

黄河口河道演变规律探讨

王万战 张俊华

(黄河水利科学研究院 河南 郑州 450003)

摘要 通过分析黄河口河道在纵剖面、横断面、河型等方面的演变过程,总结归纳出黄河口河道的演变规律。指出:黄河口泥沙在潮汐涨落等因素影响下,河口河道纵剖面逐渐形成台阶状,与此同时,河口滩地横比降逐渐发展为倒比降,河口河道中段由顺直型河道逐渐转为弯曲型河道,而下段仍为相对顺直、游荡型河道。当河口河道中段比降减小到一定程度后,此河段开始漫滩、卡冰、出汉。河口台阶的形成揭示了黄河口流路由单股河道逐渐转为出汉的过程,即黄河口流路由“青壮期”逐渐转为“衰亡期”的过程。延长黄河口流路使用年限的途径是:①尽量减少黄河下游输向黄河口的泥沙量;②采取河口挖沙或人工改汉措施,地点宜选在河口河道的中下段。

关键词 黄河口 河道演变 河口台阶 漫滩 出汉 卡冰

中图分类号:TV147 文献标识码:A 文章编号:1006-7647(2006)02-0005-05

Discussion on law of river course evolution at Yellow River estuary//WANG Wan-zhan, ZHANG Jun-hua(*Yellow River Institute of Hydraulic Research, Zhengzhou 450003, China*)

Abstract : By analysis of the morphological process in longitudinal profile , cross section and river pattern , the law of river course evolution at Yellow River estuary was summarized. Under the influences of tides , the longitudinal profile of the river course gradually evolves into a terrace-shaped profile , while the floodplain at the estuary tends to develop into one with an inverse slope ; the middle reach of the river course changes from a straight one to a curved one , while the lower part keeps its wandering pattern. When the gradient of the middle reach decreases to a certain degree , the overflowing , ice jamming and channel avulsion will occur . As a result , the formation of the terrace-shaped profile leads to the channel avulsion at the Yellow River estuary. Finally , some measures for prolonging the service life of the Yellow River estuarine course were put forward , i. e. to decrease the sediment deposition at the Yellow River estuary which comes from the lower Yellow River and to implement dredging works and artificial diversion of river course , with a suitable location selected in the middle and lower section of the river course near the estuary .

Key words :Yellow River estuary ; river course evolution ; estuarine terrace ; overflowing ; avulsion ; ice jamming

自 1855 年以来,黄河口行河近 140 年,河口流路摆动 9 次,形成了 10 条流路,平均每条流路行河寿命约十几年。几十年来的研究成果表明,黄河口流路演变一般经过 3 个阶段,即散乱—单股—出汉,而且黄河口单股河道行河有利于流路的相对稳定。黄河口的治理一直是以维持单股河道为目标。

神仙沟流路(行河时间 1953 ~ 1963 年)自 1953 年起单股行河,1960 年开始在四号桩断面出汉,单股行河时间 7 年;约口河流路(行河时间 1964 ~ 1976 年)1968 年起单股行河,1972 年在罗 13 断面上游附近出汉,单股行河时间仅 4 年;清水沟流路(1976 年至今)自 1980 年起单股行河,1996 年汛前在清 8 断面上游 950 m 处人工出汉,而“96.8”人工出汉前,清水沟河道曾多次出现小水上滩的情况(如 1992 年和

1993 年小水上滩),但是人工出汉后至今,清水沟仍继续单股行河。

治黄实践中迫切需要回答的问题如:为什么黄河口单股河道数年后易于漫滩、卡冰、出汉?漫滩、卡冰、出汉的位置和时间有无规律性?

