多次投资情况下企业最优容量投资策略研究①

黄　超[1,2]，达庆利[2]
(1. 南京信息工程大学经济管理学院，南京 210044；2. 东南大学经济管理学院，南京 210096)

摘要：与仅考虑一次投资机会情况不同,研究分析了多次投资机会对企业最优容量投资策略的影响,利用实物期权方法建立了企业投资时机和容量选择模型.研究结果表明当拥有较多的投资机会时,企业将会拥有较大的容量投资期权,并会提前实施投资,而且最终投资达到的容量规模也越大.

关键词：投资机会；容量投资期权；连续投资

中图分类号：F830　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1007 - 9807(2008)04 - 0044 - 08

0 引　言

投资是企业经营活动中非常重要的经济行为,投资决策正确与否直接影响企业的未来,甚至关系到企业的生存.不确定性作为当今经济环境中较为显著的特性,为企业投资决策带来了困难.与确定性环境下的现金贴现模型相比,实物期权思想为投资决策提供了不确定性环境下的分析方法,是目前企业制定最优投资决策的主流工具,成为二十多年来投资领域的研究热点.

在 Bernnan 和 Schwartz[1]、McDonald 和 Siegel[2] 等关于实物期权的先导性研究基础上,Dixit[3] 利用或有权益方法分析了企业进入和退出市场的决策,Smets[4] 则将博弈论引入实物期权,Smit[5] 利用期权博弈理论分析了机场扩容投资问题,Grenadier[6] 深入探讨了房地产市场上的竞争问题,而更多的研究集中于技术创新投资问题上,因为技术创新具有典型的不确定性:技术不确定性和市场不确定性.利用实物期权理论分析投资问题的学者还有 Quigg、Siegel 和 Smith 和 Paddock、Weeds、Huisman 和 Kort、Lambrecht 和 Perraudin 等[7~11].

从上述实物期权文献中可以发现绝大部分研究仅仅考虑企业具有一次投资机会,并忽略最优投资容量的选择.虽然已有学者分析了面临多代新技术出现情况下的多次技术创新投资问题,如 Grenadie 和 Weiss[12] 把技术创新方面的连续投资看作为一个嵌入期权流,利用期权定价方式分析了企业的 4 种技术迁徙策略,何佳和曾勇[13] 在企业拥有两次投资机会情况下,研究了技术创新速度对企业技术投资行为的影响,但技术创新投资不涉及容量选择,故这类文献中不存在最优容量选择问题.Pindyck[14] 首次在不可逆框架中研究拥有连续投资机会的企业最优容量选择问题,企业具备连续容量投资机会相当于拥有一系列容量投资期权,在容量选择为连续增量过程假设下,Pindyck通过边际容量投资方法分析了企业最优投资策略,认为需求不确定性情况下的容量投资规模小于确定情况下的容量规模.Grenadier[15] 考查了竞争环境中多个同质企业的连续最优容量投资问题,发展了 Leahy“短视”企业的最优投资策略,并沿用 Pindyck 边际容量投资分析方法求解出连续时间的古诺纳什均衡.由于容量规模一般不是无限可分,边际容量投资并不切合实际,而且企业也只有有限次投资机会,不具有连续投资能

① 收稿日期：2006 - 05 - 16；修订日期：2007 - 01 - 11.
基金项目：教育部博士学科点专项科研基金资助项目(20030286008).
作者简介：黄　超(1968—)，男，江苏淮安人，博士，讲师. Email: cchhuang@ sina.com

力. Chu 和 Sing[16] 利用实物期权方法研究了垄断环境下房地产市场上的最优投资规模和投资时机，但仅考虑了一次投资机会情况. 本文将在不考虑企业间投资互动和容量规模非连续可分的基础上，进一步分析企业具有多次容量投资机会时的最优投资策略.

1　两次容量投资期权模型

企业具有两次容量投资机会情况，可以理解为企业拥有两次容量投资期权. 企业为风险中性企业，现有生产规模为 q_0. 产品市场价格为 P，与 Bernnan 和 Schwartz、McDonald 和 Siegel 认为价格是纯粹的外生随机变量不同，本文将价格过程看作为由外生性因素和内生性因素共同发挥作用的随机过程，假设 P 遵循下面变化过程以出清产品

$$P(t) = Y(t)D(q_t) \tag{1}$$

q_t 是市场上单位时间产品产出数量，$D(q_t)$ 为反需求函数，也是 q_t 的递减函数，等于企业生产容量. $D(q_t)$ 就是在价格变化过程中发挥内生性作用的因素，而 $Y(t)$ 则是外生性因素，按照 Dixit 和 Pindyck 的解释，$Y(t)$ 为产业范围内的随机冲击，是价格具有不确定性的根源，假设它服从下面的几何布朗运动[17]

$$\mathrm{d}Y(t) = \alpha Y(t)\mathrm{d}t + \sigma Y(t)\mathrm{d}w(t) \tag{2}$$

式中：α 和 σ 分别为漂移系数和方差系数；$\mathrm{d}w(t)$ 为标准维纳增量过程.

