

◀ 钻井完井 ▶

doi:10.11911/syztjs.2019017

可解挂双向锚定悬挂封隔器关键技术

梁文龙¹, 薛占峰^{2,3}, 马兰荣^{2,3}

(1. 中国石化华北油气分公司, 河南郑州 450006; 2. 中国石化石油工程技术研究院, 北京 100101; 3. 页岩油气富集机理与有效开发国家重点实验室, 北京 100101)

摘要: 针对常规双向锚定封隔器存在的提前坐挂坐封、密封失效和坐封后无法解挂等问题, 研制了集成重载锚定、高压密封、防提前坐封和解挂等多种功能的可解挂双向锚定悬挂封隔器, 开展了高承载技术、高压密封技术、防提前坐封技术和解挂技术等关键技术研究, 并采用有限元方法分析了整体式卡瓦张开后的应力应变情况。性能测试结果表明, 各功能单元的性能参数均达到了设计要求。可解挂双向锚定悬挂封隔器在 20 多口井进行了现场应用, 坐挂坐封均成功, 解决了常规双向锚定封隔器存在的问题。可解挂双向锚定悬挂封隔器的成功研制, 为多种完井工艺的顺利实施提供了一种可靠的锚定封隔工具。

关键词: 封隔器; 双向锚定; 分段压裂; 可解挂

中图分类号: TE925

文献标志码: A

文章编号: 1001-0890(2019)04-0059-05

Key Technologies for a Detachable Bi-Directional Anchoring Suspension Packer

LIANG Wenlong¹, XUE Zhanfeng^{2,3}, MA Lanrong^{2,3}

(1. Sinopec Huabei Oil and Gas Company, Zhengzhou, Henan, 450006, China; 2. Sinopec Research Institute of Petroleum Engineering, Beijing, 100101, China; 3. State Key Laboratory of Shale Oil and Gas Enrichment Mechanisms and Effective Development, Beijing, 100101, China)

Abstract: Due to the fact that the conventional bi-directional anchoring packer has problems, which include pre-setting/suspending, sealing failure, and failed detachment after packer setting, the detachable bi-directional anchoring suspension packer that has multi-functionality, including heavy-load anchoring, high-pressure sealing, prevention of pre-setting and detachment was developed. The technical research was conducted on high load-bearing technology. In addition, they studied high pressure sealing technology, and the prevention of pre-setting and detachment. A finite element method was used to analyze the stress and strain after the integrated slip is opened. The results of the surface performance evaluation showed that the performance parameters of each module could meet design requirements. The field application of this packer has been conducted in 20 wells, and the suspension and setting were all successful, which solves the hidden dangers of conventional bi-directional anchoring packers. The successful development of detachable bi-directional anchoring suspension packer provides a reliable anchoring and sealing tool for the smooth implementation of various completion technologies.

Key words: packer; bi-directional anchoring; staged fracturing; detachment

水平井多级滑套分段压裂是低渗透油气藏的主要增产方式之一, 其具有效率高、施工连续、增产效果好等优点^[1]。双向锚定封隔器是多级滑套分段压裂的核心工具, 主要用于完井管柱的送入、双向锚定和重叠段环空的封隔, 其性能直接影响压裂施工的成败^[2-3]。

常规双向锚定封隔器在现场应用过程中存在一些问题: 操作不当或发生井下落物时可能会提前坐挂、坐封; 进行环空封压能力测试时, 经常出现高压密封失效的问题; 常规双向锚定封隔器多为永久

式, 一旦坐封将无法解封起出, 只能进行套铣或钻除, 甚至可能造成油气井报废^[4-9]。为了进一步提高双向锚定封隔器的可靠性, 笔者研制了可解挂式双

收稿日期: 2018-07-10; 改回日期: 2019-03-08。

作者简介: 梁文龙 (1973—), 男, 河南新乡人, 1996 年毕业于成都理工学院石油工程专业, 高级工程师, 主要从事压裂工艺及配套工具方面的研究与相关技术管理工作。E-mail: erdoszhb@126.com。

基金项目: 国家科技重大专项“低渗透油气藏高效开发钻完井技术”课题五“高压低渗油气藏固井完井技术”(编号: 2016ZX05021-005)部分内容。

向锚定悬挂封隔器,开展了高承载技术、高压密封技术、防提前坐封技术和解挂技术等关键技术研究,并进行了可解挂式双向锚定悬挂封隔器进的性能测试及现场应用,均取得了预期效果。

