

# 重庆地区再生水回用模式及环境经济效益研究

王国友<sup>1</sup>, 谭灵芝<sup>2</sup>

(1. 重庆工商大学 经济管理实验中心, 重庆 400067; 2. 重庆工商大学 长江上游经济研究中心, 重庆 400067)

**摘要:** 水资源短缺使得各国对再生水回用日益重视。通过回顾国内外对再生水利用的研究结论和实践, 阐释了再生水回用对水资源循环利用的重要意义。构建了费用效益计算公式, 并分析了再生水回用环境经济效益。以重庆市为例, 利用构建的公式, 结合重庆市的实际分析了该市再生水回用环境经济效益。结果表明, 重庆市大部分行业再生水利用率极低, 有一定的提高潜力, 需从水价调整, 转变经济发展方式等方面入手, 全面提高再生水利用效益。

**关键词:** 再生水回用; 环境经济效益; 重庆市

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2012)04-0312-05

中图分类号: F062.2

## Benefits of Recycled Water for Environment and Economics of Chongqing City

WANG Guo-you<sup>1</sup>, TAN Ling-zhi<sup>2</sup>

(1. Economic and Management Center of Chongqing Technology and Business

University, Chongqing 400067, China; 2. Research Center of Economy of Upper Reaches of

Yangtze River, Chongqing Technology and Business University, Chongqing 400067, China)

**Abstract:** The reclaimed water is becoming more and more important in the most countries owing to the increasingly urgent water crisis. This study addressed the important significance of the reclaimed water and developed an environmental-economic benefit formula on the reclaimed water based on critical reviews on domestic and international theories and practices of water recycling. Exemplified by Chongqing City, we calculated the concerned indices according to the statistical data. We also analyzed the environmental economic benefits of recycled water reuse. The results show that the recycled water reuse rate was extremely low and had great potentials to improve. We should improve water use efficiency in practices, such as adjusting the price of water, and converting the patterns of economic growth.

**Keywords:** recycled water; environmental-economic benefits; Chongqing City

随着水资源的日益紧缺, 国内外许多城市和研究者对于水资源节约利用以及对社会经济系统影响的研究和实践逐渐开展起来。Beekman<sup>[1]</sup>从节水减污的角度系统论述了水体保护、节水利用的基本原理。Lund<sup>[2]</sup>对节水的成本与风险交易以及对产业结构、社会经济发展的影响进行了分析。美国哥伦比亚大学的 Glenn<sup>[3]</sup>建立了国家层面水资源循环体系和水实物量核算投入产出表, 并运用于南部非洲国家(如纳米比亚)的水资源核算, 进而分析水资源对各部门经济的影响, 并提出相应的产业发展政策。马忠玉、蒋洪强等<sup>[4]</sup>就建设我国节水防污型社会的内容与原则进行了论述; 高明杰等<sup>[5]</sup>利用区域节水高效种植结构调整的多目标模糊优化模型, 阐释了节水效益对提

高农作物产量的效果及意义; 柴宏祥等<sup>[6]</sup>构建了适合我国西部地区绿色建筑节水项目全生命周期过程综合效益模型。在实践方面, 世界上最大的水资源节约循环利用项目出现在水资源紧缺的国家和地区, 例如中东、澳大利亚、美国西南部; 或出现在那些对废水和水污染物处理非常严格的地方, 如美国的佛罗里达、法国和意大利的沿海及内陆地区。虽然我国城市水系统现状与达成水资源节约利用还有很大差距, 但是面对我国水资源、水环境的严峻形势, 水危机已经受到国人越来越多的关注, 并引起了政府部门的高度重视。大连、深圳、北京和天津等城市相继进行了较为系统的水资源节约利用和水环境恢复的研究和实践, 是我国城市节水经济模式的初步应用。

收稿日期: 2011-04-22

修回日期: 2011-09-26

资助项目: 教育部人文社科青年项目“三峡库区环境区居民传统环境权利剥夺的生态补偿制度研究”(10YJC790250); 重庆市哲学社会科学规划项目“三峡工程后期生态补偿制度研究”(2010YBJJ09)

作者简介: 王国友(1974—), 男(汉族), 新疆维吾尔自治区乌鲁木齐市人, 工程师, 研究方向为资源经济学。E-mail: emcwguy@ctbu.edu.cn。  
通信作者: 谭灵芝(1976—), 女(汉族), 新疆维吾尔自治区乌鲁木齐市人, 副研究员, 研究方向为环境经济学。E-mail: tlz.wgy@163.com。

