

doi:10.3969/j.issn.2097-0013.2022.02.015

水文地质调查结合直流电法在赣南地区找水中的应用

欧阳波罗¹, 易强¹, 路韬², 黄超¹, 邵长生^{2*}, 肖立权¹, 刘声凯¹

OUYANG Bo-Luo¹, YI Qiang¹, LU Tao², HUANG Chao¹, SHAO Chang-Sheng^{2*}, XIAO Li-Quan¹, LIU Sheng-Kai¹

1. 湖南省水文地质环境地质调查监测所, 湖南 长沙 410129;

2. 中国地质调查局武汉地质调查中心(中南地质科技创新中心), 湖北 武汉 430205

1. Hunan Institute of Hydrogeological and Environment Geological Survey and Monitoring, Changsha 410129, Hunan, China;

2. Wuhan Center of China Geological Survey (Central South China Innovation Center for Geosciences), Wuhan 430205, Hubei, China

摘要:水资源缺乏严重影响了赣南地区经济社会发展,本文采用水文地质调查结合直流电法分别在赣州市赣县区花岗岩分布区和寒武纪变质岩分布区成功找到了能满足当地村民需求的生活用水,为该区脱贫摘帽贡献了力量,同时为该区乡村振兴战略打下了坚实的基础。具体工作方法为:(1)在花岗岩地区,先通过水文地质调查确定浅层强风化构造裂隙为潜在含水目标层,然后结合直流电法查证浅层强风化构造裂隙带的分布、发育厚度、规模及赋水特征;(2)在寒武纪变质岩地区,找水目标层为构造破碎带,先通过水文地质调查确定构造破碎带的分布及走向,后续采用直流电法探查构造破碎带的发育特征及富水性。结果表明:采用上述方法成功探查到富水区域,为钻孔孔位比选及精准定位提供数据支撑;通过钻探和抽水试验验证了物探解译结果,两处钻孔均达到了预期目标,该找水方法可以为当地后续的找水工作提供借鉴和参考。

关键词:地下水勘查;水文地质调查;直流电法;断裂构造;赣南地区

中图分类号:P641.7

文献标识码:A

文章编号:2097-0013(2022)02-0340-10

Ouyang B L, Yi Q, Lu T, Huang C, Shao C S, Xiao L Q and Liu S K. 2022. Application of Hydrogeological Survey Combined with Direct Current Prospecting in Groundwater Search in Southern Jiangxi Province. *South China Geology*, 38(2):340-349.

Abstract: The deficiency of water resources has seriously affected the economic and social development of southern Jiangxi. In this paper, ground water has been successfully found through the hydrogeological survey combined with the direct current prospecting in the granite and the Cambrian metamorphic rock distribution areas in Ganxian District, Ganzhou City, which has contributed to the poverty alleviation in the district and laid a solid foundation for the rural revitalization strategy. The specific working methods are as follows: (1) In the granite area, firstly the shallow strongly weathered structural fissures were determined as potential target water-bearing beds through hydrogeological survey, and then were verified the distribution, thickness, scale and water-bearing characteristics by the direct current prospecting. (2) In the Cambrian metamorphic rock area, the target layer for water exploration is the structural fractured zone, the distribution and trend of which were firstly determined through hydrogeological surveys, and then the development characteristics and water

收稿日期:2021-5-21;修回日期:2021-8-4

基金项目:中国地质调查局项目(DD20190328)

第一作者:欧阳波罗(1988—),男,高级工程师,主要从事水文地质调查评价方面的工作,E-mail:891699682@qq.com

通讯作者:邵长生(1980—),男,硕士,高级工程师,主要从事水工环地质调查和地下水资源评价工作,E-mail:18986138155@qq.com

richness of which were explored by direct current prospecting. The results show that the water-rich area was successfully detected by the above methods, which provided data for the comparison and precise positioning of boreholes. The following drilling and pumping tests verified the interpretation results of geophysical exploration, and water output of both boreholes achieved the expected goals. The groundwater search can provide reference for local groundwater exploring work.

Key words: groundwater survey; hydrogeological survey; direct current prospecting; fault structure; southern Jiangxi province

赣南地区作为革命老区,经济的发展一直低于全国平均水平,是自然资源部定点扶贫地区,其中水资源缺乏是经济落后的主要原因之一(黄长生等,2021)。该地区农村人口多,贫困人口基数大、分布广,部分村落季节性缺水现象严重,遇干旱天气时人畜饮水困难,饮水安全问题亟待解决。因此,选择科学合理的方法勘察进而快速找到满足当地经济和社会发展的水源成了该区脱贫摘帽和乡村振兴的重要抓手。

