

文章编号: 1000-0550 (2005) 02-0275-09

福建省漳州市第四纪沉积物粒度特征及其沉积环境

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 (青海师范大学地理系 西宁 810008)

3 (福建省地震局 福州 350003)

摘 要 对福建省漳州市不同沉积相带(河道沉积相带和海湾沉积相带)的两个钻孔进行详细的第四纪沉积物激光粒度分析,综合研究区内代表性钻孔的岩性和岩相等资料,得出了研究区第四系沉积环境及其演化的认识。采用 MS—2000 型激光粒度分析仪进行测试,对测试数据进行整理和分析,绘制出频率曲线图、概率累积曲线图和粒度众数分布曲线图等,并进行沉积环境的解释。在粒度分析曲线解释意义上,提出激光粒度分析方法做出的粒度众数曲线能够较灵敏地反映沉积环境及其水动力条件的变化,可以作为环境分析的辅助手段。在环境解释方面,漳州盆地第四纪环境演化经历了:晚更新世中期龙海组冲洪积;晚更新世晚期东山组冲积;全新世早、中期长乐组下部海积;全新世晚期长乐组上部洪冲积的演变过程。

关键词 粒度分析 环境解释 第四系 漳州市 福建省

第一作者简介 张璞 女 1965 年出生 副教授 博士研究生 第四纪地质学与环境

中图分类号 P534.63 **文献标识码** A

1 引言

许多行业都存在大量与颗粒直径及分布密切相关的应用问题,准确测量出颗粒的直径及分布,对于行业来说都是至关重要的,具有重大的经济效益^[1]。在第四系研究中,通过沉积物粒度分析,不仅可以推断其搬运介质、搬运方式的变化,而且还可判明沉积物的来源,解释沉积分异作用,判别古沉积相和环境。

第四纪沉积物成因研究,主要着重于沉积学、地貌、环境标志的研究。对沉积物粒度特征的研究最主要的是图解参数法和因子分析法。图解参数法就是根据所绘制的粒度分布的频率图、概率累积曲线以及 C—M 图等,以及相关的罗辛分布检验、粒度分布的灰关联分析、模糊综合评判分析、多元统计分析、分形结构及分维值分析来反映沉积物的变化。因子法就是利用各种粒度参数进行运算,并对结果进行分析,从而得出环境变化的结论。这两种方法均使用激光粒度分析仪进行,并通过粒度分析数据处理软件在计算机上完成频率曲线、频率累积曲线的输出,同时计算矩法值并由百分位值的精确求算而得到传统的图解参数值。虽然沉积物粒度分析中存在多解性,但这些常用的方法作为沉积相分析的证据已经有近百年

的历史,且至今仍然在使用。除了这些传统的分析方法以外,曲政已致力于改善沉积物粒度数据表征方法的研究多年,并且已经推出了 GSA—通用粒度数据处理系统和 GPER—基于粒度母体的沉积环境识别系统两个专门用于粒度数据表征和沉积环境识别的应用软件,使用后取得了良好的效果^[2]。李雪铭介绍了一种新的沉积物粒度分布拟合曲线—对数双曲线分布及其应用^[3]。这些都为第四系沉积物粒度分析研究方法的改进和提高起到很大的作用。

福建省东南沿海第四纪古(沉积)环境、古气候演化的研究程度总体上来说比较低。前人的研究工作主要集中在福建东南沿岸及沿海等局部地区和几个较大的第四纪断陷盆地,例如,王开发^[4,5]等对于孢粉、硅藻组合的研究,王绍鸿^[6]等对于海平面变化的研究,程乾盛^[7]等对部分地区的地层和沉积所进行的研究。除此之外,还有一些对于局部地区构造活动的研究等。有关漳州市第四系沉积物的粒度分析目前还没有相关的文章发表。

目前,发表的第四系沉积物粒度分析的有关文章,大多数采用激光粒度仪,运用因子和图解参数法进行有关分析^[8,9,10]。鉴于激光粒度分析具有较多的

优点,本次研究也采用激光粒度仪,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(粒度测试范围为 < 2mm,显然它更适合于较低能沉积环境条件下形成的沉积物的分析)。测试过程,对每一样品进行超声波超声,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,并利用矩法计算出各种粒度参数。实验中尽量避免出现上述各种方法中所存在的问题。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,它还有助于进行精细地层划分和进一步判定微沉积环境。本文以粒度分析为基础,提出了漳州市第四系的沉积环境及其演变认识,为综合研究福建省东南沿海第四系沉积环境、气候变化提供参考资料。

2 研究区概况

漳州盆地位于九龙江下游,面积 566.2 km²,由红土台地、河流阶地、冲海积平原组成。盆地内零星分布海拔百米左右的低丘,最高的远山海拔 501.0 m。盆地周围为中低山丘陵。在丘陵地的山前地带,广泛分布中更新世、晚更新世和全新世冲洪积扇。本次研究在漳州地区共施工 27 个钻孔,选取颜厝镇和洋老洲钻孔为代表(图 1)。颜厝镇作为漳州市标准孔场地,进行了较系统的年代学测试、硅藻、粒度分析。各钻孔岩性相差不大,具有横向可比性。第四系

发育上更新统龙海组,全新统长乐组。全新统与上更新统以平行不整合接触。龙海组地层以角度不整合覆盖于残积层之上。第四系平均厚度和底界深度为 31.35 m。残积层厚度平均为 83.44 m。其中全新统平均厚度为 19.45 m,上更新统平均厚度为 11.9 m。洋老洲钻孔探测场地位于漳州市洋老洲附近,布设了 3 个钻孔。第四系只发育上更新统长乐组。两个钻孔岩石地层单位及其岩性特征见表 1。

