

地质钻探孔内被卡钻柱的卡点测量与计算方法分析

王志刚, 吴纪修, 孙建华, 刘秀美
(中国地质科学院勘探技术研究所, 河北 廊坊 065000)

摘要:卡钻事故是地质钻探孔内事故中发生最频繁、耗费时间最长、损失最大的事故之一。在处理卡钻事故的过程中,卡点位置的确定是关键。目前地质钻探孔内被卡钻柱卡点的确定方法主要有注磁法测卡点、直接用磁性定位器测卡点、测卡仪测卡点和公式法计算卡点等。本文详细介绍了卡点测量方法的工作原理和操作步骤,并对3种卡点测量方法进行了对比分析。同时给出了单一、复合管柱的卡点计算公式和参数确定操作步骤,并对2种计算公式进行了对比分析。经过对比分析发现,测卡仪测卡点准确度高,但是存在局限性,且费时费钱,而公式计算法简单容易,但是准确性较低。因此建议在现场确定卡点位置时,应将测卡仪测卡和公式计算卡点法结合起来,以期更快更准确地确定卡点位置,并及时采取有效措施解卡,减少经济损失。

关键词:地质钻探;卡钻;卡点

中图分类号: P634 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2017)08-0029-04

Analysis on Measuring and Calculating Methods for Sticking Point of Stuck Drill String in Geological Drilling Hole/WANG Zhi-gang, WU Ji-xiu, SUN Jian-hua, LIU Xiu-mei (The Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000, China)

Abstract: Sticking is one of the most frequent, time-consuming and the biggest loss accident in the geological hole drilling. In the sticking accident handling process, the location determination of sticking points is the key. At present, the determining methods of the sticking points of the drilling string in the geological drilling holes mainly are magnetic injection, direct use of magnetic locator, point measuring instrument and the formula calculation. This paper introduces the working principle and operation steps of the sticking point measuring method in detail, and compares and analyzes three measuring methods of the card points. This paper introduces the working principles and the operation steps of the sticking points measuring methods and makes analysis and comparison of these 3 methods. At the same time, the calculation formulas and operation steps of parameters determining for the single and compound pipe columns are given. It is found that the measuring instrument has high accuracy but with limitation as well as time-consuming and costly; the formula calculation is simple and easy but with low accuracy. Therefore, the measuring instrument and formula calculation should be combined in the field to determine the location of sticking point more quickly and accurately in order to reduce economic loss by effective measures.

Key words: geological drilling; drill string sticking; sticking points

0 引言

地质钻探是获取地下资料和矿产普查最有效最直接的技术手段,在资源矿产开发中占据重要的位置,备受人们的关注。2012年以前的十年中全国地质钻探工作量逐年上升,到2013年开始出现下滑。与其他行业相比,地质钻探行业会受到国家发展规划和经济形势的严重影响。在我国经济进入缓慢发展的常态下,地质钻探行业怎么样面对挑战是当前许多地质钻探人员都在思考的问题。目前我国地勘单位共有两千多家,市场竞争环境非常严峻,在现阶段

怎样才能提高自身的市场竞争力,并顺利度过难关,是每一个地勘单位都亟待解决的一个难题。卡钻事故是地质钻探孔内事故当中发生频率最高,耗费时间最长、损失最大的事故之一,如果不能及时妥当的处理会产生重大的经济损失。特别是许多施工队伍管理和施工经验薄弱,一旦发现孔内卡钻事故,便不知所措,错过了处理事故的最佳时期。再加上最近几年我国地质钻探工作量逐年降低,投入的项目经费也逐年减少,地质钻探每米价格的降低大大压缩了施工单位的盈利空间,因此在发生卡钻事故

收稿日期:2017-01-05;修回日期:2017-05-16

基金项目:中国地质调查局地质调查项目“陆域冻土区天然气水合物钻采技术方法集成”(编号:DD20160225)、地质调查子项目“钻探工程孔内事故处理技术规程制定”(编号:121201108000150012-09)

