

九寨沟自然保护区旅游生态系统能值分析

王楠楠, 章锦河, 刘泽华, 钟士恩, 李升峰

(南京大学地理与海洋科学学院, 南京大学人文地理研究中心, 南京 210093)

摘要: 自然保护区旅游可持续发展评价是旅游地理学研究的重要领域。运用能值理论和方法, 构建了自然保护区旅游生态系统能值分析模型以及可持续发展分析的能值指标体系。以九寨沟自然保护区为案例地, 对九寨沟自然—经济(旅游)—社会的复合系统的能流、物流、货币流进行定量的能值测度。研究表明: ① 2010年九寨沟自然保护区能值的总使用量为 4.19×10^{20} sej, 其中可更新能值投入为 7.35×10^{19} sej, 社区居民生活投入为 3.47×10^{18} sej, 旅游投入为 3.43×10^{20} sej, 旅游投入占到能值总使用量的 81.86%; ② 2010年九寨沟自然保护区旅游产出能值为 4.08×10^{20} sej, 生态系统产出为 6.26×10^{20} sej, 废弃物产出为 2.06×10^{19} sej; ③ 九寨沟自然保护区的人均能值量、旅游产出率、生态系统产出率均较高, 同时环境负载率、废弃物产出率也偏高, 九寨沟自然保护区旅游生态系统的可持续发展能力处于中等水平。

关键词: 能值分析; 旅游生态系统; 可持续发展; 九寨沟自然保护区

DOI: 10.11821/dlyj201312016

1 引言

近年来, 旅游业飞速发展, 在全球经济中具有重要的地位和作用, 已成为推动区域社会经济发展和创造就业机会的最重要的产业部门之一。自然保护区具有优越的自然生态环境, 是发展旅游业的重要物质载体。随着自然保护区旅游开发与旅游产业发展进程的加快, 旅游发展与生态环境之间的矛盾日益显现, 中国大部分的自然保护区已开展旅游活动, 都不同程度地出现了环境破坏、生态退化、社区居民利益失衡等问题。有关自然保护区旅游开发与保护问题日益引起国内外学者的关注, 目前相关研究主要集中在以下三个方面: 一是研究内容, 主要侧重于旅游开发对自然保护区的土壤、水体、气候、植被等的环境与生态影响研究, 而对社区、居民的影响研究相对薄弱; 二是研究方法, 主要是以实地监测为手段, 通过监测数据, 分析单要素的生态环境影响, 缺乏综合性的测度方法与评价; 三是研究视角, 主要侧重于子系统、单要素的关联分析, 从系统整体角度评价不足。

能值理论分析和方法是由美国著名生态学家 Odum H T 于 20 世纪 80 年代创立。能值分析把生态系统及经济系统中不同种类的物质流、能量流、货币流转化为统一的能值指标来分析和比较, 有效地使经济、生态、社会子系统有机结合起来, 对正确分析人类与自然、环境及社会经济价值的相互关系, 及制定可持续发展战略有重要作用, 因而备受生态

收稿日期: 2013-06-22; 修订日期: 2013-11-10

基金项目: 国家自然科学基金项目(40971301, 41271161)

作者简介: 王楠楠(1987-), 女, 山东东阿人, 硕士, 研究方向为旅游环境影响与评价、旅游规划与管理。

E-mail: wn1125@sina.com

通讯作者: 章锦河(1970-), 男, 安徽望江人, 博士, 教授, 主要从事旅游规划与管理、旅游生态与环境影响研究。

E-mail: zhangjinhe@nju.edu.cn

学界、经济学界及系统学界的关注^[1]。自创立以来,能值理论被广泛应用于不同空间尺度、不同类型的生态系统中,其中研究的空间尺度大到国家或区域^[2-6],小到城市^[7-9]、县域^[10,11]等,研究的对象涵盖了自然生态系统^[12,13]、城市复合系统^[14]、环境治理工程^[15,16]、工业系统^[17]、建筑业^[18]、农业系统^[19-21]等多种类型生态系统,但有关自然保护区旅游生态系统的能值研究还相对薄弱。

旅游生态系统是以游客旅游活动涉及的特定区域上的自然、经济、社会子系统构成的复合系统。旅游生态系统是多要素耦合的复杂动态系统,也是一个开放的、具有耗散结构的系统,系统内外频繁地进行各种能量流动与物质循环^[22]。本文采用能值理论和分析方法,以九寨沟自然保护区为例,立足于旅游生态系统的自然、社会、经济等各个子系统各项能量流、物质流、货币流的输入与输出,跳出了传统的单要素评价模式,通过选择能值测度指标、建立自然保护区的产出效率及可持续发展水平的评价指标体系,定量地分析九寨沟自然保护区旅游生态系统的能值水平以及可持续发展状态,对自然保护区旅游生态系统的综合评价及可持续发展具有借鉴意义。

2 研究方法

2.1 能值分析

Odum H T将能值定义为:一种流动或储存的能量所包含另一类别能量的数量,称为该能量的能值,在实际应用中,以“太阳能值”衡量某一能量的能值:任何流动或储存的能量所包含的太阳能之量即为该能量的太阳能值^[23]。能值转换率是每单位某种类别的能量或物质所含能值之量,某种能量的能值转换率越高,表明该能量的能质越高,其在能量系统中的等级阶层愈高^[23],一般而言,处于自然生态系统和社会经济系统较高层次上的产品或生产过程具有较大的能值转换率,例如复杂的生命、人类劳动、高科技等均属高能质、高转换率的能量^[24]。

