

红层区典型储水构造快速钻探成井工艺研究

潘德元, 王 杰, 方国庆, 方泓锦, 张 昭

(中国地质调查局 长沙自然资源综合调查中心, 长沙 410600)

摘要:赣南红层地区是地下水严重匮乏的区域,中国地质调查局通过在当地进行水文地质调查找水解困助力脱贫攻坚工作取得显著成果,但是水资源的匮乏仍然制约着乡村产业振兴。通过 2021 年开展的巩固脱贫成果助力产业发展实施的应急找水打井工程,进一步验证前期取得的地质工作成果,并总结了典型红层区储水构造快速钻探及成井的关键技术。赣南红层区的储水构造一般为裂隙发育、破碎严重的地层,传统水文钻探工艺钻进及成井效率低,通过应用空气潜孔锤钻进工艺在典型红层区储水构造的钻探施工,分析总结赣南红层区不同储水构造地层特点、钻探施工难点及成井技术要点,为有效提高红层区水井钻探效率和成井质量提供一定的技术参考。

关键词:赣南红层区;储水构造;空气潜孔锤;跟管钻进

中图分类号:P643;TE249 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2022)08-0319-05

中国的红层面积约占陆地总面积的 9.5%,占比大、分布广,同时也是重要的城镇分布区和农业种植区,其中南方以赣江流域红层盆地为主要代表。红层的孔隙裂隙均不发育,具有低孔隙和低渗透的特征,兼之其地表地貌不利于降水渗入,导致红层盆地中地下水资源紧缺,在季节性缺水时形成严峻的旱情^[1-2]。

自 2017 年以来,中国地质调查局启动了赣南水文地质调查和扶贫找水工作,通过红层内地质构造指导打井找水,取得了良好效果,对该地区红层地下水储水结构有了良好的认识^[2-3]。

2021 年,中共中央国务院《关于实现巩固拓展脱贫攻坚成果同乡村振兴有效衔接的意见》指出打赢脱贫攻坚战、全面建成小康社会后,要进一步巩固拓展脱贫攻坚成果,接续推动脱贫地区发展和乡村全面振兴。2021 年是巩固脱贫攻坚成果,接续乡村振兴发展的开局之年,为巩固脱贫成果助力产业发展,地调局部署了应急找水打井任务。在此次任务中,针对当地需求迫切、任务紧急的特点,采用了空气潜孔锤钻探工艺,实现了快速钻进、高效成井,共实施 5 眼水井,累计进尺超 750 m,均成功出水,累计出水量约 1 600 m³/d,为当地产业和居民饮水提供了有利的保障^[4]。

目前,空气潜孔锤钻进工艺在岩土钻掘工程中应用广泛^[5-9],也在中国各地的抗旱打井工程中发挥

了巨大作用^[10-13],不少学者对其工艺特点进行了总结归纳^[14-15],但是尚未有结合红层区典型储水构造地质特征进行空气潜孔锤钻探工艺关键技术的研究分析。本文基于赣南红层区典型储水构造的地质研究成果,以此次应急找水打井工程为依托,总结分析空气潜孔锤钻探技术在红层区典型储水构造的关键技术,以期对相似缺水地区的高效钻探和优质成井提供技术参考。

1 地质特征

赣江流域红层盆地中红层主要分布于 NE 向展布的断陷盆地中,盆地内红色砂砾岩层极差的分选性和完好的铁质胶结,使其具有低孔隙和低渗透特征,且厚度大分布广,成为红层盆地地下水贫瘠和补给效率低的主要原因^[2]。

1.1 典型储水构造

宁都县在区域构造上位于武夷山隆起带的西翼,地质构造发育,主要为褶皱和断裂。根据前期对红层地区地下水的研究成果,其主要的储水构造类型有盆地内构造及其伴生裂隙,以及盆地边缘的盆缘断裂带区域,也是地表水和地下水的交换运移和渗透通道。

