

北京地区地热井钻探工艺发展

彭新明^{1,2}, 张 勇², 赵立新³

(1. 吉林大学 建设工程学院, 吉林 长春 130026; 2. 北京市地热研究院, 北京 100039; 3. 北京市地质工程勘察院, 北京 100037)

摘 要:20 世纪 70 年代初期以来,北京地区地热资源勘探开发日益发展,应用了泥浆正循环、气举反循环、高压喷射、泡沫增压等钻探工艺,地热井钻探工艺不断完善和多样化。论述了北京地区地热井钻探工艺的发展情况,并提出了北京地区地热井钻探工艺方法选择的建议。

关键词:北京地区;地热井;钻探工艺;发展

中图分类号:TE249 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2004)08-0056-04

北京市是世界上少数几个拥有地热资源的首都之一。早在 20 世纪 70 年代初期,北京市水文地质工程地质大队(现北京市地质工程勘察院)在城区开展地热普查勘探工作,陆续打成一批热水井,水量丰富,水温介于 35~73℃。经过 30 多年发展,北京市的地热勘探开发工作已取得突破性进展。近年来,在北京城南、城北、城西北以及城西地区,先后打成一批地热井。地热井的深度以往多为数百米至 1000 m,现多数为 2000~3000 m,最大井深已达 3600 m;热水温度已由以往最高水温 70℃增加到 88℃。此外,北京地热井数量增加的速度也是可观的,据《北京市地质矿产志》(2001),到 1996 年底,北京地热井总数为 136 眼(正常运转 92 眼);2002 年北京市国土资源和房屋管理局的最新统计结果表明,北京地热井总数已超过 250 眼。

1 北京地区地热井钻探概况

1.1 20 世纪 70 年代初

20 世纪 70 年代初,北京地区开展地热勘查与开发钻探。最初工作范围较小,探采埋藏较浅的地热资源,一般孔深在 500~1000 m。采用的钻探设备多为 XB-1000 型岩心钻机,配 BW250/50、BW240/60 和 BW240/40 三种型号泥浆泵。钻具多为 Ø60 mm 钻杆,Ø108 和 Ø121 mm 的钻铤。钻进和成井工艺方法仍是 60 年代的小径间隔取心、大径多级扩孔成井的工艺方法。千米深的地热井,井身结构一般采用终孔直径 170~110 mm 的 4 级口径塔式结构。此时期钻探效率低,成井周期长,一般完

成一眼千米地热井需 8~12 个月。

1.2 20 世纪 70 年代中后期至 80 年代初期

20 世纪 70 年代中后期,地热勘查范围扩大,井深增加,浅孔岩心钻机已不能满足要求,需逐渐更新设备。1979 年北京市水文地质工程地质大队对 THJ-1500 型岩心钻机加以适当改装配套,用于 1000~1500 m 中深孔地热钻探。1981 年调进罗马尼亚 T-50B 型石油钻修两用钻机,进行了一系列的改造和配套,用于 2000 m 以内地热钻探。北京市水文地质工程地质大队于 1981~1985 年用 T-50B 型钻机完成 5 眼地热生产井,平均井深 1786 m。其中,有 2 眼分别达到 2070.80 m 和 2101.23 m。1974~1975 年,北京市地矿局 104 队用罗马尼亚 2DF-200 型石油钻机在中山公园完成一眼深 2600.50 m 的地热井。钻具规格有:Ø73、89 mm 钻杆,Ø121、146、159 mm 钻铤等。

此阶段由于设备能力的增加,钻进、成井工艺也有较大改进。在电测井和岩屑录井的配合下,逐渐采用牙轮钻头和刮刀钻头全面钻进方法,简化了井身结构,1500 m 以内的地热井,基岩以上井段仅一级口径,减少了扩孔次数。在用 T-50B 型钻机时则不需扩孔,只用 3 级口径成井。提高了钻进效率,缩短了成井周期 1~1.5 个月。

