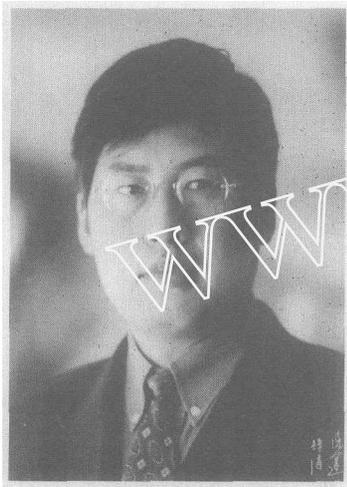


# 水资源可再生性基本理论及其在黄河流域的应用

北京师范大学环境科学研究所·

杨志峰 沈珍瑶 夏星辉 曾维华 崔保山 郝芳华



**摘要** 水资源是一种再生资源,对水资源的可再生性进行研究是为了实现基于生态环境用水优先的水资源持续利用。作为国家重点基础研究发展规划项目,本文在前期研究工作的基础上,进一步界定了水资源可再生性的定义,提出了水资源可再生性研究的两个层次,剖析了水资源可再生性的本质特征,给出了水资源可再生性的概念模型,并探讨了水资源可再生性理论在黄河流域的应用。

## 一、引言

水资源的形成、演化和再生遵循自然规律,但是

强烈的人类社会经济活动,已使天然水循环发生了显著变化,引发了尖锐的水资源供需矛盾,导致了一系列环境和生态方面的劣变过程,造成了某些地区如黄河流域面临水资源短缺、洪水灾害加剧和生态环境恶化的严峻局面。其中水资源短缺是此三大问题的关键,而水资源再生,目前和将来都是解决水资源短缺这一核心问题的关键和要害。因此,开展水资源可再生性理论研究具有巨大的现实意义。

在天然情况下,水资源的可再生性是由水循环决定的,在此水资源的可再生性与传统的可更新性或可恢复性同义。由于人类活动的影响,水资源系统已成为一个开放的、动态变化的、人工-自然复合的系统,因此,需研究人类活动对其影响。同时,在人们利用水资源时,也存在对水资源可再生性的影响问题,应把它作为水资源可再生性研究的一个内容。

另外,从实际意义上来说,水资源的可再生性研究,归根结底要落实到利用问题,即人类的开发利用不能超过水资源可再生能力,当人类的开发利用超过其可再生能力时,则造成水资源可再生性的破坏。进一步,考虑到水资源在当地社会、经济、环境可持续发展中的作用,需要研究生态环境需水量问题,即在保证当地生态环境不致恶化的情况下,最大限度地利用水资源。

## 二、水资源可再生性的概念

关于水资源可再生性的概念,我们曾对其进行过初步探讨<sup>[1,2]</sup>,在此依据国内外公认的再生资源的

概念<sup>[3,4]</sup>,定义水资源可再生性为水资源通过天然作用或人工经营能为人类所反复利用的特性。

根据上述定义,水资源可再生性概念具有以下两大特点:第一,水资源是可以为人类所反复利用的资源,是可再生资源,因此水资源可再生性研究的落脚点是水资源的持续利用;第二,水资源的这种可再生性是通过天然作用或通过人工经营达到的,因此水资源的可再生性具有天然特性、人工(社会)特性及天然-人工复合特性。

为了便于问题的讨论,也为了便于区别一些可能会相互混淆的概念,我们从两个层次来讨论此问题:第一层次不直接与水资源利用联系起来,讨论狭义上的水资源可再生性问题,其目的是得到水资源的可再生能力,这是水资源可再生性研究的基础;第二层次是在第一层次基础上,与水资源利用联系起来,讨论广义上的水资源可再生性问题,即基于生态环境用水优先的水资源持续利用或可再生性维持问题,这是水资源可再生性研究的最终目的。

上述两个层次上的区分有助于认清一些问题。从第一层次上理解,只要地球上水文循环存在,水资源的可再生性就一直存在,不存在所谓水资源不可再生问题,因此在纯粹的水资源系统内,水资源的可再生性与传统的水资源可更新性(renewable)或恢复再生性是同一概念;而在纯粹的社会系统中,传统的循环再生(recycle)也包含在狭义的水资源可再生性研究范围内。

从第二层次上理解,所谓“如果人类利用水资源量超过其可再生能力,则该水资源系统变为不可再生”的观点,实际上是不太确切的。我们更倾向于将该情况下的水资源系统称之为不可持续利用的系统。另外对于某个水资源系统,若其更新周期为  $T_1$ ,认为当利用存量资源时,其恢复时间需要  $T_2$  的观点实际上也是值得进一步商榷的。

