

豫东地区不同成井工艺对出水量的影响分析

王松珍^{1,2}, 杜双杰^{1,2}

(1.河南省地质局地质灾害防治中心,河南 郑州 450045;

2.河南省自然资源科技创新中心(豫北地热能清洁能源研究),河南 郑州 450012)

摘要:在豫东地区新近系地层成井,传统的投粒成井工艺和新兴的不投粒成井工艺都在应用。本文通过对区域内位置相邻、深度相近、井身结构相似、取水层位相似的多口水井的出水量进行了对比,通过对地层因素、钻孔直径、洗井方法以及成井工艺因素进行分析,找出在特定条件下影响出水量的主要原因。为不同区域选择合适的成井工艺提供参考。

关键词:地热井;成井工艺;投粒;不投粒;出水量;豫东地区

中图分类号:P634 **文献标识码:**B **文章编号:**2096-9686(2023)S1-0323-05

Analysis of the influence of different well-forming processes on water output in eastern Henan Province

WANG Songzhen^{1,2}, DU Shuangjie^{1,2}

(1. The Prevention and Control Center for Geological Disaster of Henan Geological Bureau, Zhengzhou Henan 450045, China;

2. The Center of Technological innovation for Natural resources in Henan Province (The Research on clean energy of geothermal energy in Northern Henan), Zhengzhou Henan 450012, China)

Abstract: In the Neogene formation of eastern Henan Province, the traditional and emerging non-granulation well forming process are being applied. In this paper, by comparing the water output of multiple wells with adjacent positions, similar depth, similar well structure and similar water intake layer level in the region, and analyzing the formation factors, drilling diameter, well washing method and well formation process factors, the main reasons affecting the water volume under specific conditions are found out. It provides a reference for selecting a suitable well-forming process in different regions.

Key words: geothermal well; well forming process; granulation; no granulation; water output; eastern Henan region

0 引言

随着全球大气污染的日益严重、对碳排放的控制越来越严,同时随着社会的发展,节能减排和住宅供暖都成为当下的紧迫任务,地热能的开发利用越来越多。河南省豫东地区拥有较厚(1500~3500 m)的第四系沉积层和新近系、古近系沉积层,地下水储藏丰富,地热条件较好,开采难度低。中低温

地热资源被广泛应用于日常生活和生产中。在钻深1500 m以浅的水井施工中,常用的成井工艺为泥浆正循环钻孔,取水层投粒加粘土球止水(钻进至设计深度后物探测井、冲孔换浆、下管、投粒、止水、固井、洗井)。但随着井越来越深,投粒这一程序越来越复杂且具有不确定性,近年来兴起多开次不投粒成井工艺。至于两种工艺孰优孰劣各施工单位

收稿日期:2023-04-17; 修回日期:2023-08-09 DOI:10.12143/j.ztgc.2023.S1.050

第一作者:王松珍,男,汉族,1967年生,河南长葛人,高级工程师,探矿工程专业,长期从事地质钻探技术研究工作,河南省郑州市郑花路86号,13137109285@163.com。

引用格式:王松珍,杜双杰.豫东地区不同成井工艺对出水量的影响分析[J].钻探工程,2023,50(S1):323-327.

WANG Songzhen, DU Shuangjie. Analysis of the influence of different well-forming processes on water output in eastern Henan Province[J]. Drilling Engineering, 2023,50(S1):323-327.

对此各执己见。2019年绿博六号园区地热供暖项目中探采结合井6-4井采用不投粒成井工艺,成井后出水量没有达到预期要求。2022年我单位承担了“郑州市主城区与东部新城区地热资源勘查评价”项目,在同一构造区块内布置了同样井深的ZK3井,并采用了传统的投粒成井工艺。本文将对两种工艺的优缺点以及适应性进行深入的讨论。

1 绿博6-4井施工情况

绿博新城不具备集中供暖条件,2019年8月计划开发地热供暖,初步设计8口地热井(3抽5回)。该井为探采结合井,设计井深2200 m,采用泥浆正循环钻进,测井后安装滤水管,滤水管与含水层对正,取水段顶板采用环氧树脂止水(不投粒成井工艺)成井,成井后出水量低于预期且衰减过快。

