

“深地智能化钻探机具与技术专题”编者按:开展基于大数据和人工智能的钻探技术与装备的研究,形成面向深部和复杂地质条件的智能化钻探技术与装备,是地质钻探工程未来发展的大趋势,也是在钻探技术与装备领域实现国家战略科技目标的重要一环。为此,编辑部组织了“深地智能化钻探机具与技术专题”,由徐良教授和马银龙教授担任客座主编。本专题遴选6篇论文发表,内容涵盖小尺寸涡轮钻具、近钻头随钻测量、定向连续取心钻具、科学深钻生产实践应用等方面近年的研究成果。该专题的出版,将有利于促进我国深地智能化钻探机具与技术的发展。

小尺寸涡轮钻具的研发及其在地质勘探定向孔钻进中的应用

汤凤林^{1,2}, 赵荣欣¹, Смахов Н. Ж.³, 李 博¹, 刘 浩¹, 周 欣⁴, 段隆臣²
(1.上海市建筑科学研究院有限公司,上海 200032; 2.中国地质大学(武汉)工程学院,湖北 武汉 430074;
3.莫斯科国立地质勘探大学(Московский государственный геологоразведочный университет),莫斯科
(г.Москва) 117997,俄罗斯(Россия); 4.湖北省地震局,湖北 武汉 430064)

摘要:涡轮钻井是石油天然气钻井中常用的一种钻井方法,俄罗斯使用多年,中国地质勘探钻进中也在研究和应用。但是,中国对地质勘探钻进中使用的小尺寸涡轮钻具的开发及其在定向钻进中的应用研究较少。俄罗斯研发出了一种小尺寸(直径70 mm、长度650 mm)涡轮钻具,并在地质勘探钻孔定向钻进中得到了成功的使用,取得了很好的技术经济效果,值得引起我们的注意。

关键词:涡轮钻井;地质勘探钻进;小尺寸涡轮钻具;定向钻进;技术经济效果

中图分类号:P634 **文献标识码:**A **文章编号:**2096-9686(2025)01-0016-08

Development of small-sized turbo drill and its use in drilling of directional geological exploration holes

TANG Fenglin^{1,2}, ZHAO Rongxin¹, SMESHOUV H. G.³, LI Bo¹, LIU Hao¹, ZHOU Xin⁴, DUAN Longchen²
(1. Shanghai Institute of Building Sciences Limited Company, Shanghai 200032, China; 2. Faculty of Engineering, China University of Geosciences (Wuhan), Wuhan Hubei 430074, China; 3. Moscow State Geological Exploration University, Moscow 117997, Russia; 4. Hubei Province Earthquake Agency, Wuhan Hubei 430064)

Abstract: Turbo drilling is a conventional drilling method in oil and gas drilling and it has been used for many years in Russia and is being studied and used in geological exploration drilling of China. However it is not enough to develop and use the small-sized turbo drill in directional drilling in China. In Russia the small-sized turbo drill (its diameter 70mm and length 650mm) has been developed and used in drilling of geological exploration holes successfully and good technical and economical results obtained. That deserves our attention.

收稿日期:2024-09-05; 修回日期:2024-11-27 DOI:10.12143/j.ztgc.2025.01.003

基金项目:国家自然科学基金面上项目“不同结构高压电脉冲钻头的破岩过程与预测模型研究”(编号:42272366)

第一作者:汤凤林,男,汉族,1933年生,教授,博士生导师,俄罗斯工程院外籍院士,俄罗斯自然科学院外籍院士,国际矿产资源科学院院士,主要从事探矿工程方面的教学和科研工作,湖北省武汉市洪山区鲁磨路388号,fltang_wuhan@aliyun.com。

引用格式:汤凤林,赵荣欣,Смахов Н. Ж.,等.小尺寸涡轮钻具的研发及其在地质勘探定向孔钻进中的应用[J].钻探工程,2025,52(1):16-23.

TANG Fenglin, ZHAO Rongxin, SMESHOUV H. G., et al. Development of small-sized turbo drill and its use in drilling of directional geological exploration holes[J]. Drilling Engineering, 2025,52(1):16-23.

