

龙刘水库联合运用对宁蒙河道冲淤的影响

田世民^{1,2}, 邓从响³, 谢宝丰³, 张晓华²

(1. 中国水利水电科学研究院, 北京 100038; 2. 黄河水利科学研究院水利部泥沙重点实验室, 河南 郑州 450003;
3. 水利部小浪底水利枢纽建设管理局调度中心, 河南 郑州 450000)

摘要:通过对水流连续方程、水流动量方程和河床变形方程进行离散化处理, 建立宁蒙河道的水文水动力学冲淤计算模型, 利用该模型对龙刘水库联合运用对宁蒙河道冲淤的影响进行了计算和分析。选取龙刘水库联合运用初期的 1987—1990 年为计算时段, 在相似的引水条件下研究龙刘水库运用对河道冲淤的影响, 计算水沙未还原、水沙均还原、只还原水不还原沙和只还原沙不还原水等 4 种水沙条件下宁蒙河道的冲淤状况。结果表明, 龙刘水库联合运用对宁蒙河道起到了增淤的作用, 龙刘水库运用后, 其蓄水所引起的河道淤积效应大于其拦沙所引起的河道减淤效应。

关键词:龙刘水库; 宁蒙河道; 河道冲淤; 水库联合运用

中图分类号:TV851 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-7647(2013)03-0059-05

Effects of joint operation of the Longyangxia and Liujiaxia Rservoirs on scouring and sedimentation of the Ningxia-Inner Mongolia Reach//TIAN Shimin^{1,2}, DENG Congxiang³, XIE Baofeng³, ZHANG Xiaohua² (1. China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China; 2. Ministry of Water Resources Key Laboratory of Yellow River Sediment Research, Yellow River Institute of Hydraulic Research, Zhengzhou 450003, China; 3. Xiaolangdi Dam Project Construction and Management Bureau, Zhengzhou 450000, China)

Abstract: Based on the empirical generalization of the flow continuity equation, the flow momentum equation and the riverbed deformation equation, a computational model was established for the research on the scouring and sedimentation of the Ningxia-Inner Mongolia Reach in the upper Yellow River. The effects of joint operation of the Longyangxia and Liujiaxia Reservoirs on the fluvial processes of the Ningxia-Inner Mongolia Reach were estimated and analyzed using this model. Taking the early operation stage of the two reservoirs (1987—1990) as calculating period, the scouring and sedimentation of the Ningxia-Inner Mongolia Reach was calculated under four kinds of water and sediment conditions. The results show that, joint operation of the Longyangxia and Liujiaxia Rservoirs increases the sedimentation of the Ningxia-Inner Mongolia Reach, the effect of sedimentation increase due to water storage is greater than the effect of deposition reduction resulting from sediment retaining.

Key words: Longyangxia and Liujiaxia Rservoirs; Ningxia-Inner Mongolia Reach; scouring and sedimentation; joint reservoir operation

宁蒙(宁夏—内蒙古)河道属于冲积性河道, 自宁夏中卫县南长滩入境, 至内蒙古准格尔旗马栅乡出境(图 1), 全长为 1 203.8 km^[1]。宁夏河段下河沿—青铜峡河道长 124 km, 河道迂回曲折, 河心滩地多, 平均比降 0.078%; 青铜峡—石嘴山河段长 194.6 km, 河道平均比降为 0.02%。内蒙古河段石嘴山—乌达公路桥为峡谷型河道, 河长 37 km, 平均河宽 400 m, 河道比降为 0.056%; 乌达公路桥—三盛公为过渡河段, 河长 105 km, 平均河宽 1 800 m, 河道比降为 0.015%; 三盛公—三湖河口属游荡性河段, 河长 220.7 km, 河宽 2 500 ~ 5 000 m, 河道比降为 0.014%; 三湖河口—昭君坟为过渡河段, 河长为 126.4 km, 河

宽为 2 000 ~ 7 000 m, 河道比降为 0.0117%; 昭君坟—头道拐河段属弯曲性河段, 长 173.8 km, 河宽 1 200 ~ 5 000 m, 河道比降为 0.0125%; 头道拐—河口镇河段长 10.3 km, 河宽 900 ~ 2 000 m, 河道比降为 0.0156%, 其下为峡谷型河段。

