水文·工程·环境

贵州毕节市 CK1 地热勘探井钻井技术分析

杨风良[1],高丽琰[2],赵　岩[1],刘现川[1],高　亮[1]
(1.河北省煤田地质局第二地质队 河北邢台　054001;2.中国地质大学(北京),地球科学与资源学院 北京　100083)

[摘　要]本文通过对贵州毕节市 CK1 地热井的特点及施工的研究,有效解决了高陡构造地层钻进问题。该井开孔即见基岩,常规工艺加压困难,难以保证孔斜;下部钻孔岩石硬度大,研磨性较强,可钻性差。通过分阶段变化钻进工艺,上部开孔使用空气潜孔锤吊打,后期采用牙轮钻头加螺杆钻具组合,在钻井效率过低的复杂地层则简化钻具组合,使用牙轮正循环工艺钻进,合理调整钻进参数可迅速建井。通过使用有准对性的洗井方法可迅速成井。本文通过对地热井多工艺钻进及完井工序的要求及改进,并针对现地勘单位对地热资源开发的实际情况进行了总结和分析,找出存在的问题及解决办法。本次研究为地热田的开发总结了经验。

[关键词]　地热井　勘探　钻井　洗井　毕节　贵州
[中图分类号]P634　　[文献标识码]A　　[文章编号]0495 - 5331(2017)05 - 08

Yang Feng-liang, Gao Li-yan, Zhao Yan, Liu Xian-chuan, Gao Liang. The analysis of drilling technology applied to the geothermal exploration well No. CK1 in Bijie City, Guizhou Province [J]. Geology and Exploration, 2017, 53(5): 1017 - 1024.

0　引言

我国大气污染已十分严重,有些地区雾霾天气几乎常态化。2015 年全国近一半省份雾霾天数为历史最多。采用清洁能源替代供热燃煤,是当前大气污染防治的一项极其重要的迫切任务。地热资源是一种清洁可再生的的新型资源,集热、水、矿为一体,已成为供热、医疗保健、旅游、休闲娱乐温泉、种植及养殖等产业发展的重要载体,对促进区域经济发展具有重要作用。贵州省地热资源丰富(吴桂武等,2008;何文君等,2014;王虎等,2015;王中美,2017),通过贵州毕节市 CK1 井基本查明勘查区热储单元结构及地质特征,评价地热资源,求取相关参数。

1　地质概况

贵州省深部地热储层一般为碳酸盐岩地层。根据地质资料,本区储热蓄水层为寒武系娄山关群、高台组、清虚洞组,其岩性均主要为白云岩、灰质白云岩及灰岩,岩溶、裂隙发育,是地下热水运移、储存和富集的有利场所,上覆的三叠系、二叠系及石炭系、奥陶系地层中有大量的页岩、粉砂岩,具有良好的隔热保温作用。

本孔预测钻遇地层由新到老依次为:第四系、三叠系下统飞仙关组、二叠系上统龙潭 - 大隆组、中统茅口组和栖霞组及梁山组、石炭系下统摆佐组、奥陶系下统湄潭组、寒武系中上统娄山关群、中统高台组、下统清虚洞组和金顶山组。本孔预计存在一逆断层,导致地层自二叠系中统栖霞组至寒武系中上统娄山关群重复出现。情况详见表 1。

2　施工设计

2.1　井身结构设计

2.1.1　施工难点

(1)地层坚硬。本井钻遇岩性主要为白云岩、白云质灰岩、砂岩、灰岩及燧石灰岩,属中硬 - 硬岩。地层具有较强的研磨性、和较高的抗压强度,可钻性较低(刘同富等,2003;卢予北,2004;李国栋,2008)。

[收稿日期]2016 - 11 - 23;[修改日期]2017 - 05 - 10;[责任编辑]吴　磊。
[第一作者]杨风良(1971 年 -),男,1994 年毕业于中国矿业大学(徐州),获学士学位,高级工程师,长期从事钻探技术与管理工作。E-mail: 656281001@qq.com。
[通讯作者]高丽琰(1993 年 -),女,中国地质大学在读硕士,第四纪地质学专业,主要研究方向:古环境以及地质灾害。E-mail: 18034091201@163.com。

表 1　毕节市 CK1 地热勘探井钻遇地层情况简表

Table 1　Strata encountered by drilling of CK1 geothermal exploration well in Bijie city