Key words: turbo drilling; geological exploration drilling; small-sized turbo drill; directional drilling; technical and economical results

0 引言

在石油天然气钻井中,涡轮钻井是一种传统钻井方法,苏联从1927年开始使用,俄罗斯多年来一直使用这种方法。中国也在研究和使用方法^[1-9]。

涡轮钻井是比较先进的一种钻井方法。将涡轮钻具直接装在井下钻头的上方,利用高压高速的液流冲动涡轮钻具,带动钻头在井底旋转,将岩石破碎。这种钻井方法的主要优点是:由于钻杆不转动,可以减少钻杆磨损及折断事故;所需动力比钻杆旋转钻井小,但却可以获得较高的钻速。

涡轮钻具包括多个串联的涡轮单元,每个涡轮单元都由定子和转子组成。定子和转子的叶片形状相似,但是,弯曲方向相反。定子的作用是将液体的部分压力能转化为动能,并导向转子,转子的作用是把液体的动能转化为机械能,驱动钻头回转,破碎岩石。

涡轮钻具的工作原理是钻进中向钻具内泵入的钻井液到达涡轮钻具时,以一定速度冲动涡轮钻具的第一级定子叶片孔道后,高速液流被定子导向给下面的转子,使之获得旋转的扭矩。然后,高速液流从第一级涡轮的转子,进入第二级涡轮的定子,再从第二级涡轮的定子冲向第二级转子。如此类推一级一级地传递下去,多级涡轮的转子就同时旋转起来。通过涡轮钻具的转轴输出的扭矩,带动钻头旋转破碎岩石。

涡轮钻具的工作过程是:在钻进过程中,钻井泵将高压钻井液通过钻杆柱内腔泵入涡轮钻具,驱动涡轮转动,涡轮通过主轴带动钻头回转,实现破碎岩石钻进。与螺杆钻进不同,涡轮钻具的回转不是靠液体压力驱动,而是由液体的流速来驱动,使得钻进时钻杆不转动,从而改善了钻杆的工作条件,减少了所需功率的损失。

1 涡轮钻具在地质勘探中的应用概述

虽然在石油天然气钻井中涡轮钻井是一种传统的钻井方法,但是,涡轮钻具在地质勘探中使用较少。

为了能在地质勘探中使用,中国地质科学院勘

探技术研究所研发了多种规格的涡轮钻具,包括 \varnothing 194、178、140、127和108 mm等涡轮钻具。这些涡轮钻具在“松科二井”施工期间完成了研制和井底测试,并且 \varnothing 178 mm涡轮钻具成功运用在新疆玛页一井技术服务中^[10]。此外,勘探技术研究所还研制了首台国产 \varnothing 140 mm取心涡轮钻具,并在青海省共和地区干热岩资源勘查GR1井成功入井实钻,验证了其在深井取心钻进的技术可行性。这些研发成果展示了涡轮钻具的创新能力和实际应用效果。

勘探技术研究所还对研制的 \varnothing 127 mm规格涡轮钻具样机进行了整机性能测试,测试了不同工况条件下该涡轮钻具的输出特性。测试结果表明:当循环流量控制在5 L/s左右时,涡轮钻具输出轴开始转动;在正常工作流量12~16 L/s范围内,测试扭矩输出范围为400~1300 N·m,输出转速为100~1200 r/min(见图1)。



(a) 钻具组装



(b) 钻具性能调试

图1 勘探技术研究所研发的 \varnothing 127 mm涡轮钻具
Fig.1 \varnothing 127mm turbo drill developed by Institute of Exploration Techniques

北京探矿工程研究所研发的 \varnothing 127 mm涡轮钻具,在福建漳州干热1井(钻井深度4000 m)中应用,在井深880.09 m处,平均机械钻速1.29 m/h,取心

率达71.1%。本次试验的成功,为高温干热岩、页岩气、油气资源等深孔勘探开发提供了有力的技术支持。

由此可见,中国地质勘探中使用的涡轮钻具主要应用于科学钻探及干热岩勘探中,钻具尺寸比较大,直径比较大,长度比较长。石油天然气钻井中使用的涡轮钻具的尺寸更是如此。

研发小尺寸涡轮钻具及其在固体矿产岩心钻探定向钻进中的应用,在中国尚未看到有关报道。

为了研发小尺寸涡轮钻具并在地质勘探定向钻进中使用,俄罗斯做了很多工作^[11-29],研发出了一种小尺寸涡轮钻具(直径70 mm、长度650 mm),并在地质勘探孔定向钻进中得到了成功的使用,取得了很好的技术经济效果^[12,14,23]。

