

基于关键水污染因子的淮河流域生态补偿标准测算研究

黄涛珍^{1,2}, 宋胜帮³

(1. 河海大学 公共管理学院, 江苏 南京 210098; 2. 沿海开发与保护协同创新中心, 江苏 南京 210098;

3. 河海大学 商学院, 江苏 南京 211100)

摘要:生态补偿是解决流域水污染问题的有效措施之一,生态补偿标准的核算是实施生态补偿的关键环节。在对淮河流域的水质现状和污染因子的变化趋势进行分析的基础上,通过主成份分析确定流域的关键污染因子,以关键污染因子的处理成本为基础,综合考虑水质类别和污染因子的超标倍数,确定流域关键污染因子的生态补偿罚数,研究提出建立基于关键水污染因子的淮河流域生态补偿标准测算模型,体现了生态补偿的经济杠杆调节和激励作用。并以淮河流域界首沙颍河桥省界监测断面为例进行了生态补偿标准和生态补偿资金的实证分析,研究结果较好地反映了通过生态补偿实现惩罚高污染、奖励和激励治污减排的流域水环境管理新思路,验证了模型的合理性和可操作性,为淮河流域生态补偿的有效实施提供了科学的依据。

关键词:关键水污染因子;生态补偿;生态补偿罚数;补偿标准测算;淮河流域

中图分类号:X820.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-7465(2013)06-0109-10

淮河流域地跨湖北、河南、安徽、江苏、山东五省。目前,淮河流域经济社会发展迅速,本地区已经成为我国经济社会发展最具活力和发展较快的区域之一。然而,在淮河流域各方面发展取得巨大成就的同时,本地的生态环境尤其是水环境状况不容乐观,水污染问题十分严重,水污染事件频发,流域内50%以上的水功能区水质超标,成为我国水污染最严重的地区之一,给工农业生产和城乡居民生活造成了严重影响。虽然淮河流域已经初步建立了生态补偿机制,但其实施的效果并不十分理想,严重的水污染事件仍时有发生,致使水生态环境服务能力受到削弱,给相关地区经济社会的发展带来了严重的损失。因此,为了提高淮河流域水环境质量,推动各地区经济社会可持续发展,实现公平和共赢,进行淮河流域生态补偿标准体系研究就显得很有现实意义。

一、文献综述

流域作为一个特殊的地理单元,在人类社会的

发展中发挥着不可替代的作用。但流域又跨越不同的行政区域,并被不同的行政区域分割开来,再加上其所有权初始分配的不同和公共资源产权界定的模糊性,造成流域内区域间经济社会发展权利和利益分配的失衡,决定了流域上下游地区在经济发展和水资源保护中存在实施主体和受益主体不一致的矛盾,进而导致流域水污染问题频发。因此,积极建立流域水污染生态补偿机制,是解决流域水环境污染问题,促进区域可持续发展的关键所在。

国外相关学者对生态补偿标准体系进行了大量的研究和探索,其研究主要集中在生态补偿的标准和补偿方案的制定等方面,以及在高速公路建设、动植物保护和海洋生态环境保护等方面进行针对性的应用研究^[1-7],达到了促进生态环境保护,改善水环境质量的目的。进入20世纪90年代以后,国外相关学者主要是对生态补偿的主体、补偿主体的行为与选择的问题以及补偿的途径和具体机制开展了深入的研究。

国内对生态补偿标准体系的研究始于20世纪

收稿日期:2013-05-10

基金项目:水利部公益性行业科研专项经费项目(201001015);江苏高等学校协同创新计划

作者简介:黄涛珍,女,河海大学公共管理学院教授,博士生导师,主要研究方向为资源技术经济及管理 and 水利行政管理。

宋胜帮,男,河海大学商学院博士生,主要研究方向为资源技术经济及管理 and 区域资源环境经济。

90年代初,进入新世纪以来,生态补偿标准体系逐渐成为相关专家学者研究的热点问题。第一,在理论研究方面的主要研究文献有:王浩、王金南、张翼飞、徐大伟和耿雷华等对生态补偿标准体系中水污染补偿成本的核算方法、核算的范围和补偿标准等进行了研究^[8-12]。第二,在实际应用研究方面的主要研究文献有:蔡邦成等以南水北调东线水源地保护区一期生态建设工程为例,提出了根据生态服务的效益来分担生态建设成本的生态补偿标准核算机制^[13]。王飞儿等以钱塘江流域为例,采用影子工程法,确定水污染因子COD的治理成本,并基于COD的通量估算了该流域内各区县(市)间的水污染补偿量,结果表明生态补偿量反映了区域污染的特点^[14]。刘晓红等依据治理和修复污染水体的成本作为生态补偿标准的依据,对嘉兴市县域跨界水污染补偿机制进行了定量研究^[15]。庞爱萍等利用恢复成本法,根据污水处理厂处理废水中COD的平均处理成本,提出一种基于水环境容量的流域双向生态补偿标准计算方法,并利用该方法对漳卫南流域几个重要水源区作了实证研究^[16]。张落成等对天目湖流域居民的生态补偿认知状况进行问卷调查,选取支付意愿法、水资源价值法和收入损失法三种方法对天目湖流域生态补偿标准进行核算,研究发现引入旅游者门票反哺支付意愿的支付意愿法,可以作为现阶段天目湖流域水源地生态补偿标准制订的重要依据^[17]。魏楚等基于污染权角度,采用机会成本法和水资源价值法,构建了一个基于计量经济学的流域生态补偿标准测算模型,并以浙江飞云江流域为例,利用该模型测算出下游温州市每年应向上游文成县提供3.24亿元的生态补偿量^[18]。付意成等以永定河流域为研究对象,根据水量水质不可分割特性,给出了跨区域的水量、水质补偿标准测算方法,探讨了基于污染物处理水平的补偿标准计算过程^[19]。第三,在淮河流域生态补偿方面的主要研究文献有:李万莲等根据淮河流域城市水生态系统服务特点,将蚌埠城市水生态系统服务划分为直接使用价值和间接使用价值2大类11个小类,同时建立了一套价值评估指标体系,对2003年蚌埠城市水生态系统服务功能的经济价值进行了评估^[20]。陈兆开探讨了淮河流域源头生态补偿的内涵,确定了生态补偿的主体和对象,提出了实施生态补偿的几种方式;提出了构建流域水资源生态补偿制度应注意的若干问题^[21-22]。乔治等以淮河流域土石山区为例,引入Logistic生长曲

