

黄河凌汛及其预报研究

宫德吉 白美兰 王秋晨

(内蒙古气象局, 呼和浩特 010051)

提 要

分析了黄河内蒙古段凌汛的特点及凌灾的成因, 指出黄河凌汛与黄河中上游的降水状况、冬季结冰状况及开春后的融冰速度有密切关系。依据成灾物理因素, 给出了判定河套凌汛状况的凌汛指数, 据此可对黄河凌汛进行预警。确定了黄河封河的临界温度指标, 提出了制作黄河开河日预报的技术方法。

关键词: 黄河 防凌 预报 凌汛指数

引言

自古黄河在内蒙古河套地区“每届春融冰解, 即水淹决口”(绥远通志稿)。历史上, 人们都远离黄河冰泛区居住, 以避灾害。近代以来, 由于引黄灌溉工程的修建, 农业经济发展, 沿河地区人口剧增, 黄河凌汛灾害已成为河套沿河地区人民躲不开的灾害。1927年3月, 临河永济渠因冰汛水暴涨决堤, “冰泛势如万马争驰, 水直扑县城, 西门市房三百余楹尽付东流, 损失巨甚”。1930年3月, 永济渠“冰层结坝, 冰泛陡涨, 横决数口, 冰水直逼护城坝, 城西平地水深四、五尺”(临河县志)。解放前, 屡屡泛滥的凌汛灾害曾使沿河人民苦不堪言。新中国成立以后, 各级人民政府非常重视黄河的防凌工作。从50年代初开始, 每当黄河春汛、流冰拥塞河道、水位暴涨时, 党中央和国务院便及时派出空军, 投弹炸冰, 疏通河道, 消除凌害。从此河套地区再没有发生过大的严重凌灾。然而, 黄河凌汛灾害的威胁依然存在。每到凌汛期, 防凌治凌, 安全渡汛, 仍是牵动上下人心的大事。人们都希望尽早知道黄河开河的早晚及凌汛的等级, 以便早做安排, 有备无患。但黄河凌汛是一个涉及天气条件、地理环境及人类活动等多方关系的问题, 预测比较困难。本文准备就这个问题做些探讨。

1 河套凌汛的特点

我国北方有冰封期的河流, 入春后因冰雪融化汇入河流, 使水位上涨, 都会出现春汛。黄河河套的凌汛更有特殊性。发源于巴颜喀拉山的黄河, 在“入海流”的过程中, 经过三个阶梯。上游流经崇山峻岭, 在源头至青铜峡的2604km河道中, 从海拔4448m下降到1133m, 比降 $>1.27\%$; 中游流经黄土高原, 在青铜峡至桃花峪的2092km的河道中, 从海拔1133m下降到89m, 比降0.5%左右; 下游流经华北平原, 在桃花峪以下的768km河道中, 落差89m, 比降仅0.1%。黄河东行所流经的区位不同, 环境各异, 水温也随之变化。特别是在兰州附近, 黄河折向东北流, 北进近4.5个纬度, 沿岸的气温也降低4~6℃(表1)。正是这南高北低的气温和黄河河套段很小的比降, 造成了河套地区凌汛险象环生的特点。

表1 黄河内蒙古-兰州段沿河主要气象站点的情况

	东经	北纬	海拔/m	一月平均气温/℃	极端最低气温/℃
兰州	103°53'	36°03'	1517.2	-6.2	-19.7
银川	106°13'	38°29'	1111.5	-8.5	-27.7
磴口	107°00'	40°20'	1055.1	-10.3	-34.2
包头	109°51'	40°40'	1067.2	-11.8	-31.4
托克托	111°11'	40°16'	1016.0	-12.8	-36.3

