

# YR-3井井身井管结构设计及固井技术

刘文新,张长茂,鲍洪智,李砚智,宋少辉

(河北省地矿局第三水文工程地质大队,河北衡水053000)

**摘要:**以YR-3井为例,阐述了牛驮镇地热田从下伏石灰岩-白云岩完整地层钻取地热水时的多级成井结构及固井技术。该技术可有效地克服因地层漏失造成的孔壁坍塌及因设备能力偏小而造成的固井困难。经多眼井施工证明,该方法是牛驮镇地热田及类似地层地热井施工的有效方法。

**关键词:**地层漏失;坍塌;多级成井结构;水泥固井

**中图分类号:**TE249 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2012)06-0035-04

**Design of Casing Program for YR-3 Well and the Cementing Technique/LIU Wen-xin, ZHANG Chang-mao, BAO Hong-zhi, LI Yan-zhi, SONG Shao-hui (No.3 Team of Hydrogeology and Engineering Geology, Hebei Bureau of Geology and Mineral Exploration, Hengshui Hebei 053000, China)**

**Abstract:** With the example of YR-3 well, the paper discussed the multilevel well completion structure and cementing technology of drilling for geothermal water in underlying limestone-dolomite complete formation of Niutuozhen geothermal field. With this technology, borehole collapsing caused by circulation loss and cementing difficulties due to low equipment capacity can be effectively solved. Construction of several wells proved that it is a successful and effective method for Niutuozhen geothermal field and the similar ones.

**Key words:** circulation loss; collapsing; multilevel well completion structure; slurry cementing

## 1 概述

地热水多从石灰岩-白云岩地层中钻取,其上部经常覆盖第四系、第三系及其它古老地层。近年来,由于地下水的大量开采,造成一些地区石灰岩-白云岩地层水位严重下降,当钻遇该地层时经常遇到泥浆严重漏失,若采用一次性下管,会导致上部松散地层坍塌,严重时会造成埋钻事故。为保证施工安全,在钻至取水层前需两三次下入不同径别的井管作为技术套管进行对接,同时为稳固井管、封堵地层、防止不同水层间的相互污染,需要进行水泥固井。2009年,我队施工的YR-3井就是上述地层的典型地热井施工,该井施工深度2200m,出水温度80℃,施工工期90天,质量优良。

YR-3井位于河北省牛驮镇地热田东部边缘,地处河北省永清县境内。河北省牛驮镇地热田为华北地区目前发现的地热地质条件最好的地热田,该地热田南起河北省雄县,北至河北省固安县牛驮镇一带,地热田分为2个大的热储层:一是上第三系明化镇组热储层,含水层以中细砂岩为主,胶结松散,底界深度500~1000m,成井后水温在45~55℃之间;二是基岩热储层,包括青白口系、蓟县系铁岭组

和雾迷山组。其中蓟县系铁岭组和雾迷山组为主要热储层,目前已大量开发利用,地热井主要分布在雄县县城、白洋淀温泉城和固安县牛驮镇一带;主要岩性为白云岩、白云质灰岩和燧石条带白云岩,可钻性6~11级,出水温度65~91℃。近年来,随着地热井数量的迅速增多,地热水的大量开采,水位大幅下降。据资料显示,雄县县城、白洋淀温泉城和牛驮镇一带大部分地热井的静水位已由1995年开发初期的自流量20~110m<sup>3</sup>/h,水头高10~22m,降至目前静水位60多米以深;地热田开发初期的一些井,由于泵室管下得少(100m左右),已出现或面临抽不上来水的境况;同时由于水位下降(热储层压力下降),部分井在刚钻开基岩风化壳时就出现了因泥浆骤然漏失而造成上部松散地层坍塌的问题。YR-3井蓟县系取水层埋藏较深,上覆地层复杂,为牛驮镇地热田较难施工的一眼地热井,施工工艺颇具代表性。现将该井施工中的井身井管结构设计及井管固井技术措施作一介绍,以供参考。

