

水利部公益性行业科研专项经费项目 (200901022) 资助

泾渭河下游 径流预报与干旱监测 技术研究

赵卫民 王春青 梁忠民 等 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

水利部公益性行业科研专项经费项目 (200901022) 资助

泾渭河下游 径流预报与干旱监测 技术研究

赵卫民 王春青 梁忠民 刘晓伟 狄艳艳 著
温丽叶 刘吉峰 戴 东 杨 健 邱淑会



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书立足于泾渭河下游防汛抗旱和水资源开发利用,在流域降水、蒸散发、径流、干旱特性及变化规律及其相互关系等分析研究的基础上,利用卫星遥感信息和地面观测信息,探讨降水、实际蒸散发的时空连续监测,开展了基于大尺度分布式水文模型的径流预报研究,探索了该区域的综合干旱实时监测及评估方法。

本书可供水文和气象预报研究、水资源管理人员以及大专院校相关专业的师生等阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

泾渭河下游径流预报与干旱监测技术研究 / 赵卫民等著. — 北京:中国水利水电出版社, 2014. 11
ISBN 978-7-5170-2714-0

I. ①泾… II. ①赵… III. ①渭河一下游—径流预报—研究②渭河一下游—干旱—监测—研究 IV. ①P338
②P426. 615

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第286470号

书 名	泾渭河下游径流预报与干旱监测技术研究
作 者	赵卫民 王春青 梁忠民 等 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)
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	北京京华虎彩印刷有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 11.25印张 267千字
版 次	2014年11月第1版 2014年11月第1次印刷
定 价	35.00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

前言

黄河流域位于干旱半干旱地区,水资源贫乏,时空分布不均,20世纪90年代以来,黄河流域来水持续偏枯,黄河水资源问题日益突出,成为继黄河洪水、泥沙之后的又一热点问题,缺水已成为沿黄河地区社会经济可持续发展的重要制约因素。

黄河流域水旱灾害严重,曾有“中国之忧患”之称。新中国成立以来,黄河流域虽然兴建了大量的水利工程,抵御旱灾的能力有所提高,但由于气候变化和人类活动影响的加剧,旱害仍频繁发生,且损失更为严重。近年来全国范围内严重干旱时有发生,其影响受到全社会的广泛关注,也促进了干旱理论与应用问题的研究。目前,对于干旱问题的科学研究主要涉及干旱和旱灾的形成机制、干旱预测预警、干旱监测指标及评价、旱灾损失评估和旱灾风险管理等方面。

渭河是黄河第一大产水和耗水支流,也是黄河水量调度的重点支流,近年来,渭河流域来水偏枯,水资源供需矛盾日益加剧。然而,由于缺乏足够密度的降水、蒸散发、土壤水分等监测信息,该流域径流预报技术应用研究滞后于黄河流域其他区域,径流预报主要采用单一的统计相关方法,其水资源预测预报的水平远不能满足黄河干支流水资源统一管理调度科学实施的需求。

为此,通过水利部公益性行业科研专项经费项目资助,在泾渭河下游(渭河林家村、泾河杨家坪、雨落坪至渭河华县区间,流域面积约4.27万 km^2)开展了径流预报与干旱监测技术研究。

本项研究在流域降水、蒸散发、径流、干旱特性及变化规律及其相互关系等分析研究的基础上,利用卫星遥感信息和地面观测信息,探讨降水、实际蒸散发、土壤含水量的时空连续监测,实现空间监测和分布式水文模型的耦合,探索对该区域的综合干旱实时监测及评估。本项研究取得了以下主要研究成果和创新点:

(1) 利用大口径闪烁仪LAS系统进行水文大气观测,建立了与卫星像元相对应校正模式;利用能量与水平衡原理和方程进行泾渭河流域时空连续的

基于气象卫星的降雨、蒸散发和干旱监测。

(2) 建立了基于 Block-Kriging、反距离权重高程插值方法的降雨空间展布技术,分析降雨数据的不确定性各项差异性,得到连续面雨量场估计,为土壤含水量动态模拟、径流预报、干旱监测等提供基础数据。

(3) 构建了耦合于生态水文分析工具的泾渭河流域厚层土壤水动态模拟模型模块,探讨了基于遥感信息获取的水循环过程模拟计算方法,并进行了2004—2011年渭河流域厚层土壤水动态模拟;研发了“植被覆盖度动态获取系统”,获取了研究区地表植被覆盖度批量野外信息;提出了厚层土体土壤水运动动态模拟方法,揭示了土壤水运动机理和流域土壤水效应;开展了多源遥感数据产品的有效性分析及指定数据源生态因子遥感反演技术研究和优化。

