

DP6 水平井 $\varnothing 311.15$ mm 井眼侧钻技术探讨

刘文兵

(中国石化集团华北石油局五普钻井技术研发服务中心,河南 新乡 453700)

摘要: DP6 井是华北分公司在大牛地气田布置的一口长水平段水平井。该井设计造斜点井深 2510.00 m,在 $\varnothing 311.15$ mm 井眼内以平均 $4.85^\circ/30$ m 的增斜率增斜钻进至 A 靶点,增斜钻进至井深 3033.05 m 时钻穿目的层至下部煤层。为了实现钻井目标,避免煤层坍塌的风险,决定采取上调靶点垂深、填井侧钻的补救处理措施。文章结合老井眼实钻轨迹情况,对侧钻工艺、侧钻点的选择、侧钻井眼轨迹调整、高井斜侧钻技术难点及采取的相应技术措施等进行了分析,对侧钻钻具组合、侧钻施工情况等进行了介绍。该井的成功侧钻为以后同类大井眼侧钻提供了现场经验。

关键词: 轨迹控制;水泥塞;侧钻;控时钻进;钻具组合;水平井

中图分类号: TE243 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2011)12-0027-05

Discussion of Sidetracking Technology for $\varnothing 311.15$ mm Borehole of DP6 Horizontal Well/LIU Wen-bing (Wupu Drilling Company of North China Petroleum Bureau, SINOPEC, Xinxiang Henan 453700, China)

Abstract: DP6 well is a long horizontal well in Daniudi gas field, its designed kickoff point was at 2510.00m depth, drilling with average building up rate of $4.85^\circ/30$ m to target A in $\varnothing 311.15$ mm borehole, and penetrating the target strata at 3033.05m depth with increasing angle to underlie coal seam. Up-regulating the vertical depth of target point and sidetracking were adopted to avoid coal seam collapse. The paper analyzed sidetracking technology, selection of sidetracking point, trajectory adjusting for sidetracking, difficulties in large hole deviation sidetrack drilling and the relative technical measures; and introduced the drill assembly and construction of sidetracking.

Key words: trajectory control; cement plug; sidetracking; time-controlled drilling; drill assembly; horizontal well

大牛地气田位于鄂尔多斯盆地伊陕斜坡东北部,属于低压低渗气田,单井产量比较低。水平井技术能有效扩大储层裸露面积、提高采收率、提高该气田单井产量,从而增加经济效益和社会效益。DP6 井是为了继续评价水平井技术提高山 1-2 石英砂岩产能效果及应用水平井技术进行 1 亿 m^3 产能建设而布置的一口水平井。该井于 2008 年 4 月 4 日开钻,二开钻至井深 2510.00 m 开始以平均 $4.86^\circ/30$ m 定向增斜,增斜钻进至井深 3033.05 m(垂深 2871.72 m,井斜 85.4° ,方位 317.9°)时,钻穿目的层至下部煤层。为了实现钻井目标,避免继续施工可能出现煤层坍塌的风险,最后决定采取上调靶点垂深、填井侧钻的措施进行处理。

1 原井眼设计与施工简况

1.1 设计情况

1.1.1 地质设计

该井设计目的层为二叠系山西组山 1 段,设计 A 靶点垂深为 2874.00 m, B 靶点垂深为 2867.00

m,方位角 316.82° ,靶前位移 350 m,水平段长 1350.00 m,靶半高 ≤ 2.0 m,靶半宽 ≤ 10.0 m,采用裸眼完井的方式完井。

1.1.2 井身结构设计

根据水平井设计依据和原则以及水平井钻井的特殊性,结合大牛地气田地层特征,该井一开采用 $\varnothing 444.5$ mm 钻头钻至 501 m,下入 $\varnothing 339.7$ mm 表层套管;二开用 $\varnothing 311.2$ mm 钻头钻至水平段 A 点,下入 $\varnothing 244.5$ mm 套管;水平段采用 $\varnothing 215.9$ mm 钻头钻至设计井深,裸眼完井。井身结构设计见图 1。

该井身结构优点在于:二开采用 $\varnothing 311.2$ mm 钻头,下入 $\varnothing 244.5$ mm 技术套管,封住山 1 气层上部的煤层和易垮塌地层,同时也在井身结构中预留一层技术套管的余地,大大降低了施工风险;缺点是: $\varnothing 311.2$ mm 井眼机械钻速低、增斜率也不高,施工进度慢。

