

文章编号:0559-9350(2010)08-0921-06

## 黄河下游驼峰河段的形成机理

陈建国<sup>1,2</sup>, 周文浩<sup>3</sup>, 孙 平<sup>3</sup>

(1. 武汉大学 水资源与水电工程科学国家重点试验室, 湖北 武汉 430072; 2. 国际泥沙研究培训中心, 北京 100048;  
3. 中国水利水电科学研究院 水利部泥沙科学与江河治理重点实验室, 北京 100048)

**摘要:**黄河下游东坝头至艾山河段, 河道泄洪能力小于其上下游河道, 被称为“驼峰”河段, 其峰顶在高村—孙口一带。本文分析了“驼峰”河段的特点、形成的历史背景、地理环境以及泥沙运动的模式; 指出了今后一段时间内“驼峰”河段的淤积及向下游延伸的不可避免性; 并提出了机械挖泥与人工放淤相结合, 加固大堤和滩区治理相结合的治理对策。

**关键词:**驼峰河段; 次生冲积扇; 机械挖泥; 加固堤防

**中图分类号:**TV143

**文献标识码:**A

多年来, 黄河下游东坝头—艾山河段, 河道过洪能力比其上下河段小, 其中高村—艾山河段更为突出。2002年小浪底水库第一次调水调沙期间, 水库下泄流量一般在 $2\,500 \sim 3\,000\text{m}^3/\text{s}$ 之间, 最大流量 $3\,800\text{m}^3/\text{s}$ , 夹河滩—艾山之间二滩上水, 高村附近在 $1\,800\text{m}^3/\text{s}$ 时即出现漫滩。2007年汛期, 孙口、艾山两站的泄流能力(平滩流量)分别为 $3\,650\text{m}^3/\text{s}$ 和 $3\,800\text{m}^3/\text{s}$ , 而其上游的花园口、夹河滩两站分别为 $5\,800\text{m}^3/\text{s}$ 和 $5\,400\text{m}^3/\text{s}$ , 其下游的冻口、利津两站则为 $4\,000\text{m}^3/\text{s}$ 。所以, 东坝头—艾山河段被称为黄河下游的“驼峰”河段(图1), 高村—孙口河段则是这一河段的“顶峰”。河道治理必须适应治理河段河床演变的特点。高村—孙口全长134km, 上距花园口水文站185km, 下距利津站345km。为何河道会在这里形成“驼峰”, 在河床演变上有何特点, 其发展趋向如何, 则是在整治这一河段前必须理清的问题。

## 1 “驼峰”河段的特点

黄河下游河道如图1所示。

东坝头—艾山河段, 其泥沙运动及河床演变具有下列四方面特点。

(1)河道处于淤积状态时是黄河下游河道拦滞泥沙的集中河段。以黄河下游河道尚处于自然状态下的情况为例(表1), 东坝头—陶城埠河道长度210km, 占下游河道总长的28.4%, 淤积泥沙18.2亿t(夹河滩—艾山), 占下游总淤积量的57.8%, 特别是夹河滩—高村河段, 单位里程的淤积量达0.104亿t/km, 比其上下河段都大。

20世纪60—90年代, 虽然出现三门峡水库及生产堤等人类活动的影响<sup>[2-3]</sup>, 但“驼峰”河段的淤积滞沙作用仍较明显, 遇到高含沙洪水时, 情况也大体相似(表2)。

(2)河道处于冲刷状态时冲刷量或冲刷强度都比较小。20世纪60年代以来, 黄河下游经历了3次全河性的冲刷, 相应的沿程年平均冲淤量列于表3, 可见, 由于水流含沙量在上游河段的恢复, 夹河滩—艾山间的冲刷强度(单位长度冲刷量)都急剧下降, 在1980年11月至1985年10月期间, 高村—艾山之间还出现了淤积。

收稿日期: 2009-07-14

基金项目: 国家杰出青年科学基金项目(50725930); 中国水科院科研专项(泥集0920); 水利部公益性行业专项(200901014)

