

文章编号:1000-0690(2002)02-0162-04

# 水资源的天然可再生能力及其与更新速率之间的关系

沈珍瑶, 杨志峰, 刘昌明

(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)

**摘要:**阐述了水资源的可再生性及天然可再生能力的表示方法,探讨了水资源天然可再生能力与水资源更新速率之间的关系。研究结果显示用单位面积单位时间的可更新水资源量来表述水资源天然可再生能力具有突出的优点。研究同时表明水资源更新速率与可更新水资源量之间关系密切,如果获得了水资源更新速率,则较易获得其可更新水资源量,从而可以研究水资源的可再生性。以全国水资源一级分区及黄河流域二级分区为例评价了其水资源的天然可再生能力。

**关键词:**水资源;可再生性;天然可再生能力;更新速率

**中图分类号:**TV213.9 **文献标识码:**A

## 引 言

水资源的可再生性是水资源的主要特性之一,它主要由水循环决定。在水循环过程中,作为水资源的淡水不断得以再生,但对于一个具体的区域,水分循环再生所得到的补给水量总是有限的,因此循环过程的无限性与再生补给水量的有限性,决定了水资源在一定限度内才是取之不尽用之不竭的,这也说明了水资源的可再生性是有条件的,不是无限的。

由于在天然水资源系统进行的水资源可再生性已经大大地受到人类活动的影响,因此研究水资源的可再生性除要研究天然情况下的水资源可再生性外,还要考虑人为作用叠加情况下的天然系统中的水资源可再生性。更进一步,在纯粹的社会系统,在利用水资源时,也存在水资源的重复利用问题,这种利用实际上也是水资源可再生性的一种表现,只是这种表现与天然水资源系统没有多大的关系而已。

对于水资源的可再生性,目前尚未有文献对其进行深入探讨,一些文献给出了水资源可再生性研究的基本思路,并初步定义了水资源可再生性的概念并对其特点进行了简要阐述,指出水资源的可再

生性具有天然、天然-人工复合及社会三大特性<sup>[1,2]</sup>。

本文的目的是探讨如何定量描述水资源的可再生性问题,限于篇幅,先探讨水资源天然可再生性的定量表示方法。注意到本文探讨的水资源天然可再生性实际上只具有相对意义,但它是研究水资源可再生性的基础所在。

## 1 水资源天然可再生能力的表述

我们用水资源的天然可再生能力来度量水资源的天然可再生性,并希望用之来比较水资源天然可再生性的强弱。

初步认为水资源的天然可再生能力如果用某个流域或地区的年可更新水资源量来表述,可能不太合适。因为尽管对于这个流域或地区,年可更新水资源量越大,则其可再生能力越强;反之,年可更新水资源量越小,则其可再生能力越弱。但是却不利于不同流域或地区之间的比较。

因此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可能更合适。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,

收稿日期:2001-03-01; 修订日期:2001-06-30

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:沈珍瑶(1967-),男,浙江省鄞县人,副研究员,现为北京师范大学环境科学所博士后,主要从事水环境、水资源、核环境及三废治理等研究工作。E-mail:z.y.shen@263.net

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。但应该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。

显然上述水资源可再生能力概念的物理意义非常明确,即单位面积单位时间的可更新水资源量,实际上是一个通量的概念,这个概念与文献[3]的概念基本类似,但又有区别<sup>[3]</sup>。

下面给出可再生能力的计算公式:

$$F_s = \frac{Q_s}{A} \quad (1)$$

$$F_G = \frac{Q_G}{A} \quad (2)$$

$$F_{natural} = \frac{Q_{natural}}{A} = \frac{Q_s + Q_G - Q_{ii}}{A} \quad (3)$$

式中:  $F_s$ 、 $F_G$ 、 $F_{natural}$  分别为地表水、地下水、天然水系统水资源可再生能力;

$A$  为流域或区域的面积;

$Q_s$ 、 $Q_G$ 、 $Q_{natural}$  为单位时间该面积上地表水、地下水及天然水资源系统的可更新水资源量;

