

黄河巴彦高勒—头道拐河段泥沙冲淤调整特点

张晓华, 郑艳爽, 尚红霞, 丰青

Sedimentation characteristics of the reach from Bayangaole to Toudaoguai of the Yellow River

ZHANG Xiaohua, ZHENG Yanshuang, SHANG Hongxia, FENG Qing

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.12170/20211214002>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

黄河内蒙段泥沙组成与力学运动特征

Sediment fraction and its mechanic movement characteristics in Inner Mongolia reach of Yellow River

水利水运工程学报. 2017(3): 16 <https://doi.org/10.16198/j.cnki.1009-640X.2017.03.003>

黄河无定河流域“2017.7.26”洪水泥沙来源辨析

Identifying sediment sources in Wudinghe River during "7.26" flood in 2017

水利水运工程学报. 2019(6): 31 <https://doi.org/10.16198/j.cnki.1009-640X.2019.06.004>

长江宜昌—监利段河床冲淤对宜昌站水沙变化的响应

Response of riverbed evolution of Yichang–Jianli reach of the Yangtze River to water and sediment conditions of Yichang Station

水利水运工程学报. 2020(4): 48 <https://doi.org/10.12170/2019062004>

宁夏清水河流域水沙变化特点分析

Analysis on the characteristics of flow and sediment variation in Qingshuihe River basin of Ningxia

水利水运工程学报. 2020(4): 57 <https://doi.org/10.12170/20200213002>

新水沙条件与整治工程下和畅洲汉道演变分析

Riverbed evolution characteristics in the Hechangzhou braided reach under new flow–sediment conditions and waterway regulations

水利水运工程学报. 2021(5): 19 <https://doi.org/10.12170/20210208004>

近40年来长江口沉积物粒度变化及其对底床冲淤的响应

Analysis of sediment grain size change and its response to erosion and deposition pattern within the Yangtze River Estuary for the past 40 years

水利水运工程学报. 2021(5): 8 <https://doi.org/10.12170/20210628002>

DOI:10.12170/20211214002

张晓华, 郑艳爽, 尚红霞, 等. 黄河巴彦高勒-头道拐河段泥沙冲淤调整特点 [J]. 水利水运工程学报, 2022(3): 41-49. (ZHANG Xiaohua, ZHENG Yanshuang, SHANG Hongxia, et al. Sedimentation characteristics of the reach from Bayangaole to Toudaoguai of the Yellow River[J]. Hydro-Science and Engineering, 2022(3): 41-49. (in Chinese))

黄河巴彦高勒-头道拐河段泥沙冲淤调整特点

张晓华^{1,2}, 郑艳爽^{1,2}, 尚红霞^{1,2}, 丰 青¹

(1. 黄河水利委员会黄河水利科学研究院, 河南 郑州 450003; 2. 黄河水利委员会黄河流域生态保护和高质量发展研究中心, 河南 郑州 450003)

摘要: 通过实测资料分析, 阐明黄河上游宁蒙河道巴彦高勒-头道拐河段不同粒径泥沙来源及冲淤调整特点: 长时期(1952—2012年)河段来沙组成以细泥沙为主, 占总沙量的52.7%, 且来源与中泥沙和较粗泥沙相同, 主要来自巴彦高勒以上; 特粗泥沙是淤积的主体, 占总淤积量的56.2%, 且来源比例在巴彦高勒以上、十大孔兑和沿河沙漠三个地区比较相近。不同粒径泥沙的普遍冲淤调整规律为: 细泥沙、中泥沙和较粗泥沙随来水来沙发生冲淤调整, 特粗泥沙持续累积淤积。因此, 不同粒径泥沙在不同时期的年内调整特点有较大差别, 汛期1986年以前特粗泥沙是淤积的主体, 细泥沙和中泥沙冲刷; 1986年后细泥沙和中泥沙冲转为淤, 细泥沙成为淤积的主体。非汛期泥沙由1986年前的冲刷转为1986年后的淤积, 主要在于细泥沙和中泥沙由冲转淤及较粗泥沙的增淤。初步分析表明, 河段各时期泥沙的冲淤调整取决于干流来水来沙量及水流过程, 十大孔兑的来沙量也有较大影响。研究结果可为宁蒙河道悬河治理提供基础支撑。

关键词: 黄河宁蒙河道; 不同粒径泥沙; 冲淤特点; 泥沙来源

中图分类号: TV142

文献标志码: A

文章编号: 1009-640X(2022)03-0041-09

宁蒙河道为黄河上游流经宁夏和内蒙古自治区的黄河干流河段, 是黄河冲积性河段之一(图1^[1])。从长时期看, 宁蒙河道有缓慢抬升的趋势, 同流量($2\,000\text{ m}^3/\text{s}$)水位年均上升 $0.5\sim 2.0\text{ cm}$ ^[2]。而20世纪80年代后期和90年代, 黄河水沙关系加剧恶化, 河槽萎缩, 洪水位普遍抬高^[3], 严重威胁地区安全。尤其在内蒙古的巴彦高勒-头道拐河段形成新悬河, 悬河段长达268 km, 河床高程比磴口县政府所在地高3 m、比临河区高6 m、比五原县高9 m、比乌拉特前旗高3 m^[4], 同时在十大孔兑下游形成4 m高的支流悬河。悬河是河流下游严重淤积、河床抬高与人类为预防洪灾、约束水流在河道两侧不断填土筑堤的产物^[5], 已有研究提出悬河的形成因素^[6]: (1)河水中必须挟带大量直径为 $0.01\sim 0.25\text{ mm}$ 的泥沙; (2)河水中必须有大部分水流的平均流速小于 0.7 m/s ; (3)河流必须具有足够广阔的可能被泛滥的面积。因此, 研究悬河所在河段不同粒径泥沙的冲淤演变特征, 是揭示悬河产生和发展机制的基础。

