

DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdtqk.2018.0098

张灿, 刘建卫. 洮儿河河湖连通系统洪水资源利用边界阈值研究[J]. 南水北调与水利科技, 2018, 16(4): 66-73. ZHANG C, LIU J W. Study on the boundary threshold of flood resources utilization in river lake interconnected system of Taoerhe River [J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2018, 16(4): 66-73. (in Chinese)

洮儿河河湖连通系统洪水资源利用边界阈值研究

张 灿, 刘建卫

(大连理工大学 水利工程学院, 辽宁 大连 116024)

摘要: 河湖连通工程的实施为洪水资源的引蓄利用提供了有力保障。洪水引蓄过程中, 安全与效益并重。基于洪水的双重属性, 文章利用 MIKE11 一维水动力学模型及相关的流量、水量计算方法对洮儿河白城境内的河湖连通系统洪水引蓄的安全值以及各受水单元(湖泊、湿地、灌区)的需水量进行了界定。结果表明: 20年一遇及以下量级洪水可保证河道全线安全引水, 河道最大安全流量为 $2\ 140\ \text{m}^3/\text{s}$; 河道三个区间的生态基流分别为 $4.79\ \text{m}^3/\text{s}$ 、 $3.19\ \text{m}^3/\text{s}$ 、 $2.97\ \text{m}^3/\text{s}$; 河道外受水单元需水量上限值为 $9.38 \times 10^8\ \text{m}^3$, 需水量下限值为 $5.60 \times 10^8\ \text{m}^3$ 。河湖连通系统加强了河道内外的水力联系且河道内外供需水相互影响, 边界阈值的确定将为洪水资源利用过程中的调度决策提供重要参考。

关键词: 洪水引蓄; 流量阈值; 需水量阈值; 河湖连通系统; 洮儿河

中图分类号: TV213.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-1683(2018)04-0066-08

Study on the boundary threshold of flood resources utilization in river lake interconnected system of Taoerhe River

ZHANG Can, LIU Jianwei

(School of Hydraulic Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China)

Abstract: The river lake interconnection project provides strong support for floodwater diversion and storage. In this process, security and benefits are equally important. Based on the double attributes of the flood, we used MIKE11 one dimensional hydrodynamic model and the related calculation methods to calculate the safe value of flood storage in the river lake interconnected system and the water demand of wetlands, ponds, and irrigated areas. The results indicated that the gate can open for diversion when the return period of flood events is 20 years or below. The maximum safe flow of the river is $2\ 140\ \text{m}^3/\text{s}$, and the ecological base flow of different segments of the river is $4.79\ \text{m}^3/\text{s}$, $3.19\ \text{m}^3/\text{s}$, and $2.97\ \text{m}^3/\text{s}$ respectively. The water demand of wetlands, ponds, and irrigated areas is $5.60 \times 10^8\ \text{m}^3$ to $9.38 \times 10^8\ \text{m}^3$. The river lake interconnected system has strengthened the hydraulic connection inside and outside the river, and the boundary threshold will provide important reference for the dispatching decision making in the process of flood resources utilization.

Key words: floodwater diversion and storage; discharge threshold; water demand threshold; river lake interconnected system; Taoerhe River

洪水资源利用是通过规划设计, 借助相应工程措施, 将汛期雨水引蓄起来作为一种可用水源的过

程^[1]。其可在一定程度上缓解区域水资源短缺, 改善生态环境, 减轻河道防洪压力, 规避洪水风险。在

收稿日期: 2018-03-14 修回日期: 2018-05-15 网络出版时间: 2018-05-24

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20180522.1113.004.html> 10: 57

基金项目: 国家重点研发计划(2016YFC0400903); 国家自然科学基金(51679026); 中央高校基本科研业务费资助项目(DUT17JC17)

Funds: National Key R&D Program of China(2016YFC0400903); National Natural Science Foundation of China(51679026); Fundamental Research Funds for the Central Universities(DUT17JC17)

作者简介: 张 灿(1993-), 男, 河南南阳人, 主要从事洪水资源利用方面的研究。E-mail: zhangcandlut@163.com

通讯作者: 刘建卫(1978-), 男, 河北深州人, 讲师, 博士, 主要从事水文水资源方面的研究。E-mail: jwliu@dlut.edu.cn

干旱与半干旱区的河流中下游平原,往往通过河系连通补偿控制来实现洪水资源利用^[2],河湖连通工程正是这种利用方式的真实体现。河湖连通工程通过渠系使河道内外建立起水力联系,主河道与河道外的湖泊、湿地、农田共同构成了河湖连通供需水系统^[3-5](见图1)。然而,该系统中各影响因子相互作用、相互制约,且随时空变化而变化^[6];当这些因子的变化超过一定阈限,整个系统将受到影响,甚至失去稳定。这种反映系统由量变到质变或由渐变到突变转折点的指标值,称为边界阈值^[7]。

