

黄河下游凌情特征及变化

董雪娜¹, 李雪梅¹, 林银平¹, 姚惠明²

(1. 黄河水利委员会水文局, 河南 郑州 450004; 2. 南京水利科学研究院, 江苏 南京 210029)

摘要: 黄河下游冰情的基本特点和规律是: 冬季有的年份封冻, 有的年份不封冻; 下游下段河道流凌封冻日期早, 融冰、开河日期晚, 封冻历时长, 冰盖厚冰质坚; 上段河道流凌封冻日期晚, 融冰、开河日期早, 封冻历时短, 冰盖薄冰质酥。冰凌洪水特点是流量小, 水位高且上涨快; 凌峰流量自上而下沿程逐渐增大。近 20 年来, 由于黄河下游河道水量大幅度减少, 甚至发生连年断流, 冬季气温持续偏高, 加上水库调度等因素的共同影响, 引起了凌情的相应变化。这些变化主要表现为: 封开河日期提前, 封河长度缩短、封冻冰量和槽蓄水量减少, 冰塞冰坝发生次数减少, 不封冻年频率增加等。

关 键 词: 黄河下游; 凌汛; 特征

中图分类号: P343 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-6791(2008)06-0882-06

凌汛是冬季河道中冰凌对水流的阻力作用所引起的一种涨水现象, 有时也会引发冰凌灾害。黄河下游从河南省的桃花峪到山东省的垦利入海口, 全长约 786 km, 由于其特定的地理位置、河道形态和水文、气象条件的不同组合, 使该河段冰凌演变十分复杂, 冰凌灾情特殊。

黄河下游处于我国北方河流冬季产生冰凌的过渡地带^[1], 冬季有的年份封冻, 有的年份不封冻, 封冻年中有的一个年度一封一开, 有的两封两开甚至三封三开, 且封冻年份的封冻河长和封冻时间差别很大, 故属于不稳定封冻河段。据统计, 在 1950 - 2005 年的 55 个凌汛年度中, 黄河下游共有 47 个年度封冻, 封冻率为 85%, 另有 8 个年度只流凌未封冻。黄河下游冰凌期一般从 12 月上旬开始, 到翌年 2 月下旬结束。

1 冰凌特点和规律

1.1 流凌、首封和开河日期

据统计, 黄河下游起始流凌日期最早发生在 11 月 30 日(1987 年), 最晚发生在 1 月 22 日(1954 年), 多年平均为 12 月 19 日。下游历年的流凌历时最短的年份不到 1 d, 最长可达 54 d(表 1)。也有的年份只流凌不封冻, 封冻年份多年平均流凌期约 13 d。

表 1 黄河下游历年平均起始流凌、首封和开河日期统计

Table 1 Mean dates of ice floe, freezing and break up in the lower Yellow River

项 目	多年平均	历年最早(长)时间	历年最晚(短)时间
淌凌日期	12 月 19 日	1987 年 11 月 30 日	1954 年 1 月 22 日
首封日期	1 月 1 日	1997 年 12 月 3 日	1978 年 2 月 16 日
开河日期	2 月 11 日	1989 年 1 月 3 日	1969 年 3 月 18 日
流凌历时/d	13	54(1987 - 1988 年度)	< 1(1972 - 1973 年度)
封河历时/d	49	86(1967 - 1968 年度)	3(2003 - 2004 年度)

注: 封河历时指首封到开河。

收稿日期: 2007-11-20

基金项目: 水利部黄河水利委员会治黄基础研究专项

作者简介: 董雪娜(1956 -), 女, 河南郑州人, 高级工程师, 主要从事水文水资源研究。E-mail: dongxuena@yahoo.com.cn

黄河下游首封地点有80%以上是发生在靠近河口的弯道、束窄断面或浅滩分叉口。下游初始封冻日期最早发生在12月3日,最晚发生在2月16日,多年平均首封日期为1月1日(表1),各河段解冻开通日期不一样,就全下游河段开通来说,最早解冻开通日期是1月3日,最晚是3月18日,多年平均是2月11日,多年平均封冻历时约49 d,最长的历时是86 d,最短的只有3 d。

