_R$ .

Step5: 检验是否满足事先设定的迭代约束和仿真约束条件:若不满足则重复 Step4;若满足则计算生成目标单元格和仿真约束单元格可能结果概率分布的统计数字.

Step6: 检验是否满足事先设定的迭代约束和仿真约束条件:若不满足则重复 Step4;若满足则保存  $T_1$  值作为计算结果之一.

相对于传统实物期权投资决策模型的研究内容而言,本文更关心项目收益的不确定性  $\sigma$ ,  $T_R$ ,  $C_R$  和  $q$  等核准变量对核准程序最优启动时机  $T_R^*$  的双重影响.在实际求解中,如果假定项目收益  $V_R(T)$  与 3 个核准变量同时不确定,将难以考察每一个核准变量变动对  $T_R^*$  的定量影响,因此共进行 3 次求解,除了项目收益的不确定性之外,每次考察一种核准变量的不确定性.

#### 4 算例求解与模型分析

考察某新增 600MW 火电装机项目.项目建设期  $T_B = 2$  年,建设成本  $C_B = 24$  亿元.由于该项目资本金来自于国有投资主体,且项目涉及土地、环保、规划等诸多约束条件,项目开工之前必须取得政府投资主管部门的核准.核准期限服从均匀分布  $T_R \sim [0.5, 2]$ ,核准成本  $C_R$  为建设成本的 1% ~ 3%,  $C_R \sim [0.24, 0.72]$ ,核准通过概率  $q \sim [0.4, 0.6, 0.8]$ .其他变量为:贴现率  $\rho = 12\%$ ,项目收益漂移参数  $\alpha = 5\%$ ,收益波动率  $\sigma \sim [0.1, 0.6]$ .主要求解结果示于图 1 ~ 图 3.为简化求解分析,不失一般性,对每一类核准变量仅取两个边界值和一个中间值.基于

求解结果做如下比较分析.

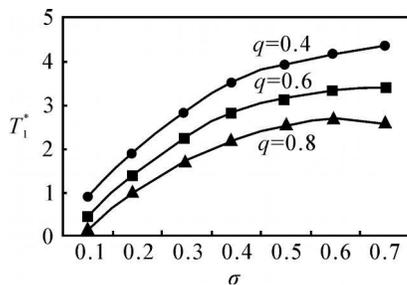


图 1 核准通过率、收益不确定性与核准程序最优启动时机

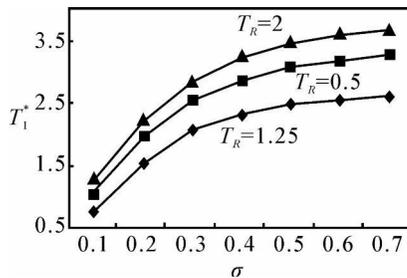


图 2 核准耗时、收益不确定性与核准程序最优启动时机

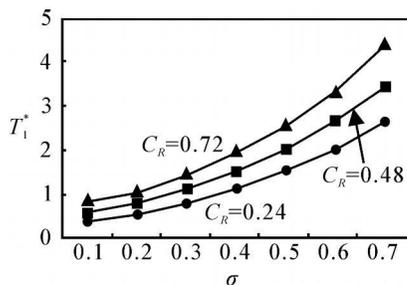


图 3 核准成本、收益不确定性与启动核准程序的临界值

(1) 核准通过率与收益不确定性对核准程序最优启动时机的影响分析

令  $T_R = 1.25$ ,  $C_R = 0.48$ , 则收益不确定程度  $\sigma$ , 核准通过率变动与启动核准程序临界值之间的定量关系由图 1 示出.由图 1 可见,当  $q = 0.4$  和  $q = 0.6$  时,在算例给定的数据范围内,启动核准程序的时间是不确定程度  $\sigma$  的单调增函数,但随着  $q$  的提高,这种递增的趋势愈发模糊;当  $q = 0.8$  时,随着收益不确定程度  $\sigma$  的增加,启动核准的收益阈值并不是单调增或单调减的,而呈现出先增后减的关系,这表明较高的核准通过率抵消了不确定性的价值,使得投资者倾向于早一些启动核准程序.