系	统	组(群)	地层代号	厚度(m)	深度(m)	岩性描述
第四系			Q	15	15	冲积层、坡积层、残积层粘土,含碎石。
三叠系	下统	飞仙关组	T_1f	303	318	砂质泥岩、泥岩、粉砂岩,夹有少量灰岩及条带。
	上统	龙潭－大隆组	P_2l+d	242	560	中厚层及薄层细砂岩,粉砂质泥岩,碳质泥岩夹煤层,灰岩、泥灰岩、灰质泥岩、硅质岩等。
二叠系		茅口组	P_2m	261	821	灰岩、燧石灰岩、硅质岩夹泥灰岩。
	中统	栖霞组	P_1q	167	988	灰岩、燧石灰岩、部分燧石及泥质条带。
		梁山组	P_1l	20	1008	石英砂岩、碳质页岩及泥岩。
石炭系	下统	摆佐组	C_1b	20	1028	白云岩、白云质灰岩,底部有砂岩。
奥陶系	下统	湄潭组	O_1m	60	1088	页岩夹粉砂质粘土及粉砂岩。
寒武系	中上统	娄山关群	$\epsilon_{2-3}ls$	148	1236	白云岩、泥质白云岩及砂质白云岩。地层自栖霞组开始重复出现。
二叠系	中统	栖霞组	P_1q	159	1395	灰岩、燧石灰岩、部分燧石及泥质条带。
		梁山组	P_1l	22	1417	石英砂岩、碳质页岩及泥岩。
石炭系	下统	摆佐组	C_1b	21	1438	白云岩、白云质灰岩,底部有砂岩。
奥陶系	下统	湄潭组	O_1m	62	1500	页岩夹粉砂质粘土及粉砂岩。
	中上统	娄山关群	$\epsilon_{2-3}ls$	740	2240	白云岩、泥质白云岩及砂质白云岩。
寒武系	中统	高台组	ϵ_1g	42	2282	泥质白云岩、粉砂质页岩。
	下统	清虚洞组	ϵ_1q	158	2440	白云岩、灰质白云岩及灰岩。
		金顶山组	ϵ_1j	60	2500	粉砂岩、泥质粉砂岩及页岩,夹有灰岩及白云岩。

(2)地层造斜。据出露地层分析,地面实测倾角一般在 40°~60°。高陡构造地层倾角大、断层发育、地层破碎,钻孔孔斜难以控制。防斜是困扰此类地层钻井作业的难题之一(刘汝山等,2009)。

(3)泥浆护壁。该地区的地层比较破碎,完整性较差,附近的地层走向形成了“S”形绕曲。破碎地层为地下水的储存提供了良好空间条件,同时也容易出现掉块和漏失等事故,给钻井施工增加了难度。

2.1.2　井身结构设计

针对该井地质资料,参照遵义 ZK1 地热井与雷山 CK1 地热井经验,完成井身结构设计(赵岩等,2014;苏宁等,2016)。该井采用 Φ339.7mm + Φ244.5mm + Φ177.8mm 套管程序,井身结构数据及井身结构见表 2 和图 1。

表 2　井身结构数据表

Table 2　Data of well structure

套管程序	钻头顺序(mm×m)	套管顺序(mm×m)	水泥返深(m)
导　管	444.5×25	339.7×25	地面
一　开	311.2×600	244.5×600	地面
二　开	215.9×2000	177.8×(570~2000)	重叠段 30m
三　开	152.4×2500	127×(1970~2500)	根据测井资料而定

2.2　设备选型

2.2.1　设备性能选择

一开井段套管的重力为 347.81kN,二开井段套管的重力 650.63kN(650.63kN = 二开段套管累重 546.18kN + 二开段套管上部钻杆 104.45kN)。钻机按 80% 的套管破断强度来选择最大钩载。即:

$$Q_{max} = 1.25 \times 650.63kN = 813.29kN$$

根据最大钩载结合已有设备,选择 TSJ3000/445 型钻机。

钻柱最大重力 649.64kN,此时钻机钩载储备系

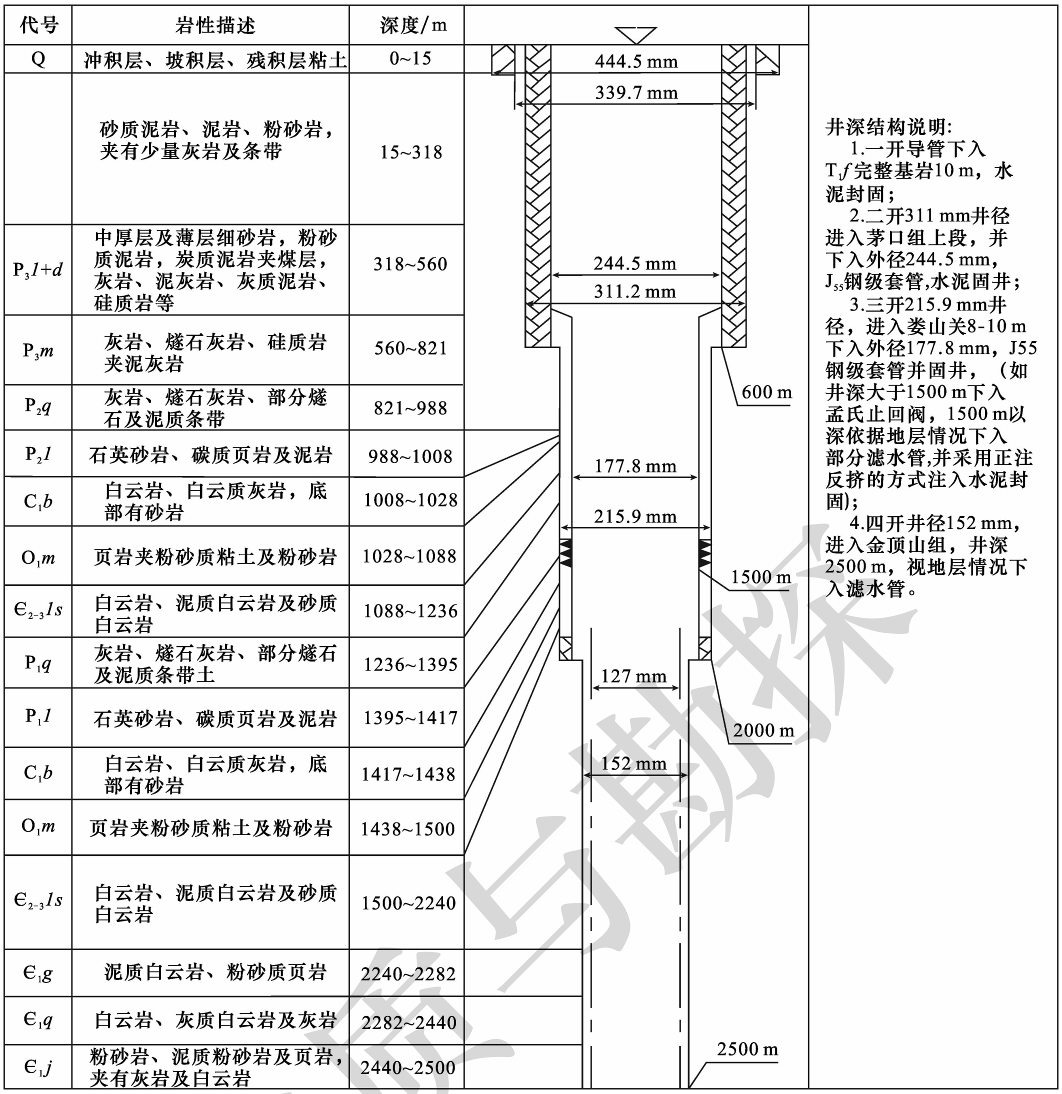

图 1　井身结构示意图

Fig. 1　Well bore structure diagram

数 K_{ST} 为:$K_{ST}=1350/649.64=2.07$(钩载储备系数一般≥1.6)。TSJ3000/445 型钻机满足该工程提升能力要求。

2.2.2　设备性能参数

主要钻机主要设备见表 3。

表 3　机械设备一览表

Table 3　Parameters of machinery equipment

序号	名　称		型 号	规 格	数量	备　注
一	钻　　机		TSJ3000/445	3000m	1 台	
二	井　　架		A31－135	31m－135t	1 套	
三	循环系统	泥浆泵	QZ3NB－350	350hp	1 台	
四	动力系统	电动机 1#	Y355M2－6	250kW	1 台	
		电动机 2#	Y280M－4	90kW	2 台	
五	发电机组	发电机	XG－300C	300kW	1 台	
六	固控系统	振动筛	直线型振动筛	ZS3	1 台	≥126m^3/h
		除 砂 器	旋流除砂器	JSN—2C 型	1 台	

3 工程实施及技术措施

该井于2015年3月28日正式开钻，首先使用Φ311mm钻头钻至井深96.94m，该井段出现大量泥浆漏失，采用水泥浆多次封固无果后，使用Φ406mm钻头进行扩孔，于2015年5月21日下入Φ339.7mm表层套管，随后进行水泥固井工作；一开采用Φ311mm钻头钻进，于2015年5月25日钻至孔深815.50m，测井后下入Φ244.5mm泵室管并进行水泥固井；二开采用Φ215.9mm钻头钻进，7月8日钻至1711.03m，测井后入Φ177.8mm技术套管；三开采用Φ152mm钻头钻进，于7月30日钻过娄山关组－高台组－清虚洞组揭穿热储目的层，进入金顶山组至孔深2301.21m处终孔。裸眼完井。

3.1 导管段

采取Φ444.5mm牙轮钻至22.60m，进入飞仙关组12.60m，下Φ339.7mm套管穿鞋带帽式固井维护上部孔壁稳定。

使用Φ406mm牙轮钻至96.94m，下入Φ339.7mm石油套管96.94m，用水泥固井阻止地表水稳定上部地层。其中20.52～96.94m井段漏失量6～14.4 m^3/h或更大且有掉块，经多次水泥固结堵漏和两次下套管堵漏。

3.2 一开

一开井段：0～815.50m，使用Φ311mm牙轮钻头钻进，于2015年5月25日钻至井深815.50m，随后进行测井工作；该井段钻遇地层岩性为：10～532m为飞仙关组砂岩、泥岩段、532～562m长兴组灰岩、562～772m龙潭－大隆组泥岩夹煤层段、772～815.5m茅口组灰岩段。