国内外在地下水勘查方面采用的方法具有一定的相似性和普遍性,均通过地质手段或者物探等方法来探查地下水源(刘磊等,2015),并通过钻探工程验证。使用的地质手段有水文地质调查及地质测绘(刘声凯等,2021)、遥感等;而物探方法则有常规的直流电法(联合剖面法、高密度电法、激电测深法、自然电场法、充电法、电阻率测井等)和电磁法(瞬变电磁法、大地电磁法、可控源音频大地电磁法等)。从单一电法来看,高密度电法在花岗岩分布区(王晓龙等,2020)、变质岩分布区(刘振夏等,2019)、岩溶发育地区(欧阳伟和徐晓英,2013;梁海等,2017;王永生和张玉池,2018;郑智杰等,2019)等均有比较普遍的应用;激电测深法在内蒙古(刘慧娥等,2013)和河北省张家口(夏凡,2014)等地区找水均取得了成功;电法测井方法为海南石碌矿区地下水文地质勘查和地下水评价提供了可靠的水文地质资料(王紫维等,2019);综合电法在地下水勘查工作中也有着广泛的应用,并取得了较好的成果,例如四川“红层地区”(王鹏飞等,2019)、甘肃北山地区(朱晓泉等,2019)、河西走廊(王伟,2010)、贵州岩溶地区(刘永锋等,2017)、祁连山山前缺水地区(刘得福等,2006)、湖南怀化岩溶地区(郭健强等,2020)等。任磊等(2021)则采用音频大地

电磁测深和高密度电阻率法相结合对海南省琼中县榕木村花岗岩区深部赋水断裂破碎带的位置、深度、规模和产状特征进行了探测,为该区的水文地质钻井孔位设计提供了有效技术支撑。综合上述,各方法均有其适用性及针对性,要想高效、准确地找到地下水,需要根据当地的实际情况选择相应的物探方法。

本文在前人工作和研究的基础上,分别在赣南地区花岗岩地区和寒武纪变质岩地区选择了两处缺水地区,通过地质手段(水文地质调查及测绘)与综合物探方法(直流电法)相结合来寻找地下水,进行地下水源目标靶区选择,进而满足缺水地区的用水需求。

根据当地的地质地貌条件,首先开展水文地质调查,确定目标含水层,进而采用直流电法开展物探勘查工作,圈定含水有利区域,确定钻孔位置,后期经钻探和抽水试验验证,7处钻井打出了能满足当地村民需求的生活用水。

1 研究区概况

1.1 研究区基本情况

研究区1位于江西省赣州市赣县区田村镇根山村,根山村缺水人数为21户,94人,属第Ⅲ类“水质达标,水量不足”需求点。村民通过挖大口井蓄水模式,分散开采浅层第四系孔隙水为饮用水源,局部村民接山泉水作为饮用水。由于第四系孔隙水及山泉水主要补给源为大气降水,受季节变化影响较大,尤其是干旱季节,村民的饮用水难以得到保障。

研究区2位于江西省赣州市赣县区大田乡杜屋村。2017年以前,季节性缺水较为明显,2017年中国地质调查局武汉地质调查中心通过实施1口

钻井解决了缺水问题。本次工作目标是在杜屋村实施一口矿泉水井,致力于当地的乡村振兴。

1.2 地质概况

根山村位于一近东西向的沟谷内,相对高差小于 100 m,地势西高东低,周边大面积出露晚三叠世细粒白云二长花岗岩($T_3\eta\gamma$),沟谷内以农业种植为主,底部为花岗岩风化砂土层覆盖。

杜屋村位于一北西向冲沟内,相对高差 100~200 m,冲沟东侧出露的地层为寒武系牛角河组(C_1nj)绢云母板岩、变余细砂岩,西侧为侏罗纪中粒斑状(似斑状)黑云母花岗岩($J_1\gamma$)、二云母花岗岩,二者为侵入接触,沟谷底部为第四系覆盖。

1.3 水文地质概况

根据含水介质的不同将研究区的地下水类型分为风化带网状裂隙水和构造裂隙水。

根山村地下水类型为风化带网状裂隙水,主要赋存于花岗岩强风化层当中。地下水多呈散流形式排泄于沟谷或洼地中,泉流量一般较小。该层地下水受岩石裂隙发育程度及风化层厚度控制,在岩石风化作用强、风化厚度较大、风化带网状裂隙发育、大气降水较丰富的地区,水量较为丰富,反之则水量贫乏,富水性差。

杜屋村的地下水类型为构造裂隙水,受围岩地层岩性和裂隙发育程度制约,不同构造带的富水性差异巨大。裂隙发育地段一般充水裂隙较多,富水性较好。地形地貌及降水条件也是影响构造裂隙水富水性的重要因素。地势越高,植被越发育,降水量一般越大。因此基岩裂隙水富水性在分水岭地带往往较之山麓或坡谷地带富水性好。

2 找水技术与方法

根据现场的实际情况,因地制宜开展工作。找水工作的主要流程为:(1)水文地质调查、确定物探布线位置;(2)根据调查结果选择合适的物探工作手段并开展工作;(3)综合分析物探结果,确定布孔位置。

2.1 水文地质调查

结合研究区地质背景及地形地貌等条件,分别在根山村、杜屋村开展水文地质调查工作,通过调

查确定研究区的富水部位(表 1)。

2.2 地球物理勘探

2.2.1 地球物理特征

研究区地层岩性为花岗岩和变质岩,根据区域地质资料及前期物探资料(湖南省地质矿产勘查开发局 416 队,2017),结合对本次物探工作野外岩石物性测试可知:风化层视电阻率均小于 $200.0 \Omega \cdot m$,强风化花岗岩视电阻率为 $200.0 \sim 600.0 \Omega \cdot m$,中至微风化花岗岩在 $600.0 \Omega \cdot m$ 以上,其值随岩体完整程度、节理裂隙发育程度、充填程度稍有变化;当花岗岩、变质岩类或红层区中含有充填地下水的构造裂隙破碎带时,电阻率相对降低,形成低阻异常。高密度电法工作效率高、数据密度大、点距小、施工方便,能直观、准确的获得地下目标地的电性异常形态,可以获得较丰富的地电断面特征的地质信息,提高了解释精度,因此高密度电法在花岗岩地区推断风化层厚度优势明显。

