

DOI: 10.7652/xjtuxb201601023

工程研发在 Knight 不确定性下的最优投资决策

曹博洋¹, 姜明辉¹, 苗青²

(1. 哈尔滨工业大学管理学院, 150001, 哈尔滨; 2. 燕山大学艺术与设计学院, 066004, 河北秦皇岛)

摘要: 针对工程研发过程中所包含的 Knight 不确定性可能会造成投资上的损失,提出了工程研发投资决策模型。该模型以两个竞争性工程研发团队为例,量化了 Knight 不确定性对投资的影响,分析了团队自身和竞争者的投资决策,利用实物期权理论,对工程研发的决策收益进行评估,最后经过期权博弈得到了工程研发投资的最优决策。该模型考虑了竞争者的存在,可以精确地对工程研发的 4 种投资决策估值,由期权博弈分析得到的结果可知:实物期权的方法比传统的净现值方法的评估准确度有较大的提高,与不考虑不明确性偏好相比,工程研发在 Knight 不确定性下会有不同的最优投资决策,并且所得结果与实际投资决策经验更加相符,增强了投资决策制定的科学性,也保证了工程研发团队的竞争优势和收益最大化。

关键词: 工程研发;最优投资决策;期权博弈;Knight 不确定性

中图分类号: N945.25 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-987X(2016)01-0151-06

Optimal Investment Decision of Engineering R&D under Knight Uncertainty

CAO Boyang¹, JIANG Minghui¹, MIAO Qing²

(1. School of Economics and Management, Harbin Institute of Technology, Harbin 150006, China;

2. College of Art and Design, Yanshan University, Qinhuangdao, Hebei 066004, China)

Abstract: Aiming at the problem that in the process of engineering R&D Knight uncertainty could cause loss in investment, an engineering R&D investment decision model was proposed. This model took two competitive engineering R&D teams as the examples to quantify the Knight uncertainty, and analyze the investment decisions of the teams and their competitors. According to the real share option theory, the investment decision payoffs of the engineering R&D can be assessed. Through option game analysis, the optimal decisions are obtained under competitive conditions. The model can accurately evaluate four kinds of investment decisions; and the results show that real share option method is more improved than net present value method in the assessment of engineering R&D; there will be corresponding different optimal investment decisions under Knight uncertainty. The results also accord with the practical experience, ensuring the competitive advantage and profit maximization for engineering R&D teams.

Keywords: engineering R&D; optimal investment decisions; option game; Knight uncertainty

工程研发一直是创新领域的关注焦点,其特点是投资大、收益大、不确定性高。在机械、电气、生物医药、软件等工程方面的研究与发展都被称为工程

研发,要进行一段时间的大量投资,一旦成功,所带来的收益很高。工程研发主要依赖于团队的技术开发与创新,团队可以由高校或企业的大型实验室等

组成。工程研发具有的高度不确定性使得决策者预先无法确定具体的投资时机,导致工程研发所带来的收益达不到预期目标,因此准确评估工程研发的投资决策是十分重要的。

传统的投资决策方法,例如净现值法,单纯依靠对未来现金流的计算,无法反映工程研发投资决策的多种不确定性,因此经常低估并错误地拒绝有价值的投资机会,而实物期权理论能够充分考虑不确定性的价值,并认为拥有在未来某时间段内进行投资或放弃投资的权利都是有价值的,从而可以作为不确定性分析与工程研发决策管理的工具。