河道出汉一直是国内外河流研究人员关注的焦点之一。文献 [1]系统地总结了河道的出汉类型、出汉原因、出汉后的发展状态判别,以及出汉的触发因素等。文献 [2-4]对黄河、长江的出汉做了深入的研究,为国内外专家学者研究黄河口演变规律提供了重要的参考。

本文从黄河口河道纵剖面、横断面和河型变化来探讨黄河口单股河道演变规律,找出黄河口单股河道行河数年后漫滩、卡冰、出汉的原因、地点、时

间,在此基础上提出黄河口治理对策。由于清水沟、钓口河、神仙沟流路的演变资料相对较多,所以研究工作主要集中于此3条流路的变化。

1 黄河口单股河道的演变特点

1.1 清水沟纵剖面形成“台阶”状

清水沟单股行河时期的纵剖面(主河槽平均河底高程)变化见图1。从该图可以看出,清3断面以上河段,在大水期间(1981~1984年)河道冲刷、河底高程下降,小水期间(1986年以后)河道淤积、河床上升,这与山东黄河河道的冲淤规律一样。

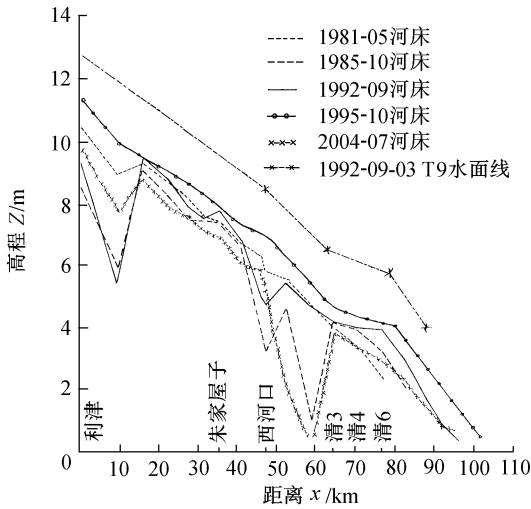


图1 清水沟河槽河底平均高程(高程以大沽为基准,下同)

清3断面上下河道的变化完全不一样。清3断面以下河段表现出明显的淤积延伸特征,即“铺沙”特征。无论是在大水大沙期间(1981~1985年),还是在小水小沙期间(1986~1995年),清3断面以下河段的河底一直是上升的;从河道纵比降上看,清3断面以下河道比降变化的特点不一样:清4至清6断面河段比降趋缓,而清7断面以下河道比降一直较大,且变化不大。也就是说,随着河口的淤积延伸,清水沟的纵剖面逐渐形成台阶状。1992年实测瞬时水面线形状也表明,清4至清6断面河段的水面比降比其上下河段的比降小(图1),与河床纵剖面的特点基本一致。

图2是清水沟单股河道行河时河床溪点纵剖面,该图也能清楚地反映出在1981年以后清3断面以下河道泥沙堆积并形成台阶状纵剖面的情况。清水沟纵剖面的台阶形态与黄河小浪底水库变动回水区形成的三角洲淤积体的形态很类似。

1996年在清8断面附近实施了人工改汉,使河口河长缩短了16 km,造成当年清3断面以下河道发生溯源冲刷。1997年后数年在朱家屋子上下河段实施了挖沙固堤工程,致使1999年小浪底水库开始

运用时利津以下河床普遍比1995年低。1999年小浪底运用以来直到2004年7月,黄河下游和黄河口河道普遍冲刷(图1)。

1996年清8断面人工出汉到2004年7月,历时整整8年,清水沟来水来沙一直较小,没有重新形成明显的台阶状纵剖面。所以,黄河口来沙多少是影响河口淤积、铺沙、形成河口台阶的重要因素之一。

1.2 钓口河和神仙沟纵剖面形成“台阶”状

黄河口台阶状的纵剖面不仅见于清水沟流路,而且也见于神仙沟和钓口河流路。图3为1959年实测的神仙沟流路河道纵剖面和水面线形状,在四号桩以下比降很大,在小沙至四号桩河段比降最小、状如台阶。