目前对宁蒙河道不同粒径泥沙运动规律的研究还比较薄弱, 早期杨根生等^[7-8]分析认为长时期内蒙古河段淤积中主要为来自沙漠的粒径大于 0.1 mm 的粗泥沙; 李学春等^[9]探讨了内蒙古水文站各粒径级泥沙的输移能力, 结果表明历年洪水过程中分组沙与全沙呈较好的正相关关系; 同流量过程中泥沙组成的变化将导致各级粒径泥沙的输移分配比例有所不同^[10]; 李婷等^[11-12]分析了输沙量及悬移质组成的沿程变化, 认为悬移质主要由细沙组成, 粒径大于 0.1 mm 的粗沙较少。细沙对河床冲淤演变产生的作用是暂态的, 推悬交换的泥沙和推移质造成的河床冲淤相对深远。秦毅等^[13]研究表明粒径为 $0.10\sim 0.25\text{ mm}$ 的泥沙活跃于冲淤过

收稿日期: 2021-12-14

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51909100, 52009047); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(HKY-JBYW-2020-14, HKY-JBYW-2019-07, HKY-JBYW-2020-03, HKY-JBYW-2018-11)

作者简介: 张晓华(1970—), 女, 四川广元人, 正高级工程师, 主要从事河流泥沙及河床演变研究。

E-mail: xzh4532@126.com 通信作者: 尚红霞(E-mail: 604224724@qq.com)

程,且内蒙古河段上部的粗颗粒泥沙不易被水流长距离挟带。安催花等^[14]计算得出 1987 年以来宁蒙河段泥沙淤积加重主要集中在汛期和小于 0.1 mm 的泥沙,大于 0.1 mm 的粗泥沙淤积量有所减少;张红武等^[15]运用泥沙运动理论,计算得到宁蒙河段河床大部分沙质组成在水流强度较大时都有可能以悬移形式运移,并且随着粒径的减小呈悬移运动形式的比例增加,整体随水流运移的泥沙量有所增加的结论。由此可见,目前宁蒙河道不同粒径级泥沙输移方面的研究主要集中在其与水流强度的关系,对河段不同粒径泥沙在年内和时期尺度上的冲淤调整特点还缺乏了解。本文针对这方面开展研究,同时结合水沙变化及水库运用等因素的分析,初步分析各时期不同粒径泥沙冲淤调整的原因,为宁蒙河道悬河治理提供基础支撑。

1 河道基本概况

巴彦高勒-头道拐河段是宁蒙河道的最下游段(图 1),河道分为巴彦高勒-三湖河口和三湖河口-头道拐两个河段。巴彦高勒-三湖河口段为黄河出峡谷后进入的冲积平原区,河道宽浅,沙洲散乱,江心洲发育较少,是典型的游荡型河道;黄河绕过乌拉尔山山嘴后为三湖河口-头道拐河段,河道比降减小,河岸物质中黏粒含量增多,河流相对窄深,河曲发育,河道由不同的大小弧形连接而成,为比较典型的弯曲河型^[16]。巴彦高勒-头道拐河段上段南部毗邻库布齐沙漠,冬春季形成风沙入黄;下段北部为阴山山脉,南部 10 条支流(孔兑)汇入干流,孔兑上游为鄂尔多斯台地砒砂岩出露的丘陵沟壑,常发生暴雨洪水经中游库布齐沙漠后形成高含沙洪水挟带大量泥沙入黄,造成黄河河道淤堵。因此,巴彦高勒-头道拐河段风沙与水沙运动重叠、高低含沙量洪水交替发生,河道演变剧烈,是黄河上游防洪防凌的重点河段。

2 资料与研究方法

采用 1959—2012 年长系列资料,对河道水沙条件影响较大的时间节点有 1968 年刘家峡水库的投入运用、1986 年龙羊峡和刘家峡水库的联合运用,以及沙量明显减少的 2000 年,将长系列分为 1959—1968、1969—1986、1987—1999 和 2000—2012 年 4 个时期。

2.1 数据来源

研究所用的干、支流水沙资料主要来源于水文站。干流水文站为河段进口控制站巴彦高勒水文站、三湖河口站和出口控制站头道拐站,三站均为黄河水利委员会所属的国家重要水文站。支流水文站为西柳沟的龙头拐站、毛不浪孔兑的图格日格站和罕台川的响沙湾站,三站均为内蒙古自治区水文总局所属的水文站。所用水文站资料都经过统一整编刊印于历年《中华人民共和国水文年鉴-黄河流域水文资料》,具有较好的代表性。十大孔兑中只有 3 条孔兑设有入黄控制站,其他缺少观测的孔兑年沙量采用文献^[17]插补的结果。沿河沙漠风沙入黄量采用参考文献^[18]的数据。

