

“十一五”国家科技支撑计划专题 (编号: 2006BAB06B01-05)

黄河中游河口镇至龙门区间 水利水保工程对 暴雨洪水泥沙影响研究

徐建华 李晓宇 陈建军 高亚军 李明 等 编著



黄河水利出版社

内 容 提 要

本书是作者由“十一五”国家科技支撑计划专题“黄河中游河口镇至龙门区间水利水电工程对暴雨洪水泥沙影响研究”提炼而成。书中以河龙区间各支流的场次暴雨洪水为研究对象,分析次洪暴雨的时空分布规律和流域下垫面状况对流域暴雨洪水的影响,分别找出其突变点,建立突变前的暴雨洪水泥沙统计模型,用以模拟计算受人类活动影响较小时期的洪水、泥沙,分析水利水电工程对暴雨洪水泥沙的影响程度。同时,对于流龙门站实测洪峰大于 $10\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 的洪水和 1990 年后区间典型暴雨洪水调查资料进行了整理分析,研究其原因和变化规律。可供从事水利和水土保持科研、生产、管理工作的科技人员参阅,也可作大中专院校相关专业师生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

黄河中游河口镇至龙门区间水利水电工程对暴雨洪水
泥沙影响研究/徐建华等编著. —郑州:黄河水利出版社,
2009. 12

“十一五”国家科技支撑计划专题

ISBN 978 - 7 - 80734 - 766 - 8

I. ①黄… II. ①徐… III. ①黄河 - 中游河段 - 水利
工程 - 影响 - 暴雨洪水研究②黄河 - 中游河段 - 水利
工程 - 影响 - 泥沙 - 研究 IV. ①TV882. 1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 230078 号

出 版 社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼 14 层 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371 - 66026940、66020550、66028024、66022620(传真)

E-mail:hhsclbs@126.com

承印单位:河南瑞光印务股份有限公司

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:21. 75

字数:529 千字

印数:1—1 000

版次:2009 年 12 月第 1 版

印次:2009 年 12 月第 1 次印刷

定价:55. 00 元

前 言

黄河中游的洪水泥沙主要来自暴雨,剧烈的人类活动必然加速下垫面的改变,而下垫面的改变又必然影响暴雨的产洪产沙。沙随洪水来,沙随洪水去,从多年平均来看,这在黄河中游原生地貌上是肯定的,特别是在多年平均泥沙输移比接近1的地区更是如此。但随着水利水土保持工作的开展,下垫面发生了较大变化,坡面工程和沟道工程的拦截作用是不能被忽视的。1950年以来,黄河中游开展了大规模的水土保持工作,河口镇至龙门区间(简称河龙区间,下同)水沙来量自20世纪70年代以来开始减少,应该说水土保持功不可没。

在分析计算中发现,河龙区间实测径流、泥沙的减少与降雨量的减少并不同步,河龙区间年降水量1970年以后各年代较1969年前年平均减少10.2%~15.5%,而实测径流各年代年平均减少26.6%~60.9%,实测输沙量各年代年平均减少24.1%~80.4%,大于等于0.05 mm的粗泥沙减少更多,达29.8%~84.0%,这是由于黄河中游、特别是河龙区间的各支流,径流大多由暴雨洪水产生,泥沙更是如此,要进一步揭示近期径流和泥沙比降雨减少更剧烈,必须进行场次暴雨洪水泥沙研究。因此,研究本区水土保持措施的减水减沙作用,分析黄河中游水沙变化原因,对治黄研究和宏观决策,对多沙粗沙区水土流失的防治和生态环境的改善,对指导这一地区的开发建设和人类活动,正确认识黄河流域水土保持工作的地位和作用,减轻下游河道淤积,均具有重要的现实意义。

黄河中游河龙区间既是黄河中游三大暴雨洪水来源区之一,也是黄河泥沙、特别是粗泥沙的主要来源区。根据黄河的水沙特点,黄委党组提出了“构建黄河水沙调控体系工程”建设。要使黄河水沙调控体系工程能够正常运行,水沙预报是基础之一,要做好黄河水沙预报,中游河龙区间又是重点地区之一,而河龙区间暴雨洪水泥沙关系研究又是该区水沙预报的基础。

做好河龙区间暴雨洪水泥沙关系研究,不仅是洪水泥沙预报的需要,也是黄河中游多沙粗沙区、特别是粗泥沙集中来源区水土流失基本规律研究、模型黄土高原建设和水土流失治理规划的需要,同时通过对这一特殊地区暴雨洪水泥沙的研究,还可丰富土壤侵蚀、水文泥沙、水土保持等学科内容,对促进相应学科的发展亦具有重要的科学意义。

“十一五”国家科技支撑计划项目“黄河健康修复关键技术研究”,设置了“黄河中游河口镇至龙门区间水利水保工程对暴雨洪水泥沙影响研究”专题(专

题编号:2006BAB06B01-05),由此说明,黄河中游河龙区间水利水保工程对暴雨洪水泥沙的影响研究已引起高层专家和管理者的关注。

本专题研究内容主要有六个方面:一是河龙区间降雨变化分析,二是暴雨、洪水、泥沙基本资料的处理,三是河龙区间各支流水沙变化突变点分析,四是龙门洪峰流量大于 $10\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 暴雨洪水分析,五是各支流暴雨洪水、泥沙关系分析,六是水利水保工程对暴雨洪水、泥沙的影响分析。

(1)河龙区间降雨变化分析。黄河中游河龙区间实测水沙大幅度减少,人类活动的作用是肯定的,但降雨是否有较大变化,必须对产流产沙影响较大的汛期(6~9月)、主汛期(7~8月)、连续最大三日、最大一日以及年最大次降雨量等方面分析其变化情况,为宏观判断提供支撑。

(2)暴雨、洪水、泥沙基本资料的处理。在暴雨的处理上,既有常规的次暴雨和雨强概念,又引入了不同降雨集中度的雨强,把一次降雨中不同集中度的降雨量按40%~90%分别求出对应的雨强,再通过优选找出其影响水沙的主要雨强因素;在次洪水泥沙的计算中,一次洪水过程中由于含沙量的数据个数远少于流量数据个数,依据流量数据个数将含沙量进行内插,用含沙量与对应流量得到与流量数据个数相同的输沙率数据个数,再由输沙率过程求得次洪输沙量。

