

# 流域水资源财富损失分析计算

王西琴, 周孝德

(西安理工大学 水利水电学院, 陕西 西安 710048)

**摘要:** 简要地分析了水污染损失研究的历史过程及其研究意义, 以渭河流域为例, 在分析渭河流域水污染现状的基础上, 运用由模糊数学方法建立的污染导致水资源财富损失估算模型, 对渭河水资源财富损失进行了分析和计算。结果表明, 污染造成水资源财富的损失是巨大的。

**关键词:** 水资源财富 水污染 价值 渭河流域

文献标识码: A 文章编号: 1000-288X(2000)01-0032-04 中图分类号: TV213, F323.213

## Analysis and Calculation of Water Resource Wealth Loss of Water Basin

WANG Xi-qin, ZHOU Xiao-de

(Institution of Water Resource and Hydropower, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, PRC)

**Abstract** The historical process and significance of the study on water pollution's loss are analyzed briefly. Based upon the present situation analyses of the Weihe river water pollution, the water resource wealth loss of Weihe river basin is calculated and discussed by using the model of water resources wealth loss caused by water pollution, which is set up by means of Fuzzy-Grey method. The conclusion shows that the Water resource Wealth loss of water basin caused by pollution is serious.

**Keywords** water resources wealth; water pollution; value; Weihe river basin

自然资源是自然再生产和社会再生产的物质基础, 是人类的财富之源, 是有价值的。它对于人类社会或整个自然界来说, 具有多种多样的、不可替代的价值和作用。水是一种特殊的物质和资源, 它是人类生存的基本条件和生产活动中最重要的物质基础, 是不可代替的资源。随着社会经济的不断发展, 人们对水量的需求日益增加, 水环境污染问题日益严重, 水资源的供需矛盾越来越大, 而且在许多地区水资源短缺已成为制约社会经济发展的“瓶颈”。人们对水资源的认识逐步提高, 认识到水资源不再是“取之不尽, 用之不竭”的自然资源, 它已成为一种难以替代的使用价值极高的自然资源, 并开始对水资源的价值进行研究。研究的目的是为了强化水资源的市场价格观, 增强水资源的忧患意识, 以促进水资源的科学保护和合理开发, 为政府决策部门提供决策依据。

20 世纪 20 年代水危机出现以来, 水资源价值的研究日趋活跃, 特别是随着自然资源核算及其纳入国民经济核算体系理论研究的深入, 极大地推动了水资源价值的研究<sup>[1,2]</sup>。纵观水资源价值研究全局, 主要集中在 2 个方面: (1) 水资源本身所固有的价值; (2) 水

资源污染所造成的损失。污染的经济损失是水作为资源所具有的价值由于被污染而降低或丧失造成的。

污染损失包含 2 个方面: (1) 水资源本身损失, 即由于水资源受到污染, 水体功能下降所引起的水资源财富自身损失; (2) 水资源污染所引发的直接或间接损失, 即由于使用被污染的水资源所造成的各种损失, 它又可分为两个方面, 一方面是直接影响生产发展和间接降低了人民生活质量, 另一方面是直接影响了人民生活质量, 间接影响了发展生产<sup>[3]</sup>。

到目前为止, 对于水资源本身所固有的价值研究较少, 研究较多的是水资源污染所造成的损失, 水资源污染损失的研究又大多是针对水资源污染所引发的直接或间接损失的情况, 其总的思路概括起来就是用户所受到的一定水质降低的损失, 将所有用户的损失加起来, 即为总损失量。理论依据是由某种污染物引起水质浓度变化时的经济损失量。具体计算时按水体功能将其分为饮用水源、工业用水、渔业、养殖、农业灌溉等几类, 按单项分别计算水污染造成的损失, 总损失是单项损失之和。单项经济损失的计算方法有多种, 如市场价格法、机会成本法、影子工程法、恢复

费用法、人力资源法、赔偿费用法等。上述计算模式存在 3 方面的不足: (1) 水质浓度经济损失计算法是根据单一污染物浓度进行计算的, 很难建立全部污染浓度损失曲线。实际上, 水质浓度是由多种污染物共同造成的; (2) 由于考虑的只是单项水体功能遭到破坏的情况, 因此, 在总损失计算中必然导致重复计算的问题; (3) 没有真正反映水资源价值的降低。

