

DOI :10.3876/j.issn.1000-1980.2009.06.005

淮河上游生态需水量计算分析

蔡 涛^{1,2},李琼芳¹,王鸿杰³,李 鹏³,薛运宏³,白林龙³,刘 轶^{1,2}

(1.河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室,江苏 南京 210098;2.河海大学水文水资源学院,江苏 南京 210098;
3.河南省信阳水文水资源勘测局,河南 信阳 464000)

摘要:为分析计算淮河上游河流生态需水量,提出了丰水期、枯水期、平水期保证率分别为 45%,75%,50%的淮河上游适宜生态径流计算方法,选用淮河上游干流息县、长台关以及大坡岭 3 个主要控制站 1960~2005 年历年天然来水量资料,计算了淮河上游最小生态径流和适宜生态径流,并运用 Tennant 法进行评价.结果表明,最小生态径流在很大程度上有损于河流生态系统稳定与健康;总体而言,3 站适宜生态径流均可以使淮河上游河流生态环境状况达到最佳,但在某些年份各站实测月均流量小于其适宜生态径流量,而且丰水期适宜生态径流破坏率较枯水期的要高.因此,在某些年份为满足淮河上游适宜生态需水要求,还应增加河道内生态用水量.

关键词:生态需水 最小生态径流 适宜生态径流 淮河上游

中图分类号: P133 X143 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1980(2009)06-0635-05

随着人口增长、社会经济的快速发展,生产和生活用水量不断增加,用水矛盾日益加剧,河流生态环境和水生生物种群保护的用水越来越少.河流生态用水得不到保障,势必造成河流生态环境的恶化以及河流生物多样性的破坏.因此合理地确定河流生态需水量已经成为当前生态水文的研究热点^[1].

淮河是我国第三大河,其上游段主要位于河南省境内,属于水资源比较短缺的地区,近年来随着社会经济的快速发展和人口迅速增长,流域内农业、工业生产用水逐年增加,河流生态用水逐年较少.河流生态用水量的减少,造成了近些年来的淮河上游河流出现水生生物种群逐年减少、河床淤积等河流生态环境恶化的状况.在淮河上游生态环境恶化以及用水竞争日益激烈的形势下,确定淮河上游生态需水量是十分必要的.本文通过生态径流相关计算方法确定淮河上游生态需水量,为维护淮河上游河流生态系统健康提供重要的参考价值.

1 生态径流内涵和生态径流计算方法

河流生态径流是指保证河流天然状况下生态系统稳定 and 健康的径流过程.生态径流又分为最小生态径流、最大生态径流和适宜生态径流.最小生态径流是满足河流生态系统稳定和健康条件所允许的最小流量.基于最小生态径流过程计算出的水量,可以认为是河流的最小生态需水量.最大生态径流是河流满足河流生态系统稳定和健康条件所允许的最大流量.适宜生态径流是对于生态系统的稳定及保持物种多样性最为适合的径流.最小生态径流过程和最大生态径流过程对于生态系统来说是不利的水文条件.对于河流生态系统及具体的水生生物种群结构来说,对河流水文过程的变化有不同的响应,而保持河流生态系统健康和生物物种种群结构稳定的径流过程应是适宜的生态径流过程.

河流生态径流计算国外研究起步较早,近些年来,随着人们对河流生态环境的关注,国内学者也提出了许多算法^[2-3].最常用的生态径流计算方法可归纳为 3 类:(a)水文学方法(标准流量设定法),主要有 7Q10 法^[4]、Tennant 法^[5]和最小连续 30 d 平均流量法等^[6]; (b)水力学方法和栖息地保持类型标准设定法,属于前

收稿日期:2008-10-06
基金项目:水利部公益性项目专项经费(200701031);教育部长江学者和创新团队发展计划(IRT0717);高等学校学科创新引智计划(B08048);教育部留学回国人员科研启动基金(B06041);
作者简介:蔡涛(1982—),男,江西南昌人,硕士研究生,主要从事水文水资源研究.

