

涡轮钻井技术在梨树断陷区块的应用

许 爱

(中石化华北石油工程有限公司五普钻井分公司东北指挥部,吉林 长春 130062)

摘 要:梨树断陷区块登娄库组、营城组、沙河子组、火石岭组地层可钻性差、岩性较致密、局部含砾严重,并且沙河子组局部层位岩石硬度达到7级,采用常规钻井技术,存在牙轮钻头效率低、寿命短等问题;各种型号PDC钻头试用后效果不理想。通过采用涡轮钻井技术,平均机械钻速提高了4倍,钻井周期缩短,钻井综合成本大大降低。实践证明,高速涡轮钻具+孕镶金刚石钻井技术是高研磨性、高抗挤强度、高温地层深井钻进提速的有效技术。

关键词:涡轮钻井;涡轮钻具;孕镶金刚石钻头;梨树断陷

中图分类号:TE242.4;P634 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2014)06-0044-05

Application of Turbodrilling Technology in Lishu Fault Block/XU Ai (Wupu Drilling Company, SINOPEC North China Petroleum Engineering Co., Ltd., Changchun Jilin 130062, China)

Abstract: Because of the poor drillability, dense lithology and local high gravel content in Denglouku formation, Yingcheng formation, Shahezi formation and Huoshiling formation in Lishu fault block; and rock hardness is up to Grade 7. Low drilling efficiency and short service life of cone bit were the difficulties for traditional drilling technology, and the drilling effect was not ideal for PDC bit trial. But with turbodrilling technology, the average ROP increases 4 times, the drilling cycle is shortened and the comprehensive drilling cost is greatly reduced. The practice shows that turbodrill + impregnated diamond drilling technology is effective with high abrasive, high compressive strength and speeding up for drilling in high temperature deep well.

Key words: turbodrilling; turbodrill; impregnated diamond bit; Lishu fault

1 概况

梨树断陷位于吉林省公主岭市松辽盆地南部东南隆起区,地层自上而下为第四系,白垩系上统青山口组,白垩系下统泉头组、登娄库组、营城组、沙河子组;中国石化在该区拥有矿权面积1835.91 km²,油气资源当量3.55亿t,已探明油气当量7383.68万t,占东北分公司总探明储量的46%,具有重要的资源战略地位。但由于该区块登娄库组及以下地层钻井效率较低,钻井周期较长;钻井成本较高,并且直接影响建产进度,在本区块开展涡轮钻井技术提速提效势在必行。

2 梨树断陷岩石力学参数

通过对测井资料的分析和岩心的实验,梨树断陷的岩石力学强度变化规律如下。

(1)梨树断陷地层岩石强度随地层埋深增加而增加。上部地层至登娄库组,岩石抗压强度近似呈快速线性递增,抗压强度平均值从40~140 MPa;登娄库组至沙河子组地层岩石强度增速变缓,三层强度基本相当,抗压强度平均值基本上处于150 MPa

左右;进入火石岭,抗压强度平均值快速增加到240 MPa。

(2)由于地层受沉积环境、构造运动等综合因素影响,层间岩石强度变化大,同一地层间的抗压强度最大值与最小值之间的差值有50~140 MPa,泉头组相对变化强度较小,至沙河子组地层二者之间的差值较大。

(3)青山口组及上部地层,地层抗压强度平均值靠向抗压强度的最小值,泉头组及下部地层,岩石抗压强度平均值靠向抗压强度的最大值。

(4)岩石的弹性模量与岩石的抗压强度体现的规律一致,从嫩江组至登娄库组,地层岩石弹性模量平均值由8 GPa线性递增到40 GPa;登娄库组至沙河子组,岩石弹性模量平均值处于50 GPa左右;进入火石岭组,岩石弹性模量平均值又快速增加到60 GPa。

(5)从岩石的变形能力来说,登娄库组及上部地层的岩石泊松比平均值在0.25~0.34之间,变形能力较强,塑性特征明显;登娄库组至沙河子组地层岩石泊松比平均值在0.25左右;火石岭组地层岩石

