

关于潼关高程的影响因素及降低措施研究

赵克玉^{1,2}, 焦菊英², 张跟广², 王小艳²

(1. 西安理工大学, 陕西 西安 710048; 2. 西北农林科技大学, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 根据三门峡水库长期运行情况及库区实测水沙资料, 分析了潼关高程变化的影响因素, 对降低潼关高程的措施进行了研究。汛期不完全畅泄、低水位运行时间短、汛期控制水位发电、汛末过早蓄水、非汛期运用水位高是潼关高程抬高的主要原因。20 世纪 90 年代以来的枯水系列加重了潼关高程的抬高。改变水库运用方式是降低潼关高程的最重要措施, 水土保持措施、河道整治工程、潼关河段清淤工程等对降低潼关高程具有积极作用。

关键词: 水库淤积与冲刷; 潼关高程; 三门峡水库

文献标识码: A

文章编号: 1000—288X(2004)03—0029—05

中图分类号: TV62; P333.2

Causes and Countermeasures of Water Level at Tongguan Hydrologic Station

ZHAO Ke-yu^{1,2}, JIAO Ju-ying², ZHANG Gen-guang², WANG Xiao-yan²

(1. Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, Shaanxi Province, China;

2. Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling 712100, Shaanxi Province, China)

Abstract: The long-term measured data of Sanmenxia Reservoir are analysed to enable consideration of the causes of water levels at Tongguan station. Measures to reduce flood heights are also analyzed. The main causes of rising water levels at Tongguan station are limited flow in the reservoir in flood season and high water levels in front of the dam in the dry season. To change the operational mode of Sanmenxia Reservoir is the most effective measure to reducing flood heights at Tongguan.

Keywords: reservoir deposition; reservoir erosion; flood heights at Tongguan; Sanmenxia Reservoir

三门峡水库是我国解放后兴建的第一座大型水利工程, 由于当时人们对自然规律认识不够, 对水库泥沙淤积影响的严重性估计不足, 1960 年三门峡水库蓄水运用后, 很快暴露出一系列问题, 其主要问题是水库淤积严重, 库容迅速减少, 库区淤积末端上延, 淹没、浸没范围扩大等。同时潼关高程(1 000 m³/s 流量潼关水位)由 323.4 m 急剧抬升至 328.1 m。由于潼关高程的抬升, 黄、渭、洛河汇流区严重壅水滞沙, 彻底破坏了渭河多年形成的自然比降, 导致潼关断面以上黄河北干流、渭、洛河下游等区域环境发生变化, 并由此为该地区带来一系列区域性灾害。(1) 使潼关以上库区泥沙淤积加重; (2) 由于泥沙淤积, 渭河主槽过流断面逐年萎缩, 河床比降减小, 河道过流能力大幅度降低, 使渭河下游提前进入老龄期; (3) 加剧了黄河北干流平面上的西倒; (4) 进一步恶化了黄、渭、洛河汇流区河势。综上所述, 由于潼关高程的抬升, 加重了渭、洛河及黄河北干流泥沙淤积, 导致小水

大灾频繁出现, 破坏了陕西关中东部地区正常的工农业生产及社会经济发展, 更严重地威胁着这一地区的人民生命财产安全。系统研究潼关高程的变化问题, 探寻能使潼关高程有效地降低, 并兼顾三门峡水库效益的水库运用方案, 是一件具有重大现实意义的事。

1 潼关高程的变化及影响

三门峡水库建库前, 潼关河床基本上保持冲淤平衡。文献[1]根据渭河下游的地质地貌情况分析, 得到“建库前渭河下游河槽是冲淤平衡的, 滩地是微淤的”结论, 而潼关卡口是渭河下游的侵蚀基准面, 说明潼关高程在历史上是相对稳定的。文献[2]则从水文、地质、泥沙等方面, 更加详细地论述了这一问题。

三门峡水库建库后, 初期(1960 年 9 月—1962 年 3 月)采用蓄水运用, 潼关位于回水范围之内, 上游来沙几乎全部淤积在库内, 潼关高程抬高 4.5 m。从 1962 年 3 月, 水库运用方式改为滞洪排沙运用, 但由

