

# 黄河小北干流河段揭河底规律分析

范永强<sup>1</sup>, 刘旭<sup>1</sup>, 李会荣<sup>2</sup>, 贾峰<sup>1</sup>

(1. 山西黄河河务局, 山西 运城 044000; 2. 芮城黄河河务局, 山西 芮城 044600)

**摘要:**“揭河底”现象是黄河高含沙洪水特有的一种泥沙运动方式。本文通过对历史“揭河底”水文资料的统计和分析,提出了历史“揭河底”发生的水沙条件、河道边界条件、河床淤积物组成,总结了其发生的规律。该研究进一步探讨了黄河小北干流河段“揭河底”冲刷现象的运动机理,充分发挥冲刷塑造窄深河槽的积极作用,减小了冲刷造成的危害,对在治黄中如何利用“揭河底”规律,趋利避害有一定的指导意义。

**关键词:** 高含沙水流; 揭河底; 黄河小北干流河段

中图分类号: TV147

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2012)05-0145-03

## Rule analysis of river bottom tearing in the Xiaobeigan main stream of the Yellow River

FAN Yongqiang<sup>1</sup>, LIU Xu<sup>1</sup>, LI Huirong<sup>2</sup>, JIA Feng<sup>1</sup>

(1. Yellow River Shanxi Bureau, Yuncheng 044000, China; 2. Yellow River Ruicheng Bureau, Ruicheng 044600, China)

**Abstract:** "Bottom tearing" phenomenon is a unique way of sediment movement that high concentrated sediment flood possesses in the Yellow River. Based on the historical "bottom tearing" hydrological data statistics and analysis, the paper put forward the historical "bottom tearing" occurred in the water and sediment conditions, boundary conditions of river channels, channel deposit, and summarized its occurrence regularity. The study further explored bottom tearing scouring phenomenon" movement mechanism in Xiaobeigan main stream of the Yellow River", fully play its positive effect of the "bottom tearing scour shaping" narrow and deep channel, reduced its scour harm and have certain guidance meaning for treating the Yellow River in how to use "bottom tearing" law, draw on the advantages and avoid disadvantages.

**Key words:** hyper-concentration flow; bottom tearing; Xiaobeigan main stream of the Yellow River

“揭河底”现象是黄河高含沙洪水特有的一种泥沙运动方式,在一定的河床边界条件下,当高含沙洪水通过时,会对河床产生剧烈的集中冲刷,河床淤积物成块、成片地被高含沙水流掀起露出水面,随后被水流冲散带走。“揭河底”现象发生时,常常形成高深河槽,对河防洪较为有利,但常伴有主流的大幅摆动,并引起剧烈淘刷,时常对沿岸工程造成毁灭性的破坏,造成沿河两岸电灌站引水困难。

为进一步探讨黄河小北干流河段“揭河底”冲刷现象的运动机理,充分发挥其冲刷塑造窄深河槽的积极作用,减小冲刷造成的危害,本文通过对历史“揭河底”水文资料的统计和分析,提出了其发生的水沙条件、河道边界条件、河床淤积物组成,总结了“揭河底”发生的规律。

## 1 揭河底水沙条件分析

黄河小北干流河段的高含沙洪水主要来源于龙门以上河段,由河-龙区间干支流暴雨形成。这段干支流坡度大、坡面植被差,处于黄土高原地区,产流条件较好,使龙门的洪水过程具有陡涨陡落、历时短、流量变幅大、多峰的特点。黄河小北干流历史上发生的几次长距离“揭河底”冲刷现象,龙门以上干支流实测资料齐全的有1964年7月、1966年7月、1969年7月、1970年8月、1977年7月、1977年8月共6次<sup>[1]</sup>。通过对该6次水沙资料分析可以得出:除1970年“揭河底”洪水主要来源于吴堡水文站以上外,其余5次洪水均以吴龙区间来水为主,吴龙区间又主要集中在无定河、清涧河、延河等几条主要支流,所形成的洪水含沙量都很高,如:1969年7

