

霍10井区大倾角地层自然造斜规律探讨 与防斜打快对策^{*}

杜青才^{1,2} 石晓兵¹ 聂荣国¹ 陈平¹ 徐显广²

李维鲜² 查永进² 张文波²

(1.“油气藏地质及开发工程”国家重点实验室·西南石油学院 2. 中国石油新疆油田分公司)

杜青才等. 霍10井区大倾角地层自然造斜规律探讨与防斜打快对策. 天然气工业, 2004; 24(3): 65~68

摘 要 新疆油田霍10井区大倾角构造由于地层倾角大、地层各向异性强、地层自然造斜性强、井身质量差和机械钻速低是该地区钻井工程突出的问题。文章从理论上探讨了地层自然造斜力、钻具组合对井身质量的影响, 针对霍10井区高陡大倾角构造的地质特征, 分析研究了可用于该研究区域的防斜打快的方法和技术, 对霍10井区防斜打快具有一定的指导作用。

主题词 新疆油田 霍10井区 大倾角地层 防斜打快

井斜给钻井、完井、采油气作业带来了极大的安全隐患, 而为了防斜、纠斜而采取的常规措施又会大大降低钻井效率。特别是随着勘探开发领域的不断拓展与深入, 高陡构造、大倾角地层的勘探开发工作量越来越大, 在一定程度上井斜问题成了制约这些区域勘探开发工作质量、社会经济效益、甚至是成败的关键^[2,5]。

准噶尔南缘油气勘探潜力巨大, 是油气资源的有利接替区, 现已发现多个含油气构造和油气集聚带。但是, 由于勘探难度大, 各项技术尚不配套, 使得准噶尔南缘地区油气资源的探明率不足10%, 还有更多的油气资源有待发现。准噶尔南缘山前构造带类型多, 主要有: 西湖型、齐古型、安集海型、霍尔果斯型、高泉型和吐北型等, 其中霍尔果斯、齐古、安集海、古牧地等构造地层倾角大, 有的层段砂泥岩地层软硬交错, 霍10井区处在该构造, 井斜问题十分严重, 钟摆钻具吊打机械钻速极低。满眼钻具组合只能减小井斜变化率, 不能控制最大井斜角, 起下钻阻卡严重、旋转扭矩大, 憋钻现象时有发生。大倾角

构造由于地层倾角大、地层各向异性强、钻井控制井斜难, 传统的防斜打直技术严重影响机械钻速和井身质量。在钻遇这些大倾角地层时, 井斜问题非常严重, 而如何采取有效措施进行井斜控制是直接影响钻井质量、钻井效率的关键所在。

地层自然造斜特性分析

针对地层的实际情况, 对其自然造斜能力进行分析研究, 是采取有效防斜措施的基础。以各向异性地层理论为基础, 结合油田地层具体特点, 建立了一定的分析模式; 对不同区块地层以及区块不同层位的各向异性地层进行了评价, 进而弄清了典型构造地层造斜规律及地层造斜能力, 为科学钻井提供了地层方面的技术基础依据, 有效地指导了直井防斜, 为快速优质钻井打下基础。

不同的地区、不同构造部位甚至不同的地层, 井斜程度的显著差异表明地层因素往往是影响井斜的主要原因。在倾斜的层状地层中钻进时, 由于在层面交界处的岩石不能长时间支持钻压而趋向沿垂直

^{*} 本文系中石油新疆油田分公司重点科技攻关项目“准噶尔南缘勘探井筒配套技术研究”的部分内容及西南石油学院基金项目(编号:院237)。

作者简介: 杜青才, 高级工程师, 1954年生, 西南石油学院在读博士; 新疆油田分公司勘探公司副经理; 从事钻井工程和技术的管理等工作。地址: (610500) 四川省成都市新都区。电话: (028) 83032736。

层面发生破碎,因而井眼下倾一侧的层面上形成小斜台,它对钻头施加一个横向作用力,把它推向地层的上倾方向,从而引起井斜,这就是所谓地层“小变向器”。地层倾角越大,成层性越强,钻压越大,这种作用也越大。沉积岩层不同方向的物性和强度是有差异的,一般来说,垂直层面方向岩石的强度低,可钻性高,所以在钻经这种地层时,钻头总是要保持沿这个破碎阻力最小的方向钻进的趋势,当地层呈倾斜状态时,这种自然趋势必然导致井斜。