1.1 钻遇地层

0~239.05 m,第四系上覆层,主要岩性为浅黄、灰黄、浅褐色粘土,粉质粘土与砂层、砂砾层互层。

239.05~1320.1 m,新近系明化镇组,其岩性上部以灰黄、淡棕色细中砂和粗砂砾石为主,夹棕红、棕色粘土;下部为红棕色泥岩和绛红色粘土为主,夹浅黄色细砂、中细砂。

1320.1~2201.75 m,新近系馆陶组,为该井的取水层段,其岩性上段为灰绿、灰棕、棕红色半胶结泥岩夹黄白色细砂、中砂;中段为棕红、棕黄色半胶结泥岩与灰黄、灰白、黄白色中砂、中粗砂互层;下段为棕红、棕色半胶结泥岩与细中砂、中砂互层。

1.2 井身结构

0~30 m, $\Phi 600$ mm口径钻进,下入 $\Phi 529$ mm保护管;30~400 m, $\Phi 445$ mm口径钻进,0~400 m下入 $\Phi 273.0$ mm \times 8.89 mm API套管;400~2201.75 m, $\Phi 256$ mm口径钻进,400~1402.0 m下入 $\Phi 177.8$ mm \times 8.05 mm API套管,1402.0~2160.0 m下入 $\Phi 177.8$ mm \times 8.05 mm API套管和同径打孔不锈钢梯形丝滤水管组合。

止水位置在1380~1400.0 m,下入3组橡胶止水伞(见图1)止水,井管一次提吊入井。止水层以上环空投入 1 m^3 左右直径10~20 mm的半风干粘土球,间隔4 h后投入 1 m^3 粒径5~10 mm砾石,间隔2 h后投入 2 m^3 粒径1~3 mm碎石,静置4 h后用钻渣回填至距孔口30 m左右,洗井结束再用水泥砂浆回填至地面。



图1 环氧树脂止水伞

1.3 洗井情况

(1)喷射洗井:固井完成后首先进行清水喷射洗井,自上而下逐层用清水喷射清洗滤水管,以防下管过程中泥皮进入梯形丝和套管之间堵塞滤水管或降低滤水管的透水性。同时也进一步降低井内冲洗液的密度。

(2)空压机洗井:将钻具下至距孔底5~8 m,气举反循环抽水洗井5~12 h,出水泛白后转入空压机送风洗井。空压机和泥浆泵交替运用向孔底送入空气和清水的混合物,形成井喷,5~12 h出水泛白后停止洗井。

(3)化学洗井:将 15 m^3 3%的六偏磷酸钠溶液通过钻具灌入含水层,静置24 h。

(4)反循环洗井:将钻具底部放置距孔底3~5 m左右开启空压机,进行气举反循环抽水洗井并排除孔底沉淀,5~8 h后停机起出全部钻具。

(5)潜水泵洗井:下入200QJ50-240型耐热潜水泵抽水洗井, $\Phi 89$ mm钻杆为出水管,下泵深度352 m。反复启停水泵抽水洗井,水清沙净后转入抽水试验。

1.4 抽水试验

调整下泵深度302.3 m,安装测量仪表,水量测量仪表为电子瞬时流量计,准确度 $\geq 99.9\%$ 。一切准备就绪后,开启抽水试验,试验持续6 d,抽水试验结果见表1。

经过连续6 d的抽水试验,绿博6-4井水量基本稳定在 $17\text{ m}^3/\text{h}$,水温 $69\text{ }^\circ\text{C}$ 。该井水量减少快,水位降深大,单井涌水量下降明显,离预期目标(水量 $60\text{ m}^3/\text{h}$,出水温度 $80\text{ }^\circ\text{C}$)相差较大。出现这种情况后,

表1 绿博6-4井抽水试验结果

日期	时间	静水位/m	动水位/m	降深/m	出水量/(m ³ ·h ⁻¹)
2019.10.09	09:00	103.6			开始
2019.10.09	10:00		213.3	109.7	51.2
2019.10.10	09:00		225.3	121.7	40.8
2019.10.11	09:00		242.4	138.8	35.3
2019.10.12	09:00		260.5	156.9	28.2
2019.10.13	09:00		273.6	170.0	20.4
2019.10.14	09:00		279.4	175.8	17.3
2019.10.15	09:00		279.5	175.9	17.1

