

于守兵, 凡姚申. 黄河三角洲海岸线标准对陆地面积的影响[J]. 海洋地质前沿, 2021, 37(2): 1-9.

黄河三角洲海岸线标准对陆地面积的影响

于守兵^{1,2}, 凡姚申^{1,2}

(1 水利部黄河水利委员会 黄河水利科学研究院, 郑州 450003; 2 水利部黄河泥沙重点实验室, 郑州 450003)

摘 要:黄河三角洲陆地面积变化关系到河口综合治理、国土规划、自然保护区发展以及油气资源的勘探开发等战略布局。已有研究采用的海岸线标准主要有: 根据实测资料确定的高潮线、低潮线、黄海 0 m 线和黄海-2 m 线以及从卫星遥感影像提取的高潮线、低潮线和瞬时水边线。近代黄河三角洲、现代黄河三角洲、清水沟流路范围、清 8 汊河范围内采用不同的海岸线标准得到的亿吨来沙造陆面积(造陆效率)成果存在较大差别。采用影像特征海岸线得到的部分时段造陆效率偏差较大,其原因主要与黄河三角洲沿岸发育的坡度平缓的广阔潮滩有关。从黄河三角洲海岸演变特征出发,采用黄海-2 m 线作为海岸线基本上包含了径流与海洋动力作用最强烈区域,适宜于研究海岸淤进和蚀退,以及由此产生的对流路出汊、摆动和黄河下游的反馈影响。已有动态平衡沙量研究因采用海岸线标准不一致存在较大差别,而且三角洲长时期以淤进为主,蚀退时段的样本较少。在目前行河流路处于长期相对稳定的局面下,研究清水沟流路范围内海岸动态稳定的沙量更有实践意义。

关键词:黄河三角洲; 陆地面积; 海岸线; 造陆效率; 平衡沙量

中图分类号: P736.21

文献标识码: A

DOI: 10.16028/j.1009-2722.2020.026

0 引言

黄河三角洲依据改道顶点位置有近代、现代之分(图 1)。近代黄河三角洲通常指以山东省垦利县宁海为顶点,北起徒骇河口,南至支脉沟口之间的扇形区域,形成于 1855 年 7 月黄河改道流入渤海至 1953 年 7 月老神仙沟、甜水沟、宋春荣沟人工并汊时期。现代黄河三角洲通常指以渔洼为顶点,北起挑河,南至宋春荣沟之间的区域,主要由 1953 年以来神仙沟、刁口河、清水沟 3 条流路塑造。其中,清水沟流路自 1976 年开始行河,至今已有 43 年。

在受人类活动影响较小的 1985 年以前的自然时期,进入黄河三角洲的年均沙量约 12 亿 t。巨量来沙和滨海区较弱的海洋动力,使得入海流路一直处于“淤积、延伸、摆动、改道”的周期性演变过程^[1]。行河流路海岸不断向海淤进,而不行河海岸持续蚀退,总体上陆地面积不断增加。20 世纪 80 年

代中期以来,黄河三角洲来沙量锐减至 2.4 亿 t (1986—2018 年),尤其是小浪底水库运用以来减少至 1.4 亿 t。行河口门造陆幅度趋于减缓,在个别来沙量较少年份甚至出现蚀退。不行河海岸因长期缺乏泥沙补给而持续蚀退。

黄河三角洲陆地面积研究一直是众多学科研究关注的热点。宏观上海岸的淤进蚀退直接关系到黄河下游侵蚀基准面的变化,进而影响下游纵剖面的调整。此外,陆地面积变化还关乎河口综合治理、国土规划、自然保护区发展以及油气资源的勘探开发等战略布局。关键科学问题是造陆面积与黄河水沙条件的关系以及海岸动态平衡的水沙阈值。由于选择的海岸线标准不同,已有研究成果存在较大差异。本文梳理总结了不同区域、不同时期陆地面积研究成果,从黄河三角洲海岸演变特征出发,针对海岸淤进和蚀退以及由此产生的对流路出汊、摆动和黄河下游的反馈影响,提出陆地面积研究宜采用黄海-2 m 线标准,并对海岸动态平衡沙量研究提出展望。

1 黄河三角洲海岸线标准

河流三角洲陆地边界即海岸线的确定尚未形

收稿日期: 2020-03-19

资助项目: 国家重点研发计划项目(2017YFC0405503); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项项目(HKY-JBYW-2020-06)

