

DOI :10.3876/j.issn.1000-1980.2009.02.006

黄河下游生态径流量计算研究

王 霞^{1 2} 夏自强^{1 2} 唐志坚^{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)

摘要 :选取黄河下游地区花园口、高村、利津 3 个代表站的实测月径流量系列 ,利用逐月均频率计算法和改进的 Tennant 法 2 种历史流量计算方法分别计算了 3 个代表站的生态径流过程 .结果表明 :虽然 2 种计算方法原理不同 ,但是由逐月均频率计算法得到的适宜生态径流量大都在改进的 Tennant 法所得结果的最佳或极好范围之内 ,只有个别月份与最佳范围的数值有一定的差值 ,但也位于可接受的范围内 .

关键词 :生态径流 ;逐月均频率计算法 ;改进的 Tennant 法 ;黄河下游地区

中图分类号 :TV121 文献标识码 :A 文章编号 :1000-1980(2009)02-0153-05

黄河地处北方 ,天然降水不如南方多 .20 世纪 80 年代以来 ,黄河流域年降水量较 50 年代偏少 5% ,90 年代以来 ,降水量偏少 12% ,相应径流量降低 7% 和 22% .加之工农业用水的剧增 ,其生态环境的维护和发展较南方的河流相对困难 .而河床高于两岸地面的黄河下游长达数百公里 ,面积约占黄河流域总面积的 3% .本文针对黄河下游这一特点 ,采用逐月均频率计算法和改进的 Tennant 法计算了黄河下游地区的生态径流量 ,为保证黄河流域整个生态系统的健康发展提供参考 .

1 生态径流量概念及计算方法

1.1 生态径流量概念

河流的水文过程具有周期性变化规律 ,其流量的大小是在一定范围内随机变化的 ,河流中的所有生物及种群结构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 ,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状态中 .

但是 ,对于河流来说 ,小概率或是极端的水文现象对于河流的生态系统都是不利的 ,因而狭义的生态径流就是指保证河流天然状态下生态系统稳定和健康的径流量 .而广义的生态径流不只是满足生态系统需水要求的径流量 ,同时也应具有天然状态下该径流过程的泥沙、水质、营养等特征 .当这些特征在人类干扰下发生变化时 ,原有的河流生态系统结构也会随之发生变化 ,对生态系统造成不利的影响 .为了保证河流生态系统的稳定 ,生态系统所需的径流过程也应发生变化 ,因而生态径流量不是一个固定不变的值 ,而应具有一定的变化范围^[1] .

根据河流天然径流量的变化特征及其生态系统响应的特点 ,将满足河流生态系统稳定和健康条件所允许的最小流量称之为最小生态径流量 ,相应地把适合生态系统稳定和保持物种多样性的径流过程称为适宜生态径流过程 .要保持河流生态系统的健康发展 ,就需要了解该河流的适宜生态径流过程 .由于河流水文过程是随机变化的 ,适宜生态径流过程具有明显的统计特征 ,同时具有一定的变化范围 .

1.2 计算方法

河流生态径流量的研究国外起步较早 ,近几年来 ,随着人们对河流环境的日益关注 ,国内学者也提出了

收稿日期 :2008-04-09

基金项目 :国家自然科学基金(50379007 ;30490235)

作者简介 :王霞(1981—) ,女 ,山东莱芜人 ,硕士研究生 ,主要从事水文水资源及生态水文研究 .

许多算法^[2-3]。但总的归纳起来,这些方法大致可分为4类:(a)传统流量计算方法——历史流量法,包括 Tennant 法(也称 Montana 法)、7Q10 法等;(b)基于水力学基础的水力定额法,包括 R2CROSS 法、湿周法等;(c)基于生物学基础的栖息地法,有 IFIM 法、RCHARC 法等;(d)基于河流系统整体性理论的整体分析法,包括澳大利亚的整体分析法(Holistic Approach)、南非的 BBM(Building Block Methodology)等。

