DOI:10.16788/j.hddz.32-1865/P.2020.04.013
引用格式:孙银行,朱庆俊,连晟,等. 赣南白垩纪碎屑岩裂隙水的水文地质及电性响应特征[J]. 华东地质,2020,41(4):410-415.

赣南白垩纪碎屑岩裂隙水的水文地质及电性响应特征

孙银行,朱庆俊,连 晟,封绍武

(中国地质调查局水文地质环境地质调查中心,保定 071051)

摘要: 为了进一步研究赣南红层区水文地质特征和电性响应规律,选择赣南典型地区开展综合地球物理勘探工作。通过分析白垩纪碎屑岩裂隙水的水文地质特征,发现该区地下水类型主要为白垩纪孔隙水和裂隙水。该区含水层含泥岩夹层,孔隙水的富水性相对较差;构造主要为断层和裂隙,裂隙水的富水性相对较好。采用音频大地电场法、音频大地电磁法和激电法对白垩纪碎屑岩裂隙水进行对比研究,发现完整的白垩纪碎屑岩具有相对较高的电阻率和相对较低的极化率和半衰时,断层和裂隙发育处的地层电阻率较低,但极化率和半衰时较大,曲线形态存在明显异常。研究白垩纪碎屑岩裂隙水的电性响应特征,可提高该区找水成功率,对解决赣南地区水资源短缺问题具有重要意义。

关键词: 赣南红层;综合物探方法;水文地质特征;碎屑岩;富水性
中图分类号: P641.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-1871(2020)04-410-06

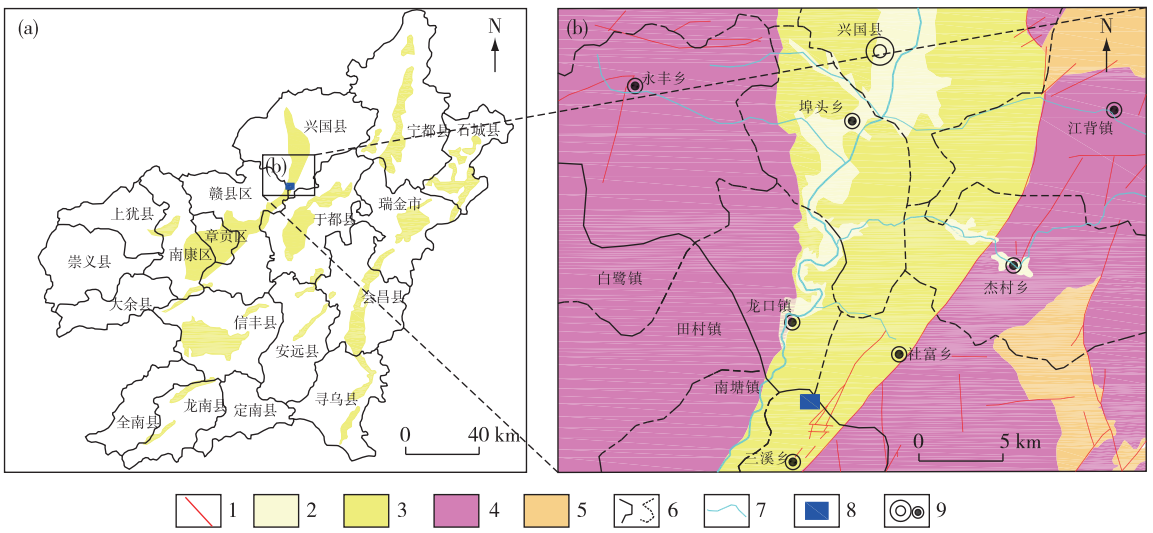
红层是由细粒赤铁矿浸染而成的碎屑沉积岩[1],是各个地质历史时期沉积的红色岩系的总称[2]。我国红层基本为典型的红色陆相沉积,多形成于中生代—新生代,尤其集中形成于白垩纪[3-5]。红层的裂隙、孔隙均不太发育,储水空间小,且红层地貌(又称为丹霞地貌)不利于降水渗入,多形成地表径流,所以,红层区的含水性较差,是严重的缺水区[6]。为进一步解决红层区缺水问题,一些学者对红层的形成条件、地质构造、地形地貌特征及红层区的水文地质特征等进行了研究[7-10]。此外,物探找水作为解决红层地区缺水问题的重要手段,目前有一些成功案例[11-13]。但是,由于红层中的碎屑岩一般富水性较差,且电阻率普遍较低,储水构造与围岩电阻率差异较小,找水的成功率较低[14],在红层中找水已成为地下水勘查开发工作中的难题之一[15]。本文以赣南典型白垩纪红色碎屑岩地区为例,在总结水文地质特征的基础上,对比选择合适的物探方法,分析碎屑岩地下水的综合电性响应特征,总结白垩纪碎屑岩地层富水性和电性响应之间的关系,这对提高红层区物探找水的成功率、解决红层区特别是赣南革命老区的缺水问题具有重要意义。

