

# 生态环境需水评价指标体系与方法

吴洁珍<sup>1</sup>, 王莉红<sup>1</sup>, 林文努<sup>2</sup>, 蒋欣慰<sup>3</sup>

(1. 浙江大学 环境与资源学院, 浙江 杭州 310028; 2. 浙江省温州市洞头县环保局,  
浙江 温州 325700; 3. 浙江省环境科学设计研究院, 浙江 杭州 310028)

**摘 要:** 近期生态环境需水逐渐成为水资源及相关领域的研究热点。通过系统分析生态环境需水与水资源的关系, 结合生态环境需水的影响因素建立了 1 个目标层, 4 个准则层和 20 个指标的生态环境需水评价指标体系及其评价方法, 进一步丰富了生态环境需水的理论。并以水资源丰富的安吉县为参照对象对浙江省不同方位的 6 个县市的生态环境需水进行评价。得出桐庐、天台、诸暨 3 个县市的生态环境需水为优良级别, 而永康、瑞安和龙游 3 个县市则为良好级别, 并找出了影响各县市生态环境需水的瓶颈因素。

**关键词:** 生态环境需水; 指标体系; 水资源; 影响因素

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2005)06-0066-04

中图分类号: TV213

## Index System and Method of Eco-environmental Water Demand Evaluation

WU Jie-zhen<sup>1</sup>, WANG Li-hong<sup>1</sup>, LIN Wen-nu<sup>2</sup>, JIANG Xin-wei<sup>3</sup>

(1. Environmental and Resource College of Zhejiang University, Hangzhou 310028, Zhejiang Province, China; 2. Environmental Protection Bureau of Tongtong County, Wenzhou 325700, Zhejiang Province, China;

3. Environmental science research and design institute of Zhejiang province, Hangzhou 310028, Zhejiang Province, China)

**Abstract:** Nowadays eco-environmental water demand is becoming a hotspot in the field of water resource and related fields. The relationship between eco-environmental water demand and water resource was analyzed. Demand evaluating index system for the eco-environmental water included one object layer, four guide layers and 20 indexes. The evaluating measures were set up, which enriches the theory of eco-environmental water demand. In addition, based on the eco-environmental water demands of Anji County, the demands of six counties in different locations of Zhejiang Province were calculated and evaluated. The conclusion is that eco-environmental water demand for Tonglu County, Tiantai County and Zhuji County are on excellent level, and for Yongkang County, Ruian County and Longyou County, on good level. The bottleneck factors of each city can be found accordingly.

**Keywords:** eco-environmental water demand; index system; water resource; impact factors

随着生态环境需水在水资源及相关领域研究的炽热化, 生态环境需水的优先满足成为水资源规划、管理和配置的至关重要问题。生态环境需水的研究现主要集中在定义、分类以及需水量的计算方法等方面。已有的研究报道内容主要有: (1) 确定当前的主要生态环境问题。(2) 确定解决这些生态环境问题的途径是保证生态环境需水。

这些研究报道主要是考虑水量问题, 而对影响生态环境需水其它相关信息涉及不多。本文就建立生态环境需水的评价指标体系展开一些研究, 这对于全面分析生态环境需水, 指导实际工作具有非常重要的作用。

## 1 生态环境需水与水资源的关系

广义的水资源就是大气降水。在特定范围内它消耗在 2 个方面: 一是降水形成地表径流、壤中流和地下径流并构成河川径流, 通过水平方向排泄到区外; 二是以蒸发和散发的形式通过垂直方向回归到大气中。因河川径流与人类的关系最为密切, 故将它作为狭义水资源(图 1)。在一个地区或流域, 在多年平均的情况下, 可以认为大气降水是个定值(即广义水资源量是个恒量)。在天然状态下, 广义水资源量中去除一部分有效蒸发和无效蒸发可得到狭义的水资源量<sup>[1]</sup>。

收稿日期: 2005-03-25

资助项目: 浙江省教育厅科研项目(20050933)

