

西南岩溶山区物探找水效果

李凤哲^{1,2}, 朱庆俊², 孙银行²

(1. 中国地质大学 地球物理与信息技术学院, 北京 100083; 2. 中国地质调查局 水文地质环境地质调查中心, 河北 保定 071051)

摘 要: 在利用地球物理方法探测西南岩溶山区地下水, 确定宜井孔位时, 正确分析、判断引起物探异常源的性质, 选择合理的方法是决定能否获得地下水勘查成功的关键。通过分析在广西隆安县多处西南岩溶山区找水的成功实例, 提出了适宜本地区的音频大地电场法、音频大地电磁测深法组合的物探找水模式, 并对其勘查效果进行浅析, 总结出确定宜井孔位时几点经验。供从事西南岩溶山区找水工作者参考。

关键词: 岩溶山区; 物探方法; 地下水; 音频大地电场法; 音频大地电磁测深

中图分类号: P631 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8918(2013)04-0591-05

由于西南岩溶山区地下水贮存环境的复杂性和不均匀性, 给利用地球物理勘查技术探测地下水带来较大困难。从目前西南岩溶山区地下水勘查现状来讲, 物探技术勘查地下水主要面临的难点有二: 一是如何分析判断岩溶裂隙或管道中充填物性质, 即充填物是泥还是水, 从地球物理特征上讲, 无论是何种性质的充填物, 反映的曲线形态是单个异常体或线性异常体, 均具有低电阻率的地球物理特征; 二是由于西南岩溶山区特殊的地形条件, 如何选择合理有效的物探技术方法, 尽量减小地形影响。因此在利用地球物理方法探测西南岩溶山区地下水, 确定宜井孔位时, 正确分析判断引起物探异常源的性质, 选择合理的方法, 是决定能否获得地下水勘查成功的关键。为此, 作者通过分析在 2010 年西南百年不遇大旱的抗旱救灾工作中广西隆安县多处物探找水的成功实例, 提出了适合本地区的音频大地电场法、音频大地电磁测深法组合的物探找水模式。

1 地球物理勘查方法效果分析

1.1 方法有效性

音频大地电场法 (YDD-B) 是电磁法的一种, 它以 20 Hz ~ 20 kHz 范围内的天然大地电场作为场源, 在地面沿剖面线测量水平电场强度 E_x , 计算电场强度, 从其变化来反映地下岩石电阻率的变化, 以达了解浅层地质构造的目的, 探测对象为陡立的地质体, 如断裂构造带、岩溶裂隙发育带、岩脉等。

该方法在本次西南岩溶山区找水工作中有很好

的发挥。隆安县俭安村岫独屯 13 线音频大地电场法的测量结果, 在钻空位置为明显的低值异常, 其异常幅值

$$F = \frac{\nabla V_{\text{amax}} - \nabla V_{\text{amin}}}{(\nabla V_{\text{amax}} + \nabla V_{\text{amin}})/2} \times 100\% = 96\%,$$

式中, ∇V_{amax} 、 ∇V_{amin} 分别为一条剖面中有效数据的最大、最小电位差值。与其他工作区相比, 岫独屯音频大地电场异常明显, 幅值大。通常在南方岩溶石山地区, 音频大地电场曲线的异常幅值较小 (F 约为 100%), 与在北方基岩山区工作有所不同 (F 通常大于 150%)。分析其原因, 应与表层黏土高持水性表现出低电阻率有关。

音频大地电磁测深法 (EH-4 电导率成像系统) 是目前国内先进的找水技术方法之一, 该方法观测的基本参数为正交的电场分量 (E_x 、 E_y) 和磁场分量 (H_x 、 H_y)。EH-4 电导率成像法高频响应时 10 Hz ~ 100 kHz, 能够满足此地区勘探深度的要求。利用 EMAP 观测方式, 提高了横向分辨率, 有效地压制了静态效应。因此在岩溶山区选择以上两种物探方法判断岩溶构造的富水性, 确定宜井井位, 可以有效解决找水难题。

