

油气勘探开发项目实物期权复合模型研究^{*}

张永峰^{1,2} 陈汉林¹ 贾承造²(中国科学院院士) 杨树锋¹ 李小地² 张国生²

(1.浙江大学理学院地球科学系 2.中国石油勘探开发研究院)

张永峰等.油气勘探开发项目实物期权复合模型研究.天然气工业,2006,26(3):138-141.

摘要 油气勘探开发项目存在大量的不确定性因素,具有投资大、周期长、技术工艺复杂、风险大等特点。从金融领域衍生的实物期权理论可有效地对油气勘探开发项目进行分阶段的战略经济评价。油气勘探开发项目中存在多种类型的实物期权,但由于其相互之间存在着依赖关系,在进行战略经济评价时,不能简单地求和。文中针对油气勘探开发项目中存在的两种典型实物期权——终止期权和停启期权的特点和价值构成进行了分析。终止期权是综合考虑项目盈亏状况的战略价值,停启期权则充分考虑了项目进行过程中的灵活性价值。基于二叉树理论构建的期权复合计算模型,有效地解决了不同类型期权价值的复合计算问题,并通过实例展示了这两种期权价值复合的效果。

关键词 油气勘探 油气开发 项目管理 经济评价 实物期权 数学模型

一、项目中的期权特性

油气勘探开发项目是长周期、高风险、高投入、高回报的系统工程,对其进行科学的战略经济评价,对指导我国油气勘探开发的投资方向意义重大。从金融领域衍生的实物期权理论与传统的经济评价方法相比,能充分考虑项目进程中的灵活性价值和战略价值^[1-4]。

终止期权和停启期权是油气勘探开发项目中非常重要的两类期权。终止期权主要存在于勘探阶段,在各勘探阶段结束时,投资者都可根据评价结果决定是否继续对项目进行投资。如石油公司在某一勘探阶段投资结束后,发现情况不如预测乐观,可立即决定放弃项目并终止以后各阶段的投资,以避免更大的损失^[2,3]。决策者及时终止项目而挽回的价值,就是终止期权的价值。停启期权主要存在于稳定开发期内,如果外界环境发生较大变化(如油价下跌或成本上升),投资者可决定暂缓项目,待外界环境合适时再重新启动,停启期权的价值反映了项目进行过程中的灵活性价值。

勘探阶段的终止期权与稳定开发阶段的停启期权存在时间上的先后关系,即只有决策者在稳定开

发阶段开始前没有终止项目,且继续对项目进行投资,才能产生后面稳定开发阶段的停启期权。对一系列的实物期权,前一实物期权的执行可能会改变后续期权的价值。因此,实物期权的价值并不具备可加性,即对一投资项目中包含的一组实物期权来说,单个期权的价值之和并不等于期权的综合价值^[5,6]。

在项目的稳定开发阶段,项目价值主要受市场不确定性影响,并且整个阶段作为一个决策期,该阶段的停启期权是一种相对简单的期权类型;而勘探阶段则受地质不确定性和市场不确定性共同影响,且还细分为区域勘探、预探和详探^[7,8],期权类型相对复杂。笔者将首先构建停启期权模型,然后再构建停启期权与终止期权复合计算的模型。

二、项目停启期权计算模型

在油气勘探项目进入稳定开发阶段后,项目价值受地质不确定性因素影响减弱,市场不确定性因素对项目价值的影响占主导地位。笔者在对油田生产实际进行充分调研的基础上,假设在稳定开发阶段地质不确定性被基本消除,仅考虑市场不确定性因素。

^{*} 本文为中国石油天然气股份有限公司油气勘探生产发展战略及经济评价方法研究项目(107401—C00110)和教育部高等学校优秀青年教师教学和科研奖励计划。

作者简介:张永峰,1978年生,中国石油勘探开发研究院博士后;主要从事油气资源中长期规划研究。地址:(100083)北京市学院路20号910信箱资源规划所。电话:(010)62097440。E-mail:zyf2005@petrochina.com.cn

