

三门峡水库对黄河河流地貌的影响*

傅建利, 李有利

(北京大学城市与环境学系 水沙科学教育部重点实验室, 北京 100871)

摘要: 三门峡水库建成后, 先后采用了蓄水拦沙、滞洪排沙和蓄清排浑调水调沙三种运用方式, 水库在运用过程中也相应的分为三个阶段。第一阶段水库淤积严重, 主要在潼关到上游大坝; 第二阶段为滞洪排沙, 排沙量增加幅度较大, 淤积主要在潼关以下; 第三阶段为蓄清排浑, 使潼关以下淤积得以改善。在分析了三门峡水库运用后库区的冲淤、潼关高程的变化及库区下游河流地貌的变化情况, 总结了不同运用方式下下游黄河河流地貌的变化规律。

关键词: 侵蚀; 堆积; 黄河; 三门峡水库

中图分类号: P512.32

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2001)02-0059-07

Geomorphological Effect of the Sanmenxia Reservoir on the Yellow River

FU Jian-li, LI You-li

(MOE Laboratory of Water and Sediment Sciences, Department of
Urban and Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: The Sanmenxia Reservoir, located in the middle reaches of the Yellow River, has passed three stages since it was built up in 1960. From the September of 1960 to the March of 1962 (the first stage), the reservoir storage high sediment water and drain low sediment water. From the April of 1962 to the October of 1973 (the second stage), the gates was opened to drain in total year. Since the November of 1973 (the third stage), it has begun to storage water during low water season, and drain during high-water season. During the first stage, the reservoir was seriously filled with sediments, and deposition mostly took place between the Tongguan Gauge and the dam in the upstream reach. The waterlevel of the $1000\text{ m}^3/\text{s}$ discharge increased at the Tongguan Gauge. Meanwhile, the downreach was scoured, except for some locations, channel narrowed between the dam and Aishan. During the second stage, the floodplain still accepted deposits during the high-water season in the upstream reach. The waterlevel of $1000\text{ m}^3/\text{s}$ discharge reached 326.64 m in high-water season of 1973, 3.14 m higher than in 1960 at the Tongguan Gauge. The increase rate is 0.24 m/a , much higher than 0.045 m/a before the dam building. The deposition mostly took place between the dam and Gaocun in the downstream reach. Affected by the reduction of the peak discharges, most sand deposited in the channel and point bar and the margin of the floodplain induced the channel uplifted and smaller suspended river formed in the greater suspended river. During the third stage, in low water season, the reservoir storage sediment and drain lower sand water, most channel of downstream reach has been scoured. In the high-water season, high water discharges transport most sand to sea and reduce deposition along the Yellow River.

Key words: erosion; deposition; Yellow River; Sanmenxia Reservoir

* 收稿日期: 2001-03-21

国家重点基础研究发展规划项目(G1999043603)和国家自然科学基金项目(40071016)资助。

作者简介: 傅建利(1971-), 男, 硕士生, 从事地貌第四纪研究。

三门峡水库是黄河干流修建的第一座大型水库, 水库坝址位于河南省陕县与山西省平陆县境内, 距黄河入海口约 1 025 km, 坝址处控制流域面积 688 421 km², 占黄河流域面积的 91. 5%。水库多年平均流量 1 340 m³/s, 多年平均径流量 423 亿 m³, 占黄河流域多年平均径流量的 89%; 多年平均沙量 16 亿 t, 占黄河总沙量的 98%; 多年平均含沙量 37. 8 kg/m³。水库 350 m 高程的库容 360 亿 m³, 335 m 高程的库容 96. 5 亿 m³。三门峡水库自 1960 年 9 月投入使用至今, 在减少下游河道淤积和大洪水发生机率方面发挥了一定作用, 对黄河河流地貌产生了重要影响。本文重点分析三门峡水库不同运用方式对库区和下游黄河河流地貌的影响。

1 三门峡水库运用基本情况

三门峡水库建成后, 先后采用了蓄水拦沙、滞洪

排沙和蓄清排浑调水调沙三种运用方式, 相应水库运用过程可划分为三个阶段:

(1) 蓄水拦沙运用期(1960 年 9 月至 1962 年 3 月)。三门峡水库 1960 年 9 月 15 日开始蓄水, 至 1962 年 3 月 20 日下泄清水。

