

YS139H1 平台井上部复杂地层优快钻井关键技术

黄志安¹, 吴波², 王委¹, 于瑞¹, 魏由¹, 寇显富³

(1. 中国石化华东石油工程有限公司江苏钻井公司, 江苏 扬州 225000; 2. 中国石化华东石油工程有限公司, 江苏 南京 210019;

3. 中国石油浙江油田分公司天然气勘探开发事业部, 四川 泸州 646400)

摘要:YS139H1 平台位于四川叙永工区, 存在浅表层溶洞、裂隙发育、破碎带多, 上部地层垮塌、漏失严重。采用稠浆、复合堵漏浆、凝胶及水泥堵漏等效果不佳, 加之山区水源缺乏, 不能连续强钻, 卡钻故障频发, 严重影响施工进度。通过空气钻、穿心跟管钻进、常规钻头+空气钻井和充气雾化钻井等技术的综合应用, 形成了针对YS139H1 平台上部复杂地层的优快钻井关键技术。该技术在YS139H1 平台4口井应用, 一开施工时间由原来71 d, 逐步缩短至13.90 d, 提速效果明显。

关键词:复杂地层; 钻井; 垮塌; 漏失; 跟管钻进; 充气雾化钻进; YS139H1 平台

中图分类号: TE242 文献标志码: A

Key technologies of optimal and fast well drilling for upper complex formation of YS139H1 platform well

HUANG Zhi'an¹, WU Bo², WANG Wei¹, YU Rui¹, WEI You¹, KOU Xianfu³

(1. Jiangsu Drilling Company of Huadong Petroleum Engineering Co. Ltd., SINOPEC, Yangzhou 225000, China;

2. Huadong Petroleum Engineering Co. Ltd., SINOPEC, Nanjing 210019, China;

3. Natural Gas Exploration and Development Division of PetroChina Zhejiang Oilfield Company, Luzhou 646400, China)

Abstract: YS139H1 platform is located in the Xuyong Block, Sichuan. There are many shallow surface karst caves, fractures, and broken zones, resulting in serious collapse and leakage of the upper stratum. By using thick slurry plugging, compound plugging slurry, gel plugging, and cement plugging, the effect is not effective. In addition, because of the lack of water sources in mountainous areas, it can not be continuously drilled and stuck drilling failures happened frequently, which seriously affects the construction progress. Through the comprehensive application of technologies such as air drilling, casing while drilling, conventional PDC bit combined with aerated drilling, and mist drilling, the key technologies of optimal fast drilling have been formed for the complex formation on the upper part of the YS139H1 platform. This technology was applied in 4 wells of the YS139H1 platform, and the construction time was gradually shortened from 71 days to 13.90 days, and the effect of increasing drilling speed was obvious.

Key words: complex formation; drilling; collapse; leakage; casing while drilling; aerated drilling and mist drilling; YS139H1 pad

太阳-大寨构造位于四川省泸州市叙永县境内, 所属的浅层页岩气有利区超过100 km², 预计可动用地质储量近500×10⁸ m³。2018年2月22日, 首口浅层页岩气井Y102H1-1水平井返排试气, 日产量达到5.6×10⁴ m³[1-2]。至2020年底, 相继部署了143口井, 已投产72口井, 实现年产4.8×10⁸ m³, 已成为推动我国浅层页岩气高效开发、工业化建产的重点区块。

YS139H1 平台位于太阳-大寨构造川南低陡褶皱带叙永复向斜云山坝向斜南西翼, 所钻井垂深1 000~1 200 m, 斜深1 700~3 000 m, 水平段长900~1 500 m。针对该区块上部地层存在的漏失、垮塌严重, 造

成施工周期长等问题, 通过空气钻、穿心跟管钻进、常规钻头+空气钻井和充气雾化钻井等技术的综合应用[3-10], 逐步探索出一套适合叙永工区上部浅表层的安全快速施工技术。经过YS139H1-2、YS139H1-3、YS139H1-4三口井不断实践和完善, 该平台的上部地层施工速度明显提高。

收稿日期: 2021-07-26; 改回日期: 2021-09-22。

第一作者简介: 黄志安(1964—), 高级技师, 从事石油钻井工程技术的管理及研究工作。E-mail: huangzhian.oshd@sinopec.com。

