

# Emergy Analysis of Method to Assess the Impact of Mine Ecosystem Pollutant Emissions

—A Case of Youxi Area

Haiyuan Qiu

Fujian Monitoring Center of Geological Environment, Fuzhou  
Email: [giuhaiyuan@hotmail.com](mailto:giuhaiyuan@hotmail.com)

Received: Jun. 20<sup>th</sup>, 2014; revised: Jul. 18<sup>th</sup>, 2014; accepted: Jul. 26<sup>th</sup>, 2014

Copyright © 2014 by author and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

---

## Abstract

In this thesis, Emergy analysis methods, products and services, ecological accounting passively absorb the waste in the process provided by the quantitative methods of contribution. Through the three pollutants emission of Youxi Jindong mine ecosystem need be able to value ecosystem services evaluated by quantifying the contribution of the ecological environment to assess the impact of mining activities on the ecological environment. The results show that with the year pushed them close, diluted, stockpiling waste consumed Emergy ecological contribution amount is declining. Mine ecological system should be developed on the basis of the original, and constantly improve the value of the input energy utilization efficiency, improve productivity and energy value waste resource efficiency and reduce system dependence on renewable resources, sustainable development model in order to achieve system optimization.

## Keywords

Emergy Assessment, Ecosystem, Pollutants

---

# 能值分析法评估矿山生态系统污染物排放影响

—以尤溪县域为例

邱海源

福建省地质环境监测中心, 福州  
Email: [giuhaiyuan@hotmail.com](mailto:giuhaiyuan@hotmail.com)

收稿日期: 2014年6月20日; 修回日期: 2014年7月18日; 录用日期: 2014年7月26日

## 摘要

本论文采用能值分析方法, 通过定量方法核算生态环境在被动吸纳废弃物过程中所提供的产品和服务的贡献。通过对尤溪金东矿山生态系统的3类污染物排放所需要的生态服务进行能值评估, 通过量化生态环境的贡献来评估采矿活动对生态环境的影响程度。结果显示, 随着年份的推进, 稀释、堆存废弃物所消费的生态环境贡献年能值量逐年下降。矿山生态系统应在原有发展基础上, 不断提高输入能值的利用效率, 提高能值产出率和废弃物资源化效率, 降低系统对更新资源的依赖程度, 从而实现系统的可持续发展模式优化。

## 关键词

能值评估, 生态系统, 污染物

## 1. 引言

区域环境-经济系统物质流, 直接体现在生产、消费和最终处置等运行过程如何影响社会、经济和环境, 以及如何减少这些影响等问题[1]。环境可持续指数的提出, 由美国耶鲁大学环境法律与政策中心、哥伦比亚大学国际地球科学资讯网络, 以及世界经济论坛所合作, 在1999年至2008年间公开发表[2], 是一项整合性指标系统, 追踪21项环境永续元素, 包括自然资源、过去与现在的污染程度、环境管理努力、对国际公共事务的环保贡献, 以及历年来改善环境绩效的社会能力[3]。环境可持续指数已成为一项新的指标系统, 其结果导向可作为基准指标[4]。环境可持续性指标在可持续发展指标模型的设计和应用方法方面尚未达成统一。由于社会经济活动对生态系统的影响和所处的关键环节认识不足, 另外缺乏科学精确评估方法, 阻碍了量化表达生态系统的贡献[5]。通过排放浓度吸纳和净化污染物的生态环境服务是正确评估可持续进程不可避免的步骤, 同时也能为计算人类社会的环境承载力提供新的方法[6]。尽管各种环境质量法规规定的浓度限值在一定程度上反映了污染物对于生态环境和人类健康的重要性[7], 却无法说明生态环境在吸纳污染物时所做的贡献或工作。