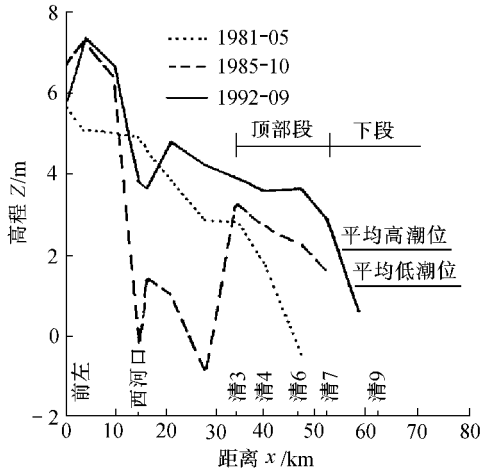


图2 清水沟河床溪点纵剖面

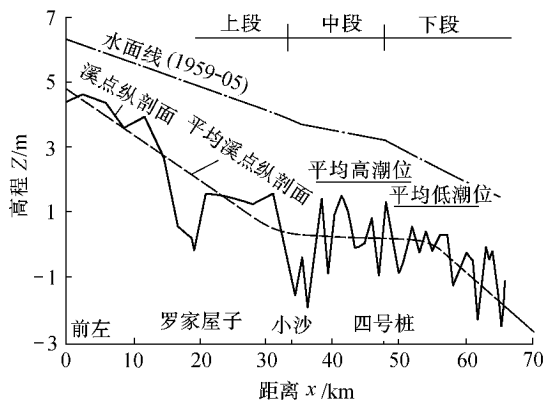


图3 神仙沟水面线和河床(溪点)纵剖面

1967年汛期大洪水后,钓口河流路形成单股河道。罗4至罗5断面河段存在数千米的胶泥坎,此段地势较高,形成“相对侵蚀基准面”,钓口河单股行河时期的变化主要发生在罗5断面以下。1968年汛期洪水造成罗7断面以上河道以刷深为主(图4),此特点与清3断面以上河道的变化特征一样;罗7断面以下河道的河底上升,呈现“铺沙”特征——与清3断面以下河道的变化一样。1968年后连续的小水小沙(1969年、1971年),小水大沙(1970年)

过程使钓口河河槽缩窄,河底上升,比降减小、变平,此与1985年以后清水沟的变化情形一样。遗憾的是,罗13断面以下没有实测河道大断面资料,因此,用主河槽河底高程资料无法反映河口河道下段比降较大的情形,但用1971年春季所测的河口地区地形资料可查出河口地区的滩唇高程资料。图4反映出罗4断面下游约40 km以下河段比降变大的情形。总之,钓口河单股河道的后期,河口河道也形成了“台阶”状的纵剖面——与清水沟、神仙沟的情形一样。

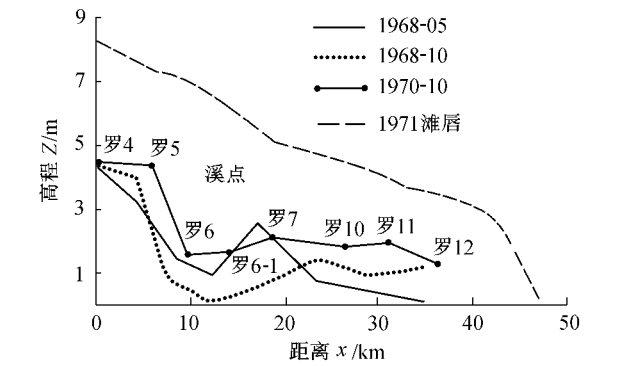


图4 钓口河单股行河时期的纵剖面

河口台阶的顶坡段比降减小及易淤特性还反映于此段河槽内多见江心洲的事实中。钓口河1968年形成单股河道时,当年罗10断面以下河道尚无江心洲,1969年10月在罗12至罗13断面之间出现江心洲,1970年(小水大沙年)在罗11断面以下河段出现江心洲。神仙沟1955年(大沙年)在小沙至四号桩断面之间也出现了江心洲(图5)。

综合清水沟、钓口河和神仙沟的演变,可以归纳出黄河口演变的共性:①黄河口河道的中下段泥沙易淤,呈现“铺沙”特征。②随着河口淤积的延伸,河口河道形成“台阶”状纵剖面。③输向河口的泥沙量越多,河口台阶的形成就越快;反之亦然。

1.3 河口河道河型和横断面形态的变化

在黄河口单股行河之初,河口河道是相对顺直的,随着河口台阶顶部段比降的减小,该段变为弯曲型河道而下段(近口门段)一直是游荡段。在1955年时,神仙沟小沙至四号桩断面河段为顺直游荡河道,1959年时已成为弯曲型河道(图5)。钓口河罗7至罗13断面也是如此变化(图6)。

