

伊朗 AHWAZ 油田膨胀筛管防砂技术

刘洋¹,王玥¹,段云刚²,张恒¹,杨文领¹,冯强¹

1. 中国石油集团渤海钻探工程有限公司工程技术研究院 天津 300280
2. 中国石油集团渤海钻探工程有限公司第二固井分公司 天津 300280

通讯作者:Email:liuyang19831101@163.com
项目支持:渤海钻探工程有限公司重大研发专项“悬挂膨胀筛管防砂配套技术研究”(2016ZD01)

引用:刘洋,王玥,段云刚,等. 伊朗 AHWAZ 油田膨胀筛管防砂技术[J]. 油气井测试,2020,29(3):50-56.
Cite: LIU Yang, WANG Yue, DUAN Yungang, et al. Technology of expandable screen for sand control in Iran AHWAZ Oilfield [J]. Well Testing, 2020,29(3):50-56.

摘要 伊朗 AHWAZ 油田 AS 组为疏松砂岩油藏,生产过程中出砂严重,化学防砂不适合该地区产量高、井筒内生产压差大的情况。根据工具的施工参数,优化了膨胀管结构,形成了条形缝交错均布的膨胀基管布局;研制了配套的大通径环状卡瓦悬挂封隔器、分体固定式胀锥系统及送入工具,形成了膨胀筛管防砂完井技术工具配套。经在 AHWAZ 区块 11 口出砂井中应用,防砂效果明显,原油平均出砂量接近于 0,日均产油超过 500 t。膨胀筛管防砂技术能满足 AS 储层防砂要求,可在几乎不影响产量的情况下实现有效防砂,保证了油井高产、稳产,为其他出砂油田提供技术支撑。

关键词 AHWAZ 油田; 完井技术; 膨胀筛管; 防砂技术; 封隔器; 胀锥工具

中图分类号:TE257 **文献标识码**:B **DOI**:10.19680/j.cnki.1004-4388.2020.03.009

Technology of expandable screen for sand control in Iran AHWAZ Oilfield

LIU Yang¹, WANG Yue¹, DUAN Yungang², ZHANG Heng¹, YANG Wenling¹, FENG Qiang¹

1. Engineering Technology Research Institute of CNPC Bohai Drilling Engineering Co. Ltd., Tianjin 300280, China
2. NO. 2 Cementing Branch of CNPC Bohai Drilling Engineering Co. Ltd., Tianjin 300280, China

Abstract: The AS formation of AHWAZ Oilfield in Iran is a loose sandstone reservoir, and sand production is serious during production process. Chemical sand control is not suitable for this region because of high production and large pressure difference in the wellbore. According to the operating parameters of the tool, the structure of expandable pipe has been optimized to form the cross and even distribution of strip fractures. The supporting packers with long diameter annular slip suspension, split fixed expandable cone system and feeding tools have been developed, forming a set of matching tools for completion technology with expandable sand screen. It has been applied in 11 sand-producing wells in AHWAZ Block, and the sand control effect was obvious. The average sand production of crude oil was close to 0, and the average daily oil production was over 500 t. The sand control technology of expandable screen can meet the sand control requirements of AS formation, and achieve effective sand control with almost no impact on production, which ensures high and stable production of oil wells and provides technical support for other sand-producing oilfields.

Keywords: AHWAZ Oilfield; completion technology; expandable screen; sand control technology; packer; expandable cone tool

伊朗 AHWAZ 油田主力产油组 AS 组为疏松砂岩,生产过程中出砂严重。以中粗砂为主,粒径在 270 μm 以上的中粗砂占近 70%,150 μm 以下的细砂占 15%左右^[1-2],国内外常用的防砂方法分为化学防砂与机械防砂^[3-5]。化学防砂是通过向油层中打入起固砂作用的固砂液来阻止地层砂流入井筒^[6]。由于 AHWAZ 地区高产井多,井筒内生产压差高、流速大,化学防砂效果差、精度低、有效期短。

