

# 黄河现行清水沟流路汉河运用方案探讨

王开荣<sup>1,2</sup>, 凡姚申<sup>1,2</sup>, 韩沙沙<sup>3</sup>, 杜小康<sup>1,2</sup>

(1. 黄河水利委员会 黄河水利科学研究院, 河南 郑州 450003; 2. 水利部 黄河泥沙重点实验室, 河南 郑州 450003; 3. 武汉大学 水资源与水电工程科学国家重点实验室, 湖北 武汉 430072)

**摘要:** 对黄河河口现行清水沟流路范围内不同汉河的形成、演化及其特征进行了梳理总结, 围绕汉河不同运用方案的影响效应进行了论证分析。研究表明: 现行清水沟流路范围内的汉河运用方案不适用于多汉河轮流行河模式、同时行河与轮流行河联合模式和同时行河模式, 而采用单一汉河轮流行河模式可以充分发挥海洋输沙动力, 保证河口海域向外海的较大输沙量, 对延长清水沟流路使用年限更有利, 更为科学和经济合理。在现行清 8 汉河达到改道标准后, 应优先使用老河道汉河, 该方案不仅有利于未来海岸线的均衡发展, 而且更有利于延长清水沟流路的使用年限。

**关键词:** 河口; 流路; 汉河; 运用方案; 黄河

中图分类号: TV148

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2020)10-0091-10

DOI: 10.11759/hyxx20191224001

作为三角洲系统的重要组成部分, 河口入海流路和汉河是河流向三角洲提供陆源物质补给的直接通道, 组成了三角洲的基本骨架, 其变动过程直接影响着三角洲地貌的冲淤演变, 是三角洲综合治理的关键<sup>[1]</sup>。长期以来, 黄河河口具有输沙量大、淤积快速、改道频繁等显著特点<sup>[2-4]</sup>, 其流路变迁和稳定一直是河口海岸研究的重点和河口综合治理的焦点。

黄河河口入海流路在很多情况下并非完全呈单股行水格局入海, 在某些特殊时期, 往往会出现多条汉河入海的行水格局。最为典型的当属 1953 年人工并汉形成神仙沟流路之前, 河口尾闾河段所存在着甜水沟、宋春荣沟、神仙沟三汉河并存的行水格局<sup>[5]</sup>; 1953 年以后, 受尾闾流路自然出汉的影响, 神仙沟流路时期的 1960 年 8 月、1963 年 7 月和刁口河流路时期的 1972 年 7 月、1972 年 9 月、1974 年 8 月、1974 年 10 月所发生的出汉摆动, 均出现了持续时间不等、长度各异的多条汉河<sup>[6-8]</sup>。1976 年改道清水沟流路以来, 受流路演变以及人类活动干预的影响<sup>[9-12]</sup>, 在流路的不同区域位置亦形成了类型各异、长度不等的多条汉河, 在这些汉河中, 伴随着河口入海流路规划及其治理研究和实践的发展, 有部分规模相对较大的汉河被认为具有运用价值而备受世人关注, 其中主要包括北股汉河、北汉河(含北汉 1 和北汉 2)、1996 年前行水的老河道(以下简称“老河道汉河”)

和现行的清 8 汉河流路等 4 条汉河。目前, 这些汉河的存在既为黄河三角洲地区局部区域实施水沙调控及生态系统的改善与维系提供了行水空间, 同时也带来了事关今后河口综合治理进程的核心和关键问题, 即: 如何制订更为科学、合理的汉河运用方案, 既能切实保障河口地区的防洪防凌安全, 又能充分和科学利用这些汉河尽量延长流路的使用年限, 从而满足河口三角洲地区社会经济持续稳定发展的需求。本文即围绕这一问题开展如下分析。

## 1 汉河的形成、演化及其特征

目前, 清水沟流路范围内的汉河分布情况见图 1。图 1 显示: 现有 4 条汉河, 由北至南依次为北股汉河、北汉河、现行清 8 汉河、老河道汉河, 4 条汉河均位于入海流路的左岸, 各汉河的形成演化过程及其现状特征如下所述。

### 1.1 北股汉河

北股汉河的形成与清水沟流路改道初期的河势

收稿日期: 2019-12-24; 修回日期: 2020-03-21

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFC0405502); 国家自然科学基金项目(51779183)

[Foundation: National Key Research and Development Program of China, No. 2017YFC0405502; National Natural Science Foundation of China, No. 51779183]

作者简介: 王开荣(1963-), 男, 山东泰安人, 高级工程师(教授级), 主要从事河流动力学及河口海岸治理方面的研究, E-mail: kairongw@163.com

