

1999—2015 年汛后小浪底水库典型支流口门淤积发展影响分析*

李涛¹, 夏润亮^{1**}, 夏军强², 张俊华¹, 俞彦¹, 吴丹¹

(1: 黄河水利委员会黄河水利科学研究院, 郑州 450003)

(2: 武汉大学水资源与水电工程国家重点实验室, 武汉 430072)

摘要: 支流作为水库综合效益发挥的重要组成部分, 其河口泥沙大幅淤积会影响水库综合效益的发挥. 选取多沙河流水库黄河小浪底库区砵水、石井两支流作为典型实例, 在对 1999—2015 年汛后水库的来水来沙、水库调度、库区干支流淤积量与形态分析基础上, 研究干支流淤积形态的变化, 重点研究支流口门拦门沙坎抬升变化特征, 结果表明: 支流的分流及淤积与入库流量、含沙量及库区的淤积形态有关. 入库流量越大, 支流分流比小, 支流淤积规模小; 入库含沙量越大, 支流分沙比越大, 支流淤积规模越大.

关键词: 小浪底水库; 支流; 拦门沙坎; 淤积形态

Deposition development in post-flood seasons between 1999–2015 at the entrance of typical tributaries of Xiaolangdi Reservoir, Yellow River*

Li Tao¹, Xia Runliang^{1**}, Xia Junqiang², Zhang Junhua¹, Yu Yan¹ & Wu Dan¹

(1: Yellow River Institute of Hydraulic Research, Yellow River Conservancy Commission, Zhengzhou 450003, P.R.China)

(2: State Key Laboratory of Water Resources and Hydropower Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, P.R.China)

Abstract: Tributary, as an important part of the comprehensive benefit of the reservoir will affect the comprehensive benefit of the reservoir, with the large sediment deposition in its estuary. Based on the analysis of water and sediment input conditions, reservoir operation, sedimentation volume and morphology of main and branch streams in the reservoir area, this paper studies the change of sedimentation morphology of main and tributaries, and focuses on the uplift characteristics of sandbank at the entrance of tributaries. The results show that the diversion and deposition of tributaries are related to the discharge and the sediment content of inflow, and the form of sedimentation in the reservoir area. The larger the inflow of the reservoir, the smaller the flow ratio and the siltation scale of the tributary. The larger the sediment concentration in the reservoir, the larger the sediment ratio and the larger the siltation scale of a tributary.

Keywords: Xiaolangdi Reservoir; tributary; bar at the entrance; sedimentation shape

小浪底水利枢纽是解决黄河下游防洪、减淤问题的关键性控制工程. 小浪底库区支流众多, 275 m 高程以下原始库容大于 1 亿 m^3 的支流有 11 条^[1]. 库区支流平时流量很小甚至断流, 只是在汛期发生历时短暂的洪水时, 有砂卵石推移质顺流而下. 据计算分析库区支流年平均推移质输沙总量约为 27 万 t, 悬移质输沙量约为 297 万 t, 与干流来沙量相比可忽略不计. 因此, 支流库容的拦沙量取决于干流进入支流的沙量. 支流库容对水库发挥防洪、减淤等综合利用效益具有重要的作用^[1-2].

小浪底库区支流入库沙量与干流相比可忽略不计, 但支流拦沙量取决于干流倒灌沙量^[3]. 在支流泥沙运行规律研究方面, 周勤等^[4]关注了干清支浑型水库泥沙淤积形态和运动规律, 王婷等^[1]分析了小浪底水

* 2020-10-09 收稿; 2021-01-15 收修改稿.

国家重点研发计划项目 (2018YFC0407905, 2017YFC0405505)、国家自然科学基金项目 (51679103, 51779100)、河南省杰出青年基金项目 (202300410539) 和黄河水利科学研究院中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目 (HKY-JBYW-2019-08, HKY-JBYW-2020-21, HKY-JBYW-2020-07) 联合资助.

** 通信作者; E-mail: xiarunliang@hky.yrcc.gov.cn.

库支流近年来淤积形态的演变,李涛等^[5]研究了水库降水冲刷过程中支流的影响问题.在支流淤积形成拦门沙方面,多个水库存在相同难题,汉江的丹江口水库支流远河河口与支流河床的高差达 10 余米,拦门沙逐年增长^[6].朱玲玲等^[7-8]研究了三峡水库支流河口淤积成因及拦门沙形成风险,杨霞等^[9]研究了三峡水库香溪河河口泥沙淤积特性,王永艳等^[10]分析了三峡忠县段悬移质泥沙淤积特点,胡春宏等^[11]针对永定河上的官厅水库支流妫水河拦门沙淤堵河口、使水库功能弱化的特点,提出逐步采用工程措施改善现状;张俊华等^[12]从小浪底水库拦沙后期防洪减淤运用方式系列年模型试验认识到:①大多支流淤积形态与设计相近,但库区原始库容最大的支流鲶水的淤积形态与设计值有较大的差别;②支流淤积形态与小浪底目前淤积形态有较大差别.小浪底水库运用以来的实测资料显示,支流最大拦门沙坎与其河床的高差已超过 10 m^[13].因此,水库拦门沙的发展机理与变化受到管理部门和水库调度部门的广泛关注.由于水库运用过程中,库区边界条件、入库水沙过程与水库水位变化^[14-15],影响了库区支流淤积形态,且相应的演变过程具有随机性与多种可能性,再加上干支流交汇处水流一般形成螺旋流,具有较强的三维特性,导致其演变机理异常复杂.

