

可溶反向桥塞的研制及应用

岳志强

西安方元能源工程有限责任公司 陕西 西安 710201

摘要: 桥塞暂堵免带压下钻工艺是针对油气井压裂排液后下生产管柱的一种技术手段, 主要用于下入暂堵桥塞+常规下入生产油管的作业方式。本文介绍的是一种可溶反向桥塞, 主要用于解决桥塞暂堵免带压下钻施工阶段, 通过下入可溶反向桥塞坐封封堵井下高压来进行常压下生产管柱, 最后泵开可溶反向桥塞的底阀实现投产。本文从可溶反向桥塞的工作原理、技术参数、主体设计、地面评价、现场应用等情况进行了全面介绍。

关键词: 可溶反向桥塞; 暂堵; 免带压

引言

小井眼完井压裂技术^[1]是降低油气田开发成本、提高经济效益的重要手段。目前, 长庆气田水平井主要采用固井桥塞分压工艺, 小井眼定/直井以可溶桥塞压裂为主, 以上工艺均需要压后下入生产油管。而目前下生产油管常规做法是采用带压设备, 由于带压设备数量有限, 无法满足油管下入需求, 需探索新的高效的油管下入方式。

针对长庆油田气井直定井桥塞分段压裂施工完成后快速完井投产的需求, 开发了桥塞暂堵免带压下钻工艺。根据功能和使用条件, 暂堵桥塞分为可取和可溶两种, 由于可取式桥塞后期打捞可靠性较差, 综合考虑后优选可溶桥塞^[2]。该工艺采用带压作业, 通过电缆传输下入可溶反向桥塞暂堵井下高压, 然后井口常压下入生产管柱, 再泵开可溶反向桥塞底阀, 作业完成后桥塞在井筒环境内逐渐溶解, 保持井筒全通畅, 解决了带压作业装备受限、作业成本高的问题, 有效缩短排液投产周期。

1 可溶反向桥塞的原理及技术参数

1.1 工作原理

可溶反向桥塞是用于桥塞暂堵免带压下钻工艺的暂堵工具, 由电缆输送到预定封堵位置, 通过坐封工具产生的压力作用于工具推筒, 推筒下压桥塞推环、上卡瓦、上锥体、外护碗、内护碗等部件沿芯轴下行, 工具适配器相对推筒上拉芯轴, 芯轴带动尾座、下卡瓦、下锥体、外护碗、内护碗向上移动, 同时挤压胶筒密封井筒, 当压力达到一定值, 卡瓦箍环破裂, 同时, 卡瓦沿锥体导槽滑动支撑到套管内壁上起到锚定的作用, 压力继续上升, 在达到桥塞额定坐封力时, 芯轴与工具适配器之间释放环被拉断, 桥塞与工具脱离, 坐封完毕。在验证桥塞封堵正常后, 常压下入生产管柱; 再通过井口加压方式泵开桥塞底阀, 最后实现完井投产。^[3]

1.2 技术参数

- (1) 适用温度: 温度参数可在40℃--120℃范围内, 依据井况需求制造。
- (2) 坐封力: $\leq 120\text{KN}$
- (3) 最大外径: $\Phi 88\text{MM}$
- (4) 最小内径: $\Phi 35\text{MM}$
- (5) 适用套管: 钢级P110, 外径114.3mm; 内径 $\Phi 97.18\text{mm}$ 、 $\Phi 99.56\text{mm}$ 。
- (6) 耐压差、溶解参数:
 - ① 以下指标外在环境均是在井下套管中, 并在井内液体条件下。
 - ② 在反向压差50MPa、液体介质氯离子浓度30000mg/L条件下, 有效密封时间 ≥ 5 天。
 - ③ 底阀剪切压力: 0-30MPa, 在完成常压下生产管柱工序后, 井口加压10-30MPa打开底阀, 建立通道。
 - ④ 在液体介质氯离子浓度为30000mg/L, 经过90天的溶解后, 可溶反向桥塞溶解残留物质量 $\leq 5\%$ 。

2 可溶反向桥塞的设计

2.1 结构设计 (见图1)

