

潼关高程变化及其对渭河下游的影响分析

石长伟^{1,2}, 张智³, 王亚梅², 刘俊¹

(1. 陕西省河流工程技术研究中心, 陕西 西安 710018; 2. 陕西省江河水库管理局, 陕西 西安 710018; 3. 陕西省三门峡库区渭南河务局, 陕西 渭南 714000)

摘要: 采用实测资料分析三门峡建库以来潼关高程变化与渭河下游泥沙淤积的关系表明:2002年汛后原型试验以来潼关高程有所下降,2015年汛后为327.63 m,仍然偏高;潼关高程升降变化与渭河下游泥沙冲淤关系密切,由潼关高程抬升引起滩槽纵剖面调整造成的淤积约占渭河下游1971-2003年淤积的78.3%,是渭河下游严重淤积的最主要影响因素和根源;2003-2015年潼关高程与渭河下游累计淤积体相关性减弱明显,但渭河下游泥沙淤积量随着潼关高程的抬升或降低而增大或减少的规律仍然明显存在;渭河下游大量淤积逐步抬升演变成地上“悬河”,从根本上改变了渭河下游的防洪排涝形势,灾害损失巨大,严重影响着区域经济社会的稳定发展。建议采取综合措施将潼关高程控制在325.60~325.69 m以下,以减少渭河下游泥沙淤积,改善河道行洪条件,降低沿岸区域洪水灾害风险,为区域发展提供安全环境。

关键词: 潼关高程; 冲淤影响; 悬河; 渭河下游

中图分类号:TV12; P333

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2016)06-0125-05

Change of Tongguan elevation and its influence on the lower reaches of Weihe River

SHI Changwei^{1,2}, ZHANG Zhi³, WANG Yamei², LIU Jun¹

(1. Shaanxi Engineering Research Center of River, Xi'an 710018, China; 2. River Basin and Reservoir Bureau of Shaanxi Province, Xi'an 710018, China; 3. Wei River Weinan Management Bureau of Sanmenxia Reservoir area in Shaanxi Province, Weinan 714000, China)

Abstract: The relationship between the changes of Tongguan elevation and the sediment deposition in the lower reaches of Weihe river since the establishment of Sanmenxia reservoir indicates that: there was a declining trend in tongguan elevation since the flood season in 2002, the elevation of tongguan was 327.63 m after the flood season in 2015, it was still on the high side. Tongguan elevation changes are closely associated with the sediment deposition in lower reaches of Weihe river, the deposition caused by the beach groove profile adjustment under the lifting of Tongguan elevation accounts for about 78.3% of sedimentation in the lower reaches of Weihe river from 1971 to 2003, this was the most important influencing factors for serious silting in lower reaches of Weihe river. The correlation between tongguan elevation and accumulative deposition in the lower reaches of Weihe river was obviously weak from 2003 to 2015. However, the amount of sediment deposition in the lower reaches of Weihe was still significantly increased or decreased with the increase or decrease of Tongguan elevation. Massive deposition had gradually evolved into the ground “suspended river” in the lower reaches of the Weihe River. It fundamentally changed the situation of flood control and drainage at Weihe River downstream, and had a serious impact on the regional economic and social development. Comprehensive measures should be taken to control the Tongguan elevation below the level of 325.60-325.69 m, which aims to reduce the sediment deposition, im-

收稿日期:2016-06-01; 修回日期:2016-09-13

基金项目:陕西省科技发展(攻关)计划(软科学研究)项目(2014KRM87); 水利部公益性行业科研专项项目(201101044); 陕西省自然科学基金面上项目(2014JM7281); 陕西省水利科技计划项目(2013slkj-24, 2014slkj-01)

作者简介:石长伟(1973-),男,河南卢氏人,高级工程师,主要从事水文泥沙、水资源利用、防洪与区域综合治理、水权分配与水生态环境等河道治理、管理与研究工作。

prove the conditions of river flood, decrease the coastal flood disaster risk, and provide a safe environment for the regional development.

