

桂林市桃花江流域生态环境需水量分析

侯琨, 王秀茹, 杜晓晴, 靳春香

(北京林业大学 水土保持与荒漠化防治教育部重点实验室, 北京 100083)

摘要:流域生态环境需水量是生态系统的一项指标,是指在一般情况下流域生态系统本身能够通过自我调节来保证并维持生态环境的质量平衡以及其他基本功能正常的最小需水量。流域生态环境需水量按照河道的范围可以划分为两个部分,即河道内生态环境需水量和河道外生态环境需水量,因此在计算的过程中要分别确定这两个方面需水量的计算范围和计算公式。研究以桂林市桃花江流域生态环境为例,对相关的概念进行相应的介绍,并以科学的理论公式(主要是面积定额法和 Tennant 法)对该流域实际的生态环境需水量进行计算。通过计算分析,桃花江流域河道内、外生态环境需水量分别为 0.901 亿 m^3 和 0.146 亿 m^3 ,分别占流域年均径流量的 26.8% 和 4.3%。因此,应通过科学管理及提高利用效率等方式,将该流域范围内工业及生活用水总量控制在年均径流量的 68% 以下,以保证桃花江流域的生态环境安全。

关键词:流域;生态环境需水量;面积定额法;Tennant 法

中图分类号:TV213

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2015)04-0338-04

Analysis on Eco-environmental Water Demand in Taohuajiang Basin of Guilin City

HOU Kun, WANG Xiuru, DU Xiaoqing, JIN Chunxiang

(Key Lab. of Soil & Water Conservation and Desertification Combating,

Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: The eco-environmental water demand of basin is an index of ecological system, which means the basin ecological system can guarantee and maintain the quality balance of ecological environment and the minimum water demand of other basic functions by self-regulation under the common circumstances. The eco-environmental water demand of basin can be divided into two parts based on the river range, namely, the inside eco-environmental water demand and the outside eco-environmental water demand. Therefore, in the process of calculation, the calculation range and formula of the water demand should be confirmed respectively. This study takes the eco-environment of Taohuajiang basin of Guilin City as an example to introduce some relevant concepts and calculate the practical water demand based on scientific theoretical formula (primarily the area quota method and the Tennant method). It can be known that the inside and outside eco-environmental water demand of Taohuajiang basin are 90.1 million m^3 and 14.6 million m^3 , respectively, which are 26.8% and 4.3% of the average annual runoff volume, respectively, according to the results from analysis and calculation. Therefore, in order to ensure the eco-environmental security of Taohuajiang basin, we should control the total amount of industrial and domestic water below 68% of the average annual runoff.

Keywords: basin; eco-environmental water demand; area quota method; Tennant method

随着我国人口数量的不断增长,人类生活及社会生产所消耗的水资源量也在随之增长,如何保证区域内生态环境用水安全开始引起社会和国家的普遍关注。水资源是流域生态系统维持正常运转的物质基础,而保证流域生态系统的生态环境需水则是保护和恢复生态环境、避免河流断流和水土流失的重要前提,因此,以流域为研究对象,正确计算并系统评估研

究区的生态环境需水量是水资源合理配置过程中的关键问题^[1]。由于桃花江流域所处区域是典型的喀斯特地貌区,对于植被的生存和生长都有一定的负面影响,导致当地的绿色植物覆盖率低,泥石流、水土流失等自然灾害出现频率变大。同时,桃花江流域的气候并不稳定,降水量的年际时空差异较大,而且由于该流域特殊的地理特征使得其调蓄能力较弱,一旦到了

枯水季节桃花江就非常容易出现供水不足、缺水甚至断水的情况。另一方面,随着当地人口数量和工业密集程度的增加,人类生活和社会生产的需水量也在不断地提高,这使得人类生产生活对水资源的需求与生态环境循环用水的竞争变得更加激烈^[2]。因此,对桃花江流域的生态环境需水量进行计算研究,保证桃花江流域的生态环境用水,对于日渐恶化的区域生态环境具有重要的现实意义。

1 流域生态环境需水量的内涵

1.1 生态环境需水量

目前我国对流域生态环境需水量的研究工作还不是很完善,不同学者由于研究角度和研究目的的不同形成了多种研究结论,至今还未形成系统的体系。有学者从宏观角度出发,根据需水主体的不同将生态环境需水量定义为两部分,一是生物体生存所需水量,二是环境发展所需水量^[3],具体来说就是保证自然环境中各项功能正常运行并维持自然环境平衡的需水量以及生态环境中人、动物、植物、微生物生存所需要的水量。有学者从多个角度对流域生态环境需水量的概念进行了概述,认为流域生态环境需水量由于研究范围的不同,其含义也不尽相同:从广义方面来说,流域生态环境需水量是保证平衡的最低标准,具体来说就是只有达到该环境的最低需水量才能够保证并维持生态环境中水热、水沙、水盐的平衡;另一方面,从狭义的方面来说,是保证并维持生态环境良好状态以及各项功能正常的水资源总量^[4]。

