

# 高密度电法在水利水电工程地质勘察中的应用

王清玉, 赵楠, 魏树满, 王志豪

(中水北方勘察设计有限责任公司勘察院, 天津 300222)

**摘要:**高密度电法既能揭示地下某一深度水平向的岩性变化,又能提供沿纵向的地质变化情况,可获得丰富的地质信息,能对地质结构进行较细致的划分。结合一系列工程实例,对高密度电法勘探资料进行解析,得出了符合地质情况的成果,且采用多种方法对所得成果进行了佐证。实践证明,将高密度电法应用于水利水电工程地质勘察中可取得较好效果。

**关键词:**高密度电法;覆盖层;岩层划分;断层;岩溶;地质灾害

中图法分类号:TV698.14

文献标志码:A

## 1 概述

高密度电法实际上是一种阵列式电阻率测量方法,它是结合地震勘探技术与计算机数字技术的典型应用,该方法既能揭示地下某一深度水平向的岩性变化,又能提供沿纵向的地质变化情况。我国自上世纪80年代末开始应用以来,取得了丰富的地质勘察效果。在水利水电系统,我公司率先于1989年应用于黄河大柳树坝址F3断层的探测并取得较好的效果。多年来我们使用高密度电法在水利水电工程地质勘察中完成了近300 km<sup>2</sup>的探测工作,在诸如覆盖层探测、岩层划分、断层探测、岩溶、地质灾害、堤防隐患探测等方面取得了较好的效果。

## 2 工程应用实例

### 2.1 覆盖层厚度探测

为查明某坝址左右岸阶地覆盖层厚度及是否有基岩深槽存在,采用高密度电法进行探测,现场布置22个排列,60根电极,电极距5 m。图1为坝轴线A剖面0~295 m高密度电阻率断面图。由图可知:A剖面0~140 m地层为2层电性结构,第1层底面深度8.0~22.0 m以上视电阻率为20~100 Ω·m,分析为湿

润状态下壤土及砂砾石层反映,该层以下视电阻率为200~800 Ω·m,分析为基岩;140~295 m地层为3层电性结构,第1层底面深度3.0~6.0 m以上视电阻率为200~600 Ω·m,分析为干燥状态下壤土,第2层顶面深度3.0~6.0 m以下、底面深度20.0~26.0 m以上视电阻率为50~200 Ω·m,分析为湿润砂砾石层,该层以下视电阻率为200~800 Ω·m,分析为基岩。

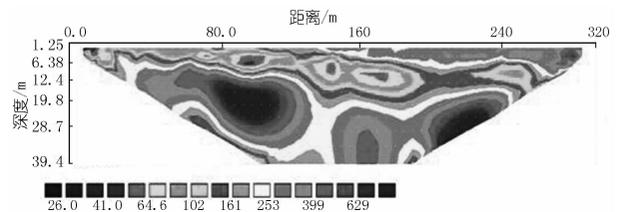


图1 坝轴线A剖面0~295 m高密度电阻率断面 (Ω·m)

分析高密度电法探测成果可知:由河谷向山体、两岸阶地,覆盖层呈逐渐变厚趋势,其中左岸表部壤土厚度一般为1.2~5.8 m,砂卵砾石层底面(基岩顶面)埋深为2.0~25.0 m;右岸表部壤土厚度为3.6~10.6 m,砂卵砾石层底面(基岩顶面)埋深为8.0~37.1 m。

### 2.2 岩层划分

某水电工程厂房区工作范围约300 m×300 m,为查明砂层分布范围和厚度开展了高密度电法勘探,测

区布置 11 个排列,选取电极距 5 m,60 根电极。

图 2 为 W8 剖面反演成果图,剖面范围内的地面高程为 2 371.0 ~ 2 410.0 m。沿水平方向测试成果可分为 5 个单元。

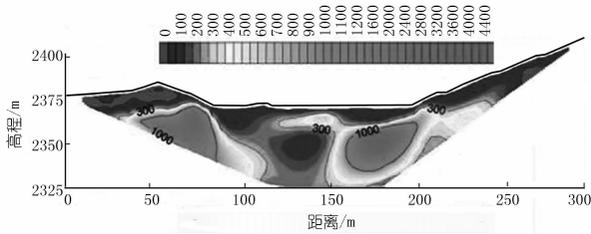


图 2 W8 剖面高密度电阻率断面 ( $\Omega \cdot m$ )

