

渭河

下游泥沙冲淤及洪水演进 数学模拟研究

杨方社 王新宏/著

WEIHE XIAYOU NISHA
CHONGYU JI
HONGSHUI YANJIN
SHUXUE MONI YANJIU

中国环境出版社

感谢陕西省重点科技创新团队计划项目(2014KCT-27)、
西北大学地理学院陕西省重点学科建设项目及国家自然科学基金
基金项目(51279163)对本书的资助。

WEIHE XIAYOU NISHA CHONGYU JI
HONGSHUI YANJIN
SHUXUE MONI YANJIU

内容简介

近些年来,渭河下游洪水呈现出小水酿大灾的特点,连年引发小流量、高水位洪水,造成多次漫溢、局部堤防决口的洪涝灾害。渭河下游河床淤积萎缩,堤岸临背差加大,极大地降低了两岸堤防的防洪能力,严重威胁着渭河下游两岸人民群众的生命财产安全,阻碍了渭河下游两岸社会经济发展。

本书以实测资料为基础,分析了三门峡建库前、后潼关高程变化以及渭河下游河道的冲淤演变,并对不同流量级洪水水位的变化、洪峰传播时间和洪峰流量沿程变化特性等进行了研究。应用一维水沙数学模型对典型场次洪水演进过程进行了数学模拟,并对不同系列水沙条件作用下潼关高程对渭河下游泥沙冲淤过程的影响进行了模拟,分析了不同潼关高程控制下,渭河下游河道的泥沙冲淤过程及对洪水水位的影响。

本书可为水力学、河流泥沙动力学、水利工程及治河工程等专业领域的科技工作者及研究生提供参考与借鉴。

ISBN 978-7-5111-2266-7



定价: 45.00 元

渭河下游泥沙冲淤及 洪水演进数学模拟研究

杨方社 王新宏 著

中国环境出版社·北京

图书在版编目(CIP)数据

渭河下游泥沙冲淤及洪水演进数学模拟研究/杨方社, 王新宏著. —北京: 中国环境出版社, 2015.2

ISBN 978-7-5111-2266-7

I. ①渭… II. ①杨…②王… III. ①渭河—下游—泥沙冲淤—数学模型—研究②渭河—下游—洪水—数学模型—研究 IV. ①TV142②P331.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 041101 号

出版人 王新程
责任编辑 连 斌 赵楠婕
责任校对 尹 芳
封面设计 金 喆

出版发行 中国环境出版社
(100062 北京市东城区广渠门内大街 16 号)
网 址: <http://www.cesp.com.cn>
电子邮箱: bjgl@cesp.com.cn
联系电话: 010-67112765 编辑管理部
010-67110763 生态(水利水电)图书出版中心
发行热线: 010-67125803, 010-67113405 (传真)

印 刷 北京中科印刷有限公司
经 销 各地新华书店
版 次 2015 年 11 月第 1 版
印 次 2015 年 11 月第 1 次印刷
开 本 787×960 1/16
印 张 14.75
字 数 272 千字
定 价 45.00 元

【版权所有。未经许可, 请勿翻印、转载, 违者必究。】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本社更换

前 言

渭河是陕西人民的母亲河，她不仅创造了灿烂的三秦文化，而且对华夏文明的形成也做出了巨大贡献。渭河发源于甘肃省渭源县鸟鼠山，是黄河的最大一级支流，主要流经甘肃、陕西两省，流域范围主要集中在陕西省中部。渭河向东延伸至陕西省渭南市，在潼关县汇入黄河，南有东西走向的秦岭横亘，北有六盘山屏障；渭河流域西部主要是黄土丘陵沟壑区，东部主要是关中平原区。在历史上，渭河流域植被遭到严重破坏，长期乱垦滥伐，加之长期不合理的农业结构及生产方式，导致水土流失比较严重。渭河流域范围内大部分被深厚的黄土覆盖，质地疏松，且多孔隙，垂直节理发育，富含碳酸钙，易被水蚀；且多数处于黄土丘陵沟壑区，沟深坡陡，河道比降较大，虽然沟道陡峭坡面植被覆盖有所增加，但陡峭坡面的暴雨侵蚀，岸坡崩塌等重力侵蚀仍较为剧烈，水土流失的危害依然十分严重，这些使渭河成为一条“著名”的多泥沙河流。

