

基于价值当量对水电开发影响生态系统服务价值的评价 ——以甘南九甸峡工程为例

杨肃昌, 刘巍文

(兰州大学经济学院, 甘肃兰州, 730030)

摘要: 主要运用生态系统服务价值评价当量因子原理及方法构建了相关评价及修订模型, 对受水电开发影响的库区河流、移民安置区、引水灌区和大气环境等四方面生态系统价值量损益做了评价。从对九甸峡水利枢纽工程的评价结果看, 生态正效应价值量为 $3\,889.55 \times 10^5$ 元/a, 负效应价值量为 $-4\,319.94 \times 10^5$ 元/a, 负效应大于正效应, 水电开发总体生态价值损失为 -430.39×10^5 元/a, 为开展相关生态补偿提供了依据。

关键词: 服务价值; 当量因子; 水电开发; 生态效应; 九甸峡

中图分类号: F323.213

文献标识码: A

文章编号: 1672-3104(2018)01-0078-08

一、引言

生态系统服务是指通过生态系统的结构、过程和功能直接或间接得到的生命支持产品和服务, 其价值评估是生态环境保护、生态功能区划、环境经济核算和生态补偿决策的重要依据和基础^[1-4]。1997年 Costanza 首次提出生态系统服务价值评价的原理及方法, 即价值当量因子评价法, 将生态服务功能划分为17个类型, 并确定1个标准单位生态系统生态服务价值当量因子为 1hm^{-2} 全国平均产量的农田每年自然粮食产量的经济价值为 $54\$ \text{hm}^{-2}$ ^[5]。谢高地等在 Costanza 等研究的基础上, 结合我国实际构建了基于专家知识的生态系统服务价值化方法^[6-7], 并做了改进和修正^[8](1245)], 建立了价值当量表。生态系统服务价值及当量评价法提出后在国内外得到广泛运用, 该理论首次使生态系统服务价值估算原理及方法从科学意义上得以明确。在水电开发生态影响问题上, 国内外研究普遍认为水电开发会影响河流等生态系统及生态服务功能^[9-11]。随着学术界对定量评价生态服务价值量问题研究的深入^[5-7], 许多学者对水电开发造成的生态影响进行了价值评价, 鲁春霞、谢高地等探讨了水利工程影响河流生态系统服务功能的评价方法, 建立了多指标

评价体系, 介绍了指数法和 BOD-DO 模型方法在这一问题研究中的应用^[12]; 莫创荣、孙艳军等以沥口水利开发工程为例, 计算了水电开发后河流生态服务价值功能变化量, 以此指标评价水电开发对河流生态服务价值功能的影响^[13]; 肖建红、施国庆等根据水坝对河流生态系统服务功能影响的特点, 建立了评价指标体系, 结果表明, 对水库淹没从生态系统的角度进行核算, 年损失值为 56.65×108 元^[14](526)]; 等等。已有研究在水电开发的生态评价中对有关生态价值评价理论及方法均有一定应用, 丰富了定量评价分析水电开发造成生态影响问题的学术研究, 具有一定创新性。但也存在一些不足: 一是生态价值评价当量因子法提出后, 在我国被迅速应用于评估各类生态系统的生态服务价值^[15], 在已有水电开发造成的生态影响评价研究中也有一定提及和运用, 但只限于某个评价指标的计算等, 运用程度有限。而采用这种方法研究水电开发对生态系统造成的影响, 并根据研究区域计算出合理的修订系数, 进行修订, 其理论依据充足、可行性较强、评价结论的准确性也应更高。二是已有相关研究中, 在生态影响评价中并未严格区分和限定生态效应范畴, 将一些水电开发的经济效应纳入到了生态效应评价的范围内, 如水库的发电效应、航运效应及水产养殖效应等, 从而使评价出的生态正效应偏高。目前我国仍是一个发展中国家, 如果不考虑经济效应, 水

收稿日期: 2017-06-06; 修回日期: 2017-11-07

基金项目: 国家社会科学基金项目“黄河上游藏区水电资源开发补偿调查研究”(15XMZ086)

作者简介: 杨肃昌(1964—), 男, 河南邓州人, 兰州大学经济学院教授、博士生导师, 主要研究方向: 区域经济; 刘巍文(1981—), 男, 甘肃天祝人, 兰州大学经济学院博士研究生, 甘肃省民族研究所助理研究员, 主要研究方向: 区域经济

