

HUANGHE
SHUIZIYUAN
BIANHUA
YANJIU

黄河

水资源变化

研究

朱晓原
张学成 著

1.1

黄河水利出版社

黄河水资源变化研究

朱晓原 张学成 著

黄河水利出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

黄河水资源变化研究/朱晓原, 张学成著. —郑州: 黄河水利出版社, 1999. 11

ISBN 7-80621-355-4

I. 黄… II. ①朱…②张… III. 黄河流域-水资源-研究 IV. TV211.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 64047 号

责任编辑:吕洪予

装帧设计:朱 鹏

责任校对:赵宏伟

责任印制:常红昕

出版发行:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼 12 层 邮编:450003

发行部电话:(0371)6302620 传真:6302219

E-mail:yrp@public2.zz.ha.cn

印 刷:黄河水利委员会印刷厂

开 本:850mm×1 168mm 1/32

印 张:7.875 插 页:1

版 别:1999 年 11 月 第 1 版

印 数:1—1 000

印 次:1999 年 11 月 郑州第 1 次印刷

字 数:208 千字

定价:16.00 元

序

序

黄河是中华民族的母亲河。黄河流域历史上同幼发拉底河和底格里斯河流域、尼罗河流域、恒河流域齐名,是世界上著名的四大文明古国的发祥地之一。

远古时期,这里气候湿润,水源丰富,土地肥沃,是我国经济文化发展最早的一个地区。早在远古时代,轩辕黄帝和他的沿黄部落就在这里开始创造中华文明。

黄河,也是中华民族的忧患。漫漫岁月里,它也带来过深重的灾难。

治理黄河,历来都是中华民族安民兴邦的大事。

《黄河水资源变化研究》一书,立足于水文基本资料,通过列举大量的事实,对黄河流域降水、河川径流、地下水、泥沙和水资源质量等变化特点进行了深入、细致的分析,得出了一些结论。

应该说,本书是一本难得的全面分析黄河水资源变化的文献。相信它对于深入了解黄河水资源、合理开发利用黄河水资源具有重要的参考价值。

刘纪家

1999年8月20日

前言

黄河是我国西北、华北地区的重要水源,黄河水资源的可持续利用是沿黄地区社会经济可持续发展的关键。沿黄地区具有丰富的土地、矿产和能源等资源,为社会经济可持续发展奠定了良好的基础,但这些优势条件的发挥都需要水资源的保证。黄河流域大部分地区属于干旱半干旱地区,水资源贫乏,但黄河作为我国北方最大的供水水源,以其占全国河川径流 2% 的有限水资源,承担着本流域和下游引黄灌区占全国国土面积 9% 的土地和占总人口 12% 的人口的供水任务,同时还有向流域外部分地区远距离调水的任务。新中国成立以来,国家在黄河水资源开发利用方面投入了大量的人力、物力和财力,兴建了一大批水利枢纽和灌溉、供水、除涝工程,为国民经济建设提供了必要的基础设施,促进了黄河供水区经济的高速发展,取得了显著的社会、经济和生态效益。截至 1997 年,引黄灌溉、供水直接经济效益累计达 6 000 亿元以上。

随着社会和国民经济的发展,对黄河水资源的需求不断增加,水资源供需矛盾越来越突出,下游河段频繁断流是黄河水资源供需失衡的集中体现,缺水已成为沿黄地区社会和经济可持续发展的主要制约因素。进入 20 世纪 90 年代,黄河下游断流现象日趋严重,引起了社会各界的广泛关注。因此,合理配置、优化调度、有效保护黄河水资源,最大限度地满足沿黄地区国民经济各部门的需求,促进水资源与生态环境良性循环,对黄河流域社会经济的发展 and 生态环境的改善,具有重大的战略意义。

要做到这些,必须对黄河流域水资源及其变化情况有一个比较清楚、全面的认识。我们在总结、吸收前人研究成果的基础上,

采用最新资料系列,通过大量的统计计算,结合多年来的工作实践,较为详细地研究了黄河水资源及其变化特征。全书共分九章:第一章,黄河流域概况;第二章,黄河流域降水及其变化特征;第三章,黄河流域河川径流量及其变化特征;第四章,黄河流域蒸发及其变化特征;第五章,黄河流域地下水资源量及其变化特征;第六章,黄河流域水资源总量及其变化特征;第七章,黄河流域泥沙变化特征;第八章,黄河流域水质变化特征;第九章,结论与认识。

