
项目编号： 2020YFC1512401

密级：公开

国家重点研发计划项目技术研究报告

赣南山区塘贯找水技术报告

项目名称： 山区和边远灾区应急供水与净水一体化装备

所属专项： 重大自然灾害监测预警与防范

项目负责人： (签字)

项目牵头单位： (公章)

项目管理专业机构：

执行期限： 2020 年 11 月 至 2021 年 10 月

中华人民共和国科学技术部制

2021 年 11 月 10 日

目 录

引言	2
1. 地下水调查方法及地质概况	2
2. 无人机航测	4
3. 水文地质调查	5
3.1 地表水测流	5
3.2 地下水水质分析	6
3.3 重点区水文调查	7
4. 地球物理探测	8
4.1 高密度电法	8
4.2 激电测深测量	10
5. 水文钻探	12
6. 水质与水井	13
7. 结果检验	13
参考文献	15
附件 1：现场考察活动	17
附件 2：项目参加人员	18

引言

项目组在 5 月份与于都县政府、于都县自然资源局的各级领导同事进行了多次对接和需求调研，按照政府需求确定赣州市于都县梓山镇塘贯村茶园、田心和新屋下为缺水扶贫攻坚区。据了解该处于碎屑岩丘陵区，有茶园组、上屋组二个组 80 多户 300 余人居住，长期季节性缺水，尤其是在 2019 年大旱时全组地表水断流，大部分地下水干涸，几乎无水可用，为解决当地居民用水保障，急需找出出水稳定的地下水^[1-3]。

地下水是该区的重要自然资源，寻找地下水并进行充分而合理的开发，进而缓解居民地下水资源紧缺的情况，是当地居民生活和经济发展的重点。合理开发地下水资源，需要对当地地下水进行调查和评估。本项目根据前人研究，综合遥感、水文地质调查和地球物理方法，对于该区域地下水情况进行了细致的调查，为最终定井提供了充分的数据支持^[4,5]。

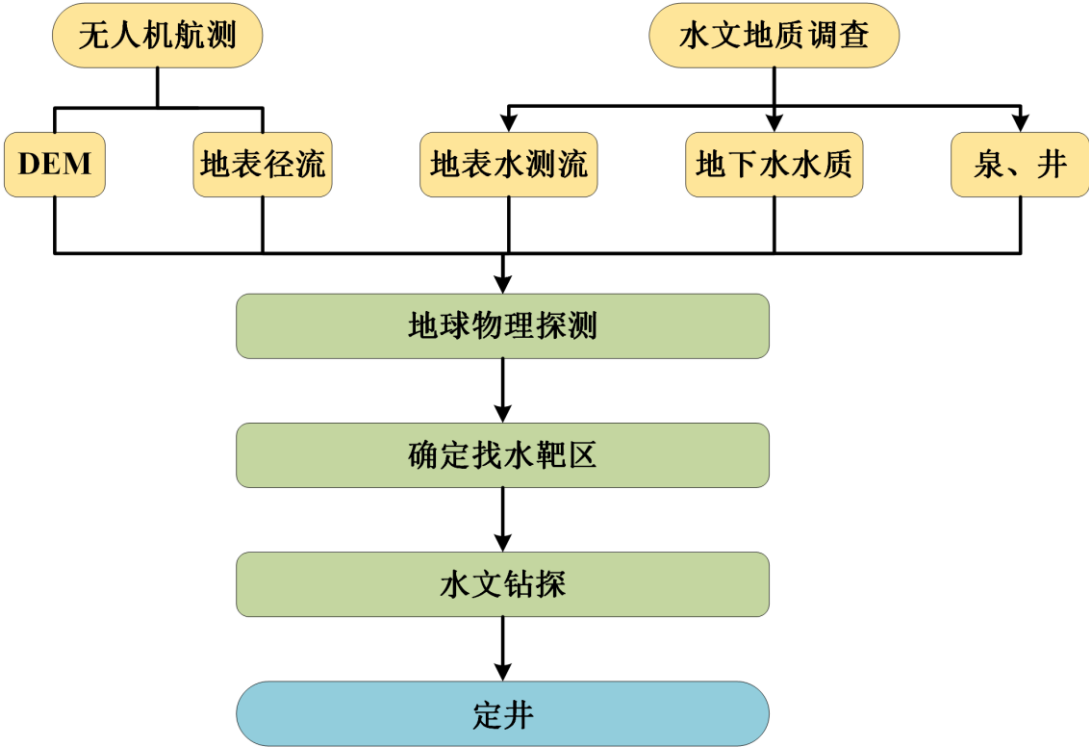


图 1 地下水调查技术路线

1. 地下水调查方法及地质概况

1.1 地下水调查方法

对区域进行地下水调查，主要是从地形地貌、地质和水文这三个方面来采集数据，综合起来对目标区域的地下水情况进行分析，并为井位确定提供参考^[6-8]。

地形地貌主要影响地下水的补给条件。地形的凹凸起伏控制着地表水的流动和入渗，以及地下水的汇流和分流^[9]。山谷等地貌径流汇集，适合地下水补给；而山脊等区域会导致地下水分流，不利于地下水补给^[10,11]。同时，地形对地表径流的运动过程影响很大^[7]。在地形陡峭的区域，径流停留时间短，难以渗透补给地下水，而高径流速度会促使地表水侵蚀地面，降低渗透率，进一步提高地下水补给难度^[12,13]。因此，在地下水调查时需要对目标区域的地形地貌进行调查，主要寻找地形平缓或地貌凹陷的地下水富集区域。