为使洪水资源最大程度发挥效益,进行洪水引蓄时必须对河道内外有关边界阈值进行界定。在河道内,要以保障防洪安全与河道健康为前提^[2],即应确定洪水量级的上限值,保证河道发生此量级及以下量级洪水时堤防不受威胁,并确定不同量级洪水的可引水量,从而进行安全引水;同时,确定河道生态基流值,保证引水后河道流量不低于此值,从而维持河道生态稳定^[8]。在河道外,既要确保受水单元(湖泊、湿地、灌区)所纳洪水可满足其基本蓄用水需求,又要防止水量过剩,以免带来风险,即应确定受水单元的最大蓄用水量,保证湖泊蓄满,湿地生态系统达到最佳状态,灌区农田得到全面灌溉;同时,确定其最小蓄用水量,保证湖泊水量损失得到补偿,湿地生态系统不失稳,灌区水田得以灌溉。以上阈值的确定,不仅可以增加洪水引蓄的安全性,也使各单元的用水需求得以明确。另外,河道外需水量相对稳定,而河道内由于来水的不确定性致使引水节点

的可引水量也具有不确定性。不同频率来水的可引水量直接关系到河道外需水能否得到满足,反过来,由于受水单元退水能力有限,河道外需水又对河道引水形成制约。因此,也应分析河道内外边界阈值是如何相互影响的。

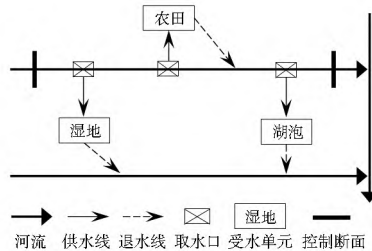


图1 河湖连通系统概化示意图

Fig.1 Schematic layout of the river lake interconnected system

1 研究区域概况

白城市位于吉林省西北部,现辖一区(洮北区)、两县(通榆县、镇赉县)、两市(洮南市、大安市)。此地属于干旱与半干旱区,多年平均降水量408.8 mm,降水主要集中在夏季,约占全年降水量的80%,区域年平均蒸发量约为1840 mm,是降水量的4.5倍^[9]。洮儿河是嫩江的一条支流,自镇西水文站进入白城境内,至月亮泡水库汇入嫩江。蛟流河为洮儿河的一条支流,在洮南城北汇入洮儿河。洮儿河沿线有多处可用于引水的闸坝枢纽,两岸分布有众多湖泊、湿地、农田。由此形成以洮儿河为主干,各闸坝枢纽为控制节点,两岸渠系为分支,湖泊、湿地、农田为受水单元的洮儿河河湖连通系统(见图2)。

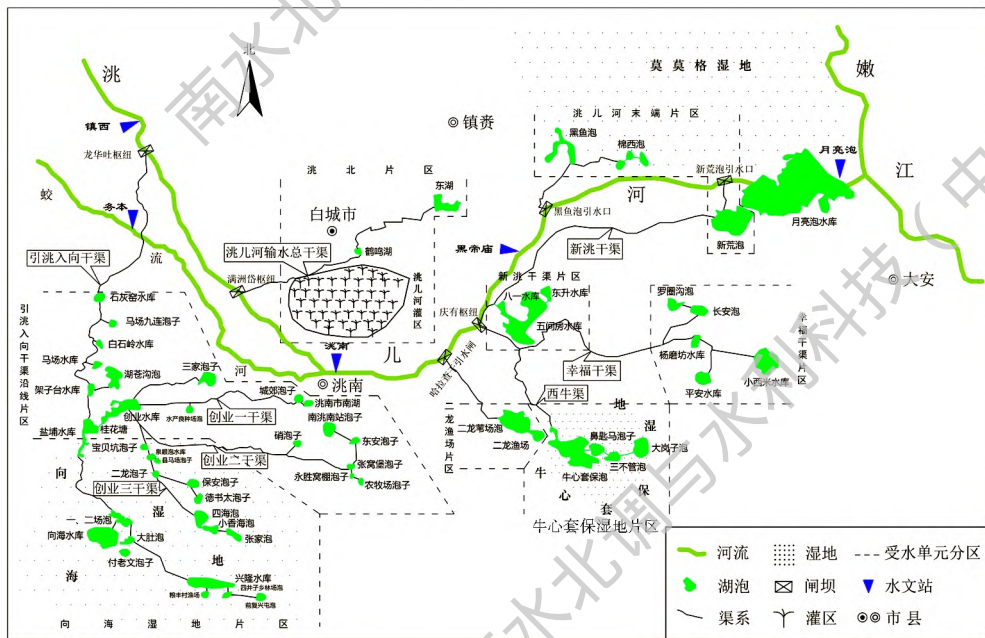


图2 白城地区洮儿河河湖水系连通图

Fig.2 The drainage map of Taoyerhe river basin in Baicheng district

系统中,河道内以洮儿河上游来水为主要水源,河道洪水受闸坝控制经由渠道引向两岸;河道外根据各闸坝枢纽的引水去向,将所有受水单元划分几个片区,分别为引洮入向片区(包括引洮入向干渠沿线片区和向海湿地片区)、洮北片区、二龙渔场片区、幸福片区(包括牛心套保湿地片区和幸福干渠片区)、新洮片区、洮儿河末端片区(包括黑鱼泡片区和新荒泡片区)。系统中有6处引水建筑物,分别为龙华吐枢纽、满洲岱枢纽、哈拉查干引水闸、庆有枢纽(包括幸福干渠引水口和新洮干渠引水口)、黑鱼泡引水口、新荒泡引水口;两处湿地和一处灌区,分别为向海国家级自然保护区、牛心套保国家湿地公园、洮儿河灌区。其中向海湿地多年平均水域面积 60.58 km^2 , 多年平均沼泽面积 311.9 km^2 ; 牛心套保湿地多年平均水域面积 19.14 km^2 , 多年平均沼泽面积 32 km^2 ; 洮儿河灌区设计灌溉面积 379.33 km^2 , 有效灌溉面积 133.33 km^2 , 包括水田 118.10 km^2 , 旱田 15.23 km^2 , 水田主要作物为水稻, 旱田主要作物为玉米。