1 可解挂双向锚定悬挂封隔器的结构及原理

可解挂双向锚定悬挂封隔器的设计要点为:1)送入工具要具备防提前坐封功能,同时具备机械、液压双作用丢手功能,以确保悬挂封隔器安全下入

及顺利丢手;2)采用合金卡瓦,以保证悬挂封隔器的锚定能力,同时增加解挂功能,在出现提前坐挂情况时,确保可解挂并提出封隔器;3)采用整体式卡瓦结构,以增大卡瓦接触面积、降低对套管的损伤,提供重载锚定,并保证在解挂后有效回收卡瓦;4)采用三胶筒结构,以增强对套管的适应性。

基于上述设计要点,研制了用于多级滑套分段压裂的可解挂双向锚定悬挂封隔器,结构如图1所示。该封隔器由送入工具、防提前坐封装置、悬挂封隔单元和解挂单元组成,具备重载锚定、高压封隔、防提前坐封和机械液压双作用丢手等功能。

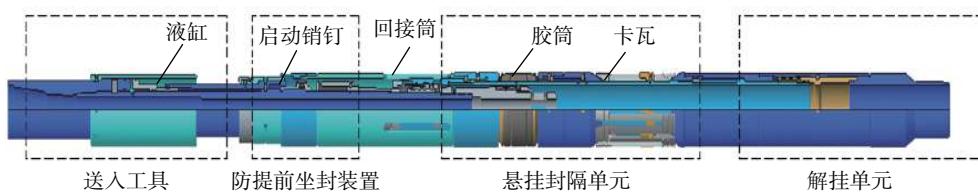


图1 可解挂双向锚定悬挂封隔器结构

Fig.1 Structure of detachable bi-directional anchoring suspension packer

该封隔器的工作原理是:采用送入工具将锚定封隔器及尾管送至预定位置,投入憋压球进行管内憋压,剪断封隔器启动销钉,液缸推动回接筒挤压胶筒,胶筒挤压卡瓦;卡瓦锚定完成后继续憋压,坐封胶筒;胶筒坐封后起出管串,再次下入回接插头进行回接锁定;解挂时,首先下入解挂工具,解挂工具与封隔器锚定,然后上提管串,回接筒不再挤压胶筒和卡瓦,胶筒及卡瓦复位,实现解挂。

2 封隔器关键技术研究

2.1 高承载技术

分段压裂施工过程中,锚定封隔器首先要具备尾管悬挂功能,同时要防止压裂过程中井底高压导致的管串向上窜动,因此,封隔器要具备双向锚定功能。封隔器的锚定卡瓦主要有分瓣式和整体式2种,相较于分瓣式卡瓦,整体式卡瓦与套管内壁的接触面积更大,轴向应力分布更加合理,可以降低对套管的损伤。

常规永久式锚定封隔器无解挂功能,一旦出现提前坐挂情况,必须能够快速钻除,因此一般采用铸铁制造整体卡瓦。由于铸铁的强度和硬度偏低,卡瓦锚定效果不理想,存在锚定能力低的问题。为提高卡瓦锚定效果,同时保证解挂后有效复位,选用合金钢制造卡瓦,并采用整体式卡瓦结构(见图2)。

卡瓦设多条应力槽,坐挂时卡瓦扩张支撑井壁,解挂后复位。通过结构设计和材料热处理工艺优化,可提高锚定性能和下入安全性能。



图2 整体式卡瓦的结构

Fig.2 Structure of integrated slip

该封隔器要求卡瓦重载锚定解挂后可进行回收,卡瓦本体具备较高韧性的同时,卡瓦牙要具备较高的耐磨性和硬度,因此选用20CrMnTi钢作为制造卡瓦的材料,进行后期热处理,采用局部渗碳回火处理方式,使卡瓦肋部获得大量的回火马氏体组织、齿部获得大量的淬火马氏体组织,在保证卡瓦本体具有较高韧性的同时,保证卡瓦牙具有较高的硬度,以满足卡瓦的锚定性能、耐冲击性能和可回收性能要求。