能值分析以能值为基准,通过能值转换率把生态系统及经济系统中不同种类、不可转化的物质流、能量流、货币流转化为统一的能值来衡量,有效地将自然、社会、经济等子系统结合起来,通过构建一系列反映生态环境效率、经济效益、社会经济特征的能值指标体系综合评价复合系统的生态经济效率及可持续发展水平,为系统自然资源的有效利用和经济结构的调整提供依据。

2.2 自然保护区旅游生态系统能值分析模型

自然保护区旅游生态系统是一个集自然、经济、社会于一体的复合生态系统,但长期以来,对自然生态系统、城市复合系统、工业系统、农业系统等多种生态系统的研究,主要侧重经济效益产出指标,缺乏环境影响指标。随着对可持续发展机制研究的深入,人们认识到维持与保育旅游生态系统的生态服务功能是实现旅游地可持续发展的基础,生态服务功能得到了越来越多的重视,同时旅游废弃物作为旅游发展的负面影响也得到了越来越多的关注。据此,本文在传统的旅游系统的能值体系基础上引入生态系统服务产出、废弃物产出,提出自然保护区旅游生态系统能值分析一般的框架体系(图1),图中实线表示能流、物流、信息流等生态流的流动路线,虚线表示货币流,箭头表示流动方向。

自然保护区旅游生态系统能值分析模型,一是考虑到生态系统的游憩、生产功能的叠合,新增加了生态系统服务功能产出指标,为综合测算自然保护区的整体效益提供依据;

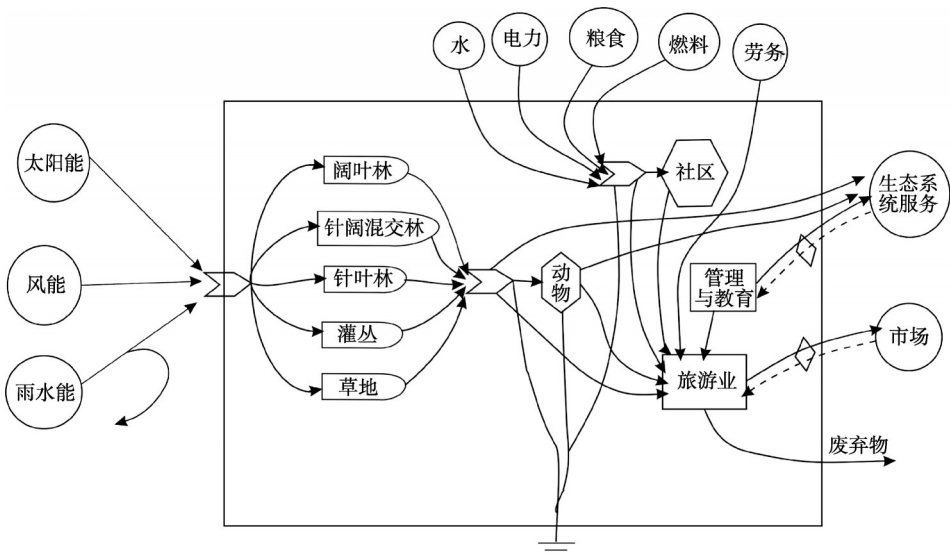


图1 自然保护区旅游生态系统能量结构图

Fig. 1 The system energy diagram of Jiuzhaigou Nature Reserve

二是旅游废弃物作为一种负面的旅游影响在传统的旅游研究中往往采用定性方法描述，缺乏量化指标，应用能值分析方法建立旅游废弃物测度指标为旅游发展的环境影响的量化测度奠定了基础；三是旅游发展对旅游目的地既带来正面效益，又产生负面影响，越来越多的规划者、管理者、研究者开始探讨一种旅游正面影响最大化，旅游负面影响最小化的旅游发展模式^[25,26]，但是存在的问题是这种正面影响、负面影响长期以来缺少一种定量的评判比较标准。利用能值分析定量测度正面、负面影响，为旅游的正面、负面影响的评判比较，提供了新的研究途径和视角；四是从社会、自然、经济三个子系统的角度对自然保护区这种复合生态系统进行系统分析及综合评价，构建了能值分析指标体系（表1），弥补了传统的自然保护区能值相关研究中的不足，有效将社区、居民的影响纳入到旅游生态系统评价体系，同时综合考量自然保护区旅游发展所产生的正面及负面环境影响，更利于系统全面地评价旅游生态系统的运行状态及可持续发展水平。

