

文章编号: 1006-6616 (2017) 02-0206-08

物探方法在强风化区填图中的应用探索

陈松¹, 陈长敬¹, 吴俊¹, 刘恋², 卜建军¹

(1. 中国地质调查局武汉地质调查中心, 湖北 武汉 430205;

2. 安徽省勘查技术院, 安徽 合肥 230031)

摘要: 华南强风化区覆盖较厚, 露头少, 植被发育, 通行困难, 利用传统的地质填图方法很难有效查明风化覆盖层及其下伏地层、岩石、构造、矿产等地质特征。笔者利用浅层地震、高密度电法、EH4 电磁成像等综合物探方法, 对风化层厚度、基岩的岩性和产状、隐伏断裂等进行探测试验。通过对 3 种方法所得数据的分析和野外验证结果, 了解了 3 种物探方法的有效性和适用性, 初步总结了在强风化区填图运用多种物探手段填图的方法。

关键词: 浅层地震; 高密度电法; EH4 电磁成像; 强风化区; 填图

中图分类号: P631

文献标识码: A

0 引言

地质填图使用的方法有跑路线、地质取样、化学分析及镜下分析等, 通过这些手段来对地质填图单元或岩性进行分界。在强风化区, 覆盖厚, 露头少, 路线难穿越, 岩性难识别, 界线难圈定, 精度难保障。如何选用合理的物探方法, 用于强风化区地质填图, 有效地推断下伏岩石类型和地质界线, 是地质调查工作亟待解决的问题。

高密度电法采集的数据点密集、观测精度高、速度快、异常明显, 在解决浅覆盖区问题上工作效率高, 效果明显^[1-7]。浅层地震在解决基础地质、环境地质、水文地质、工程地质方面具有明显的优势, 分辨率高、反映的地质问题直观、成果可靠, 能清晰的推断出覆盖区厚度、隐伏断裂的发育^[8-10]。而 EH4 音频大地电磁测深可以弥补浅层地震法和高密度电法探测深度不足的缺陷。本文结合这 3 种方法的技术优势, 从浅覆盖区由浅到深结合地表出露的地质信息达到快速划分不同岩性界面的目的, 准确和快速确定覆盖层厚度、基岩起伏形态、断裂位置、岩性接触带和接触

关系。

1 测区地质地球物理特征

1.1 覆盖区地质条件

测区出露地层由下到上分别为南华纪大绀山组 Nh_1d 、石炭纪石蹬子组 C_1s 、白垩纪罗定组二段 K_1l^2 和三丫江组 $K_{1-2}sy$, 以及少量的第四纪冲积层 Qh^{al} , 发育东西向、北东向的断裂, 向南为白垩纪盆地边缘, 有推覆构造运动。各地层单元岩性如下:

第四系: 分布于山沟和河流两岸, 主要由黄褐、土黄、棕红色砂砾、含土砂砾、砂层、粘土、腐植土等组成。堆积物松散未固结, 地表多为农田耕地, 种植有农作物, 为冲积成因。

三丫江组 $K_{1-2}sy$: 紫红色厚层—块状火山质砾岩、砾岩、含砾砂岩、砂岩、凝灰质砂岩、凝灰岩、钙质粉砂岩、泥质粉砂岩、泥岩等, 属凝灰岩—凝灰质砂岩—砂页岩建造。火山质砾岩、砾岩中砾石成分主要为火山岩, 与下伏罗定组呈角度不整合接触。

罗定组二段 K_1l^2 : 主要岩性为紫红色细砂岩、粉砂岩、粉砂质泥岩及钙质粉砂岩, 属砂岩—泥

收稿日期: 2016-09-25

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目“特殊地质地貌区填图试点”(DD20160060); “广东 1:5 万筋竹圩、连滩镇、泗纶圩、罗定县幅强烈风化区填图试点”(12120114005901); “珠三角阳江-珠海地区海岸带 1:5 万填图试点”(DD20160064)

作者简介: 陈松 (1985-), 男, 安徽淮南人, 工程师, 硕士, 主要从事地球物理勘察与研究。E-mail: anhuisongchen@163.com

通讯作者: 卜建军 (1972-), 男, 高级工程师, 主要从事区域地质和地层古生物方面的研究工作。E-mail: jianjunbu@cug.edu.cn

岩建造。

石蹬子组 C_1s : 主要岩性为中—厚层状深灰黑灰色生物碎屑粉晶泥晶灰岩夹白云质灰岩、白云岩、灰色薄层状、中厚层状含燧石粉晶灰岩,局部夹炭质泥质页岩、钙质砂岩以及不规则透镜状深灰色砾屑灰岩,属生物碎屑灰岩建造组合,与下伏连县组呈整合接触。

大绉山组 Nh_1d : 底部为灰白色砾岩;下部以富含灰黑色条带状绢云千枚岩夹火山岩、黄铁矿层及灰岩透镜体、硅质岩为特征;中部为石英岩、云母石英片岩、石英云母片岩组成的韵律层,其顶部夹含磷白云岩透镜体;上部由轻微变质长石英砂岩与页岩组成,其顶部见灰岩透镜体或钙质粉砂岩。

