

贵州毕节试验区饮用天然矿泉水资源勘查 绿色钻探技术

陈涛^{1,2}, 李强^{1,2}, 赵华宣^{1*}, 陈浩¹, 贾玉川¹, 胡暑月¹

(1. 贵州省地质矿产勘查开发局114地质大队, 贵州 遵义 563000; 2. 岩溶水资源与环境贵州省院士工作站, 贵州 遵义 563000)

摘要: 饮用天然矿泉水资源经济价值高, 勘探成井工序流程复杂、技术质量标准严格, 为防止勘探工作污染矿泉水水质, 减轻对水源地生态环境的不利影响, 需实施绿色勘查。本文以毕节试验区饮用天然矿泉水资源勘查项目为例, 以探获优质矿泉水资源、保护当地生态环境、确保资源可持续开采为目的, 根据工作区自然环境现状、地层结构特征以及技术质量要求, 通过优选钻探设备、钻进工艺及清洁无污染成井材料、准确选定最优目标层、有害污染物质封堵、非目标含水层封隔等一系列绿色施工技术措施, 较好地保护了区域环境, 保证了矿泉水成井质量和水质品质, 其绿色施工技术对贵州省及全国的饮用天然矿泉水资源勘查开发具有良好的示范和借鉴作用。

关键词: 绿色勘查; 绿色钻探; 饮用天然矿泉水; 目标含水层; 固结封隔

中图分类号: P634 **文献标识码:** B **文章编号:** 2096-9686(2025)S1-0250-07

Green drilling technology for exploration of drinking natural mineral water resources in Bijie experimental zone, Guizhou

CHEN Tao^{1,2}, LI Qiang^{1,2}, ZHAO Huaxuan^{1*}, CHEN Hao¹, JIA Yuchuan¹, HU Shuyue¹

(1. 114 Geological Team, Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development of Guizhou Province, Zunyi Guizhou 563000, China; 2. Karst Water Resources and Environment Academician Workstation of Guizhou Province, Zunyi Guizhou 563000, China)

Abstract: Drinking natural mineral water resources have high economic value, the exploration and completion process is complex, and the technical and quality standards are strict. To prevent the exploration work from polluting the water quality of mineral water, reduce the adverse impact on the ecological environment of water sources, green exploration needs to be implemented. This article takes the exploration project of drinking natural mineral water resources in Bijie experimental zone as an example. In order to explore high-quality mineral water resources, protect the local ecological environment and ensure the sustainable development of resources. According to the current status of the natural environment in the operation area, the characteristics of the stratum structure and the technical quality requirements, Through a series of green construction technical measures such as optimization of drilling equipment, drilling technology, clean and pollut-free well-forming materials, accurate selection of the optimal target layer, blocking of harmful pollution substances, and isolation of non-target aquiferous layer, the regional environment is effectively

收稿日期: 2025-05-24; 修回日期: 2025-07-14 DOI: 10.12143/j.ztgc.2025.S1.038

基金项目: 贵州省科技计划项目“岩溶水资源与环境贵州省院士工作站”(编号: 黔科合平台 KXJZ[2024]005)、“贵州省地热水和矿泉水顶尖专家团队”(编号: 黔科合人才 CXTD[2025]003); 贵州省地质矿产勘查开发局科研项目“贵州西北部饮用天然矿泉水资源勘查钻探施工技术研究”(编号: 黔地矿科合[2023]14号)

第一作者: 陈涛, 男, 汉族, 1991年生, 高级工程师, 探矿工程专业, 主要从事钻探施工管理及技术研究工作, 贵州省遵义市银河北路桃溪河畔喜来登酒店国际商务中心13~16层, 1352732461@qq.com。

通信作者: 赵华宣, 男, 苗族, 1968年生, 研究员, 探矿工程专业, 主要从事钻探技术及管理, 贵州省遵义市银河北路桃溪河畔喜来登酒店国际商务中心13~16层, 1060440458@qq.com。

引用格式: 陈涛, 李强, 赵华宣, 等. 贵州毕节试验区饮用天然矿泉水资源勘查绿色钻探技术[J]. 钻探工程, 2025, 52(S1): 250-256.

