

## 基于序列投资的汽车项目投资决策模型<sup>①</sup>

张夕勇, 丁慧平

(北京交通大学经济管理学院, 北京 100044)

**摘要:** 汽车项目投资具有投资大和较高的不确定性特点, 一般分阶段进行, 可以视为一个序列投资。多个投资阶段之间存在着相互影响, 前一阶段的投资应考虑到后续各阶段投资的可能性。以汽车项目投资为背景, 运用二叉树决策方法建立了多阶段的序列投资评价模型, 并应用实物期权理论对序列投资中各阶段可能创造的价值进行了分析。通过构建基于序列投资评价的汽车项目投资决策模型, 可以对汽车企业投资进行评价, 有助于做出有效的决策。

**关键词:** 投资决策; 序列投资; 汽车项目; 实物期权; 二叉树模型

**中图分类号:** F830. 59   **文献标识码:** A   **文章编号:** 1007-9807(2008)04-0052-07

### 0 引言

汽车项目投资具有投资数额大、周期长、不确定性较大等特点, 因此在投资过程中汽车企业都会分阶段地进行序列投资, 以降低投资风险。一般而言, 汽车项目投资可以分为汽车研发、市场化、升级研发 3 个投资阶段。在研发投资之前需对整个项目的可行性进行评价和决策, 而在这个决策过程中必须考虑到后续整个序列投资的情况。传统的 NPV 投资评价方法仅是通过对未来经营现金流量的预测进行折现来确定投资价值, 虽然考虑了时间价值和机会成本, 但没有考虑多阶段投资的问题, 忽视了汽车项目投资的若干重要特性, 诸如不可逆性、不确定性、推迟投资甚至取消投资的选择性和企业未来成长机会的价值等<sup>[1]</sup>。在环境不确定性不断增加的情况下, NPV 方法的应用范围受到了局限。本文提出运用二叉树决策方法建立了汽车项目的多阶段序列投资评价模型, 引入实物期权理论研究汽车项目序列投资的决策问题, 对序列投资中各阶段可能创造的价值进行了分析, 探析汽车项目投资决策模型中的价值评估问题。

国外文献对实物期权投资评价理论研究较为深入, Ross<sup>[2]</sup> 针对折现 DCF 评价方法存在的不足指出, 风险项目潜在的投资机会可视为另一种期权形式——实物期权, 并由此引发了对实物期权估价理论的深入探讨。Myers<sup>[3,4]</sup> 最先提出将期权定价理论应用到 R&D 项目价值评估上, 认为研发的价值几乎就是期权的价值, 因此, 用传统的评价工具如 NPV 法来评估研发项目将导致战略错误。Trigeorgis 和 Manson<sup>[5]</sup> 指出, 传统的 NPV 方法是事前对未来现金流量进行估计并假设其为不变或静态的, 无法衡量未来当不确定因素存在时可采取修改或递延决策而带来的管理弹性, 以及所具有的机会价值。所以就不确定性环境下的投资分析而言, 用 NPV 法评估投资方案可能会得到有偏误的结果。Nicholas<sup>[6]</sup> 运用期权分析法研究了 Merck 公司, Merck 的 CFO 认为使用期权可以比传统的财务分析法提供更多的弹性来评估研究投资, 因为它可以评估连续分阶段的投资方案。

国内在企业项目投资经济评价基本方法方面的研究主要是对国外方法、模型和理论的介绍和应用延伸。杨青<sup>[7,8]</sup>, 欧阳令南<sup>[9]</sup> 从不同层面介绍

① 收稿日期: 2006-03-07; 修定日期: 2007-02-26。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(70472002); 高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(20030004022)。

作者简介: 张夕勇(1963—), 男, 山东诸城人, 博士, 高级会计师。Email: zhangxiyong@foton.com.cn

和评价了国外投资效益、经济效益等项目评价方面的理论、方法。李兴苏和张建高<sup>[10]</sup>提出了项目投资决策评价模型及其应用通过构建投资机会评价模型相关评价指标,以系统分析的观点科学、客观地对投资机会进行择优,保障国民经济健康发展和确保投资主体利益的实现。管曙荣等<sup>[11]</sup>用二项树方法描述项目价值随时间变化的路径,构造了多项目资本预算决策的模型。焦媛媛等<sup>[12]</sup>假设木材价格符合几何布朗运动,运用二项式网格模型确定树木的最优轮伐期。简志宏和李楚霖<sup>[13]</sup>运用实物期权的方法研究公司债务问题。李洪江等<sup>[14]</sup>研究了不确定条件下投资决策的实物期权方法,构造了3阶段投资问题的概念模型,使不确定投资过程中的研发、商业化启动、规模扩张3个重要环节有机地联系在一起,并分析了模型的计算过程。张夕勇<sup>[15,16]</sup>研究了不确定条件下汽车产品开发投资评价模型,引入实物期权模型来对汽车产品的开发进行评价,并建立了相应的决策模型;在分析汽车企业建厂过程中存在的不确定性的基础上,对汽车企业的产能规划做了研究,提出了基于实物期权的汽车企业建厂评价模型。