1.2 地球物理特征

在岩溶山区, 音频大地电场法可以被用于判断构造的大致走向, 若音频大地电场勘查为低值异常, 则低值连线方向应该与构造方向相吻合。

EH-4 电导率成像系统具有勘测深度大, 分辨率高的特点, 这为分析、判断岩溶裂隙或管道中充填物

的性质提供了依据。若勘查结果显示视电阻率等值线发生明显的低值畸变,应为断裂构造的反应,断层带中的电阻率值与围岩的电阻率值相差较大,应该是被泥或泥水充填。相反,勘查结果的视电阻率等值线平滑、无畸变,说明该剖面上位置完整、无构造裂隙。一般来说,断层的上盘边界不明显,岩溶较发育,井位不宜定在正的断裂构造带上,即电阻率值最低处,应该定在断裂构造的影响带上。因为在西南岩溶区构造规模较大,溶洞被黏土充填程度高,视电阻率最低值处有可能是被黏土充填的反应。

2 工作区水文地质概况

隆安县地处桂西南岩溶山地,右江从西北向东南方向流经县城,斜贯中部,形成总体沿右江河谷较低,向两侧逐渐增高的趋势。该县的地形地貌明显受构造控制,北西向构造断裂带形成北西—南东向右江河谷平原,东北部的经向构造产生北东向和北西向两组裂面(北东向为主),控制了条形谷地及山地东方向有规律地平行延伸,纬向构造形迹在西部及西南部起主导作用;由于产生北东向和北西向“X”断裂和解理面,构成棋盘式格局组合的谷地、洼地和山体排列,而两组裂面或断裂的交叉处则形成较宽阔的谷地。图1为隆安县的地形地貌。

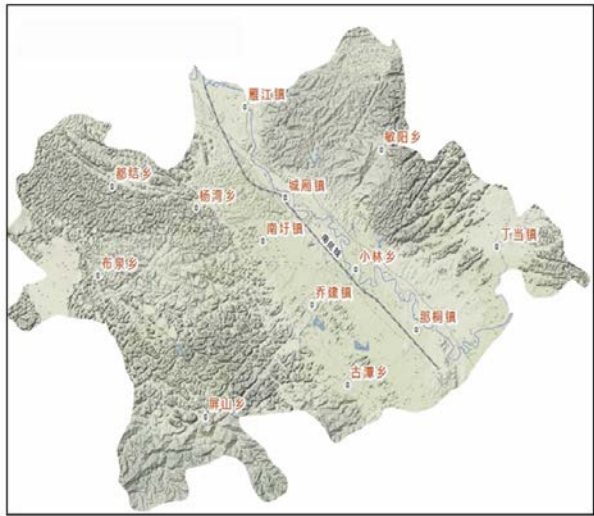


图1 隆安县地形地貌示意

区内主要岩性为厚层块状灰岩、燧石灰岩、白云质灰岩、白云岩,夹少量硅质、泥质灰岩及硅质层,在隆安—那桐—丁当一线上覆第四系亚黏土层。地貌类型包括峰丛洼地、峰林谷地、孤峰残丘平原和溶岭谷地。地下水水位埋深一般小于50 m,地下岩溶管道普遍发育,地下水补给面积广阔,流域长。泉及地下水出口的流量一般大于1 L/s,半数以上大于10

