

# 基于二叉树模型的新药研发评价

柯昌文, 王宗军

(华中科技大学 管理学院, 湖北 武汉 430074)

摘要: 分析了新药研发中的管理期权, 结合案例用二叉树模型计算了新药研发中的放弃期权和推迟期权价值, 指出应从模型参数设定检验、研发成本波动性、其它竞争性新药信息收集、期权的最优执行等方面加强新药研发中的期权价值管理, 并得出结论: 二叉树模型是新药研发价值管理的有用工具。

关键词: 新药研发; 二叉树模型; 新药研发期权

中图分类号: FQ46

文献标识码: A

文章编号: 1001-7348(2007)09-0074-04

## 0 引言

投资评价的传统工具是 DCF 方法。DCF 方法在估价具有相对确定的未来收益流的投资项目上取得了巨大的成功, 因此十分适合静态的项目<sup>[1]</sup>。在不确定性环境下项目经常有管理期权, 在 DCF 分析中没有把管理期权结合进去, 忽视了管理期权的价值。管理期权是指管理者根据具体条件选择管理策略的灵活性。管理者积极利用项目不确定性提供的有利的机会, 避免不确定性给项目带来的损害, 采取有利策略增加项目价值。新药研发有两个重要特点, 其一是研发结果及其市场价值的不确定性; 其二是新药研发中内嵌许多管理期权。DCF 方法无法充分评价管理期权的价值, 因此对于新药研发要开发新的管理工具, 二叉树模型是不确定性的包含管理期权的项目评价的十分有利的工具。本文探讨如何用二叉树模型对新药研发进行评价, 探讨加强新药研发价值管理的措施, 并得出结论, 以更好地服务于新药研发决策。

## 1 新药研发中的期权

自从 Black、Scholes 和 Merton 1973 年在金融期权定价上取得突破性的成就以来, 经济学家为期权理论开辟了许多新的应用领域, 期权给予持有人做某事的一个机会而没有相应的义务。在新药研发投资中管理者有许多管理期权可以行使, 可以用期权方法进行建模和评价。新药研发投资中包含的期权主要有: 新药研发决策一般能够推迟, 能够等待更多新信息, 有等待或推迟期权; 新药研发一般分为筛选(寻找先导化合物)、非临床试验、临床试验 3 个阶

段, 临床试验又分 期、 期、 期等, 有分阶段期权; 在新药研发过程中能够临时停止, 有临时停止期权; 在新药研发过程中或研发结束后能够放弃, 研发中使用的设备或产生的知识产权能够转售, 也可能对其它新药研发有价值, 有放弃期权。

对新药研发投资中的期权价值可定义为:

新药研发的价值=不含期权的新药研发的内在价值(NPV)+期权价值

第  $n$  个期权价值=包括  $n$  个期权的新药研发价值-包括  $(n-1)$  个期权的新药研发价值

## 2 用二叉树模型评价新药研发

二叉树模型由 Cox、Ross 和 Rubinstein 1979 年所创立, 主要为金融期权决策服务。不同于传统的二叉树模型, 本文用主观概率和反映管理者的时间和风险偏好的风险折现率, 而不用风险中性概率和无风险利率。

### 2.1 某企业对新药 A 研发项目的评价

(1) 新药 A 的同类可比药品的年毛利  $P$  服从一个 GBM 过程:

$$dP=0.09Pdt+0.25Pdz$$

其中  $dz$  是维纳过程增量, 毛利  $P$  在单位时间的增长率  $(dp/p)$  的期望值  $\mu$  固定不变,  $\mu=9\%$ , 毛利  $P$  的对数的瞬时波动率  $\sigma=25\%$ 。

(2) 新药 A 的价值  $S$  是  $P$  的 8 倍, 即  $S=8P$ 。已知目前  $P$  为 1 940 万元, 即  $P(0)=1 940$  万元, 则  $S(0)=15 520$  万元。应用 ITO 引理可知,  $S$  也服从 GBM, 且其参数与  $P$  的参数相同。

