

重庆市秀山县 ZK2 地热井定向井段钻进工艺

陈俊松¹, 尚亚军^{1,2}, 杨建军^{1,3}, 孙宇^{1,2}

(1. 重庆市渝勘钻探有限公司, 重庆 400700; 2. 重庆市地质矿产勘查开发局 208 水文地质工程地质队, 重庆 400700;
3. 重庆市地质矿产勘查开发局南江水文地质工程地质队, 重庆 400700)

摘要: ZK2 井是重庆市秀山县的一口地热井, 在钻进至 1674.28 m 已达到设计目的层娄山关组, 而产水量未达到目的要求。为了增加产水量从而达到旅游开发的目的, 根据地质资料和地质手段重新寻找新的含水靶区, 并确定了在 1674.28 m 以深井段采用定向钻进方案, 用随钻测斜仪配合弯螺杆, 并以滑动钻进与复合钻进相结合的钻进方式调整井斜和方位, 从而顺利钻至目标含水靶区内实现了增产增温的目的。

关键词: 地热井; 定向钻进; 复合钻进; 随钻测斜; 螺杆; 含水靶区; 增产增温

中图分类号: P634; TE249 **文献标识码:** B **文章编号:** 2096-9686(2022)03-0037-07

Drilling process for the directional section of ZK2 geothermal well in Xiushan county, Chongqing

CHEN Junsong¹, SHANG Yajun^{1,2}, YANG Jianjun^{1,3}, SUN Yu^{1,2}

(1. Chongqing Exploration Co., Ltd., Chongqing 400700, China;

2. 208 Hydrogeological Engineering Geological Team of Chongqing Geological and Mineral Exploration and Development Bureau, Chongqing 400700, China;

3. Nanjiang Hydrogeological Engineering Geological Team of Chongqing Geological and Mineral Exploration and Development Bureau, Chongqing 400700, China)

Abstract: ZK2 well is a geothermal well in Xiushan county of Chongqing city. It reached the design target formation of the Loushanguan Group at depth of 1674.28m, but the water yield did not meet the requirements. In order to increase the water yield to achieve the purpose of tourism development, new water-bearing target areas were investigated according to geological data and geological means, and a plan for directional drilling from 1674.28m was determined. With the MWD tool and the bent mud motor, the inclination and azimuth of the well were adjusted through the combination of sliding drilling and compound drilling with the well successfully drilled into the target area to increase water production and temperature.

Key words: geothermal well; directional drilling; compound drilling; MWD; screw; water bearing target area; increase production and temperature

0 引言

重庆市秀山县 ZK2 地热井设计井深 1980 m, 按照设计要求在井深 1438 m 位置进入主要热储层娄山关组, 在钻进至井深 1674.28 m, 达到并进入设计目的层位娄山关组 236.28 m 后, 进行抽水试验, 设

计获取水量 800 m³/d 左右、水温 >45 °C 的地热水资源。实际抽水水温为 47 °C, 抽水水量为 603.33 m³/d。产水量未达预期目的要求。由于水量偏小, 为了进一步增加产水量从而达到旅游开发的目的, 根据实钻情况与地质资料等综合研判圈定了新的含

收稿日期: 2021-09-22; 修回日期: 2022-03-08 DOI: 10.12143/j.ztgc.2022.03.005

第一作者: 陈俊松, 男, 汉族, 1991 年生, 钻井技术专业, 长期从事深孔钻探施工技术与管理工, 重庆市北碚区奔月路 49 号, 1536016021@qq.com。

引用格式: 陈俊松, 尚亚军, 杨建军, 等. 重庆市秀山县 ZK2 地热井定向井段钻进工艺[J]. 钻探工程, 2022, 49(3): 37-43.

CHEN Junsong, SHANG Yajun, YANG Jianjun, et al. Drilling process for the directional section of ZK2 geothermal well in Xiushan county, Chongqing[J]. Drilling Engineering, 2022, 49(3): 37-43.