令企业可变生产成本为 $C(q)$，无风险利率为 r，则企业价值为

$$V(q,Y) = E\left[\int_0^\infty \{YD(q)q - C(q)\}\mathrm{e}^{-rt}\mathrm{d}t\right] \tag{3}$$

由于 Y 的不确定性使得企业价值 V 具有随机变化特性，企业最根本的投资原则就是在此不确定情况下追求最大化 V. 拥有两次容量投资机会的企业，面临的问题就是确定是否要实施其容量投资期权，分别于何时投资，及其相应的容量规模. 实际上，企业容量投资策略集是由 3 种方案组成：1）实施两次容量投资期权；2）放弃 1 次投资机会，仅实施 1 次容量投资期权；3）放弃两次容量投资期权，不进行任何容量投资.

首先考虑方案 1，采用逆向求解法分析这种投资策略. 假设企业在 Y 等于 Y_1 时已经实施过 1 次投资，使容量规模达到 q_1，企业价值为 $V(q_1, Y)$. 设 $F(q_1, Y)$ 为当前企业所拥有的第 2 次容量投资期权，那么企业将在 Y 到达临界值 Y_2 时实施这一投资期权，将容量规模扩大至 q_2，企业价值为 $V(q_2, Y)$. 根据或有权益方法，利用套利定价方式或根据动态规划方法，利用 Bellman 方程可得到如下二阶偏微分方程及边界条件

$$\sigma^2Y^2/2\cdot F_{YY}(q_1,Y) + \alpha YF_Y(q_1,Y) - rF(q_1,Y) = 0 \tag{4}$$

$$F(q_1,Y_2) = V(q_2,Y_2) - V(q_1,Y_2) - I(q_2-q_1) \tag{5}$$

$$F_{Y_2}(q_1,Y_2) = V_{Y_2}(q_2,Y_2) - V_{Y_2}(q_1,Y_2) \tag{6}$$

式(5) 和式(6) 分别为价值匹配和平滑粘贴条件，$I(q_2 - q_1)$ 为固定投资成本函数，则方程(4) 的解就构成了企业第 2 次最优容量投资策略. 企业第 2 次最优容量投资问题类似于文献[16] 中的模型，但文献[16] 求解方法较为繁琐，本文采取较为简单的方法来求解方程(4).

现考虑反需求函数、可变生产成本函数和投资成本函数均为容量线性函数的情况，令 $D(q) = a - bq$，$C(q) = cq$，$I(q) = kq$，a、b、c、k 均为常数. 企业在 Y 到达 Y_2 实施第 2 次容量投资期权时，必须要同时决定容量规模 q_2，以最大化企业价值或者是第 2 次容量投资期权. 将式(5) 右侧对 q_2 求导并令其等于零，即可获得如下 q_2 表达式

$$q_2 = \frac{a}{2b} - \frac{\delta(c + rk)}{2brY_2} \tag{7}$$

另外由方程(4) 边界条件得到

$$Y_2 = \frac{\beta\delta(c + rk)}{r(\beta - 1)[a - b(q_1 + q_2)]} \tag{8}$$

$$\delta = r - \alpha, \beta = \frac{1}{2} - \frac{r - a}{\sigma^2} + \sqrt{\left[\frac{r - a}{\sigma^2} - \frac{1}{2}\right]^2 + \frac{2r}{\sigma^2}}$$

联立方程(7)、(8) 可解得 q_2 和 Y_2 如下

$$q_2 = \frac{a + (\beta - 1)bq_1}{b(\beta + 1)} \tag{9}$$

$$Y_2 = \frac{\delta(\beta + 1)(c + rk)}{r(\beta - 1)(a - 2bq_1)} \tag{10}$$

同时，也可得到方程(4) 的解

$$F(q_1,Y) = \frac{a(q_2 - q_1) - b(q_2^2 - q_1^2)}{\beta\delta}Y_2\left(\frac{Y}{Y_2}\right)^\beta \tag{11}$$

同文献[16] 相比，本文解法简洁明了，避免了求

解二次方程并对其根进行取舍判断的繁琐.