$Q_{ii}$  为单位时间该面积上重复计算的可更新水资源量。

可知地表水可再生能力计算方法类似于传统径流模数的计算方法,而天然水资源可再生能力类似于平均年产水模数的计算方法,但可再生能力是一个通量的概念,因此同这两个概念有一定区别。

应注意到这种比较目前是在中大尺度上,在小尺度及微元尺度上需要做更多的工作。不过上述可再生能力的概念仍可推广到小尺度及微元尺度,但存在如何界定该尺度可更新水资源量问题。

## 2 全国一级区及黄河流域二级区水资源天然可再生能力的评价

表 1 给出了全国一级区水资源<sup>[4,5]</sup>及其可再生能力,由表可知就地表水可再生能力而言,可再生能力强的流域为浙闽台诸河片、珠江流域、西南诸河片及长江流域,此四区明显高于全国平均水平;可再生能力差的流域为内陆诸河片、黄河流域、海滦河流域;可再生能力一般的流域为淮河流域、额尔齐斯河流域、辽河流域及黑龙江流域,但其值也低于全国平均水平;可见强弱有明显的分区。就地下水可再生能力而言,其总体排序与地表水一致,但相对而言其变化幅度较小。体现在天然水资源可再生能力上也基本与此一致。

表 1 全国一级区水资源及其可再生能力评价表

Table 1 Water resource and its reproducible ability in China

分 区	流域面积 (km <sup>2</sup> )	地表水	地下水	重复	总水	地表水可	地下水可	水资源可
		资源量 (10 <sup>8</sup> × m <sup>3</sup> /a)	资源量 (10 <sup>8</sup> × m <sup>3</sup> /a)	计算量 (10 <sup>8</sup> × m <sup>3</sup> /a)	资源量 (10 <sup>8</sup> × m <sup>3</sup> /a)	再生能力 [m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> ·a)]	再生能力 [m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> ·a)]	再生能力 [m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> ·a)]
黑龙江流域	903 418	1 166	431	245	1 352	0.129	0.048	0.150
辽河流域	345 027	487	194	104	577	0.141	0.056	0.167
海滦河流域	318 161	288	265	132	421	0.091	0.083	0.132
黄河流域	794 712	661	406	324	743	0.083	0.051	0.093
淮河流域	329 211	741	393	173	961	0.225	0.119	0.292
长江流域	1 808 500	9 513	2 464	2 364	9 613	0.526	0.136	0.532
珠江流域	580 641	4 685	1 115	1 092	4 708	0.807	0.192	0.811
浙闽台诸河片	239 803	2 557	613	578	2 592	1.066	0.256	1.081
西南诸河片	851 406	5 853	1 544	1 544	5 853	0.687	0.181	0.687
内陆诸河片	3 321 713	1 064	820	683	1 201	0.032	0.025	0.036
额尔齐斯河流域	52 730	100	43	39	103	0.190	0.082	0.195
全国	9 545 322	27 115	8 288	7 279	28 124	0.284	0.087	0.295

表 2 给出的是黄河流域水资源可更新量<sup>[4,5]</sup>及其可再生能力的情况,由表中可知黄河流域水资源可再生能力变化也较大,就地表水而言洮河、伊洛河、湟水、兰州以上干流区间、沁河、三门峡至花园口干流区间、黄河下游区为可再生能力较强区,而鄂尔多斯内流区、干流兰州至河口镇、洛河、泾河及干流河口镇至龙门为可再生能力较弱区,其余为

平均状态,但即使该流域中地表水水资源可再生能力最强的洮河 [0.208 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·a)],其也未达到全国的平均水平 [0.284 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·a)]。因此从地表水水资源角度,整个黄河流域是很缺乏的。