地质方面中对地下水造成影响的主要是地层岩性和断裂构造。地层中的空隙是地下水赋存的空间基础，对地下水储存和移动起着决定作用。地层岩性影响着含水层的孔隙度和渗透性^[14,15]。结构松散、渗透性好的岩层非常有利于地下水的汇集。而断裂构造则是地下水调查时的重要目标，因为断裂导致显著的次生孔隙度和渗透性，为地下水流入地下提供了途径^[16]。在赣南山区，断裂蓄水构造可以成为找水时的重要标志之一^[17,18]。

地下水调查中的水文调查主要调查目标区域中的河流、湖泊、泉以及井等现有可开发水资源。河流和湖泊是地下水的重要补给来源，靠近它们的含水层会有更高的地下水补给速度^[19,20]。已有的泉和井是区域中地下水分布的重要参考^[21]。通过对现在水源的研究，可以对区域中的地下水概况进行直观的反应。此外，由于找水目的包括居民供水，因此，必须对地下水水质进行充分的调查。而在进行水文钻探前，对现有的河流、湖泊、泉和井的水质进行调查，可以有效反映区域水质情况，为之后的钻探提供参考。

综上所述，确定好地下水调查需要采集的各方面数据后，需要根据需求来确定实际调查方法。本次调查中我们综合使用了无人机航测、水文地质调查和地球物理探测方法对目标区域进行了地下水调查。

根据无人机航测获得的高精度遥感影像，可以建立目标区域高精度 DEM 模型，准确获得区域的地形情况。水文地质调查获得地表径流的详细数据和已有泉和井的情况，并初步分析得到区域内地下水和断裂的关系。根据这两者的调查可以初步确定找水靶区，之后采用地球物理方法对找水靶区地下情况进行细致的探查，并确定地下水井位。

1.2 地质概况

塘贯村位于于都县梓山镇，区域位置处于南岭东段隆起带之宁(都)于(都)拗陷，属华南地层区武功山—雩山地层小区，地层发育较齐全。而梓山镇唐贯村正处于拗陷盆地西缘青龙山泥盆系—二叠系背斜南东翼，石炭系梓山组地层被北西向的次级断裂挫开直接与二叠系呈断裂接触，唐贯村位于北北东向宽缓

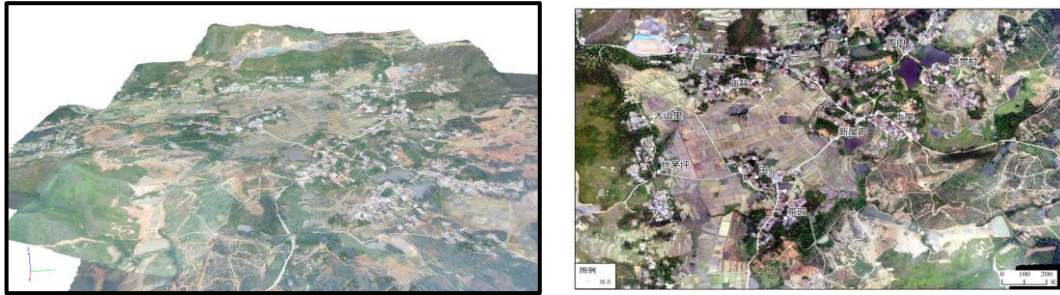


图3 唐贯村找水靶区航测三维影像图（左）和正色影像图（右）

3. 水文地质调查

3.1 地表水测流

结合无人机航测数据进行了实地水文地质调查，5月中旬在多个地表径流点进行了测流，测流结果和流域分析后流积对照表如表1所示，其中测流点DB01、DB04、DB05、DB06和DB07所在沟谷上游存在人工水库或水塘，这些测点的实际地表径流模数受蓄水单元影响会比实际值偏小，其中可以发现处于主沟茶园南东的低丘岗地间的两个沟谷测流点DB01和DB02的径流模式最低，其中DB01沟谷之上的汇流面积达 0.062km^2 ，而沟口测点处的实测流量约 $4\sim 5\text{l/s}$ ，计算其径流模数仅仅为 $0.007\text{m}^3/\text{s}\cdot\text{km}$ ，为主沟测流点DB05的径流模数的十分之一。说明此处的地表水有一大部分以地下水或蓄水单元所分流。对比区域1:5万地质图，此沟谷方向正处于北西向断裂带周边，可能存在导水构造。