1 研究区概况

1.1 地质概况

江西省赣州地区又称赣南地区,地处江西南部和赣江上游,面积为 3.94×10^4 km^2,是典型的南方丘陵山区[16],分布着近50多个大小不等的碎屑岩红盆(图1),红盆面积占赣南地区总面积的17.03%[17]。盆地两侧多为断层,底部为红色碎屑岩层[18]。

* **收稿日期:** 2019-11-04 **修订日期:** 2020-03-11 **责任编辑:** 谭桂丽
基金项目: 中国地质调查局“长江中游城市群咸宁—岳阳和南昌—怀化段高铁沿线1:5万环境地质调查(水环中心)(编号:DD20179262)”项目资助。
第一作者简介: 孙银行,1982年生,男,高级工程师,主要从事水工环物探工作。Email:865911606@qq.com。



1.断层；2.第四纪松散层；3.白垩纪碎屑岩区；4.加里东期—燕山期花岗岩；5.震旦纪变质岩；6.县、乡行政界线；7.河流；8.研究区；9.县、乡行政地

图 1　赣南地区红层分布图(a)及研究区地质简图(b)

Fig. 1　Distribution of red beds (a) of Southern Jiangxi and geological sketch map (b) of the study area

研究区出露的基岩为陆相红色碎屑岩建造，主要为晚白垩世赣州组砂砾岩，具有泥岩夹层，沟谷为第四纪松散砂砾石层，赣南地区地质构造多发育在红盆边缘。研究区位于红盆内部，无线性构造发育[19]，具有典型的赣南红盆地质构造特征。

1.2　地层电性概况

研究区不同地层岩性的电性特征如表 1 所示。研究区第四纪松散含泥砂砾层电阻率相对较高，极化率相对较低。砂砾岩(夹泥岩)电阻率相对较低，极化率相对较低。碎屑岩小构造裂隙带的电阻率相对最低，极化率相对较高。当碎屑岩中富水的构造裂隙带与完整的砂砾岩存在 1 倍以上的电性差异时，具备电法找水的地球物理前提。

表 1　不同地层岩性的电性特征

Table 1　Electrical characteristics of lithology for different strata

岩性	电阻率/(Ω·m)	极化率/%
第四纪松散含泥砂砾层	100～400	1～3.0
碎屑岩裂隙带	20～100	1～4.5
砂砾岩夹泥岩	50～300	1.5～3.0

2　研究方法及野外工作方法

2.1　研究方法

通过分析研究区地下水的赋存规律，进一步研究白垩纪碎屑岩裂隙水的水文地质特征(图 2)。研究区属于丘陵山区，根据研究目标的电性特征，结合水文物探方法遵循原则(即地层岩性具有明显的电性特征差异，是否直观反映地层的富水性，工作效率和高分辨率等)[20]选择音频大地电磁法 (audio frequency magnetotelluric method，AMT)、激电法(induced polarization method，IP)和音频大地电场法 (audio frequency telluric electricity field method，AEF)开展水文物探工作。通过音频大地电场法查明裂隙平面位置，采用音频大地电磁法探明裂隙规模和空间特征，对比碎屑岩裂隙位置和完整基岩的激电响应特征，从而总结碎屑岩裂隙水电性响应特征。

