

## 莫干山风景区生态经济系统能值分析及可持续性评价

丁晓荣<sup>1</sup>, 王利琳<sup>2</sup>

(1. 浙江广播电视大学 德清学院, 浙江 德清 313200; 2. 杭州师范大学 生命与环境科学学院, 浙江 杭州 310036)

**摘要:** 应用能值分析理论和方法, 选择和创建能值指标评价体系, 从自然和经济生态观角度对浙江莫干山风景区生态系统进行研究。通过一系列能值指标, 定量分析了系统的基本生态流。结果表明, 莫干山风景区 2008 年能值应用总量为  $9.90 \times 10^{18}$  J, 输入能值  $9.14 \times 10^{18}$  J, 输出能值  $7.58 \times 10^{17}$  J, 经济收入和反馈分别为  $6.15 \times 10^{18}$  J 和  $3.75 \times 10^{18}$  J, 净经济效益率为 53.22%, 生态产出率 29.27, 环境负载率为 12.01, 可持续发展能力能值指标为 0.84。研究证明, 莫干山风景区开发历史较长, 基础能值积累较多, 长期保持适度的经济反馈, 改善了生态环境, 提高了经济效益, 可持续发展能力较强, 但环境负载率较高, 旅游业对系统压力逐年加大。因此, 今后要从扩大莫干山风景区地域范围, 适度控制游客人数, 创新旅游模式, 实现多种能流有序流动入手, 实现系统持续健康和谐发展。图 1 表 2 参 16

**关键词:** 景观生态学; 能值; 能值分析; 生态经济系统; 可持续发展; 莫干山风景区

中图分类号: S718.5; Q148 文献标志码: A 文章编号: 1000-5692(2010)06-0916-07

## Emergy analysis of ecological economic system and sustainability assessment of the Mount Mogan Scenic Area

DING Xiao-rong<sup>1</sup>, WANG Li-lin<sup>2</sup>

(1. Deqing College, Zhejiang Radio and TV University, Deqing 313200, Zhejiang, China; 2. Collge of Life and Environmental Sciences, Hangzhou Normal University, Hangzhou 310036, Zhejiang, China)

**Abstract:** The emergy analysis theory and method were applied to choose and establish an evaluation system of emergy indexes which was used to study the Mount Mogan Scenic Area's ecological system from natural and economic ecology perspectives and quantitatively analyzed the basic ecological flow of the system by a series of emergy indexes. The results indicated that the emergy application sum of the Mount Mogan Scenic Area in 2008 was  $9.90 \times 10^{18}$  J; the input emergy was  $9.14 \times 10^{18}$  J; the output emergy was  $7.58 \times 10^{17}$  J; the economic income and the feedback were  $6.15 \times 10^{18}$  J and  $3.75 \times 10^{18}$  J respectively; the net economic profit ratio was 53.22 per cent; the ecological yield ratio was 29.27; the environmental loading ratio was 12.01; the emergy index of sustainable development ability was 0.84. The results indicated that the Mount Mogan Scenic Area had long development history and more accumulation of basic emergy. It maintained a long term proper economic feedback. The ecological environment had been improved and the economic benefits had been increased. It had more sustainable development ability. However, the environment loading ratio was comparatively high, and the pressure from the tourism was increasing annually. So it is suggested expanding the territorial scope of the Mount Mogan Scenic Area, controlling the number of tourists properly, innovating the mode of tourism, making multiemergy flow sequentially, then the system will accomplish sustainable, healthy and harmonious development. [Ch, 1 fig. 2 tab. 16 ref.]

**Key words:** landscape ecology; emergy; emergy analysis; ecological economic system; sustainable development; Mount Mogan Scenic Area

收稿日期: 2010-01-21; 修回日期: 2010-05-26

作者简介: 丁晓荣, 高级讲师, 从事生物学研究。E-mail: deqingdxr@163.com。通信作者: 王利琳, 教授, 从事植物生理学和生态学研究。E-mail: wang\_2008@163.com

