

松花江哈尔滨段水环境容量价值研究

孟宪林, 李佳琪, 姜曼曼

(哈尔滨工业大学 市政环境工程学院, 城市水资源与水环境国家重点实验室, 150090 哈尔滨)

摘要: 水环境容量是宝贵的资源,具有对接纳污染物的自然缓冲、同化和净化能力,水环境容量具有环境价值,环境容量价值受自然、社会等因素的影响.以松花江哈尔滨段为研究对象,COD为评价因子,采用经济效用模型,并运用层次分析法进行权重赋值,研究该水体的水环境容量价值.结果表明:该水体水环境容量价值主要表现在因利用环境容量而节省的污水处理费用以及产生的经济效益上,总环境容量的价值为94.84亿元/a,其中,节省的污水处理费用为0.67亿元/a,产生的经济效益为94.17亿元/a;松花江哈尔滨段Ⅱ类、Ⅲ类与Ⅳ类水体水环境容量带来的经济效益分别为34.83、48.02、11.32亿元,Ⅲ类水体带来的环境容量价值最大,约占总经济价值的51%.

关键词: 环境容量;环境容量价值;经济效用模型;COD;污水处理费用

中图分类号: TH133

文献标志码: A

文章编号: 0367-6234(2012)10-0056-05

Value of water environmental capacity in Harbin section of Songhua River

MENG Xian-lin, LI Jia-qi, JIANG Man-man

(State Key Laboratory of Urban Water Resource and Environment, School of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, 150090 Harbin, China)

Abstract: Taking the section of Songhua River in Harbin for example in this paper, taking COD as evaluation factors, and using the economic utility model and AHP, the water environmental capacity value has been studied. The results show that, due to water capacity, the saved cost of wastewater treatment is 0.067 billion yuan/year, and the economic benefits is 9.417 billion yuan/year. The total value of the environmental capacity is 9.484 billion yuan/year. The economic benefits of the class II, III and IV are 3.483, 4.802 and 11.32 billion yuan respectively. The maximum value of the environmental capacity belongs to the Class III water body, and is about 51% of the total economic value.

Key words: water environment capacity; water capacity value; economic utility model; COD; cost of treating sewage

环境系统具有自净能力,对进入环境的污染物可以通过物理作用、化学作用、生物作用逐渐净化,使环境恢复到原有的状态,这种作用效果来自于环境容量,因而,环境容量具有了环境价值.水环境容量是宝贵的资源,本身具有在调控限度内能够接纳污染物、净化污染物的功能,因此,水环境容量同样具有环境价值.有的学者认为水环境容量价值包括水环境容量的天然价值、附加的人

工价值和稀缺价值^[1],也有学者认为水环境容量价值包括产权价值、附加劳动价值和稀缺价值^[2].本文以松花江哈尔滨部分江段为研究对象,采用效益评价模型,结合水环境容量的研究成果^[3-4],进行水环境容量价值的研究,结果可为科学利用水环境容量资源提供依据.

1 水环境容量价值研究方法简述

1.1 影响水环境容量价值大小的主要因素

水资源的利用与开发很大程度上取决于水体功能,而水体功能以及水体功能当前的状况决定了水环境容量的大小,即影响水环境容量的因素

收稿日期: 2011-07-02.

作者简介: 孟宪林(1961—),男,博士,副教授.

通信作者: 孟宪林, mengxlll@sina.com.

主要有自然因素和社会因素. 而水环境容量资源总量越大, 其环境价值也越大.

1. 1. 1 自然因素对水环境容量的影响

自然因素对水环境容量的影响主要来自于水域特征和时间、空间等因素.

污染物的稀释、扩散以及自净能力在一定程度上取决于水域特性, 因此, 水域特性是确定水环境容量的基础, 对水环境容量的大小往往起着决定性的作用^[5]. 水资源量的大小对水环境容量价值影响最大. 水资源量的大小随时间变化的特点决定了水量的变化对水环境容量的大小能够产生很大影响, 即水资源量影响着水环境容量的价值.

1. 1. 2 社会因素对水环境容量的影响

社会因素对水环境容量价值的影响主要表现在水体水质功能目标、科学技术先进性和经济发展水平几方面.

水环境容量价值体现在水体能否满足用户的某种需求, 如果能够满足, 则表明其具有了环境价值; 否则, 则不具备环境价值. 而用途和功能与环境规划中设定的水质目标有关, 根据设定的水质目标以及水体中污染物的现有质量浓度, 便可确定出允许向水体排放的污染物质, 允许排放污染物质的差异决定了水环境容量价值的不同.

