

高密度电法在水文地质和工程地质中的应用

王士鹏 (冶金工业部勘察研究总院, 河北保定 071067)

摘要: 高密度电法具有测点密度高, 信息量大, 在寻找地下水, 查明采空区, 探测岩溶发育带和划分地层诸方面得到了应用。本文论述了其原理、技术方法及数据处理推断解释并通过两个工程实例, 详细介绍了高密度电法在花岗岩地区寻找基岩裂隙水和在拟建水库区内划分 N 红粘土缺失范围中的应用。最后对高密度电法的仪器设备和方法技术存在的问题提出了看法。

关键词: 高密度电法; 视电阻率; 等级分布; 构造裂隙; N 红粘土

中图分类号: P631.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3665(2000)01-0052-05

Abstract The high-density electrical method, with the high density of measuring points and large amount of information, is widely used in the fields like groundwater searching, making clear of mined areas, exploration of karstic zone and classification of strata. This paper elucidate its principle, technical methods and the data processing, inference and interpretation and, through two practical cases, introduces in detail the application of high-density electrical method in the searching of bedrock fissure water in granite area and the discrimination of the hiatal area of N₂ red clay. Finally, some views concerning the problems on the equipment and installation and techniques in high-density electrical methods are put forward.

Key words high-density electrical method; apparent resistivity; distribution of grades; tectonic fractures; N₂ red clay

1 前言

80年代初, 日本地质计测株式会社研究成功了高密度电阻率探查法(简称高密度电法), 并且广泛应用于工程地质及水文地质中。在日本, 高密度电法主要用来解决如下的地质问题: 火山口的“基岩”形状调查, 局部地质构造和空洞调查, 断层构造调查, 滑坡及地下水流调查, 隧道落顶预测, 寻找地下水等等。其中断层构造调查应用较多。

198年, 我院从地质计测株式会社引进了该项方法技术; 1988年又引进了 GER-300AD型交直流电法探测仪。多年来, 我院使用该项方法技术在寻找地下水; 探测采空区; 查明岩溶发育和划分地层中得到了应用, 并且收到了较好的地质应用效果。

近年来, 国内不少单位开展了该项方法技术, 并且取得了较好效果。随着勘察科学技术的不断发展和国民经济建设的需要, 高密度电法作为一种新的物探方法技术, 一定会在工程地质和水文地质以及其它相关领域中得到广泛应用。

2 方法概述

高密度电法本质属直流电阻率法。但是, 实际供电

电流为低频交流电。其供电频率固定不变, 一般选在 20 ~ 30Hz 之间。高密度电法测点密度高, 点距小到 1~2m, 并具有测深和剖面的双重性能。一般情况下, 高密度电法的信息量为普通电阻率法的百倍以上。

因高密度电法的供电频率较低, 且固定不变, 所以将其视为直流电阻率法, 遵从直流电阻率法的一般原理。

2.1 测定方法

高密度电法的测定方法以温奈尔装置为例说明。如图 1所示, C_1 、 C_2 为供电电极, P_1 、 P_2 为测量电极, 电极间距为 a , $\triangle ABC$ 为等腰直角三角形, 角 B 为直角, A 、 C 分别为电极 C_1 、 P_1 和电极 P_2 、 C_2 的中点, B 点表示所观测视电阻率值的位置。若沿测线方向一次打入 N 个电极, 每次观测后装置移动距离 a , 逐个观测视电阻率值, 可得 $B_a^1, B_a^2, \dots, B_a^{(N-3)}$ 一系列值。改变电极间距为 $2a, 3a, \dots$ 观测视电阻率, 同样可得一系列值。最终所测视电阻率断面为一倒梯形形状。将这些视电阻率值经过一系列数据处理, 便可绘制成视电阻率分布断面图。该图则能反映出地下地层分布, 地质构造以及其它地质情况。

2.2 解释方法

高密度电法的解释成图由计算机完成。为提高信噪比, 高密度电法必须进行如下数据处理:

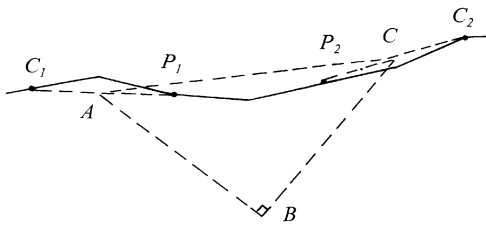
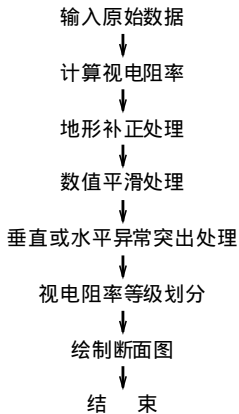


图 1 Fig. 1



垂直或水平异常突出处理,用于所查明目的体分布状态不同时选择进行,如目的体为垂直向分布的断裂构造,则进行垂直异常突出处理;如目的体为水平分布的地层,则进行水平异常突出处理。

一般情况下,将视电阻率进行 5 个等级划分。各个等级数值处理表示式如下:

等级 $< m - e$;

$m - e < \text{等级} < m - \frac{e}{3}$;

$m - \frac{e}{3} < \text{等级} < m + \frac{e}{3}$;

$m + \frac{e}{3} < \text{等级} < m + e$;

$m + e < \text{等级}$

其中, m 为全测区视电阻率的平均值; e 为标准偏差

从 1 等级到 5 等级由低至高,分别用不同的 5 种颜色表示,计算机则用这 5 种颜色绘制成视电阻率等级分布断面图。该图清晰、美观且直观性强。

如果高密度电法的仪器设备都用计算机控制,则数据的采集、处理、解析、成图均可实现自动化。地质计测株式会社于 1985 年研制成功了电极自动“切换装置”,使高密度电法实现了全面自动化。

3 工程实例剖析

下面仅举两例说明高密度电法在水文地质和工程地质中的应用。这两项工程皆为我院和地质计测株式会社合作完成。

3.1 高密度电法寻找地下水

3.1.1 任务与目的

山东省招远县某村,地处花岗岩地区,因工业污染严重,浅层水不能饮用。为解决饮水问题,需打深井,提取基岩裂隙水。要求单井出水量 $Q > 5 \text{ m}^3/\text{h}$,水质符合 T J20-7 饮用水标准。为完成此项任务,采用高密度电法。

3.1.2 测区概况

测区属低山丘陵,地层简单,分布有第四系地层和玲珑花岗岩。第四系地层岩性以粉土、砂、卵石为主,厚度一般为数米,主要分布于沟谷中和山脚下。玲珑花岗岩在测区普遍分布,且大面积出露,只在沟谷中和山脚下被第四系所覆盖。测区内无断裂构造,从区域性构造来看,断裂以 NNE 向为主。测区地下水位推测大于 100m。

测区岩石的电阻率大致变化如下:第四系地层一般为 $30 \sim 250 \Omega \cdot \text{m}$;风化破碎花岗岩为 $500 \sim 1000 \Omega \cdot \text{m}$;完整花岗岩大于 $1500 \Omega \cdot \text{m}$ 。从电性上来看,风化破碎花岗岩和完整花岗岩有一定差异,地球物理前提基本具备。

3.1.3 外业工作

根据地形、地貌选择较为平坦的地方大致垂直 NNE 向布置两条测线。测线长均为 500m, a 为 5m,点距为 5m,一个排列使用电极 10 根。测试深度从 $1a$ 到 $33a$ 。采用温奈尔装置。电极切换为手工操作。

3.1.4 解释推断

为突出纵向构造裂隙的异常,断面图进行了垂向构造突出处理。

图 2 为 A 测线视电阻率垂直构造突出断面图。从该图中可以明显看出,断面 320~350m 之间有一宽约 30m 垂向发育的低阻异常,相对视电阻率为低或较低等级。该异常垂向发育较深,超过 100m。同样, B 测线断面图中也有一类似的低阻异常。若将 A、B 两测线的低阻异常相连,其走向约 NE15°。这一走向和区域性构造走向 NNE 向完全一致。据此,推断该低阻异常带为构造裂隙发育带。若在该范围内布井,成井可能性较大。

