

矿产资源的最适耗竭与可持续发展

张照伟^{1,2}, 李文渊²

(1 长安大学 地球科学与资源学院, 陕西 西安 710054; 2 西安地质矿产研究所, 陕西 西安 710054)

摘要: 为了能使矿产资源可持续利用与发展, 解决矿产资源市场需求与资源节约利用需求的矛盾, 从矿产资源可持续发展实质研究入手, 利用利导因子和限制因子互为制约的关系以及矿产资源发展的阶段特性, 确定矿产资源发展曲线, 建立矿产资源可持续发展机制。通过对最佳开采速度静态模型和动态模型的研究, 认为最佳开采速度是影响矿产资源最适耗竭能否实现的关键因素, 以此确定系统函数关系和系统变量。运用最适耗竭理论中的最佳开采速度和福利函数, 建立矿产资源最适耗竭模型, 以实现矿产资源可持续利用与发展。

关键词: 矿产资源; 可持续发展; 最适耗竭; 开采速度; 模型

中图分类号: TD98 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6561(2007)04-0387-06

Sustainable Development and Optimal Consuming of Mineral Resources

ZHANG Zhao-wei^{1,2}, LI Wen-yuan²

(1. School of Earth Sciences and Resources, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China;

2. Xi'an Institute of Geology and Mineral Resources, Xi'an 710054, Shaanxi, China)

Abstract The study of mineral resources development is essential of optimal consuming. To resolve the contradiction between market requirement of mineral resources and economized utilization of resources, and implement the sustainable utilization and development of mineral resources, the development curve of mineral resources is defined and the sustainable development process of mineral resources established by making use of the mutual condition relation between favourable factors and restricted ones, and by using the stage characteristics of mineral resources development. From study of motionless model and dynamic models of optimum exploitation speed, it is considered that the optimum exploitation speed is the key factor affecting the accomplishing optimal consuming of mineral resources, thus, system function and system variable is defined. With optimum exploitation speed of optimal consuming and welfare function, the optimal consuming model of mineral resources can be established to accomplish sustainable utilization and development of mineral resources.

Key words: mineral resources; sustainable development; optimal consuming; exploitation speed; model

0 引言

中国是矿业大国, 矿业是国民经济的基础产业, 矿业所提供的矿物能源和矿物原材料是人类生存、社会发展和文明进步不可缺少的物质资源^[1]。在中国国民经济中都具有不可替代的重要作用^[2]。矿产资源的持续利用是可持续发展战略的重要组

成部分。单纯的消耗资源和追求经济数量增长的发展模式, 正严重威胁着资源的持续利用。因此, 以较低的资源代价和社会代价, 取得较高的经济发展水平是最适耗竭所要解决的问题。

1 矿产资源可持续发展

矿产资源的利用率受到多方面的影响和制约,

收稿日期: 2006-12-20

基金项目: 中国地质调查局项目(200110200081)。

作者简介: 张照伟(1976-), 男, 山东庆云人, 工程师, 博士研究生, 从事矿产地质找矿研究。E-mail: zhaowei6862@sina.com

主要表现在国民经济和社会发展对矿产资源的需求量、开发利用的科技水平、矿产资源的综合利用程度、追求最大企业利益以及相应的环境制约和矿产资源的管理水平等。需求量的增大、科技水平的提高、利益的驱动都不同程度加快了矿产资源的利用和开发,加速了矿产资源的耗竭速度。矿产资源的和管理和相关法规要以客观事实和客观发展规律为依据,利益的驱动和管理水平的下降都会打破客观规律平衡。矿产资源的市场需求、人类对资源节约利用需求与企业效益之间本身就是一种矛盾。随着经济的全面发展,市场需求加大,无疑就增加了资源的开采速度,增强了企业效益,而节约利用的本身是限制这种增长。怎样解决这种矛盾,合理利用矿产资源,更好地为国民经济和社会发展服务,关键还是需要解决矿产资源的可持续利用与发展的问題。