作者简介: 陈建国(1962-), 男, 内蒙古呼和浩特人, 教授级高级工程师, 主要从事河流泥沙研究。E-mail: chenjg@iwhr.com

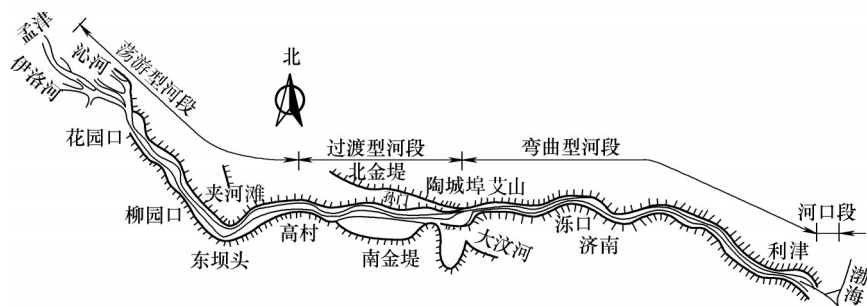


图1 黄河下游河道

表1 黄河下游河道面积及1953(54)—1960年河道冲淤量<sup>[1]</sup>

河段	长度 /km	主槽面积/ km <sup>2</sup>	滩地面积/ km <sup>2</sup>	全河道 /km <sup>2</sup>	河段	长度 /km	冲淤量 /亿 t	单位河长 冲淤量 /(亿 t·km <sup>-1</sup> )
孟津—郑州铁桥	91	127.2	556.5	683.7	铁谢—花园口	102	+6.40	+0.063
郑州铁桥—东坝头	120	173.0	983.4	1156.4	花园口—夹河滩	106	+5.80	+0.055
东坝头—高村	64	83.2	590.3	673.5	夹河滩—高村	79	+8.20*	+0.104
高村—陶城埠	146	106.6	639.8	746.5	高村—艾山	197	+10.00*	+0.051
陶城埠—前左	318	206.7	684.0	890.7	艾山—利津	282	+1.10*	+0.004
合计	739	696.7	3454	4150.7	合计	766	31.5	

原注：冲淤量系根据地形图及大断面资料算得；\*系1954—1960年冲淤量，其余为1953～1960年冲淤量；“+”为淤积。

表2 黄河下游河道平均冲淤量的沿程分布<sup>[4]</sup>

时段	花园口以上	花园口—夹河滩	夹河滩—高村	高村—艾山	艾山—利津
1964.11—1973.10					
淤积总量/亿 t	0.95	1.08	0.94	0.74	0.68
淤积强度/(亿 t·km <sup>-1</sup> )	0.01	0.01	0.012	0.004	0.002
1973.11—1980.10					
淤积总量/亿 t	-0.22	0.34	0.53	0.70	0.46
淤积强度/(亿 t·km <sup>-1</sup> )	-0.002	0.003	0.007	0.004	0.002
1985.10—1999.10					
淤积总量/亿 t	0.42	0.66	0.51	0.36	0.28
淤积强度/(亿 t·km <sup>-1</sup> )	0.004	0.006	0.007	0.002	0.001
1977.7.6—7.13 <sup>*</sup>					
淤积总量/亿 t	1.55	0.59	1.48	0.56	0.13
淤积强度/(亿 t·km <sup>-1</sup> )	0.015	0.006	0.019	0.003	0.001
1977.8.7—8.10 <sup>*</sup>					
淤积总量/亿 t	1.58	1.73	0.93	0.62	0.26
淤积强度/(亿 t·km <sup>-1</sup> )	0.015	0.016	0.011	0.003	0.001

注：“-”为冲刷，“\*”为高含沙洪水淤积量。

(3)同流量下水位在河道淤积状态下上升幅度较大，在冲刷情况下则下降的幅度较小。不同时期各站同流量下年平均水位变化如表4所示。从表4可见：①1952年7月至1960年7月，河段处于淤积状态，苏泗庄、孙口两站3 000m<sup>3</sup>/s时水位抬升达0.22m/a；②1985年至1997年间，下游河道淤积萎缩，苏泗庄一带水位抬高也比较多；③小浪底水库蓄水运用后，下游河道普遍冲刷，1999年汛初至2006年汛初，苏泗庄一带平均水位下降仅0.09m/a，比其上游河段明显减少。