机械防砂一般采用防砂筛管,常规的防砂筛管主要有绕丝筛管、割缝筛管与复合筛管^[7]。常规筛管在伊朗 AHWAZ 油田曾进行过应用,在下入初期就出现了油井产量明显降低的问题,筛管下入后 6-18 个月不等的时间内,由于流体冲蚀严重又出现了防砂失效问题。

根据 AHWAZ 地区实际情况,防砂技术要满足防砂时效长、防砂精度高、防砂后对产能影响小这

三大条件。膨胀筛管防砂完井技术拥有机械防砂的时效长、精度高的特点,同时筛管可以通过径向膨胀增大通径与过流面积,从而降低流动阻力,减少对产能的影响以及流体对筛管的冲蚀损伤^[8-9]。

国外多家石油公司,如 Shell、Petroline、Baker-Hughes 和 Weatherford 等都投入了大量人力、物力对膨胀筛管技术进行研究^[10-11]。近年来,国内也加大了对该技术的研究力度。渤海钻探结合 AHWAZ 油田防砂井现状,进行了膨胀筛管防砂技术及配套工艺的研发,取得了一定的研究成果,并成功在现场进行了应用。

1 AHWAZ 油田筛管防砂存在问题分析

AHWAZ 油田某井在射孔段覆盖常规筛管完井。该井射孔参数见表 1。生产 8 个月后,筛管失效。将筛管打捞出井,发现有明显的冲蚀穿孔。该井下筛管后产量为 386 t/d,筛管取出后含砂生产,产量为 514 t/d。该井井况、射孔参数与产能变化有一定的代表性,以该井为例进行 AHWAZ 地区防砂存在的问题分析。

表 1 AHWAZ 油田某井射孔参数
Table 1 Perforating parameters for a well in AHWAZ Oilfield

射孔孔径/ mm	孔密/ (孔·m ⁻¹)	开发 层位	尾管鞋 位置/m	尾管顶 位置/m	射孔 位置/m
17.78	40	AS	2 285	2 100	2 767.5~2 773.9 2 805.9~2 814.0

由表 1 可知,该井射孔段总长度 L_1 为 14.5 m。射孔孔径 d 为 17.78 mm,孔密 ρ 为 40 孔/m。该井射孔炮眼的整体过流面积为

$$A_1 = 3.14 \left(\frac{d}{2} \right)^2 \rho L_1 \tag{1}$$

在产量 $Q_1 = 386$ t/d 的条件下,通过筛管的流体平均流速为

$$v_1 = \left(\frac{7Q_1}{A_1} \times 0.2 \right) \bigg/ \left[\left(\frac{0.157}{2} \right)^2 \times 3.14 \right] \tag{2}$$

在该井无筛管、产量 $Q_2 = 514$ t/d 的条件下,通过炮眼的流体平均流速为

$$v_2 = \left(\frac{7Q_2}{A_1} \times 0.2 \right) \bigg/ \left[\left(\frac{0.157}{2} \right)^2 \times 3.14 \right] \tag{3}$$

经计算, A_1 约为 0.144 m², v_1 约为 2.07 m/s、 v_2 约为 2.89 m/s。

根据伯努利流体力学理论,流体流动符合能量守恒,通过计算, v_1 与 v_2 产生了 0.82 m/s 的流速差,流速损失 28.4%,流动能量的衰减转化成了对筛管的。结合现场冲蚀孔眼形状,筛管一段时间后,最终造成筛管穿孔,防砂失效。由此可知,要在 AHWAZ 油田实施机械防砂,需要进一步提高筛管的过流能力。

对于下入筛管后产量下降、流速降低的情况,除了常规筛管过流能力低以外,还有如下其它原因^[12]:

(1) 由于产量高、流速快、筛管与套管之间的间隙大、在间隙处地层砂迅速充填并不断压实,用于挡砂的砂桥孔隙度大幅度降低,挡砂同时也阻液,影响地层流体的通过能力,形成阻流层。

(2) 由于地层能量高,细粉砂被不断挤进筛管与套管之间的间隙,在这个空间内不断运移与堆积,一旦超过了筛管过流介质层通过细砂能力的极限,则会堵塞筛管,严重影响流体通过筛管的能力。

