

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

王新峰¹⁾, 宋 绵¹⁾, 龚 磊¹⁾, 肖 攀²⁾, 何 锦¹⁾, 刘元晴¹⁾

1) 中国地质调查局水文地质环境地质调查中心, 河北保定 071051;

2) 中国地质调查局武汉地质调查中心, 湖北武汉 430205

摘 要: 赣南红层盆地分布区一直被认为是地下水严重缺水地区, 各城镇饮用水源均为地表水体。随着经济发展、社会进步, 人民对美好生活的需要不断提升, 优质、稳定的饮用水成为老区人民需求增长最快的民生问题之一。中国地质调查局根据原国土资源部的统一部署, 于2017年启动了赣南七县水文地质调查扶贫找水解困工作。本文通过精准式地下水勘查实例分析和大比例尺水文地质调查成果总结, 采用基岩山区气象补水、地貌汇水、地层蓄水、构造导水、钻探取水的实践理念综合分析, 梳理总结了兴国县存在季节性、水质型、工程型缺水的主要原因, 并创新提出了补给-滞留型、植被涵养型、侵入扩张输导型3种基于地下水驱动力的蓄水构造模式, 进一步丰富了蓄水构造理论, 分析总结了不同含水岩组分布区风化裂隙水、溶蚀裂隙孔隙水、层间裂隙水、构造裂隙水、古河道孔隙水5种缺水地区找水方向。蓄水构造模式和找水方向经实践证明, 在严重缺水的红层分布区可以快速确定找水靶区, 找水成效显著。

关键词: 蓄水构造; 基岩地下水; 红层盆地; 兴国县

中图分类号: P641.135; P641.2 **文献标志码:** A **doi:** 10.3975/cagsb.2018.071402

An Analysis of Characteristics of Groundwater Occurrence and Typical Model of Water-storage Structures in Water-deficient Areas of Southern Jiangxi Province: A Case Study of Xingguo County

WANG Xin-feng¹⁾, SONG Mian¹⁾, GONG Lei¹⁾, XIAO Pan²⁾, HE Jin¹⁾, LIU Yuan-qing¹⁾

1) Center for Hydrogeology and Environmental Geology, China Geological Survey, Baoding, Hebei 071051;

2) Wuhan Center of China Geological Survey, Wuhan, Hubei 430205

Abstract: The distribution areas of red bed basin in southern Jiangxi Province are always deemed as the areas with serious shortage of groundwater, and drinking water in all cities and towns is sourced from surface water bodies. With the social progress, economic development and increasing demand for better life, stable supply of high-quality drinking water has become one of the livelihood issues with the fastest demand growth in the old revolutionary areas. In accordance with the uniform deployment of the former Ministry of Land and Resources, China Geological Survey commenced the hydrogeological survey work in seven counties in southern Jiangxi Province in 2017 for the purpose of achieving poverty alleviation and overcoming the difficulties of water exploration. By means of accurate instance analysis of groundwater exploration and summarization about results of large-scale hydrogeological survey, this paper summarizes the main causes for seasonal, pollution-induced and construction-induced water storage in Xingguo County on the basis of comprehensive analysis of practical theory of water replenishment, catchment, impoundment, diversion via structures and intaking through drilling in the bedrock mountain areas; on such a basis, three models of water-storing structures based on driving force of groundwater were presented in an innovative manner, i.e., replenishment - retaining, vegetation conservation, and

本文由中国地质调查局地质调查项目(编号: DD20179262)和国家自然科学基金项目(编号: 41240021; 41330314)联合资助。为中国地质调查局、中国地质科学院2017年度地质科技十大进展第五名“科技创新引领地质调查精准支撑服务脱贫攻坚成效显著”的成果之一。

收稿日期: 2018-06-24; 改回日期: 2018-07-06; 网络首发日期: 2018-07-16。责任编辑: 魏乐军。

第一作者简介: 王新峰, 男, 1982年生。硕士, 工程师。研究方向为基岩山区水文地质调查及成果集成。E-mail: wx820813@126.com。

invasion-expansion-delivery, which further enriches the theory of water-storing structure; moreover, this paper analyzes and summarizes five different directions for water exploration in the water-deficient areas, i.e., weathering fissure water, grike pore water, interlayer fissure water, structure fissure water and ancient channel pore water in those areas where different aquifer groups are distributed. Through practices, it has been proved that the above-mentioned models of water-storing structure and directions of water exploration can help to determine the target regions quickly and play a significant role in water exploration in the red bed distribution areas suffering serious water shortage.