### 三、水资源可再生性的概念模型

作为简要的汇总,我们在图 1 给出了水资源可再生性的概念模型。

图 1 表明,对于一个水资源系统,其水资源可再

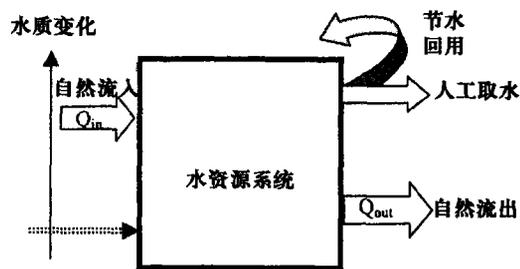


图 1 水资源可再生性概念模型

生性的途径主要有两条:一是对应于天然情况,水循环是水资源再生的驱动力,系统中  $Q_{in}$  与  $Q_{out}$  的变化,可反映该系统水资源可再生能力的强弱;二是对应于人为作用情况下,除人类活动影响到水资源的形成与存储方式外,人们在利用水资源过程中采取广义节水措施(节水与回用),也增强了该系统的水资源可再生能力。当然该系统中水质的改善,无论是天然情况的自净作用或人为对水质差的水进行处理,均可以使水资源可再生性得到加强。

图 1 中实际上也含有这样的认识,即水资源的数量实际是对应水质而言的,在水质评价基础上再探讨水量的多少可能更好,最后给出的水资源量实际上是满足某一水质要求的量。但应该指出对于地下水,由于地下水相对运移较慢,上述水量与水质相结合的评价方法是合适的,较传统的评价有进步;而对于地表水,由于其运移较快,采用此方法有一定难度,但其表达的概念具有一定的理论意义。对于地表水资源评价,文献[5]提出了以用水功能达到与否来评价黄河干流地表水资源问题,应该说是一个进步。

因此,应该从多个方面来开展水资源可再生性研究工作,如将水量可再生性与水质可恢复性结合起来,将地表水资源可再生性与地下水资源可再生性结合起来,将水资源天然可再生性与水资源社会可再生性结合起来等等。

### 四、水资源可再生性的本质特性

#### 1. 水资源的天然可再生性

水资源的天然可再生性主要对可更新水资源而言,即主要对天然水资源系统中参与水循环的那部分水。对于某个具体水资源系统,可以用可更新水资源量来表示水资源可再生能力<sup>[2]</sup>。

当需要比较多个系统之间的差异时,我们建议用某个流域或地区的年可更新水资源量除以该流域或地区的面积来表示水资源的可再生能力<sup>[6]</sup>。这样可以比较不同流域或地区之间的地表水水资源的可再生能力、地下水水资源的可再生能力及天然系统中水资源的可再生能力。显然这个数值越大,则表明该流域或地区的水资源可再生能力强,反之亦然。同时,也应认识到天然系统中水资源的可再生能力并不是简单的地表水水资源的可再生能力与地下水水资源的可再生能力之和,而应该考虑去除地表水与地下水可更新资源中重复计算的部分。

## 2. 水资源的天然-人工复合可再生性

由于目前天然水资源系统都受到了人为作用的影响,因此研究水资源的人工-天然可再生性更有实际意义。

应从两个层次上探讨水资源的人工-天然可再生性:首先是人为作用影响到水资源系统中水资源的形成,主要是影响可更新水资源量;其次是人类工程活动改变了水资源系统中水的存储方式,主要是对水资源可利用量的影响。

前者包括由于人类活动如温室气体的排放及其他活动引起的全球气候变化及由此所引发的水循环圈的变化,此将直接影响到许多地区的降水、蒸发等,进而影响到这些地区的可更新水资源量。另外还包括由于人类其他活动,如水土保持、土地利用、植被破坏、坡地改梯地、改进耕作技术等引起的水文下垫面的变化,此对水资源可更新量也有一定影响<sup>[7]</sup>。

后者主要是对水资源可利用量的影响,如人类取水、蓄水、引水工程等人为改变了水资源系统中水的存储方式或排泄去处,使得天然水资源系统中水资源量发生变化。对水资源可利用量的影响最大的主要是蓄水工程,特别是水库。由于水库的建设,调节了径流,使洪水时的弃水得以减少,从而增加了水资源的可利用量。

另外人类活动对水质也产生影响,除人类排放废水污染水资源系统,使可利用水资源量减少外,还可能诱发自然物质的释放、转化和活跃,使水质发生演化,如抽取地下水引起水动力场态及水-岩作用重建所导致的硬度、TDS、化学组分配比的变化等<sup>[8]</sup>。

## 3. 水资源的社会可再生性

水资源的社会可再生性纯粹指水资源在利用过程中所表现出来的特性,包括两个方面的内容:一是由于合理利用,采用节水措施(工业节水、农业节水等),使得新鲜水的用量得以减少;二是通过改善水质,使得对应于某一用途的可利用水量增加。水资源的这种社会可再生性是相对而言的,如工业中的循环用水,使得新鲜水的用量减少,新鲜水的减少量就是相对意义上增加的可利用水量;再如单位产品的用水量减少,这实际上也是减少了新鲜水的用量;另外,如进行污水处理,使之可为人类利用,这实际上增加了水资源量。因此应充分考虑到在水资源利用过程中的水资源可再生性,并对之进行评价。