按泥沙粒径划分为细泥沙($d \leq 0.025$ mm)、中泥沙($0.025 < d \leq 0.050$ mm)、较粗泥沙($0.050 < d \leq$

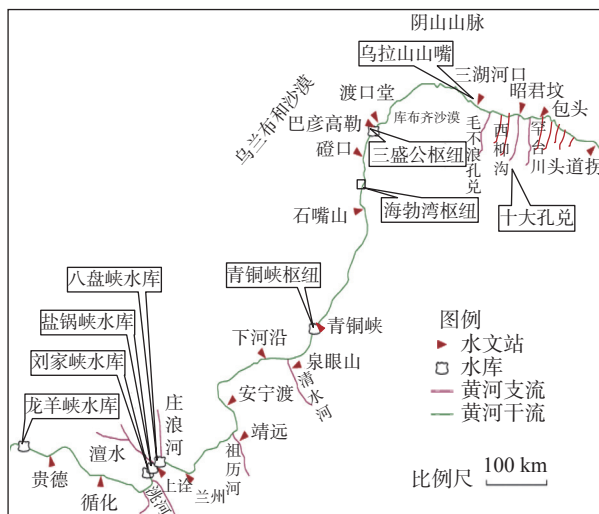


图 1 研究区概况

Fig. 1 Map of study reach

0.100 mm)和特粗泥沙($d>0.100\text{ mm}$),其中 $d>0.050\text{ mm}$ 的泥沙一般称为粗泥沙。

2.2 计算方法

沙量平衡法冲淤量计算原理为,计算时段内全部进入河段沙量和全部输出河段沙量之差为河段冲淤量。河段不同粒径组泥沙冲淤量计算公式为:

$$\Delta W_{si} = W_{s巴i} + W_{s孔兑i} + W_{s风沙i} - W_{s头i}$$
 (1)

式中: ΔW_{si} 为第*i*组泥沙的河段冲淤量(亿 t); $W_{s巴i}$ 为河段进口巴彦高勒站第*i*组泥沙沙量(亿 t); $W_{s孔兑i}$ 为十大孔兑第*i*组泥沙汇入量(亿 t); $W_{s风沙i}$ 为河段汇入的第*i*组风沙沙量(亿 t); $W_{s头i}$ 为河段出口头道拐站第*i*组泥沙沙量(亿 t);*i*为泥沙粒径分组,分别为细泥沙、中泥沙、较粗泥沙和特粗泥沙。分组沙冲淤量之和为全沙冲淤量。

除冲淤量外,分析中增加了冲淤比来表示冲淤程度,即同时段内冲淤量与来沙量之比,不同粒径组泥沙冲淤比计算公式为:

$$\gamma_i = \frac{\Delta W_{si}}{W_{si}} \times 100\%$$
 (2)

式中: γ_i 为不同粒径组泥沙冲淤比(%); ΔW_{si} 为第*i*组泥沙的河段冲淤量(亿 t); W_{si} 为河段全部第*i*组进入泥沙沙量(亿 t), $W_{si} = W_{s巴i} + W_{s孔兑i} + W_{s风沙i}$ 。全沙冲淤比计算相同。

3 河段来沙量的不同粒径泥沙组成

统计 1959—2012 年巴彦高勒-头道拐河段各来源区的年均不同粒径组沙量(表 1),可得河段总来沙量及粒径构成,同时可计算出各粒径组泥沙的来源构成(图 2)。可见,多年平均河道年均总来沙量 1.186 亿 t,其中 0.948 亿 t 来自巴彦高勒以上地区,占到总量的 79.9%,且主要是细泥沙和中泥沙;0.197 亿 t 来自十大孔兑,占 16.6%,十大孔兑泥沙组成两级分化,细泥沙和特粗泥沙较多;巴彦高勒-三湖河口河段的沿河入黄风沙量为 0.041 亿 t,仅占总来沙量的 3.5%,全是粗泥沙,尤其是特粗泥沙占比达到 85.3%。由此河段总来沙量的构成特点为:细泥沙比例最高,为 52.7%;其次是中泥沙,占到 19.6%;较粗泥沙和特粗泥沙来量较少,仅分别占总量的 14.4% 和 13.3%。

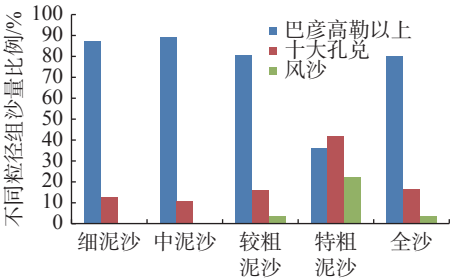


图 2 巴彦高勒-头道拐河段不同粒径组泥沙来源

Fig. 2 Source area of various-size sands in the reach from Bayangaole to Toudaoguai

表 1 1959—2012 年巴彦高勒-头道拐河段各来源区年均不同粒径组沙量

Tab. 1 Average annual various-size sands volume of each source area of the reach from Bayangaole to Toudaoguai from 1959 to 2012

地区	细泥沙	中泥沙	较粗泥沙	特粗泥沙	全沙
巴彦高勒以上	0.546	0.207	0.137	0.057	0.948
十大孔兑	0.079	0.025	0.027	0.066	0.197
沿河风沙	0	0	0.006	0.035	0.041
合计	0.625	0.232	0.170	0.158	1.186