Key words: water-storing structure; bedrock groundwater; red bed basin; Xingguo County

红层裂隙、孔隙均不太发育, 储水空间小, 加之丹霞地貌不利于降水渗入, 多形成地表径流, 所以含水性很差, 成为众所周知的严重缺水(张超岳, 1987)。红层找水是地下水勘查开发中的难题之一(朱春林等, 2010), 前人曾对此做过许多工作和专门的探讨, 形成了“一户一井”、“单井分片连户”、“多井集中调配”、“深井连村”等多种找水解困模式(毛文清和温清茂, 1997; 安永会等, 2003; 郑万模等, 2004; 鄢毅, 2004; 骆银辉等, 2006; 张福存等, 2008)。

蓄水构造概念提出后(刘光亚, 1978), 在严重缺水地区找水工作中被广泛应用。如: 运用蓄水构造理论编制《朝阳地区蓄水构造类型图》, 突出富水部位, 增强水文地质图的实用性(丁秉弼, 1989); 制定野外寻找基岩蓄水构造的勘查技术路线, 提升地下水勘查效率(徐军祥等, 2014); 基于蓄水构造类型, 结合综合物探方法刻画其空间结构, 提出山区综合找水技术方法, 提高找水定井的准确率(张之淦和陈伟海, 2000; 刘新号, 2011; 李伟等, 2011); 有的对蓄水构造划分地下水系统进行了尝试(潘晓东等, 2015); 均丰富发展了蓄水构造的应用实践。

2017年中国地质调查局在赣南兴国县、宁都县实施的地质扶贫找水工作, 收到了良好的找水效果(方捷等, 2018; 龚磊等, 2018; 宋绵等, 2018)。本文正是基于对兴国、宁都水文地质条件的认识, 结合地下水勘查与大比例尺水文地质调查的成果, 以兴国县为例提出从地下水的驱动力方向总结蓄水构造模式, 把生产性成果中蕴藏的科研思维提炼出来(刘庆生, 1999), 以期类似缺水地区解决生活用水困难提供借鉴。

1 水文地质形成条件

1.1 水文气象

研究区属亚热带季风湿润气候, 据兴国县气象局 1957—2006 年的降水资料, 年平均降水量为 1 522.3 mm, 年平均雨日 155 天, 多集中在 3—8 月(管凌云等, 2017)。研究区河网密布, 密度达 0.23 km/km^2 , 主要属赣江贡水支流的平固江水系(兴国县地方志编纂委员会, 2009)。水文变率大, 流线短, 水量大。季节性降水不均, 地表水变率大, 是

兴国山区群众饮水缺水的主因。

1.2 地形地貌

研究区地貌可分为侵蚀构造中低山、构造剥蚀丘陵、构造剥蚀低丘岗地、侵蚀溶蚀岩溶洼地、侵蚀堆积河谷冲积平原等五个类型, 以中低山丘陵为主, 总体为北部、西部和东南侧隆起, 地势高, 最高点位于北部的大乌山, 海拔标高 1 204.5 m, 中部为盆地, 地势低洼, 由低丘岗地和山间谷地构成, 最低点位于龙口的睦埠, 海拔标高仅为 130 m, 形成以盆地为中心朝西南侧开口的一个山间盆地地形。地貌类型的急剧变化, 致使地表产流大而过流快, 坑塘堤坝蓄水工程缺乏, 形成补给区工程型缺水。

1.3 地层岩石

研究区地层与岩石分布与地貌密切相关。如图 1 所示, 兴国盆地内主要分布一套白垩系陆相红色岩系, 属洪积、湖积、河流相沉积, 是在炎热干燥气候条件下形成的类磨拉石构造, 构成砾岩—砂岩—砾岩的沉积旋回, 相变较显著。盆地周边被震旦系、寒武系变质岩和加里东期、燕山期花岗岩环绕。石炭系煤系地层仅在梅窖盆地小范围分布。地层岩石形成的含水岩组富水性普遍较差, 受山势陡立、沟谷深切复合影响, 降水对地下水补给有限, 致使研究区水量型缺水普遍存在。

1.4 地质构造

研究区处在南岭东西向构造带的北东端与雩山隆褶带交接区, 经历多期次构造活动, 构造形迹由一系列近南北走向的复式褶皱、压性断裂组成。依据发育方向、展布形式、活动期次及相互关系, 可划分为: 赣南山字型构造、北东向构造、北北东向构造、兴国旋卷构造。

对研究区地下水补、径、排起主导控制作用的是北东向和北北东向构造。一是共同控制了红层盆地的沉积及红层与花岗岩、变质岩的接触关系; 二是断裂破碎带宽而硅化强烈, 富含萤石资源, 是盆地东侧存在条带状水质型缺水的主因。

