

# 珠江三角洲晚第四纪沉积的 OSL 和 $^{14}\text{C}$ 年龄探讨

郭良田<sup>1</sup> 王 萍<sup>2</sup> 张 珂<sup>3</sup> 盛 强<sup>1</sup> 赵 华<sup>4</sup> 王成敏<sup>4</sup>

(1.广东省地震局,广东 广州 510070;2.中国地震局地质研究所地震动力学国家重点实验室,北京 100029;  
3.中山大学地球科学系,广东 广州 510275;4.国土资源部水文地质环境地质研究所,河北 石家庄 050061)

**摘要:**珠江三角洲第四纪沉积的年代测定在三角洲的发育演化、古海平面变化以及断裂活动性研究等方面具有重要意义。对东江平原的 7 个钻孔岩心进行了  $^{14}\text{C}$  和 OSL 测年以及孢粉和微体古生物分析。与前人主要根据  $^{14}\text{C}$  年龄得到珠江三角洲沉积小于 4 万年的认识不同,OSL 测年结果显示下部地层的年龄值为 4.7~13.5 万年。本文对年龄的信度以及晚第四纪两次海侵旋回的地层年代框架进行了初步分析,提出珠江三角洲地区第一次海侵旋回可能发生于距今 4~10 万年期间;在晚更新世与全新世两次海侵之间,三角洲地区长期暴露地表,出现较大跨度的地层缺失。

**关键词:**珠江三角洲;晚第四纪;海侵旋回;地层年代;OSL

**中图分类号:** P534.63;P597+.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2013)06-1842-08

珠江三角洲地处中国南海北部陆架边缘,河海相互作用强烈,环境变化敏感<sup>[1]</sup>,第四纪沉积发育。大量研究揭示珠江三角洲晚第四纪具有两个海侵旋回,其间包含一个海退过程<sup>[2-7]</sup>。第二次海侵旋回为全新世,对应深海氧同位素 I 阶段(MIS1)的高海平面时期<sup>[6,8-10]</sup>。第一次海侵旋回为晚更新世,但对海侵的具体年代有不同认识。自 20 世纪 80 年代以来,依据大量  $^{14}\text{C}$  测年结果,普遍认为珠江三角洲最早沉积始于约 4 万年前,在晚更新世中晚期的 MIS3 阶段晚期(35~20 ka)发生第一次海侵<sup>[6,8,11]</sup>。然而,基于深海氧同位素和极地冰盖等研究建立的高分辨率全球第四纪气候-海面波动曲线<sup>[12-13]</sup>显示,MIS3 时期的全球海面较现在低 45 m 左右,而 MIS5e 时期的全球海面与现代海面相当或略高。因此,珠江三角洲地区 MIS3 晚期的海侵认识与全球海面波动模式不相吻合。Yim 等(1990)通过对南海陆架沉积物中同个贝壳样品进行了常规  $^{14}\text{C}$  测年和铀系测年,结果显示铀系年龄大致在距今 10 万年左右<sup>[13]</sup>,而  $^{14}\text{C}$  测年结果明显偏年轻,因此提出  $^{14}\text{C}$  测年结果显示的

MIS3 时期海侵沉积物实际上应属 MIS5 时期,而 MIS4—MIS2 时期则为长时间的沉积间断,以成土作用为主,仅形成 1 层硬土层。珠江三角洲地区第一次海侵旋回的年代是制约珠江三角洲形成演化研究的瓶颈,也是断层活动性和区域稳定性评价等工作的基础。

东江是珠江三大支流之一,自东而西流经东莞盆地,与西江、北江共同构建了广阔的三角洲平原。在“东莞市石龙—厚街、南坑—虎门断裂探测与地震危险性评价”项目中,笔者对东莞地区的第四纪地层进行了钻探,通过地层层序划分和对比以及岩心的  $^{14}\text{C}$  和光释光(OSL)测年,获得了珠江三角洲两次海侵旋回的地层年代。本文对所获年龄及其地质意义进行初步讨论。

## 1 地貌和第四系

研究区地貌类型可分为以沉积为主的东江三角洲平原和以剥蚀为主的台地、丘陵和山地(图 1)。三角洲平原的基底主要由白垩纪、古近—新近纪的紫红色砾岩、钙质粉砂岩、泥岩等组成,外围山丘主要