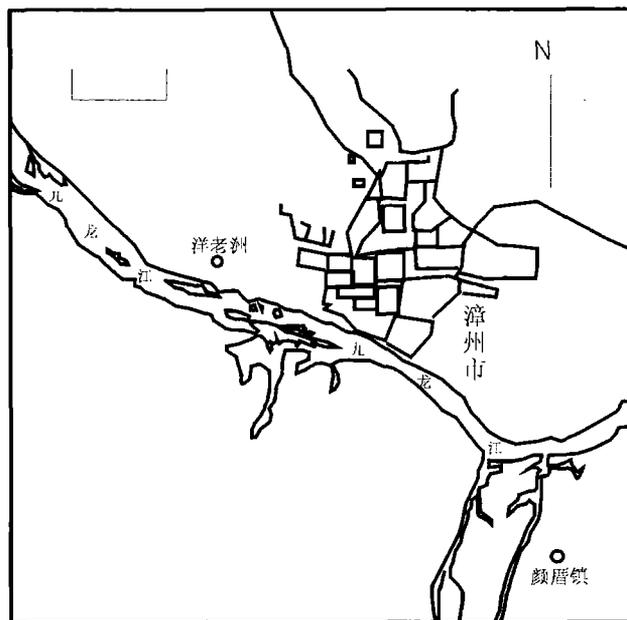


图 1 漳州洋老洲和颜厝镇钻孔地理位置图
Fig 1 Sketch map showing the location of the holes in Yancuo and Yanglaozhou, Zhangzhou City

表 1 颜厝镇、洋老洲第四纪地层特征与对比

Table 1 Quaternary lithostratigraphy and their correlation in the Yancuo and Yanglaozhou

地层单位	颜厝镇		洋老洲			
	平均厚度 /m	岩性描述	光释光年龄值	平均厚度 /m	岩性描述	光释光年龄值
长乐组上部	2.5	灰褐色杂填土及亚粘土	0.19 ±0.02ka, 0.16 ±0.03ka	4.16	褐黄色、灰黄色、黄色含砾中细砂、粉砂、亚粘土及人工填土	0.8 ±0.1ka, 0.2 ±0.1ka,
长乐组中部	2.92	深灰色、灰黄色淤泥质粘土	1.0 ±0.1ka,	6.3	深灰、黄灰色粉砂、亚粘土,灰绿色粘土,灰色含砾中粗砂、含砾中细砂互层	1.2 ±0.1ka,
	3.05	灰色中粗砂与中细砂互层,夹灰色淤泥质粘土	1.3 ±0.2ka, 5.2 ±0.5ka,			1.0 ±0.1ka, 3.0 ±0.3ka,
	3.42	深灰色淤泥质粘土	7.0 ±0.7ka, 13.7 ±1.5ka			3.8 ±0.5ka
长乐组下部	6.8	灰黄色中粗砂、中细砂、粉细砂、细砂互层,底部见含泥砂砾卵石	7.6 ±0.9ka, 9.5 ±1.2ka, 9.6 ±1.2ka, 10.0 ±1.3ka, 10.1 ±1.3ka	8.99	灰色含砾中粗砂、含砾中细砂互层,夹灰色中细砂、中粗砂及细砾	4.2 ±0.5ka, 8.2 ±0.9ka
东山组	3.21	浅灰、灰黄色中粗砂、灰色粗中砂、含砾中粗砂。底部见含泥砂砾卵石	11.8 ±1.2ka	缺失		
龙海组	8.12	黄褐色含泥砾卵石粗砂、含泥砾石、含砾粗中砂、中砂互层	85.5 ±16ka	缺失		

3 洋老洲钻孔粒度分布特征与环境解释

3.1 频率曲线特征

洋老洲钻孔处于现在九龙江河道附近。钻孔坐标为北纬 24°29'34", 东经 117°40'33.2", 孔深为 84.58 m, 钻孔取样深度为 11.79 m, 共取了 51 个样品进行粒度分析。粒度频率分布较为复杂, 粒径范围在 4~1905.461 μm 之间。曲线大多为两峰 (共有 12 个样) 和单峰 (共有 25 个样), 个别为三峰或多峰 (只有 1 个样)。峰值范围均不一致, 且正态分布极少, 无规律可循。从整体曲线分布情况来看, 该钻孔粒度从上往下出现 14 次变化, 曲线在单峰、双峰和三峰之间

反复变化。偏态以正偏为主 (图 2)。表明该钻孔沉积物粒度变化频繁, 反映水动力条件也随之发生相应的变化, 沉积环境较为动荡, 总体与近海环境和冲积环境一致。

按钻孔取样深度从底部向上排列, 频率变化情况与岩性对应性很好 (图 3), 具有一定的变化规律:

从 28~40 号样, 频率曲线以双峰态为主 (28~32、39~40 号样), 其次是单峰态 (34~38 号样), 个别为多峰态 (33 号样), 反映此段沉积物成分较为复杂, 多为双重组份, 钻孔表现为中粗砂、中细砂为主, 其次为粗粉砂、细粉砂以及极少量粘土, 对应于长乐组下部地层。