基金项目: 中国石化华东石油工程有限公司科研项目“川渝工区上部地层安全快速钻进技术研究与应用”(JSPE201902E)。

1 已钻井复杂情况简析

YS139 平台所钻井一开井深为 650 m 左右,所钻地层从上而下依次为第四系、飞仙关组、乐平组、茅口组、栖霞组、梁山组和韩家店组,各层段深度及岩性见表 1。

表 1 YS139 平台上部地质分层

系	组	地层代码	垂深/m	岩性描述
第四系	第四系	Q	10	为基岩风化后的浮土
三叠系	飞仙关组	T ₁ f	58	中上部为紫红色泥岩与浅灰色泥质灰岩不等厚互层,上部夹一层灰色泥岩;下部为灰色鲕粒灰岩、灰色灰岩、泥质灰岩与紫红色泥岩不等厚互层;底部为绿灰色泥岩。
	乐平组	P ₂ l	163	顶部灰色鲕粒岩,上部为灰黑色碳质泥岩与灰黑色泥岩互层,下部位为灰黑色碳质泥岩、泥岩与黑色煤层不等厚互层
二叠系	茅口组	P ₁ m	325	上部为灰色灰岩与灰色泥质灰岩互层;中部为灰色、浅灰色、深灰色灰岩夹深灰色含泥灰岩、灰色泥质灰岩;下部为深灰色灰岩与深灰色含泥灰岩互层,底部为一套浅灰色生屑灰岩。
	栖霞组	P ₁ q	584	中上部为深灰色灰岩与深灰色含泥灰岩互层,下部为深灰色含泥灰岩、泥质灰岩、泥灰岩。
	梁山组	P ₁ l	592	灰黑色页岩
志留系	韩家店组	S ₂ h	705.5	中上部为灰色泥岩夹灰色泥质粉砂岩,底部为浅灰色灰岩与灰色泥岩互层。

已钻完成的 YS139 井,钻至 41.00 m 发生垮塌卡钻,套铣解卡,损失时间 4.38 d;在 96.51~514.52 m 之间井段发生 9 次失返性漏失,先后 5 次注水泥、4 次桥堵浆堵漏加清水强钻等,钻至 650 m 一开结束,共用时 71 d。

YS139H1-1 井钻至井深 40.35 m 起发生沉砂卡钻,采用小钻杆环空吹砂解卡,钻至 84 m,一直有掉块,并伴有出水;钻至 186.51 m,发生失返性漏失 2 次,采用凝胶堵漏、清水强钻,共漏失凝胶 60 m³、清水 230 m³,钻至 626.6 m 一开结束,用时 33.63 d。

造成一开周期长的主要原因:一是裂缝、溶洞发育,漏失严重,高浓度堵漏浆、凝胶及水泥浆等堵漏效果差,缺乏水源,不能清水强钻,处理井漏时间长;二是地层破碎严重,采用空气钻,遇上部垮塌掉块时,无法倒划眼,为防止掉块卡钻,只能控制钻速;三是发生复杂后处理手段单一,如发生掉块卡钻后,由于井浅,没有足够的钻具缓冲,使用随钻震击器风险很大,无法发挥作用。

YS139H1 平台及邻井上部浅表层复杂情况见表 2。

表 2 YS139H1 平台及邻井上部浅表层复杂情况统计

井号	井深/m	层位	复杂故障类型	处理方式	损失时间/h
YS139	41	飞仙关组	掉块卡钻	套铣	4.38
YS139	96.51	乐平组	井漏失返	注水泥	70.61
YS139	117	乐平组	井漏失返	桥堵	13.2
YS139	124.21	乐平组	井漏失返	桥堵	76.26
YS139	125.3	乐平组	井漏失返	注水泥	106.41
YS139	126.24	乐平组	井漏失返	注水泥	82.51
YS139	135	乐平组	井漏失返	注水泥	5.5
YS139	142.31	乐平组	井漏失返	桥堵	11.72
YS139	145.63	乐平组	井漏失返	注水泥	72.27
YS139	514.52	栖霞组	井漏失返	强钻	168
YS139H1-1	40.35	飞仙关组	掉块卡钻	小钻杆冲砂	24
YS139H1-1	69	乐平组	出水井垮	跟管	3.21
YS139H1-1	84	乐平组	出水井垮	跟管	4.31

