

国家重点基础研究发展规划(973)项目

“黄河流域水资源演化规律与可再生性维持机理”(G19990436)系列专著

黄河流域典型水文分区 产流研究

赵卫民 王庆斋 刘晓伟 等著



黄河水利出版社

国家重点基础研究发展规划(973)项目

“黄河流域水资源演化规律与可再生性维持机理”(G19990436)系列专著

黄河流域典型水文分区产流研究

赵卫民 王庆斋 刘晓伟 等著

黄河水利出版社

内 容 提 要

本书以常规方法为主,选取黄河流域干旱区片沙区、湿润区石山林区、过渡区河源区、石山林区、强侵蚀区、甚强侵蚀区 8 处代表流域:黄河源区(上游唐乃亥以上流域),皇甫川沙圪堵以上,无定河支流小理河,汾川河,泾河支流合水川,渭河支流黑河,沁河,伊洛河,进行产流机制研究,分析产流影响因子和驱动力因子及其空间和时间变异,得出了大量基本概念和有益的结论,建立了一批经验公式,揭示了水文情态变化的物理成因,对部分不正确的观点或认识进行了辨析。

本书可供治黄科技人员、其他部门水文水资源研究人员以及大专院校师生阅读和参考。

图书在版编目(CIP)数据

黄河流域典型水文分区产流研究/赵卫民等著. —郑州:
黄河水利出版社, 2006. 12
ISBN 7-80734-169-6
I. 黄… II. 赵… III. 黄河流域—产流—研究
IV. P344.22

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 156900 号

组稿编辑:岳德军 手机:13838122133 E-mail:dejunyue@163.com

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市金水路 11 号 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371-66026940 传真:0371-66022620

E-mail:hslcbs@126.com

承印单位:河南省瑞光印务股份有限公司

开本:787 mm×1 092 mm 1/16

印张:15.25

字数:352 千字

印数:1—1 000

版次:2006 年 12 月第 1 版

印次:2006 年 12 月第 1 次印刷

书号:ISBN 7-80734-169-6/P·61

定价:38.00 元

前 言

“黄河流域水资源演化规律与可再生性机理研究”是国家重点基础研究发展规划(973)项目。该项目以解决黄河水资源短缺问题提供理论基础为目标,以水资源演化与再生为核心,下设8个研究课题,其中第一课题为“黄河流域水循环动力学机制研究与模拟”,“黄河流域典型水文分区产流研究”是第一课题的重要组成部分,本书在该研究成果的基础上整理而成。

作为黄河“973”项目第一课题的重要专题之一,本研究在黄河流域选择8处代表流域进行产流机制研究,分析产流影响因子和驱动力因子,并分析其空间和时间变异选择。这8处流域(支流)是:黄河源区(上游唐乃亥以上流域),皇甫川沙圪堵以上,无定河支流小理河,汾川河,泾河支流合水川,渭河支流黑河,沁河,伊洛河流域。典型河流的选取主要依据龚庆胜和马秀峰所作的黄河流域水文分区,包括干旱区片沙区、湿润区石山林区、过渡区河源区、石山林区、强侵蚀区、甚强侵蚀区,流域面积尺度范围为 $10^2 \sim 10^5 \text{ km}^2$ 。选择流域的另一个标准是有较好的水文资料。

本次研究以常规方法为主,基本不涉及高深的理论。研究的主要目标是:①研究不同空间尺度和时间尺度上径流对降雨的响应,分析产汇流影响因子和驱动力因子;②水文情态的演变特征或演变规律;③探索产汇流规律及水文情态在空间及时间上的变异;④通过研究发现新现象、揭示新规律。通过研究,取得了如下成果和结论:

(1)20世纪黄河源区(唐乃亥以上)降雨、径流无显著变化,气温有升高趋势,升高的速率为每年 $0.005\text{ }^\circ\text{C}$,即在1960~1997的37年内上升了 $0.188\text{ }^\circ\text{C}$ 。气候因素对黄河源区年径流变化的影响程度为90%,人类活动等为10%。但90年代人类活动等因素(非气候因素)影响上升为33%,这种变化主要表现在玛曲以上区域。对降雨和径流距平的变化分析表明,20世纪黄河源区径流对降雨的响应基本正常。平均而言,径流距平约为降雨距平的2倍,其差异受土壤缺水程度制约。在1956~2000年的45年间,距平差值差别较大(差值绝对值在20%以上)的有11年,最大为1983年,径流距平与降雨距平的差值达到44%。按年代平均分析这种差异的程度更大。20世纪50年代和90年代为负距平期,60~80年代为正距平期。50年代降雨距平为-5.2%,径流距平为-20.6%;80年代降雨距平为2.9%,径流距平为17.3%;90年代降雨距平为-2%,径流距平为-14.4%。可以看出,从长系列来看,20世纪河源区降雨径流关系基本一致,90年代的问题并不十分突出。在径流贡献方面,黄河源区径流主要来源为吉迈至玛曲区间,以33.7%的面积产生了55.7%的径流,而源头区(玛多以上)以17.2%的面积仅产生3.4%的径流,对黄河源区径流总量影响十分微弱。

(2)皇甫川流域(沙圪堵以上)多年降雨、水面蒸发、径流、产沙量等均有下降趋势,但下降程度不同;6~9月集中了全年98%的产沙量、88%的径流量和77%的降雨量;年径流可由降雨表述的程度为80%,其中90年代降雨径流关系的点据明显偏左,即相同降雨