目前, 对于污染所造成的水资源本身损失的情况研究较少。北京师范大学环境科学研究所用模糊数学的方法建立了污染导致水资源财富损失估算模型, 并以北京市为例进行了具体计算。本文拟采用上述模型, 对渭河水资源财富损失进行分析和计算, 以期在这方面做一些探讨性工作。

## 1 渭河流域水污染现状

陕西境内渭河流域面积  $3.38 \times 10^4 \text{ km}^2$ , 1995 年人口  $2.047 \times 10^7$  人。该区域位于陕西省中部, 是其重要的工业基地和主要的粮棉产区。西安、宝鸡、咸阳、渭南等城市群是流域主体, 对陕西乃至全国的经济发展起着举足轻重的作用。但由于城镇连片, 工业集中, 人口稠密, 给环境带来巨大冲击与沉重压力。同时, 造成渭河水体的严重污染。

### 1.1 废水及其污染物排放

1995 年, 渭河流域的废污水产生总量为  $5.85 \times 10^8 \text{ t}$ , 其中工业废水  $3.2 \times 10^8 \text{ t}$ , 与 1986 年相比, 年排放量增加  $7.585 \times 10^7 \text{ t}$ , 年均递增率为 1.5%。重点源工业废水排放为  $1.23 \times 10^8 \text{ t}$ , 占工业废水排放量的 38.9%。在陕西省 5 大水系中, 渭河纳污量最大, 仅重点源有 71 家企业废水排入渭河水系, 占全省重点源排量的 66%。1995 年, 西安市区每天都有  $7.0 \times 10^5 \text{ t}$  废污水直接排入渭河及其支流。工业废水中主要污染物为 COD、石油类、硫化物、ROH、 $\text{CN}^-$  等。

从区域废水排放情况看, 工业废水排放量最大的区域是西安市, 为  $1.24 \times 10^8 \text{ t}$ , 占 39%, 其次是宝鸡市, 占 25%; 重点源废水排放量最大的市是渭南市, 占 31.4%, 其次是咸阳市, 占 28%。工业废水等标污染负荷比的排列顺序依次为西安 32.6%, 咸阳 30.6%, 渭南 5.32%, 宝鸡 11.3%。

### 1.2 水环境质量现状

据 1995 年渭河水质监测数据评价(按年均值), 渭河 13 个断面除林家村断面为 IV 级水外, 其余 12 个断面水质综合类别都在 V 类以上, 即河长 502 km 的渭河均超过国家 GB3838-88《地面水环境质量标准》的 III 类标准, 22% 的河段为 IV 类水, 78% 的河段劣于

V 类水。渭河属有机型污染。主要污染物为  $\text{COD}_{\text{Mn}}$ ,  $\text{BOD}_5$ ,  $\text{NH}_3\text{-N}$ , 石油类, ROH 等。这说明渭河为重污染水体。大部分河段水体不符合饮用水、渔业用水标准, 长期使用会对人体和生物产生严重危害, 而且作为农业灌溉用水亦受到严重威胁。

诚然, 1995 年气候严重干旱, 河流水量大减, 使水体自净能力和降解功能下降, 是造成水体严重污染的原因之一。但通过对近 5 a 的监测值评价, 可得出类似的评价结果。由此可见, 渭河水污染形势非常严峻。

## 2 水污染导致水资源财富损失估算

### 2.1 水资源财富损失

对于人类来说, 水资源是具有很高价值的。其主要原因是: 从宏观上来看, 水资源已由“供过于求”渐变为“供不应求”, 即出现前所未有的短缺。从社会发展情况来看, 水资源等自然资源已由普通的资源向资产过渡。水资源资产化是水资源获取价格的基础, 而水资源价格是用经济杠杆管理水资源、调节水资源供需矛盾的关键。水资源资产的价格表现在: 水资源本身不仅具有价值, 而且它参与生产、生活创造价值, 具有使用价值。