综上所述,在 AHWAZ 油田高产疏松砂岩油藏实施机械防砂,需要解决的主要问题在于:增大筛管的过流面积、减小筛管与套管之间的环空间隙。

2 膨胀筛管防砂技术简介

膨胀筛管为多层结构,内层为割缝或打孔结构的膨胀基管,中间层为重叠式过滤网,外层膨胀保护外套。膨胀筛管完成膨胀作业后,能有效增大完井内径,提高防砂效果,同传统防砂完井相比,成本降低 20%,增产 70% 左右^[13]。膨胀筛管技术适合伊朗 AHWAZ 油田的防砂需求。

2.1 膨胀筛管防砂技术原理

首先进行通井和刮壁作业,然后下入设计好的完井管柱。膨胀筛管完井管柱组合如图 1 所示,自下而上分别为:筛管引鞋+膨胀筛管下变扣+膨胀筛管串+膨胀筛管上变扣+胀锥短节(内含定径胀锥)+悬挂封隔器+回接筒+悬挂器送入工具+浮阀+加重钻杆或钻铤+钻杆。

用送入工具把膨胀筛管管串下入到预定位置后,通过悬挂器坐封,坐挂,之后再下入膨胀管柱进行筛管膨胀作业。膨胀管柱钻具组合如图 2 所示,自下而上分别为:膨胀芯轴+加重钻杆或钻铤+钻杆。

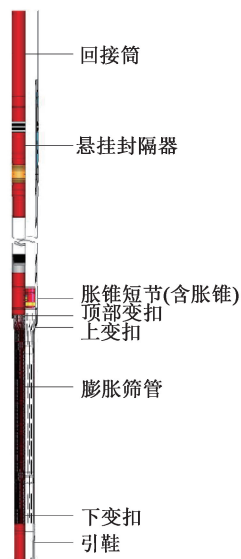


图1 完井管柱结构示意图

Fig. 1 Structure of completion pipe string

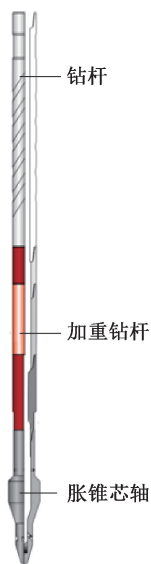


图2 膨胀管柱结构示意图

Fig. 2 Structure of expandable pipe string

2.2 膨胀筛管防砂技术特点

(1) 提高井径利用率,入井尺寸较小,下入时能顺利到达指定的坐放深度,适用于任何类型的井筒。

(2) 膨胀后可获得较大的井眼尺寸,减小筛管和井眼间的空隙,最大限度地提高滤砂面积,不易发生堵塞。

(3) 膨胀后筛管紧贴井壁,对井壁形成一定的支撑,减少了井壁坍塌,减少砂粒的运移与冲蚀,防砂效果好、可靠性高,可达到砾石充填防砂效果,且有更大的完井内径。

(4) 完井内径大,可以降低油水井后期作业难

度,易于后期生产管理。

(5) 膨胀筛管可提供更大的井筒空间和过流面积,可以降低表皮效应,延缓水锥锥进速度,提高油气井的生产能力^[14]。

3 配套工具研究

膨胀筛管防砂技术主要配套工具有膨胀筛管、大通径悬挂封隔器及膨胀工具三大部分

3.1 膨胀筛管优化设计

膨胀筛管由膨胀式割缝基管、重叠式金属筛网和膨胀式外保护套组成^[15]。割缝基管和外套均可膨胀,膨胀防砂筛管以膨胀割缝管为基础,按相互搭接的割缝模式在轴向对钢管进行割缝,基管膨胀后仍有较大刚度,起到支撑滤网和外套、维护管柱及井壁稳定性的作用^[16]。过滤层由不锈钢材料和镍合金编织而成的3~4片金属斜编密纹滤网相互重叠而成,包绕在基管上,通过单边点焊处理与基管和外套连为一体,在膨胀过程中相互错开,适应膨胀变形并保持防砂体系完整性,在生产过程中过滤地层流体,是防砂的主要载体。外套的主要作用是在起下钻过程中保护筛网不受损坏^[17-18]。其结构如图3所示。