作者简介: 吴洁珍(1979—), 女(汉族), 浙江温州人, 硕士研究生, 主要从事环境规划和水资源方面的研究。E-mail: wjiezhen2002@163.com。

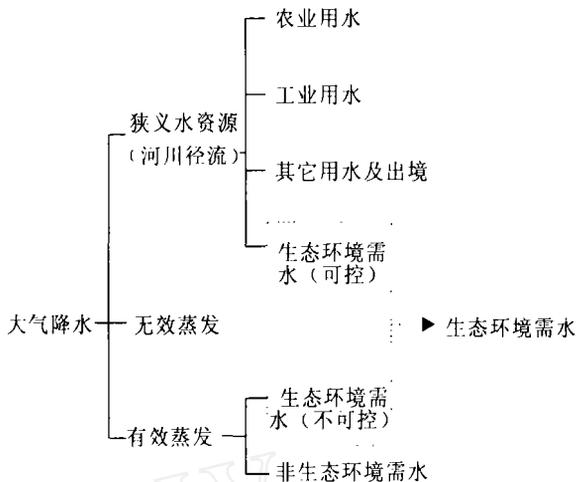


图1 水资源与生态环境需水关系

生态环境需水广义上是指维持全球生物地理生态系统水分平衡,诸如水热平衡、生物平衡、水沙平衡、水盐平衡等所消耗的水分,狭义上是指为维持生态环境不再进一步恶化并逐渐改善所需要消耗的地表水和地下水资源总量<sup>[2]</sup>。从中可看出,生态环境需水量与水资源量的关系并不是简单的包含和被包含关系。降落到地面的一部分水资源的蒸发行为维持了全球生物地理生态系统的水热平衡、水沙平衡、水盐平衡等,属于生态环境需水。狭义水资源中用于维持生态环境的正常运转的那一部分也属于生态环境需水。对于社会经济活动和人类的直接调控能力而言,狭义水资源中的生态环境需水的研究才最有意义。故狭义水资源中的那部分生态环境需水称为可控生态环境需水,而有效蒸发中的那部分则为不可控生态环境需水。

## 2 生态环境需水的影响因素

从系统科学的角度出发,生态环境需水的实现就是水资源—生态环境—社会经济复合系统持续发展功能的体现。只有水资源复合系统中环境、经济和社会结构合理,才能取得整体功能的最优;只有系统有序稳定的演变,才能取得系统持续的发展。而这一系统受到自然、社会经济、生态环境状况、水资源状况等因素的影响,使其处于不断变化之中。

(1) 自然因素的影响主要是在降水和蒸发等方面。一个地区降水和蒸发等自然因素直接决定了该区域的水资源丰富度,也决定了该地区的供水条件和用水定额;(2) 社会经济的发展则存在着正反两方面的影响。在水资源总量相对比较固定的情况下,不断加大的人类社会对水资源的需求势必挤占生态环境需水的份额。另一方面,社会经济的发展能够有效

地提高水资源的重复利用率,从而减少人类社会所利用的水资源份额;(3) 生态环境状况的好坏也影响到生态环境需水,如植被覆盖率、生物丰富度等的增加,会占去一部分的水资源份额;(4) 水资源的开发利用是一重大因素。只有人与自然,人之间和谐,水资源开发利用方式合理,不超出其承载能力,才能保证生态环境得到足够的水资源。

