

# 青海贵德 ZR<sub>1</sub>干热岩井钻进工艺研究

赵福森, 张 凯

(中国煤炭地质总局第一水文地质队, 河北 邯郸 056000)

**摘要:**青海贵德 ZR<sub>1</sub>干热岩井具有高温、高硬度、高研磨性的特点。在施工中优选聚磺钻井液体系, 在高温高压下保持良好的流变性与较低的滤失量, 满足干热岩井施工要求, 应用效果好。通过分析地层岩性、岩石物性等因素, 选择了适于该井高硬度、高研磨性地层钻进的牙轮钻头, 并取得 1.24 m/h 平均机械钻速。通过实验与实践, 掌握了高温井(130℃)固井工艺, 固井止水质量检查合格。使用川 5-4 型取心器成功在高温、高压、较破碎地层完成了取心作业, 取心率 45%~83%。

**关键词:** 钻探; 干热岩; 聚磺钻井液; 钻头选型; 取心器; 高温固井

**中图分类号:** P634; TE249 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2016)02-0018-06

**Research on Hot Dry Rock Well Drilling Technology/ZHAO Fu-sen, ZHANG Kai** (The First Hydrogeology Team of China National Administration of Coal Geology, Handan Hebei 056000, China)

**Abstract:** ZR<sub>1</sub> hot dry rock well has the characteristics of high temperature, high hardness and high abrasiveness. Polysulfonate drilling fluid system was selected in the construction for its good keeping of rheology and low filtration under high temperature and high pressure. By the analysis on the factors such as formation lithology and petrophysical property, the cone bit suitable for the well drilling in high hardness and high abrasive formation was selected and 1.24m/h average ROP was obtained. Through the experiment and practice, the cementing technology of high temperature(130℃) was mastered, water sealing and cementing quality is qualified by inspection. By the use of Chuan 5-4 type coring apparatus, coring operations were successfully completed in the high temperature, high pressure, and the broken formation with core recovery of 45%~83%.

**Key words:** drilling technology; hot dry rock; polysulfonate drilling fluid; bit selection; coring apparatus; high temperature cementation

## 0 引言

干热岩是指地层深处普遍存在的没有水或蒸汽的热岩体, 主要是各种变质岩或结晶类岩体, 普遍埋藏于距地表 2~6 km 的深处, 其温度范围在 150~650℃ 之间。有关研究表明, 世界各大陆地下都有干热岩资源, 干热岩的储量比煤炭、石油、天然气的热能总和还要大。近几年我国发现了大规模可利用的干热岩地热资源, 而钻探仍是勘探与开发地热资源的唯一手段。干热岩井与其它钻井施工相比较有很大区别, 其具有以下特点: (1) 干热岩井施工对象是火成岩或是变质岩, 如花岗岩、片麻岩等, 硬度大, 可钻性极差, 单轴抗压强度一般在 200 MPa 以上, 高温高压下破岩技术有其特殊性; (2) 施工岩层温度高, 一般在 150℃ 以上; (3) 钻井深度大, 一般 > 3000 m; (4) 井壁围岩稳定性差, 由于在高温高压且深度较大的岩体中施工, 钻进过程中高温状态下, 井壁围岩遇水极易产生热破裂及井眼扩大; (5) 有的

井井漏现象比较严重。本文以青海贵德扎仓沟高温地带干热岩勘查勘探项目 ZR<sub>1</sub> 井为例, 研究总结干热岩井钻探施工工艺, 为同类工程施工提供借鉴。

## 1 地质概况

扎仓沟温泉位于青海省贵德县扎仓寺村, 温泉水出露于燕山期北北西向构造断裂和北东向构造断裂带交汇部位共用上盘上。该区印支期和燕山期侵入岩比较发育, 岩性以花岗岩、花岗闪长岩为主, 裂隙较发育, 地层硬度高, 可钻性极差, 其中花岗岩抗压强度在 180~275 MPa, 地层温度较高(83~151℃)。地层岩性从下到上依次为:

侵入岩体, 以花岗岩、花岗闪长岩为主, 花岗岩呈浅肉红色, 花岗闪长岩多呈深灰色、灰白色。

三叠系地层为灰色、深灰色砂岩, 板岩, 与花岗岩、花岗闪长岩侵入体互层, 未完整揭露。

第四系地层为土黄色、深灰色冲积洪积砂质粘

收稿日期: 2015-11-02; 修回日期: 2016-01-13

作者简介: 赵福森, 男, 汉族, 1969年生, 高级工程师, 探矿工程专业, 硕士, 长期从事水文水井钻探、地热井及深井钻探工程技术研究与管理, 河北省邯郸市联纺东路 142 号, 18630092765@163.com。

土和砂砾石,砾石主要为灰白色花岗闪长岩,在沟中有出露。

## 2 井身结构设计

ZR<sub>1</sub>井设计井型为直井,一开  $\phi 311.1$  mm 钻进至基岩(孔深约 50 m),下入  $\phi 244.5$  mm  $\times$  8.94 mm J55 型表层套管;二开  $\phi 215.9$  mm 钻进至孔深 1500 m,下入  $\phi 177.8$  mm  $\times$  8.05 mm J55 型技术套管;三开  $\phi 152.4$  mm 口径钻进至孔深 3000 m,裸眼完井。井身结构设计见表 1,井身结构图见图 1。

表 1 井身结构

工序	井眼直径/mm	井深/m	套管设计			备注
			套管类型	套管外径/mm	壁厚/mm	
一开	311.1	50	表层套管	244.5	8.94	+0.5~50 J55 石油套管
二开	215.9	1500	技术套管	177.8	8.05	+0.5~1500 J55 石油套管
三开	152.4	3000	裸眼			

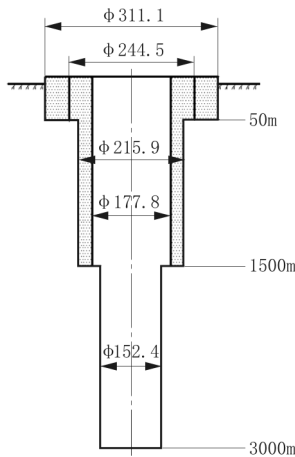


图 1 ZR<sub>1</sub> 井身结构

## 3 主要设备选型

根据钻井设计选择了主要设备,设备能力满足施工需要,详见表 2。

表 2 主要设备选型

名称	型号	性能指标	数量
钻机	TSJ3000/445	115 kN	1
钻塔	JJ75/27-A	750 kN	1
泥浆泵	3NB350		1
电动机	Y355-6	160,260 kW	2
电动机	Y315-4	160 kW	1
振动筛	ZD200		1
空压机	VF6.5/40		1
测温仪	HP-SPWZ		1

## 4 钻进工艺

### 4.1 钻具组合与钻进参数

ZR<sub>1</sub>井钻遇地层主要为花岗岩、花岗闪长岩,其抗压强度和研磨性高。根据地层、设备性能及钻头使用要求,使用的钻具组合见表 3,钻进参数见表 4。

表 3 钻具组合

井段	钻具组合
一开	$\phi 311.1$ mm Bit + $\phi 203$ mm DC + $\phi 178$ mm DC + $\phi 89$ mm DP
二开	$\phi 215.9$ mm Bit + $\phi 159$ mm DC + $\phi 89$ mm DP
三开	$\phi 152.4$ mm Bit + $\phi 121$ mm DC + $\phi 89$ mm DP

表 4 钻进参数设计

钻头直径/mm	钻进井段/m	钻压/kN	转速/(r·min <sup>-1</sup> )	泵量/(L·s <sup>-1</sup> )
311.1	0~50	30~100	43~63	24.4
215.9	50~1500	100~150	63~156	24.4
152.4	1500~3000	60~80	63~156	18.2

### 4.2 钻井液

#### 4.2.1 高温对钻井液危害

地层温度过高会使钻井液的组分发生化学变化,因而影响其失水量、粘度和胶化性能,钻井液中的粘土要凝聚或明显胶凝,最终会使钻井液固化。严重的失水会使泥皮增厚,钻井条件恶化,易产生孔内事故。