科学技术的发展水平体现于人工应对水环境污染的处理能力. 进入水体中污染物去除效果与科学技术水准或者说与废(污)水治理技术发展水平的成熟程度密切相关. 污水处理技术越高, 处理能力越大, 效果越好, 则污水的处理成本就越低. 这种情况下, 污水处理对水环境容量资源的需求量就会越少, 其结果就是水环境容量资源价值不明显.

环境治理需要资金的投入, 这种资金投入往往受经济发展水平的影响. 环境容量价值的评估也会受到经济发展快慢的影响, 不同地区对环境改善效益的评估值不同, 相应的水环境容量价值也就存在差异.

综上所述可以得出, 水环境容量价值与自然因素、科技先进性、经济发展水平等诸多变量存在如下的函数关系

$$V_{\text{WEC}} = f(X_n, X_s, X_e, X_t, t).$$

式中: V_{WEC} 为水环境容量的价值; X_n 、 X_s 、 X_e 、 X_t 分别为自然、社会、经济、科技因素变量; t 为时间变量.

1. 2 水环境容量价值研究对象与方法

1. 2. 1 评估模型的选择与分析

以哈尔滨松花江段的水环境容量价值为研究

对象, 全长 432 km.

有研究表明, 在确定环境容量价值中采用影子价格模型、线性规划对偶理论法存在着一定缺陷^[6], 为此, 采用效益评价模型法进行松花江哈尔滨段水环境容量价值的研究.

在一个有限的时间范围内, 对于一个区域或流域的环境容量, 如果经济状况、环境特征以及科学技术水平变化不明显, 可以将水环境容量价值公式化简为

$$V = f(q, s, x). \tag{1}$$

式中: V 为水环境容量价值; q 为河流(水库)的流量; s 为水质目标; x 为除 q, s 以外的其他因素. 此时, 水环境容量价值与时间无关.

对式(1)进行全微分得

$$dV = \frac{\partial f(q, s, x)}{\partial q} dq + \frac{\partial f(q, s, x)}{\partial s} ds + \frac{\partial f(q, s, x)}{\partial x} dx.$$

其他因素 x 可视为常量, 故

$$\frac{\partial f(q, s, x)}{\partial x} = 0.$$

假设流量 q 不变, 则式(1)可进一步简化为

$$dV = \frac{\partial f(q, s, x)}{\partial s} ds. \tag{2}$$

对式(2)进行积分可得

$$V = \int_{\Delta s} \frac{\partial f(q, s, x)}{\partial s} ds. \tag{3}$$

式(3)表示环境容量价值随水质目标 s 变化的函数关系式. 因此, 当因素 q 不发生变化, 而只有水质目标(s)发生改变时, $V = f(q, s, x)$ 表示为 $V = f(s)$.

而当水质目标 s 不变时, 可得到水环境容量价值随流量 q 变化的函数关系式

$$dV = \frac{\partial f(q, s, x)}{\partial q} dq, \\ V = \int_{\Delta q} \frac{\partial f(q, s, x)}{\partial q} dq.$$

1. 2. 2 效益评价模型的应用

效益评价模型进行水环境容量价值的分析与估算的方法主要是在模型中将水环境容量具有的各种效能所体现的社会劳动量的减少作为效益计量值, 并以货币当量的形式进行估算. 在估算中忽视了在保护水环境过程中投入的人力和物力的费用. 该模型按照污水处理费用、水环境自净作用带来的经济效益以及环境改善所带来的生态效益 3 部分进行水环境容量价值的估算^[4], 然后将 3 部分加和作为总的环境容量价值, 即

$$V = V_1 + V_2 + V_3.$$

式中: V_1 为污水处理费用,是由于利用了水环境容量的纳污能力而使水质达到一定水体目标标准节省的污水人工处理费用; V_2 为水环境由于物理、化学与生物等自净作用带来的经济效益,即由于水环境容量的净化作用使水质改善而增加的对人类及自然环境的效益^[7-8]; V_3 为环境改善所带来的生态效益,是水环境依靠自身特性而满足一定水质生态功能所带来的效益.

由于生态价值往往巨大,无法纳入经济体系中,因此,本文水环境容量价值的研究范围确定在污水处理替代价值和环境容量带来的经济效益两方面.

