

• 探矿工程 •

深 层 地 热 水 井 钻 探 工 艺

曾铁军 (中国煤田地质总局 129 队 邯郸 056004)

摘要 针对西安地区深层地热资源开发中钻遇地层特点,阐述了提高深层地热水井钻进效率的技术措施,并结合钻井实践总结了一些成功的经验。

关键词 地热井 深层水 钻探工艺 经验

中国图书资料分类法分类号 P634.5

作者简介 曾铁军 男 41 岁 工程师 钻探工程

1 引言

从 1989 年 8 月以来,我队在西安市施工地热水井 38 口,完成钻探进尺 65 064.52 m,平均井深 1 712 m,最深达 2 105 m;最大井径 311.15 mm,最小井径 190.5 mm。水井成井后平均井口出水量 1 800 m³/d,最大单井出水量达 3 300 m³/d;井口水温 57.5~88℃,最高水温达 93℃。这些深层地热水井的成井质量较高,也积累了一些施工经验,现介绍如下。

2 地层概述及储热特征

西安地区的地热水井均分布于关中盆地。各水井钻遇地层为第四系和第三系等新沉积地层。第四系浅层总厚达 350 m~880 m,主要由青灰色粉细砂和粘土层、半胶结含砾粘土岩及灰紫色粘土岩构成。岩层呈粉砂、粘土结构,其透水性较差,构成较稳定的隔水顶板。第四系深层与第三系共厚达 700~

2 000 m,主要由灰色泥页岩、细砂岩、中粒粗粒砂岩互层及部分含砾层构成。由于砂质层中的中细砂成分较多,其透水性较好,是理想的含水层,含水层厚度达 210~1 100 m,平均井口出水量 1 800 m³/d。

该区地下热水主要由大气降水补给。降水通过周边山区构造破碎带不断渗入基底不透水岩层,经岩浆岩的热传递而加温,并储存于基底岩石孔隙间,再通过断裂破碎带垂直向上运移至热储层中。由于断裂有利于地下热水的储存和运移,深部有岩层孔隙热,上覆有一定厚度的新生代保温盖层,因此具备了形成地下热水的地质构造条件。第四系是低温层,平均地温梯度<2℃/100 m;第三系是中高温层,平均地温梯度为 3~4℃/100 m,最高井口水温 93℃。

3 钻井工艺

3.1 施工工艺流程

3.1.1 钻井工序

平整钻场和设备安装好后,用直径 190.5 mm

及间距小多煤层群煤田地震勘探问题及采空区下地震勘探问题如何解决;

h. 大倾角煤层地区地震勘探问题。

5 结论

矿井采区地震勘探开展 6 年来,时间是短暂的,但其经济技术效应和潜力是巨大的。经几代人长期

苦苦探索终于找出一条确实能解决矿井地质保障问题的高分辨率采区地震勘探方法,走出了一条新路子。几年来的实践证明高分辨率地震勘探技术应用于煤矿生产建设解决矿井地质保障问题,技术成熟,实用性强,效益显著,为实现双高矿井奠定了基础。用通俗的话说:煤矿要想安全效益好,采区地震勘探离不了。

(收稿日期 1999-05-13)

THE RESULTS AND PROSPECT OF HIGH RESOLUTION SEISMIC EXPLORATION IN MINE DISTRICTS OF CHINA

Wei Zirong Du Xingya (State Development Bank)

Fang Zheng Zhao Pu (China National Administration of Coal Geology)

Abstract Since 1991, the State Development Bank and the State Energy Resource Investment Company make an investment in the large-scale seismic exploration in the mine districts. In this paper, the results obtained in the high resolution seismic exploration and the economic benefits in recent years are introduced, with the emphasis on the resolvable geological problems. The opinions about the existed problems and development direction are presented.

