

# 高含硫气井 P2 井射孔枪解卡打捞技术

付建华

中国石油集团川庆钻探工程有限公司试修公司 四川成都 610051

通讯作者:Email:fjhua\_sc@cnpc.com.cn。

引用:付建华. 高含硫气井 P2 井射孔枪解卡打捞技术[J]. 油气井测试,2022,31(1):35-40.

Cite: FU Jianhua. Releasing and fishing technology of perforating gun in Well P2 with high sulfur gas [J]. Well Testing, 2022,31(1):35-40.

**摘要** 射孔测试联作时,因环空固相沉积和泥浆稠化易导致射孔枪卡钻。P2 井为高含硫气井,射孔枪埋卡 20 年余年,之上有公锥和断裂的震击器,且 177.8 mm 套管及油层套管变形缩径,增加了套铣打捞难度。经对该井打捞难点和风险进行评估,设计了套铣打捞工具,优化套铣打捞工艺,制定了防硫和井控技术措施。采用反扣钻具套铣倒扣打捞射孔枪技术方案,成功完成复杂落鱼解卡打捞。该井射孔枪解卡打捞技术为同类井落鱼解卡打捞提供了可借鉴经验,具有一定的适用性。

**关键词** 高含硫气井;试油;射孔枪;套铣;解卡;打捞;井控技术;防硫措施

**中图分类号**:TE358      **文献标识码**:B      **DOI**:10.19680/j.cnki.1004-4388.2022.01.006

## Releasing and fishing technology of perforating gun in Well P2 with high sulfur gas

FU Jianhua

Well Testing & Workover Company, CNPC Chuanqing Drilling Engineering Company Limited, Chengdu, Sichuan 610051, China

**Abstract:** During the combination operation of perforation and testing, the perforation gun is prone to sticking due to solid deposition in annulus and mud thickening. The perforating gun has been stuck in Well P2 with high sulfur gas for more than 20 years, and there are male cones and broken jars above the stuck position. In addition, the deformation and reduction of the 177.8 mm casing and production casing increase the difficulty of fishing mill. After evaluating the fishing difficulties and risks of the well, this paper designs the casing milling fishing tool, optimizes the process and formulates the technical measures of sulfur prevention and well control. The technical solution of left-hand thread drilling tool sleeve milling to reverse buckle fishing perforating gun is adopted to successfully complete the fishing of complex falling fish. This technology provides a reference experience for fishing in the same type of wells and has certain applicability.

**Keywords:** high sulfur gas well; oil testing; perforating gun; sleeve milling; unfreezing; fishing; well control technology; sulfur prevention measures

射孔测试联作一趟管柱完成油管传输射孔、压裂酸化和地层测试,节约了试油周期,显著提高了试油速度<sup>[1-3]</sup>,广泛应用于川渝地区深井超深井试油<sup>[4-7]</sup>。但因为各种原因,射孔测试联作经常发生卡钻和封隔器下部管柱断裂落井等井下复杂<sup>[8-9]</sup>,管柱断裂落井又可能诱发卡钻事故。解卡打捞涉及震击、倒扣、切割、磨铣或套铣等各种不同解卡方法和各种打捞工艺;井况不同,解卡打捞解卡工艺和难度也不同。近年来,川渝地区测试管柱打捞典型案例有:ST107、GS8、MX12、NC1、ST8、MX16 及 JT1 井。从这些井例的打捞情况可以看出,磨铣打捞是封隔器卡钻的有效处置工艺<sup>[10-12]</sup>;震击解卡是射孔枪卡钻高效解卡方法<sup>[13-14]</sup>;分段倒扣可以有效

打捞自由段射孔枪<sup>[15]</sup>,但是如果射孔枪被卡死倒扣失败,扭断钻具或被迫丢手打捞工具,后续处理难度非常大,可能导致打捞失败,甚至被迫侧钻或者弃井。

根据射孔测试联作管柱打捞实践,结合油管(钻杆)传输射孔基本不发生卡钻的事实,黄显辉等<sup>[16]</sup>和唐凯等<sup>[17]</sup>对射孔枪卡钻的分析认为,环空固相沉积和泥浆稠化是射孔枪卡钻的主要原因。所以,一旦射孔枪被卡死无法直接倒扣捞出射孔枪,套铣解卡是必然的手段。

