

水利部公益性行业科研专项经费项目（201301062）资助

黄河内蒙古河段气温预报 与冰情观测技术研究

王春青 王平娃 等著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn



黄河内蒙古河段气温预报 与冰情观测技术研究

王春青 王平娃 范旻昊 陈冬伶
刘吉峰 曹大成 范国庆 金瑞琴 著



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

·北京·

内 容 提 要

本书对黄河内蒙古河段凌汛期的凌情特点、冰凌观测以及气象预报方法进行了深入的探讨和研究。研究内容涉及内蒙古河段河道条件变化、凌情特点以及近10年凌情特征和变化；总结自动气象站建立方法；探索如何利用气象资料和数学方法建立气温预报模型，并建立有效的气温预报系统；同时对三湖河口—头道拐河段凌情观测站点分布、测验频次和采集模式进行了探讨和总结。

本书可供水文气象预报研究、水资源研究和管理人员以及大专院校相关专业师生阅读参考。

图书在版编目（C I P）数据

黄河内蒙古河段气温预报与冰情观测技术研究 / 王春青等著. — 北京：中国水利水电出版社，2017.9
ISBN 978-7-5170-5896-0

I. ①黄... II. ①王... III. ①黄河流域—温度预报—研究—内蒙古②黄河流域—冰情—水文观测—研究—内蒙古 IV. ①P457.3②P338

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第236388号

书 名	黄河内蒙古河段气温预报与冰情观测技术研究 HUANG HE NEIMENGGU HEDUAN QIWEN YUBAO YU BINGQING GUANCE JISHU YANJIU
作 者	王春青 王平娃 范旻昊 陈冬伶 刘吉峰 曹大成 范国庆 金瑞琴 著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址：www.waterpub.com.cn E-mail：sales@waterpub.com.cn 电话：(010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心（零售） 电话：(010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京中献拓方科技发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 20.75印张 453千字
版 次	2017年9月第1版 2017年9月第1次印刷
印 数	001—500册
定 价	95.00元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究



前言

黄河宁蒙河段，特别是内蒙古河段防凌形势严峻，在非工程措施方面，主要体现在科学研究对黄河防凌工作的支撑能力严重不足，冰凌时空发展规律、冰塞、冰坝、冰下过流能力等基础信息极为匮乏，冰凌监测、预报技术等关键科学问题都亟待研究解决。为此，2013年由水利部批复实施水利部公益性行业科研专项经费项目“内蒙古重点河段凌情预报关键技术与示范”，项目编号201301062，由黄河水利委员会黄河水利科学研究院、黄河水利委员会水文局、中国科学院大气物理研究所合作承担。黄河水利委员会水文局主要承担其中的一个专题——内蒙古重点河段气温预报与冰情观测关键技术研究。

“内蒙古重点河段气温预报与冰情观测关键技术研究”专题以黄河内蒙古三湖河口—头道拐河段为研究区域，建立气象信息自动采集与传输系统，实现气象信息的自动采集与传输；开展三湖河口—头道拐河段凌情观测站点分布、测验频次和采集模式研究，开展三湖河口—头道拐河段2013—2014年、2014—2015年冰情专项观测；建成黄河宁蒙河段中短期气温预报模型，为黄河宁蒙河段冰凌预报数学模型开发提供基础数据，为黄河宁蒙河段防凌决策提供技术支撑。

本研究取得的主要成果包括以下5个方面。

(1) 在三湖河口水文站、包头水文站（原画匠营子水文站）和头道拐水文站建成3个气象自动观测站，实现气象信息自动采集与传输，系统采集了2013—2014年和2014—2015年凌汛期逐日气温、太阳总辐射、空气湿度、风速、风向、大气压力等6类要素数据。

(2) 在三湖河口、包头、头道拐等水文站冰情常规测验基础上，增加了打不素太和温布壕等2个断面冰情测验，利用巡测和定点观测两种途径，获取了2013—2014年和2014—2015年凌汛期该河段首封位置与时间、冰凌位置与密度、冰盖厚度、冰下流速、水温等要素。

(3) 改进了基于GFS模式的中短期气温预报模型。基于自动获取的全球

预报系统数值预报结果，筛选出 500hPa 位势高度、850hPa 温度、地面纬向风和经向风、2m 温度、多年平均日温、预报日前一日温度（24h）等 7 个因子作为预报因子，重构了临河、包头、石嘴山、巴彦高勒、三湖河口、头道拐等 6 个站点，冬季 5 个月（11 月至翌年 3 月），1~10 天共 300 个逐日温度预报方程。