水资源资产同一般资产既有区别又有联系, 其中最重要的区别在于污染对水资源财富影响十分巨大。因为水资源是水量与水质的高度协调统一, 特别是水质对水资源财富的影响具有决定性作用。水质与水资源功能是紧密联系在一起的, 不同功能用水, 如生活用水、工业用水、水产养殖、农业灌溉、航运、景观用水等所体现的价值是有很区别的, 它们对国民经济的贡献程度存在着差异。所以, 决定水资源功能的主要参数之一就是水质。除此, 水资源价值计量的原则应取决于水资源的供需关系、稀缺程度和开发利用条件等。不同用途、不同时段, 在不同情况下, 水资源价值计量的尺度应该是不同的。

### 2.2 水资源损失估算模型

2.2.1 计算模式简介 选用王华东教授提出的水资源财富损失模型, 用下述函数关系描述水资源财富的价值

$$v = f(x_1, x_2) \quad (1)$$

式中:  $v$ ——水资源财富价值;  $x_1$ ——除  $x_2$  以外影响水资源价值的因素, 为一复合函数;  $x_2$ ——水质。

$$dv = \frac{\partial f(x_1, x_2)}{\partial x_1} dx_1 + \frac{\partial f(x_1, x_2)}{\partial x_2} dx_2 \quad (2)$$

假设  $x_1$  不变, 只考虑  $x_2$  对 (2) 式的影响, 则

$$dv = \frac{\partial f(x_1, x_2)}{\partial x_2} dx_2 \quad (3)$$

$$\Delta v = \int_{x_0}^{x_1} \frac{\partial f(x_1, x_2)}{\partial x_2} dx_2 = v_1 - v_2 \quad (4)$$

式中:  $\Delta v$ ——水资源价值变化量;  $x_0, x_1$ ——污染前后水质;  $v_1, v_2$ ——相应的污染前后水资源价值

则污染对水资源财富的影响为:  $w = \Delta v \times Q$ , 式中:  $Q$ ——水资源量

2.2.2 水资源价值的确定 由于水资源系统是一个自然、经济、社会相互影响、相互作用、相互耦合的系统,同时,水资源价值系统又是模糊系统,如水资源价值的高或低就有模糊性。所以,首先采用模糊综合评判方法对水资源价值进行综合评价,然后,将所得结果通过水资源价格向量转化为水资源价值

2.2.3 具体计算步骤 (1) 确定水资源价值要素,即评价指标 本文选用的参数有:  $U = \{水质, 水资源量, 人口密度, 人均国民收入\}$  关于各种因素对水资源价值影响过程的详细论述见文献<sup>[1,2]</sup> (2) 确定评价标准 本文采用的标准为:  $C = \{高, 偏高, 一般, 偏低, 低\}$  5级标准

表 1 1995年渭河水系地面水监测结果

mg/L

河 段	pH	COD	BOD <sub>5</sub>	NH <sub>3</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	DO	ROH	CN <sup>-</sup>	Cr <sup>6+</sup>	Hg	石油类
渭 河	8.05	28.7	33.8	6.55	0.291	5.01	0.008	0.007	0.036	0.00003	2.44
沔 河	7.85	54.5	17.3	2.38	0.031	2.2	0.011	0.003	0.051	0.0002	3.24
霸 河	7.96	6.6	8.2	0.18	0.016	7.6	0.015	0.001	0.032	0.0002	1.86
金陵河	7.98	9.6	11.2	5.62	0.196	7.6	0.001	0.001	0.02	0	0.04
尤 河	7.91	59.2	47.2	12.5	0.015	1.5	0.11	0.002	0.003	0	10.44

函数。在此实例中,除 DO采用升半梯形隶属函数外,其余参数均采用降半梯形隶属函数。渭河各因子各级隶属度所组成的矩阵为 (pH除外):

$$R_1 = \begin{pmatrix} 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 1.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 1.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.86 & 0.14 \\ 0.00 & 0.00 & 0.83 & 0.17 & 0.00 \\ 0.00 & 0.01 & 0.99 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.40 & 0.60 & 0.00 \\ 0.96 & 0.04 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.96 & 0.00 & 0.00 \\ 1.00 & 0.04 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 1.00 \end{pmatrix}$$

