

文章编号:1003-7578(2005)01-071-05

黄河流域典型城市水资源社会可再生性评价研究*

丁晓雯 沈珍瑶 杨志峰

(北京师范大学环境科学研究所,环境模拟与污染控制国家重点联合实验室,北京 100875)

提 要:黄河流域主要位于我国干旱、半干旱区,流域内许多城市都面临着水资源短缺问题。水资源社会可再生性是水资源在利用过程中所表现出的特性,其值的增强对于实现水资源的高效利用具有重要意义。本文针对黄河流域提出了基于若干指标来综合表征缺水城市水资源社会可再生性的方法,并在此基础上对该流域 8 个典型城市的水资源社会可再生性进行了评价,得出了这些城市水资源社会可再生性的差异,最后提出了增强这些城市水资源社会可再生性的途径。

关键词: 水资源; 社会可再生性; 城市; 黄河流域

中图分类号: TV213

文献标识码: A

1 引言

水资源是一种可再生或部分可再生资源。天然状况下,水资源的可再生性由水循环决定,但由于人类活动的影响,水资源系统已成为了一个开放、动态变化、人工—自然复合的系统,人类对水资源利用方式的差异使得各种社会因素对水资源的可再生性也会产生影响。因此,笔者认为水资源的可再生性可划分为水资源的天然可再生性、天然—人工复合可再生性和社会可再生性三种^[1,2]。本文着重对水资源的社会可再生性进行探讨研究。

水资源的社会可再生性纯粹是指水资源在利用过程中所表现出来的特性^[1,2],包含两个方面内容:一是由于合理利用和采取节水措施(如工业节水、农业节水、循环利用、污水回用等),使新鲜水的用量得以减少;二是通过改善水质,使某一用途的可利用水量得以增加。由此可见,该特性具有相对性,如工业中因循环用水而减少的新鲜水用量就是相对意义上的可再生资源量;再如,进行污水处理,使之可为工农业等再利用,这实际上就增加了水资源量。因此在研究水资源可再生性时,应充分考虑水资源在利用过程中所表现出来的社会可再生性,并对之进行评价。

目前,水资源社会可再生性研究可从以下几方面进行综合考虑:工业用水的可再生性研究:包括循环用水、一水多用、按质用水、工业污水的处理与回用^[3]、工艺及设备改造产生的节水效应^[4]等;农业用水的可再生性研究:包括污水农灌、改进灌溉技术^[5]、减少单位面积水田灌溉用水量、减少单位面积旱田灌溉用水量、减少无效蒸发量等;生活用水的可再生性研究:包括生活小区中水、生活节水^[6]、生活废水的处理与回用等。

黄河流域主要位于我国干旱、半干旱区,该流域内许多重要城市都面临着不同程度的水资源短缺问题,而城市又是水资源社会再生的最主要场所(Niemczynowicz, 1999)^[7],因此选择黄河流域典型城市开展水资源社会可再生性评价研究,对于探讨水资源社会可再生性评价的理论方法、提高流域内城市水资源利用率和促进城市可持续发展具有重要意义。

2 城市水资源社会可再生性评价

根据水资源社会可再生性的定义,可以看出水资源社会可再生性与具体的水资源系统无关,体现的只

* 收稿日期:2003-12-4

基金项目:国家重点基础研究发展规划项目(G1999043605)资助。

作者简介:丁晓雯(1981.11-),女,江苏扬州人,北京师范大学环境科学研究所博士研究生。研究方向:水资源与水环境。

是人类利用水资源方式的特性,城市水资源社会可再生性的评价目标是使水资源发挥最大的功能效用。为此本文在绝对量和相对量两个层次上分别对城市水资源社会可再生性进行评价。

2.1 绝对量评价

绝对量评价采用还原方法对城市水资源社会可再生性进行评价,即先计算出城市在不考虑水资源循环利用、污水处理与回用等情况下,实际需要的用水量,主要包括以下几种情况:

(1) 工业用水(V_1):指在不考虑节水情况下所需要的工业用水量。主要包括不考虑其循环利用,即不考虑其循环利用率与循环利用次数;不考虑其一水多用,认为所有的工业用水都只利用一次;不考虑工业污水的处理与回用,即不考虑其对水资源的补偿量,而认为所有的工业用水均为新鲜水;不考虑工艺及设备改造产生的节水效应等情况下的工业用水量。

(2) 农业用水(V_2):指在不考虑节水情况下所需要的农业用水量。主要包括不考虑因污水农灌、改进灌溉技术、减少单位面积水田灌溉用水量、减少单位面积旱田灌溉用水量和减少无效蒸发量等而节约的用水量。

