

DOI: 10.19797/j.cnki.1000-0852.20200289

黄河内蒙古河段大流量封河的利与弊

陈冬伶, 芦璐, 颜亦琪

(黄河水利委员会 水文局, 河南 郑州 450004)

摘要:分析了内蒙古河段封河流量与凌汛期水位、头道拐站小流量过程、冰下过流能力及槽蓄水增量的关系,总结了内蒙古河段大流量封河年份凌灾成因。结果表明:封河流量越大,凌汛期水位壅高越小,头道拐站小流量过程持续时间越短,冰下过流能力越好,槽蓄水增量越小;在缺乏凌汛期水库调度的情况下,封河流量越大,发生凌灾的风险越高;在对整个凌汛期来水进行科学调度,加强封开河期河道流量控制的情况下,大流量封河不仅可以提高上游梯级电站发电效益,还可以提高冰下过流能力,减小冰塞风险,为后期水库防凌调度争取主动。因而提出,在河道过流能力以及水库蓄水条件允许的情况下,内蒙古河段应采取较大的封河流量封河。

关键词:封河流量;过流能力;槽蓄水增量;河道条件;水库调度;内蒙古河段

中图分类号:TV875 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-0852(2021)05-0007-06

0 引言

宁蒙河段是黄河防凌重点河段之一,为确保宁蒙河段防凌安全,在凌汛期需要对刘家峡水库的出库流量进行一定限制^[1]。凌汛期刘家峡水库出库流量减少,刘家峡及其以下梯级电站可供电量大幅减少,西北地区冬季缺电形势加剧。龙羊峡水库作为多年调节水库,凌汛期根据刘家峡水库出库流量适度调节。若刘家峡水库凌汛期运用水位过高,防凌库容就小,龙羊峡水库及其以下梯级电站发电效益均受较大影响。尤其,近年来10月末龙羊峡水库蓄水位较高,整个凌汛期出库流量受限,导致水库翌年汛前弃水的可能性增大。防凌与发电之间的矛盾一直是困扰黄河宁蒙河段防凌的主要矛盾^[2]。

为缓解宁蒙河段防凌与发电之间的矛盾,需要在确保防凌安全的前提下最大限度增加凌汛期水库泄水总量。每年的《黄河防凌调度预案》会根据当年水库蓄水情况、凌汛期来水预报以及河道过流能力等确定内蒙古河段适宜的封河流量^[3]。在防凌调度中,根据流凌封河预报,流凌封河前维持适宜的出库流量,塑造符合

河道实际情况的适宜封河流量;封冻期适当减小出库流量,在维持封冻河道一定过流能力的同时,有效抑制槽蓄水增量的过快增长;开河期进一步适度压减出库流量,避免因上游来水过大形成水鼓冰开的“武开河”形势^[4]。因而,封河流量的大小直接关系到后期凌情发展形势、防凌安全与整个凌汛期刘家峡水库的泄水总量及泄水过程。

利用1968~2019年黄河宁蒙河段石嘴山、巴彦高勒、三湖河口和头道拐四个主要水文站实测冰情资料,从凌汛期水位、头道拐站小流量过程、冰下过流能力及槽蓄水增量等方面分析了封河流量对凌情的影响,分析了内蒙古河段大流量封河年份凌灾成因,总结出内蒙古河段大流量封河的利与弊。成果可为宁蒙河段凌汛期水库调度提供参考,以期在确保宁蒙河段防凌安全的前提下最大限度发挥梯级水库电站发电效益,提高流域水资源综合利用率。

1 内蒙古河段凌情概况

1.1 基本凌情特征

黄河内蒙古河段一般于11月中下旬在三湖河口

收稿日期:2020-08-10

基金项目:黄河水利委员会大江大河水文监测系统建设工程(一期)—黄河内蒙古河段冰凌预报模型建设项目(HSXX-2019-02)