三门峡水库的修建，以及上游不合理的来水来沙导致潼关高程抬升，从而直接影响了渭河下游泥沙冲淤及河床演变。渭河下游的泥沙淤积，据统计，至2005年已淤积泥沙量达17亿t（合13.6亿 m^3 ），渭河入黄河口的潼关高程抬升了约5m，下游河道比降由建库前的1/5 000减缓至1/10 000，溯源淤积已延伸至咸阳，临渭区以下河床已经高出地面2~4m，渭河下游河槽淤积萎缩，主槽行洪能力锐减。过去50多年内，渭河下游堤防虽经加高加固，但随着淤积的抬升，河床的防洪能力在逐年下降，据测算，目前的堤防仅能防御12年一遇的洪水，与原50

年一遇的设防标准相差甚远。由于持续严重的泥沙淤积,随着渭河下游河床的抬升,渭河下游现已变成了名副其实的地上悬河,堤岸临背差加大,大大降低了两岸堤防的防洪能力,严重威胁着渭河下游两岸人民群众的生命财产安全,阻碍了渭河下游两岸甚至于陕西东部地区的社会经济发展。

目前,渭河下游洪水呈现出小水酿大灾的特点,连年引发小流量、高水位洪水,易造成多次漫溢、局部堤防决口的洪涝灾害。例如,2003年8月24日至10月13日,由于受大范围暴雨影响,发生了自1981年以来的最大洪水,历时50天,先后出现了六次洪峰,首尾相接,洪量不断叠加,演进慢,历时长,洪水总量达到渭河1954年洪水总量的两倍多,渭河经历了历史上罕见的严重秋汛,形成了“小洪水、高水位、大灾害”的被动局面,灾害损失是惨痛的,教训是深刻的,揭露的问题是令人深思的。2005年9月17日至10月4日,陕西省又出现了历时长、范围大、高强度的持续性降雨过程,降雨使渭河流域华县站10月4日9时发生1981年以来的最大洪水,洪峰流量为 $4\,820\text{ m}^3/\text{s}$,此次洪水给渭河下游两岸及干支流沿岸带来了严重的洪涝灾害,造成了巨大的经济损失。这些洪涝灾害,又一次使渭河下游泥沙冲淤、河床演变及对洪水演进的影响等成为研究的热点问题。因此,研究渭河下游泥沙冲淤、河床变形及淤积萎缩等对洪水位的影响,对于渭河下游洪涝灾害防治及洪水预报具有重要现实意义,而且,对黄河流域其他类似河流的相关问题的研究也有重要参考价值。

本书首先对以往的研究成果进行了简要的回顾和评述。然后以实测资料为基础,分析了三门峡建库前后潼关高程的变化以及渭河下游河道的冲淤演变规律,并对不同流量级洪水位的变化、洪峰传播时间和洪峰流量沿程变化特征等进行了分析。最后应用一维水沙数学模型对典型场

