

文章编号:0559-9350(2009)09-1048-07

黄河内蒙古河段主槽萎缩原因和对策

刘晓燕¹, 侯素珍², 常温花²

(1. 黄河水利委员会, 河南 郑州 450003; 2. 黄河水利科学研究院, 河南 郑州 450003)

摘要:通过对黄河内蒙古河段 1960—2006 年典型断面输沙量资料的分析表明, 巴彦高勒—头道拐河段淤积主要源自其支流十大孔兑洪水的影响。1969—1986 年汛期来水虽较前期减少约 20%, 但由于来沙减少达 54%, 故河床淤积量不大; 1987 年以后, 由于龙羊峡和刘家峡水库的调蓄运用, 造成该河段汛期水量和洪峰流量减小, 使得区间来沙对内蒙古河段淤积的影响更加显著。进一步分析表明, 要改变内蒙古河段主槽萎缩趋势, 一方面要保障其洪水量级尽可能达到 $1\ 500\sim 2\ 000\text{m}^3/\text{s}$ 以上, 另一方面要加强该区间重点产沙区的水土流失治理。

关键词:黄河内蒙古河段; 主槽萎缩; 淤积; 十大孔兑

中图分类号: TV143

文献标识码: A

1 研究背景

黄河内蒙古河段全长 830km, 其中巴彦高勒—头道拐区间 520km、河床纵比降 $1.1\text{‰}\sim 1.4\text{‰}$, 是典型的冲积性河段(图 1)。新中国成立后, 内蒙古河段逐渐修建起堤防。刘家峡水库运用前的 50 年代和 60 年代, 河床处于淤积状态; 1968 年 10 月刘家峡水库运用至 1986 年 9 月, 河床处于冲刷状态; 1986 年 10 月以后龙羊峡水库对汛期径流过程的调平作用和上游主要产水区降水减少等, 使进入宁夏和内蒙古河段的水沙条件发生巨大变化, 导致该河段河床形态发生了很大变化, 其中巴彦高勒—头道拐河段年均淤积量达 0.514 亿 t, 且淤积多集中在主槽, 致使河道 $1\ 000\text{m}^3/\text{s}$ 流量水位年均抬高 0.1m, 平滩流量降低(图 2)。



图1 黄河宁夏河段示意

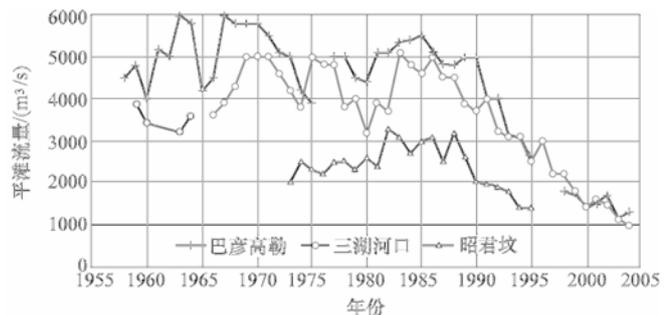


图2 黄河内蒙古河段平滩流量变化过程

近 20 年来内蒙古河段的主槽萎缩已经给沿岸经济社会带来很大影响, 主要表现为凌汛期高水位时间大幅度延长和伏秋汛期小流量高水位。三湖河口河段 1986 年以前凌汛期水位高于 1 020.00m 的持续

收稿日期: 2008-05-27

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划“黄河健康修复关键技术研究”(2006BAB06B)

作者简介: 刘晓燕(1964—), 女, 河南永城人, 教授级高级工程师, 主要从事河流健康指标和环境流研究。

E-mail: xyliu@yellowriver.gov.cn

时间年均 1.14d,而 1999—2007 年凌汛期该水位的持续时间年均达 57d;巴彦高勒断面水位高于 1 052m 的天数也由 1986 年前的平均 17d 增加到 65~75d,长时间的高水位给防凌安全带来很大的压力。2008 年 3 月 20 日杭锦旗奎素堤段发生溃口时,三湖河口流量仅 1 640m³/s。

内蒙古河段淤积形势引起了人们的关注。文献[1]分析了 1962—1982 年和 1982—1991 年内蒙古河段年均淤积量,认为淤积集中在三湖河口至头道拐之间;文献[2]认为 1954—1968 年、1969—1986 年和 1987—1996 年三时期的年均淤积量分别为 0.252 亿 t、-0.066 亿 t 和 0.58 亿 t;文献[3]指出该河段 1987—2004 年的年均淤积量在 0.616 亿 t 左右,其中主槽约占 82%。