随着社会经济的发展,人民生活水平的提高,外出旅游休闲度假的人数大幅度攀升。如何正确处理保护好生态保护与旅游业发展之间的关系,促进风景区生态、经济可持续发展,是各类风景区面临的亟须研究的课题。目前,运用生态经济学能值分析原理,对县级以上行政区域、城市、江湖流域、热带雨林、农业等生态经济系统进行研究的较多,对小区域的名胜风景区进行定量研究的报道较少<sup>[1]</sup>。本研究试从生态经济学角度,应用能值分析理论方法<sup>[2]</sup>,把浙江莫干山风景区复合生态系统中不同种类,不可比较的能量转换为同一标准的能值。进行系统自然环境和经济活动的定量分析和综合研究,为其可持续发展提供决策参考,也为运用生态经济系统能值分析研究名胜风景区协调发展提供一个新的理论视野。

## 1 研究区概况

莫干山系天目山余脉,位于浙江省德清县西北部,中心地理坐标为 30°36'N, 119°52'E,主峰海拔为 718.9 m,属亚热带湿润季风区,年平均气温为 13.3 °C,无霜期 222 ~ 237 d,年平均降水量 1 893.0 mm,年平均日照时数 1 407.8 h。土壤分布主要有红壤、黄壤、岩性土、潮土和水稻土等 5 个土类,其中以红壤分布最为广泛。动植物资源丰富,共有植物 136 科 614 种,动物 213 种 1 236 种。植被区划属中亚热带常绿阔叶林北部亚地带,竹林为莫干山森林植被主体,有竹林 12 600 hm<sup>2</sup>,其中毛竹 *Phyllostachys pubescens* 8 700 hm<sup>2</sup>,淡竹 *Phyllostachys glauca* 等 2 000 hm<sup>2</sup>;风景区有竹林 100 hm<sup>2</sup>,分布着毛竹,淡竹,紫竹 *Phyllostachys nigra*,斑竹 *Phyllostachys bambusoides* f. *lacrima-deae*,人面竹 *Phyllostachys pubescens heterocycla* 等 20 余种。风景区面积为 2.95 km<sup>2</sup>,人口 540 人,系国家级名胜风景区<sup>[3]</sup>。

## 2 研究方法与步骤

### 2.1 能值基本理论和研究方法

能值(emergy)是指某种流动或储存的能量中所包含的另一种能量的数量,称为该能量的能值。地球上的能量都直接或间接来源于太阳能,故常以太阳能为基准来衡量各种能量的能值,任何资源、产品或劳务形成所需的太阳能之量,就是其太阳能值(solar emergy),单位为太阳能焦耳(solar emergy joules, sej 即 J)。能值同时考虑了能量的数值大小和质量等级,可以衡量和比较生态系统中不同等级能量的真实价值和贡献<sup>[4]</sup>。

能值转换率(transformivity)表示单位能量(J)或物质(g)所具有的能值,即单位能量或物质由多少太阳能值转化而来,它是度量能量质量和等级的尺度。

$$M = \tau \times B。$$

其中:  $M$  表示能值,  $\tau$  表示能值转换率,  $B$  代表能量或物质的质量。

经济系统的能值投入计算是以货币量乘以该国或地区的能值货币比率<sup>[5]</sup>。

本研究中能值货币比率具体数值采用任丽燕等<sup>[8]</sup>在西溪湿地能值分析中 2008 年杭州市的数据(因为莫干山风景区距杭州 50 km,且属省政府管理,经济发展水平接近杭州)能值分析理论(emergy analysis)是以自然价值为基础,通过能值转换率将系统各种生态流都转换为能值,把系统中不同种类,不可比较的能量转换成同一度量标准的能值来衡量和分析,从宏观角度将自然环境生产和人类经济活动进行统一评价,定量分析整个系统的结构功能与经济效益。

### 2.2 基本步骤

①数据资料的收集、整理和分类。本研究的原始数据主要来自《莫干山志》《莫干山风景区统计年报》和实地调查。②绘制风景区生态经济系统能量系统图(图 1)。③编制风景区能值系统分析表。列出风景区 2008 年主要能源项目,包括可更新资源、不可更新资源、经济反馈和收入等。④建立反映风景区生态经济能值指标体系,计算各种能值指标。⑤根据能值指标数据对风景区生态经济系统进行分析。⑥进一步对分析结果进行讨论和小结,为优化可持续发展的风景区生态经济系统指明方向。

