

利用熵理论来分析矿业的可持续发展*

唐敏

(昆明理工大学国土资源工程学院矿物加工工程系,昆明,650093)

摘要:基于熵理论和可持续发展理论,研究了矿业可持续发展的途径和策略,并利用热力学上资源耗失量的化学能方法,推导出系统熵增量公式、特定系统内最大熵增量公式和引入负熵后的熵增变化量公式。利用实例分析和计算,验证了把整个系统熵增量计算出来的方法——耗失资源的化学能的方法是切实可行的。

关键词:熵;矿业;可持续发展;化学能;负熵

中图分类号:F407.1 文献标识码:A 文章编号:1001-0076(2008)04-0001-05

Analysis of Sustainable Development in Mining Industry on Entropy

TANG Min

(Department of mineral processing, Institute of land resources engineering, KUST, Kunming 650093, China)

Abstract: Based on the theory of entropy and concept of sustainable development, the authors analyzed the feasible ways to the sustainable development in mining. Through chemical energy method on resource use in thermodynamics, the equations of increasing entropy and its change after minus entropy being reported in the mining process had been deduced. Case calculation and testing showed that this method was feasible.

Key words: entropy; mining industry; sustainable development; chemical energy; minus entropy

以熵的观点看经济过程就是熵过程;熵可成为资源或能量的衡量标准;从熵理论的角度可以讨论环境资源问题等。因此,熵理论发展到了今天,已从一个单纯的描述微观世界的热力学物理概念,发展到一个自然与社会、经济统一的概念^[1]。同时,熵理念的引入将提升人们对经济发展与环境、资源关系本质的认识。根据热力学的理解,熵是对系统无序程度的量度,而产生这种无序状态是因为系统进行了消耗,因此消耗伴随着熵的产生。利用资源的过程是利用资源扩散能力的过程,这个过程实现了资源所蕴涵着的潜在熵差能力,由“潜能”到“现实”,是典型的熵增过程。因此可以把资源熵理解

为资源对经济系统具有潜在的熵增能力,而且熵增能力是随着扩散能力而进行的^[2]。熵增能力就是指当资源扩散到经济系统时,对自然界造成混乱无序状态的度量。

熵理论是对资源(特别是生态)耗用评价的重要手段。熵理论的发展与应用为资源的研究和管理提供了全新的思维方法。资源系统的演进过程是不可逆的,发生和发展都是以耗散能量为特征的。研究表明,资源生态系统这样一个开发系统,其系统熵值的变化不仅受本身不可逆过程的影响,即系统熵产生的作用,而且还受熵流的作用。熵流是由于资源生态系统和外界存在着物质、能量和信息的交换

* 收稿日期:2007-12-23;修回日期:2008-03-12

基金项目:昆明理工大学青年科研基金支持

作者简介:唐敏(1973-),女,辽宁沈阳人,辽宁沈阳,讲师,博士,研究方向为选矿、矿业工程及可持续发展。

所引起的,它应成为我国可持续发展理论研究的基础^[3-7]。

根据以上对熵理论的认识和理解,本作者对矿产资源熵定义为:当矿产资源扩散到经济系统进行消耗时,对生态环境造成混乱无序的度量。在论文中以特定范围内、特定时间段的矿产资源耗失实物量的化学能量、生产活动中所耗失的电、水等实物的化学能量以及对环境产生各种耗失的化学能(如水土流失等),来计算特定区域系统内的熵增大小,以kJ/K 为单位,进行定量地计算和比较负熵的投入量与整个系统熵增的变化。

1 资源熵的计算依据和公式推导

1.1 资源熵的热力学依据

从资源使用的意义上讲,可将与经济上的使用价值相当的物理学概念称之为“扩散能力”(例如石油的使用价值是基于石油与含氧空间相结合燃烧后的热扩散能力而不是石油本身),而能够定量地描述资源扩散能力的物理量是槌田提出的“潜熵”,从而建立起熵守恒定律:

$$\text{潜熵} + \text{熵} = \text{恒量}$$

即:

$$\text{扩散能力} + \text{熵} = \text{终态熵}$$

或

$$\text{扩散能力} = \text{终态熵} - \text{熵}$$

这样,资源的扩散能力可表为废弃时的熵和导入时的熵之差。一切动态系统都靠将扩散能力变成熵的方式来保证其活动。

1.2 资源熵的计算公式推导

设某一生态破坏较小,资源耗量从 t_1 到 t_0 一段时期内,矿业生产累积耗失资源的总化学能量(dE)为:

$$dE = \sum_{i=1}^m e_i dn_i \quad i = 1, 2, 3 \dots, m \text{ (kJ)} \dots\dots\dots \textcircled{1}$$

