

黄河宁蒙河段冰凌成因及 预报方法研究

王富强 韩宇平 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

本书得到国家自然科学基金项目“黄河宁蒙段凌汛成因及预报方法研究”（51009065）和“基于灰数信息的决策模型及其在黄河冰凌灾害风险管理中的应用研究”（71271086）的共同资助

黄河宁蒙河段冰凌成因及 预报方法研究

王富强 韩宇平 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书综合运用水文学及水资源、水文气象学、水力学及河流动力学、系统工程、概率论、计算数学等相关专业知识,对黄河宁蒙河段冰凌进行了较系统的研究,内容主要包括冰凌观测与监测方法、冰凌生消演变过程及其影响因素、宁蒙河段凌情特征分析、宁蒙河段凌汛成因分析、传统的冰情预报方法、基于粒子群算法优化的支持向量回归凌情预报模型、基于改进神经网络的凌情预报模型、凌情预报模型的GUI实现,以及黄河防凌减灾措施等。本书特色在于对黄河宁蒙河段冰凌的观测、成因、预报和防凌措施的系统化、实用化和理论联系实际方面做出了有益的尝试。

本书可供从事水文预报和冰凌研究的工程技术人员和科研人员参考使用,也可作为高等院校相关专业师生学习的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

黄河宁蒙河段冰凌成因及预报方法研究 / 王富强,
韩宇平著. — 北京:中国水利水电出版社, 2014.7
ISBN 978-7-5170-2480-4

I. ①黄… II. ①王… ②韩… III. ①黄河—冰情—
成因—研究—宁夏②黄河—冰情—成因—研究—内蒙古③
黄河—冰情—水文预报—研究—宁夏④黄河—冰情—水文
预报—研究—内蒙古 IV. ①P343.6②P338

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第212373号

书 名	黄河宁蒙河段冰凌成因及预报方法研究
作 者	王富强 韩宇平 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 (发行部) 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
经 售	
排 版	北京三原色工作室
印 刷	三河市鑫金马印装有限公司
规 格	170mm×240mm 16开本 16印张 323千字
版 次	2014年7月第1版 2014年7月第1次印刷
定 价	56.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

黄河是我国凌汛出现最为频繁的河流，其中宁蒙段最为严重，这是由于它特殊的地理位置、水文气象条件、河道特性决定的。近年来受全球气象形势影响，我国极端天气频繁出现，黄河凌汛灾害严重，1986年以来内蒙古河段已发生了6次凌汛决口，防凌工作已经成为黄河防汛的重要内容，迫切需要对黄河冰凌灾害的形成机制进行系统全面的分析，同时提供及时准确的冰凌信息，来实现冰凌期预警河道可能出现的凌汛突发事件。封河期确定水库加大流量抬高冰盖的时机，开河期确定破冰时机和位置。同时，冰凌融化后在黄河中下游形成桃汛洪水，也迫切需要冰凌的开河时间和槽蓄量变化等预报信息，来确定万家寨科学调度蓄泄水时机，以最大程度冲刷降低潼关高程。从冰凌预报方法来讲，虽然近年来，随着计算机技术的发展和新的数学方法的不断涌现，冰凌预报得到了较快的发展。但是，由于其复杂性和数据资料等因素制约，冰凌预报研究仍处在发展阶段。主要问题之一就是冰凌预报研究多注重水文系列的统计相关特性，而对物理成因关系关注相对较少，同时对各种方法的有效性研究不够，使现有方法很难在实践中推广应用。因此系统分析黄河宁蒙段的历史冰情资料，探明凌汛形成机制、变化规律及其影响因素，深入研究黄河宁蒙河段的冰情预报方法，具有重大的理论和现实意义。

在此背景下，本书重点研究了冰凌观测与监测方法、冰凌生消演变过程及其影响因素、宁蒙河段凌情特征、宁蒙河段凌汛成因、传统的冰情预报方法、基于粒子群算法优化的支持向量回归凌情预报模型、基于改进神经网络的凌情预报模型、凌情预报模型的GUI实现，以及黄河防凌减灾措施等。主要研究内容和成果概述如下：

