# 1973-2017 年扬中市江岸冲淤

## 遥感监测及古河道塌江分析<sup>1</sup>

杨达源,黄贤金,施利锋,李升峰

(南京大学地理与海洋科学学院,江苏南京 210023)

【摘要】: 江心岛沿江地区的泥沙淤积、水流侵蚀以及江堤坍塌对江心岛面积形态、滩涂围垦、航道变化、河口 生态等都会产生重大影响。以长江干流第二大江心岛——扬中市为研究对象,基于遥感影像监测了 1973-2017 年沿 江区域冲淤变化和塌江区域,结合多种资料分析变化成因。结果表明:(1) 1973<sup>~</sup>2017 年扬中市沿江地区冲淤变化 分 3 个阶段,不同阶段淤积和冲蚀特点鲜明;(2) 经过经纬度定位,扬中市塌江区域发生在 1930 年扬中市主岛太 平洲右侧两个江心岛之间的夹江与西南一东北向的一条古河道的交汇处;(3) 塌江事件与常规水流冲刷无关,古河 道出口被堵形成水压,沿江区域江底"深槽"引发"旋流"掏空底部泥沙,加上汛期后江水下泄,内外压力差加大 直接引发塌江。

【关键词】: 江心岛 冲淤 古河道塌江 遥感 扬中

【中图分类号】: P332 【文献标识码】: A 【文章编号】: 1004-8227 (2018) 12-2796-09

DOI: 10.11870/cjlyzyyhj201812016

长江是世界第三、中国第一的长河,干流自西向东贯穿中国 11 个省、市、自治区,流域面积高达中国陆地总面积的 1/5<sup>[1]</sup>。 长江除了巨大的水流量以外,还携带了大量泥沙,在长江干流形成了众多江心岛,而这些江心岛每时每刻都在发生着变化<sup>[2]</sup>。 影响这些江心岛数量、面积和形状发生变化的原因也多种多样。例如,长江位于枯水期,江心岛露出水面的面积较多,而在丰 水期,一些较小的江心岛和大岛的外沿会在水面以下<sup>[3,4]</sup>;又如,三峡水库自 2003 年开始蓄水以后,长江中下游流域泥沙携带 量明显减少,直接影响中下游江心岛的淤积<sup>[5]</sup>,长江下游马鞍山一铜陵河段的江心岛年均增长面积逐年减少,甚至出现面积萎 缩的现象<sup>[6]</sup>。除此以外,长江中下游水域泥沙携带量的减少,导致河床长期处于冲刷状态,加上洪水或枯水的作用,长江沿岸 塌江现象频频发生<sup>[7]</sup>。其中,破坏较严重的有 2017 年 11 月发生的扬中市胜利圩埭塌江和 2008 年 11 月发生的南京市栖霞区龙 潭塌江。沿江地区三面环水、视野开阔、景色优美,在江心岛保护政策出现之前一直是地产开发商热衷投资的地区<sup>[10]</sup>,塌江的 发生将严重影响河槽稳定以及居民的生产和生活。

通过文献回顾发现,当前并不缺乏长江第一大岛——崇明岛的相关研究。崇明岛凭借其长江人海口的特殊地理位置、显著的淤积面积等因素一直以来都是相关研究的热点区域。研究内容广泛涉及冲淤(冲蚀和淤积)监测及成因分析<sup>[11°13]</sup>、冲淤区域 差异分析<sup>[14°16]</sup>、岸线演变及趋势分析<sup>[117]</sup>、滩涂围垦及影响分析等<sup>[18, 19]</sup>。扬中岛是长江干流中形成的第二大江心岛,位于长江河 口区的近口端(河流段),冲淤的变化以河流作用为主,崇明岛则位于长江河口区河口段(过渡段),冲淤变化受河流与海洋综

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup>收稿日期: 2018-05-21; 修回日期: 2018-07-26

基金项目: 国家社会科学基金重大项目(17ZDA061);江苏省水利科技项目(2018041)

