

DOI: 10.19797/j.cnki.1000-0852.20230154

苏北平原区河流生态水位阈值计算方法适用性研究

程倩倩, 方红远, 李于坤, 李艳明

(扬州大学 水利科学与工程学院, 江苏 扬州 225009)

摘要:针对平原区多数河流缺乏有效的流量资料的情况,研究适用于平原区河流生态水量阈值的计算方法具有重要现实意义。本文对比分析7Q10法、保证率法、湿周法、基于Tennant改进的生态水位法等4种代表性生态水量计算方法与结果,以水文节律、生态水位满足度为判别原则,评价了上述方法的适用性。分析结果显示:(1)在水文节律相应性方面,7Q10法、Q90法、湿周法计算的生态水位值为单一的特定值,无法反映水文节律的天然变化过程;(2)在生态满足度方面,7Q10法的多年平均生态水位的满足度最小;(3)基于Tennant法改进的生态水位法的水文节律模拟效果最好、生态水位满足度最高。研究表明:在选择4种计算方法中,相较于7Q10法、Q90法及湿周法,基于Tennant法改进的生态水位法能较好地满足水文节律相应性和生态水位满足度原则,对平原区河流生态水位(阈值)计算具有一定的适用性。该研究成果可为苏北平原河网区流量资料缺乏型河流生态需水的确定和管理提供有益的参考。

关键词:苏北平原区;河流生态水位;阈值;生态水文

中图分类号:P33;TV11;X143

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2024)02-0074-09

0 引言

生态需水量是在特定时空下维持河流某种生态系统平衡所消耗需水量的总称^[1-3]。平原河网区河道纵横交错^[4-6],多数河流不具备长期监测流量的水文测站,认为用生态水位作为表征河流生态需水的指标更适合^[7]。目前,有关生态需水量的计算方法超过200种^[8-9],主要包括:水文学法、水力学法、栖息地模拟法及整体法。由于整体法和栖息地模拟法对数据的要求较高,在实际中难以实现,因此,国内学者主要采用水文学、水力学开展平原区河流生态水位研究。如方萍等^[10]结合平原河网区河流特征,通过对多种方法比选,认为平原区河流生态水位适合采用基础资料容易获取的保证率法、7Q10法、湿周法进行核算。崔冬梅等^[11]基于周山河的水情特点运用保证率法、湿周法核算了周山河的生态水位。吴玲玲等^[12]依据淮河流域的特征,提出了基于Tennant法改进的生态水位法,为

流量资料缺乏型河流生态需水的研究提供一种新的计算方法。

目前对平原区河流生态水位的研究成果主要集中在采用国外引进的水文学(7Q10法、保证率法)、水力学法(湿周法)进行分析计算,而对于其改进方法如基于Tennant法改进的生态水位法,却鲜少应用。且由于不同计算方法具有不同的适用条件^[13-14],因此需对确定生态水位方法的适用性进行研究^[15]。本文以苏北平原区河流为研究对象,选取具有较长序列历史流量、水位资料的站点,采用基于Tennant法改进的生态水位法、7Q10法、保证率法、湿周法4种方法,从水文节律和生态水位满足度两方面对各方法计算结果进行综合比较,分析各生态水位计算方法在研究区的适用性,进而确定研究区的生态水位阈值,以期探索缺乏流量资料的平原区河流生态需水确定和管理的新思路。

收稿日期:2023-05-06

网络首发日期:2023-12-21

网络首发地址:https://kns.cnki.net/kcms2/detail/11.1814.P.20231220.1314.002.html

基金项目:江苏省水利科技项目(2021050);国家自然科学基金项目(51379181)

作者简介:程倩倩(1999—),女,河南焦作人,主要研究方向为水资源规划与管理。E-mail:1055337255@qq.com

通信作者:方红远(1963—),男,江苏溧水人,教授,博士,主要研究方向为水资源规划与管理。E-mail:hyfang@yzu.edu.cn

1 研究区概况

宿迁市位于江苏省的西北部,下辖宿豫、宿城两区和沭阳、泗阳、泗洪三县。宿迁市位于沂沭泗、淮河的中下游,北与骆马湖相接,南与洪泽湖相邻。江苏省是我国平原面积占比最高的省份,达70%;境内河湖众多,水域面积占比16.9%,是我国典型的平原河网地区^[7]。本文选择江苏省宿迁市内的怀洪新河、濉河、徐洪河为例,分别选取相应河道上的金锁镇、泗洪、双沟3个站点断面进行生态水位的核算研究,以获得平原区河流生态水位管控的决策参考信息。选取的各水文站具体位置及特征值如图1和表1所示。