(3) 生活用水(V_3):指在不考虑其循环利用、一水多用、生活小区中水、生活节水、生活污水处理与回用等情况下的生活用水量。

V_1 、 V_2 与 V_3 之和为不考虑任何节水条件下,城市的实际需水量,该值比上目前城市的实际用水量 V_p ,得到的数值 R (见公式 1) 就可作为比较城市水资源社会可再生性大小的依据, R 值越大,该城市水资源社会可再生能力越强。

$$R = \sum_{i=1}^3 V_i / V_p \quad (1)$$

但此法往往处于过于理想的条件下,在如何界定“不考虑节水”方面存在一定的问题。对工业某一行业,生产实体的生产工艺不同,用水量就会有差异,单位产值的耗水量也会不同,都不考虑节水,仍存在同一行业内衡量标准不统一的问题;同样农业用水中“不考虑节水”的概念应如何界定,是认为渠道和田间可以无限渗漏还是以当地某一用水数值作为灌溉定额?而这种认定的灌溉定额在不同地区会有较大差异,这又会造成不同城市的无法比拟性。因此,本文在此仅将之作为一种评价方法提出,并不真正以此开展评价。

2.2 相对量评价

在难以获取绝对量,无法采用绝对量评价方法对城市水资源社会可再生性进行评价的情况下,可采用相对量评价方法。该方法是利用与城市水资源社会可再生性相关的主要指标进行综合评价的方法,指标选择是评价的关键,在确定指标体系的基础上,通过建立评价标准,利用综合评价方法,可得到城市水资源社会可再生性能力的相对大小。

在指标的选择上,有人采取了绝对量指标与相对量指标混用的方法^[8],笔者认为不妥。在评价过程中,应只利用相对量指标(如亩均水资源量、人均水资源量等),而不应再用绝对量指标(如水资源量等),原因在于相对量指标可以相互比较,而绝对量指标却不能;况且利用绝对量指标存在这样一个突出问题:若干小的绝对量可以合成一个大的绝对量,从而使比较失去意义。

3 缺水城市水资源社会可再生性评价指标体系及评价方法

本文基于相对量指标,对城市水资源社会可再生性进行了相对量评价。

3.1 可再生性评价指标体系的构建

通过分析,本文构建了城市水资源社会可再生性评价指标体系,由以下 8 个主要指标构成:

万元工业产值耗水量(t /万元):该值越小,表明城市产业结构越合理,水资源社会可再生能力越强。

万元农业产值耗水量(t /万元):该值越小,表明城市水资源社会可再生能力越强。

生活用水定额(L /人·d):相对来说,生活用水定额越高,城市居民生活水平就越高,城市的经济基础就越好。但由于本文的评价对象为缺水城市,水是城市发展的限制性因子,生活用水定额从某种程度上来说反映了该城市水资源的利用效率,故此处认为该值越小越有利于水资源的社会再生。

污水达标排放率(%):该值越大,经受处理的污水就越多,可回用的污水水量就越大,水资源社会可再生能力越强。

污水处理回用率(%):由于污水的处理与回用可减少新鲜水的用量,因此该值越大,水资源社会可再

生能力就越强。

工业水循环利用率(%) :由于循环用水可减少新鲜水用量,因此该值越大,水资源社会可再生能力越强。

人均国民生产总值(元/人) :该值越大,说明城市经济基础越好,就可能有越多的资金投入于节水设施的建设。

人均供水量(t/人) :该值是水资源利用的一个控制性指标,其值的大小直接影响着水资源社会可再生能力。

3.2 可再生性评价方法

本文对城市水资源社会可再生性评价是相对量评价,其采用的方法如下:

第一种方法为指数法,首先将各个指标进行标准化处理:对于其值与可再生能力成正比的指标,将所有评价城市该指标值中的最大值设为 1,最小值设为 0。反之,最大值设为 0,最小值设为 1;然后采用公式(2)等权重进行加权处理,得到不同城市水资源社会可再生性的综合评价价值。

$$R_j = \sum_{i=1}^n V_{ji} / n \tag{2}$$

式中, R_j 表示 j 城市水资源社会可再生性综合评价价值, V_{ji} 表示经标准化处理后 j 城市 i 指标的值, n 为指标个数。

第二种方法是改进的灰关联分析方法^[9]。该方法在计算某个指标的绝对差时利用公式(3)代替传统方法中的 $d_i(k) = |X_0(k) - X_i(k)|$ ^[10]:

$$d_i(k) = \begin{cases} a_i(k) - X_0(k) & X_0(k) \leq a_i(k) \\ 0 & a_i(k) < X_0(k) < b_i(k) \\ X_0(k) - b_i(k) & X_0(k) \geq b_i(k) \end{cases} \tag{3}$$