(3)河龙区间各支流水沙变化突变点分析。过去认为1970年以前人类活动影响较小,一般用1970年前的系列来建立降雨—径流—泥沙关系,但由于各支流水土保持工程的发展并非完全同步,在讨论过去采用的双累积曲线法分析水沙变化突变点(转折点)的基础上,再寻找其他可行的分析方法,进一步分析各支流的水沙突变点。本次在建立了1970年前水沙关系的基础上,又根据最新分析的各支流水沙变化突变点,建立了新系列的水沙关系。

(4)龙门洪峰大于 $10\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 暴雨洪水分析。1954年以来,龙门站发生过23场洪峰大于 $10\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 的洪水,系统地对这些大洪水逐场进行暴雨分布、笼罩面积、中心雨强、洪水来源(支流洪峰、洪量组成)及支流贡献等分析,藉以分析龙门站洪峰大于 $10\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 的洪水的来源组成及水土保持工程控制洪水泥沙的重点地区。

(5)各支流暴雨洪水、泥沙关系分析。由于汛期降雨的局部性和暴雨中心的多变性,又加上下垫面的复杂变化,用大面积的降雨径流输沙关系难以分析水利水保工程对暴雨洪水泥沙的影响,以支流水文站控制区为基本单元,通过分析次洪暴雨的时空分布规律和流域下垫面状况对流域暴雨洪水的影响,建立暴雨洪水泥沙关系,为分析水利水保工程对暴雨洪水泥沙的影响服务。

(6)水利水保工程对暴雨洪水、泥沙的影响分析。在暴雨洪水、泥沙关系研

究的基础上,通过 1970 年前或所确认的水沙突变点前的暴雨—洪水—泥沙关系,将近期的暴雨资料代入,可估计出在无人活动影响下可能的产洪产沙量,用以与实测洪量和洪沙量比较,期望回答水利水保工程对洪水泥沙的影响程度。

总的来说,本研究是以河龙区间主要入黄支流为主,总结吸收前人研究成果,收集暴雨洪水资料,通过分析次洪暴雨的时空分布规律和流域下垫面状况对流域暴雨洪水的影响,建立暴雨洪水泥沙关系,分析水利水保工程对暴雨洪水泥沙的影响程度。在研究过程中,一直得到项目首席专家刘晓燕教授、课题首席专家姚文艺教授以及其他众多教授专家的关心和指导,是他们的大力支持和帮助,才使本研究得到这些初步成果。

本书就是在这些研究成果的基础上编写而成的。各章编写人员是:前言,高亚军编写;第 1 章,徐建华、李晓宇、陈建军、高亚军、林银平、王志勇、刘东旭和李玉山编写;第 2 章,陈建军编写;第 3 章第 1 节,林银平编写,第 2~5 节,高亚军编写;第 4 章,李晓宇编写;第 5 章,李玉山编写;第 6 章第 1、3 节,高亚军编写,第 2 节,刘东旭和王志勇编写;第 7 章,陈建军编写;第 8 章第 1~3 节,陈国华、刘吉峰、杨达莲和李焯编写,第 4~5 节,李玉山编写;第 9 章,王万民和李明编写。全书由徐建华、李晓宇、陈建军、高亚军和李明统稿。

人类活动对暴雨洪水、泥沙的影响十分复杂,随着新情况、新问题的发生和发展,许多问题尚待进一步深化研究,由于书稿资料量大,编撰时间较短,我们的写作水平不高,书中难免有欠妥和错误之处,敬请读者批评指正。

编著者

2009 年 11 月

目 录

前 言

第一章 绪 论	(1)
第一节 有关背景简介	(1)
第二节 主要研究成果简介	(14)
第三节 对本次研究成果的初步认识	(16)
第四节 存在问题及建议	(17)
第二章 河龙区间环境概况	(19)
第一节 自然环境	(19)
第二节 社会经济环境	(28)
第三节 水土保持治理现状	(29)
第三章 暴雨洪水泥沙资料的处理	(32)
第一节 场次洪水的遴选	(32)
第二节 场次暴雨资料的处理	(64)
第三节 支流场次暴雨中心雨强的处理	(69)
第四节 洪水、泥沙资料的处理	(71)
第五节 小 结	(72)
第四章 河龙区间降雨变化分析	(73)
第一节 分析的基本思路	(73)
第二节 各年代不同时段降雨量变化分析	(74)
第三节 年最大次降雨量分析	(80)
第四节 不同量级降雨发生频次变化分析	(84)
第五节 主要支流最大次降雨雨强分析	(88)
第六节 小 结	(89)
第五章 河龙区间主要支流水沙变化突变点分析	(91)
第一节 问题的提出	(91)
第二节 对用双累积曲线法判定突变点的讨论	(92)
第三节 分析方法及资料处理	(94)
第四节 各支流水沙变化突变点分析	(96)
第五节 小 结	(113)
第六章 暴雨洪水泥沙关系的建立	(116)
第一节 暴雨洪水泥沙关系建立的基本思路	(116)
第二节 模拟结果	(120)
第三节 小 结	(160)

第七章 水利水保工程对暴雨洪水泥沙的影响分析	(162)
第一节 水利水保工程对洪峰的影响	(164)
第二节 水利水保工程对洪量的影响	(166)
第三节 水利水保工程对次洪沙量的影响	(168)
第四节 小 结	(171)
第八章 龙门洪峰大于 10 000 m³/s 暴雨洪水分析	(181)
第一节 河龙区间突发性暴雨洪水成因分析	(181)
第二节 龙门洪峰大于 10 000 m ³ /s 洪水基本情况	(186)
第三节 暴雨洪水个例分析	(192)
第四节 综合分析	(264)
第五节 小 结	(269)
第九章 1990 年后河龙区间典型暴雨洪水调查分析	(271)
第一节 1994 年 8 月无定河暴雨洪水调查	(271)
第二节 2001 年皇甫川有雨无水原因调查分析	(277)
第三节 2001 年无定河白家川断流与再次出现实测最大含沙量原因调查分析	(281)
第四节 2002 年 7 月 4 日清涧河洪水调查分析	(290)
第五节 2003 年 7 月 31 日府谷 12 800 m ³ /s 洪峰调查分析	(296)
第六节 2006 年皇甫川、秃尾河高含沙洪水调查分析	(324)
第七节 小 结	(338)
参考文献	(339)