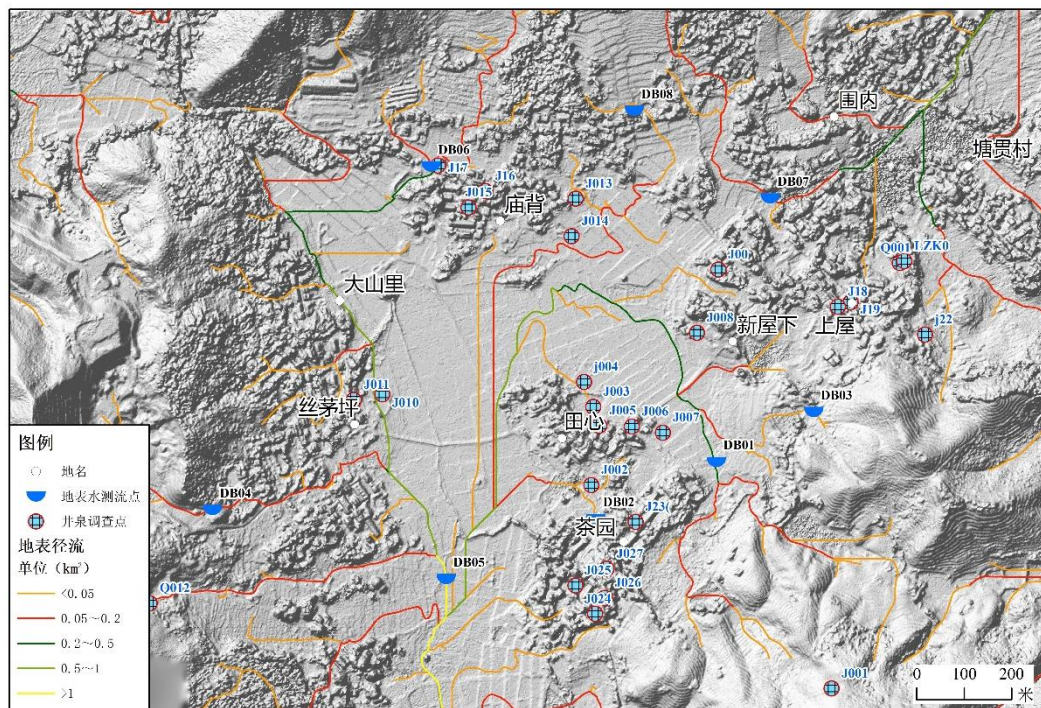


图4 主要水文地质调查点分布图

表 1 主要沟谷的实测流量和径流模数对照表

地表径流编号	实测流量 (l/s)	汇流面积 (km^2)	地表径流模数 ($m^3/s \cdot m^2$)	备注
DB01	4	0.6	0.01	其上有水库
DB02	2	0.045	0.04	
DB03	2	0.043	0.05	
DB04	5	0.154	0.03	上游 100 米有水塘
DB05	70	1.172	0.06	区域主沟近南北向
DB06	20	0.517	0.04	上下有水塘
DB07	2	0.036	0.06	上游有多个水塘
DB08	2	0.014	0.14	

在测流点 DB01 与 DB02 所在汇水区域进行详细调查发现了茶园东 200 处有一条断裂硅化带 (F01)，其在沟谷修路切坡处有一渗水点（已被居民圈泉为井），流量较大约 $1\sim 2l/s$ ，据访问丰水期其渗水沿沟谷补给其下的荷塘，在枯水期流量不减。进而判断此处断裂为导水断裂。具有较好的储水条件。

3.2 地下水水质分析

项目组采集了 33 个民井和泉点进行了水文分析和水质现场测试，将 Manta 测试数据进行比较。对 33 个水点进行地下水来源分析，按照 PH 值和电导率的组合大致可分为碎屑岩基岩裂隙水、碳酸盐岩岩溶裂隙水和沟谷第四系孔隙水（见表 2，图 5），通过地下水分析，摸清了找水靶区茶园-田心-新屋下这一第四系覆盖区其下的地下水类型和含水岩组，为进一步确定井位提供了支撑。

表2 找水靶区周边井泉水质测试汇总表

测点编号	井深（米）	PH	电导率($\mu s/cm$)	地下水类型	地层时代
J01、J11、 J13、J19、 J15~J17、 Q12、Q03	3~5 米 泉点自然出 露	4.8~6.9 酸性为 主	10~60	碎屑岩类基岩裂 隙水，含水岩组 岩性主要为石英 砂岩、粉砂岩、	C_{1z} 和断裂 硅化带
J02~J08、 J10、J19、 J22、Q01	7~8 米 Q01 泉点自 然出露	5.8~7.6 大部分 为中性	320~730	碳酸盐岩岩溶裂 隙水	C_{1h} 、 P_{2q}
J09、J14、 J23、J25~J27 LZK01	4~5 米	5.9~6.8 弱酸性	100~170	第四系松散岩类 孔隙水	Qp 、 Qh

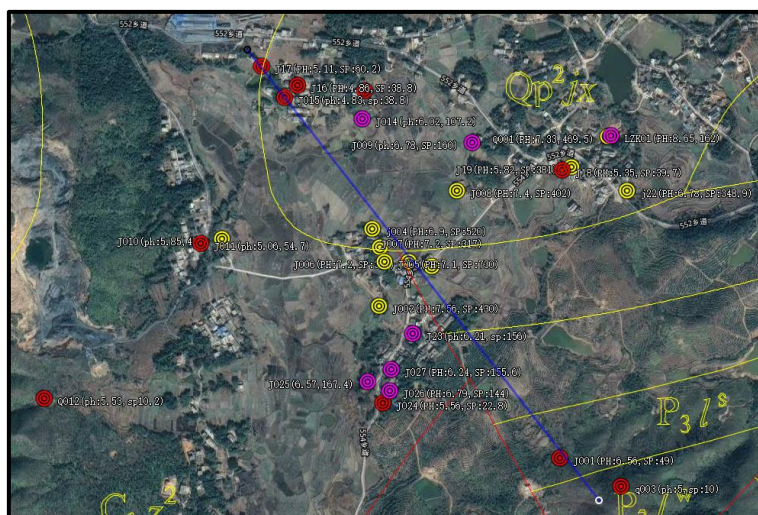


图 5 地下水测试结果分布图

3.3 重点区水文调查

经调查当地居民用水主要为自家民井，季节性缺水，在去年大旱时间除茶园的老井（J02）和岗地的山泉（J01）有水外其他井都干枯了。为此项目组在这两处水点进行了深入调查和分析。其中 J01 位于茶园东低丘沟谷上部，距河谷垂直高差约 60 米，据访问之前为一泉水出露点，在去年 10 月份被村民找到围砌成井。点位处于北西向断裂带上，沟谷出露宽 10~20 米的硅化带，可见大量石英脉和石英角砾岩出露，井边渗水流量约 1~2l/s，在沟谷内形成溪流，其下游村民分级修建了多个小水塘用来存放溪水作为村里水田灌溉使用。

