

膨胀筛管的研制及现场试验

何育荣¹, 朱海波²

(1. 中国石化 石油工程管理部, 北京 100728; 2. 中国石化胜利石油管理局 钻井工艺研究院, 山东 东营 257017)

摘 要:疏松砂岩防砂一直是油田开发中的难题。传统的防砂管都有其弱点, 不仅容易发生井眼坍塌使筛管损坏, 还增加了流体进入管内的流动阻力从而减少了产量; 膨胀筛管技术具有大通径的特点, 膨胀后可紧贴在井壁上, 不仅增加了筛管的表面积, 降低了筛网内外的压降从而提高了产量, 而且也减少了砂粒运移和对筛管的冲蚀损坏。为了解决疏松岩防砂的难题, 胜利油田研制出了膨胀筛管及膨胀螺纹、膨胀悬挂器、变径膨胀工具等附属工具。膨胀筛管采用内层为基管、中间层为多层滤砂网、外层为膨胀保护外套的 3 层结构设计, 其中基管采用 J55 钢管及 15CrMo 钢管, 膨胀保护外套、多层滤砂网均采用 316L 不锈钢材料。地面试验及井下模拟试验的结果表明, 膨胀后筛管的抗挤毁性能、轴向抗拉性能、轴向抗压性能均满足现场使用要求。膨胀筛管在胜利油田 GDN32-05 井和 GDD15-01 井 2 口井的现场试验结果表明, 膨胀后筛管内径比普通筛管内径大, 有利于增大泄油面积, 提高油井产量。

关键词:膨胀筛管 膨胀螺纹 可膨胀尾管悬挂器 防砂 胜利油田

中图分类号:TE925⁺.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0890(2011)03-0106-04

Expansion Sand Screen Development and Field Test

He Yurong¹, Zhu Haibo²

(1. Department of Petroleum Engineering Administration, Sinopec, Beijing, 100728, China; 2. Drilling Technology Research Institute, Shengli Petroleum Administration, Dongying, Shandong, 257017, China)

Abstract: Sand control in unconsolidated sandstone is always a key difficulty in developing oil and gas reservoir. The weaknesses in traditional sand screens can cause screen damage due to wellbore collapse, and reduce production rate by increased flow resistance. The expandable screen has the characteristic of larger drift diameter. The screen will contact wellbore closely after expansion, which increased production rate by increasing the screen surface area and reducing pressure drop between inside and outside of the screen. It also reduces the sand migration and sand erosion damage on the screen. The expandable screen, expandable screw, expandable hanger, adjustable expansion tool and other tools have been developed in Shengli Oilfield. The expandable screen has a three-layer structure with the inner layer being base pipe, the middle layer being sand filter, and the outer layer being an expandable protective sleeve. The base pipe uses J55 or 15CrMo steel pipe, and the expandable protective sleeve and the multi-layer sand filters use 316L stainless steel. The ground simulation tests and downhole tests show that the collapse strength, axial tensile properties, the compressive strength after expansion can meet field application requirements. The application of this technology in wells GDN32-05 and GDD15-01 demonstrates that the diameter of expandable screen is larger than that of the conventional screen which increases drainage area and well production rate accordingly.

Key words: expansion screen liner; expansion thread; expandable liner hanger; sand control; Shengli Oilfield

目前,疏松砂岩油藏开发面临着出砂量大、油井产量降低快等技术难题,而常规防砂技术存在近井眼生产压差较高、地层砂粒易运移、完井通径较小等问题,不能满足其防砂要求。与常规的防砂技术相比,膨胀筛管防砂技术具有以下优点:1)近井眼生产压差低,降低了筛管被冲蚀破坏的可能性,提高了膨胀筛管寿命和单井寿命,延缓了底水的锥进速度,提

收稿日期:2011-04-08; **改回日期:**2011-04-20。

作者简介:何育荣(1963—),男,1984年毕业于华东石油学院钻井工程专业,2005年获中国石油大学(华东)油气井工程专业博士学位,高级工程师,现从事石油工程技术研究及管理工作。