3 实证分析

3.1 研究区概况

九寨沟自然保护区位于四川省阿坝藏族羌族自治州九寨沟县，总面积643 km²。九寨沟降水少而集中，年均降水量为667.1 mm，主要集中在5-10月，多年平均风速为0.78m/s，区内年日照时数为1636.9-1828.4 h。九寨沟自然保护区内有森林、灌丛、草地、湖泊、湿地等多种类型的生态系统，其中森林、灌丛占到总面积的79.61%。九寨沟自然保护区内有荷叶寨、树正寨等9个藏族村落，居民总人数为1196人，主要从事旅游商品销售、旅游餐饮、环卫等旅游相关的工作。九寨沟自然保护区是著名的“世界遗产地”、“人与生物圈保护区”，每年的游客量近200万。应用能值理论与方法对九寨沟旅游生态系统的投入、产出进行研究具有典型性，对同类型的旅游目的地具有借鉴意义。

表1 九寨沟自然保护区能值指标体系

Tab. 1 Emergy indices of Jiuzhaigou Nature Reserve

能值指标	表达式	代表意义	计算结果
可更新资源	R	系统自有的财富基础	7.35×10^{19}
输入能值	I	输入资源、商品财富	3.45×10^{20}
旅游投入	T	旅游投入的商品财富	3.43×10^{20}
系统应用能值总量	$U=R+N+I$	系统拥有的总财富	4.19×10^{20}
输出能值	O	输出资源、商品财富	4.08×10^{20}
生态系统产出	S	系统生态服务功能价值	6.26×10^{20}
废弃物能值产出	W	产生的废弃物所含财富	2.06×10^{19}
社会子系统评价指标			
人均能值量	U/P	生活水平和质量的标志	7.18×10^{16}
能值密度	U/acreage	评价能值集约度和强度	6.51×10^{11}
自然子系统评价指标			
能值投资率	$I/(R+N)$	自然对经济活动的容受力	4.70
可更新资源投入比率	R/U	判断自然环境的潜力	0.18
环境负载率(ELR)	$(U-R)/R$	判断自然环境承受力	4.70
生态系统产出率	S/U	评价系统环境产出效率	1.49
废弃物产出率	W/U	废弃物产出比率	0.05
废弃物与可更新能值比	W/R	废弃物对环境的压力	0.28
经济子系统能值指标			
能值产出率(EYR)	O/I	评价产业经济效益	1.18
能值交换率(EER)	U/O	评价对外交流的得失利益	1.03
生态旅游能值比	T/U	反映生态旅游发展程度	0.82
生态旅游产出率	$(T+R+N)/T$	评价旅游产业经济效益	1.21
可持续发展能值指标			
能值可持续指标 ESI	EYR/ELR	评价系统可持续发展程度	0.25
可持续发展能值指标 EISD	$(EYR\times EER)/ELR$	新的系统可持续发展性能指标	0.26

注：表中公式参考文献[24]，R：可更新资源投入；N：不可更新的环境资源投入，主要包括土壤流失能、表层土损耗能等，因九寨沟自然保护区生态环境保护良好，土壤流失能、表层土损耗能少，本研究忽略不计；P：系统总人口；I：输入总能值；T：旅游能值投入；O：输出能值；S：生态系统产出能值；W：废弃物产出能值。

3.2 数据来源

2011年7月、8月，在九寨沟自然保护区进行了实地调研，经收集、整理、计算，获得相关数据。旅游生态系统能值计算所需的数据主要包括：① 基础数据：在九寨沟县统计局获得的九寨沟社会、经济、自然等各类的统计数据；在九寨沟管理局收集的太阳辐照度、风速、降水量等监测数据及各类植被的面积数据；在九寨沟管理局、联合经营公司、观光公司等得到的九寨沟旅游管理维护、旅游餐饮、旅游交通等各个方面的投入及产出数据；在漳扎污水处理厂、九寨沟垃圾处理公司得到的九寨沟自然保护区排放的废弃物的数据。② 转换数据：各种物质、能量、货币的能值转换率主要来自于Odum、蓝胜芳等研究成果^[23,24]，同时也引入了其他学者对能值转换率的改进^[14]。

九寨沟自然保护区沟内与沟口联系密切，沟口存在大量的餐饮、住宿、购物等为旅游服务的设施及场所。能值研究重要的是确立系统边界，本文确立的系统边界为保护区内范

围,研究对象为自然保护区,为揭示自然保护区系统的运行状态及可持续发展水平,严格针对自然保护区范围内的旅游维护、餐饮、交通等的各项投入及产出指标进行数据收集,沟口的旅游企业及旅游从业人员、九寨沟管理局在沟口的下属企业等的旅游投入以及产出数据,都给予了排除,同时漳扎镇污水处理厂的废水数据及九寨沟垃圾处理公司的固体垃圾数据也是只针对沟内,没有包含沟外的部分。

因考虑到游客的逗留时间相对短暂,但游客量规模庞大,而社区居民则常年居住生活在九寨沟内,但常驻人口相对游客规模非常小,因此本文在计算人均能值量时,进行一种综合折算,将游客数量通过逗留时间转化为当地居民人数,进行叠加的人均测算。测算公式为: $P=(T\times t)/365+p$,式中 p 为叠加后的居民人数, T 为九寨沟年游客量, t 为游客在沟内平均的逗留天数,由于九寨沟采取“沟内游、沟外住”的模式,游客在沟内平均停留时间为1天,故 t 为1; p 为沟内居民人数,因九寨沟内诺日朗餐厅工作人员、景区大巴司机和讲解员绝大多数为沟内居民,以免重复,故没有进行叠加。

