

超级安全阀内防喷技术

周亮,周元杰,王晋,刘学忠,李一民,苏璇

中国石油集团渤海钻探工程有限公司油气井测试分公司 河北廊坊 065007

通讯作者:Email: zhouliang8@cnpc.com.cn

项目支持:中国石油集团渤海钻探工程有限公司科技研发项目“智能地层测试系统研制”(2019ZD04K)

引用:周亮,周元杰,王晋,等. 超级安全阀内防喷技术[J]. 油气井测试,2021,30(3):13-19.

Cite: ZHOU Liang, ZHOU Yuanjie, WANG Jin, et al. Inner blowout prevention technology of super safety valve [J]. Well Testing, 2021, 30(3): 13-19.

摘要 常规内防喷工具功能单一,不能与其他工艺进行配合作业;带压时不易操作且反复开启容易失封。超级安全阀内防喷技术在地面通过三通道液压控制操作井下全通径球阀开关,可与连续油管、测井电缆、试井钢丝等配合进行完井测试;预置充氮压力可推动球阀剪切连续油管等缆绳,实现管柱内封井;化学注入通道接入井场的化学注入设备,能够有效解决稠油井堵塞井口的问题。该技术在伊拉克鲁克10区块 Eridu-1 井配合地层测试、连续油管酸化以及生产测井等施工,实现了一套测试管柱与多种工艺联作,应用效果良好。超级安全阀内防喷技术为安全高效试油作业提供了技术支持。

关键词 井控; 超级安全阀; 试油; 测试管柱; 地面控制; 防喷技术; 稠油井

中图分类号:TE353 **文献标识码**:B **DOI**:10.19680/j.cnki.1004-4388.2021.03.003

Inner blowout prevention technology of super safety valve

ZHOU Liang, ZHOU Yuanjie, WANG Jin, LIU Xuezhong, LI Yimin, SU Xuan

Well Testing Branch, CNPC Bohai Drilling Engineering Company Limited, Langfang, Hebei 065007, China

Abstract: Conventional internal blowout preventer has single function and can't cooperate with other processes; It is difficult to operate under pressure and easy to lose sealing when it is opened repeatedly. Super safety valve internal blowout prevention technology controls and operates downhole full bore ball valve switch through three channels on the ground, which can cooperate with coiled tubing, logging cable and well testing wire for well completion test; The preset nitrogen filling pressure can push the ball valve to shear the coiled tubing and other cables to realize the well sealing in the string; The chemical injection channel is connected to the chemical injection equipment in the well site, which can effectively solve the problem of heavy oil wells blocking the wellhead. The technology has been applied in well Eridu-1 of Ruk 10 block, Iraq, in combination with formation testing, coiled tubing acidizing, production logging and other operations, realizing the joint operation of a set of test string and various processes, and the application effect is good. Super safety valve blowout prevention technology provides technical support for safe and efficient well testing operation.

Keywords: well control; super safety valve; well testing; test string; ground control; blowout prevention technology; heavy oil well

在石油天然气勘探开发中,井下作业是石油工程技术服务的重要环节。当井筒内的压力小于地层压力时,井下地层中的油、气、水进入井筒并形成溢流或井涌,严重时可发生井喷和着火事故。因此,井控技术是井下作业施工中的重中之重^[1-4]。

随着钻井技术的发展,超深井、超高温高压井、高含硫气井、海上平台作业等复杂环境以及特殊工艺的增多,井控安全对井下防喷提出了更高的要求^[5-6]。井下防喷是一种可以实现关闭钻杆内、外空间的井控技术。井下防喷主要分管柱内防喷和

管柱外防喷。管柱外防喷手段较多,张慧等^[7]通过对防喷器的现状与发展进行研究,分析出旋转防喷器,可有效在井眼环空与钻柱之间起封隔作业,并提供安全有效的压力控制。高成军等^[8]通过调研,提出钻具内一旦井喷失控更难补救。邓乐等^[9]在试油完井一体化开发理念基础上,建立了安全井筒屏障,形成高温酸性气藏完井技术,保证油气井安全。因此,管柱内防喷技术需要进一步优化。

