

# 厦门湾—九龙江口地区 MIS 4 以来 孢粉组合特征及古气候意义\*

瓦西拉里<sup>1</sup>, 王建华<sup>1</sup>, 郑艳伟<sup>2</sup>, 骆美美<sup>1</sup>, 陈慧娴<sup>1</sup>, 黄康有<sup>1</sup>, 曹玲珑<sup>1,3</sup>

(1. 中山大学地球科学与地质工程学院//广东省地质过程与

矿产资源探查重点实验室, 广东 广州 510275;

2. 广州地理研究所, 广东 广州 510070;

3. 国家海洋局南海工程勘察与环境研究院, 广东 广州 510300)

**摘要:** 根据厦门湾—九龙江口地区 3 个钻孔的孢粉组合特征分析, 结合沉积相和年代数据, 探讨本区晚更新世以来的古气候和古环境演变。孢粉分析结果表明, MIS4 阶段早期以来该区的古气候演变包括: 晚更新世偏冷—早中全新世(约 8~5.5 cal. ka BP) 温干转热湿—晚中全新世(约 5.5~2.5 cal. ka BP) 较暖湿转温和稍干—晚全新世(约 2.5 cal. ka BP 至今) 暖湿等的波动和变化。晚更新世全球范围的大幅降温在本区影响较大, 全新世气候变化的特点是温湿度在一定幅度中波动, 人类活动对植被的干扰在晚全新世以来有明显的体现。

**关键词:** 孢粉; 古气候; 第四纪; 厦门湾; 九龙江口

**中图分类号:** P532; Q913.6 **文献标志码:** A **文章编号:** 0529-6579(2014)06-0053-10

## Pollen Characteristics and their Paleoclimatic Significance since MIS 4 in Xiamen Bay and Jiulong River Estuary

Waxilali<sup>1</sup>, WANG Jianhua<sup>1</sup>, ZHENG Yanwei<sup>2</sup>, LUO Meimei<sup>1</sup>,  
CHEN Huixian<sup>1</sup>, HUANG Kangyou<sup>1</sup>, CAO Linglong<sup>1,3</sup>

(1. School of Earth Science and Geological Engineering//Guangdong Provincial Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resource Exploration, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China;

2. Guangzhou Institute of Geography, Guangzhou 510070, China;

3. South China Sea Marine Engineering and Environment Institute, SOA, Guangzhou 510300, China)

**Abstract:** According to pollen assemblage analysis of 3 boreholes in Xiamen Bay-Jiulong River Estuary region, combined with the results of sedimentary facies and dating analysis, this paper explore the paleoclimatic and paleoenvironmental evolution in this area since Late Pleistocene. Pollen analysis show that: since the early stage of MIS4, the main paleoclimatic evolution of the region includes the fluctuations and changes such as: slightly dry-cold in Late Pleistocene, dry-warm then wet-warm in early Mid Holocene (8~5.5 cal. ka BP), wet-warm then slightly moderate-dry climate in late Mid Holocene (5.5~2.5 cal. ka BP) and wet-warm in Late Holocene (since 2.5 cal. ka BP). Global scale substantial cooling event in Late Pleistocene impacts clearly in this area. Characteristic of the climate change in Holocene is that the temperature and humidity varies fluctually between some ranges. The human activity infects clearly the vegetation form since Late Holocene.

\* 收稿日期: 2014-08-10

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41276079); 中国地质调查局“厦门湾地质环境调查”资助项目(水[2011]01-38-05)

作者简介: 瓦西拉里(1990生), 男; 研究方向: 第四纪地质学; 通讯作者: 王建华; E-mail: adswjh@mail.sysu.edu.cn

**Key words:** pollen; paleoclimate; Quaternary; Xiamen Bay; Jiulong River Estuary

厦门湾—九龙江口地区为九龙江进入台湾海峡的通道,属于海陆过渡带,海陆相互作用强烈,九龙江河口平原第四系发育。本文选取九龙江口、厦门湾地区的第四纪沉积作为研究对象,探讨区域晚第四纪气候变化的历史。我国河口地区第四纪古气候与环境变化研究在黄河三角洲、长江口和珠江三角洲等地区进行较多,并有较丰富的成果。在东南和华南沿海地区,研究也涉及其他河口海湾地区如九龙江口<sup>[1-7]</sup>、杭州湾、闽江口以及韩江三角洲等等,但是这些地区的古气候研究相对薄弱。华南沿海不同地区的河口沉积物记录的第四纪古气候具有不同特征,需进行不同区域古气候特点在时间和空间上的对比研究,而研究厦门湾—九龙江口地区的晚第四纪古气候特征及其演变对了解福建沿海晚第四纪古气候演化历史具有重要意义。

厦门湾—九龙江口地区的第四纪古气候研究始于 20 世纪 80 年代,前人研究结果表明本区晚更新世以来的孢粉主要以里白属、栲属、栎属、松属、山毛榉属、水龙骨科、禾本科、蕨属等为主<sup>[2-4, 8-10]</sup>。例如:杨焦文对龙海下仓九龙江口平原 SI 孔及其他几个孔进行分析结果,认为九龙江口平原地区全新世气候从早到晚的变化顺序为:温暖略湿—温暖略干—热湿—暖热略干—暖热湿润<sup>[2]</sup>;于永芬等根据厦门港湾 12 个第四纪剖面沉积物的孢粉分析结果划分出 3 个孢粉带,探讨了古气候演化过程:晚更新世晚期至早全新世气候为温凉干燥;中全新世气候特征为湿润暖热,是冰后期全新世的海面最高时期;晚全新世至现代气候转为暖干<sup>[9]</sup>。陈文瑞等根据九龙江河口平原海澄 ZK5 孔、沙头 CK10、凤鸣 CK18、宝里 ZK14 孔以及石马 SI 孔剖面的孢粉组合,经分析对比得出本区 9 个综合孢粉组合带,并认为湿度和温度是影响本区晚第四纪植被演替的两个主要影响因素,但湿度是具有最重要的决定性因素<sup>[4, 6]</sup>。

尽管本区的第四纪古气候研究方面已有较多成果,但厦门湾、九龙江口处于亚热带大陆边缘,气候波动小,植物类型复杂,加上河口地区存在沉积环境和沉积物性质变化较大、沉积间断等干扰,在某种程度上,根据单一剖面孢粉组合的变化准确地推断气候变化还存在一定的偏差和难度,需综合区域不同钻孔剖面的研究予以弥补和不断完善。本文试图通过研究九龙江口 1 个 (ZK1) 和厦门湾地区 2 个 (XM4 和 XM8) 钻孔的孢粉组合特征,结合

