

温州市瓯江河口近代海岸线变迁研究

仓 飞,王一鸣,黄 冀

(浙江省第十一地质大队, 浙江温州 325006)

摘要 海岸线是珍贵、稀缺的海洋空间资源,也是海洋经济的重要载体。海岸线变迁研究对于了解海岸带生态环境变化具有重要意义。通过5个不同时期的遥感影像解译,对瓯江河口海域岸线变迁情况以及影响因素进行了综合研究。结果表明:前二十年的海岸线变换缓慢,后二十年人为因素的影响,海岸线向海域推进的速度非常快。其中浅滩围涂工程尤为突出,这使得研究区域的海岸线类型从自然岸线为主转为人工岸线为主,人工海岸线逐渐取代自然海岸线,影响了海岸线的发展。

关键词 海岸变迁;瓯江河口;围填海工程

Study on the Change of the Modern Coastline in the Oujiang Estuary of Wenzhou

CANG Fei,WANG Yi-ming,HUANG Ji

(No.11 Geological Unit of Bureau of Geology and Mineral Exploration of Zhejiang Province,Wenzhou,Zhejiang 325006,China)

Abstract: Coastline is a precious and scarce marine space resource, and also an important carrier of marine economy. The study of coastline changes is of great significance for understanding the changes of coastal ecological environment. Through the interpretation of remote sensing images in 5 different periods, the coastline changes and influencing factors in the Oujiang Estuary were studied comprehensively. The results show that the coastline transformation is slow in the first twenty years, and the influence of human factors in the last twenty years is very fast. The shoal coating project is particularly prominent, which makes the coastline types from the natural coastline mainly to the artificial coastline, and the artificial coastline is gradually replaced by the natural coastline, which affects the development of the coastline.

Key word: coastal vicissitude;Oujiang estuary;reclamation project

0 引言

海岸带是海洋与陆地相互作用最为频繁、活跃的地带，是珍贵、稀缺的海洋空间资源，也是海洋经济的重要载体。海岸线指海陆分界线，其时空变迁深刻地反映着海陆之间相互作用关系，对于沿海地区的自然地理环境来说具有极其重要的指示意义。一方面，海岸变迁反映了海陆相互作用，及其所引发海岸带生态环境的演变；另一方面，近代的海岸变迁也反映了人类工程活动对海岸环境的影响与塑造。

前人对海岸变迁历史开展过大量研究。国内外学者在海岸线变迁及其影响因素方面做了大量的研究工作，El-ASMAR et al 和 NGUYEN et al 分别研究了尼罗河三角洲海岸和湄公河河岸的岸线变迁，STIVE et al 则探讨了不同时空尺度下荷兰、法国的海岸线变迁及其原因^[6]。国内的研究则主要集中在对重点区域的岸线提取与影响因子的分析，如对珠江三角洲、黄河口、浙江省、渤海以及辽河口等区域的海岸线变迁及其影响机制的研究。

本次研究的海岸线位于温州瓯江河口区域，该区域海岸线近代一直处于淤涨状态，尤其是近几十年来，岸线变迁显著。尽管如此，对该区域海岸变迁的研究主要停留在地质历史时期。汪品先等^[1]在对温黄平原上的第四纪标准孔进行了微体古生物分析，讨论了微体化石群的组成并结合岩相划分确定海侵地层的地质年龄，初步查明了温黄平原第四纪海侵的历史。黄国强、耿鹤年等^[2]对温黄平原寺前街幅进行了 1:5 万综合区域地质调查，对瓯江河口不同时期古河道的界限进行了研究。吴蕾等^[3]对瓯飞滩的演变进行了研究。

本文通过采用高精度遥感影像解译，对近四十年来瓯江河口海域岸线变迁开展对比研究，并对主要影响因素进行综合分析，对掌握瓯江、海水和人类活动对瓯江口海岸线演变的作用机制，以及瓯江河口区地质环境资源的保护和开发利用具有重要的地质意义。

1 遥感数据来源和处理

1.1 数据来源

在本研究中，采用 5 个时相 landsat 的遥感数据影像进行瓯江河口地区海岸线信息提取，分别是 1976 年、1984 年、1995 年、2004 年、2016 年的影像。所选取的遥感影像均为低云雾量或者大陆海岸线位置无云雾遮罩，云覆盖率 $\leq 3\%$ ，

