

# 基于实物期权法的地热开发项目价值评估研究

黄志红<sup>1,2</sup>, 常依<sup>1</sup>, 郭明晶<sup>1</sup>

(1.中国地质大学(武汉)经济管理学院, 湖北 武汉 430074; 2.湖南财政经济学院, 湖南 长沙 410205)

**摘要:** 基于地热开发项目投资大、周期长, 且存在较多不确定性因素等特点, 分析了传统净现值评估法低估项目投资价值的缺陷和应用实物期权法评估地热开发项目经济价值的可行性。借鉴传统净现值定价模型和 B-S 期权定价模型, 构建出地热开发项目延期期权的定价模型, 并对其应用中需要注意的条件约束问题进行了讨论。

**关键词:** 地热; 实物期权; 净现值法; B-S 期权定价模型

中图分类号: F407.2

文献标志码: A

文章编号: 1009-2013(2015)03-0093-05

## Valuation model of geothermal energy development project based on real option theory

HUANG Zhi-hong<sup>1,2</sup>, CHANG Yi<sup>1</sup>, GUO Ming-jing<sup>1</sup>

(1. Faculty of Economy and Management, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China;

2. Hunan University of Finance and Economics, Changsha 410205, China)

**Abstract:** The project of geothermal energy development and utilization has the characteristics of large investment, long cycle and high risk. As a reason that many uncertainties exist in the process of investment, the traditional Net Present Value method often underestimates even misjudges the real value of their investment. The Real Option Method applied financial options theory provides a quantitative value of dynamic management. It not only can more fully reflect the total value of the project, but make up for the deficiency of the net present value method. Based on geothermal development project as an example, the paper analyzed options features according to characteristics of geothermal development project and combined with the traditional NPV pricing model and B-S option pricing model. Then it deduces pricing theoretical model of geothermal development project delays theoretical option and discussed its application constraints conditions that need attention.

**Keywords:** geothermal; real option; NPV method; Black-Scholes Pricing Model

随着经济快速发展, 能源紧缺、全球气候变化和环境污染三大问题日益严峻, 开发利用包括风能、太阳能、生物质能、核能、地热能、氢能、海洋能等清洁能源已成为共识。中国中低温地热资源丰富、分布广泛, 其开发利用被视为解决能源和环境问题的有效方法之一<sup>[1]</sup>。

地热开发项目可以分为地热资源直接利用项目和地热发电项目, 其中地热资源直接利用项目包括地热供暖、地热洗浴、地热农业等, 所涉及领域广泛, 具有初始投入大、开发周期长、不确定因

素多等特点。项目开发虽然存在一定风险, 但其运营后期所产生的经济效益和环境效益却极为显著。据初步估计, 仅一口用于冬季供暖的地热井, 年均节约用煤 3 000 余吨, 减排二氧化碳 7 500 余吨, 节约环境治理费用 20 余万元。

尽管中国是较早开发利用地热资源的国家之一, 但与太阳能、风能等其他新能源而言, 地热资源的开发利用相对滞后<sup>[2]</sup>。其中一个重要原因就是地热开发项目的投资价值常常被严重低估, 难以吸引投资者投入大量资金。地热开发项目的环境效益十分明显, 但由于传统经济评估方法的缺陷和地热产业融资市场的不发达, 地热开发项目的经济潜力和环保价值没有得到应有的重视, 巨大的资金缺口使得中国地热产业发展缓慢。基于此, 笔者拟在探

收稿日期: 2015 - 06 - 01

基金项目: 中国地质调查局资助项目 ([2011]01-17-31)

作者简介: 黄志红(1979—), 男, 博士研究生, 主要研究方向为能源经济学。

讨应用实物期权法评估地热开发项目价值可行性的基础上,将地热开发项目的投资选择权视为一项实物期权,构建地热开发项目延期期权的定价模型,以期完善地热开发项目的价值评估方法,从而吸引更多的理性投资者,推动地热产业的发展。