项目组进行了分析,认为地层因素与成井工艺因素均有影响。随后调整了预期(出水量 50 m³/h,出水温度 50 ℃),更改了设计,取水层位改为明化镇组,井深改为 1300 m,并采用投粒成井工艺。后续几口井取水段为 860~1300 m,出水温度 52 ℃左右,出水量 50~60 t/h,水位降深 50 m 左右,静水位 80 m 左右。为保证极端天气下供暖需求,换热站增设了地源热泵。

2 探采结合 ZK3 井施工情况

2022年在“郑州市主城区与东部新城地区地热勘查评价”项目中设计探采结合井3口,其中ZK1井1500 m、ZK2井2200 m、ZK3井2200 m,ZK3井井位与上述绿博6-4井井位同处于一个构造区域,见图2。

ZK3井井位于绿博6-4井东南约4 km处,两井均在中牟断层以北。为了避免因施工工艺问题引起



图2 郑州市主城区与东部新城地区地热资源调查评价钻孔位置布置

出水量受限,ZK3井设计采用传统的井管外投粒止水成井工艺。

2.1 钻遇地层

0~253.60 m,第四系上覆层,主要岩性为浅黄、灰黄、浅褐色粘土,粉质粘土与砂层、砂砾层互层。

254.25~1355.1 m,新近系明化镇组,其岩性上部以灰黄、淡棕色细中砂和粗砂砾石为主,夹棕红、棕色粘土;下部为红棕色泥岩和绛红色粘土为主,夹浅黄色细砂、中细砂。

1355.1~2180.7 m,新近系馆陶组,为该井的取水层段,其岩性上段为灰绿、灰棕、棕红色半胶结泥岩夹黄白色细砂、中砂;中段为棕红、棕黄色半胶结泥岩与灰黄、灰白、黄白色中砂、中粗砂互层;下段为棕红、棕色半胶结泥岩与细中砂、中砂互层。

2180.7 m以深为古近系地层。

2.2 井身结构

0~30m,Ø600 mm口径钻进,下入Ø529 mm保护管;30~350 m,Ø500 mm口径钻进,0~350 m下入Ø339.7 mm×9.65 mm API套管;350~2200.85 m,Ø311 mm口径钻进,350~1379 m下入Ø177.8 mm×8.05 mm API套管,1379~2200 m下入Ø177.8 mm×8.05 mm API套管和同径打孔不锈钢梯形丝滤水管组合。

2200.0 m井管一次提吊入井。井管安装完成后下入钻杆至井底,开泵循环调整冲洗液漏斗粘度 15~18 s,密度 1.0~1.05 kg/L,调整泵量采用动水投粒。投粒量控制在理论量的 1.03 倍,在投粒结束后停滞 2 h 后投入 2 m³ 直径 10~20 mm 半风干粘土球,静置 4 h 后用钻渣回填至距孔口 30 m 左右,洗井结束再用水泥砂浆回填至地面。

2.3 洗井工艺

与绿博6-4井洗井方法相同,均为清水喷射法、孔底气举法、3%磷酸盐溶液浸泡法、反循环清洗法,潜水泵洗井。

2.4 抽水试验

洗井结束后下入 200QJ50-240 型耐热潜水泵做抽水试验,Ø89 mm 钻杆为出水管,下泵深度 303.2 m。抽水试验结果见表 2。

3 抽水结果分析

通过两井抽水试验结果对比,在郑州东区同一构造范围内采用传统投粒成井工艺的 ZK3 井出水

表2 ZK3井抽水试验结果

日期	时间	静水位/m	动水位/m	降深/m	出水量/(m ³ ·h ⁻¹)
2022.06.06	15:30	112.35			开始
2022.06.06	16:30		207.6	95.25	53.5
2022.06.07	15:30		239.3	126.95	36.7
2022.06.08	15:30		249.9	137.55	31.5
2022.06.09	15:30		252.4	140.05	30.1
2022.06.10	15:30		252.5	140.15	30.1
2022.06.11	15:30		252.6	140.25	30.0
2022.06.12	15:30		252.7	140.35	30.0

