

矿产资源与可再生资源之间替代模型研究^①

魏晓平, 谢钰敏

(中国矿业大学管理学院, 徐州 221008)

摘要: 矿产资源的可持续利用是可持续发展的重要组成部分,也是可持续发展战略的核心问题之一。但是矿产资源是自然界中有限、稀缺的可耗性资源,其开采利用无疑会导致最终可采储量为零,从理论上讲是达不到持续利用。那么如何界定矿产资源的可持续利用,已经引起理论界的关注。本文运用数学模型对资源的替代问题进行了定量分析,从经济角度推导出了矿产资源耗竭及替代发生的条件及特殊情况下矿产资源的最佳配置,为进一步研究矿产资源的代际间公平配置奠定了理论基础,对矿产资源的保护利用具有重要的实践意义。

关键词: 矿产资源; 可持续利用; 可再生资源; 替代模型

中图分类号: F407

文献标识码: A

文章编号: 1007-9807(2001)02-0063-04

0 引言

在我国,以矿产资源为主要劳动对象的矿业和农业(基础产业)的产值占国民生产总值的33%,却支撑着其余产值67%的后续产业的发展,其经济效益辐射面极为广阔。但是矿产资源是自然界中有限、稀缺、可耗竭资源,其开采利用无疑会导致最终存量为零。从理论上讲是达不到持续利用。那么如何界定矿产资源的可持续利用,使其开采利用既满足当代人的需求,又不对后代人满足其需求的能力构成威胁,已成为可持续发展理论与实践研究关注的热点问题之一^[1-3]。目前较为一致的看法是^[4-6]:在人类有意义的时空尺度(更准确地说是某种矿产资源耗竭之前)找到具有经济价值的可替代资源,并成功地向替代资源过渡,从而使矿产资源的耗竭不再影响经济、社会、资源、环境的协调发展。本文将建立数学模型,并从经济学的角度对替代问题进行定量分析。

1 模型的一般形式

1.1 动态模型的建立

当可耗竭(矿产)资源存在替代资源时,替代资源的边际总成本(边际开采成本与边际使用成本之和)决定了资源开采成本的上限。如在开采某一可耗竭(矿产)资源时,存在一种开采成本固定,取之不尽,用之不竭的可再生的替代资源;当该种可耗竭资源的开采总成本,超过其可替代资源的固定开采成本时,需求开始向可再生的替代资源转移。

设某能源矿产的寿命期为 T (为整数)年,将问题分为相互联系的 T 个阶段,第 t 年($t=0,1, \dots, T-1$)该资源的矿权人获的收益为 $P_t(X_t + Y_t) - C_1(X_t) - C_2(Y_t)$,而在整个寿命期内,资源总价现值为

$$V = \sum_{t=0}^{T-1} \rho^t [P_t(X_t + Y_t) - C_1(X_t) - C_2(Y_t)] \quad (1)$$

① 收稿日期:1999-11-15;修订日期:2000-09-26.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(79870051),国家社会科学基金资助项目(00BJY033).

作者简介:魏晓平(1953-),女,黑龙江人,教授.

该矿权人的目标是使上式达到最大,并满足

$$\max V = \sum_{t=0}^{T-1} \rho^t [P_t(X_t + Y_t) - C_1(X_t) - C_2(Y_t)] \quad (2)$$

$$\begin{cases} Q_{t+1} - Q_t = -X_t, & (3) \\ Q_0 = S(0) - S(T) & (4) \end{cases}$$

$$(t = 0, 1, \dots, T-1)$$

式中 P_t 为第 t 年矿产资源的市场价格,外生变量; X_t 为第 t 年矿产资源的产量,决策变量; Y_t 为第 t 年可再生资源的替代量; Q_t 为第 t 年矿产资源的储量,状态变量;

$Q_{t+1} - Q_t = -X_t (t = 0, 1, \dots, T-1)$ 是一组差分方程,描述了状态 t 到状态 $t+1$ 的转移规律; $C_1(X_t)$ 为第 t 年可耗竭资源的开采总成本; $C_2(Y_t)$ 为第 t 年可再生资源的开采总成本; $S(0), S(T)$ 分别为期初与期末的存量; ρ 为贴现系数, $\rho = (1+r)^{-t}$, r 为贴现率。

