

黄河干流不同断面生态径流量计算

马广慧¹ 夏自强¹ 郭利丹¹ 李 捷¹ 郭 志²

(1. 河海大学水文水资源学院 ,江苏 南京 210098 ; 2. 台前县黄河河务局 ,河南 台前 457600)

摘要 根据生态径流量的概念 ,应用逐月最小生态径流量计算法和逐月频率计算法计算了黄河干流唐乃亥、头道拐、花园口 3 站的生态径流量 ,根据黄河下游来水来沙量变化规律、断流资料以及利津站入海水量的变化特点 ,分析了黄河干流不同断面的生态问题 .结果表明 ,逐月频率计算法算出的最小生态径流量 ,无论在枯季还是丰季都能达到很好的生态条件 .

关键词 黄河 ;生态径流量 ;河口 ;健康发展

中图分类号 :TV211.1 **文献标识码** :A **文章编号** :1000-198X(2007)05-0496-05

1 流域概况

1.1 自然地理概况

黄河流域位于 96°E ~ 119°E ,32°N ~ 42°N ,东西长约 1 900 km ,南北宽约 1 100 km ,流域面积 79.5 万 km² (含内流区 4.2 万 km²).流域内气候变化极为明显 ,东南部基本属湿润气候 ,中部属半干旱气候 ,西部属干旱气候 .全流域多年平均降水量为 466 mm ,降水量地区分布的总趋势是由东南向西北递减 .降水年内分配很不均匀 ,冬干春旱 ,夏秋降水集中 ,连续最大 4 个月(6 ~ 9 月)的降水量占全年总降水量的 68.3 % .

1.2 站点介绍

考虑到人为因素以及站点资料、代表性等原因 ,本文以唐乃亥、头道拐、花园口站为例 ,对黄河干流上、中、下游不同断面径流流量进行对比 ,分析整个流域生态径流量的变化 .唐乃亥站位于 100°39'E ,35°30'N ,黄河上游地区 300 ~ 400 mm 等降水量线之间 ,青海省兴海县唐乃亥乡下村 ,至河口距离 4 057 km ,集水面积 98 414 km² ;头道拐站位于 109°41'E ,40°29'N ,黄河中游地区 300 mm 等降水量线上 ,内蒙古自治区包头市哈林格尔乡兰柜窑子村 ,至河口距离 2 002 km ,集水面积 367 898 km² ;花园口站位于 113°39'E ,34°55'N ,黄河下游地区 600 ~ 800 mm 等降水量线之间 ,河南省郑州市花园口乡花园口村 ,至河口距离 768 km ,集水面积 730 036 km² .

2 人类活动对黄河径流过程的影响

黄河流域多年平均天然径流量为 580 亿 m³ ,作为全国第二大河 ,天然径流量只占全国河川径流总量的 2 % ,水资源总量很少 ,然而 ,黄河流域地表水资源开发利用程度却高达 68 % ,人类活动对黄河流域的自然生态系统影响很大^[1] .

人类活动的干预影响了黄河干支流的水文特性 ,其中最明显的是径流量的减少及径流时空分布的变化 .影响黄河径流量变化的人为因素很多 ,主要有 :修建水库对径流的拦蓄和调节作用 ;水土保持工程对径流的拦截 ;工农业及城乡用水量的增加 ;跨流域调水等 .黄河径流量的减少 ,不仅影响两岸社会经济的发展 ,造成工农业用水紧张 ,也使黄河下游出现断流 .图 1 为唐乃亥、头道拐、花园口 3 站近 50 a 的年径流量变化过程 .

2.1 对径流量的影响

由图 1 可以看出 ,黄河流域径流过程的变化比较剧烈 .从 3 个站 5 a 滑动平均过程来看 ,黄河干流平均流量呈现变小的趋势 ,20 世纪 60 ~ 80 年代变化小 ,20 世纪 80 年代以后变化较大 .河流径流量的变化与河流的自我调节有关 .在人类影响较小的年代里 ,径流量能够自我恢复 ,这是河流多年自我适应的结果 ,甚至几年的

收稿日期 2006-10-26
基金项目 国家自然科学基金资助项目(50379007)
作者简介 :马广慧(1980—) ,男 ,河南濮阳人 ,硕士研究生 ,主要从事水资源规划及生态研究 .