从地下水可再生能力看,整个黄河流域变化不太明显,除鄂尔多斯内流区、洛河、泾河、干流兰州至河口镇及河口镇至龙门为较弱区为,其余变化不大。

表 2 黄河流域水资源及其可再生能力评价表

Table 2 Water resource and its reproducible ability in the Yellow River

分 区	流域面积 (km <sup>2</sup> )	地表水	地下水	重复	总水	地表水可	地下水可	水资源可
		资源量 (10 <sup>8</sup> × m <sup>3</sup> /a)	资源量 (10 <sup>8</sup> × m <sup>3</sup> /a)	计算量 (10 <sup>8</sup> × m <sup>3</sup> /a)	资源量 (10 <sup>8</sup> × m <sup>3</sup> /a)	再生能力 (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> a)	再生能力 (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> a)	再生能力 (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> a)
湟水	32 863	50.2	22.7	22.7	50.2	0.153	0.069	0.153
洮河	25 527	53.1	21.0	21.0	53.1	0.208	0.082	0.208
兰州以上干流区间	164 161	244.0	108.5	108.5	244.0	0.149	0.066	0.149
兰州至河口镇	163 415	14.2	48.7	26.7	36.2	0.009	0.030	0.022
河口镇至龙门	111 595	59.7	40.3	29.6	70.4	0.053	0.036	0.063
汾河	39 471	26.6	25.2	17.1	34.7	0.067	0.064	0.088
泾河	45 421	20.7	10.0	8.9	21.8	0.046	0.022	0.048
洛河	26 905	9.9	6.1	5.1	10.9	0.037	0.023	0.041
渭河	62 440	73.1	46.1	33.6	85.6	0.117	0.074	0.137
龙门至三门峡干流区间	16 623	12.1	10.2	5.9	16.4	0.073	0.061	0.099
伊洛河	18 881	34.7	15.3	13.6	36.4	0.184	0.081	0.193
沁河	13 532	18.4	13.1	10.5	21.0	0.136	0.097	0.155
三门峡至花园口干流区间	9 202	12.2	6.8	5.1	13.9	0.133	0.074	0.151
黄河下游区	22 407	29.2	25.3	15.0	39.5	0.130	0.113	0.176
鄂尔多斯内流区	42 269	3.3	6.5	0.3	9.5	0.008	0.015	0.022
黄河流域	794 712	661.4	405.8	323.6	743.6	0.083	0.051	0.094

从天然水资源可再生能力上说洮河、伊洛河、黄河下游区、湟水、兰州以上干流区间、沁河、三门峡至花园口干流区间及渭河为可再生能力较强区，鄂尔多斯内流区、干流兰州至河口镇、洛河、泾河为可再生能力较弱区，其余介于中间。

### 3 水资源天然可再生能力与更新速率之间的关系

根据上述探讨，要计算水资源天然可再生能力，关键是确定各种系统的可更新水资源量。

对于天然水资源系统可更新水资源量的确定，目前主要在中大尺度上进行，利用区域上的水量平衡方法，如我国第一次水资源评价，根据实际情况进行分级，然后再进行具体评价，其评价结果我们已在表 1 给出。这种做法对于区域尺度的比较有效，但也存在太粗、达不到精细刻划的目的，一定程度上存在不易对小区域进行水资源管理等等问题。

另一个思路<sup>[6]</sup>与此不同，即“从水的交换周期确定可更新水资源量，精确地确定水资源量并建立区域总量计算模式；根据可更新量，计算水资源的人口与经济的承载力，为恢复和创建可持续利用的水资源供水系统及管理供应系统。”这个思路打破了传统水资源评价的思路，希望从小尺度甚至微元尺度上研究水资源的可再生性，再在此基础上进行综合，最后达到刻划中大尺度水资源的目的，这个思路正好与传统水资源评价的思路相反，但传统的水资源评价结果可以在中大尺度上用来印证本方

法最终结果的合理性。显然这一思路的出发点是确定水的交换周期，此处交换周期的概念我们认为与传统的水资源更新周期或水文更新时间 (turnover time or replacement time) 的概念<sup>[7]</sup>是一致的。我们在此定义水资源的更新速率为其更新周期的倒数。

理论上若某系统的水资源更新速率或更新周期及该系统中水资源占有的体积为已知，则可以得到其可更新水资源量。对于地表水、地下水系统都是如此。同样可以得到若该系统的水资源更新速率越大或更新周期越短，则其水资源可再生能力越强的结论。对于不同的水资源系统，水资源更新速率大小的比较究竟有多大意义仍需进一步探讨，但它是计算水资源可再生能力的基础。

