

音频大地电场仪及其在地下水中的应用

李德胜 孟宪玮

(中国地质调查局水文地质工程地质技术方法研究所, 河北保定, 071051)

摘要: 本文介绍了音频大地电场仪在地下水勘查中使用方法, 仪器工作原理、功能特点、技术指标及音频大地电场仪在地下水勘查中的应用。

关键词: 音频大地电场仪、音频大地电场法、工作原理、地下水勘查、富水构造带

音频大地电场仪是中国地质调查局水文地质工程地质技术方法研究所科技人员经过多年研制和试验, 利用天然电磁场中 20Hz - 25KHz 范围内的电场信息作为场源, 对不同基岩地区进行地下水勘查的一种物探仪器。仪器主要可用于基岩裂隙水、浅层岩溶水的勘查。对低电阻富水构造带反映灵敏, 能准确提供富水构造带的位置。该仪器轻便、操作简单、探测迅速、资料反映直观、不受地形限制, 可在其它物探仪器无法开展工作的山区开展地下水勘查工作。通过多年大量的实践, 针对仪器及微弱多变的场源, 科技人员总结出了一套较为完善的野外工作及室内资料处理方法, 使该仪器在基岩地区地下水勘查中取得了十分显著的效果。

1、 仪器介绍

1.1、 仪器应用方法

据有关资料报道, 大地电磁场产生的原因十分复杂, 其主要来源有雷雨放电、宇宙射线、地磁场微变及大地感应的工业游散电流。频率超过 1Hz 的大地电场除 50Hz 的工业电流及大功率的高频电台信息外, 几乎都是由雷电产生的。地球上平均每秒钟可发生的大小空间闪电约 100 次以上, 闪电巨大的能量一部分随感应电流流入地下, 远处雷电产生的电磁场以传导波的方式经空间和大地传播, 形成一种较平缓的近似均匀的大地电场。经过各种试验, 大地电场水平分量与岩石电阻率的变化情况基本一致, 这就客观地显示出了天然电场的水平分量与岩石电阻率有着一定的对应关系。

音频大地电场法是利用频率在音频范围内的天然大地电场作为场源, 在地面上沿一定的剖面逐点测量电场强度的水平分量 E_x , 从电场强度的变化可以看出, 这种变化基本能反映出岩石电阻率的变化。由于电场强度的变化间接反映了地层电阻率的变化, 通过研究这种电阻率的变化, 就可以达到了解浅层地质构造的目的。经研究表明某一地层电阻率的大小除了与岩石的各种成分有关, 还与构造的裂隙和岩石的破碎情况有关。地质构造活动使完整的

岩层遭到破坏，在构造的裂隙带和断层破碎带里，通常是地下水富集的地方。实践表明，破碎带的电阻率比完整岩层电阻率低得多，完整灰岩、花岗岩电阻率很高，但破碎充水后电阻率却很低，而这种充水的破碎带，恰恰是寻找地下水的主要目标。^[1]

综上所述，音频大地电场仪所观测到的大地变化情况，基本反映了相应剖面上电阻率的变化情况，这种电阻率的相对变化又与基岩地区的富水构造带有关。因此，结合地质构造情况，分析大地电场曲线变化特点，可达到基岩地区寻找地下水的目的。

1.2、仪器工作原理

仪器工作时，天然场水平信号通过测量电极 MN 进入仪器，仪器对交流信号进行处理，变成直流信号给 A/D 转换器，转换成数字信号后通过显示屏显示。

仪器的模拟电路部分包括宽带通道和 4 个固定频率通道。宽带通道主要是扩宽放大器的通频带，提升频率高端的放大倍数。电路的主要部分包括输入电路、陷波电路、检波电路等。输入电路采用阻抗变换电路来提高仪器的输入阻抗。陷波电路采用串并联电路抑制工业电流 50Hz 及谐波的干扰。检波电路采用线性检波方法把交流信号变为直流信号。工作原理如图 1 所示。

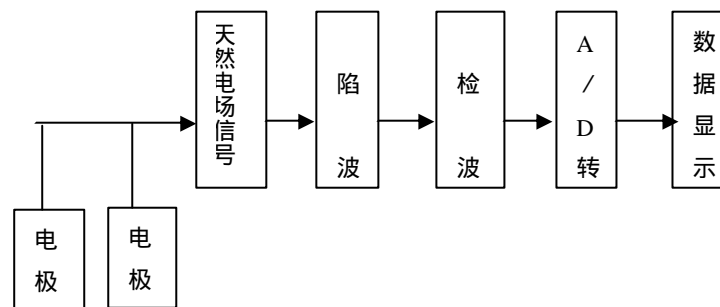


图 1 音频大地电场仪工作原理图

1.2.1、仪器信号输入电路

仪器所采用的信号接收部分是模拟电路，其功能主要是把微弱的天然电场信号通过电极进行采集，然后通过导线将采集到的信号传送给主机。由于仪器接收的信号场源太弱，因此输入级采用电压跟随器的电路形式。它的主要优点是输入阻抗高、输出阻抗低，起阻抗变换作用，提高仪器的灵敏度。信号输入电路见图 2。