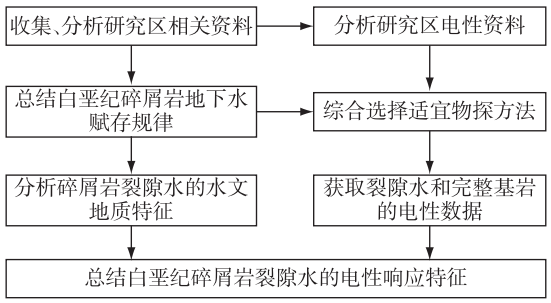


图 2　研究方法流程图

Fig. 2　Chart of research flow

2.2 野外工作方法

野外根据不同的物探方法选择适宜的仪器和参数。音频大地电磁法选用劳雷工业公司生产的 EH4 连续电导率成像仪，野外采集电偶极距为15 m，点距为 10 m，测量方式为标量测量，磁探头响应频率为 10～100 000 Hz。激电法选用重庆奔腾数控技术研究所生产的 WDJD-4 型多功能数字直流激电仪，采集装置采用对称四极测深装置中的等比装置，供电为可充电锂电池箱，测量电极（*MN*）与供电电极（*AB*）之比为 1∶3。音频大地电场法采用中国地质调查局水文地质环境地质调查中心生产的 YDD-B 型音频大地电场仪，点距为 5 m，极距为 10 m。

3 水文地质及电性响应特征

3.1 水文地质特征

1957—2006 年降水量资料显示，研究区多年年平均降水量为 1 600 mm，降雨多集中在 3—8 月，降雨量约占全年降水量的 71.8%，4—6 月降雨量约占全年降水量的 46.8%。区域地下水补给源主要为大气降水，丰富的降雨为地下水提供了充足的补给来源。由于丹霞地貌地形切割深、水力坡度大，红层的富水性和透水性相对较差，降水及时转化为地表水后形成溪流，在无断裂发育区补给地下水的水量甚微。

根据地下水含水介质空隙类型及地下水赋存特征，区域含水岩组分为松散岩类孔隙含水岩组、岩浆岩及变质岩裂隙含水岩组和碎屑岩类孔隙裂隙含水岩组[21]。松散岩类孔隙含水岩组主要以富水的冲积含水层为主，一般分布在江河两岸。岩浆岩及变质岩裂隙含水岩组主要分布于丘陵山区，一般富水性较弱，构造裂隙带相对富水。碎屑岩类孔隙裂隙含水岩组主要为白垩纪砂砾岩和砂岩，地下水主要赋存于风化带、构造裂隙带和钙质岩层裂隙溶孔中，富水性较差。

研究区地下水主要为白垩纪孔隙裂隙含水岩组，砂砾岩中常见泥岩夹层，孔隙水富水性较差，地下水一般赋存于碎屑岩裂隙中。由于该区大多数基岩裸露，风化壳裂隙发育程度一般，地下水埋深浅，风化壳裂隙水较少，因此，碎屑岩裂隙水主要为白垩纪碎屑岩构造裂隙水。构造裂隙受断层控制，地下水埋藏相对较深，富水性一般较好。

在典型白垩纪碎屑岩缺水区选择相距约 200 m 的 2 处相邻地区开展了水文物探工作。研究区南部布置音频大地电场法 YP1 线和激电法 JD1 激电点，研究区北部布置音频大地电场法 YP2 线、音频大地电磁法 AMT1 线和激电法 JD2 激电点，测线方向均为 NW 向，具体位置见图 3。