本文拟以巴彦高勒—头道拐河段为重点研究对象,通过分析该河段淤积加重和主槽萎缩的原因,提出改善淤积形势的建议。

2 河床淤积原因分析

2.1 区间支流来沙的影响 与黄河下游不同,内蒙古河段河床淤积不仅受其上游来水来沙条件影响,而且深受黄河左岸乌兰布和沙漠风沙和黄河右岸十大孔兑流域来沙的影响。

利用 1960 年以来资料,分析了巴彦高勒—三湖河口和三湖河口—头道拐河段冲淤量与上断面来水来沙的关系(图 3、图 4,图中单位水量冲淤量指上断面汛期单位水量所产生的河段冲淤量)。由图可见,巴彦高勒—三湖河口河段河床淤积量与来沙系数的关系与下游情况相似,说明其河床冲淤主要受上游来水来沙影响;但三湖河口—头道拐河段淤积量与上断面水沙条件的关系非常散乱。

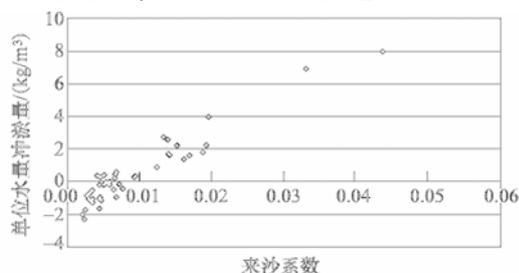


图 3 巴彦高勒—三湖河口河段河床冲淤量与上站来沙系数的关系

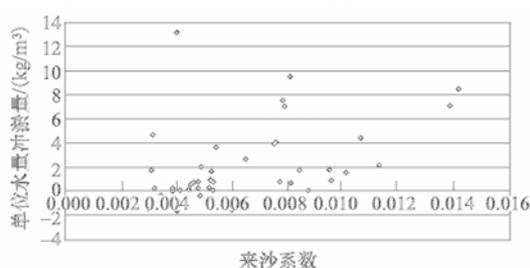


图 4 三湖河口—头道拐河段河床冲淤量与上站来沙系数的关系

进一步分析三湖河口—头道拐河段汛期冲淤量与干流、支流(即位于黄河右岸的十大孔兑)来沙量的关系可见(图 5),该河段冲淤量与支流来沙关系更为密切:孔兑发生洪水的年份往往正是该河段淤积严重的年份。

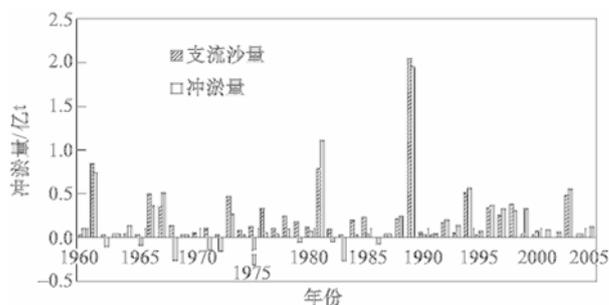


图 5 三湖河口至头道拐河段汛期冲淤量与十大孔兑来沙量变化过程

为进一步论证孔兑来沙对巴彦高勒—头道拐河段汛期冲淤的影响,利用 1960—1968、1969—1986 年和 1987—2005 年 3 个时段的汛期输沙率资料分别对比了十大孔兑有无洪水发生年份各河段在汛期冲淤量的变化(表 1)。由表可见,无论是天然状态的 1960—1968 年,还是刘家峡水库调控的 1969—1986 年,巴彦高勒—头道拐河段的汛期淤积全部发生在有孔兑汇入的三湖河口—头道拐河段,而且几乎所有