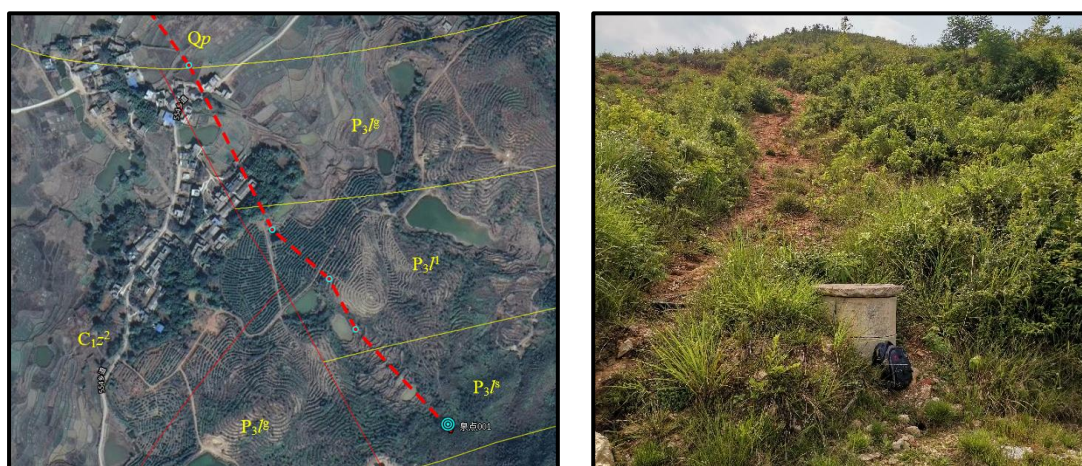


图 6 J01的实际位置图

J02 位于茶园组山前水塘，据访问此井历史可追溯到民国时期有 50 年以上历史，井深约 10 米左右，井口所在水塘常年有水，但在北东 100 米的心田屋内居民点周边有 5~6 口相同深度的井点常常缺水，枯水期村民都在此井水塘挑水，根据用水量推测涌水量可达 100m³ 以上。根据井点及周边浅井水质测试结果分

析其下主要为碳酸盐岩，所不同的是此点位处于地表汇流点又位于北西向断裂带附近。所以推测此井点地下水来源为受断裂控制的储水带，地势低、流量大，具有较好的补径排条件，可选择在此沟谷延长线与断裂交汇点进行水文地质钻探。

4. 地球物理探测

经过前期无人机航测和水文地质调查后将找水靶区缩小在茶园东的北西向断裂处。但村民居住区集中在坡脚沟谷平原区被较厚的第四系冲积物覆盖，且已多利用为水田，北西向的断裂在此走向无明显露头，所以找水的关键在于查明被第四系和农田覆盖的北西向导水断裂具体分布和走向。为此，项目组采用地球物理方法进一步进行勘测，本次主要采用高密度电阻率法和激电测深测量。主要测线部署如图所示。

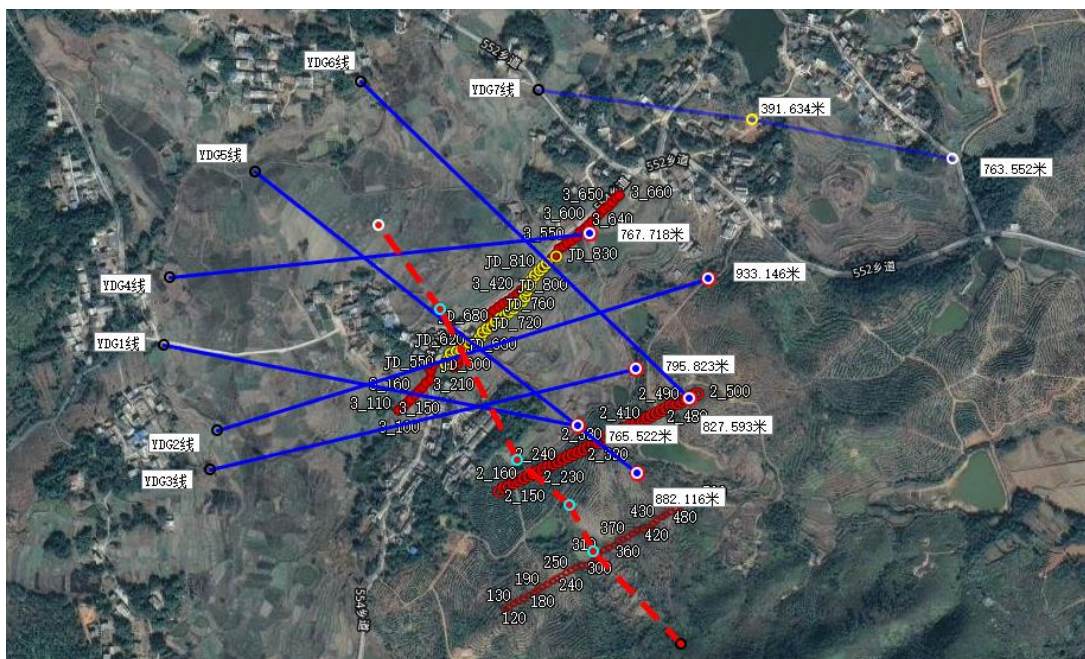
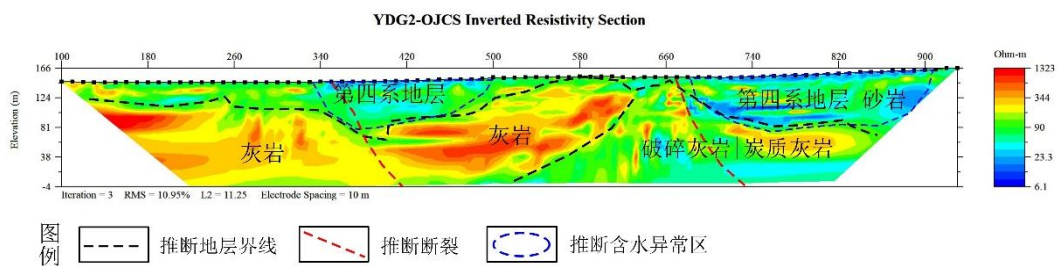