作者简介: 于守兵(1980—),男,博士,高级工程师,主要从事黄河河口演变和生态研究工作. Email: yushoubing@163.com

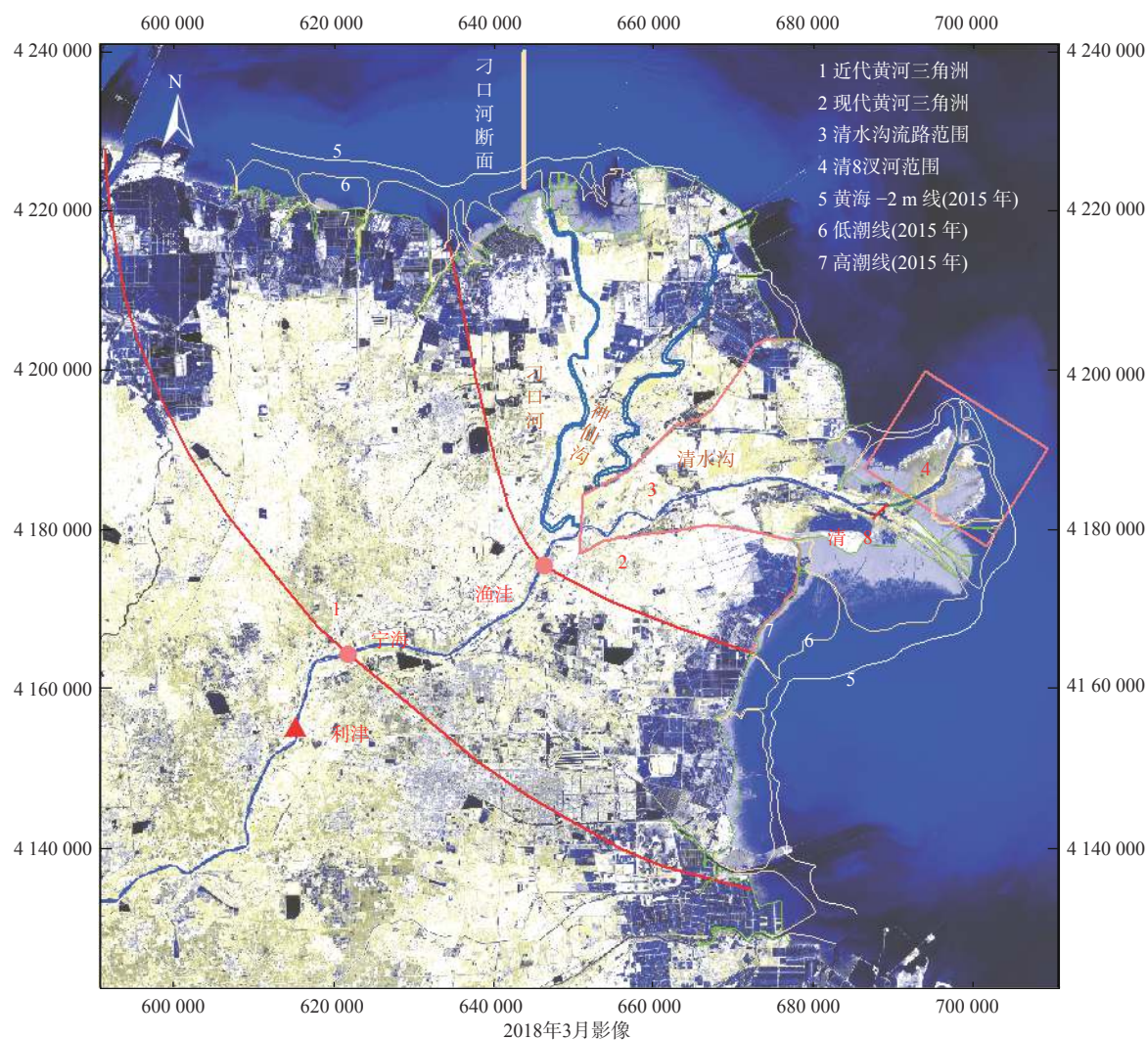


图1 黄河三角洲概况

Fig.1 General situation of Yellow River Delta

成统一的标准。国家标准《海洋学术语 海洋地质学》(GB/T 18190—2017)中的海岸线是多年大潮平均高潮位时海陆分界痕迹线。这种痕迹线并不简单等同于多年大潮平均高潮面与陆地的“交线”,而是指海水在波浪、潮汐作用下上涌所能留下痕迹的陆地边缘^[2-3]。已有黄河三角洲造陆研究也采用了多种海岸线标准,如高潮线、低潮线、瞬时水边线、大沽0 m线、黄海0 m线、黄海-2 m线等。

高潮线最接近海岸线的含义,多依据地貌特征、实测资料、卫星遥感影像等确定。历史时期的1855年高潮线根据反映相对稳定海岸的贝壳堤地貌并结合现场查勘确定^[4-5]。随着黄河三角洲地区地形、水深测验的持续开展,较多研究采用实测地形和水深图中标出的高潮线^[4-9]。20世纪70年代末,卫星遥感影像技术因感测范围广、更新时间短、数据量丰富等优势,开始被用于黄河三角洲海岸演变研究^[10]。1989年,黄河入海流路规划编制采用

了同月同潮位法计算造陆面积^[11]。由于满足同月、同潮位的影像资料较少,有研究表明一般高潮线法的研究结果与之差别不大且简便易行^[12],被众多研究所采用^[13-20]。

低潮线附近高程断面出现转折,径流和海洋动力的交互作用强烈;植被和潮沟消失,地貌特征明显。其确定通常依靠实测资料^[21]和遥感影像^[22]资料。有研究根据实测潮位和地形资料对理论最低潮位确定的海岸线进行潮位和坡度校正^[23]。由于在黄河三角洲沿岸较大区域内涨落潮存在相位差,高潮和低潮出现的时刻差异较大,很多研究采用卫星遥感影像的瞬时水边线作为海陆分界线^[24-30]。此外,还有采用瞬时水边线结合高潮线得到的平均潮位线作为陆地边界^[31]。

黄河三角洲陆地高程测量采用大沽基面,海域高程测量采用黄海基面,由此出现了大沽0 m线、黄海0 m线、黄海-2 m线标准。大沽0 m线常用

于计算黄河口来沙淤积在陆地、滨海区和深海区的比例^[1, 32], 分析河口的延伸和蚀退距离^[33], 以及在部分研究中计算造陆面积^[34]。黄海 0 m 线测定较为困难, 原因在于黄河三角洲潮间带广阔且岸坡平缓, 车船不易行驶需要人工徒步抵达现场, 因此实测数据较少。有研究根据沿岸潮位资料推算黄海 0 m 线位置, 计算造陆面积^[35]。黄海-2 m 线位于岸坡的上凸点, 向海方向是前缘急坡, 其前进后退可代表三角洲前缘的动态变化。故较多研究采用该特征线代替黄海 0 m 线作为陆地边界^[5, 36-39]。自 20 世纪 60 年代起, 黄河三角洲滨海区浅海地形基本上每年都进行测量, 积累了大量连续的观测资料。

上述黄河三角洲海岸线标准可总结为 2 类: ①采用实测资料获得的高潮线、低潮线、大沽 0 m 线、黄海 0 m 线和黄海-2 m 线; ②采用卫星遥感影像根据不同光谱特征提取到的高潮线、低潮线和瞬时水边线。前者受潮汐等海洋动力的影响很小, 但是资料较为有限。后者随着遥感技术的不断发展, 资料的数量和质量不断提高, 但是受潮汐、风浪以及海岸识别精度影响较大。

