

梯度电测深剖面新方法的应用

葛为中^{1,2} 吕玉增² 梁炳和¹ 丁云河³

(1 广西地球物理学会 2 桂林工学院 3 河南省有色地矿局 7 队)

前言

近年葛为中总结了电测深工作现状其存在问题后,提出直流电法勘探新理念,改革传统电测深剖面布极方式,研究出电测深剖面新的观测、反演方法^[1]:“梯度测深剖面”。

梯度测深剖面能简化电测深剖面布极工序,提高外业工效几倍。它宜于二维反演得电阻率/极化率“真”断面图像,提高解释精度。^[2]

梯度测深剖面的外业可用现有仪器装备硬件,只要改变工作流程。其反演可用现有测深二维反演软件^{[3][4]},加以改编。适合多道接收机或多台接收机。它们已应用于金属矿勘查和工程勘察,取得找矿效果。更适用的新仪器、新软件,已按葛为中建议研制。

1. 现有直流电测深剖面存在的不足

(1) 常用电测深供电电极距序列较稀

$AB/2 = 1.5m, 2.5, 4, 6, 9, 15, 25, 40, 65, 100, 150, 220, 340, 500, 750, 1000, 1500, 2000, 3000m, \dots$

在对数坐标轴上基本等间隔排列,属于对数模式极距序列。中、大极距的间隔过稀,适用于似水平地层一维反演,对于非水平地层而言,测深剖面断面图纵向观测数据稀少,二维反演时,因深部数据不够充分,而降低解释精度。应适当调整加密中、大供电电极距。

(2) 对称四极测深剖面大极距平移的不合理之处

对称电测深剖面施工时,电极要按测深点距来回反复平移。在大极距情况,电极位置分布平移并不合理。若电测深剖面点距 40m,当供电电极距 $AB \geq 2000m$,相邻测深点间 A、B 电极平移 40m,仅为 AB 极距的 $\leq 2\%$ 。在供电电极距离的允许误差范围之内。这种供电电极距的平移没有多大意义。换言之,测深供电电极距相当大时,相邻几个(如 5 个)测深点可共用中间那个点的供电电极位置,不必平移供电电极。这种情况可称为“亚对称四极测深”。

(3) 拟断面图的不确定性

实测视电阻率、视极化率,是电极系影响范围内地下电性不均匀和地形的综合反映。然而在拟断面图,人为地将它“集中”表示为 x (装置规定点位)、 z (电极距函数)的某一个点上。等值线拟断面图上 ρ_s 或 η_s 、 x 、 z 三个参数均存在不确定性,地形起伏情况,点位纵横坐标复杂化,不确定性更明显。拟断面图上异常位置、形态与实际地电断面对应关系较模糊。而且取决于选用的具体装置,同一剖面上对称四极、偶极、三极、测深拟断面图形态特征有所不同。解释者凭经验对拟断面图作大致的定性推断。若盲目依靠拟断面图作直观解释,就可能会造成推断的失误。

测深实测资料要作反演,所得断面分布的每个单元电阻率(ρ)或极化率(η)、水平位置(x)和深度(z)都是比较确定的,可称之为“真”断面图。反演“真”断面图像是用于定量解释的电测深剖面成果,而实测拟断面是用于定性解释的中间成果。

(4) 二维反演的实用化问题

电测深断面的二维反演比高密度电剖面烦琐,需要数字模拟正反演计算网格相当大,又因平移点距而不能太稀。电测深断面二维反演实用化迟后于生产。

变革电测深观测方式,既增加实测信息,又适合作数字模拟网格的正反演计算,从而加速推进电测深二维反演定量解释的实用化。

2. 梯度测深剖面

梯度测深（是这套电测深新方法的暂用名称，缩写 **GS**，取英文词 **Gradient Sounding** 的首个字母）装置包括三极梯度测深（**GS-3A**、**GS-3B** 或双向三极梯度测深 **GS-A3B**）、偶极梯度测深（**GS-D**，供电偶极距一般大于测量偶极距 $AB \geq MN$ ）和四极梯度测深（**GS-4**，含亚对称四极、不对称四极和中梯测深）。可用某种装置（如三极或双向三极），也可组合应用（如三极—偶极或四极—偶极），甚至可用“泛装置梯度测深”（**GS-F** 含三极—偶极—四极等）。