三门峡水库蓄水拦沙期间, 下泄洪峰流量大幅度消减, 中水流量持续时间加长, 枯水流量过程趋于均匀化。汛期(7~10 月), 三门峡水库对入库洪峰流量消减幅度多高达 60% 以上, 如 1961 年 8 月 10 日潼关站洪峰流量 7 920 m³/s, 三门峡出库洪峰流量 2 410 m³/s, 削峰比 68. 8%。对比汛期潼关站与三门峡站的流量过程线(图 1)可看出, 经水库调节后, 三门峡站的洪峰过程明显弱化^[1]。

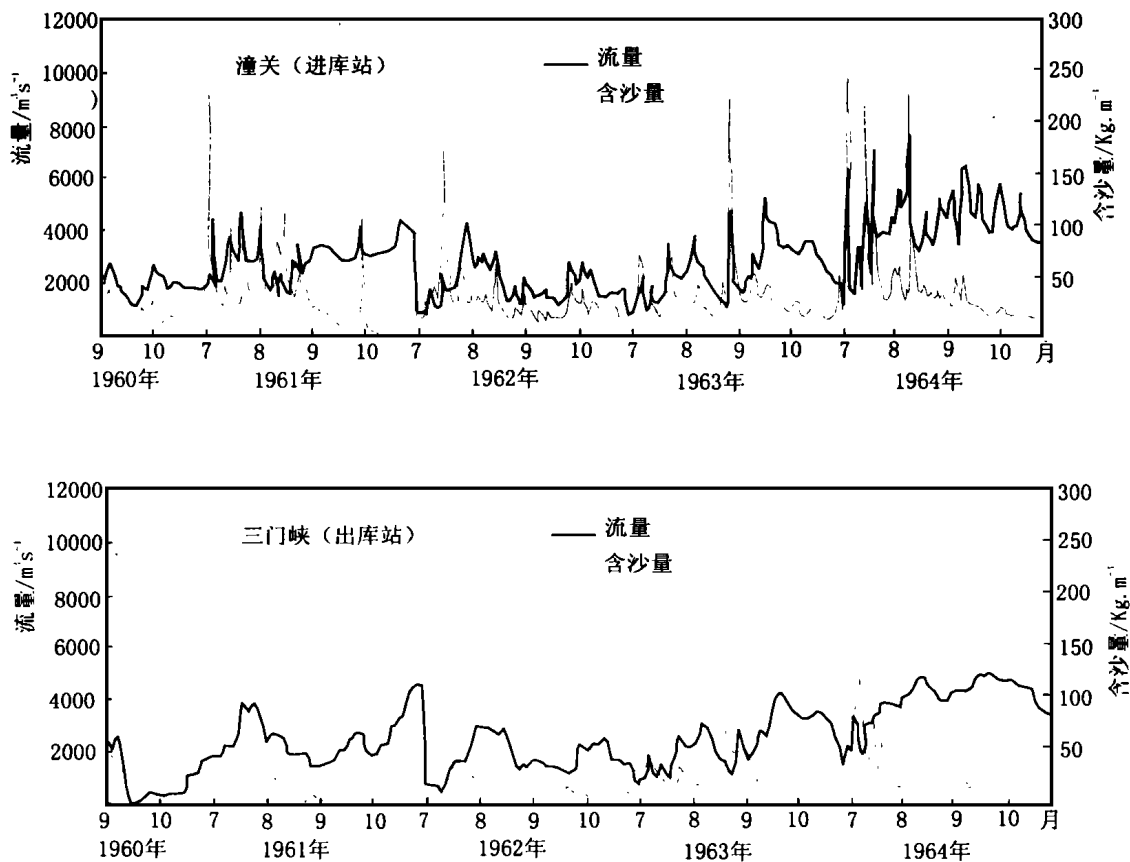


图 1 三门峡水库 1960~1964 年进出库水沙过程

当水库高水位运用时, 泥沙只能通过异重流的形式出库。低水位运用时, 水库以明流形式排沙。当水位继续降低至淤积面以下时, 就会出现由下而上发展的溯源冲刷。1960 年 9 月 15 日至 1962 年 2 月, 92. 3% 的泥沙淤积在库内。

(2) 滞洪排沙运用期(1962 年 3 月至 1973 年 10 月)。滞洪排沙期间, 全年敞开闸门泄流排沙。初期

(1962 年 3 月至 1964 年 10 月), 下泄洪峰削减幅度仍达 60% 以上, 泥沙大量淤积在库区。如 1963 年 8 月 30 日潼关站洪峰流量 6 120 m³/s, 出库 2 030 m³/s, 削峰比 66. 8%; 1964 年 8 月 14 日, 潼关站流量 12 400 m³/s, 出库 4 910 m³/s, 削峰比 60. 4%。此期间, 因死库容尚未淤满, 下泄泥沙少而细且下游河道仍处于冲刷状态, 水库对水沙的调节同蓄水拦

