

浅层地震技术在九江—黄梅长江冲积平原 第四纪研究中的应用^①

彭发芽¹, 谢振东¹, 冯昌和¹, 张虎生², 孙文才²

(1 江西省地质调查院, 江西南昌 330201)

(2 江西省地球物理勘察技术院, 江西新余 338000)

摘要 在九江—黄梅长江冲积平原第四纪研究中运用浅层地震技术, 于江西九江港口镇—湖北黄梅县新开镇段实测一条物探剖面, 经过对横波反射、瑞雷面波、横波折射、电测深等物探资料的分析, 结合区域地质、钻探记录进行综合研究, 确定了5个地震波组, 发现一组第四系断层, 划分了四个主要地震地质层(Ⅱ—Ⅳ), 为长江两岸第四纪沉积环境演化提供新材料。

关键词 浅层地震, 长江冲积平原, 第四纪, 九江市, 黄梅县

中图分类号: P535

文献标识码: A

浅层地震勘探是利用人工方法在地下激发地震波, 并从地面、钻井或坑道中接受来自地下地层或地质体界面的反射波, 从中获取地下地质信息。目前作为环境地质和工程地质勘察中的一项重要的技术手段^[1, 2], 被广泛地应用在第四系松散沉积物分层、探查隐伏断层、溶洞、土洞、和勘查滑坡体等方面^[3~8]。

根据浅层地震技术主要特点, 本次工作选择此方法对第四系地层进行研究, 研究区所在地段为长江冲积平原, 地形平坦, 江北属于湖北省黄梅县, 江南属于江西省九江市。第四纪大部分属于冲积成因, 少部分属于湖积成因, 岩性主要为粘土、粉质粘土、粉土、淤泥质粘土、粉细砂、砂砾石等。下伏地层主要为三叠纪灰岩和下第三系砂岩、砂砾岩。物探测量线(图1)南起九江市港口镇, 北至黄梅县新开镇, 南、北端点相距12 679 m, 中段长江江面2 344 m, 水域未布置工作, 实际测量长度11 243 m。

1 地震工作方法与技术

采用横波反射法采集数据。根据观测系统选择的一般原则, 排列长度宜小于或等于最大目的层埋深, 检波点距1~2 m, 接收道数24道, 偏移距1~4 m, 激发方式人工锤击, 覆盖次数2~3次。用于数据采集的地震仪为吉林大学(原长春科技大学)研制的SE4801型48道

① 收稿日期 2004-03-02

基金项目: 中国地质调查局环境地质与灾害预警项目“长江中游鄱阳湖及江西江段水患区环境地质调查评价(项目编号199916000114)”资助。

作者简介: 彭发芽(1969~), 男(汉族), 江西新干人, 工程师, 从事环境地质工作。

浅层地震仪。经过现场实验后,仪器采集参数如下:采样间隔 0.5 ms,记录长度 1 024 ms,前放增益 42 db,低切滤波 out,去假频滤波 500 Hz。面波测量工作参数:检波点距 1 ~ 2 m,偏移距:1 ~ 14 m,接收道数 12 ~ 24 道,激发方式:人工锤击。电测深:采用对称四极直流电阻率法施测了 10 个测深点,供电极距最大 $AB/2 = 860$ m。

2 横波反射法时间剖面解释

根据时间剖面面貌大致可分为三段:长江以南桩号 2028 ~ 4700 为第一段,桩号 4700 至长江边 6271 为第二段;江北桩号 8802 ~ 15802 为第三段。其中第一段时间剖面面貌变化较大,反映第四系及基岩情况均较复杂。江北时间剖面结构较江南清晰,也较为简单。

2.1 江北段(第三段)

对主要波组描述分析如下:

2.1.1 T4 波组

时间剖面上 400 ms 上下的一组强波贯穿全线,可视为标准波组,命名为 T4 波组。该波组能量强,连续性好。大部分地段其二次反射波清晰可辨,说明该反射界面上下地层波阻抗差十分显著。该波组绝大部分地段为两个强相位,说明反射界面基本上是一个岩性突变面,附近薄分层少。时间上看,除近长江边 8870 ~ 8970 段波组出现较晚(500 ms),北部 13900、14830 两处稍有起伏,波组出现较早(360 ms)外,大部分地段该波组出现时间均在 380 ms ~ 440 ms,按 $VS = 200$ m/s 换算为深度,界面埋深为 38 ~ 44 m,甚为平缓。本测线东面的已有钻孔资料^①,形成该波组的反射界面是细砂(或粉砂)层与砂砾石层分界面。

