

# 土库曼斯坦萨 35-1H 水平井钻井技术

谯抗逆<sup>1</sup> 郭世侯<sup>1</sup> 白璟<sup>1</sup> 胡超<sup>1</sup> 张德军<sup>1</sup> 王成学<sup>2</sup>

1. 川庆钻探工程公司钻采工艺技术研究院 2. 川庆钻探工程公司国际工程公司

谯抗逆等. 土库曼斯坦萨 35-1H 水平井钻井技术. 天然气工业, 2010, 30(5): 69-72.

**摘要** 萨 35-1H 水平井是土库曼斯坦第 1 口水平井, 其目的层位于巨厚膏盐层下, 存在着在巨厚膏盐层中实现轨迹控制的巨大难题, 在土库曼斯坦国内尚无成功钻井先例。针对巨厚膏盐层钻水平井的难点, 在井身结构优化、井眼轨迹优化、井眼轨迹控制技术、钻井液技术、安全钻井等方面采取了一系列对应措施, 安全、优质、高效地钻成了土库曼斯坦第 1 口水平井, 完钻井深为 3 333 m, 斜井段长为 1 573 m, 水平位移为 1 210.6 m, 最大井斜为 92.04°,  $\varnothing$ 311.2 mm 井眼斜穿巨厚膏盐层 624 m,  $\varnothing$ 215.9 mm 井眼横穿产层 501.78 m, 钻井周期为 111.6 d。该井的成功为后续水平井的设计和施工奠定了基础。

**关键词** 巨厚膏盐层 水平井 土库曼斯坦 萨曼杰佩气田

DOI:10.3787/j.issn.1000-0976.2010.05.017

## 0 引言

萨 35-1H 井位于土库曼斯坦萨曼杰佩气田。该气田地层自上而下依次是: 新近系、古近系、白垩系、侏罗系提塘阶组、基末利阶组、侏罗系牛津卡洛夫阶组。其中牛津卡洛夫阶组是目的层, 其埋深为 2 400~2 600 m, 分为硬石膏石灰岩互层、层状石灰岩层、块状石灰岩层。块状石灰岩层储层物性较好, 是主要储层, 层状石灰岩层为次要储层。基末利阶组为巨厚盐膏层, 垂厚一般在 425 m 左右, 是萨曼杰佩气田良好的区域盖层, 主要分为上石膏层、上盐层、中石膏层、下盐层、下石膏层。其中纯度达 97% 以上的纯盐层厚约 310 m。前苏联在该气田进行了多年的勘探, 由于巨厚膏盐层的存在, 工程和地质报废率各达到 30%, 没有水平井开发先例。中国石油天然气股份有限公司获得该油田的开发权后, 为减少开发投资, 优化井网布置, 实现稀井高产, 决定优先用水平开发<sup>[1-5]</sup>。

## 1 主要技术难点

1) 从井深 1 931~2 555 m 为巨厚膏盐层, 斜厚为

624 m。钻井过程中可能遇到高压盐水层。由于盐水层的分布规律及压力系数难预测, 易出现盐水浸, 发生盐析造成井下事故。

2) 盐岩层本身也极易垮塌和塑性变形, 造成缩径卡钻或塑性变形挤毁套管。盐岩层也容易溶解, 易形成大肚子, 造成携砂困难, 造成井下事故。

3) 盐岩层地层软, 易形成台阶造成钻具或套管下入困难; 或形成键槽, 造成卡钻事故。

4) 目的层上方紧临膏盐层, 用水平井开发时造斜段无法避开膏盐层, 钻遇膏盐层井段较直井更长, 加之必须实施滑动钻进手段, 使安全钻井及轨迹控制难度大大增加。

5) 基末利阶组下石膏层和牛津组—卡洛夫阶组上部硬石膏层, 可钻性差, 钻时慢, 又加上该处井斜在 55° 以上, 定向滑动钻进时极易发生卡钻。

6) 储层位于垂厚变化大的巨厚高压膏盐层之下, 优质块状石灰岩储层深度预测困难, 增加了井眼轨迹着陆和水平段地质跟踪难度。

7) 由于气田长时间封闭和邻国强行开采等多种原因、目的层压力难预测, 钻达目的层发生漏、喷均有可

**基金项目** 中国石油天然气集团公司科研计划科技现场试验项目“土库曼斯坦复杂盐下气田快速高效勘探开发技术”(编号: 2008-15)。

**作者简介** 谯抗逆, 1964 年生, 高级工程师; 2007 年于西南石油大学获油气井工程硕士学位。地址: (618300) 四川省广汉市中山大道南二段。电话: (0838) 5151333, 13990229258。E-mail: qiaokangn@263.net