2 小尺寸涡轮钻具的研发

2.1 钻具的结构及性能参数

俄罗斯小尺寸涡轮钻具的研究取得了俄罗斯发明专利,专利号为RU02135729^[11],其组成见图2。

小尺寸涡轮钻具的组成包括:主轴,其上固定

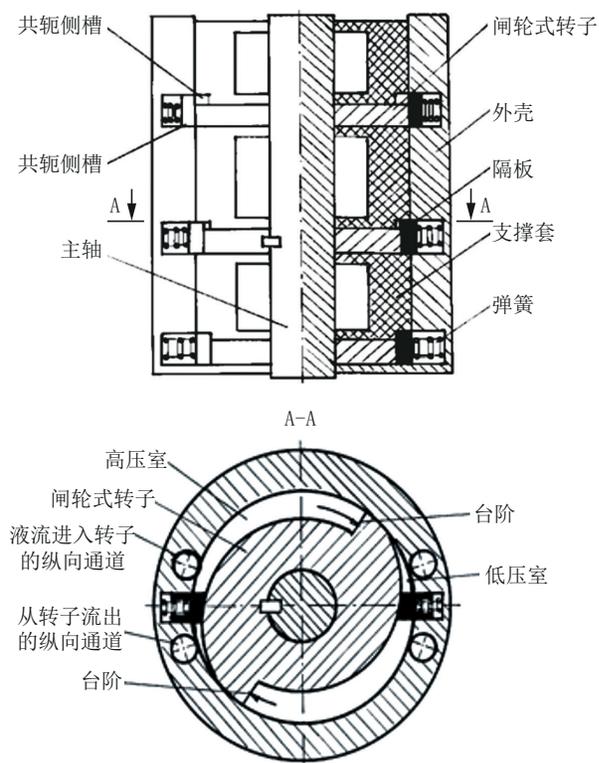


图2 小尺寸涡轮钻具的组成

Fig.2 Composition of the small-sized turbo drill

有带两个方向相反台阶的闸轮式转子。在转子之间,有与转子和主轴成滑动配合的支撑套,支撑套固定在外壳上。同时,支撑套和外壳分别有共轭槽。与转子相互作用、可把在转子和外壳内表面间圆周上形成的高压室和低压室分开的簧压隔板,可在共轭槽中移动。在外壳上有液流进入转子的纵向通道和从转子流出的纵向通道。

该涡轮钻具工作过程如下:通过钻杆柱(图中未示出)供给的钻井液流,经过通道进入高压室,对两个方向相反的台阶施加水力冲击载荷,产生回转转子的扭矩。转子的回转运动,通过主轴传递给碎岩工具(图中未示出)破碎孔底岩石。转子完成回转运动后,由于转子与支撑套处于滑动接触中,依靠隔板弹簧的作用力,把液体通过输出通道从低压室中排出。输出通道同时是下一个转子的输入通道。转子回转时,依靠其外圆表面的形状和隔板弹簧的作用力,在侧槽内完成往复运动,从而保证高压室和低压室间的密封。

在复杂条件下使用或将其转为设定工作规程时,利用隔板对台阶产生的附加钻井液压力,可使外壳向转子回转方向转动。

当工艺要求外壳和转子同时回转时,则隔板和台阶可以连通,从而保证扭矩从外壳向转子传递。

在上述发明专利的基础上,斯马绍夫(Смашов Н. Ж.)博士等研制出了适合于地质勘探钻进的3ГД-70型小尺寸涡轮钻具,见图3^[12]。

3ГД-70型涡轮钻具的特点是:在外壳内壁圆周上有工作室,其形状为沿着外壳回转方向展开、过渡成凹状圆弧端面的平滑曲线。凹状圆弧底端与下一个工作室的开始端和轴的外表面连通。轴的外侧有高度等于工作室高度的纵向通道。轴的内腔中,在工作室水平上,固定有锥面向上的导向件。在轴的径向上设置有,可以移动和连通底座带有侧窗口的隔板。侧窗口面向工作室的凹形圆弧底端,并置于供液通道和出口孔之处。