水靶区,并确定靶点坐标。经地质部门研究决定在1674.28 m以深井段采用定向钻进工艺,且以井深1674.28 m作为造斜点,按照设计轨迹钻进至靶区范围内。在顺利中靶后应业主要求,继续沿原轨迹钻进至井深2208 m裸眼完井,完钻后井底垂深2182.07 m,闭合位移285.43 m,闭合方位110.98°。定向井段施工完成后水温 $>52\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上,水量 $>1500\text{ m}^3/\text{d}$,超过了设计预期要求。实践证明,采用定向钻进工艺成功地解决了ZK2地热井产水量小的问题。

1 基本情况

1.1 井身结构

一开 $\text{O}311.2\text{ mm}$ 钻至400.00 m,下入 $\text{O}244.5\text{ mm}$ J55石油套管;二开 $\text{O}215.9\text{ mm}$ 钻至1176.97 m,下入 $\text{O}177.8\text{ mm}$ J55石油套管;三开 $\text{O}152.4\text{ mm}$ 钻进至2208.00 m完井,其中定向井段为1674.28~2208.00 m,因地层稳定采用裸眼完井。井身结构和套管程序如图1所示。

在钻进至井深1674.28 m达到并进入设计目的层位娄山关组236.28 m时由于产水量小,所以对该

井周围进行音频大地电磁物探,通过对比井身轨迹曲线和音频大地电磁物探的剖面图,发现物探推断溶蚀区未出现在井深点1674.28 m以浅,而是在井深点1674.28 m以深西北方向,通过综合研判发现井深0~1674.28 m未出现含水圈,含水圈很可能存在于井深点1674.28 m以下西北方向。因此决定在井深1674.28 m开始采用定向钻进工艺沿西北方向钻至物探推断溶蚀区。

1.2 定向钻进技术要求

ZK2井是地热水探采结合的定向井,构造位置为峨溶背斜的西翼三块土向斜的东翼。井深0~1674.28 m为直井井段,井深1674.28~2208.00 m为定向钻进井段,造斜点井深1674.28 m,完钻井深2208.00 m,靶区半径10 m,磁偏角 -3.52° ,设计最大井斜 10.24° ,定向方位 110.83° 。A靶点设计井深2068.02 m,A靶点设计垂深2044.57 m,A靶点设计位移267.8 m。要求定向井井身造斜段连续3点全角变化率 $\geq 16^{\circ}/100\text{ m}$,井径规则,不得出现键槽和“狗腿”^[1]。

2 定向钻进井段施工工艺

2.1 定向钻进思路及方法选择

根据地质资料和设计的要求,结合ZK2井实钻情况,经充分了解国内地热井定向钻探施工经验,确定以下几点定向钻进施工思路。

(1)造斜位置:做好造斜点的选择不但可以有效地防止坍塌和缩径,而且可以有效避免层位造斜异常^[2]。从井深1674.28 m处开始造斜,该井段未出现溶洞和裂缝,岩石较完整,且有足够长的井段进行定向钻进。

(2)定向钻进井段口径:与三开口径保持一致,即 $\text{O}152.4\text{ mm}$ 。

(3)定向方位和井斜原则:先调整方位到预定方位,再调整井斜,轨迹曲线稳定后随钻控制方位角和井斜角在设计要求范围内。

(4)钻进方式:定向钻进井段采用滑动钻进和复合钻进相结合,保证定向轨迹平滑,定向钻进时全角变化率控制在 $(1^{\circ}\sim 1.5^{\circ})/30\text{ m}$,尽量增加复合钻进井段比例。