续表 2 YS139H1 平台及邻井上部浅表层复杂情况统计

井号	井深/m	层位	复杂故障类型	处理方式	损失时间/h
YS139H1-1	125.71	乐平组	井漏失返	注水泥	19.41
YS139H1-1	175.00~186.51	茅口组	井漏失返	注水泥	63.31
YS141	34.5	飞仙关组	井眼垮塌	倒划眼	222.38
YS141	185.57	茅口组	沉砂卡钻	弃井平移	285.63

2 浅表层提速关键技术

2.1 井身结构优化

(1)原井身结构设计:Ø473 mm 导管下深 50 m 左右,防止表层钻遇溶洞或暗河,封隔地表疏松地层。一开 Ø406.40 mm 钻头钻至韩家店组顶部,约 650 m,封固茅口组、栖霞组等可能存在的漏失层、含水层以及上部低压层,下 Ø244.47 mm 套管,固井水泥返至地面。主要存在的问题是:①导管施工困难,难以下到位,导管施工周期长容易发生井架底座基础塌陷。②导管下至 50 m,也难以封固易漏易垮地层,不能保证一开正常进行。从表 2 可以看出,YS139 和 YS139H1-1 两口井均在井深 41 m 左右发生卡钻故障,在井深 69 m 仍有垮塌、漏失现象。

(2)井身结构优化设计后:地表下 Ø640 mm 护管 10~20 m,Ø473.00 mm 引管下深 70 m 左右,封飞仙关易垮地层;下 Ø339.73 mm 导管至 170 m 左右,封乐平组易漏地层;一开用 Ø311.15 mm 钻头钻至 650 m 左右韩家店组顶部,用 Ø244.47 mm 套管封固茅口组、栖霞组等可能存在的漏失层、含水层以及上部低压层。本设计的优点在于:①增加一层护管进入基石 5 m 以上,确保井架底座基础不塌陷,保持施工连续性;②增加一层引管,用跟管技术下入引管,封隔飞仙关组漏失层、破碎带地层;③导管下深由 50 m 调整到 170 m,完全封固了乐平组以上的易漏地层,为下部使用螺杆,调整井斜、方位及防碰争取了主动。优化前后井身结构见图 1,各井上部井身结构见表 3。