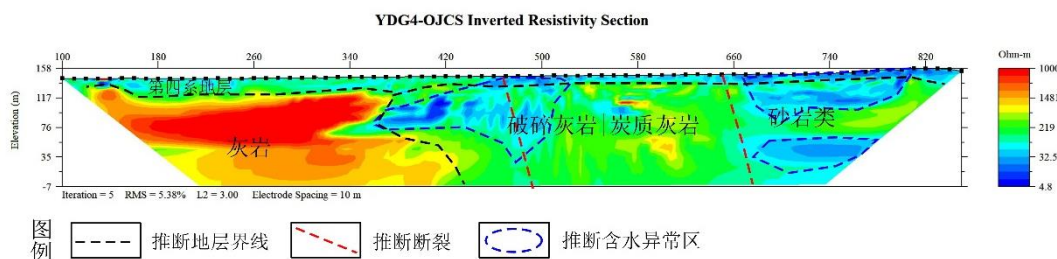
图 7 塘贯村物探测线分布

4.1 高密度电法

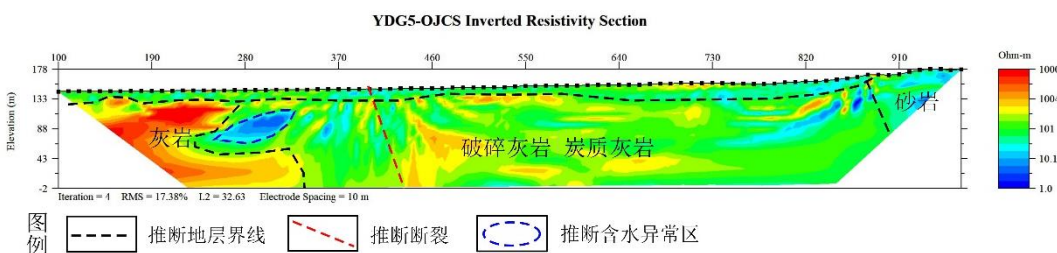
其中高密度电法 2 号线、5 号线和 4 号线对北西向断裂带有所反映, 其解释图见图 8。



a 高密度电法2号线解译图



b 高密度电法4号线解译图



c 高密度电法5号线解译图

图 8 高密度电法主要测线解译图

图 8 为区内三条高密度电法测线的解译图，高密度测线均采集了测深和偶极两种装置，合并两种装置的实测数据进行联合反演，结合当地的基础地质资料，进行综合推断解释。测区内西北区域主要处于石炭系灰岩区，东南边缘处于二叠系石英砂岩地层。灰岩一般属于高电阻率，高密度电法反演成像整体呈现片区或块状高阻特征；破碎或裂隙发育的灰岩、炭质灰岩其电阻率偏低，高密度电法反演成像整体呈现复杂多变特征；石英砂岩属于含水地层其电阻率偏低，高密度电法反演成像整体呈现片区或块状低阻特征。图中黑色的分界线为地层岩性分界线，红色虚线为推断的断裂构造，蓝色虚线框为推断含水异常区。

YDG2 测线近东西向，测线总长度 830m，点距为 10m，测点数为 84 个，如图 8a 所示。沿测线表层被第四系地层覆盖，点号 100-620 之间第四系地层覆盖下推断为石炭系灰岩区块，点号 620-930 之间上部为第四系地层或二叠系石英砂岩，下部推断为破碎灰岩区或裂隙发育的灰岩区、亦可能为炭质灰岩地层。该剖面线共推断 2 条断裂，分别位于点号 370 和 670。

YDG4 测线近东西向，测线总长度 750m，点距为 10m，测点数为 76 个，

如图 8b 所示。沿测线表层被第四系地层覆盖，点号 100-400 之间第四系地层覆盖下的高阻区域推断为石炭系灰岩区；点号 400-650 之间受岩溶和断裂构造的影响形成低阻区，推断为破碎灰岩或裂隙发育的灰岩区、亦可能为炭质灰岩地层；点号 650-850 之间高密度电法反演成像呈区块低阻异常，结合地质资料推断为二叠系砂岩地层。该剖面共推断 2 条断裂，分别位于点号 460 和 650。

YDG5 测线近北东向，测线总长度 870m，点距为 10m，测点数为 88 个，如图 8c 所示。沿测线表层被第四系地层覆盖，仅南端山区地表为二叠系砂岩地层。测线北端（图中左侧）第四系地层覆盖下的高阻区域推断为石炭系灰岩区；测线的中部高密度电法反演成像整体复杂多变，推断为破碎灰岩或裂隙发育的灰岩区、亦可能为炭质灰岩地层；测线南端（图中右侧）高密度电法反演成像呈区块低阻异常，结合地质资料推断为二叠系砂岩地层。该剖面共推断 1 条断裂，分别位于点号 400。