小水量也不会损害河流的健康,但是,随着流域内工农业的发展以及人口的不断增长,人类对河流的影响越来越大,当这种影响达到一定程度时,靠河流的自身调节是无能为力的,唯有靠人类干预维持河的流生态径流过程,方能保证河流的健康发展。

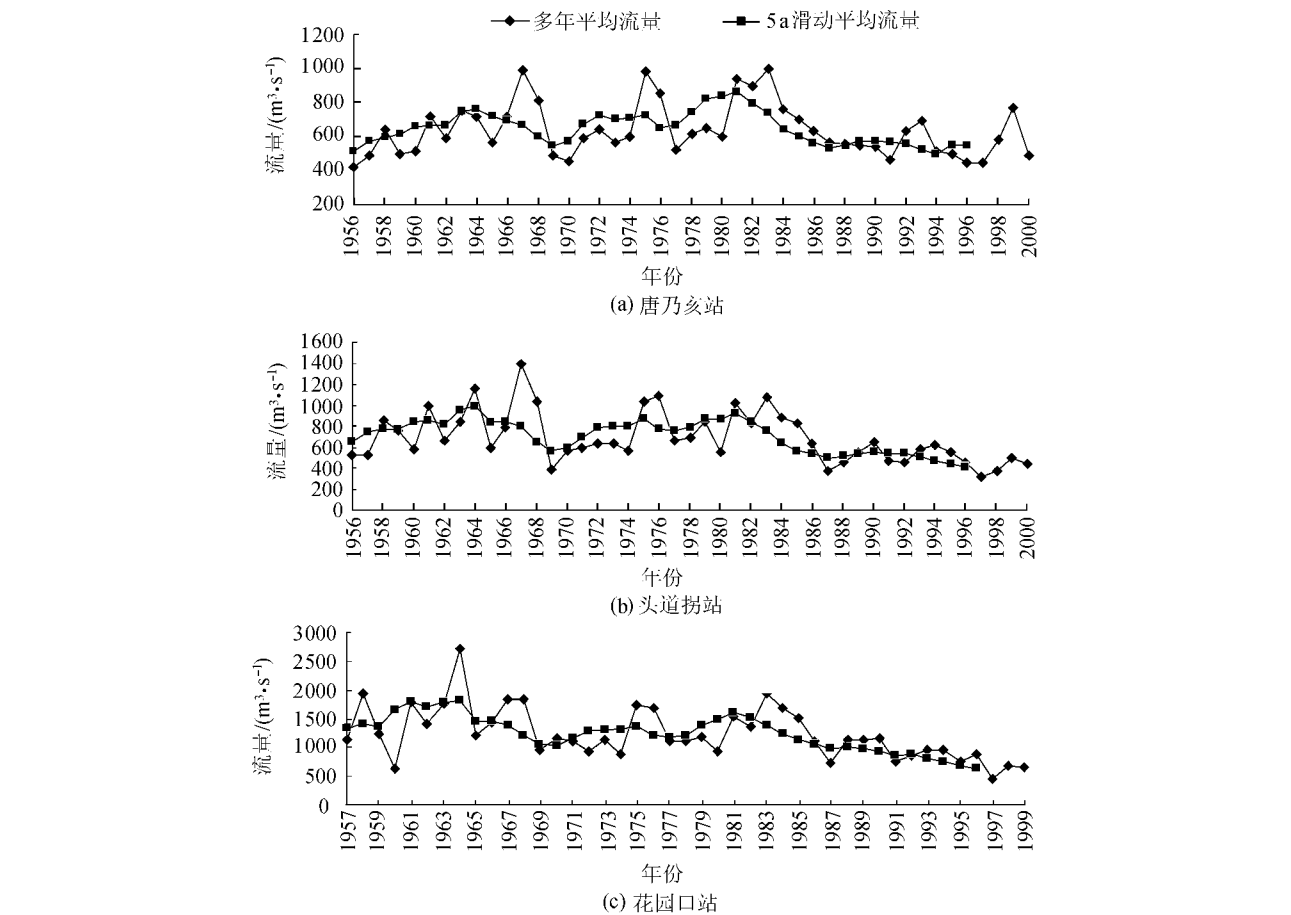


图 1 实测年径流过程

Fig.1 Observed results of annual runoff process

从图 1 还可以看出,进入 20 世纪 80 年代以后,黄河水量呈明显减少的趋势,照此下去,对维持黄河流域以及周边地区动植物和整个生态系统的健康极为不利.仅花园口站,从 1986~1997 年的 11 a 中,平均年径流量较多年平均减少了 118.7 亿 m³,相对偏少了 19.6%.

需要指出的是,径流量的变化除了受到人类活动的影响外,还与气候影响下的来水量有关.本文仅研究了人类活动对流域径流过程的影响.

2.2 对断流时间的影响

以利津站为例,1972 年间歇性及全日断流总计为 19 d;1981 年为 36 d;1992 年为 83 d;1996 年为 136 d.表 1 为利津断面断流统计.

从表 1 可以看出,20 世纪 90 年代以前的断流无论是次数还是总天数都比较小,对生态系统的影响不是很严重.但是,进入 20 世纪 90 年代以后,该站断流加剧,特别是 1997,1998 年,断流次数和总天数分别达到了 13,14 次和 226,142 d.这种情况一旦持续,有可能超过生态系统自身承受的极限,则对该地区生态系统的破坏是不可修复的,因此,必须采取相应的水资源调度管理措施,杜绝此类事件的发生.

表 1 黄河利津断面断流情况

