

水资源社会可再生性及其基本理论*

李春晖 杨志峰

(北京师范大学环境学院,北京 100875)

摘要 水资源具有自然和社会可再生性。本文从水资源可再生的特性出发,提出水资源社会可再生性的涵义及其在水资源可再生系统中的地位,系统地分析了水资源社会可再生实现过程、其衡量指标及影响因素。基于我国水资源短缺形势,本文认为水资源社会再生利用是城市水资源有效利用的重要途径,是解决缓解我国水资源短缺的重要手段,并给出提高水资源可再生性的建议。

关键词 水资源;社会可再生性;衡量指标;可持续

中图分类号 F062.1

文献标识码 A

文章编号 1002 - 2104(2004)06 - 0053 - 06

水是生命之源、工业的血液和农业的命脉。水又是一种有限的而又无可替代的地球上最为宝贵的资源之一。我国是一个水资源十分缺乏的国家,而且生活用水和工农业用水浪费非常严重。据统计,目前我国工业用水的利用率不足发达国家的一半,重复利用率不足60%(而发达国家的水资源重复使用率高达80%以上)。水资源是一种可再生资源,其可再生性表现为自然再生和社会再生,水资源的社会可再生利用是解决水资源短缺的主要途径之一。目前,对水资源再生利用的技术研究相对成熟,如城市生活污水、电厂污水和机械行业污水处理与回用^[1~5],对水资源社会可再生性理论研究和城市水资源社会可再生性评价成为热点之一^[6~13]。本文从水资源可再生的涵义出发,定义水资源的社会可再生性,分析其实现过程与主要衡量指标,从而对水资源社会可再生性进行系统研究。

1 水资源的社会可再生性

水资源可再生性是水资源的基本特性之一,其基本涵义是水资源通过天然作用或者人工经营能为人类反复利用的特性^[7]。从性质上,水资源可再生分为水质恢复和水量再生。水质恢复包括自然净化引起的水质恢复和人工

处理净化的水质恢复,水量再生包括自然循环的水资源量再生和社会循环的水资源量再生(如污水处理回用等措施增加水资源可使用量形式)。自然再生的水量是再生水资源的主体,社会再生的水量是水资源利用的有效补充。从属性上,水资源可再生分为自然再生和社会再生,前者通过自然循环得到,后者通过社会循环得到。水资源可再生的水量再生和水质恢复、自然再生和社会再生相互交叉相互联系,构成一个耦合系统(图1)^[14]。水资源的社会可再生作为水资源可再生系统中的重要环节,它是通过人工措施使水量增加、水质改善达到水资源有效利用量的增加。显然水资源的社会可再生是水资源利用中重要组成部分。水资源的这种社会可再生特性称为水资源社会可再生性。

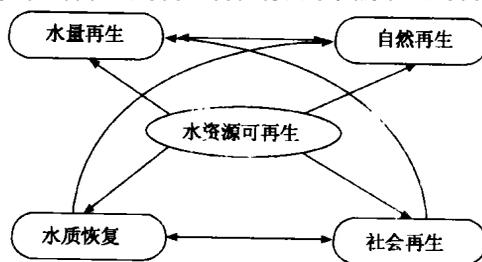


图1 水资源可再生类型结构

Fig. 1 Map of water resources renewability types

收稿日期:2004 - 04 - 12

作者简介:李春晖,博士后,研究方向为水资源、水环境评价和生态环境管理与规划。

*国家重点基础研究规划项目(G1999043605)。

2 水资源社会再生实现过程

人类为了用水,从自然水循环中的某一部分介入,通过构筑贮蓄设施,或是经过一系列的取水、净水、输送、贮存或调节和分配等,用过后再把废水汇集、输送、贮存、处理、再利用和排放等,这些环节构成了水的社会循环。流域内水的社会循环中采取生物的、化学的和工程的多种措施,实现水的再生化和资源化,这样从水质和水量上提高了水资源的使用程度,可以认为水资源得到了社会再生。有时候采用经济合理的管理程序,使同一水资源在消费过程中多次反复使用,也是一种使用过程中的再生形式。对多个非消耗性用水用户,根据不同用水标准,按科学合理的使用顺序安排消费流程,如先发电,后航运,再用于工业或农业。在水资源量一定的条件下,重复利用次数越多,水资源利用程度就越高,资源再生量就越大。随着水需求的日益增长,尤其是满足超过水资源自然再生所能提供水量的需求时,社会再生的水量地位尤为重要。

