

河流生态径流计算的逐月频率计算法

李 捷^{1 2} 夏自强^{1 2} 马广慧² 郭利丹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,南京 210098 2. 河海大学水文水资源学院,南京 210098)

摘要 界定了生态径流、最小生态径流、最大生态径流、适宜生态径流的概念,提出了一种新的河流生态径流计算方法——逐月频率计算法,指出了方法的优缺点以及适用范围。以计算洛阳市境内伊河的栾川站和龙门镇站生态径流为例,说明了计算过程,同时用 Tennant 法作对比。结果表明,运用新的逐月频率计算法比用以往的逐月频率计算法得到的适宜生态径流过程径流量要大,河流的生态状况更好,更有利于河流自身的生态健康和河流周围生物栖息地的保护。

关键词 生态径流;最小生态径流;适宜生态径流;逐月频率计算法

文章编号:1000-0933(2007)07-2916-06 中图分类号:Q146 X171 文献标识码:A

A new monthly frequency computation method for instream ecological flow

LI Jie^{1 2}, XIA Zi-Qiang^{1 2}, MA Guang-Hui², GUO Li-Dan²

1 State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China
2 College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China

Acta Ecologica Sinica 2007 27 (7) 2916 ~ 2921.

Abstract :This paper defined instream ecological flow , and minimum , maximum and optimal instream ecological flow respectively , proposed a new monthly frequency method for instream ecological flow computation , i. e. the same equal-frequency value being assigned for different months , and analyzed its advantages , disadvantages and applicability. The paper selected the Yihe River in Luoyang city , China as case study site , employed the proposed method to compute the instream ecological flow processes at two typical hydrological stations , and evaluated the computed instream ecological flow by Tennant Method. The results revealed that monthly optimal instream ecological flow rates computed by the proposed method are higher than those by the traditional monthly frequency method , i. e. different frequency values being assigned for different months. The recommended optimal instream ecological flow requests more water for environmental use and more benefits for river health and the habitat conservation in river floodplain and riparian corridors.

Key Words : ecological flow ; minimum ecological flow ; optimal ecological flow ; monthly frequency computation method

河流生态径流研究是河流生态系统保护的重要研究方向,保护河流的生态径流过程及其变化特征是保护河流生命健康及河流生态系统稳定的最重要的措施。本文主要针对河流生态径流的计算方法来研究。

1 国内外河流生态径流计算的主要方法

对于河流生态径流的研究国外起步较早,出现了很多算法^[1~3],大致可分为4类:第1类是水文指标法,

基金项目:国家自然科学基金面上资助项目(50379007);国家自然科学基金重大课题资助项目(30490235)
收稿日期:2006-12-16;修订日期:2007-05-28
作者简介:李捷(1983~),女,湖北省赤壁市人,研究生,主要从事水文水资源及生态水文研究。E-mail:lrj2001@163.com
Foundation item :The project was financially supported by National Natural Science Foundation of China (No. 50379007); National Natural Science Foundation of China (No. 30490235)
Received date 2006-12-16 ; **Accepted date** 2007-05-28
Biography LI Jie , Master candidate , mainly engaged in hydrology and eco-hydrology. E-mail :lrj2001@163.com

包括 Tennant 法 (也称 Montana 法)、7Q10 法、流量历时曲线法、径流时段曲线分析法、水生物基流法、Texas 法、NGPRP 法及 RVA 法;第 2 类是水力定额法,包括 R2CROSS 法、湿周法及 CASIMIR 法;第 3 类是栖息地法,包括 IFIM 法、物理栖息地模拟法、PHABSIM 优化流量经验公式法、加权有效宽度法、有效宽度法、RCHARC 法及 Basque 法;第 4 类是整体分析法,包括南非的 BBM 法和澳大利亚的整体研究法。

而国内的很多学者也提出了自己的算法^[4-6],大致分为 5 类:第 1 类是河流基流量计算方法,包括最小月平均流量法、10a 最枯月平均流量法(7Q10 改进法)、河床形态分析法、逐月最小生态径流计算法及逐月频率计算法^[7];第 2 类是为维持水生生物栖息地生态平衡需水量计算方法,包括生物空间最小需求法及估算法;第 3 类是为保持河流水质需水计算方法,包括河流输沙需水量计算方法、防止海水入侵所需维持水量计算方法、环境功能设定法等;第 4 类是为渗漏和蒸发消耗生态环境需水量计算方法;第 5 类是为维持河流系统景观及水上娱乐所需水量计算方法,包括假设法、权重-属性决策分析法等。