上述4类方法在数据要求、选择流量所采用的方法、对河流水力学方面的影响以及生态方面的假设都有一定的区别^[4]。历史流量法虽然没有明确考虑食物、水质和水温等因素,但认为在该流量条件下这些因素可以满足现有生物的要求,只需要历史流量资料就可以计算河道生态径流量。水力定额法只需要对河道的地形特征进行简单的测量,不需要生物与生境关系的数据,因此具有很好的可操作性。但是,因其未考虑河流的季节变化,通常不能用来确定季节性河流的流量。栖息地法能够将生物资料与河流流量研究相结合,但由于需要生态资料,一般情况下无法应用。整体分析法更加强调河流生态系统的整体性,但对资料的要求也更高。可见,每个方法侧重点不同,各有长短。

考虑到我国流量资料的实际情况,本文采用历史流量法中的逐月均频率计算法和改进的 Tennant 法2种方法对黄河下游狭义的生态径流量进行计算^[5],以使计算结果相互参照,结论更加合理。

2 逐月均频率算法计算生态径流量

2.1 最小生态径流量计算

逐月最小生态径流量算法^[6]是以历史上发生的该月资料系列中最小的月平均流量作为最小生态径流量的计算方法,是在生物繁殖和生长规律的基础上,保证水生生物以年为单位的生命周期中最低的生存条件,因此最小生态径流量应该是天然状态下水生生物所能容忍的枯水的极限。

2.2 适宜生态径流量计算

逐月均频率算法^[7]是由历史流量资料,根据每年中各个月的流量数据,取保证率为50%所得的月径流量为该系列的适宜生态径流量的计算方法。逐月均频率算法所得的生态径流量较之最小生态径流量而言,更适合河流生态系统需要的水文条件,更有利于河流生命的健康发展。

由于黄河水资源的大量开发利用,很难还原到天然状态下,加之水生生物已经适应了目前河流的生态环境,因此本文以实测流量资料为研究依据,求得现有状态下的适宜生态径流量。

取黄河下游花园口、高村、利津水文站作为代表站。表1为花园口(1950~2000年)、高村(1950~1985年)、利津水文站(1956~1991年)的实测月平均径流量,以及逐月均频率算法计算的最小生态径流量、适宜生态径流量结果。

表1 代表站各月流量(径流量)过程
Table 1 Runoff at representative stations

m³/s

月份	花园口站			高村站			利津站		
	多年月平均 流量	适宜生态 径流量	最小生态 径流量	多年月平均 流量	适宜生态 径流量	最小生态 径流量	多年月平均 流量	适宜生态 径流量	最小生态 径流量
1	539	554	111	527	531	121	498	479	68
2	549	512	248	485	469	58	448	405	57
3	990	958	544	944	952	243	696	558	55
4	1014	951	598	982	925	253	670	566	62
5	942	844	391	946	905	141	666	514	23
6	833	742	145	784	701	15	601	460	16
7	1782	1690	127	1890	1651	483	1584	1378	202
8	2510	2200	349	2778	2740	911	2336	1995	289
9	2389	2026	420	2764	2670	970	2381	2195	514
10	1969	1730	278	2442	2280	407	2192	1980	123
11	1186	1002	170	1420	1178	543	1291	991	97
12	732	657	298	760	705	5	725	564	106

3 改进的 Tennant 法计算生态径流量

3.1 Tennant 法简介

Tennant 法也叫 Montana 法,该方法假定河流流量是水系面积尺度、地形学、气候、植被和土地利用等特征

的综合体现 ,年平均流量的各种比例与生态环境质量相关联 .Tennant 法建立在干旱、半干旱地区永久性河流基础上 ,判别栖息地环境优劣的推荐基流标准在年平均流量的 10% ~ 200% 范围内设定 ,认为 10% ,30% ,60% 的年平均流量是生态环境变化的转折点 ,并能保护绝大多数河流的自然环境 .Tennant 法的主要优点是使用简单 ,操作方便 ,一旦建立了流量与水生生态系统之间的关系 ,需要的数据就相对减少 ,也不需要进行大量的野外工作 ,是生态需水量计算的常用方法之一^[8-9] .但 Tennant 法有其自身的局限性 ,它是基于美国 11 条河流得出的结论 ,不一定适合其他河流 ,像我国黄河这种季节性、多泥沙的河流 ,Tennant 法就没有考虑水生生物对流量的要求在不同季节应有所不同 ,也没有考虑多泥沙河流需要一定的水量来保证河流泥沙冲淤平衡的特性 .