淤积均发生在孔兑发生洪水的年份。1987年以后,由于上游汛期水量和洪峰量级减小,使巴彦高勒—头道拐区间的各河段均处于持续淤积状态,但孔兑发生洪水年份的汛期年均淤积量远大于其它年份;由表1中给出的输沙率资料初步判断,1987年以来,三湖河口—头道拐河段约河床淤积泥沙的84%源自孔兑洪水影响,对比图5可见,其淤积泥沙主要来自孔兑;对巴彦高勒—三湖河口河段,由于孔兑洪水在干流形成沙坝所产生的顶托影响使河床淤积量增加约62%。未来仍需对比分析巴彦高勒、三湖河口、头道拐和孔兑入黄断面的悬移质泥沙粒径组成,以及该河段不同位置床沙组成,才可对该河段淤积泥沙的来源得出更清晰的认识。

以上认识与杨根生等人的研究结论有一定区别^[4-5],他们分析了河床淤积物组成,认为巴彦高勒—头道拐河段淤积的粗泥沙主要来自十大孔兑。但实测资料证明,巴彦高勒悬移质泥沙平均粒径为0.024mm,而头道拐断面只有0.012mm,说明上游来沙也是该河段淤积泥沙的重要来源。

表1 孔兑洪水泥沙对巴彦高勒—头道拐河段汛期年均冲淤量的影响(单位:亿t)

	1960—1968年		1969—1986年		1987—2006年	
	巴彦—三湖	三湖—头道	巴彦—三湖	三湖—头道	巴彦—三湖	三湖—头道
孔兑无洪	-0.067	0.012	-0.074	-0.080	0.055	0.089
孔兑有洪	-0.323	0.334	-0.145	0.215	0.146	0.565
合计	-0.181	0.155	-0.101	0.035	0.093	0.290

2.2 上游来水的影响 图6是1950年以来内蒙古河段最大洪峰流量变化过程。由于上游梯级水电站的联合调控、上游天然降水减少和人类用水居高不下等因素,日均洪峰流量 $1\ 000\sim 2\ 000\text{m}^3/\text{s}$ 已经成为1987年以来内蒙古河段汛期洪水的主体。大量级洪水天数也大幅度减少:1985年前,内蒙古河段流量大于 $2\ 000\text{m}^3/\text{s}$ 的洪水平均每年发生70d,但1986年以后这样的洪水只在1989年发生一次。

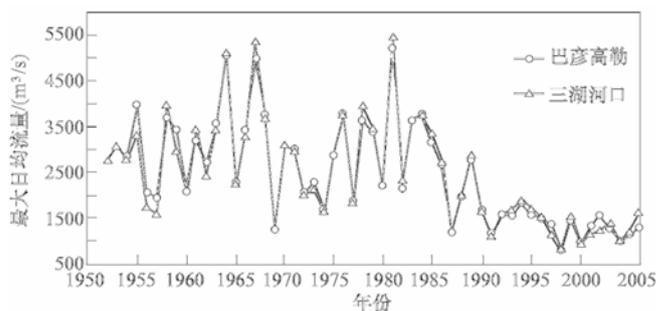


图6 内蒙古河段洪峰流量变化

图7是内蒙古河段1950—2006年月均流量变化曲线。由图可见,刘家峡水库运用前(1968年)内蒙古河段汛期月均流量比龙羊峡水库投入运用后的1987年以来大1.5倍以上。

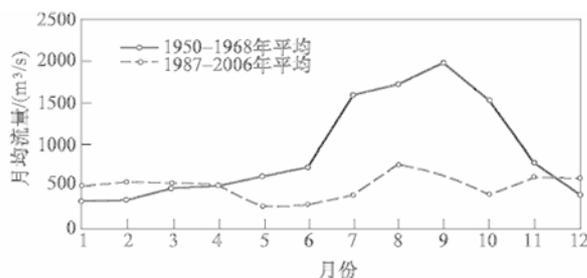


图7 巴彦高勒断面实测月均流量变化

分析兰州断面50年代以来汛期水量变化可见,1952—1967年、1968—1985年和1986—2006年该断面实测汛期水量分别为208.4、173.6和110.7亿 m^3 ,还原后的汛期天然径流量分别为211.6、206.8和161.8亿 m^3 ;1986年以来,龙刘水库汛期调蓄水量年均约50亿 m^3 ;1969—2006年宁蒙河段引水量基本维

持在 120 亿 m^3 左右。由此可见,上游梯级水电站汛期调蓄和汛期降水减少是近 20 年来上游汛期水量减少的主要原因,其影响程度分别约 48%和 44%。

图 8 分析了刘家峡水库和龙羊峡水库运用对入库洪水的调峰作用:刘家峡水库削峰量一般在 $500m^3/s$ 左右;而龙羊峡水库则将各量级洪水洪峰流量均消减至 $1\ 000m^3/s$ 以下。