沉积相和年代数据,探讨本区晚第四纪古气候和古环境演变。

## 1 研究区及钻孔概况

### 1.1 研究区概况

厦门湾地处我国东南沿海,福建省东南部,九龙江北岸的沿海部分,濒临台湾海峡,港湾发育,海岸线迂回曲折,滩涂较发育。九龙江口位于厦门湾海域以西,系东西向的沉溺河口湾,南、北地势高,多低山丘陵,西部地势低平以三角洲平原为主。厦门湾海域为正规半日潮,潮流形式属往复式,平均潮差 3.99 m,最大潮差 7.78 m。研究区地处热带地区,平均气温 21 °C,年降水量 1 334.8 mm,属亚热带海洋性季风气候,地带性植被属亚热带常绿阔叶林带,林下草本不发达而以蕨类为主。本区第四系地层主要为晚更新世以来的沉积物,厚度在河口地区一般厚约 20~30 m,河口平原南部最厚可达 75 m,其中全新统地层厚度约 20 m 左右。

### 1.2 钻孔概况

本次在厦门湾及九龙江口地区取得穿透第四系的钻孔岩芯 ZK1、XM4 和 XM8 (图 1),均采用套管式取芯的方法,岩性特征见图 2。其中 ZK1 孔位于龙海市紫泥镇金定村金定砖厂附近 (117°53'6.53"E, 24°28'33.68"N),地面标高 4.0 m,孔深 39.6 m,其中 -17.9~-32.7 m (文中所有深度指孔口往下为负值的深度)为卵石-砂砾层,以下为残积层和全风化黑云母花岗岩。XM4 孔位于同安双溪大桥旁 (118°9'13.52"E, 24°42'31.51"N),地面标高约 12 m,总进尺 17.4 m,其中 -9.4~-12.0 m 为卵石层, -15.6 m 以下为全风化花岗岩。XM8 孔位于厦门岛上筭筭湖南岸, (118°5'35.16"E, 24°28'31.58"N),地面标高约 2.2 m。总进尺 19.5 m。

## 2 钻孔年代分析及地层划分

### 2.1 九龙江口钻孔年代分析

本次研究的 ZK1 孔穿透整个第四系,获得有效年龄 6 个 AMS<sup>14</sup>C 测年 (表 1),另外取 2 个样品进行光释光测年 (OSL) (表 2)。本次研究 AMS<sup>14</sup>C 测试由中国科学院广州地球化学研究所完成,并使用 Calib 5.0 软件将测年结果校正至日历年龄;光释光测年由中山大学地球科学与地质工程学院光释光实验室完成。

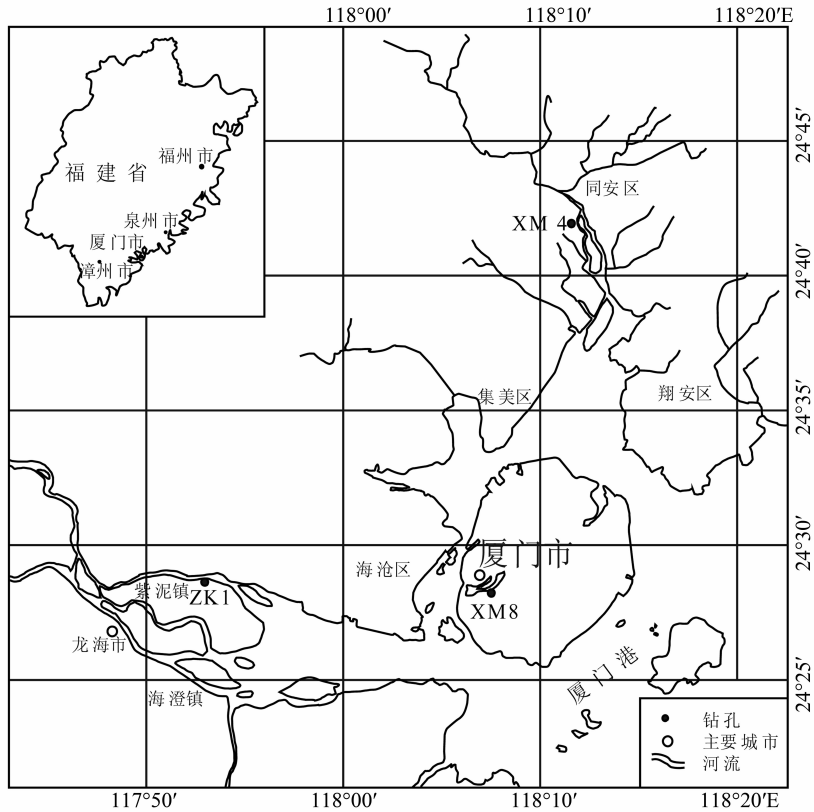


图 1 研究区区域地理和钻孔位置

Fig. 1 Geography of Studied area and locations of boreholes

根据岩性特征, ZK1 孔  $-8.9$  m 处存在一个沉积间断面, 界面之上是灰黑色中砂夹粘土层并含有碳屑 (常见于河口三角洲全新统底部<sup>[11-12]</sup>), 之下则为黄褐色—灰黄色—红褐色“花斑状”杂色粘土, 在珠江三角洲地区的第四系地层中也存在“花斑状”杂色粘土, 被认为是在末次盛冰期风化形成, 顶面是全新统与晚更新统的界线<sup>[13-15]</sup>; 磁化率、粒度、Sr/Ba 比值等均在此发生明显的变化<sup>[5]</sup>; 在界面以上的地层中孢粉含量骤然增大, 远远多于界面以下的地层, 因此,  $-8.9$  m 是 ZK1 孔全新世和晚更新世的界线。全新世沉积物在  $-8.5$  m 的沉积年龄为  $(4\ 472 \pm 36)$  cal. a BP, 推断其开始沉积年龄约为  $4.5$  ka BP。其它测年结果中 CI-2 年龄为  $(2\ 637 \pm 88)$  cal. a BP, 出现年龄倒置, 除此之外年龄值均在千年以内, CI-2 年龄明显偏老, 测年所用木炭块可能是再搬运的老木炭, 造成测年结果出现偏老现象<sup>[11, 16]</sup>。

ZK1 孔下部更新统地层沉积年龄的确定利用光释光测年方法进行, 但测试结果不理想, 只在  $-14.6$  m 处获得数值为  $(76.94 \pm 1.72)$  ka BP 的年龄, 根据区域年代地层分析<sup>[5]</sup>, 此结果亦可能偏