3.1.5 应用效果

根据上述勘探成果,经水文地质人员结合地质资料 and 施工条件等,在 A 测线 330m 处确定井位钻探。孔深为 214.22m,其中 110~140m 和 180~190m 岩芯破碎,裂隙发育。经抽水试验,单井出水量 $Q = 6.35 \text{ m}^3/\text{h}$;经分析水质完全符合 T J20-7 饮用水标准。该井完

全满足了委托方要求,受到好评。

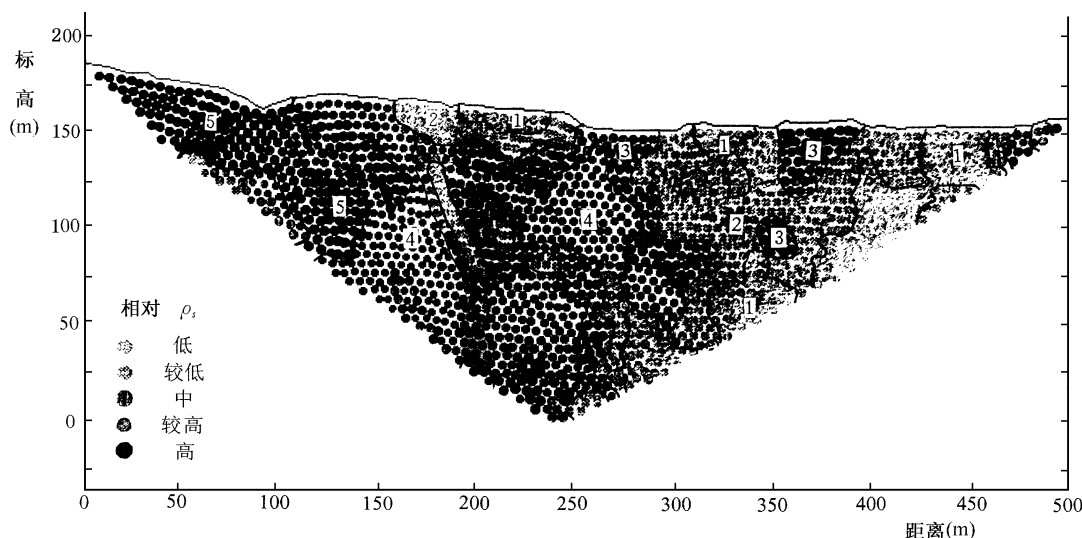


图 2 Fig. 2

3.2 高密度电法划分地层

3.2.1 任务与目的

某拟建水库,以奥陶系灰岩为基底,以第三系红粘土为隔水底板,但是,第三系红粘土并非在库区普遍分布,且厚度并不均匀,故必须查明第三系红粘土的厚度及缺失范围,为后期处理提供依据。为此,我们采用高密度电法完成该项任务。

3.2.2 测区概况

测区地形属黄土丘陵,地貌单元属剥蚀堆积型地貌,地表多为黄土覆盖。测区地层分布有第四系、第三系和奥陶系地层。第四系地层岩性以粉质粘土,黄土状粉状土、粉细砂、卵石为主,厚度一般为 10~30m,最大厚度可达 50m。该层在测区普遍分布。第三系 N_2 红粘土,岩性以红粘土含砾夹泥质卵砾石层或透镜体为主,结构致密,含铁锰质薄膜及少量钙质结核。该层主要分布于洼地及山坡底部,厚度一般为数米至数十米,最大可达八十余米。但在局部该层缺失或很薄。奥陶系灰岩,岩性以中厚层灰岩和白云质灰岩为主,结构致密,坚硬,风化浅,有小的溶孔、溶隙。该地层在测区普遍分布,且厚。

测区内无较大断裂构造,只有小的错动。测区地下水位很深。

测区岩石的电阻率大致变化如下:第四系地层一般为 $20 \sim 30 \Omega \cdot m$;第三系 N_2 红粘土小于 $20 \Omega \cdot m$;奥陶系灰岩大于 $50 \Omega \cdot m$ 。从电性上来看,除第四系中的亚粘土和第三系红粘土差异较小外,其它岩石和红粘土的电性差异都较大。