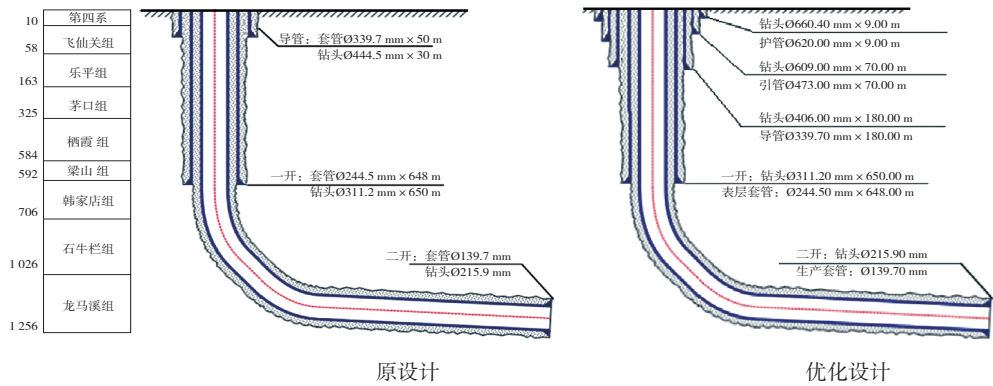


图 1 YS139H1 平台井身结构原设计与优化设计

表 3 YS139H1 平台实际井身结构

开钻次序		YS139H1-1 井	YS139H1-2 井	YS139H1-3 井	YS139H1-4 井
护管	井眼尺寸/mm×井深/m	660.40×12.00	660.40×5.00	660.0×5.00	660.00×18.00
	护管尺寸/mm×下深/m	640.00×12.00	640.00×5.00	640.00×5.00	640.00×17.50
引管	井眼尺寸/mm×井深/m	495.00×84.00	495.00×71.00	495.00×63.50	495.00×37.00
	护管尺寸/mm×下深/m	478.00×84.00	478.00×71.00	478.00×63.50	478.00×37.00
导管	井眼尺寸/mm×井深/m	406.40×105.00	406.40×175.00	406.40×175.00	406.40×169.00
	护管尺寸/mm×下深/m	339.73×105.00	339.73×171.00	339.73×174.02	339.73×168.00
一开	井眼尺寸/mm×井深/m	311.15×626.60	311.15×631.00	311.15×646.00	311.15×633.00
	护管尺寸/mm×下深/m	244.47×614.41	244.47×630.65	244.47×644.75	244.47×630.90

2.2 空气锤跟管钻进技术

空气锤跟管钻井实际上是一种简易套管钻井技术,能有效解决常规钻井方法无法解决的井壁垮塌卡钻、掉块卡钻等难题,成为应对上部不稳定地层的有效方法^[11]。主要工作原理:在卷管串下端焊接管鞋(如图2所示),跟管钻头为专用钻头,当常规钻进无法进行时,下入卷管串至遇阻位置或井底;带专用钻头的钻具以“穿心”的方式从卷管串内下入。跟管钻头设有台阶(如图3所示),最下端设有四个滑块,滑块上镶有复合球型齿,且滑块的一部分嵌在钻头本体设置的斜面槽中。下钻至管鞋时,钻头台阶抵达管鞋台阶,滑块出管鞋,在钻压的作用下,滑块沿斜坡向外伸出管鞋,确保所钻井眼大于卷管外径。由于钻头台阶压在管鞋台阶上,当钻头有新进尺后下行时,卷管串便被钻头带着同步下

