

文章编号: 1672-3031(2005)04-0243-08

引江济渭工程对渭河下游河道冲淤及降低潼关高程作用的初步研究

胡春宏, 陈建国, 王崇浩

(中国水利水电科学研究院, 北京 100044)

摘要: 采用一维泥沙数学模型计算与分析了引江济渭工程不同引水方案对渭河下游河道和潼三河段冲淤及降低潼关高程的作用。计算方案考虑了 1981~1990 年的丰水系列和 1991~2000 年的枯水系列两种水沙条件, 汛期引水量分别为 30 亿 m^3 、50 亿 m^3 和 100 亿 m^3 的不同引江济渭工程规模及 5 种引水量分配方式。分析结果表明, 引江济渭工程的实施对渭河下游河道减淤和潼三河段冲刷及降低潼关高程将产生一定的作用, 随着引水量的增加和分配方式的优化, 作用将更加明显。当引水量为 30 亿 m^3 和 50 亿 m^3 、调蓄水库采用汛期月调节(引水量分配方式 4)时, 计算 10 年末渭河下游河道由累计性淤积转为累计性冲刷甚至年内冲刷, 丰水系列下游河道淤积量可分别比无引江济渭工程情况减少 1.4334 亿 m^3 和 1.7034 亿 m^3 , 潼关高程可分别下降约 0.53m 和 0.97m; 枯水系列下游河道淤积量可分别比无引江济渭工程情况减少 1.3056 亿 m^3 和 2.0415 亿 m^3 , 潼关高程可分别下降约 0.83m 和 1.16m 左右; 丰水系列所需调蓄库容比枯水系列的大, 相应于引水量为 30 亿 m^3 和 50 亿 m^3 , 丰水系列所需调蓄水库库容分别为 4.42 亿 m^3 和 5.59 亿 m^3 。

关键词: 引江济渭; 渭河下游; 三门峡水库; 潼关高程; 调蓄水库

中图分类号: TV143

文献标识码: A

1 前言

渭河下游河道历史上处于冲淤基本平衡状态。三门峡水库建成初期, 受水库蓄水运用及泄流规模的影响, 潼关高程迅速抬高, 导致渭河下游严重淤积; 水库二次改建后, 随着水库运用方式的改变、最高运用水位不断调整和遭遇有利的来水来沙条件, 潼关高程下降了近 2m, 并相对稳定在 327.5m 左右, 1974~1990 年渭河下游河道冲淤幅度较小。1991 年以来, 由于渭河来水量大幅度减少, 高含沙小洪水频繁出现, 渭河下游河道淤积严重、主河槽萎缩、过流能力下降, 造成渭河下游的防洪问题日益突出^[1]。

随着社会经济的发展及西部大开发战略的实施, 降低潼关高程、减轻渭河下游防洪压力的呼声越来越高, 需求也越来越紧迫, 再次引起党和国家领导人及水利部领导的关注。各方提出了许多解决渭河下游防洪问题的途径, 如进一步优化三门峡水库运用方式、修建东庄水库、引江济渭加大渭河下游汛期水量等, 并取得了一些成果^[2~4]。由于引江济渭方案涉及长江、黄河两大流域, 涉及三峡、三门峡、小浪底、南水北调西线四大工程, 关系到三峡水库电力平衡和黄河水沙平衡等重大问题, 因此, 引江济渭方案的前期论证和相关研究工作尤为重要。特别是引江济渭工程实施对渭河下游河道冲淤、潼关高程升降及对黄河下游河道演变的作用等尚未做深入的研究工作。本文采用实测资料分析和泥沙数学模型计算的方法系统研究了引江济渭工程实施对渭河下游河道和潼三河段(潼关至三门峡大坝)冲淤及降低潼关高程变化的作用, 并对引水量规模、引水量分配方式及调蓄水库库容等问题进行了初步的探讨。

2 泥沙数学模型及验证

2.1 泥沙数学模型简介 天然河道中随水流运动的泥沙都是非均匀沙, 为了反映非均匀沙的运动规

收稿日期: 2005-09-01

基金项目: 国家自然科学基金项目(50479069); 中国水利水电科学研究院青年基金项目(2004QN08)

作者简介: 胡春宏(1962-), 男, 浙江慈溪人, 博士, 教授级高级工程师, 从事水力学及河流动力学研究。

律,利用非均匀沙不平衡输移理论^[5-7],建立了适用于渭河下游及三门峡水库的一维非均匀沙不平衡泥沙冲淤数学模型。模型的突出优点是整个模型只有一个可调的挟沙能力系数,而且可以由定性分析来估算该系数,其他系数都有固定取值,使模型应用起来简单方便^[1,2,4]。