沙运用时相似^[1]。库容淤满后, 水库的削峰作用比前期有所下降, 最高达 30% ~ 40%, 如 1965 年 7 月 22 日, 潼关站流量 5 400 m³/s, 三门峡站出库流量 3 560 m³/s, 削峰比为 34.1%。

1966 年 7 月至 1970 年 5 月, 三门峡水库第一次改建增加的泄流排沙设施陆续投入使用, 库水位 315 m 时的泄流能力由 3 080 m³/s 加大到 6 064

m³/s。1970 年 6 月至 1973 年 10 月, 三门峡水库进行了第二次改建, 水库的泄流能力进一步加大, 坝前 315 m 水位泄量增至 9 059 m³/s。汛期敞泄水位平均降低到 300 m 以下。滞洪排沙期间水库对泥沙的调节作用如图 2 所示^[1]。流量 4 000 m³/s 以下, 出库泥沙增多, 冲刷最多的是流量 2 000 m³/s 上下。

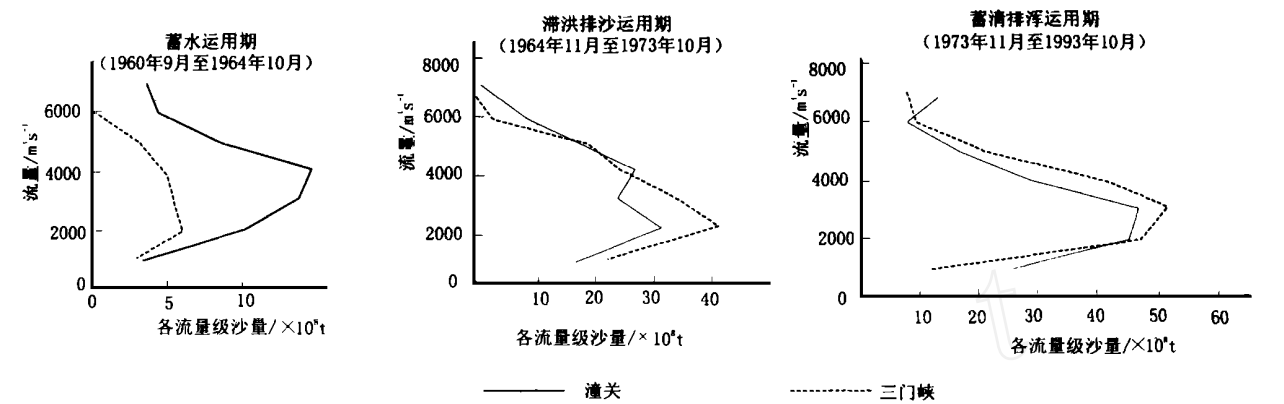


图 2 三门峡水库不同运用时期调节泥沙的作用

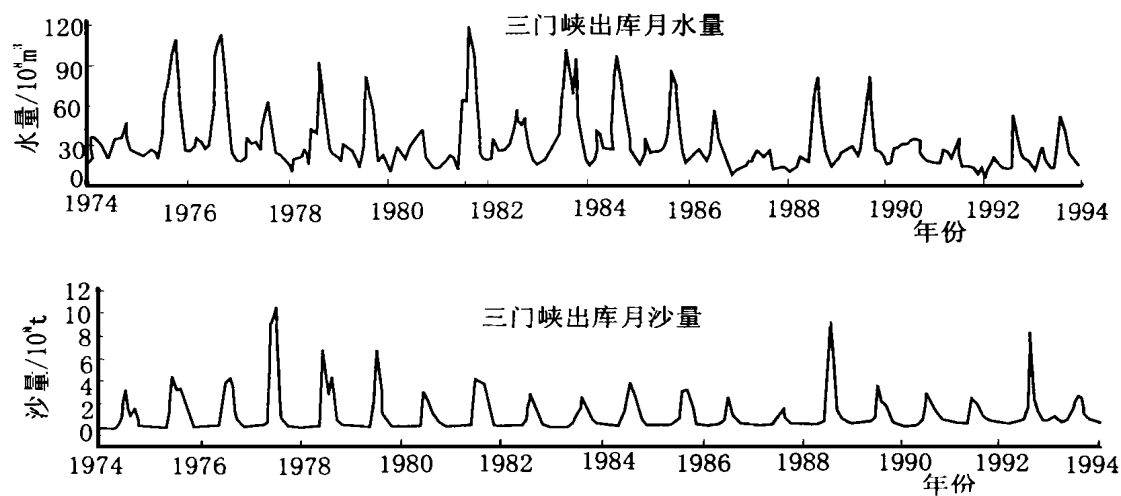


图 3 三门峡水库蓄清排浑运用情况

表 1 三门峡水库至禹门口各时段侵蚀与堆积量 ^[2]										10 ⁸ m ³
时段	大坝—会兴	会兴—北村	北村—杨家湾	杨家湾—古圪塔	古圪塔—潼关	潼关—独头	独头—昭德	昭德—南赵村	南赵村—禹门口	
1960.4~1973.6	2 533	6 420	10 930	6 6025	2 524	3 652	6 682	3 599	3 636	
1973.6~1986.5	0.072	0.537	- 0.058	- 0.058	- 0.539	0.270	- 0.546	0.664	0.603	