（4）建成凌情观测专题数据库。建立石嘴山、巴彦高勒、三湖河口、头道拐等站凌情专题数据库，数据库具有数据查询、统计、排序、追加等功能。

（5）开发黄河宁蒙河段中短期气温预报系统。系统主要输出黄河宁蒙河段重要站点未来 1~10 天的日均气温，输出频次为每天一次，基于新模型的系统可得到更为准确和合理的中短期气温预报结果，对黄河上游地区的防凌、水库调度以及水资源管理等具有重要意义。

成果的创新点主要体现在以下 4 个方面。

（1）实现了气象信息的自动采集及与冰情信息的融合，为冰凌数学模型开发提供了基础支撑，增强了模型的可靠性和实用性。冰凌数学模型的建立需要的资料较多，气象和凌情数据是冰凌数学模型开发的基础，本项目收集了大气温度、太阳总辐射、空气湿度、风速、风向、大气压力等 6 类气象要素，以及河段首封位置与时间、冰凌位置与密度、冰盖厚度、冰下流速、水温等冰情要素，作为冰凌数学模型输入，为冰凌数学模型的开发奠定了基础。

（2）实现了 GFS 资料的全自动获取，在此基础上改进和完善了原有的中短期气温预报模型，改进后的模型预报时效性和预报精度明显提高。由于美国国家环境预报中心（NCEP）的 GFS 模式由 1998 年老版更新至 2012 年新版，原有的基于老版本建立的中短期气温预报模型的预报效果已不能满足实际需要，本项目基于 2012 年新版 GFS 模式对原有的中短期气温预报模型进行了改进与完善，延长建模和检验用的资料序列长度重新建模，同时 GFS 数值预报产品由原来的人工解译升级为全自动获取、解译、应用，极大地提高了模型预报的时效性和预报精度。与改进前模型相比，中短期预报平均绝对误差降低了 0.3°C ，预报准确率提高了 8 个百分点。

（3）首次建立了凌情观测专题数据库，弥补了冰情资料短缺的不足。建成了三湖河口、包头和头道拐 3 个水文站气象自动观测站，并进行了 2013—2014 年、2014—2015 年气象信息采集。除了常规主要冰情测验外，本研究课题又在打不素太和温布壕进行了专项加密冰情测验。基于上述测验成果建立了冰情观测专题数据库，缓解了该河段冰情资料缺少的现状，为黄河宁蒙河段的防凌提供支撑。

(4) 基于新的中短期气温预报模型开发了黄河宁蒙河段中短期气温预报系统，实现了气温预报的自动化。系统通过自动运行机制准备实况气温数据以及预报场数据，基于新模型的系统可提供更为准确和合理的中短期气温预报结果，对黄河上游地区的防凌、水库调度以及水资源管理等具有重要意义。

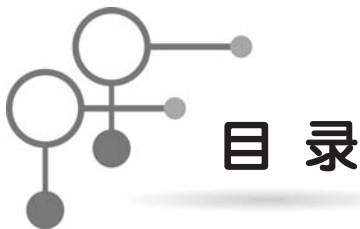
本项研究通过了水利部国际合作与科技司组织的验收，研究成果得到了与会专家的一致认可，项目综合评价为 7A。本书是该项研究成果的总结，同时增加了黄河内蒙古河段凌情基本特征分析及近 10 年凌情特点。

本项研究成果已在黄河防汛办公室进行应用，取得了很好的效果；最终研究成果已在黄河水利委员会水文局投入生产应用，提升了凌情预报能力，为黄河宁蒙河段防凌指挥调度提供了技术支撑。

由于作者水平所限，难免有不妥之处，敬请批评指正！

作者

2017 年 2 月



目 录

前言

第 1 章 黄河内蒙古河段概况	1
1.1 地理特征	1
1.2 气候特征	2
1.3 河流水系	3
1.4 堤防工程	4
1.5 水库工程	5
1.5.1 龙羊峡水库	6
1.5.2 刘家峡水库	6
1.5.3 海勃湾水库	7
1.5.4 万家寨水库	7
1.5.5 龙口水库	8
1.6 分滞洪工程	8
1.6.1 分洪区现状	9
1.6.2 分洪区运用条件	10
1.7 河道内建筑物	11
第 2 章 河道情况	13
2.1 河道概况	13
2.2 河道冲淤变化	14
2.3 主要水文站断面冲淤演变	14
2.3.1 三湖河口断面	14
2.3.2 包头站断面	15
2.3.3 头道拐断面	15