(4)河道泄洪能力比上下河段低。如表5所示，20世纪70年代以后，黄河下游位于驼峰河段的高村、孙口等站的平滩流量比其上下各站要小。在小浪底水库运用以后，下游河道泄洪能力虽普遍增大，但高村、孙口、艾山等站的平滩流量仍比其上下河段小。

表3 黄河下游河道在冲刷状态下年平均冲淤量沿程分布<sup>[4][5]</sup>

时段		花园口以上	花园口—夹河滩	夹河滩—高村	高村—艾山	艾山—利津
1960.10—1964.10 (三门峡水库蓄水拦沙)	总量/亿t	-1.90	-1.47	-0.84	-1.25	-0.32
	淤积强度 /(亿t·km <sup>-1</sup> )	-0.019	-0.014	-0.011	-0.006	-0.001
1999.10—2006.10 (小浪底水库初期运用)	总量/亿t	-3.94	-4.51	-1.26	-1.12	-1.63
	淤积强度 /(亿t·km <sup>-1</sup> )	-0.039	-0.043	-0.016	-0.006	-0.006
1980.11—1985.10 (天然有利来水来沙)	总量/亿t	-0.37	-0.44	-0.38	0.46	-0.33
	淤积强度 /(亿t·km <sup>-1</sup> )	-0.004	-0.004	-0.005	0.002	-0.001

注：“-”为冲刷。

表4 不同时期各站同流量下年平均水位变化 (单位：m/a)

时段	花园口	夹河滩	高村	苏酒庄	孙口	艾山	冻口	利津
1952.7—1969.7(3000m <sup>3</sup> /s)	0.02	0.13	0.14	0.22	0.22	-0.01	-0.01	-0.02
1985 汛末—1999 年汛末(3000m <sup>3</sup> /s) <sup>[2]</sup>	0.10	0.12	0.12	0.15	0.13	0.14	0.15	0.12
1999 年汛初—2006 年汛初(2000m <sup>3</sup> /s) <sup>[4]</sup>	-0.20	-0.16	-0.18	-0.09	-0.12	-0.12	-0.12	-0.12

表5 黄河下游典型年份平滩流量<sup>[4-6]</sup> (单位：m<sup>3</sup>/s)

年份	花园口	夹河滩	高村	孙口	艾山	冻口	利津
1964 年汛后	9 000	11 500	11 000	8 500	8 400	8 600	8 500
1973 年汛前	3 500	3 200	3 500	3 700	3 300	3 100	3 300
1980 年汛前	4 400	5 300	4 300	4 700	5 500	4 400	4 700
1997 年汛前	3 900	3 800	3 000	3 100	3 100	3 200	3 400
2003 年汛初	3 800	2 900	2 400	2 080	2 710	3 100	3 150
2007 年汛初	5 800	5 400	4 700	3 650	3 800	4 000	4 000

2 驼峰河段的历史背景和地理环境

**2.1 明清故道** 现今的黄河下游河道是在“明清故道”的基础上演变过来的。明朝初年，黄河经河南荥泽、原武、开封，江苏宿迁南流入淮。明孝宗弘治八年(1495年)，刘大夏在北岸修建太行堤，明庆隆六年(1572年)南岸续筑旧堤，黄河归为一槽，由开封、兰阳、下徐州、邳县入淮，直至1855年铜瓦厢决口为止。此水道称为“明清故道”，维持了280余年。从明初算起，大约已有600余年的历史。北岸原阳、封丘大堤，明弘治三年(1490年)建成，迄今500多年的历史。南岸开封上下河段，明开顺以前就有堤防，明嘉靖二十五年(1546年)以后，“南岸续建旧堤，绝南射之路”，迄今也有450余年。

**2.2 铜瓦厢决口和近代河道的形成** 1855年铜瓦厢决口结束了黄河南流入淮的历史。

铜瓦厢为抗衡大溜的险工段，明清故道在此急转东南，临背差一般6~8m，最大达16m<sup>[7]</sup>，形势险恶。清咸丰五年(1855年)6月15日—17日，水位骤涨，堤根淘刷，堤防“下卸”，19日决口，20日全行夺溜，黄河结束了南流入淮的历史。