#### 4.2.2 高温聚磺钻井液常用处理剂及作用

聚磺钻井液是最典型的高温钻井液体系,其主要特点是热稳定性好,在高温高压下可保持良好的流变性和较低的滤失量;抗盐能力较强;泥皮致密且可压缩性好;抗温能力 200~250 ℃。

聚磺钻井液处理剂主要有 3 种:一是降失水剂,二是稀释剂,三是包被剂。抗高温降失水剂可以起到有机护胶作用,使钻井液在压力差作用下形成薄而致密的泥皮,以控制失水,在控制高温滤失性的同时,又不易使其粘度过分增大;抗高温稀释剂可以控制粘土高温分散和粒子聚结,防止钻井液聚结,保持高温流变性;包被剂可以抑制钻屑分散及粘土颗粒膨胀,改善泥皮质量和钻井液流变性。使用的主要处理剂主要有以下几种。

(1) 磺化酚醛树脂(SMP):亲水性好,热稳定性强,吸附性能好,在高温高矿化度条件下具有较好的护胶能力,有独立于粘土的优良降失水性能、抗高温性能,抗温可达 200~220 ℃。

(2) 磺化褐煤(SMC):既是抗高温降粘剂,同时又是抗高温降滤失剂,具有一定的抗盐抗钙能力,抗

温可达200~230℃。

(3) 磺化沥青(FT-1):水化作用强,可阻止页岩颗粒水化分散起到防塌作用,同时又能充填裂缝起到封堵作用,并可覆盖井壁表面改善泥皮质量,还起到润滑减阻和降低高温高压失水的作用。

(4) 抗高温抗盐降粘失水剂:抗温可达160℃。

(5) 聚丙烯酸钾(KPAM):具有良好的抑制泥页岩水化膨胀和分散性能,有增粘降滤失作用。

#### 4.2.3 现场配比实验

根据已有的磺化类钻井液配方,结合ZR<sub>1</sub>井地层岩性、孔内温度等条件,进行了钻井液配比实验。配方(每立方米加量)为:50 kg 膨润土+1~3 kg 聚丙烯酸钾(KPAM)+25 kg 抗高温抗盐降粘降失水剂+10~30 kg 磺化褐煤(MSC)+10~30 kg 磺化酚醛树脂(SMP)+20 kg 磺化沥青(FT-1)+重晶石、高粘堵漏剂、液体润滑剂(均视需要而定)。其性能指标为:密度1.05~1.20 g/cm<sup>3</sup>,漏斗粘度30~50 s, API 滤失量<5 mL/30 min, HTHP 滤失量约15 mL/30 min, 泥饼厚(API)<0.3 mm, 泥皮厚(HTHP)<2.0 mm, 塑性粘度10~15 mPa·s, 动切力3~8 Pa, 静切力(初/终)2~15 Pa, pH 值为9。

#### 4.2.4 地面降温方法及装置

由于地层温度高,返回地面的泥浆温度高,可达80℃以上,不但影响泥浆性能,而且会对地面设备和人员造成危害,所以必须对返回地面的泥浆进行冷却处理。一是延长泥浆循环槽,充分利用低气温环境自然降温;二是设置2个容量为100 m<sup>3</sup>的降温池,待泥浆温度降低后泵入泥浆池进入循环系统;三是采用喷淋装置,将循环至地面泥浆喷淋冷却后进入泥浆池。喷淋装置如图2所示,其制作是将Ø245 mm 无缝钢管对割,取长度3 m 的半管,在半管面打直径10 mm 的孔眼,孔间距20 mm;引流槽长度1.5 m,宽度0.4 m,引流槽入口下方0.5 m 范围内不开孔眼。

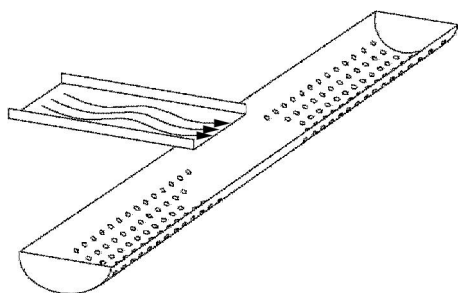


图2 喷淋装置示意

#### 4.2.5 应用效果

钻深100 m 时,孔内温度已达82℃,不宜继续使用普通膨润土浆钻进。调配聚磺钻井液后,其性能指标满足钻井施工要求,特别是泥皮薄而坚韧,起到了很好的护壁效果。在2500~2620 m 漏失段适当增加了高粘堵漏剂等堵漏材料,堵漏效果良好,与该聚磺钻井液配伍性好,未发生孔内事故,顺利完钻。最终顺利完成了全孔钻井任务,终孔深度3050.88 m。

