

文章编号: 1672-3031 (2003) 01-0030-06

## 降低潼关高程途径的研究

胡春宏<sup>1</sup>, 郭庆超<sup>1</sup>, 陈建国<sup>1</sup>

(1. 中国水利水电科学研究院 泥沙研究所, 北京 100044)

**摘要:** 本文在深入分析三门峡水库运用方式与潼关高程的关系以及潼关高程不同阶段升高原因的基础上, 采用非均匀不平衡泥沙数学模型, 探讨了三门峡水库运行方式、来水来沙条件、跨流域调水、河道整治、裁弯、疏浚、水库增大泄流规模等措施对降低潼关高程的作用。指出为使潼关高程进一步有比较明显的降低, 应采取多项措施的组合。

**关键词:** 三门峡水库; 泥沙淤积; 潼关高程; 水库运行方式; 渭河下游; 治理措施

中图分类号: TV147

文献标识码: A

### 1 三门峡水库与潼关高程

三门峡水利枢纽是黄河上修建的第一座大型枢纽工程, 控制了黄河流域面积的 91.5%, 来水量的 89%, 来沙量的 98%。水库在 1960 年 9 月 15 日建成蓄水运用后, 便发生了严重的淤积<sup>[1-3]</sup>, 造成水库库容大幅度减小, 潼关高程 (指 1000m<sup>3</sup>/s 流量时的水位) 不断抬高, 渭河下游溯源淤积不断向上游发展。为减轻水库泥沙淤积和库区的洪涝灾害, 水库被迫几次改变运行方式<sup>[1-3]</sup>。自 1960 年以来, 水库采用的运用方式有: 蓄水拦沙运用 (1960 年 9 月~1962 年 3 月)、滞洪排沙运用 (1962 年 4 月~1973 年 10 月)、蓄清排浑运用 (1973 年 10 月以后)。同时, 为增大水库泄流规模, 水库还进行了两次改建<sup>[2]</sup>, 第一次改建于 1968 年完成, 第二次改建于 1973 年完成。

**1.1 水库冲淤过程** 表 1 给出了不同时期三门峡水库冲淤过程。由表可见, 三门峡水库的冲淤过程具有如下特点: (1) 水库淤积与水库运行方式密切相关, 蓄水拦沙运用时水库淤积最为严重, 滞洪排沙运用时水库淤积也很大; (2) 由于枢纽泄流能力不足, 滞洪排沙方式仍不能将全部泥沙排出库; (3) 蓄清排浑运用使潼关以下库区泥沙冲淤基本平衡; (4) 潼关高程大幅升高和渭河下游河道的溯源淤积主要发生在三门峡水库运用的前期; (5) 近期潼关高程的上升和渭河下游河道的淤积与来水偏枯有很大关系。

表 1 三门峡水库不同时期冲淤量统计 (单位: 亿 m<sup>3</sup>)

运行方式	时间	潼关以上	潼关以下	渭河下游	北洛河	总淤积量	潼关高程升降 m
蓄水拦沙	1960 9~1962 5	2 7912	14 3086	0 7407	0 1213	17 9618	+ 2 70
滞洪排沙	1962 5~1969 10	10 1855	15 9408	8 0268	1 189	35 3421	+ 2 55
	1969 10~1973 10	2 4613	- 3 7187	1 3011	- 0 0294	0 0143	- 2 01
蓄清排浑	1973 10~2000 10	6 1737	2 6074	3 0132	1 6256	13 4199	+ 1 72
合计	1960 9~2000 10	21 6117	29 1381	13 0818	2 9065	66 7381	+ 4 96

**1.2 水库泄流规模与水库排沙比** 水库运用初期, 由于泄流规模较小, 排沙底孔均封闭, 水库泥沙淤积严重。为了增大泄流规模, 提高排沙能力, 水库进行了两次改建, 修建了 2 条排沙洞, 打开了

收稿日期: 2003-04-04

基金项目: 国家重点基础研究规划 (973) 项目 (G1999043604); 水利部水利基建前期资助项目

作者简介: 胡春宏 (1962-), 男, 浙江人, 博士, 教授级高级工程师, 主要研究方向: 河道演变与整治、水库泥沙、河口海岸泥沙等。

12个排沙底孔,使315m水位泄流量由 $3084\text{m}^3/\text{s}$ 增大到 $9701\text{m}^3/\text{s}$ ,如表2所示。由表2可见,自1970年水库泄流规模增大和低水位运行及1973年蓄清排浑运用以来,水库排沙比均大于1,汛期排沙比在1.2以上。表3进一步给出了不同时期各级水位下水库的泄流能力。

