

空气潜孔锤钻进技术在沉积岩地热深井中的应用

石荆京¹, 苏园园², 郑秀华¹

(1. 中国地质大学(北京)工程技术学院, 北京 100083; 2. 北京泰利新能源科技发展有限公司, 北京 101118)

摘要:目前采用空气潜孔锤钻进技术的沉积岩地热钻井深度多在1000 m左右,地层深度越大,空气潜孔锤钻进的难度也会随之增大。在辽宁康平某地热井应用空气潜孔锤技术钻进,实现了沉积岩地热井深度的突破,钻井深度达到2250 m。全井采用空气钻进技术施工,通过选择合适的工作风压和风量,以期促进对该技术在沉积岩地热深井中的推广应用。

关键词:空气潜孔锤钻进;沉积岩;地热深井;地层出水量

中图分类号:P634.5;TE249 **文献标识码:**B **文章编号:**2096-9686(2021)S1-0160-04

Application of air DTH hammer drilling technology in sedimentary rock deep geothermal wells

SHI Jingjing¹, SU Yuanyuan², ZHENG Xiuhua¹

(1. China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China;

2. Beijing Taili New Energy Technology Development Limited Company, Beijing 101118, China)

Abstract: At present, the depth of sedimentary rock geothermal drilling using air down-the-hole hammer technology is mostly about 1000m. The greater the formation depth, the more difficult it is to drill with air down-the-hole hammer. A geothermal well in Kangping, Liaoning Province, was drilled using air down-the-hole hammer technology to achieve a breakthrough in the depth of geothermal wells in sedimentary rocks, with a drilling depth of 2250m. Air drilling technology is adopted for the construction of the whole well, and proper working air pressure and air volume are selected to promote the popularization and application of this technology in deep geothermal wells in sedimentary rocks.

Key words: air DTH hammer drilling; sedimentary rock; deep geothermal well; formation water yield

0 引言

地热能是一种绿色、低碳、可循环利用的可再生能源,在我国可再生能源利用中占据重要的地位^[1]。目前的地热井钻进技术主要为常规牙轮正循环回转钻进,钻井工期长,钻进效率低,已经无法满足当前地热开发的需求^[2-4]。空气潜孔锤钻进技术具有钻速高、钻井成本低、含水层保护效果好等特点,在浅层水井中应用广泛^[5-10]。地热井钻遇地层主要为沉积岩,钻进过程中漏失、涌水、坍塌等复杂问题频发,地层出水量限制了空气潜孔锤钻进技术

的发挥,严重影响钻进效率和施工安全^[11-13];目前采用空气潜孔锤技术的钻井深度在1000 m左右^[14-17],地层深度越大,空气潜孔锤钻进的难度也会随之增大。因此,通过在辽宁康平某地热井中进行实验研究,进一步探讨空气潜孔锤在沉积岩地热深井钻进中的相关技术问题。

1 工程地质条件

1.1 区域地层概况

该地热井位于辽宁省康平县城,大地构造位置

收稿日期:2021-05-31 DOI:10.12143/j.ztgc.2021.S1.025

基金项目:国家自然科学基金项目“高温热储环境下微气泡钻井液特性及作用机理研究”(编号:41872184)

作者简介:石荆京,男,汉族,1997年生,硕士在读,北京市海淀区学院路29号,17760868126@163.com。

引用格式:石荆京,苏园园,郑秀华.空气潜孔锤钻进技术在沉积岩地热深井中的应用[J].钻探工程,2021,48(S1):160-163.

SHI Jingjing, SU Yuanyuan, ZHENG Xiuhua. Application of air DTH hammer drilling technology in sedimentary rock deep geothermal wells[J]. Drilling Engineering, 2021,48(S1):160-163.