者的有河道湿周法和 $R2CROSS^{[7]}$ 法,属于后者的有河道内流量增加(IFIM)法和 CASIMIR 法等;(c)综合法,如南非的建块(BBM)法和澳大利亚的基准测量法.水文学方法需要时间序列比较长的流量资料,但较易获得;后 2 种方法需要河道断面参数、生物学信息等资料,但一般不易获得,因此应用上受到一定的限制.此外,目前生态径流计算方法考虑的只是单项要素对河流特定断面的水文特征的需求,没有把河流作为一个系统来研究生态系统对水文特征的需求.鉴于这些方法的局限性,本文运用逐月最小生态径流法和逐月频率计算法分别计算淮河上游最小生态径流和适宜生态径流.

a. 逐月最小生态径流法^[8].在尽可能长的天然月径流系列(一般多于 20 a)中取最小值作为该月的最小生态径流量,以各月径流系列的最小值作为年最小生态径流.该方法认为在天然情况下,水生生物已经安全渡过这样的最小径流过程,并且生态系统没有遭到不可恢复的破坏,所以水生生物及其种群结构在这种流量条件下是可恢复的.考虑到水生生物生活史周期已完全适应了河流水文年内变化过程,计算得到的最小生态径流过程应该具有与天然径流相似的年内变化特征,即连续变化且具有丰、平、枯特性,而不应该是一个固定值.逐月最小生态径流法计算得到的最小生态径流过程可以满足这一要求,而 7Q10 法、Tennant 法和最小连续 30 d 平均流量法计算得到的生态径流却不能满足这一要求.

b. 逐月频率计算法^[9].根据历史流量资料,将一年划分为丰、平、枯 3 个时期,对各个时期拟定不同的保证率,分别计算各个时期在不同保证率下的径流量,即得到该年的适宜生态径流过程.该方法在计算河流的适宜生态径流量时,既考虑了河流生态系统对水量的要求,又考虑了不同时期生态系统的不同要求.由于生态系统是与天然径流过程相适应的,因此需对尽可能长的天然月径流系列进行频率计算,根据不同时期径流系列的统计特征、生态系统的稳定和物种的生存繁衍对水文条件的需求等,把不同保证率条件下的月径流过程作为适宜生态径流过程.本文根据陈竹青^[10]等提出的年内丰、平、枯期划分方法并结合淮河上游天然来水情况,确定了淮河上游枯水期为每年的 12 月至次年的 2 月,丰水期为每年的 7 月和 8 月,其他月份为平水期.在确定好丰、平、枯 3 个特征时期后,需确定 3 个不同时期的保证率.保证率的选取应遵循的原则是丰水期尽可能增加河流生态流量,枯水期尽可能满足河流生态需水但又给人类活动预留一定调节水量.本文基于李捷等^[11-12]提出的逐月频率计算法计算淮河上游适宜生态径流,并取其平均值,作为保证率选取的基础.由于息县、长台关、大坡岭 3 站径流年内分配变化波动大(其 C_V 值分别为 0.94,0.96,0.96),水量主要集中在 7~8 月,故将丰水期、枯水期、平水期保证率分别设定为 45%,75%,50%,用于计算淮河上游河流的适宜生态径流.

2 淮河上游生态径流计算

2.1 代表测站及资料

选取淮河上游干流上的息县、长台关及大坡岭 3 个水文站为代表站.大坡岭站位于北纬 32°42′,东经 113°75′,控制面积为 1 640 km²;长台关站位于北纬 32°32′,东经 114°07′,控制面积为 3 090 km²;息县站位于北纬 32°33′,东经 114°73′,控制面积为 10 190 km².3 个代表站的资料选用 1960~2005 年历年天然来水量资料.

2.2 最小生态径流及最小生态需水量计算

运用逐月最小生态径流法计算淮河上游最小生态径流,并在此基础上计算了最小生态需水量,计算结果见表 1.

2.3 适宜生态径流及适宜生态需水量计算

根据前面提出的丰水期、枯水期、平水期保证率分别为 45%,75%,50%的逐月频率计算法(以下简称本文方法)和文献^[11]方法(以下简称方法一,保证率均取 50%)及陈竹青^[10]等提出的计算法(以下简称方法二,保证率枯水期取 90%、平水期取 70%、丰水期取 50%)分别计算了淮河上游河流适宜生态径流和适宜生态需水量,计算结果分别见图 1 和表 2.

表 1 3 站最小生态径流量及最小生态需水量

Table 1 Values of minimum ecological flow and minimum ecological water demand at 3 stations

月份	最小生态径流量/(m ³ ·s ⁻¹)			最小生态需水量/亿 m ³		
	息县站	长台关站	大坡岭站	息县站	长台关站	大坡岭站
1	6.20	1.75	0.81	0.166	0.047	0.022
2	7.09	2.36	1.31	0.190	0.063	0.035
3	10.1	2.48	1.33	0.272	0.066	0.036
4	14.4	4.22	1.35	0.386	0.113	0.036
5	16.1	2.39	0.70	0.431	0.064	0.019
6	13.8	5.66	2.19	0.371	0.152	0.059
7	32.8	10.5	5.04	0.877	0.282	0.135
8	15.9	4.19	1.41	0.426	0.112	0.038
9	14.0	2.42	1.13	0.374	0.065	0.030
10	2.22	1.29	0.58	0.060	0.035	0.016
11	4.17	1.57	0.87	0.112	0.042	0.023
12	4.73	1.40	0.72	0.127	0.037	0.019