近年来,在水系统中增加再生水回用或其他非传统水资源(如雨水、海水、微咸水)利用的子系统,以提高水资源的循环利用效率得到广泛关注。本研究将着重对再生水回用模式进行理论分析,找出发展再生水循环模式的主要途径。以重庆市为例,通过分析再生水利用模式,因地制宜地选择和发展再生水经济模式。采取积极的节水政策措施,以农业节水支持工业化和城市化建设,工业反哺农业,大力节约用水和提高水资源利用率,有利于解决重庆市水资源供需矛盾和水环境恶化的根本问题,从而实现经济增长方式的根本转变和经济、社会、环境的协调发展。重庆市再生水利用模式对沿江地区多个大中城市在生活用水可持续供应、节水以及水循环经济等方面也具有重要的示范作用。

## 1 研究区概况

重庆市介于  $105^{\circ}17'$ — $110^{\circ}11'E$ ,  $28^{\circ}10'$ — $32^{\circ}13'N$  之间,位于青藏高原与长江中下游平原的过渡地带,气候属亚热带季风性湿润气候。重庆市东西长约 470 km,南北宽约 450 km,面积为  $8.24 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,共辖 40 个区县。在辖区内,北有大巴山,东有巫山,东南有武陵山,南有大娄山,地形由南北向长江河谷倾斜,山地、丘陵面积约占 90%,高差达 2 000 m 以上。

重庆市地处长江上游,水资源相对丰富。与水资源丰富并存的另一种情况是水资源开发利用水平低,利用率不高,水污染严重。据统计,农业用水占 70%,高于全国平均水平;而工业用水占 30%,低于全国平均水平,用水行业结构不尽合理。农业地区水利设施缺乏;工业主要以用水量较高的汽车、化工等重化工业为主,污水处理能力有限,水污染严重;重庆市水资源利用效率整体不高,优水差用、中水不用等水资源浪费现象长期存在。可以预期,今后重庆市的城市用水量必定会有一个大的提高,其水污染状况对长江中下游的影响越来越大,水资源供求矛盾会越来越突出。

## 2 再生水回用模式分析

城市再生水回用是将污水进行净化处理后,进行直接或间接的回用,使之成为城市水资源的一个重要组成部分。城市污水再生回用一方面可以作为一种水源,缓解城市对新鲜水的需求;另一方面也减少了排向城市自然水体的污染物质,为城市水环境的改善提供了一个契机。因此,污水资源化及再生水回用应是我国新时期城市水循环经济发展的着眼点,必须加

速我国污水管理模式的转变,大力提升污水处理技术和提高污水资源化的应用水平。

### 2.1 我国污水再生回用现状及潜力

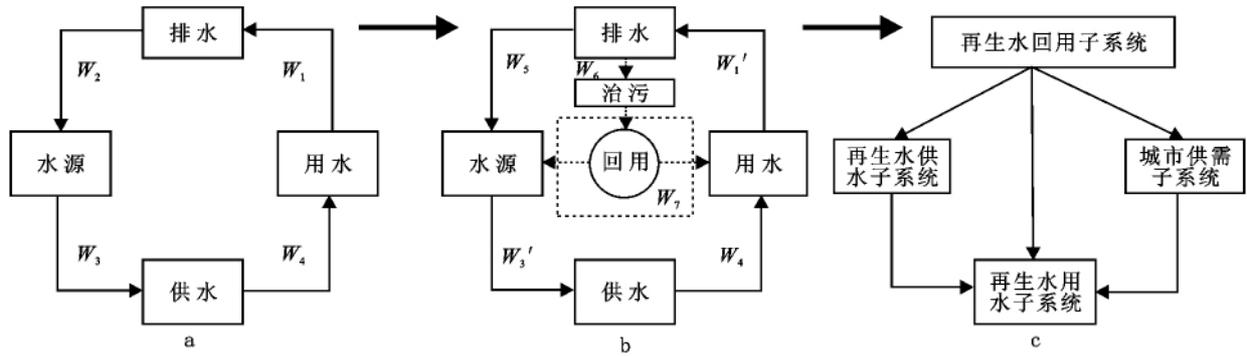
我国对于城市污水处理和回用的研究,早在 1958 年就开始列入国家科研课题,20 世纪 60 年代关于污水灌溉研究达到了一定水平。20 世纪 70 年代中期进行了城市污水以回用为目的的污水浓度试验,20 世纪 80 年代初,在北京、大连、西安等缺水城市相继开展了污水回用于工业和民用的试验与研究,还修建了中水回用试点工程并取得了积极成果。例如,北京市高碑店污水处理厂利用处理后的城市污水用于电厂冷却水,北京市环保所和北京市政设计院先后在大院内和住宅小区内开展了中水回用试点工程,起到了良好的示范和推广作用<sup>[7]</sup>。