采用有限元方法研究整体式卡瓦在压裂施工过程中的性能,分析卡瓦结构、卡瓦材料等对卡瓦坐挂、解挂性能的影响。根据卡瓦的工作原理,建立

有限元模型, 并对其边界进行处理: 1) 约束卡瓦, 使其只具有沿周向运动的自由度; 2) 建立卡瓦与锥套、卡瓦与套管内壁、锥套与本体之间的接触。制造卡瓦的材料为 20CrMnTi 钢, 本体及套管的材料为 35CrMo 合金结构钢(见表 1)。分别在卡瓦两侧施加约束, 分析卡瓦受力及变形情况。压裂时胶筒需要承受 70 MPa 的压差, 由卡瓦进行锚定。因此, 从卡瓦上端面施加 671.3 kN 的压力, 计算卡瓦受力。

表 1 整体式卡瓦材料的参数

Table 1 Materials parameters of integrated slip

材料	弹性模量/GPa	泊松比	屈服强度/MPa
20CrMnTi	207	0.25	850
35CrMo	206	0.30	758

根据第四强度理论计算 von Mises 应力, 结果如图 3 所示。扩张过程中最大受力位置位于卡瓦肋部, 应力为 257.5 MPa, 满足设计安全系数大于 2.0 的要求, 卡瓦受力较为均匀。

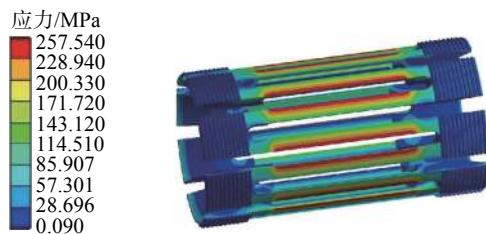


图 3 整体式卡瓦受力分析结果

Fig. 3 Force analysis results of integrated slip

2.2 高压密封技术

分段压裂施工时施工压力较高, 为保护上层套管, 降低施工风险, 防止环空压力传递至井口, 需要对套管重叠段进行封隔, 要求封隔器具备高压密封性能。

传统双向锚定封隔器胶筒大多采用一体式胶筒, 通过挤压胶筒, 使其变形与外层套管产生接触应力, 实现环空封隔。这种胶筒结构简单, 胶筒较短, 如果封隔井段出现固相沉积或者套管变形, 容易封压失效, 因此其井况适应性较差, 密封可靠性不高。

可解挂双向锚定封隔器采用三胶筒密封结构, 胶筒之间采用 V 形配合, 两两保护(见图 4)。胶筒采用 2 种不同硬度的橡胶, 中间胶筒硬度较低, 作为主要的密封部件; 两侧胶筒硬度较高, 保护中间胶筒的同时, 进行双重密封。为防止坐封及密封过程中胶筒挤压外凸, 胶筒两侧有防突环, 防突环周向

有多条割缝, 胶筒坐封过程中紧贴胶筒外侧, 保护胶筒。为防止因防突环遇阻引起的胶筒提前坐封, 防突环与锥套采用了一体化设计。

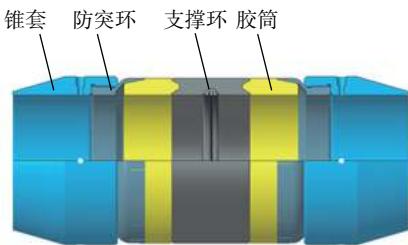


图 4 密封装置的组成

Fig. 4 Structure of sealing device

2.3 防提前坐封技术

压裂管柱入井后会因与井壁碰撞或者落物等原因导致封隔器提前坐挂, 为保证下入安全, 设计了防提前坐封装置, 既能保证封隔器不会提前坐挂, 又能保证封隔器到位后正常坐挂、坐封。

防提前坐封装置位于回接筒和送入工具之间, 结构如图 5 所示。其左端的支撑爪连接送入工具本体, 其右端支撑挡块连接回接筒, 确保回接筒的运动与坐封工具同步, 即使回接筒外部环空出现落物并遇阻, 也不会提前坐封。封隔器达到预定位置坐挂坐封时, 管内憋压坐封, 剪断启动销钉, 液缸推动支撑组件向右移动, 支撑爪和支撑挡块回收, 送入工具和回接筒之间产生相对轴向运动, 防提前坐封装置不再起作用。