处于吉黑褶皱系松辽拗陷南缘,属于辽沉降带的一部分,位于康平凸起内。钻遇地层从老到新分别是:

(1)下古生界(Pz_1)奥陶—志留系(O—S)。区域内最古老的地层为志留—奥陶系下二台子群(O—S_x)变质岩,出露于康平镇南和郝官屯一带,呈北东向带状分布。下二台子群为一套浅色细粒的片岩、变粒岩、大理岩为主的变质岩系,均遭受了强烈混合岩化,总厚度>4020 m。

(2)中生界(Mz)白垩系(K)。白垩系地层由一套陆相沉积岩及火山碎屑岩、火山岩组成。自下而上为义县组(K_1y)、九佛堂组(K_1jf)、泉头组(K_2q),总厚度>2500 m。义县组地层角度不整合于志留—奥陶系变质岩之上,地表零星分布。岩性下部为一套陆相碎屑岩,上部为火山岩组成,该组岩层底部普遍有一层含砾砂岩;九佛堂组地层为一套陆相沉积的砂页岩,岩性变化不大,其底部见有20~30 m厚的石英岩质细砾岩。与下伏岩组平行不整合接触,与上覆岩组呈角度不整合接触。厚度>1000 m。泉头组地层地表出露广泛,为一套紫红色、灰白色砂岩、粉砂岩及紫红色泥岩、粉砂岩为主夹砾砂岩、砾岩韵律清晰的沉积岩层。有的地方含灰质结核,底部具有一层底砾岩,砾石成分复杂。厚度>886 m。

(3)新生界第四系(Q)。第四系在区内分布广泛,主要由坡洪积、风积和冲积松散堆积物组成,厚度1~20 m。

1.2 构造

彰武盆地是由多个盆地组成的一个盆地群,该盆地群主体方向是北北东向延伸,其形状为长椭圆形,面积达4000 km²。该盆地群主要由北北东向和近东西向两种构造体系控制,由于这两种构造体系的相互分割和干扰,使该凹陷呈现规律性比较明显的排列分带现象,表现为向斜、背斜相间近平行排列的构造格局。

1.3 水文地质条件

根据已有资料,普查区内浅层(500 m以浅)地下水分为以下二类:

(1)松散岩类孔隙水:地下水埋藏于坡洪积扇裙中,含水层为上更新统下段坡洪积粉土夹中细砂薄层,厚2.5 m,地下水埋藏很浅,一般1~2 m。

(2)碎屑岩类孔隙裂隙水:分布于波状准平原区,隐伏于第四系之下。在岩石风化带,以裂隙孔隙潜水为主要特点,在深部主要为孔隙承压水。含水

层为白垩系泉头组砂砾岩。含水层顶板埋深不一,平均在100 m以深,已揭露含水层厚度60~70 m左右。富水不均匀,受孔隙、裂隙发育程度控制,单井涌水量一般350~6000 m³/d。渗透系数<0.4 m/d,影响半径<14~153 m,水位埋深3~7 m,水化学类型为重碳酸钠型水,矿化度0.5 g/L左右。

2 钻井设计

2.1 设备及钻具

该地热井设计井深为2250 m,选用宝鸡石油机械厂ZJ30型石油钻机,ND系列无尼龙管高风压潜孔锤进行钻进,钻头尺寸有 $\Phi 444.5$ 、305、216、152 mm,配备3台大功率空压机、3台大功率增压机。钻具组合选用多种塔式钻具满足防斜打直要求。

2.2 井身结构

井身结构设计参数如下:

导管:用 $\Phi 444.5$ mm钻头打导管钻进至95 m,下入 $\Phi 340$ mm、壁厚10.03 mm的石油无缝管95 m。

一开:用 $\Phi 305$ mm钻头钻进至370 m,下入 $\Phi 244.5$ mm、壁厚8.94 mm的J55石油套管至370 m,套管总长370 m;

二开:用 $\Phi 216$ mm钻头钻进至1270 m,下入 $\Phi 178$ mm、壁厚8.05 mm的J55石油套管930 m;