下面考虑企业第1次容量投资情况，同第2次容量投资一样，可以建立关于企业第1次容量投资期权 $F(q_0, Y)$ 的二阶偏微分方程，但因为企业在实施第1次容量投资后，仍然具有再一次进行容量投资的期权，故其边界条件有所变化，具体形式如下

$$\sigma^2 Y^2/2 \cdot F_{YY}(q_0, Y) + \alpha Y F_Y(q_0, Y) - rF(q_0, Y) = 0 \tag{12}$$

$$F(q_0, Y_1) = F(q_1, Y_1) + V(q_1, Y_1) - V(q_0, Y_1) - I(q_1 - q_0) \tag{13}$$

$$F_{Y_1}(q_0, Y_1) = F_{Y_1}(q_1, Y_1) + V_{Y_1}(q_1, Y_1) - V_{Y_1}(q_0, Y_1) \tag{14}$$

同样，企业在第1次容量投资时也需要选择合适的 q_1 以最大化 $F(q_0, Y)$，对方程(13)右边关于 q_1 求导，并把式(9)、(10)和(11)代入，且令导数等于零，化简可得 q_1 如下

$$q_1 = \frac{a}{2b} - \frac{\delta(c + rk)}{2brY_1}\left[1 + \frac{2}{\beta - 1}\left(\frac{Y_1}{Y_2}\right)^\beta\right] \tag{15}$$

求解方程(12)，得到

$$F(q_0, Y) = F(q_1, Y) + \frac{[a(q_1 - q_0) - b(q_1^2 - q_0^2)]Y_1}{\beta\delta}\left(\frac{Y}{Y_1}\right)^\beta \tag{16}$$

$$Y_1 = \frac{\beta\delta(c + rk)}{r(\beta - 1)[a - b(q_1 + q_0)]} \tag{17}$$

则企业实施方案1进行两次容量投资的策略就由表达式(9)、(10)、(15)和(17)确定，这4个表达式包含 q_1、Y_1、q_2、Y_2 4个未知数，可以通过数值解法求出最优投资规则.

由表达式(9)和(10)可知，第2次投资策略完全依赖于第1次投资规模，将表达式(10)和(17)两边分别相除，并化简得：

$$\frac{Y_2}{Y_1} = \frac{(\beta + 1)[a - b(q_1 + q_0)]}{\beta(a - 2bq_1)} \tag{18}$$

由于 q_1 大于 q_0，所以从式(18)可知 Y_2 高于 Y_1，即因为拥有两次投资机会，企业往往会在 Y 较小时实施一次投资期权以期在较早时候就能够获取一些投资受益. 从 q_1 的表达式(15)知道 q_1 的取值范围在 $q_0 \sim a/(2b)$ 之间，如果第1次投资发生在 Y_1 较大的时候，那么这次投资规模就必然很大，使得 q_1 接近于 $a/(2b)$，则表达式(10)表明企业实施第2次投资的可能性非常小. 另外对式(11)进行化简得到如下形式的第2次容量投资期权

$$F(q_1, Y) = \frac{(a - 2bq_1)^2}{b\delta(\beta + 1)^2} Y_2 \left(\frac{Y}{Y_2}\right)^\beta \tag{19}$$

上式也表明 q_1 接近于 $a/(2b)$ 时，第2次容量投资期权趋于零，企业不会再进行第2次投资.

在式(16)中可以发现企业第1次容量投资期权由两项组成，第2项在企业执行第1次容量投资期权后通过投资收益转移到企业价值中去，而第1项则转变为企业拥有的第2次容量投资期权. 这说明在进行第1次容量投资时，企业并没有执行完全部容量投资期权，而将部分容量投资期权预留到晚些时候执行，目的就是为了最大化企业价值.