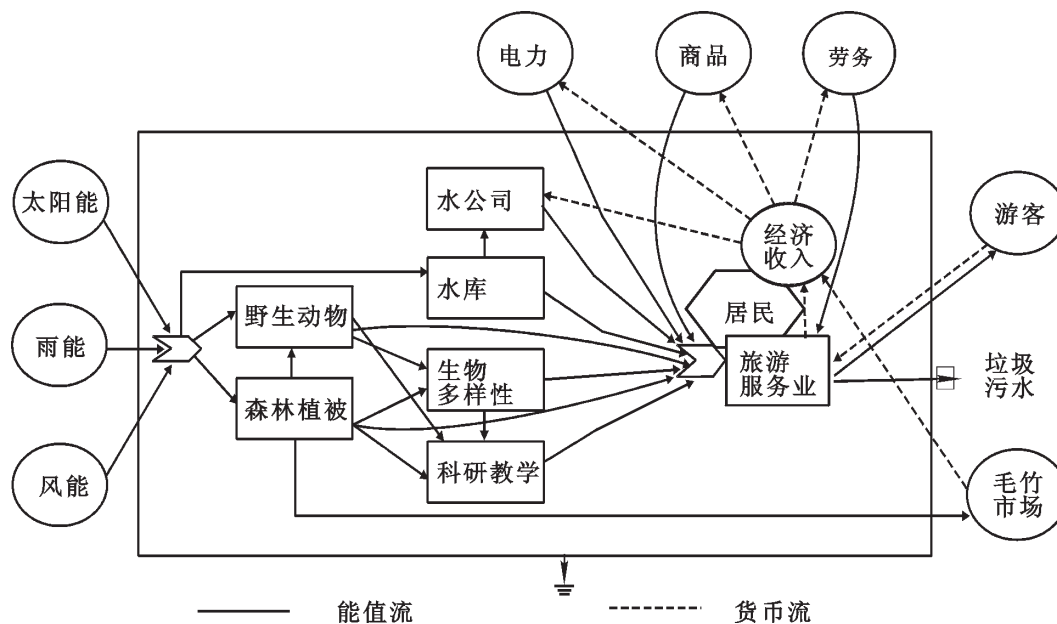


图1 莫干山风景区生态经济系统能量系统图

Figure 1 Emergy diagram of Mount Maogan Scenic Area

### 3 能值分析指标体系的构建与选择

#### 3.1 能值分析指标构建

根据隋春花等<sup>[4]</sup>、李金平等<sup>[5]</sup>、汪殿蓓等<sup>[8]</sup>、任丽燕等<sup>[9]</sup>有关生态经济系统能值分析和可持续发展评价的研究成果,构建了莫干山风景区生态经济系统能值分析指标体系(表1)来评判系统发展的健康和可持续性。本研究在此基础上进行了更深入的研究,发现旅游行政部门和风景区管理者往往根据经济效益来评价风景区各项工作,忽视风景区生态保护产生的其他社会、经济和生态效益。为此,新构建了生态产出率和净经济效益率2个指标:生态产生率和净经济效益率。

生态产生率 = 生态系统产出 / (可更新资源 + 不可更新资源 + 经济反馈)。

净经济效益率 = (经济收入 - 经济反馈) / (可更新资源 + 不可更新资源 + 经济反馈)。

任丽燕等<sup>[9]</sup>在杭州西溪湿地能值分析中提出的生态系统服务指标中不包含有机物产出和科研教育等生态和服务功能;李海涛等<sup>[10]</sup>在天山森林区生态资本价值研究中则将观光旅游也划入生态系统服务功能价值中。为了更好地衡量风景区生态系统的生态效益,本研究构建的生态产出率概念特指除系统第三产业经济收入外的其他生态功能价值指标,主要是有机物产出、涵养水源、保持土壤、固定二氧化碳、释放氧气和科研教育等产生的效益。净经济效益率是衡量系统的经济与环境产出效率的指标,是系统纯经济收入与来自环境和经济总投入的比值,反映了一定的投入水平之下系统在经济方面的产出效益。

#### 3.2 能值分析指标选择

莫干山风景区有常住人口540余人,类似于小城镇,但平均每天外来人口超过本地人口,产业主要是旅游业和与之相关的如餐饮住宿等第三产业,与一般小城镇区别较大。Brown等<sup>[11]</sup>提出的基于能值可持续指数(emergy-based sustainability index, ESI, 净能值产出率/环境负载)难以反映莫干山风景区可持续发展的特点。为了实现能值效益与生态、经济效益的整合,本研究采用陆宏芳等<sup>[12]</sup>构建的评价系统可持续发展能力的能值指标 [emergy index of sustainable development, EISD, (净能值产出率 × 能值交换率)/环境负载] 和刘耕源等<sup>[13]</sup>构建的反映系统健康的能值指数 [emergy-based urban ecosystem health index, EUEHI, (净能值产出率 × 能值交换率 × 能值密度) / (环境负载率 × 能值货币比)], 来分析评价莫干山风景区生态经济系统健康状况和可持续发展能力(表2)。

