

文章编号:1000-582X(2004)02-0125-03

污水回用改变水循环的环境经济分析*

邓荣森,李青,陈德强

(重庆大学城市建设与环境工程学院,重庆 400030)

摘要:城市污水回用是缓解我国水危机和促进水资源良性发展的重要途径,必须将其纳入整个城市用水系统。综合考虑了污染物、水量等因素,对污水回用改变水循环的环境经济效益进行分析。研究表明:在增加污水回用这一环节后,下水系统处理污染物增加;上水系统处理污染物、排放环境污染物减少;与之对应的费用也相应增减;对整个水循环系统污水回用的环境经济净效益为: $C = \theta\omega W_6 + RQ [(W_2 - W_x)^k - (W_5 - W_x)^k] + \mu Q_{\uparrow} - \alpha Q_{\uparrow}^{\beta} + k_3 Q_{2T}^k (\eta_1^{k_4} - \eta_2^{k_4})$,可以此作为对缺水地区用户制定罚款或补贴等激励机制的基础。

关键词:污水回用;水循环;环境经济
中图分类号:X196

文献标识码:A

随着我国经济发展水平的不断提高和水资源短缺形势日益严峻,城市污水回用逐渐提上议事日程,通过使用回用水替代现有的水资源,减少了从环境中取水的数量,可使这些水资源用于更稀缺的地方,对于缓解缺水地区用水危机具有重要的经济意义。同时,通过污水回用减少了排放环境的污染物量,改善了水质,具有重要的环境意义。因此,从经济发展全局及水环境质量考虑,城市污水回用对于缓解我国日益严峻的水危机和水污染都具有重要的作用,应该将其纳入整个城市用水系统,进行城市整体的水质量管理。笔者主要针对增加污水回用后的水循环模式进行环境经济分析,较直观地说明污水回用对整个水循环的意义。

1 水循环模式

图1为传统意义上的水循环模式(取水—供水—排水—处理—排放),即取水经上水系统处理后供给用户系统,用户系统排放的污水经下水系统处理后回到水体,完成水循环的过程。

图2为新的水循环模式,即在传统水循环模式中加入了污水回用这一环节,在水循环系统中有上水、中水、下水3个主体,取水经上水系统处理后供给用户系统,用户系统排放的污水经下水系统处理以后,一部分

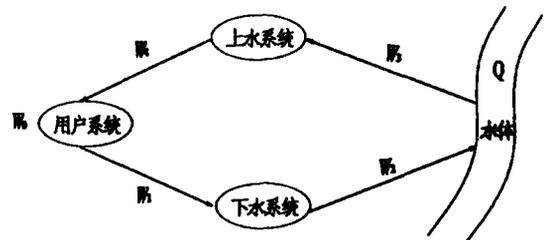


图1 传统水循环模式

回到水体中完成水循环,另一部分则通过中水系统进一步处理达到相应的水质标准后,供给工业、农业和市政杂用水。

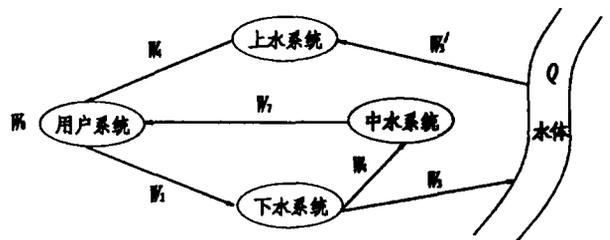


图2 新的水循环模式

2 费用效益函数分析

2.1 参数分析

为描述方便,设用户系统产生排入下水系统的污

* 收稿日期:2003-10-28

基金项目:国家“十五”科技攻关项目(2001BA610A)

作者简介:邓荣森(1938-),男,四川广汉市人,重庆大学教授,博士生导师,主要从事水污染防治的研究工作。

染物为 W_0 ;

下水系统排放污染物通过水体稀释和自然净化后得到削减,设其净化稀释系数为 ε ;

各系统处理水量分别用 $Q_{上}$ 、 $Q_{中}$ 、 $Q_{下}$ 表示,处理后污染物浓度分别为 $q_{上}$ 、 $q_{中}$ 、 $q_{下}$