收稿日期:2012-06-13; 修回日期:2012-06-25

基金项目:水利公益性行业资助项目高含沙“揭河底”冲刷期三小联合调度模式研究(201101009)

作者简介:范永强(1969-),男,山西临猗人,高级工程师,主要从事黄河治理、黄河防汛方面工作。

月,无定河洪峰仅  $569 \text{ m}^3/\text{s}$ ,而沙峰含沙量高达  $906 \text{ kg}/\text{m}^3$ ,清涧河洪峰  $605 \text{ m}^3/\text{s}$ ,沙峰  $808 \text{ kg}/\text{m}^3$ ,延河洪峰  $623 \text{ m}^3/\text{s}$ ,沙峰  $817 \text{ kg}/\text{m}^3$ ,水少沙多,汇合后到龙门形成高含沙洪峰,为“揭河底”的发生提供了必要的动力条件。根据历史上黄河小北干流长距离“揭河底”冲刷时的水沙条件,可将形成“揭河底”冲刷的基本水沙条件概括为以下3点。

### 1.1 洪峰流量大,持续时间长

根据以上6次实测资料统计,历史上黄河小北干流发生长距离“揭河底”冲刷时,龙门水文站最小瞬时流量为  $7460 \text{ m}^3/\text{s}$ (1966年),最大  $16\,400 \text{ m}^3/\text{s}$ (1954年)<sup>[2]</sup>;最小日平均流量  $3\,150 \text{ m}^3/\text{s}$ (1969年),最大  $8\,340$ (1954年);流量大于  $5\,000 \text{ m}^3/\text{s}$  持续时间最少  $8 \text{ h}$ (1969年),最多  $20 \text{ h}$ (1954年)。因此,“揭河底”时的龙门水文站的流量条件可总结为:洪峰流量不小于  $7\,460 \text{ m}^3/\text{s}$ ,日均流量不小于  $3\,150 \text{ m}^3/\text{s}$ ,大于  $5\,000 \text{ m}^3/\text{s}$  持续时间不少于  $8 \text{ h}$ 。

### 1.2 含沙浓度高,持续时间长

从历史上发生“揭河底”情况对应的龙门水文站实测含沙量来看,发生“揭河底”瞬时含沙量最小为  $542 \text{ kg}/\text{m}^3$ (1951年),最大为  $933 \text{ kg}/\text{m}^3$ (1966年)<sup>[3]</sup>;日平均含沙量最小为  $410 \text{ kg}/\text{m}^3$ (1954、1977年),最大为  $667 \text{ kg}/\text{m}^3$ (1966年);含沙量大于  $400 \text{ kg}/\text{m}^3$  持续历时最低为  $16 \text{ h}$ (1954年),持续历时最长为  $54 \text{ h}$ (1966、1970年)。同样,“揭河底”发生时龙门水文站的沙量条件可总结为:瞬时含沙量不小于  $542 \text{ kg}/\text{m}^3$ ,日平均含沙量不小于  $410 \text{ kg}/\text{m}^3$ ,含沙量大于  $400 \text{ kg}/\text{m}^3$  持续历时不低于  $16 \text{ h}$ 。

### 1.3 洪峰、沙峰过程基本一致

从1977年7月、2002年7月所反应的三次“揭河底”时的水位、流量、含沙量变化过程可以看出,“揭河底”时龙门水文站洪峰与沙峰变化过程相应一致或基本相应。从而形成“揭河底”时的高含沙洪水,不仅水流强度大、能量大,而且含沙量高,冲刷能力强。除上述三次外,其余几次“揭河底”发生时,洪水过程也具有洪峰、沙峰过程基本一致的共同特点。

## 2 河道边界条件分析

“揭河底”冲刷是高含沙洪水与河床边界条件相互作用急剧冲刷的结果,一定的河床边界条件是发生“揭河底”冲刷的必要条件。河床淤积物淤高到一定程度,并且形成具有一定厚度的密实淤积物层;河槽的横断面形态、河床纵比降调整到一定程度,具备这些前提条件以后,遇到一定量级的高含沙