联系方式:(010)59968518, yuronghe@126.com。

基金项目:国家高技术研究发展计划(“863”计划)课题“膨胀管钻井技术”(编号:2006AA06A105)资助。

高了油气采收率;2)膨胀筛管的外壁可以紧贴套管内壁或裸眼井壁,减少生产过程中地层砂粒的运移,降低生产过程中近井眼的损害程度,提高油井产能;3)应用范围比砾石充填防砂技术更加广泛,可应用于水平井、大位移井等不同类型井眼的完井作业中;4)完井管柱具有较大的通径尺寸,可以降低沿程压力损耗,便于后期作业等。因而,膨胀筛管可有效解决疏松砂岩油藏的防砂难题。

胜利油田疏松砂岩油藏储量大、类型多、分布广、防砂工作量大,主要出砂层系是馆陶组、东营组、沙 1 段—沙 2 段等主力生产层系。因此研究开发配套膨胀筛管防砂工艺技术,最大限度地挖掘复杂地层油井防砂后的产能,对于胜利油田增储上产具有重要意义^[1-4]。近年来,胜利油田开展了膨胀筛管防砂技术研究,完成了膨胀筛管关键技术的研究,进行了膨胀筛管的井下模拟试验,并在 GDN32-05 井和 GDD15-01 井成功进行了管内防砂现场试验,实现了破损套管的修复,使套损停产井恢复生产。

1 膨胀筛管的研制

1.1 膨胀筛管结构与原理

胜利油田研制的膨胀筛管采用 3 层结构设计,内层为膨胀筛管基管,中间层为多层滤砂网,外层为膨胀保护外套(见图 1)。膨胀保护外套及多层滤砂网均采用不锈钢材料,具有良好的耐腐蚀性能,滤砂网采用双层滤网结构。基管上存在一系列交错排列且相互重叠的轴向割缝,基管构成膨胀筛管的骨架。膨胀时,基管和保护外套径向膨胀,过滤筛网周向滑动,膨胀后有效的过滤孔径保持不变。膨胀完成后,过滤筛网紧贴在基管和保护外套之间,筛管紧贴于井壁,消除了筛管和井壁的环形空间,减少了筛管堵塞和冲蚀。

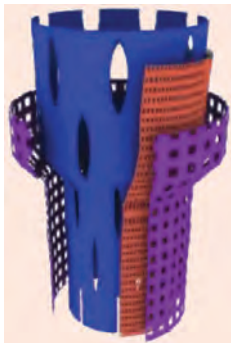


图 1 膨胀筛管结构

Fig. 1 The structure of the expandable screen

膨胀筛管防砂的主要施工步骤是:首先采用膨胀悬挂器将膨胀筛管先悬挂,然后采用变径膨胀工具由上至下膨胀的方式膨胀,膨胀后的筛管紧贴在套管或井眼内壁上。

1.2 膨胀材料的选择及筛管结构优化设计

常规防砂的滤砂网通常采用 316L 不锈钢材料,在膨胀筛管中同样适用,为此,膨胀筛管的膨胀保护外套、多层滤砂网均采用 316L 不锈钢材料^[5-6],而滤砂网的孔眼大小是根据地层出砂粒径中值来选择。

基管材料的选择是研制膨胀筛管的关键,这必须和基管的割缝结构一起考虑才能判断所选用的材料是否满足膨胀筛管的膨胀要求。基管所选用的材料应具有低屈强比(σ_s/σ_b)、低形变强化指数、高延伸率的特点,基管割缝的尖端具有良好的抗开裂性能,膨胀后基管的机械性能满足使用要求。

基管主要选择了两种材料:考虑到耐蚀性能、膨胀过程良好的抗开裂及止裂性能,首先选择了不锈钢,该种材料能满足膨胀筛管的要求;从现有的碳钢或低合金钢入手,选择了经过相关热处理的 J55 钢管及 15CrMo 钢管。

通过筛管基管结构的有限元优化设计,综合考虑各种割缝结构的管材残余应力、膨胀率和膨胀均匀性,优选出缝长 $L=110.0$ mm、缝宽 $D=1.0$ mm、割缝分布角度 $\alpha=30^\circ$ 作为 $\phi 114.3$ mm 基管的割缝结构。

