

长江中游宜昌~沙市段河床冲淤与枯水位变化

孙昭华¹, 李义天¹, 李明², 葛华¹

(1. 水资源与水电工程科学国家重点实验室 武汉大学, 湖北 武汉 430072; 2. 长江航道规划设计研究院, 湖北 武汉 430011)

摘要: 通过对历史资料的系统分析, 讨论了荆江裁弯、葛洲坝运行、三峡水库蓄水等事件引起的宜昌~沙市河段沿程河床冲淤、水位变化等现象, 并结合数值试验讨论了两者之间的关系. 结果表明, 早期阶段河床冲刷是引起水位下降的主要原因, 随着冲刷发展, 芦家河等河段发挥了越来越强的控制作用, 冲刷对芦家河以上水位的影响越来越小, 而芦家河~沙市河段却出现局部水面比降逐渐增大的现象. 这说明长期冲刷过程中沙卵石河段河床形态对水位的控制作用越来越强.

关键词: 沙卵石河段; 河床冲刷; 枯水位下降; 宜昌~沙市河段; 数值试验; 三峡水库

中图分类号: TV147.5

文献标识码: A

文章编号: 1009-640X(2007)04-0014-07

Effect of channel degradation on lower level in Yichang-Shashi reach in the Yangtze River

SUN Zhao-hua¹, LI Yi-tian¹, LI Ming², GE Hua¹

(1. State Key Laboratory of Water Resources and Hydropower Engineering Science, Wuhan University, Wuhan 430072, China; 2. Changjiang Waterway Institute of Planning and Design, Wuhan 430011, China)

Abstract: Based on systematic analysis of historical data, the study of the effects of human disturbance including the cutoff projects in the Jingjiang reach and of the impoundment of Gezhouba Reservoir and Three Gorges Reservoir on the channel degradation process between Yichang and Shashi in the middle Yangtze River is carried out. The discussion is focused on the relation between channel erosion volume and lower level change. It is found that the water level lowering process is mainly controlled by erosion volume in the early stage of historical channel degradation, but in recent period lower level depends much on certain pivotal reach segments with special geological and morphological features, such as the Lujiahe Reach. The effect of channel erosion on water level is becoming less obvious in the upstream of Lujiahe Reach, but the surface slope between Lujiahe and Shashi is increasing gradually. This indicates that the water level controlling function of the special channel morphology of this reach is becoming greater.

Key words: gravel channel; channel degradation; water level lowering; Yichang-Shashi reach; numerical test; Three Gorges Reservoir

三峡大坝下游近坝段的沙卵石河段, 枯水位下降关系着葛洲坝船闸下引航道及河段内芦家河等重点浅

收稿日期: 2007-02-07

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目(2003CB415200)

作者简介: 孙昭华(1976-), 男, 河南洛阳人, 讲师, 博士, 主要从事水力学与河流动力学研究. E-mail: lnszh@126.com

淤沙出库使下游水位有所抬升. 选取 $4\ 000\ \text{m}^3/\text{s}$ 作为代表性流量, 统计了宜昌、枝城和沙市 3 个水文站 1965 ~ 1998 年同流量级下的历年水位变化. 统计显示, 34 年内宜昌、枝城和沙市站的水位降幅分别为 1.19、0.89 和 2.73 m, 沿程极不均匀, 处于沙质河段的沙市站降幅最大. 为使各站之间具有可比性, 将各年累积下降幅度(截止到当年)换算为总下降幅度(截止到 1998 年)的百分比, 作为相对下降速度的指标, 并比较不同站点的下降过程(见图 2).

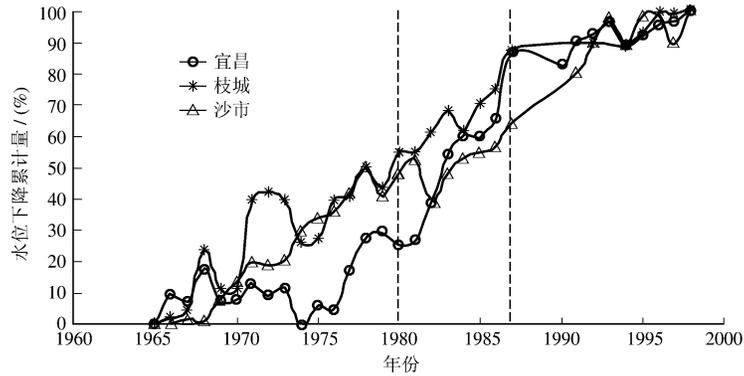


图 2 宜昌、枝城、沙市不同年代水位下降速度($4\ 000\ \text{m}^3/\text{s}$)