产生的径流减少,年径流系数有逐年下降趋势;年产沙量可由年径流量表述的程度在 90% 以上,自 60 年代到 90 年代相同径流量产生的沙量有增加的趋势;次洪降雨径流关系不显著,雨强是影响次洪的主要因素。

(3)汾川河流域多年降雨、径流均有较明显的减小趋势,降雨的减小幅度大于径流;汾川河年径流量可由年降雨量表述的程度为 80%,降雨径流关系较为稳定,无明显变化;对次洪而言,相同降雨量产生的洪水变化较大,主要取决于雨强。

(4)无定河支流小理河多年降雨、径流、产沙均有逐年减少的趋势,且减小程度基本一致;年径流量可由年降雨量表述的程度为 66%,表明人类活动等对降雨径流关系的影响较大;相对而言,相同降雨 90 年代产生的径流量略大于其他年代;小理河年产沙量可由年径流量表述的程度为 90% 以上;相同径流量,90 年代产沙量高于 70 年代和 80 年代。

(5)泾河支流合水川多年降雨、径流、产沙均有逐年减少的趋势,但程度有所不同;年径流量可由年降雨量表述的程度为 74%,降雨径流关系较为稳定;年产沙量可由年径流量表述的程度为 80%;相对而言,相同径流量 90 年代产生的沙量较大。

(6)渭河支流黑河流域多年降雨、径流有逐年减少的趋势;年径流量可由年降雨量表述的程度为 90% 以上,年径流系数为 0.36;次洪径流量可由降雨量表述的程度为 80%;次洪峰量关系密切,相关程度为 85%;次降雨小于 16mm 时不产流。

(7)沁河飞岭至五龙口区间多年降雨、径流有明显减少的趋势;年径流系数逐年减小的趋势显著;年径流量可由年降雨量表述的程度为 80%;次洪洪量可由降雨量表述的程度为 90%;年内发生洪水的次数逐年减少。

(8)伊洛河多年降雨、水面蒸发、径流均有逐年减小的趋势;年径流量可由年降雨量表述的程度由 50 年代的 93% 下降为 90 年代的 69%,平均值为 78%,相同降雨量所产生的径流量逐年减少的趋势较明显;年、次洪径流系数逐年减小的趋势较明显;产生较大洪水的降雨阈值为 100mm;汛初尖瘦洪水的出现表明超渗产流方式的存在;人类活动影响逐年增大。

(9)20 世纪 50 年代以后,黄河流域年降雨、径流、产沙普遍呈现减少趋势,产沙量减少程度最大,其次是径流、降雨。这种减少程度的不同符合水文规律;水面蒸发有降低趋势;径流系数普遍减小;年内洪水次数减少;降雨、径流、产沙仍集中于汛期,但前二者的集中程度有所降低。

(10)典型流域分析表明,黄河流域年径流量可由年降雨量表述的程度一般在 80% 以上,在受人类活动影响较大的地区或时期,如无定河、三花间等,年径流量可由年降雨量表述的程度为 60%~70%;中游主要产沙区如皇甫川、无定河、合水川等,年产沙量可由年径流量表述的程度在 80%~90% 以上;相对而言,相同的降雨、径流,90 年代相应产生的径流量、沙量减少。

(11)在年降雨量大、植被覆盖较好的地区,如渭河支流黑河、三花间等,次洪的降雨径流关系相对较好,表明这些区域以蓄满产流为主,而在无法建立次洪降雨径流关系的地区,降雨强度是次洪峰、量的主要控制因素,表明这里的产流方式为超渗产流。

(12)研究表明,黄河流域 20 世纪水文情态变化总体正常,降雨变化是引起水流、泥沙变化的最主要驱动力因子,绝大多数变化均有其物理成因,规律变异性程度较小。

本书共分为9章。第1章由赵卫民、王庆斋执笔,主要介绍了项目背景、前人研究基础及本次研究取得的主要成果和结论;第2章由赵卫民、刘九玉、戴东执笔,对河源区径流空间变化、水文特征长期演变规律、年径流系列产流机制、降雨径流变化一致性进行了分析,并考虑前期降雨、蒸散发等因素建立了降雨径流经验公式,对蒸发模型进行了改进,探讨了径流距平与降雨距平不一致的理论根据,并着重对20世纪90年代水文规律变异的说法进行了辨析;第3章由陶新执笔,对皇甫川沙圪堵以上流域进行了分析,着重研究了区域降雨的空间关系、产流产沙的主要驱动力因子,进行了水沙关系拟合,并得出了许多重要结论;第4章由许珂艳执笔,对无定河支流小理河流域空间变化、水面蒸发、径流、输沙、暴雨洪水、水沙关系、次洪降雨径流关系进行了研究,建立了若干经验公式;第5章由马俊执笔,对汾川河进行了研究,建立了各年代的降雨径流经验关系;第6章由刘龙庆执笔,对马莲河支流合水川进行了分析研究,着重对区域降雨点面关系、输沙量与含沙量关系、降雨径流关系、水沙关系进行了研究,并建立了相应的经验公式;第7章由刘九玉、戴东执笔,对渭河支流黑河流域进行了研究,着重分析了次洪的降雨径流关系及峰量关系,给出了降雨产生径流的阈值;第8章由蒋昕晖、金双彦执笔,对沁河的水文特征演变、径流系数变化、洪水频率、峰量关系、次洪降雨径流关系进行了研究,给出了许多经验公式;第9章由刘晓伟执笔,研究了伊洛河流域的水文特征演变及产汇流机制,着重研究了蒸发、径流系数、次洪径流成分、产流驱动力因子、降雨径流关系、洪量关系等,并给出了产生较大洪水的降雨阈值。