经典的期权定价模型,例如 Black-Scholes 模型等,都是在风险中性条件下推导的,假设风险概率测度是唯一存在的,并采用随机性来刻画定价问题的不确定性。工程研发的投资决策在实际中非常依赖于决策者的判断,文献[1]认为,决策者在制定决策时面临着 Knight 不确定性,也就是不明确性(ambiguity)。在利用经典实物期权模型进行评估时,这些 Knight 不确定性因素无法利用随机概率理论来描述。Knight 不确定性是决策者的主观因素,但是又是客观存在的,不能被忽略。文献[2]解释了决策者能够准确地加以观察、分析和预见的那部分不确定性为风险,其他称为 Knight 不确定性。Knight 不确定性的本质不是未知而是不可知,决策者做出投资决策时的主观因素通常就可被视为不明确性。为了更加广泛地在工程研发的投资决策中应用实物期权理论,就需要考虑不同的不明确性偏好。根据 Driouchi 等研究可以知道实物期权所遵循的布朗运动会发生不明确性的漂移,即需要遵循 Choquet-布朗运动^[3]。Ghosh 和 Troutt 发展了更复杂的多阶段复合式期权的模型,但是对于应用于实际还有很大距离^[4]。Thijssen 等仅定性研究了不确定性条件下的投资决策博弈^[5]。Koussis 等对投资中的跳跃进行估值,并发现有高频率的竞争威胁并有较低波动率的收益更大^[6]。

实物期权方法在不考虑其他工程研发竞争者战略影响的情况下,解决了工程研发收益量化的问题,但是对于竞争者的存在与 Knight 不确定性考虑的不足,往往造成对工程研发价值和收益计算的不准确性。本文从投资工程研发的角度,在考虑竞争者所带来影响的同时,对工程研发的多种不确定进行了量化分析和评估,并根据决策者可能做出的投资决策,在不同的不明确性偏好条件下,构建了工程研发投资决策模型,从而得到更加精确的实物期权价

值和量化的投资决策收益,最后经过期权博弈得到了工程研发的最优投资决策。通过传统净现值方法与不同市场价值下最优投资决策的对比,验证了模型的实用性和科学性。

1 包含 Knight 不确定性的工程研发基本实物期权模型

根据 Margrabe 的定义^[7],实物期权在工程研发中的解释就是在时刻 T 投资 I 得到了市场价值 V ,这个投资机会可以用欧式期权来计算。Driouchi 等利用微分方程推导了 Knight 不确定性下的欧式期权价值模型,并得到了解析解^[3],以此刻画了 Knight 不确定性下的工程研发价值。设定 V 和 I 都遵循 Choquet-布朗运动,单阶段欧式期权模型为

$$s = Ve^{-\epsilon T} N_1(d_1(K, T)) - Ie^{-RT} N_1(d_2(K, T)) \quad (1)$$

式中: $d_1(K, T) = \frac{\log K + (R - \epsilon + \sigma^2/2)T}{\sigma(T)^{1/2}}$; $d_2(K, T) = d_1(K, T) - \sigma(T)^{1/2}$, $\sigma = ((n\sigma_V)^2 - 2n^2\rho\sigma_V\sigma_I + (n\sigma_I)^2)^{1/2}$, σ_V 和 σ_I 为反映标的资产 V 和 I 价格波动的标准差, ρ 是 V 和 I 之间的相关性变化系数; $K = \frac{V}{I}$, n 为方差, $n = (4\beta(1-\beta))^{1/2}$, β 为 Knight 不确定性下的不明确性偏好系数,当 $\beta = 0.5 (m=0)$ 时为不明确性偏好中性,也就是经典实物期权中的风险中性,是 Knight 不确定性下的特例^[3],当 $0 < \beta < 0.5 (m < 0)$ 时决策者为不明确性厌恶型,当 $0.5 < \beta < 1 (m > 0)$ 时为不明确性喜好型; $\epsilon = \frac{\mu(\sigma(1-n)-m)}{n\sigma}$ 为 Knight 不确定性系数, $\mu = \mu_V + m\sigma_V - \mu_I - m\sigma_I + (n\sigma_I)^2 - \rho(n\sigma_V)(n\sigma_I)$, μ_V 和 μ_I 为标的资产的收益率; m 为维纳过程的均值, $m = 2\beta - 1$; $R = -\frac{m\mu}{n\sigma}$ 为贴现率; N_1 为标准正态分布函数。