作者简介:陈冬伶(1980—),女,辽宁锦州人,高级工程师,主要研究方向为水文水资源情报预报。E-mail:410712949@qq.com

至头道拐河段开始流凌,12月上中旬开始封河,翌年3月中下旬解冻开河。根据1968年以来实测资料统计,河段首凌日期多年均值(1968~2019年均值,下同)为11月20日,最早为11月4日(1969~1970年),最晚为12月4日(2011~2012年和2018~2019年);河段首封日期多年均值为12月3日,最早为11月13日(1976~1977年),最晚为12月30日(1989~1990年);全河段开通日期多年均值为3月26日,最早为3月12日(1997~1998年),最晚为4月5日(1969~1970年)。多年平均封河历时113d,最长为137d(1970~1971年),最短为76d(1989~1990);最大封河长度为940km(2007~2008年),平均为800km左右。石嘴山至头道拐河段最大槽蓄水增量多年均值为 $12.4 \times 10^8 \text{ m}^3$,最大为 $19.6 \times 10^8 \text{ m}^3$ (2008~2009年),最小为 $7.2 \times 10^8 \text{ m}^3$ (1986~1987年)。头道拐站开河最大10d水量多年均值为 $9.8 \times 10^8 \text{ m}^3$,最大为 $15.2 \times 10^8 \text{ m}^3$ (1999~2000年),最小为 $5.3 \times 10^8 \text{ m}^3$ (2017~2018年)。头道拐站开河最大凌峰流量多年均值为 $2120 \text{ m}^3/\text{s}$,最大为 $3500 \text{ m}^3/\text{s}$ (1967~1968年),最小为 $806 \text{ m}^3/\text{s}$ (2016~2017年)。黄河宁夏蒙河段河道及防凌工程示意图图1。

1.2 历年封河流量情况

封河流量指封河前期的河道流量,本文以首封河段最近的水文站封河前3d平均流量作为封河流量。统计了1968~2019年内蒙古河段封河流量,封河流量多年均值为 $610 \text{ m}^3/\text{s}$,最大为 $953 \text{ m}^3/\text{s}$ (1990~1991年),最小为 $62.1 \text{ m}^3/\text{s}$ (1986~1987年)。其中,封河流量大于 $600 \text{ m}^3/\text{s}$ 的年份有30a,占一半以上。把封河流量小于 $500 \text{ m}^3/\text{s}$ 和大于 $700 \text{ m}^3/\text{s}$ 的年份作为封河流量偏小和偏

大的年份,得出小流量封河的年份12a,大流量封河的年份17a(见表1)。

2 封河流量对内蒙古河段凌情的影响

2.1 对凌汛期水位的影响

河道封冻之后,改变了水流的水力条件和几何边界条件。冰盖的形成,导致过水断面湿周明显加大,水力半径减小,且由于冰盖底面的糙率作用,水流阻力增加;此外,冰盖下冰花的存在也减小了部分过流面积,因此,封冻河道与封河前相比流速明显减缓,水位快速抬高,流量显著减小。

内蒙古河段一般在三湖河口至头道拐河段首封。利用1968~2019年封河流量与三湖河口和头道拐2个主要水文断面封河时水位及凌汛期最高水位等资料,分析封河流量与封河水位、凌汛期最高水位及最大水位壅高的相关关系(见图2~4),可看出3者关系密切,封河流量越大,封河时水位越高,封河流量越小,凌汛期水位壅高越明显,但凌汛期最高水位与封河流量关系不密切。因而大流量封河,有利于冰凌下泄,且后期水位壅高较小,有利于防凌安全。

2.2 对头道拐站小流量过程的影响

在黄河内蒙古河段,封冻初期一部分水量转化为冰,还有一部分水量受冰盖阻水影响,转化为槽蓄水

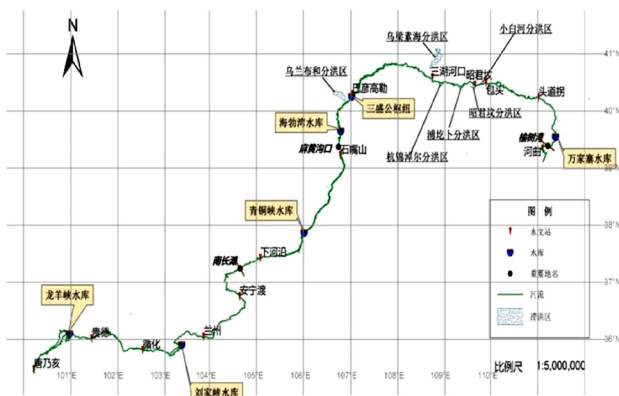


图1 黄河宁夏蒙河段河道及防凌工程示意图

Fig.1 The river and ice flood prevention project of Ningxia-Inner Mongolia reach in Yellow River

