

2000年以来黄河宁蒙河段开河期冰凌洪水特点分析

颜亦琪, 陶新, 刘吉峰, 韩作强, 梁聪聪

(黄河水利委员会水文局, 河南 郑州 450004)

摘要:黄河宁蒙河段开河期冰凌洪水主要集中在3月中下旬,一般由融冰洪水与冰坝洪水组成,其特点主要表现在:凌峰、洪量年际变化大,沿程增加明显,头道拐站易形成多峰,峰型系数较夏汛小,洪水历时较夏汛短,水位表现较夏汛同流量水位高,流速在涨水段慢于落水段。这些特点主要与宁蒙河道形态、水利工程、封河期上游来水及开河期气温、开河形势、封冻期形成的槽蓄水增量大小、沿程分布及其释放程度有关。

关键词:凌峰; 峰型系数; 流速; 气温; 槽蓄水增量; 黄河宁蒙河段

中图分类号: S333.2

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2016)03-0176-05

Analysis of ice flood characteristics during thawing period at ningxia-inner mongolia reach of Yellow river since 2000

YAN Yiqi, TAO Xin, LIU Jifeng, HAN Zuoqiang, LIANG Congcong

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

Abstract: Ice flood during thawing period in the Ningxia - Inner Mongolia reach of Yellow river is concentrated in mid and late March. and usually make up from ice melting flood and ice dam flood. Its characteristics primarily shows the large annual change of ice flood peak and flood volume, obvious increase of that along the river; being easy formation of multi - peak at Toudaoguai station; the ice flood peak coefficient in march being smaller than that in summer, shorter duration compared with summer flood, higher water level of the same discharge than that in summer and slower velocity of runoff in rising segment than that in falling segment. These characteristics principally relate to the river morphology, water conservancy projects, freeze - up period upstream inflow, air temperature in thawing period, river thawing situation, freeze - up period river channel - storage increment volume, along distribution and its release degree.

Key words: ice flood peak; flood shape coefficient; velocity of flow; air temperature; increment of river channel - storage; Ningxia - Inner Mongolia reach of Yellow river

1 研究背景

黄河宁蒙河段位于宁夏回族自治区和内蒙古自治区境内,自宁夏中卫县黑山峡入境,至内蒙古准格尔旗马栅乡出境^[1],全长约1 200 km,其中宁夏河段长约390 km,内蒙古河段长约810 km,内蒙古河段从宁夏与内蒙古交界处苦水沟口至头道拐水文站断面约680 km,至万家寨库尾喇嘛湾乡约720 km。宁蒙河段位于黄河上游的下段,地处黄河流域最北端,

约占黄河总长的五分之一,是黄河防凌的重点河段。宁蒙河段示意图见图1。

黄河宁蒙河段冬季严寒而漫长,据气象站气温资料统计,11月中旬至翌年3月上旬河道多年(1959-2014年)平均温度都在0℃以下,其中12月下旬至1月下旬均在-10℃以下。宁蒙河段在每年11月中下旬流凌,12月上中旬封冻,翌年3月中下旬解冻^[2]。据1959-2014年凌情资料统计,宁蒙河段平均首次流凌日期为11月19日,平均首封日期

收稿日期:2016-02-01; 修回日期:2016-03-28

基金项目:水利部公益性行业专项项目(201301062)

作者简介:颜亦琪(1974-),女,湖南宁乡人,博士,高级工程师,主要研究方向为流域水文模拟、冰凌预报与地理信息系统。

通讯作者:陶新(1966-),男,河南信阳人,教授级高工,硕士,主要研究方向为流域水文模拟、水凌情预报。

为12月2日,河段全部解冻开河平均日期为3月26日,平均封冻天数为116 d。由于宁蒙河段自西南流向东北,解冻开河往往从低纬度温度较高的上游宁夏河段开始逐渐向下游内蒙古河段发展。解冻开河时上游来水、来冰加上封冻期形成的河道槽蓄水增量沿程释放,形成明显的冰凌洪水,冰凌洪水在向下游演进过程中,容易在急弯、浅滩或窄口处卡冰结坝,导致水位急剧上升,流量持续增大,威胁堤防安全,严重时冲溃堤防,形成冰凌灾害^[3-4]。