但是,川渝地区鲜有套铣打捞射孔枪实践,国内也少有相关文献可借鉴。元坝气田 YB29 井采用套铣打捞工艺,成功在 241.3 mm 套管捞出 127 mm

射孔枪 64.62 m<sup>[18]</sup>。但套管与射孔枪环空间歇比较大,套铣打捞也相对容易。塔里木油田迪那 2-X 井,打捞“射孔完井一体化管柱”,在 177.8 mm 套管内采用倒扣和套铣倒扣工艺,捞出沉砂埋卡的 127 mm 射孔枪 29 m<sup>[19-20]</sup>。不过射孔枪距封隔器约 70 m,射孔枪比较居中,降低了套铣打捞难度。

P2 井天然气硫化氢含量 207.53 g/m<sup>3</sup>,射孔枪落至井底不居中,埋卡超过 20 年,射孔枪之上还有高强度公锥和断裂的震击器,177.8 mm 油层套管不满足防腐要求且存在变形缩径,套铣倒扣打捞难度非常大。针对套铣打捞难点和风险,设计套铣打捞工具,优化套铣打捞工艺,成功完成该井打捞作业,形成了射孔枪套铣解卡打捞工艺。

## 1 基本情况

P2 井是位于四川盆地川东高陡构造区双石庙构造群黄金口构造带铁山坡构造南段西翼的一口评价井,钻探目的层飞仙关组鲕滩储层。2000 年 12 月完钻,完钻井深 4 246.00 m。完井方式  $\phi 177.8$  mm 套管射孔完井。

2001 年 1 月,飞仙关(4 022.40~4 161.80 m)射孔测试联作,获日产天然气  $105.83 \times 10^4$  m<sup>3</sup>,H<sub>2</sub>S 含量 207.53 g/m<sup>3</sup>。测试结束,采用密度 1.46 g/cm<sup>3</sup> 钻井液压井,起钻发现 RTTS 封隔器之下筛管公扣根部断裂,下部油管及射孔枪落井,井下落鱼长 181.28 m。

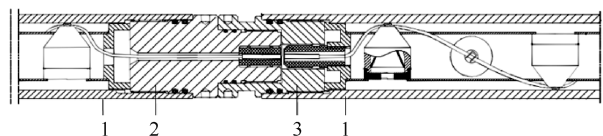
采用开窗捞筒及滑块捞筒强提、公锥强扭强提和公锥+上击器震击等工艺,先后打捞 10 次历时 30 d,捞出落鱼 103.04 m,其中射孔枪 64.3 m。最后一次公锥+ $\phi 121$  mm 上击器打捞,震击时上击器筒体断裂,新增落鱼 1.01 m,结束打捞。井下落鱼长 79.25 m,落鱼结构: $\phi 121$  mm 上击器下端 0.33 m+公锥 0.68 m+ $\phi 127$  mm 射孔枪 16.9 m+ $\phi 88.9$  mm 夹层枪 32.38 m+ $\phi 127$  mm 射孔枪 28.96 m;实探鱼顶 4 133.64 m,鱼底 4 212.89 m(管柱断裂后下落 50.08 m,距人工井底 9.12 m)。因为不具备开采条件,油层套管材质不满足防腐要求,试油结束后,注水泥塞封闭,水泥塞面 3 821.36 m,井内钻井液密度 1.50 g/cm<sup>3</sup>。

2021 年修井打捞射孔枪,重新测试飞仙关储层,为气藏开发提供重要的基础资料。打捞作业前钻开水泥塞,套管腐蚀检测发现,上部套管 2 992.00~3 000.00 m 套管一级变形损伤,井深 2 995.04 m,

套管最小内径 147.97 mm; $\phi 148.5$  mm 通井规通井,遇阻 20 kN 通过。下铅模至鱼顶 4 134.89 m 打印,铅模印痕紊乱,不能反映井下鱼顶情况。

## 2 射孔枪打捞难点分析

射孔枪主要由枪头、起爆器、传爆接头(公接头和母接头)、枪管、射孔弹、弹夹和枪尾等组成。一只公接头和一只母接头将枪管连接在一起,枪管与枪管间距小, $\phi 127$  mm 射孔枪枪管间距 80 mm(图 1)。射孔枪连接螺纹为公制梯形螺纹,上扣扭矩低;传爆接头内径小,几乎为“实心”。P2 井射孔枪  $\phi 127$  mm,枪管长 3.30 m;夹层枪  $\phi 89$  mm,枪管长 4.4 m。