上述这些特点可以保证有效利用冲洗液的能量,转换成为传给钻头的扭矩破碎岩石,大大简化了涡轮钻具的结构并节约金属材料,并可得到涡轮钻具需要的工作参数——转速和扭矩。

3ГД-70型涡轮钻具的工作参数见表1。

3ГД-70型涡轮钻具有3级(单元),每级沿着圆周都有3个工作室、4个出口孔,在液体流过时产生

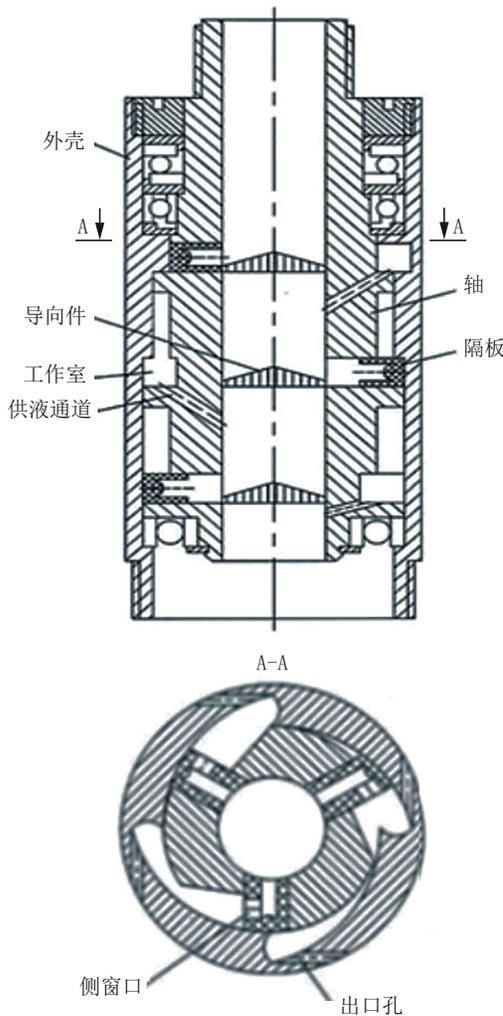


图3 3ГД-70型小尺寸涡轮钻具
Fig.3 Small-sized turbo drill 3ГД-70

表1 3ГД-70型涡轮钻具工作参数

Table 1 Working parameters of the turbo drill 3ГД-70

工作参数	数值
外壳直径/mm	70
钻具长度/mm	650
钻具质量/kg	21
冲洗液用量范围/(L·min ⁻¹)	100~200
扭矩/(kN·m)	2.8
功率/kW	19.6
冲洗液压力/MPa	6.7

反扭矩。为了计算,取外壳回转频率为500 r/min。轴是不转动的,冲洗液流量范围为100~200 L/min。得出的最优参数为:第一级进液通道尺寸为9 mm,第二级进液通道尺寸为8 mm,第三级进液通道尺寸为7 mm。第一级和二级流出孔眼尺寸为2.5

mm,第三级流出孔眼尺寸为3.3 mm。

外壳回转频率 $n=500$ r/min时,3ГД-70型涡轮钻具的基本特征与冲洗液量的关系见图4^[12]。

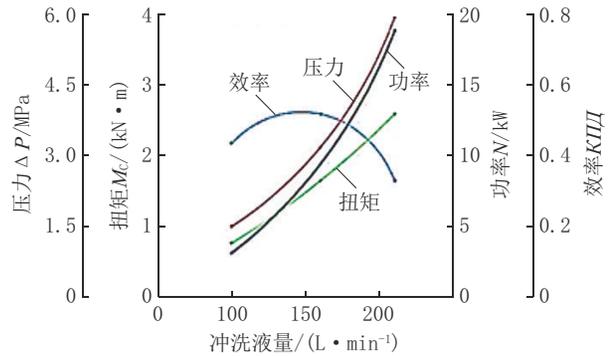


图4 转速 $n=500$ r/min时3ГД-70型涡轮钻具性能参数与冲洗液流量的关系曲线

Fig.4 Dependence of the turbo drill 3ГД-70 performance parameters from drilling fluid quantity while $n=500$ r/min

过去的研究表明^[25],使用 $\varnothing 76$ mm金刚石钻头钻进时,要求涡轮钻具的功率为7 kW、扭矩为1.2 kN·m。可见,3ГД-70型涡轮钻具的技术性能指标是可以满足地质勘探钻孔定向钻进要求的。

2.2 3ГД-70型钻具性能试验

在研究3ГД-70型钻具性能的试验台上(见图5),装有CKБ-41型钻机、НБ32型水泵、体积为2.0 m³的岩块和高压软管的供液管线。水泵高压管线上装有МП-2型压力表和US-800型超声流量计。在钻机立轴中穿过有直径73 mm、可以拉伸的高压管,以减小工作液体压力在地上高压管线中的损失。

为了测量工作液体(工业用水)流量,使用了

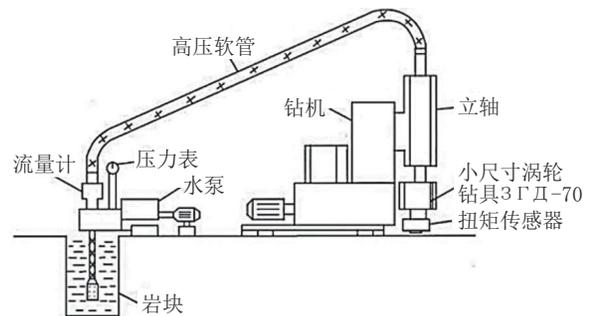


图5 试验研究3ГД-70型钻具工作性能的试验台
Fig.5 Stand for experimental research on working performance of turbo drill 3ГД-70

US-800型超声流量计,可以测量高压管线(直径15~200 mm)中的工作液体流量。这种流量计的工作特性为:压力6.3 MPa、温度 $-40\sim+150\text{ }^{\circ}\text{C}$,在含气态颗粒和固态颗粒不超过其体积10%条件下可以完全充满管道,相对误差为 $\pm 0.5\%$ 。

