

文章编号: 1003 - 7578 (2006) 06 - 052 - 05

基于水资源可再生性的持续利用指标体系 及其在黄河流域的应用*

沈珍瑶, 丁晓雯, 杨志峰

(北京师范大学环境学院, 环境模拟与污染控制国家重点联合实验室, 北京, 100875)

提 要: 从水资源可再生性出发, 在构造水资源可再生能力指标体系的基础上, 建立了包括水资源可再生能力指标体系、生态环境用水优先的水资源开发阈值评价指标体系和水资源可再生性维持即可持续利用指标体系 3 个层次及单位面积水资源量等 14 个评价指标的水资源持续利用指标体系。并利用均方差决策方法, 对黄河流域 16 个二级分区的水资源持续利用情况进行了定量评价。

关键词: 水资源; 可再生性; 持续利用; 指标体系; 黄河流域

中图分类号: TV213

文献标识码: A

通过建立指标体系来探讨水资源持续利用问题是目前开展较多的方法^[1-4], 由于所采取的角度不同, 已有的各种指标体系既有交叉又不尽相同, 应该说, 目前尚无公认的有关水资源持续利用的指标体系。水资源可再生性研究的最终落脚点是水资源的持续利用问题^[5,6], 因此从水资源可再生性的角度来探讨持续利用指标体系的建立也成为必然。鉴于此, 本文建立了一种基于水资源可再生性的指标体系, 并探讨了其在黄河流域的应用。

1 水资源的可再生性

水资源是一种可再生资源, 水资源的可再生性研究^[5,6]就是从水资源的天然可再生性、天然—人工复合可再生性及社会可再生性出发, 确定水资源的可再生能力; 在此基础上通过探讨区域或流域的生态环境需水量问题, 进而确定可直接为人类所利用的水资源开发利用阈值; 通过对比水资源开发利用阈值与水资源利用现状, 从水资源持续利用角度探讨水资源的可再生维持机理, 最终为区域社会经济的可持续发展提供水资源保障。

关于水资源可再生性的基本理论及其与可持续利用的关系, 文献^[5,6]已有论述, 在此不再作进一步讨论。由于无法用一个或极少量的指标来表征水资源持续利用的问题, 本文尝试利用建立指标体系的方法来探讨之。

2 基于水资源可再生性的持续利用指标体系

2.1 概述

从水资源可再生性出发, 水资源持续利用指标体系应该包括三个层次: 第一层次也即基础层次, 是有关水资源可再生能力的指标体系; 第二层次是有关生态环境用水优先的水资源开发阈值评价指标体系; 第三层次是最终结果, 即有关水资源可再生性维持即可持续利用指标体系。由于水资源开发阈值指标体系

* 收稿日期: 2005 - 09 - 08。

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目 (G1999043605)。

作者简介: 沈珍瑶 (1967. 1~) 男, 浙江省宁波人, 教授, 主要从事水环境、水资源、核环境及三废治理等研究工作。

需结合水资源可再生能力评价指标体系及生态环境需水量评价指标体系,而水资源可再生性维持指标体系即是在开发阈值指标体系基础上考虑水资源开发利用状况,因此要建立基于水资源可再生性的持续利用指标体系,需分别建立水资源可再生能力的评价指标体系、生态环境需水量评价指标体系及水资源开发利用状况指标体系(图 1)。

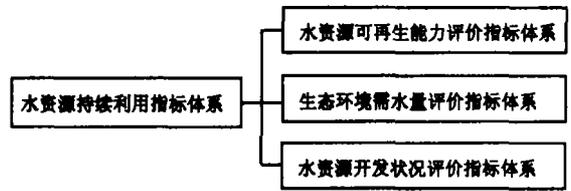


Fig 1 Index system of water resources sustainable utilization

2.2 水资源可再生能力评价指标体系

水资源可再生能力是水资源持续利用的基础,其指标体系也是水资源持续利用指标体系的一个重要组成部分。水资源可再生能力的评价指标体系已经在文^[7,8]中进行了介绍,该文中称之为水资源可再生性评价指标体系,实际上评价的是水资源可再生能力,为避免引起混淆,在此称为水资源可再生能力评价指标体系。

根据文献[7]的筛选结果,该指标体系共有 18 个指标,分别为单位面积水资源量、单位面积地表水水资源量、单位面积地下水水资源量、丰水年单位面积水资源量、枯水年单位面积水资源量、干旱指数、降水量、水源涵养指标、水质现状达标率、水质恢复衡量指标、GDP 年增长率、农业总产值增长率、水利设施灌溉保证率、万元产值工业耗水率、万元产值农业耗水率、地表水控制率、工业用水循环利用率与污水治理率。

