

HUANGHE LIUYU
BAOYU JIANCE
YUBAO JISHU

黄河流域 暴雨监测预报技术

王庆斋 王春青 赵卫民 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

黄河流域 暴雨监测预报技术

王庆斋 王春青 赵卫民 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书介绍了在黄河流域暴雨监测预报中所采用的技术。全书共分3篇、14章,内容包括:黄河流域自然地理、气候、降雨及暴雨特性分析,常规气象观测站网、流域水文系统观测站网、遥感监测、多源降水信息同化与评估,黄河中游地区中尺度降水预报 AREM 和 MM5 模式、气象卫星暴雨预报技术、天气雷达暴雨预报技术、三花间暴雨预报专家系统、气象信息综合分析服务、回顾与展望等。本书内容新颖、权威、实用,填补了国内空白。

本书可供水利及气象系统各级领导、科技人员、工程技术人员,特别是从事水利气象工作的人员查阅、使用。

图书在版编目(CIP)数据

黄河流域暴雨监测预报技术/王庆斋,王春青,赵卫民编著. —北京:中国水利水电出版社,2006

ISBN 7-5084-4197-4

I. 黄… II. ①王…②王…③赵… III. 黄河流域—暴雨—天气预报 IV. P457.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 158464 号

书 名	黄河流域暴雨监测预报技术
作 者	王庆斋 王春青 赵卫民 编著
出版 发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643 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	北京市兴怀印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16 开本 13.5 印张 249 千字
版 次	2006 年 11 月第 1 版 2006 年 11 月第 1 次印刷
定 价	45.00 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

水文情报预报是黄河防洪的三个关键环节之一。水文情报预报是防洪调度、指挥的重要依据，而黄河洪水所具有的涨势迅猛、预见期短等特点，决定了及时、准确的水文情报预报对黄河防汛的作用尤为突出。

黄河下游防洪需要具有较高精度和较长预见期的洪水预报，根据计算，当防洪形势严峻时，若要有效地削减花园口站的洪峰流量和洪水总量，则三门峡、小浪底、陆浑、故县四座水库的联合防洪调度，必须在洪峰出现 30h 之前进行。这就要求花园口站洪水预报的预见期达 30h 以上，才能真正使水库发挥拦洪作用。因此，黄河防汛抗旱总指挥部对水文情报预报工作提出“两个 30”的要求，即“花园口站洪水情报预报的预见期不少于 30h，水情信息的传输时间不大于 30min”，这既是水文情报预报对黄河防汛的关键作用的具体体现，也是黄河防汛尤其是黄河下游防洪调度的实际需要。降水预报是洪水预警预报的主要依据，而为满足黄河防洪的客观需要，实现花园口站洪水预报 30h 预见期的可行途径是走洪水预报与天气预报相结合的道路。

全书共分 3 篇，14 章，主要介绍了目前在黄

河流域特别是三花区间（三门峡至花园口区间）使用的暴雨监测预报技术。内容包括黄河流域自然地理、气候、降雨及暴雨特性分析，黄河流域暴雨监测技术、多源降水信息同化估值技术，黄河中游地区中尺度数值降水预报模式研究、黄河中游地区卫星云图面平均雨量估算研究、黄河三花间部分地区雷达观测面雨量估算及短时暴雨预报研究、三花间暴雨预报专家系统研究、气象信息综合服务系统等。一是实现了用客观、定量的降水预报方法逐步代替主观、定性的降水预报方法，是人的经验、智慧体现在预报决策方面；二是实现了短期、短时降雨预报的相互配套、逐步求真，提高了三花间致洪暴雨的预报精度，解决了降水历时、量值、落区预报不十分确定的问题。三花间致洪暴雨预报系统的建立，切实改变了预报产品的提供形式，为实现天气预报和洪水预报的有机结合奠定了良好的基础，既是黄河防洪的迫切需要，也是黄河水利委员会气象预报的发展方向，对黄河下游的防洪具有十分重要的意义。

黄河流域的暴雨监测和预报技术及水平，随着新情况、新技术的不断发生和出现，许多问题尚待进一步深化研究，加之作者的阅历有限，难免有不妥之处，恳请读者批评指正。

作者

2006年11月

目 录

前言

第一篇 自然地理、气候、降雨及暴雨特性概述

第一章 自然地理	3
第二章 流域气候	6
第三章 流域降雨及暴雨特性	10
第一节 黄河流域降水的时空变化特点	10
第二节 黄河流域暴雨特性	12
第三节 降水变化的气象成因分析	18

