

基于治污成本法的流域生态补偿标准研究

徐麦菊¹, 刘小飞¹, 刘文康²

(1. 平顶山市昭平台水库管理局, 河南 平顶山 467300; 2. 郑州大学 水利与环境学院, 河南 郑州 450001)

摘要: [目的] 对河南省驻马店市小洪河流域生态补偿标准进行研究, 为建立流域水质生态补偿标准核算模型提供参考。[方法] 通过搜集污水处理厂的运行和处理资料, 选取 COD、氨氮和总磷 3 个有代表性的污染因子, 采用治污成本法和统计学方法开展研究。[结果] 西平县、上蔡县、平舆县、新蔡县的补偿值分别为 0.40、0.46、0.58 和 0.88 元/t, 与相关研究结果较为相符。[结论] 基于治理成本模型的水质生态补偿标准核算模型能够很好地反映流域水污染因子的单位成本, 为生态补偿机制的构建打下了坚实的基础。

关键词: 生态补偿; 补偿标准; 治污成本法; 小洪河流域; 水质模型

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2017)04-0156-05

中图分类号: X171.5

文献参数: 徐麦菊, 刘小飞, 刘文康. 基于治污成本法的流域生态补偿标准研究[J]. 水土保持通报, 2017, 37(4):156-160. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2017.04.026; Xu Maiju, Liu Xiaofei, Liu Wenkang. Ecological compensation standard for river basin based on method of pollution treatment cost[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2017, 37(4):156-160. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2017.04.026

Ecological Compensation Standard for River Basin Based on Method of Pollution Treatment Cost

XU Maiju, LIU Xiaofei¹, LIU Wenkang²

(1. Reservoir Authority of Zhaopingtai in Pingdingshan City, Pingdingshan, He'nan 467300, China;

2. College of Water Conservancy and Environment Engineering of Zhengzhou University, Zhengzhou, He'nan 450001, China)

Abstract: [Objective] The ecological compensation standard of Xiaohonghe River basin was studied in Zhumadian City to provide reference for establishing the account model of ecological compensation standard of river basin water quality. [Methods] Based on the operation and handing data of sewage treatment plants, COD, ammonia nitrogen and total phosphorus were selected as the representative pollution factors, then pollution treatment cost method and other statistical methods were used to carry out the research. [Results] The compensation values in Xiping County, Shangcai County, Pingyu County, Xincai County were 0.40, 0.46, 0.58, 0.88 yuan per ton, and the results were in good agreement with other related research. [Conclusion] The water quality-based ecological compensation standard accounting model assessed by pollution treatment cost model can well reflect the unit cost of each water pollution factor of river basin, which laid a solid foundation for the construction of ecological compensation mechanism.

Keywords: ecological compensation; compensation standard; pollution treatment cost method; Xiaohonghe River basin; water quality model

实施生态补偿是调动各方积极性、保护生态环境的重要手段, 是生态文明建设的重要内容。国内外学者从支付意愿和受偿意愿^[1]、环境损害成本^[2]、污染物削减费用、直接投入和机会成本^[3]、生态系统服务等角度对流域生态补偿标准的测算进行了大量的研究。范晓芬^[4]综合考虑流域环境治理成本和各地区

环境治理成本, 提出 3 种生态补偿额的确定方法, 并对太湖流域进行了研究应用。刘桂环等^[5]通过分析我国现有流域生态补偿实践的 3 种类型, 总结出生态补偿标准核算的两种方法, 并总结了两种方法的适用范围。赵海霞等^[6]构建了基于污染足迹的生态补偿标准模型, 计算了 3 大组群的补偿或受偿标准。国外

的研究突出的是受益方及付出方通过契约进行市场交换,对补偿的经济原因、市场化的补偿途径、补偿的具体机制进行的研究比较多。目前运用污水治理成本法定量分析污染赔偿标准研究的仅有刘晓红等^[7],但其研究采用样本数据较少,代表性不足。本文在已有研究的基础上,通过广泛搜集污水处理厂的运行和处理资料,选取 COD、氨氮和总磷 3 个有代表性的污染因子,采用治污成本法对小洪河流域生态补偿标准进行研究,为建立流域水质生态补偿标准核算模型提供参考。