Keywords mine district; seismic exploration; results; summary

钻头开钻,直至终孔,然后进行物探测井,确定取水深度。再用直径 311.15 mm 钻头扩孔,穿过秦川群组地层,下入直径 244.475 mm 井口管,用水泥固井,候凝 8 h。再用直径 190.5 mm 钻头通孔至目的层,然后进行物探测井,选择止水部位。

3.1.2 成井工序

首先冲孔换浆,然后用直径 139.7 mm 钻具探孔,接着下入直径 139.7 mm 的成井管和滤水管。在成井管长 600 m、1 500 m、1 800 m³ 处分别焊上 3 组托盘,并在托盘之间包扎优质牛皮及海带,经抽水试验证实这种止水效果可靠,起到了隔离上部低温水下泄的作用。其滤水管的下入位置与热水层相对应。然后进行综合洗井 3 d,再用 36 m³/h 深井泵试抽水 18~24 h,稳定时间>8 h,测定动水位深度;观测静止水位时间>10 h,稳定时间>4 h,测定静止水位深度。再分别用 50 m³/h、80 m³/h 深井泵进行 2 次降深抽水试验,测定水位降深深度,统计单位涌水量。同时采取水样送西安水土测试中心进行水质全分析,并向甲方提交成井报告,即成井验收。

3.2 井径结构

0~(250~400) m 井径为 311.15 mm,250~400 m 至终孔井径为 190.5 mm,并相应下入 244.475 mm 井口管及 130.7 mm 成井管和滤水管(包网上部 0.2~0.5 m 处安设止水器)。

3.3 钻具组合原则

用牙轮钻头钻井,除严格要求按正常操作规程施工外,还要特别注意防斜,配合使用好钻铤、稳定器组合钻具。我们采用了钻铤直径比钻头直径小两级,质量比钻压大 20 %~30 % 的方案。

成孔 采用满眼式下部钻具组合形式,从上至下顺序为:在直径 107.95 mm 主动钻杆(上、下均加保护接头)下连接转换接头,再连接直径 88.9 mm 钻杆和直径 146.05 mm 钻铤,2~3 组稳定器分别连接在直径 146.05 mm 钻铤的中下部,再连接转换接头和直径 190.5 mm 钻头。

扩孔 为增加井内钻具的重量和刚性,降低钻具重心,改善钻具旋转时各连接变径处的应力状况。采用宝塔式钻具结构,从上至下依次为:直径 107.95 mm 主动钻杆(上下加保护接)一转换接头一直径 88.9 mm 钻杆一直径 120.65 mm 钻铤一直径 146.05 mm 钻铤一转换接头一直径 311.15 mm 钻头。

通孔 换钻头前要先通孔,以确保井壁上下规则一致。使用与成孔或扩孔钻具相匹配的钻具结构,可适当减少直径 146.05 mm 钻铤的质量,循环时避

免钻井浆冲蚀下部井壁,影响钻井质量。

3.4 钻头使用工艺

牙轮钻头入井前,应先检查各牙轮是否转动自如,压盖传压孔是否通畅,喷嘴是否装好,井内若有异物应先磨平;钻头入井要稳,遇阻不能冲撞,不允许用钻头长井段扩扫;钻头到底后,应先用小规程初磨,钻出适应钻头齿廓形状的新孔底,避免个别齿过载,同时还可磨合轴承,有利于延长轴承寿命;钻进加压应平稳缓慢进行,钻进中应尽量减少提动钻具。

钻进实践表明,在同一地质条件下,随着井深增加,泥页岩等地层更加致密,其硬度和强度增加,从而破碎岩石所需要的力及破碎单位体积岩石的破碎功也随之增大。因此对于埋藏较深且致密的岩层,牙轮钻头的齿形应采用夹角较小的楔形齿,相反应采用夹角较大的楔形齿。正常情况下,软地层用 190.5 mmY3、190.5 mmP3、311.15 mmMP2 钻头;软硬互层用 190.5 mmY4、190.5 mmFP63J、311.15 mmH437A 钻头;硬地层用 190.5 mmXHP4、311.15 mmH517C 钻头。

3.5 钻井技术参数

三牙轮头是单双齿交替产生钻头轴向往复、形成冲击动载而碎岩的。当钻压充足能够使牙轮齿有效地吃入地层时,使岩石形成体积破碎而提高机械钻速。如钻压过大,钻速快,孔内沉渣多,吸附泥皮厚;钻压小,钻速慢,成井周期长,上部井壁裸露时间长受到机械液动破坏程度严重。因此保证所需钻压值,可以稳定钻具,减少井内事故,实现高效钻井,降低单位进尺钻头成本。故有如下钻井参数选取方案:

钻压值 P (kN) $P = (4 \sim 10) D$ (D 为钻头直径,单位 mm)。地层较硬,钻井较深,取上限值;地层较软,钻进较浅,取下限值。

同时要有适宜的转速,转速太高易造成牙轮轴承的迅速磨损,降低钻头的使用寿命;转速太低又会导致碎岩效率下降。

主动钻杆(或转盘)转速 n (r/min) $n = (6 \sim 12) D$ 。对完整、均质、较软的地层取上限值;硬地层取中值;非均质、较硬地层取下限值。

泵量 Q (L/min) $Q = 180D$ 。泵压 $p < 5$ MPa。提高钻井液质量,确保足够的排量,可延长钻头的使用寿命,提高钻井效率。

扩孔、通孔时, p 、 n 、 Q 酌减。

3.6 护壁工艺

3.6.1 护壁材料

施工中采用了下述护壁材料:人工钠土 NV-1 (用于造浆提粘)、磺化栲胶 SMK(阳离子聚合物,作

降粘剂和热稳定剂)、腐植酸钾 KHM(页岩抑制剂)、羧甲基淀粉 CMS(降失水剂,中低温地层加量应高于 PAC142)、复合离子型聚丙烯酸盐 PAC141(用作增粘、絮凝、包被剂)、乙烯基单元多体共聚物 PAC142(作降粘、降失水剂)和氢氧化钠 NaOH(酸碱度调节剂)

3.6.2 PAC 泥浆的功能

PAC 泥浆中的活性基团 $-\text{CONH}_2$ 、 $-\text{OH}$ 等能够自由吸附在泥页岩中粘土颗粒上,使粘土表面形成强固的保护膜,减少粘土颗粒絮凝成团(增稠现象),有效地抑制岩屑分散和泥页岩的水化膨胀,固结井壁,减少对热储层的泥封,同时还具有抗钙、抗盐、抗高温、改善泥浆流变特性的作用。

3.6.3 第四系低温层护壁技术

低温层选用具有强包被粘土作用的 PAC141 为泥浆体系的主体聚合物。这一主体聚合物的分子链上含有正电荷功能基团,而地层粘土表面带负电荷,故主聚物与粘土外表之间易形成较强的静电吸附,使粘土晶格表面负电中和,双电层压缩,失去水化能力,而且其吸附牢固,因而这种主体聚合物能抑制粘土颗粒的水化膨胀和分散。

泥浆配方 (质量分数%,下同) NV-1, 4~5; SMK, 1.5; CMS, 1~2; PAC141, 0.3~0.5; KHM, 0.2; NaOH, 1~2。

泥浆性能 密度 1.05~1.10 kg/L;漏斗粘度 40~80 s; pH 值 7~8.5; APL 失水量 8~10 mL/30 min; 泥饼 1.5 mm; 塑性粘度 23 mPa·s; 屈服值 14.511 Pa; 含砂量 4%; 固相含量 22%。

3.6.4 第三系中高温层护壁技术

在第三系中、高温层钻进时,采用具有较强抗剪切稀释作用的 PAC142 为泥浆体系的主体聚合物。这种主体聚合物小分子中的阳离子优先吸附在粘土颗粒表面,能抑制网状结构的形成,有效地降低泥浆粘度和切力,从而避免热储层泥页岩中粘土的离子扩散导致的粘土膨胀、裂开或粉碎而形成“土封”。

泥浆配方 NV-1, 3~6; SMK, 1.5~2; CMS, 2~3; PAC142, 1~2; KHM, 0.5~0.8; NaOH, 1.5~1。

泥浆性能 密度 1.08~1.12 kg/L;漏斗粘度 24~35 s; pH 值 7.5; APL 失水量 6~8 mL/30 min; 泥饼 1 mm; 塑性粘度 19 mPa·s; 屈服值 10.743 Pa; 含砂量 2%; 固相含量 16%。

3.6.5 现场维护

泥浆配好后要连续进行维护,使泥浆性能变化小,有利于井壁稳定。具体做法是根据泥浆性能变化

补充各种处理剂或新泥浆,提前 2 d 配制 PAC141: CMS: NaOH(1:2:1)、PAC142: SMK: NaOH(1:2:0.5)等聚合物水溶液。采用这种方法见效快,便于维护,其加量根据现场试验确定,一般按下列技术措施进行维护。