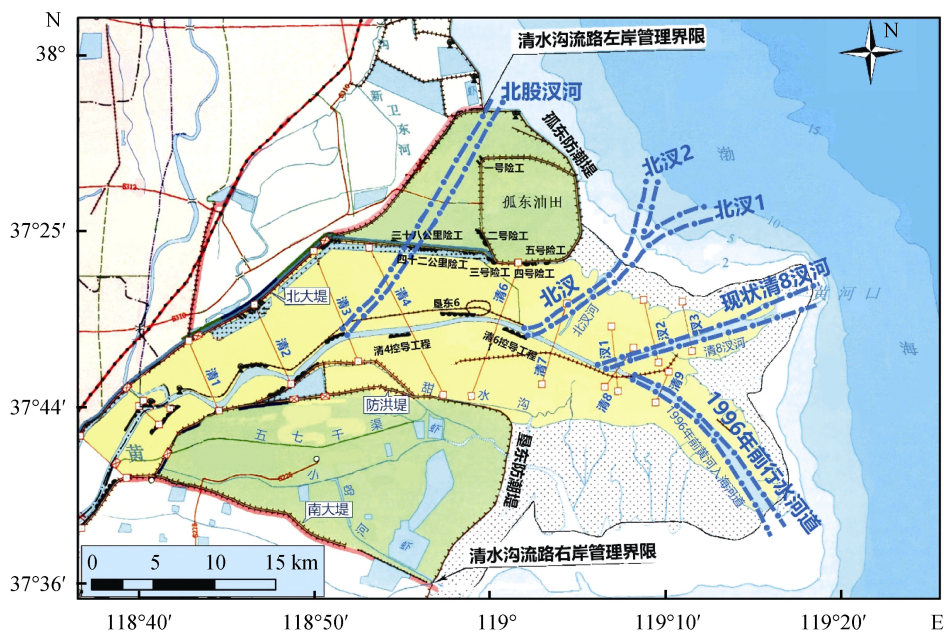


图1 清水沟流路范围内汉河分布情况示意图  
Fig.1 Distribution of branching rivers in the Qingshuigou channel

变化密切相关。清水沟流路改道初期的1976年5月至1979年5月，入海河道漫流入海，河无成形，其河道主流在清3以上顺南防洪堤流向东偏北方向，清4断面以下河道在流路的北半部，即现在的孤东油田一带变动。1979年汛期大洪水期间，清4断面以下河道向南摆动，河口口门也随之向南迁移至甜水沟

故道大汶流堡正东5 km处，迁移距离达23 km。此后，下段河道的南半部基本稳定下来，变动河段仅限于河口口门附近，见图2。也正是基于清水沟流路初期这一河势演变的突变过程，北股汉河被纳入1989年的《黄河入海流路规划报告》<sup>[13]</sup>，1992年10月，国家计委批复同意该规划报告。

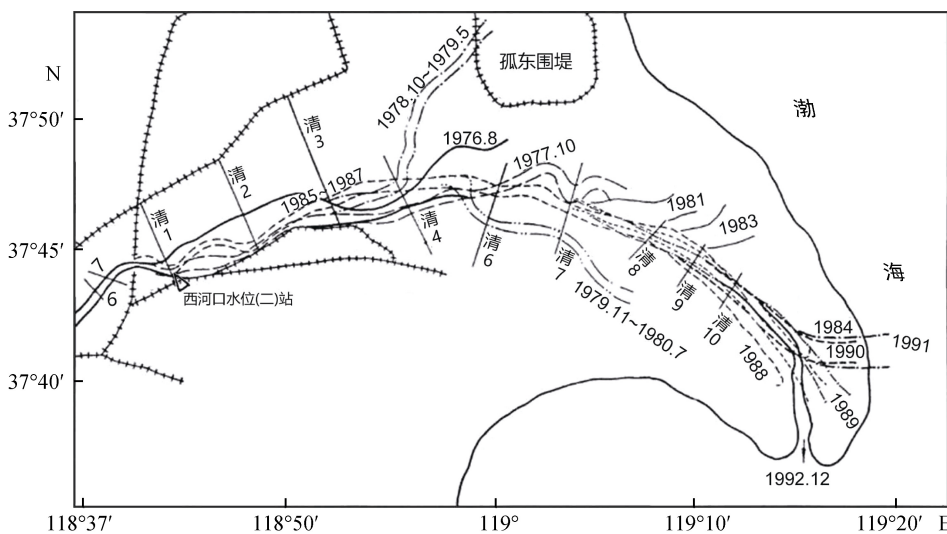


图2 清水沟流路尾闾河段河势变化图  
Fig.2 River regime change of the Qingshuigou channel

## 1.2 北汉河

1986年6月，东营滨海油田为了分流分沙淤积孤东油田以东海域，减轻海潮对孤东围堤的威胁，在清

7断面左岸以下500 m处开挖了北汉河，方向与行河河道夹角约90°，共长5 km，当年汛期尚未运用；其后分别经历了1986年12月—1987年10月、1987年12月—

1988年6月两次分水过程,至1988年6月被截堵至今,从而形成了目前平均河宽约110 m、长度约8 km的北汉河。在1989年所编写的《黄河入海流路规划报告》中,北汉河又被分为了两股汉河,即北汉1和北汉2,参见图1。

### 1.3 现行清8汉河

清8汉河是现行行水汉河,其形成源于1996年汛前在河口尾闾河段清8断面以上1050 m处实施的人工出汉工程,其目的是利用黄河泥沙淤滩造陆,变海上石油开采为陆上开采<sup>[10-11]</sup>。该汉河于1996年7月中旬正式过流,截至2018年12月,已累计行河逾22年,期间累计来水3402亿m<sup>3</sup>、累计来沙33.78亿t,在不考虑其它范围内海岸线蚀退的情况下,共计造陆约92.15 km<sup>2</sup>,西河口(二)站以下河长也由汉河初期的49 km延伸至目前的59 km左右。

### 1.4 老河道汉河

老河道汉河是清水沟流路1976年5月—1996年

5月运用后的遗留河道。在其20年运用期间,累计来水5065亿m<sup>3</sup>、来沙128.26亿t,共计造陆399.82 km<sup>2</sup>;同期西河口(二)站3000 m<sup>3</sup>/s水位由8.22 m(大沽高程)上升至9.75 m,其西河口以下河长亦由改道初期的27 km延伸至65.2 km。该汉河在1996年5月停止行河后,因无泥沙供给,其海岸发生大面积冲刷蚀退,至2019年3月总蚀退面积达到了92.85 km<sup>2</sup>,致使西河口(二)站以下河长缩短约为57 km。