(5)定向钻进时随钻测井斜、方位,及时检查定向效果,并依据测井数据随时调整定向钻进各项参数。

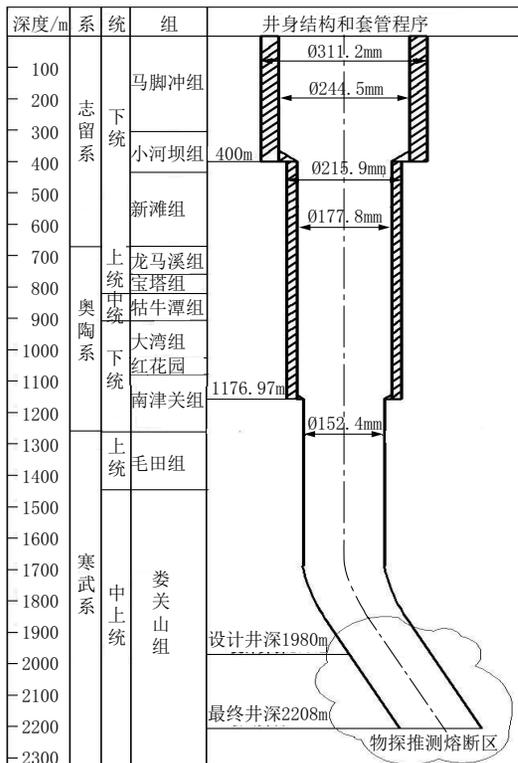


图1 井身结构和套管程序

Fig.1 Well structure and casing program

目前国内常用的地热井定向方法有以下几种:地面定向法,工序复杂,准确性差,目前已经很少应用;井底定向法,工序简单,准确性高,但是不适合长时间、长井段连续定向;弯螺杆配合无线随钻测井仪的随钻定向法,定向精确、钻孔轨迹可控且可连续造斜,能够满足需要定向要求。

根据上述定向钻进思路,本井选用弯螺杆配合无线随钻测井仪的随钻定向法。

2.2 主要设备、仪器选用

根据ZK2井井深在2600 m以浅、水平位移不超过300 m的情况,选用SPS2600型钻机,该钻机的提升能力和回转能力完全可以满足该井施工的需要。泥浆泵选用F-1300型泥浆泵。定向钻进前,根据钻孔井深、井径等情况选择适宜的定向器具,分别为:

(1)5LZ127×7.0L-4-900型螺杆,5头4级单弯螺杆,弯曲度1.5°。

(2)MWD无线随钻测井仪和数据处理系统。

(3)∅121 mm无磁钻铤9.06 m。

(4)∅152.4 mm PDC钻头,型号WH461P-6。

2.3 钻具组合及钻进参数

2.3.1 钻具组合

因定向钻进井段1674.28~2208.00 m的井径为152.4 mm,属于小井眼,所以选配小直径的无磁钻铤和定向螺杆入井,定向钻具组合为:∅152.4 mm钻头+∅127 mm单弯螺杆6.31 m+定向接头+∅121 mm无磁钻铤9.06 m+∅121 mm钻铤57 m+∅88.9 mm钻杆1804 m+变径接头+∅127 mm钻杆+保护接头。

在以上钻具组合中,通过减少∅121 mm钻铤入井的数量,增加钻具的柔性,减小摩阻^[3],从而使滑动钻进时更容易调整井斜角和方位角,同时又保留了钻具的一部分刚性,使钻具在复合钻进时不会大幅度漂移,便于及时纠正井眼轨迹曲线。但是由于定向井段为小井眼井径,所以一部分钻具采用的是∅88.9 mm钻杆,因∅88.9 mm钻杆尺寸小,定向钻进稳定性低,对造斜强度和定向钻进效率会产生一定影响。同时造成整体钻柱抗拉强度降低,容易形成疲劳破坏,对井眼钻完井的安全性提出了挑战^[4-5]。