三开:用 $\Phi 152$ mm钻头钻进至2250 m,下入 $\Phi 127$ mm、壁厚7.92 mm的J55石油套管1010 m。

图1为井身结构示意图。

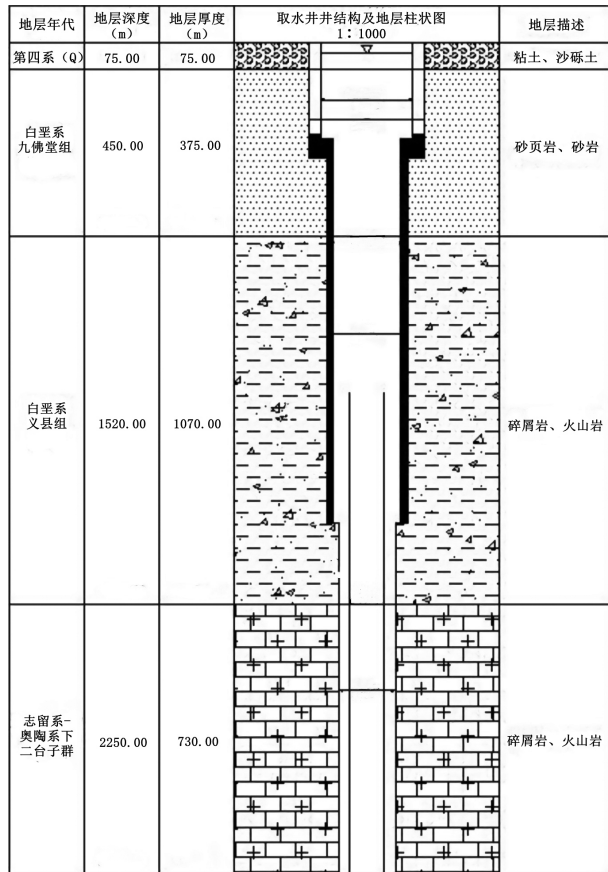
3 工作风压与供风量研究

空气潜孔锤钻进最大的成本支出是空压机租赁费和耗油费,而上述费用的高低与工作风压、供风量关系密切。因此,需要根据井段深度与出水量的不同,选择性价比最高的工作风压和供风量,高效地利用空压机及增压机的能力,从而保证使用成本可控。

3.1 工作风压

空压机的工作风压除了用于维持空气潜孔锤进行冲击工作外,还要将岩屑带出地表,而其长时间气举形成真空负压会将含水层中的地下水抽入井内。

当地层出水量不大时,只考虑环空中的岩屑和空气的压强,当环空中气流上返速度达到15 m/s就可以直接将岩粉带出地表,从而达到清洁井底的目的;当地层出水量较大时,还需要考虑环空中液柱产生的压强^[18]。



备注：地下水埋深80m。

图1 康平地热井井深结构示意图

$$P = \rho gh \quad (1)$$

式中： P ——液柱压强，Pa； ρ ——液体密度， kg/m^3 ； g

——常量， $9.8\text{m}/\text{s}^2$ ； h ——液面高度，m。

液柱所产生压强的大小主要取决于液柱的高度，出水量越大，液柱高度越大，液柱所产生的压强就越大，由于压强和压力成正比，所以压力越大。相比于环空中的液柱压力，环空中岩屑和空气压力可以忽略不计，当工作风压大于液柱压力时空气潜孔锤可正常钻进，而当工作风压小于或等于液柱的压力时，空压机就自动停止工作，也就是到了空压机工作极限。

3.2 供风量

供风量不仅是保证空气潜孔锤工作的基本条件，也是保证钻孔是否能正常排粉的重要因素，因为在干空气的钻进情况下，排粉效果的好坏，主要是和上返风速有关，而风速与供风量有直接关系。

供气量的计算公式^[19]如下：

$$Q \geq 60K_1K_2 \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) v \quad (2)$$