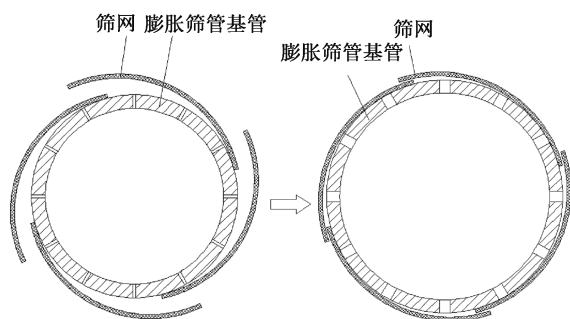


图3 膨胀筛管三层结构与筛网自适应扩张原理示意图

Fig. 3 Schematic diagram of three-layer-structure expandable screen and adaptive expandable screen

3.1.1 过流面积设计

防砂筛管的过流面积对油气井产量有很大影响,是筛管选型过程中一个重要的技术参数^[19]。

达西公式:

$$Q = K \frac{(p_1 - p_2) F}{\mu L} \quad (4)$$

式中: Q 为单位时间内流体通过流量, cm^3/s ; F 为流体通过岩石的截面积, cm^2 ; μ 为流体黏度, $\text{mPa} \cdot \text{s}$; L 为岩石长度, cm ; $(p_1 - p_2)$ 为流体通过岩石前后的压差, mPa ; K 为岩石渗透率, D 。

从达西公式可以看到,同种类型的筛管,其过流面积越大,意味着流体的通道就越大,在其它条件相同的情况下,产量就越高;同时在配产一定的情况下,过流面积增大有助于减少生产压差,生产压差的减小有助于提高井底工具的使用时间,保证油井的平稳生产。

在基管不同缝长、不同缝密度条件下,优化可膨胀筛管基管结构,以求设计上满足低膨胀

力、高膨胀率的要求。分析过程中,固定的边界条件为筛管有限元模型上端固定 6 向自由度,其它自由度不固定,固定条件为承受 60 t 拉力载荷,径向扩张力 6 t,基管材料为 316 L 不锈钢,变量为基管布缝方式,分别为 8 缝均布,10 缝均布,12 缝均布和 14 缝均布。通过有限元方法,分析不同缝密度下的 V_m 等效应力值^[20],得到结果见表 2。

表 2 不同缝密度有限元分析计算表

Table 2 Results of finite element analysis under different seam densities

分析代号	缝密	V_m 等效应力/mPa	单边变形量	强度评价系数
工况 1	截面 8 缝均布	162	5.08 mm, 主要为径向变形	2.96
工况 2	截面 10 缝均布	276	8.18 mm, 主要为径向变形	1.74
工况 3	截面 12 缝均布	292	12.66 mm, 主要为径向变形	1.64
工况 4	截面 14 缝均布	500	14.17 mm, 主要为径向变形	0.96

表 2 中,强度评价系数为无量纲数,为对应工况下工件抗拉强度与 V_m 等效应力比值,系数越高,径向变形后的结构强度越好。表中分析了 4 种工况:工况 1 强度结构大,但是变形量很低,在 6 t 扩张力的条件下,无法满足膨胀筛管基管扩张要求;工况 4 中 V_m 等效应力超过抗拉极限,强度失效,无法满足膨胀筛管使用条件;从工况 2 与工况 3 中优选工况 3,拥有满足使用条件的强度评价系数,变形量大,布

缝密度大,这样有利于进一步提高膨胀筛管的过流能力,降低启动动力。优选工况 3 中截面 12 缝均布为最优参数。

将膨胀筛管基管布缝密度固定在 12 缝均布,通过有限元分析计算不同缝长对强度与变形量的影响。其余参数不变,给缝长设置变量分别为 90 mm, 100 mm, 110 mm, 120 mm 进行有限元强度分析^[21],得到结果见表 3。