图1 宁蒙河段示意图

开河期冰凌洪水主要由融冰洪水与冰坝洪水组成。融冰洪水指在开河期因热力与动力因素共同作用,致使冰盖冰坝消融、破裂,加之河道中槽蓄水增量集中释放而致流量沿程增加,为顺涨波,它沿程下行,水势平稳。冰坝洪水指开河期大量流冰在浅滩、弯道、卡口、及未解体的冰盖前沿受阻,形成跨河冰盖堆积体并显著壅高上游水位,其特点是流量不大、水位高、凌峰沿程递增、冰坝上游水位上涨幅度大、涨率快,为逆涨波^[5-6]。实际中,这两类洪水几乎同时存在,很难完全将它们区分开来,上游河段开河形成大量融冰洪水,促使下游河段形成冰坝壅水,当冰坝壅水达到一定程度,又自行溃决时,形成融冰洪水状态^[7-8]。因为自巴彦高勒至头道拐河段坡降小,流速缓慢,且河道弯道较多,所以融冰期产生的融冰洪水容易在弯道、卡口处形成冰坝洪水。

2 宁蒙河道2000年以来开河期冰凌洪水特点

2.1 凌峰、洪量沿程增加,头道拐站易出现多峰

宁蒙河段2000年以来解冻开河期,槽蓄水增量的释放主要集中在巴彦高勒至头道拐河段,因此巴彦高勒、三湖河口、头道拐3个水文站断面冰凌洪水的凌峰流量与洪量表现为沿程增加,见图2~4。三湖河口与头道拐站凌峰流量与洪量沿程增加明显。

2000-2014年凌汛期,巴彦高勒至三湖河口断面凌峰平均增加约 $500 \text{ m}^3/\text{s}$,最大增加 $1\,120 \text{ m}^3/\text{s}$,凌洪洪量平均增加约 $2.5 \times 10^8 \text{ m}^3$,最大增加 $3.87 \times 10^8 \text{ m}^3$;三湖河口至头道拐凌峰平均增加约 $600 \text{ m}^3/\text{s}$,最大增加 $1\,300 \text{ m}^3/\text{s}$,凌洪洪量平均增加约 $5 \times 10^8 \text{ m}^3$,最大增加 $7.6 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。三湖河口多年凌洪表现基本为单峰,头道拐站凌洪多表现为双峰或多峰,近15年来有11年都是多峰情况,分析发现如果三湖河口与头道拐开河时间间隔较长,则冰凌洪水在头道拐站容易形成多峰。图2为2004年度凌汛期凌洪沿程变化图,其中头道拐断面出现双峰。

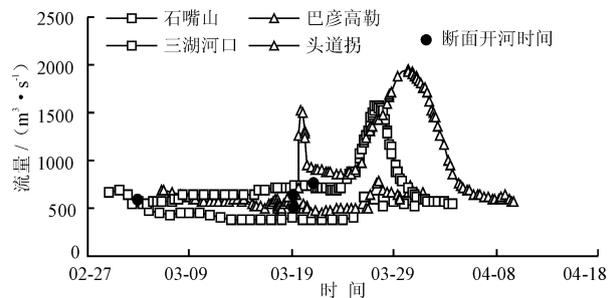


图2 宁蒙河段2004-2005年度凌洪过程沿程变化

2.2 凌峰、洪量年际变化大,近两年凌峰、洪量较小

从图2可以看出,宁蒙河段石嘴山与巴彦高勒站无明显凌峰,三湖河口与头道拐两站凌峰明显且年际变化大,2000年来三湖河口站最大凌峰为2007年度的 $1\,740 \text{ m}^3/\text{s}$,最小凌峰为2014年的 $660 \text{ m}^3/\text{s}$,均值为 $1\,140 \text{ m}^3/\text{s}$ 。2000年来头道拐站最大凌峰为2003年度的 $2\,590 \text{ m}^3/\text{s}$,最小凌峰为2014年度的 $920 \text{ m}^3/\text{s}$,均值为 $1\,760 \text{ m}^3/\text{s}$,图3为宁蒙河段2000年来各断面凌汛开河期逐年凌峰变化曲线。图4为三湖河口与头道拐站2000年来凌洪洪量变化图,显示两站洪量年际变化大,三湖河口、头道拐站最大凌洪洪量分别为 8.2×10^8 与 $17.6 \times 10^8 \text{ m}^3$,洪量均值分别为 5.2×10^8 、 $11.3 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。宁蒙河段近两年凌峰较小,2013与2014年凌汛期头道拐凌峰分别 $1\,500$ 、 $920 \text{ m}^3/\text{s}$,相应地,近两年洪量也较小,头道拐2013与2014年度凌洪洪量分别为 4.5×10^8 、 $3.7 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