第 3 章 凌情特征分析	17
3.1 基本特征	17
3.2 特征指标	19
3.2.1 流凌天数、封河天数变化情况	19
3.2.2 冰厚及封河长度变化情况	19
3.3 流量、洪量及水位	20
3.3.1 流量、洪量变化分析	20
3.3.2 水位变化分析	22
3.4 槽蓄水增量	25
3.4.1 槽蓄水增量的形成	25
3.4.2 槽蓄水增量演变过程	25
3.4.3 槽蓄水增量变化	25
3.4.4 槽蓄水增量影响因素	28
3.5 凌灾	30
3.5.1 典型年冰凌灾害情况	33
3.5.2 冰凌灾害影响因素分析	37
3.5.3 小结	38
第 4 章 2006—2015 年凌情特点	39
4.1 凌情概况	39
4.2 凌期气温	40
4.3 上游来水	42
4.4 凌情特征	43
4.4.1 流凌、封河、开河日期	43
4.4.2 冰厚、封河长度、槽蓄水增量	43
4.4.3 流量及洪量	44
4.4.4 凌汛期水位	45
4.5 2013—2014 年凌情特点	46
4.5.1 基本凌情	47
4.5.2 气温和水温	52
4.5.3 流量、水位	56
4.5.4 凌情特征指标	63
4.5.5 河道条件	68
4.5.6 小结	71

4.6	2014—2015 年凌情特点	75
4.6.1	基本凌情	75
4.6.2	气温和水温	80
4.6.3	流量、水位	84
4.6.4	凌情特征指标	92
4.6.5	河道条件	97
4.6.6	小结	101
4.7	2015—2016 年凌情特点	103
4.7.1	基本凌情	103
4.7.2	气温和水温	109
4.7.3	流量、水位	114
4.7.4	凌情特征指标	122
4.7.5	河道条件	127
4.7.6	小结	131
第 5 章	自动气象站建设与数据传输	133
5.1	气象自动监测站建设与运行	133
5.1.1	建设要求	133
5.1.2	设备安装调试	134
5.1.3	数据传输	135
5.1.4	运行维护	136
5.2	自动气象站数据监视采集软件介绍	137
5.2.1	软件安装	137
5.2.2	功能简介	138
5.2.3	传感器参数配置	140
5.2.4	菜单栏功能说明	141
5.3	自动采集气象资料分析	142
5.3.1	年度采集资料	142
5.3.2	数据合理性检查	143
第 6 章	中期气温预报模型研究	146
6.1	预报模型完善	147
6.1.1	重新建模	147
6.1.2	增长建模和检验用的资料序列长度	147
6.1.3	GFS 资料的全自动获取	147

6.2	气温预报模型建立	148
6.2.1	预报站点	148
6.2.2	因子筛选	148
6.2.3	逐月预报方程以及拟合效果分析	150
6.3	预报效果检验以及新旧模型对比	170
6.3.1	方程预报结果检验方法	170
6.3.2	预报方程逐月逐时预报检验	170
6.3.3	新老模型对比分析	181
6.4	气温预报系统建立	182
6.4.1	资料准备及处理	182
6.4.2	系统运行	183
第7章	凌情专题观测	185
7.1	凌情专题数据库	185
7.2	常规冰情测验	186
7.2.1	断面布设研究	186
7.2.2	观测内容和方式	188
7.2.3	实际工作进度	189
7.3	冰凌观测成果	189
7.3.1	冰凌巡测成果	189
7.3.2	断面观测成果	192
7.4	数据合理性检查	196
7.4.1	盖面冰厚合理性分析	196
7.4.2	冰下流速合理性分析	197
第8章	总结	200
8.1	主要研究成果	200
8.2	问题与建议	200
附表1	黄河内蒙古河段冰情专项观测断面一览表	201
附表2	黄河内蒙古河段冰情巡测记载表	202
附表3	固定断面冰情观测记载表	249
附表4	定点观测断面实测流量成果表	256
附图	定点观测断面冰厚及流速横向分布图	264
	参考文献	317