(1) 冰凌观测。冰凌观测是防凌的耳目，是进行冰凌研究的基础，因此准确而全面的冰凌观测将为科学防凌提供可靠的依据。本书探讨了黄河冰凌观测站网的设置、黄河冰凌观测的项目、冰凌观测工具等，全面分析了冰塞观测和水内冰观测的内容及方法，明确了几个有关冰凌研究的概念，包括流凌、流凌日期、封河、封河日期、开河、开河日期、冰盖、冰塞和冰坝等。

(2) 冰凌生消演变过程及其影响因素。从成冰、流凌、初封、稳封、融冰、开河等6个阶段分析了冰凌的生消演变过程，探讨了冰塞、冰坝的成因、分类及演变过程，从动力因素、热力因素、河道条件和人类活动等方面研究了冰凌演变

的影响因素。

(3) 黄河宁蒙河段凌情特征分析。从区域位置、地质地貌特征、水文气象条件、社会经济状况、主要水文站点等方面概述了黄河宁蒙河段基本情况, 分析了黄河宁蒙河段河道状况、枢纽工程、引水工程和堤防工程等防凌工程条件及措施, 系统全面的分析了黄河宁蒙河段历史时期(1951/1952—2000/2001)和近10年(2001/2002—2010/2011)的凌情变化特征。由于气候变化和人类活动的影响, 近年来黄河宁蒙河段的凌情呈现出了新的特征。研究结果表明, 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, 引起了黄河宁蒙河段凌情的变化, 这些变化表现在: 封河、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。研究可为黄河宁蒙河段防凌减灾等实际工作提供参考依据。

(4) 基于小波变换的宁蒙河段凌情多时间尺度分析。应用小波变换的多分辨率分析功能, 对黄河宁蒙河段的流凌、封河、开河、气温和径流序列进行了多时间尺度分析。分析结果显示, 宁夏和内蒙古河段流凌日期分别存在一个28年和22年的主周期变化; 宁夏河段开河日期不存在明显的周期变化, 内蒙古河段封河日期存在一个21~22年的主周期变化; 宁夏和内蒙古河段开河日期分别存在一个27年的主周期变化和一个15年的弱周期变化; 宁蒙河段冰期气温整体上呈上升趋势, 不存在明显的周期变化; 宁蒙河段冰期径流变化较为稳定, 冰期平均径流序列存在一个22年左右的主周期变化。研究结果有助于全面认知宁蒙河段凌情变化特性, 可为区域防凌减灾提供参考信息。

(5) 黄河宁蒙河段凌汛成因分析。从河道因素、水文条件、气象条件和水库运用等方面分析了宁蒙河段凌汛成因, 重点研究了河流走向与河道比降、河床平面形态、河道断面形态、局部地形等对冰凌形成的影响; 探讨了凌汛期宁蒙地区气温的时空变化、封河期和开河期温度平流和热源特点, 构建了凌情变化对气温变化的响应模型; 分析了热力条件变化对弯道段冰塞形成与演变的影响, 研究了动力因素包括流量的沿程变化、封开河前后及期间的变化、流量在横断面的分布情况、横向流速分布特点等, 从水流能量的结构和耗散方面研究了流量大小对冰凌形成的影响; 分析了跨河建筑物、浮桥、涵闸、河道内堤防、路堤等对河道冰凌形成的影响。

(6) 传统冰情预报方法。传统冰情预报方法主要包括指标法、经验相关法、水力学法和统计分析方法等。指标法多是从冰凌发生的阈值条件出发建立概念模型, 为纯经验统计, 而经验相关法基于一定的物理基础, 考虑了影响冰情的热力因素和水力因素, 从预报项目到预报精度上都更加完善和精确。预报项目有初始流凌日期、流凌密度、封冻趋势、初始封河日期、封冻长度、冰量、封冻历时、开河趋势、开河日期、开河最大流量及开河最高水位等, 主要是制作相关图或建

立相关式,预报方法有上下游站预报要素相关和前期要素指标与预报要素相关等。统计分析方法包括线性回归方法、概率统计方法等,本研究尝试选取大气环流条件、海表温度和太阳黑子活动等因子构建了基于成因的冰凌预报模型。