次洪水演进过程进行了模拟,并对渭河下游不同水沙系列作用下,不同潼关高程对渭河下游的冲淤和洪水水位的影响进行了数值模拟计算,依据计算结果,定量回答了潼关高程变化对渭河下游河道冲淤量、冲淤部位、冲淤范围的影响及对渭河下游不同流量级洪水水位的影响。主要结果如下:①建库前渭河下游主槽处于动态冲淤平衡状态,滩地处于微淤状态;建库后,渭河下游河道发生严重淤积主要是由于潼关高程的抬升造成的;潼关高程的抬升主要是由于三门峡水库的不合理运用造成的,近期不利的水沙条件加剧了潼关河床的抬升速度和渭河下游的淤积。②渭河下游频繁发生的枯水枯沙、高含沙小洪水是造成渭河下游淤积发展的重要因素。③潼关高程抬升是渭河下游淤积发展的主要原因,近年来渭河下游河床高程抬升、主槽宽度缩窄和滩地糙率增大是影响渭河下游洪水水位抬升的主要因素。④渭河下游主槽宽度每缩窄 100 m,华县站 $3\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 流量级洪水水位抬升幅度为 $0.4\sim 0.5\text{ m}$;滩地糙率每增加 0.01,同流量级漫滩洪峰水位抬升幅度为 $0.2\sim 0.3\text{ m}$ 。渭河下游主槽过流能力减弱、断面平均流速减小、滩地糙率增大及河道比降变缓是渭河下游洪水传播时间延长的主要原因。⑤临潼到华县的洪峰传播时间与主槽过流能力成反比关系;河道比降每减小 0.01‰ ,临潼到华县的洪水传播时间将延长大约 6 h,滩地糙率每增大 0.01,临潼到华县的漫滩洪水传播时间将延长 $3\sim 4\text{ h}$ 。⑥通过实测资料回归分析,得到了临潼—华县、华县—华阴河段洪峰削峰率与主槽过流能力之间的经验关系,并分析了水沙条件、人类活动等对削峰率的影响。⑦对泥沙数学模型求解过程中的泥沙沉速计算、水流挟沙力和恢复饱和系数的取值等问题进行了探讨,在此基础上对现有的泥沙数学模型进行了改进和完善。⑧利用 1969—2001 年的实测资料对模型进行了率定和验证。结果表明,各河段计算冲淤量与实测值吻合较好。⑨利用一维水沙数学模型对渭河“3·8”洪

水进行了数学模拟。结果表明,临潼—陈村的水位过程、流量过程和沿程冲淤量等计算值与实测值吻合较好,说明本书所建立的一维水沙数学模型可应用于渭河下游洪水演进的模拟与预测。⑩用建立的一维水沙数学模型对不同水沙系列、不同潼关高程(328 m、327 m、326 m)下渭河下游的冲淤趋势和洪水水位的变化进行了预测计算,定量回答了潼关高程从328 m降至327 m(相当于潼关高程降1 m)和潼关高程从328 m降至326 m(相当于潼关高程降2 m)时,渭河下游一定年限之后各河段的减淤程度以及不同流量级洪水水位的降低幅度。

本书包括了水利部重大专题项目“潼关高程控制及三门峡水库运用方式研究(2002—2004)”子课题“渭河下游泥沙冲淤数学模拟研究”中的主要研究成果。其中第3章至第7章由王新宏、杨方社、黄修山撰写,第10章由杨方社、黄修山撰写,第11章由杨方社、王新宏撰写,其他章节均由杨方社撰写。全书由杨方社统稿,王新宏定稿。

渭河流域水沙数学模拟及洪水演进属于河流泥沙动力学研究领域,未来应该更广泛地从环境、生态与经济等不同学科进行广义研究,并从泥沙、洪水资源化的角度,协调渭河下游环境、生态与经济,这是一个从理论到实践都需要深入系统研究的课题。本书用一维水沙数学模型对渭河下游的泥沙冲淤及典型洪水演进过程进行了模拟,并分析了河床冲淤演变对洪水水位的影响,为渭河下游河道的治理提供参考依据。由于作者水平所限,书中错误与不足之处在所难免,恳请广大读者与专家批评指正。

作 者

2014年8月于西安

目 录

1	绪论	1
1.1	渭河概况	1
1.2	潼关高程问题	3
1.3	潼关高程研究现状.....	5
1.4	洪水演进研究方法简介.....	9
1.5	目前常用的研究方法.....	10
1.6	研究意义	12
2	渭河下游河床演变.....	14
2.1	三门峡建库前潼关高程及渭河下游河床演变.....	14
2.2	三门峡建库后潼关高程对渭河下游的影响.....	22
2.3	本章小结	48
3	渭河来水来沙变化特征.....	50
3.1	水沙来源及区域分配.....	50
3.2	20 世纪 60—90 年代水沙变化对比.....	51
3.3	近期水沙变化	54
3.4	洪水水沙变化	55
3.5	本章小结	57
4	渭河下游河道淤积萎缩对洪水水位的影响.....	58
4.1	渭河下游水位变化概况.....	58
4.2	渭河洪水水位抬升的影响因素.....	59
4.3	本章小结	66

