

直井防斜钻具组合技术综述

殷朝阳* 柏景海 何俊才

(大庆石油管理局钻井二公司)

殷朝阳等. 直井防斜钻具组合技术综述. 天然气工业, 2000; 20(1): 50~53

摘要 在石油及天然气钻井过程中,影响井斜的因素是多方面的,钻具组合及其操作技术对控制井斜起着至关重要的作用。随着钻具组合技术的发展,控制井斜的技术水平和能力也不断提高。文章对旋转钻井过程中,国内外一些具有代表性的直井防斜钻具组合,尤其是对国内近几年的最新防斜钻具结构做了概要论述,并对这些防斜钻具的优缺点进行了对比分析。同时还简要介绍了国外最先进的井斜控制闭环系统及应用情况。旨在为钻井界科技人员提供此方面的技术信息,以便在实际钻井中加以利用和选择。

关键词 直井 防斜装置 钻具组合 技术 综述

钻井理论和工程实践表明,影响井斜的因素主要有地质条件、下部钻具组合和操作技术。地质因

素(地层倾角等)对井斜的影响是客观的不可控制因素,而防斜钻具组合和操作技术则是主观的、可控制

c)当 $X_i < L_{fs}$ 时:

$$X_i = 0.0 + (X_i - 0.0) \frac{L_{fs_0} - 0.0}{L_{fs} - 0.0} = X_i \frac{L_{fs_0}}{L_{fs}} \quad (13)$$

表1 塔中、塔北地区预测各井的 L_s 、 L_{fs} 值

| 井号 | L_s | L_{fs} | 井号 | L_s | L_{fs} |
|--------|-------|----------|--------|-------|----------|
| 塔中 103 | 0.1 | 0.06 | 哈 4 | 0.2 | 0.07 |
| 塔中 121 | 0.08 | 0.03 | 塔参 1 | 无 | 0.25 |
| 塔中 36 | 0.06 | 0.03 | 塔参 2 | 无 | 0.04 |
| 塔中 44 | 0.19 | 0.14 | 牙哈 11 | 无 | 0.1 |
| 塔中 45 | 0.1 | 0.05 | 牙哈 701 | 0.35 | 0.1 |
| 塔中 50 | 0.2 | 无 | 英买 31 | 0.8 | 0.2 |

通过塔中、塔北众多井的研究,将砂岩与粉砂岩的钻速倒数界限值 L_{s_0} 定为 0.1,将泥岩与粉砂岩的界限值 L_{fs_0} 定为 0.06,即钻速倒数值大于 0.1 者归为砂岩,将钻速倒数值介于 0.1 与 0.06 间者归为粉砂岩,将钻速倒数值小于 0.06 者归为泥岩。任意未知井的钻速倒数参数在知道 L_s 和 L_{fs} 的情况下采用浮动基线法向该标准校正后,则可以直接根据钻速倒

数参数及标准进行岩性预测。

预测结果及效果分析

我们采用上述方法对塔中、塔北地区塔中 103、塔中 121、塔中 161、塔中 36、塔中 44、塔中 45、塔中 50、塔参 1、塔参 2、哈 4、牙哈 11、牙哈 701、英买 31 的岩性作了预测。用上述方法,对于岩性较简单地层,如砂、泥岩的地层或泥岩、粉砂岩地层,岩性段识别成功率在 85% 以上;对于三种或四种以上岩性较复杂地层,主要的岩性识别较好,而少数岩性识别较困难。所以,应用该方法基本上能对主要岩性层段进行识别,特别是区分砂、泥岩地层或粉砂岩、泥岩地层,预测精度在 85% 以上。总的来说,上述方法是从各参数基本关系和基本原理出发,只要充分考虑各种因素的影响,可以建立岩性与钻速倒数之间的较为精确的关系。遗憾的是有些参数如钻头结构参数、钻井液参数不易获取,我们的研究中未能对该两项进行校正,所以还存在一些误差,但用该方法进行随钻岩性预测,无疑开辟了一条新的思维路线,在生产中有重要应用价值。

(收稿日期 1999-08-28 编辑 钟水清)

