

文章编号: 1003-207(2011)04-0068-08

风险条件下基于实物期权的研发项目多阶段评价模型

谷晓燕¹, 何 锋², 蔡 晨³

- (1. 北京航空航天大学经济管理学院, 北京 100191;
2. 北京航空航天大学电子信息工程学院, 北京 100191;
3. 中国科学院科技政策与管理科学研究所, 北京 100190)

摘 要: 研发项目投资决策是现代企业研发管理的核心内容, 对研发项目进行合理、准确的评估, 具有高度的战略意义和现实意义。本文基于实物期权理论, 考虑到研发项目投资的灵活性, 结合研发项目的阶段性特征, 综合分析了研发项目寿命期内面临的市场风险、技术风险和突发风险对研发项目潜在现金流的影响, 构建了风险条件下研发项目多阶段评价模型。最后通过算例对模型进行验证、横向对比和敏感性分析, 证实了模型的正确合理性。

关键词: 研发项目; 实物期权; 风险; 阶段; 评价模型

中图分类号: C931 文献标识码: A

1 引言

随着知识经济的到来, 利用市场垄断获取高额利润的方法越来越不可行, 无论是国家还是企业间的竞争都越来越依赖于科技的力量和研究与开发工作^[1]。R&D (Research and Development) 项目管理日益引起企业决策者的重视, R&D 项目不仅是企业应对市场变化和竞争压力的重要手段, 也是企业核心竞争力的源泉和持续发展的动力^[2]。由于 R&D 项目具有高投入高风险的特征, R&D 项目评价成为 R&D 项目管理的关键。

传统的投资评估方法, 如各种常规的贴现现金流 (DCF) 方法, 决策树分析方法等, 不能有效、准确的评估 R&D 项目的管理灵活性。研发项目在其生命周期内, 随着项目的进行, 市场条件的不确定性会逐步明确, 各种新信息也会出现, 管理者可以根据具体情况, 改变最初的经营策略。例如, 在项目生命周期的各个阶段延迟投资、转换、扩张、收缩、放弃项目等。这种管理上的灵活性被称为经营柔性, 使得投资者在投资过程中具有某种相机的选择权, 而无相应义务, 是有价值的。这种柔性类似于金融期权, 由于标的物为实物资产, 被称为实物期权^[3,4]。

对于 R&D 项目, 用期权的观点, 可以将其看作是典型的欧式看涨期权。在之前的研究中, 许多学者通过改进 B-S 模型使其与 R&D 项目的特征相符。Newton 和 Pearson (1994)^[5] 以及 Perlitz (1999)^[6] 的模型假设 R&D 项目现金流只存在连续性, 对 R&D 项目现金流的持续变化通过微分方程来描述。Pennings 和 Lint (1997)^[7], Branch 和 Paxson (2001)^[8] 认为 R&D 项目现金流的变化只存在跳跃性, 对 R&D 项目现金流的变化通过离散模型来刻画, 并进行了定价公式推导。以上模型在研究时, 其假设与 R&D 项目现金流的变化情况不完全一致: 研发项目现金流的变化特征不能只用微分方程来描述, 还需要通过离散模型进一步刻画。Berk (2004)^[9] 比较全面的考虑了 R&D 项目的风险特征, 但是没有考虑到 R&D 项目具有的阶段性特点。Herath 和 Park (1999)^[10], Lint 和 Pennings (2001)^[11], Hartmann 和 Hassan (2006)^[12] 考虑了研发项目的阶段性, 但没有全面考虑研发项目的风险。

R&D 项目的风险是一种客观存在, 贯穿于研发项目的生命周期中。总体来看, 研发项目各个阶段构成了项目的整个生命周期。因此, 本文在对 R&D 项目进行评价时, 结合 R&D 项目阶段性的特点, 全面考虑其生命期周内面临的风险, 综合利用微分方程与离散模型, 对 R&D 项目的价值进行评估。

2 研发项目风险特征和阶段性

研发项目是研究与开发项目的简称, 与普通项

收稿日期: 2010-11-10; 修订日期: 2011-06-13

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (90718042)

作者简介: 谷晓燕 (1980-), 女 (土家族), 湖北利川人, 北京航空航天大学经济管理学院博士后, 研究方向: 项目与风险管理、金融工程。

目相比, 具有下列特征: (1) 探索性: 研发项目是探索未知、寻求新的解决问题途径的工作; (2) 创造性: 创造新的知识、新的方法是研发项目最本质的特征; (3) 不确定性和风险性: 研发项目具有的探索性和创造性决定了其高度的不确定性和风险性; (4) 个体性、集体性和社会性: 新的创造性设想通常来自个人的灵感, 现代研究开发又需要多部门的协同工作, 而知识的相关性、对社会支撑条件的依赖性使研究开发工作具有社会性^[13]。