因为工程研发投资有阶段性的特征,每个阶段之间互相嵌套,所以可以用复合期权来进行评价。Carr 等推导出了两阶段复合欧式期权模型^[8-9],本文在考虑了 Knight 不确定性之后可得

$$\begin{aligned} c &= Ve^{-\epsilon T} N_2(d_1(\frac{K}{K^*}, t_1), \\ &d_1(K, T); \tau) - Ie^{-RT} N_2(d_2(\frac{K}{K^*}, t_1), \\ &d_2(K, T); \tau) - I_1 e^{-Rt_1} N_1(d_2(\frac{K}{K^*}, t_1)) \end{aligned} \quad (2)$$

式中: $d_1(\frac{K}{K^*}, t_1) = \frac{\log(K/K^*) + (R - \epsilon + \sigma^2/2)t_1}{\sigma(t_1)^{1/2}}$;

$d_2(\frac{K}{K^*}, t_1) = d_1(\frac{K}{K^*}, t_1) - \sigma(t_1)^{1/2}$; $T > t_1$, t_1 为期权的到期日, $t_2 = T - t_1$, 且 $\tau = (\frac{t_1}{T})^{1/2}$; I_1 为 t_1 时刻的投资成本; K^* 为 K 的临界值, 且为 $K^* e^{-\alpha_2} N_1 \cdot (d_1(K^*, t_2)) - e^{-R_2} N_1 (d_2(K^*, t_2)) = \frac{I_1}{I}$ 的解; N_2 是标准二元正态分布函数。

2 包含 Knight 不确定性的工程研发投资决策收益分析

在工程研发动态竞争中, 竞争者通常可分为先进行工程研发的先行者团队和后进行工程研发的跟随者团队, 跟随者虽然常常在先行者后面进行工程研发投资, 但是并不代表先行者无往不利, 反而由于拥有更多时间收集信息, 跟随者最终赢得竞争的例子并不少见。由于整个市场的大小在一定时间内是固定的, 并且跟随者的进入对先行者的收益是有影响的, 因而作为先行者, 在进行投资决策时也要充分考虑到跟随者可能采取的决策, 这就需要每个工程研发团队在制定投资决策时对所有可能的决策收益和竞争者的收益进行评估。

在工程研发投资过程中, 除了 Knight 不确定性之外还含有技术不确定性, 可用工程研发的研发成功率来描述。假定工程研发存在团队 A 和团队 B 两个竞争对手, 研发成功率分别用 q 和 p 来表示。设定团队 A 为研发优势团队, 团队 B 为劣势团队, 因此 $q > p$ 。可规定先行者在 t_0 时刻对工程研发投资, 早于跟随者团队, 两个团队的启动投资 I_1 和后期工程研发成果市场化的投资 I 是一样的。但是, 两个团队所占市场份额不同, 先行者占 α , 跟随者占 $1 - \alpha$, 且 $\alpha > 0.5$ 。

根据欧式期权的定义, 所有的决策点必须是固定的, 所以团队所有的投资要在决策点 t_0 时刻定下来。由于在 t_0 、 t_1 时刻都不投资, 相当于放弃项目, 导致实物期权价值为零, 可不做研究, 因此本文考虑了团队可能做出的 4 种投资决策: 在 t_0 时刻抢先投资成为先行者; 推迟到 t_1 时刻投资成为跟随者; 与另一个团队 t_0 时刻共同抢先投资; 与另一个团队在 t_0 时等待时机, 再在 t_1 时刻共同投资。

2.1 先行者收益

如果团队 A 作为先行者在 t_0 时刻抢先投资工程研发, 跟随者团队 B 决定等待。在这个情况下, 先行者团队 A 占有整个市场价值 V 的 α , 期权价值为 $s(\alpha V, I, T)$ 。Pennings 等对收益的计算为期权

价值减去 t_0 时刻投资^[10], 由此可知, 进行投资 I 的必要条件是期权价值 $s(\alpha V, I, \tau)$ 要高于 I_1 的价值, 只有这样才会产生收益。先行者是要在 t_0 时刻进行投资 I_1 , 直到时刻 T 进行下一步商业化投资 I , 因此可以应用单阶段欧式期权模型。根据式(1), 本文得到 t_0 时刻团队 A 收益为

$$L_A = qs(\alpha V, I, T) - I_1 = q(\alpha V e^{-\epsilon T} N_1(d_1(K, T)) - I e^{-RT} N_1(d_2(K, T))) - I_1 \quad (3)$$