上述指标体系的一个最大问题是指标间的独立性没有充分体现。针对黄河流域实际,通过灰色关联分析与主成分分析,认为可采用以下 6 个指标来反映水资源的可再生能力:单位面积水资源量、干旱指数、降水量、水源涵养指标、水质现状达标率和万元产值农业耗水率。

2.3 生态环境需水量评价指标体系

目前相关研究尚未建立有关生态环境需水量方面的评价指标体系,已有的研究也是从某一角度出发,建立针对某种特殊生态系统的生态环境需水量指标体系,但这类指标体系一般较为精细,不适合用来描述针对流域或区域的生态环境需水情况。

从水资源可再生性角度,生态环境需水中的水并非全部来自可更新水资源,如植被需水部分,其主要包含在蒸腾蒸发量中,在此考虑的是生态环境需水中需从可更新水资源获取的部分。

应该认识到,生态环境需水对应于最小、较小、中等、较大、最大 5 个类别,相应的水资源开发利用阈值也对应于最大、较大、中等、较小、最小 5 个类别。考虑到目前在缺水地区,占用生态环境用水的现象比较严重,最小环境需水尚很难保证,本文探讨的是对应于最小生态环境需水的指标体系。

这里,假定对于某个生态系统、某个流域或地区,其最小生态环境需水量已计算完成,在此基础上考虑其与水资源可再生性的关系,建立评价的指标体系,经过分析认为表 1 所示的指标可反映实际情况,其含义也在表中得到了反映。

表 1 生态环境需水量评价指标

Tah 1 Assessment indexes of eco - environmental water demand

指标名称	单位	指标计算公式及含义
最小生态环境需水率	%	为满足某地区最小生态环境需水量而需从水资源中获取的量 / 水资源总量,其基础是最小生态环境需水量,此值反映生态环境需水对水资源的依赖程度,值越小越好
生态环境缺水率	%	现状生态环境缺水量 / 最小生态环境需水量,其中现状生态环境缺水量 = 最小生态环境需水量 - 现状生态环境用水量,此值反映现状生态环境需水的满意程度,值越小越好,当现状生态环境用水量 = 最小生态环境需水量时,该值为零

2.4 水资源利用状况指标体系

关于水资源利用状况评价指标体系,有很多文献对此问题进行了探讨,文献^[4,9]是直接有关水资源开发利用方面的指标体系,文献^[1,2,3]是考虑水资源持续利用的指标体系。从水资源可再生性出发,考虑水资源持续利用的有关水资源利用状况指标体系应该结合水资源供需情况,以无量纲形式表示为好。通过分析,本文建立了(表 2)所示的指标来评价水资源开发利用状况。

由表 2 构成的水资源开发利用状况指标体系,实际上评价的是水资源持续利用问题,此 6 个指标中区域水资源的替补率作为备用指标,在实际评价时不参与评价,该指标在水资源开发利用阈值不足以满足水资源开发时再讨论,实际上此指标也可以包含在可再生能力评价的指标体系中,因为其反映的是可再生能

力的提高,自然也反映了水资源开发利用阈值的提高,本文在后面再讨论之。

表 2 水资源利用状况评价指标体系

Tab 2 Assessment index system for water resources utilization

指标名称	单位	指标计算公式及含义
水资源开发利用潜力	%	(水资源开发利用阈值—地区水资源实际开发利用量)/水资源开发利用阈值,反映目前的开发利用状况是否已经超过了水资源开发利用阈值,该值不为负,最小为零。一个地区的水资源开发利用阈值为该地区水资源量—最小生态环境需水量
地表水开发利用潜力	%	(地表水开发利用阈值—地表水资源实际开发利用量)/地表水开发利用阈值,该值不为负,最小为零。地表水开发利用阈值与地下水允许开采量构成水资源开发利用阈值,但地表水开发利用阈值与地下水允许开采量之间存在相互转化
地下水开发利用潜力	%	(地下水允许开采量—地下水资源实际开发利用量)/地下水允许开采量,地下水允许开采量即地下水开发利用阈值,其最大值应该为地下水资源量,同样,该值不为负,最小为零
水资源供需平衡值		供水量/需水量,亦反映目前情况下的缺水情况
水资源对需水量的潜在满意度	%	水资源开发利用阈值/需水量
区域水资源的替补率	%	区域外水资源经水利设施调入的水资源数量/本区水资源量

2.5 基于水资源可再生性的持续利用指标体系

作为汇总,图 2 给出了基于水资源可再生性的持续利用指标体系。该指标体系由前文所述的 14 个指标组成,后文在对黄河流域进行实际评价时包含除区域水资源的替补率的其它 13 个指标。