### 1.5 不同汉河的特征比较

根据北汉河、清8汉河、老河道汉河所处的位置和滨海区情况,可大体预测其未来的行河发展区域。其中,以西河口(二)站为圆心的圆弧半径 $R(R=75\text{ km})$ ,系根据河长阈值 $L_r$ 的相关计算结果( $L_r\approx 89\text{ km}$ )并考虑其尾闾平均弯曲程度得出;不同汉河海域淤积宽度则依据实践经验和有关规划成果予以划定<sup>[13]</sup>,见图3。依据图3所示的行河区域,可大体得出现状条件下不同汉河的平面形态和容沙能力特征,见表1。

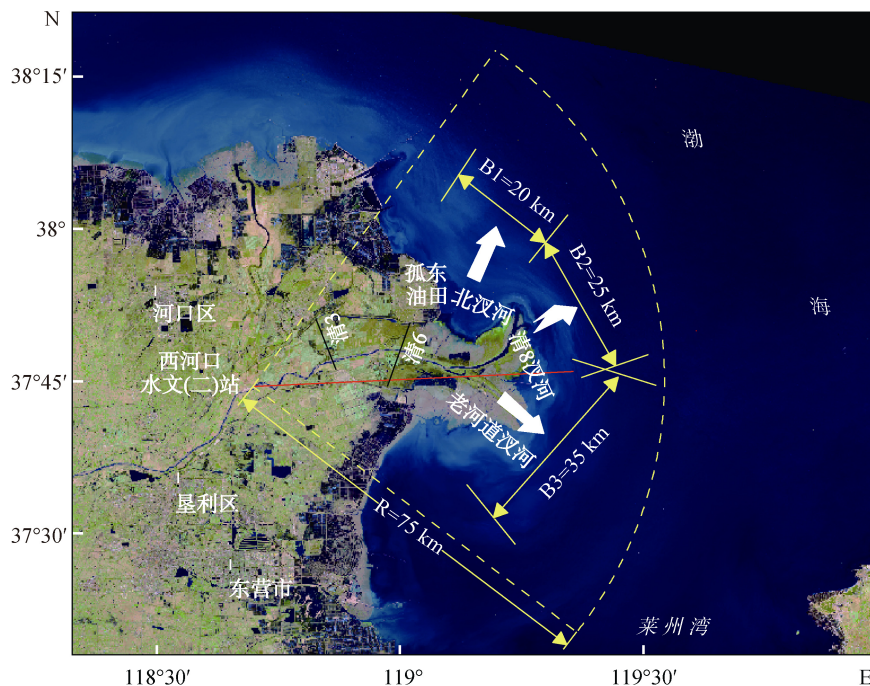


图3 清水沟流路不同汉河行河区域范围示意图

Fig. 3 Area of different branching rivers of the Qingshui channel

由表1不难看出,现状条件下,北汉河的流程最短,但其尾闾的弯曲程度最大;清8汉河尽管流程最长,但其弯曲程度却是最小的;至于老河道汉河,目前的流程与清8汉河相差无几,但尾闾弯曲

程度大于清8汉河。就海域状况而言,北汉河河口海域平均潮差和最大潮流速都是最小的,而老河道汉河河口海域平均潮差最大,清8汉河河口海域最大潮流最大;从海域淤积宽度和容沙体积来看,

表 1 三汉河现状主要特征比较表(2018 年基准)

Tab. 1 Comparison of the main characteristics of three branching rivers (datum plane in 2018)

汉河名称及组合	单股汉河			汉河组合(平均或总计)		
	北汉河	清 8 汉河	老河道汉河	北汉河+清 8 汉河	全部汉河	
西河口(二)站以下河长/km	44	59	56	50.82	52.70	
尾间弯曲程度	1.189	1.156	1.160	1.202	1.191	
平均潮差/m	0.53	0.72	0.92	0.625	0.723	
最大潮流速/(m/s)	0.31	0.78	0.63	0.545	0.573	
余流速/(m/s)	0.07	0.17	0.12	0.12	0.12	
海域状况(河 长阈值 $L_r$ 范 围以内)	海域淤积宽度/km	20	25	35	45	80
黄海零米高程线距 10 m 等深线平均距离/km	12.88	3.82	12.18	8.35	9.62	
面积/km <sup>2</sup>	257.6	95.5	426.3	375.75	769.6	
平均水深/m	6.03	5.53	5.82	5.78	5.79	
预估容沙体积/亿 m <sup>3</sup>	15.53	5.28	24.81	21.71	44.56	

老河道汉河也具有较大优势,容沙体积是北汉河的约 1.6 倍。

## 2 汉河运用方案分析

### 2.1 行河模式选择

21 世纪 80 年代中期以来,围绕黄河口各流路和汉河的运用时机和运用方案问题,相关学者们进行过多方探讨和总结,新近的研究如王崇浩<sup>[14]</sup>从单一流路出发,研究了清水沟流路清水沟流路冲淤发展与使用年限预测;王开荣等<sup>[15]</sup>从河口三角洲地区经济发展环境、防洪防凌安全、生态环境等三个方面论述了不同入海流路运用模式的影响效应;王春华等<sup>[16]</sup>认为根据黄河来水来沙情况,远期可考虑采用清水沟、刁口河流路轮换行河方式;陈雄波等从宏观角度介绍了稳定百年的黄河河口入海流路运用方式研究的主要内容<sup>[17]</sup>,提出了同时使用清水沟、刁口河、十八户流路的“一水三流”行河方式<sup>[18]</sup>;徐丛亮等认为黄河口多级流路三角洲的演变模式对今后流路精准安排并保持顶点以上长期稳定具有重要意义<sup>[19]</sup>。以上研究是从流路角度出发探讨黄河口河道稳定方式的,而对于同一流路内不同汉河运用方案的研究却很少有涉及,即使有少量研究(见表 2)<sup>[13, 20-23]</sup>,也仅局限于各汉河的轮流行河模式,对汉河的其他行河模式及其优劣对比情况几乎没有涉及。