2 数据与方法

2.1 数据说明

流量数据来源于洮儿河流域主要水文站(镇西、务本、洮南、黑帝庙)1958–2010年的实测流量,降水和蒸发数据来源于中国气象数据网(<http://data.cma.cn/>)通榆气象站和大安气象站1955–2012年的实测逐日降水量及蒸发量;地形数据来源于洮儿河2011年实测河道横断面资料。

2.2 河道内边界阈值计算方法

2.2.1 河道洪水引蓄安全值的确定

本文采用 MIKE11 一维水动力学模型模拟洪水在河道内的演进。其中,水动力模块(HD)为核心模块^[10]; 水工建筑物操作模块可为闸坝枢纽调度的实现提供支持^[11]。本研究选取洮儿河白城境内的镇西水文站至月亮泡水库区间作为目标河段进行洪水演进模拟。模型以镇西水文站(里程0 km)流量过程为上边界条件,以月亮泡水库上游入库断面(里程182.4 km)自动计算的水位流量关系(Q/h)为下边界条件;以目标河段实测横断面数据来反映河道地形;将所有引水建筑物的参数存入河网文件,闸门类型设置为流量类型,控制策略设定为当闸前水位达到某一阈值时,闸门开启引水。建模完成后,分别模拟目标河段不同频率设计洪水。分析河道全线引水情况下,不同频率设计洪水在河道内的演进

变化情况,各断面水位流量变化是否会对堤防造成威胁,从而得出洪水引蓄的安全值以及不同频率设计洪水的引洪结果。

2.2.2 河道生态基流计算方法

河道生态基流是指在特定时间和空间条件下,为最大限度保证河流健康所预留的满足一定水质要求的最小流量^[12]。河道生态基流的计算方法在我国应用较多的是水文学法。水文学法中 Tennant 法可以更好地反映汛期与非汛期的径流变化过程^[13],计算结果较为合理。文中采用该方法计算河道生态基流。

Tennant 法将多年平均流量的百分比作为基流量,具有宏观性指导意义^[14]。研究表明,多年平均径流量的10%是保持河流生态健康的最小流量,多年平均径流量的30%能为大多数水生生物提供较好的栖息条件^[15]。

2.3 河道外边界阈值计算方法

2.3.1 湖泊需水计算方法

对于一般的泡塘,需水的上限值为其最大蓄量减去多年平均蓄量,其需水的下限至少应保证补足多年平均蒸发和渗漏的水量。具体到白城地区,湖泊蒸发损失水量根据多年平均湖泊水面面积及当地蒸发增损分析计算,湖泊渗漏损失量按多年平均库容的5%~15%计算^[16]。

2.3.2 湿地生态需水计算方法

对于沼泽湿地,可将其视为独立的自然综合体^[17]。其水量平衡表达式为:

$$\Delta W = P + R - D - E + \Delta W_g \quad (1)$$

式中: ΔW 为沼泽湿地蓄水量的变化量(mm); P 为降水量(mm); R 为入湿地水量(mm); D 为出湿地水量(mm); E 为湿地水面蒸发量(mm); ΔW_g 为湿地地下水变化量(mm)。公式(1)表示湿地蓄水量的变化量等于进出其水量的代数和。对于一个相对闭合的洼地来讲,进出洼地的水量可视为零,即公式(1)中 $R=0, D=0$ 。在地下水位保持动态平衡的条件下, $\Delta W_g=0$,则公式(1)可以简化为:

$$\Delta W = P - E \quad (2)$$

$$W = (P - E) \times A \times 10^3 \quad (3)$$

为维持湿地的生态环境功能,要求洼地蓄水量不发生变化,即 $\Delta W=0$ 。公式(3)中 A 表示面积(km^2); W 表示沼泽湿地生态需水量(m^3)。

2.3.3 农田灌区需水计算方法

研究区域内农田灌溉需水包括水田和旱田灌溉需水。考虑田间水利用系数和渠系水利用系数,提

出作物的灌溉毛定额^[18],从而得到农田灌溉需水量计算公式。

$$m^* = m / \eta \quad (4)$$

$$W^* = \omega m^* \times 100 \quad (5)$$

式中: m^* 为毛灌溉定额(m^3/hm^2); m 为净灌溉定额(m^3/hm^2); η 为灌溉水利用系数; W^* 为毛灌溉用水量(m^3); ω 为灌溉面积(km^2)。

3 结果讨论

3.1 河道洪水安全值分析

利用 MIKE11 模型分别对镇西-月亮泡河段不同频率设计洪水进行模拟,在洪水演进过程中河道沿线的引水建筑物根据相应的控制策略相继开启引水。模拟结果显示,河道全线引水情况下,20年一遇($2\ 140\ m^3/s$)及以下量级洪水可在河道内安全运行;洪水量级在30年一遇($2\ 630\ m^3/s$)时,河道堤防有5处涉险;洪水量级在50年一遇($3\ 107\ m^3/s$)时,河道堤防有11处涉险,所在断面最高水位超过左岸或右岸堤防高程(表1)。以30年一遇洪水为