1 1 矿产资源可持续发展的实质

像任何事物的发展一样,矿产资源复合系统的发展也受到各种因素的影响,其中主要是利导因子和限制因子在起作用^[1]。当利导因子起主导作用时,发展过程表现为人类活动对利导因子的争夺过程,包括对未被利用的资源、环境的开拓和不同人类活动间的竞争,此时,发展速度加快。随着利导因子的消耗和被利用,限制因子逐渐突出,矿产资源发展的速度受到抑制,这时的发展过程表现为对限制因子的克服^[3]。因而,可以认为矿产资源可持续发展就是矿产资源复合系统发展条件的不断改善,或矿产资源复合系统不断地克服限制因子的过程。这样当代人留给后代人的发展条件就会越来越好^[4]。

1.2 矿产资源发展过程的数学表达

用 $X(t)$ 表示矿产资源的发展过程,则发展速度为 dX/dt ,相对发展速度为 $dX/(dt \cdot X)$ 。随着

矿产资源的发展,限制因子的作用将逐渐突出,矿产资源发展的速度将放慢,令相对发展速度为矿产资源发展速度的线性递减函数^[5],即

$$\frac{1}{X} \frac{dX}{dt} = r - \frac{r}{K} X \tag{1}$$

$$\frac{dX}{dt} = rX \left(1 - \frac{X}{K} \right) \tag{2}$$

式中: r 为某一阶段内发展因子所能推动的矿产资源最大的相对发展速度; K 为某一阶段内发展因子所能推动的矿产资源最高的发展程度, $K = X_{\max}$ 。式(1)是变量可分离型一阶常微分方程,进行变量分离,得逻辑曲线的微分式(2)。利用逻辑方程二阶导数和三阶导数为零的 3 个点 B_1 、 B_0 、 B_2 ,可将逻辑曲线划分为 4 个阶段,分别称为起步期、成长期、成熟期和顶峰期^[9]。在起步期,系统发展速度较慢,逐渐上升到 $rK/6$;在成长期,系统处于迅速发展阶段,具有较高的发展速度,由 $rK/6$ 逐渐上升到最大值 $rK/4$;在成熟期,系统的发展速度虽然下降,但仍保持着较高的速度 ($> rK/6$);在顶峰期,发展速度逐渐下降而趋于零,发展基本停止。在起步期和顶峰期,矿产资源发展度 X 的变化较小;在成长期和成熟期矿产资源发展度 X 的变化较大,这 2 个时期可看作是可持续发展阶段区。在每一轮发展过程中,应使矿产资源发展尽可能尽快通过起步期和顶峰期(表 1)。

1.3 矿产资源可持续发展曲线

当 $X \rightarrow K$ 时, $dX/dt \rightarrow 0$,即 $dX \rightarrow 0$ 。可持续发展要求 $dX > 0$,确切地说是大于某个不为零的正数。为此,可通过调整矿产资源内部结构和改善外部环境条件,克服旧的限制因子,从而使矿产资源发展从较低层次跃到较高层次,即形成发展度的组合逻辑曲线(图 1)。

表 1 矿产资源发展的阶段特性

Tab. 1 Stage Characteristics of Mineral Resources Development

t	$(0, t_1)$	t_1	(t_1, t_0)	t_0	(t_0, t_2)	t_2	$(t_2, +\infty)$
X	缓慢 上升	$\frac{K}{2}-\frac{K}{2\sqrt{3}}$	迅速 上升	拐点	继续 上升	$\frac{K}{2}+\frac{K}{2\sqrt{3}}$	趋于 平稳
dX/dt	上升	$rK/6$ 拐点	上升	$rK/4(\max)$	下降	$rK/6$ 拐点	下降
d^2X/dt^2	上升 (> 0)	$\frac{rrK}{6\sqrt{3}}$	下降 (< 0)	0	下降 (< 0)	$-\frac{rrK}{6\sqrt{3}}$	上升 (< 0)
发展期	起步期	成长期			成熟期		顶峰期
		可持续发展期					