研发项目的这些特点, 决定了其风险特征。研发项目的风险, 是由于外部环境的不确定性、研发项目的难度和复杂性、以及开发者自身能力与实力的有限性而导致 R&D 项目达不到目标的可能性及后果^[1]。对于研发项目, 其未来潜在现金流的大小具有不确定性, 这种不确定性是研发项目在项目评估时需要考虑的一个基本风险因素。在对研发项目进行评价时, 可以将这种不确定性考虑为市场风险, 并用几何布朗运动去刻画其运动和变化过程。同时研发项目又是一个高投资、高风险项目, 其技术实施的成败将严重影响项目的最终收益和最初价值评估, 因此在研发项目评价过程中, 必须要考虑到这种技术的不确定性所带来的影响。此外, 在研发项目的实施过程中, 还存在突发风险, 表现为突发事件对研发项目现金流的影响, 比如其他等同技术先于在研技术出现, 或其他技术促进在研技术发展等。突发风险事件往往给研发项目现金流预期带来跳跃性变化, 增大了研发项目现金流评估的难度。

相比于普通项目, 研发项目还具有明显的阶段特征。典型的研发项目可以分成多个阶段, 每个阶段有明确的阶段目标和实现目标的一系列工作任务。每个阶段任务都和创建一定的工作成果相关联, 而阶段的结束也以工作成果的完成为标志^[14]。在每个阶段的实施过程中, 并不以暂时的得失和现金流预测情况对研发项目进行中止或者暂停等决策, 会在阶段结束时对研发项目价值进行清算和评估。

因此, 在对研发项目进行评估时, 需要综合考虑研发项目的风险和阶段特征。总结研发项目的风险特征和阶段性, 可以看出: 在对研发项目的价值进行评估时应该充分考虑到其阶段性, 把研发项目整体实施过程看作连续的, 认为在任何一个时点都能进行决策, 与研发项目的实际情况不符合。在研发项目的每一阶段实施过程中, 将其未来现金流的基本变化规律视为一个连续几何布朗运动过程, 体现研

发项目风险特征中市场风险的不确定性因素, 但同时将突发风险给现金流带来的跳跃性变化考虑为一个泊松过程, 从而模拟突发事件的到达规律, 刻画对现金流预期的影响。而研发项目技术风险对其潜在现金流的影响也将在每个阶段结束时按照概率分布情况进行综合考虑。从总体上来看, 研发项目潜在现金流变化模型是一个多阶段离散模型, 而在每个阶段中, 现金流变化同时具有连续性和跳跃性特征。

3 评价模型

3.1 模型构建

根据研发项目的阶段性特征, 在其生命周期内可以将研发项目分为若干阶段。在本文中, 不失一般性, 把研发项目典型的分为四个阶段(即基础研究阶段、原型设计阶段、大规模生产阶段和商业化阶段)。每一个阶段持续一定的时间, 企业在每个阶段的开始时刻注入资金。在每个阶段过程中, 研发项目以一定的概率获得成功, 成功后, 研发项目进入下一个阶段, 失败后, 研发项目以一定的残值带来现金流入, 面临的主要风险是技术风险, 同时其预期现金流受漂移率和波动率影响。当研发项目研制成功, 最终推向市场, 可以估算研发项目为企业带来的现金流入。突发事件对研发项目的影响是不能忽略不计的, 在研发项目开发的过程中, 比如企业内部其他部门某种设计技术的进步, 对本项目现金流有一个正向跳跃式的影响, 再比如其他同行企业某种新设计标准的推出, 对本项目现金流有一个负向跳跃式的影响, 因此在对研发项目为企业带来的现金流入进行评价时必须把这部分突发事件的影响考虑进去。可以通过一种现金流修正的方式把突发事件的影响融合到现金流的计算过程中, 并在这个过程中借助实物期权的概念, 评价研发项目管理灵活性的价值。

为了构建研发项目的评价模型, 针对研发项目具有的阶段性特征, 定义 M 为研发项目整个生命周期中可以划分的阶段个数。在本文中不失一般性, 把研发项目分为四个阶段, 即 $M = 4$;

q_i 为研发项目第 i 阶段的成功概率;

τ_i 为研发项目第 i 阶段的持续时间;

C_i 为研发项目第 i 阶段失败后的项目残值;

I_i 为企业在研发项目第 i 阶段开始时刻的投资额;

V_i 为研发项目第 i 阶段成功后的现金流。对于最后一个阶段 $i = M$, V_M 代表的是研发项目经历所

有阶段,在市场上获得成功,估算的整个项目在其生命周期内为企业带来的现金流入,对于其他阶段需要通过公式计算其阶段结束后的现金流;

λ 为研发项目第 i 阶段外部突发事件对项目产生重大影响的强度;

p_i 为研发项目第 i 阶段突发事件对项目产生正向重大影响的概率;