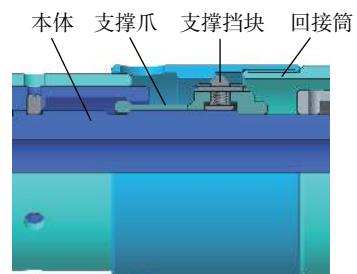


图 5 防提前坐封装置的结构

Fig. 5 Structure of pre-setting prevention device

2.4 解挂技术

封隔器入井过程中若中途遇阻并提前坐挂坐封, 可下入专门的解挂工具将封隔器解挂解封。设计的解挂工具结构如图 6 所示, 初始状态下, 由解挂套和支撑卡簧支撑封隔器及尾管, 当解挂工具下至封隔器位置, 其外表面的马牙扣与封隔器回接筒锚

定。解挂工具伸缩定位块与封隔器的解挂套锚定。上提管串, 剪断解挂剪钉, 解挂套与支撑卡簧产生相对运动, 支撑卡簧失去支撑后回收, 不再对封隔

器产生锁紧作用, 封隔器本体可以上下移动, 胶筒和卡瓦回弹, 实现解挂。该解挂形式不受压差和尾管悬重的影响, 同时不影响压裂施工作业^[10]。

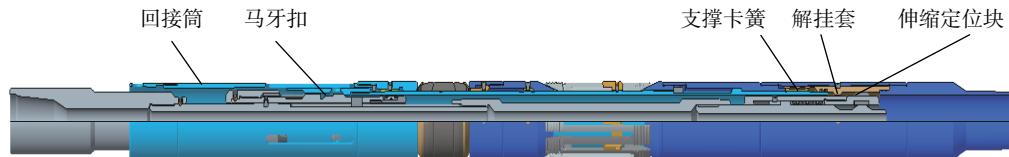


图 6 可解挂式双向锚定封隔器与解挂工具的结构

Fig.6 Structure of the detachable bi-directional anchoring packer and detachment tool

3 封隔器性能测试

为了验证可解挂双向锚定悬挂封隔器的性能, 模拟现场环境, 分别进行了锚定性能、封压性能、防提前坐封装置性能和整机解挂解封性能测试。

3.1 封隔器锚定性能

为了测试封隔器锚定单元的锚定性能, 研制了锚定性能测试装置。卡瓦外径为 149.0 mm, 试验套管内径为 159.0 mm。采用机械加载坐封, 坐挂载荷为 120 kN, 坐挂后卸载, 环空加压检测卡瓦锚定性能, 加载至 1 200 kN, 保持 30 min(见图 7), 卡瓦无滑移。对支撑封头反向加载 1 200 kN, 保持 30 min, 卡瓦滑移 2.0 mm, 满足性能要求。卸载, 卡瓦回弹, 回弹后外径 151.0 mm, 满足设计要求。

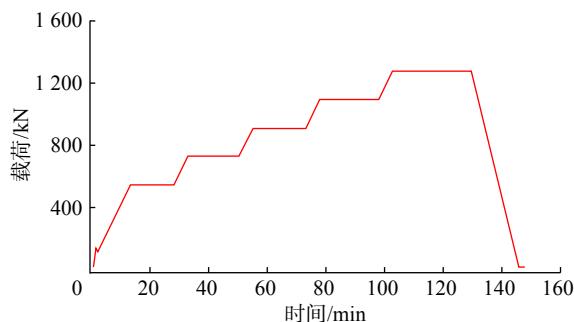


图 7 卡瓦悬挂能力测试曲线

Fig. 7 Test curve of the slip suspension capacity

3.2 封隔器密封性能

为了测试封隔器锚定单元的密封性能, 研制了密封性能测试装置。封隔器胶筒外径 148.0 mm, 试验套管内径为 159.0 mm。试验装置上下各有一个加压封头, 可分别进行加压, 采用机械加载方式坐封胶筒。为模拟现场井况, 将试验装置放入到加热装

置中, 加热至 80 °C, 机械加载 49 kN, 完成坐封。之后环空加压, 逐级加压至 35, 50, 70 和 80 MPa, 稳压 15 min 无压降(见图 8)。泄压后, 逐级加温至 100, 120, 140 和 160 °C, 保温 10 h, 分别从两端加压, 均能实现 80 MPa 密封, 共密封 34 h。泄压、卸载, 胶筒回弹, 检测胶筒外径为 152.0 mm, 满足设计要求。

