

DOI:10.16867/j.issn.1673-9264.2023107

胡一栋,郭卫宁,张毅,等.2021—2022年度黄河宁蒙河段凌情特性分析[J].中国防汛抗旱,2023,33(11):52-56.HU Yidong, GUO Weining, ZHANG Yi, et al. Analysis on characteristics of ice conditions in Ningxia-Inner Mongolia Reach of the Yellow River from 2021 to 2022[J]. China Flood & Drought Management, 2023, 33(X): 52-56. (in Chinese)

2021—2022年度黄河宁蒙河段凌情特性分析

胡一栋¹ 郭卫宁² 张毅¹ 沈延青¹ 韩作强²

(1. 青海黄河上游水电开发有限责任公司, 西宁810000; 2. 黄河水利委员会水文局, 郑州450004)

摘要:2021—2022年度凌汛期,黄河宁蒙河段凌情形势总体平稳,主要呈现出流凌期持续时间长、首封日期偏晚、封河流量偏大、封河长度偏短、槽蓄水增量偏少、开河时间偏早、开河凌峰较小等特点。从热力因素、水流动力因素、河道边界条件和水利工程调度4个方面分析了形成上述特点的主要原因。结果表明,气温整体较常年偏高,且偏高程度呈西高东低分布,是造成流凌期持续时间长、首封日期偏晚、封河长度偏短、开河时间偏早的主要原因;较大的封河流量和河道条件的持续改善,使凌汛期河道过流能力增强,在一定程度上抑制了槽蓄水增量的增加,造成槽蓄水增量偏少;科学合理的水利工程调度,为平稳封河、开河创造了有利条件,是做好防凌工作的重要措施。

关键词:黄河宁蒙河段;凌情;气温;流量;河道条件;水利工程调度

中图法分类号:TV875;P339

文献标识码:A

文章编号:1673-9264(2023)11-52-05

0 引言

凌汛作为一种常见的自然现象,是我国冬、春季节大江大河中最突出、最主要的汛情之一,其中以黄河宁蒙河段最为严重,是目前黄河防凌的重点河段,这是由特殊的地理位置、水文气象条件和河道特性决定的^[1]。尤其是近年来,宁蒙河段气温上升趋势明显^[2],河道边界条件发生显著变化,凌情出现了一系列新规律新特点,使防凌工作面临新形势。2021—2022年度,黄河宁蒙河段封河流量和凌汛期上游来水较大,气温整体偏高但波动明显,封河长度偏短,槽蓄水增量较小,虽然开河后期气温回升迅速,但槽蓄水增量均匀释放,没有形成较大凌峰,凌情形势平稳。分析复盘2021—2022年度宁蒙河段凌情特性,并对其进行成因分析,可进一步掌握凌情发展演变规律,为防凌指挥调度提供参考。

1 研究区概况

黄河宁蒙河段位于黄河上游的下段,地处黄河流域最北端,自宁夏中卫市南长滩入境,至内蒙古准格尔旗马栅乡出境,全长1 203.8 km,约占黄河总长的1/5^[3]。宁蒙河段受两岸地形控制,形成峡谷河段与宽河段相间出现的格局,游荡性河段较长,大部分为平原冲积性河道,主流摆动剧烈,变化频繁^[4]。

黄河宁蒙河段流向自西南转向东北,在黄河流域纬度最高处转向东南,是由低纬度流向高纬度的河段^[5],凌汛期气温上游高、下游低,流凌封冻由下游溯源而上,解冻开河则由上而下,结冰期长达3~4个月,大部分为稳定封冻河段,封河、开河期受河道边界条件、气温变化和流量波动的影响,容易形成冰塞、冰坝,发生凌汛灾害^[6]。

收稿日期:2023-04-03

第一作者信息:胡一栋,男,高级工程师,E-mail:daba_syq@126.com。

通信作者信息:郭卫宁,男,高级工程师,E-mail:wn1258@163.com。

基金项目:国家自然科学基金黄河水科学研究联合基金项目“黄河冰凌生消动力学演变机理及冰塞冰坝链生效应研究”(U2243221);青海黄河上游水电开发有限责任公司科技项目“龙羊峡水库冬季优化运用与宁蒙河段封河流量规律研究”(KY-C-2022-SD01)。

