

文章编号: 1001-0920(2007)05-0494-05

R & D 项目进展评估及决策选择模型

艾明晔, 齐中英

(哈尔滨工业大学 管理学院, 哈尔滨 150001)

摘 要: 在分析 R & D 项目技术和市场不确定性分布特征的基础上, 提出多步骤四项式期权定价模型, 用于 R & D 项目进展评估。探讨了当出现不可预见信息时, 对采取的多个管理决策的选择问题。实例分析表明, 多步骤四项式模型能灵敏地监测项目的单因素变化引起的项目投资价值的变化, 对管理的灵活性和不确定性能进行量化处理, 在很大程度上提高了 R & D 中期投资决策的准确性。

关键词: R & D 项目; 进展评估; 多步骤四项式定价模型; 实物期权

中图分类号: F272

文献标识码: A

Model of evaluation and flexible decision selection of ongoing R & D project

AI Ming-ye, QI Zhong-ying

(School of Management, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China. Correspondent: AI Ming-ye, E-mail: ailingye@hit.edu.cn)

Abstract: Based on the analysis of technology and market uncertainty of R & D project, a multi-step quadrangular option pricing model is presented for valuing an ongoing R & D project. By comparing R & D project investment value of different flexible decision, the decision is optimized when unforeseen information comes. The real case analysis indicates that multi-step quadrangular model can monitor the change of R & D project investment value subject to the sensitive change of key factor. Accuracy of investment decision of ongoing R & D project under uncertainty is improved by the model.

Key words: R & D project; Value ongoing R & D project; Multi-step quadrangular option pricing model; Real option

1 引 言

R & D 的不确定性和长期性, 决定了 R & D 管理必然是多变量的复杂的交互作用。如何准确地评估和分析项目的风险, 一直是备受关注的问题。R & D 项目进展评估包括对项目技术任务的完成情况和外部市场环境的变化。企业决策者根据评估结果对 R & D 项目采取继续、中止或改进等管理决策。

实践证明, 有效的 R & D 管理必须符合技术创新过程的特点。传统的企业普遍接受的 R & D 项目的价值评估基础是 NPV 理论, 而这种理论的假设前提与含有柔性管理价值的项目进展评估是矛盾的^[1]。目前, 对 R & D 项目进展评估的方法多是基于传统 NPV 理论的评分法, 即通过对百余 R & D 项目进行实证调研, 用统计分析方法识别出能代表 R & D 项目成败特征的一套指标集和统计方程^[2]。

有的学者针对中止决策的复杂性、非线性等特点, 提出用工程技术领域常用的模式识别和神经网络方法, 解决 R & D 项目的中止决策问题^[3,4]。这些方法忽视了 R & D 项目固有的创新性、动态性等特征, 在评估一个全新的在研项目时往往并不十分有效。在实践中, 当不确定性信息到达之后, 项目决策者并不是单纯被动地接受风险(仅考虑中止或继续), 而是考虑是否采取应对措施, 对项目计划进行调整和修正。现有的方法并不能对除了继续/中止之外的管理决策进行选择。

近年来, 对 R & D 项目投资评估的研究转向了应用实物期权理论评估投资机会价值。Huchzermeier 等将 R & D 项目看成学习期权, 用二项式模型对包含不同管理决策(继续、改进或放弃)的项目期权价值进行评估^[5]; 范龙振等讨论了项目

收稿日期: 2006-03-14; 修回日期: 2006-06-06.

基金项目: 国家哲学社会科学创新基地项目(htcsrobot07).

作者简介: 艾明晔(1975→), 女, 山东平度人, 博士生, 从事 R & D 项目风险管理、中止决策等研究; 齐中英(1957→), 男, 辽宁新民人, 教授, 博士生导师, 从事创新管理等研究。

投资机会的实物期权特征对决策的影响^[6]；Childs 考虑项目间的相互作用^[7]和学习效应，研究了多个备选项目组合的动态投资政策^[8]；李洪江等分析两阶段 R & D 项目的投资比例对项目价值的影响^[9]，印证了只有通过投资过程精心设计，才能最大程度地避免风险，增加项目的价值^[10]；在实物期权的推广应用方面，Copeland 提出 4 个基本分析步骤^[11]；Trigeorgis 指出，R & D 项目中嵌入的复杂复合期权可通过基本模块构造出来^[12]。

