定向井(丛式井)的设计与施工技术要点

路学忠¹, 尹伟²

(1. 宁夏地矿局, 宁夏 银川 750021; 2. 宁夏矿业开发公司, 宁夏 银川 750021)

摘要:结合陕北地区施工定向井(丛式井)的实际情况,介绍了井组内的井数及排列方式,防碰技术,单井设计基本参数及其计算,各井段钻进施工技术要求及钻井液技术。

关键词:石油开采;定向井;丛式井;轨迹控制;钻井液

中图分类号:TE243 **文献标识码:**B **文章编号:**1000-3746(2001)S1-0218-03

1 定向井(丛式井)概述

定向井(丛式井)就是由一系列设定的井按设计的井身轨迹(即定向)施工完工后所组成。它是在钻井技术不断进步的条件下被广泛推广应用,首先必须有物探工作对储层作精确描述。定向井的应用可以节约用地、降低开发成本、提高经济效益。下面结合宁夏地矿局矿业开发公司在陕北地区进行石油定向井施工的实践,对石油定向井(丛式井)的钻井施工技术要点作一总结。陕北地区部分石油开采区处在切割较强烈的黄土丘陵地区,在山脚或半山腰设计的钻井多为定向井(丛式井)。

1.1 井组内井数的确定和排列方式

井场位置的选择和组内井数的确定主要考虑:满足地下要求,节省投资,发挥井场的最大作用,方便钻井施工,地面交通条件可行等。一般每组由4~7口井组成,井口排列方式要有利于钻井设备的移动,多选择“一”字形排列和“井”式排列,即单排排列(即所谓丛式),井口间距一般为4~6 m。

1.2 防碰技术

钻前要正确选择井架拖移方向和开钻顺序,避免井眼交叉施工,尽量加大地面井距以减少丛式井井眼相碰概率,井距 ≤ 3.5 m,条件允许还可适当增大。对邻井必须进行防碰设计,对最近距离小于安全距离(一般为30 m)的井必须对原设计进行调整,通过调整造斜点、造斜率等直至达到安全要求。

施工同井组的直井段要采用相同的钻具结构和工艺参数,以便产生相同的井斜效果,防止井眼相碰,直井段要求两井轨迹间距 ≤ 3 m。

2 井组内单井剖面设计方法、原则和特点

遵循常规定向井的设计原则及相邻两口井的造斜点深度要相互错开。陕北延安地区油层埋藏较浅,完钻井深一般在600~800 m,设计位移100~200 m,且井组内所有定向井均选择“直-增”(用于小位移定向井)和“直-增-稳”(用于位移较大的定向井)型剖面,且相邻井造斜点深度错开距离 ≤ 50 m。这2种剖面具有轨迹短、投资小、效益高、有利于提高单井油产量、利于采油和控制轨迹等特点。

丛式井施工过程中应先钻水平位移大、造斜点浅的井,后钻水平位移小、造斜点深的井,若有直井最后完成,这样可以避免定向造斜时磁性测斜仪受临近套管影响而发生磁干扰导致失真。

2.1 设计基本参数

剖面设计基本参数包括:实测井口纵坐标 x (即北坐标 N)、横坐标 y (东坐标 E);中靶纵坐标 x_0 、横坐标 y_0 ;预计油层显示井段(垂深);口袋 l_d (即预留的沉砂段,20~30 m);丛式井在安装后要测一辅助坐标供计算井架大门方向,或拖井架后实测各井口坐标;磁偏角,各地不同。以上参数由地质设计部门提供。

2.2 计算设计参数

(1)中靶垂度(H)。根据所给油层显示井段取末油层的顶界或特殊要求部位处的井深,即井口到靶点的垂直距离。

(2)水平位移(A)。指中靶井深处的水平位移:

$$A = \sqrt{(x_0 - x)^2 + (y_0 - y)^2} \quad (\text{m})$$

收稿日期:2001-05-30

作者简介:路学忠(1970-),男(汉族),宁夏盐池人,宁夏地矿局市场开发处主任工程师,探矿工程专业,负责全局企业新技术与新方法的开发研究、设备引进和质量管理工作,宁夏银川市新市区北京西路17号,(0951)2021148-2402, xuezhonglu@sina.com;尹伟(1973-),男(汉族),山东莱州人,宁夏矿业开发公司石油钻井队技术负责,助理工程师,钻井专业,从事石油勘探工作,宁夏银川市新市区北京西路17号,(0951)2022747。