可更新水资源量与水资源更新速率之间的关系可用下述式子表示：

$$Q_s = q_s \times V_s \quad (4)$$

$$Q_G = q_G \times V_G \quad (5)$$

$$Q_{natural} = q_{natural} \times V_{natural} \quad (6)$$

式中： $q_s$ 、 $q_G$ 、 $q_{natural}$ 分别为地表水、地下水及天然水资源系统水资源更新速率；

$V_s$ 、 $V_G$ 、 $V_{natural}$ 分别为地表水水资源、地下水水资源及天然水资源系统占有的体积；

其余符号意义同式(1)~(3)。

注意到天然水资源系统更新速率并非地表水水资源更新速率与地下水水资源更新速率的简单

叠加。同时在实际工作中,由于地表水与地下水系统水资源更新速率相差极大,而且地表水与地下水水资源占据体积不具可比性,因此不一定要给出天然水资源系统的水资源更新速率,而是可能从另一角度探讨地表水可更新水资源与地下水可更新水资源重复计算的部分。

显然在此方法中获取水资源更新速率是评价水资源可再生性的关键,理论上,水资源的更新速率可以通过利用分布式水文模型,在确定计算单元水量平衡的基础上获得,并可获得随时间变化的以计算单元为单位的水资源更新速率值,但实际工作中有相当难度,这不仅仅在于流域分布式水文模型建立的困难,更为困难的是在需要获得较大区域的水资源更新速率时,如何在计算单元间进行合并问题,关于这方面的工作,我们在今后将进一步介绍。

## 4 结 论

本文对水资源的可再生性进行了简要评述,给出了水资源天然可再生能力的表示方法,并用实例探讨了水资源可再生能力评价方法的应用,最后探讨了水资源可再生能力与水资源更新速率之间的关系,通过研究得到如下几点认识:

- 1) 可再生性是水资源的主要特点之一,它主要由水循环决定;
- 2) 用单位时间单位面积水资源可更新量(即

通量形式)来表示水资源的天然可再生能力具有突出的优点;

3) 通过对全国特别是黄河流域天然水资源可再生能力的评价,进一步揭示本文给出的水资源可再生能力评价方法的合理性;

4) 通过探讨水资源可再生能力与水资源更新速率之间的关系,可以发现搞清水资源的更新速率,即可较易研究水资源的可再生性,因此需进一步开展更新速率的研究。

## 参考文献:

- [1] 水与可持续发展—定义及内涵[J]. 水科学进展, 1997, 8(4): 377~384.
- [2] 沈珍瑶. 水资源可再生性初探[A]. 中国博士后 2000(土木、水利分册)[C]. 北京:科学出版社,2000.
- [3] 牟海省. 水资源内涵及价值评估若干模式的探讨[A]. 刘昌明,何希吾,任鸿遵. 中国水问题研究[C]. 北京:气象出版社,1996.9~12.
- [4] 水利电力部水文局. 中国水资源评价[M]. 北京:水利电力出版社,1987.140~142.
- [5] 中国自然资源丛书编辑委员会. 中国自然资源丛书(水资源卷)[M]. 北京:中国环境科学出版社,1995.163~165.
- [6] 刘昌明,孙睿. 水循环的生态学方面:土壤-植被-大气系统水分能量平衡研究进展[J]. 水科学进展,1999,10(3): 251~258.
- [7] Slutsky A H, Yen B C. A macro-scale natural hydrologic cycle water available model[J]. Journal of Hydrology, 1997, 20(1): 329~347.

## Water Resource Reproducible Ability and its Relationship with Refresh Rate

SHEN Zhen-yao, YANG Zhi-feng, LIU Chang-ming

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

**Abstract:** The reproducibility and its ability of natural water resource are introduced in this paper, the relationship between reproducible ability and refresh rate of water resource is discussed. The results show that it has many advantages to use refresh water resource per area per time as reproducible ability of water resource. The relation between reproducible ability and refresh rate of water resource shows that if the refresh rate of water resource is known, it is very easily to achieve the reproducible ability of water resource. The first order water resources areas in China and the second order water resources subareas of Yellow River are taken as an example to assess the natural reproducible ability.

**Key words:** Water resource; Reproducibility; Reproducible ability; Refresh rate