2.3.2 钻进参数

(1)滑动钻进:钻压50~60 kN,泵压8.8~10.8

MPa,排量14~16 L/s。

(2)复合钻进:钻压30~50 kN,转盘转速40~45 r/min,泵压8.8~10.8 MPa,排量14~16 L/s。

2.4 钻井液选用

当进入造斜段和稳斜段后,因定向井段为地热水产层,保护产层是前提条件。所以,为避免污染产层,选择无固相钻井液,这样大大限制了钻井液的携岩能力,同时随着井斜的增加,钻具与井壁的接触面积越来越大,从而导致井壁对钻具摩擦力增大,会出现定向托压的现象,造斜率也会受到影响,这就对钻井液的润滑性要求更为严格,并且为了防止长时间使用无固相钻井液发生井壁坍塌,采取控制无固相钻井液的失水,增强钻井体系抑制性和提高无固相钻井液粘度的办法来解决^[6-7]。

采用的钻井液配方为:水+1%LV-CMC+0.5%HV-CMC+0.5%NaOH+0.25%Na₂CO₃+0.5%K-PAM+0.5%FA-367+0.25%XC。该配方能很好地抑制钻井液中的钻屑分散,改善钻井液流动性,增加润滑性减小摩阻,同时还能降低钻井液失水和巩固井壁用。同时通过加大泥浆泵排量的方法增加钻井液的上返速度,从而尽量多地携带出井眼内的岩屑。钻井液的性能为:粘度26~28 s,密度1.01~1.03 g/cm³,pH值7~8,失水量10~20 mL,泥饼厚度0.5 mm,初切1~2 Pa,终切4~6 Pa,塑性粘度8~10 mPa·s,动切力2~4 Pa·s,含砂量0.5%。

2.5 确定工具面角

随钻定向钻进通过控制螺杆钻具在井底部的工具面角度来调控井斜和方位的角度变化,从而控制井眼轨迹。目前工具面角的确定有计算法和图解法,而计算法较为精确也最为常用。

工具面角=理论计算安装角+反扭角。

理论计算安装角的确定:

$$\tan\beta = \sin(\Delta\alpha) / [\cos\theta_1 \cos(\Delta\alpha) - \sin\theta_1 \cot\theta_2]$$

式中: β ——理论计算安装角,(°); $\Delta\alpha$ ——定向前后方位角的变量,(°); θ_1 、 θ_2 ——定向前、后顶角,(°)。

反扭角取决于钻压、钻杆类型和长度。根据经验可知,大规格螺杆钻的反扭角较大,粗钻杆反扭角较小^[8]。同时井口钻具扭转角度越大,井底工具面达到稳态所需的时间越长,井口钻具扭转角度越大,扭矩传递效率越高^[9]。根据选定的靶点位置,要顺利中靶必须增井斜和降方位,工具面角应设定在

270°~360°,考虑到先调整方位角的原则,初始工具面角应设定在290°。本工程在实际的操作中还考虑到采用的是小井眼钻具,最终实际初始工具面角为295°。

2.6 下钻前的检查

(1)地面检查仪器:在下钻前首先在地面测试MWD无线随钻测井仪器是否正常启动,检查探管的油囊是否破损,并在地面模拟测试仪器信号是否准确,不准确及时修正。

(2)螺杆检查:连接螺杆前首先检查旁通是否完好,再用游车吊起螺杆钻具,测量轴承壳体与旋转短节间的轴向间隙,下放游车让螺杆钻具触到转盘,再测量轴承壳体与旋转短节间的轴向间隙是否在规定范围内^[10-11]。螺杆在井口连接方钻杆后开泵至泵压4~5 MPa观察螺杆运转是否正常有力,然后在下钻至螺杆出套管位置后再开泵试运转一次,运转正常方可继续下钻。

(3)工具装合差值的测量:在现场实际操作中,因钻具紧扣时的力度大小有差异,定向接头的定向座安装线与螺杆钻具的高边工具面不在同一平面内,这时就要用钢卷尺丈量记录定向母线逆时针超前定向座安装线的工具装合差值,通过工具装合差值计算出工具装合差角,并输入数据处理软件系统中用以修正工具面角。