本研究利用小浪底水库实测数据,重点分析支流淤积形态与变化过程及其主要影响因素,探讨水沙倒灌支流的淤积机理,进而为水库调水调沙方案编制、支流泥沙冲淤规律认识、支流库容有效利用、水库拦沙期寿命延长提供技术支持.

1 研究区域

小浪底水库坝址控制流域面积 69.42 万 km²,占黄河流域面积的 92.3%.大坝位于河南洛阳以北约 40 km 的黄河干流上,上距三门峡水库 123.4 km,下距郑州花园口 115 km.小浪底水库正常蓄水位为 275 m,支流河口拦沙坎淤堵库容为 3 亿 m³.根据 1997 年 9 月实测资料计算原始库容为 127.538 亿 m³,干流库容为 74.904 亿 m³,约占总库容的 58.7%;支流库容为 52.634 亿 m³,约占总库容的 41.3%.水库原始库容特征如下:高程 230 m 以上库容 85.09 亿 m³,占总库容的 66.7%.距坝约 30 km 范围内库容约占总库容的 60.3%;素有“八里胡同”之称的库段以下 4 条大支流(东洋河、石井河、鲶水、大峪河)占支流总库容的比例为 59.6%;库区原始库容大于 1 亿 m³的支流有 11 条,集中分布在水库下段.距坝 67 km 以上(占总库长的 52%)库容约占总库容的 6.8%.小浪底水库蓄水至 275 m 时,形成东西长约 130 km,南北宽 300~3000 m 的狭长水域.小浪底水库平面示意图见图 1.

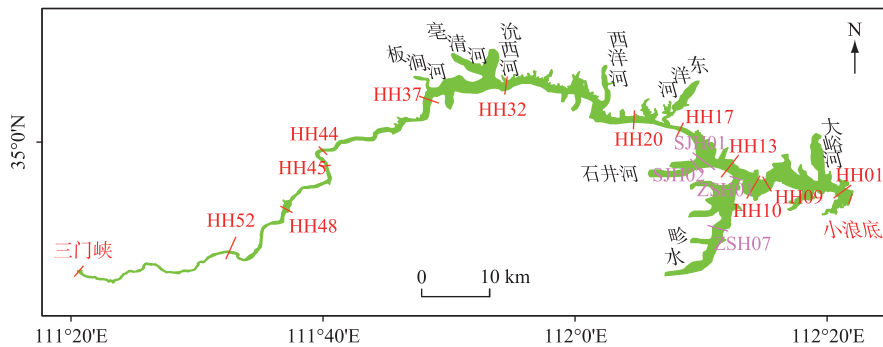


图 1 小浪底库区平面示意图

Fig.1 Plan sketch of Xiaolangdi Reservoir area

小浪底水库入库站为三门峡水文站(以下简称三门峡站),由于小浪底库区其他支流水来沙量较小,一般不做考虑,仅把三门峡站作为库区的入库水沙站.出库站为小浪底水文站(以下简称小浪底站).本文的主要研究区域为小浪底水库典型支流鲶水河与石井河.

鲶水河是小浪底水库库容最大的一级支流,在距坝 17.2 km 的黄河右岸顺直河段汇入干流,鲶水支流平面形态呈葫芦状,进口小而内部库容大且地势狭长,河床原始比降为 0.68‰,随着干流河床的不断淤积,河口拦门沙发育较快,但产生倒比降.

石井河是小浪底水库一级支流,在距坝 22.1 km 的黄河右岸弯道处汇入干流,石井河平面形态外口宽阔,与上下游滩地相连,内部急剧缩窄,略显窄浅,随着干流河床的不断淤积,河口拦门沙发育较快,支流内部无倒比降。

2 干流横断面形态调整过程

1999 年 10 月下闸蓄水时,库底纵剖面淤积形态为原始河床,随着水库蓄水运用,库区干流地形表现为三角洲淤积形态。水库运用以来,随着库区泥沙淤积,三角洲顶点不断向坝前推进,至 2015 年 10 月,三角洲顶点位置由运用初期的距坝 60 km 以上,下移至距坝 16.39 km 的 HH11 断面,三角洲顶点高程为 222.36 m。库区内沿程淤积基本分为上下两段,上段为明流淤积和壅水明流淤积交替,局部出现明显滩槽,下段为异重流淤积段,以平行淤积抬升为主。水库淤积的纵剖面受来水来沙影响较大。

河槽形态也取决于水沙过程,长时期的小流量过程导致河槽逐步萎缩,历时较长的大流量过程则引起河槽下切展宽,河槽过水面积显著扩大。水库运用以来,大部分时段库区主槽位置相对固定。随着库区泥沙的淤积,横断面整体表现为同步淤积抬升趋势。