通过对所选择的不锈钢管、J55 钢管及 15CrMo 钢管采用优化的割缝参数进行膨胀试验,割缝基管正常膨胀力为 85.0~100.0 kN,割缝管的内径膨胀率超过 39%,试验结果表明,选用的基管材料采用优化设计的割缝参数,具有良好的抗开裂性能和止裂性能。

1.3 膨胀螺纹的设计

因膨胀筛管螺纹不需要考虑密封性能,螺纹设计主要考虑抗拉力及膨胀率,为此设计选用了负角度并带有割缝的膨胀螺纹。螺纹膨胀率在 30% 情况下,螺纹齿形仍紧密咬合,未出现脱扣现象。对膨胀后的螺纹进行抗拉力试验,施加轴向拉力至 515.0 kN,筛管螺纹完好,螺纹抗拉力满足设计要求。

1.4 膨胀筛管悬挂器的研制

膨胀悬挂器是膨胀管技术的一个分支^[7-8],常规悬挂器坐挂后,内通径较小,不能满足膨胀筛管变径

工具的下入要求,需要采用大通径悬挂器。为此,胜利油田研制了具有无卡瓦、大通径特点的膨胀悬挂器。膨胀悬挂器在应用于筛管完井时,由于筛管不能形成密封腔,需要悬挂器自身形成密封腔,悬挂器下部需要一个球座,在膨胀坐挂过程形成密封腔,膨胀后能满足变径膨胀工具的下入要求。

该悬挂器采用中心管及悬挂器坐挂工具将悬挂器系统及尾管下至设计位置,然后投球憋压膨胀。在中心管内液压力的作用下,膨胀锥在膨胀悬挂器内向上运动,使悬挂筒在径向发生永久塑性变形,悬挂筒上的密封橡胶与外层套管内壁紧密结合,从而达到悬挂的目的,膨胀完成后提出中心管柱及密封堵头。

$\phi 152.0\text{ mm} \times \phi 140.0\text{ mm}$ 规格的膨胀筛管悬挂器坐挂后内径约 124.0 mm ,满足膨胀工具的下入要求,该悬挂器坐挂压力为 $22 \sim 32\text{ MPa}$,悬挂质量 $\geq 40\text{ t}$,密封压力 $\geq 50\text{ MPa}$ 。

1.5 变径膨胀工具的研制

针对膨胀筛管施工工艺的特点^[9],设计的膨胀工具具有初次膨胀、二次膨胀及变径的功能,见图2。



图2 变径膨胀工具

Fig. 2 The expansion tool with variable diameters

初次膨胀:在管柱重力的作用下,固定膨胀锥向下移动,实现初次膨胀。

二次膨胀:在液压力作用下,变径工具上的膨胀滚轮向外伸出,在初次膨胀的基础上再次发生径向膨胀。

变径:在筛管膨胀过程中,当遇到井眼缩径等情况,膨胀滚轮所受外压力大于变径工具中心孔内压力时,膨胀锥上的滚轮会自动收缩,根据井眼大小和井下复杂情况,膨胀锥的滚轮自动伸缩,实现膨胀锥变径的目的,使筛管顺应井壁膨胀,膨胀后紧贴在井壁上。

该变径膨胀工具设计工作压力 15 MPa ,最大工作压力不超过 25 MPa 。滚轮伸出前外径为 118.0 mm ,滚轮伸出后外径为 154.0 mm ,轴向膨胀力约 150.0 kN 。

2 地面试验及井下模拟试验

2.1 地面试验

为了测试变径膨胀工具、膨胀悬挂器的性能及获得膨胀筛管膨胀后的性能数据,对变径膨胀工具、膨胀悬挂器及膨胀筛管进行地面膨胀试验。该试验在 GRIFFTH 仪器上,采用高压泵进行地面打压,模拟施工的方式进行。