Fig. 2 Water-level lowering rates at Yichang, Zhicheng and Shashi reaches

从图 2 可见: ①在下荆江实施裁弯后的 1970 年前后, 沙市、枝城两站水位已开始下降, 而宜昌水位的明显下降则出现于 1975 年之后; ②1987 年后, 宜昌、枝城水位下降进入缓慢期, 而沙市水位直到 1992 年左右下降速度才趋缓; ③1980 年前, 枝城站与沙市站水位下降过程基本一致, 1987 年后宜昌站与枝城站水位下降过程基本一致.

1998 年洪水后, 由于葛洲坝近坝段的大量淤积, 宜昌站水位明显抬升, 枝城站略有抬升, 下游沙市站基本无变化. 经历大洪水之后的调整期, 至 2003 年各站水位已回到或低于 1998 年初的水位. 三峡水库蓄水后, 至 2006 年初各站水位与 2003 年同期比较, 沙市站水位下降约 0.5m ($4\ 000 \sim 5\ 000\ \text{m}^3/\text{s}$), 枝城站无明显变化, 宜昌站约下降 0.1m .

各站水位下降的不均匀性必然带来沿程水面比降的变化. 根据宜昌、枝城、马家店、陈家湾和沙市 5 个水文(水位)站 $4\ 000\ \text{m}^3/\text{s}$ 流量下水位计算各段不同年代的比降见图 3. 可见, 在 1960 年, 各段水面比降比较均匀, 中间的枝城 ~ 马家店、马家店 ~ 陈家湾段略大; 至 2003 年, 宜昌 ~ 枝城段比降略有减小, 马家店 ~ 枝城段比降明显增大, 其他两段变化不大.

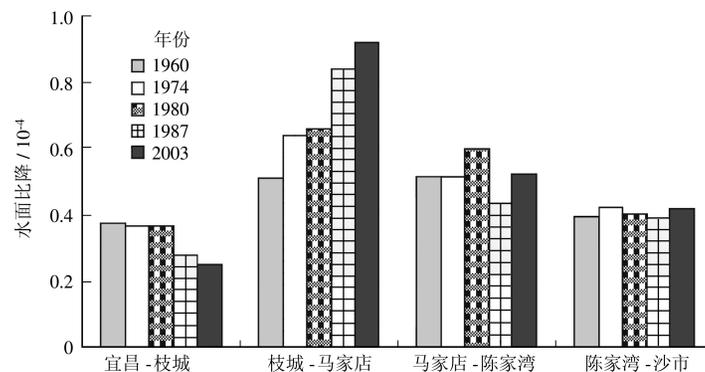


图 3 分段的比降变化(流量 $4\ 000\ \text{m}^3/\text{s}$)

Fig. 3 Changes in water surface slope in different sub-reaches

上游宜昌 ~ 马家店两段比降的增减主要由于枝城附近水位下降幅度较小, 以及下降速度逐渐减缓所引起. 马家店以下河段接近或处于沙质河床, 虽然水位持续下降但上下游保持同比例下降, 因而水面比降变化不大.

2.2 河床冲淤变化

本河段两岸为丘陵阶地, 河岸难以冲刷变形, 冲刷主要发生于枯水河槽. 文献[9]中计算了自1970年以来不同时期宜昌~杨家脑 $5\ 000\ \text{m}^3/\text{s}$ 流量下枯水河槽的分段冲刷量及厚度. 本文将据此开展对历史冲淤的分析. 表1及图4中分别给出了各段1996年前总冲刷厚度和冲刷发展过程. 图4为1970年以来累积冲刷量与1970~1996年总冲刷量的比值.

