

DOI: 10.13476/j.cnki.nsbtdqk.2021.0098

姚云泽,姜翠玲,万福涛.基于多种水文学方法的滦河典型断面生态基流研究[J].南水北调与水利科技(中英文),2021,19(5):941-949. YAO Y Z,JIANG C L,WAN F T. Research on ecological base flow of classical sections in the Luan River using various hydrology methods[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology,2021,19(5):941-949. (in Chinese)

基于多种水文学方法的滦河典型断面生态基流研究

姚云泽¹,姜翠玲¹,万福涛²

(1.河海大学水文水资源学院,南京 210098;2.承德县水务局,河北 承德 067499)

摘要:利用1980—2016年郭家屯水文站和三道河子水文站逐月流量数据,综合运用QP法、Tenant法、频率曲线法、典型水文频率年法、NGPRP(norther great plains resources program)法、近10年最枯月月平均流量法、TEXAS法等7种水文学方法,根据滦河丰水时段和枯水时段内不同月份径流量的特点,精细划分出相关断面每个月份生态基流取值的上限和下限,对相关断面的生态基流量进行测算和分析,得出三道河子断面生态基流取值1.10~6.06 m³/s为宜,郭家屯断面生态基流取值0.78~5.66 m³/s为宜。用上述确定的生态基流值对2个断面37年的逐月流量进行检验,结果表明:2个断面37年大部分月份生态基流都能得到保证,12月、1月和2月2个断面生态基流保证率相对较低,而对于生态基流保证率低的月份,建议通过合理划分水权、科学调度工程、建立监控体系等措施保障生态用水。

关键词:生态基流;水文学方法;保证率;改善措施;滦河

中图分类号:TV147 文献标志码:A 开放科学(资源服务)标志码(OSID):



河流生态基流是维持河流基本生态功能,防止河道断流、避免水生生物群落遭受不可逆转破坏的河道内最小流量^[1]。经济社会的快速发展对水资源的过度利用,既影响了流域或区域的可持续发展,又一定程度破坏了水生态环境。所以,需要对水资源进行科学核算与调控研究,既保障水资源的可持续利用,又维护河流的健康生命,即研究河流生态基流,保障河道中维持一定的流量^[2]。生态基流的研究,起源于20世纪70年代,经过几十年的发展,生态基流的理论不断丰富,研究的方法也多种多样。常见的生态基流研究方法主要有以下4类^[3]:水文学方法(Tenant法^[4]、7Q10法^[5]、QP法^[6])、水力学方法(湿周法^[7-8]、R2-CROSS法^[6,9-10])、生境模拟法(IFIM法^[11])、整体分析法(BBM法^[12]、ELOHA法^[13])。水文学方法算法简单,在有长系列水文资料的前提下可以快速得到结果,但对水文和生态之

间的响应缺乏考虑。水力学方法考虑了生物栖息地需求,但需要因地制宜地选择研究断面。生态模拟法对明确的指示物种研究生态基流有很好的指向性,但对河流整体的生态基流需求缺乏考虑。整体分析法具有较强的科学性和综合性,但需要大量的数据支持,操作起来难度较大^[3]。

滦河从西北向东南环护京津,是北京和天津重要的、不可替代的水源涵养区和生态支撑区,并担负着向天津市、唐山市供水的重要任务,是京津冀协同发展的重要水资源纽带,研究滦河的生态基流,对保障滦河健康生命,使滦河成为一条有水的河、流动的河、健康的河至关重要,对促进京津冀协同发展、生态环境改善作用重大、意义深远。

在研究河流生态基流进程中,徐伟等^[5]对7Q10法进行了改进,运用降雨径流双累计曲线,划分天然时期和受人类影响时期,选择天然时期降雨系列频率

收稿日期:2021-05-17 修回日期:2021-08-13 网络出版时间:2021-08-17

网络出版地址:https://kns.cnki.net/kcms/detail/13.1430.tv.20210816.1732.006.html

作者简介:姚云泽(1995—),男,河北石家庄人,主要从事水生态环境保护与修复研究。E-mail:im_yyz@outlook.com

通信作者:姜翠玲(1966—),女,山东青岛人,教授,博士,主要从事生态水利研究。E-mail:cljianghu@163.com

90%的年份作为典型年,对典型年应用7Q10法对滦河的生态基流进行了研究,结果认为改进后的7Q10法,比传统的7Q10法更适合研究河流的生态基流。

不同的水文学方法研究生态基流的侧重点不一样,使用单一的水文学方法具有局限性,所以需要多种水文学方法共同分析生态基流。滦河目前的生态基流研究中缺乏多种水文学方法综合分析生态基流,因此采用7种水文学方法对滦河典型断面的生态基流进行演算和分析,确定2个断面的生态基流取值,并提出保证率低情景下的保障建议。

1 研究区域概况

滦河发源于河北省丰宁县西北大滩界牌梁,向西流经张家口沽源县,向北流经内蒙古多伦县,向南流经承德市,经过丰宁、隆化、滦平、双滦区、双桥区、承德县、兴隆、宽城县,汇入潘家口水库,干流全长877 km,流域总面积4.50万 km²。滦河在承德市境内流域面积28 858.20 km²,河长374 km,河道平均纵坡为2.43%。滦河所在的滦河流域气候南北相差也很悬殊,气候类型由寒温带干旱和半干旱气候,过渡到暖温带半湿润气候。承德市滦河流域多年(1956—2014年)平均降雨量为521.40 mm,降水总体趋势自北向南逐渐增加,北部降水量360~480 mm,中部降水量480~600 mm,南部降水量600~760 mm。承德市滦河流域多年(1956—2014年)平均径流量22.34亿 m³,保证率75%、95%的年径流量分别为12.05亿 m³、7.15亿 m³。