试验过程中,压力升至 6 MPa 时筛管开始膨胀,升至 16 MPa 时筛管外径被膨胀至最大,膨胀过程中滤砂筛网均能滑移膨胀,膨胀筛管膨胀前内外径分别为 102.0 和 126.0 mm ,膨胀后内外径分别为 $136.0 \sim 144.0$ 和 $160.0 \sim 168.0\text{ mm}$,膨胀率分别为 $33\% \sim 41\%$ 和 $27\% \sim 33\%$ 。膨胀过程没有施加轴向力,因此,筛管膨胀后呈现出不规则的形状。实际应用过程中,在钻具重力作用下,膨胀筛管在套管内紧贴在套管内壁上,外形为规则的圆形。膨胀过程螺纹啮合良好,无脱扣现象。变径膨胀工具在 25 MPa 、稳压 30 min 情况下,没有发生泄漏,膨胀悬挂器试验过程性能参数与设计参数基本一致。

对膨胀后的筛管基管进行抗外挤、轴向抗拉及轴向抗压试验, $\phi 114.3\text{ mm}$ 膨胀筛管膨胀后其抗外挤强度为 14 MPa ,轴向抗拉力大于 500.0 kN ,轴向抗压力大于 200.0 kN 。

地面试验结果表明,膨胀工具、膨胀悬挂器及膨胀筛管相关参数均满足设计要求。

2.2 井下模拟试验

井下模拟试验的目的:在井下条件下,验证膨胀筛管悬挂器的主要性能指标,膨胀筛管3层结构的膨胀性能及其完整性,膨胀螺纹组装的可互换性及井下膨胀性能,变径膨胀工具井下施工的主要性能指标,熟悉膨胀筛管施工工艺。

在胜利职业学院的试验井中进行了 $\phi 114.3\text{ mm}$ 膨胀筛管井下模拟试验,共膨胀 $\phi 114.3\text{ mm}$ 筛管 22.6 m ,膨胀螺纹8个。在井下模拟试验中,膨胀筛管悬挂器、变径膨胀工具及膨胀螺纹这3个膨胀筛管的关键部分均获得成功。

3 现场试验

应用膨胀筛管防砂的油井应满足流体最好不含 CO_2 和 H_2S 、狗腿度小于 $12^\circ/30\text{m}$ 的条件,为此,选

择在胜利油田 GDN32-05 井、GDD15-01 井 2 口套损井上进行膨胀筛管管内防砂试验。首先大修扩铣打通道,套管取得足够通径后利用高膨胀性能的膨胀筛管构成井壁和防砂筛管体系,实现破损套管的修复,使套损停产井恢复生产。以 GDD15-01 井为例,介绍膨胀筛管现场试验情况。

3.1 GDD15-01 井井眼概况

GDD15-01 井套管程序为 $\phi 339.7$ mm 套管 \times 230.30 mm + $\phi 177.8$ mm 套管 \times 1 316.42 m,射孔井段 1 243.50~1 251.50 m。该井 2001 年 2 月下绕丝筛管、下泵投产,2007 年 3 月转周期注汽。2009 年 11 月该井因射孔井段出砂,导致砂卡关井,关井前日产油 1.3 t。

3.2 膨胀筛管施工情况

2010 年 7 月 5 日,GDD15-01 井进行膨胀筛管防砂施工。膨胀悬挂器管柱组合为: $\phi 139.7$ mm 套管 1 根 + 膨胀筛管下接头 + $\phi 114.3$ mm 膨胀筛管 12 m + 膨胀筛管上接头 + $\phi 139.7$ mm 套管 31 根 + $\phi 152.0$ mm \times $\phi 140.0$ mm 膨胀悬挂器 + 变扣接头 + 送入钻杆(到井口)。施工过程中,悬挂器膨胀坐挂压力 22~30 MPa,与设计压力一致,膨胀悬挂器坐挂位置井深 1 203.36 m。