桩号 9370 ~ 9605 处,T4 波组多处相位错动,特别是桩号 9605 处,T4 波组错动非常明显,错动时间为 35 ms,换算为距离约 7 m。其它处如桩号 9370、9475、9553 等处波组亦有错断,此段测线位于机耕道上,地形变化小,从测线段记录初至波频率、速度分析,地形或是浅部因素的影响可以排除。据此解释为第四纪一组断层组反映,断层组在测线上的延续长度约 240 m,由多条断距 5 ~ 7 m 的小断层组成。图 2 显示了 9605 桩号处的断层。

2.1.2 T5 波组

T5 波组出现时间为 500 ~ 600 ms,沿测线强度变化很大。同相轴的连续长度一般小于 100 m。一些测线段,波组强度较大,同相轴较长。其它测段,波组强度一般较弱,连续性较差甚至不出现,这一现象与基岩面的平整程度有关。按波组出现的深度、波形周期和地层速度,估算菲涅耳带半径约十余米。因此,延续长度大于十几米的波组应是尺度大于波长的平界面反射波。波组未出现地段,基岩面可能起伏不平。T4 ~ 5 波组之间的地层岩性,可从本测线东面的已有钻孔资料分析,推测是砂砾石层,底部为基岩风化残积物。

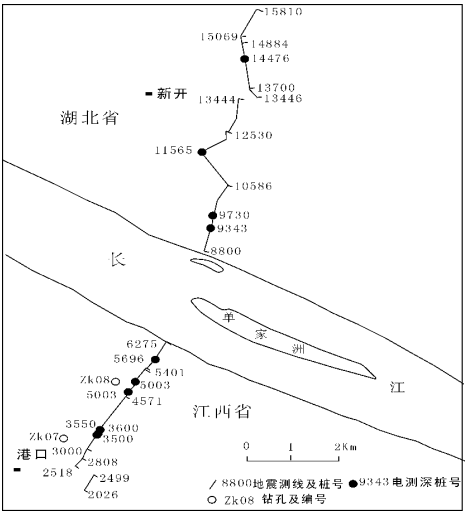


图 1 物探测线位置图

Fig.1 Locational map showing series of measuring line of geophysical prospect

① 1:20 万九江市幅区域水文地质调查报告,江西省地勘局水文地质调查大队,1981

2.1.3 T₁、T₂、T₃ 波组

这三个波组为 T₄ 波组之上的弱波。T₃ 波组出现时间为 300 ~ 350 ms, 部分地段振幅较大, 连续性较好。波组是以连续性不好的弱波形式出现。T₁、T₂ 波组为出现在时间小于 200 ms 时段的浅部波组。由于界面埋深浅, 部分区段可以识别, 大部分地段识别较困难。

2.2 江南北段(第二段)

江南北段(第二段)时间剖面上可见, T₄ 波组出现时间与江北大致相同, 为 380 ~ 430 ms, 波组能量强。而 5800

桩号以南, T₄ 波组常与后续反射波复合, 部分地段以多相位延续至 T₅ 波组。根据江南 ZK17 ~ ZK20 钻孔岩性^①和上述现象推测, 5800 桩号以北, T₄ ~ T₅ 之间的地层岩性与江北有相似处, 即以砂砾石层为主, 但垂向上粒度变化较大, 形成局部分层产生反射波。

4700 ~ 5800 段, T₄ 波组与 T₅ 波组间常有延续长度不等、强弱变化的波组位于其间。此现象说明, T₄、T₅ 波组间地层细分层增多, 且岩性变化较大。T₅ 波组出现时段为 500 ~ 560 ms, 也与江北大致相同。桩号 5160 ~ 5230、5420 ~ 5680、5800 以北至长江边, 波组强度大, 延续性较好。其中 5840 以北以较稳定的两相位形式出现, 此段基岩面可能较为平整。

江南北段(第二段)在整个测段, T₃ 波组可断续追踪, T₂ 波组对比性较差, T₁ 波组则仅在局部地段出现。结合钻孔岩性分析, 此段粘土、粉土在横向上的分布比较稳定。