如图 2a~d 分别为典型年份 HH01、HH10、HH37、HH45 断面套绘图。HH01 断面距坝 1.32 km,其横断面变化代表坝前淤积形态的变化,从 2000 年 10 月水库蓄水拦沙,坝前淤积速度加快,到 2003 年 10 月坝前淤积,深泓点高程由 159.67 m 抬高到 174.36 m,深泓点由居中摆动到偏右岸,之后全断面平行抬升,至 2010 年 10 月到 188.93 m;在 2011 年汛后在断面居中偏左岸出现梯形河槽,经过冲淤调整,至 2015 年汛后,其上底宽为 192 m,下底宽约为 99 m,河槽最大深度约 4.0 m,左滩坡度为 8.6%,右滩坡度为 9.7%。

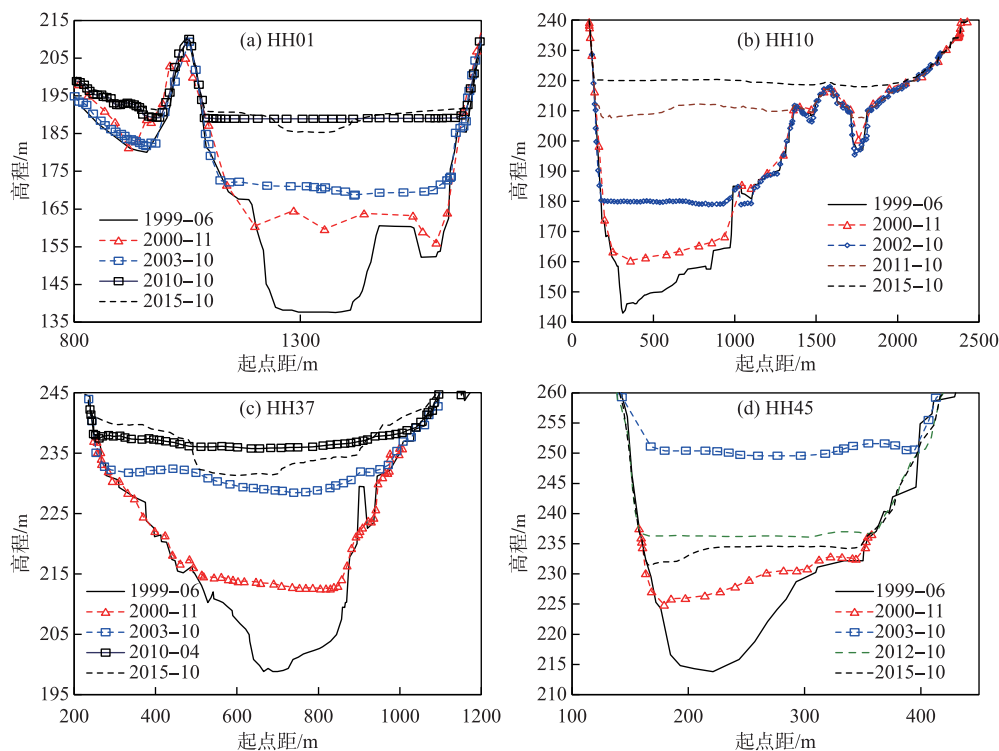


图 2 典型年份代表断面套绘图

Fig.2 Drawing of representative cross sections in typical years

HH10 断面距坝约 13.99 km,位于支流咄水口门下游,其横断面形态的变化一定程度上代表了咄水口门干支流交汇处附近地形的变化,2002 年 10 月之前,断面基本为平行抬升,断面上沿横向略有起伏,部分年份

出现深泓点,深泓点多偏右岸,在 2002 年 10 月之后,河道冲淤变幅增加,尤其是 2011 年汛前、汛后相比,断面两侧出现低槽,中间出高滩。2011 年 10 月之后,断面形态仍表现为平行抬升。

3 支流纵向与横向淤积形态

从图 3a、b 可以看出,支流与干流自然相连,支流口门淤积厚度随干流淤积的增加而增加,支流淤积情况与口门处干流挟沙水流的形态关系密切。当干支流相交处处于干流三角洲顶点以下,干流往往为发生异重流进入支流的现象,同时支流口门淤积为平行抬升,由于存在泥沙的沿程淤积分选,支流河道沿水流流向形成较大坡降。当干流处于三角洲面时,河道内塑造出明显的滩槽,支流成为干流滩地的一部分。干流浑水以明流流态倒灌进入支流,也发生沿程落淤,结果是支流口门形成淤积较厚,口门以上淤积厚度沿程减少。

