

# Research on Application Technology of L-Type Small-Bore Horizontal Well Completion in Coalbed Methane

Jianguo Xu

Sinopec Zhongyuan Petroleum Engineering Co., Ltd., Underground Special Operations Company Technology Development Center, Puyang, Henan, 457001, China

## Abstract

The L-shaped small-bore horizontal wells in coalbed methane development are gradually being promoted, but corresponding workover techniques remain relatively lacking. Targeting the characteristics of L-shaped small-bore horizontal wells in coalbed methane, this study focuses on the key operational points of downhole tools and process technologies tailored for such applications. Through field trials and research, the technical challenges in workover and fishing operations for small-bore horizontal wells were effectively addressed, resulting in a practical and efficient set of workover techniques for L-shaped small-bore horizontal wells in coalbed methane. The applied techniques have achieved favorable results in field implementation.

## Keywords

Coalbed Methane; L-shaped small wellbore; Horizontal segment length; torque

## 煤层气 L 型小井眼水平井修井工艺技术应用研究

许建国

中石化中原石油工程有限公司井下特种作业公司技术发展中心, 中国·河南 濮阳 457001

## 摘要

煤层气L型小井眼水平井在煤层气开发中逐渐推广, 相应的修井工艺技术较为缺乏。针对煤层气L型小井眼水平井的特点, 配套加工制作的井下工具和工艺技术应用操作要点, 通过现场试验应用与研究, 解决了较为棘手的小井眼水平井修井打捞中的技术难点, 形成了一套实用有效的煤层气L型小井眼水平井修井工艺技术, 该工艺技术经现场应用, 取得了较好的效果。

## 关键词

煤层气; L型小井眼; 水平段长; 扭矩

## 1 引言

在煤层气开发过程中, 考虑后期处理瓦斯气和开发煤层气区域地面和工作面实际问题, 煤层气L型水平井日益成为主要的井型, 水平井产气量随水平井长度增加而增加, 普遍按位垂比大于1.5, 水平段长度1000m~1300m, 井斜 $>90^\circ$ 设计。煤层气井在开采过程中需不断调整工作参数, 以及煤层出煤粉等情况造成抽排管柱埋卡事故。为了解决煤层气L型小井眼水平井面临修井作业的问题, 配套研究针对煤层气L型小井眼水平井的修井作业技术, 可有效的恢复同类型L型小井眼煤层气井的生产。

## 2 煤层气 L 型小井眼水平井修井技术难点

煤层气L型小井眼水平井井眼轨迹复杂、水平段长, 为保障钻遇率, 确保井眼对煤层的控制程度, 狗腿度在

$5\sim 6^\circ/30\text{m}$ ; 考虑到水平井生产实际, 其末端(B靶)位置比着陆端(A靶)高, 水平段产状呈上翘形式, 钻井施工难度加大, 钻井期间需要不断调整技术参数才能满足设计要求。煤层气井经长期排采煤层中的地下水, 使井筒的静压达到煤层气的解析压力后才能采出有经济价值的瓦斯气, 从而形成地下水头压降漏斗, 煤层气井煤粉及压裂砂更易进入井筒, 形成长井段的砂床, 造成修井作业施工摩阻大, 扭矩传递困难, 修井难度较直井难度增大。

煤层气水平井井内生产管柱受重力作用一般贴近套管底边, 生产中受监控液面的生产技术需要, 生产管柱外普遍伴有压力监测电缆, 一旦抽排管柱埋卡, 活动解卡时很容易造成电缆断脱落井, 增加解卡打捞难度。

煤层气水平井中的管柱伴随井眼轨迹的变化受力较为复杂, 特别是重力和弯曲应力很大、分力多, 受造斜段和水平段的摩擦力影响, 轴向悬重损失 $1/3\sim 2/3$ ; 扭矩损失也相当大, 造成打捞时的拉力和扭矩不易最大限度的传递到卡点, 活动解卡成功率低, 倒扣时也无法准确掌握中和点, 出现打捞落物长度难以控制, 起下打捞工具次数多。

【作者简介】许建国(1972-), 男, 中国河南濮阳人, 本科, 工程师, 从事修井作业工程研究。

由于是L型小井眼水平井,限制了修井配套钻具和工具的外径尺寸,常规井下工具强度难以满足施工要求,可靠性差。

煤层气井在长期抽排生产过程中,煤层亏空严重,采用常规套磨铣修井工艺技术需要建立循环,现实中如果要建立循环需注入大量清水,会造成后期排采期的延长,影响气产量的同时伴随水淹煤层不出气的风险。同时由于井筒漏失严重,即注入多返出少极易造成卡钻事故。