3 针对黄河流域水资源的持续利用评价

3.1 评价方法

关于水资源持续利用的评价方法,目前有很多^[7,8,9],本文采用多指标综合评价中的均方差决策方法^[10]。设评价对象集为 $A = A \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$,评价指标集为 $G = \{G_1, G_2, \dots, G_m\}$;评价对象 A_i 对评价指标 G_j 的属性值为 $Y_{ij} (i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m)$; $Y = (Y_{ij})_{n \times m}$ 表示评价对象对指标集的“属性矩阵”。首先,将各评价对象的评价指标值进行标准化处理,得到无量纲的决策矩阵 $Z = (Z_{ij})_{n \times m}$;然后,求出各评价对象 A_i 在评价指标 G_j 下无量纲化的属性值的均方差 (G_j) ,并将这些均方差归一化,其结果即为各指标的权重系数 $W (G_j)$;最后采用多目标线性加权函数法,利用公式(1)进行综合评价。

$$W(G_j) = \frac{(G_j)}{\sum_{j=1}^m (G_j)} \quad (1)$$

考虑到实际情况,本研究以黄河流域二级流域为评价单元对黄河流域水资源可持续利用进行评价。其具体步骤如下:

(1) 指标值的获取。首先获取 16 个流域二级分区的上述 13 个评价指标的指标值,其中指标 (1) — (6) 的取值与文献^[7,8]一致,指标 (7) — (13) 通过文献资料^[9,11,12]和实地调研获取。

表 3 各指标权重的计算结果

Tab 3 Weight of various indexes

指标	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
权重值	0.084	0.074	0.078	0.083	0.084	0.065	0.063	0.070	0.090	0.103	0.085	0.057	0.064

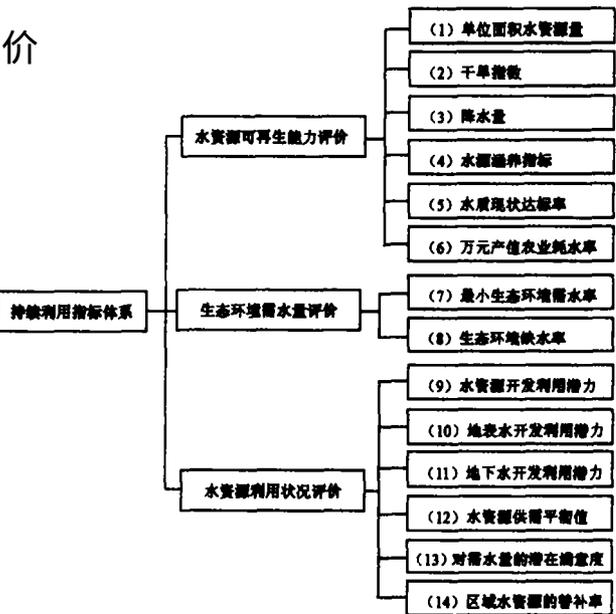


图 2 基于水资源可再生性的持续利用指标体系

Fig 2 Index system of sustainable utilization based on renewability of water resources

(2) 指标权重的确定。根据多指标均方差决策方法确定的 13 个指标的权重 (表 3)。

(3) 进行多指标的综合排序

上述水资源持续利用评价指标体系中的每一个单项指标均是从不同侧面来反映水资源持续利用的状况,因而总体情况必须进行综合评价,这里采用多目标线性加权函数法,得出黄河流域 16 个流域二级分区的 13 个指标的综合评价价值,最后进行排序。

3.2 评价结果及分析

多指标均方差决策方法的评价结果表明:黄河流域 16 个二级分区中,洮河、沁河、伊洛河、河源~龙羊峡、湟水河的水资源持续利用水平在整个黄河流域中相对较高,三门峡花园口干流区间、渭河、头道拐~龙门、洛河、泾河、汾河的水资源持续利用水平处于中等,而花园口~河口、龙门~三门峡干流区间、黄河内流区、龙羊峡~兰州干流区间及兰州~头道拐的水资源持续利用水平在整个黄河流域中相对较弱 (图 3)。

花园口~河口、龙门~三门峡水资源持续利用水平较弱是由其地表水水资源量不能满足该流域生态需水,且地下水均已超采所致;龙羊峡~兰州干流区间水资源持续利用水平较弱的原因在于其地表水水资源量不能满足流域生态需水,地下水均处于丘陵区,不宜为人类开发利用,且评价时未考虑过境水资源量;而黄河内流区、兰州~头道拐的地表水均无开发利用潜力则是限制这两个二级流域水资源持续利用水平的主要因素。