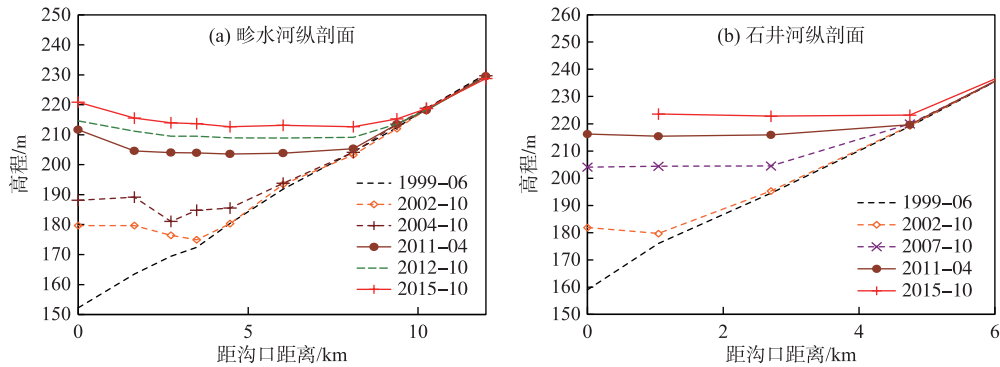


图 3 典型支流历年汛后深泓点纵剖面套绘图

Fig.3 Longitudinal profile set drawing of thalweg point of typical tributaries after flood over the years

支流咤水横断面淤积形态大多是平行抬升的(图 4)。咤水的淤积随着干流同步抬升,其淤积是从口门自下而上逆向淤积,距离口门越近,淤积越多,淤积泥沙颗粒越粗。从支流咤水典型年份 ZSH07 横断面套绘图(图 4b)可以看出,2011 年 10 月之前,在此断面淤积较少,而在 2012 年 10 月之后,该断面淤积增加迅速,可以从 2012 年 10 月与 2013 年 10 月地形的对比看出。随着支流咤水口门断面的淤积厚度的增加,支流咤水内外高差增大,比降增大,支流咤水口门以内淤积量增加,支流咤水口门以内淤积量占支流咤水总淤积的比例增大。从这个角度来说,一定程度上,支流口门淤积的形成对支流拦沙库容的利用是有利的。

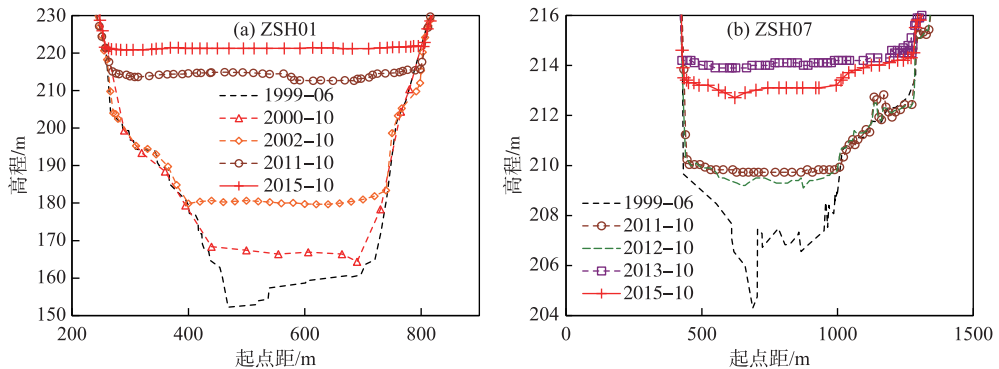


图 4 支流咤水典型年份横断面套绘图

Fig.4 Cross-sectional map of the tributary Zhenshui in typical years

水库运用后,石井 SJH01、SJH02 横断面在 1999—2015 年一直保持平行抬升的趋势(图 5)。其中,石井 SJH01 横断面在 2011 年汛前停止测验,这是由于该横断面位于石井口门,石井口门宽阔,由于 2012 年之后

库区干流三角洲顶点推过石井口门后,在水流泥沙作用下形成了新的河势,与上游右岸边滩连为一体,逐渐成为干流滩面的一部分,支流石井则成为该河段干流滩面的延伸. 石井 SJH01 断面变为干流的滩面一部分,后续不再测验,后期选择石井 SJH02 断面作为口门断面分析.

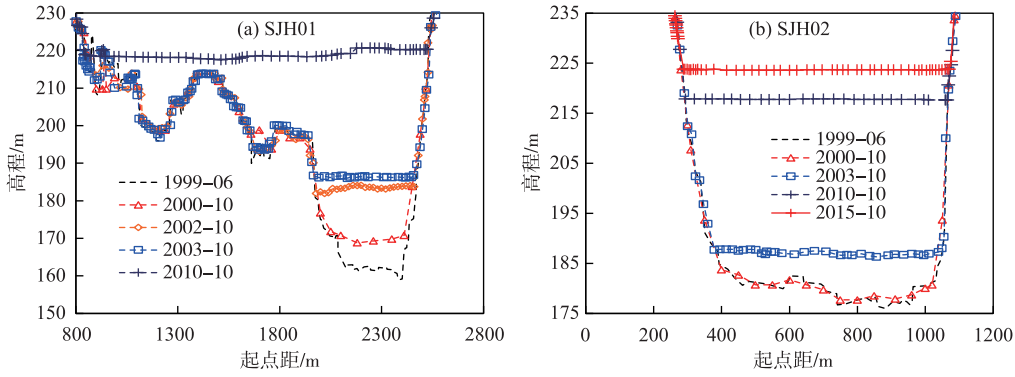


图 5 支流石井典型年份横断面套绘图
Fig.5 Cross-sectional map of the tributary Shijing in typical years

