

# 武汉-1超深地热井钻井成井工艺

丁同领, 高 翥

(河南省地矿局第一水文地质工程地质队, 河南 郑州 453000)

**摘 要:**根据设计要求及地质特征,武汉-1超深井采用回转钻进、泥浆泵正循环、牙轮钻头钻进、钻铤给压钻进工艺,采用合理的钻探技术参数保证地热井结构及垂直度符合设计要求,并对泥浆进行降密度、提粘、提切并加入适量堵漏剂的方法堵漏,取得了良好效果。抽水试验说明该井出水能力较强,热储层含水层富水性较好,且水温不受气温影响,在井流试验过程中水温损失所占比例较小,证明了本井的钻井和成井技术是合理的。介绍了武汉-1井的钻井成井工艺及抽水试验成果。

**关键词:**钻井;井身结构;堵漏;抽水试验;水质评价

中图分类号:TE249 文献标识码:A 文章编号:1672-7428(2012)08-0023-03

**Drilling and Completion Technology for WH-1 Ultra-deep Geothermal Well/DING Tong-ling, GAO He** (No. 1 Hydrogeology and Engineering Geology Team, Henan Provincial Bureau of Geo-exploration and Mineral Development, Zhengzhou Henan 453000, China)

**Abstract:** According to the design requirements and geological characteristics, rotary drilling, mud pump positive cycle, cone bit, pressure by drill collar processes were adopted in the construction of Well WH-1. The formation structure and spatial distribution of aquifer within logging depth were got through geophysical logging. Good plugging effect was obtained by mud density reduction, viscosity enhancing, mud thickening and adding an appropriate amount of blocking agent. The pumping test shows the good water yield ability, good water abundance in geothermal reservoir aquifer and the water temperature is not affected by air temperature. The water temperature loss is small in the well flow test, which proves that the drilling and completion technologies are rational. The paper introduced the Well WH-1 about its drilling and completion technologies as well as pumping test results.

**Key words:** well drilling; casing program; plugging; pumping test; water quality assessment

地热资源作为一种新兴的绿色能源,应用广泛,易于开发,费用低廉,无环境污染,具有其他能源无法比拟的优越性。地热资源的开发利用,将资源优势转化为经济优势,对于实现经济快速发展和生态良性循环具有重要意义。随着国民经济的发展和世界性能源的日趋紧张,地热作为一种可供人们开发利用并有着巨大发展前景的新兴能源,有着巨大的经济开发潜力。

## 1 地质概况

武汉地区的地热资源以温热水、热水地热田(或泉)为主,目前开发利用程度相对较低,许多地热资源未得到充分利用。武汉-1(WH-1)井位于武汉市江夏区五里界镇介子山庄内,属于探采结合井。设计井深1500 m,开孔直径 $\leq 300$  mm,终孔直径 $\leq 150$  mm,因该井属于探采结合井,设计出水量 $\leq 20$  m<sup>3</sup>/h。此区域的地热储层为二叠系-石炭系石灰

岩,含水层以灰岩为主,砂岩次之。由于目的层二叠系大隆组、龙潭组、孤峰组、栖霞组,石炭系船山组、黄龙组石灰岩目标热储层位上移,出水温度较低。

## 2 钻井施工

### 2.1 施工要求及规范

由于地热井长期处于高温状态,和普通水井相比,必须严格控制套管程序,严格进行固井、止水,否则凉水进入井内,会导致水温下降,即串水现象的发生。固井采用耐高温水泥,还要防止串水可能带来的事故。地热水含有多种化学物质,加之温度较高,因此对钻具、管材腐蚀特别严重。因此应选用强度高,热膨胀率小,耐酸、盐腐蚀的管材,或采用石油钻杆和套管<sup>[1]</sup>。

WH-1井使用GZ-2000型钻机施工。根据设计要求及该地区地质特征,采用回转钻进、泥浆泵正循环、牙轮钻头钻进、钻铤给压钻进工艺,采用合理

收稿日期:2012-02-28;修回日期:2012-05-11

作者简介:丁同领(1966-),男(汉族),河南商丘人,河南省地矿局第一水文地质工程地质队副总工程师、高级工程师,钻探专业,硕士,从事地热钻井技术工作,河南省郑州市郑花路86号,sgydl@163.com。

的钻探技术参数保证地热井结构及垂直度符合设计要求。

前100 m钻进过程中,要求每50 m测孔斜一次,200 m以深采用施工中裸眼测井,终孔后采用物探测井,小于或等于100 m井段孔斜度不得超过 $1^\circ$ ,大于100 m的井段每100 m顶角偏斜递增速度不得超过 $1.5^\circ$ 。钻孔大部分采用无心钻进,全孔岩屑录井,并做好编录工作。岩屑录井间距为5 m,对热储层、盖层及其他重要的有代表性的岩层必须进行分段取心。