第一章 绪 论

第一节 有关背景简介

一、立项背景及意义

黄河中游河口镇至龙门区间是黄河中游三大暴雨洪水来源区之一^[1],也是黄河泥沙、特别是粗泥沙的主要来源区。黄河中游 7.86 万 km² 的多沙粗沙区,有 76.2% 的面积在河龙区间^[2],黄河中游 1.88 万 km² 的粗泥沙集中来源区全部在该区^[3]。由于该区严重的水土流失,带来大量的入黄泥沙、特别是粗颗粒泥沙,使得泥沙淤积问题成为黄河治理的症结和关键所在。

河龙区间流域面积 11.16 万 km²,仅占黄河流域面积的 14.8%,该区产生的径流量为 73.7 亿 m³ (1950 ~ 1969 年),仅占黄河河川径流量(580 亿 m³) 的 12.7%,同期产生的悬移质输沙量为 9.94 亿 t,占到同期龙门、华县、河津和淤头四站输沙量之和(17.43 亿 t) 的 57.0%,粒径大于等于 0.05 mm 和 0.1 mm 的粗泥沙分别为 3.14 亿 t 和 0.92 亿 t,分别占四站之和(4.56 亿 t 和 1.27 亿 t) 的 68.9% 和 72.4% (见表 1-1),可以看出,该区在黄河流域所占面积较小,来水量也不多,而泥沙却不少,特别是粗泥沙更突出。早在 20 世纪 50、60 年代,钱宁教授根据下游河床淤积物分析发现,淤积在黄河下游河槽中的泥沙,绝大部分是粒径大于等于 0.05 mm 的粗泥沙,他根据 1950 年 7 月 ~ 1960 年 6 月的水沙资料分析后指出:“这些粗泥沙主要来自黄河中游粗泥沙区,该区位于河口镇至无定河口区间和白于山河源区,由这个地区产生的洪水使下游河道发生强烈的淤积,洪峰期平均每天淤积强度达 3 000 万 t,并造成了近 60% 的淤积量”^[4]。王玲等根据 1950 ~ 1984 年进入黄河下游的 298 场洪水分析指出,“在 298 场洪水中,淤积量大于 1 亿 t 者只占 1/10,而这些洪水中泥沙主要来自河口镇至龙门区间的粗颗粒泥沙来源区。集中治理粗沙区,减少粗颗粒泥沙入黄,缓减黄河下游淤积的方案是完全可行的”^[5]。这足以看出,河龙区间的洪水泥沙对下游河道淤积危害是十分严重的。

沙随洪水来,沙随洪水去,从多年平均来看,这在黄河中游原生地貌上是肯定的,特别是在多年平均泥沙输移比接近 1 的地区更是如此。但随着水利水土保持工作的开展,下垫面发生了一些变化,坡面工程和沟道工程的拦截作用是不能被忽视的。1950 年以来,黄河中游开展了大规模的水土保持工作,河龙区间水沙来量自 20 世纪 70 年代以来开始减少,与 1950 ~ 1969 年平均值相比,20 世纪 70 年代、80 年代、90 年代和 2000 ~ 2005 年河龙区间年均径流量分别减少了 19.6 亿 m³、36.6 亿 m³、32.1 亿 m³ 和 44.9 亿 m³,年均输沙量分别减少了 2.40 亿 t、6.22 亿 t、5.23 亿 t 和 7.99 亿 t。目前,本区已完成的水土保持措施数量大、种类多;尤其是 1982 年该区的无定河、皇甫川、三川河被国家列入重点治理区以来,水土保持治理工作进展迅速,无论是治理进度,还是治理的质量和水土保持措施的保存率,都有很

表 1-1 黄河中游实测径流、泥沙特征统计

站(区)名	项目	单位	1950 ~ 1969	1970 ~ 1979	1980 ~ 1989	1990 ~ 1999	2000 ~ 2005	1950 ~ 1979	1980 ~ 2005	1970 ~ 2005	1950 ~ 2005
河口镇	年径流量	亿 m ³	255.24	230.52	238.66	156.73	128.27	247.00	181.67	195.24	216.67
	年输沙量	亿 t	1.66	1.14	0.98	0.41	0.28	1.49	0.60	0.75	1.07
	≥0.05 mm 粗泥沙量	亿 t	0.26	0.18	0.21	0.07	0.03	0.23	0.12	0.13	0.18
	≥0.10 mm 粗泥沙量	亿 t	0.06	0.02	0.08	0.02	0.01	0.05	0.04	0.04	0.04
龙门	年径流量	亿 m ³	328.91	284.57	275.78	198.28	157.11	314.13	218.59	236.92	269.77
	年输沙量	亿 t	11.60	8.68	4.70	5.12	2.23	10.63	4.29	5.51	7.69
	≥0.05 mm 粗泥沙量	亿 t	3.40	2.41	1.22	1.33	0.54	3.07	1.10	1.47	2.16
	≥0.10 mm 粗泥沙量	亿 t	0.98	0.76	0.30	0.26	0.20	0.90	0.26	0.40	0.61
华县	年径流量	亿 m ³	90.85	59.41	79.13	43.79	49.91	80.37	59.15	59.22	70.72
	年输沙量	亿 t	4.32	3.84	2.76	2.76	1.81	4.16	2.54	2.90	3.41
	≥0.05 mm 粗泥沙量	亿 t	0.56	0.43	0.31	0.49	0.49	0.51	0.42	0.42	0.47
	≥0.10 mm 粗泥沙量	亿 t	0.11	0.11	0.04	0.07	0.08	0.11	0.06	0.07	0.09
河津	年径流量	亿 m ³	17.71	10.37	6.65	5.08	3.56	15.26	5.40	6.82	10.78
	年输沙量	亿 t	0.52	0.19	0.05	0.03	0.00	0.41	0.03	0.07	0.23
	≥0.05 mm 粗泥沙量	亿 t	0.08	0.03	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00	0.01	0.03
	≥0.10 mm 粗泥沙量	亿 t	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01