式中: dn_i 为 i 项单位资源在此段时间内累积耗失的实物量; e_i 为 i 项单位实物量资源所蕴含的化学能(kJ)。

在此矿产资源的总化学能量主要计算如下:

- (1) t_1 期所耗用的能源(电力、原煤等转化成标准煤)之燃烧能量;
- (2) 计算特定矿产资源中不同的矿物开采的累积开采量而损失的化学能。

可以根据已知数据的情况,得出系统熵增 ΔS 表达式为:

$$\Delta S = D(dE_1 + dE_i)/T = D(\sum_{i=1}^m e_i dn_i)/T \dots\dots\dots \textcircled{2}$$

经过推导和论证,由公式②可以计算出具体矿产资源利用过程中的资源熵,这也是首次使用热力学上的熵以定量的方式应用在矿业上。我们可以针对具体的矿山进行熵增的计算,同时精确地反应出该矿业的发展情况,研究哪种生产方式的熵增速度慢,在什么时候、什么阶段来用负熵进行调整,促进该矿业系统的可持续发展。

1.3 引入负熵后熵增公式模型的建立和计算方法

由公式②,引入负熵流后的熵增公式:

$$S' = S_{t_0} - S_{t_1} - S_- = D(dE_1 + dE_i - dE_m - dE_{pr} - dE_{po})/T \dots\dots\dots \textcircled{3}$$

式中: S_- 表示负熵。 dE_m 、 dE_{pr} 、 dE_{po} 分别代表环境治理后对生态环境产生的、生产效率经过技术投入产生的和经过综合回收利用产生的其它产品的化学能,其中第一个可能包含森林、耕地以及植被保水等,第二个可能包含技术投资、引进人才以及技术革新后对生产效率的提高,第三个指的是废弃物回收再利用,资源综合利用等,减少了高熵废物。比如,经过环境治理和复垦后,矿业用地可以作为耕地或森林生产的生物的化学能量 dE_m 。

根据实际矿山的情况,可以利用公式③来计算引入负熵后系统熵增的变化;同时也可以通过该公式的计算,来了解需要投入大约多少的负熵才能与系统产生的熵增抗衡。

2 负熵的引入量与云铜矿山复杂系统熵增实例计算

2.1 原始指标和计算依据

下面以云铜矿山为例,进行复杂系统熵增的计

算。

主要技术指标:日处理铜矿石 300 t,原矿品位 0.75%,精矿品位 25%,回收率 85%。全矿山在册人数 110 人,每年工作 330 d。电耗为 62.5 kW · h/t 矿,主要的计算依据为主要投入物价格及耗用量见表 1。主要产出物为品位 25% 的铜精矿(金属量)660 t/a。

表 1 主要投入物价格及耗用量
Tab.1 the list of input in the mill

名称	单价(元)	耗用量
原矿		99000t/a
石灰	120/t	3.74kg/t
乙黄药	6540/t	0.077kg/t
丁黄药	7540/t	0.231kg/t
硫酸铜	5240/t	0.57kg/t
衬板	5940/t	0.25kg/t
钢球	3540/t	1.50kg/t
机油	6640/t	0.15kg/t
电	0.25/kW · h	62.45kW · h/t
水		总水量 39.6 万 m ³ /a 回水 24.7 万 m ³ /a 进入尾矿 14.8 万 m ³ /a