1.3 20 世纪 80 年代中期至今

20 世纪 80 年代中期后,在钻具组合和成井管材方面,借鉴石油钻探和 API 标准,结合北京地区特点,初步形成了水文水井及地热井钻探的钻杆、钻铤和套管的标准系列。钻机型号有:RPS-2500、RPS

收稿日期:2004-02-24; 改回日期:2004-07-01

作者简介:彭新明(1970-),男(汉族),江西九江人,吉林大学博士研究生在读,北京市地热研究院工程师,探矿工程专业,从事水文水井及地热井钻探工作,北京市海淀区田村路 39 号,13910099062。

-3000、大庆Ⅱ-130、TSJ-660/60、TSJ-2000、TSJ-2000A 等。泥浆泵排量大,达 600~1200 L/min。钻具规格有:Ø73、89、114、127 mm 钻杆,Ø114、127 mm 双壁钻杆,Ø121、146、159、165、178、203 mm 钻铤等。采用多种钻探工艺,钻进效率高,成井质量好。一般完成一眼 2000 m 地热井仅需 3~6 个月。

2 北京地区地热井钻探工艺

2.1 泥浆正循环钻探工艺

尽管近 10 年来,反循环钻探、冲击钻探、潜孔锤钻探、欠平衡钻探等钻探工艺得到了百花齐放式的应用及发展,但钻探工艺的主流依然是泥浆正循环回转钻探。各种钻探工艺都有其针对性,但常规钻探工艺具有最广泛的适用性。

2.1.1 工艺参数

(1) 钻压

在较深地热井钻探中,钻压加不足是常见的,这是影响钻进效率的主要因素之一。例如,中软地层用 Ø215 mm HA537 钻头,推荐钻压为 107~226 kN,在生产中因钻铤和钻杆质量问题所加压力一般为 50~70 kN。

钻压不足对机械钻速的影响较明显,尤其是钻进中硬以上地层时。一般钻压使岩石实现体积破碎即可,此时,上返岩屑颗粒较大。

(2) 转速

牙轮钻头主要以牙齿对岩石的冲击、压碎和剪力作用来破碎岩石。硬和极硬地层主要靠牙齿对岩石的冲击、压碎作用来破碎;极软和软地层主要靠牙齿对岩石的剪切作用来破碎;中软、中硬地层靠这两种作用同时破碎地层。因而,对于极软和软地层采用低压高速,对于硬和极硬地层采用高压低速。

(3) 泥浆参数

泥浆的主要作用是保持孔底清洁,并维护孔壁稳定。北京地区地热井钻进中,一般较好的泥浆性能为:失水量 10~15 mL/30 min,密度 1.05~1.15 g/cm³,粘度 25~32 s,泥皮厚度 0.5~1 mm,pH 值 8~10。对于泥岩地层,应加入降失水剂,泥浆性能应为:粘度 20~25 s,失水量 <10 mL/30 min,用好的粘土造浆或提高粘土颗粒含量(能防泥岩造浆)。现场须配有振动除砂器和旋流除砂器,并及时去除废浆。

(4) 泵量

泵量应保证孔底干净,无残留岩屑。孔内岩屑过多,不但会出事故,而且影响效率。一般常配的泥

浆泵排量为 600、850 或 1200 L/min。泵量大效果好。

2.1.2 钻具组合

Ø445 mm(或 Ø311 mm)钻头 + 1~2 柱 Ø203 mm 钻铤 + 3 柱 Ø178 mm 钻铤 + n 柱 Ø127 mm 钻杆;

Ø215 mm 钻头 + 3 柱 Ø178 mm 钻铤 + n 柱 Ø127 mm 钻杆;

Ø445 mm(Ø311 mm 或 Ø215 mm)钻头 + 2 柱 Ø159 mm 钻铤 + 2 柱 Ø146 mm 钻铤 + 2 柱 Ø121 mm 钻铤 + n 柱 Ø89 mm 及 Ø73 mm 钻杆;