续表 1-1

站(区)名	项目	单位	1950 ~ 1969	1970 ~ 1979	1980 ~ 1989	1990 ~ 1999	2000 ~ 2005	1950 ~ 1979	1980 ~ 2005	1970 ~ 2005	1950 ~ 2005
湫头	年径流量	亿 m ³	8.42	8.35	9.21	7.11	7.23	8.40	7.94	8.06	8.19
	年输沙量	亿 t	0.98	0.89	0.50	0.89	0.35	0.95	0.62	0.69	0.80
	≥0.05 mm 粗泥沙量	亿 t	0.53	0.49	0.26	0.47	0.18	0.51	0.32	0.37	0.43
	≥0.10 mm 粗泥沙量	亿 t	0.17	0.19	0.10	0.17	0.07	0.17	0.12	0.14	0.15
河口镇 — 龙门	年径流量	亿 m ³	73.7	54.1	37.1	41.6	28.8	67.1	36.9	41.7	53.1
	年输沙量	亿 t	9.94	7.54	3.72	4.71	1.95	9.14	3.69	4.76	6.61
	≥0.05 mm 粗泥沙量	亿 t	3.14	2.23	1.01	1.25	0.51	2.84	0.99	1.33	1.98
	≥0.10 mm 粗泥沙量	亿 t	0.92	0.73	0.22	0.24	0.20	0.86	0.22	0.36	0.56
龙华河湫 之和(四站)	年径流量	亿 m ³	445.9	362.7	370.8	254.3	217.8	418.2	291.1	311.0	359.5
	年输沙量	亿 t	17.4	13.6	8.00	8.81	4.39	16.15	7.48	9.18	12.13
	≥0.05 mm 粗泥沙量	亿 t	4.56	3.36	1.80	2.29	1.21	4.16	1.85	2.27	3.09
	≥0.10 mm 粗泥沙量	亿 t	1.27	1.05	0.44	0.49	0.35	1.19	0.44	0.61	0.85
河口镇—龙门 四站	年径流量	%	16.5	14.9	10.0	16.3	13.2	16.1	12.7	13.4	14.8
	年输沙量	%	57.0	55.5	46.5	53.5	44.5	56.6	49.4	51.9	54.5
	≥0.05 mm 粗泥沙量	%	68.9	66.5	56.2	54.7	42.1	68.2	53.3	58.7	64.1
	≥0.10 mm 粗泥沙量	%	73.0	69.5	49.8	48.7	55.4	72.3	50.4	59.6	66.0

大提高。户包小流域治理呈现出千家万户治理千沟万壑的新局面,方兴未艾;“四荒”地(荒山、荒坡、荒沟、荒滩)的拍卖,更进一步调动了广大人民群众进行水土保持治理工作的积极性。20世纪80年代以来黄河中游实测水沙锐减,应该说水土保持功不可没。

同时,我们在分析计算中也发现,河龙区间实测径流、泥沙的减少与降雨量的减少并非同步,河龙区间年降水量1970年以后较1969年前年平均减少10.2%~15.5%,而实测径流年平均减少26.6%~60.9%,实测输沙量年平均减少24.1%~80.4%,大于等于0.05 mm的粗泥沙减少更多,达29.8%~84.0%,这是由于黄河中游、特别是河龙区间的各支流,径流大多由暴雨洪水产生,泥沙更是如此,要进一步揭示近期径流和泥沙比降雨减少更剧烈,必须进行场次暴雨洪水泥沙研究。

因此,研究本区水土保持措施的减水减沙作用,分析黄河中游水沙变化原因,对治黄研究和宏观决策,多沙粗沙区水土流失的防治和生态环境的改善,指导这一地区的开发建设和人类活动,正确认识黄河流域水土保持工作的地位和作用,减轻下游河道淤积,均具有重要的现实意义。前面已说到,黄河中游河龙区间既是黄河中游三大暴雨洪水来源区之一,又是黄河泥沙、特别是粗泥沙的主要来源区。根据黄河的水沙特点,黄河水利委员会(以下简称黄委)提出了“构建黄河水沙调控体系工程”建设。要使黄河水沙调控体系工程能够正常运行,水沙预报是基础之一,要做好黄河水沙预报,中游河龙区间是重点地区之一,而河龙区间暴雨洪水泥沙关系研究又是该区水沙预报的基础。

做好河龙区间暴雨洪水泥沙关系研究,不仅是洪水泥沙预报的需要,也是黄河中游多沙粗沙区、特别是粗泥沙集中来源区水土流失基本规律研究、模型黄土高原建设和水土流失治理规划的需要,同时通过对这一特殊地区暴雨洪水泥沙的研究,还可丰富土壤侵蚀、水文泥沙、水土保持等学科内容,对促进相应学科的发展亦具有重要的科学意义。

在“十一五”国家科技支撑计划项目“黄河健康修复关键技术研究”中,设置了8个课题,课题一是“黄河流域水沙变化情势研究”,其中第五专题是“黄河中游河口镇至龙门区间水利水保工程对暴雨洪水泥沙影响研究”。由此说明,黄河中游河龙区间水利水保工程对暴雨洪水的影响研究已引起高层专家和管理者的关注。

二、河龙区间暴雨洪水相关研究成果简介

河龙区间暴雨洪水相关研究成果较多,主要有水文部门水文年鉴刊印的调查研究,黄河勘测规划设计有限公司的研究,黄河水沙变化研究以及高校和科研院所的研究,现根据我们的收集简要介绍如下。

(一)水文年鉴刊印的调查研究

水文年鉴刊印说明中指出:若某测区干支流发生大洪水,水文部门将进行暴雨洪水调查及初步分析研究,并在水文年鉴刊印中进行必要的分析说明,以备深入分析使用。

(1)1970年8月2日佳芦河申家湾站特大洪水^①。这是由于佳芦河流域普降大暴雨,流域平均降雨量达127 mm。暴雨中心在王家砭,7月31日20时~8月1日2时降雨量62.0 mm,使得坝库均有较多蓄水,紧接着8月1日2:00~8:00降雨70.4 mm,14:00~20:00降雨40.5 mm,8月2日2:00~8:00又降雨69.0 mm,因而形成8月2日6.4时佳芦河申