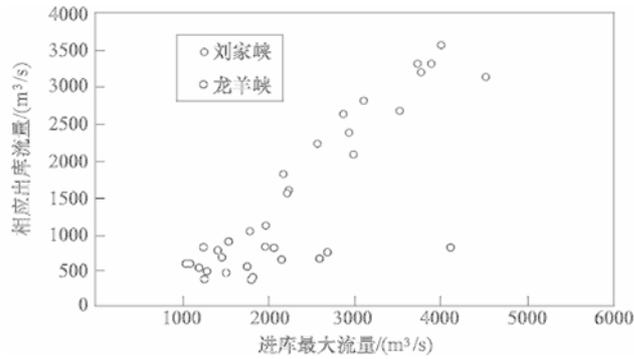


图 8 龙羊峡和刘家峡水库对入库洪水的调蓄作用

利用历史资料,分析汛期水量、洪峰和洪量的减少对内蒙古河段河床淤积的影响见图 9 和图 10。图中, $W^a Q^b$ 反映了某断面的洪水动力(W 指流量大于 $1\ 000m^3/s$ 的洪水水量、 Q 指洪水流量)。由图可见,在汛期水量降低至 100 亿 m^3 以下或 $W^a Q^b$ 降低至 300 以下,主槽萎缩风险急剧增大。而 1986 年以来该河段汛期水量只有约 60 亿 m^3 ,其中流量大于 $1000m^3/s$ 的洪水水量不足 19 亿 m^3 (相应的洪水动力约 138),后果显而易见。

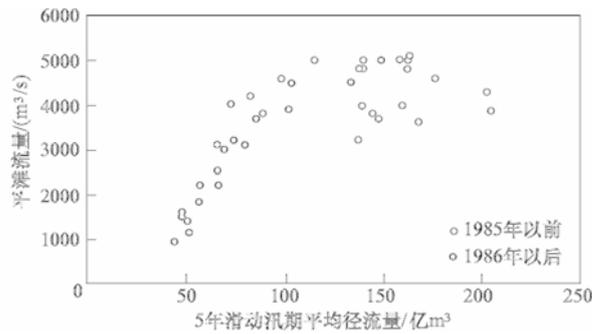


图 9 三湖河口断面平滩流量与汛期径流量的关系

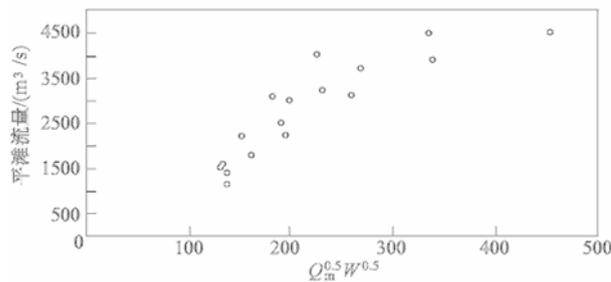


图 10 三湖河口断面平滩流量与洪水动力的关系

不过,在刘家峡水库单独调洪期间(此期兰州天然径流量较前者少 2%),尽管巴彦高勒汛期水量比 1951—1968 年少 20%,但因同期来沙也减少 54%,故河床整体表现为冲刷。龙羊峡水库运用后,尽管巴彦高勒年输沙量又较刘家峡水库运用期减少了 13,但汛期水量较其减少 54%、洪峰流量则由 1969—1986 年的 $2\ 000\sim 4\ 000m^3/s$ 降低至 $1\ 000\sim 1\ 500m^3/s$,因此必然导致近 20 年来内蒙古主槽迅速萎缩。

洪峰量级的减少不仅使河床淤积量增大,而且漫滩洪水减少还使淤积集中在主槽。据内蒙古河段

1982年、1991年、2000年和2004年大断面测验资料,巴彦高勒—昭君坟河段河槽淤积比例已经由80年代的62%左右增大至82%左右。

1968年以前,巴彦高勒—头道拐河段在非汛期基本表现为冲刷。青铜峡水库的修建提高了灌溉用水的保证率,从而使非汛期用水增加了17.7亿 m^3 ,结果使非汛期由冲刷转为淤积(图11),年均淤积量达0.1077亿t,占全年的13%。