CHEN Tao, LI Qiang, ZHAO Huaxuan, et al. Green drilling technology for exploration of drinking natural mineral water resources in Bijie experimental zone, Guizhou[J]. Drilling Engineering, 2025, 52(S1): 250-256.

protected and the quality and water quality of mineral water completion are ensured. The green construction technology has a good demonstration and reference role for the exploration and development of drinking natural mineral water resources in Guizhou Province and even the whole country.

Key words: green exploration; green drilling; drinking natural mineral water; the targeted aquifer; consolidation and isolation

0 引言

贵州饮用天然矿泉水资源非常丰富且优质多样^[1],资源勘查与开发利用前景广阔。钻探作为获取准确地层资料、开采地下矿泉水资源最直接、有效的手段,在实施过程中必然会对自然环境造成破坏^[2]。当前,生态文明建设地位日益凸显,正确处理经济发展同生态环境保护的关系,就是推动绿色发展、循环发展、低碳发展^[3]。依托科学理念和先进技术,运用先进的勘查手段、方法、设备和工艺,最大限度地减少对生态环境的扰动和修复被扰动的生态环境,实现保护生态环境和保障资源供给双赢^[4-5]。贵州作为生态文明试验区建设和绿水青山就是金山银山理念的践行者,近年来,固体矿产勘查方面的绿色勘查技术开启了贵州探索^[6]。2019年9月27日发布了中国绿色勘查领域首个地方标准——《固体矿产绿色勘查技术规范》(DB52/T1443—2019),基于此标准,相关单位在绿色勘查钻探工艺、设备、技术等方面进行积极探索^[7-9],目前,固体矿产勘查环境保护方面已形成较成熟的绿色勘查技术。

饮用天然矿泉水作为一种天然可饮用的、富含有益于人体健康的矿物质和微量元素的矿产资源^[10],水质标准要求极为严格,评价时对水质界限指标和限量指标有明确界定^[11]。在饮用天然矿泉水资源勘查与开发过程中,为防止其他物质成分影响干扰,保护矿泉水原始天然状态,对钻探施工提出了特别要求,常规水文水井所使用的钻探工艺、方法及材料存在水质易受污染、特征水质指标检测评价不精准以及成井质量低等问题,更为关键的是,沿用一般粗放、低效的钻探工艺方法可能会严重影响当地生态环境,基于此,通过在在毕节试验区饮用天然矿泉水资源勘查项目中开展精细化绿色钻探技术的实践应用,提高了勘探井成井质量,保障了天然矿泉水水质品质,保护了区域生态环境。

1 勘查区概况

1.1 自然环境

项目分为金沙县五龙和七星关区王丰两个勘查区块,地处黔西高原向黔中山原过渡的斜坡地带,其中五龙勘查区为侵蚀低中山沟谷地貌,海拔高程840~1468 m;王丰片区以侵蚀中山沟谷地貌为主,海拔1520~2039 m,区内气候属北亚热带温凉湿润季风区,气候温和,雨量较充沛,平均气温10~15℃,自然植被以亚热带常绿阔叶林为主,森林覆盖率较高。沟谷宽50~200 m,两侧山体陡峻,峰谷高差150~200 m,内有乡村公路穿越,人为活动以农田耕种为主,土地利用为耕地,无密集村寨和工矿企业,河流、地下水未受污染,水质状况优良,自然生态环境良好。

1.2 地质特征

五龙勘查区构造上位于鸭溪向斜南东翼,目标含水层为上沙溪庙组二段(J_2sh^2),岩性为长石砂岩、石英砂岩与黏土质粉砂岩、粉砂质黏土岩互层,局部含有易污染水质的黑色泥岩夹层。区内构造断裂发育,是饮用天然矿泉水赋存的富集区。区内分成3个独立的含水层,各含水层富水性、水质特征指标类型和质量浓度差异较明显,Ⅰ含水层镉含量0.5~0.7 mg/L、钻进时涌水量20~187.5 m³/h;Ⅱ含水层硒含量0.003~0.012 mg/L、镉含量0.4~0.5 mg/L、钻进时涌水量20~46.54 m³/h;Ⅲ含水层在阻水逆断层下盘涌水量小,钻进时涌水量仅2.5 m³/h。