电开发导致生态负效应的可能性很大,这是已知的事实,但在更加注重生态文明的今天,有必要对水电发展的环境代价及生态负效给予更多学术关注,不仅要有直观感受,还应有量的认识。三是研究的问题多限定在水电开发对河流生态系统的影响上,而没有考虑对河流以外的生态系统的影响,如水电移民安置区、受水区域等无疑均属于水电工程的生态影响区,都应纳入到生态效应评价的范围内。本文主要运用 Costanza 提出的经过修订完善的生态价值当量法,从库区流域、移民安置区、引水灌区及大气环境等 4 个方面,区分和限定生态效应范畴,就水电开发对河流、安置区、受水区、大气等生态系统服务价值造成的影响进行综合分析。研究以位于甘肃省甘南州卓尼县境内的九甸峡水利枢纽工程为例。该工程于 2008 年底开建,水库容量为 9.43 亿立方米。目前已建成一期工程(简称“引洮入定”工程),其年发电量 10 亿千瓦时,每年可向下游定西、白银、兰州等市的 7 个县区调水 2.19 亿立方米,可新发展灌溉面积 19 万亩。

二、理论模型

本文主要运用生态价值当量因子评价思路和方

法,根据谢高地等修订改进的价值当量表^{[8](1245)}(见表 1),对水电开发给库区、库区下游及引水灌区等所造成的生态影响进行比较全面、系统地评价和研究。

(一) 模型设定

1. 价值当量评价模型

根据单位面积生态系统服务价值当量(表 1)、当地单个当量因子的经济价值、单个当量因子经济价值的修订系数及受九甸峡库区影响的各类生态系统及面积,就可以计算出受影响生态系统的服务价值,其计算公式为:

$$E_i = \sum_{j=1}^n F_j \times V \times R_i \times M_i, i, j = 1, \cdots, m, n \tag{1}$$

研究式中, E 为某种生态系统的服务价值; F 为生态系统的当量因子; V 为当地单个当量因子的经济价值; R 为某种生态系统当地当量因子经济价值的修订系数; M 为某种生态系统的面积; i, j 为下标, i 代表耕地、森林、草地等不同类型生态系统; j 代表生态系统的供给服务、调解服务、支持服务等不同类型的服务功能。

式中, V 和 R 的计算公式为:

$$V = \frac{1}{7} \bar{X}C_i \times P_i \tag{2}$$

表 1 单位面积生态系统服务价值当量

生态系统		供给服务			调节服务				支持服务			文化服务
一级分类	二级分类	食物生产	原料生产	水资源供给	气体调节	气候调节	净化环境	水文调节	土壤保持	维持养分循环	生物多样性	美学景观
耕地	旱地	0.85	0.40	0.02	0.67	0.36	0.10	0.27	1.03	0.12	0.13	0.06
	水田	1.36	0.09	-2.63	1.11	0.57	0.17	2.72	0.01	0.19	0.21	0.09
森林	针叶	0.22	0.52	0.27	1.70	5.07	1.49	3.34	2.06	0.16	1.88	0.82
	针阔混交	0.31	0.71	0.37	2.35	7.03	1.99	3.51	2.86	0.22	2.60	1.14
	阔叶	0.29	0.66	0.34	2.17	6.50	1.93	4.74	2.65	0.20	2.41	1.06
	灌木	0.19	0.43	0.22	1.41	4.23	1.28	3.35	1.72	0.13	1.57	0.69
草地	草原	0.10	0.14	0.08	0.51	1.34	0.44	0.98	0.62	0.05	0.56	0.25
	灌草丛	0.38	0.56	0.31	1.97	5.21	1.72	3.82	2.40	0.18	2.18	0.96
	草甸	0.22	0.33	0.18	1.14	3.02	1.00	2.21	1.39	0.11	1.27	0.56
湿地	湿地	0.51	0.50	2.59	1.90	3.60	3.60	24.23	2.31	0.18	7.87	4.73
荒漠	荒漠	0.01	0.03	0.02	0.11	0.10	0.31	0.21	0.13	0.01	0.12	0.05
	裸地	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.10	0.03	0.02	0.00	0.02	0.01
水域	水系	0.80	0.23	8.29	0.77	2.29	5.55	102.24	0.93	0.07	2.55	1.89
	冰川积雪	0.00	0.00	2.16	0.18	0.54	0.16	7.13	0.00	0.00	0.01	0.09

$$R_i = \frac{b_i}{B_i} \quad (3)$$

式中, V 为当地单个当量因子的经济价值, 其经济价值等于平均粮食单产价值的 $1/7^{[16]}$; C 为当地主要种植的某种农作物单产; P 为某种农作物全国平均价格; i 为下标, 代表小麦等当地主要农作物品种; b 为当地某种生态系统的生产量, 如草地生态系统生产量可以用生物量衡量^{[7](917)}, 耕地可以用粮食产量衡量^{[17](156)}, 水域可以用降雨量衡量^{[8](1246)}等; B 为某种生态系统的全国平均生产量。

