

黄河源区河道冰凌特征变化及影响因素分析

杜一衡¹, 郝振纯¹, 李伟玲¹, 鞠琴¹, 鲁承阳², 畅俊杰²

(1. 河海大学 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210098;

2. 黄河水利委员会河源研究院, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 黄河流域是我国凌汛灾害常发的地区, 其中黄河源区是黄河上游凌情研究的空白区。为掌握该区域的凌情规律, 对黄河沿-唐乃亥河段黄河沿、吉迈、玛曲3个常封断面的气象资料(1960-1987, 2007-2011)和水文资料(1960-1987, 2007-2011)进行研究, 分析3个站的封河、开河日期以及冬季最大冰厚的变化规律, 得出黄河源区封河从黄河沿附近开始向下游延伸, 封河日期和开河日期均有推迟趋势, 但总封冻天数在减少, 冬季最大冰厚则各站趋势不同。通过对冬季气温、流量等因素进行分析, 得出冬季累计负气温和冬季平均流量对于凌情主要特征的影响十分显著, 可以作为预报因子进行进一步的研究。

关键词: 黄河源区; 凌情特征; 变化趋势; 气温

中图分类号: P332.8

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2014)05-0032-05

Analysis of change and influence factor of ice regime character in Yellow River source area

DU Yiheng¹, HAO Zhenchun¹, LI Weiling¹, JU Qin¹, LU Chengyang², CHANG Junjie²

(1. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. Yellow River Riverhead Institute, Yellow River Conservancy Commission, Lanzhou 730000, China;)

Abstract: The Yellow River is one of the most seriously-affected areas where the melting ice flood disasters often take place. The source area of the Yellow River is the research gap of ice-slush. . Based on analyzing the meteorological and hydrological data of the Yellow River source area, this paper selected three representative cross sections, summarized main characters of the ice regime. It then analyzed the dates of freeze-up and break-up of the river, and the change rule of the largest ice thickness in winter. The result shows that the freeze-up goes from upstream to downstream. The dates have delaying trend, but the total number of freeze-up days is decreased and the largest ice thickness each station in winter is different. meanwhile the break-up process goes on the contrary. The main influence factors of ice regime are air temperature, average flow in winter which can be taken as forecast factors to further research.

Key words: Yellow River source area; character of ice regime; change trend; temperature

黄河是中华民族的母亲河,但也以水旱灾害频繁而著名。黄河冰凌灾害造成的损失严重,防治难度却很大^[1]。随着气候变化和人类活动影响的逐渐加剧,黄河流域的凌情特征也随之变化^[2]。有关黄河凌情的研究一直是国内外有关学者高度重视的对象,对黄河宁蒙河段^[3]、黄河下游河段^[4-6]等的凌情特征预报都有较为全面的研究。预报方法^[7-8]有经验相关法、数值模拟法。本文通过建立统计学模型、神经网络模型,结合冰凌生消的物理过程,得到

了较好的预报结果。

在这些研究中,却没有涉及黄河源区凌情的研究。位于青藏高原的黄河源区是气候变化的敏感区,由于其所处纬度高,封河时有发生,常伴随冰塞等灾害。掌握凌情规律是冰凌预报的基础工作,对研究气候变化对源区径流过程的影响十分重要,可为有效做好防凌减灾工作提供科学依据,也为建立源区水循环过程模型打下基础。本文对黄河源区3个常封河段的凌情特征规律及近年的变化进行了总

收稿日期:2014-05-22; 修回日期:2014-06-17

基金项目:全球变化研究国家重大科学研究计划项目(2010CB951103);国家自然科学基金重点项目(40830639);2011年度高等学校博士学科点专项科研基金(20110094110013);国家重点实验室团队项目(1069-50985512)