表 1 莫干山风景区生态经济系统能值指标  
Table 1 Energy value indices of Mount Mogan Scenic Area values

| 指标              | 表达式   | 数值   |
|-----------------|---|--|
| 1. 可更新资源        |   | $7.61 \times 10^{17} \text{ J}$                      |
| 2. 不可更新资源       |   | $1.19 \times 10^{15} \text{ J}$                      |
| 3. 输入能值         |   | $9.14 \times 10^{18} \text{ J}$                      |
| 4. 输出能值         |   | $7.58 \times 10^{17} \text{ J}$                      |
| 5. 经济反馈         |   | $3.75 \times 10^{18} \text{ J}$                      |
| 6. 经济收入         |   | $6.15 \times 10^{18} \text{ J}$                      |
| 7. 能值应用总量       | 能值应用总量 = 可更新资源 + 不可更新资源 + 输入能值                        | $9.90 \times 10^{18} \text{ J}$                      |
| 8. 生态系统产出       |   | $1.32 \times 10^{20} \text{ J}$                      |
| 9. 废弃物          |   | $1.16 \times 10^{16} \text{ J}$                      |
| 10. 能值货币比率      |   | $9.26 \times 10^{12} \text{ J} \cdot \text{美元}^{-1}$ |
| 11. 净经济效益率      | 净经济效益率 = (经济收入 - 经济反馈)/(可更新资源 + 不可更新资源 + 经济反馈)        | 53.22%   |
| 12. 环境负载率       | 环境负载率 = (不可更新资源 + 输入能值)/可更新资源                         | 12.01  |
| 13. 净能值产出率      | 净能值产出率 = 能值应用总量/输入能值                                  | 1.08   |
| 14. 人均能值用量      | 人均能值用量 = 能值应用总量/人口数                                   | $1.83 \times 10^{16} \text{ J} \cdot \text{人}^{-1}$  |
| 15. 能值密度        | 能值密度 = 能值应用总量/面积                                      | $3.36 \times 10^{12} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$  |
| 16. 能值交换率       | 能值交换率 = 输入能值/输出能值                                     | 12.06  |
| 17. 生态产出率       | 生态产出率 = 生态系统产出/(可更新资源 + 不可更新资源 + 经济反馈)                | 29.27  |
| 18. 废弃物产生率      | 废弃物产生率 = 废弃物/能值应用总量                                   | 0.12%  |
| 19. 废弃物与可更新资源比率 | 废弃物与可更新资源比率 = 废弃物/可更新资源                               | 1.52%  |
| 20. 生态系统健康能值指标  | 生态系统健康能值指标 = (净能值产出率 × 净经济效益率 × 能值密度)/(环境负载率 × 能值货币比) | 0.39   |
| 21. 可持续发展能力能值指标 | 可持续发展能力能值指标 = (净能值产出率 × 能值交换率)/环境负载率                  | 1.08   |

说明：各项计算公式除本文创建外，引自 Odum 等<sup>[2,6-7,12-13]</sup>。

## 4 结果与分析

### 4.1 基本能值流分析

如图 1，表 1 和表 2 所示，莫干山风景区生态经济系统的能值流包括可更新资源能值、不可更新资源能值、输入能值、输出能值和废弃物能值等 5 个部分。2008 的能值总用量为  $9.90 \times 10^{18} \text{ J}$ ，其中可更新资源能值、不可更新资源能值、输入能值分别为  $7.61 \times 10^{17} \text{ J}$ ， $1.19 \times 10^{15} \text{ J}$  和  $9.14 \times 10^{18} \text{ J}$ ，分别占能值总用量的 7.690%，0.012% 和 92.320%。不可更新资源主要包括表土损失和水土流失，由于莫干山开发较早，经多年封山育林和人工造林、绿化率达 93.50%，植被茂盛，又在山上修建了 2 座小水库，蓄水能力较强，所以不可更新资源流失很少。输入能源包括森林养护、旅游设施维护、管理投入、电力输入和旅游收入，其中旅游投入和旅游收入的能值最大，分别占输入能值的 25.38% 和 58.97%。输出能值主要是毛竹产出，占能值总用量的 7.78%。废弃物能值为  $1.16 \times 10^{16} \text{ J}$ ，比例较小，仅占能值总用量的 0.12%。从能值流的分析可以看出，莫干山风景区生态经济系统是建立在生态环境的保护基础上，通过发展旅游业，提高经济效益，增加能值输入，达到持续健康的目的。