采矿活动对自然界进化过程的快速扰动, 造成的环境问题通常包括侵蚀、地表沉陷积水、生物多样性丧失、以及化学物质对土壤、地下水、地表水造成的污染。表面上会对矿山生态系统造成短期的负面影响, 但这种短期危害的累积效应最终危及人类的生存和可持续发展。评估系统排放物对生态环境的压力可以反映可持续发展程度[8]。矿山生态系统的物能流核算, 是对工业过程的环境、经济以及社会组合功能进行评价, 同时生态系统也为工业活动造成的上述环境影响提供产品和服务[9]。采矿活动的环境问题导致可持续发展策略如何应对可持续性发展的热点问题[10]。尽管国内外研究者从污染物排放量和排放浓度角度对环境影响评价做了大量研究, 但却没有提出一种量化方法来评估环境在吸纳和稀释人类生产生活副产品方面所作的贡献。主要的技术难点在于无法将不同的数量单位统一起来。能值理论和方法通过将物质、能量、货币单位转换为共同的能值单位, 为系统中不同类型物质能流间的复杂作用关系的量化研究搭建了平台[11]。但是目前能值分析方法对废弃物流的评价止步于量化为能值、衡量潜在价值、考察对系统能值流的作用, 从废物排放的角度建立计算系统环境负荷的方法还有困难。既然不能核算废弃

物流对生态环境的影响,那么可以通过能值评估,量化描述生态系统产品和服务在调节和维持采矿活动可持续方面所起的作用。生态环境的吸纳和稀释功能实际上反映矿山污染物排放对环境影响的本质[12]。

作为污染和破坏环境的典型行业,铅锌矿开采对大气、水流、土地、地质、自然资源等多种生态环境造成污染和破坏,并对矿工的健康形成潜在的威胁。根据《铅、锌工业污染物排放标准》(GB25466-2010)[13]的描述和实际调研,矿山生态系统的主要废弃物排放方式为水污染物、大气污染物和矸石堆置。将矿山生态系统产生三废对生态环境产生负面影响的物质统称为废弃物,本研究关键研究其排放或堆置所需要的生态环境支持[14],不考虑作为副产品所具有的利用潜能。本文以能值理论基础,通过定量方法核算生态环境在被动吸纳废弃物过程中所提供的产品和服务的贡献。以尤溪金东矿山生态系统的3类污染物排放(三废)所需要的生态服务进行能值评估,通过量化生态环境的贡献来评估采矿活动对生态环境的影响程度。

## 2. 研究区概况

研究区位于福建省中部地区,属中低山地形。区内最高点狮子顶海拔 656 m,最低处尤溪河谷海拔约 100 m。亚热带气候,年均降雨量 1550 mm,年均气温 18.9℃。区内主要河流尤溪河属长年河,水量充足,最大流量达 8480 m<sup>3</sup>/s。梅仙镇水电资源丰富,邻近处雍口 5 万千瓦水电站已建成投产,此外还有总负荷 0.96 万千瓦变电站一座。近年来铅锌及大理岩矿业发展很快,目前梅仙镇已建成日处理矿石 200~400 吨的铅锌选矿厂 4 家,日处理矿石 100~<200 吨的铅锌选矿厂多达 10 余家,日处理铅锌矿石总量达 3000~4000 吨,另外还有 2 家小型铅锌冶炼厂。随着新的铅锌矿资源不断探明,梅仙镇正在发展成为名副其实的福建省铅锌矿业之乡。

## 3. 矿山废弃物所需生态环境贡献能值评估

### 3.1. 能值核算方法

20 世纪 80 年代,美国著名生态学家 Odum H T 创立了“能值”这样一个科学概念(Odum, 1996) [15],定义为某种类别流动或贮存的能量所包含的另一种类别能量的数量,称为该能量的能值[16]。地球上大多数物质和能量都可追本溯源始于太阳能,因此通常以“太阳能值”为标准衡量其它任何类别能量和物质的能值,即一定数量的某种类型的能量中所包含的太阳能的数量,或者为形成一定数量的某种类型的能量或物质所需要消耗的太阳能的数量。单位为太阳能焦耳(缩写为 sej)。单位某能量或物质所含能值量称为该能量或物质的能值转换率,以太阳能值转换率表示,即单位某能量或物质所含太阳能值之量。能值分析以能值为基准,把不同种类、不同能质、不可比较的能量转换成同一标准的能值来衡量和进行比较研究。自然资源、商品、劳务等都可用能值来衡量其真实价值。能值分析以太阳能焦耳为基准,可对系统的各种生态流和经济流进行能值分析、整合和定量评价,并建立一系列反映系统动态、效率和生态经济特征的能值综合指标体系。人类对各种资源和能源的消费项目主要被折算为化石燃料土地、可耕地、林地、牧草地、建筑用地和水域等 6 种生物生产性土地,引入“均衡因子”将不同类型的生物生产性土地转化为具有相同生态生产力的土地以加总。计算公式为:

$$E_f = \sum_{i=1}^n a_i = \sum_{i=1}^n (c_i / p_i)$$

$E_f$ 表示人均生态足迹; $i$ 表示资源类型; $a_i$ 表示第*i*种资源的人均生态足迹; $C_i$ 表示第*i*种资源的人均能值; $P_i$ 表示区域能值密度。