4.2 激电测深测量

激电测深方法，一次可以记录多个参数，除了视电阻率参数外，还将激电二次场的衰减速度具体化为半衰时、衰减度、偏离度等特征参数。大量野外和室内观测资料表明，不含电子导体的一般岩石也可能产生较明显的激电效应，较大的岩石颗粒具有较大的时间常数（即充电和放电较慢），岩层含水部位激电二次场的半衰时、衰减度变大，从而可以寻找地下含水层。

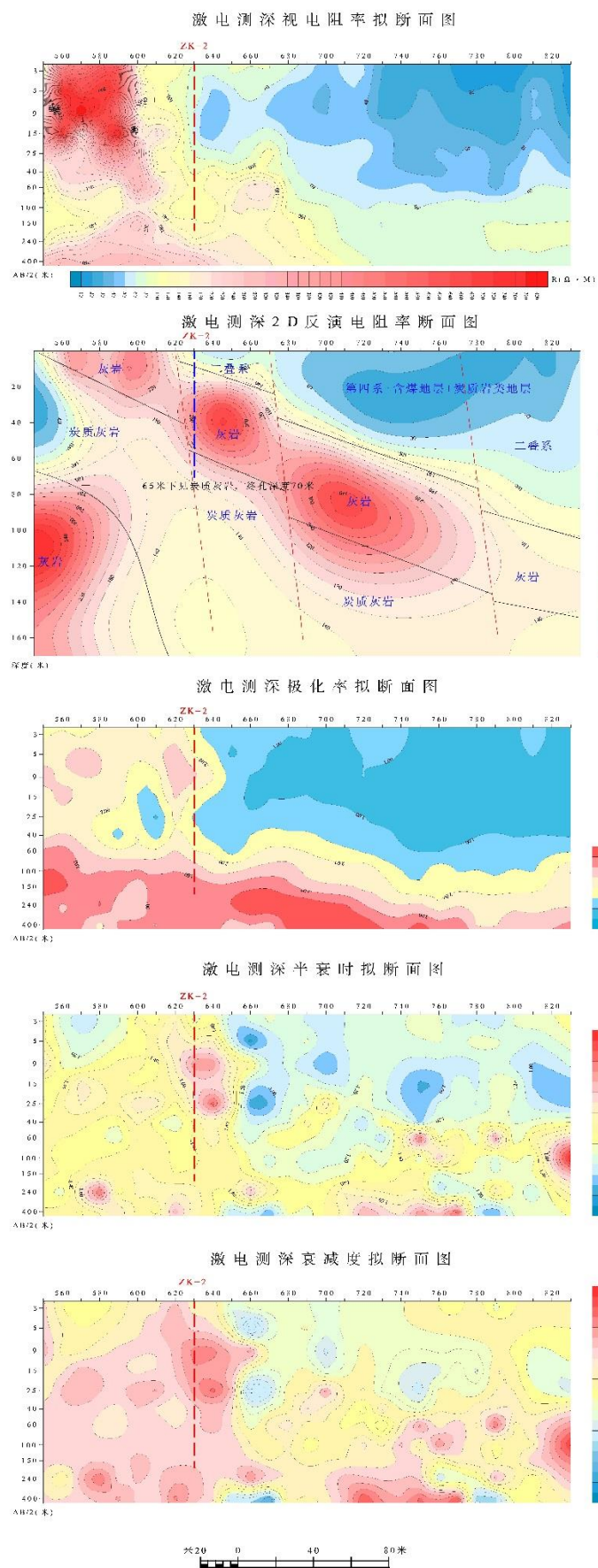


图 9 GJJ1激电测深拟断面图

GJJD1 测线近东西向，测线总长度为 270m，点距 10m，测点数为 28 个，如图 9 所示。激电测深一次能采集电阻率、极化率及半衰时等参数，综合多参数进行相互验证的资料解释，可以获得更可靠的解释成果。第一个图为视电阻率断面图，第二个图为电阻率反演结果图，第三个图为极化率拟断面图，第四个图为半衰时拟断面图，第五个图为衰减度拟断面图。综合分析，并结合 ZK-2 钻井资料，地层岩性的解释成果投放在第二个图电阻率反演结果上，黑色实线为地层或岩性的分界线。高阻区推断为灰岩，中高阻区域推断为炭质灰岩，右侧表层低阻区推断为第四系地层，下部可能存在低阻的二叠系砂岩。图中共推断 3 条断裂，以红色虚线标识，分别位于点号 620、670 和 770。

5. 水文钻探

项目组根据前期野外调查和物探解译结果在茶园老井北西 20 米处部署 SZK01，在茶园与田心居民点间的乡道边稻田一侧部署 SZK02，均位于物探揭露的北西向断裂带附近。5 月 21 日开始水文地质钻探施工，其中 SZK01 孔进尺 5 米后进入基岩，基岩岩性为灰黑色硅质炭质灰岩，节理裂隙大量发育并有方解石和泥质填充，岩芯极其破碎，显示揭露出北西向断裂带，直至 60 米未揭穿断裂。碳质来源可能是揭露的二叠系栖霞组（P₂q）底部含炭质条带灰岩，虽然断裂发育但碳质含量高极易吸附金属元素影响水质，经测试部分重金属超标无法达到饮用水标准，故提前终孔，此孔仅作为监测孔保留，主要监测上游大片脐橙园种植后对地下水水质的影响。