作者简介:杜一衡(1990-),女,江苏南京人,在读硕士研究生,主要从事水文水资源和气候变化影响研究。

结,并分析了气象、水力等因素对凌情特征的影响,为进一步的模型建立和凌情预报奠定了基础。

1 研究区概况

黄河源区^[9]一般是指黄河干流唐乃亥断面以上的区域,地处青藏高原腹地,面积 121 972 km²。源区河段走向为斜向的 V 字型,在玛曲站以上,黄河流经山间的平川宽谷,地势较缓;自玛曲站以下,黄河进入高山峡谷区,河道比降增大。黄河源区的冬季寒冷漫长,每年冰期可持续 4~5 个月。由于峡谷区流量常年较大,源区出口唐乃亥站为常年不封河段,因此本文在凌情研究中未选择该站。

本文选用源区黄河沿站、吉迈站、玛曲站 3 个水文站点,研究要素为流量、冬季最大冰厚、封河日期以及开河日期。站点列表和资料系列见表 1。

表 1 黄河源区各研究站点水文、气象资料列表							m, a
资料类别	站点	经度 E	纬度 N	海拔	资料系列	资料长度	备注
水文资料	黄河沿	98.08°	34.57°	4221.0	1960-1987,2007-2011	23	资料不连续
	吉迈	99.39°	33.46°	3989.0	1960-1987,2007-2011	18	资料不连续
	玛曲	102.05°	33.58°	3190.1	1964-1987,2007-2011	25	资料不连续
气象资料	玛多	98.22°	34.92°	4272.3	1960-2011	52	资料连续
	达日	99.65°	33.75°	3967.5	1960-2011	52	资料连续
	玛曲	102.08°	34.00°	3471.4	1964-2011	48	资料连续

表 2 黄河源区 3 个水文站开封河情况统计表							
时 段		封河日期	开河日期	封河日期	开河日期	封河日期	开河日期
		黄河沿		吉迈		玛曲	
1958-1967	平均	11-10	04-14	12-06	03-03	12-04	03-10
	最早	1959-10-25	1965-03-28	1959-11-25	1964-02-20	1965-11-28	1961-02-28
	最晚	1958-11-20	1962-04-30	1964-12-20	1959-03-20	1964-12-12	1965-03-21
1968-1977	平均			12-18	03-06	12-03	03-11
	最早			1972-11-23	1975-02-25	1977-11-20	1975-03-02
	最晚			1975-01-6	1971-03-14	1971-12-17	1974-03-15
1978-1987	平均	11-12	04-08	01-01	03-08	12-13	03-16
	最早	1979-10-25	1977-03-11	1985-12-11	1982-03-01	1978-12-02	1979-03-10
	最晚	1987-12-01	1983-05-01	1984-01-21	1987-03-11	1979-01-13	1983-04-01
1958-1987	平均	11-11	04-01	12-21	03-06	12-07	03-14
	最早	1959-10-25	1965-03-28	1972-11-23	1964-02-20	1977-11-20	1961-02-28
	最晚	1987-12-01	1983-05-01	1984-01-16	1959-03-20	1979-01-13	1983-04-01
2007-2011	平均	11-27	03-21	12-24	03-20	12-11	03-13
	最早	2008-11-11	2010-03-15	2010-12-15	2009-03-14	2008-12-01	2010-03-06
	最晚	2011-12-16	2009-04-10	2009-01-14	2008-03-27	2009-12-27	2011-03-20

2 黄河源区凌情特征分析

2.1 封、开河时间统计

黄河源区封河一般从黄河沿附近开始向下游延伸。统计黄河源区 3 个水文站历年最早封河、开河日期系列(见表 2)可得:黄河源区首封日期一般在 11 月中下旬至 12 月;开河时一般在 3 月中下旬。黄河沿站、吉迈站、玛曲站封河日期历史时段平均值(1958-1987)为:11 月 11 日,12 月 21 日和 12 月 7 日;近年封河日期(2007-2011)平均值为:11 月 27 日,12 月 24 日和 12 月 11 日,封河日期均有推迟。开河日期历史平均值为:4 月 1 日,3 月 6 日和 3 月 14 日;近年平均值为:3 月 21 日,3 月 20 日和 3 月 13 日,黄河沿站开河日期有明显提前,吉迈站有推后,玛曲站基本不变。