1.2 流域生态环境需水量

流域生态系统是由河流、湖泊、森林、沼泽和城市等一系列子系统组合而成的复杂生态系统,系统内一切自然活动均以流域内的水体为基础,通常拥有较明显的地理边界。由于流域生态系统结构的特殊性,根据生态环境需水的空间位置,可将流域生态环境需水分为河道内生态环境需水和河道外生态环境需水。从某种意义上来说,流域生态环境需水是河流系统中各项基础功能能够正常进行的前提,离开了水,流域生态系统就会逐渐退化直至消失。

河道内生态环境需水量是流域生态环境需水量的重要组成部分,是维持河道水循环,保护河道生态环境质量水平不进一步下降所需要的最小水量。对于河道来说,足量的生态环境用水,可以使河流的自净能力发挥作用,维持水沙、水盐平衡,保证生物生存。

河道外生态环境需水量是指维持河道外天然及人工植被群落稳定,维系生态环境景观所需的水量^[5]。

2 研究方法

在流域生态环境需水量的研究进程中,形成了多种研究方法,主要有:7Q10法、Tennant法、NGPRP法、基本流量法(Basic Flow)、R2 CROSS法、Basque法、IFIM法、BBM法等^[6-8]。

现阶段我国学者在掌握原有计算理论的基础上进行了相应的改进和创新,使得计算的公式能够更加准确地计算出流域生态环境需水量。具体的计算方法有:以河流自身净化能力为依据的环境功能设定法、标准年假设法、水量补充法、面积定额法、彭曼法等。根据前期对桃花江流域的环境、地理位置等方面的调研结果和信息收集,本次研究决定采用面积定额法和Tennant法进行计算。

面积定额法的应用原理为:在一定的区域范围内,由于地表植被的种类不同,其生长过程需水量也有所不同,因此在计算生态需水量的过程中应分开计算,即用该植被的生态需水定额以及研究范围内该种植被的覆盖面积求得该种地类的生态需水量,而区域生态需水量即为所有植物种类生态需水量之和^[9-10]。

Tennant法最早由Tennant于1976年提出,根据河道的功能定位选取适宜的生态需水评价等级,以对应的百分比作为计算河道内生态环境需水量的依据。此方法对于存在季节性径流量差异的河流应用较多^[11-12]。

3 研究区概况

桃花江位于桂林市的西北部,归属于漓江,其干流长度为65.3 km,主要经过的地区有临桂、秀峰、象山等地。根据调查,由于人为破坏等原因,桃花江实际流域覆盖面积只有278.3 km²,最大和最小径流量分别为83.5 m³/s和0.643 m³/s。从地理特征上来说,桃花江流域属于喀斯特地貌,地质脆弱,因此,地表水会通过缝隙渗流补充地下水。桃花江的地形特征会使得其在枯水季节出现水资源供给不足的问题。桃花江流域的生态系统顺序是由内到外的:最内层是河流,由里到外依次是湿地、灌木植被、农作物、乔木植被、丘陵、水库、池塘。各个生态系统通过水的流动相互联系依存,如果其中一个系统的功能减弱或消失则会对整个生态环境造成较大的影响。

除了自然生态系统外,在桃花江流域的中游地区有很多自然景观、工业建筑、饭店等等。在桃花江的下游部分属于人们居住和工业生产的聚集区,日常生活的垃圾和工业生产的废物、废水排放都是直接或间接依靠桃花江来进行接纳和净化。因此,应该对整个流域进行系统全面的分析,从实际出发了解或计算

出流域生态环境需水量(生态功能、自净功能、稀释功能、湿地、植被、作物、池塘等)。

4 结果与分析

4.1 河道外生态环境需水量

河道外生态环境需水量一般包含以下方面:(1) 经济作物需水量;(2) 河道外水体生态环境补充需水量。

4.1.1 经济作物需水量 根据资料查阅结果,在桃花江流域上游部分和中游部分主要是农作物的种植区,主要种植水稻等农作物。在河道沿岸种植农作物在一定程度上可以起到截留降水以及减轻水土流失的良好作用,同时还可以增加该地区的林草植被覆盖率,特别是对于水土资源环境脆弱的喀斯特地貌区域,可以起到良好的固土保水效果^[13]。经济作物对于流域生态系统的正常运转有着非常重要的作用,因此笔者认为,在计算过程中有必要将农作物、农田生态环境的需水量考虑在内。

经济作物的种植面积往往有一定的规划性,其种植的面积可以人为测量出来,因此,可以采用面积定额法来计算经济作物需水量。其计算方法为:选取规定时间、单位地区内某一种作物需水量的平均值再乘以相应的种植面积以求得整个生态环境中该种农作物的需水量。