不同的地层和岩性差异给地震和高密度、音频大地电磁测深的解释提供了物性基础。

1.2 覆盖区物性特征

测区内表层发育的为粘土层,一般情况下粘土层具有较低的电阻率、较小的波阻抗,而工区内的围岩或下覆基岩多为砂岩、粉砂岩,其具有较高的电阻率、较大的波阻抗。当地层分层或者地层发生错动时,会导致界面的反射波相位发生变化,反射波同相轴错断或扭曲,相位数目变化出现杂乱反射现象。当下覆基岩发育有破碎带或构造带时,因为破碎带充水,其电阻率会明显降低。不同的岩石电阻率有一定范围,可以根据电阻率值的范围来确定地下岩性的分布状态。通过收集资料及现场实验测试,工区内覆盖层的电阻率集中在 $300 \sim 1000 \Omega \cdot m$,围岩的电阻率集中在 $1000 \sim 5000 \Omega \cdot m$,因此具有较大的物性差异。可见区内具有开展地球物理工作的前提条件。

2 物探工作方法选择

为了查明测区内浅覆盖区分布情况,尤其是推断出研究区内浅覆盖条件下地层的分布、岩性组成、产状、岩体埋深和延伸、隐伏断裂的走向、规模、性质等,揭示深部地质构造和区域地质构造的基本形态,从而实现在浅覆盖地区的综合地质填图的目的,设计在该地区开展浅层地震反射法、高密度电法和音频大地电磁测深工作。

2.1 浅震反射波法

地震反射波法是通过反射界面反射回来的波场信息,研究解决地下目标体的产状、构造,间

接解释岩性等问题。一般单次激发可以得到浅到十几米,深到上公里以内的反射波。所以在大多数地区能够测定整个沉积剖面的地质构造。地震勘查可以根据所研究地质体的埋藏深度分为浅层地震勘查、中深层地震勘查和深部地震勘查^[11]。浅层地震勘查主要解决水文工程地质、灾害地质等问题。本次勘查根据目标层多数在 100 m 以内,属于浅层地震勘查。

浅震叠加剖面为连续 CDP (共中心点地震道集动校正后的叠加) 的插值反应,通过同相轴 (同相位波峰或波谷的连线) 的形态可以反应地层的连续情况,第一条同相轴通常认为是覆盖层与岩体的反射,反射相位的连续或错断对应地层的发育或错断。根据测区内施工条件,本文勘探采取人工锤击激发震源。基本采集参数如下: 6 次覆盖观测系统,采样间隔 0.5 ms, 24 道接收,道间距 5 m,炮间距 10 m,偏移距 20 m, CDP 间距 2.5 m (见图 1)。

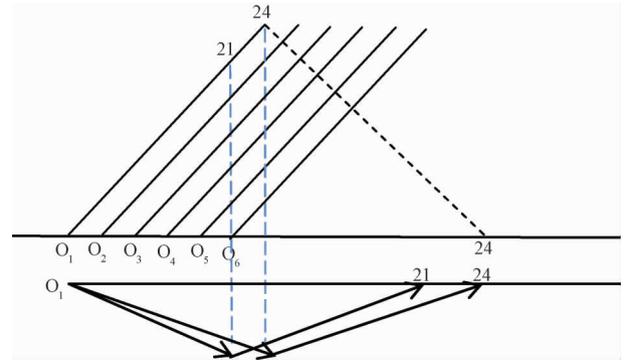


图 1 六次覆盖观测系统示意图

Fig. 1 The sketch of six covering observation system

本次浅震数据处理分为真值恢复,一维频谱分析,一维滤波,反褶积,速度分析,高精度动校正与叠加,叠后滤波,偏移归位,人机交互解释几个步骤。其中真值恢复为消除大地滤波作用和球面扩散影响,使反射波恢复真实能量,一维频谱分析为获取有效信号频带,一维滤波为消除与有效波存在频率差异的干扰波,获得真实的信号数据,高精度动校正与叠加为消除正常时差影响,获取时间剖面,叠后滤波为进一步提高记录信噪比,偏移归位为使反射波正确归位,提高横向分辨率,人机交互解释为对偏移归位时间剖面进行地质综合解释,并进行时深转换和获取深度成果剖面。

2.2 高密度电法

高密度电法工作原理与常规直流电阻率法相同,兼具测深法和剖面法的工作特点,以介质的

电性差异为基础,通过观测人工供电电场下电流的分布规律来研究目标体电性特征,是一种阵列勘探方法^[12-14]。在野外采集数据时,一条测线通常一次性布设完多个电极,高密度主机可以自动实现剖面中不同电极间距、不同电极排列方式的数据快速采集存储。高密度电法的采集数据密度大、点距小、施工方便、工作效率高,能直观获得地下目标体的电性异常分布,可以获得较丰富的地质体的电性特征信息,提高了解释准确性。高密度电法的电阻率断面图为反演的电阻率值随空间位置的分布图,分布图中从左向右为测线的布设方向,从上到下为深度方向,红色表示相对高阻值,蓝色表示相对低阻值,色标渐变或突变的区域即为电阻率值变化的区域,因此通过观察色标的变化来解释地层或岩体电阻率值的变化,进而说明岩性的变化。通常情况下,由于纵向上覆盖层与岩体的电阻率值差别较大,而横向上岩性电阻率值渐变较小,断面图反应出的是电阻率值纵向变化较为明显,横向变化较为缓慢。高密