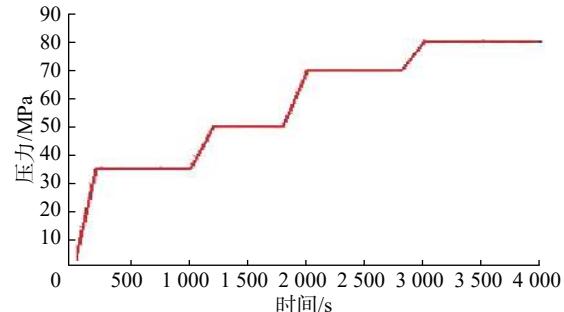


图 8 封隔器密封性能测试曲线

Fig. 8 Curve for the packer pressure-sealing performance

3.3 防提前坐封装置性能

模拟现场施工中的遇阻井况, 测试防提前坐封装置对封隔器的保护作用。将封隔器底部进行固定, 加工工装单独支撑回接筒部分, 采用拉伸试验机推动回接筒, 检测防提前坐封装置抗剪性能。装置加载载荷分别为 20, 50, 100, 200, 300 和 500 kN, 封隔器均未坐封。试验结果表明, 防提前坐封装置可有效保护封隔器, 即使在遇阻 500 kN 的情况下封隔器仍不会坐封。管内憋压 15 MPa, 封隔器开始正常坐封, 防提前坐封装置失效。

3.4 封隔器解挂解封性能

为模拟现场封隔器解挂、解封操作, 在模拟试验井进行入井性能测试。试验套管内径为 159.0 mm, 封隔器最大外径为 152.0 mm。利用管串将封隔器下至预定位置, 管内憋压至 25 MPa, 先坐挂坐封, 正转

机械丢手, 起出送入工具。下入解挂工具至封隔器位置, 悬重减小 50 kN 时解挂工具与封隔器锚定; 上提解挂工具, 至悬重增大 200 kN 时剪断解挂剪钉; 继续缓慢上提, 将封隔器起出井口, 顺利实现解挂、解封。

4 现场应用

可解挂双向锚定悬挂封隔器在鄂尔多斯盆地 20 多口井进行了应用, 均顺利实现坐挂、坐封, 并对环空起到有效的密封作用, 确保了压裂施工作业的正常进行, 解决了常规双向锚定封隔器存在的密封失效和提前坐挂等问题。下面以 X67 井为例介绍可解挂双向锚定悬挂封隔器的应用情况。

X67 井位于鄂尔多斯盆地伊陕斜坡东北部, 完钻井深 4 112.00 m, 水平段长 1 200.00 m, 上层套管为 $\phi 177.8$ mm 套管, 尾管为 $\phi 114.3$ mm 套管, 悬挂器下深 2 597.00 m, 可解挂双向锚定悬挂封隔器下入位置的井斜角为 43° 左右, 共完成 12 段的分段压裂。下入送入管柱前采用刮管器进行刮管, 然后采用通井规通井, 下入送入管柱投入憋压球, 依次憋压至 15, 20, 25 和 28 MPa 并稳压 5 min, 完成可解挂双向锚定悬挂封隔器的坐挂、坐封, 验挂、验封后管柱正转完成丢手, 采用 $\phi 88.9$ mm 油管连接回接插头进行回接作业, 管柱到位后丢手, 调节井口油管长度安装采油树, 进行压裂施工, 入井砂量 406.9 m³, 入井液量 3 695.0 m³, 施工最高泵压 61 MPa, 管柱锚定及环空封压可靠, 顺利完成压裂施工作业。该井压裂后无阻流量 8.70×10^4 m³/d, 与该区块平均无阻流量 6.85×10^4 m³/d 相比, 提高了 27.0%。

5 结论与建议

1) 研制了可解挂双向锚定悬挂封隔器, 现场应用表明, 该封隔器可实现管串的送入、双向锚定、环空封隔及解挂, 解决常规双向锚定封隔器存在的问题, 确保现场施工的安全性。

