

江苏小庙洪牡蛎礁的地貌特征及演化*

张忍顺¹ 王艳红² 张正龙³ 蒋姣芳¹

(1. 南京师范大学海洋与滩涂研究所 南京 210097; 2. 南京水利科学研究院河流海岸研究所 南京 210024;
3. 国家海洋局东海环境监测中心 上海 200137)

提要 江苏岸外的小庙洪牡蛎礁在海岸地貌学上是一稀有的生物沉积体。这种位于蚀、淤交替岸段潮间带、古礁体和活体共存的牡蛎礁体是我国所仅见。现场观察了牡蛎礁体的地貌特征, 并使用 GPS 和全站仪进行了主要礁体分布与高程的测量, 表明礁区地貌面不是一个水平面, 相差可达 2m 以上。礁体顶高主要分布在两个高程上, 一是与平均潮位相当, 二是比前者低约 30cm, 略高于小潮平均低潮位。礁体起伏面高出礁坪面多在 0.5—1.5m。小庙洪牡蛎礁正处于退化状态, 除物理因素造成的侵蚀外, 化学溶蚀及人类活动也是侵蚀退化的主要因素。对于礁区内部的礁体, 其退化过程为连片礁→环礁→带礁→斑礁→礁坪的顺序。礁体沉积体有三种: 原生礁体、与原生礁体脱离的礁块以及已离开原生地的松散堆积体。浪蚀礁坪分布在礁体的迎浪面上, 而溶蚀礁坪则分布在礁体密集区。在礁体稀疏区, 则覆盖约 20—30cm 厚的粉沙或淤泥, 形成次生的潮坪。

关键词 牡蛎礁, 礁体形态, 礁体演化, 古海洋学
中图分类号 P731

牡蛎最初一般都附生在岩石或其他硬实构件上, 随后活牡蛎即可附生在已死亡的牡蛎壳上。如果在较长的时段里没有受到外力或其他因素的破坏, 这种附生方式就会形成一定规模的礁体。多年来在我国沿海的古地层中已经发现了多处牡蛎礁的沉积, 引起了学者们的关注, 对其地层层序、沉积特征以及科学意义均进行了比较深入的研究(韩有松, 1980; 王宏, 1996; 王强等, 1991; 王强, 1991; 喻鸣同等, 2000; 邵合道等, 2000)。由于牡蛎需要特定的生态位和生境, 即海洋环境要素, 而且牡蛎壳中含有丰富的钙质和碳同位素, 故许多研究第四纪海面的学者利用地层中的牡蛎礁来恢复第四纪尤其是全新世某些时期的海平面高度(彭贵等, 1980; 谢在团等, 1986; 李元芳等, 1987; 耿秀山等, 1991; 赵希涛, 1996; 王宏等, 2000a、b)。弄清牡蛎礁的形态和演变与海平面变化的关系, 对恢复海平面高度的精确性至关重要。因此研究现代牡蛎和牡蛎礁的生长、形成和演变, 并采取将古论今的方法, 与古牡蛎

礁进行对比将有重要的意义。

1 区位及区域地貌背景

小庙洪牡蛎礁位于江苏辐射沙洲南翼的小庙洪潮汐水道中, 离岸仅 2.7 海里, 离吕四渔港仅 10 海里(图 1)。作为一个特殊的生物堆积体, 它的区位有如下特点: 首先它时而是小庙洪潮汐水道中的沙洲, 时而与岸滩相连, 成半岛状伸入该水道中; 其次它的顶部出露于淤泥质海岸的潮间浅滩上; 第三, 与它相连的海岸正处于淤蚀平衡过渡段。礁区面积为 3.557km²。在古牡蛎礁体上, 仍部分生长着活体牡蛎。在低潮水边线附近, 古牡蛎礁剖面已暴露出来。这样的牡蛎礁在国内实属罕见。与水下的牡蛎礁相比, 小庙洪牡蛎礁提供了非常稀有的能直接接触和目视测量的研究客体。

2 礁区地貌图和地形图的绘制

小庙洪牡蛎礁的礁体主要分布在三个区域:

*江苏省软科学项目, BR2003032 号; 江苏省“908 专项”, JS-908-01-03 号。张忍顺, 教授, 博导, E-mail: zhrenshun@163.com