在现状条件下,清水沟流路汉河运用模式、运用方案的拟定需考虑如下四个方面的因素:

第一,在北股汉河范围内,因有一定规模的人

口、工农业基础设施存在以及相对完善的交通设施,故不作行河安排。

第二,在现行清 8 汉河未达到西河口(二)站 10 000 m<sup>3</sup>/s 水位 12 m 改道标准(以下简称改道标准)时,不作改走其他汉河的实施安排。这主要是基于如果强行即时改走北汉,除了巨大的改汉工程经济投入(包括北汉河的清淤改造并使其达到行洪标准费用)以外,其清 7 断面以下的相关护岸工程、测验基础设施等都将废弃,从而造成不必要的浪费;同时,即时实施改走北汉对于黄河河口的水行政管理、当地的水资源利用、水生态环境、渔业生产、旅游格局乃至湿地自然保护区的保护规划安排,也均会产生不同程度的干扰。

第三,其他汉河的改汉时机均选择前期行水汉河达到 12 m 改道标准时进行,以避免过多改汉过程对河口正常治理进程的干扰。

第四,因生态调水、补水或者遭遇大洪水而临时实施的对其他备用流路以及清水沟流路自身范围内其他汉河的分水、分洪安排不属于汉河运用方案的范畴。

考虑上述因素重新梳理后的可供选择的清水沟流路汉河运用方案如表 3 所示,由表可见,其清水沟流路的汉河运用可以有 2 种行水格局,4 种行河模式,7 种运用方案。

在上表所示的 7 个汉河运用方案中,包括独流入海行水格局下的第③、④方案和多流入海行水格局下第⑤、⑥、⑦方案,均不可避免地存在如下四个问题:

表 2 清水沟流路汉河运用次序及使用年限成果表

Tab. 2 Sequence of operation and service life results of different branching rivers

来源	汉河运用次序和方案	流路使用年限或推荐方案
席家治等 <sup>[13]</sup>	①现行河道(1996 年以前, 下同)+北汉 1(12 m)+北汉 2(12 m); ②现行河道+北汉 1(12 m)+北股(12 m); ③北汉 1(12 m)+现行河道+北股(12 m)。	1986 年起算, 基于始算条件和水沙系列的不同, 行河年限介于 31—36 年
孟祥文等 <sup>[20]</sup>	现行清 8 汉河(12 m)+北汉 1	/
胡春宏等 <sup>[21]</sup>	现行清 8 汉河(12 m)+原河道(12 m)+北汉河(12 m)	1993 年起算, 根据水沙系列的不同, 行河年限介于 51—64 年
唐梅英等 <sup>[22]</sup>	①现行清 8 汉河(12 m)+北汉(12 m)+原河道(12 m); ②立即改北汉(12 m)+现行清 8 汉河(12 m)+原河道(12 m); ③现行清 8 汉河(65 km)+北汉(12 m)+原河道(12 m)+清 8 汉河(12 m); ④立即改北汉(65 km)+清 8 汉河(65 km)+原河道(12 m)+北汉(12 m)+清 8 汉河(12 m)	2007 年起算, 行河年限均可超过 50 年, 推荐方案③
王开荣等 <sup>[23]</sup>	现行清 8 汉河(12 m)+原河道(12 m)+北汉河(12 m)	2007 年起算, 根据海域容沙体积和 水位变化与累计来沙量的关系, 行 河年限介于 36—46 年

注: 表中(12 m)和(65 km)分别代表改道时机的选择标准, 其中, (12 m)是指西河口(二)站 10 000m<sup>3</sup>/s 水位达到 12 m, (65 km)则指西河口(二)站以下河长达到 65 km

表 3 清水沟流路的汉河运用方案

Tab. 3 Operation scheme of branching rivers in Qingshui channel

方案 序号	行水 格局	行河模式	运用方案	运用时机与标准
①	独流 入海	单一汉河	清 8 汉河→北汉河→原河道	当行水汉河达到 12 m 改道标准后, 再行水另一汉河, 直至全部汉河均达到改道标准。
②		轮流行河模式	清 8 汉河→原河道→北汉河	
③		多汉河	清 8 汉河⇔北汉河→原河道	待两条轮流使用的汉河河长均达到 12 m 改道标准后, 再行水另一汉河, 直至全部汉河均达到改道标准。
④		轮流行河模式	清 8 汉河⇔原河道→北汉河	
⑤	多流 入海	同时行河与轮流	清 8 汉河+北汉河→原河道	待两条同时行水的汉河河长均达到 12 m 改道标准后, 再行水另一汉河, 直至全部汉河均达到改道标准。
⑥		行河联合模式	清 8 汉河+原河道→北汉河	
⑦		同时行河模式	清 8 汉河+原河道+北汉河	待同时行水的三条汉河均达到改道 12 m 改道标准后, 可实施流路改道。

注: “→”代表前后行河次序; “⇔”代表轮流行河; “+”代表同时行河。

(1) 在现状条件下, 这 7 种运用方案均需修建必要的水沙调控枢纽, 并配套建设包括防洪工程体系在内的河流综合治理工程体系, 投资巨大, 经济合理性值得商榷。

(2) 在单一汉河尚未达到达到 12 m 改道标准时就实施轮流行河或多汉河同时行水, 需增加相应的

涉河整治建筑物、监测设施, 其流水行政管理任务的强度、复杂程度将成倍增加, 管理成本也将大幅度增加。

(3) 在黄河河口尾间河段, “分流必淤”是一种大概率事件<sup>[24]</sup>。如 1953 年人工并汉形成神仙沟流路之前, 河口的尾间河段是三汉河(甜水沟、宋春荣沟、