Ø152 mm 钻头 + 3~6 柱 Ø121 mm 钻铤 + n 柱 Ø73 mm 钻杆。

(注:1 柱=2 单根,一般单根长 9~9.5 m)

2.1.3 钻探技术难点

(1) 糊钻及缩径

在北京市朝阳区、崇文区、丰台区等地区,施工地热井需钻进较厚的第三系泥岩地层及页岩夹层。泥页岩为水敏性溶胀分散地层,膨胀缩径,泥浆增稠,钻头泥包,在钻井中常遇到不同程度的遇阻、卡钻、缩径等情况。

三牙轮钻头钻进泥页岩时,岩屑常积存于牙齿之间,形成“泥包”。其主要原因是:泵量小;由于造浆作用,孔底泥浆粘度较大;牙轮自转不灵活。

克服糊钻和缩径的措施有:加大泥浆泵排量,选用 BW1200 型泥浆泵,或将 2 台 BW600/60 型泥浆泵并联,加大泥浆泵排量;使用泥页岩抑制性泥浆;优化技术措施。

(2) 漏失

在热水层中钻进时,会遇到漏失情况,有时漏失严重不返浆。北京地区热水储层为白云岩,孔壁稳定性较好,因而可采用清水顶漏钻进。在取水目的层以上钻进时,对于小漏失,可以在泥浆中加锯末或堵漏剂进行堵漏;较大漏失时,可向孔内投入粘土球;对于难于堵住的大漏失,可改用气举反循环钻进,也可下管封隔,或采用泡沫泥浆钻进。堵漏方法较多,可根据实践经验选择。

2.2 气举反循环钻探工艺

北京地区地热钻探方面最大的特点是广泛采用气举反循环钻探工艺。气举反循环钻探工艺能避免泥浆对环境的污染及对含水层的淤塞,并能克服地层漏失。在目的层钻进时采用该工艺可以免去化学洗井工序。

1983 年,北京市水文地质工程地质大队成立气

举反循环钻探工艺研究组,1984年开始试验,选择不同性能的岩心钻机、水文水井钻机和不同地层,进行了气举反循环钻探工艺的试验研究,并率先设计研制成功气举反循环钻进用双壁式钻杆和并列式钻杆。

北京市水文地质工程地质大队一直在水文水井及地热井钻探中不断研究及大力推广气举反循环钻探工艺,1994年气举反循环钻探工艺最大钻进深度达1117.36 m,为当时国内最高水平,并一直保持着国内领先水平,现能应用该工艺钻进至2000余米孔深。

气举反循环钻探工艺在硬件配备上只需空压机、气水混合器、双壁钻杆、双壁主动钻杆及配套水龙头。对于超过1000 m的钻孔,需配备大功率的空压机。难点是双壁钻杆的密封问题。

钻具组合:Ø311、215或Ø152 mm钻头+钻铤+钻杆+气水混合器+Ø114或Ø127 mm双壁钻杆+双壁主动钻杆。

钻探工艺参数:沉没比>0.5。一般配置WY-7.5/40、WY-5/40等型空压机。

例如,某地热井取水目的层采用气举反循环钻探工艺。采用RPS-2500型钻机,WY-7.5/40型空压机;设计孔深2400 m;钻具组合:Ø152 mm钻头+Ø121 mm钻铤+Ø73 mm钻杆+气水混合器+Ø127 mm双壁钻杆+双壁主动钻杆。气举反循环钻探工艺施工井段从2070.07~2401.02 m,共计进尺330.95 m,钻探总台时400.34 h,单位辅助时间0.52 h/m,纯进尺效率提高到1.45 m/h。

2.3 高压喷射钻探工艺

随着深部地热资源的开采,地热井深度的加大,石油钻探设备进入北京地区地热钻探市场,石油钻探队伍采用高压喷射钻探工艺,大大提高了钻进速度和成井质量,尤其是克服了泥页岩泥包钻头的问题,缩短了工期。