## 3 评价指标体系的建立

### 3.1 建立指标的原则

生态环境需水评价指标体系是一个复杂的大系统,需建立一个各有侧重又相互关联的综合反映生态环境需水的评价指标体系。

(1) 以区域为评价主体进行综合评价。主要用于行政区域,也可用于流域。兼顾自然和人文因素,现状和发展前景,水量和水质,客观条件和利用、管理水平。

(2) 列出必要的水文资料外,着重加入能反映生态环境需水可控程度的指标和供需情况及满足程度的指标。

(3) 客观性原则。这是一切评价原则的基础,是评价结果不受人为主观因素影响的基本条件。

(4) 可比性原则。无论是定量指标或定性分级指标,其评价结果在各区域间要有可比性。

(5) 容易获取。所选指标应容易获取。

(6) 可扩展性原则。随着人类社会的发展和科学技术的进步,人们对生态环境需水的认识会进一步深化,可以不断地补充和修改评价指标和标准。

### 3.2 指标筛选的方法

采用频度统计法、理论分析法、专家咨询法设计、筛选指标,以满足科学性和完备性原则。频度统计法是目前有关生态环境需水、水资源可持续利用评价研究的报告、论文进行频度统计,选择使用频度较高的指标,共计89个指标。理论分析法是对生态环境需水的内涵、特征、影响因素进行综合分析,选择89个指标中重要的发展特征指标;专家咨询法是在初步提出评价指标体系的基础上征询有关专家的意见对指标进行调整,确定指标体系。

### 3.3 建立指标体系

基于以上分析,本文建立的指标体系框架如图2。目标层是生态环境需水综合指数  $E_{WI}$  (eco-environmental water index)。该指标是生态环境需水的经济、社会、人口、资源、环境协调发展的综合体现。准则层为自然因素、社会经济因素、生态环境状况、水资源状况4个。指标层是描述生态环境需水状态的

一组基础指标,共计 20 个。自然因素准则层下的指标基本上是不可控指标,其它 4 个准则层下的指标则为可控指标。其中植被覆盖指数 = (0.5 × 林地面积 × 草地面积 + 0.2 × 农田面积) / 被评价区域面积。生物丰度指数 = (0.6 × 林地面积 + 0.2 × 水域面积 + 0.15 × 草地面积 + 0.05 × 其它) / 区域面积<sup>[3]</sup>。加 \* 号的 7 个指标与全国颁布的生态县考核指标相符。本指标体系简明、层次分明、反映全面,考虑了自然因素和社会经济条件,生态环境需水与水资源之间的关系,以及水量和水质之间的关系。

### 4 指标体系的应用

#### 4.1 确定评价指标的定值转化及权重

在本研究中,参照已有国家标准或国际标准,或者国际上通用的衡量指标值,类比国内外发展良好城市的现状值作为标准值等方法确定各单项指标的评价标准,给出分值。而指标的权重则采用层次分析法(AHP)、德菲尔法确定,各指标权重见图 2。在确定评价指标的分值时采用单项指数法,将指标分为正向指标、逆向指标和适度指标<sup>[4]</sup>。

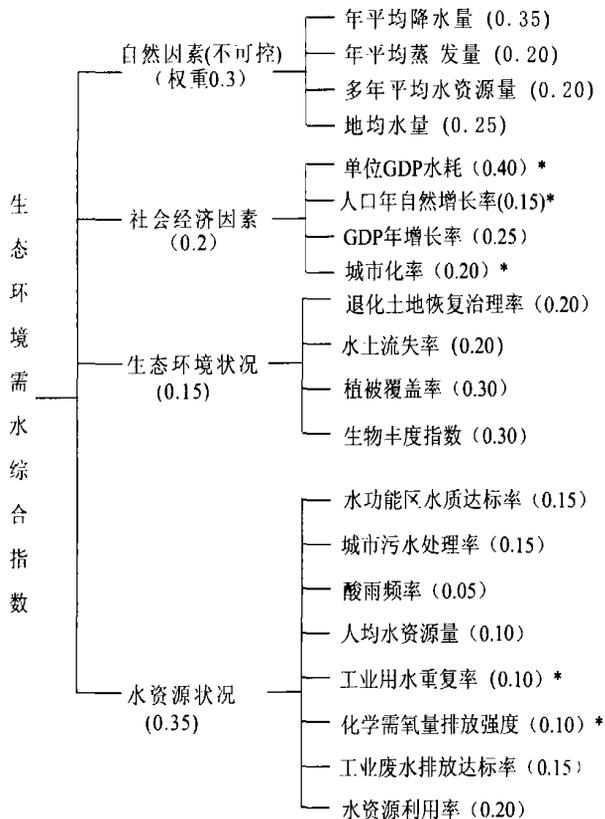


图 2 生态环境需水评价指标体系

用各有关指标的实际值  $X_i$  与其相应的评价标准值  $X_o$  进行比较,求得该单项指数。计算公式如下:

$$I_i = X_i / X_o \text{ (正指标)}$$

$$I_i = X_o / X_i \text{ (逆指标)}$$

式中:  $I_i$  ——某一单项指标的评价指数值;  $X_i$  ——某一单项指标的现状实际值;  $X_o$  ——某一单项指标的评价标准。

适度指标,则可看成是正逆指标的组合:当现状值大于标准值时,  $I_i = X_o / X_i$ ; 当现状值小于标准值时,  $I_i = X_i / X_o$ 。另外,达到或超过评价标准值的算作满分,均取值 1。

#### 4.2 建立综合评价模型进行指标合成,求得综合评价

首先计算系统指数。在各系统单项指数的基础上,按其各自的权重进行加权求和。其计算公式如下:

$$C_j = I_i \times W_i \quad (j = 1, 2, 3, 4)$$

式中:  $C_j$  ——某子系统的系统指数值;  $I_i$  ——该子系统中某一单项指标的评价指数值;  $W_i$  ——该子系统中某一单项指标的权重值。

生态环境需水综合指数是在各系统指数的基础上,按照各个子系统在生态环境需水中的贡献大小(即系统权重)进行再一次加权而得出的综合指数。其计算公式为:

$$E_{wI} = C_j \times W_j$$

式中:  $E_{wI}$  ——生态环境需水综合指数值;  $C_j$  ——某子系统的系统指数值;  $W_j$  ——第  $j$  子系统在生态环境需水系统中的权重值。

#### 4.3 案例分析

本研究的评价对象是位于浙江省不同方位的 6 个县市,其中杭州桐庐县位于浙西北山地丘陵生态区,绍兴诸暨市位于浙东北水网平原生态区,衢州龙游县、台州天台县和金华永康市位于浙中丘陵盆地生态区,温州瑞安市则位于浙东沿海及近岸生态区。这些县市在生态浙江建设的推进下积极开展生态市县的建设。

按照上述评价指标和评价方法对 6 个县市的生态环境需水进行评价(见表 1)。参照值取自浙江省安吉县。该县地处浙北天目山北麓,黄浦江源头,水资源丰富,生态环境质量良好,率先被评为全国生态示范县。根据杨志峰<sup>[5]</sup>等人发表的生态环境需水计算方法,结合安吉县遥感图进行分析,可求得安吉县的基本生态环境需水量为  $8.78 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,占水资源总量的 60%,目前的状况是生态环境需水较好地得到满足。故以它为参考对象开展其它县市的生态环境需水评价。

