

地层自然造斜规律在毛坝 2 井设计和施工中的应用*

赵金洲 冯光通 赵金海

(胜利石油管理局)

赵金洲等.地层自然造斜规律在毛坝 2 井设计和施工中的应用.天然气工业,2005;25(3):81~84

摘要 在南方海相川东断褶带黄金口构造带,由于受多期地质构造运动和沉积条件的影响,地层倾角较大,在毛坝 1 井直井钻探过程中发现,大部分地质构造表现出了较强的地层自然造斜能力,防斜和打快形成了尖锐的矛盾,该地区的其它直井也面临同样的矛盾,严重制约了该地区的勘探和开发进程,急需寻找经济有效的钻井技术提高机械钻速。对此开展了该地区的地层自然造斜规律研究,利用反演法、统计法和参比法等,结合毛坝 1 井地层倾角测井解释结果和实钻数据分析,反演出了该地区的地层倾角和走向,最终得到了地层自然造斜规律,其研究结果用于指导毛坝 2 井的井眼轨道设计和井眼轨迹控制施工,利用地层自然造斜规律设计定向井的方位角和轨道剖面,在实际钻井过程中,充分利用地层自然造斜规律优配钻具组合和优化钻井参数以控制井眼轨迹,已取得了解放钻井参数,减少定向钻进时间,提高钻井速度的良好效果。

关键词 四川 东 地层倾角 造斜规律 井斜控制 井眼轨道设计 井眼轨迹控制

大量的室内试验结果已经表明:岩石的可钻性在不同方向上存在较大差异,亦即地层可钻性存在各向异性。多年来钻井施工过程获取的定性结论亦说明:常规实钻井眼与地层产状之间存在着十分密切的内在关系,特别是对于不采用专用井下工具施工的定向井井眼,其方位与井斜的变化往往受控于地层倾向和倾角的变异与大小。上述现象的发生,缘于所谓的地层自然造斜规律。为充分利用地层自然造斜规律打好毛坝 2 井,进行了一系列卓有成效的研究工作,现已取得了解放钻井参数,减少定向钻进时间,提高钻井速度的良好效果^[1~5]。

一、预测地层自然造斜规律的方法简介

1. 反演法

反演法即领域实钻资料反演地层各向异性指数、地层造斜系数及方位漂移系数的方法。基于不同钻速方程,其得到的力与钻速之间关系不同,白家祉教授与高德利教授等分别提出了不同的地层各向异性指数的反演方法。两种方法对指导区域性的地层造斜特性认识都有非常重要的作用。特别是高德利教授在对钻头与地层相互作用深入研究的基础

上,将具有代表性的 12 类地层的各向异性钻井特性进行了详细分析,总结出了典型地层对井斜变化和方位漂移的影响规律。但上述方法需要原始资料较多,计算相对复杂,不利于现场的使用。

2. 统计法

统计推断是数理统计原理在钻井工程实践中应用的又一范例,其方法简单实用,现场应用广泛。基于地层造斜力大小与钻压、钻具弯曲程度、岩层及岩层界面处的岩石力学性质和地层的倾角大小等密切相关的事实,如果其所钻地区的地层倾角相对稳定,岩性分布均匀一致,实钻资料较多,那么在使用基本相同的钻进参数和钻具结构的情况下,可以利用统计方法获取较为准确的井斜预测值。在统计过程中,一般选择常规钻具满负荷钻压条件下的资料进行整理分析,这样有利于在后续的施工中解放钻压,提高钻井速度。统计出的方位与地层的走向进行对比,一般也可以寻找出符合率较好的规律曲线,从而确定出新钻井的可能井斜与方位。

3. 参比法

参比法又叫借鉴法,该方法适用于实钻资料较少,但待钻井所处的构造部位比较明确,且目的层以

* 本文系国家“十五”科技攻关项目“复杂油气藏配套钻井技术及关键装备研究”(编号:2001BA605A-13)的研究成果。

作者简介:赵金洲,1963年生,教授级高级工程师,胜利石油管理局副局长;1983年毕业于江汉石油学院钻井工程专业,目前正在攻读石油大学(北京)博士学位;从事钻井工艺技术研究和管理工作的电话:(0546)8710317。E-mail:phdzjh@slof.com