线模型,通过单位面积生态系统服务价值和单位面积GDP,定量化计算出生态补偿强度,运用机会成本法理论,构建出一个具有可操作性的区域水土保持生态补偿经济定量化模型^[23]。刘明华等以淮河流域上游干流及其主要支流为例,基于对河流环境容量、污染排放量及浓度耦合机制的辨析,应用污染物综合衰减理论和系统控制理论,建立了由入河口上溯到污染源的河流污染应急控制系统,对污染损益比值大的点源废水限制排放,优化得到控制目标下的污染控制方案,实现河流水质的可控性^[24]。程亚丽从法的角度,对如何制定淮河流域的生态补偿细则,以推动淮河流域城市生态环境的改善做了探讨^[25]。

本文在对国内外生态补偿标准体系方面的研究成果进行分析后发现,当前对生态补偿标准体系的研究方法灵活多样,取得了一些积极的成果。然而,尽管现有研究注意到流域跨界水污染问题的严重性,并建立了生态补偿标准体系,但其所建立的生态补偿标准的测算和补偿方案的设计等方面欠缺系统性和可靠性;虽然已有学者对淮河流域的生态补偿问题进行了探讨,但其研究的内容主要局限于淮河流域的上游、干流及其流域内某一地区的生态补偿问题等方面,而没有从淮河流域全局的角度,建立适合全流域的生态补偿标准体系;同时,相关的研究具有地域特性,研究对象的针对性较强,通用性不高,也决定了国内外相关研究所建立的生态补偿标准体系也很难应用到淮河流域生态补偿的实际操作中。基于此,本文力图克服以往研究的不足,在比较和分析现有研究的基础上,结合淮河流域的实际情况,在科学确定淮河流域省界监测断面关键水污染因子的基础上,合理测算关键水污染因子的平均处理成本,并通过构建以关键水污染因子的超标倍数为基础的补偿罚数,提出流域生态补偿标准值的测算方法和生态补偿量测算模型,最后以淮河流域豫皖缓冲区界首沙颍河桥省界监测断面2010年分月水质和流量进行流域水生态补偿的模拟计算,从而为建立和完善淮河流域生态补偿机制提供理论指导和借鉴,对推动淮河流域内各区域经济社会的协调发展具有重要的现实意义。

二、淮河流域关键水污染因子的筛选

实施以流域水量和水质动态监测为基础的生态补偿,首先需要筛选和确定流域的关键水污染因

子。流域关键水污染因子的筛选,首先需要对省际监测断面进行现状水质及污染因子超标情况的评价,然后需要对近期5年以上的省际监测断面的污染因子变化趋势进行分析,最后还需要对一定时期内的水污染因子进行主成份分析,综合分析后,筛选确定流域各控制断面的关键水污染因子。筛选方法和步骤如下:

1. 水质现状评价及水污染因子超标情况分析

根据课题调查和资料搜集情况,依据《地表水环境质量标准》(GB3838—2002)进行水质类别评价,采用水利部《地表水资源质量评价技术规程》(SL395—2007)进行水质达标评价,选取2010年作为水质现状评价水平年,对各省际缓冲区监测断面的所有污染因子进行评价,分析各监测断面影响水质的主要污染因子。

2. 水质变化趋势分析

常用的水质趋势分析方法有回归分析法、时间序列分析法、水质GM趋势模型、平滑模型、非参数检验法等。根据淮河流域的实际,采用属于非参数检验法的季节性Kendall检验法进行水质变化趋势分析。非参数检验法仅需满足水质监测数据误差独立性要求,可较好地处理漏测值和“未检出”信息。

以淮河流域2004—2010年水质监测的系列数据为基础,对所有省际监测断面的污染因子进行污染趋势分析,筛选出波动较大、变化趋势显著性水平高的超标因子。

3. 流域水污染主成分分析

主成分分析(Principal Components Analysis, PCA)也称为主分量分析,是一种通过降维来简化数据结构的方法:如何把多个变量(指标)化为少数几个综合变量(综合指标),而这几个综合变量又可以反映原来多个变量的大部分信息。

在以上水质现状评价和水污染变化趋势分析的基础上,选择超标严重、波动较大且变化趋势显著性水平高的污染因子作为水污染关键因子的初筛结果,对监测断面的污染因子进行主成分分析,通过评价各单项指标在水质综合指标中所起的作用,删除那些次要的指标,确定造成水污染的关键因子。