收稿日期:2014-02-22;修回日期:2014-04-03

作者简介:许爱(1976-),男(汉族),宁夏永宁人,中石化华北石油工程有限公司五普钻井分公司东北指挥部主任,石油工程专业,主要从事石油钻井项目施工管理工作,吉林省长春市西安大路4936东北石油局转五普指挥部,hbjxuai@sina.com。

泊松比平均值快速降到 0.21 左右,呈现硬脆性特征。

(6)青山口组及上部地层岩石抗拉强度较小,平均值 < 3 MPa;从泉头组至沙河子组,地层岩石抗拉强度平均值处于 3.5 ~ 5.2 MPa 之间;火石岭组岩石抗拉强度平均值 7 MPa。

(7)由营城组二段至营城组四段岩石强度逐步增加,平均弹性模量由上部的 28369 MPa 增加到下部的 38212 MPa,平均泊松比也由上部的 0.233 降低到下部的 0.231,抗压强度则由 100.61 MPa 增加到 175.97 MPa,抗拉强度由 3.22 MPa 增加到下部的 8.37 MPa,粘聚力也由上部的 18.34 MPa 逐步增加到下部的 23.27 MPa;在营城组,与砂岩相比泥岩强度很低,中砂岩强度高于细砂岩,泥质粉砂岩强度最高。

(8)对于沙河子组埋藏深,岩石强度整体较高,但由于沉积与构造运动的影响,部分岩层发育裂缝,致使这些地层强度较低(只有 58.73 MPa),其余完整地层岩石强度最高达到 253.3 MPa,沙河子地层岩石平均弹性模量为 38935.83 MPa,平均泊松比 0.213,平均抗压强度为 153.96 MPa,粘聚力为 23.57 MPa;沙河子组的泥岩处于粉砂岩和含砾细砂岩之间。

由于登娄库组、营城组、沙河子组、火石岭组地层岩石力学强度较高、可钻性差、岩性较致密、局部

含砾严重,并且沙河子组局部层位岩石可钻性达到 7 级,采用常规钻井技术效率极低,通过尝试涡轮钻井技术效率得到大幅度提高。

3 涡轮钻井技术

涡轮钻具工作时利用高速高压钻井液冲击涡轮定子、转子叶片,反向弯曲的定转子叶片将液能转化为机械能;输出扭矩驱动钻头转动而破碎岩石。涡轮钻具最大特点不含橡胶,耐高温,适用深井、高温高压钻井作业。

3.1 涡轮钻具的结构原理

涡轮钻具由涡轮节和支承节组成,它们分别由涡轮定子、转子、主轴、止推轴承组、扶正轴承、联接器和外壳等主要零部件组装而成(见图 1)。目前涡轮钻具采用先进的 PDC 轴承、平衡鼓和弯筒技术, PDC 轴承的使用使涡轮钻具能够适应超高温的钻井环境,平衡鼓提高了涡轮效率,弯筒技术提高了钻具的定向能力。2002 年低速、大扭矩齿轮系统的开发扩展了涡轮钻具的应用优势。经过不断的应用和改进,涡轮工具逐步发展成熟。涡轮钻具 PDC 止推轴承(见图 2)具有较高的耐研磨能力,可以在超高温(目前最高温度 233 $^{\circ}\text{C}$)条件下进行操作,并能承受较大的轴向载荷,其材质具有较小的摩擦系数,不受钻井中存在的天然或者泥浆中的化学物质影响,因此结构紧凑高效,有效缩短了钻具长度。

