

基于实物期权的矿业投资价值评估

张雪梅(博士) 戴桂锋

(中国地质大学人文经管学院 北京 100083)

【摘要】 矿业投资项目具有不确定性强、风险高的特点。传统的净现值法在评估项目价值时忽略了项目中所包含的选择权价值,因而低估了项目的投资价值。实物期权方法的应用较好地弥补了净现值法的不足。本文根据实物期权理论对传统净现值定价模型进行了修正,提出了延迟期权定价模型,并结合矿业投资价值评估阐述了该模型的应用价值和方法,为矿业投资项目决策提供了新的思路。

【关键词】 矿业投资 实物期权 净现值 不确定性

一、矿业投资价值评估方法选择

矿业投资项目往往投资金额巨大、项目周期长、不确定因素多、风险大。投资项目一旦失败,将给投资者带来巨大的损失,甚至导致投资公司破产。因此矿业项目在投资之前,需要对项目进行准确的评估和决策。

矿业投资价值评估方法与通常的项目投资价值评估方法一样,主要有传统方法即净现值法(Net Present Valuation, NPV)、实物期权法(Real Option Valuation, ROV)两大类。

1. 净现值法考虑的因素主要是项目未来的现金流入量、现金流出量、折现率及项目年限。由于折现率和项目年限均是一定的,因此运用净现值法计算的矿业投资项目价值即为未来现金流入量与流出量差额的现值,用公式表示为:

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{CI_t - CO_t}{(1+R)^t} - I \quad (1)$$

式中:NPV 表示矿业投资项目的净现值; CI_t 表示投资项目实施第 t 年的现金流入量; CO_t 表示投资项目实施第 t 年的现金流出量; I 表示投资金额现值; R 表示投资项目折现率; n 为投资项目期限。

上述净现值法计算简单,较容易理解。但由于投资项目实施过程中存在不确定性、不可逆性等因素的影响,因而运用净现值法会出现以下问题:①未来现金流的预测和折现率的确定非常困难;②净现值法忽略了决策者根据新信息修正经营政策的灵活性;③净现值法忽略了项目实施的可延迟性,使得投资决策绝对化——要么现在就投资,要么永远不投资。同时,净现值法一般从消极的角度理解不确定性和风险,认为不确定性和风险的存在会降低项目的投资价值。

2. 实物期权法既考虑了项目的净现值,又考虑了项目实施中各种可选择权的价值,因而应用实物期权法可以弥补净现值法固有的缺陷。其计算公式可表示为:

$$TV = NPV + ROV \quad (2)$$

式中:TV 表示在项目净现值基础上考虑了实物期权后的项目估值;ROV 为投资项目实施中拥有的选择权价值。

二、实物期权法研究综述

期权(Option)是一种衍生金融工具,是以约定的价格在约定期限内(美式期权)或约定的时间点(欧式期权)买入或卖出某种标的资产的权利。期权是一种不带义务的选择权,最初出现在金融领域。随着金融期权应用领域不断拓宽,其逐渐被引入到实物投资的价值评估体系中。

1. 国外研究综述。实物期权是金融期权理论在实物投资领域的应用与发展。实物期权概念最早是由麻省理工大学的梅耶斯(Myers, 1977)提出来的。他认为当投资对象存在高度不确定性时,运用净现值法低估了项目的实际价值,而用金融期权的定价技术进行评估,可以较准确地反映实际价值。耶鲁大学的罗斯(Ross, 1978)认为布莱克和斯科尔斯(1973)合著的《期权定价与公司债务》一文中提出的期权定价模型,不仅是金融领域而且是整个经济学领域最为有价值的理论,其对实物投资价值评估有突破性意义。

国外学者研究矿业投资项目决策实物期权方法的文献很多,提出了一些有见地的观点。Brennan 和 Schwartz(1985)运用实物期权理论对矿产品价格波动情况下企业的柔性管理进行了深入分析。Paddock, Siegel 和 Swith(1988)对延迟期权进行了研究,建立了美式买权定价模型,并就复核期权进行了深入探讨,提出了不确定性越大,实物期权价值越大的观点。Bjerksund 和 Ekem(1990)利用实物期权理论对最佳投资时间进行了研究,认为实物期权决策方法可增加额外的现金流量。Jacoby 和 Laughton(1992)研究了税收对实物期权定价方法的影响。Trigeorgis(1993)指出,在跨国石油开采项目中存在放弃期权、扩张期权、中止期权等多项期权,并对这些期权建立了定价模型。Dixit 和 Pindy(1994)对石油勘探开采项目进行了研究,认为延迟期权在所有期权中的价值最大。Smith(1997)

