

文章编号:1003-207(2015)07-0094-09

DOI:10.16381/j.cnki.issn1003-207x.2015.07.012

基于实物期权的研发项目动态投资决策模型

谷晓燕

(北京信息科技大学信息管理学院,北京 100192)

摘要:本文基于实物期权理论,针对研发项目阶段性特点,结合博弈论的思想,分析了多个研发项目组成的投资状态组合,构建了研发项目动态选择模型。首先,根据研发项目多阶段的特征,利用孪生证券的思想,基于实物期权理论,建立了项目中止决策准则;在此基础上分析研发项目的投资决策状态,建立了二十五个状态的切换场景;然后通过实际算例对模型进行验证和分析,得出了研发项目投资的影响范围概念图,最终实现两个项目的最优投资决策目标。

关键词:研发项目;实物期权;博弈;动态选择;投资决策

中图分类号:C931 **文献标识码:**A

1 引言

在激烈的市场竞争中,研发项目是企业不断获得优势的重要手段。研发项目投资中关键的决策问题是项目选择,然而由于研发项目在带来巨大收益和竞争力的同时也面临着高风险、高不确定性,增加了项目的选择,尤其是建立合理的中止准则的难度。相对于普通的工程项目,具有复杂动态、高创新性特征的研发项目评价与选择更加具有挑战性,因此有必要深入研究研发项目动态投资决策问题。

常用的研发项目选择方法分为定性、定量和综合集成三类^[1]。对研发项目评价与选择的最早研究可以追溯到二十世纪六十年代 Asher^[2] 提出的研发项目选择的线性规划模型和 Baker^[3] 提出的研发项目选择定位研究。Henriksen 和 Traynor^[4] 把研发项目评价与选择的模型和方法归纳为数学规划和优化方法、经济模型、决策分析和交互式方法等四种类型。其中,很多复杂的数学模型用来描述研发项目选择问题。Beaujon^[5] 等人提出一种混合整数规划模型以获得最优的项目投资组合,并且研究了项目

评估价值对组合投资选择的敏感性。Dickinson^[6] 等人提出信赖矩阵的概念来描述项目间复杂的从属关系,并给出一种多阶段的项目最优组合投资模型。由于数学模型的结构过于复杂,以及研发项目本身的高度不确定性,可能导致过高或过低的估计,影响评价和选择结果。近年来,各种各样的模型已经广泛应用于研发项目的评价与选择^[7-11]。但这些模型主要是静态的,并没有针对一个企业内部研发项目动态选择问题深入进行研究。Kim^[12] 提出一个用(0,1)规划解决企业内部多个项目选择的模型,在模型中考虑了研发项目的阶段性,但没有考虑到项目之间的博弈影响。Yao Tao^[13] 基于博弈论描述了研发项目间的相互影响,并采用随机微分方程求解,但没有考虑到项目的阶段性。

国内对研发项目选择的研究起步较晚。其中,汪涛^[14] 将字典序法应用于有资源约束的研发项目选择决策中,并提出了求解满足资源约束的最优方案子集的约简式算法。鲍玉昆、张金隆^[15] 建立了基于 BP 神经网络的科技招标项目的评标模型。杜先进、孙树栋^[16] 等提出利用遗传算法的宏观和微观策略对不确定条件下考虑相互影响的研发项目组合选择进行最优化求解。寿涌毅、宋淳江^[17] 提出了复杂产品系统研发项目伙伴选择的多目标整数规划模型。以上的模型没有考虑到研发项目生命周期中的管理灵活性和动态博弈。谷晓燕、何锋等^[18] 基于实物期权理论,构建了风险条件下研发项目多阶段评价模型。杨晓花等^[19] 研究了内生的 R&D 时机下

收稿日期:2014-11-26; 修订日期:2015-03-13

基金项目:北京市教委科研资助项目(KM201411232016);国家自然科学基金资助项目(61301086)

作者简介:谷晓燕(1980-),女(土家族),湖北利川人,北京信息科技大学信息管理学院,讲师,博士后,研究方向:项目与风险管理、数据与决策分析、复杂系统评价。

双寡头企业多阶段 R&D 博弈的均衡行动顺序,但没有探讨同一企业内部不同研发项目之间的博弈。

本文针对多个研发项目的选择问题进行研究,基于期权理论和博弈思想,构建了多个研发项目的动态选择模型,开发了相应的动态选择程序,对多个项目动态选择结果的影响进行深入研究。

2 投资决策系统

2.1 模型假定

假设投资决策系统一共包含两个研发项目,这两个研发项目本身不具有可替换性,生产的产品或者解决方案不一定相同,因此可以用市场份额对其进行博弈选择。但是对于企业内部的两个研发项目,由于其受到开发的人力、物力、财力等诸多因素的影响,两个项目不可能毫无关系地独立进行开发,特别是当某个研发项目某一阶段成功结束后,其会对正在进行的研发项目造成各个方面的压力,这种压力反应在现金流上,可以通过一个系数来进行表示,在本模型中把这种影响系数看作是博弈影响的结果。

在本文讨论的模型里,企业针对两个项目进行动态选择,这两个研发项目代表了企业进行研发投资的两种典型类型,具有不同的特征,它们能为企业带来的现金流收入不一样、成功概率不一样,甚至研发周期也不一样。假设其中一个为基础研究项目,研发时间长、投资大、成功概率低,但是研发成功后能为企业带来很大的现金流收入;另一个为应用研究项目,研发时间短、投资少、成功概率高,但是研发成功后能为企业带来的现金流收入也较小。根据两类项目各自不同的特征,提取特征参数,从而建立研发项目动态选择模型。