水的社会循环实施的主体主要是以城市及工业为对象,它是以满足社会经济可持续发展所需求的水量、水质为生产目标的特殊产业;其核心部分是给水和排水^[15],城市水资源社会可再生示意图见图2。

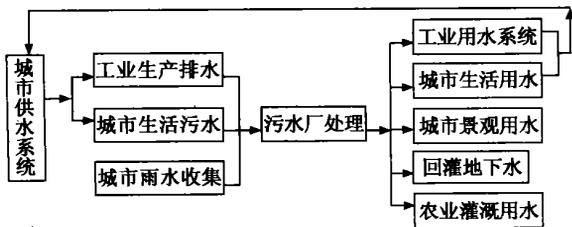


图2 城市水资源社会可再生过程示意图

Fig.2 Sketch map of water resources social renewability process in city

3 水资源社会可再生性衡量指标

城市和工业水资源利用有四种形式(表1)。其中循环利用、循序利用和循环再利用都能在一定程度上增加可以利用的水资源量,是水资源社会再生的主要形式。水资源社会再生的过程往往也是节水的过程。评价一个城市和工业水资源的社会再生水平,可以用以下指标直接衡量,见表2。

实际上,以上指标只是大体反映社会可再生的水平,过分追求指标未必合理。例如,重复利用率当其达到一定限度,成本上升,就未必经济合理,在这种情况下不应该继续追求提高重复利用率而是减少用水量,此时,水的重复利用率也失去了评价的敏感性。如对重复利用率很高的

城市,提高重复利用率控制取水量的增长已经减弱,如果不采取其它措施,工业取水量就会继续增长,如美国1968年后已经从提高重复利用率即提高用水系统的用水效率为主转向工艺节水为主。另外,万元产值取水量是一种绝对的指标,它可以最终反映上述一些因素对生产用水的影响。

表1 城市和工业水资源利用形式

Tab.1 Forms of water resources use of city and industry

水资源利用形式	含义
简单利用	同一数量和质量的水经过一次使用过程即被排弃,如生活用水、农业灌溉用水、部分食品工业生产用水。
循环利用	同一数量和质量的水被多次利用,如冷却水。
重复利用	循序利用 依照对水质要求不同,对同一原水多次利用 循环再利用 经过处理后的废水污水被再利用。

表2 城市与工业用水社会可再生性水平衡量指标

Tab.2 Indices of water resources social renewability

of city and industry

一级指标	二级指标	三级指标
城市与工业用水社会可再生能力	用水量指标	万元产值取水量 万元产值用水量 万元工业产值取水 减少量 人均生活用水定额
	用水率指标	用水重复利用率 污水处理率 污水处理达标率 城市污水回用率 供水有效利率

于是,便出现一种工业用水总指数与分指数之间的数量模型——指数模型^[16],它是一种研究复杂总体中各种因素变化影响的宏观分析方法。所谓分指数既是指在其它因素不变的条件下某一因素的变化率。总指数即反映诸多单一因素影响下复杂总体变化,包括了总体内单一因素之间的相互关系。工业用水系统的指数模型可以表示为

$$= \times \times \times \quad (1)$$

其中:取水量变化指数;重复利用率变化指数;生产工艺水平变化指数;工业产值变化指数;工业结构变化指数。

可以看出工业取水量总体变化指数是重复利用率、生

产工艺水平、工业产值和工业结构四个因素变化指数之积。某单一变化指数大于1,说明该因素变化导致取水量趋于增加,反之则趋于减少,等于1则对取水量无影响。

4 水资源社会可再生性影响因素

水资源社会可再生性与主要区域(城市)的科技水平(s)、管理水平(m)、经济水平(e)以及节水意识(c)等相关,具体表现为:

(1)经济水平。经济水平的高低决定水资源社会再生的投资能力,一般经济水平越高,污水处理回用、管网建设等投资能力越大,水资源的社会再生能力越强,衡量指标主要为国民生产总值或人均国民生产总值。

(2)技术水平。科技水平的提高不但可以减少生产、生活中的水资源消耗,还可以提高污水处理水平和规模,节约处理成本,提高水资源社会可再生能力。如海水淡化低成本化技术将是解决沿海城市水资源短缺的主要科技手段,农业节水灌溉技术很大程度减少水资源的消耗。一般而言,技术水平越高,水资源的社会可再生性就越强,主要衡量指标如万元产值耗水量、污水排放达标率、污水处理率和循环利用率等。

(3)管理水平。水资源循环各个环节的高效管理水平提高是提升城市水资源社会再生的关键。

(4)公民节水意识。公民的节水意识是水资源的社会可再生中最根本的要素。公民的节水意识体现在生产、生活的方方面面,从我做起,珍惜每一滴水是公民节水的准则。

水资源社会再生能力随着社会、经济和科学水平的提高而不断提高,但在有限的社会、经济、技术条件下,再生能力提高总存在一个相对稳定的阈值,使其提高受到内部要素和系统边界的影响和制约,出现S型曲线增长,类似于生态学中的Logistic曲线,表示如下:

$$C = \frac{K}{1 + b_0 e^{-rt}} \quad (2)$$

式中:C为水资源社会再生能力提高程度,t为时间,K为再生能力提高阈值或提高饱和容量,r为再生能力提高所需要的增长率, b_0 为与再生能力提高基数有关的系数。

5 水资源社会可再生利用是我国解决水资源短缺的重要途径之一

水资源社会再生的主要部分是城市生活污水和工业污水。它们是水量稳定、供给可靠的一种潜在水资源。因此,这些污水的再生利用是开源节流、减轻水体污染、改善生态环境和解决城市缺水问题的有效途径之一。

发达国家水资源社会可再生程度很高。例如,以色列是一个水资源极度贫乏的国家,而污水已经成为该国重要的水资源之一。目前,以色列100%的生活污水和72%的城市污水得到了回用。现有200多个污水回用工程,规模最小为 $27\text{m}^3/\text{d}$,最大为 $20 \times 10^4\text{m}^3/\text{d}$,处理后的污水42%用于农灌,30%用于地下水回灌,其余用于工业及市政建设等。全国的127座污水库与其它水源联合调控、统一使用。以色列将污水回用以法律的形式给予保障,如法律规定在紧靠地中海的滨海地区,若污水没有充分利用就不允许使用海水淡化水。污水资源化给以色列带来了极大的经济效益,不仅实现了全国粮食自给,而且还将棉花、花生等出口。早在20世纪80年代中期,日本的城市污水回用量就达到了0.63亿 m^3/d 。污水再生后用于农田或城市灌溉、河道补给等。日本的双管供水系统比较普遍(其一为饮用水系统,另一为再生水系统,即“中水道”系统),中水道的再生水一般用于冲洗厕所、浇灌城市绿地及消防。中水道系统除采用传统的处理装置外(如生物及物化处理),近年来又开发出一种地下毛细管渗滤系统,把污水处理与绿化结合起来。