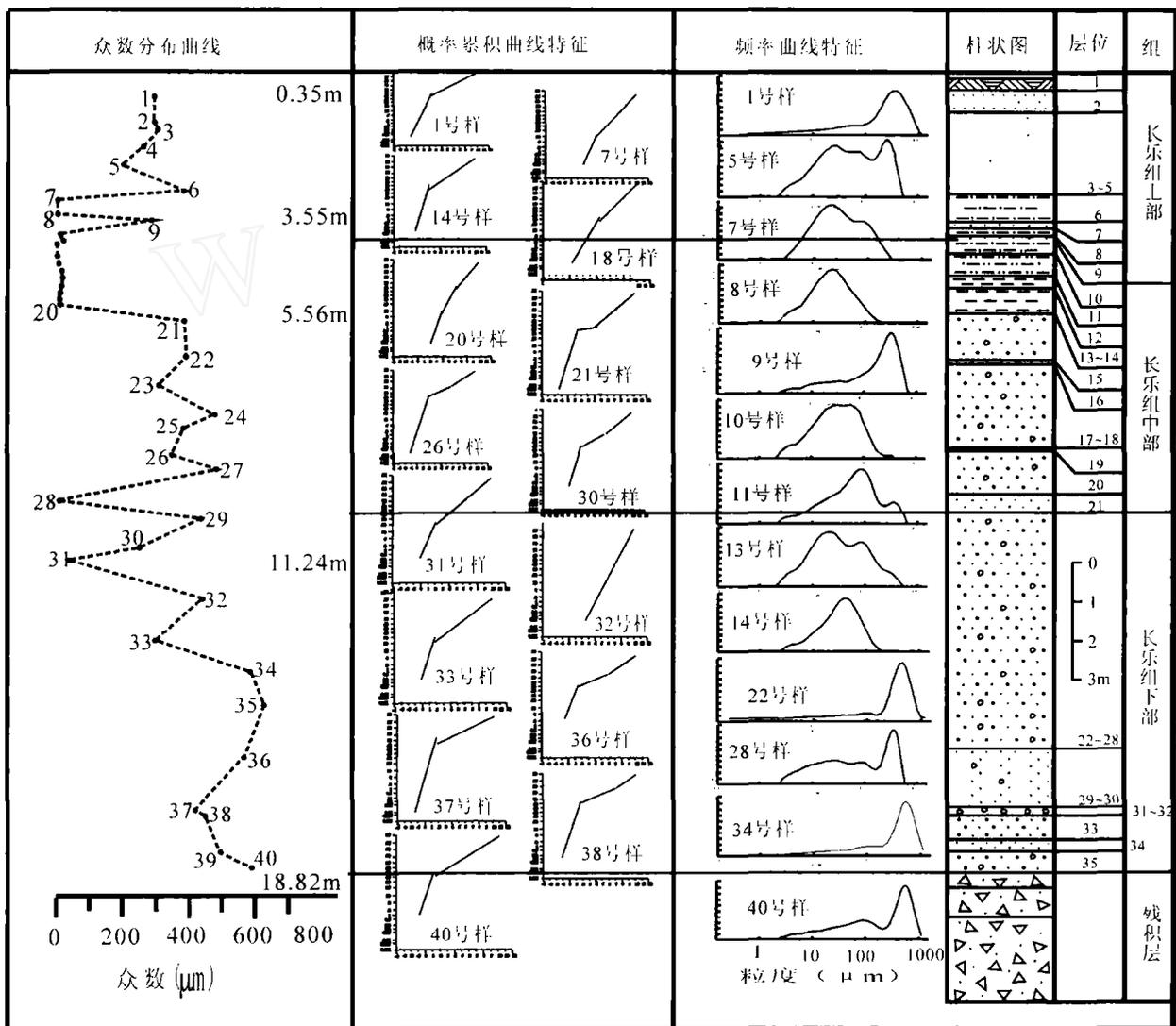


图 2 洋老洲钻孔岩性、频率曲线、概率累积曲线及众数值曲线对比图

Fig 2 Characteristics of frequency curve and probability cumulative and diagram showing distribution of the grain size modes from Yanglaozhou, and their correlation