第二篇 流域暴雨监测技术

第四章 常规气象观测站网	23
第一节 常规气象观测站网	23
第二节 情报	25
第三节 资料处理	26
第五章 黄河流域水文系统观测站网	29
第一节 降水量观测	29
第二节 水面蒸发观测	33
第六章 遥感监测	35
第一节 遥感概述	35
第二节 卫星云图监测	36
第三节 一些重要天气系统的云型特征	45
第四节 天气雷达监测	51
第七章 多源降水信息同化评估技术	55

第一节	降雨信息来源及其特征	55
第二节	多元降雨信息的边界及其同化原则	56
第三节	自动雨量站雨量场分析	57
第四节	雷达雨量场分析及卫星探测降雨场分析	59
第五节	多源(多传感器)降雨信息同化	60
第六节	面雨量计算及降雨空间特征分析	62
第七节	降雨信息拼接	63
第八节	多源降雨信息质量评估技术	63

第三篇 黄河流域暴雨预报技术

第八章	黄河中游地区中尺度降水预报 AREM 模式	69
第一节	概述	69
第二节	国内外发展水平	69
第三节	模式结构和功能	73
第四节	数值模式介绍	74
第五节	新模式的主要创新点	88
第六节	模式操作用户手册	89
第七节	应用情况	94
第八节	存在的问题及展望	102
第九章	黄河中游地区中尺度数值降水预报 MM5 模式	104
第一节	概述	104
第二节	模式介绍	105
第三节	个例分析研究	106
第十章	气象卫星暴雨预报技术	118
第一节	概述	118
第二节	国内外发展水平	119
第三节	降水估算方法	126
第四节	系统的功能和应用	127
第五节	降水量估算系统的应用	135
第六节	结语	137
第十一章	天气雷达暴雨预报技术	139
第一节	国内外发展水平	139
第二节	黄河三花间地区雷达观测面雨量估算及短时暴雨预报	144

第十二章 黄河三花间暴雨预报专家系统	170
第一节 目的与思路	170
第二节 方法	170
第三节 预报指数查算表、计算式及定性判据	175
第四节 预报经验知识及预报方法提示	188
第五节 实验结果	190
第十三章 气象信息综合分析服务	192
第一节 开发工具和环境	192
第二节 关键技术	193
第三节 功能简介	195
第十四章 回顾和展望	201
第一节 存在的问题	201
第二节 展望	203
参考文献	208

第一篇

自然地理、气候、 降雨及暴雨特性概述



第一章 自然地理

黄河是中华民族摇篮，是我国文化的发源地。黄河是我国第二大河，发源于青藏高原青海省巴颜喀拉山北麓海拔 4500m 的约古宗列盆地的玛曲（亦称约古宗列曲），流经青海、四川、甘肃、宁夏、内蒙古、陕西、山西、河南、山东九省（自治区），最后在山东省垦利县注入渤海，流程 5464km，总落差 4830m，流域总面积达 79.5 万 km^2 （含鄂尔多斯高原的内流区面积 4.2 万 km^2 ）。

黄河流域位于中国版图的中东部，北纬 $32^\circ \sim 42^\circ$ ，东经 $96^\circ \sim 119^\circ$ 之间，西起青藏高原巴颜喀拉山，东临渤海，北抵阴山，南达秦岭。流域地势为西高东低，按地势的明显变化，大致可以分为三级阶梯。

第一阶梯从河源到日月山以西，为青藏高原，黄河位于青藏高原的东北部，平均海拔 4000m 以上，有一系列西北东南向的山脉，如流域北部的祁连山，南部的积石山和巴颜喀拉山。这些山脉的顶部常年积雪，呈冰川地貌。雄踞黄河第一大河曲的阿尼玛卿山的主峰玛卿岗日海拔为 6282m，是黄河流域的制高点。巴颜喀拉山是黄河和长江上游通天河的分水岭，对于来自偏南方向的暖湿气流起到阻碍作用；祁连山位于流域西北，是青藏高原与内蒙古高原的分界，对冬季风的南下和夏季风的北上同样起到阻碍作用。阶梯内的河源地区及支流黑河、白河流域，地势较为平坦，湖泊众多，沼泽地貌发育。

第二阶梯是青藏高原以东至太行山，统称黄土高原丘陵区，由河套平原、鄂尔多斯高原、黄土高原和秦岭山脉、太行山脉等组成，海拔 1000~2000m。阶梯内白于山以北属内蒙古高原的一部分，包括河套平原和鄂尔多斯高原；白于山以南为黄土高原和崤山、熊耳山、太行山区。