## 1 三阶段序列投资决策模型假设

1) 假设所研究的汽车产品为一个汽车系列,并且假设在经营过程中发生的小规模的汽车性能改进不属于实质性的产品系列升级,所发生的费用记入经营性费用科目中;只有整个产品系列的核心性能得到升级才作为汽车产品系列的升级,所发生的费用属于资本性投资。

2) 假设整个汽车项目投资共有3个阶段,分别用 $I_0$ 、 $I_1$ 和 $I_2$ 表示第1阶段、第2阶段和第3阶段的投资额。第1阶段投资的产出决定着后两个阶段的投资决策的时间,亦即后者出现的可能性;而第2阶段的投资又直接影响着第3阶段投资的可能性。因此在对整个项目进行评价时,必须考虑后续投资 $I_1$ 、 $I_2$ 的成功性及收益性。

3) 假设研发投资发生的时刻为0,从启动研发到进行大规模扩张投资的时间差为 $\tau_1$ ,这个时间差可以根据汽车研发部门的预测得到。从启动研发到汽车产品升级投资阶段的时间差为 $\tau_2$ ,因此市场化投资的时间点为 $\tau_1$ ,产品升级投资时间

点为 $\tau_2$ 。在该阶段中, $\tau_1$ 可根据经验预测,需要对 $\tau_2$ 进行确定。因为只有确定了 $\tau_1$ 、 $\tau_2$ ,才能将整个汽车项目投资分为3个阶段进行决策。

4) 假设目标汽车研发成功的概率为实际概率,可以根据研发部门的经验进行判断得到,市场化阶段和升级研发阶段投资成功的概率均为二叉树估计模型中的风险中性概率,可用公式 $P = \frac{e^{r\Delta t} - d}{u - d}$ 求得,其中 $r$ 为资本市场的无风险利率, $d$ 和 $u$ 分别表示投资后目标汽车项目价值上升和下降的幅度, $\Delta t = \tau_2 - \tau_1$ 。

5) 假设序列投资决策模型中的价值包括显性价值和隐性价值,显性价值是指预测必然会产生收益的折现值,用 $V$ 表示,隐性价值是指实物期权价值,即投资后会获得的进一步投资或择机退出投资的机会所带来的价值,用 $C$ 表示。模型中用 $\mu$ 表示目标汽车所在市场的平均收益率。

## 2 模型构建

如前所述,汽车企业投资从研发阶段开始,到市场化阶段,再到产品升级研发投资阶段(即二次研发),然后再到二次市场化阶段,如此反复,构成了汽车产品投资项目的投资链。在对汽车项目进行投资决策时,应该考虑到研发阶段、市场化阶段和升级研发阶段及以后阶段中项目可能创造的价值,包括显性价值和隐性价值。因此整个汽车项目投资可以看成多阶段的序列投资,项目的投资决策树如图1所示。通常在研发阶段中,项目不产生现金流,因此也不会创造显性价值,主要是产品研发及试产过程的资金投入,该阶段投资的目的是对目标汽车进行研发,研制出具有市场前景的车型,并通过试生产,确定目标汽车生产的流程及产能结构。这个阶段的产出是目标汽车的完整设计和或然的技术专利成果。研发成功后,企业便获得了在将来某一时间对所研制车型进行市场化的期权,即图1中价值为 $C_0$ 的实物期权。

市场化投资投入后,随着项目投产,目标汽车开始进入市场,产生现金流,在这个阶段中项目会创造显性价值。由于市场化阶段是从时点 $\tau_1$ 到 $\tau_2$ ,因此将这个阶段产生的显性价值表示为 $V_1|_{\tau_1}^{\tau_2}$ 。市

场化投产后,企业不仅获得因大规模销售目标汽车而产生的利润,而且还具有一项在未来对目标汽车进行升级研发的权利. 在汽车销售过程中,企业与客户会进行动态沟通,了解客户对目标汽车系列的新的需求,客户也会对汽车企业进行调查,了解企业最新的车型是否符合其意愿. 汽车企业了解了客户需求,会根据客户的最新需求或竞争对手的新的改进而不断改善自己的产品. 在汽车企业经营实务中,对目标车型进行小的商改是很普遍的,且涉及的投资也不大,这部分投资一般作为一般性的经营支出. 但是,涉及到目标车型升级

换代的大型车改,会在很大程度上提升产品竞争力,这部分投资属于资本性投资,这便是二次研发投入,企业经过谨慎地决策才会做出. 因此,可以看出,在第2个投资阶段的市场化过程中,企业并不是一成不变地对目标汽车经营下去,企业会通过动态的信息,实时地对目标车型进行一些改进,而且还具有一项在特定的时间对目标车型进行升级换代的权利,通过升级换代,目标汽车会获得更大的竞争力,这种权利就是第2个阶段中企业具有的投资期权. 在图1中,这个期权的价值用  $C_1$  表示.