王丰勘查区构造属黔北隆起区—毕节北东向弧形褶皱带,其中张官水源地勘探目标层为二桥组第二段($T_3J_1e^2$)、二桥组一段($T_3J_1e^1$),岩性以长石石英砂岩为主,上覆自流井组一段($J_{1-2}z^1$)分布有含黄铁矿、褐铁矿及黑色炭质物质等影响水质的夹层,三道水水源地勘探目标层为沙溪庙组(J_2sh)—自流井组马鞍山段($J_{1-2}z^4$)粉砂岩、石英粉砂岩地层,钻进时涌水量3.6~20.0 m³/h,镉含量0.6~0.9 mg/L。

1.3 勘查井实施情况

共实施矿泉水勘查井10口,全部采用空气潜孔锤钻进或复合片+空气钻进工艺,终孔深度

140.14~301.64 m,其中作长观孔4口,裸眼成井;作开采井6口,采用不锈钢筛管成井。五龙区块属“硒、锶型”矿泉水,开采井2口,可开采量35.98万 m^3/a ,其中WLCK1井涌水量达1191 m^3/d ,硒含量0.012~0.017 mg/L、锶含量0.42~0.51 mg/L;WLCK4井涌水量668 m^3/d 、锶含量0.51~0.73 mg/L,水质优良,资源丰富;王丰区块属“锶型”矿泉水,开采井4口,锶含0.456~1.04 mg/L,其中WFCK2井涌水量169 m^3/d 、锶含量0.456~0.62 mg/L;WFCK3井涌水量121 m^3/d 、锶含量0.752~1.04 mg/L;WFCK5井涌水量401 m^3/d 、锶含量0.544~0.716 mg/L;WFCK6井涌水量187 m^3/d 、锶含量0.647~0.90 mg/L,水质良好,矿化度低,可开采量23.07万 m^3/a 。

2 常规钻探施工的影响

2.1 生态环境影响

2.1.1 土壤破坏污染

道路、场地开挖平整过程中改变了原始地形和地表水径流,破坏了原土土壤结构,造成表层土壤流失、贫瘠,严重时可能诱发生态失衡或地质灾害。同时,钻探设备检修及正常运行时柴油、机油等跑冒滴漏或化学添加剂受雨水淋滤入渗造成土壤污染,岩屑随意丢弃、水泥浆洒落也会造成土壤质地改变、板结硬化,影响土壤生态恢复。

2.1.2 地下水污染

受污染的土壤在降雨或地表水淋溶作用下污染物向下迁移进而污染地下水,钻进过程中添加有化学物质的冲洗液渗透、漏失进入地层或含水层造成深部污染,对周边地下水环境影响较大。此外,钻探施工揭穿了相互分隔的含水层,因封隔止水措施不到位造成各含水层地下水相互串通,破坏了地下水赋存结构。

2.1.3 空气污染

采用空气潜孔锤钻进井内无水或少量渗水条件下,大量粉尘喷溢造成空气环境污染,钻探设备老化、保养维护不到位时燃油燃烧不充分时浓烟污染空气。

2.2 勘查成果影响

常规的钻探工艺材料不满足清洁无污染、不干扰特征水质指标检测、不引入化学物质成分、以及优质矿泉水资源持续开发利用的要求。

2.2.1 固结止水材料干扰水质检测

常规水文水井固井多使用P.O 42.5普通硅酸盐水泥或P.I硅酸盐水泥固结止水,固井后井内残留大量的偏硅酸离子,干扰后续水样中偏硅酸指标的水质检测^[12]。

2.2.2 成井管材料影响水质品质和成井质量

常规水文水井井管主要有普通钢材套管或镀锌钢管,属非食品级材质,在地下水矿物质长期侵蚀的作用下极易锈蚀(如图1),降低甚至污染矿泉水水质。而PVC材质管材性质硬脆、强度低、易老化、寿命短,不适用于矿泉水井复杂井况条件和成井质量要求。