表 1 畛水 ZSH01 和石井 SJH02 横断面河底宽度变化
Tab.1 River bottom width change of cross section
ZSH01 of Zhenshui and SJH02 of Shijing

横断面	年份	左起点 距/m	右起点 距/m	高程/ m	河底 宽度/m
ZSH01	1999	433	721	160.8	288
	2000	440	690	167.4	250
	2002	400	740	179.8	340
	2004	365	740	188.4	375
	2007	310	745	188.4	435
	2009	298	745	210.6	447
	2011	281	799	214.4	518
SJH02	2015	263	804	221.3	541
	1999	418	1031	176.9	613
	2003	396	1049	186.7	653
	2006	369	1054	200.4	685
	2009	297	1061	213.9	764
	2015	288	1065	223.7	777

畛水口 ZSH01 横断面随着淤积抬升其河宽也逐步展宽,石井口 SJH02 横断面随着淤积抬升其河宽也逐步展宽(表 1). 从两个口门河底宽度对比来看,石井口门河底宽度大于畛水口门,其内部河底宽度却比畛水内部河底宽度小很多,这也是两支流淤积形态不同的主要原因.

4 水库异重流倒灌支流的淤积机理

图 6a、b 分别为两条支流河底淤积宽度(以下简称河宽 B)、口门断面淤积厚度(H) 随时间的变化图.畛水河宽处于缓慢增大的过程,石井河的河宽变化与畛水一致,但增幅大于畛水的(图 6a). 畛水口门淤积变化幅度大,具有缓慢增大趋势,石井的口门淤积变化与畛水一致(图 6b).

干流水沙进入支流大多以异重流形式进入,支流口门淤积的规模增加在断面方向上表现为宽度和高度二维变化,认为 B 与 H 的组合 H/B 的变化可代表口门断面淤积的变化规模,根据上文分

析可知,水库支流口门淤积的增长一定程度上代表了干支流水沙分配与淤积结果,流量 Q 代表入库水流动力, S_s 为入库浑水体积比含沙量, Q 为入库流量, Q 越大, H/B 越小,对支流口门形成的淤积越不利(图 7a).

S_s 代表入库泥沙条件,含沙量越高, H/B 越大,对支流口门形成的淤积越有利(图 7b);库区的淤积形态(用淤积三角洲顶点距坝里程 L 表示)影响异重流的形成位置和运行距离, L 代表沿程阻力,该值越大,支流距离三角洲顶点越远, H/B 越大(图 7c). 构造无量纲因子 $Q^{0.4}/(g^{0.2} \cdot L)$ 表征入库动力与库区淤积形态的变化(图 7d),可见 $Q^{0.4}/(g^{0.2} \cdot L)$ 越大, H/B 越小,对支流口门形成的淤积越不利.

异重流倒灌时石井支流口门断面淤积厚度特征与水库来沙及库区淤积形态的关系表明, H/B 与含沙量 S_s 呈正相关关系,与淤积形态 L 呈弱正相关关系,与水库来流 $Q^{0.4}/(g^{0.2} \cdot L)$ 呈弱负相关关系(图 8).

根据以上分析,按不同输沙水流形态条件建立以下公式. 从公式(1)、(2) 计算值与实测值的对比可以

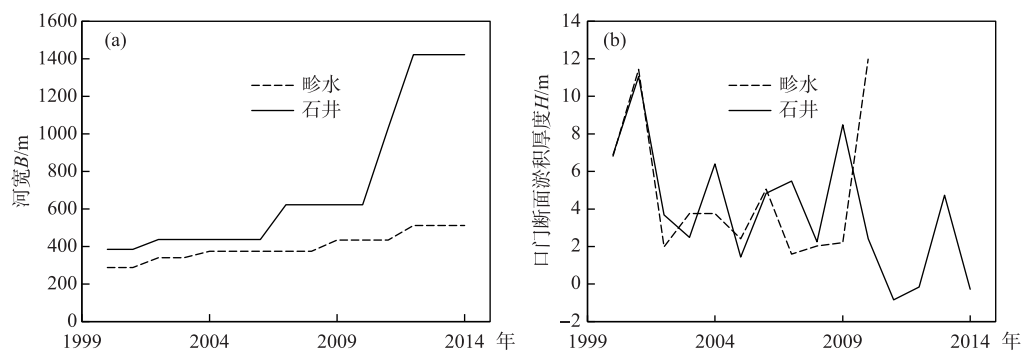


图 6 两条支流河宽、口门断面淤积厚度随时间的变化

Fig.6 Variation of the width of the two tributaries and the siltation thickness of the portal section with time