5	渭河下游河道淤积萎缩对洪水传播时间的影响	67
5.1	三门峡建库后渭河下游洪水传播时间的变化概况	67
5.2	渭河下游洪水传播时间影响因素	68
5.3	本章小结	80
6	渭河下游河道淤积萎缩对洪峰变形的影响	81
6.1	建库后渭河下游洪峰削减概况	81
6.2	不同时段削峰特点	82
6.3	渭河下游洪峰削峰率的影响因素	85
6.4	渭河下游洪峰削减规律研究	89
6.5	渭河下游洪峰峰形变化特点	90
6.6	本章小结	93
7	2003 年洪水特性分析	95
7.1	2003 年洪水过程与特征	95
7.2	2003 年洪水特性分析	97
7.3	本章小结	105
8	渭河下游泥沙冲淤数学模型的建立	106
8.1	泥沙冲淤数学模型概述	106
8.2	泥沙数学模型中相关问题的分析与讨论	108
8.3	渭河下游泥沙冲淤数学模型的建立	118
8.4	方程的离散及差分求解	120
8.5	本章小结	121
9	泥沙冲淤数学模型的率定和验证	123
9.1	基本资料的整理与分析	123
9.2	模型的率定	129
9.3	模型验证	135
9.4	本章小结	142
10	渭河下游 2003 年洪水过程的数学模拟	143
10.1	2003 年洪水实测资料	143

10.2	数值模拟结果与分析.....	144
10.3	本章小结	152
11	不同潼关高程对渭河下游冲淤影响的数值模拟	153
11.1	方案计算目的及说明.....	153
11.2	基本资料及有关问题的处理.....	153
11.3	设计系列水沙特性分析.....	156
11.4	计算结果与分析.....	162
11.5	本章小结.....	211
12	总结与展望	214
12.1	本书主要研究内容及结论.....	214
12.2	展望	217
	参考文献	218
	附录 主要符号表.....	224
	致谢	225

1 绪论

1.1 渭河概况

渭河是黄河的最大一条支流,发源于甘肃省渭源县鸟鼠山,在潼关附近汇入黄河,全长 818 km,流域面积 13.48 万 km^2 (不包括泾河张家山站以上流域面积 6.244 万 km^2),主河道平均比降为 2.23‰,流域多年(1954—1996 年)平均降水量 613.4 mm,径流量 59.93 亿 m^3 ,输沙量 1.339 亿 $\text{t}^{[1,2]}$ 。渭河上游为山地,出宝鸡峡谷后进入平原,土地肥沃,史称“八百里秦川”,历来为我国西部地区的富庶之地。

渭河下游河道指咸阳渭河铁路大桥至潼关河口段。在三门峡水库修建前渭河为一条冲淤平衡的微淤型地下河。三门峡建库后,1960 年 9 月—1962 年 3 月蓄水运用期间,潼关高程上升 1.46 m,1962 年 4 月—1969 年 10 月防洪排沙运用期间潼关高程上升 3.67 m,1969 年 11 月—1973 年 10 月防洪排沙运用期间潼关高程下降 2.11 m,1973 年 11 月—1991 年 10 月全年控制运用,潼关高程上升 1.43 $\text{m}^{[3]}$ 。在此期间,虽三门峡工程先后两次改建(1965—1968 年和 1969—1971 年)且水库运行方式多次改变,作为渭河河床侵蚀基准面的潼关高程抬升后曾出现一定幅度的降低,但难以维持。渭河河床侵蚀基准面的升高致使渭河河床溯源淤积严重,1960—1995 年,三门峡水库总淤积量为 55.66 亿 t,其中潼关以上为 45.45 亿 t,占总淤积量的 81.65%^[4,5]。渭河下游逐渐演变为强烈的堆积性地上河,洪灾频繁,河道环境趋于恶化,防洪形势日益严峻。

近年来,渭河下游洪涝灾害问题十分严峻。潼关高程第二次急剧抬升且长期居高不下,渭河下游泥沙淤积严重,随着淤积的发展,渭河漫滩流量减小,滩面抬升加快,加剧了泥沙淤积的上延。淤积使渭河下游河床剧烈萎缩,导致主槽过洪能力减小,同流量水位大幅度抬升,如“92·8”洪水,华县站洪峰流量 3 950 m^3/s ,其洪水水位为 340.95 m,较建库前同流量水位抬升 4.2 m。同时渭河下游两岸临背差进一步加大,渭河下游成为悬河。目前华县以下河段临背差达到 3~4.4 m,华县至临潼河段临背差 2~3 m,咸阳至西安河段临背差 1.5 $\text{m}^{[6]}$ 。渭河