2.2 模型参数定义

在决策系统中,考虑到研发项目的市场风险、技术风险和突发风险,以及同一企业内部项目之间的博弈情况,定义了研发项目动态模型参数,如表 1 所示。

对于同一个企业两个项目进行博弈的情况,完成阶段数较多的项目,与完成阶段数较少的项目相比,具有更多的先动优势,将具有优先投资的权利;对于完成阶段数较少的项目,由于其后续的不确定性依然很大,在博弈中当另外一个研发项目某个阶段成功结束后,将会对其可投资性带来影响。通过对两个研发项目已经完成的阶段数进行计数,阶段数较多的研发项目将具有较大的博弈影响系数,而

阶段数较小的研发项目将具有较小的博弈影响系数,从而解决两个不同类型研发项目之间的博弈选择问题。

表 1 投资决策系统

	参数	取值范围
项目	j	$\{1,2\}$
现金流	$S_{t(j)}$	\mathfrak{R}
项目阶段序号	i	$\{1,2,3,4\}$
漂移率	$\mu_{(j,i)}$	\mathfrak{R}
波动率	$\sigma_{(j,i)}$	$[0, +\infty)$
竞争强度	$\lambda_{(j)}$	$[0, +\infty)$
正向影响概率	$p_{(j)}$	$[0,1]$
阶段成功概率	$q_{(j,i)}$	$[0,1]$
阶段持续时间	$\tau_{(j,i)}$	$(0, +\infty)$
阶段投资额	$I_{(j,i)}$	$[0, +\infty)$
竞争风险参数	$(a_{(j)}, b_{(j)})$	$(0, +\infty)$
博弈影响基准参数	m	$[0, +\infty)$
项目当前成功阶段个数	$o_{(j)}$	$\{0,1,2,3\}$
项目当前阶段	$n_{(j)}$	$\{0,1,2,3,4\}$
系统项目当前阶段	n	$(n_{(1)}, n_{(2)})$
项目投资控制	$c_{(j,i)}$	$\{0,1\}$
系统项目投资控制	$c(i_1, i_2)$	$(i_1 c_{(1,i_1)}, i_2 c_{(2,i_2)})$

为了实现博弈影响的灵活控制,模型中增加了博弈影响基准参数 m 进行博弈影响的表征,通过统计两个项目成功的阶段计数,并与基准参数 m 分别进行求和,对求和后的值进行比例计算,从而得到博弈影响系数。不同 m 值的给定会产生不同影响强度的博弈效果, m 越大,项目成功阶段计数值带来的博弈影响强度越被弱化,反之亦然。 m 的设计增加了博弈影响控制的灵活性。

在本文所讨论的投资决策系统中,两个研发项目都为多阶段研发项目,按照里程碑事件典型地可以分为 N 个阶段。(本文把研发项目典型地分为四个阶段)。企业在每个阶段开始时刻需要进行资金注入,每个阶段持续一定的时间,在这个阶段中,研发项目以一定的概率获得成功,当研发项目成功后,可以进入到下一个阶段,当研发项目失败后,以一定的残值带来现金收入,同时研发项目终止。企业对两个研发项目最终成功后能为企业带来的现金流可以通过市场模拟等方式获得一个大致的估计,同时对每个阶段的成功概率根据以前项目开发的经验进行估计,根据这些估计值,通过二叉树决策方法,可以获得项目现金流折算到投资决策点的初值 $S_{(j,0)}$ ($j \in \{1,2\}$),下标 j 代表不同的项目,对于第 i ($0 < i \leq N$) 阶段,可以计算折算到阶段开始时刻的现金流值,同时对于上一个阶段其阶段结束时刻的现金流值等于下一个阶段开始时刻的现金流减去

下一阶段开始时刻的投资,即:

$$S_{(j,i)} = \frac{V_{(j,i)} \times q_{(j,i)} + C_{(j,i)} \times (1 - q_{(j,i)})}{e^{R\tau_{(j,i)}}}$$

$$V_{(j,i-1)} = S_{(j,i)} - I_{(j,i)} \tag{2}$$

采用这种迭代方法,可以计算每个阶段的现金流,从而得到 $S_{(j,0)}$ 。

参照孪生证券的思想,在两个项目的动态评价过程中,本文采取二叉树决策获得的 $S_{(j,0)}$ 值,考虑为研发项目的初始值,同时企业对研发项目现金流的漂移率 μ 和波动率 σ 进行估计。在每个阶段中,外部的突发事件对研发项目的现金流有一个跳跃性的影响,这种影响包括正向影响,也包括负向影响,企业需要估计外部竞争事件中正向影响所占的比例大小,同时需要估计竞争事件发生的强度大小。假设研发项目在每个阶段执行过程中,并不根据竞争风险的情况对研发项目进行项目终止决策,但是当博弈的项目某个阶段成功结束后,会对正在进行的研发项目带来影响,反映在现金流上为一个现金流的系数 $k_{(j)}$, 即:

$$k_{(1)} = \frac{m + o_{(1)}}{m + o_{(2)}} \tag{3}$$

$$k_{(2)} = \frac{m + o_{(2)}}{m + o_{(1)}} \tag{4}$$

上式中, m 为基准参数,而 $o_{(1)}$ 和 $o_{(2)}$ 为研发项目 1 和研发项目 2 阶段成功结束的计数。在某个项目阶段执行过程中,当其他项目成功结束后,会对正在进行的项目带来博弈影响,使其现金流的预期发生变化,从而影响项目的终止决策过程。对于本文讨论的两个项目的动态选择情况,当某个项目的成功阶段个数大于另外一个项目的成功阶段个数时,其博弈影响为正向,当其成功阶段个数小于另外一个项目的成功阶段个数时,其博弈影响为负向。