1—枪管;2—公接头;3—母接头

图 1 射孔枪枪管连接示意图

Fig.1 Schematic diagram of perforation gun barrel connection

2001 年射孔枪已经卡死,井下钻井液静止超过 20 年,卡钻更严重,必须经过套铣才能解卡。井下落鱼包括大直径射孔枪、高强度公锥和震击器残体等,鱼顶情况不明,落鱼结构复杂,而且油层套管变形损伤,气井天然气高含硫,解卡打捞难度和风险非常大。

### 2.1 井控风险分析

(1)射孔枪与套管环空埋卡,井筒堵塞,井下可能圈闭天然气,可能诱发溢流。

(2)套铣打捞过程,也是解除井筒堵塞,存在井漏和溢流风险。

(3)天然气含硫高达 207.53 g/m<sup>3</sup>,是典型高含硫气井,油层套管钢材材质不满足防腐要求,而且存在不同腐蚀和损伤,一旦发生井漏或溢流,存在较大井控安全风险。

### 2.2 套铣难度分析

(1)弹聚能爆炸射孔时射孔枪管变形胀大,孔眼周围产生毛刺, $\phi 127$  mm 射孔枪胀大可达 132 mm,更减小了射孔枪与套管之间的间隙。

(2)油层套管内径 154.78 mm,而且上部套管缩径变形,限制了套铣工具外径和壁厚,套铣工具强度低,容易发生断裂落井事故,特别是螺纹连接部位<sup>[21]</sup>;一旦套铣鞋断裂落井,处理非常困难。

(3)联作管柱断裂后下落至井底,射孔枪被卡

在井底不居中,套铣不易套入落鱼,套铣作业不可避免地切削射孔枪,如果铣破射孔枪管会产生大量铁屑,不仅套铣速度慢,而且容易发生卡钻,也容易损伤套管。

### 2.3 倒扣打捞难点

(1)射孔枪管充满杂物,传爆接头鱼腔也很浅, $\phi 127$  mm射孔枪外径大,工具选择受限。

(2)枪管与枪管之间连接螺纹有3处,而且原始上扣扭矩低,存在一次仅仅捞获1只传爆接头的可能性。

(3) $\phi 127$  mm射孔枪和 $\phi 89$  mm夹层枪长分别为3.38 m和4.40 m,上下分别连接母接头和公接头,连接螺纹多,难以保证打捞效率。

## 3 打捞技术方案

射孔枪与套管环空固相沉积,射孔枪早已被卡死,采用反扣钻具套铣倒扣打捞射孔枪。

### 3.1 套铣技术

#### (1)套铣工具

在确保套铣鞋强度的条件下套铣 $\phi 127$  mm射孔枪,尽可能增大套铣鞋内径,以减少套铣切削量,提高套铣效率,特别设计整体式薄壁套铣鞋和整体式厚壁套铣鞋,材质N80及以上钢级,外径146 mm,有效套铣长度5 m左右,超过单只 $\phi 127$  mm射孔枪长度(图2)。

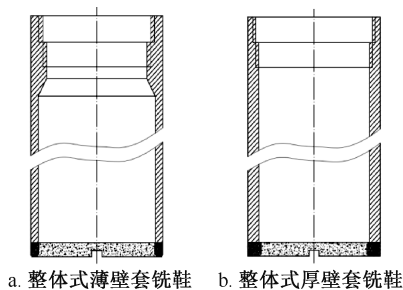


图2 整体式套铣鞋结构示意图

Fig. 2 Structural diagram of overall sleeve milling shoes

①整体式薄壁套铣鞋。本体壁厚7 mm,内径132 mm,上端接头部位加厚内径不小于128 mm,加工双极偏梯螺纹母扣,下端焊接高强度切削齿,如图2a所示。

N80材质整体式薄壁套铣鞋管体抗扭,根据公式计算而得,即

$$M_k = \frac{\delta}{\sqrt{3}} \frac{\pi D^3}{16} (1 - \alpha^4)$$

式中: $M_k$ 为管体抗扭,Nm; $\delta$ 为套铣管最小屈服强

度,Pa; $D$ 为套铣管外径,mm; $\alpha$ 为套铣管内径与外径比值。

经计算, $M_k$ 为64.62 kN·m。根据SY/T 5487-1992, $\phi 146$  mm壁厚9 mm钢级N80套铣管接头抗扭不小于16 269 N·m。可见,薄壁整体式套铣鞋抗扭满足套铣要求,合理使用不会造成套铣管本体断裂事故。整体式壁薄套铣鞋下端受力复杂,存在崩齿或撕裂风险,但风险可控。