2.3 江南南段(第一段)

江南南段(第一段)从桩号 4700 往南至南端点 2028。分述如下:

(1) 桩号 2028(南端点) ~ 2500 段 根据时间剖面上波组情况又可分为两段: 桩号 2028 ~ 2320 段, 剖面上 150 ms 处有一组强波, 按出现时间可将其划为 T₁ 波组。下部无强波组出现, T₅ 波组即基岩顶界面反射波组也难以准确识别。桩号 2300 ~ 2500 段, 300 ~ 350 ms、530 ~ 580 ms 两组波振幅稍强, 上部波组根据其出现时间划归为 T₄ 波组, 下部为 T₅ 波组(基岩顶面反射波)。T₁、T₄ 波组所对应地层界面根据邻区 ZK08 钻孔和地质图推测, 为湖积相淤泥土—砂土—砂砾土界面之一。且由于湖积相淤泥土对地震波有较强吸收, 以及地层呈渐变分层, 所以在时间剖面面貌不易形成强反射。

(2) 时间剖面上, 桩号 2528 ~ 2620 段, T₃ 波组有较大强度, T₅ 波组可断续追踪。2620 ~ 2723 桩号段, 这两组波仅隐约可辨。

(3) 桩号 2810 ~ 3630 此段水平状波组十分发育。位于初至区的 T₂ 波组, 以水平状短同相轴出现, 可在较长距离追踪, 这与其它段有所不同。T₃ ~ T₅ 波组多以强振幅、相位数多变、连续性中等的形式出现。除此之外, 在时间 650 ~ 700 ms 出现一组最大延续长度约 90 m

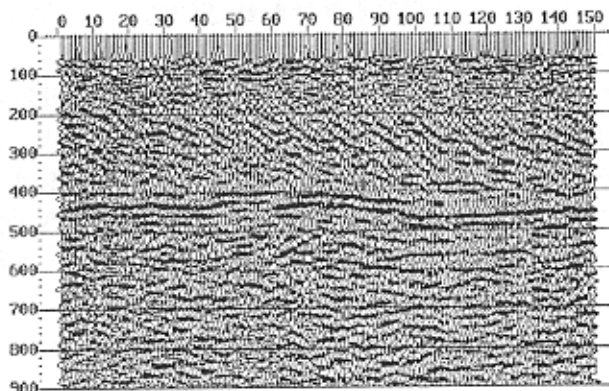


图2 9500 ~ 9650 桩号段时间剖面图

Fig. 2 Time profile map showing piles from No. 9500 to No. 9650

① 江西省九江市水文地质工程地质综合勘察报告, 江西省地勘局水文地质调查大队, 1986.

的较强波组、沿测线水平状断续延伸约 450 m ;在桩号 3390 ~ 3600 段 830 ~ 870 ms 出现一组多相位强波 相位数可多达 5 ~ 6 个 ,主频约 40 Hz ,连续长度达 210 m。此两个波组分别称为 T6、T7 波组。各波组地质属性与第二、三段有所不同。据测线以东的钻孔资料 ,此区块第四系除河湖相沉积物外 ,底部尚有厚度较大的残坡积物和冰积泥砾层。由于测线所在部位处在第三系断陷红盆的南东缘 ,地层变化较大 ,ZK07 钻孔资料不能外推至测线处。根据本次所做电测深结果 ,基岩电阻率约 $542\Omega \cdot m$,应为第三系砂砾岩。T5 波组为基岩顶面反射波 ,T4 解释为河湖相沉积层底界 ;上部 T1 ~ T3 为河湖积层内部反射。T7 为第三系底界不整合面反射波。此处需提及的是 ,T7 波组的频率约 40Hz ,第三系地震横波速度 1100 m/s 左右 ,由此算得的波长约 27 m ,较之第四系内波长大了许多 ,界面稍有不平仍可获得反射波。T6 波组解释为第三系内部界面反射波 ,T7 为灰岩顶面反射波。从 T2 ~ T4 波组的近水平状、中等延续长度的特征以及区域钻孔资料分析 ,第四纪晚更新世至全新世区内沉积环境尚属稳定。前期以河流相沉积为主 ,后期以湖相沉积为主。