## 2 地层情况

0~410m,第四系覆盖层;410~900m,上第三

收稿日期:2011-12-15;修回日期:2012-02-03

**作者简介:**刘文新(1965-),男(汉族),河北武邑人,河北省地矿局第三水文工程地质大队高级工程师,探矿工程专业,从事水文水井、地热井、油气井及可溶盐对接井等钻探施工技术及管理,河北省衡水市红旗大街808号,lwxswsd@163.com;张长茂(1964-),男(汉族),河北深州人,河北省地矿局第三水文工程地质大队高级工程师,探矿工程专业,从事水文水井、地热井、油气井及可溶盐对接井等钻探施工技术及管理,hbssdzgs@126.com。

系明化镇组地层;900~1400 m,寒武系地层;1400~1700 m,青白口系地层;1700~2200 m,蓟县系铁岭组及雾迷山组灰岩-白云岩地层。

### 3 井身井管结构设计

#### 3.1 井身井管结构

0~330 m,井径444.5 mm,下入 $\varnothing 339.7$  mm $\times$ 9.65 mm石油套管;330~910 m,井径311 mm,下入 $\varnothing 244.5$  mm $\times$ 8.94 mm石油套管,管长610 m;910~1710 m,井径216 mm,下入 $\varnothing 177.8$  mm $\times$ 8.05 mm石油套管,管长830 m;1710~2200 m,井径152.4 mm,裸眼。井身井管结构如图1所示。

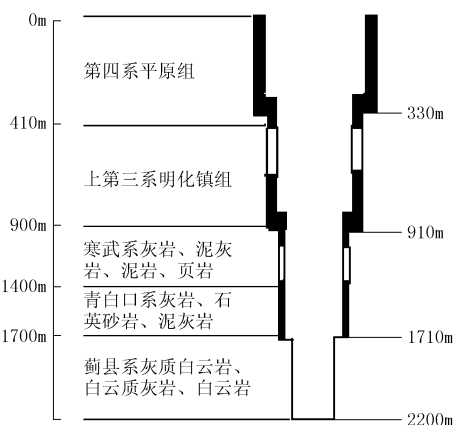


图1 YR-3井身井管结构

#### 3.2 设计原则

(1)考虑出水量及牙轮钻头直径要求,取水层井径应不小于152.4 mm;地层稳定,采用裸眼。

(2)该地区对生产井要求上部技术套管(泵室管)直径 $\leq 339.7$  mm,长度 $\leq 300$  m。

(3)钻遇寒武系地层后,可能存在灰岩裂隙而导致泥浆漏失,从而造成上部松散地层坍塌,二开深度设计到寒武系地层顶部。

(4)寒武系、青白口系地层中的泥灰岩、泥岩、页岩遇水易膨胀、坍塌,应下入技术套管保护。三开深度设计到蓟县系完整灰岩-白云岩顶部。

(5)石油套管应与牙轮钻头尺寸合理配合。

(6)为稳固井管、保证密封,井管对接长度 $\leq 30$  m。

考虑以上主要因素,该井设计为四开结构,同时考虑受施工场地及固井设备能力限制,第二、三次下管后采用穿鞋-戴帽水泥固井。

### 4 施工设备

GZ-2000型钻机,TBW-1200/7B型泥浆泵,配套电动机,备用发电机。

### 5 水泥固井

#### 5.1 水泥选择

固井水泥一般选择API中的A级(普通型)、G级油井水泥。YR-3井选择A级油井水泥,其深度范围0~1830 m,温度77℃以内。主要物理性能:水灰比0.46时,初级稠度 $< 30$ ;稠化时间 $> 90$  min(在45℃、27.2 MPa试验条件下);抗压强度12.66 MPa(在38℃、常压、24 h养护条件下)。

#### 5.2 水泥浆配置

现场准备好30 m<sup>3</sup>左右的水泥池(大于一次固井配制水泥浆量),水泥池平时储存钻井用清水,固井时做配制水泥浆用。

(1)配制1 m<sup>3</sup>水泥浆需用水泥量计算公式:

$$Q = \rho_c (\rho_s - \rho_w) / (\rho_c - \rho_w)$$

式中:Q——需用水泥质量,t; $\rho_c$ ——水泥密度,g/cm<sup>3</sup>; $\rho_w$ ——配浆水密度,g/cm<sup>3</sup>; $\rho_s$ ——水泥浆密度,g/cm<sup>3</sup>。