L/s,大部分地段含水丰富。

3 典型实例

本次野外工作先后在隆安县丁当镇和屏山乡的14个屯开展了15处物探找水工作,其中14口成井,成功率93.3%,下面介绍其中几个典型的实例。

3.1 丁当镇俭安村岜独屯

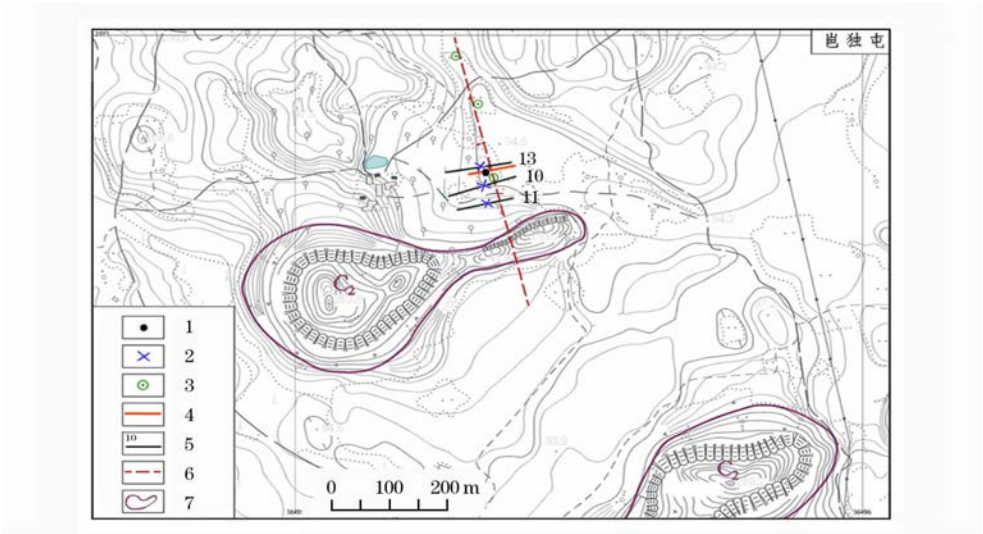
岜独屯位于丁当镇的西北部,与其周围2个屯相距较近。三屯曾先后打井6眼,井深60~70 m,其中4眼干孔,2眼水量在1~2 m³/h,并且由于淤沙,几近报废。村民饮水需到5 km外去拉。

村庄周边地貌为孤峰残丘,地势起伏平缓、开阔,表层黏土厚度一般小于2 m。孤峰山脊呈北东向,北西向沟谷也较发育。出露基岩为石炭系中统(C₂)灰白色块状白云岩,产状36°∠24°。地表水由南西流向北东,地下水与地表水走向基本一致,地下水位埋深约20 m,年水位变幅约10 m,地下水动态类型属于水文型,受大气降水控制,基本不受人工开采影响。在村屯的东北部发育串珠状落水洞,其总体方向为N20°W,在东南方向与北东向山脊缺口相对应(图2)。

经地面调查后发现,村庄周围的落水洞呈线状排列,并通过西南部的北西向山脊丫口,判断发育近N20°W方向的断裂岩溶构造。选择易于开展测量工作,且具备施工条件的岜独屯南部,在垂直落水洞发育方向首先布置了3条音频大地电场测线,分析音频大地电场曲线后,在相同的方向上布置了一条EH-4测量剖面(见图2)。

图3为岜独屯音频大地电场测量结果曲线,反映低值异常明显,规律性强,揭示出断层走向为N20°W左右,其中音频大地电场11线低阻异常较宽,推测是受顺NE向沟谷发育断层影响所致。

EH-4勘查工作选在地形条件较好,离村庄较近且音频大地电场曲线异常形态好的13线附近展开。分析EH-4勘查结果(图4)发现,工作区浅部(小于30 m)岩溶较发育,呈现出层状特点,其与地表水联系密切,可直接接受地表水和大气降水的补给。剖面60 m处发育一断层,断层及影响带宽度共10 m,断层倾向剖面尾端(南东),倾角较大,断层发育深度100 m左右。断层带不同深度范围的电性差异应与沿断层的岩溶发育情况和岩石破碎情况有关,浅部30 m处低阻圈闭推断为被泥、泥水充填的溶洞,50~70 m段岩石相对完整,70~100 m岩石破碎,富水性强。井位设计在断层上盘,避开浅部被黏土充填的溶洞,预计井深70 m左右遭遇断层,建议井深