1.1.3 剖面轨迹设计

(1) 设计剖面应满足完井和开发的要求。由于增斜段采用 $\varnothing 311.2$ mm 钻头,下入 $\varnothing 244.5$ mm 技

收稿日期:2011-07-01

作者简介:刘文兵(1965-),男(汉族),河南人,中国石化集团华北石油局五普钻井技术研发服务中心副主任、工程师,物理专业,从事技术及管理工作,河南省新乡市洪门,yffwzx@163.com。

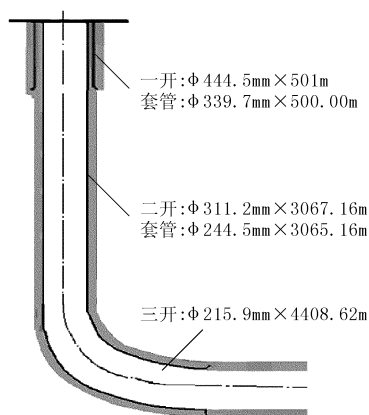


图1 DP6井井身结构设计图

术套管,为确保施工安全和下套管等后续作业的顺利进行,采用长半径水平井技术。

(2)根据大牛地气田地层特性和造斜率不确定等因素,为了便于施工和轨迹调整,选择中等造斜率的造斜工具,给现场轨迹调整留一定的余地。

(3)设计剖面应符合造斜规律和摩阻最小的原则。造斜过程中,小井斜井段造斜率偏低,在井斜 60° 以上,随着井斜增加造斜率也逐渐增大。

(4)剖面设计中设计稳斜段,便于轨迹调整。

考虑到在 $\varnothing 311.15$ mm井眼内增斜困难、井壁稳定等问题,为简化钻具组合、安全、高效施工,井身剖面设计为“直—增—稳—增—平”五段制剖面,井眼剖面轨迹设计数据见表1。

表1 井眼剖面轨迹设计数据表

关键点	井深/m	井斜/ $(^\circ)$	方位/ $(^\circ)$	垂深/m	水平位移/m	南北/m	东西/m	靶点
造斜点	2510.00	0.00	316.82	2510.00	0.00	0.00	0.00	
调整点	2697.15	32.00	316.82	2687.57	50.92	37.13	-34.85	
增斜点	2730.47	32.00	316.82	2715.82	68.58	50.01	-46.93	
A点	3067.16	89.32	316.82	2874.00	350.00	255.23	-239.50	A
B点	4417.25	90.00	316.82	2867.00	1700.00	-1239.68	-1163.26	B

靶区范围:纵距 ± 2 m;横距 ± 10 m。

1.2 施工简况

该井二开钻至设计造斜点井深2510.00 m,开始增斜钻进。

增斜钻具组合: $\varnothing 311.15$ mm钻头 + $\varnothing 203$ mm 1.5°单弯螺杆 + $\varnothing 203$ mm 631 × 630 接头 + $\varnothing 203$ mm 631 × 410 MWD 短节 + $\varnothing 165$ mm 无磁钻铤 + $\varnothing 127$ mm 加重钻杆(450 m) + $\varnothing 127$ mm 斜坡钻杆。

钻井参数:钻压140~160 kN,排量45~50 L/s,泵压16 MPa,复合钻进转盘转速40~50 r/min。

在增斜钻进过程中,实钻轨迹与设计轨迹一直比较吻合。由于实钻目的层垂深与设计偏差较大,在正常增斜钻进至井深3033.05 m(对应垂深2871.72 m,井斜 85.4° ,方位 315.2°)时,已将目的层砂岩钻穿,进入目的层下部煤层。根据甲方要求,继续复合钻进至井深3083.00 m二开完钻,进行中途电测。为了完成钻井目的,根据该井实钻地层情况和电测资料,最后采取了上调A靶点垂深、填井侧钻的措施进行补救处理。将A靶点垂深由原来的2874.00 m上调为2867.00 m,靶前位移、设计方位及靶区范围均执行原工程设计。

2 侧钻方案制定

2.1 侧钻工艺的选择

由于侧钻井眼A靶点方位、靶前位移均执行原设计,只有垂深上调7 m,通过对原井眼轨迹数据进行分析,稳方位全力增井斜侧钻有利于侧钻出新井眼,而且有利于下部轨迹控制,所以采取了打水泥塞填井,选用高造斜率工具稳方位全力增斜的侧钻技术工艺。