(a_i, b_i) 为研发项目第 i 阶段外部突发事件对项目产生重大影响的影响幅度的分布参数, a_i, b_i 为 $Beta$ 分布的形状参数。 $Beta(a, b)$ 分布的采用,可以通过实际情况拟合参数,省却了判别分布的麻烦,当 $a_i = 2, b_i = 3, 4$ 时, $Beta(a, b)$ 分布模拟了数值统计模型中常用的瑞利分布;

g_i 为研发项目第 i 阶段过程中风险中性成功概率;

r_i 为研发项目第 i 阶段无风险利率;

R 为企业预计的贴现率;

μ_i 为研发项目第 i 阶段现金流漂移率;

σ_i 为研发项目第 i 阶段现金流波动率。

根据以上参数,一个典型的四阶段研发项目评价模型如图 1 所示。

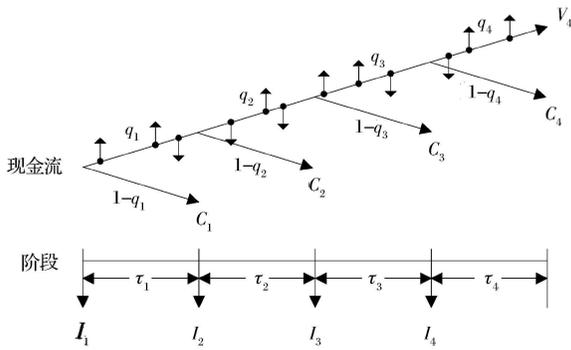


图 1 四阶段研发项目评价模型

在这个模型中,把研发项目分为典型的四个阶段进行项目投资决策和评估。在每个阶段,研发项目现金流符合基本几何布朗运动,而外部突发风险以一定的发生强度在研发项目各个阶段中出现,对现金流有着一个正向或者负向的跳跃影响。在图 1 中各个阶段向上的箭头代表正向突发风险,将提高研发项目预期现金流的值;而向下的箭头代表负向突发风险,将降低研发项目预期现金流的值。技术风险在每个阶段的结束时刻评估,并用于研发项目下一阶段是否继续实施的判断依据。

三种风险在本模型中的表示方法如下:

市场风险 市场风险在研发项目评价模型中表

现为现金流的不确定性,用现金流漂移率 μ_i 和波动率 σ_i 描述其变化规律。现金流 $S = (S_t; t \in \mathbf{R}_+)$ 的微分方程为:

$$\frac{dS_t}{S_t} = \mu_i dt + \sigma_i dB_t$$

其中 $B = (B_t; t \in \mathbf{R}_+)$ 定义了标准布朗过程。

技术风险 技术风险以概率 q_i 的形式进行描述, q_i 越大,则该阶段项目成功的可能性也就越大,越有利于研发项目投资决策。设研发项目某阶段结束后,如研发成功现金流为 V_i , 如研发失败残值为 C_i , 阶段历经时间为 τ , 企业预计的贴现率为 R , 其由于技术风险引发的项目现金流折现值为:

$$S_i = \frac{V_i \times q_i + C_i \times (1 - q_i)}{e^{R\tau}}$$

因此,当 q_i 越大,研发项目现金流折现值越大。

突发风险 突发风险在项目每个阶段实施过程中影响现金流的变化,表现为现金流有一个跳跃性的增长或者降低,其到达规律满足发生强度为 λ 的泊松过程 $N = (N_t; t \in \mathbf{R}_+)$, 而幅值满足 $Beta(a, b)$ 分布。根据泊松过程的特点,可以得到 dN_t 的定义:

$$dN_t = \begin{cases} U_j & \text{以 } \lambda dt \text{ 的概率} \\ 0 & \text{以 } 1 - \lambda dt \text{ 的概率} \end{cases}$$

其中 $U = (U_j; j \in \mathbf{Z})$ 定义了独立同分布序列, U_j 的表达式为: $U_j = X_j \Gamma_j$, 式中 Γ_j 为幅值大小, X_j 为跳跃方向。 X_j 为 $(0, 1)$ 分布简单变体, 概率分布表达式如下:

$$X_j = \begin{cases} 1 & \text{以概率 } p \\ -1 & \text{以概率 } 1 - p \end{cases}$$

$p \in [0, 1]$, 刻画了正跳跃和负跳跃的可能性。

Γ_j 为发生正跳跃或者负跳跃后的幅值大小, 概率分布表达式如下:

$$f(\tau | X_j; a_i, b_i) = \begin{cases} \frac{\tau^{a_i-1} (1-\tau)^{b_i-1}}{B(a_i, b_i)} & 0 < \tau < 1 \\ 0 & \text{其它} \end{cases}$$

3.2 模型计算

对于 3.1 节所定义的研发项目评价模型, 在一个阶段内, 研发项目主要面对市场风险和突发风险, 在阶段结束时, 才考虑技术风险对潜在现金流的影响。因此需要首先对突发风险和市场风险给研发项目潜在现金流带来的影响进行综合计算。