梯度测深剖面工作中，每一极距供电时，同步（或连续）观测多个测深点的电位差（相当于作定源的梯度剖面），再扩大极距作多点观测…。根据测深点数、仪器的道数或台数，按多点（如 3—6 个点）一串方式同步观测。测深长剖面可多串分段完成。（图 1、2、3）

电极沿剖面有规律布设，在测深剖面起点的 **M** 极和终点的 **N** 极之间，为等间隔密点区；之外为渐稀区，供电点位间距按点距的整数倍（1、2、4、8、12、16、24…）阶梯式增加。这种电极点位分布（近区等间隔、远区分段渐稀）适宜二维数字模拟网格。为高密度电测深电极点位方式。

应用反演软件作定量解释，获得电阻率和极化率“真”断面图像，这是测深剖面的最终成果图件。而视电阻率和视极化率拟断面图因存在不确定性（深度、点位、视参数）仅为测深剖面的中间成果图件。

3. 三极梯度测深剖面的实测方式及应用实例

（1）广西佛子冲矿激电三极梯度测深的工作实例

广西地球物理勘查院在佛子冲矿危机矿山完成激电中梯剖面后，选出多条精测剖面布置三极梯度激电测深。投入 6 台北京仪器厂接收机，用 6 点一串方式，开展供电极向测线右侧 **B** 方向的三极梯度激电测深 **GS-3B** 法。130 线 120、124…140 号 6 个测深点间距 40m。MN 用 10m；40m；80m。B 极移动在 122、124…150、152、156、160、164、172、180、188、204、228 号。用 6 点一串式快速测完，B0 最大 B0 极距为 880m—1080m。反演得带地形的电阻率和极化率真断面图像。应用梯度测深提高了外业实测工效和资料解释程度。

矿山工业电强干扰区，先布电极、电缆，趁矿山午间强电暂休时段，快速观测梯度测深。

（2）内蒙哈达特测区激电三极梯度测深找矿成效

河南有色地质 7 队 2006 年 8 月起多次邀请葛为中教授讲学指导，开展《精测剖面电测深新方式研究》项目，2007 年在内蒙三个测区完成三极梯度激电测深 216 点。甘珠尔庙铅锌矿区使用重庆仪器厂 DJF-10 大功率发射机和 DJS—8 接收机 4 台完成三极梯度激电测深 90 点。哈达特陶勒盖铅锌矿区用法国 VIP-10000 发射机及 ELERRC-6 六通道接收机完成三极梯度激电测深 120 点。经钻孔验证，甘珠尔庙矿区和哈达特矿区见到工业矿体，巴润苏德日图金矿点见目标体黄铁矿脉。实用表明，激电梯度测深剖面外业工效较高，宜于二维反演，提高解释精度，地质效果良好。

在哈达特测区激电中梯 IP3、IP6、IP7 异常布设 48#、7#、56#、65#勘探线 4 条精测剖面。用三极梯度测深剖面观测激电测深。哈达特测区 65#线 400 号—468 号布设测深点 18 个，间隔 40 米，以 3 点一串方式同步观测 **GS-3B** 三极梯度激电测深，供电极距从 20m 起，最大为 1920m—2060m，有 20 余个极距。

65#线视电阻率 / 视极化率拟断面图下部呈现未封闭的高阻高极化异常，反演后电阻率 / 极化率真断面图深度 90m—300m 间见封闭的高阻高极化体。在 428、436 号布两个物探验证和钻孔，深度 120m—230m 之间打到多层矿，主矿体厚度 1 米，铅+锌 4%。

（参见：图 4、三极梯度测深应用实例）

（3）河北中关采空区电阻率梯度测深的工作实例

邯钢集团拟建中关铁矿，采用帷幕注浆堵水方案治理矿山地下水。在东南部帷幕线附近有煤矿采空区，充填以松散充填或不充填为主，埋深在 100-200 米左右，静水位在 200 米

以下。华北有色工程勘察院特要求广西地球物理学会勘查采空区的位置和规模。针对实际情况和任务,选用电阻率测深单、双向三极梯度装置。点距 20m,线距 20m,40m。 $MN=40m$,供电电极距 AO 从 60m 至 400m 左右。在测区布置 20 余条测线,一条测线上有 6-18 个点,总共 396 余个测深点,外业工期半个月。观测仪器为广西地球物理学会研制的 DRS-A 电阻率仪(单道)和 RGS-6/10/11 多通道电阻勘探仪(多道)。用 6 点一串方式和 9 点一串方式观测 $\Delta V/I$ 。内业计算视电阻率数据,获得测区电性图像资料。分析电测深的高阻异常分布,划分采空区位置和规模。验证钻孔在深度 130m 见采空区,验证了物探成果。

