

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

张 璞^{1,2}, 陈建强¹, 田明中¹, 朱金芳³, 黄宗林³, 江春亮¹

(1. 中国地质大学 地球科学与资源学院, 北京 100083; 2. 青海师范大学 地理与资源环境系, 青海 西宁 810008; 3. 福建省地震局, 福建 福州 350003)

[摘要] 采用 MS 2000 型激光粒度分析仪进行测试, 利用计算机粒度分析软件对数据进行整理和计算, 绘制出样品的频率曲线、概率累积曲线以及粒度众数位值曲线等图件并进行沉积环境分析。厦门地区第四纪环境演化经历了中更新世同安组(含泥中粗砂、含泥细中砂、砂为主)海积-冲积→更新统上部龙海组(含泥粗中砂、含泥细中砂、含泥粗砂、粗砂、细中砂、含细砾中粗砂、中细砂等)冲积-洪冲积→更新世上部东山组(砂、砂砾、含泥中粗砂、粗砂、泥质中细砂、细砂、中粗砂等)冲洪积及部分海积(粉砂、细粉砂、含碳质泥、粘土、淤泥质粘土、粉砂质粘土等)→全新世长乐组(粉砂, 淤泥质粘土、粉砂质粘土、碳质粘土、含砂淤泥质粘土、粉砂质亚粘土、粉细砂亚粘土等)海湾沉积。在解释环境变化的同时, 说明粒度变化曲线在一定程度上可以作为地层划分的依据之一, 并以此对研究区地层进行了详细划分。

[关键词] 粒度分析; 环境演化; 地层划分; 地层对比; 第四系; 厦门; 福建

[中图分类号] P534.63; P584 [文献标识码] A [文章编号] 1672-6561(2005)01-0088-07

[作者简介] 张璞(1965-), 女, 河南南阳人, 青海师范大学副教授, 中国地质大学(北京)博士研究生, 从事第四纪地质学与环境研究。

20 世纪 50 年代末期以来, 应用粒度分析解释成因环境的方法很多, 比较经典是由 Unden, Krumbein, Doeglas, Visher 等学者, 经过研究并逐步发展和不断完善后提出的概率成因图解。Pas-sega 提出的 CM 图以及 Folk, Ward, Mason, Folk, Harris, Friedman 等学者经过研究后提出的粒度参数离散图以及因子分析、判别分析等方法^[1]。粒度分析的数据, 可通过筛析法、薄片法、水力法等传统方法和激光粒度分析方法获得。20 世纪 80 年代计算机的运用, 使得传统的分析方法逐渐被激光粒度分析所代替。激光粒度分析具有测试时间短、测试粒径范围大、误差小、能在线测量的优点, 能满足许多与粒度有关行业的较高要求。随着计算机技术的不断发展, 各种粒度分析软件的开发, 沉积岩粒度分析专家系统的建立^[2], 使得粒度分析方法不断完善, 激光粒度分析的优点更为突出, 使沉积物

粒度表征方法更趋于科学。一些学者已经在进行有关研究, 且借助人工神经网络、混合模型的子体分离技术给出了更加科学的单样品粒度分布表征方法——粒度母体分解图, 并开发出一个基于粒度母体沉积环境识别系统^[3]。

福建省第四纪研究程度总体比较低, 尤其是对于第四纪以来整个地区的古环境、古气候演化历史还没有一个整体的、系统的认识。尽管如此, 在局部地区的地层^[4~7]、微体化石^[8~15]、构造^[16~18]以及海平面变化研究方面还是有较多成果, 为笔者研究奠定了良好基础。

1 研究区地理位置及第四纪地层

厦门位于福建东南部, 面积约 1 565.09 km², 海域约 300 km² (图 1)。地形南高北低, 南部为丘陵, 北部为台地及平原, 阶梯状地形明显。第四纪沉积物主要分布于北部的台地及丘陵区的沿海平原, 沉积物类型主要有滨海相沉积、冲洪积、风积和残积

等。厦门沉积记录开始较早, 发展不平衡, 与漳州和泉州比较而言, 复杂性较大。盆地开始的第四系沉积可能为更新世中期同安组, 地层成因类型多样, 尤其是冲积、海积较发育。第四系发育更新世中期同安组、更新世晚期龙海组和东山组、全新世长乐组。地层发育较完整, 东山组和长乐组分布较广泛, 厚度较为稳定, 而龙海组厚度变化较大, 分布局限。地层序列和结构的可对比性较强, 海相夹层和标志层发育较好, 为地层的精细划分和对比提供了条件。