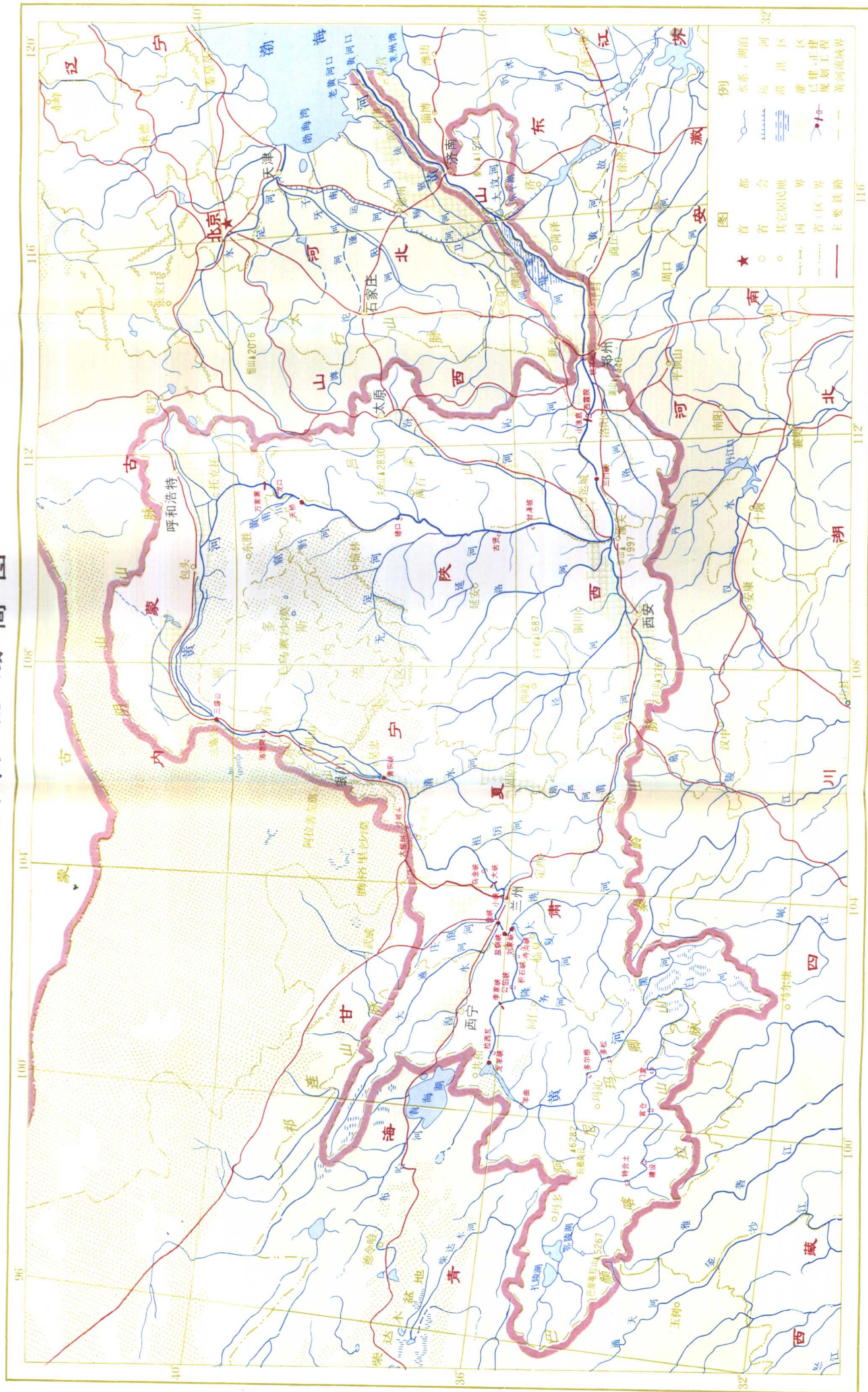
在本书写作过程中,原黄河水利委员会总工程师龙毓骞、黄河水文水资源研究所教授级高级工程师王玲等给予了热忱的指导。黄河水文水资源研究所潘启民、林银萍、李东、蒋秀华、刘九玉等提供了大量的素材并参与了部分计算工作。在此,一并表示衷心的感谢。