黄河口单股行河之后,河道滩唇的淤高速率高于远离滩唇的滩地的抬升速率,致使滩地形成所谓的倒横比降,倒比降不利于漫滩水流回归主槽,而有利于漫滩水流冲蚀滩唇和滩地。

黄河口平面形态、滩地横比降、纵剖面的变化是黄河口演变的3个方面,但是河口中段纵剖面比降的减小是造成前两者变化的主要因素。

2 河口台阶的形成原因初探

2.1 水沙条件

1950年以来,黄河口的来水来沙见表1。从表中可以看出,钓口河和神仙沟流路行河期间,黄河口来沙量明显大于清水沟流路行河时期的来沙量,但3条流路的平均含沙量都在25 kg/m³左右。黄河口的来水来沙主要集中于汛期,水沙年际变化较大(图7)。

表1 黄河口流路水沙条件

流 路	行河时间	水量/ 亿 m ³	沙量/ 亿 t	含沙量/ (kg·m ⁻³)
神 仙 沟	1953 ~ 1963 年	459	11.8	25.7
钓 口 河	1964 ~ 1976 年	433	11.0	25.4
清 水 沟	1976 ~ 1995 年	252	6.3	25.1
神仙沟单股行河	1953 ~ 1959 年	476	14.5	30.5
钓口河单股行河	1968 ~ 1972 年	348	8.6	24.7
清水沟单股行河	1980 ~ 1995 年	245	5.8	23.7