#### 4.3 牙轮钻头选型

##### 4.3.1 高温、高硬度、高研磨性地层对钻头使用的影响

高温对于牙轮钻头的橡胶密封部件寿命影响显著,通常在井温>135℃时,橡胶部件不容易受到破坏,井温在135℃以上时,橡胶部件会产生压缩变形,并且会加速磨损,降低寿命。在高硬度高研磨性地层,容易磨损钻头,钻头直径变小,造成小井眼现象。新钻头下井划眼时会对牙轮钻头产生很大危害,除了产生过多热量外,还可对保径、密封、牙掌等部位造成损坏,划眼还容易造成小井眼卡钻事故。

##### 4.3.2 ZR<sub>1</sub>井钻头使用存在问题

ZR<sub>1</sub>井深度在200 m 处已有侵入岩体分布,地层岩性主要为花岗岩、花岗闪长岩,其硬度高,可钻性差,加之地层温度升高至87℃以上,孔内最高温度达151.34℃,对钻头能力要求较高。现场使用上海、西安等地生产的普通牙轮钻头,平均回次进尺32 m,平均使用寿命35 h,平均机械钻速仅0.91 m/h;而且钻头容易磨损,起下钻作业频繁,严重影响了钻进效率,因此合理地选择钻头类型尤为重要。

##### 4.3.3 钻头选型

根据该孔花岗岩地层物性、可钻性、地层温度及周边地热深井钻头使用情况,对牙轮钻头进行优选。特别是在密封类型、掌背与牙轮加强保径、使用寿命等方面进行了分析研究,优选江汉石油钻头股份有限公司生产的滑动轴承金属密封掌背强化牙轮钻头,适应高温高抗压强度、高研磨性地层,型号为6HJ637G(见图3)。

##### 4.3.4 应用情况

选用6HJ637G型牙轮钻头后,钻头使用寿命大大增加,单回次进尺显著增加,起到了保持井眼尺寸的作用,取得了较高钻效。出井钻头磨损情况如图4所示,6HJ637G型牙轮钻头2100 m 以深使用情况见表5,单只钻头平均进尺95.09 m,平均纯钻进时间