黄河属于北方河流 ,处于干旱、半干旱、半湿润气候带 ,因此其径流量和降水相关性强 .雨季是河流的汛期 ,汛期集中的几场洪水的水量占河流全年径流量的 60% 左右 ,因此 ,流量具有明显的季节性变化的特征 .与此同时 ,我国干旱半干旱地带水土流失比较严重 ,使得北方河流具有含沙量高的特点 ,黄河下游尤为严重 .多泥沙淤积已经严重威胁了黄河下游地区人民生命财产的安全 ,生态需水要考虑河流输沙要求 ,才能维护其生命的健康发展 .为了使 Tennant 法较为合理地计算黄河下游地区的生态径流量 ,本文对 Tennant 法进行了一定的改进^[10] .

3.2 Tennant 法的改进

3.2.1 季节性改进

由我国北方河流生态系统的基本特征可知 4~6 月是鱼虾孵化的高峰季节 ,水生生物丰富 ,7~11 月河流水量大 ,泥沙含量高 ,河流水量应以输沙用水调度为主 ,12~3 月 ,河流水量相对较小 ,月水量占年水量的比例一般为 3% ~ 7% ,泥沙含量较低 .本文将河流生态需水量按季节划分为 4~6 月、7~11 月、12~3 月 3 个时段 ,引入季节系数 k ,使 Tennant 法能够反映河流径流量季节性变化 .

由于黄河水文资料比较齐全 ,因此可以很容易从确定的多年平均径流量系列中找出一个典型年的年径流量过程 .假如典型年径流量过程某一时段的流量为 Q_t ,天然状况下的多年平均流量为 Q_0 ,则季节系数 k 为

$$k = Q_t / Q_0$$

(1)

把所求的季节系数应用到 Tennant 法中 ,得到的生态径流量就能适合黄河等季节性变化的河流 .根据研究河段各年流量与多年平均流量的比较 ,选取 1953 年为典型年 ,由公式 (1) 得到表 2 .

3.2.2 输沙性改进

河流的输沙量与河水的流量和流速相关 .一般而言 ,河流的开发程度较小时 ,多泥沙河流在非汛期淤积 ,在汛期冲刷 ,使年冲淤达到平衡 .但是河流开发程度一旦达到 50% ,泥沙就会在河床里淤积 ,这将改变河流形态和生态环境 ,造成流量的水深变小 ,河槽比降变小 ,随之流速变小 ,引起泥沙淤积加重 ,造成恶性循环 .所以非汛期要保持一定流速使得冲淤平衡 .

黄河下游是指桃花峪至入海口 ,流域面积 2.3 万 km^2 ,占全流域的 3% ,河道长 786 km ,落差 93.6 m ,水流较平缓 ,其平均比降为 0.012% ,泥沙淤积严重 ,为著名的黄河下游滩区 ,其淤积情况如图 1 所示 .

表 2 代表站各个时期的季节系数

Table 2 Seasonal coefficients at representative stations

站名	季节系数 k		
	12~3 月(k_1)	4~6 月(k_2)	7~11 月(k_3)
花园口	0.95	0.66	0.88
高 村	0.97	0.67	0.88
利 津	0.96	0.67	0.92

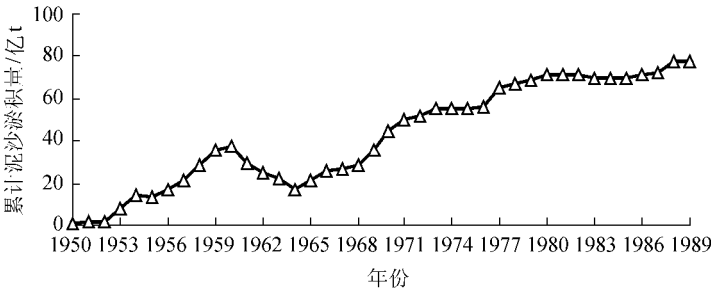


图 1 黄河下游年泥沙淤积过程

Fig. 1 Annual deposition process in lower reaches of Yellow River

黄河流域的水资源开发利用率为 60.9% ,从图 1 可以看出 ,其下游淤积量整体上呈现逐年上升趋势.为此 ,在黄河下游河段引入径流量比降 i_0

$$i_0 = 1 + \frac{i' - i}{i'} \quad i \leq i'$$

(2)

