

三凝水泥浆体系在深井、超深井固井中的应用^{*}

房志毅¹ 吴仕荣² 姚坤全² 李早元¹ 郭小阳¹

(1.“油气藏地质及开发工程”国家重点实验室·西南石油大学 2.中国石油西南油气田公司工程技术与监督部)

房志毅等.三凝水泥浆体系在深井、超深井固井中的应用.天然气工业,2008,28(7):58-59.

摘要 川东北地区 $\varnothing 177.8$ mm尾管固井存在裸眼井段地层承压能力低、高低压力系统同存、气显示层段多、温差大、喇叭口附近水泥浆易发生超缓凝、强度不够的固井技术难题。针对固井技术难题,提出采用三凝水泥浆体系分别封固油气层、非油气层的技术思路;套管重合段采用常规密度水泥浆封固,能有效地防止高温水泥浆超缓凝现象。该体系在七北103井固井中的应用,取得了固井质量优为30.98%,中为39.54%,差为29.48%的良好效果。对比同一构造同一套管层次固井作业,尤其是套管重合段,该体系保证了悬挂器处封固质量,注水泥后井口没有出现喇叭口附近窜气冒气现象,有效地防止了气窜的发生。声波测井结果表明,复杂井段的封固质量达到了防气窜的目的。

关键词 深井 注水泥 水泥浆 气窜 固井质量

七北103井是由中国石油天然气集团公司川庆钻探工程公司川东钻探公司实施钻井作业的一口重点勘探井,该井位于四川省宣汉县南坝镇境内。七北103井设计井深5 680 m,完钻层位为三叠系下统飞仙关组,钻探目的是获取储层参数,使飞仙关组气藏探明储量升级。 $\varnothing 213$ mm钻头实钻至井深5 634.5 m完钻,层位为飞四段;属于典型的“三高”气井。

一、固井难点

异常高压油、气、水层固井一直是固井施工的难点,七北103井 $\varnothing 177.8$ mm尾管固井难度主要体现在如下几个方面:

(1)两个S型井眼,井眼轨迹复杂,套管下至设计井深难度大。

(2)地层承压能力较低,易井漏;井斜度大、套管不易居中,水泥浆顶替效率难以得到有效保证。

(3)尾管封固裸眼段长达1 815.15 m,喇叭口与井底温差大,喇叭口处水泥浆易发生超缓凝。

(4)录井解释 $\varnothing 244.5$ mm套管鞋以下须家河组有含气段,离喇叭口近,固井作业时易发生气窜,对水泥浆防窜性能要求高。

(5)七北103井长裸眼段高低压力系统同存,极易出现喷漏同存的复杂情况。属于高产量、高压、高含硫三高气井,固井中要压稳气层、确保固井质量有一定难度。另外,该井的固井还具备一般深井、超深井固井作业的特点,深井、超深井的固井难度也较大,主要原因是由于井下温度、压力较高,地质条件和工程条件异常复杂,往往是漏失、垮塌、井径异常扩大、小间隙等同时存在,造成各种技术措施难以有效发挥作用^[1-5]。

二、技术思路

七北103井是一口探井,实钻井深5 680 m, $\varnothing 244.5$ mm套管下至3 819.35 m; $\varnothing 177.8$ mm尾管悬挂器喇叭口位于3 627 m处,重合段长192.35 m, $\varnothing 177.8$ mm套管下深5 632 m。 $\varnothing 244.5$ mm套管以下裸眼段长为1 860.65 m,井眼呈S形。为了保证油气层段封固质量,首先要在注水泥浆过程中始终保持井筒内的液柱压力等于或略大于地层流体压力;其次要保证水泥浆在凝固过程中失重时,水泥石能抵抗住地层流体的侵蚀,能起到防止下部地层气窜的作用。对于七北103井的特殊井下复杂情况,应用多凝水泥,这样既能保证地层压力平衡,又能起

^{*} 本文受到四川省应用基础研究项目(编号:2007JY029-136)的资助。本文作者还有川庆钻探工程公司井下作业公司川东分公司的石庆。

作者简介 房志毅,1979年生,硕士研究生;从事油气井固井水泥浆体系设计、固井工艺研究工作。地址:(610500)四川省成都市新都区西南石油大学研究生院。电话:13880996889。E-mail:fangzhiyi@sina.com

到防止气窜的目的。在非油气层井段上部的套管重合段,采用凝固时间相对较长的常规密度缓凝水泥浆封固,密度高于当量地层压力。通常情况下,套管重合段采用漂珠微硅低密度水泥浆进行封固,而本文采用常规密度水泥浆封固,这是因为井底温度较高,而 $\varnothing 177.8$ mm 尾管悬挂器处温度相对较低,如使用漂珠微硅低密度水泥浆体系,在悬挂器位置极易出现超缓凝现象,使用常规密度水泥浆比漂珠微硅低密度水泥浆更能有效地防止超缓凝现象并能在封固井段顶部形成坚硬结实的盖层,确保喇叭口附近井段封固质量,阻止下部气体通过喇叭口窜流,施工后结果也验证了这点。在非油气层井段中下部,采用凝固时间相对短一些的漂珠微硅低密度中凝水泥浆体系封固。这样的目的是用低密度水泥浆来保持地层压力平衡;在高温高压油气产层,采用凝固时间较短的常规密度加砂水泥,这样可使封固油气层段的水泥浆在凝固过程中始终承受非油气层段水泥浆和上部泥浆共同提供的液柱压力,即使此段水泥浆因凝结而失重,也能避免地层流体对油气层段水泥石的破坏,从而提高油气层段的封固质量,加砂后可以保证水泥石在长期高温高压下的强度稳定性。随着井深的增加,水泥浆在高温高压下的流动及应力状态都会改变。高温下水泥外加剂会发生聚合、降解、交联反应。要选择优良耐高温的外加剂,根据井下温度、压力条件下进行流变学设计,达到失水小、析水少、流动性好,要按照流变学来设计和调整水泥浆性能,达到紊流顶替,以提高顶替效率。水泥浆柱结构见表1。

