

文章编号: 1003-2053(2012)05-0716-05

资源跨期最优开采路径技术进步影响途径研究

曹明 魏晓平

(中国矿业大学管理学院, 江苏徐州 221116)

摘要: 技术进步是弥补不可再生资源耗竭的长期决定因素之一。研究基于资源跨期开采模型, 首先分析技术进步分别从调整资源可采储量、提升资源利用效率、促进资源替代以及降低资源开采成本等途径对资源最优开采路径的影响, 然后借助案例对各类技术进步影响途径的分析结果进行了模拟验证。结论表明, 除了增加资源可采储量之外, 不存在某类的技术进步可以既增加社会福利又有利于资源的可持续利用, 而任何技术进步都需要相应的政策措施来引导和约束, 最后在结论基础上提出政策参考建议。

关键词: 不可再生资源; 技术进步; 跨期最优开采路径; 可持续利用

中图分类号: F270.7

文献标识码: A

不可再生资源(以下简称资源)是宝贵和有限的, 资源经济学家们致力于寻找资源开采的最优路径, 以求达到资源开采价值或社会福利最大化, 实现资源可持续利用。1931年, Hotelling^[1]最早提出了资源最优开采路径“霍特林法则”(Hotelling Rule)。此后, Dasgupta和Heal^[2]构建了不含技术进步、折旧率与开采成本, 通过效用贴现率实现社会福利现值最优的理论模型, 得出资源消费和效用最终都趋于零的残酷现实。Stiglitz^[3]进一步指出避免这种后果的重要途径是技术进步, 认为足够大的外生技术进步率足以弥补资源损耗的影响, 并可以通过资源替代缓解资源的生产消费需求。与此同时, Solow^[4]与Hartwick^[5]从资本替代角度指出只要将可耗竭资源的霍特林租全部用于投资, 即可保证资源持续消费的可能, 这种投资规则被称为“哈特维克法则”(Hartwick Rule)。此后, Asheim^[6]的讨论中也间接指出技术进步的重要影响作用。在前人研究的基础上, Tietenberg^[7]首次提出了资源开采“跨期”概念, 并构建资源跨期有效配置理论模型, 之后资源开采时间顺序概念也就逐步形成。

国内学术界, 汪丁丁^[8]以多时期动态净现值最大化为目标建立了最优控制数学模型, 在一系列限定条件下得到了资源最优开采路径。杨海生、周永章与杨小强等^[9]通过一个连续时间的随机动态规

划模型, 探讨了资源存量的不确定性以及勘探活动对矿产资源价格和开采速度的影响。葛世龙、周德群等分别在储量不确定与税收政策不确定条件下, 在理论上验证了当前提高回采率政策的有效性以及资源税率对资源耗竭路径的影响^{[10][11]}。魏晓平、王立杰与王新宇等将国外资源最优开采路径理论引入对我国矿产资源优化开采的研究中, 取得了一系列的研究成果^[12-14]。

在资源最优开采路径理论中, 技术进步是非常重要的因素, 然而技术进步对于资源开采路径的影响作用却没有得到令人满意的解释。一方面技术进步是一个难以量化的潜在变量, 不能得到实证有力支持; 另一方面技术进步形式多样, 作用途径广泛, 更增加了问题的复杂性。本文在Tietenberg资源跨期开采模型的基础上, 着重分析资源开发与利用技术进步对于不可再生资源跨期开采的影响途径, 并对理论结果进行模拟研究。

1 基于资源跨期开采模型的技术进步影响途径分析

1.1 资源开采跨期模型

(1) 模型假设

资源初始可采储量为 Q_0 , q_t 为 t 时段内的开采

收稿日期: 2011-10-08; 修回日期: 2012-02-06

基金项目: 国家社科基金重大项目(11&ZD163)

作者简介: 曹明(1977-), 男, 江苏邳州人, 博士研究生, 研究方向为资源优化理论、方法及应用。

魏晓平(1953-), 女, 黑龙江鹤岗人, 教授、博士生导师, 研究方向为资源经济与管理。

量 $t = 0, 1, \dots, n$ 在规划期 t 内开采完; 设需求方程为: $p_t = a - bq_t$, 其中 a 和 b 均为正常数, a 为该资源的窒息价格; 假设边际成本 c 为常数, 那么开发 q_t 单位资源的总成本为: $C_t = cq_t$ 。