由于水平所限,书中难免出现一些疏谬之处,敬请读者批评指正。

作 者

1999年8月

黄河流域简图



目 录

序

前言

第一章 黄河流域概况	(1)
第一节 位置与范围.....	(1)
第二节 地势与地形.....	(2)
第三节 土壤与植被.....	(4)
第四节 气候.....	(5)
第五节 水系	(12)
第六节 土地资源	(14)
第七节 水文地质特征	(19)
第二章 黄河流域降水及其变化特征	(22)
第一节 降水地区分布	(23)
第二节 降水年际变化特征	(29)
第三节 降水年内分配变化特征	(35)
第四节 暴雨特征	(40)
第五节 气候变化对黄河流域降水影响	(48)
第三章 黄河流域河川径流量及其变化特征	(52)
第一节 天然水资源量	(54)
第二节 天然径流深地区分布	(59)
第三节 天然径流量年际和年内分配变化特征	(62)
第四节 干流主要水文站实测年径流量变化特征	(74)
第五节 实测径流量与天然径流量对比	(81)
第六节 下游小流量量级变化特征	(90)
第七节 主要支流河川径流量变化特征	(97)

第八节	生态环境需水量·····	(113)
第九节	黄河干流水库运用对水文年度实测径流量的 影响·····	(116)
第四章	黄河流域蒸发及其变化特征·····	(122)
第一节	河道水面蒸发·····	(122)
第二节	流域水面蒸发·····	(132)
第三节	陆地蒸发·····	(139)
第四节	干旱指数·····	(140)
第五章	黄河流域地下水资源量及其变化特征·····	(144)
第一节	地下水单元划分·····	(144)
第二节	地下水、降水、地表水转化关系·····	(160)
第三节	多年平均地下水资源量·····	(161)
第四节	地下水资源现状·····	(175)
第六章	黄河流域水资源总量及其变化特征·····	(181)
第一节	水资源总量计算方法·····	(182)
第二节	多年平均水资源总量·····	(185)
第三节	水资源总量现状·····	(187)
第四节	水资源开发利用现状·····	(192)
第七章	黄河流域泥沙变化特征·····	(195)
第一节	泥沙来源及其分布·····	(195)
第二节	泥沙变化特点·····	(200)
第三节	下游河道冲淤变化·····	(214)
第八章	黄河流域水质变化特征·····	(222)
第一节	河流水化学·····	(222)
第二节	水质现状·····	(227)
第九章	结论与认识·····	(239)
参考文献	·····	(243)

第一章 黄河流域概况

黄河流域是中华民族的发祥地,经济开发历史悠久,文化繁衍源远流长,曾经长期是我国政治、经济、文化的中心地区。黄河流域可持续发展事关该区域社会、经济、环境生态和人民生活,并对全国的可持续发展具有深远的影响。

第一节 位置与范围

黄河自西向东,流经青海、四川、甘肃、宁夏、内蒙古、山西、陕西、河南、山东等九省区,在山东省垦利县注入渤海。全流域约位于 96°E~119°E,32°N~42°N 之间,东西长约 1 900km,南北宽约 1 100km。黄河的河长和流域面积,因泥沙淤积、河口延伸而处于不断变化之中。据 1973 年量算,黄河河长 5 464km,流域面积 752 443km²,包括鄂尔多斯高原区面积则为 794 712km²。

黄河河源至托克托(河口镇)河段称为上游,托克托至桃花峪河段称为中游,桃花峪以下河段称为下游。表 1-1 给出了黄河流域基本特征数据。

表 1-1 黄河流域特征数据

河段	流域面积 (×10 ⁴ km ²)	河 长 (km)	天然径流量 (×10 ⁸ m ³)	输沙量 (×10 ⁸ t)	年降水量 (mm)	年平均气温 (℃)
上游	38.6	3 471.6	312.6	1.42	401.6	3.22
中游	34.4	1 206.4	246.6	14.9	546.4	9.22
下游	2.2	785.6	21.0		675.3	14.46
全河	75.2	5 463.6	580.2	16.0	475.9	9.22