### 3 煤层气L型小井眼水平井修井技术研究

面对煤层气L型小井眼水平井修井在工艺上存在较大难题,特别针对抽排井管柱埋卡情况,采用一般的修井设备很难实现造扣、倒扣、打捞的目的,本研究建立在带有旋转系统的修井机的基础上,通过钻具配套和工具的研制达到修井的目的。

#### 3.1 $\phi 73\text{mm}$ 反扣非标钻杆的使用

为有效降低钻具摩阻、轴向载荷和扭转载荷的传递,确保起下钻顺利施工,同时配套使用能在生产套管内径 $99.56\text{mm}$ 内顺利施工的 $\phi 73\text{mm}$ 反扣非标钻杆,此类钻杆外径 $73\text{mm}$ ,上下接头外径最大 $81\text{mm}$ ,接头螺纹NC23,没有接箍,起下钻采用专用吊卡,保证钻柱在小内径、大井斜的工况下不碰挂井壁,且偏心距与井下落物一致,利于引鱼、抓捞落物和保护生产套管等优势。

#### 3.2 管状落物打捞工具的改进

修井常用管状落物打捞工具有双滑块捞矛、母锥、公锥等,而煤层气L型小井眼水平井受客观因素如井眼内径小、井眼轨迹复杂、环空摩阻大、扭矩不易传递等因素影响外,还存在井内管柱埋卡一旦采取活动解卡脱扣获倒扣分段打捞,则会造成油管 and 电缆不同步的现象,处理过程中会造成鱼顶碎电缆堆积,采用常用打捞工具成功率较低。

为了提高煤层气L型小井眼水平井管状落物的打捞效果,在工具选择和改进中必须遵循几个原则。一是打捞工具及配合接头的最大外径与预捞落物的外径基本一致或加装引鞋;二是打捞工具和井内落物的偏心距尽量小,确保工具顺利进入落物内外腔;三是尽可能的选择大水眼工具,因为在下钻过程中,在大井斜和水平段,煤粉及压裂砂会沿水眼进入钻具内,打捞后,也可起到清理井筒的作用;四是模拟落物在水平段处于平躺状态,打捞牙也处于水平状态,上提钻具打捞时工具还处于拖动状态,打捞牙很难到达打捞状态,因而尽量加大打捞工具打捞部位的外径,使其外径和落物内径基本保持同心,保工具进入落物后在很小的相对位移状态下将落物抓住、抓牢。

按照煤层气L型小井眼水平井打捞工具的改进原则,首先对打捞 $\phi 60.3\text{mm}$ 外加厚油管的双滑块捞矛进行了改进,捞矛接头选用NC23反扣型,其接头外径为 $\phi 80\text{mm}$ ,捞矛端部圆锥型引鞋改成刮刀形并在刀片端面铺焊YD硬质合金钢,以便清理鱼顶端部的碎钢丝之类的杂物,提高进鱼腔效果;根据落物内径尺寸,将滑块牙置放于打捞位置后,在其

对称面的矛杆本体铺焊加厚,加厚部分两端打磨成 $30^\circ$ 的锥面并打磨光滑,降低进鱼阻力,最终加厚部位的外径和落物内径基本一致,起到强制打捞的作用。

小井眼内打捞工具母锥、公锥上接头连接扣型为NC23反扣,由于受尺寸限制,并且打捞牙的硬度同大直径工具一致的情况下,加工难度相对较大。为了确保引鱼顺利,将母锥原来的圆扣改成拨钩式,当母锥接触平躺套管底面的油管时,通过转动钻具带动母锥拨动鱼顶,从而迫使油管进入母锥打捞腔内。公锥将原来的圆锥型引鞋头加工成马蹄状,同母锥引鱼类示,同时可以拨动鱼顶前端沉落得碎电缆之类的杂物,提高打捞效果。