2 地下水赋存特征

2.1 地貌汇水

地貌对地下水的影响主要通过控制地表水系,

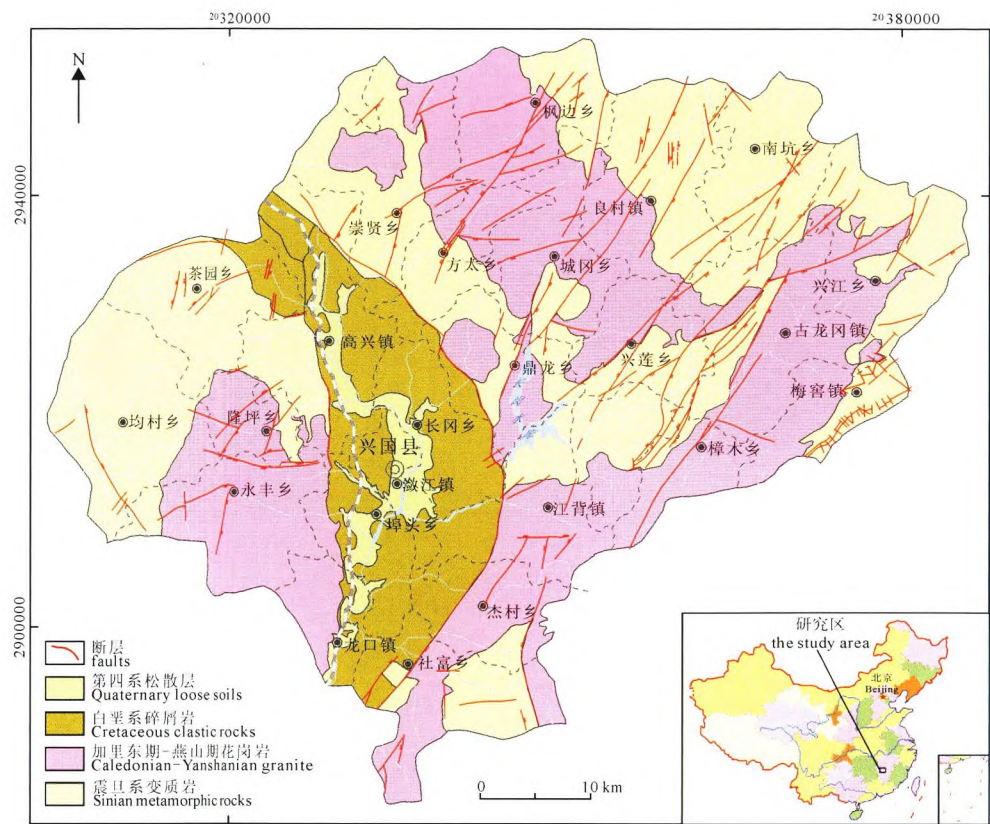


图 1 研究区地质简图
Fig. 1 Geological map of the study area

使降雨在地表水体中滞留更长时间，从而增加降雨入渗系数。两条沟谷相交汇处，地下水和地表水从不同的方向汇聚于此，汇水面积较大，相互转换频繁，往往能够形成相对富水块段。沿沟一般有断裂发育，若断裂破碎带切割深、宽而延伸较长，就能够形成较为理想的富水区，这在红层区找水中具有重要的实际意义。如江背镇书院背，在此类型地貌区发育的泉水量可达 2 L/s，民井密集分布，井深 2.19 m 深度，单井涌水量能够达 21.12 m³/d。

2.2 地层蓄水

岩性是决定地下水形成的物质基础，不但控制地下水的水化学组成，也是影响地下水形成与富集的内因。且其与构造结合，控制了地形地貌和地表水文网的演化改造(毛文清和温清茂, 1997)。如高兴镇高多村，处于白垩系中统周田组冲积扇中端相、远端相和滨浅湖相交互带，形成了条带状分布富水极好的砂砾岩含水层，实施的 4 眼 60 余 m 的探采结合孔，每天合计涌水量 1 052 m³/d，在红层区实属罕见。

2.3 构造导水

兴国红盆区 1:5 万地质图未标示有断裂构造，但通过大比例尺遥感解译可以发现，在盆缘区发育一组北北东向新构造，往往能够形成导汇水通道。且此类型的断裂构造突破岩性与地貌圈定的地下水

系统边界，很难清晰界定钻孔水的补给来源和补给量。如西霞村枫树下 XGZK05 探采结合孔，钻孔在 55.5 m 和 94.5 m 连续揭露两处断层破碎带，单井涌水量 2 125 m³/d。