(7) 基于粒子群算法优化的支持向量回归凌情预报模型。采用相关分析和成因分析相结合的方法选取合适的冰情预报因子组合,并运用粒子群算法优化支持向量机 SVR 构建了黄河宁蒙段封河、开河日期预报模型。实例研究表明该模型预报精度高、运行时间短,预报平均误差为 3.51d,平均运行时间为 10.464s,预报效果明显优于遗传算法优化的支持向量回归与反向传播式神经网络,能够较准确地对封开河日期做出预报。

(8) 基于改进神经网络的凌情预报模型。为了提高神经网络预报模型的泛化能力和预测精度,分别引入粒子群优化算法和协同遗传算法,构建了基于粒子群优化算法和协同遗传算法的神经网络冰情预报模型,将模型应用于黄河宁蒙段的冰凌预报中,分析河流冰情的主要影响因素,选择合适的预报因子,以石嘴山、巴彦高勒、三湖河口、头道拐四站的封开河数据作为学习样本进行模型训练和验证。仿真结果表明,模型合格率较高,属于甲等预报,与传统的神经网络模型相比偏差更小,精度更高。

(9) 基于人工鱼群算法的神经网络冰情预报模型。在分析影响凌汛成因因素的基础上,选取合适的预报因子,针对 BP 神经网络收敛速度慢、易陷入局部极小的缺点,提出将改进的人工鱼群算法(AFSA)训练 BP 神经网络,以黄河宁蒙段封河、开河日期数据进行建模,给出了 AFSA 训练神经网络的基本原理和步骤,并运用 Matlab 7.0 进行仿真。结果显示,该模型对黄河宁蒙河段凌汛期封开河日期预测比较准确,这对黄河防凌减灾和水资源可持续利用都具有重要意义。

(10) 冰凌预报模型的 Matlab GUI 实现。利用 Matlab 开发了黄河宁蒙河段冰凌预报模型的图形用户界面(GUI),实现了冰情预报的可视化,有效地提高了冰情预报的可操作性和预报效率,降低了工作量。同时,所设计的冰凌预报图形用户界面,能够保存和读取训练好的网络,为模型的实际应用提供了一个简单实用的平台。

(11) 黄河凌汛灾害及防凌减灾措施。统计分析了黄河历史时期和新中国成立后的主要冰凌灾害,从工程措施和非工程措施两个方面探讨了防凌减灾措施。工程措施主要包括防护大堤、水库调节、破冰、拦冰、导冰措施等,非工程措施包括建立各级防凌指挥机构和组织、组织人防队伍、加强冰情观测、做好冰情预报、建立报讯通信网络、加强各部门协同合作等。

在本书的编著过程中,得到了众多人士的帮助和支持:感谢华北水利水电大学罗党教授,大连理工大学陈守煜教授、许士国教授,内蒙古农业大学的冀鸿兰教授等对本书撰写给予的支持和帮助。研究期间,作者还从多个层面和形式

得到了黄河水利委员会蔡琳教授级高工、可素娟教授级高工、陈赞廷教授级高工、彭勃高工等的帮助和指点，在此表示由衷的感谢！另外，华北水利水电大学周翔南、蔺冬、荣飞、陈希、王雷、乔继平、蒲红杰等同学做了部分辅助工作。最后，向所有关心和帮助过我的同志们，表示诚挚的感谢！

感谢国家自然科学基金项目“黄河宁蒙段凌汛成因及预报方法研究”（51009065）、国家自然科学基金项目“基于灰数信息的决策模型及其在黄河冰凌灾害风险管理中的应用研究”（71271086）和国家自然科学基金项目“区域农业干旱形成机理及预警预报方法研究”（51379078）对本书研究及出版的资助！

由于冰凌形成和预报的复杂性以及人类认知冰凌形成机理的有限性，本书的出版只能起到“抛砖引玉”的作用。且受时间、专业素养、理论水平及可操作性能力的制约，本书研究中的理论、方法、结构安排、文字表达等方面难免有挂一漏万和错误悖谬之处，敬请诸位同行专家本着关心和爱护的态度，予以批评指正。此外，书中对于其他专家学者的论点和成果都尽量给予了引证，如有不慎遗漏引证的，恳请诸位专家谅解。