收稿日期: 2004-02-20 修回日期: 2004-04-10

资助项目: 陕西省水利厅“降低潼关高程措施的研究”项目; 中国科学院水利部水土保持研究所学科前沿科研专项经费“渭河流域水土保持的防洪减灾效益研究”

作者简介: 赵克玉(1963—)男(汉族), 山东省苍山县人, 副研究员, 西安理工大学在读博士。E-mail: rz.n.zky@sohu.com。

于泄流规模不足,汛期排沙不畅,库区继续淤积,潼关高程相应抬升,水库被迫进行改建,先后进行了 2 次改建,加大了水库的泄流规模,潼关高程才得以控制。从 1973 年 9 月,水库运用方式改为蓄清排浑全年控制运用。全年控制运用期,三门峡水库非汛期蓄水,汛期低水位运行,大沙期空库排沙。所以非汛期潼关河床淤积抬高,非汛期水库蓄水位越高,高水位运行时间越长,同期上游来沙量越大,潼关河床抬高幅度就越大,汛期水库低水位溯源冲刷及大洪水沿程冲刷,潼关高程降低,图 1 点出了各年潼关高程汛前最高值和汛后最低值。

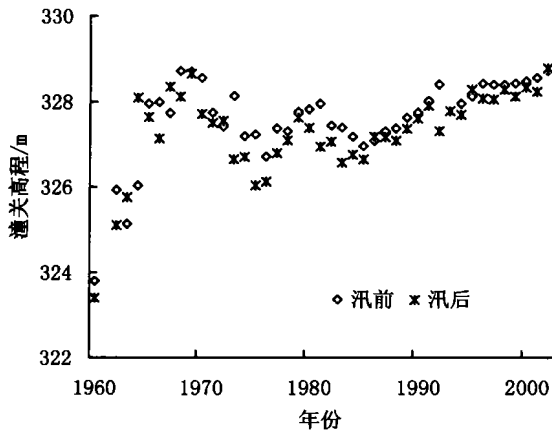


图 1 建库后潼关高程变化过程

潼关高程作为渭河下游的侵蚀基准面,其变化直接引起渭河下游的淤积调整,三门峡水库运用以来,到 2002 年,渭河下游累计淤积泥沙 $1.3 \times 10^9 \text{ m}^3$,使原来的地下河变为地上悬河,渭河下游的防洪问题越来越严峻,小水大灾时有发生。

由于渭河下游河床淤积抬高,河道比降减小,同样的洪水,水流流速降低,过水断面加大,洪水位进一步抬高。水流输沙能力降低,河道淤积加重。同时由于潼关高程的抬高,黄河顶托倒灌渭河的几率增加。

渭河下游 2003 年洪水,华县站最大洪峰流量 $3570 \text{ m}^3/\text{s}$,其经验频率为 47.3%,为中等流量,但是除陈村和华阴水文站外,其余各站均出现历史最高洪水位,造成重大洪水灾害。

2 水库运用对潼关高程的影响

2.1 非汛期水库运用水位对潼关高程的影响

非汛期水库运用水位超过 320 m 时,壅水将直接影响到涪垛,潼涪段水面比降降低,造成潼涪段淤积,进而溯源发展,潼关高程抬高。从理论上讲,非汛期高水位蓄水历时长,蓄水期来沙量多,潼关河床淤积抬高量就大。分析 1968—2001 年非汛期潼关高程抬高

值与蓄水位大于 320 m 天数的关系具有明显的正变线性关系,且不同年代的关系没有明显的差别。同时分析其与同期来沙量的关系,也有类似的关系。这说明,要减少潼关河床的非汛期淤积,降低水库非汛期运用水位,减少高水位运用时间是十分有必要的。

来沙系数 S/Q 可以反映水流挟沙的饱和程度,其中,平均含沙量 S 反映上游来沙量,平均流量 Q 可以反映水流输沙能力,所以,来沙系数越大,水流挟沙饱和能力越高。分析 1968—2001 年非汛期潼关高程抬高值与蓄水位大于 320 m 来沙系数的关系和非汛期潼关高程抬高值与非汛期来沙系数的关系,虽然能看出一定的反变关系,但是密切程度都比较差。

