

天然气田开发

涩北气田纤维复合高压充填无筛管防砂 技术研究与应用

周福建^{1,2}, 杨贤友², 熊春明², 李海平³, 宗贻平⁴, 孙凌云⁴, 汪君臣⁴

(1. 石油大学(华东), 山东 东营 257061; 2. 中国石油勘探开发研究院, 北京 100083;

3. 中国石油勘探与生产分公司, 北京 100044; 4. 中国石油青海油田分公司, 甘肃 敦煌 736202)

摘要: 涩北气田是我国第四大气田, 其储层为第四系粉砂岩和泥质粉砂岩。这些岩石胶结疏松, 出砂严重, 气水层间互, 防砂难度极大, 属世界性难题。研究了纤维复合高压充填无筛管防细粉砂技术系统——储层预处理技术(使用带正电支链的软纤维吸附细粉砂颗粒成颗粒集合体来稳砂)、纤维复合体技术(纤维-树脂砂三维网状复合体挡砂)和高压充填技术(不压开地层充填纤维化合物在水泥环外形成类筛管, 达到无筛管防砂目的, 并解除近井带损害和增加泄气面积)。该技术可达到防砂和增产双重目的, 在涩北气田涩 7-1-4 井应用取得很好的效果, 不出砂产量平均增产到原来的 2.1 倍。介绍了纤维复合高压充填无筛管防细粉砂技术的理论、实验、施工设计和现场应用。

关键词: 纤维复合; 高压充填; 无筛管防砂; 储层预处理

中图分类号: TE358

文献标识码: A

文章编号: 1672-1926(2005)02-0210-04

青海涩北气田是中国第四大气田。该气田储层主要为第四系粉砂岩和泥质粉砂岩, 具有欠压实、成岩性差、胶结疏松, 以及高粘土、高泥质、高矿化度和强敏感性、气水层间互, 出砂严重等特点。所出砂为细粉砂(粒度为 0.03~0.07 mm), 常规防砂技术基本无效或效果很差, 防砂难度极大。近 10 年来, 气田先后邀请国内外多家石油技术服务公司采用了机械、化学、压裂防砂等工艺, 均未取得预期的效果^①, 只能靠控制压差生产, 仅能发挥其产能的 30% 左右, 大大限制了气井产能的发挥。

针对涩北气田储层特点, 我们研究采取了纤维复合高压充填防砂技术。先根据储层敏感性强、细粉砂特点, 使用含支链带阳离子基团的软纤维处理液对储层进行预处理, 再根据气水间互特点和防止压开水层的要求, 研究采用了不压开地层的高压充填工艺将纤维与树脂涂层砂形成的三维网状结构的复合体填充到水泥环周围, 形成具有高导流能力的挡

砂屏障^②。

纤维复合高压充填无筛管防细粉砂技术在涩北气井涩 7-1-4 井进行先导性试验, 防砂后不出砂, 产量增产到原来 2.1 倍以上。此项防砂技术若在涩北气田全面推广应用, 将取得很好的经济效益。

1 纤维复合高压充填防砂设计

防砂的英文表述以前是使用 Sand Control, 近来越来越多地使用 Sand Control Management, 即防砂的真正含义是砂的控制与管理。防砂不仅仅是狭义上将砂防住, 而是通过综合治砂, 提高油气井的无砂产量, 达到高效、经济开采, 提高油气藏的开采效益。因此, 任何防砂工艺设计必须满足以下要求: 其一是防砂同时不能降低产能, 并且要增加产能; 其二是防砂作业要低投入、高产出; 其三是防砂作业要考虑施工简单方便、井中不留工具。使用无筛管防砂技术, 易于重复作业。涩北气田细粉砂防治工

收稿日期: 2005-03-01; 修回日期: 2005-03-18。

基金项目: 国家“973”项目“低效气藏高效改造与保护的基础研究”(编号: 2001CB209107)资助。

作者简介: 周福建(1967-), 男, 江苏沐阳人, 高级工程师, 在读博士, 从事储层改造与保护研究。E-mail: yangxianyou@petrochina.com.cn。