神仙沟)并存的行水格局,这种行水格局极易导致当地河床淤积的持续加重,并对上游一定范围的河段产生壅水影响;另外,1988年6月在黄河河口实施的“截支强干”包括被迫实施的北汉河截堵等工程,也从另一个角度充分反映了这种“分流行河”模式的负面效应。

(4) 在多汉河同时行河的情况下,各汉河的分水(分流)比例其运用时机的选择将极其复杂,与之相应的入海泥沙的运输趋势以及所形成的海岸线形态会有所不同,且难以控制和实现各汉河河长变化的均衡发展,此也会给海域容沙体积的准确评估计算乃至流路稳定状态的科学评判带来诸多困扰。

基于上述原因,故不推荐第③—⑦方案,而推荐独流入海行水格局下的单一汉河轮流行河模式,即方案①与方案②。

## 2.2 汉河运用方案比选

从表面形态上看,方案①与方案②的区别在于

北汉河、老河道汉河这两条汉河的前后行河顺序;在清8汉河达到河长阈值  $L_r$  后,若预测清水沟流路具有如图4所示的海岸线形态,那么,两方案的差别则落脚于行河初始地形的不同、以及对应滨海区域海洋动力条件的差异。图4中所标注的尺寸是根据冲积扇发育过程中的临界理论所得出的<sup>[25]</sup>,其中,  $a$  为冲积扇的纵轴(即平行于河道的最大长度),  $b$  为横轴(即垂直于河道的最大长度),研究表明:无论三角洲发育迟早,只要它的形态指标  $a/b$  值达 1.2 左右时,河道便会发生决口改道(突变)。由图4可知:若以汉3断面为基准,在顺行河方向达到河长阈值  $L_r$  时,其平行于河道的最大长度  $a$  值约为 35 km,据此可通过临界指标  $a/b \approx 1.2$  反推得出垂直于河道的最大长度  $b$  值约为 30 km,假定该  $b$  值出现于清8汉河冲积扇(沙嘴)的根部,则其冲积扇的根部外边缘可延伸至孤东围堤的中部区域,很显然,在清8汉河达到其行河极限状态时,将占用北汉河的部分行河区域。

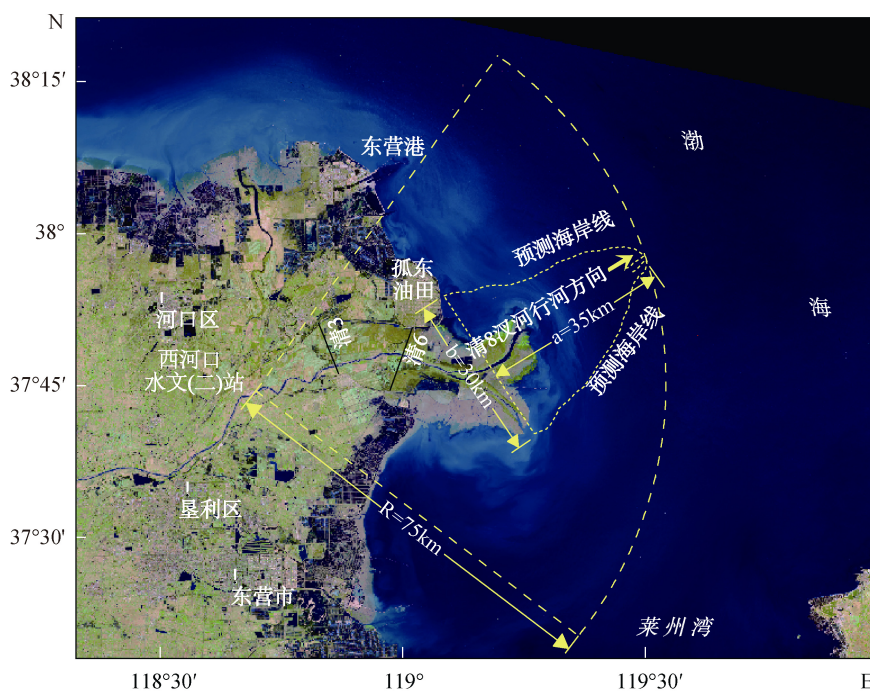


图4 清8汉河冲积扇(沙嘴)极限状态预测示意图

Fig. 4 Forecasting diagram of the limit state of the alluvial fan (sand mouth) of the Qing8 branch

方案①与方案②运用初始条件的不同,将直接导致清水沟流路岸线发育形态的不同和海洋动力输沙效果的差异,主要体现在:(1)若实施第①方案,那么在今后相当长时期内,清水沟流路岸线的淤长范围将主要集中于清水沟范围内的北部海域,而南部

海域则持续处于侵蚀后退状态,从而导致海岸线的不均衡发展,此对于减缓河口岸线延伸速率乃至海岸滩涂的可持续开发利用总体布局,均会造成不利影响;(2)若实施第①方案,那么在北汉河改道初期,由于清8汉河所遗留的凸出明显的冲积扇(沙嘴)存

在, 会与孤东围堤形成一个相对狭小和封闭的堆沙区域, 海洋动力被严重削弱, 对泥沙的外输极为不利, 会造成流路河长的快速淤长。反之, 若实施第②方案, 则既可以避免老河道汉河海域海洋动力输沙作用的闲置, 又能避免后续北汉河行河初期时的大幅度淤积造陆, 且更有利于利用海洋动力加大泥沙输往外海的比例, 分析如下。