2 黄河三角洲陆地面积变化

2.1 黄河三角洲来沙造陆效率

黄河三角洲陆地面积受来水来沙条件和流路出汉改道等影响呈现阶段性变化特征, 故将已有研究成果按不同演变阶段进行梳理。由于黄河来沙是造陆的主要物质基础, 为消除不同研究成果采用的时间区间差异, 引入利津站每亿吨来沙造陆面积指标即造陆效率(单位 $\text{km}^2 \cdot \text{亿 t}^{-1}$), 分析采用不同海岸线标准得到的造陆特征情况。个别文献研究成果中没有明确月份的按起点年汛后至终点年汛后计算时段来沙量。有的研究成果采用多种海岸线标准, 为描述方便下面只列出采用的主要标准。

2.1.1 研究区域和阶段划分

近代黄河三角洲形成于 1855 年 7 月—1953 年 7 月。现代黄河三角洲形成于 1953 年 7 月至今。清水沟流路范围指的是 1976 年清水沟行河以来流路的主要摆动范围。清 8 汉河流路范围指的是 1996 年 5 月实施清 8 改汉工程以来形成的行河区域。从空间上讲, 这 4 个区域依次构成包含关系, 形成三角洲分级体系^[40]。已有的研究成果中采用的空间范围主要为以上 4 个区域, 时间跨度从 1855

年至今, 并未严格对应各区域的形成时间。本文划分的 4 个区域仅指空间地理位置, 已有研究成果根据其研究范围按区域进行归并梳理。

黄河三角洲陆地面积变化受水沙条件、海洋动力、口门形态等多种因素影响。准确地比较不同海岸标准对陆地面积变化的影响需要在尽可能一致的上述因素下进行。对于每个固定区域, 海洋动力的总体情况近似。时段选择依据自然水沙情势、重大工程运用等进一步划分为若干较长的区间, 力求做到水沙条件近似。另外, 比较的时段区间有一定的跨度, 减少口门形态的影响。

2.1.2 近代黄河三角洲

近代黄河三角洲研究成果, 根据流路变迁情况、小浪底水库运用, 并参考已有成果采用的研究时段, 划分为 5 个统计阶段。1855—1954 年是以宁海为改道顶点时期, 缺乏长期系统的水文资料。1954—1976 年是神仙沟(1953 年 7 月并汉行河)和刁口河流路行河时期。1976—1996 年是人工改汉前清水沟行河时期。1996—2002 年小浪底水库运用前清水沟行河时期。2002—2018 年是小浪底水库运用后清水沟行河时期。后 4 个阶段的造陆效率变化范围分别是 $2.2 \sim 3.7$ 、 $-1.1 \sim 4.2$ 、 $-10.3 \sim 11.2$ 、 $1.2 \sim 5.9 \text{ km}^2 \cdot \text{亿 t}^{-1}$ (图 2a 和表 1)。

2.1.3 现代黄河三角洲

现代黄河三角洲研究成果分为 3 个统计阶段, 节点是 1996 年清水沟流路汛前改汉和 2002 年小浪底水库开始运用(图 2b 和表 2)。已有研究成果中以现代黄河三角洲为区域的成果较少, 主要采用了影像高潮线和瞬时水边线。1976—1985 年造陆效率较为接近, 为 $3.6 \sim 4.0 \text{ km}^2 \cdot \text{亿 t}^{-1}$; 1985—1996 年为 $1.8 \sim 2.8 \text{ km}^2 \cdot \text{亿 t}^{-1}$ 。1996—1998 年的瞬时水边线成果为 $6.0 \text{ km}^2 \cdot \text{亿 t}^{-1}$ 。2004—2009 年影像高潮线成果为 $0.23 \text{ km}^2 \cdot \text{亿 t}^{-1}$ 。

2.1.4 清水沟流路范围

清水沟流路附近海域研究成果分为 4 个统计阶段, 节点分别是 1985 年水沙条件出现显著变化、1996 年清 8 改汉、2002 年小浪底水库开始运用(图 2c 和表 3)。研究成果众多, 采用了 7 种海岸线标准。4 个阶段的造陆效率变化范围分别是 $0.6 \sim 5.5$ 、 $0.1 \sim 5.9$ 、 $-5.6 \sim 8.4$ 、 $0.6 \sim 4.8 \text{ km}^2 \cdot \text{亿 t}^{-1}$ 。