在构造裂隙破碎带上联合剖面曲线呈正交点异常特征,或 ρ_{sa} 、 ρ_{sb} 同步下降低阻异常特征(雷宛等,2006);高密度电阻率法或视电阻率测深法确定的视电阻率等值线呈低阻“V”字型或疏密不均等异常特征,使用联合剖面法能根据此异常特征快速圈定构造裂隙等地质信息。因此高密度电法和联合剖面法均能在构造破碎带的探查中发挥巨大优势。

在充填地下水的构造裂隙破碎带或相对富水有利地段,激电测深法中视电阻率曲线 ρ_s 呈拐折状或平台状异常特征,视极化率 η_s 、半衰时 TH、衰减度 D 呈相对高值异常(李金铭,2004)。因此,充填地下水的构造裂隙破碎带与完整基岩的电阻率存在明显的差异。激电测深方法能观测垂直方向由浅到深的视电阻率及对应的视极化率变化情况,通过分析激电测深曲线来了解测点下部沿垂向变化的地质情况。因此激电测深法多用于固定点不同深度的富水性探查。

基于以上物探方法的特征,结合水文地质调查结果来选择物探组和方法。根山村的主要目标含水层为花岗岩风化裂隙水,首先采用高密度电法来探查风化层厚度是非常科学的选择,在高密度电法基础上辅之以联合剖面法和激电测深法进行组合勘

探能进一步提高解译的准确性。杜屋村的目标含水层为构造裂隙水,因此首先采用联合剖面法探查断层的发育特征,辅之以高密度电法和激电测深法勘探,能大幅增加成功率。

2.2.2 野外工作部署

基于水文地质调查结果及目标含水层的地球物理特征,在两个研究区用多种方法分别布置了物探测线(表 2)。

为查明根山村冲沟内第四系和花岗岩风化层厚度,沿冲沟底部布置一条北东东走向的测线,

编号为 7 线,同时采用高密度电法和联合剖面法进行勘探,如图 1 所示,在此基础上于异常点采用激电测深法(2 点)探查花岗岩风化层的富水性。

为了查明杜屋村冲沟底部断层的发育特征,以冲沟底部为中点,布置了两条近平行的北东向测线用于追索构造走向,编号为 42 线、43 线,分别采用高密度电法和联合剖面法进行勘探。另外沿冲沟布置一条北西向测线补充勘探,编号为 44 线,用高密度电法查明断层的次生构造(图 2)。

表 1 水文地质条件及富水部位一览表

Table 1 List of hydrogeological conditions and water prospecting distract

研究区	水文地质概况	富水部位
田村镇根山村	位于东西向与北西向沟谷交汇地段,地势呈西高东低,基岩为晚三叠世中细粒斑状二云钾长花岗岩(T ₃ ξγ),基岩中节理裂隙发育;地下水流向自西往东。	浅层强风化构造裂隙带
大田乡杜屋村	位于一北西向冲沟内,整体地势北高南低,地下水流向自北往南,周边出露的地层岩性为绢云母板岩、变余细砂岩。	北西向构造破碎带

表 2 研究区测线布置一览表

Table 2 Survey line layout in the study area

研究区	线号	方法	工作量	布线依据	备注
根山村	7	高密度电法	600 m	相对平坦的测线能减小因地形高差所带来的	1、高密度电法点距 10 m， 解译深度 0~140 m 2、联合剖面法点距 10 m， 解译深度 50 m、100 m
	7	联合剖面法	760 m	高密度电法解译误差	
杜屋村	42	高密度电法	600 m	1、测线垂直于推测断层能增加联合剖面法的解译准确性 2、以冲沟底部为中点能够充分利用高密度电法的有效探测深度	
	42	联合剖面法	760 m		
	43	高密度电法	600 m		
	43	联合剖面法	760 m		
	44	高密度电法	600 m		

3 物探资料解译

3.1 田村镇根山村

根据高密度电法视电阻率断面图及二维反演断面图(梁开华等,2013)(图 3a、3b),推断花岗岩风化层平均厚度为 10.0~25.0 m;在 460~540 号点段,视电阻率等值线呈疏密不均匀的异常特征,同时在二维反演断面图中,呈低阻条带状异常特征,推断为裂隙发育段,同时结合联合剖面法曲线(图 3c),在 480 号点附近,

视电阻率大小极距曲线均呈低阻正交异常特征,推断为花岗岩中裂隙发育部位,推测该处相对富水。

为进一步评价上述异常点处的垂向地质信息及富水情况,在 480 号点、510 号点开展了激电测深探测,从 510 号点激电测深曲线图(图 3d)上可见,在 AB/2=30 m、80 m 即深度 20.0~30.0 m、60.0~80.0 m 位置,视电阻率 ρ_s 呈转折或平台状异常特征,同时视极化率 η_s、半衰时 TH、衰减度 D 呈相对峰值异常,推断为含水段,富水性好(李国占和



图 1 田村镇根山村物探工程布置图

Fig. 1 Layout of the geophysical prospecting project in Genshan Village, Tiancun Town