收稿日期:2012-11-23;改回日期:2013-10-21

基金项目:国家自然科学基金(41372211)、地震动力学国家重点实验室自主研究课题(LED2013A07)和东莞市活断层探测与地震危险性评价项目联合资助。

作者简介:郭良田,男,1960 年生,博士,高级工程师,从事区域地质与活动构造研究;E-mail:guolt@126.com。

通讯作者:王萍,女,1964 年生,博士,研究员,从事构造地貌与年代学研究;E-mail:1355837527@qq.com。

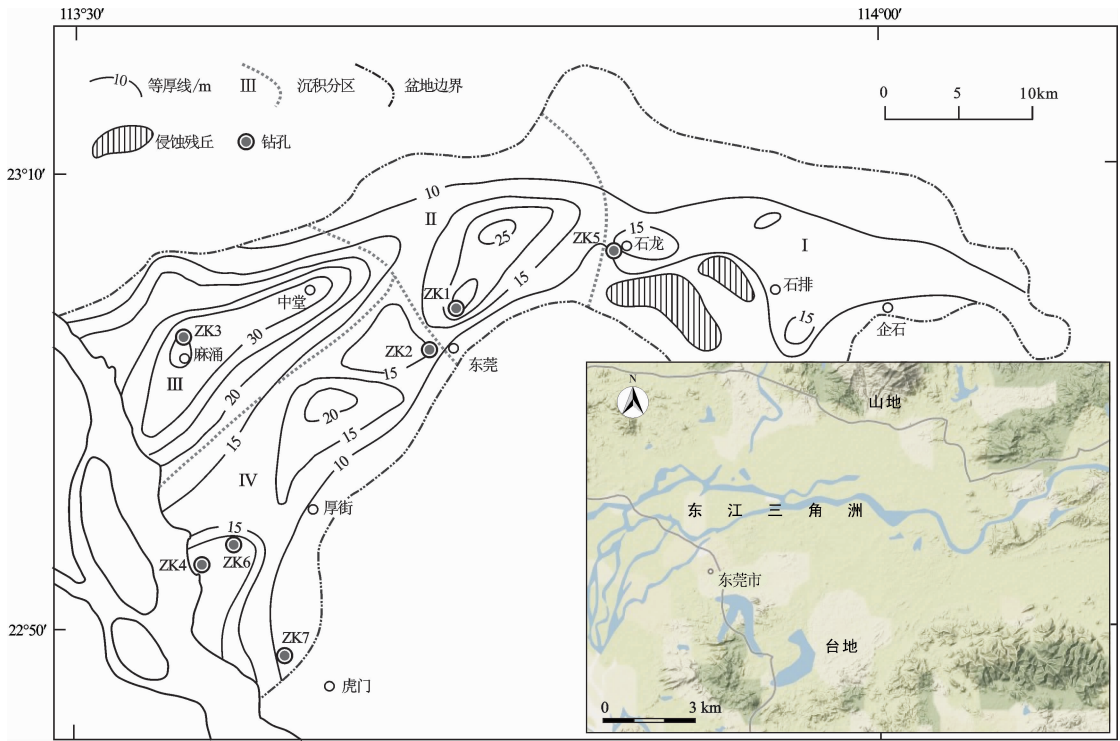


图 1 东江三角洲地貌(底图据 Google 地图)、第四系等厚线<sup>[15]</sup>及钻孔位置

Fig.1 Landscape of the East Pearl River Delta (base map after Google Maps), Quaternary isopach<sup>[15]</sup> and drill hole position

为震旦系及加里东和燕山期花岗岩。

如图 1 所示,东江三角洲第四系厚度变化较大,平均厚度约 18.8 m,最厚处位于东莞市麻涌镇附近(39.5 m),大于 20 m 区域主要在麻涌—中堂一带,大致沿东江主河道分布<sup>[3,16]</sup>。据 1:5 万区域地质调查结果<sup>[16]</sup>,东江三角洲可分为 4 个沉积区段。东部区(I),即石龙以东的东江三角洲上游段,基底地形高,沉积厚度小(一般<15 m),仅遭受过全新世的一次海侵,以河流相沉积为主。中部区(II),即石龙—中堂,为东江三角洲中段,仅在低洼的河谷区遭受过二次海侵,其中第一次海侵(晚更新世)影响较微,其他地区仅接受全新世海侵。西北区(III),即中堂以西中下游段,基底深凹(一般埋深 20 m,最深约 40 m),河汉密布,海拔接近海平面,大部分地区经过两次海侵,海侵层发育,海侵淤泥层较厚,含咸水硅藻较丰富。西南区(IV),即东江三角洲下游段,大部分地点只接受全新世海侵,缺失更新统海侵层。

## 2 钻孔岩心岩性特征

在东莞一带布设的 7 个钻孔的位置见图 1,其

中,位于麻涌的 ZK3 钻孔的第四系厚度可达 31.2 m,笔者重点对其做了年代学研究,并与其他 6 个钻孔进行对比。

### 2.1 ZK3 孔岩性

ZK3 自下而上地层可分为 5 层(图 2)。

(1)埋深 24.8~31.2 m,厚 6.4 m,河流冲积相砂、砾石层。

下部以黄白—灰白色砂砾石为主,夹砂层,覆盖于古近—新近系青灰色泥岩风化壳之上。砾石成分以石英质为主,粒径 2~6 mm,少数可达 10 cm 以上,呈棱角状—次圆状,分选较差,少量砂、泥质充填;砂以石英和长石为主。上部为灰白色中细砂层,局部夹黄色粘土层。埋深 28.8 m 处 OSL 年龄为 (135.6±3.6) ka。

