

黄河清水沟流路稳定性分析*

李 平[†] 王 涛[‡] 高文永

(南京大学海岸与海岛国家试点实验室, 南京 210093)

[†](中国科学院海洋研究所, 青岛 266071)

[‡](黄河水利委员会济南水文总站, 济南 250101)

提要 根据 1989 年 5 月和 8 月枯、洪水两个季节黄河拦门沙区及河口海区地质和水文调查资料, 结合黄河利津水文站近几年的径流量和输沙量变化, 对黄河清水沟流路稳定性及其影响因素进行综合分析研究。结果表明, 近年来黄河来沙量渐少是清水沟流路稳定的重要因素之一; 随着河口向南转向海动力作用较弱的莱州湾, 海水沿河上溯力逐渐减弱, 河流泥沙得以更顺利地入海, 并在口门外沉积; 现流路河口海域的水动力作用虽然较弱, 但涨、落潮流的分布格局非常有利于泥沙的向外输送, 这对减轻河道内和河口区的淤积强度、稳定和延长流路寿命极为有利。

关键词 清水沟流路 稳定性 黄河泥沙

黄河清水沟流路自 1976 年行水至 1995 年已 19 年, 虽已远超出黄河尾间河道寿命 12 年的周期, 但仍保持相对稳定的河势, 这一问题已受到学术界的广泛注视。很多学者的研究(叶青超, 1982; 成国栋, 1987; 杨作升, 1989; 杨光复等, 1990; 庞家珍等, 1980; 侍茂崇, 1985; 郭永盛等, 1992)等多集中在三角洲陆区流路演化或海区泥沙运动等方面, 而对清水沟流路稳定性及其影响因素的系统化研究较少。本研究将从拦门沙水沙运行规律和海区泥沙运移机制入手, 对影响清水沟流路稳定性的诸多因素进行综合分析, 以揭示清水沟流路系统得以稳定的原因。这一问题的探讨对黄河尾间河道流路规划乃至三角洲区域经济持续发展规划有十分重要的意义。

1 研究方法

现场观测于 1989 年 5 月和 8 月进行, 海区共设 48 个测站进行底质和悬浮体取样以及温度和盐度测定, 其中在河口附近及莱州湾区的 5 个测站进行了振动活塞浅钻取样, 4 个测站进行了 25h 水文连续观测和间隔为 1h 的悬浮体采样; 室内进行沉积物粒度分析、矿物显微镜鉴定、悬浮体称重和²¹⁰Pb 沉积速率测定。在综合分析的基础上, 结合拦门沙区 8 个断面同步水文泥沙观测资料及黄河利津水文站近期径流量和输沙量特征, 利用陆地卫星影像解译的海区悬浮体分布及运移趋势, 对黄河清水沟流路的稳定性进行研究。

* 国家八五攻关资助项目, 859260203 号; 南京大学海岸与海岛国家试点实验室资助, SCIEL21195145 号。李平, 男, 出生于 1960 年 11 月, 博士。

收稿日期: 1995 年 4 月 10 日, 接受日期: 1996 年 12 月 10 日。

2 研究结果

2.1 清水沟流路水沙特征

2.1.1 径流量和输沙量 1976—1992年, 清水沟流路较之神仙沟流路和刁口流路, 年平均径流量和输沙量明显减少(表1), 且有越来越小的趋势。1980—1992年, 年平均输沙量为5.85亿t; 1985—1992年, 年平均输沙量降为4.52亿t。年平均输沙量的减少显然有利于流路寿命的延长。

2.1.2 泥沙分配 除个别年份年内泥沙分配分散外, 泥沙主要集中在汛期入海, 汛期

表1 黄河利津水文站各流路时期年平均径流量和输沙量¹⁾

Tab.1 Annual average discharges of water and sediment at Huanghe River Lijin Hydrometric Station in different course periods