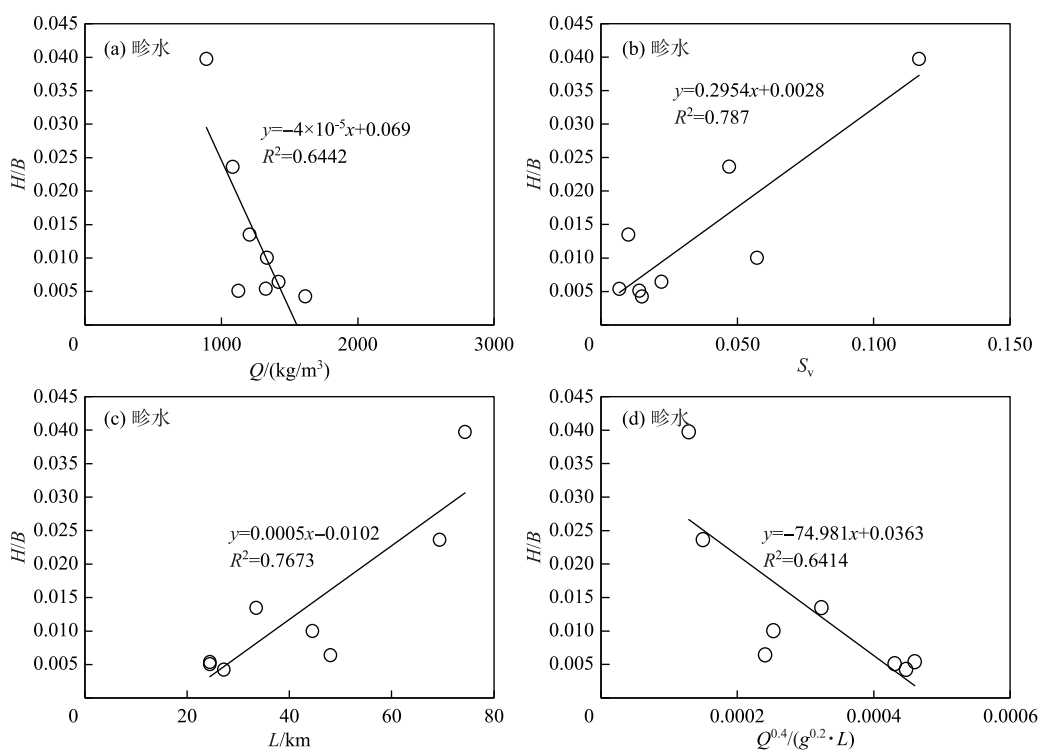


图 7 支流咄水口门淤积特征值与各因子的关系

Fig.7 The relationship between characteristic values and factors of portal deposition in tributary Zhenshui

看出,计算值与实测值均较为接近(图 9),咄水、石井河的 R^2 分别为 0.64、0.70.

咄水:

$$\frac{H}{B} = 0.007 S_v^{0.917} \left(\frac{Q^{0.4}}{g^{0.2} \cdot L} \right)^{-0.413} \quad R^2 = 0.64 \quad (1)$$

石井:

$$\frac{H}{B} = 2.71 \times 10^{-5} S_v^{0.403} \left(\frac{Q^{0.4}}{g^{0.2} \cdot L} \right)^{-0.868} \quad R^2 = 0.70 \quad (2)$$