则图 1 中各参数之间的对应关系:

$$W_4 + W_0 = W_1; \quad W_3 = \varepsilon W_2;$$

$$W_4 = q_{上} * Q_{上}; \quad W_2 = q_{下} * Q_{下}$$

图 2 中各参数之间的对应关系:

$$W_4 + W_0 + W_7 = W_1'; \quad W_5 + W_6 = W_2; W_3' = \varepsilon W_5;$$

$$W_6 = q_{下} * Q_{中}; \quad W_7 = q_{中} * Q_{中}$$

2.2 费用效益函数

费用函数是描述环境污染治理费用与某种或几种变量之间关系的数学表达式,国外对费用函数的研究开展比较早,美国 EPA 早在 1976 年就在全国范围内开展了水污染控制和管理方面的调研,取得了大量可靠的基础数据,提出了 6 大类 56 种污水和污泥处理工艺的费用函数。在我国,由于对费用函数的研究起步较晚,缺乏统一的计算标准,没有充分考虑地区和时间的价差影响,各参数不尽统一,费用函数的可比性差,应用的地方性不高。因此,这里只能从概念上进行分析,今后随着对费用函数的研究逐步完善,即可对其进行量化分析。

1) 上水处理费用函数:通过查阅大量资料发现,费用函数型式很多,美国建立了较为复杂的费用模型,国内一些学者也提出许多常用模型,认为费用函数与供水量、给水管网及污染物去除量均有关^[1],这里以一元线性函数型为例进行分析:

$$C_{上} = f(Q_{上}, L) + \theta(W_{入} - W_{出})$$

式中: $C_{上}$ 为上水处理厂投资与运行费用(万元/a); L 为管网长度(m)

θ 为待定系数,有学者曾提出 θ 值为 6.02×10^{-3} , 但有待于进一步研究^[2]。

2) 中水处理费用函数:这里中水处理费用是参考国内外常用工艺,选择污水二级处理加深度处理的工艺流程,其中深度处理采用混凝沉淀、过滤、消毒,这种情况下费用函数表示为^[3]:

$$C_{中} = \alpha Q_{中}^{\beta}$$

式中: $C_{中}$ 为中水处理厂投资与运行费用(万元/a)

α 、 β 为待定系数,根据国内外已有的工程技术经济函数, α 取 15.37, β 取 0.83^[4]。

3) 下水处理费用函数:按照城市污水二级处理厂进行费用函数拟合,学者认为费用函数与处理量和主

要污染物的去除率都有关系^[5-6]。

$$C_{下} = k_1 Q_{下}^{k_2} + k_3 Q_{下}^{k_2} \eta^{k_4}$$

式中: $C_{下}$ 为下水处理厂投资与运行费用(万元/a)

K_1 、 K_2 、 K_3 、 K_4 为待定系数,可由实际调查确定或经过系列设计计算得到费用矩阵后采用最优化方法仿真确定; η 为污染物去除率(一般指 COD 的去除率)

有资料通过费用拟合,得出二级污水处理厂投资与运行费用函数为^[7]:

$$C_{下} = 9Q_{下}^{0.657} + 22Q_{下}^{0.657} \eta^{1.7}$$

4) 污染损失费用函数:水污染损失是水资源所具有的价值由于被污染而降低或丧失所造成的经济损失,根据我国环境保护的政策、方针及水资源的特性,提出水污染损失的计算模式为^[8]:

$$F = QR(W_{入} - W_{允})^k$$

式中: F 为水污染造成的经济损失(万元/a); Q 为遭到污染的水资源量(亿 m^3);

R 为反映单位水资源量价值与污染损失的系数(万元/ $t \cdot$ 亿 m^3);其大小与水资源的稀缺性和开发利用条件有关,地区、丰枯度、时段不同, R 值各不相同。

$W_{入}$ 为计算区域内影响河流主要污染物的入河量(t/a);

$W_{允}$ 为计算区域内主要污染物的允许排放量(t/a);

k 为无量纲因次参数($0 < k < 1.0$),可用单项经济损失法反推或采用典型调查结果。

5) 经济效益函数:污水再生最重要的经济效益在于减少为满足用水要求而必须从环境中取水的数量,增加城市供水量而带来的经济效益,其效益应为再生水量 $Q_{中}$ 的函数,即: $C = \mu Q_{中}$ 。

式中: C 为污水再生减少取水量带来的经济效益(万元/a)

μ 表示缺水所影响的经济产值系数(万元/万 t);

许多学者认为,在无法准确估量公共物品经济效益时,应按照资源影子价格进行计算,根据联合国开发计划署(UNDP)、世界银行、亚洲开发银行近几年进行的技术援助项目研究结果,我国每立方米水影子价格平均为 3~4 元,缺水地区每立方米水影子价格超过 5 元^[7,9]。

3 环境经济分析

从前面分析中可以看出,增加污水回用这一环节后,整个水循环系统排放的污染物和处理费用都发生了相应的变化,具体如表 1 所示:

表 1 污染物和处理费用一览表

项目	传统水循环模式	新的水循环模式	变化情况
上水系统处理费	$f(Q_{\pm}, L) + \theta(W_3 - W_4)$	$f(Q_{\pm}, L) + \theta(W_3 - W_4)$	$\theta \varepsilon W_6$
中水系统处理费	0	αQ_{Φ}^{β}	$-\alpha Q_{\Phi}^{\beta}$
下水系统处理费	$k_1 Q_{\mp}^{k_2} + k_3 Q_{\mp}^{k_2} \eta_1^{k_4}$	$k_1 Q_{\mp}^{k_2} + k_3 Q_{\mp}^{k_2} \eta_1^{k_4}$	$k_3 Q_{\mp}^{k_2} + (\eta_1^{k_4} - \eta_2^{k_4})$
环境污染损失	$RQ(W_2 - W_{\text{允}})^k$	$RQ(W_5 - W_{\text{允}})^k$	$RQ[(W_2 - W_{\text{允}})^k - (W_5 - W_{\text{允}})^k]$
上水处理污染物	$W_3 = \varepsilon W_2$	$W_3' = \varepsilon W_5$	$-\varepsilon W_6$
下水处理污染物	$W_1 = W_4 + W_0$	$W_1 = W_4 + W_0 + W_7$	W_7
排放环境污染物	$W_2 = W_5 + W_6$	W_5	$-W_6$

从表 1 中可以看出,加入污水回用这一环节后,下水系统处理污染物增加;上水系统处理污染物减少、排放环境污染物减少;与之对应的费用也相应增减;传统水循环模式与新的水循环模式各项费用之差即为增加污水回用产生的环境净效益。则对整个水循环系统污水回用产生的环境经济净效益为:

$$C = \theta \varepsilon W_6 + RQ[(W_2 - W_{\text{允}})^k - (W_5 - W_{\text{允}})^k] + \mu Q_{\Phi} - \alpha Q_{\Phi}^{\beta} + k_3 Q_{\mp}^{k_2} (\eta_1^{k_4} - \eta_2^{k_4})$$

对于缺水城市,供水量 Q_{\pm} 有限,在污水处理量 Q_{\mp} 和工艺一定的情况下: W_2, W_4 一定; W_5, W_7 只与再生量 Q_{Φ} 有关;显然,根据不同地区、水域等外界条件确定式中各参数后,目标函数仅与污水再生量 Q_{Φ} 有关。对此函数求导数,即可得到使用单位回用水的边际净效益,对于缺水地区,按照规划要求应使用回用水而未使用的用户,该值即为该用户对水循环系统造成的环境经济损失,因此,对用户超过规定用水量后仍使用优质水的情况,管理部门应对超标用水量按照此边际净效益值征收相应的罚款,以激励用户使用回用水。

4 实例分析

由于目前费用函数的研究还不完善,对污水回用的环境经济效益只能进行粗略的分析,本课题组针对北京某热电厂污水回用工程(7.68 万 m^3/d)进行了环境经济分析,其费用函数系数取值情况如表 2 所示:

表 2 费用函数系数取值一览表

系数	ε	θ	Q_{\mp} (万 m^3/a)	Q_{Φ} (万 m^3/a)	q_{\mp} ($\text{t}/\text{万 m}^3$)
取值	0.25	6.02×10^{-3}	30 000	2 304	0.521
系数	$W_{\text{允}}$	K	μ (万元/万 m^3)	R (万元/ $\text{t} \cdot \text{亿 m}^3$)	Q (亿 m^3)
取值	0	0.25	4.9	200	0.3
系数	K_2	K_3	K_4	α	β
取值	0.657	22	1.7	15.37	0.83

$$W_6 = q_{\mp} Q_{\Phi} = 0.521 \text{ t}/\text{万 m}^3 \times 2304 \text{ 万 m}^3/\text{年} = 1200.4 \text{ t/a}$$

$$W_2 = q_{\mp} Q_{\mp} = 0.521 \text{ t}/\text{万 m}^3 \times 30000 \text{ 万 m}^3/\text{年} = 15630 \text{ t/a}$$

$$W_5 = W_2 - W_6 = 14429.6 \text{ t/a}$$

$$W_4 + W_0 = 2.977 \text{ t}/\text{万 m}^3 \times 30000 \text{ 万 m}^3/\text{年} = 89310 \text{ t/a (下水系统处理污染物)}$$

$$W_7 = q_{\Phi} Q_{\Phi} = 0.5 \text{ t}/\text{万 m}^3 \times 2304 \text{ 万 m}^3/\text{a} = 1152 \text{ t/a}$$

$$\eta_1 = 1 - \frac{W_2}{W_4 + W_0} = 1 - \frac{15630}{89310} = 82.5 \%$$

$$\eta_2 = 1 - \frac{W_2}{W_4 + W_0 + W_7} = 1 - \frac{15630}{89310 + 1152} = 82.7 \%$$