黄河内蒙古河段概况

1.1 地理特征

黄河流域西起巴颜喀拉山，东临渤海，北抵阴山，南达秦岭，横跨青藏高原、内蒙古高原、黄土高原和华北平原 4 个地貌单元，流域地势西高东低，位于东经 $96^{\circ}\sim 119^{\circ}$ 、北纬 $32^{\circ}\sim 42^{\circ}$ ，东西长约 1900km，南北宽约 1100km，流域面积 79.5 万 km^2 （包括内流区面积 4.2 万 km^2 ）。黄河水系的发育，在流域北部和南部主要受阴山-天山和秦岭-昆仑山两大纬向构造体系控制，西部位于青海高原“歹”字形构造体系的首部，中间受祁连山、吕梁山和贺兰山“山”字形构造体系控制，东部受新华夏构造体系影响，黄河荡回其间，从而发展成今日的水系。黄河干流的主要特点是弯曲多边，主要有 6 个大湾，即唐克弯、唐乃亥弯、兰州弯、河套弯、潼关弯、兰考弯。下游河道由于泥沙淤积善陡善变，现行河道已淤积成地上悬河，河床一般高于两岸地面 3~5m，最大达 10m，成为淮河、海河水系的分水岭。

黄河上游从河源流经青海、四川、甘肃、宁夏至内蒙古的河口镇，干流河长 3472km，为黄河全长的 63.5%，流域面积 38.6 万 km^2 ，占黄河总面积的 51.3%。河口镇的天然径流量为 312.6 亿 m^3 ，实测年沙量为 1.45 亿 t（1934—1990 年），分别占全河水量和沙量的 53.9% 和 8.7%，是黄河流域的主要清水来源区，水量的变化对中下游水沙的变化，水资源利用即冲积河流的河床调整都有不同程度的影响。根据区域地势地貌的特征，黄河上游又可分为 3 个河段，即河源至龙羊峡为黄河上游的上段，位于青海高原；龙羊峡至下河沿位于青海高原和黄土高原的结合部位，是黄河上游的中段；下河沿至托克托为黄河上游的下段。

黄河自黑山峡进入宁蒙河段，穿过黑山峡、青铜峡和石嘴山峡，流经卫宁盆地、银川平原和河套平原，至头道拐水文站全长 1048km，占黄河全长 22.0%，集水面积 11.72 万 km^2 ，占黄河流域总面积的 14.8%。宁蒙河段作为黄河上游段的下端，河道形态为峡谷和盆地相间连接。峡谷段两岸形势陡峻，河谷狭窄，河流比降大，水流湍急。在峡谷与峡谷之间为河谷宽敞、比降平缓的盆地和平原。盆地和平原早先为湖泊，现仍继续下沉中接受堆积，河流在此基础上发育形成，河道宽阔，比降小，随着来水来沙的变化河床进行自动



调整,发生相应的冲淤变化。

黄河宁夏河段自中卫至石嘴山全长 397km。河流流向自南向北,黄河在甘肃境内穿行于山区峡谷,但进入宁夏平原后就显著开阔,在宁夏境内河势差异明显,下河沿以上 61km 为峡谷段,下河沿至青铜峡 124km 河段迂回曲折,河心滩地多,河宽 0.2~0.3km,比降 0.8%~0.9%。青铜峡以下河宽 0.2‰~0.1‰,为粗砂河床,各河段枯水期均有分流串沟现象。黄河自石嘴山进入内蒙古境内。其流向自石嘴山至磴口县大致是从西南流向东北,磴口县至包头市基本是自西向东,而包头至清水河则自西北流向东南,以下则自北向南。进入内蒙古河段后,河段逐渐变为宽浅,河段中浅滩弯道迭出,坡度变缓。巴彦高勒以下河身更宽,平面摆动较大,至包头段河宽虽有缩减,但坡度更缓,弯曲更甚,多畸形大弯,巴彦高勒至托克托,较大弯道有 69 处,最大弯曲度达 3.64,坡度平缓,水流散乱,多汉河,河势极不顺,巴彦高勒以下河势亦极不稳定,平面摆动很大。据历史资料记载,1934 年的大洪水,曾使黄河北移 3~4km,最大摆动幅度达 7km。河段平面摆动大的原因如下:

(1) 上游建库前本河段来沙量较大,因河道坡度平缓,泥沙落淤,河床逐年抬高,随着来水量的变动,河流流势亦随着变动,河湾形成后,因土质松散,凹岸势必冲刷加剧,并连续发生作用使弯道增多,引起主槽摆动。

(2) 区间支流汇入水量虽不多,但洪水期携带大量泥沙进入黄河,汇合口泥沙逐年堆积也导致主槽摆动。

(3) 沿河扬水站抽水、引洪渠道引流,均使主流引入一方,形成深槽,抽水停止后,河势又横向摆动,加以人工裁弯、险工段的挑流护岸以及人工扒口等原因,均会使主流的平面摆动。