SZK02 孔与 6 月 18 日开孔，进尺 4 米后进入基岩，基岩岩性为灰色泥晶灰岩，节理裂隙大量发育并被红色铁质泥质填充，岩芯及其破碎，断口处伴有少量溶沟溶槽，显示揭露出北西向断裂带，其铁质泥质成分可能来自于上覆的二叠系小江边组（P₂x）的泥页岩，被后期剥蚀后填充断裂，进尺 65 米后又进入栖霞组的硅质灰岩，在满足水量后在 70 米终孔。

取芯完毕后下实心套管对第四系进行隔水，进入基岩后换 125mmPVC 打孔滤管，6 月 30 日在孔口处浇筑水泥固定保护桩，设立表示完成封孔。

洗孔待水质清澈后通过抽水试验计算单孔涌水量约为 120 m³/d 可解决 200 户居民用水。水质经过采样送南昌测试中心检测，各项指标均满足 GBT 5749-2006 生活饮用水卫生标准。



图 10 水文地质钻探与成井现场

6. 水质与水井

通过前期调查和水文钻探，塘贯村最终成井一口(SSZK02)。该井水源来自于岩溶裂隙含水层，孔深 70 米，日最大水量 120 吨，对应降深 35 米，且水质达标。该井可作为常年供水井来满足居民生活需求。

此外，由于该井位于覆盖性岩溶区，地下岩溶较发育，开采过程中要对周围地面变化情况监测，防止岩溶塌陷地质灾害的发生。

7. 结果检验

本次找水采用无人机航测、水文地质调查和地球物理方法，对该区的地形、地质和水文条件进行了详细的勘察，最终确定了打井位置。该井位于地势低处，并在区域内北向西断裂附近，符合山区找水方法的要求。

本项目于 2021 年 10 月 28 日组织项目专家对塘贯村成井进行了考察。考察结果显示，根据本找水方法所成水井能够满足居民生活的需求，极大地缓解了当地地下水资源紧缺的状态。详细考察安排见附件。



图 11 塘贯村考察现场图

参考文献

- [1] 国家重点研发计划项目申报书:山区和边远灾区应急供水与净水一体化装备.
- [2] 国家重点研发计划项目任务书:地下水源智能可靠勘测关键技术及装备研发.
- [3] 项目技术设计报告:山区和边远灾区应急供水与净水一体化装备技术方案.
- [4] 刘学浩, 黄长生, 刘圣博, 等. 江西禾丰盆地水循环野外科学观测基地建设进展[J]. 地质通报, 2021,40(04):610-622.
- [5] 刘新号. 基于蓄水构造类型的山区综合找水技术[J]. 水文地质工程地质, 2011,38(06):8-12.
- [6] Arshad A, Zhang Z, Zhang W, et al. Mapping favorable groundwater potential recharge zones using a GIS-based analytical hierarchical process and probability frequency ratio model: A case study from an agro-urban region of Pakistan[J]. Geoscience Frontiers, 2020,11(5):1805-1819.
- [7] Oikonomidis D, Dimogianni S, Kazakis N, et al. A GIS/Remote Sensing-based methodology for groundwater potentiality assessment in Tirnavos area, Greece[J]. Journal of Hydrology, 2015,525:197-208.
- [8] Shao Z, Huq M E, Cai B, et al. Integrated remote sensing and GIS approach using Fuzzy-AHP to delineate and identify groundwater potential zones in semi-arid Shanxi Province, China[J]. Environmental Modelling & Software, 2020,134:104868.
- [9] Lee S, Hyun Y, Lee S, et al. Groundwater Potential Mapping Using Remote Sensing and GIS-Based Machine Learning Techniques[J]. Remote Sensing, 2020,12(7):1200.
- [10] Naghibi S A, Hashemi H, Berndtsson R, et al. Application of extreme gradient boosting and parallel random forest algorithms for assessing groundwater spring potential using DEM-derived factors[J]. Journal of Hydrology, 2020,589:125197.
- [11] Conoscenti C, Ciaccio M, Caraballo-Arias N A, et al. Assessment of susceptibility to earth-flow landslide using logistic regression and multivariate adaptive regression splines: A case of the Belice River basin (western Sicily, Italy)[J]. Geomorphology, 2015,242:49-64.
- [12] Mukherjee I, Singh U K. Delineation of groundwater potential zones in a drought-prone semi-arid region of east India using GIS and analytical hierarchical

process techniques[J]. CATENA, 2020,194:104681.

[13] Yang J, Zhang H, Ren C, et al. A Cross-Reconstruction Method for Step-Changed Runoff Series to Implement Frequency Analysis under Changing Environment[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2019,16(22):4345.

[14] Kaur L, Rishi M S, Singh G, et al. Groundwater potential assessment of an alluvial aquifer in Yamuna sub-basin (Panipat region) using remote sensing and GIS techniques in conjunction with analytical hierarchy process (AHP) and catastrophe theory (CT)[J]. Ecological Indicators, 2020,110:105850.

[15] Al-Djazouli M O, Elmorabiti K, Rahimi A, et al. Delineating of groundwater potential zones based on remote sensing, GIS and analytical hierarchical process: a case of Waddai, eastern Chad[J]. GeoJournal, 2020.

[16] Pinto D, Shrestha S, Babel M S, et al. Delineation of groundwater potential zones in the Comoro watershed, Timor Leste using GIS, remote sensing and analytic hierarchy process (AHP) technique[J]. Applied Water Science, 2017,7(1):503-519.

[17] 王新峰, 宋绵, 龚磊, 等. 赣南缺水地区地下水赋存特征及典型蓄水构造模式解析——以兴国县为例[J]. 地球学报, 2018,39(05):573-579.

[18] 李志勇, 黎义勇, 黄长生, 等. 赣江流域红层盆地典型构造样式与地下水动力学模式[J]. 地质通报, 2020,39(12):1873-1882.