(4) 采用以二维侧向流模拟的单层网格结构的坡面产流模型和具有一维侧向流的马斯京根流量演算法,建立了具有一定物理意义的大尺度分布式水文模型,开发了基于大尺度分布式水文模型的径流预报系统,实现了泾渭河下游空间和时间连续的以日为单位的径流过程预报。

(5) 采用遥感等多源空间信息,探讨了基于土壤含水量过程模拟的干旱监测技术;基于不同行业干旱评估方法,提出了泾渭河下游干旱的综合评估技术;根据作物水分生长函数 Jensen 模型,结合泾渭河下游地区的实际情况,建立了基于自然与人工相结合的“综合旱情”评估方法,并实现抗旱效益的定量估算。

本研究通过了水利部组织的验收,研究成果得到了与会专家的一致认可,给出 A 等评价结果。本书是该项研究成果的总结,共分 10 章。第 1 章流域概况,第 2 章大口径闪烁仪观测,第 3 章基于卫星的降水与实际蒸散发监测,第 4 章降雨空间展布技术,第 5 章基于分布式水文模型的径流预报技术,第 6 章径流预报应用系统开发,第 7 章干旱监测与评估,第 8 章旱灾损失评估及灌溉效益分析,第 9 章干旱监测应用系统开发,第 10 章总结。第 1、2、3、5、6 章由黄河委员会水文局赵卫民、王春青、刘晓伟、狄艳艳、温丽叶、刘吉峰、戴东、杨健、邱淑会负责编写;第 4 章由梁忠民、狄艳艳、刘晓伟负责编写,第 7~9 章由河海大学梁忠民负责编写,刘代勇、易知之、李燕、王栋、杨好周参与了部分内容的编写;第 10 章由王春青、梁忠民、刘晓伟负责编写。需要说明的是,由北京师范大学杨胜天负责完成的利用遥感反演土壤含水量监测研究成果已在《生态水文模型与应用》专著中阐述并出版,本书略去相关内容。

本项研究成果已在北京师范大学、河海大学教学与研究中进行应用，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，为黄河流域防汛抗旱、水资源统一管理和调度提供了技术支撑。

由于作者水平有限，书中难免有不妥之处，敬请读者批评指正。

作者

2014年7月

目录

前言

第 1 章 流域概况	1
1.1 自然地理特性	1
1.2 河流水系特性	1
1.3 气候特征	2
1.4 水文特征	3
1.5 堤防工程	6
1.6 社会经济	6
1.7 水文站网	7
第 2 章 大口径闪烁仪观测	15
2.1 观测方法与原理	15
2.2 安装与运行	18
2.3 数据采集与处理	20
2.4 结果分析	23
第 3 章 基于卫星的降水与实际蒸散发监测	28
3.1 方法原理	28
3.2 EWBMS 软件系统	37
3.3 成果检验	42
第 4 章 降雨空间展布技术	53
4.1 Block-Kriging 方法	53
4.2 Block-Kriging 在泾渭河下游地区的应用	58
4.3 反距离高程权重插值	66
第 5 章 基于分布式水文模型的径流预报技术	68
5.1 概述	68
5.2 泾渭河下游径流特性	69
5.3 LSHM 模型结构	72
5.4 LSHM 模型框架构建	78
5.5 数据准备	80
5.6 参数率定与检验	88

5.7 应用检验	94
第6章 径流预报应用系统开发	100
6.1 系统功能	100
6.2 软、硬件环境	100
6.3 数据库组成	101
6.4 系统简介	102
第7章 干旱监测与评估	108
7.1 干旱监测方法	108
7.2 干旱综合指数法	122
7.3 区域干旱等级评估方法	125
7.4 干旱过程的确定	126
7.5 基于实测资料的泾渭河下游地区干旱评估	126
7.6 SWAT 模型应用	131
第8章 旱灾损失评估及灌溉效益分析	138
8.1 概述	138
8.2 综合旱情等级评估方法	139
8.3 抗旱效益计算方法	139
8.4 旱灾损失评估模型	140
8.5 抗旱效益分析	151
第9章 干旱监测应用系统开发	154
9.1 专用数据库设计	154
9.2 数据库安全方案	156
9.3 系统集成目标	157
9.4 集成技术路线	157
9.5 系统开发平台及开发工具	158
9.6 系统功能组成	158
9.7 系统简介	159
第10章 总结	168
10.1 主要研究成果	168
10.2 问题与建议	169
参考文献	171