现在考虑方案2和方案3. 如果企业执行方案3，不实施容量投资期权，由式(3)可得企业价值 $V(q_0, Y_0)$ 如下(Y_0 为 Y 的初值)

$$V(q_0, Y_0) = \frac{aq_0 - bq_0^2}{\delta} Y_0 - \frac{c}{r} q_0 \tag{20}$$

由上式和前面分析可知若 q_0 小于 $a/(2b)$，企业会考虑实施容量扩张计划，反之不实施. 假设 q_0 小于 $a/(2b)$，现分析企业实施方案2情况. 设此时容量投资期权为 $F_*(q_0, Y_0)$，企业将在 Y 到达临界值 Y_* 时实施这一投资期权，将容量规模扩大至 q_*，投资后的企业价值为 $V(q_*, Y)$. 如果令上述实施两次容量投资期权情况中的 $q_1 = q_0$，则企业实施1次容量投资期权策略就等同于实施两次容量投资期权中的第2次容量投资策略，其最优投资规则如下

$$q_* = \frac{a + (\beta - 1)bq_0}{b(\beta + 1)} \tag{21}$$

$$Y_* = \frac{\delta(\beta + 1)(c + rk)}{r(\beta - 1)(a - 2bq_0)} \tag{22}$$

$$F_*(q_0, Y) = \frac{a - b(q_* + q_0)}{\beta\delta}(q_* - q_0) \times Y_* \left(\frac{Y}{Y_*}\right)^\beta \tag{23}$$

比较方案1和方案2，可以发现方案2中企业投资时机介于方案1中两次投资时机之间，即 $Y_1 < Y_* < Y_2$，进一步把表达式(21)改写为如下形式

$$q_* = \frac{a}{2b} - \frac{\delta(c + rk)}{2brY_*} \tag{24}$$

从而可以得知 $q_1 < q_* < q_2$. 这些说明在方案2中由于企业仅有1次投资机会，为减少投资风险，企业在市场状况较好时才会投资，故企业会适当延迟投资，这是因为投资越早，市场不明朗程度也越高，投资风险也就越大. 而方案1中，企业拥有两次投资机会，为早日获取一些投资收益，会适当提前进行1次投资，但为减少因早投资而带来的投资风险，其投资规模较小，当市场状况较为明朗时，企业将会再进行1次投资，以获取更多投资收益.

进一步分析企业分别实施方案1和方案2时所拥有的期权，并利用 $Y_1 < Y_* < Y_2$ 和函数 $f(Y) = Y^{1-\beta}$ 为减函数性质（因为 $\beta > 1$），可以得到下面结果

$$F(q_0,Y) - F_*(q_0,Y) > \frac{Y^{\beta}}{\beta\delta}[a(q_2 - q_*) - b(q_2^2 - q_*^2)]Y_2^{1-\beta} \tag{25}$$

由于函数 $f(q) = (a - bq)q$ 为凹函数，而且从表达式(7)知 $q_2 \leqslant a/(2b)$，故 $[F(q_0,Y) - F_*(q_0,Y)]$ 大于零，即企业拥有两次投资机会时的投资期权大于拥有1次投资机会时的投资期权. 所以，对比方案1和方案2，企业的最优投资策略应是方案1.

现在比较方案2和方案3，从式(23)可知如果 $q_0 \geqslant a/(2b)$，在企业实施投资期权后的容量大于初始容量情况下($q_* > q_0$)，$F_*(q_0,Y) < 0$，因此，企业实际上并不会实施容量投资期权（这里不考虑企业减少容量情况）；如果 $q_0 < a/(2b)$，并由于企业最优投资容量上限为 $a/(2b)$，从而可知 $F_*(q_0,Y) > 0$，故企业将会实施容量投资期权，这从本质上进一步证明了前面企业初始容量 $q_0 \geqslant a/(2b)$ 企业将不投资反之则投资的论述.

所以，从上面比较和分析中可知企业初始容量规模是决定企业选择投资策略的基础，如果 $q_0 < a/(2b)$，则最优投资策略是方案1，企业会实施两次容量投资期权，不会放弃任何一次投资机会，如果 $q_0 \geqslant a/(2b)$，企业的最优投资策略应是不投资，即方案3.

2　多次容量投资期权实施情况

现实社会中，企业虽然并不具有无限次容量投资机会，但是也可能拥有不止两次的投资机会，电力项目投资就属于这种情况. 电力项目具有投资巨大和建设周期长特点，是不可能进行连续投资的，而且随着科技的发展，电力项目往往具有大容量和高参数特征，例如发电容量项目，单机容量已经达到900 MW甚至更高，小机组逐渐淘汰，在此情况下，对发电容量项目的容量规模进行连续调整也不太可能. 不过，对发电商来说，却可以拥有多次发电容量项目投资机会，因为日益上涨的电力需求促使电力主管部门必须要经常增加装机容量，因而在较长的规划周期内，发电商可能获得不止一次的投资许可证. 下面将上述两次容量投资机会情况进一步推广到多次容量投资机会，即企业能够实施多次容量投资期权的情形.