(3) 新药 A 研发的各阶段的成本、持续期、成功概率如

收稿日期: 2006-07-12

作者简介: 柯昌文(1967-), 湖北大冶人, 华中科技大学管理学院博士研究生, 研究方向为实物期权、投资决策; 王宗军(1964-), 山东青岛人, 华中科技大学管理学院教授、博士生导师, 研究方向为投资评价与战略投资决策、金融风险管理及金融决策支持系统。

表1所示。假设各阶段成本均在阶段开始时一次性发生,前一阶段成功后下一阶段才继续进行。

表1 新药A研发各阶段成本、持续期、成功概率、放弃价值

研发阶段	成本(万元)	持续年数	成功概率	放弃价值(万元)
筛选	400	1	0.60	0
非临床试验	2 000	2	0.90	80
临床1期试验	600	1	0.75	480
临床2期试验	1 500	1	0.50	600
临床3期试验	4 000	2	0.85	900

(4)临床3期可推迟1年实施。各阶段在投资前均可放弃,放弃得到的价值为累计投资额的20%。

(5)管理者根据风险和时间偏好对A药品研发要求的报酬(折现)率为10%。

(6)新药A研发程序如图1所示。

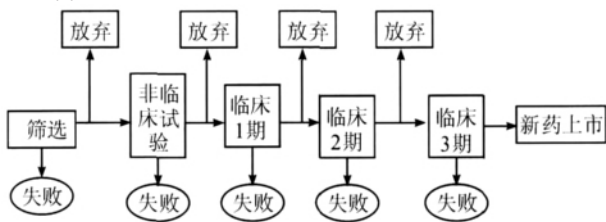


图1 新药A研发程序

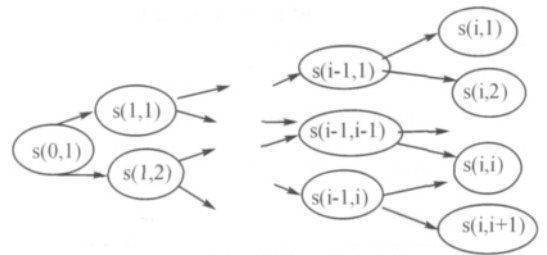


图2 新药A价值变化

表2 新药A在第7、8年各状态的价值 (单位:万元)

第7年状态	价值	第8年状态	价值
s(7,1)	93 672.3	s(8,1)	121 099.5
s(7,2)	56 046.5	s(8,2)	72 456.9
s(7,3)	33 534.0	s(8,3)	43 352.8
s(7,4)	20 064.3	s(8,4)	25 939.1
s(7,5)	12 005.0	s(8,5)	15 520.0
s(7,6)	7 182.9	s(8,6)	9 286.0
s(7,7)	4 297.7	s(8,7)	5 556.1
s(7,8)	2 571.4	s(8,8)	3 324.3
		s(8,9)	1 989.0

表3 不含期权的新药A研发NPV计算

(单位:万元)

时间(年)	状态1价值	状态2价值	状态3价值	状态4价值	状态5价值	状态6价值	状态7价值	状态8价值
7	93 672.3	56 046.5	3 3534.0	20 064.3	12 005.0	7 182.9	4 297.7	2 571.4
6	71 966.5	43 059.4	2 5763.5	15 415.0	9 223.2	5 518.4	3 301.8	
5	42 996.9	24 119.4	1 2824.6	6 066.6	2 023.1	-396.2		
4	14 735.2	7 483.6	3 144.8	548.8	-1 004.5			
3	7 540.1	3 361.7	861.6	-634.2				
2	5 389.9	2 179.7	258.9					
1	1 397.1	-822.6						
0	-104.8							

注:1.l(7,j)=s(7,j)

2.l(6,j)=(q\*I(7,j)+(1-q)l(7,j+1))/1.1

3.l(5,j)=(q\*I(6,j)+(1-q)l(6,j+1))\*0.85/1.1-4000;