Table 1 No water data of Lijin cross-section of Yellow River

年份	出现断流 年数/a	累计断流 天数/d	平均断流 天数/d
1972~1979	6	86	14.3
1980~1989	7	105	15.0
1990~1997	6	719	119.8

3 生态径流量的概念

在水资源的开发利用过程中,考虑经济和生活用水的同时,必须重视生态环境用水,至少应该保留保障

生态系统生命活动最低条件的流量(或水量),并保持必需的水质和河流的地形要素,从而保证河流和湖泊生态系统的健康^[2].

3.1 最小生态径流量

最小生态径流量是指在人类活动的影响下,水体为了保证水生生物存在所需要的水量,或者说是河流中可以满足现状生态要求的最小径流量.最小生态径流量对水量、水质和持续时间都有一定的要求.河流的最大允许取水量由天然径流量与最小生态径流量的差确定.

最小生态径流量在1年中不是一个常量.由于不同生态群落有不同的繁殖和发育规律,最小生态径流量同河道水流年内变化特征一样,是一个连续变化的过程.对于不同的河流,由于其生态种类不同,其生态需求的最小径流量也不一样.

3.2 适宜生态径流量

适宜生态径流量就是对于生态系统的稳定和物种的生存、繁衍最为适合的径流过程,其值有一个合适的变化范围.

3.3 生态径流量的分析计算方法

国内外有很多种生态径流量的分析计算方法^[3-7],本文主要采用逐月最小生态径流量计算法和逐月频率计算法^[7].

a. 逐月最小生态径流量计算法.最小生态径流量是连续变化的,如果仅分丰水期和枯水期2种情况计算最小生态径流量,虽然可以简化计算方法,但是计算误差较大,所以应逐月计算.

