

郑州市首眼深层地热井成井工艺

刘志国

(河南省地勘局第二水文地质工程地质队,河南 郑州 450053)

摘 要 介绍了郑州首眼深层地热勘探井的成井工艺。突破了常规成井技术环节,尤其对于深部弱渗透层成井更值得借鉴。

关键词 郑州 深层地热井 弱渗透层 成井工艺

中图分类号 TE249 **文献标识码** B **文章编号** 1672-7428(2005)12-0049-03

地热属于宝贵的绿色能源,随着经济的发展,地热开发显示出强劲态势。我国业已把地热资源列为 21 世纪可再生的清洁能源,地热被广泛用于经济和生活多个方面。特别是在目前煤炭、石油日趋紧张的情况下,开发利用地热资源,为国民经济发展和人类生存提供资源保障,具有重要的意义。

目前,我国地热开发深度已达 4000 余米,温度达 90℃ 以上。郑州市作为省会城市,其地热开发始于 20 世纪 80 年代初期,其成井深度大多在 1000 m 左右,温度 40℃ 左右,属于低温地热。随着城市建设进程的加快,深层地热开发被列入经济发展的日程,因此我单位首次在郑州市进行了深层地热资源勘探工作,钻深达 2764 m,成井后,水温达 60℃,水量 35 t/h,从而为郑州市的深层地热开发奠定了基础,也为省会建立中原城市群提供了良好的环境品位。

1 工程概况

1.1 地质概况

该地热井位于郑州市南部,地处山前倾斜平原与黄河冲积平原的过渡地带,区内梯级断裂发育,为地下热水的深循环提供了通道。本次成井的热储层为三叠系砂岩、泥质砂岩破碎带,其盖层为第三系泥岩、砂岩等,厚度大,具有良好的隔热性能,对于下伏热储层具有良好的保温作用。

1.2 施工设备

该井设计井深 2500 m,选用 GZ-3000 型钻机,配套 JJ125/31-A 型井架及 DZ125/2.5-T 底座;泥浆泵采用 NBW-350 型配套系列钻具,除砂设备及相关仪器等。

1.3 钻孔结构

该井为郑州市第一眼深层地热勘探井,无直接的成熟地层及技术资料借鉴,同时要兼顾探采结合的要求,结合设备配置状况及我单位的技术水平,实际勘探中采用了以下钻孔结构:

0~200 m,孔径为 450 mm;200~737 m,孔径为 311 mm;737~2764 m,孔径为 216 mm。其中 0~737 m 在钻穿后已下入 $\varnothing 340$ mm 和 $\varnothing 244.5$ mm API 套管,作为表套及成井后的泵室且外部已被水泥全部封闭。

2 成井工艺

地热井施工中,钻井是基础,成井是关键,二者统一于施工的全过程。钻井结束并不意味着地热井的完成,成井工艺的优劣决定地热井质量的好坏。因此,对于深层地热井而言,后期的成井显得十分重要。

2.1 成井工艺流程选择

深层地热井的使用是在长期温度较高等条件下工作,不同于普通水井,它的成井技术必须严格,确保成井质量,使地热井达到优良、高产、长寿。成井工艺流程选择要根据不同的地层特性,井深、钻孔结构、井管结构、水温高低、有无腐蚀性,及施工者综合技术处理水平等,它不是单一的工艺环节,也不是固定的模式,它与施工者综合素质及设备配置能力有关。

根据我们多年来施工地热井的技术及本次施工此井的设备配置情况,考虑到该井所具有的地层特性,经过综合分析,采取以下成井工艺流程:钻井结束→综合测井→冲孔→洗井→探孔→下管→止水与

收稿日期 2005-06-14

作者简介:刘志国(1965-),男(汉族),河北石家庄人,河南省地勘局第二水文地质工程地质队高级工程师,钻探专业,从事技术管理工作,河南省郑州市南阳路 56 号,(0371)63941628,Lzg8899@yahoo.com.cn。

固井→抽水试验。

2.2 综合测井

综合测井是现代地热井施工不可缺少的技术要求,我们采用了数字化测井技术,测试项目包括视电阻率梯度,自然电位,钻孔弯曲度,井深,井温,井径等。根据综合测井资料分析,结合钻进效率,岩样录井描述,泥浆温度,起下钻前后的水位等情况,划分了含水层段,确定了止水位置等。

2.2.1 取水层选择

取水层的选择是地热井能否满足水温、水量等的重要技术环节,地热井施工的目的也在于选取该目的层,以满足施工设计。该井选择取水层如下:1850~1884、2300~2354、2600~2700 m,具有裂隙相对发育,赋水性相对较好,井温较高等特性。