表 3 不同缝长有限元分析计算表

Table 3 Results of finite element analysis under different seam lengths

分析代号	缝长/mm	V_m 等效应力/mPa	单边变形量	强度评价系数
工况 1	90	142	5.04 mm, 主要为径向变形	3.38
工况 2	100	218	6.84 mm, 主要为径向变形	2.20
工况 3	110	292	12.66 mm, 主要为径向变形	1.64
工况 4	120	389	13.12 mm, 主要为径向变形	1.23

由表 3 中分析结果可以看出,随着缝长加长,强度评价系数下降,降幅越来越小,单边变形量升高,升幅越来越小。在工况 1 与工况 2 中,变形量低,无法满足筛管膨胀使用要求;从工况 3 与工况 4 中的数据对比可以看出,缝长超过 110 mm 后,对于变形量的增加不再明显。相比之下,强度系数的降低敏感性更高。由此可知,优选 110 mm 缝长为最优参数。

为在保证强度的条件下获得更好的膨胀性与过流面积,轴向缝间距应等于径向缝间距,截面布缝密度为 12 缝,114.3 mm 基管径向缝间距 D_1 为 30 mm,单个缝的面积为 $A_0 = 110 \text{ mm}^2$ 。

通过有限元分析后,最终选用的割缝参数为:缝长 110 mm,缝宽 1 mm(根据水射流加工设备加工能力得到的固定参数),一周均布 12 条缝,轴向间

距 30 mm。

膨胀筛管膨胀后,原来割出来的缝由长方形变成了八边形,基管的内径由 $\phi 102 \text{ mm}$ 增大到 $\phi 121 \text{ mm}$,如图 4 所示。

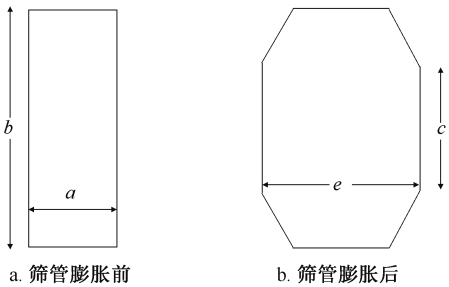


图 4 膨胀割缝基管膨胀前后筛缝形状对比
Fig. 4 Comparison of expandable slotted base pipe before and after expansion

膨胀割缝基管膨胀后缝宽计算公式如下^[22],即

$$e = \frac{\pi}{m}(D_f - D_i) + a \quad (6)$$

式中: e 为变形后缝宽,mm; m 为周向割缝数量; D_i 、 D_f 分别为膨胀前、后管外径,mm; a 为变形前割缝宽度,mm; c 为轴线两条缝之间间隔,mm。

计算 $e = 5.97$ mm。变形之后的缝面积 $A_f = 457.9$ mm²。膨胀后,过流面积扩大了3.2倍。

3.1.2 接头连接设计

膨胀筛管连接螺纹结构设计是膨胀筛管技术实施的重点和难点。其螺纹一般采用不同于API螺纹的特殊螺纹,设计时必须满足以下要求:具有良好的塑性和止裂性;上有割缝,且具有可膨胀性;膨胀后具有较高的连接强度;易于加工,具有良好的可操作性。

根据上述设计要求,初步确定连接接头的基本结构:螺纹接头为无接箍结构,筛管连接扣型采用了金属贴合密封式可膨胀连接扣,带有交错排布的切割缝,保证轴向强度的同时允许发生径向扩张变形,连接扣膨胀过程中,从拼接缝处措动展开,同时压并连接扣之间的间隙,实现金属贴合密封,从而建立连接扣防砂体系。螺纹牙呈倒齿形结构,以保证内外螺纹紧密咬合且强度高。公螺纹顶端和母螺纹根部有螺钉固定锁死,进一步提高膨胀后接头连接强度。