为了测量转子转速,使用了无触点的UNJ-T型转数表,可以测量10~9999 r/min的转速。

为了测量扭矩,使用了安装在外壳上的无触点TM313型回转式扭矩传感器,其性能为:额定扭矩50035 N·m,测量速度范围1~10000 r/min。TM313型扭矩传感器以悬挂形式安装在外壳上。

试验台安装后,按照管线使用安全要求,对水泵高压管线进行了5 min、6.5 MPa的压力试验,远远高出外壳直径70 mm涡轮钻具工作液体的压力降的计算值(见图4)。

此外,在水泵高压管线上还安装了可以调节工作液体供给量、使之达到近于理论计算流量推荐数值的水龙头。

2.3 3ГД-70型钻具工作能力试验

此项研究的主要目的:测量3ГД-70型钻具的技术性能和评价其工作能力。试验是在生产单位专用试验台进行的(见图6)。



图6 试验钻进用的试验台

Fig.6 Stend for experimental drilling

试验台上配有钻探设备和必要的检测仪表,包括利用液压系统立轴可以高速回转、钻头平稳给进的CKБ-41型钻机、可以记录冲洗液流量范围的HB3-160/50和11-ГР型水泵、可以测量和调整钻

具重力和轴载的MKH-2型弹磁补偿测量仪、用于碎岩工具平稳给进的APП型自动给进调节器和ЭМР-2型冲洗液电磁流量计以及不同测量范围的压力表。

利用这台小尺寸涡轮钻具在花岗岩岩块中打出了钻孔,见图7。这可说明,3ГД-70型涡轮钻具的技术性能和工作能力是可以满足地质勘探钻孔定向钻进要求的。



图7 在花岗岩岩块中打出的钻孔

Fig.7 The hole drilled in granite block

3 小尺寸涡轮钻具在地质勘探定向钻进中的应用

3.1 钻进设备^[12]

3ГД-70型小尺寸涡轮钻具钻进地质勘探定向孔用的设备见图8。

考虑到定向孔弯曲半径 R 的要求,把 $\text{O}57\text{ mm}$ 的不取心钻头或岩心管接到3ГД-70型涡轮钻具的转子上。岩心管的长度取决于所钻岩石的性质和钻孔弯曲半径,可在2~4 m内变化。利用 $\text{O}76\text{ mm}$ 的金刚石钻头或硬质合金钻头作为碎岩工具。在钻具外壳和岩心管之间安装有导航系统的无磁容器管,安装有角度范围为 $0.5^{\circ}\sim 3.0^{\circ}$ 、刻度为每隔 0.5° 的弯接头(作为孔底造斜器)。在涡轮钻具上节的无磁容器管中,装有与钻具转子刚性连接的导航系统。此导航系统中包括带有指示线的多点测斜仪、带有照明灯的遥控摄像机和可以调节亮度、倾斜角度、定向指示器清晰度和对比度的电子控制器件。导航系统通过钻杆柱的3股测井电缆与地面监测器连接。

3.2 地质定向孔钻进用的导航系统^[26]

在地质定向孔钻进用的导航系统(参见图8)

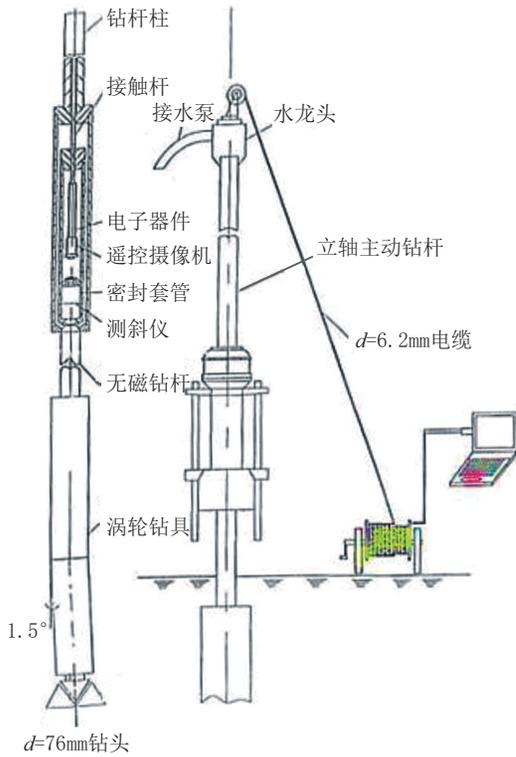


图 8 小尺寸涡轮钻具钻进地质勘探定向孔用的设备^[12]
Fig.8 Equipment for drilling of geological exploration holes with the small-sized turbo drill