这就说明,非汛期潼关高程的抬高,主要以溯源淤积为主,沿程淤积相对为辅,水库运用水位超过 320 m 时,溯源淤积将明显发展到潼关,造成潼关高程的非汛期淤积抬高。

根据姜乃迁等^[5]的研究,桃汛期平均洪峰流量 $2300 \text{ m}^3/\text{s}$,平均含沙量 $13.7 \text{ kg}/\text{m}^3$,具有发生时间相对固定、洪峰流量大、含沙量小的特点,对潼关河床具有一定冲刷作用,使潼关高程平均下降 0.09 m。在统计的 23 场桃汛洪水中,有 18 场洪水使潼关河段发生冲刷,以 1991 年下降 0.3 m 为最大;其余的 5 场除 1977 年桃汛期间坝前水位保持在 323 m 以上并使潼关高程抬高 0.19 m 外,仅有轻微淤积。所以,合理地利用桃汛冲刷潼关,对减小潼关非汛期淤积抬高幅度具有重要的意义。

2.2 汛期水库运用水位对潼关高程的影响

三门峡水库汛期降低水位运用,主汛期空库冲刷,库区可以形成溯源冲刷,可望冲刷发展到潼关,低水位运用,上游水沙条件有利时,潼关发生沿程冲刷。

汛期库水位低,低水位运用时间长,上游入库流量大,潼关高程冲刷降低幅度就大。1973 年汛期运用水位最低,低水位运行时间最长,坝前水位低于 300 m 达 83 d,所以潼关高程降低了 2.1 m。由于溯源冲刷充分发展到了潼关,使潼关以下河段比降加大,1973 年汛后潼关—涪垛水面比降达到 2.84‰,这对其后一段时间的河道输沙创造了有利条件,有利于潼关高程在汛期继续冲刷下降。所以,在 1974 和 1975 年汛期潼关高程下降幅度都比较大。但是,由于 1973 年以后低水位运行时间短,特别是坝前水位低于 300 m 的时间段,不利于溯源冲刷的发展,潼关到涪垛段比降得不到恢复,这不但使当年潼关高程汛期冲刷幅度降低,同时也影响了后期潼关以下河段的输沙,对汛期潼关高程的冲刷降低非常不利。1973 年以后,潼关到涪垛段比降逐渐降低,到 1984 年以后减小到 1.9‰,

就充分说明了由于汛期低水位时间短, 水库溯源冲刷发展不到潼关。由于潼关到涪塄段比降减小, 汛期较大洪水的沿程冲刷能力被大大降低。也就是说, 上游来了本来能使潼关产生冲刷的洪水, 由于河道比降小, 潼关河床可能得不到冲刷, 甚至会产生淤积。要改变这种状况, 就必须降低三门峡水库汛期运用水位, 延长汛期低水位运行时间, 使库区产生充分的溯源冲刷, 从而恢复潼关到涪深段河道比降, 同时也使潼关河床产生冲刷。

20 世纪 80 年代以后, 三门峡水库一般从 10 月 20 日左右开始蓄水, 于 11 月内蓄水完成, 主要是充分利用汛末秋雨进行蓄水。该时期相对于非汛期其它月份, 水量和沙量都较大, 因此成为水库淤积的主要时段。特别是 90 年代以来, 9 月到 10 月水位蓄高, 305 m 以上水位发电, 10 月下旬库水位回蓄, 较 20 世纪 80 年代明显抬高。1999 年 10 月中旬平均库水位就达到 316.1 m, 10 月下旬平均库水位为 316.9 m。汛期 9、10 月份含沙量相对较小, 流量稳定, 是水库冲刷、降低潼关高程的有利时机, 过早蓄水使水库汛期就开始大量淤积, 不利于潼关高程的降低。