4.l(4,j):(q\*I(5,j)+(1-q)l(5,j+1))\*0.5/1.1-1500

5.l(3,j)=(q\*I(4,j)+(1-q)l(4,j+1))\*0.75/1.1-600

6.l(2,j)=(q\*I(3,j)+(1-q)l(3,j+1))/1.1

7.l(1,j)=(q\*I(2,j)+(1-q)l(2,j+1))\*0.90/1.1-2000

8.l(0,1)=(q\*I(1,1)+(1-q)l(1,2))\*0.60/1.1-400

(7)A 新药研发中包含放弃期权、推迟期权。

2.2 计算、设定二叉树模型的有关参数

(1)确定新药A的价值S为状态变量。取时间步长 t=1年。

(2)对于每一个初始状态,S在 t内只有2个变化路径,或者上升μ倍,或者下降d倍。取μd=1,根据二叉树模型中的有关参数与其连续状态方程的有关参数之间的关系<sup>[2]</sup>,得

$$\ln u = \sqrt{\sigma^2 \Delta t + \left[ \left( \mu - \frac{1}{2} \right) \Delta t \right]^2}$$

$$= \sqrt{0.25^2 + \left[ \left( 0.09 - \frac{1}{2} \times 0.25^2 \right) \right]^2} = 0.25681$$

$$u = 1.2928, d = 0.7735$$

上升u倍的概率

$$q = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} (\mu - 1/\sigma^2) = \sqrt{\frac{\Delta t}{\sigma^2 + (\mu - 1/\sigma^2)^2 \Delta t}}$$

$$= 0.5 + 0.5(0.09 - 0.5 \times 0.25^2)$$

$$\sqrt{\frac{1}{0.25^2 + (0.09 - 0.5 \times 0.25^2)^2}} = 0.614384$$

表4 具有推迟期权时第6年各状态的投资价值计算

单位:万元

年	状态1价值	状态2价值	状态3价值	状态4价值	状态5价值	状态6价值	状态7价值	状态8价值	状态9价值
8	121 099.5	72 456.9	43 352.8	25 939.1	15 520.0	9 286.0	5 556.1	3 324.3	1 989.0
7	93 038.3	55 667.2	33 307.1	19 928.5	11 923.7	7 134.3	4 268.6	2 554.0	
6	67 479.5	38 768	21 589.2	11 310.6	5 160.7	1 481.1	- 720.5		

下降d的概率=1-q=0.385616

现。

(3)以s(i,j)表示新药A在第i年第j个状态的价值(当

(1)要对新药价值设定的过程及有关参数进行检验,减

前时间为0年)。新药A的价值S的变化路径如图2所示。由于临床3期在第5年投资,持续期为2年,并且可推迟1年,与本研究有关的是S的第7、8年的价值,如表2所示。

2.3 计算新药A研发项目不含放弃期权、推迟期权的内在价值

设I(i,j)为S(i,j)的投资价值,从图2的第7年各状态开始回溯计算,得到第6年到第0年的各状态的投资价值,如表3所示。

从表3可以看出,新药A研发不含期权的内在价值=-104.8万元。

2.4 分别计算新药A研发中的放弃期权和推迟期权的价值

设a(i,j)为状态s(i,j)的放弃策略的价值,w(i,j)为状态s(i,j)的推迟策略价值,d(i,j)为状态s(i,j)的最优策略的价值。当包括放弃期权和推迟期权时,d(i,j)=max{I(i,j),w(i,j),a(i,j)};当只包括放弃期权时,d(i,j)=max{I(i,j),a(i,j)}。

为简化计算工作,先用如表3类似的方法计算在具有推迟期权情况下第6年各状态的投资价值,如表4所示。

分别计算新药A只含放弃期权、含放弃期权和推迟期权的价值,如表5所示。从表5可以看出,只含放弃期权的新药A研发的价值=85.0万元,含放弃期权和推迟期权的新药A研发价值=425.2万元,因此,