表 1 浙江省各县市生态环境需水指标值

二级指标	三级指标	安吉县 (参照值)	杭州 桐庐县	绍兴 诸暨市	台州 天台县	金华市 永康市	温州 瑞安市	衢州 龙游县
自然因素	年平均降水量/mm	1485.4	1525.0	1346.7	1450.0	1483.0	1527.2	1640.0
	年平均蒸发量/mm	1150.0	1241.0	882.1	1420.2	1300.0	1225.1	1250.0
	多年平均水资源 总量/ $10^8 m^3$	14.580	14.277	27.750	12.372	7.840	16.550	12.879
	地均水量/ $(10^4 m^3 km^{-2})$	77.284	78.229	119.806	87.065	74.738	130.223	113.101
社会经济因素	人口年自然增长率/ $\text{‰}$	2.28	1.33	2.62	7.20	5.90	9.41	2.06
	GDP 年增长率/%	14.40	12.40	14.10	15.70	16.20	11.60	12.00
	单位 GDP 水耗( $m^3 \cdot 10^{-4}$ 元)	156.80	34.50	98.00	135.00	263.00	124.00	103.60
	城市化率/%	35.00	36.80	45.00	29.00	43.50	44.00	38.00
生态环境状况	水土流失率/%	17.67	20.69	5.96	21.14	24.14	17.5	24.50
	退化土地恢复治理率/%	81.10	90.00	23.00	57.00	40.00	17.50	43.00
	植被覆盖率	0.3749	0.3633	0.2923	0.3356	0.3041	0.3083	0.2565
	生物丰度指数	0.4459	0.4209	0.3122	0.3658	0.3293	0.3353	0.2968
水资源状况	人均水资源量/ $m^3$	3246.49	3619.01	2621.59	2228.51	1456.44	1479.53	3180.79
	水资源利用率/%	12.81	14.09	7.85	14.78	31.38	12.95	20.74
	工业用水重复率/%	15.00	38.10	71.00	26.50	63.00	49.70	30.00
	城市污水处理率/%	43.00	0.00	34.40	0.00	0.00	0.00	0.00
	水功能区水质达标率/%	82.10	75.00	65.00	92.90	15.10	30.00	80.00
	化学需氧量排放强度/ ( $kg \cdot 10^{-4}$ 元 GDP)	3.60	27.90	5.60	1.80	6.30	13.50	10.00
	工业废水排放达标率/%	95.00	70.00	90.00	86.00	99.30	80.00	82.80
	酸雨频率/%	80.00	86.80	43.00	100.00	93.30	64.60	52.80

注:基础数据来自当地的统计资料。

由表 2—3 及图 3 可以得出如下结论。

(1) 桐庐县、诸暨市和天台县的生态环境需水综合指数分别为 0.88, 0.89 和 0.84, 属于优良级。而永康市、瑞安市和龙游县则分别为 0.64, 0.78 和 0.75, 属于良好级别。

表 2 二级指标与综合指标的值

二级指标	杭州 桐庐县	绍兴 诸暨市	台州 天台县	金华市 永康市	温州 瑞安市	衢州 龙游县
自然因素	0.98	0.97	0.92	0.88	0.99	0.96
社会经济因素	0.99	0.941	0.88	0.68	0.85	0.64
生态环境状况	0.94	0.70	0.82	0.71	0.72	0.66
水资源状况	0.69	0.88	0.77	0.40	0.60	0.68
$E_{wi}$	0.88	0.89	0.84	0.64	0.78	0.75

表 3 生态环境需水综合指数的评价等级

综合指数	0—0.2	0.2—0.4	0.4—0.6	0.6—0.8	0.8—1
评价等级	较恶劣	恶劣	一般	良好	优良

(2) 生态环境需水包含了水质和水量两层含义。在自然条件赋予各县市相差无几的自然资源时,其它方面却拉大了各县市之间的距离。象永康和瑞安这样的工业型城市,由于五金、冶炼、制革等产业的发

展,导致水质下降,水环境的严重污染,则容易引起水质型的生态环境需水不足。

(3) 自然因素是相对比较稳定的准则层,我们将之看作不可控层,故人们的着眼点在于其它 3 个准则层。从社会经济因素、生态环境状况和水资源状况 3 个准则层的数据来看,水资源状况准则层的数据相对偏低,可见水资源相对于其它来说是处于较差的状态。若要改善各区域的生态环境需水,水资源状况准则层下的指标是重要指标。