据1971—2020年统计资料,黄河宁蒙河段首凌平均日期为11月20日,最早为11月4日(1969—1970年度),最晚为12月4日(2011—2012年度和2018—2019年度);首封平均日期为12月3日,最早为11月13日(1976—1977年度),最晚为12月30日(1989—1990年度);全线开封平均日期为3月25日,最早为3月12日(1997—1998年度),最晚为4月5日(1969—1970年度)。内蒙古河段(巴彦高勒至头道拐)平均槽蓄水增量为 10.1 亿 m^3 ,头道拐水文站开河期平均凌峰流量为 $2\,070 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

2 数据来源

气温资料采用黄河宁蒙河段流凌封河关键区域4个气象观测站的实测数据,由上而下分别为惠农、磴口、包头和托克托气象站。水情、凌情资料采用黄河上游兰州水文站和黄河宁蒙河段石嘴山、巴彦高勒、三湖河口、包头、头道拐5个水文站的实时数据。常年系列除注明外,均采用1971—2020年系列。黄河宁蒙河段地理位置及站点分布见图1。

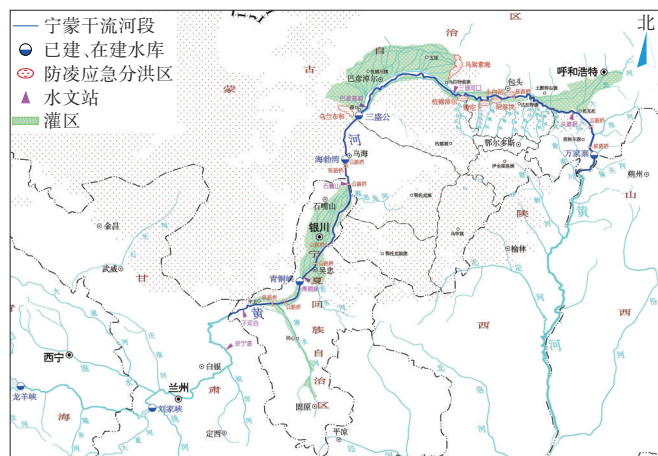


图1 黄河宁蒙河段地理位置及站点分布示意图

3 凌情特点

(1)首凌日期接近常年,流凌期持续时间长,首封日期偏晚,封河流量偏大。2021年11月22日内蒙古三湖河口至头道拐河段出现流凌,首凌日期较常年(11月20日)偏晚2 d。12月16日内蒙古河段土默特右旗贺成全村附近出现首封,首封日期较常年(12月3日)偏晚13 d,为1989年以来最晚。流凌至首封持续25 d,较常年(13 d)偏长12 d。封河流量(包头河段封河前3 d平均流量)为 $827 \text{ m}^3/\text{s}$,较常年($626 \text{ m}^3/\text{s}$)偏大32%。

(2)封河发展前期快、后期慢,封河长度偏短,宁夏河段出现两封两开。2021—2022年度宁蒙河段最大封河长度为637 km(2022年2月8日),较1991—2020年均值(791 km)偏短154 km,较近10 a均值(775 km)偏短138 km,为1991年以来第2短。受气温波动影响,宁夏段出现两封两开现象,第1次封河时间为2021年12月29日至2022年1月26日,最长封冻8 km;第2次封河时间为2022年2月7—13日,最长封冻3 km。

(3)封冻河段冰厚接近常年,冰下过流能力好,槽蓄水增量偏少。2021—2022年度石嘴山至喇嘛湾河段固定冰情巡测断面测量冰厚平均为0.52 m,与2001—2020年均值(0.51 m)基本持平。巴彦高勒至头道拐河段最大槽蓄水增量约 7.6 亿 m^3 ,较常年(10.1 亿 m^3)偏小25%,较近10 a同期均值(10.7 亿 m^3)偏小约29%,头道拐水文断面未出现小于 $350 \text{ m}^3/\text{s}$ 的小流量过程。

(4)开河偏早,开河凌峰较小,开河形势平稳。2021—2022年度宁蒙河段开河期气温整体偏高,开河时间较常年明显偏早,巴彦高勒、三湖河口和头道拐水文站的开通日期分别较常年偏早8 d、9 d和6 d,全河段开通日期较常年偏早7 d。开河期间,头道拐水文站3月14日出现最大凌峰流量 $1\,190 \text{ m}^3/\text{s}$,较常年($2\,070 \text{ m}^3/\text{s}$)偏小43%,开河最大10 d水量约 6.3 亿 m^3 ,较常年(9.9 亿 m^3)偏少36%。