2) 可解挂双向锚定悬挂封隔器具有更好的锚定性能、封压性能和下入安全性能。其中: 整体式合金卡瓦的锚定能力可达 1 200 kN 以上; V 形交叠式胶筒的密封压力达到 80 MPa 以上; 防提前坐封装置可有效防止回接筒及胶筒提前动作, 实现封隔器的安全下入。

3) 建议研发不同规格的可解挂双向锚定悬挂封隔器, 进一步增强其在不同井况下的适应能力。

参 考 文 献

References

- [1] 唐波, 唐志军, 耿应春, 等. 国内低渗透油气田高效开发钻完井关键技术发展现状 [J]. 天然气工业, 2013, 33(2): 65–70.
TANG Bo, TANG Zhijun, GENG Yingchun, et al. Development status of key technologies for high efficiency development, drilling and completion of low permeability oil and gas fields in China[J]. Natural Gas Industry, 2013, 33(2): 65–70.
- [2] 陈作, 何青, 王宝峰, 等. 大牛地气田长水平段水平井分段压裂优化设计技术 [J]. 石油钻探技术, 2013, 41(6): 82–85.
CHEN Zuo, HE Qing, WANG Baofeng, et al. Optimum fracturing design technology for long horizontal section horizontal wells in Daniudi Gas Field[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2013, 41(6): 82–85.
- [3] 胡艾国, 熊佩, 姚昌宇, 等. 大牛地气田水平井压裂技术现状及展望 [J]. 钻采工艺, 2012, 35(5): 59–62.
HU Aiguo, XIONG Pei, YAO Changyu, et al. Present situation and prospect of horizontal well fracturing technology in Daniudi Gas Field[J]. Drilling & Production Technology, 2012, 35(5): 59–62.
- [4] 秦金立, 陈作, 杨同玉, 等. 鄂尔多斯盆地水平井多级滑套分段压裂技术 [J]. 石油钻探技术, 2015, 43(1): 7–12.
QIN Jinli, CHEN Zuo, YANG Tongyu, et al. Multistage sliding sleeve fracturing technology for horizontal wells in Ordos Basin[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2015, 43(1): 7–12.
- [5] 薛占峰, 韩峰, 袁大勇. 高性能锚定封隔器的研制与应用 [J]. 石油机械, 2018, 46(4): 65–68, 118.
XUE Zhanfeng, HAN Feng, YUAN Dayong. Development and application of high performance anchor packer[J]. China Petroleum Machinery, 2018, 46(4): 65–68, 118.
- [6] 冯一, 李君宝, 韩耀图, 等. 深井回收永久封隔器实例解析 [J]. 东方企业文化, 2012(10): 144–145, 147.
FENG Yi, LI Junbao, HAN Yaotu, et al. Case analysis of permanent packer for deep well recovery[J]. Oriental Corporate Culture, 2012(10): 144–145, 147.
- [7] 刘阳, 秦金立. 无骨架内衬扩张式封隔器的研制与现场试验 [J]. 石油钻探技术, 2017, 45(5): 68–72.
LIU Yang, QIN Jinli. Development and field test of non-lining inflatable packers[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2017, 45(5): 68–72.
- [8] 周思宏, 王辉. 永久式插管封隔器在海上潜山油气井完井中的应用 [C]//中国石油学会. 第八次渤海湾浅(滩)海油气勘探开发工程技术研讨论文集. 北京: 中国石化出版社, 2003: 97–101.
ZHOU Sihong, WANG Hui. Application of permanent intubation packer in completion of offshore buried hill oil and gas wells[C]// Chinese Petroleum Society. The eighth engineering seminar on exploration and development of oil and gas in the shallow (shoal) sea of Bohai Bay. Beijing: China Petrochemical Press, 2003: 97–101.
- [9] 董兴国, 刘磊, 周歆. 插管式永久封隔器的原理与应用 [J]. 石油机械, 2009, 37(5): 75–76.
DONG Xingguo, LIU Lei, ZHOU Xin. Principle and application of intubated permanent packer[J]. China Petroleum Machinery, 2009, 37(5): 75–76.
- [10] 杨同玉. 可提出式插管封隔器关键技术及现场应用 [J]. 断块油气田, 2017, 24(2): 289–292.
YANG Tongyu. Key technology and application of retrievable packer-hanger for staged fracturing[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2017, 24(2): 289–292.