

深井、超深井高温高压井下工具研究*

刘清友¹ 湛精华^{1,2} 黄云¹ 李顺平³

(1.西南石油学院 2.江汉油田分公司采油工艺研究院 3.四川石油管理局川东钻探公司)

刘清友等.深井、超深井高温高压井下工具研究.天然气工业,2005;25(10):73~75

摘要 针对井下工具和工艺管柱在深井超深井中高温、高压等特殊环境下各种生产措施的运用,并对井下工具和工艺管柱在各种特殊生产措施中提出的一些特殊要求展开专项研究。主要从压裂酸化、分层注水、机械卡堵水等方面对井下工具和工艺管柱进行研究,并对江汉油田分公司采油工艺研究院所在深井、超深井高温高压井下工具进行了论述和介绍,有利于指导油气田的现场施工,具有一定的实际意义。

关键词 高温高压 深井 超深井 井下工具 压裂酸化

在油气田的开发生产中,随着井深的不断增加,井下的温度和压力也随之不断地增加,措施作业中的施工压力也增加,当井深达到5000 m以上时,一般情况是:地层温度在130℃以上,压力在50 MPa以上,施工压力在80 MPa以上。由于井深、工作量大、施工时间长,而原有井下工具的耐温耐压指标较低,不能满足现场需求,在使用中会出现如下问题:封隔器胶筒与密封盘根等橡胶件出现高温脱硫或高温碳化;在高压下井下工具发生变形、破裂、断裂;管柱的温度效应显著,伸缩变形量大,发生应力断裂;管柱受高压作用及压力波动的影响,发生漏失和脱扣。如果以上问题不能很好解决,将会直接导致如下后果:①施工不能正常进行或根本无法施工,造成施工失败和原材料的浪费;②在大直径套管井内,施工后的排液时间长,对施工效果的影响大,从而影响区块的整体评价和开发;③施工失败后发生卡钻,从而需大修作业;④工具及管柱出现问题后,压井不能压到位,动管柱易发生井喷,特别是高压气井更危险。因此,研制能满足高温高压井内各种措施管柱及配套工具技术就显得十分必要和迫切。

一、江汉油田高温高压管柱技术指标

根据目前国内深井超深井中井温高、压力高的一般情况,研究深井超深井用高温高压管柱及工具,应该考虑的是如何保证在高温高压下密封可靠、操

作简单、使用安全的要求。江汉油田在近年来针对油田开发的新形势与特殊施工工艺需要,对高温高压井下管柱及工具进行了研究与应用,大幅度地提高了井下工具的耐温耐压指标,能适应国内4500~7000 m深井的措施施工。所研制管柱的主要技术指标见表1。

表1 高温高压管柱主要技术指标

适用套管规格(mm)	∅127.0	∅139.7	∅177.8
工具外径(mm)	100	114	148、152
管柱内通径(mm)	≥40	≥45	≥50
工作温度(℃)	≥150		
工作压差(MPa)	酸化压裂 60~80 分层注水 35~60 卡堵水 60		
适应井深(m)	4500~7000		

二、新型密封元件研制

由于过去对橡胶材料的研究已做了大量的工作,单纯从提高材料的性能和配方研究已比较困难,且资金投入大。故在研究中,主要在对胶料配方方面进行选择和改进的同时,对胶筒的几何结构形状进行研究和优化设计,通过这两个途径,使其达到设计要求的性能。在2001年以前,对封隔器胶筒的主

* 本文系中国石油“井下封隔器”工作行为仿真项目内容。

作者简介: 湛精华,1962年生,高级工程师,西南石油学院博士研究生;江汉油田分公司采油工艺研究院副院长,1982年毕业于西南石油矿机专业,主要从事井下工具及配套工艺方面的技术和产品开发。地址:(610500)四川省成都市新都区西南石油学院。电话:(028)83032740。E-mail:hyhuangyun@126.com

要研究思路是在广泛市场调研的基础上,确定了一家具有较强研究实力和生产能力的厂家为合作伙伴。根据调研情况设计出3种不同的结构,对每种结构采用同一种胶料、相同的硫化工艺和试验条件,进行对比试验,优选出耐压效果最好的I型结构,耐压指标达到60 MPa。然后在相同的试验条件下,对不同胶料进行比较,优选出耐高温高达150℃的胶料。2001年以后,通过对性能优良的胶料进行改性,优选各种添加剂,形成了适用于油田的胶料配方。同时在胶筒的结构和应用组合上也进行了研究改进,研制成功了大内径胶筒;另外胶筒质量的提高也使原来应用比较单一的三胶筒组合演变成单、双、三胶筒3种组合方式,给封隔器的设计增大了构思空间。胶筒的性能指标在改选胶料、调整配方、改进结构和硫化工艺后有了质的飞跃,耐高温达到180℃、耐压80 MPa,耐高温指标比原胶筒提高了60℃,耐压指标提高了30 MPa;并且不采用肩部保护机构也能达到同样效果。目前油水井高温高压胶筒主要技术指标见表2。