铜瓦厢决口之初，水流淹及封丘、祥符、濮阳、范县、寿张、东阿、张秋镇，所到之处，黄水漫流，泥沙落淤，正流无定，逐渐形成以口门为顶点的次生冲积扇。黄水过张秋以后，夺大清河由利津入渤海。同治三年(1864年)，在口门以下河南境内在民埝的基础上修建堤防，两堤间平面外形仍保持着冲积扇的外形。山东堤防也是在民埝的基础上修建起来的，也保持着原大清河外形多变的特点。1885年正式筑堤，1893年基本完成。扣除1938—1947年扒口改道的时段，铜瓦厢以下河道已有140余年历史。如表6所示，铜瓦厢口门、高村、孙口一带，河底平均高程的抬升幅度和速度都比较高，反映了次生冲积扇发育的大体轮廓。

表6 1855—1960年黄河下游各水文站河底平均高程抬升值及其速度

站名	花园口	夹河滩	铜瓦厢口门	高村	孙口	艾山	涑口	利津
距铁谢距离/km	132	230	252	309	430	490	592	764
河底平均高程抬升值/m	1.03	4.82	7.21	10.18	7.46	6.64	8.74	6.46
抬升速度/(m/a)	0.009 8	0.045 9	0.068 7	0.097	0.071	0.063 2	0.083 2	0.061 5

**2.3 驼峰河段的地理环境** 铜瓦厢决口，黄河下游河道纵剖面遭遇一次大调整。东坝头以上河段出现了溯源冲刷，至1875年，口门处冲深约6m，冲刷发展到铁谢附近；口门以下，原来比较平缓的洼地则承受了强烈的泥沙堆积。1855—1875年，东坝头至高村淤高2~3m，高村—陶城埠之间淤高0.5~1m<sup>[6]</sup>。经过100余年的塑造，黄河下游河道纵剖面在宏观上已形成了一条平滑的下凹形曲线。花园口—东坝头的河床比降为1.9‰，东坝头—苏酒庄比降为1.7‰，苏酒庄—孙口比降为0.98‰，孙口—洛口回升至1.34‰；洛口—杨房为0.64‰，杨房—利津增大为1.12‰<sup>[8]</sup>。东坝头—孙口处于从上段的较陡比降，向下段的较平缓比降过渡的河段。水流挟沙力逐渐降低，为河道较强的持续堆积提供了良好的地理环境。另一方面，东坝头—艾山上距黄河出峡谷200余km，下距黄河入海口近400km，来自中上游的有利水沙条件或清水，经过长距离的冲刷，含沙量恢复，对本河段冲刷的影响大大降低，而河口疏浚、变迁，对本河段的影响也不显著，这些也为“驼峰”河段的发育创造了条件。

### 3 次生冲积扇的发展

“驼峰”河段冲淤发展实质上是铜瓦厢决口以后形成的次生冲积扇发展过程。对比表6和表7可见，1855—1960年间，河段内抬升最多，速度最快的是高村站；1960—1999年则位于孙口站。1998—2007年小浪底水库下泄清水引起的河道冲刷和冲刷速度最小的也在孙口站，可见，目前冲积扇的顶点已从20世纪60年代的高村附近下延到孙口一带。

表7 1960—1999年及1998—2007年黄河下游各水文站水位(高程)变化

站名	花园口	夹河滩	高村	孙口	艾山	涑口	利津
1960—1999	河底高程抬升值/m	1.1	0.44	1.38	2.15	1.39	3.53
	抬升速度/(m/a)	0.0282	0.0113	0.0354	0.0550	0.0355	0.0905
1998—2007	3000m <sup>3</sup> /s水位抬升值/m	-1.27	-1.64	-0.90	-0.40	-0.43	-0.53
	抬升速度/(m/a)	-0.141	-0.182	-0.10	-0.044	-0.048	-0.059

注：“-”为下降值。

次生冲积扇的发展可以各时段3 000m<sup>3</sup>/s水位的变化来表示(图2)。1964—1969年，从花园口、夹河滩一带起，3 000m<sup>3</sup>/s的水位差逐渐增加，到高村站达到最大值1.3m，高村以下逐渐减少，到孙口仅0.4m。这反映了这一时期次生冲积扇表面淤积物纵向形态为三角形椎体，顶点在高村附近(图2(a))。1969—1973年，在冲积扇顶坡普遍抬高1m的基础上，表面淤积物呈半梭形分布，其顶点下移至孙口一带，其前缘则深入到艾山以下(图2(b))。