能够很清晰地辨认大陆海岸线所在位置,以便在人机交互解译过程中保证岸线解译质量,尽可能减小误差,提高精度。

1.2 数据处理

综合运用 ENVI、易康图像处理软件、MAPGIS 平台等软件系统,进行人机交互解译。利用 landsat 影像各波段的波谱特征,分析了研究区遥感影像上的色彩、影纹、植被、地貌等形态特征及第四纪地质、环境地质特征,建立了地层、构造、地貌、第四纪地质、海岸线类型的遥感解译标志。

在遥感信息提取方面,本次调查充分利用 ENVI、ECOGNITION 等遥感数据处理软件进行信息提取。分析了研究区遥感影像特征及地质、构造、地貌特征,建立了海岸线遥感信息提取模式、进行了海岸线与环境地质变化有关的信息增强和提取工作。

1.3 不同时期海岸线提取

(1) 1976 年海岸线提取结果

1976 年的影像为 landsat2,时间为 1976 年 10 月 21 日,影像分辨率为 60 米,虽然分辨率小于较 80 年代以后的影像,但是从海岸线提取的情况来看却真实地反演了当时的海岸线基本轮廓。以此计算出 1976 年的海岸线长度为 143.77km(图 1)。

(2) 1984 年海岸线提取结果

1984 年的影像为 landsat5 的 TM 成像传感器影像,时间为 1984 年 4 月 23 日,影像分辨率为 30 米。海岸线提取的精准度很好。计算出 1984 年的海岸线长度为 145.73km(图 2)。

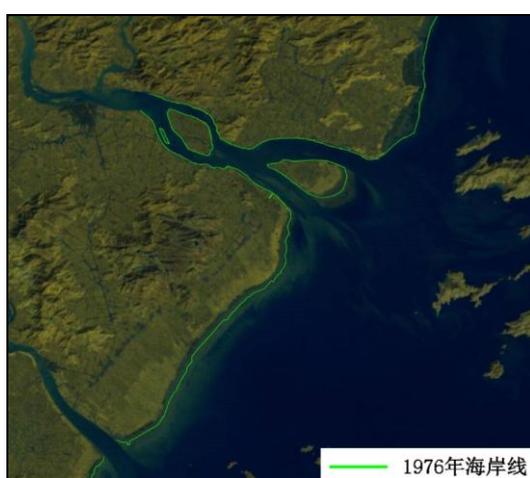


图 1 1976 年海岸线



图 2 1984 年海岸线

(3) 1995 年海岸线提取结果

1995 年的影像为 landsat5 的 TM 成像传感器影像，时间为 1995 年 10 月 31 日，影像分辨率为 30 米。海岸线提取的精准度很好。计算出 1995 年的海岸线长度为 147.43km（图 3）。

(4) 2004 年海岸线提取结果

2004 年的影像为 landsat5 的 TM 成像传感器影像，时间为 2004 年 12 月 10 日，影像分辨率为 30 米。海岸线提取的精准度很好。计算出 2004 年的海岸线长度为 152.64km（图 4）。



图 3 1995 年海岸线



图 4 2004 年海岸线

(5) 2016 年海岸线提取结果

2016 年的影像为 landsat8 的 OLI 成像传感器影像，时间为 2016 年 3 月 14 日，影像分辨率为 15 米。海岸线提取的精准度非常的高。计算出 2016 年的海岸线长度为 167.71km（图 5）。

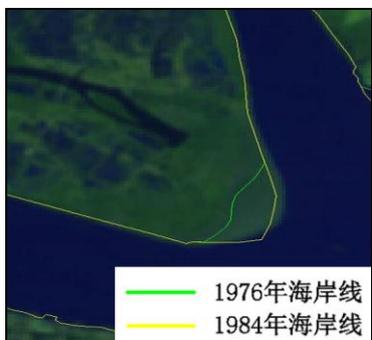


图 5 2016 年海岸线

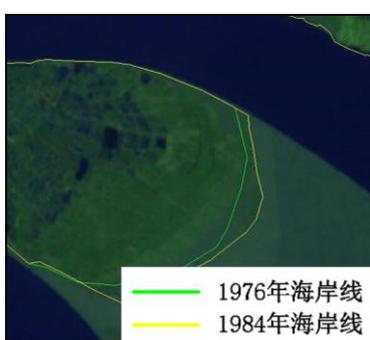
2 近四十年瓯江河口区海岸线变迁特征

(1) 1976~1984 年海岸线变迁对比

该时期的海岸线基本稳定，仅北边的海岸线向海域推进，主要原因是河砂的自然沉积和淤泥堆积（图 6~图 7）。



(a)