根据《河北省水功能区规划》(2004年)、《河北省水功能区划调整报告》(2017年),位于滦河上游的郭家屯至三道河子中间长约100 km的区域为一级水功能区中的保留区,此功能区划分的目标是从宏观上解决水资源开发利用与保护的问题,保障可持续发展。郭家屯和三道河子均设有水文站,郭家屯水文站位于滦河和小滦河交界位置附近,三道河子水文站位于滦河和伊逊河交界位置附近。这2个水文站同时也是滦河上的控制水文站,具有长系列可靠的水文数据。这2个断面具有水文控制断面和水功能区断面的双重属性,可以作为滦河上的典型断面。研究这2个典型断面的生态基流也可为水功能区的水资源开发利用提供参考。因此选择郭家屯断面和三道河子断面,作为滦河生态基流研究的控制断面。

2 研究方法选择

2.1 研究区域数据

搜集的资料主要为1980—2016年郭家屯水文

站和三道河子水文站逐月实测、天然月平均径流量资料。

2.2 径流变化情况分

使用衰减强度这一指标来描述1980—2016年三道河子断面和郭家屯断面实测径流量相对天然径流量的变化情况,径流衰减强度的计算方法为

$$S_i = \frac{T_i - R_i}{T_i} \quad (1 \leq i \leq 37) \quad (1)$$

式中: S_i 为第*i*年的径流衰减强度,%; T_i 为第*i*年的天然年径流量,亿 m³; R_i 为第*i*年的实测径流量,亿 m³。

由式(1)计算出2个断面37年的径流衰减强度见图1和图2。

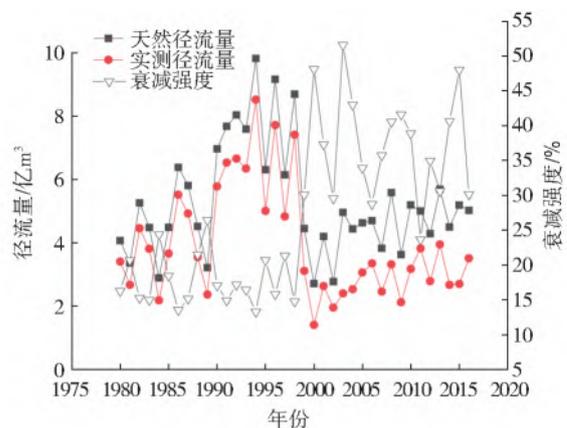


图1 三道河子断面多年天然、实测径流量和衰减强度对比
Fig. 1 Comparison of natural and measured runoff and attenuation intensity of Sandaohezi section for many years

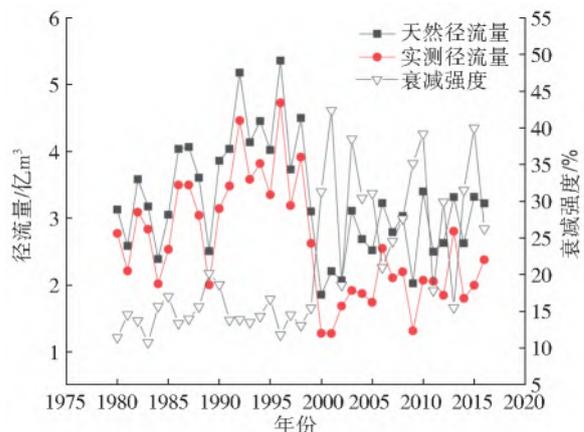


图2 郭家屯断面多年天然、实测径流量和衰减强度对比
Fig. 2 Comparison of natural and measured runoff and attenuation intensity of Guojiatun section for many years

由图1和图2可以看出,1990—2000年滦河上的三道河子断面和郭家屯断面的年径流量较大,在2000年之后2个断面的径流量有所减小。从径流衰减强度来看:在2000年之前,2个断面的径流衰减强度较小,在20%以下;在2000年之后,2个断面的径流衰减强度明显增大,最高达到50%,这种

情况出现的原因是随着经济的快速发展,人们用水的需求也逐步提高,因此2000年之后2个断面的实测年径流量和天然年径流量有一定的差异,年径流的衰减强度也相对较大。考虑到近些年径流衰减强度较大这一情况,选择的生态基流研究方法不宜过于激进,以免得出的生态基流取值过大,加大滦河水资源规划的难度,造成河流生态保护与生活用水的矛盾。

滦河位于中国北方,径流量相对南方来说比较小,但与河北省其他河流的径流量相比,滦河的径流量较大。为了更好地符合滦河径流量的实际情况,以侧重枯水情况下的生态基流研究方法为主,辅助增加侧重平水情况下的生态基流研究方法。

因此QP法、Tenant法(10%)、频率曲线法($P=95\%$)、典型水文频率年法、近10年最枯月平均流量法、TEXAS法这些侧重于研究枯水情况的生态基流的方法在滦河具有很好的适用性。同时可以补充一些侧重研究平水情况下的生态基流研究方法,如Tenant法(30%)、NGPRP(norther great plains resources program)法,在综合分析的时候适当提高滦河的生态基流取值,以便研究得出的生态基流取值与滦河的径流量特点相符。