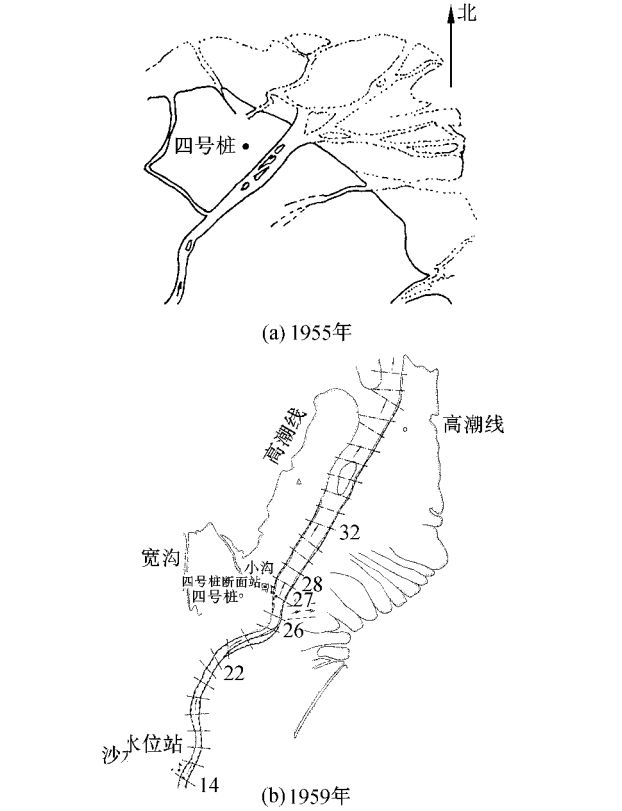


图5 神仙沟河势

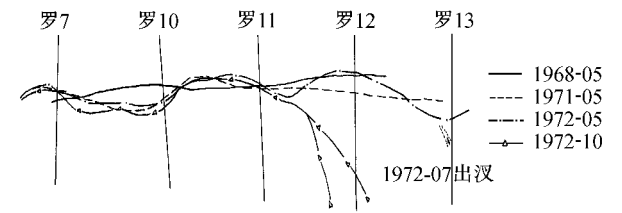


图6 黄河口钓口河河势变化

清水沟1980年开始单股行河,至今尚未出现自然分叉的情况(1996年清8断面上游950 m处人工

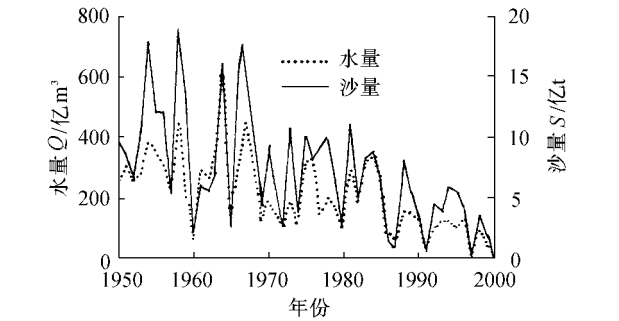


图7 黄河口利津水文站逐年汛期水沙量

出汉)。1980~1985年汛期来水来沙较大,其后来水来沙较少。钓口河单股行河时期只有1968年来水来沙较大。神仙沟单股行河时期大部分年份水沙量比较大。

把注意力放在出汉当年与出汉前水沙条件的对比上,可以发现出汉当年水沙量都比前一年小,比前两年的水沙量更小。神仙沟单股行河8年后,于1960年在四号桩断面处出汉。在出汉前的数年,黄河口来沙量较大,其中,1958和1959年汛期来沙分别高达19.26亿t和13.52亿t,而出汉当年(1960年)水沙量都很小。钓口河1972年出汉,1972年来沙量比1971年和1970年都小。可见,历史上黄河口出汉时多发生在大沙年之后的小水小沙年份。

2.2 潮汐条件

黄河三角洲各处潮汐特性不一样(表2)。神仙沟、钓口河、清水沟的平均高潮位在2.0m左右,潮差1m左右。感潮段的长短与河流水流、潮汐和河道边界等有关。1987年9月10~13日黄河口河道沿程实测水面线(图8)反映出,当利津水文站流量1000m³/s时,感潮段上界在H06站,距口门11.5km。根据1984年资料,利津站流量300~500m³/s,感潮段长17km。参考黄河三门峡水库、小浪底水库变动回水区与坝前库水位的关系,本文应用平均高潮位与河床平交的方法确定黄河口单股行河时期感潮段的长度。

表2 黄河三角洲沿岸潮汐特征值

站名	东经	北纬	高高潮位/cm	低低潮位/cm	平均高潮位/cm	平均低潮位/cm	潮差/cm
埕口	117°44′	38°06′	390	-44	276	54	222
东风港	118°01′	38°01′	332	-43	246	72	177
湾湾沟堡	118°24′	38°04′	376	47	265	114	151
车子沟北	118°30′	38°10′	303	24	249	122	128
咀西计	118°51′	38°07′	289	64	230	156	75
黄河口东	118°52′	38°09′	246	75	205	123	89
神仙沟口	118°56′	38°06′	234	78	195	111	82
甜水沟口	119°05′	37°43′	296	44	215	124	102
羊角沟	118°52′	37°16′	356	8	232	105	127

注:潮位基面:大沽。

钓口河的平均高潮位与1968年5月河床相交

于罗7断面附近,清水沟口附近的平均高潮位与清水沟单股行河之初(1981年5月河床)相交于清4断面附近(图2),神仙沟平均高潮位与1959年河床(单股行河之末)相交于罗家屋子至小沙断面之间(图3),这表明黄河口单股行河之初,潮区界上界大致在罗7、清4、罗家屋子至小沙断面之间。

涨潮时,水面线如A'B'C(图9),泥沙落淤,形成的河床必然较缓(ABC),落潮时,水面线变陡(A'B''C'),前期落淤的泥沙一部分重新起动并被水流带走,对应的河床在下段较陡。长时期的潮涨潮落,形成状如台阶的纵剖面(ABD)即AB段较缓、BD段较陡。

黄河河口台阶的形成机制,在某种程度上像黄河水库变动回水区形成的三角洲淤积体。显然,黄河入海泥沙越多,河口台阶形成越快,反之亦然。

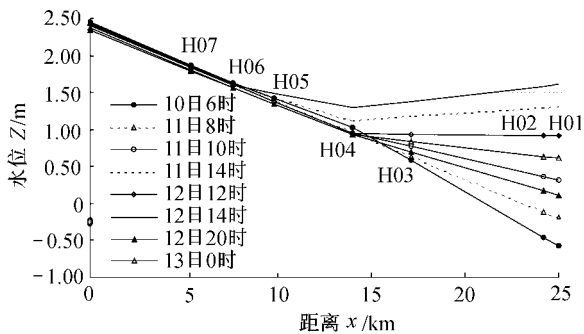


图8 黄河口清7断面(H08以下水面线)