2.1.5 清 8 汉河范围

清 8 汉河自 1996 年 5 月开始行河, 按照小浪底水库运用分为前、后 2 个统计阶段。采用的海岸线标准有影像高潮线、影像瞬时水边线、黄海-2 m

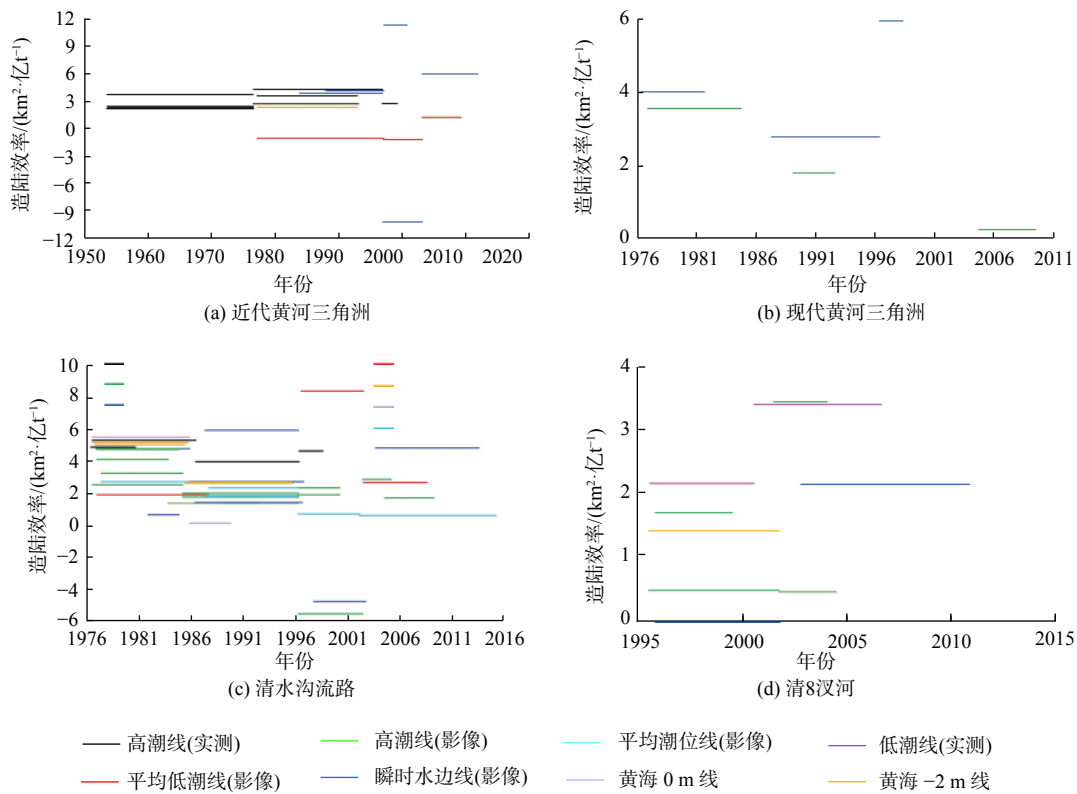


图2 黄河三角洲造陆效率

Fig.2 Efficiency of land formation in the Yellow River Delta

表1 近代黄河三角洲陆地面积变化

Table 1 Land area change of the modern Yellow River Delta

序号	统计阶段	海岸线标准	面积变化/km ²	研究时段	造陆效率/(km ² ·10 ⁴ t ⁻¹)	资料来源
1	1855—1954	高潮线(地貌)	1 400	1855—1954	/	文献[4]
2	1855—1954	高潮线(地貌)	1 510	1855—1954	/	文献[5]
3	1855—1954	高潮线(史料)	2 045	1855—1954	/	文献[6]
4	1954—1976	高潮线(实测)	578	1954—1976	2.28	文献[4]
5	1954—1976	高潮线(实测)	548.3	1954—1976	2.16	文献[5]
6	1954—1976	高潮线(实测和影像)	795	1955—1975	3.66	文献[6]
7	1954—1976	高潮线(实测)	588.0	1953/07—1976/05	2.33	文献[7]
8	1976—1996	高潮线(实测)	364.4	1976—1992	3.54	文献[5]
9	1976—1996	高潮线(实测)	557.0	1976/06—1996/06	4.22	文献[7]
10	1976—1996	高潮线(实测)	293	1976/05—1992/10	2.64	文献[9]
11	1976—1996	瞬时水边线(影像)	192.5	1987/09—1996/09	4.11	文献[27]
12	1976—1996	瞬时水边线(影像)	272.6	1983/07—1996/07	3.77	文献[29]
13	1976—1996	平均低潮线(影像)	-133.8	1976/12—1996/09	-1.09	文献[22]
14	1976—1996	黄海-2 m线	234.5	1976—1992	2.28	文献[5]
15	1996—2002	高潮线(实测)	22.4	1996/06—1998/10	2.72	文献[7]
16	1996—2002	瞬时水边线(影像)	77.9	1996/09—2000/05	11.21	文献[27]
17	1996—2002	瞬时水边线(影像)	-114.3	1996/07—2003/08	-10.27	文献[29]
18	1996—2002	平均低潮线(影像)	-9.8	1996/09—2002/09	-1.25	文献[22]
19	2002—2018	瞬时水边线(影像)	84.2	2002/09—2011/06	5.92	文献[29]
20	2002—2018	平均低潮线(影像)	14.1	2002/09—2008/10	1.18	文献[22]

表 2 现代黄河三角洲陆地面积变化
Table 2 Land area change of the modern Yellow River Delta

序号	统计阶段	海岸线标准	面积变化/km ²	研究时段	造陆效率/(km ² ·亿t ⁻¹)	资料来源
1	1976—1996	高潮线(影像)	23.79	1989/02—1992/08	1.81	文献[13]
2	1976—1996	高潮线(影像)	231.5	1976/12—1984/10	3.56	文献[14]
3	1976—1996	瞬时水边线(影像)	174.5	1976/06—1981/09	4.02	文献[26]
4	1976—1996	瞬时水边线(影像)	122.4	1987/05—1996/05	2.78	文献[26]
5	1996—2002	瞬时水边线(影像)	27.2	1996/05—1998/05	5.96	文献[26]
6	2002—2018	高潮线(影像)	1.4	2004/09—2009/06	0.23	文献[13]