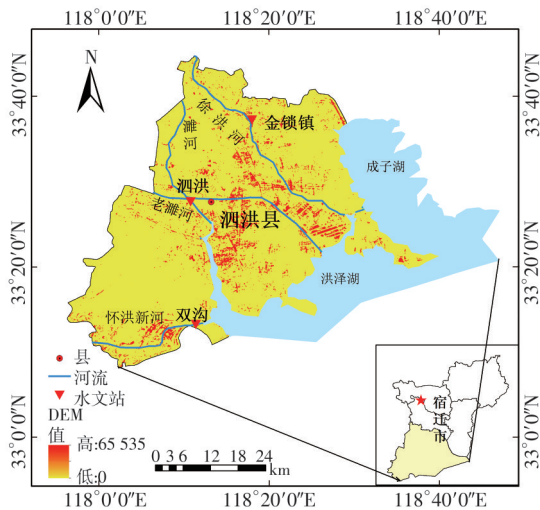


图1 研究区概况示意图
Fig.1 Overview of the study area

2 平原河流生态水位阈值计算

2.1 平原河流生态水位阈值制定原则

制定生态水位阈值的目的是明确河湖生态保护的的要求和目标,在保障河湖生态水位的前提下优化水资源配置结构。因此,应遵循以下原则^[7]。

(1)尊重自然原则。应顺应平原河流的自然规律,基于平原河流的自然水文条件、生态特点,科学合理确

定平原河流的生态保护目标和生态水位阈值。

(2)统筹协调原则。应协调平衡经济社会发展与维持平原河流生态健康的用水需求,统筹“生活”“生产”“生态”三生用水配置,合理确定平原河流生态水位阈值。

(3)分区分类原则。应结合不同区域和类型平原河流的天然水文条件、开发利用状况的差异性、生态保护目标及用水保障的可行性,分区分类确定平原河流生态水位阈值。

2.2 生态阈值计算方法

2.2.1 基于Tennant法改进的生态水位法

Tennant法又称Montana法。该方法将生物栖息地质量与旱季、雨季的河流流量联系起来,并量化为年均流量的百分比^[16];引入年均流量的200%作为最大瞬时流量,年均流量的60%~100%为最佳瞬间流量,年均流量的10%为最小瞬时流量,分别为水生生物提供栖息地质量状态为“最大”“最佳”“差”的生长环境。其中,生物栖息地质量是指维持河道内水生生物(本文研究区主要是本地鱼类和水生植物等)所需的生境条件,主要包括流速、水深、水质状态以及河道其他物理特征。同时,Tennant法基于水生生物不同的生活习性将一年分为枯水期(10月一次年3月)和丰水期(4—9月)。但传统Tennant法时段的划分未考虑到每条河流规划保护的目标和河流水生生物的物种间存在差异,故需根据当地河流水文状况因地制宜进行适当修正。为使划分时段更符合研究区河流的实际情况,本文通过分析研究区内金锁镇、泗洪、双沟3个典型站河道断面的多年月均水位(见图2),基于多年月均水位的年内变化规律划分时段。

由图2可知,金锁镇、泗洪、双沟站年内水位变化呈现冬春高、夏季低的反季相水位变化特征。由图1可知,研究区河流均与洪泽湖相通,参考相关文献^[17],可知这种反季节现象与南水北调东线一期工程的实施有关。该影响造成了低水位发生时间推后至夏季,即呈现月均水位在5—6月不断下降的趋势,故选取5月

表1 研究区内各站信息

Table 1 Information of hydrometric stations in the study area

水文站	地理位置(经纬度)	所属流域水系	起源	流入	境内河底高程/m	境内河道全长/km
金锁镇站	118°32'E, 33°64'N	徐洪河	徐州市东郊京杭大运河		8.4~7.8	55.5
泗洪站	118°23'E, 33°61'N	新、老濉河	徐州云龙湖水库 安徽泗县北浚塘沟	洪泽湖	10.0, 12.6~9.0	19.0, 50.36
双沟站	118°19'E, 33°24'N	怀洪新河	安徽省怀远县何巷闸		10.5	26.13

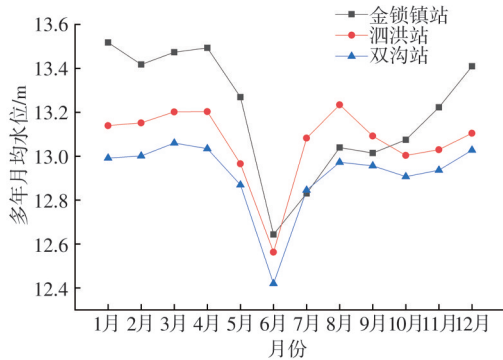


图2 研究区2002—2022年月均水位

Fig.2 Monthly average water level in the study area from 2002 to 2022

为低水位期的开始;之后随着流域内降水不断增加,进入汛期,河道内水位迅速抬升,即呈现月均水位在7—12月不断上升的趋势,故选取7月为高水位期的开始。因此,鉴于研究区河流的实际情况,现将低水位期、高水位期分别确定为5—6月、7月—次年4月(对应于Tennant法中的枯水期、丰水期)。评价标准如表2所示。

表2 Tennant法对栖息地质量的描述与推荐流量标准

Table 2 Description of habitat quality and recommended flow standard by Tennant method

栖息地质量等级	推荐流量标准/%	
	低水位期(5—6月)	高水位期(7月—次年4月)
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

注:推荐流量标准为推荐流量占年均流量百分比。

本研究基于Tennant法利用研究区内长序列流量监测站点资料拟合P-Ⅲ累积频率曲线,再将各站点Tennant法不同栖息地质量的推荐流量代入曲线计算累积频率,以此作为整个研究区内不同栖息地质量下的推荐保证率,再取对应保证率下水位作为生态水位^[12]。具体计算步骤如下:

(1)首先计算分析流量P-Ⅲ型曲线,而后将Tennant法不同栖息地质量下推荐的流量比值变换成相应的保证率。

(2)将多年月均水位 H 按照从大到小的顺序进行

排列,然后拟合月均水位频率曲线。

(3)基于步骤(1)改进Tennant法不同栖息地质量下推荐的流量转换的保证率和步骤(2)拟合的水位频率曲线,确定不同栖息地质量下的水文保证率所对应的水位作为生态水位。

$$H_{F_{\delta}} = H(F_{\delta}) \quad (1)$$

式中: F_{δ} 为水文保证率, $H_{F_{\delta}}$ 为频率分布曲线上对应于某保证率时的水位。

2.2.2 7Q10法

7Q10法为90%保证率下的连续最枯7 d的平均流量,但要求过于严格,因此,国内的学者将其改进为最近10年最枯月平均水位(流量),该方法以近10年河流的最枯月平均水位(流量)的多年平均值作为河流的生态水位(流量)。

2.2.3 保证率法

保证率法来源于7Q10法,但我国在实际运用中对其进行了改进^[18]。该法可根据计算分析得到的最枯月平均水位的P-Ⅲ型分布曲线,选取90%保证率下的最枯月平均水位作为基本生态水位。

2.2.4 湿周法

湿周法是水力学法中计算生态需水最常使用的方法,通过实地采集河道尺寸及水位数据,建立水位-湿周的关系曲线^[7]。在湿周水位关系稳定的情况下,通常河道断面湿周会随着水位的增加而增加,但当大于某临界值时,湿周随着水位的增加而变化缓慢。从生态学角度将这一临界值作为最低生态水位,确定这一临界点的常用方法有斜率法、曲率法。在结合实际情况具体运用中,也可以河流的多年平均水位为基准,其相应的湿周 R ,再取该湿周 R 的80%时对应的水位作为河流的最低生态水位。

2.3 计算方法的评价分析

为进一步分析上述各生态水位计算方法在研究区的适用性,本文分别采用基于水文节律和生态水位满足度进行生态水位阈值计算方法的评价分析。

2.3.1 针对水文节律的数理统计相关分析法

水文节律是指河湖水情周期性、季节性的长期固有变化规律。针对其规律性研究常用的方法有成因分析法、地区综合法、数理统计法^[19]。其中,不同的方法具有不同的目的要求。成因分析法基于观测资料从物理成因上定性研究水文变化的确定性规律;地区综合法运用地区等值线图和经验公式揭示水文变化的地区

分布规律;数理统计法利用概率统计理论对长期观测的资料进行统计计算,以探求其规律性。为定量揭示水文节律的变化情况,故本文利用数理统计法中的相关分析法^[20]分析各生态水位计算方法下的生态水位序列与实测水位序列的相关关系。皮尔逊相关系数 R 的取值范围为 $-1\sim 1$,其中,绝对值越靠近1,相关性越高。

2.3.2 生态水位满足度评价分析

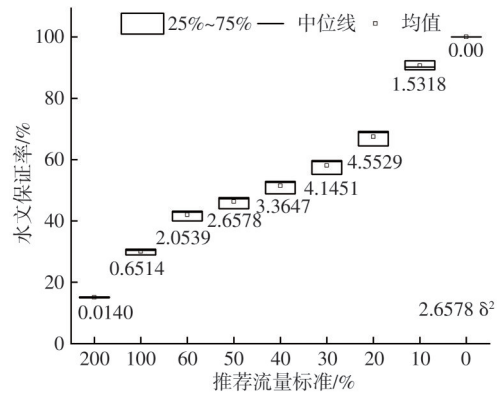
生态水位满足度是指在一定时期内,河道内水位超过生态水位阈值的时间序列长度与总序列时间长度的比值^[21]。上述方法以月平均水位进行生态水位的保障度分析,可以大致反映河流生态系统缺水的实际情况。本文将选取不同时间尺度下的平均水位进行满足度计算,以多角度分析生态水位满足度情况。

3 研究区应用分析

3.1 基于Tennant法改进的生态水位法计算结果

将研究区内金锁镇、泗洪、双沟3个水文站点2002—2022年月均流量的实测资料,采用2.2.1节方法计算,得到Tennant法各水文站不同栖息地质量对应的保证率,对其求平均,将均值作为整个研究区不同栖息地质量对应的推荐保证率。计算结果列于表3。

据表3可知,研究区河流系统栖息地质量状态为“差”时对应的推荐保证率为90.11%,栖息地质量状态为“最佳”时对应的推荐保证率29.98%~41.96%。为验证上述计算结果的合理性,本文对研究区各水文站不同栖息地质量对应的保证率进行四分位图、方差分析,具体见图3。



注:推荐流量标准为200%时的水文保证率即栖息地质量为“最大”时对应的水文保证率。

图3 研究区不同栖息地质量对应的保证率箱型图

Fig.3 The guarantee rate box diagram corresponding to different habitat quality in the study area

由图3可知,不同栖息地质量对应的保证率的四分位数区间存在一定的差异,但方差均小于5%,且推荐流量标准越大,方差越小,表明研究区内的控制断面转换后的保证率的分布相对集中。因此,对3个流量站点变换后的保证率求平均,将均值作为整个研究区内不同栖息地质量对应的推荐保证率是合理可靠。

基于上述确定的整个研究不同栖息地质量对应的推荐保证率,进一步计算研究区各水文站不同栖息地质量对应的生态水位,计算结果如表4所示。

Tennant法常取栖息地质量为“最佳”“中”“差”时对应的水位分别作为适宜生态水位、高水位期最小生态水位、低水位期最小生态水位。由表4可知,基于Tennant法改进的生态水位法推荐金锁镇、泗洪、双沟3个典型站河道断面的适宜生态水位分别为12.46~