① 水文年鉴:黄河流域水文资料(1970年第三册).水利部黄河水利委员会印,1972。

家湾站发生 $5\,770\text{ m}^3/\text{s}$ 的特大洪水。

据年鉴记载：“1970 年 8 月 1~2 日暴雨，佳县境内（占佳芦河流域面积的 80% 以上）冲毁了淤地面积 2 hm^2 以上的淤地坝 22 座和蓄水量 1 万 m^3 以上的蓄水淤地坝 2 座，其中方坍乡王家湾蓄水坝（流域面积 13.3 km^2 ，库容 73.5 万 m^3 ），暴雨前蓄水约 8 万 m^3 ，7 月 31 日至 8 月 1 日凌晨，该处降暴雨 100 多毫米，库内水位猛增 16 m ，8 月 2 日再降暴雨，库满（推估其蓄水量约 100 万 m^3 ）洪水漫顶下泄，大坝整个溃决，以 10 m 高水头奔泻而下与佳芦河洪水相遇。另据调查，这次洪水佳县境内共冲毁水地 80 hm^2 ，淤地坝 248 座，滚水坝 7 座，是形成该年佳芦河历史特大洪水（申家湾站最大流量 $5\,770\text{ m}^3/\text{s}$ ）的因素之一”。年鉴上描述的水情是：“这次暴雨于 7 月 31 日 13 时在无定河与佳芦河分水岭附近的余新庄、清泉寺、兴隆寺一带起雨。3 至 5 小时后，雨区扩大至整个佳芦河流域。8 月 1 日 0 时开始在佳芦河右岸大支流五女川上游的清泉寺、兴隆寺和佳芦河中游的方坍、王家砭、朱官寨、金明寺、西山一带形成暴雨中心，降水 4 至 5 小时，降水量达 100 mm 以上。兴隆寺一带并降大冰雹，一般直径在 5 cm 以上，据群众讲，当时地上、河里冰雹铺了厚厚一层。金明寺一带，大部分淤地坝被山洪推脱。8 月 1 日白天暴雨区缓慢向通镇、刘家山一带移动。8 月 2 日 0 时以后，在上述地区形成特大暴雨区。据王家砭雨量站记载，7 月 31 日至 8 月 2 日共降水 242.5 mm ，金明寺雨量站（因记载欠准未刊印）共降水 306 mm 。据群众说，这是近几十年来未见过的特大暴雨。”

(2) 1977 年 8 月 2 日孤山川高石崖特大洪水。这是由于孤山川流域自西向东普降大暴雨所致，孤山川新庙雨量站 8 月 1 日 21.5 时~2 日 2 时降雨 42.0 mm ，2 日 2 时至 7 时降雨 170.0 mm 。据年鉴记载^①“内蒙古自治区什拉淖海 8 月 1、2 日的暴雨向东北伸向孤山川河流域，在这个流域内形成两个暴雨中心，三道川和木瓜川乡雨量分别为 210 mm 及 205 mm ，自 1 日 2 时至 8 时为一次降水，但雨量不大，从 2 日零时前后至 8 时前后 8 小时降水量达 150 mm ，这次暴雨的特点是暴雨中心在孤山川河流域的中上游，雨强大、分布均匀，全流域平均雨量为 144 mm 。暴雨走向基本上是从上游到下游，有利于暴洪汇流集中，加上垮坝流量，造成高石崖站 8 月 2 日 8.8 时出现洪峰流量达 $10\,300\text{ m}^3/\text{s}$ 的特大洪水，洪峰流量模数竟达 $8.2\text{ m}^3/(\text{s} \cdot \text{km}^2)$ 。据木瓜、新民、孤山、三道沟四个乡不完全统计，共有大小库坝 600 多座，被这次洪水冲垮的就有 500 多座，以木瓜乡最为严重，498 座库坝中，就有 491 座溃决，5 座百万立方米以上的水库被冲垮，造成严重的洪水灾害”。

(3) 1977 年 7 月 6 日延河洪水。“1977 年 7 月 5 日至 6 日，志丹、安塞、子长等县发生了特大暴雨。这次暴雨的范围很大，涉及四川、甘肃、宁夏、陕西、山西等省区，在陕西境内雨量大于 100 mm 的范围达 $9\,000$ 多 km^2 ，在延河流域甘谷驿以上平均降水量为 90.6 mm 。暴雨中心在陕西省安塞县招安乡王庄村，调查的 9 小时（5 日 20 时至 6 日 5 时）雨量为 310 mm ，王庄距招安雨量站约 2.5 km ，招安 5 日 2 时 55 分至 20 时观测雨量为 99.4 mm ，若将招安 5 日 20 时以前的雨量移植到王庄，则王庄 24 小时降水量接近 400 mm ”。

这次雨量之大、持续时间之长、笼罩面积之广，均为实测最大记录。暴雨过程从 5 日凌晨至 6 日凌晨有三个降雨时段，第一段是在 5 日 2 时至 14 时，暴雨中心带的雨量为 $60\sim 90\text{ mm}$ ；第二段 14 时至 23 时，雨量较小；第三段 23 时至 6 日 8 时，暴雨中心带的雨量为 $90\sim$

① 水文年鉴·黄河流域水文资料（1977 年第三册）. 水利部黄河水利委员会印，1980。

310 mm,整个降雨过程历时约 30 h。在第一段降雨后,延安、甘谷驿两水文站发生了 7 月 5 日 1 000 多 m^3/s 的洪峰流量,最后一段降雨强度最大,历时最长。暴雨中心由西南向东北方向移动,持续在延河的中上游。加上延河上中游干支流雨量大、分布均匀,前两段降雨后土壤较湿润,因而出现了延河自 1800 年以来的特大洪水。

洪水组成:延安水文站 7 月 6 日最大洪峰流量为 $7\,200\text{ m}^3/\text{s}$,甘谷驿水文站为 $9\,050\text{ m}^3/\text{s}$ 。这次洪水主要是暴雨大造成的,小型库坝的溃决对洪峰流量影响不大。这次洪水冲毁 100 万 m^3 以上的库坝 9 座,占 100 万 m^3 以上库坝的 9%;冲毁 10 万 m^3 以上的库坝 99 座,占 10 万 m^3 以上坝库的 41%;冲毁 10 万 m^3 以下的库坝 3 400 多座,占 10 万 m^3 以下坝库的 69%。因库坝溃决时间先后不一,洪峰流量增加不大。王瑶水库控制延河流域面积的 1/5,这次拦蓄洪水 2 543 万 m^3 ,对削减洪峰起到一定的作用。