2.4 缺水现状

综合研究区水文气象、地形地貌、地层构造的基本特征，结合地貌汇水、地层蓄水、构造导水的基本论述，可以得出：红层盆地是贫水地层分布区，同时也是人口集聚区，需水量大与无水可用在区间分布重叠，而降雨的季节分配不均和地表水系流率变化大，进一步加剧了严重缺水区的缺水程度。总体上研究区存在三种类型的缺水：

一是季节型缺水。此类型无论在红层分布区，还是变质岩与花岗岩分布区，均普遍存在。这是研究区降水年际变化大，季节分配不均，且山区多，盆地少空间分布不均造成的。调查显示季节性缺水未能随着自来水管网的覆盖而逐渐减少，反而有进一步扩大的趋势，分析认为自来水水源长冈水库和长龙水库，均为地表水体，水质未能被百姓普遍认可，自来水只用不喝。

二是水质型缺水以酸化水形式普遍存在于研究区浅层孔隙水和花岗岩风化壳裂隙水中，红盆两侧盆缘局部存在原生高氟水与与萤石矿废水密切相关的次生高氟水。统计显示，兴国县测试的 768 个

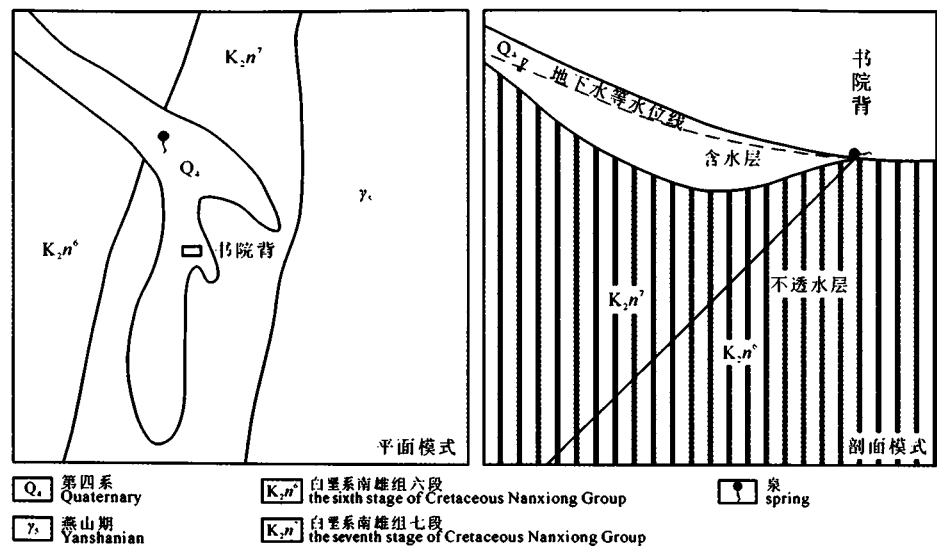


图2 补给-滞留型蓄水构造模式
Fig. 2 Replenishment-retaining of water-storing structure

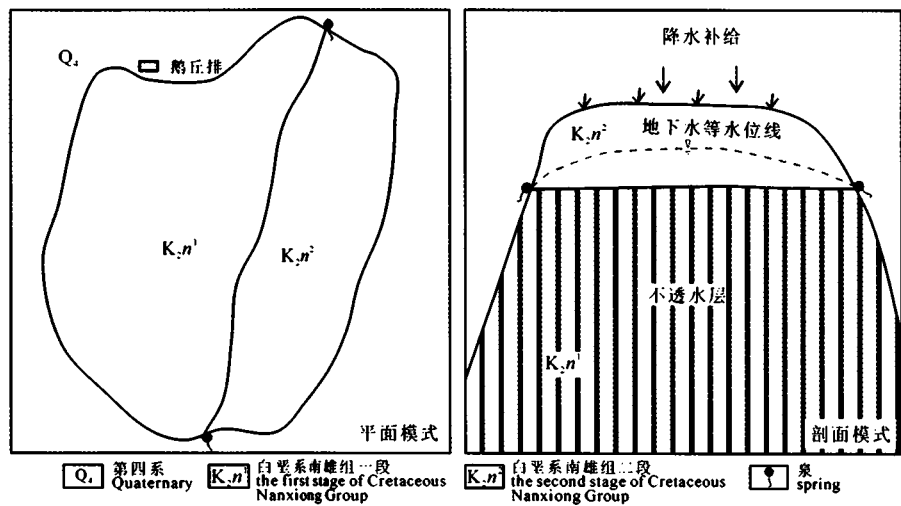


图3 植被涵养型蓄水构造模式
Fig. 3 Vegetation conservation of water-storing structure

pH 数据, 小于 6.5 的达 445 个, 占比 58%。高氟水的存在与北东向区域富矿构造密切相关。

三是工程型缺水突出表现在花岗岩和变质岩深切 V 谷区。由于沟谷深切, 风化壳薄蓄水能力差, 降水迅速转化为地表水流, 且流速快, 进一步消薄了沟谷第四系厚度, 甚至无第四系分布, 致使此地貌区无地下水可用, 特别是枯水季节。