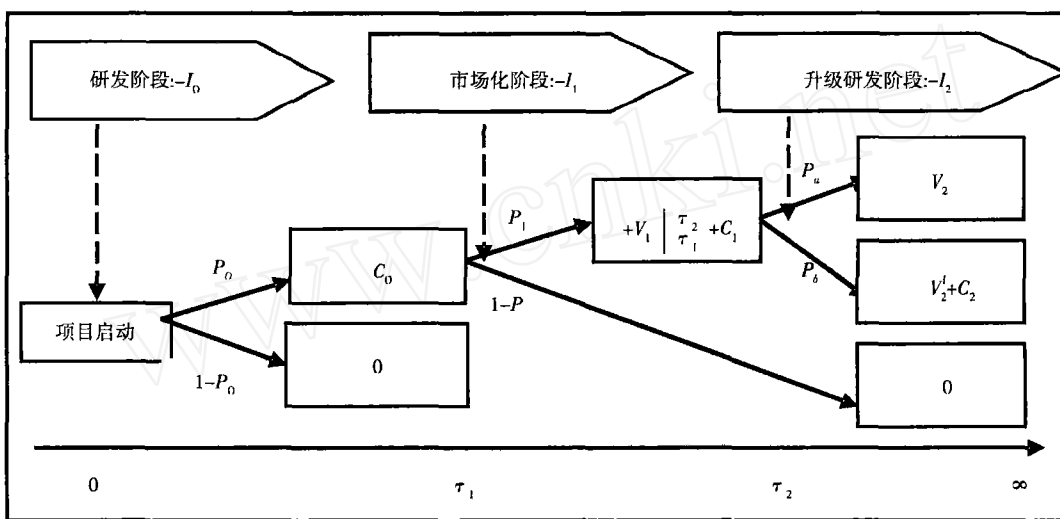


图1 汽车项目3阶段序列投资决策树

Fig. 1 The investment decision tree of automobile project three serial-step-investments

在市场化阶段末期,即时点  $\tau_2$ , 整个项目的最终结果有两种:一是通过再投资而继续经营,这可以看作是支付二次研发投入购买未来的继续扩张规模收益,是典型的扩张投资型期权,可用看涨期权描述,当再投资规模收益大于再投资额时执行;二是不进行二次研发投入,保持原有的规模继续经营下去,直至盈亏平衡点,这是由于二次研发投入太大,高于将会带来的收益. 在第1种情况下,投资后汽车项目进入了升级研发阶段,紧接着就会进行市场化投资,由于项目会进入投资循环链,因此很难通过显性和隐性的收益来衡量这个阶段及以后阶段中产生的价值. 本文提出了用实物期权和最优化理论来对这个阶段产生的总价值进行评价,这个价值就是图1中的  $V_2$ . 而在第2种情况下,一方面汽车项目继续经营下去仍然

会产生显性价值,用  $V_2$  表示;另一方面,企业还具有一项择机退出项目投资的期权,这个期权的价值是图1中的  $C_2$ . 本文认为,企业决策者应该根据历史经营状况判断投资时刻,再根据对未来情况的估计决定后续的经营行为,所以企业不论采用何种投资标准,其最终的行为必然出现在上述两种简化结果中.

在这样的3阶段投资链中,项目的价值由必然的和或然的诸多损益构成. 这些损益除了作为成本发生的投入以外,还包括后两个阶段的经营收益. 通过上述分析,该投资链中各阶段的价值构成了图1中的二叉树投资决策模型,其中  $V$  表示各阶段的投资收益折现到时间0的现值,  $C$  表示各阶段投资时刻企业所拥有的期权价值,因此在计算项目总体价值时需将期权价值进行折现. 运

用二叉树决策模型可以得到项目在研发投资决策时点的评价值,用  $F$  表示,其计算公式为

$$F = P_0 \left\{ C_0 + P_1 \left[ V_1 \Big|_{\tau_1}^{\tau_2} + C_1 e^{-\mu\tau_1} + P_a (V_2 - I_2 e^{-\mu\tau_2}) + P_b (V_2 + C_2 e^{-\mu\tau_2}) - I_1 e^{-\mu\tau_1} \right] \right\} - I_0 \quad (1)$$

式中,  $I$  为已知的投资数额, 概率  $P$  根据模型假设求得, 需要计算的变量有:  $V, C, \tau$ , 下文将分别求解公式(1)中3个投资阶段的变量.