作 者

2014年1月于郑州

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 概述	1
1.1.1 黄河流域概况	1
1.1.2 黄河冰凌洪水	5
1.1.3 黄河宁蒙河段冰情	6
1.2 国内外相关研究进展	8
1.2.1 国外冰凌研究进展	8
1.2.2 国内冰凌研究进展	11
1.3 本书内容结构安排	13
第 2 章 冰凌观测	16
2.1 观测站网	16
2.2 观测项目及观测工具	16
2.2.1 观测项目	16
2.2.2 观测工具	17
2.3 专项冰凌观测	17
2.3.1 冰塞观测	18
2.3.2 水内冰观测研究	22
2.4 关于冰凌的几个概念	24
2.4.1 流凌与流凌日期	24
2.4.2 封河与封河日期	25
2.4.3 开河与开河日期	25
2.4.4 冰盖	25
2.4.5 冰塞与冰坝	26
第 3 章 冰凌生消演变过程及其影响因素	27
3.1 冰凌的生消演变过程	27
3.1.1 结冰期	27
3.1.2 封冻期	30
3.1.3 解冻期	31

3.2	冰塞和冰坝形成机理	32
3.2.1	冰塞的形成及演变	33
3.2.2	冰坝的形成及演变	36
3.2.3	冰塞和冰坝的危害	37
3.3	影响冰情变化的因素	37
3.3.1	动力因素	37
3.3.2	热力因素	38
3.3.3	河道条件	38
3.3.4	人类活动	39
第4章	黄河宁蒙河段凌情特征分析	40
4.1	黄河宁蒙河段概况	40
4.1.1	区域位置	40
4.1.2	地质地貌特征	40
4.1.3	气候及水文特征	42
4.1.4	社会经济概况	43
4.1.5	主要水文站点位置说明	43
4.2	河道及水利工程情况	45
4.2.1	河道概况	45
4.2.2	枢纽工程	46
4.2.3	引水工程	47
4.2.4	堤防工程	47
4.3	黄河宁蒙河段凌情特征分析	48
4.3.1	历史凌灾统计	48
4.3.2	历史凌情特征分析	49
4.3.3	近10年宁蒙河段凌情特征变化	51
第5章	基于小波变换的宁蒙河段凌情多时间尺度分析	55
5.1	概述	55
5.2	小波分析方法及其在水文学上的应用	55
5.2.1	小波分析方法	55
5.2.2	小波分析在水文学上的应用	57
5.3	基于小波变换的宁蒙河段冰情多时间尺度分析	58
5.3.1	宁蒙河段凌汛三期变化特征	59
5.3.2	宁蒙河段凌汛期气温变化特征	63
5.3.3	宁蒙河段冰期径流量变化特征	64
5.4	本章小结	65

第 6 章	黄河宁蒙河段凌汛成因分析	66
6.1	黄河宁蒙河段凌汛成因	66
6.1.1	河道因素	66
6.1.2	水文条件	67
6.1.3	气象条件	70
6.2	水库运用对凌情的影响	71
6.2.1	水库运用前后宁蒙河段冰凌灾害对比分析	71
6.2.2	刘家峡、龙羊峡水库运用对宁蒙段冰情的影响	71
6.2.3	万家寨水库运用对宁蒙河段冰情的影响	72
6.3	冰情预报因子筛选方法	73
6.3.1	单相关系数法	73
6.3.2	预报因子选择	74
第 7 章	传统冰情预报方法	76
7.1	概述	76
7.2	指标法	77
7.2.1	流凌条件	77
7.2.2	封河条件	77
7.2.3	开河日期预报	78
7.2.4	开河凌峰流量预报	78
7.3	经验相关法	79
7.3.1	流凌日期预报	79
7.3.2	封河日期预报	80
7.3.3	开河日期预报	81
7.3.4	开河最高水位预报	81
7.3.5	最大流量预报	82
7.3.6	经验相关法评价	82
7.4	多元线性回归冰凌预报方法	83
7.4.1	相关分析方法及相关系数计算	83
7.4.2	回归分析的概念及分类	84
7.4.3	一元线性回归分析方法	85
7.4.4	多元线性回归分析方法	85
7.4.5	逐步回归分析方法	86
7.4.6	非线性回归分析方法	86
7.4.7	回归系数的确定和检验方法	87
7.4.8	多元线性回归冰凌预报模型应用	89