1.2 模型的转换

式(2)~(4)构成一个有约束的极值问题,可将其化为无约束 Lagrangian 极值问题

$$L = \sum_{t=0}^{T-1} \rho^t [P_t(X_t + Y_t) - C_1(X_t) - C_2(Y_t)] + \sum_{t=0}^{T-1} \rho^{t+1} \lambda_{t+1} (-X_t + Q_t - Q_{t-1}) = \sum_{t=0}^{T-1} \rho^t [P_t(X_t + Y_t) - C_1(X_t) - C_2(Y_t) + \rho \lambda_{t+1} (-X_t + Q_t - Q_{t+1})] \quad (5)$$

引入 Hamilton 函数

$$H(\cdot) = H(X_t, Y_t, Q_t, \lambda_{t+1}, t) = P_t(X_t + Y_t) - C_1(X_t) - C_2(Y_t) - \rho \lambda_{t+1} X_t \quad (6)$$

将式(6)代入式(5)有

$$L = \sum_{t=0}^{T-1} \rho^t [H(\cdot) + \rho \lambda_{t+1} (Q_t - Q_{t+1})] \quad (7)$$

1.3 模型的最优性条件

式(7)取得极值的必要条件:

$$\begin{aligned} \partial L / \partial X_t &= \rho \partial H / \partial X_t \\ &= \rho [P_t - C_1'(X_t) - \rho \lambda_{t+1}] \\ &= 0 \end{aligned} \quad (8)$$

$$\partial L / \partial Y_t = \rho [P_t - C_2'(Y_t)] = 0 \quad (9)$$

$$\partial L / \partial Q_t = \rho^{t+1} \lambda_{t+1} - \rho \lambda_t = 0 \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \partial L / \partial \lambda_{t+1} &= \rho^{t+1} (-X_t + Q_t - Q_{t-1}) \\ &= 0 \end{aligned} \quad (11)$$

若 L 为凹函数,上述的必要条件就是问题的充分条件.由式(8)~(11)进一步得出

$$P_t - C_1'(X_t) - \rho \lambda_{t+1} = 0 \quad (12)$$

$$P_t - C_2'(Y_t) = 0 \quad (13)$$

$$\rho \lambda_{t+1} = \lambda_t \quad (14)$$

$$Q_{t+1} - Q_t = -X_t \quad (15)$$

$$(t = 0, 1, \dots, T-1)$$

1.4 可再生资源的替代条件

由式(12)~(14)得

$$\lambda_t = C_2'(Y_t) - C_1'(X_t)$$

或

$$\lambda_t + C_1' = C_2' \quad (16)$$

从式(12)与式(14)容易看出: $\lambda_t = \lambda_0(1+r)^t$ 为可耗竭资源的机会成本或使用成本,其大小反映了资源的稀缺程度,表示资源的当期消费所导致该资源丧失未来消费机会的成本损失.从经济学的角度讲,当取之不尽、用之不竭的可再生资源完全替代可耗竭资源时,可耗竭资源的边际使用成本 $\lambda_t = C_2' - C_1'$ 不再随时间增长.这意味着可耗竭资源的储量对可持续发展不构成约束,这时目标方程(2)为一无约束极值问题(见图1 $C_1' = MC_1, C_2' = MC_2$),

$$T_1 = \frac{\ln(C_2' - C_1') - \ln \lambda_0}{\ln(1+r)}$$

在 $t > T_1$ 以后两种资源的边际总成本相等,两种资源同时开采,直到可耗竭的矿产资源消耗殆尽.