1 基于治污成本法的生态补偿标准测算模型的构建

1.1 治污成本法的补偿机理

流域上游来水经过沿岸生产生活取水、用水、排水等过程,使得河道中的污染物增加,水体在向下运动的过程中同时发生水体自净作用,污染物得到一定程度的减少。若到达下游的水体中的污染物浓度高于标准限值,则下游地区需要采取一系列的措施使得水质达到一定使用标准,在此过程中投入了一定的财力,以此费用为基础,下游地区要求上游地区进行补偿,一方面既弥补了下游治理费用的支出,另外在某种程度上可以约束上游的排污^[8]。

基于治污成本法的补偿标准测算模型建立思路如下:在收集区域内城市污水处理厂进出水水质、年处理规模、年运行费用等数据基础上,引入处理设施效益^[9]分离出各污染物的处理成本,再利用统计学方法拟合进出水水质、出水浓度与污染物治理成本关系的曲线,建立基于污水治理成本曲线的计算模型^[10],由此核算出不同进水浓度、出水浓度的污染物治理成本,以此作为生态补偿的标准。

1.2 水质模型构建

1.2.1 水环境容量计算 水环境容量是指“某一水环境单元在特定的环境目标下所能容纳污染物的量,也就是指环境中依靠自身特征使本身功能不至于被破坏的前提下能够允许容纳的最大污染物的量”^[11]。水环境容量由两部分组成:

$$W_0 = E_{\text{稀}} + E_{\text{自}} \quad (1)$$

式中: W_0 ——水环境容量(kg/d); $E_{\text{稀}}$ ——稀释容量(kg/d); $E_{\text{自}}$ ——自净容量(kg/d)。

$$E_{\text{稀}} = 86.4 \times (S - C_b) \times Q_r \quad (2)$$

式中: S ——水质标准(mg/L); C_b ——河流背景浓度(mg/L); Q_r ——河流流量(m^3/s)。

$$E_{\text{自}} = 86.4 \times S Q_r (1 - e^{-\frac{kl}{86.400u}}) \quad (3)$$

式中: Q_r ——河流流量(m^3/s) + 废水流量(m^3/s);

l ——河段长度(m); k ——综合衰减系数(1/d); u ——河流流速(m/s)。

1.2.2 水质模型 污染物进入水体之后,随着水体的迁移运动,污染物在水体中得到稀释和扩散,浓度得到一定降低。假定污染物符合一级衰减反应,选用一维水质模型:

$$\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - \frac{u}{D_x} \frac{\partial C}{\partial x} - \frac{K}{D_x} C = 0 \quad (4)$$

式中: C ——水质浓度(m^3/s); K ——污染物综合衰减系数(1/d); x ——到排污口距离(m), D_x ——弥散系数(m^2/s); u ——河流流速(m/s)。

该方程可以求得解析式:

$$C = \frac{W_E}{(Q_0 + Q_E)m} \exp\left[\frac{u}{2D_x}(1-m)x\right] \quad (5)$$

式中: Q_0 ——上游来水量(m^3/s); Q_E ——污水排放量(m^3/s); W_E ——单位时间污染物超标排放量(g/s); m ——常数。

$$m = \sqrt{1 + 4KD_x/u^2} \quad (6)$$

$$W_E = (W - W_0)/t \quad (7)$$

式中: W ——污染因子年入河量(t); W_0 ——水环境容量即纳污能力(t/a),即允许最大排放量; t ——时间(s)。

则公式(5)可以表示为:

$$C = C_0 e^{kx} \quad (8)$$

式中: C_0 ——污染源排放处的混合浓度(mg/L), $C_0 = W_E / (Q_0 + Q_E)m$; k ——是综合反映污染物对流、扩散和衰减作用的系数, $k = u(1-m)/2D_x$ 。