单位: 亿t

4 河段冲淤特点

4.1 长时期冲淤概况

巴彦高勒-头道拐河段长时期(1959—2012 年)河道淤积 10.940 亿 t, 年均淤积 0.201 亿 t(表 2), 冲淤比

为 17.0%。从时期上来看,除 1969—1986 年微冲 0.300 亿 t 外,各时期都是淤积的。1987—1999 年淤积量最大,达到 8.233 亿 t,占到总量的 75.2%,年均淤积量也达到了 0.633 亿 t,冲淤比高达 57.7%,即将近 60% 的来沙淤积在河道内;其次是 2000—2012 年,淤积 2.307 亿 t,占到总量的 21.1%,年均淤积 0.177 亿 t,冲淤比为 28.0%。

表 2 巴彦高勒-头道拐河段冲淤量在各时期的分布
Tab. 2 Sediment distribution in the reach from Bayangaole to Toudaoguai in different periods

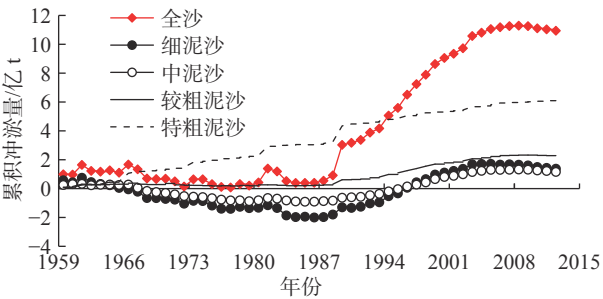
年份	淤积总量/亿t	占总量比例/%	年均淤积量/亿t	年均来沙量/亿t	冲淤比/%
1959—1968	0.700	6.4	0.070	2.162	3.2
1969—1986	-0.300	-2.7	-0.017	1.108	-1.5
1987—1999	8.233	75.2	0.633	1.097	57.7
2000—2012	2.307	21.1	0.177	0.633	28.0
1959—2012	10.940	100.0	0.201	1.186	17.0

注:负值表示冲刷,正值表示淤积。

4.2 不同粒径组泥沙冲淤调整特点

河段长时期(1959—2012 年)淤积 10.940 亿 t,其中特粗泥沙淤积量达到 6.148 亿 t,占到总淤积量 56.2%,冲淤比高达 72.1%,表明特粗泥沙是淤积泥沙的主体;较粗泥沙淤积 2.257 亿 t,占到总淤积量 20.6%,冲淤比高达 24.5%;细泥沙和中泥沙淤积量都较小,分别为 1.378 亿 t 和 1.157 亿 t,在总淤积量中占比分别为 12.6% 和 10.6%,冲淤比很小,仅分别为 4.1% 和 9.2%。

从河段全沙和不同粒径组泥沙的累积冲淤量变化过程(图 3)可以看到,全沙淤积量随来水来沙的变化各时段演变趋势差别较大,有冲有淤,只是在 20 世纪 80 年代后期到 21 世纪前 5 年左右出现持续淤积。而特粗泥沙长时期都是持续淤积的,基本不受水沙条件的影响;同时可以看到,特粗泥沙在某些年份淤积量增加较多,造成累积淤积过程出现突然抬升,分析发现这些年份孔兑都发生高含沙洪水,说明河段特粗泥沙淤积受孔兑影响比较大。相比之下,细泥沙、中泥沙甚至是较粗泥沙的冲淤调整都与全沙的演变趋势一致,随水沙条件而变化,反映出某个时段内细泥沙和中泥沙的冲淤状况决定了河段淤积的发展方向。



5 年内不同粒径组泥沙冲淤调整特点

宁蒙河道年内水沙过程差异鲜明,分为汛期和非汛期,汛期为 7—10 月,非汛期为 11 月至次年 6 月。

5.1 汛期冲淤调整特点

河段汛期全沙淤积量较大的是 1987—1999 年,年均淤积量达到 0.498 亿 t;其次是 1959—1968 年和 2000—2012 年,年均分别淤积 0.143 亿 t 和 0.110 亿 t;1969—1986 年河段年均冲刷 0.013 亿 t。从各时期不同粒径组泥沙的冲淤状况可以看到,较粗泥沙和特粗泥沙基本上都是淤积的,是淤积泥沙的主要构成;细泥沙和中泥沙在 1986 年以前两个时期以冲刷为主,1986 年以后转为淤积,淤积量超过较粗泥沙和特粗泥沙,

对比各时期的冲淤比(图4)可看到,1986年以前两个时期的全沙冲淤比都不高,自然状态的1959—1968年为7.9%,1969—1986年微冲;但是1986年后两个时期冲淤比显著增高,分别达到63.4%和32.0%。各时期不同粒径组泥沙的冲淤比也有明显的特点,特粗泥沙的冲淤比各时期都较高,为51.1%~92.2%;细泥沙、中泥沙和较粗泥沙的冲淤比变化鲜明,1986年前的两个时期都不高,最高的1959—1968年较粗泥沙的冲淤比仅12.4%,而1986年后两个时期都增加较大,1986—1999年和2000—2012年细泥沙冲淤比分别达到52.7%和27.7%,中泥沙冲淤比分别为63.0%和30.3%,较粗泥沙的冲淤比也升高至67.7%和35.0%。