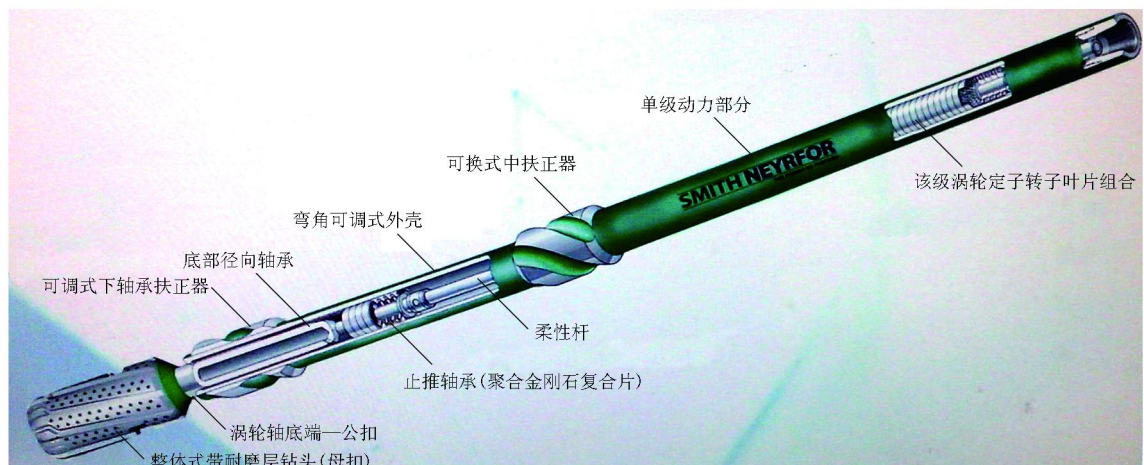


图 1 涡轮钻具结构示意图

3.2 涡轮钻具的特点

涡轮钻具具有高转速、大扭矩的特性,压降小、无横向振动、机械钻速高等优点。采用涡轮钻具的高转速特性,寿命长,配合孕镶金刚石钻头,既可以防斜,又可以在小钻压下获得较高的钻速和钻井进尺。

涡轮钻具目前有 3 种不同型号的动力系统(系统原理见图 3),MK1 是恒压降型,不管驱动轴的转速有多快,叶片产生的压降不变,这是 3 种叶片中效率最高的,主要应用在直井钻井中。