图1 井下锈蚀的井管

2.2.3 优质目标含水层选定困难

勘探井揭露多段含水层时常规工艺技术封隔止水措施不彻底,各含水层涌水互相串通,干扰影响各含水层矿泉水特征指标参数确定,优质目标含水层选定评价困难。

2.2.4 有害组分或非目标层浸入污染

饮用天然矿泉水对各种矿物质、元素含量有严格控制,限量指标及污染物等成分有明确规定,常规的技术难以对非目标含水层和含有害组分的地层完全封隔,高品质水质难以保证。

3 绿色勘查技术应用

勘查区属典型的沟谷地貌,勘探井全部布置在沟谷底部平缓地带的耕地、荒地内。为减少钻探施工对生态环境的破坏,满足获取优质目标含水层、保证勘查成果质量的要求,便于后期矿泉水资源开发利用,实施过程严格执行绿色钻探技术措施。使

用多功能履带钻机及吊车辅助移动、铺设土工布和防渗膜防渗、优选清洁无污染材料成井、分层抽水选定最优目标层、双层套管加深固结封隔以及非目标层封隔等绿色措施,勘查成果质量得到了保证,环境保护成效显著。

3.1 钻前准备

3.1.1 井位选择

基于水文地质调查、物探解译成果,井位尽量优选在地势平坦、交通便捷、植被覆盖度较低的区域,避免对原生生态环境造成破坏影响。勘查区地形崎岖、地貌复杂,场地选择临近乡村公路、地势平坦开阔的沟谷平缓地带,优先考虑植被易恢复的耕地、荒地,避免在斜坡地带开挖表土、砍伐植被,减少对原生生态的扰动。同时,充分利用区内已有道路、便道,合理避开饮用水源保护区、高压线、坟墓、保护性植物等。

3.1.2 工艺优选

饮用天然矿泉水探采结合井技术要求与经济价值高,基岩层采用不污染地层、可实时准确反映钻遇各含水层埋深、涌水量及矿泉水水质特征^[13-16]以及井底清洁和钻效较高^[17]的空气潜孔锤钻进,以准确获取钻遇含水层涌水量、矿泉水特征指标等相关水文地质资料。

3.1.3 设备选择及搬迁

3.1.3.1 设备选择

本次勘探井设计深度140~300 m,井径 $\Phi 150\sim 345$ mm,钻机既能满足钻进和下管成井深度 <300 m的钻探能力,又具备便捷搬迁的要求,选用SL-400/600型多功能履带液压钻机。柴油机组、操作台、底座、桅杆、卷扬机等紧凑组合为一体,节约了占地面积,在较平缓的公路、耕地内能够自行安全移动,无需修建专用进场道路,配置有液压调控的四角支腿,通过调整支腿高度调平钻机,场地无需平整压实,极大减少了道路和场地修建的开挖工作量,避免因开挖破坏表层土壤。空压机选用XHP1070型空压机,额定风量 $30.3\text{ m}^3/\text{min}$ 、风压2.4 MPa,空压机优先布置在乡村公路旁的空地内,采用高压管将空气管路延伸至施工场地,避免大型设备搬迁破坏沿途植被,降低搬迁费用;另配置50 kW或100 kW发电机组作降压试验设备电源。

3.1.3.2 设备搬迁

设备搬迁过程中,按照“避让优先,慎挖慎砍”的

原则设计搬迁路线,最大限度少占地、少砍伐、少破坏,无法绕行的沟渠、陡坎等在满足安全搬运的条件下优先采用吊车移动设备(如图2),有效减少道路开挖和回填工作量,降低土地复耕和林地复绿费用。



图2 吊车吊移钻机

3.1.4 场地布置

充分利用零散用地分区布置设备材料,控制占地面积,减少设备搬迁距离。井场内全范围铺设防渗土工布,工作区域铺设防滑钢网,空压机、发电机、油桶、排水沟等重点部位加设防渗塑料膜,避免油料、岩屑等进入土壤,场地四周采用围栏封闭。场地布置如图3。