②整体式厚壁套铣管。如果薄壁套铣鞋困难,铣头部位容易损坏,则采用整体式厚壁套铣鞋套铣。整体式厚壁套铣鞋套铣壁厚9 mm,内径128 mm,下端焊接高强度切削齿,如图2b所示。

#### (2)套铣工艺

①钻具组合。套铣 $\phi 127$  mm射孔枪: $\phi 146$  整体式套铣鞋+随钻捞杯2只+121钻铤+回压阀;套铣 $\phi 89$  mm夹层枪: $\phi 146$  套铣鞋+ $\phi 146$  套铣管(10~20 m)+随钻捞杯2只+121钻铤+回压阀。

②套铣参数控制。采用低钻压、低转速,控制套铣扭矩,防止套铣管断裂。钻压5~20 kN,转速30~50 RPM,排量12~14 L/s。套铣前实测空转扭矩,设定套铣扭矩不超过空转扭矩4~6 kN·m。套铣深度至少超过1根射孔枪长度,方可进行倒扣打捞。

### 3.2 打捞工艺

(1) $\phi 127$  mm射孔枪打捞。鱼顶套铣时受到不同程度破坏,而且鱼顶内腔浅,内捞工具容易捞空, $\phi 127$  mm射孔枪打捞以母锥打捞为主。加工特制母锥,设置打捞螺纹锥度1:32,实现同时对射孔枪传爆接头和射孔枪管造扣,力求每次打捞均能捞获射孔枪。

(2) $\phi 89$  mm夹层枪打捞。长段套铣一次套铣多只夹层枪,优先选择过鱼顶打捞工艺。采用大范围过鱼顶打捞(滑块捞筒+套铣管),穿过鱼顶在抓牢下部已套铣的夹层枪再倒扣,以提高打捞效率。

### 3.3 井控安全措施

为实现测试作业安全控制<sup>[22]</sup>,采取如下措施:

(1)修井液采用钾聚磺钻井液,密度1.47~1.52 g/cm<sup>3</sup>、pH值9.5~11.0,保持3%除硫剂;钻井液沉降稳定性良好,高温静止恒温实验7 d不沉淀,玻棒自由落下,能触底且有撞击声。

(2)储备足量的堵漏材料,一旦发现漏失,严密监测井内液面变化,并灌注钻井液维持足够的液柱压力,必要时采用堵漏钻井液堵漏。

(3)每次套铣结束,进行短程起下钻检查气侵



和溢流,确认满足安全起钻条件才正式起钻;修井打捞管柱均安装回压阀;打捞存在水眼堵塞风险时,打捞管柱安装旁通阀,防止钻具水眼堵塞,保证循环畅通。

## 4 打捞过程

采用反扣钻杆套铣倒扣打捞工艺,成功捞出震击器残体和高强度公锥,继续套铣倒扣打捞射孔,累计捞出落鱼 57.95 m,打捞至井深 4 191.69 m,满足试油测试要求,结束打捞。

### 4.1 套铣打捞公锥和震击器残体

(1)整体式薄壁套铣鞋套铣。钻具组合: $\phi 146$  mm $\times 132$  mm 整体式薄壁套铣鞋 $\times 5.04$  m+ $\phi 140$  捞杯 2 只+ $\phi 121$  钻铤 53.53 m+回压阀+ $\phi 88.9$  mm 钻杆。套铣井段 4 132.80~4 134.60 m,进尺 1.8 m,钻压 10~20 kN,转速 30~40 RPM,钻井液密度 1.51 g/cm<sup>3</sup>,排量 13 L/s,设定顶驱扭矩 12 kN $\cdot$ m(空转扭矩 8 kN $\cdot$ m),顶驱多次憋停,设定扭矩至提高 14 kN $\cdot$ m,顶驱也多次憋停。起出套铣鞋,套铣鞋底部裂口,如图 3 所示;套铣鞋内腔带出铁皮 2.5 kg,铁皮无法溯源,捞杯捞获铁屑 4 kg,如图 4 所示。