2 河流生态径流计算的逐月频率计算法

2.1 相关概念的界定

(1)生态径流

河流的水文过程具有周期性变化规律,其量的大小是在一定范围内随机变化的,河流中的所有生物的生命史过程及种群结构特征已完全适应了河流的水文特征。天然条件下随机变化的水文过程不会对河流的物种和种群结构产生根本性的影响,而影响的只是生物量及物种种群大小的变化。在天然状态下,可以说任何一种径流过程,丰水年、平水年和枯水年的径流过程及其交替变化的水文特征都具有相应的生态响应和特定的生态作用,河流生态系统处于一种自我调节和自我控制的健康生命环境中。正是这种变化确定了河流的生物的多样性和物种种群结构的特征。

但是,对于河流来说,小概率的或是极端的水文现象对于河流的生态系统都是不利的,如引起灾害的大洪水和枯水。因而我们提出了狭义的生态径流的定义,即保证河流天然状态下生态系统稳定和健康的径流过程称为生态径流过程。

而广义的生态径流不只是满足生态系统需求的水的径流量,同时应具有天然状态下该径流过程的温度、泥沙、水质、营养特征。当这些特征在人类干扰下发生变化时,在原有的径流量条件下,河流生态系统结构条件同样会发生变化,对生态系统造成不利的影响。为了保证河流的生态系统结构的稳定,生态系统所需的径流量过程也应发生变化,因而生态径流不是一个固定不变的过程,并且所涉及物质有水、泥沙、溶质、生物及温度过程等。

(2)最小生态径流、最大生态径流和适宜生态径流

以狭义的生态径流的定义为基础,根据河流天然径流的变化特征及其生态系统响应的特点,可分为最小生态径流、最大生态径流、适宜生态径流等。

最小生态径流 满足河流生态系统稳定和健康条件所允许的最小的流量过程。此过程所拥有的水量,可以认为是河流的最小生态需水量。

最大生态径流 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过程。当河流流量超过此过程时,同样会对河流生态系统结构造成重大的影响,导致某些物种消失造成不可恢复的生态灾害。

适宜生态径流 对于生态系统的稳定及保持物种多样性最为适合的径流过程。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。对于河流生态系统和具体的物种和种群结构来说,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是适宜的生态径流过程。因河流水文过程是随机变化的,适宜生态径流应具有明显的统计特征,并具有一个合适的变化范围。

2.2 计算方法说明

2.2.1 逐月最小生态径流计算法

将流量资料分为 1~12 月份共 12 个月平均径流系列,然后取每个月系列的最小值作为该月的最小生态

径流量,最后得到的即为全年的最小生态径流过程。此方法主要用于计算最小生态径流。

2.2.2 逐月频率计算法

首先根据历史流量资料,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(枯水期90%保证率,平水期70%保证率,丰水期50%保证率^[7,8]),最后分别计算各个时期在不同保证率下的径流量,这样得到的即为该年的适宜生态径流过程。此方法主要用于计算适宜生态径流。

2.2.3 新的逐月均频率计算法

它与以往旧的逐月频率计算法的不同在于:旧算法是将一年分为丰、平、枯3个时期,每个时期取不同保证率从而求得河流的适宜生态径流过程;而本文提出的新算法是将一年的每个月的保证率都取为50%,用此保证率求得河流的适宜生态径流过程。

2.2.4 方法优缺点及适用范围

逐月最小生态径流计算法是计算河流最小生态径流的一种方法。根据生物的繁殖和发育规律,最小生态径流过程是保证水生生物在年的生命史周期中的最低生存条件,因此它的值应该是天然状态下水生生物所能容忍的干旱的极限。该方法的优点在于它考虑了河道径流过程的年内连续丰枯变化特征,充分考虑了河流生态系统不同时期对水文条件的需求。在该法得到的这种极限水文条件下,河流生态系统所遭受的损害是可以恢复的。而当河流中的流量过程小于河流在自然条件下的最小生态径流过程时,河流的水文条件超过了生态系统和一些物种的耐受能力,会导致某些物种消失,种群结构发生变化,生态系统可能遭受不可恢复的破坏。

逐月频率计算法是计算河流适宜生态径流的一种方法,它的优点在于提出了河流生态系统需求的最佳水文条件,相较于最小生态径流所确定的河流的极限的、短期的水文状态而言,适宜生态径流更有利于河流的生态健康。

