

基于能值分析的生态供水效益量化方法

黄显峰¹, 周 祎¹, 阎 玮², 方国华¹, 陈思宇¹

(1. 河海大学水利水电学院, 江苏 南京 210098;

2. 南水北调东线江苏水源有限责任公司, 江苏 南京 210029)

摘要: 为了能够客观、真实地反映生态供水系统中供水效益的影响, 弥补传统间接算法不能全面考虑所有效益的缺点, 利用能值分析方法, 将生态生产系统的投入和产出转化为同一量纲, 对生态供水效益进行量化研究, 绘制生态生产系统能量图并建立能值分析表, 计算生态供水效益分摊系数, 从而计算生态供水总效益和单方水供水总效益。以南水北调东线应急供水受水区——京津冀地区为例, 利用 2015 年的数据, 计算得出该地区的生态供水效益分摊系数为 4.08%, 单方水供水效益为 5.48 元/m³。

关键词: 能值; 生态供水; 效益量化; 能值图

中图分类号: TV213.4

文献标志码: A

文章编号: 1006-7647(2019)02-0012-04

Quantifying benefits of ecological water supply based on emergy analysis//HUANG Xianfeng¹, ZHOU Yi¹, YAN Wei², FANG Guohua¹, CHEN Siyu¹ (1. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Jiangsu Water Source Co., Ltd., the Eastern Route of the South-to-North Water Diversion Project, Nanjing 210029, China)

Abstract: To objectively and veritably reflect the impacts of water supply benefits in an ecological water supply system and to remedy the drawbacks of traditional indirect calculation methods which are incapable of considering all the benefits, emergy analysis is applied to quantify the benefits of ecological water supply by converting the input and output of the ecological producing system into a unified dimension. The emergy chart of the ecological producing system has been drawn and the energy analysis table has been set up. The benefit sharing coefficient of ecological water supply was calculated based on which the total benefit of ecological water supply and the benefits of pre-stere water were obtained. Beijing-Tianjin-Hebei region, an emergency water supply area in the Eastern Route of the South-to-North Water Diversion Project, was taken as an example to calculate the benefit sharing coefficient of the ecological water supply and the benefits of pre-stere water using the data in 2015. The results are 4.08%, and 5.48 yuan/m³, respectively.

Key words: emergy; ecological water supply; quantifying benefits; emergy chart

生态供水是指为了维持流域生态系统的良性循环, 人们在开发流域水资源时为保证生态系统的发展与平衡所需的水量。生态供水同工、农业以及生活供水一样为一个用水单元。生态供水概念的提出, 是人们重视生态保护的结果, 也为流域环境管理提供了一种新的思维模式, 引导人们将重点放在生态环境和水资源之间的内在关系上。生态供水系统是由人类进行管理和控制的“自然-人工复合经济系统”, 它与自然生态系统的能量流动并不相同, 受人类活动的影响很大, 并且很难用价格机制进行评判, 通常只能通过间接算法进行估算。王红瑞等^[1]使用配水效益计算方法, 在不同的来水条件下, 计算各种配水量方案下黄河河口地区所增加的

生态效益; 杨丽等^[2]使用替代工程法计算京石段应急供水工程完工后北京产生的生态环境效益; 陈宁等^[3]使用机会成本法计算生态环境供水经济效益, 考虑两种测算机会成本的方法, 建立了计算生态环境供水经济效益的线性规划模型。在目前的研究中, 有的学者通过定量计算工程完工后所产生的生态环境效益, 解决了生态服务功能价值难以计算的问题, 但仍有部分生态环境效益不能被定量计算出来; 有的计算方法在使用前必须明确水资源及供水用户的属性, 在不同情况下计算方法和结果也随之改变, 因此并不具有通用性, 尤其是当系统成分比较复杂时, 会给研究带来很大的麻烦。

能值分析法 20 世纪 90 年代在中国开始传播,

至今已经得到众多生态学家的认可,在多个领域都有应用;Brown 等^[4]利用能值理论计算水务服务成本的回收;Nilsson^[5]利用能值理论对作为区域供热系统燃料的秸秆进行了评价;Baral 等^[6]利用能值分析法计算汽油和玉米、酒精在使用中的能量周期;罗乾等^[7-8]利用能值分析法研究了连云港市的农业灌溉效益以及工业供水效益;韩增林等^[9]利用能值分析法对中国海洋生态经济可持续发展作出了评价;彭俊杰^[10]利用能值分析方法对河南省的生态经济系统进行了综合研究。能值分析法是一种量化研究方法,该方法能够将所有不同的能量转化成同一量纲,能够客观精确地比较各种能量的等级^[11-13]。然而,目前还没有学者采用能值分析法研究生态供水的效益,笔者在前人的研究基础上^[14-20],以南水北调东线应急供水受水区——京津冀地区为实例,拟对能值分析法应用于生态供水效益的量化研究进行探讨。