1.3 污染物治理成本模型的构建

选择城市污水处理厂的运行数据开展治理成本研究。由于污水处理厂的资料均是污水治理总成本,没有针对不同污染因子的处理成本,因此引入处理设施效益,通过深入研究污水中各污染物的治理成本系数,进而对各污染物治理成本进行核算。某一污染物处理设施的第 i 种污染物的处理效益^[12] η_i 可表示为:

$$\eta_i = \frac{I_i - E_i}{S_i} \quad (9)$$

式中: I_i ——第 i 种污染物的进水浓度(mg/L); E_i ——第 i 种污染物的出水浓度(mg/L); S_i ——污染物的排放标准,采取污水处理厂污染物排放一级标准(mg/L);其中: I_i, E_i 采用各污水处理厂中第 i 种污染物的实际进、出水浓度。

$$\gamma(i) = \frac{\eta_i}{\sum_{i=1}^n \eta_i} \quad (10)$$

式中: $\gamma(i)$ ——第 i 种污染物的治理成本系数; η_i ——处理设施对第 i 种污染物的处理效益。

若处理了 N 种污染物,那么第 i 种污染物的治理成本为:

$$C_i = C \cdot \frac{\eta_i}{\sum_{i=1}^n \eta_i} = C \cdot \gamma(i) \quad (11)$$

式中: C_i ——第 i 种污染物的治理成本(元/t);
 C ——废水的治理成本(元/t)。

结合污染物的进出水浓度的差值,分别计算 1 t 水削减 1 mg/L 污染物的治理成本:

$$C_i = C_i / (I_i - E_i) \quad (12)$$

式中: C_i ——1 t 水削减 1 mg/L 第 i 种污染物的治理成本。

以上述所建立的各种污染物治理成本计量经济模型为依据,对不同浓度情况下每 1 t 水削减 1 mg/L 各种污染物所需的治理成本进行预测,此时各种污染物的治理成本之和值即为生态补偿标准。

2 实例研究

2.1 小洪河流域概况

小洪河发源于伏牛山脉,干流流经舞阳、西平、上蔡、平舆、新蔡等 5 市县(其中属于驻马店地区的有西平、上蔡、平舆、新蔡)。于新蔡县班台同汝河交汇流入大洪河,全长 265.6 km,流域面积 4 170 km²。90% 的流域面积位于驻马店市境内,是淮河上游主要的洪水发源地之一。

驻马店辖洪河流域水质基本处于 V 类水,冬季个别月份出现劣 V 类。小洪河流域的污染主要是沿河工业企业废水以及生活污水等,污水渗透污染沿河地下水,不仅引发用水矛盾,而且给生态、渔业和城乡供水安全带来严重影响。

2.2 污染因子的确定

洪河驻马店辖流域水污染主要来自于生活污水和工业企业废水,主要污染因子为化学需氧量

(COD)、氨氮(NH₃-N)及总磷(TP),同时河南省环境监测中心站的监测因子也为 COD、氨氮及总磷,到目前为止,这 3 个污染因子也成为研究区地表水环境质量的约束性指标,再结合中国《地表水环境质量标准(GB3838-2002)》,因此选择化学需氧量(COD)、氨氮(NH₃-N)和总磷(TP)3 个污染因子作为驻马店市小洪河流域生态补偿分析的水质因子。

2.3 生态补偿标准测算

2.3.1 水环境容量计算 根据主要的入河排污口的分布及水环境容量计算的需求,同时兼顾生态补偿的主客体,研究确定本研究的计算单元。考虑到入河排污口的分布主要是以行政区的形式分布的,而且生态补偿的主客体亦是行政区,因此按照行政区(县)对河道进行一定的简化,以 4 个行政区作为计算单元,每个计算单元的长度分别为 36,48.9,31.5,67.2 km。根据驻马店辖洪河流域的水功能区划分,驻马店辖洪河流域的水质目标多为 IV 类水,因此计算水环境容量时均选择以 IV 类水作为标准。