对于动态选择的两个研发项目,当研发项目某个阶段结束后,其现金流所体现的价值可以立即获得,而在阶段进行的过程中,其价值不能立即得到体现,因此在每个阶段执行过程中,对于正常的现金流波动情况和外部竞争风险的发生,并不进行研发项目终止决策,当阶段结束后,终止决策以及动态项目选择才可以进行。而博弈影响发生在企业内部,在

$$E_{(j,i)} = \frac{g_{(j,i)} \times \max(S_{(j,i)}^u - I_{(j,i)} e^{r\tau_{(j,i)}}, 0) + (1 - g_{(j,i)}) \times \max(S_{(j,i)}^d - I_{(j,i)} e^{r\tau_{(j,i)}}, 0)}{e^{r\tau_{(j,i)}}} \tag{11}$$

对于 $i = 1$ 的阶段,也即研发项目进入的第一个阶段,可以计算带有期权价值,即:

研发项目将能感受到另一个研发项目成功带来的各个方面压力,需要根据研发项目的典型参数,设计其状态切换场景,使得博弈影响在选择阶段被规避。

3 投资决策准则

假设在每个阶段中,项目的现金流服从几何布朗运动和泊松运动的结合,也即项目的现金流满足如下微分方程:

$$\frac{dS_{t(j)}}{S_{t(j)}} = \mu_{(j)} dt + \sigma_{(j)} dB_t + U_{(j)} dN_t \tag{5}$$

基于上面现金流满足的微分方程,把按照二叉树决策计算出的 $V_{(j,0)}$ 考虑为研发项目的初始值^[1],当考虑到外部竞争风险,可以得到修正后的漂移率 $\tilde{\mu}_{(j,i)}$:

$$\tilde{\mu}_{(j,i)} = \mu_{(j,i)} + \frac{(2p_{(j)} - 1)a_{(j)}\lambda_{(j)}}{a_{(j)} + b_{(j)}} \tag{6}$$

对于修正后的波动率 $\tilde{\sigma}_{(j,i)}$, 有:

$$e^{(\sigma_{(j,i)}^2 + \frac{a_{(j)}b_{(j)}}{(a_{(j)}+b_{(j)})^2(a_{(j)}+b_{(j)}+1)} + \frac{a_{(j)}^2}{(a_{(j)}+b_{(j)})^2} + \frac{(4p_{(j)}-2)a_{(j)}}{a_{(j)}+b_{(j)}}\lambda_{(j)})\tau_{(j,i)}} - e^{\frac{(2p_{(j)}-1)a_{(j)}\lambda_{(j)}}{a_{(j)}+b_{(j)}}\tau_{(j,i)}} = e^{\tilde{\sigma}_{(j,i)}^2\tau_{(j,i)}} - 1 \tag{7}$$

因此可以得到修正后的上升比例和下降比例:

$$\begin{aligned} \tilde{u}_{(j,i)} &= e^{\tilde{\mu}_{(j,i)}\tau_{(j,i)}} + \sqrt{\frac{\tilde{\sigma}_{(j,i)}^2\tau_{(j,i)}(1 - q_{(j,i)})}{q_{(j,i)}}} \\ \tilde{d}_{(j,i)} &= e^{\tilde{\mu}_{(j,i)}\tau_{(j,i)}} - \sqrt{\frac{\tilde{\sigma}_{(j,i)}^2\tau_{(j,i)}q_{(j,i)}}{1 - q_{(j,i)}}} \end{aligned} \tag{8}$$

从而可以得到阶段结束时刻的上涨状态现金流和下跌状态现金流,当考虑到另一个研发项目对本项目的博弈影响时,有:

$$\begin{aligned} S_{(j,i)}^u &= k_{(j)} S_{(j,i)} \tilde{u}_{(j,i)} \\ S_{(j,i)}^d &= k_{(j)} S_{(j,i)} \tilde{d}_{(j,i)} \end{aligned} \tag{9}$$

按照无套利均衡的思想,可以构造出风险中性概率,如下:

$$g_{(j,i)} = \frac{e^{r\tau_{(j,i)}} - \tilde{d}_{(j,i)}}{\tilde{u}_{(j,i)} - \tilde{d}_{(j,i)}} \tag{10}$$