① 中国石油青海油田公司研究院. 涩北气田开发方案. 内部资料, 2001。

② 周福建. 纤维复合防砂技术系统. 中国石油勘探开发研究院. 内部资料, 2003。

艺设计必须遵守这些原则

涩北气田防砂工艺适应性分析。目前主要的防砂方法有两类,一类是机械防砂,另一类是化学防砂。涩北气田储层为细粉砂岩和泥质粉砂岩地层,砂粒径中值为 $0.03 \sim 0.07 \text{ mm}$,若要用机械方式挡住如此细的砂,就会严重影响气井的产能。另外,井中下入工具,给将来修井和重复防砂带来困难。这就决定了机械防砂方法对涩北气田细粉砂适应性差。至于化学防砂,主要是使用树脂液挤注入地层来固结地层,对储层损害大,这也将严重降低储层的渗流能力。由于树脂本身的特点,决定该防砂作业有效期短。此外,近年来发展起来的压裂防砂,对于涩北气田那些气水间互,水层与气层相距在 10 m 之内的井适应性也较差,压开的裂缝易将相距较近的水层沟通,导致气井大量出水,防砂失败。

因此,为了满足这部分井开发需要,结合 Sand Control Management 要求,本项研究创新地设计了纤维复合高压充填无筛管防砂工艺技术,主要包括:

① 使用含软纤维的处理液对储层进行处理“稳”砂,软纤维是一种长链带辫状支链(带有阳离子基团)的聚合物,该物可将储层的细粉砂通过电荷吸附“固”结为一定粒径的较大颗粒,达到“稳”定储层细粉砂颗粒的目的;

② 纤维复合技术,利用纤维与树脂涂层砂“固”结成三维网状复合体,充填在井筒水泥环周围“固”结为牢固三维网状复合体类筛管,阻挡储层砂进入充填带,来综合“防”细粉砂,不用筛管防砂,又称无筛管防砂;

③ 使用高压充填工艺,不压开地层,不会沟通邻近的水层,并能将纤维和树脂砂混合物在井筒水泥环周围充实,在水泥环外形成类筛管,增加气井的泄流面积,改善防砂后渗流条件,达到“增”产目的;

④ 水敏、盐敏、酸敏和碱敏损害对该储层来说都为强损害^[2],使用清洁携砂液技术,可减少对该储层的这些损害,“保”护储层。故而纤维复合高压充填无筛管防砂技术能达到增产与防止地层出砂的双重目的。

2 储层预处理技术

涩北气田储层为细粉砂岩和泥质粉砂岩地层,砂粒径中值为 $0.03 \sim 0.07 \text{ mm}$,粒度小于 0.01 mm 的占 28% ,要使小于 0.01 mm 的颗粒不移动基本是不可能的,只有将颗粒变大,才能保证颗粒稳定。因此,在防砂作业时必须要考虑对储层进行预处理。在处理液中加入的软纤维,是一种长链带支链的阳离子聚合物。软纤维的支链带有阳离子基团,在水溶

液中靠电性作用,整条链展开;当处理液进入储层后,软纤维带正电的支链能吸附细粉砂,使之成为细粉砂的集合体,变成类似大颗粒的物质。因此,就提高了细粉砂的启动压差,使细粉砂的临界流速增大,防止了细粉砂的运移。

图 1 给出涩 4-18 井的储层产出细粉砂粒经软纤维处理前后测得的粒度分布结果,可以看出处理前颗粒的粒径中值为 $18.6 \mu\text{m}$,经软纤维处理后,颗粒的粒径中值为 $102.3 \mu\text{m}$ 。