(b)

图 6 河沙沉积

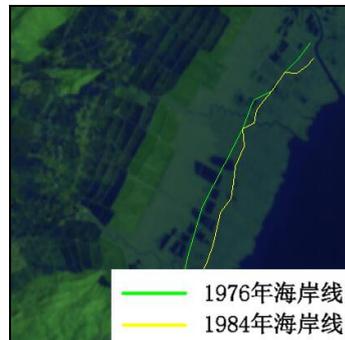


图 7 淤泥沉积

(2) 1984~1995 年海岸线变迁对比

该时期海岸线变化较为明显，其中最明显的变化是人工海岸线的增加（图 8）。海岸线进一步向海域推进。河砂的继续堆积，使得原有的三角洲与河岸连接，形成整体（图 9）。在灵昆岛的东边，河砂的堆积开始显著，海岸线向海域推进（图 10）。

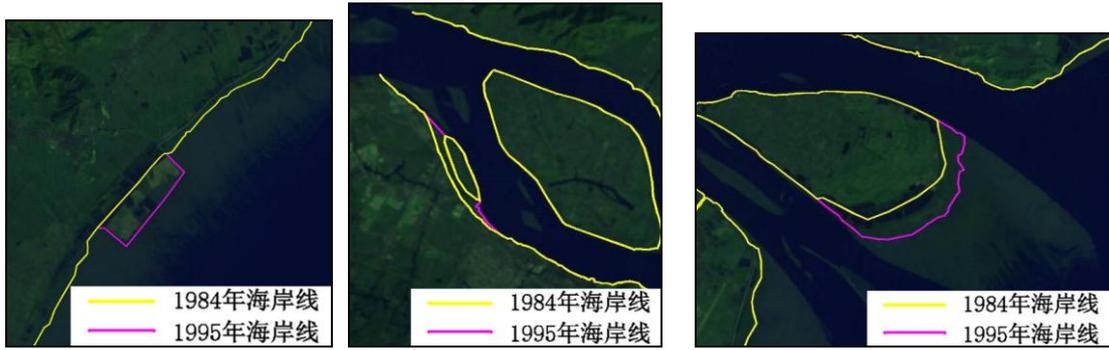


图8 人工海岸线 图9 三角洲与河岸连接 图10 温州岛1995年海岸线向海推进

(3) 1995~2004年海岸线变迁

该时期海岸线加速增长，开始出现大规模的围涂工程、修建堤坝和码头，人工岸线作用最为明显（图11），如灵昆岛向海域推进更进一步（图12）。



图11 2004年人工岸线



图12 2004年灵昆岛海岸线

(4) 2004~2016年海岸线变迁

该时期人工海岸线的推进尤为迅速，大规模的围涂工程不断地出现，整个温州地区超过2/3的海岸线变成了人工海岸线（图13）。

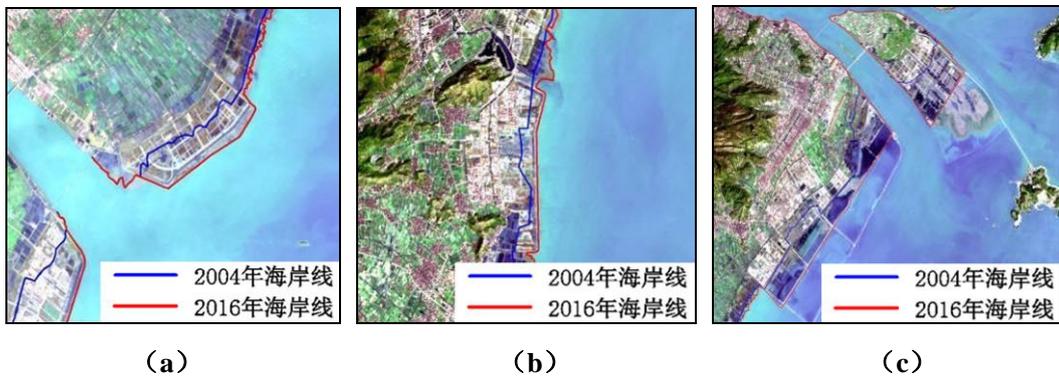


图13 2016年人工海岸线

(5) 1976~2016年海岸线变迁

基于五个不同时期的海岸线解译结果，对比分析研究区的海岸线变迁情况，总体来看，1976年至2016年海岸线在不断地向东推进。从海岸线长度的变化来看，1976年至1995年，海岸线呈现出缓慢增长，1995年至今，海岸线呈现加速增长的趋势，变化率从1995年的1.17%增至2004年的3.53%，后来剧增至2016年的9.87%。统计情况见表1：