4 成因分析

凌情的发生、发展及演变过程取决于河道走向与形态、水文条件和气象条件等,不同地理位置及影响因素的差异导致冰凌形成和演变特点各有不同,因此影响河流冰情的主要因素有热力条件、水流动力条件、河道边界条件及人类活动影响等^[7]。热力条件是凌汛形成和凌情变化的决定因素,气温是表征冰凌热状况及其变化的主要要素^[8];动力条件是影响凌情变化的又一主要因素,通常以流量的变化来体现;河道边界条件包括河流走向和河道形态,与水力因素联系密切,通过改变水流条件反映,主要影响河道中流冰的卡堵、堆积、结坝等现象;人类活动影响主要包括水库调度、灌区引退水及涉河工程的修建等,在一定程度上也可以改变冰凌的生成及演变过程。

(1)气温较常年偏高,偏高程度西高东低。2021—2022年度凌汛期,黄河宁蒙河段气温较常年略偏高,

2021年11月至2022年3月,惠农、磴口、包头、托克托4个气象站平均气温分别为 -1.0°C 、 -2.1°C 、 -5.2°C 和 -5.2°C ,其中惠农、磴口气象站气温较常年分别偏高 1.8°C 和 1.6°C ,包头、托克托气象站气温与常年基本持平。具体表现为流凌、封河期气温整体偏高,开河初期气温偏低,开河后期气温异常偏高。图2以包头气象站为例展示了2021—2022年度凌汛期旬平均气温的变化情况。

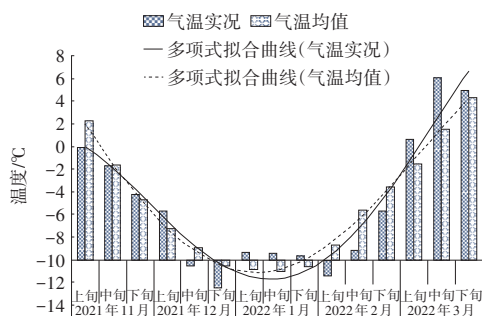


图2 包头气象站2021—2022年度凌汛期旬平均气温变化

流凌封河期,2021年11月中旬至12月上旬,宁蒙河段4个气象站气温较常年均偏高,偏高幅度为 $0.0\sim 3.9^{\circ}\text{C}$,12月中旬,除包头气象站气温较常年偏低 1.6°C 外,其他3个气象站气温较常年偏高 $0.5\sim 2.5^{\circ}\text{C}$ 。气温的持续偏高,造成内蒙古河段首凌后流凌发展缓慢,11月27—29日三湖河口河段流凌甚至曾一度消失,在一定程度上延迟了首封的形成,造成流凌期持续时间长、首封日期偏晚。

封河发展期,2021年12月下旬黄河宁蒙河段4个气象站气温较常年偏低 $0.2\sim 2.1^{\circ}\text{C}$,封河长度发展较快,为 38 km/d ,较近10 a同期均值(30 km/d)偏快27%。2022年1月,正值封河发展的关键时期,全月仅有1次明显冷空气过程,4个气象站气温较常年偏高 $0.8\sim 3.1^{\circ}\text{C}$,尤其是位于封河上首河段的惠农、磴口两站,分别较常年偏高 3.1°C 和 2.7°C ,导致1月封河长度增长缓慢,1月下旬海勃湾水利枢纽以上部分封冻河段甚至出现融冰解冻,1月封河长度仅增长 14.4 km 。2月上旬气温下降,封河长度再次发展,至2月8日达到最大封冻长度 637 km 。

开河期,2022年2月中下旬内蒙古河段气温回升不明显,磴口气象站2月中下旬平均气温分别为 -6.4°C 和 -2.8°C ,分别较常年同期偏低 2.1°C 和 0.3°C 。受此影响,开河前期内蒙古河段开河速度较慢,开河河段主要集中在海勃湾水利枢纽以上河段。2月26日起,气温明显回升,惠农、磴口

气象站日均气温逐步转正,海勃湾以下河段开始融冰开河。3月冷空气势力明显减弱,宁蒙河段气温稳步回升,4站各旬气温较常年持续偏高,其中上旬偏高 $2.1\sim 4.6^{\circ}\text{C}$,中旬偏高 $4.5\sim 7.5^{\circ}\text{C}$,开河速度加快,巴彦高勒、三湖河口、头道拐3个水文站开通日期分别较常年偏早8 d、9 d、6 d。