(2)埋深 14.2~24.8 m,厚 10.6 m,以海相细粒沉积为主。

由灰黄色、灰黑色淤泥、淤泥质粘土和粉细砂等组成,含腐木、腐植质。孢粉非常丰富,以蕨类孢子占绝对优势,主要为中华里白、金毛狗属和水龙骨科。偶见有孔虫和具刺沟鞭藻。

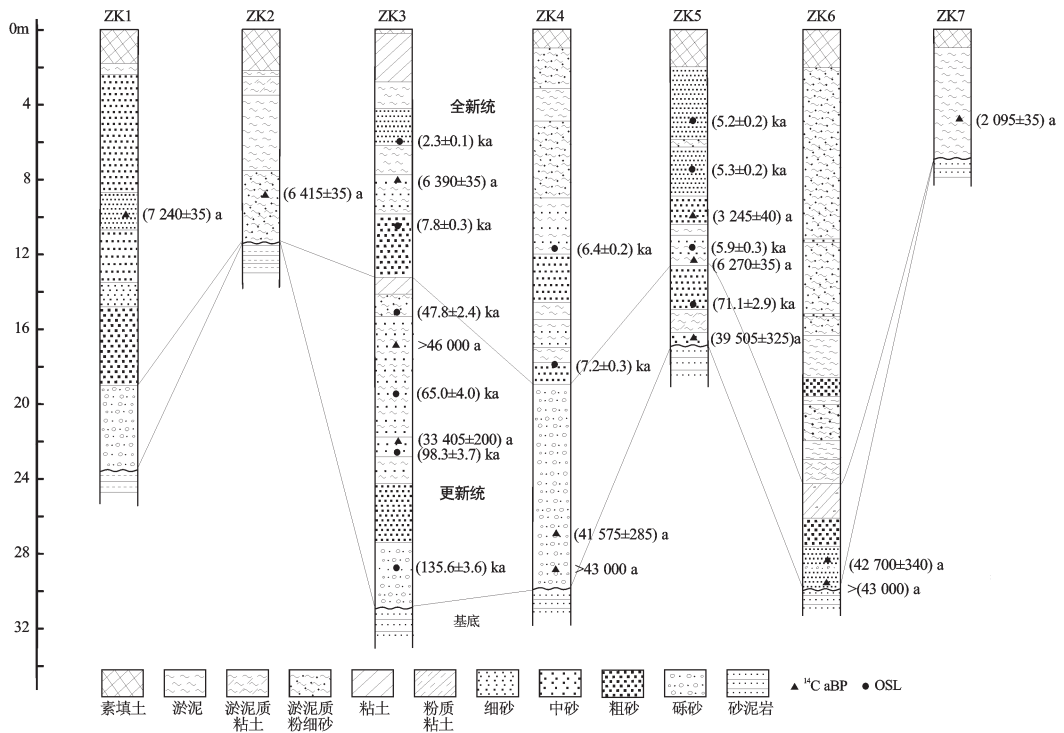


图 2 东江三角洲第四系钻孔剖面年代对比

Fig.2 Stratigraphic geochronological correlation of the drilling histograms of the East Pearl River Delta

埋深 22.6 m 处 OSL 年龄： $(98.3 \pm 3.7)$  ka；19.6 m 处 OSL 年龄： $(71.2 \pm 4.0)$  ka；16.8 m 处  $^{14}\text{C}$  年龄： $>43$  ka；15.1 m 处 OSL 年龄： $(47.8 \pm 2.4)$  ka。另，22.2 m 处  $^{14}\text{C}$  年龄： $(33\ 405 \pm 200)$  a BP。

(3)埋深 13.3~14.2 m,厚 0.9 m,陆相硬土层。

由灰白、黄褐色花斑状亚粘土和中砂组成,含钙质结核,是海退期间裸露地表的残留古风化壳层,代表较长时期的沉积间断。

(4)埋深 13.3~6.3 m,厚 7.0 m。以海相细粒沉积为主。

由灰-灰黑色淤泥、粘土或粘土质粉细砂等组成,含腐木、贝壳和海相硅藻化石。孢粉以蕨类孢子占绝对优势,主要为中华里白、鳞盖蕨、凤丫蕨、凤尾蕨、水龙骨属和榭蕨属,为南亚热带至热带第四纪常见类型,显示炎热气候。连续见有微有孔虫。埋深 8.1 m 处  $^{14}\text{C}$  年龄为  $(6\ 390 \pm 35)$  a BP,沉积层为含粉砂质粘土；10.6 m 处 OSL 年龄为  $(7.8 \pm 0.3)$  ka。

(5)埋深 0~6.3 m,海陆交互互相沉积。

以灰-灰褐色和黄褐色粉细砂、粘土为主,夹少量细砾。含腐木、腐植质等。埋深 6.1 m 处 OSL 年龄为  $(2.3 \pm 0.1)$  ka。

钻孔反映的沉积环境变化过程为：中更新世末（距今 135 ka 前后），前第四系基底接受冲积物堆积,晚更新世中期(距今 100~48 ka)沉积了一套以灰黑色淤泥质粘土和淤泥质粉砂为特征的间或海侵的河口沉积,晚更新世晚期至全新世早期,海退陆露,河间地发育了以花斑状亚粘土为主的风化层,全新世中期(8 ka 前后)以来,沉积了一套以灰黑色淤泥和粉细砂为主的海相地层。

### 2.2 其他钻孔岩性

ZK3 及其他 6 个钻孔的柱状图见图 2,6 个钻孔岩性的总体特征如下。

ZK1,第四系厚 23.5 m。上部(0~14.8 m)由黑灰色含淤泥质中砂、粉细砂等组成。埋深 9.8 m 处腐木的  $^{14}\text{C}$  年龄为  $(7\ 240 \pm 35)$  a BP。下部(14.8~23.5 m)为黄色、灰黄色砂砾石层。下伏古近—新近系风化泥岩。

ZK2,第四系厚 11.3 m。为黑灰-灰色淤泥和淤泥质粉细砂。埋深 8.8 m 处腐木的  $^{14}\text{C}$  年龄为  $(6\ 415 \pm 35)$  a BP。下伏古近—新近系强风化泥岩。

ZK4,第四系厚 29.8 m。除顶部 2 m 厚的素填土外,可分上下两层。上部地层埋深 2.0~18.9 m,为灰色淤泥、淤泥质粉砂、淤泥质粘土和含砾中细砂

等,底部见海螺壳。埋深3.8 m处<sup>14</sup>C年龄560 a BP;11.5 m处OSL年龄(6.4±0.2) ka;18.2 m处OSL年龄(7.2±0.3) ka。下部地层埋深18.9~30.8 m,为黄色砂砾石层。埋深26.8 m、28.8 m处腐木<sup>14</sup>C年龄分别为41 575 a BP和>43 ka。下伏白垩系灰色强风化粉砂岩。其中在埋深2.0~18.9 m的上部地层中,含丰富的孢粉,以蕨类孢子占绝对优势,主要为中华里白河水龙骨属,次有鳞盖蕨、凤尾蕨、海金沙属,14.8 m以下有少量金毛狗属,含一定量裸子植物花粉,主要为松属;被子植物少量,主要为禾本科;另有少量胡桃、栎属和苋科。间或见有有孔虫和具刺沟鞭藻囊孢。孢粉为南亚热带至热带第四纪常见类型,显示炎热气候,样品中断续见有海相化石,山地类型的松属相对较多,为接近山地的全新世河口环境。上部地层段与下部地层段的年龄突变,反映其间存在沉积间断。

