

近10年黄河宁蒙河段凌情特征分析

王富强 王雷

(华北水利水电大学, 郑州 450045)

摘要: 选取黄河宁蒙河段石嘴山、巴彦高勒、三湖河口和头道拐4个站点, 分别统计分析了1951年-2000年和2001年-2010年流凌、封河、开河日期特征, 并对凌峰和槽蓄增量进行了较系统地分析。结果表明, 近10年来由于冬季气温持续偏高和水库调度等因素的影响, 黄河宁蒙河段凌情发生变化, 表现为封/开河日期推迟、封河历时缩短、开河凌峰流量减小、槽蓄水量增加、冰塞/冰坝发生次数减少等特点。研究成果可为黄河宁蒙河段防凌减灾等实际工作提供参考。

关键词: 封开河; 封冻历时; 凌峰; 槽蓄水增量; 宁蒙河段

中图分类号: TV 882.1; TV 875 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-1683(2014)04-0021-04

Analysis of Ice Regime Characteristics in the Ningxia- Inner Mongolia Reach of Yellow River in the Recent Ten Years

WANG Fu qiang, WANG Lei

(North China University of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou 450045, China)

Abstract: In this paper, the characteristics of drift ice, freeze up, and break up dates were analyzed at the following four stations Shizuishan, Bayangaole, Sanhuhekou, and Toudaoguai stations, in the Ningxia Inner Mongolia reach of the Yellow River, and the ice peak and maximum channel storage increment were also investigated. The results showed that the ice regime characteristics in the Ningxia Inner Mongolia reach of the Yellow River have changed significantly in the recent 10 years due to the sustaining high temperature in the winter and reservoir control, which can be seen in the delayed freeze up and break up dates, decreasing in freeze up duration, decreasing in ice peak flow, increasing in channel storage, and decreasing in the frequencies of ice dam and ice jam. The research can offer guidance on the mitigation of ice disasters in the Ningxia Inner Mongolia reach of the Yellow River.

Key words: freeze up and break up; duration of freeze up; ice peak; channel storage increment; Ningxia Inner Mongolia reach

凌汛是由于河道冰凌对水流的阻挡作用引起的一种涨水现象, 直接影响水利工程的运行、维护和发电, 以及内陆航运、冬季输水、河流的环境和生态安全等^[1]。黄河是我国凌汛出现最为频繁河流, 其中宁蒙段最为严重。宁蒙河段是黄河宁夏河段和内蒙古河段的统称, 大致呈“Γ”型头部状, 河段全长1237 km。干流纬度为37°17′-40°51′N, 水流由低纬度流向高纬度, 11月-次年2月, 多年平均气温低纬度地区比高纬度地区高3.4℃, 使得宁蒙河段封河时由河段下游向河段上游封冻, 开河时则由河段上游向河段下游解冻^[4,5]。

为了探讨气候变化和水库防凌调度对黄河宁蒙河段冰情的影响, 本文统计分析黄河宁蒙河段1951年-2000年和2001年-2010年流凌、封河、开河日期特征, 并对凌峰和

槽蓄增量进行了初步分析, 旨在为黄河宁蒙河段防凌减灾等实际工作提供参考。

1 黄河宁蒙段凌情和凌灾

凌情成灾主要表现在两个方面: 一是冰塞、冰坝引起的水位壅高而导致凌洪泛滥; 二是冰体压力与流冰碰撞而导致河道堤防受损甚至毁坏, 并间接引起凌汛洪水^[6,7]。冰塞一般发生在河道封冻的初期, 此时冰盖下聚集大量碎冰冰花, 在水流动力作用下, 一部分沿冻结的冰盖向上游延伸而封冻, 另一部分潜入水下流动, 当遇到阻碍时, 就在冰盖下堆积起来, 堵塞过水断面, 壅高上游水位^[8], 降低下游水位, 严重时形成上下游较大的水位差。冰坝发生在解冻开河时期, 这

收稿日期: 2013-09-30 修回日期: 2014-01-03 网络出版时间: 2014-06-11

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/doi/10.13476/j.cnki.nsbdtqk.2014.03.001.html>

基金项目: 国家自然科学基金项目(51379078; 51009065)。

作者简介: 王富强(1979), 男, 河南济源人, 副教授, 博士, 主要从事水循环模拟与调控、生态水文学等方面研究。E-mail: fortunewang@163.com