表3 各水文站不同栖息地质量对应的保证率及研究区的推荐保证率

Table 3 The guarantee rate corresponding to different habitat quality of each hydrometric station and the recommended guarantee rate of the study area

栖息地质量等级	推荐流量标准/%	低水位期(5—6月)保证率/%				高水位期(7月—次年4月)保证率/%				
		金锁镇站/ A_i	泗洪站/ B_i	双沟站/ C_i	推荐保证率/ P_i	推荐流量标准/%	金锁镇站/ A_i	泗洪站/ B_i	双沟站/ C_i	推荐保证率/ P_i
最大	200	15.22	14.93	14.94	15.03	200	15.22	14.93	14.94	15.03
最佳	60~100	30.77~43.20	30.42~42.85	28.74~39.83	29.98~41.96	60~100	30.77~43.20	30.42~42.85	28.74~39.83	29.98~41.96
极好	40	52.93	52.59	48.70	51.41	60	43.20	42.85	39.83	41.96
非常好	30	59.68	59.36	68.81	58.03	50	47.61	42.85	39.83	46.23
好	20	69.18	68.81	64.29	67.43	40	52.93	52.59	48.70	51.41
中	10	90.19	89.32	90.83	90.11	30	59.68	59.36	68.81	58.03
差	10	90.19	89.32	90.83	90.11	10	90.19	89.32	90.83	90.11
极差	0~10	90.19~100	89.32~100	90.83~100	90.11~100	0~10	90.19~100	89.32~100	90.83~100	90.11~100

注: $P_i=(A_i+B_i+C_i)/3$, i 为不同栖息地质量对应的保证率, P_i 为研究区不同栖息地质量对应的推荐保证率。

13.41 m、12.23~13.41 m、12.26~13.19 m;在高水位期和低水位期的最小生态水位值分别为13.03 m和12.46 m、12.93 m和12.23 m、12.81 m和12.26 m。为验证其计算结果的合理性,本文将基于Tennant法改进的生态水位法推荐的最小生态水位值、适宜生态水位值分别与生物空间需求法的计算结果、研究区的实测水位值进行对比分析。由图1可知,研究区河流均与洪泽湖相通,参考洪泽湖水域及《水电水利建设项目河道生态用水、低温水和过鱼设施环境影响评价技术指南(试行)》,确定鱼类生存的最小水深为0.9 m。将其与研究区各河流断面的河底高程分别相加,得到金锁镇、泗洪、双沟站鱼类生存所需河流的最低水位分别为9.3~8.7 m、10.9 m和13.5~9.9 m、11.4 m。依据实测水位数据可知,在高水位期和低水位期金锁镇、泗洪、双沟站的水位值分别为13.34 m和12.86 m、12.93 m和12.84 m、13.02 m和12.64 m。对比分析基于Tennant法改进的生态水位法的结果,发现基于Tennant法改进的生态水

位法推荐各个水文站的最小生态水位能够满足鱼类生存所需河流的最低水位要求,各个水文站在高水位期、低水位期的实测水位值均在适宜生态水位范围内,表明其计算方法和计算结果是合理可靠的。

3.2 7Q10法计算结果

7Q10法现经学者改进演变为以近10年最枯月平均水位作为河流的生态水位,按照上述方法计算得出的金锁镇、泗洪、双沟站的生态水位分别为11.75 m、11.77 m、11.51 m,具体见表5。

3.3 保证率法计算结果

90%保证率法是指将保证率为90%时的最枯月的平均水位为基本生态水位。根据研究区内的实测月均水位数据,按照上述方法计算得到的金锁镇、泗洪、双沟站的最低生态水位分别为11.60 m、11.58 m、11.46 m,占多年平均水位的比例分别为94.93%、94.92%、94.95%,如表6所示。

表4 研究区各站不同栖息地质量对应的生态水位

Table 4 Ecological water level corresponding to different habitat quality of each station in the study area

栖息地质量等级	金锁镇站		泗洪站		双沟站	
	低水位期/m	高水位期/m	低水位期/m	高水位期/m	低水位期/m	高水位期/m
最大	13.68	13.68	13.75	13.75	13.45	13.46
最佳	13.24~13.41	13.24~13.41	13.20~13.41	13.20~13.41	13.02~13.19	13.02~13.19
极好	13.12	13.24	13.04	13.20	12.90	13.02
非常好	13.03	13.19	12.93	13.13	12.81	12.97
好	12.90	13.12	12.77	13.04	12.68	12.90
中	12.46	13.03	12.23	12.93	12.26	12.81
差	12.46	12.46	12.23	12.23	12.26	12.26
极差	11.21~12.46	11.21~12.46	10.68~12.23	10.86~12.23	11.03~12.26	11.03~12.26

表5 按7Q10法计算各站生态水位

Table 5 The ecological water level of each station by 7Q10 method

水文站	资料系列	系列长度/a	多年平均水位/m	生态水位/m	占平均水位比例/%
金锁镇站			13.20	11.75	89.02
泗洪站	2013—2022年	10	13.06	11.77	90.12
双沟站			12.90	11.51	89.22

表6 按90%保证率法计算各站生态水位

Table 6 The ecological water level of each station by 90% guarantee rate method

水文站	资料系列	系列长度/a	多年平均水位/m	生态水位/m	占平均水位比例/%
金锁镇站			12.22	11.60	94.93
泗洪站	2002—2022年	21	12.20	11.58	94.92
双沟站			12.07	11.46	94.95

