

广西近岸西部中全新世显著海侵及气候特征*

The Significant Transgression during Middle Holocene and the Climatic Characteristics in Western Coast of Guangxi

黄向青**,梁开,张亮,张顺枝,潘毅,霍振海,刘雄

HUANG Xiangqing,LIANG Kai,ZHANG Liang,ZHANG Shunzhi,PAN Yi,
HUO Zhenhai,LIU Xiong

(广州海洋地质调查局,国土资源部海底矿产资源重点实验室,广东广州 510760)

(Key Laboratory of Marine Mineral Resources of MLR,Guangzhou Marine Geological Survey,
Guangzhou,Guangdong,510760,China)

摘要:【目的】北部湾北部是冷暖空气的交汇带,气候复杂多变,而断裂活动导致的沉降差异又是海岸变迁的重要驱动因素,为了探究该区域环境变迁的规律,研究其中全新世显著海侵和气候特征。【方法】以广西西部近岸为典型,于防城港湾口外水下斜坡进行沉积物岩芯取样和粒度、元素、矿物、微体古生物、¹⁴C 年龄等地质地球化学要素综合测试,分析对比要素的变化特征及其气候联系。【结果】孢粉组合反映植被以山地热带、亚热带种属居优。沉积物组分为粘土质粉砂、砂质粉砂和粉砂质砂。体现出元素分段变化,碎屑矿物含量变异性较高的分布规律;化学元素等基本以 3.00~2.80 m 深度为界,前后分布有明显环境差异,显示气候变干变冷之特征。该转折点亦是大规模海侵的起始阶段,主要表现为绿石明显富集,Sr/Ba 显著增高,有孔虫、硅藻、钙质和硅质生物碎屑随之快速增加;该转折点在时间和要素变化特征方面与邻区相近,揭示这并非偶然现象,与中全新世 6.00 ka B. P. 前后夏季风减弱、冬季风加强的大尺度气候变化相联系。【结论】中全新世广西西北部近岸出现了大规模海侵,可能与区域乃至全球气候变化有关。

关键词:广西近岸 中全新世 显著海侵 气候

中图分类号:P531 文献标识码:A 文章编号:1005-9164(2017)03-0316-07

Abstract:【Objective】The northern part of Beibu Bay is the intersection of cold and warm air, the climate is complex and changeable, and the settlement difference caused by the faulting activity is also an important driving factor of the coastal change. In order to explore the rule of environmental change in that area, the significant transgression and climate feature were studied in Holocene age. 【Method】The western near shore area in Guangxi was chosen as a typical case. Sediment cores were recovered on the underwater slope around the port of Fangcheng. Some geological and geochemical parameters of the core sediments such as grain sizes, elemental compositions, mineral compositions, micropalaeontological compositions and ¹⁴C ages were determined and their features and relationships with climate were discussed. 【Results】The ¹⁴C dating in bottom of above sediments core showed middle-Holocene age and there was an apparent underlay weathering transition. Pollen also showed tropical and subtropical species mainly. Grain parameters changed vertically and geochemical elements, detrital minerals and bio-sediment and so on changed basically in two stages from depth of 3.00~2.80 m, revealing colder climate and also

收稿日期:2016-06-21

修回日期:2016-08-11

作者简介:黄向青(1964—),女,高级工程师,主要从事海洋地质环境研究,E-mail:eegs2007@163.com.

* 中国地质调查局“我国重点海岸带滨海环境地质调查与评价”项目(1212010611403)资助。

** 通信作者。

the initiation of significant transgression which was related with 6.00 ka B. P. event of monsoon's recession and high sea level decreasing in south region and their peak's transmission to northern coast. **【Conclusion】** There is a large-scale transgression in northwestern coast of Guangxi, which may be related to regional and global climate change.

Key words: coastal area, middle Holocene, significant transgression, climate

0 引言

【研究意义】广西沿海构造复杂,区域差异明显,岸线曲折,海岸类型多样,全新世以来陆续受到海侵,但程度不一,而研究中全新世以来大规模海侵的特征,有助于认识广西海岸全新世以来的演变规律和格局。**【前人研究进展】**前人对广西沿海和主要岸段全新世沉积环境、第四纪岸线变迁、全新世气候波动等进行了研究,认为广西沿岸最早约 8.00 ka B. P. 有海侵出现,还重建了广西沿海地区海平面变化曲线,并认为中全新世发生了规模较大的海侵,指出海侵时间与区域构造沉降因素有关^[1-3],但对大规模海侵特征及其气候联系少有涉及。**【本研究切入点】**广西西部受到北东向断裂控制,东西两侧沉降差异使得西部相对较高,尤其以防城港东岸为界,具有基岩埋深浅、全新世沉积厚度薄的特征。西部与云贵高原相邻,与青藏高原同属季风影响区域,气候变化关系密切,而该领域的地质演变规律研究未见报道。**【拟解决的关键问题】**对广西西部典型岸段进行沉积物取样,分析大规模海侵的起始阶段特征及其气候特征,了解其驱动因素和联系。