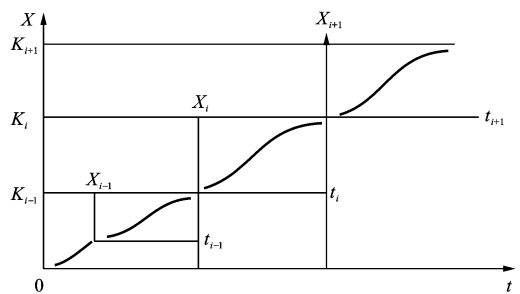


图 1 组合逻辑曲线

Fig. 1 Combined Logical Curve of Development

1.4 矿产资源可持续发展机制

当 $X \rightarrow K$ 时, $dX/dt/X \rightarrow 0$, 即 $dX \rightarrow 0$, 就达到了某一发展阶段的顶峰期, 要继续发展、就必须克服限制因子。1993 年康晓光认为实现矿产资源可持续发展的关键是发现和确认限制因子, 并克服和转换之, 这一过程称为创新。如果创新能够不间断地实现, 矿产资源发展度即可不断提高, 可持续发展即得以实现^[6]。

1.5 矿产资源可持续发展评价

与可持续发展相对应的国民收入的正确计量应能反映在不减少产生社会福利的各项要素总量的情况下, 有多少收入可用于消费。这样计量的国民收入可定义为“持续收入”。阿罕默德 Y 等 1989 年提出可以用持续收入水平是否增长或至少持平来衡量一个社会是否可持续发展^[1]。持续收入(SI)应表示为

$$SI = GNP - D_k - D_n - R - A - N \quad (3)$$

式中: D_k 为固定资产等生产资料的消耗; D_n 为环境资源的减少或损失部分, 是用货币表示 1 年中的环境损失; N 为过量开采资源的价值; R 为恢复环境损失开支; A 为防止环境损失开支。在式(3)中, 持续收入的控制因素最终归结为开采速度问题, 即寻求最佳开采速度以保证矿产资源的可持续发展。

2 最适耗竭理论

2.1 最佳开采速度

最佳开采速度实质就是建立一种满足社会经济可持续发展的动态资源结构。它的可持续利用包含了资源的持续供给、合理利用、有效保护和降低环境代价等^[7]。

2.1.1 静态模型

矿产资源是在长期地质作用下形成的, 它的价值主要是有用性、稀缺性及存在所有权而产生的。

矿产资源本身的差异性, 又决定了矿产资源有优、中、劣等(边际资源)之分^[8]。而非再生性及可耗竭性, 迫使劣等资源的投资者必须把等于劣等资源的机会成本, 亦称为稀缺性租金付给资源所有者, 以便取得开采劣等资源的权利, 同时也作为劣等资源耗竭的补偿。稀缺性租金可表示为

$$R_0 = P_0 - MC_0$$

式中: R_0 为稀缺性租金; P_0 为资源价格; MC_0 为边际成本。这就是矿产资源价值静态模型, 但是矿产资源的总价值受到许多因素的影响, 不仅与其总储量、赋存条件有关, 而且与其开采规模、开采速度有直接关系。

2.1.2 动态模型

矿产资源的储量有限, 不会因不开采而增多。现在还是未来开采利用均是开采利用, 对于资源所有者来说, 关注的是资源开采利用的收益, 是一个资源随时间序列的效率配置问题^[1]。

考虑时间变量是离散的, 为了使模型简便, 并能反映问题的实质, 设矿产资源的寿命期为 T (整数)年, 问题可分为相互联系的 T 个阶段, 则第 T 年末($t=0, 1, \dots, T-1$)矿权人所获得的利润为

$$P_t X_t - C(X_t)$$

式中: P_t 为第 t 年矿产资源的市场价格, 为外生变量; X_t 为第 t 年矿产资源的产量, 为决策变量; $C(X_t)$ 为第 t 年矿产资源开采总成本(包括投资平均收益)。

$$\begin{cases} Q_{t+1} - Q_t = -X_t & (t = 0, 2, \dots, T-1) \\ Q_0 = S(0) \end{cases}$$

式中: 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, 给出了状态 t 到状态 $t+1$ 的转移规律; $S(0)$ 为初始储量, 已知。这就是矿产资源价值动态模型。

2.1.3 最佳开采速度

$\alpha > 0, \beta > 0$, 是与开采总成本有关的系数, 视具体情况而定。在期末无存量的情况下, $S(T)=0$, 则

$$\sum_{t=0}^{T-1} X_t = S(0)$$
$$X_t^* = \frac{1}{2\beta} \left[\frac{P_t \left[\sum_{i=0}^{T-1} P_i - 2\beta S(0) \right] (1+r)^T}{\sum_{i=0}^{T-1} (1+r)^i} \right] \quad (t=0, 1, \dots, T-1) \quad (4)$$