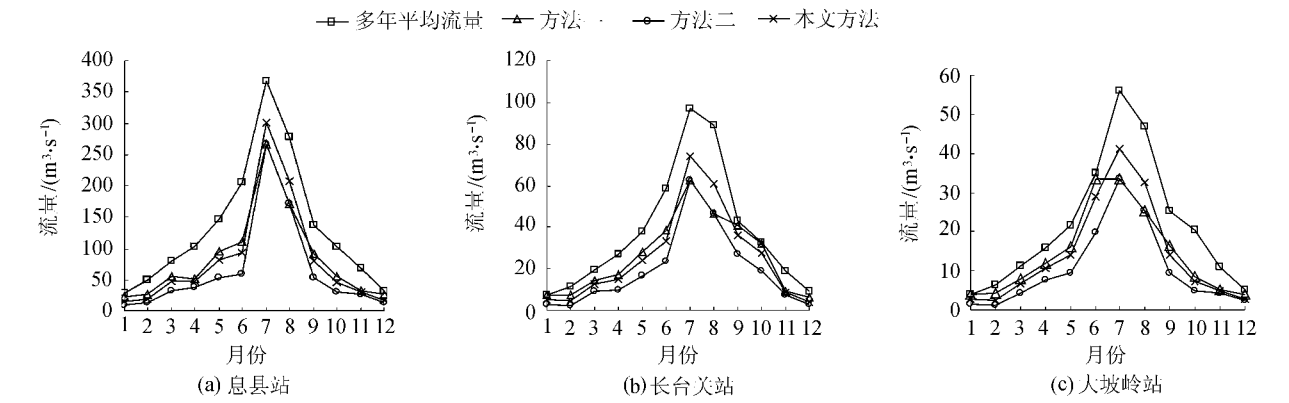


图1 3站不同保证率下的适宜生态径流过程

Fig. 1 Processes for optimal ecological flows at 3 stations under different guaranteed rates

3 成果分析与评价

运用 Tennant 法对最小生态径流和适宜生态径流的计算结果合理性进行了分析,结果见表 3 和表 4. 同时把淮河上游适宜生态径流量与 3 站 1964 ~ 2005 年实测月均流量及 1960 ~ 2005 年天然月均流量进行了比较,统计了各站实测和天然月均流量小于相应月份适宜生态径流量的年数,结果见表 5.

表 2 3 站适宜生态径流量及适宜生态需水量

Table 2 Values of optimal ecological flow and optimal ecological water demand at 3 stations

月份	适宜生态径流量/(m³·s ⁻¹)			适宜生态需水量/亿 m³		
	息县站	长台关站	大坡岭站	息县站	长台关站	大坡岭站
1	15.10	4.89	2.62	0.404	0.131	0.070
2	18.60	4.38	2.53	0.466	0.110	0.063
3	55.20	14.20	8.03	1.478	0.380	0.215
4	51.30	17.30	12.00	1.330	0.448	0.311
5	94.90	28.10	16.10	2.542	0.753	0.431
6	110.00	38.70	33.40	2.854	1.003	0.866
7	300.00	74.10	41.00	8.047	1.984	1.099
8	207.00	60.80	32.50	5.542	1.628	0.870
9	92.10	40.80	16.40	2.387	1.058	0.425
10	54.30	31.90	8.61	1.454	0.854	0.231
11	32.20	8.95	5.10	0.835	0.232	0.132
12	17.90	4.16	2.65	0.479	0.111	0.071

表 3 3 站最小生态径流评价结果

站名	占同期多年平均流量的比重/%		用 Tennant 法评价	
	10 ~ 3 月	4 ~ 9 月	10 ~ 3 月	4 ~ 9 月
	息县	长台关	大坡岭	
息县	9.57	8.64	极差	极差
长台关	10.84	8.34	中	极差
大坡岭	9.65	5.89	极差	极差

从表 3 可看出,若以最小生态径流作为淮河上游河流的生态径流,河流的生态环境将达到差甚至极差的情况,将会对淮河上游河流生态系统健康和稳定产生不利影响.因此,在淮河上游水资源容许的条件下,应当尽量保证河道内水量大于最小生态径流,促进淮河上游河流生态系统健康保护和稳定发展.