(1) 桩号 0 ~ 80.0 m 表层实测电阻率为 20 ~ 280  $\Omega \cdot m$ ,为碎石土,层底埋深约 3.0 ~ 15.0 m,高程约为 2 365.0 ~ 2 373.0 m。第 2 层实测电阻率为 300 ~ 1 000  $\Omega \cdot m$ ,推测为砂卵砾石,层底埋深约 5.0 ~ 20.0 m,高程约为 2 363.0 ~ 2 371.0 m。第 3 层实测电阻率为 1 000 ~ 3 900  $\Omega \cdot m$ ,推测为砂层,测深范围内未见层底。

(2) 桩号 80.0 ~ 120.0 m 表层实测电阻率为 30 ~ 280  $\Omega \cdot m$ ,为碎石土,层底埋深约 3.0 ~ 32.0 m,高程约为 2 340.0 ~ 2 370.0 m。第 2 层实测电阻率为 300 ~ 800  $\Omega \cdot m$ ,推测为砂卵砾石层,测试范围内未见层底。

(3) 桩号 120.0 ~ 155.0 m 表层实测电阻率为 50 ~ 270  $\Omega \cdot m$ ,为碎石土,层底埋深约 4.0 ~ 9.0 m,层底高程约为 2 362.0 ~ 2 368.0 m。第 2 层实测电阻率为 300 ~ 650  $\Omega \cdot m$ ,推测为砂卵砾石,层底埋深约 11.0 ~ 15.0 m,高程约为 2 357.0 ~ 2 360.0 m。第 3 层实测电阻率为 100 ~ 290  $\Omega \cdot m$ ,推测为碎石土,测试范围内未见层底。

(4) 桩号 155.0 ~ 200.0 m 表层实测电阻率为 20 ~ 260  $\Omega \cdot m$ ,为碎石土,层底埋深约 5.0 ~ 10.0 m,高程约为 2 361.0 ~ 2 369.0 m。第 2 层实测电阻率为 300 ~ 800  $\Omega \cdot m$ ,推测为砂卵砾石,层底埋深约 10.0 ~ 20.0 m,高程约为 2 351.0 ~ 2 362.0 m。第 3 层实测电阻率大于 1 000  $\Omega \cdot m$ ,推测为砂层,层底埋深约 16.0 ~ 36.0 m,高程约为 2 334.0 ~ 2 357.0 m。第 4 层实测电阻率为 300 ~ 800  $\Omega \cdot m$ ,推测为含砂质砂卵砾石,测试范围内未见层底。

(5) 桩号 200.0 ~ 285.0 m 表层实测电阻率为 30 ~ 280  $\Omega \cdot m$ ,为碎石土,层底埋深约 4.0 ~ 15.0 m。第 2 ~ 3 层实测电阻率为 300 ~ 820  $\Omega \cdot m$ ,推测为砂卵砾石,测试范围内未见层底。

通过 11 条高密度电法剖面成果圈定了砂层平面位置、厚度、高程分布状况,为设计、施工开挖提供了重

要的基础资料。

## 2.3 断层探测

某水电站工程坝址右岸疑似有断层存在,于是在相应位置布置两孔进行了勘探,但岩芯获得率极低,实施压水试验亦很困难,不能确定断层分布状态。故实施高密度电法勘探,其中 B 剖面高密度电阻率断面见图 3。由电阻率断面图可知,相应位置地层横向大致可划分为两个单元:第 1 单元位于剖面的 0 ~ 46.0 m,其电阻率为 1 000 ~ 3 000  $\Omega \cdot m$ ,分析为透水性极弱的围岩;第二单元位于剖面的 46.0 ~ 118.0 m,电阻率为 70 ~ 200  $\Omega \cdot m$ ,分析为破碎且强透水岩体。此外,两单元的瑞雷波速度亦有明显差异,分别为 800 ~ 1 200 m/s 和 300 ~ 800 m/s,再结合该区地质资料分析,破碎且强透水岩体即为断层及影响带。根据 3 条高密度电法剖面分析成果可给出该断层及其影响带范围。