本井段易井斜，在破碎带、软硬互层交界面，取钻压(50～80kN)与钻速(43～63r/min)上限，待钻至一定深度后恢复正常参数，防止因在地层交界变化，由钻进不当造成的孔斜；在本井段漏失量4～12.5m^3/h，并在706～815.5m处有掉块，因此本段泥浆选用高粘度泥浆护壁，以保证井眼的畅通；后经测井，下入Φ244.5mm×10.03mm石油套管，钢级为J_{55}，套管下入深度815.50m，管外用水泥搅拌成比重1.76g/cm^3水泥浆24m^3固井，水泥浆返至地面，增强了泵室管的强度。

3.3 二开

二开井段：815.50～1711.03m，使用Φ215.9mm牙轮钻头钻进，于2015年6月28日钻至井深1385.64m，之后进行了电测井工作；6月29日使用Φ215.9mm牙轮钻头继续钻进，于7月8日钻至井深1711.03m；该井段钻遇地层岩性为：815.5～930m段为茅口组灰岩；930～1278m段为栖霞组的灰岩、燧石岩；1278～1312m段为梁山组页岩夹煤；1312～1352m为摆佐组灰岩、白云质灰岩，碳质泥岩夹煤层；1352～1360m为湄潭组砂页岩；1360～1430m为桐梓组白云岩、灰质白云岩、泥岩；1430～1711.03m为娄山关组白云岩、泥质白云岩。

由于该井段岩性多为灰岩、白云岩，其发育完整、硬度较大，因此可钻性下降，钻速随之下降，故该井段采用螺杆钻加减震器的组合形式进行钻进；2015年7月22日下入Φ177.8mm×9.19mm石油套管，钢级为J_{55}，共计下入941.95m与上部Φ244.5mm石油套管重叠46.42m，其中滤水管468.07m，实管473.88m(根据地层岩性及测井资料在合适储热含水层下滤水管)。

3.4 三开

三开井段：1711.03～2301.21m，使用Φ152mm牙轮钻头钻进，于2015年7月30日钻至井深2301.21m，随后进行电测井工作；该井段钻遇地层岩性为：1711.03～1984m为娄山关组白云岩、泥质白云岩段；1984～2054m为高台组泥质白云岩、粉砂质泥岩段；2050～2285m为清虚洞组白云岩、灰质白云岩及灰岩段；2285～2301.21m为金顶山组粉砂岩、泥质粉砂岩及页岩。

由于本井段钻孔直径小，加重钻具无法使用，故采用螺杆钻具与加重钻杆组合形式进行钻进，从而有效的提高钻效；经测井、抽水试验后，于2015年8月27日下入Φ127mm×9.19mm石油套管，共计下入639.25m，其中在1661.96m～2264.41m处下入滤水管，2264.41～2301.21m处为金顶山组非含水层，固下入实管。

4 事故处理

施工期间共发生断钻铤事故2次、埋卡事故1次。钻至706.61m与1246.10m处分别发生断钻铤事故，均与当天打捞出事故钻具，事故原因为钻铤扣型老化密封不严、至刺扣断裂(SY/T 5247－2008.2008；魏新勇，2009；蒋希文，2011；吴金生等，2012)。2006m处的钻具埋卡事故处理经过见表4。

表 4　埋卡事故处理经过表

Table 4　Description and treatment of buried card accidents

钻孔情况	孔深	2006.22m
	钻具组合	Φ152MD617 牙轮钻头 + 5LZ120 × 7.0 螺杆钻具 + Φ121 钻铤 3 节 + Φ89 加重钻杆 7 节 + Φ89 钻杆 99 立根 + 方钻杆一根
	钻进参数	泵压:8MPa 悬重:57t
	泥浆参数	比重:1.13g/cm^3　　含砂量:0.3% 黏度:18s API 失水: 30ml
事故起因		2015.07.20,18:00 钻完单根添加 Φ89mm 钻杆,接上 Φ89mm 钻杆下放钻具差 4 ~ 5m 至井底,上提、下放无果。上提起出准备添加的单根,起出过程已出现上提阻力加大。接方钻杆开泵冲扫,泵压:12 ~ 14MPa,拉力上提 900kN 下放至 150kN,立轴只能活动 2m 左右,转盘未能转动,转动转盘及打到车,钻具卡死。
事故处理经过		钻井基台人员活动钻具,泥浆维护人员分别于配置 KPAM 胶液打入井内 3 次。均无果。22:00 注柴油,利用小泥浆罐利于控制柴油与顶替液体积计算。 注入柴油 4.5m^3,注完使用清水 1m^3 替浆。串动钻具期间又分次将 4m^3 泥浆注入孔内顶替钻杆内柴油,上拉钻具到 600kN 可以提出 2m,23:40 转盘可以正常旋转,泵压:7MPa。继续串动钻具 100 ~ 950kN,2015.07.21,6:00 可以提出 5m,泵压:4 ~ 6MPa,始终在上下串动。 2015.07.21,9:00 上提下放无阻卡,9:20 提出第一立根钻杆,后提出全部钻具。卡钻事故就此解除。活动钻具期间上提无阻卡,下放至井底再上提则阻卡。为防止卸开立轴停止循环,无法上提使的先期工作前功尽弃,串动钻具至上提下放无阻后起钻。泵压:3 ~ 5MPa。
事故分析		本井事故原因为泥浆失水较大,泥浆护壁性较差,携沙不良导致的埋卡。处理过程中泵压最高达到 17MPa,已将事故钻具刺穿。刺穿后循环短路,泵压随钻杆洞口的增大而降低,直接冲刷地层。 该事故钻杆(事故钻杆图片见图 2)在 1270m 处,该处地层层位为二叠系梁山组群,岩性为碳质泥页岩,胶结程度较差,在泥浆的持续冲刷下掉落孔底,至卡钻事故复杂化。 井口检查螺杆钻具,开泵后泵压达到 17MPa,憋泵,螺杆钻具不旋转工作。卸下钻头,检查螺杆钻具,钻头正常,未发生水眼被堵,螺杆钻具损坏,螺杆万向轴损坏且马达传动轴卡死。
经济损失		直接经济损失　　≥10.79 万元 柴油 4.5m^3　　计 2.59 万元; Φ120mm 螺杆报废　　计 6.2 万元; 配置全孔泥浆 100m^3　　计约 2 万元。 (注油已将全孔泥浆破坏,下 Φ177.8mm 套管前,须重新配制泥浆,使钻孔正常方可下管)