量更大,水量衰减更慢。基本上相同的地层,相同的滤水管,两种成井工艺成井效果相差却较大,造成水量差别较大的原因分析如下。

3.1 地层因素

两口井相距4 km左右,钻遇地层基本相似。

绿博6-4井自1402~2200 m共有36个含水单元层,总厚度384.8 m,其中低产能92.3 m。ZK3井取水段自1379.5~2200 m共有31个含水层单元,含水层总厚度392.9 m,其中低产层厚度96 m。

两井含水层总厚度差异不大,又在同一构造区域内,因此排除地层因素是造成上述两井出水量较大差别的主要原因。

3.2 钻井直径差异

在相同的地质条件和水位降深下,管井出水量增长从小井径扩大至中等井径(250 mm)时增加较快,继续扩大则出水量的增长率有逐渐减小的趋势^[1];在一定降深下,水量随着井径的变化更小,钻井直径250 mm与直径311 mm在较大降深的情况下对出水量影响较小^[2]。

3.3 施工工艺差异

两井最大的差异就是成井工艺产生的^[3],一个是井管外充填粒料,一个没有填粒。不投粒成井是基于馆陶组地层成岩条件较好而采取简易成井工艺^[4],井管与井壁之间环状间隙有无粒料填充,对出水量影响分析如下:

(1)地质因素:假如地层稳定(类似基岩),能够保持原钻孔不变形,井管外壁与井壁之间的环状间隙一直存在且上下连通,含水层出水无阻碍,不投粒成井相比传统的投粒工艺出水量应该更大^[5-6]。从本次勘查取样分析,该区域新近系馆陶组地层成岩

较差,泥岩地层在无支撑的条件下会缩径,一些砂质粘土层则会在无支撑条件下脱落坍塌,进而堵塞滤水管^[7],降低出水量。传统投粒工艺的成井,地层与井管之间的环状间隙被填充,则会基本保持原钻孔结构不变,维持出水通道。

(2)当滤水管错位时(因井管单节长度排列问题和测量误差会造成滤水管和实际含水层错位),泥岩地层缩径造成有效滤水管减少,出水量减少^[8]。

(3)实际施工中因成本限制,有些较薄含水层未安装滤水管,如有粒料填充则可以保持出水通道,无填充时泥岩层缩径会阻断这类水层的析出,降低了出水量。

(4)投粒工艺是在井管外人为形成过滤层^[9],粒料的透水性较好,洗井抽水时出砂较少;无粒料填充时含水层颗粒随地层水渗出而脱落,重新组合后形成天然过滤层,地层颗粒较细时水井出砂量较多。其脱落的颗粒一部分在滤水管周围形成了过滤层,一部分填充了井管外间隙,在这一过程中不可避免地会造成部分滤水管的淤塞。

总之,新近系地层地热开发时,采用传统的投粒工艺成井质量更有保证,水量更大。

4 成井工艺改进措施

通过以上对比分析发现,在郑州东区新近系地层地热开发施工中,采用传统的投粒工艺成井,单井出水量更大、衰减更慢;而不投粒成井工艺施工更简单、成本更低。在深井施工中投粒工艺在施工中往往不好控制,投粒过程中容易发生桥堵现象,导致成井质量较差,有些施工单位甚至害怕投粒。对于不投粒成井工艺,给出以下改进建议,供参考。

(1)在含水层较厚的地区使用不投粒成井工艺。含水层较厚,地层出水量大,虽有堵塞出水量会有所降低,但不影响使用效果^[10]。

(2)在细砂、粉细砂地层取水应做包网处理,减少颗粒流失^[11]。

(3)尽量减小井管与井壁的间隙,管外间隙越小,在洗井过程中对含水层的扰动就越小^[12]。

(4)在每一取水层对应的滤水管顶部都安装一组止水伞,止水伞可有效承托上部脱落物,避免堵塞下部含水层。

(5)提高泥浆性能,降低泥皮厚度,保证井管安装顺利^[13]。

5 实践与应用

在2022年兰考县地热集中供暖项目中共施工8口井,其中直井4口,井深均为2000 m,定向井4口,井深均为2056 m(垂向深度2000 m,井斜20°,水平偏离330 m)。取水段为1350~2000 m/2056 m,取水层为明化镇组与馆陶组。组织4台钻机先后进场施工,直井采用传统投粒成井工艺,定向井采用不投粒成井工艺(受重力、斜度等因素影响,定向井投粒容易发生桥堵和偏置)。施工过程中采用优质泥浆