图 3 整体薄壁套铣鞋损伤情况

Fig. 3 Damage condition of overall thin-wall sleeve milling shoes



图 4 随钻捞出铁屑及铁皮

Fig. 4 Iron filings and iron sheet fished out while drilling

(2)厚壁整体式套铣鞋套铣。井底铁屑较多,鱼顶情况不够清楚,决定先用薄壁铣管带捞杯 2 只清洁井底,然后再用厚壁套铣管套铣。薄壁套铣鞋低钻压低转速大排量清洁井底 2 次,捞出铁屑 3.9 kg。

采用整体式厚壁套铣鞋( $\phi 146\times 122\times 127$  mm) $\times$  4.87 m)套铣 2 次,套铣井段 4 134.60~4 137.81 m,

进尺 3.21 m,钻压 10~20 kN,转速 30~40 RPM,排量 13 L/s,扭矩 10~12 kN $\cdot$ m。厚壁套铣管套铣 2 次捞杯捞出铁屑 7.6 kg,累计捞出铁屑及铁皮 18 kg。根据套铣管内腔痕迹判断,套铣深度超过第一根射孔枪下端,决定下入母锥打捞。

(3)打捞震击器及公锥。下入 MZ-133 $\times 105$  母锥,开泵下放至 4 133.31 m 加压 10 kN,泵压上升,探得鱼顶。上提钻具提离鱼顶,启动顶驱,转速 20 RPM 下放,扭矩 9.0 kN $\uparrow$  11.9 kN $\downarrow$  9.0 kN。起钻捞获震击器残体、公锥和一只射孔枪母接头,总长 1.14 m。捞获落鱼水眼堵塞,震击器筒体有明显套铣痕迹,射孔枪母接头本体及丝扣被切削,综合铅模印痕和捞获铁屑及铁皮分析,除震击器和公锥外,原井还有其他落鱼,这也是整体式薄壁套铣鞋损坏的主要原因。

### 4.2 套铣打捞射孔枪

(1)套铣打捞上部  $\phi 127$  mm 射孔枪。采用整体式厚壁套铣鞋套铣,钻具组合和套铣参数同前,确认套铣超过单只射孔枪长度后,再用特制母锥倒扣打捞。套铣 7 次,倒扣打捞 6 次成功 6 次,捞获  $\phi 127$  mm 射孔枪 5 根和  $\phi 89$  mm 起爆器上接头 1 只,共计 17.23 m。捞出射孔枪均被切削,部分射孔枪被铣破,如图 5 所示。井下鱼顶为  $\phi 89$  mm 起爆器,落鱼结构为  $\phi 89$  mm 夹层枪和  $\phi 127$  mm 射孔枪。



图 5 捞获射孔枪照片

Fig. 5 Picture of perforating gun after fishing out

(2)套铣打捞  $\phi 89$  mm 夹层枪。 $\phi 89$  mm 夹层枪上下被  $\phi 127$  mm 射孔枪扶正,夹层枪居中,故采用普通套铣鞋套铣,套铣钻具组合: $\phi 146$  mm $\times 122\times 128$  套铣鞋 $\times 1.5$  m+套铣管 9.93 m+捞杯 2 只+121 钻铤 53.53 m+回压阀。套铣后采用捞筒或母锥打捞。套铣 3 次,打捞 4 次成功 4 次,捞获  $\phi 89$  mm 夹层枪 7 根、1 只  $\phi 89$  mm 起爆器和 1 只  $\phi 127$  mm 射孔枪公接头,共计 32.86 m。

(3)套铣打捞下部射孔枪。继续采用整体式套

铣鞋套铣,特制母锥倒扣打捞射孔枪。套铣4次,打捞3次成功2次,捞出 $\phi 127$  mm射孔枪2根共6.72 m。井下鱼顶4 191.69 m,满足后期试油测试要求,结束打捞。全井套铣19次,打捞14次,打捞成功13次,捞出落鱼总长57.95 m。

## 5 结论

(1) P2井是一口典型高含硫气井,油层套管存在变形缩径,井下落鱼有射孔枪、公锥和震击器等,落鱼埋卡超过20年,鱼顶也不清楚,井下情况复杂。分析射孔枪套铣倒扣打捞难点和风险,针对性设计了套铣打捞工具,优化了套铣打捞工艺,制定了防硫和井控技术措施,成功完成了P2井复杂落鱼的解卡打捞。P2井射孔枪解卡打捞工艺,值得推广应用。

(2) 射孔测试联作,虽极大地提高了作业效率。但也增加封隔器下部管柱断裂和卡钻风险,射孔枪一旦卡钻处理难度和风险大,有必要进一步优化射孔测试联作工艺,预防管柱断裂及卡钻事故。