3.6.5.1 泥浆大型处理

用井浆、地面泥浆及新补充浆液进行配方试验,并按循环周期进行处理,按配方顺序加入处理剂,并随时测试井口泵入和返出的泥浆性能,掌握处理效果。

3.6.5.2 提高塑性粘度的动切力

控制 NV-1 加量,保持泥浆悬浮、携带岩屑的能力,以防地热对泥浆产生增稠和固化现象,为此必须加入抗温抗盐的结构增粘剂 PAC141-CMS-NaOH。

3.6.5.3 降低粘度和静切力

当泥浆失水量较低时,可直接加入清水处理,同时加入抗钙抗盐抗温的结构降失水降粘剂 PAC142-SMK-NaOH 和 KHM 抑制剂,以防地热对泥浆中的 $-\text{CONH}_2^-$ 、 $-\text{OH}^-$ 、 Ca^{2+} 等起反应,从而改变粘土晶格表面的结构和带电情况,降低粘土活性。

3.6.5.4 降失水

随着钻井延深,地热使泥浆中各种粒子的热运动加剧,液相粘度降低,导致流动阻力减小,泥浆粘度下降,失水量上升,使用 PAC142-SMK-NaOH 复合水溶液处理效果更佳。

3.6.5.5 防塌

增大 CMS、KHM 加量。

3.6.5.6 除砂

为了控制或清除泥浆中的岩屑,可加入 PAC141 高分子絮凝剂絮凝岩屑(一级除砂),同时利用 JSN-2B 型泥浆净化机对泥浆中的无用固相进行净化(二级除砂)。

4 常见问题及对策

4.1 井壁粘附卡钻事故处理方法

1998 年 8 月我队首次承担西北饭店 XFR₁ 热水井施工,井深设计 1 800 m,第三系砂岩层为取水层位。施工主要设备为日本 TXL-IE(2 000 m)液压钻机。采用 NAS-5H(310~600 L/min)变量泵。钻具组合形式为 $\Phi 81$ mm 主动钻杆- $\Phi 73$ mm 钻杆- $\Phi 95$ mm 钻铤- $\Phi 121$ mm 钻铤- $\Phi 140$ mm($\Phi 800$ mm)翼片钻头(小径打,大径扩)。利用 PHP-CPAN 双聚泥浆护壁钻进。小径钻至井深 1 501.35 m 时,因主机故障,井内钻具静置并一直开泵送浆,

水量和泵压均正常,但待 12 h 将主机检修好后,当提拉力达 480 kN 时,钻具仍一丝未动(此时井内钻具质量 23 200 kg)。经分析,井内粗径钻具紧贴井壁静置时间较长,尽管排量正常,但因地热能量增加,使井内泥浆失水量上升至 28 mL/30min,泥饼厚度达 4.5 mm,钻具周围被泥皮包围,因此井壁作用在钻具上的侧压力增大,导致井壁粘附成卡钻事故。

1992 年 10 月在西安城乡建设公司地热井施工中,顺利钻至 1 760.70 m 后,提钻更换钻头。当提出井口钻具到 307 m 时,因钻杆垫叉切口张裂,导致一起跑钻事故。待 8 h 对上扣开泵送浆,水量、泵压均正常,然而提拉力达 560 kN,钻具仍一丝不动,此时井内钻具质量为 31 400 kg,经分析确认发生了井壁粘卡事故。

处理方法 往井内粗径钻具与井壁环状空间注入 1~2 t 柴油,候 2 h 解除钻柱的吸附力后,顺利将钻具提出井口。

4.2 埋钻事故处理方法

1996 年 2 月在长安县郭杜镇地热井施工中,使用直径 190.5 mm FP63J 三牙轮钻头配合 PAC 泥浆护壁钻进,钻到 1 682.60 m 上钻换钻头,再下钻至 977 m 时,因井口操作失误,钻具跑入井底。经 3.5 h 将原套钻具全部下入井中,并顺利地对上扣后,开泵送浆时泵压逐渐上升至 5 MPa,仍有持续上升的趋势,及时将泵关掉,提拉力达 360 kN,钻具仍未提动。经分析,钻具四周很可能被上部井壁坍塌物或岩屑沉积埋住。