Key words: Tongguan elevation; impact of erosion and deposition; suspended river; lower reaches of Weihe River

1 潼关高程的变化分析

1.1 建库前潼关河床的冲淤演变

文献[1]根据黄河朝邑至潼关地质剖面图、潼关附近黄河河床地貌结构剖面图,得出“潼关河床是由冲刷性演变为相对平衡的微淤性河床”的结论,这一结论与文物考证及水文资料得出的结论相符^[2]。潼关附近黄河河床地貌结构剖面图表明,沉积厚约14 m的中细沙层,从三国时期(公元155-220年)至建库前(1960年)将近1800 a中,平均每年淤高0.008 m,淤积相当微弱。潼关水文站1935、1954年流量分别为13 000、13 400 m³/s时相应水位分别为325.0 m、324.95 m,1939年、1955年流量分别为7 290、6 900 m³/s时相应水位均为323.99 m,洪水位没有明显升降变化^[2],河床冲淤属正常变动,潼关高程基本处在动态平衡状态。

1.2 建库后潼关高程变化分析

1.2.1 蓄水运用期(1960年9月15日-1962年3月19日)潼关高程迅速抬升 三门峡建库后各运用时期潼关高程变化见图1。三门峡水库蓄水运用前,潼关高程为323.40 m,1960年9月15日开始蓄水拦沙运用,水库经历了两次高水位蓄水过程后,潼关高程迅速抬升,到1961年汛后抬升到329.06 m,潼关高程抬升5.66 m。该时期潼关高程抬升完全是“枢纽汇流能力不足和水库运用不当”^[3]造成的。

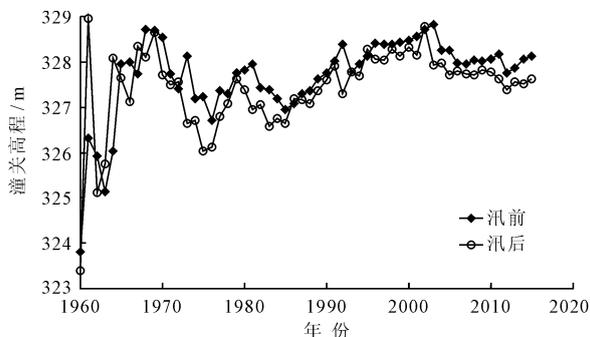


图1 三门峡建库以来潼关高程变化图

1.2.2 滞洪排沙运用期(1962年3月20日-1973年10月)潼关高程升降变化 1962年3月20日三门峡水库改为滞洪排沙运用后,由于运用水位的下降,潼关高程迅速下降,到1962年汛后,潼关高程为

325.11 m。但由于水库泄流排沙能力不足,到1969年潼关高程抬升到328.65 m,较建库前抬升5.25 m。一期改建期间潼关高程抬升主要是水库泄流规模不适应水沙造成的。

1969年以后,枢纽进行了第二次改建,增大了枢纽的泄流排沙能力,潼关高程为下降趋势。该时期潼关高程下降主要是非汛期蓄水历时短、汛期敞泄,溯源冲刷持续向上发展超过潼关,到1973年汛后潼关高程为326.64 m,较1969年汛后下降2.01 m。

1.2.3 蓄清排浑运用以来(1973年10月至今)潼关高程持续抬升,目前仍居高不下 潼关高程由1973年汛后326.64 m下降至1975年汛后326.04 m,接着抬升为1981年汛前327.95 m,再下降至1985年汛后326.64 m,然后再抬升为2002年汛前328.78 m。2002年汛后三门峡水库开始原型试验运用^[4-5],水沙条件有所改善,同时采取潼关河段清淤^[6]、东铲裁湾^[7]、黄河北干流放淤试验^[8]与调水调沙^[9]等综合措施,2012年汛后潼关高程下降至327.38 m;之后,由于三门峡水库运用水位全面突破原型试验与水利部“潼关高程控制与三门峡水库运用方式研究”确定的“汛期敞泄,非汛期平均水位不超过315 m,最高运用水位不超过318 m”运用指标^[10],2015年汛后潼关高程又上升至327.63 m,仍然偏高。

