

# 杭州湾南岸平原海蚀地貌的发现及意义

李长安<sup>1)</sup>, 王伟<sup>2)</sup>, 侯红星<sup>2)</sup>, 祝晓松<sup>2)</sup>, 孙永辉<sup>2)</sup>

1) 中国地质大学(武汉), 武汉, 430074;

2) 中国地质调查局廊坊自然资源综合调查中心, 河北廊坊, 065099



**内容提要:** 杭州湾南岸是我国近代海岸线变化最大的海岸带之一。前人曾利用史料、遥感、土地利用等手段对这一带岸线的变化进行过大量的研究。最近,笔者等在慈溪市滨海平原中距海岸线 2~3 km 的二座孤山—伏龙山和海王山发现了海蚀崖、海蚀沟、海蚀穴等海蚀地貌,从而提供了对历史海岸线位置有明确指示意义的地质地貌证据。分析认为此乃 20 世纪 60 年代的海岸线位置所在。此发现不仅对杭州湾地区的岸线变化、人类活动对滩涂改造等研究具有重要的价值,同时,这也是杭州湾地区难得的历史海岸线地质遗迹,对开展科普宣传、研学旅行、地质旅游等具有重要意义。

**关键词:** 海蚀地貌;海岸线;杭州湾南岸平原;慈溪

海蚀地貌是基岩区海洋环境和海岸线确定重要依据及地质遗迹。杭州湾南岸是我国近代海岸线变化最大的海岸带之一(侯西勇等, 2016; 李加林等, 2019)。前人曾利用史料、遥感、地质、地貌、土地利

用等手段对这一带岸线的变化进行过大量的研究(李炎, 1993; 冯利华和鲍毅新, 2006; 王珊珊和韩曾萃, 2014; 叶梦姚等, 2017; 王力彦等, 2020; 李加林和工丽佳, 2020; 胡成飞等, 2021)。最近,笔者等在该



图 1 杭州湾南岸伏龙山和海王山地理位置

Fig. 1 Geographic location of Mount Fulong and Mount Haiwang, south shore of Hangzhou Bay

注:本文为国家自然科学基金资助项目(编号:41871019)和中国地质调查局“长三角宁波地区地表基质层调查”项目的成果。  
收稿日期:2021-08-30;改回日期:2021-11-18;网络首发:2021-11-20;责任编辑:章雨旭。Doi: 10.16509/j.georeview.2021.11.085  
作者简介:李长安,男,1956年生,教授,主要从事地貌与第四纪地质学、城市地质的教学与研究;Email:1002858465@qq.com。



图2 杭州湾南岸海王山地貌景观

Fig. 2 Geomorphologic landscape of Mount Haiwang, South shore of Hangzhou Bay

区进行地表基质层调查时,在慈溪市滨海平原中距海岸线 2.5 km 的二座孤山—伏龙山和海王山发现了海蚀崖、海蚀沟、海蚀穴等海蚀地貌。该海蚀地貌提供了海岸线变化的确凿证据,对杭州湾地区的岸线变化、人类活动对滩涂改造等研究具有重要的价值。同时,这也是杭州湾地区难得的历史海岸线地质遗迹,对开展科普宣传、研学旅行、地学旅游等具有重要意义。

## 1 两座孤山的地质地貌特征

伏龙山和海王山(也称海黄山)位于杭州湾南岸呈扇形向北凸出的滨海沉积平原东部(图1),平原高程 2~5 m,两山距海岸线约 2.5 km。海王山地处慈溪市观海卫镇东北部,山体呈 NW—SE 走向,与海岸线大致呈平行展布,长约 339 m,宽 171 m,最高处海拔约 22 m。伏龙山位于慈溪市龙山镇东部,山体呈北东东走向,与海岸线近于垂直。山体最长 2552 m,最宽处约 844 m,最高处海拔 282 m。两者岩性大致相同,主要为早白垩世大爽组中酸性—酸性火山碎屑岩。岩较坚硬,有较强的抗风化、抗侵蚀能