以往的研究主要集中于某个时点的项目期权价值，但由于 R & D 项目的环境不断变化，会影响原先通过实物期权模型得到的投资决策，甚至推翻原先作出的投资决策。对于 R & D 管理而言，在所获取的新信息的基础上采取修正性行动是至关重要的^[13]。因此要求一种动态评估方法，对条件发生变化的项目进行动态评估和管理，使实物期权评估方法成为管理者的有效决策支持工具。

本文试图拓宽现有的 R & D 项目中止决策的研究边界，考虑不可预见信息到达后的决策选择。在 Copeland 的四项式模型的基础上进行完善，提出适用于实际的 R & D 项目控制与管理的多步骤四项式模型，并应用于实际的 R & D 项目的评估与决策。

2 问题描述

在 R & D 项目进展过程中，主要的不确定性因素是技术不确定性和市场不确定性^[5]。在 R & D 项目进展的不同阶段，对项目产生影响的不确定性因素也不同^[14]，如图 1 所示。

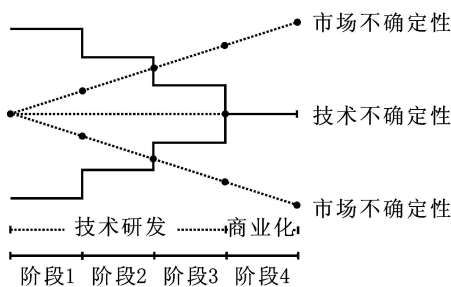


图 1 项目风险进化

一般地，技术不确定性（技术可行性、技术路线的合理性等）与社会的经济环境不相关。由图 1 看出，随着 R & D 项目的进展，技术不确定性逐渐减少，且为离散形式，例如成功完成某一阶段的开发任务。当技术在某一阶段失败时，不确定性会完全暴露（即中止项目）。

市场不确定性（价格、需求量、成本等）是企业的外部因素，与产业经济运行有关（行业的价格、成本或市场供求关系）。这种不确定性对于决策过程是外生的，即使企业的营销部门具有很强的市场调研能

力和预测能力，也只能了解近期的市场波动性，对于远期的不确定性，则无法把握。因此市场不确定性呈放射状分布。随着时间的推移，项目的预期回报在项目生命周期末端呈对数正态分布。

本文研究的 R & D 项目，是基于多阶段投资的含有技术和市场多个不确定性源的投资项目。R & D 项目中嵌入的期权是多阶段复合彩虹期权，连续时间期权定价模型对于处理这种多阶段、多个不确定性源的项目存在一定的局限性。

3 多步骤四项式期权定价模型

3.1 相关假设

四项式期权定价模型^[11]是基于二项式期权定价模型框架，处理双源不确定性问题的实用而直观的期权定价工具。四项式事件树的每个节点都有 4 个分支，是由每个节点两个分支的二元树所衍生出来的。假设标的资产服从离散、二项式的随机过程。

应用多项式实物期权定价模型时，需要找到一个同该资产完全相关的债券或股票“孪生证券”，以便进行动态复制。但在进行一个前所未有的 R & D 项目投资时，找到一个与标的资产完全相关（即上升和下降的比例和概率完全相同）的孪生证券是很难的。本文应用 Copeland 等提出的 MAD 假设^[11]，直接使用不含灵活性的项目本身的现值作为标的资产的孪生证券。采用该假设所计算出的结果，同使用孪生证券得到的结果完全一致^[15]。

3.2 市场不确定性

在风险中性条件下，项目的预期回报 V_0 在单位时间内上升到 uV_0 的概率为 q ，下降到 dV_0 的概率为 $(1 - q)$ 。 u 、 d 和 q 的计算与金融期权定价公式一致，表示如下：

$$u = e^{\sqrt{r_f T}} \tag{1}$$

$$d = e^{-\sqrt{r_f T}} = 1/u, \tag{2}$$

$$q = \frac{e^{r_f T} - d}{u - d} \tag{3}$$

其中： u 为单位时间内由于受到市场波动影响标的资产价值上升幅度，为 R & D 项目预期回报值的年市场波动率， T 为引起价值波动的离散时间间隔长度， d 为单位时间内由于受到市场波动影响标的资产价值下降幅度， r_f 为无风险利率， q 为在单位时间内引起项目价值上升的概率（风险中性概率）。