例,涉险堤防均位于研究河段的后半段(图3),究其原因,一方面是由于下游堤防存在薄弱环节,另一方面在洮南有蛟流河汇入,增大了河道洪水流量。

表1 全线引水时涉险堤防最高水位统计
Tab.1 The highest water level of risk embankments during water diversion

序号	涉险堤防里程	during water diversion			m	
		20年一遇	30年一遇	50年一遇	左右岸堤防高程	左
1	5 546	210.25	210.47	210.65	219.33	210.47
2	101 832	149.42	149.94	150.32	149.84	151.34
3	108 472	148.69	149.25	149.61	149.49	150.17
4	110 994	148.35	148.85	149.19	148.51	154.11
5	115 419	147.45	147.92	148.23	148.64	148.17
6	118 930	146.90	147.37	147.61	148.09	147.51
7	122 417	146.40	146.85	147.00	152.97	146.47
8	124 807	146.12	146.57	146.65	146.65	146.18
9	139 873	143.42	143.94	144.27	144.06	144.84
10	144 867	143.04	143.61	143.94	143.78	150.14
11	149 145	142.49	143.00	143.31	144.58	142.81

备注:加粗部分表示涉险堤防

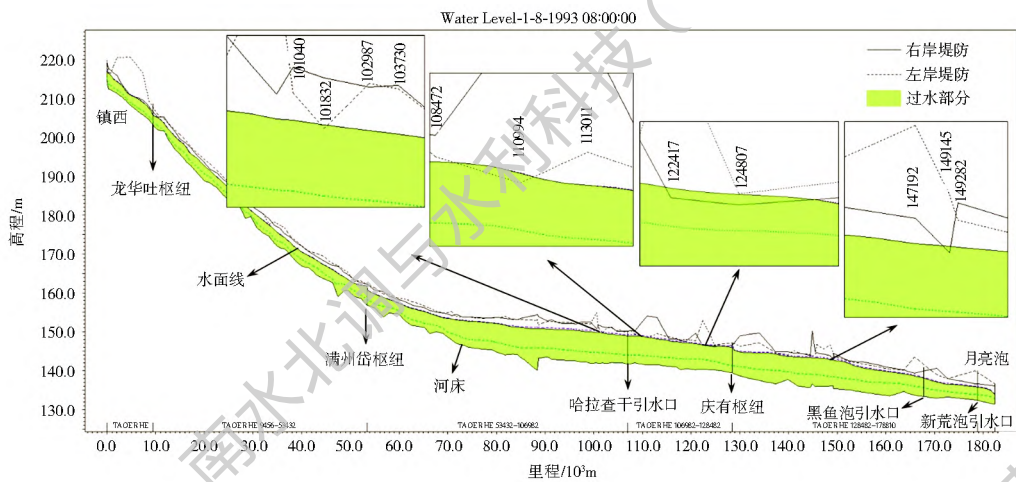


图3 三十年一遇洪水河道纵断面最高水位线

Fig.3 The highest water level of vertical section when the return period of flood events is 30 years

3.2 河道生态基流变化分析

文中选取镇西、黑帝庙、洮南三个水文站 1958-1989年(该时段人类活动影响较小)的径流数据分段计算河道生态基流,计算结果分别作为镇西-满

洲岱段,满洲岱-庆有段,庆有-月亮泡段的生态基流。考虑到该地区对生态恢复的要求,Tennant法计算生态基流时选用多年平均流量的30%。计算结果见表2,图4。

表2 各站 Tennant 方法生态基流计算结果
Tab.2 Ecological base flow at hydrologic stations calculated by Tennant method

水文站	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
镇西	0.39	0.35	0.82	2.40	1.82	4.79	9.89	12.96	11.68	6.16	2.79	0.83
洮南	0.13	0.16	0.72	1.24	2.50	6.51	8.77	9.38	7.95	3.19	1.19	0.28
黑帝庙	0.04	0.03	0.10	0.96	0.82	2.97	7.59	9.13	6.58	3.15	1.29	0.19

由表2、图4可知,Tennant方法计算出的生态基流年内变化趋势与天然水文形势变化一致,合理

地反映了汛期与非汛期径流变化过程。镇西、洮南、黑帝庙非汛期(11月-次年5月)最小生态流量分

别为 $0.35 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $0.13 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $0.03 \text{ m}^3/\text{s}$ ；汛期(6月-10月)最小生态流量分别为 $4.79 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $3.19 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $2.97 \text{ m}^3/\text{s}$ 。因此,在汛期河道引蓄洪水时,为满足整个河段的生态用水需求,应保证镇西-满洲岱段河道生态流量在 $4.79 \text{ m}^3/\text{s}$ 以上,满洲岱-庆有段河道生态流量在 $3.19 \text{ m}^3/\text{s}$ 以上,庆有-月亮泡段河道生态流量在 $2.97 \text{ m}^3/\text{s}$ 以上。