该模型描述一维恒定非均匀流的水流运动的离散方程为

$$H_{i,j} = H_{i,j+1} + \frac{n_{j+1}^2 \Delta x_{j+1}}{2} \left[\frac{Q_{i,j+1}^2 B_{i,j+1}^3}{A_{i,j+1}^{10/3}} + \frac{Q_{i,j}^2 B_{i,j}^3}{A_{i,j}^{10/3}} \right] + \frac{1}{2g} \left[\frac{Q_{i,j+1}^2}{A_{i,j+1}^2} - \frac{Q_{i,j}^2}{A_{i,j}^2} \right] \quad (1)$$

式中: H 为水位(m); n 为曼宁糙率系数; A 为过水面积(m^2); B 为水面宽(m); g 为重力加速度(m/s^2); 脚标 i,j 分别表示时段号和断面号。给定出口断面的水位及进口断面的流量,由式(1)便可计算出各断面的水力因素。

悬移质输沙计算采用非均匀不平衡输沙方程^[7]

$$S_{i,j} = S_{i,j}^* + (S_{i,j-1} - S_{i,j-1}^*) \sum_{L=1}^m P_{L,i,j-1} \mu_{L,i,j} + S_{i,j-1}^* \sum_{L=1}^m P_{L,i,j-1} \beta_{L,i,j} - S_{i,j}^* \sum_{L=1}^m P_{L,i,j} \beta_{L,i,j} \quad (2)$$

其中

$$\begin{aligned} \mu_{L,i,j} &= e^{-\frac{\alpha (B_{i,j-1} + B_{i,j}) \Delta x_i}{Q_{i,j-1} + Q_{i,j}}} \\ \beta_{L,i,j} &= \frac{Q_{i,j-1} + Q_{i,j}}{\alpha (B_{i,j-1} + B_{i,j}) \Delta x_i} (1 - \mu_{L,i,j}) \\ S_{i,j}^* &= K_0 \frac{Q_{i,j}^{2.76} B_{i,j}^{0.92}}{A_{i,j}^{3.68} \omega_{i,j}^{0.92}} \\ \omega_{i,j}^{0.92} &= \sum_{L=1}^m P_{L,i,j} \omega_L^{0.92} \end{aligned}$$

式中: S 为含沙量(kg/m^3); S^* 为水流挟沙力(kg/m^3); P_L 为悬移质级配; ω_L 为第 L 组粒径泥沙沉速(m/s); α 为恢复饱和系数,冲刷时取 1.0,淤积时取 0.25; K_0 为挟沙能力系数; m 为泥沙分组数。

泥沙冲淤后河床面积变化方程为

$$\Delta a_{i,j} = \frac{Q_{i,j-1} S_{i,j-1} - Q_{i,j} S_{i,j}}{\rho \Delta x_j} \Delta t_i \quad (3)$$

式中: Δt 为计算冲淤变形的时间步长(s); ρ 为床沙干容重(kg/m^3)。

2.2 模型的验证 为检验所建立的泥沙数学模型在渭河下游及三门峡水库的适用性,采用 1994~1999 年的实测资料对模型进行了验证,验证的主要内容包括渭河下游河道、潼三河段的冲淤量及潼关高程的变化。

图 1 和图 2 分别给出了各水文年内渭河下游河道和潼三河段的计算冲淤量与实测值的比较,由图可见,计算值与实测值符合良好,渭河下游河道 5 年累计实测淤积量为 0.730 亿 m^3 ,计算淤积量为 0.723 亿 m^3 ;潼三河段实测累计淤积量为 0.486 亿 m^3 ,计算淤积量为 0.496 亿 m^3 。模型也反映了渭河下游小水年淤积、大水年冲刷和潼三河段汛期冲刷、非汛期淤积的基本规律,表明本模型能够较好地模拟所研究河段的河床冲淤规律。

图 3 给出了潼关高程计算值与实测值的比较,可见两者符合较好。模型较好地模拟了不同水沙年份潼关高程汛期下降、非汛期淤高的规律。

3 引江济渭工程对渭河下游河道和潼三河段冲淤及降低潼关高程的作用

3.1 计算条件 在泥沙数学模型计算中,将引江济渭工程的引水量按一定的分配方式加入到渭河咸阳水文站的日水量过程中。计算选用了两个水沙条件:1981~1990 年的丰水系列和 1991~2000 年的枯水系列,两个水沙系列渭河咸阳水文站与泾河张家山水文站合计的年来水和来沙量变化过程如图 4 所示。计算的初始条件为 2000 年汛后的实测地形。