### 3 模型中变量的求解方法

#### 3.1 显性价值 $V$ 的求解

用  $\eta_t (t > \tau)$  表示每辆目标汽车创造的收益现金流, 用  $m_t$  表示在  $t > \tau_1$  的某一时刻目标汽车的销量, 假设其路径服从几何布朗运动, 于是有

$$d\eta_t = \alpha_\eta \eta_t dt + \sigma_\eta \eta_t dW_\eta(t - \tau_1) \quad (2)$$

$$dm_t = \alpha_m m_t dt + \sigma_m m_t dW_m(t - \tau_1) \quad (3)$$

$\alpha_\eta, \alpha_m$  与  $\sigma_\eta, \sigma_m$  分别是预期增长率和波动率,  $W_\eta(t - \tau_1)$  和  $W_m(t - \tau_1)$  ② 分别表示净现金流和销量不确定的标准维纳过程.

设  $\varphi$  为瞬时收益现金流, 则有  $\varphi_t = \eta_t m_t$ . 对随机变量  $\varphi_t = \eta_t m_t$  进行 Ito 微分, 并计算得

$$d\varphi_t = \alpha_\varphi \varphi_t dt + \sigma_\varphi \varphi_t dW_\varphi(t - \tau_1) \quad (4)$$

式中:  $\alpha_\varphi = \alpha_\eta + \alpha_m + \rho_{\eta m} \sigma_\eta \sigma_m$ , ( $\rho_{\eta m}$  是  $\eta_t$  与  $m_t$  的相关系数);  $\sigma_\varphi^2 = \sigma_\eta^2 + \sigma_m^2 + 2\rho_{\eta m} \sigma_\eta \sigma_m$ ;  $W_\varphi(t - \tau_1) = \frac{\sigma_\eta W_\eta(t - \tau_1) + \sigma_m W_m(t - \tau_1)}{\sqrt{\sigma_\eta^2 + \sigma_m^2 + \rho_{\eta m} \sigma_\eta \sigma_m}}$ .

由此可知  $\varphi_t$  服从几何布朗运动. 其中  $\alpha_\varphi$  为  $\varphi_t$  的预期增长率,  $\sigma_\varphi$  为  $\varphi_t$  的波动率,  $W_\varphi(t - \tau_1)$  为标准维纳过程.  $\varphi_t$  综合反映了单位目标汽车的瞬时收益现金流  $\eta_t$  和瞬时销售量  $m_t$  的增长趋势及不确定性, 而  $W_\varphi(t - \tau_1)$  综合体现了目标汽车企业所面临的市场风险.

由公式(4)可以解出瞬时收益现金流  $\varphi_t$

$$\varphi_t = \varphi_{\tau_1} \exp \left\{ \sigma_\varphi W_\varphi(t - \tau_1) + \left( \alpha_\varphi - \frac{\sigma_\varphi^2}{2} \right) (t - \tau_1) \right\} \quad (5)$$

则

$$E(\varphi_t) = \varphi_{\tau_1} \exp \left\{ \left( \alpha_\varphi - \frac{\sigma_\varphi^2}{2} \right) (t - \tau_1) \right\} \times E \exp \left\{ \sigma_\varphi W_\varphi(t - \tau_1) \right\} = \varphi_{\tau_1} \exp \left\{ \alpha_\varphi (t - \tau_1) \right\} \quad (6)$$

那么  $\tau_1$  时刻后市场化阶段中的预期收益折现为

$$V_1 \Big|_{\tau_1}^{\tau_2} = E \int_{\tau_1}^{\tau_2} \eta_t m_t e^{-\mu t} dt = E \int_{\tau_1}^{\tau_2} \eta_t e^{-\mu t} dt = \int_{\tau_1}^{\tau_2} e^{-\mu t} E \varphi_t dt = \varphi_{\tau_1} \int_{\tau_1}^{\tau_2} \exp \left[ \left( -\mu + \alpha_\varphi \right) (t - \tau_1) \right] dt$$

令  $\alpha_v = \mu - \alpha_\varphi = \mu - \alpha_\eta - \alpha_m - \rho_{\eta m} \sigma_\eta \sigma_m$ , 则

$$V_1 \Big|_{\tau_1}^{\tau_2} = \frac{\varphi_{\tau_1}}{\alpha_v} (1 - e^{-\alpha_v(\tau_2 - \tau_1)}) \quad (7)$$

同理, 在不进行升级研发情况下, 需要在  $[\tau_2, \infty)$  内计算  $V_2'$ , 根据上述计算过程, 可以得到

$$V_2' = V_2' \Big|_{\tau_2}^{\infty} = \frac{\varphi_{\tau_1} e^{-\alpha_v(\tau_2 - \tau_1)}}{\alpha_v} \quad (8)$$

