

文章编号: 0253 - 9993 (2007) 08 - 0889 - 04

# 基于实物期权的煤炭储备开发时机选择模型

吴树畅<sup>1</sup>, 李红梅<sup>2</sup>, 郭云<sup>1</sup>

(1. 山东工商学院 会计学院, 山东 烟台 264005; 2. 煤炭科学研究总院 财务结算中心, 北京 100013)

**摘要:** 分析了未开发煤炭储备的实物期权特征, 利用期权定价方法构建了未开发煤炭储备项目开发时机选择模型, 通过案例说明了模型的具体应用, 以及净现值法和期权定价法对开发时机的不同影响. 认为未开发煤炭储备项目的价值受煤炭市场因素波动的影响, 企业应分析煤炭市场和煤炭储备价值的变化, 选择最有利的开发时机, 而不应当仅仅根据净现值法作出立即开发或不开发的简单结论.

**关键词:** 实物期权; 煤炭储备; 开发时机

**中图分类号:** F407.21 **文献标识码:** A

## Coal reserve developed-timing model based on real option

WU Shu-chang<sup>1</sup>, LI Hong-mei<sup>2</sup>, GUO Yun<sup>1</sup>

(1. Accounting School, Shandong Institute of Business and Technology, Yantai 264005, China; 2. Financial Accounting Center, China Coal Research Institute, Beijing 100013, China)

**Abstract:** Analyzed real optional characters of underdevelopment coal reserve, constructs coal reserve developed-timing model by option pricing method, demonstrated the application of the model, and the different effect on developed-timing from net present value. And thinks that the value of underdevelopment coal reserve is influenced by the fluctuations of coal market factors, firms must analyze the variability of coal market and the value of underdevelopment coal reserve to choose the best developed-timing, and should not make the simple decision to develop or not according to net present value.

**Key words:** real option; coal reserve; developed-timing

煤炭储备的勘探、开发与利用不仅影响到矿业企业价值的持续增长, 而且还会影响到宏观经济的可持续发展. 在不确定性条件下, 矿业企业实际承受的风险具有依存性, 为了实现风险承受能力与风险暴露、风险与收益的匹配, 根据风险评估与市场机会识别的结果, 矿业企业可以据此选择最佳时机开发煤炭储备项目, 以获得预期收益<sup>[1]</sup>. 那么, 如何评估一个煤炭储备开发项目的内在价值, 作出科学决策呢? 根据净现值法则, 依据当前煤炭价格、煤炭价格预期变化率、煤炭储备开发成本以及煤炭市场未来发展前景, 预测煤炭储备开发项目未来现金流量, 并根据项目风险的大小选择相应的贴现率对现金流量贴现. 如果项目净现值大于等于 0, 煤炭储备开发投资项目可行, 如果净现值小于 0, 则项目不可行. 根据风险与收益匹配的原则, 煤炭价格的波动性越大, 项目的投资风险就越大, 投资者所要求的必要报酬率就越高, 贴现率参数的值就越大, 项目净现值就越小. 因此, 净现值法则可能会使矿业企业失去风险较大、收益较高时煤炭储备的开发时机. 另外, 由于净现值法则只考虑了等风险投资项目的机会成本而忽略了同一项目在不同时点开发所带来的机会成本, 因此净现值法则有可能导致企业投资提前, 而失去延迟开发可能带来的项

收稿日期: 2007-01-12 责任编辑: 柳玉柏

作者简介: 吴树畅 (1968-), 男, 江苏邳县人, 博士, 副教授. Tel: 0535-6903584, E-mail: wushuchang666@126.com

目价值增值。自 1973 年 B - S 期权定价模型<sup>[2]</sup>以来, 期权定价的思想对项目投资价值的估价理论和方法的发展产生了巨大影响。Stewart C. Myers (1977) 利用金融期权的思想分析了资本预算中的增长机会, 并将投资者在投资过程中所拥有或创造出来的选择权定义为“实物期权 (real options)”<sup>[3]</sup>。按照 Amram 和 Kulatilaka (1999) 的观点, 实物期权具体可划分为等待投资期权 (waiting-to-invest options), 增长期权 (growth options)、柔性期权 (flexibility options)、退出期权 (exit options) 和学习期权 (learning options)<sup>[4]</sup>。从实物期权的角度看, 矿业企业持有的不仅仅是煤炭储备项目本身, 而且还包括嵌套于煤炭储备项目中的以已开发煤炭储备为标的物的看涨期权 (call option)。由于这种期权价值的存在, 煤炭价格的波动性越大, 未开发煤炭储备的价值就越大。因此, 为了避免净现值法则可能带来的决策错判, 本文利用实物期权的定价方法, 构建了基于实物期权的煤炭储备开发时机选择模型。