在企业多次投资过程中，只有投资规模 q 和随机变量 Y 发生改变，其它参数一般保持不变，因此企业容量投资期权仅是 q 和 Y 的函数. 考虑企业具有 n 次容量投资机会，在 Y 达到临界状态 Y_m 时，企业实施第 m 次容量投资期权，将容量规模提高到 q_m 水平. 令企业第 m 次容量投资期权为 F_m，根据或有权益方法或动态规划方法可以得到如下两个方程

$$F_m = F_{m+1} + \left\{\frac{a(q_m - q_{m-1}) - b(q_m^2 - q_{m-1}^2)}{\delta}Y_m - \left(\frac{c}{r} + k\right)(q_m - q_{m-1})\right\}\left(\frac{Y}{Y_2}\right)^{\beta} \tag{26}$$

$$Y_m = \frac{\beta\delta(c + rk)}{r(\beta - 1)[a - b(q_{m-1} + q_m)]} \tag{27}$$

企业最优容量投资规则包含何时进行容量投资和投资规模两个方面，方程(27)决定了企业何时投资问题，投资规模问题则可由方程(26)来解决，让方程(26)中的 $Y = Y_m$（此时方程(26)实际上就成为关于 F_m 的期权微分方程价值匹配边界条件），再对方程(26)右边关于容量 q_m 求导，并令其等于零，得到方程：

$$\frac{\mathrm{d}F_{m+1}}{\mathrm{d}q_m} + \frac{aq_m - 2bq_m}{\delta}Y_m - \left(\frac{c}{r} + k\right) = 0 \tag{28}$$

由于 $m = 1,2,\cdots,n$，联立方程(27)和(28)可以构建一个共有 $2n$ 个方程的方程组（其中 $F_{n+1} = 0$），因此可求出 q_1、Y_1、q_2、Y_2 等 $2n$ 个未知数的数值解，从而最终确定具有 n 次投资机会的企业最优容量投资策略.

由容量投资期权方程(26)可知，随着企业不

断地执行容量投资期权，其剩余期权价值逐渐变小. 方程(26) 还从另一个方面显示企业拥有多次投资机会，实际是将其持有的期权分批分期地执行，以最大化其投资收益. 另外，因为 $q_0 < q_1 < \cdots < q_n$，故从方程(27) 可知 $Y_1 < Y_2 < \cdots < Y_n$，说明由于期权价值不断变小，且投资机会也变得越来越少，企业将会不断地推迟投资，以获取最大收益.

当企业具有持久的连续投资机会，即 $n \to \infty$ 时，企业将会实施怎样的投资策略呢？由于拥有无限次投资机会，因此每当 Y 发生变化时，企业都会立即优化其容量规模与 Y 相匹配，以最大化其收益. 故每个不同的 Y 值都是企业调整容量规模的临界值，所以可将方程(26) 中 Y 的下标去除，得到如下形式的企业执行 $m-1$ 投资后所持有的容量投资期权方程

$$F_m = F_{m+1} + \Big[\frac{a(q_m - q_{m-1}) - b(q_m^2 - q_{m-1}^2)}{\delta}Y - (\frac{c}{r} + k)(q_m - q_{m-1})\Big] \tag{29}$$

假设 Y 的漂移率 α 大于零，则企业每次调整容量规模都是执行容量扩张而不会缩小容量规模. 除了企业第 1 次可能实施较大规模的容量投资外，由于 Y 的连续性，在以后的每次投资中，企业的投资规模都是微增量，即 $q_m - q_{m-1} = \mathrm{d}q$，故可将方程(29) 改写为

$$A(q_{m-1} + \mathrm{d}q)Y^{\beta} - A(q_{m-1})Y^{\beta} + \frac{a - 2bq_{m-1}\mathrm{d}q}{\delta}Y - (\frac{c}{r} + k)\mathrm{d}q = 0 \tag{30}$$

上式中已忽略 $\mathrm{d}q$ 的二次项，式中 $A(q_{m-1})Y^{\beta}$ 为期权 F_m 的通解形式，将上式两边除以 $\mathrm{d}q$，并把 q 的下标省去，写成关于 q 的一般形式，结果如下

$$A'(q)Y^{\beta} + \frac{a - 2bq}{\delta}Y = \frac{c}{r} + k \tag{31}$$

上式就是在拥有无限次投资期权情况下，企业所持有期权的微分方程价值匹配边界条件，对上式关于 Y 求导，可得期权微分方程的平滑粘贴边界条件

$$\beta A'(q)Y^{\beta-1} + \frac{a - 2bq}{\delta} = 0 \tag{32}$$

联立方程(31) 和(32) 可得

$$Y = \frac{\beta}{\beta - 1}\frac{\delta}{a - 2bq}(\frac{c}{r} + k) \tag{33}$$

式(33) 就是在拥有连续容量投资机会情况下，企业所实施的最优投资路径，针对每个不同的 Y 值，企业将会迅速调整自己的生产容量与 Y 相匹配，以最大化企业收益.

