

句容赤山湖地热井成井工艺方法

陈进宝¹, 苏金宝², 陈娟¹, 杨春光³, 曹勇³

(1. 江苏省地质勘查技术院, 江苏 南京 210008; 2. 河海大学地球科学与工程学院, 江苏 南京 210098; 3. 句容市赤山湖管理委员会, 江苏 句容 212433)

摘要:江苏句容出露发育广泛白垩系红色细砂岩、泥质砂岩, 浅埋于松散层之下, 水文地质条件极差, 地下水贫乏, 钻井多数为干孔。通过钻探施工, 句容赤山湖地热井先期排水量在 $2 \sim 3 \text{ m}^3/\text{h}$, 通过对其地质含水条件的分析, 提出了应用深水泵与“脉动排砂法”, 分选抽水层位等新的施工、洗井、抽水工艺理论, 最终使该井日产高达 500 余 m^3 。该井的成功对贫水地层找水以及碎屑岩区洗井排水具有巨大的借鉴意义与实用价值。

关键词:地热井; 贫水地层; 施工方法

中图分类号: P634.5; TE249 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2013)08-0035-04

Drilling Technology of Chishanhu Geothermal Well in Jurong/CHEN Jin-bao¹, SU Jin-bao², CHEN Juan¹, YANG Chun-guang³, CAO Yong³ (1. Geological Exploration Technology Institute of Jiangsu Province, Nanjing Jiangsu 210008, China; 2. School of Earth Sciences and Engineering, Hohai University, Nanjing Jiangsu 210098, China; 3. Chishanhu Commission of Jurong City, Jurong Jiangsu 212433, China)

Abstract: Widely developed Cretaceous red sandstone and argillaceous sandstone outcropped in Jurong of Jiangsu, which were shallowly buried in unconsolidated layers under very poor geological conditions. Because of the shortage of groundwater, most drilling encountered dry holes. Only by simple drilling, the initial output of the geothermal well in Jurong was about $2 \sim 3 \text{ m}^3/\text{h}$. After the analysis on geological conditions of water-bearing, some new process theories of construction, well washing and pumping were put into application: deep water pump and “sand discharge by pulsation”, and sorting pumping horizon; water output was up to more than $500 \text{ m}^3/\text{day}$. The success in this well has practice value with reference significance to the water research in water-lacking layer and well-flushing in clastic rocks.

Key words: geothermal well; water-lacking area; construction method

1 概述

随着经济建设的迅猛发展, 能源供需矛盾日益突出, 地热资源的开发利用是解决当前能源供需矛盾的有效途径之一, 地下热能的开发利用已经成为常规能源不可抵御的商业性竞争对象。地下热水集热能、水和矿产于一体, 用途广泛。开发地下热水既可利用其水资源进行医疗洗浴、特种养殖, 又可利用其热能进行取暖、发电等。

句容赤山湖工作区地段, 地貌类型属于岗地—岗间洼地, 西北部分布孤山(赤山)。项目组于此前后 3 次进行了 CSAMT 法施工, 在对 CSAMT 成果资料初步分析的基础上, 筛选出较好的低阻异常后, 再次进场完成了微动测深的外业工作。随后进行了内业数据的整理、处理、资料解释并最终定井。句容出露发育广泛白垩系红色细砂岩、泥质砂岩, 浅埋于松散层之下, 水文地质条件极差, 地下水贫乏, 钻井多数为干孔。结合研究区地质条件, 通过施工工

艺^[1,2]的改进, 特别是洗井工艺, 改变了传统认识, 项目组确定了地热成井的可能性, 并以此进一步改进工艺确保了句容地热井的成功出水。此井的成功对华东贫水区找水、碎屑井洗井工艺等具有巨大的借鉴意义。

2 地层岩性与含水特征

第四系松散层厚度一般 $10 \sim 20 \text{ m}$, 松散岩类孔隙水贫乏, 区域资料表明, 单井涌水量 $< 10 \text{ m}^3/\text{d}$ 。基岩以白垩系赤山组(K_2c)细砂岩、泥质砂岩为主, 分布广泛, 浅埋于松散层之下, 靠近赤山有出露, 被人工采砂揭露。其次为玄武岩, 赤山山体中上部出露。句容(黄梅桥)盆地赤山组(K_2c)厚度 $> 695 \text{ m}$, 赤山主峰高 229.4 m 。高程 100 m 以下, 植被较多, 基岩露头较少。 100 m 以上盘山公路所劈均是玄武岩。赤山出露的玄武岩柱状裂隙与构造裂隙发育。玄武岩呈灰黑色, 气孔状结构明显, 柱状裂隙发育,