4. 四极梯度测深剖面及其应用实例

(1) 广西北流六琅矿四极梯度测深的工作实例

广西 215 地质队在六琅矿中梯剖面后,接着开展四极测深剖面 GS-4 法。先作供电电极距 $AB/2$ 为 500m、400、300、200m 的中梯剖面,再作 $AB/2$ 为 160m、120、100、80、60、40、30m 的对称四极剖面。组合成四极梯度测深剖面,以 $AB/2$ 的平方根作纵坐标绘制测深拟断面图^[5]。在反演后的真断面图上,标高 260m 上下有低阻高极化异常。附近 260 中段坑道验证了物探结果。四极测深(对称+中梯测深)工序比传统对称四极测深简便,适于二维反演。

(2) 山西中条山落家河矿四极梯度测深的应用

桂林工学院在落家河矿区用奔腾所激电仪观测激电四极梯度测深 50 点。 $AB/2=10m-160m$ 用对称四极测深; $AB/2=160m-700m$ 用中梯测深。J19 线四极梯度测深反演的带地形电阻率/极化率真断面图像在 0-3 号标高 600m-650m 处出现高阻高极化成矿异常体。

(参见:图 5、山西中条山梯度测深应用实例)

5. 直流电法新仪器

广西地球物理学会已研制电阻率梯度测深适用的多通道电阻勘探仪(RGS-6/10/11 型)。

激电梯度测深适用的多通道仪器,有法国 ELERRC 多通道接收机等。重庆奔腾数控技术研究所已按葛为中教授建议,研制 WDJS—3 系列(2/4/6/8/16 道)多道数字直流激电接收机和 WDFZ 多组发射机,WDZ 多组整流电源(输出 1/3/9 组),更适于激电梯度测深剖面。

附图 3 页

参 考 文 献

- [1]葛为中,电测深布极装置及观测方式的变革,《中国地球物理》,中国海洋大学出版社,2007
- [2]阮百尧等,电阻率/激发极化法数据的二维反演程序,《物探化探计算技术》,1999,21
- [3]吕玉增,阮百尧,高密度电法二维反演软件设计与实现,桂林工学院学报,2004,24(4):417-421;
- [4]中华人民共和国地质部,直流电测深法工作规范,163 页,中国工业出版社,1963
- [5]葛为中,绘制电测深等值断面图的新方法,勘察科学技术,第 3 期,58-60 页,1997
- [6]丁云河,葛为中,吕玉增等,《精测剖面电测深实测新方式及其解释软件的研究》科研报告,2007 年河南省有色金属地质矿产局技术创新新立项目,任务书编号为 YSDK2007-07。
- [7]葛为中,吕玉增,丁云河,直流电法梯度测深剖面的研究及应用,《中国地球物理》,中国大地出版,2008