表1 水泥浆柱结构表

封固井段 (m)	水泥类别	密度 (g/cm ³)
3 267~4 000	缓凝水泥	1.88
4 000~5 200	漂珠微硅中凝水泥	1.45
5 200~5 634	加砂快干水泥	1.90

三、实验结果

(1)缓凝水泥

1.2% HS-2A+0.3% SXY-2+1% HS-R(总固相百分比),见表2。

(2)中凝水泥

嘉华 G 级水泥:江油德圆漂珠:峨眉托阳油井水泥稳定剂为 70:20:10(质量比)。

表2 缓凝水泥实验数据表

水固比	0.48	实验压力	80 MPa
实验温度	100 ℃	流动度	20 cm
实验水源	现场水	自由水	0
API 失水	52 mL	稠化时间	348 min/40 Bc • 357 min/85 Bc
密度	1.88 g/cm ³	抗压强度	21 MPa/100 ℃×21 MPa×24 h

流变参数(90 ℃): $PV=63$ mPa·s; $YP=75$ Pa; $n=0.84$;
 $K=0.95$ mPa·sⁿ。

1% LT-2+0.8% SXY-2+0.65% HS-R(总固相质量百分比),见表3。

表3 中凝低密度水泥实验数据表

水固比	0.58	实验压力	80 MPa
实验温度	100 ℃	流动度	21.5 cm
实验水源	现场水	自由水	0
API 失水	58 mL	稠化时间	192 min/40 Bc • 205 min/85 Bc
密度	1.45 g/cm ³	抗压强度	16 MPa/100 ℃×21 MPa×24 h

流变参数(90 ℃): $PV=84$ mPa·s; $YP=35$ Pa; $n=0.89$;
 $K=0.82$ mPa·sⁿ。

(3)快干水泥

嘉华 G 级水泥:永川渝西油井水泥高温强度稳定剂为 100:35(质量比)1.2% HS-2A+0.3% SXY-2+0.1% HS-R(总固相质量百分比),见表4。

表4 快干加砂水泥实验数据表

水固比	0.42	实验压力	80 MPa
实验温度	100 ℃	流动度	23 cm
实验水源	现场水	自由水	0
API 失水	61 mL	稠化时间	161 min/40 Bc • 166 min/70 Bc
密度	1.90 g/cm ³	抗压强度	24 MPa/100 ℃×21 MPa×24 h

流变参数(90 ℃): $PV=78$ mPa·s; $YP=45$ Pa; $n=0.86$;
 $K=0.93$ mPa·sⁿ。

四、结论及认识

(1)实践证明对于复杂压力体系地层应用三凝水泥固井,固井质量得到明显提高,在七北 103 井应用,取得了固井质量优为 30.98%,中为 39.54%,差为 29.48% 的良好施工效果。对比同一构造同一套管层次固井作业,该次固井取得了很好的效果,尤其是采用了常规密度水泥浆封固套管重合段,保证了悬挂器处封固质量,注水泥后井口没有出现喇叭口附近窜气冒气现象,有效地防止了气窜的发生。

(2)应用三凝水泥的优点是可以针对不同地层

压力系统,采用不同密度的水泥浆,在达到压力平衡的同时,具有防止气窜功能等。缺点是施工时对水泥浆量要求控制严格,每种水泥浆上返高度要精确计算,避免返入上部层段或上返高度不够,不能充分发挥三凝水泥的效用。

(3)要充分发挥三凝水泥浆体系的优点,在混灰过程中,材料(外掺料和外加剂)必须严格要求与室内实验时所用材料一致。包括材料的生产厂家,批次等。混灰过程中,外加剂和外掺料要求少量多次加入,避免混灰不均造成水泥浆性能不稳定,影响施工质量。

参 考 文 献

[1] 陶永金,左训国.两凝水泥浆在青海油田深井固井中的应

用[J].石油钻探技术,1997(9):37-40.

[2] 刘德平,付华才,吴林龙,等.川东深井固井技术[J].钻采工艺,2006(1):27-30.

[3] 张宏军,张伟,杨亚馨,等.复杂地层多套压力层系尾管完井固井新工艺[J].石油钻探技术,2004(5):67-70.

[4] 唐洪明.蒙脱石与酸反应固相变化实验研究[J].西南石油学院学报,2006,28(3):41-43.

[5] 姜鹏飞.淡水泥浆侵入的电测阻值修正[J].西南石油学院学报,2006,28(4):5-7.

(收稿日期 2008-01-19 编辑 钟水清)