流 路 (年.月)	神仙沟 1953.07—1964.01	刁 口 1964.01—1976.05	清水沟 1976.05—1992.12	三条流路总计 1953—1992
平均径流量(×10 ⁶ m ³)	471.80	418.90	212.10	346.56
平均输沙量(×10 ⁶ t)	12.02	10.99	6.58	9.40

表2 黄河利津水文站历年输沙量¹⁾

Tab.2 Sediment discharges at Huanghe River Lijin Hydrometric Station over the years

时间 (a)	汛期来沙量 (×10 ⁶ t)	全年来沙量 (×10 ⁶ t)	汛期占全年来沙量 (%)
1976	8.13	8.61	94.4
1977	9.01	9.36	96.3
1978	9.79	10.71	91.4
1979	6.43	7.03	91.5
1980	2.62	2.88	91.0
1981	11.23	11.82	95.0
1982	4.90	5.60	85.7
1983	8.19	9.98	82.1
1984	8.77	9.65	90.8
1985	6.50	7.09	91.7
1986	1.56	1.64	95.1
1987	0.50	0.67	74.6
1988	8.40	8.90	94.4
1989		5.99	
1990		4.69	
1991		2.49	
1992		4.71	

1) 1953—1992年利津水文站径流量和输沙量资料, 由黄河水利委员会水利科学研究所提供。

泥沙入海量平均占到全年的 90% 以上(表 2)。这种分配对洪冲枯淤的黄河尾闾河道来说, 行水输沙较为有利。

2.2 拦门沙近期演变特点

2.2.1 潮流界 黄河潮流界范围也就是拦门沙的范围, 黄河口是以径流作用为主的弱潮河口, 潮流界较短, 一般小于 20km, 且近年来有逐步缩短的趋势。1984 年调查时, 潮流界长度为 12—17km (山东省海岸带调查研究报告编写组, 1984), 1987 年为 12km, 1989 年为 9.3km, 1989 年较 1987 年缩短 2.7km¹⁾。这一变化除与测量时的河流流量有关外, 主要是由河口不断向南转向潮汐作用较弱的莱州湾而使海水上溯力逐渐减小所致, 结果使拦门沙段平均涨、落潮流速差异缩小¹⁾, 导致径流和泥沙入海的阻力逐年减小, 泥沙入海量逐年增加, 很大程度上减轻了拦门沙内的淤积强度。

2.2.2 絮凝作用 由于现河口区潮汐作用较弱, 高盐水上溯力不强, 絮凝作用主要发生在口外。1989 年 8 月测量, 絮凝作用自口门开始, 短短 5km, 平均泥沙含量由 24.7g/L 降至 5.8g/L (表 3), 即有 76% 以上的泥沙在口门外 5km 范围内沉积, 其结果使得拦门沙逐渐前移, 河口大咀不断向外延伸。

表 3 拦门沙段悬沙含量沿程变化¹⁾

Tab.3 Variation of suspended sediment concentrations in different segments along the river mouth bar

站 位	1	2	3	4	5	6	7	8
距口门距离(km)	11.1	9.3	7.5	5.3	2.8	0	-2.9	-4.6
日垂均含沙量(g/L)	23.5	26.7	29.7	32.7	50.6	24.7	4.8	5.8
涨潮平均含沙量(g/L)	26.3	23.9	25.6	29.3	42.5	15.6	7.3	6.4
落潮平均含沙量(g/L)	20.7	29.4	33.9	36.1	58.6	33.8	2.6	5.3
悬沙中值粒径(ϕ)	6.27	6.19	6.13	6.01	5.55	5.97	6.7	7.0
大于 0.025mm 粒级(%)	26.6	28.3	30.0	34.0	44.2	34.7		