(4)桩号 3600 ~ 4700 段 此段时间剖面上未见连续性好的强波组出现。T4、T5 波组仅隐约可见。T2 情况略好一些、因在初至区 ,连续性也不好。T3 与之类似。从地震施工条件看 ,除 4210 ~ 4350 一段位于棉田内 ,激发接收条件较差外 ,其余地段尚好。记录上未见强波组与地层结构有关 ,说明在第四纪晚更新世与南北两段处于不同地质环境。

3 面波资料解释

本次面波资料反映了浅部土层速度变化情况。面波测量点分布在测线不同位置。从各段面波资料情况比较 ,桩号 5200 以北曲线形态与 5200 以南有所差别 ,主要表现在波长 12 m 左右波速量值不同 ,北段波速较低 ,波长 12 m 处波速约 130 ~ 170 m/s。南段较高 ,波长 12 m 处波速约 200 ~ 250 m/s。此现象说明在 10 m 左右深度南段岩土层与北段有所不同。

4 横波折射资料解释

两个段上的扩展排列最大炮检距分别为 122 m 和 146 m。反射波资料反映地层界面较平坦 ,因此可根据单支时距曲线求取层速度和界面速度。两个点算得的结果见表 1。

表 1 折射波法解释结果表
Table 1 Interpretation of refraction ware

点号	第 1 层(粉土层)		第 2 层(砂层)		第 3 层(砂砾石层)		第 4 层(基岩)
	层底埋深 m	速度 m/s	层底埋深 m	速度 m/s	层底埋深 m	速度 m/s	
13058	4.8	133	12.0	170	41.3	200	1120
14404	7.4	144	12.8	162	50	220	1133

5 电测深资料解释

10 个电测深点江南 6 个 ,江北 4 个。桩号 3500、3550、3600 三个点各相距 50 m ,其它各点间距不等 ,约为 300 ~ 3000 m。测深曲线形态沿测线呈现有规律的变化 :桩号 3500、3550、3600 三点 ,曲线形态十分相近 ,视电阻率随极距增大而增加 ,可近似为 A 型曲线 ,细分则为四层 KH 型。AB/2 = 100 m 左右曲线即以近 45 度角上升 ,3550 桩号点反演计算结果见表 2 ,可见低阻层厚度基本反映第四系厚度 ,桩号 4720 与 5003 点相距近 300 m ,曲线形态也较

相似,为 5 层 HKH 型。5003 桩号点反演计算结果显示第四系下伏基岩具低阻电性,应为钙泥质胶结的下第三系细砂岩。5696 桩号点曲线的中后段与前两点曲线中、后段形态相比,类型相近,但尾支上升较慢,反映低阻红层向北加厚的趋势。

江北四个点中 9394 桩号和 11565 桩号 $AB/2_{\max}=460\text{ m}$,9394 桩号曲线尾段近似平直,而 11565 桩号曲线尾支呈下降形态,与江南测点比较可知,基岩低阻红层厚度更大。以 $AB/2_{\max}=860\text{ m}$ 极距测了 9730 和 14476 两个测点,9730 桩号点曲线尾支开始有上扬趋势,而 14476 桩号点尾支仍呈低阻,趋势不明。这两个点的反演结果见表 2。从曲线形态及反演结果看出,低阻红层向北加厚的趋势至少延伸到了测线北端点。

表 2 电测深点反演结果
Table 2 Inversion of electrical sounding points

	3550		5003		9730		14476	
	层电阻率 ($\Omega\cdot\text{m}$)	层底深度 (m)	层电阻率 ($\Omega\cdot\text{m}$)	层底深度 (m)	层电阻率 ($\Omega\cdot\text{m}$)	层底深度 (m)	层电阻率 ($\Omega\cdot\text{m}$)	层底深度 (m)
1	20	3	22.1	1.2	56.9	0.5	29	0.3
2	40	37.7	19.2	10.6	22.2	4.7	40	2.0
3	35.8	57.7	46.6	52.3	33.5	29	17	5
4	541.8		26.9	180.5	21.3	95	41	56
5			476.4		36.8	926	15.9	398
6					403		17	

测点 3550 和 5003 曲线尾支趋势明显,加之地层较平坦,反演结果与地震资料吻合较好。9730 和 14476 桩号,受最大供电极距所限,曲线尾支不全,反演计算有多解性。特别是深层结果只有参考意义。当基岩(红层)电阻率与第四系电阻率差异不大时,根据电测深资料解释第四系厚度有困难。