1.1 自然地理特性

渭河, 古称渭水, 是黄河的最大支流, 发源于甘肃省定西市渭源县鸟鼠山, 主要流经甘肃天水、陕西省关中平原的宝鸡、咸阳、西安、渭南等地, 至渭南市潼关县汇入黄河。渭河南有东西走向的秦岭横亘, 北有六盘山屏障。渭河流域可分为东、西两部分: 西为黄土丘陵沟壑区; 东为关中平原区。渭河干流全长 818km, 流域面积 13.48 万 km^2 。入陕境至林家村为上游, 河长 123.4km, 落差 791m, 平均比降 1.81‰, 其上段主要为黄土高原沟壑区, 河道川峡相间段; 下段主要为秦陇山区, 河流切入花岗闪长岩类基岩 200m 左右, 形成宽仅五六十米、石壁峭立如拱门的石峡和峰峦耸接、山势陡逼宽一二百米的宝鸡峡。林家村至咸阳为中游, 河长 171km, 流域面积 46856 km^2 , 落差 224.4m, 平均比降 1.24‰, 水流缓慢散乱, 沙洲浅滩较多, 河宽 1500~2000m, 计入滩地可达 4000~5000m。魏家堡渭惠渠大坝以下逾 110km 河流南北摆动, 变化频繁, 群众亦有“三十年河南、三十年河北”的民谚。咸阳至入黄口为下游, 河长 208km, 落差 56m, 平均比降 0.28‰, 咸阳至泾河口段属游荡分汉性河道, 主槽相对较稳定; 泾河口至洛河口段, 右岸较固定, 左岸崩塌严重, 唐朝时《三绝碑》距渭河 7.5km, 现距河岸仅百余米; 北洛河口以下河宽 3000~15000m, 因受黄河顶托易生倒灌, 三门峡水库建成后, 渭河口以上河床淤积, 抬高 5m 多, 潼关卡口形成拦门沙, 成为防汛心腹之患。

渭河属不对称水系, 左岸支流源远流长, 集水面积大, 泥沙多; 右岸支流流程短, 比降大, 水多沙少。

按照自然地理条件, 渭河下游大体上可以划分为土石山区、黄土丘陵区、黄土阶地区和河谷冲积平原区 4 种类型: ①土石山区主要分布在渭河南岸支流的上中游, 该区地势陡峻、雨量充沛, 植被较好、水土流失轻微, 径流系数较大, 利于产流; ②黄土丘陵区主要分布在北岸泾河及石川河的上、中游地区, 地形破碎, 沟壑纵横, 植被稀少, 水土流失严重, 不利于产流; ③黄土阶地区主要分布在北岸石川河下游及南岸中部一带; ④河谷冲积平原区主要分布在渭河下游干流两岸附近, 该区地势平坦, 土壤肥沃, 径流系数较小。

1.2 河流水系特性

渭河干流从天水出甘肃省, 东流至天水与宝鸡接壤, 经宝鸡市的陈仓、渭滨、金台、岐山、眉县、扶风, 咸阳市的杨陵、武功、兴平、秦都、渭城, 西安市的周至、户县、长安、未央、灞桥、高陵、临潼, 渭南市的临渭、大荔、华县、华阴等 22 个县(市、区),

至潼关的港口入黄。

渭河下游两岸支流较多。北岸支流多发源于黄土丘陵和黄土高原，源远流长，集水面积大，比降较小，含沙量大，是泥沙的主要来源区。主要有石川河、泾河、北洛河。泾河是渭河最大的支流，干流河长 455.1km，流域面积 4.54 万 km²，占渭河流域面积的 33.7%；北洛河为渭河第二大支流，干流河长 680km，流域面积 2.69 万 km²，占渭河流域面积的 20%。南岸支流均发源于秦岭山区，源短流急，谷狭坡陡，径流较丰，含沙量较小，是渭河下游暴雨洪水的来源区之一，主要有泮河、皂河、浐灞河、大峪河、戏河、零河、沔河、赤水河、遇仙河、石堤河等，也称之为“南山支流”。较长的黑河为 125km，灞河为 104km，其余皆不足百公里。本项目总研究面积约 4.27 万 km²，占华县站控制区域的 40.1%。

泾河是渭河最大的支流，全长 455.1km，流域面积 4.54 万 km²，占渭河流域面积的 33.7%。泾河支流较多，集水面积大于 1000km² 的支流有左岸的洪河、蒲河、马莲河、三水河，右岸的黑河、泔河。马莲河为泾河最大的支流，流域面积 1.91 万 km²，占泾河流域面积的 42%，河长 374.8km，年径流量 4.8 亿 m³，主要靠降雨补给。泾河以“洪水猛烈、输沙量大”著称，是渭河和黄河主要洪水、泥沙来源之一。径流年内分配不均匀，具有夏丰、秋平、冬少的特点，洪、枯水流量相差悬殊，多年平均年径流量 24.4 亿 m³。流域内水土流失严重，年平均含沙量 141kg/m³，最大含沙量 1430kg/m³。