## 2.2 井身结构设计

在水井结构设计上,国内为防止细颗粒地层的涌砂问题和增加单井出水量,一般把钻孔的开孔直径设计定为550~1000 mm,终孔直径250~450 mm,在实际水井结构设计时会单纯地增加井径和填砾厚度来增加出水量。这样的结果就是增加了设备的负荷和钻井成本,同时也降低了钻井效率。通过对不同水源地不同地层的钻孔资料统计分析可发现,不同地层的钻孔口径对出水量的影响是不同的,不成正比直线关系。粗颗粒地层中,在 $\varnothing 300 \sim 700$  mm之间单位涌水量随钻孔口径增加而增大,且钻孔口径越大,单位涌水量增加越明显;而在细颗粒地层中钻孔口径与单位涌水量关系不大<sup>[2]</sup>。

WH-1井所处地层岩性以致密砂岩、泥岩和灰岩为主,单位涌水量不会因钻孔口径的增大而增大。因此,该井不需要通过增加井径和填砾厚度来增加涌水量。为了降低钻进成本并结合地层特性和牙轮钻进工艺特点,WH-1井一开使用 $\varnothing 445$  mm镶齿牙轮钻头钻进,钻进至孔深43.84 m处,下入 $\varnothing 377$  mm无缝石油套管,下入深度0~43.84 m,并采用42.5R优质水泥2.4 t进行固井,水泥浆上返至地面,保压、凝固72 h以上。二开使用 $\varnothing 311$  mm镶齿牙轮钻头钻进,钻进至孔深504.99 m处,因地层变化较大未见下部目标层位,故变径继续钻探。三开井眼使用 $\varnothing 216$  mm镶齿牙轮钻头钻进,钻进至孔深1951.04 m,达到本次地热井勘探任务深度,终孔层位为志留系泥岩层。

## 2.3 钻探技术

本井采用镶齿牙轮钻头进行钻进。牙轮钻头是单双齿交替产生钻头轴向往复而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;钻压小则钻速慢、成井周期长、上部井壁裸露时间长而受到机

械液动破坏程度严重<sup>[3]</sup>。因此保证合理稳定的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。本井钻进过程中,钻压值 $P(\text{kN})$ 取 $(4 \sim 10)D$ ( $D$ 为钻头直径,mm)。地层较硬、钻井较深时取上限值;地层较软、钻进较浅时取下限值。主动钻杆的转速 $n(\text{r}/\text{min})$ 取 $(6 \sim 12)D$ 。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 $Q(\text{L}/\text{min})$ 取 $180D$ 。

WH-1井开孔5 m即钻至基岩层,由于开孔口径大,岩层致密、硬度高,普遍达到7级以上,钻进速度缓慢;变径 $\varnothing 311$  mm以后遇到多个漏失段,投入大量时间和精力进行堵漏,堵漏时在增大泥浆粘度和动切力、降低泥浆密度的同时,还在泥浆中加入桥接堵漏剂;变径 $\varnothing 216$  mm后一直至完孔,整体以砂岩、泥岩、砂质泥岩为主,致密、硬度高,效率缓慢,中间数次加深,工期较长。泥浆所用材料为膨润土、Na-CMC、PAM、 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,泥浆性能指标为:粘度22~24 s,密度 $1.05 \sim 1.10 \text{ g}/\text{cm}^3$ ,pH值8~9,含砂量 $< 4\%$ ,失水量为15~18 mL/30 min。整个钻进过程中,泥浆温度变化不大,整体漏失情况500 m以浅明显,其中在115~123、168.72~169.62、205.96~211.80、216.10~221.00、320.80~332.97、388.58~392.18 m处漏失明显,裂隙发育。

## 3 物探测井

### 3.1 测井方法

本次测井工作使用仪器为TYSC-Ⅲ型数字测井仪,此仪器为高精度数字化多功能测井仪器。共采集参数5个,得出测井曲线4条,包括视电阻率梯度、自然电位、自然伽马、井温及井斜等。采样间隔5 cm,实际测井深度为1950.20 m。

### 3.2 测井成果解释

通过对野外曲线的整理,应用相应的软件绘制了数字测井综合成果图。由此得出,该井518.8 m以浅含水层岩性以灰岩为主,砂岩次之,含水层单层厚度一般为8 m左右,最厚30.2 m,总厚度113.2 m;非含水层岩性以泥岩、砂质泥岩为主。518.8 m以深含水层岩性以细粒砂岩、中粒砂岩为主,最大单层厚度33.7 m,总厚度300 m;非含水层岩性以泥岩、砂质泥岩为主。孔底测井温度为 $53.6^\circ\text{C}$ ,最大井斜为 $2.2^\circ$ 。

## 4 洗井及抽水试验

### 4.1 洗井

成井工艺是指探井、换浆、安装井管、填砾、封闭以及洗井、抽水试验、采集水样等工序的总称,因此洗井是成井工艺的一个承前启后的关键工序<sup>[4]</sup>。WH-1井终孔后孔底温度53.60℃,采用优质工艺对套管固井,从而保证了出水温度达到良好的效果。在终孔电测工作完成以后,开始了后期的洗井工作,先用清水替清井内泥浆,后采用焦磷酸钠洗净液分两次浸泡含水段,并同时采用自制毛刷刷洗井壁,自制喷水器冲洗裸孔段砂岩井壁,清水替清拉活活塞洗井,以降低裂隙段的堵塞程度,经过物理方法和化学方法洗井,本井达到了理想的出水效果。