#### 3.2 隐性价值 $C$ 的求解

如图1所示,  $C_0$  和  $C_1$  分别表示汽车企业在研发过程中和市场化过程中获得的对目标汽车进行投产和升级研发的期权, 因此, 两者都可以用欧式看涨期权进行解释. 本文采用 B-S 模型来对这两个期权价值进行求解

$$C = UN(d_1) - Ie^{-r\Delta t} N(d_2) \quad (9)$$

其中:  $d_1 = \frac{\ln U - \ln I + \left( r + \frac{\sigma_v^2}{2} \right) \Delta t}{\sigma_v \sqrt{\Delta t}}$ ;  $d_2 = d_1 - \sigma_v \sqrt{\Delta t}$ .

对于  $C_0$  来说, 执行价格为一期投资  $I_0$ , 到期日为第1投资阶段的结束点即  $\tau_1$ , 标的资产价格为研发的目标汽车项目的总价值, 即项目后期每年产生的价值折现到  $\tau_1$  时刻的价值, 用  $U \Big|_{\tau_1}^{\infty}$  表示, 则

$$U \Big|_{\tau_1}^{\infty} = \left\{ V_1 \Big|_{\tau_1}^{\tau_2} + C_1 e^{-\mu\tau_1} + P_a (V_2 - I_2 e^{-\mu\tau_2}) + P_b (V_2' (V_2 + C_2 e^{-\mu\tau_2})) \right\} e^{\mu\tau_1} \quad (10)$$

对于  $C_1$  来说, 执行价格为市场化阶段的总投资  $I_1$ , 到期日为升级投资的时点  $\tau_2$ , 标的资产的价格

② 由于项目研发阶段不产生现金流, 从  $\tau_1$  时刻才开始有现金流和销量, 因此将维纳过程的时间表示为  $(t - \tau_1)$ .

格为项目在进行了二次研发投资后将会获得的价值,用  $U|_{\tau_2}^{\infty}$  表示,即升级投资时刻  $\tau_2$  以后项目收益折现到  $\tau_2$  时刻的价值. 根据图 1 所示的逻辑关系,  $V_2$  为升级投资后项目价值折现到时点 0 的值,由此可得折现到时点  $\tau_2$  的值为  $U|_{\tau_2}^{\infty} = V_2 e^{\mu\tau_2}$ ,  $V_2$  将在下文求解.

图 1 中的  $C_2$  是汽车企业由于可以择机退出投资而拥有的期权,可视为看跌期权,其标的资产的价格为继续经营情况下目标汽车项目会获得的价值,用  $U$  表示,该期权的执行价格为前期项目总投入通过清算可收回的部分. 用  $\delta$  表示前期投资的可回收率,则  $\delta(I_0 + I_1)$  是投资可回收的部分,到期日为  $\infty$ . 因此这是美式看跌期权,可以用美式期权的定价公式来计算<sup>③</sup>

$$C_2 = \frac{\sigma_v^2}{2r} \left( \frac{\delta(I_0 + I_1)}{1 + \frac{\sigma_v^2}{2r}} \right)^{\frac{2r + \sigma_v^2}{\sigma_v^2}} U^{-\frac{2r}{\sigma_v^2}} \quad (11)$$

上式中的  $U$  是不进行升级研发投资时项目收益折现到时点  $\tau_2$  的值,可根据  $U = V_2 e^{\mu\tau_2}$  计算.

### 3.3 价值 $V_2$ 的求解

如前所述,汽车项目升级研发投资之后,还会再进行二次市场化投资,还可能会有第 3 次研发投资,本文研究的产品升级阶段包括了很多次的后期市场化和再研发,由此企业也会获得多次投产和对目标汽车升级改造的投资机会,这些机会都可以用看涨期权来进行解释. 虽然这些未来可获得的期权,不能在第 3 次投资初期就进行准确的计算,但在存在期权的决策中,管理者会在投资机会价值最大的时候进行投资,这个投资机会价值就是期权价值. 沿用 McDonald 和 Siegel<sup>[17]</sup>、Dixit 和 Pindyck<sup>[11]</sup> 的假设,用几何布朗运动过程来描述汽车产业投资项目的价值,本文建立了以项目价值  $U$  为自变量,以期权价值  $C(U)$  为因变量的函数. 这样,只要期权价值在其边界条件下达到最大值,企业便会进行升级研发投资,此时的  $U$  也就是项目进行升级研发投资时的价值.

假设项目价值  $U$  服从于几何布朗运动变

化,则

$$dU = \alpha U dt + \sigma U dW_U(t) \quad (12)$$

其中,  $dW_U(t)$  为目标汽车投资项目价值  $U$  的维纳过程的增量. 根据几何布朗运动的特征,实际上隐含的项目当前价值是已知的,未来价值服从对数正态分布,其方差将随着时间线性增长.