力。

## 2 海王山海蚀地貌类型和特征

海蚀地貌分布于海王山的北东侧(向海一侧)。由于中部有厂房及人工堆积物遮挡,可见的海蚀地貌主要分布在山体的南北两端(图2),海蚀地貌主



图3 杭州湾南岸海王山海蚀崖

Fig. 3 Wave-cut cliff on Mount Haiwang, South shore of Hangzhou

要为海蚀崖(北端)、海蚀沟和海蚀窝(南端)。

## 2.1 海蚀崖

海蚀崖是基岩海岸的常见地貌类型,是海蚀和重力崩落共同作用的产物。海王山的海蚀崖位于山体北西端,地貌特征明显,保存良好(图 3)。海蚀崖崖壁高 6 m 多,可见长度 40 m 余,坡角 80~85°。沿崖壁发育了错落型崩塌,可能因下方存在海蚀凹槽(因崖脚人工建筑垃圾堆积未露出)而引起的。

## 2.2 海蚀沟

海蚀沟是基岩海岸的一种常见地貌。海蚀沟分布在海王山向海一侧的北东段(图 4)。在平面上,海蚀沟呈下宽上窄,下部宽约 1.2 m,高约 2.5 m;在纵深方向上,海蚀沟走向 NE—SW,与海岸线近于垂直;深度 3.0 m 余,口宽内窄似喇叭状。由其形态特征可见,下部侵蚀强向上变弱,由外向内侵蚀逐渐变弱,且海蚀沟两侧的崖壁上有明显的海水溶蚀现象。该地貌特征显然系海水沿岩体中走向与岸线呈近垂直的一组节理侵蚀的产物。

## 2.3 海蚀窝

海蚀窝是海水对基岩海岸的岩石进行机械侵蚀



图 4 杭州湾南岸海王山海蚀沟

Fig. 4 Wave-cut groove in Mount Haiwang, South shore of Hangzhou Bay

和化学溶蚀海蚀作用而形成的一种小型地貌;吕洪波等(2017)认为这是盐风化成因地貌之一。海王山的海蚀窝主要分布在海蚀沟外侧的侵蚀崖壁上,其形态各异、大小深浅不一,似不规则的蜂窝状(图 5)。根据其与海蚀沟的关系,推测该海蚀窝应为潮上浪花带附近,因海水的溅蚀和溶蚀共同作用而成。

## 3 伏龙山海蚀地貌类型和特征

伏龙山山体走向近东西。海蚀地貌主要存在于山体的东端向海一侧的位置。发育的海蚀地貌类型主要有:海蚀崖、海蚀沟、海蚀凹槽和海蚀窝(穴)



图 5 杭州湾南岸海王山海蚀窝

Fig. 5 Wave-cut caves in Mount Haiwang, South shore of Hangzhou Bay



图 6 杭州湾南岸伏龙山海蚀崖

Fig. 6 Wave-cut cliff on Mount Fulong, South shore of Hangzhou Bay



图 7 杭州湾南岸伏龙山海蚀沟

Fig. 7 Wave-cut groove in Mount Fulong, South shore of Hangzhou Bay



等,以及海蚀崖的后期崩塌地貌。

3.1 海蚀崖

此处的海蚀崖高大,由于发生在伏龙山山脊的末端(图6),剖面形态成侵蚀三角面状。海蚀崖最高处达近20m,中部靠左海蚀崖下方有一崩塌体,系海蚀崖后期的重力崩塌而成。海蚀崖的下部发育有海蚀凹槽、海蚀沟等。

3.2 海蚀沟

伏龙山的海蚀沟极为发

图 8 杭州湾南岸伏龙山海蚀窝  
Fig. 8 Wave-cut caves in Mount Fulong, South shore of Hangzhou Bay

育,仅海蚀崖中部以北可见海蚀沟十余条,主要的海蚀沟如图 7 所示。海蚀沟共同特征是呈楔状,表面上总体为下宽上窄,高 2~3 m 左右,宽 0.5~1.5 m; 向内呈外宽内窄,逐渐尖灭,延伸一般 2~3 m 或更深。在海蚀沟外侧崖壁上见有残留的海蚀窝。由剖面可见,海蚀沟的发育与岩体中的节理密切相关,并在海蚀沟周边形成的后期垮塌。

### 3.3 海蚀凹槽

海蚀凹槽是基岩海岸下部的岩石在遭受海水的侵蚀后形成的平行于海岸方向延伸的凹槽,通常形成于潮间带。伏龙山海蚀凹槽虽不十分典型,但仍清晰可见。主要分布于海蚀崖的底部,向岩石内部凹进 30 cm 左右,高约 0.5 m 左右。