### 4.2 能值指标分析

4.2.1 净经济效益率和净能值产出率 净经济效益率是反映投入与净收入之间关系的重要指标，为了维持系统的持续发展，必须逐步加大对系统的反馈。2008 年莫干山风景区净经济效益率为 53.22%，

表2 莫干山风景区生态经济系统能值分析

Table 2 Energy analysis of Mount Mogan Scenic Area

| 项目       | 原始资料/<br>(J或g)        | 能值转换率/<br>[(J·J <sup>-1</sup> )或(J·g <sup>-1</sup> )] | 太阳能值/J                | 项目                               | 原始资料/(J或g)            | 能值转换率/<br>[(J·J <sup>-1</sup> )或(J·g <sup>-1</sup> )] | 太阳能值/<br>J            |
|----------|-----------------------|---|-----------------------|----------------------------------|-----------------------|---|-----------------------|
| 可更新资源    |                       |   |                       | 生态系统产出 E <sub>y</sub> (第三产业产出除外) |                       |   |                       |
| 1. 太阳能   | $6.51 \times 10^{15}$ | 1   | $6.51 \times 10^{15}$ | 12. 有机物生产                        |                       |   |                       |
| 2. 雨化学能  | $3.85 \times 10^{13}$ | 15 444  | $5.95 \times 10^{17}$ | ①毛竹生产                            | $3.47 \times 10^{13}$ | $3.20 \times 10^4$                                    | $1.11 \times 10^{18}$ |
| 3. 雨势能   | $1.79 \times 10^{13}$ | 8 888   | $1.59 \times 10^{17}$ | ②林木生产                            | $4.42 \times 10^{13}$ | $3.49 \times 10^4$                                    | $1.54 \times 10^{18}$ |
| 4. 风能    | $1.28 \times 10^{12}$ | 623   | $7.97 \times 10^{14}$ | 13. 固定二氧化碳                       | $4.01 \times 10^9$    | $3.78 \times 10^7$                                    | $1.52 \times 10^{17}$ |
| 小计       |                       |   | $7.61 \times 10^{17}$ | 14. 释放氧气                         | $2.93 \times 10^9$    | $5.11 \times 10^7$                                    | $1.50 \times 10^{17}$ |
| 不可更新资源   |                       |   |                       | 15. 涵养水源                         | $2.96 \times 10^{13}$ | $6.66 \times 10^5$                                    | $1.97 \times 10^{19}$ |
| 5. 表土损失  | $2.06 \times 10^9$    | $6.25 \times 10^4$                                    | $1.29 \times 10^{14}$ | 16. 保持土壤                         | $5.05 \times 10^{14}$ | $7.40 \times 10^4$                                    | $3.74 \times 10^{19}$ |
| 6. 水土流失  | $6.22 \times 10^5$    | $1.71 \times 10^9$                                    | $1.06 \times 10^{15}$ | 17. 生物多样性保护                      | 748种(昆虫除外)            | $9.40 \times 10^{16} \text{ J} \cdot \text{种}^{-1}$   | $7.03 \times 10^{19}$ |
| 小计       |                       |   | $1.19 \times 10^{15}$ | 18. 科研考察                         | 126人                  | $1.08 \times 10^{16} \text{ J} \cdot \text{人}^{-1}$   | $1.36 \times 10^{18}$ |
| 经济反馈     |                       |   |                       | 19. 科普教育                         | 1 430人                | $2.58 \times 10^{14} \text{ J} \cdot \text{人}^{-1}$   | $3.69 \times 10^{17}$ |
| 7. 森林养护  | $1.41 \times 10^5$ 美元 | $2.82 \times 10^{12} \text{ J} \cdot \text{美元}^{-1}$  | $3.98 \times 10^{17}$ | 小计                               |                       |   | $1.32 \times 10^{20}$ |
| 8. 旅游投入  | $8.24 \times 10^5$ 美元 | $2.82 \times 10^{12} \text{ J} \cdot \text{美元}^{-1}$  | $2.32 \times 10^{18}$ | 废弃物                              |                       |   |                       |
| 9. 电力输入  | $6.44 \times 10^{12}$ | $1.59 \times 10^5$                                    | $1.03 \times 10^{18}$ | 20. 垃圾                           | $6.18 \times 10^9$    | $1.80 \times 10^6$                                    | $1.11 \times 10^{16}$ |
| 小计       |                       |   | $3.75 \times 10^{18}$ | 21. 污水                           | $7.49 \times 10^8$    | $6.66 \times 10^5$                                    | $4.99 \times 10^{14}$ |
| 经济收入     |                       |   |                       | 小计                               |                       |   | $1.16 \times 10^{16}$ |
| 10. 旅游收入 | $1.91 \times 10^6$ 美元 | $2.82 \times 10^{12} \text{ J} \cdot \text{美元}^{-1}$  | $5.39 \times 10^{18}$ |                                  |                       |   |                       |
| 11. 毛竹产出 | $2.37 \times 10^{13}$ | $3.20 \times 10^4$                                    | $7.58 \times 10^{17}$ |                                  |                       |   |                       |
| 小计       |                       |   | $6.15 \times 10^{18}$ |                                  |                       |   |                       |