1.2 气候特征

黄河流域东临海岸,西居内陆高原,东西高差显著,流域内各区气候的差异极为明显。从季风角度看,兰州以上地区属青藏高原季风区,其余地区为温带和副热带季风区。从气候对农业的影响角度看,流域东部基本属湿润气候,中部属半干旱气候,西北部属于干旱气候。黄河流域冬季受蒙古高压控制,盛行西北风,气候干燥严寒,降水稀少,夏季西太平洋副热带高压增强,温暖的海洋气团进入流域境内,蒙古高压渐往北移,冷暖气团相遇,多集中降水。流域内气温总的变化是自东南向西北递减,自平原向高山递减,局部地形对气候的影响也十分明显。流域的降水,受大气环流影响,规律明显,冬季受蒙古高压控制盛行偏北风,伴以间歇性寒潮,气温最低,水汽来源减少,偶有少量雨雪。年降水量自东南向西北递减,依降水量的多少可分为 4 个区:湿润区、半湿润区、半干旱区和干旱区。降水量年内分配极不均匀,全年连续最大 4 个月降水量大部分地区出现在 6—9 月,连续的最大 4 个月降水量占年降水量的百分率由南部的 60% 逐渐向北部增加至 80% 以上,



大部分地区为 70%~80%。

宁蒙河段所属区域为典型的大陆性气候，冬季寒冷雨雪少，春秋季节干旱多风，年最高气温达 40℃，最低气温达 -38.8℃。多年平均降雨量 215.7mm，且主要集中在 7—8 月，约占年平均降雨量的 80% 左右，最小降雨量 47.9mm（1965 年石嘴山），多年平均蒸发量 1547.7mm，最大蒸发量 2426.4mm（1955 年青铜峡）。宁蒙河段主要径流来源于黄河上游，进入该河段多年平均径流量 294.0 亿 m³，流出该河段多年平均径流量 217.5 亿 m³，该河段多年平均输沙量 1.16 亿 t，占全河输沙总量的 7%。该流域多年平均降雨量为 337.9mm，属于干旱、半干旱地区。降雨特点是自南向北（即自上游向下游）逐渐减少，且局地暴雨多，年际变化大，流域年降雨量最大为 611.0mm，最小为 195.8mm，相差 2 倍多，降雨量年内分配也不均匀，主要集中在汛期，多年平均汛期降雨量占全年的 68.7%，最大可达 85% 以上。流域的另一水文特点是水少沙多，时空分布不均，据泉眼山水文站实测资料统计，多年平均径流量为 1.09 亿 m³，输沙量为 0.236 亿 t，平均含沙量为 218 kg/m³，而且沙量主要集中在汛期，其量一般占年输沙量的 90% 以上且年径流深从上游到下游逐渐减小。

1.3 河流水系

黄河支流众多，直接入黄支流中，大于 100km² 的有 220 条，其中大于 1000km² 的有 76 条。这些支流呈不对称分布，沿程汇入不均，而且水沙水量悬殊。兰州以上有支流 100 条，其中大支流 31 条，多为产水较多的支流；兰州至河口镇有 26 条，其中大支流 12 条，均为产水较少的支流；河口镇至桃花峪有支流 88 条，其中大支流 30 条，绝大多数为多沙支流；桃花峪以下有支流 6 条，大小各占一半，水沙来量有限。

宁蒙河段内水系发达，有众多支流汇入。沿途汇入的支流主要有宁夏境内的清水河、苦水河、红柳沟、都思兔河等，以清水河入黄水、沙量最大；内蒙古境内的有毛不拉、卜尔色太、黑赖沟、西柳沟、罕太川、母花沟、呼斯太沟等孔兑，以及昆都仑河、五当沟、大黑河等。其中流域面积大于 1000km² 一级支流有 10 条。在上游巴彦高勒站到三湖河口站之间除有乌梁素海水量加入外，区间无较大支流汇入。

清水河发源于六盘山北端东麓固原县南部开城黑刺沟脑，由中宁县泉眼山注入黄河，是宁夏回族自治区境内最大的黄河支流，流域面积 14481km²（其中宁夏境内 1351km²，占 93%），全长 320km，河道平均比降 1.49‰。全流域处于黄土高原的西北边沿，地势南高北低，地貌以黄土覆盖的丘陵为主，主要支流有冬至河、中河、苋麻河、西河、金鸡沟、双井子沟、折死沟等。