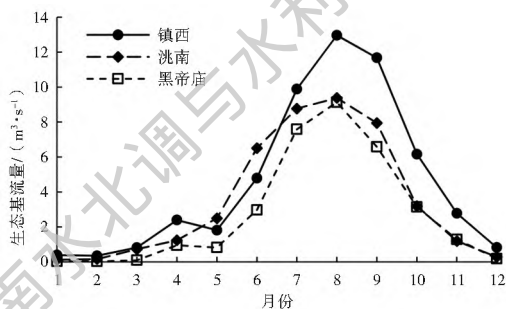


图 4 各站生态基流量过程线

Fig. 4 Ecological base flow hydrographs of hydrologic stations

3.3 湖泊需水分析

湖泊需水按照前述的河道外受水单元分区进行计算。所涉及到的片区有引洮入向干渠沿线片区,洮北片区(洮儿河灌区除外),二龙渔场片区,新洮片区,幸福干渠片区,洮儿河末端片区(图 2)。根据 2.3.1 节方法依次计算出各湖泊的需水量上下限,所有湖泊需水量上限值为 3.96 亿 m^3 ,下限值为 0.86 亿 m^3 ,见表 3。

表 3 湖泊需水量上下限计算结果

Tab. 3 The upper and lower limits of water demand in ponds

分片	多年平均水面面积 / km^2	多年平均蓄水量 / 亿 m^3	最大蓄量 / 亿 m^3	需水上限 / 亿 m^3	需水下限 / 亿 m^3
引洮入向干渠沿线片区	25.74	0.4111	1.7581	1.3470	0.3274
洮北片区	0.75	0.0076	0.0500	0.0424	0.0087
二龙渔场片区	5.60	0.0573	0.8960	0.8387	0.0709
新洮片区	9.67	0.0962	0.3888	0.2926	0.1050
幸福干渠片区	12.27	0.0771	0.3966	0.3195	0.1250
洮儿河末端片区	21.53	0.1373	1.2600	1.1227	0.2249
湖泊需水总和				3.9629	0.8619

3.4 湿地生态需水分析

本研究中所涉及的湿地为向海湿地与牛心套保湿地。选取与二者临近的通榆气象站和大安气象站的降水、蒸发数据为源数据,利用 2.3.2 节方法分别计算湿地枯水年与丰水年的生态需水量,以此作为湿地不同年份的生态需水量参考值。由于篇幅限制,仅以向海湿地的生态需水计算为例进行分析。

3.4.1 降水蒸发特性分析

分析通榆气象站 1955-2012 年 58 年的降水序列可知,降水主集中在 6 月-10 月份。丰水年(25%)全年降水量 507.95 mm,6 月-10 月份降水量占全年的 85%;枯水年(75%)全年降水量 199.59 mm,6 月-10 月份降水量占全年的 93%(图 5)。

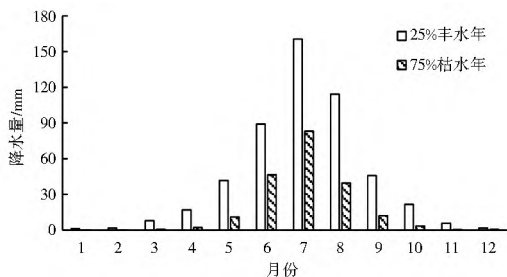


图 5 通榆气象站 1955-2012 年不同频率降水逐月变化过程

Fig. 5 Variation of monthly precipitation at different rainfall frequencies at Tongyu Station (1955-2012)

根据联合国粮农组织推荐的 Penman-Monteith 公式,把 E-601 型蒸发器的实测值乘以系数 0.98 即可作为大水体水面蒸发量^[19]。参照附近扎龙湿地不同水生植物的蒸散系数^[20],结合通榆地区的蒸发量,核算出了向海湿地内植物全年逐月的蒸散发量。在此认为植物非生长期的蒸散发量为 0,生长期(4 月-9 月)蒸散发量为水面蒸发量的 1.14 倍,以植物生长期的蒸散发量作为沼泽的蒸散发量(图 6)。

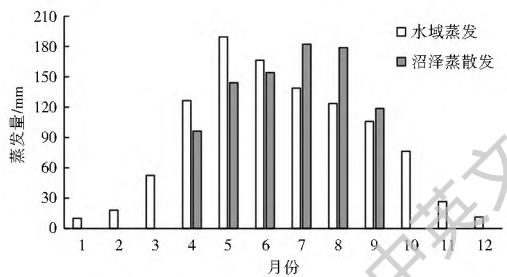


图 6 通榆地区多年平均水面蒸发量与沼泽蒸散发量逐月变化过程

Fig. 6 Variation of multi-year average monthly water surface evaporation and marsh evapotranspiration in Tongyu District

3.4.2 湿地需水特性分析

丰水年(25%)向海湿地总的需水量为 2.42 亿 m^3 ,4 月-9 月份需水量约占全年需水量的 96%。其中,水域需水量为 0.48 亿 m^3 ,1 月-5 月份需水量逐渐增大,5 月份达到最大,之后逐渐减小;沼泽需水量为 1.95 亿 m^3 ,总体呈现波动变化,4 月-9 月份需水量较大,这一时期为植物生长期,5 月份需水量最大,这是由于降水与蒸发的变化不同步造成的,7 月份沼泽需水量在 4 月-9 月份中最低,因为同