能,而目的层含硫化氢和二氧化碳,且气产量大,井控风险大。

8)巨厚膏盐层的封固较困难。为保证技术套管的封固效果,需带管外封隔器和套管稳定器。复杂管串结构的套管能否顺利下过膏盐层,成为全井安全完成的关键。

9)层状石灰岩与块状石灰岩的区分较困难,能否及时卡准层位,并提供优良的井眼轨迹,避免水平段钻入水层,确保水平段井眼距离气水界面达到一定安全高度,是水平井长期高产的关键。

10)储层属碳酸盐岩,裂缝发育,易出现井漏、井喷等复杂情况。

11)地质需要用大斜度井段穿越45 m厚的层状石灰岩段,用水平段穿越块状石灰岩段。因此,全井水平位移较大,会带来摩阻扭矩增大,井眼净化困难等工程问题。

## 2 主要技术措施

### 2.1 优化井身结构设计

根据该井的地层特点、地层压力及目前钻井工艺技术状况、参考该区块邻井已钻井实钻井身结构,依据有利于安全、优质、高效钻井和保护油气层的原则进行

优化设计,达到实现安全钻井及实现地质目的<sup>[1-2]</sup>。

#### 2.1.1 水平段井眼尺寸及长度的确定

经过不同水平段长与产能的数值模拟,其结果表明,无阻流量随水平段长度增长而增大,当水平段长增加到500 m后,无阻流量增大趋势明显减缓,故水平段以钻进400~500 m为佳。通过对近似储层物性条件水平井开发产量对比和该区域直井产量情况分析,预计该井完成后,日产量应在 $100 \times 10^4 \text{ m}^3$ 以上。再考虑到钻井工程的风险,决定水平井段用 $\varnothing 215.9 \text{ mm}$ 钻头施工。

#### 2.1.2 技术套管的优化

该层套管的主要作用是封隔高压盐水层。由于目的层为石灰岩且裂缝发育,压力系数低,易发生井漏。因此,在钻完石膏石灰岩互层后,进入致密石灰岩2 m就可固井。为防止膏盐蠕动挤毁套管,技术套管可考虑复合套管,在膏盐段使用加厚技术套管。为保证封固效果,防止高压盐水串,在套管下端加管外封隔器。

#### 2.1.3 表层套管的优化

封隔古近系布哈尔组高压水层,封固古近系和土伦阶组上部成岩性差,胶结疏松的不稳定地层,套管鞋坐在白垩纪土伦阶组上部地层里,为第2次开钻顺利钻进创造了稳定上部井眼的条件,井身结构,见表1。

表1 井身结构表

钻井井段	井 眼 尺 寸			套 管			水泥返高
	钻头尺寸/mm	井深/m	垂深/m	管径/mm	下深/m	垂深/m	
导管	人工挖埋			508.0	15		人工预埋
第1次开钻	444.5	751	751	339.7	750	750	地面
第2次开钻	311.2	2 602	2 411	244.5	1 926	1 920	地面
				250.8	2 600	2 410	
第3次开钻	215.9	3 326	2 495	177.8	2 550	2 388	地面
				139.7	2 650	2 425	
				139.7	筛管 3 320	2 495	

### 2.2 井眼轨迹优化设计

该井为大斜度+水平井段的组合定向井,要求用大斜度井段穿过层状石灰岩段,再用水平段穿越块状石灰岩层500 m。由于水平位移大,减少摩阻实现滑动钻进才能实现井眼轨迹的可控性。优化井身剖面,保证轨迹平滑,应对地层不确定因素的影响,降低全井最大全角变化率,有利于多采用复合钻进的控制方法,便于清洁井眼,实现安全钻井。萨35-1H井选择“直—增—微增—增—稳—增—平”7段制剖面。第1增斜段的目的是达到一定的井斜角,防止后续施工方