从 80 年代和 90 年代的汛期各月平均冲刷量来看, 7、8 月份都是冲刷, 冲刷量相差不大。而 9、10 月份相差较大, 80 年代 9、10 月份分别平均冲刷 2.94×10^8 t 和 2.90×10^8 t, 20 世纪 90 年代 9、10 月份分别平均淤积 2.70×10^8 t 和 1.20×10^7 t, 见图 2。

1990 年后迅速减小, 沙量则在 1996 年后迅速减小, 减小幅度均很大。这种水量和沙量的减小的原因: 其一是人类活动的影响, 随着社会的发展, 黄河中上游 (特别是上游) 工农业用水逐渐增大, 宁夏、内蒙大型灌区建成, 其规模和引水量不断增大, 使下游水量逐渐减小; 上游梯级开发, 改变了来水来沙结构; 其二是自然降水的减小, 近 10 a 来连续小降水量年份, 出现历史上较长时期的枯水系列。

来水来沙量对潼关高程具有一定影响, 一方面, 水量减小, 汛期水流冲刷能力降低, 汛期潼关高程降低幅度减小。另一方面, 来沙量减小, 河床淤积量减小, 非汛期潼关高程抬高值减小。那么, 水沙变化对潼关高程总的效应如何? 我们分年代点绘汛后潼关高程分别与年来水量和汛期来水量关系, 见图 3 和图 4。