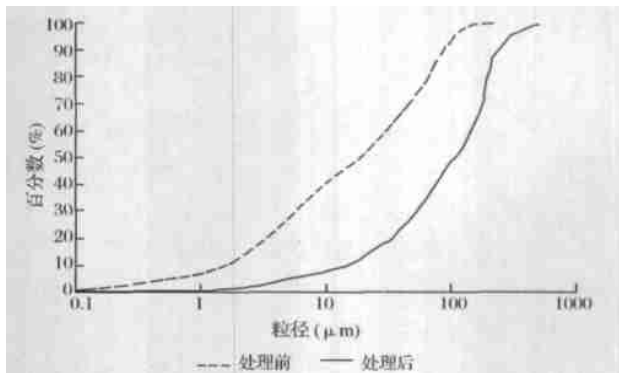


图 1 涩 4-18 井产出细粉砂经软纤维处理前后的粒径分布

3 纤维复合体技术

纤维复合体是一种特殊的由防砂纤维和树脂涂层砂形成的复合体。利用特制防砂纤维的弯曲、卷曲和螺旋交叉,互相勾结形成稳定的三维网状结构,将树脂涂层砂粒束缚于其中,可形成较为牢固的过滤体,同时具有一定的渗透率,达到类似充填筛管一样的效果和达到防砂之目的。纤维复合体防砂不用筛管,可以起到与防砂筛管防砂同样的目的,其原理见图 2 所示。

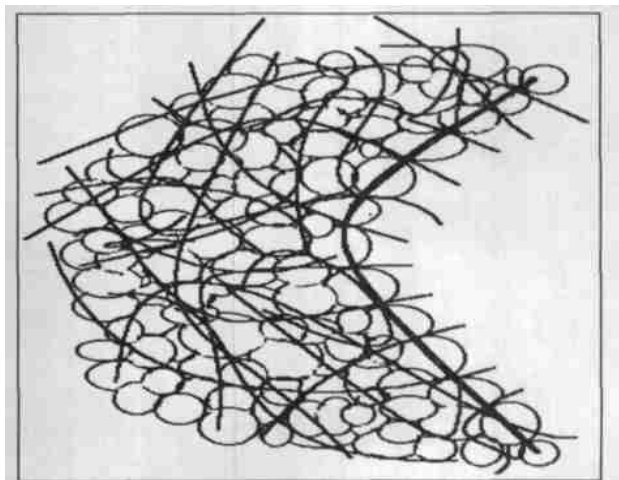


图 2 纤维复合体防砂原理

通过砂体的坍塌实验研究纤维的稳定砂体能力,并确定防砂纤维的临界浓度。本研究设计了 9组不同纤维(本实验中实验使用的纤维为该课题研制的特殊防砂纤维)浓度条件下砂体的稳定性实验,其实验结果见图 3。

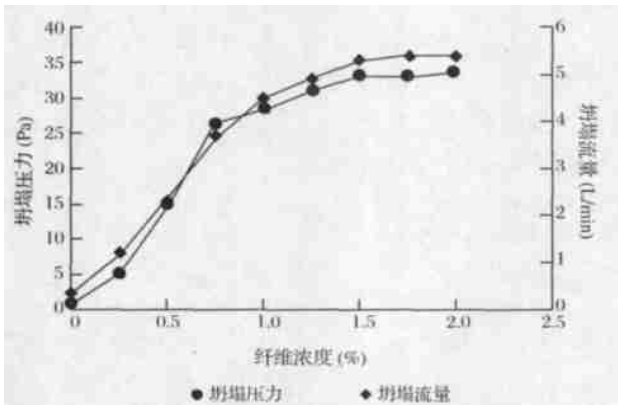


图 3 纤维对砂体稳定能力

由图 3 可以看出,浓度为 1.5% 的纤维复合体的坍塌流量是不含纤维砂体的 15 倍,坍塌压力是其 44 倍。还可以看出,纤维浓度增大,纤维复合体的稳砂性能增强。当纤维的浓度低于 1% 时,纤维的浓度对砂体的稳定性影响较大,基本线性相关;当纤维浓度大于 1.5%,再继续增加纤维的浓度,复合体的稳砂性能基本不变;可以确定纤维复合体中的纤维的临界浓度为 1.5%。