表2 高温高压胶筒主要技术指标

类别	YS146×101	YS113×73	YS113×80	YS113×89	YS99×62
工作温度(℃)	180	180	180	180	180
工作压差(MPa)	60	80	80	80	80
密封间隙(mm)	6	6	6	6	6
残余变形(%)	3	2.9	2.99	3.1	3

三、高温高压井下管柱及工具研制

1. 压裂酸化管柱及工具研制

(1)管柱结构及原理。压裂酸化管柱主要由井口投球器、管柱伸缩补偿器、反循环压井洗井开关、替酸器、水力锚+卡瓦封隔器、坐封滑套等工具组成。该结构的管柱可保证在不拆换井口完全密闭的状况下,安全可靠地完成施工,并实现施工所要求的全部工艺过程和动作。

其工作原理是:根据施工设计配管柱下井,然后进行全管柱正替前置液,替液完成后,打开井口投球器投入球杆,从油管加液压关闭替酸器滑套,坐封坐卡封隔器,水力锚和管柱伸缩补偿器等相继进入工作状态后,提高泵压打掉坐封滑套中的球座,即可进行压裂酸化施工。酸压完后,打开井口投球器投入球杆,从油管加液压打开反循环压井洗井开关,可压

井洗井,也可起管柱泄液入井。施工完成后,拆开施工井口,上提管柱,封隔器解封解卡,继续上提即可顺利起出施工管柱。

(2)主要工具结构及原理。井口投球器:采用丝杆释放结构,主要由装球主体与3个顶丝组成,在地面将要投入井内使用的3个不同直径的钢球或球杆装入主体内腔,3个顶丝全部拧紧,将投球器连接在井口上。施工操作时,每松退一个顶丝则投放一个钢球或球杆下井,依次将3个全部投下井。

管柱伸缩补偿器:采用水力机械式,主要由上下接头、内外管、弹性连接和密封件组成。在施工中由液压推动活塞剪断剪钉,解除弹性连接限位,在管柱张力作用下内外管发生相对运动而工作,从而达到补偿作用,防止管柱张力断裂。

反循环压井洗井开关:采用上层油套与下层连通式结构,主要由外套、球杆、销钉、芯管及密封件组成,用于施工完后,投球杆打开芯管,使得上层油套和下层连通。这样既可进行反循环压井或反循环洗井,又可以在起管柱时使油套残液泄入井里,防止起管柱时发生井涌、井喷。

替酸器(只在酸化管柱中使用):采用限位剪钉环开关滑套结构,主要由上下接头、中间接头(主体)、垫片、滑套、球杆及密封件组成。用于酸化施工时替前置液。如果封隔器提前坐封,压力升高后打开替酸器的垫片可继续替液,替完液后投球杆关闭替液孔,然后球杆落入坐封滑套,用于坐封。如果全管柱替液能正常完成,仍投球杆完成上述过程。

水力锚+压裂酸化封隔器:采用既可单独使用,又可组成一体使用的组合式结构,封隔器同时有防止中途解封的锁紧机构和防止封隔器向下位移的单向卡瓦锚定机构。水力锚主要由主体、锚爪和中心管组成。封隔器主要由封隔密封部分、坐封锁紧部分、卡瓦锚定部分、坐封动力部分及上下连接和中心管等五大部分组成,封隔器采用液压坐封上提管柱解封的工作方式,并且有重复坐封功能。

水力锚用于克服施工中管柱的上顶力,防止封隔器向上窜动和位移。封隔器起封隔密封油套管环空,同时防止管柱向下滑动和位移的作用。

坐封滑套:由球座、主体、挡球叉等组成,用于封隔器坐封和将投入的球与球杆接住,防止其落入井底。当关闭替酸器的球杆落下并与球座配合密封,管柱内压力升高,封隔器坐封后,球座剪钉被剪断,球座和球杆一起下落并被挡住,管柱的液流通道被打开,即可进行下步施工。

2. 分层注水管柱及工具

(1)管柱结构及原理(以两级两层为例)。分层注水管柱主要由管柱伸缩补偿器、水井双向锚、封隔器、偏心配水器、底部循环凡尔、筛管、丝堵等工具组成。该结构的管柱除可完成反循环洗井、正常注水外,还可实施油套管保护和保证在不动管柱的状况下进行酸化施工。其工作原理是:根据施工设计配管柱下井,利用封隔器将各层段卡开,从油管内部加压,坐卡水井双向锚,坐封封隔器,同时剪断管柱伸缩补偿器剪钉,伸缩补偿器开始工作。装好井口,进行投捞、测试、分层注水,在注水过程当中如果需要洗井,可由尾部循环凡尔进行反洗井。