结合几何布朗运动和泊松突发过程, 研发项目现金流的微分方程可以表示为:

$$\frac{dS_t}{S_t} = \mu_t dt + \sigma_t dB_t + U dN_t$$

对其进行解算, 可以求得现金流的表达式为:

$$S_t = S_0 \left(\prod_{j=1}^{N_t} (1 + U_j) e^{(u_t - \frac{\sigma_t^2}{2})t + \sigma_t B_t} \right)$$

S_0 为现金流初值。

因此有:

$$E[S_t] = E \left[S_0 \left(\prod_{j=1}^{N_t} (1 + U_j) e^{(u_t - \frac{\sigma_t^2}{2})t + \sigma_t B_t} \right) \right]$$

$$= S_0 E \left[e^{(u_t - \frac{\sigma_t^2}{2})t + \sigma_t B_t} \right] E \left[\prod_{j=1}^{N_t} (1 + U_j) \right]$$

$$= S_0 E \left[e^{(u_t - \frac{\sigma_t^2}{2})t + \frac{1}{2}\sigma_t^2 t} \right]$$

$$\times \sum_{n=0}^{\infty} E \left[\prod_{j=1}^n (1 + U_j) \right] P(N_t = n)$$

$$= S_0 e^{\mu_t t} \times \sum_{n=0}^{\infty} E[(1 + U)]^n \frac{(\lambda t)^n e^{-\lambda t}}{n!}$$

根据 Beta(a, b) 分布的特性, 可以得到:

$$E[U_i | X_i] = \frac{aX_i}{aX_i + bX_i} X_i$$

于是:

$$E[U] = E[X_i \Gamma_i] = \frac{a}{a+b} p_i - (1-p_i) \frac{a}{a+b}$$

$$= \frac{a}{a+b} (2p_i - 1)$$

将上式代入 $E[S_t]$ 即可求得:

$$E[S_t] = S_0 e^{(\mu_t + \frac{(2p_i - 1)a\lambda}{a+b})t}$$

因此当考虑到突发风险后, 研发项目现金流的预期漂移率将会改变, 修正为:

$$\mu_t = \mu_t + \frac{(2p_i - 1)a\lambda}{a+b} \quad (1)$$

其中 μ_t 为修正后的漂移率。对于研发项目现金流的波动率, 同样, 当考虑突发风险时, 会涉及到波动率的修正过程。

首先计算 $E[S_t^2]$, 有:

$$E[S_t^2]$$

$$= E \left[S_0^2 \left(\prod_{j=1}^{N_t} (1 + U_j) \right)^2 e^{2(u_t - \frac{\sigma_t^2}{2})t + 2\sigma_t B_t} \right]$$

$$= S_0^2 E \left[e^{2(u_t - \frac{\sigma_t^2}{2})t + 2\sigma_t B_t} \right] E \left[\prod_{j=1}^{N_t} (1 + U_j)^2 \right]$$

$$= S_0^2 E \left[e^{2(u_t - \frac{\sigma_t^2}{2})t + \frac{1}{2}(2\sigma_t)^2 t} \right]$$

$$\times \sum_{n=0}^{\infty} E \left[\prod_{j=1}^n (1 + U_j)^2 \right] P(N_t = n)$$

$$= S_0^2 e^{(2\mu_t + \sigma_t^2)t} \times \sum_{n=0}^{\infty} E[(1 + U)]^n \frac{(\lambda t)^n e^{-\lambda t}}{n!}$$

根据 Beta(a, b) 分布的特性, 可以得到:

$$D[U_i | X_i] = \frac{aX_i bX_i}{(aX_i + bX_i)^2 (aX_i + bX_i + 1)}$$

于是:

$$D[U] = D[X_i \Gamma_i]$$

$$= E_{X_i} [D[X_i \Gamma_i | X_i]] + D_{X_i} [E[X_i \Gamma_i | X_i]]$$

$$= E_{X_i} \left[\frac{aX_i bX_i}{(aX_i + bX_i)^2 (aX_i + bX_i + 1)} \right]$$

$$+ D_{X_i} \left[\frac{aX_i}{aX_i + bX_i} X_i \right]$$

$$= \frac{p_i a^2 b^2}{(a+b)^2 (a+b+1)}$$

$$+ \frac{(1-p_i)a-b}{(a+b)^2 (a+b+1)}$$

$$+ E_{X_i} \left[\left(\frac{aX_i}{aX_i + bX_i} X_i \right)^2 - \left(E_{X_i} \left[\frac{aX_i}{aX_i + bX_i} X_i \right] \right)^2 \right]$$

$$= \frac{a^2 b^2}{(a+b)^2 (a+b+1)} + \frac{a^2}{(a+b)^2}$$

$$- \frac{a^2 (2p_i - 1)^2}{(a+b)^2}$$

据方差的特性, 有: $D[U] = D[1 + U]$, 于是可以得到:

$$E[(1 + U)^2]$$

$$= D[1 + U] + (E[1 + U])^2$$

$$= \frac{a^2 b^2}{(a+b)^2 (a+b+1)} + \frac{a^2}{(a+b)^2}$$

$$+ \frac{(4p_i - 2)a}{a+b} + 1$$

对于现金流方差, 有

$$D[S_t] = E[S_t^2] - (E[S_t])^2$$

$$= S_0^2 e^{(2\mu_t + \sigma_t^2)t} \times \sum_{n=0}^{\infty} E[(1 + U)]^n \frac{(\lambda t)^n e^{-\lambda t}}{n!}$$

$$- \left(S_0 e^{\mu_t t} \times \sum_{n=0}^{\infty} E[(1 + U)]^n \frac{(\lambda t)^n e^{-\lambda t}}{n!} \right)^2$$