表 3 清水沟流路范围内陆地面积变化
Table 3 Land area change along Qingshuigou channel

序号	统计阶段	海岸线标准	面积变化/km ²	研究时段	造陆效率/(km ² ·亿t ⁻¹)	资料来源
1	1976—1985	高潮线(实测)	436.1	1976/06—1986/06	5.28	文献[7]
2	1976—1985	高潮线(实测)	179	1976/05—1980/08	4.87	文献[9]
3	1976—1985	高潮线(影像)	213	1977/05—1985/03	3.20	文献[15]
4	1976—1985	高潮线(影像)	187.0	1976/06—1985/03	2.49	文献[16]
5	1976—1985	高潮线(影像)	214.4	1976/12—1983/10	4.07	文献[17]
6	1976—1985	高潮线—影像	309.3	1976/12—1984/10	4.75	文献[14]
7	1976—1985	瞬时水边线(影像)	15	1981—1984	0.60	文献[25]
8	1976—1985	瞬时水边线(影像)	353.0	1976—1985	4.77	文献[30]
9	1976—1985	平均潮位线(影像)	204.8	1977/05—1987/05	2.70	文献[31]
10	1976—1985	平均低潮线(影像)	142.3	1976/12—1987/09	1.87	文献[22]
11	1976—1985	黄海0 m	452	1976/06—1985/11	5.48	文献[35]
12	1976—1985	黄海-2 m	411.8	1976/06—1985/09	5.16	文献[36]
13	1976—1985	黄海-2 m	363.6	1976/10—1985/06	4.99	文献[37]
14	1985—1996	高潮线(实测)	180.5	1986/06—1996/06	3.96	文献[7]
15	1985—1996	高潮线(影像)	92	1985/03—1996/05	1.73	文献[15]
16	1985—1996	高潮线(影像)	105.6	1985/03—1996/05	1.98	文献[16]
17	1985—1996	高潮线(影像)	90.9	1983/10—1996/05	1.35	文献[17]
18	1985—1996	高潮线(影像)	17.7	1989/02—1992/08	1.35	文献[13]
19	1985—1996	瞬时水边线(影像)	260.3	1987/05—1996/05	5.92	文献[25]
20	1985—1996	瞬时水边线(影像)	121	1985—1995	2.63	文献[25]
21	1985—1996	瞬时水边线(影像)	68.7	1986/05—1996/10	1.38	文献[24]
22	1985—1996	瞬时水边线(影像)	135.9	1985—1996	2.70	文献[30]
23	1985—1996	平均潮位线(影像)	79.6	1987/05—1996/05	1.81	文献[31]
24	1985—1996	平均低潮线(影像)	108.5	1987/09—1996/09	2.32	文献[22]
25	1985—1996	黄海0 m	1	1985/11—1989/11	0.06	文献[35]
26	1985—1996	黄海-2 m	125.8	1985/06—1995/10	2.60	文献[37-38]
27	1996—2002	高潮线(实测)	38.21	1996/06—1998/10	4.64	文献[7]
28	1996—2002	瞬时水边线(影像)	-32	1997—2002	-4.86	文献[30]
29	1996—2002	高潮线(影像)	19.2	1996/05—2000/05	1.88	文献[15]
30	1996—2002	高潮线(影像)	-62.6	1996/05—2002/08	-5.63	文献[16]
31	1996—2002	高潮线(影像)	23.6	1996/05—2000/05	2.31	文献[17]
32	1996—2002	平均潮位线(影像)	6.8	1996/05—2002/04	0.64	文献[31]
33	2002—2018	高潮线(影像)	18.2	2002/08—2005/05	2.85	文献[16]
34	2002—2018	高潮线(影像)	10.3	2004/09—2009/06	1.69	文献[13]
35	2002—2018	瞬时水边线(影像)	76	2003—2013	4.84	文献[30]
36	2002—2018	平均潮位线(影像)	11.1	2002/04—2015/06	0.57	文献[31]
37	2002—2018	平均低潮线(影像)	31.5	2002/09—2008/10	2.63	文献[22]

表 4 清 8 汊河范围内陆地面积变化
Table 4 Land area change along Qing 8 channel

序号	统计阶段	海岸线标准	面积变化/km ²	研究时段	造陆效率/(km ² ·亿 t ⁻¹)	资料来源
1	1996—2002	高潮线(影像)	5.5	1996/05—2002/08	0.50	文献[16]
2	1996—2002	高潮线(影像)	11.9	1996/09—2000/05	1.71	文献[14]
3	1996—2002	低潮线(实测)	22.8	1996/06—2001/06	2.17	文献[21]
4	1996—2002	黄海-2 m	15.9	1996/05—2002/08	1.43	文献[39]
5	1996—2002	瞬时水边线(影像)	0.06	1996/09—2002/09	0.01	文献[28]
6	2002—2018	高潮线(影像)	3.0	2002/08—2005/05	0.47	文献[16]
7	2002—2018	高潮线(影像)	21.7	2002/05—2004/12	3.43	文献[19]
8	2002—2018	低潮线(实测)	36.2	2001/06—2007/07	3.39	文献[21]
9	2002—2018	瞬时水边线(影像)	31.8	2003/08—2011/09	2.17	文献[28]

线、实测低潮线共 4 种。2 个行河时段内造陆效率分别为 0~2.2、0.5~3.4 km²·亿 t⁻¹(表 4 和图 2d)。

2.2 海岸线标准对造陆效率的影响

造陆效率受水沙条件、口门形态、海洋动力等多种因素影响。在大体相近的时段和区域内,可以认为造陆效率主要受海岸线标准的影响。

(1) 4 个研究区域内各统计阶段的造陆效率研究成果均存在较大差别。近代黄河三角洲后 4 个阶段的造陆效率最大差别分别为 1.4、5.3、21.5、4.7 km²·亿 t⁻¹。现代黄河三角洲前 2 个阶段最大差别为 0.4、1.0 km²·亿 t⁻¹。清水沟流路范围 4 个阶段为 4.9、5.8、14、4.2 km²·亿 t⁻¹。清 8 汊河范围 2 个阶段为 2.2、2.9 km²·亿 t⁻¹。其中以 1996—2002 年差别最大,近代黄河三角洲造陆效率为-10.3~10.2 km²·亿 t⁻¹,清水沟流路为-5.6~8.4 km²·亿 t⁻¹,出现淤积和蚀退定性差别且绝对数值很大。

(2) 采用影像特征海岸线得到的部分时段造陆效率偏差较大。1996—2002 年依据瞬时水边线得到的造陆效率为-10.3、11.2 km²·亿 t⁻¹。清水沟流路 1976—1985 年、1996—2002 年采用影像高潮线得到的造陆效率分别为 1.4~4.8、-5.6~2.3 km²·亿 t⁻¹; 1976—1985 年、1986—1996 年采用瞬时水边线得到的造陆效率分别为 0.6~5.0、1.4~5.9 km²·亿 t⁻¹。

(3) 影像特征海岸线的确定易受到黄河三角洲沿岸发育的坡度平缓的广阔潮滩影响。以 2015 年汛后实测资料为例,清水沟南侧高潮线和低潮线最大距离为 9.8 km,刁口河西侧为 4.1 km(图 1)。1996—2002 年清水沟流路附近滩涂面积平均值达到 364 km²[22],这造成采用影像资料确定海岸线时出现很大不确定性,并且难以通过提高影像精度消除。以时段来沙量 11.1 亿 t 估算,采用瞬时水边

线得到该区域内的造陆效率极端偏差可能达到 32.8 km²·亿 t⁻¹。该时段内 1996 年 5 月实施了清 8 改汊工程,存在老汊河蚀退和新汊河淤进 2 种不同演变性质海岸。此外,该时段内黄河因频繁断流,来沙处于低谷,年均来沙量为 1.1 亿 t,在某种程度上放大了统计结果的偏差。