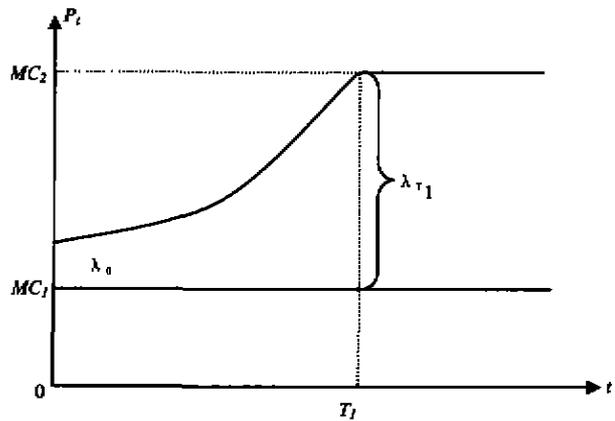


图 1 可耗竭资源向可再生资源的转变

如果随着科学技术的进步,开采可再生资源的边际成本不断降低,则非再生资源的机会成本 $\lambda_t = C_2' - C_1' (t > T_1)$ 也随之降低.

当 $C_2' = C_1'$ 时,非再生资源的机会成本 $\lambda_t =$

$0(t > T_1)$;

当 $C_2 < C_1$ 时,非再生资源需求被驱逐市场,完全被可再生资源所取代。

2 模型的特殊情形

现在考虑一种特殊的情况,设资源价格是开采量的线性函数^[11,12]:

设其为:

$$P_t = \alpha - \beta(X_t + Y_t) \quad (17)$$

(1) 当 $C_2 > \lambda_0 + C_1$ 时,资源的替代尚未开始,这时 $Y_t = 0$, 而 X_t 可通过方程(12)~(15)解出。

其中 $C_1(X_t), P_t$ 可根据历史数据进行预测^[12~14],以决定其参数,若

$$C_1(X_t) = a + bX_t \quad (18)$$

根据最优性条件有

$$\alpha - 2\beta X_t - b - \rho\lambda_{t+1} = 0 \quad (19)$$

即

$$\begin{aligned} X_t &= (\alpha - b - \lambda_t) / 2\beta \\ &= (\alpha - b - \rho^{-t}\lambda_0) / 2\beta \end{aligned} \quad (20)$$

由边值条件有

$$\sum_{i=0}^{T-1} X_i = S(0) - S(T) \quad (21)$$

代入式(20)得

$$\frac{\sum_{i=0}^{T-1} (\alpha - b - \rho^{-i}\lambda_0)}{2\beta} = S(0) - S(T) \quad (22)$$

$$\text{于是 } \lambda_0^* = \frac{(\alpha - b)T + 2\beta[S(T) - S(0)]}{\sum_{i=0}^{T-1} (1 + r)^i} \quad (23)$$

将 λ_0^* 代入式(20)模型的最优解

$$\begin{aligned} X_t^* &= \frac{1}{\beta} \left\{ (\alpha - b) - \right. \\ &\quad \left. \frac{[(\alpha - b)T + 2\beta(S(T) - S(0))](1 + r)^t}{\sum_{i=0}^{T-1} (1 + r)^i} \right\} \end{aligned} \quad (24)$$

$X_t^* (t = 0, 1, \dots, T - 1)$ 即为可耗竭资源的最佳

配置。当 $T, \alpha, \beta, b, S(0), S(T), r$ 等参数被给定时,就可算出 $X_t^*, \lambda_t^* = \lambda_0^* (1 + r)^t$, 由差分方程 $Q_{t+1} - Q_t = -X_t^*$ 求出 Q_t 及目标函数值。

(2) 当 $C_2 = \lambda_0 + C_1$ 而且 $\lambda_0 > 0$ 两种资源同时开采利用,其开采量之和直接由目标方程(2)得出,其最大值不再受约束条件(资源储量)的限制,直到非再生资源耗尽(或使用成本 $\lambda = 0$)。

(3) 当 $C_2 \leq C_1$ 时,非再生资源被驱逐市场,即 $X_t = 0$

3 结束语

一般来说,矿产资源的开采利用在客观上有一定的限度,它不以人的意志为转移。若对资源的开采利用强度超过了这一客观尺度,来不及寻找替代资源,人类的生存环境将受到威胁。因此,研究矿产资源的持续利用问题,实际上就是研究其耗竭速度问题。其研究内容主要包括(1)在不同时期合理配置有限资源,即以资源的价格、价格为中心,以需求、供给为影响因素,通过市场机理寻找资源的最佳配置^[11]; (2) 使用可更新资源替代可耗竭资源,使矿产资源向其它可更新资源有序转移,使其功能上达到持续利用^[14,15]。