2.2.2 过滤器选择

过滤器构成了开采地热水的工作端部,从地层流来的水经过它进入井筒,在很大程度上影响着井的寿命和出水效率。

由于该井为郑州第一眼深层地热勘探井,设计预测地层与实际有较大差距,但经过实际钻探,分清了含水层的特性,考虑到井深及其特性,最后选择了圆孔式过滤器,目的在于使过滤器有足够的强度以支撑井孔且具防腐性及进水时摩阻较小。

2.3 冲孔

水井施工存在一对矛盾问题,即钻井过程中应保护好壁而成井过程要破好壁,以消除钻井液及泥饼对含水层水力通道的损害(堵塞)。尤其地热井施工中,井深大,压力高,井温高,对含水层的伤害相对较大。一般情况下,冲孔破壁时至少采用 2 种以上的方法,这样对于打开含水层水力通道是有利的。

2.3.1 破壁器

用小于井眼直径 100 mm 左右的岩心管作外管,其上螺旋状布孔,内管用钻杆组成,内管底部长出外管 200 mm 左右;外管布孔,穿入 $\varnothing 18$ mm 钢丝绳,从而使破壁器外径(外管+钢丝绳形成的直径)比井径大 20~40 mm,以利于破壁。其上部与钻具相接,下入目的层,在泵送冲洗液情况下,反复扫孔,使含水层段的泥皮破坏,及时调整泥浆性能,降低对含水层的损害程度;同时,注意泵量、泥浆性能及时间的合理掌握。

2.3.2 破壁枪

破壁枪的使用在于进一步打开含水层的水力通道。具体方法为:采用比井眼直径小 50~80 mm 的高强度无缝钢管,其上沿螺旋方向布孔,孔眼大小、

数量根据现场泥浆泵的压力与排量来选择。尽量使破壁枪产生高流速、大压降,形成的水功率大。用钻具连接下至含水层,打开泥浆泵使破壁枪冲刷目的层,尤其对于微弱裂隙水层,要掌握冲刷时间与强度。

为保证冲孔效果,工作结束时,根据取水段地层特性可压入一定量的酸液。例如,对于砂岩含水层采用土酸酸化(10%~13% HCl+2%~3% HF)以溶解井眼附近砂粒间的胶结物和部分砂粒,或溶解孔隙中泥质堵塞和其他结构物,以恢复和提高目的层附近的渗流能力。

2.4 洗井

对于深层地热井而言,洗井工艺要针对钻井工艺及地层的特点来选择,本地热井采用正循环回转钻进,根据岩性分析,取水段为弱渗透性地层,大家一致认为富水性较差。当钻进至 2400 m 时,进行过一次简单抽水,结果令人失望。针对该地热井所表现出的症状以及对于在这样的地层成井,如何最大限度地疏通含水层的水力通道,最为关键。在冲孔换浆阶段,我们采取了一定的技术措施,为后期洗井工作打下了基础。经过研究,采取把下管后的洗井环节,改为下管前进行,以最大限度地冲击含水层,选择大型空压机进行反循环洗井工艺。

把合适的钻具下入孔内,钻具底部分别下至 2650、2300、1850 m;下入风管 300 m 同孔内钻具相连,组成并列气举反循环单元,从下部开始洗井作业,洗井过程中观察水温、水量、含砂量、水质的变化情况。采取把进水口分别选择在含水层附近的分层反循环洗井技术,形成局部循环,最大限度地打开含水层水力通道,减小混合洗井时孔内混合水整体压力对含水层的影响。

通过采取跟管反循环洗井工艺,在较短时间内满足了要求。这对于弱渗透层十分有利,起钻后发现该井自流。

2.5 探孔

探孔的目的在于进一步检查钻孔是否有超标的弯曲、缩径、坍塌等存在不利于下管的部位。探孔时采用长 10 m 左右的钻具,从上到下进行通孔,判定整个孔身质量是否能够满足下管要求。井眼出现异常情况时,应在最短时间内修复。

2.6 下管

本井钻遇地层为三叠系的泥岩、砂岩地层,强度较弱,地层易坍塌、掉块等,因此要下入井管。

深层地热井施工,由于钻井深度大,钻井地层相

对复杂,钻井投资大,成井后水温较高,水中矿物质含量较一般水高出许多,要求井的使用寿命长等。因此,井管的选择与安装特别重要,对于井管的选择不但要考虑井管的自重,更要考虑井管的受力状况及本身质量等。