1986.5~1990.10	0.110	- 0.251	- 0.260	- 0.260	0.297	0.267	0.467	0.804	0.943	
1990.10~1995.10	0.300	0.227	0.102	0.102	0.126	0.180	0.450	0.516	1.507	

(3) 蓄清排浑运用期(1973 年 11 月以后)。蓄清排浑期间, 每年非汛期 8 个月下泄清水, 库水位一般控制在 320 m 以下, 最高不超过 326 m。汛期 4 个月降低水位至 300~ 305 m, 水库敞泄浑水, 非汛期

淤积在潼关以下的泥沙冲刷下泄, 出现清浑水交替的现象。在此期间, 出库的水沙过程较进库的水沙过程有很大的改变(图 3)^[1]。

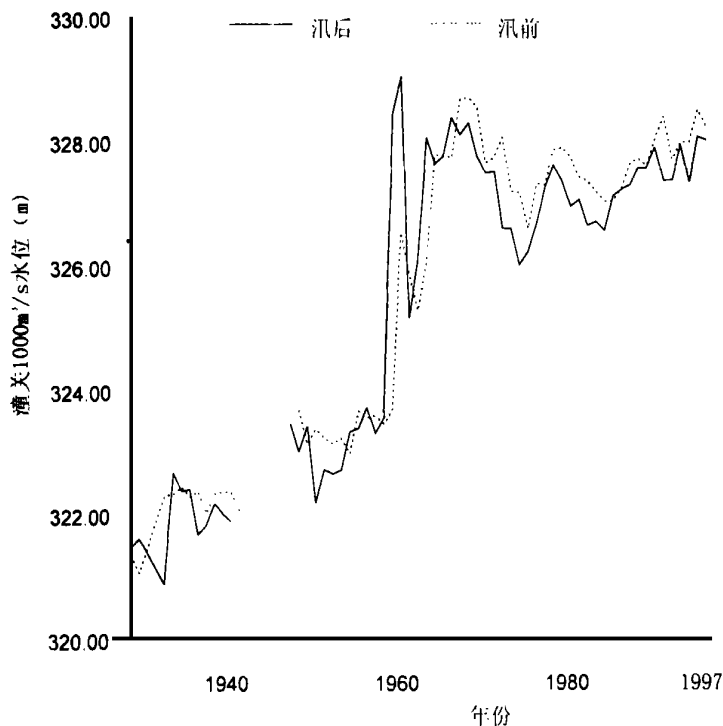


图4 潼关高程历年变化过程

蓄清排浑期间对于大于 $5\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 的洪水仍有自然滞洪削峰作用。高含沙量洪水能通过水库进入下游,进出库含沙量变化不大,但出库洪峰削减较大,峰后落水期高含沙量历时延长。

2 三门峡水库对上游的影响

三门峡水库不同运用方式下上游的冲淤情况如表1所示(“-”为侵蚀)。

从表1可以看出,淤积部位随不同时期水库运用方式和来水来沙条件的变化而改变。在蓄水和滞洪排沙运用期,淤积主要在潼关以下,蓄清排浑运用后,潼关以下淤积状况得以改善,使得老永济以下河段产生冲刷,淤积重心上移。近年来,因上游水库修建,使径流泥沙和入库水量减少,沿程淤积增加,促使淤积重心更加上移^[2]。