(1) 地层自然造斜力分析。

利用钻柱力学的研究成果可以分析计算各种组合在特定钻井条件下钻头上的造斜力或者合力角,从而对组合的特征作出评价。但是如果不考虑钻头和岩石的相互作用力即地层造斜力的重要作用,各种组合的实际钻井特性和仅根据钻柱力学来作的评价往往是不相符合的^[1,3]。利用地层造斜力的计算式,就可能对在特定钻井条件下(包括地层倾角和各向异性指数)钻头上的总的偏斜力判定量的分析^[1]。在这个基础上才能比较准确的预测组合钻具在所钻地层的特性。必须特别指出,由于牙轮钻头的结构设计主要是沿轴线方向钻进,所以钻头偏斜对井斜的影响是不能任意忽略的。实践表明,如果钻头突然严重偏斜,往往造成井斜急剧增加。当采用钟摆钻具(特别是用扶正器作支点的钟摆钻具)钻井时,钻头偏斜对井眼曲率的影响很小,可以忽略(但下部钻柱弯曲引起的偏斜力是不能忽略的),这时可以近似的把钻头合力方向当作钻头钻进方向。但是如果采用满眼钻具组合,钻头偏斜对井眼曲率的影响就显著得多,钻头的实际钻进方向不一定是合力的方向了。这时就要综合考虑钻头偏斜和钻头在总的横向偏斜力的作用下的侧向切削影响。

综合切削异性指数 H 可由下式求出:

$$H = \frac{p_a [1 + \tan^2(\beta - \alpha')]}{p_a + p_B(\beta - \alpha') \cos \Delta\phi'} \quad (1)$$

式中: p_a 钻具变井斜力; α' 、 β' 、 $\cos \Delta\phi'$ 可分别由下列公式计算:

$$\alpha' = \tan^{-1}(\tan \alpha \cos \Delta\phi) \quad (2)$$

$$p_B' = \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha'} p_B \quad (3)$$

钻头与地层相互作用时,岩石各向异性性和钻头

各向异性都会对钻头侧向力产生影响,考虑两者的联合作用,地层综合造斜力可由下式来确定:

$$p_d = \frac{H \tan(\beta - \alpha)}{1 - H + \tan^2(\beta - \alpha)} p_0 \quad (4)$$

式中: p_0 “钻压圆锥”内钻压在地层剖面内的分量与铅垂线的夹角为 α' ; α 为钻头处井斜角; H 为综合各向异性指数; β 为地层倾角。

上式综合反映了钻头各向切削差异、地层各向异性、地层倾角、井斜角、钻压、钻头倾角等对地层作用力的影响,钻头合力方向与井眼轴线间的夹角为:

$$\begin{aligned} \theta_p &= \arctan\left(\frac{p_d + p_0}{p_B}\right) = \frac{p_d + p_0}{p_B} \\ &= \left[1 + \frac{H \tan(\beta - \alpha)}{1 - H + \tan^2(\beta - \alpha)}\right] \frac{p_0}{p_B} = \lambda \frac{p_0}{p_B} \quad (5) \end{aligned}$$

式中: p_B 为井底钻压; λ 为钻头综合切削常数。

联合上述各式可确定钻头综合切削常数 λ 。

(2) 霍 10 井区钻井实践及地层自然造斜特性分析。

对钻具组合进行力学分析,优选钻具组合及钻井参数。采用纵横弯曲梁理论,对钻具组合进行力学分析,并结合对地层造斜能力的分析,优选钻具组合及钻井参数对其在各地层层位的井斜情况进行预测评价,参照地层设计要求的井身质量标准,然后优选钻具结构及钻井参数。

1) 霍 8A 井。霍 8A 井是霍尔果斯背斜构造上的一口预探井,设计井深 3500 m,实际完钻井深 2600 m。该井于 1990 年 3 月 19 日开钻,于 1991 年 6 月 2 日完钻,钻井周期为 436 d。该井地层特别复杂,在钻进过程中共发生大小卡钻 150 多次。地层倾角大,大部分地层的倾角都在 70° 以上。该井在钻进表层时先采用 $\varnothing 311$ mm 钻头钻进,然后用 $\varnothing 660$ mm 钻头扩眼,钻进时钻具组合采用刚性满眼钻具。第二次开钻时也采用的是刚性满眼钻具组合,当钻至 673 m 时,发现井斜超标,采用直螺杆带 2° 弯接头纠斜。随后到完钻钻具组合为光钻铤组合。该井在钻进作业中全部使用的是三牙轮钻头。

2) 吐谷 2 井。吐谷 2 井是吐谷鲁背斜构造上的一口评价井,设计井深 2350 m,实际完钻井深 2400 m。该井于 2000 年 5 月 26 日开钻,于 2000 年 8 月 25 日完钻,钻井周期为 91 d。该井上部地层倾角大,

