川渝页岩气复杂水平井连续油管作业技术

姜远福（中石化江汉石油工程有限公司页岩气开采技术服务公司，湖北　武汉　430223）

摘　要：川渝区块随着页岩气向深层、长水平段、老区加密调整井等方向开发，因地层压力、水平段长、分段工具等因素变化，带来了长水平段可溶桥塞钻磨易遇卡、井筒高压、易套变、加密调整井低压漏失等诸多复杂问题，给川渝区块页岩气水平井连续油管作业带来较大挑战。本文通过分析川渝区域页岩气四类复杂水平井连续油管作业现状，提出针对性技术措施，提高连续油管作业效率，避免复杂事故的发生，达到提速增效的目的。

关键词：可溶桥塞；套变；高压；低压漏失

0 引言

近年来，国内页岩气、页岩油等非常规油气资源勘探开发快速发展，川渝区块页岩气逐渐向深层、常压、老区加密调整等方向发展。以涪陵页岩气田为例，2019年初，涪陵焦石坝区块已开始大规模进行调整井开发，采用泵送可溶桥塞多级射孔联作方式分段压裂，压裂完成后采用连续管带磨鞋钻除井内所有桥塞投产。但是由于水平段长、地层压力低、可溶桥塞初期应用不成熟等诸多因素影响，连续油管钻可溶桥塞、低压井作业时，钻塞耗时急剧增加、卡钻、埋管等恶性故障频发，严重影响了试气投产[1]。

1 长水平段钻可溶桥塞技术

1.1 可溶桥塞钻磨易出现难题

随着压裂工艺变化，川渝区块原本复合桥塞分段压裂逐渐被可溶桥塞分段压裂代替，在川渝地区钻扫可溶桥塞的井越来越多，包括长宁区块和涪陵区块都有全井为全可溶桥塞的井。在钻扫可溶桥塞过程中出现了钻时慢、无进尺、遇阻遇卡的情况，导致这些情况的主要原因为工具选型不对、工作液体选择不合适，以及施工工艺不匹配。

对比分析长宁区块和涪陵区块的钻扫情况，在长宁区块的井，焖井时间长、放喷时出液量较多，钻扫情况较好。在涪陵区块的施工井2019年初期，焖井时间短、放喷时出液量较少，钻扫情况较差。

1.2 钻可溶桥塞工具优化

一般推荐钻磨工具串组合从上到下为铆钉式连接器+双活瓣单流阀+液压丢手+震击器+（水力振荡器）+螺杆马达+磨鞋，水力振荡器根据施工设计模拟情况决定是否增加[2]。推荐清理井筒工具串组合从上到下为铆钉式连接器+双活瓣单流阀+液压丢手+旁通阀+（杆式强磁打捞器）+喷嘴。若可溶桥塞存在磁性不溶物，增加杆式强磁打捞器。

磨鞋选择外径不大于套管内径92%，宜选择宽水槽、凹面磨鞋。根据焖井情况进行磨鞋优选，对于焖井时间长的井，选择外径 ϕ95~100mm 的磨鞋，可加快钻扫时效。对于焖井时间不长的井，选用外径 ϕ100mm 以上的磨鞋，并现场检测返排液的矿化度情况。在工具串上进行改进，在震击器上部增加循环阀，若碎屑堆积在磨鞋以上时，可打开循环阀，在磨鞋上部形成通道进行循环。

1.3 钻可溶桥塞工艺优化

作业前采用软件模拟工具串下深及受力情况，若下放不到位或施加钻压小于5kN，应加装水力振荡器、准备金属减摩剂或使用更大尺寸的连续油管。收集施工井压裂情况、放喷溶塞情况、邻井钻塞情况等，优化施工设计。

现场必须提前配备2–5t的KCl材料，保障出现遇卡情况下，可及时配置泵注解卡。若遇到钻扫困难的井，对返出的桥塞碎屑做对应实验，判断可溶桥塞未溶物对氯离子敏感，还是对温度敏感，以制定相应措施。

采用小钻压、勤划眼的方式进行钻磨，每进尺0.3m进行上提5–10m，改变排量后再下放钻磨，以达到改变磨鞋位置，减小碎屑的目的。短起时以8–10m/min的速度在水平段起油管，起至A点附近降至4–6m/min，打入胶液，尽量携带出桥塞碎屑。合理控制油嘴，准确地统计漏失量，原则上确保出口液量大于进口液量。入井前现场检测胶液粘度，防止因粘度不达标，导致桥塞碎屑无法返出。建立金属减摩剂循环利用流程，金属减摩剂配置后经过分离器建立独立的循环使用，减摩效果更强。