(3) 射孔枪阻卡的主要原因是环空固相沉积和泥浆稠化,震击解卡是重要的解卡方法;分段倒扣捞出自由段射孔枪也是有效的打捞工艺,但是需要优化打捞工具和打捞工艺,预留后续套铣解卡手段,并严格控制倒扣扭矩等施工参数,防止发生卡钻事故。

(4) 射孔枪套铣打捞难度大且周期长,需要进一步研究高强度高效套铣打捞工具,优化套铣打捞工艺,提高套铣打捞效率。

**致谢:**感谢中国石油集团川庆钻探工程有限公司试修公司同意该论文公开发表。

## 参考文献

- [1] 侯明明,黄刚,张晓东. 高温高压井射孔工艺技术[J]. 油气井测试,2019,28(3):14-20.  
HOU Mingming, HUANG Gang, ZHANG Xiaodong. Perforation technology for high-temperature and high-pressure wells [J]. Well Testing, 2019,28(3):14-20.
- [2] 卢齐,林轶斌,杨光炼. LT1井小井眼深井测试技术实践[J]. 钻采工艺,2020,43(6):117-120.  
LU Qi, LIN Yibin, YANG Guanglian. Practice of deep slim hole well test technique in Well LT1 [J]. Drilling & Production Technology, 2020,43(6):117-120.
- [3] 温杰文. 超深小井眼地层测试工艺技术研究及应用[J]. 钻采工艺,2019,42(6):50-53.  
WEN Jiewen. Research and application of formation test technology in ultra-deep slim holes [J]. Drilling &

- Production Technology, 2019,42(6):50-53.
- [4] 潘登,刘兴华,胡长翠,等. 射孔测试联作工艺技术在川渝高含 $H_2S$ 气井的应用[J]. 油气井测试,2007,16(1):42-43,45.  
PAN Deng, LIU Xinghua, HU Changcui, et al. Application of combined operation technology of perforation and testing in wells with high  $H_2S$  content in Sichuan and Chongqing region [J]. Well Testing, 2007,16(1):42-43,45.
- [5] 邓乐,黄船,潘登. 安岳气田高温酸性气藏完井技术[J]. 油气井测试,2019,28(1):52-59.  
DENG Le, HUANG Chuan, PAN Deng. Completion technology for high temperature sour gas reservoir in Anyue gas field [J]. Well Testing, 2019,28(1):52-59.
- [6] 邱金平,张明友,才博,等. 超深高温高压含硫化氢气藏高效试油技术新进展[J]. 钻采工艺,2018,41(2):49-50,94.  
QIU Jinping, ZHANG Mingyou, CAI Bo, et al. Efficient testing technology progress of ultra deep, high temperature and high pressure gas reservoir with hydrogen sulfide gas [J]. Drilling & Production Technology, 2018,41(2):49-50,94.
- [7] 陈光智,贺秋云,赵益秋. 高温高压高产气井测试技术在双探1井的应用[J]. 钻采工艺,2016,39(3):31-33.  
CHEN Guangzhi, HE Qiuyun, ZHAO Yiqiu. Application of HPHT and high production test technology in Shuangtan Well 1 [J]. Drilling & Production Technology, 2016,39(3):31-33.
- [8] 陈锋,陈华彬,唐凯,等. 射孔冲击载荷对作业管柱的影响及对策[J]. 天然气工业,2010,30(5):61-65.  
CHEN Feng, CHEN Huabin, TANG Kai, et al. Influence of perforating load on the operating string and the counter-measures [J]. Nature Gas Industry, 2010,30(5):61-65.
- [9] 张文斌,谢胜,卢齐. 射孔冲击载荷对射孔-酸化-测试联作管柱的影响分析[J]. 油气井测试,2016,25(6):8-11.  
ZHANG Wenbin, XIE Sheng, LU Qi. Influence analysis of perforation impact load on combined string of perforation-acidification-test [J]. Well Testing, 2016,25(6):8-11.
- [10] 赵宇光. RTTS安全接头脱手解卡技术[J]. 油气井测试,2019,28(3):21-25.  
ZHAO Yuguang. Releasing stuck technology for RTTS safety joint [J]. Well Testing, 2019,28(3):21-25.
- [11] 张孜浩,何银达,秦德友,等. 超高压气井套铣打捞THT封隔器工艺探讨[J]. 钻采工艺,2018,41(1):102-104.  
ZHANG Meihao, HE Yinda, QIN Deyou, et al. Trial on milling and fishing of THT packer in ultrahigh pressure gas wells [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2018,41(1):102-104.
- [12] 宋胜利. 普光气田永久式封隔器生产管柱打捞技术研究[J]. 石油机械,2016,44(12):87-89.  
SONG Shengli. Fishing technology of production string