1. 三叠系细粒白云二长花岗岩;2. 物探测线及编号;3. 实际钻孔位置及孔深;4. 联剖、高密度物探线;5. 物探有效解释的起点 / 终点

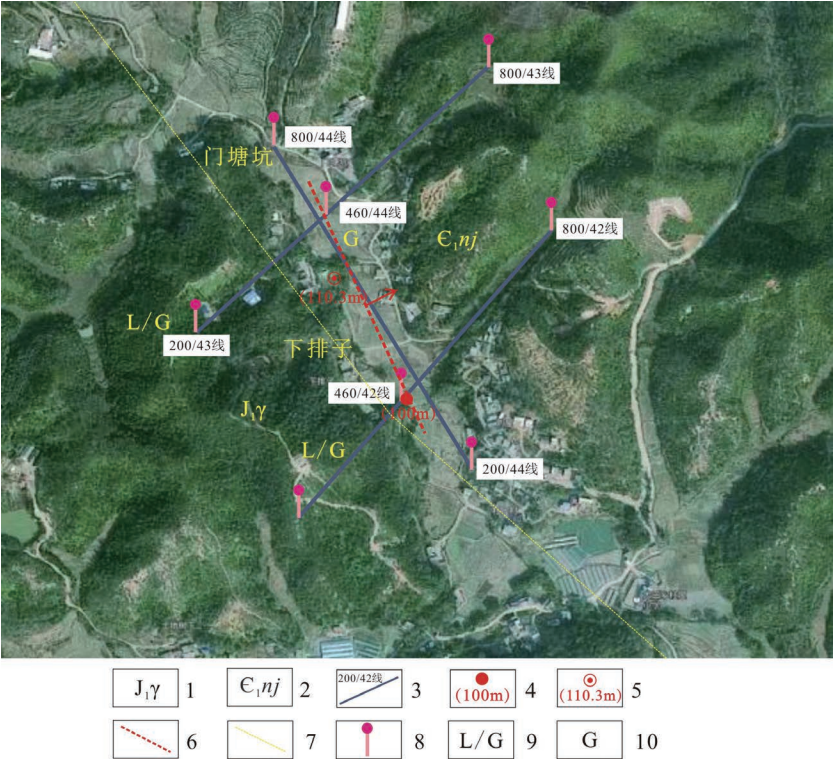


图 2 大田乡杜屋村物探工程布置图

Fig. 2 Layout drawing of geophysical prospecting project in Duwu Village, Datian Township

1. 侏罗系中粒斑状(似斑状)黑云母花岗岩;2. 寒武系牛角河组(C₁n_j)绢云母板岩、变余细砂岩;3. 物探测线及编号;4. 建议钻孔位置及孔深;5. 实际钻孔位置及孔深;6. 物探推断断层;7. 地质界线;8. 物探有效解释的起点 / 终点;9. 联剖、高密度物探线;10. 高密度物探线