自龙羊峡水库和刘家峡水库(简称龙刘水库, 下同)联合运用后, 宁蒙河道不断发生淤积, 有研究者认为龙刘水库的联合运用造成了宁蒙河道的淤积^[2-7]。但也有研究者认为龙刘水库虽然拦蓄了上游水, 但同时也拦截了部分泥沙, 从某种意义上讲对宁蒙河道的冲刷有着积极作用, 而宁蒙河道的淤积也与工农业用水的增加导致引水增加, 从而导致河

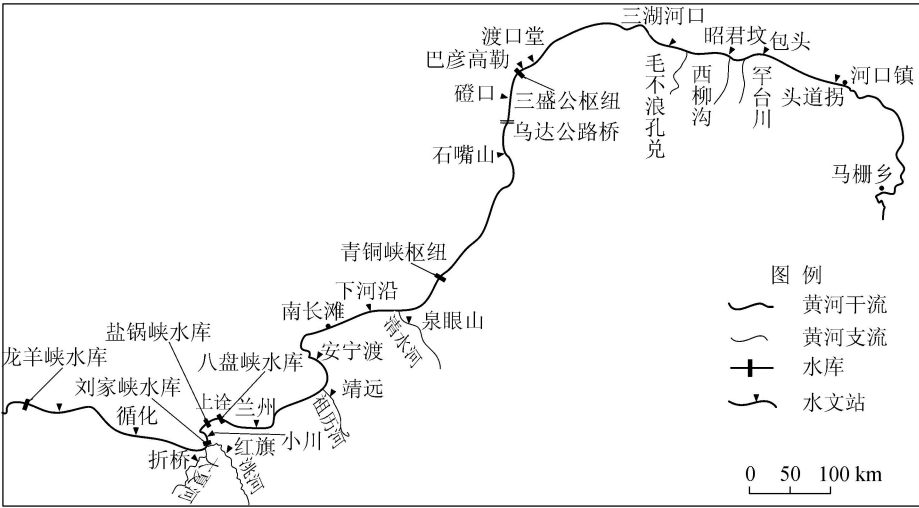


图1 宁蒙河道示意图

道内输沙用水减少有关。为了辨识龙刘水库联合运用后对宁蒙河道冲淤的影响,本文通过建立宁蒙河道冲淤计算模型,对水沙未还原、水沙均还原、只还原水不还原沙和只还原沙不还原水等4种水沙条件下宁蒙河道的冲淤状况进行计算,分析宁蒙河道冲淤对龙刘水库拦沙和蓄水的敏感性,对龙刘水库联合运用后对宁蒙河道的冲淤影响进行定量研究。同时,为了消除社会经济发展引起的沿程引水的增加对河道淤积的影响,选择龙刘水库运用初期(1987—1990年)作为研究时段,在该时段内认为沿程引水年际变化不大,在相似的引水条件下考虑水库对冲淤的影响。

1 龙刘水库修建前后宁蒙河道冲淤特性

1.1 龙刘水库运用情况

刘家峡水库是一座以发电为主,兼有防洪、灌溉、防凌、养殖等综合效益的大型水利水电枢纽工程,修建于1958年,于1968年10月开始蓄水,1969年11月正常运用。水库校核洪水位以下总库容为64亿m³,相应设计洪水位以下总库容为57亿m³,兴利库容为41.5亿m³,为不完全年调节水库。水库入库控制站为干流循化站、支流洮河红旗站和大夏河折桥站,出库控制站为小川站。

龙羊峡水库修建于1976年,1986年10月下闸蓄水,坝址在刘家峡水库坝址以上333 km。水库校核洪水位为2605 m,相应库容为276.3亿m³,调节库容为193.6亿m³,具有多年调节功能,以发电为主,并配合刘家峡水库担负下游河段的防洪、灌溉和防凌任务。水库入库控制站为干流唐乃亥站,出库控制站为贵德站。

1986年以后龙刘水库转入联合运用阶段,联合运用的基本原则是:联合调度,补偿调节。刘家峡水

库根据综合用水要求安排年内的调节,龙羊峡水库在保持年际出库水量基本稳定的前提下,年内根据刘家峡水库的运行进行补偿调节。水库进出口水文站对径流、泥沙以及级配等水文因子有着长系列的观测资料。