黄河凌汛最危险的地区是内蒙古磴口县到托克托县一带。该河段全长504km, 落差

63m,比降0.12‰,是黄河比降最小的地段之一。河水的流速与比降有关系,比降越小,流速越缓。而内蒙古河套地区在黄河河道中位置最偏北,气温也最低。由于该处河道开阔,比降小,流速低,气温低,河水易于结冻,所以该河段成为黄河最先封冻和最后开河的河段。一般河套地区流凌封冻比兰州提早20余天,而解冻开河要晚一个多月。在河套地区封冻之后,上游下泄的河水有很大一部分冻结在河道中。第二年春天,上游又率先解冻,大量冰水由上向下逐段释放下泄,形成了由上向下不断增大的凌峰。冰块在水流推动下,继续下移,在浅滩或河道弯曲、狭窄处,极易卡住,后至的冰块上爬下插,拥塞结坝。冰坝一旦形成,拦住冰水去路,上游水位便猛烈抬升,很快就会漫堤决口,酿成凌灾。

由于河套地区为古湖盆冲积平原^[1],地势平坦,黄河土堤是两岸的唯一的保护屏障。一旦发生凌灾,携带着大块流冰、有很大冲击力的漫堤冰水,破坏力极大。所以每年春汛期间,河套地区的防凌工作成为当地的头等大事。

2 关于开、封河的时间

从防凌调度的需要出发,人们希望能事先预测开、封河的时间。因此黄河封河日和开河日的预报,一向受到防凌防汛部门的重视。研究表明,虽然影响开、封河的因素较多,但关键的影响因素是气温的变化。如果掌握了气温的变化情况,并确定出开、封河的临界温度,则封河日和开河日的预报就不再是难题。

2.1 黄河封河的温度指标

从理论上说,温度 $t \leq 0^\circ\text{C}$,水即开始结冰。然而观测表明,每年秋季黄河河水在日最低气温 $t \leq 0^\circ\text{C}$ 时,并不马上出现结冰,直至日平均气温 $t \leq -2^\circ\text{C}$ 后,即最低气温接近于 -10°C ,在黄河的近岸处才开始结冰,并出现流凌。随着气温的进一步降低,结冰范围逐渐向河心发展,当日平均气温 $t \leq -5^\circ\text{C}$ 时,结冰范围可进入黄河主流区。但初期仍是日消夜结,直到候平均温度 $t \leq -7^\circ\text{C}$ 或旬平均气温 $t \leq -5^\circ\text{C}$ 之后,黄河才封河。因此,旬平均

气温 $t < -5^\circ\text{C}$ 可作为黄河封河日的预报指标,而旬平均气温 $t < -2^\circ\text{C}$ 是封河前流凌开始期的预报指标。

2.2 关于开河日的预报

与封河时的情况不同,黄河开河的气温并不存在一个确定的临界指标。这是因为封河仅是河水表层结冰的现象,可以有确定的临界气温;而开河却是在深厚的冰层大部解冻以后才出现的现象,结冰厚度、融冰所需热量、融冰的温度都不相同,开河不可能在一个固定的温度之下完成。

黄河内蒙古段的最大冻结厚度可达到1.3m以上。“冰冻三尺非一日之寒”,每年11月中旬至12月下旬,黄河内蒙古段先后封冻,到第二年3月中旬至4月初开河,封冻期最短为76天,最长为136天,平均封冻期为109天,一般说来,封冻时间越长,冰层厚度便越厚。而且封冻期间越寒冷,结冰厚度越厚^[2]。而结冰越厚,融冰所需热量便越多,满足融冰所需热量后,才能开河。

研究表明,对内蒙古地区一般河流来说,可以由历史资料所建立起的冰厚与融冰热量之间的回归方程,求得融冰热量,即:

$$Q = aH + c \quad (1)$$

式中 Q 是融冰所需热量, H 为结冰厚度, a 、 c 分别是回归系数和常数。

而结冰厚度与封冻期 $T_c \leq -5^\circ\text{C}$ 的负积温有很好的相关关系。因此

$$H = bT_c + d \quad (2)$$

这里 H 为结冰厚度, T_c 为低于 -5°C 的负积温, b 、 d 的回归系数和常数。将式(2)代入式(1)即得到开河所需积温。而开河日距旬平均温度 $T \geq -5^\circ\text{C}$ 开始期的日数为:

$$K_r = Q'/T \quad (3)$$

式中 K_r 为开河日, Q' 为开河所需积温, T 为开河期的平均温度。

于是复杂的开河日预报变成了一个通常的旬平均气温预报问题。

然而,由于人们可以用投弹炸冰的方式武力开河,所以现在黄河的开河日有很大的

人为性。一些在自然状态下开河应该偏晚的年份,由于炸冰而提前3~5天开河是常有的事。这就造成按自然因果关系所作的开河日预报,与实际的开河日有不小的偏差——毕竟人工开河也是开河。因此上述的精细开河预报方法,并不比粗略的趋势预报更实用。事实上,一月份是全年最冷的月份,一月的气温与结冰厚度有密切的关系,并影响着开河的早晚。一般一月的气温越低,开河便越晚。另一方面,开河期(主要是3月份)的温度变化特点,也会影响到开河的早晚。若3月气温偏

高,说明融冰强度大,会提早开河。反之,开河期将推后。因此若以 ΔK_r 代表开河日距平, ΔT_1 代表1月的气温距平, ΔT_3 代表3月的气温距平,则有:

$$\Delta K_r = \Delta T_1 + \Delta T_3 \quad (4)$$

事实表明,开河的早晚是由寒冷程度和融冰强度的综合结果决定的。虽然因受人工开河的干扰,开河日的预报会产生偏差,但开河日的趋势一般是不会变的(表2)。表中实况(-)表示开河晚于正常年份,实况(+)表示开河早于正常年份。

表2 包头站开河趋势预报与实况对比分析

年份	ΔT_1	ΔT_3	ΔK_r	实况	年份	ΔT_1	ΔT_3	ΔK_r	实况	年份	ΔT_1	ΔT_3	ΔK_r	实况
1971	-1.9	-1.5	-3.4	(-)	1981	-0.1	2.6	2.5	(+)	1991	3.3	0.8	4.1	(+)
1972	0.7	2.0	2.7	(+)	1982	0.8	1.6	2.4	(+)	1992	2.2	0.7	2.9	(+)
1973	0.5	1.4	1.9	(+)	1983	1.1	0.2	1.3	(+)	1993	-2.1	2.8	0.7	(+)
1974	1.1	-1.5	-0.4	(-)	1984	-1.1	-1.7	-2.8	(-)	1994	3.3	0.0	3.3	(+)
1975	3.0	0.9	3.9	(+)	1985	0.8	-2.6	-1.8	(-)	1995	1.3	1.1	2.4	(+)
1976	0.8	-1.3	-0.5	(-)	1986	1.7	0.1	1.8	(+)	1996	-0.3	-0.6	-0.9	(-)
1977	-3.9	1.0	-2.9	(-)	1987	1.6	-0.6	1.0	(+)	1997	2.1	4.2	6.3	(+)
1978	1.2	-0.7	0.5	(+)	1988	0.1	-2.2	-2.1	(-)	1998	0.5	2.6	3.1	(+)
1979	3.0	0.0	3.0	(+)	1989	3.2	0.0	3.2	(+)	1999	-1.9	-4.0	-5.9	(-)
1980	0.6	-0.6	0.0	(+)	1990	0.7	3.2	3.9	(+)	2000	-2.4	2.6	0.2	(+)

进一步的分析表明,实际的开河日与预报值偏差较大的都是一些凌险较大,因而采取了炸冰开河的年份。所以实际的凌汛预报服务可分为两步进行。第一步:用式(4)的趋势预报方法,在进入开河期之前,先确定出开河日的早晚,并作对外服务。其中 ΔT_3 可用预报值。该预报服务在2月份即可作出。第二步:根据凌险指数,在进入开河期后,再作出凌险预报,并对外服务。其具体作法,后面将要谈到。

3 凌险预警研究

3.1 凌险因素分析

观测事实表明,开河的早和晚,与凌险的大小并无直接关系。开河早的年份并不一定凌灾小,开河晚也不等于凌灾大。凌灾危险的大小与河道状况、河道内的槽蓄水量及开河时的气温变化有关。