#### 4.2 抽水试验

洗井工作结束后,在开始试验以前一直进行间断性抽水,实验前测的静水位埋深为16.25m,抽水实验持续7天。抽水试验成果见表1。

表1 抽水试验成果

次数	静水位/m	降深/m	恢复水位/m	出水量/(m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	单位涌水量/(L·(s·m) <sup>-1</sup> )	稳定时间/h
1	16.25	8.86	16.25	3124.48	4.0816	24
2	16.25	3.94	16.25	2409.78	7.0789	16
3	16.25	2.34	16.25	1914.62	9.4700	16

用扬程为150m、上水量为80m<sup>3</sup>/h的潜水泵进行抽水试验,水位测量采用万能表、导线及重锤,水量测量利用三角堰箱,进行了3个落程的抽水试验,并绘制 $Q=f(s)$ 、 $q=f(s)$ 曲线,如图1、图2所示。

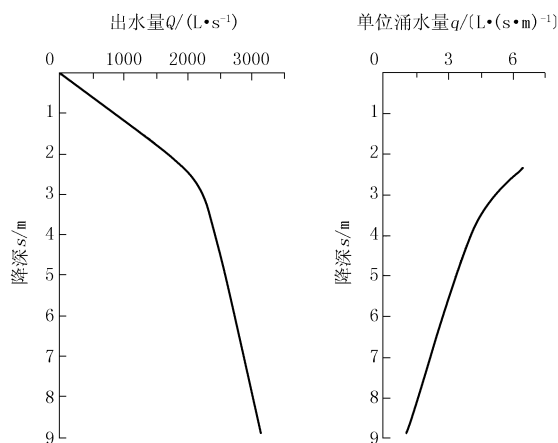


图1 抽水试验  $Q=f(s)$  曲线 图2 抽水试验  $q=f(s)$  曲线

从图1、图2曲线上可以看出:涌水量较快稳定的同时,动水位也较快稳定,涌水量增大,动水位相应增大,未发现任何异常现象,充分说明该井出水能力较强,热储层含水层富水性较好; $Q=f(s)$ 、 $q=f(s)$ 曲线属于正常曲线,说明本次井流试验是成功的;由抽水实验结果来看,水温随着涌水量或气温的变化而不发生变化,说明水温不受气温影响,在井流

试验过程中水温损失所占比例较小。

#### 5 水质评价

本井在抽水试验结束前,采集了全分析、微量元素分析等井水样品2个,进行了水质评价。WH-1井地下热矿水中阳离子主要有 $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Ca}^+$ 、 $\text{Mg}^+$ ,其中 $\text{Na}^+$ 含量为5.20mg/L,其毫克当量百分数为4.0%; $\text{K}^+$ 含量为0.90mg/L,其毫克当量百分数为0.40%; $\text{Ca}^+$ 含量为83.73mg/L,其毫克当量百分数为73.60%; $\text{Mg}^+$ 含量为15.16mg/L,其毫克当量百分数为22.00%。

WH-1井地下热矿水中阴离子主要有 $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{CO}_3^{2-}$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ ,其中 $\text{HCO}_3^-$ 含量为333.72mg/L,其毫克当量百分数为95%; $\text{CO}_3^{2-}$ 含量微小; $\text{Cl}^-$ 含量为3.58mg/L,其毫克当量百分数为1.70%; $\text{SO}_4^{2-}$ 含量为9.03mg/L,其毫克当量百分数为3.3%。

本井目的层地下热水pH值为7.30,属于弱碱性水,其中还含有许多对人体有益的矿物质及微量元素,综合本井地热水的水温水质特点,可用于洗浴和生活用水。

#### 6 结语

(1)本井所处地层为致密岩层,钻孔口径不受涌水量的限制,选择采用中小口径牙轮钻头钻进。

(2)钻进过程中钻压、转速和泵量的选取要符合减少事故、高效钻进的原则;钻进至100m以后时遇到漏失地层,采取了对泥浆进行降密度、提粘、提切并加入适量堵漏剂的方法堵漏,效果良好。

(3)开采热储层为二叠系-石炭系石灰岩裂隙构造较发育的地层,上覆盖层为三叠系灰岩、泥岩地层,热储水层厚度为468.8m。

(4)建议使用扬程在80m、上水量为100m<sup>3</sup>/h的深井潜水泵用于开采使用,下泵深度>40m。

#### 参考文献:

- [1] 彭新明,张勇,赵立新.北京地区地热井钻探工艺发展[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2004,31(8):56-59.
- [2] 卢予北.水井工程技术现状与展望[J].探矿工程,1999,(2):38-41.
- [3] 曾铁军.深层地热水井钻探工艺[J].煤田地质与勘探,2000,28(1):60-63.
- [4] 柯柏林,丁连靖,周艳富,等.地热井洗井及增产工艺技术探讨[J].城市地质,2008,3(1):5-10.
- [5] 卢予北.郑州市超深层地热资源科学钻探工程[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2005,32(7):43-47.