图 3 6HJ637G 型牙轮钻头



图 4 钻头磨损情况

76.5 h, 平均机械钻速 1.24 m/h。

## 5 固井工艺

### 5.1 高温对水泥浆影响

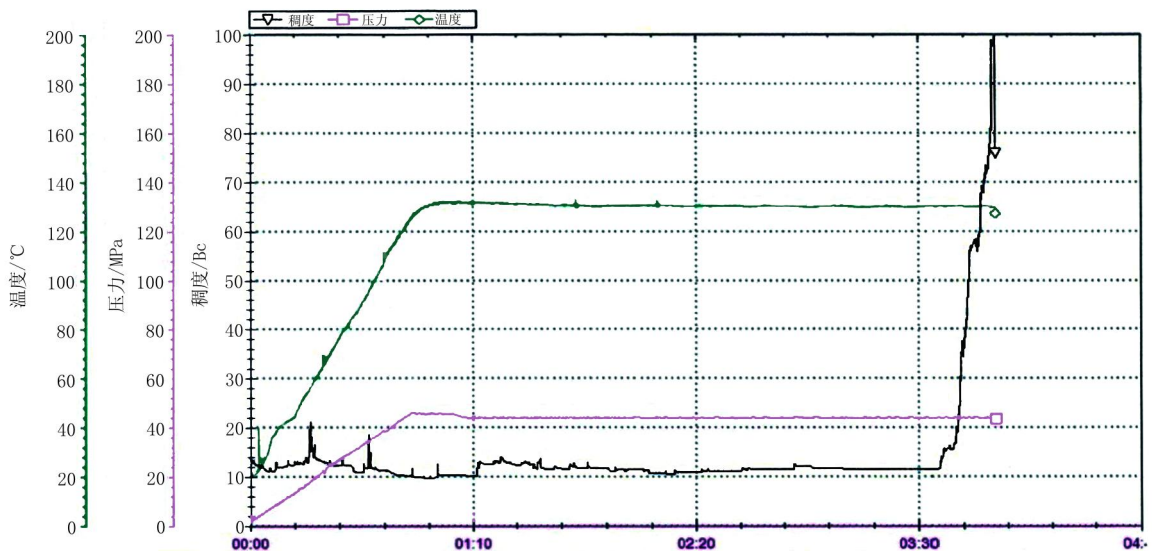
表 5 6HJ637G 型牙轮钻头应用情况

序号	钻进井段/ m	地层岩性	进尺/ m	纯钻进 时间/h	平均机械钻 速/(m·h <sup>-1</sup> )
1	2100.00 ~ 2201.73	花岗岩	101.73	83.3	1.22
2	2201.73 ~ 2318.23	花岗闪长岩	116.50	94.3	1.24
3	2318.23 ~ 2404.00	花岗岩	85.77	55.3	1.55
4	2404.00 ~ 2520.28	花岗闪长岩	116.28	74.0	1.57
5	2520.28 ~ 2639.18	花岗闪长岩	118.90	80.5	1.48
6	2639.18 ~ 2695.27	花岗闪长岩	56.09	61.3	0.92
7	2695.27 ~ 2777.53	花岗闪长岩	82.26	69.0	1.19
8	2777.53 ~ 2868.91	花岗闪长岩	91.38	88.0	1.04
9	2868.91 ~ 2962.19	花岗闪长岩	93.28	80.0	1.17
10	2962.19 ~ 3050.88	花岗闪长岩	88.69	79.0	1.12
平均值			95.09	76.5	1.24

研究表明,水泥浆稠化时间与温度、压力存在着显著的线性相关关系,稠化时间随着温度、压力的升高而减小,温度对稠化时间的影响程度是压力的 3~4 倍。因此,有必要模拟井下温度、压力状况进行水泥浆稠化实验,以保证固井质量。

### 5.2 水泥浆稠化实验

技术套管下深 1500 m 处孔内温度是 126 °C,水泥浆须在该温度环境下有较好的稳定性,稠化时间须满足固井工艺所需时间。根据数次室内实验,取得目标温度 130 °C、目标压力 45 MPa 环境下,水泥浆达 30Bc 的稠化时间约为 3.7 h。其配方、实验指标见图 5。



实验名称	样品编号	实验日期	2014-11-17	初始稠度开始	15.0 min
初始温度 20.3 °C	初始压力 2.2 MPa	初始稠度	21.3 Bc	报警稠度	100.0 Bc
目标温度 130.0 °C	目标压力 45.0 MPa	30Bc稠化时间	03:42.49	稠化时间	03:53:55
40Bc稠化时间	03:44:30	50Bc稠化时间	03:45:29	60Bc稠化时间	03:49:00
70Bc稠化时间	03:50:20	主检人	签名		
实验配方	G级油井水泥600g+水泥缓凝剂BXR-2001+水泥用降失水剂BZF-L1+水360g				
实验备注					

图 5 水泥浆稠化实验

### 5.3 固井施工

一开表层套管水泥浆固井采用搅拌机制浆,泥浆泵注入方式进行;二开技术套管水泥固井,选用 SNC-400 II 型水泥固井车实施固井作业。套管柱设计如图 6 所示。

一开:  $\varnothing 244.5$  mm 套管串。

二开:  $\varnothing 177.8$  mm 浮鞋 +  $\varnothing 177.8$  mm 套管 1 根 +  $\varnothing 177.8$  mm 浮箍 +  $\varnothing 177.8$  mm 套管串(每隔 3 根加一扶正器)。