1—井位;2—大地电场异常点;3—落水洞;4—EH-4 测线;5—大地电场测线;6—推断断层;7—地层界线
图 2 芭独屯工作布置及调查成果示意

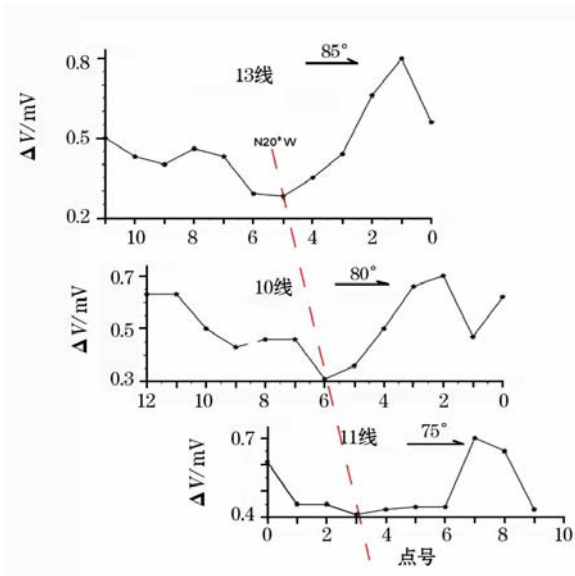


图 3 芭独屯音频大地电场勘查结果

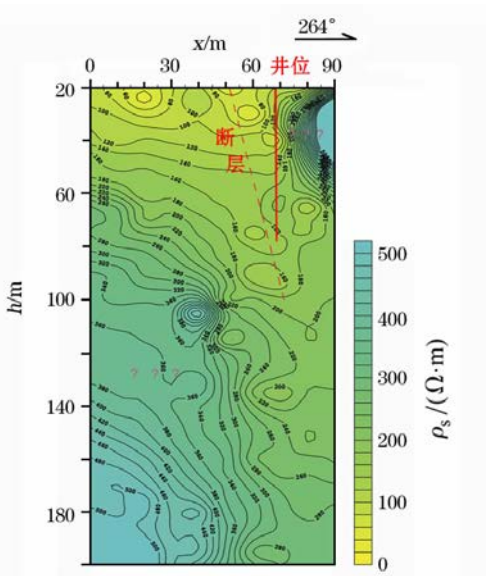


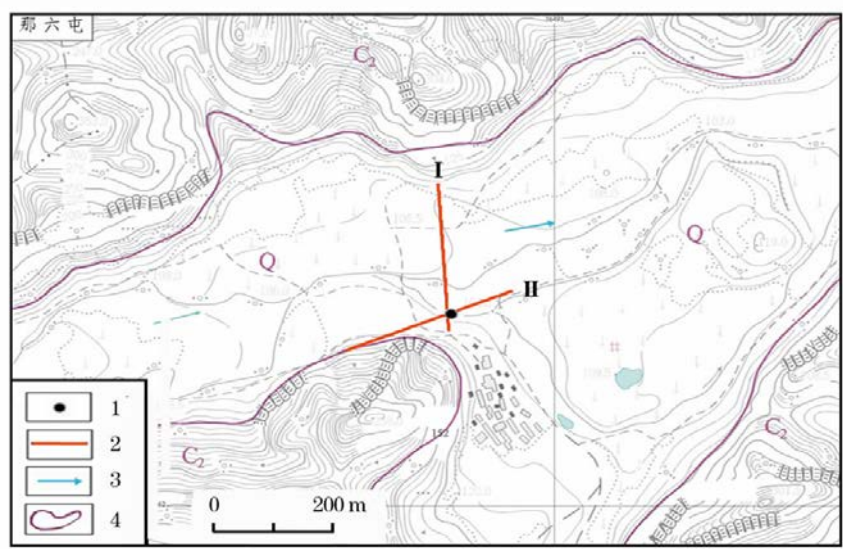
图 4 芭独屯 EH-4 勘查结果

100 m。
施工后,单井出水量达 1 680 m³/d 以上,主要出水段在 60 ~ 80 m,为断层破碎带。

3.2 丁当镇俭安村那六屯

那六屯位于丁当镇的西北部,与芭独屯同处于北东向沟谷中。村东北部有一口井,井深 18 m,井壁的上部 10 m 溶蚀裂隙较为发育,有水渗出,下部完整。此井水为本屯饮水水源,雨季时水量较为充裕,旱季不足,需到 4 km 外拉水作为补充水源。
西沟谷呈“U”字型,较为开阔、平缓,谷底标高在 104 ~ 110 m,表层为第四系黏土覆盖,厚度一般小于 2 m。山坡坡度一般大于 30°,多形成陡崖,最高标高 393 m,出露基岩为石炭系中统厚层灰岩,产状 36°∠24°,陡壁处可见 N20° ~ 30°E 贯通状张开