关于纤维对复合体的强度的影响研究。分别对树脂涂层砂、1.5% 纤维与树脂涂层砂在盐水基清洁压裂液中,55℃ 下固化 72 h,对固结体的抗压强度进行实验研究,其实验结果见表 1,纤维可以使涂层砂的抗压强度提高 50% 左右。

表 1 纤维对涂层砂的强度影响

序号	介质	抗压强度 (M Pa)	平均抗压强度 (M Pa)	抗压强度提高率 (%)
1	0.3~0.6 mm 砂	5.1	5.2	148.08
2		5.3		
3		5.2		
4	0.3~0.6 mm	7.6	7.7	
5	砂+1.5%	7.7		
6	纤维	7.7		

4 清洁携砂液

涩北气田储层是脏的泥质细粉砂岩,泥质含量为 40%~60%,粘土矿物主要为伊利石(43%~67%)、绿泥石(18%~29%)、高岭石(12%~17%),其次为伊蒙混层(0%~14%,混层比为 10%)。还

有 1% 左右少量的蒙脱石。涩北气田储层水敏、盐敏、酸敏和碱敏的损害程度都为强。水敏和盐敏的平均损害程度为 94% 和 97%,临界矿化度为 80 000 mg/L,临界 pH 值为 7.5 左右,酸敏和碱敏平均损害程度为 76%^[2]。

常规聚合物基携砂液对储层损害大,由于聚合物残渣将吸附在储层和纤维复合体颗粒表面,降低了储层渗流能力。为此,研制了清洁携砂液体系,该体系为不含聚合物和固相颗粒的流体,是使用粘弹性表面活性剂配制的粘弹性携砂液,没有任何残渣留在储层,具有良好的保护储层性能。清洁携砂液保护涩北气田储层的实验结果见表 2,可见 3 块岩心的渗透率恢复值平均为 90.93%,所研制的清洁携砂液对涩北气田储层具有较好的保护性能。

表 2 清洁携砂液保护储层实验结果

序号	K_a ($\times 10^{-3} \mu\text{m}^2$)	K_{ad} ($\times 10^{-3} \mu\text{m}^2$)	K_{ad}/K_a (%)	平均 K_{ad}/K_a (%)
112 [#]	101.61	95.43	93.92	90.93
114 [#]	402.23	362.12	90.03	
118 [#]	542.17	481.75	88.86	

5 防砂施工及效果

纤维复合高压充填无筛管防细粉砂技术在涩北气田涩 7-1-4 井进行先导性试验。涩 7-1-4 井防砂层段为 1 321.2~1 322.7 m 和 1 324.0~1 326.4 m 两段(图 4),有效厚度 3 m,均为灰色泥质粉砂岩,泥质含量在 42%~45%,两段颗粒粒径均在 20~40 μm ,孔隙度为 28%,渗透率为 $95 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,含气饱和度为 54%。

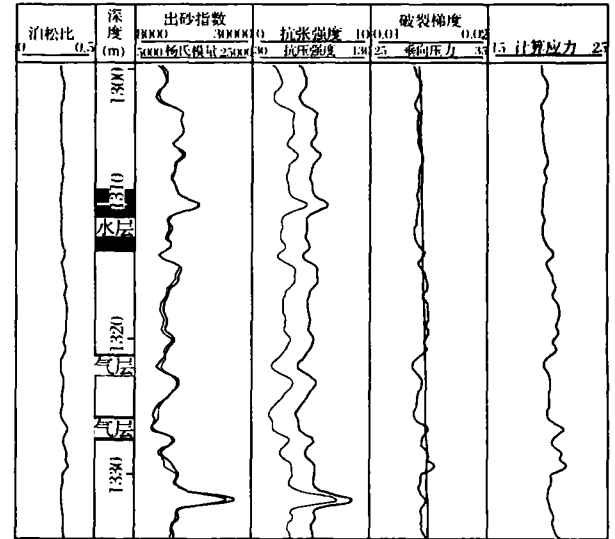


图 4 涩 7-1-4 井的防砂层段

1 309.0~1 313.5 m 层段为水层,距防砂层约 7.0 m,其间没有很好的泥岩隔层。经模拟计算,如使用压裂作业,将上面的水层压开,将导致大量出水。因此,采用纤维复合体充填防砂,控制排量低于 $1.3 \text{ m}^3/\text{min}$,不会将上面的水层压开。