2.2.3 悬沙 拦门沙段悬沙的来源主要有三种: 1) 河流下泄泥沙; 2) 河床冲刷; 3) 潮流挟带口外泥沙上溯。由于时段内黄河来沙量恒定, 涨潮流溯沙影响很小, 故悬沙含量的沿程变化能反映拦门沙段的冲淤状况。据黄河水利委员会济南水文总站 1989 年 8 月测量¹⁾, 拦门沙段悬沙含量自上而下沿程增高, 至口门时, 含量陡然降低; 悬沙颗粒也表现出沿程变粗的趋势(表 3), 说明近年来黄河拦门沙内冲外淤, 河道泥沙向口外输送顺利。

2.3 海动力状况与泥沙运移

2.3.1 沉积动力状况 清水沟流路河口位置是研究区内潮汐作用相对较弱的莱州湾区, 平均大潮潮差为 164cm, 平均小潮潮差仅为 72cm, 口外实测最大流速为 130cm/s (杨光复等, 1990)。潮流属往复流性质, 流向大致与等深线平行, 与河流入海方向近乎垂直。波浪以区域风浪为主, 波向与风向一致, 波高与风速成正比, 季节变化大, 夏季盛行东南风, 风区短、波高小; 冬春季 NW-NEE 向风浪占优势, 风区长、风力大、波

1) 司书亨、张广泉、高文水, 1990, 黄河拦门沙水沙运动特征, 黄河水利委员会济南水文总站, 5—6。

高亦大, 对底质泥沙再悬浮作用强。

2.3.2 海区悬浮体含量分布 1989年调查, 黄河口海区悬浮体含量总的分布特点是, 平均含量以河口为中心向外逐渐降低; 15m等深线以内平均含量为 50mg/L 左右。受黄河径流量和输沙量以及海区波浪作用季节变化的影响, 夏季洪水期, 悬浮体含量分布, 近岸高、离岸低。1989年8月调查时, 河口附近 5m等深线以内, 悬浮体含量大于 40mg/L, 以河口为中心向两侧伸展, 向南伸展不远, 向北抵达五号桩; 5m等深线以外, 悬浮体含量迅速降低。春、冬季枯水期, 强波浪作用使底质泥沙再悬浮, 悬浮体含量分布梯度小。1989年5月调查时, 40mg/L 悬浮体含量等值线以河口为中心呈舌状向东北方向伸展, 表层分布范围不大, 底层扩展至15m水深处; 20mg/L 等值线伸展较远(图1)。

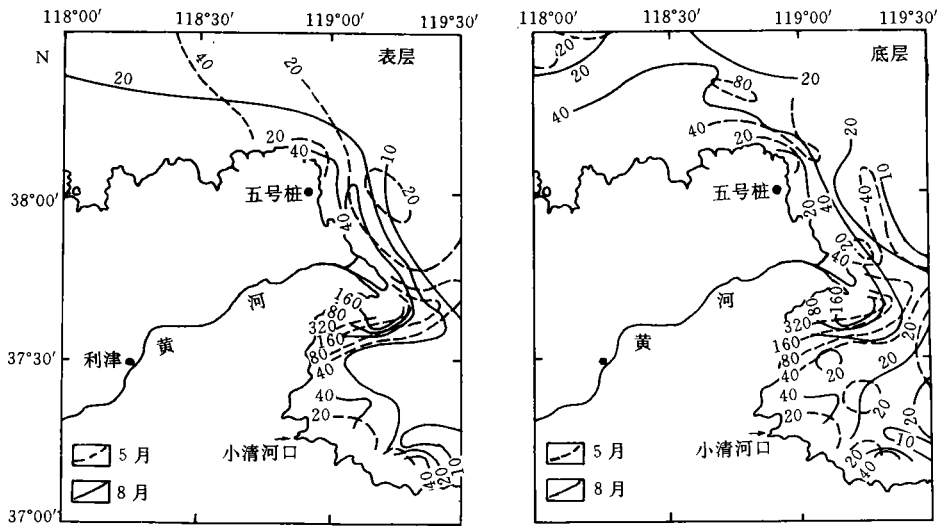


图1 1989年枯(5月)、洪(8月)水季节悬浮体含量平面分布(mg/L)