1 材料与方法

钻孔 ZK1 位于防城港海湾的白龙半岛以南水下斜坡,离岸约 11.0 km,水深约 17.0 m(图 1)。于 2012 年 7 月进行钻探取样,对岩芯使用透明衬管包装,并按有关技术要求进行蜡封、标注和存放,按照 10 cm 等间距进行分样和综合实验测试。岩性自下到上为砂质沉积物,灰色、灰褐色、青灰色相间,粘性较好,流塑-软塑状,见少量贝壳碎屑^[4]。其下为风化界面以及陆相更新统地层,风化接触面为黄色含少量粘土的砂,上下岩性差异较大,显示初期为沼泽或盐沼相。

粒度测试依据 GB/T 12763.8.6.3-2007,设备为 Mastersizer 2000 型激光衍射粒度分析仪;微量元素测试执行 GB/T 20260.8-2006 和 GB/T 20260.10-2006,仪器为 ICP-OES Opima 4300DV;碎屑矿物鉴定依据 GB/T 12763.8-2007,分析粒度 0.063~0.25 mm;微体古生物鉴定依据 GB/T 12763.8-2007-6.6。孢粉鉴定采用 Leica 显微镜,

放大 250 倍观察统计每个 20 mm×20 mm 盖玻片下的孢粉数量。有孔虫鉴定取干样 20 g,经充分浸泡分散后用 0.063 mm 标准铜筛筛洗,取存下样品烘干,使用 Leica M165C 立体显微镜鉴定和统计大于 0.15 mm 的个体;硅藻鉴定是将样品预处理之后利用中性树胶制成固定片,在 Axio. Imager. A1 相差显微镜下进行鉴定,放大倍数一般数百倍,均进行丰度换算。以上实验完成单位为广州海洋地质调查局实验测试所,样品¹⁴C 测年由国土资源部海洋地质实验检测中心(青岛)进行,使用的主要仪器是芬兰产 1220 型超低本底液闪谱仪^[4-5]。

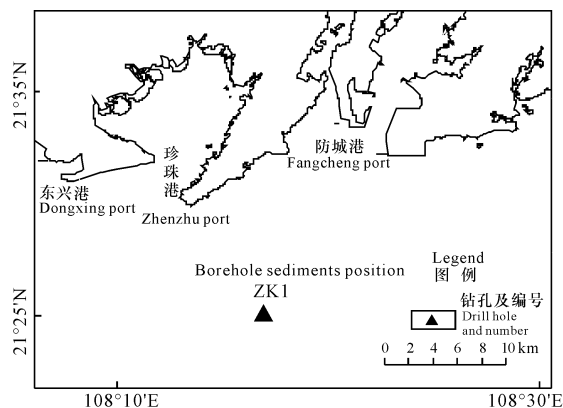


图 1 研究区取样位置

Fig. 1 Location map of sediments core sampling station

2 结果与分析

2.1 中全新世以来岩芯孢粉分布

岩性和¹⁴C 测年显示全新统底部为 5.90 m,其¹⁴C 年龄为(6 800±110) a BP,为中全新世以来沉积物^[5]。孢粉带 I: 5.90~2.70 m,组合为磷盖蕨(*Microlepia* sp.)-水龙骨科(*Polypodiaceae*)-金毛狗蕨(*Cibotium barometz*)-禾本科(*Gramineae*)-松属(*Pinus* sp.)-栎属(*Quercus* sp.)。蕨类孢粉优势明显,但其平均含量 58%较孢粉带 II 略低,草本植物花粉含量约 10%。柳叶海金沙(*Lygodium salicifolium*) 0.6%、石松属(*Lycopodium* sp.) 0.1%,松属 3%,含量较带 II 明显减少;孢粉带 II: 2.70~0 m,组合为磷盖蕨-水龙骨科-松属-栎属,蕨类孢粉含量 41%~71%(平均 61.7%),木本植物花粉含量 24%~55%,平均 35%,而草本植物花粉减少至 3%。蕨类孢子以磷盖蕨(25%)和水龙骨科