性裂隙。
地表水由南西流向北东,地下水与地表水流向基本一致,地下水位埋深 20 m 左右,年水位变幅约 10 m,地下水动态类型属于水文型,受大气降水控制,基本不受人工开采影响。
村庄及周边沟谷以北东向为主,即为主要的构造线方向,与其对应的北西向构造也应较发育。在村庄西部北东向沟谷内布置 2 条 EH-4 测量剖面,呈十字交叉,分别平行、垂直沟谷方向(图 5)。
I 线 EH-4 勘查断面由于受顺沟谷发育的小沟谷的影响呈现出明显的静态特征,未能较好地反映出地层结构的变化和断层的空间形态。
图 6 为 II 线 EH-4 勘查结果。由于 EH-4 探测盲区和数据质量较差,断面图从埋深 20 m 起始。图



1—井位;2—EH-4 测线;3—地下水流向;4—地层界线
图 5 那六屯工作布置及调查成果示意

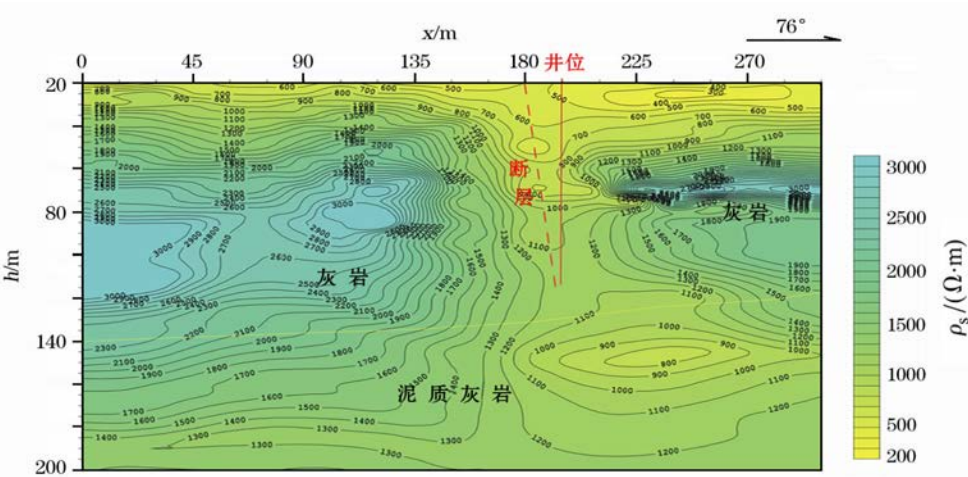


图 6 那六屯 II 线 EH-4 勘查结果

中可见,视电阻率值从浅至深呈现出低—高—低的变化特征。从等值线的梯度变化可知,浅部低阻应是由薄层的亚黏土覆盖层引起($<3\text{ m}$),埋深 20 m 处从剖面起始端至剖面 180 m 处已是完整灰岩的电性反映,而剖面 $225\sim 285\text{ m}$ 处浅层($<30\text{ m}$)电阻率值较低,该处浅层岩溶相对发育。

断面中部电阻率值最高。埋深 140 m 以下,电阻率出现下降的趋势,推测该处的岩性有所改变。

在剖面 $180\sim 195\text{ m}$ 处存在一明显的垂向低阻异常带,推测为断层反映,断层及其影响带宽度约 15 m ,断层宽度约为 5 m ,倾向剖面尾端(东倾),断层发育深度小于 120 m 。沿断层带岩溶发育,在断层带内埋深 50 m 和 70 m 左右存在的低阻圈闭推断为溶洞反映,其与完整围岩的电性差达到 4 倍以上,推测其被泥或泥水充填。鉴于断层带内破碎,泥质

含量可能较高,成井难度大,故井位定于剖面 195 m 处的断层上盘,以开采断层影响带内的裂隙、溶隙水和深部断层带的水为目的,建议井深 120 m 。

经钻探施工,单井出水量达 $500\text{ m}^3/\text{d}$ 以上,主要出水段 $58\sim 59\text{ m}$ 、 $97.5\sim 98\text{ m}$,为断层破碎带或其断裂影响带。