Fig.1 Horizontal distribution of suspended sediment concentrations (mg/L) during dry (May) and flood (Aug.) seasons, 1989

2.3.3 莱州湾泥沙运动 黄河泥沙入海后, 一般分为南北两支, 前人工作基本主张南支泥沙量较大, 且主要在莱州湾内沉积(山东省海岸带调查报告编写组, 1984; 杨作升, 1989)。1989年调查结果表明, 泥沙量向南仍然大于向北, 但²¹⁰Pb 沉积速率测定结果显示, 仅河口附近沉积速率高, 一般为 3.33—5.37cm/a¹⁾, 向南逐渐减小; 沉积物矿物分析^{1,2)}表明, 莱州湾南部海域沉积物矿物组合与黄河物质不同, 说明黄河泥沙向南影响范围不大, 不超过自小清河口向北东方向连线(杨光复等, 1990); 用卫片进行岸线对比³⁾, 1976—1992年期间, 莱州湾西岸向海增长不大, 基本是稳定的。探其原因, 主

1) 李平, 1990, 黄河清水沟流路河口沉积动力特征及泥沙运动的研究, 中国科学院海洋研究所硕士论文, 10, 19—22, 31—35。

2) 国家海洋局第一海洋研究所, 1986, 黄河口区水下底质地貌调查报告, 88—106。

3) 1976—1992年陆地卫星 TM 影像, 由中国科学院遥感中心提供。

要是由于波浪场和潮流场联合作用, 致使泥沙悬浮或再悬浮向外输送, 泥沙很难在莱州湾的南部沉积。波浪测量, 黄河口海区, 波高大于 1.5m 和 0.5m 的波浪, 频率分别为 11.8% 和 48.9%¹⁾。按佐藤公式(侯和雄等, 1984)计算, 两者的作用水深分别为 6.6—10.8m 和 2.1—3.9m。考虑到莱州湾区 60% 的区域水深在 8m 以下, 所以, 波浪对海底沉积物的再悬浮作用是比较大的。另外, 水文观测¹⁾显示, 涨潮时, 莱州湾南岸潮流流向西, 至西岸顺时针转向北, 与黄河河口南侧的南西向涨潮流相顶托, 阻挡了黄河泥沙的南移; 落潮时, 潮流流向均向东北方向, 大量泥沙在落潮流挟带下经莱州湾向东北方向输送(图 2、图 3)。估计风暴潮期间, 泥沙外移量更大。