以上这两种河流生态径流计算方法的缺点是它们不适用于计算季节性河流和小河流,因为这类河流的流量过程不连续,有时甚至会出现断流情况而无法计算生态径流量。因而这两种方法主要适用于计算大中型河流以及有连续流量过程、水量丰富的河流。

3 应用实例

3.1 基本资料

本次计算的河流是位于河南省洛阳市境内的伊河,它发源于洛阳市内熊耳山南麓栾川县陶湾乡三合村闷顿岭,干流全长265km,流域面积6041km²,流经市内的嵩县、伊川县,最后与市内另一条河流洛河在黑石关处汇合并流出境外,途经的主要水文站有栾川站、潭头站、东湾站、陆浑站、龙门镇站和黑石关站。

本次计算所取的断面是伊河上游的栾川站和下游的龙门镇站,采用的资料是这两个站1960年至1979年共20a的实测月平均径流资料。理论上,生态径流计算应使用还原后的天然径流资料,但由于缺少伊河的水资料,无法进行还原计算;并且当前大多数学者提出要进行还原计算,是希望通过控制河流的生态径流过程恢复河流达到原来没有人类活动影响之前的状态,实际上这一点是很难达到的。所以,本人认为伊河现时的情况虽然已经遭到人类活动影响,但仍处于自身能够逐渐恢复的范围之内,如果保持这种状态不再进一步恶化,河流的自然生态功能还是能够保障的,因而不需要恢复成原始状态,直接采用人类活动影响较小的栾川站资料进行计算,得出的结果即视为现时下垫面条件下的伊河生态径流量。而对于龙门镇站的径流计算结果将作为与栾川站的对比分析之用。

3.2 计算过程

本次计算中,对于最小生态径流的计算采用逐月最小生态径流计算法。根据前文所述计算步骤,计算结果如图1所示。

对于适宜生态径流的计算分别采用新旧两种逐月频率计算法。根据前文所述逐月频率计算法的计算步骤,据图2所示栾川站多年平均径流过程,将全年丰、平、枯水期做如下划分:7~10月份为丰水期,11、4、5月份为平水期,12、1~3、6月份为枯水期,然后分别对不同月份按拟定的保证率求得各月经流量,得到的即为全

年的适宜生态径流过程。同理,据图 3 所示龙门镇站多年平均径流过程,将全年分为丰水期 7~10 月份,平水期 11~12、4~6 月份,枯水期 1~3 月份,再按同样步骤求得适宜生态径流过程。计算结果见图 4。对两站最小生态径流过程和适宜生态径流过程进行对比,结果见图 5 和图 6。