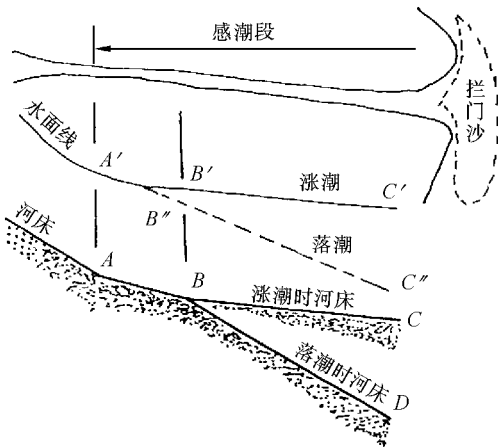


图9 河口台阶形成示意图

3 黄河口单股河道的出汉、漫滩、卡冰

黄河口单股行河时期的演变特征可概括为:①纵剖面形成台阶状;②河床横断面形成倒比降;③河道河型变化情况为台阶顶部河段逐渐形成弯曲河道,而下段一直是游荡河道。比降、河型、水沙条件等因素对黄河口河道的出汉、漫滩和冰情影响甚大。

3.1 漫滩

黄河口台阶状纵剖面形成后,比降小的顶部段容易出现漫滩。清水沟单股行河10年后开始出现

多次小水漫滩的情况。1992 年 8 月 20 日,利津水文站洪峰流量为 $3220\text{ m}^3/\text{s}$,清 3 至清 8 断面漫滩,平均水深 $0.2\sim 0.5\text{ m}$,部分油井被淹。1992 年 11 月,利津水文站流量 $350\sim 1350\text{ m}^3/\text{s}$,清 4 至清 6 断面河段水位较高,清 3 断面附近再次漫滩,一些油井和水井被淹。1993 年 7 月和 8 月,利津水文站出现两次洪峰,流量分别为 $2600\text{ m}^3/\text{s}$ 和 $3200\text{ m}^3/\text{s}$,清 4 断面右岸漫滩,水深达 $0.3\sim 0.5\text{ m}$ 。

3.2 卡冰

黄河口冰情表明,台阶顶部段与前坡段的转折处往往是黄河口冰凌“首封”的地点。黄河口台阶状纵剖面形成后,比降小的顶部段容易先封河,甚至形成冰坝。在 1953~1959 年,黄河口冰凌首封地点发生在四号桩有 3 次,1 次在小沙,即都在河口台阶的顶部段。

1968~1972 年,黄河口冰凌首封地点多位于改道点(罗家屋子)以上,只有 1971 年元月 28 日首封地点位于改道点以下,位置就在罗 12 断面附近,并且封河达 7d 之久。1987~1988 年冬,黄河口冰凌首封在清 7 断面。

当然,影响冰情的因素很多,如流量、气温、河道形态等。多种因素的组合方能形成某种冰情。本文旨在指出,黄河口单股行河后,河口中段比降小,这一特性也会在冰情上反映出来。也就是说,如果流量、气温等影响因素使得冰凌首封发生在改道点以下时,首封地点很可能发生在黄河口台阶的顶部段,尤其是比降由小到大的转折处。

3.3 出汉

台阶状纵剖面形成后,台阶顶部段比降小,造成顶部段形成弯曲型河道。遇到小水过程时,弯道必然坐湾,加大弯曲率,致使凹岸坍塌。一旦凹岸坍塌发展到一定程度,必然造成出汉,而且出汉往往首先发生在河口台阶比降由小到大的转折处。水流从出汉口上滩后,在滩地倒比降的作用下很难回到主槽,至此黄河口流路就演变进入了“衰亡”阶段。

钓口河单股行河 4 年后,于 1972 年 7 月开始出汉,此时利津水文站流量并不大,约为 $2670\text{ m}^3/\text{s}$ 。出汉地点位于钓口河最下端一个弯道的凹岸处(图 6),距罗 12 断面下游 4 km,在罗 13 断面上游约 2 km,此次出汉位于比降由小到大的拐角处(罗 4 断面下游 40 km,见图 4)。

1960 年汛前神仙沟在四号桩附近开始出汉,当时流量不大,出汉地点位于神仙沟最下端的一个弯道凹岸(图 5),也是位于河口台阶比降由小到大的转折处(图 3)。

出汉的水沙条件:出汉当年的水沙量往往不是

大水大沙,水沙量一般都比前一年的小,比前两年的更小,出汉前水量连渐减小引起河道坐湾,湾顶(凹岸)坍塌,导致出汉。其在生产管理上的意义是,在纵剖面形成明显的台阶后,进入黄河口的水沙条件不应是导致弯道发展的水沙条件,应避免年水量连续减少。有关弯道发展与水沙条件关系的研究,尚有待深入。