MK2 是压降变化型,地面压力随着驱动轴转速的降低而减小,它的工作效率比 MK1 稍低,但是



图2 涡轮钻具PDC止推轴承示意图

给司钻提供了更多的钻头运转状况的反馈信息,主要应用在定向井钻井中。

MK3属于压降变化型,但比MK2结构性能有所加强,从而可以用在高压、大排量的环境中。

3.3 涡轮钻具性能参数

适用于深井 $\varnothing 215.9$ mm 井眼的常见高速涡轮钻具的性能参数如表1所示。

4 梨树断陷区块涡轮钻具结构参数优选

4.1 涡轮钻具叶片类型优选

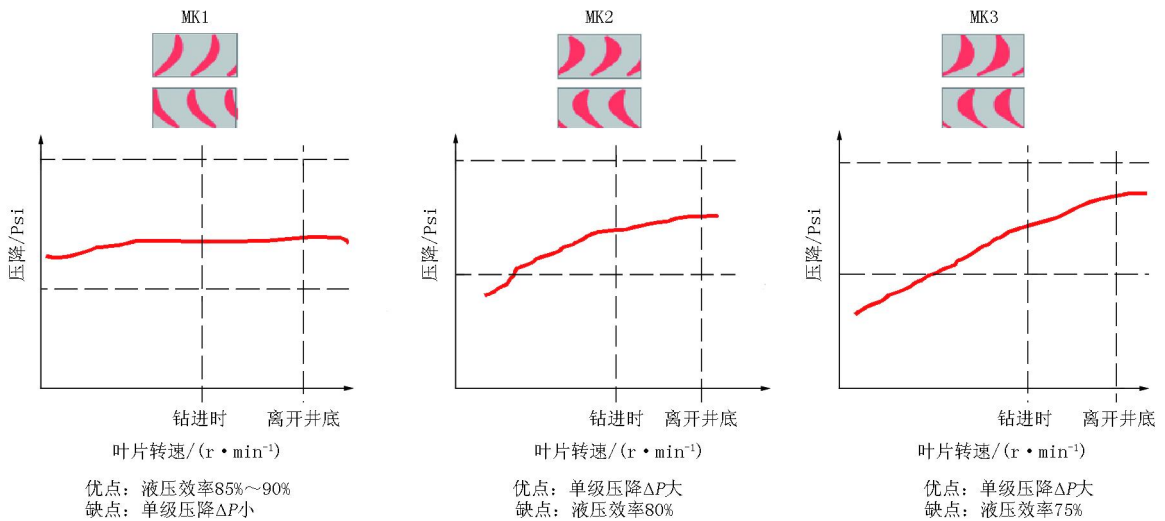


图3 涡轮钻具3种不同型号动力系统原理

表1 $\varnothing 168$ mm 138级 T1XL MK1 涡轮钻具规格

参数名称	参数值
总长(台肩到台肩)/mm	11.490
本体直径/mm	168
本体扶正器直径/mm	213
上部接头螺纹根部直径/mm	133.4
下部接头螺纹根部直径/mm	117.5
总质量/kg	1610
适合钻头尺寸/mm	193~250
涡轮钻具转速/($r \cdot \min^{-1}$)	800~1450
最大制动扭矩/($N \cdot m$)	4375

根据目前施工井队的设备情况,采用MK2压降过高,设备压力很大。MK3能量效率较MK2弱,相较于MK2使用较少。所以优选MK1型叶片。3种叶片压降特性如图4所示。

4.2 涡轮级数的选择

使用MK1叶片类型的涡轮,根据目前井队设备情况,宜采用138级涡轮提供足够的能量转换。级数太少涡轮功率不够,级数太高地面设备承受能力差。

4.3 孕镶金刚石钻头刀翼数量优选

孕镶金刚石钻头的刀翼数量与岩石的抗研磨性

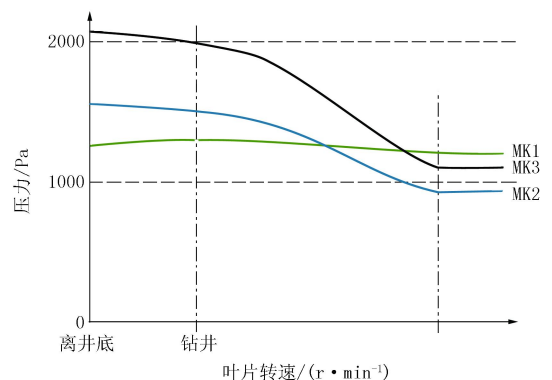


图4 3种型号叶片压降特性

与抗冲击性存在一种正向的比例关系。经过DBOS软件分析显示,登娄库组、沙河子组、火石岭组地层对刀翼的选择基本在10~13之间,但考虑邻井地层相比整个区块而言,抗压强度较大,研磨性较强,因此,选择8~12个刀翼数量应该是恰当的。通过实验推荐刀翼数量选择见表2。

4.4 孕镶金刚石颗粒优选

孕镶金刚石颗粒的大小与形状与机械钻速和钻头寿命存在着矛盾的对应关系。钻头在钻进时金刚石

表 2 地层特点对应选择刀翼数量

抗研磨性(定性描述)	抗冲击性(定性描述)	刀翼数量/个
正常	正常	4~6
中度	中度	6~8
重度	重度	8~13
高重度	高重度	13+

在作水平方向运动时,需要承受弯曲载荷,而弯曲载荷对具有晶粒结构的脆性金刚石的危害非常大。在其他条件相同时,孕镶金刚石颗粒越大,表面越粗糙,会使单位胎体中金刚石粒数相对减少,单位唇面上出刃数也随着减少,每粒金刚石承受的弯曲载荷较大,而抗破碎能力小,容易发生脆性破碎,颗粒表面越粗糙,颗粒易脱落破碎数量较多。前期钻头的机械钻速较高,寿命较短;反之,孕镶金刚石颗粒越小,会使单位胎体中金刚石粒数相对增加,单位唇面上出刃数也随着增加,载荷分担给切削接触面上的每一颗金刚石,所以每颗金刚石承受的力小,不易破碎,颗粒表面越圆润,颗粒则易脱落和破碎较少。表面越圆润,钻头的机械钻速就越高,寿命就越长(机械钻速与颗粒之间关系见图 5)。因此,根据地层的软硬选择合适的孕镶金刚石颗粒是非常重要的。既要考虑钻头的机械钻速,也要兼顾钻头的寿命(颗粒与寿命之间的关系见图 6)。针对地层情况,采取最优化方法,选择合适的孕镶金刚石颗粒,得到最经济的结果,是孕镶金刚石颗粒优选的方法。孕镶金刚石颗粒及适用地层见图 7。