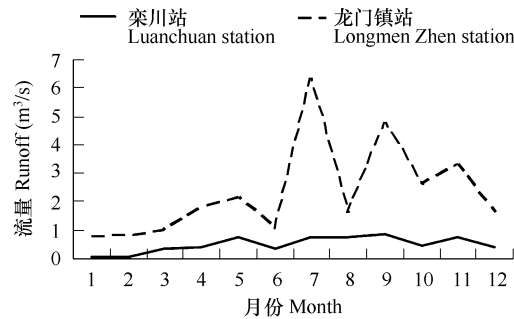


图 1 两站最小生态径流过程

Fig. 1 The two station's minimum ecological flow

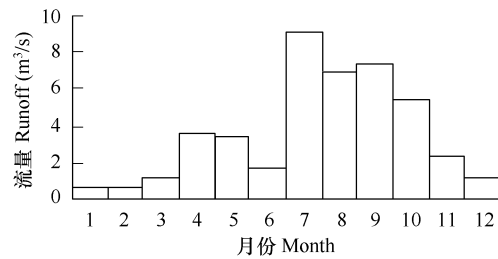


图 2 栾川站多年平均径流过程

Fig. 2 Luan-chuan station's long-term average flow

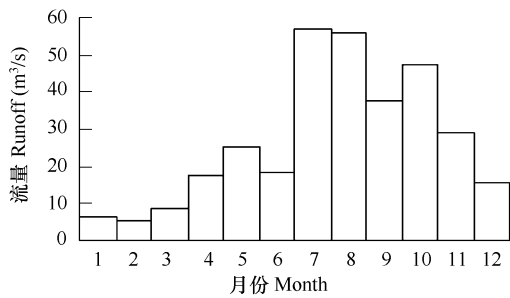


图 3 龙门镇站多年平均径流过程

Fig. 3 Longmen Zhen station's long-term average flow

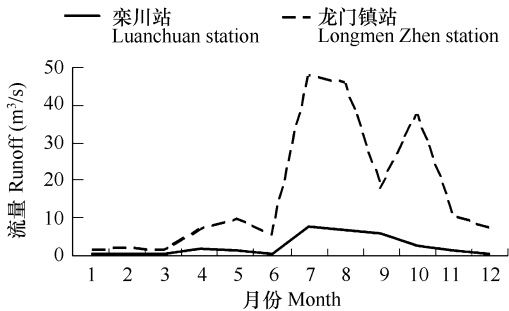


图 4 两站适宜生态径流过程

Fig. 4 The two station's optimal ecological flow

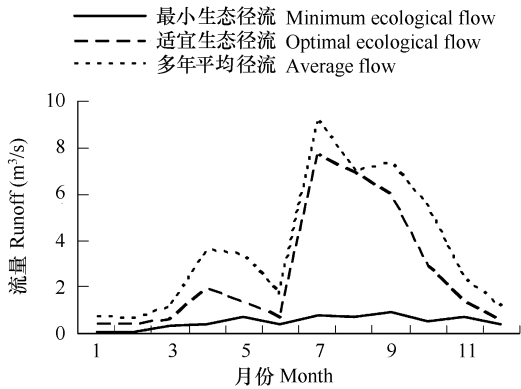


图 5 栾川站生态径流过程

Fig. 5 Luan-chuan station's ecological flow

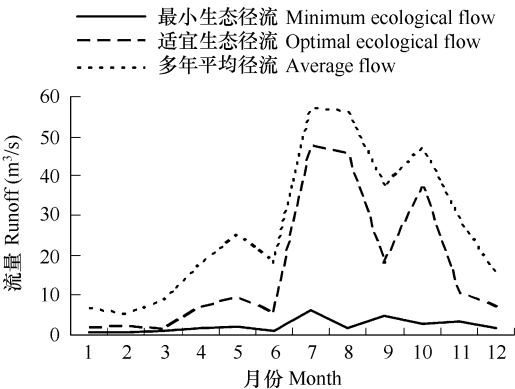


图 6 龙门镇站生态径流过程

Fig. 6 Longmen Zhen station's ecological flow

① Minimum ecological flow ;② Optimal ecological flow ;③ Average flow ① Minimum ecological flow ;② Optimal ecological flow ;③ Average flow

根据前述新的逐月频率计算法的计算步骤,采用上文同样的栾川站 20a 生态径流资料,用该新算法计算伊河适宜生态径流过程。并与以往旧算法对照,如图 5 所示。

3.3 讨论与分析

借鉴国外 Tennant 法对最小生态径流和适宜生态径流的计算结果进行比较(表 1)。从表 1 可以看出,若以最小生态径流的标准控制伊河的流量,河流将处于极差状态,而若以适宜生态径流

控制河流的流量 ,河流等级将跨越 2 ~ 6 级 ,达到中等、好 ,甚至最佳的状态。这说明最小生态径流过程只能是河流所能承受的极限状态 ,并且是很短期的状态 ;而适宜生态径流过程才是一条河流能够维持正常生态功能的保障。因而 ,建议对于一条河流而言应该在丰水年保证其适宜生态径流 ,在枯水年保证其最小生态径流量 ,以更利于河流生态系统的健康。

同样采用 Tennant 法对新旧逐月频率计算法的计算结果进行比较 (表 2)。

从表 2 及图 5 可以看出 ,运用新逐月均频率计算法比用以往旧的算法得到的适宜生态径流过程流量要大 ,河流的生态状况更好 ,更有利于河流自身的生态健康和河流周围生物栖息地的保护。