中,使用的是带有指示线的 МИР-4 型多点测斜仪(见图 9 和图 10)、带有照明灯的摄像机和可以调节亮度、倾斜角度、定向指示器清晰度和对比度的电子控制器件。

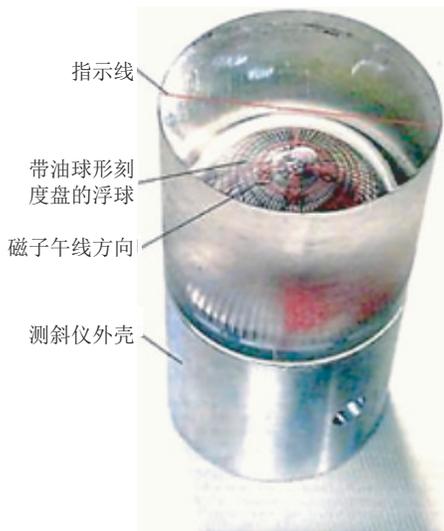


图 9 导航系统中的 МИР-4 型多点测斜仪
Fig.9 Multipoint inclinometer МИР-4 in navigation system

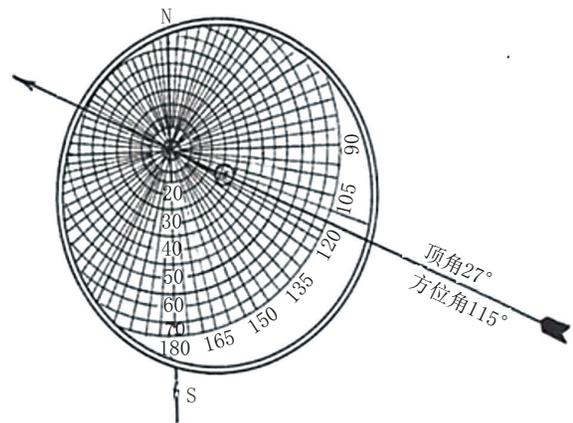


图 10 МИР-4 型测斜仪球形刻度盘上的指示线
Fig.10 Indicating line in spherical scale of the inclinometer МИР-4

指示线经常位于造斜器作用的平面内,指示线的方向在监测器上可以看到。如果指示线由于岩石各向异性或钻柱受反扭矩作用转动影响而偏离设计方向,即造斜器作用平面偏离设计方向时,则可以利用钻机立轴使指示线回到原来的位置或给出新的位置。

钻进过程结束后,根据测量结果,利用编制的计算机程序,可以画出钻孔剖面图,见图 11。如果回次钻进因岩心堵塞或岩心管长度限制而停止钻进时,可以利用升降机把电缆提出来,提出整个钻具,取出岩心,更换钻头,然后根据地质指示书按照设计方向继续钻进。

3.3 地质定向孔钻进效果^[14,23]

利用 3ГД-70 型涡轮钻具进行的地质定向孔的钻进,是在“布尔马”联合钻井公司的第 KC-59 号钻孔进行的,钻进的岩石是花岗闪长岩,使用的是 СКБ-5 型钻机、НБ-4-160/65 型水泵和 NQ 钻杆。

涡轮钻具下到孔底后,使用的冲洗液量为 100~140 L/min,压力为 5~8 MPa,工作稳定。钻头轴载 10~15 kN 时,转速为 180~300 r/min。

利用带有遥控联系通道的导航系统,对钻孔方向进行了连续跟踪,控制了钻孔的方向,对孔底造斜器进行了定向,改变了钻孔坐标,画出了钻孔剖面图,根据孔底传感器给出的钻孔方向的读数,改变了钻机立轴与垂直轴线之间的角度,保证了钻孔的设计定向方向,成功地钻出了地质定向钻孔。