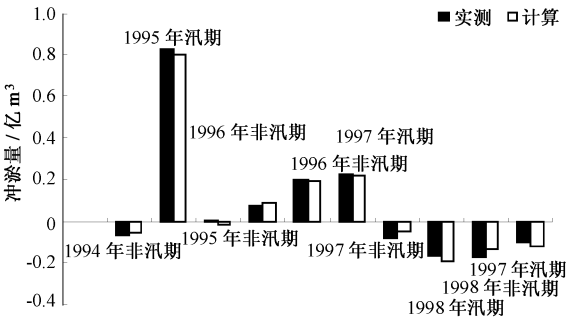


图 1 渭河下游河道冲淤量计算值与实测值比较

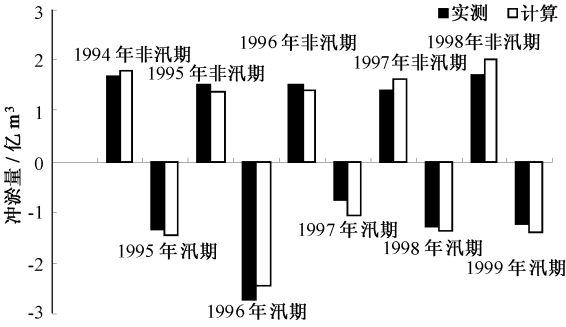


图 2 潼三河段冲淤量计算值与实测值比较

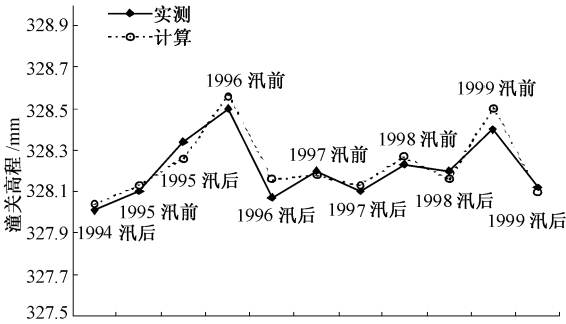


图 3 潼关高程计算值与实测值比较

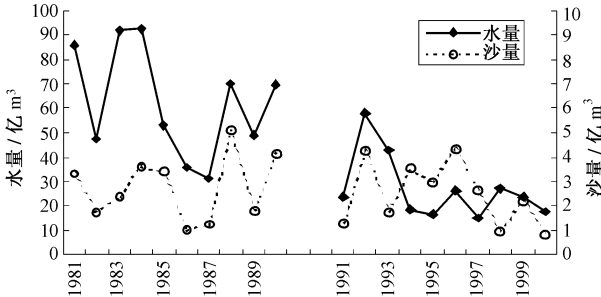


图 4 渭河咸阳站和泾河张家山站合计系列年水沙量变化过程

在模型计算中, 三门峡水库的控制运用方式为汛期敞泄、非汛期最高水位按 318m 控制运用; 引江济渭年引水量分别考虑 30 亿 m^3 、50 亿 m^3 和 100 亿 m^3 三种不同的引水规模, 考虑到不同引水量下渭河下游河道不淤的最小流量(或平滩流量)有所不同, 三种引水量时分别考虑了 800 m^3/s 、1 000 m^3/s 和 1 200 m^3/s 三级渭河下游河道的特征流量, 以此特征流量作为渭河下游主河槽的控制流量, 以期使之对主河槽的塑造作用最大。引水主要安排在汛期, 汛期的引水量按 5 种不同的分配方式注入渭河咸阳水文站(如表 1): 引水量分配方式 1 不考虑水库调蓄, 汛期引水直接加入渭河咸阳水文站; 引水量分配方式 2 和 3 首先计算每年汛期进入渭河下游的流量(咸阳站与张家山站流量之和)小于特征流量的天数, 引水量分配方式 2 将引水量按这些天数的平均流量加入咸阳站, 引水量分配方式 3 在这些天数中按进入渭河下游流量与特征流量之差的过程分配, 渭河下游流量越小, 补水流量越大, 这两种引水量分配方式需通过年调节水库配合; 引水量分配方式 4 和 5 分别按调蓄水库汛期月调节和半月调节水库水量, 调蓄水库的拦蓄周期分别为 20d 和 10d, 在拦蓄期, 当进入渭河下游的流量大于设计特征流量时, 水库拦蓄每日引水量, 当渭河下游流量与引水流量之和大于设计特征流量时, 拦蓄超过特征流量的那部分水量, 拦蓄的水量分别在拦蓄期后的 10d 和 5d 内按可调节的日平均流量与日引水流量一并加入渭河咸阳水文站, 在引水量分配方式 4 和 5 下调蓄水库每个汛期分别运行 3 次和 6 次。综合考虑水沙系列、引水量及引水量分配方式等组合了 30 个计算方案, 各计算方案和不引水方案的说明及计算结果如表 2 所示。