收稿日期: 2013-03-04

基金项目: 国家自然科学基金项目(41202154)资助

作者简介: 陈进宝(1959-), 男(汉族), 江苏人, 江苏省地质勘查技术院副院长, 物探专业, 从事地质勘查工作, 江苏省南京市大石桥 6 号, jin.su@163.com。

风化较强烈。向阳坡远看赤山,下部为赤色砂岩,上部为玄武岩,分界线大约 100 ~ 110 m。火山碎屑岩、灰岩、砂岩、砂砾岩、泥岩等岩性硬脆,构造裂隙相对发育较好。在构造带,地下水导通以及富集程度高。大王山组(K₁d)与龙王山组(K₁l)埋藏较深,达 1500 ~ 1600 余米,为本次工作的目标储层之一,而更深部的三叠系以老的灰岩地层(T + Pz)则为本区更好的目标储层。从区域上火山碎屑岩构造裂隙发育有利地段的成井抽水资料来看,涌水量可以达到 100 ~ 300 m³/d。

3 成井工艺

随着科技发展,水井钻探技术得到广泛提高^[3,4],本井所下管均为外接箍 J₅₅ 石油套管,热储含水层所选用的滤水管根据实际地层加工而成,所打小孔孔径为 16 mm、孔心纵距 50 mm、横距为 50.80 mm、孔隙率达 10%。

本井采用两级结构(表 1),两次下管成井的施工工艺。钻井深度达到 590.05 m 时,首先将 Ø273.05 mm × 8.89 mm 泵室管 590.05 m,采用提吊浮板法,下入井内预定位置。选用 42.5 优质硅酸盐水泥,按水灰比 0.5: 1 的比例配成 23 m³ 灰浆对泵室段进行了永久性封闭固井工作,凝固 48 h 后做了固井止水实验,检测结果为合格。二开到 2475.99 m 下入 Ø177.8 mm × 8.05 mm 技术管及滤水管,采用提吊浮板法,将 1911.40 m 套管依次下入井内预定深度(见图 1)。

表 1 成井结构及井管规格			
井深/m	井径/mm	井管规格/mm	备注
0 ~ 590.05	345	Ø273.05 × 8.89	实管
590.05 ~ 2475.99	216	Ø177.8 × 8.05	含滤水管

为保护当地饮用水含水层不受其邻近水污染,同时保证热储层热水不被上部凉水所影响,对 Ø177.8 mm × 8.05 mm 井管从地表至 883.35 m 进行了水泥灰浆永久封闭止水。固井止水所用水泥分别为 23 和 4.2 t,水泥灰浆采用水灰比为 0.5: 1 的比例配制,配制的灰浆密度为 1.85 g/cm³。固井 48 h 后,采用“注水法”检测了固井质量。将套管内注满清水,观测水位变化,连接观测 2 h 后,最终 2 h 水位下降为 25 mm(根据《煤炭资源地质勘探孔简易水文地质观测规程》规定 2 h 内水位下降不大于 40 mm 视为合格),该井固井质量优良,止水效果良好。

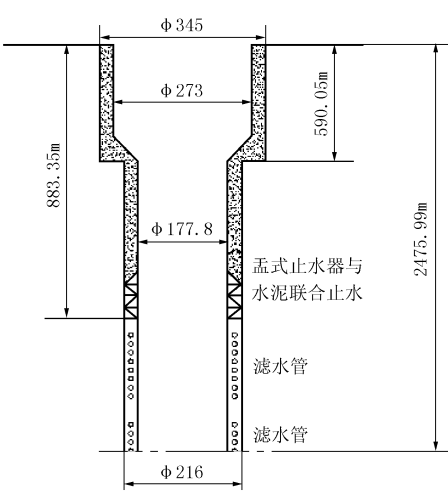


图 1 井身结构示意图

4 洗井工艺

4.1 常规洗井

首先采用清水替洗,把孔内的泥浆用清水替出,直至水清砂净为止。然后采用高扬程(扬程为 450 m)潜水泵进行抽洗,高扬程抽洗可以让井内水产生震荡水流,可以尽可能的让附着在孔壁的泥皮脱落,并随着水流排出孔外。随后用焦磷酸钠第一次泡洗,把 500 kg 的焦磷酸钠稀释成 3% 液体注入孔内,使孔内滤水管位置全部被焦磷酸钠浸泡,这样使附着在孔壁上的泥皮完全脱落,含水通道畅通。进行拉活塞洗井,拉活塞的位置是泵室段、800 及 1700 m 位置,这样让下部孔内产生负压,使含水通道尽可能的畅通。