2 渭河下游冲淤变化分析

据咸阳长陵车站地下1 m处发掘出秦代古井、西安北郊草滩高庙汉城北门外中渭桥桥基块石及其他地质资料表明,渭河下游在历史上的冲淤变化不大,是冲淤基本平衡的地下河。

三门峡水库运用以来,渭河下游淤积分布见表1。可以看出,自建库初至2015年10月渭河下游共淤积泥沙10.4876 × 10⁸ m³。从冲淤量分布来看,渭淤1-10河段淤积泥沙8.5541 × 10⁸ m³,占总淤积量的81.57%;渭淤10-26河段淤积3.4258 × 10⁸ m³,占总淤积量的32.67%;渭淤26以上河段呈冲刷状态,冲刷泥沙1.4923 × 10⁸ m³,占总淤积量的-14.3%。可见,渭河下游的淤积分布具有典型的溯源淤积特征。

从不同时期的冲淤情况看,三门峡枢纽蓄清排浑

运用前渭河下游淤积泥沙 $10.0746 \times 10^8 \text{ m}^3$, 是渭河下游淤积最快的时期;蓄清排浑运用以来至原型试验以前,渭河下游共淤积泥沙 $3.1436 \times 10^8 \text{ m}^3$, 呈全河

段淤积;2002年汛后原型试验以来,共冲刷泥沙 $2.7306 \times 10^8 \text{ m}^3$, 呈全河段冲刷;蓄清排浑期共淤积泥沙 $0.4130 \times 10^8 \text{ m}^3$, 呈“中下淤、上冲”的淤积形态。

表1 渭河下游淤积体分布

 $10^8 \text{ m}^3, \%$

冲淤部位 或河段	蓄清排浑运用前		蓄清排浑运用期						三门峡建库以来					
	1960-04 - 1973-10		原型试验之前		原型试验以来				1973-10 -		原型试验以来		整个运用期	
			1973-10 -		未超指标		超指标		2002-10 -		1960-10 -		1960-04 -	
	2002-10		2002-10		2012-10		2015-10		2015-10		2002-10		2015-10	
冲淤量 占比		冲淤量 占比		冲淤量 占比		冲淤量 占比		冲淤量 占比		冲淤量 占比		冲淤量 占比		
渭拦-渭淤1	0.3963	3.93	0.2040	6.49	-0.0749	3.33	0.0058	-1.21	0.1349	32.66	0.6003	4.54	0.5312	5.07
渭淤1-10	6.6307	65.82	1.9504	62.04	-1.0764	47.84	0.5182	-107.80	1.3922	337.09	8.5811	64.92	8.0229	76.50
渭淤10-26	3.0685	30.46	0.6969	22.17	-0.0240	1.07	-0.3156	65.65	0.3573	86.51	3.7654	28.49	3.4258	32.67
渭淤26-28	-0.0021	-0.02	0.1283	4.08	-0.1800	8.00	-0.3930	81.76	-0.4447	-107.68	0.1262	0.95	-0.4468	-4.26
渭淤28-37	-0.0188	-0.19	0.1640	5.22	-0.8946	39.76	-0.2961	61.60	-1.0267	-248.60	0.1452	1.10	-1.0455	-9.97
渭拦-渭淤37	10.0746	100.00	3.1436	100.00	-2.2499	100.00	-0.4807	100.00	0.4130	100.00	13.2182	100.00	10.4876	100.00

3 潼关高程升降对渭河下游冲淤的影响分析

3.1 潼关高程抬升是渭河下游持续淤积最主要的因素,是渭河下游严重淤积的根源

1973年蓄清排浑以来潼关高程与渭河累计淤积量变化过程对照图见图2,结合渭河下游各河段不同时期的冲淤情况(表1)和图2可以看出:渭河下游累积淤积量随潼关高程升降而增减的趋势是一致的,潼关高程抬升渭河下游就相应淤积,潼关高程下降渭河下游就相应冲刷。1973年汛后潼关高程为326.64 m,较建库前抬升了3.24 m,渭河下游溯源淤积迅速发展,淤积的重心在华县以下河段,形成“中下淤、上冲”的格局;蓄清排浑运用以来至2002年汛后原型试验前,潼关高程上升到328.78 m,期间渭河下游泥沙持续淤积 $3.1436 \times 10^8 \text{ m}^3$, 累积淤积量 $13.2182 \times 10^8 \text{ m}^3$, 为历年淤积最严重的时期,呈全河段淤积;2002年汛后原型试验至2012年汛后,潼关高程下降至327.38 m,下降1.4 m,溯源冲刷与沿程冲刷相接,呈全河段冲刷格局;2012年汛后以来,潼关高程微升状态,2015年汛后潼关高程上升至327.63 m,下段出现溯源淤积,形成“下淤、中上冲”的格局。