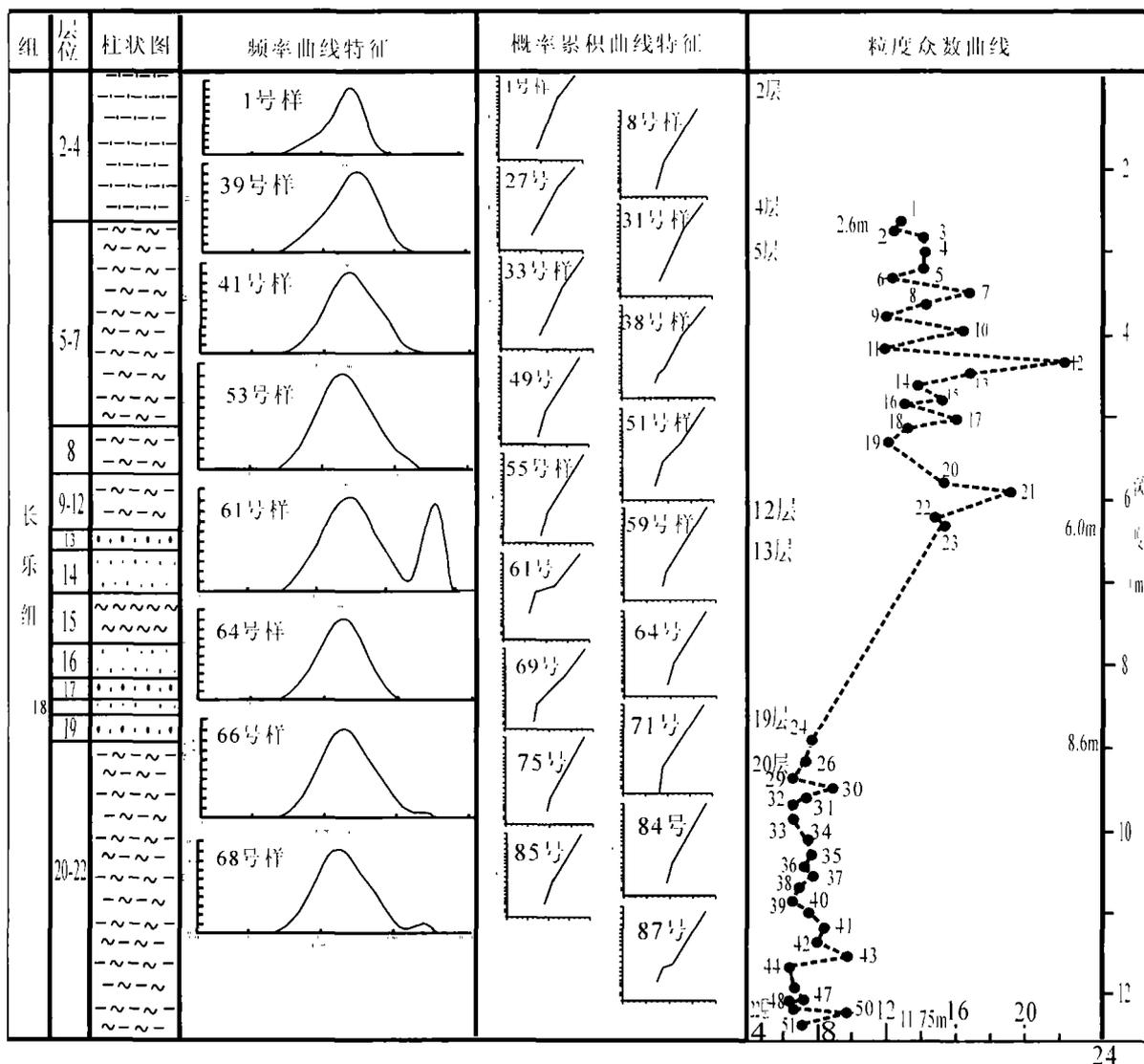


图 3 颜厝镇钻孔岩性、频率曲线、概率累积曲线及众数值曲线对比图

Fig 3 Characteristics of frequency curve and probability cumulative and diagram showing distribution of the grain size modes from Yancuo, and their correlation

13 ~ 27号样,频率曲线以单峰(14 ~ 20、22 ~ 27号样)为主,中间夹有双峰(13、21号样)交互出现,反映此段沉积物成分出现单一与双重组份交互沉积的现象,钻孔下部单峰态以中粗砂为主,上部单峰态以细粉砂为主,下部双峰态以粗砂、中粉砂为主,上部双峰态以粉细砂、极细砂为主。粒度从下向上逐渐变细,对应于长乐组中部地层。

3.2 概率累积曲线特征

我们采用曹伯勋^[11]提出的,以 3ϕ (粒径 $d = 0.125\text{ mm}$, 细砂的下限) 为界,将正态概率曲线第一截点所对应粒径小于 3ϕ ,且砂砾含量大于 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。

洋老洲钻孔,既有粗粒型,又有细粒型,粗粒型中包含有粗一段型、粗二段型和粗三段型。细粒型主要是细二段型,且同一种类型的截点位置、各总体的含量和分选性不完全相同(表 2)。按钻孔取样深度自下而上,概率累积曲线变化情况与岩性以及频率曲线所反映情况对应性很好(图 2):

27 ~ 40号样,概率累积曲线均表现为粗粒型,截点均小于 3ϕ ,三种类型同时存在,以粗三段为主(截点在 $1\phi \sim 2\phi$),其次是粗二段(粗截点在 $1\phi \sim 2\phi$),仅有一个样品为粗一段。粗三段型中跳跃总体含量

大于悬浮总体大于过渡总体,粗二段型中跳跃总体含量小于悬浮总体。依钻孔深度由下向基本上呈现粗二段、粗三段交互出现形式。为相对较高的水能量的河流沉积。对应长乐组下部地层。

表 2 洋老洲样品频率曲线、概率累积曲线特征与对比

Table 2 Characteristics of frequency curves and probability cumulative curves of samples from the Yanglaozhou, and their correlation

地层单位	厚度 /m	频率曲线形态	概率累积曲线形态
长乐组上部	2.5	上段:单峰、三峰、双峰态并存,下段:上部为单峰,下部为双峰	粗二段(截点 $1\phi \sim 2.5\phi$),细二段(截点 $3\phi \sim 4\phi$),跳跃总体含量均小于悬浮总体
		2.92	单峰、双峰交互出现。
长乐组中部	3.05	以单峰态为主	
	3.42		
长乐组下部	6.8	单峰、双峰、多峰均有出现。以双峰态为主	粗三段、粗二段,截点均在 $1\phi \sim 2\phi$

15~26号样,概率累积曲线以上所述四种类型均有,粗大型截点在 $1\phi \sim 2\phi$ 。粗三段型跳跃总体含量大于悬浮总体大于过渡总体,粗二段型跳跃总体含量小于悬浮总体。细二段截点在 $4\phi \sim 5\phi$,跳跃总体占绝对优势。粒度总体表现为下粗上细。表明水能量由相对较高的河流沉积逐渐变为水能量低的湖相(海湾相)沉积。对应于长乐组中部地层。

