

DOI:10.19322/j.cnki.issn.1006-4710.2016.03.019

河道生态基流价值的估算与比较

徐梅梅, 李怀恩, 成波

(西安理工大学 西北旱区生态水利工程国家重点实验室培育基地, 陕西 西安 710048)

摘要:为解决目前对河道生态基流价值的认识不足、计算方法缺乏的问题,以渭河宝鸡段生态基流价值为研究对象,借鉴资源环境经济学理论,应用机会成本法、分析综合法、影子工程法分别估算河道生态基流的机会价值、功能价值以及生态基流得不到保障时所造成的最小经济损失。结果表明:渭河宝鸡段生态基流的机会价值约为 7.06 亿元/a,功能价值约为 11.72 亿元/a,河道生态基流得不到保障时所造成的最小经济损失约为 10.27 亿元/a。因此在水资源开发利用时,应对生态基流予以重视。

关键词:渭河宝鸡段;生态基流价值;机会成本法;影子工程法;分析综合法

中图分类号:X196 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-4710(2016)03-0359-05

Estimation and comparison of ecological basic flow value

XU Meimei, LI Huaien, CHENG Bo

(State Key Lab Cultivation Base of Northwest Arid Ecology and Hydraulic Engineering,
Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

Abstract: In order to resolve the insufficient understanding and the lack of methods for studying river ecological base flow value, taking Baoji Weihe River section as the study area and referencing resources and environment economics theory, using opportunity cost method, analysis synthesis method and shadow engineering method to estimate the opportunity value, functional value and the minimum economic losses caused by ecological base flow not guaranteed separately. The results show that the opportunity value of Baoji Weihe River section is about 0.706 billion yuan/a, that function value is about 1.172 billion yuan/a and that the minimum economic losses caused by ecological base flow unguaranteed is about 1.027 billion yuan/a. So what is needed is to attach importance to ecological base flow when water resources are exploited.

Key words: Baoji Weihe River section; ecological base flow value; opportunity cost method; shadow project method; comprehensive analysis method

在水资源短缺地区的枯水期,人类过量取水不仅挤占了河道径流量,也使得河道基础流量难以保障,造成河道生态系统严重退化。生态基流是河流生态系统价值得以体现的前提,这就是生态基流的价值所在,它对维持河流健康可持续发展具有重要意义。保护水资源、实现水资源的可持续利用,是现代水利的一项重要内容^[1]。目前,生态基流被人们所关注,如国家水专项对渭河关中段生态基流的保障及调控技术进行了一定的分析研究,并取得了相应的研究成果。但在生态基流价值方面,国内外主

要集中于水资源价值、水生态环境价值等方面的研究。如 Hanse 等^[2]采用支付意愿法估算了美国河流的旅游价值;Costanza 等^[3]首次给出生态系统服务功能价值;Wilson 等^[4]总结了美国淡水生态系统服务的经济价值,并重点研究了河流生态系统的娱乐功能价值;Rogers 等^[5]针对印度 Tamil Nadu 邦的水危机,计算了水在各个产业部门中的经济价值;Tesfaye 等^[6]应用余值理论对埃塞俄比亚蓝尼罗河流域所提供的主要生态系统服务价值进行了经济量化。国内如 1998 年姜文来^[7]对水资源价值进行了

收稿日期:2015-12-10

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51479162)

作者简介:徐梅梅,女,硕士生,研究方向为水资源保护。E-mail:335804027@qq.com

通讯作者:李怀恩,男,教授,博导,研究方向为水资源保护与环境经济。E-mail:25283105@qq.com

比较系统的研究,阐述了与水资源价值相关的多方面理论;雷毅^[8]对河流健康生命及其价值和权利进行了研究,定性分析了河流的价值、河流的生存与健康权利以及人对河流的责任与义务等;陈阳^[9]分析了三江平原北部地区土地生态系统服务价值随时空变化的特点。