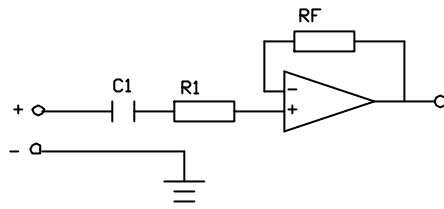


图2 信号输入电路

1.2.2、仪器陷波电路

在实际工作中，由于各种工业电器的干扰、工频 50Hz 及其奇次谐波幅度值不稳定，对仪器的正常工作干扰比较严重。因此，在仪器的制造过程中采用陷波器的方法解决，其陷波中心频率为 50Hz，通过陷波器把工频 50Hz 及其奇次谐波抑制到仪器所容许的水平。在实际设计与调试时，提高陷波器的品质因数 Q 值，陷波器的响应曲线就会十分陡峭，这种陷波器对系统频响特性的影响就会最小。由于采用的此种电路设计合理、电路所用元件少，调试方便，其陷波深度较大，陷波中心点的衰减在 40dB 以上。陷波电路见图 3。

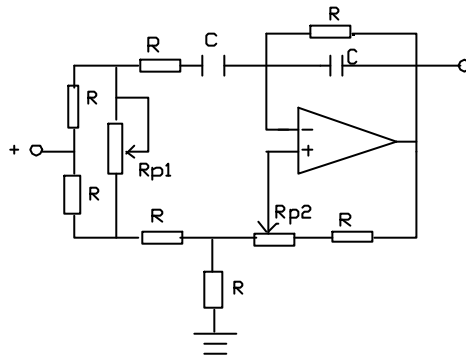


图3 陷波电路

1.2.3、仪器检波电路

仪器线性检波电路的作用是把经过放大后的交流信号转变成直流信号，普通二极管电路受二极管本身正向压降及非线性伏安特性和温度的影响，在检波 1V 以下的小信号时，误差较大，若把二极管置于运放的反馈回路中就能大大的消弱这种影响，起到压缩死区的作用，即使输入电压的有效值小于 20mV 时，检波性能仍然很好。^[2] 检波电路见图 4

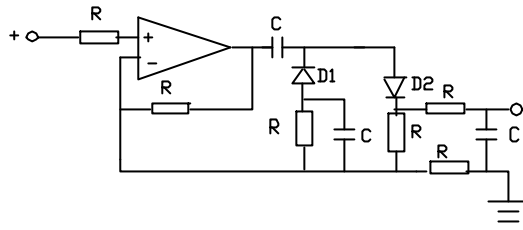


图 4 线性检波电路

1.2.4 仪器信号显示

仪器对接收到的天然电场信号由数字表盘显示，由于音频电场是天然场源，所以读数具有随机性，反映到仪器上，显示的数据是一直变化的，针对这种情况，仪器在设计和研制过程中，采用了提高了输入电路阻抗及放大电路增益、选用高稳定度的 A/D 转换器等办法来提高仪器的灵敏度和抗干扰能力，同时，仪器还采用了开关电容的滤波和陷波作用来进一步抑制干扰，保证了仪器在各种干扰下能正常连续工作。

1.3、仪器的功能特点

- 探测迅速、资料反映直观，对基岩中的低电阻率富水构造带反映灵敏，能够准确提供富水带位置。
- 仪器设有 <500Hz、>500Hz、17.4KHz、22.3KHz 选频档和宽带档 5 个档位，同时宽带档设有 50Hz 陷波和不陷波两种方式，因此可在同一个测量点上得到 6 个不同频段的数据，对判断观测曲线的异常提供了更多的参考资料。
- 该仪器设有工频抑制功能，选择宽带档工作时，当工业杂散电流对测量干扰大、数据不稳定时，可接通工频陷波器，过滤掉 50Hz 工业电流，消除工业大电流对测量的影响。当工业杂散电流对测量干扰小、数据稳定时，可关断工频陷波器。
- 读数直观，每秒一次连续显示，能连续观察天然场的动态变化过程，当观测信号超过量程范围时，本机设有自动溢出指示功能。
- 仪器采用高、中档 IC 集成电路、高精度 A/D 芯片、低功耗的四运放等器件，整机元器件少、功能强、工作稳定可靠，并配有微型信号发生器，可用于随时检查仪器的工作状态。
- 仪器轻便、操作简单、整机功耗低，电源使用 12 节 5# 电池供电，设有 V+、V- 电源检查功能。