将上面算式代入即可求得:

$$D[S_t]$$

$$= S_0^2 e^{2\mu_t t} \left(e^{(\sigma_t^2 + (\frac{a^2 b^2}{(a+b)^2 (a+b+1)} + \frac{a^2}{(a+b)^2} + \frac{(4p_i - 2)a}{a+b})\lambda t} - e^{\frac{(2p_i - 1)a\lambda}{a+b} t} \right)$$

当 $p_i = 0.5$ 时, 修正后的波动率 σ_t 有显示解析表达式, 为:

$$\sigma_t^2 = \sigma_t^2 + \frac{a^2 b^2 + a^2 (a+b+1)}{(a+b)^2 (a+b+1)} \lambda \quad (2)$$

当 $p \neq 0.5$ 时, 修正波动率没有显示表达式, 但是可以通过数值模拟计算的方式近似获得, 求解方程如下:

$$e^{(\sigma_t^2 + (\frac{a^2 b^2}{(a+b)^2 (a+b+1)} + \frac{a^2}{(a+b)^2} + \frac{(4p_i - 2)a}{a+b})\lambda t}$$

$$- e^{\frac{(2\rho_i-1)\sigma_i\lambda_i}{a_i+b_i}\tau_i} = e^{0.2\tau_i} - 1 \quad (3)$$

从上面的计算过程可以看出,在研发项目的一个阶段内,当综合考虑到市场风险和突发风险时,可以用修正的现金流漂移率 μ_i 和波动率 σ_i 进行风险描述。

下面结合研发项目的整个生命周期,综合考虑研发项目技术风险、突发风险和市场风险对研发项目现金流的影响。

考虑到研发项目具体的某个阶段,根据阶段结束后的现金流和残值,以及阶段成功因素和企业预计的贴现率,可以求出阶段开始时刻的项目价值,计算公式为:

$$S_i = \frac{V_i \times q_i + C_i \times (1 - q_i)}{e^{R\tau_i}}$$

这个值仅仅考虑到研发项目各阶段的技术风险,还没有考虑到突发事件对研发项目价值的影响。进一步,把研发项目阶段成功状态看作是实物期权中的上涨状态,研发项目阶段失败状态看作是实物期权中的下跌状态,上式计算出的阶段开始时刻的项目价值看作是实物期权中的现值,从而得到上涨幅度 u_i 和下降幅度 d_i 为:

$$u_i = \frac{V_i}{S_i}$$

$$d_i = \frac{C_i}{S_i}$$

根据几何布朗运动的特点,有:

$$e^{\mu_i \Delta t} = q_i u_i + (1 - q_i) d_i$$

$$\sigma_i^2 \Delta t = q_i (1 - q_i) (u_i - d_i)^2$$

因此针对每个阶段可以得出:

$$\mu_i = R$$

$$q_i = \frac{\sqrt{q_i(1-q_i)}(u_i - d_i)}{\sqrt{\tau_i}}$$

$$\frac{\sqrt{q_i(1-q_i)}(V_i - C_i)e^{R\tau_i}}{(V_i \times q_i + C_i \times (1 - q_i)) \sqrt{\tau_i}}$$

上式计算出来的漂移率 μ_i 和波动率 σ_i 体现了市场风险因素,结合突发风险影响,利用式 1、式(2)和式(3)可以求出修正后的漂移率 μ_i 和波动率 σ_i 。

通过修正后的漂移率 μ_i 和波动率 σ_i ,可以得到修正后的 u_i 和 d_i ,计算公式如下:

$$u_i = e^{\mu_i \tau_i} + \sqrt{\frac{\sigma_i^2 \tau_i (1 - q_i)}{q_i}}$$

$$d_i = e^{\mu_i \tau_i} - \sqrt{\frac{\sigma_i^2 \tau_i q_i}{1 - q_i}}$$

从而得到研发项目阶段结束后的修正现金流和

残值:

$$V_i = S_i u_i = \frac{V_i \times q_i + C_i \times (1 - q_i)}{e^{R\tau_i}} u_i$$

$$C_i = S_i d_i = \frac{V_i \times q_i + C_i \times (1 - q_i)}{e^{R\tau_i}} d_i$$