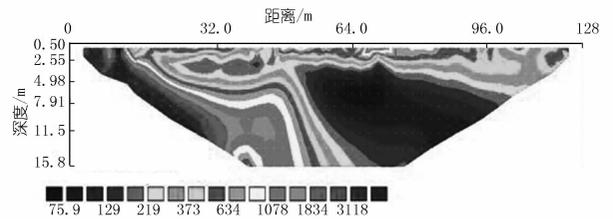


图 3 某坝址右岸 B 剖面高密度电阻率断面 ( $\Omega \cdot m$ )

## 2.4 次生地质灾害探测

为探测某电站厂房右侧地质灾害异常范围、深度,根据场地条件,在相应地段实施了高密度电法探测。图 4 是 L 剖面高密度电阻率断面图,剖面由上游向下游倾斜。

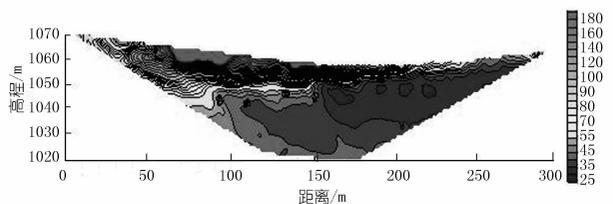


图 4 L 剖面高密度电阻率断面 ( $\Omega \cdot m$ )

高密度电法测试结果显示:大致在水位 1 056 m 以上地层视电阻率相对较高,视电阻率值为 100 ~ 350  $\Omega \cdot m$ ;水位以下地层视电阻率相对较低,视电阻率值一般为 30 ~ 55  $\Omega \cdot m$ ,其中视电阻率值小于 40  $\Omega \cdot m$  的底界面深度约为 38 m,其下部视电阻率值一般大于 40  $\Omega \cdot m$ ,视电阻率值小于 35  $\Omega \cdot m$  的底界面深度约为 28 m。

高密度电法成果表明:基坑右侧土质松散,受影响底高程约为 1 020 m,受影响严重的底高程约为 1 030 m。在桩号 120 ~ 290 m,高程 1 040 m 以上局部有松

散体或不均质体异常。

经钻探验证、地质综合分析,高密度电法物探所揭示的异常符合实际情况。

## 2.5 溶蚀带、岩溶探测

为查明某重点水源工程岩溶发育状况,在工区布置了 17 000 m、68 个高密度电法排列。

工程区地层岩性为寒武系清虚洞组第一段薄层、中厚层至厚层灰岩,岩层产状较平缓,岩溶发育。覆盖层主要为第四系坡残积粉质黏土、黏土夹碎石等,河床水下则为淤泥、砂砾石等。

图 5 为典型的反演解释后的高密度电法电阻率断面图,电阻率断面图表明:覆盖层电阻率为 30 ~ 200  $\Omega \cdot m$ ,层厚一般为 2.2 ~ 13.2 m 且随桩号加大而变小,桩号 360.0 m 以后基岩基本裸露。垂向随埋深加大,电阻率递增且梯度较大,强-弱风化岩体厚度很小。沿剖面方向,基岩被两段低阻破碎或溶蚀发育岩体凹槽分割,其中沿地表距离约 240.0 ~ 270.0 m 段高程 513.0 m 以下岩体电阻率 500 ~ 1 000  $\Omega \cdot m$ 。沿地表距离约 320.0 ~ 360.0 m 段岩体电阻率为 200 ~ 1 000  $\Omega m$ ,且 325.0 ~ 340.0 m 段岩体电阻率为 50 ~ 300  $\Omega \cdot m$ ,其余大部分测段高程 515.0 m 以下基岩电阻率大于 2 000  $\Omega \cdot m$ 。由此推断沿地表距离约 240.0 ~ 270.0 m 低阻段为裂隙密集带或溶蚀发育带,而沿地表距离约 320.0 ~ 360.0 m 段基岩内有被低阻物质充填的岩溶发育,该岩溶倾向 NE,视倾角约 62°。