在淤积部位上,河漫滩淤积的比重加大,由1973年以前的62%增到1986年的63.9%到1993年的68.4%。河漫滩与河床同步抬升的同时,主河床变窄,平滩流量大幅下降,从1979年的 $8\,680\text{ m}^3/\text{s}$ 减少到了1995年的 $3\,520\text{ m}^3/\text{s}$ 。

三门峡水库上游的冲淤变化在潼关水位上有明显表现。水库蓄水(1960年)以前,潼关(潼关断面6) $1\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 水位为323.5 m,年均上升率为 $0.045\text{ m}^{[3]}$,蓄水运用期间,库区淤积迅速,全断面水平淤

高,淤积后的断面河床与河漫滩无明显界限。滞洪排沙运用期间,溯源冲刷形成一条窄深的主河床,河漫滩仍在洪水时发生淤积。蓄水拦沙和滞洪排沙期间,潼关 $1\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 水位总体上是淤积抬高的,1973年汛末为326.64 m,比蓄水前升高3.14 m,上升率平均为 0.24 m/a 。蓄清排浑运用后,库区冲淤的基本特征是非汛期淤积,汛期冲刷^[4],潼关同流量水位相应也具有非汛期抬升,汛期下降的规律^[5]。潼关 $1\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 水位历年变化过程如图4所示^[2]。

以1986年为界,潼关 $1\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 水位的变化可划分为两个不同的时段。前段,汛期的冲刷和非汛期的淤积平均值均大于 0.5 m 。1975年汛期,潼关 $1\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 水位大幅度下降,下降幅度达1.16 m;1976~1979年连年上升,1977年非汛期的升幅达1.09 m;1981~1986年连年下降,其中1981年汛期降幅达1 m。整个前段内,潼关高程总体上几乎没有变化。后段,非汛期平均升高 0.39 m ,汛期平均下降 0.23 m ,变幅比前段小。1986~1991年连年上升,1992年汛期大幅度下降,1993~1995年又连年上升,1995年汛末比1985年高出1.6 m^[6]。

非汛期影响潼关高程的因素主要是三门峡水库坝前运用水位,而与来水来沙量的关系较弱;对应于三门峡水库非汛期内凌前蓄水(11~12月)、防凌蓄水(1~3月)、春灌蓄水(3~6月)三个阶段,潼关高程抬升幅度不同,平均凌前蓄水抬升 0.22 m ,防凌蓄水抬升 0.10 m ,春灌蓄水抬升 0.17 m ^[7]。

汛期影响因素主要有来水来沙条件和上、下游河道的冲淤状况。汛期潼关高程四次最大的冲刷(1975年、1981年、1983年、1992年),除1992年与渭河高含沙洪水有关外,其余均是由于来水量大及洪水发生次数多所造成的。1986年以后,汛期来水量减少,潼关高程下降的幅度也减小,有些年份反而升高(1986年、1995年)。

由于潼关是渭河、北洛河、黄河的交汇区,潼关高程也是渭河下游段局部侵蚀基准面,三门峡水库不同运用方式,直接或间接地对渭河冲淤产生了重大影响。自三门峡水库投入使用至今,渭河的冲淤也大致经历了三个阶段:1961~1973年为迅猛淤积期,淤积量持续猛增 10.3亿 m^3 ,年均淤积 0.79亿 m^3 ;1974~1991年为冲淤平衡期;1992~1997年为

迅速淤积期,共淤积泥沙 2 92 亿 m^3 ,年均淤积 0 49 亿 m^3 。前期的大量淤积,使龙门至潼关段河床日益抬高,渭河河口的河底高程也相应抬升,增加了黄河倒灌渭河的机率。1987 年,曾一度致使渭河河口段淤死,后经人工挖掘和洪水冲刷才得以恢复。仅 1994 年,华阴站就因黄河倒灌三次抬高水位,致使临潼以下至渭河口河床束窄为 50~ 60 m,华县段河床宽由 300 多 m 减至 50 m,边滩贴边淤高 2~ 5 m,过流能力减少 60%。河床萎缩,洪水漫滩流量减小,主河床断面大幅度缩窄,过水面积大幅减小,相应洪水水位抬升较大,增大了防洪的难度,渭河大堤防洪标

准由原来的 50 年一遇降到现在的 10~ 20 年一遇^[7]。

3 三门峡水库不同运用方式对下游的影响

(1)三门峡水库蓄水拦沙运用期和滞洪排沙初期对下游河道的影响。三门峡水库蓄水拦沙运用后,水库下泄清水,黄河下游河道发生冲刷(表 2),步入一个重新建立平衡的过程。