目前,我国水资源社会循环通量占总通量的5600/28000。而目前我国农业用水占用水量的70%~80%,但灌溉技术落后,水的利用率仅为30%,比发达国家几乎低一倍,农业节水潜力巨大;工业用水重复利用率和循环利用率也普遍较低;生活用水存在普遍的浪费现象,因此我国存在巨大的节水潜力^[6]。据统计,我国废、污水年排放量达620亿 m^3 ,使河流环境遭受严重破坏。全国七大江河流域的50%河段已被污染,水资源丰富的地区如江苏、广东、上海等一大批省市已经面临日益严重的“水质污染型”缺水,如太湖流域3000多万人守着2300 km^2 的太湖出现了“水多用难”的尴尬局面,广东省的珠江三角洲地区形成了“经济发展-水体污染-水质下降”的恶性循环。随着我国经济的飞速发展,原始资源型缺水问题日益突出。目前我国有400多个城市缺水,正常年份缺水达60亿 m^3 ,预计2030年缺水量将达到400亿~500亿 m^3 。而目前全国城市污水年排放量大约为414亿 m^3 ,城市污水处理率和二级处理率分别仅达30%和15%,污水回用率则更低。根据“十五”计划纲要的要求,到2005年我国城市污水集中处理率要达到45%。如果污水回用率平均达到20%,那么“十五”末期污水回用量可达到40亿 m^3/a ,这可解决全国城市缺水量的一半以上^[17]。

污水再生利用产生的经济、社会和生态效益主要体现在:降低给水处理和供水费用;减少城市污水排放及相应的排水工程投资与运行费用;改善生态与社会经济环境,促进工业、旅游业、水产养殖业、农林牧业的发展;改善生

存环境,促进和保障人体健康,减少疾病(特别是致癌、致畸、致基因突变)危害;增加可供水量,促进经济发展并避免因缺水而造成的损失等。

可见,水资源社会可再生利用不但可以一定程度上缓解水资源危机,还具有一定的经济、社会和生态效益。因此,水资源社会可再生利用是我国解决城市水资源短缺的重要途径和首要选择。

6 结论与建议

6.1 结论

(1) 水资源社会可再生性是水资源的基本特性之一,水资源社会可再生是水资源再生系统中主要环节之一。

(2) 水资源社会再生主要实施对象是城市和工业等,在水资源社会循环过程中实现再生。

(3) 水资源社会再生途径有循环利用、循序利用和循环利用等,衡量水资源社会再生的主要指标与城市和工业节水指标相同,也与经济水平、科技水平、管理水平以及节水意识等有关。

(4) 水资源社会再生是水资源有效利用的主要形式,对我国水资源短缺且水资源利用效率不高的地区尤为重要。这也是开源节流、减轻水体污染程度、改善生态环境、解决城市缺水问题的有效途径之一,为未来水资源利用主要方式。

6.2 对策与建议

社会再生水资源逐渐成为水资源利用中的重要部分,对水资源短缺的地区(城市)尤为重要。加大社会水资源可再生水平是今后的发展方向,当务之急是:

(1) 开展节水运动,宣传和教育公众、企业提高水患意识,实施节水举措。

(2) 加大水资源重复利用率和污水处理率。

(3) 降低单位产值耗水量,提高水资源最大可持续生产率。

(4) 改善输水管网、提高灌溉技术减少无效蒸发量等。

(5) 加强资金和技术的投入。

(编辑:徐天祥)

参考文献

- [1] 黄晓家. 机械行业总排废水的再生回用[J]. 工程建设与设计, 1995, 3: 36~39. [Huang Xiaojia. Total Wastewater reuse in Machine Industry [J]. Engineering Construction and Design, 1995, 3: 36~39.]
- [2] 房平, 董波. 再生污水回用循环冷却水的分析研究[J]. 山西科技, 2004, 1: 61~62. [Fang Ping, Dong Bo, Shao Ruihua. Analysis and Research on Regenerated Sewage Recycle Cooling Water [J]. Shanxi Science and Technology, 2004, 1: 61~62.]
- [3] 王翔, 王佩璋. 废(污)水再生回用于火电厂水系统的实践和经验[J]. 山西电力技术, 1997, 17(3): 25~30, 39. [Wang Xiang, Wang