1.2 封冻自下而上,开河自上而下

黄河下游从桃花峪到东坝头河道走向是自西向东,从东坝头到入海口河道自西南向东北,该河段上、下纬度相差3°05′。对应地理位置的气温规律是:下段河道(即入海口附近)冬季冷得早,回暖晚,累积负气温多且时间长;上段河道(东坝头以上)冬季相对冷得晚,回暖早,累积负气温少且时间短。因气温的差异,上下河段相应的冰情规律是:下段河道流凌封冻日期早,融冰、开河日期晚,封冻历时长,冰盖厚冰质坚,上段河道流凌封冻日期晚,融冰、开河日期早,封冻历时短,冰盖薄冰质酥。据多年平均统计,利津站首封日期是1月13日,花园口是1月26日,花园口比利津要晚13 d。

解冻开河时,上段河道气温首先转暖,冰盖开始融化、破裂、移动,此时下段河道尚未解冻。据统计,山东河段开通日期要比河南河段开通日期晚10 d左右。

由于下游河道特性,封冻河段主要在弯道和窄道的地方,形成梯级封冻。据统计,黄河下游封冻河长多年平均为291 km,历年封冻最长为703 km,该年封冻最上首达郑州铁路桥,最短封冻长度仅1.5 km。历年封冻最上地点出现几率最多的河段在历城北店子至长清县于家寨约50 km河段内,几率约19%。图1为黄河下游1950-2005年封冻河道长度示意图。

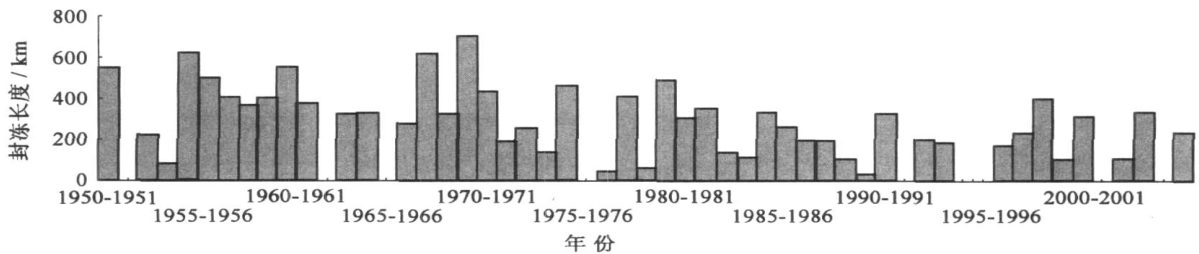


图1 黄河下游历年封冻河道长度示意图

Fig. 1 River length of freeze-up of the lower Yellow River in the past years

1.3 文开河和武开河

根据气温、水情、冰情等综合条件,黄河下游冰盖解冻开河的形式:文开、武开和半文半武^[2]3种。

文开河其特点是开河时气温上升快,冰盖融化快,槽蓄水增量缓慢释放,水位平稳,解冻开河历时较长。如1976、1990、1998年等年份。

武开河其特点是开河时气温较低,上游水量突增,水位猛涨,遇下游冰盖水鼓冰裂,开河时凌峰沿程越来越大,整个解冻开河历时较短,武开河易形成冰凌险情和灾害。如1951、1955、1993年。

半文半武开河其特点是介于文开河和武开河两者之间。

据1950-2005年资料统计,黄河下游发生文开河形式共有31年,占封冻年的66%,发生武开河形式共有9年,占封冻年的19%,其余是半文半武开河形式。

1.4 槽蓄水增量

凌汛期因流凌和冰盖等因素影响而滞留在河道中的水量称槽蓄水增量。槽蓄水增量的多少和上游来水量、气温及冰情有关。河道初始封冻后,槽蓄水增量也随之不断增加,当封冻河长发展到最长时,槽蓄水增量也达到最大量,其后冰盖稳定时,槽蓄水增量亦保持相对稳定。下游历年最大槽蓄水增量多年平均值为3.51亿 m^3 ,其中最多的年份可达9.65亿 m^3 。

1.5 冰凌洪水

1.5.1 凌洪形成的原因

一是因冰盖融化、槽蓄水增量释放而引起河道沿程涨水现象；二是因流冰阻塞引起局部河段涨水现象。较大的凌汛洪水往往是由槽蓄水增量释放和冰坝壅水两种涨水现象同时存在互相影响的结果。

