

可溶球座的研制

岳志强 马波

西安方元能源工程有限责任公司 陕西 西安 710201

摘要:可溶桥塞分段压裂技术是目前长庆油田进行多层油藏开发使用的主体储层改造技术,为了满足可溶桥塞分段压裂工艺的技术要求,研制了可溶球座。本文从可溶球座的工作原理、技术参数、结构设计、地面试验、现场应用等情况进行了全面介绍。

关键词:分段压裂技术;可溶桥塞;可溶球座;封堵

引言

随着石油勘探开发的不断深入,低渗透、低孔隙度等非常规油气藏不断增多,常规直井已经无法满足开发要求,水平井逐渐成为提高油田勘探开发综合效益的必要手段。

长庆油田大多区块都是低渗透油气井,需要进行多层油藏的改造,为了准确地评价、开发储层,普遍采用逐层作业的工艺手段,分段压裂技术是进行储层改造,有效提高单井产量的首选手段。目前常用的多层压裂技术主要有连续油管喷砂射孔环空加砂压裂技术和可溶桥塞分段压裂技术^[1]等。

可溶桥塞分段压裂技术是目前长庆油田进行多层油藏开发使用的主体储层改造技术,该技术具有不受分段压裂层数限制、工具管柱简单、解除封堵快捷、桥塞溶解后保证井筒畅通便于后续工艺管柱的下入等优点。

现阶段,为了丰富公司桥塞产品的种类,拓展在可溶桥塞分段压裂技术上的产品业务,研发可溶球座对于公司在桥射产业板块的发展有着十分重要的意义。

1 可溶球座的工作原理

可溶球座是一款大孔径全金属可溶球座,具有结构紧凑、无胶筒、高延展可溶合金密封系统,可实现层段间的有效封隔,与其它类型的可溶桥塞相比有直径小、长度短、通径大、可防中途坐封等特点,适用于直井、斜井、水平井、侧钻井,油井或气井分段改造^[2]。

可溶球座是用于可溶桥塞分段压裂工艺的暂堵工具,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,推筒下压球座楔体下行,工具适配器相对推筒上拉球座拉杆,拉杆带动释放环、尾座、卡瓦、垫环、密封环向上移动,当压力达到一定值,卡瓦箍绳断裂,同时,卡瓦沿楔体滑动支撑到套管内壁上起到锚定的作用,密封环扩张到套管内壁实现密封,工具压力继续上升,在达到球座额定坐封力时,拉杆与工具适配

器之间释放环被拉断,球座与工具脱离,坐封完成。

2 可溶球座的研制

目前,国内可溶桥塞分段压裂技术所采用的可溶桥塞^[3]主要有两大类:可溶桥塞和可溶球座;其中可溶球座按照卡瓦的结构分为分体式卡瓦可溶球座、一体式卡瓦可溶球座两大类。

本文所述可溶球座在整体结构将以上述两类可溶球座的整体结构为基础模型,结合各种可溶球座结构上的优缺点,进一步进行优化设计,通过对优化后的整体结构进行试验验证,最终完成可溶球座的结构定型。

2.1 可溶球座结构设计

建立整体结构的基础模型,主要由丢手机构、密封机构、锚定机构三大机构组成。丢手机构采用上述可溶球座通用的释放环式结构;密封机构采用垫环+密封环的结构;锚定机构采用分体式卡瓦+陶瓷钉的结构^[4]。(整体结构图见图1)

丢手机构:主要由拉杆、锥帽、楔体、尾座、释放环组成;

密封机构:主要由垫环、密封环、楔体组成;

锚定机构:主要由楔体、卡瓦组成;

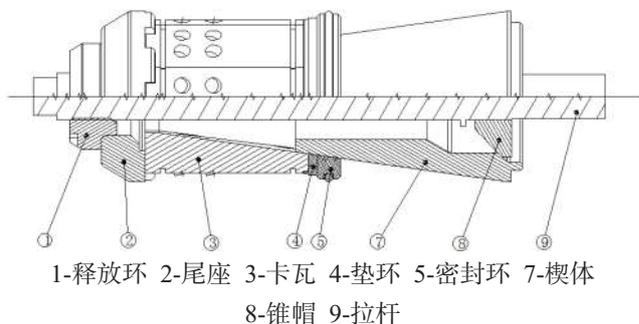
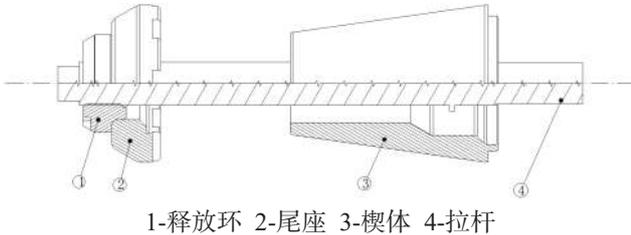