广西地球物理勘察院朱国器、黎海龙、陆怀成,广西 215 队吴国富,桂林工学院罗润林等参加过应用研究

联系地址:邮编 541004 广西桂林建干路 12 号桂林工学院 葛为中

电话: 13977303560 E-mail: gl_gwz@sina. com

邮编 530029 广西南宁建政路 34 号 广西地球物理学会 gxdqwlxh2006@tom. com

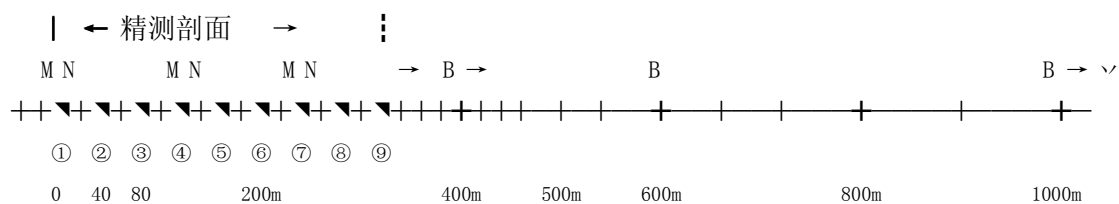


图 1 三极梯度电测深（MNB）布极示意图

一个测线上多个测深点①、②、③…⑤… 共用一个供电极 B 极，外移 B 极测量。

若测线基本点距为 20m， ①为第一个测深点，B 极到①N 的距离 400m 之后逐渐放稀。

如 400m, 420, 460, 500m, 540, 600, 660, 720, 800m, 900, 1000m, 1200m, 1400m…。

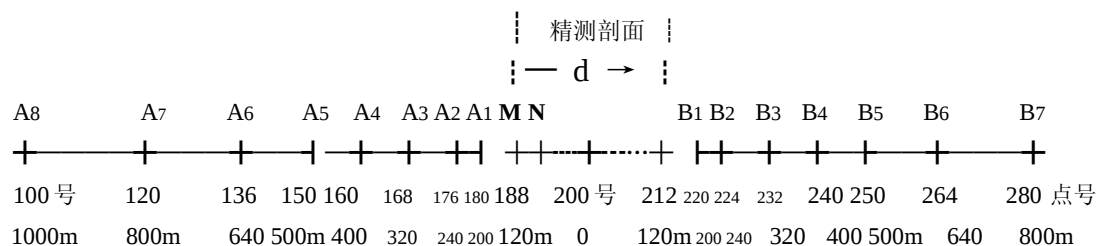


图 2 中梯测深布极图例

精测剖面 188 号—212 号，长度 d 为 240m，AB 中心点 200 号；

点距 20m 或 40m ； MN / 2 ： 20m, 40m, 60m, 80m；

AB / 2 ： 200m, 240, 320, 400, 500, 640, 800, 1000m, 1200, 1400, 1600 m

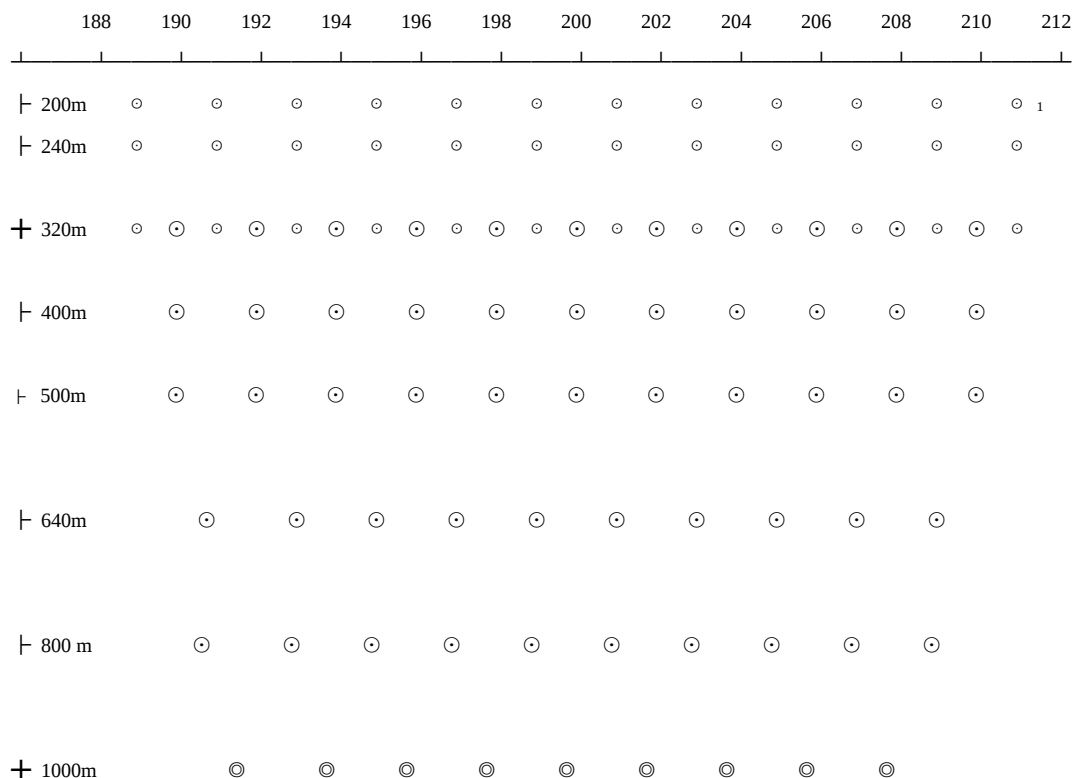
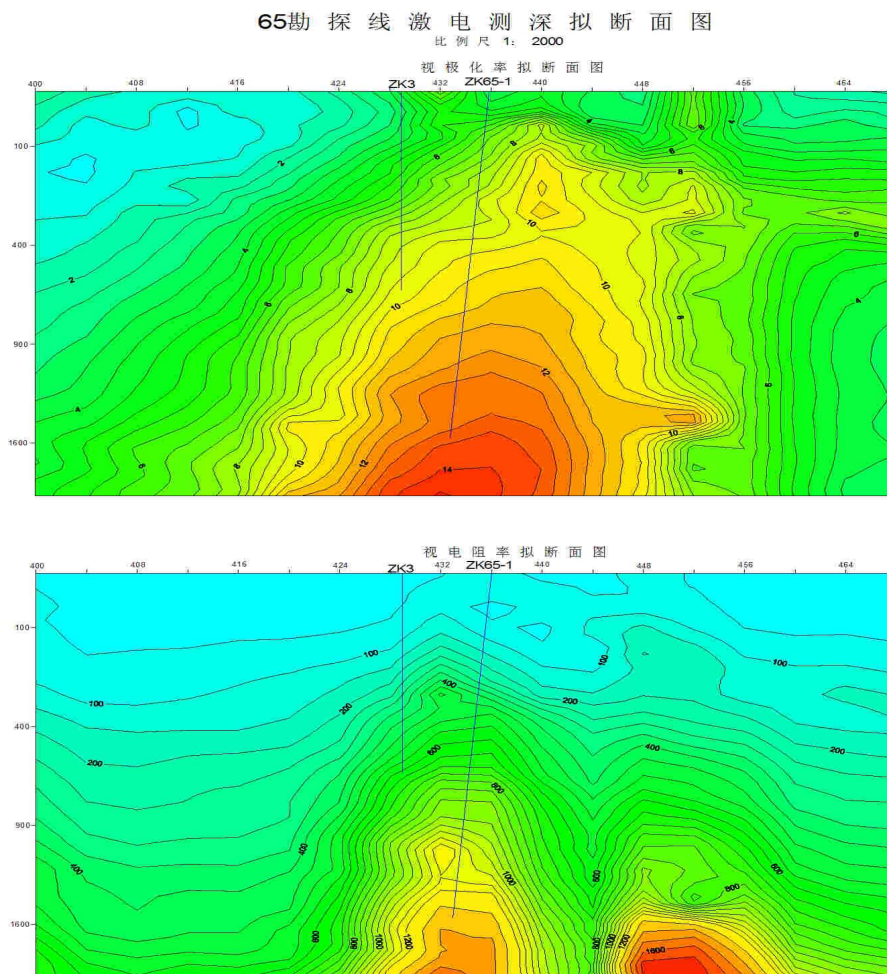


