

# 南方暖湿地区河流生态环境需水量估算

丛沛桐<sup>1,2</sup>, 王瑞兰<sup>3</sup>, 李艳<sup>1</sup>

(1. 华南农业大学, 广东 广州 510642; 2. 天津师范大学, 天津 300384; 3. 广东省水利水电科学研究院, 广东 广州 510610)

**摘要:**以广东省鹤山市沙坪河生态环境需水为研究对象,从河流水资源规划、开发利用过程中涉及到的生态环境需水问题出发,提出了暖湿地区河流生态环境需水量计算的方法,并计算了各项生态环境需水的数量和比例。其中:基本生态环境需水量  $0.79 \text{ m}^3/\text{s}$ ; 水面蒸发需水量  $0.05 \text{ m}^2/\text{s}$ ; 输沙需水量  $0.70 \text{ m}^3/\text{s}$ ; 稀释净化污染物需水量  $1.10 \text{ m}^3/\text{s}$ ; 水土保持需水量  $1.00 \text{ m}^3/\text{s}$ 。沙坪河生态环境需水总量  $3.64 \text{ m}^3/\text{s}$ , 总生态环境需水量约占地表径流总量的 38.6%, 成果可用于水资源规划与开发利用。

**关键词:**沙坪河; 暖湿地区; 生态环境需水量

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2007)01-0043-04

中图分类号: P331, X820

## River Eco-environmental Water Requirement in the Warm wetness Region

CONG Pei-tong<sup>1,2</sup>, WANG Rui-lan<sup>3</sup>, LI Yan<sup>1</sup>

(1. South China Agricultural University, Guangzhou, Guangdong 510642, China; 2. Tianjin Normal University, Tianjin 300384, China; 3. Guangdong Institute of Water Resources and Hydropower, Guangzhou, Guangdong 510610, China)

**Abstract:** Based on the systemic planning of water resources of Heshan City, Guangdong Province, and a mass of data about hydrology and ecology collected from field survey, the classification of river eco-environmental water requirement was discussed. The objectives of the research were to realize basic ecological functions of a river and approximately calculate the eco-environmental water requirement of Shaping River using the updated calculation method for eco-environmental water requirement. Classification and computation are performed for making contributions to the harmony of society and economy, sustainable development and realization of optimal eco-environmental development. The results from calculation show that the total eco-environmental water requirement of Shaping River is about  $3.18 \times 10^7 \text{ m}^3$ , accounting for 38.6% of normal annual runoff. According to the eco-environmental water requirement, the distribution of water resources of the river is optimized, and the optimal projects of water saving and water resource protection are designed by the characteristics of water requirement of the river. The research offers a scientific basis for the rational exploitation, utilization and protection of water resources of the river.

**Key words:** Shaping River; warm wetness region; ecological and environmental water requirement

河流生态环境需水量是指在特定水平下满足河流系统各项生态功能所需水量的总称<sup>[1-2]</sup>。Gleick (1995 年)提出了基本生态需水量的概念(Basic ecological water requirement),即指提供了一定质量和数量的水给天然生境,以求最大程度的维持天然生态系统的过程,并保护物种多样性和生态整合性。

我国目前有关生态环境需水的研究十分活跃。李丽娟(2000 年)以海滦河为例研究了河道生态环境需水。王西琴(2001 年)从水污染问题出发,探讨了河道环境需水的内涵,指出河道最小环境需水量是维持河流基本环境功能不受破坏,必须在河道内常年流动的最小水量。崔宝山和杨志峰(2002 年)根据典型

湿地生态环境需水量的内涵和临界值,探讨了湿地生态环境需水量的计算方法及相关指标。刘静玲(2002 年)根据湖泊的基本特征进行了湖泊生态环境需水量分析和估算。虽然我国生态环境需水研究起步较晚,但研究进展较快。从水量平衡和生态系统角度都有不同程度的涉及探讨,特别是针对不同类型生态环境需水的分类、界定、计算等方面,研究成果较为丰富。

我国南方暖湿地区水资源总量虽然丰富,但随着人口的不断增长、经济的不断发展,生产和生活用水急剧增加,水资源浪费十分严重,加之各种有害物质对水体的污染加剧,从而导致水环境不断恶化,生态环境频频遭到破坏。近些年来,南方地区水质型缺水

收稿日期:2006-05-31

修稿日期:2006-08-28

资助项目:广东省科技攻关计划(2003C32601)