度电法的装置类型比较多,其中温纳装置因其抗干扰能力强、数据采集稳定快速,对地下介质垂向电性结构变化敏感而深受欢迎(见图2)。

高密度电法的测量过程沿着测线通过一定规律变换电极间距,采用保持各个电极固定的一种排列顺序,逐点观测测量电位差 ΔU_{mn} 、供电电流 I ,视电阻率 ρ_s 可以表示为:

$$\rho_s = K \frac{\Delta V}{I} \quad (1)$$

$$K = \frac{2\pi}{\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN}} \quad (2)$$

上式中, ρ_s 为视电阻率, $\Omega \cdot m$; ΔV 为观测的电位差,V; I 为供电电流,A; K 为装置系数。

本此实验使用的高密度电法仪为美国AGI生产的SuperStingR8/IP,该仪器具有八通道模式,与传统的单通道仪器最大的不同点就是,在每一次供电的时候,AGI SuperStingR8都可以同时在八道上测量电位差,比单通道仪器野外数据采集快很多倍(约为8倍),大大减少了测量时间。

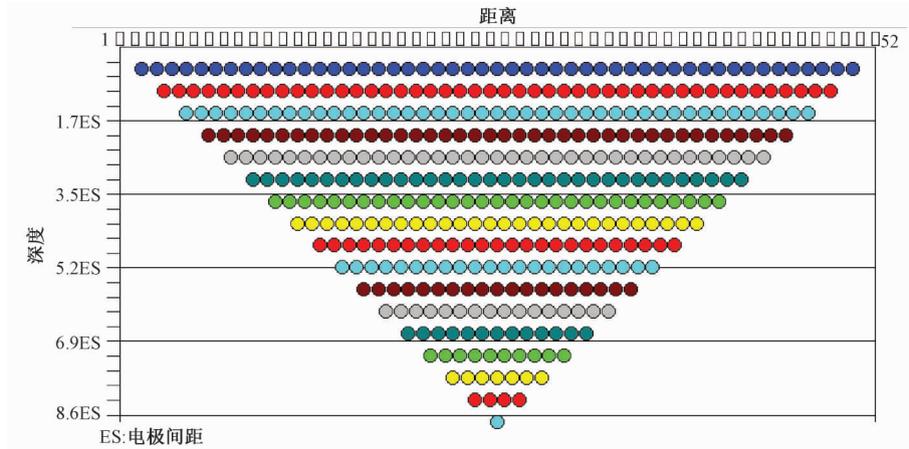


图2 温纳装置测量原理示意图

Fig. 2 The sketch of measuring principle of wenner device

高密度野外采集的数据记录的是包含大地和外界干扰影响的原始数据,并且同观测系统参数及地面起伏有关,为了获得可用于地质解释的真实反映地层特性的成果剖面,需要进行相关的数据预处理和反演。本次工作采用EarthImager 2D二维反演软件对实测视电阻率进行了数据预处理和反演。

2.3 EH4 音频大地电磁测深法

EH4 电磁成像系统是通过测区一系列频段的磁场和电场波动的测量来获得地表的电阻抗,利用音频大地电磁场作为场源来测定地下目标体

的电性参数,并通过研究地电断面的变化来了解地质构造的一种勘探方法^[15-20]。EH4 结合了天然场与人工信号,具有分辨率高、勘探深度大、野外施工方便等特点。当电磁场以波的形式在地下传播时,根据趋肤效应,频率的电磁波具有不同的穿透深度及作用范围,不同频率的电磁波信号差异反映了地层纵、横向的电性差异,从而达到测深的目的。不同频率的电磁波具有反应不同穿透深度和影响范围的特征,低频信号可以反应深层地层的的信息,高频信号反映浅部地层的的信息。

本方法不受高阻层屏蔽影响,通过单点电阻

率曲线和电阻率—深度剖面图,可以清楚地反映地下介质电阻率变化情况。

电磁波的趋肤深度可以表示为:

$$\delta = 503 \sqrt{\rho/f} \quad (3)$$

式中, ρ 为电阻率, $\Omega \cdot m$; f 为频率, Hz。

EH4 的勘探深度定义为:

$$h = 356 \sqrt{\rho/f} \quad (4)$$

根据 EH4 的系统配置,低频率配置 0.1 ~ 1000 Hz 的勘探深度在 100 m 到 2000 m,高频率配置在 10 ~ 100000 Hz 的勘探深度为几十米到 1000 m。本次 EH4 数据采集工作采用 40 m 点距进行点测, X 方向电极和 Y 方向电极垂直布置,电极距离采用 20 m,磁棒布置在垂直的两个方向上,埋入地下至少 5 cm 深。

EH4 音频大地电磁数据处理包括数据预处理,曲线校正和地形校正,数据反演,资料解释。野外采集的时间序列数据进行预处理后,在现场进行快速傅里叶变换 (FFT),获得电场和磁场虚实分量和相位数据。对预处理的数据进行一维 Bostic 反演,在一维反演的基础上,利用 EH4 系统自带的二维成像软件进行快速自动二维电磁成像,获得地下二维电性特征分布。EH4 的资料解释应根据初步建立的地质—地球物理模型,对全测区 AMT 测深曲线类型进行分析、对比,总结相同类型曲线分布特征,了解构造分区地电规律。通过类比法和模型对比法进行定性解释,同时定量解释要尽可能利用测区内收集的地质资料、岩石物