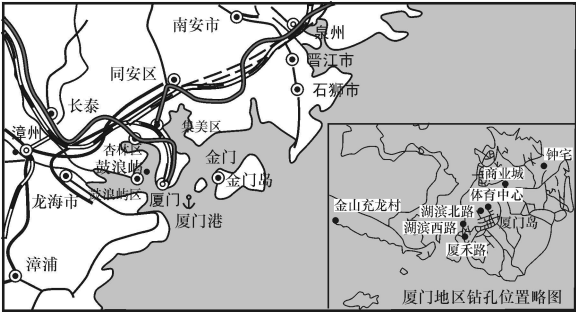


图 1 厦门地理位置与钻孔位置

Fig. 1 Sketch map showing the localities of the core and Xiamen island

选取厦门湖滨西路钻孔进行粒度分析。湖滨西路钻孔位于湖滨西路西堤加油站对面, 该钻孔发育更新统上部龙海组、东山组, 全新统长乐组。第四系厚度为 33.08 m, 残积层厚度为 3.17 ~ 17.83 m, 其中全新统平均厚度 21.34 m, 更新统上部平均厚度 11.74 m。龙海组以角度不整合覆盖于残积层之上, 龙海组与东山组、东山组与长乐组之间以平行不整合接触。钻孔取样深度范围 9.2 ~ 28.61 m, 取样厚度 19.41 m, 采集样品 64 件。岩石地层单位、岩性特征见表 1。该钻孔代表靠近海湾和河口湾部位, 以淤泥和粘土层为主的晚更新世晚期和全新世早中期地层, 由于上部人工填土厚度达 9.0 m, 所以全新世的地层不全。

2 厦门钻孔沉积物粒度分布特征

本次研究采用激光粒度仪, 运用图解参数法进行分析。样品按常规方法进行预处理, 利用 Mastersizer 2000 型激光粒度分析仪进行测试(粒度测试范围 < 2 mm, 显然它更适合较低能沉积环境条件下形成的沉积物分析)。测试结果利用已开发的粒度分析软件数据处理系统进行计算机处理, 绘制出

每个样品的频率曲线、频率累计曲线。在分析中, 首次采用了众数值分析方法, 它与概率累积曲线的分析结果具有很好的一致性, 有助于进行精细地层划分和进一步判定微沉积环境。

表 1 湖滨西路第四纪地层特征
Table 1 Quaternary lithostratigraphic characteristic at Hubin west road

地层单位	颜厝镇	
	d / m	岩性描述
长乐组上部	9.02	填石层
长乐组下部	16.44	深灰色淤泥质粘土
东山组	1.02	灰绿色-灰黄色粉质粘土, 深灰色淤泥质粘土
龙海组	5.83	棕黄、褐紫色含泥粗砂, 含泥粗中砂, 含砂粘土, 砂质淤泥质粘土

2.1 粒径分布特征

钻孔样品(共 63 个样品)粒度分析表现出粒度变化较大, 粒径范围在 0.002 ~ 2 000 μm 均有(实际粒度变化范围还要大, 由于分析仪器要求, 在样品处理时已将 > 2 mm 粒径颗粒剔除)。钻孔处于现在河口湾附近, 沉积环境相对不太稳定。沉积物粒度变化相对较大, 粒径范围 10 ~ 70 μm, 属泥质和砂质成分。

2.2 频率曲线特征

频率分布曲线为单峰和双峰形态, 峰值范围 40% ~ 70%, 对称性不好。粒径范围 0.479 ~ 363.078 μm, 偏态以负偏为主。单峰态表明沉积物成分单一, 为相对稳定的低水能条件下形成; 双峰态表明沉积物有两种主要成分组成, 在沉积过程中有其他作用参加进来。

将样品按钻孔取样深度进行排列后发现, 其具有一定规律性。根据曲线形态变化规律划分出不同的组段(图 2)。

1 ~ 34 号样为一组, 曲线表现为单峰、双峰交互出现。峰值粒径以 8 ~ 10 μm 为主, 其中 1 ~ 21 号样主组分峰值粒径均为 8 ~ 10 μm 的细粉砂, 22 ~ 40 号样峰值粒径略有不同, 但变化不大。该段代表相对较低水能量条件的海积环境。钻孔岩性对应于粉砂、淤泥质粘土层。结合该段地层的测年数据、岩性以及相应钻孔间的相互对比, 确定为全新统长乐组地层。