1.4、仪器主要技术指标

- 交流音频电压测量信号范围：0 - 2000mV
- 交流音频电压测量精度： $<\pm 5\%$
- 最高分辨率：1/ μV
- 频率响应范围：20Hz - 25kHz
- 输入阻抗： >3
- 整机功耗：157mW
- 测量采样时间：1 秒
- 工作电压： $\pm 9\text{V}$
- 工作温度：- 10 ~ 40

1.5、适用范围

由于音频大地电场仪所利用的是大地中天然交变电场信号，不受地形、地貌、时间等限制。因此，音频大地电场仪不仅应用于地形复杂山区地下水勘测，还可以应用于各种浅层地质构造的普查，探测暗河、溶洞及不同岩性的接触带。在地质灾害的勘查中，也能充分发挥其作用。如在地质灾害隐伏溶洞、溶岩塌陷、隐伏裂隙及断层等各类地质构造勘查中，均取得了较好的探测效果。

2、仪器在地下水勘查中的应用

2.1、应用原则

本仪器采用的是音频大地电场法，它是以岩石的电性差异为依据，属于被动源的交变电场法范畴，因此仪器所要探测的地质体，无论是探测断层破碎带、岩脉还是不同岩性的接触带，要取得明显的地质效果，必须有明显的电阻率差异。这是必须具备的基本地质条件。

音频大地电场法是一种剖面测量法，一般剖面沿垂直于地质构造走向布设，利用天然电场中 20Hz-25KHz 频率范围内的信号，沿剖面对水平电场分量 E_x 进行观测。一般极距为 10m，可视具体情况灵活改变。

2.1.1、通常在坚硬的可溶性石灰岩、白云岩、大理岩地区，如果表土覆盖层厚度不超过 10m，良好的富水破碎带上都能取得很好的地质效果，测线异常幅度值一般应大于 80%。

2.1.2、如果所测地区表土覆盖层厚度超过 10m，且在 30m 范围内，其异常幅度随表土厚度的增加而减小，在表土厚度为 30m 的地方，富水岩体上的异常幅度有时只有 30%左右。依

据异常幅度判断富水性应注意覆盖层厚度的影响。

2.1.3、有些曲线虽然也有较高的低值异常幅度，但是曲线异常形态呈“U”字型，低值部分较宽而且较平缓，这种异常多为低阻地层或者是规模较大的挤压破碎反映，不是良好富水岩体的反映。

2.1.4、测线布置一定要垂直于地质构造轴线方向，否则测线与断层之间的夹角越小，异常越不明显，测线布置的正确与否是和所得曲线形态及幅度有直接关系。

2.1.5、由于仪器接收的天然场信号是不稳定的，所以原始观测曲线与检测曲线不看数值，而只看其曲线形态是否一致。如果两次观测曲线形态基本一致，则可以认定曲线反映是真实的。

2.1.6、影响仪器观测数据的因素有：雷雨季节的雷电，广播电台的高频信号干扰，高压输电线及大型变压器的影响，属于这类的影响都是局部的，而且有一定的规律，很容易识别并避开。

2.1.7、在基岩为低电阻率的页岩、泥岩及泥灰岩地区，由于破碎岩体的电阻率与围岩相差很小，一般很难测到幅度较大的异常。如果表土较湿润，表层电阻率较低，也会使富水体上的异常幅度减小。

2.1.8 测线发现有富水异常反映(一般为明显低值异常)则需在该异常的两侧各相距 30-50m 的地方再布测线，对异常进项追踪，各条测线如果均有明显异常，而异常点位基本为构造带走向，则可以断定这种异常反映很可能为富水破碎带。

2.2、资料解释

资料的解释过程，就是分析研究各种曲线的性质及其所反映的地电特征，再结合当地实际情况，做出具体的推断。在实际野外工作中，需要根据异常变化的大小来计算异常幅度。计算方法是在一条剖面上所测的最大值与最小值之差除以平均值，以百分率表示。具体由下式决定：

$$n = [(V_{\max} - V_{\min}) / ((V_{\max} + V_{\min}) / 2)] \times 100\%$$

用这种计算异常幅度的办法，可以区别测线异常的好坏。根据该计算公式得出的异常幅度分析推断，电场强度异常值反映地下高、低电阻率地质体，得出确切的地质解释。

2.3、应用实例

为了解该仪器在地下水勘查中的实际运用，我们把不同地区、不同岩性的典型曲线形态列述如下：

2.3.1、蒙古国西多尔特水源地地下水勘查音频大地电场仪测试曲线及解释。

该井位于蒙古国西多尔特市东部水源地西区，区内出露岩性多为泥盆系结晶灰岩，断层构造为北东向，所出露结晶灰岩溶蚀现象严重，溶沟、溶槽四处可见，地表覆盖多为堆积，地下水来源以大气降水为主，径流方向大致顺断层方向，自北东向南西。曲线显示低值异常明显，成井井深 150m，出水量达 $80\text{m}^3/\text{h}$ 以上。勘查结果见图 5。