1.3 气候特征

泾渭河下游地区深处内陆，属典型的温带大陆性气候，处于温带半湿润向半干旱气候的过渡地带。其气候总特点是：春暖干燥，降水较少，气温回升快而不稳定，多风沙天气；夏季炎热多雨，间有伏旱；秋季凉爽较湿润，气温下降快；冬季寒冷干燥，气温低，雨雪稀少。

据流域气象和水文站点多年观测资料，区域内多年平均降水量约 610mm。年内降水分配不均，主要集中在夏、秋汛期季节的 7—10 月，多以暴雨和秋季连阴雨出现，可占全年降水量的 60%以上，冬夏季降水稀少。最大月降水量一般出现在 7 月和 8 月，两月降水量可占年降水量的 40%左右，最小月降水量出现在 1 月和 2 月。降水量的年际变化明显，最小与最大年降水量相差 1.8~3.5 倍。

受地形等因素影响，流域降水分布由东南向西北递减，南部的降水量可达北部的 1 倍，南部秦岭山麓降水充沛，最大年降水量在 1000mm 以上，随地势降低降水量骤减，泾河张家山以上大部分地区低于 600mm，平原地区年降水量约 500mm。

流域年平均气温为 7.8~13.5℃，最低月平均气温一般在 -1~-3℃（一般出现在 1 月），最高月平均气温在 23~26℃（一般出现在 7 月），极端最高气温 42.8℃，极端最低气温 -28.1℃，气温差一般为 26~28℃。冬季（1 月）南北向差异较大，达 4℃左右，呈很明显的纬向分布；夏季（7 月）平均气温比较接近，经向分布突出。

流域内多年平均水面蒸发量 700~1200mm，区域分布规律与降水相反，年内分配上 1 月最小，7 月最大，其变化规律与气温变化一致。年日照时数为 2000~2500h，无霜期 155~219d，早霜一般始于 10 月上旬或中旬，晚霜终于 3 月下旬至 5 月上旬之间。

1.4 水文特征

1. 降水

渭河下游地处暖温带半干旱半湿润地区，年平均气温 6~13℃，年平均降水量 500~900mm，年蒸发量 700~1000mm（蒸发皿观测）。流域内降水量分布呈东南向西北递减，降雨量分布南多北少，山区多、盆地河谷少。在南岸秦岭一带降水量最大，达到 700~900 mm，向西北递减至 400~500 mm，下游的降雨以南岭北坡的南山支流为主。降水量年际变化较剧烈，华县站年平均降水量 525mm，最大达 1110mm（1946 年），最小仅 226mm，相差约 5 倍。受西风带和西太平洋副高压的影响，降雨除在空间分布上呈现南多北少的特征外，在时间分配上也极不均匀，主要集中在 6—9 月，占年降雨量的 60%~70%。暴雨一般发生在 7 月、8 月，多为强度大、历时短，造成水土流失和洪涝灾害，9 月、10 月该区域也常出现连阴雨天气，降雨历时一般为 5~10d 或更长，如 2003 年和 2005 年出现的连续降水过程，被称为“华西秋雨”。

2. 径流与输沙

华县站是渭河把口站，该站位于陕西省华县下庙乡，东经 109°46′，北纬 34°35′，集水面积 10.65 万 km²，控制流域面积 79%。至河口距离 73.2km。据 1935—2010 年资料统计，华县站多年平均径流量 73.7 亿 m³，多年平均输沙量为 3.43 亿 t（表 1-1）。其中汛期多年平均径流量、输沙量分别为 45.3 亿 m³、3.08 亿 t。渭河径流、输沙年际变化大。从现有资料的年份来看，20 世纪 60 年代径流量最大（30 年代是从 1935 年开始统计），90 年代径流量最小，最大径流量是最小值的 2.2 倍。40 年代输沙量最大，21 世纪以来输沙量最小，最大输沙量是最小值的 3.5 倍。如图 1-1 所示为华县站多年径流量、输沙量过程线，从图中可以看出，20 世纪 90 年代以来，渭河来水来沙大幅减少。

表 1-1 渭河下游华县站各年代水沙量统计表

时段	平均径流量/亿 m ³				平均输沙量/亿 t			
	年径流量	距平 /%	7—10 月	汛期比例 /%	年输沙量	距平 /%	7—10 月	汛期比例 /%
1935—1939 年	102.6	39.21	68.8	67.06	3.369	-1.78	2.896	85.96
1940—1949 年	93.9	27.41	57.9	61.66	4.849	41.37	4.438	91.52
1950—1959 年	85.5	16.01	52.1	60.94	4.289	25.04	3.862	90.04
1960—1969 年	96.2	30.53	53.7	55.82	4.361	27.14	3.877	88.90
1970—1979 年	59.4	-19.40	37.9	63.80	3.842	12.01	3.633	94.56
1980—1989 年	79.1	7.33	51.3	64.85	2.758	-19.59	2.368	85.86
1990—1999 年	43.8	-40.57	24.2	55.25	2.764	-19.42	2.37	85.75
2000—2010 年	46.4	-37.04	30.6	65.95	1.387	-59.56	1.246	89.83
1935—2010 年	73.7		45.3	61.47	3.43		3.08	89.80