逐月最小生态径流量计算法是以历史上发生的该月平均径流资料系列中最小的月平均径流量作为该月的最小生态径流量,其值是天然状态下水生生物所能容忍的干旱极限.现在河流流量受人类的干预越来越大,为了排除人为因素的影响,使用河流还原后的天然径流量,因此在尽可能长的天然月径流系列中取最小值作为该月的最小生态径流量.如果在天然状况下水生生物已经安全经历过该最小径流量,并且生态系统没有遭到严重的不可恢复的破坏,就说明在不考虑水质的情况下,水生生物的最低生存条件在该径流量条件下能够得到保证.如果考虑污染物稀释用水,最小生态径流量还应相应增大.

b. 逐月频率计算法.逐月最小生态径流量计算法算出的最小生态径流量虽然能够满足水生生物最低的生存条件,但如果长期处于这种最低的生存条件,肯定不利于水生生态系统的健康发展.因此在水量允许的情况下,可以适当放宽条件,增大最小生态径流量.

逐月频率计算法在考虑生态系统对水量要求的同时,还考虑了不同时期生态系统的不同要求,将最小生态径流量看作是一个有丰有枯的年内变化过程.生态系统是与自然径流过程相适应的,所以最小生态径流量也应按照自然径流的规律,不同季节取不同的保证率,枯季大丰季小,年内连续变化.

4 黄河不同断面推荐生态径流量计算

由于资料的限制,本文选用唐乃亥、头道拐、花园口3站多年(1956~2000年实测)径流量资料,计算黄河干流的生态径流量.

4.1 推荐最小生态径流量计算

推荐最小生态径流量就是使用逐月最小生态径流量计算法算出的生态径流量.黄河干流3个水文站的最小生态径流量见表2.表2中,年最小生态径流量不是月最小生态径流量简单地求平均,计算时需要考虑年内月水量多年变化的随机性.因为即使是干旱年一般也不会每个月份的径流量都是多年最小的,所以年最小生态径流量比较合理的计算方法是以年平均流量系列为基础,取其最小值作为年最小生态径流量.

4.2 推荐适宜生态径流量计算

推荐适宜生态径流量就是使用逐月频率计算法算

表2 唐乃亥站、头道拐站和花园口站最小生态径流量

Table 2 Minimum ecological runoff of Tangnaihai, Toudaoguai, and Huayuankou stations

时间	流量/(m ³ ·s ⁻¹)			水量/亿m ³		
	唐乃亥站	头道拐站	花园口站	唐乃亥站	头道拐站	花园口站
1月	115	176	111	3.08	4.71	4.26
2月	112	199	119	3.00	5.33	8.38
3月	156	305	544	4.18	8.17	18.72
4月	210	342	535	5.62	9.16	21.64
5月	252	66	386	6.75	1.75	28.39
6月	425	63	84	11.38	1.68	24.43
7月	532	151	127	14.25	4.04	34.26
8月	521	154	349	13.95	4.12	51.95
9月	499	298	420	13.37	7.98	31.10
10月	369	98	278	9.88	2.64	32.13
11月	254	181	170	6.80	4.85	13.12
12月	133	191	64	3.56	5.12	8.87
年平均	422	323	452	133	117	340

出的生态径流量 对每个日历月的月平均流量系列进行统计分析 ,以有利于生态系统的稳定和物种的生存繁衍为原则 ,将枯水期(90%) 平水期(70%) 洪水期(50%)不同保证率条件下的月径流过程作为适宜的生态径流量过程 .其中丰、平、枯水期的划分是先将各站全年划分为汛期和非汛期 ,分别计算汛期、非汛期对应出现频率为 35%(唐乃亥站取 45% ,其多年平均径流量的 C_v 值较小) ,75% 的流量作为丰水期判定、平水期判定、枯水期判定的指标 .将每个月多年平均径流量与对应保证率的相应值进行比较 ,确定丰平枯月份(表 3).各站的适宜生态径流量见表 4.