黄河下游冰凌洪水有 3 个特点：流量小，水位高且上涨快。凌期流量因受流冰和冰盖的影响，其水位比畅流时同流量水位要高，尤其形成冰塞冰坝后流量严重受阻，上游水位迅速上涨。图 2 是统计利津站历年凌汛期(12~2月)最高水位及对应的流量和历年伏汛期(7~9月)最高水位及对应的流量对照过程线。凌峰流量自上而下沿程逐渐增大。因黄河下游开河是自上而下开通，槽蓄水增量亦是自上而下逐渐释放，尤其是武开河时被拦蓄的水量急剧释放，故凌峰在演进时沿程凌峰流量逐渐增大。如 1974 年凌汛第一次开河时孙口站、冻口站、利津站三站流量过程见图 3。一般情况下槽蓄水增量，则凌峰凌峰亦大且历时长，反之凌峰凌峰小历时短。据统计，下游利津站历年最大凌峰流量多年平均值为 $817 \text{ m}^3/\text{s}$ ，凌洪历时平均为 3~5 d。

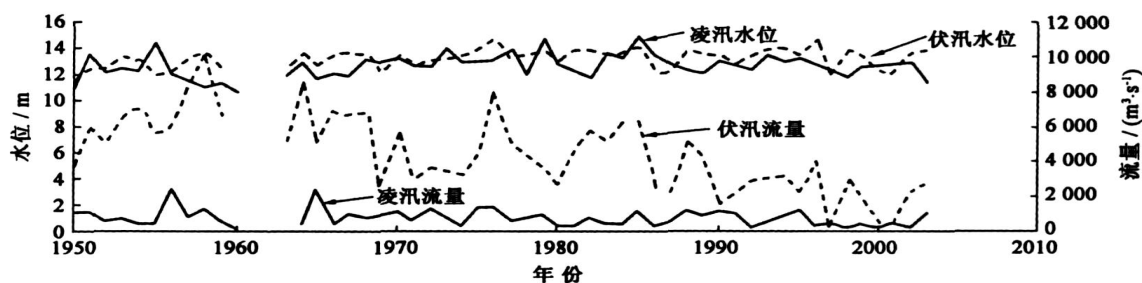


图 2 利津站 1950 - 2005 年凌汛期与伏汛期最高日水位及相应日流量对照过程线

Fig. 2 Hydrograph of the maximum daily water level and corresponding daily discharge in ice and flood period of Lijin hydrology station

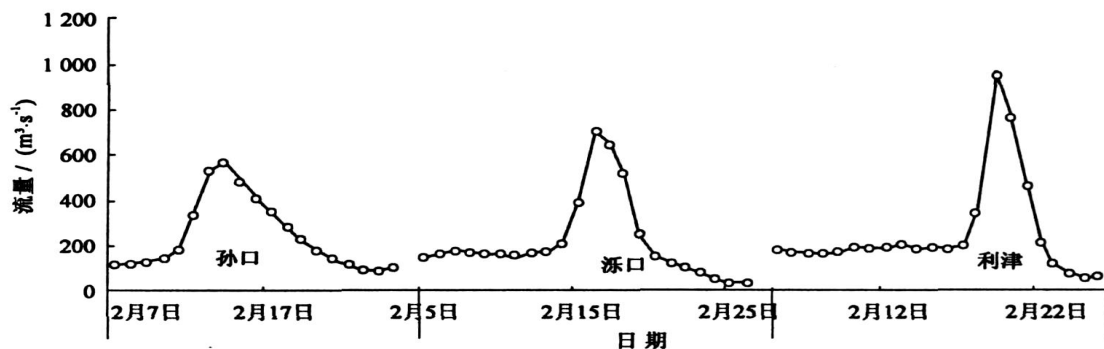


图 3 1974 年孙口、冻口、利津 3 站凌洪传播过程线

Fig. 3 Ice flood hydrographs for Sunkou, Lekou and Lijin stations in 1974

1.5.2 冰塞

冰塞^[3]为流冰受阻、堆积，缩小过水断面，导致上游迅速壅高水位的冰凌现象，是一种具有灾害性的冰情。冰塞发生在流凌封河期，当气温、流量较稳定时，冰塞体可持续二三十天或整个冬季。若气温明显回升和流量增多，冰塞体可在几天或十几天内融化、冲刷、破裂、塌陷而消失。如果气温低流量稳定或减少，则冰塞体可保持到开河时或演变成冰坝。

1.5.3 冰坝

冰坝发生在解冻开河期，尤其多发生在武开河时期，当上段河道先解冻开河，提供大量流冰和释放槽蓄水增量时，能引起下段未解冻冰盖沿途水鼓冰裂，若流冰遇到坚硬的冰盖时，发生挤压，并在冰盖前上爬下插形