4 地球物理勘探找水模式

根据在西南岩溶区找水的成功经验,总结了适合寻找岩溶水的物探方法的最佳勘查模式:

(1)收集并研究工作区内有关地质、水文地质资料,重点了解工作区地层岩性特征以及区域地质构造的特征分布。

(2)对缺水村庄进行水文地质调查,了解村周围民井、落水洞、洼地等情况,为布置物探工作提供

有力依据。

(3)在选定好的若干个小工作区内首先布置音频大地电场测线,分析测量结果,初步确定构造走向,为进一步布设 EH-4 电导率成像系统提供依据。

(4)在音频大地电场法异常反应明显区,布置勘探深度大、横向分辨率高的 EH-4 电导率成像系统,查明覆盖层厚度、岩溶构造分布特征,最终确定宜井井位。

5 结论

(1)两种或多种物探方法相组合,在西南岩溶山区找水是可行、有效的。音频大地电场法和 EH-4 电导率成像系统均具有仪器轻便,测量速度快、工作效率高的特点,采用这两种物探方法相结合,是找水的最佳组合模式。

(2)根据西南岩溶山区地形地貌和地下水赋存规律,音频大地电场法能够快速选定靶区,确定岩溶构造的走向,为下一步的物探工作提供依据;EH-4 电导率成像系统能提供高分辨率的电阻率成像,比较准确地判断出岩溶构造的倾向和富水性。

(3)在西南岩溶山区找水过程中,依据 EH-4 电

导率成像系统的勘查结果确定井位的方法与北方基岩山区有所不同。在基岩山区井位一般定在构造的发育带上,而在岩溶山区还要考虑构造发育带中不会有泥质充填或半泥半水的问题,一般情况下井位应定在构造发育带的边缘。

野外工作得到了隆安县丁当镇国土资源所的鼎力支持,在此表示感谢。特别感谢隆安县抗旱救灾小组全体成员对论文的大力支持。

参考文献:

[1] 张致付,程志平. 物探方法在探测岩溶构造中的应用[J]. 桂林工学院学报,2003,23(1):41.
[2] 连克. 基岩地下水勘查技术方法[D]. 地质矿产部水文地质工程地质方法研究所,1998.
[3] 郭建强,武毅. 宁南干旱缺水地区地下水勘查物探新技术、新方法研究报告[D]. 保定:地质矿产部工程地质方法研究所,1999.
[4] 伍岳. EH-4 电磁成像系统在砂岩地区勘查地下水的应用研究[J]. 物探与化探,1999,23(5):335.
[5] 王宇. 岩溶找水与开发技术研究[M]. 北京:地质出版社,2006.

THE EFFECTS OF GEOPHYSICAL WATER EXPLORATION
IN KARST MOUNTAIN AREAS OF SOUTHWEST CHINA

LI Feng-zhe^{1,2}, ZHU Qing-jun², SUN Yin-hang²

(1. School of Geophysics and Information Technology, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. Center for Hydrogeology and Environmental Geology, CGS, Baoding 071051, China)

Abstract: In the utilization of geophysical methods to detect underground water in karst mountain areas of Southwest China and the determination of suitable well position, the correct analysis and judgment of the properties of anomaly source and the choice of proper methods constitute the key to the successful exploration of underground water. Based on an analysis of the cases of successful water exploration in quite a few karst mountain areas in Long'an County of Guangxi, the authors put forward the geophysical water exploration model based on the combination of audio frequency telluric electric field method and audio frequency magnetotelluric sounding method, and made a tentative analysis of its exploration effect. Some experience concerning the determination of suitable well position was summed up as reference for water exploration workers in this region.

Key words: Karst mountain areas; geophysical models; underground water; audio frequency telluric electric field method; audio frequency magnetotelluric sounding method

作者简介: 李凤哲(1979-),女,工程师,毕业于中国地质大学(武汉)地理信息专业,从事地下水地球物理勘查技术研究。