### 一、实物期权法评估地热项目的可行性

实物期权法在20世纪70年代由Myers和Ross首先提出,作为金融期权理论在实物投资领域的应用和发展,它沿用金融市场的规则和框架,将实物资产作为标的物,将经营管理的灵活性和战略性作为期权进行估价<sup>[4-6]</sup>。随着Scholes和Black提出著名的Black-Scholes期权定价模型(简称B-S期权定价模型)<sup>[7]</sup>,实物期权法被认为是一种在不确定条件下更为合理的投资决策方法,而Brennan、Paddock、Smith等分别研究了实物期权在矿石、油气等自然资源开发领域的应用并验证了其可操作性<sup>[8-10]</sup>。中国学者从1998年开始相关研究,茅宁、陈永庆、齐安甜等率先将实物期权理论引入到风险投资项目的价值评估中,并结合博弈等理论赋予实物期权法新的内涵<sup>[11-14]</sup>。近年来,实物期权法在自然资源领域的应用研究已由传统能源拓展到新兴能源,但是关于实物期权法在地热开发项目价值评估中的应用研究仍然十分有限。Johan分析了地热开发项目中的不确定性并建立了地热发电项目的期权定价模型<sup>[14]</sup>,而国内专门针对地热开发项目的实物期权应用研究基本是一片空白。

目前,地热开发企业大多采用净现值法(NPV)评估地热开发项目的投资价值。净现值法是指根据投资项目未来净现金流量按照某一基准折现率折算成现值并减去原始投资现值后的余额来评估项目价值。净现值法决策的基本原理是:对于独立的投资决策,当 $NPV > 0$ 时,企业考虑接受该投资项目;而当 $NPV \leq 0$ 时,企业则应放弃该投资项目。相较其他传统经济评估方法,净现值法充分考虑了货币的时间价值,更加符合股东财富最大化的假设。不过,由于净现值法建立在预期净现金流量和折现率基本稳定的基础上,该方法本身存在以下缺陷:一是折现率的确定没有严格统一的标准,存在很大的主观性;二是净现值法仅从项目未来可能产生的现金流量大小来评估项目价值,而没有考虑项

目其他相关因素;三是NPV是一个绝对数,无法真实反映项目的实际报酬率<sup>[3]</sup>。

地热开发项目虽然所涉及领域不尽相同,但都具对外部协作的强依赖性、投资不可逆性、开发周期长和初投资金额大的特点,并面临来自自然环境、国家政策和更新等方面的不确定性和风险<sup>[2]</sup>。除此之外,地热开发项目一般分为建设期和运营期,企业在建设期需要投入巨额资金用于地质勘查、设备购入和项目建设,而在运营期只需投入水电费、维护费等日常运营费用以维持项目的生产运营。这虽然使地热项目的净现金流量在两个阶段差异较大,但也给管理者极大的灵活性。

采用实物期权法评估地热开发项目的投资价值比传统的净现值法更适用于现代复杂的经济环境。净现值法仅从静态的角度出发,忽略了项目的经营灵活性和战略成长性,未能全面认识到投资的不可逆性、不确定性和时机选择的重要意义,完全忽略管理者在项目管理中所创造的价值,地热开发项目价值也因风险常常被低估,使得投资者放弃投资。从实物期权法评估地热项目,认为投资是不可逆的,风险会增加项目的投资价值,能够考虑外部协作体和管理者之间的相互影响,赋予管理者各种投资的选择权,因而能给管理者极大的灵活性,包括对正在运营的地热开发项目进行扩大或缩小生产;推迟投资或运营地热开发项目;放弃投资或运营地开发项目等等。实物期权法将对地热开发项目投资的权利视为一种期权,在地热开发项目的投资价值评估中引入实物期权十分必要。

具体而言,地热开发项目具有延迟期权、扩张期权、收缩期权、停启期权、放弃期权和终止期权等期权特性。

(1)地热开发项目具有延迟期权特性。延迟期权是指项目管理者拥有在市场环境不利时延迟投资的权利。净现值法将企业的决策视为无法延迟,而且只能选择决策或不决策,隐含地假设了投资者会按既定方案一直执行下去,忽略了在执行既定决策过程中投资者的能动性。实际上,地热开发项目存在众多的不确定因素,当这些因素使项目处于投资不利地位时,管理者可以延迟投资时点,待原本模糊的因素明朗后再选择恰当的时机投资。

(2)地热开发项目具有扩张期权和收缩期权特

性。扩张期权是指管理者获得初始的投资成功之后，在未来能够获得加大投资的权利；而收缩期权是指管理者在面临市场实际环境比预期相差较远的状况下，拥有缩减原有投资的权利。以地热供暖项目为例，当暖气价格较高、市场需求较大时，投资者可以通过增加地热井的数量来扩大生产，以获得更多的未来预期收益；当暖气价格较低、市场需求下降时，投资者可以关闭地热井以减少运营成本，从而减少未来的经济损失。