渭河径流、输沙年内分配不均，汛期来水量约占全年的 60%，如华县站 7—10 月径流占全年的 61.47%，其中，主汛期 7、8 月径流占全年的 29.6%，仅占汛期的一半，表

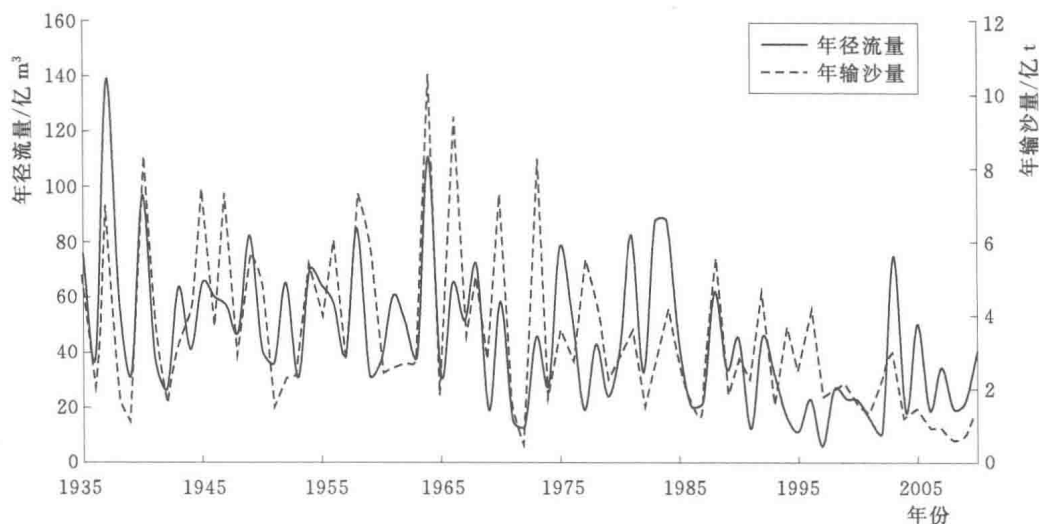


图 1-1 华县站多年径流量、输沙量过程线

明渭河秋汛径流基本与伏秋汛径流相当。径流地区分布不均，总的趋势是自南向北减小，秦岭、关山区高，平原区、谷地区低；西部大于东部，中游比下游径流丰富。秦岭北坡的径流模数较高，为 $9 \sim 15 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{km}^2)$ ，而黄土原区的径流模数只有 $0.8 \sim 2.2 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{km}^2)$ ，仅千河径流模数较高，千阳站为 $4.66 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{km}^2)$ 。渭河干流的径流模数为 $2.5 \sim 3.7 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{km}^2)$ ，其中魏家堡、咸阳站较高，是由于支流加入造成的。

渭河下游多年平均输沙量 4.44 亿 t，泾河张家山站多年平均输沙量 2.46 亿 t。泥沙主要来源于北岸支流，尤其是泾河和北洛河，分别占渭河下游来沙量的 55.4% 和 19.1%。泥沙年内分配相对集中，沙量主要集中于汛期，甚至是几场大洪水中。华县站 7—10 月输沙占全年输沙的 89.8%。

3. 洪水

渭河流域洪水主要来源于泾河、渭河干流咸阳以上和南山支流。洪水具有暴涨暴落、洪峰高、含沙量大的特点。每年 7—9 月为暴雨季节，而且多大暴雨，洪水灾害较多，汛期水量约占年水量的 60%。泾河洪水一般暴涨暴落、洪峰高、含沙量大，小流量、高含沙的洪水也时常出现，是渭河下游河道淤积萎缩的主要原因；渭河干流咸阳以上洪水涨落过程较泾河缓，含沙量也相对较小，是渭河下游大洪水的主要来源区；区间南山支流加入较多，均发源于秦岭石山区，洪水含沙量小，涨落迅速，汇流时间短。

历史上渭河曾发生过多大洪水，清光绪二十四年（1898 年）渭河咸阳段发生特大洪水，咸阳、华县站洪峰流量分别为 $11600 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $11500 \text{ m}^3/\text{s}$ ；1911 年，泾河发生特大洪水，张家山站洪峰流量 $14700 \text{ m}^3/\text{s}$ ；1933 年，泾河、渭河同时涨水，张家山站洪峰流量为 $9200 \text{ m}^3/\text{s}$ ，华县站洪峰流量为 $8340 \text{ m}^3/\text{s}$ ；1954 年，渭河涨水，华县站洪峰流量为 $7660 \text{ m}^3/\text{s}$ ；1981 年 8 月，渭河涨水，临潼站洪峰流量为 $7610 \text{ m}^3/\text{s}$ ，华县站洪峰流量为 $5380 \text{ m}^3/\text{s}$ ；2011 年 9 月，受华西秋雨影响，渭河涨水，华县站洪峰流量 $5050 \text{ m}^3/\text{s}$ ，为 1981 年以来最大洪水。