性参数以及其他物探方法资料作为约束条件和先验控制信息,并利用定性解释的分析结论或认识建立反演初始模型,从而减少定量反演的多解性问题。

3 方法实验和资料分析

本次物探方法实验选择了 2 条剖面,为了尽量减少物探数据的多解性,了解各方法的有效性,选取在 2 条剖面上,同时采用浅层地震、高密度电法和 EH4 联合实验的方法。受方法观测系统、数据采集方式及地形影响,三种方法的测线起点位置相同,终点位置有差异,测线长度不等。

3.1 1 号剖面线实验和资料分析

1 号线浅震测线长度为 645 m,高密度测线长度为 790 m,EH4 采取点测方式,长度为 2000 m。剖面通过的地层主要为强风化的石蹬子组和三丫江组。

分析 1 线浅震剖面同相轴形态特征 (见图 3),曲线形态基本上都存在两组反射波同相轴 (能量相对较弱):第一组反射波同相轴对应强风化岩层底板,反射波同相轴基本由两个相位构成,相位数目变化不大;第二组反射波同相轴对应于基岩中风化层底板,根据综合剖面分析,地层风化较严重,表层裸露的粘土层厚度在 0.5 ~ 10 m 之间,在测线 300 ~ 350 m 段,存在反射波同相轴杂乱、相位变大的区域,推断该区域发育的可能是断层破碎带,定义编号为 F1。

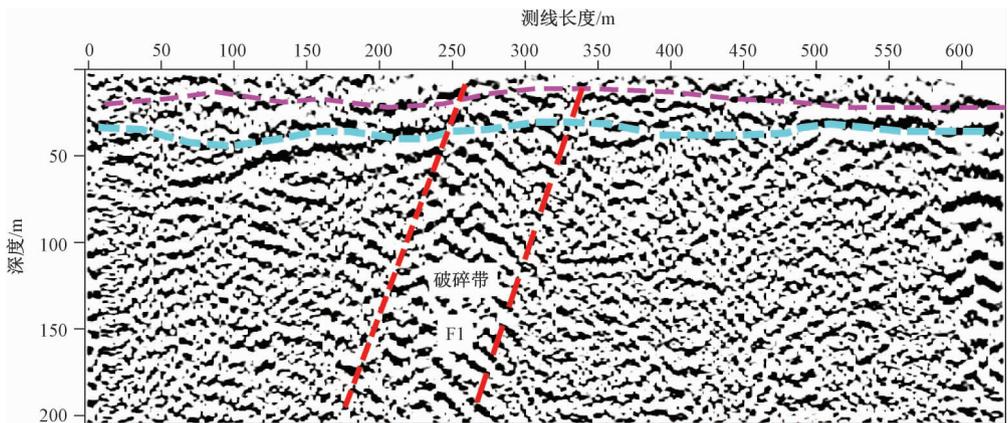


图 3 1 线地震反射波法叠加剖面图

Fig. 3 The stacked profile of seismic reflection wave method in line 1

高密度电法仪装置选择上有偶极—偶极装置、斯伦贝谢装置、温纳装置、测深装置以及单极—偶极装置等。根据实地实验,选择纵向分辨率较

高分层较好的温纳装置,电极距选为 10 m,布置了 80 道。采集得到的数据利用 EarthImage 2D 软件处理,通过最小电压、最小电阻和最大重复误差

来踢出噪音信号，正演方法采用有限元方法，近似求解方法采用 cholesky 分解，边界条件选择 Dirichlet 方法，反演算法采用阻尼最小二乘方法，经过 10 次迭代，得到反演结果见图 4。根据高密度反演断面及相关资料，认为全风化电阻率值为 $100 \sim 700 \Omega \cdot m$ 、强风化基岩电阻率值为 $700 \sim$

$1500 \Omega \cdot m$ 、中风化基岩及微风化基岩电阻率值大于 $1500 \Omega \cdot m$ 来划分层位，其中全风化地层厚度小于 $10 m$ 。测线小桩号多为低电阻率值岩性，大桩号方向出现高电阻率值的岩性，在测线 $300 m$ 往大桩号方向，电阻率的突变区域，说明存在构造带或者地层的变化。

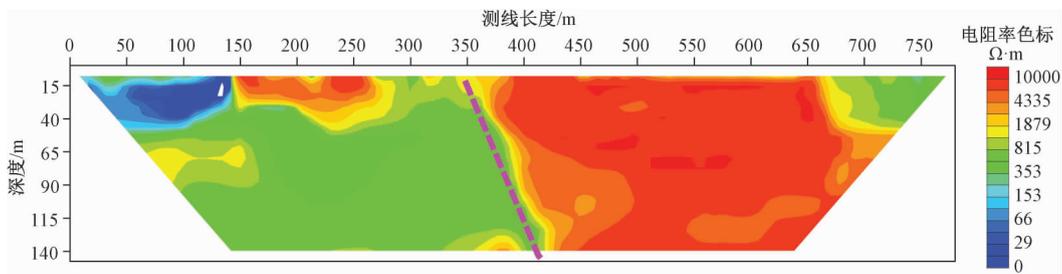


图 4 1 线高密度电法电阻率反演断面图

Fig. 4 Inversion section of high density resistivity in line 1

1 线音频大地电磁测深电阻率断面图（见图 5），测深深度约 $550 m$ ，受地表低电阻率覆盖层的影响，整条剖面电阻率偏低。分析认为，电阻率小于 $100 \Omega \cdot m$ 的为风化基岩，大于 $100 \Omega \cdot m$ 的为基岩，剖面电阻率分布符合地层的分布规律。根据电阻率分布格局，圈定 3 处低阻异常区，分别为 1