式中： Q ——供风量， m^3/min ； D ——钻孔直径，m； d ——钻杆直径，m； v ——上返风速， m/s ； K_1 ——孔深修正系数（由于孔深环状间隙损失增大，导致流量减小）； K_2 ——孔内有涌水时的风量增加系数，与涌水量有关，中、小涌水量时 $K_2=1.5$ 。

3.3 实际钻进参数

该地热井采用全空气钻进技术施工，选用的钻进参数见表1。

表1 康平地热井空气潜孔锤钻进参数

井段/m	钻头尺寸/mm	钻压/kN	空压机数量/台	增压机数量/台	进气量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1})$	风压/MPa
0~95	444.5	20	2	0	64	0.2
95~367	305	20	2	0	64	0.2
367~1273	261	20	2	3	100	0.9
1273~2250	152	15	3	3	100	0.9

4 施工工艺技术与施工效果

4.1 施工简况

该井用 $\text{O}444.5\text{mm}$ 钻头开始打导管，钻至井深95m，下入壁厚为10.03mm的 $\text{O}340\text{mm}$ 石油套管至95m，并用42.5#水泥配制成密度 $1.80\text{g}/\text{cm}^3$ 的水泥浆固结。

在导管固井候凝后，采用2台空压机、2台增压机进行空气潜孔锤钻进。用 $\text{O}305\text{mm}$ 空气钻头进

行一开钻进，钻进至370m，一开钻进结束。后下入 $\text{O}244.5\text{mm}$ 壁厚8.94mm的J55石油套管至370m，套管总长370m。用42.5号水泥配制成密度 $1.80\text{g}/\text{cm}^3$ 的水泥浆固井，水泥浆返出地面。

用 $\text{O}216\text{mm}$ 空气潜孔锤钻头进行二开钻进，钻至井深1270m，二开钻进结束。后下入 $\text{O}178\text{mm}$ 壁厚8.05mm的J55石油套管至1270m，套管总长930m，与一开套管搭接30m。用42.5号水泥配制成密度 $1.80\text{g}/\text{cm}^3$ 的水泥浆，采用穿鞋带帽方式

固井。

用 $\varnothing 152$ mm空气潜孔锤钻头进行三开钻进,钻至井深2250 m,三开钻进结束。后下入 $\varnothing 127$ mm壁厚7.92 mm的J55石油套管(花管)至2150 m,套管总长1010 m,与二开套管搭接30 m。

最后下水泵至900 m处进行了3个降深的抽水试验,得到最大出水量为 $203\text{ m}^3/\text{d}$,水温 $35\text{ }^\circ\text{C}$ 。本井至此成功完井。

4.2 抽水实验

本井将抽水泵下入900 m处,共进行了48 h的大降深抽水试验作业和48 h的小降深抽水试验作业。通过抽水试验,得到出水量与出水温度数据如下:

当降深为750 m时,出水量为 $203\text{ m}^3/\text{d}$,出水温度为 $35\text{ }^\circ\text{C}$;当降深为500 m时,出水量为 $140\text{ m}^3/\text{d}$,出水温度为 $34\text{ }^\circ\text{C}$ 。

4.3 施工效果评价

(1)本井三开井段进行了一次连续井斜、井径测量,井径变化不大,井斜符合要求,井身比较规则,狗腿度小。全井井斜低于 4° ,井身质量优秀,符合设计要求。

(2)岩屑录井为钻探获得地质资料手段之一,经测井资料校验,本井录井分层符合率达标。

(3)本次测井采用石油测井仪器进行地球物理测井,经处理,所测曲线正常。获得的测井数据可为成井提供相应依据。

(4)抽水试验按规范进行,进行了二个降深的抽水实验,总共历时7 d,出水合格,所获数据准确,结果可靠。

5 结论与建议

(1)该地热井采用空气潜孔锤钻进技术施工,并创造了全国沉积岩地热井空气钻进深度之最,井深达到2250 m,最大出水量达 $203\text{ m}^3/\text{d}$,出水温度为 $34\text{ }^\circ\text{C}$,全井空气钻进过程较为顺利;