本次研究虽取得了一系列成果和结论,但由于黄河“973”项目整体偏重于水资源演变规律研究,本研究也留下了不少缺憾。首先本次对大时间尺度问题研究较多,而对次洪研究不够充分;其次汇流方面的研究成果较少;最后综合归纳工作力度不够。但无论如何,本书仍有较大的参考价值。本书第一次有针对性地对黄河流域不同水文分区的产汇流特征进行了分析研究,得出了大量基本概念和有益的结论,找到了不同区域的产流驱动力因子,建立了一批经验公式,揭示了水文情态变化的物理成因,对部分不正确的观点或认识进行了辨析。资料丰富翔实也是本书的重要特点之一。

作为黄河问题的一个基础层面,黄河流域产汇流规律研究的重要性不言而喻。无论是黄河防洪、水资源管理利用、水土保持、水资源保护等问题及其对策的研究,还是相应措施及手段的规划论证,水工程的建设、运行、调度决策等均离不开其基本支撑。相信本书的出版将对相关工作有所裨益。

作 者

2006年10月

目 录

前言

第 1 章 概述	(1)
1.1 背景	(1)
1.2 前期研究成果综述	(2)
1.3 本次研究主要成果及结论	(29)
第 2 章 河源区	(34)
2.1 地理概况	(34)
2.2 径流空间变化	(39)
2.3 水文特征长期演变规律	(41)
2.4 年径流系列产流机制分析	(49)
2.5 径流系列年内变化	(54)
2.6 降雨径流系列变化一致性分析	(56)
第 3 章 皇甫川	(61)
3.1 自然地理概况	(61)
3.2 水土保持工程情况	(62)
3.3 水文站网	(63)
3.4 水文要素时空分布	(64)
3.5 水沙变化分析	(67)
3.6 暴雨	(72)
3.7 洪水	(73)
3.8 结论	(76)
第 4 章 无定河小理河流域	(77)
4.1 自然地理概况	(77)
4.2 人类活动的影响	(79)
4.3 站网分布	(79)
4.4 降雨	(80)
4.5 蒸发	(87)
4.6 径流	(90)
4.7 输沙	(96)
4.8 水沙关系分析	(100)
4.9 暴雨	(101)
4.10 洪水	(102)
4.11 次洪产流机制分析	(110)

4.12 结论·····	(116)
第5章 汾川河流域产汇流规律分析·····	(117)
5.1 流域综述·····	(117)
5.2 水利水保工程·····	(120)
5.3 水系河谱·····	(122)
5.4 水文站网·····	(122)
5.5 径流·····	(125)
5.6 暴雨·····	(126)
5.7 洪水·····	(127)
5.8 典型洪水分析·····	(129)
5.9 降雨径流关系·····	(131)
5.10 认识·····	(132)
第6章 马莲河合水川流域·····	(133)
6.1 自然地理·····	(133)
6.2 降雨·····	(134)
6.3 蒸发·····	(136)
6.4 径流·····	(138)
6.5 输沙量·····	(140)
6.6 流域降雨及水沙特点分析·····	(142)
6.7 次洪产汇流机制分析·····	(148)
6.8 结论·····	(151)
第7章 渭河支流黑河流域·····	(152)
7.1 流域概况·····	(152)
7.2 水文特征·····	(155)
7.3 产汇流机制·····	(159)
第8章 沁河·····	(163)
8.1 流域基本情况·····	(163)
8.2 水利工程建设现状·····	(168)
8.3 降水·····	(170)
8.4 蒸发·····	(175)
8.5 径流·····	(176)
8.6 泥沙·····	(186)
8.7 暴雨洪水·····	(187)
8.8 次洪产汇流机制分析·····	(191)
8.9 总结归纳·····	(196)
第9章 伊洛河流域·····	(198)
9.1 自然地理概况·····	(198)
9.2 人类活动·····	(199)

9.3	站网及资料情况	(200)
9.4	降雨	(201)
9.5	蒸发	(206)
9.6	径流	(210)
9.7	暴雨	(224)
9.8	洪水	(225)
9.9	产流机制分析	(229)
9.10	结论	(233)

第 1 章 概 述

1.1 背景

“黄河流域水资源演化规律与可再生性机理研究”是国家重点基础研究发展规划(973)项目。该项目以解决黄河水资源短缺问题提供理论基础为目标,以水资源演化与再生为核心,下设 8 个研究课题,包括:①黄河流域水循环动力学机制研究与模拟;②黄河流域水资源演变规律及二元演化模型;③黄河断流对河流系统功能的影响;④黄河水沙过程变异及河道萎缩的小水大灾效应;⑤黄河流域水资源可再生性理论与评价;⑥黄河流域地下水可再生能力变化规律;⑦黄河水资源可再生性维持机理;⑧黄河流域的多维临界调控模式。

“黄河流域典型水文分区产流研究”是上述第一课题“黄河流域水循环动力学机制研究与模拟”的重要组成部分。作为黄河“973”项目第一课题的核心专题之一,本研究在黄河流域选择 8 处代表流域(典型水文分区),进行产流机制研究,分析产流影响因子和驱动力因子,并分析其空间和时间变异。选择的流域面积尺度范围为 $10^2 \sim 10^5 \text{ km}^2$,时间尺度采取次洪、日、月、年、年代(十年)结合的模式。资料系列为建站以来全部系列。