类似地, 如果团队 B 为先行者投资工程研发, 团队 A 为跟随者, 本文可得团队 B 的收益为

$$L_B = p(\alpha V e^{-\epsilon T} N_1(d_1(K, T)) - I e^{-RT} N_1(d_2(K, T))) - I_1 \quad (4)$$

2.2 跟随者收益

设定两团队对工程研发的研发时间相同, 则跟随者团队期权到期时间从 T 延迟到为 $T + t_1$ 。根据 Eschenbach 等的研究, 跟随者由于延迟投资导致市场价值中出现延迟价值^[11], 即 $Y = (1 - e^{-R_1})V$, 因此跟随者市场价值减小为 $V' = V - Y$, 同时投资 I 由于延迟转变为 $I' = \frac{I}{(1+R)^{t_1}}$ 。在投资 I_1 之后, 跟随者团队 B 占据了全部市场的 $1 - \alpha$ 份额, 执行价格为 $s((1 - \alpha)V', I', \tau)$ 。跟随者要在 t_1 时刻进行投资 I_1 , 直到时刻 $T + t_1$ 进行下一步商业化投资 I , 因此需要应用复合期权模型。根据式(2), 本文得到 t_0 时刻团队 B 作为跟随者的收益为

$$G_B = c(ps((1 - \alpha)V', I', (T + t_1)), I_1, t_1) \quad (5)$$

本文把延迟投资行为与复合期权结合, 可以得到团队 B 的跟随者收益为

$$G_B = p(e^{-\epsilon(T+t_1)-R_1} (1 - \alpha) V N_2(d_1(\frac{K}{K_B^*}, t_1), d_1(K, (T + t_1)); \tau) - \frac{I}{(1+R)^{t_1}} e^{-R(T+t_1)} N_2(d_2(\frac{K}{K_B^*}, t_1), d_2(K, (T + t_1)); \tau)) - I_1 e^{-R_1} N_1(d_2(\frac{K}{K_B^*}, t_1))) \quad (6)$$

$$K_B^* \text{ 是临界值, } I_1 = ps((1 - \alpha)V', I', T), \text{ 则 } \frac{I_1}{I'} = \frac{(1+R)^{t_1} I_1}{I} = p(e^{-\epsilon(T+t_1)-R_1} (1 - \alpha) K_B^* N_1(d_1(K_B^*, T)) - e^{-RT} N_1(d_2(K_B^*, T))) \quad (7)$$

同样地, 本文得到了团队 A 的跟随者收益为

$$G_A = q(e^{-\epsilon(T+t_1)-R_1} (1 - \alpha) V N_2(d_1(\frac{K}{K_A^*}, t_1), d_1(K, (T + t_1)); \tau) - \frac{I}{(1+R)^{t_1}} e^{-R(T+t_1)} N_2(d_2(\frac{K}{K_A^*}, t_1), d_2(K, (T + t_1)); \tau)))$$

$$N_2(d_2(\frac{K}{K_A^*}, t_1), d_2(K, (T+t_1)); \tau)) - I_1 e^{-Rt_1} N_1(d_2(\frac{K}{K_A^*}, t_1)) \quad (8)$$

其中 K_A^* 是临界值, 可得

$$(1+R)^{t_1} I_1 = qI(e^{-\epsilon(T+t_1)-Rt_1}(1-\alpha)K_A^* \cdot N_1(d_1(K_A^*, T)) - e^{-RT} N_1(d_2(K_A^*, T))) \quad (9)$$

2.3 两个团队同时投资的收益

如果在 t_0 时刻团队 A 和 B 决定同时投资工程研发, 可以设团队 A 和 B 可以获取到相同比例的市场份额, 即 $\alpha=0.5$ 。由于两个团队对工程研发投资相同, 因此团队 A 与 B 各自拥有期权 $s(0.5V, I, T)$ 。两个团队是要在 t_0 时刻进行投资 I_1 , 直到时刻 T 进行下一步商业化投资 I , 因此可以应用单阶段欧式期权模型。根据式(1), 在 t_0 时刻投资工程研发时, 本文得到团队 A 和 B 的收益分别为

$$T_A = qs(0.5V, I, T) - I_1 = q(0.5Ve^{-\epsilon T} \cdot N_1(d_1(K, T)) - Ie^{-RT} N_1(d_2(K, T))) - I_1 \quad (10)$$

$$T_B = p(0.5Ve^{-\epsilon T} N_1(d_1(K, T)) - Ie^{-RT} \cdot N_1(d_2(K, T))) - I_1 \quad (11)$$