膨胀筛管坐挂后下入膨胀工具,变径膨胀工具管柱组合为: $\phi 117.5$ mm 变径膨胀工具 + 变扣接头 + $\phi 104.8$ mm 钻铤 3 根 + 变扣接头 + 钻杆。筛管开始膨胀压力及所加钻杆重力与设计一致,筛管正常膨胀压力 13 MPa,加重 160 kN;膨胀至筛管下端的橡胶筒位置时,压力略有升高。膨胀过程安全顺利,累计膨胀筛管 12.54 m。膨胀筛管位于 1 240.17~1 252.69 m 井段,完全覆盖了射孔井段。

3.3 生产效果

该井应用膨胀筛管防砂作业后,于 2010 年 9 月 6 日开始生产,泵径 $\phi 56.0$ mm,冲程 3 m,冲次 5 min^{-1} ,初期日产液 17.1 t,日产油 3.4 t,含水率 79.9%,从 9 月 10 日开始的 20 d 内,日产油约 1.3 t,随后产油量逐日递增,目前日产液 24.8 t,日产油 13.0 t,含水率 47.2%。截至 2011 年 3 月 25 日,该井累计产液 4 313.0 t,累计产油 1 248.7 t,生产效果良好。

4 结论及建议

1) 应用低屈强比(σ_s/σ_b)理论优选出了膨胀管

的材料,应用有限元方法对膨胀筛管割缝结构进行了优化设计,并对膨胀筛管悬挂器、膨胀螺纹、变径膨胀工具等几个膨胀筛管的关键部分进行了研究,地面试验及井下模拟试验结果表明,膨胀后筛管的抗挤性能、轴向抗拉性能、轴向抗压性能均满足现场使用要求。

2) 在胜利油田 GDN32-05 井、GDD15-01 井两口套损井的现场应用表明,膨胀筛管防砂技术能有效解决疏松砂岩的出砂问题,能使停产井复产,且有利于提高油井产量。

3) 目前,膨胀筛管的应用仅限于套管内防砂,建议继续完善膨胀筛管技术,形成系列规格的膨胀工具及膨胀筛管,尽快实现在裸眼井中应用,以进一步扩大其应用范围,加快疏松砂岩油藏的高效开发。

参 考 文 献

- [1] Stephen Kent, Roger van Noort. Isolation of problematic zones using a cemented expandable slotted liner[R]. SPE 72295, 2001.
- [2] Alex Weekse, Steve Grant, Rob Urselmann. Expandable sand screen; three new world records in the Brigantine Field[R]. SPE 74549, 2002.
- [3] Robert L Cuthbertson, Annabel Green, John A G Dewar, et al. Completion of an underbalanced well using expandable sand screen for sand control[R]. SPE 79792, 2003.
- [4] Fabio S N Rosa, Luis C B Bianco, Paulo A Barata. New well design using expandable screen reduces rig time and improves deep water oil production in Brazil[R]. SPE 79791, 2003.
- [5] 张文华, 刘国辉, 胡国清. 可膨胀管技术及其应用[J]. 石油钻采工艺, 2001, 23(1): 28-31.
Zhang Wenhua, Liu Guohui, Hu Guoqing. Expansion pipe technology and its application[J]. Oil Drilling and Production Technology, 2001, 23(1): 28-31.
- [6] Hon Chung Lau, Jacques van Vliet, Mike Ward, et al. Open hole expandable sand screen completions in Brunei[R]. SPE 72131, 2001.
- [7] 姚辉前, 任凌云, 郭朝辉, 等. 可膨胀尾管悬挂器膨胀材料及膨胀方式[J]. 石油钻探技术, 2010, 38(1): 72-76.
Yao Huiqian, Ren Lingyun, Guo Zhaohui, et al. Expansion material and expansion approach of expandable liner hanger[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2010, 38(1): 72-76.
- [8] 郭朝辉, 马兰荣, 朱和明, 等. 国外可膨胀尾管悬挂器的新进展[J]. 石油钻探技术, 2008, 36(5): 66-69.
Guo Zhaohui, Ma Lanrong, Zhu Heming, et al. New development of overseas expandable liner hanger[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2008, 36(5): 66-69.
- [9] Ralph Echols, John Gano, Perry Shy, et al. Development and testing of an expandable sand screen and expansion tool[R]. SPE 73750, 2002.