(2) 社会福利函数

假设当期消费量刚好等于消费量, 于是开采 q_t 资源的社会净利润为:

$$NB_t = B_t - C_t$$

$$= \int_0^{q_t} (a - bq) dq - cq_t = aq_t - \frac{b}{2} q_t^2 - cq_t \quad (1)$$

其中: NB_t 和 B_t 分别代表第 t 期社会净利润与总利润。为了突出问题的本质, 研究方便, 简化为两期的情况, 第 0, 1 期分别代表当前和未来, 两个时段的需求方程为: $p_0 = a - bq_0, p_1 = a - bq_1$, 构造社会福利函数:

$$U = NB_0 + \frac{NB_1}{1 + \rho} = (aq_0 - \frac{b}{2}q_0^2 - cq_0) + \left[\frac{aq_1 - \frac{b}{2}q_1^2 - cq_1}{1 + \rho} \right] \quad (2)$$

其中 ρ 为效用贴现率。

(3) 资源跨期开采模型

于是简化的两时段资源跨期开采模型:

$$\max_{q_0, q_1} U = NB_0 + \frac{NB_1}{1 + \rho}$$

s. t

$$q_0 + q_1 = Q_0 \quad (3)$$

利用拉格朗日乘数方法求解得到:

$$p_0 = a - bq_0; p_1 = a - bq_1; q_0 + q_1 = Q_0$$

$$p_1 - c = (1 + \rho)(p_2 - c) \quad (4)$$

其中(4)就是著名的“霍特林法则”, 它也可以表述为“资源净价格的增长率等于贴现率”, 而对应的资源开采路径解:

$$\begin{cases} q_0 = Q_0 - \frac{c\rho - a\rho + b(1 + \rho)Q_0}{b(2 + \rho)} \\ q_1 = \frac{c\rho - a\rho + b(1 + \rho)Q_0}{b(2 + \rho)} \end{cases} \quad (5)$$

1.2 技术进步对资源最优开采路径的影响途径

资源跨期开采模型的假设是十分严格的, 除了对有效市场的基本假设之外, 更是假设技术进步是不变的。然而, 现实中技术进步是客观事实, 而且其作用途径是十分多样的, 主要从四个方面分析:

(1) 技术进步通过调整资源可采储量影响资源

开采路径

假设由于技术进步的作用, 使得原来不具备开采条件的可以开采了, 即 $Q_0^1 = (1 + \lambda)Q_0$, 通常 $\lambda > 0$, 通过跨期开采模型可以得到:

$$\begin{cases} q_0^1 = Q_0^1 - \frac{c\rho - a\rho + b(1 + \rho)Q_0^1}{b(2 + \rho)} = q_0 + \frac{1}{2 + \rho}\lambda Q_0 > q_0 \\ q_1^1 = q_1 + \frac{1 + \rho}{2 + \rho}\lambda Q_1 > q_1 \end{cases} \quad (6)$$

也就是说, 由于技术进步而使得资源可采储量增加的部分会在当期和未来分配, 在其它条件都未发生变化的情况下, 技术进步无疑增加了社会的福利。不过考虑 ρ 是一个接近 0 的数, 这种分配在代际间可能并不是公平的, 近二分之一的增加可采储量会被当代人优先开采使用, 而且假如考虑技术进步的成本发生在当期, 为了回收成本, 则更会增加当期资源的开采, 加速资源耗竭。但换一个角度来说, 如果由于技术进步而增加的资源可采储量不在规划期内使用, 而是留到更远的未来使用, 则有利于实现资源的长期可持续利用。

(2) 技术进步提高资源利用效率影响资源开采路径

假设技术进步作用下, 资源利用效率提高, 则资源的边际效用增加, 消费者边际支付意愿增加, 资源价格会有提高的趋势, 设新的需求曲线为: $p'_t = a' - b' \cdot q'_t$, 显然 $a' > a, b' = b$, 带入(5)式可得:

$$\begin{cases} q_0^2 = Q_0 - \frac{c\rho - a'\rho + b'(1 + \rho)Q_0}{b'(2 + \rho)} > q_0 \\ q_1^2 < q_1 \end{cases} \quad (7)$$

结果表明, 利用效率的提高会增加当期资源的开采量, 减少未来资源的开采量。由于单位资源利用效率的提高, 全部资源带来的社会福利无疑会增加, 但利用效率的提高并不表明会有利于资源的可持续利用, 反而会加快资源的开采速度, 比如汽车节油技术提高了, 但因新增汽车带来的石油需求增量完全可能抵消或超过节油技术减少的石油需求量。