计算公式为:

$$W_p = \sum A_i \times W_r \tag{1}$$

式中: W_p ——经济作物生态环境需水量(m^3); A_i ——选定作物的种植面积(m^2); W_r ——经济作物的需水定额(mm)。

根据前期收集到的资料可知,桃花江流域上游和中游总面积分别为 178.67 km^2 和 378.4 km^2 ,上游水田和旱田的占地面积分别为 $3\,768.3 \text{ km}^2$ 和 303.5 km^2 ;中游水田和旱田的占地面积分别为 213.4 km^2 和 20.34 km^2 ,据此可得桃花江流域水田总面积为

$3\,789.72 \text{ km}^2$,旱地总面积为 323.84 km^2 。按照该流域的地理环境和气候温度的具体情况,查询相关资料可得当地的水田和旱地的需水定额分别为 $1\,530.3 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 和 $450 \text{ m}^3/\text{hm}^2$,可以计算出水田和旱地的生态需水量,依据公式(1),将两项数值求和可得出流域内经济作物生态需水量为 0.059 亿 m^3 。

4.1.2 河道外水体生态环境补充需水量 在河道外水体生态环境中,保证最低限度的需水量是维持系统内生态环境平衡的基本需要,比如水库等水利工程,其功能的发挥完全依赖于充足的水源。当水面蒸发量超过单位时间内实际的降水量时,要想保证地下水位的动态平衡就需要有一部分入流量来填补两者之间的差值。河道外水体生态环境补充需水量的计算需要考虑当地的雨季特征、气候、温度、平均湿度,年均雨水面积、降水量等因素。当降水量的数值超过实际蒸发量的数值时,水体的水量得到补充,相应的生态需水可以得到满足,此时可视水体生态环境需水量为 0。具体计算公式可表示为:

$$\begin{aligned} W_e &= A(E - P) & E > P \\ W_e &= 0 & E < P \end{aligned} \tag{2}$$

式中: W_e ——水面的净蒸发损失量(m^3); A ——平均水面面积(m^2); E ——水面的平均蒸发量(mm); P ——平均降雨量(mm)。本次研究仅选取流域内大型水体进行计算。研究范围内分布有 1 座中型水库,4 座小一型水库,1 座小二型水库,6 座水库水面面积共计 $3\,560 \text{ km}^2$ 。

根据统计数据,研究区的平均降雨量和平均水面蒸发量分别为 $1\,872 \text{ mm}$ 和 $1\,517 \text{ mm}$ 。该地区的降雨量在 5—7 月比较集中,而最大降雨量和蒸发量往往分别出现在每年的 5 月和 8 月。因此,从时间上来看,最大降雨量和蒸发量出现在同一个时间段内的几率较小。根据公式(2)将数据代入可计算出所需水量具体数据,如表 1 所示。

表 1 桃花江流域降雨量和蒸发量统计

项目	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
平均降雨量 P/mm	44.3	78.3	131.2	278.3	367.4	267.3	189.2	202.2	67.1	101.2	56.2	89.3
平均蒸发量 E/mm	84.3	41.2	69.2	103.6	178.3	180.2	156.2	186.3	168.2	167.4	78.2	103.2
$E - P/\text{mm}$	40.0	-37.1	-62.0	-174.7	-189.1	-87.1	-33	-15.9	101.1	66.2	22.0	13.9
$W_e/\text{亿 m}^3$	0.014	0	0	0	0	0	0	0	0.036	0.024	0.008	0.005

由表 1 数据可知,需水量最大值出现在 9 月,为 0.036 亿 m^3 ,需水量最小值出现的时间为每年的 2—8 月,数值为 0,将每个月的 W_e 数值相加即可得桃花江流域全年所需的河道外水体生态环境补充需水量理论数值 0.087 亿 m^3 。

4.2 河道内生态环境需水量

本文采用 Tennant 法将全年分为非汛期和汛期两个时段,并以推荐生态环境需水量值占多年平均径流量的百分比(表 2)为标准,根据流域的功能定位以及生态环境现状,选取合适的评价等级及对应的生态

环境需水量百分比计算出维持河道生态功能正常运转的最小生态环境需水量。

目前,在 Tennant 法的应用过程中,国内研究一般多以多年年均径流量的 10%~20%作为非汛期的推荐值计算河道内生态环境需水量,而汛期则选取 30%~40%。

表 2 Tennant 法对生态环境需水量状况的描述 %		
评价等级	汛期(4—9 月)	非汛期(10—3 月)
最佳范围	60~100	60~100
极好	40	60
非常好	30	50
好	20	40
中	10	30
差	10	10
极差	0~10	0~10