5.2 非汛期冲淤调整特点

非汛期各时期全沙冲淤量的变化是方向性的,由1959—1968年的年均冲刷0.073亿t和1969—1986年微冲,变为1986年之后的淤积,1986—1999年和2000—2012年年均淤积量分别达到0.136亿t和0.067亿t。从不同粒径组泥沙的变化可以看到,特粗泥沙保持淤积且淤积量变化不大,全沙冲淤性质变化主要在于细泥沙和中泥沙由冲转淤,以及较粗泥沙的淤积增加。

从非汛期不同粒径组泥沙各时期冲淤比(图5)也可看到,特粗泥沙与汛期特点相同,各时期均维持较高的冲淤比,为55.9%~77.1%。其他三组泥沙的淤积程度在1986年后都明显增大,细泥沙冲淤比从1959—1968年的-50%左右转为1986—1999年的12.9%和2000—2012年的-22.3%,中泥沙冲淤比从-10%左右转为56.0%和30.1%,较粗泥沙冲淤比从1959—1968年的1.8%和1969—1986年的13.9%增加到1986—1999年的54.1%和2000—2012年的42.6%。

6 不同粒径泥沙各时期冲淤调整原因初步分析

水沙过程是河床演变的动力,表3列出了巴彦高勒-头道拐河段各时期来水来沙及年均不同粒径组泥沙的冲淤量,可见,1959—1968年人类活动对上游的水沙过程有一定影响但还不是很大。首先,黄河上游引水灌溉历史悠久,该时期地表水耗损量约90亿 m^3 ^[19],减少的是河道基础流量,对水流过程改变较小。其次,上游盐锅峡、青铜峡水库和三盛公水利枢纽分别于1961、1967和1961年建成投入运用,均为径流式电站,对流量基本无调节能力,盐锅峡水库和三盛公枢纽库容较小、青铜峡水库刚开始运用,水库拦沙量较少;该时期水库建设对水沙过程的影响还未显著显现。因此,该时期河道水沙条件与天然时期近似。由表3还可见,该时期干流水、沙量及十大孔兑沙量都很大,但是年均淤积量仅0.070亿t,这与天然时期的微淤状态基本一致。天然情况下汛期7—10月上游来水量和洪峰流量都大(图6),此时段正是流域面上的来沙时期(包括十大孔兑高含沙洪水形成的集中来沙),细泥沙和中泥沙、少量的粗泥沙通过2000 m^3/s 以上大流量输送或冲刷,少部分由于汛期小流量过程或者漫滩等原因而淤积,而大部分粗泥沙难以输送而淤积下来;非汛期

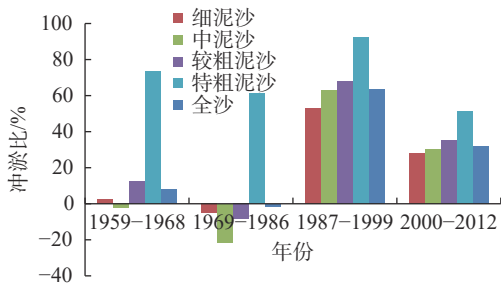


图4 巴彦高勒-头道拐河段各时期汛期不同粒径组泥沙冲淤比

Fig. 4 Sedimentation ratio of various-size sands in the reach from Bayangaole to Toudaoguai in flood season in different periods

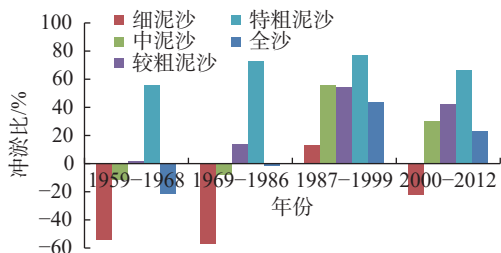


图5 河段各时期非汛期不同粒径组泥沙冲淤比

Fig. 5 Sedimentation ratio of various-size sands in the reach from Bayangaole to Toudaoguai in non-flood season in different periods

前期淤积的细泥沙和中泥沙可随水流冲刷送走。因此,天然时期河道的淤积以粗泥沙为主,年均淤积 0.151 亿 t,远高于全沙淤积量 0.070 亿 t,而细泥沙和中泥沙难以淤积。

表 3 巴彦高勒-头道拐河段各时期来水来沙及年均不同粒径组泥沙冲淤量
Tab. 3 Runoff and sediment and average annual sedimentation of various-size sands in the reach from Bayangaole to Toudaoguai in different periods

年份	巴彦高勒站		十大孔兑输沙量/亿t	不同粒径组泥沙冲淤量				
	径流量/亿m ³	输沙量/亿t		全沙/亿t	细泥沙/亿t	中泥沙/亿t	较粗泥沙/亿t	特粗泥沙/亿t
1959—1968	290.3	1.833	0.256	0.070	-0.065	-0.016	0.028	0.123
1969—1986	234.7	0.834	0.187	-0.017	-0.075	-0.041	-0.003	0.102
1987—1999	159.3	0.703	0.318	0.633	0.229	0.120	0.113	0.172
2000—2012	163.2	0.500	0.058	0.177	0.031	0.038	0.043	0.065