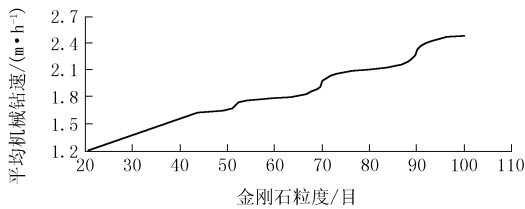


图 5 孕镶金刚石颗粒与机械钻速关系

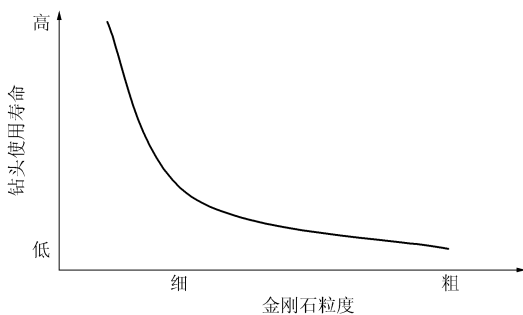


图 6 孕镶金刚石颗粒与钻头寿命的关系

针对登娄库组、营城组、沙河子组、火石岭组地层,通过对岩石硬度分析及预测,推荐使用中等粒径

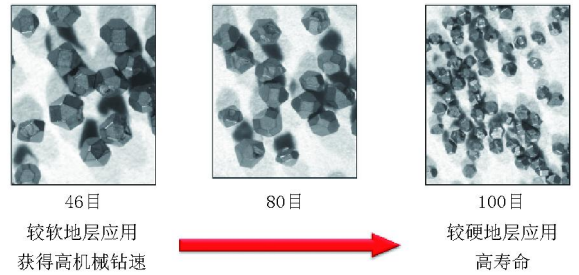


图 7 孕镶金刚石颗粒及适用地层

的金刚石颗粒(60~100目)钻头比较适宜。通过研究,推荐孕镶钻头金刚石颗粒选型原则见表 3。

表 3 金刚石颗粒选型原则(孕镶金刚石钻头)

抗研磨性(定性描述)	抗冲击性(定性描述)	金刚石颗粒
正常	正常	46
中度	中度	60
重度	重度	80
高重度	高重度	100

4.5 孕镶金刚石钻头剖面形状优选

孕镶钻头冠部剖面的形状,是钻头冲击性最主要的影响因素,同时,对钻头抗研磨性能力也有一定影响。7 系列钻头其钻头剖面比较突出,其钻头冲击性强,能有效应对硬地层。在其他条件相同的情况下,其机械钻速较高。3、5 系列钻头其冠部剖面较扁平,其机械钻速稍偏低,但其抗研磨性较强,钻头寿命长。通过岩石力学分析,综合考虑钻头的其他选型依据,选择 3、5 系列的钻头冠部剖面被认为是合适登娄库组、营城组、沙河子组、火石岭组地层特性的。通过研究,推荐剖面形状选择原则见表 4。

表 4 冠部剖面形状选型原则(孕镶金刚石钻头)

抗研磨性(定性描述)	抗冲击性(定性描述)	冠部剖面形状
正常	正常	3
中度	中度	3,5
重度	重度	5,7
高重度	高重度	7

4.6 抗研磨性分析及保径类型优选

保径部分的强化是钻头抗研磨性的主要表现形式。通过研究,推荐表 5 的选型原则。

表 5 保径强化类型选择原则(孕镶金刚石钻头)

抗研磨性(定性描述)	抗冲击性(定性描述)	保径强化类型
正常	正常	一般
中度	中度	中度
重度	重度	高度
高重度	高重度	极高度

登娄库组、营城组、沙河子组、火石岭组地层岩石研磨性较强,应该加强对保径部分的抗研磨性强

化。考虑井间差异,选择中度~高度之间的保径强化类型比较合适。

4.7 小结

经优选的孕镶金刚石钻头见图8,12刀翼,长保径套筒,高速涡轮钻具相配合,对研磨性不强的火成岩地层很适用。钻头的鼻部(冠部)向钻头的中心有所移动,以解决掏心和环状磨损的问题。