如果让企业投资变量由生产容量规模变为单位资本规模，则式(33) 就同文献[17] 所分析的企业最优生产能力逐步扩张策略一样. 所以，文献[17] 的企业最优生产能力扩张模型实际上就是本文所研究的企业最优容量投资模型中投资机会次数趋向无穷大时的特例，而文献[16] 则是投资次数等于 1 时的另一个特例.

将式(33) 两边分别对 q 求导，可知 $\mathrm{d}Y/\mathrm{d}q > 0$，所以随着 Y 的上升，企业总是通过容量投资增加其容量规模. 因为 Y 是连续变化的，故最优投资策略要求企业也必须连续不断调整其容量，这就使得企业生产容量具有无限可分特性，除少数产业外(如软件产业)，这种特性与现实并不相符. 所以企业即使具有连续投资机会，往往也不可能执行连续投资.

3 算例分析

现以某一地区发电市场为例，分析该地区的最优发电容量扩张问题. 假设该地区发电市场为一家发电企业所垄断，企业初始装机容量 q_0 为 150 MW，$Y_0 = 1$，$\alpha = 0.05$，$r = 0.08$，反需求函数和可变成本函数的相应参数分别为 $a = 500$，$b = 0.5$，$c = 200$ 元/MW，$k = 5 \times 10^6$ 元/MW. 首先分析随机变量 Y 变化的不确定性对该企业发电容量投资的影响.

图 1 和图 2 反映了在分别拥有一次和两次投资机会时，不确定性对企业最优发电容量选择和投资时机的影响. 在图 1 中，σ 逐渐变大时，无论 q_* 还是 q_1 和 q_2，均随 σ 增大而增加，这实际体现了较大不确定性往往会蕴藏着较多投资机会的道理，企业不会因为不确定性增加而减少投资，反而会增加投资. 同时，不确定性增加也会给企业带来很大的投资风险，为降低风险，企业必然会在 Y 较大时投资，图 2 就表明发电容量投资临界值随 σ 增加而增加，这也符合垄断环境下实物期权理论

中不确定性增加会推迟投资的规律. 图1和图2还显示最优投资容量q_*和投资临界值Y_*分别位于q_1和q_2，及Y_1和Y_2之间，这同前面的分析是一致的.

图3则反映了在分别拥有一次、两次投资机会，以及连续投资机会情况下，企业持有的发电容量投资期权（下面分别称为1次期权、2次期权和连续期权）随Y变化而变化的趋势.