2.6.1 井管受力

井管下入井中之后要受到多种力的作用。一般情况下,井管所受的基本载荷可分为拉力、外挤压力及内压力。井管的受力分析是深层地热井成井设计的基础工作。

井管的轴向拉力是由本身的自重产生的,但在某些条件下还应考虑附加的拉力。实际上井管下入井内是处在液体的环境当中,要受到浮力的影响。但我们认为对于深达上千米的地热井而言,井管设计时,不应考虑井内液体的浮力减轻作用,即用井管在空气中的重力来考虑轴向拉力,认为浮力被井管与井壁的摩擦力所抵消,但在考虑井管双向应力下的抗挤压强度时用浮力减轻所下的井管重力。另外,井管所受的力还有外挤力、内压力,井管弯曲引起的附加压力等,这在井管设计时一并考虑,才是合理之举。

井管质量选择主要考虑井管的抗拉力、抗挤力以及由于温度变化及水中矿物质含量对井管的腐蚀等。我们认为当井深 > 1500 m 时,不论水温高低、矿化度大小等,均应采用 API 套管成井。如果地热水中含有气体或液体的 H_2S 、溶解氧、 CO_2 时,建议使用 API 套管中的 H 级、K 级、T 级等钢级。

2.6.2 井管安装

对于深层地热井施工而言,井管的结构及安装力求安全、简单、实用。一般情况下,下入井内的材质应统一,避免材质的差异导致自身的腐蚀;另外,井管直径大小不易超过 3 级,井管连接以丝扣为宜。结合钻孔结构及成井后的使用、维护等,经计算该井选择了表 1 所示的井管。

表 1 郑州市首眼深层地热井井管结构表				
钢级	井管直径/mm	壁厚/mm	连接方式	下入深度/m
J-55	340	12.19	圆螺纹,8 扣/in	0 ~ 200
	245	10.03	圆螺纹,8 扣/in	200 ~ 737
	178	8.05	圆螺纹,8 扣/in	700 ~ 740
	140	7.72	圆螺纹,8 扣/in	740 ~ 2764

本地热井下管经过 2 个阶段,均采用钻机提吊下入。当钻穿覆盖层后,考虑到钻孔的继续钻进,0 ~ 737 m 下入了 $\varnothing 340$ mm 和 $\varnothing 245$ mm 的技术套管做为上部地层的保护管,同时为后期成井泵室的建

立打下了基础。在成井过程中,考虑到上部已下入井管,而且经测试管壁完好,因此,又下入了 40 m $\varnothing 178$ mm 井管作为变径与 $\varnothing 245$ mm 井管重叠 37 m 和 2024 m $\varnothing 140$ mm 井管,其中过滤器长度达 200 m。过滤器选用 $\varnothing 140$ mm 套管本体,其上钻孔有足够的强度,主要目的在于防止井壁坍塌后,堵塞水流通道。

在下管过程中,每隔 30 m 左右安装标准扶正器一组。其中过滤器部分每根安装一组。扶正器除了改善井管居中程度以外,还可以减小下管的摩擦阻力。

2.7 止水与固井

2.7.1 止水

对目的层以外的地层进行封闭或隔离,以防止对目的层的干扰和污染,对于地热井成井而言十分重要。对于混合取水层的深层地热井,下管后的止水是成井后取得持久性稳定高产的关键。经过认真分析,该井采用遇水膨胀橡胶止水技术。该橡胶具有优良的弹性、延伸性和膨胀止水性能,在水中的膨胀率达 150% 以上,膨胀体保持橡胶的弹性和延伸性,膨胀率不受水质的影响,耐水性、耐化学介质性、耐久性优良,不含有害物质,无溶胀析出物,不污染环境,在较宽的温度范围内均可发挥优良的止水性能,耐候性优良。下管时随井管一并入孔。

该地热井使用条状遇水膨胀橡胶 40 kg,进行了分层止水,满足了技术要求(见表 2)。

表 2 遇水膨胀橡胶止水位置表			
安装孔段 /m	孔径 /mm	止水长度 /m	备注
700 ~ 740	225	0.30	变径位置 $\varnothing 245/\varnothing 178$ 上中下 3 组
1800 ~ 1840	216	0.50	最上部取水段顶板位置
1840 ~ 1890	216	0.16	取水段顶底板各 1 组
2300 ~ 2360	216	0.16	取水段顶底板上下各 1 组
2600 ~ 2700	216	0.16	取水段顶底板上下各 1 组

2.7.2 固井

本地热井在前期施工中进行了上部孔段的固井,即 0 ~ 737 m 孔段为覆盖层,下入 $\varnothing 340$ mm 和 245 mm 套管后,在套管底部设单向伐,下入钻具,采取现场搅拌砼,用泥浆泵压入的方法,进行了普通水泥固井,经检测质量可靠。