作者简介:王志刚,男,汉族,1987年生,油气井工程专业,硕士,从事石油及天然气水合物钻井工艺技术研究工作,河北省廊坊市金光道77号,1036821833@qq.com。

时能否及时有效地进行处理则显得尤为重要。卡钻事故能够得到有效处理的关键是要确定卡点的位置。快速有效地确定孔内钻柱的卡点位置,对于减少经济损失,加快钻进进度具有重要意义。因此,笔者对地质钻探孔内被卡钻柱的卡点测量与计算方法进行分析和研究,以期很好地为现场施工人员提供理论和技术指导,减少经济损失。

1 地质钻探孔内被卡钻柱的卡点测量方法

1.1 注磁法测卡点

钻具本身是磁性体,但磁性有大有小,注磁法适用于磁性较小的钻具。对钻具注磁实际上就是将铁芯线圈下入到钻具内某一部位,然后接通直流电,使线圈产生磁场,该磁场的产生加密了铁芯线圈附近钻具的磁力线,这就在钻具本体上留下了一个磁性异常信号。同时钻具还是一个弹性体,在一定范围之内,在外力作用下会产生弹性形变,内部分子结构和磁分子排列结构也会发生改变,外力撤除后钻具恢复到原来的状态,内部分子结构和磁分子排列结构也恢复到原来的状态。这就是注磁消磁的原理。

采用注磁法测卡点时,先用电缆将注磁器下入钻具内,通过注磁面板,用电容充电、放电瞬间注磁的方式给钻具定点注磁,记录注磁曲线;在钻具的允许拉力范围内,反复拉伸活动钻具即消磁,并记录消磁曲线。把钻具接箍曲线、注磁曲线、消磁曲线进行对比,可确定钻具卡点位置。

具体的操作步骤如下。

(1)注磁前,使大钩悬重为零,这时由于钻具本身质量的存在,井内被卡钻具将会承受一定的压力。

(2)将注磁器和磁性定位器用电缆送到钻具内,为了区别出接箍信号和充磁信号,在充磁前先测一条磁性定位器曲线。

(3)对井下钻具进行连续注磁,注磁电压:直流50~100 V,在计算卡点附近,可加密充磁点,每10 m左右一个磁性记号;在距卡点较远的地方,可隔30~50 m一点。位于下面的注磁器每注一个磁性记号,位于上面的磁性定位器都可以立即测出,这样就可以边注边观察所注的磁性记号是否符合要求,如发现注磁效果不够理想,操作人员可随时调整,注磁到钻具底部为止。

(4)注磁结束后上起电缆,测注磁曲线。

(5)注磁曲线测完以后,把仪器取出,充分提拉

钻具,对井内钻具进行消磁(上提钻具至最大负荷,下放至零,来回约30次)。

(6)消磁结束后测消磁曲线,把大钩悬重提到接近钻具最大负荷,卡好卡瓦,以造成钻具测注磁曲线时最大张力差。

(7)经过以上几个步骤,对测出的曲线进行对比,即可解释被卡钻具卡点位置及深度。

1.2 直接用磁性定位器测卡点

钻具磁性较大时注磁法测卡点法不太适宜,可以采用磁性定位器测卡点,钻具的磁性主要集中在钻具接头部分,将磁性定位器下入井内,停在钻杆接头处,活动钻具,测出磁性的变化,根据磁性变化的大小,可以确定卡点位置。

具体操作步骤如下。

(1)将磁性定位器下入井内并停在钻杆接头处。

(2)提拉钻具,拉力一致,测出磁性变化,逐点进行测量,一般50 m左右一点。

(3)在卡点附近,每个接头处必须测量,并且在卡点上下,测量点不得少于3个。

(4)根据测出的磁性变化曲线判断卡点位置。

1.3 测卡仪测卡点

目前常用的测卡仪主要有2种固定方式,分别是吸附式和锚定式。两种测卡仪仅在固定方式上不同,在井斜较小的情况下可以通用。

1.3.1 组成和结构

测卡仪由地面设备和井下仪器组成。地面设备包括便携式组合地面面板和测井绞车;井下仪器包括电缆头、加重杆、伸缩杆、磁定位器、上锚定器(上磁铁)、传感器、下锚定器(下磁铁)等部分。仪器结构如图1所示。