(3) 技术进步通过新资源的替代影响资源开采路径

技术进步会导致新的替代资源出现, 影响被替代资源需求价格弹性, 考虑替代资源的影响后, 新的需求方程为: $p''_t = a'' - b'' \cdot q_t$ 。显然, 该种资源的价格越高替代越显著, 这意味着窒息价格会在较低的价格水平上出现, 因此 $a'' < a$; 替代使得需求弹

性提高,但随着资源价格的下降替代越来越不明显,

所以 $\frac{a''}{b''} = \frac{a}{b}$ 因此 $b'' < b$ 。于是:

$$\begin{cases} q_0^3 = Q_0 - \frac{c\rho - a''\rho + b''(1 + \rho) Q_0}{b''(2 + \rho)} < q_0 \\ q_1^3 > q_1 \end{cases} \quad (8)$$

即替代作用使得当期消耗的资源减少了,未来消耗的资源增加了。假设资源存在可以延续到规划期以后使用,在满足各期效用的情况下,当期资源的消耗会减少,从资源可持续利用的角度考虑,这样的结果更有利于社会经济的可持续发展。

(4) 技术进步通过改变开采成本影响资源开采路径

技术进步会不断降低资源的开采成本,一方面由于开采成本的下降会使得原来不具备经济开采价值的资源具有开采价值,这类情况对于开采路径的影响相当于增加了资源可采储量;另一方面,假设资源可采储量不变,成本的变化通过改变式(1)的社会福利函数改变资源开采路径,以下主要讨论后一种情形。

原假设资源的边际开采成本为常数 c ,现在由于技术进步使得资源开采的边际成本为: $c' = \theta c$ ($\theta < 1$)。另外,新技术的引入需要有一定的研发成本,矿山企业购进采用先进技术的新的生产设备也需要一定的资金投入,这些都是在引入新技术初期的一次性固定成本,下面的研究中我们记为 c_T 。那么开发 q_t 单位资源的总成本为:

$$C_t = \begin{cases} \theta c q_t + c_T & (\theta < 1) \\ \theta c q_t \end{cases} \quad (9)$$

将(9)代入式(1),由资源开采两期模型,可以得到:

$$\begin{cases} q_0^4 = Q_0 - \frac{\theta c \rho - a\rho + b(1 + \rho) Q_0}{b(2 + \rho)} > q_0 \\ q_1^4 = \frac{\theta c \rho - a\rho + b(1 + \rho) Q_1}{b(2 + \rho)} < q_1 \end{cases} \quad (10)$$

即在技术进步条件下,开采成本的下降使得当期开采更多的资源,更少的资源留在未来开采。这也就是说,为了满足当期的需要,技术进步加大了资源在当期的开采,加快了资源消耗的速度,这是以减少后期资源开采量为代价的,不利于资源的可持续利用。

2 资源跨期最优开采路径的技术进步影响模拟

设一处矿山资源可采储量 1000 个单位,规划开采年限 50 年,需求方程为 $p_t = 20 - 0.4q_t$,单边际开采成本为 3 个单位,贴现率为 0.03。因此该矿山 50 年最优开采路径应符合下面动态最优配置问题:

$$\max U = \sum_{t=0}^{50} \frac{20q_t - \frac{0.4}{2}q_t^2 - 3q_t}{(1 + 0.03)^t}$$

s. t

$$\sum_{t=0}^{50} q_t \leq 1000$$

$$q_t \geq 0 \quad (t = 0, 1, \dots, 50) \quad (11)$$

利用 LINGO11.0 软件容易获得上述模型总社会福利最大化的 50 年资源最优开采量,沿着时间顺序可以得到该资源的开采路径,按照 1.2 技术进步影响的 4 条途径分表调整参数,可以得到资源跨期开采的技术进步影响模拟结果,如图 1 所示,结果说明见表 1。