2.2 侧钻点的选择

侧钻点的选择不仅要考虑顺利侧钻出新井眼和下步井眼轨迹控制问题,还要考虑地质方便的因素,这是侧钻水平井顺利准确着陆和顺利施工的关键。通过对原井眼轨迹数据及实钻地层岩性进行分析,认为侧钻点应选择在2889.24 m左右。一方面是由于老井眼在2889.24~2920.00 m井段增斜率低,采取稳方位全力增斜的侧钻技术措施更有利于侧钻出新井眼,同时也避开了上部2850~2858 m井段钻遇的煤层;另一方面通过对侧钻井眼轨迹设计和造斜工具造斜能力进行分析,在剩余井段内能实现对轨迹进行有效的控制,能保证顺利安全着陆于A靶点。

另外,根据老井眼实钻地质资料,该井段地层稳定、不易坍塌、有利于安全施工。侧钻段老井眼实钻轨迹数据见表2,侧钻井眼轨迹设计数据见表3,侧钻图见图2。

表2 侧钻段老井眼实钻井眼轨迹数据表

测深/m	井斜角/(°)	方位角/(°)	垂深/m	南北/m	东西/m	闭合距/m	闭合方位/m	全角/[(°) · (30 m) ⁻¹]
2861.15	54.58	317.73	2813.94	118.62	-112.00	163.14	316.64	5.360
2869.66	56.45	318.13	2818.76	123.83	-116.70	170.15	316.70	6.694
2878.34	58.14	318.16	2823.45	129.27	-121.57	177.45	316.76	5.842
2889.24	60.12	319.56	2829.04	136.31	-127.72	186.80	316.86	6.375
2899.48	61.70	318.76	2834.02	143.08	-133.58	195.74	316.97	5.062
2908.54	63.06	318.86	2838.22	149.12	-138.86	203.77	317.04	4.513
2918.10	65.48	318.46	2842.37	155.59	-144.55	212.37	317.11	7.678
2928.67	67.19	318.06	2846.61	162.81	-150.99	222.05	317.16	4.964
2938.05	67.94	317.56	2850.19	169.24	-156.82	230.72	317.18	2.818
2947.00	69.70	317.66	2853.43	175.40	-162.44	239.07	317.20	5.908
2957.06	71.72	316.86	2856.75	182.38	-168.89	248.56	317.20	6.431
2966.84	73.61	315.76	2859.66	189.13	-175.33	257.90	317.17	6.632
2971.23	74.88	316.16	2860.86	192.16	-178.27	262.12	317.15	9.069

表3 侧钻井眼轨迹设计数据表

井深/m	井斜/(°)	方位/(°)	垂深/m	南北/m	东西/m	闭合距/m	全角/[(°) · (30 m) ⁻¹]	靶点
2889.24	60.12	319.56	2829.05	136.35	-127.76	186.85	6.375	
2910.00	64.83	318.50	2838.64	150.25	-139.83	205.24	6.934	
2940.00	71.63	316.97	2849.76	170.85	-158.56	233.08	6.947	
2968.12	78.00	315.54	2857.13	190.44	-177.31	260.21	6.958	
2970.00	78.24	315.56	2857.51	191.75	-178.60	262.04	3.819	
3000.00	82.03	315.98	2862.65	212.93	-199.21	291.59	3.819	
3030.00	85.83	316.40	2865.82	234.46	-219.86	321.41	3.820	
3058.62	89.45	316.81	2867.00	255.23	-239.50	350.00	3.820	A
4408.62	90.01	316.82	2867.70	1239.68	-1163.26	1699.99	0.000	B

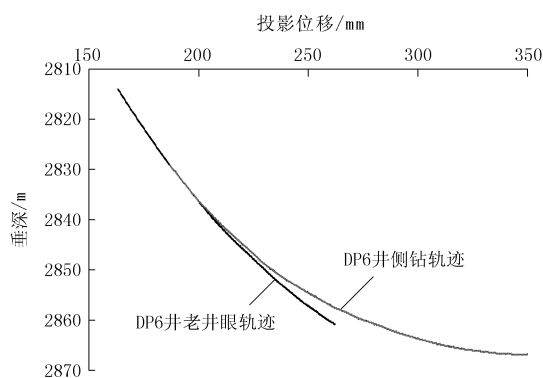


图2 DP6井侧钻图

2.3 侧钻施工技术难点分析

(1) 原井眼实际井径不确定,因而选择多大度数的弯螺杆进行侧钻是一个难题。螺杆弯度过小,侧向力小,钻头会沿着井壁下滑,难以形成新井眼;弯度过大,下钻困难。

(2) 该井段地层比较硬,可钻性差,在 $\varnothing 311.15$ mm 井眼内造斜,增斜率低,对成功侧钻不利。

(3) 侧钻井段有限,必须在 2889.24 ~ 2920 m 井段内侧出新井眼,否则即使侧钻成功,下部井段需要的增斜率也很高,这样对着陆中靶和下部顺利施工不利。