第二节 地势与地形

黄河流域西部高,东部低,地势由西向东逐级下降,可分为三个巨大的地形阶梯。

最高一级是青海高原,海拔在 4 000m 以上,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 6 282m 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,是九曲黄河的第一曲。

黄河流域的第二大阶梯,大致以太行山为东界,地面平均海拔一般 1 000~2 000m,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。

宁、陕、蒙交界处的白于山以北,是内蒙古高原,包括河套平原和鄂尔多斯高原。河套平原西起宁夏中卫、中宁,东至内蒙古托克托,长 750km,宽 50km。西部的贺兰山、狼山和北部的阴山,是黄河流域和西北内陆河的分界,对腾格里沙漠、乌兰布和沙漠与巴丹吉林沙漠向黄河腹地入侵,起到一定的阻止作用。鄂尔多斯高原,是一个近似方形台状的干燥剥蚀高原,地理学界又称为“鄂尔多斯地台”,风沙地貌发育活跃。北部的库布齐沙漠,西部的卓资山,东部及南部的长城,把高原中心围成一块凹地,降雨径流大都汇入盐湖,形成黄河流域界内面积 4.23 万 km² 的内流区。

黄土高原北起长城,南界秦岭,西抵青海高原,东至太行山脉,海拔 1 000~2 000m,深厚的黄土,疏松的土质,裸露的地表,强烈

的侵蚀,形成了千沟万壑、支离破碎的地形地貌,是黄河流域泥沙的主要来源地。著名的渭汾盆地,包括陕西关中盆地、山西太原盆地和晋南盆地,海拔 500~1 000m,素以膏壤沃野、农产丰饶著称。东部的太行山,是黄河与海河的分水岭。横亘南部的秦岭及其向东延伸的伏牛山、嵩山,是我国亚热带与暖温带、干旱区与湿润区的南北分界,也是黄河与长江、淮河的分界。

黄河流域的第三大阶梯,从太行山、邙山的东麓直达海滨,构成黄河冲积大平原,包括豫、鲁、冀、皖、苏五省的部分地区面积约 25 万 km² 的范围。地面高程一般在 100m 以下,并微微向海洋倾斜。平原的地势,大体以黄河大堤为不稳定的分水岭,南北分别为黄淮和黄海大平原。

黄河流域自西向东由高降低的三大地形阶梯,对形成本流域的气候、自然景观以及河流顺势东下的总形势,有决定性的作用。据地质学家研究,青藏高原系因地球自转离心力的作用,使欧亚板块总体南移,印度板块向北和向北东方向移动,太平洋板块向西北和向西移动。三大板块相互挤压在我国西部发生右旋扭曲,到上新世末,印度板块急剧向北俯冲,同时欧亚板块也向南加剧移动,在这种巨大的南北挤压应力下,发生强烈的新构造运动,使我国西部地区迅速隆起,形成了有世界屋脊之称的青藏高原和黄河流域的一、二级阶梯,使溯源侵蚀更加活跃。强大的西风环流,年复一年地挟带着印度洋上空的暖湿气流,爬越青藏高原,顺势东下,逐步下沉、增温,云团蒸发,造成黄河上、中游大部分地区干旱、半干旱的水分条件,古代许多巨大的内陆湖泊,随之萎缩干涸,演化为沙漠。这个过程,至今仍在继续之中。

第三节 土壤与植被

一、土壤

黄河流域由东南向西北依次分布有棕壤土、褐色土、灰褐土、栗钙土、灰钙土、漠钙土等。

棕壤土分布在泰山、秦岭、六盘山、吕梁山等山地,属温带森林条件下发育的山地棕壤土和山地褐土,一般土层较薄,常成粗骨土,土层呈中性或微酸性反应。

褐色土分布在东南部的森林草原地带,包括陕西中部、甘肃南部和山西的大部分。土壤剖面上部呈褐色,腐殖质含量较高,呈中性至微碱性反应,中部和下部粘化现象显著。

灰褐土分布于陕西北部 and 甘肃中部的草原地带,土壤剖面具有较厚的腐殖质层,浅褐色,碳酸盐含量高,为碱性。表层为细粒状结构,中下部呈核状至团块状结构,剖面中部有明显的粘化现象。