表1 1970~1996年分段累积冲刷厚度^[9]

Tab. 1 Channel scour depth in different sub-reaches from 1970 to 1996

	宜昌~清江口	清江口~枝城	枝城~松滋口	松滋口~芦家河	芦家河~枝江	枝江~江口	江口~杨家脑
间距(km)	38	21	16	11	10	10	9
冲刷厚度(m)	-2.38	-1.52	-0.47	-1.43	-1.35	-2.08	-1.76

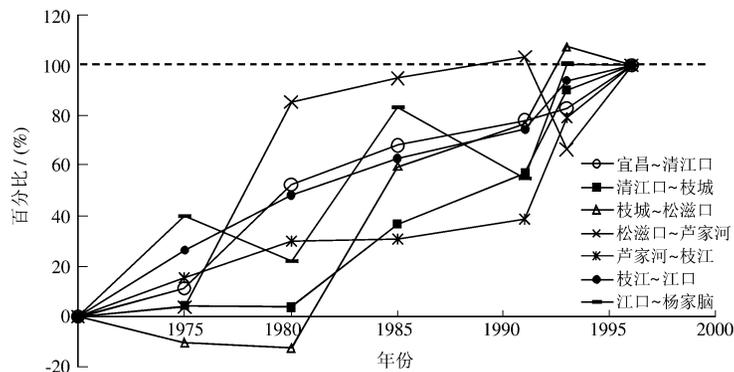


图4 不同年代各段冲刷量累积百分比

Fig. 4 Channel scour process of different sub-reaches

分析表1和图4可见: ①以松滋口附近为中心, 上游和下游冲刷深度较大, 枝城~松滋口冲刷幅度最小; ②除松滋口~芦家河之外, 其余各段均表现为持续冲刷态势. 松滋口~芦家河段1980年前冲刷剧烈, 至1980年冲刷量已占总冲刷量85%, 1985年后则出现冲淤交替.

根据三峡水库蓄水以来宜昌(葛洲坝~虎牙滩)、宜都(云池~白洋)、芦家河(陈二口~大埠街)等河段的历年地形观测资料^[10], 比较2003~2005年3个河段的深泓变化, 可见: ①宜昌、宜都两河段冲刷较明显, 宜昌附近宝塔河~虎牙滩段2003~2005年深泓平均下切0.9 m, 宜都河段下切1.6 m; 枝城~江口河段冲刷幅度较小, 沿程冲淤相间, 深泓高程平均下降仅0.3 m; ②深泓对比显示, 冲刷主要集中于高程相对较低的下凹深槽段, 凸起的浅滩部位比较稳定, 即使是在冲刷明显的宜都河段, 也是深泓较高的浅滩段变化小于深槽段.

2.3 水位变化与河床冲淤的关系

对于冲积河流, 水位往往受下游的长河段所控制. 从图3中可以看到马家店、陈家湾、沙市等站水位主要受沙市以下河段冲淤及水位升降的控制. 因而本文主要讨论河段上游的宜昌、枝城站水位变化与长河段内冲淤的关系. 为充分反映冲淤发生的时机, 以及冲淤量的分布, 将河段分为宜昌~松滋口, 松滋口~大埠街两段, 并分时段来讨论水位与冲淤之间的对应关系. 由于河道冲淤对水位的影响存在着累积效应, 因而冲刷量以及水位下降值均以1970年后的累积值作为讨论对象. 冲刷量数据来自文献[9].

将累积冲刷量及宜昌、枝城各年代水位累积下降值($4\ 000\ \text{m}^3/\text{s}$ 流量)均化为1970~1996年总量的相对值并点绘于图5. 可见, 约在1985年之前, 宜昌、枝城水位变化与宜昌~枝城、枝城~大埠街(简称枝城大河段)的冲淤规律一致. 到1985年后, 两站水位下降趋势趋于缓慢, 尽管此时上下河段内仍处冲刷状态. 以上现象表明: 约在1985年之前, 河道冲刷对水位下降起着重要作用, 而1985年后, 冲刷对水位的影响有所减弱.

由图5还可看出, 1980年后枝城水位与宜昌水位下降过程基本类似, 因而明确枝城水位的控制因素尤其重要. 图6中绘出了枝城水位下降过程与枝城以下不同长度河段冲淤过程的相应关系. 可见, 枝城水位下降过程虽然略滞后于河床冲刷过程, 但与松滋口~芦家河段大体趋势较为一致, 尤其在后期. 这说明松滋口

~ 芦家河河段在冲刷后期可能对枝城水位起着较大的控制作用.