进一步分析评价结果,对于黄河上游,河源~龙羊峡、湟水河、洮河的水资源持续利用水平相对较高,但龙羊峡~兰州干流区间、兰州~头道拐的水资源持续利用水平相对较弱且流域面积较大,因此整个黄河上游水资源持续利用仍处于中等水平;对于黄河中游,伊洛河、沁河的水资源持续利用水平较高,龙门~三门峡干流区间相对较差,故整个黄河中游水资源持续利用处于中等水平;而黄河下游、整个黄河流域 (含或不含内流区)的水资源持续利用水平较弱。

4 结语

水资源是一种可再生资源,从水资源可再生性的角度出发研究其可持续利用问题有其突出的优点。在无法准确获得描述水资源可持续利用的数据时,采用指标体系的方法不失为一种定性评价水资源持续利用的好方法。本文从水资源可再生性角度出发,建立了包含生态环境需水相关指标的水资源持续利用指标体系,并结合多指标均方差决策方法在黄河流域进行了应用,得出了其二级分区的水资源持续利用评价结果。由于水资源持续利用评价问题本身的复杂性,本文所建立的指标体系和所采用的方法仍有待进一步完善,今后应加强对指标因子的筛选分析和指标值 (如水资源的替补率)的估算工作,并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] 邹积君,刘志文,张小芬,等. 区域水资源可持续利用指标体系的设计及评价方法研究 [J]. 干旱区资源与环境, 2003, 17(1): 37 - 40.
- [2] 刘恒,耿雷华,陈晓燕. 区域水资源可持续利用评价指标体系的建立 [J]. 水科学进展, 2003, 14(3): 265 - 270.
- [3] 夏军,王中根,穆宏强. 可持续水资源管理评价指标体系研究 (一) [J]. 长江职工大学学报, 2000, 17(3): 1 - 6.
- [4] 左启东,戴树声,袁汝华,等. 水资源评价指标体系研究 [J]. 水科学进展, 1996, 7(4): 367 - 374.
- [5] 沈珍瑶,杨志峰. 水资源的可再生性与持续利用 [J]. 中国人口·资源与环境, 2002, 12(5): 77 - 78.
- [6] 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.
- [7] 沈珍瑶,杨志峰. 黄河流域水资源可再生性评价指标体系与评价方法 [J]. 自然资源学报, 2002, 17(2): 188 - 197.
- [8] 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]. 干旱区资源与环境, 2005, 19(1): 71 - 75.
- [9] 水利电力部水利水电规划设计院. 中国水资源利用 [M]. 北京:水利电力出版社, 1989: 114 - 119.
- [10] 王明涛. 多指标综合评价中权重确定的离差、均方差决策方法 [J]. 中国软科学, 1999, (8): 100 - 101.
- [11] 水利部黄河水利委员会. 黄河水资源公报 (1998) [R]. 2000.

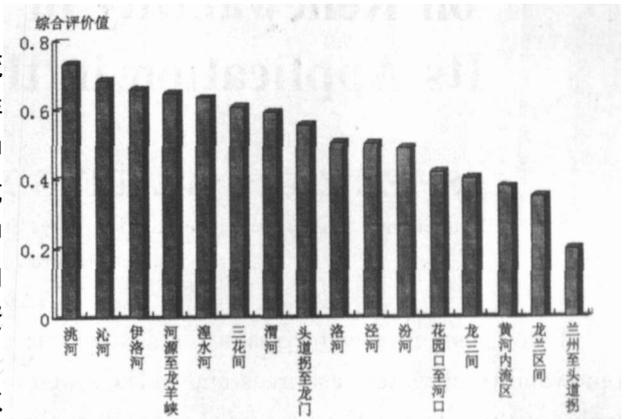


图 3 黄河流域二级分区水资源的持续利用评价结果图

Fig 3 Assessment result of water resources sustainable utilization of the second-order drainage areas of the Yellow River Basin

[12] 张远. 黄河流域坡高地与河道生态环境需水规律研究 [D]. 北京:北京师范大学环境学院, 2003.

Index System of Sustainable Utilization Based on Renewability of Water Resources and Its Application in the Yellow River Basin

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

(Environmental School, Beijing Normal University, State Key Joint Laboratory of Environmental Simulation and Pollution Control, Beijing 100875, China)

Abstract

Index system of water resources sustainable utilization was designed in this research based on the renewability of water resources and index system of water resources renew ability. This index system includes three levels: the first level is about the renew ability of water resources; the second one is concerning water resources exploitation threshold in which eco - environmental water use has priority; the last is on the sustainable renewability of water resources, namely it is index system of sustainable utilization. On the basis of the index system and the reality of the Yellow River Basin, mean square deviation decision - making method is used to assess water resources sustainable utilization of the sub drainage areas of the Yellow River Basin, and the assessment result is also presented, too.

Key words: water resources; renewability; sustainable utilization; index system; the Yellow River Basin