鄂尔多斯高原的西、北、东三面均为黄河所环绕，南界长城，面积达 13 万 km^2 ，大部分海拔为 1000~1400m，是一块近似方形的台状干燥剥蚀平原，风沙地貌发育。高原内盐碱湖泊众多，地表径流大部分汇入湖中，期间约有 4.2 万 km^2 的内流区。

黄土高原，西起青海日月山，东至太行山，南靠秦岭，北界鄂尔多斯高原，海拔为 1000~2000m，是世界上最大的黄土分布地区，水土流失面积达 43 万 km^2 ，大部分在黄河中游。地貌主要由黄土塬、梁、峁、沟等组成。



黄土质地疏松,垂直节理发育,土层深厚,植被稀少,水土流失严重,是黄河泥沙的主要来源。

横亘于黄土高原南部的秦岭山脉,是我国亚热带和暖温带的南北分界线,也是黄河与长江的分水岭。它对于夏季来自偏南方向的暖湿气流,冬季来自偏北方向的干冷气流,均有巨大的阻碍作用。

豫西山地由秦岭东延的崤山、熊耳山、外方山、伏牛山、嵩山等组成,大部分海拔在1000m以上,是黄河流域与长江、淮河的分水岭。太行山耸立在黄土高原和华北平原之间,海拔大多在1500m以上,是黄河流域与海河流域的分水岭,也是华北地区一条重要的自然地理界线。本流域周界的外方山、伏牛山和太行山等,是来自东南海洋的暖湿气流深入黄河中上游地区的屏障,对黄河流域及我国西北地区的气候有着重要的影响。

第三阶梯自太行山以东直至滨海,除鲁中山地为丘陵,其海拔一般在200~500m,少数地区海拔在1000m以上外,其余均为黄河下游冲积平原,包括豫、鲁、冀、皖、苏五省部分地区,面积达25万 km^2 ,海拔多在1000m以下。平原地区以黄河大堤为分水岭,南属淮河流域,北属海河流域。

根据区域地质环境、河谷地貌特征、水资源条件、流域社会经济状况等自然、社会特点,黄河分上、中、下游三部分。自黄河源头至内蒙古托克托县的河口镇为上游,河口镇至河南郑州桃花峪为中游,桃花峪至山东垦利县黄河河口为下游。

黄河上游:河道长3471.2km,落差3846m,流域面积42.8万 km^2 ,占全河流域面积的53.8%。主要支流有白河、黑河、大夏河、洮河、湟水、祖厉河、清水河、大黑河等,其特点是水多沙少,流量均匀,比降大,峡谷多,蕴藏着丰富的水力资源。

黄河上游的洪水主要来自青海省贵德以上,15d与45d洪量一般占兰州洪量的65%以上,洪水表现为峰低、量大、含沙量小,洪峰形状为矮胖型。兰州以上来水,一般为2000~3000 m^3/s ,成为下游洪水的基流,少数年份产生的洪水在5000 m^3/s 以上,与中游小洪水相遇,也可形成花园口8000 m^3/s 以下的洪水,威胁下游防洪。

黄河中游:河道长1206.4km,落差890m,流域面积34.4万 km^2 ,占全河流域面积的43.3%。主要支流有红河、皇甫川、窟野河、无定河、延水、汾河、北洛河、泾河、渭河、伊洛河、沁河等,基本特点是冬春季水少沙少,夏秋季水多沙多,洪峰迅猛,陡涨陡落,挟带大量泥沙,是下游洪水泥沙的主要来源区。其中河口镇至龙门区间的洪水突出特点是峰高、量小、含沙量特大、峰型尖瘦;龙门至三门峡区间,洪峰形状较胖,含沙量大。



黄河下游：河道长 785.6km，落差 94m，流域面积 2.3 万 km^2 ，占全河流域面积的 3%。主要支流有金堤河、大汶河等，基本特点是河道宽浅散乱，泥沙淤积严重，两岸靠大堤作屏障，现河床高出两岸地面 4~6m，最大达 10m 以上，是世界著名的“地上悬河”，如遇大洪水，很容易决口，灾害比一般河流严重。

黄河下游的大汶河流域产汇流条件均较好，洪水形状尖瘦，含沙量很小，主要威胁汶河下游防汛安全，只有当与黄河中游洪水遭遇时，影响东平湖对黄河洪水的滞洪，从而影响山东河段的防洪。