放弃期权的价值=85-(-104.8)=189.8万元

推迟期权的价值=425.2-85=340.2万元

从投资决策的NPV准则来看,如果不考虑新药A研发中的期权价值,新药A研发是不可行的;如果考虑新药A研发中的期权价值,新药A研发是完全可行的。因此,忽视期权价值可能会丧失新药研发机会,不利于企业的长远发展。

### 3 新药研发期权价值的影响因素分析

在新药研发期权价值计算中涉及到一些假设和估计,也涉及到一些无法准确量化的因素。由于期权价值很难直接验证,如果不对影响期权价值的因素进行分析,不采取有效措施对期权价值进行管理,新药研发的期权价值就不能充分实

表5 含放弃期权和推迟期权的新药A研发价值计算

(单位:万元)

	只含放弃期权			含放弃、推迟期权			
	I(i,j)	a(i,j)	d(i,j)	I(i,j)	a(i,j)	w(i,j)	d(i,j)
s(6,1)				67 479.5	900		67 479.5
s(6,2)				38 768.0	900		38 768.0
s(6,3)				21 589.2	900		21 589.2
s(6,4)				11 310.6	900		11 310.6
s(6,5)				5 160.7	900		5 160.7
s(6,6)				1 481.1	900		1 481.1
s(6,7)				- 720.5	900		900.0
s(5,1)	42 996.9	900	42 996.9	42 996.9	900	51 279.9	51 279.9
s(5,2)	24 119.4	900	24 119.4	24 119.4	900	29 221.4	29 221.4
s(5,3)	12 824.6	900	12 824.6	12 824.6	900	16 023.3	16 023.3
s(5,4)	6 066.6	900	6 066.6	6 066.6	900	8 126.5	8 126.5
s(5,5)	2 023.1	900	2 023.1	2 023.1	900	3 401.6	3 401.6
s(5,6)	- 396.2	900	900	- 396.2	900	1 142.7	1 142.7
s(4,1)	14 735.2	600	14 735.2	17 942.6	600		17 942.6
s(4,2)	7 483.6	600	7 483.6	9 469.1	600		9 469.1
s(4,3)	3 144.8	600	3 144.8	4 399.2	600		4 399.2
s(4,4)	548.8	600	548.8	1 365.7	600		1 365.7
s(4,5)	- 777.7	600	600	- 349.7	600		600.0
s(3,1)	7 540.1	480	7 540.1	9 405.7	480		9 405.7
s(3,2)	3 361.7	480	3 361.7	4 523.2	480		452.2
s(3,3)	861.6	480	861.6	1 601.9	480		1 601.9
s(3,4)	- 212.4	480	480	129.8	480		480.0
s(2,1)	5 389.9	480	5 389.9	6 839.1	480		6 839.1
s(2,2)	2 179.7	480	2 179.7	3 087.9	480		3 087.9
s(2,3)	649.5	480	649.5	1 063.0	480		1 063.0
s(1,1)	1 397.1	80	1 397.1	2 412.1	80		2 412.1
s(1,2)	- 699.4	80	80	- 112.4	80		80.0
s(0,1)	85.0			425.2			

注:对于只含放弃期权,有关计算方法为:

$$1.I(7,j)=S(7,j)$$

$$2.I(6,j)=(q^*I(7,j)+(1-q)I(7,j+1))/1.1$$

$$3.I(5,j)=(q^*I(6,j)+(1-q)I(6,j+1))*0.85/1.1-4000$$

$$4.d(5,j)=\max\{I(5,j),a(5,j)\}$$

$$5.I(4,j)=(q^*d(5,j)+(1-q)d(5,j+1))*0.5/1.1-1500, \text{其余类推。}$$

对含有放弃期权和推迟期权的有关计算方法为:

$$1.I(8,j)=s(8,j)$$

$$2.I(7,j)=(q^*I(8,j)+(1-q)I(8,j+1))/1.1$$

$$3.I(6,j)=(q^*I(7,j)+(1-q)I(7,j+1))*0.85/1.1-4000$$

$$4.d(6,j)=\max\{I(6,j),a(6,j),w(6,j)\}$$

$$5.I(5,j)=\text{不含推迟期权情况下的 } I(5,j),w(s_j)=(q^*d(6,j)+(1-q)d(6,j+1))/1.1$$

$$d(5,j)=\max\{I(5,j),a(5,j),w(5,j)\}, \text{其余类推。}$$

少误差。新药价值一般不能直接观察,在上面的分析中我们假设新药价值与市场现有的同类药品的年毛利呈线性关系,市场上现有的同类药品的年毛利可以直接观察。如果新药价值的设定和参数与实际情况有较大偏差,就会导致不正确的结论。