图 3 中梯测深拟断面数据点位置图

取图 2 情况：精测剖面 188 号—212 号，点距 20m，MN=20m、40m、60m、80m

AB/2 ： 200m, 240, 320, 400, 500, 640, 800, 1000m, 1200, 1400 m



65线反演电阻率断面图、反演极化率断面图和验证孔地质草图

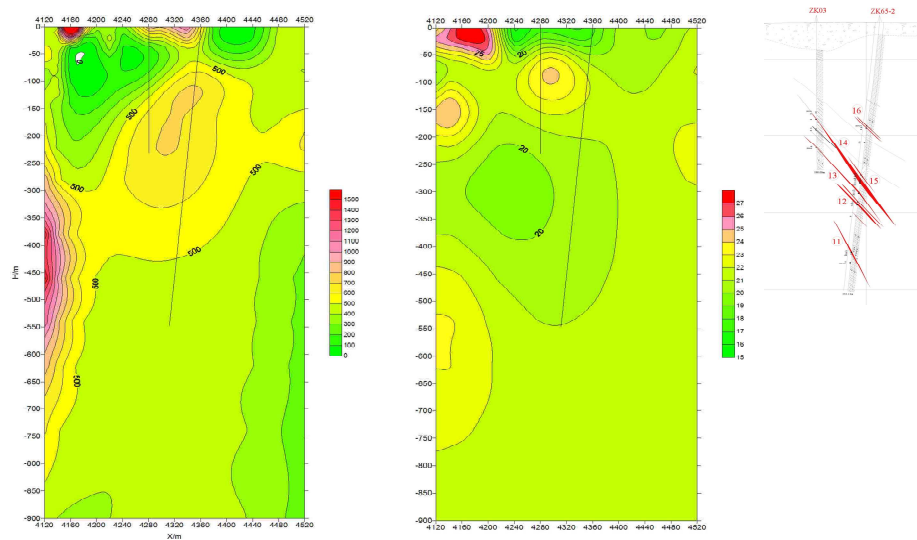


图 4 内蒙哈达特 65 线三极梯度测深剖面实例
(a) 实测视极化率、实测视电阻率拟断面图、
(b) 反演后电阻率、极化率真断面图
(c) 钻孔验证矿体形态草图