(2)配制1 m<sup>3</sup>水泥浆用水量计算公式:

$$V_w = m \rho_c \rho_w / (\rho_w + m \rho_c)$$

式中:m——水灰比; $V_w$ ——用水量,m<sup>3</sup>。

(3)计算环空水泥浆用量时应考虑不同地层的超径系数。

(4)常用不同密度水泥浆的水灰比、体积与质量换算见表1。表1中取干水泥重度为3.15 g/cm<sup>3</sup>。

表1 常用不同密度水泥浆的水灰比、体积与质量换算

水泥浆密度 /(g·cm <sup>-3</sup> )	水灰比 /%	配制1 m <sup>3</sup> 水泥浆 所需干水泥量/t	配置1 m <sup>3</sup> 水泥 浆所需清水量/t
1.80	53.2	1.17	0.628
1.81	52.3	1.19	0.623
1.82	51.5	1.20	0.619
1.83	50.5	1.22	0.614
1.84	49.5	1.23	0.609
1.85	48.5	1.25	0.605
1.86	47.5	1.26	0.600
1.87	46.7	1.27	0.595
1.88	45.8	1.29	0.590
1.89	45.0	1.30	0.585
1.90	44.1	1.32	0.581

(5)现场水泥浆配制可采用以下几种方法:①按规定水灰比在搅拌机中少量搅拌,均匀后放入水泥池,达到用量后用泥浆泵一次性注入井内;②水泥池中放入所需水量,边倒入干水泥边用泥浆泵高压回水喷枪搅拌,均匀后用泥浆泵注入井内(若水泥浆用量大可分2次以上搅拌注入);③将泥浆泵回水喷枪连接在放于水泥池边的搅拌漏斗下部的水管上,泥浆泵吸水管放入水泥池水中,开启泥浆泵,倒入漏斗内的干水泥经漏斗下部高速水流冲刷、混合

至水泥池,达到用量后再用泥浆泵回水喷枪直接搅拌均匀后注入井内。

### 5.3 固井技术措施

#### 5.3.1 0~330 m 井段

为稳固井管、防止水层污染,Ø339.7 mm 技术套管采用全段水泥固井。主要措施:

(1)因井管内径较大,泵量相对较小,如果从密封井口直接压入水泥浆,水泥浆在管内下流速度较慢,易形成窜流,因此不能从密封井口直接向井管内注入水泥浆。

(2)钻杆下深至320 m左右,井口密封,注完替浆水后井管底部应留有3~5 m水泥浆柱,保证井管底部的固井质量。关闭高压阀门,防止水泥浆倒返。水泥浆柱上部至钻杆底部要留有一定高度的水柱,以防因替浆水计算误差、实际注入量误差,导致因替浆水偏少钻杆被水泥固住,或替浆水偏多水泥浆被完全顶出井管。

(3)待水泥凝固2 h左右后,打开高压阀门及回水阀门,若返水则关闭阀门继续候凝,至水泥浆达到初凝不返后,打开密封提出钻杆。

(4)候凝时间必须确保水泥石强度达3.5 MPa以上时方可钻掉水泥塞。

#### 5.3.2 300~910 m 井段

实际施工中由于各种条件限制,经常无法使用大型固井设备,而现场由于泥浆泵额定泵压(7 MPa)所限,难以实现Ø244.5 mm技术套管全段水泥固井。在有效稳固井管、防止不同水层相互污染的情况下,需要采用穿鞋-戴帽的固井方法。水泥浆从Ø244.5 mm技术套管底外环隙上返300 m,套管顶外环隙压入100 m,完全封堵第四系地层,防止第四系、第三系地层水层间的相互污染。

(1)穿鞋注水泥浆时Ø244.5 mm技术套管与钻杆采用反丝接头连接,送至井底。

(2)Ø244.5 mm技术套管应在适当位置安装单向凡尔,一是顶完替浆水后即可倒扣,既可以防止因水泥浆凝固后倒扣困难(丝扣间隙内可能进入水泥浆),又可以防止因压差产生水泥浆倒流,二是减轻井管质量。