第一次酸化洗井。采用稀盐酸洗井,注入 6 m³ 稀盐酸(稀释后的用量,其中所采购的稀盐酸的浓度为 36%,所注入孔内的稀盐酸的浓度为 12%),注入位置为井深 1780 m 及以上位置。注入盐酸后随后注入清水防止产生的氯化钙堵塞裂隙,注入的清水量约 200 m³,使稀盐酸渗透的更远。采用压风机洗井,风管下入的位置为 820 m,工作时间 24 h 时,然后采用拉活塞洗井(酸化洗井→压风机洗井→拉活塞)。

2012 年 5 月 23 日第二次注入 10 m³ (12 t) 稀盐酸,使所有下入的滤水管位置得到充分的酸化,促使含水层更加畅通。注入稀盐酸浸泡约 2 h,然后用清水替出,直至 pH 值 ≈ 7,随后采用高压洗井,针对 800 ~ 1800 m 所下入滤水管位置逐层进行清洗。

为了使含水通道更加畅通又进行下步洗井工作:5月28日第二次注入2% 焦磷酸钠和0.7% 十

二烷基苯酸钠水溶液,其中焦磷酸钠的用量为 500 kg,十二烷基苯酸钠的用量为 150 kg。浸泡时间为 48 h。然后用清水替换洗井。进行试抽水,这样使孔内的含水通道更加畅通。为了增加含水通道的畅通面积,在做完试抽水后进行压裂。首先密封井口,然后注入清水并观察压力的变化,逐步增加压力从而使含水通道畅通。

常规洗井后进行抽水,实际产量在每天 2 ~ 3 m³,远低于预期。考虑到储水层较深,浅水泵达不到出水标准,因而将深水泵下入井中 1500 m 深度。初始抽水出水量较大可达 16 m³/h,但出水不稳,连续抽水 33 h,出水量降至 12 m³/h,此时跳闸(水位离泵口小于 200 m),重新启动后出水量降为 6 m³/h。

4.2 反向加压脉动排砂法

常规洗井出水量并不理想,这使得这一地区有无地热水再成争论。一种观点认为这一地区储水量很少,连续 33 h 抽水将水抽干;第二种观点认为这一地区有水,但补给水速率要慢于水泵抽水率。实际上,在成井过程中,1690 m 深度曾出现大量的泥浆漏浆现象,这说明深部存在大的水通道,出水量少很可能是因为地热水通道被堵。

经过仔细研究,造成常规洗井出水量小的原因是连续抽水使水位下降很多,地层压力与井筒压差增大,使流速加大,带起了通道内泥砂,泥砂在热水通道的“瓶颈”处堵塞,造成水量变小,因而可通过向井内加压法来打通“瓶颈”处堵塞实现水流增大。

6 月 28 日第三次注入 2% 焦磷酸钠和 0.7% 十二烷基苯酸钠水溶液,其中焦磷酸钠的用量为 500 kg,十二烷基苯酸钠的用量为 150 kg。随后注入清水并观测压力变化,在压力在 2.5 MPa 稳定 1 h,然后释放压力,第二天再将压力增大至 4.5 MPa,再释放压力,观测水位变化,然后进行再次抽水。这次抽水同样以 2 ~ 3 m³/h 失败告终。分析失败的原因是因为井壁孔可能被打通,但快速的释放压力很可能造成砂子不能分选排出而又集中堵塞了通道。