黄河下游洪水，尤其是大洪水与特大洪水，多以黄河中游来水为主，由黄河中游的暴雨所产生。



第二章 流域气候

黄河流域气候属于东亚季风区，兰州以上属于青藏高原季风区，其余地区属于温带和副热带季风区。季节特点是春季气候干燥，风沙多，易发生春旱；夏季西太平洋副热带高压向北移动，引导暖湿空气向黄河流域输入，与西北南下冷空气交汇，易产生降水，是黄河流域暴雨的多发季节；秋季西太平洋副热带高压减弱南撤，高空西风急流南移，形成秋高气爽的天气，但在渭河和兰州以上多有连绵秋雨，如华西秋雨；冬季西太平洋副热带高压已南移东撤，黄河流域盛行西北气流，常出现寒潮，水汽较少，降水显著减少。

由于黄河流域幅员辽阔，山脉众多，东西高差悬殊，各区地貌差异也很大。同时流域处于中纬度地带，受大气环流和季风环流影响的情况比较复杂，因此，流域内不同地区的气候差异显著，气候要素的年、季变化大，流域气候有以下主要特征。

一、光照充足，太阳辐射较强

黄河流域的日照条件在全国范围内属于充足的区域，全年日照时数一般达 2000~3000h，全年日照百分率大多在 50%~75% 之间，仅次于日照最充足的柴达木盆地，而较黄河以南的长江流域广大地区普遍偏多 1 倍左右。

黄河流域的太阳总辐射量在全国介于中间状况，北纬 37° 以北地区和东经 103° 以西的高原地带，为 540~670kJ/(cm²·a)；其余大部分地区为 460~544kJ/(cm²·a)，虽然不及国内西南部，尤其是青藏高原地区强，但普遍多于东北地区和黄河以南地区，为我国东部地区的辐射强区。

二、季节差别大，温差悬殊

黄河流域地区季节差别大，根据张家诚等的研究，上游青海省久治县以上的河源地区为“全年皆冬”；久治县至兰州区间及渭河中上游地区为“长冬无夏，春秋相连”；兰州至龙门区间为“冬长（六七月）、夏短（一二月），春秋稍逊”；流域其余地区为“冬冷夏热，四季分明”。

温差悬殊是黄河流域气候的一大特征。黄河流域内多年平均气温随高度的增加而降低，年平均气温在上游为 1~8℃，中游为 8~14℃，下游为 12~14℃。总的来看，随地形三级阶梯，气温自西向东由冷变暖，气温的东西向梯度明显大于南北向梯度。年平均气温为 -4℃ 左右的最低中心处于河源的



巴颜喀拉山北麓,流域内极端最低气温出现于河源区的黄河沿站,曾有过 -53.0°C 的记录(1978年1月2日)。年平均气温为 $12\sim 14^{\circ}\text{C}$ 的高值区则位于黄河下游山东省境内,流域内极端最高气温的纪录出现在河南省洛阳地区的伊川站,其值达 44.2°C (1966年6月20日)。

黄河流域气温的年较差比较大,总趋势是北纬 37° 以北地区在 $31\sim 37^{\circ}\text{C}$ 之间,北纬 37° 以南地区大多在 $21\sim 31^{\circ}\text{C}$ 之间。

黄河流域气温的日较差也比较大,尤其是中上游的高纬度地区,全年各季气温的日较差为 $13\sim 16.5^{\circ}\text{C}$,均处于国内的高值区或次高值区。

三、降水集中,分布不均,年际变化大

黄河流域年降水量地区分布有“四多四少”。四个多雨区分别为下游泰沂山地、渭河中游—汉中地区、北洛河中游—吕梁地区和上游东经 103° 附近地区;四个少雨区分别为黄河西北部从内蒙古的五原—贺兰山以西、黄河上游东经 105° 附近、汾河流域和关中盆地。流域大部分地区年降水量在 $200\sim 650\text{mm}$ 之间,中上游南部和下游地区的降水量多于 650mm 。尤其受地形影响较大的南界秦岭山脉北坡,其降水量一般可达 $700\sim 1000\text{mm}$,而深居内陆的西北宁夏、内蒙古部分地区,其降水量却不足 150mm 。黄河流域多年平均降水量为 476mm ,年降水量地区分布总的趋势是由东南向西北递减,大小相差5倍左右,这是我国其他河流所不及的。降水量最多的地区是秦岭北坡,多年平均降水量为 800mm 左右,局部地区可达 900mm 以上。降水量最少的地区为宁蒙河套地区,年降水量只有 $200\sim 300\text{mm}$,特别是内蒙古杭锦后旗临河一带,年降水量更少,不足 150mm 。