35 ~ 58 号样划分为一组, 该组曲线均为单峰态。峰值粒径以 10 μm 为主的细粉砂, 同时主组分

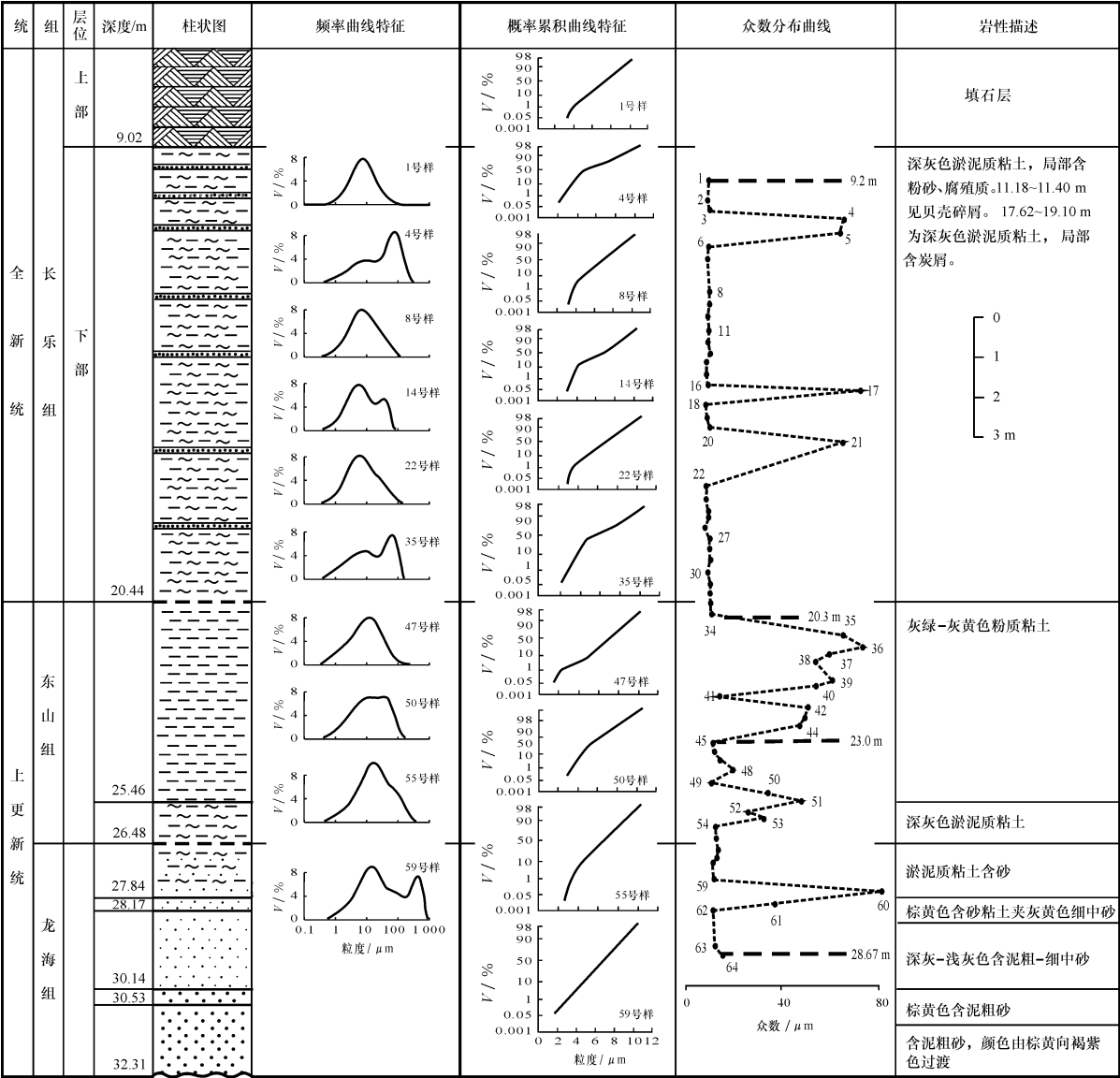


图 2 钻孔柱状图与样品频率曲线、概率累积曲线对比

Fig. 2 Lithological of bore and its frequency curves and probability cumulative curves of samples and modes distributing map of the grain size in the Xiamen island

增加了粒径为 80 μm 极细砂，钻孔岩性以淤泥质粘土、粉砂质粘土为主，中间夹有薄层细砂、细中砂，表明此期以海积为主，中间间或有短期冲洪积，进行分析比较后该组应为更新统晚期东山组地层。