3.2 引江济渭工程对渭河下游河道减少淤积和潼三河段冲刷及降低潼关高程的效果分析 在无引江济渭工程情况下, 渭河下游河道在未来 10 年将产生淤积, 丰水和枯水系列计算 10 年末的淤积量分别为 0.120 亿 m^3 和 1.2134 亿 m^3 , 而 1981~1990 年和 1991~2000 年的实测淤积量分别为 0.359 亿 m^3 和 2.630 亿 m^3 。与 1981 年和 1990 年的渭河下游河道地形相比, 计算起始年 2000 年的河道地形有一定程度的淤高, 在遭遇同样的水沙条件, 渭河下游河道再经 10 年的调整, 淤积量必然有所减少, 从定性角度来看, 计算结果是合理的。当三门峡水库汛期运用方式由现状改为汛期敞泄、非汛期最高水位按 318m 控制运用后, 潼三河段发生了不同程度的冲刷, 丰、枯水系列 10 年末的累计冲刷量分别为 2.0833 亿 m^3 和 1.5355 亿 m^3 , 潼关高程分别下降到 327.07m 和 327.59m。

表 1 引江济渭方案引水量分配方式统计

序号	引水量分配方式
方式 1	不经调节,将每日引水量直接加入渭河咸阳水文站。
方式 2	年调节分配,汛期总引水量按汛期渭河下游流量小于设计特征流量的天数平均加入渭河咸阳水文站。
方式 3	年调节分配,汛期总引水量按汛期渭河下游流量与设计特征流量之差的过程分配。
方式 4	汛期月调节分配,汛期每月前 20d,当渭河下游流量大于设计特征流量,拦蓄引水量;若渭河下游流量与引水流量之和大于特征流量,拦蓄超出部分的水量;每月下旬,将拦蓄水量按日平均可下泄流量和引水流量一并加入渭河下游咸阳水文站。
方式 5	汛期半月调节分配,拦蓄周期 10d。在拦蓄期,当渭河下游流量大于设计特征流量时,拦蓄引水量;若渭河下游流量与引水流量之和大于特征流量,拦蓄超出部分的水量;在拦蓄期后的 5d 按可调节的日平均流量与日引水流量一并加入渭河咸阳水文站。

引江济渭工程的实施改变了进入渭河下游及三门峡库区的水沙条件,渭河下游河道及潼关高程必然随之进行相应的调整。但不同引水规模对渭河下游河道冲淤及潼关高程的影响除与工程规模自身因素及所选水文系列有关外,还与引水量注入渭河下游的分配方式和三门峡水库的控制运用方式有关。

与无引江济渭工程情况下计算的 10 年末累计冲淤量及潼关高程比较,可见引江济渭工程具有对渭河下游减少淤积、潼三河段冲刷及潼关高程下降的作用,如表 3 所示。由表可见,引江济渭工程实施增加了进入渭河下游河道的汛期水量,降低了小于特征流量水流的含沙量,提高了水流挟沙能力,对渭河下游河道的减淤(或增冲)将产生一定的作用,随着引水量的增加和分配方式的优化,作用将更加明显。当年引水量分别为 30 亿 m³、50 亿 m³ 和 100 亿 m³ 时,1981~ 1990 年丰水系列条件下,渭河下游河道由无引江济渭情况下的累计淤积转为累计冲刷,与无引江济渭工程情况相比,不同水量分配方式中引江济渭工程实施后计算 10 年末的渭河下游河道的淤积量可分别减少 1.4334 亿 m³、1.7034 亿 m³ 和 2.1531 亿 m³;1991~ 2000 年枯水系列条件下,与无引江济渭工程情况相比,不同水量分配方案中年引水量为 30 亿 m³、50 亿 m³ 和 100 亿 m³ 时渭河下游河道的淤积量分别减少 1.4566 亿 m³、2.0969 亿 m³ 和 2.9324 亿 m³,由于无引江济渭工程情况枯水系列时渭河下游河道的淤积量较多,引江济渭工程实施对渭河下游河道的减淤作用相对较大一些。

引江济渭工程实施加大了进入潼三河段汛期的水量,但同时也会有更多的泥沙从渭河下游输入。由于进入潼三河段的水量有约 70% 来自黄河的小北干流,所以进入渭河下游河道水沙的变化经与北干流水沙汇合后,对潼三河段的影响程度将大为减弱,尤其对于丰水系列来说,来自北干流的水量较大,引江济渭工程实施后进入潼三河段的水量变化相对较小,同时也输入了更多的泥沙,引江济渭工程实施对潼三河段的冲刷作用比枯水系列相对较弱。与无引江济渭工程情况相比,对于年引水量分别为 30 亿 m³、50 亿 m³ 和 100 亿 m³ 时,在 1981~ 1990 年丰水系列条件下,5 种不同引水量分配方式下潼三河段 10 年累计多冲泥沙量分别为 0.1861 亿 m³、0.3311 亿 m³ 和 0.5344 亿 m³,而在 1991~ 2000 年枯水系列下相应多冲泥沙量分别为 0.4703 亿 m³、0.6341 亿 m³ 和 0.9609 亿 m³。