*殷朝阳,高级工程师,1964年生;1984年毕业于大庆石油学院钻井工程专业,现任大庆石油管理局钻井二公司副总工程师。地址:(163413)黑龙江省大庆钻井二公司。电话:(0459)4984799。

因素。因此,随着钻井工艺理论和实践应用的不断发展,直井防斜钻具组合技术方面取得了长足的进步。为了便于钻井工程技术人员在钻井施工中合理选择和应用,本文将对国内外先进的防斜钻具组合和操作技术做一概述。

钟摆防斜钻具

1. 力学理论基础

钟摆钻具是早期钻柱力学研究的产物。50年代初,A. Lubinski 在研究光钻铤受钻压作用下的弯曲问题时,建立了竖直井内钻柱弯曲的微分方程,并根据边界条件,确定了一次、二次及更高次弯曲的临界钻压。后来 Lubinski 和 H. B. Woods 等人通过对现场调查和试验,放弃了井眼完全竖直的假设,认为实际的井眼都是倾斜的,钻柱某点将和井壁接触,称为上切点。未加钻压时,作用在钻头处侧向力只是钻头与上切点之间钻铤重量的横向分量,这个力称作钟摆力,使井眼趋于垂直;当施加钻压时,将在钻头处产生另一侧向力,此力使井眼偏离原来的方向。这二个力的合力决定了钻进方向。这就是钟摆钻具理论的基础。此后有关钟摆钻具的研究都是在此基础上进一步完善和发展的。

2. 工作原理

钟摆钻具是利用斜井内钻柱切点以下钻铤重量的横向分力把钻头压向井眼下方,以逐渐达到减小井斜的效果。这个横向分力的作用犹如钟摆一样,故称之为钟摆力。增加钟摆力的一个办法是尽可能使用较大尺寸的钻铤,这样钻铤不容易被压弯,切点位置相对较高,利于减斜。另一个办法是在此切点略高的位置上安装稳定器,以提高切点位置,增大减斜力。同时,也能减小钻头外侧倾角(指产生增斜效果的钻头倾角)。

3. 设计要点和操作要求

钟摆钻具在直井内无防斜作用,但在井斜发生时却有纠斜作用。钟摆钻具使用的成功与否和钻压有直接关系。稳定器的安放位置是根据钻压确定的,超过这个钻压后,稳定器以下的钻柱就会与井壁形成新的切点,导致钟摆钻具失效,所以操作中应严格控制钻压。同满眼钻具相比,钟摆钻具只能使用较小的钻压。

4. 适用范围

钟摆钻具是国内外石油钻井应用最为广泛的一种钻具结构,一般可用于普通地区钻井和井斜产生后的纠斜。

满眼防斜钻具(填满钻具)

1. 力学理论基础

60年代以 Hoch 为代表的一批学者,把下部钻柱看成是纵横弯曲梁,以此为依据提出了双稳定器防斜钻具的理论,这是以后满眼钻具发展的基础。60年代广泛使用了满眼钻具,随后又出现了在钻头上增加一个近钻头稳定器的满眼钻具组合。

Hoch 在钻柱力学分析中有以下缺点:把钻头与上稳定器简化成绞支座,而且认为上稳定器处弯矩为零,这与实际情况相差甚远;对作用在钻柱模型上的力采用了线性迭加原理,这在轴向力(钻压)较大情况下是不合适的。为此,西南石油学院的稳定器小组和杨勋尧曾对 Hoch 的理论进行了讨论和修正。杨勋尧还根据不同的井眼条件给出了满眼钻具组合的设计方法和稳定器安放位置的计算方法。

2. 工作原理

满眼钻具的防斜原理有二点:能产生较小的钻头倾角(相对于钟摆钻具而言);利用三点(三个稳定器)直线性来保证井眼的直线性 and 限制钻头的横向移动。

3. 设计要点和操作方法

满眼钻具的设计要求主要有三点:保证下部钻铤有尽可能大的刚度;保证稳定器之间具有合适的长度;保证稳定器与井眼之间的间隙尽可能小。满眼钻具能承受较大钻压(相对于钟摆钻具),因而能获得较高的机械钻速。但满眼钻具在发生井斜后其纠斜效果不如钟摆钻具,此时需要起下钻换钟摆钻具纠斜。