成“潜伏冰坝”,若流冰遇到弯道、狭窄浅滩处则挤压、堆积形成“堆积冰坝”。黄河下游的冰坝一般高出水面2~3 m,高的可达4~5 m。新生的冰坝长度较短,从1 km到几公里左右,如果是封冻时的冰塞演变而成冰坝,则长度可达数公里,甚至十几公里。开河时气温回升,冰质变得酥松,当冰坝前的壅水(含流冰)压力超过冰坝自重和坝体支撑力时,坝体遭破坏而溃决。冰坝持续时间一般是1~2 d,短的几小时,长的达十几天。据统计,1950-2005年,黄河下游发生比较严重的冰坝^[4]有8年共9次。

1.6 河口海冰

黄河口海域受北方冷空气侵袭,冬季不仅会出现漂浮冰和岸边冰,在异常寒冷季节也会出现较大范围的封冻。这些冰有的停积在海域岸边,有的被风或海流带走。一般每年冬季在12月上旬开始结冰,在3月上旬海冰消失,结冰期约3个月,在1月下旬至2月中旬的盛冰期,滨海沿岸固定冰的宽度一般在1~3 km,在宽广的浅海地带,固定冰宽度可达10 km左右,固定冰厚一般为20~30 cm,最厚60 cm左右,固定冰体堆积高度在1 m左右,最高达3 m。在盛冰期,海上流冰外缘离岸15~25 km,流冰厚在5~15 cm,最厚25 cm左右,流冰的漂流方向大致与海岸平行或与最大潮流方向一致。

2 影响冰凌演变的因素

影响黄河下游冰凌演变的因素很多,其主要影响因素有热力因素、动力因素、河道形态及人类活动等。这些因素的相互作用,形成了黄河下游冰凌的演变过程和特点。

2.1 河道形态

从黄河干流河道形态看,黄河下游是由西南流向东北,气温是上段暖下段冷,河道宽度是上宽下窄,比降是上陡下缓,这些特点对流冰和封开河形势十分不利,也是产生黄河下游凌情和凌灾的重要原因之一。据统计,凌汛期有95%以上的险情或灾害发生在弯道、束窄断面或浅滩分叉道等局部河段,说明河道边界特征与凌情及凌灾关系十分密切。

2.2 热力因素

热力因素包括太阳辐射、气温、水温等,其中气温是各热力因素的集中表现。气温的高低决定河道的冰量和冰质,是影响结冰、封冻、开河的主要因素。

首先气温具有地带性,表现在黄河下游河道上下河段因纬度差带来的气温差别。沿黄河下游自上而下选郑州、济南、北镇3个气象站统计历年冬季的月、旬平均气温,北镇站的月平均气温比郑州站偏低2.7~3.3℃,旬平均气温偏低2.7~3.5℃。个别旬、日差值更大。根据郑州、济南、北镇三站冬季多年平均逐日气温变化过程分析,多年平均气温稳定转负日期,郑州是1月13日,济南是12月25日,北镇是12月12日;气温转正日期,郑州是1月25日,济南是2月4日,北镇是2月22日。北镇稳定转负日期要比郑州早31 d,稳定转正日期要晚29 d,也就是说,郑州负气温持续时间为12 d,北镇为72 d。由于气温的差异使得黄河下游河口附近河道的流凌、封冻日期要早于上游河段,河道封冻是逆流而上,开河时上游河段解冻开河日期要早于下游河段,开河是顺河而下。

黄河下游的流凌和封冻在很大程度上是受寒潮的影响,据统计,冬季入侵黄河流域对冰情有影响的较强的寒潮平均每年5次,最多可达6~8次。寒潮入侵最早发生在11月,以1月份次数最多。一次寒潮降升温持续时间约一个星期,长的可达十几天。

2.3 动力因素

动力因素包括流量、水位、流速、风力(含风向和波浪)等,流速大小影响结冰和冰凌输移、下潜、卡塞等,水位升降与封、开河形势有关,水位平稳能形成“平封”和“文开河”,水位变幅过大能形成“立封”和“武开河”。水位和流速与流量具有函数关系,流量大,则流速大、水位高,因此,可用流量的大小作为冰情演变动力因素。

在正常气温下, 较小的流量可促使提前封冻, 较大的流量可抗御或延迟河道封冻。同样, 平稳的小流量可以延长解冻时间形成“文开河”, 突然增大流量可以加快开河时间形成“武开河”。根据统计, 黄河下游首封河时利津站多年平均流量为 $370 \text{ m}^3/\text{s}$, 封河前 3 d(含当日, 下同) 平均流量为 $400 \text{ m}^3/\text{s}$, 其中历年最大当日封河流量为 $862 \text{ m}^3/\text{s}$, 历年最小封河流量为 $15 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