注:耗用量指处理每吨原矿消耗的投入物的量。

2.2 公式计算

由于铜矿石的不断损耗,电力和其它能源的不断输入,对自然界产生了熵增,熵增的大小可以通过前面推导的公式粗略计算出来。

依据前面资源熵的公式和具体数据,把整个选厂设为一个闭系来考虑,原矿进来,精矿出来。来计算该选厂一年的熵增为:

$$\Delta S = (DE_1 + E_2 + E_3 + E_4 + E_5)/T \dots\dots\dots \textcircled{4}$$

式中:从 t_1 到 t_0 一段时期内,矿业生产累积耗失该矿产资源的总化学能量为 $E_1, E_1 = D \sum_{i=1}^3 e_i dn_i; i = 1, 2, 3$ (kJ); dn_i 分别代表矿石中的铜矿、铁矿和大量以硅类为主的脉石在此段时间内累积耗失的实物量, e_i 为 i 项单位实物量资源所蕴含的化学能(kJ)。 E_2 为选厂生产活动所消耗的电能,换算成标准煤计算; E_3 为投入的药剂和易耗品折算出的化学能; E_4 为劳动力的化学能; E_5 为水耗的化学能。

$$E_1 = \frac{660}{12690} (429 \times 13826719.7 + 330 \times 24 \times$$

$$13826719.7 + 286 \times 330 \times 8750328.4);$$
$$E_2 = 62.45 \times 330 \times 300/347.58 \times 29.26/1000 \times 21945000;$$

$$E_3 = [(3.74 + 1.75) \times 330 \times 300 \times 13826719.7/1000]/0.1;$$

$$E_4 = 110 \times 4434750;$$

$$E_5 = 241.81 \times 148000000/18;$$

$$T = 288$$

$$\Delta S = (48956255555 + 11421490040 + 75149604241 + 487822500 + 1988215555)/288$$
$$= 479178430.6 \approx 4.8 \times 10^8 \text{kJ/K}$$

选厂在发展中期,逐渐关注铁矿的回收,日产铁精矿约 15 t,品位 45% 左右。同时耗水和电等稍有增加。由于对尾矿的回收利用,这部分负熵的添加使整个选厂生产过程的年熵增减少为:

$$\Delta S_1 = (43260832775 + 11421490040 + 75149604241 + 487822500 + 1988215555)/288$$
$$= 459402625.4 \approx 4.6 \times 10^8 \text{kJ/K}$$

由于对磨矿介质的科研投入研究,发现铸铁段的磨矿效果比钢球的效果显著,使能耗降低 10% 左右。经过技术负熵的投入,年熵增减少为:

$$\Delta S_2 = (43260832775 + 9137192032 + 75149604241 + 487822500 + 1988215555)/288$$
$$= 451471066.3 \approx 4.5 \times 10^8 \text{kJ/K}$$

理论上讲,如果选厂处于一个封闭状态,存在一个极端的熵增最大值,即该系统的生态环境阈值,表示为:

$$S_m = D \sum_{i=1}^3 e_i dn_i + E_m + E_p \dots\dots\dots \textcircled{5}$$

式中:第一项为资源全部耗竭后的化学能的总和;第二项为资源生产过程中对植被、水、空气造成的化学能损失总和;第三项为开发生产中的总耗能,以标准煤来计。在此公式其它略。计算结果为:

$$S_m = [1 \times (12690 \times 0.75\%/25\% \times 13826719.7 + 330 \times 24 \times 10 \times 13826719.7 + 286 \times 12 \times 330 \times 8750328.4 + 62.45 \times 330 \times 12 \times 300/347.58 \times 29.26/1000 \times 21945000 + 12 \times 330 \times 300 \times 5.5 \times 13826719.7/1000) + 110 \times 12 \times 4434750$$

$$\begin{aligned}
 &+ 241.8 \times 148000000 \times 12/18 + (18.828 + \\
 &94.94 + 18.828 \times 6.5) \times 10^6 \times 100 / 288 \\
 &= 43479088744 \approx 3.9 \times 10^{10} \text{kJ/K}
 \end{aligned}$$