2.3 研究方法

选择研究生态基流的7种水文学方法分别是:QP法、Tenant法、频率曲线法、典型水文频率年法、NGPRP法、近10年最枯月平均流量法、TEXAS法。

(1)QP法^[14]。由美国7Q10法改进而来,应用于我国的水质污染检测。对每年最枯月天然月均流量进行排频,以指定频率下月平均流量为生态基流,根据《河湖生态环境需水计算规范》(SL/Z 712—2014)相关规定^[14],频率选择为95%。

(2)Tenant法^[4]。用经验公式来确定生态基流,一般取多年平均流量的10%~30%作为生态基流。用Tenant法确定生态基流有着广泛的应用^[15-18],多项研究结果表明:当河道内流量为同时段多年平均流量的60%时,大多数水生生物具有优良的生活条件^[5];多年平均流量的30%能为绝大多数水生生物提供良好的生活条件;多年平均流量的10%是保持河流生态系统健康的最小流量^[6]。Tenant法具体的取值要求见表1。滦河年内较枯时段为1—5月和11—12月,年内较丰时段为6—10月。根据《河湖生态环境需水计算规范》(SL/Z 712—2014)相关规定^[14],水资源短缺、用水紧张的地区,生态基流应在表1“好”之下取值,因此滦河年内较枯时段占同时段多年平均天然流量取值为

10%,年内较丰时段占同时段多年平均天然流量的取值为30%。

表1 河道内生态环境状况对应的流量百分比^[4]
Tab.1 Percentage of flow corresponding to the ecological environment in the river^[4] 单位:%

不同流量百分比对应生态环境状况	占同时段多年平均天然流量百分比(年内较枯时段)	占同时段多年平均天然流量百分比(年内较丰时段)
最大	200	200
最佳	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

(3)频率曲线法^[14]。考虑到了生态基流在年内不同时段取值的差异,以月为尺度对长系列水文资料中的月平均流量进行分析,将每个月份的多年月平均流量值进行排频,构建全年逐月月平均流量曲线,根据《河湖生态环境需水计算规范》(SL/Z 712—2014)相关规定^[14],选择频率95%所对应的天然月平均流量为生态基流。

(4)典型水文频率年法^[18]。研究生态基流时侧重对枯水年份的研究,特枯年份组中径流量最大的年份年内的各月月平均流量应满足生态基流的取值。因此按距平率将长系列水文资料中每一年判定为丰水年、平水年、偏枯水年、特枯水年,选择特枯水年组中年径流量最大的年份为典型年,取典型年内最小天然月平均流量作为生态基流。距平率的公式为

$$E = \frac{Q_i - Q_n}{Q_n} \times 100\% \quad (2)$$

式中: Q_i 为水文站第*i*年的径流量,亿 m^3 ; Q_n 为水文站多年平均径流量,亿 m^3 ; E 为水文站的距平百分率。当 $E > 10$ 时,对应年份为丰水年;当 $-10 \leq E \leq 10$ 时,对应年份为平水年;当 $-20 < E \leq -10$ 时对应年份为偏枯水年;当 $E \leq -20$ 时,对应年份为特枯水年。

(5)NGPRP法^[16]。考虑枯水年、平水年、丰水年的差别,按照距平率将长系列水文资料中的每一年分为丰水年、平水年、枯水年、特枯水年,参考国内多位学者^[16,19-20]的研究成果选择平水年组90%保证率对应的天然月平均流量为生态基流。

(6)近10年最枯月平均流量法^[14]。根据《河湖生态环境需水计算规范》(SL/Z 712—2014)相关规定^[14],选择近10年最枯天然月平均流量的最小值作为生态基流。

(7)TEXAS法^[21]。考虑河流季节变化的因素,

将 50% 保证率下的天然月平均流量的特定比例作为生态基流取值。参考国内多位学者^[17,20,22]的研究成果,选择 50% 保证率下的天然月平均流量的 20% 作为生态基流。

3 分析与讨论

3.1 生态基流分析

按照上面 7 种水文学方法,对滦河郭家屯断面、三道河子断面的生态基流进行研究。三道河子断面逐月生态基流见图 3。

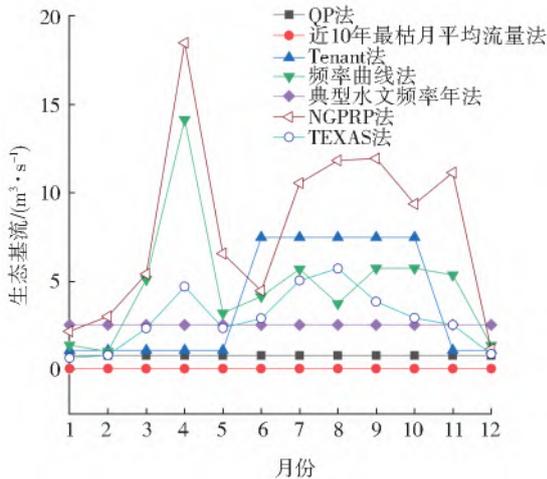


图 3 三道河子断面 7 种水文学方法逐月生态基流
Fig. 3 The monthly ecological base flow diagram of the 7 hydrological methods at the Sandaohezi section

从全年来看,NGPRP 法的计算结果相比其他方法偏大,而近 10 年最枯月平均流量法计算结果最小。按照月份来分析:1 月、2 月和 12 月这 3 个月份由于径流量相对较少,7 种水文学方法计算出的生态基流差距有限;3—11 月径流量相对较大,7 种水文学方法计算出的生态基流差距较为明显。原因是不同的水文学方法侧重考虑的方面有所不同,有些