1~14号样,概率累积曲线以粗二段为主(截点在 $1\phi \sim 2.5\phi$),其次为细二段(截点在 $3\phi \sim 4\phi$),跳跃总体含量均小于悬浮总体。

3.3 粒度众数分布特征

众数相当于频率分布最高的颗粒粒径的含量值,它的各种变化反映陆源沉积物的分选性、偏度、峰态的变化^[11]。它对于确定岩石单元或沉积体总的沉积趋势及对物源区的研究具有明显的意义,它可以在一个结构大类所代表的范围中更详细区分沉积物,提供一个更为准确的粒度分布特征^[12]。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(图2)。从中可以看出明显的粒度变化特征及其规律。其众数值变化很明显,范围也较大,在 $8 \sim 650 \mu\text{m}$ 之间,且随着钻孔深度和岩性的不同而发生变化。由地表向下粒径呈现由小变大的趋势。

根据其变化的趋势大致分为四段。

第一段:钻孔深度 11.24~18.82 m,33号至 40号样品,粒度总体偏粗,粒径在 $450 \sim 640 \mu\text{m}$ 之间,属中粗砂。局部个别出现变化,粒径小于 $300 \mu\text{m}$ 。该段众数特征及其对应的段地层为相对中等水能量环境。粒度由粗变细,从含砾中粗砂过渡到中细砂,为一个旋回。

第二段:钻孔深度 3.55~11.24 m,21号至 31号样品,粒度较上一组(第一段)偏细,粒径在 $8 \sim 480 \mu\text{m}$ 之间,分布不均匀,大部分粒径在 $300 \sim 480 \mu\text{m}$,且由下至上粒度总体由细变粗,属中细砂,但中间夹有细粒成分,粒径在 $8 \sim 250 \mu\text{m}$ 之间,属极细粉砂(泥质)、细粉砂(泥质)、中粉砂(泥质)成分。故其众数曲线表现为左右来回摆动的折线。该段众数特征及其对应的该段地层为相对低能环境。粒度由粗变细,细砾层过渡到细砂,为一个旋回。

第三段:钻孔深度 3.5~3.55 m,10号~20号样品,粒度较上一组(第二段)更为偏细,粒径在 $4 \sim 8 \mu\text{m}$ 之间,且分布集中变化不大,属极细粉砂(泥质)。但在其中明显夹有一层粗粒组分。粒度为 $280 \mu\text{m}$,为中细砂。该段众数特征及其对应的该段地层为相对中高能环境。粒度同样由粗变细,从含砾中粗砂逐渐过渡到粘土层,为一个旋回。

第四段:钻孔深度 0.35~3.5 m,1号~9号样品,总体粒度较上一组(第三段)偏粗。粒径在 $200 \sim 380 \mu\text{m}$ 之间。变化不太大,为中细砂。该段众数特征及其对应的该段地层为相对高能环境。

可以看出,该钻孔岩芯粒度从下至上总体上呈现由粗变细再变粗的变化过程,这与钻孔柱状图相吻合。图中可见规律性很明显,粒度从下到上呈现由粗变细的趋势。总体粒度变粗,为含砾细砂,为一个旋回。

概率累积曲线的四种类型与众数图中的四段相互对应。不同的类型的概率累积曲线和粒度众数特征反映了不同的沉积物类型和环境背景。

4 颜厝镇钻孔粒度分布特征与环境解释

4.1 频率曲线特征

颜厝镇位于山前地带,钻孔坐标为北纬 $24^{\circ}29'51''$,东经 $117^{\circ}40'33.3''$,钻孔深度为 48.01 m,第四系平均厚度约为 18.67 m,钻孔取样深度为 18.17 m,共取了 40个样品进行粒度分析。钻孔曲线较为简单,只有两个样品的频率曲线为双峰态外,其余均为单峰

态。组分单一,以极细砂占绝对优势。钻孔从上到下沉积物粒度变化不大,在 $10\ \mu\text{m}$ 左右来回摆动。共出现 6 次变化(图 3)。

从以上分析可以看出,该钻孔沉积物样品粒度普遍较细,频率曲线以单峰态为主,且近正态分布,表明沉积物成分较单一,以细粒为主。钻孔表现为淤泥质粘土为主的沉积。钻孔总体粒度变化不大,为相对稳定的沉积环境(表 3)。

表 3 颜厝镇样品频率曲线、概率累积曲线特征与对比

Table 3 Characteristics of frequency curves and probability cumulative curves of samples from the Yancuo, and their correlation

厚度 /m	频率曲线形态	概率累积曲线形态
3.73	没有样品	
6.53	单峰态为主,个别为双峰态	细二段为主(截点 $4\phi \sim 7\phi$),粗三段为辅(截点 2ϕ 左右)。细二段截点随深度增加减小
8.41	没有样品	

4.2 概率累积曲线特征

颜厝镇钻孔大多数为二段型,少数为三段型,个别为一段型。二段型全为细二段型,且截点最大可达 7.3ϕ 。三段型均为粗三段型,且粗截点在 2ϕ 左右,细截点在 $4\phi \sim 6\phi$ 之间。一段型为细一段型,只有 78、83 号样为此类型。