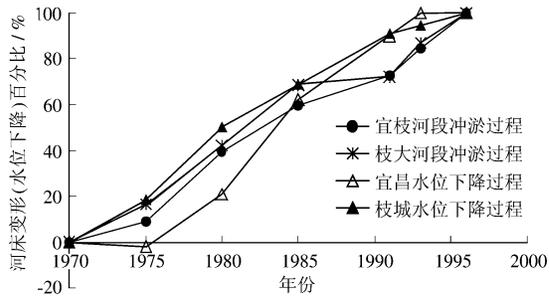


图 5 河段内冲淤过程与水位下降过程

Fig. 5 Comparison of the channel scour process and water level lowering process

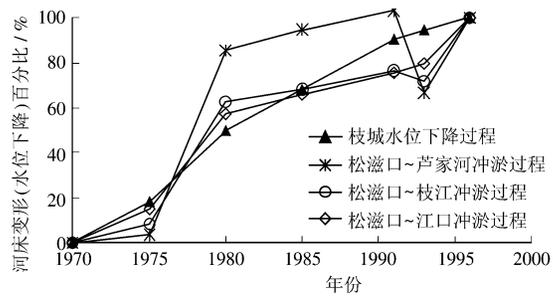


图 6 松滋口以下冲淤过程与上游水位下降过程

Fig. 6 Comparison of the channel scour process and water level lowering process downstream of Songzikou

3 概化数值试验

3.1 不同河床地形下水面线变化

采用收集到的 1980 年、2002 年长河道地形资料以及沿程实测水位,分别率定糙率并计算定床条件下的水面线(见图 7,流量 $5\ 300\ \text{m}^3/\text{s}$).由图 7 可见,虽然宜昌~松滋口 1980~2002 年冲刷达到 $1.08\ \text{亿}\ \text{m}^3$,大于松滋口~杨家脑的 $0.7\ \text{亿}\ \text{m}^3$ ^①,但上游的水位下降小于下游.而且,芦家河附近水位下降幅度最小,仅为 $0.2\sim 0.3\ \text{m}$.这说明影响上游水位的并不仅是河段内的冲刷量,芦家河附近河段起着重要控制作用,而芦家河以下的水位下降显然受到了沙市以下长河段的影响.

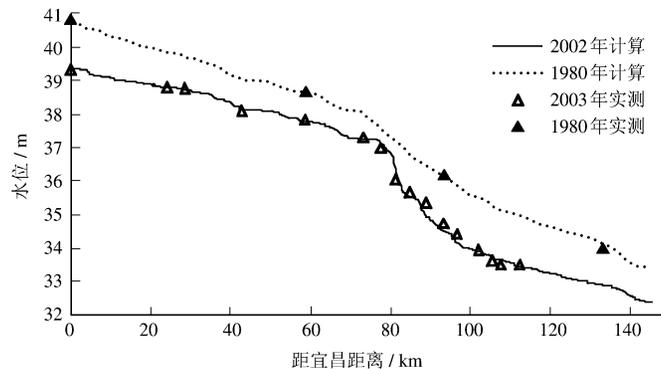


图 7 1980 年、2002 年地形条件下水面线($5\ 300\ \text{m}^3/\text{s}$)

Fig. 7 Water surface profile in 1980 and 2002 ($5\ 300\ \text{m}^3/\text{s}$)

3.2 沿程水位影响因素分析

上述分析可见,无论河床冲淤还是水位下降,芦家河附近的变化均不同于上下游,很可能是对上游水位存在控制作用的关键河段.陈二口紧邻控制性河段上游,以下将整个河段分为宜昌~陈二口、陈二口~沙市两段分别讨论.