3.3 旅游生态系统能值的投入与产出分析

3.3.1 旅游生态系统投入分析

九寨沟自然保护区旅游生态系统的输入能值包括自然资源投入及经济反馈(表2),其中自然资源投入包括太阳能、雨水化学能、雨水势能、风能,经济反馈包括社区居民生活投入及旅游投入。2010年九寨沟自然保护区能值的总使用量为 4.19×10^{20} sej,其中可更新能值投入为 7.35×10^{19} sej,社区居民生活投入为 3.47×10^{18} sej,旅游投入为 3.43×10^{20} sej,这三项占总的能值投入的比例分别为17.54%、0.83%、81.86%。

九寨沟旅游投入主要包括自然保护区基础设施建设与维

表2 九寨沟自然保护区旅游生态系统能值投入汇总表
Tab. 2 Emergy input of Jiuzhaigou Nature Reserve

项目	原始数据 (Jor\$org)	能值转换率 (sej/unit)	太阳能值 (sej)
可更新资源投入			
太阳能	1.23×10^{18}	1	1.23×10^{18}
雨水化学能	2.12×10^{15}	18199	3.86×10^{19}
雨水势能	3.21×10^{15}	10488	3.36×10^{19}
风能	2.03×10^{13}	1500	3.04×10^{16}
小计			7.35×10^{19}
居民生活投入			
水	9.87×10^{10}	660000	6.51×10^{16}
电	1.07×10^{12}	8.00×10^4	8.53×10^{16}
柴	2.44×10^{12}	32000	7.81×10^{16}
煤	1.87×10^{11}	40000	7.49×10^{15}
液化石油气	2.46×10^{11}	54000	1.33×10^{16}
汽油	6.10×10^{11}	66000	4.03×10^{16}
面粉	1.30×10^{12}	148000	1.92×10^{17}
大米	1.63×10^{12}	35900	5.85×10^{16}
薯类	1.63×10^{10}	2700	4.41×10^{13}
植物油	3.91×10^{11}	1.30×10^6	5.08×10^{17}
蔬菜	1.85×10^{11}	2.70×10^4	4.99×10^{15}
水果	1.13×10^{10}	5.30×10^4	5.97×10^{14}
肉类	7.49×10^{11}	1700000	1.27×10^{18}
蛋类	2.04×10^{10}	7116200	1.45×10^{17}
小计			2.47×10^{18}
旅游投入			
管理维护及建设投入	4.04×10^7	4.94×10^{12}	1.99×10^{20}
餐饮投入	5.84×10^6	4.94×10^{12}	2.88×10^{19}
交通投入	2.23×10^7	4.94×10^{12}	1.10×10^{20}
商品投入	8.57×10^5	4.94×10^{12}	4.23×10^{18}
小计(旅游投入)			3.43×10^{20}
小计(经济反馈)			3.45×10^{20}
合计			4.19×10^{20}

注:管理维护及建设投入包含九寨沟自然保护区在管理、建设项目、运营维护、人员工资等多方面的资金投入。

护投入、管理投入、景区信息化建设投入、旅游餐饮投入、交通投入、环境保护投入、旅游营销投入等等。旅游投入占到保护区总能值投入的绝大部分，其中信息化建设、旅游交通、基础设施建设与维护为主要的投入领域。本文在表2中将保护区基础设施建设与维护投入、管理投入、景区信息化建设投入、环境保护投入、旅游营销投入等合并为管理维护及建设投入。

Clawson等^[27]根据旅游吸引物接近市场的程度、旅游吸引物的特征和游客使用旅游吸引物的程度，把旅游吸引物大致分为三类：使用者导向型旅游吸引物（靠近市场，往往需要大规模的旅游生产要素投入，如资本、劳动力等）、资源导向型旅游吸引物（依托现有的高等级资源禀赋，相对较少依赖旅游生产要素投入）、中间型旅游吸引物。按照这种传统的分类观点，长期以来形成一种误区，认为资源导向型的旅游发展往往较少依赖旅游生产要素的投入。本文研究发现，九寨沟自然保护区作为资源导向性的旅游目的地，但其旅游投入占到能值总使用量的绝大部分，因此，资源导向型的旅游发展仍然依赖基础设施、高新技术、人力、资本等旅游生产要素的巨大投入。

3.3.2 旅游生态系统的产出分析 九寨沟自然保护区旅游生态系统产出能值包括旅游产出能值、生态系统产出能值及废弃物产出（表3）。旅游为九寨沟自然保护区主要的经济活动形式，2010年九寨沟总的旅游产出能值为 4.08×10^{20} sej。九寨沟自然保护区具有丰富的森林植被和珍稀的野生动物资源，在有机物产出、涵养水源、固碳释氧、保持土壤、生物多样性保护等生态服务功能方面发挥巨大的作用，总的生态系统产出为 6.26×10^{20} sej，废弃物产出为 2.06×10^{19} sej。

1976年，布多斯基发表文章阐释旅游与环境保护之间的关系存在三种“状态”：冲突、共存和共生^[28]。九寨沟自然环境条件优越，同时重视对生态环境的维护和投入，通过退耕还林、智能化环境监测系统、交通减排、“智慧九寨”建设引导游客“时空分流”等一系列的信息化手段和方法，使保护区的生态环境得到极为完善的保护。九寨沟依托维系完善的生态系统，旅游得到健康有序的发展，旅游产出与生态系统产出都很高，旅游与生态环境的关系呈现出有机融合的“共生”关系。