时大量流冰冰块在河道狭窄弯曲处受阻,冰块上爬下插,大量堆积,形成冰坝,严重时会导致上游水位急剧涨高,形成漫滩假堤的严重凌情^[9-10]。

黄河宁蒙河段 1951/1952 年-2010/2011 年共发生冰坝 322 次,占凌情发生总数的 93.1%;发生冰塞 23 次,占凌情发生总数的 6.6%;发生冰体压力及流冰撞击凌情 1 次,占凌情发生总数的 0.3%。但是,并不是所有凌情都会造成灾害,346 次凌情中造成凌灾的有 88 次。其中,由于冰塞造成灾害 20 次,占总灾害数的 22.7%;由冰坝造成灾害 67 次,占总灾害数的 76.2%;由冰体压力及流冰撞击造成灾害 1 次,占总灾害数的 1.1%。由此可见,宁蒙河段冰坝

发生频率远高于冰塞发生频率,冰坝是宁蒙河段凌情的主要表现形式^[11]。

由表 1 中宁蒙河段各断面的凌情及凌灾统计结果可以看出,宁蒙河段冰塞型凌灾最严重的区间为下河沿-石嘴山,其次是头道拐及以下,而三湖河口-昭君坟则没有发生冰塞现象;冰坝型凌灾最严重的区间为昭君坟-头道拐,而头道拐及以下 60 年间没有发生冰坝现象;冰体压力及流冰撞击造成的灾害仅在昭君坟-头道拐河段发生过一次。总体来看,1951/1952 年-2010/2011 年黄河宁蒙河段平均每年发生冰情 5.77 次,平均 2 年成灾 1 次。凌情每年都有不同程度的发生,而凌灾不是每年都有发生。

表 1 黄河宁蒙河段各断面凌情及凌灾情况

Table 1 Ice regime and disaster characteristics of each section in Ningxia Inner Mongolia reach of Yellow River

河段	冰塞				冰坝				冰体压力及流冰撞击			
	次数	比例(%)	成灾次数	比例(%)	次数	比例(%)	成灾次数	比例(%)	次数	比例(%)	成灾次数	比例(%)
河段N	11	47.83	9	45	29	9.01	9	13.43				
河段0	4	17.39	3	15	34	10.56	11	16.42				
河段0	3	13.04	3	15	53	16.46	16	23.88				
河段0					41	12.73	9	13.43				
河段0	1	4.35	1	5	165	51.24	22	32.84	1	100	1	100
河段0	4	17.39	4	20								
全河段	23	100	20	100	322	100	67	100	1	100	1	100

注:河段N表示下河沿-石嘴山,河段0表示石嘴山-巴彦高勒,河段0表示巴彦高勒-三湖河口,河段0表示三湖河口-昭君坟,河段0表示昭君坟-头道拐,河段0表示头道拐及以下。

2 黄河宁蒙段历史凌情特征分析

2.1 凌汛三期特征分析

凌汛三期是指流凌日期、封河日期、开河日期。统计时段为 1950/1951 年至 2000/2001 年,包括石嘴山、巴彦高勒、三湖河口及头道拐四个站点。

(1) 流凌日期。由表 2 可以看出宁蒙河段四个水文站中,最早的流凌日期为 1959 年 11 月 8 日(石嘴山、巴彦高勒),三湖河口与头道拐两站的平均流凌日期较为接近,均在 11 月 18 日、19 日前后。平均流凌日期最早的是三湖河口站,这是由于该段河道比较低,水流速度较小,且凌期平均气温最低所造成的。

(2) 封河日期。三湖河口站封冻日期最早,平均封河日期为 12 月 5 日,最早封河日期为 11 月 7 日;巴彦高勒站平均封河日期为 12 月 13 日,比三湖河口晚了近 8 d。巴彦高勒站与头道拐站平均封河日期比较接近,均在 12 月 13 日、14 日前后。石嘴山站封冻日期最晚,多年平均值为 1 月 3 日,与三湖河口站相比晚了近 30 d,与另外两站相比晚了近 15 d。

(3) 开河日期。石嘴山站开河日期最早,多年均值为 3 月 3 日,最早开河日期出现在 1979 年 2 月 10 日,这是由于 1979 年冬末春初来自西伯利亚和蒙古的冷锋迅速向西北回撤,导致宁蒙段迅速升温,石嘴山站提前开河。巴彦高勒站平均开河日期较晚,多年均值为 3 月 15 日;三湖河口与头道拐站多年开河日期比较接近,均在 3 月 4 日、5 日前后。由于是地处宁蒙河段最北端的水文站,三湖河口站最晚开河日期出现在 1970 年 4 月 5 日,较往年均值晚了近 30 d。