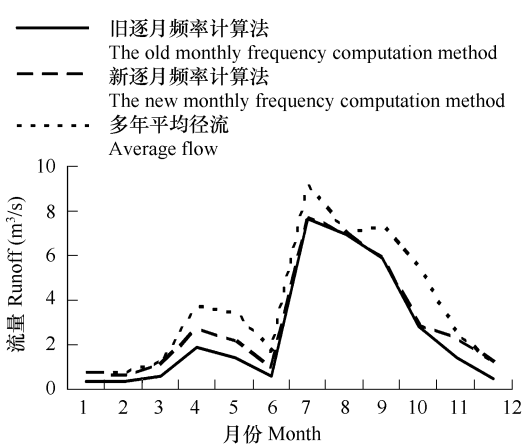


图 7 新旧算法对照

Fig. 7 The contrast between the new method and the old method

表 1 两站生态径流评价*

Table 1 The evaluation between two station's ecological flow *									
用 Tennant 法对照 Compares with the Tennant Method		占年均流量的比重 (%) The proportion in the yearly average flow (%)				用 Tennant 法评价 Evaluated by Tennant Method			
		最小生态径流		适宜生态径流		最小生态径流		适宜生态径流	
河名 River	站名 Station	月份 Month							
		10 ~ 3	4 ~ 9	10 ~ 3	4 ~ 9	10 ~ 3	4 ~ 9	10 ~ 3	4 ~ 9
伊河 Yihe river	栾川站 Luanchuan station	4. 73	8. 85	14. 1	62. 56	极差	极差	中等	最佳
	龙门镇站 LongmenZhen station	3. 14	5. 48	18. 56	41. 24	极差	极差	中等	好

* 最小生态径流 Minimum instream ecological flow ; 适宜生态径流 Optimal instream ecological flow ; 极差 Extremely worse ; 中等 Medium ; 最佳 Best ; 好 Good

表 2 新旧算法适宜生态径流评价

算法 Method	占年均流量的比重 (%) The proportion in the yearly average flow (%)		用 Tennant 法评价 Evaluated by Tennant Method	
	月份 Month			
	10 ~ 3	4 ~ 9	10 ~ 3	4 ~ 9
旧法 The old method	14. 1	62. 56	中等 Medium	最佳 Best
新法 The new method	20	60. 07	好 Good	最佳 Best

4 结论

通过以上所有的分析可以看出 ,要确定河流的适宜生态径流过程 ,确定合理的保证率是一个关键。对于不同的河流 ,由于其地理位置、气候、下垫面以及人类活动影响程度的不同 ,应该采取不同的保证率来得到河流生态径流过程。本文提出的逐月频率计算法充分考虑了河流的丰、平、枯天然水文情势 ,在不同的时期保证了河流的不同水量 ,从而更有利于维持河流的生态健康。

References :

[1] Feng B P , Zhang Z Y , Chen S L. Review of calculation method for water demand of ecological environment. Advances in Science and Technology of Water Resources 2004 24 (6) 59 – 62.

[2] Xu Z X , Wang H , Dong Z C , Tang K W. Theory and practice in Ecological Water Requirements for Rivers and Lakes. Beijing :Water Resources and Hydropower Press , 2005. 7 – 18.

[3] Zhong H P ,Liu H ,Geng L H. Review of assessment methods for instream ecological flow requirements. *Advances in Water Science* ,2006 #30 — 433.

[4] Li L J ,Zheng H X. Environmental and Ecological Water Consumption of River Systems in Haihe-Luanhe Basins. *Acta Geographica Sinica* 2000 (4) #495 — 501.

[5] Wang X Q ,Liu C M ,Yang Z F. Research advance in ecological water demand and environmental water demand. *Advances in Water Science* , 2002 ,13 (4) 507 — 514.

[6] Cui S B. A Research on Issues of Water Demand for Eco-logical Environment. *China Water Resources* 2001 (8) 71 — 75.

[7] Yu L J ,Xia Z Q. A Research on the meaning of Minimum ecological runoff and its calculating methods. *Journal of Hohai University (Natural Sciences)* 2004.

[8] Chen Z Q. Analysis and calculating on ecological runoff in middle-low reaches of the Changjiang River. *Nanjing :Hohai University ,Press ,2002.*

参考文献：

[1] 冯宝平,张展羽,陈守伦,等. 生态环境需水量计算方法研究现状. *水利水电科技进展* ,2004 ,24 (6) :59 ~62.

[2] 徐志侠,王浩,董增川,唐克旺,著. 河道与湖泊生态需水理论与实践. 北京 水利水电出版社 2005. 7 ~18.

[3] 钟华平,刘恒,耿雷华,等. 河道内生态需水估算方法及其评述. *水科学进展* 2006 :430 ~433.

[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. *地理学报* ,2000 (4) :495 ~501.

[5] 王西琴,刘昌明,杨志峰. 生态及环境需水量研究进展与前瞻. *水科学进展* ,2002 ,13 (4) :507 ~514.

[6] 崔树彬. 关于生态环境需水量若干问题的探讨. *中国水利* ,2001 (8) :71 ~75.

[7] 于龙娟,夏自强. 最小生态径流的内涵及计算方法研究. *河海大学学报 (自然科学版)* 2004.

[8] 陈竹青. 长江中下游生态径流过程的分析计算. 南京 河海大学出版社 2002.