滩槽同步淤积,致使渭河发生小流量洪水即可漫滩倒灌南山支流,造成支流河口段严重淤塞,特别是“二华夹槽”处渭河堤外滩区支流河槽被多次高含沙漫滩小洪水淤死,并倒灌淤积支流 3~6 km,最大淤积厚度达 3.5 m,严重阻塞了支流洪水的出路,使支流河道“南高北仰中间洼”的态势进一步加剧,支堤临背差加大。目前的渭河大堤始建于 20 世纪 60—70 年代,后经多次续建和加高培厚,但多属于抢险应急修建,工程布设不尽合理,控导长度严重不足。由于施工手段落后,质量控制不严,土料含杂质多,分段、分层接茬多,导致整体工程质量差,隐患多。堤防检测、管护、维修穷于应付,自然侵蚀、生物危害、人为破坏严重。据分析,渭河下游大堤目前实际防洪能力为 10 年一遇标准以下,与规定的 50 年一遇的设防标准相差甚远^[7]。同时,南山支流堤防标准低、边坡陡、断面小、隐患多,河道纵断面呈南高、北仰、中间低洼的态势,夹槽段防洪压力很大,极易形成灾害。由于移民返迁后,一直未进行系统的防洪设施建设,防洪标准低,撤离难度大,致使移民返迁区防洪安全没有保障,一旦遭遇大洪水,人民生命财产安全难以保证。

譬如,2003 年 8 月 24 日至 10 月中旬,渭河流域由于大范围、长时间、高强度的持续降雨,先后发生 6 场大洪水,据资料分析,本次 6 场洪水有 2 个显著特点:一是流量虽不大,但洪水水位却在渭河下游创历史纪录。六次洪水最大咸阳站为 10 年一遇,临潼站为 5~10 年一遇,华县站不足 5 年一遇的常遇洪水,但水位却高出历史最高 0.48 m、0.31 m 和 0.51 m,华县站第二次洪峰水位比 1954 年洪水(流量为 $7\,660\text{ m}^3/\text{s}$ 对应水位)还高出 3.95 m。二是洪水演进速度达到历史最慢。华县到潼关河道长 74.7 km,2003 年第一次洪峰演进时间为 41 h,第二次为 48 h,比正常洪水演进时间 6~9 h 超出 39~42 h。两次洪水平均演进速度为 1.68 km/h 比人们散步的速度还要慢。2003 年洪水的具体特征是:①水位历史最高,渭华县站前 4 次洪峰流量分别是 $1\,500\text{ m}^3/\text{s}$ 、 $3\,570\text{ m}^3/\text{s}$ 、 $2\,290\text{ m}^3/\text{s}$ 和 $3\,400\text{ m}^3/\text{s}$,相应的洪水水位分别为 341.32 m、342.76 m、341.73 m 和 342.13 m,分别比 1954 年发生的 $7\,660\text{ m}^3/\text{s}$,实测最大洪峰水位高出 2.51 m、3.95 m、2.82 m 和 3.22 m。②洪水演进速度历史最慢,20 世纪 50—60 年代同量级洪水通过临潼到潼关大致需要 18 h,2003 年最长则达 71 h。③洪水历时历史最长,华县站自 8 月 27 日 6 时第一次洪峰起涨水位 338.76 m,流量为 $520\text{ m}^3/\text{s}$,至 9 月 12 日 2 时第三次洪峰落峰流量为 $520\text{ m}^3/\text{s}$,水位为 338.7 m,华县水文站洪水过程已持续了 380 h,超过 1954 年的 226 h。在渭河 2003 年的洪水中,临潼到华县第一次洪峰传播时间为 52.3 h,第二次洪峰传播时间为 24 h,第三次洪峰传播时间为 29.5 h,显然临潼到华县第一次洪峰传播时间比第二、第三次洪峰传播时间分别长出 28.3 h 和 22.8 h。同一河段不同洪水的传播时间差值之大确为洪水传播中的异常现象。本次 6 场洪