(a) 设备分区布置

(b) 布置土工布、防滑钢网、围挡

(c) 排水沟铺设塑料膜

(d) 发电机组、油桶防渗

图3 场地设备布置

3.2 钻探过程

3.2.1 空气钻进注水除尘

采用空气潜孔锤钻进孔内未见水或少量渗水时,井口喷溢大量粉尘,通过在井口安装喷淋除尘装置,实现注水除尘(图4),避免粉尘污染空气环

境,危害作业人员健康。



图4 潜孔锤钻进注水除尘

3.2.2 成井材料选用

3.2.2.1 铝酸盐水泥

表层套管固结止水沿用P.O 42.5普通硅酸盐,固井后大量的偏硅酸(H_2SiO_3)^[18]残留井内,影响了偏硅酸特征指标的检测与评定,后续固结封隔止水时使用仅含少量硅酸二钙($2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$)的铝酸盐水泥(CA-50-I)^[19]。经现场应用验证,铝酸盐水泥凝结硬化快、强度高,且材料清洁无污染,不干扰偏硅酸指标检测,较好的满足对矿泉水井固结材料无干扰、无污染、质量可靠的要求。

3.2.2.2 不锈钢套管

开采井成井管材质需具备强度高、耐腐蚀、使用寿命长、无毒无污染的特殊要求,选用食品级304不锈钢(06Cr19Ni10)套管成井,在确保矿泉水水质品质的同时,还兼顾了复杂井况条件对井管强度和韧性的要求。

3.2.3 复合片钻头空气钻进提效节能

WLCK1井以 $\varnothing 150$ mm钻头+空气潜孔锤钻至141.38 m,井内涌水量陡增至 $105.9\text{ m}^3/\text{h}$,受强涌水影响平均机械钻速由 9.0 m/h 骤降至 2.8 m/h ,空压机气压 $\geq 2.35\text{ MPa}$ 至最大额定压力,基本满负荷运行,油料消耗增加。为此,更换为空气复合片钻进工艺至210.38 m终孔,机械钻速恢复至 $6.7\sim 12.8\text{ m/h}$,同时空压机气压降至 2.0 MPa ,空压机使用功率达额定80%左右。钻进效率显著提升,能源消耗大幅节省,废气排放量明显减少,实现了绿色勘探。

3.2.4 最优目标层的选定

揭露多个富水性和水质特征指标差异较大的含水层时,为探获优质的矿泉水资源,需精准查明各含水层的涌水量、特征指标质量浓度等参数,通

过采取套管临时封隔、铝酸盐水泥固结封隔以及分层降压试验措施选定了最优目标含水层,为成井结构提供科学依据,确保了矿泉水开采井水质品质,避免因盲目大量开采其他非目标含水层而造成地下水资源浪费,保护了其他地下水含水层和区域地下水生态环境。

3.2.4.1 套管临时封隔

WLCK1井 $\varnothing 165$ mm空气潜孔锤钻至79.58 m,揭穿I含水层涌水量增至 $187.5\text{ m}^3/\text{h}$,扩孔下 $\varnothing 168$ mm套管临时封隔止水,降低了对下部II含水层涌水量、特征水质指标等参数的干扰影响,同时保护了上部I含水层,减轻因后续钻井施工对I含水层的破坏影响。

3.2.4.2 水泥固结临时封隔

终孔后,为准确评价I、II含水层的水质特征,在两个含水层间用“木塞架桥+铝酸盐水泥固结”方式临时封隔下部II含水层,封隔质量稳定可靠、效果良好。

3.2.4.3 分层抽水选定最优含水层

临时封隔I、II两个含水层阻断其水力联系,实施I、II两个含水层分层抽水、混合抽水试验,并同步检测锶、硒、偏硅酸等特征水质指标,其中II含水层涌水量 $46.54\text{ m}^3/\text{h}$,锶 $0.46\sim 0.61\text{ mg/L}$ 、偏硅酸 $21.4\sim 24.2\text{ mg/L}$ 、硒 $0.012\sim 0.014\text{ mg/L}$,综合评价该含水层水量较丰富,且硒、锶含量均符合界限要求,确定为最优价值目标含水层。