第 8 章	基于粒子群算法优化的支持向量回归凌情预报模型	94
8.1	支持向量机概述	94
8.1.1	支持向量机基本原理	95
8.1.2	统计学习理论	97
8.2	SVM 与核函数的选择	99
8.2.1	SVM 的选择	99
8.2.2	核函数的选择	101
8.2.3	SVR 的主要参数	101
8.2.4	SVM 算法实现	102
8.3	基于粒子群算法优化的支持向量回归预报模型	102
8.3.1	粒子群算法	102
8.3.2	适应度函数设计	103
8.3.3	PSO-SVR 凌情预报模型的构建	104
8.4	模型应用	105
8.4.1	封河日期预报	105
8.4.2	开河日期预报	109
8.4.3	模型效果评价	113
第 9 章	基于改进神经网络的凌情预报模型	116
9.1	人工神经网络模型概述	116
9.1.1	基本原理	116
9.1.2	BP 神经网络	117
9.1.3	BP 神经网络模型的局限性	120
9.1.4	几种常见的 BP 模型改进方法	121
9.2	粒子群优化算法改进的神经网络冰凌预报模型	122
9.2.1	粒子群优化算法	122
9.2.2	优化神经网络的 PSO 算法设计	125
9.2.3	PSO-BP 冰凌预报模型的建立	127
9.3	协同遗传算法优化神经网络	127
9.3.1	协同进化遗传算法	127
9.3.2	基于协同进化遗传算法的神经网络设计	128
9.3.3	CCGA-BP 模型的建立	132
9.4	模型应用	132
9.4.1	流凌日期预报	133
9.4.2	封河日期预报	141
9.4.3	开河日期预报	147

9.5 本章小结	154
第 10 章 基于人工鱼群算法的神经网络冰情预报模型	155
10.1 概述	155
10.2 模型构建及求解	155
10.2.1 人工鱼群算法模型的构建	155
10.2.2 人工鱼群神经网络模型的求解	156
10.3 实例应用	158
10.3.1 选择预报因子	158
10.3.2 三湖河口站封河历时预报	158
10.4 模型效果评价	159
10.5 本章小结	160
第 11 章 冰凌预报模型的 Matlab GUI 实现	162
11.1 Matlab GUI 概述	162
11.2 GUI 界面设计	163
11.2.1 控件设计	163
11.2.2 控件属性设置	163
11.2.3 回调函数	163
11.2.4 菜单设计	165
11.2.5 设计成果	165
第 12 章 黄河凌汛灾害及防凌减灾措施	168
12.1 黄河凌汛灾害	169
12.1.1 历史上黄河的凌汛决溢灾害	169
12.1.2 新中国成立后四次较大的凌汛灾害	169
12.2 黄河凌灾防御措施	171
12.2.1 工程措施	172
12.2.2 非工程措施	176
参考文献	178
附录 1 防凌辞典	185
附录 2 近 10 年黄河宁蒙河段凌汛情况	199

第 1 章

绪 论

1.1 概述

1.1.1 黄河流域概况

1.1.1.1 自然地理

黄河发源于青藏高原巴颜喀拉山北麓的约古宗列盆地，自西向东，流经青海、四川、甘肃、宁夏、内蒙古、陕西、山西、河南、山东等九省（自治区），在山东省垦利县注入渤海，干流河道全长 5464km，流域面积 79.5 万 km^2 （包括内流区 4.2 万 km^2 ）。与其他江河不同，黄河流域上中游地区的面积占总面积的 97%；长达数百公里的黄河下游河床高于两岸地面之上，流域面积只占 3%。

黄河流域幅员辽阔，西部属青藏高原，北邻沙漠戈壁，南靠长江流域，东部穿越黄淮海平原。全流域多年平均降水量 447mm，总的趋势是由东南向西北递减，降水最多的是流域东南部湿润、半湿润地区，如秦岭、伏牛山及泰山一带年降水量达 800~1000mm；降水量最少的是流域北部的干旱地区，如宁蒙河套平原年降水量只有 200mm 左右。流域内大部分地区旱灾频繁，历史上曾经多次发生遍及数省、连续多年的严重旱灾，危害极大。流域内黄土高原地区水土流失面积 43.4 万 km^2 ，其中年平均侵蚀模数大于 5000 t/km^2 的面积约为 15.6 万 km^2 。流域北部长城内外的风沙区风蚀强烈。严重的水土流失和风沙危害，使脆弱的生态环境继续恶化，阻碍当地社会经济的发展，而且大量的泥沙输入黄河，淤高下游河床，也是黄河下游水患严重而又难于治理的症结所在。