## 五、水资源可再生性理论在黄河流域的应用

针对黄河流域的实际情况,考虑到流域范围极大,以常规的方法来研究可能过于笼统,因此我们采取点-线-面相结合的方法:点主要对城市而言,线主要对河流而言,面则是对黄河流域整个水资源可再生性而言。

以城市作为点,主要研究水资源的社会可再生性内容,其中不含农业节水问题,通过初步研究发现,水的循环利用率是一个极其重要的指标;以河流作为线,研究地表水的可再生性问题;面上研究则将地表水与地下水结合起来,同时研究农业节水问题。

黄河流域的水资源可再生性研究主要涉及以下两个方面的内容:

一是与水资源可再生性概念的第一层次相对应,通过对天然情况下黄河流域可更新水资源的研究,探讨在人为作用影响下,可更新水资源的变化;探讨纯粹人为作用下的节水技术与水质改善问题,获得水资源的社会可再生能力;通过合成水资源自然可再生能力与社会可再生能力,可以得到黄河流

域水资源总的可再生能力。同时,探讨区域生态环境需水量及区域水资源可利用量,在此基础上给出黄河流域水资源开发利用阈值。显然,这个开发利用阈值是在保持生态系统不至恶化情况下、理论上可以为人类利用的最大量。

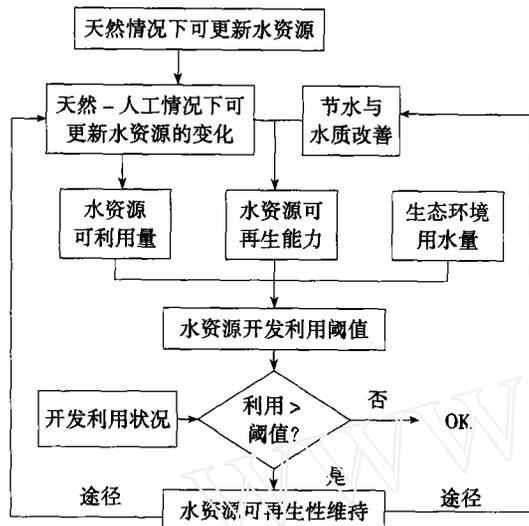


图2 水资源可再生性研究框图

二是与第二层次相对应,通过水资源开发利用状况与开发利用阈值的比较,确定开发利用方向。当利用量大于开发利用阈值时,需要进行水资源可再生性维持研究,通过各种节水与水质改善措施,使水资源利用量控制在开发利用阈值范围内,当然也可以利用过境河流的水资源与区域外调水来增大本区域的水资源开发利用阈值。

整个研究的简要框图如图2所示,相关部分均具有动态变化的含义,更为详细的内容不在本文讨论。

目前正在研究黄河流域水资源可再生能力及生态环境需水量问题,下一步将探讨水资源开发利用阈值及可再生性维持问题,相关的研究成果将会陆续公开。

#### 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). 北京:科学出版社,2001.60—62
- [2] 曾维华,杨志峰,蒋勇. 水资源可再生能力刍议. 水科学进展, 2001,12(2):276—279

- [3] 中国大百科全书·环境科学卷. 北京:中国大百科全书出版社, 1983.247
- [4] 辞海(上). 上海:上海辞书出版社,1989.103
- [5] 周劲松,夏星辉,杨志峰. 从水质角度论黄河干流水资源. 环境科学学报,2002,22(3):338—342
- [6] 沈珍瑶,杨志峰,刘昌明. 水资源的天然可再生能力及其与更新速率之间的关系. 地理科学,2002,22(2):162—165
- [7] 沈国防. 生态环境建设与水资源的保护和利用. 中国水利,2000(8):26—30
- [8] 张宗祜,沈照理,薛禹群,等. 华北平原地下水环境演化. 北京:地质出版社,2000

#### Water Resources Renewable Ability Theory and Its Application in Yellow River Basin

Yang Zhifeng, Shen Zhenyao, Xia Xinghui,  
Zeng Weihua, Cui Baoshan, Hao Fanghua

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

Water resource is a kind of renewable ones. The research of water resources renewable is actually about water resources sustainable utilization. In this paper, the definition of water resource renewable ability is given out. The connotation of water resource renewable ability research is discussed in detail and two levels of study are put forward. The basic theory system of water resource renewable ability research is listed and the basic characteristics of water resources renewable ability are discussed. Finally, the appliance of water resources renewable ability in Yellow River basin is employed briefly.

杨志峰,男,1963年9月生,工学博士,北京师范大学环境科学研究所所长、教授、博士生导师。1989年在清华大学水利工程系获工学博士学位。曾主持完成国家重点科技攻关项目、国家攀登计划特别支持项目、霍英东基金、世界银行项目、国家自然科学基金、国家教委“跨世纪优秀人才”基金、国家教委重大科学技术项目、水利部重点项目、广州市政府重点项目及国家重点基础研究发展规划项目(973)等近60项研究课题。已发表学术论文160余篇,其中26篇被SCI、EI收录,出版专著4部。Email: zfyang@bnu.edu.cn