表1 内蒙古河段大流量封河年

Table1 Years of freeze-up with large discharge in the reach of Inner Mongolia

编号	首封日期(年/月/日)	封河位置	封河流量/ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
1	1975/11/24	乌前旗	768
2	1978/12/2	乌前旗	763
3	1982/12/5	昭君坟	819
4	1989/12/30	昭君坟	789
5	1990/12/1	三湖河	953
6	1991/12/12	三湖河	829
7	1992/12/16	头道拐	778
8	1994/12/15	头道拐	870
9	2004/11/28	包头	723
10	2006/12/4	包头	826
11	2010/12/11	包头	720
12	2011/12/10	包头	707
13	2012/12/1	包头	900
14	2013/12/12	十四份子	777
15	2014/12/3	包头	847
16	2018/12/7	三湖河口	835
17	2019/12/6	十四份子	807

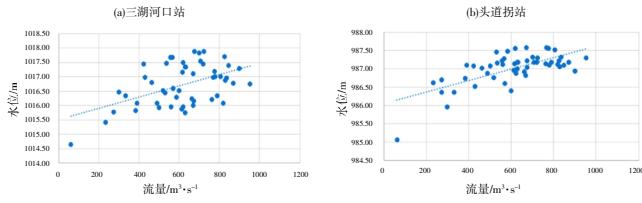


图2 封河流量与封河时水位的相关关系

Fig.2 Relationship between the freeze-up discharge and water level

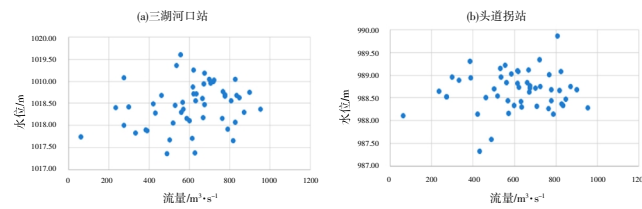


图3 封河流量与凌汛期最高水位的相关关系

Fig.3 Relationship between the freeze-up discharge and the highest water level in the ice flood period

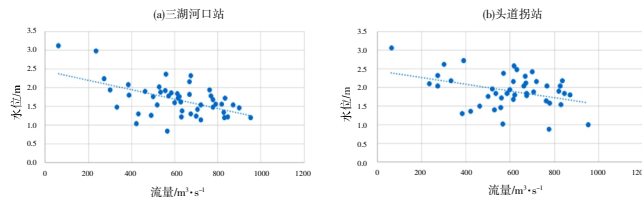


图4 封河流量与凌汛期最高水位壅高的相关关系

Fig.4 Relationship between the freeze-up discharge and the maximum water level backwater in the ice flood period

量。下游头道拐断面通常会出现一段时期的小流量过程,随着冰盖下冰花阻水作用的减小,流量逐渐增大,小流量过程结束^[5]。头道拐站小流量过程持续时间越长,头道拐以上河段槽蓄水增量越大,防凌压力越大。

根据内蒙古河段凌汛期流量演变规律,随着封河形势逐渐平稳,冰盖下流量一般能恢复到封河流量的60%~70%,因而通常以350m³/s作为头道拐小流量阈值,头道拐站低于350m³/s的过程称为小流量过程。选取1968~2019年凌情资料分析头道拐站小流量过程持续时间与封河流量的相关关系(见图5)。除封河流量外,头道拐站小流量过程受河道条件影响也较大,1986年以来,由于龙羊峡水库的调节以及气候条件和人类活动影响,进入内蒙古河段的水量持续偏少,特别是汛期凌峰流量削减,排洪输沙能力降低,较1986年以前相比河道淤积萎缩严重;2000年以后,内蒙古河段道路、桥梁、生产堤等河道内阻水建筑物逐渐增多,河道条件进一步变差。根据河道条件变化,将时间划分为1968~1985年、1986~1999年和2000~2019年三个

时段进行对比分析。

从图5可知,在近似河道条件下,封河流量越大,头道拐小流量过程持续时间越短;同等封河流量下,河道过流能力越差,小流量过程持续时间越长。

2.3 对冰下过流能力影响

内蒙古河段一般于12月上旬首封,2月下旬开始进入开河期。以出口站头道拐水文站与入口站石嘴山水文站12~2月平均流量的比值作为内蒙古河段凌汛期冰下过流能力指标,以巴彦高勒与石嘴山站、三湖河口与巴彦高勒站、头道拐与三湖河口站12~2月平均流量比值作为各河段冰下过流能力指标。考虑冰下过流能力同时受河道条件影响,且2014年海勃湾水库投入运用以后凌汛期对进入内蒙古河段的河道流量进行了调节,削弱了石嘴山水文站对进入内蒙古河段流量的控制作用,因而以2000~2013年流量资料为基础,分析封河流量与冰下过流能力的相关关系(见图6)。