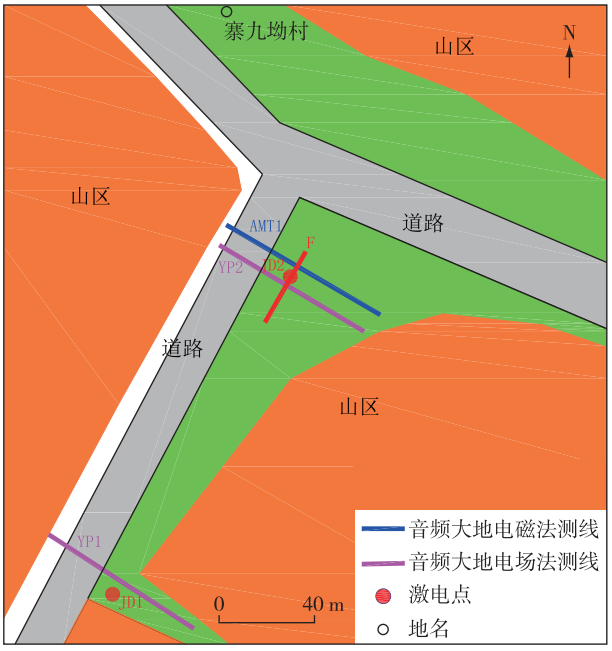


图 3 研究区水文物探测线布置示意图

Fig. 3 Layout of hydro-geophysical exploration line in the study area

3.2 电性响应特征

（1）音频大地电场法。研究区完整基岩区的白垩纪碎屑岩响应电性特征如图 4 所示，YP1 线音频大地电场法测量数值一般＞1.6 mV，主要分布在 1.6～2.6 mV 范围内，曲线形态基本保持单边上升，无明显的相对异常。构造裂隙处的白垩纪碎屑岩响应电性特征如图 5 所示，YP2 线音频大地电场法测量数值一般＜0.8 mV，主要分布在 0.4～0.8 mV 范围内，曲线形态呈明显“凹”型起伏，具有明显的相对异常。与完整基岩区的音频大地电场电性值相比，构造裂隙处的音频大地电场电性值下降较大。

（2）音频大地电磁法。因研究区南部构造不明显，故未布置 AMT 线。在研究区北部布置了 1 条 AMT1 线，发现在 AMT1 线音频大地电磁法剖面 15 m 处附近存在 1 处断层（图 6），规模较小，深

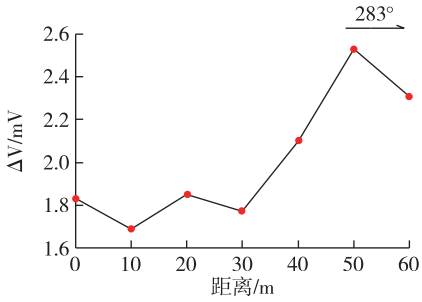


图 4　YP1 线勘探成果图

Fig. 4　Exploration results of line YP1

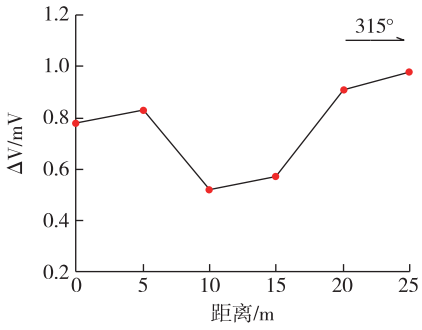


图 5　YP2 线勘探成果图

Fig. 5　Exploration results of line YP2

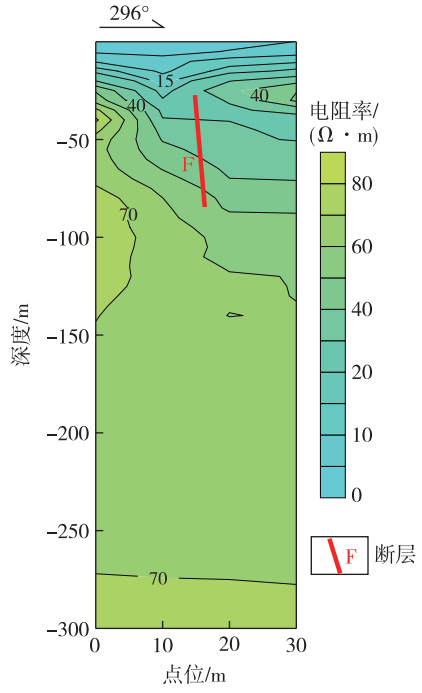
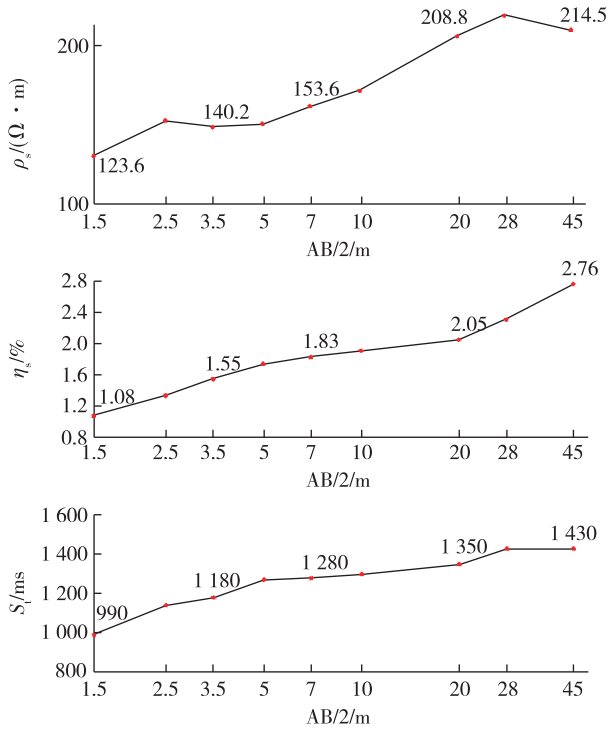