(3) 地热开发项目具有停启期权特性。停启期权是指管理者拥有根据市场环境灵活地停止或开启项目运营的权利。以地热发电项目为例，由于早期技术成本高昂，中低温地热发电站的发电收入无法弥补项目的变动成本，明智的选择是暂时停止项目运营；而随着技术成本降低、电价上升，待发电收入回升到合理区域，可重新启动项目以恢复盈利。

(4) 地热开发项目具有终止期权特性。终止期权是指管理者拥有终止对已投资项目继续投资的权利。当地热开发项目的经济效益远低于预期或者将对环境产生不可逆转的负面影响时，企业的投资者可以选择终止投资，以避免更大损失。

正是由于地热开发项目具备这些实物期权特性，因此采用实物期权法来评估地热开发项目的投资价值具有可行性。

## 二、地热项目延期期权定价模型构建

### 1. 模型构建思路

地热开发项目受到众多不确定性因素的影响，包括产品价格、生产成本、资源条件、经济环境、国家政策等。投资者在做出投资前都会对项目的内外部环境进行全面分析，而地热资源的储量、品质在勘探阶段会由地质勘探队进行全面的勘察和分析，因此地热产品价格和生产成本的波动将成为影响地热开发项目投资价值的最主要因素。一项地热开发项目中往往含有数目众多的实物期权，其中停启期权和终止期权所产生期权价值极小，而在高度不确定性的经济环境下，延迟期权为地热开发项目所增加的投资价值最大。因此，为了简化模型构建，本文针对地热产品价格和成本的波动建立了地热开发项目延期期权的定价模型。

### 2. 模型构建步骤

净现值法仅从净现金流入量的角度评估地热开发项目的投资价值，完全忽略管理者的能动性可能为项目创造价值。通过柔性管理，管理者可以在环境不利时降低损失，环境利好时增加收益，形成一种特殊的溢价，实物期权理论可以定性和定量地分析地热开发项目中存在的这种“期权溢价”，从而更真实反映项目价值。因此，项目总价值=传统净现价值+延迟期权价值，即：

$$TV=NPV+ROV \tag{1}$$

营运期间，影响地热开发项目现金流的主要因素是地热产品价格和营运成本，其中，地热产品价格影响现金流入，营运成本影响现金流出。由于地热开发项目受到经济环境、国家产业政策等各方面影响，所以地热产品价格和营运成本的变动具有一定的随机性，可以用布朗运动过程来描述：

$$\frac{dp}{p} = \mu_1 dt + \sigma_1 dz_1 \tag{2}$$

$$\frac{dc}{c} = \mu_2 dt + \sigma_2 dz_2 \tag{3}$$

其中， $P$  表示地热产品价格， $C$  表示生产成本， $\mu_1$  表示地热产品价格的期望增长率， $\mu_2$  表示营运成本的期望增长率， $\sigma_1$  表示地热产品价格的波动率， $\sigma_2$  表示营运成本的波动率， $dz_1$ 、 $dz_2$  表示遵循维纳过程的增量。

由式(2)、(3)结合伊藤引理可知，在第  $t$  年的地热产品价格  $P_t$  和生产成本  $C_t$  均服从对数正态分布，则：

$$CI = QP_0 e^{(\mu_1 t + \frac{1}{2} \sigma_1^2 t)} \tag{4}$$

$$CO = QC_0 e^{(\mu_2 t + \frac{1}{2} \sigma_2^2 t)} \tag{5}$$

其中， $CI$  表示现金流入， $CO$  表示现金流出， $Q$  表示项目每年的产量， $P_0$  表示初始投资时地热产品的价格， $C_0$  表示初始投资时营运成本。

再结合 NPV 的计算公式，可得到地热开发项目 NPV 法计算公式：

$$NPV = Q \sum_{t=1}^T \frac{P_0 e^{(\mu_1 t + \frac{1}{2} \sigma_1^2 t)} - C_0 e^{(\mu_2 t + \frac{1}{2} \sigma_2^2 t)}}{(1+r)^t} - I \tag{6}$$

B-S 期权定价模型假设：市场无摩擦，即税收和交易成本为 0；在期权有效期内，无风险利率、预期收益率以及价格波动率均为恒定的常数；期权在约定时间才能执行；不进行分发股利和红利；市场不存在无风险套利机会；允许卖空；交易连续发生，价格随机波动并满足对数正态分布。