由图6可知,封河流量与冰下过流能力之间均具有明显的正相关关系,且封河流量对冰下过流能力的

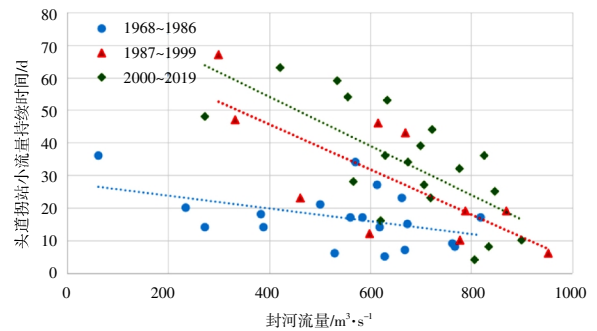


图5 不同河道条件下头道拐站小流量过程持续时间与封河流量的相关关系

Fig.5 Relationship between the freeze-up discharge and the duration of low discharge process at Toudaoguai station under different river conditions

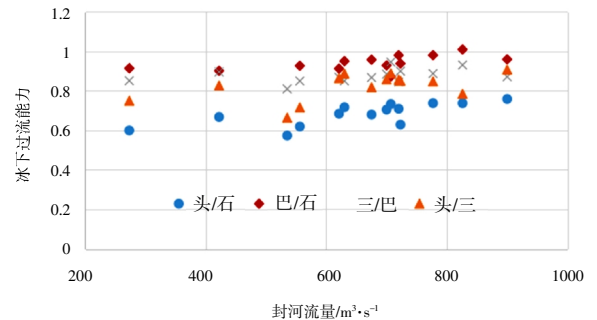


图6 近似河道条件下冰下过流能力与封河流量相关关系

Fig.6 Relationship between the freeze-up discharge and the flow capacity under ice

影响自上而下逐渐增强,三个河段中三湖河口-头道拐河段冰下过流能力受封河流量影响最为显著。2000~2013年河道条件接近,河道平滩流量基本在 $1\ 000\sim 2\ 000\text{m}^3/\text{s}$ 之间,表明在河道边界条件相近的情况下,冰下过流能力受封河流量影响较大,封河流量越大,冰下过流能力越强。其中,三湖河口-头道拐河段冰下过流能力受封河流量影响最大,主要原因是内蒙古河段一般在三湖河口-头道拐河段首封,封河流量在该河段最具有代表性,越往上游距离首封河段越远,封河流量的代表性越弱,但并不影响分析结论。

2.4 对槽蓄水增量的影响

槽蓄水增量一般在考虑水流传播时间的基础上,采用水量平衡方法进行计算,即:

$$\Delta W = \sum (Q_1 - Q_2) \Delta t \quad (1)$$

式中: ΔW 为槽蓄水增量; Q_1 、 Q_2 分别为河段出水口和进水口断面的流量,一般为日平均流量; Δt 为时段长,一般为1d。

从首封之日开始计算,根据石嘴山、巴彦高勒、三湖河口、包头和头道拐水文站的实测日平均流量,考虑水流在各河段的传播时间计算各河段的槽蓄水量。

槽蓄水增量受凌汛期上游来水和河道条件等因素影响显著^[6],为说明封河流量对槽蓄水增量的影响,选取2000~2019年中凌汛期上游来水相近的年份,建立最大槽蓄水增量与封河流量相关关系(见图7),可看出,在河道条件与上游来水大致一致的情况下最大槽蓄水增量与封河流量呈明显负相关关系,随着封河流量的增加而减小。