高压喷射钻井是采用喷射式钻头,以很高的泵压使泥浆自钻头喷嘴产生很高的喷射速度(最高达75~100 m/s)的一种钻井工艺。它一方面可以利用高流速的泥浆冲刷井底,帮助钻头破碎岩石;另一方面又能更好地清洗井底和钻头,加速钻进。高压喷射钻井要求配备大功率的强力泵,相应地配合使用低固相泥浆,保证泥浆的除砂和净化效果。使用这种钻井工艺可以提高钻速1~2倍,提高了地热井钻井效率。

例如,位于北京市马甸桥附近的某地热井采用

高压喷射钻井工艺,钻速快,效率高,工期短,成井质量好。该井孔深3800 m,孔口水温68℃,水量>2000 m³/d,为自流井。

2.4 泡沫增压钻探工艺

为了解决泥浆对含水层的淤塞、漏失问题,2003年1月首次采用水文水井泡沫增压钻探工艺钻进地热井。

钻孔位于北京市第一建筑构件厂东厂区,施工场地狭小,周围设备多。

水文地质条件:0~180 m为第四系粘土、砂及砂砾,180~700 m为第三系砂砾岩、砂岩,700~920 m为铁岭组白云岩,920~1000 m为洪水庄组页岩,1000~1300 m为雾迷山组白云岩。取地热水目的层为雾迷山组白云岩。

成井结构:0~302 m,孔径445 mm,下入Ø339.7 mm表层管,水泥固井返高至地表;302~985 mm,孔径216 mm,下入Ø177.8 mm技术套管,技术套管与表层管重叠30 m;985~1300 m,孔径152 mm,裸眼。采用泡沫增压钻探工艺时,孔内已下入技术套管,套管下入深度为985 m。

钻具组合:Ø152 mm钻头+Ø121 mm钻铤+Ø89 mm钻杆+Ø73 mm钻杆。

钻进参数:钻压30 kN;转速87 r/min;泡沫泵排量40 L/min,压力0.4~0.6 MPa;增压装置进气压力0.4~0.6 MPa,进气量7~8 m³/min,泵出压力2.0~5.5 MPa;泡沫液浓度0.5%~0.8%,最高时达2%。

2003年1月17日,下钻至水泥塞顶面881.09 m,开始钻进水泥塞,至2003年1月24日,钻至1001.08 m。其中881.09~985 m为水泥塞,985~1001.08 m为白云岩。工作时间112 h,纯钻时间55 h,辅助时间57 h。在白云岩内最高钻速1.8 m/h。

钻进881.09~961.75 m水泥塞时,泡沫由漏失处进入地层,不上返至孔口,孔底干净。961.75~1001.08 m钻进时,泡沫上返至孔口,漏失处已堵住;泡沫经消泡后排到泥浆坑,孔口密封装置效果好,转盘干净。正常循环时,消泡装置能将泡沫消除干净,但当目的层出水量较大时,泡沫水柱会间歇性经消泡口喷出,持续时间3~5 min。此时应停钻,上提钻具几米,待喷涌结束后,再钻进。在这次生产应用试验中,第一次喷出泡沫水柱时,仍在钻进,导致钻头水眼堵塞,增压装置输出压力上升至8.6 MPa,此时安全阀打开。

泡沫水柱经消泡口间歇性喷出后,施工现场泡

沫漫布,由于在厂区施工,场地小,设备多,影响到地表操作及工厂生产,在甲方的建议下,停止了泡沫钻进,改用气举反循环钻进。

2.5 成井结构

常采用三级井身结构:开孔口径 $\phi 445$ mm,下入 $\phi 340$ mm 表层套管、固井,水泥返高至地表;换径钻进,下入 $\phi 177.8$ mm 技术套管、“穿鞋戴帽”,水泥返高 300 ~ 500 m;再换径钻进至终孔,一般热水层为裸孔,地层破碎较严重时才下滤水管,终孔口径一般为 152 mm。井身结构没有固定的模式,如地层条件不好时,可采用四级井身结构,即在 $\phi 340$ mm 与 $\phi 177.8$ mm 套管之间下入 $\phi 245$ mm 套管,此时孔径一般为 311 mm,下管后“穿鞋戴帽”。