59~64 号样为一组，曲线为双峰态。峰值粒径变化多样，有 10 μm，60~70 μm，60~80 μm，100~200 μm，400~600 μm，从下向上沉积物粒度由粗变细，由含泥中粗砂过渡到淤泥质粘土、粘土。表明水动力情况不稳定，其沉积环境表现为由洪冲积到海积的变化。钻孔中表现为砂质粘土、含泥细中砂、中粗砂、细中砂、含泥粗砂层，为更系统中期龙海组地层，每一组段代表不同的沉积环境。

通过组段的划分可以看出，岩性和粒度相差不大的沉积物，沉积环境却不相同。每个组段之间都有一个明显的界面，界面上下的测年数据、孢粉及藻类组合特征、地震探测、构造解译以及沉积相都出现明显的变化。依据这些手段将地层进行划分，其结果与沉积物粒度曲线组段划分情况基本一致，这就表明粒度分析曲线可以作为地层划分的依据之一，每一组段的界面就是地层的分界线。

2.3 概率累积曲线特征

采用曹伯勋提出的以 3φ(粒径 d=0.125 mm，细砂的下限) 为界，将正态概率曲线第一截点所对应粒径 < 3φ 且砂砾含量 > 50% 的称为粗粒型，有

粗一段、粗二段和粗三段型;第一截点大于 3ϕ 且以粉砂质粘土为主的称细粒型,有细一段、细二段型;此外还有多段型。

厦门钻孔以细粒型为主,个别为粗粒型。细粒型主要为细二段(36个样品)和细三段(22个样品);粗粒型为粗一段(2个样品)、粗二段(1个样品)和粗三段(3个样品)。将每一样品的概率累积曲线按钻孔深度从上到下依次排列,也呈现明显的规律性。选取有代表性样品的概率累积曲线以及钻孔概率累积曲线叠加图(由单个样品的概率累积曲线进行叠加后获得的)进行分析,结果可以明显看出其概率累积曲线分为三种类型:

第一种曲线类型:主要截点在 $(4\sim5)\phi$ 间的两段式,个别为三段式(相对),它包括34个样品。沉积物是由两个组分组成,缺少滚动组分。跳跃组分的分选程度较好,粒度含量为4.95%。悬浮组分粒度含量高达95.05%,分选程度没有跳跃组分好,与跳跃组分间的截点在 4.5ϕ 左右。整体粒径在 $(3.5\sim10)\phi$ 间,表明沉积物粒度分布范围窄,极细粒成分含量远大于细粒成分,总体很细,以粘土、粉砂为主,该组曲线及对应的该段地层为相对低水能量环境。

第二种曲线类型:截点在 $(2\sim3)\phi$ 间的两段式,它包括了10个样品。其曲线也为两段式,表明其沉积物是由两个组分组成,缺少滚动组分。跳跃组分的分选程度较好,粒度含量为33%。悬浮组分含量高达67%,分选程度没有跳跃组分好,与跳跃组分间的截点在 2.3ϕ ,整体粒径在 $(2\sim10)\phi$ 间。表明沉积物粒度分布范围广,细粒成分含量大于粗粒成分,总体也偏细,但平均粒度比上一样品粗,以粘土、粉砂、细砂为主。该组曲线及对应的该段地层为相对中等水能环境。

第三种曲线类型:具有过渡段的两段式,它包括20个样品,其沉积物是由两个组分组成,缺少滚动组分。跳跃组分的分选程度较好,粒度含量为9.8%。悬浮组分粒度含量高达90.2%,分选程度没有跳跃组分好,与跳跃组分之间的截点在 3.5ϕ 左右,整体粒径在 $(1\sim10)\phi$ 间。表明沉积物粒度分布范围广,细粒成分含量多,但总体也偏细,平均粒度与上两样品相比较,大于第一组小于第二组,以粘土、粉砂、细砂为主。该组曲线及对应的该段地层为相对中低能环境(见图2)。

从以上分析可看出,频率曲线组段划分与概率

累积曲线的组段基本上能相互吻合,所反映的沉积环境及水动力条件基本一致,与钻孔岩性及沉积旋回之间对应关系较好,也可作为地层界线划分的依据之一。

2.4 粒度众数分布特征

众数是含量最多的颗粒粒径,它对研究混合来源的物质特别有效。众数的各种变化,是引起陆源沉积物的分选性、偏度、峰态变化的基本原因。为了详细划分地层以及区别沉积环境的变化,本次研究采用了众数分析。确定众数位值时,根据样品粒度频率曲线,求取其众数粒度的直径,按取样深度依次做出曲线(见图2)。