同时, 在谢高地提出的价值当量中(见表 1), 水田的水资源供给服务功能的价值当量为-2.63, 这是整个价值当量表中唯一的负值, 表明发展水田生产需要耗费大量资源。可以根据这一价值当量评价移民安置区新发展灌溉农业耗费水资源的生态价值量, 以及“引洮入定”受水区发展灌溉农业对九甸峡库区水资源的损耗价值。

2. 库区温室气体效应评价模型

水力发电代替火力发电, 可以有效减少 CO_2 、 SO_2 气体的排放。按照发 1 kwh 电需要 0.33 kg 煤, 1 t 标准煤燃烧排放 2 t CO_2 和 0.02 t SO_2 计算温室气体排放量^[18], CO_2 中 C 的质量为 27.27%。因温室气体减排而产生的生态正效益, 用治理温室气体的成本衡量。治理 C 的单位价值取 260.9 元/t, 治理 SO_2 的单位价值取 600 元/t^{[14](529)}。用 G 表示温室气体排放效应价值量, P 表示年发电量, G 的计算公式为:

$$G = P \times 0.33 \times (2\text{CO}_2 \times 0.2727 \times 260.9 + 0.02\text{SO}_2 \times 600) \quad (4)$$

同时, 人工水库排放到大气中的温室气体越来越引起人们的注意, 在学术界也引起了激烈的争论^[19]。一座位于寒带地区的典型水电站的 GHG 排放系数(包括水库腐败生物量的 GHG 排放)仅仅是矿物燃料发电排放系数的 $1/30 \sim 1/60$, 水库(寒带) CO_2 排放量大约为 12 g/kWh^[20]。引用这一数据, 代入(4)式可以计算出水库因产生温室气体而造成的生态负效应。

3. 水电开发生态净效应评价模型

水电开发对生态功能价值的影响可分为正效应和负效应两个方面, 正效应包括引水灌溉对耕地的改良、相比火电温室气体的减排等, 负效应包括耕地、草地生态系统的淹没、灌溉耗水等, 用 ΔE 表示总生态效应, U 表示生态正效应, N 表示生态负效应, 则 ΔE 的计算公式为:

$$\Delta E = \sum U - \sum N \quad (5)$$

ΔE 大于零, 则总生态效应盈余; 小于零, 则总生态效应亏损。

(二) 评价范围及数据说明

1. 评价范围

单从生态效应方面考虑, 受九甸峡水利枢纽工程影响的生态系统包括库区河流、移民安置区、引水灌溉区和大气环境 4 个系统, 具体可细化为 5 个方面: 一是对库区所在地生态系统的影响, 包括建库对原先水域、草地、林地、耕地等生态系统的淹没及水库建成后库区由于蓄水而扩大的水域生态等; 二是对库区下游河道生态系统的影响, 九甸峡水利枢纽一期工程每年要向外围干旱区调水 2.19×10^8 立方米/a, 水力发电库容蓄水及向外调水, 使下游河道水量减少, 进而影响下游水域生态。同时, 对下游洪水的削减, 也改良了下游河道的农田生态系统。三是对水电移民安置区生态系统的影响, 自 2008 年以来, 九甸峡库区有 1 280 户、5 901 人远距离移民到了酒泉市瓜州县境内。安置区规划发展水浇地 3.96 万亩。由于安置区水资源十分紧缺, 年降雨量仅为 47.4 mm^[21], 大面积发展水浇地, 必然对当地紧缺的水资源造成新的压力, 加剧当地的水资源消耗。四是对引水灌区生态系统的影响, 引水有效改善了受水区定西等干旱区的农田生态系统, “引洮入定”一期工程可将受水区 19 万亩低产旱地改良为高产水浇地。引洮受水区从区外调水, 所以并不会增加当地的用水压力, 这一用水资源消耗主要由水资源调出区九甸峡库区承担。五是对大气生态系统的影响, 相对于火电, 水电作为一种清洁能源可以有效减少 CO_2 等温室气体的排放, 但水库也会产生一定的温室气体。这 5 个方面的生态影响, 有些增加了生态服务价值, 产生了正的生态效应, 有些则使生态价值受损, 产生了负的生态效应(见表 2), 正效应和负效应相互抵消的结果即为生态服务价值的净损益。