## 1 未开发煤炭储备的期权特征

煤炭储备勘探、开发、利用可以看作一个多阶段投资问题。勘探阶段, 其目的是为了发现煤炭储备的地理位置、煤层赋存条件、煤炭资源储备量等。采矿权获得阶段, 通过政府授权、竞标等方式, 矿业企业可以获得采矿权。开发建设阶段, 包括井巷的设计、施工, 采掘、洗选、运输等相关设备, 土地使用权、办公设施的购置等。运营阶段, 包括煤炭采掘、加工、利用、销售等过程。前 2 个阶段可以看作是为了获得煤炭储备开采权而付出的代价, 这是矿业企业开采煤炭资源的先决条件, 这种开采权的价值取决于可开采煤炭储备量的大小、煤炭价格的大小及其波动程度、单位煤炭开发投资的回报率以及时限的长短等因素。矿业企业可以根据煤炭市场行情的变化选择最有利的开发时机。因此, 矿业企业拥有未开发煤炭储备的开采权, 实际上相当于拥有了一份看涨期权。未开发煤炭储备开采期权的标的资产为已开发煤炭储备项目的价值, 其执行价格为项目开发成本, 期限为获得开采权起始日至煤炭开采运营起始日, 其价值及最优执行规则取决于已开发煤炭储备项目的投资收益及其波动状况。它与股票看涨期权的比较见表 1。

由于煤炭价格、煤炭开采成本受到市场供求关系、国家调控政策、竞争对手策略以及替代能源价格等因素的影响, 因此, 煤炭价格和煤炭开采成本具有随机不确定性, 煤炭价格  $P$  和煤炭开采成本  $C$  的随机过程以及相应的煤炭储备开发投资项目的价值  $V$  可用维纳过程表示为

$$\frac{dP}{P} = \mu_1 dt + \sigma_1 dz_1, \quad (1)$$

$$\frac{dC}{C} = \mu_2 dt + \sigma_2 dz_2, \quad (2)$$

式中,  $\mu_1$ ,  $\mu_2$  分别为煤炭价格和煤炭开采成本的期望增长率;  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  分别为煤炭价格和单位开发成本的波动率;  $dz_1$ ,  $dz_2$  分别为遵循标准维纳过程的一个增量;  $dt$  为时间增量。

由于煤炭价格、煤炭开发成本的变化规律遵循几何布朗运动过程, 而已开发煤炭储备项目的价值主要受煤炭价格、开采成本等因素的影响, 因此, 煤炭储备开发项目的价值  $V$  同样遵循几何布朗运动, 即

$$\frac{dV}{V} = \mu dt + \sigma dz, \quad (3)$$

式中,  $\mu$  为开发储备项目的净投资报酬率,  $\mu = \mu_1 - \mu_2$ ,  $\mu_1$  为已开发煤炭储备项目的预期回报率,  $\mu_2$  为延迟开发煤炭储备项目的机会成本;  $\sigma$  为已开发煤炭储备项目价值的波动率,  $\sigma = 0$ , 说明延迟开发没有机会成本, 矿业企业将会一直持有而不会开发;  $\sigma > 0$ , 说明如果矿业企业延迟开发将承受机会成本, 因此, 矿业

表 1 看涨期权与未开发煤炭储备的比较

Table 1 Comparison of call option and underdevelopment coal reserve

看涨期权	未开发煤炭储备
股票价格	已开发煤炭储备项目的价值
执行价格	开发投入的资本
到期时间	获得开采权起始日至煤炭开采运营起始日
股票价格波动	已开发煤炭储备项目价格的波动
股票股息	已开发煤炭储备项目的投资收益