### 3.4 海蚀窝

在整个海蚀崖上海蚀窝几乎到处可见,主要分布于海蚀崖底部的海蚀凹槽之上,或海蚀沟的上部没有发生崩塌之处的岩石表面。海蚀窝形态特征与海王山所见基本一样(图 8)。

## 4 关于海蚀地貌的形成时代

上述两座孤山的海蚀地貌没有发现指示其形成年代的证据,但根据地貌保存特征和岩石的新鲜程度判断,其形成的时间距今不会太久,应为近代之产物。据人工修筑海塘的记录资料,海王山正处在“九塘”的位置(图 1),关于九塘的修筑时间,有人认为是 1968 年(冯利华和鲍毅新,2006),有人认为是 1977 年(李炎,1993)。另据新中国成立后的海岸监测资料(王珊珊和韩曾萃,2014;胡成飞等,2021),海王山和伏龙山处在 1959 年海岸线上。由此可以确定海王山和伏龙山海蚀地貌位于上世纪 60~70 年代海岸线的位置。但该海蚀地貌的形成可能经历了较长时间的海蚀作用,据该区海塘修建的资料,慈溪地区最早的海塘——大古塘修筑于 1047~1341 年,位于内陆大约 7~12 km 的慈溪县城—观海卫镇—掌起镇—龙山镇(老 329 国道)一线,即至少自此时起海王山和伏龙山就开始接受了海水的侵蚀。

## 5 海蚀地貌发现的意义

(1) 杭州湾南岸的近代岸线是我国东部近代海岸线变化最剧烈的区域。前人对杭州湾南岸慈溪一带的历史海岸线变化的确定,多是基于历史记录和遥感资料的推测,这是首次发现的对海岸线位置具有明确指示意义的地质地貌证据。

(2) 由 20 世纪 60 年代海岸带地貌确定可知,近 70 年来杭州湾南岸慈溪市一带的海岸线向东移动了 2500 m,平均移动速率约为 36 m/a。如此快速的岸线变化,可能与十塘、十一塘的修筑有关。由此导致大量滩涂和滨海盐沼的消失,其对沿海生态环境的影响值得关注。

(3) 滨海平原的历史海岸线遗迹一般难以直观看到,慈溪平原海岸带海蚀地貌现象的发现,是难得的历史海岸线地质遗迹。除了其科学意义外,还有重要的景观价值,对开展科普宣传、研学旅行、地学旅游等具有重要意义。

## 参 考 文 献 / References

- (The literature whose publishing year followed by a “&” is in Chinese with English abstract; The literature whose publishing year followed by a “#” is in Chinese without English abstract)
- 冯利华,鲍毅新. 2006. 慈溪市海岸变迁与滩涂围垦. 地理与地理信息科学,22(6):75~78.
- 侯西勇,毋亭,侯婉,陈晴,王远东,于良巨. 2016. 20 世纪 40 年代初以来中国大陆海岸线变化特征. 中国科学: 地球科学,46(8):1065~1075.
- 胡成飞,潘存鸿,吴修广,唐子文,郑君. 2021. 1959~2019 年杭州湾南岸滩涂演变规律及机制. 水科学进展,32(2):230~241.
- 李加林,田鹏,邵妹遥,汪海峰,王丽佳,叶梦姚,赵梦琪,张珂琴,蔡凯特,阮莹超,沈杏雯. 2019. 中国东海区大陆岸线变迁及其开发利用强度分析. 自然资源学报,34(9):1886~1901.
- 李加林,王丽佳. 2020. 围填海影响下东海区主要海湾形态时空演变. 地理学报,75(1):126~142.
- 李炎,谢钦春. 1993. 杭州湾庵东浅滩地貌演变规律. 东海海洋,11(2):25~33.
- 吕洪波,苏德辰,章雨旭,冯雪东,李春旺. 2017. 中国不同气候带盐风化作用的地貌特征. 地质论评,63(4):911~926.
- 王力彦,邢喆,侯辰,章任群,张苗苗,杨慧贤. 2020. 1990~2017 年杭州湾大陆岸线时空变迁分析. 海洋通报,39(4):481~487.
- 王珊珊,韩曾萃. 2014. 杭州湾庵东边滩现代发育特征分析. 科技通报,30(5):66~71.
- 叶梦姚,李加林,史小丽,姜忆涓,史作琦,徐凉慧,何改丽,黄日鹏,冯佰香. 2017. 1990~2015 年浙江省大陆岸线变迁与开发利用空间格局变化. 地理研究,36(6):1159~1170.
- Feng Lihua, Bao Yixin. 2006&. Coastal evolution process and tidal flat reclamation in Cixi City. Geography and Geo-Information Science, 22(6):75~78.
- Hou Xiyong, Wu Tong, Hou Wan, Chen Qing, Wang Yuandong, Yu Liangju. 2016#. Characteristics of coastline changes in mainland China since the early 1940s. Science China Earth Sciences, 46(8):1065~1075.
- Hu Chengfei, Pan Cunhong, Wu Xiuguang, Tang Ziwen, Zheng Jun. 2021&. Tidal flat evolution law and its mechanism on the south bank of Hangzhou Bay from 1959 to 2019. Advances in Water Science, 32(2):230~241.
- Li Jialin, Tian Peng, Shao Shuyao, Wang Haifeng, Wang Lijia, Ye Mengyao, Zhao Mengqi, Zhang Keqin, Cai Kaite, Ruan Yingchao, Shen Kingwen. 2019&. The change of continental coastline and its development and utilization intensity in the East China Sea. Journal