收稿日期: 2006-07-20, 收修改稿日期: 2007-01-29

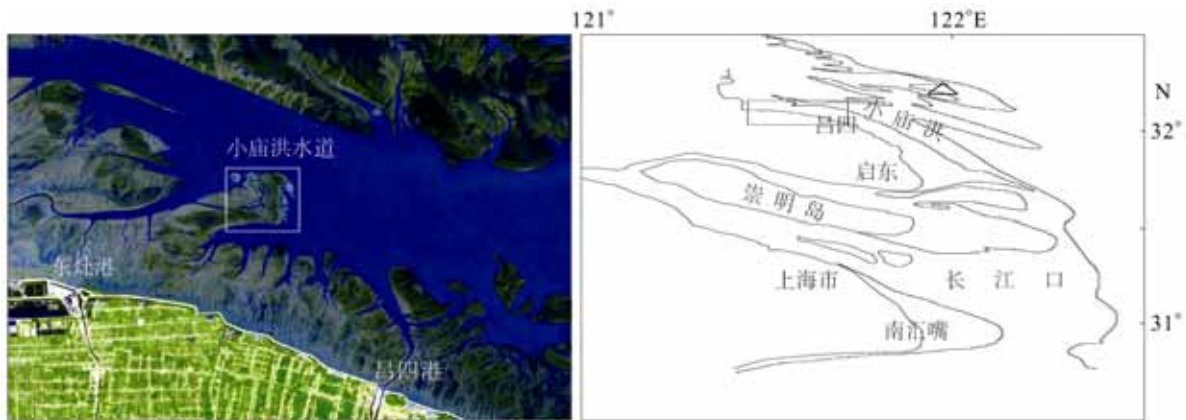


图1 小庙洪牡蛎礁区位图

Fig.1 Location of the Xiaomiaohong Oyster Reef

一是现与岸滩相连,呈半岛状突出于小庙洪水道中的主礁区,礁体面积最大;二是与主礁区隔一条深1—2m潮沟的洪西堆,是在低潮时仍孤悬于潮汐水道中的小沙洲;三是在主礁区南侧的三沟堆滩涂,其上礁体分布稀疏。2002—2003年在小庙洪牡蛎礁区进行了全面的地貌与沉积学调查。使用拓普康全站仪从陆上引测水准高程,在主礁区和洪西堆进行了各主要礁体顶部和滩面的高程测量;同时使用GPS对主要礁体精确定位,并对照2002年3月13日TM卫星影像,绘制了小庙洪牡蛎礁礁体分布地貌地形图(图2)。图上各礁体尚无标准地名,主要根据长期从事牡蛎采捕生

产渔民的习惯称谓来定名的。测量时时间是2003年6月16—18日(大潮汛,最低潮位为黄海85基面-2.3m)。

3 主要结果

3.1 小庙洪牡蛎礁的礁体分布规律

小庙洪牡蛎礁礁体大致有三种形态:斑状礁体、带状礁体和环状礁体(张忍顺,2004a),其分布规律主要有:

(1) 在牡蛎礁主礁区(指洪西堆除外的礁体主要分布区)上,礁体主要分布在东部,正对小庙洪水道。从主礁区东北角到东南角除潮水湾外均为环礁密集区。这一密集区从东侧低潮水边线算起,宽约0.5km。由环礁区向西宽约0.5—1.0km的南北伸展的区域为斑状礁区。该区礁体较小,分布较稀疏。图2中仅给出较高大礁体的位置。而整个主礁区的西部以带状礁为主,并以靠近西北部带状礁较为密集。

(2) 在环状礁体密集区,礁塘的底部基本没有泥沙沉积,其上密集地分布着介壳碎片,碎片下则为由竖向密实排列的贝壳碎片组成的硬底。在中东部斑状礁区及西部带状礁区,各礁体之间滩面则以粉沙为主,厚约20—30cm,含有大量贝壳碎屑,其上分布着沙波。在中部的带状礁区,礁体之间则为薄层淤泥,散布着贝壳碎片,淤泥层厚10—30cm不等。在粉沙及淤泥层下也是密实而坚硬排列有序的贝壳碎片。

(3) 在落潮时,中部的斑状或带状礁区的滩面薄层水向高程较低的东部归槽,形成了宽深比较大的潮沟。这些潮沟在低潮时宽可达100—300m,深度为0.5—1.0m,潮流流速一般约40—50cm/s。潮沟底部为没有泥沙覆盖的礁坪。

