

文章编号: 1001—1749(2009)06—0586—04

超高密度电法在追索破碎带中的应用

黄 杰, 钟 韬, 马文德
(成都理工大学, 四川 成都 610059)

摘 要: 这里阐述了超高密度电法的基本理论及其工作方式, 并利用超高密度电法对破碎带进行地球物理实地勘察。通过研究表明, 超高密度电法较普通电阻率法在数据采集、数据处理、数据异常分辨率等方面优越, 且具有成本低, 效率高, 测试便捷等优点。最后用实例说明该方法在破碎带探测中的实用性和有效性。

关键词: 高密度电阻率法; 探测; 破碎带

中图分类号: P 631.3⁺22 **文献标识码:** A

0 前言

四川某煤矿在进行钻探工作过程中, 遇到无法打竖井和频频掉钻的情况, 根据经验推测, 地下可能存在破碎带并伴有地下溶洞, 但之前高密度初步物探工作资料却无法更准确地圈定破碎带的延伸情况。对以上情况做出解释, 这就需要一个更加行之有效的物探方法对地下结构做出判断和定位。破碎带与围岩的电性差异比较大, 电法是追索破碎带的首选物探手段, 我们选用了目前国内比较少用的超高密度电法。

1 方法简介

高密度电法是在普通电法装置的基础上, 进行高密度的数据采集, 使每次采集的数据足以形成一个视电阻率剖面。通过单个或多个剖面数据的分析处理, 可以得到较密集的地电信息, 从而反映出地下地质体。

超高密度电阻率法是高密度电阻率法的一个变种, 就其原理而言, 同样与常规电法完全相同, 仍然以岩石、矿石的电性差异为基础, 通过观测和研究, 人工建立稳定电场的分布规律, 采用专门的仪器设备, 来观测岩土体的电性变化, 从而解决水文、

环境和工程等地质问题。超高密度电法还打破常规电法数据采集模式, 如双极、WENNER 模式等等, 而用全自动, 全组合的数据采集方式, 使在同样电极数的情况下, 采集的数据将超过常规方式的十倍以上, 而无须顾及各种不同的数据采集方式和它们的优缺点。并且, 结合它的 2.5 维电法反演软件, 这使得数据输出结果直接是真电阻率分布图, 这样的电法数据结构使得解释变得准确、容易和直观。

2 基本原理

超高密度电法在理论上, 相对于高密度电法没有什么本质的变化, 同样是通过研究人工施加电场的分布规律来达到解决地质问题的目的。在求解简单地电条件的电场分布时, 通常采用解析法, 即根据给定的边界条件, 解以下偏微分方程:

$$\nabla^2 U = \frac{-I}{\sigma} \delta(x_0 - x_1) \delta(y_0 - y_1) \delta(z_0 - z_1)$$

式中 x_0 、 y_0 、 z_0 为电场点坐标; x_1 、 y_1 、 z_1 为场点坐标; δ 为与距离有关的函数; I 为电流; σ 为电导率。

当 $x_0 \neq x_1$ 、 $y_0 \neq y_1$ 、 $z_0 \neq z_1$ 时, 即在只考虑无源空间时, 上式变成拉式方程:

$$\nabla^2 U = 0$$

但是在复杂地电模型的电场分布时,还要采用各种数值模拟方法和处理方法,如我们以下将提到的 2.5 维反演。

3 资料处理流程

超高密度电阻率系统采用多通道技术,设计出 FlashRES 多通道超高密度直流电法勘探反演系统,通过该软件反演获取断面电阻率值,精度得到大大提高。

运行系统中 flashdatacheck. exe 文件,调入野外实测数据 txt 格式文件,进入数据检查界面,对数据进行检查。在数据测量点电流检查区域,输入最小电流值一般为 0.01 A,小于 0.01 A 的数据在图中显示为红色的点。当某一系列显示全部为红色时,即代表此列所对应的电极(奇数)出了问题,根据公式 $N = (n - 1) \times 2 + 1$ 可算出电极的实际序号;当某一行显示全部为红色时,即代表此行所对应的电极(偶数)出了问题,根据公式 $N = n \times 2$ 可算出电极的实际序号。野外实测数据经数据检查程序检查后,自动生成反演所需的控制文件 xxx. inp 文件,修改好其中相关的参数,对数据进行核查及滤波,去除“非”值或随机干扰,并在此基础上,对数据进行反演计算,得出真电阻率数据,并作为绘制电阻率断面图的基础资料。