按照各汉河行水状态的不同, 方案①与方案②的运用过程均可划分为 3 个不同的阶段(见表 4), 其中, 第 I 阶段方案①和方案②均处于清 8 汉河行河时期, 两者演变过程相同; 只有在进入第 II 阶段后, 两者的演变过程才会有所差异, 鉴于此, 本文仅就方案①和方案②两者第 II 阶段的输沙效果进行对比分析, 拟定方案①和方案②各汉河的演变状态及相关参数见表 5。

表 4 汉河运用阶段划分表

Tab. 4 Stages of the operation division of different branching rivers

方案编号	汉河行河次序	汉河行水状态	运用阶段		
			I	II	III
①	清 8 汉河→北汉河→原河道	行水汉河	清 8 汉河	北汉河	原河道
		不行水汉河	北汉河、原河道	清 8 汉河、原河道	清 8 汉河、北汉河
②	清 8 汉河→原河道→北汉河	行水汉河	清 8 汉河	原河道	北汉河
		不行水汉河	北汉河、原河道	清 8 汉河、北汉河	清 8 汉河、原河道

表 5 清水沟流路不同汉河运用方案第 II 阶段泥沙外输效率比较表

Tab. 5 Comparison of sediment transport in the second stage of different branching rivers

方案编号	评价海域	汉河演变状态		沙源特征		泥沙输往外海的比例	泥沙输往外海的数量	
		行河状态	岸线演变状态	泥沙主要来源	数量			
①	北汉河	行河	岸线延伸	岸线侵蚀与波浪掀沙悬浮泥沙	径流携带	$S_{11}$	$P_{11}$	$S_{11} \cdot P_{11}$
	清 8 汉河	不行河	岸线侵蚀后退		$S_{12}$	$P_{12}$	$S_{12} \cdot P_{12}$	
	老河道汉河	不行河	岸线冲淤基本平衡		$S_{13}$	$P_{13}$	$S_{13} \cdot P_{13}$	
	清水沟总计	/	/		/	/	$S_1$	
②	北汉河	不行河	岸线冲淤基本平衡	岸线侵蚀与波浪掀沙悬浮泥沙	径流携带	$S_{21}$	$P_{21}$	$S_{21} \cdot P_{21}$
	清 8 汉河	不行河	岸线侵蚀后退		$S_{22}$	$P_{22}$	$S_{22} \cdot P_{22}$	
	老河道汉河	行河	岸线延伸	径流携带	$S_{23}$	$P_{23}$	$S_{23} \cdot P_{23}$	
	清水沟总计	/	/	/	/	$S_2$		

注: 泥沙来源未考虑海相来沙。

由表 5 可得到在方案①与方案②情形下, 整个清水沟海域泥沙输往外海的数量计算式, 即:

$$S_1 = S_{11}P_{11} + S_{12}P_{12} + S_{13}P_{13}, \quad (1)$$

$$S_2 = S_{21}P_{21} + S_{22}P_{22} + S_{23}P_{23}. \quad (2)$$

利用上式对方案①与方案②第 II 阶段泥沙输往外海的量进行对比分析。为统一比较标准, 假定其第 II 阶段的运行周期相同, 且径流携带的泥沙数量一致, 即  $S_{11} = S_{23}$ 。在方案①情形下, 老河道汉河海岸线因受长期冲刷影响, 海床质粒径粗化现象突出, 泥沙难以悬浮输移, 故可以认为  $S_{13} \approx 0$ ; 而在方案②情形下, 因有相对凸出的清 8 汉河沙嘴对北汉河滨海区域的屏障作用, 故发生幅度较大的海岸侵蚀的可能性相对较小, 且清 8 汉河沙嘴冲蚀下来的泥沙

也有可能受沿岸流作用而输送至北汉河的近岸区域, 因此,  $S_{21} \approx 0$  亦可成立。据此, 可建立如下近似比较式:

$$\Delta = S_2 - S_1 \approx (S_{22}P_{22} - S_{12}P_{12}) + S(P_{23} - P_{11}), \quad (3)$$

式中,  $\Delta$  代表方案①与方案②初始阶段输往外海的泥沙数量之差,  $S_{12}$ 、 $P_{12}$  和  $S_{22}$ 、 $P_{22}$  分别代表方案①北汉河行河时和方案②老汉河行河时清 8 汉河沙嘴岸线侵蚀与波浪掀沙悬浮所产生的泥沙数量, 由于北汉河和清 8 汉河之间相对比较接近, 在北汉河行河时, 受北汉河入海泥沙扩散及海域地形的共同影响, 在其海洋动力相对衡定的情况下, 清 8 汉河的冲刷蚀退及其输往外海泥沙的比例将受到一定程度的抑制, 可有:

$$S_{12} < S_{22} \quad \& \quad P_{12} < P_{22}, \quad (4)$$

$$S_{22}P_{22} - S_{12}P_{12} > 0. \quad (5)$$

式中,  $P_{23}$ 、 $P_{11}$  分别代表方案②老河道汴河行河期间和方案①北汴河行河期间径流所携带泥沙输往外海的比例, 显然, 在老河道汴河行河期间, 其对应的海域相对广阔, 且入海泥沙的扩散受清 8 遗留沙嘴的影响较弱, 因此:

$$P_{23} > P_{11}, \quad (6)$$

$$\Delta = S_2 - S_1 > 0. \quad (7)$$

由此说明: 相对于方案①, 方案②更有利于充分发挥海洋动力的输沙作用, 保证河口海域向外海的较大输沙量, 对延长清水沟流路使用年限更为有利。

### 3 结论及建议

研究表明: 现行清水沟流路范围内的汴河运用方案不适用于多汴河轮流行河模式、同时行河与轮流行河联合模式和同时行河模式, 而采用单一汴河轮流行河模式则更为科学和经济合理。但这并不意味着否认在生态调水、补水或者遭遇大洪水等特殊情形和特定条件下, 而适时开展的对其它汴河、备用流路的相对短时的补水、分水、分洪行为。