钻进,泥浆标准失水量 ≥ 10 mL/30 min,漏斗粘度控制在30~40 s,密度控制在1.05~1.15 kg/L。直井取水段钻井 $\varnothing 311$ mm,定向井 $\varnothing 216$ mm,井管规格均为 $\varnothing 177.8$ mm \times 8.05 mm API管打孔缠丝滤水管。定向井滤水管顶部分别安装多组止水伞,明化镇组取数段滤水管包网处理,底管引鞋收尖不封闭预留 $\varnothing 50$ mm的透浆孔,洗井过程中向井管内投入0.1~0.2 m³碎石封堵下部。抽水试验结果见表3。

表3 兰考县地热集中供暖项目抽水试验结果汇总

钻孔编号	井深/m	静水位/m	动水位/m	降深/m	出水量/(m ³ ·h ⁻¹)	单位涌水量/[m ³ ·(m·d) ⁻¹]	出水温度/°C
ZJ-1	2000.1	56.3	123.5	67.2	76.4	27.29	67.5
ZJ-2	2000.7	56.8	128.2	71.4	76.8	25.82	67.2
ZJ-3	2000.5	56.6	126.3	69.7	76.8	26.44	67.6
ZJ-4	2000.3	56.7	127.5	70.8	76.5	25.93	67.3
DX-1	2056.6	56.4	147.9	91.5	75.3	19.75	68.0
DX-2	2056.9	56.5	146.6	90.1	75.6	20.14	68.3
DX-3	2057.0	56.3	147.8	91.5	75.4	19.78	67.8
DX-4	2056.8	56.8	139.9	83.1	75.2	21.72	67.9

6 结论

(1)在豫东地区新近系地层地热开发中,不同的成井工艺对出水量有明显的影响,同一区域内传统的投粒成井工艺出水量更大,尤其是受资金影响安装滤水管有限时更是如此。

(2)影响地热井出水量大小的主要因素是地层的透水性和区域补给条件,施工工艺对提高出水量的影响仅仅是辅助作用。

(3)在贫水的构造区域内,新近系地层成井应首选投粒成井工艺。

参考文献:

- [1] 张焕智.管井出水量与降深、井径关系的研究[J].勘察科学技术,1989(5):42-46.
- [2] 张朱法.钻井口井大小与出水量的关系[J].勘查技术,1979(9):35-39.
- [3] 魏碧波.钻井成井工艺对出水量的影响分析与技术措施[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,45(1):31-34.
- [4] 钟世铭.钻井成井工艺对出水量的影响以及应采取的针对性技术措施[J].中国石油和化工标准与质量,2013(118):143.

- [5] 张耀辉.甘肃敦煌城区DR3地热探采结合孔成井工艺[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(1):33-36.
- [6] 罗文行,孙国强,房艳国,等.景洪市嘎栋地热井特征及成井工艺总结分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(10):257-260.
- [7] 陈进宝,苏金宝,陈娟,等.句容赤山湖地热井成井工艺方法[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(8):35-38.
- [8] 丁同领,高嵩.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):23-25.
- [9] 兀少波.扶风县城地热资源条件与成井工艺研究[J].地下水,2020,42(1):120-123.
- [10] 何欣,马悦,李俊.西安市泾河新城某园区地热资源特征及成井工艺研究[J].地下水,2021,43(2):116-119.
- [11] 郭永岩,薛洪林,周国庆.复杂地层地下水监测井成井工艺[J].西部探矿工程,2020,32(5):77-79.
- [12] 杨建华.抽水试验方法和成井工艺类型对热储层水文地质参数的影响[J].山东国土资源,2018,34(10):108-116.
- [13] 胡郁乐,张惠.深部地热钻井与成井技术[M].武汉:中国地质大学出版社,2013:66-69.

(编辑 李艺)