3.1.1 河道堤坝状况及影响因素

黄河进入河套冲积、洪积平原区以后,由于河床多为第四系冲积砂壤土和粉细沙土,质地松散,河道受水流和泥沙的冲淤,频繁摆动游荡,形态蜿蜒。在河道弯曲度越大的地方,流凌期越易出现卡冰结坝,形成凌险。两岸的农业生产又主要依赖灌溉,农民凿堤取水,形成许多穿堤涵洞,凌汛到来之前,如果不及时处理或处理不好,也会增加凌险。看起来这些都是由地理环境引起的问题,其实不然,因为当地的地理环境是不变的,而每年出现的凌险情况却各不相同。关键问题在于,黄河摆动游走的特点是“大水走直,小水坐弯”。当夏秋季黄河中上游降水明显偏多时,大量河水直泻而下,黄河河道走向取直,弯曲度减小。同时降水偏多时,农民凿堤取水减少,洪汛又迫使人们处理涵洞,加固堤坝。这就减少了行凌时的危险。相反,当夏秋季黄河中上游降水明显偏少时,河床内水流小,流速慢,于

是受上游来沙和局地条件影响,水流随势游走,上提下挫,冲刷凹岸,淤积凸岸,迂回曲折,形成“天下黄河九十九道弯”。同时雨少时,人们往往对堤坝疏于管理,常留下许多隐患。这无疑都增加了行凌时的危险。因此,河套地区河道的弯曲度和堤坝状况,跟黄河中上游夏秋季的雨水量有密切联系。

3.1.2 河道内的槽蓄水量

冰封期的河槽蓄水量跟开河时的凌汛水量关系密切。槽蓄水量越大,则凌汛时危险越大。槽蓄水量是由河水及冰雪组成的。一方面它与黄河中上游地区前期(主要是秋季)的降水量有关,而更主要的是决定于冬季的结冰与降雪状况。结冰越厚,则冰下的过水能力便越小。于是河水因受阻滞而存留在河槽内的水量便越多。

3.1.3 开河时气温变化的影响

开河期间的温度变化对凌险有重要影响。特别是气温升速过快时,最易加重凌险。此时各河段结成冰的槽蓄水,在短时间内几乎同时融化下泄,极易形成非常大的凌峰。一旦下泄不畅,就会引起河水暴涨,造成凌灾。1981年3月上旬,内蒙古沿河地区的旬平均气温为 -1.5°C ,中旬平均气温却升到 4.9°C ,一举跃升至河冰统开温度。3月17日,磴口、临河、三湖河口各段同日开河,大量流冰骤然下泄,结果在三湖河口以下河面拥塞结坝,该站水位陡涨至1020.24m,比1981年夏季超常降水造成的 $5500\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 的最大洪峰水位还高0.27m。空军紧急炸冰,才避免了更大的损失。其时,下游的头道拐站的流量已比上游的三湖河口站的流量大了近一倍(见表3)。

表3 黄河最大凌险汛流量

	巴彦高勒	三湖河口	昭君坟	头道拐
流量/ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	632	1740	2740	3140
发生日期	3月16日	3月18日	3月21日	3月22日

3.2 凌险指数

从上述分析可以看到,影响凌险的因素主要有三个。第一,是与黄河中上游降雨状况

有关的下泄水量,它影响着封河期河槽内的槽蓄水量,也间接地反映着堤坝状况。第二,是与冬季寒冷程度有关的结冰状况,它影响着冰下水的过流能力。第三,是与开河期回暖速度有关的融冰强度,它影响着槽蓄冰水的汇集强度。可用三个指数来表示这三种凌险因素。

3.2.1 结冰期的下泄水量指数

结冰期的下泄水量指数被定义为:

$$\delta_1 = W_i/W \quad (5)$$

式中 W 是结冰前的下泄水量, W_i 是结冰后的下泄水量。

W 主要与前期黄河上游的降水有关。 W 值大,则水位高同样的结冰厚度下,则冰下空间大,过水能力强。同时, W 值大,也有利于减少河道弯曲度,从而减少流凌时发生卡冰的机会。 W_i 是上游冰雪融水后的下泄量,除与降水有关外,与上游温度也有一定关系。