2.3 陆地面积变化研究宜采用的海岸线

黄河三角洲陆地面积研究采用的适宜海岸线标准要根据研究目的和演变特点确定。不同学科有不同的研究目的,海岸线的确定呈现多样性。通用的大潮高潮位时的海陆界线内涵是划分喜盐生物与淡水环境生物的界线,这条界线绝大部分时间是裸露的,1 个月内海水可以到达的时间仅有 2~3 h[2]。而航海图上的海岸线采用最低低潮线,以保证航海安全。资源调查利用遥感影像动态监测海岸变化时,多采用成像时刻的瞬时水边线,实时监测海岸情况。黄河三角洲的演变特点是行河流路海岸淤进和不行河区域海岸蚀退并存,对于海岸演变研究,适宜的海岸线标准应能体现这种特征。已有研究认为黄海-2 m 线能够较好反映黄河三角洲前缘的变化[37,41]。事实上,黄海-2 m 附近不仅是三角洲前缘区域,也是行河口门拦门沙主体变动区域和不行河自然海岸波浪破碎高频区域。

黄河三角洲发育是通过口门沙嘴的不断延伸和摆动实现的,而沙嘴的延伸和摆动是由拦门沙的淤积引起的。拦门沙非汛期淤高,汛期泄流不畅致使口门发生变动。黄河河口口水少沙多的特性和滨海区较弱的海洋动力,造就了独特的拦门沙形态。与国内外其他河口相比,黄河河口拦门沙长度短,顶部水深浅,前缘坡度陡[42]。1984—2019 年黄河河口不同年份实测拦门沙纵剖面显示(图 3),拦门沙

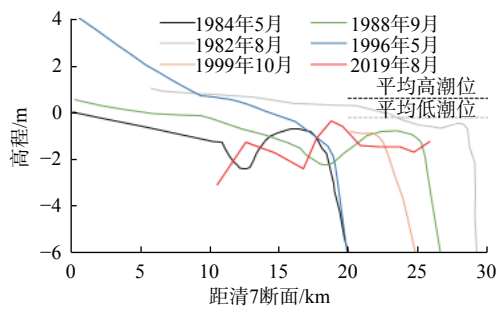


图 3 黄河河口拦门沙剖面变化情况

Fig.3 Profile changes of mouth bar in the Yellow River Estuary

主体高程基本在黄海-2.0~0.25 m 之间,大部分时期低于平均低潮位。

黄河三角洲不行河区域自然海岸出现强烈蚀退,最大距离出现在黄海-2 m 附近区域。以 1976 年 5 月刁口河停止行河后西侧断面为例(图 4),滨海区实测高程资料显示,1976—2015 年-2 m 线和-3 m 线分别后退 10.7 和 8.1 km,1992—2015 年 0 m 线、-2 m 线、-3 m 线分别后退 2.1、4.8、4.1 km。从波浪频率及破碎深度来看,刁口河附近海岸 0~2 m 水深为高频破碎带,全年中有 86% 的波浪在该区域破碎^[43]。

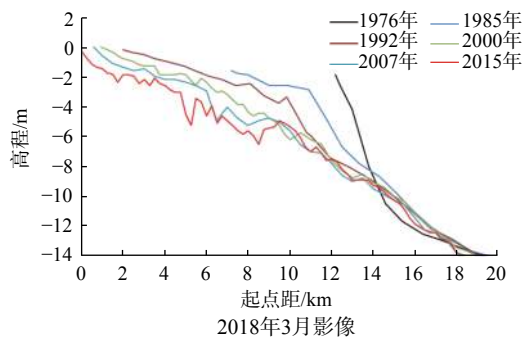


图 4 刁口河流路附近海岸蚀退情况

Fig.4 Coastal erosion near Diaokouhe channel

拦门沙的淤积和延伸抬高侵蚀基准面,引起流路的出汉摆动,产生溯源淤积并反馈影响到尾间河道。不行河自然海岸在波浪、潮汐等海洋动力作用下在-2 m 高程附近区域蚀退强度最大。采用黄海-2 m 线作为陆地面积统计标准能够涵盖海陆相互作用最强烈的地带,较为准确地分析黄河来水来沙条件对三角洲面积的影响。已有研究成果显示,清水沟流路 1976—1985 年采用黄海-2 m 线得到的造陆效率与实测高潮线相差不大,为 $5.0 \sim 5.2 \text{ km}^2 \cdot \text{t}^{-1}$;而 1985—1996 年前者为 $2.6 \text{ km}^2 \cdot \text{t}^{-1}$,后者为 $4.0 \text{ km}^2 \cdot \text{t}^{-1}$ 。这说明该时期高潮线至-2 m 线之间的河床剖面有变陡趋势,与 1984—1996 年拦门沙剖面形态变化趋

势一致。此外,黄海-2 m 线依据实测地形资料确定,能够减少不同处理方式带来的误差。

3 黄河三角洲陆地面积动态平衡沙量

已有平衡沙量研究成果区域主要有近代黄河三角洲、现代黄河三角洲、清水沟流路范围、清 8 汊河范围附近 4 类。研究方法大多是建立描述某一时段内陆地面积变化特征的因变量与水沙条件自变量的统计关系,得到因变量为 0 时的平衡沙量或临界水沙组合关系式。因变量多采用造陆面积,也有沙嘴变幅、河口变幅、冲淤体积等特征因子;自变量多采用来沙量,也有来水量、来沙系数、平均含沙量等^[7, 16, 28-29, 34, 44-47]。这些不同区域内的动态平衡沙量分别为 $2.8 \sim 3.3$ ^[34, 44, 46]、 $1.6 \sim 4.4$ ^[7, 29]、 $1.5 \sim 3.3$ ^[16, 44-45]、 $0.5 \sim 1.6$ 亿 t^[16, 28, 48]。

海岸线标准对陆地面积动态平衡沙量研究成果造成影响。除近代黄河三角洲外,其他 3 个研究区域内的平衡沙量差异较大。举例而言,而对于统计时段较为接近的,李福林等^[45]和 WANG 等^[44]分别计算的 1976—1995 年和 1976—1997 清水沟流路平衡沙量为 2.3 和 1.5 亿 t,主要原因在于前者采用的是黄海-2 m 线,后者采用的是影像低潮线。已有动态平衡沙量研究中还存在蚀退区间样本过少问题。自然时期由于黄河来沙量巨大,大部分时段内海岸处于整体淤进状态,只有个别年份或时段出现蚀退。1985 年以后,来沙量显著减小,但很多不行河海岸修筑了防护工程,因此,大部分研究成果显示海岸整体也处于淤进状态。由于蚀退的样本过少,采用内插或外推计算动态平衡沙量时均存在一定程度上的资料不充分现象。