表层采用钟摆钻具较好的控制了井斜。第二次开钻时也采用的是钟摆钻具,因钻压过大,钻至350 m时井斜超标,采用轻压吊打纠斜,效果较好。随后采用原钟摆钻具组合钻至1149.13 m,剩余钻进采用光钻铤钻具组合。该井在钻进作业中除使用三牙轮钻头外还使用了PDC钻头,但效果不是很理想。

霍10井区高陡大倾角构造 防斜打快的对策

(1)利用地层自然造斜规律。

当井斜、方位持续偏向固定方向,而前方地层性质保持不变的情况下可考虑采用利用地层自然造斜规律的防斜打快技术,具体步骤如下:①使用弯接头带直螺杆进行纠斜,为保证纠斜井段全角变化不超标,应选择 $0.5^{\circ}\sim 1^{\circ}$ 的弯接头;②纠斜时使用有线随钻进行监测,根据井身结果及时调整工具面角和钻井参数。当全角变化较大时可使用转盘带动螺杆钻进,转盘转速控制在 $20\sim 30$ r/min;③当前方地层走向不发生大的变化时,使用弯接头带直螺杆朝原井斜反方向造斜 $2^{\circ}\sim 3^{\circ}$,然后改变钻具结构,使用两个稳定器的微增斜钻具组合,利用地层自然造斜规律,全压钻井,使井斜逐渐回零;④全压钻进应注意井斜监测,并根据井斜变化调整增斜钻具组合和调整钻井参数。

(2)可用于高陡大倾角构造的防斜打快技术。

1)常规防斜钻具组合。刚性满眼钻具组合防斜技术。通过提高底部钻具组合的刚性,减小钻具与井眼的间隙来提高底部钻具组合的抗弯曲能力,最大程度地减小钻头倾角和钻头侧向力。该方法能有效地减小底部钻具弯曲引起的井斜,但没有纠斜能力,因此,只适用于地层造斜趋势不很强的地层。钟摆力纠斜技术。该技术是一种纠斜专用技术,一般与刚性满眼钻具组合配合使用进行井斜控制。其原理是利用钟摆力使钻头产生与井斜方向相反的侧向切削作用,从而纠斜。

2)大倾角构造动力钻具防斜。导向钻井防斜、纠斜技术。该技术是利用导向钻具在井下旋转时的偏心防斜和滑动纠斜原理来进行井斜控制。其防斜机理是靠弯外壳井下马达的偏轴作用,使底部钻具在井内旋转过程中产生一个旋转离心力,用于防斜。另外,井下马达配合PDC钻头进行导向钻进时,转速高、钻压低,也有利于防斜;其纠斜是靠弯外壳井

下马达滑动钻进实现的,因此,纠斜能力强,可广泛应用于各级别地层造斜趋势情况下的防斜、纠斜。导向钻进技术是一种能够从根本上解决大倾角地层井斜问题的技术手段,该技术是否可行的主要问题是经济性。另外,对于地层造斜趋势很强的大倾角地层,用动力钻具导向钻进时,应使用 $1.0^{\circ}\sim 1.25^{\circ}$ 单弯螺杆,在进行纠斜滑动钻进时,其纠斜能力能够克服地层自然造斜力,产生纠斜作用^[4]。

3)大倾角地层柔性防斜钻井技术。利用钻具弯曲防斜、纠斜技术。该技术改变了传统的控制钻具弯曲引起的钻头倾角和侧向力的防斜的概念,而是将钻头倾角和侧向力转化为降斜因素加以利用,共同对抗地层造斜力。其方法是:采用柔性钻具结构改变底部钻具弯曲状态,使钻头侧向力及钻头倾角的方向由指向井眼上侧,转变为指向井眼下侧。目前常用的几种现场应用效果较好的钻具组合有:柔性钟摆钻具组合、双柔性钻具组合及柔性接头等。研究利用柔性接头可小角度转动和不传递弯矩的特性,将其安放在钻具的底部,并配合稳定器,在正常加压钻进中使钻头产生具有降斜趋势的下倾偏转角,从而不断地切削下井壁来达到防斜和降斜的效果。所研究的钻具是一种新型的柔性防斜钻具组合,为实现大倾角硬地层正常钻压条件下的快速防斜钻进提供了一种新的技术途径^[4~6]。特点是其降斜力随钻压的增大而增大,若地层造斜力随钻压的增大而增大的幅度小于钻头侧向力(绝对值)随钻压的增大而增大的幅度,则可采用加大钻压的方式实现降斜,即钻头侧向力与地层造斜力的作用效果相反,且足以抵消地层造斜力的影响,同时加大钻压有利于提高机械钻速。