1.2 水沙变化特点

龙刘水库联合运用后,宁蒙河道的水沙条件发生了显著改变^[2-4]。宁蒙河道典型水文站不同时期年内水沙变化见表1。可以看出,宁蒙河道下河沿、石嘴山、头道拐等水文站全年和汛期的水沙量随着刘家峡和龙羊峡水库的修建和投入运用而不断减少,且年内分配也发生了变化。各水文站在水库运用之前(1952—1968年)汛期来水量占年来水量的比例约为61%~63%,刘家峡水库单库运用期间(1969—1986年)减少为53%~55%,龙羊峡和刘家峡联合运用后(1987—2009年)又下降到38%~43%。天然情况下汛期来沙量占年来沙量的比例为80%~87%,刘家峡单库运用期间降为74%~84%,两库联合运用期间进一步下降到58%~78%。同时,受水库调节的影响,输送大沙量的流量数量级减小,且各水文站的最大洪峰流量也减小,见图2。

表1 不同时期下河沿—头道拐河段
主要水文站水沙量年内分配变化

水文站	时段	来水量/亿 m ³			来沙量/亿 t		
		1952— 1968 年	1969— 1986 年	1987— 2009 年	1952— 1968 年	1969— 1986 年	1987— 2009 年
下河沿	汛期	210.2	171.7	104.6	1.89	0.91	0.53
	全年	340.3	324.0	248.8	2.17	1.09	0.68
石嘴山	汛期	200.5	162.3	94.2	1.65	0.71	0.51
	全年	317.6	295.9	216.9	2.07	0.97	0.78
头道拐	汛期	165.4	129.9	59.9	1.45	0.87	0.25
	全年	264.3	239.2	155.7	1.77	1.10	0.42

1.3 河道冲淤特点

从相关文献的研究结果来看,天然情况下

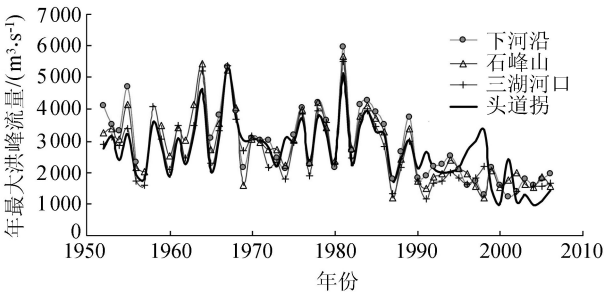


图2 宁蒙河道各水文站历年最大洪峰流量

(1960 年以前) 宁蒙河道的河床处于微淤状态, 各断面的水位是略有抬升的。1960—1968 年随着盐锅峡水库、三盛公水库以及青铜峡水库相继投入运用而拦截泥沙, 再加上该时期宁蒙河道年径流量大于多年均值, 河道表现为冲刷^[8], 年均冲刷约 0.585 亿 t。1968 年刘家峡水库投入运用后, 由于刘家峡水库的调节能力有限, 水库对径流量的调节不明显, 但水库的拦沙作用较为显著, 从刘家峡水库单库运用的资料分析来看, 宁蒙河道发生冲刷, 年均冲刷 0.302 亿 t。1987 年以后龙羊峡水库和刘家峡水库联合运用, 龙羊峡水库调节能力较大, 对河道径流量的影响作用较大, 又由于龙羊峡水库处于黄河的主要产水区, 其拦沙影响相对较弱, 由此导致宁蒙河道由冲刷变为淤积, 年均淤积 0.394 亿 t。表 2 为不同时期宁蒙河道的年均冲淤量。

表 2 宁蒙河道不同时期年均冲淤量 亿 t

时 段	青铜峡— 石嘴山	石嘴山— 巴彦高勒	巴彦高勒— 三湖河口	三湖河口— 头道拐	青铜峡— 头道拐
1960—1968 年	-0.429	0.096	-0.253	0.001	-0.585
1969—1986 年	-0.134	0.040	-0.094	-0.114	-0.302
1987—2009 年	-0.048	0.139	0.131	0.172	0.394

注: 负值表示冲刷, 正值表示淤积, 下同。

2 宁蒙河道冲淤计算方法

2.1 模型建立

通过对水流连续方程、水流动量方程和河床变形方程进行离散化处理, 并依据黄河实测资料求得有关参数, 进行沿程洪水推演及水流泥沙计算, 建立宁蒙河道的水文水动力学冲淤计算模型, 其计算方法和步骤简介如下:

步骤 1 推求沿程各断面流量。当来水量小于河段平滩流量时, 只进行主河槽输沙计算, 当来水量大于平滩流量时, 采用马斯京根公式进行沿程洪水推演:

$$Q_{22} = C_0 Q_{12} + C_1 Q_{11} + C_2 Q_{21} \quad (1)$$

式中: 流量 Q 的第 1 个下标为断面序号, 第 2 个下标为计算时段序号; C_0 、 C_1 、 C_2 为洪水演进系数, 根据实测洪水资料推求得到 $C_0 = 0.05$, $C_1 = 0.9$, $C_2 = 0.05$ (青铜峡—头道拐各站的洪水演进系数相同)。

步骤 2 计算滩槽流量。由洪水演进求得各断面流量后, 对漫滩洪水进行滩地、主槽流量分配及相应水力因子计算。利用曼宁公式可得

$$Q = Q_c + Q_t = \frac{B_c J_c^{1/2}}{n_c} (\Delta H + H_t)^{5/3} + \frac{B_t J_t^{1/2}}{n_t} H_t^{5/3} \quad (2)$$

式中: Q 为全断面过流量; Q_c 和 Q_t 分别为主槽和滩地过流量; B_c 和 B_t 分别为主槽和滩地宽度; J_c 和 J_t 分别为主槽和滩地比降; n_c 和 n_t 分别为主槽和滩地糙率; H_t 为滩地水深; ΔH 为滩槽高差, 初始值由已知平滩流量给定, 计算中随滩槽冲淤而调整。由式 (2) 通过假设滩地水深试算求得滩槽流量。

步骤 3 分配滩槽泥沙。根据黄河的实际情况, 假设水流在某一出口扩散入滩, 在下一个河段又回归入槽, 分流时槽内浑水流入滩地, 随后滩地澄清的水流返回主槽。入滩水流含沙量与主槽含沙量有关, 同时与河槽断面含沙量分布有关, 在一维计算中不能给出断面含沙量分布, 假定入滩地含沙量 S_t 与主槽含沙量 S_c 成比例, 即 $S_t = K S_c$, 根据实测资料, K 值取 1.5~2, 据此进行滩槽泥沙分配。

步骤 4 计算出口断面输沙率。依据 1960—2009 年宁蒙河道各水文站断面实测资料, 拟合各河段输沙率的经验公式。将宁蒙河道全年分为封冻期、桃汛期以及常水期等 3 个不同时期, 分别拟合输沙率与流量及上站含沙量的经验公式, 据此计算各出口断面输沙率。各河段不同时期输沙率计算公式如下:

a. 石嘴山站。

封冻期 $Q_s = 0.0174e^{0.0055Q_{\text{本}}} \quad (3)$

桃汛期 $Q_s = 0.1592e^{0.0032Q_{\text{本}}} \quad (4)$

常水期

$$Q_s = \begin{cases} 0.0002S_{\text{上}}^{0.1179} Q_{\text{本}}^{1.4181} & S_{\text{上}} < 5 \text{ kg/m}^3 \\ 0.000107Q_{\text{本}}^{1.541} \cdot (0.0594S_{\text{上}}^{1.02} + 0.3787) & S_{\text{上}} \geq 5 \text{ kg/m}^3 \end{cases} \quad (5)$$