2.4 两个团队等待时机再同时投资的收益

如果在 t_0 时刻两个团队都决定推迟他们的工程研发投资, 两个团队期权到期时间同为 $T+t_1$, 并且两个团队市场占有率也相等。在时刻 t_1 投资 I_1 之后, 团队 A 或 B 拥有的期权分别为 $s(0.5V', I', \tau)$ 。两个团队在 t_1 时刻进行投资 I_1 , 直到时刻 $T+t_1$ 进行下一步商业化投资 I , 因此可用应用复合期权模型。根据式(2), 在 t_0 时刻, 本文得到先等待时机再共同投资的团队 A 收益为

$$D_A = c(qs(0.5V', I', (T+t_1)), I_1, t_1) = q(0.5Ve^{-\epsilon(T+t_1)-Rt_1} N_2(d_1(\frac{K}{K_A^{**}}, t_1), d_1(K, (T+t_1)); \tau) - \frac{I}{(1+R)^{t_1}} e^{-R(T+t_1)} \cdot N_2(d_2(\frac{K}{K_A^{**}}, t_1), d_2(K, (T+t_1)); \tau)) - I_1 e^{-Rt_1} N_1(d_2(\frac{K}{K_A^{**}}, t_1))) \quad (12)$$

K_A^{**} 是临界值, $I_1 = qs(0.5V', I', T)$, 则

$$\frac{I_1}{I'} = \frac{(1+R)^{t_1} I_1}{I} = q(0.5e^{-\epsilon(T+t_1)-Rt_1} K_A^{**} \cdot N_1(d_1(K_A^{**}, T)) - e^{-RT} N_1(d_2(K_A^{**}, T))) \quad (13)$$

同理, 本文得到团队 B 收益为

$$D_B = p(0.5Ve^{-\epsilon(T+t_1)-Rt_1} N_2(d_1(\frac{K}{K_B^{**}}, t_1),$$

$$d_1(K, (T+t_1)); \tau) - \frac{I}{(1+R)^{t_1}} e^{-R(T+t_1)} \cdot$$

$$N_2(d_2(\frac{K}{K_B^{**}}, t_1), d_2(K, (T+t_1)); \tau)) -$$

$$I_1 e^{-Rt_1} N_1(d_2(\frac{K}{K_B^{**}}, t_1)) \quad (14)$$

K_B^{**} 是临界值, 且

$$(1+R)^{t_1} I_1 = pI(0.5e^{-\epsilon(T+t_1)-Rt_1} K_B^{**} \cdot N_1(d_1(K_B^{**}, T)) - e^{-RT} N_1(d_2(K_B^{**}, T))) \quad (15)$$

3 应用案例

在工程研发初始时刻的启动投资 $I_1=120\ 000$, 在对下阶段投资 $I=400\ 000$ 。参考股票期权的波动率, 市场价值 V 和投资 I 的波动率可以取 $\sigma_V=0.7$, $\sigma_I=0.4$, 相关变化系数为 0.15。根据历史收益率数据, 可以估算工程研发收益率 $\mu_V=0.2$, $\mu_I=0.15$ 。先行者团队市场占有率高于跟随者, 即 $\alpha=0.60$ 。 T 表示项目的进行时间, 采用 $T=3\text{ a}$ 。跟随者只能拥有较短的时间来获得更多的信息披露再投资, 可设 $t_1=0.5\text{ a}$ 。研发优势团队 A 的研发成功率 $q=0.7$, 研发劣势团队 B 的研发成功率 $p=0.6$ 。