水虽是常遇洪水,但造成的损失是巨大的,据统计,本次6场洪水淹没农田约30多万亩,56.9万人受灾,12.87万人失去家园,直接经济损失达23亿元。

渭河流域地势西高东低,渭河平原的构造基础是断沿盆地。自渭河发育以来,盆地就接受泾、洛、渭及来自秦岭各大小支流的碎屑物质,堆积了厚达1 000余m的第四系松散沉积物^[8],所以渭河下游河道属于冲积性河道,冲积性河床演变与水沙条件密切相关,是河流体系中相互影响、相互制约、相互塑造的两个方面,水沙条件变化引起河道冲淤演变和断面形态的调整:同时河床演变发展又会影响水流泥沙的输移特性。目前,渭河下游河道出现了淤积严重,河宽明显束窄,主槽过水面积锐减,主槽摆动剧烈,“S”形河势增多等河床演变现象,李文学^[8]、陈建国^[9]、主敏捷^[10]、杨丽丰^[11]、张翠萍^[12]、唐先海^[13]等很多学者都对渭河下游河道近年来淤积萎缩的原因做了大量的分析研究,但是对现有渭河河床上的洪水特性研究者甚少。巨安祥^[14]对渭河“95·8”洪水特性“小流量、高水位、大灾害”进行了分析。韩峰等^[15]对华县漫滩洪水特性进行了研究,并对漫滩后洪水的Z-Q、Z-A、Z-V的关系曲线进行了简要分析。但是以上少数学者仅局限于对渭河某一两次及渭河某一断面洪水水位的定性探讨,运用已有的研究成果还不能很好地解释渭河2003年洪水演进中的异常现象,更缺少对渭河下游洪水传播历时和洪峰变形等洪水特性的研究。1985年后渭河下游华县站洪水水位由339.53 m上升到342.76 m,流量为2 000~4 000 m³/s,洪水的传播历时从华县到潼关由平均传播历时8 h延长到2003年的31 h(2、3、4、5号洪峰平均值),由此可见渭河下游的洪水水位和洪水传播历时近期有抬升的趋势。当然,这些问题主要是由于渭河下游的泥沙淤积引起的,渭河下游泥沙淤积的原因是多方面的,有自然因素,也有人为因素。目前普遍认为人为因素中由于三门峡水库兴建后,潼关高程抬升是主要原因。

近些年来,渭河小水大灾以及渭河流域综合治理,又一次使潼关高程问题及渭河下游河床淤积萎缩对洪水演进过程的影响成为水利科技工作者研究的热点问题。因此,研究不同潼关高程对渭河下游河道泥沙冲淤及对洪水水位的影响具有迫切而重要的现实意义,对于渭河流域综合治理具有重要的指导与参考价值。

1.2 潼关高程问题

潼关位于黄河、洛河、渭河三河汇流区的出口,河谷狭窄,河宽仅800~900 m,是黄河的天然卡口,是黄河在晋、陕间南流后东折的拐点,是黄河小北干流、渭河的侵蚀基准面,还是三门峡水库正常运用期间的回水末端。潼关水文站(简称潼关断面)位于三门峡水库大坝上游114 km,潼关上游2 km左右是黄河、洛河、

渭河三河的汇流区,河谷宽阔,最宽可达 19 km。

潼关高程通常用潼关水文站潼关(六)断面 $1\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 流量时的水位来表示,潼关高程是其上游河道汇流区的侵蚀基准面,潼关高程的高低与小北干流和渭河、洛河下游泥沙冲淤关系密切,对该地区的防洪、除涝有重要影响,潼关由于它特殊的地理位置,因此历来为各方所关注。

潼关高程问题引起各方关注是从开始修建三门峡水利枢纽时就伴随而来的。三门峡水利枢纽是新中国成立后作为根治黄河水害,开发黄河水利的第一期工程,也是在黄河干流上修建的第一座大型水利枢纽。它的建设和运用探索是人民治黄的一次伟大实践,不仅为 50 多年来黄河岁岁安澜做出了贡献,而且为其他工程(如三峡、小浪底等工程建设)提供了成功的经验。三门峡水利枢纽工程于 1957 年 4 月开工建设,其开发任务是黄河下游的防洪,兼顾灌溉、发电等综合利用效益,该水库控制黄河流域面积的 91.5%、水量的 89%、沙量的 98%。