(3)先后注入前置液、水泥浆、替浆液。

(4)倒扣后钻杆上提1~2 m,待水泥浆初凝一段时间后开始戴帽注水泥浆。

(5)井口封闭前将钻杆内的泥浆用清水替出(用清水易于压漏含水层)。

(6)井口封闭后泵入清水直至压漏含水层(压

漏泵压一般为3~6 MPa),如遇压漏困难,可将泵压憋至额定泵压值后保持一段时间,泵压会慢慢下降,证明已压漏地层,待泵压下降至稳定后先注入适量隔离液,然后开始戴帽注入水泥浆。

(7)泵入替浆液,打开井口密封,提出钻杆,待水泥浆候凝。

(8)检验固井质量,要求泵压6 MPa,30 min内泵压下降小于0.5 MPa。

#### 5.3.3 880~1710 m 井段

采用穿鞋-戴帽固井方法。穿鞋水泥环高度300 m,戴帽水泥环高度100 m。水泥固井主要目的是为了稳固Ø177.8 mm技术套管,封堵、隔离寒武系与青白口系灰岩水。固井方法与Ø244.5 mm技术套管固井方法相同。

### 5.4 相关技术措施

(1)下管前如遇漏失地层要调整泥浆性能进行堵漏;基岩微小缝隙漏失用单封、锯末及其它堵漏材料堵漏;基岩大裂隙用水泥堵漏。必要时在水泥浆中加入适量堵漏剂。

(2)为保证井内井管居中,防止水泥浆环窜槽,管外应下入扶正器。

(3)固井前泥浆泵工作正常,备好备用动力源。

(4)替浆水计算准确,实际注入量准确。

(5)井口密封处要焊接牢固,不得有砂眼、裂缝。通过注水泥浆前先循环泥浆或戴帽前的顶漏可检查井口密封情况,确认密封牢固后再注入水泥浆。

(6)注入水泥浆前应先注入一定量的前置液,达到清洗、缓冲、隔离的作用。

(7)戴帽注水泥浆有时会遇到以下情况:①地层被压漏后井内静止液面失去平衡下降,泵压几乎为零。如果将钻杆停留在井管顶部注入水泥浆,井内液柱压力平衡后会导致水泥浆环下移,达不到戴帽效果。应通过计算,将钻杆上提一定高度后注入水泥浆(提升高度应为注入水泥浆后井内液柱达到压力平衡后液面下降的高度),以保证液柱压力平衡后水泥浆环正好处于戴帽位置。②为保证戴帽注水泥成功,穿鞋水泥环上部井段应留有含水层,含水层位置根据测井及钻进泥浆漏失情况确定,必要时减少穿鞋水泥环高度,增加戴帽水泥环高度。

(8)整个注水泥过程应严格控制在水泥浆稠化时间之内(一般不超过2 h)。

### 6 前置液的注入

在注入水泥浆之前应先注入前置液,前置液按

其所起作用分为冲洗液和隔离液。冲洗液的作用是稀释和分散钻井液,有效冲洗井壁和套管,提高水泥石与套管及地层间的胶结强度。冲洗液应具有较高的流动性,易达到紊流,并且具有很强的冲洗和去污能力。冲洗液的使用一定要适量,否则会冲垮井壁,造成井内事故。本井采用CMC水溶液作为冲洗液,密度为 $1.02 \sim 1.03 \text{ g/cm}^3$ ,用量在环空中占200 m左右高度。

隔离液是在冲洗液之后注入,其作用是有效隔开冲洗液与水泥浆,能形成平面推进型的顶替效果,对低压、漏失层可起缓冲作用,具有较高的浮力及拖拽力。隔离液一般为粘稠的液体,其粘度较冲洗液要大,密度稍高,静切力应稍大。本井隔离液采用CMC提粘、重晶石粉提高密度,粘度30 s,密度 $1.25 \text{ g/cm}^3$ (钻井液粘度为25 s、密度为 $1.18 \text{ g/cm}^3$ )。