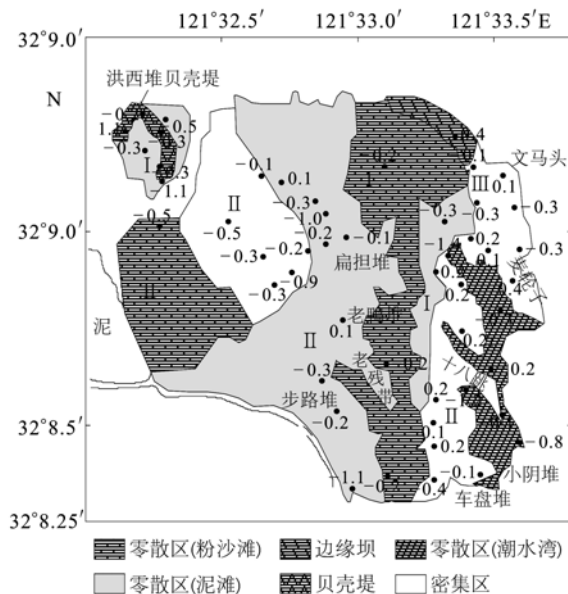


图2 江苏小庙洪牡蛎礁以及洪西堆贝壳堤分布及其高程

Fig.2 Distributions and elevations of oyster reefs
· 斑状礁区; · 带状礁区; · 环状礁区

(4) 在靠近小庙洪水道深槽的礁区东北角, 还形成了由粗粉沙和细沙组成的水道边缘坝, 宽达 100m 以上, 其顶部没有礁体分布。

(5) 在主礁区东南部较低的滩面上, 大部分礁体在大潮低潮水位以下, 形成潮水湾, 只有礁体顶部出露在低潮水面上。这儿的活体牡蛎覆盖比例也最大。

(6) 在洪西堆上形成的贝壳堤弯曲朝向迎着常浪向 (在临近海域常浪向与强浪向一致)。

由上述可见, 礁区滩面的地貌形态比较复杂。除有不同形态的礁体外, 还有边缘坝、滩面、潮沟和潮水湾等地貌形态。滩面也有淤泥滩、粉沙滩以及基本没有沉积物覆盖的礁坪。

3.2 小庙洪牡蛎礁高程的分布

(1) 礁区地势最高处为洪西堆贝壳堤, 最高可达 1.1m (85 高程, 下同); 主礁区东北部的边缘坝顶部也比较高 (约为 0.4m); 最低处为潮沟底部, 一般在 -1m 以下。故礁区的地貌面并不是一个水平面, 高差可达 2 m 以上。

(2) 主礁区东部地形相对较低, 起伏也较大, 礁体地形最为复杂, 高差可达 1.8m (包括潮沟底)。而中部斑状和带状礁礁坪坡度最小, 最为平坦, 高差仅为 0.1—0.3m。西部带状礁滩面较平坦, 高差约为 0.8m。

(3) 环状礁区各礁体的顶部高程仅在 0.2—-0.6m 之间, 大部分为 -0.2—-0.4m, 而礁塘底部高程多低于 -0.6m。

应该指出的是, 不论是斑状礁还是带状礁、环状礁, 其顶部往往是起伏不平的, 但在文马头附近发现一块异常平坦、带有许多小空洞的礁面 [(7—8) m × (15—20) m], 整个偌大的牡蛎礁区仅观察到这一块。

图 3 给出了各主要礁体顶部高程的频率, 其中可见大部分礁体顶高均等于或低于平均潮位, 而以顶高相当于平均潮位的礁体最多。第二峰对应的顶高位于平均潮位与小潮平均低潮位之间。