按钻孔取样深度从底部向上排列,概率累积曲线变化情况与岩性以及频率曲线所反映情况对应性很好(图 3)。总体来看,样品粒度偏细。下部样品概率累积曲线表现为粗三段和细二段交互出现,且细二段型的截点均在 $4\phi \sim 5\phi$,跳跃总体含量小于悬浮总体。而上部样品概率累积曲线以细二段为主,截点在 $4\phi \sim 7\phi$,跳跃总体含量大于悬浮总体,个别样品跳跃总体含量大于悬浮总体。

4.3 粒度众数分布特征

由图 3 右侧图可见,该钻孔粒度分布明显分为两段,上段沉积物粒径偏粗,下段沉积物粒径偏细。且每段中各样品的众数为值变化也很明显,但变化范围不是太大,并随着钻孔深度和岩性的不同而发生变化。

第一段:钻孔深度 $11.75 \sim 8.6\ \text{m}$, 24 号至 51 号样品,粒度总体偏细,粒径在 $6 \sim 10\ \mu\text{m}$ 之间,属泥质中的细粉砂和极细粉砂。

第二段:钻孔深度 $2.6 \sim 6.0\ \text{m}$, 1 号至 23 号样

品,粒度较上一组稍偏粗,粒径在 $12 \sim 17\ \mu\text{m}$ 之间,分布基本集中,属泥质中的细粉砂和中粉砂。

可以看出,该钻孔岩芯粒度自下而上总体上呈现由细变粗的过程,其进一步补充说明了钻孔柱状图对岩性和岩相的分析,反映出了总体向上变浅的高水位沉积体系域(水退体系域)的沉积特征。对应的上、下两段泥层的沉积背景不同,上部泥层相对水浅,下部泥层相对水深,中部砂质层为较浅水高能条件。代表了从 $11.75 \sim 8.6\ \text{m}$ 地层粒度主要为极细粉砂和细粉砂,为一个旋回。从 $6.0 \sim 2.6\ \text{m}$ 地层粒度也由较细变细(从细粉砂层过渡到泥质层),为另一旋回。

可以看出,利用众数值分析,可以很清楚的看出整个钻孔岩芯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,也代表不同时期的地层。很容易将众多样品精细地划分到不同时期的地层中去,并可依据每一样品的各种曲线变化情况,精确的分析其沉积环境演化过程。

为了证实其可靠程度,我们将所有取样的钻孔都进行了众数值分析,发现其与沉积物类型之间对应性均很好,说明此方法是可行的。这就使得判定整个地区的沉积环境演化更简单易行。因此,众数值分析方法在研究沉积环境的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。

5 漳州第四纪沉积环境演化

根据以上沉积物粒度分析,结合地层地质年龄、孢粉分析以及硅藻分析结果,漳州地区第四纪以来的沉积环境变化(图 4)。

上更新统龙海组为冲积、冲洪积成因的黄褐色、灰黄色砾石、砂类、砂砾、中粗砂、中细砂等,下界与残积层呈角度不整合接触,时限约为 $50\ 000 \sim 60\ 000$ 年。

上更新统东山组发育冲积成因的灰色、黄灰色砂、砂砾、中粗砂、中细砂等。其下界与龙海组层序呈平行不整合接触,时限约为 $30\ 000 \sim 50\ 000$ 年。厚度较小,变化较大,遍布整个盆地。表明在龙海组的基础上,基准面已有所上升,为第二阶段的沉积,它与龙海组层序之间约间断 $10\ 400$ 年。由于侵蚀作用,使龙海组地层残存零星。东山组下部以冲积、洪积形成的含砾中粗砂,中细砂为主;东山组上部以冲积、海积形成的灰色含砾中粗砂,黑色淤泥夹砂砾,细砂为主。下部和中部分布较稳定,厚度变化较小,上部海积为主的沉积物主要分布在海湾部位,而河道部位认为是冲积砂粒沉积。