国内外常用控制管柱内溢流井喷的内防喷工具主要有:箭形止回阀、旋塞阀、投入式止回阀、地

面液控式井下安全阀等。

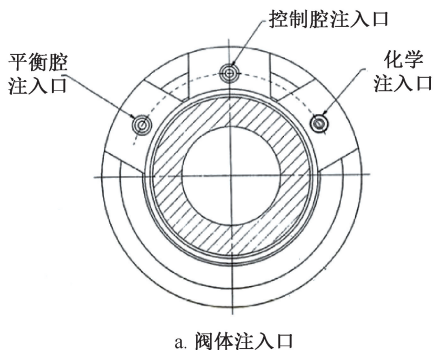
箭形止回阀利用弹簧力进行作业,密封阀杆紧贴阀座从而确保阀处于关闭状态。汪凯等^[10]、张晓东等^[11]通过对箭型止回阀的工作原理,以及现场失效统计进行分析,指出反复打开关闭流道,以及泥浆脉冲容易造成密封箭不停往复运动,弹簧疲劳失效,密封阀杆密封不严,甚至不能密封。唐俊等^[12]通过对止回阀的水力参数进行研究,设计了一种新型箭型止回阀,改善了压缩弹簧的均匀受力,满足了重复开启。但因工具内不是全通径,无法与其他工艺进行配合。

旋塞阀主要是通过金属与金属的直接接触挤压产生的细微形变实现密封^[13]。肖晓华等^[14]使用故障树分析法对旋塞阀进行分析,得出旋塞阀在压力过大时有无法操作的现象。聂海滨等^[15],分析出旋塞阀在操作旋钮处容易刺漏,造成失封。

投入式止回阀在使用时,先将预置短节接入钻铤。当有井涌时,投下止回阀,用泵将阀达到预置短节内进行密封。该方式一旦关闭,无法重新开启进行后续施工。

地面液控式井下安全阀分钢丝回收式和油管携带式,其中较常用的为油管携带式,其通过液压控制闸板实现密封^[16-19]。蒋召平等^[20]针对海上作业温度较高的问题,研发了耐高温深水式井下安全阀,通过液控实现阀板开闭。但因不具备剪切功能,无法与连续油管等进行配合作业。廖洪千等^[21],完善了井下安全阀的可变式球座和阀板关闭可靠性,在减少管柱作业次数的同时,实现了不压井施工,缩短了作业时间,但没有设计化学注入通道,无法应对清蜡以及高产气井的冰堵现象。

对于高产探井、海上平台等特殊环境,能够适用多种试油工艺的内防喷系统研究具有重要意义。



a. 阀体注入口

因此,针对常规内防喷工具存在的缺点,研究出超级安全阀内防喷技术。该技术不仅具有液控的安全稳定性,其全通径设计也可以保证球阀开启后与电缆以及连续油管进行配合作业。同时,工具内的多通道设计使得其具有功能上的多样性。可为工艺施工节约大量更换管柱的时间。

此外,在油田施工中,浅层气作业施工中易发生井喷事故^[22-24]。在面对浅层气井况时,超级安全阀的液控线路以及预置氮气压力使球阀具有快速关闭能力,关阀速度约为10~50 s,能够快速及时应对突发情况。该技术已在伊朗、伊拉克及世界其他主要产油国有数年的成功施工,但在国内尚属于空白,具备很好的推广应用前景。

1 超级安全阀技术

超级安全阀是一种故障安全阀,用于在陆上或自升式钻井平台进行油井测试。该安全阀具有用于向井下注入化学药品和控制地下安全阀的端口,可以通过使用氮气或对平衡线加压的方式来切割配合作业的测井电缆和连续油管。

超级安全阀主要由提升短节、控制、平衡、密封短节、驱动腔体、球阀总成组成(图1)。主要参数:外径203.2 mm,孔径76.5 mm,工作压力105 MPa,抗拉强度6 299 kN,扭矩强度137.6 kN·m,耐H₂S,工作温度-29~204 ℃。

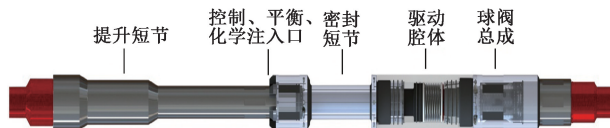


图1 超级安全阀结构示意图

Fig. 1 Structural diagram of super safety valve

1.1 工作原理

超级安全阀由三条液压管线控制,分别连接至控制腔、平衡腔(氮气腔)、化学注入接口(图2)。



b. 注入口外接液控管线

图2 超级安全阀及液压控制管线

Fig. 2 Super safety valve and hydraulic control pipeline

超级安全阀通过弹簧力关闭,同时氮气腔提供的动力可以使阀快速关闭。该特点使得超级安全阀可以在不施加平衡压力的情况下切断电缆,施加平衡压力时切断连续油管,并在切断电缆或连续油管同时及时封井。

超级安全阀以在液压控制管线上保持控制压力的方式来保持开启状态,如图 3a 所示。当管柱内带压作业时,通过操作控制管线泄压,超级安全阀将正常关闭,如图 3b 所示。