老 (表 2)。尽管 ZK1 孔更新统地层测年结果无法得到准确年龄, 结合陈文瑞和曾金炉等在九龙江口平原的研究<sup>[1, 6]</sup>, 可以认定 ZK1 孔更新统地层应属于上更新统。

## 2.2 厦门湾钻孔年代分析

厦门湾的钻孔有 XM4 和 XM8, 其中 XM8 共取 5 个样品进行 AMS<sup>14</sup>C 测年、2 个样品进行光释光测年, XM4 取 2 个样品进行光释光测年, 测年结果见表 1 和表 2。XM4 孔  $-13.1$  m 的光释光年龄为  $(66.28 \pm 2.90)$  ka BP,  $-15.2$  m 处为  $(85.31 \pm 1.26)$  ka BP, 均表明 XM4 孔为晚更新世以来的沉积, 但根据区域地层年代对比, 两个数据都可能偏老。

根据 XM8 孔岩性特征及其变化, 在  $-14.4$  m 处有一层薄层炭屑, 以下为黄灰色—灰黄色硬粘土, 即花斑粘土。结合  $-14.38$  m 处的测年结果为  $(8\ 077 \pm 58)$  cal. a BP, 测年所用材料为泥炭, 结果可靠<sup>[11, 12]</sup>, 故 XM8 孔  $-14.4$  m 以上为全新世沉积物, 其下为更新统。在  $-10.0$  m 的年龄值为  $(7\ 509 \pm 41)$  cal. a BP, 较之其它年龄明显有误。

表 1 研究钻孔 AMS<sup>14</sup>C 测年结果Tabel 1 AMS<sup>14</sup>C dating data of boreholes ZK1 and XM8

钻孔	样品编号	样品性质	采样深度/m	测试编号	测试结果/ (a BP)	校正年龄/ (cal. a BP)
ZK1	CI-1	植物碎屑	-3.60	GZ5328	160 ± 30	144 ± 114
	CI-2	炭化木块	-5.20	GZ5329	2535 ± 30	2637 ± 88
	CI-3	炭化木屑	-5.85	GZ5330	265 ± 25	357 ± 56
	CI-4	植物碎屑	-6.10	GZ5344	335 ± 25	394 ± 55
	CI-5	腐木块	-7.40	GZ5331	490 ± 30	528 ± 10
	CI-6	腐木块	-8.50	GZ5332	3990 ± 30	4472 ± 36
XM8	CVIII-0	沉积物	-10.00	GZ5342	6605 ± 35	7509 ± 41
	CVIII-1	贝壳碎屑	-12.20	GZ5348	1670 ± 30	1582 ± 33
	CVIII-2	贝壳碎屑	-12.65	GZ5349	2190 ± 25	2229 ± 64
	CVIII-3	贝壳碎屑	-13.75	GZ5350	2125 ± 25	2103 ± 37
	CVIII-4	炭化木屑	-14.38	GZ5343	7240 ± 35	8077 ± 58

表 2 研究钻孔光释光测年结果

Tabel 2 OSL dating data of boreholes ZK1, XM4 and XM8

钻孔	样品编号	测试材料	采样深度/m	环境剂量率/ (Gy · ka <sup>-1</sup> )	等效剂量/Gy	测试结果/ (ka BP)
ZK1	I-2	细粒石英	-14.60	4.20 ± 0.4	323.19 ± 7.22	76.94 ± 1.72
	I-4	细粒石英	-27.00	2.74 ± 0.2	信号弱	无法测量
XM4	IV-1	细粒石英	-13.10	3.85 ± 0.3	255.43 ± 11.18	66.28 ± 2.90
	IV-2	细粒石英	-15.20	2.16 ± 0.2	184.65 ± 2.74	85.31 ± 1.26
XM8	VIII-1	细粒石英	-15.40	4.33 ± 0.4	393.07 ± 12.83	90.84 ± 2.96
	VIII-3	细粒石英	-18.10	4.90 ± 0.4	146.23 ± 12.69	29.84 ± 2.59

XM8 孔更新统地层没有可用于 AMS<sup>14</sup>C 测年的材料, 其光释光测年结果出现倒置且年龄值相差较大, 在 -15.4 m 年龄值为 (90.84 ± 2.96) ka BP、-18.1 m 处为 (29.84 ± 2.59) ka BP, 两个数据虽倒置, 但都落在晚更新世区间。姚庆元等认为厦门岛晚第四纪沉积层最老的为晚更新世晚期, 沉积年龄晚于 40 ka BP<sup>[17]</sup>; 蔡丽珠在厦门岛筓笪港的 ZK3702 孔 -22.20 m (含有孔虫海侵层) 处获得的<sup>14</sup>C 测年为 (16 000 ± 650) a<sup>[18]</sup>, 但该年代数值与该时为全球低海平面期的事实不符,<sup>14</sup>C 测年样品极可能有受到“新碳”效应影响而偏新, 对比珠江三角洲等地区的海侵事件年代, 该次海侵的时代应在 30 ~ 25 ka BP<sup>[18]</sup>。

### 2.3 研究区地层划分

前人研究将本区第四系地层划分中更新统同安组、上更新统龙海组和东山组、全新统长乐组<sup>[6, 7, 19]</sup>。根据本项目组在九龙江口<sup>[5]</sup>和厦门湾<sup>[20]</sup>的地层及沉积相划分 (图 2), 龙海组沉积年

代约 80 ~ 40 ka BP, 东山组沉积年代约 30 ~ 15 ka BP, 长乐组约从 10 ka BP 开始沉积, 但本次研究的钻孔中的最早年龄数据约为 8 ka BP。ZK1 孔地层 -32.7 ~ -17.9 m 为龙海组 (Q<sup>3</sup>l), 发育以砂砾夹中粗砂层为主的洪冲积 - 河流 (主要为河床相) 的沉积; -17.9 ~ -8.9 m 为东山组 (Q<sup>3</sup>d), 以河漫滩相为主中部含河床相的河流沉积; -8.9 ~ -1.3 m 为长乐组 (Q<sub>4</sub><sup>ch</sup>), 下部为河口砂坝 - 分叉河道沉积, 上部为潮滩相沉积。XM4 孔缺少全新世沉积, -15.6 ~ -12.6 m 为龙海组, 发育河床相; -12.6 ~ -5.7 m 为东山组, 下部发育河床相, 上部为泛滥平原河流相。XM8 孔 -19.0 ~ -17.9 m 为龙海组, 发育冲洪积相; -17.9 ~ -14.4 m 为东山组, 下部发育河流相, 上部为湖泊相沉积; -14.4 ~ -3.2 m 为长乐组, 下部发育海湾相, 中部 - 上部为海岸沙滩 - 砂坝相沉积, 顶部为潮滩相。