(1) 计算参数的确定。根据上述对污染因子的选取,因此亦选取 COD、氨氮、总磷作为水环境容量的计算因子。驻马店辖洪河流域的流量采用临时曲线法^[13]、连实测流量过程线法^[14]推求,此流量具有较好的科学性与代表性。污染物综合衰减系数^[15] k 受水温、水文条件、河道特征、污染物浓度梯度等因素影响,本研究采用河南省环保局提供的污染物衰减系数,其中 K_{COD} 取 0.16, $K_{\text{NH}_3-\text{N}}$ 取 0.10, K_{TP} 取 0.14。

(2) 计算结果。当前驻马店辖小洪河流域的水污染状况较差,基本处于 V 类水的污染状态,因此驻马店辖小洪河流域的水环境稀释容量为零。因此,自净容量即为水环境容量。各行政区的水环境容量详见表 1。

表 1 驻马店辖小洪河流域各个行政区断面的理论浓度值

行政区	污染因子	水环境容量/ (kg·d ⁻¹)	纳污能力/ t	排放量/ t	单位时间污染物超标 排放量/(g·s ⁻¹)	理论浓度/ (mg·L ⁻¹)
西平县	COD	2 498.15	899.33	31 122.99	971.69	24.77
	氨氮	82.86	29.83	1 099.95	34.40	1.11
	总磷	22.29	8.02	341.98	10.74	0.27
上蔡县	COD	2 232.43	803.67	26 987.53	841.81	21.35
	氨氮	73.53	26.47	946.90	29.59	0.94
	总磷	19.87	7.15	259.48	8.11	0.22
平舆县	COD	1 657.36	596.65	20 043.95	625.23	20.13
	氨氮	53.79	19.36	776.10	24.32	0.67
	总磷	14.68	5.28	199.65	6.25	0.16
新蔡县	COD	3 565.64	1 283.63	18 110.48	540.98	13.90
	氨氮	121.97	43.91	601.41	17.92	0.54
	总磷	32.14	11.57	102.74	2.93	0.08

2.3.2 理论水质浓度的确定 2012 年驻马店辖洪河流域 COD 排放量为 96 264.97 t/a, 氨氮排放量为 3 424.38 t/a, 总磷的排放量为 903.849 2 t/a。根据构建的水质模型, 对驻马店辖洪河流域各行政分区的断面理论浓度的计算结果如表 1 所示。

2.3.3 计算污染物治理成本 本研究在开展实地调研的基础上, 分别选取驻马店西平县河南省华中环保研究有限公司西平项目部、上蔡县洁美污水处理有限责任公司、平舆县污水处理厂、新蔡县污水处理厂的 2012 年有效污水处理厂运行数据建立污染治理成本预测模型, 预测各水质浓度恢复到 II 类水时所需的成本, 从而确定生态补偿标准。

本研究调研收集的样本厂运行数据中主要包括

COD、氨氮、总磷的进水浓度、出水浓度、标准限值、年处理量、治理成本。

(1) COD 治理成本模型建立。根据公式, 得到 COD 削减 1 mg/L 的治理成本, 具体见表 2。从中可以分析出 COD 进水浓度与每 t 水每削减 1 mg/LCOD 治理成本之间的关系, 随着 COD 进水浓度的增加, 单位治理成本呈现逐渐递减的趋势, 并逐渐趋于稳定。幂函数的拟合优度较高, 所以根据曲线拟合结果, 建立 COD 进水浓度和其单位治理成本之间的关系模型为:

$$Y_{\text{COD}} = 0.617X_{\text{COD}}^{-1.056} \quad (13)$$

式中: X_{COD} ——COD 进水浓度 (mg/L); Y_{COD} ——每 1 t 水每削减 1 mg/LCOD 所需的治理成本 (元)。

表 2 不同污水处理厂削减 1 mg/L COD 的治理成本

行政区	污水处理厂名称	进口浓度/ (mg · L ⁻¹)	出口浓度/ (mg · L ⁻¹)	标准限值/ (mg · L ⁻¹)	处理效益	治理成本/ (元 · t ⁻¹)	削减 1 mg/L 的治理成本/元
西平县	河南省华中环保研究有限公司西平项目部	291	41.6	60	4.16	0.38	0.001 5
		274	36.5	60	3.96	0.35	0.001 5
		309	41.3	60	4.46	0.38	0.001 4
		284	31	60	4.22	0.36	0.001 4
		269	33.2	60	3.93	0.39	0.001 6
上蔡县	上蔡县洁美污水处理有限责任公司	264	21.8	60	4.04	0.41	0.001 7
		286	31.5	60	4.21	0.35	0.001 4
		296	29.9	60	4.44	0.37	0.001 4
		284	32.8	60	4.19	0.38	0.001 5
		284	32.9	60	4.19	0.36	0.001 4
		258	33.3	60	3.75	0.31	0.001 4
平舆县	平舆县污水处理厂	347	12.7	60	5.57	0.36	0.001 1
		182	34	60	2.47	0.25	0.001 7
		236	31.6	60	3.41	0.25	0.001 3
		209	24.1	60	3.08	0.30	0.001 6
		295	28.6	60	4.44	0.37	0.001 4
新蔡县	新蔡县污水处理厂	285	32.6	60	4.21	0.38	0.001 5
		130	37	60	1.55	0.17	0.001 9
		337	37	60	5.00	0.40	0.001 3
		295	26	60	4.48	0.37	0.001 4
		257	26.2	60	3.85	0.36	0.001 6
		271	33.3	60	3.96	0.36	0.001 5
		322	27.6	60	4.91	0.39	0.001 3
		259	26.9	60	3.87	0.35	0.001 5

(2) 氨氮治理成本模型建立。同上述 COD 治理成本模型建立过程相同, 根据污染物进水浓度与治理成本的函数关系, 建立氨氮进水浓度和其单位治理成本的关系模型为:

$$Y_{\text{氨氮}} = 0.116 1X_{\text{氨氮}}^{-0.450 7} \quad (14)$$

式中: $Y_{\text{氨氮}}$ ——每 1 t 水每削减 1 mg/L 氨氮所需的治理成本 (元); $X_{\text{氨氮}}$ ——氨氮进水浓度 (mg/L)。

(3) 总磷治理成本模型建立。同上述 COD 治理成本模型建立过程相同, 根据污染物进水浓度与治理成本的函数关系, 建立氨氮进水浓度和其单位治理成

本的关系模型为:

$$Y_{\text{总磷}} = 0.102 0 X_{\text{总磷}}^{-0.755} \quad (15)$$

式中: $Y_{\text{总磷}}$ ——每 1 t 水每削减 1 mg/L 总磷所需的治理成本(元); $X_{\text{总磷}}$ ——总磷进水浓度(mg/L)。

2.4 生态补偿标准的确定

从目前驻马店辖洪河流域的水质情况来看,若水质能普遍达到 II 类水,就已达到集中生活饮用水标准,水质将会是较为理想的状态,因此选择以 II 类水为标准,进行补偿标准的确定。根据以上建立的 COD、氨氮、总磷的治理成本模型,结合计算得到的水质理论浓度,即可得到 COD、氨氮、总磷由理论值恢复到标准值所需补偿的金额(表 3)。

表 3 各县生态补偿标准计算结果

地区	污染因子	理论值/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	补偿值/ ($\text{元} \cdot \text{t}^{-1}$)	总计/ ($\text{元} \cdot \text{t}^{-1}$)
西平县	COD	24.77	0.021	0.40
	氨氮	1.11	0.11	
	总磷	0.27	0.27	
上蔡县	COD	21.35	0.024	0.46
	氨氮	0.94	0.12	
	总磷	0.22	0.32	
平舆县	COD	20.13	0.026	0.58
	氨氮	0.67	0.14	
	总磷	0.16	0.41	
新蔡县	COD	13.90	0.038	0.88
	氨氮	0.54	0.15	
	总磷	0.08	0.69	