2.7 定向钻进工艺措施

2.7.1 造斜段钻进工艺措施

在造斜前,提前冲孔并替换钻井液,到达造斜段后及时起钻更换定向钻具,同时将无线随钻测井仪器从钻具水眼放入无磁钻挺中,再下钻进行定向钻进。当钻具将要到达井底时,提前开泵缓慢下放钻具到井底,因已用测井仪器提前测到造斜点位置1674.28 m处的方位角为133.49°,井斜角为5.47°,遵从先调整方位再调整井斜的原则,首先通过转动转盘调整螺杆钻具在井底的初始工具面角度为295°来达到降方位角的目的,在调整方位角时,要根据附近地区的实钻资料,统计出方位漂移率,尽可能利用方位的自然漂移规律^[12],并使用小钻压滑动钻进的方式钻出符合设计的定向方位角110.83°,调整好方位角后再结合螺杆的工作压力和定向钻进时对钻压的要求,逐渐加大钻压至预定钻压,因设计最大井斜角为10.24°,所以通过调整工具面角在第四象限(270°~360°)范围内逐步增加井斜角,当形成一定的井斜

角后再根据地层倾角较大的特点结合定向钻具组合,采取分段复合钻进自然增斜与分量滑动钻进保障钻进轨迹在设计允许范围内的方式^[13],令滑动钻进与复合钻进有机结合,从而使井斜角达到10.24°。

在增井斜的过程中,因MWD无线随钻测井仪探管在无磁钻挺中,探管距井底距离为8.05 m,因此在实际测量时会出现井底测量数据滞后现象,开始进行增斜时,因井底测量数据滞后未能及时掌握井底数据,出现了增斜过快、过猛从而造成了“狗腿”的情况,针对这种情况,采用了短距离多点连续精确测量井斜角和方位角,根据井斜和方位角的变化规律预测出下一步应采取的工具面角,从而顺利完成了造斜段的井眼轨迹。在定向实施过程中,如果发现钻井轨迹与设计轨迹已出现了较大偏差时,还可以将超差井段用水泥进行封堵,重新在井底实施新的侧钻。定向井实钻垂直投影、定向井实钻水平投影、定向井实钻三维视图分别见图2~4。

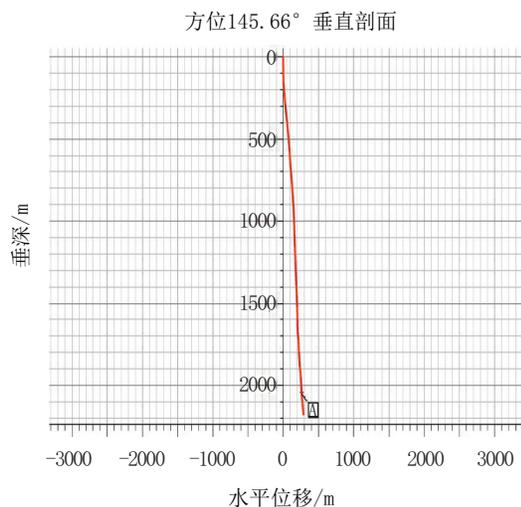


图2 定向井实钻垂直投影

Fig.2 Vertical projection of the directional well

在实际的造斜过程中,随着井斜的增加和井段的不断加深,钻具与井壁的接触面积也不断增加,从而摩擦阻力也越来越大,造成钻具粘卡的风险也会随之增大。特别是在长时间和长距离连续滑动钻进时因转盘长时间不活动,井内钻杆和钻挺长时间紧贴井壁容易造成粘卡钻。这时应尽量采用短距离滑动钻进,且滑动钻进时每隔1 h上提活动一次钻具,活动时至少上提出1根钻杆的行程,若活动行程不够长容易引起在钻具伸长掩盖下发生粘卡。在保证