3.4 湿周法计算结果

由收集到的研究区内的监测断面的实测资料分析可知,3个水文站的断面有效监测信息分别为2022年3月7日、10日、23日、24日和10月10日、14日、17日,大致分布于高水位期和低水位期,在一定程度上对应了研究区内一年中的河道内水文情势的整体变化特征。根据各次断面实测有效数据,可分别绘制金锁镇、泗洪、双沟站的实测断面图(如图4所示)。

由图5可见,3个水文站的控制断面形状为抛物线形。基于实测大断面的数据计算不同水位下的湿周,进而得到水位-湿周的关系曲线,如图5所示。

现有相关研究表明,在某些断面情况下使用曲率法计算得到的湿周偏小,而斜率法中的斜率因受选取坐标尺度的影响而存在较大的不确定性。故本文选取湿周 R 的80%对应的水位为湿周法计算的生态水位(如表7所示)。由表7可知,利用湿周法计算的金锁镇、泗洪、双沟站的最低生态水位分别为

11.07 m、11.43 m、11.81 m。参考相关文献^[7],平原区河流维持鱼类生境的生态水位常用水力学中的湿周法来进行核算。为验证湿周法计算结果的合理性,将其与生物空间需求法的计算结果对比分析。由3.1节可知金锁镇、泗洪、双沟站鱼类生存所需河流的最低水位分别为9.3~8.7 m、10.9 m和13.5~9.9 m、11.4 m。因此认为金锁镇、双沟站利用湿周法计算的生态水位值分别为11.07 m、11.81 m是合理的,而泗洪站利用湿周法计算的生态水位值偏小,不满足鱼类生存所需河流最低水位的要求,不太适合相应的研究河段。

3.5 不同计算方法适用性评价分析

将上述采用7Q10法、保证率法、湿周法、基于Tennant法改进的生态水位法计算得到的生态水位进行对比分析,发现不同的方法计算出的结果存在较大差异,且每种方法均有各自的局限性。其中,泗洪站利用湿周法计算的生态水位值偏小,为11.43 m,不能

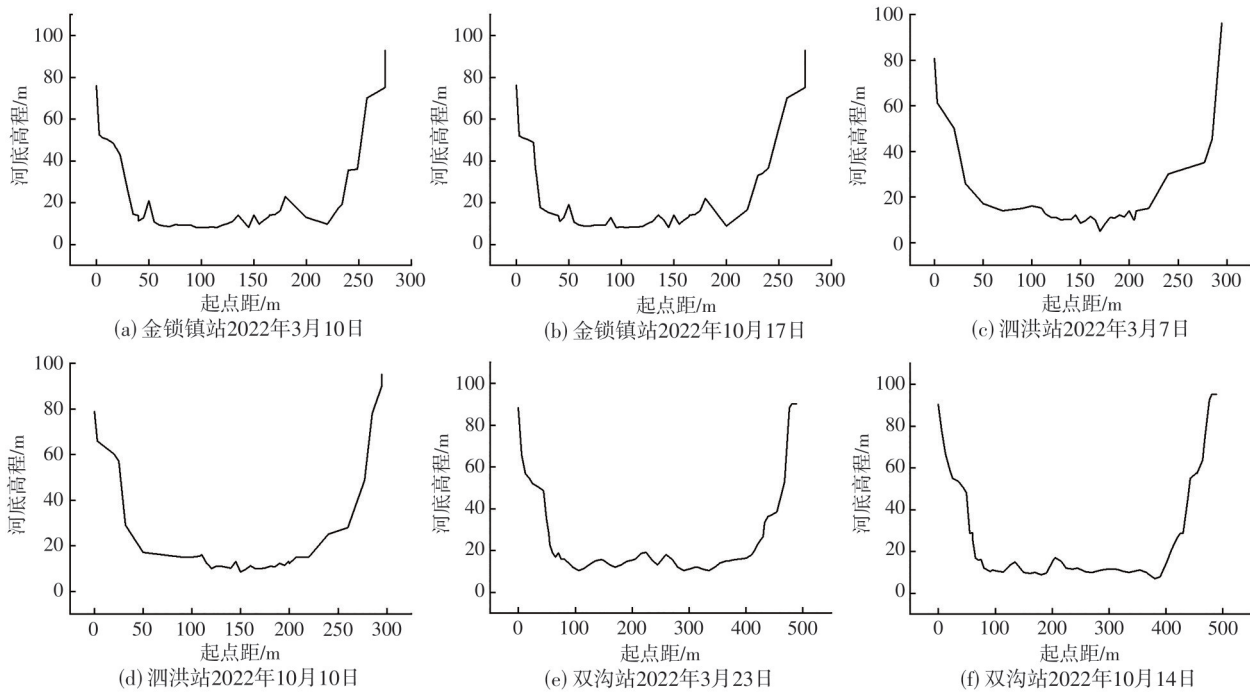


图4 研究区各站实测断面

Fig.4 The measured cross-section of each station in the study area

表7 按湿周法计算各站生态水位

Table 7 The ecological water level of each station by wetted perimeter method

水文站	金锁镇站实测断面		泗洪站实测断面		双沟站实测断面	
日期	2022年3月10日	2022年10月17日	2022年3月7日	2022年10月10日	2022年3月23日	2022年10月14日
生态水位/m	11.07	10.99	11.38	11.43	11.81	11.42