4. 典型监测断面水污染关键因子的筛选结果及说明

以位于淮河流域豫皖缓冲区涡河的鹿邑付桥闸上监测断面为例,阐述水污染关键因子的筛选过程和结果,见表1。

表1 豫皖缓冲区鹿邑付桥闸上监测断面水污染关键因子筛选结果

评价(分析)项目	评价依据	结论
水质现状评价(2010年)	《地表水环境质量标准》(GB3838—2002)、水利部《地表水资源质量评价技术规程》(SL395—2007)	水质目标为Ⅲ类,评价结论为Ⅳ,主要污染为:化学需氧量(16.67%)、总磷(58.33%)、高锰酸盐指数(54.17%)
水污染变化趋势分析(2004—2010年)	季节性Kendall检验具有高度显著变化趋势	在当 $\alpha \leq 0.01$ 的显著性水平下,具有高度显著性水平的污染因子为:化学需氧量、氨氮、高锰酸盐指数、五日生化需氧量
水污染因子主成份分析(2004—2010年)	主成份解释总方差累计达到85%以上	在第一主成分上化学需氧量、氨氮、高锰酸盐指数赋值高且较为一致,第一主成分解释的总方差达到85.18%,可以很好地解释监测断面水质情况
关键水污染因子筛选结果	综合分析确定	综合以上三方面的分析,结合该监测断面敏感性排污口数量和排污情况,最终确定关键水污染因子为化学需氧量、氨氮和高锰酸盐指数

注:水质现状评价结论中的各污染因子后括号内数据,为全面监测达标次数占总次数的百分比。

三、基于关键水污染因子的淮河流域生态补偿标准测算

在经过本课题组前期的实地调查取样和分析,参照上面的方法,对淮河流域各个省际控制性监测断面的关键水污染因子进行分析和筛选,发现全流域大多数控制断面共同的水污染关键因子为氨氮($\text{NH}_3\text{-N}$)和化学需氧量(COD),据此可以认为:导

致淮河流域水污染的关键污染因子主要是 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和COD。以下仅对这两个污染因子的生态补偿标准进行测算。

目前学术界公认的流域生态补偿的理论主要有生态系统服务功能理论、生态恢复成本理论和生态破坏损失理论。本文研究的基于关键水污染因子的生态补偿标准测算,是基于生态恢复成本理论,以关键污染因子的达标处理成本为基础,考虑水质目标和污染因子的超标程度,确定淮河流域生

态补偿的标准。

1. 关键水污染因子补偿基准值的确定

根据以上分析,生态补偿标准的测算首先需要确定关键水污染因子的处理成本。本文在确定淮河流域水污染处理成本时,根据淮河流域水污染地区分布特点和流域内城镇污水处理厂的运行情况,选取有代表性的四家污水处理厂进行污水处理成

本的调查分析,同时结合《中国城镇污水处理厂文件汇编》(2006)中部分污水处理厂的成本数据,综合确定关键水污染因子的处理成本。

(1) 淮河流域典型污水处理厂 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 COD 处理成本测算

根据调查,本文选取的淮河流域四座典型污水处理厂概况见表2。

表2 淮河流域典型污水处理厂概况

典型污水处理厂	污水类型	处理工艺	处理规模 (万吨)	经处理后排放标准	实际污水处理能力 (万 m^3/d)
阜阳污水处理厂	混合	CASS 间歇循环式活性污泥法	10.0	二级	9.0
蚌埠第一污水处理厂	混合	A2/O 工艺	20.0	一级 B	15.9
郑州王新庄污水处理厂	混合	传统活性污泥法	40.0	二级	44.0
平顶山污水处理厂	混合	卡鲁塞尔氧化沟	27.75	二级	25.0

从表2可知,选取的阜阳污水处理厂、蚌埠第一污水处理厂、郑州王新庄污水处理厂和平顶山污水处理厂的污水处理工艺分别是:CASS 间歇循环式活性污泥法、A2/O 工艺、传统活性污泥法和卡鲁塞尔氧化沟工艺方法等四种不同的污水处理方法,基本上涵盖了当前先进的污水处理工艺。同时,这些污水处理厂的年污水处理整体在10万吨以上,处理规模较大,污水经过处理后的排放标准达到二级及以上,符合国家规定的相关标准,表明所选取的这四个污水处理厂能从整体上代表淮河流域各地区污水处理厂的処理水平。

搜集和实际测算这四家典型污水处理厂运营成本的相关数据,采用等标污染负荷与费效比,对单个关键污染因子的处理成本进行计算,计算公式为:

$$\zeta_i = \frac{J_i}{c_i w_i Q} \quad (1)$$

式(1)中: ζ_i 为单个污染物 i 的单位处理成本, J_i 为单个污染物 i 的总处理费用, c_i 为第 i 种污染物的进水浓度, w_i 第 i 种污染物的去除率, Q 为污水处理量。

单个污染物的总处理费用 J_i , 根据污水处理厂的总成本费用,采用如下公式计算:

$$J_i = \eta P_i t \quad (2)$$

式(2)中, η 为污水处理反应器的费效比, $\eta = J/\Sigma P_i \cdot t$; P_i 为去除的等标污染负荷, $P_i = \frac{c_i w_i}{c_0} Q$; t 为污水处理厂实际运行时间; c_0 为污水处理厂污染物排放标准(GB18918—2002)中所规定的第 i 种