#### 3.3 电缆打捞工具的研制

煤层气L型小井眼水平井内径较小,脱落井内的电缆外径较大,强度加大,采用常规的钢丝打捞外钩强度较低,在活动解卡过程中存在工具损坏造成井下事故进一步复杂的风险,为了提高电缆打捞效果,研制了两套电缆打捞工具方案。一是采用接头扣型为NC23反扣,矛杆外径为 $\phi 33\text{mm}$ ,打捞钩为 $\phi 19\text{mm}$ 实心钢杆进行加工,矛杆端部为 $45^\circ$ 圆锥形引鞋,打捞钩一组为两个,第一组距引鞋 $10\text{cm}$ ,第二组和第一组打捞钩错位 $90^\circ$ 焊接,间距 $20\text{cm}$ ,要求打捞钩和矛杆焊接部加强焊接,提高工具的抗拉和抗扭强度。二是将上接头扣型为NC23反扣的尖公锥进行改造,在公锥中上部外侧沿圆周每隔 $120^\circ$ 螺旋分布三个外钩,外钩采用 $\phi 19\text{mm}$ 实心钢杆进行加工,这种公锥外钩主要针对压实成团状的电缆,在打捞时,利用公锥的端部圆锥式引鞋在钻压和旋转扭矩下,迫使工具钻进电缆内部,通过分布的打捞钩实现打捞。

#### 3.4 井筒清理工具的研制

水平井在打捞过程中,井筒内煤粉、压裂砂、碎电缆及钢带卡子,极易堆积在套管狗腿度变化较大处,使下钻困难,甚至造成打捞工具下不到鱼顶或打捞后上提阻力大等现象,增加了施工难度和解卡风险。为保证打捞出较长落物后工具能够顺利到达鱼顶,即保证落鱼上部井段畅通,研制了小井眼井筒清理工具。一是修井常规清理井筒一般在直井井筒用的强磁打捞器是工具底端镶嵌强磁,在充分考虑煤层气水平井的特点基础上,设计研制三棱柱状强磁打捞棒,结构设计成多件可以连接加长结构,及上下接头均为NC23反扣,再三棱柱体镶嵌强磁条,增加吸附铁质物质的接触面积,在最下部一节工具下端连接锥形引鞋,从而提高水平段清理井筒的整体效果。但在实施期间一定考虑多级强磁打捞棒在井筒中抗扭强度,不要因为连接太多,造成工具折断等事故增加井下的复杂程度。二是根据循环捞筒的原理,设计了一种小井眼捞砂筒,工具采用外径 $\phi 89\text{mm}$ 无缝钢管作为筒体,上接头连接扣型采用NC23反扣,便于和钻具连接,筒体内按 $120^\circ$ 螺旋状分布栽焊弹性较高的钢丝,筒体下端加工成马蹄状,在钻具旋转状态下可以将鱼顶存留的煤粉、碎电缆等杂物卷入筒体内腔,下马蹄状引鞋上端 $5\text{cm}$ 处加工活页,

活页加装有弹簧复位装置,一旦进入筒体内腔的碎物在钻具的推动下挤入,起钻时在内部钢丝的挤压作用和活页的封堵下,可以将鱼顶上部的碎物有效的清理处并筒。

## 4 煤层气 L 型小井眼水平井修井技术应用

### 4.1 井况简介

新谢-1L井是一口煤层气L型水平井,有效水平井段长度1066m,采用 $\phi 114.3\text{mm}$ 套管完井,套管钢级P110、壁厚7.37mm、内径 $\phi 99.56\text{mm}$ ,最大井斜 $93.7^\circ$ /1143.79m(斜深),最大狗腿度 $13.708^\circ$ /1312.73m(斜深)。采用的使螺杆泵抽排方式,在生产过程中,抽油杆扭矩增大,然后无扭矩,判断为油管倒开,起出抽油杆、螺杆泵转子及部份油管,下管柱试探鱼顶深度:692.44m,落鱼为 $\phi 60.3\text{mm}$ 外加厚油管+ $\phi$ 压力计托筒+螺杆泵+气锚+丝堵,压力计传输电缆900m。

### 4.2 水平段打捞工艺实施过程

新谢-1L井出现油管脱落事故后,为了尽快将井内落物捞出,及时使用65B型轮式通井机和 $\phi 60.3\text{mm}$ 外加厚油管进行打捞处理,处理中存在管柱无法旋转倒扣,只能采用活动解卡的方式,由于受设备动力的限制,处理效果很差。根据该井的井身结构、井眼轨迹和井内落物的复杂情况综合评估后,及时更换XJ650修井机和 $\phi 73\text{mm}$ 非标钻杆进行处理。

根据新谢-1L的井身结构特点和井内落物的复杂情况,结合研究改进工具的性能、原理加强处理过程控制。由于井内有油管和电缆,分析油管下脱落下行过程中,油管和电缆已经不同步,必须采取交替打捞的技术措施,为了确保措施的有效性,现场要求对捞出油管必须根根丈量,捞出的电缆必须精细称重,判断捞出电缆的长度,根据捞出电缆的完好程度和油管捞出长度对比判断鱼顶位置和下部井筒的复杂程度,采取打捞油管和打捞电缆交替结合的方式,合理制定下步打捞方案措施避免盲目下钻,造成二次事故。