表1 1976年-2016年研究区海岸线变迁统计表

年份	1976年	1984年	1995年	2004年	2016年
长度(km)	143.77	145.73	147.43	152.64	167.71
相对增长(km)		1.96	1.70	5.21	15.07
变化率		1.36%	1.17%	3.53%	9.87%

3 瓯江口海岸变迁影响因素分析

近代海岸线变迁原因大致可分为两类：一类是基于陆海动力条件，如径流、洋流、风暴潮等自然因素来研究岸线变迁；另一类是基于人来开发活动，如海岸工程、滩涂围垦、开采地下水等人为因素来分析岸线变化情况。在通常情况下，海岸变迁是由这两种因素共同参与引起的。

3.1 海陆动力因素对研究区海岸线变迁的影响

影响海岸线的淤涨和侵蚀的自然因素主要为海陆动力因素，海岸线的淤积与否和河、海流带来的泥沙量密切相关。目前研究区海岸线属于淤涨型海岸，其淤积泥沙的供给一部分是通过瓯江、飞云江等河道输沙而来，而另一部分则是海域来沙。

3.1.1 河道输沙对海岸变迁的影响

瓯江流域累年平均经河道向下游输沙205.1万吨，在径流、潮流作用下于河口及其两侧沉积堆积，造成了河口拦门沙浅段，北水道与中水道间的三角沙浅滩，灵昆岛东南侧的温州浅滩，且沿着落潮水流两侧和主流末端淤积，说明其泥沙主要来源于河道输沙。

3.1.2 海域来沙对海岸变迁的影响

(1) 沿海海域潮流

浙江沿海海域潮流主要由太平洋黑潮暖流进入浙闽海域（称台湾暖流）和沿岸流两个系统组成，其中台湾暖流每年春初-秋末在南风作用下沿岸线北上，由于其水清、含沙量小，使研究区沿岸区域泥沙随流北上，岸滩冲刷。根据北起玉环岛乐清湾、南至平阳咀沿岸-10m等深线内水深冲淤变化统计，1931-1971年间

平均每年淤积 3000 万立方米，平均淤积速率为 2.2cm。而该区域瓯江、飞云江、鳌江三条江平均输沙量仅为 350 万吨，与其海域相比，有非常大的差别^[4]（图 14）。

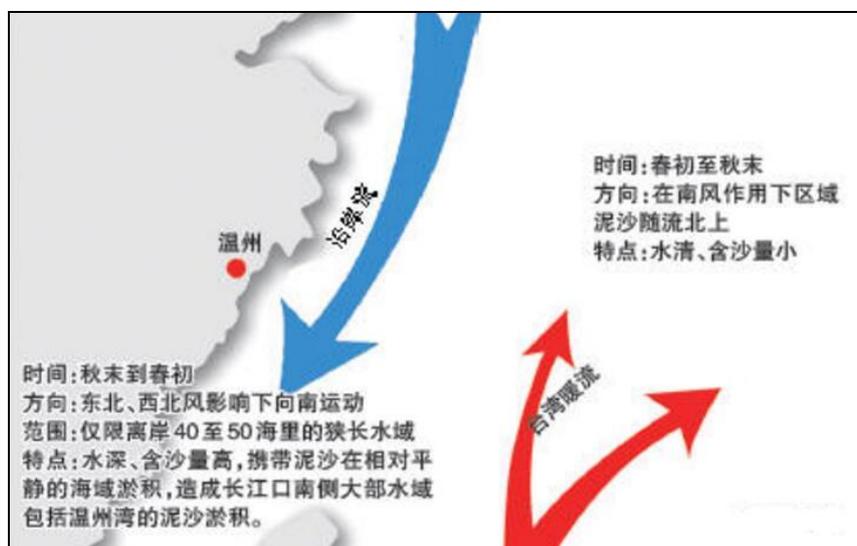


图 14 温州沿岸洋流示意图

(2) 外海泥沙

浙南海区沿岸海域广泛分布着粉砂质泥沙，其中，直径小于 0.004mm 的细颗粒物含量达 60%。这部分泥沙在波浪作用下起动、悬浮，随潮流运动并在动力环境较弱的水域中落淤，形成泥沙的局部再搬运。