2.3 峰型系数较夏汛小,洪水历时较夏汛短

对于一场洪水,峰型系数是峰前平均流量与洪峰流量的比值,介于0~1之间。峰型系数主要是反映一场洪水洪峰前的形状,其值偏大或者接近1,峰顶比较宽、峰型偏显矮胖,其值较小的时候峰型偏尖瘦^[9]。近十年来头道拐站夏汛洪水平均峰型系数约为0.78,2000年来凌汛平均峰型系数约为0.68,因此,宁蒙河段开河期冰凌洪水相对于夏汛洪水偏瘦。

自基流起涨至最大流量并回落到基流所经历的时间即为洪水历时。三湖河口开河期凌洪历时最长为 10.5 d,最短为 4.3 d,平均为 7.4 d,头道拐站凌洪历时最长为 15.9 d,最短为 6.5 d,平均为 10.9 d,见图 5。头道拐站为宁蒙河段出口控制断面,冰凌洪水经过头道拐站后才可以说宁蒙河段凌汛洪水过去,因此以头道拐断面的洪水历时作为宁蒙河段开

河期冰凌洪水历时,相较于同一流量级别夏汛洪水,开河期冰凌洪水历时较短,2012 年夏汛 3000 流量级别的洪水历时长达 4 个多月。一般头道拐站峰现时间晚于三湖河口站,但也有少数反之,头道拐站凌峰时间一般出现在 3 月中下旬,2000 年以来平均峰现日期为 3 月 21 日,三湖河口与头道拐断面开河期凌峰出现时间见图 6。

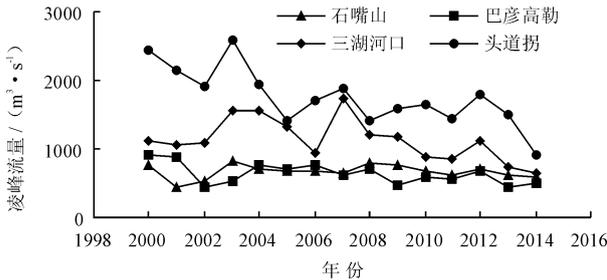


图 3 宁蒙河段 2000 年来各断面凌汛开河期逐年凌峰变化曲线

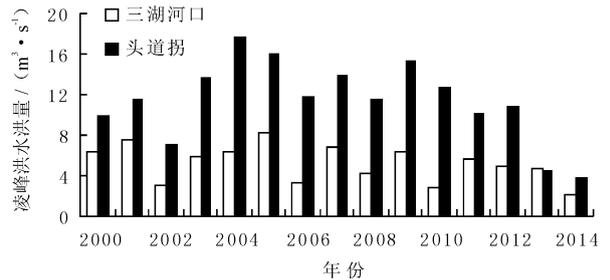


图 4 三湖河口与头拐站 2000 年来逐年洪量变化

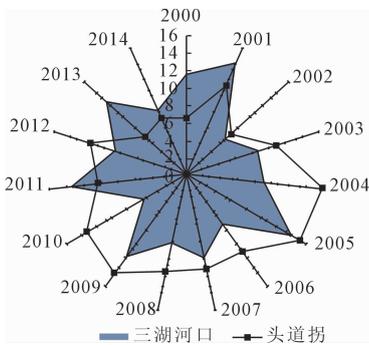


图 5 2000 年来开河期冰凌洪水历时

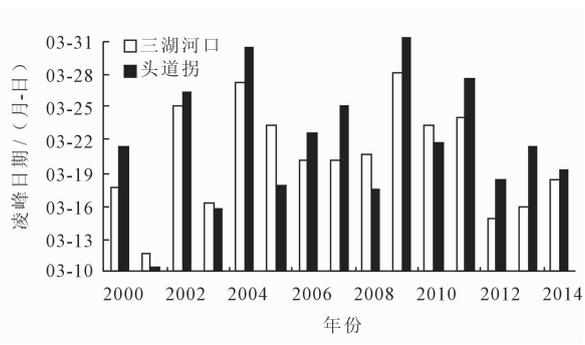


图 6 2000 年来开河期冰凌洪水峰现时间

2.4 冰凌洪水流速涨水段慢于落水段

将 2000 年后所有凌洪实测点据分涨水段与落水段点绘流量 - 流速关系,见图 7,由图可以看出,同一流量级落水段流速比涨水段大。表 1 列出了涨水段与落水段不同流量级别对应的平均流速,据现有资料分析得出 500 m³/s 以下流量越小,流速越接近,2 500 m³/s 以上流量越大,流速越接近。