1) 盆地内的地下水储水构造主要在地层的褶皱变形、断裂构造强烈部位以及岩性差异变化位置,可分为第四系覆盖层储水构造、单斜地层储水构造、向斜储水构造等^[1-2],相对具有较好的透水性,

收稿日期:2022-03-28

基金项目:中国地质调查局项目(DD20191019)。

作者简介:潘德元(1982—),男,江西婺源人,中国地质调查局长沙自然资源综合调查中心,工程师,硕士,研究方向为钻井工艺。

从而构成地下水的补给、下渗和汇聚通道,而在其他部位的软质、柔性岩层区域裂隙不发育,多含黏土等泥质成分,形成相对的隔水层。

2)在红层盆地边缘则主要是其发育在硬岩地层中的次级构造断裂带^[3]部位,一侧的红层和基岩基底形成良好的阻水层,地下水赋存于裂隙发育带、侵入岩接触或裂隙发育的构造带中。

根据储水构造的地质条件、地下水补给情况以及已有的施工经验,水井钻探深度以满足供水需求为目标,盆地内的成井深度一般不超过 300 m,边缘的成井深度一般不超过 200 m。

1.2 孔位部署

断裂构造是地下水的主要储存空间,是找水打井的重要目标靶点,但是因为其分布具有显著的非均一性,导致红层地区找水打井的部署难度大,成功出水井比例较低,综合施工成本较高。

此次应急找水打井工作是由宁都县当地政府为巩固脱贫成果、助力地方产业发展提出的需求,初步圈定了找水靶区,因此,对此次的地质工作提出了更高的要求,需要更精准的部署水井孔位。

南京地质调查中心和长沙中心联合开展了精细的专项水文地质调查工作,依据宁都县水文地质调查成果以及红层区的找水研究成果^[1-2],充分研究分析找水靶区周围的水文地质特征,调查靶区地层储水构造、产业供水便利、钻探设备进场等因素,在相应的储水构造带上精准的部署了水文钻孔,其中三眼位于红层盆地内部,两眼位于红层盆地边缘。

1.3 岩性特征

1)红层盆地内部的储水构造带通常位于地层应力集中区,以硬质、脆性的碎屑岩为主,受到应力作用时易产生脆性破裂,钻进时上返的岩屑形成不规则的片状或贝壳状(图 1),而软质、柔性的岩层区域裂隙不发育,易被泥质成分充填,是相对的隔水层,同时红层软岩中黏土成分对其的水理性质和力学性质的影响,黏土成分含量越高,水敏性越大,力学性质相对较差^[16]。在穿过上部隔水层进入储水构造带地层后,循环上返的地下水会对上部隔水层的力学性质产生影响,降低其稳定性。

2)红层盆地边缘的储水构造带一般为花岗岩基底^[1]或到侵入岩脉穿切^[3]形成的接触带上,岩性复杂,多破碎、裂隙发育,软硬交替变化,会导致钻进过程中井下情况多变,钻机扭矩波动大,蹩跳钻严重等现象。图 2 为上返岩屑变化情况,包括黏土、粉砂、石英颗粒、含砾粗砂、凝灰岩等。

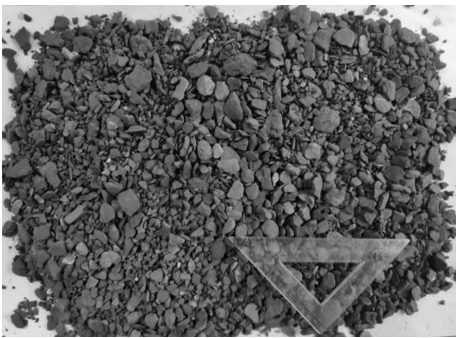


图 1 红层储水构造岩屑



图 2 盆地边缘岩屑变化

2 钻探工艺选择

根据此次应急找水打井工程的要求以及红层地区储水构造的地层岩性分析,采用的钻探工艺需有以下特点:

1)为巩固脱贫攻坚成果、助力乡村振兴,地方产业工程建设正在紧锣密鼓实施中,应急找水打井工程需在产业建设前期完成,以便当地的产业整体规划,因此水井施工工期紧、任务重,采用的钻探工艺要求钻进效率高、成井质量好。

2)红层软质、柔性的岩层区域充填黏土矿物,而盆地内的储水构造带发育较少、构造带较薄,采取的钻进工艺需能避免红层中相对隔水层的黏土矿物进入构造带裂隙中堵塞出水通道,造成水井成井时洗井难度大、出水量小等问题。

3)盆缘断裂带的储水构造为地层接触带部位,岩性变化复杂、破碎、软硬不均,采取的钻井工艺应能快速钻进、及时成井,避免长时间在该段地层中扰动造成井壁不稳定。

4)采用的钻探工艺应能适用于缺水地区钻进,避免含水层造成污染和堵塞,影响成井质量,同时钻进过程应能较准确地判断含水层及出水量,能高效、高质成井。

综上所述,结合已实施的抗旱找水打井工程及脱贫攻坚任务取得的经验^[14-16],针对此次应急找水打井工程采用空气潜孔锤钻进工艺,同时对红层地

区不同储水构造的地层特点制定相应的技术措施,并对钻遇的复杂情况和处理工艺进行总结分析。

3 空气潜孔锤钻探技术应用现状

空气潜孔锤是一种的冲击回转钻进工艺,是通过高压气体驱动井下冲击器带动潜孔锤高频破碎岩石,钻机低速回转钻具调整碎岩面,同时可配套跟管钻进技术,克服各种松散、破碎的复杂地层。与常规钻探工艺相比,合理的应用空气潜孔锤钻进工艺,具有极大的提高钻探效率、快速穿过复杂地层、节约钻探用水等优点,在石油、水文、地热以及岩土钻掘工程等各个领域得到了广泛应用。

4 红层区空气潜孔锤钻探设计

4.1 技术要求

1)根据应急找水打井工程要求,设计施工的水井终孔口径与孔深应确保出水量满足需求,根据钻探效果对需求的满足程度适时终孔,设计终孔口径不小于φ168 mm。

2)终孔洗井后下入φ140 mm PVC-U 管材成井,在出水段管材进行隔缝或打孔,孔隙率 20%左右。

3)由于空气潜孔锤为全面钻进,无法采取岩心,因此钻进时在上返岩屑变化及出水量增大的井段加密采取岩屑,通过岩屑结合物探测井完成地质编录。

4.2 钻进参数确定

空气潜孔锤全面钻进的主要参数有钻压、转速、空气压力和排气量,潜孔锤锤头钻压可按照单位钻头直径 50~150 N/mm 取值;转速依据地层条件、钻头类型和直径确定,一般选择 20~60 r/min;空气压力依据深度确定,一般要求水位以下每百米 1.2 MPa;孔内气流上返速度应达到 15~25 m/s;排气量计算公式为 $Q = 47.1K(D^2 - d^2)V$,其中 K 为孔内漏失及涌水系数,取 1.0~2.5, D 为钻孔直径, d 为钻杆外径, V 为气流上返速度。

在实际钻进过程中需要根据锤头直径、地层出水量大小、井壁稳定情况、地层岩性变化等因素合理调整钻进参数,确保井下施工顺利。

4.3 钻进设备选择

空气潜孔锤的主要大型设备为钻机和空压机,并配备与孔径孔深匹配的冲击器、潜孔锤和钻杆等配套材料。依据此次应急找水打井工程的成井技术要求及钻进参数设计,同时考虑钻探设备的进场及转场便利性,合理地选择钻进设备。