(2)上游来水多,河道流量大。2021—2022年度凌汛期,黄河上游来水偏丰,兰州水文站2021年11月至2022年3月来水总量(98.46 亿 m^3)与黄河上游龙羊峡水库建库以来均值相比偏多23%,石嘴山、巴彦高勒、三湖河口、头道拐4个水文站来水总量分别为 95.36 亿 m^3 、 78.51 亿 m^3 、 81.45 亿 m^3 、 78.51 亿 m^3 ,与龙羊峡水库建库以来均值相比分别偏多25%、10%、13%、16%。其中兰州、石嘴山水文站各月来水均偏多,巴彦高勒、三湖河口、头道拐3个水文站除3月来水偏少外,其余各月来水均偏多。

2021年11月,内蒙古河段巴彦高勒、三湖河口、头道拐3个水文站月均流量分别为 $618\text{ m}^3/\text{s}$ 、 $683\text{ m}^3/\text{s}$ 和 $613\text{ m}^3/\text{s}$,较龙羊峡水库建库以来均值分别偏多5%、14%和23%;2021年12月,3站月均流量分别为 $781\text{ m}^3/\text{s}$ 、 $671\text{ m}^3/\text{s}$ 和 $601\text{ m}^3/\text{s}$,较龙羊峡水库建库以来均值偏多29%、42%和50%;2022年1月,3站月均流量分别为 $624\text{ m}^3/\text{s}$ 、 $630\text{ m}^3/\text{s}$ 和 $586\text{ m}^3/\text{s}$,较龙羊峡水库建库以来均值偏多26%、32%和44%;2月,3站月均流量分别为 $648\text{ m}^3/\text{s}$ 、 $639\text{ m}^3/\text{s}$ 和 $632\text{ m}^3/\text{s}$,较龙羊峡水库建库以来均值偏多20%、16%和26%。

受黄河宁蒙河段秋浇冬灌的影响,2021年11月中旬三湖河口至头道拐河段流量基本在 $500\text{ m}^3/\text{s}$ 以下,11月19日随着灌区引水逐渐结束,内蒙古河段河道流量增加到 $900\text{ m}^3/\text{s}$ 左右。11月下旬为控制宁蒙河段向设计封河流量过渡,海勃湾水库出库流量按照设计封河流量 $800\text{ m}^3/\text{s}$ 下泄,11月下旬至12月上旬三湖河口至头道拐河段流量基本维持在 $800\text{ m}^3/\text{s}$ 左右,较大的流量也在一定程度上造成了流凌时间长、封河时间偏晚。

(3)河道条件明显改善,凌汛期过流能力增强。2018—2020年,黄河上游连续3年汛期发生持续性洪水,黄河宁蒙河段出现了长历时大流量过程,大部分河段均发生了不同程度的冲刷,河道过流能力明显增大。巴彦高勒、三湖河口、包头和头道拐4个水文站于2018年汛前、2020年汛后和2021年汛后的大断面套绘图,如图3所示。可以看出,与2018年汛前相比,经过3个汛期大水的冲刷,2020年汛后巴

彦高勒、三湖河口和包头3个断面均得到有效冲刷,2021年汛期未出现大流量过程,断面较2020年略有淤积,但仍较2018年汛前有较大冲刷。头道拐断面2020年汛后较2018年汛前河道两侧被冲刷,主槽淤积,过流面积变化不大,2021年汛后有所淤积,过流面积略有减小。

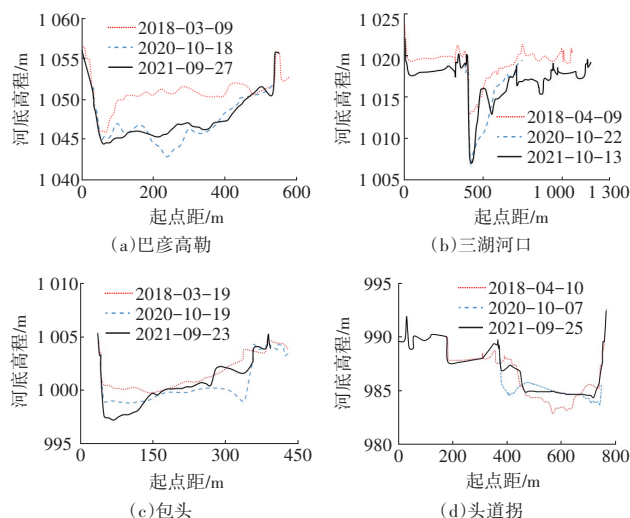


图3 黄河内蒙古河段主要水文站大断面套绘图

从巴彦高勒、三湖河口、包头和头道拐4个水文站的汛期水位流量关系(图4)来看,与2017年汛期相比,巴彦高勒、三湖河口和包头3个断面汛期的同流量水位均明显下降,巴彦高勒断面同流量下水位降低约2 m,头道拐断面水位流量关系变化不大。