在我国污水再生回用的发展过程中,还存在许多问题:(1) 尽管已认识到污水资源化的作用,但在实践上还没有将其摆在重要位置上;(2) 污水处理率和处理水平很低,与欧美各国的 80%~90% 的处理率存在很大差距;(3) 资金缺乏。污水处理回用需要很大的资金,在运转上也需要很大的投入,由于系列配套设施不全,污水处理水平深度不够;(4) 缺乏完善的再生水市场,尽管水价不断地进行调整,但再生水的价格还没有竞争力,建立科学合理的再生水价体系是非常必要的;(5) 再生水回用的产业政策和法规制度还不健全,鼓励污水处理和回用的税收、财政政策不健全,对污水回用的安全评估制度没有建立起来。

目前我国有 400 多个城市缺水,正常年份缺水达  $6.00 \times 10^9 \text{ m}^3$ ,预计 2030 年缺水量将达到  $4.00 \times 10^{10} \text{ m}^3 \sim 5.00 \times 10^{10} \text{ m}^3$ 。而目前全国城市污水年排放量大约为  $4.14 \times 10^{10} \text{ m}^3$ ,城市污水处理率和二级处理率分别仅为 30% 和 15%,污水回用率则更低。根据国家“十一五”环境保护规划的要求,到 2010 年我国城市污水集中处理率要达到 60% 以上,如果污水回用率平均达到 20%,则“十一五”末期污水回用量至少可达到  $3.50 \times 10^{10} \text{ m}^3/\text{a}$ ,这可解决全国城市缺水量的 1/2 以上。由此可见,我国污水再生回用的潜力巨大。

### 2.2 再生水回用改变水循环的经济分析

在传统城市水循环系统中,加入再生水回用系统,必将对整个水循环系统的污染物和处理费用产生影响,为了说明再生水回用对整个水循环的意义,有必要对增加再生水回用后的水循环模式进行环境经济分析<sup>[8]</sup>。城市污水再生回用系统的构成如图 1 所示。

图 1 城市污水再生回用系统的构成分析<sup>[8]</sup>

2.2.1 参数设置 在传统水循环模式中(图 1a),设用水系统排入排水系统的水污染物为  $W_1$ ,排水系统排入水源系统的水污染物为  $W_2$ ,供水系统从水源系统取水量所含水污染物为  $W_3$ ,供水系统对用水系统的供水量中所含水污染物为  $W_4$ 。

在加入再生水回用的水循环模式中(图 1b),设用水系统排入排水系统的水污染物为  $W_1'$ ,排水系统排入水源系统的水污染物为  $W_5$ ,排水系统进入再生水处理系统的水污染物为  $W_6$ ,再生水处理系统进入用水系统的水污染物为  $W_7$ ,供水系统从水源系统取水量中所含水污染物为  $W_3'$ ,供水系统对用水系统的用水量中所含污染物为  $W_4$ 。

设排水系统排放污水通过水源系统的水体稀释和自然净化后,污染物得到削减,其净化稀释系数为  $\epsilon$ ;用水系统、再生水处理系统和排水系统处理水量分别为  $Q_{\pm}, Q_{\text{中}}, Q_{\text{下}}$ ;用水系统、再生水处理系统和排水系统处理后污染物浓度分别为  $q_{\pm}, q_{\text{中}}, q_{\text{下}}$ 。假设整个水循环系统没有水资源损耗,则在图 1a 和图 1b 中,各参数之间的对应关系为:

$$W_3 = \epsilon W_2, \quad W_4 + W_7 = W_1',$$

$$W_5 + W_6 = W_2, \quad W_3' = \epsilon W_5$$

2.2.2 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较早,美国国家环境保护组织(EPA)早在 1976 年就在该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比较晚,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,应用的适用性差。这里,只能借助一些研究成果进行分析。