在以上假设条件下,地热开发项目的延迟期权价值遵循布朗运动:

$$\frac{dR}{R} = (\mu_1 - \frac{1}{T})dt + \sigma_1 dz \quad (7)$$

其中,  $T$  为项目周期, 则  $\frac{1}{T}$  为延迟投资给整个项目造成的报酬亏空率,  $dz$  表示遵循维纳过程的增量。

根据 B-S 期权定价模型, 可得出地热开发项目延迟期权价值满足以下微分方程:

$$rR_t = \frac{\partial R_t}{\partial t} + \left(\mu_1 - \frac{1}{T}\right)P_t \frac{\partial R_t}{\partial P_t} + \sigma_1^2 P_t^2 \frac{\partial^2 (R_t)}{2\partial P_t^2} \quad (8)$$

假设期权到期时, 执行期权对投资者有利, 即为看涨期权, 则有:

$$R = \text{Max}(S - X, 0) \quad (9)$$

其中,  $t_1$  为延迟投资的最后年份,  $S$  表示地热资产现值,  $X$  表示项目投资成本现值。

由式(8)、(9)对式(7)求解, 根据 B-S 期权定价模型推出延迟期权定价模型为:

$$R = Se^{-\frac{t_1}{T}} N(d_1) - Xe^{-rt_1} N(d_2) \quad (10)$$

$$d_1 = \frac{\ln(S/X) + (r - \frac{1}{T} + \sigma_1^2/2)t_1}{\sigma_1 \sqrt{t_1}} \quad (11)$$

$$d_2 = d_1 - \sigma_1 \sqrt{t_1} \quad (12)$$

其中,  $R$  表示欧式看涨期权,  $N(d)$  表示标准正态分布的累积函数。

### 3. 参数确定方法

(1) 初始投资成本  $I_0$ 。对于地热供暖项目而言, 初始投资成本涉及到勘探费用、打井费用和固定资产购置费用等。

(2) 地热供暖的初始价格  $P_0$ 。地热供暖项目的收入来源主要分为三个部分: 营业收入、贴费收入和 CDM 收入。营业收入包括供暖收入和售水收入; 贴费收入为政府对地热供暖项目的补贴; CDM 收入为在国际碳排放市场上出售“经核准的减排量”所取得的收入, 是地热供暖项目环境效益的体现。

(3) 地热供暖的初始运营成本  $C_0$ 。地热供暖项目的运营成本主要分为两个部分: 经营成本和相关税费。经营成本包括水电费、职工工资和维修折旧等费用, 相关税费主要包括营业税和附加税费。

(4) 供暖价格的波动率  $\sigma_1$  以及运营成本波动率  $\sigma_2$ 。确定波动率的方法有很多种, 本方法一般采用历史波动率法, 即假定基于过去的数据统计分析可

以得到项目未来的波动率。由于地热产品市场尚不完善, 地热供暖每一天的价格变化情况难以及时准确的记录, 而供暖面积和供暖天数均已知, 因此用每日收入/供暖面积的波动率替代供暖价格的波动率。由于运营成本中的职工工资和维修折旧等费用一般都是固定的, 只有水电费是变动的, 因此可将电力价格的波动率作为运营成本的波动率。

(5) 基准收益率  $r$ 。项目价值评估当前的基准收益率采用行业内的基本收益率 12%, 预期的基准收益率采用社会无风险收益率。

### 三、实物期权价值评估法的应用与展望

实物期权法作为一种新的项目价值评估思路, 充分考虑了地热开发项目中投资机会的价值, 弥补了净现值法的缺陷, 可以更加真实地反映地热开发项目的经济价值, 吸引更多的企业和资金投入到了地热产业中来。除此之外, 实物期权法强调企业柔性管理的重要性, 促使管理者将更多精力放在风险识别和风险应对上, 可提高项目的管理水平。

笔者现应用实物期权法和净现值法对河北雄县一个地热开发项目的经济价值评估进行比较。据雄县重大项目建设规划, 雄县县城规划区计划开发利用地热资源进行城区集中供暖, 以减少燃煤消耗及其造成的大气和环境污染。该工程项目包括 14 个地热站及相应的热力管网建设, 其中设置地热井 48 眼(开采井 27 眼, 回灌井 21 眼), 项目总供暖面积 217.6 万  $m^2$ , 总热负荷为 101.01MW。项目的合同期为 15 年, 可延期 3 年投资, 即建设期若为 3 年, 运营期为 12 年。项目总投资 21 940 万元, 其中建设投资 21 840 万元(建筑工程费 13 921 万元, 设备购置与安装费 5 508 万元, 其他费用 845 万元, 基本预备费 1 555 万元), 铺底流动资金 100 万元。资金全部由项目开发主体自筹。