钻机选用 FY300 履带式水井钻机,最大钻进深度 300 m,尺寸为 4 100 mm×1 950 mm×2 600 mm,回转扭矩 5.7~7.5 kN·m;空压机选用 KSZJ-29/23

螺杆空压机,额定流量为 29 m³/min,压力为 2.3 MPa,尺寸为 3 500 mm×1 950 mm×2 030 mm;选用 φ89 mm×3 m 钻杆;配套 φ300 m 刮刀钻头,φ219 mm 偏心钻头,φ178 mm 球齿潜孔锤;选用 5 in 冲击器。整装后可直接采用两辆小型货车运输,钻机的进场与转场可节约大量的辅助时间。

5 红层区空气潜孔锤钻进关键技术

根据任务指示,在完成前期孔位部署工作后,2021 年 5 月 9 日开始第一眼水井施工,截至 5 月 30 日,完成 5 眼水井钻探及成井工作,主要根据出水量及上返岩屑变化判断是否需要终孔,各井终孔深度及出水量见表 1,其中红层盆地内终孔深度在 150~200 m,盆断边缘终孔深度在 100 mm 左右。

由于空气潜孔锤钻进工艺对含水层无污染堵塞等影响,终孔后采用空压机短时间洗井即可达到要求,节约了大量的成井时间。扣除中途钻机搬迁进场 6 d 及暴雨停工 2 d,通过交叉流水作业安排抽水试验,平均每口井成井时间为 4 d 左右,成井效率较传统水文井成井得到了较大的提升。

表 1 各水井深度及出水量

地理位置	地质条件	孔深/m	出水量/(m ³ /d)
宁都县田头镇	红层盆地内	212.4	227.48
宁都县田头镇	红层盆地内	200.4	256.61
宁都县长胜镇	红层盆地内	147.9	366.26
宁都县长胜镇	盆断边缘	93	375.67
宁都县长胜镇	盆断边缘	98.4	347.86
合计		752.1	1 573.88

5.1 红层盆地内钻进关键技术

红层盆地内红砂岩具有物理风化强烈、遇水软化、崩解碎裂及强度降低等特殊地质力学性质,红砂岩发育形成的红壤结构性差。上部浅层松散破碎的碎屑岩或卵砾石层可直接采用 φ219 mm 口径偏心跟管钻进技术开孔封隔,同时作为孔口保护管。钻进过程中及时判断井下情况,根据潜孔锤冲击碎岩声音、钻具震动强度、上返岩屑等现象判断地层情况。在进入较稳定的碎屑岩地层 2~3 m 后方能换径,一般跟管钻进深度为 5~6 m,目的是稳定上部地层,确保管底部四周密封效果良好。

跟管钻进到位后更换 φ178 mm 潜孔锤裸眼钻进,红层盆地内碎屑岩的储水构造裂隙较发育、质地脆、硬度较低,需采用低钻压低转速钻进,防止锤头吃入地层太深而导致钻具扭矩增加,同时引起井壁不稳。

当观察到上返岩屑中黏土成分含量增大,岩屑颗粒之间产生胶结时,岩屑量减少时,需从钻杆内倒入

10 L左右发泡剂,大风量冲洗排渣后方可继续钻进。

钻进参数:钻压 5~15 kN,转速 20~40 r/min,风量 20~25 m³/min。

上返岩屑(图1)最大粒径为 1~2 cm,多呈片状,含少量灰色砂岩砾石,粒径级配范围分布较均匀,片状岩屑反映了地层岩性特征,井下重复破碎较低,钻进参数较合理。

5.2 盆缘断裂构造带钻进

在红层盆地边缘断裂构造带的地层岩性复杂,包含黏土层、淤泥质层、粗砂层、破碎石英脉、变质岩等。潜孔锤钻进的难点有:黏土层不宜直接采用潜孔锤;淤泥质层中淤泥易粘附在钻具上,影响岩屑上返,如图3所示;粗砂层松散,井壁稳定性差;石英脉中石英颗粒硬度高、粒径大,易掉块卡钻,如图4所示。