3.3 暴露在环礁区东侧的侵蚀剖面

文马头和麦轮子是位于主礁区东北角的环形礁。在盛行的东北向浪作用下, 临海面形成了高约 2m 的礁墙, 可以清晰地观察牡蛎礁的上部结构 (图 4)。

礁墙脚有一深约 30cm 的浪蚀穴。穴前到低潮水边线为礁坪, 宽约 2—10m。坪面下为坚硬密

实的长牡蛎介壳礁体。坪面上, 既有与下垫礁体

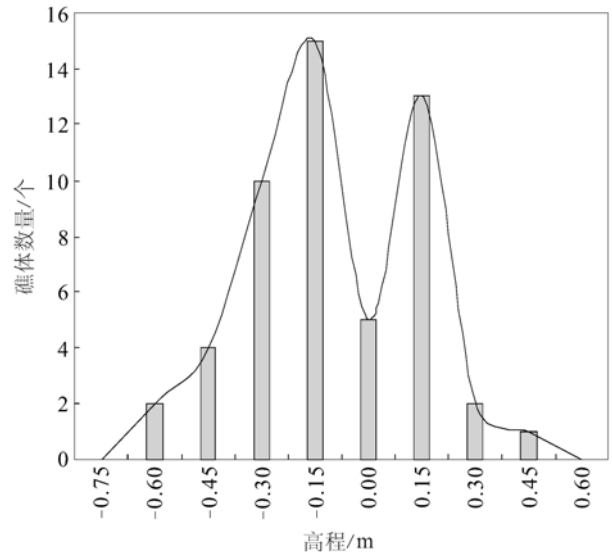


图 3 牡蛎礁主要礁体顶高频率曲线
Fig.3 Accumulated frequency of top elevation of main reef bodies

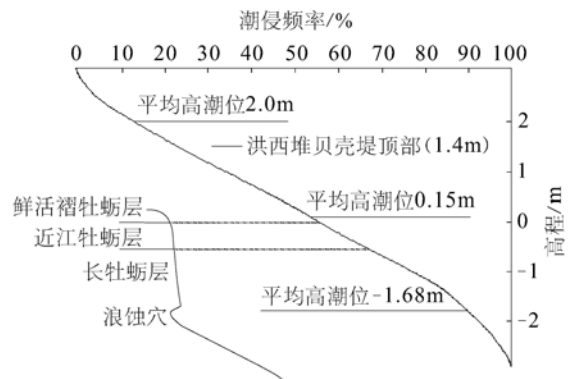


图 4 麦轮子牡蛎礁剖面与小庙洪潮位累积率曲线
Fig.4 Cross section at Mailunzi oyster reef against the accumulated frequency of tidal levels in Xiaomiaohong Tidal Channel

相连的直立位介壳, 也有已与下垫礁体脱离的礁块。粗大的介壳片和介壳沙, 均被波浪冲刷得洁白无垢。向上约有 1.5m 高的长牡蛎礁体, 立位为主, 并无泥沙掺杂。近江牡蛎介壳组成的礁墙部分高 0.5m, 斜位为主, 亦无泥沙掺杂。在 -0.1m 以上为带有活的褶牡蛎。这一层在东部密集环状礁区有时缺失, 礁面直接暴露出近江牡蛎介壳层。据现场观测, 在环礁区北部只有 10%—30% 的礁面有活牡蛎, 部分可达 50%—60%, 只有在东南侧潮水湾中的礁体, 活牡蛎的覆盖面积可以达到 80%—90%。

3.4 牡蛎礁向礁坪的演化

主礁区尽管隔小庙洪水道有北侧的腰沙掩

护,但强风及强浪向均为 NE 向,海域相对开敞,易受台风浪及风暴潮的侵袭。在礁区东侧形成浪蚀礁墙,并处于后退过程中。

小庙洪处于江苏辐射沙洲南翼腰沙与岸之

间,是典型的潮汐水道。作为辐射沙洲调整过程的一部分,小庙洪一直处在纵向加深与横向移动的过程中,其中从小港底以南至蒿枝港以北的一段近几年来不断向南移动。这也是吕四海岸遭受



图 5 小庙洪牡蛎礁的不同礁体形态和礁坪类型

Fig.5 Forms of reef bodies and types of reef flats

a. 漏斗; b. 巷穴; c. 溶沟; d. 礁块坍塌; e. 礁块分解; f. 原生礁坪; g. 次生礁坪; h. 后生潮坪

严重侵蚀的原因。而牡蛎礁就处在南移段的西侧。潮流动力主轴的逼近使礁体剖面逐渐后退(张忍顺等, 2002)。

在小庙洪牡蛎礁上, 已很难找到大面积连续礁体, 整体上都处在退化过程中, 即大部分的成片礁体正向礁坪演化。这种退化主要受小庙洪水道南移、化学侵蚀和人类活动的影响。