污染物标准浓度; J 为污水处理厂总成本。

根据实际调查所得到的各污水处理厂的污水处理成本相关数据,采用公式(1)和(2)测算得到各个污水处理厂的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 COD 的处理成本。分析如下:

第一,2010年蚌埠第一污水处理厂的污水处理排放标准为一级B,高于其他污水处理厂的污水处理排放的二级标准,相应的其 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 COD 的处理成本也会提高,分别为9187.36元/吨和1924.15元/吨。

第二,其他三家污水处理厂在处理 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 COD 时,由于处理工艺和运行成本等存在差异, $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 COD 处理成本也各不相同,平均处理成本分别为5588.59元/吨和1397.31元/吨。其中郑州王新庄污水处理厂 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 COD 的处理成本最小,分别为3726.87元/吨和1132.40元/吨;阜阳污水处理厂 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 COD 的处理成本最高,分别为5215.74元/吨和1303.94元/吨。

(2) 其他地区污水处理厂 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 COD 处理成本的分析与借鉴

通过对《中国城镇污水处理厂文件汇编》(2006)中部分污水处理厂的成本数据进行分析,选取日处理规模在5万吨以上的部分代表性污水处理厂进行单个污染因子的成本分析,得出如下统计结果:

① $\text{NH}_3\text{-N}$ 处理成本区间是2320元/吨~18870元/吨;

② COD 处理成本区间是770元/吨~10940元/吨;

由以上分析可知,淮河流域典型污水处理厂关键污染因子的处理成本均位于全国典型污水处理厂的处理成本区间范围内,且靠近下限值。可见,本文所计算的典型污水处理厂单个关键污染因子处理成本的可信度高,客观性强,符合现实情况,可以作为淮河流域关键水污染因子生态补偿标准的依据。

考虑到随着 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 COD 浓度值的下降,其治理成本递增的情况。并鉴于违法成本低和守法成本高的问题,按照流域水污染补偿标准略高于污水处理成本和对流域内水环境保护者给予补偿的原则,本文以淮河流域关键水污染因子平均处理成本的 1.12 倍计,拟定淮河流域关键水污染因子 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 COD 的生态补偿基准值,详见表 3。

表 3 关键水污染因子补偿基准值

关键水污染因子	$\text{NH}_3\text{-N}$	COD
补偿基准值(元/吨)	6259	1565

2. 关键水污染因子补偿标准测算

(1) 生态补偿的原则

生态补偿是综合运用行政、法律和市场等手段,为达到改善、维护和恢复生态系统服务功能为目的,而实行的一种环境经济政策措施。根据流域生态补偿的涵义,结合我国现有的环境保护法律和法规,参考和总结国内外相关文献,实施淮河流域生态补偿主要遵循以下原则:

表 4 关键水污染因子的补偿罚数表

参数	监测断面的实际水质类别								
	V 类及以下				劣 V 类				
x	<0	0.0~0.1	0.1~2.0	>2.0	0.0~0.5	0.5~1.0	1.0~1.5	1.5~2.0	>2.0
f	0	1	2	5	5	10	15	20	25

注:①当 $x < 0$ 时,表明上游的出水水质较好,则应该对上游的水环境保护行为由下游对上游进行补偿。由此,当 $x > 0$ 时, θ 值依 $|x|$ 值的大小,参考本类别水质的对应的超标倍数而取相应的罚数,下同;②V 类及以下、劣 V 类的关键污染因子的临界判断标准为:当 $\text{NH}_3\text{-N} \leq 2\text{mg/L}$, $\text{COD} \leq 40\text{mg/L}$ 时,处在 V 类及以下,否则处于劣 V 类。

(3) 补偿罚数的确定原则和作用分析

实行淮河流域生态补偿,其目的是为充分调动淮河流域各地区水环境保护的积极性,激励上游地区主动加强对淮河水质的保护,维护水资源的生态服务价值,减少水环境污染给各地区带来的经济损失和社会影响,从而实现淮河流域各地区经济社会的可持续发展。

根据国务院发布的《关于实行最严格水资源管理制度的意见》和淮河流域水污染防治“十二

五”规划,加强水资源和水环境的统一管理,需综合采取法律、行政和经济手段,取得协同效果。流域生态补偿是流域管理最有效的经济手段之一。在生态补偿标准测算中引入补偿罚数,根据关键水污染因子的超标倍数来确定不同的生态补偿罚数,按照污染严重加大惩罚力度,污染轻减小惩罚强度的原则,体现经济学中的杠杆效应对水环境保护和水生态修复的调节作用。

(2) 生态补偿标准的测算方法

淮河流域省际监测断面水污染补偿金的扣缴标准主要考虑流域水污染防治的要求和治理成本,采取“超标罚款”和“达标奖励”相结合的双向补偿方式,本文提出的关键水污染因子生态补偿标准测算方法为:依据水质超标倍数,并按照考核断面水质情况,区分在 V 类及以下、劣 V 类水来拟定不同的超标罚数,按照补偿基准值与超标罚数测算淮河流域关键水污染因子的补偿标准值。由此可得出关键水污染因子补偿标准的测算公式如下:

$$y = (1 + |x|) \cdot \zeta \cdot f \quad (3)$$

$$x = c_i / c_0 - 1 \quad (4)$$

式中: y 为关键水污染因子补偿标准; x 为关键水污染因子的超标倍数; c_i 、 c_0 分别为关键水污染因子的实测值和水质达标目标值; ζ 为关键水污染因子的基准值(见表 3), f 为污染超标罚数,根据超标程度不同采用不同的罚数,详见表 4。