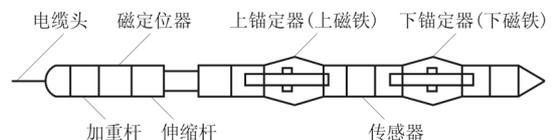


图1 测卡仪示意图

1.3.2 测卡原理

钢材属于弹性体,在受到外力作用时会发生弹性形变。对于被卡管柱,在被施加外力以后,卡点以上的部分会因为外力的存在而发生形变,而卡点以下的部分因为外力无法传递而不能发生形变,卡点就位于这中间,测卡仪就是利用这一规律进行测卡

的。

测卡仪上有上下两个锚定器(磁铁),用电缆将仪器下放到被卡钻柱内,打开上下两个锚定器(磁铁),将测卡仪固定在钻柱内部,钻柱在没有受到外力作用时处于自由状态,两个锚定器(磁铁)之间不会产生相对位移,传感器就不会有信号输出,地面测卡仪指示表也不会有任何显示。对钻柱施加拉伸、扭转等外力后,钻柱会发生弹性形变,使得两个锚定器(磁铁)之间产生了相对位移,这个信号被传感器传输到了地面,经过处理以后传输到指示表上,指示表偏转一个角度则说明该处以上部位没有被卡。继续下放测卡仪,当钻柱受到外力作用时,指示表没有显示,则说明卡点位于测卡仪之上,应上提测卡仪采取逐次逼近法进行重复测卡,确定卡点位置。

1.3.3 测卡操作步骤

实际应用测卡仪进行卡点测量时主要依据扭矩测卡,而不采取拉伸测卡。尽管在理论上测卡仪可以测出管柱的伸缩微变形,但是由于井斜、钻柱接箍及内壁摩擦会使电缆产生纵向运动,此时测卡仪不能真实反应出被卡管柱的伸缩微变形,而通过旋转则可以很好地解决这个问题。

(1)将地面仪表和井下仪器与电缆相连,通电检查仪表和仪器是否正常;

(2)将测卡仪下入到测点位置,活动钻柱使测点处于中和点(自由)状态;

(3)操作测卡仪,使测卡仪固定在钻柱内部,将电缆放松,然后旋转钻柱施加扭矩,上下活动钻柱以保证扭矩能够传到卡点位置;

(4)观察仪表,若指针偏转说明测点为自由点,若指针不偏转说明测点为卡点以下;

(5)将测点对应的深度,上提拉力,施加的扭矩圈数以及指针偏移量都记录下来,以便分析卡点位置;

(6)上提或者下放测卡仪重复(1)~(5),采取逐次逼近法进行重复测卡,直到确定卡点位置为止。

1.4 三种卡点测量方法的分析比较

3种测卡方式的对比分析见表1。

测卡仪测卡点是这3种卡点测量方式中准确度最高的一种方式,但是该套设备价格昂贵,且操作和维修十分的复杂,因此在地质钻探中的应用受到了限制。在地质钻探过程中如果发生卡钻,应该对卡钻类型及适用的测卡方法进行综合分析,选择经济

表1 三种卡点测量方法的比较

卡点测量方法	难易程度	适用性	针对性	不足
注磁法	易	新钻具	钻具未被磁化	不适用于一般孔内卡钻
磁性定位器	容易	磁化钻具	钻具磁性较大	必须进行综合分析
测卡仪	较难	普遍适用	能够下入测卡仪的所有卡钻	操作和维修困难

有效的方式进行卡点测量。

2 地质钻探孔内被卡钻柱的卡点计算方法

2.1 单一管柱卡点计算

$$L = \lambda EF / (10^5 P) \quad (1)$$

式中: L ——卡点深度, m; λ ——管柱平均伸长量, cm; E ——钢材的弹性系数, 2.1×10^5 MPa; F ——被卡钻具的截面积, m^2 ; P ——上提拉力, kN。