3.2.5 有害污染物质封隔

3.2.5.1 表套加深封隔

三道水区域村寨较密集,人类活动强烈,生产生活废水产量大,地表或浅部孔隙水易受污染,通过延长表层管进入完整岩层深度增强表套封隔效果。WFCK5井表层管段以 $\varnothing 300$ mm潜孔锤钻进至进入完整基岩11.20 m,下 $\varnothing 273$ mm D20套管并水泥固结封隔,防止地表或浅部孔隙水入井,避免人为活动影响,确保了水质质量。

3.2.5.2 双层套管封隔

WFCK2井 $\varnothing 325$ mm表层套管固井后于15.6~20.0 m段钻遇含黄铁矿、褐铁矿及黑色炭质物质的夹层,铁质、炭质物质对矿泉水水质危害极大,必须实施严格封闭。以 $\varnothing 300$ mm锤头扩孔钻至30.1 m并下入 $\varnothing 273$ mm D20套管水泥固结,阻隔劣质夹层中有害物质浸入,同时与上部表层套管组成双层封

隔,进一步防止浅部有害物质入井污染水质。

3.2.5.3 普通套管二次固结

目标含水层为承压水,水位埋深多 <5.0 m,水位上升将淹没抗腐蚀性差的表层套管,长期浸泡产生大量红褐色锈蚀物质 $[\text{Fe}_2\text{O}_3, \text{FeO}(\text{OH})]$ 影响甚至污染矿泉水水质。WFCK2井静止水位2.4 m,而 $\text{O}273$ mm普通套管入井深度达30.1 m,水下淹没段长度27.7 m,为此在 $\text{O}219$ mm不锈钢管与普管重叠的环状间隙使用铝酸盐水泥进行二次固结封隔(如图5),有效防止表层套管锈蚀物质影响污染水质。即在 $\text{O}219$ mm不锈钢套管柱外设计位置(普管底端1.0~2.0 m处)焊接阻隔环,下入深井泵实施最大降深抽水将井内动水位降至阻隔环以下,环状空间灌满密度 1.85 g/cm^3 的铝酸盐水泥浆固结。

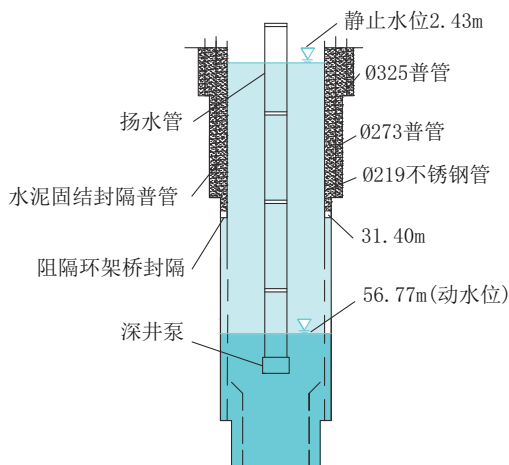


图5 普管二次固结封隔

3.2.6 非目标含水层封隔

3.2.6.1 成井结构

依据选定的优质目标含水层涌水量和水质特征结果、非目标含水层分布以及地层结构特点等确定开采井最终成井结构,非目标含水层井段下入相应规格的不锈钢实管并灌注铝酸盐水泥固结进行永久封隔,以保证成井质量和勘查成果,保护非目标层不受影响,确保矿泉水资源可持续开采。

3.2.6.2 固井封隔

WLCK1井选定以Ⅱ含水层为最优价值取水层,上部为非目标层,成井结构设计为一开 $\text{O}245$ mm扩孔至120.1 m,下 $\text{O}219$ mm不锈钢套管至地表并全段用铝酸盐水泥固结封隔止水。因目标层与非