水文学方法侧重分析枯水时段,而有些水文学方法偏向研究平水时段或者丰水时段。

近 10 年最枯月平均流量法、典型水文频率年法及 Tenant 法(10%)计算的生态流量较为相近,这 3 种方法都侧重于研究枯水年份和枯水月份的生态基流。NGPRP 法偏向更多考虑平水情况和丰水情况下的生态基流。因此,在径流量相对充足的月份,相比近 10 年最枯月平均流量法、典型水文频率年法、Tenant 法有较大差异。

滦河 1 月、2 月和 12 月属于年内的枯水时段,径流量最小,为了保证河流的基本生态系统免遭破坏,生态基流的取值应不低于枯水时段多年平均流量的 10%,同时为了避免用水紧张的情况,生态基流的取值不应超过枯水时段多年平均流量的 20%,即 Tenant 法中的“好”;3—6 月份和 9—11 月份这些月份的径流量有所增大,这些月份在各保证率下的月平均流量也有所增大,此时生态基流取值的上限应适当有所提高,不应高于相应月份在 95% 保证率下的月平均流量,即以频率曲线法为上限,为保证河流生态系统的基本健康,生态基流取值不应低于对应月份所属丰、枯时段多年平均流量的 10%;7 月和 8 月的年内径流量最大,此时生态基流的取值可以适当大一些,应以 Tenant 法中的“好”为上限,即生态基流的取值上限为丰水时段多年平均流量的 40%,下限为在 95% 保证率下的月平均流量。根据不同月份划定的生态基流取值的上下限,取上下限区间的水文学方法生态基流计算结果的平均值作为对应月份的生态基流取值。最后计算出的三道河子水文站逐月生态基流值见表 2。多年月平均流量和逐月生态基流对比见图 4。运用同样的 7 种水文学方法对郭家屯断面的生态基流进行研究,7 种水文学方法的研究成果见图 5 和表 3。

表 2 三道河子断面逐月生态基流

Tab. 2 Monthly ecological base flow table of Sandaohezi section

单位: m³/s

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
生态基流值	1.55	1.10	2.77	4.61	2.29	2.71	6.06	5.64	3.19	2.73	2.53	1.21

从全年来看,NGPRP 法计算出的生态基流值偏高,QP 法和近 10 年最枯月平均流量法计算出的生态基流值偏小,这与三道河子断面的结果类似。

与三道河子断面相比,郭家屯断面的径流量相对较小,而且丰枯时段差异相对较大,因此偏重于枯水时段的计算方法,如 QP 法、近 10 年最枯月平均流量法、频率曲线法这几种方法计算出的生态基流值偏小,而 NGPRP 法更多考虑的是平水年的生态

基流情况,因此计算出的数值普遍偏大。

从整体情况看,除了典型水文频率年法外,其他 6 种水文学方法在枯水时段的生态基流计算结果相差不大,但进入丰水的月份径流量变大,这几种水文学方法的计算结果偏差就开始显现。对于典型水文频率年法,2 个断面的计算成果有些差异,典型水文频率年法在三道河子断面计算出的生态基流值小一些,但是在郭家屯断面计算出的生态基流值偏大。

原因可能是典型水文频率年法虽然选择的是特枯水年作为典型年,但这一典型年内的最枯月平均流量相比其他特枯水年的月平均流量还是偏大,因此典型水文频率年法在全年时段的生态基流计算值相比其他水文学方法的结果偏大。

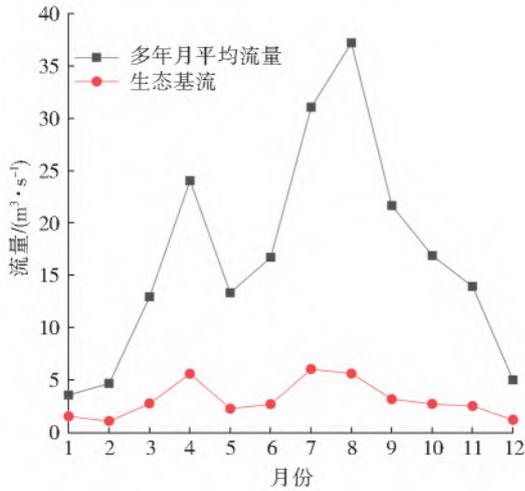


图4 三道河子断面多年月平均流量和生态基流对比
Fig. 4 Comparison of monthly average flow and ecological base flow in Sandaohezi section for many years

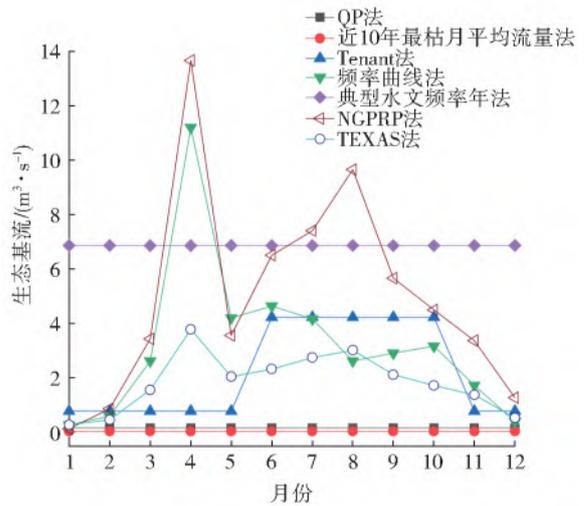


图5 郭家屯断面7种水文学方法逐月生态基流
Fig. 5 The monthly ecological base flow diagram of the 7 hydrological methods at the Guojiatun section