**作者简介:**杨达源(1941<sup>~</sup>),男,教授,主要从事自然地理学和地貌学研究.E-mail:ydy0728@126.com **通讯作者** E-mail:hxj369@nju.edu.cn

合作用影响,两者的现象和本质都存在显著的差别。然而,鲜有研究关注扬中江岸冲淤情况。除此以外,塌江事件发生区域较 小,规律性弱,突发性强,相关研究较为缺乏。然而塌江事件对居民生产、生活有较大的影响,分析塌江现象及形成原因,可 以推断塌江风险区域,进而及时进行预防,可以有效地保护居民的生命财产安全。

本文基于长时序 Landsat 系列卫星遥感影像,监测扬中市 1973~2017 年间江岸冲淤的面积及空间分布,并归纳其时空演变 规律,分析其背后的影响因素。之后,通过 2017 年扬中市胜利圩埭塌江事件前后两期遥感影像对比,估算塌江区域面积,结合 1930 年扬中市地形图分析塌江事件的成因,并圈定扬中市沿江塌江的潜在发生区域,为扬中市规划建设、灾害预防提供科学的 参考和建议。

## 1研究区域、数据及方法

## 1.1 研究区域

扬中市地处 119°42'E<sup>119°58'E,32°00'N<sup>32°19'N</sup>,是江苏省面积最小的县级市,隶属于镇江,辖区面积(含水域) 327km<sup>3</sup>,户籍人口 28.2万人<sup>[20]</sup>,由太平洲、中心沙、西沙岛和雷公岛 4个江岛组成。由于扬中市四面环水,目前已经形成了"一岛五桥"的交通格局与外界连通,岛内交通发达,整个岛已建成了"半小时经济圈"。扬中市是长江第二大江心岛,属冲积平原, 地势平坦,长江水流对岛的形态的塑造起了主导作用。</sup>

### 1.2 数据来源

本文对扬中市沿江区域冲淤面积监测主要基于 Landsat 系列卫星遥感影像,所有遥感影像均从美国地质调查局网站下载(http://glovis.usgs.gov/)。然而,通过遥感影像监测江心岛沿江区域冲淤面积受长江水位影响较大。每年 11 月长江开始进入枯水期,枯水期水位较低,江心岛露出水面部分相对较多,6 月以后长江开始进入丰水期,丰水期水位较高,江心岛露出水面部分相对较少。除此以外,两次影响较大的塌江事件(扬中市胜利圩埭塌江和南京市龙潭塌江)都发生在 11 月份。为了确保冲淤监测的准确性以及扬中塌江事件成因的合理分析,所有遥感影像优先选取 11 月份的,11 月份影像无法获取的年份采用 10 月和 12 月份影像补充。本文采用的遥感影像来源、年份及成像时间如表 1 所示。为了探索塌江发生原因,本文还结合了扬中市 1930年地形图。

	Tab. 1 Data source	and imaging ti	me of remote sensing images	
卫星	传感器	年份	成像时间	空间分辨率
Landsatl	MSS	1973	11-15	78m
Landsat3	MSS	1978	10-21	78m
Landsat4	ТМ	1983	11-30	30m
Landsat5	TM	1988	11-03	30m
Landsat5	ТМ	1993	11-01	30m
Landsat5	TM	1998	12-17	30m
Landsat5	ТМ	2003	11-04	30m
Landsat5	TM	2008	12-19	30m
Landsat8	OLI	2013	12-01	30m
Landsat8	OLI	2017	10-25	30m
Landsat8	OLI	2017	11-10	30m

表1遥感影像来源及成像时间

#### 1.3影像预处理及冲淤动态监测

采用真彩色合成影像,以1:10万地形图为基准,进行几何精校正。像元重采样采用最近邻点法,几何精校正误差不超过2 个像元。所有遥感影像投影方式均采用双标准纬线等面积割圆锥投影,克拉索夫斯基椭球体,以及全国统一的中央经线和双标 准纬线,中央经线为东经105°,双标准纬线为北纬25°和北纬47°。。该投影方式面积变形较小,适用于区域范围面积的计算 和统计<sup>[21]</sup>。