表 4 3 站适宜生态径流评价结果

保证率 选取方法	占同期多年平均流量的比重/%						用 Tennant 法评价					
	10 ~ 3 月			4 ~ 9 月			10 ~ 3 月			4 ~ 9 月		
	息县站	长台关站	大坡岭站	息县站	长台关站	大坡岭站	息县站	长台关站	大坡岭站	息县站	长台关站	大坡岭站
本文方法	53.54	68.47	50.60	65.24	69.12	70.23	极好	最佳	极好	最佳	最佳	最佳
方法一	57.59	72.93	53.59	63.54	66.44	68.18	极好	最佳	极好	最佳	最佳	最佳
方法二	34.59	53.68	32.83	51.85	52.26	44.63	很好	极好	很好	很好	很好	好

表 5 实测和天然月均流量小于适宜生态径流量的年数

站名	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
息县	8/14	12/17	24/28	22/28	22/25	20/33	27/25	28/26	20/25	18/23	15/18	10/11
长台关	10/13	8/13	25/27	21/23	24/24	28/31	25/26	26/25	23/27	28/33	16/19	8/9
大坡岭	11/12	12/17	24/23	27/20	23/26	29/22	24/25	23/28	22/23	19/23	15/19	11/14

注“/”前为实测月均流量小于适宜生态径流量的年数,“/”后为天然月均流量小于适宜生态径流量的年数.

从表4可看出,相比于方法二,本文方法和方法一计算的适宜生态需水量更有利于淮河上游河流生态健康和河流生物栖息地的保护,2种方法计算的适宜生态需水量在多水期和少水期均能使淮河上游河流生态环境状况达到极好甚至最佳的状态。本文方法和方法一相比,计算的适宜生态径流与河流多年平均径流过程更吻合,这一点可从图1中看出,本文方法计算的适宜生态径流更符合天然河道流量在丰、平、枯水期的变化特征,在丰水期尽可能地增大河道中的生态径流量,枯水期在尽可能满足河流生态径流量的情况下又给人类活动留有一定的调节水量,而方法一则是一年中所有时期均采用同一频率,将一年中各个时期的生态径流量“均化”,增大枯水期生态径流量和减少丰水期生态径流量,对河流的生态条件来说,这应该是一种比较理想化的生态径流过程,但在当前用水矛盾日趋紧张的形势下,尤其是在枯水年份,可能不能满足50%保证率计算得到的生态径流量。因此,本文方法所选取的保证率下计算的适宜生态径流更加适合于淮河上游河流的适宜生态径流的计算。

从表5可看出,丰水期(4~9月)大约50%以上年份天然月均流量小于适宜生态径流量,表明丰水期河流适宜生态需水量得不到满足的年份较多,但Tennant法的评价结果表明所计算的丰水期适宜生态径流可使淮河上游河流生态环境状况达到最佳。这种差异主要是因为Tennant法通过计算枯水期和丰水期平均流量占多年平均流量的百分比来评价河道的生态环境状况,未能以月为基础考虑不同月份天然来水的变化特性。从表5还可看出,丰水期(4~9月)大约50%以上年份实测月均流量小于适宜生态径流量,表明丰水期河流适宜生态需水量得不到满足的年份较多,因此,在天然来水少的年份为满足淮河上游适宜生态需水量的要求,还应减少河道外用水,增加河道内的生态用水量。

4 结 语

根据淮河上游来水量年内变化以及保证率的选取原则,提出了丰水期、枯水期、平水期保证率分别为45%,75%,50%的淮河上游适宜生态径流的计算方法,并计算了淮河上游最小生态径流和适宜生态径流。Tennant法评价结果均表明若以最小生态径流作为淮河上游生态径流,不利于生态系统的稳定与健康,在水资源条件容许的情况下应尽可能保证河道内的水量大于最小生态径流。无论是丰水期还是枯水期,Tennant法评价结果表明不同季节适宜生态径流均可以使淮河上游河流生态环境状况达到最佳。但值得一提的是,通过分析淮河上游适宜生态径流破坏率发现,在丰水期淮河上游河流适宜生态径流破坏率较枯水期的要高,某些年份适宜生态需水量不能得到满足,这说明在运用Tennant法评价河流适宜生态径流时,还应考虑不同月份天然来水的变化特性,在天然来水少的年份为满足淮河上游适宜生态需水的要求,还应减少河道外用水,增加河道内的生态用水量。

参考文献:

- [1] 杨志峰,张远.河道生态环境需水研究方法比较[J].水动力学研究与进展,2003,18(3):294-301.(YANG Zhi-feng,ZHANG Yuan.Comapison of methods for ecological and environmental flow in river channels[J].Journal of Hydrodynamics,2003,18(3):294-301.(in Chinese))
- [2] 于龙娟,夏自强,杜晓舜.最小生态径流的内涵及计算方法研究[J].河海大学学报:自然科学版,2004,32(1):19-22.(YU Long-juan,XIA Zi-qiang,DU Xiao-shun.Connotation of minimum ecological runoff and its calculation method[J].Journal of Hohai University Natural Sciences,2004,32(1):19-22.(in Chinese))
- [3] 郭利丹,夏自强,李捷,等.河流生态径流量计算方法的改进[J].河海大学学报:自然科学版,2008,36(4):456-461.(GUO Li-dan,XIA Zi-qiang,LI Jie,et al.Improvement of calculation methods for instream ecological runoff[J].Journal of Hohai University Natural Sciences,2008,36(4):456-461.(in Chinese))
- [4] BONER M C,FURLAND L P.Seasonal treatment and variable effluent quality based on assimilative capacity[J].Journal Water Pollution Control Filed,1982,54:1408-1416.
- [5] TENNAT D L.Instream flow regimens for fish,wildlife,recreation,and related environmental resources[J].Fisheries,1976:359-373.
- [6] KING J M,LOW D.Instream flow assessment for regulated rivers in South Africa using the building block methodology[J].Aquat Ecosyst Health Manag,1998(1):109-124.
- [7] MOSELY M P.The effect of changing discharge on channel morphology and instream uses and in abraide river,OhauRiver,New Zealand [J].Water Resources Researches,1982,18:800-812.

[8] XIA Zi-qiang,LI Qiong-fang,GUO li-dan,et al. Computation of minimum and optimal instream ecological flow for the Yiluohe River[J] .IAHS Redbook,2007,315 :142-148.

[9] XIA Zi-qiang,LI Qiong-fan,CHEN Zhu-qing. Theory and computation method of ecological flow[J] .IAHS Redbook,2007,311 :331-336.

[10] 陈竹青. 长江中下游生态径流过程的分析计算[D] .南京 河海大学,2002.

[11] 李捷,夏自强,马广慧,等. 河流生态径流计算的逐月频率计算法[J] .生态学报,2007,27(7) :2916-2921. (LI Jie,XIA Zi-qiang,MA Guang-Hui,et al. A new monthly frequency computation method for instream ecological flow[J] .Acta Ecological Sinica,2007,27(7) :2916-2921. (in Chinese))

[12] 郭利丹,夏自强,李捷,等. 河流生态径流常用方法的对比[J] .人民黄河,2008,30(4) :28-30. (GUO Li-dan,XIA Zi-qiang,LI Jie,et al. Comparison of methods for ecological flow[J] .Journal of Yellow River,2008,30(4) :28-30. (in Chinese))

Calculation of ecological water demand in upper reaches of Huaihe River

CAI Tao^{1,2}, LI Qiong-fang¹, WANG Hong-jie³, LI Peng³, XUE Yun-hong³, BAI Lin-long³, LIU Yi^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering ,
Hohai University , Nanjing 210098, China ;

2. College of Hydrology and Water Recourses , Hohai University , Nanjing 210098, China ;

3. Xinyang Bureau of Hydrology and Water Resources Survey of Henan Province , Xinyang 464000, China)

Abstract :To compute and analyze the ecological water demand in the upper reaches of the Huaihe River, a method for determining optimal ecological flows was proposed, with different guaranteed flow rates :45% for the wet season, 75% for the dry season, and 70% for an average season. According to the natural discharge time series data (1960-2005) from Xixian, Changtaiguan, and Dapoling hydrological stations on the trunk stream in the upper reaches of the Huaihe River, the minimum ecological flow and the optimal ecological flow were calculated and evaluated using the Tennant method. The results show that the minimum ecological flow does not provide for the stability and health of the river ecosystem. Generally speaking, the optimal ecological flows at the three stations can lead to the optimal river ecosystem in the upper reaches of Huaihe River. However, in some years the observed average monthly flows are less than the optimal ecological flows, and the destruction rate of the optimal ecological flows in the wet season is larger than that in the dry season. This indicates that the ecological water amount in the river should be raised in some years so as to satisfy the requirements of the optimal ecological water demand.

Key words : ecological water demand ; minimum ecological runoff ; optimal ecological flow ; upper reaches of Huaihe River