温州浅滩及其围涂工程水域处于瓯江河口南侧，在其南侧浅滩水域存在着大量粉砂质泥沙，在波浪作用下，随涨潮流向其岸滩和南口水道运动，使得该区域处于高含沙区，经过航卫片判读，表层含沙量一般为 $0.4-0.6\text{kg}/\text{m}^3$ ，最大可达 $0.8-1.2\text{kg}/\text{m}^3$ 。这无疑为该水域泥沙淤积提供了大量的物质来源。据 1999 年 10 月南水道及其附近颗粒粒级分析，小于 $4\mu\text{m}$ 粒径的悬沙与底沙要占 30%-40%。这说明外海泥沙对温州浅滩的泥沙淤积起着重要的作用。

综上所述，研究区及其附近海域泥沙来源主要为瓯江河流来沙，海域来沙占着重要比例，对泥沙淤积起着重要作用。

3.2 人类开发活动因素对研究区海岸线变迁的影响

当前人类开发活动对研究区海岸线的影响越来越大，如海岸工程、滩涂围垦、开采地下水等，尤其近二十年来的大量的滩涂围垦工程对海岸线变迁影响最重。

根据上述航卫片解译结果结合实际调查分析得出，近二十年的浅滩围涂工程

的实施,使得海岸线向东推进的速度不断地剧增。其中 2004 年至 2016 年在灵昆岛的东部浅滩围涂工程进展非常快,海岸线外推可达 2700 米至 3700 米,海岸线外推速率为 225 米/年至 308 米/年(图 15~图 16)。

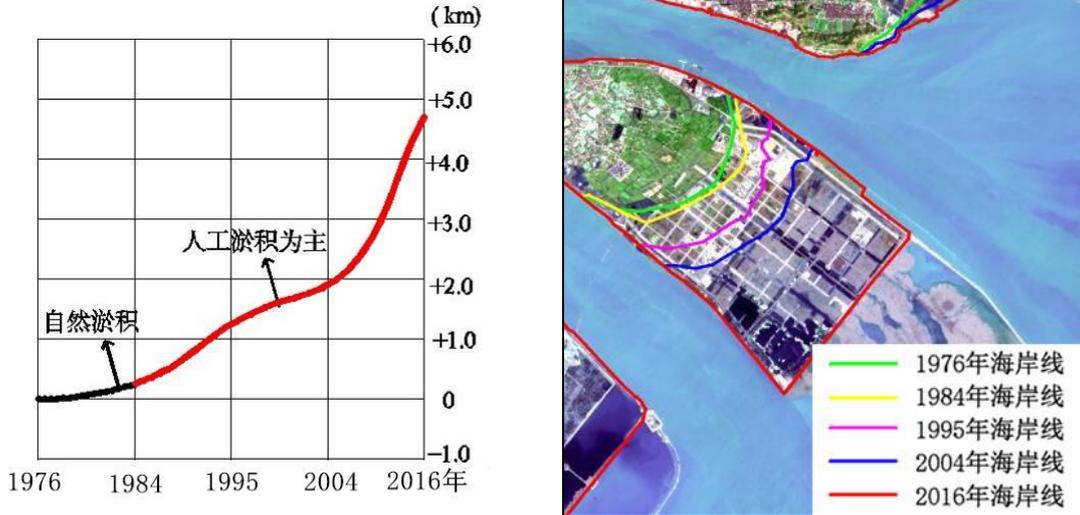


图 15 1976-2016 年灵昆东部海岸线外推变化曲线 图 16 浅滩围涂工程

瓯江口南岸沿线向东推进剧增亦是明显,从海岸线遥感图可以看出瓯江南岸龙湾区东部海岸从 1976-1995 年这段期间基本上没有变化,但从 1995 年-2016 年海岸线位置向东推进快 2000m,年平均速率可达 100m/年。

而瓯江口北部海岸线向东推进亦较明显,但相对速率较缓,且推进变化相对有所区别。其岸线从 1976-1984 年推进明显,向东有 400m,年平均速率达 50m/年;而 1984 年-2004 年基本上很少变化;2004-2016 年,又开始向东推进约 800m,年平均速率约达 67m/年。