水泥浆设计见表 7。

### 5.4 固井作业要求

固井设备在施工前须进行全面检查,地面管线

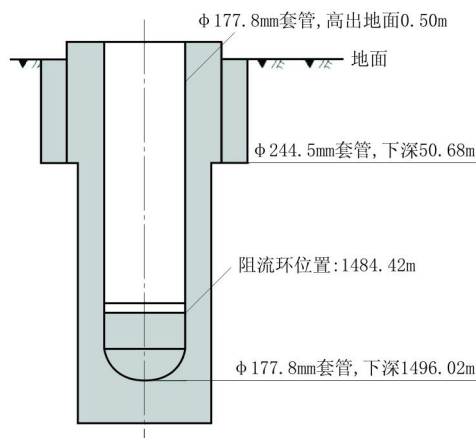


图 6 套管柱设计

表 7 水泥浆设计

套管程序	固井前密度/ ( $g \cdot cm^{-3}$ )	水泥浆上返高度/ m	水泥塞高度/ m	水泥浆密度/ ( $g \cdot cm^{-3}$ )	水泥实用量/ t	水泥品名	水泥添加剂
表层套管	1.1	地面	50	1.85	3	普通硅酸盐	无
技术套管	1.2	地面	50	1.75	35	G 级油井水泥	BXR200L、BZF-L1

必须试压,以确保施工的连续性。固井注水泥浆和顶替水泥浆要连续作业,中途不得间断。须连续监测水泥浆的密度,以确保水泥浆密度的稳定性。水泥浆须返出井口,若二开固井水泥浆未上返至地面,应补灌水泥浆至地面。

### 5.5 应用效果

整个注水泥浆作业能够在 3.7 h 以内完成,该配方保证了高温固井需要,满足技术套管固井工艺要求,固井止水检查质量合格。

## 6 井温监测

钻井过程中使用留点温度计进行点测井内温度,采用深井专用温度测试仪测量全孔段温度,图 7 为 CW-4000 型测温仪。留点温度计测量结果取平均值,结果见图 8 中孔内实测温度曲线。要求每钻进 100 m 进行一次测温,测前停等时间  $\leq 12$  h,保证



图 7 CW-4000 型测温仪

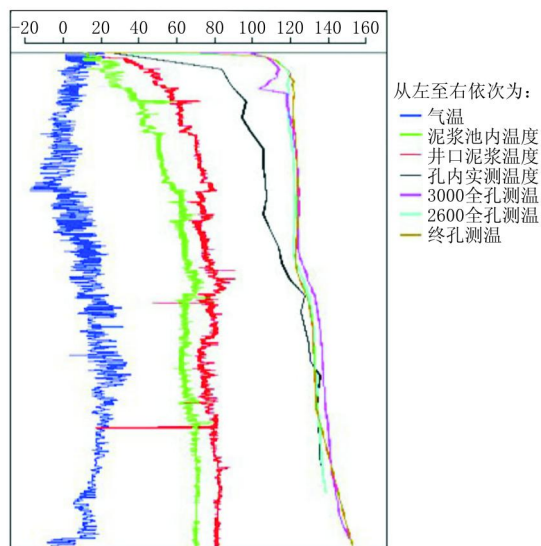


图 8 ZR<sub>1</sub> 井温度变化曲线

孔内泥浆温度与地层温度达到平衡;测温设备下入指定位置后,需静等不少于 30 min,期间严禁开泵循环泥浆,为考虑孔内安全,测温设备可小范围平稳上下活动。

## 7 高温井口安全防护装备

干热岩钻井过程中,可能会产生高温水或高温蒸气井涌或井喷,须安装井口防喷装置,保证发生涌喷时能迅速关井,避免发生事故。在表层套管安装完毕、水泥达到设计强度后,安装双闸板组合防喷器

(耐压 14 MPa)。在孔口  $\text{Ø}244.5 \text{ mm}$  表层套管上安装法兰及阀门,配备耐高温、耐高压组件。图 9 为双闸板组合防喷器示意图。