式中: X_t^* 为最佳开采速度。

2.2 福利函数

2.2.1 福利函数的一般形式

对于矿产资源来说,所有者追求租金最大化,生产者追求利润最大化,而消费者追求社会福利最大化。由于社会的满足与所有单个个体的满足有关,因此,经济系统目标应该是个人满意度的函数^[9]。设社会中每人均具有相同偏好,对矿产资源消耗水平为 R_i ,效用函数形式为 $U_i=U_i(R_i)$,且满足 $U' > 0, U'' < 0$ 特性,即消费水平的增加,将导致效用水准的增加,但是增长率呈递减趋势。任一时期的社会福利函数为效用函数的总和,即

$$W=U(R_t)=\sum U_i(R_i)$$

式中: R_t 为第 t 期矿产资源的开采量,称为可控变量或决策变量。这时,跨期社会福利函数为

$$W^*=\sum_{t=\tau}^{T-1} \rho^t U(R_t) \quad (0 \leq \rho \leq 1)$$

式中: ρ 为效用折现系数, $\rho=\frac{1}{1+\delta}$ δ 为效用折现率。

将目标函数与约束条件合并为 Lagrangian 函数,则

$$L=\sum_{t=\tau}^{T-1} \rho^t U(R_t)+\sum_{t=\tau}^{T-1} \rho^{t+1} \lambda_{t+1}[-R_t+G(t)+Q_t-Q_{t+1}]$$

式中: λ_{t+1} 为第 $t+1$ 期的 Lagrangian 乘子。对上式求偏导的最优性条件为

$$U'(R_t)=\rho \lambda_{t+1}$$

式中: $\rho \lambda_{t+1}=\lambda_t$, 由此得出社会福利达到最大的最优性原则

$$U(R_{t+1})/U(R_t)-1=\delta$$

即边际效用的增长率等于效用折现率。

根据边际效益递减原则,上式强调资源的边际效益随时间而递增,隐含着该资源的消耗量随时间而递减,即 $R_{t+1} < R_t (t=\tau, \tau+1, \dots, T-1)$, 这时资源的耗竭路径取决于效用折现率的大小^[10]。

2.2.2 效用函数为对数形式

为了避免资源耗竭所出现的突发性灾难,应保留足够的存量 $S(T)$, 称为阈值。有外生变量 $G(t)$ 及初始状态 $S(\tau)$ 、阈值 $S(T)$ 得

$$\sum_{t=\tau}^{T-1} R_t = S(\tau) + \sum_{t=\tau}^{T-1} G(t) - S(T)$$

由此可得出系统最佳策略

$$R_t^* = \left\{ \left[S(\tau) + \sum_{t=\tau}^{T-1} G(t) - S(T) + (T-\tau) \right] \right\}$$

$$\left(\frac{1}{1+\delta} \right)^{t-\tau} \left\{ \sum_{t=\tau}^{T-1} \left(\frac{1}{1+\delta} \right)^{t-\tau} - 1 \right\} \quad (t=\tau, \tau+1, \dots, T-1) \quad (5)$$

2.2.3 效用函数为指数形式

$$U(R_t)=AR_t^\alpha \quad (0 < \alpha < 1)$$

式中: α, A 为参数。则

$$R_t = [\lambda_t (1 + \delta)^{t-\tau} / \alpha A]^{\frac{1}{\alpha-1}}$$

$$R_t^* = \left\{ \left[S(\tau) + \sum_{t=\tau}^{T-1} G(t) - S(T) \right] \cdot (1 + \delta)^{\frac{(t-\tau)}{(\alpha-1)}} \right\} \sum_{t=\tau}^{T-1} (1 + \delta)^{\frac{(t-\tau)}{(\alpha-1)}} \quad (t=\tau, \tau+1, \dots, T-1) \quad (6)$$