本井为郑州市的首眼深层地热勘探井,737 m 以下深为 $\varnothing 216$ mm 井眼,下入 $\varnothing 140$ mm 井管后,环空较小,加之扶正器的存在,大大提高了井管的可靠性,随着时间的延长,部分井壁坍塌而封闭有效的环
(下转第 58 页)

灌注→仰拱开挖→仰拱钢筋绑扎→仰拱混凝土灌注。

2.7.1 钢筋制作

二衬钢筋混凝土的钢筋采用洞外配筋分段制作,洞内绑扎,边墙主筋的焊接采用电渣压力焊,拱部和仰拱钢筋采用电弧搭接焊。

2.7.2 二衬混凝土施工

边墙脚钢筋绑扎后,台车就位,立拱架模板进行边墙拱部混凝土的施工。边墙采用一端向另一端连续浇筑,左右对称自下而上一次成环。混凝土用机械洞外现场搅拌。输送泵或人力运送,用插入式振捣器捣固,每次施工长度 8 m,每环接头处设止水膨胀条,沉降缝处设沥青板和橡胶止水带,加强防水。当衬砌混凝土强度达到设计强度 75% 后可以拆模,然后进行仰拱开挖、仰拱钢筋绑扎和混凝土施工。

3 结语

随着城市的高速发展,环境和交通向人们提出了严峻的挑战,特别是山区城市为缓解拥挤的交通,

=====

(上接第 51 页)

空,这对于深层地热井而言,是安全可行的。

2.8 抽水试验

下入井管后,按有关要求进行了单孔抽水试验,水温、水量、含砂量等均满足设计要求,且水质达到了医疗矿泉水标准。

3 结语

(1) 对于深层地热勘探井而言,根据地层特性可以采取灵活的成井工艺流程;

(2) 建议根据井深及水温、水量、水质选用 API 系列套管,合理设置扶正器;

(3) 取水段下入套管分层止水时,建议推广使用遇水膨胀橡胶;

(4) 建议最高取水段以上环空较大时采用水泥

=====

(上接第 55 页)

形成了几个相互之间协同作业的支持子系统,例如:采购、生产制造、销售等。将这些优化统一的流程在计算机系统中实现,即电子化,达到信息的集成、准确和实时。

5 结语

ERP 系统在探工所的实施,它标志着探工所的

隧道是最佳的解决方式。隧道开挖有明挖法、盾构法和暗挖法等多种施工方法,浅埋暗挖技术是城市隧道最佳的构筑方法,它具有如下特点。

(1) 采用分部开挖、分部进行初期支护技术,由此形成初期支护体系,确保了整个暗挖体系的施工安全和结构稳定。

(2) 采用松动控制爆破,即时支护,减少围岩暴露时间,有效地控制了围岩的扰动变形。

(3) 采用监控量测信息技术使施工始终处于受控状态,施工稳妥,安全可靠。

(4) 不干扰城区交通,能保持城市街道的正常运营和洞顶居民的正常生活,无环境污染,社会效益显著。

(5) 与明挖法比,无需改移洞顶管道线路和迁移建筑物,有效地降低了工程造价,取得了良好的经济效益。

(6) 南平市天台隧道工程竣工以来,隧道整体结构稳定,运营良好。说明浅埋暗挖技术工艺先进,特别适用于Ⅲ类以下围岩的浅埋隧道施工。

固井,属于高温地热井或水中含有腐蚀性物质时,采用油井系列水泥固井;

(5) 在可靠井管质量和固井质量前提下,对于微裂隙水层可采用压裂技术,以扩大裂隙通道,增大水量;

(6) 加强对深层地热井成井工艺的研究,合理设计成井工艺的每一环节,尤其对深部弱渗透层的洗井技术不可忽视。

参考文献:

- [1] 刘志国,等. 千米地热井施工技术[M]. 郑州:黄河水利出版社,2004.
- [2] 李克向. 实用完井工程[M]. 北京:石油工业出版社,2002.
- [3] 陈庭根,等. 钻井工程理论与技术[M]. 山东东营:石油大学出版社,2002.

信息化建设已经进入了高级阶段,更重要的是通过 ERP 的实施,为探工所搭建了一个符合探工所的信息化平台,探工所通过实施 ERP 系统所形成的信息化平台优势正在凸现出来,ERP 系统正在成为探工所运营的信息中心和数据中心,正逐步成为探工所战略制定和管理的基础信息平台,同时,在源头上阻断一切不规范的行为,确保资产的安全。