图1 可溶球座整体结构示意图

2.1.1 丢手机构

丢手机构优选剪切力易于控制、误差小,一致性好的剪切环丢手方式,确保可溶球座坐封的一次成功率;

尾座与释放环采用分体式设计，在研发及后期投产后若需调整球座坐封力时，避免尾座整体作废，只需重新加工释放环，将损失降至最低。（如图2所示）

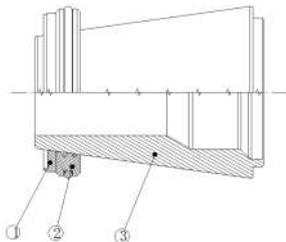


1-释放环 2-尾座 3-楔体 4-拉杆

图2 丢手机构示意图

2.1.2 密封机构

密封机构采用垫环+密封环的结构，保证密封环在坐封过程中通过垫环与卡瓦之间过渡，避免卡瓦在坐封过程中直接推动密封环，使其受力不均，导致变形影响密封效果。（如图3所示）



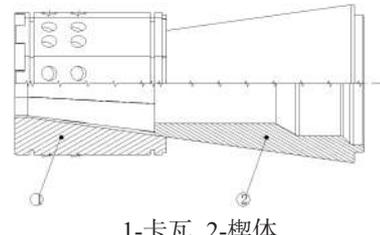
1-垫环 2-密封环 3-楔体

图3 密封机构示意图

2.1.3 锚定机构

锚定机构采用分体式卡瓦结构，为保证卡瓦在坐封过程中能够均匀分布到套管内壁，每片卡瓦与尾座之间

都有独立的斜面轨道，互不干涉；通过两道芳纶线和垫环将分体式卡瓦箍紧，确保卡瓦在下井过程中不会发生破裂，导致可溶球座中途坐封。（如图4所示）



1-卡瓦 2-楔体

图4 锚定机构示意图

2.1.4 可溶球座结构特点

（1）丢手方式采用剪切环拉断方式，释放环材质可优选性能稳定的可溶材料作为其原材料，可进行批量加工，保证了释放环剪切力的一致性也就保证了桥塞坐封力的一致性，从而提高了可溶球座坐封的一次成功率。

（2）密封机构采用垫环与密封环结合的结构，垫环同时具备了防卡瓦中途坐封和保护密封环的双重功能，确保了桥塞的密封可靠性。（3）锚定机构采用分体式卡瓦结构，卡瓦结构采用卡瓦基座与卡瓦钉结合的结构，保证了可溶桥塞在压力变化下能够锚定牢靠的同时将卡瓦对套管的损伤降低到最小。（4）可溶球座整体除卡瓦钉为陶瓷外，其余所有部件材质均为可溶材料，在可溶球座完全溶解后，井筒内仅剩破碎的卡瓦钉，不需再进行钻磨工序，既节约了钻塞的费用，又避免钻塞过程中的安全风险和井控风险，大大的缩短了压裂工艺的施工周期^[5]。

2.2 设计技术参数

表1 可溶球座设计参数表

套管尺寸	套管内径	球座外径	球座内径	长度	耐压	耐温	丢手力	溶解时间
in. (mm)	mm	mm	mm	mm	MPa	°C	t	d
5½ (139.7)	121.36~124.26	≤ 110	≥ 55	≤ 285	70	40-80	≤ 23	≤ 7
4½ (114.3)	97.18~99.56	≤ 90	≥ 40	≤ 255	70	80-120	≤ 16	≤ 5