2 套变井连续油管作业技术

2.1 套变井的状况

因地质、工程原因导致套变井越来越多，在川渝地区连续油管施工的典型的套变井有焦页195–5井（钻水泥塞）、威206–H2井（修套）等。套变井因井筒内通径变小，可能造成井下工具无法正常通过、或者通过后

表1　焦页XX-3HF套变连续油管钻塞记录

入井趟数	施工工序	入井工具	起钻原因	最大循环压力	最大深度	备注
1	钻塞	Φ105.0mm磨鞋	多次憋压，进尺缓慢	35.10MPa	3732.80m	-
2	钻塞	φ98.0mm磨鞋	多次憋压，进尺缓慢	34.80MPa	3735.20m	-
3	铅模打印	φ105.0mm铅模	铅模打印	29.90MPa	3736.60m	最小外径87mm
4	钻塞	Φ82.0mm磨鞋	探至第4支桥塞位置	35.00MPa	4079.80m	钻除3支
5	强磁清理	强磁1.00m×3	钻除第4支桥塞位置	32.50MPa	4082.10m	金属碎屑2.15kg
6	钻塞	Φ82.0mm磨鞋	探至人工井底	40.10MPa	4306.50m	钻除2支

工具在套变段存在遇卡风险。

2.2 套变井作业工具优化

钻桥塞和水泥塞时，主要选择小磨鞋、偏心磨鞋。修套时，选择相对应的修套铣锥、平底磨鞋。下桥塞时，选择小直径的复合桥塞或可溶桥塞，在川渝地区套变井常使用的是 ϕ85mm、95mm 等。

2.3 施工工艺方面

在疑似套变点处，累计钻磨 60min 无进尺且有频繁憋泵或上提挂卡情况，应立即起出检查工具，防止卡死。在对套变点打铅印前，必须清理干净井筒，防止杂物影响打印效果。根据铅印情况，选择相匹配尺寸的小磨鞋进行钻磨。小磨鞋钻磨时，每钻除 2–3 支桥塞，就必须起出工具，下入一趟强磁进行清理作业。套变井无法下入桥塞时，可采用喷砂射孔填砂的压裂技术（见表 1）。

3 高压气井连续油管作业技术

3.1 高压井连续油管作业设备配套

对于连续油管作业，高压井指井口压力大于 35MPa 的施工井。而针对在川渝地区井口压力大于 45MPa 的高压气井，建议使用 105MPa 的防喷系统进行施工。针对井口压力大于 52MPa 的高压气井，建议使用两组 105MPa 防喷器，并使用双联防喷盒。

3.2 高压气井施工常见问题

高压气井连续油管施工常见问题一是内防喷工具单流阀因试高压导致寿命缩短，基本每口井需更换几个。二是防喷盒胶芯在高温高压情况下，磨损较快。三是滚筒的高压旋转接头在高压情况下，易失效渗漏。四是油管在高压情况下作业，寿命加速降低。

3.3 工具、设备及工艺优化措施

工具方面，对单流阀进行改进，现场试压实验了连接两个双活瓣单流阀但是无法稳压，建议改进为三活瓣式或其他先进工艺。设备材料方面，针对高压气井的高温高压情况，对高压管线的盘根、防喷管的密封圈、防喷盒的胶芯等，勤加检查，采用耐高温的材质。特别是防喷盒胶芯保证每趟起出后都进行单独检查，有磨损就必须更换。施工工艺方面，作业过程中，保证油管的外压差不超过 35MPa；在静止循环时，保证液体的减阻性能，且排量降低至 300L/min，尽量降低油管的内压。

4 加密井连续油管钻塞工艺优化

4.1 上部气层加密井的目前状况

涪陵工区大规模推行上部气层加密井，采用了新的工艺，导致钻塞困难加大。

在钻井工艺方面，一是位垂比较大，井深 4500–5000m 其中水平段长达 2500m，垂直段 2700m。二是井眼轨迹差，为避免同平台钻井碰套的情况发生，方位角变化较大。压裂工艺方面，射孔段加密，以前每段 3–4 簇，现在每段 6–7 簇。加砂量大幅增加，以前每段 50m^3 左右，现在每段高达 120m^3。压裂过程中采用投入暂堵球进行压裂。部分井采用可溶桥塞 + 可钻式复合桥塞的方式进行分段压裂。同时，压裂后的地质条件的变化，漏失段较多，导致井口形成负压，不利于钻塞过长的返屑。存在某些段漏失，某些段出气，导致返屑效果极差。

