

# 价格歧视下的不可再生资源的开采问题研究

于立,于左,王建林

(东北财经大学 产业组织与企业组织研究中心,辽宁 大连 116025)

**摘要:**自 Hotelling 开始,不可再生资源开采问题引起了经济学家们的注意,在此过程中,产业组织理论被应用于不可再生资源的研究。文章分析了价格歧视对不可再生资源开采的影响,结果发现,当资源的垄断开采者面向多个市场时,价格歧视因素可能使资源开采偏离最优路径。

**关键词:**不可再生资源;垄断;价格歧视;最优开采

**中图分类号:**F416.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-9952(2006)08-0053-09

## 一、引言

不可再生资源(non-renewable resources)也称可耗竭资源,包括各种能源如石油、天然气、煤炭,以及非能源矿物质诸如铜、铁矿等,它们是经过数百万年的地质演变而形成的,储量固定不变,在某一时点上的任何使用都会减少后续时点可使用的数量。对于这些可耗竭资源的一个核心问题是:何种开采方式才是最优的。Hotelling(1931)在其开创性论文中首次研究了这个问题,从而奠定了可耗竭资源经济学的基础。Hotelling 认为资源的拥有者会把其资源看成是不断产生回报的资产,当资源价格上升幅度大于银行利率时,拥有者倾向于保留资源;当预计资源价格上升幅度低于银行利率时,拥有者倾向于尽快开采资源,而把卖资源所得的钱存入银行之中,自由竞争条件下的市场调节会使资源的价格以银行利率的速度增长,这就是著名的 Hotelling 定律。尽管 Hotelling 模型看起来十分精美,但由于忽略了太多的因素,其结论与经验事实是不符合的,例如一百多年来能源价格并没有出现持续的增长。为了更好地解释现实,后来的研究者不断引入各种因素,使用了不同的模型设定继续这个问题的研究。

---

收稿日期:2006-06-05

基金项目:国家社会科学基金重大项目(05&ZD035),辽宁省人文社科重点研究基地重大项目(J05070)

作者简介:于立(1956—),男,辽宁义县人,东北财经大学产业组织与企业组织研究中心教授,博士生导师;  
于左(1973—),男,辽宁岫岩人,东北财经大学产业组织与企业组织研究中心博士研究生;  
王建林(1979—),男,河北晋州人,东北财经大学产业组织与企业组织研究中心博士研究生。

在经典的 Hotelling 模型中,没有考虑替代弹性和开采成本的变化。stiglitz(1976)认为随着能源的替代品出现,能源的替代弹性应随时间增加,另外,随着新的开采技术的出现,能源的开采成本应随时间下降。与 Stiglitz 的观点相反,Lewis 等人(1979)认为资本成本、租金这些“准固定成本”构成了资源成本的相当比例,所以开采成本应该是不变的,另外,很低的价格可能把边缘上的大量用户吸引过来,需求弹性应随消费增长而增长。基于两种不同的模型假设,两人得出了不同的结论,Stiglitz 认为垄断者倾向于保护资源,Lewis 等人则认为垄断者倾向于过度开采资源。除了 Stiglitz 和 Lewis,大量学者也在其他方面对 Hotelling 模型进行拓展,拓展大多集中在勘探和资本品的投资等方面,Peterson(1978)、Pindyck(1978, 1980)、Lasserre(1984)、Livernois 和 Uhler(1987)、Swierzbinski 和 Mendesohn(1989a) 摒弃了 Hotelling 模型中资源储量不变的假定,考虑了勘探因素对资源开采行为的影响,Hossein(1984)、Gabriel(1993)、Kenneth(1991)则考虑了资本品投资对开采行为的影响,模型与结果日趋复杂是这类文献的共同特征。