期降水量最大。丰水年向海湿地需水过程见图 7。

枯水年(75%)向海湿地总的需水量为 2.98 亿 m^3 , 4 月-9 月份需水量约占全年需水量的 96%。其中,水域需水量为 0.58 亿 m^3 , 其变化趋势与丰水年基本一致;沼泽需水量为 2.40 亿 m^3 , 需水过程大

致可分为几个阶段:3 月-5 月份逐渐增大,5 月-6 月份小幅降低,6 月-8 月份又上升,8 月份达到最大,之后逐渐下降。枯水年向海湿地需水过程见图 8。

同样地,对于牛心套保湿地,丰水年全年需水量为 0.32 亿 m^3 , 枯水年全年需水量为 0.41 亿 m^3 。

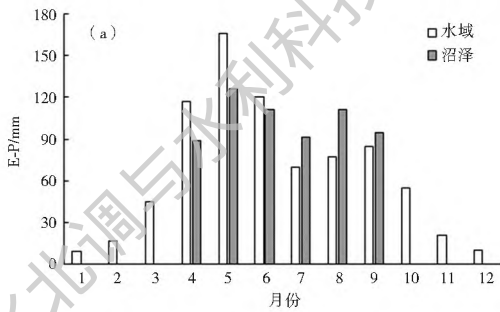


图 7 向海湿地丰水(25%)年需水过程

Fig. 7 Water demand process of Xianghai wetland in wet years

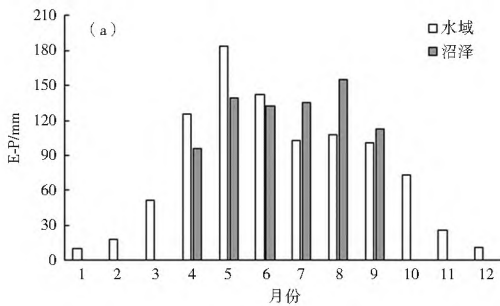
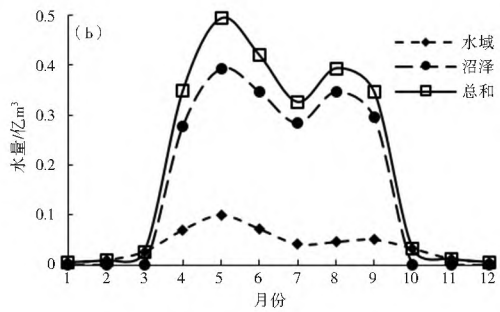
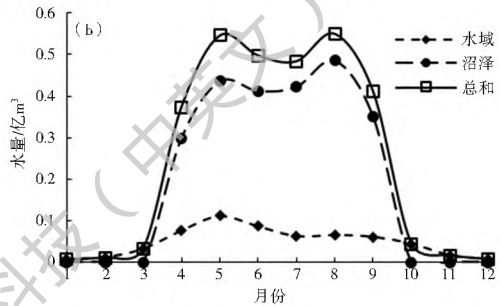


图 8 向海湿地枯水年(75%)需水过程

Fig. 8 Water demand process of Xianghai wetland in dry years



3.5 农田灌区需水分析

本研究中涉及到的灌区为洮儿河灌区,其有效灌溉面积为 133.33 km^2 , 包括水田 118.10 km^2 , 旱田 15.23 km^2 , 水田主要作物为水稻,旱田主要作物为玉米。水稻和玉米的灌溉定额由《吉林省地方标准 DB 22/T 3389-2014》^[21] 查得,灌区渠系水利用系数为 0.65。在此认为灌区需水的上限值以满足全部灌溉需水为目标,下限值以满足水田灌溉为目标。经计算,灌区需水量上限值为 2.03 亿 m^3 , 下限值为 1.99 亿 m^3 。

3.6 河道内外供需水相互影响分析

经过以上分析计算,分别得出了河道引洪的安全量级及流量阈值、河道生态基流值、河道外各受水单元的需水阈值。而就整个系统来讲,河道内外供需水又是相互影响的。河道内各引水口在安全流量以下按照设计标准进行引水的同时应保证河道生态基流,由此计算出不同频率来水条件下各引水口的可引水量。结果显示:3 年一遇及 5 年一遇洪水的可引水量无法完全满足引洮入向片区及洮北片区的需水,其余情况各受水单元的需水完全可以得到满

足(表 4)。再者,基于河道外各受水单元的需水量上下限值,结合引水时长,计算出了与受水片区对应的各引水口的最大、最小引水流量(表 5)。结果显示:计算出的流量值均低于各引水口的设计引水流量,各引水口具备相应的引水能力。

4 结论

河湖连通系统洪水资源利用涉及供需双方,河道内洪水运行安全值决定其能否实现安全引水,不同频率洪水的可引水量决定了各受水单元需水的满足程度,河道外受水单元需水能力的确定又是对河道引水决策的重要反馈。

(1) 河道内,镇西-月亮泡河段在所有引水口均开启进行全线引水的情况下,发生 30 年一遇洪水时,部分堤防涉险,发生 20 年一遇洪水时,河道内可安全行洪,镇西断面入流的安全流量值为 2140 m^3/s ,河道汛期引水时,为维持河道生态,应保证镇西-满洲岱段,满洲岱-庆有段,庆有-月亮泡段的生态流量分别在 4.79 m^3/s 、3.19 m^3/s 、2.97 m^3/s 以上。