说明：原始数据来源于《莫干山志》和《莫干山风景区统计年报 2008》；能值转换率和各项计算公式引自 Odum 等<sup>[2,6-7]</sup>。

数值偏高，环境压力增大，必须把加大经济反馈与适度控制游客数量结合起来，促进系统的可持续发展。净能值产出率可以说明系统产出对经济贡献的大小，净能值产出率值越高即系统的生产效率越高。2008年景区净能值产出率为1.08，表征景区经济系统的循环反馈过程能够满足经济活动的需要。由于景区产业单一，且旅游业发展受制于景区的规模和基础设施的投入，生产效率不高。

4.2.2 能值交换率 能值交换率越大表明该地区流入的能值越多，信息和服务聚集度越高，能量货币流通越快。而输出的能值相对越小，该地区的能值财富不断增加，在经济活动中处于有利地位。莫干山风景区的能值交换率为12.06，大大高于全国其他地区，也高于美国的1.27，意大利的1.72<sup>[5]</sup>，说明莫干山风景区输入能值远高于输出能值，在商品交易中，得到的能值收益很大，在经济活动中处于有利地位。

4.2.3 人均能值用量与能值密度 人均能值用量与能值密度是有效反映人民生活水平和经济发展程度的2个指标。莫干山风景区2008年人均能值用量为 $1.83 \times 10^{16} \text{ J}$ ，高于广州市 $1.34 \times 10^{16} \text{ J}$ <sup>[4]</sup>，但低于澳门 $4.90 \times 10^{16} \text{ J}$ <sup>[5]</sup>，说明莫干山风景区的平均生活水平较高，经济较发达。2008年莫干山风景区的能值密度为 $3.36 \times 10^{12} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ ，低于广州( $1.16 \times 10^{13} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ )<sup>[4]</sup>，高于江苏( $3.06 \times 10^{12} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ )<sup>[14]</sup>，这与莫干山风景区人口较少没有工农业，经济单纯依赖旅游业是相符的。

4.2.4 环境负载率与废弃物产生率、废弃物与可更新资源比率 环境负载率数值表明在生态经济系统中存在高强度的能值利用，同时对环境系统保持着较大压力。环境负载率是对系统的一种警示，若系统长期处于较高的环境负载率，将产生不可逆转的功能退化或丧失。中国浙江莫干山风景区2008年环境负载率为12.01，高于2003年中国内蒙古(3.13)<sup>[15]</sup>和美国(7.06)<sup>[13]</sup>，低于中国江苏(23.16)<sup>[14]</sup>和荷

兰(15.9)<sup>[13]</sup>, 而废弃物产生率、废弃物与可更新资源比率分别为 0.12% 和 1.52%, 表明莫干山风景区随着游客人数的增加, 旅游业发展对环境的压力逐步加大。今后在加大经济反馈, 改善基础设施的基础上, 适度控制游客人数, 是一种明智的选择。虽然从数据看, 目前, 环境污染较小, 但随着人民生活水平的提高, 旅游业发展是一种潜在的压力, 管理部门应未雨绸缪, 规划建设小型的垃圾与污水处理厂应提上议事日程, 若废弃物经过科学处理, 对自然环境的影响和压力将大大降低。