上述分析表明渭河下游淤积变化实质是相应于局部侵蚀基准——潼关高程变化的纵剖面调整;计算分析1971-2003年汛后渭河下游渭拦5~37断面各年滩槽淤积分布,主要由潼关高程抬升影响的河槽和滩面纵剖面调整抬升引起的滩面淤积量为

$3.1001 \times 10^8 \text{ m}^3$, 占总淤积量 $3.9607 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的78.3%^[11]。据此,可以认为潼关高程抬升是渭河下游产生持续淤积最主要的因素,是导致渭河下游严重淤积的根源。



图2 1973年以来渭河下游历年累积淤积体与潼关高程变化关系图

3.2 潼关高程与渭河下游淤积的关系密切

由蓄清排浑运用以来渭河下游累积淤积量与潼关高程关系可以看出(图3),图中两者具有良好的线性关系,线性趋势表明,潼关高程的抬升直接导致了渭河下游淤积的持续发展。

可以看出,1973-2002年、2003-2015年潼关高程与渭河下游累计淤积体关系密切,呈线性相关,相关系数分别为0.90、0.79;2010年之后,汛后潼关高程在327.50 m上下波动,两者相关性减弱明显,但仍呈明显相关性。可见,尽管各个不同时期两者相关性有一定变化,但渭河下游泥沙淤积量随着潼关高程的抬升或降低随之增大或减少的规律仍然存在。

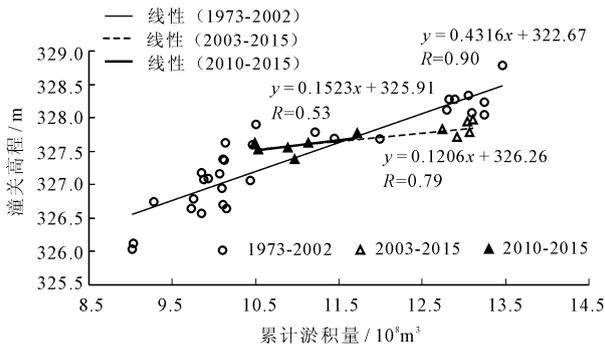


图3 蓄清排浑运用以来潼关高程与渭河下游淤积淤积量相关关系图

3.3 渭河下游淤积成为“悬河”，从根本上改变了渭河下游的防洪排涝形势

建库初到2002年汛后，渭河下游累积淤积泥沙 $13.22 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，淤积末端已超过了西安草滩，淤积重心呈上移趋势。泥沙淤积的发展，使渭河下游河床抬升，由建库前相对冲淤平衡的地下河演变为地上“悬河”，从根本上改变了渭河下游的防洪排涝形势。

3.3.1 泥沙淤积冲槽淤滩，“悬河”态势仍然加剧，情势严重 2002年以来，渭河下游出现以冲刷为主的冲淤过程，但由于冲刷主要产生在河槽，只有河道摆动时才冲刷少量的滩面淤积；在发生出槽洪水时，尽管河槽有所冲刷，但滩面仍呈淤积状态，如“03·9”、“05·10”漫滩洪水，尽管汛期河槽冲刷明显，但由于滩面大幅度淤积，特别是临潼以下河床滩面分别淤积0.4、0.2 m左右，整个汛期分别冲刷冲刷 $0.1693 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $0.0433 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，总体冲刷很小；因此，尽管2002年以来渭河下游呈冲刷状态，但“悬河”态势仍呈加剧态势，情势严重。