在整个清水沟流路系统达到改道标准时, 其海域总容沙体积的大小是一个相对确定的数值, 其包含了清 8 汴河、北汴河、原河道 3 条汴河所涉及的所有容沙范围, 因此 3 条汴河的不同行河次序并不能改变总容沙体积的大小, 但其泥沙输外海泥沙效率则有所差异。在现行清 8 汴河达到改道标准后, 应优先使用老河道汴河, 此不仅有利于未来海岸线的均衡发展, 而且更有利于延长清水沟流路的使用年限。当然, 这一结论是从宏观和近似的角度得出的, 更为准确的结论尚需在科学拟定未来入海水沙系列的基础上, 利用完善的河口水动力学数学模型进行进一步验证计算。

#### 参考文献:

- [1] Zheng S, Wu B S, Wang K R, et al. Evolution of the Yellow River delta, China: Impacts of channel avulsion and progradation[J]. *International Journal of Sediment Research*, 2016, 32: 34-44.
- [2] 胡春宏, 吉祖稳, 王涛, 等. 黄河口海洋动力特性与泥沙的输移扩散[J]. *泥沙研究*, 1996, 4: 1-10.  
Hu Chunhong, Ji Zuwen, Wang Tao, et al. Characteristics of ocean dynamics and sediment diffusion in the Yellow River estuary[J]. *Journal of Sediment Research*, 1996, 4: 1-10.
- [3] Saito Y, Yang Z, Hori K. The Huanghe (Yellow River) and Changjiang (Yangtze River) deltas: a review on their characteristics, evolution and sediment discharge during the Holocene[J]. *Geomorphology*, 2001, 41: 219-231.

- [4] 陈沈良, 谷硕, 姬泓宇, 等. 新入海水沙情势下黄河口的地貌演变[J]. *泥沙研究*, 2019, 44(5): 61-67.  
Chen Shenliang, Gu Shuo, Ji Hongyu, et al. Processes of the Yellow River Mouth on new water and sediment condition[J]. *Journal of Sediment Research*, 2019, 44(5): 61-67.
- [5] 尹学良. 黄河口的大型并汴改造[J]. *泥沙研究*, 1982, 4: 13-25.  
Yin Xueliang. A significant process of Branch-combining on the Delta of the Yellow River[J]. *Journal of Sediment Research*, 1982, 4: 13-25.
- [6] 尹学良. 1960 年黄河口劫夺改道[J]. *泥沙研究*, 1983, 3: 20-31.  
Yin Xueliang. A destructive river piracy in the estuary of the Yellow River[J]. *Journal of Sediment Research*, 1983, 3: 20-31.
- [7] 李泽刚. 黄河河口变动性及其治理方法[J]. *人民黄河*, 1992, 1: 14-17.  
Li Zegang. The variability of the Yellow River Estuary and its control methods[J]. *Yellow River*, 1992, 1: 14-17.
- [8] 王恺忱. 黄河河口的演变与治理[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2010: 52-56.  
Wang Kaichen. Evolution and management of the Yellow River Estuary[M]. Zhengzhou: Yellow River Water Conservancy Press, 2010: 52-56.
- [9] 高文永, 张广泉, 姜明星, 等. 黄河口清水沟流路演变分析[J]. *泥沙研究*, 1997, 3: 1-7.  
Gao Wenyong, Zhang Guangquan, Jiang Mingxing, et al. Analysis of the evolution of the Qingshuigou channel of the Yellow River Estuary[J]. *Journal of Sediment Research*, 1997, 3: 1-7.
- [10] 王宗文. 黄河口清 8 改汴后河道演变概况及发展趋势预测[J]. *水土保持研究*, 1998, 5(5): 100-104.  
Wang Zongwen. General situation of river course evolution and prediction of development trend after the qing8 diversion of the Yellow River Estuary[J]. *Research on Soil and Water Conservation*, 1998, 5(5): 100-104.
- [11] 谷源泽, 姜明星, 徐丛亮, 等. 黄河口清 8 出汴工程的作用及对河口演变的影响[J]. *泥沙研究*, 2000, 5: 57-61.  
Gu Yuanze, Jiang Mingxing, Xu Congliang, et al. The role of the 8-Outlet project of the Yellow River Estuary and its influence on the evolution of the estuary[J]. *Journal of Sediment Research*, 2000, 5: 57-61.
- [12] 李殿魁, 杨玉珍, 程义吉, 等. 延长黄河口清水沟流路行水年限的研究[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2002: 36-41.  
Li Diankui, Yang Yuzhen, Cheng Yiji, et al. Study on prolonging the running time of Qingshuigou road in the Yellow River Estuary[M]. Zhengzhou: Yellow River Water Conservancy Press, 2002: 36-41.
- [13] 席家治, 陆俭益, 丁六逸, 等. 黄河入海流路规划报告[R]. 郑州: 黄河水利委员会勘测规划设计院, 1989: 85-100.  
Xi Jiazhi, Lu Jianyi, Ding Liuyi, et al. Planning report



