

油水井验管技术在石油清洁生产行业发展中的应用及效益分析

杨 锐 赵海龙 刘芮臣 (胜利油田分公司油气井下作业中心, 山东 东营 257000)

摘 要: 在油田开发开采过程中, 为了实现封堵、钻冲、套铣等措施, 需要验证施工管柱的密封性, 确保施工安全, 但是由于大套管、井漏、稠油等复杂井况的影响, 导致验管后洗不出钢球导致喷起油管, 造成环境污染, 影响清洁生产。清洁生产是兼顾经济效益和环境效益的最优生产方式, 是解决资源与环境问题最有效途径。文章在对验油管工序现状调查的基础上, 针对目前存在的不足, 研制、配套了专用的验管工具, 完善了验管作业程序, 消除了环境污染, 实现石油行业中的安全生产和清洁生产所带来的经济效益。

关键词: 验管技术; 石油清洁生产; 行业发展应用; 经济效益

在石油行业的开发开采过程中, 为了实现油藏经济效益的最大化需要实施上返、封层、堵漏或弃井治理、钻冲套铣等调整增产措施, 必须建立一趟密封可靠的施工管柱, 验管是必须的主要手段之一。目前, 用钢球验管洗出必须要求施工管柱是 $\phi 73\text{mm}$ 油管, 造成了原井 $\phi 89\text{mm}$ 油管的闲置, 增加了管材消耗及车辆收送费用, 验管管柱设计不合理, 钢球洗不出时, 井液污染操作控制条件差造成井场环境污染等问题, 对环境保护法和安全绿色生产提出严峻的挑战。因此, 需要对现有工具加工改造, 通过工艺流程的技术改造, 解决因大套管井、稠油井及漏失井验管过程中的技术难题, 提升安全生产和经济效益。

1 油水井作业验管技术现状

验管方法。一种采用下球座到设计位置后, 向油管内投球, 待钢球落入球座正憋压验证油管的密封性, 然后反洗井将钢球洗出, 再进行下部施工; 另一种是下专用验管滑套, 投小球首先验证油管密封性, 再投大球憋压将球及球座打掉进入球篮内, 进行其它施工。随着油田开发需要, 这两种施工管柱逐渐出现了不适应生产要求的缺点, 主要表现在以下几点:

1.1 漏失井验管

对于井液漏失的井, 不能很好解决漏失严重井的验管问题, 漏失严重的井验管后不能将钢球洗出, 导致起油管造成污染的发生, 并且再将油管下井后不能保证油管的密封性, 存在施工隐患。

1.2 大套管井验管

在 $\phi 244.5\text{mm}$ 以上的大套管井施工时, 反洗球时间长平均用时 300min , 洗井液用量增大平均用量 80m^3 , 施工时效低, 严重影响油水井的正常生产。

1.3 复合管柱井验管

大部分油水井生产管柱都是由 $\phi 89\text{mm}$ 和 $\phi 73\text{mm}$ 油管组成的复合管柱, 但是验管施工必须要求是 $\phi 73\text{mm}$ 油管, 造成 $\phi 89\text{mm}$ 油管的闲置浪费, 也增加了 $\phi 73\text{mm}$ 油管的使用费用。据统计 2015 年实施打水水泥塞施工 48 口井, 造成 25850m 原井 $\phi 89\text{mm}$ 油管的闲置, 即增加了相同数量的 $\phi 73\text{mm}$ 油管的用量, 增加作业成本 40.58 万元。

2 实施清洁生产是石油行业今后发展的重要举措

在验管作业工序中实施清洁生产技术, 防止任何污染的发生, 符合油田发展战略, 是现场标准化操作消除安全隐患的重要手段, 在验管作业中, 如果不采取有效地技术手段, 很容易造成起油管过程中, 油管内的液体外溢给井口操作人员带来不安全因素, 诱发安全事故, 污染环境。因此, 设计应用新的验管技术, 实现石油行业作业全过程清洁生产势在必行。

3 验管清洁生产技术的主要设计内容

3.1 工具的设计思路

设计专用的多功能验管施工装置, 利用验管球高压验证油管的密封性, 再投入剪切球低压剪断剪钉的优势, 下一趟管柱就能够完成验管、探冲砂、挤注灰、套铣、冲砂等多项工序实现验管、封堵、冲砂为一体, 缩短施工周期、达到安全施工, 清洁生产的目的。