表2 三门峡水库不同时期泄流规模变化与水库排沙比

运用方式	时间	315m水位泄流量 ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	进水口底板高程 m	年排沙比 (%)	汛期排沙比 (%)	泄流设施
蓄水拦沙	1960.9~1962.3	3084	300	6.88		12深+2表孔
滞洪排沙	1962.3~1966.6	3084	300	58		12深+2表孔
	1966.7~1970.6	6102	290	82.5		12深+2洞+4管
	1970.7~1973.10	9059	280	103.5		12深+8底+2洞+3管
蓄清排浑	1973.10~1985.10	9059	280	106.5	122	12深+8底+2洞+3管
	1985.11~1990.10	8991	280	101.2	125	12深+10底+2洞+3管
	1990.11至今	9701	280	93.1	119	12深+12底+2洞+3管

表3 三门峡水库不同时期各级水位下的泄流能力 (单位:  $\text{m}^3/\text{s}$ )

年份	水位 m						
	285	290	295	300	305	310	315
1964	0	0	0	0	612	1728	3084
1984	440	880	1894	2872	4529	7227	9060
2000	565	1188	2265	3633	5455	7830	9701

**1.3 潼关高程的变化** 表4和图1给出了潼关高程历年的变化过程。由表可见,潼关高程的变化过程十分复杂,影响因素是多方面的。分析认为,潼关高程的升降与水库的运行方式、泄流规模、坝前控制水位及来水来沙密切相关。

表4 潼关高程变化过程统计 (单位: m)

年份	汛前	汛后	年份	汛前	汛后	年份	汛前	汛后
1959	323.33	323.45	1973	328.13	326.64	1987	327.30	327.16
1960	323.80	323.40	1974	327.19	326.70	1988	327.37	327.08
1961	326.50	329.06	1975	327.23	326.04	1989	327.62	327.36
1962	326.10	324.89	1976	326.71	326.12	1990	327.76	327.60
1963	325.14	325.76	1977	327.37	326.79	1991	328.02	327.90
1964	326.03	328.09	1978	327.30	326.09	1992	328.40	327.30
1965	327.95	327.64	1979	327.76	327.62	1993	327.76	327.68
1966	327.99	327.13	1980	327.82	327.38	1994	327.95	327.69
1967	327.73	328.50	1981	327.62	326.94	1995	328.12	328.24
1968	328.65	328.11	1982	327.44	327.06	1996	328.42	328.07
1969	328.70	328.65	1983	327.39	326.57	1997	328.24	328.02
1970	328.46	327.71	1984	327.18	326.75	1998	328.28	328.12
1971	327.74	327.50	1985	326.96	326.64	1999	328.46	328.12
1972	327.44	327.10	1986	327.08	327.18	2000	328.45	328.36

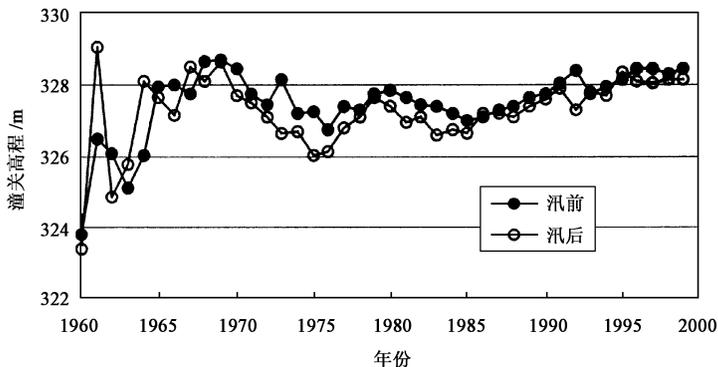


图1 汛前、汛后潼关高程变化过程

**1.4 渭河下游河道冲淤变化<sup>[4]</sup>** 表 5 给出了不同时期渭河下游冲淤量的统计值。由表可见: (1) 渭河下游在 1960~2000 年期间共淤积泥沙 13 0878 亿  $m^3$ , 其中渭拦 渭淤 10 的淤积占了 68%; (2) 随着潼关高程的抬升, 在 1960~1969 年期间淤积发展较为迅速, 并主要集中在渭淤 10 以下, 随后淤积不断向上发展, 但淤积强度较渭淤 10 以下要小得多。