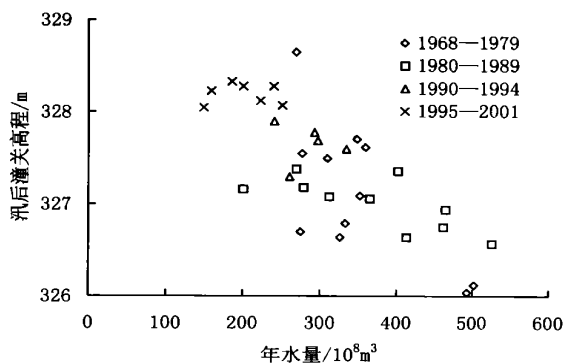


图 3 汛后潼关高程与年来水量的关系

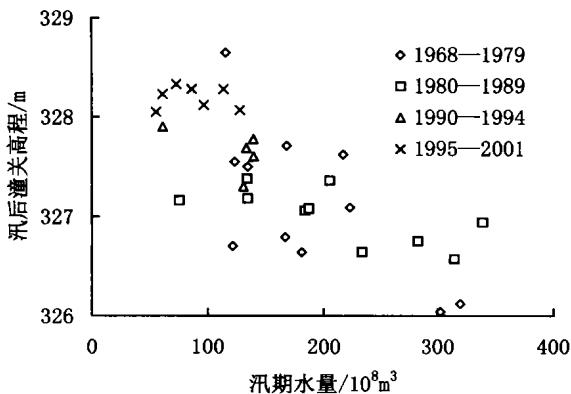


图 4 汛后潼关高程与汛期来水量的关系

从图 3 和图 4 看, 汛后潼关高程与年来水量和汛期来水量都有一定的反变趋势, 与年水量的关系略密切。两图中, 80 年代趋势较缓, 其它年代趋势较陡。

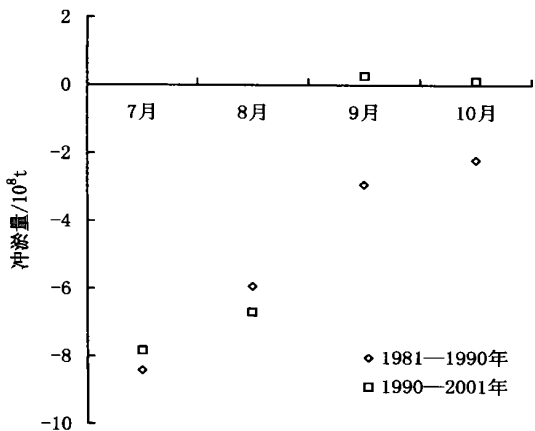


图 2 不同年代汛期各月潼关以下库区冲刷量

3 来水来沙条件对潼关高程的作用

分析了 1960—2001 潼关站年来水来沙量及汛期来水来沙量变化情况, 潼关站年来水来沙量及汛期来水来沙量总的趋势均随着时间有所减小, 水量在

4 降低潼关高程的措施

4.1 改变水库运用方式对降低潼关高程的作用

水库运用方式对潼关高程起着重要的作用, 1969—1973 年水库汛期畅泄运行, 非汛期蓄水位较低, 库区溯源冲刷发展到潼关, 潼关高程冲刷下降, 降低幅度达到 2 m 之多, 潼关以下库区冲刷库容 $5.5 \times 10^8 \text{ m}^3$, 潼关到沽垛段比降达到 2.84‰, 有效增大了河道的输沙能力, 对后期输沙十分有利。而该时段却是枯水段, 年平均水量 $3.05 \times 10^{10} \text{ m}^3$, 汛期平均水量 $1.45 \times 10^{10} \text{ m}^3$, 均于 90 年代初相近。

1990—1994 年, 年平均水量 $2.85 \times 10^{10} \text{ m}^3$, 汛期平均水量 $1.21 \times 10^{10} \text{ m}^3$, 略低于 1969—1973 年水量, 汛期水库运用水位较高, 低水位时间短, 汛期平均水位 303.22 m, 而 1969—1973 年汛期平均水位 298.91 m, 潼关以下库区淤积库容 $8.3 \times 10^7 \text{ m}^3$, 潼关高程抬高 0.33 m。1969—1973 年潼关以下库区普遍大幅度冲刷, 而 1990—1994 年潼关以下库区以淤积为主, 局部河段稍有冲刷。

从 1969—1973 年水库运行资料分析, 汛期并不是完全畅泄。1969 年汛期月平均水位基本上在 300 m 以上, 5 a 中有 4 a 非汛期水位超过 320 m。1973 年非汛期高水位运用时间很长。如果汛期完全畅泄, 非汛期运用水位降低, 比如降低到 310 m, 冲刷效果肯定会明显地提高。

虽然 1973 年运用水位对冲刷并不理想, 但是当年潼关以下库区仍是冲刷, 潼关高程明显降低, 这说明经过这 5 a 的实际冲刷, 在当时的运用条件下并没有达到冲刷平衡, 如果这种运用持续的时间再长一些, 比如说 10 a, 潼关高程还会进一步降低。

综合以上论述, 对于 1969—1973 年的枯水系列, 延长至 10 a, 在现有的泄流规模下, 汛期完全畅泄, 非汛期控制较低的水位发电, 潼关高程冲刷幅度会远在 2 m 以上。

4.2 其它工程措施对降低潼关高程的作用

4.2.1 清淤疏浚和河道整治对降低潼关高程的作用

要减少潼关段的淤积量, 除通过调整水库的运用方式之外, 清淤疏浚是一项较好的辅助措施, 从 1996 年开始黄河水利委员会在潼关上下河段(特别是潼关段)进行的射流清淤研究是很好的尝试, 由于黄河泥沙之多, 射流清淤虽然能够冲起河槽淤积泥沙随水流输送到下段, 但其关键不是直接清淤, 而是通过疏导河势, 疏浚主槽, 增大河道输沙能力, 使后期减少河段淤积, 从而使潼关高程得到控制。姜乃迁等对这项研究进行了总结, 指出通过 1996—1999 年的清淤, 疏通

了河道, 增加了河道的输沙量, 增大了清淤河段汛期的冲刷幅度。

河道整治也是辅助措施之一, 包括修建一些控导护滩工程, 将宽浅散乱的河槽整治为窄深归顺的单一河槽, 大幅度地提高该河段的水流输沙能力, 即采取“束水攻沙”的原理使潼关以下河段发生显著的冲刷; 同时, 为了保持潼关以下河段具有较大的比降, 还必须对一些畸形的河弯进行裁弯取直, 如东垆湾弯道, 裁弯工程可以使该段水流流路缩短 10 km 以上, 明显加大潼—三段比降。可以看出, 河道整治工程主要是加大河段输沙能力, 影响输沙能力的 2 大要素就是横向断面形态和纵向河道比降。控导护滩工程着眼于断面形态的改造, 形成有利于输沙的单一窄深河槽; 河弯整治工程着眼于河道纵比降的改变, 通过裁弯取直, 缩短水流行程, 从而加大水面比降。