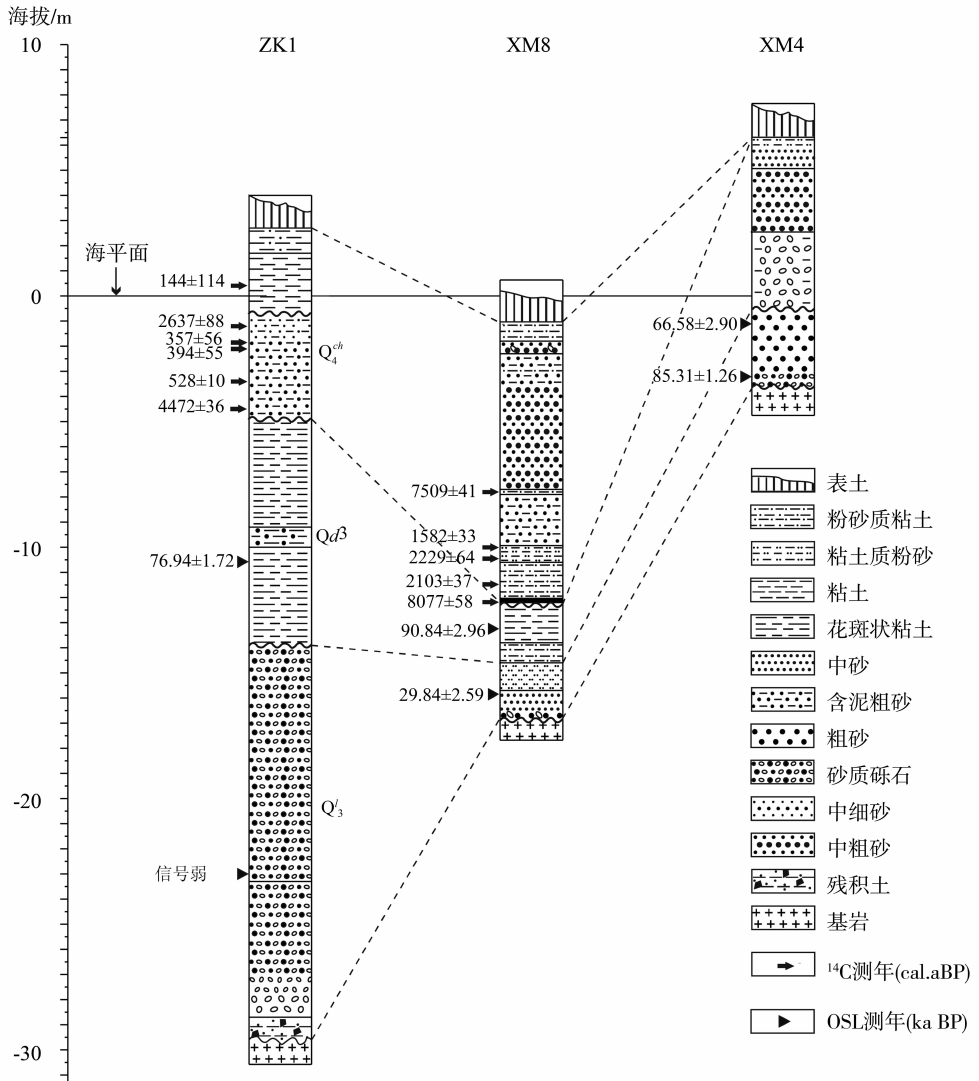


图 2 钻孔岩性地层划分与年代

Fig. 2 Stratigraphy and Chronology of boreholes ZK1, XM4 and XM8

### 3 孢粉鉴定分析

本次研究根据岩性差异和实验需要，分别称取 8.7 ~ 42.8 g 样品进行前处理。孢粉样品实验室前处理采用常规方法<sup>[21]</sup>，流程主要包括 HCl 去除钙质，氢氧化钾热水浴，过筛后用重液浮选法提取孢粉，最后制成玻片。所有玻片在德国 FOTON 显微镜下经过观察鉴定和统计。孢粉绝对浓度的计算采用外加石松孢子的方法，每个样品加入一片现代石松孢子（约含 27 637 粒石松孢子）作为参考来统计。

ZK1 孔在 -32.7 ~ -1.3 m 的岩芯上根据岩性变化共取 41 个样品，共统计孢粉 8 644 粒，平均每样约 210.8 粒。上部 -5.2 m 以上的样品中，孢粉含量丰富；中部 -8.9 ~ -5.2 m 孢粉含量减少；-8.9 m 以下花斑状粘土、粗砂砾以及卵石砾石

层，孢粉含量非常低。

XM4 孔在 -15.6 ~ -5.7 m 的岩芯上共取 13 个样品，-9.0 ~ -6.8 m 的样品中孢粉浓度较低，平均仅有 140 粒/g。-9.0 m 以下样品的孢粉组合和孢粉浓度更低，其平均孢粉浓度仅有 28 粒/g，不足以进行统计学分析。因此，对 XM4 孔只简单阐述其孢粉浓度随深度变化特征。根据该孔地层划分，下部龙海组孢粉含量相比上部东山组明显少很多。

XM8 孔在 -17.9 ~ -3.2 m 的岩芯中共分析 35 个样品，-14.7 ~ -3.3 m 的 20 个样品中，其孢粉浓度大，为 6 400 粒/g；-14.7 m 以下地层岩性主要为花斑状粘土、白色细砂、粗砂，孢粉数量稀少，不足以进行统计学分析。

木本植物花粉种类主要有松属 (*Pinus*)、常绿

栎属 (*Quercus* (*Evergreen*)) 和落叶栎属 (*Quercus* (*Deciduous*))、栲属 (*Castanopsis*)、石柯属 (*Lithocarpus*)、银柴属 (*Mallothus*)、桑寄生科 (*Loranthaceae*)、杨梅属 (*Myrica*)、毛茛科 (*Ranunculaceae*)、马鞭草科 (*Verbenaceae*)、无患子科 (*Sapindaceae*)、红树科 (*Rhizophoraceae*)、桑科 (*Moraceae*)、枫杨属 (*Pterocarya*)、阿丁枫属 (*Altingia*)、桦属 (*Betula*)、山毛榉属 (*Fagus*)、云杉属 (*Picea*)、冬青科 (*Aquifoliaceae*)、山龙眼科 (*Proteaceae*)、漆树科 (*Anacardiaceae*)、鹅耳枥属 (*Carpinus*)、枫香树属 (*Liquidambar*) 等。