1) 水环境容量价值替代污水处理的费用分析. 水环境容量替代污水处理厂而表现出的环境容量价值采用等标负荷量法确定. COD 是污水处理厂主要考量的指标之一,目前,对于地表水体环境容量研究也主要体现在 COD 环境容量的指标上,因此,本文环境容量的研究主要是 COD 的环境容量价值,故水环境容量替代污水处理厂建设与运行的价值以 COD 为主要污染物进行分析. 根据有机废水处理所需费用与污水量的函数关系式^[2]可计算出替代污水处理的环境容量价值.

$$C = k_1 \times Q^{k_2} \times S^{k_3}.$$
 (4)

式中: C 为污水处理达到排放标准所需费用,万元; Q 为污水处理厂建设规模,kt/d; S 为处理过程削减的各种污染物负荷量, $10^7 \text{ m}^3/\text{a}$ 或 $10^6 \text{ m}^3/\text{a}$; k_1, k_2, k_3 为常数, k_1 的单位为万元/(kt $\times 10^7 \text{ m}^3$) 或万元/(kt $\times 10^6 \text{ m}^3$), k_2, k_3 为无量纲因子,均为常数.

式(4)中的 S 可由下式计算

$$S = \sum_{i=1}^n S_i (10^7 \text{ m}^3),$$

$$S = \frac{q_i}{\rho_{oi}} \times 10^6 = \frac{0.1 q_i}{\rho_{oi}} \times 10^7.$$

式中: S_i 为削减第 i 种污染物的等标负荷量, m^3 ; n 为处理污染物的种类数; q_i 为第 i 种污染物削减的折纯量,t; ρ_{oi} 为第 i 种污染物排放标准,mg/L.

等标负荷量是以各种污染物排放标准的等效性为基础的污染物“量”大小的一种计算,等标负荷量的单位是“ m^3 水”或“t 水”^[9].

对于含有机污染物为特征的废水通常采用生化处理,生化处理工艺不同,COD 的去除率有很大不同,范围为 33.0% ~ 90.5%. 费用函数中各系数的取值如下:

$$k_1 = 108.17, k_2 = 0.4217, k_3 = 0.7153.$$

生化法处理有机废水的基建费用函数表达式为

$$C = 108.17 Q^{0.4217} S^{0.7153}.$$

等标负荷量法计算的结果是污水处理厂的基建费用,与运行费用(运行费用通常为基建费用的 10% ~ 30%)之和便可得到总的污水处理费用.

2) 环境容量资源带来的经济效益分析. 哈尔滨市区的经济效益主要来自于水资源、管理、原材料、土地、资本、人力这 6 个方面,为确定每个资源带来经济效益的差异,采用九标度的层次分析法进行权重的计算,层次分析法 (Analytic Hierarchy Process, AHP) 因能处理许多用传统技术无法解决的实际问题而得到广泛应用^[10].

按照层次分析法,首先构建判断矩阵(见表 1).

表 1 两两比较判断矩阵的构成^[4]

要素	土地资源	资本资源	原材料资源	水资源	管理资源	人力资源
土地资源	1	2	2	3	4	4
资本资源	0.5	1	1	1.5	2	2
原材料资源	0.5	1	1	0.5	2	2
水资源	0.33	0.67	0.67	1	1.33	1.33
管理资源	0.25	0.5	0.5	0.75	1	1
人力资源	0.25	0.5	0.5	0.75	1	1

对判断矩阵计算出各要素的权重值,过程如下:

对各行元素进行几何平均值计算,可得各要素的权重,即

$$b_i = \left(\prod_{j=1}^m a_{ij} \right)^{1/m}, i = 1, 2, \dots, m. \quad (13)$$

对各元素的权重进行归一化,求得各要素的权重系数,即

$$w_j = b_j / \sum_{k=1}^m b_k, j = 1, 2, \dots, m. \quad (14)$$

各要素几何平均值及权重值计算结果见图 1、2.

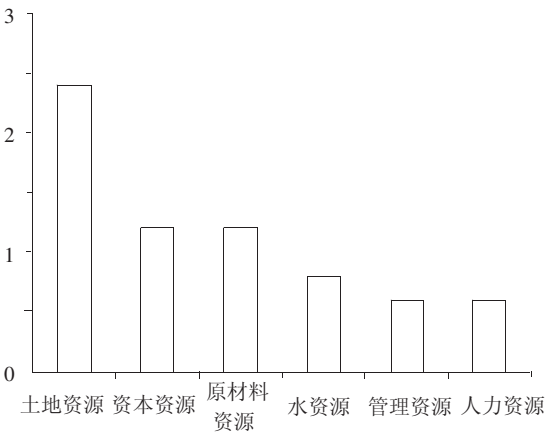


图 1 各要素几何平均值

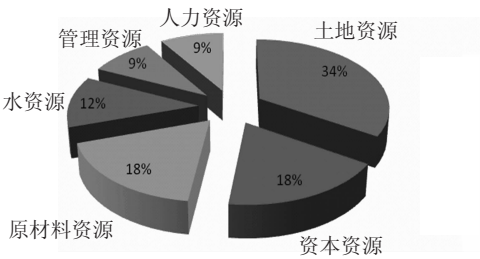


图 2 各要素的权重值

一致性检验结果表明:该判断矩阵的 $\lambda_{\max} = 6.152$, $CI = 0.0304$, 小于 0.10, 可见所选取的判断矩阵是合理的, 即权重系数的取值是合理的。