洪与夏汛洪水,同流量凌洪水位表现较夏汛高,见图 8、图 9。三湖河口 800 m³/s 与 1 000 m³/s 流量级别对应凌汛水位比夏汛水位平均高 0.7、0.45,头道拐 1 000 与 1 500 m³/s 流量级别对应凌汛水位比夏汛水位平均高 0.3、0.25 m。

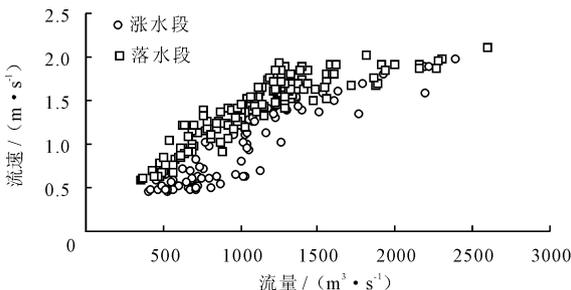


图 7 冰凌洪水涨水段与落水段 Q - V 关系

表 1 2000 年来各流量级涨水与落水段平均流速

流量级别/ (m ³ ·s ⁻¹)	流速/(m·s ⁻¹)		
	涨水段	落水段	相差
500	0.55	0.76	0.21
1000	0.92	1.33	0.41
1500	1.45	1.72	0.27
2000	1.73	1.96	0.23
2500	2.04	2.17	0.13

2.5 冰凌洪水水位表现较夏汛同流量水位高

对比 2000 年以来逐年三湖河口、头道拐断面凌

3 冰凌洪水影响因素分析

3.1 河道形态与水利工程

黄河宁蒙河段大部分属于冲积性河道,主流摆

动剧烈,游荡性河段较长,弯道、卡口、浅滩较多^[10]。宁蒙河段河道比降较小,尤其三湖河口断面开始到头道拐,平均河道比降只有 0.11‰,这些是冰坝洪

水发生的有利条件,表 2 为宁蒙河段发生冰凌洪水的主要断面之间的距离与河道平均比降。

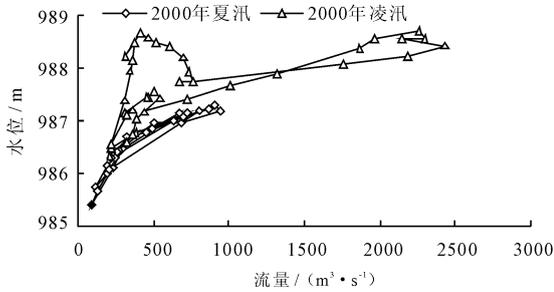


图 8 头道拐夏汛期与凌汛期水位流量关系对比图

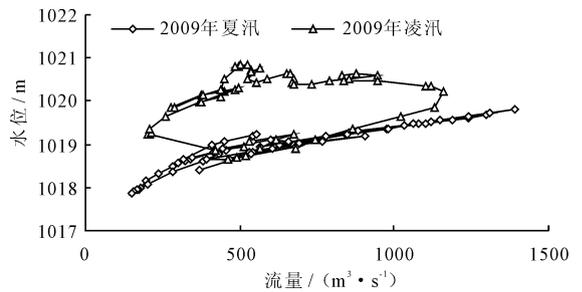
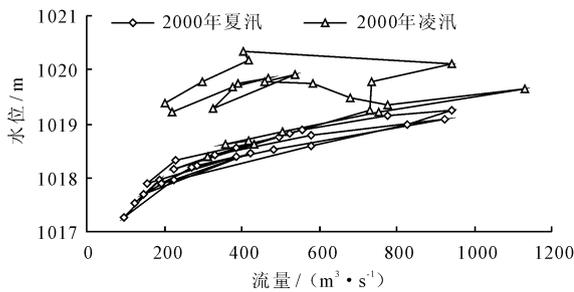
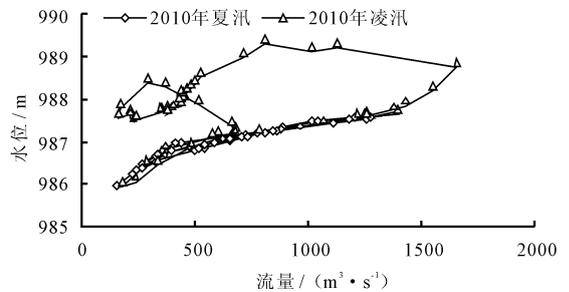