根据前期调查结果,研究区 1—12 月多年平均径流量依次为:3.23,6.31,9.56,20.95,26.76,20.12,13.78,14.73,5.05,7.37,4.23,6.50 m³/s。基于表 1 对河流流量的描述,结合桃花江流域的实际情况,本次研究确定选取流量状况为“中”的生态环境需水量水平;非汛期(即 10 月—次年 3 月)各月最小生态环境需水量为对应月份平均径流量的 10%,汛期(即 4—9 月)各月最小生态环境需水量为对应月份平均径流量的 30%。采用 Tennant 算法进行计算,公式为:

$$W_i = \sum_{i=1}^{12} M_i \cdot N_i \cdot T$$

(3)

式中: W_i ——河道内生态环境需水量(m³); M_i ——第 i 个月的河道多年平均径流量(m³/s); N_i ——对应第 i 个月的最小生态环境需水量的百分比(非汛期 10%,汛期 30%); T ——时间。运用公式(3)对表 2 中的数据进行计算可得,该流域河道内生态环境需水量 W_i 为 0.901 亿 m³。

4.3 流域生态环境需水总量

流域生态环境需水总量的计算公式为:

$$W = W_p + W_e + W_i$$

(4)

式中: W ——流域生态环境需水总量,也就是本次研究所需要求出的最终理论数值。

由上述可知,桃花江流域河道外生态环境需水量的理论数值为 0.146 亿 m³,相当于流域年均径流量 3.36 亿 m³ 的 4.3%,河道内生态环境需水量的理论数值为 0.901 亿 m³,相当于流域年均径流量 3.36 亿 m³ 的 26.8%,由此可计算 W 为 1.256 亿 m³。因此,桃花江流域生态环境需水总量 W 为 1.047 亿 m³,相当于流域年均径流量的 31.1%。

5 结论

桃花江流域河道外生态环境需水量的理论数值

为 0.146 亿 m³,相当于流域年均径流量 3.36 亿 m³ 的 4.3%,河道内生态环境需水量的理论数值为 0.901 亿 m³,相当于流域年均径流量 3.36 亿 m³ 的 26.8%。桃花江流域生态环境需水总量 W 为 1.047 亿 m³,相当于流域年均径流量的 31.1%。

根据收集统计的资料可知,该流域范围内近三年来农业、工商业、服务业等生产生活用水量年平均值约为 2.12 亿 m³,占年平均径流量的 63.1%,开发利用程度较高,已接近水资源承载能力的极限,仅有少量继续开发的空间。

为了桃花江流域的可持续发展,保护当地自然环境不被破坏,笔者认为应对桃花江流域人类生活和生产用水进行科学的管理和合理的配置,使得此部分用水总量尽量控制在流域年均径流量的 68% 以下,即 2.28 亿 m³,提高水资源利用效率,以保证流域生态环境需水量能够满足系统自身运行的最低需求。

参考文献:

[1] 龙平沅. 汉江上游流域生态环境需水量研究[D]. 西安: 西安理工大学,2006.

[2] 陈红翔,杨保,王章勇,等. 黑河中游河道生态环境需水量研究[J]. 水土保持研究,2010,17(6):194-197.

[3] 傅长锋. 子牙河流域生态水资源规划模型研究及应用[D]. 天津:天津大学,2012.

[4] 刘静玲,任玉华,杨志峰,等. 流域生态需水学科维度方法研究与展望[J]. 农业环境科学学报,2010,29(10): 1845-1856.

[5] 吴佳曦. 吉林省东辽河流域生态环境需水量的研究[D]. 长春:吉林大学,2013.

[6] 左莎莎. 流域生态环境需水与水资源可持续利用研究: 以赣江中下游为例[D]. 南昌:江西师范大学,2013.

[7] 刘银迪. 基于生态的浑太河流域水库群联合调度研究[D]. 郑州:华北水利水电学院,2012.

[8] 邓坤,张璇,杨永生,等. 抚河流域生态环境需水量研究[J]. 水电能源科学,2012,30(3):45-47.

[9] 汤洁,吴佳曦,徐海红,等. 二龙山水库水源保护区土地利用变化对生态需水量的影响分析[J]. 环境工程,2014 (1):46-49.

[10] 王玲,姚亚楠,奚秀梅,等. 基于遥感的石河子垦区植被生态需水量的研究[J]. 石河子大学学报:自然科学版, 2011,29(2):218-223.

[11] 黄世猛,谈新,汪庆. 渭河最小生态需水量初探[J]. 人民长江. 2013,44(增刊 1):124-128.

[12] 刘正伟. 昆明中心城市河道生态需水量浅析[J]. 水电能源科学,2011,29(5):26-29.

[13] 商玲,李宗礼,孙伟,等. 基于 HIMS 模型的西营河流域河道内生态基流估算[J]. 水土保持研究,2014,21(1): 100-103.