2. 数据说明

计算当量因子需要的主要农作物种植面积、产量、单价等来自 2014、2015 年甘南州、酒泉市、定西市、临夏州统计年鉴, 全国粮食产量公报及国家统计局网站等; 各地降水量、生物量、库区新增水域、库区下游河道减少水域、库区下游河道保护和改良耕地、水资源调入区改良耕地等数据来自相关研究成果等。

表 2 受水电开发影响的生态效应评价范围

水电开发影响生态服务价值增加(正效应)		水电开发影响生态服务价值损失(负效应)	
1. 库区新增水域	库区水域面积增大而增加的生态服务价值	1.库区淹没	库区淹没水域、耕地、林地、草地、园地而损失的生态服务价值
2. 库区下游农田改良	通过对下游水量、洪峰调节保护、改良下游河道耕地而增加的生态服务价值	2.库区下游水域减少	由于库区发电和向干旱区调水, 使下游河道水量减少、水域面积缩小而损失的生态服务价值
3. 移民安置区新发展水浇地	将库区部分群众移民到新的安置区, 新开垦发展水浇地, 改良土地而增加的生态服务价值	3.移民安置区新发展水浇地对水的消耗	移民安置区新开垦水浇地, 灌溉用水对当地水资源造成的压力和消耗
4. 引水灌区农田改良	库区水资源调入缺水區, 使原有旱地改良为水浇地而增加的生态服务价值	4.引水灌区农田对水的消耗	水库向干旱区调水发展灌溉农业, 对水源的消耗
5. 温室气体减排	相比火力发电减排的 CO ₂ 和 SO ₂ 而产生的生态价值	5.库区温室气体产生	库区 CO ₂ 温室气体排放而造成的生态损失

表 3 受水电开发影响的生态系统类型 单位: hm⁻²

生态系统	面积	类型
淹没水浇地	674.40	水浇地
淹没林地	492.52	灌木林
淹没水域	369.98	河流
淹没牧草地	182.21	灌草丛草原
淹没旱地	113.80	旱地
淹没园地	8.16	园地
淹没其他用地	209.11	荒漠、裸地
库区新增水域	1 975.00	库区水面
库区下游河道减少水域	3 000.00	下游河流
库区下游河道保护和改良耕地	3 000.00	水浇地
水电移民安置区新开垦耕地	2 640.00	水浇地
“引洮入定”受水区改良耕地	12 666.67	水浇地

资料来源: 自卓尼县九甸峡库区移民搬迁领导小组《甘肃省洮河九甸峡水利枢纽工程库区移民概况》。

三、评价分析

(一) 相关区域单个当量因子的经济价值 V 和修订系数 R 的计算

根据式(1)计算受水电开发影响的生态系统服务价值, 已知其他数据和参数, 最主要的是根据式(2)、(3)计算出当地的 V 和 R 的数值。将九甸峡库区主要粮食作物青稞、小麦、油菜籽的种植面积、单产及全国平均价格代入式(2)可以计算出当地一个生态当量因

子的价格为 1 250.74 元/hm⁻²。同样, 根据移民安置区瓜州县的有关农作物产量等数据, 可以计算出当地一个生态当量因子的价格为 1 108.43 元/hm⁻²。在计算九甸峡库区下游(主要包括岷县、临潭及永靖县)的有关生态价值时, 以洮河水汇入刘家峡水库的永靖县为参考, 其一个当量因子的价格为 1 267.22 元/hm⁻²。再分别将各地草地生物量、农田粮食生产能力(单产)、平均降水量等数值代入式(3)可以计算出不同的修订系数 R(见表 4)。

(二) 库区新增水域及淹没生态系统价值评价

将水库建成后新增水域面积, 库区淹没耕地、草地、林地、园地等面积(见表 3), V 和 R 的值分别代入式(1)便可以计算出不同生态系统生态服务价值的增加量和减少量。从计算结果看(见表 5), 库区新增水域 1 975 hm⁻², 新增水域增加的服务价值为 2 773.81×10⁵ 元/a, 水库淹没水系、灌木林、水田等生态系统总损失价值为 794.83×10⁵ 元/a。库区水域面积扩大为原先的 4.5 倍, 水域生态服务价值大量增加, 库区淹没损失了一定的生态服务价值, 但总体看, 库区增加生态服务价值 1 978.98×10⁵ 元/a。

(三) 库区下游河道生态系统价值评价

同样, 将库区下游相应的生态系统面积、V 和 R 的值代入式(1)可以计算其生态系统服务价值的变化量。由于发电和引水需要, 九甸峡库区使库区下游河道的水量减少, 下游河道水域面积大致减少 3 000 hm⁻²[25](140), 库区下游生态服务价值的损失主要因这一水域面积减少而引起, 这一损失的价值为