由上看出,年鉴刊印中仅作暴雨洪水和水毁情况介绍,还缺少必要的深入分析,但为今后的进一步分析奠定了较好的基础。

(二)黄河勘测规划设计有限公司的有关研究

黄河勘测规划设计有限公司的研究人员对黄河流域的暴雨洪水进行过大量研究;曾出版过《黄河流域暴雨与洪水》^[6]和《黄河流域暴雨洪水与环境变化影响研究》^[7]等。

第一本专著《黄河流域暴雨与洪水》:该书全面地反映了黄河勘测规划设计有限公司近几十年来在黄河流域暴雨与洪水方面的研究成果,内容包括暴雨特性、洪水特性、历史洪水、频率洪水和可能最大暴雨与可能最大洪水。但该专著对河龙区间以及河龙区间支流的研究较少。

第二本专著《黄河流域暴雨洪水与环境变化影响研究》:该书集中反映了黄河勘测规划设计有限公司数十年来在黄河暴雨洪水研究方面的经验与成果。从黄河上、中、下游系统地论述了黄河流域各分区的暴雨、洪水特性,系统地概括了黄河流域不同地区暴雨洪水形成的气象成因条件、地形地貌条件及产汇流特性。研究了场次暴雨洪水特性,明清以来黄河流域历史暴雨特性,黄河中游暴雨、洪水的分期特性,还汇集了小浪底古洪水研究及环境变化对暴雨、洪水的影响等研究成果,提出了不少具有重要实用价值的规律性总结。例如:

(1)对三门峡 1843 年洪水、三花间(三门峡至花园口区间,下同)1761 年等特大暴雨洪水定性、定量特性的揭示。

(2)黄河洪水主要由大面积日暴雨和大面积强连阴雨两类不同的降水过程形成。就这两类过程雨强、降雨量级、落区规律,以及由此形成的黄河上游洪水及中游三大洪水来源区的洪水特性、洪水地区组成、洪水遭遇规律进行了总结。

(3)对各分区产汇流条件与洪水时空分布特性进行系统归纳。对龙潼(龙门至潼关,下同)河段、伊洛河夹滩(洛龙黑区间)滞洪削峰作用进行深入研究,提出了一些重要的结论。研究归纳了黄河下游河道冲淤特性,洪水演进规律及两者的关系,并简要分析了近年来它们的新特点和变化趋势。

(4)总结了黄河流域暴雨季节变化及其成因分析,系统地归纳了黄河中游主要干流控制站洪水峰、量组成关系的差别与洪水分期点的选择。

(5)对自明清数百年来黄河流域暴雨洪水的季节变化规律与现今基本一致,但异常暴雨洪水的发生时间比实测系列的发生时间在起讫期间内要更长些的认识。

(6)揭示了黄河洪水过程中,泥沙比洪水更为集中的特点,以及洪水过程中输沙过程特

点,揭示了中游干流河道洪水期“揭河底”等黄河特有的现象。

(7)针对人类活动对洪水影响的敏感问题开展了工作,重点解剖了龙羊峡、刘家峡、陆浑和故县水库对其下游控制站实测与设计洪水影响,以及小花间(小浪底至花园口区间,下同)现今大中小型水库及水保工程等人类活动对洪水的影响。研究成果表明,黄河流域的大型防洪水库对黄河洪水起到了较好的控制作用,中小型水库及水土保持工程对中常洪水有一定影响,但对大洪水影响不大。

该书为正确认识黄河的暴雨洪水规律提供了宝贵的资料,为黄河流域规划、工程设计及有关研究提供了科学依据。

该专著对黄河中游河口镇至三门峡区间洪水特性从产流汇流和洪水特性两方面进行了分析,由于该专著是一部全河性的研究成果,对河龙区间的支流涉及也较少。

(三)黄河水沙变化研究基金(I)

1990年熊贵枢、吴燮中、张德馨等进行过“黄河河口镇至龙门区间暴雨、洪水统计资料的分析”^{①[8,9]}。由于河龙区间比较配套的水文泥沙观测资料是从1956年开始的,因此选用1956~1989年资料进行分析,分析的方法是各年选一次最大的暴雨绘制暴雨等深线图,并计算该次暴雨在河龙(河口镇至龙门,下同)区间产生的洪峰、洪量及输沙量。步骤如下:

(1)根据支流出现的洪峰对应选取产流降雨的时段。大支流出口站洪水起涨前6~8小时开始的降雨多为产生该次洪水的降雨,降雨历时一般为8小时,不超过12小时,参照降雨观测时段的有关规定和降雨产流过程,选取12小时作为统计降雨的时段。

(2)根据暴雨时段确定黄河龙门站的相应洪水,并绘出流量、输沙率过程线,进行分析。

作者在结语中认为:“河龙区间来沙多,水库及水土保持工程多,历来受人注意,本课题主要是对暴雨资料进行分析,也统计出对应洪水泥沙资料,算是做些基础工作”。该研究在绘制的33张暴雨等值线图中,暴雨摘录时段长是严格按12小时控制的,并且在区域上是以河龙区间为研究对象,没有进一步涉及入黄支流。

(四)黄河水沙变化研究基金(II)

同在第一期黄河水沙变化研究基金项目中,韩曼华、顾文书进行过“黄河河龙区间与泾、洛、渭地区暴雨与产水、产沙关系的初步分析”。通过他们的研究,得到了一些宏观的认识。

(1)黄河中游暴雨按其位置和分布形式可分为纬向类、斜向类和经向类。纬向类暴雨出现次数最多,在河龙区间有偏北、偏中和偏南三种情况,偏北型暴雨较偏中型或偏南型暴雨雨区范围略小,暴雨强度大。斜向类(西南东北向)暴雨一般面积大,可以有几个暴雨中心,雨区可自渭河、泾河、北洛河中上游延伸到河龙区间的无定河、清涧河、延河、佳芦河一带,使黄河和泾、洛、渭的洪水、泥沙遭遇。该类型特大暴雨是造成三门峡大水大沙的主要来源,陕县1843年历史特大洪水和1933年8月实测最大洪水都是这种类型暴雨造成的。