潼关高程的变化与上游的来水来沙、三门峡水库运用方式及三门峡库区特别是黄淤 36~ 黄淤 41 河段的冲淤密切相关^[1]。一般来说,潼关高程呈“汛末下降、汛前上升”的年内规律性变化,当遭遇大水小沙年份,潼关高程下降;反之,遭遇小水大沙年份,则潼关高程迅速上升。引江济渭工程的实施一定程度上改善了进入潼三河段的水沙关系,使得水沙搭配向更为协调的方向发展,有利于降低潼关高程。由表 2 和表 3 可见,无引江济渭工程情况下,丰、枯水系列下计算的 10 年末潼关高程分别为 327.07m 和 327.59m,比 1999 年汛后实测值 328.12m 分别下降了 1.05m 和 0.53m,这主要是三门峡水库运用方式改变的结果。引江济渭工程实施后可使潼关高程进一步下降,与无引江济渭工程情况相比,年引水量分别为 30 亿 m³、50 亿 m³ 和 100 亿 m³ 时在 5 种不同水量分配方式下,丰水系列计算结果表明引江济渭工程实施可使潼关高程分别进一步下降 0.57m、1.02m 和 1.22m,枯水系列条件下潼关高程分别进一步下降 0.85m、1.22m 和 1.58m。与枯水系列下引江济渭工程对渭河下游减淤(或增冲)作用相对较大的道理一样,枯水系列下引江济渭工程对降低潼关高程的作用相对大一些。当然,对计算 10 年末的潼关高程绝对值来说,丰水系列下的潼关高程值还是较枯水系列低。

表 2 引江济渭工程不同计算方案与计算结果统计

水沙系列	方案名称	引水量/ 亿 m ³	设计特征流 量/(m ³ /s)	引水量分 配方式	计算 10 年末渭河 下游河道累计 冲淤量/ 亿 m ³	计算 10 年末 潼三河段累计 冲淤量/ 亿 m ³	计算 10 年末 潼关高程/m	调蓄水库所 需库容/ 亿 m ³
1981~ 1990 年	F- 00	不引水			0. 1200	- 2. 0833	327. 07	
	F- 30- 1	30	800	1	- 1. 2854	- 2. 2653	326. 51	0
	F- 30- 2			2	- 1. 3078	- 2. 2694	326. 50	5. 58
	F- 30- 3			3	- 1. 2271	- 2. 2308	326. 55	8. 03
	F- 30- 4			4	- 1. 3134	- 2. 2609	326. 54	4. 42
	F- 30- 5			5	- 1. 2895	- 2. 2613	326. 54	2. 44
	F- 50- 1	50	1 000	1	- 1. 5632	- 2. 3013	326. 15	0
	F- 50- 2			2	- 1. 5701	- 2. 4606	326. 08	7. 22
	F- 50- 3			3	- 1. 5407	- 2. 4144	326. 29	11. 4
	F- 50- 4			4	- 1. 5834	- 2. 3171	326. 10	5. 59
	F- 50- 5			5	- 1. 5614	- 2. 3491	326. 05	4. 00
	F- 100- 1	100	1 200	1	- 1. 8671	- 2. 5955	325. 91	0
	F- 100- 2			2	- 1. 9760	- 2. 5533	326. 03	14. 44
	F- 100- 3			3	- 2. 0143	- 2. 4960	326. 04	20. 28
	F- 100- 4			4	- 2. 0331	- 2. 5985	325. 86	11. 94
	F- 100- 5			5	- 1. 9697	- 2. 6177	325. 85	7. 82
1991~ 2000 年	K- 00	不引水			1. 2134	- 1. 5355	327. 59	
	K- 30- 1	30	800	1	0. 4193	- 1. 9344	326. 92	0
	K- 30- 2			2	- 0. 1244	- 1. 9838	326. 87	1. 22
	K- 30- 3			3	- 0. 2432	- 2. 0058	326. 80	3. 11
	K- 30- 4			4	- 0. 0922	- 1. 9837	326. 76	1. 23
	K- 30- 5			5	0. 0183	- 1. 9909	326. 74	1. 16
	K- 50- 1	50	1 000	1	- 0. 7164	- 2. 1454	326. 51	0
	K- 50- 2			2	- 0. 8835	- 2. 1696	326. 39	2. 03
	K- 50- 3			3	- 0. 8516	- 2. 1494	326. 37	4. 10
	K- 50- 4			4	- 0. 8281	- 2. 1491	326. 43	2. 03
	K- 50- 5			5	- 0. 7510	- 2. 1517	326. 43	1. 79
	K- 100- 1	100	1 200	1	- 1. 5385	- 2. 4762	326. 01	0
	K- 100- 2			2	- 1. 6390	- 2. 4890	326. 17	1. 63
	K- 100- 3			3	- 1. 7190	- 2. 4694	326. 07	6. 74
	K- 100- 4			4	- 1. 6664	- 2. 4706	326. 19	4. 47
	K- 100- 5			5	- 1. 5903	- 2. 4964	326. 17	2. 15