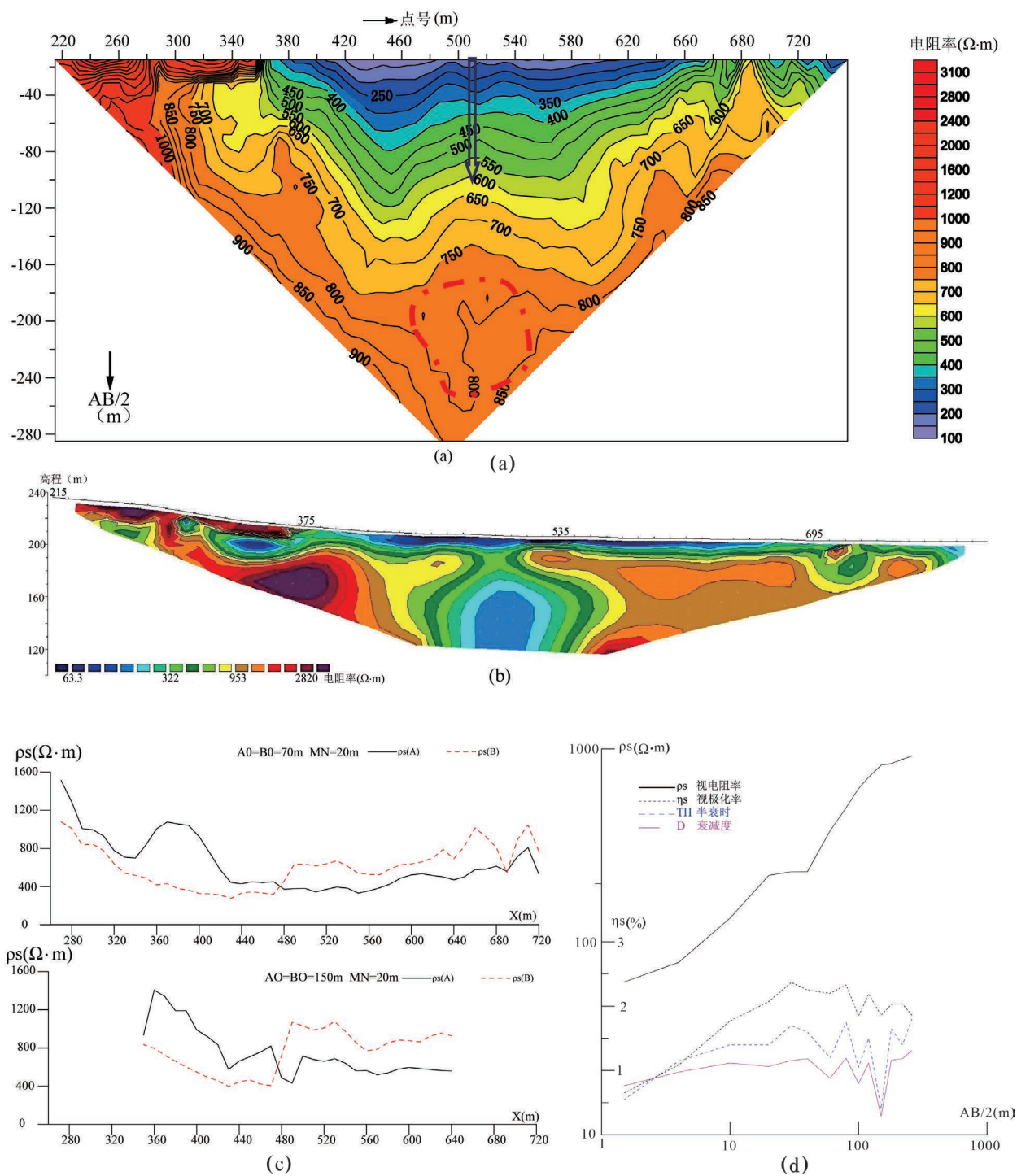


图 3 田村镇根山村物探解译图

Fig. 3 Geophysical interpretation map of Genshan village, Tiancun town

(a)高密度电法视电阻率拟断面图;(b)高密度电法电阻率二维反演断面图;(c)联合剖面法曲线图;(d)510号点激电测深曲线图

王璇, 2009)。综合物探解译结果, 建议在 510 号点处施工探水钻孔, 孔深 120 m。

3.2 大田乡杜屋村

物探结果显示, 42 线、43 线高密度电法视电阻率断面图(图 4a、5a)均在 460~500 号点附近视电阻率等值线呈梯度带异常特征, 同时二维电阻率反演断面图(图 4b、5b)在 460~500 号点附近等值线不连续且呈低阻带异常特征, 据此推断此处为断裂构造带(张彪等, 2015); 同时结合异常点处的联合剖面法曲线(图 6a), 在 460 号点附近, 大小极距视电阻率曲线均呈相对低阻正交异常特征, 与高密度电法结果相吻合; 综合高密度电法和联合剖面法结果, 推断断裂构造带倾角约 75° 左右, 倾向北东(易强等, 2020), 其平面位置见图 2。

为在断裂构造带上推断其垂向地质信息及其富水性, 同时结合高密度电法视电阻率等值线断面图、联合剖面法曲线图中异常特征, 在 42 线 460 号点、43 线 500 号点开展了激电测深法, 从 42 线 460 号点激电测深曲线图(图 6b)可知, 460 号点测深曲

线在 $AB/2=100$ m、150 m 位置, 即深度 70.0~80.0 m、100.0~110.0 m 段, 视电阻率 ρ_s 呈转折或平台状异常特征, 视极化率 η_s 、半衰时 TH、衰减度 D 呈相对峰值异常, 建议在此点位施工探水孔, 孔深 100 m。

3.3 钻探验证情况

3.3.1 田村镇根山村

物探解译结果显示花岗岩风化层厚度为 10.0~25.0 m(裂隙发育带)。在推荐的点位施工了一口钻井, 孔深 101 m(图 1), 其中 4~17 m 为花岗岩强风化带, 为主要富水段。钻探结果与物探解译基本吻合。经抽水试验验证, 实测最大涌水量达 $146.89 \text{ m}^3/\text{d}$, 水量水质均满足了根山村的需求(表 3)。

3.3.2 大田乡杜屋村

物探解译结果显示在 42 线 460 点施工钻孔能取得较好的效果, 但由于该点不具备施工条件, 实际钻孔施工位置沿推断的断裂构造带往 334° 方向平移约 240 m(图 2), 孔深 110.3 m, 其中在深度约 80.0 m 处发现破碎带, 与物探推断深度 70.0~80.0 m 基本吻合。本钻探孔并未施工在物探建议位