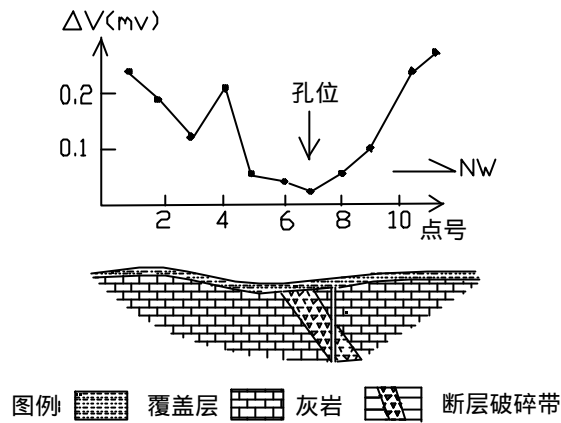


图 5 蒙古国西多尔特水源地地下水勘查音频大地电场仪测试曲线

2.3.2、北京十三陵冶金疗养院地下水勘查音频大地电场仪测试曲线及解释

该井位于北京十三陵冶金疗养院，此处山谷较窄，地形起伏较大，山坡有白云岩出露，附近未见明显构造迹象，观察地貌分析可能有顺沟断层，测线横切山谷寻找隐伏断层，测试曲线显示明显低值异常，异常幅度达 110%，成井井深 110m，出水量 $40\text{m}^3/\text{h}$ 以上。勘查结果见图 6。

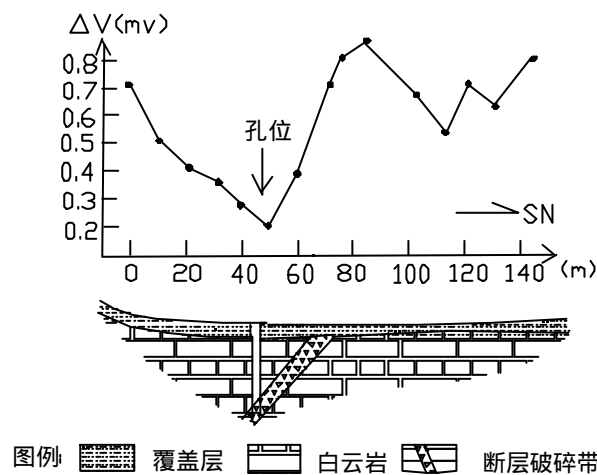


图 6 北京十三陵冶金疗养院地下水勘查音频大地电场仪测试曲线

2.3.3、广东省某水泥厂地下水勘查音频大地电场仪测试曲线及解释

该水泥厂位于广东省花县东南丘陵地区，第四纪覆盖层为 10 多米厚土层，土层之下即

为厚层灰岩，厂区附近有小河，但河水污染严重，不能饮用。在距小河较远地带测得低值异常带明显，异常幅度达 103%，推断为富水破碎带反映，成井井深 120m，出水量 $46\text{m}^3/\text{h}$ 以上。勘查结果见图 7。

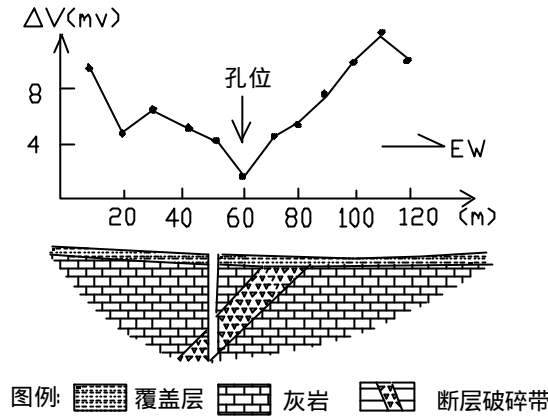


图 7 广东省某水泥厂地下水勘查音频大地电场仪测试曲线

3、结论

多年来的实践证明，音频大地电场仪作为一种地质物探仪器，由于仪器设备轻便、操作简单、不受地形限制、资料解释直观，便于地质物探人员应用。广泛应用于地形复杂的山区地下水勘查，探测断层、破碎带、暗河、溶洞及某些岩性不同的接触带等地质问题。仪器不仅在国内一些地形复杂山区找水效果良好，而且在国外如非洲尼日利亚、蒙古国等多个国家使用，均取得了满意效果。因此已被越来越多的单位和部门推广应用。

参考文献

- [1] 连克，基岩地下水勘查技术方法，国土资源部水文地质工程地质技术方法研究所，1998，9。
- [2] 张青，主要地址灾害勘查、监测及防治技术方法研究，地质矿部水文地质工程地质技术方法研究所，1995，12。