ZK5,第四系厚17 m,可分4层。①埋深0~4.0 m,为素填土;②埋深4.0~12.2 m,为灰色淤泥质粉砂、中细砂,夹黄色中细砂层。埋深4.85 m处OSL年龄为(5.2±0.2) ka;7.4 m处OSL年龄为(5.3±0.2) ka;10.04 m处<sup>14</sup>C年龄为3 245 a BP;11.8 m处OSL年龄为(5.9±0.3) ka;12.05 m处<sup>14</sup>C年龄为6 270 a BP。③埋深12.2~14.8 m,为黄色中砂,含多层铁质侵染层。④埋深14.8~17.0 m,为灰色淤泥质粘土和淤泥质粉细砂,底部含细砾。埋深15.8 m处OSL年龄为(71.1±2.9) ka;16.38 m处<sup>14</sup>C年龄为39 505 a BP。下伏古近—新近系红色风化砂岩。4.0~12.2 m地层段好较丰富孢粉,孢粉组合面貌基本一致,以蕨类孢子占绝对优势,主要为中华里白河水龙骨属,次有鳞盖蕨属、凤尾蕨属、金毛狗属等;裸子植物花粉少量,主要为松属;被子植物花粉少量,主要为禾本科和苋科。海相化石有孔虫和具刺沟鞭藻间或少量可见。反映为全新世河口环境。12.2~17.0 m,为陆相冲积和河间凹地堆积。

ZK6,第四系厚29.8 m。顶部2.2 m为素填土。埋深2.2~24.3 m,为灰色—深灰色淤泥、淤泥质粉砂和淤泥质粘土,夹中细砂等,含丰富的腐木、泥炭和贝壳。埋深24.3~29.8 m,为含砾粘土、含砾中细砂和粘土质粉细砂等,砾石成分为紫红色粉砂岩,砾径>2 cm,含木屑、贝壳碎片。埋深25.3 m处<sup>14</sup>C年龄为42 700 a BP;29.2 m处<sup>14</sup>C年龄值>43 ka。下伏紫红色风化砂岩。

ZK7,第四系厚7 m,埋深0~1.0 m为素填土;

埋深1.0~7.0 m,为灰色淤泥、淤泥与粉砂互层,含腐木、贝壳。埋深5.0 m处<sup>14</sup>C年龄值为2 095 a BP。

上述剖面反映如下特征:7个孔均有全新世海侵旋回(第二次海侵旋回),地层年龄<8 ka。仅在ZK3明显发育两次海侵旋回,第一次海侵旋回的年龄>4万年。除ZK2、ZK7外,其余孔均有更新世冲积层,最老年龄为13.5万年。

### 3 地层年代及其信度的讨论

#### 3.1 珠江三角洲第四纪沉积的最老年龄

在20世纪70年代中晚期,珠江三角洲才开始有少量第四纪沉积物的绝对年代测定,由于上部地层测得的年龄都小于6 000 a,甚至直到20世纪80年代初期,一般仍认为珠江三角洲仅在全新世才开始沉积。自1982年开始,迄今在珠江三角洲及华南沿海地区已获得上千个<sup>14</sup>C数据,最大<sup>14</sup>C年代为距今4万年左右。这些样品都是采自覆盖在基岩风化壳之上的地层中,因此,一般认为珠江三角洲形成于晚更新世中期,即约4万年以来。

在图2中,笔者给出了13个<sup>14</sup>C年龄,更新统的7个年龄中有5个大于4万年,其余2个小于4万年的年龄分别是ZK3孔埋深22.2 m处的(33 405±200) a BP和ZK5孔埋深16.4 m处的(39 505±325) a BP,与上下层位年龄值相比较出现“倒序”现象。最老的OSL年龄为ZK3埋深28.8 m处的(135.6±3.6) ka。

#### 3.2 <sup>14</sup>C年龄和OSL年龄的信度

##### (1)<sup>14</sup>C年龄

<sup>14</sup>C的半衰期为5 568年,理论上,最老可以测出10倍半衰期的年龄,对更老的样品,<sup>14</sup>C技术无法测定。北京大学于1975年建成国内第一个液体闪烁法<sup>14</sup>C测年实验室,1993年建成了北京大学加速器质谱计,其<sup>14</sup>C测量灵敏度达到6×10<sup>-15</sup>,相当于测年上限为43 ka<sup>[6]</sup>。因此,受测年上限制约,<sup>14</sup>C技术是无法给出珠江三角洲地区>43 ka地层的年代。

珠江三角洲第四系中含碳物质丰富,<sup>14</sup>C测年测试对象有淤泥、泥炭、腐木、贝壳、海滩岩和风成碳酸盐岩等<sup>[7]</sup>,但由于三角洲形成历史复杂,水动力作用强,沉积环境多变,样品可能受到分解、交换、混合、重结晶和再搬运等作用,加上地下水渗透,可造成“新碳”渗入老地层现象<sup>[8]</sup>,导致<sup>14</sup>C年龄的严重低估<sup>[9]</sup>。据研究,混入1%的新碳,表观年龄下降73%<sup>[20]</sup>。因此,老样品(>2万年)对新碳污染十分敏感。图2中