1 生态供水效益

目前,我国的水资源严重匮乏,南北地区水资源分布不均,加之近几年大力发展生产,为满足生产需求而忽略了生态供水,这使得我国的生态环境遭到了不同程度的破坏。水是维持生态系统良性循环的核心,因此,在重视工、农业供水的同时,也需要保证一定的生态供水来维持生态系统自身的平衡。生态供水效益是指与不提供生态供水相比,提供生态供水的情况下所获得的经济效益总和。计算生态供水效益是为了正确估算供水生态环境的国民经济效益。

采用能值分析法计算生态供水效益,是从生态经济系统整体出发,考虑生态供水的特征,在定性分析生态供水产生效益的基础上,对各个效益因子进行量化。具体过程是先将影响各方面效益的因素转化为太阳能值,然后通过生态供水效益分摊系数计算供水效益,此时的供水效益是由能值表示的,需要通过能值/货币比率转化为货币形式,公式如下:

$$S = \varepsilon E_{IV} \quad (1)$$

$$M = \frac{S}{E_p} \quad (2)$$

式中: S 为生态供水总效益(以太阳光能值表示), sej ; ε 为生态供水效益分摊系数; E_{IV} 为系统总能值产出,万元; M 为生态供水总效益(以货币形式表示),万元; E_p 为能值/货币比率,即用某个国家某一年的能值利用总量除以同一年的GDP所得结果。

2 利用能值分析法计算生态供水效益

2.1 能值分析法

Odum 教授^[11]提出了能值(Emergy)的概念,并

推导出能值分析法,利用该方法可以将生态系统或生态经济系统中由于量纲不同而不能进行比较的能量转换成统一标准的能值,通过这种转换可以对所有的能量进行比较分析,判断其等级。因此,能值可被视为生态学与经济学之间的桥梁。它是一种流动或储存的能量所包含另一种类别能量的数量。从本质上来说就是所包含的能量,而太阳能是一切能量的来源,所以通常将能值数量以太阳光能焦耳(sej)为单位进行表示。能值转换率为单位物质包含的太阳能值数量。物质的能值转换率越低,说明该物质在能量系统中的等级就越低,若要生产每单位该物质,消耗的能量也就越少。例如1J燃油当中包含66000 sej ,那么燃油的能值转换率为66000 $\text{sej} \cdot \text{J}^{-1}$ 。能值货币价值为某种能值相当的货币量。

2.2 利用能值分析法计算生态供水效益分摊系数

步骤1 收集资料。通过实地考察,查询往年资料等方式,收集相关的自然地理、社会经济等方面的资料。

步骤2 绘制详细的系统能量图。根据系统的基本结构和主要能源、物质、信息等生态经济流,绘制系统能量图。绘制过程中最主要的内容是确定能值投入、能值产出以及明确各成分之间的过程及关系。通过整合上一步骤收集的资料,明确系统的基本结构,形成包括系统主要组分和相互关系以及能量流、物质流、货币流等流向的系统能量图,从而明确研究对象各组分和环境的关系。

步骤3 建立能值分析表。能值分析表中需要列出能量图中所确定的系统内的主要成分,并且将各成分所包含的能量转换为太阳能值。建立能值分析表的具体方法如下:首先,列出生态供水系统的输入和输出资源;其次,计算系统中各种资源的能量流;最后,使用能值计算公式完成系统中不同度量单位的项目到共同的能值单位的转换,能值计算公式如下:

$$E = \tau B \quad (3)$$

式中: E 为能值; τ 为能值转换率; B 为能量或货币价值或物质的数量。

步骤4 计算生态供水效益分摊系数。生态供水效益分摊系数公式如下:

$$\varepsilon = \frac{E_{IW}}{E_{IT}} \quad (4)$$

式中: E_{IW} 为生态供水总能值; E_{IT} 为总能值投入。

步骤5 系统发展评价和策略分析。通过能值指标分析,为制定合理的系统管理调控措施和发展策略提供科学依据,指导生态系统良性运作和可持续发展。

3 实例研究

南水北调东线工程是我国南水北调总体布局中的重要组成部分。2013年东线一期工程建成后,新建南水北调工程与现有江水北调工程共同构成调水工程体系,长江边一级提水规模达 $500\text{ m}^3/\text{s}$,年平均新增供水量为36亿 m^3 ,在经济社会发展中发挥了巨大的作用。一期工程鲁北干渠目前可与位山引黄线路及潘庄应急引黄线路相连,具备向河北省和天津市输水的条件。在二期工程实施前,采取联合调度管理措施和新增少量工程措施,充分利用一期工程的供水能力和全年的供水潜力,向北延伸应急输水至京津冀地区,实现水资源的合理利用,以最大程度地发挥一期工程效益。

3.1 绘制京津冀地区生态生产系统能量图

将京津冀地区看作独立的系统,其占地面积的边界就是本次生态供水系统的边界。京津冀地区生态生产系统能量图如图1所示。生态生产系统主要能值分为可更新环境资源、不可更新环境资源以及系统总能值产出三类。可更新环境资源包括风能、雨水势能、雨水化学能、太阳能、地球旋转能、生态供水;不可更新环境资源包括劳务、固定资产投资;系统总能值产出分为社会环境产出和生态产出两大类,前者包括园林水果、林产品、水产品、牛肉、羊肉、禽蛋、奶类及新产品产值,后者包括旅游收入。

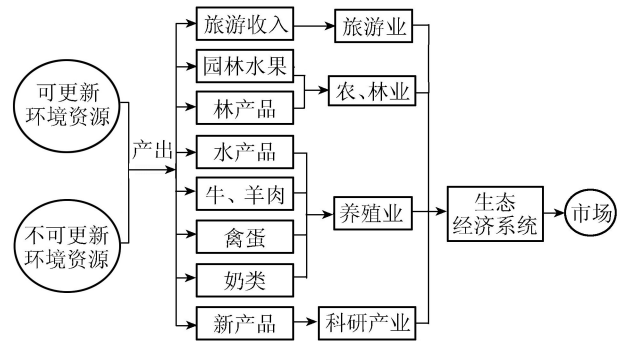


图1 京津冀地区生态生产系统能量图

3.2 建立京津冀地区生态生产系统能值分析表

以2015年为例,根据收集的原始数据及相应能值转换率计算各种生态流的能值,将其分类汇总,编制能值分析表(表1)。

通过表1将不同种类的能量转化为太阳能值,从而得到2015年京津冀地区投入的可更新环境资源、不可更新环境资源以及系统总能值产出,将数据汇总至表2。从表2可以看出,京津冀地区的不可更新环境资源占总能值投入的92%以上,说明京津冀地区的供水效益主要依靠在该地区投入不可更新环境资源来获取,在这种模式下,水资源综合利用效

率低,环境压力大,因此应改变传统的发展方式,优化产业结构,推动绿色经济的发展。

表1 2015年京津冀地区生态生产系统能值分析

项目	原始数据	能值转换率	能值/sej	
可更新环境资源	风能	$8.40 \times 10^{18}\text{ J}$	623sej/J	5.21×10^{21}
	雨水势能	$6.67 \times 10^{17}\text{ J}$	8890sej/J	5.93×10^{21}
	雨水化学能	$5.51 \times 10^{17}\text{ J}$	15400sej/J	8.48×10^{21}
	太阳能	$1.28 \times 10^{21}\text{ J}$	1sej/J	1.28×10^{21}
	地球旋转能	$2.16 \times 10^{17}\text{ J}$	29000sej/J	6.26×10^{21}
	生态供水	$1.78 \times 10^{10}\text{ m}^3$	$1.263 \times 10^{12}\text{ m}^3$	2.90×10^{22}
不可更新环境资源	劳务	$4.35 \times 10^{11}\text{ 元}$	$6.98 \times 10^{11}\text{ sej/元}$	3.03×10^{23}
	固定资产投资	$5.05 \times 10^{11}\text{ 元}$	$6.98 \times 10^{11}\text{ sej/元}$	3.53×10^{23}
系统总能值产出	旅游收入	$1.08 \times 10^{12}\text{ 元}$	$6.98 \times 10^{11}\text{ sej/元}$	7.52×10^{23}
	园林水果产值	$2.67 \times 10^{16}\text{ J}$	$5.30 \times 10^4\text{ sej/J}$	1.42×10^{21}
	林产品产值	$8.15 \times 10^{15}\text{ J}$	$3.49 \times 10^4\text{ sej/J}$	2.84×10^{20}
	水产品产值	$1.12 \times 10^{16}\text{ J}$	$1.96 \times 10^6\text{ sej/J}$	2.19×10^{22}
	牛肉产值	$6.45 \times 10^{15}\text{ J}$	$4.00 \times 10^6\text{ sej/J}$	2.58×10^{22}
	羊肉产值	$1.04 \times 10^{16}\text{ J}$	$6.00 \times 10^6\text{ sej/J}$	6.26×10^{22}
	禽蛋产值	$1.90 \times 10^{16}\text{ J}$	$1.71 \times 10^6\text{ sej/J}$	3.25×10^{22}
	奶类产值	$1.37 \times 10^{16}\text{ J}$	$1.71 \times 10^6\text{ sej/J}$	2.34×10^{22}
	新产品产值	$1.08 \times 10^{12}\text{ 元}$	$6.98 \times 10^{11}\text{ sej/元}$	7.54×10^{23}