(4) 根据以往经验,在 $\varnothing 311.15$ mm 井眼内打水水泥塞填井,混浆带比较多,水泥塞质量很难达到侧钻的要求,对顺利成功侧钻不利。

2.4 侧钻主要技术措施

(1) 打水水泥塞填井前与固井队交好底,要求保证水泥塞质量达到侧钻的要求,以不影响顺利侧钻。

(2) 根据设计需要的造斜率对螺杆造斜能力进行计算,决定采用侧向力和造斜率大的 $\varnothing 197$ mm 1.75° 单弯螺杆,以提高侧钻成功率。同时选择牙轮钻头,以确保工具面的稳定性。

(3) 采取全力增斜的技术措施,工具面稳定在 0° 左右,以达到最佳的增斜效果。

(4) 在 2880 ~ 2889.24 m 井段控时划眼,划眼速度 2 m/h,工具面控制在 0° 左右。划眼的目的是在井眼上方井壁划出一条沟槽,以便在 2889.24 m 处沿井眼上方侧钻出新井眼,增加侧钻成功率。

(5) 在井深 2889.24 m,将工具面控制在 0° ,开泵空钻 30 min,目的是在此处钻出新台阶。

(6) 侧钻过程中,每侧钻 1.0 m 捞取岩屑观察一次,做好岩性对比。

(7) 采取控时钻进技术措施,侧钻初期钻时控制在 2.5 ~ 3 h/m;待地层岩屑占岩屑总量的 60%

后,钻时控制在 1.5 ~ 2.5 h/m;待返出全部为地层岩屑时,再加至正常钻压。

3 侧钻施工情况

3.1 侧钻钻具组合

Ø311.15 mm H517 牙轮钻头 + Ø197 mm 1.75° 中空螺杆 + Ø203 mm 631 × 410 配合接头 + Ø165 mm 无磁 MWD 循环短节 + Ø165 mm 无磁钻铤 + Ø127 mm 斜坡钻杆 30 根 + Ø127 mm 加重钻杆 48 根 + Ø127 mm 钻杆。

3.2 侧钻施工简况

注水泥填井,水泥封固井段 2850 ~ 2970 m。凝固 48 h 后下钻探水泥塞面为井深 2855.50 m,扫水泥塞至井深 2888 m(扫塞过程中,水泥返出很少,而且有放空现象)。做水泥塞承压实验,下压 160 kN,下压至井深 2889.25 m,稳压 5 min,无压降,起钻。

组合侧钻钻具下钻,下钻至井深 2880 m,开始控时划眼,工具面控制在 0°、排量 48 L/s、划眼速度 2 m/h,划眼至井深 2889.00 m,反复划眼 2 次。第二次划眼至井深 2889.00 m 后,将工具面放在 0°,以 50 L/s 的排量循环 30 min 造台阶。准备工作结束后,开始控时侧钻,工具面控制在 0°,钻时控制在 2.5 ~ 3 h/m。侧钻至 2895.00 m 时,无水泥返出,停泵做水泥塞承压实验,放空至井深 2898.45 m,下压 200 kN,稳压 5 min,无压降。为了确保侧钻成功,利用好已经在井壁上形成的沟槽,现场决定继续从井深 2895.00 m 控时侧钻。

侧钻至井深 2907.17 m 时,测量静态数据:测深 2894.73 m,井斜 61.48°,方位 319.26°,与老井眼数据对比,井斜增幅较大,侧钻取得一定效果。钻时控制在 2 h/m 左右继续侧钻,钻至井深 2910.99 m 时,