表 3 唐乃亥、头道拐和花园口 3 站丰、平、枯水期划分

Table 3 Classification of high-water season , normal-water season , and low-water season for Tangnaihai , Toudaoguai , and Huayunkou stations

站 名	流量/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)			月份		
	丰水期	平水期	枯水期	丰水期	平水期	枯水期
唐乃亥站	≥ 1277	273 ~ 1277	≤ 273	7 ~ 9	4 ~ 6 , 8 , 10 , 11	12 ~ 3
头道拐站	≥ 1468	413 ~ 1468	≤ 413	8 ~ 9	2 ~ 4 , 7 , 10 , 11	12 ~ 1 , 5 ~ 6
花园口站	实测 ≥ 2251	624 ~ 2251	≤ 624	8 ~ 9	3 ~ 7 , 10 ~ 12	1 ~ 2
	天然 ≥ 3090	1007 ~ 3090	≤ 1007	8 ~ 9	3 ~ 7 , 10 ~ 11	12 ~ 次年 2

4.3 实测径流量与天然径流量计算结果对比

为了与天然径流量的计算结果进行比较 ,对花园口站近 50 a 的天然径流系列进行了计算 ,结果见表 5.

表 4 唐乃亥、头道拐和花园口 3 站适宜生态径流量

Table 4 Rational ecological runoff of Tangnaihai , Toudaoguai , and Huayunkou stations

时间	流量/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)			水量/亿 m^3		
	唐乃亥站	头道拐站	花园口站	唐乃亥站	头道拐站	花园口站
1 月	125	234	270	3.35	6.27	7.23
2 月	123	372	266	2.98	9.00	6.44
3 月	175	583	767	4.69	15.62	20.54
4 月	312	512	786	8.09	13.27	20.37
5 月	451	149	615	12.08	3.99	16.47
6 月	703	119	429	18.22	3.08	11.12
7 月	1223	509	1010	32.76	13.63	27.05
8 月	854	1099	2104	27.88	29.44	56.35
9 月	1051	1017	2016	27.24	26.36	52.25
10 月	694	547	1004	18.59	14.65	26.89
11 月	373	399	643	9.67	10.34	16.67
12 月	161	261	510	4.31	6.99	13.66
年平均	539	484	872	169.86	152.64	275.04

表 5 花园口站推荐生态径流量(天然径流资料计算结果)

Table 5 Recommended ecological runoff of Huayunkou station

时间	推荐最小生态流量/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	推荐最小生态水量/亿 m^3	推荐适宜生态流量/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	推荐适宜生态水量/亿 m^3
1 月	159	4.26	310	8.3
2 月	313	8.38	421	10.18
3 月	699	18.72	981	26.28
4 月	808	21.64	1020	26.44
5 月	1060	28.39	1424	38.14
6 月	912	24.43	1475	38.23
7 月	1279	34.26	2308	61.82
8 月	1600	51.95	3228	86.46
9 月	1161	31.10	3042	78.85
10 月	1200	32.13	2028	54.32
11 月	490	13.12	1248	32.35
12 月	331	8.87	403	10.79
年平均	1079	340	1497	472.16

4.4 计算结果的合理性分析^[8]

参考 Tennant 法的取值范围 ,对各种计算方法进行合理性分析 .逐月最小生态径流量算法得出的唐乃亥、头道拐及花园口 3 站 10 月 ~ 次年 3 月的平均生态径流量分别占多年平均径流量的 29.7% ,27.7% ,17.5% ,唐乃亥站和头道拐站的生态条件良好 ,花园口站的生态条件一般 ;4 ~ 9 月的平均生态径流量分别占多年平均径流量的 63.5% ,25.8% ,25.9% .唐乃亥站的生态条件很好 ,头道拐站和花园口站的生态条件一般 .该结果与黄河中下游的工农业用水量密切相关 ,因此 ,这种方法算出的生态径流量偏小 .为保持黄河中下游的生态健康 ,该区生态用水量应在计算结果基础上有所增加 .

逐月频率算法算出的唐乃亥、头道拐及花园口 3 站 10 月 ~ 次年 3 月的平均生态径流量分别占多年平均径流量的 43.0% ,57.6% ,47.1% ,生态条件极好 ,花园口站的生态条件一般 ;4 ~ 9 月的平均生态径流量分别占多年平均径流量的 119.6% ,81.9% ,94.7% ,生态条件已经达到最佳 .从计算结果可以看出 ,用该方法算出的最小生态径流量 ,无论在枯季还是丰季都能达到很好的生态条件 ,值得采用 .