黄河的突出特点是“水少沙多”，全河多年平均天然径流量 535 亿 m^3 ，仅占全国河川径流总量的 2%，人均年径流量 489 m^3 ，仅占全国人均年径流量的 23%。再加上邻近地区的供水需求，水资源更加紧张。黄河三门峡站多年平均输沙量约 16 亿 t，平均含沙量 35 kg/m^3 ，在大江大河中名列第一。最大年输沙量达 39.1 亿 t，最高含沙量 920 kg/m^3 。黄河水、沙的来源地区不同，水量主要来自兰州以上、秦岭北麓及洛河、沁河地区，泥沙主要来自河口镇至龙门区间、泾河、北洛河及渭

河上游地区。

内蒙古托克托县河口镇以上为黄河上游,干流河道长 3472km,流域面积 42.8 万 km^2 ,汇入的较大支流(指流域面积 1000 km^2 以上的,下同)有 43 条。青海省玛多以上属河源段,河段内的扎陵湖、鄂陵湖,海拔高程都在 4260m 以上,蓄水量 47 亿 m^3 和 108 亿 m^3 ,是我国最大的高原淡水湖。玛多至玛曲区间,黄河流经巴颜喀拉山与积石山之间的古盆地和低山丘陵,大部分河段河谷宽阔,间有几段峡谷。玛曲至龙羊峡区间,黄河流经高山峡谷,水流湍急,水力资源较为丰富。龙羊峡至宁夏境内的下河沿,川峡相间,水量丰沛,落差集中,是黄河水力资源的“富矿”区,也是全国重点开发建设的水电基地之一。黄河上游水面落差主要集中在玛多至下河沿河段,该河段干流长度占全河的 40.5%,而水面落差占全河 66.6%。龙羊峡以上属高寒地区,人烟稀少,交通不便,经济不发达,开发条件较差。下河沿至河口镇,黄河流经宁蒙平原,河道展宽,必将平缓,两岸分布着大面积的引黄灌区和待开发的干旱高地。本河段流经干旱地区,降水少,蒸发大,加上灌溉引水和河道渗漏损失,致使黄河水量沿程减少。

兰州至河口镇区间的河谷盆地及河套平原,是甘肃、宁夏、内蒙古等省(区)经济开发的重点地区。沿河平原不同程度地存在洪水和凌汛灾害,特别是内蒙古三盛公以下河段,地处黄河自南向北流的顶端,凌汛期间冰塞、冰坝壅水,往往造成堤防决溢,危害较大。兰州以上地区暴雨强度较小,洪水洪峰流量不大,历时较长。兰州至河口镇河段洪峰流量沿程减小。黄河上游的洪水和中游不遭遇大洪水,对黄河下游威胁不大。

河口镇至河南郑州桃花峪为黄河中游,干流河道长 1206km,流域面积 34.4 万 km^2 ,汇入的较大支流有 30 条。河口镇至禹门口是黄河干流上最长的一段连续峡谷,水力资源也很丰富,并且距电力负荷中心近,将成为黄河上第二个水电基地。禹门口至潼关简称小北干流,河长 132.5km,河道宽浅散乱,冲淤变化剧烈。河段内有汾河、渭河两大支流相继汇入。该河段两岸的渭北及晋南黄土台塬,塬面高出河床数十至数百米,共有耕地 2000 多万亩,是陕、晋两省的重要农业区,但干旱缺水制约着经济的稳定发展。三门峡至桃花峪区间,在小浪底以上,河道穿行于中条山和崤山之间,是黄河最后一段峡谷;小浪底以下河谷逐渐展宽,是黄河由山区进入平原的过渡地段。

黄河中游的黄土高原,水土流失极为严重,是黄河泥沙的主要来源地区,在全河 16 亿 t 泥沙中,有 9 亿 t 左右来自河口镇至龙门区间,占全河来沙量的 56%;有 5.5 亿 t 来自龙门至三门峡区间,占全河来沙量的 34%。黄河中游的泥沙,年内分配十分集中,80% 以上的泥沙集中在汛期;年际变化悬殊,最大年输沙量是最小年输沙量的 13 倍。