由于早期遥感影像质量较差,空间分辨率较低,扬中沿江区域冲淤面积变化采用由 2017 年往前倒推的监测方式,以控制早 期遥感影像扬中岛边缘羽化引起的误差。具体实施分为以下 3 个步骤:(1)采用目视解译的方式,在 ArcGIS 平台中勾勒出 2017 年扬中市的边界,对照谷歌地球和 2017 年不同月份的扬中市遥感影像反复检验其边界,确保目视解译的准确性;(2)将扬中市 2017 年边界叠加在 2013 年遥感图像上,通过目视解译勾勒出动态区域,按属性将动态区域分为冲蚀和淤积两类,参照土地利用 变化遥感监测的标准,动态区域超过 6x6 个像元才会被监测<sup>[22]</sup>,精度控制同样采用反复解译和多图像比对,之后生成 2013 年扬 中市边界矢量图,以及 2013~2017 年扬中市冲淤空间分布矢量图;(3)重复步骤 2,生成相应年份的扬中市边界矢量图及对应时 段冲淤空间分布矢量图。

## 2 1973~2017年扬中市沿江地区冲淤时空演变

1973-2017年扬中市沿江地区淤积面积约 12km<sup>2</sup>,冲蚀面积约 4km<sup>2</sup>,净增长面积约 8km<sup>2</sup>(表 2)。冲淤变化区域主要集中在扬中市主岛一太平洲南部突起的沿江地区以及扬中市南部江心岛——雷公岛(图 1)。1978-1983年和 1993~1998年两个时段,在西沙岛(又名小泡沙)也出现少量的冲淤现象。经过冲淤面积变化趋势的分析,1973~2017年扬中市沿江地区冲淤变化可分为 3个时段,分别是 1973~1988年、1988~2003年和 2003~2017年。

Tab. 2 Dynamic areas of erosion and siltation in Yangzhong City during 1973 and 2017							
	淤积		冲蚀				
时段	面积	区域	面积	区域	合计(m <sup>2</sup> )		
	$(m^2)$	数量	$(m^2)$	数量			
1973-1978	437301	2	0	0	437301		
1978-1983	1814927	5	0	0	1814927		
1983-1988	1396375	4	0	0	1396375		
1988-1993	194268	4	-972715	5	-778447		
1993-1998	5584992	7	-558915	4	5026077		
1998-2003	1572779	5	-1514284	8	58495		
2003-2008	337863	3	-261244	3	76619		
2008~2013	841208	3	0	0	841208		
2013-2017	0	0	-765803	3	-765803		
1973-2017	12179713	33	-4072961	23	8106752		

表 2 1973~2017 年扬中市冲淤动态面积

1973~1988年只呈现淤积现象,冲蚀现象未发生。这一时段淤积面积约3.65km<sup>2</sup>,约占整个时段淤积面积的30%。太平洲淤积面积出现在南部突起沿江地区的右侧,雷公岛淤积面积出现在南北两端,以北部为主。1978年前西沙岛分为两块,中间有条细小的夹江,1978~1983年间淤积泥沙把夹江填满,两块区域合并为一块。



1988-2003 年是泥沙淤积和冲蚀现象发生都最为剧烈的时段,淤积面积约 7.35km<sup>2</sup>,约占整个时段淤积面积的六成,冲蚀面积 约 3.05km<sup>2</sup>,超过整个时段冲蚀面积的七成。1993<sup>~</sup>1998 年间淤积面积约 5.58km<sup>2</sup>,在所有时段中淤积面积最显著。太平洲和雷公岛 冲淤动态区域与上一时段相同,西沙岛东侧和南侧出现少量淤积,西侧出现少量冲蚀。

2003~2017 年泥沙淤积面积仅占整个时段的一成,显著少于以上两个时段。时段内差异显著,2008-2013 年淤积面积相对 较多,未出现冲蚀现象,而 2013<sup>2</sup>017 年冲蚀面积较多,未出现淤积现象。太平洲冲蚀动态区域出现在南部突起沿江地区的右 侧,雷公岛冲蚀动态区域出现在北端。