表 5 渭河下游不同时期冲淤量统计 (单位: 亿  $m^3$ )

河段	1960 6~	1966 5~	1969 10~	1973 10~	1981 10~	1991 10~	1960 6~
	1966 5	1969 10	1973 10	1981 10	1991 10	2000 10	2000 10
渭拦~ 渭淤 1	0 1908	0 2143	- 0 0088	0 0591	0 0567	0 054	0 5661
渭淤 1~ 10	1 4987	4 9683	0 1637	0 0449	0 2624	1 3701	8 3081
渭淤 10~ 26	0 2827	1 6477	1 1381	- 0 2173	0 0353	1 0198	3 9063
渭淤 26~ 28	- 0 0624	0 0191	0 0412	0 1103	- 0 0337	0 0972	0 1717
渭淤 28~ 37	- 0 0029	0 0172	- 0 0331	0 0711	- 0 0053	0 0886	0 1356
合计	1 9069	6 8666	1 3011	0 0681	0 3154	2 6297	13 0878

**1.5 潼关高程上升原因分析** 三门峡水库修建前, 潼关河段属于天然河道, 由于缺乏实测潼关高程的历史资料, 目前对历史上潼关高程的变化还有不同的认识<sup>[5]</sup>, 但综合各家的研究成果, 从一个较长的历史时期来看, 潼关附近是处于微淤状态的, 这与小北干流的累积淤积发展、黄渭洛汇流区及潼关的地形特点等有关。

三门峡水库修建后, 潼关高程经历了上升 下降 基本稳定 逐步抬升 4 个阶段<sup>[5]</sup>, 实测资料分析表明: 从 1960 年 9 月~1969 汛末为第一阶段, 由于水库运用方式不当, 潼关高程呈迅速抬高之势, 共抬高了 5.25m, 并使渭河下游发生溯源淤积; 1969 汛末~1973 年汛末, 随着枢纽泄流规模的增加、水库运行水位的降低 (近似于全年敞泄) 及来水来沙较为有利, 潼关高程下降了 2.01m; 1973 年汛末~1985 年汛末, 由于水库采取蓄清排浑运用方式, 水库基本处于冲淤平衡状态, 潼关高程相对较稳定; 1985 年汛末至今, 持续来水偏枯, 潼关高程缓慢持续抬升, 90 年代后期一直处于 328m 以上, 到 2002 年汛末达 329m 以上。综合分析认为, 潼关高程的抬升主要是三门峡水库前期运用造成的, 大部分抬升发生在 1960~1969 年期间, 而 1985 年以后则是不利的来水来沙条件对潼关高程的抬升作用更大一些, 也就是说, 三门峡水库的运行方式和上游来水来沙条件对潼关高程的升降均有着重要的影响, 只是不同时期各自的影响程度有所不同。

为了探讨降低潼关高程的途径, 本文利用泥沙数学模型对可能降低潼关高程的各种措施 (包括三门峡运行方式、来水来沙条件、跨流域调水、河道整治、裁弯、疏浚等) 进行研究。研究中所采用的泥沙数学模型是根据非均匀不平衡输沙理论而建立的<sup>[5]</sup>。通过对 1960~1999 年三门峡水库运用 40 年来冲淤情况的全面复演, 充分检验了该模型的适应性。需要指出的是, 以下的研究成果, 主要侧重于各种降低潼关高程措施之间作用大小的比较, 而各种措施降低潼关高程的绝对值只具参考意义。