3.2 大通径悬挂封隔器

膨胀筛管膨胀后通径会变大,要求上部管柱尤其是悬挂封隔器也要有超大通径,在确保足够的悬挂和密封能力条件下,方便胀锥或后续措施作业管柱顺利下入和起出。

常规177.8 mm悬挂封隔器内通径 $\phi 90$ mm左右,最大到 $\phi 100$ mm。为了满足胀锥的要求,将悬挂器内通径增大至 $\phi 123$ mm。为此,将悬挂器最大外径增大至 $\phi 153$ mm以保证中心管、胶筒和活塞的厚度。嵌入式卡瓦已经无法安装,改造成环状卡瓦。由于活塞的厚度不足,为了确保悬挂器足够的坐封力,设计了双启动活塞,最终形成了如图5所示的超大通径悬挂封隔器。其悬挂器达到了60 t,为膨胀筛管提供足够的支撑力,密封能力超过25 MPa,可有效挡砂、压力隔绝。

3.3 膨胀工具

膨胀锥是膨胀筛管完井中的另一个关键因素,也是膨胀过程中对筛管的基本约束条件。合理的

膨胀锥头可以降低膨胀过程中的阻力,减小膨胀过程中锥头和筛管接触的摩擦系数,以达到节省膨胀过程中的能量消耗,提高膨胀管的力学性能的目的。对管内膨胀筛管完井而言,如果是新井或者没有发生套管变形的井,可以只使用定径胀锥进行施工,操作简单。分体式定径胀锥没有连接螺纹,其可以内置在外管柱内,随外管柱一起入井,膨胀作业需要使用配套的膨胀芯轴推动胀锥进行筛管膨胀作业。

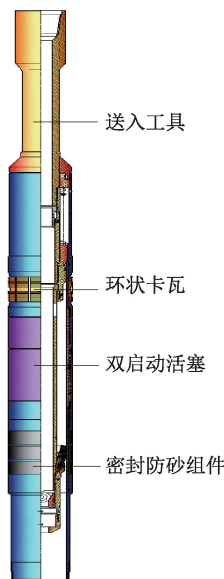


图5 大通径悬挂封隔器结构示意图

Fig. 5 Structure of packer with long diameter suspension

分体固定式胀锥系统由三部分组成,分别为胀锥短节、加力杆、坐放引鞋,如图6所示。

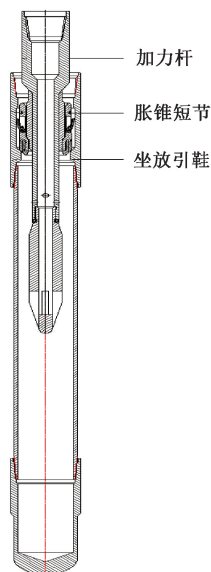


图6 膨胀工具结构示意图

Fig. 6 Structure of expandable tool

固定式胀锥预置于胀锥短节中,通过下入起导引传力作用的加力杆释放固定式胀锥,使其扩张膨胀筛管,传力杆与固定式胀锥之间没有硬连接。分体固定式胀锥完成扩张作业后,将被加力杆推至处于管柱最底部的坐放引鞋中,加力杆可以起出井口,分体固定式胀锥对比整体固定式胀锥优点在于,扩张膨胀筛管的风险更低,不会出现因胀锥硬卡造成的插旗杆事故,加力杆可以震击分体固定式胀锥,有利于通过复杂膨胀段。

表 4 AZ343 井基础数据
Table 4 Basic data for Well AZ343

射孔弹尺寸/ mm	孔密与 枪型	井型与 层组	射孔尾管 磅级	射孔尾管 钢级	尾管底部 位置/m	尾管顶部 位置/m	尾管尺寸/ mm	射孔井段/ m
17.78	40 孔/m, 114.3 mm 射孔枪	直井 AS 组	29#	N80	2 834	2 241	177.8	2 656.0~2 665.0
								2 671.0~2 677.0
								2 681.0~2 690.0

如图 7 所示,下入膨胀筛管工具覆盖该井的射孔段,对该井进行膨胀筛管完井施工。施工后,日产量达到 521 t,几乎恢复到了该井下筛管前的日产量,试油测试井筒内含砂量 0.001 2%。