图8 孕镶金刚石钻头冠部类型图

5 现场应用及施工要点

5.1 现场应用

为提高机械钻速,在中石化重点井图深1井进入登娄库组以后连续优选试验了3只PDC钻头,但效果不理想。为了提高机械钻速,在3586~4013 m井段采用涡轮钻井技术。

钻具组合为:Ø215.9 mm孕镶金刚石钻头+6 5/8 in(Ø168 mm)涡轮动力钻具×1根+Ø177.8 mm钻铤×1根+Ø214 mm扶正器×1根+Ø177.8 mm钻铤×16根+Ø127 mm HWDP×9根+Ø127 mm钻杆。

钻井参数:钻压40~140 kN,转速40~70 r/min,排量28 L/s;立管压力26 MPa。

应用效果如表6所示。

表6 涡轮钻具在图深1井现场使用效果对比

井段/m	地 层	钻头型号	钻井方式	单只进尺/m	机械钻速/(m·h ⁻¹)
3463~3478	泉一段-登娄库	HJ537GK	复合	15	0.70
3478~3519	登娄库	HJ537GK	常规	41	0.77
3519~3586	登娄库	M1365FG	常规	67	1.04
3586~4013	登娄库-沙河子	E1167M	涡轮	427	2.45

涡轮钻井平均机械钻速是之前采用牙轮钻头的3.5倍,是PDC钻头的2.35倍;减少了起下钻时间。

5.2 施工要点

(1)上部直井段塔式钻具组合,避免钻出的井眼呈螺旋状,下涡轮起钻前,清洗井底,保证井眼干净、无落物,为涡轮钻具的顺利下入及后续钻井安全提供条件。

(2)涡轮钻井之前应该根据邻井实钻情况、采用非渗透聚磺防塌钻井液体系,配方按顺序加入淡水80 m³+0.05 t烧碱+0.16 t纯碱+4 t纳土+0.3 t NH₄-HPAN+0.1 t JS-9+0.4 t SMP+0.4 t HA树脂+0.1 t CMC充分水化,加强净化设备的使用,振动筛采用B120/B200筛网,有效地控制固相含量;采用K-PAM作为抑制剂,防止地层粘土水化膨胀和分散;将pH值控制在9左右,确保钻井液性能的稳定;保证涡轮钻具正常使用。性能指标控制如下:密度1.15~1.20 g/cm³,马氏漏斗粘度60 s, API失水量4 mL/30 min, HTHP失水量12 L/30 min, API泥饼厚度0.3 mm,动塑比0.5,膨润土含量4%,静切力3~5/6~15 Pa, pH值8~9,含砂量<0.2%,总固含量8%,摩阻系数<0.08,动切力5~10 Pa,塑性粘度10~15 mPa·s。

(3)涡轮钻井前应对地面管线、水龙头等高压管线进行试压,保证其在高泵压条件下能够安全稳定地工作。

(4)涡轮钻具入井前在井口以小排量(正常钻进排量的60%)进行空运转试验,检查涡轮钻具是否容易启动和螺纹处有无渗漏,并记录立管压力和排量。

(5)使用钻杆滤清器,以防涡轮钻具和钻头水眼堵塞(接单根前应及时取出滤清器)。

(6)起下涡轮钻具时,严格控制下钻速度,操作平稳,严禁猛刹、猛放。钻具组合通过套管鞋和进入裸眼段时一定要小心,尤其是通过缩径井段时,要注意控制起下速度。

(7)下钻遇阻不超过50 kN,上下活动钻具无效时,应开单泵循环,慢慢划眼通过,不得强下;尽量避免用钻头划眼,如果划眼,不超过正常钻进的2/3的排量。

(8)每次下放接近井底时,开泵循环钻井液,缓慢下放接触井底,10~20 kN轻压修磨井底后,再逐渐加至正常参数钻进。在井下正常情况下,减少上提下放次数,以使钻头在井底平衡工作,减少因多次重复接触井底造成的钻头损害。

(9)在钻进过程中每200 m短起1次,根据井眼实际情况进行适当调整。短起下前应充分循环钻井液,起钻时控制速度,在遇阻卡井段根据情况上提下放(不可超过50 kN),必要时可使用震击器。