作者简介:丛沛桐(1965—),男(汉族),黑龙江省哈尔滨市人,教授,博士生导师,从事水文、水资源专业技术工作。主要研究方向为水利信息化与数字水利。E-mail:congpeitong@163.com。

时有发生,如遇干旱年份,水环境问题就更为突出<sup>[3]</sup>。为此,加强暖湿地区生态环境需水研究有利于暖湿地区水资源的合理规划与利用,以保持河流生命健康和水资源的永续利用。

## 1 研究区概况

### 1.1 自然概况

沙坪河是珠江水系西江下游右岸的一级支流,流域面积 324 km<sup>2</sup>,行政区域隶属广东省鹤山市,属南亚热带季风气候区,境内具有海洋气候特征,温、光、热、雨量充足。其中低山区 97 km<sup>2</sup>,占 30%;丘陵 124 km<sup>2</sup>,占 38%;堤围区 103 km<sup>2</sup>,占 32%。流域面积包括沙坪、古劳、龙口、桃源 4 个区的全部,雅瑶区的一部。县城沙坪镇地处沙坪河下游。沙坪河干流发源于皂幕山,流域面积 110.88 km<sup>2</sup>,流经金岗、龙口、沙坪后汇入西江,全长 37.6 km<sup>2</sup>,落差 804 m,平均坡降 3.06‰,多年平均流量 9.25 m<sup>3</sup>/s。

### 1.2 沙坪河生态环境状况

鹤山市内的河流在建国后淤积非常快,其中水土流失是主要原因之一。据现状调查统计,沙坪河流域水土流失面积 6.12 km<sup>2</sup>,其中严重地区达 0.8 km<sup>2</sup>。水土流失导致河床淤高、水库淤积、沙盖农田等灾害时常发生。

沙坪河水质污染较严重,水质在中、上游较好,下游较差,稍有酸性,尤其是沙坪镇以下河段,水质较混浊,常出现有色污染带,感官性差,有异味。据 1981 年监测数据,含铬(六价)量 3.10 mg/L,超标几十倍;有机污染也比较严重;BOD<sub>5</sub> 为 3.8 mg/L,偏大;氨氮 4 mg/L;pH 值 5.8,偏低;水质 Ⅲ 级。

## 2 沙坪河生态环境需水量计算与评价

### 2.1 沙坪河各项生态环境需水量计算

2.1.1 河流基本生态环境需水量 采用实测河流最小月平均径流量的多年平均值作为河流的基本生态环境需水量,选取计算公式为<sup>[4-5]</sup>:

$$W_b = T / n \min_i Q_{ij} \times 10^{-8} \quad (1)$$

式中:  $W_b$ ——河流基本生态环境需水量(10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>);  $Q_{ij}$ ——第  $i$  年 第  $j$  月的平均流量(m<sup>3</sup>/s);  $T$ ——换算系数,数值为 3.15 × 10<sup>7</sup> s;  $n$ ——统计年数。采用的多年统计径流量数据见表 1。

由表 1 计算出沙坪河 1981—2000 年 20 a 平均径流量为 2.97 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>,换算单位后得 9.42 m<sup>3</sup>/s,采用公式(1)计算得:

$$Q_j = \frac{(4.907 + \dots + 1.978) \times 10^8 \times 0.007}{20 \times 30 \times 24 \times 3600}$$

$$= 0.8 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$W_b = T / n \min_i (Q_{ij}) \times 10^{-8}$$

$$= 31.536 \times 10^6 \times 0.8 \times 10^{-8}$$

$$= 0.25 (10^8 \text{ m}^3) = 2.5 \times 10^7 \text{ m}^3$$

即沙坪河基本生态环境需水量为 2.5 × 10<sup>7</sup> m<sup>3</sup> (0.79 m<sup>3</sup>/s)。

表 1 沙坪河水文站 1980—2000 年天然年径流量 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>

年份	天然年径流量	年份	天然年径流量
1981	4.907	1991	1.039
1982	2.904	1992	2.523
1983	4.481	1993	3.943
1984	2.128	1994	3.022
1985	3.129	1995	3.855
1986	2.360	1996	2.979
1987	3.054	1997	4.161
1988	2.629	1998	4.036
1989	2.992	1999	1.762
1990	1.419	2000	1.978