根据龚庆胜和马秀峰所作的流域分区,本次研究选择几个流域作为代表进行研究。代表流域基本特征见表 1.1,分布见图 1.1。选取的代表流域从不同的角度体现了黄河流域的基本特征。

表 1.1 代表流域基本特征

序号	水系	河名	控制站	分区	面积 (km^2)
1	黄河	黄河	唐乃亥	过渡区河源区	122 000
2	皇甫川	纳林川	沙圪堵	干旱区片沙区	1 351
3	无定河	小埋河	李家河	过渡区基强侵蚀区	807
4	黄河	汾川河	新市河	过渡区土石山林区	1 662
5	泾河	合水川	板桥	过渡区土石山林区+强侵蚀区	807
6	渭河	黑河	黑峪口	湿润区石山林区	1 481
7	洛河	洛河	卢氏	过渡区土石山林区	4 623
8	沁河	沁河	武陟	过渡区土石山林区	13 532

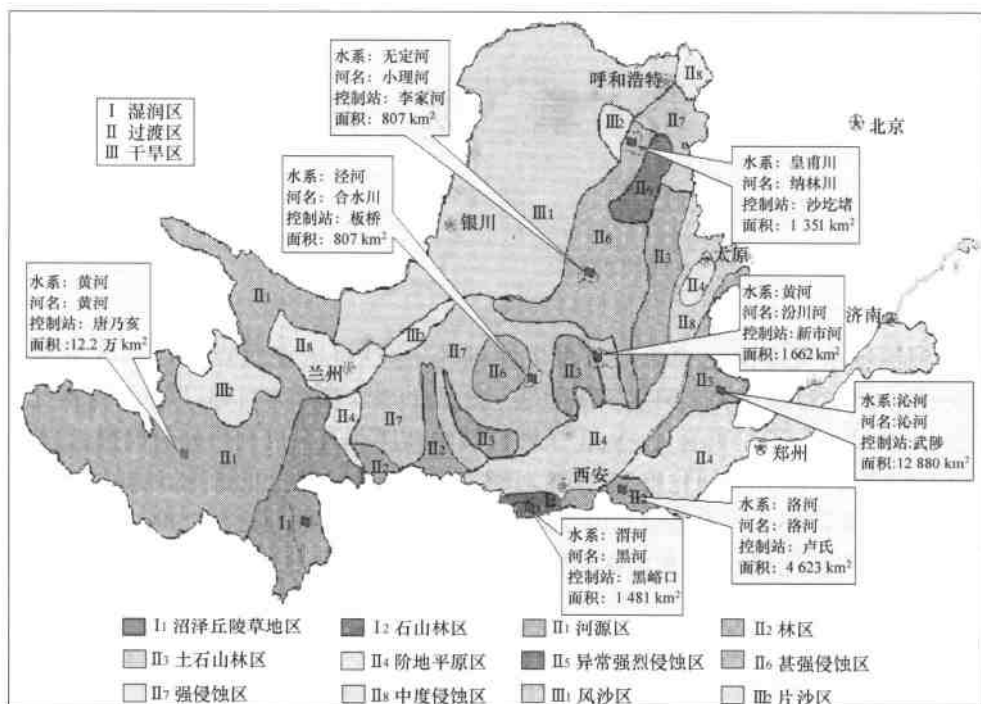


图 1.1 代表流域分布图

1.2 前期研究成果综述

作为黄河问题的一个基础层面,黄河流域产汇流规律研究的重要性不言而喻。无论在黄河重大问题及其对策的研究,还是主要措施及手段的规划论证,亦或水利工程建设、运行、防洪、抗旱、调度决策等均离不开其基本支撑。

黄河水文问题极富代表性和典型性。黄河流经青海、四川、甘肃、宁夏、内蒙古、山西、陕西、河南、山东 9 个省(市、自治区),跨越了青藏高原、黄土高原和华北平原 3 级阶地和湿润、半湿润、半干旱、干旱 4 个气候区,流域内地貌、地形、地质、土壤、植被、生态等类型齐全,而以大陆性季风气候、干旱、半干旱、黄土、风沙等为主的自然特征更使其成为我国北方地区的典型代表。

1.2.1 黄河流域水文水资源分区

据《黄河水文志》记载,1956 年黄河水利委员会(简称黄委)水文站网规划小组孙九韶等人根据流域水文气象资料和分析计算成果以及自然地理分布特征,以水量平衡为原则,考虑降水、蒸发、径流等因素,自然景观相似的地区,基于同一面积级别的河流具有相似的水文规律的假定,将黄河流域划分为河源湖泊区、甘青高原丰水区、河套灌溉区、鄂尔多斯沙漠区、干旱区、半干旱区(分为泾河黄土丘陵区、塬区、六盘山区和渭河黄土丘陵区 4 个副区)、湿润区(分为洛河石山林区、洛河黄土丘陵区、沁河石山区和渭河上游山区 4 个副区)、大青山南坡水区、晋陕暴雨侵蚀区(分为风沙草原区、陕北黄土丘陵区、晋陕峡谷区、