根据决策收益分析, 可以得到中风险中性条件下工程研发优势团队 A 和劣势团队 B 的投资决策, 如表 1 所示。当市场价值 V 增加, 所有决策的收益都会增加, 而最优投资决策也会随之改变。在工程研发的竞争中, 团队 A 的最优决策还受到竞争者团队 B 的影响, 这就需要对该条件下的两个团队的收益进行博弈分析。以 $V=600\ 000$ 为例, 经过博弈分析, 可以得到团队 A 和 B 在风险中性条件下两个团队最优的投资决策为纳什均衡点 D_A 、 D_B 。当工程研发的市场价值较小就需要多观察其他团队的投资行为与市场动态, 然后再进行自身的投资。当工程研发的市场价值增加, 研发能力强的团队会首先尝试投资, 研发能力弱的团队则可能会继续等待, 以便找到更好的投资时机, 而市场价值很大时, 所有研发团队都会抢先投资来获得更大的市场占有率, 从而形成共同投资工程研发。

根据传统的净现值(NPV)方法, 由表 2 可知, 同样的市场价值下, 两个研发团队的决策都是放弃投资, 这不符合实际的投资经验。虽然市场价值较小, 但是同样有机会盈利, 因此用净现值方法评估工程研发会低估投资收益, 导致错误拒绝有价值的投资机会。

如果两个团队在工程研发投资时拥有相同的

明确性偏好,在 $V=700\ 000$ 时可计算出两个团队的投资决策收益,如表 3 所示。在不明确性偏好系数 $\beta=0.5$ 时,即风险中性条件下,团队 A 与 B 在工程研发投资的最优决策为 $L_A G_B$ 。在 $0<\beta<0.5$ 时,团队为不明确性厌恶型,其中 $\beta=0.1$ 时两个团队的投资决策都拥有所有不明确性偏好下的最大收益,虽然团队投资保守,但是在收益很大的情况下,团队还是选择同时投资。接近风险中性时,两个团队的投资决策收益都不大,研发优势团队偏向先投资,劣势团队作为跟随者。在 $0.5<\beta<1$ 时,团队为不明确性喜好型,投资决策收益增大,若 β 值较大,更加偏向于同时投资来作为最优投资决策。

当两个团队的不明确性偏好系数 β 不同时,工程研发投资决策博弈的结果如表 4 所示。当团队 A 的不明确性偏好系数 $0<\beta_A<0.5$ 时,如果团队 B 的系数为 $0<\beta_B<0.5$,大多数情况下研发能力弱的团队 B 工程研发最优决策是作为跟随者,而 $0.5<\beta_B$

<1 时的最优决策是作为先行者。当 $0.5<\beta_A<1$ 时,由于团队 A 研发能力强,又是不明确性喜好型团队,因此在 $0<\beta_B<0.5$ 时的团队 A 最优决策是作为先行者,在 $0.5<\beta_B<1$ 时,两个团队的最优决策大部分是同时投资。在竞争的环境中,不明确性厌恶型的团队虽然不喜欢 Knight 不确定性,但是在未来收益很大的情况下,对于竞争带来的威胁可以忽略不计,如 $\beta_A=0.4$ 、 $\beta_B=0.1$ 时的最优决策为 $G_A L_B$,而不明确性喜好型团队也可以在收益较小时不抢先投资,如 $\beta_A=0.1$ 、 $\beta_B=0.6$ 时的最优决策为 $L_A G_B$,不明确性厌恶型团队 A 可以作为先行者,不明确性喜好型团队 B 作为跟随者进行工程研发投入。但是,大多数情况下,不明确性喜好型团队普遍倾向于抢先投资工程研发来作为最优投资决策,因此本文中的计算和分析结果与现实中的投资经验相符,并且更加具有科学和精确性。