(11%)为主,尚有凤尾蕨属(*Pteris* sp.)(2.4%)、金毛狗蕨(4%)、蹄盖蕨科(*Athyrium* sp.)(3.3%)、柳叶海金沙(2.6%)、卷柏属(*Selaginella* sp.)(1.9%)以及石松属(1.7%)。木本植物花粉以松属(10.9%)为主,栎属(3.9%)和栲属(*Castanopsis* sp.)(2%)也常见。草本植物花粉以禾本科(2.3%)为主,零星见有 *Chenopodiaceae*、*Artemisia* sp.、*Compositae*、*Polygonum* sp.。反映出植被以热带、亚热带种属居多,喜热湿的蕨类植物和乔木植物花粉含量较高,而喜凉植物的花粉种类少且含量低,为典型的热带、亚热带常绿阔叶林。

2.2 岩芯沉积物各种要素及其反映的显著海侵特征

2.2.1 沉积物粒度参数

沉积物组分为粘土质粉砂、砂质粉砂和粉砂质砂,不含砾石,含量有波动变化(图2)。砂平均为20.14%,粉砂为54.45%,粘土为25.41%。粒径 M_z 为2.87~7.46 ϕ ,平均6.16 ϕ , σ 多为2.0~2.3,显示分选差或较差,偏态 S_{ki} 为-0.14~0.49,多为正偏态,峰态 K_g 为0.77~1.52,以平坦和尖锐为主。

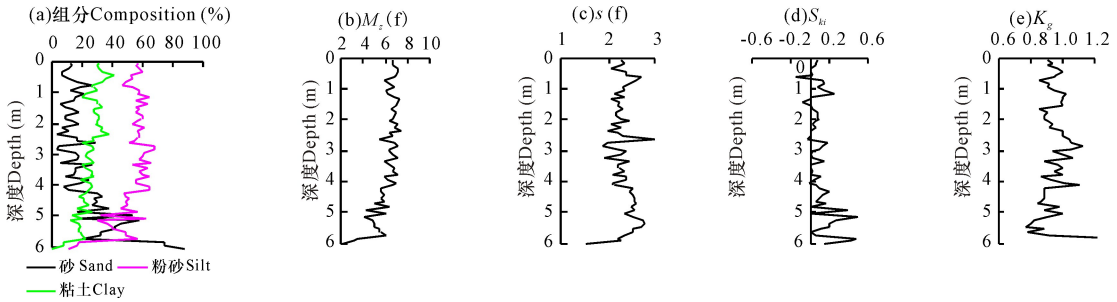


图2 钻孔 ZK1 中全新世以来沉积物组分和粒度参数垂直分布

Fig. 2 Grain parameters vertical distribution of ZK1 core sediments since middle Holocene

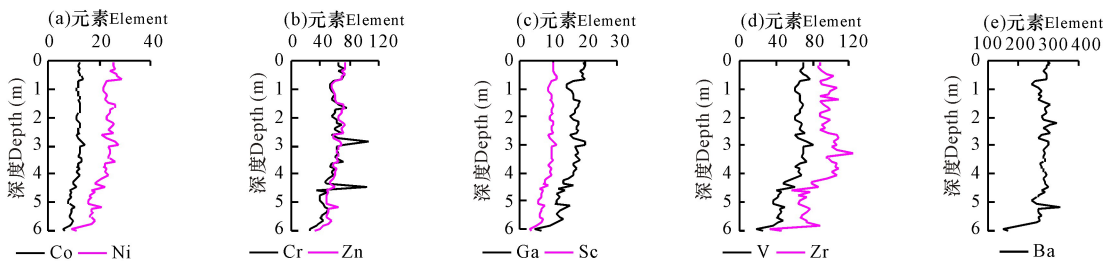


图3 钻孔 ZK1 沉积物中全新世以来微量元素含量($\times 10^{-6}$)垂直分布

Fig. 3 Geochemical elements vertical distribution of ZK1 core sediments since middle Holocene

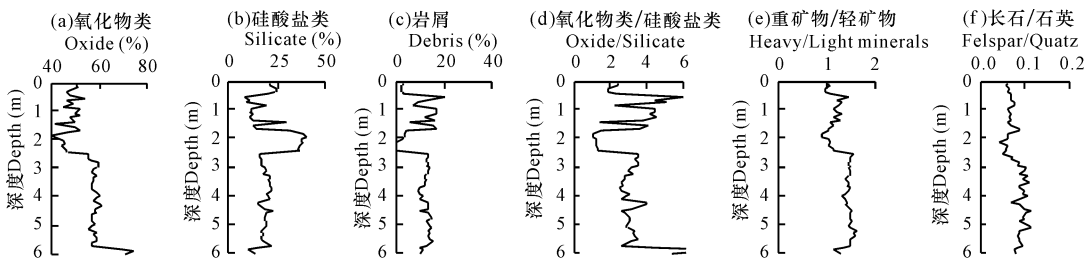


图4 钻孔 ZK1 沉积物中全新世以来碎屑矿物含量及比值垂直分布

Fig. 4 Detrital minerals vertical distribution of ZK1 core sediments since middle Holocene