目标层涌水量很大,为防止水泥浆被稀释和固井过程中水泥浆向下部井段渗漏堵塞含水层通道,采用“软木塞预封隔+内插法固井”方式封隔非目的层。

(1)软木塞封隔:分别在变径处以下适当位置(121.9 m处)和变径处(120.1 m)设置两道软木塞进行封堵。

(2)内插法固井: $\text{O}219$ mm不锈钢套管到位后,环状空间用铝酸盐水泥固结封隔止水,为精准控制替浆量,保证水泥浆凝结质量,采用 $\text{O}89$ mm钻杆为内管的“内插法”固井工艺^[20](如图6)。

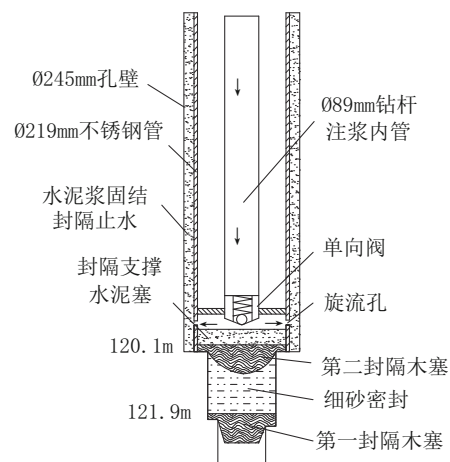


图6 内插法固井示意

3.3 钻后恢复

3.3.1 废弃物处理

机械设备更换的废液压油、机油全部收集后使用铁质油桶集中存放,钻探工作结束后运回并交由具有危险废物处置资质的单位回收;铺设场地使用的塑料膜、土工布及场内垃圾等固体类废物应分类收集,可利用的部分及时回收再利用,不可利用部分运回库房集中统一处置,严禁在施工现场焚烧或掩埋;井内返出的岩屑、岩粉集中堆存,堆放场地底部铺设防渗膜,防止岩屑混入表层耕植土而改变其土壤质地,影响后续耕种。

3.3.2 场地恢复

施工场地占用土地主要为耕地、荒地,不涉及道路、场地开挖与平整,环境影响总体小,废弃物处理结束后利用简易机械或人工对场地和便道压实的土壤进行翻松复垦,符合直接栽种作物的要求。场地及恢复情况如图7。

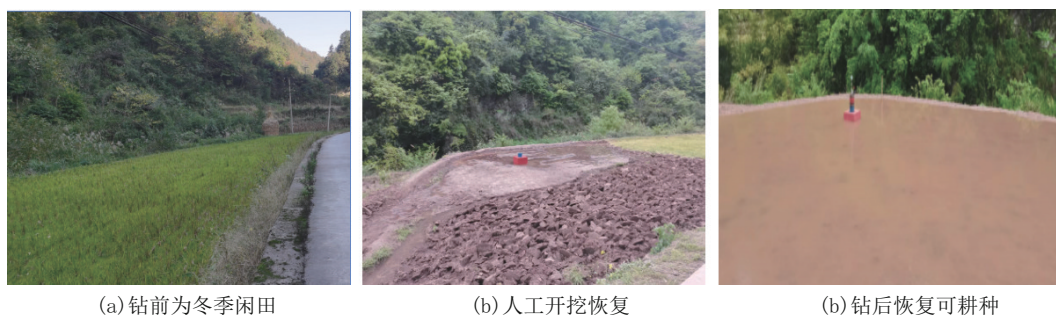


图7 休耕场地及恢复情况

4 结论及建议

通过合理布置井位和场地、优选钻探设备、钻进工艺及清洁无污染的成井材料、准确选定最优目标层、有害污染物质封堵、非目标含水层封隔等一系列绿色勘查技术措施,项目顺利探获锗型、硒锗型饮用天然矿泉水资源量超50万 m^3/a ,保证了勘查成果质量,避免了对资源和环境的破坏,保护了水源地生态环境,具有很好的示范和引领意义。

(1)使用SL-400型多功能履带液压钻机,能够实现缓坡地带自行安全移动和液压调平钻机,较好的减少了便道修建、井场平整开挖工作,有效减轻施工对生态的破坏。

(2)优选清洁无污染的铝酸盐水泥和食品级304不锈钢作为固结和成井管材料,较好的满足勘探过程中偏硅酸特征指标精准检测及开采井长期稳定使用的需求。

(3)采用以空气潜孔锤为主、复合片钻头为辅的组合空气钻井工艺,大涌水井况下应用复合片钻头空气钻进工艺较纯潜孔锤钻进工艺钻速提高2.4倍以上,油耗成本降低约70%,实现了绿色勘探,同时结合注水除尘装置,避免粉尘污染,满足了钻进工艺过程无污染、可及时准确获取含水层水量和水质参数及快速钻井的目的。