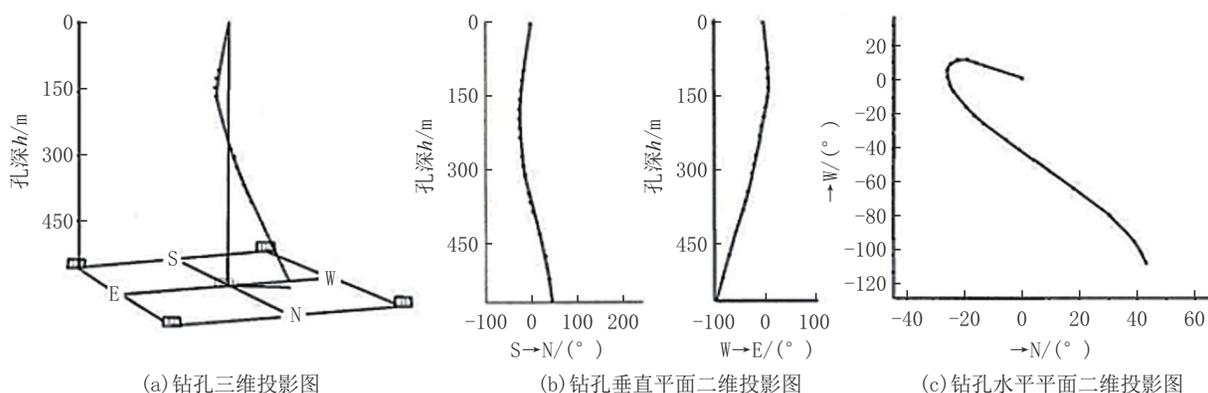


图 11 钻孔剖面图

Fig.11 Profile diagram of the hole

4 讨论、分析与建议

(1) 涡轮钻井是石油天然气钻井中常用的一种钻井方法,俄罗斯已经使用多年,取得了很好的技术经济效果。但是,在地质勘探钻进中使用较少。斯马绍夫(Смашов Н. Ж.)博士等在俄罗斯发明专利基础上研发的小尺寸涡轮钻具,经过实验室和生产试验证明,可以用于地质勘探钻孔硬岩(花岗岩和花岗闪长岩)钻进,为地质勘探钻进提供了一种新的小型孔底动力钻具,是个创新,具有重要实际意义。

(2) 中国现用的涡轮钻具直径比较大,长度比较长,而 3ГД-70 型涡轮钻具的尺寸小(直径 70 mm、长度 650 mm),容易满足定向孔较小的弯曲半径 R 的要求,便于在地质勘探定向孔钻进中使用。

(3) 一般情况下,定向钻进过程中占用的非生产时间比较长,不宜大规模推广使用。定向钻进中,包括测量钻孔弯曲情况、安置造斜器、对造斜器按设计方向定向和低规程钻进(低转速、小轴载)扫孔以便钻具在钻孔弯曲部分通过以及利用物探仪器测量钻孔弯曲情况等,占用了大量非生产时间。而利用小尺寸涡轮钻具、孔底装置和弯管造斜器(一种新型造斜器)钻进时,上述工序都是在钻进时间内进行的,大大减少了非生产时间,因此大大提高了钻进效率(25%~30%)和大幅度降低了钻探成本(25%~30%)^[12]。

(4) 定向钻进中使用的导航系统,可以对钻孔方向进行连续跟踪,控制定向钻孔的设计方向,根据计算机编制的程序随时给出钻孔剖面图。如果根据孔底传感器给出的钻孔方向读数表示偏离了设计方向,则可通过改变钻机立轴与垂直轴线之间

的角度,来保证钻孔的设计定向方向,成功地钻出地质定向钻孔,实现定向钻孔方向的自动控制,保证定向孔钻进的可靠性。

(5) 建议中国钻探专家和有关单位对小尺寸涡轮钻具进行研究、试验,并在地质勘探定向孔钻进中推广使用。

参考文献(References):

- [1] 回家,梁健,王文,等.深井高速涡轮钻配套同径取心技术研究[J].钻探工程,2024,51(4):23-30.
YAN Jia, LIANG Jian, WANG Wen, et al. Research on the same diameter coring drilling technology used by high-speed turbodrill for deep well[J]. Drilling Engineering, 2024, 51(4): 23-30.
- [2] 苏义脑.螺杆钻具研究及应用[M].北京:石油工业出版社,2001.
SU Yinao. Research and Application of Screw Drill[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2001.
- [3] 苏玉亮.油藏驱替机理[M].东营:石油大学出版社,2009.
SU Yuliang. Reservoir Displacement Mechanism[M]. Dongying: Petroleum University Press, 2009.
- [4] 陈涛平,胡靖邦.石油工程[M].北京:石油工业出版社,2000.
CHEN Taoping, HU Jingbang. Petroleum Engineering[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2000.
- [5] 汤凤林, A. T. 加里宁, 段隆臣. 岩心钻探学[M]. 武汉:中国地质大学出版社,2009.
TANG Fenglin, A. G. Galinina, DUAN Longchen. Core Drilling[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 2009.
- [6] 胡郁乐,张惠,王稳石,等.深部岩心钻探关键技术[M].武汉:中国地质大学出版社,2018.
HU Yule, ZHANG Hui, WANG Wenshi, et al. Key Technologies for Deep Core Drilling[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 2018.
- [7] 朱恒银.深部岩心钻探技术与管理[M].北京:地质出版社,2014.
ZHU Hengyin. Deep Core Drilling Technology and Management