使用三道河子断面相同的方法划出每个月生态基流的上下限,并得出每个月生态基流的取值。按照此方法计算出的郭家屯逐月生态基流见表3。郭家屯断面多年月平均流量和生态基流对比见图6。

表3 郭家屯断面逐月生态基流

Tab. 3 Monthly ecological base flow table of Guojiatun section

单位: m³/s

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
生态基流值	0.78	0.83	1.66	5.66	2.65	3.28	4.20	3.29	2.12	1.72	1.47	1.03

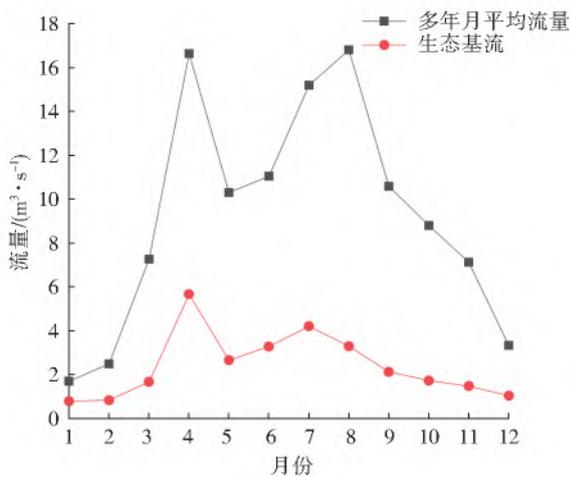


图6 郭家屯断面多年月平均流量和生态基流对比
Fig. 6 Comparison of monthly average flow and ecological base flow in Guojiatun section for many years

3.2 生态基流保证率分析

对三道河子断面、郭家屯断面全年12个月的生态基流保障率,按照式(3)进行逐月分析,得到郭家

屯断面和三道河子断面37年每个月的生态基流保证率,结果见表4、表5和图7。

$$D_i = \frac{T_{bi}}{T_i} \times 100\% \quad (1 \leq i \leq 12) \quad (3)$$

式中: D_i 为第 i 个月份生态基流保证率; T_{bi} 为37年间第 i 个月份满足生态基流的月份数; T_i 为37年间第 i 个月份的总数。

对三道河子断面按照拟定的生态基流进行检验,除1月外其余生态基流的保证率均在89%以上。从全年来看,1月和2月生态基流保证率相对偏低,原因是1月和2月这2个月在历史上曾经多次出现过断流或者径流量极小的情况。

郭家屯断面按照确定的生态基流进行检验,除了1月、2月和12月生态基流保证率大幅偏低外,其他月份的生态基流保证率均在90%以上,原因是郭家屯断面相比三道河子断面径流量偏小,而1月、2月和12月又恰好处在枯水时段,而且在历史上在这3个月有多次断流的情况出现。

表4 三道河子断面逐月生态基流保证率

Tab. 4 Monthly ecological base flow guarantee rate of Sandaohezi section

单位: %

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
保证率	72.97	89.19	97.30	97.30	97.30	100.00	97.30	94.59	97.30	100.00	100.00	97.30

表 5 郭家屯断面逐月生态基流保证率

Tab. 5 Monthly ecological base flow guarantee rate of Guojiatun section

单位: %

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
保证率	56.76	56.76	100.00	97.30	100.00	100.00	94.59	97.30	97.30	100.00	97.30	75.68

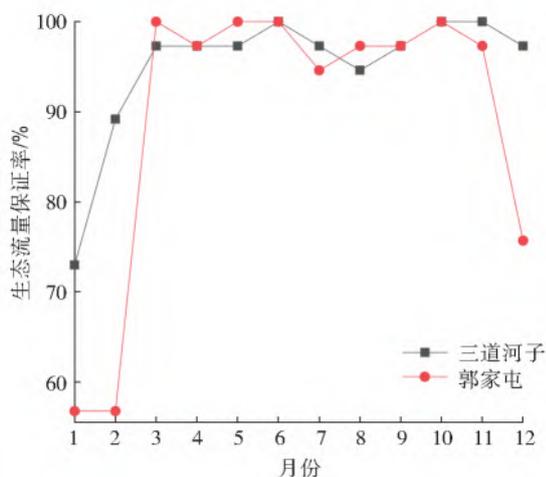


图 7 郭家屯断面和三道河断面逐月生态基流保证率

Fig. 7 The monthly ecological base flow guarantee rates of the Guojiatun section and Sandaohezi section

生态基流的保证率受生态基流取值和相应断面径流量影响,一般来说:生态基流取值越高,则生态基流的保证率有可能降低;当生态基流取值适宜的时候,如果断面在某些时段经常出现断流和径流量较小的情况,则生态基流的保证率也会偏低,此时不宜为了追求生态基流的保证率而降低生态基流的取值,以免无法保护河流生态系统的基本健康。

水文学方法中的频率曲线法更能体现不同月份生态基流取值的差异,所以根据频率曲线法中选择的频率来对生态基流的保障率达标标准进行探讨。《河湖生态环境需水计算规范》推荐频率曲线法的频率宜选择 95%,也可根据需要将频率取值调整为 90%。按照频率曲线法研究生态基流,断面的生态基流保障率可达到 90%或 95%,即生态基流保障率达到 90%或 95%可视为达标。结合滦河水资源量相对较少的实际情况,评价生态基流保障率时宜适当降低达标要求,滦河 2 个断面生态基流保障率达到 90%视为达标,保障率达到 95%视为良好。