表 2 1950/1951 年至 2000/2001 年流凌、封河、开河日期特征分析

Table 2 Characteristics of drift ice, freeze up, and break-up dates from 1950/1951 to 2000/2001

站名	统计特征	流凌日期	封冻日期	开河日期
石嘴山	最早	11 月 8 日	12 月 7 日	2 月 10 日
	最晚	12 月 27 日	1 月 31 日	3 月 18 日
	平均	12 月 1 日	1 月 3 日	3 月 3 日
巴彦高勒	最早	11 月 8 日	11 月 23 日	2 月 24 日
	最晚	12 月 28 日	1 月 12 日	3 月 27 日
	平均	11 月 26 日	12 月 13 日	3 月 15 日
三湖河口	最早	11 月 4 日	11 月 7 日	3 月 6 日
	最晚	12 月 2 日	1 月 1 日	4 月 5 日
	平均	11 月 18 日	12 月 5 日	3 月 21 日
头道拐	最早	11 月 6 日	11 月 14 日	3 月 4 日
	最晚	12 月 1 日	1 月 25 日	3 月 31 日
	平均	11 月 19 日	12 月 14 日	3 月 22 日

2.2 封冻历时

表 3 为黄河宁蒙河段四个水文站点封冻历时资料的统计结果,可以看出宁蒙河段封冻历时最长可达 150 d,即当遭遇极端低温持续事件时,宁蒙河段会在全年 5 个月的时间里全河段封冻,严重影响冬季供水、交通及发电等,给该地区的居民生活带来极大不便。石嘴山站封河历时最短,多年平均为 60 d,其中最短历时为 20 d,最长历时可达 102 d,相差 82 d,表明石嘴山站冬季气温年际变化较大。三湖河口站封冻历时最长,多年平均达 108 d,其中最长历时可达 150 d,接近宁蒙河段最长的封冻时间。

2.3 开河期凌峰

由表 4 可以看出,石嘴山站开河当日多年平均流量为四站中最小,仅为 593 m³/s,开河最大凌峰值最高达 1 700 m³/s

表3 宁蒙河段及主要水文站封冻天数统计

Table 3 Lasting days of ice cover in the Ningxia Inner Mongolia reach and main stations

封冻天数特征	d				
	石嘴山	巴彦高勒	三湖河口	头道拐	宁蒙河段
1950/1951-2000/2001 平均	60	93	108	100	117
1950/1951-2000/2001 最短	20	49	72	53	76
1950/1951-2000/2001 最长	102	124	150	135	150

(1967年),开河最小凌峰值为422 m³/s(1997年)。1997年至2000年石嘴山、巴彦高勒、三湖河口三站同时出现了开河期的最小凌峰流量。头道拐站最大凌峰流量为历年来最大值,达到3500 m³/s(1968年),其最小凌峰流量为1000 m³/s(1958年)。三湖河口最大凌峰流量达到2220 m³/s(1967年),其平均凌峰流量为818 m³/s。总体来看,头道拐最大凌峰流量变化最大,石嘴山年均开河流量则最小。

3 近10年宁蒙河段凌情特征变化

3.1 凌汛三期特征

近10a宁蒙河段凌汛三期情况见表5,与历史凌情比较

表5 近10年宁蒙河段主要站点凌汛三期统计

Table 5 Three times of ice regime in Ningxia Inner Mongolia reach in recent ten years

站名	统计特征	流凌日期	封冻日期	开河日期
石嘴山	平均	12月9日	1月7日	2月19日
	最早	2009年11月22日	2003年12月27日	2009年2月5日
	最晚	2007年12月28日	2004年1月22日	2008年3月6日
巴彦高勒	平均	12月4日	12月20日	3月16日
	最早	2009年11月17日	2005年12月5日	2002年2月24日
	最晚	2007年12月13日	2007年12月30日	2005年3月18日
三湖河口	平均	11月25日	12月19日	3月20日
	最早	2009年11月15日	2009年11月22日	2002年3月6日
	最晚	2006年12月3日	2004年12月20日	2010年3月28日
头道拐	平均	11月28日	12月16日	3月18日
	最早	2009年11月15日	2005年12月5日	2002年3月6日
	最晚	2004年12月25日	2004年12月28日	2010年3月25日