桃花峪以下为黄河下游,干流河道长 786km,流域面积 2.2 万 km^2 ,汇入的

较大支流只有3条。下游河道是在长期排洪输沙的过程中淤积塑造形成的,河床普遍高出两岸地面。沿黄平原受黄河频繁泛滥的影响,形成以黄河为分水岭脊的特殊地形。目前黄河下游河床已高出大堤背河地面3~5m,比两岸平原高出更多,严重威胁着广大平原地区的安全。

利津以下为黄河河口段,随着黄河入海口的淤积—延伸—摆动,入海流路相应改道变迁。

1.1.1.2 地形地貌

黄河流域地势西部高,东部低,由西向东逐级下降,可分为三个巨大的地形阶梯。

(1) 最高一级是西部的青海高原,平均海拔4000m以上,其南部的巴颜喀拉山脉构成与长江的分水岭。祁连山横亘北缘,形成青海高原与内蒙古高原的分界。阶梯的东部边缘北起祁连山东端,向南经临夏、临潭沿洮河,经岷县直达岷山。主峰高达6282m的阿尼玛卿山,耸立中部,是黄河流域最高点。山顶终年积雪。呈西北—东南方向分布的积石山与岷山相抵,使黄河绕流而行,形成S形大弯道。

(2) 第二大阶梯大致以太行山为东界,海拔高程1000~2000m,包含河套平原、鄂尔多斯高原、黄土高原和渭汾盆地等较大的地貌单元。这一带历来是我国各民族繁衍生息所在,许多复杂的气象、水文、泥沙现象多出现在这一地带,也是黄河流域水旱灾害的主要发生地。

(3) 第三阶梯从太行山脉以东至海滨,由黄河下游冲积平原和鲁中山地丘陵组成。黄河下游冲积平原自沁河口一带冲积扇的顶部海拔100m左右。黄河大堤把平原分为南北两部分,大堤以北为海河流域,以南为淮河流域。鲁中山地丘陵由泰山、鲁山和蒙山组成,一般海拔200~500m之间,丘陵浑圆,河谷宽广,少数山地海拔1000m以上。

1.1.1.3 气候

黄河流域位于我国北中部,属大陆性气候。东南部基本属湿润气候,中部属半干旱气候,西北部为干旱气候。

流域冬季几乎全部在蒙古高压控制下,盛行偏北风,偶有沙暴及少量雨雪;春季蒙古高压逐渐衰退;夏季主要在大陆热低压的范围内,盛行偏南风,水汽含量丰沛,降雨量较多;秋季秋高气爽,降水量开始减少。

以东部(济南市)、南部(西安市)、西部(西宁市)、北部(呼和浩特市)、中部(延安市)为代表,黄河流域内多年月、年平均气温由南向北、由东向西递减。流域内气温1月为最低(代表冬季)、7月为最高(代表夏季)。黄河流域各代表站气温基本特征统计结果详见表1-1。

表 1-1 黄河流域代表站气温统计表

站 名	平均气温/℃						年极端 最高气温/℃	年极端 最低气温/℃
	1月	7月	年均	年较差	年最高	年最低		
济 南	-1.4	27.4	14.2	28.8	19.4	9.4	42.5	-19.5
西 安	-1.0	26.6	13.3	27.6	19.2	8.6	41.7	-20.6
西 宁	-8.4	17.2	5.7	25.6	13.5	-0.3	33.5	-26.6
呼和浩特	-13.1	21.9	5.8	35.0	12.8	-0.7	37.3	-32.8
延 安	-6.4	22.9	9.4	29.3	17.2	3.5	39.7	-25.4

流域内日平均气温不低于 10℃ 的积温分布,基本由东南向西北递减,最小为河源区,出现日数小于 10d,积温接近于 0℃;最大为黄河中下游河谷平原地区,出现日数 230d 左右,积温达 4500℃ 以上。流域内日平均气温不高于 -10℃ 出现日数的分布与积温分布相反,基本由东南向西北递增。最小的为黄河中下游河谷平原地带;最大的为河源区。年日照时数以青海高原为最高,年日照时大部分在 3000h 以上,其余地区一般在 2200~2800h。