2.4 水库

干流水库在防凌中发挥了积极的作用。三门峡水库在 1973 年以前水库防凌期主要是在预报开河前几天控制下泄流量, 防止产生“武开河”。1973 年以后采用全面调节运用, 推迟了封河、抬高冰盖、增加冰下过流能力。加上出库水温升高 2 左右使水库以下 150 km 长河段少流凌或不流凌。

表 2 列出 1950 - 1960 年度、1960 - 1973 年度、1973 - 1999 年度和 1999 - 2005 年度不同时段的水文冰情要素对比。

表 2 黄河下游不同时段冰情要素比较

Table 2 Comparison of ice regime factors in the lower Yellow River

时 段	首封日期 / (月·日)	开河日期 / (月·日)	封河当 日流量 / ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	封河 长度 / km	封冻 冰量 / 亿 m^3	封河 天数 / d	花利间河 槽蓄水增量 / 亿 m^3	开河最大洪峰/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	
								冻口	利津
1950 - 1960 年	1 月 6 日	2 月 21 日	405	410	0.43	50	3.68	1576	1511
1960 - 1973 年	12 月 25 日	2 月 24 日	383	359	0.52	61	4.68	942	1000
1973 - 1999 年	1 月 4 日	2 月 18 日	385	230	0.21	43	2.96	789	703
1999 - 2005 年	12 月 25 日	2 月 10 日	195	196	0.06	45	2.79	384	368

1999 年 10 月小浪底水库开始蓄水并和三门峡水库共同承担下游的防凌调度。小浪底水库因蓄水发电, 凌汛期出库站水温比运用前升高 2~4, 当水库蓄水量在 30 亿~50 亿 m^3 , 出库流量在 320~600 m^3/s 时, 出库水温一般在 4~8。在流凌初封期出库水温可达 8 左右, 可将下游成冰流凌断面再向下移 150 km 左右。在稳封期出库水温一般在 4~6, 当控制下泄流量在 500 m^3/s 时, 封冻最上河段将较水库运用前下移 200 km。

由于水库的运用, 加上近几年冬季气温偏高和下游引耗水量的影响, 使下游近几年凌情有明显变化, 小浪底水库运用以来的 1999 - 2005 年, 封河当日气温偏高了 1.7。下游河口地区, 因流量减少的影响程度大于气温的影响, 故下游首封日反提前了 8 d, 开河日期也提前了 10 d。相应的封河长度减少了 35%, 封冻冰量减少了 82%, 利津站开河洪峰减少了 60%。在小浪底水库运行 6 年中, 有一年度未封冻, 有两年度出现两封两开, 除 2003 - 2004 年度外都是小流量封河, 封冻上首没有超过山东东明县, 封冻各年没有出现险情和灾害。

总之, 小浪底水库的运用, 由于防凌库容增大, 调控能力增强, 出库水温升高, 使下游成冰断面下移, 流凌封冻长度缩短, 冰量大幅度减少, 槽蓄水增量及凌峰流量亦相应减少, 冰凌险情有所减轻。

3 冰情特征变化

近 20 年来, 由于黄河下游河道水量大幅度减少, 甚至发生连年断流, 冬季气温持续偏高, 加上水库的调度等因素的共同影响, 引起了凌情的相应变化。这些变化主要表现为: 封开河日期提前, 封河长度缩短、封冻冰量和槽蓄水量减少, 冰塞冰坝发生次数减少, 不封冻年频率增加等等。

黄河下游一方面受暖冬气候的影响, 另一方面受流量偏小的影响, 两者综合影响的结果, 在封、开河日期上, 表现为流凌、首封及开河日期均提前, 统计表明, “后期”(1986 - 2005 年)和“前期”(1950 - 1986 年)比较, 年均流凌日期提早 1 d, 首封日期提前 6 d, 开河日期提前了 14 d。从下游封冻当日和前 3 d 平均气温、流量对比可以看出, “前期”初封当日和前 3 d 平均气温(北镇站)分别为 - 7.9、- 6.5, 而“后期”分别下降为 - 5.0 和 - 4.0; “前期”初封当日和前 3 d 平均流量(利津站)分别为 438 m^3/s 、477 m^3/s , 而“后期”分别下降为 224 m^3/s 和 236 m^3/s , 下降 49%和 50%。说明近 20 年来尽管冬季气温偏高, 但由于河口附近流量大幅度减少, 所以在气温不太低的情况下, 河口河段反而提前封冻。