2.2 封河天数统计

黄河源区主要水文站历史时段(1958 – 1987)多年平均封冻天数为 152,69,97 d,近年(2007 – 2011)平均值为 121,79,96 d,黄河沿站封冻天数明显减少,吉迈站封冻天数增加,玛曲站封冻天数基本不变,这与前文开河日期的变化趋势有一致性。在 1979 – 1980 年度,在黄河沿河段出现最长封冻时间达 186 d,同时在吉迈附近河段出现了最短封冻时间,仅为 24 d。全河段观测站封冻天数最短为吉迈站,多年平均封冻为 69 d,黄河沿站多年平均封冻天数 108 d,是全河段封冻天数最长的河段(详见表 3)。

表 3 黄河源区各主要水文站封河天数情况统计表 d				
项目		黄河沿	吉迈	玛曲
1958 – 1987 平均		152	69	97
2007 – 2011 平均		121	79	96
最短	天数	109	24	59
	出现年份	1983 – 1984	1979 – 1980	1979 – 1980
最长	天数	186	106	120
	出现年份	1979 – 1980	1959 – 1960	1982 – 1983

2.3 冰厚统计

通过统计资料系列中冬季的最大冰厚,计算了黄河沿、吉迈和玛曲站冬季最大冰厚的历史时段(1958 – 1987)平均值分别为 0.95,0.58 和 0.42 m,近年来平均值为 0.66,0.57,0.3 m,各站时段平均冰厚均有减小。

2.4 变化趋势分析

采用 Mann – Kendall 方法对封河日期、开河日期、封冻天数和冬季最大冰厚进行趋势检验,在时间序列趋势分析中,Mann – Kendall 检验不需要样本遵循一定的分布,也不受少数异常值的干扰,适用于水文、气象等非正态分布的数据,计算方便。此处采用置信度 95% 的 MK 显著性检验,MK 检验值 $|z| \geq 1.96$ 表示通过了检验,正值表示显著增加,负值表示减少。

z 值及检验结果如表 4 所示,可得出:黄河源区 3 个水文站的封河日期均有显著推迟,开河日期黄河沿站为提前,其他两站略有推迟(z 值均大于 0),但总的封冻天数均在减少,说明封河日期推迟的程度更大,其中玛曲站 z 绝对值较小,可认为基本不变。而冬季最大冰厚在黄河沿站有减小趋势,在吉迈和玛曲站则有增加趋势。本次 MK 趋势检验结果与前文结果基本一致,但最大冰厚的趋势检验结果在吉迈和玛曲站呈现上升趋势,与时段均值比较的结果

不同,其原因为近年数据资料相对于历史时段太短,MK 检验结果趋势不明显,因此结合前文均值结果,认为这两站近年冬季最大冰厚相对于历史时段仍为减小趋势。

表 4 黄河源区 3 个水文站凌情变化 MK z 值结果				
	封河日期	开河日期	冬季最大冰厚	封冻天数
黄河沿	↑ 2.39	↘ -1.52	↘ -1.55	↘ -1.43
吉迈	↑ 3.15	↗ 1.93	↗ 1.02	↘ -1.04
玛曲	↑ 3.00	↗ 0.82	↗ 1.80	↘ -0.17

注:↑表示显著上升,↗、↘表示有上升或下降趋势但不显著,置信水平为 95%。

3 凌情影响因素分析

3.1 影响因子特征分析

3.1.1 因子选择 凌情的影响因素主要从气象条件和水力条件两方面考虑,所选分析因子为冬季平均气温、冬季累计负气温和冬季平均流量。

气象条件对于凌情的影响主要体现在气温。入冬气温转负,负气温使水体失热冷却产生冰凌,开春气温转正,气温高低不仅影响开河速度,同时也能改变开河的形势,因此首先选择冬季平均气温进行分析。判断冬季严寒的程度不仅靠平均气温,还应考虑负气温的持续时间和累积程度。低温的持续时间越长,冬季越寒冷,对冰凌的生成影响越大,因此更应考虑冬季累计负气温。