(3)方位角(φ_0)。指中靶井深处的方位角:

$$\varphi_0 = \arctg[(y_0 - y)/(x_0 - x)] \quad (^\circ)$$

(4)剖面设计的有关参数主要为经验值。其中,造斜点深度 H_z 的确定原则是地层稳定,无垮塌层,丛式井每口错开 20~80 m;造斜率 k_1 经验值为 $3^\circ \sim 6^\circ/(100 \text{ m})$;缓降率 k_w 参考值为 $2^\circ/(100 \text{ m})$;降斜率 k_2 根据所用钻具结构和地层确定,三段制 k_2 为 0。

(5)最大井斜角的计算,是剖面设计的主要计算,分增稳型和缓降类。

增稳型:

$$\alpha_m = 2\arctg \frac{H_0 - \sqrt{H_0^2 + A^2 - 2R_0A_0}}{2R_0 - A_0}$$

其中: $R_0 = R_1 + R_2 = 1/k_1 + 1/k_2$; $A_0 = A - A_{XZ} + R_0(1 - \cos\alpha^\circ)$; $H_0 = H - H_z - \Delta H_{XZ} + R_2\sin\alpha^\circ$; $\Delta A_{XZ} = \Delta H_{XZ}\tan\alpha^\circ$ (α° 为降斜后稳斜段井斜角, ΔH_{XZ} 为降斜后的稳斜长度)。

式中: H —— 中靶垂深; H_z —— 造斜点深度; A —— 中靶深度处的水平位移; R_1 —— $1/k_1$; R_2 —— $1/k_2$ 。

缓降类:

$$\alpha_m = \arcsin \frac{(R_w - R_1)^2 - (R_w - R_2)^2 + H_0^2 + (R_0 + A_0)^2}{2(R_w + R_1)\sqrt{H_0^2 + (R_0 - A_0)^2}} - \arctg \frac{R_0 - A_0}{H_0}$$

缓降角:

$$\Delta\alpha_m = \arccos\left[1 - \frac{H_0^2 + A_0^2 - R_0A_0}{2(R_w + R_1)(R_w - R_2)}\right]$$

$R_w = 1/k_w$, 其余参数同上。

(6)井段计算(ΔH_i —— 垂深增量; ΔA_i —— 位移增量; ΔL_i —— 斜深增量)。

直井段: $\Delta H = H_z$

$$\Delta A = 0$$

$$\Delta L = H_z$$

增斜段: $\Delta H_1 = R_1\sin\alpha_m$

$$\Delta A_1 = R_1(1 - \cos\alpha_m)$$

$$\Delta L_1 = R_1\alpha_m/57.296$$

稳斜段: $\Delta H_2 = \Delta L_2\cos\alpha$

$$\Delta A_1 = \Delta L_2\sin\alpha$$

$$\Delta L_2 = \sqrt{A_0^2 + H_0^2 - 2R_0H_0}$$

缓降段: $\Delta H_2 = H - H_z - \Delta H_{XZ} - \Delta H_1 - \Delta H_3$

$$\Delta A_2 = A - \Delta A_1 - \Delta A_2 - \Delta A_{XY}$$

$$\Delta L_2 = R_w\Delta\alpha_m/57.296$$

降斜段: 当 $k_w = 0$ 时

$$\Delta H_3 = R_2(\sin\alpha_m - \sin\alpha^\circ)$$

$$\Delta A_3 = R_2(\cos\alpha^\circ - \cos\alpha_m)$$

$$\Delta L_3 = R_2(\alpha_m - \alpha^\circ)/57.296$$

当 $k_w \neq 0$ 时

$$\Delta H_3 = R_2[\sin(\alpha_m - \Delta\alpha_m) - \sin\alpha^\circ]$$

$$\Delta A_3 = R_2[\cos\alpha^\circ - \cos(\alpha_m - \Delta\alpha_m)]$$

$$\Delta L_3 = R_2(\alpha_m - \Delta\alpha_m - \alpha^\circ)/57.296$$

计算完钻井底参数时,应将中靶处垂深,即设计垂深 H 再加上油层底界垂深与 H 之差换算到对应的斜深 L_c ,然后给 L_c 再加上口袋 L_D 即为完钻设计斜深 L_{max} ,最后再计算出对应的完钻垂深 H_{max} 和最大水平垂深 A_{max} 。

