

甘肃敦煌城区 DR3 地热探采结合孔成井工艺

张耀辉

(甘肃省地矿局水文地质工程地质勘察院,甘肃 张掖 734000)

摘要:介绍了甘肃敦煌市区 DR3 地热探采结合孔成井工艺。该孔成功地引进了遇水膨胀橡胶止水,止水效果可靠,简便。用钻进泥浆泵固井永久止水、有效控制孔斜等技术措施,对类似地热井施工具有一定的参考价值。

关键词:探采结合孔;成井工艺;下管;止水;固井;遇水膨胀橡胶

中图分类号:P634 文献标识码:B 文章编号:1672-7428(2014)01-0033-04

Well Completion Technology for DR3 Geothermal Mining-exploiting Combination Well of Dunhuang/ZHANG Yao-hui (Institute of Hydrogeology and Engineering Geology, Bureau of Geology and Mineral Resources Investigation of Gansu Province, Zhangye Gasu 734000, China)

Abstract: The paper introduces the well completion process for DR3 geothermal mining-exploiting combination well in Dunhuang of Gansu Province. The water swelling rubber was successfully introduced for water stopping with simple and reliable effects. The techniques of the permanent water stopping by mud pump cementing and the effectively control on borehole inclination have certain reference values to the similar geothermal well construction.

Key words: combination of mining-exploiting borehole; well completion process; tube lowering; water stopping; cementing; water swelling rubber

1 工程概况

为开发利用地热资源,甘肃有色工程勘察设计研究院在敦煌市城区伊塘湖地区开凿地热井一眼。委托我院完成该项目钻探施工及成井工作。

工区位于敦煌市区敦煌宾馆院内,海拔约 1100 m。深居内陆,属典型的大陆性干旱气候,多年平均降雨量为 39.9 mm,多年平均蒸发量为 2452.17 mm,多年平均气温 9.4 ℃。冰冻期 11 月~3 月,最大冻土深度 144 mm。

2 施工设备

投入施工的设备为:TSJ-1000B 型钻机,TBW-850/5A 型泥浆泵,AS27/70t 型钻塔,以及相关附属工机具。

3 钻孔结构

如图 1 所示,设计确定 0~250 m 为泵室段,此段井径为 346 mm,下入 $\varnothing 273$ mm 石油套管并固井;250~1000 m 为主要含水层段,此段井径 250 mm,下入 $\varnothing 177.8$ mm \times 8.05 m 石油套管,其中 250~700 m(或 640 m)估计水温比较低(预计 13 ℃左右),确定预计止水位置为 700~640 m,依施工时取样决

定。700(或 640)~1000 m 为确定的热水层井段。此段按照物探测井结果排列花管下入井内。



图 1 地质设计的钻孔结构图

按照设计钻孔结构,我们根据施工需要,在满足设计要求的前提下,制定了图 2 所示的施工顺序钻孔结构图^[2]。

一开,先完成 $\varnothing 346$ mm 口径、0~298 m 孔段的钻进,并下入 $\varnothing 273$ mm 石油套管,材质 J55,用水泥固井作永久止水;

收稿日期:2013-08-09

作者简介:张耀辉(1969-),男(汉族),甘肃渭源人,甘肃省地矿局水文地质工程地质勘察院院长、工程师,探矿工程专业,从事生产技术及管理工作,甘肃省张掖市张火公路 203 号,laohan2013zy@163.com。

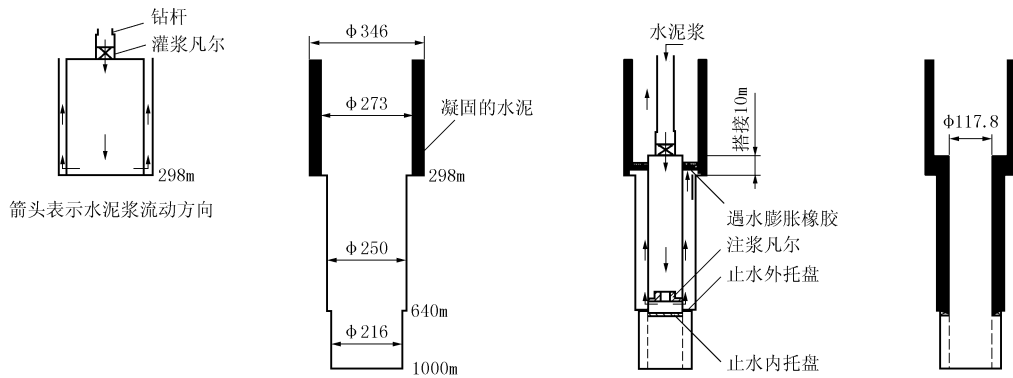


图2 止水成井示意图

二开,用 $\text{O}250\text{ mm}$ 钻头钻进从298~640 m;