4. 适用范围

满眼钻具适用于不易斜或较为易斜的地区(层)。满眼钻具是在石油及天然气钻井应用最为广泛的钻具组合之一。

柔性防斜钻具组合

目前国内外有报道的柔性防斜钻具组合有多种形式。但主要可以归纳为两大类,钻杆柔性防斜钻具组合和柔性接头防斜钻具组合。

1. 钻杆柔性防斜钻具

很多文献都介绍了钻杆柔性防斜钻具,且都具有类似的组合形式,即在下部钻柱中的第一稳定器以上加一根钻杆。所不同的是,一些文献介绍的钻杆柔性防斜钻具组合中第一稳定器与钻头之间用一定长度的钻铤连接,因而也称为柔性钟摆钻具。而

有的文献介绍将第一稳定器和钻头直接连接。

(1) 力学理论基础。无论何种形式的柔性钻杆防斜钻具组合,其工作原理都十分相近。根据钻柱受力平衡条件可得出钻头的侧向力与第一稳定器处内弯矩之间的定量关系式(还包括钻压、钻铤自重、长度、钻头倾角等物理量的影响)。即:第一稳定器处内弯矩不同对钻头侧向力有着不同的影响。当第一稳定器处内弯矩为正值时,钻头产生降斜力;当第一稳定器处内弯矩为负值时,钻头产生增斜力。

(2) 工作原理。关于柔性钻杆防斜钻具的工作原理,各文献的解释不尽相同,但总的原则是一致的,即在第一稳定器上加一根钻杆改善了稳定器处的内弯矩,使钻头处产生了有利于降斜的侧向力;另外,由于钻杆柔性较大,抗弯刚度小,在钟摆钻具条件下更有利于第一稳定器以下钻铤恢复到以稳定器为支点的自由悬挂状态,从而提高了钻具的钟摆力。

(3) 操作方法。使用钻杆柔性防斜钻具即能防斜又能纠斜,钻压可加至 140~160 kN。使用它纠斜时需先吊打几个单根,在井眼有降斜趋势后方可加压钻进。另外,使用此种钻具组合时不可长时间加压钻进,以防稳定器之间的钻杆发生疲劳损伤。

(4) 应用范围。有关文献建议在中等以下易斜地区使用钻杆柔性(钟摆)钻具组合。在华北、江汉、大庆等油田的较易斜地区都曾经使用过钻杆柔性防斜钻具,取得了较好的效果。

2. 柔性接头防斜钻具

(1) 力学模型及理论。此钻具的特点是在钻头和第一稳定器之间加了一个技术接头(也称柔性接头)。它相当于一个万向接头,不传递弯矩,但可以传递扭矩、轴向力和剪力。接头距钻头及上部稳定器的距离都比较短,当钻具组合发生小挠度变形时,在接头处形成的结构弯角可以在小范围内任意发生变化,从而使钻头始终以降斜方式自转。

(2) 工作原理。当有井斜时,受重力的作用切点以上钻柱紧贴下井壁,这时稳定器相当于一个支点,使接头偏向上井壁,在柔性接头的作用下带动钻头向下偏斜。当钻柱旋转时,该变形方式保持不变,使钻头总是偏向下井壁从而实现纠斜。在没有井斜时,下部钻柱并不固定地贴在井壁的某一位置,较大的钻压引起钻柱屈曲,钻柱与井壁产生摩擦力促使钻柱涡动带动钻头转动,使井底周边受相等的切削机会,因而不会引起井斜。