3.3.2 河道洪水水位不断抬升、洪涝灾害严重，影响区域经济社会的稳定发展 各时期华县实测年最大洪峰流量及相应洪水水位关系见图4，可以看出：1960-1966年、1967-1994年、1995-2003年洪水水位较建库前分别大幅度抬升约1.2~1.5 m、3.0~3.3 m、4.5~4.8 m，2004-2015年洪水水位下降约0.9~1.0 m。华县站洪水水位淤积抬升或冲刷下降变化趋势与潼关高程抬升变化基本一致：随着潼关高程抬升，华县河床抬升和河道比降的随即减缓，同流量洪水水位大致按相同幅度逐步抬升；随着潼关高程下降，华县站洪水水位也大致按相同幅度逐步下降。

三门峡建库50多年来，由于洪水水位的大幅度抬升，加之“悬河”形成的巨大洪水风险与防洪工程体系的不完善，使洪涝灾害极为严重；干支流有17个年份出现决口，决口达73处之多，洪水灾害静态损

失 37.4×10^8 元，动态损失 145.5×10^8 元；50 a一遇洪灾损失约 160×10^8 元，100 a一遇损失近 200×10^8 元^[12]，巨大的洪涝灾害使陕西经济社会的稳定发展受到严重影响。

3.3.3 关中东部及西安仍然面临大洪水风险威胁

渭河综合整治后下游防御洪水条件有所改善，但就出口条件而言，由于潼关河床的淤积抬升使潼关卡口断面的壅水滞洪作用更为显著，渭河下游现状河道条件极仍不利于大洪水的演进和宣泄，必然延缓大洪水的演进过程，使河床（特别是滩面）发生严重的洪水淤积，极大地增加大洪水的防御负担。当前，渭河出现大洪水的可能依然存在，一旦出现大洪水，包括西安、咸阳、渭南三市及二华地区等重要防护区的关中东部将全面遭受极大的洪水风险，成为关中东部与西安的心腹之患。

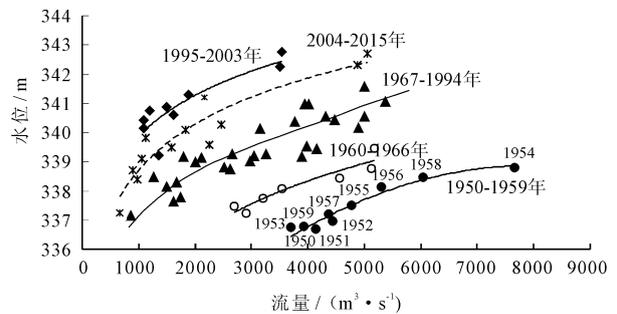


图4 渭河华县站不同时期年最大洪水水位-流量关系

4 结论与建议

(1)三门峡建库以来，潼关高程经历了蓄水运用期的迅速抬升，滞洪排水期的升降变化与蓄清排浑以来至2002年汛后的持续抬升；原型试验运用以来，加之水沙条件的改善，潼关高程有所下降，2012年汛后潼关高程327.38 m；之后，由于三门峡水库运用水位全方面突破原型试验指标，潼关高程又逐年抬升，2015年汛后又上升至327.63 m，仍然偏高。

(2)潼关高程升降变化与渭河下游泥沙淤积关系密切，渭河下游泥沙淤积量随着潼关高程的抬升或降低而增大或减少；由于潼关高程抬升引起滩槽纵剖面调整造成的淤积约占渭河下游1971-2003年淤积的78.3%，是渭河下游持续淤积的最主要影响因素，是渭河下游持续泥沙淤积的根源。

(3)1973-2002年、2003-2015年潼关高程与渭河下游淤积体呈线性相关，相关系数分别为0.90、0.79，原型试验以来两者相关性下降，但渭河下游泥沙淤积量随着潼关高程的抬升或降低随之增

大或减少的规律仍然明显存在。

(4)为保持渭河综合整治后下游防御洪水条件有所改善的治理成果,建议进一步采取综合措施将潼关高程控制在 325.60 ~ 325.69 m 以下^[13],继续减少渭河下游泥沙淤积,改善河道行洪条件,部分恢复渭河下游河道生态功能,在一定程度上降低沿岸区域洪水灾害风险,进一步提高渭河下游综合防洪能力,为关中-天水经济区发展提供安全环境。

参考文献:

- [1] 钱意颖,叶青超,曾庆华,等. 黄河干流水沙变化与河床演变[M]. 北京:中国建材工业出版社,1993.
- [2] 曹如轩,雷福州,冯普林,等. 三门峡水库淤积上延机理的研究[J]. 泥沙研究,2001,(2):37-40.
- [3] 张金良,王育杰,韦春侠,等. 非汛期潼关高程与三门峡水库运用关系分析[J]. 水利水电技术,2002,33(6),54-58.
- [4] 胡一三,张金良. 三门峡水库运用方式原型试验研究[M]. 郑州:黄河水利出版社,2009.
- [5] 王平,姜乃迁,侯素珍,等. 三门峡水库原型试验冲淤效果分析[J]. 人民黄河,2007,29(7):22-24.