采用花园口天然径流量资料计算的结果比用实测资料计算的结果要偏大一些 ,但是 ,这并不表示采用前者更合理 .因为 ,实测资料结果代表的是黄河现状条件的需求 ,多年来黄河作为一个大的系统 ,已经被人为干

扰,并逐步适应了现今的生态环境,要改变到天然状态下是很困难的.

逐月最小生态径流量计算法和逐月频率计算法的优越性还在于,考虑了不同时期生态系统的不同需求,给出了一个年内适宜生态径流量的变化过程.但在考虑生产、生活和生态环境用水的水资源综合评价中,最小生态径流量的取值还要受供需平衡的多方面因素的影响,并不能简单地按照生态的要求来确定.

5 结 语

随着社会经济的发展,对黄河流域的开发进一步加大,根据气象因素和人为因素两方面综合考虑,黄河的水文过程已经发生了很大的变化,黄河的生态系统健康已经在很大程度上受到了破坏.因此,为了确保黄河的水文过程以及黄河的健康发展,在今后开发利用黄河水资源时必须采取节水以及水资源调度等一系列保护措施,尤其在非汛期时,河道水量不能小于最小生态径流量的要求.汛期时,应尽量满足河道适宜生态径流量的要求,以确保黄河生态系统的健康发展.这样不仅可以改善流域内的自然环境,有利于自然生态系统的发展、绿化环境、防风固沙、减少黄河沙量,而且可以美化人类生存环境,改善局地气候.

笔者认为,现状情况下,在开发利用黄河水资源的同时,保证河流有其必需的生态径流量十分必要.节水灌溉、调水调沙等措施在今后黄河水资源的利用过程中还需要加强;另外,生态调度的方法也值得在黄河流域进一步实践.可以肯定,正确的举措将对整个黄河生态系统的健康发展产生深远的影响.

参考文献:

[1] 马喜荣.黄河流域水循环流路的改变对物质输送及能量交换的影响[D].南京:河海大学,2004.
[2] 王礼先.生态环境用水的界定和计算方法[J].中国水利,2002,13(10):28-30.
[3] 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):507-512.
[4] ФЕДОРОВ Ю А,ВЛАДИМИРОВ А М. Экологический и водный ресурс[М]. Санкт-Петербург:Российский Государственный Гидрометеорологический Институт,2000:19-24.
[5] ВЛАДИМИРОВ А М,ОРЛОВ В Г,САКОВИЧ В М. Экологические аспекты использования и охраны водных ресурсов (водосуды)[М]. Санкт-Петербург:Российский Государственный Гидрометеорологический Институт,1997:260-266.
[6] 王西琴,刘昌明,杨志峰.河道最小环境需水量确定方法及其应用研究[J].环境科学学报,2001(5):544-547.
[7] 于龙娟,夏自强,杜小瞬.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,2004,33(1):18-20.
[8] 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,2004.

Ecological runoff for different cross-sections
of the main stream of Yellow River

MA Guang-hui¹, XIA Zi-qiang¹, GUO Li-dan¹, LI Jie¹, GUO Zhi²

(1. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China;
2. Yellow River Affair Bureau of Taiqian County, Taiqian 457600, China)

Abstract The ecological runoff for Tangnaihai, Toudaoguai, and Huayuankou stations on the main stream of the Yellow River was calculated by the month-by-month minimum ecological runoff calculation method and month-by-month frequency calculation method based on the concept of ecological runoff. According to the rules and characteristics of water and sand coming from the lower Yellow River, no water data, and variation characteristics of water volume flowing into the sea, the ecological problems for different cross-sections of the main stream of the Yellow River were discussed. The result shows that the minimum ecological runoff calculated by month-by-month frequency calculation method meets the requirement of good ecological condition no matter in low-water season or in high-water season.

Key words Yellow River; ecological runoff; river estuary; healthy development