号、2 号和 3 号低阻异常，电阻率范围 $0 \sim 100 \Omega \cdot m$ ，其中 1 号和 2 号异常呈带状近直立分布，3 号异常呈层状分布，是风化层或断裂构造发育的异常区。结合区域地质资料分析，剖面上存在 1 条较大的断裂构造带，编号为 F1 断裂，电阻率范围 $0 \sim 100 \Omega \cdot m$ ，呈相对的低阻异常，断裂构造总体南倾。

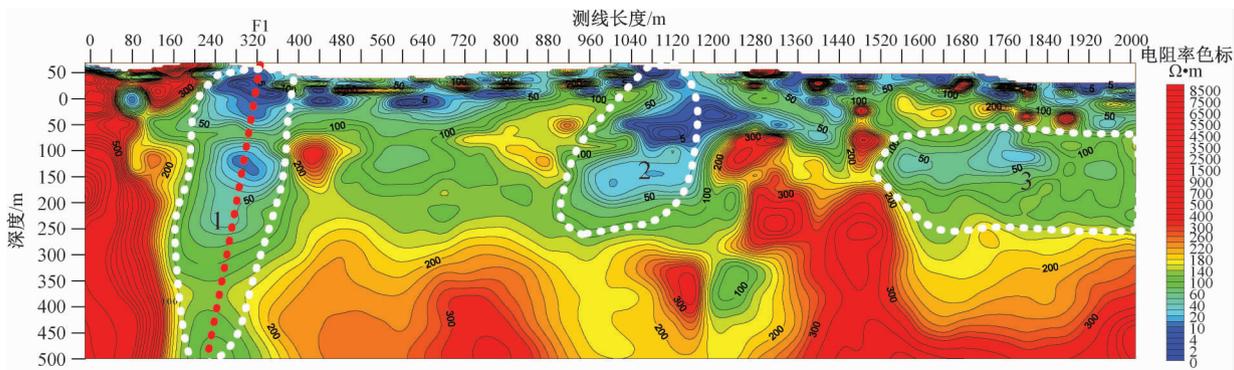


图 5 1 线 EH4 反演断面图

Fig. 5 Inversion section of EH4 in line 1

综合 1 线浅震、高密度电法和 EH4 资料分析可知，1 线 $300 \sim 350 m$ 段均可见异常带，推断为构造破碎带发育，三种方法可以互相印证。

3.2 2 号剖面线实验和资料分析

2 号线为了避开障碍物，浅震测线长 $703 m$ ，高密度测线长为 $790 m$ ，EH4 采取点测方式，长度为 $2000 m$ 。主要通过三丫江组、罗定组二段两套地层。

2 号线浅震剖面见图 6 所示，基本上呈现出两组反射波同相轴，同相轴较为连续，无明显歼灭、错断或扭转现象：第一组反射波同相轴对应强风

化岩层底板，反射波同相轴基本由两个相位构成，相位数目变化不大；第二组反射波同相轴对应于基岩中风化层底板，测区下覆盖层总体埋深在 $6 m$ 左右，厚度有随测线方向增加的趋势。

根据高密度电法所得的电阻率断面图（见图 7）及相关资料，分析认为全风化层电阻率值 $5 \sim 80 \Omega \cdot m$ 、强风化基岩电阻率值为 $80 \sim 270 \Omega \cdot m$ 、中风化基岩电阻率值为 $270 \sim 450 \Omega \cdot m$ 和微风化基岩电阻率大于 $450 \Omega \cdot m$ 来划分层位，覆盖层厚度小于 $10 m$ 。在测线 $320 m$ 、 $640 m$ 处存在电阻率突变区域，推断该区发育有构造破碎带。