4)大倾角构造偏轴钻具防斜。将专用井下偏心、偏轴工具按一定位置接到底部钻具组合中,在底部钻柱中,偏心接头(或称短节)以下部分的钻柱轴线相对接头上部存在一定偏心距,当钻柱旋转时,扭矩自上而下传递,偏心接头以下钻柱将围绕其上钻柱轴线作不规则的公转运动,产生离心力作用。在高速转动的情况下,由于离心力的作用,产生较强的防斜和纠斜能力,使钻柱除了自转外,还有一个周向公转,其结果使钻头倾角和侧向力的作用方向随钻具公转而同步变化,从而可从根本上消除钻具弯曲造成的井斜。

偏轴防斜钻具防斜是利用偏轴接头使钻具在钻

压作用下做稳定的弓形回旋运动,使钻头均匀切削井壁四周,并使钻柱与井壁的切点上移,从而产生较强的纠斜力;钻压越大转速越高,钻具越易产生和保持所需的变形。该技术进行防斜钻进时,可以提高钻压钻进,因此有利于提高钻井效率,其防斜、纠斜效果也较好,但无法控制地层增斜因素,因此,仍不能从根本上解决高陡构造、大倾角地层的井斜控制问题。

下部钻具组合(BHA)各构件都不同程度地影响偏心防斜组合的力学性能^[7]。钻头到偏心接头的距离由小到大增长时,侧向力均值呈抛物线变化趋势。井斜影响井斜增大,降斜力降低,当井斜达到一定值时,降斜力很小,呈稳斜趋势,因此应当控制初始井斜。偏心距影响在一定范围内,偏心距越大,降斜力越大,可以施加的钻压也较大,但当偏心距达到一定值后,与井壁产生接触,将导致钻具性能失效。因地层倾角越大,钻压越大,地层造斜力越大。在地层平缓,地层各向异性不明显时,使用偏心钻具组合,可稳斜或降斜,当地层造斜力很大时,因降斜力只能用于平缓地层,故会减缓井斜的增加。

结 论

采用偏轴接头、偏心接头等进行防斜打直基本上能解决小地层倾角的井斜问题,并且能够保证一

定的机械钻速。用柔性钟摆或其它钟摆钻具进行小钻压吊打能够纠斜,但钻井效率低。动力钻具导向钻进技术是一种能够从根本上解决大倾角地层井斜问题的技术手段,该技术是否可行的主要问题是经济性。另外,对于地层造斜趋势很强的大倾角地层,用动力钻具导向钻进时,结构弯角不能过大,应使用 $1.0^{\circ}\sim 1.25^{\circ}$ 单弯螺杆,以便在进行纠斜滑动钻进时,能够抗衡地层自然造斜力,产生纠斜作用。

参 考 文 献

- 1 白家祉,苏义脑.井斜控制理论与实践.北京:石油工业出版社,1990
- 2 胥永杰等.四川盆地高陡构造碳酸盐岩钻井技术发展方向.天然气工业,2000;(20)3
- 3 杨勋尧.地层造斜力的计算与应用.石油学报,1985
- 4 赵新瑞等.井斜控制理论与防斜钻井技术综述.钻采工艺,2000;(23)1
- 5 韩来聚等.大倾角地层防斜打直技术.石油钻探技术,2001;(29)4
- 6 李剑波等.大倾角构造防斜技术.岩土工程界,2000;(3)6
- 7 李增科,何开平.偏心防斜技术的研究与应用.钻采工艺,2000;(23)5

(收稿日期 2003-08-26 编辑 钟水清)

苏里格气田井下节流实验获得成功

长庆第三采气厂在长庆油气工艺研究院及长庆采气一厂测试中心的协作下,开展了对苏里格气田苏六井区两口加密气井井下节流工艺技术应用试验。目前,这两口实验气井正按照试验方案正常生产,取得了预期效果。

井下节流工艺是近几年国内外气田推广的新技术,即依靠井下节流嘴实现井筒节流降压,充分利用地温加热,使节流后的气流温度基本恢复到节流前温度,从而防止气流在井筒内形成水合物,达到减少甲醇注入量,稳定气井生产能力的目的。

长庆油田分公司针对苏里格气田气井投产初期压力较高、生产中暴露出水合物堵塞比较严重这一开发难题,努力寻求有效降低油管压力,改变水合物堵塞而影响气井生产的途径。长庆采气三厂结合苏里格气田气井小油管生产的实际,对小油管气井井下投放节流器进行了可行性研究,并优选出实验井,开展井下节流工艺试验。这项试验的顺利实施为今后在苏里格气田的推广应用提供了重要的科学依据。

(陈 敏 摘)