除了引入各种因素拓展 Hotelling 模型之外,多学科融合也是资源经济学发展的特点。结合产业组织理论研究可耗竭资源一直是很流行的做法,Hotelling(1931)最早曾考察了垄断和竞争对资源开采的影响,时至今日,开采企业的市场结构仍是资源经济学家们关注的焦点。除了考虑市场结构对资源开采造成的影响外,最近的研究用到了产业组织中的价格歧视理论,Fischer 和 Laxminarayan(2003)研究了面向两个不同需求弹性市场上垄断者开采的问题,发现三级价格歧视对最优资源开采路径有重要影响,它倾向于使垄断者过快开采资源。尽管可耗竭资源的研究出现多学科交叉趋势,但其核心问题没有改变,仍然是一个“放水问题”(于立,1994),即耗竭性资源作为一个“蓄水池”,资源开采企业如何确定各期的“流量”才能做到收益最大化。

在实际生活中,不可再生资源产品价格歧视大量存在,如中国电力定价中存在三级价格歧视,电力消费者分为居民、非居民、非工业、普通工业、大工业、农业等七大类(目前中国大部分电力是煤的二次能源,基本可以被看作是不可再生资源产品)。在国外,对天然气等不可再生资源实施非线性定价已很普遍,天然气定价一般实行两部制定价,即一部分按容量或日需量计收,一部分按实际用量计收,以分别反映生产成本中固定费用和可变费用的影响。国内学者陈绍刚(2004)建议,中国应在更多能源产品如天然气、石油液化气、压缩天然气等定价中实施价格歧视,并提议参照电力行业的做法,对天然气实施三级价格歧视,把消费者分为城市燃气用户、电力行业用户、工业燃料用户和化工原料用户四类。价格歧视在能源产品的定价实践中大量被采用,但从理论上探讨这一问题的文献相对较少,如价格歧视会如何影响能源的开采速度,是倾向于保护资源还是过快消耗资源?本文将在前人研究的基础上,对此进行

一些分析，以推广和拓展 Fischer 等人的研究。

## 二、基本模型

微观经济理论表明，如果某种资源配置方式能够使社会总剩余最大化，那么该配置就是有效率的。为了评价各种市场运行的结果，首先引入一个假设的角色——社会计划者，他试图最大化社会总剩余，我们观察该社会计划者的开采行为，并以此作为评价其他开采方式的“参照系”。

在本文的分析中，遵循 Hotelling 的传统，不考虑资源的开采成本，或者说仅考虑资源的“净价格”，并假设存在  $n$  类不同资源消费市场，比例分别为  $\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_n$ ， $q^i$  和  $p^i$  分别为  $i$  市场的资源销售量和价格， $K(t)$  为第  $t$  期资源存量， $K_0$  为的资源有限总储量， $\rho$  为银行利率。社会计划者面临的问题是：

$$\text{Max} \int_0^\infty e^{-\rho t} \left[ \sum_{i=1}^n \eta_i \int_0^{q^i} p^i(x) dx \right] dt \quad (1)$$

约束条件为：

$$\dot{K} = - \sum_{i=1}^n \mu_i q^i \quad (2)$$

$$K(0) = K_0 \quad (3)$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} K(t) \geq 0 \quad (4)$$

构造现值汉密尔顿函数：

$$H = \sum_{i=1}^n \eta_i \int_0^{q^i} p^i(x) dx + \lambda \left( - \sum_{i=1}^n \mu_i q^i \right) \quad (5)$$

其中， $\lambda$  表示资源存量的影子价格，最优条件为：

$$p^i = \lambda \quad (6)$$

$$\dot{K} = \frac{\partial H}{\partial \lambda} = - \sum_{i=1}^n \mu_i q^i \quad (7)$$

$$\dot{\lambda} = - \frac{\partial H}{\partial K} + \rho \lambda = \rho \lambda \quad (8)$$

横截条件：

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \lambda(t) \geq 0, \lim_{t \rightarrow \infty} \lambda(t) [K(t) - 0] = 0 \quad (9)$$

分析终点时刻资源的存量状况，假如资源最终未被采完，即：

$$\lim_{t \rightarrow \infty} K(t) > 0$$

根据横截条件(9)可以得出：

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \lambda(t) = 0$$

设首期资源存量的影子价格为  $\lambda_0$ ，由(8)式得： $\lambda(t) = e^{-\rho t} \lambda_0$ ，因为无穷远处  $\lambda$  为 0，所以必有  $\lambda_0 = 0$ 。再由(6)式得，对于所有  $i$ ， $p^i(1) = p^i(2) = \dots = p^i(\infty) = 0$ ，即资源在每一个市场上的价格始终为 0，这显然违背了资源储量有限的