若不考虑由于项目停启造成的额外成本,项目当期实现的利润为 $\max[0, (L_t - D_t)]$ ^[9],其中 L_t 代表第 t 年的营运收入, D_t 代表第 t 年的营运成本。则项目的价值可看作当期实现的利润按照风险中性概率计算的期望值 V_t 。由 Jensen's 不等式,可得 $E[\max(0, L_t - D_t)] \geq \max[0, E(L_t) - D_t]$ 。对于特定的年份 t , L_t 的波动是由油气市场价格的波动决定的,则这个不等式也就意味着由于价格波动而导致的项目价值必然大于使用平均价格计算的项目价值。但在实际的油气勘探类项目中,每年的产量不一定相同。文中以 P_t 代表油气市场价格, C_t 代表单位运营成本。计算结果是单位产量含有期权的价值,总价值只需乘以当年的产量即可。

根据 Black-Scholes-Merton 模型^[10],经推导可获得稳定开发阶段第 t 个经营年份单位油气产量中包含的停启期权价值:

$$V(P_0, C_t, t) = P_0 e^{-\delta t} N(d_1) - C_t e^{-rt} N(d_2) \quad (1)$$

式中: $d_1 = [\ln(P_0/C_t) + (r - \delta + \sigma_p^2/2)t]/(\sigma_p t^{1/2})$, $d_2 = d_1 - \sigma_p t^{1/2}$ 。

可见,停启期权计算模型中包括的参数有初始价格 P_0 、单位运营成本 C_t 、阶段的时间间隔 t 、无风险利率 r 、价格波动率 σ_p 以及项目价值漏损率 δ 。项目各年度含有停启期权的价值为 $V_t(P_0, C_t, t) \times Q_t$, Q_t 为当年油气产量,则该年度可能发生项目停启的灵活性价值为 $V_t(P_0, C_t, t) \times Q_t$ 减去当年的现金流入。显然,整个稳定开发阶段的停启期权的价值,必然是本阶段各年份按无风险利率贴现的停启期权价值之和。

三、项目复合期权计算模型

石油勘探开发项目是具有多个决策期,且受地质、经济、政策、技术等多种不确定性因素共同影响的复杂实物期权。Black-Scholes 模型是计算期权价值的经典模型^[11],它能很好地解决具有一个不确定性因素和一个决策期的简单实物期权,但当应用较复杂且包含实物资产的一些特殊特点时,如有多个不确定性因素或者有多个决策期,它很难得到解析解。下面构建一种基于二叉树定价模型的终止期权和停启期权复合计算模型,它将保留现金流贴现分析的外观形式,并在计算结果中反映期权定价的特点。这里以预探阶段起始点作为决策点,建立石油勘探开发项目中多阶段终止期权计算模型。

首先根据二叉树模型,并结合计算机模拟结果和精确程度的要求,分别将各勘探阶段划分为 30

期。二叉树的起始值为根据无风险利率贴现的项目未来现金流量现值与决策点后各阶段投资之和(包括当前阶段投资),计算结果是包含终止期权和停启期权的综合价值。

假设石油勘探项目终止期权的二叉树计算模型中,项目的内在价值为 S ,各勘探阶段分为 30 个时间段(Δt),项目价值漏损率为 δ ,无风险收益率为 r ,项目价值波动率为 σ 。

经过 Δt 的时间后,每个节点都可能上涨和下跌两种状态,因此形成两个新的节点,上涨后的价值为 Su ,概率为 p ,下跌后的价值为 Sd ,概率为 $(1-p)$, u 和 d 分别为上涨因子和下跌因子。

根据 Cox、Ross 和 Rubinstein 的模型^[11,12],可得出考虑了价值漏损率情况下的 p 、 u 和 d :

$$p = [e^{(r-\delta)\Delta t} - d]/(u - d) \quad (2)$$

$$u = e^{\sigma\sqrt{\Delta t}}, d = e^{-\sigma\sqrt{\Delta t}} \quad (3)$$

对于多期二叉树模型,第 $i\Delta t$ 时刻的资产价值有 $(i+1)$ 种可能,可用通式表示:

$$S_{ij} = Su^j d^{i-j}$$

$$(i = 1, 2, \dots, n; j = 0, 1, 2, \dots, i) \quad (4)$$

对于考虑价值漏损率的二叉树模型,在以往的资料中,对价值漏损率的处理都有一定的阐述^[13,14],在应用计算机软件计算时,可实现对每一节点进行调整,即乘以固定的 $(1-\delta)$:

$$S_{ij} = Su^j d^{i-j} (1-\delta)^i$$

$$(i = 1, 2, \dots, n-1; j = 0, 1, 2, \dots, i)$$

$$S_{nj} = Su^j d^{n-j} (1-\delta)^{(n-1)} \quad (j = 0, 1, 2, \dots, n) \quad (5)$$