4 引水量分配方式与调蓄水库库容分析

调蓄水库是为满足一定的水量分配方式而建的, 库容大小与渭河来水过程、引水过程和引水量分配方式有关, 在这些因素确定后, 可根据每日引水量与补充渭河水量之间的水量平衡关系计算得到。引江济渭方案的引水过程最简单地可考虑为汛期按一定常流量均匀引入, 但本文考虑了 5 种不同的引水量分配方式(见表 1): 分配方式 1 为引水不经调节直接注入渭河的方案, 所以不需要调蓄水库; 分配方式 2 与 3, 需考虑汛期渭河下游流量小于设计特征流量的天数, 所以调蓄水库呈年调节性; 分配方式 4 和 5 的调蓄水库分别为汛期月调节和半月调节。

表 2 列出了各计算方案所需的调蓄水库的库容, 由表可见, 除分配方式 1 不需要水库调节外, 其它 4 种引水量分配方式所需的库容与水沙系列有很大关系, 丰水系列下游河下游的来水量大, 需要较大的库容进行调节, 尤其对于分配方式 2 和 3, 调节水库所需库容很大。如引水量分配方式 3, 丰水系列下年引水量分别为 30 亿 m³、50 亿 m³ 和 100 亿 m³ 时所需的调节库容分别达 8. 03 亿 m³、11. 40 亿 m³ 和 20. 28 亿 m³。注入点咸阳站附近为关中平原, 只能修建平原水库或利用南山支流陡坡地势, 很难修建大库容的调蓄水库, 即使修建多级水库群也难以达到如此大的库容, 或者势必需要付出巨大的经济代价。引水量

分配方式 4 为蓄水水库月调节, 所需最大调节库容较引水量分配方式 2 和 3 的年调节库容要小得多, 在年引水量为 50 亿 m³、丰水系列下所需调节库容为 5.59 亿 m³, 枯水系列下只需调节库容 2.03 亿 m³。经过进一步优化调节方案, 由月调节优化为半月调节的引水量分配方式 5, 在汛期每半月的前 10d 拦蓄超出设计特征流量的引水量, 在后 5d 人造洪峰集中冲刷渭河下游河床, 30 亿 m³ 年引水量所需的调蓄水库库容在丰、枯水水沙系列下可分别减小为 2.44 亿 m³ 和 1.16 亿 m³, 50 亿 m³ 年引水量所需的调蓄水库库容在丰、枯水水沙系列下可分别减少至 4.00 亿 m³ 和 1.79 亿 m³。

表 3 引江济渭工程对渭河下游河道减淤、潼三河段冲刷及潼关高程降低的作用

水沙系列	1981~ 1990 年丰水系列			1991~ 2000 年枯水系列		
年引水量/ 亿 m ³	30	50	100	30	50	100
引江济渭工程对渭						
河下游河道的减淤	- 1.4334~ - 1.3471	- 1.7034~ - 1.6607	- 2.1531~ - 1.9871	- 1.4566~ - 0.7941	- 2.0969~ - 1.9298	- 2.9324~ - 2.7519
(或冲刷) 作用/ 亿 m ³						
引江济渭工程对潼						
三河段的冲刷作用	- 0.1861~ - 0.1475	- 0.3311~ - 0.2180	- 0.5344~ - 0.4127	- 0.4703~ - 0.3989	- 0.6341~ - 0.6099	- 0.9609~ - 0.9339
亿 m ³						
引江济渭对降低潼						
关高程的作用/ m	- 0.57~ - 0.52	- 1.02~ - 0.78	- 1.22~ - 1.03	- 0.85~ - 0.67	- 1.22~ - 1.08	- 1.58~ - 1.40