3.2.3 外业工作

测区原有少量钻孔,本次测网布置让测线都穿过钻孔,目的是和钻孔资料进行对比。测线长 500~750m, a 为 5m,点距 5m,500m 测线为一个排列观测;750m 测线第二个排列,为 76 个测点,两个排列重叠 25 个测点。测试深度从 $1a$ 到 $25a$ 采用温奈尔装置。

3.2.4 解释推断

解释推断以视电阻率等级分布断面图为依据,密切结合地质和钻探资料,先易后难,先定性后定量进行综合解释推断。

3.2.4.1 定性解释推断

图 3 为 0 测线视电阻率等级分布断面图。钻孔 87-9 和 88-4 都揭露有较厚的 N_2 红粘土。从断面图中可以看出,这两个钻孔都位于测线 50~365m 范围的第一等级 $27 \sim 54 \Omega \cdot m$ 的低阻异常内,此低阻异常区域形象地表明, N_2 红粘土由近及远,埋深由深变浅,而且其厚度是中间厚两头薄,365m 以后尖灭。

图 4 是另一测线视电阻率等级分布断面图。钻孔 ZKK 揭露为缺失 N_2 红粘土,断面图中相应显示为高视电阻区域,而 0~300m 却都分布有第一等级 $32 \sim 54 \Omega \cdot m$ 的低阻异常区,390m 以后低阻异常又出现,其埋深加大,视电阻率异常值因埋深加大而变小,这些变化同样应属 N_2 红粘土。

纵观其它测线断面图,同样具有上述现象,因此根据断面图和钻孔资料解释推断:视电阻率等级分布断面图中,高阻异常反映为地层缺失 N_2 红粘土;反之低阻异常反映为地层存在 N_2 红粘土。

3.2.4.2 定量解释推断

欲客观、正确划分红粘土的缺失范围,必须搞清楚高阻异常和红粘土缺失的关系,以及低阻异常和红粘土分布的相关关系。因此,横向的定量解释是问题的关键。测区原有的少量钻孔为横向定量解释提供了重要

依据

图 5 中钻孔 87-13 揭露为缺失红粘土。从图中看出,该钻孔位于第二等级 54~69 $\Omega \cdot m$ 分布区内的边缘部分。由此推断,该测线红粘土缺失范围应包括第二等级视电阻率的边缘部分。