表 2 黄河下游各时期冲淤量纵横向分配^[8]

河段	部位	1950-07 至 1960-06	1960-07 至 1964-10	1964-11 至 1973-10	1973-11 至 1985-10	1985-11 至 1999-10	1950-07 至 1999-10
铁谢- 高村	河床	6 2		15 48	- 5 68	15 13	
	河漫滩	13 7		11 25	4 28	7 08	
	全断面	19 9	- 16 37	26 73	- 1 40	22 21	51 07
高村- 艾山	河床	1 9		5 22	0 21	3 68	
	河漫滩	9 8		1 44	6 94	1 44	
	全断面	11 7	- 4 29	6 66	7 15	5 12	26 34
艾山- 利津	河床	0 1		5 76	- 0 74	3 78	
	河漫滩	4 4		0 36	2 81	0 12	
	全断面	4 5	- 0 93	6 12	2 07	3 90	15 66
铁谢- 利津	河床	8 2		26 46	- 6 21	22 59	
	河漫滩	27 9		13 05	14 03	8 64	
	全断面	36 1	- 21 59	39 51	7 82	31 23	93 07

由表 2 统计资料可见,冲刷过程的开始阶段发展迅速,随时间的推移渐趋缓慢,最终趋向新的相对平衡。其中铁谢至利津河段自 1960 年 7 月到 1964 年 10 月计冲刷 21. 59 亿 t,冲刷量最大的是艾山以上河段,占总冲刷量的 95%。

蓄水拦沙期和滞洪排沙运用的初期,河道的冲刷以纵向下切为主,除局部河段河床展宽外,大部分河段河床束窄,河床与河漫滩高差加大,排洪能力加强,河道趋于规顺。花园口以上河道 1964 年河宽仅为 1960 年的 55. 5%,铁谢至高村段,平均河宽束窄 0. 19 km。清水冲刷期间,低河漫滩逐年增加。在纵向上,河床物质逐渐粗化,使下游河道主河床挟沙能力减弱与上游来沙量大幅减少相适应。

(2)三门峡水库滞洪排沙运用期间(1964 年 11 月后)对下游河道的影响。三门峡水库滞洪排沙运用期间(1964 年 11 月后),水库滞洪削峰,下泄泥沙,下游河道淤积严重。9 年间下游共淤积泥沙 39. 51 亿 t,平均每年 4. 39 亿 t,三门峡水库拦沙期冲刷的泥沙到 1970 年汛前已全部淤回。

滞洪排沙期(1964 年 11 月后)黄河下游淤积多集中于高村以上和艾山以下,形成两头淤积强、中间淤积弱的特点。另外受滞洪削峰的影响,天然情况

下洪水时河床冲刷、河漫滩发生淤积的冲淤特性,不能使下游河道河漫滩淤高。高村以上淤积的近 27 亿 t 泥沙约有 1/3 淤在河床内的主河道,其余 2/3 淤在边滩、心滩和河漫滩边缘,结果使清水冲刷时展宽、刷深的河床断面恢复甚至超过建库前的宽浅散乱形态。水库汛后排沙,常形成“小水带大沙”的现象,使水库排出的泥沙只能淤在下游河床内。艾山至利津河段平均每年淤积 0. 68 亿 t,使河床每年抬高 0. 25 m。上述冲淤变化使河床和河漫滩高差缩小,过洪能力、平滩流量急剧降低,主流摆动频繁,常出现“横河”和“斜河”;下游两岸普遍修筑了生产堤后,生产堤与大堤之间不能淤积,造成了两岸生产堤之间的河床高于生产堤与大堤之间河漫滩,形成了“二级悬河”,给防洪带来了严重后果。

(3)三门峡水库蓄清排浑运用期对下游河道的影响。三门峡水库蓄清排浑运用期间根据上游来水来沙情况可分为三个阶段:

1973 年 11 月至 1980 年 10 月:该阶段来水来沙较丰且洪峰流量较大,黄河下游年平均来水量为 395 亿 m^3 ,为多年平均值的 85%,来沙量为 12. 4 亿 t,为多年平均值的 80%,下游河道适应新的边界条件进行调整,改变了年内的冲淤过程。每年非汛期

由淤变冲,受流量限制,艾山以下仍淤积;汛期则因来水来沙条件而变化;如1977年高含沙洪水时,形成了明显的高河漫滩深河床现象。汛期变化对全断面而言,淤积主要集中于夹河滩到孙口河段,花园口以上主河床冲刷,河漫滩边坡有所坍塌,以下沿程均淤积,总体呈现“上、下段淤积小,中段淤积大”的特点。