降水量年内分配极度不均,根据张红月等的研究,流域平均降水量,以夏季(6~8月)为最多,占全年的 54.1% ,其中三花间南部、泾渭洛河为 $36\%\sim 50\%$,山陕区间和银川以上的上游地区为 $50\%\sim 60\%$,黄河下游和宁蒙河套地区则达 60% 以上,最大近 70% 。黄河下游和宁蒙河套地区6~9月的降水量占全年的 70.3% ,7月降水最多,占 22.1% 。春季是黄河流域降水开始增加的季节,首先从流域南部开始,在三花间南部、泾河和洛河下游、渭河以及兰州以上地区的东部,春季降水量占全年的 $20\%\sim 25\%$,以西安附近为最大;三花间北部、山陕区间南部、宁夏中南部和兰州以上的大部分地区则为 $15\%\sim 20\%$;黄河下游、山陕区间北部和宁蒙河套地区则为 $10\%\sim 15\%$ 。秋季降水比春季略多,渭河、泾河下游和洛河下游尤为明显,占年降水量的 $30\%\sim 35\%$,与夏季降水接近,三花间和山陕区间可达 $25\%\sim 30\%$,黄河上游大部分地区为 $20\%\sim 25\%$,黄河下游则在 20% 左右。冬季(12月至次年2月),黄河流域几乎均在强盛的干冷东北季风控制之下,降水最少,占全年降水量的 3.1% ,最小月份出现在12月,占全年降水量



的 0.6%，全河差异很小。

流域冬干春旱，夏秋多雨，其中 6~9 月降水量占全年的 70% 左右；盛夏 7~8 月降水量可占全年降水总量的 40% 以上。流域降水量的年际变化也悬殊，年降水量的最大值与最小值之比约为 1.7~7.5，变差系数 C_v 变化在 0.15~0.4 之间。

四、湿度小，蒸发大

黄河流域分属于湿润（面积小）、半湿润、半干旱、干旱四个地带，黄河上中游的大部和下游的全部为半湿润带，上中游偏北的地区，包括鄂尔多斯内流区，为半干旱带和干旱带，上游南部的部分地区和中游秦岭地区为湿润带。

黄河中上游是国内湿度偏小的地区，例如吴堡以上地区，平均水气压不足 8hPa，相对湿度在 60% 以下。特别是上游的宁夏、内蒙古境内和龙羊峡以上地区，年平均水汽压不足 6hPa；兰州至石嘴山区间的相对湿度小于 50%。

黄河流域的蒸发能力很强，水面蒸发量一般在 800~2500mm 之间，1200mm 的蒸发等值线基本与 400mm 的降水等值线相对应。流域内蒸发量的地区分布与降水相反，蒸发量由东南向西北递增，其多年平均值，流域南部最小为 700~900mm，上游甘肃、宁夏和内蒙古中西部地区属国内年蒸发量最大的地区，最大年蒸发量可超过 2500mm。其年内分配随各月气温、湿度和风速而变化，一般以 1 月或 12 月最小，5 月或 6 月最大。

五、冰雹多，沙暴、扬沙多

冰雹是黄河流域的主要灾害性天气之一。据统计，黄河上游兰州以上地区和内蒙古境内全年冰雹日数多超过 2d，其中东经 100° 以西的广大地区多于 5d，特别是玛曲以上和大通河上游地区多达 15~25d，成为黄河流域冰雹最多的区域，也是国内的冰雹集中区。

沙暴和扬沙主要由大风所引起，并且与当地（或附近）的地质条件和植被状况密切相关。据统计，流域的宁夏、内蒙古境内及陕北地区，由于多年平均大风日数均在 30d 以上，区域内又有腾格里沙漠、乌兰布和沙漠和毛乌素沙漠，全年沙暴日数大多在 10d 以上，扬沙日数超过 20d；有些年份沙暴最多可达到 30~50d，扬沙日数超过 50d。此外，在汾河上游和小浪底以下沿黄的河南省境内，还各有一个年沙暴或扬沙日数超过 20d 的区域，后者主要与黄河较大范围沙滩地的存在有关。

六、无霜期短

黄河流域的初霜日由北至南、从西向东逐步开始并且同纬度的山区早于