(1) 供水系统费用函数。通过查阅相关资料发现,供水系统费用函数型式较多,美国建立了较为复杂的费用函数模型,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、供水管网和污染物去除量均有关,这里以一元线性函数模型进行研究<sup>[9]</sup>。

$$C_{\pm} = f(Q_{\pm}, L) + \theta(W_{\lambda} - W_{\text{出}}) \quad (1)$$

式中: $C_{\pm}$ ——供水系统投资和运行费用(万元/a);  
 $L$ ——管网长度; $\theta$ ——待定系数,可取值为  $6.02 \times 10^{-3}$ 。

(2) 再生水系统费用函数。本研究再生水系统费用函数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,该这种情况下费用函数表示为<sup>[10]</sup>:

$$C_{\text{中}} = \alpha Q_{\text{中}}^{\beta} \quad (2)$$

式中: $C_{\text{中}}$ ——再生水处理厂投资与运行费用(万元/a);  
 $\alpha, \beta$ ——待定系数,根据国内外已有的工程技术经济函数, $\alpha$ 取 15.37, $\beta$ 取 0.83。

(3) 排水系统费用函数。排水系统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,其费用函数与污水处理量和主要污染物的去除率有关<sup>[11]</sup>。

$$C_{\text{下}} = k_1 Q_{\text{下}}^{k_2} + k_3 Q_{\text{下}}^{k_3} \eta^{k_4} \quad (3)$$

式中: $C_{\text{下}}$ ——排水系统污水处理厂投资和运行费用(万元/a); $k_1, k_2, k_3, k_4$ ——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,有关资料通过费用拟合,得出其取值分别为 9, 0.657, 22, 1.7;  $\eta$ ——水污染物去除率(一般指 COD 去除率)。

(4) 污染损失费用函数。城市水循环系统除了要计算处理污水实际支出的费用外,还应计算污水排放所造成的污染损失。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。计算水污染损失有两种方法:一种是虚拟治理成本法(又叫恢复费用法),一种是污染损失评估法。本研究采用虚拟治理成本法,则水污染损失的计算模型为<sup>[12]</sup>:

$$F = R(W_{\lambda} - W_{\text{允}}) \quad (4)$$

式中:  $F$ ——污水排放所造成的经济损失;  $R$ ——单位废水治理所花费的成本;  $W_{\lambda}$ ——城市水污染物排入水源系统中的量;  $W_{\mu}$ ——水源系统允许的污染物排放量(环境容量)。

(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水源系统中取水的数量,增加城市供水量而带来的经济效益,其效益应为再生水量  $W_7$  的函数,用公式表示为<sup>[13-14]</sup>:

$$B_1 = \mu W_7 \quad (5)$$

式中:  $B_1$ ——因污水再生回用而减少取水量带来的经

济效益(万元/a);  $\mu$ ——缺水量所影响的经济产值系数(或供水的单位价格)。在无法准确估量公共物品经济效益时,应按照水资源影子价格进行计算,根据联合国开发计划署、世界银行近几年进行的技术援助项目研究成果,我国每  $1 \text{ m}^3$  水的影子价格平均为  $3 \sim 4$  元,缺水地区每  $1 \text{ m}^3$  影子价格超过 5 元。

2.2.3 环境经济分析 从以上分析中可以看出,在城市传统水循环系统中加入再生水回用这一环节后,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,其变化量详见表 1。

表 1 城市水循环系统废水和处理费用

项目	传统水循环模式	新的水循环模式	费用变化情况
供水系统处理费	$f(Q_{\pm}, L) + \theta(W_3 - W_4)$	$f(Q_{\pm}, L) + \theta(W_3' - W_4)$	$\theta \epsilon W_6$
再生水系统处理	0	$\alpha Q_{\text{中}}^{\beta}$	$-\alpha Q_{\text{中}}^{\beta}$
排水系统处理费	$k_1 Q_{\text{下}}^{k_2} + k_3 Q_{\text{下}}^{k_2} \eta_1^{k_4}$	$k_1 Q_{\text{下}}^{k_2} + k_3 Q_{\text{下}}^{k_2} \eta_2^{k_4}$	$k_3 Q_{\text{下}}^{k_2} (\eta_1^{k_4} - \eta_2^{k_4})$
环境污染损失	$R(W_2 - W_{\mu})$	$R(W_5 - W_{\mu})$	$R(W_2 - W_5)$
供水系统处理污染物	$W_3 = \epsilon W_2$	$W_3' = \epsilon W_5$	$-\epsilon W_6$
排水系统处理污染物	$W_1 = W_4$	$W_1 = W_4 + W_7$	$W_7$
排入水源中的污染物	$W_2 + W_5 + W_6$	$W_5$	$-W_6$