将水质各因子权重与  $R_1$  复合,并进行归一化处理,可得水质  $R_1$  的单要素模糊评价关系  $R_1$  权重值

$w_i = \frac{C_i}{C_{oi}}$ ,  $C_{oi} = \frac{1}{5}(I_{i+} + II_{i+} + III_{i+} + IV_{i+} + V_{i+})$  归一化为权重向量  $\vec{w}, \vec{w} = \frac{C_i}{C_{oi}} \sum \frac{C_i}{C_{oi}}$  将渭河水质监测值 ( $C_i$ )和水质标准 ( $C_{oi}$ )代入上述公式,最后计算结果为:  $\vec{w} = (0.166, 0.226, 0.152, 0.0219, 0.033,$

(3) 确定单要素评价权重  $A$  本文通过专家咨询及参考有关文献<sup>[3]</sup>确定综合评价权重  $A = (0.3, 0.4, 0.15, 0.15)$

(4) 计算评价矩阵  $R$  与  $A$  的合成,并归一化

(5) 确定水资源价格向量  $S$  本文采用社会承受能力的方法,根据文献<sup>[1]</sup>将  $S$  定为  $S = (1.404, 1.053, 0.702, 0.351, 0)$

(6) 计算水资源价值  $v$

$$v = W \times S$$

式中:  $S$ ——水资源价值模糊综合评价值。

### 3 渭河流域水资源财富损失估算

以水质为例建立评价矩阵  $R_1$  渭河水系 1995年水质监测结果见表 1 因各级支流水质与渭河类似,计算时仅采用渭河水质监测值

根据表 1 及 GB3838-88《地面水环境质量标准》,分别建立每种评价因子相应于不同级别的隶属

0.0115, 0.0018, 0.0313, 0.0016, 0.35)

$$\vec{w}_{ORI} = (0.0018, 0.033, 0.033, 0.152, 0.35)$$

归一化后得

$$R_1 = R_{水质} = (0.003, 0.057, 0.057, 0.267, 0.614)$$

同理可以求出  $R_2, R_3, R_4$ ,由此得  $R$ ,评价参数标准见表 2

$$R = \begin{pmatrix} R_1 \\ R_2 \\ R_3 \\ R_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.003 & 0.057 & 0.057 & 0.267 & 0.614 \\ 0 & 0.22 & 0 & 0 & 0 \\ 0.24 & 0.76 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.74 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

表 2 评价参数及标准

指 标	实际值	评价标准				
水质 / (mg·L <sup>-1</sup> ) <sup>①</sup>	表 1	I	II	III	IV	V
水资源量 / 10 <sup>8</sup> m <sup>②</sup>	75.69	95	85	73	60	50
人口密度 / (人·km <sup>-2</sup> ) <sup>③</sup>	460	650	400	350	260	200
人均国民收入 / (元/a <sup>④</sup> ·人)	2 897	4 000	3 000	2 600	2 000	1000

注:① 国家地面水环境质量标准; ② 世界资源研究所和国际环境与发展研究所有关专家拟定的标准; ③ 文献 [3]; ④ 文献 [3]

将  $A$  与  $R$  复合运算, 并归一化得

$W = (0.113, 0.166, 0.301, 0.193, 0.226)$

水资源价值为

$$v = (0.113, 0.166, 0.301, 0.193, 0.226) \times (1.404, 1.053, 0.702, 0.351, 0) = 0.605 \text{元} / \text{m}^3$$

用同样方法, 假设渭河水质符合国家地面水 I, II, III 级标准, 可计算出相应的水资源价值为

$$v_{\text{I}} = 1.004, \quad v_{\text{II}} = 0.942, \quad v_{\text{III}} = 0.934$$

从而可求出  $\Delta v_{\text{I}-5} = 0.399, \Delta v_{\text{II}-5} = 0.337,$

$\Delta v_{\text{III}-5} = 0.329$  据此可估算污染对渭河流域水资源财富造成的损失 (表 3)

表 3 渭河水资源财富损失表  $10^8$  元

保证率 %	平均	20	50	75	95
水资源数量 / $10^8 \text{m}^3$	26	33.8	24.4	18.5	12.2
I 级标准时损失值	10.37	13.48	9.73	7.38	4.86
II 级标准时损失值	8.76	11.39	8.22	6.23	4.11
III 级标准时损失值	8.55	11.12	8.02	6.08	4.01