### 3.2. 生态环境贡献的能值核算

对生态环境吸纳和稀释系统废弃物的功能进行能值核算[17],首先要在系统物能流概略图中明确废弃

物流的流动路线,以及生态环境提供的产品和服务的类型[18]。为方便分析矿山生态系统废弃物流排放与生态环境贡献相互作用关系(见图 1)。如图所示,中间部分人为活动与环境效应共同作用下的采矿活动。废弃物流就从人为活动矿山生产中流出。废弃物的排放,连接来自系统内外的很多流,表达的是废弃物与生态环境间的相互作用。系统边界上方的减排投入与生态环境提供的产品和服务一起作用于废弃物处理、回用过程。各种废弃物的排放浓度达到行业的排放限值标准,再次进入生态环境系统,但未达到人类生活要求的环境质量标准,因此仍需生态环境产品和服务提供净化功能进行稀释和吸收。

通过对比企业排放浓度限值与环境质量标准,可见排放标准离人的健康标准还有很大差距[19]。生态环境需要付出的很大努力才能同时维持生态系统和人类的健康和安全。通常污染物实际排放浓度要高于法律规定的排放限值,则需要生态环境提供更多的净化功能。可通过评估驱动净化过程的可更新资源能值来量化稀释和吸收废弃物的生态环境服务[20]。

### 3.3. 尤溪铅锌矿稀释放、堆置污染物的生态环境贡献能值评估

根据尤溪县矿山地质环境年报提供的污染物排放情况,对 2009 年、2011 年、2013 年废水、废气、固体废弃物等污染物排放量进行统计,计算得到年度污染物稀释需要生态环境提供的新鲜水、空气量及矸石堆置占用土地量,结果见表 1。从污染物净化对生态环境产品的平均需求量看,以质量单位比较,新鲜空气是新鲜水的 100 倍;以能值单位比较,新鲜水的贡献却是新鲜空气的 10 倍[21]。新鲜水的能值贡献占总能值贡献的 80%以上。土地在承载矸石堆置过程中的能值损失或能值贡献实际上是每年新增的能值量。堆置场里的矸石如果没有综合利用,堆积成山则常年占地。不同的能值转换率体现了水资源、空气和土地在净化污染物时的生态服务功能差别。由于不同污染物的环境质量浓度标准及排污介质不同,决定了对生态环境贡献的要求不同。

通过表 2 可知,水所需的 2009 年、2011 年、2013 年三种废弃物所需要的生态贡献能值分别为  $2.13 \times 10^{17}$ 、 $2.01 \times 10^{17}$ 、 $9.51 \times 10^{16}$  (sej)。大气所需的 2009 年、2011 年、2013 年三种废弃物所需要的生态贡献能值分别为  $2.17 \times 10^{16}$ 、 $2.83 \times 10^{16}$ 、 $2.46 \times 10^{16}$  (sej)。土地所需的 2009 年、2011 年、2013 年三种废弃物所需要的生态贡献能值分别为  $6.49 \times 10^{15}$ 、 $3.88 \times 10^{15}$ 、 $8.55 \times 10^{15}$  (sej)。累计核算:2009 年、2011 年、