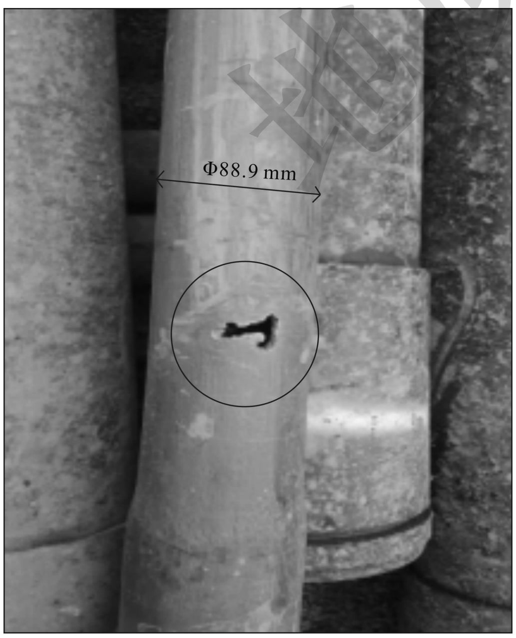

图 2　事故钻具图片

Fig. 2　Photo of accident drilling tool

处理完埋卡事故后,下 Φ177.8mm 套管护壁。套管上部使用 Φ89mm 钻杆连接使套管下至目的层。在下钻杆期间再次发现事故隐患钻杆一根(事故隐患钻杆见图 3)及时予以更换排除险情。

5　洗井及抽水试验

寒武系娄山关群及以深地层为本井的主要取水段。目的层钻进采用泥浆护壁,施工结束,进行洗井工作。先下钻头扫通逆止阀,下钻至井底用清水把井内泥浆替出,为下一步洗井做准备。

本井钻遇地层及主要含水层段岩性情况,结合施工合同,本井采用机械化学结合式洗井(李明等,2008;中国地质调查局,2012)。洗井工艺及流程见表 5。

对于高压喷射处理,喷射水柱须有足够的能量来渗透冲刷泥皮(罗斯柯 · 摩斯公司,2009;冉德发等,2013;樊小舟,2015)。水柱流体会楔入泥皮与其附着的表面之间,并将泥皮剥离,充分暴露目的层

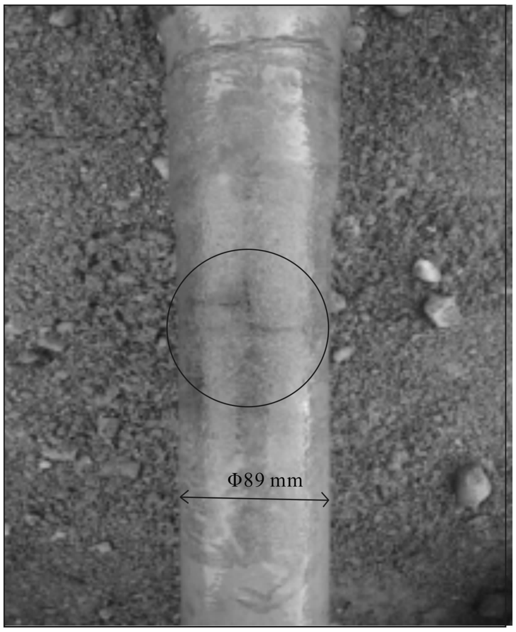

图 3　事故隐患钻杆图片

Fig. 3　Photo of accident drill rod

裂隙。

表 5　洗井工艺及流程

Table 5　Technology and process of well flushing

含水层类型	洗井方法
基岩筛管含水层	1. 高压喷射洗井 2. 焦磷酸钠洗井 3. 高压喷射洗井 4. 盐酸洗井

焦磷酸钠与井内钻井液中黏土发生络化作用，形成水性络离子，为惰性离子，不发生可逆反应。络离子不会聚结沉淀，易于在洗井抽水中排出井外，达到洗井目的。为此该孔先期选用焦磷酸钠处理较为合适。