3.2.1 宜昌~陈二口河段 以 2002 年宜昌~陈二口实际地形为基础,分别假定陈二口水位相对于 2002 年实际水位下降 $0.5, 1.0, 1.5, 2.0$ 和 $2.5\ \text{m}$,定床条件下计算宜昌水位相对于 2002 年实际水位分别下降 $0.18, 0.32, 0.43, 0.52$ 和 $0.58\ \text{m}$ (计算过程中假定糙率不变,并取 $5\ 300\ \text{m}^3/\text{s}$ 流量作为代表性流量级).可见,宜昌水位随陈二口水位的下降而下降,当陈二口水位下降幅度在 $1\ \text{m}$ 以内时,其与宜昌水位下降值的比例约为 $3:1$,当下游水位下降超过 $2\ \text{m}$ 时,两者比例大于 $4:1$.

自 1980 年以来,宜昌实际水位下降值远大于陈二口下降值的 $1/3$,这说明河段内的冲刷也起到了很大

①根据文献[9]中资料,以及 1980、2002 年两次长程河道地形计算所得.

作用.以2002年实际地形为基础,假定陈二口水位保持不变,分别假定不同长度河段内发生不同冲淤厚度,计算宜昌水位变幅.可见,各段冲淤对宜昌水位均产生影响,对于相同的变形厚度,淤积对水位的影响较冲刷大得多.

上述计算表明,地形变化与宜昌水位降低值之间随时间呈逐步递减的关系.这是由于,在下游陈二口水位变化较小的情况下,上游的冲刷和水位下降使河段内水面比降不断减小,但水面比降并不可能无限调平,因而随着河床冲刷,水位下降的余地减小.为证实以上规律,分别计算了1980年、2002年地形条件下的河床冲淤与宜昌水位变化关系.计算结果表明,对于相同的河床变化,1980年方案的水位变化大于2002年方案,并且淤积引起的变化大于冲刷.宜昌~磨盘溪河段的关系见图8.

事实上,河段内冲淤幅度与水位之间的非线性关系从历史数据中已得到显现.宜枝河段1980~1985年冲刷 0.2549 亿 m^3 ,1985~1993年冲刷 0.312 亿 m^3 ^[9],但后一阶段的宜昌水位下降值却与前者相当.1980年以后,枝城水位下降有限,对上游宜昌水位的影响更有限,1987年后宜昌水位下降速度逐渐递减,河床冲刷影响逐渐减弱显然是原因之一.

以上数值试验中并没有考虑冲刷量的分配,实际上由于该河段内深泓高低起伏,不同部位的冲淤对水位的影响不同.因此,研究过程中以宜昌~枝城河段为例进行了多个方案的数值试验,计算结果见表2.可见,深泓高程较高的浅滩部位对水位下降起着主要作用,而深槽部位即使发生较大幅度的冲刷,对上游宜昌水位也影响不大.

表2 宜昌~枝城河段不同部位冲刷对宜昌水位影响

Tab.2 Water level change at Yichang corresponding to different channel scour scenarios

计算方案	宜昌水位下降/m
沿程平均冲刷2 m	0.74
深泓高于25 m,浅滩断面冲深2 m	0.37
深泓低于23 m,断面冲深3.5 m	0.23
深泓低于20 m,深槽断面冲深3.5 m	0.08

注:计算中假定下游陈二口水位保持2002年的实际值不变,并取 $5\,300\text{ m}^3/\text{s}$ 作为代表流量级.

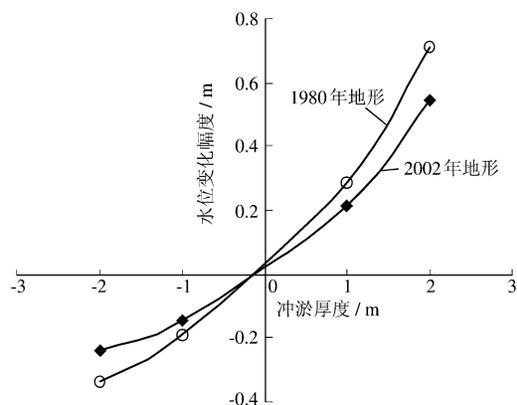


图8 不同年代宜昌~磨盘溪不同冲淤幅度对宜昌水位影响

Fig.8 Relation between channel scour depth in the sub-reach of Yichang-Mopanxi and water level at Yichang