注:①原始数据来源于各地区统计年鉴、水资源公报、国民经济和社会发展统计公报;②能值转换率参照文献[11-13];③2015年能值/货币比率为 $6.98 \times 10^{11}\text{ sej/元}$ 。

表2 2015年京津冀地区生态生产系统投入产出

项目	符号或公式	能值/sej
可更新环境资源	E_{IR}	5.62×10^{22}
不可更新环境资源	E_{IN}	6.56×10^{23}
系统总能值投入	$E_{IR} + E_{IN}$	7.12×10^{23}
系统总能值产出	E_{IY}	1.67×10^{24}

3.3 计算京津冀地区生态供水效益

京津冀地区生态供水效益计算见表3。由表3可知,京津冀地区生态供水效益分摊系数为4.08%,单方水供水总效益为 $5.48\text{ 元}/\text{m}^3$ 。由此可见,向京津冀地区进行生态供水是经济合理的。然而,北方地区原本就干旱缺水,若要进行生态供水势必会影响其他生产活动,因此除了要注意各方面用水的平衡以外,还可以考虑其他办法,例如利用雨洪资源来缓解这个问题。总之,应通过合理的管控及调度,使水资源能够满足人们的生活、生产需要,并且发挥最大的经济效益。

实施生态供水,不仅能够有计划地实施各地区绿化、美化建设,还能改善生态环境,开发旅游资源。

表3 2015年京津冀地区生态供水效益计算

项目	符号或公式	数值
生态供水量	W	$1.78 \times 10^{10}\text{ m}^3$
生态供水能值	E_{IW}	$2.90 \times 10^{22}\text{ sej}$
生态供水效益分摊系数	$\varepsilon = E_{IW}/E_{IT}$	4.08%
生态供水总效益	$S = \varepsilon E_{IY}$	$6.82 \times 10^{22}\text{ sej}$
能值/货币比率	E_P	$6.98 \times 10^{11}\text{ sej/元}$
生态供水总效益	$M = S/E_P$	$9.78 \times 10^{10}\text{ 元}$
单方水供水总效益	$S_1 = M/W$	$5.48\text{ 元}/\text{m}^3$

一些过去无人问津的大片荒地,通过生态供水,可成为各类水生生物的聚集地,吸引游客前往参观,实现人水和谐、人与自然和谐。在利用能值分析法量化研究某个地区的生态供水效益时,将该地区占地面积的边界作为分析边界,以能值为量纲,对生态供水过程中投入和产出的各项能量流、物质流和货币流的动态过程和相互关系进行分析,以得到反映生态与经济性能的能值综合指标,帮助人们对某地区的生态供水进行更好的管理。

4 结 语

生态供水系统是一个开放、复杂的系统,首先需要系统外的能源向系统供给能量,然后由人类通过劳动、贸易、投资等将自然生态系统与社会经济系统结合起来。利用能值分析法量化研究生态供水效益,在其应用领域上是一个新的突破,解决了自然生态系统与人类社会经济系统中的各种成分由于量纲不同而无法进行统计分析的问题。本文以南水北调东线应急供水受水区——京津冀地区为例,计算验证了能值分析法在量化研究生态供水效益方面的可行性。该方法以太阳能值为介,通过能值指标体系建立起投入与产出的数量关系,为生态生产系统提供了统一的定量分析标准,与其他只考虑单一用水因子的传统计算方法相比,该方法能够客观、真实地反映生态供水系统中供水效益的影响。