3.2 冰期气温

通过统计分析2001/2002年-2010/2011年宁蒙河段11月-次年3月冰期气温特征见表6、图1,可以看出,宁蒙河段冰期平均气温为-4℃,气温变化范围在-33℃~28℃之间,最高气温出现在3月份,最低气温出现在1月份。石嘴山站平均气温最高(-2.1℃),头道拐站平均气温最低(-5.5℃),巴彦高勒与头道拐的冰期平均气温在-4℃左右。

3.3 封冻历时

通过统计近10a黄河宁蒙河段封冻历时数据发现见表7,石嘴山、巴彦高勒、三湖河口、头道拐近10a来平均封河时间都有不同程度减少,其中石嘴山站减少天数最多,为17d;巴彦高勒站减少了15d;三湖河口与头道拐站分别减少了7d和8d。这说明近10a来区域气候变暖和龙刘水库的运行对宁蒙河段封冻历时均有一定程度的影响,宁蒙河段平均封冻时间减少近10d。

表4 主要水文站开河期凌峰流量统计

Table 4 Ice peak flow at main stations during the break up period

站点	最大凌峰		最小凌峰		开河当日多年平均值
	流量	出现年份	流量	出现年份	
石嘴山	1700	1967	422	1997	593
巴彦高勒	1890	1956	462	2000	654
三湖河口	2220	1967	435	2000	818
头道拐	3500	1968	1000	1958	811

可以看出,近10a流凌平均日期较往年普遍推迟,封河日期也普遍延后。其中,石嘴山近10a的流凌日期较历史时期推迟了近8d,封冻日期延后了4d,开河日期则提前了12d。内蒙古段三站流凌日期均有所提前,流凌日期提前最多的为头道拐站,达9d;封冻日期延后最多的为三湖河口站,达14d。值得注意的是,虽然近10a来内蒙古段的流凌、封河均有所提前,但与宁夏段不同的是,除了三湖河口站开河日期与往年持平外,另外两站开河日期均有所推迟,其中头道拐站开河日期较往年推迟了4d,这主要是由于龙羊峡、刘家峡水库防凌调度运行,调蓄了该河段水量,减缓了水流速度,以实现平稳开河^[12]。

表6 近10年冰期气温

Table 6 Characteristics of temperature in recent ten years (°C)

月份	石嘴山			巴彦高勒		
	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值
11	22	-18	1.7	21	-22	0.5
12	12	-24	-5.1	13	-27	-6.7
1	10	-27	-8	9	-27	-10.1
2	18	-24	-3	18	-25	-4.8
3	28	-15	3.8	25	-19	1.8
平均	18	-21.6	-2.1	17.2	-24	-3.9
月份	三湖河口			头道拐		
	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值
11	20	-20	-0.3	20	-23	-1
12	9	-26	-7.3	9	-32	-8.7
1	7	-28	-10.7	6	-33	-12.4
2	16	-25	-5.4	17	-33	-6.5
3	23	-19	1.3	24	-21	1.2
平均	15	-23.6	-4.5	15.2	-28.4	-5.5

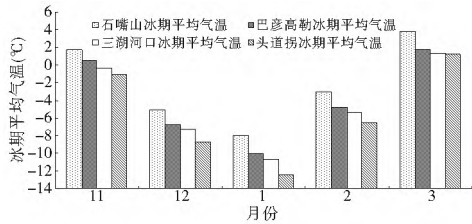


图 1 近 10 年冰期气温特征

Fig. 1 Characteristics of temperature in recent ten years

表 7 近 10 年主要站点封冻历时统计

Table 7 Lasting time of ice cover at main stations in recent ten years

封冻历时统计	石嘴山	巴彦高勒	三湖河口	头道拐
2001/2002 2010/2011 平均	43	78	101	92
2001/2002 2010/2011 最短	26	61	88	81
2001/2002 2010/2011 最长	55	94	126	102
1950/1951 2000/2001 平均	60	93	108	100