根据修正的现金流和残值,可以求出修正的阶段开始时刻的项目价值:

$$S_i = \frac{V_i \times q_i + C_i \times (1 - q_i)}{e^{R\tau_i}}$$

根据修正的 u_i 和 d_i ,按照无套利均衡的思想,可以构造出风险中性概率,使用风险中性概率计算资产未来收益的期权值,风险中性概率计算公式如下:

$$g_i = \frac{e^{r_i \tau_i} - d_i}{u_i - d_i}$$

在得到风险中性概率的基础上,根据二叉树期权理论,可以得到期权价值为:

$$E_i = q_i \times g_i \times \max(V_i - S_i e^{r_i \tau_i}, 0) + (1 - g_i) \times \max(C_i - S_i e^{r_i \tau_i}, 0)$$

因此,折合到阶段开始时刻包含期权的项目净现金流为:

$$F_i = E_i + S_i - I_i$$

同时 F_i 也是上一阶段结束后的现金流,即:

$$V_{i-1} = F_i$$

采用这种倒推方式,最终可以求得风险条件下包含期权价值的研发项目净现金流 F_1 。

4 算例分析

4.1 算例

假设某一个研发项目有四个典型阶段,每一个阶段的关键变量如表 1 所示。对于该项目,假设企业预计贴现率为 $R = 0.12$ 。

表 1 研发项目四阶段参数

类别	参数名称	阶段 1	阶段 2	阶段 3	阶段 4
阶段参数	阶段持续时间 τ_i (年)	1	1.5	3	2
	投资成本 I_i (万元)	150	160	220	280
	无风险利率 r_i	0.08	0.08	0.08	0.08
	残值 C_i (万元)	200	300	500	400
市场风险	预计现金流 V_4 (万元)	4000 万元			
	漂移率 μ_i	0.12	0.12	0.12	0.12
	波动率 σ_i	0.156	0.206	0.503	0.413
技术风险	阶段成功概率 q_i (%)	30	42	65	80
	突发强度 λ	3	3	3	3
突发风险	正向概率 p_i	0.5	0.5	0.5	0.5
	Beta 分布 (a, b)	(2, 3, 4)	(2, 3, 4)	(2, 3, 4)	(2, 3, 4)

为了对本文所讨论的研发项目评价方法进行验证和计算, 利用 Mathematica 进行演算验证。令本文所述模型的评价结果为 F_R , 传统的 DCF 决策方法评价结果为 F_{DCF} , 不考虑突发风险带有期权值的净现金流评价结果为 F_{OP} 。

按照传统的 DCF 决策方法, 求出的净现金流为: $F_{DCF} = 58.49$ 万元;

按照期权的方法求出的带有期权价值的净现金流为: $F_{OP} = 154.43$ 万元;

按照我们提出的评价模型, 求出的在风险条件下, 含期权价值的项目净现金流为: $F_R = 256.44$ 万元。

将三种评价模型计算出的结果进行对比, 可以看出:

$$F_R > F_{OP} > F_{DCF}$$

采用传统 DCF 决策计算出的净现金流, 考虑到了研发项目的技术风险, 但是没有考虑到研发项目投资的灵活性, 低估了研发项目的潜在价值; 采用期权的思想对研发项目进行评价时, 考虑到了研发项目灵活投资的价值。研发项目投资的灵活性增大了研发项目投资的机会, 因此得到的研发项目现金流的潜在价值要大于 DCF 计算出来的值。但是用这种方法对市场风险的刻画过于简单, 没有从微观角度观察市场的变化, 考虑的研发项目风险也不完整, 而且研发项目在实际执行过程中, 会遇到外部竞争带来的突发风险, 而这种风险在某些情况下, 对研发项目现金流的影响可能比研发项目本身现金流的不确定性还要大, 因此在对研发项目进行综合评价的时候, 必须要考虑到研发项目的突发风险。我们提出的研发项目评价模型, 充分考虑了研发项目生命周期中的三种风险, 因此能够更加准确的对研发项目进行综合评价。

当外部突发风险的发生强度 $\lambda = 0$ 时, 研发项目不存在外部突发风险, 我们的模型计算的结果 F_R 与不考虑突发风险带有期权值的净现金流评价结果 F_{OP} 一致。当外部突发风险强度大于 0 时, 研发项目在生命周期内将受到外部突发风险的影响。当这种风险正向影响和负向影响的概率相同, 都为 0.5 时, 从实际计算结果来看, 采用我们的模型计算出来的结果 F_R 大于不考虑突发风险带有期权值的净现金流评价结果 F_{OP} ; 当突发风险正向影响的概率小于负向影响的概率时, 采用我们的模型计算的结果 F_R 才可能小于对应的 F_{OP} 值。因此外部突发风险给研发项目带来的潜在现金流, 与市场风险给研发

项目带来的潜在现金流类似, 一方面外部突发风险造成了研发项目现金流价值的不确定性, 但同时也增大了研发项目投资的机会性, 特别是当突发风险正向影响显著时, 将会显著的增大研发项目现金流的值。