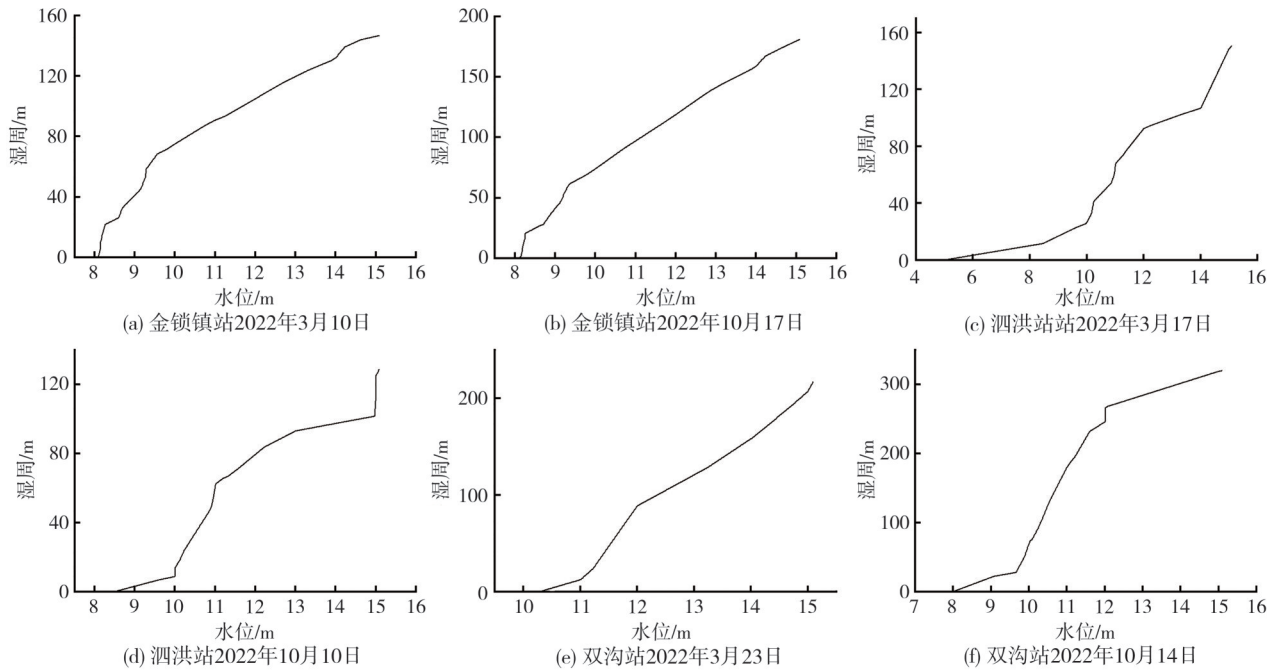


图5 研究区各站水位-湿周关系曲线图

Fig.5 Water level-wet circumference relationship curve of each station in the study area

满足鱼类生存所需的河流最低水位的要求;双沟站利用7Q10法、90%最枯月均水位法计算的生态水位分别为11.51 m、11.46 m,计算结果较为相近,但缺点是没有考虑水量、水生物的季节变化。故为分析上述各生态水位计算方法在研究区的适用性,本文将从水文节律和生态水位满足度两方面进行综合评价分析各方法的特性。

3.5.1 水文节律分析

河流水文节律是其生态系统能量、物质循环的反应,针对其规律性研究有利于维持天然栖息地的水文状态。将基于Tennant法改进的生态水位法、7Q10法、保证率法、湿周法4种计算方法的生态水位过程与实际水位过程进行对比分析,如图6所示。

据图6可知:金锁镇、泗洪、双沟站实测水位在5—6月呈减少趋势,7—12月呈上升的趋势,其中主峰出现在1月或3月,次峰出现在4月。基于峰值分析发现基于Tennant法改进的生态水位法推荐的最大生态水位值在1月份出现,与实测水位峰值出现时间相比,较为接近,其余月份均存在一定水文节律偏差,但在一定程度上反映了水位的季节性变化;7Q10法、90%保证率法、湿周法计算的生态水位值为单一的特定值,无法反映水文节律的天然变化过程。故本文仅对基于Tennant法改进的生态水位法进行相关性分析,进一步定量描述各个水文站基于Tennant法改进的生态水位法的生态水位和实测水位的水文节律模拟情况,其中皮尔逊相关系数 R 越靠近于1,说明拟合效果越好,如表8所示。

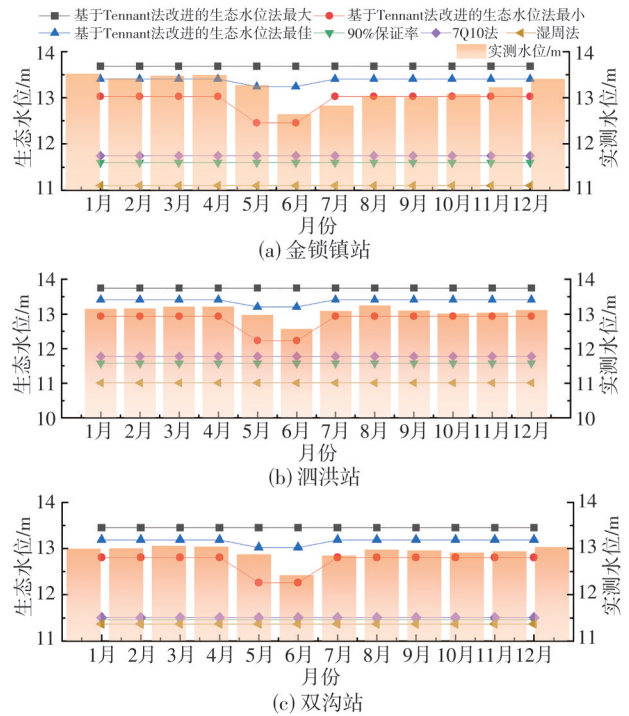


图6 不同计算方法生态水位过程线

Fig.6 Different calculation methods of ecological water level

nant法改进的生态水位法进行相关性分析,进一步定量描述各个水文站基于Tennant法改进的生态水位法的生态水位和实测水位的水文节律模拟情况,其中皮尔逊相关系数 R 越靠近于1,说明拟合效果越好,如表8所示。