## 3 扬中市胜利圩埭塌江前后遥感图像对比及位置确定

塌岸是指河湖岸坡,在地表水流冲蚀和地下水潜蚀作用下所造成的岸坡变形和破坏现象,沿江一些地方称其为"塌江"。塌 江在现象上表现为岸坡物质的塌落,主要与其下部物质变酥软有关,显著特点是具有"锯齿状的裂口"。2017年11月8日凌晨 5时许,扬中市胜利圩埭沿江地区发生塌江事件。选取离事发时间最近的两景 Landsat 影像分析江岸坍塌情况,两景影像成像时 间分别为2017年10月25日和2017年11月10日(图2)。遥感图像显示塌江区域呈梯形状,内侧长约8个像元(约240m), 外侧长约10个像元(约300m),纵深约5个像元(约150m),塌江面积约0.04km<sup>2</sup>。现场调查显示塌岸后壁裂口呈锯齿状,从扬 中市胜利圩埭沿江区域坍塌的现象来看是较为典型的塌江事件。

对比扬中市 2017 年遥感影像和 1930 年地形图可以看出,经过近一个世纪的泥沙淤积和水流冲蚀,扬中市空间形态被重新

塑造,面积也出现了明显的增长。雷公岛面积明显增大,形状也发生了较大变化,东侧出现了新的江心岛,西沙岛也在1930年 后形成。1930年地形图中太平洲右侧有两个长条形的江心岛,经过多年的泥沙淤积作用,大江心岛与太平洲之间的夹江被泥沙 填满,小江心岛受水流冲蚀作用影响而消失。通过经纬度定位,扬中市塌江区域发生在1930年太平洲右侧两个江心岛之间的夹 江与西南一东北向的一条古河道的交汇处。



## 4 讨论

### 4.1 1973~2017年扬中市沿江地区冲淤时空演变特征分析

扬中市主岛太平洲南部突起,在地貌上属于河流凸岸,而江北扬州市江都区的沿江地区向内凹进,地貌上属于河流凹岸。 河流凹岸水流速度快于凸岸,凹岸流水作用以侵蚀为主,凸岸则以堆积为主。因此,扬中市沿江区域冲淤动态区域主要发生在 太平洲南部突起区域和雷公岛,且以泥沙淤积为主,1973~2017年扬中市净增长面积约 8km<sup>2</sup>。

长江大通站水文站是长江最下游的系统水文观测站,大通站往下没有较大的支流汇入长江。因此,大通站的观测数据通常 被用作长江下游水文研究。本文结合大通站年均输沙量数据分析扬中市沿江地区冲淤面积变化特征(表3)<sup>[23]</sup>。1989年以后大通 站的年均输沙量出现明显减少,这与1989年起实施的长江上游水土保持重点防治工程有直接关联。自长江上游水土保持重点防 治工程实施以来,以往水土流失最为严重的金沙江下游及毕节地区、嘉陵江中下游、陇南陕南地区和三峡库区水土流失面积减 少了40%<sup>60%<sup>[24]</sup>。1989-1993年扬中市南部沿江区域泥沙淤积面积增长量相比1978~1983年减少了86%,由于水流泥沙携带量的 减少,水流处于不饱和状态,1988年以后出现了冲蚀现象。1993<sup>~</sup>1998年淤积面积在所有时段中最突出,大部分泥沙淤积是在 1998年长江特大洪水时期形成的,洪水携带大量泥沙,在下游沉积。在2000年以后长江年均输沙量逐渐递减,受三峡大坝蓄水 的影响,2003年后输沙量减少速度显著加快<sup>[25]</sup>。上游的水流进入三峡大坝经过沉淀,开闸时清水下泄,直接导致扬中市南部沿 江地区泥沙淤积减弱,水流冲蚀加强。2013-2017年只出现冲蚀,未出现淤积现象。按此趋势,扬中市在未来短时间内水流冲蚀 作用将要大于淤积作用,但冲蚀作用较微弱,不会出现大面积缩小现象,动态区域仍将集中在太平洲南部沿江地区和雷公岛四 周。</sup>