图 6　AMT1 线勘探成果图

Fig. 6　Exploration results of line AMT1

度<100 m。AMT1 线与 YP2 线相距 5～10 m，由于断层规模较小，延伸较短，结合 YP2 线音频大地电场法异常位置，推测该断层走向为 NE 向。白垩纪碎屑岩裂隙带电阻率为 20～60 Ω · m，周围完整碎屑岩地层的电阻率为 60～100 Ω · m。

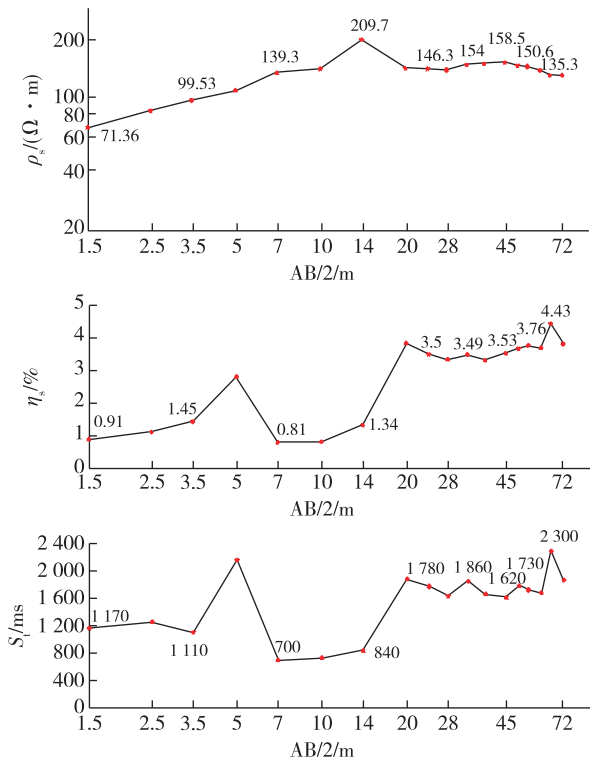
(3)激电法。完整基岩区白垩纪碎屑岩的激电响应特征如图 7 所示，JD1 激电点的极化率为 1%～2.8%，半衰时为 1 000～1 500 ms，曲线形态基本保持单边上升，无明显相对异常。在 JD2 激电点位置存在近 NE 向小型断裂，碎屑岩产生裂隙，为地下水存储提供了空间。白垩纪碎屑岩裂隙水的激电响应特征如图 8 所示，JD2 激电点的极化率为 1%～4.5%，当 AB/2＞28 m 时，极化率一般＞3.3%；JD2 激电点半衰时为 800～2 200 ms，当 AB/2＞28 m 时，半衰时为 1 500～2 500 ms。整体上，JD2 激电点的极化率和半衰时比 JD1 激电点大，JD2 激电点极化率和半衰时曲线均具有明显的高值异常。通过在 JD2 激电点钻孔验证，发现该位置地下岩层出现小规模裂隙带，在 50 m 深度附近岩心发现 2 处裂隙，钻孔出水量较好，与物探成果一致，进一步说明构造裂隙位置存在白垩纪碎屑岩裂隙水。