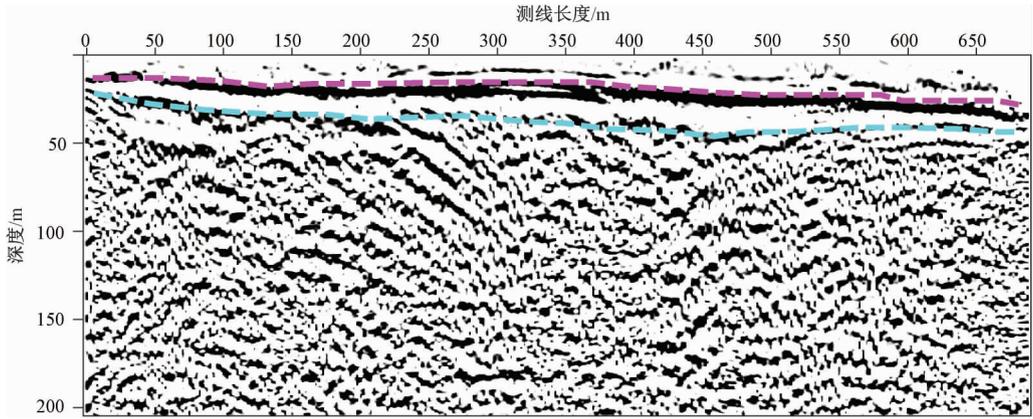


图 6 2 线地震反射波法叠加剖面图

Fig. 6 The stacked profile of seismic reflection wave method in line 2

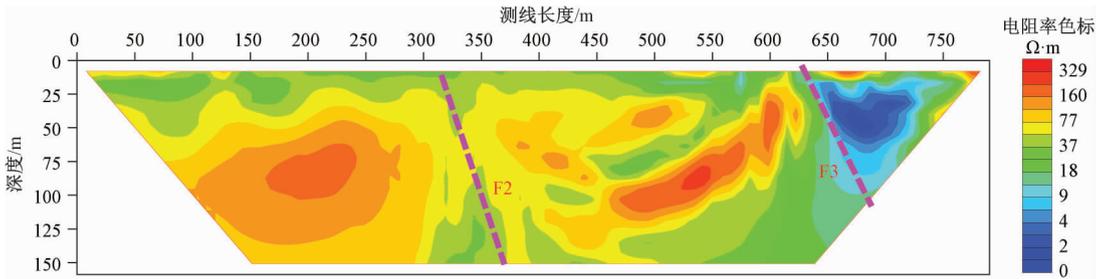


图 7 2 线高密度电法电阻率反演断面图

Fig. 7 Inversion section of high density resistivity in line 2

音频大地电磁测深电阻率断面图 (见图 8), 测深深度约 550 m, 受地表低电阻率覆盖层的影响, 整条剖面电阻率偏低。分析认为, 电阻率小于 $100 \Omega \cdot m$ 的为风化基岩, 大于 $100 \Omega \cdot m$ 的为基岩, 剖面电阻率分布符合地层的分布规

律。根据电阻率分布格局, 结合区域地质资料分析, 剖面上存在 4 条较大的断裂构造带, 编号为 F1、F2、F3、F4 断裂, 电阻率范围 $0 \sim 100 \Omega \cdot m$, 呈相对的低阻异常, 断裂构造总体北倾。

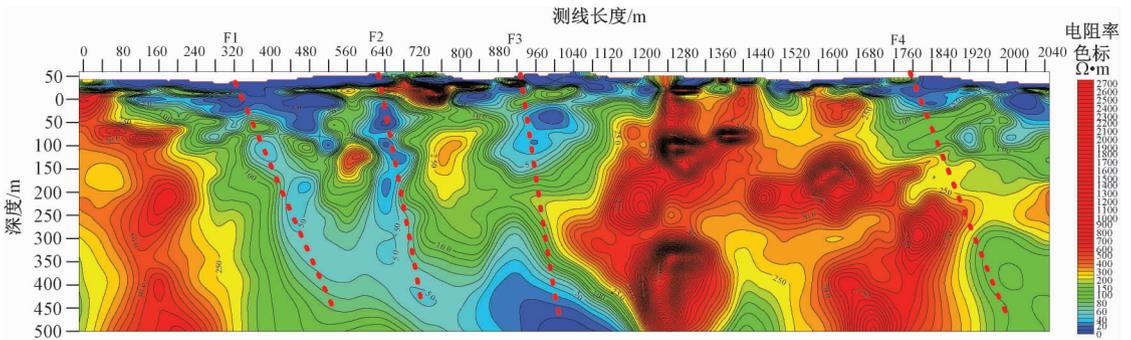


图 8 2 线 EH4 反演断面图

Fig. 8 Inversion section of EH4 in line 2

根据综合剖面分析, 基本可以识别出风化层的厚度, 反映出基岩的几何形状, 可勾绘出基岩面的起伏形态, 可以较好地指示隐伏的线性构造, 如岩性界面和断裂等信息。浅层地震、高密度电法和音频大地电磁等方法, 在划分风化区地层界

线上效果较为明显, 就单个的方法来说, 浅层地震和高密度电法适宜解释 100 m 以内的地质情况, 高密度电法对探测断裂和地质界线比较有效, 音频大地电磁反映的是深部地层岩性电阻率空间展布情况, 在浅部 (30 m 以内) 有盲区, 可以解译

出深部的断裂构造。不足之处是,由于工区主要以丘陵地貌为主,地形起伏大,植被厚,居民较多,对物探施工的干扰较大,特别是浅震受过往车辆的影响,干扰波造成的影响无法完全滤除。

4 结论

1. 浅层地震和高密度电法在划分风化区地层分层上效果较为明显,两种方法适宜解释 100 m 以内的地质状况,通过解译出来的资料,总结得出强风化的地层较薄,平均厚度在 5~10 m 左右,电阻率集中在 200 $\Omega \cdot m$,岩性为砂土、砂岩、粉砂岩;中风化—微风化地层平均厚度维持在 10~25 m,电阻率集中在 1000 $\Omega \cdot m$ 左右,岩性表现为中风化砂岩、粉砂岩;25 m 以下基本上是风化较弱的地层,电阻率值在上千 $\Omega \cdot m$ 。