表 1 风险中性下团队 A 和 B 在本文模型下的投资收益与最优决策

V	L_A	T_A	G_A	D_A	L_B	T_B	G_B	D_B	最优决策
600 000	-4 545	-33 622	586	6 046	-21 038	-45 962	318	3 660	$D_A D_B$
650 000	10 707	-21 759	967	8 854	-7 965	-35 793	536	5 475	$L_A G_B$
750 000	42 386	3 027	2 250	16 723	19 188	-14 547	1 296	10 735	$L_A G_B$
800 000	58 733	15 883	3 225	21 862	33 200	-3 528	1 890	14 266	$L_A G_B$
1 000 000	126 802	69 796	10 153	50 645	91 545	42 682	6 305	34 881	$T_A T_B$

表 2 风险中性下团队 A 和 B 在净现值法下的投资收益与决策

V	L_A	T_A	G_A	D_A	L_B	T_B	G_B	D_B	决策
600 000	-154 553	-206 383	-251 991	-201 409	-154 553	-206 383	-251 991	-201 409	放弃
650 000	-128 638	-184 787	-235 130	-180 334	-128 638	-184 787	-235 130	-180 334	放弃
750 000	-76 808	-141 595	-201 409	-138 183	-76 808	-141 595	-201 409	-138 183	放弃
800 000	-50 893	-120 000	-184 549	-117 108	-50 893	-120 000	-184 549	-117 108	放弃
1 000 000	52 767	-33 616	-117 108	-32 806	52 767	-33 616	-117 108	-32 806	放弃

表 3 $V=700\ 000$ 时团队 A 和 B 在相同不明确性偏好下的投资收益与最优决策

β	L_A	T_A	G_A	D_A	L_B	T_B	G_B	D_B	最优决策
0.1	505 525	319 923	151 732	456 438	416 164	257 077	116 459	373 585	$T_A T_B$
0.2	39 524	-4 220	623	11 327	16 734	-20 760	331	6 908	$L_A G_B; G_A L_B$
0.3	7 179	-25 531	346	5 057	-10 989	-39 027	178	2 956	$L_A G_B$
0.4	10 797	-21 659	660	6 943	-7 887	-35 708	355	4 187	$L_A G_B$
0.5	26 365	-9 530	1 510	12 397	5 456	-25 312	854	7 818	$L_A G_B$
0.6	49 615	7 470	3 283	23 081	25 384	-10 739	1 948	15 237	$L_A G_B$
0.7	81 617	29 090	6 669	43 581	52 815	7 791	4 160	30 253	$T_A T_B$
0.8	132 172	58 454	12 887	80 414	96 148	32 960	8 675	60 007	$T_A T_B$
0.9	239 433	92 968	-406	-11 068	188 086	62 544	-225	-7 342	$T_A T_B$

表 4 $V=700\ 000$ 时不同的不明确性偏好下团队 A 和 B 的最优投资决策

β_A	最优投资决策								
	$\beta_B=0.1$	$\beta_B=0.2$	$\beta_B=0.3$	$\beta_B=0.4$	$\beta_B=0.5$	$\beta_B=0.6$	$\beta_B=0.7$	$\beta_B=0.8$	$\beta_B=0.9$
0.1	$T_A T_B$	$L_A G_B$	$L_A G_B$	$L_A G_B$	$L_A G_B$	$L_A G_B$	$T_A T_B$	$T_A T_B$	$T_A T_B$
0.2	$G_A L_B$	$L_A G_B; G_A L_B$	$L_A G_B$	$L_A G_B$	$L_A G_B$	$L_A G_B; G_A L_B$	$G_A L_B$	$G_A L_B$	$G_A L_B$
0.3	$G_A L_B$	$L_A G_B; G_A L_B$	$L_A G_B$	$L_A G_B$	$L_A G_B$	$L_A G_B; G_A L_B$	$G_A L_B$	$G_A L_B$	$G_A L_B$
0.4	$G_A L_B$	$L_A G_B; G_A L_B$	$L_A G_B$	$L_A G_B$	$L_A G_B$	$L_A G_B; G_A L_B$	$G_A L_B$	$G_A L_B$	$G_A L_B$
0.5	$G_A L_B$	$L_A G_B; G_A L_B$	$L_A G_B$	$L_A G_B$	$L_A G_B$	$L_A G_B; G_A L_B$	$G_A L_B$	$G_A L_B$	$G_A L_B$
0.6	$T_A T_B$	$L_A G_B$	$L_A G_B$	$L_A G_B$	$L_A G_B$	$L_A G_B$	$T_A T_B$	$T_A T_B$	$T_A T_B$
0.7	$T_A T_B$	$L_A G_B$	$L_A G_B$	$L_A G_B$	$L_A G_B$	$L_A G_B$	$T_A T_B$	$T_A T_B$	$T_A T_B$
0.8	$T_A T_B$	$L_A G_B$	$L_A G_B$	$L_A G_B$	$L_A G_B$	$L_A G_B$	$T_A T_B$	$T_A T_B$	$T_A T_B$
0.9	$T_A T_B$	$L_A G_B$	$L_A G_B$	$L_A G_B$	$L_A G_B$	$L_A G_B$	$T_A T_B$	$T_A T_B$	$T_A T_B$