要想有稳定的大水量,必须把通道内的泥砂彻底排清。于是我们提出“脉动排砂法”,即先加压 0.5 MPa 后释放,第二次增加 0.5 ~ 1.0 MPa 再释

放,以此类推直至加压至 4.5 MPa 再释放,此后每次减少 0.5 MPa 加压,即从 4.5 MPa 降至 4.0 MPa,以此类推一周,如此反复操作。这个流程使通道远处泥砂向井筒运移,此时泥砂富集井筒附近,为了使其排出井外,我们又梯次增压到 8 MPa 并释放时出现大量的泥砂黑水,如此循环 20 多次,再抽水水量明显增加,但不稳定,于是又进行新一轮脉动梯次排砂,释放时采用三管齐放,通道内水流更急,排砂能力更强。前轮压力到 8 MPa 开始排砂,本轮到 3 MPa 时就开始排砂。最高压力加至 7 MPa 保持压力,压力突降 6 MPa,释放后排出大量泥砂,说明大的通道已打开,我们再次加压,持续加压 20 多小时压力始终保持在 6 MPa 不变,说明通道很畅通,并通向很远的地方。

5 抽水实验

存在于自然界的含水层,都依据自身的天然水力坡度所形成的流向和迳流量由补给区向排泄区运动。但从井抽水开始到井抽水后水位未恢复原状的影响范围内,使一部分迳流量无法再向下游渗流,让抽水井把它提前排出了。在抽水的开始阶段,井抽出的水由两部分组成,一部分来自含水层的静贮量,一部分来自含水层的迳流量。随着抽水时间增长,抽水井降落漏斗影响范围逐渐扩大,它所截取含水层的迳流量逐渐增多,直至它所截取含水层的迳流量等于抽水井的出水量后,抽水井不再从含水层的静贮量中取水,降落漏斗影响范围不再扩大,新的动平衡形成^[5]。本井抽水试验于 9 月 11 ~ 20 日,先后进行了大、中、小三个落程的抽水试验工作,用于取得含水层抽水试验数据。采用稳定流定流量抽水的方法,通过改变潜水泵抽水的水量不同具有不同的动水位和降深原理进行。抽水试验过程中使用三角堰测流量,三角堰读数精确至小数点后两位;氮气枪水位仪测量水位埋深,读数精确至“cm”;摄氏温度计测量水温、气温,读数精确至“0.5 ℃”,并进行了静止及恢复水位的观测。抽水试验成果见表 2。

理论值计算:根据图 2 抽水试验 Q 、 q 曲线来判断当动水位埋深为 1387.42 m 时即水位降深为 584.00

表 2 抽水实验所测水位降深与出水量

降次	试验日期	静水位 埋深/m	动水位 埋深/m	水位降 深/m	出水量		单位出水量 /[$(L \cdot s \cdot m)^{-1}$]	井口出水 温度/℃	抽水延续 时间/h	稳定时 间/h
					/ $(m^3 \cdot h^{-1})$	/ $(m^3 \cdot d^{-1})$				
1	11 日 09:00 ~ 14 日 14:30	803.42	1136.07	332.65	15.94	382.56	0.01331	55.0	77.30	43.30
2	15 日 12:00 ~ 16 日 19:30	803.42	1009.46	206.04	11.25	270.00	0.01517	54.0	31.30	24.00
3	17 日 15:00 ~ 19 日 10:00	803.42	939.42	136.00	8.56	205.44	0.01748	53.0	41.00	35.30

m,该井的理论涌水量最大,最大值 $20.69 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

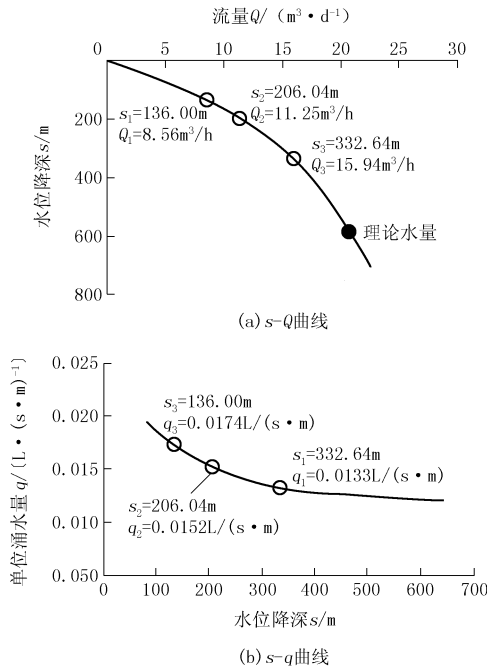


图2 抽水实验静水曲线

按承压完整井考虑,依据理论推算该井最大涌水量($20.69 \text{ m}^3/\text{h}$)成果,该地热井的渗透系数 K 、影响半径 R 可分别由哈赞经验公式求得:

$$R = 10S\sqrt{K'}$$

$$K = 0.366Q(\lg R - \lg r)/(Ms)$$

$$K' = 0.159Q/(M\sqrt{rs})$$

式中: R ——影响半径, m; K ——渗透系数, m/d; r ——钻孔半径,取值 0.108 m ; M ——含水层厚度,根据测井资料取值 505.95 m ; s ——水位降深,取值 332.65 m ; Q ——流量,取值 $382.56 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