总之, 研究区缺水一是红层岩性不富水, 二是岩层不透水, 三是地貌不汇水的综合因素叠加造成的。

3 典型蓄水构造模式

3.1 补给-滞留型

地下水补给充足, 地层岩性发育较厚的风化壳, 形成密集裂隙带能够蓄水, 在其下游有稳定的隔水边界, 阻滞地下水的径流, 形成了由岩性、地貌复合而成的蓄水构造模式, 如图 2 所示。

在研究区此类蓄水构造主要分布在红层区。如书院背, 处在两沟交汇处。第四系冲积物在沟口形成较厚、颗粒粗大、分选较差的松散沉积层。而两沟交汇后, 沟底基岩迅速抬升, 第四系突然变薄, 地下水受阻, 以泉和条带状溢出带的形式排泄形成地表径流。调查发现, 书院背泉水总流量可达 482 m³/d, 经取样测试 pH 5.97, TDS 63.68 mg/L, 水化学类型为 HCO₃-Ca 型水, 符合饮用水标准, 可解决附近 6 000 余人饮水需求。

3.2 植被涵养型

此类蓄水构造在红层丹霞地貌区分布比较普遍。在丹霞山底部为粉砂质泥岩, 裂隙不发育, 顶部为砂砾岩, 风化后破碎严重, 造壤能力强, 且土壤易被杉树固结, 低矮伏皮植被进一步发育, 形成较为稳定的风化层, 在接受降水补给后, 形成滞水式蓄水区, 如图 3 所示。如鹅丘排一带, 悬挂式泉水水量可达 328 m³/d, 经取样测试 pH 7.58,

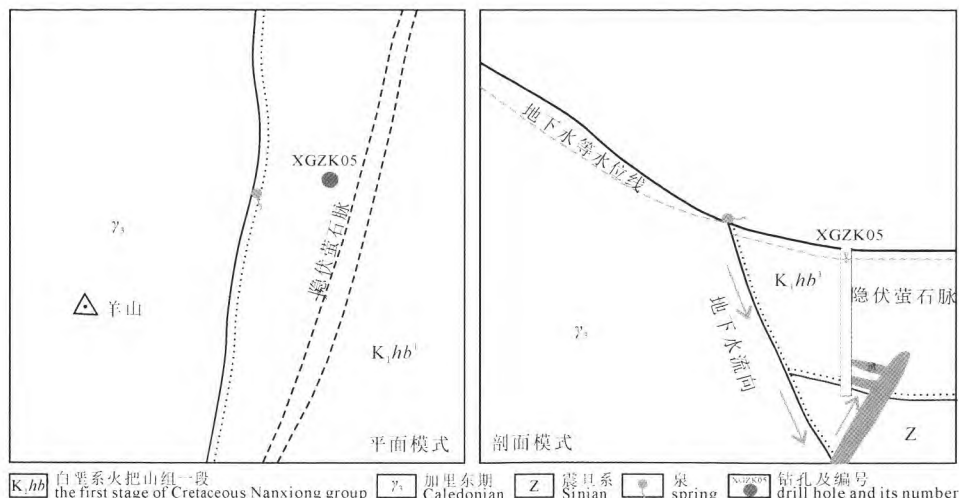


图 4 侵入扩张输导型蓄水构造模式

Fig. 4 Invasion-expansion-delivery of water-storing structure

TDS 56.67 mg/L, 水化学类型为 $\text{HCO}_3\text{-Ca-Na}$ 型水, 符合饮用水标准, 可解决附近 4 000 余人饮水需求。

总结认为, 此类蓄水构造控水三因素为地貌、岩性和植被。地貌为造壤能力强的砂砾岩风化提供了条件, 砂砾岩风化为降雨蓄积提供了空间, 而植被则是维持稳定风化壳的重要营力。