图3 淤泥层钻进



图4 大颗粒掉块

因此针对相应地层采取以下技术措施:黏土层采用刮刀钻头钻进;淤泥质层钻进时从钻杆内注入发泡剂,空压机采用大风量排粉;对于破碎带上部粗砂层可采用跟管钻进技术稳定孔壁,对于破碎带中粗砂夹层时需要快速穿过,避免钻头在停留过程排除大量流沙导致井壁失稳;钻遇破碎石英脉和变质岩时需采用低转速钻进,并采用大风量排渣,每钻进 1~2 m 或钻具有憋钻现象时需及时上提活动钻具,防止井壁上的大颗粒掉块导致卡钻,同时钻具不得在井内长时间静止停放。

潜孔锤钻进参数:钻压 5~25 kN,转速 10~30 r/min,风量 20~25 m³/min。

主要井身结构为:上覆黏土层采用 $\phi 300$ mm 刮刀钻头钻进,厚度约 2~3 m;钻至松散层后采用 $\phi 219$ mm 口径偏心跟管钻进,深度约 18~25 m;进入基岩 1~2 m 后换 $\phi 178$ mm 潜孔锤钻进至 100 m 左右完成变质岩段后终孔。

5.3 跟管钻进注意事项

采用偏心跟管钻进技术时,作业前需检查管靴与管体之间的连接强度和偏心钻头张敛的灵活性,作业时需尽量保证井底干净,操作要领是轻压、慢转、反复吹扫,每钻进 0.5 m 左右需进行强力吹扫排渣,跟管钻进结束后应缓慢反转回收偏心钻具。

当上部地层对跟管的套管具有较大摩阻时,跟管钻进到 20 m 以下深度后需注意进尺速度变化情况,当突然变慢甚至停止时不得继续钻进,严禁盲目加压,避免对管靴造成损坏。

当一次跟管钻进难以穿过深厚覆盖层时,应设计二级跟管或改进跟管钻进工艺提高钻进深度。

6 复杂情况

在红层盆地边缘钻进时,由于地层条件复杂,操作难度较大,易造成井下复杂情况,现场对出现的井下情况进行了分析研究,制定了相应的技术措施,确保了后续施工的顺利。

6.1 潜孔锤锤齿崩断

在断层破碎带钻进时,地层变化频繁,软硬交替,潜孔锤受力情况复杂,井底工作状态不平稳,蹩跳钻严重,易使潜孔锤底部的硬质合金齿崩断或崩落,进而导致锤体变形。如图5所示,潜孔锤外缘齿受扭矩变化大,是锤齿崩落的主要位置,崩落后锤体冲击硬地层变形。因此钻进过程中需先采用小钻压低转速钻进,钻至硬岩时逐渐加压,地层变化时需及时调整钻压,注意钻机扭矩变化情况,进尺缓慢或不进尺时应及时提钻检查钻头使用情况。

6.2 潜孔锤岩粉堵塞

在破碎带钻进时突然发现潜孔锤送风不畅、工作情况不正常,现场判断是潜孔锤堵塞。分析原因是地层变化频繁,潜孔锤钻遇松散软地层时钻压大进入地层较深,而且上部井壁不稳定掉块导致井底岩屑较多,同时潜孔锤使用时间较长,逆止阀磨损密封效果降低,由钻杆与环空之间的压差引起岩粉倒吸进入潜孔锤中引起堵塞,如图6所示。现场及时更换逆止阀,在后续钻进过程中下钻前检查逆止阀情况,且密切注意地层变化,严格按照规程操作



图5 潜孔锤锤齿崩落



图6 潜孔锤岩粉堵塞

要求,未再出现该种情况,顺利完成钻探施工任务。

7 结语

此次应急找水打井工程是结合地方需求精准地提供地质服务,取得了良好的效果,为巩固脱贫成果助力乡村振兴起到了一定的示范作用。本文对打井过程中运用的潜孔锤技术在赣南红层区典型储水构造钻探关键技术及复杂情况进行总结,为高效高地地解决缺水地区水井钻探难题提供了技术参考。

参考文献

[1] 王宇,朱春林,李燕,等.红层地下水勘查开发的理论及方

法[M].北京:地质出版社,2008:1-16.