位漂移过大。由于微增斜段较长,该段采用悬链线设计,有利于减少摩阻。第2增斜段的目的是控制入靶姿态,达到矢量入靶。稳斜段的目的是大斜度穿越层状石灰岩层,寻找和确定最佳水平段垂深位置。第3增斜段的目的是实现水平段着陆,控制入靶姿态。

#### 2.2.1 造斜点的选择

由于该井为第1口水平井,盐层中能否滑动钻进及其造斜率大小不确定。因此,把造斜点选在了戈捷里夫阶组泥岩层,保证进入盐层时,井斜为 $30^\circ$ 左右,防止后续施工时,方位产生过大漂移。

2.2.2 造斜率的选择

①确保在较软的盐层中不能形成键槽;②适应复杂的地质变化,确保工具造斜率能够达到;③能减少造斜及控制井段,有利于携砂和降低摩阻和扭矩;④考虑

带有管外封隔器和套管扶正器的管串通过能力。 $\varnothing 311.2$  mm 井眼造斜率选择在  $4.5^\circ \sim 5.5^\circ/30$  m,  $\varnothing 215.9$  mm 井眼造斜率选择在  $5^\circ \sim 7^\circ/30$  m,设计井眼轨迹剖面数据,见表2。

表2 设计井眼轨迹剖面数据表

描述	斜深/ m	井斜/ (°)	方位角/ (°)	垂深/ m	$\frac{N}{S}$ /m	$\frac{E}{W}$ /m	狗腿度/ (°)·(30 m) <sup>-1</sup>	闭合距/ m	闭合方位/ (°)
直井段	1 770.0	0	0	1 770.00	0	0	0	0	0
定向增斜	1 932.0	28.00	124	1 925.63	-21.86	32.06	5.19	38.80	124
微增斜	2 460.0	50.00	124	2 333.45	-207.91	304.90	1.25	369.05	124
增斜(A点)	2 632.0	74.96	124	2 420.00	-290.71	426.32	5.70	516.00	124
稳斜	2 810.0	74.96	124	2 466.10	-387.38	568.08	0	687.59	124
增斜(B点)	2 827.0	78.00	124	2 470.00	-396.52	581.48	5.36	704.10	124
增斜	2 884.5	90.00	124	2 476.00	-425.67	631.08	6.26	761.22	124
稳斜(C点)	3 326.0	90.00	124	2 476.00	-672.56	997.10	0	1202.00	124

2.3 监测手段

直井段采用自浮式单点测斜仪和电子多点测斜仪监测;造斜段和水平段用无线随钻测斜仪全程跟踪监测,用电子多点测斜仪复测。

2.4 钻井液技术

直井段采用低固相聚合物体系,膏盐层段采用聚磺欠饱和一饱和盐水体系,第3次开钻井段采用聚磺体系。由于盐层中高压盐水的存在,其存在又无规律,盐水浸入又易导致盐析发生卡钻事故,现场试验地层破裂压力系数在  $1.9 \text{ g/cm}^3$  以上。因此,该井膏盐层使用了比直井更高的钻井液密度,目的是防止斜井段高压盐水浸和盐层蠕动变形。在膏盐层段主要要提高钻井液的润滑性,防止阻卡及降低钻井液的流动阻力,提高钻井液的抗污染能力。有效避免盐膏层的溶解、污染、缩径、大井径、井塌等一系列井下复杂和事故的发生,实际钻井液性能,见表3。

2.5 井眼轨迹控制技术

钻具组合和钻井参数优选。利用 Navigator 摩阻扭矩分析软件进行了钻具屈曲和摩阻的计算。优化了

钻具组合和钻井参数。钻具组合使用简易钻具组合,并在大斜度井段进行倒装,有利于钻压的有效传递,便于进行滑动钻进。根据滑动钻进、复合钻进、钻进地层及所用钻头的不同,使用合理的钻井参数,防止钻具发生屈曲造成疲劳损坏,在易钻地层,控制钻进速度,确保岩屑及时返出,见表3。

1)定向增斜段: $\varnothing 311.2$  mm 钻头+ $\varnothing 215.9$  mm  $1.5^\circ/1.25^\circ$ 单弯螺杆+定向接头+ $\varnothing 203$  mm 无磁钻铤1根+ $\varnothing 203$  mm 钻铤×1柱+ $\varnothing 178$  mm 钻铤×1柱+ $\varnothing 127$  mm 加重钻杆+ $\varnothing 127$  mm 钻杆。