3.3 侵入扩张输导型

在红层分布区, 构造裂隙并不发育, 但在靠近花岗岩砾砾柱附近, 遇到侵入岩脉穿切, 红层中 Ca 和 F 元素被地热水环流汲取, 在合适的断裂空间沉淀析出萤石。萤石矿内因 CaCO_3 饱和结晶于萤石表面, 致使萤石矿体内形成晶洞, 甚至腔体, 为地下水蓄积、运移提供了空间。而在未形成萤石矿的红层岩脉侵入处, 由于肿胀裂隙发育, 在岩脉与透水岩层的接触带上, 尤其是地下水补给侧, 地下水富集, 形成水量极其丰富的富水条带, 塑造了侵入扩张输导型蓄水构造模式, 如图 4 所示。

如兴国县西霞村羊山富水块段, 微地貌为两沟交汇咽喉处, 经物探勘查发现在红层底部约 50 m 处存在岩脉, 在其旁侧实施一眼 121.5 m 深孔, 在 94.5 m 处揭露厚 6 m 萤石矿层, 井口水温迅速升至 28.9°C , 经取样测试 pH 7.58, TDS 430.8 mg/L, F^- 4.7 mg/L, $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Na}$ 型水。按照兴国县年平均降雨量为 1 522.3 mm, 降水入渗系数按 0.2 计算, 在流域面积仅为 0.07 km^2 内, 此孔单井涌水量最大为 58.39 m^3/d , 但经三降深稳定流抽水试验, 单井涌水量可达 2 125 m^3/d , 再次证实岩脉为导汇水通道, 串通了多个水文系统。

4 找水方向

4.1 风化裂隙水

风化裂隙水是赣南地区常见的地下水类型。由

于地形切割较深, 剥蚀强烈, 风化带普遍发育不完全, 连续性较差, 风化裂隙水分布零散, 季节性变化大。只在局部植被较为发育处, 风化带保存完好、地形和水文地质结构有利的部位才能形成富水块段。

如杰村乡松山下, 所处含水岩组为白垩系南雄组 1 段砂砾岩与赣州组粉砂质泥岩接触带, 典型的红层丹霞地貌, 坡陡无植被覆盖, 但在山顶宽缓处受粉砂质泥岩顶托, 砂砾岩造壤能力较强, 且植被发育, 富水且能蓄水, 经实测, 泉水流量可达 77 m^3/d 。而花岗岩区则更为明显, 云峰嶂在海拔 880 m 以上, 野生油茶树分布较广, 散泉发育, 经调查统计分析, 泉水量 420 m^3/d 。

4.2 溶蚀裂隙孔隙水

含水岩组以钙质泥岩、泥灰岩、泥质白云岩等含可溶性矿物的岩层为主, 地下水多呈层状分布, 一般以互层型和夹层型为主, 富水程度取决于含水层的厚度、岩石的溶隙和溶孔发育程度、汇水地形地貌条件等因素。如兴国象形实施的 XGZK08 探采结合孔, 孔深 259 m, 揭露 28—34.5 m、40.5—49.5 m、76.5—145.5 m、160.5—186.95 m、225.95—255.95 m 5 个含水层, 清晰可见灰岩角砾溶孔、溶蚀现象, 水量 144 m^3/d 。

4.3 层间裂隙水

在研究区红层分布区, 这是一种较稳定的地下水类型, 根据含水层与隔水层的组合差异, 可分为单层型、互层型和夹层型 3 种组合方式。在相同条件下, 单层型含水层厚度大、分布连续, 裂隙连通性较好, 富水性强、水量大。如兴国旺口, 井深于 46.5 m 揭露泥质砂砾岩与粗砂岩层面, 出水近 480 m^3/d , 终孔于 61.9 m。在高兴镇长径村实施的 XGZK10 探采结合孔, 连续揭露 16.5—24 m、210

—225 m 两个主要含水层,具有承压性,单井涌水量 106.7 m³/d。

4.4 构造裂隙水

由于红层区构造不发育,且已发现断裂构造又多闭合,切割浅,不具备赋存地下水的条件。因此,红层区构造裂隙水主要在盆缘断裂带寻找其发育在硬岩地层中的次级构造。如兴国西霞,通过寻找隐伏于白垩系下 100 余 m 深度的花岗岩中的断层,获得了单井 1 342 m³/d 的优质饮用水井。

4.5 古河道孔隙水

根据河流发育、河曲结合访问,在红层盆地严重缺水,寻找古河道,是快速、准确获得中型以上水源地,解决集中供水的途径之一。如在兴国文院,发现平江古河道,孔深 11 m,出水近 2 000 m³/d,水质化验指标全部达到饮用水标准。

5 结论

(1)赣南红层分布区以往普遍认为是地下水贫瘠区。经过此次研究发现,由于降水充沛,地表水资源丰富,为地下水补给提供了保障,在有利形成蓄水构造部位能够勘查获得理想的水量,可解决饮水困难。