2.1.2 河流输沙需水量 沙坪河流域水土流失比较严重,大量的泥沙随降水排到河流中,造成河流淤积严重。因此,为维持水沙平衡(主要是指河流中下游的冲淤平衡、输沙排沙),保持冲刷与侵蚀的动态平衡,需要一定的生态环境用水量与之匹配,这部分水量就是河流输沙用水量。汛期输沙用水量的计算方法为<sup>[6-7]</sup>:

$$W_s = S_t / C_{\max} \quad (2)$$

式中:  $W_s$ ——输沙用水量(10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>);  $S_t$ ——多年平均输沙量(10<sup>4</sup> t);  $C_{\max}$ ——多年最大月平均含沙量的平均值(kg/m<sup>3</sup>); 且:

$$C_{\max} = 1 / n \max_i (C_{ij}) \quad (3)$$

式中:  $C_{ij}$ ——第  $i$  年 第  $j$  月的月平均含沙量;  $n$ ——统计年数。可以由(2),(3)式联合计算出沙坪河输沙需水量。

设输沙量与径流量成正比,沙坪河多年平均输沙量按 0.108 kg/m<sup>3</sup> 计算,月平均含沙量数据可以根据 1980—2000 年平均径流量(2.97 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>) 类比计算。

由沙坪河的水文资料可知,  $C_{\max} = 0.98 \text{ kg/m}^3$ , 故

$$S_t = 0.108 \times 2.97 \times 10^8 \times 0.68$$

$$= 2.18 \times 10^7 \text{ kg} = 2.18 \times 10^4 \text{ t}$$

计算得出:

$$W_s = S_f / C_{\max} = 2.18 \times 10^7 / 0.98 = 2.20 \times 10^7 \text{ m}^3$$

故沙坪河输沙需水量为  $2.2 \times 10^7 \text{ m}^3$ , 单位换算后得  $0.69 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

2.1.3 稀释净化污染物需水量 沙坪河虽具有纳污稀释能力,但有一定容量限制,需要进行定量估算。首先设定合理的河道环境需水量 ( $Q_v$ ), 这种方法是首先将河流划分为  $i$  小段,将每一小段看作一个闭合汇水区,根据河流水质模型计算每一段的河道需水量  $Q_{vi} (i = 1, 2, \dots, n)$ , 求和即为整条河流生态环境需水量。其中,  $Q_{vi}$  必须同时满足下列方程<sup>[5]</sup>:

$$Q_{vi} \times Q_i \quad (4)$$

$$Q_{vi} \quad Q_{ni}(p) \quad (p \quad p_0) \quad (5)$$

式中:  $\quad$ ——河流稀释系数;  $Q_i$ —— $i$  小段合理的污水排放总量;  $Q_{ni}(p)$ ——不同水文年(如多年平均、枯水年、平水年) 设定保证率(指月保证率,如  $P_0 = 90\%$ ,  $P_0 = 80\%$  等) 下  $i$  小段的河道流量。

由污水排放标准与河流环境标准可知,河流的稀释系数一般不低于 5。本文取河水稀释系数  $\quad = 5$ 。把沙坪河分为 3 段:第 1 段合理的污水排放量为  $4.37 \times 10^6 \text{ t}$ ,第 2 段合理的污水排放量为  $1.24 \times 10^6 \text{ t}$ ,第 3 段合理的污水排放量为  $1.33 \times 10^6 \text{ t}$ ,则:

$$\text{要求: } Q_{v1} \quad 5 \times 437.3 = 2.18 \times 10^7 \text{ m}^3;$$

$$Q_{v2} \quad 5 \times 124.2 = 6.2 \times 10^6 \text{ m}^3;$$

$$Q_{v3} \quad 5 \times 133.4 = 6.67 \times 10^6 \text{ m}^3。$$

因为  $p \quad p_0$ , 取  $p_0 = 90\%$  保证率,径流量为  $5.6 \times 10^7 \text{ m}^3$ ,则有:

$$Q_{n1} \text{ 为 } 3.19 \times 10^7 \text{ m}^3;$$

$$Q_{n2} \text{ 为 } 7.32 \times 10^6 \text{ m}^3;$$

$$Q_{n3} \text{ 为 } 6.5 \times 10^6 \text{ m}^3。$$

由于满足  $Q_{vi} \quad Q_{ni}(P) \quad (i = 1, 2, 3)$

由此计算出沙坪河稀释净化污染物生态需水量按下式:

$$\begin{aligned} Q_v &= Q_{v1} + Q_{v2} + Q_{v3} \\ &= (2.18 + 0.62 + 0.667) \times 10^7 \\ &= 3.47 \times 10^7 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