在河道条件、凌汛期上游来水和气温等影响因素基本相同的情况下,封河流量与槽蓄水增量存在负相关关系,即封河流量越小,槽蓄水增量越大,反之亦然。

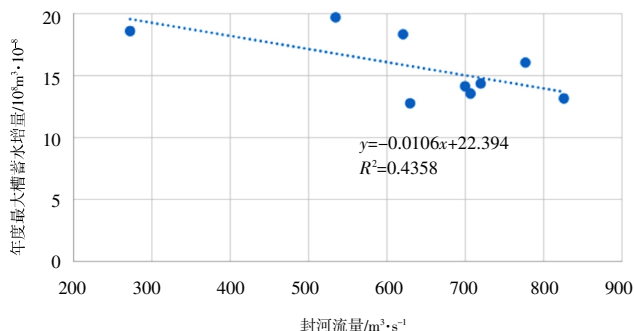


图7 近似河道与上游来水条件下最大槽蓄增量与封河流量的关系

Fig.7 Relationship between the freeze-up discharge and the maximum water storage increment

但封河流量过大与封河流量过小,都容易形成较大的槽蓄水增量,因而需要在考虑河道过流能力的情况下,采取适宜的封河流量,以及合适的河段封河后的水库下泄流量。

3 大流量封河凌灾成因分析

1968~2019年封河流量在 $700\text{m}^3/\text{s}$ 以上的17年中,有9年发生了较为严重的凌汛灾害,平均每两年一次。其中2000年以前封河流量在 $700\text{m}^3/\text{s}$ 以上的有8年,均发生了较为严重的凌汛灾害;2000年以后封河流量在 $700\text{m}^3/\text{s}$ 以上的有9年,仅2004~2005年一年发生了较大凌灾。

分析2000年以前封河流量在 $700\text{m}^3/\text{s}$ 以上的8年发生凌灾的原因主要有以下方面:①河段首封后上游来水继续维持较大,造成冰花下潜,形成冰塞,水位抬高,造成险情。②开河期上游来水较大,在气温较低的情况下,由于冰质坚硬,容易形成冰坝,造成水位雍高,造成漫滩等险情,或形成武开河局面;③开河期气温回升迅猛,开河速度快,上游来水亦没有做出相应的调整,不利的热力因素遭遇了不利的动力因素,槽蓄水增量集中释放,发生凌灾。可见,2000年以前凌汛灾害很大程度上是由于凌汛期水库缺乏统一调度造成的,跟封河流量关系不大。

2000年后,凌汛期重视了水库调度作用,封河后尽量减小上游来水量,开河期在槽蓄水增量较大的情况下,对上游来水量进行了一定的压减,避免了开河期上游来水较大的情况,在一定程度上避免或减缓了凌情灾害。但受河道淤积以及河道工程影响,冰下过流能力减弱,同时凌汛期上游来水较大,造成内蒙古河段槽蓄水增量较大,这是2000年以来发生凌汛灾害的主要原因。如发生凌灾的2004~2005年最小平滩流量约 $1\ 500\text{m}^3/\text{s}$,同时该年凌汛期内蒙古河段有很多在建桥梁进一步降低了河道过流能力,2004~2005年基本为1968年以来河道条件最差的年份之一。该年度最大槽蓄水增量达到 $19.14 \times 10^8 \text{m}^3$,为历史第二高。由于槽蓄水增量较大,堤防长期高水位作用下,部分河段出现严重渗漏、管涌等险情。

2010年以后,原黄河防总对整个凌汛期来水加强调度,控制了槽蓄水增量的过快增长,槽蓄水增量基本控制在 $15 \times 10^8 \text{m}^3$ 以下,同时封开河期加强对河道流量的控制,尽管保持了较大封河流量,基本没有发生较大凌灾。

4 大流量封河的利弊分析

4.1 大流量封河的有利条件

(1)大流量封河提高冰下过流能力,有利于凌水下泄,减少冰塞风险。封河流量越大封河前基础水位较高,在同等气温、河道条件及凌汛期上游来水条件下,冰下过流能力越强,头道拐小流量过程持续时间越短,槽蓄水增量越小。大流量封河在一定程度上增加了冰下过流面积,提高冰下过流能力,有利于凌水顺利下泄,避免了因封冻冰盖过低,导致封冻河段上游冰塞壅水的危险。

(2)为后期水库防凌调度争取主动,减小防凌压力。经过 20 多年的调度实践,黄河防凌调度初步形成较为完整的水库防凌调度思路^[7],即:流凌封河前减小区间引退水造成的流量波动^[8],塑造符合河道实际情况的适宜封河流量,降低冰塞冰坝发生概率;封冻期适当减小水库下泄流量,在维持封冻河道一定过流能力的同时,有效抑制槽蓄水增量的过快增长,减少开河期压力;开河期适度压减流量调度,有效降低开河凌汛洪峰流量,防止“武开河”。封河流量大,后期流量调节空间增大,可以为后期水库防凌调度争取主动,可在一定程度上减小防凌压力。