2.2.2 微量元素

由于元素的亲细颗粒特征,自下往上呈现与沉积物细颗粒和中值粒径同样增加的态势,随环境有波动变化,分段变化特征为5.90~3.00 m段元素波动增加;经过短暂转折下降,2.80~0 m段除Ba变化不大之外,Co、Ni、Cr、Zn、Ga、Sc、V、Zr由“V”形反转开始波动增加(图3)。

2.2.3 碎屑矿物

岩芯前段自生矿物黄铁矿含量较高,但几乎没有硅质和钙质生物碎屑,长石/石英比值平均为0.09,赤铁矿、黑云母和锆石保持较高,属边滩或者沼泽沉积相。后段自生矿物海绿石较高,重矿物如钛铁矿、赤铁矿和黑云母含量普遍不高,反映为近岸浅海沉积相。从种类来看,依次以氧化物类和硅酸盐类为主,但变化较大,岩屑也是如此(图4a~c)。氧化物类/硅酸盐类比值为1.10~6.00,前低后高,重矿物颗粒数/轻矿物颗粒数则相反,化学风化指标长石/石英比值呈现逐步下降趋势(图4d~f)。

2.2.4 硅藻和有孔虫

自上述转折点硅藻快速增高,出现多处峰值,平均丰度约 110 个/g。主要属种有 *C. striata*、*M. sulcata* 和 *C. stylorum*、*C. nodulifer* 等半咸水种,余下还有 *T. nitzschoides*、*N. lyra*、*C. oculatus* 等(图 5a~e)。之前有孔虫极为零星,之后骤然增加,最大

丰度达 155 个/g,优势属种有 *A. beccarii* vars.、*E. margaritaceum*、*H. mantaensis*、*R. annectans* 等浅海种,余下还有 *A. tepida*、*A. pauciloculata*、*Brizalina* sp.、*C. craticulatus*、*F. scaphum* 等(图 5f~j);生物开始活跃,钙质和硅质生物碎屑大量富集,平均值分别为 4.40%和 4.21%(图 5k~l)。

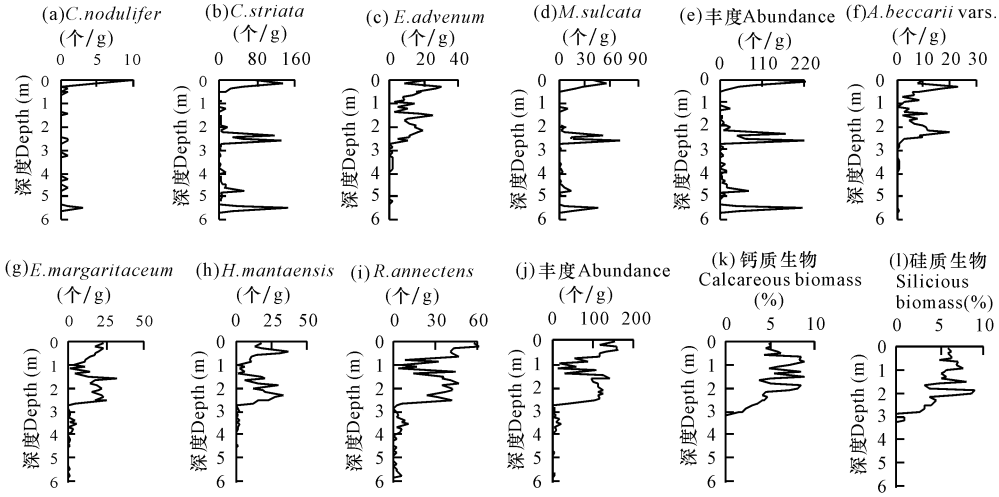


图 5 钻孔 ZK1 沉积物中全新世硅藻和有孔虫主要属种丰度垂直分布

Fig. 5 Main species of foraminifera and diatom vertical distribution of ZK1 core sediments since middle Holocene

2.2.5 海绿石和 Sr/Ba 比值

自转折点海绿石开始大量形成,虽然波动较大,但平均值维持高值为 15.20%;Sr/Ba 在转换点之前,为 0~0.09,呈现缓慢上升的趋势,平均斜率为 0.03/m,在转折点开始明显升高,斜率为 0.73/m, Sr/Ba 最高达到 0.50,平均为 0.26,但波动很大。反映环境变化的 Sr/Cu 为同样走势(图 6)。紧邻上述转折点的 3.10~3.00 m 处¹⁴C 测年为(5.70±0.07) ka B. P.,可作为大规模海侵肇始时间。岩芯底部 5.90~5.80 m 处与其下晚更新统风化界面不整合明显,底部年龄为前述(6.80±0.11) ka B. P.,而 7.6~7.4 m 为(213.46±0.20) ka B. P. 的湛江组,之间沉积物具有砂含量极高、粒径偏低、分选很差、极为右偏、峰态尖锐的特征^[5]。有机碳、黄铁矿含量极低,富含钛铁矿、云母、赤铁矿、辉石、锆石等的河床相。两者厚度薄但年龄差距极大,显示海侵迅速且显著。