(3) 应用条件。该钻具结构可以承受较大钻压,而且钻头降斜力随钻压增大而增大,既有利于降斜,

又可高速钻进,这是常规钻具组合无法实现的。现场实钻表明,这种钻具组合在垂直井眼中并不引起井斜。充分显示了该钻具组合的优越性。

(4) 应用范围。可用于特别易斜地层的钻井,满足防斜要求。

偏心防斜钻具

1. 质量偏心防斜钻具结构

(1) 力学理论分析。有关文献介绍了一种质量偏心防斜钻具组合。即在钟摆钻具的适当位置安放一个质量偏心短节(偏心质量块在一侧凸出)而形成。其设计思想是要改善钟摆钻具较大的钻头外侧倾角(即钻头轴线偏出井眼轴线增斜一侧)。当偏心短节的质量带转至井眼下井壁时,偏心带的凸出部位接触下井壁,使钻柱处于“垫起”状态,其钻柱轴线更接近该处的井眼轴线,从而减小了钟摆钻具的钻头外侧倾角,也就减缓了井斜的增加;当偏心带转至井眼上井壁时,由于偏心力的作用使偏心带接触上井壁,从而将该处钻柱“吊起”,这样在钻头处形成钻头内侧倾角或负倾角(即钻头轴线方向偏向井眼轴线降斜一侧)。此时,钻头切削下井壁,产生降斜作用。

(2) 设计要点及操作方法。可以使用较钟摆钻具大的钻压,还必须设计和使用足够的转速才能发挥偏心钻具优势。因此,该钻具组合能达到较高的机械钻速和良好的防斜效果;同时由于其结构较“轻”,在高密度钻井液条件下把粘吸卡钻的风险降到了最低的程度。

(3) 应用范围。适应于中等以下易斜地区(层)的钻井。该组合已在大庆油田调整井中全面推广,其井斜发生率只有原来使用钟摆钻具的 1/3。

2. 偏轴防斜钻具组合

(1) 设计原理。有关文献介绍一种偏轴防斜打快钻具组合,其原理是把对钻直井不利的无规律涡动状态变为有利的公转回旋运动。当钻具被加上钻压后,受井眼所限制的偏轴组合在很大的弯矩作用下形成以偏轴接头为中心的双向弯曲变形,其弯矩产生于偏轴接头处。转盘的旋转强迫钻具作稳定的公转回旋运动,使钻头均匀切削井底岩石。

(2) 设计要点及操作要求。结构参数(偏轴距、偏轴接头安放位置、钻铤尺寸等)要整体优化选择,且要与设计钻井参数(钻压、转速)相匹配。在设计钻压范围内钻压越高,组合运动越稳定、防斜、纠斜效果越好。

(3)应用范围。据有关文献介绍,该钻具组合在易斜构造钻井试验中获得了成功。

其他钻具防斜技术概述

1. 杠杆平衡钻柱

有关文献论述了“杠杆平衡钻柱”理论:把地层作用在钻头之上的横向造斜力,通过“理想的刚直杠杆”传递到上部,杠杆顶部与地层接触时,井壁以一反作用力将上部钻柱产生的横向力平衡掉,以此使钻头基本按原井眼方向钻进。文献推荐用抗弯刚度更大的方钻铤可满足上述要求。

2. 双效防斜器和 HCY 装置的原理及应用

双效防斜器是与前苏联 HCY 装置相类似的特殊双筒组合装置。其外筒套在内筒上,内外筒之间有一定的间隙,分别靠外螺纹和内螺纹与下稳定器连接。上稳定器与外筒连接,内筒可在上稳定器内作轴向滑动。工作时防斜器上面(内筒)接钻铤,下面(外筒)接钻头。钻压经内筒直接传给钻头。外筒是刚性较强的厚壁管,而且不承受轴向压力,因而不会丧失稳定。分析上述结构可以得知:防斜器和 HCY 装置可以在较大的钻压下工作,且具有较小的钻头倾角(钻头与稳定的外筒相连)、刚性满眼效应(有上、下二个稳定器)和钟摆效应(此时下稳定器直径应小于上稳定器直径)。HCY 装置在前苏联、防斜器在国内大庆石油管理局和四川石油管理局川南矿区等均有应用,但由于在易斜地区的使用效果不够理想而未能得以推广。

3. 偏重防斜钻具

这里指的是传统意义上的偏重防斜钻具组合,与前面论述的偏心防斜钻具有着根本的不同。偏重防斜钻具是在下部钻柱中靠近钻头处加入一或二根偏重钻铤。这种偏重钻铤是在普通钻铤一侧钻出一定数量的圆孔而制成。这种钻具组合曾一度在国内外流行,但终因旋转离心力小和钻具结构本身的原因,达不到防斜打直井的目的而逐渐消失。