2.2.4 系统的可持续性分析

(1) 可调节参数 δ 由式(5)、(6)不难看出,最佳策略取决于效用折现率 δ 其起到指导跨期消费的作用。根据可持续发展的概念,如何选择可调节参数才能使资源的配置符合代际公平原则^[11]? 显然,当 $\delta=0$ 时

$$R_t^* = [S(\tau) + \sum_{t=\tau}^{T-1} G(t) - S(T)] / (T-\tau)$$

意味着资源跨期消费水平维持固定不变,即在资源寿命期内现在与未来拥有相同的消费水平。反对将后世子孙的福利折现者,其所持的各代应享有资源同等消费水平的主张,是否能够使资源永续利用,直到可替代资源的出现。

当 $\delta > 0$ 时,意味着资源跨期消费水平不同,即 $R_{t+1}^* < R_t^*$, 高效折现率表示对当期消费偏好;反之,则认为未来的消费优于当期的消费。可见可调节参数越大,边际效用的增长率越大,从而加速了资源的耗竭^[12]。因此,效用折现率的选择是一个至关重要的问题。欲减轻非预测性耗竭发生的风险,资源所有者可通过选择适当小的效用折现率,以减缓资源的开采速度^[13]。

(2) 隐含变量 T (耗竭时间)。最适耗竭速度 R_t^* 有一个隐含的变量 T , 当耗竭时间 T 被确定之后,就可以根据式(5)、(6)进行模拟计算。但是按照非再生资源可持续发展的概念,耗竭时间 T 应该持续到具有经济价值的、可替代的新资源出现^[14]。期望资源耗竭(并非存量为零)之时恰是新资源完全替代之日,然而对于可替代资源出现的预期时间的确定却是一个难以准确预测的、完全取决于科学技术进步的速度,它受资源需求、技术水平、开采速度以及可替代资源的研发程度等因素制约。资源

所有者可视具体情况通过延长耗竭时间 T 以减缓耗竭速度,或缩短开采时间以加速耗竭^[15]。

(3)新增可采储量 $G(t)$ 。新增可采储量 $G(t)$ 为外生变量,其不确定性直接导致资源可采储量的不确定性。由 $Q_{t+1} - Q_t = -R_t + G(t)$ 可知,如果新增可采储量在资源耗减量上下小幅波动,资源可采储量将远离资源耗竭水平,在安全区域内变动,对可持续发展暂不构成威胁^[12]。如果新增可采储量连续小于资源耗减量,资源可采储量持续下降,可持续发展将面临威胁。若资源储量越过阈值(安全区域下降)并破位下行,资源耗竭,人类将面临毁灭性灾难^[16]。

(4)要素替代。根据边际效用递减原则,当 $\delta > 0$ 时,后期对资源的消费水平要低于前期的消费水平,即 $R_{t+1}^* < R_t^*$ 。事实上,这递减的部分 $R_t^* - R_{t+1}^*$ 在正常情况下已经被其他要素所替代。随着科学技术的进步,替代的可能性将越来越高。如果科学技术进步的速度超过了正常的替代速度,传统资源将逐渐被淘汰,从而可加速经济意义上资源耗竭时间的提前到来(即资源耗竭时间是发生在替代资源出现之时,使得传统资源的市场需求不复存在,并非发生在资源储量耗竭之时)^[17];相反,则有可能以降低产出水平为代价^[1]。

要素替代性的高低虽然不能准确地给出,但是部分替代总是可能的^[18]。就替代而言,包括非再生资源之间的替代(如煤炭与石油),非再生资源与再生资源之间的替代以及资源与其他生产要素(如资产、原料)之间的替代。因为替代不同程度地影响资源的耗竭速度,一旦这种替代完全成功,那么资源的耗竭将不再对经济、社会的可持续发展构成威胁^[19]。

(5)风险性。矿产资源的可持续利用模型中,存在着许多不确定性因素,如科学技术的不确定性、矿产资源未来价格的不确定性等,这些因素的存在给矿产资源可持续利用及最佳配置的决策带来了难度,同时也存在着一定的风险。