1973—1980年，在夹河滩—孙口间，次生冲积扇表面又出现了一个新的半梭形淤积体，其顶点在高村以下(图2(c))。1980—1985年，虽然河床发生了普遍冲刷，但其表面仍呈半梭形，孙口附近，冲刷厚度最小(图2(d))。

由此可以看出，铜瓦厢决口至今虽已150余年，但决口初期形成的次生冲积扇仍在缓慢发育，其大致的模式是：在冲积扇发育过程中，其顶坡表面的泥沙常呈半梭形或三角洲形的淤积体运动，淤积体的大小、形状、运动速度随来水来沙而各不相同。每次新的淤积体的形成与自上而下的移动，冲积扇的顶坡也相应淤高，顶点和前坡下延。在冲积扇和淤积体的顶点附近，常出现水位的异常抬高，平滩流量降低。目前冲积扇的顶点在孙口、艾山一带，前坡的边缘已伸向艾山以下河段。伸向

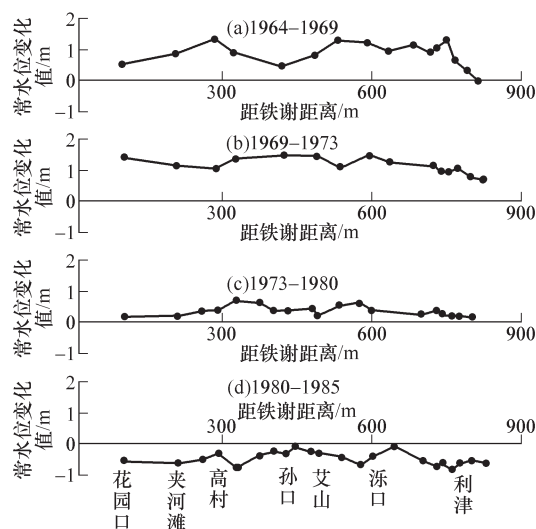


图2 1964—1985年不同时段3 000m<sup>3</sup>/s水位差沿程变化

艾山以下的冲积扇，与河口的影响相遇，使冻口河段的河床也有异常的抬高。

据分析<sup>[9]</sup>，目前黄河下游东坝头以下河道总体上比铜瓦厢决口前的明清故道还低一些，东坝头—孙口河段相对低1.5~2.0m，可以预期今后驼峰河段仍将继续调整抬高。

#### 4 “驼峰”河段的治理

“驼峰”河段大部分位于严重的“二级悬河”河段，河道泄洪能力减少和洪水位抬高，更使“二级悬河”雪上加霜。驼峰河段必须治理。总结历史经验，处理黄河泥沙的措施有“拦、排、放、调、挖”。但具体到“驼峰”河段，对这些措施的应用尚需分析。

发展水利、水保，特别是干支流兴建大型水利工程，是减少来沙的重要途径，但周期较长，难以期望在短期内解决本河段的泥沙问题。排的内涵是增加排沙入海的数量，其关键是增加来水量和扩大河道的过水能力。然而，由于流域内国民经济的发展，短期大幅度增加下游来水量的可能性不大。放是通过两岸堤外放淤，以减少流经河道的泥沙量。经过几十年的放淤，可供放淤的洼地已为数不多。小浪底水库初期运用已多年，在冲刷下游河道中已发挥了重要作用。由于下游河床粗化，水流挟沙和冲刷河床的能力已有减弱的迹象，加上生产堤(滩区)安全的要求，使增强小浪底水库的调控作用受到了限制。另一方面，“驼峰”河段位于东坝头以下，水库下泄清水对“驼峰”河段冲刷的影响必然减弱。利用机械手段，疏浚河道，挖出的泥沙用于滩区治理和固堤，在黄河下游效果显著，看来是目前条件下治理驼峰河段的较佳选择。先在浅滩或两河湾之间的过渡段挖泥，以增加河段的过流及输沙能力，小浪底水库水沙调控运用，长期维持挖出的河槽。机械挖泥应与人工放淤相结合，挖出的泥沙首先用于垫塞堤河、串沟，以杜绝洪水冲刷堤防的危险。堤防加固与滩区治理相结合，在堤河淤高，生态环境得到改善以后，可以有计划地转移部分滩区居民，在腾出来的空间里则继续实施有计划的机械和人工放淤，垫高地面。如此长期坚持，“二级悬河”的险恶形势也可适当减缓。