钻井参数:定向钻进:钻压为  $40 \sim 140$  kN;排量为  $38 \sim 40$  L/s。

复合钻进:钻压为  $40 \sim 80$  kN;排量为  $38 \sim 40$  L/s;转速为  $20 \sim 30$  r/min。

2)微增斜段: $\varnothing 311.2$  mm PDC 钻头+双母接头+ $\varnothing 308$  mm 扶正器+定向接头+ $\varnothing 203$  mm 无磁钻铤+短钻铤+ $\varnothing 308$  mm 扶正器+ $\varnothing 203$  mm 钻铤×1柱+ $\varnothing 177.8$  mm 钻铤×1柱+ $\varnothing 127$  mm 加重钻杆+ $\varnothing 127$  mm 钻杆。

表3 实际钻井液性能表

井段/m	密度/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	漏斗 黏度/s	静切力/ Pa	API 失水量	滤饼/ mm	摩阻系数	含砂/ %	pH 值	$\text{Cl}^-$ / $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	体系
0~756	1.02	28								低固相聚合物
756~1 834	1.24~1.25	45	1/6	6.0	0.5		0.2	9	160 000	
1 834~2 560	1.65~1.67	52	2.5/9	4.8	0.2	0.078 7	0.2	9~10	160 000 ~200 000	聚磺饱和盐水
2 560~3 333	1.12~1.14	40~64	2/6	4.0	0.3	0.098 7	0.2	10	16 000	聚磺

钻井参数:钻压为60~120 kN;排量为38~40 L/s;转速为70~90 r/min。

3)定向增斜段:∅215.9 mm PDC 钻头+∅165 mm 1°单弯螺杆+定向接头+∅165 mm 无磁钻铤+∅127 mm 钻杆+∅127 mm 加重钻杆+∅127 mm 钻杆。

钻井参数:定向钻进:钻压为100~160 kN;排量为38~40 L/s。

复合钻进:钻压为50~60 kN;排量为28~31 L/s;转速为20~30 r/min。

4)水平段:∅215.9 mm PDC 钻头+∅165 mm 0.75°单弯螺杆+∅213/∅210 mm 稳定器+定向接头+∅165 mm 无磁钻铤+∅127 mm 钻杆+∅127 mm 加重钻杆+∅127 mm 钻杆。

钻井参数:定向钻进:钻压为100~200 kN;排量为28~31 L/s。

复合钻进:钻压为30~50 kN;排量为28~31 L/s;转速为5 r/min。

## 2.6 斜井段主要措施

1)使用滑动钻井与复合钻井交替进行,严格控制造斜率,防止出现过大的全角变化率。

2)坚持每根单根测斜,及时对已钻轨道进行计算描述、做出与设计轨道参数的对比和偏差认定,及时掌握工具的造斜率,对钻头处状态参数做出较准确的预测,计算出待钻井眼所需造斜率,提前采取工程技术措施,实现了轨迹的“平稳着陆”和“矢量进靶”,防止了轨迹的大幅波动。

3)记录钻井参数和钻具扭矩、摩阻情况,及时分析对比并采用短起下、扩划眼等对应措施。

4)盐膏层钻进采用进一退三原则。每钻进1 m上提3 m划眼到底,如划眼无阻卡、无憋跳钻显示则可逐渐增加钻进段长和划眼行程。但每钻进4~5 m至少上提划眼一次。

5)每次测斜前,先划眼2次,井下正常后,才开始停泵测斜。

6)坚持短起下钻,每钻50~100 m,短起下钻一次;在盐层中钻进4 h(或更短),短起钻过盐层顶部,全部划眼到底,若无阻卡显示,可适当延长短起钻间隔,但不超过30 h。