处理方法 用一特制的“T”型钢质管汇将 NBB-250/6 型泥浆泵与 TBW-1200/7A 型泥浆泵的排水管路并入高压管汇上。使用时先开 NBB 泵,后开 TBW 泵,排量由小到大,泵压控制在 5 MPa 以内,钻具提拉力掌握在 300~400 kN 范围之间。1 h 后排量恢复正常,证明钻具周围有活动间隙。1.5 h 后间隙量逐渐增大,待泵压下降到 2.5 MPa 时,方采用大排量冲洗。同时上下串动钻具,但注意不要拉死,逐渐将井内岩屑返出地表,使钻具恢复自由状态,即可转入钻井状态。

4.3 牙轮落井事故处理方法

因操作不慎,在地热水井施工中先后曾发生 7 起牙轮落井事故,一般均采用磁铁打捞器或自制钢丝抓筒捞取,效果很好。

4.4 破岩效率下降的改善方法

牙轮钻头破岩效率下降的主要原因通常是:钻压不均,齿形偏磨;钻压过小,转速过高,齿顶磨平磨光;机械钻速慢,齿顶磨平;钻压大,内排齿早期磨

损;转速快,外排齿早期磨损。

改善方法 一旦发现钻头破岩效率下降,应综合考虑钻压、转速、排量 3 个主要参数,从而全面改善碎岩条件,使钻头充分发挥压碎、冲击、剪切碎岩作用。一般应根据不同地层选择适宜的钻头齿形,合理的钻头布齿方法,才能在常规碎岩条件下钻进时提高机械钻速。

据钻井资料显示,在井深 800~2 100 m 遇泥页岩、粉细砂及细中砂岩互层时,采用夹角较小的楔形齿钻头钻进,其钻速为 2.2~4.7 m/h,最大钻速为 5.2 m/h,钻头寿命为 130~460 m/只;采用夹角较大的楔形齿钻头钻进的钻速为 1.4~3.3 m/h,最大钻速为 4.5 m/h,钻头寿命为 80~290 m/只;采用镶齿钻头钻进,其钻速为 1.5~2.7 m/h。由此可见,浅层选用夹角较大的楔形齿钻头,深层选用夹角较小的楔形齿钻头。在同等条件下,钢齿钻头比镶齿钻头的破岩效率高。

4.5 水井出水量减少的改善方法

水井成井后,在抽水试验稳定期内或是交井后时间不长,便发现水井出水量减少,水温也相对下降,其主要原因可能有含水裂隙被砂土或其他物质充填、堵塞;滤水管的过滤网孔或缠丝间隙(外宽内窄)被砂粒、粘土颗粒堵塞。

我们选用钢质桥式滤水管。在制作滤水管时,先在管外垫筋、缠丝,然后再在外面包网,要求在径向形成外窄内宽的孔隙,孔隙角度为 45°。孔隙率根据含水层的特性来确定,一般控制在 30%~50%之间。滤水管上下适当部位还要加焊扶正器,以避免滤水管与井壁接触。采用这些措施可降低水头损失,增大出水量。

优化洗井工艺和抽水试验工作,同样是增大水井出水量的重要环节。我们使用六偏磷酸钠洗井与 JD 型深井泵抽水相结合的洗井方法。此外还要求钻井泥浆的 pH 值保持在 7 左右,以确保洗井效果。

抽水试验分别做 2 次降深,先做小降深 S_1 ,再做大降深 S_2 ,一般 $S_1 = S_2/2$,稳定时间不少于 30 d。增大降深变化要与小降深抽水连续进行。降深控制在 4~5 m 之间,最大 5~6 m,纯降深 1~2 m。采用这些措施,成井后单井出水量可增加 30%~50%。井口水温上升 3~5℃,水井使用寿命延长。

5 结束语

在地热钻井实践中,我们深深体会到,只要设备配套合理;合理组合钻具;抓好牙轮钻头选型及合理使用,正确选用钻井参数,提高钻头寿命;加强泥浆

管理;精细滤水管制作工艺;优化洗井与抽水工艺及低也能取得较好的经济效益。
合理采用经济承包责任制,即使是工程承包价格较(收稿日期 1999-05-04)

DRILLING TECHNOLOGY USED IN DEEP GEOTHERMAL WELL

Zeng Tiejun (No. 129 Crew, China National Administration of Coal Geology)

Abstract With respect to the strata characteristics in the deep geothermal resource development in Xi'an region, Some technical measures to increase the drilling efficiency of the deep geothermal well are described, and some successful experiences are summarized in conjunction with the particular cases.

Keywords geothermal well; deep water; drilling technology; experience