九寨沟旅游生态系统投入能值中，旅游投入所占比例最大，产出能值中旅游生态服务功能和旅游收入（作为旅游生态服务功能的经济体现）均较高。自然保护区及其它生态型旅游目的地的旅游发展基于优越的自然生态环境，发展过程中对生态系统的维护及投入往往给此类型旅游目的地带来更多的效益，包括经济方面的产出以及容易被人忽略的生态服

表3 九寨沟自然保护区旅游生态系统能值产出汇总表
Tab. 3 Emergy output of Jiuzhaigou Nature Reserve

项目	原始数据 (Jor\$org)	能值转换率 (sej/unit)	太阳能值 (sej)
能值产出			
旅游收入	8.25×10^7	4.94×10^{12}	4.08×10^{20}
生态系统产出			
有机物生产	4.69×10^{14}	3.20×10^4	1.64×10^{19}
涵养水源	4.66×10^{14}	660000	3.08×10^{20}
释放氧气	4.69×10^{10}	5.11×10^7	2.40×10^{18}
固定co ₂	6.33×10^{10}	3.78×10^7	2.39×10^{18}
保持土壤	1.65×10^{13}	7.40×10^4	1.22×10^{18}
生物多样性保护(种)	3147	9.40×10^{16}	2.96×10^{20}
小计			6.26×10^{20}
废弃物产出			
固废	1.09×10^{13}	1.80×10^6	1.96×10^{19}
废水	1.08×10^{12}	8.60×10^5	9.29×10^{17}
小计			2.06×10^{19}

务产出。

产出能值中，旅游收入及生态系统产出为九寨沟旅游发展的正效益产出，而废弃物产出为负效益产生。由表3，旅游产出及生态系统产出能值远远大于废弃物产出，说明九寨沟发展旅游的正面的效益远远大于负面的影响。由此可见，九寨沟自然保护区处于健康的运行发展模式。

由九寨沟旅游生态系统能值投入及产出汇总表可得，虽然九寨沟自然保护区作为一种基于自然的旅游目的地类型，仍然非常依赖旅游生产要素的投入，同时取得了积极的经济效益。与此同时，通过九寨沟生态系统的维护及投入、“智慧景区”的建设，最大化降低旅游发展的负面影响，提高旅游产业运转中的科技含量，保护区的综合效益显著。

3.4 自然保护区旅游生态系统各子系统能值分析

3.4.1 社会子系统能值分析 能值密度和人均能值使用量能有效反映居民的生活水平以及地区的经济发展程度，其值越高，地区的经济越发达，居民生活水平越高。由表1和表4可见，2010年九寨沟自然保护区旅游生态系统人均能值使用量为 7.18×10^{16} sej，是武夷山自然保护区生态系统人均能值使用量的2.9倍，远远高于北京、天津等城市系统的人均能值使用量，同时也高于美国人均能值使用量，说明九寨沟自然保护区旅游的发展对社区居民有积极的正面影响，居民的生活水平普遍较高。九寨沟自然保护区能值密度为 6.51×10^{11} sej·m⁻²，明显小于广州、北京、天津等城市系统的能值密度，与武夷山自然保护区生态旅游系统的 7.3×10^{11} sej·m⁻²大致相当，这与系统的属性相关，富集了工业、信息业、运输业等多种产业的的城市系统，能值密度普遍要高于产业单一并注重保护自然生态环境的旅游系统。

3.4.2 自然子系统能值分析 可更新资源投入率是用来反映可更新资源在系统发展中的地位、作用以及系统的发展水平，其值越高说明系统的发展水平越低，系统对可更新资源的依赖性越高，但也说明该系统环境资源较丰富。由表1，九寨沟自然保护区旅游生态系统可更新资源投入率为0.18，低于武夷山自然保护区^[29]的0.722，说明九寨沟自然保护区能值大部分来自于经济系统的反馈，对可更新资源的依赖度较小。

能值投资率为社会经济反馈投入能值与自然环境投入能值之比，是衡量经济发展程度

表4 九寨沟自然保护区与其他地区能值指标的比较分析
Tab. 4 Comparisons of the study results between Jiuzhaigou and other regions

能值指标	九寨沟 (2010)	武夷山 (2006)	重庆 (2005)	天津 (2007)	广州 (2002)	北京 (2001)	美国 (2003)
能值密度 (10 ¹¹ sej/m ²)	6.51	7.3	-	149.90	19.10	111.8	12.5
人均能值量 (10 ¹⁵ sej/人)	71.8	28	-	16.02	19.73	13.77	41.8
能值投资率	4.70	0.383	1.70	-	0.41	1.50	0.38
环境负载率	4.70	0.383	1.80	14.45	4.74	17.34	-
能值可持续指标	0.25	-	2.04	0.16	0.49	0.01	0.125
系统可持续发展能 值指标	0.26	-	-	-	1.13	0.017	0.159

注：武夷山数据来自文献[29]，重庆数据来源于文献[9]，天津数据来源于文献[8]，广州数据来源于文献[30]，北京数据来源于文献[31]，美国数据来源于文献[32]。