将实物期权理论应用于一个荷兰海上油田的投资决策中,取得了良好的效果。Charlie(2002)研究了均值回归模型在实物期权中的应用,分析了二因素模型的定价问题。

2. 国内研究综述。我国学者从1998年才开始对实物期权进行相关研究。最初的研究主要涉及自然资源开发投资、企业战略投资、并购投资、研究与开发投资、风险投资、环境保护投资等内容。随着研究范围的扩大,许多学者对实物期权在煤炭、石油等矿业投资项目中的应用也进行了探索。

马义飞等(2002)分析了实物期权理论在油气储量价值评估方面的应用。王冬至(2002)以黄岛燃气投资项目为例,研究了应用实物期权方法分析问题的思路、评估模型的构建和求解方法,阐述了实际应用中各参数的获取方式,使实物期权理论的实际应用有了一个较大的突破。柳兴邦(2002)应用实物期权理论对油气勘探进行经济评价,通过与传统的净现值法进行对比,认为实物期权方法具有较大优势。高世葵、黄大忠(2004)运用B-S模型和二叉树模型来评估油气勘探的投资价值。在研究中,他们简化参数,将B-S模型作为勘探项目投资决策的准则、将二叉树模型作为油气项目时机选择的依据。张永峰、杨树锋等(2004)对石油勘探项目实物期权定价模型中的参数——波动率进行了分析,并提出了波动率的计算模型;他们还在蒙特卡罗模型的基础上提出了产量和价格波动情况下期权定价模型波动率的估算方法。胡城翠(2006)改进了传统决策方法,并针对煤炭项目提出了煤炭行业的实物期权定价参数。黄生权(2006)构建了延迟期权的定价模型,并在此基础上建立了基于复合实物期权的评价模型。

目前,实物期权理论在以下几方面得到了发展:①不确定因素范围扩宽,将成本、汇率和环境因素的波动引入到定价模型中;②针对序列投资决策过程的复合实物期权定价方法研究,在离散时间下使用二项式和决策树理论建模求解,或在连续时间下对Geske二重定价模型进行扩展;③产品价格波动的随机过程外延扩大,在传统的布朗运动中引入“跳”的过程,或考虑均值回复现象对产品价格的影响。

国内外学者提出的理论和模型较全面地阐述了实物期权的应用价值和应用方法,但是模型复杂,计算过程繁琐,使得其在实际应用的价值受到较大限制。

三、矿业投资项目实物期权定价模型

实物期权主要包括以下几种:延迟期权、放弃期权、终止期权、成长期权和复合期权等。矿业投资项目由于投资额大、风险高、周期长,因此在做出投资决策前矿业公司都会对投资项目内外部环境、地质条件、矿产资源的储量、矿产资源品味等进行全面的勘察和分析,以确保决策正确。从矿业投资项目实际运营来看,执行放弃期权和终止期权的可能性都较小。矿业投资项目的不确定主要源于矿产品市场价格的波动,根据Dixit和Pindy的研究,延迟期权的价值是所有期权中最大的,因此本文不考虑放弃期权而讨论延迟期权。

矿业投资项目的总价值表达式为式(2),当TV>0,则项

目可投资;反之,则应放弃该项目。

1. 矿业投资项目NPV的计算。影响矿业投资项目现金流的主要因素包括矿产品价格和生产成本。研究表明,矿业投资项目由于受到国家产业政策、市场环境、竞争因素及经济形势的影响,因而矿产品价格和生产成本的变动具有一定的随机性,且符合几何布朗运动的规律。所以,两者可以用几何布朗运动过程来描述。

设矿产品价格为P和单位(生产)成本为C,则:

$$\frac{dP}{P} = \mu_1 dt + \sigma_1 dz_1 \quad (3)$$

$$\frac{dC}{C} = \mu_2 dt + \sigma_2 dz_2 \quad (4)$$

式中: μ_1 、 μ_2 分别是矿产品价格和单位成本的期望增长率; σ_1 、 σ_2 分别是矿产品价格和单位成本的波动率;dt是时间增量; dz_1 、 dz_2 分别是遵循标准维纳过程的一个增量。