#### 表 3 大通站年均输沙量

Tab.	3	Annual	sediment	discharge	of	Datong	station	

年份	1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000	2001	2002	2003	2004
年均输沙量(10 <sup>8</sup> t)	4.24	4.34	3.43	3.39	2.76	2.75	2.06	1.47

#### 4.2 2017年扬中市胜利圩埭塌江成因分析

在水利部门,通常认为塌岸是由水流侵蚀造成的,主要原因有以下 3 点: (1) 北半球自西向东的河流受地球自转的影响, 水流对南岸冲刷较为严重,河流南岸易发生塌岸事件; (2) 由于地形、地质等自然条件,河流会形成弯曲的河道,水流经过弯 道时,弯道外沿(凹岸)水流速度较大,水流冲刷严重,易发生塌岸事件; (3) 沙土性质河岸抗水流冲刷能力弱,易发生塌岸 事件。例如 2013 年 12 月 30 日,南京长江大桥南堡桥墩不到一百米的地方出现一段 20 多米长的塌方,塌陷位置靠近金川河入 江口,堤岸没有水泥护坡,受水流冲刷出现塌方。水流冲刷导致塌岸是表面现象,其本质是水流速度加快,在岸壁与水流内部 之间产生压力差,在岸壁内物质之间产生张裂(裂缝),造成其外层脱落。

扬中市塌江区域位于太平洲上端 1/3 处右侧沿江地区,此处水流大致为南北走向,河道粗细均匀,两侧江堤基本平行,在 这种情况下水流对河岸的冲蚀相对较弱。1973-2017 年遥感影像监测也证明了这一点,在长达 44a 的时间里,塌江区域未出现明 显的泥沙淤积和水流冲蚀现象。除此以外,塌江发生区域江岸有护坡,具有较强的抗水流冲刷能力。对比以上塌岸形成的主要 原因,扬中市胜利圩埭塌江不符合以上塌江形成条件,因此扬中市胜利圩埭塌江并非由常规意义上的水流冲刷导致。



Fig. 3 Field investigation of bank collapse in Shengliweili of Yangzhong

为了探明原因,将扬中市遥感影像图与更早期的地形图相比。扬中岛本由许多砂体拼接而成,1930年的太平洲右侧有两条 狭长形的江心岛,其中较长的江心岛被3条西南一东北向的古河道分割为四块,塌江区域位于太平洲右侧两个江心岛之间的夹 江与西南一东北向的一条古河道入江口的交汇处(图2右)。随着泥沙的淤积,太平洲与较长江心岛之间的夹江被泥沙填满,两 个岛连接在了一起。与此同时,在历年的造田过程中西南一东北向的古河道的出口被逐步填埋并被堤坝阻隔。通过实地调查发现,塌江区域干堤内测约 40~60m 筑有子堤,长约 2000m,以防潮水侵袭,.在干堤与子堤之间本是一片低洼地,之后填上薄沙土。在子堤后原有一些河沟和鱼塘,水位偏高,修筑子堤挖出来的是烂糊泥,往后才有长条状展布的村庄,与干堤平行(图 3)。历史图像资料和实地调查都显示塌江区域位于古河道的入江口,经过几十年的变迁,部分古河道被掩埋,出口被堤坝封堵。河道内原有地表水无法经由原河道流入江中,堤坝受到一定程度的水压,加上地下水外渗,带走堤下淤泥产生"潜蚀",使得堤底被"掏空",增大了江滩滑塌或塌陷的风险,这是可能造成塌江事件的原因之一。

除此以外,有研究通过钻探发现塌江区域存在一处江底"深槽",泥沙堆积厚度存在约 34m 的高差(图 4)<sup>[26]</sup>。江底"深槽" 会在江水退潮期间引起"旋流","旋流"会带走泥沙,经过几十年的时间江底会逐渐被掏空,这是可能造成塌江事件的原因之 二。除此以外,2017年10月长江流域降水较多,加剧了"旋流"侵蚀作用,水流带走"深槽"底部大量泥沙。之后进入11月 份,水位开始下降,浮力减小,塌江区域承受不了自身重力而出现崩塌,是塌江事件的导火索。