2.2.6 沉积环境变化转折点

以上结果可见,各要素以 3.00~2.80 m 为界,前后分布形态有明显区别。粒度方面砂降至最低,中值粒径在此形成“V”转折,分选有突变态势,偏态由正区间进入负区间并波动,峰态在此达到极高点,微量元素也多形成“V”形转折,碎屑矿物转折点有所滞后,原因是其不如元素活泼灵敏。在转折点沉积物变粗、优势组分粉砂突降、分选最差、峰态尖锐,显示侵

蚀较强,水动力强烈,长石/石英下跌趋势明显。以上结果显示综合沉积环境剧变,显著海侵开始。

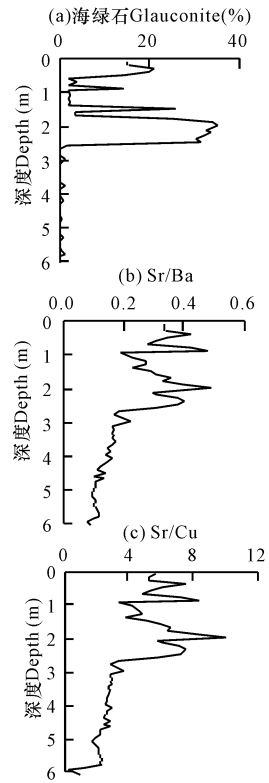


图 6 钻孔 ZK1 沉积物中全新世以来海绿石(%)和 Sr/Ba 比值等垂直分布(个/g)

Fig. 6 Glauconite, Sr/Ba and Sr/Cu vertical distribution of ZK1 core sediments since middle Holocene(individual/g)

3 讨论

3.1 邻区大规模海侵的特征

ZK1 钻孔所在的防城港湾南部 15 m 水深附近的 0602 孔研究揭示,属中全新世沉积物 1.44~1.41 m 埋深的¹⁴C 年龄为(5.83±0.30) ka B.P.,有孔虫、介形虫含量丰富,并含海胆刺,反映了受到海侵而形成的近岸浅海相环境,向下 2.18~2.37 m 埋深的¹⁴C 年龄为(7.53±0.26) ka B.P.,除大量植物碎屑外,未发现孔虫、介形虫,反映陆相环境^[6]。

ZK1 钻孔东部临近大风江口的 ZK4 钻孔显示,6.2~6.0 m 的¹⁴C 年龄为(6.01±0.03) ka B.P.,也为沉积环境的转折点,粒度突变,Sr/Ba 明显上升并波动维持,海绿石开始富集,有孔虫明显增加,硅藻半咸水种和咸水种丰度增加,由河流冲积相向浅海湾相进化。已有的北海外沙瀉湖 CK10 钻孔研究显示,属中全新世沉积物 3.30~3.20 m 深度的¹⁴C 年龄为(5.99±0.11) ka B.P.,正是硅藻 V 组合向 VI 组合转折界线,淡水种硅藻急剧减少,半咸水种和咸水种大幅增加,有孔虫也开始明显增加,显著海侵开始,由河口沼泽转变为河口湾^[7]。

3.2 研究区暖湿气候与邻区及我国中全新世大暖期一致性分析

涠洲岛海区有孔虫氧同位素显示,自(5.70±0.22) ka B.P. 以来底层水温不断升高,至(4.09±0.20) ka B.P. 才下降,这与南部陆架海水北侵有关,对广西气候变化的研究也以 6 000 年为中全新世早期和中全新世中期之转折^[1]。近岸作为海陆界面,以上并非偶然现象,与气候变化相联系。施雅风等^[8]认为 6.00 ka B.P. 处 7.20~5.00 ka B.P. 为中国全新世大暖期的鼎盛期转向气候恶化的转折点,而近来国内外诸多研究成果揭示,距今 6 000 年中全新世中期是轨道尺度上十分重要且需要加强研究的时期^[8-10]。中国全新世气温集成序列在 6.00 ka B.P. 出现显著的负距平,同属季风区的青藏高原东部、中部、北部的沉积物、冰芯和泥炭均显示 5.90~5.50 ka B.P. 出现气候转折和植被转化,云南 XR1 石笋显示 6.00~5.80 ka B.P. 暖湿气候达到盛期即将开始迅速调整,(5.84±0.50) ka B.P. 前后为突变期。贵州 BG1 石笋氧同位素显示 5.80 ka B.P. 为 1 万年以来湿润期迈向衰退期的转折点,其它石笋记录也有类似特征^[11-14]。总体表明 6.00 ka B.P. 前后是夏季风衰退和冬季风加强的转换阶段,与 ENSO 活动、北大西洋涛动 NAO 也均有关系,6.00~5.70 ka B.P. 为北大西洋大暖期和新冰期之转折^[15-16]。本岩芯已在转折