上地层连续性较好、其产状无急剧变化,在有相邻井或者同井场井实钻资料的情况下,待钻井的井斜和方位可以参照相邻井或者同场井的数据;在地层的走向发生轻微变化的情况,可以参照相邻井方位与地层走向之间的关系,确定出较为准确的方位。如果待钻井周围有多口邻井,采用加权平均法获取的数据更为准确可靠。

二、地层自然造斜规律在毛坝2井中的应用

毛坝2井与毛坝1井同处在四川盆地川东断褶带黄金口构造带毛坝场—双庙场潜伏背斜带毛坝场背斜构造,是继毛坝1井之后在该地区施工的第2口探井。毛坝1井完钻井深4365 m,完钻层位飞三段,揭开了飞三段气层,2003年1月15日~1月21日对4324~4352 m井段测试,用孔板直径22 mm,油压37.78 MPa,上流压力4.3 MPa,初步测试产量 $32.58 \times 10^4 \text{ m}^3$,显示出该地区飞三段气层良好的开发前景。毛坝2井就是在飞三段发现的基础上,进一步向深层勘探,进一步探明飞二段鲕粒灰岩的含油气情况。

1.毛坝场背斜构造地层空间展布分析

(1)毛坝1井地层倾角测井解释。毛坝1井测井数据解释的地层倾角结果见表1。从表1中数据可以看出,井深3100 m以上地层倾角均大于 20° ,有些地层的倾角达到 40° 以上,深部地层倾角变小;地层走向基本稳定,进入海相地层后地层的走向向左发生偏转,但在深部地层走向又向右偏转,最终的走向与上部地层大致相当。

(2)毛坝1井实钻数据分析。根据毛坝1井的实测地层倾角数据, T_1j^3 以上为 $23^\circ \sim 55^\circ$, T_1j^3 以下为 5° 。从毛坝1井实钻的井眼轨迹数据上看,从311 m开始,井斜为 0.67° ,方位为 158.61° ,整个第二次开钻井段井斜在 $0.5^\circ \sim 5^\circ$ 之间,第二次开钻井段的井斜增加趋势非常明显,而第三次开钻之后的井斜问题不算突出。方位基本上在 $147.71^\circ \sim 171.94^\circ$ 之内变化,开钻后即自然造斜,而且朝 155° 的方位增斜。从表1中的地层倾角和地层产状数据可以看出,整个第二次开钻井段地层倾角为 $23^\circ \sim 40^\circ$,而且地层下倾方向基本一致为 335° 和毛坝1井实钻方位 155° 正好相差 180° ,可见钻头在钻进过程中有垂直于地层界面的趋势,也就是有沿地层上倾方向钻进的趋势。这正是毛坝1井产生朝 155° 方位井斜的直接原因。

2.毛坝2井设计方位的确定

从毛坝2井所在区块的地震剖面图上可以看出,由于两井位于同一构造、背斜(毛坝1为南西翼、毛坝2为南部贺家场高点)且倾向基本相同,可认为毛坝2井的地层倾角与毛坝1井基本相同;根据毛坝1井自然造斜方向沿地层上倾方向的规律,毛坝2井设计为定向井,其设计方位和该区块地层的自然造斜方位基本一致,设计方位 144.35° 。

表1 毛坝1井地层倾角测井解释成果表

层位	井段(m)		地层产状	
			倾角($^\circ$)	方位($^\circ$)
侏罗系	307.67	520.00	23 \pm	330
	520.00	800.00	27 \pm	335
	800.00	1050.00	30 \pm	335
	1050.00	1190.00	36 \pm	335
	1190.00	1420.00	40~26	340 \pm
	1420.00	1910.00	28 \pm	340
三叠系	1910.00	2725.00	/	/
	2725.00	2790.00	32	335
	2763.14	2910.00	30 \pm	305~245
	2910.00	3010.00	30~55	245
	3010.00	3100.00	/	/
	3100.00	3500.00	40 \pm	210 \pm
	3500.00	3560.00	/	/
	3560.00	3890.00	5 \pm	310
3890.00	4365.00	5 \pm	330 \pm	