被江堤封堵的古河道出口处是塌江高风险区域。很多古河道被泥沙淤积的时间仅五、六十年,通常不超过一百年,泥沙填 充的古河道地基较软,易出现地面沉降,在长期的地下水外渗以及水流侵蚀带走淤积泥沙后,加上汛期过后江水下泄,江水吸 力加大和堤内外水位差,容易引起江堤崩塌。因此,需要注重问题国土空间的自然资源综合管理<sup>[27]</sup>,提升防范及应对能力。

## 5 结论

本文基于遥感影像监测了扬中市 1973-2017 年间的沿江区域冲淤面积动态以及 2017 年扬中市塌江事件发生前后塌江区域的 变化。结合水文数据、地理学知识和相关研究,分析了扬中市沿江地区冲淤变化特点及塌江形成原因,具体结论如下:

(1) 扬中市冲淤变化区域主要集中在主岛——太平洲南部突起部位东侧以及雷公岛四周。长江上游水土保持重点防治工程 和三峡大坝蓄水导致长江下游水流泥沙含量减少,泥沙淤积作用减弱,水流冲蚀作用增强。

(2) 扬中市塌江事件不是由常规的水流冲刷江岸导致,塌江区域位于古河道出口,出口被堵对江堤形成水压,江底存在"深槽",长期的"旋流"掏空江底,加上汛期后江水下泄,江水吸力和江堤内外压力差加大,直接引发了塌江。

(3) 扬中市沿江被堤坝封堵的古河道出口处是塌江发生高风险区域,在汛期后塌江风险会加大,需要注意季节交替和降水 变化,加强重点区域安全普查工作。

### 参考文献:

[1]程建,程久苗,吴九兴,等.2000-2010年长江流域土地 利用变化与生态系统服务功能变化 U].长江流域资源与 环境,2017, 26(6): 894-901.

CHENG J, CHENG J M, WU J X, et al. Changes of land use and ecosystem service functions in Yangtze River Basin from 2000 to 2010[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2017, 26(6) : 894-901.

[2]王如生,杨世伦,罗向欣,等.近 30 年长江北支口门附近 的冲淤演变及其对人类活动的响应[J].华东师范大学学 报(自然 科学版),2015,4: 34-41.

WANG RS, YANG S L, LUO XX, et al. Morphological evolu<sup>-</sup>tion and its response to human activities at the mouth area of the North Branch, Yangtze estuary, during the recent three decades [J]. Journal of East China Normal University (Natural Sci<sup>-</sup>ence), 2015, 4: 34-41.

[3] 高超. 基于 MSS/TM/ETM 图像的长江马芜铜段江心洲演化研究[J]. 遥感技术与应用, 2012, 27(1): 135-141.

GAO C. Study on Channel Islands in Ma - wu - tong section of Yangtze River based on MSS/EM/ETM remote sensing Image [J]. Remote Sensing Technology and Application, 2012, 27(I) : 135-141.

[4] 隆院男,刘晶,李志威,等.近 30 年湘江中下游典型江 心洲演变规律[J]. 泥沙研究, 2017, 42(6): 8-15.

LONG Y N, LIU J, LI Z W, et al. Processes of typical mid- channel bars in the middle and lower Xiang River since 1980s[J]. Journal of Sediment Research, 2017, 42(6) : 8-15.

[5]朱玲玲, 葛华, 李义天, 等. 三峡水库蓄水后长江中游分 汊河道演变机理及趋势 U]. 应用基础与工程科学学报, 2015, 23(2): 246-258.

ZHU L L, GE H, LI Y T, et al. Branching Channels in the Middle Yangtze River, China[ J]. Journal of Basic Science and Engineering, 2015, 23(2) : 246-258.

[6]李志威,王兆印,贾艳红,等.三峡水库蓄水前后长江中下 游江心洲的演变及其机理分析[J].长江流域资源与环境, 2015, 24(1): 65-73.