假设初始投资时矿产品价格和单位成本分别为 P_0 和 C_0 ,则根据式(3)和式(4),结合伊藤引理,可得出在第t年的矿产品价格 P_t 和生产成本 C_t 均服从对数正态分布,因此,可以用 P_t 、 C_t 的期望值来表示其价值。由对数正态分布的性质可知, P_t 、 C_t 的期望值分别为:

$$E(P_t) = P_0 e^{(\mu_1 t + \frac{1}{2} \sigma_1^2 t)} \quad (5)$$

$$E(C_t) = C_0 e^{(\mu_2 t + \frac{1}{2} \sigma_2^2 t)} \quad (6)$$

假设矿业投资项目每年的产量为Q,结合式(1),可得投资项目的净现值NPV为:

$$\begin{aligned} NPV &= Q \sum_{t=1}^T \frac{E(P_t) - E(C_t)}{(1+r)^t} - I \\ &= Q \sum_{t=1}^T \frac{P_0 e^{(\mu_1 t + \frac{1}{2} \sigma_1^2 t)} - C_0 e^{(\mu_2 t + \frac{1}{2} \sigma_2^2 t)}}{(1+r)^t} - I \end{aligned} \quad (7)$$

式中:r表示折现率。

由于矿业投资项目的风险较大,而传统的净现值法对风险持消极态度,因此计算过程中折现率r往往比无风险利率(社会平均投资回报率)要大,使得一些可投资项目因此被放弃。从上述模型的计算过程来看,其对风险持中性态度,并且考虑了矿产品价格和成本的波动性,可见,其与传统的价格和成本预测方法相比更符合客观性要求。

2. 矿业投资项目ROV的计算。矿业投资项目的不确定因素主要源于矿产品价格的波动,由于矿产品价格波动服从几何布朗运动的规律,因此矿业投资项目延迟期权价值(ROV)也服从几何布朗运动规律,即:

$$\frac{d(ROV)}{ROV} = (\mu - y) dt + \sigma dz \quad (8)$$

式中: μ 为矿产品价格增长率的期望值,即矿产品价格的瞬时飘移率; σ 为矿产品价格的波动率,即价格的波动性。若采取延迟投资策略,令项目周期为T,则因延迟投资给矿业投资项目造成的报酬亏空率 $y=1/T$ 。

根据布莱克-斯科尔斯模型,可得出延迟期权价值 ROV 满足以下微分方程:

$$R \cdot ROV = \frac{\partial(\text{ROV}_t)}{\partial t} + (\mu - y)P_t \frac{\partial(\text{ROV}_t)}{\partial P_t} + \sigma^2 P_t^2 \frac{\partial^2(\text{ROV}_t)}{2\partial P_t^2} \quad (9)$$

式中:R 为无风险利率。

设矿业投资项目净现金流量在投资延迟期末的现值为 S,投资成本在投资延迟期末的现值为 K,则式(9)存在下界限的条件为:

$$\text{ROV}|_{t1} = \text{Max}(S - K, 0) \quad (10)$$

式中:t1 为可推迟投资的时间。

对式(8)求解,可得到布莱克-斯科尔斯模型推出的如下三个延迟期权定价模型为:

$$\text{ROV} = S \times e^{-y \cdot t1} \times N(d_1) - K \times e^{-r \cdot t1} \times N(d_2) \quad (11)$$

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{S}{K}\right) + (r - y + \sigma^2/2)t1}{\sigma\sqrt{t1}} \quad (12)$$

$$d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{t1} \quad (13)$$

上述三个方程中:N(d₁)和 N(d₂)都是标准正态分布变量的累计概率。

四、实证分析

某矿业企业对其所属的矿山进行投资,项目的初始投资成本为 15 000 万元。根据市场调查显示,其所生产的矿产品价格的预期增长率为 0.005,波动率为 0.1;单位生产成本的期望增长率为 0.002 5,波动率为 0.1。项目投资初期,矿产品的现货价格为 210 元/吨,生产成本为 120 元/吨。假设该矿山的年产量为 15 万吨,且在项目实施期内保持不变,矿山服务的年限为 20 年,该企业可延迟投资 3 年。设社会无风险收益率为 8%,平均投资回报率为 10%,β 系数为 1.8。