从图2中可明显看出粒度变化特征,其众数值变化和分布范围不大,众数在 $10\sim80\mu\text{m}$ 间变化,且随着钻孔深度和岩性的不同而发生变化。自下而上可分为三段,每一段与上述概率累积曲线的三组是一致的。

第一段:对应于1~34号样品($9.02\sim20.3\text{m}$),粒径相对集中,个别变化较大,为 $3\sim50\mu\text{m}$,属泥质和中砂质。以细粒为主,夹有粗粒成分。 $14.46\sim17.02\text{m}$ (17~22号样),粒径范围 $2\sim25\mu\text{m}$,属泥质和细砂,以泥质为主,中间夹有细砂。 $17.15\sim20.10\text{m}$ (23~34号样),粒径范围 $2\sim10\mu\text{m}$,属泥质和极细砂,粒度分布均匀,总体偏细,为水能量相对较低的沉积环境。

第二段:对应于35~44号样品,变化较大,总体粒径较上一段偏粗, $20.30\sim23.0\text{m}$,该段粒度变化频繁在 $40\sim70\mu\text{m}$ 间来回摆动,粒度总体较上一段偏粗。粘土质和砂质交互出现,为水能量相对较高的沉积环境。

第三段:对应于45~64号样品,粒度变化范围较大,最大可达 $80\mu\text{m}$ 。 $23.0\sim28.67\text{m}$,在 $3\sim80\mu\text{m}$ 间分布,以粘土和细粉砂为主。

通过以上分析可知,该孔岩心粒度从下至上总体上较细,均为泥质和细砂成分,且变化频繁,在二者之间来回摆动,呈互层出现,这与钻孔柱状图中的岩性分布相吻合。图中可见明显规律,每一段,为一个大的旋回,其中包含小的旋回。

利用众数值分析可以看出,整个钻孔岩心粒度由上至下,总体的和细微的变化情况,划分出不同的沉积旋回。这样很容易将众多样品所代表的沉积环境直观地表现出来,精细地将每一样品划分到不同时期的地层中去,为分析区内沉积环境演变的

整个过程提供依据。

为了证实其可靠程度, 将所有取样的钻孔都进行了频率曲线、概率累积曲线和众数值分析, 发现其与沉积物类型之间对应性均很好, 其中频率曲线和概率累积曲线均能很好地将地层划分成若干组段, 每一组段代表一定的沉积环境和一定时期的地层, 其组段之间的界线即为地层之间的界限。由此说明, 依据粒度分析曲线来划分地层的方法是可行的, 也使得判定整个地区的沉积环境演化更简单。因此, 粒度曲线分析方法在研究沉积环境演化史中是不可缺少的一种手段, 且对于地层界面的确定有很大帮助。

3 第四纪地层划分及沉积环境演化

3.1 第四纪地层划分

根据粒度分析、岩性、沉积相、沉积旋回、沉积层序、孢粉及藻类组合特征分析, ¹⁴C 和光释光测年等, 利用层序地层和年代学对比方法, 绘制连井柱状图和二维剖面的等时对比图, 提出小区内的精细地层划分和对比方案(表 2), 建立了盆地分析等时地层单元对比和地层格架。第四纪地层划分采用目前国内外使用的新方案: 即全新统(Q₂)和更新统(Q₁)。

表 2 厦门第四系钻孔地层划分

Table 2 Quaternary Lithostratigraphic division in the Xiamen island

统	组	层位	代号	层序	成因类型	d/m	接触关系	极性事件及年代
全新统	长乐组	上部	Q ₂ ch	Sq ₁	冲积、冲洪积	1.4~8.5	侵蚀面	2 400 年左右
		下部			海积冲积	3.5~12.5	假整合	
上更新统	东山组		Q ₂ d	Sq ₂	冲积、冲洪积海积	1.0~10.0	假整合	1.1 万年左右 哥德堡事件 1.2~1.3 万年 4 万年左右 8 万年左右 布莱克事件(11 万年) 12 万年左右
	龙海组		Q ₂ l	Sq ₃	冲积、冲洪积	8.9~10.2	假整合	
中更新统	同安组		Q ₂ t	Sq ₄	冲洪积	2.5~3.5	风化面	30.4 万年左右
下更新统	残积层						剥蚀面 角度不整合	