假设,所以必有: $\lim_{t \rightarrow \infty} K(t) = 0$ 。

这说明资源在最终时刻必然被采完,而首期资源的影子价格  $\lambda_0 > 0$ 。

命题1:当资源由社会计划者开采时,资源在所有市场上的价格都相同,且所有市场上的资源价格增长路径都是最优路径。

证明:(6)式意味着资源在所有市场上的价格都等于影子价格  $\lambda$ ,显然资源在所有市场上的价格都相同。将  $\lambda(t) = e^{\rho t} \lambda_0$  代入(6)式得:  $p^i(t) = e^{\rho t} \lambda_0 = e^{\rho t} p^i(0)$ ,  $i=1, 2, \dots, n$ , 可以发现,各个市场的资源价格都以利率的速度增长,因为该资源价格增长路径最大化了社会总剩余,所以是最优的。

以上分析中我们没有设定资源消费市场的需求条件,所以无论需求条件如何,由命题1可知,当资源由社会计划者开采时,各个资源消费市场间不会存在价格歧视,而且资源价格增长路径与 Hotelling 模型一致。

### 三、扩展模型

经营者具有一定的市场势力是实施价格歧视的必要条件,本文假设资源开采者为垄断者。现实中,资源由垄断者开采是很普遍的现象。

价格歧视要求消费者的特征不同,为了描述各个市场间的需求特征,根据 Tirole(1988)的方法,假设资源消费者偏好可分为两部分:对货币的偏好  $U(I)$  和对资源的偏好  $V(q)$ ,其中  $U(0)=0, U'>0, U''<0, V(0)=0, V'>0, V''<0$ ,并进一步假设消费者对资源的效用函数可描述为:  $V(q) = \frac{1-(1-q)^2}{2}$ 。

当资源消费者支出  $T$  而消费  $q$  单位资源时,总效用为:  $U_s = U(I-T) + V(q)$ ,如果花在资源上的支出  $T$  相对于初始货币量  $I$  是很小的( $T \ll I$ ),就可将  $U(I-T)$  进行泰勒展开,得  $U_s = U(I) - TU'(I) + V(q)$ ,令  $\theta \equiv 1/U'(I)$ ,得  $\theta U_s = \theta U(I) - T + \theta V(q)$ 。将效用函数适当编号,总效用中由消费资源带来的效用就可写为:  $U_R = \theta V(q) - T$ ,这里,  $\theta$  是货币的边际效用的倒数,它是消费者特征的度量指标。消费者  $i$  将调整需求量  $q$ ,最终使得:  $U'_R = p$ ,稍加整理,可得消费者  $i$  的需求函数:

$$q = 1 - \frac{p}{\theta_i} \quad (10)$$

#### (一)无套利线性定价(三级价格歧视)

与价格歧视关系密切的一个概念是套利(arbitrage),如果消费者之间的交易成本很低,获得低价的消费者可能将商品转卖给获得高价格的消费者,这样的话价格歧视不可能被实施,定价者只能制定统一的价格。无套利线性定价的情况是:消费者之间不存在套利行为,收费  $T(q)$  是线性价格,即:  $T = pq$ 。

垄断者面临的问题是最大化利润:

$$\text{Max} \int_0^\infty e^{-\rho t} \left( \sum_{i=1}^n \eta_i p^i q^i \right) dt \quad (11)$$

并满足约束条件(2)、(3)和(4)。

构造现值汉密尔顿函数：

$$H = \sum_{i=1}^n \gamma_i p^i q^i + \lambda \left( - \sum_{i=1}^n \mu_i q^i \right) \quad (12)$$