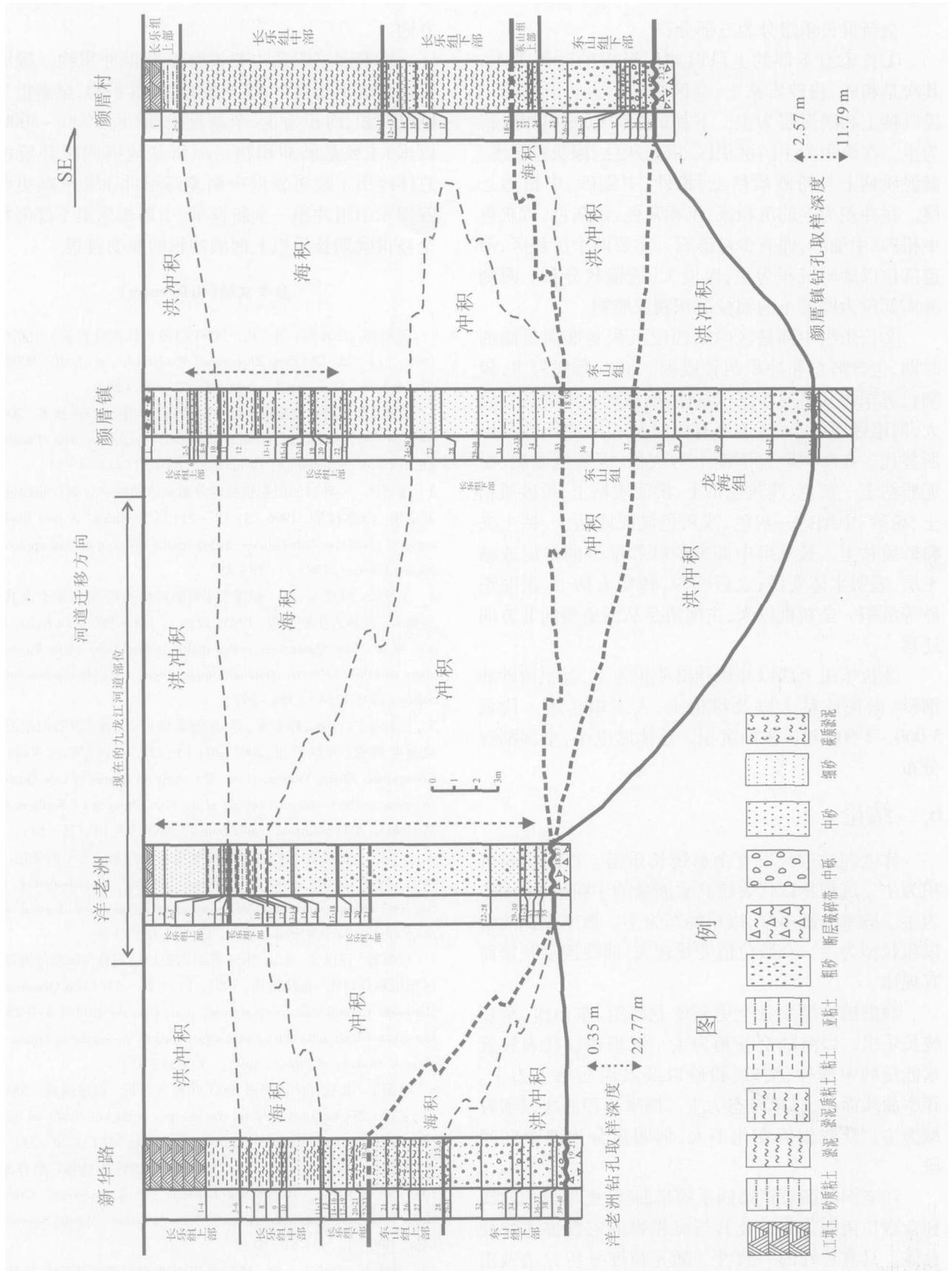


图 4 漳州市第四系沉积相和相变示意图

Fig 4 The distribution of the Quaternary sedimentary facies and changes in the Zhangzhou basin

全新世长乐组分为三部分:

长乐组下部的上段以冲积形成的砂砾为主,其次是粉砂、粉砂质粘土,全区相差不大。下部的中段以粘土和淤泥层为主。下部的下段以冲积和海积为主。在海积为主的沉积区,沉积灰色、深灰色淤泥、淤泥质粘土与粉砂质粘土、粉砂、中细砂、中粗砂互层。在冲积为主的沉积区,沉积灰色、浅灰色、黄灰色中粗砂、中细砂,偶有少量砾石。主要两个沉积区,河道部位以砂砾沉积为主,厚度大,透镜状分布。两侧海湾部位为厚度小的细粒沉积和泥质物。

长乐组中部是区内第四纪沉积基准面最高的时期,包含海积和冲积两种成因。但以海积为主,较细粒沉积物几乎遍布沉积盆地,明显地在海湾区厚度大,河道区厚度小,河道区有同时异相的冲积砂砾层所替代。在海湾区自下而上为灰色、深灰色淤泥、淤泥质粘土—灰色、浅灰色粘土、淤泥质粘土、粉砂质粘土、粉砂、中细砂—灰色、浅灰色淤泥质粘土、粘土夹粉砂质粘土。长乐组中部夹粉砂和细砂的淤泥或粘土层,表明水体变浅;之后变深,转变为粘土、淤泥粉砂等沉积。全新世以来,主河道是从颜厝镇向北方向迁移。

长乐组上部以冲积和洪冲积为主,沉积粉砂和细砂、淤泥或粘土以及耕植土、人工填土等。代表 3 000 ~ 3 500 年以来的沉积。总体厚度小,全区都有分布。

6 结论

洋老洲地层只发育全新统长乐组。以河流相沉积为主。沉积物以代表较高水能量的中粗砂、中细砂为主。频率曲线多样,以单峰态为主。概率累积曲线以粗粒型为主。众数位值变化较大,曲线摆动频繁而有规律。

颜厝镇地层发育上更新统龙海组、东山组,全新统长乐组。以海陆交互相为主。沉积物以代表较低水能量的中细砂、细砂、粉砂以及淤泥质粘土为主。频率曲线简单,以单峰态为主。概率累积曲线以细粒型为主。众数位值变化不大,但明显分为两个区间段。

洋老洲和颜厝镇第四系频率曲线、概率累积曲线和众数位值变化曲线及其与沉积物的宏观描述特征总体上具有较好的一致性。激光粒度分析方法做出的粒度众数曲线,能够较灵敏地反映沉积环境及其水动力条件的微细变化,可以作为辅助分析环境的重要

方面。

洋老洲第四系主要发育全新世冲积物。颜厝镇第四系晚更新世中、晚期发育冲、洪积物,全新世早期则以冲积、海积为主,全新世晚期(近 2000 ~ 3000 年以来)主要是洪冲积物。漳州盆地第四纪环境演化总体经历了晚更新世中期龙海组冲洪积—晚更新世晚期东山组冲积—全新世早、中期长乐组下部海积—全新世晚期长乐组上部洪冲积的演变过程。

参考文献 (References)