草本类花粉主要可见有到禾本科 (*Poaceae*)、藜科 (*Chenopodiaceae*)、蒿属 (*Artemisia*)、百合科 (*Liliaceae*)、蓼科 (*Polygonaceae*)、茜草科 (*Rubiaceae*)、毛茛科 (*Ranunculaceae*)、大戟科 (*Euphorbiaceae*)、玄参科 (*Scrophulariaceae*)、叶下珠属 (*Phyllanthus*)、蔷薇科 (*Rosaceae*)、天南星科 (*Araceae*)，湿生的莎草科 (*Cyperaceae*) 以及水生植物的香蒲科 (*Typhaceae*) 等。

蕨类的孢子主要有阴生或水生的金毛狗属 (*Cibotium*)、石松属 (*Lycopodium*)、水龙骨科 (*Polypodiaceae*)、海金沙科 (*Lygodiaceae*)、篦箕属 (*Dicranopteris*)、乌毛蕨属 (*Blechnum*)、金星蕨科 (*Thelypteridaceae*)、里白属 (*Hicriopteris*)、单缝孢子 (*Monolet spores*)、三缝孢子 (*Trilet*

*spores*) 以及水生环纹藻属 (*Concentricystes*) 等。

孢粉种类主要以蕨类含量占绝对优势为主，木本和草本类含量相对较低。由于蕨类孢子的数量相对较高，将其计算百分含量难以反映出其它孢粉种类含量真实的变化。因此，本文中木本和草本的百分比以花粉总数为基数，蕨类的百分比则以总孢粉数位基数计算。

## 4 孢粉组合带及古气候分析

### 4.1 ZK1 孔孢粉组合带

根据 ZK1 孔的孢粉分析结果，结合岩性特征及孢粉的聚类结果，将其孢粉组带成划分为 3 个：-8.9 m 以下上新统地层为孢粉稀少的带，由于孢粉种类较少且浓度低，无法作图分析，只根据孢粉浓度粗略地划分为组合带 A 和 B，组合带 A 对应晚更新世龙海组，组合带 B 对应东山组；全新统长乐组划分为两个组合带 C 和 D (图 3)。

C 带 (蕨类 - 禾本 - 莎草 - 松科孢粉组合带，-8.9 ~ -4.7 m)，此带孢粉较少，浓度稍低，平均浓度为 6 190 粒/g。本带中有 7 个孢粉样品，其中 4 个样品孢粉浓度小于 1 000 粒/g，孢粉含量较少与沉积物为中细砂有关。根据孢粉浓度 C 带又可细分为浓度较高的 C1 和较低的 C2 两带，蕨类孢子以里白科篦箕属为主，三缝孢子、单缝孢子含量

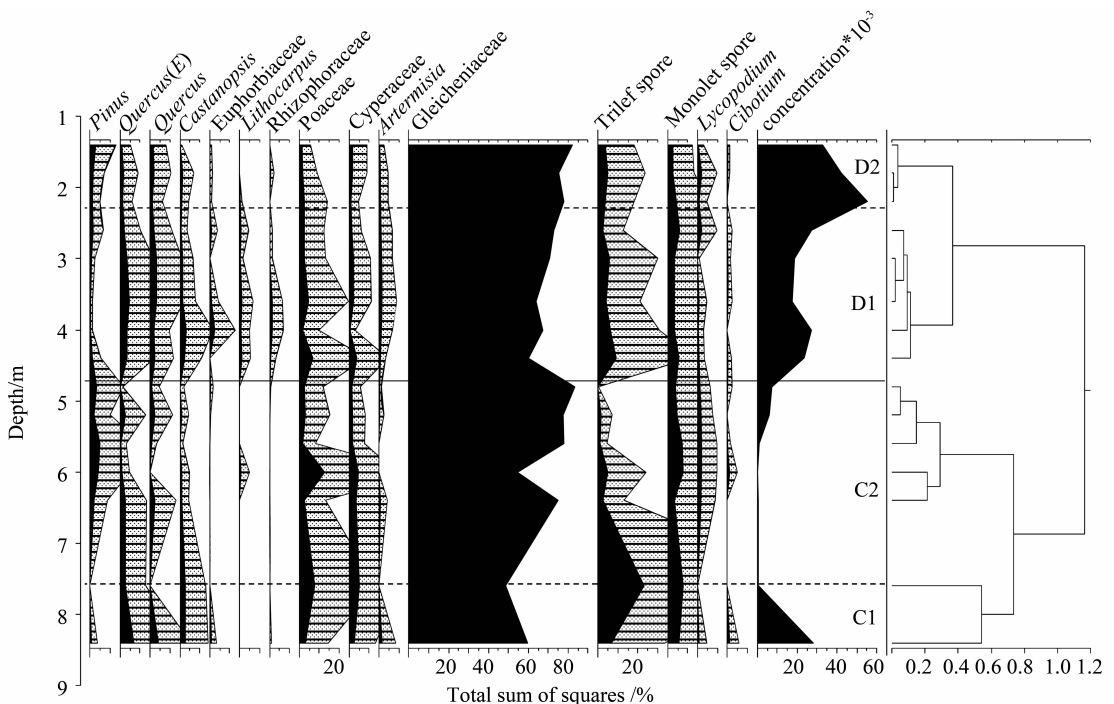


图 3 ZK1 孔全新统孢粉百分比图式

Fig. 3 Pollen percentage diagrams of the Holocene in borehole ZK1

次之，石松属、金毛狗蕨属、海金沙科以及水龙骨科等很少。亚热带常绿阔叶林的栲属和栎属是当时植被的主要组成种类。落叶类很少，落叶栎属变化较常绿栎属明显。针叶类的松属所占百分比较小，没有占据绝对优势，在 C1 带相比 C2 带少；草本类以禾本科为主，同时莎草科花粉含量也相对较高，蒿属较低，当时可能已形成一些沼泽湿地。

D 带（蕨类 - 栎属 - 禾本科组合带，-4.7 ~ -1.3 m），本带孢粉浓度较 C 带有明显增加，平均浓度达 30 490 粒/g。孢粉种类也相对较为丰富，其中常绿阔叶林以栲属、栎属和大戟科花粉为主，石柯属孢粉含量增加，并出现红树科孢粉；草本植物花粉当中以禾本科、莎草科和蒿属花粉为主，但莎草科花粉有所减少；蕨类孢子仍以芒箕属占主要地位，单缝孢子、三缝孢子相对减少。本带孢粉含量自下而上逐渐增大，亦可细分为 D1 和 D2，顶部的 D2 带孢粉含量较带 D1 多，D2 带中石柯属、大戟科以及金毛狗蕨属含量减少，表明孢粉组合受人类活动影响显著。