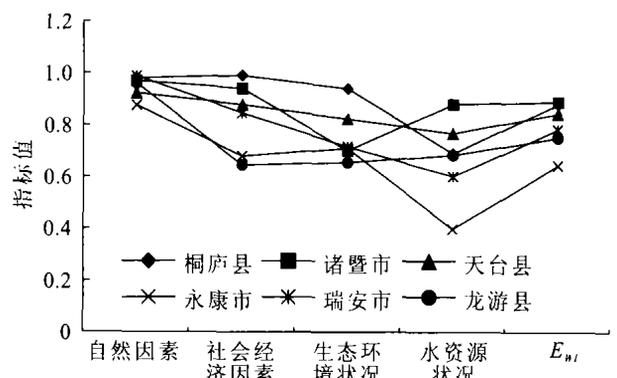


图 3 各县市二级指标和综合指标的示意图

(下转第 81 页)

## 5 结 论

(1) 退耕宜林地资源开发利用、附以现代桃园规范化管理技术,能够提高气候资源、生物资源利用率,达到退耕地农业资源全面合理利用的目的。

(2) 结合甘肃桃栽培建立的各类水土保持措施,改变了下垫面(土地)的存在形式,减少了水土流失,提高了降水利用率,改变了水在区域内的循环形式,使有限的水土资源达到了高效利用的目的,进而提高

了退耕地土地生产潜力。

(3) 甘肃桃栽培及其初级产品的加工、销售,是退耕宜林地水土资源可持续利用及后续产业开发的有效途径。

### [参 考 文 献]

- [1] 廖晓勇,陈治谏,罗辑. 农耕地坡改梯增值评价[J]. 水土保持研究,2004(2):173—174.
- [2] 吴德仓,蒲玉宏,段义字. 榆林河流域水土资源开发利用研究[J]. 水土保持通报,2001,21(1):74—76.

(上接第69页)

(4) 从6个县市与参照对象各指标值的相比中可找出各县市自身的优势与劣势,找出瓶颈因素,从而行之有效地解决问题。如永康市的水资源状况是6个市中最差的一个,这主要是由于水功能区水质达标率和城市污水处理率2个指标的影响。故加快城市污水处理的基础设施建设,改善水质是非常重要的。

## 5 结 论

(1) 本文明确了水资源与生态环境需水的关系,分析了生态环境需水的影响因素为自然因素、社会经济因素、生态环境状况和水资源状况,为指标体系的建立奠定了基础。

(2) 生态环境需水评价指标体系是度量生态环境需水复合系统发展特征的参数。本文采取频度统计法、理论分析法、专家咨询法设计、筛选指标,并采用层次分析法确定权重,得出1个综合指标,4个准则层和20个指标的指标体系和权重。

(3) 指标体系中各指标的隶属关系以及它们之间的联系能够帮助我们找出影响生态环境需水的瓶颈因素,从而采取措施来改善生态环境需水的现状。本文以安吉县为参照对象,得出浙江省不同方位的6个县市的生态环境需水综合指数,找出各县市的瓶颈因素,从而解决相应的问题。

## 6 讨 论

(1) 生态环境需水评价指标体系采用了专家评判法得出。在未来原始数据比较充足的情况下,可以采用数学方法来确定权重。

(2) 生态环境需水评价指标体系选择了最基本的指标对生态环境需水进行了评价。根据具体情况可以增加一些特殊指标。

(3) 笔者提出的生态环境需水评价指标体系它是进行生态环境需水评价的第一步,如何建立模型尚需进一步探讨研究。

### [参 考 文 献]

- [1] 左其亭,周可法. 关于水资源规划中水资源量与生态环境需水量的探讨[J]. 干旱区地理,2002,25(4):296—301.
- [2] 中国工程院“21世纪中国可持续发展水资源战略研究”项目组. 中国可持续发展水资源战略研究综合报告[J]. 中国工程科学,2002(8):1—17.
- [3] 万本太,王文杰,张建辉,等. 中国生态环境质量优劣度评价[J]. 中国环境监测,2003,19(4):46—53.
- [4] 王华,苏春海. 水资源可持续利用指标体系研究[J]. 排灌机械,2003,21(1):33—36.
- [5] 杨志峰,崔保山,刘静玲,等. 生态环境需水量理论、方法与实践[M]. 科学出版社,北京,2003.