由最大值原理，对第*i*个消费者有：

$$\frac{\partial H}{\partial q_i} = 0 \quad (13)$$

将(10)式代入(13)式，得一阶最优条件为：

$$2p^i - \theta_i = \lambda \quad (14)$$

该优化问题中， $K$  和  $\lambda$  的运动方程及横截条件分别为(7)式、(8)式和(9)式，对横截条件的分析同社会计划者问题。

**命题2：**在无套利线性定价的情况下，资源的垄断开采者会提高货币边际效用低的消费者市场上的资源价格，降低货币边际效用高的消费者市场上的资源价格。

证明：因为给定期  $t$ ， $\lambda$  为常数，由(14)式可知， $p^i$  和  $\theta_i$  同方向变化， $\theta_i$  定义为货币边际效用的倒数，因此  $p^i$  和货币边际效用反方向变化，证毕。

**命题3：**在无套利线性定价的情况下，资源的垄断者开采会降低货币边际效用低的消费者市场上的资源价格增长速度，提高货币边际效用高的消费者市场上的资源价格增长速度，但所有市场上的资源价格增长速度都低于社会计划者开采下的资源价格增长速度。

证明：由(14)式和(8)式得： $2p^i - \theta_i = \lambda = e^{\rho t} \lambda_0$ ，这样，*i* 市场上的资源价格增长速度为：

$$r_p^i = \frac{\dot{p}}{p} = \frac{e^{\rho t} \lambda_0}{e^{\rho t} \lambda_0 + \theta_i} \rho$$

可以发现：

$$\frac{\partial r_p^i}{\partial \theta_i} < 0$$

这说明资源价格增长速度  $r_p^i$  与该市场消费者的货币的边际效用成正比。无论  $\theta_i$  取值如何，因为  $\theta_i > 0$ ，显然都有  $r_p^i < \rho$ ，证毕。

**推论：**在无套利线性定价的情况下，在每一个市场上，资源的垄断者开采都会使初始的资源价格高于社会计划者开采下的初始的资源价格。

证明：分析任意市场，假如垄断者开采下的初始资源价格低于社会计划者开采下的初始资源价格，由命题3可知，在该市场上，每一期垄断者开采下的资源价格都低于社会计划者开采下的资源价格，这样每一期垄断者开采量都大于社会计划者开采量。由于每一个市场都如此，所以在整个计划期内，垄断者的开采总量必然大于社会计划者的开采总量，这违反了资源储量一定的假设，因此，推论成立。

由于社会计划者开采方式为最优的开采方式,推论表明,垄断者实施的价格歧视使得每一市场上初始资源价格都高于最优水平,这样,全部市场的初始需求之和必然低于最优的初始需求水平,所以垄断者倾向于过度保护资源。

### (二)无套利两部制定价(一级价格歧视)

两部制定价是指消费者购买  $q$  单位商品时,除了缴纳一个完全线性价格  $pq$  外,还要交一个固定费用  $A$ ,即  $T = A + pq$ 。当不存在套利时,垄断者可以对每一个市场分别制定一个固定费用  $A^i$ ,使其等于该市场的消费者剩余,从而完全剥夺消费者剩余。在设定的需求函数下,  $i$  市场的消费者剩余  $S_i(p)$  为:  $S_i(p) = \frac{(\theta_i - p)^2}{2\theta_i}$ , 可以发现:  $\frac{\partial S_i(p)}{\partial \theta_i} = \frac{\theta^2 - p^2}{2\theta^2}$ 。

根据设定的需求函数,前式非负,因此,货币边际效用较低的消费者的剩余较高,支付的固定费用也越高。

两部制定价收取的总费用为:

$$\frac{(\theta_i - p)^2}{2\theta_i} + pq$$

此时垄断者最大化其利润的问题为:

$$\text{Max} \int_0^\infty e^{-rt} \left\{ \sum_{i=1}^n \eta_i \left[ \frac{(\theta_i - p_i)^2}{2\theta_i} + p^i q^i \right] \right\} dt \quad (15)$$