三开,用 $\text{O}216\text{ mm}$ 钻头从640 m钻进至终孔1002.83 m。

第三阶段为测井、下管、固井工作,测井是为合理排列花管作准备工作。

4 下管及固井

4.1 下管

4.1.1 下管前的工作

现场下管时,必须按照物探测井结果和水文地质员根据岩心编录两者结合给出的下管数据,对所下入的井管进行排序,并量出长度,认真记录。计算所下管的质量,进行强度核算,确定设备提升能力是否满足;在套管上焊接内外止水盘;安装遇水膨胀橡胶环;安装固井凡尔;正反丝接手等,作好下管的准备工作,采用吊卡提吊法下管。防止下管混乱,出现止水位置及花管位置出错,造成不必要的损失。

4.1.2 换浆

下管前,对原孔内使用的钻进泥浆用稀泥浆进行顶替换浆,保证粘度达到22~25 s,密度为 $1.06\sim 1.07\text{ g/cm}^3$ 。

4.2 固井

4.2.1 固井水泥及压水量计算^[3]

(1) 孔径346 mm,井深298 m井段固井水泥及压水量计算

环空体积 V :

$$\begin{aligned} V_{\text{环}} &= k \cdot 3.14(D^2 - d^2)h \times 1/4 \\ &= (0.346^2 - 0.273^2) \times 3.14 \times 298 \times 1.05 \times 1/4 \\ &= 11\text{ m}^3 \end{aligned}$$

式中: $V_{\text{环}}$ ——一开钻进后下管后形成的环状间隙体积, m^3 ; k ——超径系数,取值1.05; D ——一开钻头直径,m; d ——一开钻进孔段下入的套管外径,m; h ——一开固井段套管长度,m。

查钻井手册^[1]知:100 kg水泥(干粉)配密度为 1.8 g/cm^3 的水泥浆,用水量为53.1 kg,水泥浆体积为85.6 L,即 0.0856 m^3 。水灰比为0.531。

则固井水泥:

$$V_{\text{水泥}} = 11 \times 100 / 0.0856 = 12850\text{ kg}$$

式中: $V_{\text{水泥}}$ ——一开井段固井水泥浆水泥用量,kg。

搅拌水泥用水为:

$$\begin{aligned} V_{\text{水}} &= \text{水灰比} \times 12850 \\ &= 0.531 \times 12850 \\ &= 6823\text{ kg} \end{aligned}$$

式中: $V_{\text{水}}$ ——一开井段固井水泥浆搅拌水泥用水量,kg。

压水量计算:

$$\begin{aligned} V_{\text{压水}} &= V_{\text{管内}} + V_{\text{地面管线}} \\ &= 3.14D^2h/4 + V_{\text{地面管线}} \\ &= 3.14 \times 0.2553^2 \times 298 \times 1/4 + 1 \\ &= 16\text{ m}^3 \end{aligned}$$

式中: $V_{\text{压水}}$ ——一开井段固井结束时的压水量, m^3 ; $V_{\text{管内}}$ ——一开井段固井结束时压水在下入套管内的量, m^3 ; $V_{\text{地面管线}}$ ——一开井段固井结束时压水在地面管线内的量,经计算为 1 m^3 ; D ——一开固井段下入套管的内径,m; h ——一开固井段套管长度,m。

(2) 孔径250 mm,孔深298~640 m井段固井水泥及压水量计算

环空体积:

$$\begin{aligned} V_{\text{环}} &= k \cdot 3.14(D^2 - d^2)h \times 1/4 \\ &= 1.05 \times 3.14 \times (0.25^2 - 0.1778^2) \times 362 \times 1/4 \\ &= 9.21\text{ m}^3 \end{aligned}$$

式中: $V_{\text{环}}$ ——二开固井段环状间隙体积, m^3 ; k ——二开井段超径系数,取值1.05; D ——二开固井段钻头直径,m; d ——二开固井段套管外径,m; h ——二开固井段套管长度,m。

查钻井手册^[1]知:100 kg 水泥(干粉)配密度为 1.8 g/cm^3 的水泥浆,用水量为 53.1 kg ,水泥浆体积为 85.6 L ,即 0.0856 m^3 。水灰比为 0.531 。

则固井水泥:

$$V_{\text{水泥}} = 9.21 \times 100 / 0.0856 = 10766 \text{ kg}$$

式中: $V_{\text{水泥}}$ ——二开井段固井水泥浆水泥用量,kg。

拌水泥用水为:

$$\begin{aligned} V_{\text{水}} &= \text{水灰比} \times 10766 \\ &= 0.531 \times 10766 \\ &= 5716 \text{ kg} \end{aligned}$$