(2)潜孔锤钻进最大的成本支出就是空压机租赁费和耗油费,井深和出水量决定了工作风压和供风量的大小,而上述费用的高低与风量、风压关系密切。因此,根据井深和出水量及时调整工作风压和供风量,提高钻井效率,节约钻井成本。

参考文献:

- [1] 马晓东. 砂岩孔隙型地热资源高效勘查成井[J]. 地质与勘探, 2020, 56(1): 173-181.
- [2] 赵华宣, 李强, 陈涛, 等. 贵州碳酸岩地层地热深井空气潜孔锤钻进技术应用研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2017, 44(2): 37-42.
- [3] 宋继伟, 蒋国盛, 苏宁, 等. 贵州省复杂地层地热深井钻探工艺[J]. 地质与勘探, 2018, 54(5): 1024-1037.
- [4] 周小波, 彭雄, 杨哲. 空气钻井技术在桑植~石门复向斜构造Z-1井的应用[J]. 江汉石油职工大学学报, 2019, 32(6): 28-31.
- [5] 郝文奎, 宋宏兵, 康亢, 等. 多工艺空气钻进技术在深水井施工中的应用实践[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2014, 41(12): 11-14.
- [6] 陈岳军. 老君1井空气钻井技术[J]. 西部探矿工程, 2007(7): 77-79.
- [7] 宋国龙, 李进安, 王超. 空气钻进技术及其在内蒙古供水井施工中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2016, 43(11): 52-54.
- [8] 陈浩. 空气潜孔锤用于岩溶地区水井施工的研究[J]. 资源信息与工程, 2016, 31(2): 118-119.
- [9] 陈莹, 卢玮, 申云飞. 多工艺钻进技术在地热开发中的应用[C]//第二十届全国探矿工程(岩土钻掘工程)学术交流年会论文集. 北京: 地质出版社, 2019, 185-190.
- [10] 皮微微, 杨春柳. 空气潜孔锤在含金砾岩地层中的钻进试验[J]. 地质装备, 2017, 18(1): 35-37.
- [11] 侯树刚, 舒尚文, 李铁成, 等. 空气钻井安全钻进特性分析[J]. 石油钻探技术, 2007(6): 50-53.
- [12] 王春生, 邓柯, 刘殿琛, 等. 连续循环空气钻井技术在BZ18井的应用[J]. 钻采工艺, 2020, 43(3): 104-107.
- [13] 陈浩. 空气潜孔锤在贵州百里杜鹃地热深井中的应用[J]. 资源信息与工程, 2016, 31(3): 76-77.
- [14] 吴红兵, 曹雷强. 潜孔锤钻井技术在吴集下料孔的应用[J]. 世界有色金属, 2020(2): 242, 245.
- [15] 李兴兵. 空气潜孔锤钻进技术在七角井矿井充填孔施工中的应用[J]. 世界有色金属, 2019(3): 139-141.
- [16] 李永生. 潜孔锤空气钻进工艺在大同煤田钻井施工中的应用[J]. 同煤科技, 2018(6): 17-19.
- [17] 詹建国. 空气潜孔锤钻进在石千峰、刘家沟组复杂地层条件下的应用[J]. 山西煤炭管理干部学院学报, 2015, 28(2): 13-14, 17.
- [18] 胡光琳, 张珂耀. 气举作用在煤层气井生产中带来的负面影响及应对措施[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2009, 36(S1): 202-203.
- [19] 赵华宣, 王玉军, 张平, 等. 贵州复杂地层深井空气潜孔锤钻进设备机具配置的探讨[J]. 西部探矿工程, 2016, 28(9): 46-48, 51.