ρ_s.电阻率；η_s.极化率；S_t.半衰时

图 7　JD1 激电点勘探成果图

Fig. 7　Exploration results of point JD1



ρ_s.电阻率;η_s.极化率;S_t.半衰时

图 8 JD2 激电点勘探成果图

Fig. 8 Exploration results of point JD2

4 讨论

白垩纪碎屑岩裂隙水是基岩裂隙水的类型之一[22],基岩区大气降水是地下水唯一补给源,但岩石致密坚硬、透水性极低,雨水大多从坡面流失,具有就地补给、就地排泄的特点[23]。研究区地下水主要为基岩裂隙水,主要赋存于构造裂隙中。目前,虽然在一般基岩区进行物探找水已有不少成功案例[24-28],且找水成功率也较高,但在赣南白垩纪碎屑岩区进行物探找水的难度较大,原因是白垩纪碎屑岩内部构造相对不发育,且地层中含有一定的泥岩和砂质泥岩,导致碎屑岩裂隙水的电性响应和完整碎屑岩的电性响应差异较小,增加了物探找水的难度。通过综合水文物探方法对比研究完整白垩纪碎屑岩和白垩纪碎屑岩裂隙水的电性响应差异,发现白垩纪碎屑岩裂隙水的音频大地电场电性响应数值较低,曲线存在低值远小于高值的明显异常。白垩纪碎屑岩裂隙水的极化率和半衰时响应曲线存在高值异常;相对完整基岩,白垩纪碎屑岩裂隙水的视电阻率明显偏低。音频大地电场法可迅速有效地寻找碎屑岩区构造的地面位置,音频大地电磁法可查明构造裂隙的空间结构,激电法可判别构造裂隙的富水性,这 3 种物探方法各具特点。在赣南碎屑岩贫水区,综合利用上述方法可提高找水的成功率,对解决赣南革命老区缺水问题和安全用水具有重要意义。

5 结 论

(1)赣南白垩纪碎屑岩地下水类型主要为白垩纪孔隙裂隙水,含泥岩夹层,孔隙水的富水性相对较差。断层和裂隙发育,裂隙水的富水性相对较好。

(2)赣南白垩纪碎屑岩具有较高的电阻率和较低的极化率和半衰时,白垩纪碎屑岩裂隙水的电阻率较低,极化率和半衰时较大,曲线存在明显异常。

(3)综合利用音频大地电场法、音频大地电磁法和激电法找水,可提高找水的成功率,对解决赣南革命老区缺水问题和安全用水具有重要意义。

参考文献

[1] TURNER P. The palaeomagnetic evolution of continental red beds[J]. geological magazine, 1979, 116(4):289-301.

[2] 彭华.中国南方湿润区红层地貌及相关问题探讨[J].地理研究,2011,30(10):1739-1752.

[3] 曾昭璇,黄少敏.中国东南部红层地貌[J].华南师范学院学报(自然科学版),1978(2):56-73.

[4] 居恢扬,顾仁杰.我国南方红层的地质特征及其工程地质问题[J].上海地质,1983(3):1-16.

[5] 郭永春,谢强,文江泉.我国红层分布特征及主要工程地质问题[J].水文地质工程地质,2007(6):67-71.

[6] 张超岳.红层地下水的形成条件及找水方向[J]. 地下水,1987(1):47-49.

[7] LEYBOURNE M I, PETER J M, JOHANNESSON K H, et al. The lake st. Martin bolide has a big impact on-groundwater fluoride concentrations [J]. Geology, 2008, 36(2):115-118.

[8] BENISON K C, KNAPP J P, DANNENHOFFER J M. The Pennsylvanian pewamo formation and associated haybridge strata: Toward the resolution of the jurassic Ionia red bed problem in the Michigan Basin, USA [J]. Journal of Sedimentary Research, 2011, 81(7):459-478.

[9] 贾龙,吴远斌,潘宗源,等.我国红层岩溶与红层岩溶塌陷刍议[J].中国岩溶,2016,35(1):67-73.