晋西黄土丘陵区、吕梁山区和晋南高原沟壑区 6 个副区)、渭汾河丰雨少流区和大汶河东平湖区(分为山区及丘陵区 and 湖泊区 2 个副区)等 11 个水文分区。

1962 年黄委水文处研究室在《黄河流域降水、径流、泥沙情况的分析报告》中,对黄河流域各水文区进行了重新划分和命名,将 1956 年所分的 11 个区合并为 6 个大区,即河源湖泊区和甘青高原丰水区合并为青藏高原丰水区,河套灌溉区、鄂尔多斯沙漠区、干旱区、大青山南坡水区合并为宁蒙干旱灌溉区,半干旱区和晋陕暴雨侵蚀区合并为陕甘黄土暴雨侵蚀区,汾渭丰雨少流区更名为汾渭地堑少流区,湿润区更名为晋、豫、陕山地丰水区,大汶河东平湖区更名为黄河下游区。

进行上述水文分区的基本目的是为水文站网布设及调整服务,而后者则以满足治黄和流域内工农业生产建设需要为目标。但毋庸置疑,1962 年的水文分区直接反映了“1961、1962 年水文经费严重短缺而大量裁撤水文站”的状况。

20 世纪 70 年代后期,杨振业认为水文自然地理区划具有综合性及空间上的不重复性,不能依据某一个要素或一种现象去拟定水文分区,必须以全部水文现象所表现的集体效应作为区划的标准,同时要遵循“从主、从众、从源”的原则。杨振业提出用干旱指数(年雨量除年蒸发量)为主要指标划分大区,用地形、地貌、土壤、植被等下垫面因素相似与相异的程度划分子区。

20 世纪 80 年代,龚庆胜和马秀峰应用主成分聚类分区法进行黄河流域水文分区,他们认为降雨量、水面蒸发量、径流深、输沙模数、平均气温等 5 个水文因子的综合效应显著。龚庆胜和马秀峰用主成分聚类分析法将黄河流域划分为湿润区、过渡区、干旱区 3 个主区。湿润区又划分为沼泽丘陵草地区和石山林区 2 个子区,过渡区又划分为河源区、土石山林区、低丘阶地平原区、异常强烈侵蚀区、甚强侵蚀区、强侵蚀区、中度侵蚀区 7 个子区,干旱区又划分为风沙区和片沙区 2 个子区。陕西、甘肃等省也用主成分聚类法进行了水文分区。

1986 年黄委水文局在进行黄河流域水资源评价时,进行了流域地表水资源和地下水资源分区。地表水资源按上、中、下游及水文地理特性,分为 3 个一级亚区、14 个二级区和 1 个闭流区。黄河上游亚区包括洮河、湟水、兰州以上干流区间、兰州至河口镇 4 个二级区,黄河中游亚区包括河口镇至龙门、汾河、泾河、北洛河、渭河、龙门至三门峡干流区间、伊洛河、沁河、三门峡至花园口干流区间 9 个二级分区,黄河下游亚区包含花园口至河口 1 个二级分区。黄河闭流区作为一个单独的二级分区。分区的原则是:①基本上能反映水资源条件的地区差别;②尽可能保持河流水系的完整性,自然地理条件相同的小河合并;③有利于进行地表水资源的估算和供需平衡分析^①。在进行地下水资源评价时,为选择正确的计算方法,进行了地下水资源评价区的划分。首先根据流域地形地貌特征划分为平原区和山丘区,称为一级计算分区。平原区又根据次级地形地貌特征及地下水类型划分为一般平原区(银川平原、内蒙古河套平原、关中平原、太行山前冲积平原、黄淮海平原、鄂尔多斯高平原)和沙漠区(库布齐沙漠、毛乌素沙地);山丘区根据次级地形地貌特征、含水层岩性及地下水类型划分为一般山丘区、岩溶山区、黄土高原丘陵沟壑区、黄土高

① 黄河水利委员会水文局,黄河流域片水资源评价,1986 年,第 30 页。

原台塬阶地区、山间盆地平原区(太原盆地、临汾盆地、运城盆地)、山间河谷平原区(三门峡以上河谷平原、伊洛河谷平原),称为二级计算分区^①。

着眼于某一地理特征或地理现象进行的分区是另一种类型的分区。这种分区可视为特定的水文分区。黄委水文局在《黄河流域片水资源评价》中列出了黄河流域的地貌类型,分别为山地、高原和平原盆地,其中山地地貌又分为湿润石山林(秦岭、太子山、六盘山等)、高寒石山林(祁连山、积石山等)、土石山林(六盘山坡、吕梁山坡等)、干旱土石山林(阴山、贺兰山等),高原地貌又分为青海高原草原(甘南、若尔盖等)、黄土台塬(洛川、西峰、天水等)、黄土林(子午岭、六盘山东等)、黄土丘陵(晋陕区间、陇东陇中、汾河等)、干旱黄土丘陵(祖厉河、清水河等)、干旱沙漠(库布齐沙漠、毛乌素沙地等),平原盆地地貌又分为半湿润平原盆地(黄河下游、汾渭河等)和干旱平原(后洮、银川等)^②。中国科学院地理所黄秉维,于1954年按侵蚀形态(水力侵蚀、风力侵蚀、重力侵蚀)、侵蚀程度(严重、一般、轻微)、侵蚀因素(地形、降雨、土壤、植被、人口密度、耕垦指数等),将黄河龙羊峡至桃花峪的60多万平方公里区域划分为黄土高原沟壑区、黄土丘陵沟壑区、黄土阶地区、冲积平原区、高地草原区、干燥草原区、石质山岭区、风沙区和林区等9个土壤侵蚀类型区,其中黄土丘陵沟壑区又分为5个副区。高治定等根据实测和调查暴雨,参照暴雨发生季节、暴雨类型和气象成因以及大地形、山岭障碍等将黄河流域分为青藏高原、黄上高原、吕梁山崕山以东3个暴雨区,其中黄土高原暴雨区又分为3个暴雨副区^③。黄委水文局将洪水主要来源分为兰州以上、河口镇至龙门区间、龙门至三门峡区间、三门峡至花园口区间和大汶河流域5个区域^④。刘万铨将黄土高原的植被分为落叶阔林区、森林草原区、草原区、风沙草原区。这种分区不胜枚举。这些专项分区无疑对黄河特定问题的解决起到了极为重要的作用。