从上述分析可以看出, 在不同标准和保证率下, 污染对水资源财富的损失是不同的。在水量相同的情况下, 污染越严重, 损失越大, 在相同水质标准下, 水量越大, 污染所造成的水资源损失越大。当水质以 III 级水为标准时, 在 95% 频率下, 渭河流域因水污染而造成的水资源本身损失至少为  $4.0 \times 10^8$  元, 占当年国民收入的 0.75%。所以, 水资源财富损失是不可忽视的。当然, 上述分析只是动态序列中的一个断面, 随着

人口密度的增加, 国民收入的提高和水资源污染程度的变化, 水资源财富损失值也会发生相应的变化。

上述研究及结论具有非常重要的理论和现实意义。它不仅有助于改变人们传统的“水资源无价”的观点, 提高节水意识, 减少水资源污染, 而且能够较全面估价水资源污染所造成的水资源财富损失, 同时为排污收费, 为水资源核算及其纳入国民经济核算体系, 消除水资源财富消耗而造成的国民经济虚假增长成分提供理论依据。

本文以渭河流域为例, 对其水污染所造成的水资源财富损失进行了分析和估算, 目的是为了提供一个较为准确的损失数据, 以引起政府有关部门的重视, 以期通过政府的干预, 以及经济的、法律的手段, 避免某些盲目性和短期行为对水资源造成的破坏, 避免以牺牲水资源为代价而盲目地发展经济, 从而加强水资源保护、管理的力度, 提高水资源的永续利用。

#### 参 考 文 献

- [1] Jiang Wenlai et al. A study on Control Industrial Sewage by Means of Price [M]. Research on Regional Environment and Development. Beijing: China Environment Science Press, 1994. 63-69.
- [2] 姜文来, 王华东, 王淑华. 水资源耦合价值研究 [J]. 自然资源学报, 1995(2): 17-23.
- [3] 胡涛, 王华东. 中国的环境经济学 [M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1996. 16-21.
- [4] 钱伟长. 变分法及有限元 (上册) [M]. 北京: 科学出版社, 1980.
- [5] 金德生. 关于流水动力地貌及实验模拟问题 [J]. 地理学报, 1990(2).
- [6] 吴持恭. 水力学 (下册) [M]. 北京: 高等教育出版社, 1995.
- [7] 金德生. 河流地貌系统的过程响应模型实验 [J]. 地理研究, 1990(2).

(上接第 16 页)

#### 参 考 文 献

- [1] Pijush. J. Mehta (India). Transient Bed Profiles in Aggrading Stream s. 第三次国际河流泥沙学术讨论会论文集 [C]. 北京: 水电出版社, 1983.
- [2] 钱宁, 等. 河床演变学 [M]. 北京: 科学出版社, 1987.
- [3] 沈小峰, 等. 耗散结构论 [M]. 上海: 上海人民出版社, 1987.

## 《水土保持通报》简介

《水土保持通报》是由中国科学院主管, 中国科学院水利部水土保持研究所主办的学术性期刊, 为中国自然科学核心期刊和中国科学院科学出版基金资助期刊, 由科学出版社出版。属被引频次和影响因子最高的中国科技期刊 500 名之一。1999 年经国务院新闻办、国家新闻出版署审核备案, 《水土保持通报》由《中国期刊网》、《中国学术期刊 (光盘版)》全文收录; 作为《中国学术期刊综合评价数据库》来源期刊全文收录; 被认定为《中国科学引文数据库》来源期刊。为《中国地理文摘》、《中国农业文摘》、《中国国土资源文摘》、《中国水利水电文摘》、《中国林业文摘》、《环境科学文摘》以及《中国科学引文索引数据库》、《中文科技期刊数据库》、《Chin Info 数据库》、日本《科学技术文献速报》数据库等收录。并通过各种渠道交流至世界许多国家, 具有相当广泛的国内和国际影响。曾多次荣获中国科学院和陕西省优秀期刊奖, 1999 年再度被评为陕西省优秀期刊一等奖。

《水土保持通报》编辑部