点表现为干冷气候,与邻区同期记录的气候变化保持一致^[17-20],与区域乃至全球气候变化联系紧密。

3.3 北部湾南部海平面与海侵驱动因素

对海南岛的研究表明,全新世高海面分为 3 个阶段,而第一期(7.30~6.00 ka B.P.)也为中国大部分沿海高海面期,6.00~5.00 ka B.P. 剧烈波动下降,也有人认为南海及周缘地区海平面最高在 7.00 ka B.P.。在 6.00 cal. ka B.P. 高海面之后的海面下降使得珊瑚化石多出现在 6.0 cal. ka B.P. 及其之后。南海珊瑚礁显示 6.0 ka B.P. 为强夏季风和高 SST (海面温度)末期,El Nino 出现衰减迹象。雷州半岛 6.00~5.70 ka B.P. 为高海面末期,其后明显波动下降^[21-22]。根据本研究同期在北部湾南部海盆钻取的对比岩芯 STAT22 的 Sr/Ba^[23],295~290 cm 为全新世早期(10.12±0.03) ka B.P. (11.11 cal. ka B.P.) 开始海侵,而 280~275 cm 年代即中全新世(5.82±0.03) ka B.P. (6.23 cal. ka B.P.) 仍维持高海面,至 245~240 cm 处 5.21±0.03 ka B.P. (5.55 cal. ka B.P.) 降至低海面(图 7)。北部湾呈口袋形,深入陆地,北部西岸高程较高,地壳沉降缓慢^[3],由于 6.00~5.70 ka B.P. 前后夏季风减弱、冬季风加强,维持高海面的热力学和动力学因子减弱而难以为继,高海面快速下降,波峰能量向北部湾北岸传播。

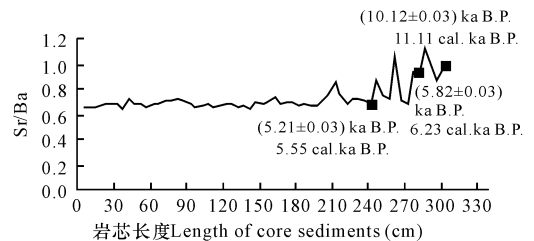


图 7 北部湾南部海盆 STAT22 岩芯 Sr/Ba 的深度分布
Fig. 7 Sr/Ba distribution of STAT22 core sediments in basin of southern Beibu Gulf

4 结论

对广西西部防城海湾湾外的沉积物岩芯进行取样测试与综合分析,得到如下结论:

(1) 孢粉反映为亚热带气候,气候波动变化,受到海侵环境之后由沼泽相转为浅海相。

(2) 沉积物为粘土质粉砂、砂质粉砂和粉砂质砂,分选较差,波动变化。微量元素呈现与中值粒径同增的态势,碎屑矿物以氧化物类和硅酸盐类依次占优,海侵前期重矿物颗粒数量占优,之后由于海岸后退,水深加深,水动力减弱,沉积环境趋于稳定而减少。

(3) 岩芯 3.1~3.0 m 处(5.70±0.07) ka B.P. 紧邻环境转折点,具有变干变冷、风化减弱、陆源萎缩

的特征,邻区钻孔也显示于 6.00 ka B. P. 前后有相似变化,是对中全新世 6.00 ka B. P. 大范围气候变化之响应,属于全球变化的范畴。此后 Sr/Ba 和有孔虫、硅藻等生物指标大幅上升,大规模海侵开始。岩芯全新统与其下晚更新统具有强烈剥蚀界面,两者厚度小但年龄差距极大,显示海侵迅速且显著。

(4) 研究区海侵大规模起始对应于南部高海面快速下降时段,是由于南部高海面波动向北岸传播,具有反相的特点。

参考文献:

[1] 黎广钊,梁文,廖思明. 广西沿海全新世以来气候变化[J]. 海洋地质与第四纪地质,1996,16(3):49-60.
LI G Z, LIANG W, LIAO S M. Climatic changes since Holocene along Guangxi coast[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 1996, 16(3): 49-60.