3 可溶球座室内试验评价

针对可溶球座整体结构的密封性能及可溶性能，开展了可溶球座地面模拟坐封、密封及可溶性试验，该试验数据将为4½~可溶球座整体结构及各部件的材料定型提供参考。

3.1 评价工艺原理

（1）模拟水平井，使用液压坐封工具将可溶球座坐封于水平放置套管内；

（2）模拟水平井，将坐封有4½~可溶球座的套管浸泡在90°C恒温水槽内（清水）6h，随后对可溶球座正向实施70MPa/120min密封性能检测；

（3）模拟水平井，将完成密封性能测试的4½~可溶球座放置于90°C恒温水槽内（清水），进行溶解性能测试，每24小时观察一次；

3.2 室内试验数据

表2 4½~可溶球座密封评价记录表

套管短节规格	4½~114.3mm*7.37mm（外径X壁厚，钢级P110）。
90°C，清水正向试压情况	70MPa/120min，无渗漏
球座位移	未发生下移
结果评定	可溶球座地面正向压力检测合格，达到技术要求

表3 4½"可溶球座溶解评价记录表

序号	试验条件	试验时间, h	试验现象
1	90℃清水	0	每24h观察一次, 原始可溶球座本体重量1.23Kg。
2		24	溶解产物为黑灰色粉末, 可溶球座剩余重量0.80Kg。
3		48	溶解产物为黑灰色粉末, 可溶球座剩余重量0.37Kg。
4		72	溶解产物为黑灰色粉末, 可溶球座剩余重量0.06Kg。
5		83	溶解产物为黑灰色粉末, 可溶球座剩余重量0Kg, 完全溶解。
结果评定			1、可溶球座整体溶解试验, 累计83h(4天)完全溶解, 剩余陶瓷钉。 2、可溶球座溶解时间符合设计要求。

3.3 评价结果

(1) 4½"可溶球座样机放置于恒温水槽(90℃, 清水)内, 通过井下工具高压试验系统完成正向密封性能检测: 正向打压至70MPa, 稳压120min, 无渗漏, 球座未发生下移, 其性能符合设计的技术标准和要求, 达到现场施工条件。

(2) 4½"可溶球座样机放置于恒温水槽(90℃, 清

水)内, 完成溶解性能检测: 浸泡83h(4天)后, 可溶球座完全溶解, 剩余陶瓷钉。

4 可溶球座现场应用

可溶球座在长庆油田区块进行桥射联作施工时, 共计在4口井82层施工中进行了可溶球座现场试验评价。现场球座坐封正常、压裂正常。现场应用统计见表4。

表4 可溶球座现场施工数据统计表

井号	施工层数	压裂成功层数	球座坐封成功率(%)	有效封隔率(%)
固平***井	13	13	100	100
合***-1井	31	31	100	100
合***-2井	23	23	100	100
合***-6井	15	15	100	100
合计	82	82	100	100

5 结论

(1) 可溶球座结构设计合理, 技术可行, 由丢手机构、密封机构、锚定机构组成, 三大机构相互配合, 实

现了可溶桥塞的密封可靠性、锚定稳固性。

(2) 通过多次地面试验及现场井下试验验证, 可溶球座各项技术指标均达到设计要求, 详见表5。

表5 FYYQ-KQ型可溶球座技术参数表

4½"可溶球座		5½"可溶球座	
适用套管内径, mm	97.18~99.56	适用套管内径, mm	121.36~124.26
总长, mm	255	总长, mm	285
外径, mm	88	外径, mm	φ109
最大通径, mm	40	最大通径, mm	φ55
坐封力, T	12±0.5	坐封力, T	23±0.5
适用温度, °C	80-120	适用温度, °C	40-80
耐压, MPa	70	耐压, MPa	70
溶解时间, d	4	溶解时间, d	4
可溶球直径, mm	60	可溶球直径, mm	65

参考文献

[1]郭金海, 齐彬轩, 高沛, 等. 论低渗油田开发中水平井分段压裂技术的运用[J]. 中文科技期刊数据库(全文版) 工程技术, 2023, (06):36-37.

[2]付豪, 税丰收. 低渗油田开发中水平井分段压裂技术的运用[J]. 云南化工, 2017, 044(012):63-64.

[3]马可聪, 王江. 浅述低渗油田开发中水平井分段压裂技术的运用[J]. 环球市场, 2019, (11):104-105.

[4]王海东, 王琦, 李然, 等. 可溶桥塞与簇射孔联作技术在页岩气水平井的应用[J]. 钻采工艺, 2019, 42(5):29-30.

[5]郝地龙, 何霞, 王国荣, et al. 可溶桥塞整体式卡瓦结构优化设计[J]. 石油钻探技术, 2019, 47(1):7.