2.1.4 水土保持需水量 利用沙坪河降雨和径流观测资料分析水土保持措施的减水减沙作用,构建降雨产流模型,再采用模型计算某一时期流域未治理时的产流量。该模型考虑了年降雨量、年内短时高强度降雨量及其相应的产流量的相对权重,即考虑年内最大 1 d,最大 30 d,汛期和全年等 4 种历时降雨对径流的影响,与同一时期实测径流量相比较,其差值即为水土保持用水量<sup>[3]</sup>。具体的模型计算如下:

$$W_a = P_a^* \quad (6)$$

$$P^* = \quad P_1 / P_1 + \quad m (P_{30} - P_1) / (P_{30} - P_1) + \quad f (P_f - P_{30}) / (P_f - P_{30}) + \quad n (P - P_f) / (P - P_f) \quad (7)$$

式中:  $W_a$ ——年径流量( $10^4 \text{ m}^3$ );  $P_a^*$ ——年降雨指标(mm);  $\quad$ ——年内各级径流权重的多年平均值( $10^4 \text{ m}^3$ );  $\quad P_1 = W_1 / W$ ;  $\quad m = (W_{30} - W_1) / W$ ;  $\quad f = (W_f - W_{30}) / W$ ;  $\quad n = 1 - (W_f / W$ ;  $P_1, P_{30}, P_f, P_a$ ——分别为最大 1 d,最大 30 d,汛期和年降雨量;  $\quad P_1, P_{30}, P_f, P_a$ ——相应历时降雨量的多年平均值;  $W_1, W_{30}, W_f, W_a$ ——分别为相应历时径流量的多年平均值;  $\quad$ ——回归系数。

采用 1960—1979 年水文资料数据回归出参数  $\quad, \quad$ , 得到回归曲线为:

$$W_a = 2.8 \times 10^4 P_a^{*1.55} \quad (8)$$

基于回归曲线式(8),计算得到 1980—2000 年水土保持需水量为  $3.18 \times 10^7 \text{ m}^3$ ,换算单位后得  $1.00 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

## 2.2 沙坪河生态环境需水量组成分析

综上所述,得出沙坪河各项生态环境需水量(表 2)。稀释净化污染物需水量占总径流量的比例最大,其次是水土保持需水量,水面蒸发需水量最小。沙坪河生态环境总需水量为  $1.15 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,约占年均径流量的 38.7%(1980—2000 年)。

表 2 沙坪河生态环境需水量

项目名称	生态环境需水量/ $10^7 \text{ m}^3$	生态环境需水量/ $(\text{m}^3 \text{ s}^{-1})$	占总径流量百 分比/%
基本生态环境需水量	2.50	0.79	8.4
水面蒸发需水量	0.15	0.05	0.5
输沙需水量	2.20	0.70	7.4
稀释净化污染物需水量	3.47	1.10	11.7
水土保持需水量	3.18	1.00	10.6
总需水量	11.50	3.64	38.6

## 2.3 沙坪河生态环境需水保证程度分析

经频率分析,生态环境需水量与水文频率关系见表 3。其中,沙坪河基本生态环境需水量保证率达到 96.9%,保证程度较高,可满足河流基本的生态环境需要。即使保证程度较低的水土保持需水和污染物稀释净化需水,保证率也分别达到 96%和 96.1%,表明沙坪河各项生态环境需水量是可以满足的。相比之下,目前沙坪河主要生态环境需水量占河流径流总量的比例仍是较大的,还需要进一步加强水土流失控制和污水深度处理及达标排放,降低河流生态环境需水总量,更多地服务于生产和生活等用水需要。

表 3 生态环境需水量与频率

名称	生态环境需水量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	保证率 P/ %
基本生态环境需水量	0.79	96.9
输沙需水量	0.70	97.0
稀释净化污染物需水量	1.10	96.1
水土保持需水量	1.00	96.0

### 3 结论

沙坪河河流水资源总量较为丰富,但污染严重,具有我国南方地区典型河流生态环境特征,开展生态环境需水与配置研究具有十分重要的示范意义。

沙坪河基本生态环境需水量  $0.79 \text{ m}^3/\text{s}$ ; 水面蒸发需水量为  $0.05 \text{ m}^3/\text{s}$ ; 输沙需水量为  $0.70 \text{ m}^3/\text{s}$ ; 稀释净化污染物需水量为  $1.10 \text{ m}^3/\text{s}$ ; 水土保持需水量为  $1.00 \text{ m}^3/\text{s}$ 。沙坪河生态环境需水总量为  $3.64 \text{ m}^3/\text{s}$ , 约占地表径流总量  $9.42 \text{ m}^3/\text{s}$  的 38.6%。