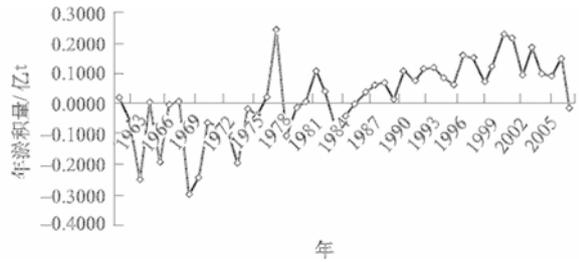


图11 巴彦高勒—头道拐河段1960—2006年非汛期冲淤变化

3 河床减淤措施分析

3.1 改善上游来水条件 已有研究^[6]认为,内蒙古河段主槽在平滩情况下的过流能力(即平滩流量)应达到2000~2500 m^3/s 以上才能满足水沙输送高效输沙和防洪防凌的要求。以下从河床塑造机理入手分析塑造和维持内蒙古河段平滩流量2000~2500 m^3/s 以上所需要的径流条件。

根据张瑞瑾挟沙能力公式 $S_* = k \left(\frac{V^3}{gR\omega} \right)^m$,水流的挟沙能力与流速的高次方成正比。因此,提高水流流速对主槽塑造非常重要。

分析三湖河口历史上平滩流量为2000~2500 m^3/s 时期非漫滩洪水的流量~流速关系可见(图12),尽管水流在平滩时的主槽流速为最大流速,但在流量1500~2000 m^3/s 时其主槽平均流速就非常接近2000 m^3/s 时的流速。因此,在条件许可情况下,应尽可能使上游洪水流量达到1500~2000 m^3/s 以上。

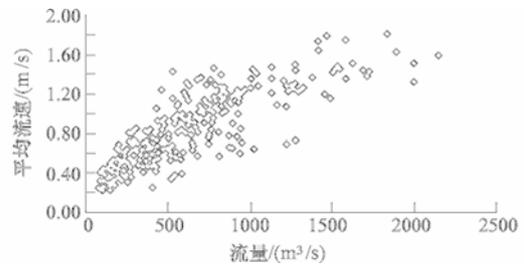


图12 三湖河口断面流量—流速关系

大流量级洪水对解决因十大孔兑洪水所造成的河道淤堵也非常必要。1966年8月,因西柳沟发生高含沙洪水导致黄河干流阻塞,昭君坟断面最高水位较受阻前上涨约2.3m,由于干流淤堵时流量约2000 m^3/s ,洪水期平均约2500 m^3/s ,故仅4d沙坝就被冲掉,水位基本恢复正常(图13);1989年,西柳沟再次发生高含沙洪水并在干流形成沙坝,水位上涨2.2m,8d后大河流量增加到1500 m^3/s 时河床开始出现明显冲刷,约21d后水位基本恢复正常(图13)。目前,用实体模型试验或理论分析推求该河段的防淤堵流量尚存在一定困难,但从以上实例初步推断,为减轻孔兑高含沙洪水对该河段的淤堵影响,干流流量至少应达1500~2000 m^3/s 以上。