3.4 开河流量

由表 8 黄河宁蒙河段开河流量统计可以看出, 2001/2002 年-2010/2011 年石嘴山、巴彦高勒、三湖河口和头道拐平均开河流量分别比往年减小 $14 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $118 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $68 \text{ m}^3/\text{s}$ 和 $81 \text{ m}^3/\text{s}$ 。三湖河口历史最大开河凌峰流量出现在 1967 年, 高达 $2\,220 \text{ m}^3/\text{s}$; 头道拐站在 1968 年开河最大凌峰流量达到宁蒙河段历史最大值, 为 $3\,500 \text{ m}^3/\text{s}$, 而近 10 年宁蒙河段最大开河流量仅为 $1\,200 \text{ m}^3/\text{s}$ (头道拐)。近年来黄河宁蒙河段开河流量较往年普遍减小的主要是上、下游水库防凌调度的结果。

表 8 近 10 年开河流量统计

Table 8 Statistics of flow discharge during break up period in recent ten years

	石嘴山	巴彦高勒	三湖河口	头道拐
近 10 年开河流量				
2001/2002 2010/2011 最大	678	680	920	1 200
2001/2002 2010/2011 最小	490	350	554	589
2001/2002 2010/2011 平均	579	536	750	811
1950/1951 2000/2001 平均	593	654	818	892

3.5 近 10 年槽蓄水增量变化

通过分析 20 世纪 90 年代以来宁蒙河段冰期槽蓄水增量变化见图 2, 发现 2000 年以前该河段冰期槽蓄水增量平均为 12.8 亿 m^3 ; 而 2000 年-2010 年的 11 年间, 冰期槽蓄水增量平均为 15.7 亿 m^3 。特别是 2005 年, 该河段冰期槽蓄水增量达到近 20 亿 m^3 , 创下了近 20 年之最。从整体趋势上来看, 2000 年以来宁蒙河段冰期槽蓄水增量变化要明显高于历史时期。

4 结论

(1) 受气候变暖和水库调度的影响, 近 10 年流凌平均日期较往年普遍推迟, 封河日期也普遍延后。其中, 石嘴山流凌日期推迟了近 8 d, 封冻日期延后了 4 d, 开河日期则提

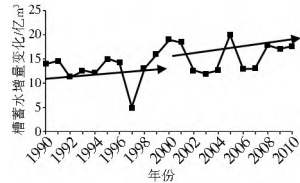


图 2 1990 年-2010 年宁蒙河段槽蓄水增量变化

Fig. 2 Variation of channel storage increment in Ningxia Inner Mongolia reach from 1990 to 2010

前了 12 d; 内蒙古段三站流凌日期均有所提前, 头道拐站流凌日期提前最多, 达 9 d; 三湖河口站封冻日期延后最多, 达 14 d。开河日期方面, 三湖河口站开河日期相差不大, 头道拐和巴彦高勒开河日期均有所推迟, 其中头道拐站开河日期较往年推迟了 4 d。

(2) 由于冰期气温偏高和龙、刘水库防凌调度的运行, 石嘴山、巴彦高勒、三湖河口、头道拐近 10 年来平均封河时间都有不同程度减少。其中石嘴山站减少天数最多, 为 17 d; 巴彦高勒站减少了 15 d; 三湖河口与头道拐站分别减少了 7 d 和 8 d。

(3) 受黄河宁蒙河段上、下游水库防凌调度运行的影响, 石嘴山、巴彦高勒、三湖河口和头道拐平均开河流量较往年均有减小, 分别比往年减小 $14 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $118 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $68 \text{ m}^3/\text{s}$ 和 $81 \text{ m}^3/\text{s}$ 。另外, 近 10 年来宁蒙河段冰期槽蓄水增量变化要明显高于历史时期, 其中 2005 年该河段冰期槽蓄水增量达到近 20 亿 m^3 , 创下了近 20 年之最。

参考文献 (References):