注:“- ”号表示减淤(或多冲),或指潼关高程下降。

总之, 修建调蓄水库的目的是利用较小的调节库容集中有限的水量达到渭河下游河道减淤(或冲刷)和降低潼关高程的作用, 调蓄水库的修建需要综合考虑周边地形地质条件、水资源配置、来水来沙条件、引水规模及引水量分配方式和调节水库的投资规模、移民、生态环境影响等因素。

5 引江济渭引水量规模分析

以上计算分析了不同引江济渭方案引水量规模和水量分配方式对渭河下游河道减淤、潼三河段冲刷及降低潼关高程的作用。一般来说, 引江济渭工程引水量越大, 对减少渭河下游河道淤积、冲刷潼三河段及降低潼关高程的作用就越大, 但随着工程规模的增大, 工程建设经费也将大为增加。若引水量过大, 甚至有可能影响长江的水量平衡, 因此, 引江济渭工程的引水量是工程建设的重要技术指标之一, 需要统筹考虑。

如前所述, 对于引水量分配方式 2 和 3, 由于所需的调蓄水库库容较大, 可以认为是不经济的方案。与不调节的引水量分配方式 1 和半月调节的引水量分配方式 5 相比, 引水量分配方式 4 对渭河下游的冲刷作用较大, 所需调节库容较为适中, 也体现了人造洪峰集中冲刷渭河下游主河槽的主导思想。以下的分析以引水量分配方式 4 为基础, 根据枯水系列下引江济渭工程实施对渭河下游的减淤作用和降低潼关高程的作用来分析引江济渭所需的引水规模。

图 5 为枯水系列(1991~ 2000 年) 下第 10 年末渭河下游河道冲淤量与引水量的关系曲线, 由于 1996 年水少沙多(见图 4), 对渭河下游极为不利, 至 1997 年(第 7 年) 汛前累计淤积量最大(或冲刷量最小), 所以将第 7 年汛前的淤积量与引水量关系曲线也点绘于图 5 中。由图可见, 若要在 10 年末保持渭河下游不淤, 汛期引水量最少约需 28 亿 m³, 若要保证枯水年(第 7 年) 累计不淤, 汛期引水量最少约需 45 亿 m³。10 年末渭河下游不同减淤率与所需的引水量, 如表 4 所示。

表 4 枯水系列条件下渭河下游河道减淤率与所需年引水量的关系

渭河下游减淤率(%)	10	20	50	80	100
所需年引水量/ 亿 m ³	2.8	5.6	13.9	22.3	27.9

图 6 给出了引水量分配方式 4 条件下引江济渭工程对降低潼关高程作用的关系图, 由图可见, 对于引水量分配方式 4, 与无引江济渭工程情况比较, 引江济渭工程年引水量 30 亿 m³ 和 50 亿 m³ 时, 潼关高

程丰水系列下可分别下降 0.53m 和 0.97m, 枯水系列下可分别下降 0.83 和 1.16m。

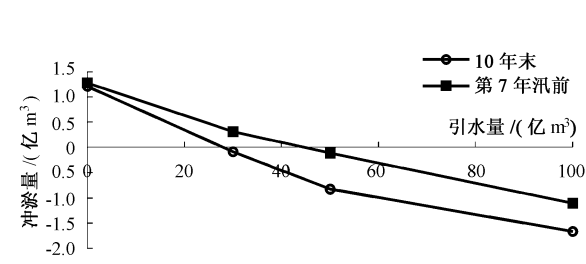


图 5 枯水系列引水量分配方式 4 下渭河下游
冲淤量与引水量的关系

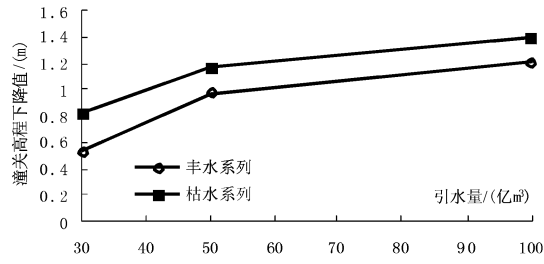


图 6 引水量分配方式 4 下引江济渭工程对
降低潼关高程的作用

6 结语

通过采用笔者建立的一维泥沙数学模型对引江济渭工程不同引水规模及引水量分配方式条件下渭河下游河道和潼三河段冲淤及潼关高程变化进行了初步研究, 得到如下初步认识:

(1) 引江济渭工程的不同引水方案对渭河下游河道减少淤积、潼三河段冲刷将产生一定的作用, 随着引水量的增加和分配方式的优化, 作用将更加明显。当引水量达到 30 亿 m^3 时, 可使渭河下游河道的泥沙淤积减少甚至发生冲刷, 提高河道的行洪能力。与不实施引江济渭工程的情况比较, 汛期引水量分别为 30 亿 m^3 、50 亿 m^3 和 100 亿 m^3 的引水规模时, 不同水量分配方式下丰水系列(1981~ 1990 年), 渭河下游河道 10 年累计最多分别减淤 1.4334 亿 m^3 、1.7034 亿 m^3 和 2.1531 亿 m^3 ; 而枯水系列条件下(1991~ 2000 年), 渭河下游河道分别减淤 1.4566 亿 m^3 、2.0969 亿 m^3 和 2.9324 亿 m^3 。

(2) 引江济渭工程实施对降低潼关高程有一定的作用, 当年引水量为 30 亿 m^3 和 50 亿 m^3 时, 按引水量分配方式 4 运用, 丰水系列下潼关高程比无引江济渭工程情况可分别下降约 0.53m 和 0.97m, 枯水系列下可分别下降 0.83m 和 1.16m。

(3) 引水量经调蓄水库调节后, 通过改善进入渭河下游的水沙过程集中冲刷渭河下游主河槽, 可取得较好的冲刷效果并降低潼关高程。采用调蓄水库月调节运用, 30 亿 m^3 和 50 亿 m^3 年引水量时所需调蓄水库库容在丰水系列下分别为 4.42 亿 m^3 和 5.59 亿 m^3 , 枯水系列下所需调蓄库容分别为 1.23 亿 m^3 和 2.03 亿 m^3 , 经进一步优化运用, 调蓄水库库容还可以减少。

(4) 本文的研究仅针对引江济渭工程对渭河下游河道减淤、潼三河段冲刷及降低潼关高程的作用, 由于引江济渭工程十分复杂, 涉及到许多方面的问题, 需要综合考虑技术、经济、社会、环境等因素。

参 考 文 献:

[1] 王崇浩, 陈建国. 东庄水库对渭河下游及三门峡库区冲淤影响数学模型计算研究[R]. 北京: 中国水利水电科学研究院, 2003.

[2] 胡春宏, 郭庆超, 陈建国. 降低潼关高程途径的研究[J]. 中国水利水电科学研究院院报, 2003, (1): 30- 35

[3] 田万全, 程子勇. 东庄水库对渭河下游河道防洪减淤作用的探讨[J]. 水利水电技术, 2000, (9): 3- 5.

[4] 郭庆超, 胡春宏, 等. 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): 1- 9.

[5] 韩其为, 何明民. 泥沙交换的统计规律[J]. 水利学报, 1981, (1): 10- 22

[6] 韩其为, 何明民. 泥沙运动统计理论[M]. 北京: 科学出版社, 1984.

[7] 韩其为, 何明民. 水库淤积与河床演变的(一维)数学模型[J]. 泥沙研究, 1987, (3): 14- 29.

Preliminary study on the effect of Changjiang River to Weihe River Water Transfer Project on the scouring and silting in Lower Weihe River and on the falling of Tongguan elevation

HU Chun hong, CHEN Jian guo, WANG Chong hao
(China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100044, China)

Abstract: A 1-D sediment transport model was applied in this paper to study the processes of scouring and silting in the lower Weihe River and the river course from Tongguan Station to Sanmenxia Reservoir as well as possible falling of the Tongguan elevation due to the effect of the Changjiang River to Weihe River Water Transfer Project. In the study, 2 hydrological sequences(covering the wet period of 1981– 1990 and the dry period of 1991– 2000) , 3 different annual diversion volumes(3 billion m³, 5 billion m³ and 10 billion m³) with 5 different allocation scenarios, were taken into account. The study results show that the annual diverted water of more than 3 billion m³ to Weihe River can even make erosion status in the lower Weihe River, hence enhance scouring in the river course from Tongguan to Sanmenxia, causing a falling of Tongguan elevation. Compared with the situation of no diversion, the water transfer project with the annual diversion water quantities of 3 billion m³ and 5 billion m³, together with a monthly reservoir regulation(water allocation scenario 4) , can decrease siltation of 0. 143 billion m³ and 0. 170 billion m³ in lower Weihe River during the wet period, respectively, and decrease siltation of 0. 131 billion m³ and 0. 204 billion m³ in lower Weihe River during the dry period, respectively. This means it will cause falling of Tongguan elevation of about 0. 53m and 0. 97m during the wet period and about 0. 83m and 1. 16m during the dry period. The storing capacities of the regulation reservoir during the wet period are 0. 442 billion m³ and 0. 559 billion m³ corresponding to the annual diversion water of 3 billion m³ and 5 billion m³, respectively. These capacities are larger than those during the dry period.

Key words: diversion water; the lower Weihe River; Sanmenxia Reservoir; Tongguan elevation; regulating reservoir

(责任编辑: 李福田)