LI Z W, WANG Z Y, JIA Y H, et al. Evolution analysis of channel bars in the middle and lower Yangtze River before and after impoundment of three gorges reservoir [ J ]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2015, 24(1) : 65-73.

[7] 唐风建. 长江下游江心洲河段彭兴洲至江心洲护岸崩岸现 象分析[J]. 中国水运, 2017(7): 192-194.

TANG F J. Analysis of bank collapse from Pengxingzhou to Jian- gxinzhou in the lower reaches of the Yangtze River [ J ]. China Water Transport, 2017, 17(7) : 192-194.

[8]代加兵,刘宏远,戴海伦,等.黄河宁蒙河段塌岸侵蚀现场 监测及评价研究[J]. 泥沙研究, 2015, 10(5): 63-68.

DAI J B, LIU H Y, DAI H L, et al. Field monitoring and eval- j uate study on bank erosion in the Ningxia-Inner Mongolia rea-, ches of the Yellow River [J]. Journal of Sediment Research, i 2015, 10(5) : 63-68.

[9] 舒安平,高静,段国胜,等.基于聚类法的黄河上游沙漠 j 宽谷河段塌岸因子遴选及塌岸程度分级[J].清华大学学 j 报: 自然科学版,2014(8): 1044-1048.

SHU A P, GAO J, DUN G S, et al. Cluster analysis for factor | classification and riverbank collapse along the desert wide valley | reach of the upper Yellow River [ J ]. Tsinghua Science and Technology ( Science and Technology ), 2014 ( 8 ) : 1044 - 1048.

[10] 李梦琴. 城市江心洲岛城市空间形态研究[D]. 绵阳: 西南,, 科技大学硕士学位论文, 2015.

LI M Q. The research on city spatial morphology of Jiangxinzhou ■ Island [ D ]. Mianyang: Southwest University of Science and 3 Technology Master Degree Thesis, 2015.

[11] 姚振兴, 陈庆强, 杨钦川.近60年来崇明岛东部淤涨速率 i 初探[J].长江流域资源与环境, 2017, 26(5): 698-705. I YAO Z X, CHEN Q Q, YANG Q C. Preliminary study on the 1 progradation rate of the eastern part of Chongming Island in re-9 cent six decade Basin, 2017, 26(5): 698-705.

[12] 李芳. 基于 GIS 的长江河口近期冲淤演变分析 [D]. 上海: 同济大学硕士学位论文, 2008.

LI F. Analysis of recent evolution of Yangtze Estuary based on GIS [D]. Shanghai: Master thesis of Tongji University, 2008.

[13] 郜昂. 基于 GIS 的长江口九段沙湿地地貌变迁及其机制 探[D].. 上海: 华东师范大学博士学位论文, 2008.

GAO A. Historical evolution of the Jiuduansha Wetland, Yan¬gtze Estuary, based on GIS analysis [ D ] . Shanghai: Doctoral thesis of East China Normal University, 2008.

[14] 刘杰,程海峰,韩露,等.流域减沙对长江口典型河槽 及邻近海域演变的影响[J].水科学进展,2017,28(2): 249-256.

LIU J, CHENG H F, HAN L, et al. Influence of fluvial sedi¬ment decline on the morph dynamics of the Yangtze River Estu¬ary and adjacent seas [J]. Advance in Water Science, 2017, 28(2) : 249-256.

[15] 杨云平,李义天,樊咏阳.长江口前缘沙洲演变与流域泥 沙要素关系 U].长江流域资源与环境,2014,23(5): 652-658.

YANG Y P, LI Y T, FAN Y Y. Relationship between sediment elements of river basin and front sand islands evolution in Yan¬gtze Estuary[ J]. Resources and Environment in the Yangtze Ba¬sin, 2014, 23(5) : 652-658.

[16] 陈勇,何中发,黎兵,等.长江河口拦门沙河段滩涂演 化特征及驱动机制口].海洋学报,2015,37(9):95-105.