目前我国水资源管理保护任务艰巨,国家新发展理念也对水资源管理保护提出了更高的要求,然而基层水资源管理机构不健全,专业结构不适应管理要求,基层水资源管理保护能力与目标任务严重不匹配。随着全球气候变化以及人类活动对地球的影响不断加大,影响水资源效益的因子以及影响机制会更加复杂,这对于水资源的合理规划来说是一个严峻的挑战。因此,在之后的研究中,需要更进一步了解系统内各组分的逻辑关系,完善生态生产系统能量图,才能在复杂多变的环境中将能值分析法作为生态供水效益量化评价、实现人与自然和谐发展的科学工具。

参考文献:

[1] 王红瑞,董艳艳,王军红,等. 黄河河口地区生态供水效益分析[J]. 自然资源学报,2007,22(6):924-935. (WANG Hongrui,DONG Yanyan,WANG Junhong,et al. Analysis of ecological water supply in the estuary of the Yellow River[J]. Journal of Natural Resources,2007,22(6):924-935. (in Chinese))

[2] 杨丽,张子强,孙静,等. 京石段应急供水工程生态环境效益评估方法探讨[J]. 北京水务,2011(5):55-57.

(YANG Li,ZHANG Ziqiang,SUN Jing,et al. The evaluation method of ecological environmental benefit of emergency water supply engineering in jingshi section[J]. Beijing Water,2011(5):55-57. (in Chinese))

[3] 陈宁,张健,谭皓瑜. 用机会成本法计算生态环境供水经济效益[J]. 河海大学学报(自然科学报),2006,34(5):583-586. (CHEN Ning,ZHANG Jian,TAN Haoyu. The economic benefit of ecological environment water supply is calculated by the opportunity cost method[J]. Journal of Hohai University(Natural Sciences),2006,34(5):583-586. (in Chinese))

[4] BROWN M T,MARTINEZ A,UCHE J. Emery analysis applied to the estimation of the recovery of costs for water services under the European water framework directive [J]. Ecological Modelling,2010,221(17):2123-2132.

[5] NILSSON D. Energy, exergy and emery analysis of using straw as fuel in district heating plants[J]. Biomass and Bioenergy,1997,13(1/2):63-73.

[6] BARAL A,BAKASHI B R. Emery analysis using US economic input-output models with applications to life cycles of gasoline and corn ethanol [J]. Ecological Modelling,2010,221(15):1807-1818.

[7] 罗乾,方国华,黄显峰,等. 基于能值理论分析方法的农业灌溉效益研究[J]. 水电能源科学,2011,29(6):137-139. (LUO Qian,FANG Guohua,HUANG Xianfeng,et al. Study on benefit of agricultural irrigation based on emery theory analysis method[J]. Water Resources and Power,2011,29(6):137-139. (in Chinese))

[8] 罗乾,方国华,黄显峰. 基于能值理论分析方法的工业供水效益研究[J]. 水利科技与经济,2011,17(5):37-40. (LUO Qian,FANG Guohua,HUANG Xianfeng. Study on the efficiency of industrial water supply based on the method of energy value theory [J]. Water Conservancy Science and Technology and Economy,2011,17(5):37-40. (in Chinese))

[9] 韩增林,胡伟,钟敬秋,等. 基于能值分析的中国海洋生态经济可持续发展评价[J]. 生态学报,2017,37(8):2563-2573. (HAN Zenglin,HU Wei,ZHONG Jingqiu,et al. Sustainable development of marine eco-economics based on an emery analysis in China[J]. Acta Ecologica Sinica,2017,37(8):2563-2573. (in Chinese))

[10] 彭俊杰. 基于能值分析的生态经济系统综合研究:以河南省为例[J]. 世界科技研究与发展,2014,36(2):175-181. (PENG Junjie. Integrative research of ecological-economic system based on energy analysis;a case study in Henan Province[J]. World Sci-tech R&D,2014,36(2):175-181. (in Chinese))

[11] ODUM H T. Environmental accounting: emery and environmental decision making [M]. New York: John Wiley & Sons,1996.

(下转第36页)