**4.2.5 生态产出率** 生态产出率是衡量系统的经济和环境产出效率的指标。笔者构建的生态产出率特指除系统第三产业经济收入外的其他生态系统功能价值。2008 年莫干山风景区生态产出率为 29.27, 表明通过对系统的保护、开发与利用, 产生的生态效益是总能用量的近 30 倍, 大大超过旅游、餐饮住宿等第三产业产生的效益, 这就要求旅游行政部门和景区管理者首先要正确处理好景区经济效益与社会效益、生态效益的关系, 促进景区持续协调发展。其次, 要注意景区植被以毛竹林为主的特点 [毛竹为速生林, 每度(2 a)要适度砍伐, 有利于控制竹林密度和更新换代], 加强竹林养护, 控制每度毛竹砍伐比例, 促进以林养林, 保护生态环境。

**4.2.6 生态经济系统健康与可持续发展能力** 生态经济系统健康与可持续发展的关系很近, 它们的共同点均反映了生态系统为人类提供支付服务功能。Gallop 等<sup>[6]</sup>认为生态系统健康是可持续发展的先决条件。2008 年中国浙江莫干山风景区的生态经济系统健康能值指标 0.390 0, 高于 21 世纪初中国包头(0.126 0)<sup>[13]</sup>, 中国澳门(0.174 0)<sup>[5]</sup>, 中国北京(0.169 0), 中国广州(0.144 0), 中国宁波(0.159 0)<sup>[13]</sup>; 可持续发展能力指标为 1.080 0, 均高于中国包头(0.460 0), 美国(0.159 0), 意大利(0.062 0)<sup>[13]</sup>, 中国澳门(0.001 2)<sup>[5]</sup>, 表明中国浙江莫干山风景区由于开发较早, 生态保护时间长, 力度大, 输入能值较多, 有足够的经济反馈, 其生态经济系统健康等级较高, 可持续发展能力较强。

## 5 讨论与小结

能值理论丰富了生态学和经济学定量研究方法, 被认为是联结生态学和经济学的桥梁, 它对自然资源的科学评价与合理利用、经济发展方针的制定、可持续发展战略的实施皆具指导意义。本研究运用能值理论, 在相关专业学者研究的能值指标基础上, 结合莫干山风景区的实际, 创建了 2 个新的能值指标(表 1), 进行定量分析(限于篇幅, 只选取了 2008 年的数据), 研究结果显示: ①净经济效益率、能值交换率、人均能值用量、能值密度、生态产出率等指标均比较高, 表明由于莫干山风景区开发历史较长, 基础能值积累较多, 长期保持适度的经济反馈, 从而保证了森林植被等生态环境不断得到改善, 生物多样性增加, 科研教育功能得以发挥, 生态效益明显提高, 经济收入逐年增加。②环境负载率略显高, 显示旅游业的快速发展, 已对系统环境造成了较大的压力。虽然目前废弃物产生率、废弃物与可更新资源比率还较低, 但若没有现代化的废物处理设施, 环境污染的势头将日趋明显。③生态经济系统健康和可持续发展能力的能值指标与国内外部分地区横向比较均较高, 证明系统的发展模式有其存在的合理性和较强的可持续发展能力。但莫干山风景区地域狭小, 人口较少, 在生态环境保护和区域旅游竞争中优势不明显。本研究选取较大区域生态能值状况与莫干山风景区进行比较的文献数据仅作参考<sup>[4-5, 13-16]</sup>。

本研究通过运用能值理论对莫干山风景区部分能值指标进行定量分析, 将为风景区生态系统健康发展的多情景预测分析和多要素调控打下一个良好的基础, 进一步实现风景区生态系统整体调控, 最终促进风景区生态系统持续健康和谐发展。

### 参考文献:

- [1] 沈善瑞, 陆宏芳, 赵新锋, 等. 能值研究的几个前沿命题[J]. 热带亚热带植物学报, 2004, 12(3): 268 - 272.  
SHEN Shanrui, LU Hongfang, ZHAO Xinfeng, et al. Some frontier points of emergy study [J]. *J Trop Subtrop Bot*, 2004, 12(3): 268 - 272.
- [2] ODUM H T. *Environmental Accounting: Emergy and Environmental Decision Making* [M]. New York: John Wiley, 1996.
- [3] 来和光. 莫干山志[M]. 上海: 上海书店出版社, 1994: 1 - 228.