4 结 论

本文把实物期权方法中不明确性偏好的研究应用在包含多种不确定的工程研发投资环境中,并将阶段性的投资机会和竞争性行为相结合,更加准确地对工程研发价值和收益进行了评估,获得了与实际经验相符且更加精确、科学的结果,为研发团队决策者获得最佳时机的投资,以实现自身收益的最大化。本文量化了工程研发投资中的技术不确定性和 Knight 不确定性等因素,通过计算先行者收益、跟随者收益、抢先同时进行投资收益、等待时机再同时投资收益 4 种投资决策收益,根据研发优势、劣势团队的不明确性偏好,经过博弈分析得到的纳什均衡就是 Knight 不确定性下的最优投资决策,为工程研发团队制定投资决策提供了科学性的指导。在今后的工作中,应当更加注重与真实案例相联系,为实物期权的应用找到新的方向。

参考文献:

[1] 韩立岩, 泮敏. 基于奈特不确定性随机波动率期权定价 [J]. 系统工程理论与实践, 2012, 32(6): 1175-1183.
HAN Liyan, PAN Min. Knight uncertainty based option pricing with stochastic volatility [J]. Systems Engineering Theory & Practice, 2012, 32(6): 1175-1183.

[2] 张慧, 陈晓兰, 聂秀山. 不确定环境下再装股票期权的稳健定价模型 [J]. 中国管理科学, 2008, 16(1): 25-31.
ZHANG Hui, CHEN Xiaolan, NIE Xiushan. Robust pricing model of reload stock option under uncertainty [J]. Chinese Journal of Management Science, 2008, 16(1): 25-31.

[3] DRIOUCHI T, TRIGEORGIS L, GAO Y. Choquet-based European option pricing with stochastic (and fixed) strikes [J]. OR Spectrum, 2015, 37(3): 787-802.

[4] GHOSH S, TROUTT M D. Complex compound option models-Can practitioners truly operationalize them [J]. European Journal of Operational Research, 2012, 222(3): 542-552.

[5] THIJSSEN J J J, HUISMAN K J M, KORT P M. Symmetric equilibrium strategies in game theoretic real option models [J]. Journal of Mathematical Economics, 2012, 48(4): 219-225.

[6] KOUSSIS N, MARTZOUKOS S H, TRIGEORGIS L. Multi-stage product development with exploration, value-enhancing, preemptive and innovation options [J]. Journal of Banking & Finance, 2013, 37(1): 174-190.

[7] MARGRABE W. The value of an option to exchange one asset for another [J]. The Journal of Finance, 1978, 33(1): 177-186.

[8] CARR P. The valuation of sequential exchange opportunities [J]. The Journal of Finance, 1988, 43(5): 1235-1256.

[9] PAXSON D A. Sequential American exchange property options [J]. The Journal of Real Estate Finance and Economics, 2007, 34(1): 135-157.

[10] PENNINGS E, SERENO L. Evaluating pharmaceutical R&D under technical and economic uncertainty [J]. European Journal of Operational Research, 2011, 212(2): 374-385.

[11] ESCHENBACH T G, LEWIS N A, HARTMAN J C. Technical note: waiting cost models for real options [J]. The Engineering Economist, 2009, 54(1): 1-21.

(编辑 赵炜)