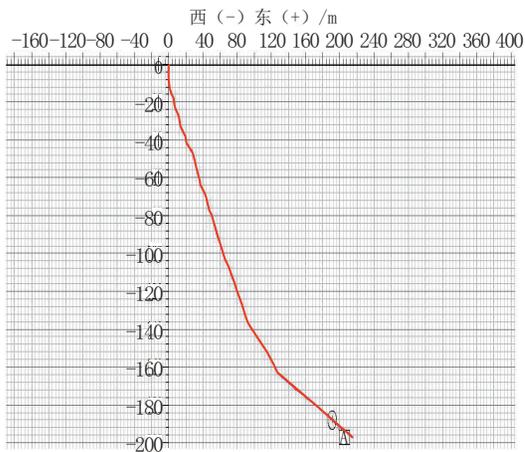


图 3 定向井实钻水平投影

Fig.3 Horizontal projection of the as-drilled directional well

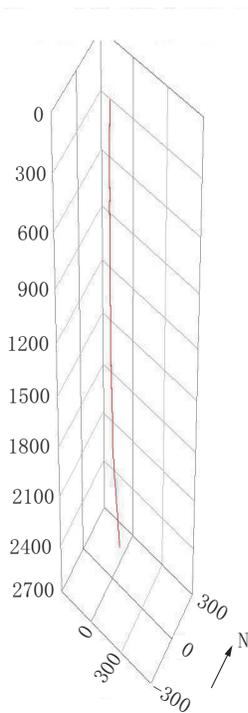


图 4 定向井实钻三维视图

Fig.4 3D view of the as-drilled directional well

安全、快速的前提条件下,顺利完成了造斜段施工。

2.7.2 稳斜段钻进工艺措施

当结束造斜段,且井底井斜和方位达到设计要求时,进行稳斜钻进。为了在稳斜井段稳住造斜效果和保证井眼轨迹的平滑,稳斜井段采用以复合钻进为主、滑动钻进为辅的钻进原则。在稳斜井段钻

进过程中,使用小尺寸钻具配合 PDC 钻头进行复合钻进时,井深超过 1750 m 以后钻进轨迹会出现漂移,即使是在同一地层娄山关组中复合钻进,井斜角和方位角也会发生不规则地增加和减少^[14],因此在稳斜井段中,不管是滑动钻进还是复合钻进,每钻进完 1 根单根后都要及时测井斜角和方位角,保证在稳斜段对井眼轨迹的检测密度,以便于轨迹出现偏差时及时采用滑动钻进纠正井斜和方位,从而实现控制井眼轨迹的目的。最终顺利中靶,中靶后继续沿原轨迹钻进至 2208.00 m 完钻,定向钻进井段实钻数据见表 1。

表 1 ZK2 井定向钻进井段实钻数据

Table 1 Actual drilling data of the directional well section of ZK2 well

关键点	井深/m	井斜角/ (°)	方位角/ (°)	垂深/m	位移/m
	1674.28	5.47	133.49	1657.84	206.50
造斜点	1750.00	8.05	114.40	1731.96	215.62
	1900.00	9.92	110.37	1879.76	236.75
A 靶点	2068.02	10.70	115.98	2044.75	263.00
	2100.00	10.94	114.18	2076.10	268.35
井底	2208.00	11.05	110.98	2182.07	285.43

2.8 定向钻进施工注意事项

(1)ZK2 井在定向钻进井段,随着井斜的增大会出现明显的托压现象,长时间不活动钻具容易造成粘卡钻。这时要在滑动钻进时每隔 1 h 上提活动一次钻具。

(2)无线随钻测井仪探管距井底有一定距离,开始进行增斜时,因井底测量数据滞后未能及时掌握井底情况,出现增斜过快、过猛而造成“狗腿”的现象,在操作时采用短距离多点连续精确测量井斜角和方位角,从而根据井斜角和方位角的变化率预测出下一步应采取的工具面角。

(3)为了避免污染储层,定向钻进井段采用无固相钻井液体系,钻井液的润滑性和携岩能力较低,因此在定向钻进时采用大排量循环和及时活动钻具,有效增加携岩能力并降低了卡钻风险。