基于传统的净现值法对投资风险所持的消极态度,便有如下折现率计算公式:

$$r = r_f + \beta(r_m - r_f) = 8\% + 1.8 \times (10\% - 8\%) = 11.6\%$$

根据式(7),可得此项目的传统净现值为:

$$\text{NPV} = 15 \times \sum_{t=1}^{20} \frac{210 \times e^{(0.005 \times t + \frac{1}{2} \times 0.1^2 \times t)} - 120 \times e^{(0.0025 \times t + \frac{1}{2} \times 0.1^2 \times t)}}{(1 + 0.116)^t} - 15000 = -3610.56 \text{ (万元)}$$

从上述计算结果来看,该项目的净现值为负值,且负值很大,说明投资该项目会导致亏损,企业应该放弃它。但是,从实物期权角度来看,企业可延迟 3 年再进行投资,因此该项目可运用实物期权法来评估,即:

$$\text{NPV}^* = 15 \times \sum_{t=1}^{20} \frac{210 \times e^{(0.005 \times t + \frac{1}{2} \times 0.1^2 \times t)} - 120 \times e^{(0.0025 \times t + \frac{1}{2} \times 0.1^2 \times t)}}{(1 + 0.08)^t} - 15000 = -220.9 \text{ (万元)}$$

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{S}{K}\right) + (r - y + \sigma^2/2)t}{\sigma\sqrt{t}}$$

$$= \frac{\ln\left(\frac{18617.42}{18895.68}\right) + (0.08 - 0.05 + 0.1^2/2) \times 3}{0.1 \times \sqrt{3}} = 0.5208$$

$$d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{t} = 0.5208 - 0.1 \times \sqrt{3} = 0.3468$$

$$\text{ROV} = S \times e^{-y \cdot t1} \times N(d_1) - K \times e^{-r \cdot t1} \times N(d_2)$$

$$= 18617.42 \times e^{-0.05 \times 3} \times N(d_1) - 18895.68 \times e^{-0.08 \times 3} \times N(d_2)$$

$$= 1164.98 \text{ (万元)}$$

$$\text{TV} = \text{NPV}^* + \text{ROV} = -220.9 + 1164.98 = 944.09 \text{ (万元)}$$

综上所述,考虑到该项目的延迟投资的实物期权价值,该矿业投资项目具有可行性。

五、结论

矿业投资具有不可逆性,其投资价值也具有较大的不确定性,因此风险性较强。净现值法在评价项目价值时,往往忽略不确定因素的影响,同时也忽略了项目未来可能的成长性和运营的灵活性。而实物期权法则考虑较为周全,将延迟期权的价值考虑在内,弥补了净现值法的缺陷,其评估价值更加符合实际情况。这是因为:

1. 应用实物期权理论评价矿业投资项目,充分考虑了矿产品价格和成本的波动性,并对风险持中性态度。而传统的净现值法在评估矿业投资项目时,对风险的厌恶往往会导致决策提高项目折现率,从而低估项目的价值,致使某些具备可行性的项目被否决。

2. 实物期权方法的应用,考虑了矿业投资项目中所包含的延迟投资等选择权价值;而传统的净现值法忽略了选择权的价值,使得矿业投资项目的价值进一步被低估。

总之,矿业投资项目中所包含的实物期权类别众多,本文介绍的模型只考虑了延迟投资实物期权的价值,经实证检验,该模型在项目价值评估上还存在一些不足。还需说明的一点是,各种不确定性因素的考虑是建立在一定的假设之上的,当不确定性因素较多时,定价模型往往较为复杂。

主要参考文献

1. Ying Fan, Lei Zhu. A real options based model and its application to China's overseas oil investment decisions. *Energy Economics*, 2010; 32
2. Denis Bednyagin, Edgard Gnansounou. Real options valuation of fusion energy R&D programme. *Energy Policy*, 2011; 39
3. 邓玉辉,李榕. 油田开发项目经济评价的实物期权法. *大庆石油地质与开发*, 2008; 5
4. 高世葵,董大忠. 基于实物期权的油气勘探经济评价的方法与实证. *新疆石油学院学报*, 2004; 1
5. 廖作鸿. 不确定条件下矿业投资评价的实物期权方法. 武汉理工大学博士学位论文, 2008
6. 汪再奇,邢相勤,王伯轩. 对我国在采矿业评估中引用模糊实物期权法的探讨. *科技和产业*, 2010; 2
7. 张能福,蔡嗣经,刘朝马. 基于期权定价理论的矿业工程投资决策模型. *北京科技大学学报*, 2002; 1