用确定的标准评价滦河 2 个典型断面的生态基流达标率,三道河子断面和郭家屯断面 12 月、1 月、2 月的生态基流保障率均不达标,其余月份的生态基流保障率均能达标,丰水时段多数月份的生态基流保障率能达到良好。

4 生态基流保障建议

针对 12 月、1 月、2 月生态基流保障率低的情况,需要提出有针对性的措施来提升这些月份的生态基流保障率。

4.1 合理划分水权

结合河北省第三次水资源评价结果,摸清滦河流域水资源底数,了解流域生活、生产、生态用水情况,掌握水资源开发利用状况,将水资源作为经济社会发展的刚性约束,以水定城,以水定地,以水定人,以水定产,合理确定经济社会发展规模。统筹考虑上下游、左右岸,结合生活、生产、生态,合理划分水权。同时:制定滦河流域水量分配方案;依据流域年度可供水量,制定年度供水水量分配计划;制定生态基流保障方案,明确流域生态保护对象;确定流域生态用水指标,从根本上保障郭家屯-三道河子区间的生态基流。

4.2 科学调度工程

为了维护流域的生态基流,须实施水利工程生态调度,提出水库、闸坝多目标联合优化调度的原则和方式,完善现有水利工程调度运行方案,保障流域生态基流生态用水需求,对需要进行生态补水的重要河段,应明确补水水源、补水时机及补水水量。当前九号尤其是郭家屯断面生态基流出现预警时,要加强上下游水利工程的联合调度,上游通过增加大河口水电站、西山湾水电站和丰宁水电站的下泄流量,下游通过减少潘家口水库、大黑汀水库的下泄流量,满足郭家屯-三道河子区段的生态基流,保障区段生态水量充足,保持河床及沿线湿润,改善河流生态环境。

4.3 建立监控体系

对滦河流域各主要河流控制断面生态基流进行监控,建立生态流量监控管理系统,包括监控中心、监控站点和通信网络,由监控中心收集各河流监控站点实时上传流量、水位、水质指标信息,并对监控站点发送指令,从而实现远程监控。密切监控郭家屯上游的前九号,郭家屯-三道河子区间的波罗诺、韩家营,三道河子下游的承德、下板城等断面生态基流下放相关数据。建立相应的数据库,对上述断面的流量、水位、水质等监测数据,以及下放生态基流

数据,及时汇总、梳理、分析、研判,为生态基流预警提供信息支持,当断面生态基流接近控制值时,及时发出信息预警。

5 结 论

(1) 滦河流域三道河子断面最大生态基流取值 $6.06 \text{ m}^3/\text{s}$,最小生态基流取值 $1.10 \text{ m}^3/\text{s}$;郭家屯断面最大生态基流取 $5.66 \text{ m}^3/\text{s}$,最小生态基流取值 $0.78 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

(2) QP法、频率曲线法、Tenant法(10%)、近10年最枯月平均流量法侧重考虑枯水时段的生态基流,计算出的生态基流值要小一些,在北方水资源量相对较少的区域可优先使用这4种方法;NGPRP法侧重研究平水时段的生态基流,计算出的生态基流值要大一些,适合南方水资源量充足的河流确定生态基流使用。

(3) 滦河1—2月、12月经流量偏小,可能出现无法保证生态基流的情况,此时应采取加强水利工程调度、合理划分水权、建立监控体系等措施保生态基流。

参考文献(References):

[1] 张建永,王晓红,杨晴,等.全国主要河湖生态需水保障对策研究[J].中国水利,2017(23):8-11,15. (ZHANG J Y, WANG X H, YANG Q, et al. Study on safeguard measures of ecological water demand for major rivers and lakes in China[J]. China Water Resources, 2017(23):8-11, 15. (in Chinese)) DOI: 1000-1123(2017)23-0008-04.

[2] 陈昂,隋欣,廖文根,等.我国河流生态基流理论研究回顾[J].中国水利水电科学研究院学报,2016,14(6):401-411. (CHEN A, SUI X, LIAO W G, et al. Review study on instream ecological base flow in China[J]. Journal of China Institute of Water Resources and Hydropower Research, 2016, 14(6): 401-411. (in Chinese)) DOI:1672-3031(2016)06-0401-11.

[3] 董哲仁,张晶,赵进勇.生态流量的科学内涵[J].中国水利,2020(15):15-19. (DONG Z R, ZHANG J, ZHAO J Y. Scientific connotation of ecological flow[J]. China Water Resources, 2020(15):15-19. (in Chinese)) DOI:1000-1123(2020)15-0015-05.

[4] TENNANT D L. Instream flow regimens for fish, wildlife, recreation and related environmental resources[J]. Fisheries, 1976, 1(4): 6-10. DOI: 10. 1577/1548-8446(1976)001<0006:IFRFFW>2. 0. CO;2

[5] 徐伟,董增川,罗晓丽,等.基于改进7Q10法的滦河生

态流量分析[J].河海大学学报(自然科学版),2016,44(5):454-457. (XU W, DONG Z C, LUO X L, et al. Analysis of ecological flow in Luanhe River based on improved 7Q10 method[J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2016, 44(5): 454-457. (in Chinese)) DOI:1000-1980(2016)05-0454-04.