式(5)的计算结果代表预探阶段结束时项目的各种可能状态。

在经过预探阶段 30 步的波动之后,将进入详探阶段。由于不同阶段的波动率并不相同,因此进入详探阶段后,影响项目价值的参数(u 、 d 、 p)将根据详探阶段的波动率重新计算。下面分别以预探阶段的 31 种可能结果为种子,根据详探阶段的参数产生 31 棵二叉树。在详探阶段结束时,将获得 961 个节点。

在详探阶段结束后,如果决定项目继续进行,则在接下来的稳定开发阶段中,项目的价值仅受市场油气价格影响。另外,由于已达到稳定开发阶段,项目不宜再执行终止期权,但可根据外部情况的变化决定项目的暂停和重启。因此,详探阶段结束后,应把计算得到的停启期权价值加到详探阶段结束时二叉树的 961 个可能的节点上(图 1)。这时得到的 961 个可能的价值是包含了综合考虑项目盈亏平衡

图1 油气勘探项目终止期权与停启期权复合计算模型反推计算示意图

状况和外部市场环境影响的综合性战略价值。

根据得到的阶段价值节点,可进行反推计算,得出阶段内的期权价值 C (推导过程略):

$$C = \sum_{i=0}^n [C_n^j p^j (1-p)^{n-j} \max(S_0 u^j d^{n-j} - X, 0)] / e^{nr\Delta t} \quad (6)$$

式中, X 为阶段投资(相当于金融期权模型中的执行价格), $C_n^j = n! / [(n-j)! j!]$

根据式(6)的反推方法,将附加了停启期权的详探阶段结束时的961个项目未来现金流值与该决策点处的执行价格(即稳定开发阶段的投资)进行比较,得出二者之差,然后根据 $\max[0, S(1-\delta) - X]$ 的标准来调整这961个未来现金流值,被调整为0的值表示在该状态下的项目没有价值,即项目应被终止。根据生成二叉树时计算得到的各阶段内节点对应的上涨和下跌概率,可反推计算得到前一节点包含期权的价值,进而反推获得详探阶段起始时刻的31个节点包含实物期权的价值。这31个节点处含有实物期权的项目价值,再与该决策点处的执行价格(即详探阶段的投资)按上述的比较方法继续反推获得预探阶段起始时刻包含实物期权的项目价值。该节点的价值减去预探阶段的执行价格(即预探阶段起始时刻的投资),即得到项目在预探决策点处包含了终止期权和停启期权的项目净现值(图1)。在此基础上,减去根据净现值法计算得到的项目净现值,就得到该勘探项目在预探决策点处两种期权的复合价值。

在判断二叉树模型的节点时,采用了 $\max[0, S(1-\delta) - X]$ 作为判断标准,因此在对项目含有的终止期权和停启期权价值进行反推计算并贴现时,应将理论上的价值漏损补偿回来。具体做法是在每

个反推值的基础上再加上最初在该节点扣除的股利价值(即漏损价值)。在完成对漏损价值的补偿后,石油勘探开发项目的终止期权和停启期权价值复合的二叉树模型构建完毕。

四、实例分析

应用笔者构建的实物期权计算模型,对以某区块为目标的勘探开发项目在预探阶段的决策点上进行评价,得到以下结果:在不考虑期权价值时,其项目价值为-0.06亿元;而考虑了期权价值后,得到包含期权的项目综合价值为83.50亿元,复合期权价值为84.13亿元,其中,终止期权价值为82.90亿元,停启期权价值为2.10亿元。