目的层岩屑与盐酸反应明显，后期使用盐酸酸化洗井（伦纳德·卡尔法亚，2004）。盐酸洗井反应速度快（作用半径小），但易产生沉淀物，酸化后产生的 $CaCl_2$ 与 $MgCl_2$ 会在液柱的压力下堵塞微裂隙，降低出水通道；且盐酸腐蚀严重，与钻具发生置换反应生成 Fe^{3+} 沉淀污染地层，钻具反应后极易发生脆性断裂。盐酸洗井的酸化浓度与时间的控制尤其重要。

5.1　高压喷射洗井

清除泥皮表面的水流量取决于喷射水流渗透的速度，该速度与喷射水流的水能成正比。若喷嘴设计不当，大量的水能会因线路损失而耗散，不能达到清洗的效果。

喷嘴组件主要由不锈钢制成，并带有外管接头和嵌入式碳化钨喷嘴，其形体设计可供嵌插不同大小型号的喷嘴。多喷嘴组件用以清洗筛网内部，结合该井设备采用较大泵量（喷嘴口径大小的选择以泵功率而定）可产生 30.48～60.96m/s 喷射速度。喷嘴的内径应小于筛管孔径。（排量与喷嘴孔径配比见表 6）本井喷嘴组合采用 8×8 式的喷嘴组合。下钻具至井底启动高压喷射，冲击压力为 15.7MPa，在 10～20MPa 以内，进行首次剥离清洗，冲击设备提降速度为 3m/min，全井段往返 3 次。

表 6　排量与喷嘴孔径配比使用表

Table 6　Matching parameters of displacement and nozzle aperture

泥浆泵排量(L/s)	喷嘴孔径及数量(mm×N)	喷射速度(m/s)	喷嘴喷射冲击力(N)
13	8* ×8	32.34	424.69
	8×7	36.97	485.36
	8×6	43.13	566.25
	8×5	51.75	679.50
16	8×9	35.39	571.83
	8×8	39.81	643.31
	8×7	45.50	735.21
	10×7	29.12	470.54
	10×6	33.97	548.96
	10×5	40.76	658.75

* 注：筛管筛孔为 16mm，喷嘴应小于筛管孔径。鉴于排量与喷射速度的关系，喷嘴直径为 8mm（或 10mm），数量不低于 5 个。

5.2　焦磷酸钠洗井

喷射洗井结束后，下到井底，调整泥浆泵泵量，避免过大，引起的冲蚀降低焦酸浸泡效果。

注 1.0%～1.5% 焦磷酸钠溶液 18.5m^3 进行化学洗井，注完焦酸后起钻至 1500m，浸泡 24 小时，使附在井壁上的泥皮和出水通道内的泥质物体脱落，保证出水畅通。

浸泡 24 小时后，调整至喷射洗井用泵量，下钻至井底，开始对目的层进行喷射洗井且为不间断洗井，喷射用水为焦磷酸钠浸泡用水，高压喷射可增强焦磷酸钠浸泡的处理效果。往返 2 回次后更换清水，完成喷射替浆作业，至返出的水净砂清。

5.3　盐酸洗井

在方钻杆下端安装箭形止回阀，下钻具至井底，注入前置液清水 2m^3。注入主体酸（15% 盐酸），注

酸后用单闸板封住环空，注酸量为整个取水地层井筒容积的量（约 $20m^3$）。在注入盐酸后每间隔 30min 注入一次清水（共注入 3 次每次 $2m^3$）。注酸期间通过节流阀释放所产生气体造成的附加压力，而套压则用来监控酸化时间。化学反应完成时，套压会明显降低，应紧接着进行替浆作业，将酸化后的钻井液颗粒和钻屑尽快清除。以达到避免堵塞裂隙通道增加裂隙的宽度及出水量的目的。大泵量替浆至水净砂清，下潜油泵进行试水工作。

5.4　抽水试验

抽水试验设备 QYDB149 – 700/500 潜油泵，泵下入深度 445.73m；QYDB149 – 500/800 潜油泵，泵下入深度 662.71m、509.11m（抽水试验及水文观测见表 7）。

表 7　抽水试验及水文观测表

Table 7　Pumping test and hydrological observation

降深次数	泵入深度(m)	抽水试验日期	降压试验时间		降深(m)	水量(m^3/d)	水温(℃)
			连续(h)	稳定(h)			
1	445.73	2015 年 8 月 8 日 21 时至 8 月 11 日 12 时	63.1	41.83	439.0	336.47	51.5
2	662.71	2015 年 8 月 19 日 16 时至 8 月 24 日 15 时	118.8	112.5	651.8	411.8	51.5
3	509.11	2015 年 8 月 25 日 12 时至 8 月 26 日 16 时	28	17.7	498.2	310.5	50.0