- of Natural Resources, 34(9): 1886~1901.
- Li Jialin, Wang Lijia. 2020&. Spatial and temporal evolutions of the major bays in the East China Sea under the influence of reclamation. *Acta Geographica Sinica*, 75(1): 126~142.
- Li Yan, Xie Qinchun. 1993&. Dynamical development of the Andong tidal flat in Hangzhou Bay, China. *Donghai Marine Science*, 11(2): 25~33.
- Lü Hongbo, Su Dechen, Zhang Yuxu, Feng Xuedong, Li Chunwang. 2017&. Landform Features of Salt Weathering in Different Climatic Zones in China. *Geological Review*, 63(4): 911~926.
- Wang Liyan, Xing Zhe, Hou Chen, Zhang Renqun, Zhang Miaomiao, Yang Huixian. 2020&. The spatio—temporal change analysis of mainland coastline in Hangzhou Bay from 1990 to 2017. *Marine Science Bulletin*, 39(4): 481~487.
- Wang Shanshan, Han Cengcui. 2014&. The modern evolution characteristic of Andong shoal of Hangzhou Bay. *Bulletin of Science and Technology*, 30(5): 66~71.
- Ye Mengyao, Li Jialin, Shi Xiaoli, Jiang Yimei, Shi Zuoqi, Xu Lianghui, He Gaili, Huang Ripeng, Feng Baixiang. 2017&. Spatial pattern change of the coastline development and utilization in Zhejiang from 1990 to 2015. *Geographical Research*, 36(6): 1159~1170.

## Marine abrasion landforms on the south shore of Hangzhou Bay: Discovery and implications

LI Chang'an<sup>1)</sup>, WANG Wei<sup>2)</sup>, HOU Hongxin<sup>2)</sup>, ZHU Xiaosong<sup>2)</sup>, SUN Yonghui<sup>2)</sup>

1) *China University of Geosciences (Wuhan), Wuhan, 430074;*

2) *Lang Fang Natural Resources Comprehensive Survey Center, China Geological Survey, Langfang, 065099*

**Abstract:** The South Shore of Hangzhou Bay is one of the most changeable sections in China's coastline since modern era. In previous studies, researchers have conducted much investigations using historical record, remote sensing data and land use planning in this region. Recently, our investigations in the area have discovered wave-cut cliffs, grooves and caves near two isolated hills 2~3 km away from the coastline of Cixi City's coastal plain, the Fulong Mount and the Haiwang Mount, which are direct geological and landscape evidence providing explicit indicative implications on location of historic coastline. Analysis suggests that these marine abrasion landforms are remains of former coastline in 1960s. Our discovery has important significance on shoreline variation studies and human influences on intertidal zone's evolution, meanwhile, these wave-cut landscapes are also very valuable geological relics of historical shoreline of Hangzhou Bay that can serve well on popular science propaganda, study tours and geological tourism.

**Keywords:** Marine abrasion landform; Shoreline; South Shore of Hangzhou Bay; Cixi City

**Acknowledgements:** This study is supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 41871019) and the Project of "Surface matrix Survey in Ningbo area of Yangtze River Delta" of China Geological Survey Bureau

**First author:** LI Chang'an, male, born in 1956 in Wu'an, Hebei Province, professor, mainly engaged in the teaching and research of geomorphology and Quaternary geology and urban geology; Email: 1002858465@qq.com

**Manuscript** received on: 2021-08-30; Accepted on: 2021-11-18; Network published on: 2021-11-20

**Doi:** 10.16509/j.georeview.2021.11.085

**Edited by:** ZHANG Yuxu