表 2 污水处理替代价值 V_1 计算结果

计算单元	控制单元 水体功能	COD 质量标准 值/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	COD 削减的 折纯量/t	等标负荷量/ ($10^7 \text{m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$)	处理规模/ ($10^4 \text{t} \cdot \text{d}^{-1}$)	处理费用/ 万元
朱顺屯—东江桥	Ⅲ	20	6 338	31.7	10	3 385
东江桥—一大顶子山	Ⅳ	30	47 409	158.3	90	27 008

朱顺屯—东江桥江段污水处理费用为 3 385 万元, 折现后每年基建的投资费用为 411 万元. 运行管理费用为基建费用的 10% ~ 30%^[11], 按照 10% 进行估算的管理费用为 339 万元, 则这一江段环境容量所能节省的污水处理厂的费用为 750 万元/a. 同样可以得到, 东江桥—一大顶子山江段水环境容量所节省的污水处理厂的费用为 5 979 万元/a.

东江桥—一大顶子山江段水环境容量为 47 409 t/a, 大于朱顺屯—东江桥江段的水环境容量, 因此, 前者接纳、同化、净化 COD 的能力大于后者, 可替代需要建设污水处理厂的规模也大于后者. 两者水环境容量的比值为 7.48, 替代污水处理厂的环境价值之比为 7.9. 表明水环境容量资源总量越大, 其价值也越大.

2.2 环境容量资源带来的经济效益价值结果与分析

目前哈尔滨市用水总计 48.05 亿 m^3 , 供水来

2 结果与讨论

2.1 替代污水处理厂的价值 (V_1) 结果与讨论

松花江(朱顺屯—东江桥江段)目前 COD 水环境容量为 6 338 t/a^[4], 折算为 17 t/d. 假设污水处理厂受纳入水的 COD 质量浓度为 250 mg/L, 污水处理厂出水质量浓度要求为 60 mg/L, COD 削减质量浓度为 190 mg/L. 采用污水处理厂方式进行治理, 则需要建造的污水处理厂规模为 9 万 t/d, 为便于计算, 取 10 万 t/d 污水处理厂进行相关分析.

同理, 东江桥—一大顶子山江段 COD 的水环境容量为 47 409 t/a^[4], 换算为 130 t/d. 进水假设 COD 仍为 250 mg/L, 但由于该江段为Ⅳ类水体功能, 出水 COD 质量浓度要求为 100 mg/L, COD 削减质量浓度为 150 mg/L. 需要建设污水处理厂的规模为 87 万 t/d, 在此选取 90 万 t/d.

为换算成每年的费用, 取社会折现率为 12%, 污水处理厂的运行年限设为 40 a, 40 a 后的折旧费为零, 根据 $A = P \times [i(1+i)^n / ((1+i)^n - 1)]$ ^[2] 进行折现率计算. 两个江段水环境容量的污水处理替代价值计算结果如表 2 所示.

源中 31.4% 取自地下水, 而占总供水量 68.6% 的水资源来自于地表水. 地表水主要供水河流为松花江, 年平均流量为 473 m^3/s , 其他支流的总流量为 83.73 m^3/s . 本文的研究范围为松花江哈尔滨段, 其他支流产生的效益不在计算范围内. 松花江取水量按其流量比例计算的结果为 85%. 因此, 水环境容量产生的经济效益中, 有 85% 是由松花江哈尔滨段干流的水环境容量带来的.

根据 2008 年年鉴, 2007 年哈尔滨和市区的主要经济指标如图 3 所示.

由于建筑业和第三产业对水资源的依赖性相对较少, 仅从农业、林牧渔业、工业以及居民收入 4 方面对水环境容量的经济效益进行分析.

松花江哈尔滨段的用水量占总用水量的 85%, 水资源权重为 0.12, 由此得到的各类水体环境容量价值如表 3 所示. 各功能水体环境容量带来经济效益的百分比情况见图 4.