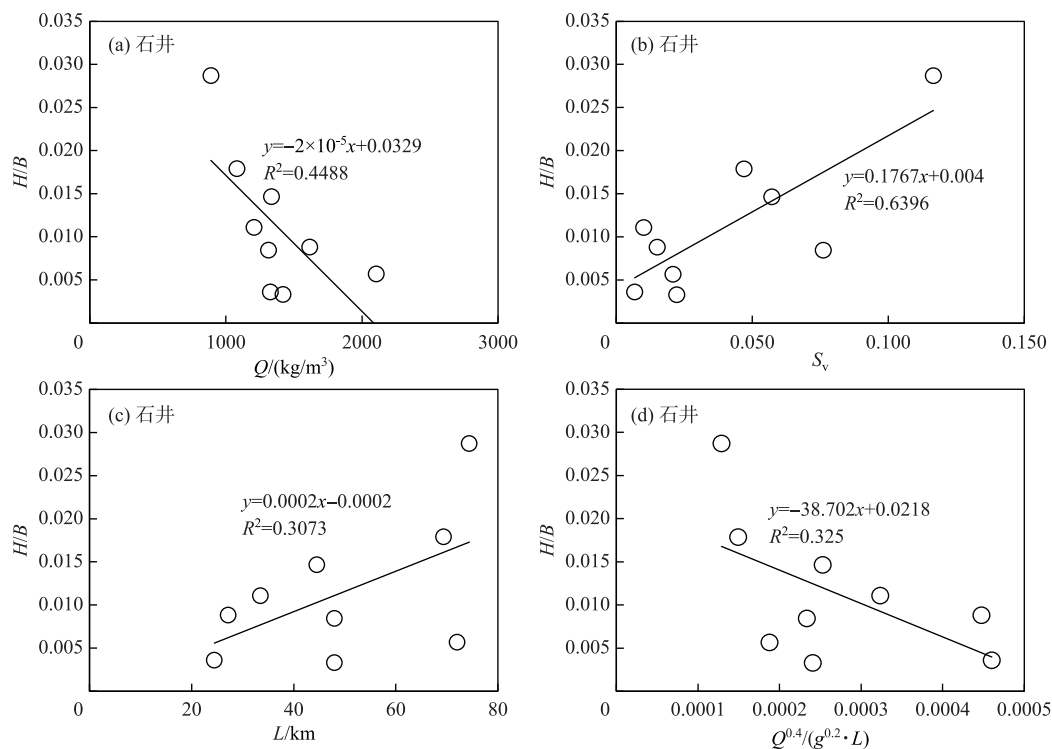
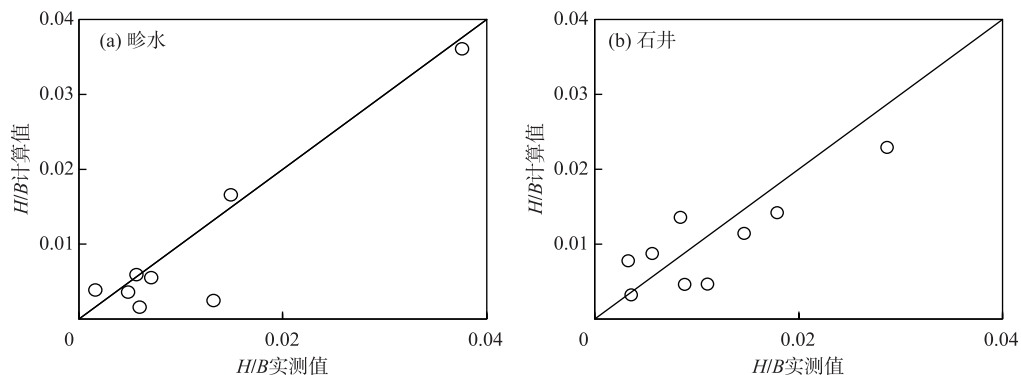


图 8 支流石井口门断面淤积特征值与各因子的关系

Fig.8 The relationship between characteristic values and factors of portal deposition in tributary Shijing

图 9 支流珍水(a)和石井(b) H/B 实测值与计算值的对比Fig.9 Comparison between measured values and calculated values of H/B in the tributaries Zhenshui (a) and Shijing (b)

通过以上分析可知,支流的分流及淤积与入库流量、含沙量及库区的淤积形态有关. 入库流量越大,支流分流比小,支流淤积规模小;入库含沙量越大,支流分沙比越大,支流淤积规模越大.

这说明在水库调度或调水调沙过程,加大入库流量、减小入库含沙量可以减小支流淤积规模. 对于水库异重流塑造过程中,相同条件下,加大入库流量可减小支流分流比例,减小能量损失,从这个角度来说,可提高异重流运动到坝前的可能性. 而较小的入库流量则会增大支流分流比,增加能量损失,减小异重流运动到坝前的可能性.

5 结论

通过对典型多沙河流水库运用对支流淤积的影响进行分析,认为入库水量及入库沙量对支流淤积的抬升具有重要的影响。

1) 1999 年 10 月小浪底库底纵剖面淤积形态为原始河床,水库运用以来,随着库区泥沙淤积,三角洲顶点不断向坝前推进。当干支流相交处处于干流三角洲顶点以下,支流口门淤积为平行抬升,由于存在泥沙的沿程淤积分选,支流河道沿水流流向形成较大坡降。当干流处于三角洲面时,河道内塑造出明显的滩槽,支流成为干流滩地的一部分。支流口门形成淤积较厚,口门以上淤积厚度沿程减少。

2) 探讨了淤积滩面变化规模与入库流量、入库体积比含沙量、库区淤积三角洲距坝里程的变化特性,建立了不同输沙水流形态条件下的淤积滩面变化公式,公式表明,支流的分流及淤积与入库流量、含沙量及库区的淤积形态有关。入库流量越大,支流淤积规模小;入库含沙量越大,支流淤积规模越大。淤积滩面变化的规模与支流拦门沙坎变化同步。

3) 通过研究发现,增加入库洪水流量或减小入库洪水含沙量,使得支流淤积规模减小。在水库异重流所形成的淤积形态过程中,支流口门淤积规模与滩地相同,支流淤积规模与支流的几何形态关系紧密。