该井经三次降深的抽水试验，最大出水量 $411.8m^3/d$、水温（51.5℃），达到勘探目的。

6　结论及认识

（1）贵州毕节 CK1 地热井在规划、设计和施工过程就非常重视地热井成井管理。钻井过程中通过建立有效的保障措施，有效降低了漏失、塌孔等风险，有效确保了毕节 CK1 地热井安全、快速的开发建设。

（2）分阶段变化钻进工艺，快速高效钻进。在贵州地区开孔使用空气潜孔锤，后期采用牙轮钻头加螺杆钻具组合，有效的提高了钻进效率，并减少事故率。在钻井效率过低的复杂地层则简化钻具组合，使用牙轮正循环工艺钻进。在地层复杂多变的贵州地区使用多工艺复合钻进可大幅提高钻进效率，具有极大的研究和推广价值。

（3）洗井效果较好，酸化与高压喷射联合洗井方法是针对该井切实有效的方法。地热井有一个好处是不需要完全解除伤害，所有酸化的地热井都存在以下伤害，①钻井液颗粒和钻屑漏入地层；②垢（$CaCO_3$、$CaSO_4$、$FeCl_3$以及混合物）当酸化处理后重新抽水生产时，采用酸化可部分清除岩屑、酸化后垢的再沉淀伤害，从而使伤害完全解除。

虽然该井的水温、水量等满足合同要求，但每回次酸洗后，泥浆泵顶替、清除岩屑至水净砂清耗时较长需要 1 ~ 2d。若洗井时辅以空气压振荡洗井，势必加快洗井进程，缩短交井时间。

［References］

Fan Xiao-zhou. 2015. Hydrogeology and water well drilling technique [M]. Xuzhou: China University of Mining and Technology Press: 180 – 194 (in Chinese)

He Wen-jun, Xiang Xian-li, Li Yong-gang, Wu Xi-ju. 2014. Guizhou new hot mineral water chemical characteristics and genetic analysis of dill [J]. Ground Water, 36(5): 39 – 40 (in Chinese)

Jiang Xi-wen. 2011. Drilling accidents and complex problems [M]. Beijing: Petroleum Industry Press: 56 – 65 (in Chinese)

Li Guo-dong. 2008. Some problems of geothermal drilling technology [J]. Ground Water, 30(1): 85 – 88 (in Chinese)

Li Ming, Lin Wen-bin. 2008. Well flushing technology discussed in this paper [J]. West – China Exploration Engineering, (8): 77 – 78 (in Chinese)

Liu Ru-shan, Zeng Yi-jin. 2009. Under the condition of complex drilling technical difficulties and countermeasures [M]. Beijing: China Petrochemical Press: 215 – 224 (in Chinese)

Liu Tong-fu, Pei Jian-zhong, Wang An-tai. 2003. The efficiency drilling techniques for medium – deep wells in shengli oilfield [J]. Petroleum Drilling Techniques, 31 (4): 7 – 8 (in Chinese with English abstract)

Lu Yu-bei. 2004. Analyses and research on frequently occurred problems in geothermal well [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drill and Tunneling), 31(2): 43 – 47 (in Chinese with English abstract)

Carle L. 2004. Production enhancement with acid stimulation [M]. Wu Qi translate. Beijing: Petroleum Industry Press: 80 – 86 (in Chinese)

Roscoe Moss Company. 2009. Handbook of ground water development [M]. Wu Zhao-yu translate. Beijing: China Water & Power Press: 387 – 392 (in Chinese)

Ran De-fa, Ye Cheng-ming, Li Bing-ping, Zhang Fu-cun, Chen Yong-liang. 2013. Well washing by high pressure auto rotate jet [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drill and Tunneling), 40(4): 10 – 12 (in Chinese with English abstract)

Su Ning, Wang Hu, Wang Jian, Chen Yi, Li Yong. 2016. Application of multi – process drilling in the Zunyi, Guizhou well ZK1 [J]. Geology and Exploration, 52 (1): 165 – 172 (in Chinese with English abstract)

Wang Hu, Chen Yi, Duan De-pei, Wu Xiao-lan, Li Yong, Yu Li-xin. 2015. Present situation of deep geothermal well in Guizhou and the development suggestion[J]. Exploration Engineering(Rock & Soil Drill and Tunneling),42(2):45 - 47(in Chinese with English abstract)

Wei Xin-yong. 2009. Deep well drilling accident treatment and case analysis[M]. Beijing:Petroleum Industry Press:28 - 32(in Chinese)

Wu Gui-wu, Xu Fen, Gong Jie, Gao Jian-ping, Zhu Da-wei. 2008. Western Guizhou tongren region hot mineral water and development conditions and cause analysis[J]. Ground Water,30(9):45 - 47(in Chinese)