和环境负载程度的指标，其值越大，表明系统发展程度越高，对环境的依赖性也越弱。九寨沟自然保护区能值投资率为4.70（表4），是武夷山自然保护区能值投资率的12.2倍，同时远远大于重庆、北京、广州等地市，说明九寨沟自然保护区的发展水平比较高，对本地资源的依赖程度不大，主要还是依赖外来资源的输入。

环境负载率为系统不可更新能源投入能值总量与可更新能源投入能值总量之比，用于表征一定的经济活动水平下系统所承受的压力。由表4可见，九寨沟自然保护区环境负载率为4.70，大于武夷山自然保护区生态旅游系统，小于天津、广州、北京等城市系统，说明九寨沟自然保护区相对其他生态旅游地有更高的投入产出状态，环境的承载能力也比较强，但是对环境压力也相对较大。

生态系统的产出率是衡量系统的环境产出效率的指标，其值越高，系统的环境产出效率越高。九寨沟自然保护区拥有丰富的森林植被和野生动物资源，在有机物产出、涵养水源、固碳释氧、保持土壤、生物多样性保护等生态服务功能方面发挥巨大的作用，九寨沟生态系统产出率为1.49（表1），生态系统产出是总的能值使用量的1.49倍，高于能值产出率、旅游产出率，可见九寨沟自然保护区对自然资源的保护和投入也给保护区带来巨大的环境效益，促进保护区持续协调发展。

废弃物产出率、废弃物与可更新能值比反映的是废弃物对环境的压力，九寨沟自然保护区废弃物产出率、废弃物与可更新能值比分别为0.05、0.28（表1），远远大于莫干山风景区^[33]的0.12%、1.52%，可见庞大的游客量对九寨沟自然保护区的自然环境带来较大的压力，但是九寨沟自然保护区垃圾与污水的回收及处理系统都比较完备，使得其对自然环境的压力大大降低。

3.4.3 经济子系统能值分析 能值交换率是交易过程中获得的能值与输出的能值之比，其值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。由表1可见，九寨沟自然保护区旅游生态系统能值交换率为1.03，低于相关研究结论^[30]，广州的能值交换率为2.32，上海的为2.56，但整体九寨沟自然保护区输入能值大于输出能值，在对外的交互中从外界输入的能值财富大于向外界反馈输出的能值财富，系统能值财富不断增多，系统在旅游经济活动中处于有利的地位。

能值产出率是衡量一个生态经济系统产出对外界经济贡献大小的指标，能值产出率值越高即系统的生产效率越高。根据表1可见，九寨沟自然保护区能值产出率为1.18，由于保护区产业单一，生产效率相对较高；九寨沟自然保护区生态旅游能值比为0.82，旅游投入能值占到总的能值使用量的82%，可见九寨沟旅游的发展极为依赖外界资源的投入；九寨沟自然保护区生态旅游的产出率为1.21，旅游业融合了高能值的人才、科技、产品等，有较高的产出率，有效地提高了系统的经济效益。

3.5 九寨沟自然保护区旅游生态系统可持续发展水平分析

评价系统可持续发展性能的能值指标主要包括能值可持续指标 ESI 和系统可持续发展能值指标 EISD。ESI是能值产出率EYR 与环境承载率ELR之比，ESI填补了原有能值指标系统中评价系统可持续发展性能的综合性评价指标的空缺，可充分表明系统的经济发展类型，揭示系统经济活动中存在的一些问题，但因其缺乏对负效益产出及不同能值交换率的考量，在系统可持续发展性能评价中存在不足。ESI的值在1-10，表明经济富有活力和发展潜力；ESI>10则是经济不发达的表现，表明对资源的开发利用不够；ESI<1时，属于消

费型经济,此时系统进口资源或劳务量在总能值使用量中所占比重较大,环境负载率较大。九寨沟自然保护区ESI指数为0.25(表4),说明九寨沟旅游生态系统为消费性经济,比较依赖系统外界大量的不可更新资源投入,环境负载率偏高。

系统可持续发展能值指标EISD是将系统能值产出率与能值交换率的乘积作为分子,环境负载率作为分母计算得出,EISD是同时兼顾社会效益与生态环境压力的系统可持续发展性能的复合评价指标,EISD值越高意味着单位环境压力下的社会效益越高,系统的可持续发展能力越好,但是目前没有判断可持续发展水平的阈值区间。九寨沟自然保护区EISD指数为0.26,与表中其他地区和城市相比位居中等,高于北京、天津(表4),说明九寨沟自然保护区的可持续发展水平处于中等水平,九寨沟旅游的发展过度依赖外界不可更新资源的投入,环境负载率、废弃物产出率均较高成为制约九寨沟可持续发展的主要因素。九寨沟自然保护区应加大本地的可更新资源的投入使用,增强能值的利用效率,提高能值产出率,提高可持续发展能力。

4 结论与讨论

基于能值理论与方法,构建反映生态环境效率、经济效益、社会经济特征的能值指标体系,综合评价复合系统的生态经济效率及可持续发展水平,通过九寨沟旅游生态系统的案例分析,得出以下结论:

(1) 本文构建的自然保护区旅游生态系统能值分析模型,将生态服务产出、废弃物产出等引入旅游生态系统的能值分析框架,从社会、自然、经济三个子系统角度对自然保护区旅游系统的运行状态及产出效率进行分析,有效地将居民、社区的影响纳入综合评价体系,更能为系统全面阐释自然保护区旅游生态系统的运行状态及可持续发展性能;

(2) 九寨沟自然保护区旅游生态系统的能值投入以旅游投入为主、可更新自然投入为辅,居民生活投入所占比例最低。2010年九寨沟自然保护区旅游生态系统能值的总使用量为 4.19×10^{20} sej,其中可更新能值投入为 7.35×10^{19} sej,社区居民生活投入为 3.47×10^{18} sej,旅游投入为 3.43×10^{20} sej,旅游投入占到能值总使用量的81.86%;

(3) 九寨沟自然保护区旅游生态系统产出能值中正效益产出远远大于负效益产出,九寨沟发展旅游的正面影响远远大于负面影响。2010年九寨沟自然保护区旅游生态系统旅游产出能值为 4.08×10^{20} sej,生态系统产出为 6.26×10^{20} sej,废弃物产出为 2.06×10^{19} sej,其中旅游产出、生态系统产出为正效益产出,而废弃物产出为负效益产出,旅游产出及生态系统产出能值远远大于废弃物产出;

(4) 九寨沟自然保护区旅游生态系统整体的可持续发展水平处于中等。旅游的发展使九寨沟获得了较高的经济效益,自然保护区的人均能值量、能值密度、旅游产出率、生态系统产出率均较高,但旅游的开展过度依赖不可更新资源的投入,同时产生大量的旅游废弃物,致使九寨沟自然保护区的环境负载率、废弃物产出率偏高,成为制约九寨沟可持续发展的关键因素。为提高系统的运行状态及可持续发展性能,九寨沟自然保护区应加大本地的可更新资源的投入使用,增强能值的利用效率,提高能值产出率。

系统边界的确立是能值研究的基础,本文确立的边界为九寨沟自然保护区内范围,以揭示自然保护区内的自然、社会、经济、旅游的真实运行状态及发展情况,而不是从旅游活动本身的完整性角度考虑,有利于同其他旅游地相关研究成果进行对比。下一步研究将

立足旅游活动完整性的角度, 扩大九寨沟自然保护区能值研究的系统边界, 涵盖沟内、沟外的吃、住、行、游、购、娱各个要素与范围。

通过能值理论及分析方法, 能有效将旅游生态系统的自然、社会、经济等子系统有机结合起来, 解决了以往对旅游系统评价分析中存在的单要素、缺乏综合性及定量性的问题, 为其他旅游地的综合系统评价及可持续水平的判定提供依据。能值理论与方法运用于生态效率评价、生态安全测度以及生态补偿研究等方面, 将是未来重要的研究趋向。

参考文献(References)