从上述五期的影像对比来看,前二十年的海岸线演变相对缓慢,主要以海陆动力因素为主导;后二十年人为因素的影响加剧,海岸线向海域推进的速度显著加快,尤其以浅滩围涂工程尤为突出(图 16),这使得研究区域的海岸线类型从自然岸线为主转为人工岸线为主。人工海岸线逐渐取代自然海岸线。

3.3 人类开发活动影响海岸线变迁的方式

人工工程活动对海岸变迁的影响体现有以下几种方式:

①对海岸线形态的直接影响

平直工整的人工修筑堤取代蜿蜒曲折的自然岸线,进而直接改变了海岸线形态和长度,同时对于天然港湾内的围填海活动,多以截湾取直、堵港蓄淡为主,导致海岸线缩短。

②对海底地形的影响

对于近岸淤涨型海岸，多以滩涂围垦为主，但随着围填海的肆虐进行，海岸淤积速率不及围垦对于远岸或深水围填海，多采用海底泥沙吹填，致使海底地形地貌遭到严重破坏，甚至改变其海域水动力环境，引起海岸侵蚀或淤积，进而影响海岸线变化。

③对海岸陆地地貌的影响

为了节省输运土石方成本，人们通常采取开山填海，致使山体地貌形态发生改变，并改变岸线类型。且经过开凿后的山体因植被遭到破坏而极易造成滑坡、坍塌等地质灾害。如，洞头区霓屿岛和大小门岛的大量的采石场地貌。

④对近海沙坝、瀉湖、海岛等自然地貌形态的影响

如洞头区的半岛工程，连岛并陆使得近岸海岛消失，或者新建的人工岛使得海岸岸线与地貌均衡系统重新调整和景观的剧烈变化。

根据岸线的综合调查成果来看，温州市岸线中的人工岸线比例不断上升，而基岩岸线比例不断减少，百年来，人工岸线比例由 46.21%持续上升至 55.32%，基岩岸线比例由 48.74%持续下降至 39.99%，而砂质海岸受人类活动影响较小(面积小且受到保护)，因而该类岸线变化较小。由此可见，人工岸线增加的基本均是由基岩岸线转变而来，呈互补关系。

4 海岸线变迁引发的环境地质问题

目前，人类活动对瓯江河口海岸线变迁影响最大的即为围填海工程，而当前围填海工程存在着比较严重的环境地质问题。

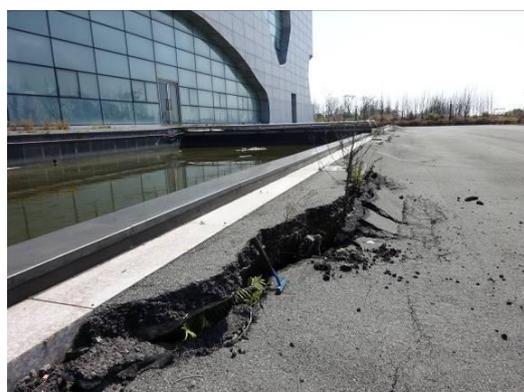
4.1 围填海工程地面沉降问题

目前温州瓯江口浅滩一期围填区构筑物已出现了不同程度的沉降变形。根据监测资料，岛内展览馆建筑物至今最大累计沉降约 1.0m，平均沉降速率约 16.67cm/a。

浅滩一期南围堤施工完工后堤坝一直在沉降，第一年沉降速率较慢，第二年后沉降速率增大，近五年累计沉降为 29-81cm，平均累计沉降 55cm，平均沉降速率为 11cm/a，沉降量目前未收敛。

灵霓北堤施工完工后堤坝一直在沉降，前六年与后五年沉降速率相差不大，即灵霓北堤工后沉降基本呈匀速变形，未出现缓慢趋势，2006 年-2017 年近 11

年累计沉降为 84cm，平均沉降速率为 7.64cm/a，沉降量目前未收敛。（照片 1~照片 2）



照片 1 刚完工的展览馆概貌（摄 2011） 照片 2 展览馆外地面沉降（摄 2017.3）

4.2 瓯江口浅滩淤积问题

人类围填海工程活动影响瓯江南口淤积速率，瓯江南口口外淤积速率由建坝前的 0.6cm/a 增至建坝后的 3.0cm/a。瓯江南口中部出现的“心滩”呈逐年淤涨，而浅滩一期南围堤坝处于沉降阶段，形成堤坝内为沉降，堤坝外为淤积，长期作用下，势必造成堤坝内外标高逐渐相近，甚至形成堤坝外高程高于堤坝内高程的负面地形。在不考虑人为加高堤坝和河口清淤的情况下，估算 30 年后，南围堤坝内外高程一致，导致围填区内遭受风暴潮和洪水的风险性变大。