Wu Jin-sheng, Jia Jun, Duan Yu-gang, Li Zheng-qian. 2012. Drilling accident prevention in Wenchuan Earthquake fault scientific drilling project and the treatment technology[J]. Exploration Engineering(Rock & Soil Drill and Tunneling),39(9):49 - 52(in Chinese with English abstract)

Zhao Yan, Zhong Yu-fang. 2014. Construction technology applied in CK1 geothermal exploration well in Leishan of Guizhou[J]. Exploration Engineering(Rock & Soil Drill and Tunneling),41(10):32 - 35, 40(in Chinese with English abstract)

China Geological Survey. 2012. Handbook of hydrogeology[M]. Beijing: Geological Publishing House:438 - 440(in Chinese)

SY/T 5247-2008. 2008. Recommended handling methods of downhole problems in driling[S]. Beijing:Petroleum Industry Press:1 - 82(in Chinese)

[附中文参考文献]

樊小舟. 2015. 水文地质钻探与水源井成井技术[M]. 徐州:中国矿业大学出版社:180 - 194

何文君,向贤礼,李勇刚,伍锡举. 2014. 贵州新萝热矿水化学特征及其成因分析[J]. 地下水,36(5):39 - 40

蒋希文. 2011. 钻井事故与复杂问题[M]. 北京:石油工业出版社:56 - 65

李国栋. 2008. 地热钻井技术的若干问题[J]. 地下水,30(1):85 - 88

李　明,林文彬. 2008. 水井洗井技术的探讨[J]. 西部探矿工程,(8):77 - 78

刘汝山,曾义金. 2009. 复杂条件下钻井技术难点及对策[M]. 北京:中国石化出版社:215 - 224

刘同富,裴建忠,王安泰. 2003. 胜利油田中深井优快钻井技术[J]. 石油钻探技术,31(4):7 - 8

卢予北. 2004. 地热井常见主要问题分析与研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 31(2):43 - 47

伦纳德·卡尔法亚. 2004. 酸化增产技术[M]. 吴奇译. 北京:石油工业出版社:80 - 86

罗斯柯·摩斯公司. 2009. 地下水开发手册[M]. 吴朝玉译. 北京:中国水利水电出版社:387 - 392

冉德发,叶成明,李炳平,张福存,陈永良. 2013. 自旋转高压喷射洗井技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),40(04):10 - 12

苏　宁,王　虎,王　剑,陈　怡,李　勇. 2016. 多工艺钻井技术在贵州省遵义县 ZK1 井施工中的应用研究[J]. 地质与勘探,52(1):165 - 172

王　虎,陈　怡,段德培,吴晓兰,李　勇,余立新. 2015. 贵州省深部地热钻井现状与发展建议[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),42(2):45 - 47

魏新勇. 2009. 深井钻井事故处理及案例分析[M]. 北京:石油工业出版社:28 - 32

吴桂武,徐　芬,龚　杰,高建平,朱大伟. 2008. 贵州铜仁地区西部热矿水成因及开发条件分析[J]. 地下水,30(9):45 - 47

吴金生,贾　军,段玉刚,李正前. 2012. 汶川地震断裂带科学钻探项目钻探事故预防与处理技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),39(9):49 - 52

赵　岩,仲玉芳. 2014. 贵州雷山县 CK1 地热勘探井施工技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 41(10):32 - 36.

中国地质调查局. 2012. 水文地质手册[M]. 北京:地质出版社:438 - 440

SY/T 5247 - 2008. 2008. 钻井井下故障处理推荐方法[S]. 北京:石油工业出版社

The Analysis of Drilling Technology Applied to the Geothermal Exploration Well No. CK1 in Bijie City, Guizhou Province

YANG Feng-liang[1], GAO Li-yan[2], ZHAO Yan[1], LIU Xian-chuan[1], GAO Liang[1]

(1. *The Second Geological Team of Hebei Coal Geology Bureau, Xingtai, Hebei* 054001;
2. *School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing* 100083)

Abstract: This work made analysis of characteristics of the CK1 geothermal well in Bijie City, Guizhou and conducted on - site drilling experiments. The purpose is to solve the problem how to effectively drill in strata with highly steep structure. As the drilling of this borehole encountered bedrock from its beginning, the conventional pressure - applying was difficult, which made it impossible to guarantee the hole oblique. The rock at the hole bottom was hard with strong abrasive nature, thus not easy to drill through. To tackle these problems, the drilling technology with phase change was employed, in which the air DTH hammer bit was used in opening the upper hole, and the combination of cone bit and screw drill tool was adopted in later drilling. In the complex strata where the drilling efficiency was very low, the bit assembly was simplified, using the roller - based positive cycle, and reasonable adjustment of drilling parameters to realize quick well construction. With focused well flushing, such a well building could be accomplished fast. This paper analyzed the requirement of the geothermal well drilling and completion process and improvement, as well as the current real situation of geological prospecting units. It pointed out the existing problems and proposed measures to solve them, providing an experience for the exploitation of geothermal resources.

Key words: geothermal well, exploration, drilling, well washing, Bijie City, Guizhou