式中: $V_{\text{水}}$ ——二开井段固井水泥浆搅拌水泥用水量,kg。

压水量计算:

$$\begin{aligned} V_{\text{压水}} &= V_{\text{管内}} + V_{\text{地面管线}} \\ &= 3.14D^2h/4 + V_{\text{地面管线}} \\ &= 3.14 \times 0.1618^2 \times (640 - 298) \times 1/4 + 1 \\ &= 7.02 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

式中: $V_{\text{压水}}$ ——二开井段固井结束时的压水量, m^3 ;
 $V_{\text{管内}}$ ——二开井段固井结束时压水在下入套管内的量, m^3 ;
 $V_{\text{地面管线}}$ ——二开井段固井结束时压水在地面管线内的量,经计算为 1 m^3 ;
 D ——二开固井段下入套管的内径,m;
 h ——二开固井段套管长度,m。

4.2.2 固井现场操作

4.2.2.1 打前置液

打前置液的目的是进一步稀释和分散钻井泥浆,防止钻井泥浆絮凝和胶凝,有效冲洗井壁及套管外壁上的泥浆和疏松泥饼,为水泥浆和它们间的胶结创造条件,因此,当井管下入并落实后,开泵送入稀泥浆,待稀泥浆循环正常后,打入前置液,其为 $2\% \sim 3\%$ 的氢氧化钠碱水溶液,打入量为 2 m^3 左右,对 $\text{Ø}346 \text{ mm}$ 井径形成约 21 m 厚的隔离带,对 $\text{Ø}250 \text{ mm}$ 井径形成约 41 m 厚的隔离带。

4.2.2.2 灌水泥浆

前置液打完后,按照前述计算好的数量压入水泥浆,在压水泥的过程中,要随时对搅拌好的水泥浆取样,监测浆液密度,保证泵送入到井内环的水泥浆的水灰比及水泥量符合设计要求,为保证灌注质量,实际泵入的水泥浆比计算多 3 m^3 左右,是保证浆头浆尾的稀释,这部分不参与凝固,浆头要泵出凝固段外,浆尾不泵入凝固段。

4.2.2.3 压水

水泥浆压完后,马上进行压水,压水量比计算量少压 1 m^3 是保证浆尾稀释部分不被压入凝固段。压水完成后,用转盘反开正反丝接手,提出孔内下井

管时下入的钻杆。固井注浆完毕。

5 遇水膨胀橡胶圈的使用

考虑到水泥在井中是沉淀性凝固的特点,用水泥固井有可能在套管搭接处,产生空洞现象,也就是说没有凝结的水泥浆,易产生冷水直接从搭接处进入井管内,造成热水温度降低,因此,我们使用了遇水膨胀橡胶圈(见图3)。其规格为 $\text{Ø}238 \text{ mm} \times \text{Ø}179 \text{ mm} \times 30 \text{ mm}$ (外径×内径×厚度),该遇水膨胀橡胶圈的特点是:浸入水中自动膨胀,无味无毒,耐高温,无水自动复原,膨胀系数在遇水 4 d 之后能增大 300 倍,将其套在套管上放在搭接处(见图4),在它膨胀前,我们可以完成下管、灌水泥浆、扫磨灌浆托盘等需要做的一切工作,然后等它膨胀封水。

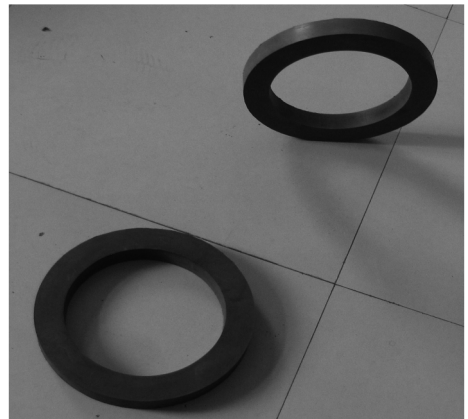


图3 遇水膨胀橡胶圈



图4 套在套管上的遇水膨胀橡胶圈

6 注浆凡尔(浮箍)的使用

两次固井都用注浆凡尔(浮箍),其规格与所下套管相配,为石油系统固井定型产品^[5],固井所用泵为 $\text{BW}850$ 型泥浆泵。在 $\text{Ø}346 \text{ mm}$ 孔径中注浆比较简单,注浆凡尔(浮箍)连接在井口就可以直接注浆了。在 $\text{Ø}250 \text{ mm}$ 孔径中注浆相对就要复杂,必须将注浆凡尔(浮箍)连接在孔深 639 m 处(因确定的止水位置 640 m)。外止水盘位置为 641 m ,内止水