1963~1965年,曾尝试采用年降水和径流关系以及暴雨径流的产汇流参数、多年平均径流模数、流域平均河网密度等单项因素进行分区。用众多单项因素进行分区,存在着难以综合的弊端,但为满足特定目标而进行单项因素分区对深入研究特定水文问题仍是极为有益的。

尚未见到以黄河流域产汇流机制或水循环动力机制为核心的流域分区。而在产流机制或相关问题分析研究中常用的方法是将区域与地形地貌分类进行组合。韩曼华在分析黄河上游产汇流特性时,将黄河上游分为湖泊(鄂陵湖、扎陵湖湖群区)、沼泽地(若尔盖草原沼泽地)和雪山(阿尼玛卿雪山)^⑤。易元俊在分析黄河中游河口镇至三门峡区间产汇流条件时用到的是黄土区、石山区、石山林区、黄土丘陵林区、冲积平原区、盖沙区、风沙区的分区类型,其来源为1966年黄委规划办公室《黄河中游洪水特性分析报告》^⑥。易元俊在研究三门峡至花园口区间产汇流条件时用到的是石山区、丘陵区和平原区。黄委水文局在“黄河流域概况”(黄河水利委员会水文局,1989,《黄河流域实用水文预报方案》)中

① 黄河水利委员会水文局,黄河流域片水资源评价,1986年,第46~47页。

② 黄河水利委员会水文局,黄河流域片水资源评价,1986年,第28页。

③ 黄河水利委员会勘测规划设计研究院,黄河流域暴雨洪水特性分析,1989年,第13页。

④ 黄河水利委员会水文局,黄河流域实用水文预报方案,1989年,第6页。

⑤ 黄河水利委员会勘测规划设计研究院,黄河流域暴雨洪水特性分析,1989年,第50页。

⑥ 黄河水利委员会勘测规划设计研究院,黄河暴雨洪水特性分析,1989年,第65页。

引用了气候分区(青藏高原季风区、温带和副热带季风区及湿润带、半湿润带、半干旱带和干旱带),而在讨论洪水来源时采用了地貌特征的分类体系(石山区、黄土区、风沙区、平原草原)。但不难看出,采用主成分聚类分析法或其他有效方法,抓住产汇流机制的主要环节,完全可以进行相应的水文分区,从而对流域水文水资源演变规律研究、水文模型推广、水文预报起到极大的推动作用。本次研究采用龚庆胜、马秀峰所作的分区。

1.2.2 产流模式

在我国水文界,产流模式一般以湿润地区和下旱半干旱地区来标识,分别冠以蓄满产流模式和超渗产流模式。普遍的认识是,黄河流域既有超渗产流,也有蓄满产流,但以超渗产流为主。对具体流域(区间)或具体洪水而言,许多人认为是混合式产流,即超渗产流与蓄满产流相伴而生。

从20世纪60年代,原华东水利学院赵人俊等人开始使用蓄满产流和超渗产流两个概念,并以许多实际资料验证说明我国湿润地区以蓄满产流为主,黄土高原地区以超渗产流为主,而在某些半干旱地区则两者都显得重要。南京水文研究所华士乾等则认为:“降雨强度大于入渗强度,是产流的先决条件,超渗产流是普遍规律,无论干旱地区与湿润地区均不例外。”对此,赵人俊认为华士乾等所述仅是产生地表径流的条件,而非普遍规律。赵人俊同时指出,超渗与否决定地表径流,蓄满与否决定地下径流^①。南京水文研究所洪水分析组在“产流模型探讨”(1979.7)中指出,单元产流理论就是土壤水分在土壤中运动的人渗理论,水文学中称为超渗理论,其理论基础为扩散方程,可据以导出 Philip 型与 Horton 型入渗曲线,其他类型的人渗曲线亦可仿此推出。因此,认为存在蓄满产流与超渗产流两种产流方式值得商榷。洪水分析组对蓄满产流模型、辽宁水文总站模型、大伙房模型、Stanford IV 模型进行了分析,认为这些模型均受控于下渗曲线,只是曲线的形式有所不同,或流域下渗能力(蓄水容量)、流域分配曲线不同。

对北方地区特别是黄河流域产流模式的讨论主要集中在产流模式的辨识、归类及解释。王芝桂认为,如果把下渗容量也看做是随土壤湿度变化而变化,即入渗曲线并非静止的,则在干旱半干旱地区可将超渗产流和蓄满产流两种模式统一起来。辽宁大伙房水库认为,表层极薄土层属蓄满产流,下层属超渗产流。盛季达在《湟水中下游地区产流方式初探》中认为,在湟水中下游这样的半干旱地区,也是以蓄满产流为主,少部分暴雨为超渗产流。但这种蓄满产流不同于南方湿润地区的蓄满产流,而是一种“表层蓄满”。盛季达进一步解释指出,像湟水中游这样的半干旱地区,包气带很厚,一场再大的降雨也不可能使整个包气带饱和,而只能使包气带的表层达到饱和状态,即在最大初损量被满足时产流。产流后下渗的雨量继续向表层以下的土壤中渗透,增加表层以下土壤的含水量,而不是全部产生径流。陆浑水库管理处的李伟则认为伊河上游的陆浑流域属于蓄满产流模式。河海大学水文系和黄委兰州水文总站在进行黄河龙羊峡入库洪水预报方案研究时,在没有进行产流模式论证的情况下,直接采用了三水源新安江模型,其中包含的假设是产流为蓄满模式,当然模型的最终拟合及运用结果间接论证了该地区的产流模式。黄委上游水文水资源局(即原兰州水文总站)还将新安江模型移植到洮河流域。黄委水文局水情