4 结 语

a. 黄河口河道演变规律:本文利用实测资料,分析了黄河口河道在纵剖面、横断面以及河势方面的变化过程,归纳出黄河口河道演变规律(图 10)。在潮汐和河道水流、泥沙等因素的作用下,黄河口逐渐形成台阶状纵剖面,随着台阶顶部段比降的减小,河道逐渐由顺直型转为弯曲型,而下段一直为游荡型河道,滩地横比降发展为倒比降。输向河口的泥沙越多,河口台阶成型的速度越快,反之亦然。

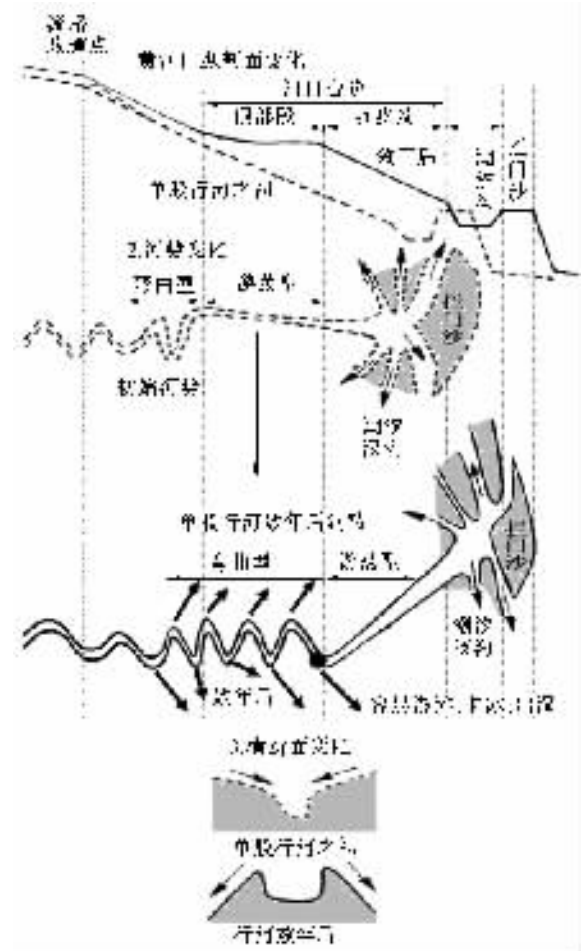


图 10 黄河口河道演变规律模式

b. 黄河口出汉、漫滩、卡冰的时空规律:黄河口单股河道行河数年后,出汉、漫滩、卡冰往往发生在河口台阶的顶部段,并首先发生在比降由小到大的转折处,尔后向上游发展。河口台阶(下转第 20 页)

表 2 2 号井抽水时各特征污染组分质量浓度变化

		mg/L						
水样	抽水历时/min	$\rho(\text{COD}_{\text{Cr}})$	$\rho(\text{NH}_3\text{-N})$	$\rho(\text{NO}_3\text{-N})$	$\rho(\text{TN})$	$\rho(\text{TP})$	$\rho(\text{Cr}^{6+})$	$\rho(\text{Pb}^{2+})$
1 号井水	0	30.18	0.75	0.31	1.44	0.057	0.028	0.041
	30	57.86	0.76	0.30	1.56	0.044	0.021	
	115	26.33	0.56	0.15	2.12	0.036	0.011	
	205	14.92	0.31	0.13	0.67	0.041	0.007	
	325	25.26	0.47	0.15	0.67	0.046	0.007	0.050
2 号井水	10	15.55	0.48	0.07	0.71	0.055	0.029	0.016
	145		0.62	0.07	0.88	0.072	0.031	
	325	8.87	0.58	0.05	0.79	0.066	0.014	0.045
3 号井水	30	2.40	0.80	0.20	1.47	0.096	0.015	0.014
	145	2.14	0.93	0.18	2.01	0.099	0.001	
	325	12.96	0.94	0.19	1.66	0.100	0.001	0.056
煤厂井水	115	2.92	0.53	0.17	1.65	0.071	0.008	
	325	6.74	1.10	0.12	1.93	0.069	0.025	
河 水		78.21	26.95	1.46	29.94	2.630	0.063	0.019