所示的更新统 7 个  $^{14}\text{C}$  年龄仅具有参考意义, 更老沉积的年代需要求助于其他测年手段。

## (2) OSL 年龄

随着测试技术的发展, OSL 测年已成为第四纪年代学研究的重要方法。其测年上限(能测的最老年龄)理论上可达数十万年甚至上百万年, 然而受到释光信号饱和、释光信号稳定性和环境辐射场强度(放射性核素含量)影响, 一般认为, 对  $>100\text{ ka}$  的光释光年龄结果的解释和使用需要谨慎<sup>[22,23]</sup>。对于河流沉积物来说, 释光测年可能存在不均匀晒退导致年龄偏老、等效剂量离散性大导致年龄不确定等问题。对 OSL 年龄值的信度, 除实验室的自身检验外, 与其他测年方法(如  $^{14}\text{C}$ )对比也是常用的检验方法<sup>[23-25]</sup>。

本次工作完成了 13 个 OSL 样品的年代测试。采用细颗粒(4~11  $\mu\text{m}$ )石英简单多片再生法方法<sup>[26]</sup>进行了等效剂量的测试, 测量在 Daybreak1100B 型自动测量系统上完成。用 Daybreak582 型厚源  $\alpha$  计数仪测定样品的铀、钍  $\alpha$  衰变计数率, 用火焰分光计法测定钾含量。采用实测的含水量和饱和含水量。样品的测年结果及相关参数见表 1。

本实验对石英的纯度、信号的剂量响应曲线、信号饱和度等进行了检验。其中 ZK4 的 10G-261 样品由于光子计数少, 等效剂量离散性大, 判定为低信度, 在图 2 中未标出。其余样品的实验结果具有一定的合理性。针对 ZK3 的  $(118.4\pm 3.6)\text{ ka}$  的进一步自检还未完成。更新统  $^{14}\text{C}$  年龄  $\geq 4$  万年老地层的

OSL 年龄为 4.7~13.5 万年。从全新统的  $^{14}\text{C}$  与 OSL 年龄的对比来看, 二者年龄相当或  $^{14}\text{C}$  年龄稍小于 OSL 年龄。

据此, 珠江三角洲最早沉积的时代大于 4 万年, 可能达 10 年以上。

## 4 东江三角洲的海侵旋回

自 1934 年陈国达对广州三角洲进行初步研究以来, 涉及东莞第四纪地质的研究者众多, 以黄镇国等(1982)<sup>[3]</sup>、李平日等(1991)<sup>[15,28]</sup>和廖示庭等(2001)<sup>[16]</sup>的研究具有代表性。他们通过对东江三角洲的第四系分布、生物特征及古地理环境和海蚀遗迹(是否属于地貌)等方面的研究, 认为东江三角洲与珠江三角洲的发育演化具有一致性<sup>[3,16,27,30]</sup>。陈国能等(1994)将珠江三角洲晚更新世以来的演化分为前三三角洲、老三角洲和新三角洲三个演化阶段<sup>[27]</sup>。根据前人的认识, 结合我们的工作, 将东江三角洲沉积演化过程划分为下列 3 个阶段:

(1) 前三三角洲(中更新世晚期—晚更新世早期河流冲积扇发育阶段)

为内陆环境, 河流冲积相粗砂、砾石层堆积在古近纪盆地之上。为河道近东北向伸展, 以中堂作分界点, 东北侧分出两个分支河道<sup>[15]</sup>。两分支于中堂汇合后沿中堂—麻涌向西与古珠江汇合<sup>[29]</sup>。

(2) 老三角洲(晚更新世中期第一次海侵海退旋回发育阶段)

表 1 样品 OSL 测年结果及参数  
Table 1 OSL ages and parameters

室内编号	野外编号	埋深/m	U/ $10^{-6}$	Th/ $10^{-6}$	K/%	等效剂量 ED/Gy	年剂量 Dy/(Gy/ka)	含水量/%	年龄/ka
10G-255	ZK3-3	6.10-6.30	5.48	23.9	2.12	9.54 $\pm$ 0.62	4.09	60.0	2.3 $\pm$ 0.1
10G-256	ZK3-6	10.60-10.80	4.46	18.9	1.86	33.41 $\pm$ 0.82	4.38	28.0	7.8 $\pm$ 0.3
10G-257	ZK3-9	15.10-15.30	5.59	24.2	2.20	264.67 $\pm$ 8.20	5.31	34.2	47.8 $\pm$ 2.4
10G-258	ZK3-12	19.60-19.80	8.41	25.2	2.35	425.24 $\pm$ 19.72	5.97	33.7	71.2 $\pm$ 4.0
10G-259	ZK3-14	22.60-22.80	4.84	15.2	2.25	428.17 $\pm$ 6.77	4.35	30.0	98.3 $\pm$ 3.7
10G-260	ZK3-18	28.80-29.00	3.04	8.36	1.71	422.99 $\pm$ 2.74	3.16	25.0	135.6 $\pm$ 3.6
10G-261	ZK4-1	2.70-2.90	4.00	20.4	2.53	7.85 $\pm$ 0.67	3.79	60.0	2.1 $\pm$ 0.1
10G-262	ZK4-2	11.40-11.60	3.07	13.0	2.89	21.09 $\pm$ 0.82	3.29	30.0	6.4 $\pm$ 0.2
10G-263	ZK4-3	18.00-18.20	5.27	22.4	2.19	25.39 $\pm$ 1.70	3.50	35.0	7.2 $\pm$ 0.3
10G-264	ZK5-1	4.75-4.94	3.05	16.1	2.62	17.64 $\pm$ 0.30	3.37	60.0	5.2 $\pm$ 0.2
10G-265	ZK5-2	7.30-7.50	2.33	7.84	3.02	18.67 $\pm$ 0.69	3.50	35.0	5.3 $\pm$ 0.2
10G-266	ZK5-3	11.70-11.90	3.54	13.4	2.75	24.01 $\pm$ 1.02	4.05	35.0	5.9 $\pm$ 0.3
10G-267	ZK5-4	15.60-15.80	7.80	27.1	1.90	399.51 $\pm$ 9.12	5.62	35.0	71.1 $\pm$ 2.9