## 2 三门峡水库运用方式对降低潼关高程的作用

**2.1 水库不同运用方式下潼关高程的降低幅度** 表 6 给出了三门峡水库采用不同运用方式时利用泥沙数学模型计算得到的潼关高程的变化情况, 其中方案 1~3 采用了 1974~1999 年水沙系列, 方案 4 采用了偏丰的 1974~1986 年水沙系列, 方案 5 采用了偏枯的 1987~1999 年水沙系列, 由表 6 可见: (1) 全年敞泄的方案 1 较汛期敞泄非汛期控制运用的方案 3 潼关高程多下降 0.26m; (2) 偏丰水沙系列的方案 4 较偏枯水沙系列的方案 5 潼关高程多下降 1.13m; (3) 在全年敞泄情况下, 随着枯水年和丰水年的不同, 与现状相比, 潼关高程可下降约 0.8~2m, 而汛期敞泄、非汛期控制 315m 水位时, 潼关高程的下降值较全年敞泄时小约 0.2~0.4m。

表 6 三门峡水库不同运用方式时潼关高程的变化

方案	水库运用方式	潼关高程 m
方案 1	现有泄流能力, 全年敞泄, 1974~ 1999 年水沙系列	326.44
方案 2	增加泄流能力, 全年敞泄, 1974~ 1999 年水沙系列	326.39
方案 3	现有泄流能力, 汛期敞泄, 非汛期 315m, 1974~ 1999 年水沙系列	326.70
方案 4	现有泄流能力, 全年敞泄, 1974~ 1986 水沙系列	326.12
方案 5	现有泄流能力, 全年敞泄, 1987~ 1999 水沙系列	327.25

2.2 水库控制运用与全年敞泄运用潼关高程差的变化过程 图 2 给出了方案 3 与方案 1 潼关高程差在不同年份的变化过程, 进一步说明了在不同运行方式下, 潼关高程升降与年水沙量的关系。在计算的 25 年系列中, 方案 3 与方案 1 的潼关高程差最大达 0.59m, 最小为 0.04m, 平均值 0.22m, 系列末为 0.26m。

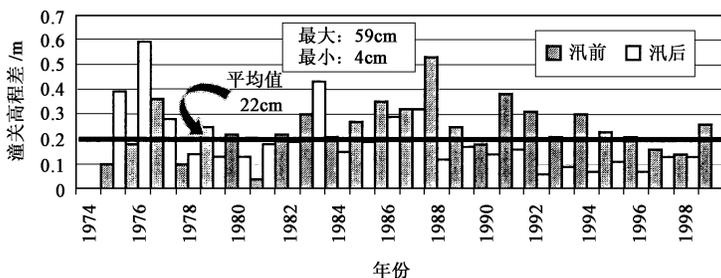


图 2 水库非汛期控制 315m 水位运用与全年敞泄运用潼关高程差变化过程

图 3 给出了三门峡水库汛期敞泄非汛期不同控制水位运用与全年敞泄运用时潼关高程差变化过程, 由图可见: (1) 非汛期运用控制水位在 315m 以上时, 随控制水位的增加, 全年敞泄运用与非汛期控制水位运用之间潼关高程差相差愈来愈大, 特别是在 320m 以后, 两者差值趋于更大; (2) 非汛期控制运用水位在 315m 以下时, 两种运用方式潼关高程差相差较小, 且趋于一定值, 说明非汛期运用水位如控制在 315m 以下, 两种运用方式对降低潼关高程的作用相差不多。

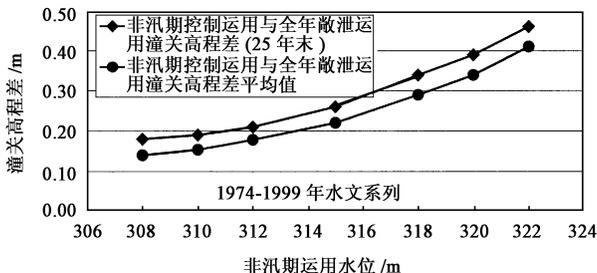


图 3 水库非汛期不同控制水位运用与全年敞泄运用潼关高程差变化过程

### 3 各种措施对进一步降低潼关高程作用的研究

采用上述泥沙数学模型, 进一步对降低潼关高程可能的各种措施进行了研究, 着重比较了各种措施下, 水库按全年敞泄运用和按现状运用 (1974 年 7 月~ 1975 年 6 月水库的实际运用方式) 时潼关高程降低的幅度, 具体计算条件如表 7 所示。