b. 巴彦高勒站。

封冻期 $Q_s = 0.0013Q_{\text{本}} - 0.3242 \quad (6)$

桃汛期 $Q_s = 0.2643e^{0.0032Q_{\text{本}}} \quad (7)$

常水期 $Q_s = 0.00004S_{\text{上}}^{0.8703} Q_{\text{本}}^{1.4475} \quad (8)$

c. 三湖河口站。

封冻期 $Q_s = 0.00002Q_{\text{本}}^{1.4247} \quad (9)$

桃汛期、常水期 $Q_s = (0.000006S_{\text{上}} + 0.00005) Q_{\text{上}}^{1.602} \quad (10)$

d. 头道拐站。

封冻期 $Q_s = 0.00003Q_{\text{本}}^{1.4278} \quad (11)$

桃汛期 $Q_s = 0.00001Q_{\text{本}}^{1.8251} \quad (12)$

常水期 $Q_s = 0.000009S_{\text{上}}^{0.3} Q_{\text{本}}^{1.829} \quad (13)$

式中: Q_s 为本站点的输沙率; $Q_{本}$ 为本站点的流量; $S_{上}$ 为上一站的含沙量; $Q_{上}$ 为上一站的流量。

步骤 5 计算滩槽淤积量。根据各断面进出口输沙率求得该河段滩地和主槽的冲淤量,并假设冲淤在该河段范围内均匀分布,得到新的滩槽高差和平滩流量,并进入下一计算时刻。

需要说明的是,以上计算断面为青铜峡、石嘴山、巴彦高勒、三湖河口以及头道拐等水文站测验断面,滩槽的划分采用多年平均数据,河道断面概化处理见图 3(图中 H_c 为主槽水深, B_{t1} 、 B_{t2} 分别表示左右滩地宽度)。

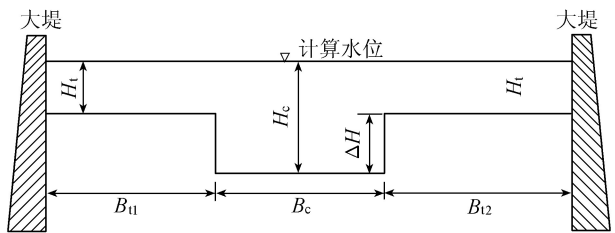


图 3 河道计算断面概化示意图

2.2 模型验证

为了验证模型的合理性,以青铜峡水库坝下游为进口,利用 1981—1990 年水沙资料,采用该模型计算了宁蒙河道的冲淤情况,计算结果见表 3 和图 4,计算得到的全河段和分河段的冲淤量计算值与实测值基本一致,同时计算和实测的逐年冲淤量和累积冲淤量也基本吻合,说明模型能够合理地反映宁蒙河道的冲淤特性,可以进行长系列的河道冲淤计算。

表 3 1981—1990 年冲淤量实测值和计算值对比 亿 t		
河 段	实测值	计算值
青铜峡—石嘴山	-1. 820	-1. 832
石嘴山—巴彦高勒	0. 592	0. 613
巴彦高勒—三湖河口	-0. 692	-0. 664
三湖河口—头道拐	1. 130	1. 140
全 河 段	-0. 790	-0. 747

3 龙刘水库运用初期宁蒙河道冲淤计算

龙刘水库投入运用后,改变了宁蒙河道的水沙条件,引起河道冲淤的变化,为了研究龙刘水库对宁蒙河道的冲淤演变影响,对宁蒙河道的水沙条件进行还原,并利用模型计算不同水沙条件下的河道冲淤,分析龙刘水库运用前后宁蒙河道的冲淤特点。

首先将水和沙都进行还原,将龙羊峡水库进出库水文站(唐乃亥、贵德)、刘家峡水库进出库水文站(进口站为循化、红旗和折桥站,出口站为小川站)的流量和输沙率差值按传播时间换算到青铜峡水库,其中龙羊峡水库出库流量到青铜峡水库的传播时间为 4 d,刘家峡水库出库流量到青铜峡水库的