假设本文所研究的目标汽车市场处于完全竞争状态,只要拥有足够的资金,任何投资者都可以对先进的车型进行投资. 在这样的市场中,投资机会是非常昂贵的,投资者都在为了获得好的投资机会而竞争. 根据无套利均衡理论,构造一个无风险的投资组合,令预期回报率等于无风险利率. 考虑以下的投资组合: 持有有一个目标汽车产品项目投资的期权,其价值为  $C(U)$ , 获得项目的  $n (= C'(U))$  个数量单位的空头<sup>④</sup>. 这一组合的价值为

$$\Phi = C - C'(U)U \quad (13)$$

这里需要强调的是,投资组合是动态的,在风险中性条件下,汽车投资项目的价值  $U$  的变化会导致持有的期权数量  $n (= C'(U))$  的变化. 但是,在一个非常短的时间区间  $dt$  内,  $n$  将固定. 在目标汽车投资项目中持有交易多头的投资者所要求的风险调整回报为  $\mu U$ . 如果把这种支付考虑进来,在很短的时间区间  $dt$  内持有该投资组合的总回报  $d\Phi$  可表示为<sup>⑤</sup>

$$d\Phi = dC - C'(U)dU \quad (14)$$

利用伊藤引理可求得  $dC$  的表达式为

$$dC = C'(U)dU + \frac{1}{2}C''(U)(dU)^2 \quad (15)$$

根据式(14)和(15)可得

$$d\Phi = \frac{1}{2}C''(U)(dU)^2$$

由前述的维纳过程公式,可以得到  $(dU)^2 = \sigma^2 U^2 dt$ , 则  $dt$  时间内持有该投资组合的总回报为  $d\Phi = \frac{1}{2}\sigma^2 U^2 C''(U) dt$ . 由于该回报是无风险的,

因此为了避免无风险套利行为,这一投资组合的价值就必须等于无风险收益. 在一个很短时间  $dt$  内,无风险收益为  $r\Phi dt = r[C - C'(U)U]dt$ , 其中

③ 解答过程参见:姜礼尚. 期权定价的数学模型和方法[M]. 北京:高等教育出版社,2003. 116—131.

④ 在这里,不再将这个投资期权看成是实物期权,而是将其看成纯粹的金融期权,假设这样的投资期权有无数个,投资者可以一次性购买很多个. 因此,在无套利的假设下,可以构造一个投资组合.

⑤ 这里的  $C$  表示自变量为  $U$  的函数  $C(U)$ .



的  $r$  是无风险利率. 令  $dt$  时间内, 投资回报等于无风险收益, 可以得到

$$\frac{1}{2}\sigma^2 U^2 C''(U) dt = r[C - C'(U)U] dt \quad (16)$$

对上式重新整理, 可以得到  $C(U)$  必须满足的微分方程

$$\frac{1}{2}\sigma^2 U^2 C''(U) + rUC'(U) - rC = 0 \quad (17)$$

$C(U)$  必须满足的边界条件为

$$C(0) = 0$$

$$C(U^*) = U^* - I_2$$

$$C'(U^*) = 1$$

上述边界条件表示, 当  $U = 0$  时, 投资期权是没有价值的,  $U^*$  则是最优投资时项目的价值. 在边界条件下, 对方程(17) 进行求解可得

$$C(U) = XU^\theta \quad (18)$$

其中

$$\theta = \frac{1}{2} - \frac{r}{\sigma^2} + \sqrt{\left[\frac{r}{\sigma^2} - \frac{1}{2}\right]^2 + \frac{2r}{\sigma^2}}$$

$$U^* = \frac{\theta}{\theta - 1} I_2$$

$$X = \frac{U^* - I_2}{(U^*)^\theta} = \frac{(\theta - 1)^{\theta - 1}}{\theta^\theta I_2^{\theta - 1}}$$

因此, 在考虑了第3阶段投资后的所有期权价值情况下,  $U^*$  是使目标汽车企业将来的投资机会价值(即期权价值  $C(U)$ ) 最大时的项目价值, 即目标汽车项目进行升级投资后的项目价值

$U = U^* = \frac{\theta}{\theta - 1} I_2$ . 由此可得, 第3阶段(即二次研发) 投资情况下项目价值的折现值为

$$V_2 = \frac{\theta}{\theta - 1} I_2 e^{-\mu\tau_2} \quad (19)$$

### 3.4 时间点 $\tau_2$ 的确定

根据前述假设,  $\tau_1$  可以根据经验预测, 因此只需确定投资点  $\tau_2$ . 在企业投资中, 管理者在进行下一步投资时会考虑前期投资收回的情况, 但前期资本性投资有多少收回后企业才会进行下一步的投资是由企业管理层对风险的厌恶程度决定的. 管理者对风险的态度分为3种: 风险偏好型、风险中庸型、风险厌恶型. 相对应地, 管理者会选择3种投资策略: 激进型投资策略、中庸型投资策略、稳健型投资策略. 李洪江等<sup>[14]</sup> 用“由持续增亏转