针对生态基流价值的研究相对缺乏^[10],林启才^[11]将生态基流的价值归纳为四大类,并对渭河宝鸡段生态基流的价值进行了计算;黄文菁^[12]对河道生态基流价值及其影响因素进行了定性分析,并应用模糊数学模型计算了渭河关中段4个断面的生态基流价值。目前,人们对河道生态基流价值的认识不足,计算方法仍缺乏,基于此,本文借鉴资源环境经济学中相关方法,以渭河宝鸡段进行实例研究,通过估算该段河流的生态基流价值,来探讨放弃水资源的经济收益来保障生态基流是否值得。对生态基流价值的研究也可以为河流健康发展及水资源的可持续利用提供理论依据。

1 生态基流价值估算的方法

生态基流是用以维持或恢复河流生态系统基本结构与功能所需的最小流量,对其价值的分析研究能够使公众及有关决策者直观地认识到生态基流的重要性。但是由于生态基流价值的研究处于初级阶段,计算方法相对缺乏,因此本文借鉴资源环境经济学中的相关方法,分析了机会成本法、影子工程法、分析综合法在生态基流价值估算中的应用。

1.1 机会成本法

从水资源用途考虑,除河道生态用水之外,河流水资源的用途主要分为三大类:生活用水、农业用水和工业用水。在枯水期,水资源短缺,如果河道内留有足够的水作为生态基流以维持生态系统功能,就意味着水资源的其他用途将会受到影响,部分效益将会放弃。在这种情况下就可以用机会成本法估算生态基流价值,即这三种用途下,总效益最大者为河流生态基流的机会价值。本文近似以经济效益代替。三种用途下的用水经济效益具体计算如下。

1) 农业用水经济效益

农业用水经济效益采用分摊系数法^[13]计算,计算式为:

$$W_u = P_u \eta_u / Q_u \quad (1)$$

式中: W_u 为农业用水经济效益; P_u 为农业经济利润; η_u 为农业用水经济效益分摊系数, $\eta_u = (F_{u1} + F_{u2}) / F_u$,其中 F_{u1} 为农业水费成本, F_{u2} 为农业固定资产净值, F_u 为全要素农业生产成本; Q_u 为净农业

用水量(不包括渠系渗漏水量), $Q_u = Q\epsilon$,其中 Q 为农业用水量, ϵ 为渠系水利用系数。

2) 工业用水经济效益

工业用水经济效益同样采用分摊系数法^[14]。用全市综合供水效益分摊系数乘以全市工业总产值或总利税额表示,计算式为:

$$W_i = B_i \eta_i / Q_i \quad (2)$$

式中: W_i 为工业用水经济效益; B_i 为工业企业利税总额; η_i 为工业用水经济效益分摊系数, $\eta_i = F_{i1} / F_{i0}$,其中, F_{i1} 为工业供水投资; F_{i0} 为供水范围内工业生产投资; Q_i 为工业用水量。

3) 生活用水经济效益

生活用水经济效益采用市场价值法计算。用供水量与该地区生活用水价格的乘积表示供水效益,计算式为:

$$W_s = P_s Q_s \quad (3)$$

式中: W_s 为生活用水年经济效益; P_s 为生活用水价格; Q_s 为供水量。

1.2 影子工程法

影子工程法也叫替代工程法,是恢复费用的一种特殊形式,主要用于环境的经济价值难以直接估算时的环境估价。当环境遭到破坏后,人工建造一个具有类似环境功能的替代工程,并用该替代工程的费用表示该环境价值的一种估价方法。影子工程法计算环境资源价值的公式为:

$$V = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (4)$$

式中: V 为需评估的环境资源价值; x_1, x_2, \dots, x_n 为替代工程中各项目的建设费用。

当生态基流得不到保障时,河流环境功能将不能维持。为了使河流环境功能正常发挥,必须采取一定的措施来保障生态基流量。由于水库具有调节性能,可作为保障河道生态基流的可行措施,因此,以水库作为替代工程,采用影子工程法来计算河道生态基流的价值。本文在具体计算中采用单位库容年投入成本与生态基流量的乘积作为生态基流的价值。