4 实际应用

4.1 测区地形地质概况及工作布置

根据测区已有的物性资料报告,工区具备开展超高密度电阻率法的地球物理勘探前提条件。工区属山前洪积地貌,地面高程 107 m ~ 109 m,地势较为平坦,自南东向北西微倾。该地表多为旱地,植被稀疏;上覆更新统洪积层(Q3pl)黄土质粉质黏土、粗角砾土、粗圆砾土等;下伏基岩为石炭系上统太原组(C3t)砂岩夹页岩。

为了圈定破碎带的边界和走向,并根据现场地表条件,为绕避混凝土地面,建筑材料堆放地及房屋等障碍,我们在垂直于出问题钻孔连线的方向上,分别布置 I、II 二条不规则的地面超高密度电阻率法测线,并在其平行方向上也布置了一条物探剖面。在地面超高密度电阻率法施测中,分别采用 3 m 和 2 m 的电极距。经对比分析,采用 3 m 电极距虽然勘探深度较大,但分辨率较低;采用 2 m 电极距虽然分辨率较高,但勘探深度较浅,结合已有钻孔资料来看,破碎带埋深不大,一般小于 40 m。在兼顾勘探深度和分辨率条件下,认为采用 2 m 电极距较为适宜。因此在进行资料解释时,以 2 m 电极距资料为主,3 m 电极距资料为辅,并与之前的高密度电法测线重合,对比高密度电法与超高密度电法成果上的差异,做出更合理的推断。

4.2 成果分析

从地面超高密度电阻率法两条测线的成果图可知,图 1、图 2(见下页)中填色由浅到深所代表的电阻率由低到高。上部(地表向下 15 m 内)电阻率等值线较为凌乱,电阻率较大,一般大于 $100 \Omega \cdot m$,结合已知物性资料报告,覆土多为第四系全新统、洞穴堆积相(Q4ca)粗角砾土,推测为表层覆盖土和风化岩体不均匀的电性反映;中部(地表向下 15 m ~ 35 m 内)电阻率值变化较大,异常多为团状发育,呈高低阻相间,高阻区域判释为破碎带或空洞,低阻区域判释为煤矿成矿带或冒落带及弯曲带填水;下部(地表向下 35 m 外)电阻率变化不大,对应为较完整石炭系上统太原组(C3t)砂岩夹页岩基岩。

在 II 测线 4 095 位置,有一倒矿竖井,深度约 100 m,但物探资料却显示在地下 20 m 处,显示为低阻隔断。分析原因为竖井下延相对较大,井直径相对较小,致使物探资料分辨率不够造成。在线路(I 测线)的 3 740 ~ 3 820 和线路(II 测线)的 3 740 ~ 3 860 显示为高阻异常片区,电阻大于 $500 \Omega \cdot m$,钻孔工作在这类区域经常不能顺利进行。剖面在

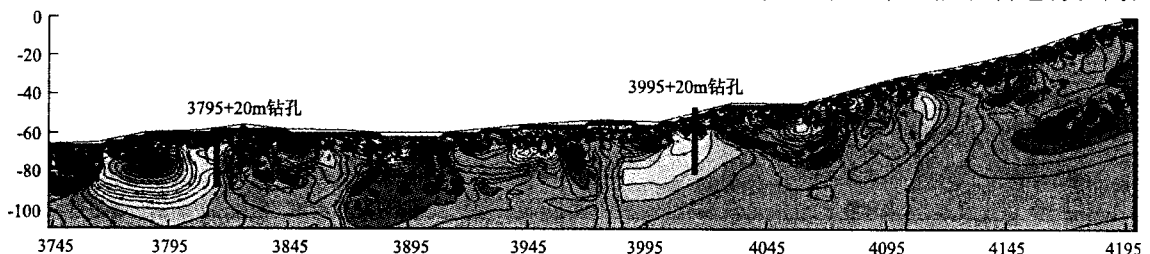


图 1 I 测线超高密度电阻率法反演剖面图

Fig. 1 Inversion section of ultra-high density resistivity method of Line I

点3 845后仍然有零星的高阻异常存在,推测多为覆盖土和洪积岩体不均匀的电性造成;在3 995处,测线 I、II 中显示为高阻。根据物探资料,破碎带主要分布在3 745段~3 845段,近于直立延伸,带宽从8 m到12 m不等,破碎带下延到100 m左右并且有进一步下延的趋势。另外,全区在0 m~15 m 表层节理、裂隙、破碎较发育。