用 $0.3 \text{ m}^3/\text{min}$ 的速率将 9 m^3 含有软纤维的预处理液挤到储层,对储层进行稳砂处理。用 30 m^3 携砂液和 2.0 m^3 顶替液(施工排量为 $0.5\sim 1.2 \text{ m}^3/\text{min}$)进行纤维复合高压充填施工,施工压力为 $7\sim 20 \text{ MPa}$ 。使用树脂涂层砂共 5 m^3 ,特种防砂纤维共 50 kg。

防砂前日产气 $3.63\times 10^4 \text{ m}^3$,出砂严重,影响气井正常生产。使用纤维复合高压无筛管防砂作业后,该井日产气 $8.23\times 10^4 \text{ m}^3$,不产水,不出砂,产气量提高到原来的 2.3 倍。

6 结论

通过研究纤维复合高压充填无筛管防砂技术,

并在涩北气田涩 7-1-4 井成功实施,据此可得出以下结论:

(1) 使用预处理液技术对防砂层段进行处理,防止储层岩石润湿反转和软纤维带正电的支链吸附储层中的细粉砂,使细粉砂聚集成为集合体,可防止细粉砂的运移。

(2) 防砂纤维和树脂涂层砂形成稳定的三维网状的结构牢固的过滤复合体,同时具有较高的渗透率,起到与筛管同样的挡砂效果,达到防砂目的,可实现无筛管防砂。

(3) 使用高压充填技术不压开地层,可以对气层距水层较近的井实施纤维复合防砂作业。

参考文献:

- [1] Zhou Fujian. Application and study of fine-silty sand control technique for unconsolidation quaternary sand gas reservoir [A]. Sebei Qinghai SPE 86464[C]. 2004.

APPLICATION AND STUDY OF FINE-SILTY SAND CONTROL TECHNIQUE USING FIBER-COMPLEX HIGH PRESSURE PACK IN SEBEI GAS RESERVOIR

ZHO U Fu-jian^{1,2}, YANG Xian-you², XIONG Chun-ming², LI Hai-ping³,
ZONG Yi-ping⁴, SUN Ling-yun⁴, WANG Jun-chen⁴

(1. *Petroleum University(East-China)*, Dongying 257061, China; 2. *RIPED, PetroChina*, Beijing 100083, China;
3. *PetroChina*, Beijing 100044, China; 4. *Qinghai Oil Field of PetroChina*, Dunhuang 736202, China)

Abstract Sebei gas field is the fourth one in China. Its pay-zone is unconsolidation Quaternary fine-silty and dirty sandstones, alternating with gas and water layers, with severe sand production. Grain size of the sand is very fine, so sand control here is very difficult, it is cosmopolitan puzzle. We have succeeded in applying a series of techniques of comprehensive sand control using fiber-complex pack. The technique uses formation pretreatment (soft fiber, its branched chain with electric charge adsorbs on fine siltstones and forms big aggregations of fine siltstones). special fibers and resin-coated sand complex to stabilize pack. Using high pressure pack to form the fiber complex annularity of well and to increase productivity, It bypasses near well bore damage. This combined rehabilitation technique enables screenless sand control completion. The technique was applied in Se 7-1-4 well; the results are remarkable. After the sand control treatment, sand was not found even the gas production rate is 2.1 times that of before. This paper presents lab study, operation design, well selection principle, field operation and result analysis about the sand control technique.

Key words Fiber-complex; High pressure pack; Screenless sand control; Formation pretreatment.