内蒙古十大孔兑（孔兑，蒙语河沟的意思）位于黄河河套内，发源于鄂尔多斯地台，流经库布齐沙带，横穿下游冲洪积平原，位于东经 108°47′~110°58′、北纬 39°47′~40°30′，集水面积 10767km²。从西向东依次是毛不拉孔兑、卜尔色太沟（丁洪沟）、黑赖沟、西柳



沟、罕台川、壕庆河、哈拉拉川、母花河、东柳沟、虎斯太河。十大孔兑地势南高北低，上游为丘陵沟壑区，海拔在 1300.00~1500.00m 之间，面积为 5172km²，占总面积的 48%。本区处于稳定的鄂尔多斯地台，丘陵起伏，地表支离破碎，沟壑纵横，植被稀疏，水土流失严重，该区地表覆盖有极稀薄的风沙残土，颗粒较粗， $d > 0.05\text{mm}$ 的粗砂占 60% 左右。下伏地层大部分为白垩系和侏罗系，黄绿或紫红色泥质长石砂岩、砾岩，厚度较大，岩性结构松散，易风化，遇水即粉。地面坡度一般在 40°，最大可达 70°。中部库不齐沙漠横贯东西，西宽东窄，最宽为 28km，最窄也有 8km。海拔 1200.00~1400.00m，面积 2762km²，占总面积的 25.7%，沙带主要分布于罕台川以西，多属流动沙区，面积 1963km²，约占沙漠面积的 71.1%，罕台川以东，沙漠面积仅 799km²，多属半固定沙区。季风一到，库不齐沙带黄沙滚滚，大量风沙堆积在河床及两岸，洪水下来即被带走，形成洪水含沙量高、悬沙粒径较粗的特点。十大孔兑下游为冲洪积扇区，属黄河冲积平原，地势平坦，土地肥沃，海拔在 1000.00m 左右，是内蒙古自治区的主要商品粮基地之一，面积为 2833km²，占总面积的 26.3%。

十大孔兑从南到北直奔黄河，几乎等距离切割，流域形态相似，呈南北狭长形，孔兑上游为鄂尔多斯地台北缘风沙残积区，河槽窄深，坡度陡，约为 1%，水流快，含沙量大，粒级粗。当水流经过中部库不齐沙漠，泥沙再度增加，泄至下游时，坡度突然变缓，平均为 1/800~1/1300，河槽形成宽浅式，流速减弱，泥沙淤积，河床抬高，形成地上河。十大孔兑除壕庆河不入黄河，其余均直接入黄河。

十大孔兑多数为季节性河流，只有汛期才有洪水发生。多年平均径流量在 5~25mm 之间，汛期 4 个月水量可占全年 60%~80%。年内大洪水均由暴雨形成，陡涨陡落。由于各孔兑均发源于水土流失的砒砂岩区，又流经沙漠，常常大水带大沙，多年平均输沙模数虽然只有 2000~5000t/km²，但次洪输沙模数可达 30000~40000t/km²，其中毛不拉孔兑和西柳沟最为严重。大量泥沙向黄河倾泻，常常在入黄口形成沙坝淤堵黄河，直接影响包钢和包头市供水。该地区水文资料较少，现有水文站 3 个，即西柳沟龙头拐、毛不拉孔兑图格日格和罕台川红塔沟。

1.4 堤防工程

河防工程是内蒙古河段防御洪水和冰凌洪水的主要工程措施，主要包括堤防和河道整治工程。至 2007 年底，黄河内蒙古河段共有各类堤防长 1453km（不含三盛公库区围堤），其中干流堤防长 1400km，支流回水段堤防长 53km；宁夏河段干流堤防长 448.1km，内蒙古河段长 951.9km。干流堤防中，堤顶高程低于设计堤顶高程的堤段长 997km，占 71.2%；低于 0.50m 以上的堤段长 659km，占 47.1%；低于 1.00m 以上的堤段长 293km，占 20.9%。共有河道整治工程 140 处，修建坝垛 2194 道，工程长度 179.5km。其中险工 54 处，坝垛 895 道，工程长度 67.2km；控导工程 86 处，坝垛



1299 道，长 112.3km。

黄河内蒙古河段干流下河沿至三盛公河段设计防洪标准为 20 年一遇，设计防洪流量为下河沿站 $5600\text{m}^3/\text{s}$ 、石嘴山站 $5630\text{m}^3/\text{s}$ ，堤防级别为 4 级。三盛公至蒲滩拐河段设计防洪标准左岸为 50 年一遇、设计防洪流量为石嘴山站 $6000\text{m}^3/\text{s}$ 、堤防级别为 2 级；右岸除达旗电厂附近堤段设计防洪标准为 50 年一遇、堤防级别为 2 级外，其余堤段设计防洪标准为 30 年一遇、堤防级别为 3 级。根据《黄河内蒙古河段近期防洪工程建设可行性研究报告》，黄河内蒙古河段的堤防设计水位按照汛期和凌汛期水面线的计算结果综合分析确定，主要控制断面 2015 年水平设计水位见表 1.4.1。