对于四项式模型，可通过设定单位时间的长度来调节其计算的精确程度。单位时间越短，计算的精度越高。因此有的研究者提出，通过将决策点拉近对 R & D 项目进行实时监控。然而，决策点增加意味着评估决策成本增加，而且这种作法与实际情况并不相符。

用 V_0 表示 R & D 项目成功上市后项目预期回报折现到 t_0 时刻的现值. 假定 R & D 项目的生命周期划分成 s 个阶段, 每一阶段的时间间隔为 T_i ($1 \leq i \leq s$). 若某项目初始阶段的时间间隔 $T_1 = 1$ 年, 则当 $T = 1/12$ 年即 1 个月时, 由于市场波动引起的项目预期回报分布如图 2 所示.

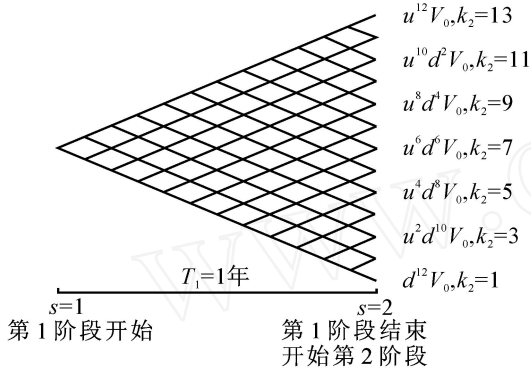


图2 第1阶段末项目预期回报分布

用 k_s 表示价值状况, 是指在某一开发阶段初项目可能到达的水平. 项目价值在第 1 阶段末有 $N_2 = 1 + 1/T$ 种可能的价值状况, 这里 N_2 表示 13 种可能的状况, k_2 的取值范围为 $1 \sim N_2$. 为了计算和表述方便, 图 1 中 k_s 按升序排列. 网格的每个节点代表每个离散单位时间末项目的预期回报, 表示为

$$V_{k_s} = u^{k_s-1} d^{N_2-k_s} V_0, \quad (4)$$

$$N_s = 1 + \sum_{i=1}^s \frac{T_i}{T}. \quad (5)$$

其中: V_{k_s} 为价值状况为 k_s 时项目的回报价值, N_s 为第 $s-1$ 阶段末的价值状况数目, $k_s = 1, 2, \dots, N_s$.

单步骤的四项式模型在第 1 阶段末项目的预期回报分布只有两种价值. 但在实际中, R & D 项目的市场环境有可能在这一阶段内发生几次小的波动, 即阶段末变化的项目回报价值可能无法对应于期初预计的两种价值. 另外, 第 1 阶段末项目的预期回报的变化幅度有可能与期初预计的不同, 只用两个值无法检测到项目的变化情况和趋势, 而多步骤模型的回报值分布却能细致地列出.

3.3 R & D 项目的技术不确定性

项目的技术不确定性是 R & D 项目不确定性的重要来源. R & D 项目对于企业而言是全新的, 技术路线的可行性、产品性能的可靠性、完成项目任务所需资源的可得性、上一阶段项目任务的完成程度、应对突发技术难题的机制和程序等因素, 并不是完全确定的. 不同阶段技术任务的成功概率可能并不相同, 在决策点, 决策者可通过对上述技术不确定性的影响因素, 估测不同阶段的技术成功率.

假设技术不确定性与经济环境不相关, 对项目

的预期回报不产生影响. 但当 R & D 项目的某一阶段遇到无法挽回的技术失败时, 项目的预期回报为 0. 在每一阶段末项目有 4 种可能的结果, 事件树如图 3 所示. 注意到后两个叉, 不管预期的市场状况如何, 由于技术遇到上述无法解决的难题, 项目价值为 0. 当项目遇到这种情况时, 应考虑立即中止.

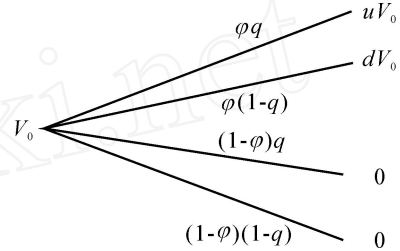


图3 技术和市场不确定下项目阶段变动四叉树

3.4 项目投资机会价值

由于不确定性和管理柔性的存在, 实物投资不仅产出实际收益(如现金流), 而且产生一系列柔性投资机会. 当不考虑其他柔性决策, 即项目进展过程中只包括中止决策时, R & D 项目的柔性投资机会价值中包含了期权持有者通过“砍跌获涨”获得的额外收益. 实物期权分析方法几乎包括了预期收益波动的各种可能性, 项目预期回报的波动越大, 投资机会价值也越大. 以投资机会价值作为 R & D 项目投资决策的衡量标准, 能同时考虑收益和在不确定性条件下管理柔性的价值.