行,即时封住垮塌掉块等易失稳地层。上提钻具时,钻头滑块在自重的作用下沿斜面下移回缩,钻具顺利起出,把卷管串留在井内。



图2 在卷管上焊接管鞋

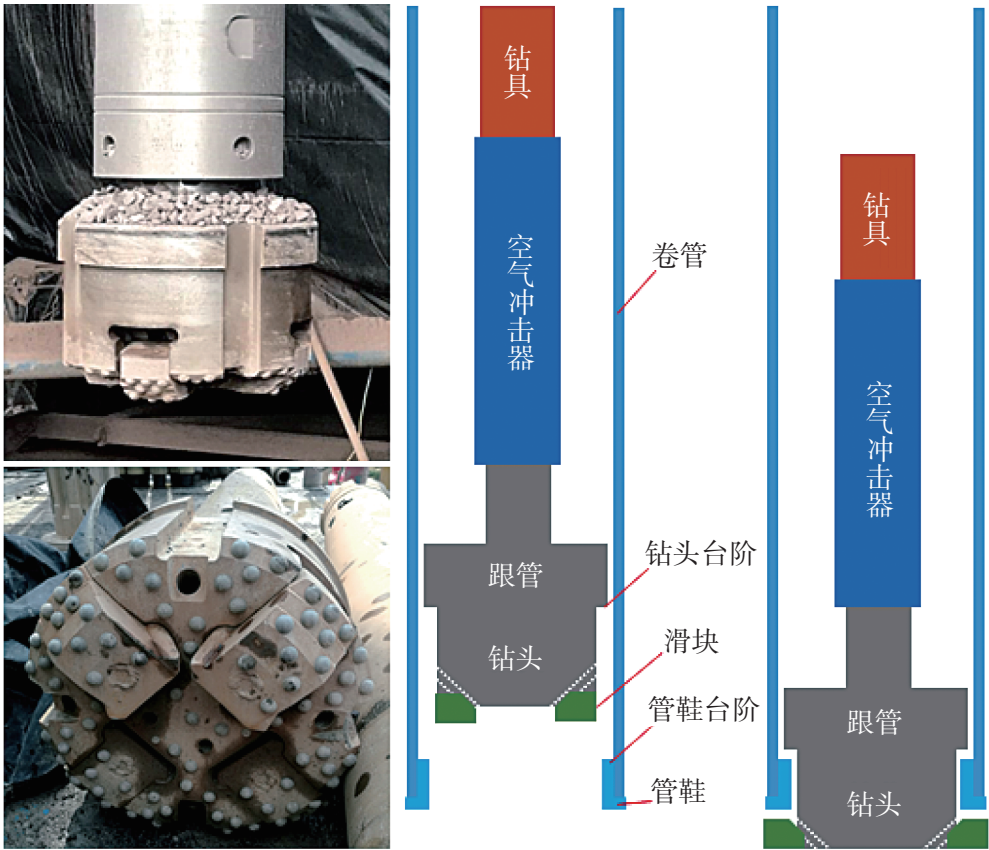


图3 跟管钻头及工作原理

YS139H1 平台井施工中,引管开钻选用了型号 TSK14H-D478 mm 空气锤跟管钻头,下部 4 个滑动块完全收回后外径 $\varnothing 435.00$ mm、伸出后钻头最大外径 $\varnothing 495.00$ mm。卷管采用材质为 Q235B 钢材制成,外径 $\varnothing 478.00$ mm、内径 $\varnothing 462.00$ mm、壁厚 8.00 mm,每根长度 12.0 m。管鞋采用钢级 42CrMo 钢管加工,

外径 $\varnothing 480.00$ mm、内径 $\varnothing 435.00$ mm、厚度 22.50 mm、长度 90.00 mm。

2.2.1 卷管与管鞋现场焊接

卷管与管鞋的钢级不同,焊接质量直接关系到跟管施工的成败。在 YS139H1 平台井,经过对材质分析和焊接工艺研究,采取的焊接工艺如下:

(1)手工电弧焊,使用 $\varnothing 3.2$ mm J507焊条,焊前经 350°C 烘焙1 h,放入保温筒备用。焊接电流:90~130 A。

(2)焊接前,先对待焊部位加热,保证焊接层间温度不得低于 200°C ,可用红外线检测仪实时监测温度。

(3)焊接时,先把管鞋直径小的一段与卷管对接、找正,在外侧每隔 120° 点焊初步固定,确认对正的情况下,再逐步焊完全部对接面,内侧对接面也同样焊接。为提高焊接强度,可提前在卷管与管鞋重合面处适当开槽,以增大焊接面,如图2所示。

(4)焊后进行去应力退火,退火温度 580°C ,保温2 h。

2.2.2 跟管钻进钻具组合

TSK14H-D478 mm跟管钻头+ $\varnothing 328.00$ mm冲击器+ $\varnothing 228.60$ mm减震器+ $\varnothing 228.60$ mm钻铤 $\times 2$ 根+ $\varnothing 203.20$ mm钻铤 $\times 1$ 根+ $\varnothing 127.00$ mm HWDP+顶驱。

2.2.3 跟管钻进参数

钻压:10~20 kN;转速:10~15 r/min;气排量:70~120 m^3/min (根据钻时、携砂情况适时调整);气压1.30~1.50 MPa。循环吹扫气排量160~200 m^3/min 。

2.2.4 跟管钻进步骤

(1)把焊好管鞋的卷管从井口下入,由于卷管两端均未设计链接螺纹扣,因此,每两根之间仍采用现场焊接方式连接。每根卷管下入后,均在地面或钻台面预留1 m左右,便于与下一根卷管焊接,依次边焊边下,直至中途遇阻井段或到达井底。

(2)从坐入井筒的卷管内下入钻具,钻头到达管鞋时,钻头台阶面抵达管鞋台阶面,钻头滑块部分出管鞋。

(3)刚开始钻进时采用小钻压、低转速,有进尺且观察到卷管同步下行时,适当提高钻压、转速。跟管钻进中一旦扭矩波动较大或每跟进2 m时,用160~200 m^3/min 大排量气循环带砂。