三门峡水库 1960 年 9 月开始蓄水运用,当时,由于对黄河泥沙问题的复杂程度及黄河中游流域水土保持治理形势估计不足,水库投入运用后不久就引起严重的库区淤积等问题,潼关高程由建库前的 323.40 m 急剧抬升到 1962 年 3 月的 328.07 m。335 m 高程以下淤积泥沙达 15.3 亿 m^3 ,有 93% 的来沙淤积在库内,渭河口形成拦门沙,威胁关中平原。为此 1962 年 3 月蓄水拦沙运用改为“滞洪排沙运用”,汛期闸门敞开,只保留防御特大洪水的任务。由于泄水孔位置较高,在 315 m 水位时只能下泄 $3\,084\text{ m}^3/\text{s}$ 的流量,入库泥沙仍有 60% 淤在库区,特别是遇 1964 年丰水丰沙年,问题更为突出。至 1964 年 10 月库区(含小北干流和渭河下游)泥沙淤积量已达 44.42 亿 m^3 ,泥沙主要淤积在水库尾部段,潼关河床高程由 323.40 m 急剧抬升至 328.10 m。潼关是三门峡库区回水末端,是渭河下游侵蚀基准面,潼关高程抬升,黄河、渭河、洛河汇流区严重雍水滞沙,彻底破坏了渭河原来的自然比降,导致潼关断面以上黄河小北干流、渭河、洛河下游等区域环境发生变化,并由此给该地区带来一系列区域性灾害。尤其渭河下游的灾害更为严重,淤积使河床抬高,原来的地下河变成了地上河,并使入汇的南山支流下段河床高出地面数米,防洪形势变得极为严峻;“二华夹槽”由自流入渭变成完全依赖机电抽排,地下水位上升,土地盐碱化,生态环境恶化^[4-5,17-18]。

1964 年周总理亲自主持召开治黄工作会议,决定对三门峡水利枢纽进行改建(即“两洞四管”)。第一次改建于 1968 年完成,改建后坝前水位 315 m 时枢纽的泄洪能力增大了一倍,水库的排沙比增至 80.5%,潼关以下库区已由淤积转为冲刷,在恢复有效库容、缓解淤积对上游的威胁和保证下游的防洪安全等方面,均取得了显著的成效。但冲刷范围尚未触及潼关,潼关以上库区及渭河仍继续淤积。

为进一步解决库区淤积,充分发挥枢纽综合效益,1969年6月受周总理委托,陕、晋、豫、鲁四省领导人在三门峡召开会议,对三门峡水利枢纽进行第二次改建。改建原则是:在确保西安、确保下游的前提下,合理防洪、排沙放淤、径流发电,改建于1971年完成。改建后,潼关以下库区发生了大量冲刷,潼关高程下降,至1973年汛后潼关高程下降为326.64 m。自1974年后,三门峡水库采用蓄清排浑运用方式,非汛期承担防凌、春灌、发电等任务,汛期降低水位,控制运用防洪排沙。1974—1985年,黄河来水量较丰,来水来沙与三门峡水库运用方式比较适应,潼关以下库区冲淤基本平衡,潼关高程相对稳定。1986年以来,由于龙羊峡、刘家峡水库投入运用,工农业用水增加及降雨偏少等影响,黄河以下库区发生累积性淤积,潼关高程再次上升^[19]。1996年以来实施的潼关清淤工程,对缓解潼关高程抬升起到了一定作用,到2003年汛后潼关高程维持在328.1~328.3 m。

由此可见,潼关高程问题的确与三门峡水库有着千丝万缕的联系,是从三门峡水库修建就伴随而来的,由于潼关高程抬升带来一系列的严重性问题,潼关高程的变化也就自然引起广大专家学者的关注。

1.3 潼关高程研究现状

如前所述,潼关由于它特殊的地理位置,潼关高程的变化一直是人们关注的热点。许多专家学者对它进行了广泛而深入地研究,取得了一大批研究成果,提出的观点很多,有共识也有分歧,到目前为止尚无统一定论。这些观点归纳起来按潼关高程变化成因可分成如下几类。