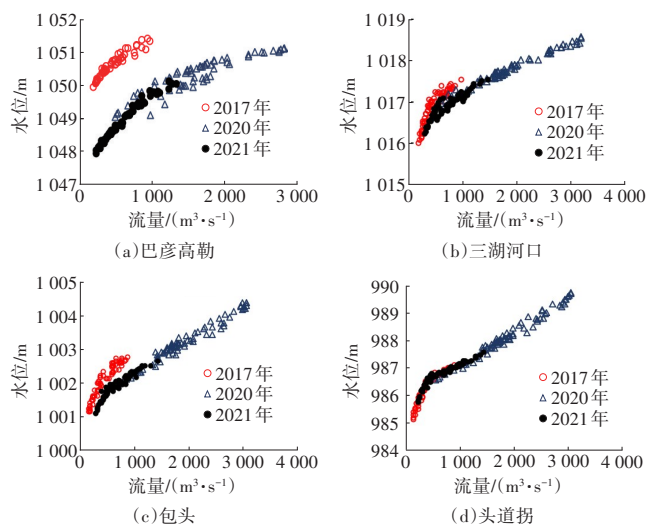


图4 黄河内蒙古河段主要水文站汛期水位流量关系图

2021—2022年度黄河宁蒙河段封河流量为827 m³/s,较常年偏大约200 m³/s,封河前基础水位较高,可在一定程

度上形成较高的封冻期冰盖,从而增加冰下过流面积,有利于河段封冻后过流能力的恢复,避免了因前期冰盖过低,导致封冻河段上游形成冰塞冰坝、壅高水位的风险。

由于宁蒙河段河道条件的改善,以及较大的封河流量,2021—2022年度内蒙古河段冰下过流能力明显增强^[9],为冰水的顺利下泄提供了有利条件,头道拐断面未出现小于350 m³/s的小流量过程,在一定程度上抑制槽蓄水增量的增加。

(4)水利工程调度科学合理,为平稳封河、开河创造了有利条件。凌汛期,按照“上控、中分、下排”的调度原则,根据上游来水、水库蓄水及河段凌情变化,优化黄河上游龙羊峡、刘家峡水库及宁蒙河段海勃湾、万家寨水库的统一调度,为平稳封河、开河创造有利条件。凌汛初期加大水库出库流量,在满足宁蒙河段秋浇和冬灌用水需求的同时,为刘家峡水库预留足够的防凌库容;封河期,精细调控刘家峡、海勃湾水库出库流量,维持适宜的封河流量,内蒙古河段基本按预案流量封河;稳封期,保持出库流量平稳,避免槽蓄水增量过大及过快增长;开河期,2月下旬开始压减刘家峡水库出库流量,3月上旬进一步压减至350 m³/s,海勃湾水库水位降至1 073.50 m,腾出应急防凌库容,并在进入开河关键阶段进一步压减出库流量拦蓄上游来水。2022年3月3日巴彦高勒水文断面开河后,3月4日10时开始逐步启用河套灌区和乌梁素海、乌兰布和、小白河分洪区及南岸总干渠进行应急分凌,3月18日分凌结束,总计分滞凌水2.52亿m³,巴彦高勒水文站3月上旬、中旬平均流量分别为347 m³/s和209 m³/s,大大减小了后续开河动力,避免了过大的水流动力与3月中旬异常偏高的气温遭遇,为内蒙古河段槽蓄水增量平稳释放创造有利条件,确保“文开河”。同时,万家寨水库自2022年1月17日起逐步降低库水位,2月25日进入稳定开河阶段后,控制库水位不超过970.00 m,水位最低降至966.06 m,避免库尾冰凌壅水顶托上游水位,为凌水下泄创造了有利条件。