表 1.4.1 黄河内蒙古河段主要控制断面 2015 年水平设计水位 单位：m

水文站	汛期 50 年一遇洪水位	汛期 30 年一遇洪水位	凌汛期水位
巴彦高勒	1053.60	1053.54	1054.64
三湖河口	1021.24	1021.20	
昭君坟	1010.95	1010.89	1011.91
头道拐	991.40	991.36	

注 巴彦高勒、头道拐站为黄海高程系，三湖河口、昭君坟站为大沽高程系。

2010 年，国家发改委批复了《黄河宁夏河段近期防洪工程建设可行性研究报告》《黄河内蒙古河段近期防洪工程建设可行性研究报告》的堤防工程和河道整治工程建设安排。宁夏河段安排加高培厚堤顶欠高 0.50m 以上的连续堤防 114.0km，支流新建回水段堤防 47km；安排河道整治工程 35 处，其中续建 22 处，续建工程长度 13.962km；新建 13 处，新建工程长度 9.252km。黄河内蒙古河段安排干流加高培厚堤顶欠高 0.50m 以上的连续堤防 510.949km，新建堤防 8.774km，支流加高培厚堤防长 15km，新建回水堤防 2.0km；安排河道整治工程 38 处，其中续建工程 22 处，续建工程长度 13.80km，新建 16 处，新建工程长度 10.67km。根据安排，堤防工程和河道整治工程计划在 3 年内建设完成，目前建设工作已展开，工程建设完成后，堤防工程的达标长度将达到 70%，堤防防御洪水的能力将进一步加强。

1.5 水库工程

黄河从兰州到内蒙古河段，大致是由西南流向东北，从内蒙古的磴口到托克托，黄河又变成从西流向东。兰州到内蒙古河段，纬度相差 $4^{\circ}37'$ ，冬季月平均气温相差 5°C 左右。内蒙古河段地处黄河流域最北端，冬季气候特别寒冷，最低气温临河可达 -35.30°C ，河面年年封冻，是一个稳定封冻河段。历年出现流凌时间一般在 11 月下旬，封冻日期为 12 月上、中旬，解冻日期在次年 3 月中下旬，冰期约 100 天，冰盖厚度 0.70m 左右。包头河段封冻比兰州早 20 天，解冻却晚了 1 个多月，致使内蒙古河段封冻时溯源而上，开河时自上而下，构成复杂的冰情现象。封冻时河槽储蓄水量平均 10 亿 m^3 左右，最多近 20 亿 m^3 ，等



于形成了河槽式水库。解冻开河时，冰水俱下，河槽蓄水迅速释放出来，最大凌汛洪峰流量可达 $3500\text{m}^3/\text{s}$ 。自宁夏石嘴山市以下，河道狭窄，解冻时流冰常在弯曲段受阻，形成冰坝。自内蒙古巴彦高勒至托克托，河身逐渐放宽，多畸形大弯，冰凌极易在弯道处堵塞，形成冰塞和冰坝，引起水位陡涨，凌峰水位常接近或超过同年伏汛期最高水位。20 世纪 60 年代以前宁蒙段河道年年均有程度不同的凌汛灾害发生。如 1945 年春，在塔尔湾卡冰，结成冰坝，水位壅高，造成临河县城被淹。60 年代后期以来，青铜峡、刘家峡水库相继建成投入运用，利用水库调节水量，对于减轻宁蒙河段凌汛威胁发挥了很大作用。

1.5.1 龙羊峡水库

龙羊峡水库坝址位于青海省共和县与贵南县交界的龙羊峡峡谷进口约 2km 处，是黄河干流上梯级开发规划中最上游的水库。龙羊峡水库以发电为主，并配合刘家峡水库担负下游河段的防洪、灌溉和防凌任务。

龙羊峡水库正常蓄水位 2600.00m，相应库容 246.98 亿 m^3 ；校核洪水位 2607.00m，相应库容 274.19 亿 m^3 ；死水位 2530.00m，相应库容 53.43 亿 m^3 。投入运用以来最高蓄水位 2597.62m（2005 年 11 月 19 日），相应蓄水量 238 亿 m^3 。龙羊峡水库水位-库容关系见表 1.5.1。