并满足约束条件(2)、(3)和(4)。

该问题中,由于假设消费者之间不可能套利,这等于垄断者实施一级价格歧视,两部制定价收取的总费用等于社会总剩余,即:

$$\frac{(\theta_i - p)^2}{2\theta_i} + pq^i = \int_0^{q^i} p^i(x) dx$$

所以垄断者最大化利润的行为必然最大化社会总剩余。

**命题 4:** 在无套利两部制定价的情况下,当资源由垄断者开采时,各个市场上的资源的边际价格都相同,资源边际价格的增长路径为最优增长路径。

**证明:** 由于两部制定价收取的总费用等于社会总剩余,该优化问题与社会计划者问题相同,参见命题 1 的证明。

由命题 4 可知,在无套利两部制定价的情况下,垄断开采者对每一市场上的边际单位资源产品收取相同的价格,同时要求消费者支付一个因人而异的固定费用,此时,开采者的行为从社会的角度看是最优的,从而垄断者不再是资源保护主义者。

如果货币边际效用低的消费者发现,他被收了一个比别人高的固定费用,那么他有动机转向为货币边际效用低的消费者设计的消费组合,从而实现套利。下面分析套利条件下的资源开采问题。

### (三)套利线性定价(一般垄断定价)

如果资源的消费者之间可以完全套利,那么市场是不可分割的,资源的供

给者将面对一个统一的市场,令 $\theta$ 代表 $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n$ 的“调和平均值”:

$$\frac{1}{\theta} = \sum_{i=1}^n \frac{\eta_i}{\theta_i}$$

统一的市场需求曲线为:

$$q(p) = \sum_{i=1}^n \eta_i q_i(p) = 1 - p/\theta$$

这是标准的 Hotelling 垄断者开采模型,垄断者面临的问题是:

$$\text{Max} \int_0^\infty e^{-pt} pq dt \quad (16)$$

并满足约束:

$$\dot{K} = -q \quad (17)$$

以及约束(3)和(4)。

构造现值汉密尔顿函数:

$$H = pq - \lambda q \quad (18)$$

得到最优条件:

$$2p - \theta = \lambda \quad (19)$$

$$\dot{K} = \frac{\partial H}{\partial \lambda} = -q \quad (20)$$

$$\dot{\lambda} = -\frac{\partial H}{\partial K} + \rho \lambda = \rho \lambda \quad (21)$$

由(19)式和(21)式得: $2p - \theta = \lambda = e^{pt} \lambda_0$ ,进而得到资源价格增长路径:

$$r_p = \frac{\dot{p}}{p} = \frac{e^{pt} \lambda_0}{e^{pt} \lambda_0 + \theta} \rho$$

因为 $r_p < \rho$ ,所以当消费者可以完全套利时,资源价格的增长速度低于社会计划者开采下的资源价格增长速度,与社会最优开采路径相比,垄断者倾向于保护资源,消费者整体的货币边际效用越低,垄断者保护资源的程度越大。

#### (四)不完全套利两部制定价(二级价格歧视)

不完全套利的两部制定价是指,由于存在套利行为,只能向消费者征收统一的固定费用,但又不能出现只有一个消费者支付固定费用的情形,即套利是不完全的。为能够使各个市场的消费者都能购买,统一收取的固定费用应为货币边际效用最高的消费者的剩余,否则某些市场的消费者不去购买,或者说该定价方式不满足参与约束。假如 $\theta_1$ 类市场的消费者为货币边际效用最高的消费者,那么制定一个收费标准: $T = S_1(p) + pq$ ,则其余 $n-1$ 个市场的消费者都会购买。

在此情形下,垄断的资源开采者仍然面临着统一的市场: $q(p) = 1 - p/\theta$ ,垄断者最大化利润函数:

$$\text{Max} \int_0^\infty e^{-pt} \left[ \frac{(\theta_1 - p)^2}{2\theta_1} + pq \right] dt$$

约束条件为(3)、(4)和(17),用与前面类似的方法解该优化问题得到:

$$\left(2 - \frac{\theta}{\theta_1}\right)p = \lambda = e^{\rho t} \lambda_0 \quad (22)$$