为持续减亏”、“前期的亏损全部弥补回来”、“前期启动投资全部收回” 分别对3种投资策略进行了表述, 并计算了各个时点上的解析式. 但是在很多情况下, 企业管理者的柔性决策并不能用这3种策略进行诠释, 优秀的风险控制家会用更加精密的百分比来决定下一步投资的时机. 为此本文引入了沉没投资回收率  $\varepsilon (0 < \varepsilon < \infty)$ , 用  $\varepsilon$  描述管理层对风险的厌恶程度. 在市场化投资阶段已经收回了  $(I_0 + I_1)\varepsilon$  时, 管理层会认为此时目标汽车项目的风险处于可接受状态, 可以进行下一步投资, 这个时刻便是升级研发投资的时点  $\tau_2$ . 用  $V(0 \rightarrow \tau_2)$  表示从投资的起始点0到  $\tau_2$  时点每年所产生的净收益的算术加总值, 则  $\tau_2$  应该满足方程

$$V(0 \rightarrow \tau_2) = (I_0 + I_1)\varepsilon \quad (20)$$

其中,  $V(0 \rightarrow \tau_2)$  是  $\tau_2$  的函数. 由于第1阶段为研发投资, 不产生现金流, 即  $V(0 \rightarrow \tau_1) = 0$ , 因此前期投资收益产生于时点  $\tau_1$  到时点  $\tau_2$  之间, 即  $V(\tau_1 \rightarrow \tau_2) = (I_0 + I_1)\varepsilon$ . 这里的  $V(\tau_1 \rightarrow \tau_2)$  与前述的  $V_1|_{\tau_1}^{\tau_2}$  含义是不同的. 由于企业管理者想收回前期投资后再进行二期投资, 因此, 这里的  $V(\tau_1 \rightarrow \tau_2)$  是从  $\tau_1$  时点到  $\tau_2$  时点各年收益的静态和, 而非折现值. 根据前述分析构造  $V(\tau_1 \rightarrow \tau_2)$  的函数表达式. 方程式(20)中, 只有  $\tau_2$  为未知数, 可以通过求解方程得到升级研发投资的时点  $\tau_2$ .

## 4 结 论

根据本文提出的多阶段序列投资决策模型, 运用二叉树方法和实物期权理论可以对目标汽车项目整体价值进行评估, 进而作为投资决策的基础. 研发投资的影响只反映在成功概率上, 研发成果并未带来实际收益, 但却保证了后期决策体系的存在. 如果项目整体价值大于零, 从经济效益方面看, 项目是可行的; 否则在经济上不可行. 考虑到模型中的行业参数在预测过程中会出现一定的误差, 因此, 根据模型最终得到的估价值如果不是远大于或远小于零的情况下, 企业还需要进行灵敏度分析, 或兼顾目标汽车项目的社会效益来对投资进行决策, 这也是需要进一步研究的问题.