4.2 敏感性分析

下面对本文提出来的风险综合评价模型进行敏感性分析。

考虑评价模型中各个关键变量的变动对研发项目评价结果影响的敏感性, 重点考察项目最终预计现金流、各个阶段项目成功概率、突发强度和正向概率等 7 个参数在 $\pm 1\%$ 范围内小幅度变化后对项目评价结果的影响, 结果如图 2 所示。

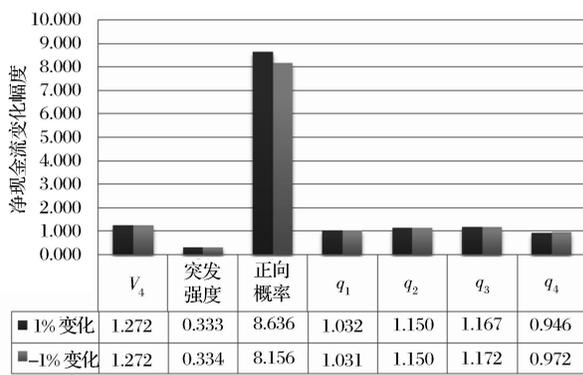


图 2 关键参数变动影响

从图 2 可以看出, 各个关键参数的变动对项目净现金流影响的大小不尽相同, 而突发风险中正向概率的微小变化将对项目评价结果形成较大影响。突发风险是由突发强度和正向概率等参数度量的, 假定表 1 中的数据不变, 重点分析 λ 和 p 这两组参数对研发项目价值的影响程度, 结果如图 3 所示。

从图 3 能够看出: 当突发风险强度 $\lambda = 0$ 时, 外部突发风险对研发项目的影响为 0; 当突发风险强度 $\lambda > 0$ 时, 随着突发风险正向概率 p 的增大, 研发项目的现金流也随着增大, 而且外部突发风险强度越大, 研发项目现金流随着 p 增大而增大的比例也越大, 因此, 当外部环境存在较多良性的突发事件时, 研发项目投资决策者会拥有更大的主动性和灵活性。当竞争风险正向概率 p 显著小于 0.5 时, 随着竞争风险强度 λ 增大, 研发项目现金流将随之减小。从整体上观察结果与 4.1 分析的结论一致。为了能够进一步观察图 3 中各个不同区域参数对研发项目现金流的影响, 我们画了图 3 的等高线图, 如图 4 所示。

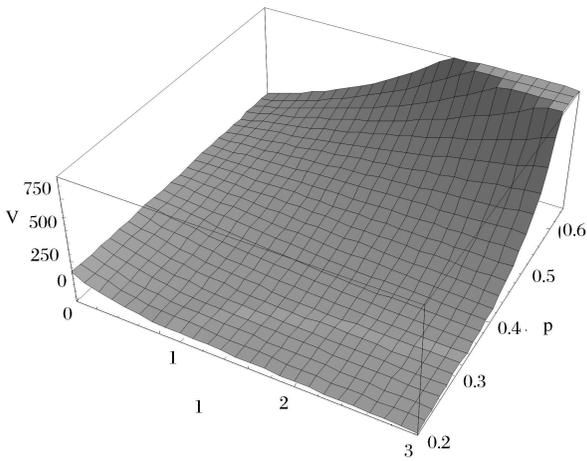


图3 (λ, p) 影响

在图 4 各个等高线围成的区域中, 区域颜色越深, 等高线围成的区域所代表的值越小, 也即研发项目现金流越低; 区域颜色越浅, 等高线围成的区域所代表的值越大, 也即研发项目现金流越大。当突发风险正向概率 p 显著小于 0.5 时, 随着突发风险强度 λ 增大, 研发项目现金流将随之减小, 如图 4 右下方是整个等高线中颜色最深的区域。因此在这种情况下, 外部突发风险将给研发项目带来更多的负面影响, 投资决策者应该更加谨慎处理。

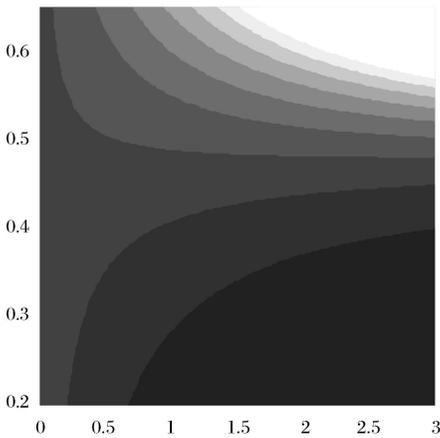


图4 (λ, p) 影响 (等高线)

在研发项目投资决策过程中, 应该慎重对待外部突发事件对研发项目现金流的影响。突发风险中正向概率和突发强度的取值对研发项目的合理评价具有很重要意义。当 λ 和 p 都较大时, 研发项目具有很大的投资灵活性和价值。当突发风险负面影响概率显著大于正面影响概率时, 在评估研发项目价值时, 根据市场情况估计的最终现金流值很有可能在研发项目生命周期中, 被不断发生的外部负向竞