^① 赵人俊,庄一翎,关于产流概念的说明,1981年。

处则在“黄河三门峡至花园口区间流域模型简介”中介绍了所用到的降雨径流相关模型、霍顿下渗模型、包夫顿下渗模型、新安江模型、坦克模型等。从所用模型这一侧面可以了解到其对黄河三花间产流模式的认识:下渗与蓄满兼存。山西党耀军等认为,山西省半干旱地区两种产流方式并存,超渗坡面流是否出现取决于雨强与下渗能力双方的相对关系,同时流域普遍存在产流临界雨强,即一定土湿态势条件下产生超渗坡面流所需的最小雨强。壤中流时有时无,时大时小。

黄河水利科学研究院戴明英等认为,风沙区以地下径流为主,无定河北部风沙区的海流兔河,多年平均径流量中几乎没有地下径流,南部丘陵沟壑区地下径流占年径流的40%~50%,皇甫川的砭砂岩丘陵沟壑区地下径流占年径流的20%。戴明英虽然未进行产流模式的论述,但给出的径流成分指标则对产流模式的研究有指导意义。

在黄河流域,凡水土流失严重地区,都是超渗产流区;凡是水土流失轻微地区都是蓄满产流区。介于二者之间的过渡地区,则超渗产流与蓄满产流两种模式并存。

1.2.3 蒸散发

黄河流域主要采用三种型号的仪器观测蒸发,即E601蒸发器、80cm口径盆式蒸发器(简称 $\phi 80$)和20cm口径小型蒸发器(简称 $\phi 20$)。由于黄河的结冰期可长达5个月,蒸发观测常采用不同的仪器。冰期(11月~翌年3月)使用 $\phi 20$ 蒸发器,非冰期使用 $\phi 80$ 或E601蒸发器。根据实验站多年比测结果,E601蒸发器与大水体的折算系数比较稳定,为统一起见,一般常选用E601型蒸发器资料,并将 $\phi 80$ 和 $\phi 20$ 的资料转换为E601蒸发器资料。《黄河流域片水资源评价》提供了换算系数(黄委水文局,1995,黄河干流水面净蒸发量计算)。支俊峰认为,全流域冰期 $\phi 20$ 与E601蒸发器折算系数为0.62,较为稳定,而非冰期和不稳定冰期的折算系数变化较大。支俊峰对黄河流域7个站的资料进行了分析,结果见表1.2。《黄河流域片水资源评价》提供了流域各省区实用的水面蒸发折算系数,并与全国其他流域对比观测成果进行了对照分析,认为基本合理,见表1.3^①。

《黄河流域片水资源评价》给出了各种型号蒸发器观测的水面蒸发值的换算公式^②:

冰期与非冰期用两种型号观测时

$$Z_{E601} = \alpha Z_{\phi 20冰} + \beta Z_{\phi 80非}$$

冰期与非冰期用一种型号观测时

$$Z_{E601} = \gamma Z_{\phi 20冰}$$

钱云平等用E601蒸发器进行了清水、浑水及静水、动水水面蒸发的对比实验,结果表明无论是清水还是浑水,动水蒸发比静水蒸发大,平均偏大1.5~2.4mm/d,扣除动水器引起的水温升高所导致的水汽压力差增大对蒸发的影响,动水蒸发比静水蒸发大1~1.9mm/d,相对增大16%~59%。如果考虑含沙量影响,清水的动水日平均蒸发量偏大1.46mm,平均相对偏大30.9%;含沙量为10kg/m³时,偏大不十分明显;含沙量为30kg/m³时,偏大39%;含沙量为50kg/m³时,偏大59%;含沙量为100kg/m³时,偏大55%。

① 黄河水利委员会水文局,黄河流域片水资源评价,1986年,第25页。

② 黄河水利委员会水文局,黄河流域片水资源评价,1986年,第25页。

表 1.2 支俊峰 $\phi 20$ 对 E601 蒸发器蒸发资料折算值

站名	非冰期 平均	不稳定冰期			稳定 封冻期	年平均
		封冻前	封冻后	平均		
三湖河口	0.56	0.71	0.51	0.61	0.63	0.57
民和	0.59	0.53	0.64	0.62	0.75	0.60
青铜峡	0.59	0.65	0.54	0.58	0.61	0.58
咸阳	0.61	0.72	0.59	0.64	0.61	0.62
河津	0.66	0.74	0.68	0.73	0.63	0.66
三门峡	0.60	0.71	0.65	0.67	0.61	0.60
巴家嘴	0.64	0.76	0.58	0.71	0.60	0.64

表 1.3 黄河流域省区各种蒸发器蒸发资料折算值

省区	$\phi 80$ 折算为 E601	$\phi 20$ 折算为 E601		
		冰期	非冰期	年
青海		0.62	0.67	0.65
甘肃	0.82	0.62	0.65	0.65
宁夏	0.83	0.62	0.63	0.63
内蒙古		0.62	0.62	0.62
陕西	0.81	0.62	0.62	0.62
山西		0.62	0.62	0.62
河南	0.83	0.62	0.62	0.62
山东	0.82	0.62	0.62	0.62