因此有期权计算公式为:

$$V_{(j,1)} = E_{(j,1)} + S_{(j,1)} - I_{(j,1)} \tag{12}$$

当 $V_{(j,1)} > 0$ 时,研发项目第一阶段可以进行开

发,当 $V_{(j,1)} \leq 0$ 时,研发项目被放弃。

对于 $i > 1$ 的阶段,根据前面的假设,应该有 $E_{(j,i)} > I_{(j,i)}$,即本阶段项目的期权价值要大于阶段初期的投资成本,否则,项目不必进入阶段执行过程,在上一阶段成功结束后,立即中止项目,获得其阶段结束后的项目现金流。除了第一阶段,研发项目在后续的每一个阶段的处理过程中都需要进行这种判断处理。即:

$$\begin{cases} \text{进入下一阶段} & E_i > I_i (i > 1) \\ \text{中止研发项目} & E_i \leq I_i (i > 1) \end{cases} \quad (13)$$

对于上一阶段结束后的项目现金流,通过对现金流求数学期望得到,即:

$$S_{(j,i)} = S_{(j,i-1)} \times e^{(\rho_{(j,i)} - \frac{(2\rho_{(j,i)} - 1)a_{(j)}\lambda_{(i)}}{a_{(j)} + b_{(j)}})\tau_{(j,i)}} \quad (14)$$

根据系统项目选择状态,整个动态选择系统的效用函数为:

$$L = L_{(1)} + L_{(2)} \\ L_{(j)}(i, S_{(j)}, n_{(1)}, n_{(2)}, c_{(1)}, c_{(2)}) =$$

$$e^{-r \sum_{k=1}^{i-1} \tau_{(j,k)}} E[\max(V_{(j,i)} - I_{(j,i)}, 0)] \quad (15)$$

对于项目初始阶段的进入选择,需要考虑其带期权的项目现金流的大小,同时还需要比较两者第一阶段的研发时间长度,根据前面的假设,当某个研发项目阶段成功结束后,会对在研项目的现金流产生影响,不妨假设项目 1 第一阶段的研发周期较长,研发项目 2 第一阶段的研发周期较短。对于研发项目 1 和 2,有:

第一阶段进入时带有期权的现金流为:

$$V_{(j,1)} = E_{(j,1)} + S_{(j,1)} - I_{(j,1)} \quad (16)$$

对于研发项目 1,由于第一阶段的研发周期较长,在其还未进行到项目阶段结束时刻,研发项目 2 第一阶段按照成功概率 $q_{(B,1)}$ 完成,根据前面的假设,如果研发项目 2 成功完成,则研发项目 1 将受到其负面影响,影响系数为:

$$k_A = \frac{m}{m+1} \quad (17)$$

需要利用变化后的博弈影响系数,重新计算项目 1 的现金流情况,考虑到研发项目 2 第一阶段的成功概率,其阶段结束后的影响系数也将具有概率的不确定性,有:

$$k_A = q_{(B,1)} \times \frac{m}{m+1} + (1 - q_{(B,1)}) \quad (18)$$

将重新计算后的 k_A 带入到前面的计算公式中,可以求出项目 1 在博弈情况下的带有期权的现金流的价值 $V'_{(A,1)}$,很显然, $V'_{(A,1)}$ 比 $V_{(A,1)}$ 小,当 $V'_{(A,1)} \leq 0$ 时,其不再具有投资的价值。

如果研发项目 1 第一阶段的研发周期足够长到比研发项目 2 第二阶段,甚至第三阶段、第四阶段的研发周期还要长时,则需要考虑到这几个阶段影响乘积,得到考虑到成功概率后的影响系数为:

$$k_A = \prod_{i=1}^{i_{\max}} (q_{(B,i)} \times \frac{m}{m+i} + (1 - q_{(B,i)})) \quad (19)$$

上式中 i_{\max} 为研发项目 2 各个阶段的研发周期之和小于研发项目 1 第一阶段的研发周期的最大值,即:

$$i_{\max} = \max(i: \sum_{l=1}^i \tau_{(B,l)} < \tau_{(A,1)}) \quad (20)$$

对于 $i > 1$ 的阶段,研发项目需要计算阶段执行的期权值,并与阶段投资额进行比较,在这个比较过程中还需要考虑到两个项目成功完成的阶段计数,并根据这两个计数值计算影响系数,从而得到在博弈情况下带有期权的现金流的价值,进而对两个研发项目各个阶段的投资决策进行分析和判断。

4 动态选择场景

4.1 投资决策状态

本文通过对研发项目不同参数加以限定,可以得到不同的最优投资决策状态。根据前面的讨论,考虑研发项目都可以典型地分为 4 个阶段,同时研发项目根据某种参数设置场景可能在初期被放弃,或者在项目执行过程中被放弃,因此每个研发项目将具有 5 种不同的投资状态。将两个项目不同投资决策状态进行组合,可以得到两个研发项目的投资状态一共为 $5 \times 5 = 25$ 种,动态选择模型将在这 25 个状态中根据不同的参数组合场景进行状态的切换。

动态选择模型在进行状态切换时,有可能存在于一个研发项目的状态发生变化,也有可能存在于两个研发项目的状态都发生变化,但都需遵从:下一个转变状态所对应的研发阶段只能是上一个状态所对应的研发阶段数加 1,或者项目被放弃,从而造成该项目下一个转变状态所对应的研发为 0。根据这种限制条件可以画出 25 个状态之间的转变关系,为了更好地区分初始选择状态和项目完全放弃状态,将这两个不同意义所对应的状态 $(0,0)$ 分成了两个在图 1 中进行标示。

在图 1 中,每一个箭头代表了一条状态之间转换的路径,从图中可以看出:状态与状态之间有着复杂的转换关系,同时图中存在四个投资决策状态静止点,即:项目完全放弃状态 $(0,0)$ 、状态 $(4,0)$ 、状