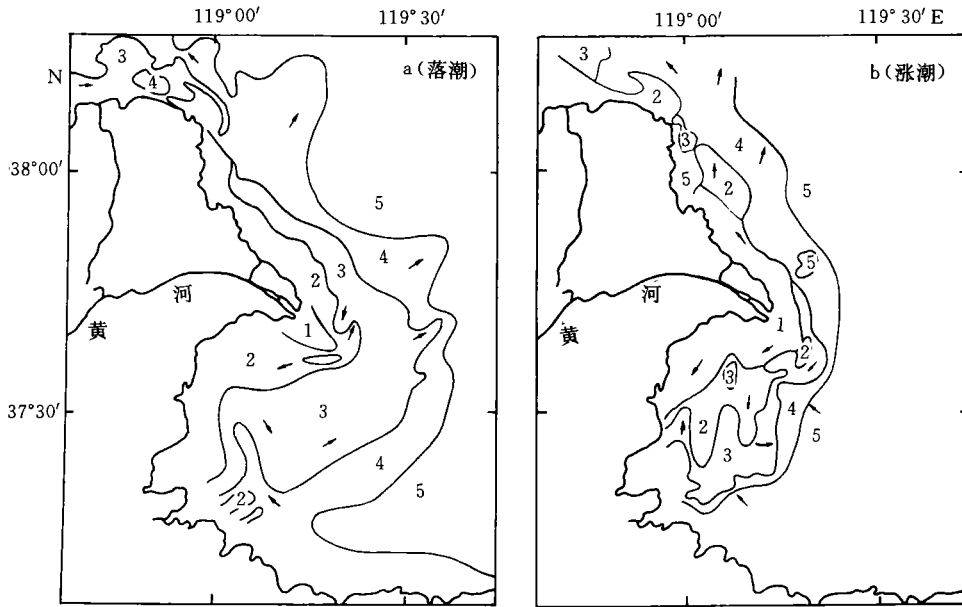


图 2 1989 年 5 月(a)和 8 月(b)陆地卫星 TM 影像解译(箭头表示泥沙运动方向)

Fig.2 Landsat TM image interpretation, May(a), Aug. (b), 1989

悬浮体含量: 1. 高值区; 2. 较高值区; 3. 中等值区; 4. 低值区; 5. 清水区。

2.3.4 海区泥沙运移途径 黄河口海区风浪是底质泥沙再悬浮的主要动力, 潮流则是悬浮体向外海搬运的载体。受黄河输沙和海区波浪作用的季节变化的影响, 泥沙的沉积和搬运亦呈现较强的季节性。夏季洪水期, 是黄河水下三角洲的主要沉积期, 绝大多数黄河来沙沉积在水下三角洲区 5m 等深线以内, 少部分泥沙向外海运移, 运移途径是, 底层泥沙以异重流形式沿水下河道向三角洲前缘输送(杨作升, 1989), 在水下三角洲前缘坡脚沉积, 表层悬浮体主要沿岸向河口两侧运移, 范围不大。春、冬季枯水期, 强波浪扰动作用, 使夏季洪水期堆积在水下三角洲上的大量泥沙再悬浮, 被潮流运往三角洲以

1) 李平, 1990. 黄河清水沟流路河口沉积动力特征及泥沙运动的研究, 中国科学院海洋研究所硕士论文, 10, 19—22, 31—35.

外海区, 此季节是黄河水下三角洲重新塑造的时期, 泥沙大量向东北方向扩散。图 2a、图 2b 为作者对 1989 年 5 月和 8 月陆地卫星 TM 影像解译的悬浮体含量分布及运移图, 图 3a、图 3b 是作者根据 1989 年洪、枯两个季节水文泥沙、海水温度和盐度分布等调查数据, 综合得出的泥沙搬运途径示意图。两张图均显示出, 黄河泥沙入海后, 先向河口两侧扩散, 然后迂回向东北方向运移的规律。

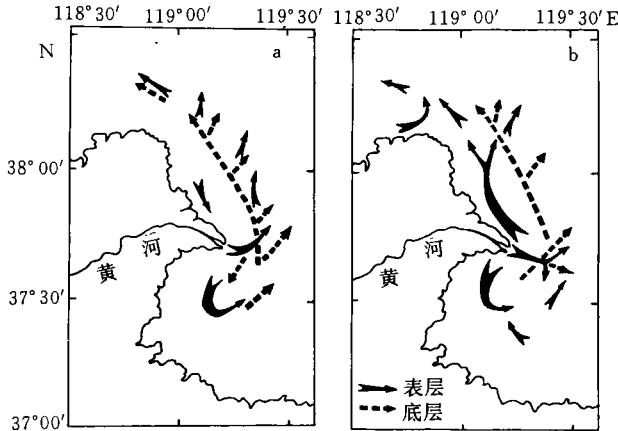


图 3 1989 年 5 月(a)和 8 月(b)黄河口区悬浮体运移图径

Fig.3 Transport patterns of suspended sediment in the Huanghe River estuary area, May(a), Aug.(b), 1989