过程中各井水中均检出这两种氯代烃 ,由此推断河水中的氯代烃可以通过渗漏进入地下水中 ,对地下水造成有机污染。

表 3 2 号井抽水时氯代烃质量浓度变化 $\mu\text{g/L}$

抽水 历时/ min	四氯化碳				四氯乙烯			
	1 号 井水	2 号 井水	3 号 井水	煤厂 井水	1 号 井水	2 号 井水	3 号 井水	煤厂 井水
20	0.77	0.77	0.76	0.82	0.33	0.27	0.26	0.36
140	0.76	—	—	—	1.21	—	—	—
260	0.76	—	—	—	0.28	—	—	—
380	0.76	0.76	0.77	—	0.28	0.25	0.28	—
620	0.76	0.79	0.78	0.76	0.27	0.30	0.28	0.25

3 结 语

凉水河土样分析结果表明 :①底泥对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的吸附作用是非常大的 ,其吸附量是其下部土壤的 10 倍多 ,并且 $\text{NH}_3\text{-N}$ 吸附量随深度有增加趋势。②排污河水在向下渗漏的过程中 ,其中的 TP 大部分以固态形式存在(包括沉淀) ,少部分以溶解态存在并被底泥吸附 ,底泥对磷的去除发挥了很大的作用。③在土样中检出了 5 种氯代烃 ,苯系物基本未检出。土中的氯代烃为河水长期渗漏并在土中积累的结果。与无机污染物不同 ,底泥中的氯代烃质量浓度

并不比其下部土壤中的高 ,这是由于氯代烃的挥发所致。

抽水试验结果表明 :①凉水河除硝态氮含量小于Ⅰ类水标准(质量浓度小于或等于 10 mg/L) ,其余各污染组分质量浓度均大于Ⅴ类水标准 ,污染严重。②凉水河对地下水存在着污染 ,污染组分主要是 COD_{Cr} , $\text{NH}_3\text{-N}$ 也有一定污染 ,其他无机污染组分如 $\text{NO}_3\text{-N}$, Cr^{6+} ,TP 和 Pb^{2+} 对地下水的影响较小 ,氯代烃对地下水也有一定影响。③凉水河对地下水污染的影响范围不超过煤厂井 ,即大概在河两侧 80 m 范围内。要想确定更准确的污染带范围 ,需加大河两侧试验井的密度。

参考文献 :

[1] 沈照理 ,朱宛华 ,钟佐兒 .水文地球化学[M] .北京 :地质出版社 ,1993 :136-139.
[2] 戴树桂 .环境化学[M] .北京 :高等教育出版社 ,1997 :210-216.
[3] 汪民 ,吴永锋 ,钟佐兒 .污水快速渗滤土地处理[M] .北京 :地质出版社 ,1993 :35-41.

(收稿日期 2005-04-13 编辑 :高建群)

(上接第 9 页)形成后 ,出汉的触发因素往往是在大水沙过程之后的小水沙过程。河口台阶的形成决定了黄河口在自然条件下不可能延伸很长 ,这是导致历史上黄河口流路短寿的决定性因素。

c. 延长黄河口流路使用寿命的途径 :进入黄河口的水沙应尽量少 ,黄河口弯道成型后 ,尽量避免导致弯道发展的水沙条件 ,黄河口挖沙应在流路中下段(即河口台阶的顶部段及以下段)。

参考文献 :

[1] SLINGERLAND R ,SMITH N D .River avulsions and their deposit[J] . Ann Rev Earth Planet Sci .2004 32 :257-285 .
[2] 左东启 .黄河河道格局的历史演变及其对现代治黄思路的启示[J] .水利水电科技进展 .2001 21(4) 2-13 .
[3] 左东启 .现代治黄思路研讨[J] .水利水电科技进展 ,2000 20(4) 2-10 .
[4] 陈国祥 ,刘开平 .长江南京八卦洲汉道道德演变与整治[J] .河海大学学报 :自然科学版 ,1999 27(3) 63-68 .

(收稿日期 2005-10-13 编辑 :高建群)