表4 相关生态系统价值量评价的修订系数

项目	全国平均量 <i>B</i>	地区平均量 <i>b</i>	修订系数 <i>R</i>
灌草丛草原	全国灌草丛草原平均生物量(g·m ²)	卓尼县草原平均生物量(g·m ²)	—
	150.44 ^[22]	550 ^[23]	3.66
灌木林	全国灌木林平均生物量(g·m ²)	甘肃灌木林平均生物量(g·m ²)	—
	177.5 ^[24]	139 ^[24]	0.79
水田	459.5 ^①	全国水田稻谷单产(kg/mu)	—
		卓尼县水田小麦单产(kg/mu)	0.87
		400 ^②	—
		移民安置区水田粮食单产(kg/mu)	0.82
		300 ^③	—
旱地	398.9 ^④	引洮灌区水田玉米单产(kg/mu)	0.98
		450 ^{[25](140)}	—
		全国谷物单产(kg/mu)	—
		卓尼县谷物单产(kg/mu)	0.41
		163.5 ^⑤	—
水系	648.8	引洮灌区原旱地谷物单产(kg/mu)	0.25
		100 ^{[25](141)}	—
		全国年均降雨量(mm)	—
		卓尼县年均降雨量(mm)	0.89
		580	—
园地		卓尼县以下洮河流域平均降雨量(mm)	0.72
		464.8 ^⑥	—
荒漠		园地取森林和草地的平均值计算服务价值 ^{[17](155)}	
		全国各地荒漠、裸地价值当量基本相当 ^[5]	

表5 库区新增水域及淹没区生态价值变动

单位: 10⁵元/a

项目	库区新增水域	水库淹没区								价值变动合计
		水系	灌草丛	灌木林	水田	旱地	园地	荒漠裸地	小计	
食物生产	17.67	3.31	3.17	0.93	9.99	0.50	0.08	0.01	17.98	-0.31
原料生产	5.08	0.95	4.67	2.10	0.66	0.23	0.12	0.04	8.77	-3.69
水资源供给	183.07	34.29	2.58	1.07	-19.31	0.01	0.07	0.03	18.74	1 64.33
气体调节	17.00	3.19	16.41	6.88	8.15	0.39	0.42	0.17	35.61	-18.61
气候调节	50.57	9.47	43.41	20.64	4.19	0.21	1.14	0.13	79.19	-28.62
净化环境	122.56	22.96	14.33	6.25	1.25	0.06	0.37	0.54	45.75	76.81
水文调节	2 257.74	422.95	31.83	16.34	19.97	0.16	0.85	0.31	492.41	1 765.33
土壤保持	20.54	3.85	20.00	8.39	0.07	0.60	0.52	0.20	33.62	-13.08
维持养分循	1.55	0.29	1.50	0.63	1.40	0.07	0.04	0.01	3.94	-2.39
生物多样性	56.31	10.55	18.16	7.66	1.54	0.08	0.47	0.18	38.64	17.67
美学景观	41.74	7.82	8.00	3.37	0.66	0.04	0.21	0.08	20.16	21.58
合计	2 773.81	519.63	164.05	74.26	28.56	2.34	4.29	1.70	794.83	1 978.98

3 421.01×10⁵ 元/a。同时, 由于水库对下游水量的控制, 减少了洪水对下游两岸农田等的破坏, 使约 3 000 hm⁻² [25](140)农田得到保护和改良, 成为高产水浇地, 这一变化增加了农田生态系统服务价值。分别计算水浇地和旱地的生态服务价值, 两者的差即为农田改良增加的服务价值, 计算结果为 84.47×10⁵ 元/a。因库区下游河道水域面积减少, 损失了较大的生态服务价值, 因保护和改良河道, 耕地增加了一定的生态服务价值, 但总体看(见表 6), 下游河道损失价值为 3 336.54×10⁵ 元/a。

表 6 下游河道水域减少及改良耕地价值 单位:10 ⁵ 元/a					
项目	下游水域	下游河道耕地			价值净
	水域减少	原耕地	耕地改善	生态增加	减少
食物	21.79	9.03	44.42	35.39	-13.6
原料	6.26	4.25	2.94	-1.31	7.57
水资	225.78	0.21	-85.91	-86.12	311.9
气体	20.97	7.12	36.26	29.14	-8.17
气候	62.37	3.82	18.62	14.8	47.57
净化	151.16	1.06	5.55	4.49	146.67
水文	2 784.52	2.87	88.84	85.97	2 698.55
土壤	25.33	10.94	0.33	-10.61	35.94
维持	1.91	1.27	6.21	4.94	-3.03
生物	69.45	1.38	6.86	5.48	63.97
美学	51.47	0.64	2.94	2.3	49.17
合计	3 421.01	42.59	127.06	84.47	3 336.54