[6] 汪青辽,郝红升,李永.基于 $Q_{(90)}$ 法与R2-Cross法的麻栗坝水库下游河道生态流量研究[J].环境科学导刊,2021,40(1):51-55. (WANG Q L, HAO H S, LI Y. Study on the Ecological discharge of the lower reaches of the Maliba Reservoir based on $Q_{(90)}$ method and R2-Cross Method[J]. Environmental Science Survey, 2021, 40(1):51-55. (in Chinese)) DOI:1673-9655(2021)01-0051-05.

[7] 匡燕鹂,马忠红.用湿周法浅析浏阳河榔梨河段的最小生态流量[J].湖南水利水电,2019(5):90-92,105. (KUANG Y E, MA Z H. Analysis of the minimum ecological discharge in Langli reach of Liuyang River by wet week[J]. Hunan Hydro & Power, 2019(5):90-92, 105. (in Chinese)) DOI: 10. 16052/j. cnki. hnlsls. 2019. 05. 034.

[8] 张叶,魏俊,黄森军,等.基于湿周法的济南山区中小河流生态流量研究[J/OL].人民黄河:1-5[2021-08-19]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/41.1128.TV.20210324.1311.014.html>. (ZHANG Y, WEI J, HUANG S J, et al. Research on ecological flow of small and medium-sized rivers in Jinan areas based on wet cycle[J]. Yellow River:1-5[2021-08-19]. (in Chinese)) <https://kns.cnki.net/kcms/detail/41.1128.TV.20210324.1311.014.html>.

[9] 陈海燕.R2-Cross模式下河道生态栖息地模拟[J].电子测试,2014(22):146-147. (CHEN H Y, The R2-Cross mode of ecological river habitat simulation[J]. Electronic Test, 2014(22):146-147. (in Chinese)). 10. 3969/j. issn. 1000-8519. 2014. 22. 060.

[10] 王蛟龙,郭晓明.基于R2-Cross法计算锦屏二级水电站生态环境需水量[J].吉林水利,2011(8):25-28. (WANG J L, GUO X M, The ecological water demand calculated based on R2-Cross in the second grade hydropower station of Jinping[J]. Jilin Water Resources, 2011(8):25-28. (in Chinese)) DOI:1009-2846(2011)08-0025-04.

[11] 黄亮,许衡,罗昊,等.基于IFIM法的敏感生态需水计算研究:以红水河来宾段为例[J].水利发展研究,2015,15(5):22-27. (HUANG L, XU H, LUO H, et al. Research on calculation of sensitive ecological water demand based on IFIM method: Taking the

- Laibin section of the Hongshui River as an example [J]. *Water Resources Development Research*, 2015, 15 (5): 22-27. (in Chinese) DOI: 10. 13928 / j. cnki. wrdr. 2015. 05. 006.
- [12] 曹文洁. 玉龙喀什水利枢纽工程中生态流量的研究与应用[J]. *水利规划与设计*, 2020(3): 63-66. (CAO W J. Research and Application of ecological flow in Yulong Kashi River water control project[J]. *Water Resources Planning and Design*, 2020(3): 63-66. (in Chinese) DOI: 10. 3969 /j. issn. 1672-2469. 2020. 03. 014.
- [13] POFF N L, RICHTER B D, ARTHINGTON A H, et al. The ecological limits of hydrologic alteration (ELOHA): A new framework for developing regional environmental flow standards[J]. *Freshwater Biology*, 2010, 55(1): 147-170. DOI: 10. 1111/j. 1365-2427. 2009. 02204. x.
- [14] 中华人民共和国水利部. 河湖生态环境需水计算规范: SL/Z 712-2014. [S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2015. (Ministry of Water Resources of the People's Republic of China. Specification of calculation of environmental flow in rivers and lakes: SL/Z 712-2014. [S]. Beijing: China Water & Power Press, 2015. (in Chinese))
- [15] 李红清. 嘉陵江亭子口水利枢纽下游河道生态需水量分析[J]. *人民长江*, 2012, 43(20): 81-84. (LI H Q. Analysis of ecological water demand of downstream river of Tingzikou Hydro-junction on Jialing River [J]. *Yangtze River*, 2012, 43(20): 81-84. (in Chinese) DOI: 10. 16232/j. cnki. 1001-4179. 2012. 20. 012.
- [16] 于松延, 徐宗学, 武玮. 基于多种水文学方法估算渭河关中段生态基流[J]. *北京师范大学学报(自然科学版)*, 2013, 49(Z1): 175-179. (YU S Y, XU Z X, W W. Ecological base flow in the guanzhong reach of the wei river estimated by using different hydrological methods[J]. *Journal of Beijing Normal University (Natural Science)*, 2013, 49 (Z1): 175-179. (in Chinese) DOI: 0476-0301(2013)49: 2/3<175; JYDZSW >2. 0. TX; 2-L.
- [17] 王鸿翔, 张爱民, 郭文献, 等. 基于生态水文法的城市河流生态基流综合评估[J]. *中国农村水利水电*, 2017 (7): 67-71. (WANG H X, ZHANG A M, GUO W X, et al. A comprehensive assessment based on eco-hydrological method for ecological basic flow of urban rivers[J]. *China Rural Water and Hydropower*, 2017 (7): 67-71. (in Chinese) DOI: 1007-2284(2017) 07-0067-05.
- [18] 季小兵, 马玉其, 王新友, 等. 基于 1960—2018 年实测径流与水文学方法的开都河生态流量分析[J]. *水资源与水工程学报*, 2020, 31(6): 17-23, 30. (JI X B, MA Y Q, WANG X Y, et al. Analysis of ecological instream flow of Kaidu River based on hydrological methods and measured runoff data from 1960 to 2018 [J]. *Journal of Water Resources & Water Engineering*, 2020, 31(6): 17-23, 30. (in Chinese) DOI: 10. 11705 /j. issn. 1672-643X. 2020. 06. 03.
- [19] 李凯轩, 李志威, 胡旭跃, 等. 洞庭湖区三口水系生态基流研究[J]. *长江科学院院报*, 2021, 38(8): 19-24. (LI K X, LI Z W, HU X Y et al. Ecological base flow of the three major outlets river in the Dongting Lake area of the middle Yangtze River[J]. *Journal of Yangtze River Scientific Research Institute*, 2021, 38(8): 19-24, (in Chinese) DOI: 10. 11988/ckyyb. 20200549. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/42.1171.TV.20201224.1710.012.html>.
- [20] 韦雨婷, 逢勇, 罗缙. 清河干流生态基流计算分析[J]. *水资源与水工程学报*, 2014, 25(6): 151-155. (WEI Y T, FENG Y, LUO J. Calculation and analysis about ecological baseflow main stream of Qinghe River[J]. *Journal of Water Resources & Water Engineering*, 2014, 25(6): 151-155. (in Chinese) DOI: 10. 11705/j. issn. 1672-643X. 2014. 06. 032.
- [21] MATHEWS JR R C, YIXING B. The TEXAS method of preliminary instream flow assessment[J]. *Rivers*, 1991, 2(4): 295-310. ISSN: 08988048.
- [22] 吴喜军, 李怀恩, 董颖, 等. 基于基流比例法的渭河生态基流计算[J]. *农业工程学报*, 2011, 27(10): 154-159. (WU X J, LI H E, DONG Y, et al. Calculation of ecological basic flow of Weihe River based on basic flow ratio method [J]. *Transactions of the CSAE*, 2011, 27(10): 154-159. (in Chinese) DOI: 10. 3969/j. issn. 1002-6819. 2011. 10. 027.