表8 各水文站实测水位与生态水位相关系数对比分析
Table 8 Comparative analysis of the correlation coefficient between the measured water level and the ecological water level of each hydrological station

水文站	金锁镇站	泗洪站	双沟站
相关系数	0.423	0.788	0.752

由表8可知,基于Tennant法改进的生态水位法的计算结果水文节律拟合效果较好,其中,金锁镇站的拟合效果最差,相关系数为0.423,泗洪站、双沟站的拟合效果较优,相关系数分别为0.788、0.752。综合分析可知,从模拟水文节律变化的角度来看,基于Tennant法改进的生态水位法在一定程度上能够反映水位的季节性变化;而7Q10法、90%保证率法、湿周法不能反映水文节律的天然变化过程,不适合研究区的相关河段。

3.5.2 满足度分析

对各敏感时段得到的生态水位进行满足程度分析有利于维持河流生态系统的稳定性。将4种方法所得生态水位过程与实际水位过程进行比较,分别从多年平均、汛期、非汛期及鱼类产卵期满足度4个方面分析各计算方法的生态水位满足情况,如图7所示。

据图7可知,在金锁镇、泗洪、双沟3个水文站中7Q10法的多年平均生态水位的满足度最低,低于90%,基于Tennant法改进的生态水位法的多年平均生态水位的满足度最高,达100%;在汛期、非汛期、鱼类产卵期,湿周法的生态水位满足度均最低,小于90%,基于Tennant法改进的生态水位法的满足度最高,达98%以上。而《江苏省“十四五”水利发展规

划》也要求重点河湖生态水位(流量)保障率达到90%以上;因此相对而言,基于Tennant法改进的生态水位法是比较适合于该研究区河流生态水位计算的方法,其计算分析过程及相关结果对苏北平原区河流的生态目标管控与生态需水保障管理等具有一定的决策参考价值。

4 结论

(1)在水文节律模拟方面,基于Tennant改进的生态水位法的拟合效果较好,在一定程度上能够反映水位的季节性变化,其中泗洪站水文节律模拟的效果最好,双沟站次之;7Q10法、Q90法、湿周法计算的生态水位为单一的特征值,不能反映径流天然变化过程,不适用于选择的研究河段。

(2)在满足度分析方面,7Q10法的多年平均生态水位满足度较小;湿周法计算结果在汛期、非汛期、鱼类产卵期的满足度也均较小;从整体分析看,基于Tennant法改进的生态水位法的生态水位在各时期的满足度最高,因此,对选择的平原区研究(或相似)河流而言,采用基于Tennant法改进的生态水位法计算生态水位具有较好的适用性。

(3)基于Tennant法改进的生态水位法确定的苏北平原河流系统栖息地质量状态为“差”“中”“最佳”时对应的推荐保证率,以及3个研究站点河流断面相应的生态水位阈值(范围)具有一定的合理性,该研究结果可为流量资料缺乏的苏北平原区河道生态目标管控与生态需水保障工作提供有价值的参考。

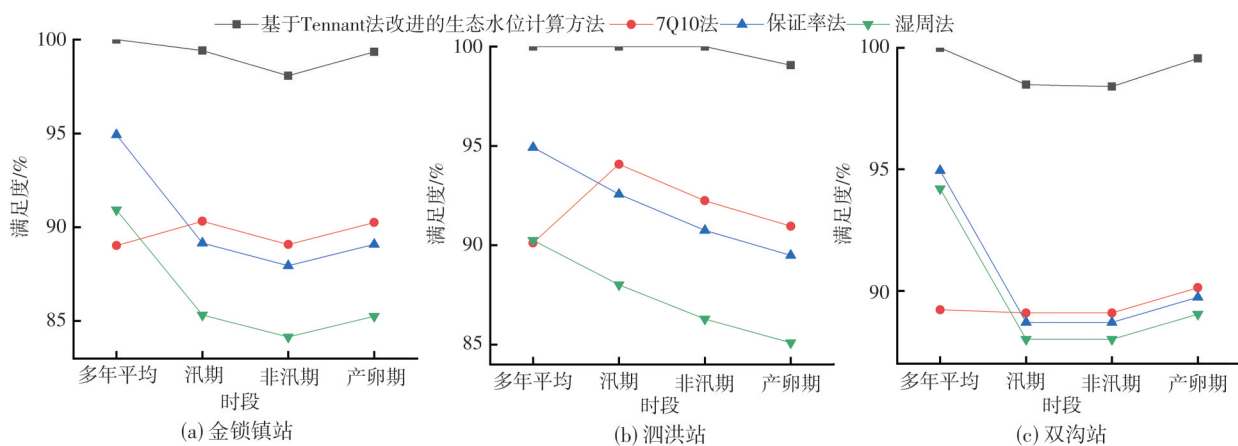


图7 各水文站各敏感时段生态水位满足度

Fig.7 Ecological water level satisfaction of the hydrometric stations in sensitive periods