注:表中物理量意义详见公式(1)~(6)。

从表 1 可以看出,加入再生水回用这一环节后,排水系统处理污染物增加,供水系统处理污染物减少,排入水源系统的污染物减少,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再生水回用的环境净效益,则整个水循环系统再生水回用产生的环境经济净效益为:

$$B = \theta \epsilon W_6 + R(W_2 - W_6) + k_3 Q_{\text{下}}^{k_2} (\eta_1^{k_4} - \eta_2^{k_4}) - \alpha Q_{\text{中}}^{\beta} + \mu W_7 \quad (6)$$

对于缺水城市,供水量  $Q_{\pm}$  有限;在污水处理量  $Q_{\text{下}}$  和工艺一定的情况下,  $W_2, W_4$  也一定,  $W_5$  和  $W_7$  只与污水再生量  $Q_{\text{中}}$  有关。显然,根据不同地区、水域等外界条件确定公式中的参数后,目标函数仅与污水再生量  $Q_{\text{中}}$  有关。对此函数求导,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再生水而未使用的用户,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情况,有关管理部门应对超标用水量按照此边际净效益值处以相应的罚款,以激励用户使用再生水。

### 3 重庆市再生水回用模式环境经济分析

城市污水的利用不但解决了环境污染的后患,而且为城市水资源的供给提供了新的来源。尤其对于逐渐从农业向第三产业发展的城市,废污水是不可多

得的宝贵资源,通过污水处理可以将这部分水量用于农业灌溉、城市绿化、景观水道用水,同时还可以使地下水资源得到补给。由于目前对费用效益函数的分析还处于探索阶段,加之重庆市的再生水回用工程还不完善,只能在假设的基础上,对再生水回用改变水循环的环境经济效益进行粗略分析。

目前,重庆市已投入运行的两个污水处理厂污水处理能力为  $1.50 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{d}$ ,第一中水厂生产中水  $7.50 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,根据 3,4 和 5 污水处理厂的设计能力总计为  $2.50 \times 10^5 \text{ m}^3$ ,合计处理污水  $4.00 \times 10^5 \text{ m}^3$ ,按照 2004 年中水处理率的 75% 计算,2005 年第一、二中水厂全面投入使用,日生产中水  $1.00 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{d}$ ,2010 年处理率提高到 80%。如果 5 个中水厂全部投入使用,那么每天可生产中水  $3.20 \times 10^5 \text{ m}^3$ 。这部分水资源可以用于生活杂用水、景观用水、农田灌溉用水、工业冷却用水、建筑用水等。

在现在污水处理能力和生产中水能力的基础上,重庆市 2011 年第一、二污水处理厂生产中水能力为  $1.00 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{d}$ ,预计 2012 年 5 个污水处理厂生产中水能力将提高到  $3.00 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{d}$ 。假定固定资产投资折旧期限为 10 a,则其带来的环境经济净效益计算步骤为:(1) 首先,确定费用函数系数。重庆市费用函数系数具体取值为:  $\epsilon = 0.25, \theta = 6.02 \times 10^{-3}, Q_{\text{下}} = 3.00 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}, Q_{\text{中}} = 3.00 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{a}, q_{\pm} = 0.29$

$\text{kg}/\text{m}^3$ ,  $q_{\text{中}}=0.05 \text{ kg}/\text{m}^3$ ,  $q_{\text{下}}=0.05 \text{ kg}/\text{m}^3$ ,  $\mu=2 \text{ 元}/\text{m}^3$ ,  $R=2.5 \text{ 元}/\text{m}^3$ ,  $K_2=0.657$ ,  $K_3=22$ ,  $K_4=1.7$ ,  $\alpha=15.37$ ,  $\beta=0.83$ 。

(2) 根据再生水计算公式和费用系数具体取值计算可得:  $W_6=q_{\text{下}} Q_{\text{中}}=1563 \text{ t/a}$ ;  $W_2=q_{\text{下}} \cdot Q_{\text{下}}=15630 \text{ t/a}$ ;  $W_7=q_{\text{中}} Q_{\text{中}}=1500 \text{ t/a}$ ;  $W_1=q_{\text{上}} \cdot Q_{\text{下}}=87000 \text{ t/a}$ ;  $W_5=W_2-W_6=14067 \text{ t/a}$ ;  $\eta_1=1-\frac{W_2}{W_1}=0.821$ ;  $\eta_2=1-\frac{W_5+W_6}{W_1+W_7}=0.834$