盘位置为 640.5 m,外止水盘低于注浆凡尔(浮箍)2 m。是考虑到出浆管口尽可能离外止水盘远一点,在此空间中有沉淀的稠泥浆封隔水泥浆,防止水泥浆在注浆时下窜注入不需要注入的含水地段,同时在下完管后,有意识地停工 12 h,让泥浆颗粒充分沉淀,确保泥浆沉淀后的封堵效果。保证选定的止水位置不因工艺的问题而改变或受影响。

7 洗井

由于需要洗井的井段在 640~1000 m 处(热水段),下入的滤水管为 $\text{Ø}177.8 \text{ mm} \times 8.05 \text{ m}$,其内径为 161.7 mm,下管过程中,正反接手、浮箍、内止水盘等处的影响,其最小直径为 155 mm,所以,下管前通过在钻杆上制造的钢丝刷,对该段井壁泥皮进行了破坏,并通过稀泥浆携带到井口外,为下管后的洗井工作打下了基础;下管后,通过自制的钻杆射流器,向井管喷射清水和 8%~10% 焦磷酸钠水溶液,钻杆射流器的制作是在 1 m 长的短钻杆上,间隔 20 mm,呈梅花形钻 $\text{Ø}5 \text{ mm}$ 孔眼共 673 个,其面积为钻杆内径的 1/3,在泵量为 850 L/min、泵压为 0.5 MPa 下,流速达 11 m/s。在焦磷酸钠喷入后静止 24 h 达到浸泡的目的。浸泡时间足够后,用钻杆活塞通过升降系统提升和下降,制造井内抽吸和压力“激动”,达到洗井的目的,活塞直径为 145 mm,相距 1.5 m 两个点安装,活塞抽拉 2 天后,泵送粘度 20 s 左右的稀泥浆循环,将井内通过洗井洗出的细砂和泥皮排出井外,直到循环到呈混水,没有明显的细砂和泥皮,下泵试抽,起初抽出的水为混水,约 6 h 后水质明显变清,继续抽约 24 h,达到水清砂尽,开始抽水试验确定水量及水位。抽水试验结果表明,静止水位埋深 27.41 m,单井出水量 53.676 m^3/h ,水温 38 $^{\circ}\text{C}$ 。

8 结语

(1)通过引入新型材料遇水膨胀橡胶,解决了套管搭接处的止水问题,并在 640 m 变径处也可以使用膨胀橡胶止水,代替了海带等传统的止水材料,止水效果可靠,简便。

(2)用钻进泥浆泵固井永久止水,改变了以往石油系统专用固井设备固井的作法,作为止水是满足要求的,节省了费用,降低了成本。在水泥用量和固井部位相同的情况下,请专业固井队固井一次,费用约 8 万元左右。用自己的钻进设备泥浆泵和搅拌机,固井一次只是占了一个班的施工时间而已,止水效果完全可以满足要求。

(3)钻进过程中,使用了扶正器,并在换径处使用扶正和导向,控制了井斜,下管很顺利。其井斜在开孔和换径 50 m 后重点进行了监测,符合要求,钻进至设计井深后,STX-1 型陀螺测斜仪测斜结果见表 1。

表 1 DR3 井斜测斜结果

孔深/m	顶角/($^{\circ}$)	孔深/m	顶角/($^{\circ}$)	孔深/m	顶角/($^{\circ}$)
20	0.10	360	0.20	700	1.80
40	0.10	380	0.15	720	2.20
60	0.13	400	0.30	740	2.50
80	0.14	420	0.35	760	2.55
100	0.15	440	0.40	780	2.55
120	0.13	460	0.40	800	3.25
140	0.13	480	0.50	820	3.55
160	0.15	500	0.60	840	3.60
180	0.13	520	0.80	860	3.60
200	0.14	540	1.00	880	4.20
220	0.14	560	1.28	900	4.60
240	0.16	580	1.30	920	4.60
260	0.15	600	1.30	940	4.60
280	0.16	620	1.34		
300	0.18	640	1.35		
320	0.17	660	1.40		
340	0.17	680	1.60		

参考文献:

- [1] 黄卫东,付帆,胡继良,等.多功能复合剂在伊塘湖矿区 ZK11-1 孔的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(5).
- [2] 刘文新,张长茂,鲍洪智,等.YR-3 井井身结构设计及固井技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(6).
- [3] 宋涛,陈志海,张树宝,等.唐山曹妃岛大酒店缩径软层地热深井设计与施工[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(7).
- [4] 丁同领,高磊.武汉-1 超深地热井钻井成井工艺[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(8).
- [5] 赵金洲,张桂林.钻井技术手册(第二版)[M].北京:中国石化出版社,2011.

祝广大探工界同仁新春快乐!马年吉祥!