1981年11月至1985年10月:该时期来水丰来沙偏少,中大洪峰也较多。黄河下游年均来水量 $482\text{亿}\text{m}^3$,来沙量 $9.7\text{亿}\text{t}$ 。期间不仅少沙区河口镇以上来水多,另一少沙区伊、洛、沁河来水亦偏丰,来沙偏少,而且多沙粗沙来源区河口镇至龙门区间和渭、汾、北洛河来沙量仅为多年均值的39%和61%,也大大减少。对应新的水沙条件,下游河道汛期、非汛期发生了连续冲刷,年均冲刷量 $1\text{亿}\text{t}$ 左右。全断面上,沿程出现了中段发生淤积,上、下段发生冲刷的局面。河床沿程均冲刷,河漫滩除高村至艾山河段淤积外,其余河段均发生因冲刷造成的河漫滩边坡崩塌现象。

1985年至今:1985年11月到1997年10月间为连续的枯水少沙年,年均水量 $276\text{亿}\text{m}^3$,沙量 $7.6\text{亿}\text{t}$,分别为多年平均值的65%和47%。期间下游总趋势是沿程淤积,全下游年均淤积 $2.23\text{亿}\text{t}$,主河床为 $1.61\text{亿}\text{t}$,冲淤沿程分布不均,高村以上淤积严重。非汛期夹河滩以上和艾山以下冲刷,中间河段淤积;汛期高村以上和艾山以下淤积,中间冲刷^[8]。河道的变化随不同河型也有差异:游荡型河段以低河漫滩淤积为主,主槽明显缩窄;过渡型河段在河床淤积的同时,以边滩淤积为主;弯曲型河段以主槽缓慢累积性淤高为主^[9]。1998年以后,下游河道仍呈现汛期淤积,非汛期冲刷,洪峰期河道淤积严重,淤积量集中于主河床的特征。1998年6月至2000年5月下游共淤积泥沙 $1.219\text{亿}\text{t}$,汛期淤积集中于孙口以上河段,艾山以下微冲,非汛期冲刷主要集中在夹河滩以上河段。

4 讨 论

冲积河流上修建水库后,河流边界条件的改变,触发了水库上游河流再调整,建库后水沙条件的变化,将破坏水库下游河流的平衡,引起下游河流的再造床过程^[10]。对于泥沙含量高、径流季节变化大的黄河而言,这种趋于新相对平衡的调整更为复杂。

三门峡水库蓄水拦沙运用期间和滞洪排沙的前期,水位的抬高,相当于抬升了侵蚀基准,造成河流

入库附近河床坡度的降低,流水搬运能力降低,大量泥沙堆积于库区,上游河道发生加积抬高,引起向源堆积。三门峡水库初期运用的4年时间里,库区淤积泥沙就达 $44.7\text{亿}\text{t}$,水库向上游至龙门大约200多km的河段发生了强烈的加积作用,永济南的蒲州古城西城门被淤埋。河床的淤高和淤积的上延,使在库区汇流的渭河下游淤积严重,造成了渭河口的淤堵和黄河水倒灌入渭河,加剧了渭河下游防洪的难度和盐碱化趋势。在此期间,库区沉积的泥沙绝大部分是跃移质,以异重流形式排出库的多是粒径小于 0.025mm 的悬移质。即使敞泄后,粒径大于 0.05mm 的粗泥沙排沙比也只占到16%,因此水库起到了“拦粗排细”的作用。

库区下游河段,适应水库蓄水削峰及泥沙落后下泄水流含沙量降低的变化,河道发生了下切侵蚀,前4年间共计冲刷 $23.1\text{亿}\text{t}$ 。由于三门峡至小浪底河段为峡谷型河段(长 130km),河床由基岩与砂、卵石组成,小浪底至铁谢(长 26km),河床亦为砂、卵石,水库下泄清水期间,铁谢以上河段河床在清水冲刷时夹在卵石中间的细沙很快被冲走,床面由卵石形成抗冲铺盖层,保护河床遭受进一步冲刷。下游河道的侵蚀迅速波及到距大坝 800km 的利津。

滞洪排沙运用后期(1964年11月后)阶段,水库经过两次改建增加泄流设施,库区的淤积得到缓解。降低水位运用后,库区共淤泥沙 $26.73\text{亿}\text{m}^3$ 。期间由于下泄水流的含沙量明显加大,前期沉积于库区中的颗粒相对较粗的泥沙被排往下游,沿下游河道淤积下来,造成了河道尤其是河床的加积,导致“小水大灾”的发生和“二级悬河”的出现。