(四) 移民安置区及引洮受水区生态价值评价

酒泉市瓜州县移民安置区规划新开垦水浇地 2 640.00 hm⁻², 可使原有戈壁荒漠地改良成为能够种植棉花、枸杞等作物的农业用地, 从而增加土地的生态价值, 增加值为 77.82×10⁵ 元/a。但这也大量耗费了当地紧缺的水资源, 发展水浇地使当地“水资源供给”价值损失 63.17×10⁵ 元/a(见表 7)。引洮一期工程每年向定西等干旱缺水调水, 可以改良 12 666.67 hm⁻² 的低产旱地, 使之成为高产水浇地, 计算这一生态服务价值的变化, 结果为 444.28×10⁵ 元/a, 即调水灌溉改良农田, 增加了受水区的生态服务价值。同时, 这必然也会大量耗费水资源, 其损耗价值为 408.05×10⁵ 元/a(见表 7), 但由于这一水损耗由水资源调出区九甸峡库区负担, 所以并不会增加受水区的用

水压力。

表 7 安置区及受水区生态价值 单位:10 ⁵ 元/a						
项目	安置区生态价值变化			灌区耕地生态价值变化		
	原有 戈壁	发展为 水浇地	土地价 值净增	灌区原 旱地	改良为 水田	灌区价值 净增量
食物	0.12	32.67	32.55	33.76	211.01	177.25
原料	0.36	2.16	1.80	15.89	13.96	-1.92
水资	0.24	-63.17	-63.41	0.79	-408.05	-408.84
气体	1.56	26.66	25.10	26.61	172.22	145.61
气候	1.20	13.69	12.49	14.30	88.44	74.14
净化	4.92	4.08	-0.84	3.97	26.38	22.40
水文	2.88	65.33	62.45	10.72	422.01	411.29
土壤	1.80	0.24	-1.56	40.91	1.55	-39.36
维持	0.12	4.56	4.44	4.77	29.48	24.71
生物	1.68	5.04	3.36	5.16	32.58	27.42
美学	0.72	2.16	1.44	2.38	13.96	11.58
合计	15.61	93.43	77.82	159.26	603.54	444.28

(五) 温室气体排放评价

九甸峡库区年发电量为 10×10⁸ kwh, 将该数据代入式(4)可以计算出水电相较于火电减排温室气体而产生的生态正效应的价值量为 509.17×10⁵ 元/a, 水库因排放温室气体而损失的生态价值量为 -104.10×10⁵ 元/a(见表 8)。

(六) 水电开发总体生态效应评价

将水电开发产生的生态正效应和负效应价值量代入式(5)便可以计算出水电开发影响生态系统的总效应。结果为, 水电开发的生态价值损失要大于生态价值的增加, 总的损失价值为 430.39×10⁵ 元/a(见表 8)。

将水电开发引起的总的生态价值损益按照当量因子方法中划分的 11 种生态服务功能类型分类, 进行雷达图分析, 可以看出水电开发引起的生态正效应主要为增加了生态系统的“食物生产”及“气体调节”服务。水电开发引起的生态负效应主要为减少了生态系统的“水资源供给”服务(见图 1)。按不同生态类型进行雷达图分析, 可以看出水电开发引起的生态正效应主要为增加了库区水域生态系统的服务功能价值, 生态负效应主要为减少了库区下游水域的生态服务功能价值(见图 2)。

表8 水电开发影响生态系统的总效应

单位: 10⁵元/a

水电开发影响生态系统的价值增加(正效应)		水电开发影响生态系统的价值损失(负效应)	
库区水域面积增大而增加的生态服务价值	2 773.81	库区淹没水域、耕地、林地、草地、园地而损失的生态服务价值	-794.83
通过对下游水量、洪峰调节保护、改良下游河道耕地而增加的生态服务价值	84.47	由于库区发电和向干旱区调水,使下游河道水量减少、水域面积缩小而损失的生态服务价值	-3 421.01
将库区部分群众移民到新的安置区,新开垦发展水浇地,改良土地而增加的生态服务价值	77.82 (已扣除灌溉对水的损耗价值)	其中,移民安置区新开垦水浇地,灌溉用水对当地水资源造成的压力和损耗价值	-63.17
库区水资源调入缺水地区,使原有旱地改良为水浇地而增加的生态服务价值	444.28 (已扣除灌溉对水的损耗价值)	其中,水库向干旱区调水发展灌溉农业,对水调出区水资源的损耗价值	-408.05
相比火力发电减排的CO ₂ 和SO ₂ 而产生的生态价值	509.17	库区CO ₂ 温室气体排放而造成的生态损失价值	-104.10
水电开发总的生态正效应	3 889.55	水电开发总的生态负效应	-4 319.94
正负效应抵消后的生态净损益		-430.39	