安全阀的氮气腔与平衡管线液压腔是同一腔体,氮气压力直接作用在活塞上,浮动单向阀保证氮气不会窜入平衡管线。常规状态下,平衡管线不施加压力。因此,浮动单向阀处于密封状态。当通过平衡管线将液压流体泵入腔体时,浮动单向阀处于打开状态,当液压流体流出后,浮动单向阀落在阀座上保证氮气被密封在腔体内。通常,阀的氮气充注室充有氮气至 7 MPa 至 10.5 MPa。该载荷足以切断 5.6 mm 单芯电缆,但不足以切断连续油管。可以在阀门中充入足以切断连续油管的氮气,但这会增加球阀所需的保压压力。通过施加平衡管线压力,该工具能够切割外径 38.1 mm、壁厚 3.68 mm 的连续油管并关闭球阀,如图 3c 所示。

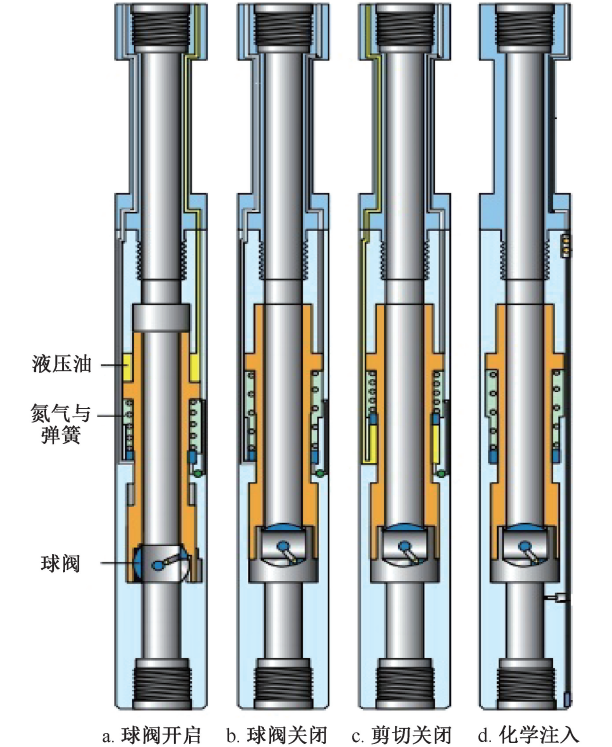


图 3 超级安全阀工作状态
Fig. 3 Working state of super safety valve

化学注入管线承压级别为 105 MPa,是为了实现井下化学注入而设立的管线。因为是独立的管线,所以不受球阀开或关的影响。当遇稠油井或结蜡时,可以接入井场的化学注入设备对井下进行化学注入。化学注入管路的作用除了给井下稠油注入化学试剂外,还可以在球阀周围结蜡转动不灵活时,通过更换化学注入塞来实现为球阀注入化学试剂,如图 3d 所示。

1.2 管柱结构

超级安全阀通常下入到防喷器组位置(图 4a),通过关闭闸板防喷器卡住密封短节(127 mm)的方式密封环空,可用于控制井流量。防喷器内径能满足超级安全阀最大外径(203.2 mm)时,可密封本体(图 4b)。只有在使用外径 244.48 mm 的套管时,超级安全阀才能够下入钻井防喷器以下的套管位置(图 4c),便于展开化学注入。

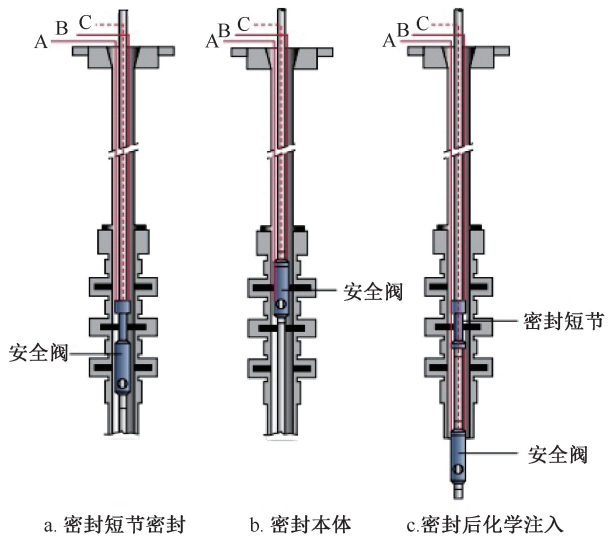


图 4 超级安全阀安装位置
Fig. 4 Installation position of super safety valve

图 4 中,A 为平衡管线,B 为控制管线,C 为化学注入管线。作业时,必须保证超级安全阀的密封短节正确的下放到防喷器半封闸板的位置。为达到此目的,在施工中使用如下的方法来操作:测量出防喷器半封闸板处到转盘平面的准确距离,并用此数据、超级安全阀密封短节中部到阀顶部的长度、变扣长度等计算出超级安全阀以上所需配管柱的精确长度。