ZK1 -8.9 m 以下的上更新统沉积中，孢粉浓度非常低，龙海组主要为砾石—粗砂沉积。孢粉组合带为 A，只鉴定出松属、落叶栎属、禾本科、莎草科、芒箕属、单缝和三缝孢子等，东山组虽以粘土等细粒沉积为主，但在末次冰期遭受强烈的风化作用，孢粉浓度非常低，组合带为 B，有少量的芒箕属、落叶栎属、石柯属、栲属、单缝和三缝孢子

等。尚无法直接利用本次孢粉分析结果判断研究区晚更新世气候特点。

因此，需参考前人关于本区晚更新世的孢粉研究资料，完善晚更新世气候研究。陈文瑞等综合研究九龙江口平原晚更新世的孢粉组合后将其划分为 9 个孢粉组合带，其中 VII 和 VIII 按照目前的地层划分属于东山组，VII 带为里白属 - 凤尾蕨属 - 金毛狗蕨属 - 栲属 - 杜英属 - 松属 - 栗属孢粉组合，应为末次冰期晚期气候期，VIII 为里白属 - 松属 - 禾本科 - 蒿属 - 水龙骨科 - 蕨属孢粉组合，根据所测得 <sup>14</sup>C 年龄本带应属于末次冰期盛期时期；IX 带对应地层则应为龙海组，为栲属 - 山毛榉属 - 松属 - 栎属 - 水龙骨科 - 鹅耳枥属孢粉组合带，<sup>14</sup>C 年龄显示年龄大于 40 ka BP，属于末次冰期亚间冰期<sup>[4, 6]</sup>。

#### 4.2 XM8 孔孢粉组合带

根据孢粉含量特征将整段剖面从老到新分为：A、B、C、D 四个孢粉带，各带特征简述如下。

4.2.1 A 带（里白科 - 松属 - 常绿栎属 - 落叶栎 - 云杉属孢粉组合带，约 -17.9 ~ -14.7 m，年代约 30 ~ 23 ka BP）本带中包含 14 个样品，孢粉浓度为 62 粒/g，木本孢粉里面优势种属为松属、云杉属、常绿栎属以及落叶栎属，其他种属有栲属、红树科、山毛榉属。主要的草本包括莎草科，水生草本主要为香蒲。蕨类主要包括芒箕、里白、单缝孢。

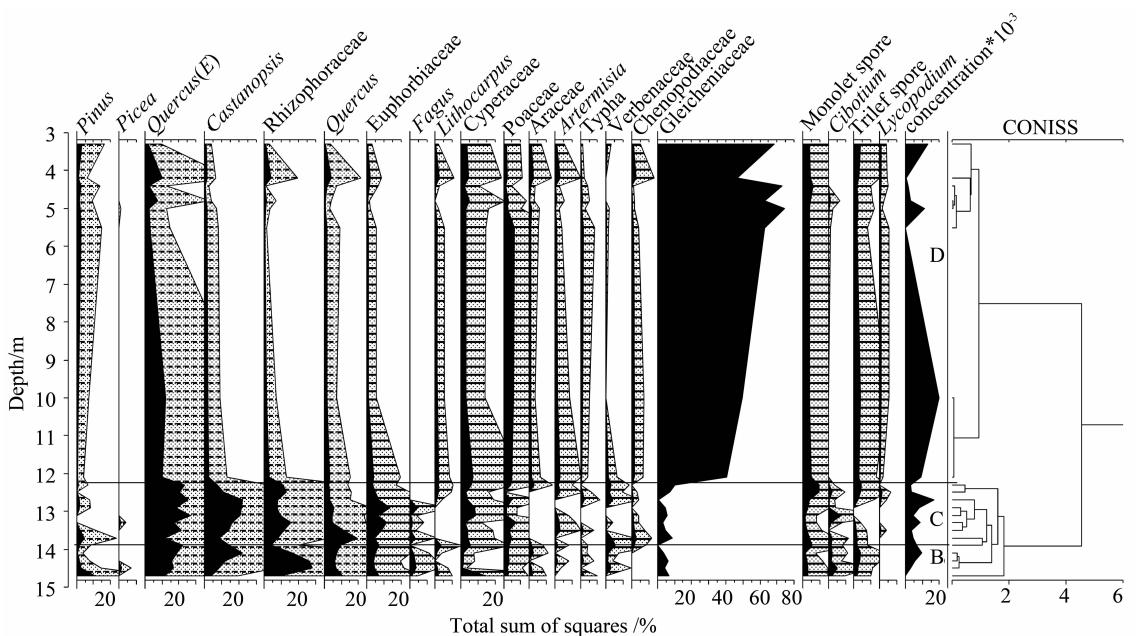


图 4 XM8 孔全新统孢粉百分比图式

Fig. 4 Pollen percentage diagrams of the Holocene in boreholes XM8

4.2.2 B 带 (红树-常绿栎属-栲属孢粉组合带, 约 -14.7 ~ -13.9 m, 年代约为 8 000 ~ -5 500 cal. a BP) 本带中包含 6 个样品, 其中下边 2 个样品中孢粉浓度不足 1 000 粒/g, 总体平均孢粉浓度为 3 900 粒/g。本带孢粉中木本植物占一半以上, 草本植物较少, 蕨类植物最少。常绿植被以常绿栎、栲属、红树以及松属为主, 石柯属及山毛榉属较少。红树孢粉的含量比较高, 表明海边灌木林占优势。草本植物以禾本科和莎草科为主, 天南星科、蒿属和马鞭草科等较少; 蕨类孢子中里白科孢子比较少。

4.2.3 C 带 (常绿栎属-栲属-落叶栎属组合带, -13.9 ~ -12.3 m, 年代约为 5 500 ~ 2 500 cal. a BP) 本带孢粉浓度较 B 带有明显增加, 平均浓度达 8 076 粒/g。其中落叶栎属、栲属有大戟科明显的先增加再减少的过程, 石柯属含量很低。草本植物以禾本科、莎草科为主, 其中莎草科含量有所增加, 蒿属、香蒲科、天南星科较少, 藜科明显增多。蕨类植物整体有所增加, 石松属增加最明显。从 5 500 ~ 3 500 cal. a BP 常绿栎属和大戟科增加, 从 3 500 ~ 3 000 cal. a BP, 常绿栎属落叶栎属减少, 增加, 说明气候在本阶段有变凉的趋势。红树科花粉的含量减少, 说明本阶段海平面下降。在约 3 000 ~ 2 500 cal. a BP 之间, 常绿栎属和落叶栎属的变化反映气候由暖变凉的过程, 期间, 红树科植被的减少, 说明海侵范围的缩小或气候变凉, 整个阶段应该是变化较为显著的阶段, 气候由温暖湿润转变成为温和稍干的阶段。