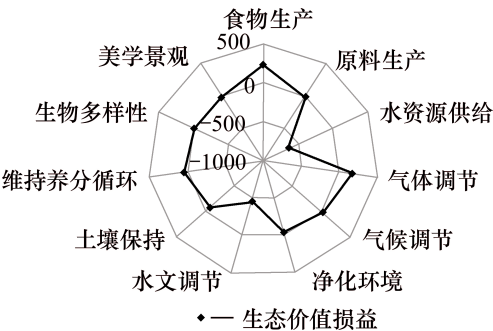


图1 按不同生态服务功能的价值损益

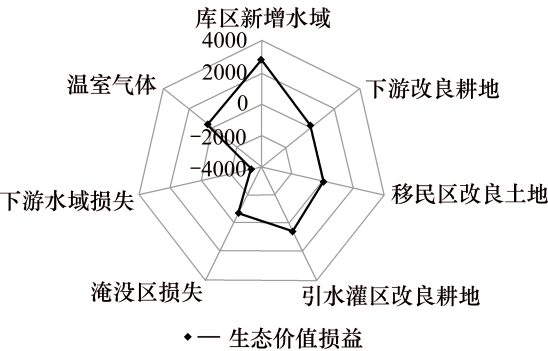


图2 按不同生态类型的价值损益

四、结论及启示

(1)采用价值当量法进行评价,其原理方法的可行性强,便于理解,其关键是对当地生态当量价值的

计算,选择合适的变量计算出修订系数。同时,如果将部分经济效应纳入到生态效应评价的范畴,那么评价出来的生态正效应往往会高于生态负效应,从而误认为水电开发产生了显著的生态正效应。事实上,如果不考虑经济效应,单从生态角度考量,水电开发更有可能造成生态环境的价值损失。

(2)对于库区流域,水电开发主要对库区下游河流生态系统造成了较大的影响,为了降低这种影响,足额保障库区下游河流生态用水量显得极为重要。对于移民安置区,水电移民给安置区增加了新的生态压力,为保证移民及安置区的可持续发展,科学选择移民安置区并合理控制移民及土地开发规模,使之在安置区生态承载力可接纳的范围内显得十分重要。对于引水灌溉等受水区,水电开发创造的生态福利是显著的,有效缓解了受水区农业灌溉和人畜引水问题。对大气环境,水电开发节能减排的绿色清洁优点显而易见,即便水库也会产生一定温室气体,但同减排效应相比是是有限的。

(3)水域生态系统的服务功能具有明显的外溢性和扩散性的特点,因库区水域增大而新增的生态价值的受益者不仅仅限于库区范围,会广泛地向库区以外更大的区域扩散,但由于库区耕地、草地等陆域生态系统的淹没而造成的生态价值损失的承担者则相对只限于库区,较具体。同样,库区下游河道因水量减少而造成的生态损失,则会广泛地影响整个下游区域。

注释:

- ① 根据国家统计局关于 2015 年粮食产量的公告公布数据计算。
- ② 根据甘南州 2015 年统计年鉴卓尼县农业数据计算。
- ③ 根据瓜州县 2015 年统计年鉴农业数据计算。
- ④ 根据国家统计局关于 2015 年粮食产量的公告公布数据计算。
- ⑤ 根据甘南州 2015 年统计年鉴卓尼县农业数据计算。
- ⑥ 根据九甸峡下游岷县、临洮、永靖县平均降雨量计算。

参考文献:

- [1] Daily G C. The value of nature and the nature of value[J]. Science, 2000, 289(5478): 395-396.
- [2] Egoh B, Rouget M, Reyers B, et al. Integrating ecosystem services into conservation assessment: A review[J]. Ecological Economics, 2007(63): 714-721.
- [3] Lautenbach S, Kugel C, Lausch A, et al. Analysis of historic changes in regional ecosystem service provisioning using land use data[J]. Ecological Indicators, 2011(11): 676-687.
- [4] Wainger L A, King D M, Mack R N, et al. Can the concept of ecosystem services be practically applied to improve natural resource management decisions[J]. Ecological Economics, 2010(69): 978-987.
- [5] Costanza R, d'Arge R, de Groot R S, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Nature, 1997(387): 253-260.
- [6] 谢高地, 鲁春霞, 冷允法, 等. 青藏高原生态资源的价值评估[J]. 自然资源学报, 2003, 18(2): 189-196.
- [7] 谢高地, 甄霖, 鲁春霞, 等. 一个基于专家知识的生态系统服务价值化方法[J]. 自然资源学报, 2008, 23(5): 911-919.
- [8] 谢高地, 张彩霞, 张雷明. 基于单位面积价值当量因子的生态系统服务化方法改进[J]. 自然资源学报, 2015(8): 1245-1246.
- [9] 世界水坝委员会报告. 水坝与发展—决策的新框架[M]. 北京: 中国环境社会科学出版社, 2000: 57-72.
- [10] P·麦库里, 编著. 大坝经济学[M]. 周红云, 等译. 北京: 中国发展出版社, 2001: 30-45.
- [11] 林为民. 大型水坝幻想的破灭——向您介绍《大型水坝的社会及环境影响》一书[J]. 水土保持通报, 1988(6): 52.
- [12] 鲁春霞, 谢高地, 成升魁, 等. 水利工程对河流生态系统服务功能的影响评价方法初探[J]. 应用生态学报, 2003(5): 803-807.
- [13] 莫创荣, 孙艳军, 高长波, 等. 生态价值评估方法在水电开发环境影响评价中的应用研究[J]. 水资源保护研究, 2006(5): 18-21.
- [14] 肖建红, 施国庆, 毛春梅, 等. 水坝对河流生态系统服务功能影响评价[J]. 生态学报, 2007(2): 526-529.
- [15] 谢高地, 肖玉, 鲁春霞. 生态系统服务研究: 进展、局限和基本范式[J]. 植物生态学报, 2006, 30(2): 191-199.
- [16] 辛玉春, 杜铁瑛, 辛有俊. 青海天然草地生态系统服务价值评价[J]. 中国草地学报, 2012(5): 5.
- [17] 陈颖, 石培基, 潘竟虎, 等. 高原生态城土地利用变化对生态系统服务价值的影响研究——以甘肃省民乐县为例[J]. 水土保持研究, 2012(2): 155-156.
- [18] 高季章. 建立生态环境友好的水电建设体系[J]. 中国水利, 2004(13): 6-9.
- [19] 赵小杰, 赵同谦, 郑华, 等. 水库温室气体排放及其影响因素[J]. 环境科学, 2008(8): 2377.
- [20] L.加格浓. 水电开发是减少温室气体排放的重要手段[J]. 环境科学, 1998(1): 16.
- [21] 甘肃水利水电勘测设计院. 甘肃省洮河九甸峡水利枢纽工程初步设计报告(第五卷)[Z]. 2006: 29-35.
- [22] 辛晓平, 张保辉, 李刚, 等. 1982—2003 年中国草地生物量时空格局变化研究[J]. 自然资源学报, 2009(9): 1585.
- [23] 王莺, 夏文韬, 梁天刚, 等. 基于 MODIS 植被指数的甘南草地生物量[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2009(5): 77.
- [24] 方精云, 刘国华, 徐嵩龄. 我国森林植被的生物量和净生产量[J]. 生态学报, 1996(5): 507.
- [25] 曹伯万. 甘肃省引洮灌溉工程对生态环境的影响[J]. 发展, 2001(9): 140-141.

Evaluating the influence of hydropower development on ecosystem service value based on value equivalence: Taking Gannan Jiudianxia as example

YANG Suchang, LIU Weiwen

(School of Economics, Lanzhou University, Lanzhou 730030, China)

Abstract: The present essay, by employing the ecological value equivalent theory and its method, mainly constructs the relevant evaluation and revision model, and evaluates the influence of hydropower development on ecosystem service value of river, resettlement area, diversion irrigation area and atmospheric environment. Seen from the evaluation results of Jiudianxia Hydropower, the ecological positive effect is $3\,811.73 \times 10^5$ yuan/a, the ecological negative effect is $-4\,319.94 \times 10^5$ yuan/a, the total ecological value loss of hydropower development is -430.39×10^5 yuan/a, which provides reference for ecological compensation.

Key Words: service value; equivalent factor; hydropower development; ecological effect; Jiudianxia

[编辑: 谭晓萍]