1.1.1.4 河流水系

根据基础资料统计,黄河流域有一级支流 111 条,集水面积合计 61.72 万 km²,总河长 17358km。其中集水面积大于 1 万 km² 的一级支流有 10 条,集水面积在 0.1 万~1 万 km² 之间的一级支流有 84 条,集水面积在 0.1 万 km² 以下的一级支流有 17 条。黄河流域集水面积大于 1 万 km² 的一级支流基本特征值详见表 1-2。

表 1-2 黄河流域集水面积大于 1 万 km² 的一级支流基本特征值

河流名称	集水面积/km ²	起点	终点	干流长度/km	平均比降/‰	多年平均径流量/亿 m ³
渭河	134766	甘肃定西马街山	陕西潼关县港口村入黄河	818.0	1.27	97.44
汾河	39471	山西宁武县东寨镇	山西河津县黄村乡柏底村	693.8	1.11	22.11
湟水	32863	青海海晏县洪呼日尼哈	甘肃永靖县上车村入黄河	373.9	4.16	49.48
无定河	30261	陕西横山县庙畔	陕西清涧县解家沟镇河口村	491.2	1.79	12.82
洮河	25227	甘肃省西倾山	甘肃省	673.1	2.80	48.25
伊洛河	18881	陕西雒南县终南山	河南巩县巴家门入黄河	446.9	1.75	31.45
大黑河	17673	内蒙古卓资县十八台乡	内蒙古托克托县入黄河	235.9	1.42	3.31
清水河	14481	宁夏固原县开城乡黑刺沟脑	宁夏中宁县泉眼山	320.2	1.49	2.02

续表

河流名称	集水面积 /km ²	起点	终点	干流长度 /km	平均比降 /‰	多年平均径流量/亿 m ³
沁河	13532	山西沁源县霍山南麓	武陟县南贾汇村入黄河口	485.1	2.16	14.50
祖厉河	10653	甘肃省华家岭	甘肃靖远方家滩入黄河	224.1	1.92	1.53

1.1.1.5 土地矿产资源

黄河流域总土地面积 11.9 亿亩，占全国国土面积的 8.3%，其中大部分为山区和丘陵，分别占流域面积的 40%和 35%，平原区仅占 17%。由于地貌、气候和土壤的差异，土地利用情况差异很大。流域内共有耕地 2.44 亿亩，农村人均耕地 3.2 亩，约为全国人均耕地的 1.3 倍。大部分地区光热资源充足，生产发展潜力很大。黄河流域矿产资源丰富，在全国已探明的 45 种主要矿产中，黄河流域有 37 种。具有全国性优势的有稀土、石膏、玻璃用石英岩、铌、煤、铝土矿、钼、耐火黏土等 8 种；具有地区性优势的有石油、天然气和芒硝 3 种；具有相对优势的有天然碱、硫铁矿、水泥用灰岩、钨、铜、岩金等 6 种。

黄河流域上中游地区的水能资源、中游地区的煤炭资源、中下游地区的石油和天然气资源，都十分丰富，在全国占有极其重要的地位，被誉为我国的“能源流域”，中游地区被列为我国西部地区十大矿产资源集中区之一。黄河流域可开发的水能资源总装机容量 3344 万 kW，年发电量约 1136 亿 kW·h，在我国七大江河中居第二位。已探明煤产地（或井田）685 处，保有储量 4492 亿 t，占全国煤炭储量的 46.5%，预测煤炭资源总储量 1.5 万亿 t 左右。黄河流域的煤炭资源主要分布在内蒙古、山西、陕西、宁夏四省（自治区），具有资源雄厚、分布集中、品种齐全、煤质优良、埋藏浅、易开发等特点。在全国已探明超过 100 亿 t 储量的 26 个煤田中，黄河流域有 10 个。流域内已探明的石油、天然气主要分布在胜利、中原、长庆和延长 4 个油区，其中胜利油田是我国的第二大油田。

1.1.2 黄河冰凌洪水

我国地势西高东低，大致呈三级阶梯。地势上，祁连山脉与太行山脉将黄河干流主河道分成三段，其高程差自河源到入海口达四五百千米。根据以往的划分又将黄河分为上、中、下游三段，其分界点分别是河口镇与桃花峪，从整体河流形态上看，黄河上游河段最为曲折多变，中游河段次之，而下游河段则较为顺直，见图 1-1。