(4)注意钻时变化,若钻时较慢,可起出跟管钻头,下 $\varnothing 406.40$ mm牙轮钻头穿心钻进,再下入跟管钻头继续跟管钻进,以提高施工效率。

(5)若发现钻具下行而卷管未下行或钻头无进尺,立即停止作业,起钻检查,若无异常后,再下钻继续跟管施工作业,直至钻至预定井深。

2.3 常规钻头空气钻井防斜防卡技术

空气锤钻井技术在不出水、井壁稳定的浅表地层中应用,具有较好的防斜提速效果^[12-13],但遇到

破碎带地层,易发生沉砂、掉块卡钻,上提倒划眼效果差,故障处理困难,使用常规空气钻井技术效果更好。YS139H1-1井在用空气锤钻进至井深40.35 m卡钻后,改用清水和凝胶强钻的常规钻井技术,但在井深268.92 m井斜增大至 2.62° ,水平位移达到4.38 m,增加了丛式井组相碰几率。随即采用常规空气钻井技术,使用 $\varnothing 228.60$ mm钻铤、小钻压高转速,同时采取“进一退三”(在破碎带或断层钻进过程中,每次钻进进尺不超过1 m,倒划3 m以上至正常井段,再下划至井底,如果扭矩等井下正常,可钻进,不正常则反复倒划、正划直到正常为止)钻进方式,有效解决了井斜控制难及卡钻风险高的难题。

YS139H1平台在导管施工中应用常规空气钻,钻具组合 $\varnothing 406.40$ mm牙轮钻头+ $\varnothing 228.60$ mm减震器+ $\varnothing 228.60$ mm钻铤 $\times 2$ 根+ $\varnothing 203.20$ mm无磁钻铤 $\times 1$ 根+ $\varnothing 127.00$ mm HWDP+顶驱。施工参数:钻压20~40 kN;转速110~120 r/min,气量75~220 m^3/min 。为润滑冷却钻头,在注入空气中适当加水,加水量2 m^3/h 。循环吹扫气排量180~220 m^3/min 。

施工时通过观察钻进返气情况,适时采用大气量带砂,遇到井下出现蹩跳、扭矩增大时,立即倒划眼提出钻具,既防止了卡钻,又确保了保井眼打直。

2.4 充气雾化钻井技术

充气雾化钻井主要用于上部松软地层,解决井漏问题。在采用钻井液钻进的同时,从立管充气,以降低井内当量密度^[14-15]。

YS139H1平台充气雾化钻进主要用于一开 $\varnothing 311.15$ mm井眼下部施工,主要解决因携砂用气量大、压缩空气成本高的问题。同时还避免了井下掉块卡钻,实现顺利下套管的目的。

充气雾化钻井钻具组合: $\varnothing 311.15$ mm PDC+双母接头+浮阀+ $\varnothing 228.60$ mm减震器+ $\varnothing 228.60$ mm SDC $\times 2$ 根+ $\varnothing 203.20$ mm NDC+ $\varnothing 203.20$ mm SDC $\times 2$ 根+ $\varnothing 177.80$ mm SDC $\times 3$ 根+ $\varnothing 127$ mm HWDP。

充气雾化钻井主要施工参数:钻压40~60 kN;转速90 r/min;泵压3~5 MPa;气压3.5 MPa;排量:空气40 m^3/min +清水20 L/s。

3 应用效果

(1)YS139H1-1井: $\varnothing 550.00$ mm空气锤钻进在井深40.35 m发生蹩钻,随后发生垮塌卡钻。小钻杆吹砂解卡后,采用空气锤跟管扩眼钻进,下 $\varnothing 478.00$ mm卷管封隔上部易垮塌地层,用 $\varnothing 406.00$

mm 钻头穿心钻进,每次钻进至漏、垮井段,倒划眼起出 Ø406.00 mm 钻头,再用 Ø478.00 mm 空气锤跟管钻头扩眼并下入 Ø478.00 mm 卷管。共下入 Ø478.00 mm 卷管 84 m。用 Ø339.7 mm 套管钻进,钻至 105 m 卡套管,被迫终止导管作业,提前一开施工。Ø311.1 mm 井眼一开施工中,由于钻遇失返性漏失,先后使用凝胶强钻、土粉+堵漏材料强钻、清水强钻及水泥浆堵漏,都无法达到施工目的。改用常规空气钻井钻至 262 m,发生堵水眼,返砂困难。再使用充气雾化钻井技术,从井深 262 m 钻至一开中完井深 626.6 m。