对照电阻率参考表,绘制出推断地质断面,如图3和图4所示。

4.3 成果验证

图5(见下页)是测线3 795 + 20 m 处的钻探资料,从中可以看出,上浮40 m 的岩土多为塌垮物构成,土质较软,破碎较发育,超高密度电法在这里地

段也显示为高阻。结果表明,钻孔资料与该处超高密度电阻率法划分的异常区能较好地吻合,而此处高密度电法资料的高阻异常带,却在3 795地表下方不足20 m 处已经闭合,在3 795 + 20 m 地表下方20 m 处电阻率和基岩电阻率已经融合,该范围不能打竖直井得到解释。

图6(见下页)是I测线3 995 + 20 m 处的钻探资料,地表10 m 多为松散的建筑垃圾,质软的粉质粘土及泥岩。地下20 m 处存在与破碎带相似的高阻异常,不同的是此处出现的是掉钻,而不是打斜钻现象,推断地下处在有空洞,再往下同样是质软伴有裂隙的泥岩和砂岩。该处的超高密度电法资料,可以很吻合地显示出这些电性差异。

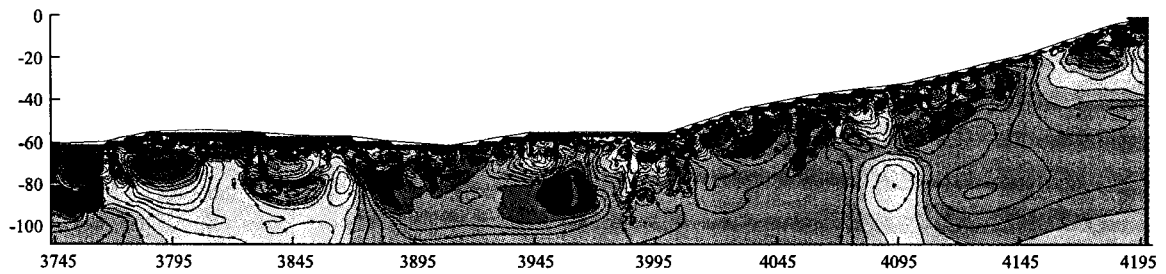


图2 II测线超高密度电阻率法反演剖面图

Fig. 2 Inversion section of ultra-high density resistivity method of Line II

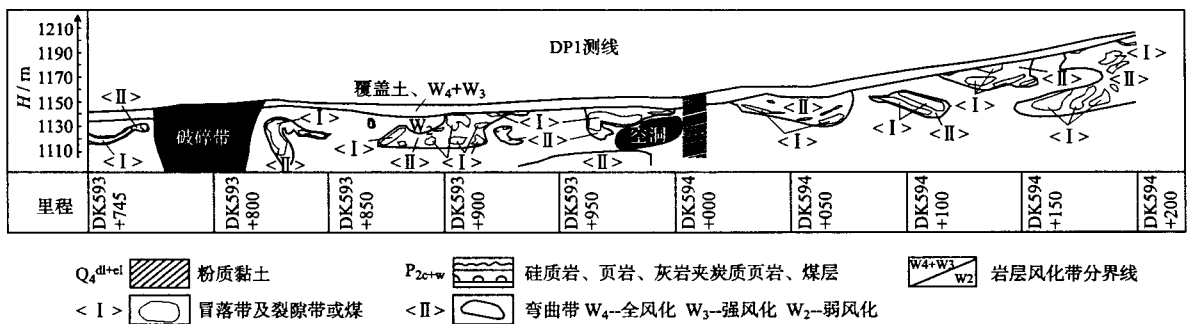


图3 I测线超高密度电阻率法推断地质断面图

Fig. 3 Geological cross-section map of ultra-high density resistivity method of Line I