CHEN Y, HE Z F, LI B, et al. Evolution of tidal flat in the bar area of the Yangtze Estuary and their driving factors[J]. Haiy- ang Xuebao, 2015, 37(9) : 95-105. [17] 李行,周云轩,况润元.上海崇明东滩岸线演变分析及 趋势预测 U].吉林大学学报(地球科学版), 2010, 40 (2):417-424.

LI X, ZHOU Y X, KUANG R Y. Analysis and trend prediction of shoreline evolution in Chongming Dongtan, Shanghai [J] • Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2010, 40 (2) : 417-424.

[18] 李九发, 应铭, 戴志军, 等. 上海市沿海滩涂土地资源圈 围与潮滩发育演变分析 [J]. 自然资源学报, 2007, 22(3): 361-370.

LI J F, YING M, DAI Z J, et al. Analysis on the development and evolution of tidal flats and reclamation of land resource a- long shore of Shanghai city [J]. Journal of Natural Resources, 2007, 22(3) : 361-370.

[19] 路兵, 蒋雪中. 滩涂围垦对崇明东滩演化影响的遥感研究[J]. 遥感学报, 2013, 17(2): 335-349.

LU B, JIANG X Z. Reclamation impacts on the evolution of the tidal flat at Chongming Eastern Beach in Changjiang estuary[J]. Journal of Remote Sensing. 2013, 17(2) : 335-349.

[20] 国家统计局.中国城市统计年鉴 2017 [M]. 北京:中国统 计出版社, 2017.

National Bureau of Statistics of the People's Republic of China. China city statistical yearbook 2017[M]. Beijing: China statis<sup>-</sup>tics Press, 2017.

[21] 张增祥,赵晓丽,刘芳,等.中国城市扩展遥感监测图集 [M].北京: 星球地图出版社, 2014.

ZHANG Z X, ZHAO X L, LIU F, et al. Remote sensing moni<sup>-</sup>toring of urban expansion in China [ M ]. Beijing: Star Map Press, 2014.

[22] 张增祥,赵晓丽,汪潇,等.中国土地利用遥感监测 [M].北京:星球地图出版社,2012.

ZHANG Z X, ZHAO X L, WANG X, et al. Remote sensing monitoring of land use in China[M]. Beijing: Star Map Press, 2012.

[23] 褚忠信. 三峡水库一期蓄水对长江泥沙的影响[D]. 青岛: 中国海洋大学博士学位论文, 2006.

CHU Z X. Effects of water storage on the sediment of the Yan¬gtze River in the first phase of the Three Gorges[ D]. Qingdao: Doctoral thesis of Ocean University of China, 2006.

[24] 应铭,李九发,万新宁,等.长江大通站输沙量时间序列 分析研究[J].长江流域资源与环境,2005,14(1): 83-87.

YING M, LI J F, WAN X N, et al. Study on time series of sed-iment discharge at Datong station in the Yangtze River[J]. Re-sources and Environment in the Yangtze Basin, 2005, 14(1): 83-87.

[25] 屈贵贤.长江下游大通江阴段近五十年河床演变特征及其 原因分析[D].南京:南京师范大学博士学位论文, 2014. QU G X.
The characteristics and explanations of channel change in the Datong-Jiangvin reach of the lower Yangtze River:
1959 -2018[D]. Nanjing: Doctoral thesis of Nanjing Normal Uni¬versity, 2014.

[26] 于俊杰,魏乃颐,蒋仁,等.长江(镇江-泰州段)崩岸地 质灾害类型,特征及成因机制[门.资源调查与环境, 2013, 34(2): 127-132.

YU J J, WEI N Y, JIANG R, et al. Types, characteristics and genetic mechanisms of bank collapse in the Zhenjiang - Taizhou reach of Yangtze River[ J]. Resources Survey and Environment. 2013, 34(2) : 127-132.

[27] 严金明,张雨榴,马春光.新时期国土综合整治的内涵辨 析与功能定位.土地经济研究,2017(7): 14-24.

YAN J M, ZHANG Y L, MA C G. Discriminating comprehen-sive land consolidation in the NewEra [ J ]. Joural of Land Eco-nomics. 2017(7): 14-24.