2.2 公式法计算卡点时的测卡操作

(1)检查钻机提升系统及指重表;

(2)上提管柱,当上提拉力比井内悬重稍大时,停止上提,使管柱保持静止状态,记录第一次上提拉力,记为 P ;

(3)在与井口平齐处的管柱上做第一个标记,记为 A 点,此位置作为基准位置;

(4)以 A 点为基准点,在弹性伸长允许的范围内,上提管柱到位置 B 点,上提拉力记为 P_1 ;

(5)量取基准点到这个位置点的伸长量,记为 $\Delta\lambda_1$;

(6)对应记录上提拉力增量 $\Delta P_1 = P - P_1$;

(7)这时 $\lambda = \Delta\lambda_1$;

(8)这时公式中的 $P = \Delta P_1$;

(9)计算出被卡钻柱的截面积值,并将伸长量和拉力带入公式进行计算,算出卡点位置。

2.3 复合管柱卡点计算

(1)通过大于钻柱原悬重的实际拉力提拉被卡钻柱,量出钻柱总伸长量 ΔL (一般采用多次提拉算出平均值,使计算更加准确)。

(2)计算该拉力下,每段钻柱的绝对伸长(假设有三段钻柱):

$$\Delta L_1 = L_1 P \times 10^5 / (EF_1) \quad (2)$$

$$\Delta L_2 = L_2 P \times 10^5 / (EF_2) \quad (3)$$

$$\Delta L_3 = L_3 P \times 10^5 / (EF_3) \quad (4)$$

(3)分析 ΔL 与 $\Delta L_1 + \Delta L_2 + \Delta L_3$ 的关系:

若 $\Delta L \geq \Delta L_1 + \Delta L_2 + \Delta L_3$,说明卡点在钻头上;

若 $\Delta L \geq \Delta L_1 + \Delta L_2$,说明卡点在第三段上;

若 $\Delta L \geq \Delta L_1$, 说明卡点在第二段上;

若 $\Delta L \leq \Delta L_1$, 说明卡点在第一段上。

(4) 计算 $\Delta L \geq \Delta L_1 + \Delta L_2$ 的卡点位置:

① 先求 ΔL_3 , $\Delta L_3 = \Delta L - \Delta L_1 - \Delta L_2$

② 计算第三段钻柱没卡部分长度 L_3' , $L_3' = \Delta L_3 EF^3 / (10^5 P)$ 。

(5) 计算卡点位置: $L = L_1 + L_2 + L_3'$ 。

(6) 由上述步骤也可以推导出 $\Delta L \geq \Delta L_1$ 、 $\Delta L \leq \Delta L_1$ 时卡点的位置。

式中: ΔL_1 、 ΔL_2 、 ΔL_3 ——自上而下 3 种钻柱的伸长量, cm; ΔL ——总伸长量, cm; P ——上提拉力, kN; L_1 、 L_2 、 L_3 ——自上而下 3 种钻柱的下井长度, m; F_1 、 F_2 、 F_3 ——自上而下 3 种钻柱的截面积, cm^2 ; E ——钢材弹性系数, 2.1×10^5 MPa; L_3' ——第三段钻柱没卡部分的长度, m; L ——卡点位置。

如果有 3 段以上不断的钻柱组合也可以采用上述计算分析的方法, 确定卡点的位置。

2.4 两种卡点计算公式的比较(参见表 2)

表 2 两种卡点计算公式的比较

计算公式类型	适用范围	难易程度	准确性	现场应用情况
单一管柱卡点	单一管柱	易	相差较大	较多
复合管柱卡点	复合管柱	较难	相差较小	较少

目前, 钻探施工所采用的钻柱都是复合钻柱, 因此采用复合钻柱的卡点计算公式准确度较高, 但是在采用该公式时首先要判断卡点落在哪一段钻具上, 然后代入数据进行计算, 如果直接代入数据进行计算, 则可能使事故更加复杂化。鉴于此, 单一管柱卡点计算公式虽然准确度较低, 但是公式简单, 容易计算, 所以在现场的应用较复合管柱卡点计算公式更频繁。