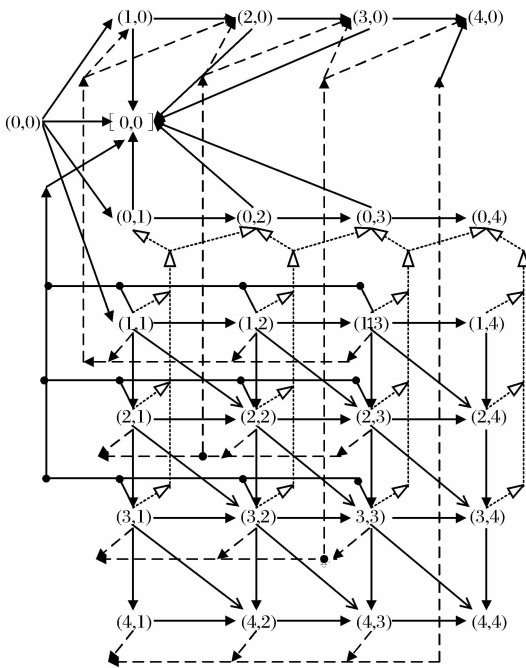


图 1 投资决策状态切换

态 (0,4) 和状态 (4,4)。在图 1 中,当其他状态切换到上述四个状态中时,则整个投资决策状态冻结,不能再进行转换,直到项目生命周期结束。

4.2 状态切换条件

对于不同的投资决策场景之间的切换,涉及到项目的投资决策判断和博弈影响。比如对于从状态 (0,0) 切换到 (1,0), 研发项目 1 得到了执行,而研发项目 2 被放弃,研发项目 1 的后续阶段根据其项目中止决策进行投资决策判断处理。形成这种路径的基本条件如下:

$(0,0) \rightarrow (1,0) \dots$

$$\left\{ \begin{array}{l} V_{(1,1)} > 0, (k_{(1)} = 1) \\ V_{(2,1)} \leq 0, \left\{ \begin{array}{l} k_{(2)} = \prod_{i=1}^{i_{\max}} (q_{(1,i)} \times \frac{m}{m+i} + (1-q_{(1,i)})) \\ i_{\max} = \max(i; \sum_{l=1}^i \tau_{(1,l)} < \tau_{(2,1)}) \end{array} \right\} \tau_{(1,1)} < \tau_{(2,1)} \end{array} \right\} \tau_{(1,1)} < \tau_{(2,1)}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} V_{(1,1)} > 0, (k_{(1)} = 1) \\ V_{(2,1)} \leq 0, (k_{(2)} = 1) \end{array} \right\} \tau_{(1,1)} \geq \tau_{(2,1)} \quad (21)$$

对于两个项目第一阶段的博弈,当研发项目 1 的第一阶段研发周期小于研发项目 2 第一阶段研发周期时,研发项目 1 的成功完成会对研发项目 2 产生压力,因此研发项目 2 第一阶段的现金流还需要考虑到博弈影响,如果其考虑到博弈影响后的带有期权的现金流不大于 0,则其不具有投资意

义,如果研发项目 2 第一阶段的研发周期足够大到可以和第一个研发项目几个阶段研发周期之和相比时,则需要将博弈影响系数进行连乘处理;如果研发项目 1 的第一阶段研发周期大于研发项目 2 第一阶段研发周期时,则研发项目 2 的带期权的现金流必须不大于 0,同时对于研发项目 1,由于第二个研发项目的投资决策已经知晓:放弃,所以第二个研发项目不会对第一个研发项目产生博弈影响,只需要考虑其本身带期权的现金流与第一阶段投资额的大小即可。

经过了第一阶段的选择,对于第一个研发项目的后续阶段,需要根据每个阶段结束后的中止决策准则来进行后续的投资决策处理。对于其他状态间的切换条件可以采用类似的方法分析和处理。

5 算例分析

5.1 投资决策场景路径

下面本文采用一个具体的算例来说明前面的动态选择过程,动态选择系统中存在两个典型研发项目,一个研发项目为基础研究项目,另外一个项目为应用研究项目。这两类研发项目可以代表企业实际遇到的典型研发项目情况。

两个项目的参数如表 2 所示。从表中数据的对比可以看出:研发项目 1 为基础研究项目,最终研究成功能为企业带来的现金流巨大,但是风险也大,研发项目 2 为应用研究,最终研究成功能为企业带来的现金流较小,但是风险也小,同时研发项目 1 和研发项目 2 各阶段的周期也不尽相同。

根据二叉树决策法,可以算出研发项目 1 折算到投资点的净现金流为 120 万,而研发项目 2 折算到投资点的净现金流为 62 万,根据这两个值,可以得出基础研究项目具有较大的净现金流量。

考虑到研发项目灵活投资策略,可以求出研发项目 1 和研发项目 2 第一阶段的含有期权的净现金流分别为 300 万和 127 万。由于研发项目 2 的开发周期短,研发项目 2 阶段成功结束后会对研发项目 1 的执行造成博弈影响,因此对于研发项目 1 在投资点进行投资决策,应该对研发项目 2 带来的博弈影响进行规避。对于整个投资决策系统,给定决策基准参数 $m = 5$ 。