测量静态数据:测深 2898.14 m,井斜 62.58°,方位 319.66°,对井底参数进行预测,采用最近距离法对新老井眼轨迹进行防撞扫描,井底已偏离老井眼 0.61 m。由于侧钻速度慢,水泥塞质量不好,岩屑和水泥返出量很少,无法根据返出岩屑情况判断是否完全侧钻出新井眼,因而不能加大钻压。仍然将工具面控制在 0°左右,控制钻时在 1 h/m 左右继续侧钻。钻至井深 2916.55 m 时,测量静态数据:测深 2903.03 m,井斜 64.34°,方位 319.56°。进行防撞扫描,此时井底已偏离老井眼 0.89 m,判断已侧钻出新井眼。于是起钻换 Ø203 mm 1.5° 单弯螺杆,恢复正常增斜钻进。当钻进至井深 2930.16 m 时,井底已经偏离原井眼 1.68 m。

侧钻井眼与原井眼轨迹数据扫描结果见表 4,侧钻段实钻井眼轨迹数据见表 5。

本次侧钻,由于水泥塞质量不好,整个侧钻过程水泥返出量很少,给侧钻带来很大的困难,无法根据返出岩屑比例判断是否侧钻成功,整个侧钻过程基本上按照悬空侧钻的原则进行作业。虽然侧钻井段全角变化率整体偏高,但在后来的起下钻和下套管作业中,侧钻井段均无明显的阻卡现象,而且在测技术套管固井质量时测井仪器一次下放距井底 30 m,说明井眼轨迹比较平滑,本次侧钻比较成功。

4 几点认识

(1) 该地区地层岩性硬、可钻性差,在大井眼、高斜度情况下稳方位增斜侧钻一次性取得了成功,为同类井侧钻提供了经验。

(2) 侧钻点的选择非常重要,要对原井眼轨迹数据和侧钻井眼轨迹设计数据进行分析,根据采用的侧钻工艺选择利于侧钻的井段,同时也要考虑地

表 4 侧钻段实钻井眼轨迹数据表

序号	参考井井号	井深/m	垂深/m	比较井井号	来源	井深/m	垂深/m	最近距离/m	扫描角/(°)	仰角/(°)
1	DP6(侧钻)	2861.15	2813.94	DP6(原井眼)	实钻数据	2861.15	2813.94	0.00	270.00	0.00
2	DP6(侧钻)	2869.66	2818.76	DP6(原井眼)	实钻数据	2869.66	2818.76	0.00	270.00	0.00
3	DP6(侧钻)	2878.34	2823.45	DP6(原井眼)	实钻数据	2878.34	2823.45	0.00	270.00	0.00
4	DP6(侧钻)	2889.24	2829.04	DP6(原井眼)	实钻数据	2889.24	2829.04	0.00	270.00	0.00
5	DP6(侧钻)	2894.73	2831.72	DP6(原井眼)	实钻数据	2894.76	2831.75	0.04	128.36	-67.08
6	DP6(侧钻)	2898.14	2833.32	DP6(原井眼)	实钻数据	2898.12	2833.37	0.08	344.91	-41.66
7	DP6(侧钻)	2899.96	2834.15	DP6(原井眼)	实钻数据	2899.98	2834.26	0.12	12.47	-58.04
8	DP6(侧钻)	2903.03	2835.51	DP6(原井眼)	实钻数据	2903.02	2835.68	0.22	359.26	-51.66
9	DP6(侧钻)	2906.72	2837.08	DP6(原井眼)	实钻数据	2906.70	2837.38	0.38	356.64	-53.08
10	DP6(侧钻)	2907.17	2837.26	DP6(原井眼)	实钻数据	2907.20	2837.61	0.41	3.54	-59.17
11	DP6(侧钻)	2910.99	2838.81	DP6(原井眼)	实钻数据	2911.01	2839.33	0.61	1.64	-57.91
12	DP6(侧钻)	2916.11	2840.80	DP6(原井眼)	实钻数据	2916.08	2841.53	0.89	1.37	-54.60
13	DP6(侧钻)	2930.16	2845.82	DP6(原井眼)	实钻数据	2930.21	2847.21	1.68	12.54	-55.44