人工干预显著增强条件下研究行河流路范围内面积动态平衡更具有实践意义。黄河三角洲海岸的一个突出特点是行河流路海岸淤进和不行河流路海岸蚀退并存。自然时期,行河流路基本处于“十年一改道”的局面。研究近代三角洲陆地面积变化能够概化反映三角洲造陆与蚀退的消长情况进而得到整个侵蚀基准面的抬升下降幅度。动态平衡沙量的研究为通过水土保持、水库拦沙和下游滩地滞沙等措施减少进入河口沙量实现遏制或减缓侵蚀基准面的抬升提供依据。而自 20 世纪 80 年代后期以来,相对长期稳定入海流路已得到共识,由于人工干预程度增强清水沟单一流程行河已有 43 年。这在很大程度上改变了自然时期流路在三

角洲上的循环演变规律。随着不行河海岸防护工程的完善,这些区域的蚀退主要表现在工程附近滩面的刷深。因此,若从稳定或减少侵蚀基准面抬升角度出发,研究行河流路范围内海岸动态稳定的沙量更有意义。

4 结论

黄河三角洲陆地面积研究采用的海岸线标准主要有依据实测资料确定的高潮线、低潮线、黄海0 m线和黄海-2 m线和依据卫星遥感影像确定的高潮线、低潮线和瞬时水边线。

(1)近代黄河三角洲、现代黄河三角洲、清水沟流路范围和清8汊河口门不同时段得到的造陆效率均存在差别。采用影像特征海岸线得到的部分时段造陆效率偏差较大,主要与黄河三角洲沿岸发育的坡度平缓的广阔潮滩有关。

(2)采用黄海-2 m线作为海岸线包含了行河流路淤进最强烈的拦门沙区域和不行河流路蚀退幅度最大的海洋动力作用区域,适宜于研究海岸淤进、蚀退,以及由此产生的对流路出汊、摆动和黄河下游的反馈影响。

(3)已有海岸动态平衡沙量研究中存在的主要问题是发生蚀退的区间样本过少。在目前相对长期稳定行河流路的局面下,研究行河流路范围内面积动态稳定的沙量更有实践意义。

参考文献:

- [1] 庞家珍,司书亨. 黄河河口演变Ⅱ. 河口水文特征及泥沙淤积分布[J]. 海洋与湖沼, 1980, 11(4): 296-305.
- [2] 夏东兴,段焱,吴桑云. 现代海岸线划定方法研究[J]. 海洋学研究, 2009, 27(S): 28-33.
- [3] 于彩霞,许军,黄文骞,等. 海岸线及其测绘技术探讨[J]. 测绘工程, 2015, 24(7): 1-5.
- [4] 洪尚池,吴致尧. 黄河河口地区海岸线变迁情况分析[J]. 海洋工程, 1984(2): 68-74.
- [5] 庞家珍,姜明星,李福林. 黄河口径流、泥沙、海岸线变化及其发展趋势[J]. 海洋湖沼通报, 2000(4): 1-6.
- [6] 郭永盛. 近代黄河三角洲海岸的变迁[J]. 海洋科学, 1980(1): 30-34.
- [7] 李希宁,刘曙光,李从先. 黄河三角洲冲淤平衡的来沙量临界值分析[J]. 人民黄河, 2001, 23(3): 20-21.
- [8] 彭俊,陈沈良,李谷祺,等. 黄河三角洲岸线及现行河口区水下地形演变[J]. 地理学报, 2012, 67(3): 368-373.
- [9] 姜明星,杨风栋,霍瑞敬,等. 黄河三角洲海岸及滨海区演变与河口流路、入海水沙的关系[J]. 海洋湖沼通报, 2004(3): 6-15.
- [10] 濮静娟,王长耀. 利用卫星遥感资料研究河口三角洲、湖泊的动态[J]. 地理学报, 1979, 34(1): 43-54.
- [11] 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: 14.
- [12] 吉祖稳,胡春宏,曾庆华,等. 运用遥感卫星照片分析黄河口近期演变[J]. 泥沙研究, 1994(3): 12-22.
- [13] 栗云召,于君宝,韩广轩,等. 基于遥感的黄河三角洲海岸线变化研究[J]. 海洋科学, 2012, 36(4): 99-106.
- [14] CHU Z X, SUN X G, ZHAI S K, et al. Changing pattern of accretion/erosion of the modern Yellow River (Huanghe) subaerial delta, China: based on remote sensing images[J]. Marine Geology, 2006, 227: 13-30.
- [15] 常军,刘高焕,刘庆生. 黄河口海岸线演变时空特征及其与黄河来水来沙关系[J]. 地理研究, 2004, 23(5): 339-346.
- [16] CUI B L, LI X Y. Coastline change of the Yellow River Estuary and its response to the sediment and runoff (1976—2005)[J]. Geomorphology, 2011, 127: 32-40.
- [17] 薛允传,马圣媛,周成虎. 基于遥感和GIS的现代黄河三角洲岸线变迁及发育演变研究[J]. 海洋科学, 2009, 33(5): 36-40.
- [18] WANG K F. Evolution of Yellow River Delta coastline based on remote sensing from 1976 to 2014, China[J]. Chinese Geographical Science, 2019, 29(2): 181-191.
- [19] 李云驹,刘学工,马浩录,等. 黄河口尾间变化的遥感分析[J]. 人民黄河, 2006, 28(7): 1-2.
- [20] JIANG C, PAN S Q, CHEN S L. Recent morphological changes of the Yellow River (Huanghe) submerged delta: causes and environmental implications[J]. Geomorphology, 2017, 293: 93-107.
- [21] 陈俊卿,李小娟,杨金荣,等. 1996—2007年黄河新口门造陆分析[J]. 人民黄河, 2009, 31(3): 38, 102.
- [22] 杨伟. 现代黄河三角洲海岸线变迁及滩涂演化[J]. 海洋地质前沿, 2012, 28(7): 17-23.
- [23] 黄海军,李成治,郭建军. 卫星影像在黄河三角洲岸线变化研究中的应用[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1994, 14(2): 29-37.
- [24] 赵庚星,张万清,李玉环,等. GIS支持下的黄河口近期淤、蚀动态研究[J]. 地理科学, 1999, 19(5): 442-445.
- [25] 何庆成,张波,李采. 基于RS、GIS集成技术的黄河三角洲海岸线变迁研究[J]. 中国地质, 2006, 33(5): 1118-1123.
- [26] 董芳,赵庚星,田文新,等. 基于遥感和GIS的黄河三角洲淤蚀动态研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2003, 31(1): 53-56.
- [27] 程义吉,张建怀,杨晓阳. 黄河三角洲海岸线的演变特征分析[J]. 人民黄河, 2011, 33(10): 118-120.
- [28] BI N S, WANG H J, YANG Z S. Recent changes in the erosion-accretion patterns of the active Huanghe (Yellow River) delta lobe caused by human activities[J]. Continental Shelf Research, 2014, 90: 70-78.
- [29] KONG D X, MIAO C Y, BORTHWICK A G L, et al. Evolution of the Yellow River Delta and its relationship with runoff and sediment load from 1983 to 2011[J]. Journal of Hydrology, 2015, 520: 157-167.
- [30] WU X, BI N S, XU J P, et al. Stepwise morphological evolution of the active Yellow River (Huanghe) Delta lobe