参考文献:

- [1] 潘扎荣, 阮晓红, 周金金, 等. 河道生态需水量研究进展[J]. 水资源与水工程学报, 2011, 22(4): 89-94.
- [2] 孙栋元, 杨俊, 胡想全, 等. 基于生态保护目标的疏勒河中游绿洲生态环境需水研究[J]. 生态学报, 2017, 37(3): 1008-1020.
- [3] 崔真真, 谭红武, 杜强. 流域生态需水研究综述[J]. 首都师范大学学报(自然科学版), 2010, 31(2): 70-74, 87.
- [4] 袁雯, 杨凯, 吴建平. 城市化进程中平原河网地区河流结构特征及其分类方法探讨[J]. 地理科学, 2007(3): 401-407.
- [5] 王随继, 谢小平, 程东升. 网状河流研究进展述评[J]. 地理科学进展, 2002(5): 440-449.
- [6] 方国华, 张文慧, 郭枫, 等. 基于云模型的平原河流生态系统健康评价[J]. 长江科学院院报, 2023, 40(4): 9-16.
- [7] 中华人民共和国水利部. SL/T712-2021 河湖生态环境需水计算规范[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2021.
- [8] 龙凡, 梅亚东. 基于概率加权FDC法的河流生态需水量计算[J]. 水文, 2017, 37(4): 1-5, 28.
- [9] 丰华丽, 夏军, 占车生. 生态环境需水研究现状和展望[J]. 地理科学进展, 2003(6): 591-598.
- [10] 方萍. 南方平原河网地区生态水量核算方法分区分类适应性研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2021.
- [11] 崔冬梅, 徐秀丽, 周华. 泰州市周山河生态水位研究[J]. 水资源开发与管理, 2023, 9(3): 48-52.
- [12] 吴玲玲, 闫中月, 阮晓红. 基于Tennant法改进的生态水位计算方法研究[J]. 人民长江, 2019, 50(5): 47-51.
- [13] MA L, WANG H, QI C, et al. Characteristics and Adaptability Assessment of Commonly Used Ecological Flow Methods in Water Storage and Hydropower Projects, the Case of Chinese River Basins[J]. Water, 2019, 11(10): 2035.
- [14] 葛金金, 彭文启, 张汶海, 等. 确定河道内适宜生态流量的几种水文学方法——以沙颍河周口段为例[J]. 南水北调与水利科技, 2019, 17(2): 75-80.
- [15] 陈昂, 王鹏远, 吴森, 等. 国外生态流量政策法规及启示[J]. 华北水利水电大学学报: 自然科学版, 2017, 38(5): 5.
- [16] 黄康, 李怀恩, 成波, 等. 基于Tennant方法的河流生态基流应用现状及改进思路[J]. 水资源与水工程学报, 2019, 30(5): 103-110.
- [17] 秦敬岚, 尹心安, 刘洪蕊, 等. 湖泊水位变化对挺水植物影响分析: 以洪泽湖为例[J]. 环境工程, 2020, 38(10): 53-60.
- [18] 马玲, 李润杰, 黄佳盛, 等. 格尔木河生态基流研究[J]. 水力发电, 2022, 48(9): 28-33, 44.
- [19] 郭树贤. 工程水文学技术的研究方法[J]. 河南科技, 2018, 630(4): 81-82.
- [20] 黄艳艳, 赵红莉, 蒋云钟, 等. 雅砻江上游径流及影响因素关系研究[J]. 干旱区地理, 2018, 41(1): 127-133.
- [21] 侯树娟, 高耶. 资水河道内生态需水量研究[J]. 水文, 2019, 39(5): 40-44, 60.

Study on the Applicability of River Ecological Water Level Threshold Calculation Method in Northern Jiangsu Plain

CHENG Qianqian, FANG Hongyuan, LI Yukun, LI Yanming

(College of Hydraulic Science and Engineering, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China)

Abstract: In view of the lack of effective flow data for most rivers in the plain area, it is of great practical significance to study the calculation method of ecological water threshold for rivers in the plain area. In this paper, four representative ecological water quantity calculation methods, such as 7Q10 method, guarantee rate method, wet circumference method and ecological water level method based on Tennant improvement, were compared and analyzed. The applicability of the above methods was evaluated based on the principle of hydrological rhythm and ecological water level satisfaction. The results show that (1) In terms of the correspondence of hydrological rhythm, the ecological water level calculated by 7Q10 method, Q90 method and wetted perimeter method is a single specific value, which cannot reflect the natural change process of hydrological rhythm; (2) In terms of ecological satisfaction, the 7Q10 method has the smallest satisfaction degree of multi-year average ecological water level; (3) The hydrological rhythm simulation effect of the improved ecological water level method based on Tennant method is the best, and the ecological water level satisfaction is the highest. The research shows that among the four calculation methods, the improved ecological water level method based on Tennant method can better meet the principles of hydrological rhythm correspondence and ecological water level satisfaction compared with 7Q10 method, Q90 method and wet perimeter method, and has certain applicability to the calculation of river ecological water level (threshold) in plain area. The results could provide references for the determination and management of river ecological water demand of ungauged area in Northern Jiangsu Plain.

Keywords: Northern Jiangsu Plain; river ecological water level; threshold; eco-hydrology