化学侵蚀在小庙洪牡蛎礁退化过程中起着重要的作用。由于死牡蛎介壳含有大量的钙质, 在海水周期性淹没下, 受海水的溶蚀作用, 在礁体上产生了类喀斯特化过程, 在小庙洪牡蛎礁体上塑造了多种形态。

(1) 漏斗: 多出现在没有活牡蛎的礁体上, 呈近圆或椭圆形, 平面直径为 20—30cm, 深 0.4—0.6m。这是因礁面凹处在退潮时积水造成局部加剧的溶蚀过程形成的(图 5a)。

(2) 巷穴: 连接漏斗下段与礁坪的水平孔洞, 其形成过程显然与漏斗的形成有关(图 5b)。

(3) 溶槽: 随着漏斗在巷穴方向上延伸, 使得巷穴垂直方向上穿透礁体而形成溶槽(图 5c)。

(4) 网沟: 各溶沟呈网状连接, 从而使某块礁体, 从整个礁面上切割出来(图 5d)。

(5) 礁块坍塌: 网沟继续侵蚀扩大, 从而使礁块架空而坍塌, 礁块最后与礁体分离而坠落在原生礁坪上(图 5e)。

(6) 礁块分解: 坍塌的礁块在溶蚀及浪流侵蚀作用下破碎化, 形成单块介壳, 介壳碎片、碎屑最后演变为原生的礁坪。

显然化学侵蚀与涨落潮时海水的涌入和泄出形成的水流侵蚀是共同作用的, 而且愈接近于这一过程的后期, 水流侵蚀的作用愈强。在由漏斗→巷穴→溶槽→网沟→礁块坍塌→礁块分解各阶段组成的整个演化过程中, 化学侵蚀始终作用于整个牡蛎礁。

在主礁区目前已没有大块连片的牡蛎礁。在东部密集区主要分布着环状礁体。环状牡蛎礁和环状珊瑚礁不同, 环状珊瑚礁是珊瑚礁生长塑造的产物, 而环状牡蛎礁则是退化过程的产物。在主礁区东部可以看到大小不同的礁塘(张忍顺, 2004a)。礁塘面积愈大, 所处退化过程愈靠后。随着礁塘面积的加大, 礁塘周边的礁体开口越多, 环状礁体断开越多, 于是形成了带状礁和斑状礁。可见, 礁体的地貌形态的演化过程则依连片礁→环礁→带礁→斑礁→礁坪的顺序。

3.5 礁坪的类型

活牡蛎保护层一旦被破坏, 牡蛎礁通过浪蚀礁坪和溶蚀礁坪最后向潮坪演化。

从以上的演化过程可以看出礁坪的发育有几种类型, 一是由坍塌礁块分离后余下的浪蚀礁坪形成, 这以礁墙外的礁坪为代表(图5f); 二是其上覆盖礁体破碎后形成的一层介壳碎片, 为溶蚀礁坪(图 5g); 三是贝壳碎片和碎屑经搬运破碎后, 与淤泥或粉沙共同沉积而形成的后生潮坪(图 5h)。它们既可以覆盖在原生的浪蚀礁坪上, 也可能覆盖在原生溶蚀礁坪上。显然, 浪蚀礁坪高程较低, 而溶蚀礁坪和后生潮坪则较高。后生潮坪面积比最大, 次生礁坪次之, 而原生礁坪面积比例非常小。

表 1 是根据图 2 量计出来的各种类型礁坪的面积比(面积包括礁坪上的礁体)。可以看出, 后生潮坪面积比最大, 几乎占 70%, 其中又以泥质后生潮坪最多, 约占 40%。而浪蚀礁坪和溶蚀礁坪主要分布在密集区, 以及浅潮沟沟底, 面积占 28.5%。

4 讨论

(1) 整个礁区的地貌面不仅不是一个水平面, 主要沉积形态的四个高程层面也不是水平的, 而是一个自西向东的和缓倾斜面。这个倾斜与礁区各处的动力作用强度差异性有关。显然随着腰沙对于小庙洪水道的掩护作用由东向西的增强, 波浪由东向西逐渐减弱, 波浪侵蚀面的有效深度也由东向西逐渐减小。

(2) 活体牡蛎层对于礁体是最为有效的保护。这正是礁区东部礁体密集, 且有连片环状礁存在, 而中部和西部主要为带礁和斑礁, 且礁体稀疏的重要原因。由于礁区东部紧靠小庙洪水道, 海水交换比较活跃, 水质较西部新鲜, 故活体集中在东部。