- [1] 蔡琳. 黄河防凌工作 50 年 [J]. 人民黄河, 1996(12): 1-8. (CAI Lin. Fifty Years of Ice Flood Protection in the Yellow River [J]. Yellow River, 1996(12): 1-8. (in Chinese))
- [2] 可素娟. 黄河冰凌研究 [M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2002. (KE Sujuan. Ice Research of Yellow River [M]. Zhengzhou: Yellow River Conservancy Press, 2002. (in Chinese))
- [3] 茅泽育, 吴剑疆, 余云童. 河冰生消演变及其运动规律的研究进展 [J]. 水力发电学报, 2002(1): 153-161. (MAO Zeyu, WU Jianjiang, SHE Yuntong. River Ice Processes [J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2002(1): 153-161. (in Chinese))
- [4] 董雪娜, 李雪梅, 林银平, 等. 黄河下游凌情特征及变化 [J]. 水科学进展, 2008, 19(6): 882-887. (DONG Xuena, LI Xuemei, LIN Yirping, et al. Characteristics of Ice Regime in the Lower Yellow River [J]. Advances in Water Science, 2008, 19(6): 882-887. (in Chinese))
- [5] 姚惠明, 秦福兴, 沈国昌, 等. 黄河宁蒙河段凌情特性研究 [J]. 水科学进展, 2007, 18(6): 893-896. (YAO Huiming, QIN Fuxing, SHEN Guochang, et al. Ice Regime Characteristics in the Ningxia Inner Mongolia Reach of Yellow River [J]. Advances in Water Science, 2007, 18(6): 893-896. (in Chinese))
- [6] 陈守煜, 冀鸿兰. 冰凌预报模糊优选神经网络 BP 方法 [J]. 水利学报, 2004, (6): 114-118. (CHEN Shouyu, JI Honglan. Fuzzy Optimization Neural Network BP Approach for Ice Forecasting [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2004, (6): 114-118. (in Chinese))

(下转第 97 页)

- GAO Yi, et al. Study on Total Water Consumption Control in Taihu Basin[J]. Water Resources Protection, 2009, 25(3): 37-40. (in Chinese)
- [2] 裴源生, 刘建刚, 赵勇, 等. 水资源用水总量控制与定额管理协调保障技术研究[J]. 水利水电技术, 2009, 40(3): 8-11. (PEI Yuan sheng, LIU Jian gang, ZHAO Yong, et al. Study on Support Technique for Coordination Between Total Amount Control and Quota Management of Water Consumption for Water Resources[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2009, 40(3): 8-11. (in Chinese))
- [3] 陈进, 朱延龙. 长江流域用水总量控制探讨[J]. 中国水利, 2011, (5): 41-44. (CHEN Jin, ZHU Yan long. Discussion on Total Water Use in Yangtze River Basin[J]. China Water Resources, 2011, (5): 41-44. (in Chinese))
- [4] 汪党献, 酆建强, 刘金华. 用水总量控制指标制定与制度建设[J]. 中国水利, 2012, (7): 12-14. (WANG Dang xian, LI Jian qiang, LIU Jinhua. Determination of Control Indicators of Total Water Use and System Establishment[J]. China Water Resources, 2012, (7): 12-14. (in Chinese))
- [5] 刘淋淋, 曹升乐, 于翠松, 等. 用水总量控制指标的确定方法研究[J]. 南水北调与水利科技, 2013, 11(5): 159-163. (LIU Lin lin, CAO Sheng le, YU Cui song, et al. Research on Determination of the Control Index of Total Water Use[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2013, 11(5): 159-163. (in Chinese))
- [6] 王金国. 中国水电可持续发展评价指标体系研究[M]. 成都: 西南交通大学出版社, 2011. (WANG Jinguo. Study On Evaluation Index System Of Hydropower Sustainable Development[M]. Chengdu: Xian Jiao Tong University press, 2011. (in Chinese))
- [7] 刘永叶. 长江流域水环境安全及其评价指标体系初探[D]. 武汉: 华中科技大学, 2007. (LIU Yong ye. Brief Discussion about Basin Water Environmental Security and Evaluation Index System of the Yangtze River Valley[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2007. (in Chinese))
- [8] 李庆航, 钱凯霞, 肖昌虎, 等. 长江流域用水趋势及用水总量控制指标研究[J]. 人民长江, 2012, 43(2): 12-15. (LI Qing hang, QIAN Kai xia, XIAO Chang hu, et al. Study of Water Consumption Trend of Yangtze River Basin and Controlling Index of Total Water Consumption[J]. Yangtze River, 2012, 43(2): 12-15. (in Chinese))
- [9] 曾祥, 董玲燕, 骆建宇. 长江流域干支流用水总量控制指标研究[J]. 长江科学院院报, 2011, 28(12): 19-22. (ZENG Xiang, DONG Ling yan, LUO Jian yu. Target of Controlling Total Amount of Water Use from Main Stream and Tributary of Yangtze River[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2011, 28(12): 19-22. (in Chinese))
- [10] 焦勇. 基于用水总量控制制度农业高效用水评价指标体系的研究[J]. 巢湖学院学报, 2013, 15(1): 72-76. (JIAO Yong. Study on the Evaluation Index System of Agricultural Efficient Water Use—Based on the Total Amount Control System[J]. Journal of Chaohu College, 2013, 15(1): 72-76. (in Chinese))
- [11] 张海涛, 谢新民, 谷军方, 等. 邯郸市东风湖泉域用水总量控制研究[J]. 水电能源科学, 2011, 29(2): 17-20. (ZHANG Haitao, XIE Xinmin, GU Junfang, et al. Study on Water Total Control of Dongfeng Lake Basin in Handan City[J]. Water Resources and Power, 2011, 29(2): 17-20. (in Chinese))
- [12] 卜楠楠, 唐德善, 尹笋. 基于AHP法的浙江省水资源承载力模糊综合评价[J]. 水电能源科学, 2012, 30(3): 42-44. (BU Nannan, TANG Deshan, YIN Sun. Fuzzy Comprehensive Evaluation of Carrying Capacity of Water Resources in Zhejiang Province Based on AHP Method[J]. Water Resources and Power, 2012, 30(3): 42-44. (in Chinese))
- [13] 李燐楷. 咸阳市水资源承载力研究[D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2011. (LI Lian kai. Study On Water Resources Carrying Capacity of Xianyang City[D]. Xianyang: Northwest A & F University, 2011. (in Chinese))
- [14] 马艳. 基于AHP的西安市水资源可持续开发利用模糊综合评价[D]. 西安: 长安大学, 2008. (MA Yan. The Fuzzy Synthetic Evaluation of Water Resource Sustainable Development and Utilization in Xi'an City Based on AHP[D]. Xi'an: Chang'an University, 2008. (in Chinese))
- [15] 程丽. 济南市水资源安全评价研究[D]. 济南: 山东师范大学, 2011. (CHENG Li. Evaluation of Water Resources Security of Jinan City[D]. Jinan: Shandong Normal University, 2011. (in Chinese))