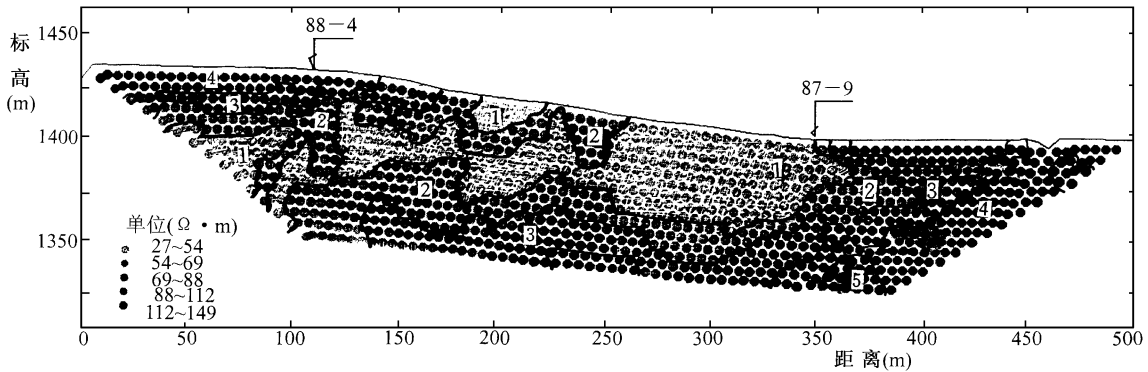


图 3 Fig. 3

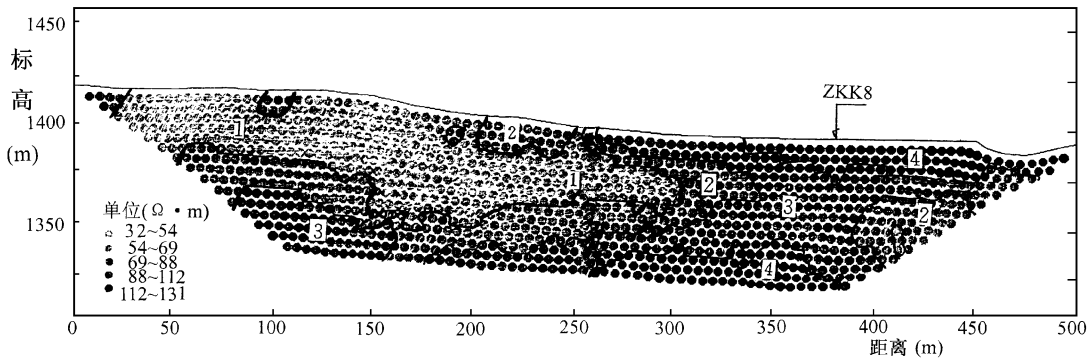


图 4 Fig. 4

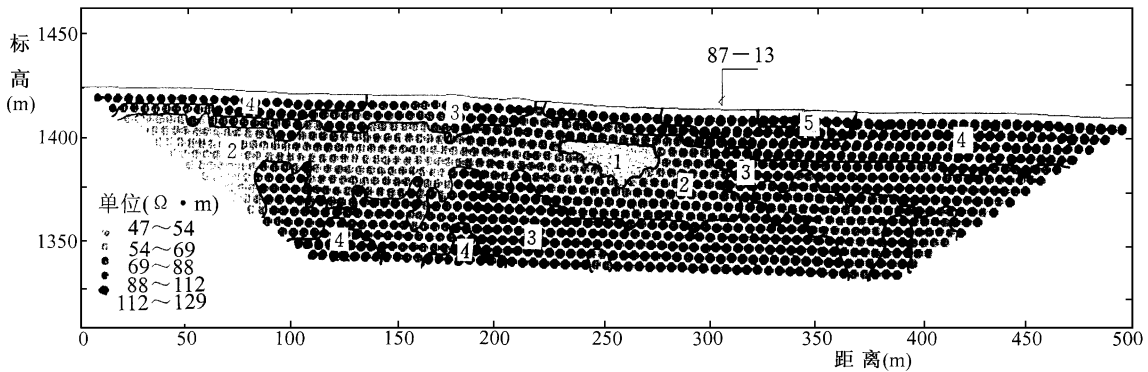


图 5 Fig. 5

根据有关参考文献分析推断,及水槽模拟试验证实,红粘土缺失边界应为第一、二等级分界线。但这仅适于下列情况:①在 N 红粘土具有一定厚度且埋深不太深时;②当 N 红粘土厚度较薄或者其埋深较大时。故在此种情况下缺失边界应向第二等级外缘方向移动。以图 5 为例,缺失边界为第二等级异常明显变窄段为界即 290m 处。

同理,如红粘土埋深较大,可能没有第一等级的视电阻率分布,而只有第二等级的低阻异常分布,这时就应将第二等级视电阻率视为第一等级考虑。

红粘土缺失边界的定量解释推断,是一个较复杂的问题,应综合分析判断。

3.2.5 存在的问题

高阻异常反映为地层缺失红粘土;低阻异常反映

为地层存在红粘土这一定性规律,一般情况下是正确的。但是,在个别测线的部分地段,则另当别论。图 6 断面图中,钻孔 87-9 揭露有红粘土,钻孔 ZKK9 揭露缺失红粘土,钻孔 WZ2 揭露有较厚的红粘土,其埋深为 31.4~41.4m,厚达 10m。但是,断面图中,WZ2 钻孔位置并没有低阻异常反映,反而呈高阻反映,比缺失红粘土的 ZKK9 钻孔还高一个等级。经分析认为原因有二,

其一红粘土埋深较深,异常值自然减小;其二第四系中分布有较厚的卵石层,起到了高阻屏蔽作用,致使下部的红粘土被掩盖而无低阻反映。显然后者卵石层的高阻屏蔽作用应是决定性的。这一推论可从地貌分析即河床及冲沟分布有较厚的卵石层;WZ2 钻孔正位于沟边上,故第四系中有较厚的卵石层得到证实。