支流清姜河曾出现过 $504 \text{ m}^3/\text{s}$ （益门镇 1964 年），千河冯家山 1954 年 8 月 17 日零时

洪峰流量 $3960\text{m}^3/\text{s}$ ，石头河斜峪关 1964 年有 $1050\text{m}^3/\text{s}$ ，黑河黑峪口 1980 年有 $3040\text{m}^3/\text{s}$ 。由于渭河滩坎较低，一般洪水均可漫滩淹没农田。河床摆动不定，据调查，保安滩河段，1898—1962 年的 64 年中，较大的变迁有 7 次，摆动幅度最大达 5km 以上，有“三十年河南、三十年河北”之说。1933 年洪水淹没滩地及良田 49.74 万亩，危害及冲毁村庄 181 个。1954 年洪水淹没总面积 36.32 万亩，冲毁村庄 79 个。

由于下游河道的调蓄作用，洪水峰形较胖，华县水文站单峰持续时间通常为 2~5d，连续洪水可在 10d 以上，实测最大流量为 1954 年的 $7660\text{m}^3/\text{s}$ （相应水位 338.81m）；若洪水来源于泾河张家山以上，则含沙量大，华县站实测最大含沙量为 $905\text{kg}/\text{m}^3$ （1977 年）。由于含沙量大，河道淤积严重，目前 $1000\text{m}^3/\text{s}$ 左右的水位相当于 1954 年最大洪峰对应的水位，华县实测最高水位为 2003 年 9 月 1 日的 342.76m（相应流量 $3570\text{m}^3/\text{s}$ ）。

据 1980 年以来资料统计，华县站洪峰流量大于 $2000\text{m}^3/\text{s}$ 的洪水共有 40 场，其中，1980—1989 年 10 年间发生 23 场，而 1990—2009 年 20 年间仅出现 13 场，且 1997—2002 年竟未出现一场该量级以上洪水，表明进入 20 世纪 90 年代以后，渭河下游洪水特性发生了很大变化，洪水的次数和量级均减少（但出现大洪水的概率仍然存在，如 2011 年出现了 1981 年之后的最大洪水），特别是来自咸阳以上的大流量、低含沙量的洪水减少尤为显著，而来自泾河的高含沙中小洪水（洪峰流量 $1000\text{m}^3/\text{s}$ 、含沙量 $600\text{kg}/\text{m}^3$ 左右）频繁出现（表 1-2）。

表 1-2 华县站 1980 年以来洪峰流量大于 $2000\text{m}^3/\text{s}$ 以上的洪水统计

序号	年份	时间 /(m, d, h)	洪峰流量 /(m^3/s)	序号	年份	时间 /(m, d, h)	洪峰流量 /(m^3/s)
1	1980	7, 4, 8	3770	21	1988	8, 10, 1	3090
2		8, 4, 21	2800	22	1988	8, 19, 15	3980
3		9, 16, 15	2150	23	1989	8, 20, 5	2630
4	1981	7, 15, 13	3200	24	1990	7, 8, 0	3250
5		8, 23, 10	5380	25	1992	8, 14, 0	3950
6		9, 8, 14	5360	26	1993	7, 23, 23	3050
7	1983	7, 21, 20	2130	27	1994	7, 8, 23: 30	2000
8		8, 1, 2	3170	28	1996	7, 29, 21	3500
9		9, 9, 6	2180	29	2003	9, 1, 9: 48	3540
10		9, 28, 19: 42	4160	30		9, 8, 11: 06	2160
11		10, 6, 12	3800	31		9, 21, 16	3020
12	1984	7, 7, 14	2510	32		10, 5, 6	2680
13		7, 13, 22	2130	33		10, 13, 5	2020
14		8, 4, 23	2860	34	2005	7, 4, 14: 12	2060
15		9, 10, 20	3900	35		10, 1, 2: 00	2540
16		9, 24, 18: 15	2600	36		10, 4, 9: 30	4880
17	1985	9, 16, 18: 30	2660	37	2010	8, 25, 17: 12	2170
18	1986	6, 28, 10	2970	38	2011	9, 20, 19: 06	5050
19	1986	7, 11, 6	2600	39	2012	9, 3, 2: 18	2250
20	1988	7, 10, 5	2510	40	2013	7, 24, 9: 24	2470