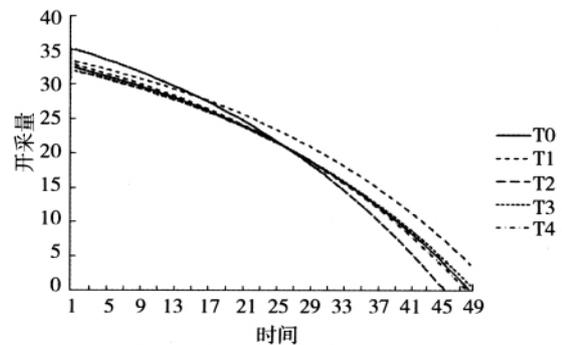


图 1 资源跨期开采路径的技术进步影响模拟结果

可见,相对于基准情形 T0,技术进步的 4 类影响途径 T1、T2、T3 和 T4 对于资源最优开采路径的影响方向与幅度都有所不同。总体来看,资源的最佳耗竭路径是随着时间开采量逐渐下降直至耗竭,但这是忽略了实际需求量变化以及预期行为影响的理论最优分配方案。技术进步可以通过调整资源可采储量或者通过新资源的替代减缓资源的耗竭速度,有利于对资源可持续利用,但资源替代途径并不

表1 技术进步对资源跨期开采路径影响途径模拟结果说明

影响途径	影响参数调整幅度	影响结果	
		总社会福利(标准单位)	资源可持续利用(年)
T0 基准情形	$Q_0 = 1000 \quad a = 20 \quad b = 0.4 \quad c = 3$	7116	50
T1 增加资源可采储量	Q_0 增加 10%	7486 增加	≥ 50 有利
T2 提高资源利用效率	a 增加 10%	8354 大幅增加	46 不利
T3 增加新资源替代能力	a 减少 10% b 减少 10%	6222 降低	≥ 50 有利
T4 降低资源开采成本	c 降低 10%	7299 增加	49 不利

能提升该资源的社会总福利,因为通过资源替代客观上抑制了该资源的需求。技术进步可以通过调整资源可采储量、提高资源利用效率以及降低资源开采成本等途径提升该资源的社会总福利,但不一定就有利于资源的可持续利用,相反可能会鼓励消费而加速资源的耗竭。

3 主要结论与政策建议

本文首先利用资源开采跨期模型,从理论上分析了技术进步分别通过调整资源可采储量、提升资源利用效率、促进资源替代以及降低资源开采成本等途径对资源最优开采路径的影响,然后通过案例对论证结果进行模拟验证。

3.1 主要结论

研究的主要结论可以归纳为以下两个方面:

(1) 除了不断增加可采资源储量之外,不存在某类的技术进步可以既增加社会福利又有利于资源的可持续利用。技术进步通过各种途径对资源开采路径的影响强弱及方向都不相同,甚至相互抵消,最终的影响是各类技术进步混合的共同作用的结果。理论与模拟分析的结果都表明提高资源利用效率是提升资源带来的社会总福利的重要途径,而资源替代既是利于长期资源可持续利用又是缓解当前经济发展资源瓶颈、减少环境污染的有效途径。

(2) 技术进步是把双刃剑,任何技术进步都需要相应的政策措施引导其有利方面抑制其不利方面。技术进步本身没有价值偏好,盲目的促进资源替代则是以牺牲该资源社会福利为代价的,而逐利的单纯技术进步客观上却不利于资源的可持续利用。比如技术进步降低资源开采成本,在获取更大利润的引诱下,资源价格下降,技术进步客观上起到了一种鼓励资源消费的行为,加快可耗竭资源的消

耗速度。

3.2 政策建议

结合我国不可再生资源利用实际状况,主要的政策建议如下:

(1) 内外并重,增加我国不可再生资源可采储量。增加资源可采储量是既增加社会福利又有利于资源可持续利用的有效途径。对内应加强资源勘探与采掘技术的研发与成果转化,提升资源勘探水平,提高资源回采率、伴生资源采掘等技术能力,并严格限制企业不良开采行为,杜绝资源无序开采与浪费;对外应强化资源利用国际化的意识,实施资源走出去的战略,迎接全球化的机遇与挑战,充分利用外部资源。

(2) 客观面对资源替代规律,切忌盲目大规模产业化推进。以新能源为例,我国新能源产业近年发展呈爆发式增长,国家可再生能源发展“十二五”规划风电与太阳能发电装机容量分别是2010年的近6倍和15倍。然而我国风电与太阳能发电产业存在投资过热、产能过剩等问题,有效需求严重不足,更多是政府政策的推动。从技术进步角度来看,新资源替代并不能增加资源利用价值和效率,资源替代是缓解资源稀缺以及环境外部性的重要途径,资源替代应遵从需求与技术引导产业发展的客观规律,规避盲目产业化的风险。