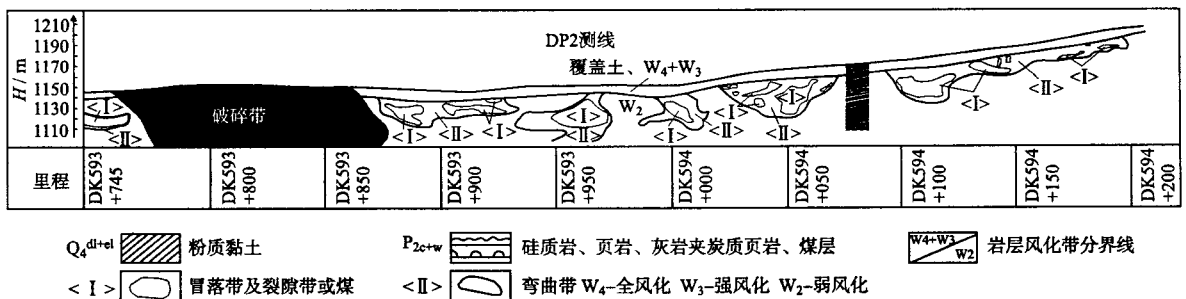


图4 II测线超高密度电阻率法推断地质断面图

Fig. 4 Geological cross-section map of ultra-high density resistivity method of Line II

层次	层深 高程	地层剖面 1:200	层厚 (m)	岩层说明及钻进情况
(1)	0.70	▲▲▲▲	0.70	(1) 人工填土(碎石土):灰褐色,松散、稍湿。碎石约占50%,石质主要为砖块、水泥等建筑垃圾
(2)	107.20 0.70	▲▲▲▲	0.00	(2) 人工填土(碎石土):灰褐色,松散、稍湿。碎石约占50%,石质主要为砖块、水泥等建筑垃圾
(3)	107.20 2.40	~	1.70	(3) 粉质黏土:棕红色,硬塑状,土质较纯
(4)	105.50	~	W4	(4) 泥岩:褐黄、紫红、棕红色,全风化(W4)。岩心呈土柱状,岩心采取率100%。(为塌垮物)
(5)	6.00 101.90 7.20	~	3.60 W3 1.20	(5) 泥岩:褐黄、紫红、灰紫色,泥质结构,质软,强风化(W3)。节理、裂隙发育,水钻岩芯呈碎块状及短柱状,岩心采取率80%。(为塌垮物)
(6)	100.70	~	W3	(6) 泥岩:紫红色,泥质结构,质软,强风化(W3)。节理、裂隙发育,岩体很破碎,水钻岩芯呈碎块状,岩心采取率70%。(为塌垮物)
(7)	10.40 97.50	~	3.20	(7) 采空区充填物(粉质黏土):棕红、灰红色,硬塑状,其中10.8~11.6m、11.8~12.4m为泥岩块状
(8)	12.60 95.30	~	2.20	(8) 泥岩:紫红、灰色,泥质及粉砂质结构,质软,强风化(W3),局部夹页岩。节理较发育,岩体较完整,水钻岩芯呈柱状及短柱状,局部碎块状,岩心采取率90%
(9)	27.00	~	14.40	(9) 砂岩:灰色、青灰色,粉、细粒结构,钙质胶结,岩质较硬,弱风化(W2)。节理、裂隙较不发育,岩体较完整,水钻岩芯呈柱状,岩心采取率90%
(10)	80.90	~	W2	
(11)	30.80	~	3.80	
	77.10			