考虑 R & D 项目分为 4 个阶段进行, 各阶段的持续时间为 1 年, 如图 4 所示.

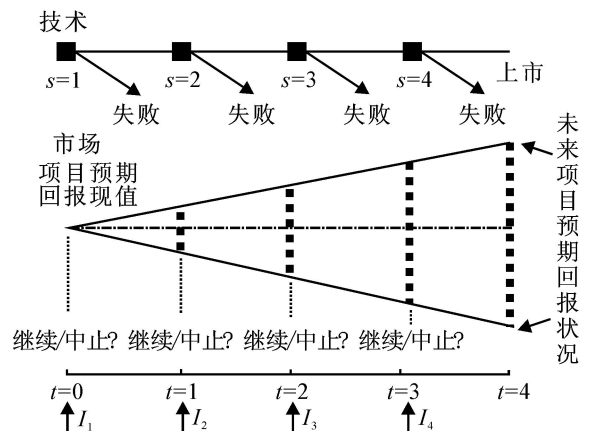


图4 不确定条件下的项目中止决策

从 s 到 $s+1$ 阶段, 项目预期回报由 k_s 状况转移到 k_{s+1} 的条件转移概率为

$$P_{k_s, k_{s+1}} = q^{L-1} (1-q)^{1+T_s/t-L} \times \frac{(T_s/t)!}{(L-1)!(1+T_s/t-L)!} \quad (6)$$

$$P_{k_s, k_{s+1}} = 1, \quad k_s = 1, 2, \dots, N_s. \quad (7)$$

其中： $P_{k_s, k_{s+1}}$ 为项目预期回报由状况 k_s 转移到 k_{s+1} 的条件转移概率， $k_s, k_{s+1} \in \{1, 2, \dots, 1 + T_s/T\}$ ， $L = 1, \dots, 1 + T_s/T$ 为第 s 阶段的价值状况序号。

用 M_{sk_s} 表示被评估项目在价值状况 k_s 项目的投资机会价值，利用回溯法，由 $s + 1$ 阶段到 s 阶段的项目投资机会价值为

$$M_{sk_s} = \left\{ \max \left\{ \frac{\sum_{a=L}^{a+L} P_{k_s, k_{s+1}} M_{s+1, k_{s+1}}}{(1+r_f)^{T_s}} - I_s(1+r_{c_0}), 0 \right\}, 0 \right\} \quad (8)$$

$$a = 1, 2, \dots, N_s - L, N_s = 1 + \sum_{i=1}^s \frac{T_i}{T} \quad (9)$$

其中： I_s 为第 s 阶段所需投资额， r_{c_0} 为投资额 I_s 在 s 阶段初的机会回报率， s 为第 s 阶段的技术成功概率。

最后一个阶段（第 4 阶段）的项目价值 M_{4k_4} ，用该阶段的项目预期回报值 V_{k_4} 代入（通过式（4）计算），这样可计算出每个决策点处的项目投资价值。模型计算简单，用电子表格便可实现，得到 R & D 项目在决策点处预期回报价值与项目投资机会价值对应表。该表能够清晰地体现出不同价值状况的项目投资机会价值，为决策者在后续决策点提供决策参考。

3.5 投资规则

式（8）表明 R & D 项目的最优投资规则为：在 M 为正的情况下，项目应继续进行。树形图中各点对应的项目预期回报为式（4），由此计算出每个决策点的投资临界值 V_s^* ： M_{sk_s} 最小非 0 值对应应该点的项目预期回报值 V_{k_s} 。这表明当第 s 阶段决策点的预期回报值 $V_s > V_s^*$ 时，相应的投资机会价值 $M_s > 0$ ，继续投资有价值；当第 s 阶段决策点的 $V_s < V_s^*$ 时，相应的 $M_s < 0$ ，继续投资没有价值，应考虑中止投资。

在决策点，当项目的内外环境没有发生大的变化时，项目进展是在预期的变动之内，决策者只需根据当时的市场环境估计出 R & D 项目的预期回报值，对比投资临界值 V_s^* ，便可决策项目是否继续。