## 7 提高注水泥质量的措施

注水泥过程中由于管外水泥浆充填不完整,会造成不能有效地封隔不同水层,以及因固井质量不良在生产中引起套管的变形,为防止此类现象发生,就要提高水泥浆的顶替效率,防止注水泥浆过程中发生窜槽,需要采取以下措施。

(1)保证井管在井内居中。采用套管扶正器,改善套管居中条件,在井斜角、方位角变化不太剧烈的井段采用弹性扶正器,在井斜角、方位角变化较大的井段采用刚性扶正器。

(2)条件允许的情况下,在注水泥过程中活动套管,活动套管时由于摩擦阻力的存在,会使钻井液与套管一起运动,使钻井液获得一个牵引力,这个力使死区的钻井液获得一定的流动速度,帮助水泥浆替走该区的钻井液。YR-3井在第二、三次下管固井时采用了上下活动套管的方法,有利于提高注水泥质量。

## 8 固井工程中的防漏堵漏措施

施工相关井经常遇到的难点是井漏问题,一是下管前钻进中的井漏问题,二是固井过程中的井漏问题,二者属于同类性质。即使下管前进行了有效堵漏,尤其是用在泥浆中加入堵漏材料的方法解决石灰岩孔洞地层的大量漏失,固井过程中很可能再次发生井漏。采用正确的固井措施可以有效预防固井工程中井漏的发生。

### 8.1 固井工程中的防漏措施

(1)控制下管速度,从而控制环空流阻增加与压力“激动”。

(2)下管过程保持环空泥浆流动,不产生过大结构力。井管下部安装单向凡尔,下管过程中井内泥浆不进入井管而从管外环空返出,可保持环空泥浆流动。

(3)井管下至设计井深后,控制小排量顶通,在井下流体结构强度充分破坏后,逐渐增大排量。

(4)水泥浆上返接近预返高度时,由于环空液柱压力有较大增长,应严格控制顶替排量。

(5)降低水泥浆、泥浆的密度,以减小环空液柱压力。必要时可考虑降低水泥上返高度。

(6)调节水泥浆、泥浆的流变性,降低环空流动阻力。

(7)在水泥浆中加入堵漏材料,对高渗透、微缝地层有防漏效果。

(8)对井深底部以上100 m以内的完全漏失层,下管前必须进行水泥堵漏,以保证穿鞋水泥环高度 $< 100 \text{ m}$ 。

### 8.2 固井工程中的堵漏措施

(1)穿鞋高度内如有不完全漏失层,可在该层顶部安装水泥伞,以托住水泥环,保证穿鞋水泥环有一定高度。是否安装水泥伞应根据漏失层距井底距离确定,必须保证戴帽注水泥时能压漏地层。

(2)穿鞋高度内如有完全漏失层,水泥环返高至该层底部。

## 9 结语

随着我国地热钻探设备施工能力的提高,地热井施工深度不断增加,钻遇地层越来越复杂,施工难度也越来越大。采用分级钻探、分别(次)下管的施工工艺,一是可以有效解决因施工下部易漏失地层(包括取水层)时上部不稳定地层产生的缩径、坍塌等问题,二是可以减轻钻机提升力。采用穿鞋-戴帽注水泥方法,既可以减小注水泥时泥浆泵的压力,弥补泥浆泵额定压力偏小的问题,还可使井管对接处得到有效封堵。选用API石油套管和API油井水泥,提高了井管强度和固井质量,保证了地热井成井质量。

## 参考文献:

- [1] 陈庭根,管志川. 钻井工程理论与技术[M]. 山东东营:中国石油大学出版社,2000.
- [2] 赵金洲,张桂林. 钻井工程技术手册[M]. 北京:中国石化出版社,2005.
- [3] 田京振,李砚智. 河北省牛驮镇地热田钻探工艺[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(8).
- [4] 张明昌. 固井工艺技术[M]. 北京:中国石化出版社,2011.
- [5] 马忠平,李振杰,等. 天津地区地热钻井及成井技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(12).