式中 : i' ——河流平均比降 ; i ——计算河段比降.当 $i > i'$ 时 , $i_0 = 1$.

由公式 (2) 得到花园口、高村、利津 3 个代表站的径流比降分别为 1.33 ,1.43 ,1.67.

3.3 改进的 Tennant 法

通过在推荐基流百分比的基础上加上季节系数和径流比降 ,得到新的推荐基流百分比来改进 Tennant 法 ,使其更适合我国北方多泥沙性和流量季节性变化的河流.改进的 Tennant 法^[11-12]计算结果如表 3 所示 ,表中 Φ_i ($i = 1, 2, \dots$) 称之为生态径流改正系数 ,其中 $\Phi_1 = i_{01} k_1$, $\Phi_2 = i_{02} k_2$, $\Phi_3 = i_{03} k_3$.由此可得黄河下游 3 个代表站的生态径流改正系数 ,见表 4.

综上 ,可以得到 3 个代表站的生态径流量的各级标准 ,如表 5 所示.

4 计算结果比较

以花园口站为例 ,由逐月均频率计算得出 1 ,6 ,7 , 8 ,9 ,10 ,12 月的数值都在改进的 Tennant 法的“最佳范围”之内 ,2 ,3 ,4 ,5 月虽然不在“最佳范围”内 ,但是数值与“最佳范围”相差很小 ,同时也均位于“极好”范围内 ,只有 11 月份与“最佳范围”有一定的差值 ,但也在 Tennant 法“好”的范围内 ,也能够保证河流的发展.高村、利津 2 站的数值比较也大多如此.

河流的生态径流量是一动态过程 ,适宜生态径流量就是对于生态系统的稳定和物种的生存和繁衍最为适合的径流过程 ,它不是一个具体固定的值 ,而是有一个合适的变化范围 ,只要在这个范围之内 ,就能够保证河流生命的健康发展.

表 3 保护水生生态等有关环境资源的河流流量状态

Table 3 River discharge status of relevant environmental resources including aquatic ecology

河流流量 状况	推荐的基流/%		
	12~3月	4~6月	7~11月
最大	200 Φ_1	200 Φ_2	200 Φ_3
最佳范围	(60~100) Φ_1	(60~100) Φ_2	(60~100) Φ_3
极好	40 Φ_1	60 Φ_2	60 Φ_3
非常好	30 Φ_1	50 Φ_2	50 Φ_3
好	20 Φ_1	40 Φ_2	40 Φ_3
中	10 Φ_1	30 Φ_2	30 Φ_3
差	10 Φ_1	10 Φ_2	10 Φ_3
极差	(0~10) Φ_1	(0~10) Φ_2	(0~10) Φ_3

表 4 黄河下游代表站各个时期的生态径流改正系数

Table 4 Corrected coefficients of ecological runoff at representative stations in the lower reaches of Yellow River

站 名	生态径流改正系数 Φ_i		
	12~3月	4~6月	7~11月
花园口	1.26	0.88	1.17
高村	1.39	0.96	1.26
利津	1.60	1.12	1.54