李万义对影响水面蒸发精度的因素进行了分析,认为蒸发场遮挡率、气候环境及植被、加水深度、换水温度、蒸发器材料、蒸发器颜色、降雨、降雪等对蒸发观测均有影响,如锈蚀成黑色的 E601 蒸发器观测的蒸发量偏大 18%(中国科学院新疆地理研究所成果)。

蒸发器的观测值反映的是小水体的蒸发能力,尚需换算成大水体的蒸发能力。目前世界气象组织仪器和观测方法委员会提出以 20m^2 蒸发池作为水面蒸发的临时国际标准,并认为 20m^2 蒸发池是目前已有蒸发器中性能最好的蒸发器。巴彦高勒蒸发实验站通过 6 年的同步观测实验,认为选取 0.83 为平均情况下的折算系数较为合理,而《黄河流域片水资源评价》以黄河中游三门峡的资料进行分析,研究结果表明,非冰期 E601 与大水体水面蒸发(20m^2 大型蒸发池,下同)的平均折换系数为 0.91,月折换系数在 0.84~1.06 之间变化。在《黄河历年水文基本资料审编》中取流域平均 0.80。《黄河流域片水资源评价》中还给出了三门峡站 $\phi 80$ 和 $\phi 20$ 蒸发器对大水体的蒸发折换系数,分别为 0.75 和 0.47。《黄河水文志》给出了黄河三门峡地区 E601 和 $\phi 80$ 蒸发器资料对大水体水面蒸

发的年月折算系数。1997年李万义对巴彦高勒蒸发实验站的10年资料进行了分析,认为气温和地温对蒸发器折算系数有明显的影响,年平均相对湿度与年折算系数有很好的线性关系,E601与 $\phi 20$ 对大水体水面蒸发的年折算系数 R_{A1} 和 R_{B1} 可分别表示为:

$$R_{A1} = 0.0154U + 0.046 \quad (1.1)$$

$$R_{B1} = 0.0057U + 0.220 \quad (1.2)$$

式中: U 为年平均相对湿度,%。

黄委自1956年起先后设立了三门峡、三盛公、巴彦高勒蒸发实验站,进行大型水面蒸发观测实验。其中三门峡蒸发实验站1956~1967年先后在两地设场观测。1958年苏联列宁格勒设计院提出了水面蒸发计算公式:

$$E = n(e_0 - e_{200})(A + BW_{200}) \quad (1.3)$$

式中: E 为蒸发量; n 为日或月数; e 为水汽压; W 为风速;下标0与200分别为距水面的高度,cm; A 、 B 为系数, $A=0.14$, $B=0.29$ 。

1959年2月,三门峡水文站在《三门峡流量站水面蒸发实验分析报告》中给出了利用饱和水汽压差计算蒸发量的计算公式:

$$E = 0.10(0.88W_{200} + 1)(e_0 - e_{200}) \quad (1.4)$$

同时也给出了利用百叶箱温度查算的饱和差(d)推求蒸发池蒸发量 E_0 的计算公式:

$$E_0 = 0.09d(0.933W_{200} + 1) \quad (1.5)$$

1959年9月,三门峡库区站总工程师崔浚濯等在《水面蒸发实验报告》中,利用查依科夫和伊万洛夫公式的结构形式,给出了三门峡月蒸发量计算公式:

$$E = 0.027(15 + t)^2(100 - \theta) \quad (1.6)$$

或
$$E = 0.26(1 + 0.72W_{200})(e_0 - e_{200}) \quad (1.7)$$

式中: E 为月蒸发量,mm; t 为百叶箱内月平均温度, $^{\circ}\text{C}$; θ 为百叶箱内月平均相对湿度,%; W_{200} 为200cm高处的平均风速,m/s; e_0 为水面温度下饱和水汽压力,hPa; e_{200} 为200cm高处的空气水汽压力,hPa; $(e_0 - e_{200})$ 为月平均饱和差,hPa。

式(1.6)与式(1.7)的平均误差分别为11.8%和15.4%。

1981年原华东水利学院李纪人在《流域蒸发计算方法的探讨》一文中指出,大水体蒸发虽然可以作为蒸发能力的参考指标,但并不是真正的蒸发能力。利用北京气象局的地面有效辐射资料(1964~1968年)及官厅蒸发站100m²蒸发池的实测资料(1964~1970年),李纪人对彭曼公式进行修正并建立了相应的计算诸模图,并应用于黄河流域伊河的东西站。在应用中又根据郑州市的辐射资料再次进行了修改,得出如下关系:

$$E_1 = -\frac{1.95 \times 10^{-9} \Delta}{\Delta + 0.49} T_a^4 (0.47 - 0.077 \sqrt{I_a} (0.2 + 0.8 \frac{n}{N})) \quad (1.8)$$

$$E_2 = \frac{0.0156}{\Delta + 0.49} R_a (0.17 + 0.54 \frac{n}{N}) \quad (1.9)$$

$$E_3 = \frac{0.098}{\Delta + 0.49} I_a (1 - h) (1 + 0.385u) \quad (1.10)$$

$$E_0 = E_1 + E_2 + E_3 \quad (1.11)$$

式中: E_0 为蒸发能力; Δ 为饱和水汽压力曲线在 $T = T_a$ 处的斜率; T_a 为温度(绝对温