山西省垣曲县落家河东铜矿普查区J19线激电测深解释断面图

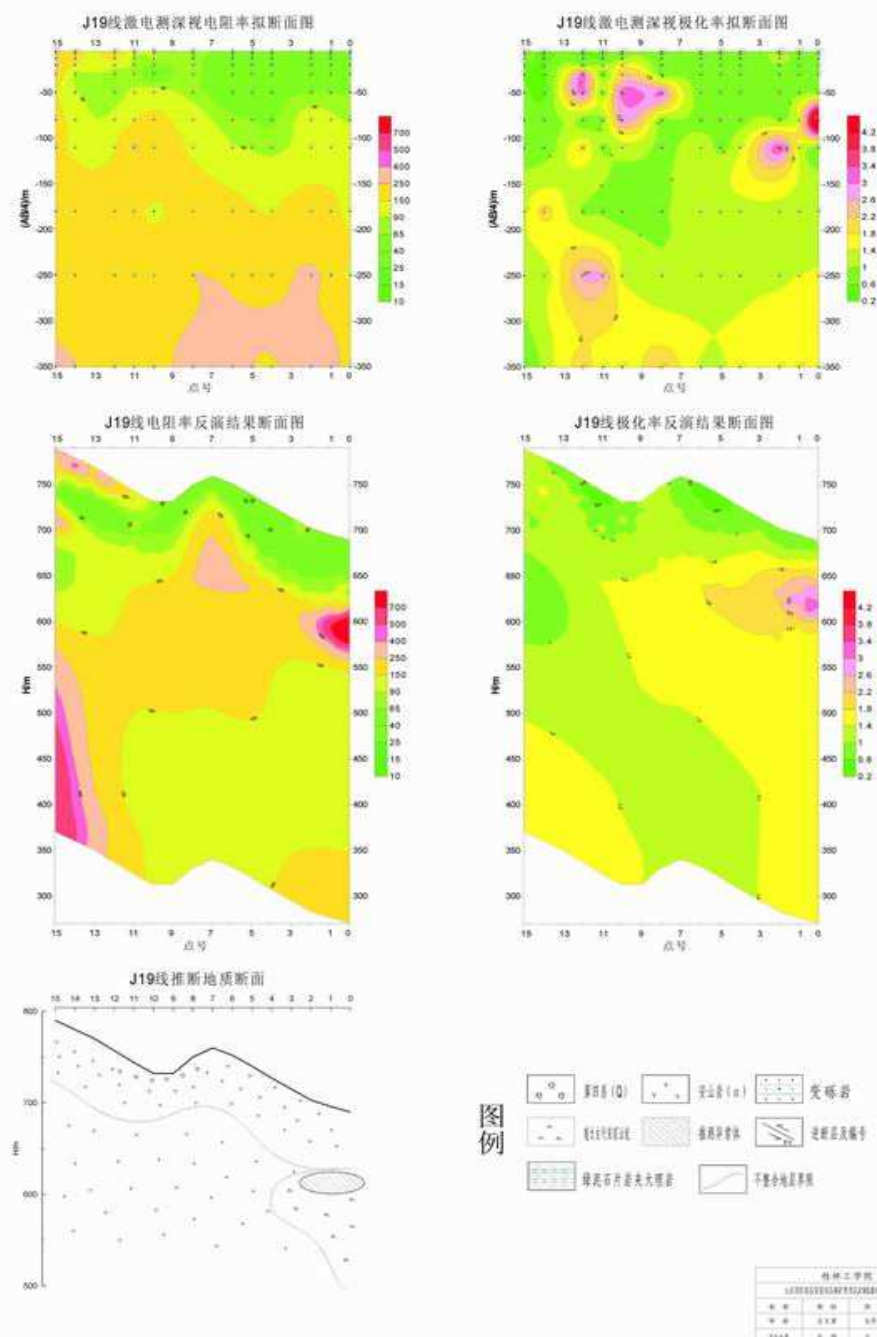


图 5