(4)每次接单杆后,钻具会存在未释放的扭矩力,所以在定向钻进前需上下多次活动钻具消除扭矩力对调整工具面的影响,且活动时至少上提出 1 根钻杆进行长行程的活动。

3 经验体会

(1)在增斜井段的施工中,出现了当井斜形成一定的倾角后采用复合钻进仍具有增井斜的趋势,因此在今后的定向钻进时,要充分考虑这一趋势,不可造斜过度造成施工难度增加。

(2)在稳斜井段使用PDC钻头进行复合钻进时,当井深超过1750 m以后,即使是在同一地层中复合钻进,由于地层因素很有可能使钻头出现不对称切削,使井斜角和方位角也会发生不规则增加和减少^[15],因此建议每钻进3~6 m检测一次井斜角和方位角,发现偏差时及时采取滑动钻进纠正,且滑动钻进距离每次在2~4 m最佳。

(3)在定向钻进中选用适合岩性的PDC钻头配合定向螺杆使用。PDC钻头通过优化井底流场更高效地将岩屑带离复合片的切削区域,并对复合片进行有效冷却,减小钻头泥包风险^[16]。钻井效率达到5.1 m/h。单只钻头寿命从过去的200~300 m,提高到600~1000 m,整个定向钻进井段只使用了一个钻头,避免了在定向钻进过程中更换钻头的情况,提高了纯钻效率,有效节约了施工周期成本和材料成本,在机具配置上做了有益的尝试。

4 结论

(1)重庆市秀山县ZK2井在井深1674.28 m处开始定向钻进,顺利中靶后应业主要求继续钻进到井深2208.00 m完钻,定向进尺533.72 m,井斜角由5.47°增到11.05°,方位角由133.44°降到110.98°,水温>52℃,水量>1500 m³/d,超出设计的预期要求,达到了增产增温的目的。ZK2井应用定向钻进工艺取得成功,定向思路的确定是前提,靶点位置的选择是关键,连续精确的测井斜、方位是保障。

(2)在进入定向钻进井段采用先调整定向方位再调整井斜的原则,详细把握井眼轨迹的具体变化,从而前瞻性地制定下一步钻进措施,并通过滑动钻进与复合钻进有机结合的钻进方式成功地完成定向井段钻进。施工中总结的经验可以为今后该地区定向钻井施工提供依据,为该地区钻井工艺技术提供借鉴。

(3)由于定向钻进井段井径为152.4 mm属于小口径井眼,受井眼口径制约,定向弯螺杆和定向仪器等须选用小直径,这必然造成钻具性能和稳定性差,同时还会影响定向效率和造斜强度的选择。

(4)定向钻进工艺在地热井中具有广阔的前景,特别是在地热井增温增产、提高老井利用率、恢复地热井生产力等方面具有很高的可行性。

参考文献(References):