6 物探综合地质解释结论

根据横波反射法资料,参考瑞雷面波、横波折射、电测深资料和区内的区域地质、钻探资料,对该物探剖面进行综合解释(图 3)。

根据反射波组和横波波速划分了四套主要地层(地震地质层Ⅱ~层Ⅳ),与前述反射波组划分方式对应:将 T1 波组以上地层称为层Ⅰ,T1 与 T2 波组所夹地层称为层Ⅱ,依此类推。基岩为层Ⅴ;三个主要地层界线:层Ⅱ/层Ⅲ、层Ⅲ/层Ⅳ、层Ⅳ和基岩面;一组断裂。

6.1 第四系底板(基岩顶界面)

第四系底板局部呈波状起伏,但总体看埋深变化较小。最浅处在桩号 2900,为 40 m,最深处在桩号 8900 和 9700 处,约 60 m。基岩横波速度约 900~1250 m/s,桩号 4700 以北大部分地段基岩上覆地层可能是砂卵砾石层,主要从部分钻孔资料推测,电测深资料反映下部有一电阻率较高层位也可作为依据之一。4700 桩号以南,基岩上覆地层岩性变化较大,如 3500 桩号附近,从 T5 波组特征和电测深点基岩电性层之上有一低阻层分析,上覆地层可能不是砂砾层。从 1/5 万地质资料和本次沿测线不同地段的电测深资料看,基岩应为第三系红层。从基岩电阻率分布规律看,电阻率从南往北有渐次降低趋势,推测该地段第三系红层呈一向北倾斜的单斜层。

6.2 第四系底层(层Ⅳ)

第四系底层指 T4 和 T5 波组之间所夹地层,其顶界根据 T4 波组划定。由于 T4 波组的

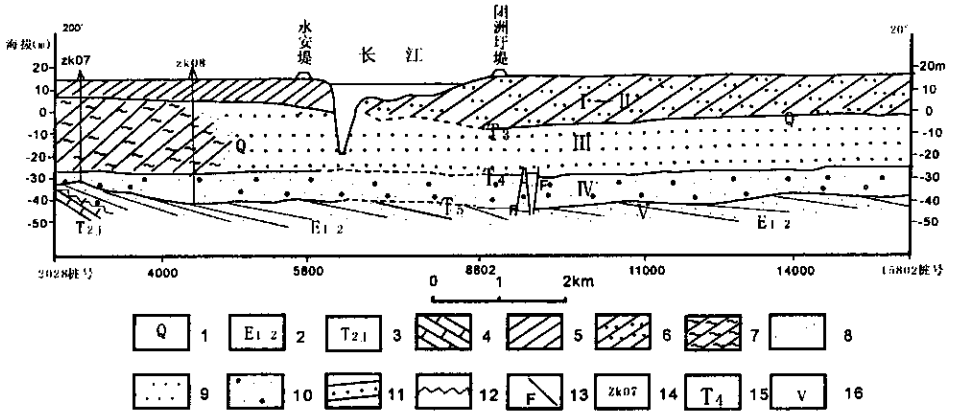


图3 九江市港口镇—黄梅县新开镇浅层地震勘探线综合解释剖面

Fig.3 Profile of shallow seismic explorational line from Gangkou town of Jiujiang city to Xinkai town of Huangmei county

1-第四系 2-下第三系 3-上三叠系嘉陵江组 4-灰岩 5-粘土 6-粉质粘土、粉土 7-淤泥质粘土 8-相变线；

9-中、细砂 10-砂砾石 11-细、粉砂岩 12-不整合 13-断层 14-钻孔 15-浅震反射波组 16-地震地质层

强振幅、大范围连续性特征，此界面准确程度很高。4700 桩号以北，此层顶面埋深变化很小，埋深在 30~36 m 内变化。此层岩性主要为砂卵石。该层顶界的埋深或标高特征提供了一个重要信息，即此层顶部及上覆地层沉积时，水动力条件已较弱，形成了大范围的近水平层沉积，且其近水平状形态保持至今。从这一情况推测古长江在这一带迂回改道应是比较自然的。需要提及的是，4700 桩号距现在的江南岸 1.4 km。古长江是否曾经在此间流过，而不仅仅是自北向南逐步改道成现状？或许应进一步研究。