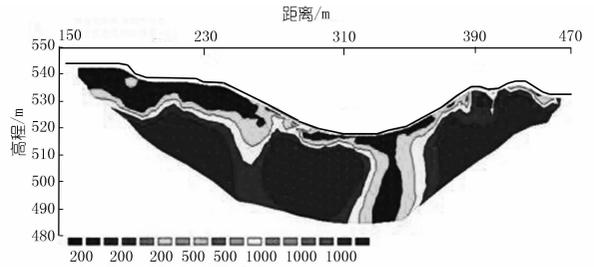


图 5 W7 剖面高密度电阻率断面 ( $\Omega \cdot m$ )

高密度电法探测结果表明:测区试范围内左岸岩体溶蚀发育,一般地表为沟谷地带时,下部均有溶蚀槽或溶蚀破碎带发育且多伴有小溶洞发育,相对而言,右岸岩体溶蚀不发育,岩体较完整均一。

## 3 结语

上述高密度电法勘探成果多被钻探或灌浆试验所验证,但这并不意味着高密度电法可以解决一切问题。事实上,基于物探方法的多解性,上述实例均实施了两种或两种以上的物探方法相互验证,发挥每一种方法的长处,从而提高物探的地质勘察效果。如在覆盖层勘察中,一般联合应用高密度电法和地震折射波法,以达定性准确、定量精度高的目的;在堤防隐患探测中首先用地质雷达普查堤身、堤基,发现异常后再用高密度电法佐证;在管涌、渗水灾害探测中,多联合应用高密度电法和自然电位法。总之,在地质勘察中,发挥综合物探的功效才能得到正确的结果。

(编辑:赵凤超)

(上接第 5 页)

小于某粒径的颗粒的质量百分含量与该粒径的对数值表现出越来越好的线性关系。

(2) 令小于某粒径的颗粒的质量百分含量与该粒径的对数值的拟合曲线为  $y = a \lg(x) + b$ , 当小于 0.002 mm 的颗粒的质量百分数逐渐减小时,拟合曲线中的  $a$  值和  $b$  值表现出先增大后减小的趋势,且分界点为小于 0.002 mm 的颗粒的质量百分数为 15% 左右。

(3) 黏粒含量和试样各种矿物含量无明显相关性,但是和黏土矿物中的蒙脱石呈现负相关,即随着黏粒含量的增加,蒙脱石含量反而减少。

本试验方法是在综合考虑其他颗粒分析方法后,结合试样特点,采用了加热与碾磨相结合的方法,得出的数据符合上述规律,但是试验方法的广泛适用性还

有待进一步研究。

### 参考文献:

- [1] 徐瑞春,周建军.红层与大坝[M].武汉:中国地质大学出版社,2010.
- [2] 项伟.黏粒含量对泥化夹层抗剪强度的影响[J].兰州大学学报:自然科学版,1984,20(3):121-125.
- [3] 项伟.软弱夹层微结构研究及其力学意义[J].地球科学—武汉地质学院学报,1985,10(1):165-169.
- [4] 胡卯文.金沙江溪洛渡水电站坝区软弱层带的工程地质系统研究[D].成都:成都理工学院,1995.
- [5] SL237-1999 土工试验规程[S].北京:中国水利水电出版社,1999.
- [6] SY/T 5434-2009 中华人民共和国石油天然气行业标准[S].中国石油天然气总公司,1995.

(编辑:赵凤超)