式中: $d_i(k)$ 为绝对差, $X_0(k)$ 为参考序列(母序列), $X_i(k)$ 为比较序列(子序列), $a_i(k)$ 、 $b_i(k)$ 为级别区间的上、下限,上述情况适合指标值较小的情况,而对应指标值较大的情况,将 $a_i(k)$ 作为级别区间下限, $b_i(k)$ 作为级别区间的上限即可。

该方法在使用前要先建立评价标准,对于其值与可再生能力成正比的指标,以所有样本中的最大值作为能力最强标准,最小值作为能力最弱标准;反之,以所有样本中最小值作为能力最强标准,最大值作为能力最弱标准。中间等分为较强、中等及较弱三个等级,最终形成包括 5 个级别的评价标准。

在实际评价过程中,以评价城市的各指标值构成母序列,评价标准各级别的指标值构成子序列,应用改进的灰关联分析法计算母序列与子序列的关联情况,关联度最大子序列的级别即为评价城市的所属级别。

4 黄河流域典型城市水资源社会可再生性评价

4.1 可再生性评价结果

本文选择了黄河流域的 8 个典型城市:兰州、西宁、银川、呼和浩特、西安、太原、郑州、济南作为水资源社会可再生性的评价对象,在查阅文献和实地调研的基础上获取了前述指标值,利用指数法和改进的灰关联分析方法进行评价,评价过程中各指标的权重相等。

指数法的评价结果表明:黄河流域 8 个典型城市的水资源社会可再生能力由大到小排序为:济南 >

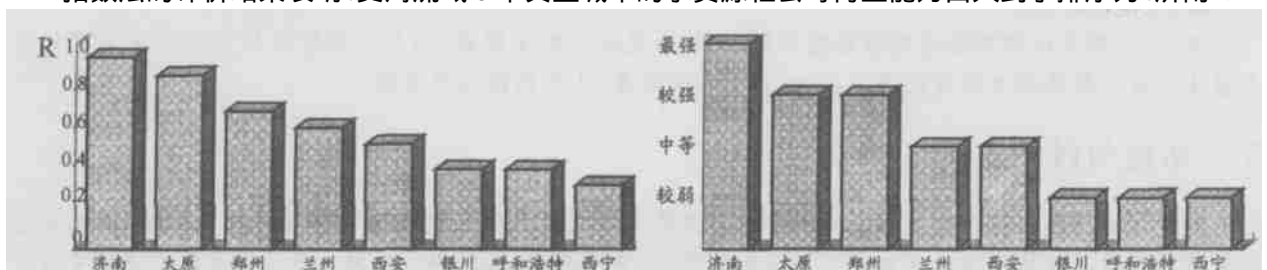


图 1 黄河流域典型城市水资源社会可再生性的指数法评价结果图

图 2 黄河流域典型城市水资源社会可再生性的改进的灰关联分析方法评价结果图

Fig. 1 The assessment result of the general exponential model

Fig. 2 The assessment result of the improved grey correlation analytical

太原 > 郑州 > 兰州 > 西安 > 银川 = 呼和浩特 > 西宁(图 1)。可见济南、太原的水资源社会可再生性在流域中处于中上水平,银川、呼和浩特和西宁处于中下水平,其它城市处于中间水平。

改进的灰关联分析法的评价结果表明:济南的水资源社会可再生性在黄河流域最强,太原和郑州较强,兰州和西安属中等水平,银川、呼和浩特和西宁较弱(图 2)。

比较两种方法的评价结果,可清楚地看出,其评价结果基本一致。

4.2 增强黄河流域典型城市水资源社会可再生性的途径

进一步分析黄河流域典型城市水资源社会可再生性能力,可以发现增强这些城市水资源社会可再生性的途径(表 1):

表 1 黄河流域典型城市水资源社会可再生性的增强途径

Tab. 1 Routes to improve social renewability of water resources of the Major Cities in Yellow River Basin

城市	济南	太原	郑州	兰州	西安	银川	呼和浩特	西宁
万元工业产值耗水量(t/万元)				-		-		
万元农业产值耗水量(t/万元)						-	-	
生活用水定额(L/人·d)								
污水达标排放率(%)							+	
污水处理回用率(%)				+	+		+	+
工业水循环利用率(%)					+	+		+
人均国民生产总值(元/人)							+	+
人均供水量(t/人)	+	+	+		+		+	

注: + 表示提高该指标值使水资源社会可再生性增强; - 表示降低该指标值使水资源社会可再生性增强;

济南市:除人均供水量外,其它指标在评价城市中均名列前茅。而由于该市人均供水量的提高受制于当地的水资源条件,因此流域外调水工程(如南水北调)的实施,可望进一步增强该市的水资源社会可再生能力。

太原市:生活用水定额较小,污水达标排放率较大,其它指标处于中间水平。因此需提高人均供水量,随着万家寨引黄工程的建成,黄河水引至太原,该市的水资源社会可再生能力可望得到进一步提高。