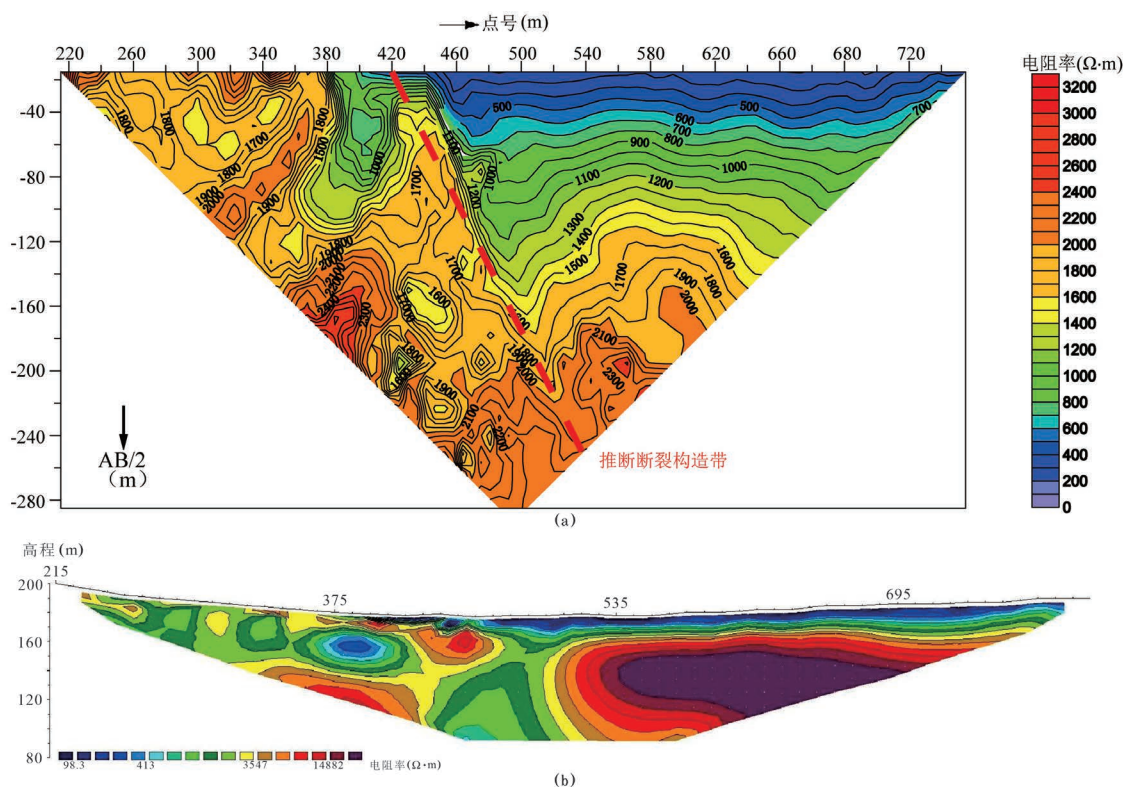


图 4 42 线高密度电法断面图

Fig. 4 High density electrical method section of Line 42

(a)视电阻率拟断面图;(b)电阻率二维反演断面图

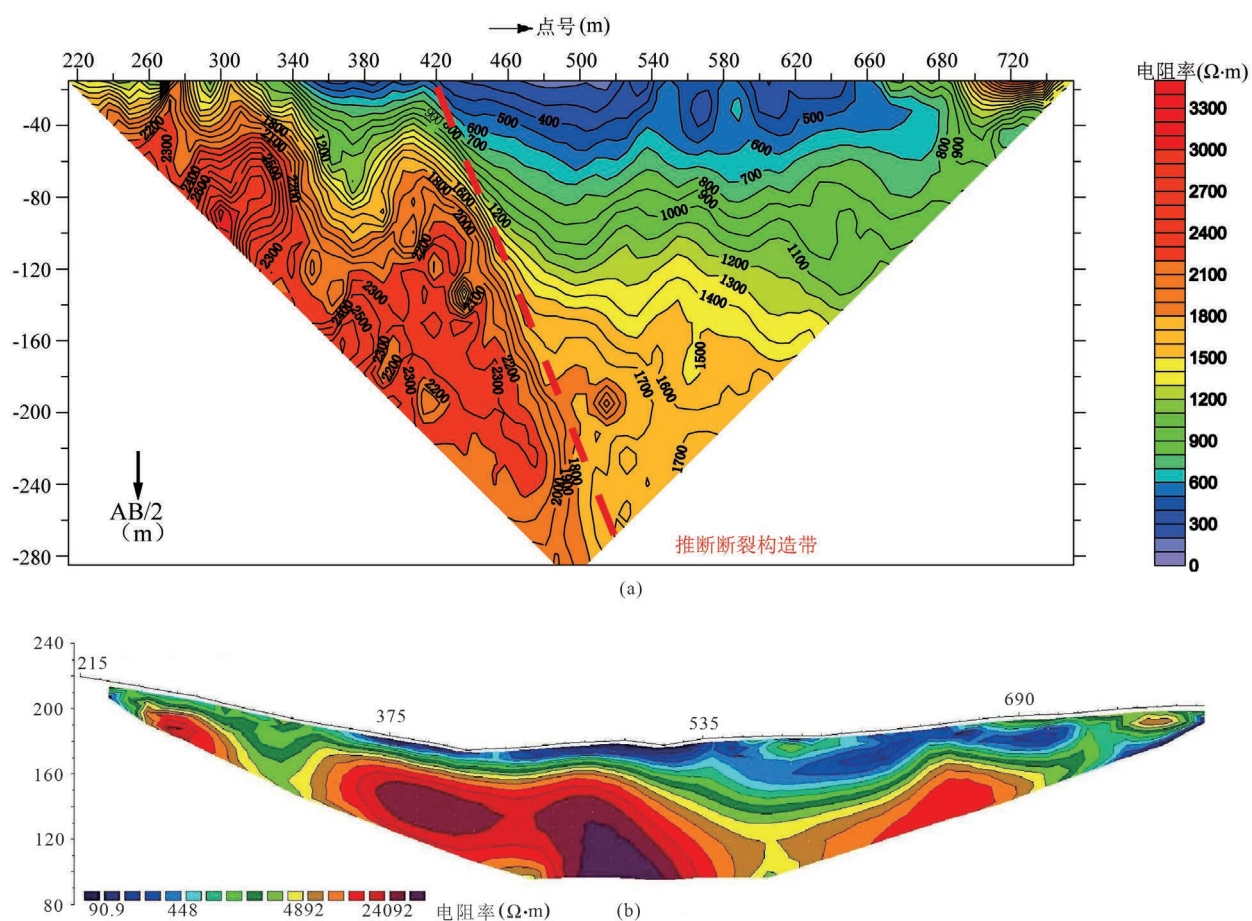


图 5 43 线高密度电法断面图

Fig. 5 High density electrical method section of Line 43

(a)视电阻率拟断面图;(b)电阻率二维反演断面图

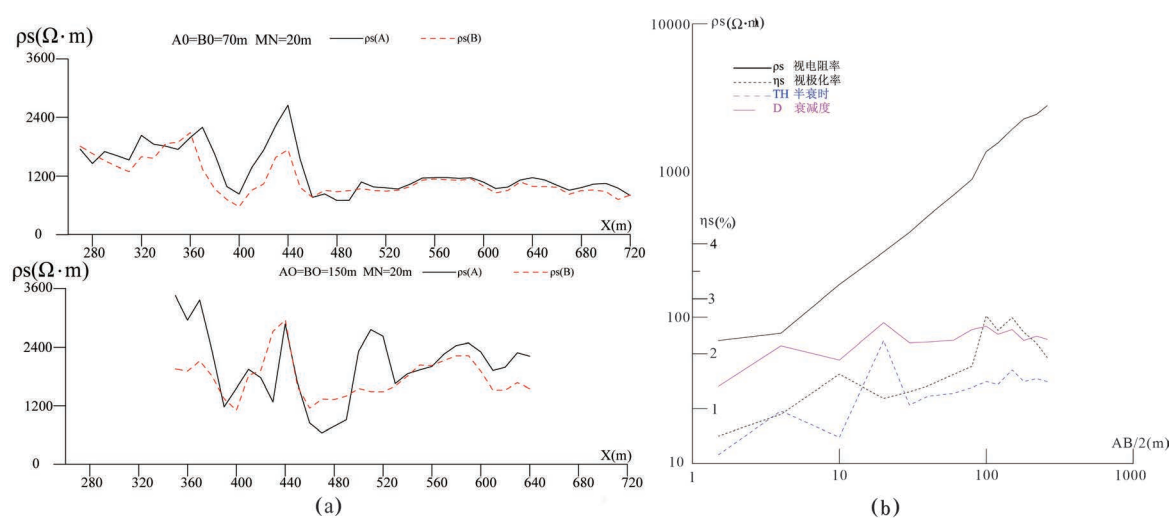


图 6 42 线联合剖面法(a)和激电测深(b)曲线图

Fig. 6 Cross section and IP sounding curve of line 42

置,而是在物探推断断裂构造带上施工,并在相应深度揭露破碎带,足以说明物探结果的可靠性,最终涌水量为 126.23 m³/d,偏硅酸含量 38.55 mg/L,满足供水要求,达到了工作目的(表 3)。

表 3 钻孔描述及抽水试验结果
Table 3 Borehole description and pumping test results

测区	钻孔描述	抽水试验结果
田村镇 根山村	孔深 101 m, 其中 0~4 m 为耕植土、第四系含砾粘土, 4~101 m 为中三叠统富城序列时期花岗岩, 其中 4~17 m 为花岗岩强风化带, 裂隙较为发育, 含风化裂隙水, 该段为本孔的主要含水段。	降深为 7.10 m, 涌水量达 146.89 m ³ /d, 可满足根山村 94 人的饮水需求, 建议开采量小于 140 m ³ /d。