流量偏小, 频繁断流, 加上气温忽高忽低, 极易使河流在一个冬季发生几封几开的现象, 这也是近年来下游凌情变化的特点之一。如 1996 - 1997 年^[5]冬季下游气温比多年均值偏高 1.5℃, 有 5 次寒潮侵入, 利津站平均流量比多年均值偏少 78.9%, 造成一个凌汛期出现 4 次封河 4 次开河现象。在其后的 3 年中又均出现两封两开的局面。

近 20 年由于来水量减少, 加上下游区间引水量增加, 使槽蓄水增量也相应减少, “前期”花园口~利津区间的年均槽蓄水增量为 3.25 亿 m³, 到“后期”减少为 1.53 亿 m³, “后期”比“前期”减少了 53%。开河时的凌峰流量也相应减小, “前期”利津站的平均凌峰流量为 1 034 m³/s, 到了“后期”减少为 353 m³/s, 约减少 66%。在前期的 32 个封冻年度中, 21 年是文开河, 6 年是武开河, 5 年是半文半武开河; 在后期的 15 个封河年度中全部是文开河。“前期”未封河概率为 11%, “后期”增加为 21%。

综上所述, 由于冬季气温偏暖, 水量减少以及水库合理调度等原因, 近 20 年来黄河下游冰凌险情有所减轻。但是, 随着气候的变迁, 河道的冲淤以及水利工程的运用, 黄河冰情还可能出现新情况, 新问题。因此, 黄河凌汛问题仍然是黄河治理中的重大问题之一。为了确保黄河安全, 必须继续加强冰情观测, 深入研究冰凌规律, 做好冰情预报和水库调度, 完善防凌措施。

参考文献:

- [1] 《中国水利百科全书》第二版编辑委员会, 中国水利水电出版社编著. 中国水利百科全书(第二版)第一卷[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2006. (The 2nd edition compilation committee Water Conservancy cyclopedia of China, China Waterpower press. Water Conservancy cyclopedia of China, volume 1[M]. Beijing: China Waterpower Press, 2006. (in Chinese))
- [2] 中华人民共和国水利部水文司. 中国江河冰图[M]. 北京:科学出版社, 1990. 109 - 112. (Department of Hydrology, Ministry of water Resources, PRC Atlas of River Ice in china[M]. Beijing: Science Press, 1990. 109 - 112. (in Chinese))
- [3] 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. 20 - 23. (KE Su-juan, WANG Min, RAO Su-qiu, et al. Ice Research of Yellow River[M]. Zhengzhou: Yellow River Conservancy Press, 2002. 20 - 23. (in Chinese))
- [4] 黄河流域及西北片水旱灾害编委会. 黄河流域水旱灾害[M]. 郑州:黄河水利出版社, 1996. 198 - 199. (Editor Committee of disaster in Yellow River and Northwest River basin Flood and drought of Yellow River[M]. Zhengzhou: Yellow River Conservancy Press, 1996. 198 - 199. (in Chinese))
- [5] 饶素秋, 温丽叶. 1996 - 1997 年度黄河下游凌情特点分析[J]. 人民黄河, 1998(1): 9 - 11. (RAO Su-qiu, WEN Li-ye. The River Characteristics of the lower Yellow River in the ice period from 1996 to 1997[J]. Yellow River, 1998(1): 9 - 11. (in Chinese))

Characteristics of ice regime in the lower Yellow River

DONG Xue-na¹, LI Xue-mei¹, LIN Yin-ping¹, YAO Hui-ming²

(1. Hydrology Bureau of YRCC, Zhengzhou 450004, China;

2. Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China)

Abstract: The characters of ice regime in the lower Yellow River are as follows: the reach is completely freezing in winter for some years, and freezing-free for some others; in the reach, the freeze-up date is earlier, the break-up date later; and the freeze-up period is longer, and the ice-cover is thicker and solider than that of the upstream; the ice flood is characteristics of the small flow, high water level and increase from the upriver channel to downriver channel. In recent 20 years, the ice regime has changed with the discharge decreasing at large scale, the sustaining high temperature and the reservoirs control, so that the dates of the freeze-up and break-up are brought forward; the river length and ice volume of the freeze-up, the channel storage and the times of ice dam and ice jam are shorted; and the frequency of frozen-free years increases.

Key words: the lower Yellow River; ice regime; characteristics