(10)如发生井漏,应认真分析漏层特性,要参照堵漏材料表进行堵漏材料选择,否则提出涡轮钻具,再进行堵漏。(下转第52页)

Ø127 mm 套管内,但 Ø108 mm 套管的上头要控制在涨潮时不出 Ø127 mm 套管下部,落潮时不露出上部冲洗液漏斗,保证涨落潮时 Ø108 mm 套管只在 Ø127 mm 套管内部上下活动。

(4)遇到大风、涌浪等恶劣情况,浮船可能把定位桩扭弯,此时可松动卡箍,增大定位桩的活动范围,拉出海底,驶离现场避险。

(5)施工过程中要配合锚泊使用,可加大抗风浪能力。

(6)钻进过程中要注意观察海涌大小、给进压力,及时调整钻进参数。

(7)浮船行驶前应把钢管桩起拔到距海底一定高度并夹紧。

(8)施工过程中要及时收听天气预报,结合钻孔深度组织施工。

5 应用情况

该工法在莱州朱由西海上金矿普查项目中实施情况见表 1。

套管伸缩器和定位钢管桩配合锚泊的应用,较好地解决了船载钻探设备在滨海进行绳索取心钻探横向、竖向定位难题。从钻孔就位到具备开钻条件,一般只需 2~3 h 即可完成,节约了大量时间、成本,综合效益显著提高。

(上接第 48 页)

(11)一般情况下,在地面要检查涡轮钻具止推轴承的间隙和校正旋转基准线。如需要再次入井使用,在入井之前,用同样的排量进行地面测试。

6 结语

梨树断陷涡轮钻井实践表明,涡轮钻井不仅机械钻速高、行程钻速快,达到缩短建井周期、大幅度地降低钻井成本的目的,而且井身质量好,井径规则,由于所需钻杆转速低或钻杆基本不旋转,可以减少钻柱的损耗,避免井下钻杆断裂等恶性事故的发生。由于井径规则,固井时水泥用量可减少 25% ~

表 1 已完工钻孔一览表

孔号	孔深/m	作业天数	孔号	孔深/m	作业天数
QK3801	85.11	2	QK4601	193.05	6
QK3802	86.35	2	QK4602	120.05	3
QK3803	86.31	2	QK4603	74.55	2
QK3804	106.90	3	QK4604	99.05	2
QK3805	151.45	5	QK4605	95.55	3
QK3806	106.25	3	QK5401	78.40	2
QK3807	85.68	2	QK5402	169.30	4

6 结语

实践证明,套管伸缩器及定位钢管桩配合浮船在滨海孔深 200 m 以浅的钻探中具有施工简便、造价低、工期短、安全环保等特点,有着良好的应用前景。

参考文献:

- [1] 董星亮,曹式敬,等.海洋钻井手册[M].北京:石油工业出版社,2011.
- [2] JGJ/T 87-2012,建筑工程地质勘探与取样技术规程[S].
- [3] 姜伟.海洋石油钻井工程力学研究与实践[M].北京:石油工业出版社,2008.
- [4] SL 435-2008,海堤工程设计规范[S].
- [5] 秦昌福.深水栈桥钢管桩精确定位与快速施工[J].科技风,2012,(24):106.

30%。此外,还可以保护技术套管。

参考文献:

- [1] 许爱.PDC 钻头切削齿破岩载荷规律分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2006,33(7):59-61.
- [2] 高航献,瞿佳,曾鹏琿.元坝地区钻井提速探索与实践[J].石油钻探技术,2010,(4):26-29.
- [3] 陶现林,徐泓,黄新成,等.高速涡轮钻井技术在哈国滨里海盆地的应用[J].天然气技术与经济,2013,(4):36-39,78.
- [4] 蒋金宝,孙雪,赵国顺,等.减速涡轮深部防斜打快技术[J].中国石油大学学报(自然科学版),2011,(1):68-71.
- [5] 秦晓庆,肖国益,胡大梁.高速涡轮钻井技术在川西深井强研磨地层的提速应用[J].重庆科技学院学报(自然科学版),2013,(2):18-21,26.