而随着半岛工程的加速推进，未来更多的围垦工程和人工堤岸被建设，瓯江南侧水道可能会“堵死”，瓯江入海口只剩下北口水道出水的时候，将对温州瓯江口海岸线的格局带来巨大的改变（照片 3）。



照片 3 瓯江南口树排沙心滩

5 结论

(1) 通过对近四十年来五期的影像对比来看，前二十年的海岸线变换缓慢，后二十年人为因素的影响，海岸线向海域推进的速度非常快。其中浅滩围涂工程尤为突出（图 16），这使得研究区域的海岸线类型从自然岸线为主转为人工岸线为主。人工海岸线逐渐取代自然海岸线，影响了海岸线的发展。

(2) 近代海岸线变迁原因大致可分为两类：一类是基于陆海动力条件，如径流、洋流、风暴潮等自然因素来研究岸线变迁；另一类是基于人来开发活动，如海岸工程、滩涂围垦、开采地下水等人为因素来分析岸线变化情况。在通常情况下，海岸变迁是由这两种因素共同参与引起的。

(3) 影响海岸线的淤涨和侵蚀的自然因素主要为海陆动力因素，海岸线的淤积与否和河、海流带来的泥沙量密切相关。目前研究区海岸线属于淤涨型海岸，其附近海域泥沙来源主要为瓯江河流来沙，海域来沙占着重要比例，对泥沙淤积起着重要作用。

(4) 瓯江河口海岸线中人工岸线比例不断上升，而基岩岸线比例不断减少，百年来，人工岸线比例由 46.21% 持续上升至 55.32%，基岩岸线比例由 48.74% 持续下降至 39.99%，砂质海岸受人类活动影响较小、变化较小。

(5) 未来研究区海岸线变迁受人类活动影响非常大，一方面长江、瓯江河道上游绿化进行水土保持工程以及建坝蓄水、河道取水等因素的影响，海岸线自然淤积所需要的泥沙量变少，降低自然淤积的速率，另一方面，温州市半岛工程包括大量围垦工程的实施，导致河道变化巨大，瓯江南口水道变的狭长，水动力条件减弱，沉降淤积加重，未来海岸线格局将发生重大改变。

(6) 目前人类活动对海岸线变迁影响最大的即为围填海工程，而当前围填海工程存在这比较严重的环境地质问题。温州市城市群围填海工程引发了地面沉降、瓯江口浅滩淤积等诸多问题，在未来可能导致围填区内遭受风暴潮和洪水的风险性变大。

主要参考文献

- [1]汪品先, 闵秋宝, 卞云华. 温州、黄岩平原第四纪海侵地层. 海洋通报, 1982 (3) :32-39
- [2]浙江省第十一地质大队. 综合区域地质调查报告 (寺前街幅 G-51-2-B) ,1987
- [3]吴蕾, 袁文喜. 温州瓯飞滩演变分析及滩涂资源开发展望. 浙江水利科技, 2012 (6): 23-26
- [4]闫勇, 麦苗, 吴以喜. 瓯江口海域水文泥沙环境分析. 国际航运协会会暨国际航运技术研讨会, 2009:74-81
- [5]浙江省第十一地质大队. 温州市城市地质调查报告. 浙江省国土资源厅, 2006
- [6]杨磊, 李加林, 袁麒翔等. 中国南方大陆海岸线时空变迁. 海洋学研究, 2014, 32 (3): 42-49

作者简介: 仓飞, 男, 1987年3月出生, 本科学历。工作单位为浙江省第十一地质大队, 项目负责, 工程师职称。曾承担和参与《温州市瓯江口海域海砂资源调查》、《温州海砂开采海域使用权市场化研究》、《浙江沿海海岛地质结构与海岛分布关系专题研究》、《海岸线整治与修复技术方法研究》、《玉环县海洋牧场海底底质调查》等等课题研究。

地址: 温州市新桥街道站前路 199 号

邮编: 325006

电话: 18158331015

邮箱: 75155513@qq.com