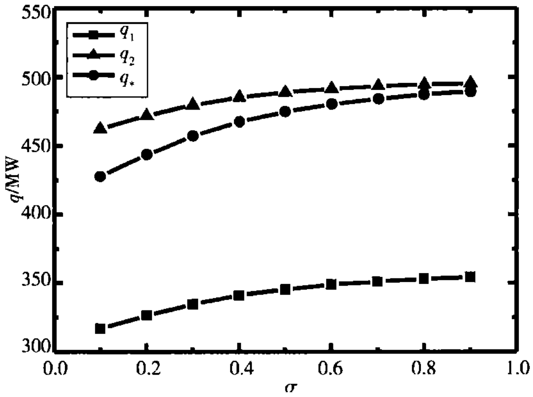

图1　不确定性对发电容量的影响

Fig. 1 Volatility effect on optimal capacity

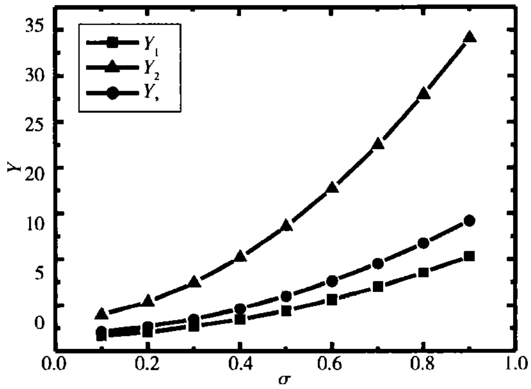

图2　不确定性对投资临界值的影响

Fig. 2 Volatility effect on trigger value

由图可知1次期权和2次期权均是Y的增函数，1次期权在Y_*处达到临界状态，此时，企业通过投资将期权转化为投资收益. 而2次期权是分段函数，有两个临界状态，在临界状态Y_1处，企业执行投资实施部分期权，使得2次期权在Y_1处出现跌落，此后，随Y的上升，2次期权继续逐渐变大，并在Y_2处到达第2个临界状态，企业执行最后一次投资期权，将其转化为投资收益. 与1次期权和2次期权不同，连续期权是Y的减函数，在初始状态处最大，之后随Y上升而下降，这是因为企业持续进行投资，将发电容量扩张至与Y相匹配的规模. 同时，受反需求函数约束，容量最大可扩张至$a/(2b)$，故企业未来进行发电容量扩张的空间越来越小，连续期权也逐渐降低并趋向于零.

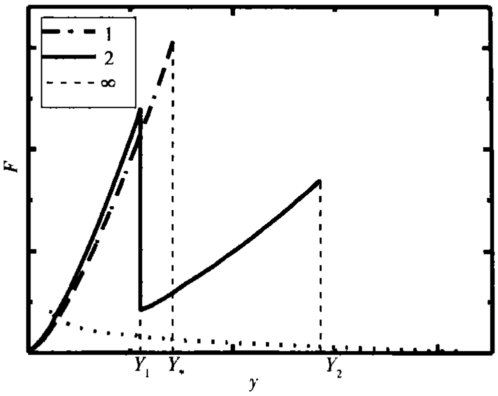

图3　Y对发电容量投资期权的影响

Fig. 3 Shock effect on power capacity investment option

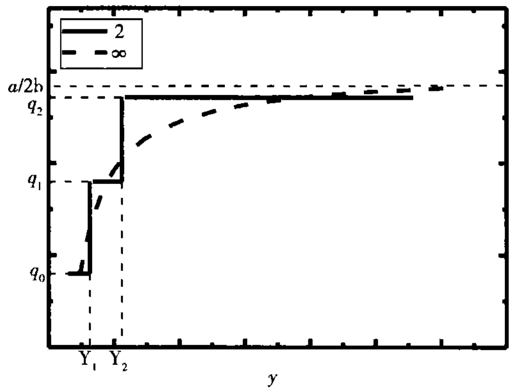

图4　Y对最优发电容量规模的影响

Fig. 4 Shock effect on optimal power capacity

图4反映了在分别具有两次和连续投资机会情况下，企业随Y变化而应持有的最优发电容量规模. 如图所示，在具有两次投资机会情形下，企业最优发电容量在3个不同Y范围内分别维持在不同水平上并保持不变，而在具有连续投资机会情况下，除在初始阶段Y较小时，初始容量大于与该阶段Y相匹配的最优容量，企业不进行容量投资，容量维持在q_0不变外，企业一直在随Y的增加而不断地进行发电容量投资，以达到与Y相匹配的容量规模. 又从图3知道在Y较大时，企业持有的发电容量投资期权逐渐趋向于零，企业进行容

量扩张的空间非常小,故图 4 显示随 Y 的增大,企业持有的最优发电容量将逐渐趋向于 $a/(2b)$.

4 结束语

企业容量投资问题不仅包含最优投资时机的确定,而且也涉及到最优容量规模的选择. 本文利用实物期权方法研究了企业最优容量投资问题,与以前研究不同,本文考察了多次投资机会对企业最优容量投资策略的影响. 研究结果表明多次投资机会的拥有不仅提高了企业容量投资期权,而且也会加速企业进行投资的步伐,并能够扩大企业容量投资规模. 具体分析显示 2 次期权和 1 次期权均随着不确定性的增加而提高,但是 2 次期权大于 1 次期权. 对连续期权而言,除了在企业生产容量规模较小时外,其余大部分情况下均小于 1 次和 2 次期权,原因在于当生产容量规模较小时,企业具有较大的容量扩张空间,即拥有较高的容量投资期权,反之,连续期权则较低.

本文没有考虑企业之间的投资互动,因此,进一步的研究可以考虑竞争环境下的企业最优容量投资问题,利用期权博弈方法来分析多次投资机会对企业最优容量投资策略的影响.