3.2 结构设计

多功能验管装置主要有上接头、筒体、滑套、出液孔、球座、剪切钢球、剪断销钉、密封圈、挡板、验管钢球、球座、弹簧、引鞋丝堵、笔尖外筒等组成。

3.3 创新内容及各部分作用

油水井多功能验管施工装置其筒体呈圆柱状空心

结构,最上部是上接头,上接头设有连接 $\Phi 73\text{mm}$ 油管的内螺纹上接头,用于连接上部下井油管;上接头的外壁设有 $\Phi 89\text{mm}$ 外螺纹,以便与油管接箍内螺纹相连接,可连接下部油管短接或冲砂笔尖,用于连接套铣筒进行套铣或冲砂施工,解决施工难题。

装置上接头内部设有连接工具筒体的内螺纹,用于连接筒体,筒体内装有滑套,筒体底部为引鞋丝堵、弹簧、 $\Phi 26\text{mm}$ 球座, $\Phi 30\text{mm}$ 小钢球,弹簧安装在验管球座和引鞋丝堵内、支撑验管钢球,在一定压力下验管球座与验管钢球相互配合,验管钢球之上设有挡球板,洗井时阻止钢球上行,油管内正加压时,小钢球坐在球座上,阻止液体下行,用于憋起高压验管,停泵放压后,弹簧上顶钢球离开球座用于泄油,防止起喷油管;在引鞋丝堵上面钻一个旁通进液孔,下油管时液体从此孔进入油管,使油套管液体平衡,解决高压验管及进出液问题。

筒体内滑套的顶部为 $\Phi 43\text{mm}$ 球座,投入 $\Phi 45\text{mm}$ 钢球,沉球落在球座上,用于油管内低压可剪断销钉;沿滑套的上部和下部,设有 4 道装有密封圈的密封槽及 1 道剪钉槽,剪钉穿过筒体内管,滑套设有剪切槽,将滑套定位在筒体内的出液孔处,剪钉上紧后滑套外径及上下各两道密封圈正好将筒体中部的三个出液孔上下密封,保持滑套外径与筒体内径的密封,防止液体漏失,解决密封段密封问题。

筒体的外周开有三组规格相同,均匀分布的方形出液孔,利用高压验证下井管柱的密封性,油管试压时,投球低压将剪钉剪断,加压打掉的滑套落入挡球网之上,解决油管内出液和滑套防掉问题。

3.4 工作原理

将该装置下至设计深度,向油管内打压,底部钢球压缩弹簧坐入球座,密封出口,根据施工要求验油管稳压合格,然后投入剪切钢球坐入滑套,加压 5-6MPa 将滑套销钉剪断,球及滑套下行,出液孔全部露出完成验管作业。当需要填砂时,直接进行填砂施工,砂面高时,则利用 $\Phi 89\text{mm}$ 短接长于球篮的优势,可直接进行冲砂作业,避免了因丝堵与出液孔距离较长,冲砂无进尺的缺陷,需要套铣时,下部短接可直接连接套铣筒进行套铣,利用该工具可下一趟管柱完成验管、探冲砂、挤注灰、套铣、冲砂等多项工序。

3.5 创新点

- ①结构合理:利用底部球及球座高压验管,投球低压力打掉滑套,解决了因油管爆裂造成误判问题;
- ②操作简单:滑套打掉后,出液孔全部露出,可进行

- 下步施工;
- ③密封精度高:出液孔上下部位筒体和滑套设计密封精度高,避免验管过程中漏失现象的发生;
- ④适应压力范围大:根据验泵压力可调节销钉粗细,销钉易剪短,压降快,便于观察滑套剪断情况;
- ⑤可操作性强:当需要钻砂、套铣施工时,下部短接连接配套工具,即可满足施工要求。

3.6 设计参数

工具最大外径: 58mm	连接螺纹: 2 7/8" TBG	剪切球座直径: 26mm
剪切钢球直径: 30mm	工具总长: 610mm	额定工作压力: 21MPa
销钉剪断压力: 5-6MPa	进液孔: $\varphi 15\text{mm} \times 1$	出液孔 $\varphi 20\text{mm} \times 4$