- [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2014.
- [8] 冯定. 国产涡轮钻具结构及性能分析[J]. 石油机械, 2007, 35(1):59-61.
FENG Ding. Analysis of the structure and performance of domestic turbine drills[J]. China Petroleum Machinery, 2007, 35(1):59-61.
- [9] 颜加柏, 翁行芳, 苏振峰, 等. 涡轮钻井技术在中原油田的应用[J]. 石油钻探技术, 2003, 31(5):75-76.
YAN Jiabai, WENG Xingfang, SU Zhenfeng, et al. Applications of turbo drilling technology in zhongyuan oilfield[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2003, 31(5):75-76.
- [10] 曹龙龙, 张恒春, 王稳石, 等. 准噶尔盆地玛页1井长筒取心技术[J]. 钻探工程, 2022, 49(5):94-99.
CAO Longlong, ZHANG Hengchun, WANG Wenshi, et al. Long barrel coring technology for Well Maye-1 in Junggar Basin[J]. Drilling Engineering, 2022, 49(5):94-99.
- [11] Мендебаев Токтамыс Нусипхулович. турбобур: RU02135729[P]. 1997-12-09.
- [12] Смашов Нурлан Жаксибекович. Обоснование и разработка технологии и технических средств для бурения направленных геологоразведочных скважин с использованием малогабаритных забойных гидравлических двигателей[D]. Московски; Московский государственный геологоразведочный университет, 2017.
- [13] Деркач Н. Д., Крутик Э. Н. Создание и развитие редуторных турбобуров [J]. Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море, 2003(9):11-17.
- [14] Заурбеков С. А. Опыт применения направленного гидроударного бурения [J]. Горный журнал Казахстана, 2010(1):23-27.
- [15] Мендебаев Т. Н., Калмуханбетов Б. Е., Смашов Н. Ж. Определения оптимального число лопаток на одной секции лопастного гидродвигателя [J]. Издәніс-Поиск, Алматы, 2003(1):214-217.
- [16] Мендебаев Т. Н., Калмуханбетов Б. Е., Смашов Н. Ж. Кинематика движения жидкости в проточном узле гидромотора [J]. Вестник КазГАСА, Алматы, 2003(3/4):153-158.
- [17] Мендебаев Т. Н., Калмуханбетов Б. Е., Смашов Н. Ж. Расчет рабочих параметров забойных гидродвигателей лопастного типа [J]. Технология ТЭК, 2003(2):31-33.
- [18] Мендебаев Т. Н., Калмуханбетов Б. Е., Смашов Н. Ж. Исследования гидродинамических процессов в рабочей камере лопастного забойного гидродвигателя для бурения скважин [J]. Технология ТЭК, 2003(5):17-20.
- [19] Мендебаев Т. Н., Смашов Н. Ж. Выбор схемы и расчета параметров малогабаритного забойного гидродвигателя для бурения скважин [J]. Горный журнал Казахстана. Алматы, 2010(1):38-39.
- [20] Мендебаев Т. Н., Калмуханбетов Б. Е., Смашов Н. Ж. Теоретические исследования динамики движения жидкости в каналах ротора гидромотора [J]. Вестник-Хабаршысы, 2004, 28(3):108-111.
- [21] Мендебаев Т. Н., Смашов Н. Ж., Городецкий И. М. Разработка забойной компоновки с навигационной системой управления направлений скважин [J]. Горный журнал. Казахстан. Алматы, 2011(10):24-26.
- [22] Мендебаев Т. Н., Смашов Н. Ж., Телембаев М. М. Буровая навигационная система проводки многоярусных скважин на углеводороды [J]. Нефть и газ. Алматы, 2009(3):56-60.
- [23] Мендебаев Т. Н., Городецкий И. М., Бобылев Ф. А., et al. Способ непрерывного контроля за направлением действия отклонителя, измерения зенитных и азимутальных углов скважин и устройство для его осуществления: RU02263782 [P]. 2023-12-16.
- [24] Мендебаев Т. Н., Городецкий И. М., Бобылев Ф. А., et al. Способ ориентации отклонителя в вертикальных обсаженных скважинах и устройство для его осуществления: RU02263209 [P]. 2003-08-18.
- [25] Мендебаев Т. Н., Калмуханбетов Б. Е. Теоретические предпосылки создания забойных гидродвигателей нового поколения [J]. Нефтегазопромышленный инженеринг, 2005(1):3-5.
- [26] Мендебаев Т. Н., Смашов Н. Ж. Забойная компоновка с навигационной системой управления направлением бурения скважин [C]//Сборник научных статей по итогам международной научно-практической конференции. Санкт-Петербург. 2014: 100-103.
- [27] Ракишев Б., Заурбеков С. Механизм зенитного искривления скважин при горизонтальном бурении забойными двигателями Dtubakerhughes [J]. Промышленность Казахстана, 2010(6):93-95.
- [28] Симонянц С. Л., Мнацаканов И. В. Актуальное направление модернизации турбинного способа бурения [J]. Нефтесервис, 2013(2):48-50.
- [29] Чудаков Г., Мялицин Н., Мингараев В. Редуторные турбобуры для бурения нефтяных и газовых скважин с повышенными забойными температурами [M]. Москва, 2007.

(编辑 周红军)