Research on ecological base flow of classical sections in the Luan River using various hydrology methods

YAO Yunze¹, JIANG Cuiling¹, WAN Futao²

(1. College of Hydrology and Water Resource, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. The Water Resources Bureau of Chengde, Chengde 067499, China)

Abstract: The excessive use of water resources, not only affects the sustainable development of the river basin or region but also

destroys the water ecological environment to a certain extent. Therefore, it is necessary to conduct scientific accounting and regulation research on water resources, which not only guarantees the sustainable use of water resources but also maintains the healthy life of rivers, by studying the ecological base flow of rivers and ensure the maintenance of a certain flow in the river. The Luan River surrounds Beijing and Tianjin from the northwest to the southeast. It is an important and irreplaceable water conservation area and ecological support area for Beijing and Tianjin. It is also responsible for the important task of supplying water to Tianjin and Tangshan. As an important water resource link, the study of the ecological base flow of the Luan River is essential to ensure the healthy life of the Luan River.

The current ecological base flow research of Luan River lacks a variety of hydrological methods to comprehensively analyzing the ecological base flow. Therefore, 7 hydrological methods are used to calculate and analyze the ecological base flow of the typical section of Luan River.

Monthly flow data of the Guojiatun hydrological station and Sandaohezi hydrological station from 1980 to 2016, the QP method, the tenant method, the frequency curve method, the typical hydrological frequency year method, the NGPRP (northern great plains resources program) method, and the driest monthly average flow in the past 10 years are used comprehensively. According to the characteristics of the runoff of different months in the Luan River during the flood period and the low water period, the upper and lower limits of the ecological base flow value of the relevant sections in each month are finely divided. The outcomes show that the ecological base flow value of the Sandaohezi section is from $1.10 \text{ m}^3/\text{s}$ to $6.06 \text{ m}^3/\text{s}$, and the ecological base flow value of the Guojiatun section is from $0.78 \text{ m}^3/\text{s}$ to $5.66 \text{ m}^3/\text{s}$. The monthly flow rate of the two sections for 37 years was tested with the above-determined ecological base flow value. The results showed that the ecological base flow in most months of the two sections for 37 years can be guaranteed. In two sections in December, January, and February the ecological base flow guarantee rate of the section is relatively low.

The maximum ecological base flow at the Sandaohezi section of Luan River is $6.06 \text{ m}^3/\text{s}$, the minimum ecological base flow is $1.10 \text{ m}^3/\text{s}$, the maximum ecological base flow at the Guojiatun section is $5.66 \text{ m}^3/\text{s}$, and the minimum ecological base flow is $0.78 \text{ m}^3/\text{s}$, respectively. The QP method, frequency curve method, Tenant method (10%), the driest month average flow method in the past 10 years, focus on the ecological base flow during the dry period, and the calculated ecological base flow value is smaller. The NGPRP method focuses on the study of ecological base flow during normal water periods, and the calculated ecological base flow value is larger, which is suitable for rivers with sufficient water resources in the south to determine the use of ecological base flow. The ecological base flow guarantee rate of the two sections in December, January, and February are low. Measures such as reasonable division of water rights, scientific dispatching projects, the establishment of a monitoring system should be adopted to ensure the ecological base flow.

Key words: ecological base flow; hydrology method; guarantee rate; improvement measures; Luan River