由于经济系统的高度复杂及非线性性,给定量研究带来了很大难度。本文仅从利润最大化角度对问题实质进行了经济分析。进一步的研究将对矿产资源的开采保护有很重要的理论和实践意义。特别是研究资源的替代,可对那些目前不具备开采价值的贫矿或在目前技术水平下尚难开发的资源作战略上的保护,然后根据需求和科技水平安排资源的开采顺序。从长远看,当科学技术水平提高了,这些资源储备就会转化为巨大财富。对那些一旦灭绝,不能再生的珍稀矿产,要全力保护,为我们的后代满足其需求留下可持续利用的资源和生态环境。

参考文献:

- [1] 潘家华著. 持续发展途径的经济学分析[M]. 北京:中国人民大学出版社,1997
- [2] 钱 闾,陈绍志主编. 自然资源资产化管理——可持续发展的理想选择[M]. 北京:经济管理出版社,1996
- [3] 张 帆著. 环境与自然资源经济学[M]. 上海:上海人民出版社,1998

- [4] Hartwick J M. Intergenerational equity and the investing of rents from exhaustible resources[J]. *The American Economic Review*, 1977,(67):972-974
- [5] Solow R M. On the intergenerational allocation of natural resources[J]. *Scandinavian Journal of Economics*, 1986,(88):141-149
- [6] Dasgupta P S, Heal G M. *Economic theory and exhaustible resources*[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1979
- [7] Norton B G. Intergenerational equity and environmental decisions: a model using rawls' veil of ignorance[J]. *Ecological Economics*, 1989,(1):137-159
- [8] Hotelling H. The economics of exhaustible resources[J]. *Journal of Political Economy*, 1931, (39): 137-175
- [9] Wei Xiaoping, Wang Lijie. A study on the optimal exploitation policy of multi-mine resources[J]. *Journal of Science & Engineering*, 1997,3(1): 31-35
- [10] Conrad J M, Clark C W. *Natural resource economics, Notes and problems*[M]. Cambridge: Cambridge University press, 1987
- [11] 魏晓平. 煤炭资源的最佳耗竭速度与可持续利用探讨[J]. *煤炭学报*, 1997, 22(1): 56-60
- [12] 魏晓平, 王立杰. 市场经济条件下矿产资源价值与最佳配置研究[J]. *系统工程理论与实践*, 1997, 17(6): 26-29
- [13] Davidson R. Optimal depletion of an exhaustible resource with research and development towards an alternative technology[J]. *Review of Economic Studies*, 1978, (140): 355-468
- [14] 魏晓平. 矿产资源的可持续利用与价值补偿问题研究[J]. *煤炭学报*, 1999, 24(5): 548-551
- [15] 魏晓平. 我国煤炭资源最适耗竭理论与可持续系统模拟研究[J]. *中国矿业大学学报*, 2000, 29(2): 147-150

On replaces model research between mineral resources and renewable resources

WEI Xiao-ping, XIE Yu-min

College of Management, China University Mining and Technology, Xuzhou 221008, China

Abstract: It is important component and also is one of the kernel problem of sustainable development strategy that mineral resources are of sustainable utilization, but the mineral resources are limited, scarce, exhausted and not regenerated resources in the natural world and they are not be of sustainable utilization on theory. Exploited and utilized of them will undoubtedly lead to the result that the ultimate of their reserves is zero. Then, how to define sustainable utilization of mineral resources has caused the concern of theory circle in recent year. This paper has gone on the quantitative analysis to the replacement problem of exhaustible resources with the math model, infers the condition of mineral resources exhaustion and replacement occurred from economic meaning, and gives a concrete application of the model for instance. It lays a theoretical foundation for further study on fair allocation of mineral Resources between generations, and it has also important practical significance for the protection and utilization of mineral resources.

Key words: mineral resources; sustainable utilization; replacement model; regenerated resources