大田乡 杜屋村	孔深 110.3 m, 其中 0~1.5 m 为粉质粘土, 1.5~5 m 为砂砾石层, 5~39.4 m 为侏罗系花岗岩, 39.4~110.3 m 为寒武系变质砂岩, 其中孔深 81.9~85.1 m 为破碎带, 为本孔主要含水层。	降深 33.82 m, 涌水量达 126.23 m ³ /d, 偏硅酸含量 38.55 mg/L (>25 mg/L), 符合偏硅酸型矿泉水的标准。

4 讨论

根山村位于一东西向沟谷内,经地质调查,未发现明显构造活动迹象,沟谷内花岗岩风化程度较高,因此找水重点为具层状富水特征的花岗岩风化裂隙水。由于高密度电法在推断风化层厚度方面优势明显,因此首选高密度电法进行勘探,同时选用联合剖面法来探查沟谷内是否存在隐伏断层,最后采用激电测深法探查不同深度的富水性,为推荐钻孔孔深提供数据支撑。

杜屋村位于一北西向沟谷内,地势北高南低。根据水文地质调查,沟谷两侧地层岩性存在明显差异,因此存在断层的可能性较大,找水目标主要为垂向结构的构造裂隙水,因此首选对探测地下良导板状体有较好效果的联合剖面法进行勘探,以圈定构造裂隙带在平面上的分布位置,辅之以高密度电法和激电测深法减小干扰误差。

综上所述,综合物探作为一种工作手段,需要与水文地质调查结合起来才能发挥最大的作用。综合物探工作的开展需要建立在明确工作目标,掌握地形地貌、地质背景及目标含水层等基础上,再根据目标含水层的不同选用合适的物探工作方法,在工作量允许的条件下应尽可能采用多种物探方法互相验证,从而减少因单一方法多解性问题对推断结果的干扰误差,为后续的钻探工作提供更为可靠的选点参考。