- [1] 李云峰,耿建国,袁志坚.陕北浅层石油定向井钻进工艺[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2003(S1):264-265,269.
LI Yunfeng, GENG Jianguo, YUAN Zhijian. Directional drilling technique of shallow oil reservoir in Shanbei[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2003(S1): 264-265,269.
- [2] 常学平,张浩,马骁,等.石油钻井定向井轨迹控制关键技术分析[J].中国石油和化工标准与质量,2018,38(15):149-150.
CHANG Xueping, ZHANG Hao, MA Xiao, et al. Analysis of the key technology of directional well trajectory control in oil drilling[J]. China Petroleum and Chemical Standard and Quality, 2018,38(15):149-150.
- [3] 汤建江,黄建明,刘蒙蒙.定向钻进技术在阜康煤层气示范工程中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(1):28-30.
TANG Jianjiang, HUANG Jianming, LIU Mengmeng. Application of directional drilling technology in Fukang CBM demonstration project[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018,45(1):28-30.
- [4] 白璟,张斌,张超平.超深超小井眼定向钻井技术现状与发展建议[J].钻采工艺,2018,41(6):5-8.
BAI Jing, ZHANG Bin, ZHANG Chaoping. Status quo of directional drilling technology for ultra deep ultra slim holes and proposals for future development [J]. Drilling & Production Technology, 2018,41(6):5-8.
- [5] 赵金洲,张桂林.钻井工程技术手册[M].北京:中国石化出版社,2010:268.
ZHAO Jinzhou, ZHANG Guilin. Drilling Engineering Technical Manual[M]. Beijing: China Petrochemical Press, 2010:268.
- [6] 刘作明.试析石油钻井定向井轨迹控制关键技术[J].数字化用户,2017(6):8-9.
LIU Zuoming. Key technology for directional well trajectory control in oil drilling[J]. Digitization User, 2017(6):8-9.
- [7] 甘升平,徐英,吴先忠,等.磨溪气田快速钻井技术及其应用[J].天然气工业,2007,27(1):54-56.
GAN Shengping, XU Ying, WU Xianzhong, et al. Moxi-gasfield fast drilling technology and its application[J]. Natural Gas Industry, 2007,27(1):54-56.
- [8] 韩明耀,柳硕林,王朝晖,等.河南省板厂矿区小直径螺杆钻定向纠斜技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(3):36-41.
HAN Mingyao, LIU Shuolin, WANG Zhaohui, et al. Deviation correction drilling with slim hole mud motor in Henan Ban-chang Mining Area[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(3):36-41.

- [9] 孙明光,张洪宁,刘卫东,等.特深定向井滑动导向过程中扭矩传递规律研究[J].石油机械,2020,48(2):1-8.
SUN Mingguang, ZHANG Hongning, LIU Weidong, et al. Torque transmission law in slide steering for extra-deep directional wells[J]. China Petroleum Machinery, 2020, 48(2): 1-8.
- [10] 刘敏,刘云山,段元清,等.江西武山铜矿区螺杆钻定向钻探技术研究与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(5):34-38,43.
LIU Min, LIU Yunshan, DUAN Yuanqing, et al. Study and the application of screw drill directional drilling technology in Wushan Copper Ore District [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017, 44(5): 34-38, 43.
- [11] 谭现锋,王景广,郭新强,等.螺杆钻进工艺在青海共和干热岩GR1钻井中的应用[J].钻探工程,2021,48(2):49-53.
TAN Xianfeng, WANG Jingguang, GUO Xinqiang, et al. Application of PDM drilling technology in Well-GR1 drilling in hot dry rock[J]. Drilling Engineering, 2021, 48(2): 49-53.
- [12] 郝刚.当前定向井钻井技术工艺与设备研究[J].中国化工贸易,2019,11(34):72.
HAO Gang. Research on current directional well drilling technology and equipment [J]. China Chemical Trade, 2019, 11(34): 72.
- [13] 王伟,郑瑞强,王剑飞.深层定向井常见问题与应对措施[J].石化技术,2018(12):65.
WANG Wei, ZHENG Ruiqiang, Wang Jianfei. Research on common problems and countermeasures of deep directional well [J]. Petrochemical Industry Technology, 2018(12): 65.
- [14] 孟强锋,邝德军.长庆气田定向井钻井技术研究与应用[J].石化技术,2017,24(8):149.
MENG Qiangfeng, KUANG Dejun. Research and application of directional well drilling technology in Changqing gas field[J]. Petrochemical Industry Technology, 2017, 24(8): 149.
- [15] 曹永斌.定向井井眼轨迹控制与造斜段施工技术应用探讨[J].黑龙江科技信息,2016(32):43.
CAO Yongfu. Discussion on the well trajectory control of directional well and the construction technology application of the deflecting section[J]. Heilongjiang Science and Technology Information, 2016(32): 43.
- [16] 尹敬军,杨敏.苏里格气田小井眼定向井快速钻井技术[J].天然气与石油,2020,38(1):77-81.
YIN Jingjun, YANG Min. Fast drilling technology for slim hole directional well in Sulige Gas Field [J]. Natural Gas and Oil, 2020, 38(1): 77-81.

(编辑 李艺)