2.3 结果分析与讨论

由于整个矿山选厂实际上并不是一个完全的封闭系统,资源用完了,又会从其它地方勘探和开采,环境污染到一定程度,又会重新设计地点和生产。

也就是说,在目前的状态下,还有一定量和未知量的负熵资源由自然界提供出来。如果不采取恰当的战略和政策,这种情况会一再发生,最终的结果将会导致整个大系统的崩溃。

通过对该选厂从建厂初期到现在的发展情况和实际数据的计算,对其熵增的变化用曲线的方式表达出来,如图 1 所示。

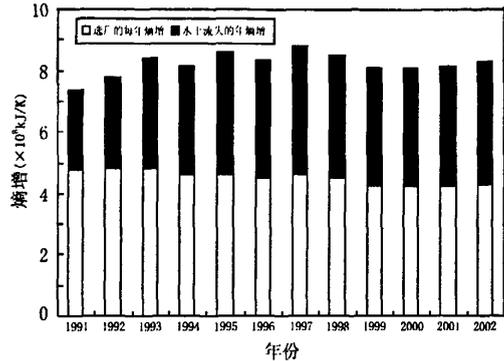
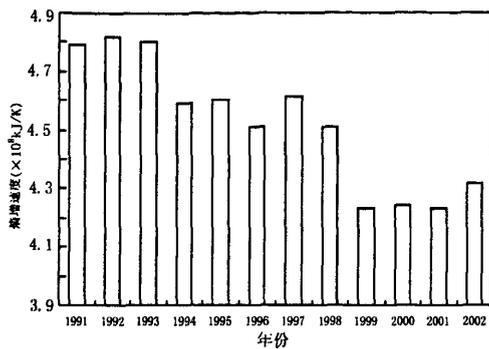
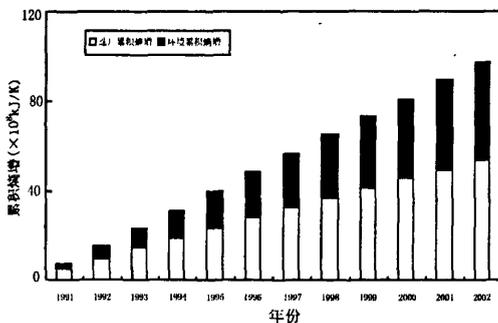


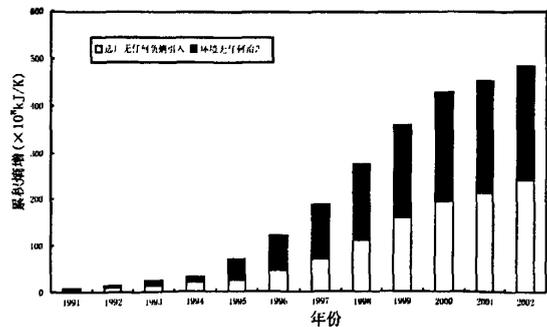
图 1 单从选厂的角度考虑和综合周边环境从 1991 到 2002 年熵增长速度变化图

Fig. 1 the changes of increasing on entropy in the mill only and all system per year

注:1994 铁矿回收利用,减少熵增长速度;1996 技术负熵引入,节省能耗 10% 左右;1997 年水、电资源的稀缺,熵增小范围上扬;1999-2002 年,深部找矿和采矿,负熵资源投入。



a. 加入负熵



b. 无负熵加入

图 2 选厂从 1991 到 2002 年的加入负熵与否的累积熵增变化图

Fig. 2 the changes of increasing on entropy in the mill and environment from 1991 to 2002

选厂在发展中期,逐渐关注铁矿的回收,日产铁精矿约 15 t,品位 45% 左右。同时耗水和电等稍有增加。由于对尾矿的回收利用,这部分负熵的添加使整个选厂生产过程的熵增每年有所减少;另外由于对磨矿介质的科研投入研究,发现铸铁段的磨矿效果比钢球的效果显著,使能耗降低 10% 左右。也

同样增加了技术负熵的投入,效果比较显著。从周边环境熵增考虑,水土流失包括草地、耕地和森林等化学能是逐年增加的,因为植被的破坏(保水性)和生态环境的改变(包括空气中氧气的耗失量等,有毒有害气体、液体——因为尾矿中还含有黄药等有毒物质存在),造成的熵增只会逐年上升的。如果