3.2 沉积环境演化

沉积环境和沉积物的成因类型包括冲积、冲洪积、海积。由于其所处地理位置独特, 钻孔分析结果表明, 各地层分布较为复杂, 厚度及埋深很不一致, 所反映的沉积环境必然多样, 同时从其年龄数值来看, 跨度很大, 残积层以上最老地层为中更新

统同安组, 但其分布太局限, 只在一个孔中出现。另外, 由于厦门市建设开挖施工, 使得全新世长乐组上部地层大部分被人工填土所取代, 且厚度较大, 从而造成长乐组地层上界面埋深变化大。总的来看, 厦门岛第四系地层厚度较小, 岩性和厚度变化较大, 成因类型多样, 盆地发育较复杂, 可对比性较差。大致按北东向每个地点选择一个代表性钻孔, 绘制出沉积相带分布示意图(图 3)。总体特征第四系沉积基底和地貌为北东高、南西低, 湖滨西路一带为一个断陷洼地, 同期地层厚度比邻区厚度大一倍。地层的成因类型主要为洪冲积、冲积、海积(海湾或河口湾), 海积地层主要分布在西南区, 地层发育较全, 包括同安组、龙海组、东山组和长乐组, 北东区则以洪冲积、冲积为主, 地层发育较少, 主要为洪冲积相的长乐组。

更新统中期同安组, 只在湖滨北路钻孔中有分布, 以含泥中粗砂、粘土为主。从下至上形成粘土-含泥粗中砂所组成的两个旋回, 故其沉积环境表现为海积-冲积交互出现。底部为海积, 顶部为冲洪积。

更新统晚期龙海组, 分布在湖滨北路、湖滨西路、厦禾路, 其中厦禾路只有一个钻孔分布, 以含泥中粗砂、含细砾中粗砂、中粗砂和淤泥质粘土、粘土、砂质粘土为主。在厦禾路、湖滨西路, 从下向上沉积物粒度由粗变细, 由含泥中粗砂过渡到淤泥质粘土、粘土, 其沉积环境表现为由洪冲积到海积。湖滨北路只发育砂质粘土, 其沉积环境只表现为海积。从其年龄数据来看, 相当于前两场地的上部海积层, 下部由于平行不整合的存在而缺失洪冲积层。

更新统晚期东山组, 只在湖滨西路及湖滨北路出现, 且湖滨西路的厚度远大于湖滨北路的厚度。在湖滨西路该层厚度达 7.31 m, 以淤泥质粘土、粘土为主, 中间夹有薄层的细砂、细中砂, 表明此期以海积为主, 中间间或有短期冲洪积。在湖滨北路, 该组地层只发育 0.69 m 含泥中粗砂、中粗砂, 为洪冲积, 只相当于湖滨西路整个时期的一个小的冲洪积阶段。

全新统长乐组下部, 除了钟宅外, 其余地点均有分布。厚度变化较大, 为 2.14~14.75 m, 其中湖滨西路厚度最大, 湖滨北路最小。以淤泥质粘土、砂质粘土为主, 中间夹有含泥中粗砂、泥质中细砂, 表明均以海积为主, 中间出现短期冲洪积。