根据研发项目 1 和研发项目 2 各个阶段的开发周期,可以看出研发项目 2 的第一阶段将在研发项目 1 第一阶段的开发过程中,因此对于研发项目 1,研发项目 2 第一阶段造成的博弈影响值为 0.9,从

而可以求出研发项目1在考虑博弈影响下的带有期权的净现金流为:275万,将这个值与前面没有考虑到博弈影响计算出来的值对比,显然博弈影响降低了研发项目1第一阶段的价值。由于研发项目2第一阶段含有期权的净现金流也大于0,所以两个项目被同时选择投资,投资决策系统从状态(0,0)进入到状态(1,1)。

表2 研发项目参数

A、研发项目1(基础研究)

	阶段1	阶段2	阶段3	阶段4
阶段成功概率 q_i (%)	0.45	0.4	0.6	0.6
投资成本 I_i (万元)	150	160	120	150
阶段持续时间 τ_i (年)	2	2.5	2	1.5
残值 C_i (万元)	150	250	320	540
竞争风险强度 λ_i	3	3	3	3
竞争风险参数 a_i	2	2	2	2
竞争风险参数 b_i	3.4	3.4	3.4	3.4
竞争风险正向概率 p_i	0.5	0.5	0.5	0.5
漂移率 μ_i	0.05	0.05	0.05	0.05
波动率 σ_i	0.2	0.2	0.2	0.2
最终现金流估计	9000 万			

B、研发项目2(应用研究)

	阶段1	阶段2	阶段3	阶段4
阶段成功概率 q_i (%)	0.5	0.6	0.7	0.7
投资成本 I_i (万元)	100	50	50	100
阶段持续时间 τ_i (年)	1.5	1	1.5	1
残值 C_i (万元)	50	80	140	150
竞争风险强度 λ_i	3	3	3	3
竞争风险参数 a_i	2	2	2	2
竞争风险参数 b_i	3.4	3.4	3.4	3.4
竞争风险正向概率 p_i	0.5	0.5	0.5	0.5
漂移率 μ_i	0.05	0.05	0.05	0.05
波动率 σ_i	0.1	0.1	0.1	0.1
最终现金流估计	2000 万			

对于状态(1,1)进行分析,一共有8个后续状态可以进行切换,以状态(1,1)为基准来看,研发项目2先进入到第二阶段,研发项目1前两个阶段的研发时间长度大于研发项目2前两个周期的研发时间长度,同时研发项目1第一阶段结束时刻将落在研发项目2第二阶段执行时间中,所以需要考虑到研发项目1第一阶段成功结束对研发项目2第二阶段造成的博弈影响,由于两个项目都只有一个阶段成功结束,所以在这种情况下博弈影响系数为1,可以计算研发项目2第二阶段期权值为117万,而第二阶段的投资额为50万。根据投资决策准则,研发项目2将值得进行第二阶段的开发,而此时研发项目1还在第一阶段的执行过程中,系统投资决策从状态(1,1)进入到状态(1,2)。

对于状态(1,2)进行分析,同样一共有8个后续状态可以进行切换,根据研发项目1和研发项目2各个阶段的研发周期,可以看出研发项目2第三个阶段也将在研发项目1第2个阶段的执行过程中结束,因此对于研发项目1在进行第二阶段的投资决策时,必须要考虑到研发项目2第三阶段的博弈影响。通过计算,求得博弈影响系数为0.8,从而可以求出带有博弈影响的研发项目1第二阶段的期权值为150万,而研发项目1第二阶段需要的投资额为160万,因此对于研发项目1来说,其第二阶段期权价值小于需要的投资额。根据前面模型中讨论的投资决策准则,研发项目1不需要进入到第二阶段,当第一阶段结束后,将其所体现出的价值兑现,即可实现研发项目1为企业带来的现金流。在这种情况下,系统投资决策从状态(1,2)进入到状态(0,2)。

从状态(0,2)开始,整个投资决策系统只有研发项目2参与了决策过程,研发项目1在第一阶段结束后已经被冻结兑现,所以研发项目1不会对研发项目2再次产生博弈影响,根据研发项目2本身各个阶段的期权值和投资额进行比较,可以得到后续的投资决策过程。

整理整个系统投资决策过程,可以得到如下的最佳投资决策场景路径:(0,0)→(1,1)→(1,2)→(0,2)→(0,3)→(0,4),研发项目2将会一直选择继续投资,直到其生命周期结束。

5.2 敏感性分析

下面探讨研发项目1和研发项目2某些参数的改变对最佳投资决策场景路径的影响。可以验算当研发项目1的最终估计现金流大于9452万时,研发项目1第二阶段的期权值将大于第二阶段的投资额,因此研发项目1第二阶段将值得投资,但是,研发项目1第二阶段的选择,将会对研发项目2后续阶段造成博弈影响,从而使得研发项目2从值得投资转变到不值得投资。在这种情况下,研发项目1最终现金流将比之前大452万,反映到投资点,研发项目1的净现金流为131万,比之前的值增加11万,从而改变了研发项目1的投资决策过程。从这里可以看出,当研发项目最终能为企业带来的现金流增多时,其投资可能性增大。

接下来将讨论其他的参数与最佳投资决策场景路径的关系。当研发项目1的最终现金流回到9000万,增大研发项目1第二阶段的成功可能性,可以验算当研发项目1第二阶段成功可能性增大到0.42时,研发项目1第二阶段的期权价值将大于第