(3) 引导技术进步方向,消除因技术进步可能带来的不利影响。技术进步本身没有价值倾向,不加引导的资源开采技术进步可能会加速资源的耗竭、生态的破坏,而提高资源利用效率的技术进步也可能增加资源当前开采量,需要政策措施平衡其有利与不利方面。另外,技术进步政策应有所倾向,有利于提升公共利益的资源技术进步是应受到政策鼓励,而有利用企业获利的资源开采技术进步则应通过市场机制的手段实现激励。

(4) 从供给与消费两端强化资源约束环境,改善我国的资源利用模式。相关研究与实践表明,资源约束强的国家或地区其资源利用效率和技术进步水平相对较高,日本是典型的例子。我国人均资源占用量低,不可能重塑美国的资源利用模式,然而亦不同于日本。从我国现实情况看,应从供应端限制资源过度开发,从消费端抑制资源无效需求,营造有利于促进技术进步与产业转型的资源约束环境,改善我国的资源利用模式,进而推动我国经济发展模式的转变。

总之,技术进步是补偿资源耗竭的长期的决定因素之一,然而其影响途径与作用机理十分复杂,还有待进一步的研究。在制定我国不可再生资源开发政策、替代资源开发政策以及相应的资源技术进步政策方面应充分考虑和克服技术进步带来的不利影响,最终实现资源的优化配置利用。

参考文献:

- [1] Hotelling H. The economics of exhaustible resources [J]. *Journal of Political Economy*, 1931, 39: 137 - 175.
- [2] Dasgupta P, Heal G. The optimal depletion of exhaustible resources [J]. *The Review of Economic Studies*, 1974, 41: 3 - 28.
- [3] Stiglitz J. Growth with exhaustible natural resources: efficient and optimal growth paths [J]. *The Review of Economic Studies*, 1974, 41: 123 - 137.
- [4] Solow R M. Intergenerational equity and exhaustible resources [J]. *Review of Economic Studies*, 1974, 41: 29 - 45.
- [5] Hartwick J M. Intergenerational equity and the investing of rents from exhaustible resources [J]. *American Economic Review*, 1977, 67 (5): 972 - 974.
- [6] Asheim G B. Hartwick's rule in open economies [J]. *Canadian Journal of Economics*, 1986, 19 (3): 395 - 402.
- [7] Tietenberg T H, Lewis L. *Environmental and Natural Resource Economics* [M]. New York: Harper Collins, 1992. 184 - 192.
- [8] 汪丁丁. 经济发展与制度创新 [M]. 上海: 上海人民出版社, 1995. 115 - 120.
- [9] 杨海生, 周永章, 杨小强, 王树功. 不确定条件下矿产资源的最佳开采 [J]. *资源开发与市场*, 2005, 21 (5): 398 - 401.
- [10] 葛世龙, 周德群, 陈洪涛. 储量不确定对可耗竭资源优化开采的影响研究 [J]. *中国管理科学*, 2008, 16 (6): 137 - 141.
- [11] 葛世龙, 周德群. 税收政策不确定下资源动态优化开采研究 [J]. *管理学报*, 2008, 5(5): 674 - 677.
- [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, 6: 26 - 29.
- [13] 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.
- [14] 魏晓平, 王新宇. 矿产资源最适耗竭经济分析 [J]. *中国管理科学*, 2002, 10(5): 78 - 81.

Study on technological progress's influence ways to resources intertemporal optimal exploitation path

CAO Ming, WEI Xiao - ping

(Management College, China University of Mining Technology, Xuzhou 221116, China)

Abstract: Technological progress is a long-term decisive element to make up for non-renewable resources depletion. Based on the resources intertemporal optimization exploitation model, the influence of technological progress to resources optimal exploitation path was analyzed from four aspects including adjusting recoverable reserves, improving efficiency, promoting resources replacement and reducing the cost of mining. Then the influence ways of technological progress were simulated and verified with a case. The results indicate that, except for increasing recoverable reserves, no any kind of technological progress can not only increase social benefits but also improve the resources sustainable utilization, and any technological progress needs corresponding policy measures to guide and constraint. Finally, some policy recommendations were proposed based on the conclusion.

Key words: non-renewable resources; technological progress; intertemporal optimization exploitation path; sustainable utilization