当项目的环境发生变化时，决策者可用该模型比较不同的管理决策，选出项目投资价值最大的方

案（包括中止决策），即

$$M_{sk_s} = \max(M_{sk_s, \text{决策A}}, M_{sk_s, \text{决策B}}, \dots) \quad (10)$$

4 实例计算

作者调研了哈市某厂一柴油机消防泵（XQJ）项目的 R & D 过程，将多步骤四项式方法应用于项目的评价和决策选择。

XQJ 项目的门径管理流程如图 5 所示。2004 年 6 月，XQJ 项目已完成了商业需求分析和可行性研究。图中相关数据是项目技术人员和管理人员在开发阶段初（ t_0 时刻，即 2004 年 6 月）对项目各阶段技术成功率和所需投资额所作的预测。

4.1 正常增资决策

项目预期回报是项目产品成功上市后收益现金流的折现值。在 R & D 开始时，对未来的预期存在很大的不确定性，因此直接确定项目预期回报及其波动率是十分困难的。本文采用蒙特卡洛模拟技术，对项目上市后预期收益成本等进行 10 万次模拟计算，得出项目预期回报现值 $V_0 = 421$ 万元，波动率 = 29.89% ~ 30%。无风险利率 r_f 采用银行一年期贷款利率 5.31%， $r_{c_0} = 20\%$ ， $T = 1/12$ 。

用多步骤四项式模型计算，得到期初（2004 年 6 月）XQJ 项目价值为 5.55 万元，证明管理者初始投资项目的决策是正确的。计算值表在此省略，用表 1 简示后续各决策点的投资临界值计算结果。可以看出，投资临界值随着 R & D 项目的进展而逐渐变小，这与文献 [16] 得出的结论是一致的。

表 1 XQJ 项目决策点投资临界值 万元

开发阶段	现场测试	报验及生产准备
354	298	125

在后续决策点，当项目的内外环境没有发生大的变化时，决策者可根据当前时刻项目预期回报 V_s ，对照相应阶段的投资临界值，如果大于投资临界值，则继续；否则，考虑中止。计算结果表为决策者提供了直观的决策依据，例如假定在第 2 阶段初，管理层估测项目的预期市场回报降为 300 万元左右，小于该阶段的投资临界值，应考虑中止项目。

4.2 不可预见因素出现后的项目决策

R & D 项目的时间跨度长，其中会发生一些在项

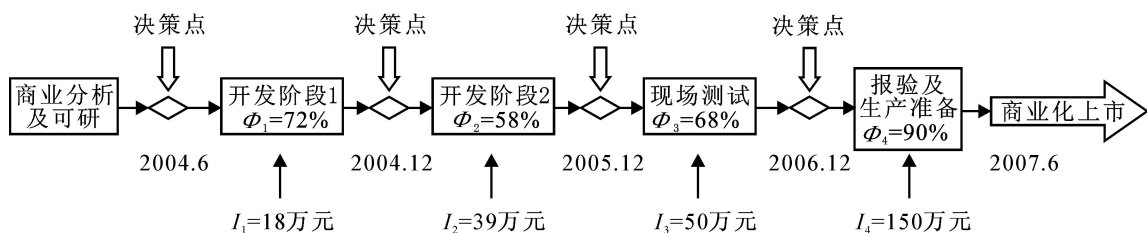


图 5 XQJ 项目门径管理流程

目计划时无法预见的因素,这时企业决策层需要权衡不同调整策略给项目价值带来的不同影响.在此结合 XQJ 项目在进展过程中的不可预见因素,运用实物期权分析思想和多步骤四项式模型来选择管理决策.

4.2.1 加速开发

2004 年下半年的许多信息表明,未来几年内建筑市场会很热,与之配套的消防设备的需求量会很大,新产品早上市会增加销售量,从而增加项目的预期回报.于是考虑缩短第 2 阶段的开发时间,但是否加速开发,需要权衡加速开发带来的正副效果,即在快速解决不确定性、增加项目回报、加快现金流回收与成本增加、投资柔性损失之间进行权衡.最优决策为正常开发和加速开发中项目价值最大者,即

$$M_2 = \max(M_{2\text{加速开发}}, M_{2\text{正常开发}}).$$

经过估算,第 2 阶段的开发时间缩短为半年,即 $T_3 - T_2 = 1/2$,开发费用 $I_{2\text{加速开发}}$ 增加到 80 万元,项目的预期回报 $V_{0\text{加速开发}}$ 增加到 500 万元,其他参数不变.