- of the Yellow River's flow into the sea[R]. Zhengzhou: survey, planning and Design Institute of the Yellow River Water Conservancy Commission, 1989: 85-100
- [14] 王崇浩, 安催花, 曹文洪, 等. 黄河口清水沟流路冲淤发展与使用年限预测[J]. 水利学报, 2008, 6: 709-713.  
Wang Chonghao, An Cuihua, Cao Wenhong, et al. Development and service life prediction of scour and deposition of Qingshuigouliu road in the Yellow River Estuary[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2008, 6: 709-713.
- [15] 王开荣, 于守兵, 茹玉英, 等. 黄河入海流路的不同运用模式及其影响效应[J]. 中国水利, 2011, 20: 9-12.  
Wang Kairong, Yu Shoubing, Ru Yuying, et al. Different application modes and influence effects of the Yellow River flowing into the sea[J]. China Water Resources, 2011, 20: 9-12.
- [16] 王春华, 张娜, 何敏, 等. 黄河刁口河流路恢复运用目标与时机[J]. 人民黄河, 2016, 38(3): 33-35.  
Wang Chunhua, Zhang Na, He Min, et al. Target and opportunity for restoration of Diaokou River Road of the Yellow River[J]. Yellow River, 2016, 38 (3): 33-35.
- [17] 陈雄波, 陈松伟, 窦身堂, 等. 黄河河口入海流路运用方式研究现状与趋势[J]. 人民黄河, 2018, 40(9): 10-15.  
Chen Xiongbo, Chen Songwei, Dou Shentang, et al. The current situation and trend of the study on the application of the flow way from the Yellow River Estuary to the sea[J]. Yellow River, 2018, 40 (9): 10-15.
- [18] 陈雄波, 邱卫国, 刘娟. 黄河河口“一水三流”行河方式研究[J]. 海岸工程, 2019, 38(3): 194-202.  
Chen Xiongbo, Qiu Weiguo, Liu Juan. Study on the way of “one water, three flows” in the Yellow River Estuary[J]. Coastal engineering, 2019, 38 (3): 194-202.
- [19] 徐丛亮, 陈沈良, 陈俊卿. 新情势下黄河口出汉流路三角洲体系的演化模式[J]. 海岸工程, 2018, 37(4): 35-43.  
Xu Congliang, Chen Shenliang, Chen Junqing. The evolution model of the delta system of the outlet channel of the Yellow River Estuary under the new situation[J]. Coastal engineering, 2018, 37 (4): 35-43.
- [20] 孟祥文, 李希宁, 苏洪禄. 黄河入海流路改走北汉 1 时机分析研究[J]. 人民黄河, 1998, 20(2): 8-9.  
Meng Xiangwen, Li Xining, Su Honglu. Analysis and Study on the opportunity of changing the Yellow River into the North Branch[J]. Yellow River, 1998, 20 (2): 8-9.
- [21] 胡春宏, 曹文洪. 黄河口水沙变异与调控 II: 黄河口治理方向与措施[J]. 泥沙研究, 2003, 5: 9-14.  
Hu Chunhong, Cao Wenhong. Variation and regulation of sediment in the Yellow River Estuary II: management direction and measures of the Yellow River Estuary[J]. Journal of Sediment Research, 2003, 5: 9-14.
- [22] 唐梅英, 谢越韬, 陈雄波, 等. 黄河口清水沟流路汉河方案研究[J]. 人民黄河, 2008, 30(11): 100-104.  
Tang Meiyang, Xie Yuetao, Chen Xiongbo, et al. Study on the scheme of qingshuigouliu branch of the Yellow River Estuary[J]. Yellow River, 2008, 30 (11): 100-104.
- [23] 王开荣, 茹玉英, 郑春梅, 等. 黄河河口流路长期稳定可行性研究报告[R]. 郑州: 黄河水利科学研究院, 2009: 17-31, 55-60.  
Wang Kairong, Ru Yuying, Zheng Chunmei, et al. Feasibility study report on long-term stability of the Yellow River Estuary[R]. Zhengzhou: Yellow River water conservancy research institute, 2009: 17-31, 55-60.
- [24] 尹学良, 王廷贵. 关于分流淤积的一些问题[J]. 水利学报, 1983, 3: 65-73.  
Yin Xueliang, Wang Tinggui. Some problems on distributary sedimentation[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 1983, 3: 65-73.
- [25] 曹银真. 黄河冲积扇和三角洲变迁过程中的临界意义[J]. 地理科学, 1988, 8(1): 54-62.  
Cao Yinzhen. The critical significance of the Yellow River alluvial fan and delta transition[J]. Scientia Geographica Sinica, 1988, 8 (1): 54-62.

# Discussion on the operation scheme of the current Qingshuigou channel of the Yellow River

WANG Kai-rong<sup>1, 2</sup>, FAN Yao-shen<sup>1, 2</sup>, HAN Sha-sha<sup>3</sup>, DU Xiao-kang<sup>1, 2</sup>

(1. Yellow River Institute of Hydraulic Research, Zhengzhou 450003, China; 2. Key Laboratory of Yellow River sediment, Ministry of water resources, Zhengzhou 450003, China; 3. State Key Laboratory of water resources and hydropower engineering science, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

**Received:** Dec. 24, 2019

**Key words:** river estuaries; river channels; branching river; operation scheme; Yellow River

**Abstract:** This paper summarizes the formation, evolution, and characteristics of different branching rivers in the current Qingshuigou channel in the Yellow River estuary; further, it demonstrates and analyzes the effect of different branch river operation schemes. The results show that neither the multi-river-running-in-turn mode, the parallel-running mode, or the combined mode is suitable for the Qingshuigou channel, while the single-river-running-in-turn mode is the most scientific, economical, and reasonable one. This mode can make full use of marine sediment transport energy, ensure a large amount of sediment transport from the estuary to the open sea, and is more beneficial to extend the life of the Qingshuigou channel. After the current Qing8 branch reaches the diversion criteria, the Old Branch river should be used first, which not only favors the balanced development of the future coastline but also extends the life span of the Qingshuigou channel.

(本文编辑: 康亦兼)