从生态环境需水的构成和数量关系来看,暖湿地

区生态环境需水主要是水质性缺水,对河流污染的稀释净化还有一个相当长的过程,在生态环境恢复过程中,应在满足河流基本生态环境需水的前提下,对各项生态环境需水按轻重缓急进行优化配置。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 宋进喜,李怀恩,王伯铎. 河流生态环境需水量研究综述[J]. 水土保持学报, 2003, 17(6): 95—97.
- [2] 刘凌,董增川,崔广柏,等. 内陆河流生态环境需水量定量研究[J]. 湖泊科学, 2002, 14(1): 25—30.
- [3] 王珊琳,丛沛桐. 生态环境需水量研究进展及理论探析[J]. 生态学杂志, 2004, 23(5): 10—12.
- [4] 李丽娟,郑红星. 海滦河流域河流系统生态环境需水量计算[J]. 地理学报, 2000, 55(4): 495—500.
- [5] 王雁林,王文科,杨泽元,等. 陕西省渭河流域生态环境需水量探讨[J]. 自然资源学报, 2004, 19(1): 69—78.
- [6] 王西琴,刘昌明,杨志峰. 生态及环境需水量研究进展与前瞻[J]. 水科学进展, 2002, 13(4): 507—513.
- [7] 宋兰兰,陆桂华. 生态环境需水研究综述[J]. 水利水电科技进展, 2004, 24(3): 57—61.

(上接第 42 页)

然而,南方红黄壤丘陵区水土流失的特点是水的流失高于土的流失,很少出现高含沙水流,反而在高温高湿状况下,土壤养分的溶解和淋失明显,高养分流体的概率很高。因此,严重的土壤侵蚀必然会引起土壤养分的大量流失,一旦富含养分的表土被剥离,使深层土壤裸露地表,在风和水的的作用下遭受风化淋失,继而形成水土资源和养分流体的恶性循环。

### 4 结论

(1) 坡耕地土壤 N, P, K 养分的空间变化以 5 cm 土层波动幅度最大; 竹林地则以 10 cm 土层波动最明显; 混交林地 N, P, K 养分的空间分布规律性高于坡耕地和竹林地。其原因是由于不同土地利用方式,人为活动方式、强度、频率和深度不同所致。

(2) 3 种土地利用方式坡地中 N, P, K 养分的从坡顶到坡下总的趋势是呈递减状态,而在坡脚却具有沉淀累积趋势。坡面递减强度以坡耕地最大,是由于其土壤抗蚀性差、侵蚀强度高所致。坡脚养分累积以混交林和竹林地最为明显,其原因与地形条件密切相关。研究区地处山前低丘,东侧是杭州西部湿地。在坡面随着径流的汇集,土壤养分以流失为主;在坡脚,由于地形减缓加之湿地地下水位很高,水流比降减少,从坡上流失的养分在此发生积累。

(3) 在这 3 种土地利用类型中,土壤 P 含量的变化很小,并有缓慢的富积迹象。这可能与土壤 P 的循环转化和化学特性有关,土壤中 P 主要来自母质和施肥, P 与土壤矿物质结合紧密,除了随土壤侵蚀通过地表径流损失外,土壤中 P 的淋失损失几乎可以忽略不计。

(4) 坡地土壤养分流体的总趋势与坡面汇流和土壤侵蚀规律相近似。坡顶区域土壤侵蚀强度小,养分流体较轻;整个斜坡面,土壤侵蚀强度大,养分流体明显;坡脚土壤侵蚀强度小或不侵蚀有沉积,土壤养分流体小,或者不流失有累积。

此外,土壤养分的流失还与土壤的理化特性、养分各元素的化学特性有关,还需更进一步的研究。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 张丽萍,张锐波. 城市水土流失的环境背景及评价体系[J]. 水土保持学报, 2003, 17(6): 40—42.
- [2] 张丽萍,张锐波,柳云龙. 城市扩建诱发水土流失的空间地理场分析[J]. 水土保持通报, 2002(6): 20—22.
- [3] 黄昌勇. 土壤学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [4] 鲍士旦. 土壤农化分析(第三版)[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [5] 全国土壤普查办公室. 中国土壤[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998. 875—977.