4. 光钻铤组合

有关文献介绍了一种光钻铤利用适当钻压达到防斜目的的技术。其理论基础是,增加钻压引起钻柱屈曲,保持钻柱滚动。有井斜时,使钻柱产生周期性变化的轴向附加力,无井斜时轴向附加力消失。轴向附加力给钻头与地层的接触增加了一个周期性附加分量,改变了钻头的破岩速率和方向,所以轴向附加力具有防斜和纠斜作用,而不会增斜,这种光钻铤加压防斜技术的一大特点是可以解放钻压。通过

在塔西南地区试验取得了良好的效果。

井斜闭环控制系统简介

前面论述的各种防斜钻具组合是人们利用有限的技术手段改进钻具性能,来抵消(或者部分抵消)地层造斜力。这样的方法不能保证钻头始终按设计的井眼轨道钻进。当实钻轨道与设计轨道发生偏离时,需要一种智能系统,即时地跟踪并不断纠正这一偏差。这就是井下闭环井眼轨迹控制系统。它包括测量系统、信号发射与接收系统、井下微处理器、井眼轨迹控制执行机构。

先期开发这项技术的是德国与美国 EASTMAN CRISTENSEN 公司共同研制开发的自动垂直钻井系统 VDS。其特点是可以连续监测任何偏离于垂直方向的偏斜并且能够提供连续的补偿;可以连续地使用滑动或旋转钻井方式;可以随时在地面上监测井眼轨迹和系统的工作状态。1992 年,VDS 在 KTB 井中得到了良好的应用。钻进 663 d 后完钻,井深达 6 760 m,其中 3 500 m 是用 VDS 系统钻进的。使用 VDS 系统时配合井下马达,钻柱与转盘不旋转,控制井斜在 1° 以内。从 1 700 m 至 2 000 m 使用满眼钻具旋转钻进时,井斜角增加至 2.3°,使用 VDS 后井斜角下降并保持在 0.5° 以内。井底水平位移不超过 20 m。全井使用 VDS 共 81 次,平均寿命 42.2 h。

目前自动化程度最高的是美国 BAKER HUGHES 工具公司的自动旋转闭环井斜控制系统 RCLS,它具有旋转钻进时连续导向的能力和地质导向能力(通过电阻率和 GAMMA 测井)。钻进时可以进行双向通讯,即通过钻井液脉冲由地面向井下工具发出指令,井下的各种有关参数也可以由井下发射器发射至地面。现场试验应用表明,RCLS 系统达到了预期的设计要求,而且已经投入商业性使用。

认识和建议

(1) 在一般地区(层),可选用钟摆钻具、满眼钻具和偏心防斜钻具。考虑卡钻的风险和防斜要求,偏心防斜钻具应为首选。

(2) 在较易斜和中等易斜地区(层),可选用满眼钻具和偏心防斜钻具。在高钻井液密度条件下,为减小卡钻的风险,应优先选用偏心防斜钻具组合。

(3) 在易斜地区(层)钻井,可选用柔性接头防斜钻具,有条件可选用井斜闭环控制系统。

can reach about 80 %.

SUBJECT HEADINGS:Drilling parameter ,Lithology identification ,Drilling speed ,Prediction

Cao Zhenglin (*engineer*) , born in 1971 , graduated in petroleum geology at Chengdu College of Technology with Master 's degree in 1994. He is now studying for Doctor 's degree at University of Petroleum (Beijing) . He is engaged in the research on oil and gas reservoir description and prediction and has published several theses. Add :Northwest Geological Research Institute ,Lanzhou (730020) ,China Tel : (0931) 8497330-3738

.....