流量是水力条件最直接的表征量,其动力作用表现在水流速度的大小和水位涨落的机械作用力上。解冻开河时,若流量大,则加速开河过程,可促成“武开河”,流量小形成“文开河”形势,选择冬季平均流量对凌汛期的水力条件进行分析。

3.1.2 因子特征 定义 11 月到次年 3 月为当年的冬季,对 1960 – 2011 年各年冬季的日平均气温、负气温、日平均流量进行统计分析,并采用 MK 方法检验其变化趋势,结果如表 5 所示。

3 个水文站的冬季平均气温变化趋势基本一致,自 1960 年以来处于升温状态。通过比较 3 个水文站冬季平均气温的多年平均值可知,黄河沿站(玛多)纬度最高,其冬季平均气温最低,随着纬度降低,吉迈站(达日)、玛曲站(玛曲)冬季平均气温相对较高,呈现出气温随纬度降低而升高的趋势。3 个水文站冬季累计负气温随纬度变化的规律与冬季平均气温基本一致,气温的这一地域性差异对于形成凌汛提供了重要的热力条件。

源区冬季流量年际间变化很大,且各站均呈现

出弱增加的趋势。在其他条件相同的情况下,入冬时流量越大,河道越不易封冻,而开春后流量越大则河道越容易解冻。源区各站的流量都增大,理论上是利于开河、不利于封河的,3 个水文站封冻天数均呈减少趋势,与理论推测相一致。

表 5 黄河源区 3 个水文站凌情主要影响因子基本特征			
水文站 (气象站)	冬季平均 气温	冬季累计 负气温	冬季平 均流量
黄河沿(玛多)	-12.5 ↑	-1896.3 ↑	20.6 ↗
吉迈(达日)	-8.7 ↑	-1266.3 ↑	56.8 ↗
玛曲(玛曲)	-5.7 ↑	-824.3 ↑	181.1 ↗

注:↑表示显著上升,↗表示有上升或下降趋势但不显著,置信水平为 95%。

3.2 影响因子与凌情特征相关分析

通过对各站冬季累计负气温与封冻天数进行分析,可发现 3 个水文站均表现出相同的规律。由于版面限制,以黄河沿站作为示例,分别作冬季累计负气温和封冻天数、冬季最大冰厚的相关图(如图 1)。可见冬季累计负气温值越低,冬季越寒冷,则封河天数越长、冬季最大冰厚值越高,两者有着相反方向的变化趋势,表现出了一致性。说明累计负气温可以

表现冬季的寒冷程度,且与封冻天数、冬季最大冰厚有着一定的相关性。

由表 4、表 5 知,冬季累计负气温随时间变化而升高,3 个水文站封冻天数均呈减少趋势,与上述规律一致。冬季最大冰厚的变化规律则有不同,黄河沿站冰厚减小,而吉迈站、玛曲站的冰厚却在增加,应考虑其河冰生消方式的不同。

为研究冬季平均流量对于封冻时间和封冻效果的影响,对源区 3 个水文站分别作冬季平均流量和封冻天数、冬季最大冰厚的相关图,可得到相同的规律,此处只展示黄河沿站结果。如图 2 所示,在多数年份,流量出现峰值时,封冻天数、冬季最大冰厚会出现谷值,两者的趋势变化呈现出较强的相反性,说明冬季平均流量对于封冻的持续和冰厚的累积都有着不利的影响。

结合 3 个水文站流量呈增加趋势,封冻天数均呈减少趋势,与上述规律一致。而冬季最大冰厚的变化规律,应从河冰形成的物理过程出发,在不同的流速等级下,流量的增加可能会导致流速增加和水量增加,这二者对河冰的形成影响方向是相反的,应在不同流量等级下分情况讨论。