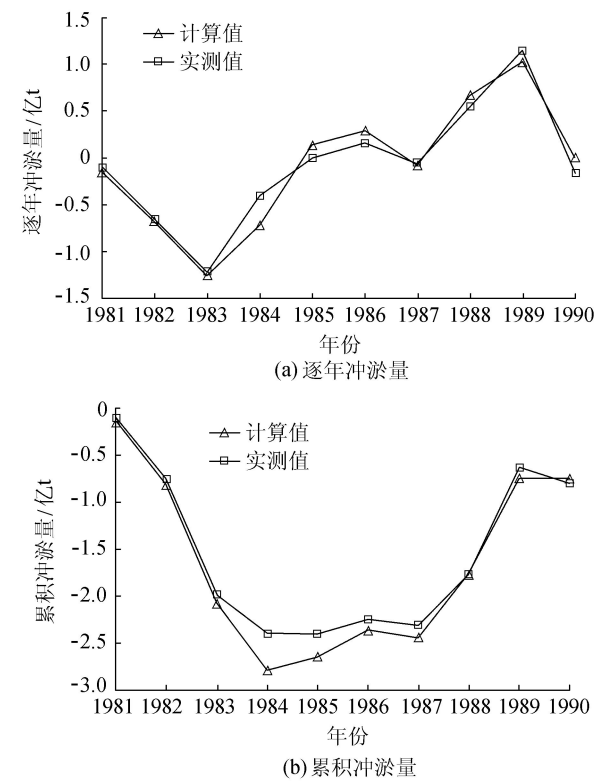


图 4 1981—1990 系列年冲淤量计算值与实测值的对比

传播时间为 2 d,得到水库还原后的水沙条件。利用该水沙条件通过模型计算水库还原后 1987—1990 年的冲淤情况。

此外,为了研究宁蒙河道冲淤分别对龙刘水库蓄水和拦沙的敏感性,利用上述还原方法计算只还原水不还原沙和只还原沙不还原水两种水沙条件下的河道冲淤情况,分析水库拦沙和蓄水单因素对河道冲淤的影响。不同还原方案下的水沙特征见表 4,各方案的计算结果见表 5 和表 6。

水沙条件	来水量/亿 m ³		来沙量/亿 t		最大流量 / (m ³ · s ⁻¹)
	总水量	汛期水量	总沙量	汛期沙量	
水沙未还原	839. 50	424. 37	2. 626	2. 322	2900
水沙均还原	916. 65	662. 37	4. 476	3. 972	4400
只还原沙不还原水	839. 50	424. 37	4. 476	3. 972	2900
只还原水不还原沙	916. 65	662. 37	2. 626	2. 322	4400

从表 5 可以看到,水沙还原后青铜峡—石嘴山河段由冲刷变为淤积,该河段作为宁蒙河道的调整河段,当上游来沙少时河段发生冲刷,而当上游来沙多时,该河段淤积。全河段由淤积 1. 609 亿 t 变为淤积 1. 394 亿 t,淤积量减少 0. 215 亿 t。表明除去龙刘水库的影响后,水沙条件更有利于宁蒙河道的冲刷,但各河段的冲淤分布将有所调整。

将水沙还原前、水沙还原后、只还原水不还原沙

表 5 1987—1990 年宁蒙河道不同

水沙条件下冲淤量计算结果

亿 t

水沙条件	位 置	青铜峡—石嘴山	石嘴山—巴彦高勒	巴彦高勒—三湖河口	三湖河口—头道拐	全河段
水沙未还原	滩 地	0	0	0	0.025	0.025
	主 槽	-0.389	0.720	0.035	1.218	1.584
	全断面	-0.389	0.720	0.035	1.243	1.609
水沙均还原	滩 地	0	0	0	0.111	0.111
	主 槽	0.220	0.536	-0.374	0.901	1.283
	全断面	0.220	0.536	-0.374	1.012	1.394
只还原沙不还原水	滩 地	0	0	0	0.032	0.032
	主 槽	0.774	1.025	0.275	1.300	3.375
	全断面	0.774	1.025	0.275	1.332	3.407
只还原水不还原沙	滩 地	0	0	0	0.081	0.081
	主 槽	-0.774	0.251	-0.691	0.758	-0.456
	全断面	-0.774	0.251	-0.691	0.839	-0.375

表 6 1987—1990 年不同水沙条件下全河段总冲淤量

水沙条件	总来水量/亿 m ³	总来沙量/亿 t	总冲淤量/亿 t
水沙未还原	839.50	2.626	1.609
水沙均还原	916.65	4.476	1.394
只还原沙不还原水	839.50	4.476	3.407
只还原水不还原沙	916.65	2.626	-0.375

以及只还原沙不还原水等 4 种不同水沙条件下的河段冲淤量进行比较,见表 6。1987—1990 年由于龙刘水库的调节作用,宁蒙河道共减水 77.15 亿 m³,减沙 1.85 亿 t。如果只考虑龙刘水库的减水作用,即当来沙量仍然保持 4.476 亿 t 时,来水量由 916.65 亿 m³ 减至 839.5 亿 m³,减少 77.15 亿 m³,此时宁蒙河道淤积 3.407 亿 t,比水库运用前增淤 2.013 亿 t。如果只考虑龙刘水库的减沙作用,即当来水量仍保持 916.65 亿 m³ 时,来沙量由 4.476 亿 t 减至 2.626 亿 t,减少 1.85 亿 t,此时宁蒙河道冲刷 0.375 亿 t,比水库运用前减淤 1.769 亿 t。说明龙刘水库运用后,其蓄水所引起的河道淤积效应大于其拦沙所引起的河道减淤效应。