经计算,抽水降深为 584.00 m 时, $K' = 0.02$, 影响半径 R 为 1487.65 m , 热储渗透系数为 $K = 0.0000344 \text{ m/d}$ 。

其影响半径为 1487.65 m , 按此计算, 以该井为

中心, 在 2975.30 m 范围内不宜再布置新井。

6 结论

地下热水资源是一种洁净的、无污染、绿色新型能源, 为一朝投入, 长期受益的环保型矿产资源。对自然环境特别是对句容市及周围环境的改善和保护具有明显的现实意义。

综合本井的施工过程、抽水试验结果以及水质化验结果, 对本井做一个概括的总结:

(1) 该井于钻至 2475.99 m 完井, 随后进行了测井工作, 对该井的成井质量和技术指标综合评价为优质;

(2) 洗井工艺改变传统思维进行反向加压脉动排砂方式, 成功排砂;

(3) 放弃上部含水层, 选用下部含水层, 成井后静止水位为 803.42 m , 当机械抽水降深 332.64 m 时的出水量为 $15.94 \text{ m}^3/\text{h}$, 井口水温 55°C ;

(4) 泵室段 590.05 m 处井斜 0.52° , 2470 m 处井斜 4.39° ;

(5) 固井止水效果良好, 抽水试验符合规程规范要求, 质量优良, 理论推算该井最大涌水量为 $20.69 \text{ m}^3/\text{h}$;

(6) 成井工艺合理, 水温、水量等技术指标均满足并高于设计及合同指标要求, 为一口优质地热探采结合井。

参考文献:

- [1] 刘希圣. 钻井工艺原理[M]. 北京: 石油工业出版社, 1988.
- [2] 蒋希文. 钻井事故与复杂问题[M]. 北京: 石油工业出版社, 2001.
- [3] 李世忠. 钻探工艺学(上)[M]. 北京: 地质出版社, 1992.
- [4] 许刘万, 王艳丽, 左新明. 我国水井钻探装备的发展及应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2012, 39(4): 1-7.
- [5] 兰太权, 赵安仁, 刘秋朝. 单位涌水量与渗透系数关系的探讨试验和应用[J]. 地下水, 2004, 26(1): 6-10.

广东实施千米地热科钻工程

《中国矿业报》消息((2013-07-25) 日前从广东地质四队获悉, 该队承担的广东省阳江市新洲镇 1000 m 地热科学钻探工程已于7月初启动, 目前进展顺利。

据了解, 该项目为“珠江三角洲及周边地区控热地质构造调查项目”2013年主要工作任务之一。新洲地热田位于恩平-新丰大断裂带南段, 为广东省境内温度最高的地热显示点之一。恩平-新丰大断裂呈北东向展布, 是广东省境内较著名的一条控热断裂。

新洲地热田是广东省浅部勘查研究程度较高的地热田之一, 广东地质四队曾在该地热田进行过两次系统的地质地质勘查工作。根据以往勘探的地质资料, 预测本次地热科学钻探揭露的地层岩石主

要有第四系冲洪积层、花岗岩残积土层、燕山二期花岗岩。本次钻探的目的热储层为燕山二期花岗岩断裂破碎带, 岩性为蚀变物质和花岗岩基岩, 这些断裂构造形成的花岗岩裂隙或破碎带成为较好的热储层。

据了解, 实施这一项目, 目的是通过对已有资料的综合研究和重点区地热地质调查与勘查试验, 初步查明珠江三角洲及周边地区深部断裂构造、岩浆岩体特别是隐伏岩浆岩体分布, 建立深部岩浆岩体和断裂构造的层次框架, 研究地热分布与控热构造的关系, 圈定深部地热勘查远景区。