(3) 化学溶蚀和浪流侵蚀是同时作用的因素。在礁体密集区, 化学溶蚀起主要作用, 而在礁区的水道边缘及礁体稀疏的中西部, 则浪流侵蚀起主要作用。

(4) 显然, 通过牡蛎礁研究海陆变迁和海面变化是一个很有效的手段, 但应该指出的是, 海面高程与牡蛎礁区及其礁体的高程之间的关系比较复杂。根据地层中的古礁体来确定海面高度必

表1 小庙洪牡蛎礁区面积参数¹⁾

Tab.1 Dimension of the different oyster reef bodies

项 目	面积 (km ²)	百分比 (%)
小庙洪牡蛎礁总面积	3.557	100
主礁区牡蛎礁分布区	3.414	95.97
洪西堆牡蛎礁分布区	0.143	4.03
其中		
粉沙滩礁区	1.005	28.27
泥滩礁群区	1.424	40.04
牡蛎礁密集区	0.993	27.91
潮水湾分布区	0.023	0.64
边缘坝	0.063	1.78
贝壳堤	0.048	1.36

1) 据2002年3月13日TM卫星影像判读,结合2003年6月中旬的实地测量数据整理

须结合古礁体地貌的判断,并注意地貌面变化及礁体所处的层面、礁体的沉积物类型与产状,否则将产生较大的误差。

(5) 前面已述,目前在主礁区礁已找不到连片的坦平礁体。但可以看到,凡是有活牡蛎附生的礁区均没有漏斗及其他溶蚀微地貌形态出现。显然活牡蛎生长层保护其下垫的古礁体,人类的采捕活动正是破坏了这一保护层。如果人类的活动超过了活牡蛎的再生速度,牡蛎礁必将进一步退化。这正是目前小庙洪牡蛎礁退化的原因。因此且不说保护野生牡蛎的亲本,就从保护古礁体而言,也必须采取措施,限制,在近期甚至要严加禁止牡蛎礁上的采捕活动,并在古牡蛎礁上人工移苗,以增加活牡蛎的覆盖面积(张忍顺,2004b)。

(6) 本文中实际上不是研究整个牡蛎礁,而只是研究牡蛎礁出露在潮间带上的表层的性状和演化过程,对牡蛎礁的下部和附着基的情况还不了解,有待进一步深入研究。

5 结 论

(1) 小庙洪牡蛎礁是被接受科学考察不久的生物礁体,它的地貌及生态位置比较特殊。它位于淤蚀交替岸段的潮间带上,时而沙洲,时而潮滩,且礁体和牡蛎活体共生。

(2) 经实地调查得出,牡蛎礁地貌面不是一个水平面。主要沉积形态的高程有四个层面:一是贝壳堤,顶部高程相当于小潮平均高潮位;二是礁体顶高频分布的第一峰,相当于平均潮位;三是第二峰相当于小潮平均低潮位;四是礁坪。

(3) 当前小庙洪牡蛎礁处于退化状态,主要原因是海浪的侵蚀、小庙洪水道南移(归结为水流侵蚀),使礁区面积减小;而化学溶蚀和人类活动,使礁体破碎化。化学溶蚀过程经历:漏斗→巷穴→溶槽→网沟→礁块坍塌→礁块分解等阶段。礁体退化过程顺序为:连片礁→环礁→带礁→斑礁→礁坪。

(4) 从该牡蛎礁的演化过程可以看出,礁沉积可以分成三种类型,一是原生礁体,这是未经移动的、保持不同种属牡蛎的接触关系、保持牡蛎个体原始产状的礁体;二是已经与原生礁体分离,但牡蛎介壳的原始产状仍然得以保持的固结礁块;三是已破碎的贝壳碎片或碎屑被浪流搬运、重新富集的或密实或松散的沉积体,如贝壳堤或贝壳滩。