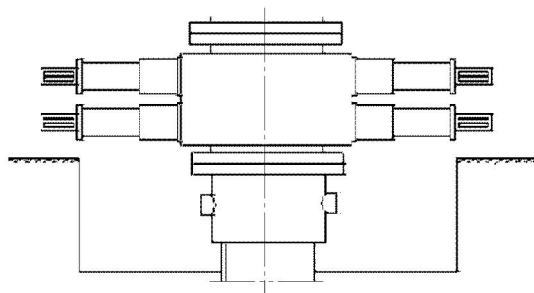


图 9 双闸板组合防喷器示意

## 8 高温取心工艺技术

### 8.1 取心井段钻具组合

$\text{Ø}152.4 \text{ mm}$  PDC 取心钻头 + 川 5-4 型取心器 +  $\text{Ø}89 \text{ mm}$  钻杆。

### 8.2 取心成果

使用川 5-4 型取心器,岩心直径 66 mm,每 100 m 取一次心,回次进尺 4 m 左右,取心率 45% ~ 83%。在高温、高压、较为破碎地层完成了钻探取心工艺。图 10 为 ZR<sub>1</sub> 井 2000 m 处破碎段岩心照片,图 11 为 ZR<sub>1</sub> 井 3000 m 处破碎段岩心照片。



图 10 ZR<sub>1</sub> 井 2000 m 处岩心



图 11 ZR<sub>1</sub> 井 3000 m 处岩心

## 9 洗井、抽水试验

### 9.1 洗井方法

采用清水冲孔替浆、六偏磷酸钠浸泡,压风机引喷等联合洗井方法。

### 9.2 洗井要求

(1) 完钻后充分循环,保证井底无沉砂,然后用清水由上而下冲刷井壁,替至水清。(2) 注入 0.8% 六偏磷酸钠溶液浸泡 24 h。(3) 清水冲孔、压风机抽水洗井,至水清砂净。

### 9.3 抽水成果

抽水试验出水量为  $33.8 \text{ m}^3/\text{h}$ ,井口温度  $105 \text{ }^\circ\text{C}$ 。停机后井喷,涌水量为  $20 \text{ m}^3/\text{h}$ 。压风机抽水试验完成后,安装气水分离器(见图 12)进行放喷试验,自流量为  $20 \text{ m}^3/\text{h}$ ,使用 HP-SPWZ 型测温计测得井口水温  $98.8 \text{ }^\circ\text{C}$ (见图 13)。

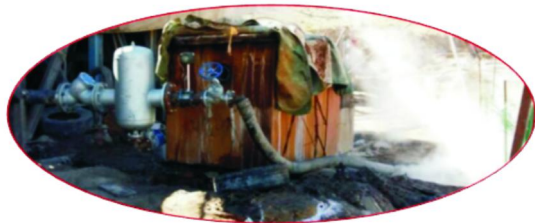


图 12 气水分离器



图 13 井口水温

## 10 结论与建议

(1) 高温聚磺钻井液体系,热稳定性好,在高温高压下可保持良好的流变性与较低的滤失量,可满足高温钻井要求。(下转第 35 页)

算出替浆量:

$$V_{\text{替}} = V_0 + V_{\text{地}}$$

式中:  $V_{\text{替}}$ ——替浆液总量,  $\text{m}^3$ ;  $V_0$ ——钻具内替浆量,  $\text{m}^3$ ;  $V_{\text{地}}$ ——地面管路内的替浆量,  $\text{m}^3$

#### 6.4 解卡液的性能

将废机油与柴油按照设定的比例混合,充分搅拌均匀后,可得到近似于原油的粘稠液体。其性能指标大致为:相对密度  $0.87 \text{ g/cm}^3$ ,漏斗粘度  $35 \text{ s}$ ,摩阻系数  $0.50$ 。

#### 7 结语

(1)本井采用废机油与柴油配制而成的油基混合液,处理粘卡事故很成功。既体现了持续时间短、见效快、解卡能力强、成本低、经济效益好的特点,又避免一次因钻孔报废造成的巨大经济损失,值得以后在处理类似粘附卡钻事故中借鉴使用。

(2)本次处理粘附卡钻事故,原因分析详细、准确,方案选择思路清晰,处理步骤合理,每步的具体措施执行到位,避免了事故越处理越复杂的被动局面。由此获得的有益经验和各种教训,能够大大降低以后类似地热深井的施工风险。