洪水,即可使河床淤积物成片、成块地起动,形成“揭河底”冲刷。

### 2.1 河床淤积高程

从历史上发生的几次“揭河底”现象分析,河床的淤积程度是判断“揭河底”能否发生的主要因素,为便于分析,河床的淤积程度用龙门水文站同流量( $700 \text{ m}^3/\text{s}$ )的水位高程来反映。分析得出,发生“揭河底”时,同流量( $700 \text{ m}^3/\text{s}$ )的最高水位是  $382.13 \text{ m}$ (1964年),最低水位是  $377.58 \text{ m}$ (1954年,1977年8月最低水位为  $376.16 \text{ m}$ ,考虑到在此前一个月刚发生过“揭河底”河床尚未回淤,属于特例)。从历史资料总结,发生“揭河底”龙门水文站同流量( $700 \text{ m}^3/\text{s}$ )的水位应不低于  $377.6 \text{ m}$ 。

### 2.2 河床纵比降

从历史上发生的几次“揭河底”现象分析,黄河小北干流“揭河底”现象发生以后,受“揭河底”剧烈冲刷影响,河床比降有所调整,多数河段呈减小趋势。1970年“揭河底”后,整个小北干流河段河床比降由  $3.85\text{‰}$ 减小至  $3.55\text{‰}$ ;1977年7月、8月两次“揭河底”后,全河段河床比降由  $4.03\text{‰}$ 减小至  $3.57\text{‰}$ 。

从河床纵断面调整变化图还可以看出,在1969年“揭河底”发生前,黄河小北干流上、中、下各段河床纵比降不一致,68~61断面为  $5.01\text{‰}$ 、61~55断面为  $3.05\text{‰}$ 、55~41断面为  $3.05\text{‰}$ ,全段平均为  $3.89\text{‰}$ <sup>[4]</sup>,全段河床呈台阶状。“揭河底”发生后,由于强烈的冲刷作用,黄河小北干流全段河床纵比降趋于一致,调整为约  $3.5\text{‰}$ ;1970年,“揭河底”前,黄河小北干流上段纵比降较陡,“揭河底”后趋于平缓;1977年,由于7、8月连续发生两次“揭河底”,黄河小北干流上、中段河床纵断面形态调整较大,受冲刷强度减弱的影响,下段48~45断面与汛前相比,几乎没什么变化。

### 2.3 河床横断面形态

一定的河床横断面形态,对“揭河底”现象的发生也有影响。为方便分析,选用河相关系为河床横断面分析指标。黄河小北干流属于游荡性河道,横断面河相关系( $\sqrt{B}/H$ )一般在  $40 \sim 52$  之间变化。从统计数据来看,68~64断面宽深比在“揭河底”发生前最大值可达到  $76.9$ (1977年),64~59断面最大值为  $89$ (1966年),59~53断面宽深比最大值为  $68.5$ (1966年)。1977年两次“揭河底”后,由于剧烈的冲刷作用,河床由宽浅变为窄深,各河段宽深比急剧缩小,黄淤断面68~64、64~59、59~53间宽深比分别为:8.7、10.8、16.2,较“揭河底”前分别减小

68.2、53.6、40.3,减小量占原值的88.6%、83.2%、71.3%,由于“揭河底”强度的减弱,从上游到下游呈递减的趋势。由此看出一定的断面形态也是促使“揭河底”现象发生的有关因素之一。

综合上述分析,发生“揭河底”冲刷现象的河床边界条件可概括为:一是河床回淤具有一定的厚度,结构比较密实,有可供被掀起的泥块;二是当河床纵比降调整达到一定的比降限度时,有可能发生“揭河底”冲刷;三是河床横断面形态呈宽浅河槽,河相关系宽深比达到某一数值时,有可能发生“揭河底”冲刷。