4.2 钻塞过程中存在的问题

上部气层加密井井况给连续油管作业带来诸多问题，一是连续油管下入极其困难，过炮眼的时间较长，自锁严重，大部分井都提前自锁，在涪陵页岩气田焦页 22–2HF 井在第二支桥塞都无法钻磨过去。二是钻塞返屑困难，纯漏失的井，返屑效果极差。又吐气又漏失的井，只出气，基本不出液，碎屑返不出。三是井筒积砂明显，胶液呈果冻状，附着在井壁上，包裹着大量砂子，像磨石一样打磨磨鞋底部，导致无法正常钻塞。四是遇卡现象的改变，极易发生包裹油管、工具串的现象，表现为加压悬重不恢复、泵压不上涨，磨鞋仍正常转动。五是改变了压裂分段方式，增加钻塞难度，部分井采用可溶桥塞 + 可钻式复合桥塞的组合方式，以及暂堵球压裂的方式，导致暂堵球或可溶桥塞未溶解完全的物体包裹磨鞋及工具，无法正常钻磨。

4.3 加密低压漏失井钻塞工艺优化

4.3.1 及时掌握施工井地质情况

编写施工设计前从甲方获取该井压裂施工详细信息，编写设计时做到一井一案。一是加强对钻井的跟踪，掌握水平段漏失和返屑情况。二是加强对钻井轨迹的分析研究。三是入分析压裂情况，针对异常的破裂压力、延伸压力等相关参数进行研究。四是加强对邻井生产情况的跟踪，进行生产动态分析，大致掌握邻井压力变化情况。

4.3.2 钻塞工具优化

从钻磨的第一趟就增加水力振荡器，钻磨时给磨鞋横向的摆动，能使桥塞碎屑更细更均匀。纯漏失的井，在水力振荡器上部增加带喷嘴的旁通阀，通过调整喷嘴大小分流 150L/min 左右，可加大环空的上返流速，增加返屑量。对磨鞋进行改进：主要选择 ϕ105mm 磨鞋，把粗齿换成细齿。优选性价比高水力振荡器，通过第一趟管柱增加水力振荡器，提高钻磨效果，建立金属减摩剂循环利用流程。

4.3.3 施工工艺方面

①采用小钻压、勤划眼的方式进行钻磨，每进尺 0.3m 进行上提 5–10m，改变排量后再下放钻磨，以达到改变磨鞋位置，减小碎屑的目的；

②短起时以 8–10m/min 的速度在水平段起油管，起至 A 点附近降至 4–6m/min，打入胶液，尽量携带出桥塞碎屑；

③合理控制油嘴，准确地统计漏失量，原则上确保出口液量大于进口液量；

④入井前现场检测胶液粘度，防止因粘度不达标，导致桥塞碎屑无法返出；

⑤返屑率：在每次短起结束后，通过收集补屑器内的桥塞碎屑，计算复合材料的返屑率，（下转第 85 页）

参考文献：

[1] 杨杰，李贤良，高丽，刘必圆．基于 STM32F103 的水质监测预警系统设计 [J]. 电子测试，2019(11):30-32,13.

[2] ARM Limited.Cortex TM-M3 technical reference manual[JOL].http://www.arm.corn, 2006-01-05/2008-02-10.

[3] 李洋，闫学昆，谷铁男．基于 STM32F103 的 ADIS16405 数据采集系统设计 [J]. 电子测试，2017,9(375):5.

[4] 张兴武，赵庆志，张林华，夏汝岩，王政皓．孙小飞基于 STM32F103 的嵌入式图像采集系统 [J]. 山东理工大学学报（自然科学版），2018(5):23-26.

[5] 梁龙兵，李杨，顾玲玲，石江南．基于 STM32F103 的健身装置的设计 [J]. 电子世界，2018(8):167-169.