A SUMMARIZATION OF DEVIATION-CONTROLLING DRILLING TOOL ASSEMBLY TECHNIQUE FOR STRAIGHT WELL

Yin Chaoyang ,Bo Jinghai and He Juncai (No. 2 Drilling Co. of Daqing Petroleum Administration) . *NA TUR. GAS IND.* v. 20 ,no. 1 ,pp. 50 ~ 53 ,1/ 25/ 2000. (ISSN 1000 - 0976 ; **In Chinese**)

ABSTRACT:In the process of oil and gas well drilling ,the factors causing hole deviation are various. The drill tool assembly and its operation pay a very important role in controlling hole deviation. With the development of drill tool assembly technique , the technical level and capability of hole deviation control have been continuously raised. In this paper ,the foreign and domestic representative deviation-controlling drill tool assembly for straight wells by rotary drilling ,especially the domestic last deviation-controlling drill tool assembly developed in recent years is briefly expounded and the advantages and shortcomings of these tools are analyzed and compared ,and the foreign most advanced closed-loop system for hole deviation control and its application situation are briefly presented also ,in order to offer the scientific-technological personnel in drilling circles the technical informations of this field for their selection and application in drilling practice.

SUBJECT HEADINGS:Straight well ,Inclining prevention device ,Bottom hole assembly ,Technique ,Review

Yin Chaoyang (*senior engineer*) , born in 1964 ,graduated in drilling engineering at Daqing Petroleum Institute in 1984. Now he is deputy chief engineer of No. 2 Drilling Co. of Daqing Petroleum Administration. Add :Daqing No. 2 Drilling Co. ,Heilongjiang (163413) ,China Tel : (0459) 4984799

.....

A RESEARCH ON THE DAMAGE OF DRILLING FLUID TO CORE OF T₃x² GAS RESERVOIR IN PINGLUOBA GAS FIELD

Xiang Yang and Xiang Dan (Chengdu College of Technology) , Zhang Chaoju and Liu Chengchuan (Southwest Petroleum Bureau of CNSPC) . *NA TUR. GAS IND.* v. 20 , no. 1 , pp. 54 ~ 56 , 1/ 25/ 2000. (ISSN 1000 - 0976 ; **In Chinese**)

ABSTRACT:The second member of Xujiahe formation is the main gas-producing interval of Pingluoba gas field. The pay is a tight fracture-pore-type reservoir composed of fine-grained , fine-to-medium-grained or medium-grained feldspathic quartz sandstone and feldspathic lithic sandstone ,with a burial depth of 3 400 ~ 3 900 m. The content of clay minerals varies from 5 % to 15 % ,of which ,illite occupies 88 % ~ 94 % and chlorite 5 % ~ 10 % . In majority of the samples ,the mixed-layer minerals of illite and montmorillonite varied in amount are found. The average porosity of the reservoir is 3.55 % ,permeability 0.2 ×10⁻³ μm² and average water saturation 54 % . All wells yield slurry in the initial stage after the reservoir was put into production and the production was very unstable. It was necessary to eliminate blockage before wells were put into production in general ,and after which ,the output could be raised by more than three times. Through experiment ,it is proved that the T₃x² gas reservoir of this gas field is damaged by drilling fluid ,the mean rate of damage to permeability reaching 50 % . The damage mechanism is as follows :First ,the filtrate of drilling fluid entered into formation makes the water membrane thickened ,and second ,the particulates in the drilling fluid invaded in core plug up the percolation flow passage. In order to alleviate the damage ,it is proposed that the density of drilling fluid should be improved and the pay should be drilled at a balanced pressure or at a pressure slightly higher than that of the formation.

SUBJECT HEADINGS:Sichuan ,West ,Pingluoba gas field , Core ,Drilling fluid ,Research

Xiang Yang (*professor , tutor of postgraduate for Doctor 's degree*) , born in 1941 , graduated in Petroleum geology at Chengdu College of Geology in 1967. He enjoys the governmental special allowance granted by the State Council. He is mainly engaged in the teaching and researching works on petrophysics , reservoir description and the protection and reformation of oil and gas reservoirs. Add :No. 1 , Third East Erxianqiao Road , Chengdu ,Sichuan (610019) ,China Tel : (028) 4079003

.....

A STUDY OF OPTIMIZED METHOD FOR DESIGNING DIRECTIONAL WELL TRAJECTORY

Zhang Yan ,Li Ji ,Liu Kunfang ,Cao Liming ,Wu Shuang and Yu Lei (Research Institute of Drilling and Production Technology ,Liaohe Oil Field) and Shi