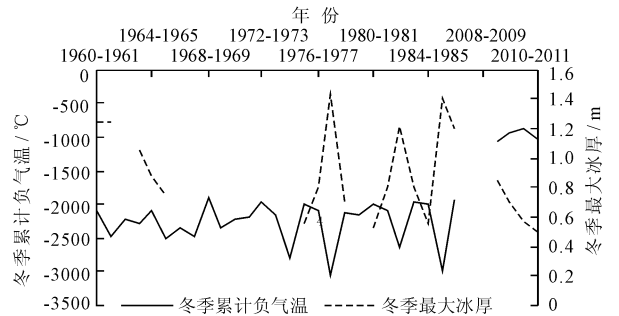
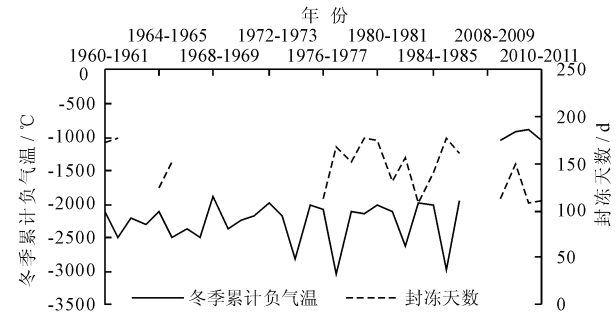


图 1 黄河沿站冬季累计负气温与封冻天数(左)、冬季最大冰厚(右)相关图

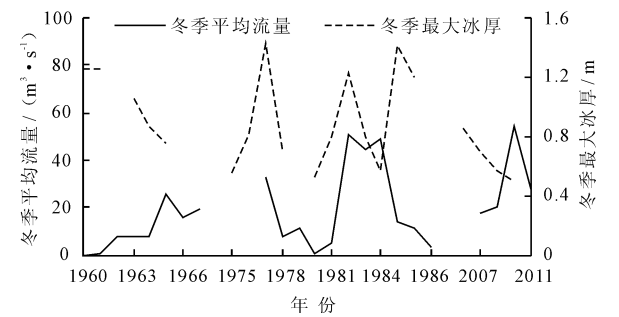
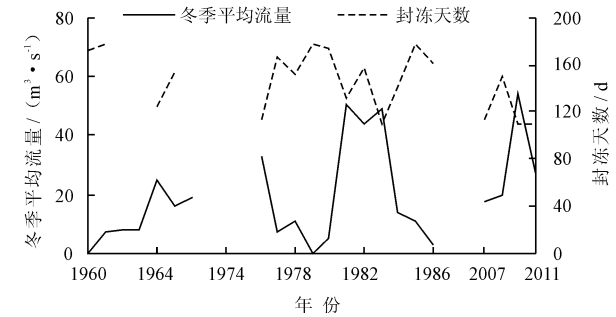


图 2 黄河沿站冬季平均流量与封冻天数(左)、冬季最大冰厚(右)相关图

4 结 语

在黄河上游河段凌情的研究中对黄河源区的关注较少,本文为研究黄河源区的河道冰凌现象,统计

并分析了源区 3 个常封站点主要凌情特征的变化规律。通过分析可得到如下结论:

(1)黄河源区封冻天数最长达 108 d,最短有 24 d。首封多出现在黄河沿站,而后向下游延伸。开河

时常出现在吉迈站,分别向上下游解冻。近几年来玛曲首先开河的次数增多,从下向上解冻。

(2)近年来,受到冬季平均气温升高、冬季平均流量增加的影响,黄河源区稳定封冻天数整体呈减少趋势,黄河沿站的冬季最大冰厚也呈减小趋势。而对于吉迈站和玛曲站的冬季最大冰厚虽然 MK 趋势检验结果有上升,但近年冰厚均值整体小于历史时段均值,故认为其总体是减小的。

(3)影响黄河源区凌情特征的主要因素有纬度产生的气温地带性、冬季气温的寒冷程度以及各站的流量,这些因素与封冻天数、冬季最大冰厚均有较好的相关关系。在日后建立凌情预报模型的过程中,可从这些因素中选择代表性的因子,进行进一步的讨论。

参考文献:

- [1] 刘吉峰,杨健,霍世青,等. 黄河宁蒙河段冰凌变化新特点分析[J]. 人民黄河, 2012,34(11):12-14.
- [2] 孟闻远,郭颖奎,王璐. 黄河冰凌特点及防治措施[J].