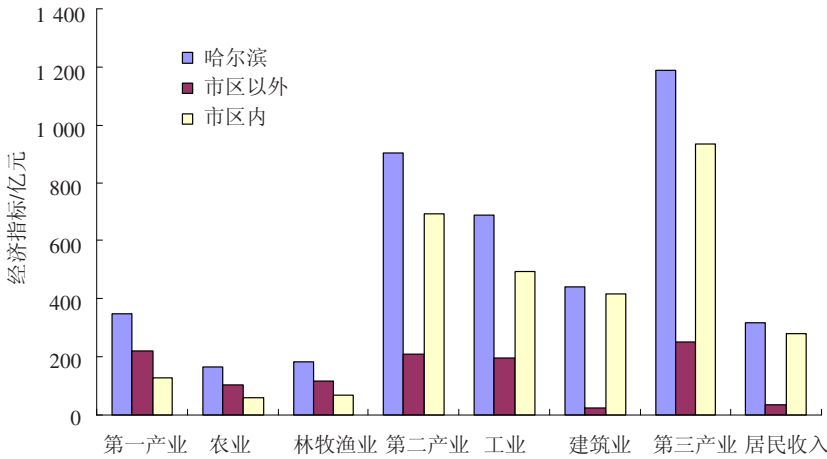


图3 哈尔滨市2007年主要经济指标构成分布图

表3 哈尔滨段各水体经济效益 V_2 的计算结果

水体功能分类	水体主要功能	环境容量价值/亿元
Ⅱ类	林牧渔业	12.87
	生活	21.96
Ⅲ类	工业	48.02
Ⅳ类	农业	11.32

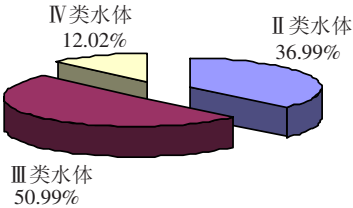


图4 各功能水体环境容量带来经济效益的百分比

由图4可知,松花江哈尔滨段Ⅱ、Ⅲ类水体水环境容量带来的经济效益为34.83和48.02亿元,Ⅲ类水体带来的环境容量价值最大,约占总经济价值的51%;Ⅳ类水体水环境容量带来的经济效益为11.32亿元.哈尔滨松花江段水环境容量所产生的经济价值为94.17亿元/a.

3 结 论

- 1)松花江哈尔滨段的水环境容量价值为94.84亿元/a.其中,污水处理代替价值占总价值的0.7%,水环境容量带来的经济效益占总价值的99.3%.可见,哈尔滨段水环境容量价值以水环境容量带来的经济效益为主.
- 2)东江桥一大顶子山江段水环境容量大于朱顺屯—东江桥江段,前者接纳、同化、净化COD的能力大于后者,可替代需要建设污水处理厂的规模也大于后者,表明水环境容量资源总量越大,其价值也越大.
- 3)松花江哈尔滨段Ⅱ类、Ⅲ类与Ⅳ类水体水

环境容量带来的经济效益分别为34.83、48.02、11.32亿元,Ⅲ类水体带来的环境容量价值最大,约占总经济价值的51%.哈尔滨松花江段水环境容量所产生的经济价值为94.17亿元/a.

参考文献:

[1]唐献力.富阳市水环境容量价值研究[D].杭州:浙江大学生工食品学院,2006.

[2]曹刚.河流水环境容量价值研究[D].西安:西安理工大学,2000.

[3]谢贤政,马中,李进华.意愿调查法评估环境资源价值的思考[J].安徽大学学报,2006,30(5):144-148.

[4]姜曼曼.松花江哈尔滨段动态水环境容量及其价值研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学市政环境工程学院,2010.

[5]张永良,刘培哲.水环境容量综合手册[M].北京:清华大学出版社,1991.

[6]冯俊,孙东川.资源环境价值评估方法述评[J].财会通讯,2009(9):138-139.

[7]张亭亭.海湾环境容量价值研究[J].知识经济,2009(7):164-165.

[8]李晓玲,吴波,李怀恩.基于水环境容量价值的水源区生态补偿[J].西北大学学报,2009,39(6):1061-1065.

[9]LOUCKS D P, REVELLE C S, LYNN W R. Management models for water quality contral[J]. Management Science,1967,14(4):166-181.

[10]洪继华,宋依兰.层次分析法在水环境规划中的应用[J].环境科学与技术,2000,1:32-39.

[11]J A 迪克逊, L F 斯库拉, R A 卡朋特.环境影响的经济分析[M].何雪场,译.北京:中国环境科学出版社,2001.

(编辑 刘 彤)