为间或海侵的边缘海沉积,沉积物为包含海洋生物化石的淤泥、砂质粘土和细砂等。考虑年龄误差和沉积速率等,该期海侵旋回大致在 4~10 万年期间。海侵时期,海水沿河床入侵,使原有河床范围扩大,形成第一次的海陆交互三角洲网状河道,麻涌一带海侵层最为发育<sup>[16]</sup>。

海退使本区前一时期沉积层被侵蚀冲刷,后期在河道中堆积砂砾石,另一部分裸露风化,形成杂色花斑粘土(例如 ZK3 孔),出现沉积间断。狮子洋水道大约形成于 12~10 ka,东江从此改道为从狮子洋出珠江口<sup>[29]</sup>。

(3)新三角洲(全新世第二次海侵海退旋回发育阶段)

全新世全球性气候转暖,发生的第二次海进范围比第一次更为广泛,几乎涵盖整个东江三角洲地区<sup>[15,16]</sup>。高潮期沉积深灰色淤泥,含牡蛎壳和咸水种硅藻,低潮期为砂层。

## 5 讨论

(1)珠江三角洲第一次海侵与全球海平面变化

MIS5e 海面与现今相同或略高,MIS5a 和 MIS5c 海面比现今低 20 m 左右,MIS3 海面虽多次波动,但最高海面低于现今 40 m 以上。珠江三角洲第一次海侵规模小于全新世海侵,目前所获得的 OSL 年龄尚不能确定第一次海侵发生的准确时间,需要更多更精细的年代学研究。

(2)两次海侵期之间存在长时期的沉积间断

东江三角洲地区两次海侵地层之间有数万年跨度的地层缺失,如 ZK3 孔在第一次海侵旋回与第二次海侵旋回之间(埋深 13.3~14.2 m)发育一厚度不足 1 m 的含钙花斑粘土,孔深 15.1 m 处 OSL 年龄值为(47.8±2.4) ka,孔深 10.6 m 处 OSL 年龄为(7.8±0.3) ka。反映两次海侵之间,本区处于风化与剥蚀环境,出现长时期的沉积间断。

(3)珠江三角洲的成因

东江三角洲第四纪沉积层的厚度不大,平均厚度不足 20 m,局部增厚受制于古河道或现今河道。沿主河道第四系厚度大,年龄老;基底古地形较高处厚度薄,年龄小;除了部分基底残丘外,都接受了第四纪的沉积,形成三角洲平原。反映珠江三角是在一个较长时期隆起背景上发生海侵、逐步加积覆盖的沉积过程。无疑,东江三角洲的形成有水动型海面变

化的因素,是否有地动型海面变化的叠加,目前尚难区分。

**致谢:** 样品  $^{14}\text{C}$  数据由北京大学  $^{14}\text{C}$  实验室完成,OSL 由国土资源部水文地质环境地质研究所释光年代学实验室完成,微体和孢粉分析由中国科学院南京古生物研究所和中国地震局地质研究所孢粉实验室完成。东莞市地震局在项目实施中给予了支持和帮助,尹功明研究员对本文提出了意见和建议。在此一并致谢!

## 参考文献(References):

- [1] 董好刚,黄长生,陈雯,等. 珠江三角洲环境地质控制性因素及问题分析[J]. 中国地质, 2012, 39(2): 539-549.  
Dong Haogang, Huang Changsheng, Chen Wen, et al. The controlling factors of environment geology in the Pearl River Delta Economic Zone and an analysis of existing problems [J]. *Geology in China*, 2012, 39(2): 539-549 (in Chinese with English abstract).
- [2] 赵焕庭. 珠江三角洲的形成和发展[J]. 海洋地质, 1982, 4(5): 595-607.  
Zhao Huantian. The formation and development of the Pearl River delta[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 1982, 4(5): 595-607 (in Chinese with English abstract).
- [3] 黄镇国,李平日,张仲英,等. 珠江三角洲形成发育演变 [M]. 广州: 科学普及出版社分社, 1982.  
Huang Zhenguo, Li Pingri, Zhang Zhongying, et al. Formation, Development and Evolution of Pear River Delta [M]. Guangzhou: Science Popularization Press, 1982(in Chinese).
- [4] 蓝先洪. 珠江三角洲晚第四纪沉积特征[J]. 沉积学报, 1996, 14(2): 155-162.  
Lan Xianhong. Sedimentary characteristics of late Quaternary in the Zhujiang River delta [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1996, 14(2): 155-162 (in Chinese with English abstract).
- [5] 高芳蕾,杨小强,董艺辛,等. 珠江三角洲 PD 孔沉积物的碳氮记录及其环境意义[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2006, 26(2): 33-39.  
Gao Fanglei, Yang Xiaoqiang, Dong Yixin, et al. Carbon-nitrogen record in sediment of core pd in the Pearl river delta and the environmental significance [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2006, 26(2): 33-39 (in Chinese with English abstract).
- [6] 杨小强, Rodney Grapes, 周厚云, 等. 珠江三角洲沉积物的岩石磁学性质及其环境意义[J]. 中国科学, 2007, 37(11): 1493-1503.  
Yang Xiaoqiang, Rodney Grapes, Zhou Houyun, et al. The pearl river delta sediments of rock-magnetic properties and environmental significance [J]. *Science in China*, 2007, 37 (11): 1493-1503 (in Chinese with English abstract).
- [7] 王晓静, 王建华, 曹玲瑰, 等. 广州地区晚第四纪孢粉气候研究[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2010, 49(3): 113-121.  
Wang Xiaojing, Wang Jianhua, Cao Linglong, et al. Late Quaternary pollen records and climate significance in Guangzhou[J].

- Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 2010, 49(3): 113–121 (in Chinese with English abstract).
- [8] 冯炎基, 李平日, 谭惠忠. 珠江三角洲地区第四纪沉积年代学研究[J]. 热带地理, 1990, 10(3): 247–255.  
Feng Yanji, Li Pingri, Tan Huizhong. On Quaternary sedimentary chronology of the Zhujiang Delta[J]. Tropical Geography, 1990, 10(3): 247–255 (in Chinese with English abstract).
- [9] 刘春莲, Franz T Ftirsich, 董艺辛, 等. 珠江三角洲 PRD05 孔的高分辨率介形类记录与晚第四纪古环境重建[J]. 古地理学报, 2008, 10(3): 313–322.  
Liu Chunlian, Franz T Ftirsich, Dong Yixin, et al. High resolution ostracod records of borehole PRD05 and the Late Quaternary palaeoenvironment in Pearl River Delta [J]. Journal of Palaeogeography, 2008, 10(3): 313–322 (in Chinese with English abstract).
- [10] 姚衍桃, Jan Harff, Michael Meyer, 等. 南海西北部末次盛冰期以来的古海岸线重建[J]. 中国科学(D辑), 2009, 39(6): 753–762.  
Yao Yiantao, Harff J, Meyer M, et al. Reconstruction of paleocoastlines for northwestern South China Sea since the last glacial maximum[J]. Science in China (Ser. D), 2009, 39(6): 753–762 (in Chinese).
- [11] 黄镇国, 李平日, 张仲英, 等. 珠江三角洲地貌发育的新认识[J]. 台湾海峡, 1984, 3(2): 189–198.  
Huang Zhenguo, Li Pingri, Zhang Zhongying, et al. A new approach to the geomorphological evolution of the Zhujiang Delta [J]. Taiwan Strait, 1984, 3(2): 189–198 (in Chinese with English abstract).
- [12] Shackleton N J. Oxygen isotopes ice volume and sea level [J]. Quaternary Science Reviews, 1987, 6: 183–190.
- [13] Chappell J, Omura A, Esat T, et al. Reconciliation of Late Quaternary sea levels derived from coral terraces at Huon Peninsula with deep sea oxygen isotope records [J]. Earth and Planetary Science Letters, 1996, 141: 227–236.
- [14] Yim W W S, Ivanovich M, Yu K F. Young age bias of radiocarbon dates in pre-Holocene marine deposits of Hong Kong and implications for Pleistocene stratigraphy [J]. Geo-Marine Letters, 1990, 10: 165–172.
- [15] 李平日, 林晓东, 黄光庆. 东江三角洲地貌特征 [J]. 地理研究, 1991, 10(2): 11–19.  
Li Pingri, Lin Xiaodong, Huang Guangqing. Geomorphological characteristics and development in East River Delta [J]. Geographical Research, 1991, 10(2): 11–19 (in Chinese with English abstract).
- [16] 廖示庭, 吴甲添, 刘建雄. 广东东莞盆地第四纪地质研究新进展[J]. 广东地质, 2001, 16(4): 48–58.  
Liao Shiting, Wu Jiatian, Liu Jianxiong. New progress in Quaternary geologic study of the Dongguan basin [J]. Guangdong, 2001, 16(4): 48–58 (in Chinese with English abstract).
- [17] 刘克新, 陈铁梅. 探索古代文明的有力工具——<sup>14</sup>C 测年. 北京大学考古文博院, [http://shoucang.dahe.cn/sczx/wbzl/t20100916\\_1830436.html](http://shoucang.dahe.cn/sczx/wbzl/t20100916_1830436.html).  
Liu Kexin, Chen Tiemei. <sup>14</sup>C dating: Powerful tool to explore ancient civilizations, Institute of Archaeology and Museology. Peking University, [http://shoucang.dahe.cn/sczx/wbzl/t20100916\\_1830436.html](http://shoucang.dahe.cn/sczx/wbzl/t20100916_1830436.html).
- [18] 冯炎基, 黄卫平. <sup>14</sup>C 测年在珠江三角洲古地理环境研究中的应用[J]. 同位素, 1992, 5(4): 213–217.  
Feng Yanji, Huang Weiping. <sup>14</sup>C dating and the study of palaeogeographic environment of the Zhujiang Delta [J]. Journal of Isotopes, 1992, 5(4): 213–217 (in Chinese with English abstract).
- [19] Yim W W S. Radiocarbon dating and the reconstruction of late Quaternary sea-level changes in Hong Kong [J]. Quaternary International, 1999, (55): 77–91.
- [20] 陈文寄, 彭贵. 年轻地质体的年代测定 [M]. 北京: 地震出版社, 1991.  
Chen Wenji, Pen Gui. Young Geologic Body Dating[M]. Beijing: Seismological Press, 1991(in Chinese).
- [21] Grootes P M. Radioactive Isotopes in the Holocene, in Late Quaternary Environments of the United States [M]. Minneapolis: University of Minnesota Press, 1983: 86–103.
- [22] Wintle A G, Murray A S. A review of quartz optically stimulated luminescence characteristics and their relevance in single-aliquot regeneration dating protocols [J]. Radiation Measurements, 2006, 41: 369–391.
- [23] 张克旗, 姚海涛, 乔彦松, 等. 黄联关组形成时代的光释光测年初步研究[J]. 中国地质, 2012, 39(3): 645–650.  
Zhang Keqi, Yao Haitao, Qiao Yansong, et al. A preliminary study of the formation age of Huanglianguan Formation based on OSL dating [J]. Geology in China, 2012, 39(3): 645–650 (in Chinese with English abstract).
- [24] 赵华, 卢演涛, 王成敏, 等. 疏勒河冲积扇绿洲全新世古水文演化释光年代学[J]. 核技术, 2007, 30(11): 893–898.  
Zhao Hua, Lu Yanchou, Wang Chengmin. Luminescence dating of Holocene hydrological evolution of Shule River alluvial fan Oasis[J]. Nuclear Technology, 2007, 30(11): 893–898(in Chinese with English abstract).
- [25] Wang Ping, Jiang Hanchao, Yuandaoyang, et al. Optically stimulated luminescence dating of sediments from the Yellow River terraces in Lanzhou: Tectonic and climatic implications [J]. Quaternary Geochronology, 2010, 5(2/3): 181–186.
- [26] Ping Wanga, Bin Zhang, Weili Qiu, et al. Soft-sediment deformation structures in the sediments of Diexi paleo-dammed lakes in upper reaches of Minjiang River, east Tibet [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2011, 40(4): 865–872.
- [27] 王旭龙, 卢演涛, 李晓妮. 细颗粒石英光释光测年: 简单多片再生法[J]. 地震地质, 2005, 27(4): 615–623.  
Wang Xulong, Lu Yanchou, Li Xiaoni. Luminescence dating of fine-grained quartz in Chinese loess-simplified multiple aliquot regenerative-dose (MAR) protocol [J]. Seismology and Geology, 2005, 27(4): 615–623 (in Chinese with English abstract).