3.7 工具选材及各参数理论计算

3.7.1 材质计算

壳体选用材料为 35CrMo, 查机械设计手册, 35CrMo 屈服强度为 835MPa, 壳体最薄弱的地方是延循环孔的截面, 根据强度计算公式: $A = \pi (D^2 - d^2) / 4 - b \times h \times 4 = \pi (892^2 - 652^2) / 4 - 20 \times 12 \times 4 = 2901.36 - 960 = 1941.36\text{mm}^2$

材料的许用应力: $[\sigma] = \sigma_s / n = 835 / 3 = 278\text{MPa}$

额定压力下截面受力:

$$F = P \times A = 21 \times \pi \times 652^2 / 4 = 69649.125\text{N}$$

则截面受到的拉应力为:

$$\sigma = F / A = 69649.125 / 1941.36 = 35\text{MPa} < [\sigma],$$

壳体强度达到应用要求。故堵滑套外壳在 25 兆帕压力下, 不会断裂。

3.7.2 销钉计算

由公式 1:

$$\tau = Q / A; Q = F / 2; F = PS = \pi D^2 P / 4; A = \pi d^2 / 4$$

$$\text{可得: } \tau = D^2 P / 2d^2$$

经查表得铜销钉的抗剪强度 $\tau \approx 300\text{MPa}$, 设计销钉剪切压力 5-6MPa, 计算得出销钉的直径 5.93mm-6.50mm 之间, 根据设计目的选取销钉直径 6mm。

3.7.3 循环孔过流面积计算

循环孔过流面积计算: 循环孔直径为 $\phi 20\text{mm}$, 由公式: $A = \frac{\pi}{4} d^2$ 得出 4 个循环孔的过流面积为 $A = 4 \times \pi / 4 \times 20 \times 20 = \pi / 4 \times 40^2$, 即相当于直径 $\phi 40\text{mm}$ 通径的过流面积, 是常规 $\phi 48\text{mm}$ 球座过流面积的 86.5%, 无明显的节流效应。

3.7.4 弹簧力学计算

弹簧选用材料为 60Si2Mn, 适应井温 $< 150^\circ\text{C}$, 弹簧类型为 III 型, 查机械设计手册, 材料极限切应力 $\tau_j = 786\text{MPa}$, 曲度系数 $K = 1.12$, 设计, 弹簧自由高度 $H_0 = 46.5\text{mm}$, 工作行程 $h = 32\text{mm}$, 弹簧中径 $D = 57\text{mm}$,

弹簧丝直径 $d=5\text{mm}$, 根据公式 $P_j=\pi d^3 \tau /8KD$ 计算出弹簧最大回弹力为 $604\text{N}=61.6\text{Kg}$ 。

4 验管过程清洁生产现场应用效果

4.1 冲砂挤灰现场实施

将试验合格后的工具拆开更换密封圈和销钉后, 在胜利油田分公司河口采油厂埕 118- 更 4 进行了现场应用。该井挤灰设计塞面深度是 1260m 。应用该装置后施工步骤如下: 当管住下到设计位置后, 根据施工要求验证下井管柱的密封性, 试压合格后, 投剪切钢球加压至 5MPa 将滑套销钉剪断, 封闭出液孔的滑套下行落入挡球板之上, 出液孔全部露出完成验管作业。因该井方案设计需要探冲砂露出油层后才能挤灰, 探砂面后, 利用笔尖长于引鞋丝堵的优势, 进行冲砂 30m , 洗井合格, 上提管柱至挤灰设计位置, 进行了封堵施工。成功率 100% , 取得良好应用效果, 具有较高的推广价值。

4.2 漏失井验管实施

用于井液漏失的井: 河口采油厂大北 15-XI1 井, 需要注灰上返, 由于地层漏失比较严重, 注灰按照原来验管方法, 投球验油管无法洗出钢球, 采用油水井多功能验管施工装置, 采用了高压验管, 投球低压打落滑套的方法, 解决漏失严重井的验管问题, 注灰施工一次成功。