4 结 语

对水流连续方程、水流动量方程和河床变形方程进行离散化处理,通过分析黄河实测资料求得有关参数和输沙率公式,进行沿程洪水推演及水流泥沙计算,建立宁蒙河道水文水动力学冲淤计算模型,通过长系列水沙条件验证表明,模型计算结果与实际过程基本吻合,说明了模型的合理性,可用于模拟宁蒙河道的冲淤特性。

选取龙刘水库运用初期 1987—1990 年作为计算时段,在相似的引水条件下,通过计算水沙未还原、水沙均还原、只还原水不还原沙和只还原沙不还原水等 4 种水沙条件下的冲淤量得出宁蒙河道的冲淤特

性;水沙还原后宁蒙河道全河段由淤积 1.609 亿 t 减少为淤积 1.394 亿 t,淤积量减少 0.215 亿 t,表明除去龙刘水库的影响后,水沙条件更有利于宁蒙河道的冲刷,即在沿程引水不变的情况下,龙刘水库对宁蒙河道的影响仍然是增淤的。由于龙刘水库的调节作用,宁蒙河道共减水 77.15 亿 m³,减沙 1.85 亿 t。如果只考虑龙刘水库的减水作用,此时宁蒙河道淤积 3.407 亿 t,比水库运用前增淤 2.013 亿 t;如果只考虑龙刘水库的减沙作用,此时宁蒙河道冲刷 0.375 亿 t,比水库运用前减淤 1.769 亿 t。说明龙刘水库运用后,其蓄水所引起的河道淤积效应大于其拦沙所引起的河道减淤效应。

参考文献:

[1] 翟家瑞. 黄河宁蒙河段防洪形势分析与对策[EB/OL]. [2006-03-06]. [http://www. yellowriver. gov. cn/zlcp/ xspt/200612/t20061220_102318. html](http://www.yellowriver.gov.cn/zlcp/xspt/200612/t20061220_102318.html).

[2] 赵业安,侯素珍,李勇. 80 年代黄河上游宁蒙河道的冲淤简况[J]. 人民黄河,1992(4):20-23. (ZHAO Yean, HOU Suzhen, LI Yong. Description of erosion and deposition of the river channel in Ningxia-Inner Mongolia in 1980s[J]. Yellow River,1992(4):20-23. (in Chinese))

[3] 张晓华,郑艳爽. 宁蒙河道冲淤规律及影响因素分析[R]. 郑州:黄河水利科学研究院,2008.

[4] 尚红霞,郑艳爽,张晓华. 水库运用对宁蒙河道水沙条件的影响[J]. 人民黄河,2008,30(12):28-30. (SHANG Hongxia,ZHENG Yanshuang,ZHANG Xiaohua. Influence of reservoir operation to the silt-discharge condition of Ning-Mong Section of the Yellow River[J]. Yellow River,2008,30(12):28-30. (in Chinese))

[5] 侯素珍,常温花,王平,等. 黄河内蒙古段河道萎缩特征及成因[J]. 人民黄河,2007,29(1):25-29. (HOU Suzhen, CHANG Wenhua, WANG Ping, et al. Shrink features and causes of the river channel in Inner Mongolia of the Yellow River[J]. Yellow River,2007,29(1):25-29. (in Chinese))

[6] 王海兵,贾晓鹏. 大型水库运行下内蒙古河道泥沙侵蚀淤积过程[J]. 中国沙漠,2009,29(1):189-192. (WANG Haibing, JIA Xiaopeng. Channel deposition and erosion processes of Inner Mongolian Reach of Yellow River following upstream reservoirs operation [J]. Journal of Desert Research,2009,29(1):189-192. (in Chinese))

[7] 侯素珍,王平,常温花,等. 黄河内蒙古河段冲淤量评估[J]. 人民黄河,2007,29(4):21-22. (HOU Suzhen, WANG Ping, CHANG Wenhua, et al. Evaluation on the volume of scour and fill of Inner Mongolia Section of the Yellow River[J]. Yellow River,2007,29(4):21-22. (in Chinese))

[8] 张晓华,尚红霞,郑艳爽,等. 黄河干流大型水库修建后上下游再造床过程[M]. 郑州:黄河水利出版社,2008.

(收稿日期:2012-07-02 编辑:骆超)