华北水利水电学院学报, 2010,31(6):27-29+42.

- [3] 李伟玲. 气候变化下黄河上游凌情特征分析及预报[D]. 南京:河海大学,2009.
- [4] 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.
- [5] 郭卫华,王哲,王友强,等. 黄河梁山段近 46 年凌情变化特征分析[J]. 安徽农业科学, 2011,39(13):7782-7960.
- [6] Dong X N, Li X M, Lin Y P et al. Characteristics of ice regime in the lower Yellow River[J]. Advances in Water Science, 2008,19(6):882-887.
- [7] 李凤玲,高瑞忠,冯国华,等. 两种改进的 BP 模型预报黄河内蒙段冰情信息及效果分析[J]. 中国农村水利水电, 2011(7):69-71+75.
- [8] 陆晓静,苏占胜,谭志强. 黄河宁夏段凌汛期气温变化特征[J]. 干旱气象, 2014,32(1):120-122+127.
- [9] Du Y H, Hao Z C, Ju Qin. Feature analysis and prediction of ice regime in the source region of the Yellow River [C]// IAHS-IAPSO-IASPEI Assembly, Gothen-burg, Smeden, 2013. 6.

(上接第 31 页)

(5)在考虑水分迁移和冰水相变因素影响下,通过模拟埋深在 1.5 m 冻土状态和冻融土状态保温给水管道运行 90 d 土壤温度场分布,此时的 PPR-PVC 给水管道运行是安全可靠的。

浅埋保温给水管道是解决在严寒地区冬季给水管道冻胀问题的综合性创新技术,这项技术减少了管线敷设的施工土方量,缩短了施工工期,尤其适用于因高地下水位给水管网敷设困难的地区。技术经济合理,运行完全可靠。为了更好的保障此项技术的实施效果,给水管道的防腐保温要严格按照设计要求施工;避免保温材料在储运、施工过程中受潮,并加强施工过程的质量监管。

参考文献:

- [1] 郑平. 冻土区埋地管道周围土壤水热力耦合作用的数值模拟[D]. 北京:中国石油大学,2011.
- [2] 付在国,宇波,朱洁,等. 多年冻土区埋地输油管道热力影响研究[J]. 工程热物理学报, 2012,33(12):2163-2166.

- [3] 姜洪举,程恩远. 大庆地区土壤冻胀性研究[J]. 冰川冻土, 1993,15(2):272-277.
- [4] 张喜发. 冻土试验与冻害调查[M]. 北京:科学出版社, 2013.
- [5] 吴礼舟,许强,黄润秋,等. 冻土中冻结锋面移动的影响因素[J]. 湖南科技大学学报(自然科学版), 2010,25(4):51-53.
- [6] 叶万军,杨更社,李喜安,等. 冻结速率对 Q2 黄土性状影响的试验研究[J]. 岩石力学与工程学报 2011,30(9):1912-1917.
- [7] 顾锦彤,马贵阳. 埋地热油管道启输过程土壤温度场三维数值模拟[J]. 辽宁石油化工大学学报, 2009,29(4):53-56.
- [8] 苏金明,王永利. Matlab7.0 实用指南(下册)[M]. 北京:电子工业出版社,2004.
- [9] 何建平. 青藏铁路冻土环境下浅埋给水管道保温分析研究[D]. 成都:西南交通大学,2005.
- [10] 马茂艳,程桦. 深厚土层冻结过程的水热力耦合分析[J]. 煤矿安全, 2012,43(4):139-142.