1.3.1 自然论

持自然论的专家学者认为,潼关高程上升是由自然因素造成的,主要有两个方面。

(1) 三门峡水库修建前历史时期潼关高程就是自然缓慢上升的

中科院地理研究所渭河研究组^[20],根据西安铁路局1966年钻探资料,分析了河床岩性结构与冲淤动态的关系,认为大约春秋时期,渭河下游普遍进行过一次侵蚀作用,河槽下切到下更新统地层。潼关附近,侵蚀不整合面以上冲积物有两大层:下层沙砾石(底部砂卵石大多直径40~70 mm,最大150 mm)颗粒不均,分选差,成分主要是火成岩,过渡为粗沙夹砾石和中沙夹少量砾石(砾石占15~20%,平均直径20~50 mm),这时潼关河床是冲刷性的沙砾质河床;上层细沙沉积,与下层沙砾石分界清楚,层位稳定,颗粒粗细比较均匀,分选好,这些特点表明细沙颗粒已经过较长距离搬运,为多次分选后沉积物。上下层岩性结构的变

化,反映潼关黄河由冲刷性河床演变为相对稳定然而又是淤积的河床,即平衡微淤性的河床。据粗略估算,公元 155—1960 年的 1 805 年,平均每年淤高 0.008 m。

黄河水利委员会水科院焦恩泽等^[21]通过对黄河小北干流沉积结构的分析、1972 年山西蒲州城西打井时挖出的明万历年间修筑的防洪石堤堤顶高程估算和 1950—1960 年实测输沙率、地形图及野外调查等得到的禹门口至潼关河段淤积量等推算出,潼关河床高程在三门峡水库修建前就是缓慢上升的结论。在公元 220—1960 年,年均上升约 0.014 m;在 1573—1960 年,年均上升约 0.027 m;在 1950—1960 年,年均上升约 0.035 m。因此推算出,即使不修建三门峡水库,从 1960 年至今,潼关高程也要升高 1.3 m 的结论。

(2) 上游来水来沙对潼关高程的影响

张仁^[16]、王仕强^[22]、钱意颖等^[23]认为建库前潼关高程的升降主要受来水来沙的影响,具有“洪水冲,小水淤”的基本规律,洪水期冲刷剧烈,水位流量关系顺时针方向,有涨冲落淤的特性,冲刷的小水回淤较慢。潼关高程随着来水来沙条件及附近河段冲淤情况发生变化,从多年平均看是微淤的。

1.3.2 人为论

(1) 黄河上中游人类活动影响(主要是上游水库蓄水影响)

黄河水利委员会水文局饶素秋等^[24]提出,随着黄河的治理和开发,黄河上中游建设了许多水利水电工程和水利水保工程,这些工程从多方面影响着黄河上中游的水沙量变化。水利水电工程尤其是中型水库的建成和运用,对径流和泥沙均有拦蓄作用。据有关分析表明^[25],截至 20 世纪 80 年代末,黄河上中游干支流水库和累计淤积量达 50 多亿 m^3 ,其中 80 年代淤积量为 20 多亿 m^3 。水库对径流的分配起调节作用,一方面由于上游水库的影响,黄河中游汛期和非汛期的径流量分配发生了很大变化,使汛期干流河道的基流减小,所形成的洪水水量偏小,其输沙能力也大为减弱;另一方面是上游龙羊峡水库的建成使用,80 年代末其蓄水量就达到 157 亿 m^3 ,它对上游来水的拦蓄使进入下游河道的径流量明显减少。各灌溉工程和引水引沙也使径流量和输沙量减小,统计表明,80 年代黄河中上游灌溉和城市用水量年均达 140 多亿 m^3 ,较 80 年代以前明显增加。1986 年以来,由于上游水库的调蓄作用影响,潼关站汛期水沙偏枯,尤其大流量洪峰被削平,3 000 m^3/s 以上洪水次数、洪水历时以及洪水总量大大减少。尤其是 90 年代以后更为明显,3 000 m^3/s 以上洪水由平均 30 天左右减少到 1 天,1999—2001 年还出现了连续三年汛期最大洪峰流量不超过 3 000 m^3/s 的现象。随着国民经济的发展和西部大开发战略的实施,黄河上中游的各项工程将对黄河的水沙变化带来更深