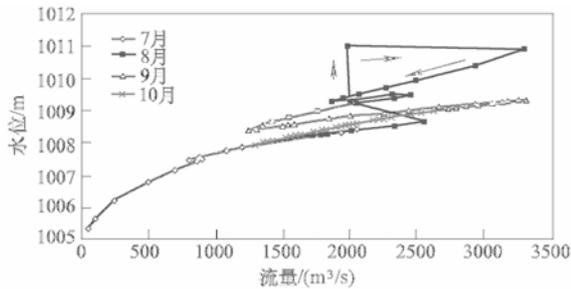


图13 1966年昭君坟水位~流量关系

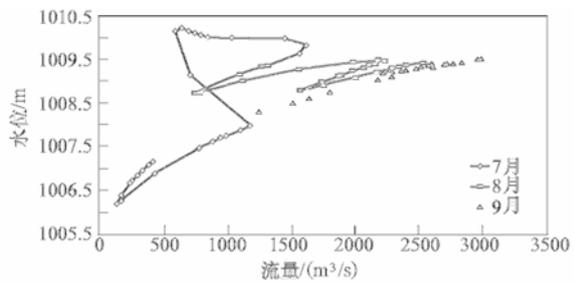


图14 1989年昭君坟站水位流量关系

在孔兑不发生洪水情况下,进入内蒙古河段的上游洪水含沙量一般小于10 kg/m^3 ,可采用图9和图10估算维持该河段平滩流量2000 m^3/s 左右所需要的洪水水量。根据该图,若洪水流量基本按1500~2000 m^3/s 控制,则维持良好主槽所需要的洪水水量约25亿 m^3 ;加上汛期经济和环境用水,则三湖河口断面需要的汛期水量总计约在68~70亿 m^3 。2005年以来,孔兑没有发生洪水,三湖河口汛期来水量约

67~68 亿 m^3 , 两有利条件相遇使巴彦高勒—头道拐河段汛期出现明显冲刷。

如果发生孔兑泥沙淤堵干流现象, 维持三湖河口—头道拐河段主槽不萎缩所需要的洪水水量将会比该值大得多。根据历史实测资料, 孔兑发生洪水时的入黄沙量一般在 0.2~0.5 亿 t; 只要孔兑发生较大洪水, 即使上游汛期来水量达 150 亿 m^3 左右, 该河段仍可能出现淤积。因此, 解决该河段河床的汛期淤积问题, 不能仅靠增加上游来水量。而且, 由于该河段河床淤积物主要为粒径大于 0.05mm 的粗泥沙, 依靠洪水冲沙不仅需要大量水资源, 而且如此粗的泥沙输送至中下游也是不可取的。

据图 11, 按多年平均非汛期来沙水平(约 0.25 亿 t), 只有当非汛期水量达到 110 亿 m^3 左右, 该河段才可能达到冲淤平衡。当然, 该淤积量也可利用汛期洪水处理, 初步估计, 为此汛期至少还需再增加洪水水量 20 亿 m^3 以上。

3.2 加强区间水土流失治理 在未来西线南水北调工程生效前的 20~30 年内, 期望将进入内蒙古河段的洪水量级及其历时恢复到天然状态可能很困难, 它不仅涉及到西北电网的经济损失, 也关系到全河非汛期供水安全。另一方面, 尽管漫滩洪水有利于调整淤积泥沙的滩槽分布, 但目前滩区经济发展却不希望频繁漫滩, 这一点从 2008 年 3 月该河段凌汛决口引起社会各界的关注程度可以清楚地感觉到。因此, 从维护内蒙古河段良好主槽的角度, 不仅要求上游一定历时的大量级洪水, 而且要特别重视区间来沙处理。

十大孔兑流域面积约 1.1 万 km^2 , 发生洪水年份的输沙量一般在 0.2~0.5 万 t(最大 1989 年达 2 亿 t), 其中约 60% 以上是大于 0.1mm 的特粗泥沙。十大孔兑多为穿越库布齐沙漠和砒砂岩区的季节性河流, 暴雨期易形成峰高量大、含沙量高的洪水, 大量泥沙向黄河倾泄, 加之孔兑尾闾堤防的导流作用, 常常几小时就可形成数米长的沙坝堵塞黄河, 进而加速沙坝上游淤积。1973、1976、1978、1989、1994、1998 和 2003 年发生在三湖河口—头道拐区间的特大洪灾均是由孔兑泥沙堵塞黄河所造成。不过, 并非每个孔兑都显著影响黄河淤积, 目前对黄河淤积影响最大的是哈什拉、西柳沟、黑赖沟、毛不浪、罕台川等 5 条孔兑, 其输沙量约占十大孔兑总输沙量的 75%, 应作为拦减入黄泥沙的重点关注区域。

与黄土高原其它区域产沙特点不同, 十大孔兑流域侵蚀产沙是风蚀和水蚀的共同产物^[4-5,7]。该区域约 3~5 年发生一次大暴雨, 次洪输沙模数达 30 000~40 000 t/km^2 。冬春时节, 库布齐沙漠的沙子随风进入孔兑堆积, 遇暴雨洪水则把沙子带入黄河, 故孔兑泥沙粒径远比其它区域粗得多, 粒径大于 0.1mm 的粗沙比例高达 60%~70%(窟野河和秃尾河该粒径比例只有 30%~40%), 风成沙约占粗沙量的 3/4。针对这样的特点, 居住在十大孔兑流域的人们已经创造出孔兑泥沙处理的科学方法, 他们一方面通过自然修复和飞播增加库布齐沙漠的植被覆盖度, 另一方面利用洪水期来沙淤填洼地、改造沙漠、开辟良田, 其经验值得广泛推广。