近年来，渭河下游出现了较大的洪水过程，对渭河下游河道主槽产生了冲刷和拓宽作用，从而使渭河下游河道的过洪能力增加，河道萎缩有所改善。洪水在渭河下游发生了大

漫滩,因受滩地高秆植物阻水作用,流速减小,传播时间加长。

1.5 堤防工程

渭河堤防工程始于唐代咸阳柳堤。据《重修咸阳县志·古迹》载:唐时咸阳筑堤防渭水溃决,植柳逾万,故名柳堤。清代华县、宝鸡等地筑堤防水。《续修陕西通志稿》载:乾隆二十一年(1756年)八月,渭水溢岸,危及田舍,华州牧席绍葆劝民于沿河低洼处筑堤捍水,居然无恙。

清宣统年间,宝鸡县曾请准拨款在阳平镇修筑河堤。民国24年(1935年)陕西省水利局会同宝鸡县在阳平镇南修建丁坝5座,全长1145m,坝体以直径约0.2m、长约6m的木桩排成两行,插于河内,排距2m,桩跨0.7m,排桩之间纵横平铺梢料,上压石子。5坝建成后,河泓流势已见南迁,北岸各坝间河床逐渐淤高,使阳平镇得到保护。

民国25年(1936年)渭惠渠拦河大坝建成后,先后在大坝上、下游两岸建丁坝34座,并建起了护岸防护林带,用以稳定河势,防止塌岸,保证引水。

1963年,陕西省人民委员会成立由水利、农业、林业、畜牧、交通等部门和沿河各专区、市、县(区)领导组成的渭河治理领导小组,1972年在领导小组下专设治渭办公室。1973年,周至、武功、兴平、咸阳、西安、高陵等县市成立渭河管理站。至1995年,渭河共有管理机构15个,管理人员169名。

1954年渭河洪水(简称“54型”洪水)以后,开始对渭河进行全面规划治理,并采取统一目标,分段设防,县(市)包干,逐步实施,集中会战与经常维修相结合的办法进行治理。至1995年,中游段的堤防基本建成,下游包括南山支流的治理逐步得到加强,并初步建成了防洪抢险通信预警系统。

1969年三门峡水库枢纽完成一期改建以后,临潼、渭南等地群众按“54型”洪水标准于耿镇桥上下正常水位335m以上修建生产堤130km,其中桥以上长20km,以下110km,可保护耕地19.9万亩。同年,陕西农建师和驻军在三门峡库区335m高程以下沿渭河北岸仁义村至果园、南岸方山村至潼关龚庄渡口分别修建逾20km生产堤,保护耕地30万亩。1972年,在耿镇桥至咸阳铁路桥间又按防御 $7220\text{m}^3/\text{s}$ 洪水修建生产堤30km,生产堤增至160km。

1985年5月,中共中央、国务院办公厅发出《关于陕西省三门峡库区移民安置问题的会议纪要》,近10万移民返库安家落户,库区防洪形势更为严峻,成为陕西心腹之患。1986年国家拨专款1.2亿元安置返库移民,至1994年规划工程基本完成,其中建有防洪设施村台67个,加固朝邑围堤35km,避水台63座,防汛撤退道路60.73km。

1964年至20世纪80年代末,渭河下游干、支流上共建堤防178km。1990年,陕西省人民政府制定了《渭洛河下游治理规划》,1991年由水利部、黄河水利委员会审查通过并报国家计委待批。1992—1993年加高培厚渭河围堤工程55km,之后,又对柳叶河、罗敷河、长涧河等南山支流堤防进行加高培厚和拓宽疏浚。

1.6 社会经济

泾、渭河下游地区地势平坦,土壤肥沃,气候温和,资源丰富,灌溉条件良好。它所

包括的关中地区自古以来就是中国重要的农业区，有“八百里秦川”之称。该地区矿产资源丰富，钼的储量居全国第3位，铅、锌、汞、金、铜、大理石、石灰石等都有相当大的储量，煤炭保有储量200亿t。该地区是煤炭、电力、机械、化工、冶金、建材、轻纺、医药、食品等工业生产设施的集中地，工业固定资产所占比例也很大。

按照行政单位进行区划，包括7个地级市，共35个市县，分别为西安市的市区、高陵区、临潼区、阎良区、长安县、户县、蓝田县、周至县，咸阳市的市区、兴平市、武功县、永寿县、乾县、礼泉县、泾阳县、三原县、淳化县、彬县、旬邑县、长武县；宝鸡市的市区、陇县、千阳县、凤翔县、岐山县、麟游县、扶风县、眉县；渭南市的市区、富平县、华县；铜川市的市区、耀县；平凉市的灵台县和庆阳市的正宁县。其中，西安是现代化的中心城市和综合经济区。咸阳是以纺织、机械、电子工业为主的经济区，拥有全国最大的彩色显像管总厂，其产量居全国第一位；同时也是棉纱、布的重要生产基地。宝鸡是以机械、纺织、轻工业为主的经济区，是石油设备、精密机床、重型汽车、卷烟、酒、洗衣机的生产基地。铜川是以煤炭、建材工业为主的经济区，是煤炭、水泥、耐火材料的生产基地。渭南是以煤炭、电力工业为主的经济区。