命题5:在不完全套利两部制定价情况下,当资源由垄断者开采时,资源边际价格增长路径为最优增长路径。

证明:由(22)式计算出价格的增长率:

$$r_p = \frac{\dot{p}}{p} = \frac{\lambda}{\lambda} = \rho$$

因为资源边际价格增长速度等于银行利率,所以资源边际价格增长路径为最优增长路径。

命题5的结论和命题4的结论相同,在两部制定价下,无论在消费者间存在套利还是不完全套利,垄断者的行为从社会的角度看都是最优的。这当然不是偶然的,原因在于两部制定价可以通过固定费用剥夺消费者剩余,线性定价正是由于无法剥夺消费者剩余才导致资源的保护倾向。

#### 四、简短结论

本文分析了存在多个资源消费市场时的垄断者开采问题,分析结果发现:当资源的垄断开采者面向多个市场时,价格歧视因素可能会导致对最优开采路径的偏离。此外,和我们的直观感觉一致,一般的价格歧视问题(静态的)和资源产品中的价格歧视问题(动态的)的福利结果很相似。如在一般的三级价格歧视下,由垄断者供给商品会导致对货币边际效用低的消费者索取高价(Tirole,1988),而由垄断者开采资源时,三级价格歧视也会对货币边际效用低的消费者索取高价;在一级价格歧视下,无论是静态问题还是动态问题都不会导致资源配置的扭曲。

#### 参考文献:

- [1]于立.能源价格理论[M].大连:东北财经大学出版社,1994:71~91.
- [2]陈绍刚,赵蜀蓉.能源产品定价中价格歧视方法的应用研究[J].天然气工业,2005,(2):183~185.
- [3]J Tirole. The theory of industrial organization[M]. Cambridge :MIT Press,1988:133~166.
- [4]H Hotelling. The economics of exhaustible resource[J]. Journal of Political Economy, 1932, 39(4):137~175.
- [5]Lewis T R, Matthews S A, Burness H S. Monopoly and the rate of extraction of exhaustible resources: Note[J]. American Economic Review, 1979,69: 227~230.
- [6]Stiglitz J E. Monopoly and rate of extraction of exhaustible resources[J]. American Economic Review, 1976,66: 655~661.
- [7]Krautkraemer J A. Nonrenewable resource scarcity[J]. Journal of Economic Literature, 1998,36: 2065~2107.

- [8]C Fischer, R Laxminarayan. Monopoly extraction of an exhaustible resource with two markets[J]. Canadian Journal of Economics, 2004, 37: 178~188.
- [9]Peterson F. A model of mining and exploring for exhaustible resources[J]. Journal Environmental Economics and Management, 1978,(5):236~251.
- [10]Pindyck R. The Optimal exploration and production of nonrenewable resources[J]. Journal of Political Economy, 1978,86:841~861.
- [11]Lasserre P, Reserves and land prices with exploration under uncertainty[J]. Journal Environmental Economics and Management. 1984,(11):191~201.
- [12]Livernois J, R Uhler. Extraction costs and the economics of nonrenewable resources [J]. Journal of Political Economy, 1987,95:195~203.
- [13]Swierzbinski J E, Mendelsohn R. Exploration and exhaustible resources: The microfoundations of aggregate models[J]. International Economic Review, 1989,30:175~186.
- [14]Farzin Y H. The Effect of the discount rate on depletion of exhaustible natural resources[J]. The Journal of Political Economy, 1984, 92: 841~851.
- [15]Lozada G A. The Conservationist's dilemma[J]. International Economic Review, 1993,34:647~662.
- [16]Stollery K R. Mineral depletion with cost as the extraction limit: A model. applied to the behaviour of prices in the nickel industry[J]. Journal of Environmental Economics and Management, 1983, (10):151~165.

## The Extraction of Non-renewable Resources under Price Discrimination

YU Li, YU Zuo, WANG Jian-lin

(Research Center for Industrial and Business Organization, Dalian 116025, China)

**Abstract:** Starting from Hotelling, the extraction of non-renewable resources began to hold economists' interests and since then theories of industrial organization have been adopted for the study of non-renewable resources. This paper analyzes the effect of price discrimination on the extraction of non-renewable resources and finds that when a monopolist extracts non-renewable resources for several markets, price discrimination may result in extraction deviation from the optimized path.

**Key words:** non-renewable resource; monopoly; price discrimination;  
optimized extraction

(责任编辑 周一叶)