1.3 分析综合法

分析综合法的思路是将环境的功能价值分别加以计算,并将其累加构成总的环境价值。渭河宝鸡段生态基流(或枯水期的河流)所具有的功能主要有:净化、生物多样性维持、调节、娱乐休闲、提供生境功能。计算方法参考周林飞^[15]等的研究成果。

1) 净化功能

采用恢复费用法,用污染物(主要是氨氮与COD)的污染当量数(Q_C)与污染当量征收标准(P_C)

的乘积表示,即:

$$V_C = P_C Q_C \quad (5)$$

式中污染当量数(Q_C)为各污染物的排放量与污染当量值的比值之和。

2) 生物多样性维持功能

采用中国生态系统单位面积生态服务价值表进行计算,用水生态系统维持生物多样性单位面积的价值(P_{cr})与流域水生态系统面积(S)的乘积表示,即:

$$V_{cr} = SP_{cr} \quad (6)$$

3) 调节功能

主要是水文调节功能,用水生态系统单位面积调节价值(P_{ct})与流域水生态系统面积(S)之积表示,即:

$$V_{ct} = SP_{ct} \quad (7)$$

4) 娱乐休闲功能

娱乐休闲功能的价值可以根据研究区域水资源总量占全国水资源总量的比例(γ),以及全国水资源生态系统的估计价值(P_{cu})之积计算,即:

$$V_{cu} = \gamma P_{cu} \quad (8)$$

5) 提供生境功能

各种水体与湿地是地球上最重要的野生生物的栖息地或避难所,河流也是湿地的一种,其提供生境功能的价值可用提供生境的面积即流域水生态系统面积(S)与单位面积提供价值(P_{cs})的乘积表示,即:

$$V_{cs} = SP_{cs} \quad (9)$$

将上述六项功能价值累加即可得到河流的生态功能价值。生态基流是河流生态系统价值得以体现的前提,因此它的价值在某种程度上是相当大的,但是生态基流作为河流的一部分,它对河流生态功能的贡献却是可以计算的,可以用河流的生态功能价值乘以基流量占径流量的比例来表示。

2 渭河宝鸡段河道生态基流价值的计算

渭河干流宝鸡段(林家村—常兴桥)全长 224 km,处于渭河中下游。近年来该河段生态环境脆弱,水环境不断恶化,河道流量锐减甚至断流,河道生态系统严重退化。造成这种生态问题的主要原因是人类过量开发水资源,严重挤占了河道的生态基流量,使得需要满足的最小生态基流量难以得到保障。合理估算生态基流的价值对渭河宝鸡段水资源配置以及河道生态系统恢复具有重要意义。渭河水专项研究课题组综合考虑研究现状,给出渭河林家村断面的最小生态基流推荐值为 $4 \text{ m}^3/\text{s}$,本文根据宝鸡市统计局统计数据、水利年鉴数据、《排污费征

收使用管理条例》数据以及前人研究成果等,就以上方法对渭河宝鸡段生态基流的价值进行实例计算。

2.1 机会成本法计算

1) 农业用水经济效益

应用式(1)计算。受资料限制,本文主要以宝鸡市平均农业用水经济效益近似代替渭河宝鸡段农业用水经济效益。根据 2013 年宝鸡市国民经济和社会发展统计公报,宝鸡市农业利润(P_u)为 76.31 亿元,农业用水总量(Q)为 4.93 亿 m^3 ,农业固定资产为 48.98 亿元,农业总产值 263.99 亿元;根据陕西省水利厅公布的数据,宝鸡峡渠系水利利用系数(ϵ)约为 0.65;农业水费成本(F_{u1})为水资源费(根据宝鸡市统计局统计数据,水资源费为 0.3 元/ m^3)与农业用水总量(Q)的乘积,即 $F_{u1} = 0.3 \times 4.93 = 1.48$ (亿元);农业固定资产净值(F_{u2})为农业固定资产(48.98 亿元)与累积折旧后的差值,灌排渠(河)道每年基本折旧率取 2%,农业固定资产折旧按照 15 年的使用期限处理,则农业固定资产净值 $F_{u2} = 48.98 \times (1 - 2\%)^{15} = 36.18$ (亿元),全要素农业生产成本(F_u)为农业总产值与农业利润的差值,即 $F_u = 263.99 - 76.31 = 187.68$ (亿元)。