7)盐膏层定向钻进,应控制滑动钻进时间,每1 h上提一次钻具。

8)接立柱前,反复拉划井眼,井下无异常才开始接立柱。接立柱时,尽可能延长开泵时间,钻具坐于转盘后方可停泵,接立柱速度要快。

9)对全角变化大的滑动钻进井段,使用复合钻扩

划眼,及时修整井眼,保证轨迹平滑。

## 2.7 水平段主要措施

1)水平段选择“自带扶正块弯螺杆+扶正器”的稳斜组合。采用复合钻进为主,滑动钻进为辅的方案,考虑到滑动钻进的困难性,需要尽量减少滑动增斜方法。选用复合钻进微增斜的钻具组合。配合定向拉划降斜来达到总体稳斜的目的。

2)由于储层可钻性好,应适当控制钻进速度,及时带出岩屑。

3)每钻100~150 m进行一次短起下,及时消除岩屑床。

4)确需滑动施工时,使用分段滑动方法,控制滑动井段和时间,防止卡钻事故的发生。

## 3 取得的成果

1)成功钻成了土库曼斯坦第1口水平井,完钻井深为3 333 m;斜井段长为1 573 m;水平位移为1 210.6 m;最大井斜为92.04°;∅311.2 mm 井眼斜穿巨厚膏盐层624 m;∅215.9 mm 井眼横穿产层501.78 m。

2)有效地控制了井眼轨迹,实钻井眼轨迹与设计高度吻合,准确命中3个靶区,实现了地质目标,且井眼平滑,起下钻顺畅。完钻时,最大开泵上提钻具摩阻为10~12 t,空转扭矩为8~9 kN·m,井眼质量优良。

3)∅311.2 mm 井眼在井斜达到65°的情况下,常规电缆测井,一次成功,没有采用传输测井;并在加入了管外封隔器和38只扶正器后,下套管顺利到底。固井也非常成功,达到了封隔高压盐水层的目的。∅215.9 mm 井眼下入∅139.7 mm 筛管也很顺利。

4)摸索出了一套大井眼膏盐层定向钻井的技术,基本解决了膏盐层安全钻进与轨迹控制之间的矛盾。

5)对该地区定向钻具、常规钻具的效能进行了摸索,初步掌握了一些规律,为下步定向井/水平井施工奠定了基础。

6)全井各项作业施工顺利,未出现井下复杂、事故和定向仪器故障,钻井周期为111.6 d。

7)该井用∅25 mm 油嘴测试产量为 $108 \times 10^4$  m<sup>3</sup>/d,是同构造直井平均产量的2.1倍。

## 4 结论与认识

1)该井的井身结构设计、井眼轨迹设计、对付盐膏层的钻井液技术和一整套井眼轨迹控制技术是成功的;用水平井开发巨厚膏盐层下油气资源是可行的。

2)盐层中使用PDC钻头滑动钻进困难,但用牙轮

钻头获得了较好的施工效果,为进一步优化井眼轨迹,避免在钻时慢的泥岩、石膏层滑动钻进提供了优化依据。

3)水平段用“自带扶正器弯螺杆+扶正器”的稳斜组合,扶正器直径非常关键,应比螺杆自带扶正器小1~2 mm才能稳斜,一样大会降斜,小到3 mm会增斜。

4)水平段尽量选用合适尺寸的稳定器,达到稳斜效果,减少定向调整时间。如找不到合适的稳斜结构,应优先用微增结构,少用微降结构,采用定向拉划降斜实现稳斜目的,以提高钻井时效和保障井下安全。

5)合理的钻井排量配合划眼短起下钻等工程技术措施,不仅消除了岩屑床,保证了井下安全,起下钻畅通,下套管作业顺利,而且减少了大尺寸井眼钻井液对定向仪器的冲蚀,有效保护了定向仪器。

## 参 考 文 献

- [1] 杨晓莉,刘素君,樊晓萍.大位移井井眼净化的理论和方法[J].钻采工艺,2005,28(6):24-26.
- [2] 高德利,张武攀,李文勇.南海西江大位移井钻完井工艺分析研究[J].石油钻采工艺,2004,26(3):1-6.
- [3] 刘崇建.油气井注水泥理论与应用[M].北京:石油工业出版社,2001.
- [4] 刘崇建,刘乃震.提高小井眼水泥浆顶替效率的研究[J].天然气工业,2003,23(2):46-49.
- [5] 吴应凯,石晓兵,陈平,等.低压易漏地层防漏堵漏机理探讨及现场应用[J].天然气工业,2004,24(3):81-83.

(收稿日期 2010-02-27 编辑 钟水清)