2. 高密度电法可以帮助划分地层界线。1 号线剖面资料的电阻率变化趋势显示了石蹬子组、三丫江组的过渡,浅钻资料可以证实。2 号线剖面电阻率资料反映了三丫江组、罗定组二段两套地层的变化,也吻合野外地质情况。同时,测线是从老地层向较新地层的方向布置,其中老地层的电阻率相对大于新地层的电阻率,电阻率的变化规律符合地层的空间分布规律。

3. 音频大地电磁反应的是深部地层岩性电阻率空间展布情况,在浅部(30 m 以内)有盲区,根据解译出来的资料推断 1 线到 2 线共计有 5 条断层发育,断层基本上呈现东西走向,断层的倾向不同。

总之,实验区为强风化地区,采用适当的物探方法可以查明风化层的厚度,可以帮助勾绘地质界线,对下覆岩性的变化和隐伏断层的发育情况进行推断。借助物探方法进行地质填图的基本思路和方法是从地质到地球物理,再把地球物理信息反馈到地质上。

参 考 文 献

- [1] 刘菁华,王祝文. 地面综合物探方法在浅覆盖区地质填图单元的划分研究 [J]. 中国地质, 2005, 32 (1): 162~167.
LIU Jing-hua, WANG Zhu-wen. Division scheme of the geological mapping units in shallow cover areas based on ground integrated geophysical methods [J]. Geology in China, 2005, 32 (1): 162~167.
- [2] 任杰,董瀚,田建荣. 浅论高密度电法测量在划分不同岩性界面中的应用 [J]. 甘肃地质, 2010, 19 (3): 85~88.
REN Jie, DONG Han, TIAN Jian-rong. Application of high density electric survey on different lithological interface [J]. Gansu Geology, 2010, 19 (3): 85~88.
- [3] 朱首峰,盛君. 第四系覆盖区地质调查中的物探方法研究 [J]. 江苏科技信息, 2016, (3): 70~75.
ZHU Shou-feng, SHENG Jun. Research on geophysical prospecting methods used in geological survey of the quaternary coverage area [J]. Jiangsu Science & Technology Information, 2016, (3): 70~75.
- [4] 石战结,田钢,薛建,等. 地震与电法技术在浅覆盖区区域地质调查中的应用 [J]. 物探与化探, 2003, 27 (3): 194~201.
SHI Zhan-jie, TIAN Gang, XUE Jian, et al. The application of seismic and electric methods to the regional geological survey in the shallow fields [J]. Geophysical & Geochemical Exploration, 2003, 27 (3): 194~201.
- [5] 赵玉岩. 区域地球物理地球化学资料在浅覆盖区地质调查中的应用方法研究 [D]. 长春: 吉林大学, 2009.
ZHAO Yu-yan. Application of regional geophysical and geochemical data to geological survey in shallow overlay area [D]. Changchun: Jilin University, 2009.
- [6] 陈浩辉. 综合物探方法在深覆盖区地质构造划分中的应用 [D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2014.
CHEN Hao-hui. Comprehensive geophysical methods applied in deep geological formations coverage area is divided in [D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2014.
- [7] 卓武,陈长敬,陈松,等. 浅层地震反射波法和高密度电法联合在地质灾害评价中的应用 [J]. 工程地球物理学报, 2013, 10 (5): 625~630.
ZHUO Wu, CHEN Chang-jing, CHEN Song, et al. The application of joint method of shallow seismic and high-density resistivity method to evaluation of geological disasters [J]. Chinese Journal of Engineering Geophysics, 2013, 10 (5): 625~630.
- [8] 陈长敬,黄理善,罗士新. 隐伏断裂勘察中的综合地球物理方法研究 [J]. 工程地球物理学报, 2011, 8 (3): 348~353.
CHEN Chang-jing, HUANG Li-shan, LUO Shi-xin. Integrated geophysical methods in buried fault exploration [J]. Chinese Journal of Engineering Geophysics, 2011, 8 (3): 348~353.
- [9] 刘保全. 浅层地震勘探在岩溶调查中的应用效果 [J]. 物探与化探, 1996, 20 (6): 474~477.
LIU Bao-quan. The application of shallow seismic exploration to Karst investigation [J]. Geophysical & Geochemical Exploration, 1996, 20 (6): 474~477.
- [10] 陈蜀俊,罗登贵,甘家思,等. 浅层地震勘探在工程场地地震安全性评价近场工作中的应用 [J]. 物探与化探, 2004, 28 (5): 463~466.
CHEN Shu-jun, LUO Deng-gui, GAN Jia-si, et al. The application of shallow seismic exploration to the near-site researches on the seismic safety evaluation of the construction