(4)临时封隔止水与分层降压试验选定最优目的层、套管固结封隔有害物质层与非目标层等绿色施工技术,保证了勘查工作质量和矿泉水水质品质,确保优质资源的可持续开采。

(5)探获的锗型、硒锗型饮用天然矿泉水资源丰富、水质优良、环境优越,应充分利用资源、环境优势助力“富矿精开”,推动贵州经济社会发展。

学特征及其宏量组分来源分析[J].贵州地质,2019,36(2):173-179.

- [2] 方国庆,潘德元,王杰,等.绿色勘查技术在湖南省幕阜山地区钻探工程中的应用与实践[J].钻探工程,2024,51(S1):269-274.
- [3] 刘蓓,寇少磊,朱芝同,等.便携式模块化钻机在绿色地质勘查工作中的应用实践[J].钻探工程,2022,49(2):30-39.
- [4] 胡文辉,李奋强,王穗,等.察瓦龙深井接地地质调查绿色钻探技术[J].钻探工程,2024,51(S1):275-279.
- [5] 陈东廷,刘添益,达伟,等.黔中汪家寨铝土矿区绿色勘查实践及成效[J].中国矿业,2024:1-10.
- [6] 杜茜,李光春,巩鑫.贵州省道真县新民铝土矿区绿色勘查技术与成效[J].中国矿业,2021,30(1):76-81.
- [7] 彭博一,李晓东,王康,等.废弃无固相钻井液无害化处理技术研究与应[J].钻探工程,2025,52(2):45-50.
- [8] 刘海声,胡咏琪,窦斌,等.青海省茫崖市马海地区钾矿绿色勘查措施[J].钻探工程,2024,51(S1):263-268.
- [9] 李光春,宋小军,巩鑫.贵州福泉桅杆坪磷矿区绿色勘查实践与应用效果[J].钻探工程,2022,49(2):91-96.
- [10] 江峰,吉勤克补子,高峰,等.贵州省饮用天然矿泉水化学特征及锗型矿泉水分布规律[J].地下水,2021,43(2):17-20,23.
- [11] GB 8537—2018,食品安全国家标准饮用天然矿泉水[S].
- [12] 陈涛,赵华宣,陈浩,等.毕节试验区矿泉水勘查WLCK1井施工技术[J].钻探工程,2023,50(S1):316-322.
- [13] 高起前,曾四和.气动潜孔锤打基岩并钻进过程中初见水位与含水层的判别与应用[J].四川地质学报,2011,31(11):18-21.
- [14] 赵华宣,邵颂友,陈涛,等.金沙小里庄天然矿泉水资源勘查钻探施工技术[J].地下水,2025,47(2):143-147.
- [15] 陈涛,赵华宣,李强,等.贵州裸露型岩溶地下河系统污染防治技术:以遵义坪桥地下河系统污染防治工程为例[J].钻探工程,2024,51(3):60-6.
- [16] 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(2):52-55.
- [17] 赵华宣,李强,陈涛,等.贵州碳酸岩地层地热深井空气潜孔锤钻进技术应用研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(2):37-42.
- [18] 中华人民共和国工业和信息化部.通用硅酸盐水泥:GB 175—2023[S].中国标准出版社,2023.
- [19] 全国水泥标准化技术委员会(SAC/TC 184).铝酸盐水泥:GB/T 201—2015[S].中国标准出版社,2015.
- [20] 黄晓林,赵远刚,吴金生,插入法固井工艺在银额盆地蒙阿左地1井的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(8):79-82,94.

(编辑 王文)

参考文献:

- [1] 江峰,李强,吉勤克补子,等.贵州省岩溶地区饮用天然矿泉水化