企业应选择一个最佳时机开发煤炭储备项目；，持有未开发煤炭储备的期权价值将为 0，企业只能选择现在投资或不投资，此时，净现值法则有效。

由式 (1) ~ (3)可知，煤炭价格、煤炭开发成本、煤炭储备开发项目的价值符合对数正态分布，因此，未开发煤炭储备项目类似于一个看涨的股票期权。

## 2 模型构建与求解

既然未开发煤炭储备具有期权的特性，而且能够在市场上找到对应的资产，因此，能够构造一个无风险投资组合，并根据这个投资组合求出未开发煤炭储备期权的价值。假设这一投资组合由未开发煤炭储备及其相应项目的空头组成。未开发煤炭储备的价值为  $F(V)$ ，项目空头的数量为  $n = F - F(V)/V$  单位。则这一组合的价值为  $F(V)$ ，且  $n = F - F(V)/V$ 。如果该组合是动态的，当  $V$  变化时， $F(V)$  也会随之变化，因此，投资组合的比例也会发生变化。然而，在一个很小的时间区间  $dt$  内，可以认为  $n$  是固定的。对于理性的投资者来说，持有项目空头要求获得的回报为  $-VF(V)$ ；持有项目多头要求获得的回报为  $\mu V$ ，它等于资本收益  $V$  加上机会成本  $V$ 。由于项目空头包含  $F(V)$  单位，它需要支出  $VF(V)$ 。那么，在很短的时间间隔内持有该投资组合的总回报<sup>[5]</sup>可以表示为  $dF - F(V)dV - VF(V)dt$ ，根据伊藤定理可得  $dF$  的表达式  $dF = F(V)dV + [F(V)(dV)^2]/2$ ，因此，投资组合的总回报可表示为  $[F(V)(dV)^2]/2 - VF(V)dt$ 。根据式 (3)，且当  $E(dz) = 0$  时，可得  $(dV)^2 = \sigma^2 V^2 dt$ ，因此，投资组合的回报可变为  $[F(V)\sigma^2 V^2 dt]/2 - VF(V)dt$ 。

假设无风险报酬率为  $r$ ，由于该投资组合的总回报是无风险的，因此，为了避免套利，它必须满足条件： $r dt = r[F - F(V)V]dt$ ，由此可得： $[F(V)\sigma^2 V^2 dt]/2 - VF(V)dt = r[F - F(V)V]dt$ 。进一步整理可得到  $F(V)$  必须满足微分方程，即

$$[F(V)\sigma^2 V^2]/2 + (r - \mu)VF(V) - rF = 0 \tag{4}$$

此外， $F(V)$  必须满足以下边界条件：

$$F(0) = 0, \tag{5}$$

$$F(V^*) = V^* - I, \tag{6}$$

$$F'(V^*) = 1, \tag{7}$$

式中， $V^*$  为项目是否开发的临界点； $I$  为开发投入资本。

条件 (5) 说明如果  $V = 0$ ，则持有煤炭储备的期权是无价值的，此点是观测最优开发时机的起点。条件 (6) 是临界点开发投资项目的价值特征。条件 (7) 为平滑黏贴条件，只有如此， $F(V)$  才有最优解。

由于二阶齐次微分方程式 (4) 对因变量  $F$  及其导数是线性的，其一般解可以看作是任意 2 个独立解的线性组合。如果采用函数  $AV$  的形式，并假定  $V$  为齐次方程的一个根，通过替代，可以发现  $V$  满足

$$\frac{1}{2} \sigma^2 (A - 1) + (r - \mu)A - r = 0 \tag{8}$$

方程 (8) 的 2 个根分别为  $V_1, V_2$ 。

$$V_1 = \frac{1}{2} - \frac{r - \mu}{\sigma^2} + \sqrt{\left[\frac{r - \mu}{\sigma^2} - \frac{1}{2}\right]^2 + \frac{2r}{\sigma^2}} > 1, \quad V_2 = \frac{1}{2} - \frac{r - \mu}{\sigma^2} - \sqrt{\left[\frac{r - \mu}{\sigma^2} - \frac{1}{2}\right]^2 + \frac{2r}{\sigma^2}} < 0$$

因此，式 (4) 的一般解可以表示为  $F(V) = A_1 V^1 + A_2 V^2$ ，其中， $A_1, A_2$  为待定常数。由于边界条件 (5) 隐含着  $A_2 = 0$ ，因此  $F(V) = A_1 V^1$ 。

根据边界条件 (6)，(7) 可解出常数  $A_1$  和临界值  $V^*$ 。即  $A_1 = \frac{V^* - I}{(V^*)^1} = \frac{(V_1 - 1)^{1-1}}{(V_1)^1 I^{1-1}}$ ， $V^* = \frac{1}{V_1 - 1} I$ 。