根据现金流量法的评价标准,在不考虑期权价值时,此项目是不值得进行的,应该终止。然而,项目进行过程中管理者可能采取一些干预措施,从而可能有效地规避一些风险,挽回一些损失。这两种期权的复合价值并不等于二者之和,在勘探阶段的终止期权价值较高,稳定开发阶段的停启期权价值较低。不确定性被逐步消除是产生这种情况的根本原因。

期权分析的结果有以下3点含义。①在勘探过程中由于地质不确定性可能导致年度产量在一定幅度内变化,且油田可能有新增储量。实物期权法正是考虑了这种不确定性,即使出现项目亏损的状况,如果考虑到后期的新增储量,那么项目价值也有可能在这段时间后变为正值;②如果项目运营状况不佳,有可能发生大规模亏损,那么决策者可在项目进行过程的某一阶段决策时马上终止该项目,从而避免大规模亏损,其亏损价值也反映在期权价值当中;③当项目进入稳定开发阶段之后,如果中间出现由于市场状况不好、油气价过低的局面时,决策者可马上暂停项目,等油气价回升时再重新启动。虽在项目暂停期间,可能要为员工工资和项目维护支付一定的费用,但与项目在不利环境下继续进行相比,已避免了更多的亏损,这部分价值也反映在期权价值中。

五、结论

笔者提出的终止期权和停启期权复合计算模型有助于对油气勘探开发项目进行全程一体化战略经济评价。考虑项目进行中的多种不确定性对项目价值的影响,可帮助投资者得出项目的战略性价值,并为项目的决策提供科学依据。

在油气勘探开发项目中,除了终止期权和停启期权,还包括多种类型的实物期权,如延迟投资期权、转换期权、增长期权、扩张和收缩期权等。根据我国油气工业的实际情况对不同类型的期权进行组合并求取综合性战略价值,非常值得研究。

参 考 文 献

- [1] 吴秋南. 评估石油储量价值的期权方法[J]. 石油勘探与开发, 2002, 29(2): 120-122.
- [2] 张永峰, 杨树锋, 贾承造, 等. 用于油气勘探项目经济评价的实物期权法[J]. 石油学报, 2003, 24(1): 15-24.
- [3] 贾承造, 杨树锋, 张永峰, 等. 油气勘探风险分析与实物期权法经济评价[M]. 北京: 石油工业出版社, 2004: 102-124.
- [4] 张永峰, 陈汉林, 杨树锋, 等. 石油勘探领域期权波动率参数阶段性估算[J]. 石油大学学报(自然科学版), 2004, 28(5): 139-144.
- [5] TRIGEORGIS L. The nature of option interactions and the valuation of investment with multiple real options [J]. Journal of Financial and Quantitative Analysis, 1993, 28(1): 1-20.
- [6] TRIGEORGIS L. Real options: Managerial flexibility and strategy in resource allocation [M]. Massachusetts: The MIT Press, 1996: 69-272.
- [7] 高世葵, 董大忠. 引入地质风险的经济评价新指标——风险收益率[J]. 天然气工业, 2004, 24(9): 163-165.
- [8] 中国石油天然气总公司计划局, 中国石油天然气总公司规划设计院. 石油工业建设项目经济评价方法与参数 [M]. 2版. 北京: 石油工业出版社, 1994: 1-88.
- [9] MCDONALD R, SIEGEL D. Investment and the valuation of firms when there is an option to shut down [J]. International Economic Review, 1985, 26(2): 331-348.
- [10] MERTON R. Theory of rational option pricing [J]. Bell Journal of Economics and Management Science, 1973, 4(2): 141-183.
- [11] MARTHA AMRAM, NALIN KULATILAKA. 实物期权——不确定环境下的战略投资管理 [M]. 张维, 等, 译. 北京: 机械工业出版社, 2001: 4-222.
- [12] COX J C, ROSS S A, RUBINSTEIN M. Option pricing: A simplified approach [J]. Journal of Financial Economics, 1979, 7(3): 229-263.
- [13] 茅宁. 期权分析——理论与应用[M]. 江苏南京: 南京大学出版社, 2000: 60-518.
- [14] 郁洪良. 金融期权与实物期权——比较和应用[M]. 上海: 上海财经大学出版社, 2003: 1-342.

(修改回稿日期 2005-00-00 编辑 赵 勤)