可更新资源的替代速度,取决于科学技术进步的速度^[20]。由于科学技术的进步可以使人类发现和开发更多更好的可替代资源,即所谓的“后障资源”^[21]。如太阳能、风能、生物质能、波浪能和潮汐能等,这些新能源都直接来源于自然界,其共同特点是取之不尽,用之不竭,但均存在密度低、不连续、随机不稳定等问题。目前的技术还远不能有效

地解决聚能及蓄能的科学与工程问题。随着经济发展,人口的不断增长导致能源矿产需求的增长,如果在未来相当长的时期内这些预期的“后障资源”不能被经济利用,可耗竭资源开采利用水平未能按预期衰减,连续不断地增长必然导致资源提前枯竭^[22]。

3 验证模型的可行性

就某省磷矿资源而言,如何认识这一客观限度?研究认为,磷矿资源的耗竭(开采)既要符合效率原则,又要符合持续性原则,使磷矿资源的开采利用满足当代人的需求,又不对后代人满足其需求的能力构成威胁;既满足国民经济的需要,又不对人类生存环境构成威胁;并以最低的资源环境代价获得满意的经济效益。

3.1 系统模型中参数与外生变量的确定

根据式(5)、(6)进行模拟计算,2005年末,某省磷矿资源可采储量为 19×10^8 t。根据有关资料以及权威人士预测,大约可开采 100 a,现考虑按 80 a 进行模拟计算,假设在这期间再新增 2×10^8 t 的可采储量。此外要保证系统的可持续发展,避免因资源的突然耗竭所引发的灾难,因此,80 a 以后,该系统仍必须留有足够的储备以保证未来几百年乃至更长的时间向其他资源平稳过渡。基于上述考虑,系统模型参数分别为:①初始时间为 2000 年;②初始储量(初始状态变量) $S(0) = 19 \times 10^8$ t;③新增可采储量 $\sum_{t=0}^{T-1} = 2 \times 10^8$ t;④系统中阈值 $S(T) = 15 \times 10^8$ t;⑤时间跨度 $T = 80$ a;⑥效用折现率 δ 分别为 0.01, 0.008(δ 暂取两个值,以便比较其对资源耗竭速度产生的影响);⑦指数模型中 α 数值在 0~1 之间,取 $\alpha = 0.8$ 。模拟计算结果见表 2(仅列出部分数据)。

3.2 模拟计算结果与实际状况对比

当效用折现率为 0.008 时,对数模型模拟计算结果与近期磷矿资源的实际开采利用情况比较接近,这意味着目前已有的 19×10^8 t 可采储量再增加 2×10^8 t,磷矿资源的开采也只能持续到 20 世纪中叶。如果科学技术的进步(资源勘探、开采技术等)对磷矿可采储量增量的贡献以及具有经济价值的可替代资源的出现,滞后于国民经济对磷矿资源需求增长,资源将面临枯竭,达不到可持续利用。不仅如此,由于巨大的开采量对环境造成的严重污染,将严重威胁后世子孙的生存与发展。

表 2 某省磷矿资源耗竭系统模拟计算结果
Tab. 2 System Model Result of Phosphorus
Mineral Resources Consuming in a Province

年份	对数模型 R_t^+		指数模型 R_t^+	
	$\vartheta=0.01$	$\vartheta=0.008$	$\vartheta=0.01$	$\vartheta=0.008$
2005	1 087.4	1 014.1	1 231.4	1 129.6
2006	1 087.4	1 008.3	1 220.3	1 117.8
2007	1 069.3	998.7	1 194.7	1 103.2
2008	1 063.4	991.2	1 187.6	1 096.5
2009	1 051.0	987.1	1 180.2	1 088.4
2010	1 039.3	976.3	1 167.2	1 074.9
2011	1 021.3	951.9	1 158.4	1 070.2
2012	1 015.4	946.5	1 151.2	1 063.6
2013	991.2	935.8	1 137.6	1 052.2

模拟计算结果呈递减趋势, 虽然不符合近期乃至今后一段时间内磷矿资源开采利用的实际状况, 但符合可持续发展战略要求及客观发展规律。事实上, 当效用折现率大于零时, 后期对磷矿资源的消费应低于前期的消费, 这递减的部分在正常情况下已经被其他生产要素所替代。随着科学技术的进步, 国民经济对磷矿资源需求增长的部分将逐渐为新的替代品所替代。这种替代过程是缓慢、渐进、平稳地向新资源过渡, 最终可达到完全替代。高折现率表示对近期消费偏好; 反之, 则认为未来消费优于当前消费。效用折现率越大, 资源耗竭速度越快。