灰钙土分布于固原、兰州的干草原地带,质地较粗,腐殖质含量低,呈碱性反应。

栗钙土和棕钙土分布于鄂尔多斯高原边缘的干草原地区,腐殖质含量低,土层较薄且多沙。

漠钙土分布于鄂尔多斯高原中部,属荒漠草原地带,有机质多分解为矿物质,含盐量大。

黄河上游青海高原上有明显的山地垂直谱。黄河源及积石山一带为地表状似毛毡的高山草毡土;较湿润处有机质分解略为充分,为高山黑毡土;黄河沿以南草原上为高山莎嘎土;高山雪线以下有高山寒漠土。

黄河流域土壤除上述地带性分布规律外,还有由各种原因造

成的多种隐域性土壤分布。

二、植被

自然植被的地区分布受海洋季风影响,自东南向西北顺序出现了森林草原、干草原和荒漠草原三种植被类型地带。

(1)森林草原地带。大致包括青海高原地区以及凉城、兴县、离石、延长、志丹、庆阳、平凉、通渭一线以南和以东地区。青海高原除湟水各地分布有温带草原外,绝大部分为高寒草甸丛和高寒草原。黄土高原原始植被已破坏殆尽。梁峁谷坡皆为次生的白羊草、芨蒿、长芒草草原和铁杆蒿等组成的杂类草草原。黄土高原的石质山地(海拔 2 500m 以上)如六盘山、吕梁山、西秦岭等高山之上,森林较茂密,主要为落叶、阔叶及少量针叶混交林。山顶一般为针叶林。黄土高原中的低山(相对高差约 200~400m),如黄龙山、崂山、子午岭等保存着一些次生的落叶阔叶林及少量针叶混交林。

(2)干草原地带。包括阴山山脉河曲、靖边、同心、景泰一线以南,森林草原地带以北。除大青山植被略好,分布有长芒草、冷蒿草原外,其余多为抗旱耐寒和生殖力强的草木,散布于沟壑两侧和荒芜崖坡间。

(3)荒漠草原地带。位于干草原地带西北,即鄂尔多斯高原及河套地区。由于风沙影响,气候干燥,植被稀少,只有少数耐寒、抗旱、耐盐碱的植物。

第四节 气候

黄河流域幅员辽阔,山脉众多,地势高差悬殊,地貌条件差异也较大,因而各地所形成的气候有很大差异。

一、气候带

根据中央气象局中国气候区划分方法,黄河流域主要位于三大气候带,即 104°E 以西为高原气候区; 104°E 以东,大致以临洮、定西、固原、环县、靖边、佳县至汾河河源一线为界,该线西北部为中温带,该线东南部为南温带。表 1-2 给出了划分气候带的几个指标,包括大于 10°C 温度累计值、最冷月平均气温、年极端最低气温及年干燥度等。根据表 1-2 中给出的指标,这里将黄河流域的三大气候带划分为 8 个气候区,详见表 1-3。

表 1-2 气候带温度指标及气候干燥度指标

气候带	$>10^{\circ}\text{C}$ 积温($^{\circ}\text{C}$)	最冷月平均气温($^{\circ}\text{C}$)	年极端最低气温($^{\circ}\text{C}$)	年干燥度
中温带	1 600~1 700 至 3 100~3 400	$-30\sim-10$	$-48\sim-30$	湿润 <1.0
南温带	3 100~3 400 至 4 250~4 500	$-10\sim10$	$-30\sim-20$	半湿润 1.0~1.49 半干旱 1.5~3.49
高原区	$<2\ 000$			干旱 ≥ 3.50

二、水汽来源及输送

黄河流域盛夏暴雨期间的水汽来源地主要有三个:

(1)印度洋、孟加拉湾。当印缅低压强盛,南支槽加深,尤其青藏高原的热低压强烈发展时,则以高原为尺度的低空急流将印度洋、孟加拉湾的水汽输送至黄河流域。

(2)南海。当西太平洋副热带高压势力加强,尤其中心稳定在我国华中、华南一带,且脊线呈南北走向,或配合有台风自南海北上时,则低空南风急流将南海北部湾海域的水汽向北输送到黄河流域。实际上,该海域水汽中的相当一部分来自南半球的东南气流,它是随季风气流越过赤道进入南海海域转变为偏南气流的。