4.3 大套管井验管实施

呈古 13 井, 该井为 $\phi 244.5\text{mm}$ 的大套管井, 施工目的永久性弃井封井, 井深 2300m , 施工时, 按原来的投球洗井方法, 反洗球时间需用 280min , 洗井液用量用量 111m^3 , 为了节省洗井时间和洗井液用量, 采用多功能验管施工装置, 将该工具下在油管的最下部, 下至设计深度后, 根据施工设计要求加压 20MPa , 油管试压合格后, 投剪切钢球加压至 6MPa 将滑套销钉剪断, 滑套下行, 出液孔全部露出, 完成验管作业。

4.4 复合管柱井验管实施

大北油田大 24- 斜 29 井, 井内复合管柱, 设计要求塞面深度是 2950m , 井内管柱管柱 $\phi 73\text{mm}$ 油管 $1200\text{m}+\phi 73\text{mm}$ 加大油管 $1000\text{m}+\phi 89\text{mm}$ 油管 750m 至井口, 如采用投 $\phi 50\text{mm}$ 钢球验油管, 反洗井无法将钢球洗出, 应用多功能验管施工装置后施工步骤如下: ①下入打水泥管柱: 多功能验管施工装置 $+\phi 73\text{mm}$ 油管 $+\phi 73\text{mm}$ 加大油管 $+\phi 89\text{mm}$ 油管至井口; ②油管内加压验管, 水泥泵车打压 18MPa , 稳压 30min 压力不降, 验管合格; ③水泥车泄压, 油管投 $\phi 45\text{mm}$ 钢球, 水泥泵车打压至 5MPa , 压力突降, 滑

套打掉, 3 个出液孔全部露出, 循环孔在油套内建立循环; ④继续完成注水泥塞施工。

该井顺利完成注水泥塞施工, 比过去施工节省时间 120min , 达到了施工目的。据统计 2023 年, 胜利油田分公司河口采油厂实施废弃井封井治理 48 口井, 应用 25850m 原井 $\phi 89\text{mm}$ 油管, 节约作业成本 40.58 万元。

5 效益分析

5.1 经济效益

①一趟管柱完成验管、封堵、挤注灰、套铣等多项工序。每口井按节省 2 趟工序计算, 每趟工序中石化定额 1.5 万元, $2 \times 1.5=3$ (万元); ②每口井减少两趟工序按占井时间 24 小时, 按日产油 $5.0\text{m}^3/\text{d}$, 吨油利润 3500 元计) 则: $5.0 \times (24/24) \times 3500=1.75$ (万元); ③节约车辆费 (2 台 400 型水泥车, 4 台罐车), 水泥车 2037 元 / 台班, 罐车 1188 元 / 台班, 平均每口井缩短 4 小时计算则: $(2037 \times 2+1188 \times 4) / 8 \times 4 = (4074+4752) / 8 \times 4=0.4413$ (万元); 平均单井利润 $3+1.75+0.4413=5.19$ (万元); ④对封堵井成功应用 48 口井, 应用原井 $\phi 89\text{mm}$ 油管施工 25850 多米, 节约管材使用费及运费 40.58 (万元); ⑤每套工具加工费用 3000 元, 加工 60 套, 投入资金 $3000 \times 60=18$ (万元)。工具加工费用, 按 3 口井摊销: $3000 \text{元} / 3=0.1$ (万元)。每年按作业 180 口计算, 加工投入费用 $180 \times 0.1=18$ (万元)。经济效益合计: $5.19 \times 60+40.58-18=333.98$ (万元)。

5.2 社会效益

①减少作业工序, 降低作业成本, 提高作业时效; ②降低职工劳动强度, 缩短占井周期, 提高劳动生产率; ③该工具制作简单、操作方便、安全可靠; ④提高了生产管柱的利用率及深井管柱施工的安全系数; ⑤该工具可重复使用, 具有广阔的发展前景, 较高实用性和推广性。

6 结论

油、水井验管清洁生产技术的实施, 满足了石油行业绿色低碳发展和安全发展的要求, 实现了石油行业从末端治理向全过程预防为主的根本性转变。大大改善了施工条件, 提高了作业时效, 经济效益和社会效益显著, 为油田推行现场标准化操作和清洁生产提供了基础支撑。

参考文献:

- [1] 韩永亮, 刘志斌, 程志远. 水平井分段压裂滑套的研制与应用 [J]. 石油机械, 2011, 39(2): 64-65.
- [2] 朱正国. 井下作业清洁生产 [J]. 数字化工, 2005(3): 35-37.