图 9 三湖河口夏汛期与凌汛期水位流量关系对比图

表 2 各站之间距离及坡降

控制断面	距离/km	坡降/‰
石嘴山 - 巴彦高勒	142	0.30
巴彦高勒 - 三湖河口	221	0.17
三湖河口 - 头道拐	300	0.11

宁蒙河段上游修建了许多水库,最大的两个水库分别为 1986 年建的龙羊峡与 1968 年建的刘家峡水库,2014 年位于巴彦高勒站上游的海勃湾水库正式运行。水库的修建,不仅改变了上游来水,也增加了水温,水温的增加使水库下游河道的封冻日期要滞后于建库前,冰厚也较建库前小,因此槽蓄水增量减小,一定程度上缓减了开河期产生较大冰凌洪水的压力。近两年凌峰较小与水库调度和分凌工程应

用关系较大。合理的水库调度与分凌工程的运用,可以缓解宁蒙河段的防凌压力。

3.2 封冻期上游来水、开河期气温

上游来水多,基流大,形成的凌峰、洪量就越大。以头道拐为例,2000 年以来平均基流占凌洪量比重为 41%,近些年基流占比重较大,近 15 年前 10 年为 34%,后 5 年为 55%。

开河期气温越高,内蒙古河段开河速度越快,开河日期越早,开河历时越短,槽蓄水增量日均释流量越大,开河凌峰也就越大。开河日期与 3 月平均气温呈反相关关系,见图 10。以开河历代表气温建立开河历时与头道拐站凌峰流量关系,总体上,开河历时越短,凌峰流量越大,也即开河期气温越高,凌峰越大,见图 11。

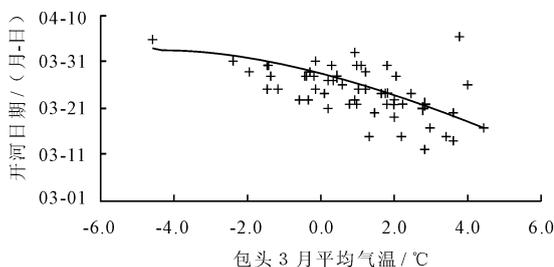


图 10 宁蒙河段开河日期与 3 月均温关系

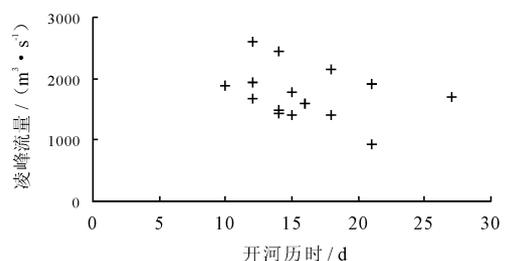


图 11 宁蒙河段头道拐站开河凌峰与开河历时关系

3.3 开河形势

融冰洪水、冰坝洪水与文开河武开河关系较大。如果河流的上游先开河,尤其当遇到开河时流量大于下游河道封冻期流量时,上游来水挟带的流冰会潜入下游封冻断面冰盖之下,鼓开冰盖,强迫下河开河。这种强烈的水力作用下开河的形式称为“武开河”。如果冰盖主要在热力作用下解冻,则称为“文开河”,河流的上下游一般同时开河或是下游先开。介于两者之间的开河情况,称为“半武开河”。武开河易形成冰坝洪水灾害,应尽可能避免。

解冻期河流下游河道断面过流能力与上游来水量的比值,是判断开河形式的重要指标^[11]。

$$K = Q_{\text{下},t} / Q_{\text{上},t-\tau}$$

式中: $Q_{\text{下},t}$ 为上游断面 $t - \tau$ 时刻的流量; $Q_{\text{上},t-\tau}$ 为下游断面 t 时刻流量; τ 为上、下游断面间水流传播时间。