引入生态补偿罚数,其重要意义在于有利于促

进地方政府重视流域的水环境保护,将水污染考核结果与生态补偿资金高度挂钩,当某地区排污(或治污)对流域内其他地区所带来的环境损害越大(或生态服务贡献越多),则其付出(或得到)的生态补偿量就越多,反之亦然。这种经济手段的作用效果,能够有效引导企业和政府减少污染排放,加大污染治理,通过治污投入与生态补偿资金支出的对比,做出排污与治污的理性选择。

3. 淮河流域生态补偿资金测算模型

对于某一省界水污染监测断面,按照省界监测断面的实际水质和断面水污染补偿对应的规划水质目标标准值,构建淮河流域生态补偿测算模型:

首先,计算各关键水污染因子的超标倍数,见公式(4);

其次,根据断面监测水质的分类确定不同的补偿标准罚数,见表4;

接着,按照公式(3)计算关键污染因子的补偿标准;

最后,依据监测断面流量和水质监测时段计算生态补偿资金量。

模型形式如下:

$$M = \sum_{j=1}^n M_j \quad (5)$$

$$M_j = \sum_{i=1}^m M_{ij} \quad (6)$$

$$M_{ij} = y_{ij} \cdot c_{0i} \cdot x_{ij} \cdot Q_j \cdot t \cdot 10^{-6} \quad (7)$$

式中: M 为某水质监测断面全年补偿资金量(元); M_j 为某监测断面第 j 个时段补偿资金量(元); M_{ij} 为第 i 个污染因子第 j 时段的补偿资金量(元); y_{ij} 、 x_{ij} 分别为第 i 个污染因子第 j 时段的补偿标准(元/吨)、超标倍数; c_{0i} 为第 i 个关键水污染因子的实测值和水质达标目标值之差(mg/L); Q_j 为第 j 时段监测断面的平均流量(m^3/s); t 为监测时段对应的时间(s); $j=1,2,\dots$,为全年水质监测时段数; $i=1,2,\dots$,为关键水污染因子个数。

四、淮河流域生态补偿资金测算

案例分析

1. 数据来源和处理

沙颍河是淮河的最大支流,全长620公里,流域面积近40000平方公里,流经河南省和安徽省的

四十余个县市,并经过上游河南省周口市而流入下游安徽省阜阳市。当前,沙颍河上游周口等市的水污染问题十分突出,严重的水污染事件时有发生,这在影响本地区经济社会发展的同时,也危及到了下游地区经济社会的可持续发展。因此,为有效地治理沙颍河及淮河的水污染问题,我国在沙颍河下游阜阳市设立了界首沙颍河桥省界监测断面,以此来指导相关地区在经济社会发展中开展环境保护和恢复水生态环境工作。

本文以淮河流域界首沙颍河桥省界监测断面为例,依据淮河水利委员会发布的《淮河流域水污染防治十二五规划》和国务院批准的《重点流域水污染防治规划(2011—2015年)》中的2015年淮河流域水功能区划水质目标为控制标准,作为水污染生态补偿的临界判断标准,研究2010年淮河流域沙颍河上游周口市与下游阜阳市之间的水污染生态补偿问题。

本文数据主要取自于《2010年1—12月淮河流域省界水体及主要河流水资源质量状况通报》、2010年淮河流域省际断面监测数据和《地表水环境质量标准》(GB3838—2002)。

2. 水污染生态补偿资金计算

(1) 关键污染因子超标倍数计算

以《淮河流域水污染防治十二五规划》和《重点流域水污染防治规划(2011—2015年)》中2015年淮河流域水功能区划的水质规划目标为标准,根据淮河流域界首沙颍河桥省界监测断面的相关数据和公式(4),计算关键水污染因子的超标倍数,结果见表5。

(2) 补偿标准测算

根据公式(3)~(4)、表3~表5,可计算得到以2015年淮河流域水功能区划的水质规划目标为标准的,沙颍河桥监测断面各时段水污染关键因子的补偿标准,见表6。

(3) 沙颍河桥省界监测断面2010年生态补偿资金测算

再次结合2015年淮河流域水功能区划的水质规划目标为标准,应用公式(5)~(7),采用淮河流域界首沙颍河桥省界监测断面的月均流量值,对淮河流域豫皖缓冲区界首沙颍河桥省界监测断面2010年生态补偿资金进行测算,结果见表7。