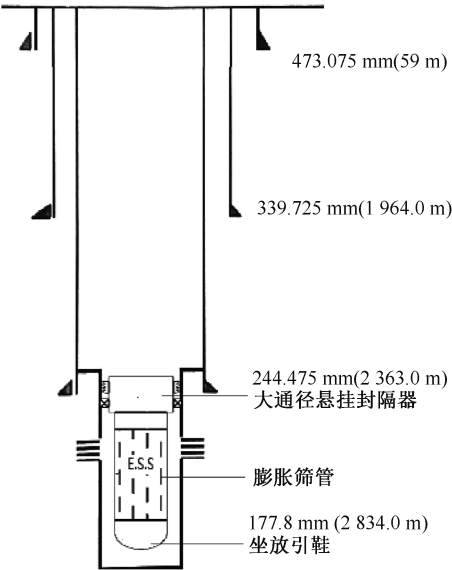


图 7 AZ343 井膨胀筛管防砂完井后井身结构示意图
Fig. 7 Well configuration of Well AZ343 after completion with expandable sand screen

从应用效果上看,膨胀筛管防砂完井技术实现了在几乎不影响产量的情况下进行有效防砂。

5 结论

(1)膨胀防砂筛管完井技术可以增大筛管的过流面积、减小筛管与套管之间的环空间隙,降低井筒内流体流动阻力,从技术原理上可以满足类似 AHWAZ 油田 AS 组高产高出砂油藏的机械防砂

4 现场应用

到目前为止,已经在 AHWAZ 区块的 11 口出砂井中应用了可膨胀防砂筛管完井技术,防砂效果明显,应用该技术后原油平均出砂量接近为 0,日均产油超过 500 t。
以 AZ343 井为例。该井是一口二十多年的老井,基础数据见表 4。由于砂埋射孔炮眼造成产量严重衰减,投产最高产量 543 t/d,停产前产量不足 14 t/d。

要求。
(2)根据工具的施工参数优化了膨胀管结构,形成了条形缝 12 缝交错均布、缝长 110 mm 的膨胀基管布局,并研制了配套的大通径环状卡瓦悬挂封隔器、分体固定式胀锥系统及送入工具,形成了膨胀筛管防砂完井技术工具配套。
(3)膨胀筛管技术已成功在 AHWAZ 油田应用,通过现场应用可知该技术可在几乎不影响产量的情况下实现有效防砂,有效地保证油井高产、稳产。
(4)该技术相比常规的筛管防砂技术拥有完井通径大,对产量影响小,防砂精度高,工艺实施简单安全的优点,适合在其他出砂油田进行推广。
致谢:本论文撰写过程中,单位相关领导及项目同事对论文的内容提出了建设性意见,在此表示衷心感谢。

参考文献

[1] 王玥,张恒,杨文领,等. 膨胀筛管技术在 AHWAZ 油田高产出砂井中的研究与应用,2017 年度钻井技术研讨会[M]. 北京:石油工业出版社,2017:711-720.
[2] 刘洋,王玥,黄敏,等. 小井眼膨胀筛管完井技术研究在伊朗油田的应用,2018 年度钻井技术研讨会[M]. 北京:中国石化出版社,2018:898-903.
[3] 王建学,万建仓. 钻井工程[M]. 北京:石油工业出版社,2008:263-289.
[4] 钻井手册(甲方)编写组. 钻井手册(甲方)(上册)[M]. 北京:石油工业出版社,1990:125-136.
[5] 成大先. 机械设计手册[M]. 第 4 版. 北京:化学工业出版社,2002:212-220.
[6] 万仁溥. 现代完井工程[M]. 第 2 版. 北京:石油工业出版社,2000:254-269.