- [28] 李平日, 黄光庆, 林晓东. 广东东江三角洲第四纪沉积特征[J]. 海洋学报, 1991, 13(6): 797-803.  
Li Pingri, Huang Guangqing, Lin Xiaodong. Guangdong Dongjiang river delta Quaternary sedimentary characteristics [J]. Acta Oceanologica Sinica, 1991, 13(6): 797-803 (in Chinese with English abstract).
- [29] 陈国能, 张珂, 贺细坤, 等. 珠江三角洲晚更新世以来的沉积—古地理[J]. 第四纪研究, 1994, (1): 67-74.  
Chen Guoneng, Zhang Ke, He Xikun, et al. Paleo-geographic evolution of the Pearl River Delta since the Late Pleistocene [J]. Quaternary sciences, 1994, (1): 67-74 (in Chinese with English abstract).
- [30] 王昌勇, 郑荣才, 高博禹, 等. 珠江口盆地荔湾井区珠江组深水扇沉积特征[J]. 中国地质, 2010, 37(6): 1628-1637.  
Wang Changyong, Zheng Rongcai, Gao Boyu, et al. Deepwater fan sedimentary characteristics of Zhujiang Formation in Liwan area of Zhujiang River mouth basin [J]. Geology in China, 2010, 37(6): 1628-1637 (in Chinese with English abstract).

## OSL and $^{14}\text{C}$ ages of the Late Quaternary sediments in the east Pearl River Delta

GUO Liang-tian<sup>1</sup>, WANG Ping<sup>2</sup>, ZHANG Ke<sup>3</sup>,  
SHENG Qiang<sup>1</sup>, ZHAO Hua<sup>4</sup>, WANG Cheng-min<sup>4</sup>

(1. Guangdong Seismological Bureau, Guangzhou 510070, Guangdong, China; 2. State Key Laboratory of Earthquake Dynamics, Institute of Geology, China Earthquake Administration, Beijing 100029, China; 3. Department of Earth Sciences, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, Guangdong, China; 4. Institute of Hydrogeology and Environmental Geology, CAGS, Shijiazhuang 050061, Hebei, China)

**Abstract:** The dating of the Late Quaternary sediments in the east Pearl River Delta has great significance in many aspects, such as the study of the delta's evolution, the fluctuation of the ancient sea level and fault activities. The OSL and  $^{14}\text{C}$  dating was performed for the core from seven drill holes in Dongjiang plain, and sporopollen and micropaleontology analysis was conducted. Different from the former conclusion based mainly on  $^{14}\text{C}$  age that the oldest deposit of the delta is less than 40 000 a, the authors' OSL dating demonstrates that the age of the lower strata is about 47 000 to 135 000 a. Based on a preliminary analysis of the age reliability and stratigraphic geochronological framework of the two transgression cycles during the Late Quaternary, the authors hold that the first transgression of the east Pearl River Delta might have occurred 40 000 to 80 000 a ago, and the erosion and weathering effect led to the considerable stratigraphic gap between the two transgressions.

**Key words:** east Pearl River Delta; Late Quaternary; transgression cycle; formation age; OSL

**About the first author:** GUO Liang-tian, male, born in 1960, senior engineer, doctor, mainly engages in the study of active tectonics and regional geology; E-mail: guolt@126.com.