## 参 考 文 献:

- [1] Dixit A K, Pindyck R S. Investment under Uncertainty[M]. New Jersey: Princeton, 1994.
- [2] Ross S A. A simple approach to the valuation of risky income streams[J]. Journal of Business, 1978, 51(3): 453—475.
- [3] Myers S C. Determinants of capital borrowing[J]. Journal of Financial Economics, 1977, 5(2): 147—175.
- [4] Myers S C, Majd S. Abandonment value and project life[J]. Advances in Futures and Options Research, 1990, (4): 1—21.
- [5] Trigeorgis L, Mason S P. Valuing managerial flexibility[J]. Midland Corporate Finance Journal, 1987, 5(1): 14—21.
- [6] Nichols N A. Scientific management at Merck's: An interview with CFO Judy Lewent[J]. Harvard Business Review, 1994 (January—February): 88—89.
- [7] 杨 青. 投资效益与追加投资收益之关系及其应用[J]. 技术经济, 1985, (1): 55—65.  
Yang Qing. Relationship of efficiency of investment and added investment[J]. Journal of Technical Economics, 1985, (1): 55—65. (in Chinese)
- [8] 杨 青. 经济效益的两种计算方法探讨[J]. 数量经济技术经济研究, 1986, (12): 21—28.  
Yang Qing. Two calculation methods on economical benefit[J]. The Journal of Quantitative & Technical Economics, 1986, (12): 21—28. (in Chinese)
- [9] 欧阳令南. 对西方企业投资决策标准的评价[J]. 外国经济与管理, 1989, (4): 14—18.  
Ouyang Ling-nan. A review on the evaluating method and model of investment decision in foreign enterprises[J]. Foreign Economics and Management, 1989, (4): 14—18. (in Chinese)
- [10] 李兴苏, 张建高. 项目投资决策评价模型及其应用[J]. 重庆建筑大学学报, 2000, 22(2): 54—58.  
Li Xing-su, Zhang Jian-gao. Appraisal model of investment decision and its application[J]. Journal of Chongqing Jianzhu University, 2000, 22(2): 54—58. (in Chinese)
- [11] 管曙荣, 等. 实物期权方法在多项目预算决策中的应用[J]. 东北大学学报(自然科学版), 2003, 24(7): 98—100.  
Guan Shu-rong, et al. Budgeting decision on multiple projects by real option method[J]. Journal of Northeastern University (Natural Science), 2003, 24(7): 98—100. (in Chinese)
- [12] 焦媛媛, 韩文秀, 杜 军. 基于期权理论的多元相机决策权利定价模型[J]. 系统工程学报, 2003, 31(5): 15—21.  
Jiao Yuan-yuan, Han Wen-xiu, Du Jun. Multivariate contingent claims pricing model based on option theory[J]. Journal of Systems Engineering, 2003, 31(5): 15—21. (in Chinese)
- [13] 简志宏, 李楚霖. 公司债务重组的实物期权方法研究[J]. 管理科学学报, 2002, 5(5): 41—46.  
Jian Zhi-hong, Li Chu-lin. Study on real option approach of corporate debt reorganization[J]. Journal of Management Sciences in China, 2002, 5(5): 41—46. (in Chinese)
- [14] 李洪江, 曲晓飞, 迟国泰. 扩张期风险企业的实物期权估计方法研究[J]. 大连理工大学学报(自然科学版), 2002, (3): 124—128.  
Li Hong-jiang, Qu Xiao-fei, Chi Guo-tai. Evaluation of ventures during profitable expansion period: A real option approach [J]. Journal of Dalian University of Technology(Natural Science), 2002, (3): 124—128. (in Chinese)
- [15] 张夕勇. 不确定条件下的汽车产品开发投资评价模型构建[J]. 汽车工程, 2005, (2): 257—263.  
Zhang Xi-yong. Modeling of investment evaluation for automotive product R&D under uncertain conditions[J]. Automotive Engineering, 2005, (2): 257—263. (in Chinese)
- [16] 张夕勇. 不确定条件下汽车企业工厂建设投资评价研究[J]. 物流技术, 2005, (12): 21—27.  
Zhang Xi-yong. Appraisal of initial investment in auto enterprises in the condition of uncertainty[J]. Logistics Technology, 2005, (12): 21—27. (in Chinese)
- [17] McDonald R, Siegel D. The value of waiting to invest[J]. Quarterly Journal of Economics, 1986, (4): 707—727.
- [18] 姜礼尚. 期权定价的数学模型和方法[M]. 北京: 高等教育出版社, 2003. 116—131.  
Jian Li-Shang. Mathematical Model and Method of Options Pricing[M]. Beijing: Higher Education Press, 2003. 116—131. (in Chinese)

(下转第 75 页)

## Simulation optimization method for solving vehicle routing problems based on matrix transformation

HU Xiang-pei<sup>1</sup>, LI Yong-xian<sup>1,2</sup>, GUO Jian-wen<sup>1</sup>

1. Institute of Systems Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116023, China;

2. School of Management, Liaoning Normal University, Dalian 116029, China

**Abstracts:** Focusing on the vehicle routing problems which are difficult to be solved, a principle and a method of simulation optimization with heuristic transformation are presented. A mathematical model of vehicle routing problems based on adjacency matrix is set up. The parameters produced by simulation are analyzed using heuristic rules. The matrix transformation is used to optimize searching strategies, and then the best solutions or ideal solutions are found. A case-study shows that the method of simulation optimization with matrix transformation is efficient and its result has sound stability. This paper provides a new way for solving the vehicle routing problems.

**Key words:** vehicle routing problems; simulation optimization; adjacency matrix; matrix transformation; heuristic transformation

(上接第58页)

## Automobile project investment decision model based on serial-step-investment

ZHANG Xi-yong, DING Hui-ping

School of Economics and Management, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China

**Abstract:** Generally speaking, the investment in auto industry is distributed into many steps, which work on each other. The former step is based on the probability of all the following investment, so we can say the investment in auto industry is a serial-step-investment. This paper establishes an investment valuation model based on serial-step-investment and analysis the solution of this model using real option theory, binomial model and stochastic walk theory. Through this automobile project investment decision model based on serial-step-investment, automobile enterprises can make a more accurate and more comprehensive project investment valuation, and then make the valid decision.

**Key word:** investment decision; serial-step-investment; automobile project; real option; binomial model