- 1 曾昭香, 吴元海, 等. JL - 9000 型激光粒度分析仪. 山东电子, 1998, (2): 25 ~ 26 [Zeng Zhaoxiang, Wu Yuanhi, et al. JL - 9000 laser size analyzer Shandong Lanzhi 1998, (2): 25 ~ 26]
- 2 曲政. 沉积物粒度数据表征方法的研究. 中国粉体技术, 2001, 7 (4): 24 ~ 31 [Qu Zheng. A study of taken on grain size data of sediment China Powder Science and Technology, 2001, 7(4): 24 ~ 31]
- 3 李雪铭. 一种新的沉积物粒度分布拟合曲线—对数双曲线分布及其应用. 海洋科学, 1996, 2: 19 ~ 21 [Li Xueming. A new likelihood curve of grain size distribution—loghyperbolic distribution and application. Marine Science, 1996, 2: 19 ~ 21]
- 4 王开发, 陆继军, 等. 福建沿岸晚第四纪孢粉、硅藻组合及其古环境意义. 微体古生物学报, 1995, 12 (4): 388 ~ 397 [Wan Kaifa, Lu Jijun, et al. Late Quaternary pollen-diatom assemblages along Fujian seashore and their paleoenvironmental implications. Cata Micropalaeontologica Sinica, 1995 12 (4): 388 ~ 397]
- 5 王开发, 支崇远, 郑玉龙, 等. 东海陆缘 (闽北段) 晚第四纪沉积的硅藻学研究. 沉积学报, 2002, 20 (1): 135 ~ 143 [Wang Kaifa, Zhi Chongyuan, Zheng Yulong, et al. The study on diatom of Late Quaternary sediment in the continental margin of the East China Sea (Northern Fujian Member). Acta Sedimentologica Sinica, 2002, 20(1): 135 ~ 143]
- 6 王绍鸿, 杨建明, 等. 福建沿岸晚更新世以来的海平面变化. 台湾海峡, 1994, 13 (2): 166 ~ 175 [Wang Shaohong, Yang Jianming, et al. Sea level changes since late Pleistocene along Fujian coast. Journal of Oceanography In Taiwan Strait, 1994, 13 (2): 166 ~ 175]
- 7 程乾盛, 许汉荣. 东山 ZK51 孔第四纪地层划分与闽南沿海部分地区地层划分对比. 福建地质, 1998, (1): 24 ~ 33 [Chen Qianshen, Xu Hanrong. Classification of Quaternary strata from the Drilled Well ZK51 in Dongshan Island and contrast with some strata in the southeast Fujian coastal area. Geology of Fujian, 1998, (1): 24 ~ 33]
- 8 唐丽玉. 福建深沪湾海滩 SSZ1 孔粒度分析. 福建地理, 2000, 15 (1): 20 ~ 23 [Tang Liyu. Grain size analysis of the core SSZ1 on beach of Shenhui Bay in Fujian. Fujian Geography, 2000, 15(1): 20 ~ 23]
- 9 黄建东, 洪华生. 厦门港湾悬浮物粒度特征初探. 海洋通报, 1995, 14 (6): 61 ~ 67 [Huang Jiandong, Hong Huasheng. Grain size characteristics of suspended matter in Xiamen harbor. Marine Science Bulletin, 1995, 14 (6): 61 ~ 67]
- 10 黄建东, 洪华生, 等. 厦门胡里山西侧海滩沉积物粒度特征分析. 台湾海峡, 1995, 14 (4): 348 ~ 355 [Huang Jiandong, Hong Huasheng, et al. Analysis of grain size characteristics in beach sediment of south

Xiamen Island Journal of Oceanography In Taiwan Strait, 1995, 14(4): 348 ~ 355]
 11 曹伯勋. 地貌学及第四纪地质学. 武汉:中国地质大学出版社, 2003. 1 ~ 288 [Cao Boxun. Geomorphology and Quaternary Geology. Wuhan: China University of Geosciences Press, 2003. 1 ~ 288]

12 徐馨, 何才华, 等. 第四纪环境研究方法. 贵阳:贵州科技出版社, 1992. 1 ~ 377 [Xu Xin, He Caihua, *et al* Research Methods of the Quaternary Environment. Guiyang: Guizhou Science and Technology Press, 1992. 1 ~ 377]

Grain-size Characteristics of Quaternary Sediments in Zhangzhou City, Fujian Province and Their Environmental Implication

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 On the basis of the grain size data from the samples of two bore holes in the Zhangzhou City, Fujian Province, and the stream channel facies belt and estuarine facies belt, the Quaternary sedimentary environment and its evolution are discussed in details. The grain size parameters of 91 sediment samples obtained from MS-2000 Laser Grain Size Analyzer have been illustrated in frequency curves, cumulative frequency curves on probability scale, and modal curves. 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 segment of the cumulative frequency curves on probability scale, so that modal curves have an important significance in explanation of hydrodynamic sorting. The four evolutionary stages during the Quaternary in the Zhangzhou basin are recognized as follows: 1) the alluvial facies and pluvial facies of the Longhai Formation during the middle Late Pleistocene; 2) the alluvial facies of the Dongshan Formation during the late Late Pleistocene; 3) the bay milieu or estuarine facies of lower part of the Changle Formation in the early and middle Holocene in age; 4) the alluvial facies and pluvial facies of upper part of the Changle Formation in the late Holocene in age.

Key words grain size analysis, sedimentary environment, Quaternary, Zhangzhou City, Fujian Province