3 定向井各井段钻进施工技术要点

钻井轨迹控制是定向井施工技术中的关键,要弄清所施工地区地层的自然造斜特征,制定相应的轨迹控制措施,合理选择各井段所适应的钻具组合和钻井参数,达到对轨迹的准确控制,确保中靶并不对邻井的安全构成威胁。其中主要包括直井段、定向造斜、增斜井段、稳斜(缓降)井段、降斜井段钻进施工技术。

3.1 直井段钻进技术

上直井段的井斜控制非常重要,直接影响施工难度和下部井身轨迹的控制,应严格控制井斜。

钻具组合(钟摆钻具): $\varnothing 216 \text{ mm}$ 钻头 + $\varnothing 165 \text{ mm}$ 钻铤 2~3 根 + $\varnothing 214 \text{ mm}$ 稳定器 + $\varnothing 165 \text{ mm}$ 钻铤 10~12 根 + $\varnothing 127 \text{ mm}$ 钻杆。

钻井参数: 钻压 140~160 kN; 转速 I~II 挡, 50~60 r/min。

施工要求: 钻遇地层界面吊打 3~5 单根, 钻至离造斜点 50 m 减压吊打; 施工过程中加强监测, 测斜间距 30~50 m, 随时绘制轨迹变化图, 遇危险井段加密测斜, 以便采取相应措施; 一般将井斜控制在 1° 以内, 就不会对邻井构成威胁。

3.2 定向造斜施工技术

定向造斜是定向井施工的关键工艺, 直接影响到定向井的井身质量、钻进速度和中靶的准确性。

钻具组合: $\varnothing 216 \text{ mm}$ 钻头 + $\varnothing 165 \text{ mm}$ 动力钻具(螺杆钻具) + 弯接头 ($1.5^\circ \sim 2^\circ$) + $\varnothing 165 \text{ mm}$ 无磁钻铤 1 根 + $\varnothing 165 \text{ mm}$ 钻铤 6~8 根 + $\varnothing 127 \text{ mm}$ 钻杆。

钻井参数: 钻压 30~79 kN, 泵量 23~27 L/s,

泵压 4.9~9.8 MPa。

施工中有 3 种弯接头可选(1.5°、1.8°、2°),其中 1.5°弯接头造斜率为 1.7°~2.5°/(30 m),1.8°弯接头造斜率为 2.9°~5°/(30 m),2°弯接头造斜率为 3.4°~5.4°/(30 m)。相同条件下,钻具造斜率在软地层要低于硬地层,浅井段造斜一般选择小角度弯接头,深井段一般选择大角度弯接头。

动力钻具是定向钻进的技术核心,其工作原理是在钻井液的液动压力下转动,将液能转化为机械能,即钻杆不动由动力钻具驱动钻头回转。它在下井前要在井口试运转,钻进中要保证泥浆泵有良好的上水、一定的压力和足够的排量;每钻进 2~3 个单根要测斜了解井斜角、方位角和工具面向角的变化,测斜过程中只能上、下活动钻具,严禁转盘活动钻具。钻进中密切注意钻时变化或从方钻杆上听钻头声音,来判断钻头的使用状况。

3.3 增斜钻进施工技术

增斜井段是定向井控制井方位的重要井段,井底钻具的刚度影响着增斜井段的方位和井斜的变化,选择合理的钻具组合和钻井参数即可控制该段井方位和井斜的变化。

钻具组合:Ø216 mm 钻头+接头(0.4~1.2 m)+Ø214 mm 稳定器+Ø165 mm 无磁钻铤 1 根+Ø165 钻铤 11~13 根+Ø127 mm 钻杆。