[2] 谢复飘. 北部湾广西海岸第四纪岸线变迁[J]. 技术与市场, 2013, 20(3): 135-136.
XIE F P. Coastal-line change of Guangxi during Quaternary, Beibu Gulf[J]. Technology and Market, 2013, 20(3): 135-136.

[3] 刘涛,黎广钊. 北部湾广西沿岸全新世海侵过程的区域差异[J]. 海洋学报, 2015, 37(3): 70-76.
LIU T, LI G Z. The spatial discrepancy of Holocene transgression in north Beibu Gulf of Guangxi coastline[J]. Haiyang Xuebao, 2015, 37(3): 70-76.

[4] 广州海洋地质调查局. 北部湾广西近岸(东兴港幅)海洋地质环境与地质灾害调查报告[R]. 广州:广州海洋地质调查局, 2012.
Guangzhou Marine Geological Survey. Research report on marine geological environment and geological hazards of Guangxi coastal zone (Dongxing Gang), Beibu Gulf [R]. Guangzhou: Guangzhou Marine Geological Survey, 2012.

[5] 广州海洋地质调查局. 北部湾广西近岸海洋地质环境与地质灾害调查报告[R]. 广州:广州海洋地质调查局, 2015.
Guangzhou Marine Geological Survey. Research report on marine geological environment and geological hazards of Guangxi coastal zone, Beibu Gulf [R]. Guangzhou: Guangzhou Marine Geological Survey, 2015.

[6] 黎广钊,卞云华,汪品先. 北部湾东北部全新世海侵地层及其微体古生物特征[J]. 热带海洋学报, 1988(2): 63-70.
LI G Z, BIAN Y H, WANG P X. Holocene marine transgression and its micropaleontological characteristics in the north-eastern waters of Beibu Gulf[J]. Tropic Oceanology, 1988(2): 63-70.

[7] 黎广钊,陈荣华,梁文,等. 北海外沙湾湖全新世微体古生物群特征及其古地理意义[J]. 东海海洋, 1999, 17(4): 29-38.
LI G Z, CHEN R H, LIANG W, et al. Holocene micropaleontological characteristics and its paleogeographical significance in the Waisha Lagoon, Beihai[J]. Donghai Marine Science, 1999, 17(4): 29-38.

[8] 施雅风,孔昭宸,王苏民,等. 中国全新世大暖期的气候波动与重要事件[J]. 中国科学 B 辑, 1992, 22(12): 1300-1308.
SHI Y F, KONG Z C, WANG S M, et al. The variation and important events during Holocene Megathermal in China[J]. China Science, B Collection, 1992, 22(12): 1300-1308.

[9] 田芝平,姜大勝. 全新世中期和末次冰期盛期中国季风区面积和季风降水变化[J]. 科学通报, 2015, 60(4): 400-410.
TIAN Z P, JIANG D B. Mid-Holocene and last glacial maximum changes in monsoon area and precipitation over China[J]. Chinese Science Bulletin, 2015, 60(4): 400-410.

[10] HOLMQUIST J R, BOOTH R K, MACDONALD G M. Boreal peatland water table depth and carbon accumulation during the Holocene thermal maximum, Roman Warm Period, and Medieval Climate Anomaly[J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 2016, 444: 15-27.

[11] 候光良,方修琦. 中国全新世气温变化特征[J]. 地理科学进展, 2011, 30(9): 1075-1080.
HOU G L, FANG X Q. Characteristics of Holocene temperature change in China[J]. Progress in Geography, 2011, 30(9): 1075-1080.

[12] LI Q, LU H Y, SHEN C M, et al. Vegetation successions in response to Holocene climate changes in the central Tibetan Plateau[J]. Journal of Arid Environments, 2016, 125: 136-144.

[13] 张会领,蒲晓强. 中全新世云南寻甸地区气候演化与冷干事件的石笋记录[J]. 地球学报, 2011, 32(1): 95-100.
ZHANG H L, PU X Q. Stalagmite records of climate change and Cold-Dry events during the middle Holocene in Xundian, Yunnan[J]. Acta Geoscientica Sinica, 2011, 32(1): 95-100.