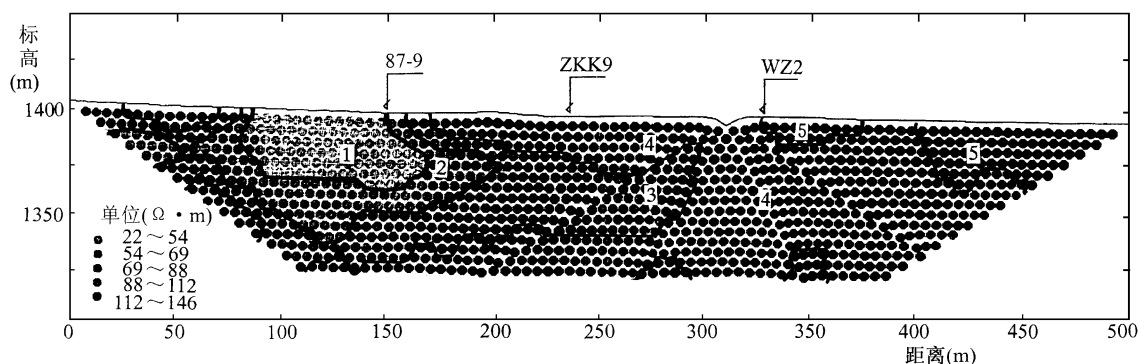


图 6 Fig 6

由于当第四系中分布有较厚的卵石层时,红粘土的划分就受到很大干扰而无法划分,这时就必须依靠钻孔和地质资料综合分析推断,不可贸然下结论。

4 结语

通过以上 2 个工程实例的分析和多年来的实践,我们对高密度电法有如下体会:

(1) 高密度电法同其它物探方法一样,当满足一定的地球物理前提,特别是探测目的体与围岩存在一定的电性差异,且干扰因素较小时,将会取得令人满意的地质应用效果,可以广泛应用于工程地质和水文地质以及其它相关领域,发挥其信息量大,探测精度高,速度快,自动化程度高等优点;

(2) 高密度电法的定性解释和定量解释,必须结合地质和钻探资料进行综合分析,对比,从中寻找规律性的东西。在有条件的时候,可进行室内水槽模拟试验,以便寻找解释依据;

(3) 高密度电法的仪器设备还有待进一步改进。供电频率可改为可变频率或直流,提高对干扰因素的应变能力。因观测系统节点较多,故障率会增加,电极越多,电缆芯越多,其重量必然加大。因此,电缆需向单芯多极观测系统发展。电极装置也可灵活应用,采用反映灵敏,观测深度大,抗干扰能力强的装置;

(4) 资料的处理解释功能尚需进一步优化,最终实

现断面图的反演成像

本文的工程实例,日本地质计测株式会社社长三泽政次郎先生均亲临我院指导,并深入现场,在此,仅以我个人的名义向三泽政次郎先生表示衷心感谢

参考文献

- [1] 高密度比抵抗电气探查法 [R]. 地质计测株式会社, 1984 年 1 月
- [2] 高密度比抵抗电气探查の实例 [R]. 地质计测株式会社, 1984 年 6 月
- [3] 中西博次. 电气探查にのみ空洞探查实施例 [C]. 应用地质株式会社, 物理探查学会第 7 回 (昭和 62 年度秋季) 学术讲演会议演论文集, 1987 年 10 月
- [4] 岛裕雅. 数值实验による比抵抗トモグラフィの精度分解能の检讨, 应用地质株式会社, 物理探查学会第 7 回 (昭和 62 年度秋季) 学术讲演会议演论文集, 1987 年 10 月
- [5] 岛裕雅, 坂山利彦. 比抵抗トモグラフィの关する数值实验结果について [C]. 应用地质学会, 应用地质株式会社, 昭和 62 年度研究发表会议演论文集, 1987 年 10 月
- [6] GER-300AD 交直流电气探查机取扱说明书 [R]. 地质计测株式会社, 1988 年 7 月

编辑: 李善峰