钻进参数:钻压 120~245 kN;转速 36~96 r/min;排量 24~40 L/s,泵压 4.9~10 MPa。

增斜钻具钻头与稳定器之间的接头长度对造斜率影响极为明显,造斜率大时应用较短的接头(0.4~0.6 m),造斜率小时应用较长的接头(0.8~1.2 m)。

增斜钻进测斜间距 > 50 m,地层复杂的井要缩短测斜间距,监控增斜及方位漂移情况,及时调整。钻进中当井斜增加时适当减小钻压,当井斜偏小时适当加大钻压;方位可通过预留方位提前或滞后角 10°~15°及控制转盘转速控制,提高转速可使方位偏移减小,若方位失控可采取“动力钻具+弯接头”进行调整;增斜率可通过调整钻压控制。

3.4 稳斜钻进技术

在稳斜段主要以控制井斜为主,控制方位为辅,随钻测斜跟踪分析以提高中靶精度。

稳斜钻具组合:Ø216 mm 钻头+接头(1.3~3 m)+Ø214 mm 稳定器+测斜挡板+Ø165 mm 无磁钻铤 1 根+Ø165 钻铤 10~14 根+Ø127 mm 钻杆。

钻进参数:钻压 78~245 kN,转速 30~100 r/min,排量 24~40 L/s,泵压 4.9~18 MPa。

施工中每钻进 2 个单根测斜一次,以后每 50~80 m 测斜一次;钻进中要均匀送钻,防止溜钻。当稳斜需要微增时,可将钻头与稳定器间的接头放短些;当稳斜需要微降时,可取接头的大值。

3.5 降斜井段钻进技术

调整钻压可控制降斜效果。加大钻压可减小降斜速度,减小钻压则加快降斜速度。降斜井段井斜在 3°以下视为直井段,可按直井段管理技术要求进行管理。

降斜钻具组合:Ø216 mm 钻头+Ø165 mm 钻铤 1 根(10~18 m)+Ø127 mm 钻杆。

钻进参数:钻压 78~245 kN,转速 30~100 r/min,排量 24~40 L/s,泵压 4.9~18 MPa。

进入靶区后下直井段可适当增加钻压并提高机械钻速,上下提钻要防止卡钻。完钻后要测出中靶点井斜、方位,实测方位角应减去当地磁偏角,中靶测量斜深计算出的垂深与设计垂深误差为 ±0.5 m。

4 钻井液技术

定向钻井要求钻井液具有良好的润滑性、抑制防塌性、携渣性和流变性,以满足施工的要求。

泥浆性能:粘度 18~25 s;密度 < 1.10 kg/L;失水量 5~9 mL/(30 min);含砂量 < 0.2%;pH 值 8~9;塑性粘度 7~13 mPa·s。

在施工中,由于定向井段下部钻具与井眼接触时间长,易发生粘吸卡钻。防止卡钻主要采取取活动钻具、控制泥浆密度、改善泥饼质量等措施。从定向开始,在泥浆中加入 RH525 无荧光润滑剂(加量 0.1%~0.3%),可改变泥饼的润滑性能;下段视提钻遇阻情况加入固体润滑剂(HZH102)来改变摩擦性能,降低摩擦系数,提高泥浆的润滑性能,减轻旋转扭矩,防止卡钻。防塌多采用抑制性较强的 FA367 抑制剂来抑制水分分散,提高防塌能力,控制泥浆循环排量,减轻井壁冲刷,控制固相含量和保持正向压差钻进等均能防止井壁垮塌。固相控制要始终保持泥浆的低粘度、低密度、低失水的“三低”性能,施工中勤捞砂,多替换旧浆,从而提高泥浆的抑制性、流变性、失水造壁性和综合防塌能力。

在完钻前 50 m 补充基浆,提粘降滤失,前 30 m 加入润滑剂来调整流型,使各项性能指标达到设计要求,作好完钻准备。使用好钻井液,能有效地提高钻井施工的效率,增加经济效益。