可溶反向桥塞主体的结构由丢手机构、密封机构、锚定机构、解堵机构组成。

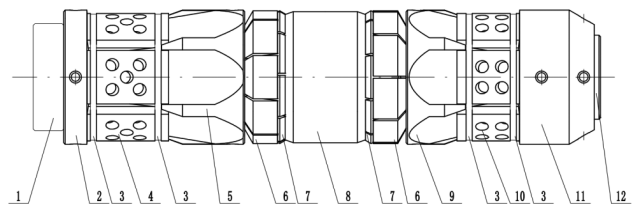


图1 可溶反向桥塞结构示意图

- 1-芯轴 2-推环 3-箍环 4-上卡瓦 5-上锥体 6-外护碗 7-内护碗
8-胶筒 9-下锥体 10-下卡瓦 11-尾座 12-底阀

(1) 丢手机构

丢手机构采用释放环丢手方式, 保证丢手力的一致

性；尾座的设计是在保证与芯轴丝扣强度满足桥塞坐封力要求的前提下，尽量短小。丢手机构主要由芯轴、推环、尾座组成。

(2) 密封机构

密封机构优选可溶桥塞成熟的单胶筒密封结构，内、外护碗相结合有效避免胶筒外翻，确保桥塞的密封可靠性。主要由芯轴、胶筒、内护碗、外护碗组成。

(3) 锚定机构

锚定机构采用采用双卡瓦结构，齿向相反，实现双向锚定，保证桥塞在压力变化下亦可锚定牢靠；卡瓦为分体式卡瓦，与锥体之间设有独立轨道，确保卡瓦在坐封过程中均匀分布到套管内壁，互不干涉；通过箍环将卡瓦固定在芯轴外圆上，确保在下井过程中卡瓦不会发生破裂，造成桥塞中途坐封。锚定机构主要由上卡瓦、下卡瓦、上锥体、下锥体组成。

(4) 解堵机构

解堵机构是桥塞后期能否正常打开内部通道的关键结构，在桥塞底部设计解堵机构，通过正向加压达到设计剪切力时，泵开底阀，实现井筒上下贯通。底阀剪切力设计为区间压力，现场结合井口压力、地层压力及液面高度数据，同时参照井口装置耐压等级现场设计底阀剪切力，确保在井口安全压力下打开通道。解封机构主要由底阀、尾座、剪切销组成。

2.2 关键部件参数设计

(1) 胶筒

表1 胶筒技术参数表

材质	耐温	耐压	有效密封时间	溶解时间
氟胶	100℃	50Mpa	在100℃、3%KCL介质的条件下，有效密封时间 ≥ 5d	在3%KCL介质的条件下，90天后，溶解残留物质量 ≤ 5%

胶筒作为密封机构的主要部件，对可溶桥塞的密封效果起决定作用，其密封原理为：在可溶桥塞坐封过程中，胶筒受到坐封工具对它产生的轴向载荷作用，在轴向力作用下胶筒变形可分为2个阶段：

自由变形阶段：胶筒在接触到套管内壁之前，胶筒在较小的轴向力作用下产生压缩，胶筒内壁和外壁同时向外扩张，胶筒与芯轴之间形成弓形空间；

约束变形阶段：胶筒外壁接触到套管内壁后，胶筒继续压缩，其径向变形受到限制，在轴向力的作用下，弓形空间逐渐变小，直到消失，胶筒处于完全压实状态。

内、外护碗在密封机构里主要作用是防止胶筒在高压作用下翻边，影响胶筒密封效果。

胶筒压缩力的大小是桥塞密封、锚定、丢手的基

础。准确测量胶筒的压缩力和压缩量是桥塞后续工作必要的基础；胶筒压缩力的测定需要通过胶筒压缩极限试验来获取数据。

准确测试胶筒在载荷不断加大的过程中，压力与压缩量之间的关系是可溶反向桥塞坐封力设计的重要依据。

通过可溶反向桥塞胶筒压缩试验装置进行多次模拟压缩试验，取得相关模拟数据，

胶筒试验数据见表2：

表2 胶筒压缩试验数据表

序号	压力	压缩量
1	20KN	10mm
2	40KN	18mm
3	60KN	24mm
4	80KN	28mm
5	100KN	30mm
6	110KN	30mm
7	120KN	30mm