3.2.2 陈二口~沙市河段 陈二口水位主要受下游沙市水位及陈二口~沙市之间河床冲淤的影响.采取与以上分析相类似的办法,分析陈二口水位影响因素.以2002年实际地形为基础,假定下游沙市水位不变,计算不同冲淤范围、幅度对陈二口水位的影响;假定下游沙市水位下降,考察定床条件下陈二口水位的变化.计算结果表明,陈二口~昌门溪虽只占河段总长度的 $1/7$,但其河床变形对陈二口水位影响甚大,而昌门溪以下河段却影响很小,即使昌门溪以下整体冲深2 m,引起的陈二口水位下降也仅0.12 m.这说明,陈二口~昌门溪是对上游枯水位起控制作用的关键河段.在控制性河段作用下,下游沙市水位的下降对陈二口水位的影响也不大.

4 结 语

水位的影响因素除了河道形态和下边界水位之外,糙率也是不可忽视的因素之一.但从表1可见,本河段内的河床变形是自上而下的全局性大幅度冲刷,显然河床冲淤对水位的影响要大于糙率的影响.以上概化

数值试验中并未考虑糙率的变化,因而只具有定性的意义,但其计算结果所显示的规律与实测资料所反映的现象是一致的.除了本河段的河床冲刷之外,历史上芦家河以下马家店、陈家湾等位置的水位下降很大程度上是由沙市以下河床冲刷和水位下降所引起的,因而将随着沙市水位进一步下降而有所下降,枝城~马家店之间的水面比降将加大.在芦家河以上河段,水位下降很大程度上取决于各高滩段(尤其是芦家河段)的冲刷幅度.

作为山区河流向平原河流的过渡段,经历了荆江裁弯、葛洲坝建设、三峡水库蓄水等人类活动的影响,宜昌~沙市河段的平原河流属性逐渐丧失而山区河流属性得到加强,主要表现在冲刷初期河段内水面比降沿程较均匀,河床冲淤与水位下降之间的相应性较好;在冲刷后期,局部河段水面比降显著增大,水位主要受深泓较高的浅滩河段冲淤影响,特别是芦家河浅滩河段对上游的水位起着类似于山区河流“卡口”的控制作用.控制性河段一方面“阻断”下游沙质河床对上游的影响,另一方面使长河段的河床冲淤对上游宜昌、枝城等站水位的影响越来越小.

参 考 文 献:

- [1] 长江航道局,武汉水利电力大学.三峡工程泥沙问题研究(第六卷)[K].北京:知识产权出版社,2002:603-741.
- [2] 陆永军,陈稚聪,赵连白,等.三峡工程对葛洲坝枢纽下游近坝段水位与航道影响研究[J].中国工程科学,2002,4(10):67-72.
- [3] 赵连白,张秀芹,刘万利.三峡施工期宜昌河段水位下降与整治措施[J].水道港口,2004,25(4):191-194.
- [4] 曹文洪,陈东.阿斯旺大坝的泥沙效应及启示[J].泥沙研究,1998,(4):79-85.
- [5] 许炯心.汉江丹江口水库下游河床下伏卵石层对河床调整的影响[J].泥沙研究,1999,(3):48-52.
- [6] 龙慧,刘庚临,单剑武.三峡工程建成后枝城至枝江河段浅滩演变分析[J].人民长江,2001,32(4):29-31.
- [7] 唐从胜,宋世杰,王维国,等.葛洲坝枢纽运行对下游河段影响的监测研究[J].人民长江,2001,32(1):11-13.
- [8] 李云中.长江宜昌河段低水位变化研究[J].中国三峡建设,2002,(5):12-14.
- [9] 长江水利委员会水文局.长江三峡工程泥沙问题研究(第六卷)[K].北京:知识产权出版社,2002:442-459.
- [10] 长江航道局.长江三峡工程航道泥沙原型观测2005-2006年度分析报告[R].武汉:长江航道局,2006.

第 9 届 流 激 振 动 国 际 会 议

时 间: 2008 年 6 月 30 日 ~ 7 月 3 日

地 点: 捷克斯洛伐克布拉格

联系地址: FIV 2008 Institute of Thermomechanics ASCR Dolejskova 5182 00 Prague 8 Czech Republic

传 真: +420 286 584 695

E-mail: fiv2008@it.cas.cz

网址: <http://www.it.cas.cz/fiv2008>