#### 5 结论

黄河下游东坝头—高村河段，泄洪能力低，称为“驼峰”河段。高村—孙口则为这一河段的“顶峰”。“驼峰”河段的历史背景和基础是1855年铜瓦厢决口之后在口门以下形成的次生冲积扇，在地理部位上是河道纵比降由上段的1.9‰左右，向下段的1‰左右的过渡河段，强烈堆积不可避



免。至今虽经 150 余年的调整,河段的纵比降还未达到平衡状态。今后一段时间内“驼峰”河段的特性仍难改变。

在次生冲积扇发展过程中,其顶坡表面通常出现半梭形或三角形的淤积体运动,并伴随有冲积扇顶坡的抬高及前坡的下延,在其顶点附近,通常出现水位的异常抬高和泄流能力的明显降低。

从当前处理黄河泥沙的经验来看,驼峰河段治理方案的较佳选择是机械挖泥。先在浅滩或两湾之间的过渡段进行,然后借助小浪底水库水沙调度运用,长期维持挖出的河槽。机械挖泥必须与人工放淤相结合,以加固堤防和治理滩区。黄河下游已累计了丰富的机械挖泥放淤的经验,作好规划,抓紧实施,“驼峰”河段的治理是可以实现的。

## 参 考 文 献:

- [ 1 ] 黄委会规划设计院,水利科学研究所.黄河下游河道的基本情况(油印本)[R].郑州:黄委会规划设计院,水利科学研究所,1978.
- [ 2 ] 胡春宏,郭庆超,陈建国.塑造和维持黄河下游中水河槽措施研究[J].水利学报,2006,37(4):381-388.
- [ 3 ] 胡春宏,陈绪坚,陈建国.黄河干流泥沙空间优化配置研究[J].水利学报,2010,41(3):253-263.
- [ 4 ] 潘贤娣,等.三门峡水库修建后黄河下游河床演变[M].郑州:黄河水利出版社,2006.
- [ 5 ] 黄河水利科学研究院.年度咨询及跟踪报告(2006~2007)[R].郑州:黄河水利科学研究院,2007.
- [ 6 ] 黄河水利科学研究院,小浪底水库拦沙初期运用分析评估报告[R].郑州:黄河水利科学研究院.2007.
- [ 7 ] 黄委会黄河志编辑室.河南黄河志[Z].郑州:黄委会黄河志编辑室,1986.
- [ 8 ] 叶青超,陆中臣,等.黄河下游河流地貌[M].北京:科学出版社,1990.
- [ 9 ] 张仁,谢树楠.废黄河的淤积形态和黄河下游持续淤积的原因[J].泥沙研究,1983(3):1-10.

## On the formation mechanism of hump reach of the Lower Yellow River

CHEN Jian-guo<sup>1,2</sup>, ZHOU Wen-hao<sup>3</sup>, SUN Ping<sup>3</sup>

(1. Wuhan University, Wuhan 430072, China;

2. International Research and Training Center on Erosion and Sedimentation, Beijing 100048, China;

3. China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100048, China)

**Abstract:** The river reach between Dongbatou and Aishan stations of the Lower Yellow River is named the hump reach. Its flood conveying capacity is lower than other reaches in the upper and lower reaches of the river. The formation of the hump reach was resulted from the special historical background and geographical position. It locats at a sub-alluvial fan, which was formed after a serious dam break in 1855 and lies in the transitional area from the larger channel slope of the upper reach to the smaller slope of the lower reach. All of these provide a favorable condition for developing the hump reach. The further evolution of the sub-alluvial fan could be still expectable in the near future. Therefore, the hump reach must be rectified for the needs of flood prevention. The measure of mechanical dredge may be more suitable for this reach. The dredge should be combined with embankment strengthening and improvement of eco-environment of the floodplains.

**Key words:** hump reach; sub-alluvial fan; mechanical dredge; embankment strengthening

(责任编辑:李福田)