3 对被卡钻柱卡点测量与计算方法的认识

卡钻事故是地质钻探孔内事故中发生频率较大的事故之一。钻探工程是一项极其复杂的工程, 由于地质构造的复杂和地下不可预见的因素, 泥浆性能与地层的不吻合, 操作不当, 检查不严等原因都有可能造成卡钻事故的发生。实际上大多数卡钻事故在发生时都会有征兆出现, 如果能够及时发现, 反应迅速并及时采取正确的措施进行处理, 就可以避免卡钻事故的发生。就算是已经发生了卡钻事故, 能够快速正确地确定卡点位置, 并采取有效的解卡措施进

行解卡, 也能够减少处理事故的时间, 节约成本。

卡点位置的判断是确定卡钻性质以及制定解卡措施的重要依据。当前确定卡点位置的方法主要有两大类: 卡点测量方法和卡点计算方法。其中卡点测量方法包括注磁法测卡点, 直接用磁性定位器测卡点和测卡仪测卡点。测卡仪灵敏度高, 测卡准确, 在现场应用中得到了很好的评价。但是由于卡钻事故的不确定性以及卡钻事故的多样性, 再加上管柱的限制, 测卡仪在现场应用中具有一定的局限性, 费时费钱。卡点计算方法是现场应用最普遍的一种方法, 公式由胡克定律推导而出, 无论是单一管柱还是多段管柱都可采用提拉法算出卡点位置, 省时省钱, 但是由于孔内情况的复杂, 采用公式法计算得出的卡点位置与实际卡点位置存在较大的误差。为了更好地确定卡点的位置, 在现场如果有条件可以将测卡仪测卡和公式法计算卡点结合起来, 先用公式法计算出卡点的大致位置, 然后下入测卡仪在计算出的卡点位置上下进行加密测卡, 以便尽早准确地确定卡点位置, 节约单纯采用测卡仪时所需的测卡时间, 避免单纯采用公式计算的误差。同时在充分考虑孔内复杂情况和钻柱本身影响的基础上, 对现有的卡点计算公式进行修正, 减小计算误差。

地质钻探与石油天然气钻井行业有所不同。一直以来地质钻探主要以小直径绳索取心为主, 孔型多为直孔。随着我国地质钻探事业的不断发展, 特别是钻探领域的拓展和延伸, 定向孔钻探也逐渐成为地质钻探经常遇到的类型, 定向孔与直孔相比孔内情况更加复杂, 直孔卡点计算公式, 以及征兆、预防和处理方式已经不能够完全适用于定向孔钻探中, 因此应加强定向孔卡点位置计算、卡钻事故处理方式的研究, 从而更好的指导定向孔钻探。

4 结语

(1) 在地质钻探各类孔内事故中, 卡钻事故是发生频率最高, 耗时最多, 损失最大的事故之一。降低卡钻处理事故的时间, 减少经济损失的关键是确定孔内钻柱的卡点位置并判断卡钻类型, 只有这样才能采取合理有效的解卡措施进行快速解卡。

(2) 确定卡点位置的主要方法有: 注磁法测卡点、直接用磁性定位器测卡点、测卡仪测卡点和公式法计算卡点。测卡仪测卡点和公式法计算卡点位置

(下转第 36 页)

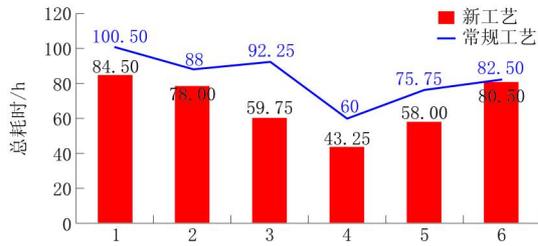


图1 新工艺井与常规工艺模式井的作业总耗时对比
(从入井至中完出井的总时间)

浅部松散地层旋转导向造斜关键技术。经过实际应用,该技术取得了良好的效果,具有广阔的应用前景。

参考文献:

[1] 和鹏飞,孔志刚. Power Drive Xceed 指向式旋转导向系统在渤海某油田的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40

(11):45-48.
 [2] 刘鹏飞,和鹏飞,李凡,等. Power Drive Archer 型旋转导向系统在绥中油田应用[J]. 石油矿场机械,2014,43(6):65-68.
 [3] 侯冠中,席江军,和鹏飞,等. 单筒双井占位钻具技术研究及在渤海油田的应用[J]. 石油钻探技术,2016,44(2):70-75.
 [4] 和鹏飞. 辽东湾某油田大斜度井清除岩屑床技术的探讨[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(6):35-37.
 [5] 刘鹏飞,和鹏飞,李凡,等. 欠位移水平井 C33H 井裸眼悬空侧钻技术[J]. 石油钻采工艺,2014,36(1):44-47.
 [6] 刘鹏飞,刘小刚,李凡,等. 钻完井区域化管理模式在渤海油田的实践与应用[J]. 石油工业技术监督,2014,30(9):18-20.
 [7] 侯冠中,和鹏飞,郑超,等. 渤海 I27H 井饱 406.4 mm 大尺寸井眼对扣打捞技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(10):35-37.
 [8] 牟炯,和鹏飞,侯冠中,等. 浅部大位移超长水平段 I38H 井轨迹控制技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(2):57-59.
 [9] 和鹏飞,吕广,程福旺,等. 加密丛式调整井轨迹防碰质量控制研究[J]. 石油工业技术监督,2016,32(6):20-23.

(上接第 32 页)

是现场比较常用的两种确定卡点位置的方法,这两种方法各有优缺点可以结合使用。

(3)定向孔与直孔相比孔内情况更加复杂,直孔卡点计算公式,以及征兆、预防和处理方式不能够完全适用于定向孔钻探中,因此应加强定向孔卡点计算、卡钻事故处理方式的研究,从而更好地指导定向孔钻探。

参考文献:

[1] 王达,李艺,周红军,等. 我国地质钻探现状和发展前景分析[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(4):1-9.
 [2] 李继文,王平,张志强,等. 钻探工作中常见孔内事故的预防和处理[J]. 吉林地质,2010,29(4):129-231.
 [3] 赵春波. 影响卡钻因素的系统分析[J]. 新疆石油科技,1998,8(2):1-8.
 [4] 李粤南. 深部孔段卡、埋钻事故防治对策的探讨[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(9):2-5.
 [5] 张林强. 井下卡钻分析及处理[J]. 海洋石油,2007,27(3):112

-115.
 [6] 黄河福,吴德麟,王少英,等. 测卡松口系统在处理卡钻事故中的应用[J]. 石油钻探技术,1997,25(3):48-51.
 [7] 张景良,魏群涛,吴思琼. CQY-I 型测卡松扣仪研制及应用[J]. 石油矿场机械,2007,36(10):82-84.
 [8] 宋德军. 管柱卡点计算[J]. 油气井测试,2008,17(1):15-18.
 [9] 冉津津,李长健,唐义祥,等. 油水井测卡点技术研究与应[J]. 石油天然气学报(江汉石油学院学报),35(5):134-137.
 [10] 况雨春,熊威,张立民,等. 大斜度井修井作业卡点预测数值模拟方法[J]. 石油机械(油气田开发工程),2014,42(4):57-62.
 [11] 赵金洲,张桂林. 钻井工程技术手册(第二版)[M]. 北京:中国石化出版社,2014:113-120.
 [12] 刘东明. 井下被卡管柱的卡点公式计算法优化探讨[J]. 中国海上油气,2004,16(1):47-50.
 [13] 孙连忠,臧艳彬,高德利,等. 复杂结构井钻柱解卡参数分析[J]. 石油机械,2014,42(3):19-23.
 [14] 郭凤,刘合,张劲. 卡点计算的有限元分析[J]. 机械工程学报,2007,43(1):158-163.
 [15] 周劲辉,高德利,宇新. 钻柱卡点预测实验[J]. 实验力学,2010,25(5):575-579.