2.5 结果分析

根据驻马店各县补偿值计算结果,西平县、上蔡县、平舆县、新蔡县的补偿值分别为 0.40, 0.46, 0.58, 0.88 元/t。根据《淮河流域水污染控制生态补偿机制研究报告》,同样是根据城市污水处理厂的运行数据,结合断面水质浓度 III 类水恢复到 II 类水的成本,计算出来河南省淮河流域的补偿标准为 0.55 元/t,与本研究成果相差不大。同时,当前驻马店辖洪河流域 1 t 水的治理成本平均在 1.04 元,本研究计算的治理成本相对较低。这是因为本研究只是以 COD、氨氮、总磷为污染因子,没有考虑其他的污染因子的影响,因此计算得出的基于治污成本法计算出的生态补偿标准相对较低是符合现状。

3 结论

本文基于污水处理厂进出水浓度等相关数据,构建了基于治理成本模型的水质生态补偿标准核算模型,该模型能很好的计算出流域水污染因子 COD、氨氮、总磷的单位治理成本,为生态补偿机制的构建打下坚实的基础。但是治污成本法计算出来的补偿标准偏低,具有一定局限性,在未来还需要探索更加科学与可操作的核算方法。

[参 考 文 献]

- [1] 郑海霞,张陆彪,涂勤. 金华江流域生态服务补偿支付意愿及其影响因素分析[J]. 资源科学, 2010, 32(4): 761-767.
- [2] 石广明,王金南,毕军. 基于水质协议的跨界流域生态补偿标准研究[J]. 环境科学学报, 2012, 32(8): 1973-1983.
- [3] 魏楚,沈满洪. 基于污染权角度的流域生态补偿模型及应用[J]. 中国人口·资源与环境, 2011, 21(6): 135-141.
- [4] 范晓芬. 基于污染物消减成本核算太湖流域跨界生态补偿额研究[D]. 上海: 上海师范大学, 2015.
- [5] 刘桂环,文一惠,张惠远. 流域生态补偿标准核算方法比较[J]. 水利水电科技进展, 2011, 31(6): 1-6.
- [6] 赵海霞,徐颂军. 基于污染足迹的区域内生态补偿标准研究:以广州市为例[J]. 华南师范大学学报:自然科学版, 2015(4): 116-121.
- [7] 于鲁冀,王燕鹏,梁亦欣. 基于污水治理成本的流域污染赔偿标准研究[J]. 生态经济, 2011(9): 51-54.
- [8] 陈沫宇. 基于 TPC-WRV 耦合模型的流域生态补偿标准研究[D]. 河南 郑州: 郑州大学, 2015.
- [9] 吕文艳. 宜昌市城镇污水处理设施效益分析与对策探索[J]. 资源节约与环保, 2015(6): 180-180.
- [10] 闫旭. 流域污染生态补偿标准模型研究[D]. 吉林 长春: 吉林大学, 2012.
- [11] 杨玲. 綦江干流江津段水环境容量研究[D]. 重庆: 西南大学, 2009.
- [12] 谭亚荣,郑少锋. 环境污染物单位治理成本确定的方法研究[J]. 生产力研究, 2007(24): 52-53.
- [13] 秦敏. 天然河道采用临时曲线法定线推流理论要领与技巧[J]. 黑龙江水利科技, 2013, 41(8): 25-29.
- [14] 胡宪发. 堰闸站流量资料插补方法探讨[J]. 中国水利, 2013(S2): 101-102.
- [15] 刘洪燕,代巍. 浅谈河流污染物综合衰减系数的确定方法[J]. 河南科技, 2014(2): 171-172.