### 3 河床淤积物分析

山西黄河河务局采用人工开挖方式对小北干流8个断面河床淤积物组成情况进行了测量,从测量结果可以看出,黄河小北干流河段河床淤积物自上而下明显存在着分层现象,淤积物体现成层分布的特点。产生分层的原因主要是河床淤积物来自于不同的沙源地区,是在不同的洪水过程中形成的。来自同一沙源的或同期的淤积物,泥沙颗粒组成相对均匀,结构比较紧密,颗粒间粘结力较大,形成单一层;来自不同沙源的或不同期的淤积物,泥沙颗粒组成相对不匀,结构比较松散,颗粒间粘结力较差,形成不同层。另外,就一次洪水过程而言,在涨水期由于流速大,水流能量大,挟沙能力相对较强,形成的河床淤积物相对较粗,落水期,水流动力减弱,挟沙能力减小,部分细颗粒泥沙淤积,填充粗泥沙空间。从而,在历次洪水过程淤积物之间形成一个夹层。

(上接第144页)

此方法适合同一流域、自然地理条件、地质条件、降水条件相似的地区,吉家堡水文站距离大沟设计断面约30.0 km,是该地区距离设计断面最近的有实测水文资料的站。吉家堡水文站资料包括丰、平、枯年不同水情资料,具有代表性,与设计断面下垫面条件相似,通过与《青海省历史暴雨洪水文物典籍普查资料》洪水调查及水文资料(第二册)中黄河流域湟水主要支沟乐都县湟水南岸一级支流大沟各重现期最大设计洪峰流量对比结果比较接近,所以采用面积比拟法计算结果较合理,设计值相对可靠。

综上所述,在以上方法中采用面积比拟法较为合理。现取距设计断面最近的吉家堡水文站比拟结果,大沟设计断面设计洪峰流量的最终结果为: $P=5\%$ ,  $Q_m=63.4\text{ m}^3/\text{s}$ ;  $P=2\%$ ,  $Q_m=95.1\text{ m}^3/\text{s}$ ;  $P=1\%$ ,  $Q_m=128\text{ m}^3/\text{s}$ 。

小北干流河段河床淤积物呈现分层结构的特点为“揭河底”冲刷时河床淤积物被高含沙水流成层成块地掀起提供了条件。

### 4 黄河小北干流“揭河底”发生规律

结合前文分析,总结黄河小北干流发生“揭河底”现象的规律:①河床淤积达到一定高度,并具有可供掀起的具有一定粘结力的淤积物。②河床纵横断面具备一定的河道形态。横断面呈宽浅形态,河相系数较大;河床尤其是黄河小北干流上段纵比降调整达到某一程度。③具有一定级别含沙浓度、一定流量级别且水沙组合基本相应的高含沙洪水。④高含沙洪水应具备一定的持续时间,一旦形成揭底,并应有后续保持一定量级的高含沙洪水的支持。⑤“揭河底”的发展程度主要受水沙两方面因素影响,其中揭底长度受流量影响较大,揭底深度受含沙量影响较大。

#### 参考文献:

- [1] 程龙渊,刘拴明,肖俊法.三门峡库区水文泥沙实验研究[M].郑州:黄河水利出版社,1999.
- [2] 李勇,张希芳,李风杰.黄河中游洪水特性的变化[C]//第十三届全国水动力学研讨会文集,1999.
- [3] 赵海祥,张志坚,郭全明,等.山西黄河小北干流志[M].郑州:黄河水利出版社,2002.
- [4] 杨韧,李继伟,贾新平,等.黄河禹门口至潼关河段近期治理工程可行性研究报告[R].郑州:黄河勘测规划设计研究院,2005.

#### 参考文献:

- [1] 青海省水利志编委会.青海河流[M].西宁:青海人民出版社,1995.
- [2] 刘光文.水文分析与计算[M].北京:水利电力出版社,1989.
- [3] 唐继业.江秋兰.辽宁省无资料地区设计暴雨洪水计算方法的研究[J].水利建设与管理,2001,21(12):43-44.
- [4] 青海省水利厅水文总站.青海省东部地区暴雨洪水图集[Z].1978.
- [5] 青海省水文水资源勘测局.乐都县电解铝项目洪水调查及水文分析报告书[R].2010.
- [6] 青海省水利电力局水文总站.青海省水文手册[M].青海:青海省水电局水文总站,1974.
- [7] 青海省水电局水文总站.青海省历史暴雨洪水水文典型普查资料[R].1974.