表 1.5.1 龙羊峡水库水位-库容关系

水位/m	库容/亿 m^3	水位/m	库容/亿 m^3	水位/m	库容/亿 m^3	水位/m	库容/亿 m^3
2560	117.78	2573	154.18	2586	196.08	2599	243.19
2561	120.38	2574	157.22	2587	199.54	2600	246.98
2562	123.02	2575	160.29	2588	203.03	2601	250.79
2563	125.70	2576	163.39	2589	206.55	2602	254.62
2564	128.41	2577	166.52	2590	210.11	2603	258.48
2565	131.15	2578	169.67	2591	213.70	2604	262.37
2566	133.92	2579	172.85	2592	217.31	2605	266.28
2567	136.72	2580	176.06	2593	220.94	2606	270.22
2568	139.55	2581	179.31	2594	224.59	2607	274.19
2569	142.41	2582	182.59	2595	228.26	2608	278.19
2570	145.30	2583	185.91	2596	231.96	2609	282.22
2571	148.22	2584	189.26	2597	235.68	2610	286.28
2572	151.18	2585	192.65	2598	239.42		

注 库容为设计值。

1.5.2 刘家峡水库

刘家峡水库位于甘肃省永靖县境内的黄河干流上，是一座以发电为主，兼有防洪、灌溉、防凌、养殖等综合效益的大型水利枢纽。

刘家峡水库设计正常蓄水位为 1735.00m，相应库容 40.68 亿 m³；校核洪水位 1738.00m，相应库容 44.83 亿 m³。自 1969 年投入运用以来最高蓄水位 1735.81m（1985 年 10 月 24 日），相应蓄水量 41.80 亿 m³。刘家峡水库水位-库容关系见表 1.5.2。

表 1.5.2 刘家峡水库水位-库容关系

水位/m	库容/亿 m ³	水位/m	库容/亿 m ³	水位/m	库容/亿 m ³	水位/m	库容/亿 m ³
1720.00	22.95	1725.00	28.18	1730.00	34.18	1735.00	40.68
1721.00	24.00	1726.00	29.23	1731.00	35.26	1736.00	42.06
1722.00	25.04	1727.00	30.47	1732.00	36.35	1737.00	43.45
1723.00	26.09	1728.00	31.71	1733.00	37.43	1738.00	44.83
1724.00	27.14	1729.00	32.94	1734.00	38.51		

注 库容为 2004 年施测。

刘家峡水库和龙羊峡水库联合调度，控制上游来水，承担黄河上游宁蒙河段防凌调度任务。

1.5.3 海勃湾水库

海勃湾水库位于黄河内蒙古河段上段，设计总库容 4.87 亿 m³，水库正常蓄水位 1076.00m，死水位 1069.00m。

水库于 2011 年 3 月截流，2012 年 5 月实现了工程二期导流，2013 年 11 月明渠占压段土石坝填筑到顶，实现水利枢纽主坝挡水，通过永久建筑物 16 孔泄洪闸泄流。2014 年 10 月，4 台机组相继全部投入发电试运行。鉴于枢纽 8 项单项工程尚未进行全面验收和库区遗留等问题，2014—2015 年凌汛期水库最高蓄水位为 1073.00m，现有防凌库容 2 亿 m³ 左右。遇特殊凌情，水库最高蓄水位为 1076.00m。海勃湾水库水位-库容关系见表 1.5.3。

表 1.5.3 海勃湾水库水位-库容关系

水位/m	库容/亿 m ³	水位/m	库容/亿 m ³	水位/m	库容/亿 m ³	水位/m	库容/亿 m ³
1064.00	0.002	1068.00	0.206	1072.00	1.840	1076.00	4.870
1065.00	0.008	1069.00	0.443	1073.00	2.488		
1066.00	0.027	1070.00	0.804	1074.00	3.213		
1067.00	0.078	1071.00	1.278	1075.00	4.007		

注 库容为原始库容。

1.5.4 万家寨水库

万家寨水库位于黄河中游上段，坝址左岸为山西省偏关县，右岸为内蒙古自治区准格尔旗。万家寨水库主要任务是供水结合发电调峰，同时兼有防洪、防凌任务。

万家寨水库设计最高蓄水位 980.00m，相应库容 4.35 亿 m³，正常蓄水位 977.00m，相应库容 3.53 亿 m³。万家寨水库水位-库容关系见表 1.5.4。