- Peizhang. Experience of Wastewater Reuse in Heat - engine Plant System [J]. Shaxi Electric Power, 1997, 17(3): 25~30, 39.]
- [4] 虞小义, 黄种买, 顾小红. 城市污水再生回用循环冷却水的相关问题[J]. 中国给水排水, 2003, 19(3): 29~30. [Yu Qiyi, Huang Zhongmai, Gu Xiaohong. Urban Waster Water reuse as Cooling Water [J]. China Water and Wastewater, 2003, 19(3): 29~30.]
- [5] 谢武明, 刘焕彬, 胡勇有. 水再生回用的研究进展与对策[J]. 四川环境, 2003, 22(1): 4~7. [Xie Wuming, Liu Huanbin, Hu Yongyou. Investigation and Strategies on Water Reclamation and Reuse[J]. Sichuan Environment, 2003, 22(1): 4~7.]
- [6] 李圭白. 水的社会循环和水资源可持续利用[J]. 给水排水, 1998, 24(9): 1. [Li Guibai. Water Social Cycle and Water Resources Sustainable Utilization [J]. Water & Wastewater Engineering, 1998, 24(9): 1.]
- [7] 杨志峰, 沈珍瑶, 夏星辉, 等. 水资源可再生性基本理论及其在黄河流域的应用[J]. 中国基础科学, 2002, 5: 4~7. [Yang Zhifeng, Shen Zhenyao, Xia Xinghui, et al. Water Resource Renewability Theory and Its Application in the Yellow River basin [J]. Chinese Basic Science, 2002, 5: 4~7.]
- [8] 沈珍瑶. 水资源可再生性初探[A]. 见: 中国博士后科学基金会. 2000年中国博士后学术论文集(土木与建筑分册)[C]. 北京: 科学出版社, 2001: 60~62. [Shen Zhenyao. Primary Study on Water Resources renewability[A]. In: Post doctors' colloquium of China in 2000 (part of construction and building) [C]. Beijing: Science Press, 2001: 60~62.]
- [9] 沈珍瑶, 杨志峰. 水资源的可再生性与可持续利用[J]. 中国人口·资源与环境, 2002, 12(5): 77~78. [Shen Zhenyao, Yang Zhifeng. Renewability and Sustainable Utilization of Water Resources [J]. Chinese Journal of Population, Resources and Environment, 2002, 12(5): 77~78.]
- [10] 曾维华, 杨志峰, 蒋勇. 水资源可再生能力刍议[J]. 水科学进展, 2001, 12(2): 276~279. [Zeng Weihua, Yang Zhifeng, Jiang Yong. Principium of the Reproducible Ability of Water Resources [J]. Advance in Water Science, 2001, 12(2): 276~279.]
- [11] 姚建, 王安, 郑佩佩. 废水资源化是解决水资源紧缺的有效途径[J]. 四川环境, 2000, 19(3): 31~33. [Yao Jian, Wang An, Zheng Peipei. Resourcification of Wastewater is an Effective Way to Solve the Shortage of Urban Water Resource [J]. Sichuan Environment, 2000, 19(3): 31~33.]
- [12] 祝捷, 曾维华, 杨志峰. 城市水资源社会可再生能力评价 - 以黄河流域主要城市为例[J]. 环境保护, 2003, (10): 27~29. [Zhu jie et al. Evaluation of Water Resources Social Renewable Capacity for Main Cities in the Yellow River Basin[J]. Environment Protection, 2003, (10): 27~29.]
- [13] 丁晓雯, 沈珍瑶, 杨志峰. 黄河流域典型城市水资源社会可再生性评价研究[J]. 水土保持学报, (已接收). [Ding Xiaowen, Shen Zhenyao, Yang Zhifeng. Social Renewability of Water Resources of the Major Cities in the Yellow River Basin, China[D]. Journal of Water and Soil Conservation, (Accepted).]
- [14] 李春晖. 黄河流域地表水资源可再生性评价[博士学位论文]