全新统长乐组上部, 各个地点由于人为影响使

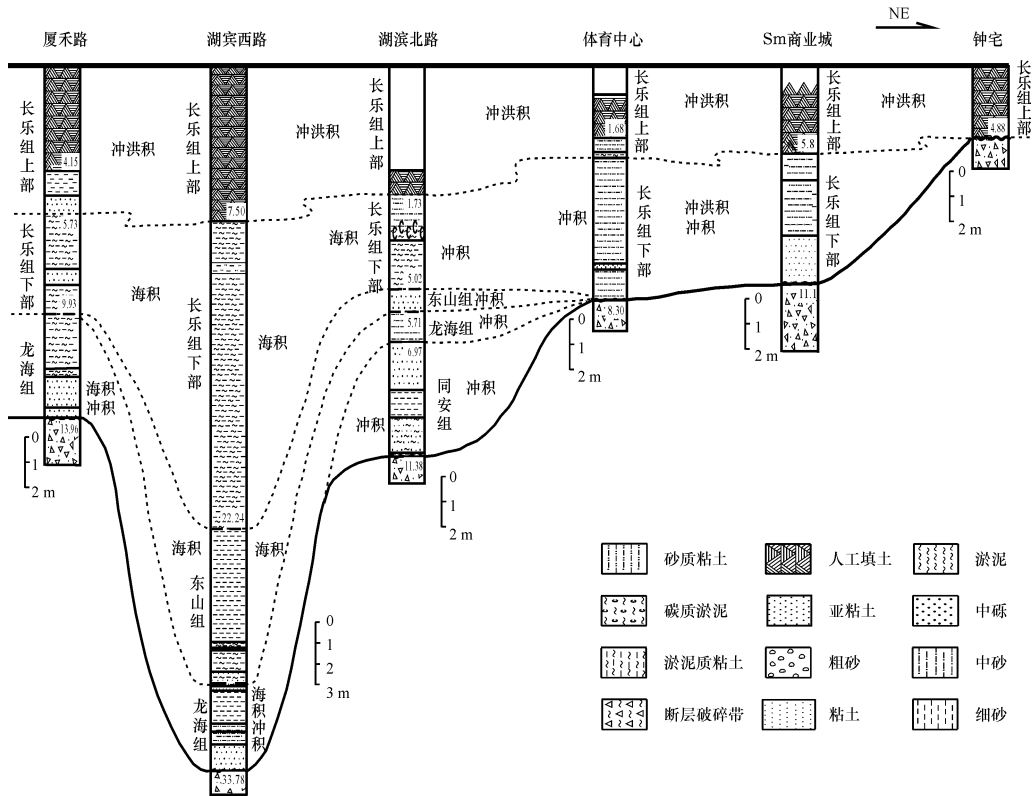


图 3 厦门北东向第四纪地层沉积相带分布示意图

Fig. 3 Northeast direction distribution of sedimentary facies and their changes of the Quaternary in the Xiamen island

得沉积物变化较大。湖滨西路、商业城、钟宅均为人工填土,只有厦禾路、湖滨北路、体育中心有少量以淤泥质粘土、砂质粘土、含细砂碳质淤泥为主组成的沉积物,表明其沉积环境以海积为主。在厦禾路前 3 个钻孔中,该层底部出现一层平均厚度为 1.3 m 的中粗砂层,代表该段为洪冲积。

4 结论

(1) 厦门第四系发育中更新统同安组、上更新统龙海组和东山组、全新统长乐组。地层发育较完整,东山组和长乐组分布较广泛,厚度较稳定,而龙海组厚度变化较大,分布局限。地层序列和结构的可对比性较强,海相夹层和标志层发育较好,为地层的精细划分和对比提供了条件。

(2) 湖滨西路发育更新统上部龙海组、东山组,全新统长乐组。龙海组以角度不整合覆盖于残积层之上,龙海组与东山组、东山组与长乐组间以平行不整合接触。钻孔样品粒度频率曲线表现为单峰态和双峰态两种形式。概率累积曲线以细粒型为主,个别为粗粒型。众数位值变化较大,曲线摆动较为频繁但有规律。

(3) 按钻孔取样深度排列,样品粒度频率曲线和概率累积曲线表现一定规律性,由上到下可划分为三个组段。一组段沉积物以细粉砂为主,代表海相沉积,对应于长乐组下部地层。二组段沉积物主组分增加,此期以海积为主,中间间或有短期冲洪积,对应于东山组地层。三组段粒度变化较大,其沉积环境表现为由洪冲积到海积,对应于龙海组地层。众数值变化总体不大,但可明显分为三段。

(4) 粒度分析曲线可作为地层划分的依据之一。

(5) 厦门的第四系发育复杂,盆地较小,由地层厚度和岩性变化反映出当时沉积空间差异和地貌差异性可能较大。从总体看,厦门地区第四系环境演化经历了更新统中期同安组海积-冲积→更新统晚期龙海组冲积-洪冲积→更新统晚期东山组冲洪积及部分海积→全新统长乐组海湾沉积。

[参 考 文 献]

[1] 刘宝瑞. 沉积岩石学[M]. 北京: 地质出版社, 1980
[2] 张晓帆, 冯英进, 胡亚平. 沉积岩粒度分析专家系统[J]. 沉积学报, 1995, 13(1): 126 ~ 132.
[3] 曲政. 沉积物粒度数据表征方法的研究[J]. 中国粉体技术, 2001, 7(4): 24 ~ 31.