(3) 最后根据公式计算污水处理回用工程的环境经济效益:  $C=1.51 \times 10^{-3} W_6+2.5(W_2-W_5)+2Q_{\text{中}}-15.37Q_{\text{中}}^{0.83}/10+22Q_{\text{下}}^{0.657}(\eta_1^{1.7}-\eta_2^{1.7})=8362.46 \text{ 万元/a}$

计算结果表明,该污水处理回用工程对于整个环境经济系统而言,每年可以产生 8362.46 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。其中再生水价格的上限应是自来水价格,按国外通行惯例,再生水价格一般为自来水价格的 50%~70%。根据重庆市自来水水价和课题组实地调查,重庆市生活用水综合影子价格为 3.38 元/ $\text{m}^3$ 。因此,理论上可确定重庆市再生水价格为 1.7~2.3 元/ $\text{m}^3$ ,再生水平均价格 2.0 元/ $\text{m}^3$ 。2009 年重庆市再生水回用量共为  $2.10 \times 10^5 \text{ m}^3$ ,则再生水的价值为 42 万元,占同期国内生产总值的 0.003%。由此可见,重庆市目前对污水再生利用还不够重视,再生水回用量极低,再生水价值还很小。因此重庆市政府应加大投资力度,采取鼓励性措施加快城市污水回用工程的建设进程,同时,制定合理的回用水价格,以促进回用水的推广使用,缓解重庆市日益严峻的水资源短缺形势,实现水资源的良性循环。

## 4 结论

设计了城市再生水回用系统,运用费用效益法,对再生水回用改变水循环的环境经济效益进行了研究与分析。并对重庆市 2009 年城市再生水回用模式进行了模拟评估,提出了重庆市清洁生产和再生水利用的选择建议。再生水可在一定程度上缓解城市供水的压力,但再生水也存在利用范围狭窄,前期投资过高,潜在增加居民和企业供水成本压力的可能性,短期内难以见到效益,所以需政府加大投资力度,并逐渐加大再生水的利用范围和强度。适时提供鼓励措施,促使更多企业进行再生水的投资和利用。建议:(1) 为节约利用地下水,提高水资源的利用效率

和效益,重庆市应加强工农业清洁生产,特别是工业生产模式;应加大产业结构调整,特别是农业种植业结构的调整和工业高耗水行业的结构调整,努力提高造纸、纺织、化工、食品制造业等行业的清洁生产水平;(2) 加大对再生水回用工程的投资力度,制定合理的再生水价格,扩大再生水回用量;(3) 为节约利用地下水,提高水资源的利用效率和效益,重庆市市应实行农业用水向工业用水和城市生活用水的水权转换;(4) 加大节水宣传教育,加强生活节水器具的推广应用。

## [ 参 考 文 献 ]

- [1] Beekman G B. Water conservation, recycling and reuse [J]. International Journal of Water Resources Development, 1998, 14(3):353-364.
- [2] Lund J R. Transaction risk versus transaction costs in water transfers[J]. Water Resource Research, 1993, 29(9):3103.
- [3] Glenn M L. An approach to sustainable water management in Southern Africa using natural resource accounts: The experience in Namibia [J]. Ecological Economics, 2003, 25(3):299-311.
- [4] 蒋洪强,马忠玉. 我国水循环经济若干理论问题及其发展对策[J]. 中国地质大学学报:社会科学版, 2006, 6(3): 21-27.
- [5] 高明杰,罗其友. 水资源约束地区种植结构优化研究:以华北地区为例[J]. 自然资源学报, 2008, 23(2):204-210.
- [6] 柴宏祥,胡学斌,彭述娟. 绿色建筑节水项目全生命周期综合效益经济模型[J]. 华南理工大学学报:自然科学版, 2010, 38(9):113-117
- [7] 段涛. 城市污水资源中再生水的定价理论与方法研究 [D]. 陕西 西安:西安建筑科技大学, 2005:16-25.
- [8] 邓荣森,李青. 污水回用改变水循环的环境经济分析 [J]. 重庆大学学报, 2004, 27(2): 125-127.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 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, 20(8):41-43.
- [12] 张兰生. 实用环境经济学[M]. 北京:清华大学出版社, 1995:217-218.
- [13] 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, 29(8): 56-60.
- [14] 张帆. 环境与自然资源经济学[M]. 上海:上海人民出版社, 1998.