5 结 语

(1)2021—2022年度凌汛期,在气温、上游来水、河道条件及水库调度等综合影响下,宁蒙河段凌情形势总体平稳,主要呈现出流凌期持续时间长、首封日期偏晚、封河流量偏大、封河长度偏短、槽蓄水增量偏少、开河时间偏早、

开河凌峰较小等特点。

(2)2021—2022年度黄河宁蒙河段气温较常年整体偏高,其中流凌、封河期气温明显偏高,且偏高程度呈西高东低分布,开河初期气温略偏低,开河后期气温异常偏高,造成流凌期持续时间长、首封日期偏晚、封河长度偏短、开河时间偏早。

(3)2021—2022年度黄河宁蒙河段来水偏多,可能会形成较大的槽蓄水增量,但由于封河发展期气温偏高,影响河道内冰的形成,封河长度偏短,同时较大的封河流量和河道条件的改善,有利于冰下过流能力的恢复,在一定程度上抑制了槽蓄水增量的增加,造成槽蓄水增量偏小且分布均匀。

(4)水利工程调度是做好黄河防凌工作的重要措施,流凌封河维持适宜的封河流量,稳封期稳定河道流量及封冻冰盖厚度,开河期拦蓄上游来水,分滞凌水,为槽蓄水增量平稳释放创造有利条件,确保凌情平稳。

参考文献

[1] 王仲梅,任艳粉,杨丹.黄河宁蒙河段凌汛灾害预警指标体系研究[J].

人民黄河,2021,43(7):45-50.

[2] 韩作强,张一兵,高佳,等.黄河宁蒙河段凌汛期气温趋势变化及成因研究[J].人民黄河,2021,43(S1):16-18.

[3] 张晓华,郑艳爽,张防修,等.减缓宁蒙河道泥沙淤积方案及效果研究[J].人民黄河,2022,44(4):20-24,30.

[4] 苗平,慕红伟,宋伟华,等.黄河内蒙古段河道演变特点分析[J].人民黄河,2020,42(S1):4-6,13.

[5] 陈银太,张末,杨会颖,等.2019—2020年度黄河凌情及防御措施[J].中国防汛抗旱,2020,30(5):13-17.

[6] 刘吉峰,霍世青.黄河宁蒙河段冰凌预报方法研究[J].中国防汛抗旱,2015,25(6):6-9,13.

[7] 郭立兵,周跃华,田福昌,等.黄河宁蒙段凌汛致灾影响因素及灾害演变特点[J].人民黄河,2020,42(2):22-26,33.

[8] 陈冬伶,刘兴畅,韩作强.2018—2019年度黄河宁蒙河段凌情特点及成因[J].人民黄河,2020,42(12):36-40,60.

[9] 陈冬伶,芦璐,颜亦琪.黄河内蒙古河段大流量封河的利与弊[J].水文,2021,41(5):7-12.

Analysis on characteristics of ice conditions in Ningxia-Inner Mongolia Reach of the Yellow River from 2021 to 2022

HU Yidong¹, GUO Weining², ZHANG Yi¹, SHEN Yanqing¹, HAN Zuoqiang²

(1. Qinghai Huanghe Hydropower Development Co., Ltd., Xining 810000; 2. Hydrology Bureau, YRCC, Zhengzhou 450004)

Abstract: During the ice-flood season from 2021 to 2022, the ice conditions in Ningxia and Inner Mongolia reach of the Yellow River is generally stable, mainly characterized as follows: long duration of ice-run, late appearance of the first freezing-up date, large discharge of freezing-up, short length of freezing-up, small increment water storage, early break-up date and small ice flood peak. The main influencing factors of the above characteristics are analyzed from four aspects: thermal and hydrodynamic factors, river boundary conditions and water regulation. The results show that: the main reason for long duration of ice-run, late appearance of the first freezing-up date, short length of freezing-up and early break-up date is that the overall temperature is higher than normal, and the distribution higher in the west and lower in the east; large discharge of freezing-up and continuous improvement of river channel conditions have enhanced the flow capacity during the ice flood season, which inhibited the increase of increment water storage in river channel to a certain extent, resulting in less increment water storage in river channel; the scientific and reasonable regulation of water projects has created favorable conditions for the steady freezing-up and break-up, which is an important measure in ice prevention.

Keywords: the Yellow River; ice conditions; temperature; discharge; river conditions; water project regulation

责任编辑 张心怡