(2)YS139H1-2 井:Ø609 mm 井眼使用空气锤钻进,井深 25.00 m 遇卡立即倒划起出,根据 YS139H1-1 井施工经验,采用卷管跟管钻进和穿心钻进相结合方式施工,因管鞋脱裂终止,卷管只下到 71 m。Ø406 mm 井眼采用牙轮钻头+空气钻进技术,并采用 Ø228.60 mm 钻铤和“进一退三”钻进方式,钻进至 173 m,下入 Ø339.7 mm 导管 171 m。Ø

311 mm 井眼使用空气锤钻井技术和充气雾化钻井技术钻至井深 631 m 一开中完。

(3)YS139H1-3 井:Ø609 mm 井眼使用空气锤钻进至井深 22 m,用跟管钻进技术,下入卷管 63.50 m,因跟管鞋脱开而终止。Ø406 mm 井眼采用常规钻头+空气钻进,并采用 Ø228.60 mm 大钻铤和“进一退三”钻进方式,钻至井深 175 m,下入 Ø339.7 mm 导管 174 m。Ø311 mm 井眼使用空气锤钻井技术和充气雾化钻井技术钻至井深 646 m 一开中完。

(4)YS139H1-4 井:Ø609 mm 井眼使用空气锤钻进至井深 19 m,用跟管钻进技术,下入卷管 37 m,因管鞋脱开而终止。Ø406 mm 井眼采用常规钻头+空气钻进,并采用 Ø228.60 mm 大钻铤和“进一退三”钻进方式,钻至井深 169 m,下入 Ø339.7 mm 导管 168 m。Ø311 mm 井眼使用空气锤钻井技术和充气钻井技术钻至井深 633 m 一开中完。

YS139H1 平台井上部井段各套管层次及最大井斜情况见表 4,各井施工情况见表 5。

表 4 YS139H1 平台井上部井眼井身质量							m
井号	引管下深/m	导管下深/m	一开井深/m	套管下深/m	最大井斜/井深/m	水平位移/m	
YS139H1-1	84	105	626.6	614.41	2.62/268.92	13.61	
YS139H1-2	71	171	631	630.65	1.38/603.48	4.00	
YS139H1-3	63.5	174	646	644.75	2.28/615.25	7.42	
YS139H1-4	37	168	633	630.90	0.67/279.38	2.95	

表 5 YS139H1 平台井施工情况及施工周期											m
井号	跟管钻进		牙轮钻头+空气钻进		空气锤钻进		充气雾化钻进		施工用时/d	相对节约天数/d	
	井段	进尺	井段	进尺	井段	进尺	井段	进尺			
YS139									71		
YS139H1-1	0~84.00	扩眼	186.00~262.00	76.00	0~40.35/105~125	60.35	262~626.60	364.60	33.63	37.37	
YS139H1-2	0~71.00	扩眼	25.00~86.00	61.00	0~25/196~400	252.00	400~631	231	18.33	52.67	
YS139H1-3	0~63.50	63.50	63.50~175.00	110.50	175~462	287.00	462~646	84	14.75	56.25	
YS139H1-4	0~37.00	37.00	37.00~169.00	132.00	169~450	281.00	450~633	183	13.90	57.10	
累计		100.50		379.50		880.35		862.60			

注:YS139 井常规钻进方式井段 0~650 m。

4 结论与认识

(1)对于疏松、破碎,易垮、易漏浅表地层,合理的井身结构设计是安全施工、提高效率的前提条

件。在一开施工前增加 1~2 层护管或引管能有效阻挡地表疏松、破碎层导致的坍塌,使一开施工顺利进行。

(2)空气锤跟管钻进技术、常规钻头空气钻井

技术及充气雾化钻井技术交替使用,可以有效解决水源不足地区浅表地层恶性漏失、垮塌的难题。

(3)采用牙轮钻头+空气钻进技术,结合大尺寸钻铤和“进一退三”钻进方式,在复杂地层施工中能有效地防斜打直,同时也具备防卡功能。

(4)从3口井使用跟管钻进情况看,均在中途发生管鞋脱落,被迫中止跟管钻进。因此,需加强管鞋与卷管连接的牢固性和可靠性,以保障钻进施工按设计方案正常进行。

参考文献:

- [1] 天工. 中国石油浙江油田公司实现浅层页岩气领域零的突破[J]. 天然气工业, 2018, 38(3): 40.
- [2] 梁兴, 徐政语, 张朝, 等. 昭通太阳背斜区浅层页岩气勘探突破及其资源开发意义[J]. 石油勘探与开发, 2020, 47(1): 11-28.
- [3] 葛鹏飞, 马庆涛, 郭敏. 空气锤钻井技术在元坝区块陆相井的应用[J]. 石油机械, 2013, 41(8): 9-12.
- [4] 邓柯. 国内气体钻井技术发展现状与应用前景浅析[J]. 钻采工艺, 2015, 38(2): 20-22, 7.
- [5] 孟庆昆, 王向东, 于兴胜. KQC系列空气锤在油田气体钻井中的应用[J]. 石油矿场机械, 2007, 36(11): 54-57.
- [6] 牛洪波, 冯光通, 赵洪山, 等. 哈山101井火成岩地层空气锤钻井技术[J]. 石油钻采工艺, 2018, 40(2): 164-

168.

- [7] 许军富, 赵洪山, 于海叶, 等. 空气锤钻井技术在哈深201井火成岩地层的应用[J]. 石油钻采工艺, 2017, 39(6): 683-687.
- [8] 李斌, 代锋, 张弛, 等. 气体钻井集成技术在元坝地区陆相地层的应用[J]. 天然气工业, 2016, 36(S1): 122-127.
- [9] 曾桂元, 代锋, 荆华, 等. 元坝地区气体钻井井斜控制技术与应用[J]. 钻采工艺, 2015, 38(1): 29-31, 2.
- [10] 冯一璟, 张来斌, 梁伟, 等. 潜孔钻头研究现状及展望[J]. 长江大学学报(自科版), 2015, 12(25): 38-41, 4.
- [11] 赵建勤, 李子章, 石绍云, 等. 空气潜孔锤跟管钻进技术与应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2008(7): 55-59.
- [12] 董振涛, 刘天奎. 胜火201井充气钻井技术实践与认识[J]. 吐哈油气, 2006, 11(1): 75-77.
- [13] 施德友, 杨景利, 张斌, 等. 王古1井防漏防溢充气钻井液技术[J]. 天然气勘探与开发, 2005, 28(4): 46-49.
- [14] 徐英, 魏武. 空气充气钻井技术在矿2井的应用[J]. 天然气工业, 2003, 23(Z1): 70-72.
- [15] 周英操, 王广新, 赵德云, 等. 充气钻井技术在大庆油田的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2006(9): 51-54.

(编辑 韩 枫)

(上接第78页)

- [7] 赵福麟. 压力指数决策技术及其应用进展[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2011, 35(1): 82-88.
- [8] 李宜坤, 赵福麟, 刘一江. 区块整体调剖的压力指数决策技术[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 1997, 21(2): 41-44, 118.
- [9] 陈存良, 刘英宪, 周凤军, 等. 基于新型压力指数的调剖选井决策方法研究[J]. 特种油气藏, 2019, 26(3): 105-108.
- [10] 冯其红, 王森, 陈存良, 等. 低渗透裂缝性油藏调剖选井无因次压力指数决策方法[J]. 石油学报, 2013, 34(5): 932-937.

- [11] 房灵太, 陈月明, 闫军, 等. 基于变权的模糊层次分析法在低渗油藏调剖选井中的应用[J]. 特种油气藏, 2007, 14(3): 81-84, 94.
- [12] 靳彦欣, 史树彬, 付玮, 等. 特高含水油藏深部调剖技术界限研究[J]. 特种油气藏, 2015, 22(3): 77-80, 154-155.
- [13] 郭志东, 权培丰, 付长春. PI决策技术及其在复杂断块油田调剖中的应用[J]. 油气井测试, 2000, 9(3): 50-53, 92-93.
- [14] 张志军, 李芳, 魏俊, 等. 一种聚合物地下黏度计算新方法[J]. 特种油气藏, 2018, 25(4): 109-111.

(编辑 谢 葵)