表 4 不同频率来水各受水单元满足程度分析

Tab. 4 The satisfaction degree of different water consumers in different frequency floods

亿 m³

受水单元	需水 上限	需水 下限	3 年一遇洪水			5 年一遇洪水			10 年一遇洪水			20 年一遇洪水		
			可引 水量	上限	下限	可引 水量	上限	下限	可引 水量	上限	下限	可引 水量	上限	下限
引洮入向片区	4.33	2.75	1.94	45%	71%	3.17	66%	✓	9.15	✓	✓	9.15	✓	✓
洮北片区	2.07	2.00	0.13	6%	7%	0.63	30%	32%	2.93	✓	✓	2.93	✓	✓
二龙渔场片区	0.84	0.07	1.66	✓	✓	1.81	✓	✓	1.85	✓	✓	1.85	✓	✓
幸福片区	0.72	0.44	1.34	✓	✓	3.23	✓	✓	3.71	✓	✓	3.71	✓	✓
新洮片区	0.29	0.11	0.63	✓	✓	1.51	✓	✓	1.81	✓	✓	1.81	✓	✓
黑鱼泡片区	0.22	0.07	0.40	✓	✓	0.63	✓	✓	0.66	✓	✓	0.66	✓	✓
新荒泡片区	0.90	0.15	2.98	✓	✓	3.13	✓	✓	3.14	✓	✓	3.14	✓	✓

备注：“✓”表示可引水量可完全满足需水

表 5 各引水口引水平均流量计算(基于受水单元需水)

Tab. 5 The average flow of diversion ports (based on the water demand of water consumers)

m³/s

引水口	龙华吐	满洲岱	哈拉查干	幸福干渠	新洮干渠	黑鱼泡	新荒泡
最大流量	41.76	19.99	8.10	6.93	2.82	2.17	8.68
最小流量	26.54	19.28	0.68	4.24	1.01	0.68	1.49
设计流量	100.00	28.00	18.00	37.00	18.00	6.40	30.00

(2) 河道外, 所有湖泡需水量上限值为 3.96 亿 m³, 下限值为 0.86 亿 m³; 湿地生态需水量的上限值为 3.39 亿 m³, 下限值为 2.75 亿 m³; 灌区需水量的上限值为 2.03 亿 m³, 下限值为 1.99 亿 m³。综上, 河道外所有受水单元需水量上限值为 9.38 亿 m³, 下限值为 5.60 亿 m³。

(3) 河湖连通系统中, 主河道与河道外的受水单元均为洪水的承载体, 二者之间相互影响。研究区河道内可引水量基本可满足河道外受水单元的用水需求, 河道外需水量对河道引水能力的要求也均在可实现的范围内。

以上边界阈值是在河湖连通系统规划条件下确定的, 其对区域洪水资源利用方案的制定, 不同目标下的调度决策具有指导意义。未来工程运行阶段, 还应根据系统的实时动态变化对这些阈值做出相应调整, 以便使河湖连通系统更好地发挥作用。

参考文献(References):

[1] 冯峰, 倪广恒, 谢秋皓. 洪水资源生态补偿的消纳量阈值研究[J]. 人民黄河, 2016, 38(12): 83-88. (FENG F, NI G H, XIE Q H. Study on threshold value of ecological compensation of flood resources utilization[J]. Yellow River, 2016, 38(12): 83-88. (in Chinese)) DOI: 10.3969/j.issn.1000-1379.2016.12.019.

[2] 王宗志, 王银堂, 胡四一, 等. 流域洪水资源利用的理论框架探讨: 定量解析[J]. 水利学报, 2017, 48(8): 883-891. (WANG Z Z, WANG Y T, HU S Y, et al. Theoretical framework of floodwater resources utilization in a basin I: Quantitative interpretation[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2017, 48(8):

883-891. (in Chinese)) DOI: 10.13243/j.cnki.slxb.201611100.

[3] 刘加海. 黑龙江省河湖水系连通战略构想[J]. 黑龙江水利科技, 2011, 39(6): F5. (LIU J H. Strategic Vision of connecting river and lake system in Heilongjiang Province [J]. Heilongjiang Science and Technology of Water Conservancy, 2011, 39(6): F5. (in Chinese)) DOI: 10.3969/j.issn.1007-7596.2011.06.002.

[4] 陈睿智, 桑燕芳, 王中根, 等. 基于河湖水系连通的水资源配置框架[J]. 南水北调与水利科技, 2013, 11(4): 1-4. (CHEN R Z, SANG Y F, WANG Z G, et al. Framework of water allocation based on interconnected river system network [J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2013, 11(4): 1-4. (in Chinese)) DOI: 10.3724/SP.J.1201.2013.04001.

[5] 李原园, 黄火键, 李宗礼, 等. 河湖水系连通实践经验与发展趋势[J]. 南水北调与水利科技, 2014, 12(4): 81-85. (LI Y Y, HUANG H J, LI Z L, et al. Practical experience and development trend of the interconnected river system network [J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2014, 12(4): 81-85. (in Chinese)) DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdqk.2014.04.018.