(3)缓解防凌与发电矛盾,提高流域水资源综合利用率。按照凌汛期水库调度原则,封河流量越大,整个凌汛期刘家峡水库下泄的流量就越大,龙羊峡以及上游梯级电站的泄水量也会随之增加。因而,大流量封河可以增加龙、刘水库凌汛期出库流量,提高凌汛期上游梯级电站发电效益,减小翌年汛前弃水的可能性,同时可以满足兰州等城市凌汛期生产生活用水需要,提高流域水资源综合利用率。

4.2 大流量封河的不利条件

从内蒙古河段历史封河情况来看,封河流量越大,水流流速越快,冰盖前缘冰花易随水流潜入冰盖下,在冰下过流能力较弱的情况下容易形成冰塞,从而造成凌汛灾害。在缺乏水库调度的情况下,如果封河后上游来水持续偏大,超过冰下过流能力,会造成水位壅高明显,槽蓄水增量过大,从而威胁防凌安全,甚至导致开河期水鼓冰开的“武开河”形势。

5 结语

在同等气温、河道条件及凌汛期上游来水条件下,封河流量与头道拐站小流量过程持续时间、最大槽蓄

水增量之间呈明显的负相关关系,与冰下过流能力呈明显的正相关关系,封河流量越大,头道拐站小流量过程持续时间越短,冰下过流能力越强,槽蓄水增量越小。

在缺乏凌汛期水库调度的情况下,封河流量越大,发生险情的风险越高,一旦遭遇不利气温影响,极易形成冰塞灾害。2000 年以后,凌汛期重视了水库调度作用,凌情灾害总体有所减少,主要致灾原因是因河道淤积抬高,槽蓄水增量过大。2010 年以来,进一步加强对整个凌汛期来水的调度分配,控制槽蓄水增量的过快增长,同时封开河期加强对河道流量控制,水库防凌调度在科学化的基础上,逐渐向精细化发展,近几年尽管保持了较大封河流量,基本没有发生较大凌灾。

在河道过流能力以及水库蓄水条件允许的条件下,采用大流量封河既可以保证防凌安全,为后期防凌争取主动,又可以缓解防凌与发电需求矛盾,提高流域水资源综合利用率。

参考文献:

- [1] 郭卫宁,张丙奇,王红. 黄河宁蒙段凌汛开河期刘家峡水库控制运用方式研究[J]. 中国防汛抗旱,2015,25(1):77-79. (GUO Weining, ZHANG Bingduo, WANG Hong. Study on the operation mode of Liujiaxia Reservoir in Ningmeng reach of the Yellow River during ice flood period [J]. China Flood & Draught Management, 2015, 25(1):77-79. (in Chinese))
- [2] 雷鸣,鲁俊,高治定. 龙羊峡、刘家峡水库防凌优化调度研究[J]. 人民黄河,2014,36(11):33-38. (LEI Ming, LU Jun, GAO Zhiding. Study on optimal operation of ice flood control of Longyangxia and Liujiaxia reservoirs [J]. Yellow River, 2014,36(11):33-38. (in Chinese))
- [3] 颜亦琪,王春青,刘吉峰,等. 封河流量对黄河宁蒙河段凌汛影响分析[J]. 中国防汛抗旱,2020,30(5):25-29. (YAN Yiqi, WANG Chunqing, LIU Jifeng, et al. Influence of freeze-up discharge on the ice flood in Ningmeng reach of the Yellow River [J]. China Flood & Draught Management, 2020,30(5):25-29. (in Chinese))
- [4] 张志红,张浩,高治定. 水库防凌调度在冰凌洪水调度运用中的探讨[J]. 水文,2007,27(3):29-30. (ZHANG Zhihong, ZHANG Hao, GAO Zhiding. Study on the reservoir operation in ice flood prevention [J]. Journal of China Hydrology, 2007,27(3):29-30. (in Chinese))
- [5] 金双彦,翟家瑞,蒋昕晖,等. 凌汛期头道拐小流量过程变化及影响因素分析[J]. 人民黄河,2012,34(12):27-29. (JIN Shuangyan, ZHAI Jiarui, JIANG Xinhui, et al. Low discharge process variety and impacting factors of Toudaoguai station in ice flood period [J]. Yellow River, 2012,34(12):27-29. (in Chinese))
- [6] 陈冬伶,刘吉峰,谢晨. 黄河内蒙古段凌汛期槽蓄水增量影响因素