3.毛坝2井设计剖面数据

根据以上分析,毛坝场背斜构造的自然造斜方位约 150° ,根据井场地貌情况,用移动地面井位的方法,确定出毛坝2井的设计方位为 144.35° ,在此基础上设计出毛坝2井的设计剖面。毛坝2井设计造斜点2500 m,设计垂深4204.50 m,设计斜深4444.95 m,水平位移926.61 m,方位 144.35° ,最大井斜 29.4° ,造斜率 $25^\circ/100 \text{ m}$,直增稳三段制剖面。靶点设计在井底,靶区设计较大,近似于 $800 \text{ m} \times 450 \text{ m}$ 的矩形框,为后续利用自然造斜规律强化钻井措施,在确保中靶的同时,提高钻井速度提供了有利条件。

4.毛坝2井井眼轨迹控制

考虑到毛坝1井设计为直井,钻进过程中使用多种措施限制井斜,使用常规钻具时多以轻压吊打为主,所以井斜变化并不能反映地层在常规钻井参数下自然造斜的能力。但有一点可以肯定,在正常钻压条件下,井眼的井斜应比毛坝1井的实钻井斜大得多,对中靶比较有利。因此毛坝2井针对不同

开钻次的实际情况,采取了相应的措施。

(1)第一次开钻直井段施工。坚持第一次开钻井段钻直,防止第二次开钻后表层套管磨损是工作的重点。施工中坚持使用大钻铤钟摆钻具,专门使用了 $\varnothing 279.4$ mm大钻铤与 $\varnothing 444.00$ mm扶正器,在实钻中取得了良好的效果。表层钻深301.71 m,最大井斜 0.88° ,方位在 $157^\circ\sim 125^\circ$ 之间,井斜如此之小的情况下方位仍保持如此高的稳定性,侧面反映了该地区的地质自然造斜趋势的稳定性。

(2)第二次开钻直井段施工。考虑到第三次开钻后裸眼段长,目的层压力大的情况,所以第三次开钻以后技术套管的防护是重中之重。因此应尽量限制第二次开钻井斜过大在后续施工中对套管造成磨损的影响,特别是第二次开钻井段上部的井斜控制尤其重要。在第二次开钻的上部井眼开展了一系列以控制井斜提高钻井速度为目标,以PDC钻头优选、导向钻进、新型井下辅助工具(涡轮、水利加压器、防磨接头等)为主的实验,取得了PDC钻头在该地区使用的新突破,创出了优异的钻进指标。PDC钻头在上沙溪庙组地层平均机械钻速高达3 m/h以上,而同一地层毛坝1井使用的牙轮钻头平均机械钻速1.01~1.39 m/h,单只钻头进尺最大147.81 m。机械钻速对比提高104%~181%。同时,在钻进过程中加强井眼轨迹的监测,一旦井斜有增大趋势,即改变钻井措施。通过采取上述的有效措施,井斜得到了有效控制,至井深1000 m,井斜小于 3° ,井深1200 m,井斜小于 4° ,方位基本在 $125^\circ\sim 135^\circ$ 之间,闭合方位大约 133° 与设计方位相差较小。此后,逐渐加强钻井参数以控制全角变化率为主,达到了解放钻压提高钻进速度的目的,至第二次开钻完钻井深1801 m,井斜 8.3° ,方位 134.25° ,闭合方位 132.38° ,视位移106 m。

(3)第三次开钻直井段(设计)施工。进入第三次开钻后即进入全井可钻性最差的须家河组地层,所以在钻进中坚持使用双扶正器钟摆钻具,适当控制井斜,以解放钻压加快钻井速度为主。测斜数据表明,在须家河组地层因地层倾角大,自然造斜能力强,即使使用钟摆钻具仍有较强的增斜效果。至井深2100 m,井斜增至 18.9° ,方位一直在 $131^\circ\sim 136^\circ$ 之间,全角变化率基本保持在 $4^\circ\sim 5^\circ/100$ m。

(4)第三次开钻斜井段(设计)施工。进入海相雷口坡组地层以后,使用同样的钻具和相同的钻井参数,井斜开始下降,方位左漂。使用钟摆钻具钻进至2456.63 m,井斜 12.8° ,方位 113.5° 。因为已经