(2)黄河中游暴雨洪水按其来水来沙条件可以分成三种情况:一种是大水大沙,其特点是一年内暴雨次数多,雨区面积大,而强度不特别大,可用1967年代表;第二种是年径流量中等而输沙量很大,含沙量很高,即中水大沙,其特点是由一年内少数几次雨区面积较大,暴

① 熊贵枢,吴燮中,张德馨,等.黄河河口镇至龙门区间暴雨、洪水统计资料的分析.黄河水资源保护科学研究所,1990年11月。

雨强度特大所造成,含沙量特别高,可用 1977 年来代表;第三种是年径流量和输沙量偏枯,但一次降雨强度大,范围相当广,次洪水的输沙量和含沙量很高,可造成局部地区或少数河流相当大的洪水和输沙量,但河龙区间的总产沙量不大,可用 1989 年来代表。

(3)影响暴雨产水产沙关系的因素很多,主要因素是有效雨量、雨强和下垫面情况(不同产流方式)。此外,在特殊情况下龙门、华县和北洛河朝邑河段的严重河床揭底,较大规模的垮坝和干支流相互严重顶托也可造成一定影响。

但他们对暴雨的摘录时段是按 3 天控制的,有的甚至有所放宽,在洪水选择上仅涉及 13 年,水沙关系的分析也是以区间或大支流为基本单元^[10]。

(五)黄河水沙变化研究基金(Ⅲ)

在第二期黄河水沙变化研究基金项目中,钱意颖、徐明权、戴明英等对“黄河中游河口镇至潼关地区水利水土保持工程对洪水的影响”进行了分析,其研究时段为 1935 ~ 1996 年,涉及其中的 22 年共 32 场洪水。他们对暴雨的摘录时段长基本上与韩曼华、顾文书的研究一致,但对河龙区间一些支流的最大一日降雨量和时段平均降雨量与洪峰模数或洪量模数关系进行了分析^[11],得出了比前面分析更深入的认识。

(1)根据黄河中游地区 32 次 $10\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 以上的洪水统计结果,潼关的洪峰流量主要来自河口镇至龙门区间。该地区自北向南,降雨、地貌、植被等条件差别很大。洪水来源和组成可分为四种情况,即吴堡以下来水为主、吴堡上下来水为主、吴堡以上来水为主和完全由吴堡以上来水。后两种来水情况的主要区别是:当前者来水为主时,吴堡至龙门的洪峰流量沿程增加,当后者来水为主时,由于吴堡以下来水极少,吴堡至龙门的洪峰流量沿程减少。河口镇至龙门区间来的四种洪水与黄河上游来水遭遇时,上游来的流量一般为 $1\,000 \sim 2\,000\text{ m}^3/\text{s}$,组成中游洪水的基流;与泾、洛、渭、汾诸河来水可能遭遇,也不完全都遭遇,一般说来,泾、洛、渭河来水与吴堡以下和吴堡上下来水为主的洪水遭遇机会较多,而汾河来水与吴堡以上来水的两种情况遭遇的机会也较多。在河口镇至龙门区间来的四种洪水中,吴堡以上来水为主和完全由吴堡以上来水的洪水出现次数较多,分别占 32 次洪水的 40.6% 和 34.4%;吴堡以下来水为主和吴堡上下来水为主的洪水出现次数较少,各占 32 次洪水的 12.5%。洪水量主要来自黄河上游,洪峰水量和 12 天洪量分别占潼关水量的 35.9% 和 50.1%;其次为河口镇至吴堡区间,分别占 32.1% 和 17.0%;再次为渭河、吴堡至龙门区间、汾河和北洛河。渭河华县的洪水主要来自咸阳和张家山,两处来的洪峰流量和出现的洪水次数基本相等,洪峰水量则咸阳较多,约为张家山的 2 倍。不过,以张家山来水为主时,张家山的洪峰水量较咸阳约大 30%;以咸阳来水为主时,咸阳的洪峰水量约为张家山的 4 倍。

(2)黄河中游地区的暴雨分布特点,在河口镇至龙门区间来的洪水与泾、洛、渭河来的洪水遭遇时,暴雨分布一般为西南东北向,如果河口镇至龙门区间的暴雨降落在吴堡以下及其附近,则泾、洛、渭河均可能出现较大的洪水与干流洪水遭遇,从而组成潼关的洪峰流量也大;如果暴雨降落在吴堡以上,泾、渭河也可能出现暴雨,华县出现较大的洪峰,但吴堡至龙门区间的降雨分布偏西,仅一些大支流可能来水,但洪峰流量不大,甚至其来量还小于干流洪水演进时的槽蓄量,从而出现吴堡以下的削峰现象。河口镇至龙门区间单独来水时,暴雨分布一般为东西向(或略偏北)。这两类暴雨在河龙区间降落的位置不同,形成了上述四种洪水的来源和组成情况。在吴堡以下来水为主的情况下,洪水主要来自无定河、清涧河和延河,其次为屈产河、三川河、昕水河及吴堡以上的湫水河;吴堡上下来水为主时,洪水主要来

自无定河、三川河、清涧河、湫水河、佳芦河、窟野河和皇甫川;吴堡以上来水为主和完全由吴堡以上来水时,洪水主要来自窟野河,其次是皇甫川和孤山川,红河、岚漪河、秃尾河和佳芦河也有较大的洪水。