从直观上看,加速开发时,项目预期回报的增加值 ($500 - 421 = 79$) 大于成本的增加值 ($80 - 39 = 41$),应采取加速开发策略.但用多步骤四项式模型计算得到加速开发的项目投资机会价值 $M_{2\text{加速开发}} = 3.82$,而正常开发的项目投资机会价值 $M_{2\text{正常开发}} = 28.32$,说明项目正常开发策略的投资机会价值高于加速开发策略,因此应选择正常开发.虽然加速开发能增加回报、缩短投资回报的时间,但所造成的投资柔性损失和成本增幅较大,因此加速开发投资决策并不可取.

4.2.2 技术难题

经过前两个阶段的开发,技术人员认为产品的温控系统的可靠性不高,在测试阶段应根据现场的实际条件对原型的温控系统进行再调试.此时项目的技术任务有了新的变化,第 3 阶段的技术任务比计划的多,若增加投资 10 万元,则成功解决这一技术难题的概率为 70%.究竟如何决策,即求得

$$M_3 = \max(M_{3\text{中止}}, M_{3\text{增资}}).$$

此时,预计项目上市后的市场回报为 420 万元,在计算值表中找到相应的投资机会价值为 108 万元左右.如果此时中止项目,则会损失 108 万元的投资机会成本,但可省去 50 万元的投资成本.由此中止决策的机会价值 $M_{3\text{中止}} = -58$ 万元.

如果决定增资 10 万元,则该阶段的技术成功率 $\alpha_3 = 68\% \times 70\% = 47.6\%$.用多步骤四项式模型计算增资决策的项目投资价值 $M_{3\text{增资}} = 49$ 万元.比较两种决策所能带来的投资机会价值,由此选择增资

决策.

在 R & D 项目的进展过程中,还会发生一些不可预见的变化,例如项目的产业环境发生变化而引发项目预期回报的波动性变化;R & D 项目进展到某阶段,投资额的机会成本发生变化,即企业有回报更大的投资机会;预计市场需求量变小等.选择决策的思路与上面相同.

5 结 语

本文在分析 R & D 项目技术和市场不确定性分布特征的基础上,提出了多步骤四项式期权定价模型,用于 R & D 项目进展评估.通过模型计算,在决策点便可找到相应的市场价值状况或接近值,从而作出是否继续增资的决策.探讨了在动态环境中,当出现不可预见信息时,对采取的多个管理决策的选择问题.实例分析表明,多步骤四项式模型能灵敏地监测项目的单因素变化引起的项目投资价值的变化,对管理的灵活性和不确定性能进行量化处理,从而在很大程度上提高了 R & D 投资决策的准确性.模型简单直观,具有广阔的应用前景.

参考文献(References)

- [1] Myers S C. Determinants of corporate borrowing[J]. J of Financial Economics, 1977, 12(5): 147-175.
- [2] Kumar V, Persaud A N S, Kumar U. To terminate or not an ongoing R & D project: A managerial dilemma[J]. IEEE Trans on Engineering Management, 1996, 43(3): 273-284.
- [3] 董景容. R & D 项目中止决策的小波网络模式识别[J]. 管理科学学报, 2001, 4(2): 67-73.
(Dong J R. Wavelet network pattern identification in R & D project termination decision[J]. J of Management Sciences in China, 2001, 4(2): 67-73.)
- [4] 官建成, 刘权. 改进的 Hamming 神经网络在 R & D 项目中止决策中的应用[J]. 控制与决策, 2001, 16(6): 882-885.
(Guan J C, Liu Q. Application of improved Hamming neural networks to R & D project termination decisions [J]. Control and Decision, 2001, 16(6): 882-885.)
- [5] Huchzermeier A, Loch C H. Project management under risk: Using the real options approach to evaluate flexibility in R & D[J]. Management Science, 2001, 47(1): 85-101.
- [6] 范龙振, 唐国兴. 投资机会的价值与投资决策——几何布朗运动模型[J]. 系统工程学报, 1998, 13(3): 8-12.
(Fan L Z, Tang G X. The value of investment opportunity and investment decision: Geometric brownian motion model[J]. J of Systems Engineering, 1998, 13(3): 8-12.)