选厂在此方面没有实质性的投入,增长速度就会更明显。

从目前选厂的累积熵增变化曲线图 2a 上,可以发现,到 2002 年为止,选厂的累积造成直接和间接熵增已达到 1.0×10^{10} kJ/K,但还没有达到极限熵值约为 3.9×10^{10} kJ/K,这是由于选厂本身不断地引进负熵流,如技术革新降耗,废弃物回收和环境的治理等。该选厂后期又开发了新的矿山,增加了更多的负熵资源,技术负熵的投入也越来越多,效果比较显著。从图 2b 可知,在无任何负熵引入来中和系统的熵增,导致大约 10 年后,系统熵增达到极限约为 3.9×10^{10} kJ/K,系统彻底崩溃,而且所处环境也不再适合人类居住。两图相比较,可以发现:适当的负熵可以延长系统的存活时间,使系统实现可持续发展。

3 结论分析与探讨

熵增是系统发展不可避免和不可逆转的过程,熵可以反映矿业复杂系统运行的实质,而负熵就是系统内在的调节机制和手段,而外在表现为系统面对外界冲击力时的反馈力。系统熵增的外在表现是多种多样的,如资源减少、环境污染、结构不合理、生产效率低下等等形式,但其内在本质可以用熵把它们联系起来,因为它们都可以用熵增的量值表现出

来,然后汇总起来就是系统内在的熵增变化。这个方法比以往任何单因子的分析都具有全面和普遍性,而且非常适用。

参考文献:

- [1] 郑庆华,等. 试论“熵”理论的运用和发展[J]. 微计算机信息(测控自动化),2004,20(1):118-119.
- [2] 任天忠,等. 浅谈熵增原理对经济的作用[J]. 沧州师范学院学报,2006,22(2):47-48.
- [3] 方小兵,等. 关于负熵的探讨[J]. 系统辩证学学报,2003,11(4):116-117.
- [4] Stephen L, Gillett. Entropy and its misuse, I. Energy, free and otherwise [J]. Ecological Economics, 2006, 56: 58-70.
- [5] Gabriel A, Lozada. Entropy, free energy, work, and other thermodynamic variables in economics [J]. Ecological Economics, 2006, 56: 71-78.
- [6] Takeo Maruyama, etc. Entropy - based assessment clustering of potential water resources availability [J]. Journal of Hydrogy, 2005, 309: 104-113.
- [7] Frank C., Krysiak. Entropy, limits to growth, and the prospects for weak sustainability [J]. Ecological Economics, 2006, 58: 182-191.
- [8] 都兴富. 自然资源稀缺熵值测算——非平衡态经济热力学应用研究 128-133 [EB/OL]. 维普资讯 <http://www.cqvip.com>.

深切怀念本刊前主编康玉身研究员

中国地质科学院郑州矿产综合利用研究所原副所长、矿物加工专家、政府特殊津贴获得者、研究员、本刊前主编康玉身同志,因病于 2008 年 7 月 20 日 21:00 去世,享年 70 岁。

康玉身同志 1964 年 7 月毕业于东北工学院选矿专业,同年 9 月,在地质部华北地质科学研究所张家口中心实验室参加工作;1970 年 1 月至 1978 年 3 月在地质部矿产综合利用研究所工作,任技术员;1979 年 7 月调中国地质科学院郑州矿产综合利用研究所工作,历任选矿研究室主任、科技开发处处长、副所长,高级工程师、研究员。1997 年 1 月至 1999 年 2 月任《矿产保护与利用》期刊主编。

康玉身同志为人正直、知识渊博,在全国矿物加工领域具有较高的知名度,他为郑州矿产综合利用研究所的筹建、学科建设和学科发展做出了突出贡献。

康玉身同志任《矿产保护与利用》期刊主编期间,原地质矿产部等改组为国土资源部,为适应国土资源部政府职能转变和研究所中心任务的调整,更好地服务于矿产资源的保护与合理利用事业,对《矿产保护与利用》的主要报道内容也做了相应改进,他为《矿产保护与利用》期刊的发展做出了重要贡献。

我们怀着崇敬的心情对康玉身同志的逝世表示沉痛地哀悼和深深地怀念!

《矿产保护与利用》编辑部