争事件影响而降低。而突发风险对研发项目现金流的影响最终要反映到现金流的漂移率和波动率上, 将取决于漂移率和波动率共同作用的结果。

因此, 在对研发项目进行评价时, 应该综合考虑研发项目所面临的各种风险因素: 市场风险刻画了研发项目现金流受市场波动的变化, 技术风险反映了研发项目实施过程中的技术成熟度, 突发风险表现了外部突发事件对研发项目现金流的跳跃影响。三种风险在评估研发项目价值时, 缺一不可。

5 结语

本文结合研发项目具有的阶段性特征, 并考虑了其生命周期中面临的三种风险: 技术风险、市场风险和突发风险, 利用期权定价模型对研发项目价值进行评价。为了对研发项目价值进行合理评估, 本文构造了一个典型的四阶段研发项目评价模型, 并通过一个算例, 验证了这种方法的有效性。从评价结果来看, 我们的模型与 DCF 法相比, 考虑了研发项目的柔性, 并把研发项目面临的各种风险因素都考虑进去, 更符合研发项目的实际情况, 使模型更加有效。通过敏感性分析, 能够看出: 技术风险、市场风险和突发风险通过不同路径影响研发项目现金流价值, 其中突发风险的微小变动, 会造成更显著的影响。就突发风险而言, 外部突发风险的发生强度和正向影响概率对研发项目的价值评价有显著影响。而且, 不难发现, 在正向风险概率小于负向风险概率的情况下, 需要根据风险发生强度仔细考察外部突发风险对研发项目潜在价值的影响。当外部突发风险强度较小时, 外部突发风险的发生将增大研发项目的潜在价值; 当外部突发风险强度较大时, 外部突发风险的发生将显著减小研发项目的价值。因此, 在对研发项目进行价值评价的过程中, 全面的考虑各种风险带来的不确定性, 可以使评价结果更加科学合理。

参考文献:

- [1] 陈劲, 伍蓓. 研发项目管理 [M]. 机械工业出版社, 北京, 2009.
- [2] 马蒙蒙, 蔡晨, 王兆祥. 基于二叉树期权定价模型的企业研发项目价值评估研究 [J]. 中国管理科学, 2004, 12 (3): 22- 27.
- [3] 茅宁. 期权分析——理论与应用 [M]. 南京: 南京大学出版社, 2002.
- [4] 吴仁群. 投资决策: 不确定性与竞争 [M]. 中国经济出版社, 北京, 2008.

- [5] Newton, D. P., Pearson, A. W.. Application of Option Pricing Theory to R&D[J]. R&D Management, 1994, 24(1), 83– 89.
- [6] Perlitz, M., Peske, T., Schrank, R.. Real options valuation: the frontier in R&D project evaluation[J]. R&D Management, 1999, 29(3): 255– 269.
- [7] Pennings, E., Lint, O.. The option value of advanced R&D[J]. European Journal of Operational Research, 1997, 103: 83– 94.
- [8] Branch, M. A., Paxson, D. A.. A gene to drug venture: Poisson options analysis[J]. R&D Management, 2001, 31(2): 203– 214.
- [9] Berk, J. B., Green, R. C., Naik, V.. Valuation and return dynamics of new ventures[J]. The Review of Financial Studies, 2004, 17(1): 35.
- [10] Herath, H. S. B., Park, C. S.. Economic analysis of R&D projects: An options approach [J]. The Engineering Economist, 1999, 44(1), 1– 34.
- [11] Lint, O., Pennings, E.. An option approach to the new product development process: a case study at Philips Electronics [J]. R&D Management, 2001, 31(2), 162– 172.
- [12] Hartmann, M., Hassan, A.. Application of real options analysis for pharmaceutical R&D project evaluation— empirical results from a survey [J]. Research Policy, 2006, 35, 343– 354.
- [13] 吴贵生. 技术创新管理[M]. 北京: 清华大学出版社, 2000.
- [14] Tidd, J., Bessant, J., Pavitt, K.. Managing Innovation— Integrating Technological Market and Organizational Change[M]. UK: JohnWiley& Sons, Chichester, 1997.

R&D Project Multi-Stage Evaluation Model Based on Real Option Under the Circumstance of Risks

GU Xiao-yan¹, HE Feng², CAI Chen³

(1. School of Economics and Management, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100191, China;

2. School of Electronic and Information Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100191, China;

3. Institute of Policy & Management, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

Abstract: R&D project investment decision is the key of R&D management in modern enterprises, and the reasonable and correct R&D project evaluation has great strategic and practical significance. In this paper, on the real option perspective, taking into account the flexibility of R&D project investment, combining the character of stages of R&D project, analyzing comprehensively market risk, technology risk and emergency risk during the lifetime, the multi-stage R&D project evaluation model is established under the circumstance of risks. Finally, through an example conducting horizontal comparison and sensitivity analysis, the correctness and reasonability of model are verified.

Key words: R&D project; real option; risk; stage; evaluation model