[19] Villeneuve S, Cook P G, Shanafield M, et al. Groundwater recharge via infiltration through an ephemeral riverbed, central Australia[J]. Journal of Arid Environments, 2015,117:47-58.

[20] Rahmati O, Melesse A M. Application of Dempster-Shafer theory, spatial analysis and remote sensing for groundwater potentiality and nitrate pollution analysis in the semi-arid region of Khuzestan, Iran[J]. Science of The Total Environment, 2016,568:1110-1123.

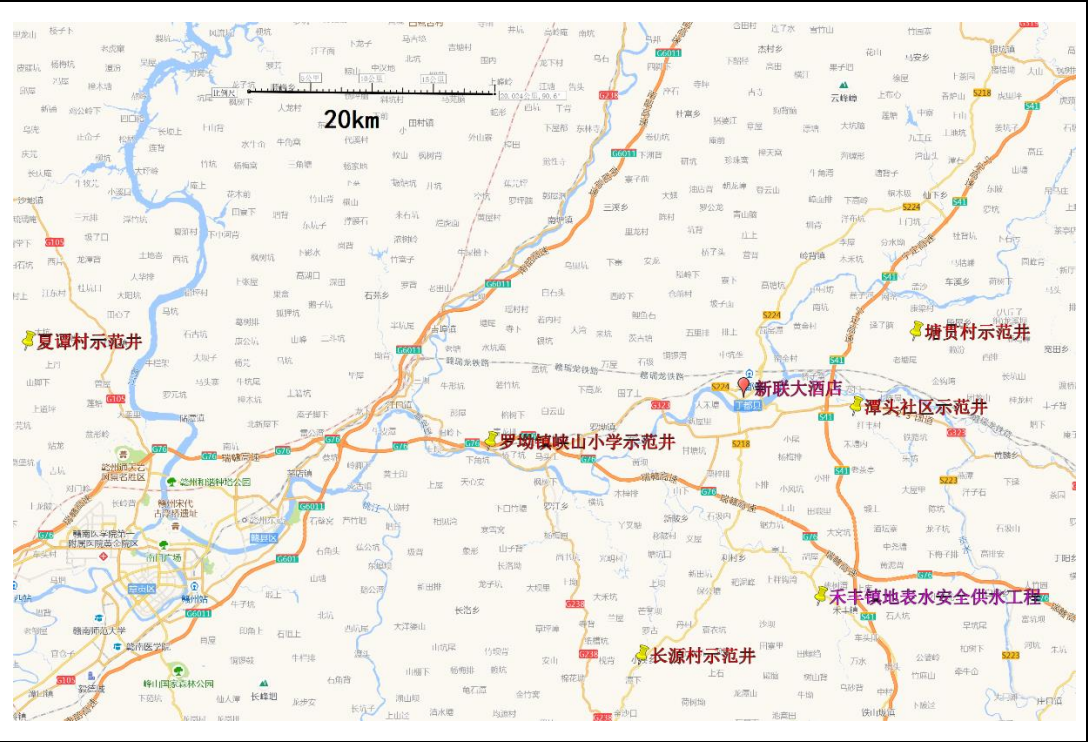
[21] 孙智杰, 高宗军, 王新峰, 等. 赣南山区矿泉水出露模式探讨[J]. 地球学报, 2018,39(05):565-572.

附件 1：现场考察活动

赣南示范区野外考察活动手册

活动简介：

“山区和边远灾区应急供水与净水一体化装备”项目应用示范的第二场地，选择干旱灾区江西省赣南地区。此次考察内容包括：参观地调局实施和建设的饮水示范井，参观水利部地表水安全供水工程，野外考察民生缺水地区的水文地质特征和地下水类型，室内交流现有找水定井的科学技术，讨论确定项目中找水准率为 80%指标的方案。



报到时间：2021 年 10 月 27 日。

野外考察时间：2021 年 10 月 28 日。

室内交流时间：2021 年 10 月 29 日。

考察地点：江西省赣州市于都县及周围地区。

报到地点：江西省赣州市于都县新联大酒店(于都县长征大道 68 号)

参与单位：江苏大学，武汉大学，武汉地调中心。

活动具体安排表

日期	名单	时间	内容
10 月 27 日			于都县新联酒店报到
10 月 28 日	所有人	上午	参观和考察塘贯村示范井

		下午	参观和考察潭头社区示范井 参观和考察禾丰镇地表水供水工程 参观和考察长源村示范井 参观和考察罗坳镇峡山小学示范井
--	--	----	---

附件 2：项目参加人员

以专题 3 为主，课题、项目在 10 月 28 号现场考察。

赣南示范区野外考察参与人员

姓名	单位	职称/学历	联系方式
黄长生	武汉地调中心	教授	15871758329
张双喜	武汉大学	教授	13971373279
黄曦	武汉大学	教授	027-68778063
周岭	江苏大学	博士	13815477737
朱勇	江苏大学	博士	18852868825
雷天赐	武汉地调中心	教授	13419699264
邵长生	武汉地调中心	高工	18986138155
王节涛	武汉地调中心	博士	15926393970
刘学浩	武汉地调中心	博士	15527757318
刘磊	武汉地调中心	高工	18062105238
刘圣博	武汉地调中心	高工	18627184602
鲍波	武汉地调中心	博士	15971463298
陈威	武汉地调中心	博士	
尹志彬	武汉地调中心	硕士	
陈梦	武汉大学	博士	17664053139
戴周庆	武汉大学	硕士	18872329424
张镇平	武汉大学	硕士	13379665992
胡露太	武汉大学	硕士	15540975187