(下转第 504 页)

- production[J]. Computers and Chemical Engineering, 2000, 24(2): 345-351.
- [3] Zatel G, Missbauer H. New concepts for production planning and control [J]. European J of Operational Research, 1993, 67(3): 297-320.
- [4] Rodammer F, White K P. A recent survey of production scheduling [J]. IEEE Trans on System, Man and Cybernetics, 1988, 18(6): 841-851.
- [5] 罗焕佐, 宋国宁, 王晓峰, 等. 流程企业智能排产与优化调度技术[J]. 计算机集成制造系统, 2003, 11(9): 980-983.
(Luo H Z, Song G N, Wang X F, et al. Technology of intelligent planning and optimal scheduling for process enterprises [J]. Computer Integrated Manufacturing System, 2003, 11(9): 980-983.)
- [6] 李苏剑, 常志明. 面向合同生产的钢铁企业多阶段生产物流模型[J]. 北京科学技术大学学报, 1999, 21(6): 353-359.
(Li S J, Chang Z M. Facing contracts models for multiple stages production logistics balance in iron and steel complex[J]. J of Beijing University of Science and Technology, 1999, 21(6): 353 - 359.)
- [7] 杨剑, 贾仁安. 现代制造业生产物流模型研究[J]. 物流技术, 2004, 9(9): 61-62.
(Yang J, Jia R A. Research on production logistics model of modern manufacturing industry [J]. Production Logistics, 2004, 9(9): 61-62.)
- [8] 李苏剑, 吴清一. 混装生产物流数学模型研究[J]. 北京科学技术大学学报, 1994, 16(5): 440-445.
(Li S J, Wu Q Y. Study on mathematical models of production logistics in mixing charge [J]. J of Beijing University of Science and Technology, 1994, 16(5): 440-445.)
- [9] Tang L X, Liu J Y, Rong A Y, et al. A multiple traveling salesman problem model for hot rolling scheduling in Shanghai Boshan iron and steel complex [J]. European J of Operational Research, 2000, 124(2): 367-382.
- [10] Goldberg D E, Lingle J R. Loci and the traveling salesman problem [C]. Proc of Int Conf on Genetic Algorithm and Their Applications. Pittsburgh, 1985: 154-159.
- [11] Mohson Elhafsi. A production planning model for an unreliable production facility: Case of finite horizon and single demand [J]. European J of Operational Research, 2002, 143(1): 94-114.

(上接第 498 页)

- [7] Trigeorgis L. The nature of option interactions and the valuation of investments with multiple real options[J]. J of Financial and Quantitative Analysis, 1993, 28(1): 1-20.
- [8] Childs P D, Triantis A J. Dynamic R&D investment policies[J]. Management Science, 1999, 45(10): 1359-1377.
- [9] 李洪江, 曲晓飞, 冯敬海. 阶段性投资最优比例问题的实物期权方法[J]. 管理科学学报, 2003, 6(1): 20-26.
(Li H J, Qu X F, Feng J H. Definition of optimal proportion of phased investment: Real options approach [J]. J of Management Sciences in China, 2003, 6(1): 20-26.)
- [10] Benaroch M. Option-based management of technology investment risk [J]. IEEE Trans on Engineering Management, 2001, 48(4): 428-444.
- [11] Copeland T, Antikarov V. Real options [M]. New York: Texere, 2001.
- [12] Trigeorgis L. Making use of real options simple: An overview and applications in flexible/modular decision making[J]. The Engineering Economist, 2005, 50(1): 25-53.
- [13] Loch C H, Bode G K. Evaluating growth options as sources of value for pharmaceutical research projects [J]. R&D Management, 2001, 31(2): 231-248.
- [14] Hart S, Hultink E J, Tzokas N, et al. Industrial Companies' evaluation criteria in new product development gates [J]. J of Product Innovation Management, 2003, 20(1): 22-36.
- [15] 李川, 邓光军, 曾勇. 技术创新与增长期权定价[J]. 运筹与管理, 2003, 12(6): 71-78.
(Li C, Deng G J, Zeng Y. Technology innovation and valuation of growth option [J]. Operations Research and Management Science, 2003, 12(6): 71-78.)
- [16] Dixit A K, Pindyck R S. Investment under uncertainty [M]. New Jersey: Princeton University Press, 1994.