- [4] 隋春花, 蓝盛芳. 广州城市生态系统能值分析研究[J]. 重庆环境科学, 2001, **23** (5): 4 - 6, 23.  
SUI Chunhua, LAN Shengfang. Emergy analysis of Guangzhou urban ecosystem [J]. *Chongqing Environ Sci*, 2001, **23** (5): 4 - 6, 23.
- [5] 李金平, 陈飞鹏, 王志石. 城市环境能值综合和可持续性分析[J]. 生态学报, 2006, **26** (2): 439 - 448.  
LEI Kampen, CHEN Feipeng, WANG Zhishi. The emergy synthesis and sustainability analysis of city's environmental economy [J]. *Acta Ecol Sin*, 2006, **26** (2): 439 - 448.
- [6] 蓝盛芳, 钦佩. 生态系统的能值分析[J]. 应用生态学报, 2001, **12** (1): 129 - 131.  
LAN Shengfang, QIN Pei. Emergy analysis of ecosystems [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2001, **12** (1): 129 - 131.
- [7] ULGIATI S, ODUM H T, BASTIANONI S. Emergy use, environment loading grand sustainability: an emergy analysis of Italy [J]. *Ecol Model*, 1994, **73**: 215 - 268.
- [8] 汪殿蓓, 范德群, 徐运清, 等. 小城镇复合生态系统能值整合研究[J]. 生态环境, 2006, **15** (5): 1075 - 1079.  
WANG Dianbei, FAN Dequn, XU Yunqing, *et al.* Emergy synthesis of the complex ecosystem of small town [J]. *Ecol Environ*, 2006, **15** (5): 1075 - 1079.
- [9] 任丽燕, 吴次芳, 岳文泽. 西溪国家湿地公园生态经济效益能值分析[J]. 生态学报, 2009, **29** (3): 1285 - 1291.  
REN Liyan, WU Cifang, YUE WENZE. Emergy analysis of ecological economic system of Xixi National Wetland Park [J]. *Acta Ecol Sin*, 2009, **29** (3): 1285 - 1291.
- [10] 李海涛, 许学工, 肖笃宁. 基于能值理论的生态资本价值[J]. 生态学报, 2005, **25** (6): 1383 - 1390.  
LI Haitao, XU Xuegong, XIAO Duning. Study on the value of ecological capital based on the emergy theory [J]. *Acta Ecol Sin*, 2005, **25** (6): 1383 - 1390.
- [11] BROWN M T, ULGIATI S. Emergy-based indices and rations to evaluate sustainability: monitoring economies and technology toward environmentally sound innovation [J]. *Ecol Eng*, 1997, **9** (1/2): 51 - 69.
- [12] 陆宏芳, 蓝盛芳, 李雷, 等. 评价系统可持续发展能力的能值指标[J]. 中国环境科学, 2002, **22** (4): 380 - 384.  
LU Hongfang, LAN Shengfang, LI Lei, *et al.* Studies on emergy indices for evaluating system sustainable development property [J]. *China Environ Sci*, 2002, **22** (4): 380 - 384.
- [13] 刘耕源, 杨志峰, 陈彬, 等. 基于能值分析的城市生态系统健康评价[J]. 生态学报, 2008, **28** (4): 1720 - 1728.  
LIU Gengyuan, YANG Zhifeng, CHEN Bin, *et al.* Emergy-based urban ecosystem health assessment [J]. *Acta Ecol Sin*, 2008, **28** (4): 1720 - 1728.
- [14] 李加林, 张正龙, 曾昭鹏. 江苏环境经济系统的能值分析与可持续发展对策研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2003, **13** (2): 73 - 78.  
LI Jialin, ZHANG Zhenglong, ZENG Zhaopeng. Study on emergy analysis and sustainable development of Jiangsu environmental-economic system [J]. *China Popula Resour Environ*, 2003, **13** (2): 73 - 78.
- [15] 董孝斌, 严茂超, 董云, 等. 基于能值的内蒙古生态经济系统分析与可持续发展战略研究[J]. 地理科学进展, 2007, **26** (3): 47 - 57.  
DONG Xiaobin, YAN Maochao, DONG Yun, *et al.* Emergy evaluation of the eco-economic system of Inner Mongolia and study on its sustainable development strategy [J]. *Prog Geogr*, 2007, **26** (3): 47 - 57.
- [16] GALLOPIN G C. The potential of agroecosystem health as a guiding concept for agriculture research [J]. *Ecosyst Health*, 1995, **1**: 129 - 140.