(上接第24页)

- [7] 王云璋, 康玲玲, 陈发中, 等. 近30a气温变化对黄河下游凌情影响分析[J]. 冰川冻土, 2001, 23(3): 323-327. (WANG Yunzhang, KANG Lingling, CHEN Fazhong, et al. Effect of Air Temperature Change in the Last 30 Years on Ice Jam Flood in the Lower Reaches of the Yellow River[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2001, 23(3): 323-327. (in Chinese))
- [8] 蔡琳, 卢杜田, 蔡彬. 水库防凌调度数学模型的研制与开发[J]. 冰川冻土, 2002, 24(2): 214-217. (CAI Lin, LU Dujian, CAI Bin. Mathematical Model of Reservoir Operation for Ice Jam Flood Control[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2002, 24(2): 214-217. (in Chinese))
- [9] 王志兴, 李成振, 范宝山, 等. 改进的遗传BP交叉训练算法及其在河流冰情预报中的应用[J]. 水力发电学报, 2010, 29(1): 76-80. (WANG Zhi xing, LI Cheng zhen, FAN Bao shan, et al. A Modified Genetic and BP Alternately Training Algorithm and Its Application to River Ice Forecasting[J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2010, 29(1): 76-80. (in Chinese))
- [10] 韩宇平, 蔺冬, 王富强, 等. 基于粒子群算法的神经网络在冰凌预报中的应用[J]. 水电能源科学, 2012, 30(3): 35-37. (HAN Yiping, LIN Dong, WANG Fuqiang, et al. Application of Neural Networks to Ice Forecasting Based on Particle Swarm Optimization[J]. Water Resources and Power, 2012, 30(3): 35-37. (in Chinese))
- [11] 周翔南, 王富强, 蔺冬. 基于遗传算法的SVM冰凌预报模型研究[J]. 华北水利水电学院学报, 2012, 33(1): 19-22. (ZHOU Xiangnan, WANG Fuqiang, LIN Dong. Research of SVM Ice Forecast Model Based on Genetic Algorithm[J]. Journal of North China Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power, 2012, 33(1): 19-22. (in Chinese))
- [12] 黄强, 李群, 张泽中, 等. 龙刘两库联合运用对宁蒙河段冰塞影响分析[J]. 水力发电学报, 2008, 27(6): 142-147. (HUANG Qiang, LI Qun, ZHANG Zezhong, et al. Impact of Ice Jam by Long-Liu Reservoirs Joint Operation in the Ningxia Inner Mongolia Reach[J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2008, 27(6): 142-147. (in Chinese))