参 考 文 献:

[1] Brennan M J, Schwartz E S. Evaluating natural resource investment[J]. Journal of Business, 1985, 58(2): 135—157.

[2] McDonald R, Siegel D. The value of waiting to invest[J]. Quarterly Journal of Economics, 1986, 101(4): 707—727.

[3] Dixit A K. Entry and exit decisions under uncertainty[J]. Journal of Political Economy, 1989, 97(3): 620—638.

[4] Smets F R. Essays on Foreign Direct Investment[D]. Connecticut: Yale University, 1993.

[5] Smit T J. Infrastructure investment as a real options game: The case of European airport expansion[J]. Financial Management, 2003, 32(4): 27—57.

[6] Grenadier S R. The strategic exercise of option: Development cascades and overbuilding in real estate markets[J]. Journal of Finance, 1996, 51(5): 1653—1679.

[7] Quigg L. Empirical testing of real option-pricing models[J]. Journal of Finance, 1993, 48(2): 640—641.

[8] Siegel D, Smith J, Paddock J. Valuing off shore oil properties with option pricing models[J]. Midland Corporate Finance Journal, 1987, 5(1): 22—30.

[9] Weeds H. Strategic delay in real option model of R&D competition[J]. Review of Financial Studies, 2002, 69(3): 729—747.

[10] Huisman K J M, Kort P M. Strategic technology investment under uncertainty[J]. OR-Spectrum, 2002, 24(1): 79—98.

[11] Lambrecht B, Perraudin W. Real option and preemption under incomplete information[J]. Journal of Economic Dynamic and Control, 2003, 27(4): 619—643.

[12] Grenadier S R, Weiss A M. Investment in technological innovations: An option pricing approach[J]. Journal of Financial Economics, 1997, 44(3): 397—416.

[13] 何 佳, 曾 勇. 技术创新速度对新技术购买行为的影响——两代未来创新的情况[J]. 管理科学学报, 2003, 6(1): 13—19.

He Jia, Zeng Yong. Impact of speed of innovation arrival on innovation adoption timing: Case of two generations of future innovations[J]. Journal of Management Sciences in China, 2003, 6(1): 13—19. (in Chinese)

[14] Pindyck R. Irreversible investment, capacity choice, and the value of the firms[J]. American Economic Review, 1988, 79(5): 969—985.

[15] Grenadier S R. Option exercise games: An application to the equilibrium investment strategies of firms[J]. The Review of Financial Studies, 2002, 15(3): 691—721.

[16] Chu Y, Sing T F. Intensity and Timing Options for Investment in a Less Than Perfectly Competitive Market[R]. Working Paper, Department of Real Estate, NUS. 2004.

[17] Dixit A K, Pindyck R S. Investment under Uncertainty[M]. Princeton: Princeton University Press, 1994.

Study on optimal capacity investment strategies for firms with many investment opportunities

HUANG Chao[1,2], *DA Qing-li*[2]

1. School of Economics & Management, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China;
2. School of Economics & Management, Southeast University, Nanjing 210096, China

Abstract: Differing from other papers that study investment strategies by considering only one investment opportunity, this article examines the effect of many investment opportunities on optimal capacity investment strategies of firms, the investment timing model and capacity choice model are built up through real option. The result shows that firm will hold high capacity investment option and make investment earlier, and the final capacity scale will be larger as well when it has many capacity investment opportunities.

Key word: investment opportunity; capacity investment option; continuous investment

(上接第29页)

Study on multi-stage investment model of network expansion

MA Yun-feng[1], *YANG Chao*[2], *YANG Jun*[2]

1. School of Management, Wuhan University of Science & Technology, Wuhan 430081, China;
2. School of Management, Huazhong University of Science & Technology, Wuhan 430074, China

Abstract: This paper discusses the construction time table and the sequence of each arc of network based on the condition that the network layout planning has been finished. Given a planning network $G(V,A,C)$ with r known origin-destination pairs of customer flows, the options of investment schemes in each period is evaluated with the goal of minimizing the total construction cost, maintenance cost and customer flow cost of the whole network. How the model changes when the present value of all kinds of costs changes is discussec, and a greedy heuristic algorithm is put forward to solve the problem as well. A case study of the planning on Gongyi street network is illustrated briefly in section 3, which shows several thousands Yuan of social costs has saved and almost 85 million Yuan of direct social value would have been created according to our model and algorithm.

Key words: network expansion; model; multi-stage investment; algorithm