表 5 代表站各个时段生态需水量各级标准

Table 5 Criteria of ecological water demand at representative stations

m³/s

站 名	时段	平均 流量	最大 流量	流量最佳 范围	生态需水量标准					
					极好	非常好	好	中	差	极差
花园口	12~3月	694	1749	525~874	>350	262~350	175~262	87~175	87	0~87
	4~6月	918	1616	485~808	>485	404~485	323~404	242~323	81	0~81
	7~11月	1950	4563	1369~2282	>1369	1141~1369	913~1141	685~913	228	0~228
高 村	12~3月	679	1888	566~944	>378	283~378	189~283	94~189	94	0~94
	4~6月	904	1736	521~868	>521	434~521	347~434	260~347	87	0~87
	7~11月	2259	5693	1708~2846	>1708	1423~1708	1139~1423	854~1139	285	0~285
利 津	12~3月	592	1894	568~947	>379	284~379	189~284	95~189	95	0~95
	4~6月	646	1447	434~724	>434	362~434	289~362	217~289	72	0~72
	7~11月	1957	6028	1808~3014	>1808	1507~1808	1206~1508	904~1206	301	0~301

5 结 论

a. 在使用逐月均频率算法计算黄河下游适宜生态径流量时 ,确定合理的保证率是关键 ,本文取保证率为 50% ,其优点在于提出了河流生态系统需求的最佳水文条件 ,相较最小生态径流量而言 ,更有利于河流生命健康的发展.

b. 在利用 Tennant 法计算时 ,引入了生态径流改正系数(包括季节系数和径流比降)对 Tennant 法进行改进 ,使其更加适合黄河下游季节变化大和多沙的特点 .这里 ,季节系数实际上是用典型年流量置换了多年平均流量 ,更能体现河流流量年内季节的丰枯规律 .

c. 使用逐月均频率计算法和改进的 Tennant 法计算了黄河下游各代表站的生态径流量 ,虽然计算角度不同 ,但是计算结果显示 ,保证黄河健康发展的生态径流量相差不大 ,为今后黄河生态系统的健康发展提供了合理的参考 .

参考文献 :

[1] 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 ,2005 .
[2] 赵琪 ,刘建江 ,王均 ,等 . 玛纳斯河最小生态径流计算[J]. 干旱区地理 ,2005 ,28(3) :292-294 .
[3] 宋兰兰 ,陆桂华 ,刘凌 . 水文指数法确定河流生态需水[J]. 水利学报 ,2006 ,37(11) :1336-1341 .
[4] 樊健 . 河流生态径流确定方法研究[D]. 南京 :河海大学 ,2006 .
[5] 马广慧 ,夏自强 ,郭利丹 ,等 . 黄河干流不同断面生态径流量计算[J]. 河海大学学报 :自然科学版 ,2007 ,30(5) :496-500 .
[6] 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) :18-22 .
[7] 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
[8] 曹志鹏 ,秦学飞 . Tennant 法计算南沙河河道生态需水量[J]. 吉林水利 ,2007(增刊) :6-9 .
[9] 徐志侠 ,董增川 ,周健康 ,等 . 生态需水计算的蒙大拿法及其应用[J]. 水利水电技术 ,2003 ,34(11) :15-17 .
[10] 王占兴 . 田纳特法在确定寒区中、小河流生态环境需水量中的修正[J]. 黑龙江水专学报 ,2005 ,32(4) :100-103 .
[11] 黄强 ,李群 ,张泽中 ,等 . 计算黄河干流生态环境需水 Tennant 法的改进及应用[J]. 水动力学研究与进展 :A 辑 ,2007 ,22(6) :774-781 .
[12] 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 .

Computation of ecological flow in the lower reaches of Yellow River

WANG Xia^{1 ,2} , XIA Zi-Qiang^{1 ,2} , TANG Zhi-Jian^{1 ,2}

(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)

Abstract : A series of measured monthly runoff at the three hydrological stations of Huayuantou , Gaocun and Lijin in the lower reaches of Yellow River were selected . The ecological flow processes at the three representative stations were calculated with historical runoff methods : the monthly even frequency computation method and the improved Tennant method . The calculated results show that the principles of the two methods are different , but the values of ecological flows computed with the monthly even frequency computation method almost match the optimum or extremely good ranges of those calculated with the improved Tennant method . Only for a few monthly values is there a discrepancy with the optimum ones , and those are acceptable .

Key words : ecological flow ; monthly even frequency computation method ; improved Tennant method ; lower reaches of Yellow River