根据资料分析,当 $K \leq 0.8$ 时,多为武开河,当 $K > 0.8$ 时,多为文开河。如果封河流量较大,水位较高,则由于冰盖下过流能力大,发生武开河的可能性小^[12]。2000年以来宁蒙河段都是文开河,开河期冰凌洪水主要由融冰洪水组成。

3.4 槽蓄水增量大小、沿程分布与释放程度

由开河期凌汛洪水的成因可知,槽蓄水增量是影响凌峰流量与水量的重要因素,尤其对于文开河,冰凌洪水主要由槽蓄水增量沿程释放所致。在开河期气温、来水及其他因素约等的情况下,槽蓄水增量越大,凌峰流量也越大。如2000与2006年3月温度均在4℃左右,来水约为450 m³/s,2000年槽蓄水增量18.54 × 10⁸ m³,头道拐凌峰流量达2430 m³/s,最大十日水量为11.64 × 10⁸ m³,2006年度槽蓄水增量13.11 × 10⁸ m³,头道拐凌峰流量相应较小,为1700 m³/s,最大十日水量为10.73 × 10⁸ m³。

槽蓄水增量沿程分布越集中,则出现槽蓄水增量集中释放的机率越大,开河凌峰也相对较大。如2003年度凌汛期宁蒙河段最大槽蓄水增量14.09 × 10⁸ m³,其中巴彦高勒—头道拐河段槽蓄水增量达到10.4 × 10⁸ m³,开河期头道拐站洪峰流量达到2590 m³/s,2011年度凌汛期宁蒙河段最大槽蓄水增量15.1 × 10⁸ m³,其中巴彦高勒—头道拐河段槽蓄水增量为8.6 × 10⁸ m³,开河期头道拐站洪峰流量仅1430 m³/s。

槽蓄水增量释放程度越大,凌峰与洪量也就越大,反之越小,2014年度槽蓄水增量达14 × 10⁸ m³,因为释放量小导致开河期头道拐站洪峰流量仅为

920 m³/s,最大十日水量仅为5.6 × 10⁸ m³。

4 结论

宁蒙河段2000年以来开河期冰凌洪水凌峰、洪量年际变化大,沿程增加明显,头道拐站最大凌峰2590 m³/s,最小凌峰920 m³/s,三湖河口至头道拐凌峰增加均值约600 m³/s,最大增加1300 m³/s,凌洪量增加均值约5 × 10⁸ m³,最大增加7.6 × 10⁸ m³,且落水段流速比涨水段大。

较夏汛洪水,宁蒙河段冰凌洪水偏瘦,历时偏短,同流量凌洪水位表现较夏汛高。如果三湖河口与头道拐开河时间间隔较长,则冰凌洪水在头道拐站容易形成多峰,头道拐站近15年来有11年都是多峰情况。

宁蒙河段开河期冰凌洪水特点主要受河道形态、水利工程、封河期上游来水、气温、开河形势、封冻期形成的槽蓄水增量大小、沿程分布及释放程度等因素影响。

参考文献:

- [1] 田世民,邓从响,谢宝丰,等. 龙刘水库联合运用对宁蒙河道冲淤的影响[J]. 水利水电科技进展,2013,33(3): 59-63.
- [2] 陈赞廷. 黄河洪水及冰凌预报研究与实践[M]. 郑州: 黄河水利出版社,2009.
- [3] 赵炜. 历史上的黄河凌汛灾害及原因[J]. 中国水利, 2007(3): 43-46.
- [4] 赵锦,何立军,丁慧萍,等. 黄河宁蒙河段凌汛灾害特点及防御措施[J]. 水利科技与经济,2008,14(11): 933-935.
- [5] 蔡琳等. 中国江河冰凌[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2008.
- [6] 沈洪道. 河冰研究[M]. 郑州: 黄河水利出版社,2010.
- [7] 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.
- [8] 马喜祥,白世录,袁学安,等. 中国河流冰情[M]. 郑州: 黄河水利出版社,2009.
- [9] 季学武,王俊,等. 水文分析计算与水资源评价[M]. 北京: 中国水利水电出版社,2008.
- [10] 可素娟,王敏,饶素秋,等. 黄河冰凌研究[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2002.
- [11] 中国水利百科全书编辑委员会,中国水利水电出版社. 中国水利百科全书[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2006.
- [12] 包为民. 水文预报(第三版)[M]. 北京: 中国水利水电出版社,2006.