根据实验结果和数据，确定胶筒在压缩量几乎不变的情况下胶筒压缩力为100KN；根据压缩量和压缩力，进一步确认设计的行程和芯轴释放环拉断力。

(2) 芯轴释放环拉断力

芯轴的释放环拉断力，即桥塞的坐封力。按照桥塞的工作原理，坐封力必须要大于胶筒完全压缩的力量，以保证密封机构的可靠性，同时给予锚定机构一定的预紧力。而胶筒完全压缩的力量由胶筒试验可知为100KN，考虑到中间的力量损失，增加20%的安全系数，最终确定释放环拉断力为120 ± 5KN。

(3) 底阀剪切力

解堵机构是可溶反向桥塞前期未溶解状态下，建立采气通道的关键装置，整体性能指标要符合以下设计要求：

参照常规气井井口装置压力等级35MPa，井口加压泵开底阀压力设计值为10-30MPa，因此设计桥塞底阀剪切力为：单颗剪切销剪切力3.8 ± 0.1MPa，剪切销8个。

3 可溶反向桥塞试验及应用

3.1 地面试验

(1) 使用坐封工具将4½”可溶反向桥塞坐封于水平放置4½”套管内；

(2) 模拟井下工作环境，将坐封有4½”可溶反向桥塞的套管在温度90℃、浓度3%的氯化钾溶液中连续浸泡5天，每天对桥塞进行一次50MPa/30min反向密封性能检测；

(3) 密封性能检测完成后，对4½”可溶反向桥塞正向加压，进行底阀解封性能检测。

试验数据见表3:

表3 地面座封和耐压试验数据表

套管短节规格	4½" 114.3mm*7.72mm (外径X壁厚, 钢级P110)。
坐封力	11.7t
反向试压	90℃, 3%氯化钾浸泡24h, 50MPa/30min, 无渗漏
	90℃, 3%氯化钾浸泡48h, 50MPa/30min, 无渗漏
	90℃, 3%氯化钾浸泡72h, 50MPa/30min, 无渗漏
	90℃, 3%氯化钾浸泡96h, 50MPa/30min, 无渗漏
	90℃, 3%氯化钾浸泡120h, 50MPa/30min, 无渗漏
底阀解封压力	5个销钉/19.2MPa
球座位移	未发生下移
结果评定	可溶球座地面反向压力检测合格, 达到技术要求

3.2 现场应用

可溶反向桥塞去年在长庆区块应用3口井, 施工井口压力最高12MPa, 底阀泵开压力均在20MPa左右, 施工正常。与带压入生产管柱相比, 能降低施工难度, 同等条件下单井下钻耗时大幅减少, 提高了现场施工效率和完井投产效率。现场应用统计见表4。

表4 可溶反向桥塞现场施工数据统计表

井号	井口压力 (MPa)	坐封深度(m)	底阀剪切值(MPa)	底阀泵开压力(MPa)	坐封后井口现象
陕*-01-12井	10	2896	19	20	放喷3-4h后, 压力降为0。
苏*-28-78井	0	3756	19	20	压力为0。
陕*-01-48井	12	2998	19	22	出液3-4h后, 压力降为0。

4 结束语

(1) 可溶反向桥塞结构设计合理, 技术可行, 由丢手机构、密封机构、锚定机构、解堵机构组成, 四大机构相互配合, 实现了可溶反向桥塞的密封可靠性、锚定稳固性、解封可控性。^[4]

(2) 通过地面模拟性能测试及现场试验应用, 验证了新开发的4½"可溶反向桥塞综合使用性能可满足现场使用要求。

(3) 采用“桥塞暂堵免带压下钻工艺技术”可实现井下免带压下采气管柱, 作为气井完井工艺的有力补充, 目前已具备进一步现场推广应用的条件。

参考文献

- [1]李宪文,王历历,王文雄,肖元相,陈宝春,张燕明,周长静,马占国,石华强.基于小井眼完井的压裂关键技术创新与高效开发实践——以苏里格气田致密气藏为例[J].天然气工业,2022(9)
- [2]刘辉,严俊涛,张诗通,等.可溶性桥塞技术应用现状与发展趋势[J].石油矿场机械,2018,47(5)
- [3]喻成刚,刘辉,李明,等.页岩气压裂用可溶性桥塞研制及性能评价[J].钻采工艺,2019,42(1)
- [4]朱正喜.压裂用可溶桥塞关键技术分析[J].石油矿场机械,2019,48(3)