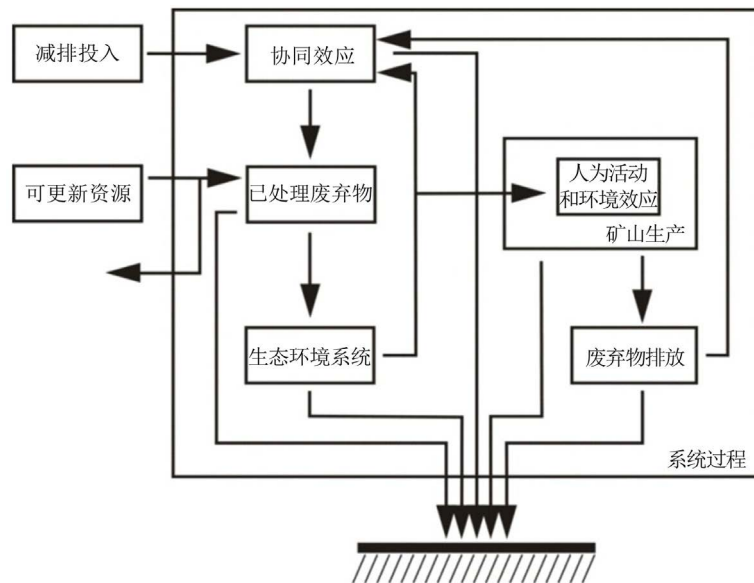


Figure 1. Mine waste discharge stream ecosystem map  
图 1. 矿山生态系统废弃物排放物流图

**Table 1. Youxi emissions from mines and demand for ecosystem ecological products**  
**表 1. 尤溪矿山生态系统污染物排放量及生态环境产品需求**

	污染物排放量(t)			环境质量标准	新鲜水(kg)\空气(M <sup>3</sup> )\土地需求量(hm <sup>3</sup> )		
	2009 年	2011 年	2013 年		2009 年	2011 年	2013 年
COD	212.13	271.15	71.54	20 mg/L	$7.48 \times 10^9$	$8.02 \times 10^9$	$3.16 \times 10^9$
硫化物	247.23	201.71	41.29	25 mg/L	$8.35 \times 10^9$	$9.12 \times 10^9$	$2.02 \times 10^9$
BOD	41.26	26.69	27.13	4 mg/L	$7.31 \times 10^9$	$3.02 \times 10^9$	$1.17 \times 10^9$
NH <sub>3</sub> -N	11.21	8.36	7.02	1 mg/L	$9.73 \times 10^9$	$8.21 \times 10^9$	$6.77 \times 10^9$
降尘	51.49	33.25	26.37	0.20 mg/m <sup>3</sup>	$2.19 \times 10^{11}$	$2.15 \times 10^{11}$	$6.41 \times 10^{11}$
SO <sub>2</sub>	31.6	57	74.61	0.06 mg/m <sup>3</sup>	$8.34 \times 10^{11}$	$8.11 \times 10^{11}$	$7.39 \times 10^{11}$
NO <sub>2</sub>	51.23	40.12	29.38	0.08 mg/m <sup>3</sup>	$5.26 \times 10^{11}$	$3.82 \times 10^{11}$	$5.83 \times 10^{11}$
矽石	$27.15 \times 10^4$	$11.25 \times 10^4$	$34.18 \times 10^4$		7.17	5.15	8.95

**Table 2. Youxi dilution or stacking ecological value of the contribution required to be able to assess pollutant (unit: sej)**  
**表 2. 尤溪稀释或堆置污染物所需生态环境贡献能值评估(单位: sej)**

生态环境	2009 年	2011 年	2013 年
水	$2.13 \times 10^{17}$	$2.01 \times 10^{17}$	$9.51 \times 10^{16}$
大气	$2.17 \times 10^{16}$	$2.83 \times 10^{16}$	$2.46 \times 10^{16}$
土地	$6.49 \times 10^{15}$	$3.88 \times 10^{15}$	$8.55 \times 10^{15}$
合计	$2.41 \times 10^{17}$	$2.33 \times 10^{17}$	$1.28 \times 10^{17}$

2013 年三种废弃物所需要的生态贡献能值分别为  $2.41 \times 10^{17}$ 、 $2.33 \times 10^{17}$ 、 $1.28 \times 10^{17}$  (sej)。通过将污染物排放过程中需要的不同形式生态环境产品和服务的功能贡献转换为统一的能值单位, 不仅能够求和加总反映不同年份间的生态环境压力, 还能直接比较不同种类污染物排放造成的生态环境压力大小。随着研究年份的推进, 稀释、堆存废弃物所消费的生态环境贡献年能值量逐年下降。