- sites [J]. *Geophysical & Geochemical Exploration*, 2004, 28 (5): 463 ~ 466.
- [11] 张胜业, 潘玉玲. 应用地球物理学原理 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2004, 299 ~ 300.
ZHANG Sheng-ye, PAN Yu-ling. *Application Geophysics* [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 2004, 299 ~ 300.
- [12] 刘艳章, 王水林, 葛修润, 等. 高密度电法在三峡库区滑坡勘察中的应用 [J]. *岩土力学*, 2006, 27 (S): 519 ~ 523.
LIU Zhang-yan, WANG Shui-lin, GE Xiu-run, et al. Application of high density resistivity method to landslide investigation in the three gorges reservoir area [J]. *Rock and Soil Mechanics*, 2006, 27 (S): 519 ~ 523.
- [13] 刘晓东, 张虎生, 邢应太. 高密度电法在岩溶地质调查中的应用 [J]. *地质与勘探*, 2003, 39 (S): 65 ~ 68.
LIU Xiao-dong, ZHANG Hu-sheng, XING Ying-tai. The application of resistivity imaging to geological survey of Karst [J]. *Geology and Prospecting*, 2003, 39 (S): 65 ~ 68.
- [14] 董浩斌, 王传雷. 高密度电法的发展与应用 [J]. *地学前缘*, 2003, 10 (1): 171 ~ 176.
DONG Hao-bin, WANG Chuan-lei. Development and Application of 2D resistivity imaging surveys [J]. *Earth Science Frontiers*, 2003, 10 (1): 171 ~ 176.
- [15] 王志豪, 周振广, 张贺飞. EH4 电磁测深在探测断层中的应用 [J]. *资源环境与工程*, 2013, 27 (4): 532 ~ 534.
WANG Zhi-hao, ZHOU Zhen-guang, ZHANG He-fei. Application of EH4 electromagnetic sounding in faults [J]. *Resources Environment & Engineering*, 2013, 27 (4): 532 ~ 534.
- [16] 蒋鑫, 黄小喜. EH4 在覆盖区寻找隐伏矿床中的应用 [J]. *矿产勘查*, 2011, 2 (6): 784 ~ 788.
- JIANG Xin, HUANG Xiao-Xi. Application of EH4 system for prospecting concealed ore deposit in the overburden area [J]. *Mineral Exploration*, 2011, 2 (6): 784 ~ 788.
- [17] 王玉和, 王厚臣, 程久龙, 等. EH4 电磁方法在断层定位及导水性探测中的应用 [J]. *山东科技大学学报 (自然科学版)*, 2010, 29 (4): 35 ~ 39.
WANG Yu-he, WANG Hou-chen, CHENG Jiu-long, et al. Application of EH4 electromagnetic method in locating of faults and detection of its water transmissibility [J]. *Journal of Shandong University of Science and Technology (Natural Science)*, 2010, 29 (4): 35 ~ 39.
- [18] 谭红艳, 吕骏超, 刘桂香, 等. EH4 音频大地电磁测深方法在鄂东南地区寻找隐伏矿体的应用 [J]. *地质与勘探*, 2011, 47 (6): 1133 ~ 1141.
TAN Hong-yan, LV Jun-chao, LIU Gui-xiang, et al. Application of the Audio-frequency magnetotelluric method to search for concealed ore bodies in southeastern Hubei Province [J]. *Geology and Exploration*, 2011, 47 (6): 1133 ~ 1141.
- [19] 张莹, 张胜业. EH-4 资料处理解释系统的研究 [J]. *工程地球物理学报*, 2005, 2 (4): 311 ~ 315.
ZHANG Ying, ZHANG Sheng-ye. A study of the EH-4 processing and interpretation system [J]. *Chinese Journal of Engineering Geophysics*, 2005, 2 (4): 311 ~ 315.
- [20] 柳建新, 蒋玲霞, 严家斌, 等. EH4 电磁成像系统在高速公路隧道工程勘察中的应用 [J]. *工程地球物理学报*, 2008, 5 (6): 652 ~ 656.
LIU Jian-xin, JIANG Ling-xia, YAN Jia-bin, et al. Application of EH4 electromagnetic image system in survey of tunnels engineering for expressways [J]. *Chinese Journal of Engineering Geophysics*, 2008, 5 (6): 652 ~ 656.

APPLICATION AND EXPLORATION OF GEOPHYSICAL METHODS IN GEOLOGICAL MAPPING IN STRONGLY WEATHERED AREA

CHEN Song¹, CHEN Chang-jing¹, WU Jun¹, LIU Lian², BU Jian-jun¹

(1. Wuhan Center of Geological Survey, CGS, Wuhan 430205, Hubei, China;

2. Geological Exploration Technologies institute of Anhui Province, Hefei 230031, Anhui, China)

Abstract: Due to the unique geological feature of Southern China area, such as thick overburden layer few outcrops, thick-growing vegetation and difficult access, it is difficult to effectively identify the geological characteristics of weathered layers and its underlying strata, rocks, structures and minerals by means of traditional geological mapping methods. Through comprehensive geophysical methods including shallow earthquake, high density resistivity and EH4 electromagnetic imaging, the geological characteristics like weathering layer thickness, bedrock lithology and occurrence, and buried fault are tested. By analyzing the data obtained from this 3 methods and the results of field investigation, the validity and applicability of this 3 geophysical methods are studied, and a series of geophysical methods for geological mapping in strongly weathered area are preliminarily summarized.

Key words: shallow earthquake; high density resistivity; EH4 electromagnetic imaging; strongly weathered area; mapping