1969—1986 年是刘家峡水库单库运用时期,水库共拦截了 10.93 亿 m³ 泥沙,十大孔兑沙量也有所减少,河段来沙量明显减少。因而在水流过程变化不大的条件下,河段除特粗泥沙外各粒径组泥沙均发生持续冲刷,河段整体也表现为冲刷。说明河道来沙量对冲淤的影响是非常显著的。

1986 年 10 月龙羊峡和刘家峡水库开始联合运用,汛期削减洪峰、调蓄洪水,同时引水量增加即减少了河道流量,进入巴彦高勒-头道拐河段的流量大大减小,汛期平均流量仅 578 m³/s,尤其是洪水缺失造成水流输沙能力降低,导致在粗泥沙淤积的同时,细、中泥沙也发生大量淤积;而非汛期引水的增加导致河道内流量也有所减小,降低了冲刷细、中泥沙的能力,细、中泥沙由天然情况下的冲刷转为淤积。因此,全年除特粗泥沙外三组泥沙大量增淤,且细泥沙成为淤积的主体,占到全沙淤积量的 36%。同时该时期十大孔兑来沙量较大,尤其 1989 年来沙量超过 2 亿 t,已有研究^[20-21]阐明十大孔兑洪水是宁蒙河段淤积的主要因素之一,加之干流汛期缺少洪水输送孔兑高含沙洪水泥沙或者冲刷前期在汇流区形成的淤积体,因而该时期特粗泥沙淤积也较大,达到 0.172 亿 t。

进入 21 世纪以来,黄河上游地区来沙量显著减少(表 3),干流来沙量和十大孔兑沙量分别只有 1959—1968 年的 20% 左右,但是水库运用和河道引水状况均未改变,河道仍缺少大流量过程(图 6),因而该时期河段各组泥沙仍与前一时期相同都保持淤积,只是淤积量明显减少,全沙仅淤积 0.177 亿 t,特粗泥沙占比最高。

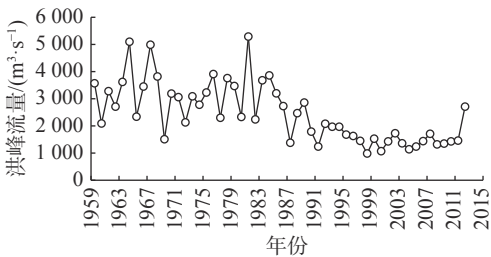


图 6 巴彦高勒站历年最大流量
Fig. 6 Annual maximum peak discharge in Bayangaole Hydrological Station from 1959 to 2012

7 结 语

分析了巴彦高勒-头道拐河段 1959—2012 年各时期及年内不同粒径泥沙的冲淤特点,结合对各时期干、支流水沙条件的对比,初步说明泥沙冲淤调整的原因,得到主要结论如下:

- (1)黄河上游巴彦高勒-头道拐河段多年平均(1959—2012 年)来沙量 1.186 亿 t,其中细泥沙比例最高为 52.7%,是来沙的主体;特粗泥沙比例最小为 13.3%。细泥沙、中泥沙和较粗泥沙 80% 以上都来自巴彦高勒以上。
- (2)1959—2012 年该河段共淤积 10.940 亿 t,冲淤比为 17.1%;特粗泥沙是淤积的主体,占总淤积量的

56.2%,冲淤比高达72.1%。特粗泥沙来源分布均匀,各地区为22.1%~36.1%。

(3)河段细泥沙、中泥沙和较粗泥沙随来水来沙发生冲淤调整;而特粗泥沙持续累积淤积,随来水条件变化很小。

(4)河段各时期汛期特粗泥沙都是淤积的,在1986年以前是淤积的主体,细泥沙和中泥沙是冲刷的。1986年后河道淤积加重,主要是细泥沙和中泥沙由冲刷转为淤积,占到全沙淤积量的40%~50%,成为淤积的主体;而较粗泥沙和特粗泥沙的冲淤比增高,1986—1999年最高分别达到67.7%和92.2%。

(5)河段非汛期全沙由1986年前的冲刷变为之后的淤积,1986—1999年年均淤积量达到0.136亿t,其中特粗泥沙保持淤积且淤积量变化不大,主要在于细泥沙和中泥沙由冲转淤及较粗泥沙的增淤,较粗泥沙的冲淤比达到40%~55%。

(6)河段各时期泥沙的冲淤调整取决于来水来沙量及水流过程。1959—1968年水沙量和洪峰流量都较大,水流输沙能力大,河道微淤,主要是粗泥沙尤其特粗泥沙淤积;1969—1986年刘家峡水库拦沙造成河道来沙量显著减少,水流过程变化不大,河道发生冲刷,除特粗泥沙外各粒径组泥沙都是冲刷的。1986年龙羊峡和刘家峡水库联合运用汛期拦蓄洪水,河道流量减小,水流输沙能力降低,细泥沙和中泥沙由冲转淤,较粗泥沙冲淤比增高,特粗泥沙仍保持淤积;在孔兑来沙量较多的1986—1999年河道淤积严重,细泥沙成为淤积的主体;在干流和十大孔兑来沙量都显著减小的2000—2012年河道淤积减少。

参 考 文 献:

- [1] 张晓华,姚文艺,郑艳爽,等.黄河宁蒙河道输沙特性与河床演变[M].郑州:黄河水利出版社,2016:14. (ZHANG Xiaohua, Yao Wenyi, ZHENG Yanshuang, et al. Sediment transport characteristics and fluvial process of Ningmeng Yellow River[M]. Zhengzhou: Yellow River Water Conservancy Press, 2016: 14. (in Chinese))
- [2] 胡一三.中国江河防洪丛书-黄河卷[M].北京:中国水利水电出版社,1996:169-170. (HU Yisan. China river flood control series-Yellow River volume[M]. Beijing: China Water & Power Press, 1996: 169-170. (in Chinese))
- [3] 郑艳爽,张晓华,尚红霞.黄河宁蒙河道近期调整特点及原因分析[J].人民黄河,2009,31(6):50-52. (ZHENG Yanshuang, ZHANG Xiaohua, SHANG Hongxia. Characteristics and causes of recent adjustment in Ningxia-Inner Mongolia reach of the Yellow River[J]. Yellow River, 2009, 31(6): 50-52. (in Chinese))
- [4] 刘兰英,李庆和,李海株.黄河内蒙古段产生“地上悬河”成因分析及治理措施[J].内蒙古水利,2012(2):106-107. (LIU Lanying, LI Qinghe, LI Haizhu. Cause analysis and control measures of suspended reach in Inner Mongolia of the Yellow River[J]. Inner Mongolia Water Resources, 2012(2): 106-107. (in Chinese))
- [5] 魏常兴,刘海龄,黄鼎成,等.黄河悬河的形成演化研究[J].水文地质工程地质,2002,29(1):42-45. (WEI Changxing, LIU Hailing, HUANG Dingcheng, et al. Study on the formation and evolution of the suspended river of the Yellow River[J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2002, 29(1): 42-45. (in Chinese))
- [6] 周宏春,哈承祐.试论悬河补给:悬河的类型及其成因[J].水文地质工程地质,1993,20(6):20-23. (ZHOU Hongchun, HA Chengyou. Types of suspended rivers and their formation conditions[J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 1993, 20(6): 20-23. (in Chinese))
- [7] 杨根生,拓万全,戴丰年,等.风沙对黄河内蒙古河段河道泥沙淤积的影响[J].中国沙漠,2003,23(2):152-159. (YANG Gensheng, TUO Wanquan, DAI Fengnian, et al. Contribution of sand sources to the silting of riverbed in Inner Mongolia section of Huanghe River[J]. Journal of Desert Research, 2003, 23(2): 152-159. (in Chinese))
- [8] 杨根生,拓万全.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):44-49. (YANG Gensheng, TUO Wanquan. The effect of wind-blown sand on sediment deposition in the channel for Inner Mongolia reach of Yellow River[J]. Northwest Water Power, 2004(3): 44-49. (in Chinese))
- [9] 李学春,杨峰,李瑞.黄河内蒙古段不同流量过程输沙效率分析[J].人民黄河,2015,37(11):8-10. (LI Xuechun, YANG Feng, LI Rui. Analysis on sediment transport efficiency of various discharge courses in Inner Mongolia reach of the Yellow River[J]. Yellow River, 2015, 37(11): 8-10. (in Chinese))