5 结论

本文以赣州市赣县区根山村和杜屋村为实例,探讨了水文地质调查结合综合物探方法在地下水找水中的应用。实践证明,野外水文地质调查确定含水目标层是找水工作的基础,采用适合含水目标层的物探方法可准确高效地查明勘查区含水层分布、埋深、结构以及赋水特征等,从而为钻孔孔位比选及精准定位提供数据支撑,在找水勘查中具有较好的应用前景,可为后续的找水工作提供借鉴和参考。

参考文献:

湖南省地质矿产勘查开发局 416 队 .2017. 1:5 万江口圩幅、清溪幅地球物理勘探报告 [R].
黄长生, 侯保全, 易秤云, 李 龙, 张胜男, 周 耘, Waseem Akram, 王芳婷 .2021. 赣南地热水形成条件分析与赣县区地热水勘查靶区圈定 [J]. 华南地质, 37(1):64-74.
雷 宛, 肖宏跃, 邓一谦 .2006. 工程与环境物探教程 [M]. 北京: 地质出版社.
李国占, 王 璇 .2009. 综合物探在花岗岩地区找水应用效果 [J]. 勘察科学技术, (4):55-57.
李金铭 .2004. 激发极化法方法技术指南 [M]. 北京: 地质出版社.
梁 海, 钟建平, 胡向阳 .2017. 高密度电法在贵州岩溶地区找水中的应用研究 [J]. 地下水, 39(6):96-97.
梁开华, 朱裕振, 沈礼峰 .2013. 高密度电阻率法在潍坊抗

- 早找水中的应用研究 [J]. 地下水, 35(4):112-113.
- 刘磊, 罗士新, 陈长敬. 2015. 常规电法在英山县温泉镇地热资源勘查中的应用 [J]. 华南地质与矿产, 31(2):182-187.
- 刘得福, 吕旭红, 任多魁. 2006. 综合电法在祁连山山前缺水寻找地下水的应用 [J]. 物探与化探, 30(1):41-44.
- 刘慧娥, 李松涛, 周光红, 湛敏, 杨森. 2013. 激电测深法在内蒙古中部地区寻找地下水源中的应用 [J]. 西南科技大学学报, 28(2):46-51.
- 刘声凯, 刘海飞, 黄超, 肖立权, 李望明, 隆兴民, 赵敬德. 2021. 水文地质调查与综合物探在赣南花岗岩地区找水中的应用 [J]. 地质与勘探, 57(3):584-592.
- 刘永锋, 游连强, 叶佩. 2017. 综合电法在贵州岩溶地区地下水勘查中的应用 [J]. 工程地球物理学报, 14(3):294-299.
- 刘振夏, 陈植华, 龚冲. 2019. 高密度电法在变质岩山区找水中的应用研究 [J]. 地下水, 41(1):81-82.
- 欧阳伟, 徐晓英. 2013. 高密度电法在灰岩找水中的应用 [J]. 华北地震科学, 31(4):47-49.
- 任磊, 代涛, 齐信, 薛宝林, 焦尚斌. 2021. 综合物探方法在琼中地区地下水勘查中的应用 [J]. 华南地质, 37(3):321-329.
- 王鹏飞, 李勇, 李富, 杨帆, 李雪梅, 张文鑫. 2019. 综合电法勘探在“红层地区”找水中的应用 [J]. 物探化探计算技术, 41(5):659-664.
- 王伟. 2010. 综合电法在干旱气候区寻找基岩裂隙水、断裂带脉状裂隙水中的应用 [J]. 甘肃冶金, 32(5):111-114.
- 王晓龙, 王鑫, 周博武. 2020. 高密度电法在花岗岩地区找水的应用 [J]. 陕西水利, (12):4-6.
- 王永生, 张玉池. 2018. 高密度电法在灰岩地区找水中的应用 [J]. 矿产与地质, 32(2):345-351.
- 王紫维, 马建初, 姜天健, 陈润富, 刘汉乐. 2019. 海南石碌矿区基于电法测井数据的水文地质参数求解 [J]. 华南地质与矿产, 35(4):481-487.
- 邬健强, 赵茹玥, 甘伏平, 张伟, 刘永亮, 朱超强. 2020. 综合电法在岩溶山区地下水勘探中的应用——以湖南怀化长塘村为例 [J]. 物探与化探, 44(1):93-98.
- 夏凡. 2014. 激电测深法在张家口某村庄地下水勘查中的应用 [J]. 地下水, 36(1):115-116.
- 易强, 李望明, 黎景开. 2020. 综合物探方法在花岗岩地区矿泉水勘查中的应用 [J]. 国土资源导刊, 17(1):82-85.
- 张彪, 刘良志, 倪进鑫, 刘江山. 2015. 综合物探方法在花岗岩严重缺水地区找水勘查中的应用 [J]. 工程地球物理学报, 12(4):501-507.
- 郑智杰, 曾洁, 赵伟, 甘伏平. 2019. 高密度电法在岩溶区找水中的应用研究 [J]. 地球物理学进展, 34(3):1262-1267.
- 朱晓泉, 李烨, 朱洪涛. 2019. 综合电法在甘肃北山某金矿区找水中的应用 [J]. 工程地球物理学报, 16(6):878-889.