(2)加强新药研发成本波动性管理。在上面的分析中我们假设新药研发成本不具波动性,这是不合理的。研发成本不但具有波动性,而且成本超支和成本节约的可能性不一样,成本超支的可能性更大。对于大多数研发项目,确定其成本底线(最低成本)是可能的,但成本超支没有相应的上界。当新药研发与企业现有的知识和经验较小关联时,成本更可能超支而不是节约,有时候甚至会脱离控制。

(3)收集竞争者的新药研发信息,密切注意竞争者推出新药的动向。虽然推迟期权具有价值,但这是以在推迟过程中新药价值的变化路径及其概率没有发生变化为条件,推迟期权具有价值不能成为新药研发管理过程中坐失良机的借口,一旦竞争者加快新药研发速度,等待过程可能成为侵蚀新药价值的过程。

(4)确保新药研发中的期权得到最优执行。期权价值实际是积极管理创造的价值。如果不能及时作出最优执行策略,期权价值将大打折扣,甚至一文不值。期权价值取决于在正确时间以正确的方式执行这些期权。为了保证新药研发中的期权得到最优执行,企业要明确什么人在什么时间按什么规则作出新药研发决策。企业可以对于时间窗口的每一个时间点建立基于某个可观察的指标的执行的触发点(阈值)来建立执行规则,当这个指标在该点的价值达到触发点时,立即执行期权,即企业建立一个最优执行边界。在某些情况下,企业可能发现执行时机取决于特定时间段

的某个事件的发生如竞争者是否推出新药品。放弃期权的执行是沉闷和压抑的,但它也能创造大量价值,不能忽视对这类期权的执行人员的激励。

## 4 结语

不确定性是新药研发管理不得不面对的严峻挑战,二叉树模型能对新药研发中内嵌的管理期权进行建模和评价,是十分合适有用的新药研发管理工具,它把新药研发的各种管理策略逻辑地表现出来,并对初始决策和后续决策的相互依赖性进行了很好的描述。用二叉树模型对不确定性的新药研发进行评价有许多优点:能充分反映新药研发中的管理期权;在二叉树中可以直接计算出各个决策点的价值和最优策略;能够充分反映新药研发中各项决策的相互依赖性,能够反映不能用方程描述的依赖于状态或时间的变量;能够为路径依赖的决策建模。要充分发挥二叉树模型对于不确定性新药研发管理的作用,使新药研发中内嵌的期权价值得到充分实现,企业要采取积极管理措施,加强模型参数设定、研发成本波动性、其它新药研发信息收集、期权执行策略等的管理,并对新药研发中的管理策略有深刻理解和把握。

参考文献:

- [1] Putton,A.B.and MacMillan,1.C..Making Real Options Really Work[J].Harvard Business Review,2004,(12): 134- 141.
- [2] 李楚霖,杨明,易江.金融分析及应用[M].北京:首都经济贸易大学出版社,2002.146- 147.

(责任编辑:赵贤瑶)

# Appraisal of R&D of New Medicine Based on Binomial Model

Abstract: Options nested in R&D of new medicine were analyzed.Values of abandonment option and deferral option were calculated with binomial model in a case study.The measures of verification of model parameters specification,R&D cost volatility,the information gathering of competing new medicine,and optimal exercise of options should be taken to manage option value.Binomial model is a helpful value management tool for R&D of new medicine.

Key Words: R&D of new medicine; binomial model; appraisal