表 5 2010 年沙颍河桥省界监测断面关键水污染因子超标倍数计算结果

月份	监测断面水质实际值	监测断面水质目标值 (2015)	关键污染因子						
			监测断面实际值 (mg/L)		标准值 (mg/L)		超标倍数		
			NH ₃ -N	COD	NH ₃ -N	COD	NH ₃ -N	COD	
1	上半月	劣 V	IV	2.38	16.3	1.5	30	0.59	-0.46
	下半月	劣 V	IV	6.19	32.4	1.5	30	3.13	0.08
2	上半月	劣 V	IV	7.49	28.8	1.5	30	3.99	-0.04
	下半月	劣 V	IV	4.41	25.6	1.5	30	1.94	-0.15
3	上半月	劣 V	IV	4.02	32.6	1.5	30	1.68	0.09
	下半月	劣 V	IV	3.91	24.3	1.5	30	1.61	-0.19
4	上半月	劣 V	IV	3.38	22.3	1.5	30	1.25	-0.26
	下半月	V	IV	1.64	13.8	1.5	30	0.09	-0.54
5	上半月	劣 V	IV	2.95	20.3	1.5	30	0.97	-0.32
	下半月	IV	IV	1.44	19.5	1.5	30	-0.04	-0.35
6	上半月	III	IV	0.87	17.7	1.5	30	-0.42	-0.41
	下半月	IV	IV	0.62	12.6	1.5	30	-0.59	-0.58
7	上半月	IV	IV	0.32	18.3	1.5	30	-0.79	-0.39
	下半月	劣 V	IV	0.39	46.5	1.5	30	-0.74	0.55
8	上半月	III	IV	0.32	11.7	1.5	30	-0.79	-0.61
	下半月	III	IV	0.34	12.9	1.5	30	-0.77	-0.57
9	上半月	III	IV	0.23	18	1.5	30	-0.85	-0.40
	下半月	IV	IV	0.31	11.3	1.5	30	-0.79	-0.62
10	上半月	III	IV	0.27	17.1	1.5	30	-0.82	-0.43
	下半月	III	IV	0.18	13.4	1.5	30	-0.88	-0.55
11	上半月	III	IV	0.71	16.2	1.5	30	-0.53	-0.46
	下半月	III	IV	0.91	13.4	1.5	30	-0.39	-0.55
12	上半月	III	IV	1.31	15.7	1.5	30	-0.13	-0.48
	下半月	III	IV	2.39	20.2	1.5	30	0.59	-0.33

注:以日为单位计算而得到的生态补偿量能精确的反映区域的水环境污染状况,但限于数据资料的匮乏,本文以每个月的上半月和下半月为单位来分开计算生态补偿量(下同)。

表 6 2010 年沙颍河桥省界监测断面关键水污染因子补偿标准计算结果

月份	监测断面实际水质	超标倍数 x_{ij}		生态补偿罚数 f_{ij}		关键污染因子补偿标准 y_{ij} (元/吨)		
		NH ₃ -N	COD	NH ₃ -N	COD	NH ₃ -N	COD	
1	上半月	劣 V	0.59	-0.46	10	5	99518	11425
	下半月	劣 V	3.13	0.08	25	5	646242	8451
2	上半月	劣 V	3.99	-0.04	25	5	780810	8138
	下半月	劣 V	1.94	-0.15	20	5	368029	8999
3	上半月	劣 V	1.68	0.09	20	5	335482	8529
	下半月	劣 V	1.61	-0.19	20	5	326720	9312
4	上半月	劣 V	1.25	-0.26	15	5	211241	9860
	下半月	V	0.09	-0.54	1	2	6822	4820
5	上半月	劣 V	0.97	-0.32	10	5	123302	10329
	下半月	IV	-0.04	-0.35	1	2	6509	4226
6	上半月	III	-0.42	-0.41	2	2	17776	4413
	下半月	IV	-0.59	-0.58	2	2	19904	4945
7	上半月	IV	-0.79	-0.39	2	2	22407	4351
	下半月	劣 V	-0.74	0.55	10	10	108907	24258
8	上半月	III	-0.79	-0.61	2	2	22407	5039
	下半月	III	-0.77	-0.57	2	2	22157	4914
9	上半月	III	-0.85	-0.40	2	2	23158	4382
	下半月	IV	-0.79	-0.62	2	2	22407	5071
10	上半月	III	-0.82	-0.43	2	2	22783	4476
	下半月	III	-0.88	-0.55	2	2	23534	4852
11	上半月	III	-0.53	-0.46	2	2	19153	4570
	下半月	III	-0.39	-0.55	2	2	17400	4852
12	上半月	III	-0.13	-0.48	2	2	14145	4632
	下半月	III	0.59	-0.33	2	2	19904	4163

表 7 2010 年淮河流域沙颍河桥省界监测断面水污染生态补偿资金测算结果

月份	关键水污染因子补偿标准值(元/吨)		目标水质标准值(mg/L)		超标倍数		平均流量(m ³ /s)	生态补偿资金(元)		
	NH ₃ -N	COD	NH ₃ -N	COD	NH ₃ -N	COD		NH ₃ -N	COD	
1	上半月	99518	11425	1.5	30	0.59	-0.46	39.01	2611596	-3639186
	下半月	646242	8451	1.5	30	3.13	0.08	39.01	511458844	87480
2	上半月	780810	8138	1.5	30	3.99	-0.04	30.6	690729953	-14458
	下半月	368029	8999	1.5	30	1.94	-0.15	30.6	76902413	-219837
3	上半月	335482	8529	1.5	30	1.68	0.09	57.4	105656432	148467
	下半月	326720	9312	1.5	30	1.61	-0.19	57.4	100592188	-800234
4	上半月	211241	9860	1.5	30	1.25	-0.26	75.6	48637683	-1934050
	下半月	6822	4820	1.5	30	0.09	-0.54	75.6	8422	-4131261
5	上半月	123302	10329	1.5	30	0.97	-0.32	128.01	28769004	-5318571
	下半月	6509	4226	1.5	30	-0.04	-0.35	128.03	-2764	-2748087
6	上半月	17776	4413	1.5	30	-0.42	-0.41	116.01	-707110	-3345691
	下半月	19904	4945	1.5	30	-0.59	-0.58	116.04	-1553596	-7502509
7	上半月	22407	4351	1.5	30	-0.79	-0.39	439	-11883992	-11295594
	下半月	108907	24258	1.5	30	-0.74	0.55	439	-54288612	133597974
8	上半月	22407	5039	1.5	30	-0.79	-0.61	446	-12073486	-32513606
	下半月	22157	4914	1.5	30	-0.77	-0.57	446	-12201922	-29530765
9	上半月	23158	4382	1.5	30	-0.85	-0.4	738	-23910302	-20117545
	下半月	22407	5071	1.5	30	-0.79	-0.62	738	-20147406	-56232614
10	上半月	22783	4476	1.5	30	-0.82	-0.43	154	-4586228	-4955346
	下半月	23534	4852	1.5	30	-0.88	-0.55	154	-5819783	-9430745
11	上半月	19153	4570	1.5	30	-0.53	-0.46	103.04	-1070488	-3872535
	下半月	17400	4852	1.5	30	-0.39	-0.55	103.02	-534451	-5913353
12	上半月	14145	4632	1.5	30	-0.13	-0.48	82.2	-37220	-3387058
	下半月	19904	4163	1.5	30	0.59	-0.33	82.2	1187648	-1529861
上游对下游的生态补偿量									1566554183	133833921
下游对上游的生态补偿量									-148817359	-208432908
上、下游间全年需支付的单因子生态补偿量									1417736823	-74598987
上、下游之间全年综合生态补偿量									1343137836	