- 分析[J]. 人民黄河, 2017, 39(5): 32-35. (CHEN Dongling, LIU Jifeng, XIE Chen. Analysis on the influencing factors of water storage in the ice-flood season of Inner Mongolia reach of the Yellow River [J]. Yellow River, 2017, 39(5): 32-35. (in Chinese))
- [7] 刘吉峰, 霍世青, 王春青. 黄河凌情预报研究与防凌需求[J]. 中国防汛抗旱, 2017, 27(6): 15-17. (LIU Jifeng, HUO Shiqing, WANG Chunqing. Prediction of ice conditions in the Yellow River and demand for ice prevention [J]. China Flood & Draught Management, 2017, 27(6): 15-17. (in Chinese))
- [8] 金双彦, 张萍, 张春岚, 等. 水量统一调度以来黄河宁夏河段引黄耗水量分析[J]. 水文, 2015, 35(6): 82-85. (JIN Shuangyan, ZHANG Ping, ZHANG Chunlan, et al. Analysis of water consumption in Ningxia reach of Yellow River since integrated regulation [J]. Journal of China Hydrology, 2015, 35(6): 82-85. (in Chinese))

Advantages and Disadvantages of Freeze-up with Large Discharge in the Inner Mongolia Reach of Yellow River

CHEN Dongling, LU Lu, YAN Yiqi

(Hydrology Bureau of Yellow River Conservancy Commission, Zhengzhou 450004, China)

Abstract: This paper analyzed the relationship between the freeze-up discharge and the water level in ice flood period, the low discharge process, the flow capacity under ice and the water storage in the Inner Mongolia reach of Yellow River, and summarized the causes of ice flood disaster in the years of freeze-up with large discharge. The results show that the larger the freeze-up discharge is, the smaller the backwater level is in the ice flood period; the shorter the duration of the low discharge process at Toudaoguai station, the better the flow capacity under ice, and the smaller the water storage. In the case of lack of reservoir operation in ice flood period, the larger the freeze-up discharge, the higher the risk of ice flood disaster. Under the condition of scientific regulation with reservoir in the whole ice flood period and strengthening the flow control during the period of freeze-up and break-up, larger freeze-up discharge can not only improve the power generation efficiency of upstream cascade hydropower stations, but also improve the flow capacity under ice and reduce the risk of ice jam, which will be beneficial for the later reservoir ice flood control operation. Therefore, it is suggested that the freeze-up discharge should be larger in the Inner Mongolia reach when the flow capacity is larger and the reservoir storage is sufficient.

Key words: freeze-up discharge; flow capacity under ice; water storage; river conditions; reservoir operation; Inner Mongolia reach

(上接第 71 页)

- [12] 王迎超, 尚岳全, 孙红月, 等. 基于功效系数法的岩爆烈度分级预测研究[J]. 岩土力学, 2010, 31(2): 529-534. (WANG Yingchao, SHANG Yuequan, SUN Hongyue, et al. Study of prediction of rockburst intensity based on efficacy coefficient method [J]. Rock and Soil Mechanics, 2010, 31(2): 529-534. (in Chinese))
- [13] Lauritzen S L, Spiegelhalter D J. Local computations with probabilities on graphical structures and their application to expert systems [J]. Journal of the Royal Statistical Society, 1988, 50(2): 157-224.

Diagnosis on Factors Affecting Water Resources Security in Qilian Mountain Nature Reserve Based on Bayesian Network

LIANG Yongyu, REN Xiaoxiao, CAO Suzhou, NIU Chengying

(School of Statistics, Lanzhou University of Finance and Economics, Lanzhou 730020, China)

Abstract: In order to research the problem of water resources security, this paper established the water resources security measurement system, and applied the Bayesian network to construct the diagnosis model of the influencing factors of water resources security, then analyzed the main influencing factors of water resources security in the Qilian mountain nature reserve. The results show that the Bayesian network model can effectively diagnose the influencing factors of water resources security, and determine the annual runoff, water production scale, GDP, annual precipitation, shallow water as the main affecting factors.

Key words: Qilian mountain nature reserve; water resources security; Bayesian network model; diagnosis of influencing factors