[2] 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水动力学模式[J],地质通报,2020,39(12):1873-1882.

[3] 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[J],地球学报,2018(9):573-579.

[4] 中国矿业报:五战五捷 孔孔出水-长沙中心联合开展宁都县找水打井工作侧记[EB/OL]. [2021-06-10]. <http://www.zgkyb.com/index/news/detail/id/https%253A%252F%252Fmp.zgkyb.com%252Fm%252Fnews%252F40306.html>.

[5] 李润军.北京地铁七号线达官营站及弯达区间暗挖关键技术研究[D].北京:中国矿业大学(北京),2014.

[6] 朱江,王萍,蔡利山,等.空气钻井技术及应用[J].钻采工艺,2007,30(2):145-148.

[7] 赵建勤,李子章,石绍云,等.空气潜孔锤跟管钻进技术与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2008(7):55-59.

[8] 宋军.高强预应力锚索快速施工与智能监测预警研究[D].成都:成都理工大学,2017.

[9] 潘德元,何计彬,杨涛,等.雄安牛驼镇地热田岩溶热储层地热深井井身结构优化设计[J].钻探工程,2021,48(2):78-84.

[10] 卢予北.空气潜孔锤在云南红层中快速钻井工艺应用研究[J].地质与勘探,2011,47(2):309-315.

[11] 陈怡.空气潜孔锤钻进技术在援豫抗旱找水成井施工中的应用[J].贵州地质,2012,29(2):128-131.

[12] 陈锡庆.空气潜孔锤钻进技术在西部缺水地区水井钻探中的应用[J].甘肃科技,2007,23(11):114-116.

[13] 赵华宣,王玉军,陈涛,等.贵州碎屑岩层地热深井空气潜孔锤钻进技术应用研究[J].地质与勘探,2016,52(5):942-949.

[14] 吴烨,卢予北,陈莹.腾冲火山地热构造带空气钻探试验研究[J].地质与勘探,2013,49(3):528-533.

[15] 陈浩.空气潜孔锤在贵州地热井施工中的应用研究[D].成都:成都理工大学,2017.

[16] 王菲,曹晨飞,陈吉文.滇中红层软岩微观结构及水理性试验研究[J].地质与勘探,2016,52(6):1152-1158.

Study of Rapid Drilling and Well Complete for Typical Water Storage Structures in the Red Bed Area

PAN Deyuan, WANG Jie, FANG Guoqing, FANG Hongjin, ZHANG Zhao

(Changsha Natural Resources Comprehensive Survey Center, China Geological Survey, Changsha 410600, China)

Abstract: The red bed in southern Jiangxi is an area with serious shortage of groundwater, the CGS commenced the hydrological survey and water exploration for the purpose of achieving poverty alleviation. However, it still restricts the rural revitalization. The results of the previous geological work is verified and the key technologies of the water storage structure drilling technology in the red bed area are summarized through the emergency water search and well drilling project in 2021. The water storage structures of red bed in southern Jiangxi are generally fractured and severely broken formations, lead to traditional hydrological drilling techniques has low drilling efficiency and bad well completion. According to the successful application of air down-the-hole(DTH) hammer drilling technology in these typical structures, the key points of drilling and well completion techniques are summarized, which would improve the efficiency and quality of hydrological drilling and conducive to socio-economic benefits. It is hoped to provide a certain technical reference for drilling in the red bed area.

Keywords: the red bed area of Southern Jiangxi; water storage structure; air DTH hammer; drilling with casing