- [10] 李学春, 杨峰, 李瑞. 黄河内蒙古段不同粒径泥沙输移能力变化分析[J]. 人民黄河, 2015, 37(12): 9-11, 15. (LI Xuechun, YANG Feng, LI Rui. Variation of sediment carrying capacity of various particle sizes in Inner Mongolia reach of the Yellow River[J]. Yellow River, 2015, 37(12): 9-11, 15. (in Chinese))
- [11] 李婷, 侯素珍, 王平. 黄河内蒙古河段来沙组成对河道淤积影响研究[J]. 泥沙研究, 2013(4): 41-49. (LI Ting, HOU Suzhen, WANG Ping. Impact of incoming sediment grain sizes on channel sedimentation in Inner Mongolia Reach of Upper Yellow River[J]. Journal of Sediment Research, 2013(4): 41-49. (in Chinese))
- [12] 李子文, 秦毅, 陈星星, 等. 2012年洪水对黄河内蒙古段冲淤影响[J]. 水科学进展, 2016, 27(5): 687-695. (LI Ziwen, QIN Yi, CHEN Xingxing, et al. Effects of the coarse sediment movement in the flood on Inner Mongolia Reach of Yellow River in 2012[J]. Advances in Water Science, 2016, 27(5): 687-695. (in Chinese))
- [13] 秦毅, 李子文, 刘强, 等. 黄河内蒙段泥沙组成与力学运动特征[J]. 水利水运工程学报, 2017(3): 16-24. (QIN Yi, LI Ziwen, LIU Qiang, et al. Sediment fraction and its mechanic movement characteristics in Inner Mongolia reach of Yellow River[J]. Hydro-Science and Engineering, 2017(3): 16-24. (in Chinese))
- [14] 安催花, 鲁俊, 钱裕, 等. 黄河宁蒙河段冲淤时空分布特征与淤积原因[J]. 水利学报, 2018, 49(2): 195-206, 215. (AN Cuihua, LU Jun, QIAN Yu, et al. Spatial-temporal distribution characteristic and course of sedimentation in the Ningxia-Inner Mongolia reaches of the Yellow River[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2018, 49(2): 195-206, 215. (in Chinese))
- [15] 张红武, 方红卫, 钟德钰, 等. 宁蒙黄河治理对策[J]. 水利水电技术, 2020, 51(2): 1-25. (ZHANG Hongwu, FANG Hongwei, ZHONG Deyu, et al. Control measurements in Ningmeng reach of the Yellow River[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2020, 51(2): 1-25. (in Chinese))
- [16] 颜明, 王随继, 闫霞霞, 等. 近三十年黄河上游冲积河段的河道平面形态变化分析[J]. 干旱区资源与环境, 2013, 27(3): 74-79. (YAN Ming, WANG Suiji, YAN Yunxia, et al. Planar changes of upper alluvial reaches of the Yellow River in recent thirty years[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2013, 27(3): 74-79. (in Chinese))
- [17] 林秀芝, 郭彦, 侯素珍. 内蒙古十大孔兑输沙量估算[J]. 泥沙研究, 2014(2): 15-20. (LIN Xiuzhi, GUO Yan, HOU Suzhen. Estimation of sediment discharge of ten tributaries of Yellow River in Inner-Mongolia[J]. Journal of Sediment Research, 2014(2): 15-20. (in Chinese))
- [18] 张晓华, 郑艳爽, 孙赞盈, 等. 基于龙刘水库的上游库群调控方式优化研究[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2015: 60 (ZHANG Xiaohua, ZHENG Yanshuang, SUN Zanying, et al. Study on optimization of regulation mode of upstream reservoir group based on Longyangxia and Liujiaxia reservoirs[M]. Zhengzhou: Yellow River Water Conservancy Press, 2015: 60. (in Chinese))
- [19] 王敏, 张学成, 张新海. 黄河流域地表水耗损量变化特点[J]. 人民黄河, 2011, 33(11): 50-51. (WANG Min, ZHANG Xuecheng, ZHANG Xinhai. Characteristics of surface water consumption variation in the Yellow River Basin[J]. Yellow River, 2011, 33(11): 50-51. (in Chinese))
- [20] 刘晓燕, 侯素珍, 常温花. 黄河内蒙古河段主槽萎缩原因和对策[J]. 水利学报, 2009, 40(9): 1048-1054. (LIU Xiaoyan, HOU Suzhen, CHANG Wenhua. Cause of main channel shrinkage occurred to the Inner-Mongolia reaches of Yellow River[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2009, 40(9): 1048-1054. (in Chinese))
- [21] 罗秋实, 周丽艳, 张厚军, 等. 支流来水来沙对黄河宁蒙河段冲淤的影响[J]. 人民黄河, 2011, 33(11): 29-31, 34. (LUO Qiushi, ZHOU Liyan, ZHANG Houjun, et al. Influence of incoming flow and sediment from tributaries to the scour and fill of Ning-Mong reach of the Yellow River[J]. Yellow River, 2011, 33(11): 29-31, 34. (in Chinese))

Sedimentation characteristics of the reach from Bayangaole to Toudaoguai of the Yellow River

ZHANG Xiaohua^{1,2}, ZHENG Yanshuang^{1,2}, SHANG Hongxia^{1,2}, FENG Qing¹

(1. *Yellow River Institute of Hydraulic Research, YRCC, Zhengzhou 450003, China*; 2. *Research Center of YB Conservation and Development, YRCC, Zhengzhou 450003, China*)

Abstract: The analysis shows the various sand sources and characteristics of sedimentation in the reach from Bayangaole to Toudaoguai part of Ningmeng reaches of the Yellow River: for a long time (1952—2012), the proportion of fine sands (sediment diameter $d \leq 0.025$ mm) of the in-coming sediment is 52.7%, which is dominant. The fine and medium sands ($0.025 < d \leq 0.050$ mm) and coarse sands ($0.050 < d \leq 0.100$ mm) all come from the upper reaches of Bayangaole. The proportion of extra coarse sands ($d > 0.100$ mm) in deposition is 56.2%, which is dominant. And the extra coarse sands come from the upper reaches of Bayangaole, tributaries and aeolian sand evenly. The erosion and deposition law of various grain sands is: the erosion and deposition of the fine and medium and coarse sands occur due to flow and sediment conditions, and the extra coarse sands deposit continuously. Therefore, the adjustment characteristics of various grain sands are quite different in each period. In the flood season, the extra coarse sands are the largest part in deposition before 1986, the fine and medium sands are eroded before 1986 and deposit after 1986, and the fine sands are the largest part of deposition. In non-flood season, all the sands are eroded before 1986 and deposit after 1986 mainly due to the fact that fine and medium sands are eroded before 1986 and deposit after 1986, and the deposition of coarse sands increases. The preliminary analysis shows that the sediment erosion and deposition adjustment in the reach from Bayangaole to Toudaoguai in each period depends on the runoff and sediment of the mainstream and flow processes, and is also affected by tributary sand volume. The research results provide a basic support for the control of the suspended river in Ningmeng reaches of the Yellow River.

Key words: Ningxia-Inner Mongolia reaches (Ningmeng reaches) of the Yellow River; various grain sands; sedimentation characteristics; source of sand