则分摊系数 $\eta_u = (F_{u1} + F_{u2}) / F_u = 0.2$;经济效益 $W_u = P_u \eta_u / (Q\epsilon) = 4.8$ (元/ m^3);年经济效益为 $4.8 \times 4 \times 86400 \times 365 = 6.05$ 亿元。

2) 工业用水经济效益

应用式(2)计算。以宝鸡市平均工业用水经济效益近似代替渭河宝鸡段工业用水经济效益。根据宝鸡市国民经济和社会发展统计公报,宝鸡市 2013 年工业利税总额(B_i)为 153.88 亿元,工业用水总量(Q_i)为 0.89 亿 m^3 ,工业供水投资(F_{i1})为 17.38 亿元,工业生产投资(F_{i0})为 538.20 亿元。则工业用水分摊系数 $\eta_i = F_{i1} / F_{i0} = 3.23\%$,工业用水效益 $W_i = B_i \eta_i / Q_i = 5.6$ (元/ m^3),年经济效益为 $5.6 \times 4 \times 86400 \times 365 = 7.06$ 亿元。

3) 生活用水经济效益

用式(3)计算。生活用水价格取宝鸡市平均价格。根据宝鸡市物价局数据,2013 年宝鸡市生活用水价格 P_s 为 2.75 元/ m^3 ;最小生态基流量即供水量 Q_s 为 $4 \text{ m}^3/\text{s}$,则生活用水经济效益 $W_s = 2.75 \times 4 \times 86400 \times 365 = 3.46$ (亿元)。

由机会成本法定义,经济效益最大者即为河流生态基流的机会价值。工业用水效益最大,因此渭河宝鸡段生态基流的价值为 5.6 元/ m^3 ,折合为 7.06 亿元/a。

2.2 影子工程法计算

利用我国每方水库库容所需要的年投入成本作为供水的替代工程。根据《中国水利年鉴》及国家林业局颁布的《森林生态系统服务功能评估规范》(LY/T1721—2008),1993—1999年平均水库库容造价为2.17元/t,2005年价格指数为2.816。利用2005年价格指数,结合陕西省历年固定资产投资的环比价格指数,可计算得陕西省2013年的价格指数为3.751(对环比价格指数进行累积计算),则每方水库库容年投入成本为:

$$2.17 \times 3.751 = 8.14 \text{ 元/m}^3$$

生态基流的价值为:

$$8.14 \times 4 \times 86\,400 \times 365 = 10.27 \text{ 亿元/a}$$

2.3 分析综合法计算

1) 净化功能价值

应用式(5)计算。经查阅《排污费征收使用管理条例》,每一污染当量征收标准(P_c)为0.7元。氨氮的污染当量值为0.8 kg,COD的污染当量值为1 kg;宝鸡市氨氮排放量为0.511 4万吨,COD排放量为4.81万吨,则污染当量数(Q_c)= $(0.511\,4/0.8 + 4.81/1) \times 10^7 = 5.45 \times 10^7$ (kg),于是,净化功能价值 $V_c = P_c Q_c \approx 0.38$ (亿元)。

2) 生物多样性维持功能价值

应用式(6)计算。参照谢高地^[16]等人成果,我国河流生态系统年生物多样性维持功能价值(P_{cr})为1 540.41元/hm²;渭河宝鸡段流域面积(S)为1.329万km²,则生物多样性维持功能价值 $V_{cr} = SP_{cr} = 20.5$ (亿元)。

3) 调节功能价值

应用式(7)计算。同样根据谢高地^[16]等人成果,我国河流生态系统年水文调节功能价值(P_{ct})为8 429.61元/hm²;渭河宝鸡段流域面积(S)为1.329万km²;则调节功能价值 $V_{ct} = SP_{ct} = 112.03$ (亿元)。