4.2.4 D 带 (里白科-常绿栎属-禾本科组合带, -12.3 ~ -3.3 m, 年代约为 2 500 cal. a BP 至今) 本带孢粉浓度平均浓度约达 7 100 粒/g。里白科骤然增加, 在孢粉浓度中占到 75% 左右。木本植被总体逐渐减少, 山毛榉属消失, 石柯属增加; 草本植物中禾本科植被增加较多, 蕨类植物增加非常明显。说明本阶段区域植被面貌受人类活动影响显著。

### 4.3 研究区植被演替和古气候演变

根据本次研究的 3 个钻孔孢粉记录并结合前人研究成果, 研究区的植被演替过程可以划分为以下几个阶段:

#### 1) 亚热带针-落叶阔叶林阶段

在 ZK1 孔龙海组下段, 年代约 80 ~ 60 ka BP, 相当于 MIS4 阶段, 植被以松属、落叶栎属、禾本科及蕨类植物为主。陆继军在闽北沿岸晚第四纪孢粉气候研究, 孢粉组合为松属-柏科-落叶栎-禾

本科<sup>[22]</sup>, 据此, 研究区此时的气候凉爽干燥。

#### 2) 常绿针阔叶混交林阶段

ZK1 孔龙海组上段, 年代约 60 ~ 40 ka BP, 相当于 MIS3 阶段早中期, 相当于陈文瑞等划分的 IX 带<sup>[4]</sup>。发育常绿针阔叶混交林, 针叶树以松属为主, 阔叶林主要有栲属、山毛榉属、常绿栎属、鹅耳枥属。反映气候相对温暖偏凉。

#### 3) 亚热带针-落叶阔叶混交林阶段

ZK1 孔 B 带和 XM8 孔 A 带东山组沉积, 年代约 30 ~ 20 ka BP, 相当于 MIS3 中晚期, 当时植被组成以木本植物为主, 常见松属、云杉属、常绿栎属、落叶栎属和水青冈属; 林下草本植物主要有禾本科、蒿属和毛茛科等, 湿地植被种类有莎草科和香蒲。蕨类植物有芒箕属、里白属和单缝孢子。MIS3 中期气候在末次盛冰期前气候较为温暖的时期, 沉积呈现出由粗到细的沉积韵律。随后进入 MIS3 晚期, 本区植被群落主要以寒温带针叶类和温带寒温带的落叶栎属为主, 表明该时期气候总体偏凉干, 亚热带针叶-落叶阔叶混交林代替地带性的常绿阔叶林。

在 MIS2 阶段全球海平面大幅下降, 本区东山组的沉积此时遭受强烈风化剥蚀, 孢粉记录较缺乏, 本次研究无法推断当时的植被情况。参考陈文瑞等的研究, 末次盛冰期时本区在平原周围山区发育以松属为主的针叶林, 平原区植被则以里白属、禾本科、蒿属、水龙骨科以及蕨类植物为主, 气候应从凉干转为冷干。末次盛冰期过后本区植被为常绿针阔混交林, 主要有栲属、杜英属、松属等, 还混有栗属等落叶阔叶树, 气候温凉偏湿<sup>[4]</sup>。

#### 4) 亚热带常绿阔叶林阶段

XM8 孔 B 带 (约 8 ~ 5.5 cal. ka BP) 的孢粉分析结果表明, 当时植被中常绿阔叶类的成分明显增多, 占据绝对优势, 常见的种类有栲属、栎属和石柯属, 同时植被群落也有一些针叶类成分和落叶类, 例如枫香、漆树科和松属等。在草本植物中禾本科、蒿属、菊科、莎草科和香蒲等都有略有增加, 但草本总含量并不高。蕨类植物有乌毛蕨、里白属、金星蕨科和芒箕属等。在本阶段, 孢粉带最大的特点是生长沼泽湿地环境的莎草科大量增加 (ZK1) 和海岸带红树林植物出现, 这些沼泽湿地和海岸带植被的出现是高海平面所导致, 因此当时平原地区有较多海边红树林, 内陆地区为亚热带常绿阔叶林; 当时的气候以湿热为主。

#### 5) 亚热带落叶阔叶混交林阶段

ZK1 孔 C 带和 XM8 孔 C 带 (约 5.5 ~ 2.5 cal.

ka BP) 的孢粉分析表明九龙江地区当时植被中常绿栎属有明显的增加~减少的过程, 从 5.5~3.5 cal. ka BP 常绿栎属增加, 但从 3.5~3 cal. ka BP, 植被中常绿栎属减少, 落叶栎属增加, 揭示了当时植被从典型的亚热带常绿阔叶林转变为落叶阔叶林; 另外, 钻孔剖面中红树科花粉的含量减少, 说明本阶段海平面有所下降。在约 3~2.5 cal. ka BP 之间, 常绿栎属和落叶栎属的变化, 能清晰的看到气候由暖变凉的过程, 期间, 红树科植被的减少, 说明海侵范围的缩小或气候变凉, 整个阶段应该是变化较为显著的阶段, 气候由温暖湿润转变成成为温和稍干的阶段。

#### 6) 人类活动对自然植被的干扰阶段

ZK1 孔 D 带与 XM8 孔 D 带 (约 2.5 cal. ka BP 至今) 的花粉组合当中, 植被中的乔木种类迅速减少, 主要种类仍然为壳斗科的栎属、锥属、大戟科和山茶科等。然而, 在本阶段植被中的蕨类大量增加, 其中以里白科的芒箕属为主, 百分比含量占据绝大多数, 最高占了 75% 左右。同时, 草本植物中禾本科类含量也相对较高, 表明人类活动影响显著增加, 自然植被受到明显的干扰, 本阶段的气候应该是温暖湿润, 与现代气候相差无几。

综上所述, 本区孢粉组合的变化特征在一定程度上证明了晚第四纪植被和环境曾发生了明显的更替和变化。结合深海氧同位素阶段 (MIS) 划分, 从老到新重建本区的气候变化历程如下所示 (表 3)。