图5 I测线3 795 + 20 m 钻孔资料

Fig. 5 Borehole data of 3 795 + 20 m of Line I

层次	层深 高程	地层剖面 1:200	层厚 (m)	岩层说明及钻进情况
(1)	0.70	▲▲▲▲	0.70	(1) 人工填土(碎石土):褐色,松散、稍湿。碎石约占50%,石质主要为砖块、水泥等建筑垃圾
(2)	107.20 2.00	▲▲▲▲	1.30	(2) 粉质黏土:棕红色,硬塑状,土质较纯
(3)	105.90	~	W4	(3) 泥岩:褐黄色,全风化(W4)。岩心呈土柱状,岩心采取率100%
(4)	6.00	~	4.00	(4) 泥岩:紫红、棕红色,泥质结构,质软,强风化(W3)。节理、裂隙发育,水钻岩芯呈碎块状及短柱状,岩心采取率80%
(5)	101.90	~	W3	(5) 泥岩:紫红、转红色,泥质及粉砂质结构,质软,弱风化(W2)。节理、裂隙发育,岩体较完整,水钻岩芯呈柱状及短柱状,岩心采取率80%
(6)	14.30	~	8.30	(6) 采空区:该段为空洞,钻探时掉钻
(7)	93.60	~	W2	(7) 泥岩:紫红、转红色,泥质及粉砂质结构,质软,弱风化(W2)。节理、裂隙较发育,岩体较完整,水钻岩芯呈柱状及短柱状,局部碎块状,岩心采取率80%
(8)	16.80	~	2.50	(8) 泥岩:紫红、转红色,泥质及粉砂质结构,质软,弱风化(W2)。节理、裂隙较发育,岩体较完整,水钻岩芯呈柱状及短柱状,局部碎块状,岩心采取率80%
(9)	91.10 17.20	~	0.40	(9) 泥岩:紫红、转红色,泥质及粉砂质结构,质软,弱风化(W2)。节理、裂隙较发育,岩体较完整,水钻岩芯呈柱状及短柱状,局部碎块状,岩心采取率80%
(10)	90.70	~	W2	(10) 砂岩:灰、灰黄色,粉、细粒结构,钙、泥质胶结,岩质较硬,弱风化(W2)。节理、裂隙较不发育,岩体较完整,水钻岩芯呈柱状,岩心采取率90%
(11)	25.00	~	7.80	
(12)	82.90	~	W2	
(13)	27.60	~	2.60	
(14)	80.30 28.40	~	0.80	
(15)	79.50	~	W2	
(16)	32.50	~	4.10	
	75.40			

图6 I测线3 995 + 20 m 钻孔资料

Fig. 6 Borehole data of 3 995 + 20 m of Line I

5 结论

(1) 超高密度电法在破碎带追索中的应用是比较成熟的,能够很好地完成破碎带的追索任务。在目标体与围岩存在良好的电性差异时,确定目标体的范围、深度,以及不同岩性的分界面时,具有比高密度电法更高的精度。

(2) 超高密度电阻率法不仅是多电极,而且是多通道,对电极的利用率更高,它能同时采集62组V/I数据,野外采集一次性布极,数据采集自动化,采集速度快,所以工作效率非常高,弥补了常规电法及高密度电法数据采集的不全面性。并且,它具有较强的抗干扰能力,可以达到更深的探测深度,采集数据量较大,提高了探测精度。但在实际工作中,往往会遇到更多的不是理想情况,这就需要进行一些辅助性野外和室内后期处理工作,同样会取得较为理想的探测效果。

(3) 通过超高密度电法对矿区破碎带进行的追索探测,说明该方法具有现实可行性,可以有选择地代替高密度电法探测。

参考文献:

- [1] 雷宛,肖宏跃,邓一谦. 工程与环境物探教程[M]. 北京:地质出版社,2003.
- [2] 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):1.
- [3] 罗延钟. 电法勘探的某些进展[J]. 物探与化探,1989,13(5):1.
- [4] 石志纯,赵国彦,李发本. 地下复杂采空区的探测[J]. 采矿技术,2005,5(4):1.
- [5] 刘海生. 高密度电法在探测煤矿地下采空区中的应用研究[D]. 太原:太原理工大学,2006.
- [6] 祝卫东,钱勇峰,李建华. 高密度电阻率法在采空区及岩溶探测中的应用研究[J]. 工程勘察,2006,(4):1.
- [7] ZHOU B. Crosshole resistivity and acoustic velocity imaging, in 2.5 - D Helmholtz equation modeling and inversion[D]. The University of Adelaide, 1998.
- [8] PONTUS SJOEDAHN, TORLEIF DAHLIN, BING ZHOU. 2.5D resistivity modeling of embankment dams to assess influence from geometry and material properties[J]. Geophysics, (May 2006), 71(3):107.

作者简介:黄杰(1982-),男,四川成都人,硕士,从事深部地球物理勘探与研究。