[10] 程强,寇小兵,黄绍槟,等.中国红层的分布及地质环境

特征[J].工程地质学报，2004，12(1)：34-40.
[11] 黄国民，李世平，陶毅，等.广西碎屑岩地区电法找水实例[J].物探与化探，2019，43(1)：77-83.
[12] 尚通晓，关艺晓，闵望，等.CSAMT 在碎屑岩地区地热勘查中的应用[J].城市地质，2015，10(4)：77-82.
[13] 邬健强，甘伏平，张伟，等.音频大地电磁法在怀化方石坪村红层找水中的应用研究[J].中国岩溶，2018，37(6)：918-924.
[14] 黄国民，李世平，陶毅，等.广西“十二五”农村饮水安全工程找水打井物探成果报告[R].南宁：广西壮族自治区地质调查院，2015.
[15] 朱春林，李智毅，饶春富，等.滇中红层浅层地下水的特征和农村供水示范工程的建立[J].地质通报，2010，29(4)：610-615.
[16] 王会敏.地质调查精准扶贫工作思考——以赣南地区地质精准扶贫工作为例[J].西部探矿工程，2017(5)：196-198.
[17] 吴海平，郑明新，李平棕.赣南红层滑坡分布规律的映射分析[J].华东交通大学学报，2007，24(2)：9-12.
[18] 周红兵.赣州经济地理[M].南昌：江西人民出版社，1995.
[19] 江西省地质矿产局.江西省区域地质志[M].北京：地质出版社，1984.
[20] 刘金辉，徐卫东，李佳乐，等.兴国县北部地下水氟水文地球化学特征[J].东华理工大学学报(自然科学版)，2017，40(4)：301-305，367.
[21] 武毅，孙银行，卢放，等.AMT 法勘查额济纳盆地与巴丹吉林沙漠接触关系[J].科技导报，2014，32(20)：22-26.
[22] 梁靖.雷州半岛地下水资源特征及开采潜力评价[J].华东地质，2018，39(4)：299-304.
[23] 彭文，陈思佳，周世玲.福清平原地下水可采资源量及应急开采量评价[J].华东地质，2017，38(4)：314-320.
[24] 武毅，郭建强，曹福祥，等.多种物探技术勘查宁南深层岩溶水的组合试验[J].物探与化探，2002，26(2)：113-117.
[25] 何国丽，王光杰，周超，等.音频大地电磁法在探测地下水中的应用——以湛江南木水为例[J].地球物理学进展，2019，34(1)：304-309.
[26] 李凤哲，朱庆俊，孙银行.西南岩溶山区物探找水效果[J].物探与化探，2013，37(4)：591-595.
[27] 赵俊，向龙洲，李忠，等.综合物探在水文地质调查中的应用及适用性分析[J].云南大学学报(自然科学版)，2017，39(增刊)：110-115.
[28] 董健，胡雪平，李肖鹏，等.联合剖面法寻找基岩裂隙水[J].科学技术与工程，2012，12(14)：3520-3522.

Hydrogeology and electrical response of fissure water in the Cretaceous clastic rocks of Southern Jiangxi

SUN Yin-hang, ZHU Qing-jun, LIAN Sheng, FENG Shao-wu
(*Hydrogeological Environment Geological Survey Center, CGS, Baoding* 071051, *China*)

Abstract: To further study the hydrogeological characteristics and electrical response regularity of red bed areas in Southern Jiangxi, the typical areas are selected for comprehensive geophysical prospecting. By analyzing the hydrogeological characteristics of fissure water in the Cretaceous clastic rocks, it is found that the groundwater types in the area are mainly Cretaceous pore water and fissure water. The aquifer contains mudstone interlayer and the water abundance of pore water is relatively poor. Moreover, the structures are mainly faults and fissures, and the fissure water is relatively rich in water. The audio frequency electric method, audio magnetotelluric method and IP method are used for a comparative study of the fissure water in Cretaceous clastic rocks, the results show that when intact Cretaceous clastic rocks have relatively high resistivity, low polarizability and half-decay time, the resistivity of strata where faults and fissures are developed is low. While the polarizability and half-decay time are large, the curve shape is obviously abnormal. The study of electrical response characteristics can improve the success rate of water exploration and provide important references for solving the problem of water shortage in Southern Jiangxi.

Key words: red bed in Southern Jiangxi; comprehensive geophysical prospecting; hydrogeological characteristics; clastic rock; water abundance