在完全不考虑该地热供暖项目具有延迟期权的情况下, 计算得到此项目在传统净现值法下的项目价值  $NPV^* = -3 987.9$ (万元), 由于净现值为负值, 说明该项目很有可能亏损, 投资者将会选择放弃投资该项目。而考虑延迟期权价值, 应用延迟期权的定价模型进行评估, 则该项目的总价值为 8 254.9 万元, 项目具备开发可行性。这个结论与传统净现值法得到的评估结论截然相反, 其原因主要是净现

值法认为项目存在的不确定性越大其价值越低,而实物期权法则将不确定性视为一种潜在的价值。实际上,并非所有的不确定性都会降低项目的投资价值,投资者通过灵活的管理策划,可将某些不确定性因素转化为企业的“机遇”以获得更大的项目盈利。实物期权法认为经营灵活性和环境的高度不确定增强了企业价值,而传统的净现值法有可能严重低估地热开发项目的实际经济价值,极易造成决策失误。

当然,基于实物期权的地热项目延期期权定价模型进一步推广应用还必须注意妥善解决以下几个方面的问题:一是中国地热市场极不完善,缺乏参考性的当前价格和历史数据,地热产品价格受许多不可预知因素影响而发生“突变”,不符合实物期权模型的假设;二是在实际操作中,影响地热开发项目价值的不确定性因素众多,且一个地热开发项目往往含有多种实物期权,实物期权模型变得异常复杂,难以求解;三是实物期权的价值来自于柔性管理在不确定性环境中对风险发挥的“对冲”作用,所以管理者必须能够识别地热开发项目在各个阶段不同的实物期权,正确评估可能存在的风险,否则实物期权法可能会主观放大收益、缩小风险。随着计算机科学、数学和系统科学的发展,可以借助数值分析方法和计算机手段对实物期权法进行深入研究,逐步解决实物期权法在实际操作中存在的局限,以利于实物期权法更广泛应用于新能源开发项目的价值评估。

#### 参考文献:

- [1] 刘金侠,袁清.地热[M].北京:中国石化出版社,2014.
- [2] 关铎.地热资源经济评价方法与应用研究[D].武汉:中国地质大学(武汉),2013.
- [3] 郭峰.试论净现值法的修正与折现率选择[J].现代财

经,2004,24(8):36-39.

- [4] 周子康,杨春鹏.实物期权与金融期权[J].管理现代化,2001(5):32-35.
- [5] Myers S K,Turnbull S M. Capital budgeting and the capital asset pricing model: Good news and bad news[J].The Journal of Finance,1977,32(2):321-333.
- [6] Ross S A. A simple approach to the valuation of risky income streams[J]. Journal of Business, 1978, 51: 243-246.
- [7] Black F, Scholes M. The pricing options and corporate liabilities[J]. Journal of Political Economy, 1973, 81: 637-659.
- [8] Brennan M J, Schwartz E S. Evaluation natural resource investments[J]. Journal of Business, 1986, 58(2): 135-149.
- [9] Paddock J L, Siegel D R, Smith J L. Option valuation of claims on real assets: The case of offshore petroleum leases[J]. Quarterly Journal of Economics, 1988, 103: 479-508.
- [10] Smith J E, McCardle K F. Option in the real world: Lesson learned in evaluating oil and gas investments[J]. Operations Research, 1999, 47: 1-15.
- [11] 茅宁.项目评价的实物期权分析方法研究[J].南京化工大学学报(哲学社会科学版),2000(2):29-34,88.
- [12] 陈永庆,王浣尘.期权理念在风险投资决策中的应用[J].管理工程学报,2001(2):67-69.
- [13] 齐安甜,张维.企业并购投资的期权特征及经济评价[J].系统工程,2001(5):43-48.
- [14] Johan Rene. Uncertainty analysis of geothermal energy economics[D].Turkey:Middle East Technical University, 2009.
- [15] Mingjing Guo J, Ding Y. A life-cycle assessment of geothermal heating project with low-temperature reservoirs in China. Adv. Mater. Res., 807-809 (2013): 294-300.

责任编辑:曾凡盛