(2)从水文气象、地形地貌、地层岩石、地质构造分析了兴国地下水赋存的自然地理背景和地质条件,采用地貌汇水、地层蓄水、构造导水理念,分析了兴国县严重缺水地区不同地貌单位、不同含水岩组分布区的缺水主控因素,总结了季节型、水质型、工程型 3 种缺水类型。

(3)从地下水驱动力分析,首次提出了补给-滞留型、植被涵养型、侵入扩张输导型 3 种蓄水构造新模式,可为花岗岩与白垩系分布区、岩脉发育区快速提供找水靶区。

(4)通过地下水勘查实例分析,明确了兴国红层缺水地区风化裂隙水、溶蚀裂隙孔隙水、层间裂隙水、构造裂隙水、古河道孔隙水 5 个找水方向。

致谢:感谢中国地质调查局水文地质环境地质调查中心赣南扶贫找水项目组全体技术人员为本文数据分析提供的支撑!

Acknowledgements:

This study was supported by China Geological Survey (No. DD20179262), and National Natural Science Foundation of China (Nos. 41240021 and 41330314).

参考文献:

安永会,张福存,吴登定. 2003. 红层盆地缺水类型区人畜饮用

地下水勘查[M]. 北京:地质出版社.

丁秉弼. 1989. 编制《朝阳地区蓄水构造类型图》的探索[J]. 河北地质学院学报, 12(2): 231-236, 2.

方捷,曾勇,刘一,沈雪华. 2018. “地质调查+”支撑服务脱贫攻坚模式探索与实践——以赣南苏区为例[J]. 地球学报, 39(5): 559-564.

龚磊,王新峰,宋绵,张涛,吴玺. 2018. 江西兴国县溶解性总固体分布规律初探[J]. 地球学报, 39(5): 587-592.

管凌云,赖靖邦,刘涛,钟锐,姜丽. 2017. 兴国县葡萄生长长期的气象条件[J]. 江西农业, (23): 52-53.

李伟,朱庆俊,王洪磊,李成. 2011. 西南岩溶地区找水技术方法探讨[J]. 地质与勘探, 47(5): 918-923.

刘光亚. 1978. 基岩蓄水构造[J]. 河北地质学院学报, (1): 19-39.

刘庆生. 1999. 谈谈科学研究中的创新思维[J]. 中国科学基金, (2): 109-111.

刘新号. 2011. 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, 38(6): 8-12.

骆银辉,张成亚,饶春富,杨广珠. 2006. 云南红层地下水贮存特征与开发利用途径[J]. 勘察科学技术, (2): 46-49.

毛文清,温清茂. 1997. 红层地下水形成环境分析与水文地质分类[J]. 成都理工学院学报, 24(S1): 142-147.

潘晓东,梁杏,唐建生,苏春田,孟小军. 2015. 黔东南高原斜坡地区 4 种岩溶地下水系统模式及特点——基于地貌和蓄水构造特征[J]. 地球学报, 36(1): 85-93.

宋绵,龚磊,王新峰,李甫成,马涛. 2018. 江西兴国县偏酸性地下水研究现状[J]. 地球学报, 39(5): 581-586.

兴国县地方志编纂委员会. 2009. 兴国县志[M]. 西安:三秦出版社.

徐军祥,康凤新,张中祥,邢立亭,姜春永. 2014. 山东省重大水文地质问题——理论技术创新与应用[M]. 济南:山东科学技术出版社.

鄢毅. 2004. 川、渝红层地区浅层地下水勘查与开采技术初步研究[M]. 北京:地质出版社.

张超岳. 1987. 红层地下水的形成条件及找水方向[J]. 地下水, (1): 47-49, 53.

张福存,鄢毅,刘安云,李旭峰. 2008. 西南红层浅层地下水特征及其开发利用模式[J]. 水文地质工程地质, (3): 53-56.

张之淦,陈伟海. 2000. 岩溶蓄水构造与找水——以广西来宾小平阳为例[J]. 水文地质工程地质, (6): 1-5.

郑万模,魏伦武,李明辉. 2004. 西南红层严重缺水地区找水工作[J]. 沉积与特提斯地质, 24(4): 106-107, 75.

朱春林,李智毅,饶春富,邢志会. 2010. 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, 29(4): 610-615.

References:

AN Yong-hui, ZHANG Fu-cun, WU Deng-ding. 2003. Exploration of drinking water for men and livestock in water deficient area of red strata Basin[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).