#### 4. 小结

本文以能值理论及其评估方法为基础, 通过一套定量方法核算生态环境在被动吸纳废弃物过程中所提供的产品和服务的贡献。对尤溪金东矿山生态系统的 3 类污染物排放所需要的生态服务进行能值评估, 通过量化生态环境的贡献来评估采矿活动对生态环境的影响程度。随着年份的推进, 稀释、堆存废弃物所消费的生态环境贡献年能值量逐年下降。能值大小的差别主要由吸纳该污染物的生态环境服务的能值转换率决定。不同的能值转换率体现了水资源、空气和土地在净化污染物时的生态服务功能差别。由于不同污染物的环境质量浓度标准及排污介质不同, 决定了对生态环境贡献的要求不同。

#### 致 谢

国土资源部公益性行业科研专项(201111020-2), 本文成文过程得到了尤溪铅锌矿集区地球化学累积及预警研究项目组的热诚帮助, 在此表示感谢!

#### 参考文献 (References)

- [1] 刘伟, 鞠美庭, 楚春礼, 邵超峰, 田文鑫 (2011) 区域环境-经济系统物质流与能流分析方法及实证研究. *自然资源学报*, 26, 1435-1445.

- [2] Peart, K. (2005) Finland tops environmental scorecard at world economic forum in Davos. Office of Public Affairs, Yale.
- [3] Yale Center for Environmental Law and Policy (2005) Environmental sustainability index. Yale University, Yale.
- [4] Environmental Performance Index—Rankings & Scores. Columbia University, New York.
- [5] 付晓, 吴钢, 刘阳 (2004) 生态学研究中的熵分析与能值分析理论. *生态学报*, **24**, 2621-2626.
- [6] 汤萃文, 苏研科, 陈银萍, 杨国靖, 王谦 (2011) 天祝县生态经济系统的能值分析. *生态学杂志*, **30**, 343-348.
- [7] 陈奔, 邱海源, 郭彦妮, 汪立宜, 王宪 (2012) 尤溪铅锌矿集区重金属污染健康风险评估研究. *厦门大学学报: 自然科学版*, **51**, 245-251.
- [8] 蓝盛芳, 钦佩 (2001) 生态系统的能值分析. *应用生态学报*, **12**, 129-131.
- [9] 万伦来, 卢晓倩, 张颖 (2013) 矿产资源型地区生态系统服务功能的影响因素. *资源与产业*, **15**, 50.
- [10] 李海涛, 廖迎春, 严茂超, 胡聃 (2004) 新疆生态经济系统的能值分析及其可持续性评估. *地理学报*, **58**, 765-772.
- [11] 高雪松 (2011) 秸秆循环利用模式, 物流能流分析及功能评价. 博士论文, 四川农业大学, 雅安.
- [12] 李双成, 傅小锋, 郑度 (2001) 中国经济持续发展水平的能值分析. *自然资源学报*, **4**, 297-304.
- [13] (2010) 铅、锌工业污染物排放标准.
- [14] 邱海源 (2011) 土壤重金属潜在生态危害评价及其同源相关性研究. *资源节约与环保*, **1**, 68-70.
- [15] Odum, H.T. (1971) *Environment, power, and society*. Vol. 130, Wiley-Interscience, New York.
- [16] 陆宏芳, 沈善瑞, 陈洁, 蓝盛芳 (2005) 生态经济系统的一种整合评价方法: 能值理论与分析方法. *生态环境*, **1**, 121-126.
- [17] 李金平, 陈飞鹏, 王志石 (2006) 城市环境经济能值综合和可持续性分析. *生态学报*, **2**, 439-448.
- [18] 关淑琳 (2010) 绿洲灌区两种循环生产模式能流, 物流和价值流分析. 博士论文, 甘肃农业大学, 兰州.
- [19] 郝翠, 李洪远, 莫训强, 孟伟庆, 闫维, 程晨 (2010) 基于三元相图法的天津生态经济系统能值分析. *自然资源学报*, **7**, 1132-1141.
- [20] 钟道旭, 韩存亮, 蒋金平, 林德喜, 吴龙华, 黄玉娟, 蒋玉根 (2011) 镀锌厂周围农田土壤-水稻中重金属污染及其风险. *土壤*, **1**, 143-147.
- [21] 田金平, 刘巍, 赖玢洁, 李星, 刘婷, 陈吕军 (2012) 中国生态工业园区发展的经济和环境绩效研究. *中国人口资源与环境*, **S2**, 119-122.