郑州市:除污水达标排放率较大,人均供水量较小外,其余指标处于中间水平。需要提高人均供水量来增强水资源社会可再生能力。

兰州市:万元工业产值耗水量和污水达标排放率较大,污水处理回用率较小,其它指标处于中间水平。因此增强水资源社会可再生能力的途径是减少万元工业产值耗水量、提高污水处理回用率。

西安市:万元工业产值耗水量、污水处理回用率、工业水循环利用率、人均供水量均较小,生活用水定额较大。应从增加污水处理回用率、工业水循环利用率、人均供水量入手提高水资源社会可再生能力。

银川市:万元工业产值耗水量、万元农业产值耗水量、人均供水量较大,水循环利用率都较小。因此可通过降低万元工业产值耗水量、万元农业产值耗水量、提高工业水循环利用率入手提高水资源社会可再生能力。

呼和浩特市:整体水资源社会可再生能力较弱,除万元工业产值耗水量较小外,其它指标值均不利于水资源的社会再生。故应降低万元农业产值耗水量,提高污水达标排放率、污水处理回用率、人均国民生产总值、人均供水量。

西宁市:整体水资源社会可再生能力弱,除污水达标排放率较高外,其它指标值均不利于水资源的社会再生。故应提高污水处理回用率、工业水循环利用率、人均国民生产总值。

5 结论与讨论

城市水资源社会可再生性研究对城市水资源的高效利用和解决城市严重缺水问题至关重要,本文通过对黄河流域典型城市水资源社会可再生性的评价,发现济南、太原的水资源社会可再生性在流域中处于中上水平,银川、呼和浩特和西宁的水资源社会可再生性在流域中处于中下水平,其余城市处于中间水平。根据评价结果,本文针对不同城市提出了增强其水资源社会可再生性的途径。但由于所建立的指标体系的限制,目前只能从宏观角度进行水资源可再生能力评价,今后应着重从城市这一复杂特殊的巨系统入

手,筛选分析对城市水资源可再生性评价反应灵敏的社会、经济和自然等指标,采用不同的评价方法进行评价,以得到更为精确的结果。

参考文献

- [1] 沈珍瑶. 水资源可再生性初探. 2000 年中国博士后学术大会论文集(土木与建筑分册)[A]. 北京:科学出版社,2001. 60 - 62.
- [2] 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.
- [3] 李梅,黄廷林,宋维营等. 西部干旱地区污水资源再生利用的可行性研究——以西安市为例[J]. 干旱区资源与环境,2003,17(3):90 - 94.
- [4] Tekashi Asano. Waste water reclamation and reuse[M]. USA: Technomic Publishing Company, Inc., 1998.
- [5] 王菊翠,曹明明. 二十一世纪西北地区水资源合理开发利用研究[J]. 干旱区资源与环境,2003,17(3):70 - 74.
- [6] 赵明,舒春敏. 我国城市供水状况及节水对策[J]. 干旱区资源与环境,2003,17(1):32 - 36.
- [7] Janusz Niemczynowicz. Urban hydrology and water management - present and future challenges[J]. Urban Water, 1999,(1):1 - 14.
- [8] 李春辉. 黄河流域地表水资源可再生性评价[D]. 北京师范大学博士学位论文,北京:北京师范大学环境科学研究所,2003,7.
- [9] 沈珍瑶,谢彤芳. 一种改进的灰关联分析方法及其在水环境质量评价中的应用[J]. 水文,1997,(3):13 - 15.
- [10] 傅立等. 灰色系统理论及其应用[M]. 北京:科学技术文献出版社,1992.

Social Renewability of Water Resources of the Major Cities in the Yellow River Basin, China

DING Xiao - wen SHEN Zhen - yao YANG Zhi - feng

(Institute of Environmental Science, Beijing Normal University, State Key Joint Laboratory of Environmental Simulation and Pollution Control, Beijing 100875, P. R. China)

Abstract

The Yellow River basin mainly lies in arid and semi - arid regions of China, and many cities in this area faced the problem of water shortage. Social renewability of water resources is purely about the characteristics of water resources in its utilization. The improvement of it is significant for utilizing water resource in high - efficiency. In this paper, the methods, which used several indexes to show water resources social renewability in water shortage cities of the Yellow River basin, were put forward. And water resources social renewabilities in the main cities of the Yellow River Basin, such as Lanzhou, Xining, Yinchuan, Huhehot, Xi 'an, Taiyuan, Zhengzhou, and Jinan, were assessed. The differences of water resources social renewabilities in these cities were given out, and the routes to improve it were also put forward finally.

Key Words: water resources; social renewability; city; the Yellow River Basin