- [6] 姜乃迁,李文学,张翠萍,等. 黄河潼关河段清淤关键技术研究[M]. 郑州:黄河水利出版社,2004.6.
- [7] 林秀芝,姜乃迁,田勇. 黄河三门峡库区东垆湾裁弯对潼关高程影响的分析[J]. 水利水电技术,2004,35(8):14-16.
- [8] 武彩萍,李远发. 黄河小北干流放淤模型试验研究[M]. 郑州:黄河水利出版社,2007.
- [9] 石长伟,张英,毕银霞. 2009年桃汛期调水调沙对潼关高程的影响[J]. 人民黄河,2012,32(12):66-67+70.
- [10] 潼关高程控制及三门峡水库运用方式研究项目组. 潼关高程控制及三门峡水库运用方式研究[R]. 郑州:黄河水利科学研究院,2005.9.
- [11] 袁铮,赵海镜,梁林江,等. 渭河下游河道泥沙淤积现状及趋势分析[J]. 人民黄河,2016,38(1):19-21.
- [12] 石长伟,张英,马晓华. 三门峡水库运用方式对陕区库区的影响及治理对策[C]//. 第八届全国泥沙基本理论学术讨论会论文集,南京:河海大学出版社,2011:458-463.
- [13] 冯普林,石长伟,张广林. 渭河“2003”洪水灾害及其减灾措施的分析[J]. 中国水利水电科学研究院学报,2004,2(1):44-49.

(上接第124页)

- [2] Zhong L, Li M. Tidal energy fluxes and dissipation in the Chesapeake Bay[J]. Continental Shelf Research, 2006, 26(6):752-770.
- [3] Maccready P, Banas N S, Hickey B M, et al. A model study of tide- and wind- induced mixing in the Columbia River Estuary and plume[J]. Continental Shelf Research, 2009, 29(1):278-291.
- [4] Weisberg R H. The nontidal flow in the Providence River of Narragansett Bay: A stochastic approach to estuarine circulation[J]. Journal of Physical Oceanography, 2010, 40(5):721-734.
- [5] Wang D P. Wind driven circulation in the Chesapeake Bay, winter, 1975[J]. Journal of Physical Oceanography, 1979,9(3):564-572.
- [6] 刘欢,吴超羽,包芸,等. 一次东北季风过程下珠江口磨刀门河口环流研究[J]. 海洋工程,2008,26(2):102-111.

- [7] 闻平,陈晓宏,刘斌,等. 磨刀门水道咸潮入侵及其变异分析[J]. 水文,2007,27(3):65-67.
- [8] 包芸,任杰. 珠江河口西南风强迫下潮流场的数值模拟[J]. 海洋通报,2003,22(4):8-14.
- [9] 刘雪峰,魏晓宇,蔡兵,等. 2009年秋季珠江口咸潮与风场变化的关系[J]. 广东气象,2010,32(2):11-13.
- [10] Zhang Y, Baptista A M, Myers E P. A cross-scale model for 3D baroclinic circulation in estuary-plume-shelf systems: I. Formulation and skill assessment[J]. Continental Shelf Research, 2004, 24(18):2187-2214.
- [11] 倪培桐. 地形致动力场对珠江河口能量耗散及其作用机制[D]. 广州:中山大学,2010.
- [12] 倪培桐,韦惺,刘欢. 珠江河口潮能及其耗散的空间分布[J]. 中山大学学报(自然科学版),2012,51(1):128-132.
- [13] 吴超羽. 黄茅海河口小尺度动力结构及其沉积作用[J]. 中山大学学报(自然科学版),1995,34(2):86-94.