(3)黄河流域各地区治理开发程度不一,采用的水利水保措施也不同,对洪水影响的作用差别很大。黄河上游由于龙羊峡、刘家峡两个大水库的调节和大型灌溉工程的引水,使河口镇的洪峰流量和水量均有较大的减少。如在刘家峡水库投入运用前,河口镇洪峰流量的平均值约为 $2\,000\text{ m}^3/\text{s}$,洪水量大致与河口镇至龙门区间的来水量相等,12 天洪量则约大 1 倍;刘家峡水库投入运用后,河口镇的洪峰流量和洪水量减少约一半,从而减少中游洪水的基流,并对洪水演进中的削峰作用也有一定的影响。河口镇至龙门区间诸支流中,无定河和三川河的治理度较高,洪水有明显的降低;佳芦河和清涧河也有一定的影响,但不稳定,有少数洪水与治理前一致;其他一些支流,特别是窟野河、皇甫川、孤山川等支流的洪峰流量大,出现次数多,目前还看不出水利水保工程对洪水的影响。通过河口镇至龙门区间的暴雨洪水分析,在相同降雨条件下,1970 年以后,吴堡上下及吴堡以下来水为主的洪水较 1970 年前的洪水减少约 10%,吴堡以上来水为主的洪水没有减少。龙门至潼关诸支流,汾河流域和渭河关中地区工农业发达,兴建了许多大中型水库和灌溉工程,面上的治理度也较高,水沙有明显的减少;经分析,渭河上游(北道以上)在中等暴雨(降雨量 40 mm)情况下,治理后的洪水有明显的减少,由此咸阳站洪水明显减少,其减少程度随着降雨量的增大而减少;泾河流域各地区的治理情况不同,洪德至庆阳区间在降雨量 $30\sim 60\text{ mm}$ 时,洪水有减少的趋势,其他地区看不出明显的变化,所以对张家山的洪水影响也不大;北洛河从暴雨与洪水关系还看不出明显的变化,但其洪水大多来自刘家河以上,洪峰尖瘦,沿程洪峰流量削减很大。水沙条件变化引起冲积河床自动调整和平滩流量降低,使削峰作用增大。如龙门至三门峡河段,在三门峡水库投入运用初期,水库严重淤积,平滩流量降低,使龙门至潼关河段洪峰流量削减率由 18.6% 增加到 52%,1986 年以来,来水少,平滩流量又降低,削峰率由 1986 年前的 14.6% 增加到 26%。这种情况在汾河下游和渭河下游更为严重。

(4)从水利水保工程对洪水的影响来说,干流大型水库对水沙的调节作用大,对洪水的影响也大;支流小型水利工程和各种水保措施,数量多,工程标准低,并且治理中往往都是以一种措施为主,结合其他措施综合治理,通过支流分析结果,治理度要达 30%~40%,对洪水才有比较明显的影响,洪水减少约 20%;从小流域对比观测资料分析结果,在治理度达到 60% 以上,对洪水的影响有明显的提高,洪水减少约 50%。当遇到大暴雨,有些工程被冲毁,在被毁工程的下游,洪水增大,但这种洪水在传递过程中衰减较快,从现有资料(32 次洪水)分析表明,吴堡至龙门河段的影响比较大,龙门至潼关河段影响比较小。

(六)王万忠、焦菊英的研究

王万忠、焦菊英在《黄土高原降雨侵蚀产沙与黄河输沙》^[12]一书中,对黄土高原水土流失区降雨侵蚀产沙与黄河输沙的时空分布特征、变化规律以及相互间的关系进行了系统研究。主要包括:降雨特征与降雨侵蚀力、中小流域降雨分布的不均匀性与点面关系、侵蚀产沙的区域分异与年际变化、不同空间尺度的雨沙关系、黄河泥沙的变化特征及趋势分析等。

该书作者十分注意降雨对泥沙的影响,并用降雨侵蚀力来反映,绘制了黄土高原降雨侵蚀力等值线图,这对黄土高原水土流失研究起到了很大的推动作用。

我们认为,降雨侵蚀力在一定程度上可以反映降雨的侵蚀能力,但不一定是最好的指

标。这是因为,降雨侵蚀力是各站独立计算的,并非面上场次暴雨的概念,且在每一场降雨都是倒“V”字形分布,其底宽(降雨时长)基本成比例时,指标意义是很强的,而实际的降雨分布既有倒“V”字形,又有很多是呈倒“U”字形,其底宽(降雨时长)各次差别也是很大的,在这种情况下用降雨侵蚀力来作为指标反映降雨的作用可能还是有限的,并且降雨侵蚀力中降雨能量的计算也十分复杂,不易推广。

(七) 黄河防洪规划研究

1999年在黄河防洪规划项目中,黄河水文水资源科学研究院承担了“河龙区间水利水电工程对暴雨洪水的影响”专题,该研究以河龙区间入黄支流为空间单元,以场次暴雨洪水为对象开展研究,但由于时间紧,对次暴雨不是严格按次摘录的,而是根据洪水过程选择一日或多日日雨量之和,对暴雨中心进行了雨强分析,应该说也是很粗的。通过这次研究,得出河龙区间现有水利水电工程对中小暴雨洪水是有作用的,对大暴雨洪水影响不明显的定性结论,这一结论已在规划中采用^[13]。

(八) 其他研究

对黄河中游河龙区间暴雨洪水的研究还有很多,具体的支流研究就更多,其中比较有影响的研究成果也很多。如胡汝南的《从陕北“84·7”暴雨的产流产沙看水土保持削洪减沙效益》,该文根据1984年7月9日8时至11日8时在黄河中游晋陕区间的降雨量认为,这是1950年以来仅次于1977年的一次强降雨,而这次暴雨产流产沙很少,认为是水土保持治理面积较大的作用^[14],这一结论引起了当时黄委主任王化云的关注。但此分析对这场降雨的雨强不大这一因素考虑不够。

周明衍的降水指标法^[15]和董雪娜的分级日降雨量多元回归法^[9]在分析降雨产沙关系时都注意到了暴雨的影响,但他们用的是日降雨,并且也不是同日降雨,所以没有场次降雨的概念。

另外,谢树楠、张仁、王孟楼在“黄河中游黄土丘陵沟壑区暴雨产沙模型的研究”^[16],王孟楼、张仁在“陕北岔巴沟流域次暴雨产沙模型的研究”^[17]中,从模型模拟方面也做了大量工作。

三、研究目标及内容

(一) 研究目标

由于降雨的局部性和暴雨中心的多变性,又加上下垫面的复杂变化,用大面积的降雨径流输沙来建立关系难以分析水利水电工程对暴雨洪水的影响。本项目划小了研究单元,以支流水文站控制面积为基本单元,通过分析次洪暴雨的时空分布规律和流域下垫面状况对流域暴雨洪水的影响,建立暴雨洪水泥沙关系,分析水利水电工程对暴雨洪水泥沙的影响程度。

(二) 研究内容

研究内容主要有六个方面:一是河龙区间降雨变化分析,二是暴雨、洪水、泥沙基本资料的处理,三是河龙区间各支流水沙变化突变点分析,四是各支流暴雨洪水、泥沙关系分析,五是水利水电工程对暴雨洪水、泥沙的影响分析,六是龙门洪峰大于 $10\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 暴雨洪水分析,其研究内容见图1-1。