调整孔兑洪水泥沙的入黄方式也是减轻内蒙古河段河槽淤积的重要举措。为应对罕台川和西柳沟等大孔兑的暴雨洪水, 保护两岸农田和居民点, 20 世纪 70 年代后期以来, 人们逐渐在其下游修建了堤防。但 30 多年的运行实践证明, 孔兑下游设置堤防不仅使自身变成悬河(如罕台川下游悬差已达 5m 以上), 而且使孔兑来沙直接倾泻进黄河主槽形成沙坝。未来, 应平衡淤堵黄河造成的经济损失和孔兑洪水泛滥区域的经济损失, 结合黄河南岸滩区经济特点, 尽可能少设堤防, 或给孔兑下游堤防以足够宽的间距, 由此涉及的具体技术问题尚待进一步研究。

4 结论

近 20 年来, 黄河内蒙古河段处于持续淤积状态, 从而使主槽严重萎缩。分析 1960—2006 年典型断面输沙量资料认为, 巴彦高勒—头道拐河段淤积量主要受十大孔兑洪水影响。不过, 1986 年以前, 由于上游来水来沙条件较好, 河床淤积量不大; 1987 年以后, 由于上游水库群汛期调蓄和汛期降水减少使区间来沙对内蒙古河段淤积的影响凸现。进一步分析表明, 龙羊峡和刘家峡水库的联合调蓄运用是造成该河段 1987 年以来汛期水量和洪峰流量减小的主要人为原因, 而天然降水减少使该河段汛期水量的减少量可能在 44% 左右。

要减轻内蒙古河段河槽淤积,一方面要科学调控进入该河段的洪水量级,使之尽可能达到 $1\ 500\sim 2\ 000\text{m}^3/\text{s}$ 以上,并保证足够的汛期水量;另一方面,要加大孔兑流域的水土流失治理力度。

参 考 文 献:

- [1] 王彦成,冯学武,王伦平,等.黄河上游干流水库对内蒙古河段的影响[J].人民黄河,1996,(1): 5—10+61.
- [2] 王彦成,王铁钧,郭少宏,等.黄河内蒙古河段近期水沙变化分析[J].内蒙古水利,1999,(3): 40—41.
- [3] 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,(3):27—28+31.
- [4] 杨根生,等.风沙对黄河内蒙古河段河道泥沙淤积的影响[J].冲国沙漠,2003,(2):54—61.
- [5] 杨根生,等.风沙对黄河内蒙古河段河道淤积泥沙的影响[J].西北水电,2004,(3):47—52.
- [6] 刘晓燕,张原峰.健康黄河的内涵及其指标体系[J].水利学报,2006,(6):11—16.
- [7] 杨忠敏,任宏斌.黄河水沙浅析及宁蒙河段冲淤与水沙关系初步研究[J].西北水电,2004,(3): 53—58.

Cause of main channel shrinkage occurred to the Inner-Mongolia reaches of Yellow River

LIU Xiao-yan, HOU Su-zhen, CHANG Wen-hua

(Yellow River Conservancy Commission, Zhengzhou 450003, China)

Abstract:In the past 20 years the Inner-Mongolia reaches of Yellow River was under the situation of sediment deposition and resulted in serious shrinkage of main channel. The analysis on the observation data from 1960 to 2006 found that the deposited sediment in the riverbed of this reaches was caused by the floods occurred in this area and flowed into the River from 10 tributaries distributed along this reaches. Before 1986, the deposited sediment is not significant because of more runoff and larger floods happened to the flood seasons. After then, the influence of the sediment income on the deposition became more and more obvious due to the decrease of runoff and magnitude of flood caused by the regulation of upstream reservoir and reduction of precipitation. In order to improve this situation the flood discharge coming from upper reaches should be larger than $1500\sim 2\ 000\text{m}^3/\text{s}$. At the same time, the water-soil conservation in the ten tributaries watershed must enhanced to control the soil erosion.

Key words:main channel shrinkage; sediment deposition; tributaries; Inner-Mongolia reaches of Yellow River

(责任编辑:李福田)