- (1976–2013): dominant roles of riverine discharge and sediment grain size[J]. *Geomorphology*, 2017, 292: 115-127.
- [31] 郭文. 基于遥感的黄河三角洲海岸带淤蚀变化及其水沙阈值研究[D]. 郑州: 华北水利水电大学, 2018: 40.
- [32] 胡春宏, 吉祖稳, 王涛. 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.
- [33] 王恺忱. 黄河河口发展影响预估计算方法[J]. *泥沙研究*, 1988(3): 40-50.
- [34] 许炯心. 黄河三角洲造陆过程中的陆域水沙临界条件研究[J]. *地理研究*, 2002, 21(2): 163-170.
- [35] 郭永盛, 许学工, 范兆木, 等. 黄河口区域演变的预测研究[J]. *海洋学报*, 1992, 14(3): 95-104.
- [36] 王恺忱. 黄河河口的演变与治理[J]. 郑州: 黄河水利出版社, 2010: 156-158.
- [37] 李福林, 姜明星. 黄河清水沟流路河口三角洲增长面积预测[J]. *海洋湖沼通报*, 1999(3): 16-22.
- [38] 李福林, 庞家珍, 姜明星. 黄河三角洲海岸线变化及其环境地质效应[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2000, 20(4): 17-21.
- [39] 程义吉, 杨晓阳, 孙效功. 黄河口清 8 汉河海域冲淤变化分析[J]. *人民黄河*, 2004, 26(11): 17-18.
- [40] 徐丛亮, 陈沈良, 陈俊卿. 新形势下黄河口出汊流路三角洲体系的演化模式[J]. *海岸工程*, 2018, 37(4): 35-43.
- [41] 褚忠信, 马向辉, 张建启, 等. 一般高潮线与 2 m 等深线反映黄河三角洲冲淤变化的对比[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2005, 25(4): 23-27.
- [42] 李泽刚. 黄河口拦门沙的形成和演变[J]. *地理学报*, 1997, 52(1): 55-62.
- [43] 陈沈良, 张国安, 陈小英, 等. 黄河三角洲飞雁滩海岸的侵蚀及机理[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2005, 25(3): 9-14.
- [44] WANG S J, HASSAN M A, XIE X P. Relationship between suspended sediment load, channel geometry and land area increment in the Yellow River Delta[J]. *Catena*, 2006, 65: 302-314.
- [45] 李福林, 庞家珍, 姜明星, 等. 黄河清水沟流路水沙组合和河口三角洲发育的宏观特性[J]. *海洋学报*, 2001, 23(1): 52-59.
- [46] 王开荣, 茹玉英, 陈孝田, 等. 黄河河口三角洲岸线动态平衡问题的探讨[J]. *泥沙研究*, 2007(6): 66-70.
- [47] 张治昊, 胡春宏. 黄河口水沙过程变异及其对河口海岸造陆的影响[J]. *水科学进展*, 2007, 18(3): 337-341.
- [48] FAN Y S, CHEN S L, ZHAO B, et al. Shoreline dynamics of the active Yellow River delta since the implementation of Water-Sediment Regulation Scheme: a remotesensing and statistics-based approach[J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2018, 200: 406-419.

COASTLINE CRITERIA FOR LAND AREA OF THE HUANGHE RIVER DELTA AND THEIR SIGNIFICANCE

YU Shoubing^{1,2}, FAN Yaoshen^{1,2}

(1 Yellow River Institute of Hydraulic Research, Yellow River Water Conservancy Commission of Ministry of Water Resources, Zhengzhou 450003, China; 2 Key Laboratory of Yellow River Sediment, Ministry of Water Resource, Zhengzhou 450003, China)

Abstract: The land area of the Huanghe River Delta is significant to the integrated estuary administration and management, national land planning, conservation and development of natural reserves and oil-gas exploitation and development. The adopted criteria for the time being include high tide line, low tide line, 0 m line upon the Huanghai datum and -2 m line upon the Huanghai datum from measured data, and high tide line, low tide line, water body line from Remote sensing satellite images. There are large differences in the figures of land increment per 1×10^8 t sediment or so-called “land increment efficiency” among the data from the Lijin Station, the modern delta, the Qingshuigou course, and the Qing 8 course. The coastline from satellite images have big differences in some periods, due to the broad tidal flat with gentle slope. It is suggested that the -2 m line on the Huanghai datum is proper for studies of coastal progradation and retrogradation, water course avulsion and migration, and influences on lower reaches of the River. The main problem of the existing studies on the sediment for coastline dynamic balance is that data are not sufficient from recession periods. In order to maintain long term stabilization of current course, more work is required to study the sediment budget and coastal dynamic balance along the Qingshuigou course.

Key words: Huanghe River Delta; land area; coastline; land increment efficiency; sediment budget