接近设计造斜点,考虑到已有256 m的正位移,井斜较为合适,为了确保井眼轨迹光滑,不必急于调整井斜方位,所以因钻头寿命,起钻后更换为稳斜钻具,以控制全角变化率为主,同时检验稳斜钻具在雷口坡组地层的稳斜特性。钻进中的测斜数据表明该钻具组合的稳斜特性能较好,全角变化率基本控制在 $1^\circ\sim 3^\circ/100$ m,有轻微的增斜特性。根据预测,在现有条件下需少增井斜即可在设计深度进入靶区,钻进至钻头寿命后起钻,改换为微增斜钻具。实钻发现微增钻具结构具有合理的增斜特性,增斜率 $3^\circ/100$ m左右。此后考虑到嘉陵江组地层有可能发现气层,不利于方位调整施工,所以决定先在雷口坡组地层井斜较为合适的情况下,下入动力钻具将方位做轻微调整。后于井深2792.25 m下入 1.15° 单弯动力钻具,配合MWD随钻测量仪,将方位由 123° 调整到 133° ,复合钻进至2856.56 m起钻。然后下入PDC钻头与牙轮钻头稳斜钻具,提高转盘转速,转盘转速在90 r/min左右,利用高转速下钻具的右漂特性,使方位逐渐靠向靶点方向,至井深3100 m方位 149° ,井斜 22.8° 基本指向靶心,取得了良好效果。在确保中靶精度的前提下在3179.11~3374.46 m井段使用直螺杆+PDC钻头钻具组合,进行了PDC钻头复合钻进提高钻进速度的试验。实钻表明,该钻具组合大大提高了钻进速度,机械钻速高达8.53 m/h,取得了极大的突破。钻进过程中使用MWD无线随钻测量系统监测井眼轨迹,因该钻具组合有一定的降斜效果,平均降斜率为 $3.3^\circ/100$ m,所以在预计井斜降至 15° 后起钻。换微增钻具确保中靶,使用的微增钻具结构,增斜率基本在 $1^\circ/100$ m左右,方位稳定,至井深3800 m位移基本进入靶区。为确保井眼轨迹质量,坚持使用该钻具结构钻至距飞仙关组地层30 m起钻。飞仙关组是毛坝2井的目的层,有多套高压气层,为了在钻遇气层时确保井下安全,进入飞仙关组地层以后,在不影响中靶的情况下对钻具结构进行了简化,甩掉钻具中的扶正器,使用光钻铤钻具组合钻至井底。其间并有多次取心作业,井斜不断下降,至井深4442.50 m,井斜降至 3° ,反映了海相地层相对较小的地层倾角和造斜能力。同设计对比实钻在斜深4313.62 m,钻达垂深4204.50 m,投影位移781.91 m,靶心距169.23 m,闭合方位 137.96° ,完全合乎设计要求。

三、认识与结论

(1)综合区域地质构造特点,通过邻井实钻经

验,正确认识地地层的自然造斜规律,并按照该规律进行设计是毛坝2井成功施工的关键因素之一。

(2)为了防止上部井斜过大对套管造成磨损,严格控制上部井眼的井斜是确保安全打开深部高压气层的必要措施。

(3)钻进过程中应及时进行轨迹监测,根据实钻的井斜、方位合理调整钻具结构与钻井参数,充分发挥地层的自然造斜特性,减少人为调整方位的工作量,提高钻井速度。

(4)施工中在合适井段,做好稳斜钻具的稳斜特性监测和分析,从而作为钻具选择的参考依据,是合理选择钻具结构的有效手段。

(5)利用地层的自然造斜特性可以充分解放钻井参数,减少定向钻进的工作量,大大提高钻井速

度,建议在该地区进一步推广。

参 考 文 献

- 1 吴华.川(渝)东北构造带钻探难点及技术对策.天然气工业,2003;23(2)
- 2 王实其.应用深井钻井综合配套技术加快大天池构造带勘探开发.天然气工业,1994;14(4)
- 3 曾时田.四川天然气井钻井压力控制.天然气工业,2003;23(4)
- 4 白家祉,苏义脑.井斜控制理论与实践.北京:北京石油出版社,1990
- 5 高德利,刘希圣,徐秉业.井眼轨迹控制.山东东营:石油大学出版社,1994

(收稿日期 2004-10-19 编辑 钟水清)