采取蓄清排浑运用方式后,库区的冲淤受水库运用水位和来水来沙条件的影响较大,1973年10月至1980年10月以前,共淤积 $1.08\text{亿}\text{m}^3$;1985年11月至1995年10月,因来水量小,致使潼关以上淤积 $5.7\text{亿}\text{m}^3$,以下淤积 $1.8\text{亿}\text{m}^3$ 。非汛期水库拦沙下泄清水,下游河道由建库前的淤积转为冲刷,水库的淤积量与下游河道的减淤量大致相当。汛期来水量加大,下游河道淤积量相应加大,但由于流量较大,黄河有“大水多排沙”的特性,从全年来看,下游淤积量减少,水沙关系得到改善。据对比分析,与无水库相比,下游河道每年减少淤积 $0.2\sim 0.3\text{亿}\text{t}$,所不利的是这种减淤主要是减少高村以上河漫滩的淤积量,主槽没有减少,艾山以下河道淤积还略有增加,加重了洪灾发生的机率。

蓄清排浑运用的1973年11月至1979年10

月, 减淤作用明显, 年均减淤 0.717 亿 t, 而且是下游河道全程减淤; 1979 年以后, 减淤与增淤交替出现, 1980 年 10 月以前, 减淤量大于增淤量, 高村以上减淤, 以下增淤; 1985 年以后, 已是增淤量大于减淤量, 高村以上增淤, 以下减淤。

据统计资料, 水库在 $4\,000 \sim 6\,000 \text{ m}^3/\text{s}$ 中等洪水量时冲刷非汛期淤积的泥沙对下游有利。目前的实际情况是汛初三门峡水库冲刷排沙一般为 $0.4 \sim 0.8$ 亿 t, 排沙期平均流量只有 $1\,000 \sim 2\,000 \text{ m}^3/\text{s}$, 使中等洪水的减淤作用降低, 极大增加了下游河道的淤积。

三门峡水库自 1960 年投入运用后, 两次改建和三种不同运用方式的调整, 本身就是针对实际运用中遇到的问题, 探索大型水利工程在黄河这条特殊

的河流上最合理运用方式的过程。三门峡水库因其特定的河床边界条件和已建工程条件的限制, 曾经设想的充分利用黄河洪水期下泄流量大, “多来多排”的输沙特性将非汛期及汛期小流量枯水期泥沙调节到洪水期排出, 对泥沙进行年内调节的运用方法已不能完全实现; 另外, 利用水库的调节能力, 在洪峰期据来水量调节水库的泄流能力, 使水沙峰相适应来减少下游河道淤积的作用也受到了极大影响。目前, 黄河上另一大型水利工程——小浪底水库也已蓄水运用, 如何有效借鉴三门峡水库运作经验, 制定合理的运作方式, 协调水电工程和河流自身发展的关系, 使人类的开发建设和自然环境处于良性互动, 是我们当前面临的一个紧迫问题。

参考文献

- [1] 赵业安, 周文浩, 等. 黄河下游河道演变基本规律[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 1998. 10~32, 148~166
- [2] 王玲, 孙东波, 等. 黄河水沙变化对河道系统的影响[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 1998. 30~35
- [3] 焦恩泽, 张翠萍. 潼关高程演变成因分析[J]. 人民黄河, 1997, 19(3): 10~12
- [4] 赵文林. 黄河泥沙[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 1996
- [5] 焦恩泽. 三门峡潼关以下库区泥沙冲淤的基本规律总结[A]. 见: 黄河三门峡水利枢纽运用文集[C]. 郑州: 河南人民出版社, 1995
- [6] 姜乃迁, 侯素珍, 等. 水沙条件对潼关高程作用分析[J]. 人民黄河, 2000, 22(7): 16~18
- [7] 王敏捷, 杨武学. 渭河下游近期泥沙淤积带来的防洪问题[J]. 人民黄河, 1999, 21(10): 4~5
- [8] 袁东良, 王万战. 近期黄河下游河道冲淤演变[J]. 人民黄河, 1997, 19(7): 13~14
- [9] 申冠卿, 张晓华, 等. 1986 年以来黄河下游水沙变化及河道演变分析[J]. 人民黄河, 2000, 22(9): 10~11
- [10] 钱宁, 张仁, 周志德. 河床演变学[M]. 北京: 科学出版社, 1987. 453