(3)地热深井一般井深大,工艺复杂,还要保水温、保水量,存在着“井位确定”与“成井施工”两大

主要风险。其中,规避“成井施工”风险的有效手段是通过加强现场综合管理,避免发生各种设备突发性故障和孔内事故,尤其要杜绝含水层段的事故,只有如此,才能圆满地完成地热深井施工项目,获得应有的经济收益和良好的市场声誉。

#### 参考文献:

- [1] 蒋希文. 钻井事故与复杂问题[M]. 北京:石油工业出版社, 2006.
- [2] 曾祥焄,等. 钻孔护壁堵漏与减阻[M]. 北京:地质出版社, 1981.
- [3] 赵金州,张桂林. 钻井工程技术手册[M]. 北京:中国石化出版社, 2004.
- [4] 张克勤,陈乐亮. 钻井技术手册(二)钻井液[M]. 北京:石油工业出版社, 1988.
- [5] 编写组. 钻井手册(甲方)[M]. 北京:石油工业出版社, 1990.
- [6] 刘东柱. 一起地热井粘附卡钻事故的处理[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2011, 38(8): 23-25, 28.
- [7] 徐鑫,彭志刚,李文才,等. 胜利油田水平井固井新技术[J]. 钻井液与完井液, 2009, 26(6): 37-39.
- [8] 李正国,蒋新立. 大牛地气田水平井固井技术应用分析[J]. 西部探矿工程, 2008, (9): 69-72.
- [9] 冯京海,郝新朝,白亮清,等. 冀东油田水平井固井技术[J]. 石油钻采工艺, 2007, 29(S1): 32-36.
- [10] 王合林,钟福海. 华北油田水平井完井固井技术[J]. 石油钻采工艺, 2009, 31(4): 113-117.

(上接第23页)

(2)滑动轴承金属密封掌背强化牙轮钻头适应高温、高抗压强度、高研磨性地层,可以满足干热岩井施工要求。

(3)G级油井水泥添加适量的缓凝剂和降失水剂可以满足高温固井施工要求。

(4)ZR<sub>1</sub>井各项钻进工艺技术措施可以指导今后干热岩钻井施工。

(5)地层硬度高,研磨性强、钻效低。可采用相适应的钻井提速工器具(金刚石钻进工艺、液动冲击钻进工艺、螺杆复合钻进工艺等),以提高钻进效率。高温会加速工器具运动部件及密封件的老化,须采用抗高温的工器具。

(6)应加强空气潜孔锤钻进工艺在干热岩井钻进施工中的应用研究。

(7)进行超高温干热岩井钻井液的研究与应用。

#### 参考文献:

- [1] 邵保平,赵金昌,赵阳升,等. 高温岩体地热钻井施工关键技术研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2011, (11): 2234-2243.
- [2] 汤松然,陶士先. 高温地热钻井泥浆研究[J]. 西部探矿工程, 1995, 7(1): 1-5.
- [3] 李贵宾,刘泳敬,柳耀泉,等. 堡古1井花岗岩底层钻头优选与应用[J]. 石油钻采工艺, 2011, 33(6): 106-109.
- [4] 赵江鹏,孙友宏,郭威. 钻井泥浆冷却技术发展现状与新型泥浆冷却系统的研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2010, 37(9): 1-5.
- [5] 邓泽穆. 西藏羊八井地热田钻井井喷原因与压井工艺[J]. 西部探矿工程, 1995, 7(1): 59-60, 63.
- [2] 王文广,翟应虎,李树盛,等. 四端圆柱滚子轴承在牙轮钻头上的应用分析[J]. 石油钻采工艺, 2007, 29(2): 31-34, 119.
- [7] 鄢捷年. 泥浆工艺学[M]. 山东东营:中国石油大学出版社, 2007.
- [8] 王达,何远信,等. 地质钻探手册[M]. 湖南长沙:中南大学出版社, 2014.
- [9] 马植侃,江滨,刘建民. 钻探工程学[M]. 江苏徐州:中国矿业大学出版社, 1998.
- [10] 何世明,刘崇建,黄楨,等. 温度与压力对水泥浆稠化时间的影响规律[J]. 钻井液与完井液, 1999, (2): 25-27.