- [D]. 北京师范大学, 2003. 9 ~ 25. [Li Chunhui. Assessment of Surface Water Resources Renewability in the Yellow River basin [D]. Beijing Normal University, 2003. 9 ~ 25.]
- [15] 陈仁仲. 21 世纪水资源之永续发展 - 加强推动水的社会循环 [EB/OL]. [http:// 163. 13. 135. 201/chatroom/chat - discuss. htm](http://163.13.135.201/chatroom/chat-discuss.htm). 2001 - 4 - 20. [Chen Renzhong. Water Resources Sustainable Development - Improving Water Social Recycle [EB/OL]. [http:// 163. 13. 135. 201C-hatroom/chat - discuss. htm](http://163.13.135.201C-hatroom/chat-discuss.htm). 2001 - 4 - 20.]
- [16] 董辅祥, 董欣东. 城市与工业节约用水理论 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2000. 50 ~ 60. [Dong Fuxiang, Dong Xindong. Theories of Water - saving in City and Industry [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2000. 50 ~ 60.]
- [17] 许京祺. 我国城市污水再生利用的现状与对策 [N]. 中国水利报, 2003 - 1 - 22, 第 4 版. [Xu Jingqi. Present State and Measurements of Wastewater Reuse in City in China [N]. China Water Resources News, 2003 - 1 - 22, Page 4.]

WATER RESOURCES SOCIAL RENEWABILITY AND ITS BASIC THEORIES

LI Chunhui YANG Zhifeng

(School of Environment, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstracts Water resources have the characteristics of natural and social renewability. In the paper, the meaning of social renewability of water resources is put forward based on the basic feature of renewability, and its status in the renewability system of water resources is analyzed. Then the implementation procedure of social renewability of water resources and assessment indices are presented. The social renewable utilization of water resources is one essential way for cities to utilize water resources effectively and will be developed as one important way for solving or relieving water resources shortage in China.

Key Words: water resources; social renewability; indices; sustainable

中国循环经济发展论坛年会在沪举行

中国循环经济发展论坛 2004 年年会 11 月 6 日在上海国际新闻中心开幕。中共中央政治局委员、国务院副总理曾培炎, 中共中央政治局委员、上海市委书记陈良宇出席会议并发表重要讲话。

曾培炎在讲话中强调, 高度重视并大力发展循环经济, 是树立和落实科学发展观的必然要求和重要举措, 要以尽可能小的资源投入和环境代价, 取得尽可能大的经济社会效益, 努力实现人与自然的和谐发展。发展循环经济, 关键是要按照“减量化、再使用、再循环”的原则, 节约使用资源, 减少废弃物排放, 循环利用资源, 尽可能提高资源生产率。要把加强和改善宏观调控与发挥市场机制作用结合起来, 把政府支持和企业行为结合起来, 积极倡导、稳步推进、加强服务、搞好规范, 促进循环经济健康有效地发展。

曾培炎要求, 各级政府要把发展循环经济作为贯彻落实科学发展观的具体行动, 切实加强领导、搞好协调。要建立和完善促进循环经济发展的评价指标体系和科学考核机制, 建立健全有关的法律法规体系, 把发展循环经济

纳入国民经济和社会发展规划。综合运用财税、金融、投资、价格等手段, 完善水、能源、矿产等资源的价格形成机制, 逐步形成有利于低投入、高产出、少排污、可循环的政策环境和发展机制。要增加资金投入、加强技术开发, 对清洁生产、节能节水、资源综合循环利用等改造和建设项目给予支持或补助, 引导企业和其他社会资本向循环经济领域投资。在全社会提倡绿色生产生活和文明消费方式, 为可持续发展创造一个良好的社会氛围。

论坛年会由全国人大环资委、国家发改委、科技部、国家环保总局、上海市人大常委会、中国循环经济论坛组委会共同主办。出席本次年会的还有国务院有关部门领导, 各省市自治区人大常委会领导, 国内外知名专家, 各省市自治区有关方面负责人, 循环经济典型示范区、行业和企业代表。

在大会主题演讲中, 马凯、韩正等作了主题发言, 系统讲述了推进循环经济发展的现实意义以及相关的战略和政策措施。一些知名专家、学者作了专题发言, 阐述了各自对推进循环经济发展的对策建议。