二阶段的投资额,因此在这种情况下研发项目 1 第二阶段值得投资;当改变其他阶段的成功可能性时,也会增大研发项目 1 的投资可能性,当研发项目成功可能性增大时,其投资可能性增大。

当保持研发项目 1 和研发项目 2 原始参数不变,增大其竞争影响正向概率时,可以验证当研发项目 1 第二阶段竞争影响正向概率增大到 0.67 时,同样研发项目 1 第二阶段将值得投资,当改变其他阶段正向竞争影响概率时,同样会得到相似的结论。因此,当外部竞争有利于研发项目开发时,研发项目的投资可能性将增大。

当保持研发项目 1 和研发项目 2 原始参数不变,增大研发项目 1 第二阶段波动率的估计,可以验证当波动率增大到 0.37 时,研发项目 1 第二阶段将值得投资,同样增大其他几个阶段的波动率会得到类似结果。而增大研发项目现金流的波动率从本身增大了研发项目现金流的不确定性,但同时也增大了研发项目的投资机会性。因此,当研发项目的波动率增加时,将会增加其投资可能性。

当保持研发项目 1 和研发项目 2 原始参数不变,增大外部竞争风险的强度,可以验算当研发项目 1 第二阶段竞争强度增大到 3.6 时,研发项目 1 第二阶段将具有投资价值,改变外部竞争风险强度对研发项目投资决策的影响与研发项目波动率的影响原理一致。外部竞争风险强度越大,则单位时间内发生外部竞争风险的可能性也越大,虽然增大了研发项目现金流的不确定性,但同时也增大了研发项目的投资灵活性。因此,当研发项目竞争风险强度增大时,其可投资也随着增大。

当保持研发项目 1 和研发项目 2 原始参数不变,减小研发项目阶段投资额,可以验算当研发项目 1 第二阶段投资额小于 152 万时,其第二阶段将具有投资价值。因此,对于研发项目需要正确评估每个阶段的投资额,当其需要投资减少时,将能增大其投资可能性。

当保持研发项目 1 和研发项目 2 原始参数不变,改变博弈影响基准参数 m 时,可以验算当 $m \geq 7$ 时,研发项目 1 第 2 阶段将具备投资价值。从博弈系数的计算公式可以看出,当 m 越大时,两个博弈的研发项目的成功阶段计数相对于 m 的取值就越小,博弈系数就越接近于 1,研发项目之间的博弈影响也越小。从前面的讨论可知,对于算例所给出的研发项目参数,当存在博弈影响时,研发项目的期权价值将降低。因此,增大博弈影响基准参数,将增大

研发项目的可投资性。

总结上述分析过程,可以得到影响研发项目投资影响范围概念图,如图 2 所示。

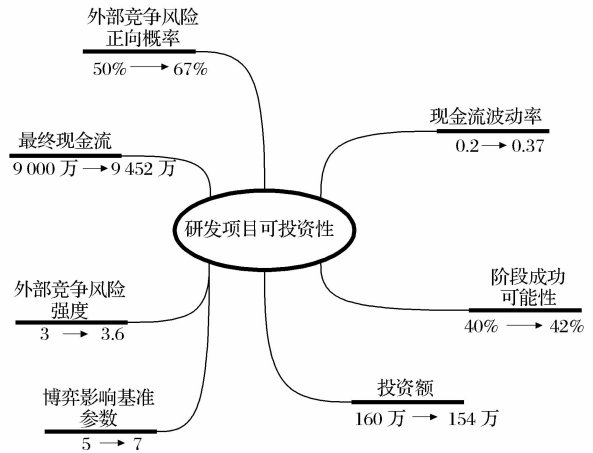


图 2 研发项目可投资性

从上面的分析可以看出,本文提出的研发项目动态投资决策模型结合了研发项目的阶段性,构造了风险条件下多个研发项目的博弈模型,实现了企业内部不同研发项目的决策评估,从而达到了公司资源的最优动态配置。

6 结语

在本文中,针对研发项目多阶段性的特点,利用博弈思想,探讨了同一个企业内两个不同类型的研发项目的动态选择模型。

本文考虑了研发项目本身所特有的市场风险、技术风险和突发风险,并对同一企业内部项目之间的博弈情况进行比较优势建模。这种比较优势来源于研发项目之间的博弈和其阶段成功结束后对在研项目的影响。通过在投资决策点上规避这种博弈风险,最终实现对多个研发项目进行最优投资决策的目标。基于此,分析研发项目投资决策状态,并根据两个研发项目状态的组合情况,构建了二十五个状态切换的场景,状态与状态之间的切换取决于项目投资决策判断和博弈影响。针对每个场景切换的条件进行分析,得到了动态选择的路径条件。最终通过典型案例分析对研发项目动态投资决策模型进行了验证,实现了企业内部资源的最优动态配置过程。

参考文献:

[1] Alcántar Á S. Incertidumbre en los proyectos de investigación y desarrollo Un estudio de la literatura (I+D)[J]. Contaduría y Administración, 2010,55(232):66