[6] 王世金, 魏彦强. 生态安全阈值研究述评与展望[J]. 草业学报, 2017, 26(1): 195-205. (WANG S J, WEI Y Q. Overview and prospects for ecological safety threshold research [J]. Acta Prataculturae Sinica, 2017, 26(1): 195-205. (in Chinese)) DOI: 10.11686/cyxb2016075.

[7] 陈明忠, 何海, 陆桂华. 水资源承载能力阈值空间研究[J]. 水利水电技术, 2005, 36(6): 6-8, 13. (CHEN M Z, HE H, LU G H. Study on threshold value space of water resources carrying capacity [J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2005, 36(6): 6-8, 13. (in Chinese)) DOI: 10.3969/j.issn.1000-0860.2005.06.002.

- [8] 石永强,左其亭.基于多种水文学法的襄阳市主要河流生态基流估算[J].中国农村水利水电,2017(2):50-54,59.(SHI Y Q,ZUO Q T.The estimation of ecological base flow of main rivers in Xiangyang City based on multiple hydrological methods[J].China Rural Water and Hydropower,2017(2):50-54,59.(in Chinese))
- [9] 刘建卫,许士国,王雪妮.洪水资源利用预案研究—以吉林省白城市为例[J].南水北调与水利科技,2009,7(3):67-70.(LIU J W,XU S G,WANG X N.Research on preplanning of floodwater resources utilization—A case study in Baicheng, Jilin[J].South to North Water Transfers and Water Science & Technology,2009,7(3):67-70.(in Chinese)) DOI: 10.3969/j.issn.1672-1683.2009.03.019.
- [10] 衣秀勇,关春曼,果有娜,等.DHI MIKE FLOOD洪水模拟技术应用与研究[M].北京:中国水利水电出版社,2014,3-4.(YI X Y,GUAN C M,GUO Y N,et al.Application and research of DHI MIKE FLOOD simulation technology[M].Beijing:China Water & Power Press,2014,3-4.(in Chinese))
- [11] 杨洵,梁国华,周惠成.基于MIKE11的太子河观一筏河段水文水力模型研究[J].水电能源科学,2010,28(11):84-87,171.(YANG X,LIANG G H,ZHOU H C.Study on hydrology and hydrodynamic model in Guanying e Shenwo Section of Taizihe River Based on MIKE11[J].Water Resources and Power,2010,28(11):84-87,171.(in Chinese)) DOI: 10.3969/j.issn.1000-7709.2010.11.028.
- [12] 武玮,徐宗学,左德鹏.渭河关中段生态基流量估算研究[J].干旱区资源与环境,2011,25(10):68-74.(WU W,XU Z X,ZUO D P.Ecological baseflow in the Guanzhong reach of the Wei River[J].Journal of Arid Land Resources and Environment,2011,25(10):68-74.(in Chinese)) DOI: 10.13448/j.cnki.jalre.2011.10.034.
- [13] 徐宗学,武玮,于松延.生态基流研究:进展与挑战[J].水力发电学报,2016,35(4):1-11.(XU Z X,WU W,YU S Y.Ecological baseflow: Progress and challenge[J].Journal of Hydroelectric Engineering,2016,35(4):1-11.(in Chinese)) DOI: 10.11660/slfdx.b.20160401.
- [14] 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.
- [15] 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(6):40-411.(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(6):40-411.(in Chinese)) DOI: 10.13244/j.cnki.jjwhr.2016.06.001.
- [16] 谢洪伟.吉林省西部河湖连通工程生态需水量分析计算[J].吉林水利,2016(7):38-40.(XIE H W.Calculation of ecological water demand of river and lake in the west of jilin province [J].Jilin Water Resources,2016(7):38-40.(in Chinese)) DOI: 10.15920/j.cnki.22-1179/tv.2016.07.011.
- [17] 唐蕴,王浩,严登华.向海自然保护区湿地生态需水研究[J].资源科学,2005,27(5):101-106.(TANG Y,WANG H,YAN D H.Wetland ecological water demand in Xianghai natural reserve[J].Resources Science,2005,27(5):101-106.(in Chinese)) DOI: 10.3321/j.issn:1007-7588.2005.05.016
- [18] 梁天雨.内蒙古黄河南岸灌区灌溉水利用效率测算分析与节水改造评价[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2014.(LIANG T Y.The evaluation of irrigation efficiency and water saving reconstruction at the South Bank Irrigation District of the Yellow River in Inner Mongolia[D].Hohehot:Inner Mongolia Agricultural University,2014.(in Chinese))
- [19] 郭生练,王国庆.半干旱地区月水量平衡模型[J].人民黄河,1994(12):13-16.(GUO S L,WANG G Q.Model of monthly water balance in semi arid regions[J].Yellow River,1994(12):13-16.(in Chinese))
- [20] 王昊.芦苇湿地蒸散发测算方法及耗水预测研究[D].大连:大连理工大学,2006.(WANG H.Evapotranspiration monitoring, calculation and water consumption prediction in a reed wetland[D].Dalian:Dalian University of Technology,2006.(in Chinese))
- [21] DB22/T 389-2014,吉林省地方标准:用水定额[S].(DB22/T 389-2014,Local standard of jilin province: water consumption quota[S].(in Chinese))