该系统模型是在研究磷矿资源的前提下建立的, 本身还不完善, 不足以描述实际问题的复杂性。对于不同国家和地区以及不同矿种都有不同的表现形式, 必须与定性研究相结合, 但是系统模拟给出的最佳耗竭的发展趋势应该是正确的。

4 结语

- (1)该模型是以磷矿资源为研究基础建立的, 对于不同国家和地区以及不同矿种影响因素和变量都有所区别, 要视具体情况而定。
- (2)最佳开采速度是矿产资源能否实现可持续利用和发展的关键, 是最适耗竭研究的核心, 受资源需求量、开采技术水平、经济发展速度、可替代资源出现时间以及人为利益等多个因素的制约。
- (3)开发和保护本身就是一对矛盾, 要以各种影响和制约因素建立一种长效机制, 才能实现矿产资源的可持续利用与发展。

参考文献:

[1] 魏小平. 可持续发展战略中矿产资源最适耗竭理论的研究[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1999.

[2] 夏华龙. 可持续发展与资源利用[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1998.

[3] 郭凤典, 成金华. 矿产资源规划理论与实践[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2001.

[4] 陈良琨. 云南省磷矿产资源开发面临的问题及建议[J]. 化工矿物与加工, 2000, 29(5): 1-4.

[5] 曹利军. 可持续发展评价理论与方法[M]. 北京: 科学出版社, 1999.

[6] 朱训. 中国矿情——非金属矿产[M]. 北京: 科学技术出版社, 1999.

[7] 张水南. 云南省磷资源开发利用现状及发展对策浅议[J]. 云南冶金, 1996, 25(1): 1-3.

[8] 陈仲常. 西方经济学(上): 微观经济理论[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 1997.

[9] 易秀, 李侠. 西北地区土壤资源特征及其开发利用与保护[J]. 地球科学与环境学报, 2004, 26(4): 85-89.

[10] 李智民. 陕西省非金属矿产资源优势及开发利用[J]. 国土资源与环境, 2000(2): 15-17.

[11] 钱会, 王晓娟, 李便琴. 地下水系统平衡化学模型的研究现状及其发展方向[J]. 地球科学与环境学报, 2005, 27(1): 59-64.

[12] 王安宁. 陕西矿产资源对 2010 年国民经济建设保证程度论证及地质勘查与矿产开发规划建议[J]. 陕西地质科技情报, 1995, 20(4): 24-28.

[13] 程叶青. 矿业区域矿产资源开发与经济持续发展研究[J]. 资源科学, 2004, 26(6): 131-136.

[14] 李丽. “可持续生存”命题的提出及初步讨论——资源篇[J]. 技术经济, 2002(1): 19-21.

[15] 裴荣富. 21 世纪矿业应向后工业发展势态倾斜: 适者生存和可持续发展[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2002, 27(1): 72-80.

[16] 赵永杰. 矿产资源综合利用与矿业可持续发展[J]. 中国矿业, 2002, 11(6): 5-7.

[17] 杨昌明, 洪水峰. 矿产资源可持续发展指标探讨[J]. 资源评价, 2001(1): 29-31.

[18] 杨中宝, 彭省临, 李朝艳. 基于 GIS 的人工神经网络矿产预测系统设计及应用[J]. 地球科学与环境学报, 2005, 27(1): 30-33.

[19] 沈凌. 中国矿产资源的特点及可持续发展战略[J]. 科教兴国与可持续发展, 2003, 10(3): 45-47.

[20] 李雄. 浅谈陕西省矿业经济发展与环境保护关系[J]. 环境经济, 2003(11): 25-27.

[21] 邵建波. 论中国的矿产资源可持续发展战略[J]. 吉林地质, 2000, 19(2): 15-22.

[22] 李乃英, 郭彩玲, 马占元, 等. 陕南秦巴山区矿产资源开发利用与持续发展研究[J]. 资源科学, 1999, 21(4): 30-34.