DING Bing-bi. 1989. Exploration of the text “compiling map of

- water storage structure in Chaoyang Area"[J]. Journal of Hebei College of Geology, 12(2): 231-236, 2(in Chinese with English abstract).
- FANG Jie, ZENG Yong, LIU Yi, SHEN Xue-hua. 2018. Exploration and Practice of "Geological Survey +" Supporting Poverty Alleviation Model: A Case Study of South Ganzhou[J]. Acta Geoscientica Sinica, 39(5): 559-564(in Chinese with English abstract).
- GONG Lei, WANG Xin-feng, SONG Mian, ZHANG Tao, WU Xi. 2018. Characteristics of Total Dissolved Solids in Xingguo County, Jiangxi Province[J]. Acta Geoscientica Sinica, 39(5): 587-592(in Chinese with English abstract).
- GUAN Ling-yun, LAI Jing-bang, LIU Tao, ZHONG Rui, JIANG Li. 2017. The meteorological conditions of the growing period of grape in Xingguo County[J]. Jiangxi Agriculture, (23): 52-53(in Chinese).
- LI Wei, ZHU Qing-jun, WANG Hong-lei, LI Shu. 2011. On methods of finding water in the karst zones of Southwest China[J]. Geology and Exploration, 47(5): 918-923(in Chinese with English abstract).
- LIU Guang-ya. 1978. Bedrock theory of water storage structure[J]. Hebei Geological College, (1): 19-39(in Chinese).
- LIU Qin-sheng. 1999. Deliberation about bringing forth new ideas in scientific research[J]. Bulletin of National Natural Science Foundation of China, (2): 109-111(in Chinese with English abstract).
- LIU Xin-hao. 2011. Integrated water exploration technique in mountainous area based on water storage structure[J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 38(6): 8-12(in Chinese with English abstract).
- Local Chronicle Compilation Committee of Xingguo County. 2009. The chronicles of Xingguo[M]. Xi'an: Three Qin Dynasty Press(in Chinese).
- LUO Yin-hui, ZHANG Cheng-ya, RAO Chun-fu, YANG Guang-zhu. 2006. Occurrence characters and development way of groundwater in Yunnan Red Stratum[J]. Site Investigation Science and Technology, (2): 46-49(in Chinese with English abstract).
- MAO Wen-qing, WEN Qing-mao. 1997. Analysis of formation environment and the hydrogeology classification of groundwater in Red Beds[J]. Journal of Chengdu University of Technology, 24(s1): 142-147(in Chinese with English abstract).
- PAN Xiao-dong, LIANG Xing, TANG Jian-sheng, SU Chun-tian, MENG Xiao-jun. 2015. The patterns and characteristics of Four Karst Groundwater Systems in Northeast Guizhou Slope zone based on the landscape and reservoir structure[J]. Acta Geoscientica Sinica, 36(1): 85-93(in Chinese with English abstract).
- SONG Mian, GONG Lei, WANG Xin-feng, LI Fu-cheng, MA Tao. 2018. Research Status of Partial Acid Groundwater in Xingguo County, Jiangxi Province[J]. Acta Geoscientica Sinica, 39(5): 581-586(in Chinese with English abstract).
- XU Jun-xiang, KANG Feng-xiang, ZHANG Zhong-xiang, XING Li-ting, JIANG Chun-yong. 2014. Important hydrogeological problems in Shandong Province-theory, technology innovation and application[M]. Jinan: Shandong Science and Technology Press(in Chinese).
- YAN Yi. 2004. Preliminary study on exploration and mining technology of shallow groundwater in Sichuan and Chongqing red strata area[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- ZHANG Chao-yue. 1987. Formation conditions of groundwater and the direction of finding water in the red strata area[J]. Groundwater, (1): 47-49, 53(in Chinese).
- ZHANG Fu-cun, YAN Yi, LIU An-yun, LI Xu-feng. 2008. Characteristics and development models of shallow groundwater in the red strata of southwest China[J]. Hydrogeology and Engineering Geology, (3): 53-56(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Zhi-gan, CHEN Wei-hai. 2000. Karst reservoir structure and groundwater[J]. Hydrogeology and Engineering Geology, (6): 1-5(in Chinese with English abstract).
- ZHENG Wan-mo, WEI Lun-wu, LI Ming-hui. 2004. Water finding work in the area of severe water shortage in the red strata of Southwest China[J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 24(4): 106-107, 75(in Chinese with English abstract).
- ZHU Chun-lin, LI Zhi-yi, RAO Chun-fu, XING Zhi-hui. 2010. The characteristics of shallow groundwater and the establishment of rural water supply demonstration project in central Yunnan red beds area, southwestern China[J]. Geological Bulletin of China, 29(4): 610-615(in Chinese with English abstract).