表 8 给出了各种措施对进一步降低潼关高程效果的计算结果, 由表可见: (1) 增加水量 (包括跨流域调水和丰水系列)、减少来沙、疏浚等措施对进一步降低潼关高程效果明显。人造洪峰对进一步降低潼关高程有一定作用, 其效果与人造洪峰的历时密切相关。枯水系列与基本系列相比, 潼关高程有所上升。(2) 河道整治措施 (包括裁弯、缩窄河宽等) 对进一步降低潼关高程有一定效果。(3) 增加三门峡水库泄流规模对降低潼关高程效果不明显。(4) 与水库现状运用相比, 在水库全年敞泄运用条件下, 各种措施对进一步降低潼关高程的效果更好一些, 这与敞泄运用时, 水流比降增加从而使相

同水量的水流动能有所增加是一致的。(5)除了增加水量、减少来沙和疏浚对进一步降低潼关高程有明显作用外,其它单项措施效果不是很明显。因此,要使潼关高程进一步有比较明显下降应采用多项措施的组合。

表7 基本计算条件汇总

计算条件	全年敞泄运用	现状运用
来水来沙	以潼关站 1974 年 7 月 1 日~ 1975 年 6 月 30 日来水来沙为基础,并对汛期流量乘以系数 1.4,使得年来水来沙量与 1974~ 1999 年系列的平均值基本相同,构成基本水沙系列。	同敞泄运用
水库运用	现有泄流条件下全年敞泄运用,坝前运用水位和出库流量由水库调蓄计算确定。	与 1974 年 7 月 1 日~ 1975 年 6 月 30 日实际运用相同,对于汛期部分天数来流大于相应运用水位时的泄流能力,坝前水位和出库流量需进行调洪计算。
初始断面	2001 年汛后实测断面	同敞泄运用
计算历时	将基本水沙系列循环计算 15 年。	同敞泄运用

表8 各种措施下潼关高程进一步降低幅度的比较

措施	潼关高程差值 m		说明	
	与基本系列 全年敞泄比	与基本系列 现状运用比		
1 增加水量 (跨流域调水)	利用调水等措施使潼关汛期水量增加 30 亿 m <sup>3</sup> 。	0.13~ 0.48	0.07~ 0.28	由于汛期水量增加,因而汛期下降明显,而非汛期略有下降。敞泄时增加水量对降低潼关高程效果更好,这与敞泄时比降增大导致水流能量增加是一致的。
2 减少来沙	利用水土保持或修建水利枢纽等措施使潼关来沙量减少 20%。	0.16~ 0.28	0.22~ 0.28	减少来沙对降低潼关高程有一定效果,且非汛期下降的效果比汛期好。
3 人造洪峰	利用上游水利枢纽的调节功能形成人造洪峰。汛期有两天洪峰流量由 4000m <sup>3</sup> /s 增加到 6000m <sup>3</sup> /s,年总水量不变。	0.05~ 0.18	0.03~ 0.09	在年总水量保持不变的情况下,增大洪峰流量有利于降低潼关高程,且敞泄时效果更明显。洪峰流量越大次数越多越有利于潼关高程的下降。
4 枯水系列	年来水来沙量分别为 280 亿 m <sup>3</sup> 和 7.6 亿 t。	与基本系列比 上升 - 0.21~ - 0.92	与基本系列 比上升 - 0.13~ - 0.52	与基本系列相比,枯水系列潼关高程上升明显,特别是汛末。敞泄条件下上升更明显。
5 丰水系列	年来水来沙量分别为 377 亿 m <sup>3</sup> 和 12.1 亿 t。	0.21~ 0.82	0.07~ 0.40	与基本系列相比,丰水系列潼关高程下降明显,特别是汛末。敞泄条件下下降更明显。
6 裁弯	在黄淤 27~ 30 (东轱弯等) 河段裁弯,使河道长度缩短 10km。	0.08~ 0.13	0.02~ 0.04	与基本系列相比,裁弯对进一步降低潼关高程效果不明显。
7 缩窄河宽	潼古段实施河道整治,缩窄河宽,增加单宽流量,河宽缩窄 20%。	0.07~ 0.34	- 0.10~ 0.15	在敞泄运用条件下,缩窄潼古段的河宽有好处,在汛期时效果比较明显,而如果在现状运用条件下缩窄潼古段河宽对降低潼关高程效果不大,非汛期水位反而有上升可能。
8 疏浚	潼古段实施疏浚,河道断面普遍挖深 0.4m。	0.35	0.33	在潼古段河道断面普遍挖深条件下,潼关高程进一步降低效果明显,并可以维持。然而在实际中使某一河段断面普遍大规模挖深不易实现。
9 增加泄流	增加三门峡水库泄流能力 (315m 泄流 13300m <sup>3</sup> /s)。	0.06		增加泄流能力对降低潼关高程效果不明显。