“穿鞋戴帽”指的是将技术套管与孔壁的下部环空、上部环空用水泥浆固结。

2.6 洗井技术

20 世纪 70 年代后期,在洗井技术上有了重大突破。1977 年北京市水文地质工程地质大队在盐酸洗井的基础上,创造了二氧化碳压酸洗井技术方法,比用活塞和空压机洗井增加出水量几倍到几十倍。此技术经地矿部在全国推广,取得了显著的社会经济效益。目前,地热井的洗井方法有:(1)对于气举反循环施工的目的层,采用空压机洗井,必要时物化处理。(2)对于泥浆钻进的目的层,采用洗井液、盐酸、二氧化碳、压风机及水泵联合洗井,达到水清砂净。

3 结语

北京地区拥有丰富的中低温地热资源,地热钻探与水文水井钻探基本上相同,只是在钻孔深度上和成井工艺上有一些区别,一般的地热井孔深大,固井要求高。地热井钻井风险偏大,不仅要求水量,还要求水温满足合同规定。地热井的设计水量一般较供水井小,有时因水量不足而导致工程失败,因而在目的层钻进时,采用气反举循环钻进或泡沫钻进具有重要意义。

例如,某地热井设计孔深 2500 m,采用泥浆正循环工艺施工。钻探终孔后,测井资料表明取水目的层裂隙尚可,但出水量偏小,洗井前水量约为 $400 \text{ m}^3/\text{d}$ 。经过 11 次洗井,费用达 50 万元人民币,出水

量达到 $800 \text{ m}^3/\text{d}$,其原因是:该井采用泥浆正循环钻进,裂隙部分被堵塞,水路不畅。若采用气举反循环钻探工艺或增压泡沫钻探工艺施工,不仅不会堵塞含水目的层裂隙,其循环过程中产生的负压还能将裂隙中的堵塞物携带出来,增大出水量。

可见,北京地区地热井钻井过程中的最大风险是水量不足,而不同的钻探工艺方法对取水目的层出水量有较大影响。因而,在钻进取水目的层时,应根据地质条件及技术设备情况,选择利于取水目的层出水量的钻探工艺方法。

(1)采用泡沫泥浆。一般泡沫泥浆的密度 $< 1 \text{ kg/L}$,对深井孔底的压持作用减弱,使泥浆对含水层的淤塞作用减弱。

(2)采用清水正循环钻进方法。清水正循环钻进比泥浆正循环钻进对含水层的淤塞作用小,但在清水正循环钻进过程中,有大量岩屑充填在含水层裂隙中,对出水量产生影响。

(3)采用气举反循环钻探工艺。该工艺对含水层没有淤塞作用。北京地区地热井设计孔深基本上不超过 4000 m。选用大型空压机, $\phi 127$ mm 双壁钻具,并对气水混合器进行改进,能使气举反循环钻探工艺钻进能力达到 3000 ~ 4000 m。

(4)发展泡沫增压钻探工艺。该工艺在钻进过程中,能于孔底形成较大负压,此时,对取水目的层产生抽吸作用,不会淤塞含水层。该工艺需配备小型空压机及泡沫增压装置,目前正处于应用推广阶段。

北京地区地热资源的勘探开发已形成了科学管理、综合利用的良好格局,地热井钻探工艺已基本成熟。

参考文献:

- [1] 黄尚瑶,杨毓桐.中国城市地热开发 30 年[A].刘久荣,等.北京地热国际研讨会论文集[C].北京:地质出版社,2002.
- [2] 北京市地方志编纂委员会.北京志地质矿产水利气象卷地质矿产志[M].北京:北京出版社,2001.259-268.
- [3] 李安宁,孙友宏,彭新明.北京地区地热井钻探技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2001,(5).
- [4] 彭新明.提高深水井工程效益的几点探讨[J].北京地质,2000,(4).