(2)主要工具结构及原理。水井双向锚:采用液压坐卡、双向卡瓦锚定支撑、上提管柱解卡、并带有锁紧机构的结构,主要由坐卡、卡瓦锚定、锁紧、解卡、防中途坐封等五部分组成。该工具用于克服管柱因压力波动引起的伸缩变形,从而达到防止由此而造成的封隔器失封的目的。施工中,从油管加液压推动活塞和锥体移动,卡瓦张开进入锚定状态,同时锁紧机构进入锁紧状态。上提管柱,中心管与外层各部分发生错动解除锁紧状态,其它各部分在摩擦力和弹性力作用下恢复原位,从而实现解卡。

封隔器:采用液压坐封、上提管柱解封、并带有锁紧机构,具有反洗井和重复坐封功能,主要由坐封、锁紧、解卡、防中途坐封等机构组成。该工具为注水管柱中最主要的工具,其性能直接关系到油田和油井能否进行分层注水。工作原理是:从油管加液压,封隔器坐封活塞上行,推动外管上行并压缩胶筒,实现坐封,同时锁紧机构进入锁紧状态。上提管柱,封隔器中心管与外层各部分发生错动解除锁紧状态,其它各部分在摩擦力和弹性力作用下恢复原位,实现封隔器解封。

管柱伸缩补偿器:主要由上接头、外管、密封总成、活塞体、平衡活塞、中心管、释放剪钉、弹簧爪、外套、下接头等组成。用于补偿管柱因井温变化、压力变化而产生的伸长或缩短。其工作原理是当注水管柱下到预定位置后,油管内打压,平衡活塞推动支撑环剪断剪钉,支撑环下行,弹簧爪失去支撑,外套与弹簧爪脱离,外管与活塞体可以发生相对移动,管柱伸缩补偿器开始工作。此时封隔器以上管柱因温度压力等因素引起的蠕变由伸缩补偿器的行程来补偿,需要动管柱时,上提油管,外管挂着平衡活塞,将该工具以下的管柱从井下起出。

3. 机械卡堵水管柱及工具

(1)管柱结构及原理。该管柱采用丢手式管柱

结构,由丢手接头、封隔器、支撑器、坐封球座等组成。该管柱可封卡任意层,可对上下封隔器进行验封,可防止管柱的上窜下滑。其工作原理是:根据设计下完施工管柱后,从油管加液压,上下两级封隔器同时坐封,支撑器坐卡。继续加液压,打掉底部球座。捞出堵塞杆,投入井下压力计,从油管加液压,同时验上下两级封隔器的密封情况。最后投入钢球,从油管加液压,实现丢手。若需要起管柱,只需下入解封打捞器打捞并上提管柱,封隔器解封,支撑器解卡,继续上提即可顺利起出管柱。

(2)主要工具结构及原理。封隔器:采用液压坐封、上提管柱解封,具有重复坐封功能。主要由坐卡、锁紧、解卡、防中途坐封等机构组成。该工具为堵水管柱中最主要的工具,其性能直接关系到能否成功地进行堵水。研究中,共设计研制了半液压平衡式和全液压平衡式两种 JP 结构形式,根据工作需要,上封隔器可用半平衡式或全平衡式,下封隔器用全平衡式。其坐封和解封原理及动作过程同注水封隔器。

支撑器:采用液压坐卡、弹性支撑、上提管柱解卡的结构。施工中,从油管加液压,推动活塞锥开弹性支撑件进入工作状态,上提管柱时,弹性支撑件在摩擦作用下下滑而退出工作状态。

四、结 论

高温高压井下工具针对不同的管柱配套设计,采取液压坐封、上提管柱解封方式,操作简单、安全、可靠,在酸化压裂、分层注水、机械卡堵水等方面,能满足 180 °C、80 MPa 范围内的高温高压的使用要求,满足不同井况不同管柱工艺的施工要求。

参 考 文 献

- 1 江汉石油管理局采油工艺研究所. 封隔器理论基础与应用. 北京:石油工业出版社,1983
- 2 岳澄,王燕群等. 高温封隔器胶筒与套管接触压力的实验研究. 实验力学,1999;(3)
- 3 Andersen J N. Full-scale high-pressure stripper/packer testing with wellhead pressure to 15,000 psi. SPE 60699, April, 2000
- 4 Mustafa Onur. Integrated nonlinear regression analysis of multiprobe wireline formation tester packer and probe pressures and flow rate measurements. SPE 56616, October, 1999
- 5 吴奇. 井下作业监督. 第三版. 北京:石油工业出版社,2003

(收稿日期 2005-03-09 编辑 钟水清)