4.2.2 加强中上游水土保持措施 从长远和根本上考虑解决潼关河床高程问题及渭河下游淤积萎缩的方法和措施是, 加强潼关上游的水土保持措施。

据调查分析^[18], 渭河流域“03.8”洪水所形成的“小洪水、高水位、大灾害”的原因是多方面的, 主要原因有 3 个方面: 连续的强降雨, 次数多, 范围大, 历时长, 是该次洪灾的直接原因; 泾、洛、渭河上中游水土流失严重, 导致下游河床泥沙淤积严重, 使渭河下游段也变成了“悬河”, 这是该次洪灾根本原因; 另外由于三门峡水库的修建、运行, 使黄河潼关高程抬高, 在渭河入黄口形成泥沙顶托和淤堵的双重影响, 再加上特殊的“二华夹槽”地形条件, 大大加重了这次洪涝灾害的损失, 这是特定条件下的原因。渭河的“悬河”现象使“小洪水、高水位”成为了必然, 而“悬河”的出现最终原因还是中上游严重的水土流失。“03.8”洪水的问题暴露在下游, 祸害根源是在中上游。

因此, 要从根本上解决通关河床高程问题和渭河下游淤积萎缩问题, 就必须加强上中游地区的水土保持工作, 也就是通过水土保持措施的合理实施来实现。据测定, 以反坡梯田为主的工程措施, 可减少降雨径流 85%, 减少地面冲刷 90%; 坡面林草措施可大大增强土壤的抗蚀性, 减少土壤冲刷 55%~75%; 在沟道修建谷坊、淤地坝等工程, 可有效地削减局部暴雨形成的洪峰, 控制水沙下泻, 减轻河道淤积, 能够实现“蓄洪排清”, 且能增加基本农田, 促进水资源的合理利用。因此, 只要科学合理地配置水土保持措施, 进行综合治理, 以防治流域内水土流失, 减少入河泥沙, 改善生态环境, 减轻洪涝灾害, 达到蓄水保土拦沙之目的。例如, 澄城县李家河小流域(大浴河中段), 从 1989 年开始, 以沟、地埂建设为重点, 全面退耕还林,

现植被覆盖度已达 45%, 治理程度达 80% 以上。据计算, 该流域各项措施的平均蓄水 $3.22 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{a}$, 拦泥 $1.75 \times 10^4 \text{ t/a}$ 。在 2003 年 8—9 月的长历时、强降雨过程中(截止 11 月底已降雨 1 123.5 mm), 呈现出“泥不出沟, 清水常流”的景象, 其生态环境得到了明显的改善。

但是, 目前渭河流域水土流失的治理工作, 在大部分地区仍然是治理速度慢、治理工程标准低和治理措施不配套, 在水土保持措施的布设上, 过多地强调林、草、梯田等坡面治理措施, 忽视了淤地坝等沟道治理措施, 形不成完整的水土保持综合防护体系, 水土保持治理措施防止和抵御自然灾害的能力有限。原因是水土保持措施质量标准比较低, 重治轻管; 林草保存率低, 幼林数量多, 影响了水土保持措施的整体水平和质量; 淤地坝多建于 20 世纪 70—80 年代, 设计标准低, 质量较差, 现有小型坝已基本淤满, 大、中型坝库容淤损率已在 75% 以上, 大多数库坝运行方式已由拦转排, 且病险坝数量较多, 其防止和抵御自然灾害的能力有限^[19]。因此, 应加强渭河流域水土保持措施的区域适宜性与匹配关系的研究, 开展水土流失动态实时监测, 为科学配置治理措施, 加快水土流失治理步伐提供理论依据。