6 参考文献

- [1] Wang T, Wang YJ, Qu SJ *et al.* Deposition in Xiaolangdi Reservoir since operation. *Yellow River*, 2018, **40**(12): 1-3, 20. [王婷, 王远见, 曲少军等. 小浪底水库运用以来库区泥沙淤积分析. 人民黄河, 2018, **40**(12): 1-3, 20.]
- [2] Zhang XN. Analysis on the cause of blocking gate sand in tributaries of Xiaolangdi Reservoir. *Water Resources & South to North Water Diversion*, 2016, (10): 16-17. [张心娜. 小浪底水库支流拦门沙成因分析. 河南水利与南水北调, 2016, (10): 16-17.]
- [3] Zhang JH, Ma HB, Xia JQ *et al.* Theory and regulation of sediment turbidity current venting with high efficiency in Xiaolangdi Reservoir. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2018, **49**(1): 62-71. [张俊华, 马怀宝, 夏军强等. 小浪底水库异重流高效输沙理论与调控. 水利学报, 2018, **49**(1): 62-71.]
- [4] Zhou Q, He CQ, Mi JS *et al.* Experimental study on sediment transport law and deposition feature of hyperconcentrated flood of the tributaries merging into reservoir. *Water Power*, 2019, **45**(8): 117-121. [周勤, 何长青, 米家杉等. 干清支浑型水库泥沙淤积形态和运动规律研究. 水力发电, 2019, **45**(8): 117-121.]
- [5] Li T, Zhang JH, Xia JQ *et al.* Experimental study of retrogressive erosion efficiency evaluation in Xiaolangdi Reservoir model. *Advances in Water Science*, 2016, **27**(5): 716-725. [李涛, 张俊华, 夏军强等. 小浪底水库溯源冲刷效率评估试验. 水科学进展, 2016, **27**(5): 716-725.]
- [6] Liu FZ, Wang HZ, Yang K *et al.* Sedimentation features and problems in the tributary reservoir area of Danjiangkou project. *Yangtze River*, 2006, **37**(8): 26-28. [柳发忠, 王洪正, 杨凯等. 丹江口水库支流库区的淤积特点与问题. 人民长江, 2006, **37**(8): 26-28.]
- [7] Zhu LL, Xu QX, Zhang OY *et al.* Sedimentation at estuary of 66 tributaries in the Three Gorges Reservoir. *SCIENTIA SINICA Technologica*, 2019, **49**(5): 552-564. DOI: 10.1360/N092017-00393. [朱玲玲, 许全喜, 张欧阳等. 三峡水库支流河口淤积及拦门沙形成风险研究. 中国科学: 技术科学, 2019, **49**(5): 552-564.]
- [8] Zhu LL, Xu QX, Yan LL. Sediment deposition of Modao Creek and Xiangxi River mouth section since the impoundment of the Three Gorges Reservoir. *Acta Geographica Sinica*, 2019, **74**(1): 131-145. DOI: 10.11821/dlxb201901010. [朱玲玲, 许全喜, 鄢丽丽. 三峡水库不同类型支流河口泥沙淤积成因及趋势. 地理学报, 2019, **74**(1): 131-145.]
- [9] Yang X, Li JH, Zhu LL. Sedimentation in Xiangxi River estuary since impoundment of Three Gorges Reservoir. *Journal of Hydroelectric Engineering*, 2018, **37**(4): 60-67. DOI: 10.11660/slfdxb.20180406. [杨霞, 李建华, 朱玲玲. 三峡水库库区香溪河河口泥沙淤积特性研究. 水力发电学报, 2018, **37**(4): 60-67.]
- [10] Wang YY, Wen AB, Zhang XB *et al.* Sedimentary characteristics of suspending particles in the mainstream of the Three Gorges reservoir and its tributaries—A case study in Zhong County. *Journal of Mountain Science*, 2017, **35**(2): 151-159. [王永艳, 王安邦, 张信宝等. 三峡水库干支流悬移质泥沙及支流泥沙沉积特征——以忠县段为例. 山地学报, 2017, **35**(2): 151-159.]

- [11] Hu CH, Wang YG, Zhang SQ *et al* eds. Silting and sediment control of Guanting Reservoir. Beijing: China Water Power Press, 2003. [胡春宏, 王延贵, 张世奇等. 官厅水库泥沙淤积与水沙调控. 北京: 中国水利水电出版社, 2003.]
- [12] Zhang JH, Ma HB, Wang YT *et al*. Model test of water intrusion and deposition morphology of tributary in Xiaolangdi Reservoir. *Advances in Science and Technology of Water Resources*, 2013, **33**(2): 1-4. [张俊华, 马怀宝, 王瑶婷等. 小浪底水库支流倒灌与淤积形态模型试验. 水利水电科技进展, 2013, **33**(2): 1-4.]
- [13] Zhang JH, Chen SK, Li SX *et al*. Sediment transport and morphological changes of the Xiaolangdi Reservoir in early sediment impoundment period. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2007, **38**(9): 1085-1089. [张俊华, 陈书奎, 李书霞等. 小浪底水库拦沙初期泥沙输移及河床变形研究. 水利学报, 2007, **38**(9): 1085-1089.]
- [14] Wei ST. Analysis on backflow sedimentation of tributaries in xiaolangdi reservoir area since its operation. *China Water Transport*, 2015, **15**(11): 228-229, 231. [韦诗涛. 小浪底水库运用以来库区支流倒灌淤积分析. 中国水运: 下半月, 2015, **15**(11): 228-229, 231.]
- [15] Tian Z. Study on the influence of inflow of tributaries near dam on reservoir sedimentation [Dissertation]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2016. [田震. 近坝支流入汇对水库泥沙淤积影响研究[学位论文]. 重庆: 重庆交通大学, 2016.]