- [1] 沈善瑞, 陆宏芳, 赵新锋, 等. 能值研究的几个前沿命题. 热带亚热带植物报, 2004, 12(3): 268-272.
- [2] 李双成, 傅小峰. 中国经济持续发展水平的能值分析. 自然资源学报, 2001, 16(4): 297-304.
- [3] Jung-ho Nama, Wonkeun Changa, Daeseok Kangb. Carrying capacity of an uninhabited island off the southwestern coast of Korea. Ecological Modeling, 2010, 221(17): 2102-2107.
- [4] Huang Shu-Li, Lee Chun-Lin, Chen Chia-Wen. Socioeconomic metabolism in Taiwan: Emergy synthesis versus material flow analysis. Resources, Conservation and Recycling, 2006, 48(2): 166-196.
- [5] 张虹, 黄民生, 胡晓辉. 基于能值分析的福建省绿色 GDP 核算. 地理学报, 2010, 65(11): 1421-1428.
- [6] 严茂超, Odum H T. 西藏生态经济系统的能值分析与可持续发展研究. 自然资源学报, 1998, 13(2): 116-125.
- [7] Lei Kampeng, Zhou Shaoqi, Dan Huc et al. Emergy analysis for tourism systems: Principles and a case study for Macao. Ecological Complexity, 2011, 8(2): 192-200.
- [8] 孟伟庆, 郝翠, 李洪远, 等. 天津市生态经济系统能值分析及其可持续性评价. 经济地理, 2009, 29(9): 1541-1545.
- [9] 杨松, 孙凡, 刘伯云, 等. 重庆市农业生态经济系统能值分析. 西南大学学报(自然科学版), 2007, 29(8): 49-54.
- [10] 董孝斌, 高旺盛. 黄土高原丘陵沟壑区典型县域的能值分析. 水土保持学报, 2003, 17(1): 89-92.
- [11] 周连第, 胡艳霞, 严茂超, 等. 生态经济系统能值分析: 以北京密云县为例. 地理科学进展, 2006, 25(5): 94-104.
- [12] 钦佩, 黄玉山, 谭风仪. 从能值分析的方法来看米埔自然保护区的生态功能. 自然杂志, 1999, 21(2): 104-107.
- [13] 李海涛, 许学工, 肖笃宁. 基于能值理论的生态资本价值: 以阜康市天山北坡中段森林区生态系统为例. 生态学报, 2005, 25(6): 1383-1390.
- [14] 陆宏芳, 蓝盛芳, 俞新华, 等. 城市复合生态系统能值整合分析研究方法. 城市环境与城市生态, 2005, 18(4): 34-37.
- [15] Brown M T, Mc Clanahan T R. Emergy analysis perspectives of Thailand and Mekong River dam proposals. Ecological Modelling, 1996, 91(1): 105-130.
- [16] 曾容, 赵彦伟, 杨志峰, 等. 基于能值分析的大坝生态效应评价: 以尼尔基大坝为例. 环境科学学报, 2010, 30 (4): 890-896.
- [17] 何秋香, 王菲凤. 福州青口投资区工业系统能值分析. 福建师范大学学报(自然科学版), 2010, 26(3): 104-111.
- [18] Li Dezhi, Zhu Jin, Eddie C M Hui et al. An emergy analysis-based methodology for eco-efficiency evaluation of building manufacturing. Ecological Indicators, 2011, 11(5): 1419-1425.
- [19] 陆宏芳, 蓝盛芳, 陈飞鹏, 等. 农业生态系统能量分析. 应用生态学报, 2004, 15(1): 159-162.
- [20] 谢雨萍, 魏美才, 周永博, 等. 广西恭城月柿生态农业旅游能值分析. 生态学报, 2007, 27(3): 1056-1064.
- [21] Edward Lefroy, Torbjörn Rydberg. Emergy evaluation of three cropping systems in southwestern Australia. Ecological Modelling, 2003, 161(3): 195-211.
- [22] 章锦河. 旅游废弃物生态影响评价: 以九寨沟、黄山风景区为例. 生态学报, 2008, 28(6): 2764-2773.
- [23] 蓝胜芳, 钦佩, 陆宏芳. 生态经济系统能值分析. 北京: 化学工业出版社, 2002.
- [24] Odum H T. Environmental Accounting: Emergy and Environmental Decision Making. New York: John Wiley, 1996.
- [25] Stuart McMinn, Erlet Cater. Tourist typology: Observations from Belize. Annals of Tourism Research, 1998, 25(3): 675-699.
- [26] Cevat Tosun. Host perceptions of impacts: A comparative tourism study. Annals of Tourism Research, 2002, 29(1): 231-253.
- [27] Marison Claswon, Jack L Knetsch. Economics of Outdoor Recreation. Baltimore, Maryland: Johns Hopkins University Press, 1966.

- [28] Gerardo Budowski. Tourism and environmental conservation: Conflict, coexistence, or symbiosis? *Environmental Conservation*, 1976, 3(1): 27-31.
- [29] 李洪波, 李燕燕. 武夷山自然保护区生态旅游系统能值分析. *生态学报*, 2009, 29(11): 5869-5876.
- [30] 隋春花, 蓝盛芳. 广州与上海城市生态系统能值的分析比较. *城市环境与城市生态*, 2006, 19(4): 1-3.
- [31] 李占玲, 陈飞星, 李占杰. 北京市城市生态系统能值分析. *城市问题*, 2005, (6): 25-29.
- [32] Brown M T, Campbell D, Comar V et al. *Emergy synthesis 3: Theory and applications of the emergy methodolog.* Book of Proceedings of the 3rd Biennial International Emergy Research Conference, 2004.
- [33] 丁晓荣, 王利琳. 莫干山风景区生态经济系统能值分析及可持续性评价. *浙江林学院学报*, 2010, 27(6): 916-922.

An emergy analysis of the tourism ecosystem of Jiuzhaigou Nature Reserve

WANG Nannan, ZHANG Jinhe, LIU Zehua, ZHONG Shien, LI Shengfeng

(School of Geographic and Oceanographic Sciences, Research Center of Human Geography,
Nanjing University, Nanjing 210093, China)

Abstract: The evaluation of tourism sustainable development of nature reserves is an important field of tourism geography. Tourism is the most developed economic sector in the Jiuzhaigou Nature Reserve. The aim of this study is to identify the sustainable development level of Jiuzhaigou Nature Reserve under rapid growth of tourists in the last 30 years. In order to do this, we estimate the emergy of renewable resources, resident livelihood, tourism investment, tourist activities, ecosystem, waste materials. In addition, some emergy indices are selected and set up to assess sustainable development. The results are shown as follows:

(1) In 2010, the total emergy use is 4.19×10^{20} sej of Jiuzhaigou Nature Reserve, in which, renewable resources emergy is 7.35×10^{19} sej, and resident livelihood emergy is 3.47×10^{18} sej, and tourism investment emergy is 3.43×10^{20} sej, about 81.86% of the total.

(2) In 2010, tourist activities emergy is 4.08×10^{20} sej, ecosystem emergy is 6.26×10^{20} sej, and waste materials emergy is 2.06×10^{19} sej.

(3) The positive indices included emergy per person, tourism yield ratio, ecological system yield ratio are relatively high, while the negative indices included environmental loading ratio and waste yield ratio, are higher too. It is shown that sustainable development of the Jiuzhaigou Nature Reserve is in moderate level.

Key words: emergy analysis; tourism ecosystem; sustainable development; Jiuzhaigou Nature Reserve