注:当生态补偿量为正数时,表明上游需要对造成下游的水环境污染和破坏进行补偿;当生态补偿量为负数时,表明下游需要对上游的水环境保护行为给予补偿。

3. 结果分析

界首沙颍河桥省界监测断面上游为河南省周口市,下游为安徽省阜阳市,根据表 7 的测算结果,以 2015 年淮河流域水质规划目标为标准,对界首沙颍河桥省界监测断面 2010 年上、下游政府和企业生态补偿资金总量进行分析:

(1)对该断面 2010 年生态补偿资金测算的结果表明,从全年情况来看,对照水质目标值,上半年的 1—5 月上旬,NH₃-N 超标较为严重,除 12 月下旬外,其余时段指标好于水质目标值;除 7 月下旬外,2010 年该断面 COD 基本达到水质目标,且绝大部分时段好于水质目标值。

(2)从 2010 年总体情况来看,从淮河流域沙颍河上游周口市排放的出水水质整体较差,需要向下游阜阳市进行生态补偿,以弥补其因水环境污染而对下游阜阳市造成的损失。同时,对于上游周口市在部分月份采取污染减排和水环境保护措施,改

善了水环境质量的为,下游的阜阳市也需要向上游的周口市进行奖励和支持。

(3)从全年情况来看,2010 年上游周口市需向下游阜阳市支付 NH₃-N 排放生态补偿资金 141773.7 万元,下游阜阳市需向上游周口市支付 COD 减排生态补偿资金 7459.9 万元。综合平衡两个关键污染因子,2010 年全年上游周口市需向下游阜阳市支付 134313.8 万元生态补偿资金。上游的周口市对下游的阜阳市实际支付的生态补偿量分别占 2010 年周口市和阜阳市 GDP 总量的 1.09% 和 1.86%。这笔资金可以对淮河流域安徽省的阜阳市及其他受水污染影响的地区起到一定的补偿作用,同时也可以对河南省以及流域内其他相关地区在经济社会发展中,重视和加强淮河水资源保护和治理有较强的警示和激励作用。

五、结论与讨论

本文针对当前淮河流域面临的水资源短缺和上下游水质长期恶化的现状,在经过课题组实地调研而确定淮河流域跨界水污染关键补偿因子的基础上,建立了淮河流域生态补偿标准体系,提出了水污染生态补偿的原则,确定了基于关键水污染因子的生态补偿基准值、水质超标补偿罚数、生态补偿标准值和生态补偿临界判断分层实施规划,以及建立了生态补偿量测算模型,为淮河流域生态补偿机制的实施提供了依据。并以淮河流域界首沙颍河桥省界监测断面为例进行了实证研究,研究结果客观地反映了淮河流域水污染的现实情况,与淮河流域上游水质整体不佳的现实情况相吻合。说明本文建立的淮河流域生态补偿指标体系是科学合理的,可靠性强,可以有效地应用到整个淮河流域生态补偿和水污染治理的工作中。

生态补偿标准体系的建立和完善是一项十分重要和复杂的系统工作。目前,还没有形成一套公认的生态补偿标准核算体系。选择不同的评价指标变量,按照不同的标准和形式进行研究,就会有差异。因此,生态补偿机制要做到理论上完善和技术上可行,还需要进一步研究。本文对淮河流域生态补偿标准体系的探索,提供了一种解决淮河流域跨界水污染问题的思路。在具体的应用中,要考虑到流域内各地区经济社会发展水平,在协商一致的基础上,建立和完善流域生态环境保护机制,以实现流域内各地区经济发展与环境保护的共赢。

参考文献:

- [1] Ruud C. Ecological compensation of the impacts of a road [J]. *Ecological Engineering*, 1996(7):327-349.
- [2] Ruud C, Kees J C, Helias A. Udo de Haes et al. Guidelines for Ecological Compensation Associated with Highways [J]. *Biological Conservation*, 1999(90):41-51.
- [3] Brian C M, Robert C A. Estimating Price Compensation Requirements for Eco-certified Forestry [J]. *Ecological Economics*, 2001(36):149-163.
- [4] Herzog F, Dreier S, Hofer G, Marfurt C, Walter et al. Effect of Ecological Compensation Areas on Floristic and Breeding Bird Diversity in Swiss Agricultural Landscapes [J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2005(108):189-204.
- [5] Richard C. Substitution and Scalar Politics: Negotiating Environmental Compensation in Cardiff Bay [J]. *Geoforum*, 2003(34):343-358.
- [6] Moran D, Mc V A, Allecfn D J, et al. Quantifying public preferences for Agri-environmental Policy in Scotland: a comparison of methods [J]. *Ecological Economics*, 2007(1):42-53.
- [7] Pagiola S. payments for environmental services in Costa Rica [J]. *Ecological Economics*, 2008(65):712-724.
- [8] 王浩,陈敏建,唐克旺.水生态环境价值和保护对策[M].北京:清华大学出版社,2004.
- [9] 王金南,万军,张惠远,等.中国生态补偿政策评估与框架初探[C]//王金南,庄国泰.生态补偿机制与政策设计国际研讨会论文集.北京:中国环境科学出版社,2006.
- [10] 张翼飞,陈红敏,李瑾.应用意愿价值评估法,科学制订生态补偿标准[J].*生态经济*,2007(9):28-31.
- [11] 徐大伟,郑海霞,刘民权.基于跨区域水质水量指标的流域生态补偿量测算方法研究[J].*中国人口·资源与环境*,2008,18(4):189-194.
- [12] 耿雷华,李原园.水源涵养与保护区域生态补偿机制研究[M].北京:中国环境科学出版社,2010.
- [13] 蔡邦成,陆根法,宋莉娟,等.生态建设补偿的定量标准——以南水北调东线水源地保护区一期生态建设工程为例[J].*生态学报*,2008,28(5):2413-2416.
- [14] 王飞儿,徐向阳,方志发,等.基于COD通量的钱塘江流域水污染生态补偿量化研究[J].*长江流域资源与环境*,2009,18(3):259-263.
- [15] 刘晓红,虞锡君.县域跨界水污染补偿机制在嘉兴市的探索[J].*环境污染与防治*,2009,31(4):85-88.
- [16] 庞爱萍,李春晖,刘坤坤,等.基于水环境容量的漳卫南流域双向生态补偿标准计算[J].*中国人口·资源与环境*,2010,20(5):100-103.
- [17] 张落成,李青,武清华.天目湖流域生态补偿标准核算探讨[J].*自然资源学报*,2011,26(3):412-418.
- [18] 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.
- [19] 付意成,阮本清,许凤冉,等.永定河流域水生态补偿标准研究[J].*水利学报*,2012,43(6):740-748.
- [20] 李万莲,由文辉,王敏.淮河流域蚌埠城市水生态系统服务价值评估[J].*资源开发与市场*,2006,22(5):457-460.
- [21] 陈兆开.淮河流域源头水环境生态补偿问题研究[J].*安徽农业科学*,2007,35(33):10831-10832,10849.
- [22] 陈兆开.淮河流域水资源生态补偿制度问题研究[J].*安徽农业科学*,2007,35(24):7599-7600.
- [23] 乔治,孙希华,单玉秀.区域水土保持生态补偿定量计算方法探究——以淮河流域土石山区为例[J].*中国*

水土保持,2009(12):45-48.

途径[J]. 青岛农业大学学报:社会科学版,2012,24(4):64-68.

[24] 刘明华, 郜慧, 韩国新. 基于流域生态补偿机制的淮河流域上游应急控制系统模型建立与应用研究[J]. 环境科学与管理, 2011, 36(2): 49-53.

(责任编辑: 刘浩)

[25] 程亚丽. 生态补偿视角下淮河流域城市生态环境改善

On Ecological Compensation Standard Estimating Model Based on Key Water Pollution Factors in Huaihe River Basin

HUANG Taozhen^{1,2}, SONG Shengbang³

(1. Public Administration School, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. Collaborative Innovation Center for Coastal Development, Nanjing 210098, China;

3. Business School, Hohai University, Nanjing 211100, China)

Abstract: Ecological compensation is an effective measure to solve the problem of water pollution. The calculation of ecological compensation standard is the key to the implementation of ecological compensation. Based on the analysis of the water quality status and changing trend of water pollution factor, the key pollution factors of the Huaihe River Basin are determined through the principal component analysis. And with the processing cost of key pollution factors used as the basis, and with the multiples of water quality status and water pollution factors exceeding the standard taken into consideration, the ecological compensation penalty value of key water pollution factors was determined. Then, the paper established the model of ecological compensation standard estimating model based on key water pollution factors in the Huaihe River Basin, which reflects the economic leverage of ecological compensation regulation and incentives. An empirical analysis on the standard of ecological compensation and ecological compensation fund was carried out taking provincial monitoring sections at Shaying River Bridge in Jiesshou in the Huaihe River Basin as a case, and the result better reflected the new ideas on basin water environment management: the behavior of high pollution is regulated through penalty, the behavior of pollution control and emission reduction is rewarded with incentives, the rationality and maneuverability of the model are verified, and scientific basis for the effective implementation of the Huaihe River Basin's ecological compensation is provided.

Key words: Water Pollution Factor; Ecological Compensation; Ecological Compensation Penalty Value; Compensation Standard Estimating; the Huaihe River Basin