在打捞油管实施工程中,水平井中起下钻柱所产生的摩擦阻力随井斜角增加而增大,起管柱的拉力增加值(悬重增加值)可达50~60kN,而下钻遇阻显示的悬重降低值可达50~100kN,摩擦阻力的存在使井下打捞结果难以判断。为了提高打捞成功率,要求每次打捞出的落物必须认真丈量,计算出鱼顶的准确深度和位置,打捞期间,提前计算出鱼顶方入和打捞方入,数据要准确无误(方钻杆方入要精确到0.01m)。同时水平井打捞过程中还存在扭矩传递失真问题,在提前做好造扣和倒扣扭矩时,为了确保钻具扭矩全部传递到工具或落物,采用实施扭矩后及时转盘打刹车,使方钻杆静止扭矩下传,这一方法得到很好的打捞效果。

在打捞电缆过程中,由于电缆的延伸性和位置的不确定性,要求打捞电缆时必须在鱼顶上部500m处试打捞,没有显示的情况下,每下50m试捞一次,直至打捞工具到达预测鱼顶位置。打捞期间经常遇见电缆裹呆煤粉包死工具的现象,快速起钻极易造成卡钻事故。要求在起钻期间

平稳操作,司钻紧盯指重表的变化,遇卡上提负荷不要超过50kN,一旦遇卡及时采取低负荷活动解卡的方式,尽量快速下放,一旦解卡,则采用在起钻悬重的基础上增加5~10kN,启动转盘进行倒划眼,使井内落物在和套管相对摩擦下外径减小,倒划眼目测扭矩按100m倒扣1圈的极限施工,司钻时刻注意转盘扭矩和悬重变化,每当一个位置的上提增加负荷降低至起钻负荷时,司钻要及时重复上述动作,知道起钻正常为止。

由于新谢-1L小井眼水平井井身结构的特点,在实施打捞处理过程中,钻杆在井内长期强负荷大扭矩的工作,为了提高钻具的使用效果,避免钻具在大井斜和水平井段长期受损,施工中要求每趟钻必须调整钻杆的入井顺序,避免钻具折断等事故的发生。

新谢-1L井通过小井眼水平井修井工艺技术的研究应用,优选 $\phi 73\text{mm}$ 非标钻杆打捞管柱,先后下双滑块捞矛、母锥、公锥、外钩和捞砂筒共50次,通过优化技术参数和技术措施,将井内脱落卡钻的 $\phi 60.2\text{mm}$ 外加厚油管104根、压力计托筒、 $\phi 73\text{mm}$ 螺杆泵、气锚及导锥,压力计传输电缆900m全部捞出。后期通过下螺杆泵恢复排采施工正常。

## 5 结语

通过本项目的研究应用,取得了以下结论和建议。

煤层气井地层亏空严重,基本无法建立循环,为了降低对煤层的污染和伤害,施工期间必须保障入井钻具和工具的清洁,避免油性物质的带入井筒,施工期间做好放掉落物技术措施。

由于煤层气水平井井眼轨迹的不规则性,技术人员根据工艺差异对施工人员做好技术交底,避免因操作不当和失误,降低打捞效果或增加井下事故复杂情况。

随着煤层气小井眼水平井数量的增加,由于井筒出煤粉和压裂砂等造成抽排管柱埋卡事故将不断发生,小井眼水平井的修井打捞工艺的研究应用总结了较好的实操经验,但由于井况的复杂性,煤层气小井眼水平井修井工艺技术仍然需要不断的进行技术攻关研究,逐渐形成规范系列的修井工艺技术,从而满足煤层气井实际工作的需要。

煤层气受开采原理和产气性质的约束,建议在煤层气水平井钻井井型设计、排采制度制定、日常计划检泵和排采方式上进行科学论证优化,做到设计和后期修井风险相结合,尽量避免生产井的事故,提高煤层气井瓦斯气产量。

煤层气井在正常生产期间,煤层出少量煤粉和压裂砂是很普遍的,为了降低卡泵和降低堵塞井筒事情的发生,建议根据实际井况制定定期井筒捞砂制度。

## 参考文献

- [1] 王新纯,修井施工工艺技术.石油工业出版社.2002.
- [2] 杨国圣,井下作业工艺技术.中国石化出版社.2013.
- [3] 朱焕玺,L型煤层气水平井捞砂技术的研究与应用[J].中国煤层气,2020.12.