(2) 核准耗时与收益不确定性对核准程序最优启动时机的影响分析

令  $q = 0.6$ ,  $C_R = 0.48$ , 则收益不确定程度  $\sigma$ , 核准耗时  $T_R$  与核准程序最优启动时机之间的定量关系由图 2 示出.由图 2 可见,随着收益不确定程度  $\sigma$  的增加,启动核准的时间也增加,但增速变缓,这表明在给定的假设条件下和数据范围内,收益越不确定,投资者越倾向于推迟启动核准程序.还可以发

现,对于相同的 $\sigma$ 值,随着核准耗时的增加,最优启动时机先减后增。这说明对于相同的收益不确定水平,核准耗时增加对核准启动决策的影响存在一个“临界点”,当核准耗时低于这一临界点时(如 $T_R = 0.5$ ),核准耗时越长,投资者越早启动核准决策;当核准耗时高于这一临界点时(如 $T_R = 2$ ),投资者倾向于推迟启动核准决策。

### (3) 核准成本与收益不确定性对核准程序最优启动时机的影响分析

令 $q = 0.6$ ,  $T_R = 1.25$ , 则收益不确定程度 $\sigma$ , 核准成本 $C_R$ 与核准程序最优启动时机之间的定量关系由图3示出。由图3可见,  $T_i^*$ 随着 $\sigma$ 的增加而增加,随着核准成本的增加而降低。这表明在给定假设条件和数据范围内,核准程序启动时机与核准成本之间存在明显的负相关性。

## 5 结 论

核准不确定性是企业项目投资实践中面临的首要问题。本文讨论了核准和项目收益双重不确定因素对项目投资决策的定量影响。因为核准变量与收益变量的随机特性并不是齐次的,所以本文设计基于Riskoptimizer的仿真优化算法对两阶段实物期权项目投资决策模型进行求解,并在求解结果基础上定量刻画了项目收益和核准双重不确定性对项目投资决策的共同作用。进一步的研究包括两个方面,一是对核准不确定性的更精确描述,二是对项目收益的基础不确定因素进行数学建模。在模型中融入市场需求、价格波动和同业竞争等基本变量,增强模型对现实的模拟能力和指导意义。

### 参考文献(References)

[1] Chaton C, Doucet J A. Uncertainty and investment in electricity generation with an application to the case of hydro quebec [J]. Annuals of Operations Research, 2003, 120(1): 59-80.

[2] Botterud A. Optimal investment in power generation under centralized and decentralized decision making[J]. IEEE Trans on Power System, 2005, 20(1): 254-263.

[3] 臧宝锋, 胡汉辉, 王建兴. 电力市场条件下的发电投资均衡[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(2): 41-44.  
(Zang B F, Hu H H, Wang J X. Investment equilibrium in power generation of electricity market[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(2): 41-44.)

[4] 余东平, 邱苑华. 基于期权博弈的新产品项目战略投资决策[J]. 控制与决策, 2007, 22(6): 613-617.  
(Yu D P, Qiu W H. Strategic investment of new product project based on option games[J]. Control and Decision, 2007, 22(6): 613-617.)

[5] Jun Ishii, Yan J M. Investment under regulatory uncertainty: U. S. electricity generation investment since 1996[Z]. UC Berkeley, 2004.

[6] Dixit A, Pindyck R. Investment under uncertainty[M]. Princeton: Princeton University Press, 1994.

[7] 王凌, 张亮, 郑大钟. 仿真优化研究进展[J]. 控制与决策, 2003, 18(3): 257-262.  
(Wang L, Zhang L, Zheng D Z. Advances in simulation optimization[J]. Control and Decision, 2003, 18(3): 257-262.)

[8] 臧宝锋, 胡汉辉, 庄伟钢. 双重随机不确定条件下的一次性容量扩展投资[J]. 管理科学学报, 2007, 10(3): 37-43.  
(Zang B F, Hu H H, Zhuang W G. Lumpy capacity expansion investment decision under bistochastic uncertainties[J]. Management Science in China, 2007, 10(3): 37-43.)

[9] Palisade Corporation. Guide to riskoptimizer: Simulation optimization for microsoft excel[Z]. <http://www.palisade.com>, 2005.

[10] Dias Marco A G. Selection of alternatives of investment in information for oilfield development using evolutionary real options approach [C]. The 5th Annual Int Conf on Real Options. Los Angeles, 2001.

[11] Dias Marco A G. Investment in information in petroleum [C]. The 6th Annual Int Conf on real options. Cyprus, 2002.