## 4 结语

(1) 三门峡水库运行方式和来水来沙条件对潼关高程的升降均有着重要的影响,潼关高程的抬升主要是 1960~ 1969 年期间三门峡水库前期运用造成的,1985 年以后则是来水来沙条件对潼关高程的抬升作用更大一些。(2) 采用 1974~ 1999 年水沙系列,各种水库运行方式下泥沙数学模型计算结果及

分析表明: 在三门峡水库采用全年敞泄运用或非汛期控制 315m 水位运用及不同的来水来沙条件下, 潼关高程是可以降下来的, 但不同方案潼关高程降低的幅度是不同的, 其范围约为 0.8~ 2m; 汛期敞泄非汛期控制水位在 315m 以下, 与全年敞泄运用相比, 对降低潼关高程的作用相差不大。(3) 不同的措施对进一步降低潼关高程的作用有所不同, 跨流域调水、减少来沙和大规模疏浚对降低潼关高程有明显作用, 其它措施效果不显著, 因此, 要使潼关高程进一步有比较明显降低应采取多项措施的组合。

#### 参 考 文 献:

- [ 1 ] 胡春宏, 陈建国, 周文浩, 李慧梅. 三门峡水库现状及遏制泥沙淤积的对策 [J]. 水利学报, 2001, 增刊: 98- 102
- [ 2 ] 三门峡水利枢纽管理局, 等. 三门峡水利枢纽运用四十周年论文集 [C]. 郑州: 黄河水利出版社, 2001.
- [ 3 ] 陕西省三门峡库区管理局, 等. 陕西省三门峡库区防洪暨治理学术研讨会论文集 [C]. 郑州: 黄河水利出版社, 2001.
- [ 4 ] 陈建国, 胡春宏, 戴清. 渭河下游近期河道萎缩特点及治理对策 [J]. 泥沙研究, 2002, ( 6 ): 45- 52
- [ 5 ] 郭庆超, 胡春宏, 陆琴, 陈建国, 祁伟. 三门峡水库不同运用方式对降低潼关高程作用的研究 [J]. 泥沙研究, 2003 ( 1 ): 15- 24

### Investigation on approaches to lower water level at Tongguan station

HU Chun-hong<sup>1</sup>, GUO Qing-chao<sup>1</sup>, CHEN Jian-guo<sup>1</sup>

(1 Dept. of Sediment, IWHR, Beijing 100044, China)

**Abstract:** On the basis of a comprehensive analysis on the relationship between water level variation at Tongguan station in the lower reaches of the Weihe River and operation modes of Sanmenxia Reservoir and on the basis of an analysis on the reasons of rising of Tongguan water level in different periods, a sedimentation mathematical model of non-uniform and non-stable flow was established to study the effects of lowering the water level at the Tongguan station by the action of the following items. These items included: operation modes of Sanmenxia Reservoir, sediment transport, the condition of water and silt inflow, inter-basin water diversion, river channel regulation, river channel cutoff, channel dredging, increase of reservoir discharge capacity. Results suggest that comprehensive measures should be taken to further lower Tongguan water level.

**Key words:** Sanmenxia Reservoir; sedimentation; Tongguan water level; reservoir operation modes; the lower reaches of the Weihe River; river regulation measures

(责任编辑: 王宝琴)