表 3 孢粉带与气候分期划分

Table 3 Divisions of pollen zones and Paleoclimate of studied area

地质年代	孢粉组合带	气候期	MIS 阶段	孢粉气候
晚全新世末	里白科-常绿栎属-禾本科	亚大西洋期	MIS1	温暖湿润
晚全新世	常绿栎属-栲属-落叶栎属	亚北方期	MIS1	温暖湿润转温和稍干
早中全新世	红树-常绿栎属-栲属孢粉	北方期一大西洋期	MIS1	温干转热湿
晚更新世末期	里白属-松属-禾本科-蒿属-水龙骨科-蕨属	玉木盛冰期	MIS2	冷干
晚更新世晚期	里白科-松属-常绿栎属-落叶栎-云杉属栲属-山毛榉属-松属-栎属-水龙骨科-鹅耳枥属	晚玉木亚间冰期	MIS3 晚期	凉干
		早玉木亚间冰期	MIS3 早期	温凉
晚更新世中期	松属-柏科-落叶栎-禾本科	早玉木冰期	MIS4	凉干

在晚更新世进入玉木冰期后, 研究区在约 80~40 ka BP 沉积龙海组地层, 气候凉爽干燥; 在玉木间冰期沉积东山组地层, 气温有所上升, 气候变得相对温暖湿润; 随后进入末次盛冰期, 东山组受到强烈的风化, 气候环境偏冷和干。

进入全新世气候迅速变暖, 早全新世较温干, 在中全新世大西洋期的植被类型表现为热带亚热带的常绿林, 气候湿热。在约 3.5~2.5 ka BP 气候有一相对温和稍干的转变, 其后又转暖湿, 逐渐接近现代, 但气温总体波动幅度不大。同时, 人类活动对植被的干扰在晚全新世以来有明显的体现。

## 5 结 论

根据厦门湾北部 XM4、厦门岛 XM8 和九龙江口 ZK1 孔晚更新世以来的孢粉组合特征并结合前人研究, 研究区 MIS4 阶段早期以来的植被演替为: 亚热带针-落叶阔叶-常绿针阔叶混交林-亚热带针-落叶阔叶混交林-亚热带常绿阔叶林-亚热带落叶阔叶混交林-人类活动对自然植被的干

扰。本区的总体古气候环境演变为晚更新世偏冷干-早中全新世温干转热湿-晚中全新世较暖湿转温和稍干-晚全新世温暖湿润等的波动和变化。由于研究区地处亚热带季风气候区, 晚更新世全球范围的大幅降温在本区影响较大, 而全新世气候变化的特点是温湿度在一定幅度中波动, 中晚全新世交界时段出现一明显变凉的气候记录, 人类活动对植被的干扰在晚全新世以来有明显的体现。

### 参考文献:

- [1] 曾金炉, 郭嵩, 韩慕康. 福建九龙江河口平原第四系划分与海平面变化[C]. 北京市: 地震出版社, 1992.
- [2] 杨蕉文. 闽南沿海平原全新世孢粉组合及其意义[J]. 东海海洋, 1994(4): 26-34.
- [3] 王开发, 陆继军, 郑玉龙. 福建沿岸晚第四纪孢粉、硅藻组合及其古环境意义[J]. 微体古生物学报, 1995(4): 388-397.
- [4] 陈文瑞, 蓝东兆, 陈承惠, 等. 九龙江河口平原晚第四纪孢粉组合及气候环境演变[J]. 台湾海峡, 1998

- (1):34-42.
- [5] 陈慧娴, 骆美美, 王建华, 等. 福建九龙江河口第四纪沉积物特征及沉积环境演变[J]. 古地理学报, 2014(2):263-273.
- [6] 陈文瑞, 蓝东兆, 陈承惠. 福建九龙江河口平原晚第四纪地层划分与对比[J]. 海洋通报, 1997(4):36-43.
- [7] 陈承惠, 陈文瑞, 蓝东兆. 九龙江河口平原晚第四纪硅藻及海平面变化初探[J]. 海洋学报: 中文版, 1998(2):65-72.
- [8] 刘巍. 闽南沿海晚第四纪环境演变与气候转型研究[D]. 福州: 福建师范大学, 2009.
- [9] 于永芬, 陈承惠. 厦门港湾柱样沉积物的孢粉组合特征[J]. 台湾海峡, 1995(1):22-31.
- [10] 陈承惠. 闽南沿海若干全新世沉积物剖面的孢粉组合[J]. 台湾海峡, 1982(1):45-53.
- [11] STANLEY J. Dating modern deltas: Progress, problems, and prognostics[J]. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 2001, 29(1):257-294.
- [12] FROUIN M, SEBAG D, DURAND A, et al. Influence of paleotopography, base level and sedimentation rate on estuarine system response to the Holocene sea-level rise: The example of the Marais Vernier, Seine estuary, France[J]. *Sedimentary Geology*, 2007, 200(1/2):15-29.
- [13] 曹玲珑, 王建华, 王晓静, 等. 珠江口全新世沉积物粒度与磁化率的变化特征及其所反映的气候环境变化[J]. 海洋湖沼通报, 2012(1):167-175.
- [14] 王建华, 曹玲珑, 王晓静, 等. 珠江三角洲万顷沙地区晚第四纪沉积相与古环境演变[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2009, 29(6):35-41.
- [15] 王建华, 王晓静, 曹玲珑, 等. 珠江三角洲 GZ-2 孔全新统孢粉特征及古环境意义[J]. 古地理学报, 2009(6):661-669.
- [16] JEAN S D, ARGHYA H. Deltas, radiocarbon dating, and measurements of sediment storage and subsidence[J]. *Geology*, 2000, 28(4):295-298.
- [17] 姚庆元, 何昭星, 庄进耀. 厦门岛晚第四纪沉积层的划分与海平面变化的关系[J]. 华南地震, 1988(4):25-33.
- [18] 蔡丽珠. 厦门筭筭港 ZK3702 第四纪微体古生物群及海侵初探[J]. 福建地质, 1988(3):178-185.
- [19] 张璞, 陈建强, 田明中, 等. 沉积物粒度分析在厦门市第四纪环境研究和地层划分对比中的应用[J]. 地球科学与环境学报, 2005(1):88-94.
- [20] 骆美美. 厦门湾晚第四纪沉积特征与古环境演变研究[D]. 广州: 中山大学, 2013.
- [21] VIDAL G A. Palynological preparation methods[J]. *Palynology*, 1988, 12:215-220.
- [22] 陆继军. 闽北沿岸晚第四纪孢粉组合、古植被和古气候[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1994(1):23-33.