3 结语

近年来黄河泥沙来量减少是清水沟流路得以稳定的重要原因。黄河泥沙集中在汛期入海有利于尾间河道畅通和流路的稳定。絮凝作用在口门外发生, 拦门沙内冲外淤对河道稳定有利, 但长此下去, 口门拦门沙坎仍会淤高, 不利于径流泥沙下泄, 应不断使口门向东北方向改道, 维持河口的畅通。清水沟流路目前比较稳定, 虽然现河口注入处海水动力作用较弱, 但潮流分布格局十分有利于泥沙的向外扩散。维持河口大嘴的突出状态和河口南侧泥沙运移的迂回空间, 可有利于海区泥沙的向外扩散, 维持流路稳定。

参 考 文 献

- 山东省海岸带调查研究报告编写组, 1984, 山东省黄河口区海岸带和三角洲资源综合调查报告, 海洋出版社(北京), 201—207, 218—219。
- 叶青超, 1982, 地理学报, **37**(4): 1—10。
- 成国栋, 1987, 海洋地质与第四纪地质, **7**(增刊): 7—18。
- 杨作升, 1989, 青岛海洋大学学报, **19**(4): 49—61。
- 杨光复、李平、张君元, 1990, 黄河三角洲沿岸沉积特征和沉积物运移规律, 黄河水沙运行规律会议论文集, 地质出版社(北京), 196—208。
- 庞家珍、司书亨, 1980, 海洋与湖沼, **11**(4): 295—305。
- 侍茂崇, 1985, 山东海洋学院学报, **15**(2): 81—95。
- 侯和雄、萧荣祥, 1984, 海岸与港湾水力学, 大学图书供应社(台湾), 135。
- 郭永盛、许学工、范兆木等, 1992, 海洋学报, **14**(3): 95—104。

ANALYSIS ON THE STABILITY OF THE QINGSHUIGOU COURSE OF THE HUANGHE RIVER

Li Ping, [†]Wang Tao, ^{††}Gao Wenyong

(*State Pilot Laboratory of Coast & Island Exploitation, Nanjing University, Nanjing 210093*)

[†](*Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071*)

^{††}(*Jinan Hydrometric Station, Huanghe River Hydrology Commission, Jinan 250101*)

Abstract The extremely large amount of sediment discharge from the Huanghe River results in a rapid deltaic progradation and frequent shifting of the river mouth. Usually, an average course period of the Huanghe River mouth channel is 12 years. The present Qingshuigou course lasted 19 years from 1976 to 1995, and was still in its better condition. In order to understand the mechanics of the Qingshuigou course stability and the impact factors, two cruises of investigation were carried out in the Huanghe River estuary during May and August, 1989. The data of bottom sediment components by methods of grain size and mineral assemblage analysis, suspended sediment concentrations, and temperature and salinity of sea water were collected at 48 sampling stations. In particular, sedimentation rates at 5 stations were determined by ²¹⁰Pb dating of shallow cores, and twenty-five hour series data were collected at each of 4 selected stations in the immediate vicinity of the estuary or in the Laizhou Bay. Landsat TM images were used to interpret the suspended sediment concentration distribution and transport trend in the estuary area. Synchronously hydrological and suspended sediment data were taken at 8 sections in the river mouth bar area. The variation of water and sediment discharges at the Huanghe River Lijin Hydrometric Station was also considered. This paper is a comprehensive study on the Qingshuigou course stability and the related factors. The study showed that, 1) decreasing sediment discharge from the Huanghe River was one of the important factors which influenced the course stability. 2) With the river outlet gradually turning southward to Laizhou Bay with very weak hydrodynamics, the effect of tide upward to the river gets decreased. This facilitated seaward transport of sediments from the Huanghe River and their deposition in estuary area. 3) Though the tidal range and current velocity were small in the area of the present river mouth, the flood and ebb tidal current pattern favors the transport of the Huanghe River sediments to the outside of the subaqueous delta. These factors reduce greatly the siltation in the river mouth bar and estuary area, and keep the river's Qingshuigou course stable for a longer time.

Key words Qingshuigou course Stability Huanghe River sediment discharge