- 81.
- [2] Asher D T. A linear programming model for the allocation of R&D efforts[J]. *Engineering Management, IRE Transactions on*, 1962,9(4): 154—157.
- [3] Baker N R, Pound W H. R & D project selection: Where we stand[J]. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 1964, 11(4): 124—134.
- [4] Henriksen A D, Traynor A J. A practical R&D project-selection scoring tool [J]. *Engineering Management, IEEE Transactions on*, 1999, 46(2): 158—170.
- [5] Beaujon G, Marin S, McDonald G. Balancing and optimizing a portfolio of R&D projects[J]. *Naval Research Logistics*, 2001, 48(1): 18—40.
- [6] Dickinson M W, Thornton A C, Graves S. Technology portfolio management: Optimizing interdependent projects over multiple time periods[J]. *Engineering Management, IEEE Transactions on*, 2001, 48(4): 518—527.
- [7] Tian Qijia, Ma Jian, Liu Ou. A hybrid knowledge and model system for R&D project selection [J]. *Expert Systems with Applications*, 2002, 23(3): 265—271.
- [8] Sun Hangyi, Ma Tianchao. A packing-multiple-boxes model for R&D project selection and scheduling [J]. *Technovation*, 2005, 25(11): 1355—1361.
- [9] Lawson C P, Longhurst P J, Ivey P C. The application of a new research and development project selection model in SMEs[J]. *Technovation*, 2006, 26(2): 242—250.
- [10] Fernandez E, Lopez F, Navarro J, et al. Intelligent techniques for R&D projects selection in large social organizations[J]. *Computacion y sistemas*, 2006, 10(1): 28—56.
- [11] Henriksen A D P, Palocsay S W. An excel-based decision support system for scoring and ranking proposed R&D projects[J]. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 2008, 7(03): 529—546.
- [12] Kim Y J, Sanders G L. Strategic actions in information technology investment based on real option theory[J]. *Decision Support Systems*, 2002,33(1):1—11.
- [13] Yao Tao. R&D investment dynamics under uncertainty: Theory and application[D]. Stanford: Stanford University,2005.
- [14] 汪涛. 有资源约束的 R&D 项目选择模型的决策方法 [J]. *华中理工大学学报*, 2000, 28(5):72—74.
- [15] 鲍玉昆, 张金隆. 基于 BP 神经网络的科技项目评标模型[J]. *华中科技大学学报: 自然科学版*, 2002, 30(8):85—87.
- [16] 杜先进, 孙树栋, 王军强, 等. 不确定条件下考虑相互影响的研发项目组合选择优化[J]. *计算机集成制造系统*, 2007, 13(9): 1826—1832.
- [17] 寿涌毅, 宋淳江. 复杂产品系统研发项目合作伙伴选择优化[J]. *科研管理*, 2014, 35(10):144—149.
- [18] 谷晓燕, 何锋, 蔡晨. 风险条件下基于实物期权的研发项目多阶段评价模型. [J]. *中国管理科学*, 2011, 19(4):68—75.
- [19] 杨晓花, 夏火松, 谷伟, 等. 内生时机下多阶段 R&D 博弈的均衡行动顺序[J]. *中国管理科学*, 2014, 22(5): 83—90.

R&D Project Dynamic Investment Decision-making Model Based on Real Option

GU Xiao-yan

(School of information management of Beijing Information Science and Technology University, Beijing 100192, China)

Abstract: R&D project is an important means for enterprises to gain continuously a competitive advantage in the fierce market. The key during R&D investment decision-making problems is project selection. Compared to normal engineer projects, it is more difficult to accomplish R&D project evaluation and selection since it has complex, dynamic and innovation features. In this paper, we focus on multiple R&D projects selection problem in the same enterprise and build a dynamic selection model. Within this dynamic selection model, the effect on the under-going project by other R&D projects after their stage success is considered according to game philosophy. Then investment decision points will be conducted to avoid game risk, and finally the optimal investment decision objectives for multiple research projects will be realized.

R&D projects considered in this paper have market risk, technology risk, unexpected risks, and game risk in the same enterprise. Firstly, according to the characteristic of multi-stages for R&D project, project termination decision criterions are built by using twin securities theory under real options perspective.

Within each stage, the potential cash flow of R&D project follows a movement combination by geometric Brownian motion and Poisson motion. According to the non-arbitrage equilibrium principle, risk-neutral probability can be constructed. Then the cash flow of R&D projects can be converted to the investment point based on option pricing model. For the game risk among multiple R&D projects, the project which has accomplished more success stages will have more first-mover advantage than the project which has less success stages, thus the dominant project will have greater probability to get investments, and vice versa. The success stages numbers for different R&D projects will be observed and recorded. The project which has a greater success stage number will be assigned with a greater influence coefficient and the project that has a relatively smaller success stage number will be assigned with a smaller game factor. Thus the multiple R&D projects selection problem based on game theory can be quantized to values. According to the combination for R&D projects different success stages, a dynamical R&D projects multi-states selection scenario has been established. The transition between different states depends on investment decisions and game effects. By analyzing all of the transition conditions among different states, a corresponding software tool has been designed, which can be used to demonstrate multiple R&D projects dynamical selection results.

Atypical case has two typical R&D projects: one basic research project and one applied research project. The basic research project has along development cycle with great investment and low probability of success, however, it can bring in huge cash flow for enterprises after the success; the applied research project has a short development cycle with small investment and high success probability, however, the benefit reflected by cash flow is also small after success. Through dynamic game observation and sensitivity analysis by our tool, a R&D project investment impact concept map is established, and ultimately the optimal investment decision objectives of the two projects have been obtained.

Key words: R&D project; realoption; game theory; dynamic selection; investment decision