- [7] MOHD I I, GEDDES M W. Fifteen years of expandable-sand-screen performance and reliability [J]. SPE Drilling & Completion, 2014, 29(2):141-149.
- [8] ROBERT L C, GREEN A, JOHN A G D. Completion of an underbalanced well using expandable sand screen for sand control [C]. SPE 79792, 2003.
- [9] ROSA F S N, BIANCO L C B, BARATA P A. New well design using expandable screen reduces rig time and improves deep water oil production in Brazil [C]. SPE/IADC79791,2003.
- [10] AYOOLA O, NNANNA E, OSADJERE P, et al. Expandable sand screen deployment in cased hole completions: SPDC experience [C]. SPE 128601, 2009.
- [11] KABIR M R, AWANG M, UMAR L, et al. First successful implementation of expandable sand screen (Ess) technology in an open hole horizontal well located in Baram field, Offshore Malaysia - A case study [C]. SPE 84914, 2003.
- [12] JONES C, TOLLEFSEN M, METCALFE P, et al. Expandable sand screens selection, performance, and reliability; a review of the first 340 installations [C]. SPE/IADC 97282, 2005.
- [13] 沈琛, 宁学涛, 朱海波, 等. 膨胀筛管防砂技术研究[J]. 石油钻采工艺, 2011, 33(1):102-104.
SHEN Chen, NING Xuetao, ZHU Haibo, et al. Application of expandable screen pipe technology for sand control [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2011, 33(1):102-104.
- [14] 何育荣, 朱海波. 膨胀筛管的研制及现场试验[J]. 石油钻探技术, 2011, 39(3):106-109.
HE Yurong, ZHU Haibo. Expansion sand screen development and field test [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2011, 39(3):106-109.
- [15] 何生厚, 张琪. 油气井防砂理论及其应用[M]. 北京: 中国石化出版社, 2003:107-116.
- [16] 吴柳根. 膨胀筛管技术研究现状及发展建议[J]. 石油机械, 2015, 43(3):26-30.
WU Liugen. Current researches and development proposals for technologies related to expandable screen [J]. China Petroleum Machinery, 2015, 43(3):26-30.
- [17] 范玉斌, 安茂吉, 王涛, 等. 新型抽砂防砂工艺技术研究与应用[J]. 石油矿场机械, 2008, 37(9):91-94.
FAN Yubin, An Maoji, WANG Tao, et al. Study of new sand washing and sand prevention technology and its application [J]. Oil Field Equipment, 2008, 37(9):91-94.
- [18] 马建民, 刘永红, 李夯, 等. 可自适应膨胀防砂筛管结构设计及防砂机理研究[J]. 石油矿场机械, 2010, 39(9):1-4.
MA Jianmin, LIU Yonghong, LI Hang, et al. Structure design and sand control mechanism research of self-adaptable and expandable sand control screen [J]. Oil Field Equipment, 2010, 39(9):1-4.
- [19] 朱云波, 司念亭. 浅谈防砂筛管的流通面积计算[J]. 新疆石油天然气, 2007, 3(2):63-65.
ZHU Yunbo, SI Nianting. The study on sand control screen open area calculation [J]. Xinjiang Oil & Gas, 2007, 3(2):63-65.
- [20] 王路超, 徐兴平. 基于 ANSYS 的割缝筛管强度分析[J]. 石油矿场机械, 2007, 36(4):41-43.
WANG Luchao, XU Xingping. Strength analysis of slotting screen with ANSYS [J]. Oil Field Equipment, 2007, 36(4):41-43.
- [21] 杨立辉, 李春福, 宋开红, 等. 316L 不锈钢膨胀筛管基管井下膨胀有限元分析[J]. 石油机械, 2011, 39(8):11-15.
YANG Lihui, LI Chunfu, SONG Kaihong, et al. A finite element analysis of the downhole expansion of the base tube of the 316L stainless steel expandable screen [J]. China Petroleum Machinery, 2011, 39(8):11-15.
- [22] 宁学涛, 吴柳根, 唐成磊, 等. 膨胀筛管螺纹连接技术研究[J]. 石油机械, 2012, 40(4):42-45.
NING Xuetao, WU Liugen, TANG Chenglei, et al. A preliminary study of the thread connection technology for expandable screen pipe [J]. China Petroleum Machinery, 2012, 40(4):42-45.

编辑 王 军

第一作者简介:刘洋,男,1983年出生,硕士研究生,工程师,2009年毕业于西安石油大学材料工程专业,现主要从事油气井完井工程研究及现场技术服务工作。电话:022-25921433;Email:liuyang19831101@163.com。通信地址:天津市滨海新区大港油田三号院兴胜道渤海钻探工程研究院,邮政编码:300280。