则其环境经济净效益为:

$$C = 1.51 \times 10^{-3} W_6 + 200Q[(W_2^{0.25} - W_5^{0.25}) + 4.9Q_{\Phi} - 15.37Q_{\Phi}^{0.83} + 22Q_{\mp}^{0.657}(\eta_1^{1.7} \eta_2^{1.7})] = 0.7 + 13.2 + 11 289.6 - 9 495.86 - 57.68 = 1 749.96 \text{ 万元/a}$$

即对于整个环境经济系统通过污水回用,每年可以产生 1 749.96 万元的净效益,可见城市污水回用具有重要的环境经济意义。国家应该加大投资力度,采取鼓励性措施加快城市污水回用工程的建设进程,同时对应使用回用水而未使用的用户征收相应的罚款,以促进回用水的推广应用,缓解我国日益严峻的水资源短缺形势,实现水资源的良性循环。

参考文献:

- [1] ROBERT M, CLARK, PAUL DORSEY. A Model of Costs for Treating Drinking Water[M]. JAWWA. 1982.
- [2] 陈积福,袁维颖. 最优化理论在水处理中的应用[M]. 武汉:水利电力出版社,1992.
- [3] 徐森,李梅. 中水处理技术费用的数学模型[J]. 工业用水与废水,2002, 33(3): 8-9.
- [4] 田一梅. 城市自来水与中水系统综合规划的优化研究[J]. 给水排水,2001,27(5): 23-26.
- [5] 蒋惠忠,卢旭阳. 污水处理单元构筑物费用函数研究[J]. 环境保护,2000,(8): 41-43.
- [6] 上海市市政工程设计研究院. 给水排水设计手册(第 10 册)[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2002. 480-483.
- [7] 张兰生. 实用环境经济学[M]. 北京:清华大学出版社,1995. 217-218.
- [8] 刘晨,伍丽萍. 水污染造成的经济损失分析计算[J]. 水利学报,1998,(8): 56-60.
- [9] 张帆. 环境与自然资源经济学[M]. 上海:上海人民出版社,1998.

- [4] 张玉清. 河流功能区水污染物容量总量控制的原理和方法[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2001.
- [5] 李锦秀, 廖文根, 黄真理. 三峡工程对库区水流水质影响

- 预测[J]. 水利水电技术, 2002, (10): 22-25.
- [6] 黄真理. 三峡工程中的几个环境水力学问题[J]. 中国三峡建设, 1999, (9): 36-45.

The Allocation of Total Pollutants Discharge Control for Chongqing Region Three Gorges Area

YUAN Hui, WANG Li' ao, HU Gang, CUI Zhi-qiang, ZHAN Yan-hui

(College of Resource and Environmental Science, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract: The water environment will become very important in the Three Gorges Area. In the year 2010, the total control amount of pollutants (COD & NH₃ - N) discharging into the reservoir of Chongqing Three Gorges Area is 126,300 t/a and 7,800 t/a respectively. Two allocating methods, considering both the discharging amounts and contaminated zones, and proportionally allocating are adopted. Based on the final allocating result, some measurements to realize the water pollution control and water environmental protection are proposed.

Key words: Chongqing reservoir region; allocation; total pollutants discharge control

(编辑 姚 飞)

(上接第127页)

Environmental and Economic Analyses on the Changed Model of Water Circular Through Municipal Water Reusing

DENG Rong-sen, LI Qing, CHEN De-qiang

(College of Urban Construction & Environmental Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract: Water reuse is not only the best way to solve the urgent condition of water crisis in our country but also an important way to achieve the subsistent development of water. To make some sanction suggestions in water depict area, we should take the water quality and quantity into consideration, and add the sector of reusing municipal water to the whole water circular, and make analysis on the environmental and economic net benefits of water reuse. Through elaborate research on the water circular model, it can get the result that the pollutants discharging to the wastewater system will increase, the pollutants discharging to environment and tap water system will decrease when adding the loop of water reuse, and the corresponding costs will change. For the whole water circular system, by reusing municipal water it can bring forth such environmental and economic net benefits as that formula: $C = \theta\omega W_6 + RQ[(W_2 - W_{\text{re}})^k - (W_5 - W_{\text{re}})^k] + \mu Q_{\text{中}} - \alpha Q_{\text{中}}^{\beta} + k_3 Q_{2\text{下}}^k (\eta_1^{k_4} - \eta_2^{k_4})$. In water deceit areas, it can make some references on the sanction mechanism such as penalty and allowance according to this environmental and economic net.

Key words: reusing municipal water; water circular; environment and economic meaning

(编辑 姚 飞)