在自然状态下,黄河封河前及封河后的下泄水量,是完全由流域内前期的降水量和封河后的冰雪状况决定的。但是自从黄河上游的龙羊峡、李家峡、刘家峡、青铜峡等大型水库建成以后,库区温度明显提高^[3],下泄水量受温度的影响已大大减小。虽然自然降水仍然是库区水量的决定因素,然而下泄水量在很大程度上主要由人工调控决定,因此该指数在很大程度上已成为一个人工控制指数。

3.2.2 结冰的阻水状况指数

结冰的阻水状况指数被定义为:

$$\delta_2 = H/(B_0 - H) \quad (6)$$

式中 H 是河冰厚度,可由(2)式求得。 B_0 是封河时河水深度,可由水文资料得到。

在河水深度不变时,结冰越厚,则 δ_2 越大。它表示阻止冰水通过冰下下泄的作用强,凌险增加。相反,结冰越薄,则凌险越小。该指数可以在2月底得到,可用作凌险中期预警。

3.2.3 融冰的强度指数

融冰强度指数可定义为:

$$\delta_3 = \Delta t / \Delta T \quad (7)$$

式中 Δt 为开河期单位时间内的气温升幅, ΔT 为常年同期的平均气温升幅。其评价单位可取为旬。

该指数代表着融冰强度对凌险的影响。由于融冰强度与开河期的升温速率有关,升温速率越大,单位时间内融冰下泄的水量便越大。因此这里用升温速率表示融冰强度指数。该指数在进入开河期才能得到,可用作短期预警。

3.2.4 凌险综合指数

凌险综合指数可表示为:

$$I_d = \delta_1 \delta_2 \delta_3 \quad (8)$$

显然凌险综合指数是冰期下泄水量、流

水受阻状况及融冰强度交互作用对凌汛影响的综合反映。

4 应用

黄河凌汛预报是涉及沿黄广大人民生命财产安全的大事,需要全面掌握沿河的水情、冰情及气温的变化情况,并依据凌汛预测结果,及时作好防凌服务,才能减少凌灾。而气象与水文部门互通情况,又是作好黄河凌汛预报服务工作的重要保证。

近年来我们边研究边应用,初步表明上述开河预报工具和凌险指数方法,在黄河凌汛预报服务中是行之有效的。例如包头站的多年平均开河日为3月23日,1999、2000年开河期与凌险试预报结果见表4。

表4 包头开河期及凌险预报检验

年代	开河期		凌险短期预警(δ_3)			凌险中期预报($\delta_2 * 1000$)					
	趋势预报	开河日预报 日/月	实况	正常 <1.5	轻险 [1.5, 2.5]	重险 >2.5	实况	正常 <2.5	轻险 [2.5, 4.0]	重险 >4.0	实况
1999	晚	27/3	25/3			3.2	重			4.4	重
2000	早	23/3	22/3		1.8		轻度		3.1		轻度

总体的检验表明,依据凌灾成因所建立的趋势预报和凌险预报指数,完全可反映黄河开河的早晚趋势和凌灾的灾险大小。

参考文献

1 张有实. 黄土高原地区综合治理开发. 自然杂志, 1990, (10): 3~30.

2 李文溶. 长期天气预报专业化的试验——黄河凌汛预报方法. 内蒙古气象, 1980, 4(1): 8~11.

3 熊怡、张家桢等. 中国水文区划. 北京: 科学出版社, 1995年: 177~196.

Forecasting Research on Ice Run of the Yellow River

Gong Deji Bai Meilan Wang Qiuchen

(The Inner Mongolia Meteorological Bureau, Huhehaote 010051)

Abstract

By the analysis of the characteristics of ice run and causes of ice run disaster in the Inner Mongolia section of the Yellow River, it points out that the precipitation status of the upper and middle reaches of the Yellow River, the freezing status in winter and the melting speed in spring have a close relation with the ice run disaster. Based on the innate laws of ice run disaster, the ice run disaster index is obtained. Meanwhile, it points out the critical temperature index of freezing of the Yellow River and the way of forecasting the date of breakup of the ice in the Yellow River.

Key Words: reducing the menace of ice run forecast ice run disaster index