参 考 文 献

- 王 宏, 1996. 渤海湾全新世贝壳堤和牡蛎礁的古环境. 第四纪地质, 16(1): 71—79
- 王 宏, 李建芬, 张玉发等, 2000a. 渤海湾西岸年轻贝壳堤: 形态、结构及多成因过程. 地质论评, 46(3): 276—287
- 王 宏, 张金起, 张玉发等, 2000b. 渤海湾西岸的第一道贝壳堤的年代学研究及1千年来的岸线变化. 海洋地质与第四纪地质, 20(2): 7—14
- 王 强, 1991. 天津地区全新世牡蛎滩的海洋学意义. 海洋学报, 13(3): 371—380
- 王 强, 李秀文, 张志良等, 1991. 天津地区全新世牡蛎滩的古海洋学意义. 海洋学报, 13(3): 371—380 见: 秦蕴珊, 赵松龄主编. 中国第四纪海岸线变化. 北京: 海洋出版社, 73—87
- 张忍顺, 2004a. 江苏小庙洪牡蛎礁的地貌-沉积特征. 海洋与湖沼, 35(1): 1—7
- 张忍顺, 2004b. 江苏小庙洪牡蛎礁海洋地理环境与自然保护价值. 2004年丹霞山会议论文集. 北京: 中国环

- 境科学出版社, 302—306
- 张忍顺, 陆丽云, 王艳红, 2002. 江苏海岸侵蚀过程及其趋势. 地理研究, 21(4): 469—478
- 李元芳, 高善明, 安风桐, 1987. 天津北部全新世海侵. 地理集刊, 18: 88—97
- 邵合道, 吴根耀, 2000. 福建中南部全新世的森林-牡蛎礁遗迹. 第四纪研究, 20(3): 299—305
- 赵希涛主编, 1996. 中国气候与海面变化及其趋势和影响. 中国海面变化. 济南: 山东科学技术出版社, 44—150
- 耿秀山, 傅命佐, 程振波等, 1991. 河北—天津沿海平原贝壳堤的生物地质学与年代学. 见: 秦蕴珊, 赵松龄主编. 中国第四纪海岸线变化. 北京: 海洋出版社, 73—87
- 喻鸣同, 王绍鸿, 赵希涛, 2000. 福建深沪湾牡蛎礁的测量与研究进展. 第四纪研究, 20(6): 568—575
- 彭贵, 张景文, 焦文强等, 1980. 渤海湾沿海晚第四纪地层 ^{14}C 年代学研究. 地震地质, 2(2): 71—78
- 谢在团, 邵合道, 陈峰等, 1986. 福建沿岸晚更新世以来海浸. 中国海平面变化(一). 北京: 海洋出版社, 156—165
- 韩有松, 1980. 牡蛎礁与新河古海岸线. 海洋科学集刊, 16: 59—65

GEOMORPHOLOGY AND EVOLUTION OF THE XIAOMIAOHONG OYSTER REEF OFF JIANGSU COAST, CHINA

ZHANG Ren-Shun¹, WANG Yan-Hong², ZHANG Zheng-Long³, JIANG Jiao-Fang¹

(1. Institute of Coastal Mudflat, Nanjing Normal University, Nanjing, 210097; 2. River and Harbor Department, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing, 210024; 3. East China Sea Environmental Monitoring Center of State Oceanic Administration, Shanghai, 200137)

Abstract Xiaomiaohong Reef, recently found oyster reef bodied off Jiangsu coast of eastern China is a rare bio-deposition body in coastal geomorphology. The reef, situated between erosion and progradation zones of tidal area, was investigated in-situ in geomorphology and GPS-mapped for the dimensions against recent correspondent satellite images. The result of the study shows that the surface of the reef body was a gently domed body with 2m difference in elevation. There are two dome tops, one is leveled at the average tidal height, and the other is about 30cm lower than the former or slightly below the mean low water neaps. The tops of the wavy reefs are generally 0.5—1.5m above the reef flat. The study also shows that the reef is currently under erosion, resulted by not only physical and chemical factors but also by human being activities. Reef bodies were degenerated in a sequence from reef sheet, ringed reef (atoll), dispersed reef, to reef flat in turn. Three types of oyster-reef deposits were classified: proto-reef, reef masses disintegrated from the proto-reefs, and incompact deposits far from their native places; and two erosion types were recognized: wave eroded reef that generally distributed on the side that against wave direction, and dissolved reef flats that appeared with dense reef bodies. Away from dense reef bodies were sparse reefs covered by 20 to 30-cm-thick silt or mud, which may then developed into secondary tidal flat.

Key words Oyster reef, Reef body shape, Reef body evolution, Paleo-oceanography