由以上分析可知，一个最优的煤炭储备开发策略是：只有当已开发煤炭储备项目的价值大于临界值  $V^*$  时，矿业公司才会选择开发，否则选择延迟等待策略。

### 3 模型应用实例

某矿业公司拥有 3 000 万 t 煤炭储备的开采权, 如果现在开发, 需投入资本 15 000 万元, 矿井设计生产能力为年产原煤 100 万 t, 预计可采 30 a. 预计煤炭市场价格平均为 150 元 /t, 吨煤开发成本平均为 100 元 /t, 年折旧额为 500 万元. 平均所得税税率为 25%. 若无风险利率为 4%, 项目的贝塔系数为 0.5, 延迟期内同类矿井的投资收益率为 10%, 已开发煤炭储备项目价值的波动率为 0.2, 则该矿业公司是选择现在开发还是延迟开发该项目呢?

#### 3.1 用净现值法进行决策分析

该矿业企业每年的现金净流量为  $100 \times (150 - 100) \times (1 - 25\%) + 500 \times 25\% = 3\ 875$  万元. 根据资本资产定价模型 (CAPM) 计算贴现率为  $4\% + 0.5 \times (10\% - 4\%) = 7\%$ . 贴现率为 7%, 期限为 30 年的年金现值系数为 12.409, 因此, 该项目的净现值为  $3\ 875 \times 12.409 - 15\ 000 = 33\ 084.88$  (万元).

由于项目的净现值大于 0, 根据净现值法则, 该矿业公司应选择立即开发投资.

#### 3.2 用开发时机选择模型进行决策分析

$$i = \frac{1}{2} - \frac{0.04 - 0.1}{0.2^2} + \sqrt{\left[ \left( \frac{0.04 - 0.1}{0.2^2} \right)^2 - \frac{1}{2} \right] + \frac{2 \times 0.04}{0.2^2}} = 1.45,$$

$$V^* = \frac{1.45}{1.45 - 1} \times 15\ 000 = 48\ 333.33 \text{ (万元)}, \quad A = \frac{48\ 333.33 - 15\ 000}{48\ 333.33^{1.45}} = 0.005\ 4,$$

$$F(V) = 0.005\ 4 \times 48\ 333.33^{1.45} = 33\ 333.33 \text{ (万元)}.$$

根据以上计算结果可知, 该项目开发时机的临界现值为 48 333.33 万元. 根据时机选择模型, 该项目的现值为 33 333.33 万元, 小于临界现值, 因此, 延迟等待开发更有利.

以上 2 种决策方法得到 2 种不同的结论. 根据净现值法则, 现在应立即开发; 根据时机选择模型, 则应选择延迟等待开发. 但是, 由于净现值法忽视了嵌套于项目的实物期权, 不能给企业提供把握时机的科学决策依据, 往往造成急功近利, 而忽视了长远经济利益. 因此, 时机选择模型提供的结论更具可靠性.

## 4 结 语

期权定价方法不需要考虑决策主体对风险的偏好, 也不需要考虑项目的风险与市场的相关程度, 一定程度上弥补了净现值法则的不足. 因此, 未开发煤炭储备项目的价值受煤炭市场价格等因素的波动性影响较大, 这种波动性会增加矿业企业延迟开发煤炭储备的价值. 矿业企业应及时分析煤炭行业市场行情和煤炭储备价值的变化, 选择最佳时机开发煤炭储备项目. 而不应根据净现值法则作出现在开发或不开发的简单结论.

#### 参考文献:

- [1] 吴树畅. 相机财务论——不确定性条件下的财务行为选择研究 [M]. 北京: 中国经济出版社, 2005. 104 ~ 120.
- [2] Black Fisher, Scholes Myrons. The pricing of options and corporate liabilities [J]. Journal of Political Economy, 1973, 81 (3): 637 ~ 654.
- [3] Myers S C. Determinants of corporate borrowing [J]. Journal of Financial Economics, 1977, 5 (2): 147 ~ 176.
- [4] Amram M., Kulatilaka N. 实物期权: 不确定性环境下的战略投资管理 [M]. 张伟, 译. 北京: 机械工业出版社, 2001. 13 ~ 15.
- [5] Avinash K Dixit, Robert S Pindyck. 不确定条件下的投资 [M]. 朱 勇, 译. 北京: 中国人民大学出版社, 2002. 141 ~ 142.