表 1-3 黄河流域各气候区范围

气候带	气候区	范 围
中温带	蒙东半干旱区	靖边、东胜、呼和浩特一线东南,靖边、佳县至汾河河源一线西北
	蒙中半干旱区	蒙甘干旱区东南,临洮、定西、环县、固原、靖边、东胜、呼和浩特一线西北,西与高原区祁连、青海湖半干旱区衔接
	蒙甘半干旱区	景泰、白银、中宁、鄂托克旗、杭锦旗、五原至白云矿区一线西北部
南温带	渭河、大汶河半湿润区	北至临洮、定西、固原、宜川、潼关、三门峡、洛阳至焦作一线(含黄河下游),西与青、甘、川湿润区衔接
	晋、陕、甘半干旱区	固原、环县、靖边至汾河源头一线东南,固原、宜川、潼关、三门峡、洛阳至焦作一线西北
高原区	青、甘、川湿润区	久治、河南、同德、临夏、临洮、岷县一线东南部
	青南半湿润区	兴海、同德、河南、久治一线西南部
	祁连、青海湖半干旱区	兴海、同德、同仁、临夏、永靖、天祝一线西北部

注 摘自文献[1]。

(3)东海。当西太平洋副热带高压势力加强,5 880gpm 线伸向我国大陆,且脊线稳定活动在 30°E 附近,特别有台风在我国东南沿海登陆,黄河中下游处于其影响范围内时,则在西太平洋副高的南侧或西南侧,与深入内陆的台风低压的东北部之间形成强东南气流,水汽从北太平洋西部、东海海域经华北上空输送到黄河流域。

黄河流域的水汽路径,主要有以下三条输送带:

(1)由四川盆地经嘉陵江河谷北上进入黄河中下游,它汇集了上述前两个源地的水汽,不仅厚度大,而且影响范围广,是黄河流域盛夏暴雨水汽最主要的一条输送带。

(2)由青藏高原中部拉萨一带呈东北向北上,与高原上空热低压前部的西南风最大风速轴对应的一条水汽输送带。它把高原上空的暖湿空气输送到黄河上游。这条输送带由于地势的原因,其

厚度较薄,主要是高层水汽的输送。

(3)受偏东气流的影响,沿武汉至西安方向有一条自东南向西北的输送带,把华中、华北一带低层的水汽输送到黄河流域,其输入厚度随环流形势变化较大。经该输送带输送的水汽主要影响黄河中下游,往往是造成下游特大暴雨的重要原因。

三、气候特征

由于后面将讨论黄河流域降水和蒸发变化特征,这里主要说明黄河流域的日照、气温、风和干旱特征。

1. 日照特征

黄河流域是我国日照时间长、平均日照率高、太阳总辐射量多、光资源丰富的地区,这为农作物的生长发育和广泛利用太阳能提供了良好的条件。

黄河流域年日照时数 1 900 ~ 3 400h, 平均日照率 50% ~ 75%, 太阳年总辐射量 460 ~ 669 kJ/cm²。

2. 气温特征

黄河流域地处中纬度地带,因此较我国高纬度的东北和西部高原地区温暖。不过,由于流域内地形复杂,上游海拔高差悬殊,气温变化的幅度较大。例如,中游洛阳站最高气温曾达到 44.2℃ (1966 年 6 月 20 日),而上游黄河沿有过 - 53.0℃ (1978 年 1 月 2 日)的低温。

表 1-4 给出了黄河流域部分站 1951~1990 年平均气温统计情况。由表 1-4 可知,黄河上游兰州以上河段,虽区域内地面高程相差悬殊,致使区域内平均气温变化复杂,在 - 4.0(玛多) ~ 9.3℃ (兰州)之间,但其平均海拔高程远高于其他地区,故该区域年平均气温是流域内低值区。以往有研究成果表明,35°N 剖面附近流域内不同海拔高程和年平均气温的关系是:海拔高程上升 100m,年平均气温下降 0.47℃。兰州以下至入海口,除局部受高