表 5 侧钻井眼实钻轨迹数据表

测深/m	井斜角/(°)	方位角/(°)	垂深/m	南北/m	东西/m	闭合距/m	闭合方位/m	全角/[(°)·(30 m) ⁻¹]
2889.24	60.12	319.56	2829.04	136.31	-127.73	186.80	316.86	6.375
2894.73	61.48	319.26	2831.72	139.95	-130.85	191.59	316.92	7.568
2899.96	63.15	319.56	2834.14	143.49	-133.85	196.22	316.99	8.480
2903.03	64.34	319.56	2835.51	145.56	-135.64	198.97	317.02	11.628
2907.17	65.51	319.86	2837.26	148.43	-138.07	202.71	317.07	8.276
2910.99	66.55	320.06	2838.81	151.10	-140.31	206.20	317.12	8.277
2916.11	67.94	320.36	2840.80	154.73	-143.33	210.91	317.19	8.279
2919.06	68.33	320.56	2841.90	156.76	-145.16	213.65	317.20	7.804
2928.54	69.79	318.77	2845.29	163.51	-150.89	222.50	317.30	7.024
2938.36	71.72	319.86	2848.52	170.54	-156.94	231.76	317.38	6.682
2948.36	73.08	318.16	2851.55	177.73	-163.19	241.29	317.44	6.346
2958.23	74.62	317.46	2854.29	184.76	-169.55	250.77	317.46	5.108
2967.40	75.98	315.56	2856.62	191.19	-175.66	259.64	317.42	7.480
2974.81	77.17	316.06	2858.34	196.36	-180.68	266.84	317.38	5.205

质因素,侧钻段地层稳定很重要。

(3)要根据现场实际情况制定合理的施工技术措施,侧钻时要控制好工具面,要根据钻压、扭矩和工具面角的变化以及对新老井眼的防碰扫描来判断是否侧钻出新井眼。

(4)在打水泥塞填井时,要制定好施工工艺,水泥塞质量一定要好,以免给顺利侧钻带来影响。

(5)大井眼、地层可钻性差的情况下侧钻比较困难,侧钻速度也很慢,施工中要有耐心,以免前功尽弃。

(6)在地质资料不是很明确,目的层变化较大的情况下施工水平井,建议采取稳斜探顶技术,以避

免重新填井侧钻,浪费进尺。

参考文献:

[1] 韩志勇. 定向井设计与计算[M]. 北京:石油工业出版社, 1989.
 [2] 李鹏. 开窗侧钻“S”定向井钻井工艺[J]. 石油钻探技术, 2004, 32(6):64-66.
 [3] 郭建国,等. 杜 84-馆平 12S 形三靶水平井井眼轨迹控制[J]. 石油钻采工艺, 2005-05, 27(5):8-10.
 [4] 白家祉,苏义脑. 井斜控制理论与实践[M]. 北京:石油工业出版社, 1990.
 [5] 张保增,王瑞和. GCP105-5 侧钻水平井施工技术[J]. 石油钻采工艺, 2007, 29(2):10-12.
 [6] 李锁成,谷玉堂,奚广春,等. 新 120-侧平 80 井侧钻钻井实践[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2010, 37(2):20-23.

(上接第 26 页)

表 1 同一矿区 2 种钻进方法施工效果实例对比

施工日期	孔号	孔径 /mm	孔深 /m	工艺	回次数	平均回次进尺/m	时效 /m	总台时 /h	纯钻时 /h	辅助时 /h	孔内 /h	机械 /h	其它 /h
2010 年 5 月 2 日 ~6 月 20 日	ZK007	110	32	普钻	20	1.60	1.78	24	18	5			1
		75	768	普绳	648	1.18	1.44	1176	532	418	126	20	80
2010 年 6 月 22 日 ~7 月 21 日	ZK008	110	35	普钻	19	1.84	2.05	24	17	4			3
		77	765	绳冲	290	2.63	2.01	696	380	298	10		8

次使用。ZK008 钻孔施工经济实践表明,在甲魁煤田地层或与甲魁煤田相类似煤田地层钻探施工中,推广使用绳索取心液动锤钻探技术是完全可行的。

参考文献:

[1] 傅丛群. 绳索取心液动锤在多类型矿区的应用及其效果[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2011, 38(9):24-26.
 [2] 傅丛群,彭金灶. SYZX75 型绳索取心液动锤在福建武平银多金属矿的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2008, 35(6):33-34.

[3] 陈惠明. 福建马坑外围铁矿深部勘查钻探工艺组合应用研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2011, 38(9):6-9.
 [4] 赵华. SYZX 系列绳索取心液动锤在新余梅山煤矿易斜深孔防斜钻进中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2011, 38(9):27-29.
 [5] 苏长寿,谢文卫,杨泽英,等. 系列高效液动锤的研究与应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2010, 37(3):27-31.
 [6] 石生明,朱永宁. SYZX75 型绳索取心液动锤在坚硬致密“打滑”地层的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2009, 36(9):15-16, 20.