5 结 语

(1) 三门峡水库建库前, 潼关河床基本上保持冲淤平衡。建库后, 由 1960 年潼关高程 323.40 m 抬升到 2002 年汛后 328.78 m, 比建库前抬升了 5.38 m。潼关高程与潼沽段淤积量有直接连带的关系, 潼关高程的变化趋势与潼沽段累积冲淤量升降趋势一致。非汛期高水位蓄水历时长, 蓄水期来沙量多, 潼关河床淤积抬高量就大。要减少潼关河床的非汛期淤积, 降低水库非汛期运用水位, 减少高水位运用时间是十分有必要的。汛期库水位低, 低水位运用时间长, 上游入库流量大, 潼关高程冲刷降低幅度就大。

(2) 降低潼关高程, 首先要改变水库的运用方式, 水库运用方式对潼关高程起着重要的作用。在现有的泄流规模下, 汛期完全畅泄, 非汛期控制较低的水位发电, 潼关高程冲刷幅度会远在 2 m 以上。

(3) 加强上游水土保持治理改变来水来沙结构, 对控制潼关高程起到长期有效的作用。其它的辅助工

程对降低潼关高程也起到一定的积极作用。如, 东垆截弯工程, 潼关河段清淤工程等。

[参 考 文 献]

- [1] 邓贤艺. 三门峡水库运用方式对潼关高程影响的研究[C]. 西安理工大学硕士研究生论文, 1996.
- [2] 周建军. 降低三门峡水库潼关高程可行性研究[R]. 清华大学水利系研究报告, 2002. 6.
- [3] 张翠萍, 张原锋, 等. 黄河潼关河段冲淤变化及其对潼关高程的影响[J]. 人民黄河, 2000, 22(7): 19—20.
- [4] 鲁孝轩, 付卫山, 马花能, 等. 孙绵惠三门峡水库不同运用条件下的冲淤分布特点及对潼关高程的影响[J]. 人民黄河, 2001, 23(11): 15—17.
- [5] 姜乃迁, 侯素珍, 李文学, 等. 水沙条件对潼关高程作用分析[J]. 人民黄河, 2001, 22(7): 16—18.
- [6] 张仁. 潼关高程升高及其解决方法[J]. 泥沙研究, 2001(2): 12—16.
- [7] 周文浩, 陈建国, 李慧梅. 潼关高程及遏制渭河下游淤积的对策[J]. 泥沙研究, 2001(3): 1—9.
- [8] 曾庆华. 解决潼关以上库区继续淤积和洪涝灾害问题[J]. 泥沙研究, 2001(3): 10—15.
- [9] 郭庆超, 陆琴. 降低潼关高程可行性的数学模型计算与分析研究[R]. 中国水利科学研究院泥沙研究所研究报告, 2002. 6.
- [10] 吴保生. 三门峡水库运用与潼关高程变化研究成果的总结和分析[R]. 清华大学水利系研究报告, 2003.
- [11] 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.
- [12] 焦恩泽, 张翠萍. 潼关河床高程演变规律研究[J]. 泥沙研究, 1996(3): 64—72.
- [13] 孙绵惠, 李春光, 傅卫山, 等. 近期潼关水沙变化对河床冲淤的影响[J]. 泥沙研究, 2001(2): 70—73.
- [14] 赵克玉. 三门峡水库运用方式对潼关高程的影响[J]. 西北水资源与水工程, 2001, 12(1): 32—36.
- [15] 李文学, 王敏, 李连祥. 黄河潼关河段射流清淤试验综述[J]. 人民黄河, 2000, 22(7): 4—5.
- [16] 姜乃迁, 李文学, 张翠萍, 等. 黄河潼关河段清淤研究[J]. 人民黄河, 2000, 22(9): 17—18.
- [17] 王敏, 鲁孝轩, 孙绵惠. 黄河潼关河段清淤效果分析[J]. 人民黄河, 2000, 22(7): 14—15.
- [18] 水利部水保司. 渭河流域“038”特大暴雨洪水及水土保持调研报告[R]. 2003.
- [19] 马勇, 王宏, 等. 渭河流域水土保持措施保存率及质量状况调查[R]. 人民黄河, 2002, 24(8): 21—22.