6.3 第四系中部地层(层Ⅲ)

层Ⅲ指 T3 与 T4 波组所夹地层，由 T3 波组划出其顶界。此层的划分主要是从便于描述考虑，以波组的出现时间为划分参照，测线不同位置处的 T3 波组，不完全代表同一地质层位。此层顶界埋深变化较大，为 12~22 m 不等。T3 波组振幅、相位数不稳定，连续性也不太好，应与此层岩性横向变化较大有关，电测深资料反映这一深度上不同测点电性变化也较大，不能在横向上划分出一个稳定电性层。从横波速度分布情况及区域钻探资料，显示此层分布有从粘土至砂砾石各种粒级成分地层，而大部分为中细粒岩土层。4700 桩号仍将测线分为南北两个区，北区以河流相沉积为主，南区兼有湖相沉积，两者之间存在相变。

6.4 第四系上部地层(层Ⅰ和层Ⅱ)

层Ⅰ和层Ⅱ的称谓主要从描述方便考虑。由于 T1、T2 波组位于初至区附近，如地表条件变化导致面波发育，T1、T2 波组便被掩盖，因而此两套波组时隐时现，很不稳定。故此，对层Ⅰ层Ⅱ未作区分。层Ⅰ即地表出露地层，从工作区大部分地段可见其为粉土、粉质粘土或粉砂质粘土。层Ⅱ岩性可从记录初至波和反射波频率、波速得到部分信息，此层横波速度在 100~150 m/s 范围，主要为松散状细粒土。

6.5 第四系断层

在 9370~9605 桩号划分了一组断层，主要依据是 T4、T5 波组的同相轴错动。1/5 万九江市幅地质图说明书中描述了该地区有多条第四系断裂，遥感资料也显示断层存在^[9]，但本次仅此一条测线取得上述资料，有关断层的走向及其它一些问题，留待今后研究。

本文所用资料为长江中游鄱阳湖及江西江段水患区环境地质调查评价项目成果,系集体劳动成果。

参考文献

- [1] 张咸恭,王思敬,张倬元,等.中国工程地质学[M].北京:科学出版社,2000.
- [2] 刘传正.地质灾害勘查指南[M].北京:地质出版社,2000.
- [3] 王振东.浅层地震勘探应用技术[M].北京:地质出版社,1988.
- [4] 杨进,武伟.地球物理方法在地质灾害勘查中的应用[J].物探与化探,2003,27(5):333-337.
- [5] 王光权.浅层地震反射波法在厦门海沧大桥勘测中的应用[J].物探与化探,1999,2(2):122-127.
- [6] 张殿成.工程物探在某住宅小区规划中的应用效果[J].水文地质工程地质,2001,128(1):59-62.
- [7] 张虎生,张位孙.物探方法在地质灾害中的应用[J].中国地质灾害与防治学报,2003,14(3):121-124.
- [8] 刘崧.物探方法在研究三峡库区滑坡中的应用前景[J].地质科技情报,1994,13(3):81-88.
- [9] 贾伟,杨建国.矿床、同步偶合断层与惯量差假说[J].江西地质,1998,12(3):1-5.

Application of seismic exploration technique to Quaternary study of Changjiang alluvial plain from Jiujiang city to Huangmei county

PENG Fa-ya¹, XIE Zheng-dong¹, FENG Chang-he¹, ZHANG Hu-sheng², SUN wen-cai²

(1 Institute of Geological Survey of Jingxi Province, Nanchang 330201, China)

(2 Geophysical Investigation Technical Institute of Jiangxi Province, Xinyu 338000, China)

Abstract

A geophysical prospecting profile was measured from Jiujiang city of Jiangxi province to Xinkai town in Huangmei county of HuBei province based on seismic exploration in Quaternary study of Changjing alluvial plain in Jiujiang region. By synthetic study of combining shear wave reflect Rayleigh wave, shear wave refract and electrical sounding with regional geology and borehole records, the author ensured five seismic waves, discovered a Quaternary fault and divided into four main seismic geological strata(II-IV). On this basis, some new data were supplied to study of Quaternary sedimentary environment evolution in future.

Key words: shallow seismic exploration; Changjiang alluvial plain; Quaternary; Jiujiang city; Huangmei county