- [4] 程乾盛, 许汉荣. 东山 ZK51 孔第四纪地层划分与闽南沿海部分戏曲地层划分对比[J]. 福建地质, 1998, (1): 24~33.
- [5] 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, 16(4): 36~43.
- [6] 李兼海, 王国平, 郑钦藩, 等. 福建省地层多重划分、对比研究[J]. 福建地质, 2000, (4): 203~256.
- [7] 郑荣章, 徐锡伟, 朱金芳, 等. 福州盆地晚第四纪地层划分及古环境分析[J]. 地震地质, 2002, 24(4): 503~513.
- [8] 王绍鸿, 俞鸣同, 唐丽玉, 等. 福建深沪湾潮间带全新世有孔虫及其环境意义[J]. 台湾海峡, 2002, 21(1): 6~11.
- [9] 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, 12(4): 388~397.
- [10] 陆继军. 福建沿岸晚第四纪孢粉组合古植被和古气候[J]. 地理科学, 1994, 14(4): 381~383.
- [11] 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, 14(1): 23~33.
- [12] 支崇远, 王开发, 蓝东兆, 等. 闽南第四纪晚期沉积硅藻组合与古环境研究[J]. 微体古生物学报, 2003, 20(3): 244~252.
- [13] 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, 12(4): 26~34.
- [14] 于永芬, 陈承惠. 厦门港万株样沉积物的孢粉组合特征[J]. 台湾海峡, 1995, 14(1): 22~31.
- [15] 吴学忠. 闽中沿海若干沉积物样品的孢粉组合[J]. 台湾海峡, 1994, 13(1): 94~100.
- [16] 徐起浩, 冯炎基, 施建生. 福建深沪湾地区晚更新世中晚期以来的地壳运动[J]. 地震地质, 2002, 24(10): 111~123.
- [17] 林继华, 刘旭儒, 陈兆煌, 等. 福建沿海的海面变化及其影响[J]. 地壳形变与地震, 1997, 17(4): 26~31.
- [18] 谢志平, 陈园田. 福建沿海晚第四纪的地壳运动[J]. 华南地震, 1994, 14(4): 35~40.
- [19] 姚庆元, 何昭星. 福建沿海第四纪地层划分的初步研究[A]. 见: 福建省地质矿产局. 中国东南沿海第四纪地质论文集[C]. 北京: 地震出版社, 1992.
- [20] 曾金炉, 邬嵩韩, 慕康. 福建九龙江河口平原第四系划分与海平面变化[A]. 见: 福建省地质矿产局. 中国东南沿海第四纪地质论文集[C]. 北京: 地震出版社, 1992.
- [21] 曾从盛. 福建晚更新世海侵问题探讨[J]. 热带海洋, 1993, 12(1): 39~45.
- [22] 福建省地质矿产局. 福建省地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1985.
- [23] 姚庆元, 何昭星, 庄进耀. 厦门第四纪沉积层的划分与海平面的关系[J]. 华南地震, 1988, 8(4): 25~33.

Application of sediments grain size analysis in Quaternary environmental research and its stratum compartmentalization and contrast function in Xiamen island, Fujian province

ZHANG Pu^{1, 2}, CHEN Jian qiang¹, TIAN Ming zhong¹,
ZHU Jin fang³, HUANG Zong lin³, JIANG Chun liang¹

(1. Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Beijing 100083; 2. Department of Geography, Qinghai Normal University, Xining 810008; 3. Seismological Bureau of Fujian Province, Fuzhou 350003)

Abstract: The grain size parameter of 64 sediment samples obtained from MS 2000 Laser Grain Size Analyzer has been illustrated in the frequency curves, cumulative frequency curves on probability scale, and modal curves. The four evolutionary stages during the Quaternary of the Xiamen island basin are recognized as follows: 1) the bay milieu or estuarine facies of middle part of the Tongan Formation (argilliferous coarse medium sand, argilliferous fine medium sand, sand et al) during the Pleistocene; 2) the alluvial facies and pluvial facies of top of the Longhai Formation (argilliferous coarse medium sand, argilliferous fine medium sand, argilliferous coarse sand, coarse sand, fine medium sand, fine gravel medium coarse sand, medium fine sand et al) during the Pleistocene; 3) the alluvial facies and pluvial facies and part of the bay milieu or estuarine facies of top of the Dongshan Formation (sand, sand gravel, argilliferous medium coarse sand, coarse sand, silt medium fine sand, fine sand, medium sand et al) during the Pleistocene; 4) the alluvial facies and pluvial facies of the Changle Formation (silt, silty sand, silty clay, carbonaceous clay et al) in the Holocene in age. For the implication of the grain size distribution, the results show that the segments of the modal curves are obvious and have concordance with the stratum, so that modal curves have an important significance in compartmentalization of Quaternary stratum to a certain extent.

Key words: grain size analysis; sedimentary environment; stratigraphic subdivision; stratigraphic correlation; Quaternary; Xiamen island; Fujian Province

[英文审定: 周军]