作者简介：

李建平（1987-），男，甘肃庆阳人，本科，主要方向：焊接工艺及自动化。

（上接第 82 页）若较低，则起出油管下入一趟强磁进行清理；

⑥在涪陵工区，金属减摩剂配置后采用一次性泵注，未建立独立循环使用。在长宁工区，金属减摩剂配置后经过分离器建立独立的循环使用，减摩效果更强。

5 常见复杂故障及处理情况

5.1 遇阻遇卡的判断

①出砂明显时，一定要通过加大排量、打胶液等方式清理干净井筒；

②短起上提时，密切关注悬重变化，在同样深度、同样排量、同样压力情况下，悬重增加超过 2t，则必须降低上提速度，打胶液，充分循环，防止磨鞋上包裹碎屑，导致卡死的情况发生。每起 300m，进行一次；

③遇卡的几种情况。硬遇卡类型主要表现为马达憋停，起泵后泵压偏高，返排出口液量变化不大。软遇卡类型主要表现为马达憋停，起泵后泵压偏高，返排出口液量明显变小。包裹工具或油管遇卡类型主要表现为马达正常工作，返排出口无液返出，但可能有气。

5.2 处理措施

5.2.1 硬遇卡处理措施

①上下活动解卡：降低油管内压力，过提不超过 15t，缓慢上提，不启动震击器；

②泵注金属减摩剂解卡：泵注金属减摩剂，并使用滑溜水或清水顶替出油管，再进行上下活动解卡；

③反泵解卡：首先清洗遇卡点上部的碎屑，泵入胶液，循环洗井 3 个井筒容积，检查捕屑器捕获碎屑的情况；然后下压悬重 3t，从环空以 350L/min 的排量进行泵注滑溜水，若地层吸水性较好，则继续泵注 1 个井筒的金属减摩剂；最后提高排量，泵压限制在 40–50MPa，采用大排量、大泵压的方式进行反泵解卡。若下压的悬重突然恢复至正常下放悬重，则停止反泵，改为正循环后，正常下放油管 20m 后，恢复正常起油管作业；

④启动震击器解卡：先下压悬重 3t，保持 2–3min，再以 12–15m/min 的速度迅速上提至悬重过提 8–10t，等待 3–5min，悬重波动明显，则震击器已启动上震击。重复启动，直至解卡成功；

⑤投球丢手：若无法正常解卡，则在保证油管内循环通道畅通的情况下，投入丢手球，进行丢手作业。

5.2.2 软遇卡处理措施

①上下活动解卡：降低油管内压力，过提不超过 15t，缓慢上提，不启动震击器。查井史，分析出砂情况，地层能量；

②开大井口返排：更换大油嘴，降低井口压力；

③井筒憋压放压：关闭返排出口，使井筒憋压至 10MPa 左右，再迅速打开返排出口泄压至 0。形成井筒内的激动压力；

④泵注金属减摩剂解卡：泵注金属减摩剂，并使用滑溜水或清水顶替出油管，缓慢上提至悬重过提 8–10t，观察悬重变化情况；

⑤反泵解卡：首先清洗遇卡点上部的碎屑，泵入胶液，循环洗井 3 个井筒容积，检查捕屑器捕获碎屑的情况；然后下压悬重 3t，从环空以 350L/min 的排量进行泵注滑溜水，若地层吸水性较好，则继续泵注 1 个井筒的金属减摩剂；最后提高排量，泵压限制在 40–50MPa，采用大排量、大泵压的方式进行反泵解卡。若下压的悬重突然恢复至正常下放悬重，则停止反泵，改为正循环后，正常下放油管 20m 后，恢复正常起油管作业。

5.2.3 包裹工具或油管遇卡处理措施

①查井史，查地质资料，分析地层漏失情况；

②反打罐液：补满遇卡点上部的井筒，再大排量大压力反打；

③氮气顶替：关井测井口压力恢复情况，使用液氮泵车持续泵注氮气，以改变包裹段的通道情况，以及增加上顶力。

6 结论

①针对川渝区块页岩气长水平段、高压、套变、加密低压漏失井等四类复杂水平井，制定了相对应连续油管作业技术措施；

②针对复杂井页岩气水平井连续油管作业易出现的遇阻遇卡复杂情况，提供了预防方案，对硬遇卡、软遇卡、包裹卡三种类型，提出了解卡处理措施。

参考文献：

[1] 吴巍．涪陵页岩气田老区调整井连续管钻塞难点及对策 [J]. 江汉石油职工大学学报，2020,33(03):44-46.

[2] 王伟佳，熊江勇，张国锋，赵铭，等．页岩气井连续管辅助压裂试气技术 [J]. 石油钻探技术，2015,43(05):88-93.

作者简介：

姜远福（1985-），男，湖北利川人，2009 年毕业于长江大学机械设计制造及自动化专业，本科，工程师，现就职于中石化江汉石油工程有限公司页岩气开采技术服务公司，主要从事试油测试工艺技术方向。