1.7 水文站网

项目研究区域为渭河林家村、泾河杨家坪、泾河支流马莲河控制站雨落坪至渭河华县区间，流域面积约4.27万km²，如图1-2所示。研究区水文测站隶属于黄河水利委员会水文局、陕西省水文水资源勘测局和陕西省三门峡库区管理局。研究区共设水文站30处，雨量站165处。其中，渭河水文站20处，雨量站123处；泾河水文站10处，雨量站42处。水文站多数为水情报汛站，其中，渭河14处，泾河9处；雨量站近一半为水情报汛站。站网分布如图1-3所示，站网基本情况见表1-3~表1-6。水文站网观测项目主要有流量、水位、泥沙、蒸发及雨量等要素。



图 1-2 研究区示意图



图 1-3 研究区水文站网示意图

表 1-3

研究区渭河水文站基本情况

序号	河名	站名	坐标		建站年份	断面地点	领导机关
			东经	北纬			
1	渭河	林家村	107°03′	34°23′	1934	陕-宝鸡县	陕西水文水资源局
2	清姜河	益门镇	107°06′	34°20′	1955	陕-宝鸡市	陕西水文水资源局
3	千河	千阳	107°08′	34°38′	1964	陕-千阳县	陕西水文水资源局
4	石头河	鸛鸽	107°39′	34°06′	1974	陕-太白县	陕西水文水资源局
5	石头河	斜峪关	107°39′	34°11′	1936	陕-眉县	陕西石头水库管理局
6	渭河	魏家堡	107°42′	34°18′	1937	陕-眉县	陕西水文水资源局
7	汤峪河	漫湾村	107°54′	34°08′	1953	陕-眉县	陕西水文水资源局
8	漆水河	好時河	108°03′	34°36′	1971	陕-永寿县	陕西水文水资源局
9	黑河	黑峪口	108°12′	34°03′	1938	陕-周至县	陕西水文水资源局
10	涝河	涝峪口	108°32′	34°01′	1944	陕-户县	陕西水文水资源局
11	渭河	咸阳	108°42′	34°19′	1931	陕-咸阳市	黄河水利委员会水文局
12	沔河	秦渡镇	108°46′	34°06′	1935	陕-户县	陕西水文水资源局
13	大峪河	大峪	109°07′	34°00′	1952	陕-长安县	陕西水文水资源局
14	灞河	罗李村	109°22′	34°09′	1956	陕-蓝田县	陕西水文水资源局
15	灞河	马渡王	109°09′	34°14′	1952	陕-西安市	陕西水文水资源局
16	渭河	临潼	109°12′	34°26′	1961	陕-临潼县	陕西三门峡库区管理局
17	沮河	柳林	108°49′	35°03′	1971	陕-耀县	陕西水文水资源局
18	漆水河	耀县	108°59′	34°55′	1959	陕-耀县	陕西水文水资源局
19	冶峪河	淳化	108°35′	34°47′	1960	陕-淳化县	陕西水文水资源局
20	渭河	华县	109°46′	34°35′	1935	陕-华县	黄河水利委员会水文局

表 1-4

研究区泾河水文站基本情况

序号	河名	站名	坐标		建站年份	断面地点	领导机关
			东经	北纬			
1	泾河	杨家坪	107°44′	35°20′	1955	陕-宁县	黄河水利委员会水文局
2	马连河	雨落坪	107°53′	35°20′	1954	陕-宁县	黄河水利委员会水文局
3	四郎河	罗川	108°13′	35°19′	1983	陕-正宁县	甘肃水文水资源局
4	黑河	张河	107°43′	35°11′	1971	陕-长武县	陕西水文水资源局
5	达溪河	百里	107°24′	35°02′	1967	陕-灵台县	甘肃水文水资源局
6	泾河	景村	108°08′	35°00′	1952	陕-彬县	陕西水文水资源局
7	三水河	芦村河	108°16′	34°58′	1989	陕-彬县	黄河水利委员会水文局
8	泾河	张家山	108°36′	34°38′	1934	陕-泾阳县	陕西水文水资源局
9	泾河	桃园	108°58′	34°28′	1965	陕-高陵县	陕西三门峡库区管理局
10	泾河	灵台	107°36′	35°04′	1993	甘-灵台县	甘肃水文水资源局