[14] 吴江莹,汪永进,孔兴功. 贵州白骨洞石笋记录的全新世季风气候演化与突变[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2006, 26(5): 55-60.
WU J Y, WANG Y J, KONG X G. Evolution and abrupt changes of the Holocene Asian monsoon climate recorded by stalagmite in Baigu cave in Guizhou[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2006, 26(5):

- [15] MOOSSEN H, BENDLE J, SEKI O, et al. North Atlantic Holocene climate evolution recorded by high-resolution terrestrial and marine biomarker records [J]. *Quaternary Science Reviews*, 2015, 129: 111-127.
- [16] 巩伟明, 张朝晖. 湖光岩玛珥湖全新世时期沉积物碳氮同位素组成的环境指示意义 [J]. *高校地质学报*, 2014, 20(4): 582-589.
GONG W M, ZHANG Z H. $\delta^{13}C$ and $\delta^{15}N$ in the sediments of Huguangyan Maar Lake as proxies for reconstructing paleo-productivity and paleo-environment in the Holocene [J]. *Geological Journal of China Universities*, 2014, 20(4): 582-589.
- [17] 吴旭东, 沈吉, 汪勇. 广东湛江湖光岩玛珥湖全新世磁化率变化特征及其环境意义 [J]. *热带地理*, 2011, 31(4): 346-252.
WU X D, SHEN J, WANG Y. Magnetic susceptibility of Huguangyan Maar Lake since the holocene and its environmental significance [J]. *Tropical Geography*, 2011, 31(4): 346-252.
- [18] 王淑云, 吕厚远, 刘嘉麒, 等. 湖光岩玛珥湖高分辨率孢粉记录揭示的早全新世适宜期环境特征 [J]. *科学通报*, 2007, 52(11): 1285-1291.
WANG S Y, LV H Y, LIU J Q, et al. The early Holocene optimum inferred from a high-resolution pollen record of Huguangyan Maar Lake in southern China [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2007, 52(20): 2829-2836.
- [19] 罗攀, 郑卓, 杨小强. 海南岛双池玛珥湖全新世磁化率及其环境意义 [J]. *热带地理*, 2006, 26(3): 211-217.
LUO P, ZHENG Z, YANG X Q. Holocene magnetic susceptibility from Shuangchi Maar Lake, Hainan Island and its environmental significance [J]. *Tropical Geography*, 2006, 26(3): 211-217.
- [20] 周建超, 覃军干, 张强, 等. 广西桂林岩溶区中全新世以来的植被、气候及沉积环境变化 [J]. *科学通报*, 2015, 60(13): 1197-1206.
ZHOU J C, QIN J G, ZHANG Q, et al. Vegetation, climate and depositional environment changes since the middle Holocene in the karst area of Guilin, Guangxi [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2015, 60(13): 1197-1206.
- [21] 余克服. 南海珊瑚礁及其对全新世环境变化的记录与响应 [J]. *中国科学: 地球科学*, 2012, 42(8): 1160-1172.
YU K F. Coral reefs in the South China Sea: Their response to and records on past environmental changes [J]. *Science China Earth Sciences*, 2012, 55(8): 1217-1229.
- [22] 姚衍桃, 詹文欢, 孙金龙, 等. 海南岛西北部珊瑚礁记录的中全新世海平面与构造运动信息 [J]. *科学通报*, 2013, 58(13): 1265.
YAO Y T, ZHAN W H, SUN J L, et al. Emerged fossil corals on the coast of northwestern Hainan Island, China: Implications for mid-Holocene sea level change and tectonic uplift [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2013, 58(23): 2869-2876.
- [23] 广州海洋地质调查局. 南海北部湾全新世环境演变及人类活动影响研究成果报告 [R]. 广州: 广州海洋地质调查局, 2014.
Guangzhou Marine Geological Survey. Research report on Holocene environmental evolution and anthropogenic impact of Beibu Gulf, South China Sea [R]. Guangzhou: Guangzhou Marine Geological Survey, 2014.

(责任编辑: 尹 闯)

(上接第 315 页 Continue from page 315)

- [8] 董德信, 李谊纯, 陈宪云, 等. 大规模填海工程对钦州湾水动力环境的影响 [J]. *广西科学*, 2014, 21(4): 357-364, 369.
DONG D X, LI Y C, CHEN X Y, et al. Impacts of hydrodynamic environment caused by large-scale reclamation in Qinzhou Bay [J]. *Guangxi Sciences*, 2014, 21(4): 357-364, 369.
- [9] 许婷. 丹麦 MIKE 21 模型概述及应用实例 [J]. *水利科技与经济*, 2010, 16(8): 867-869.
XU T. Calculation principle and application example of a two-dimensional flow Model- MIKE21 HD [J]. *Water Conservancy Science and Technology and Economy*, 2010, 16(8): 867-869.
- [10] 魏皓, 田恬, 周锋, 等. 渤海水交换的数值研究-水质模型对半交换时间的模拟 [J]. *青岛海洋大学学报*, 2002, 32(4): 519-525.
WEI H, TIAN T, ZHOU F, et al. Numerical study on the water exchange of the Bohai Sea: Simulation of the half-life time by dispersion model [J]. *Journal of Ocean University of Qingdao*, 2002, 32(4): 519-525.

(责任编辑: 米慧芝)