- with permanent packer in Puguang gas field [J]. China Petroleum Machinery, 2016,44(12):87-89.
- [13] 廖碧朝,宋居濮,刘永宏,等. 元坝 27 井超深井管柱打捞解卡技术实践与认识[J]. 油气井测试, 2013, 22(4):65-67.
- LIAO Bichao, SONG Jupu, LIU Yonghong, et al. Practice and understanding of fishing and unfreezing technology for testing string at Yuanba 27 super deep well [J]. Well Testing, 2013,22(4):65-67.
- [14] 高旭升. 典型试油井下事故处理[J]. 油气井测试, 2015,24(6):49-51,54.
- GAO Xusheng. Typical down hole accident treatment of oil test [J]. Well Testing, 2015,24(6):49-51,54.
- [15] 付建华. 磨溪气田水平井射孔枪卡钻解卡工艺技术[J]. 油气井测试,2008,17(2):49-50,53.
- FU Jianhua. Tech of unstuck of perforated gun in horizontal well of Moxi gas field [J]. Well Testing, 2008,17(2):49-50,53.
- [16] 黄显辉,窦益华,许爱荣,等. 高温高压深井射孔卡枪原因分析及对策[J]. 石油机械, 2008, 36(9):182-184.
- HUANG Xianhui, DOU Yihua, XU Airong, et al. Reason analysis and measures of perforating gun sticking in ultra deep, high temperature and high pressure well [J]. China Petroleum Machinery, 2008,36(9):182-184.
- [17] 唐凯,陈华彬,陈锋,等. 磨溪气田水平井射孔卡枪原因分析及防范措施[J]. 石油钻采工艺,2009,31(6):110-114.
- TANG Kai, CHEN Huabin, CHEN Feng, et al. Cause analysis and precautions of horizontal well perforator sticking in Moxi gas field [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2009,31(6):110-114.
- [18] 范青. YB29 井超深井修井工艺技术[J]. 油气井测试,2017,26(4):39-40,44.
- FAN Qing. Ultra deep well workover technology of YB29 Well [J]. Well Testing, 2017,26(4):39-40,44.
- [19] 张玖浩,秦德友,党刘根,等. 高压深井射孔枪打捞工艺技术研究[J]. 钻采工艺,2020,43(5):110-112.
- ZHANG Meihao, QI Deyou, DANG Liugeng, et al. Study on the technology of perforating gun salvage for high pressure & ultra-deep well [J]. Drilling & Production Technology, 2020,43(5):110-112.
- [20] 胡素明,王好,肖香姣,等. 迪那 2 气田测射联作完井工艺评价与优化[J]. 石油钻采工艺,2017,39(2):207-211.
- HU Suming, WANG Hao, XIAO Xiangjiao, et al. Evaluation and optimization on the well completion technology of combined testing and perforating in Dina 2 gas field [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2017, 39(2):207-211.
- [21] 练章华,赵朝阳,于怀彬,等. 大直径套铣管连接处结构设计及强度分析[J]. 石油机械, 2020, 48(9):114-120.
- LIAN Zhanghua, ZHAO Zhaoyang, YU Huaibin, et al. Structural design and strength analysis of the large diameter casing milling pipe joint [J]. China Petroleum Machinery, 2020,48(9):114-120.
- [22] 于跃,黄生松,刘伟,等. 高含硫油气井测试作业安全控制技术[J]. 油气井测试,2019,28(5):21-26.
- YU Yue, HUANG Shengsong, LIU Wei, et al. Safety control technology for testing operation of high-sulphur oil and gas wells [J]. Well Testing, 2019,28(5):21-26.

编辑 刘振庆

**第一作者简介:**付建华,男,1966 年出生,高级工程师,1988 年 7 月毕业于石油大学采油专业,现主要从事试油与修井技术管理工作。电话:028-86017220,13980093679; Email: fjhua\_sc@cnpc.com.cn。通信地址:四川省成都市成华区建设北路二段 9 号,邮政编码:610051。