4) 娱乐休闲功能价值

应用式(8)计算。根据渭河水专项课题三中的专题一(渭河关中段河道生态基础流量研究报告),我国水资源生态系统在娱乐休闲功能方面的估计价值量(P_{cu})为1 204亿元,渭河宝鸡段林家村站多年平均径流量为18.31亿m³;全国水资源总量为27 957.9亿m³,则宝鸡林家村站所测径流量占全国水资源总量比例 $\gamma = 18.31/27\,957.9 = 6.55 \times 10^{-4}$;则娱乐休闲功能价值 $V_{cu} = \gamma P_{cu} = 0.79$ (亿元)。

5) 提供生境功能

应用式(9)计算。根据Costanza^[9]等人的研究

成果,沼泽或泛滥平原提供栖息地或避难所这一服务功能的年生态效益(P_{cs})为439美元/hm²^[2],折合人民币2 721.8元/hm²(以1美元兑换人民币6.2元计);渭河宝鸡段流域面积(S)为1.329万km²,则 $V_{cs} = SP_{cs} = 36.17$ (亿元)。

根据分析综合法,渭河宝鸡段的生态服务功能价值为169.87亿元/a。渭河宝鸡段林家村站实测多年平均径流量为18.31亿m³,基流量占径流量的比例约为6.9%,则生态基流价值为11.72亿元/a,即9.3元/m³。

2.4 分析与讨论

本文采用机会成本法计算得结果为5.6元/m³,影子工程法为8.14元/m³,分析综合法为9.3元/m³。分别折合为7.06亿元/a、10.27亿元/a、11.72亿元/a。三种方法所得结果各不相同,但差异较小,因此结果有一定合理性。杨小刚等^[17]估算得渭河陕西段生态服务功能价值为876.83亿元(不包含供水功能价值),本文计算得渭河宝鸡段生态服务功能价值为169.87亿元,约占陕西段的1/5,而渭河宝鸡段林家村断面多年平均径流量(18.31亿m³)占渭河陕西段(潼关断面)多年平均径流量(97.11亿m³)的比例也接近1/5,因此该计算结果也具有一定的合理性;林启才^[11]计算得2010年渭河宝鸡段生态基流价值的置信区间为2~9亿元/a,本文三种方法所计算的结果比该值略大,主要是因为计算过程中选取的功能有所差异,选取的年限资料也不相同。根据“趋同论”,本文认为水资源的价值具有唯一性,尽管不同方法所得结果有所差异,但本质上是从不同角度对同一对象(河道生态基流)的价值进行量化,因此评估结果应是一致的,不同方法评估的结果也具有可比性。本文分析综合法反映的是生态基流的生态服务功能价值,机会成本法反映的是生态基流的机会价值,影子工程法反映的是生态基流得不到保障时造成的最低经济损失,对比结果表明生态基流的生态服务功能价值最大,机会价值最小,因此保障生态基流是值得的。

3 结论

针对目前人们对河道生态基流的价值认识不足,且计算方法缺少,本文借鉴资源环境经济学中相关理论方法,分别应用机会成本法、影子工程法、分析综合法对渭河宝鸡段进行了实例计算。结论如下。

1) 研究表明,机会成本法、影子工程法、分析综合法用于河道生态基流价值的定量估算是可行的。

2) 三种方法的出发点与思路有所不同,因此计算结果也存在差异,应用中可根据不同需要选取适当的计算方法。

3) 生态基流的生态功能价值显著,因此在水资源短缺时期,要权衡好生态功能与经济收益之间的关系,以防过分取水使得河道生态系统服务功能受损,造成得不偿失的后果。

生态基流等河流生态环境流量的价值定量计算问题属于前沿课题,本文的研究还是初步的,今后还需要进一步深化和完善。

参考文献:

- [1] 李家科,周君君,李怀恩,等. 考虑非点源污染影响的河流污染物总量控制研究 [J]. 西安理工大学学报, 2012,28(3):269-277.
LI Jiake, ZHOU Junjun, LI Huaian, et al. A study of total pollutant amount control of river in considering the influence of non-point source pollution [J]. Journal of Xi'an University of Technology, 2012,28(3):269-277.
- [2] HANSEN L R T, HALLAM A. National estimates of the recreational value of streamflow [J]. Water Resources Research, 1991, 27(2): 167-175.
- [3] COSTANZA R, D'ARCE R, DE GROOT R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital [J]. Nature, 1997, 387(15): 253-260.
- [4] WILSON M A, CARPENTER S R. Economic valuation of freshwater ecosystem services in the United States, 1991-1997 [J]. Ecological Applications, 1999, 9(3): 772-787.
- [5] ROGERS P, SILVA R D, BHATIA R. Water is an economic good: How to use prices to promote equity, efficiency, and sustainability [J]. Water Policy, 2002, 4(1): 1-17.
- [6] TESFAYEN A, WOLANIOS N, BROUWER R. Estimation of the economic value of the ecosystem services provided by the Blue Nile Basin in Ethiopia [J]. Ecosystem Services, 2016, 17: 268-277.
- [7] 姜文来. 水资源价值论 [M]. 北京: 科学出版社, 1998.
- [8] 雷毅. 河流的价值与伦理 [M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2007.
- [9] 陈阳, 张建军, 杜国明, 等. 三江平原北部生态系统服务价值的时空演变研究 [J]. 生态学报, 2015, 35(18): 1-12.
CHEN Yang, ZHANG Jianjun, DU Guoming, et al. Ecosystem service value of time and space evolution research in north Sanjiang Plain [J]. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(18): 1-12.
- [10] 李怀恩, 岳思羽, 赵宇. 河道生态基流价值研究进展 [J]. 水利经济, 2015, 33(4): 6-9.
LI Huaian, YUE Siyu, ZHAO Yu. Research progress on river ecological base flow value [J]. Water Conservancy Economy, 2015, 33(4): 6-9.
- [11] 林启才. 渭河宝鸡段生态基流价值估算研究 [J]. 陕西水利, 2016,(1): 124-126.
LIN Qicai. The research to estimate the ecological base flow value of Baoji Weihe River section [J]. Shaanxi Water Resources, 2016,(1): 124-126.
- [12] 黄文菁. 渭河关中段生态基流价值与补偿研究 [D]. 西安: 西安理工大学, 2013.
HUANG Wenjing. Ecological base flow value and its compensation research of Guanzhong Weihe River section [D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2013.
- [13] 关全力, 朱美玲, 唐数红, 等. 新疆哈密市工农业用水经济效益估算分析 [J]. 人民长江, 2010, 41(增刊1): 126-129.
GUAN Quanli, ZHU Meiling, TANG Shuhong, et al. The estimation analysis of industrial and agricultural water economic benefits in Xinjiang Hami City [J]. People Yangtze, 2010, 41(S1): 126-129.
- [14] 武博庆. 分摊系数法计算工业供水效益研究 [J]. 海河水利, 1992,(3): 49-52.
WU Boqing. The study about industrial water supply benefits by using sharing coefficient method [J]. Journal of Haihe River Water Conservancy, 1992,(3): 49-52.
- [15] 周林飞, 康萍萍, 张玉龙, 等. 基于生态需水的辽河干流生态系统功能价值计算 [J]. 水力发电学报, 2013, 32(2): 114-118.
ZHOU Linfei, KANG Pingping, ZHANG Yulong, et al. Based on the ecological water requirement of Liaohe River ecosystem function value [J]. Journal of Hydroelectric Power, 2013, 32(2): 114-118.
- [16] 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.
XIE Gaodi, ZHEN Lin, LU Chunxia, et al. A method of ecosystem services which based on expert knowledge [J]. Journal of Natural Resources, 2008, 23(5): 911-919.
- [17] 杨小刚, 宋进喜, 程丹东, 等. 渭河陕西段河道生态服务价值评估 [J]. 干旱区地理, 2014, 37(5): 958-965.
YANG Xiaogang, SONG Jinxi, CHENG Dandong, et al. Estimation of instream's ecosystem service value for the Weihe River in Shaanxi Province [J]. Arid Land Geography, 2014, 37(5): 958-965.