超级安全阀上下本体扣型分别为:上接头是外径 146.05 mm 的 4STUB ACEM 母扣;下接头是外径 127 mm 的 4ACME 母扣。施工前需要提前了解管柱中提供的扣型并准备好变扣接头。

2 超级安全阀施工准备

超级安全阀施工前,针对不同井况,先预置氮气腔压力,使用具有防锈性能的试压液进行试压,并准备好地面控制台。

2.1 平衡腔充氮压力选择

超级安全阀通过保持控制管线压力的方式来保证球阀处于开启状态。保持球阀打开状态的壓力随井况而变化,通常该压力值为充氮压力的 2.5 倍。一般情况下,超级安全阀下入位置的静液柱压力很小,同时多数常规作业没有切断连续油管的需求,因此充氮压力通常为 7.0~10.5 MPa。面对不同井况,可以通过参照充氮压力标准(表 2),预置氮气腔压力。

表 2 氮气腔充氮压力标准

Table 2 Nitrogen filling pressure standard of nitrogen chamber

氮气地面 温度/℃	氮气地面 压力/MPa	氮气井下 温度 ^① /℃	氮气井下 压力 ^② /MPa	控制管线开井 压力 ^③ /MPa	体积 压缩比
10	7.0	60	18.94	26.60	2.069
		90	20.90	28.00	
		120	22.83	30.10	
		135	23.80	30.80	
		150	24.77	31.50	
		165	25.74	32.90	
		60	30.67	37.80	
		90	34.10	41.30	
		120	37.50	44.80	
		135	39.20	46.20	
10	10.5	150	40.89	47.60	2.069
		165	42.44	49.70	
		60	24.31	31.50	
		90	26.92	33.95	
		120	29.53	36.40	
		135	30.82	37.80	2.069
		150	32.12	38.50	
		165	33.40	40.60	
		60	17.39	24.50	
		90	19.16	25.90	
20	9.1	120	20.92	28.00	2.069
		135	21.79	28.70	
		150	22.67	29.40	
		165	23.54	30.80	
		60	27.71	35.00	
		90	30.76	37.80	2.069
		120	33.78	40.60	
		135	35.29	42.00	
		150	36.80	44.10	
		165	38.30	45.50	

①受流动影响;②球阀打开位置;③保持球阀打开位置。

超级安全阀的所有管线都可以承受 70 MPa 的

压力。但是正常情况下控制管线与平衡管线的压差不应超过 21 MPa,以保证阀座不会承受过高的压力而损坏。当控制管线压力为零时,平衡管线打压的极限是 70 MPa。

2.2 地面功能试验

超级安全阀入井前,应使用具有防锈性能的试压液进行试压。不能使用清水或者高黏性油作为试压液。应确保试压时工具处于一个稳定的状态,确认其重量可以被良好支撑以避免对工具及试压组件的损坏。具体试压流程如下:

(1)检查球的开、关是否正常。把试压液注入控制管线,排除管线内空气。加压时从阀的下面观察球的转动,球阀应该平稳转动到全开位置,球阀完全打开压力会快速升高。泄掉压力时球阀应该平稳转回到全关位置。试压中,球阀关闭速度约为 10~50 s。

(2)试验平衡管线。当平衡管线加压到 3.5 MPa 时,由于活塞上移会有一些液体从控制管线返出,继续加压到 21 MPa,保持压力 5 min,不得渗漏。继续增压到 70 MPa,稳压 5 min,不得渗漏。平衡管线泄压到 0 MPa,小心打开氮气密封总成,平衡管线试压完成。在测试平衡管线时,不能堵塞充氮口,且控制管线必须保持打开状态。

(3)控制管线试压。控制管线要和平衡管线一起加压,以免球阀承受过大的载荷。首先给控制管线加压 21 MPa,活塞向下运动,这时平衡管线将有液体从氮气密封扣流出。装上氮气密封总成,给平衡管线加压到 14 MPa,给控制管线加压到 35 MPa。在此基础上,保证控制管线与平衡管线压差不超过 21 MPa。每路管线以 14 MPa 增幅交替加压,直到平衡管线加压到 49 MPa,控制管线加压到 70 MPa 时,稳压 5 min,不得渗漏。慢慢泄掉控制管线压力至 0 MPa,平衡管线压力也将随之降为 0 MPa。此时球阀应该处在关闭状态。

(4)化学注入管线试压。在试压之前,应打开氮气密封总成,把氮气瓶接到平衡管线,迫使平衡管线的液体流出。连接好试压装置(图 5),确保试压装置有针阀等泄压措施。平衡管线必须保持打开状态,补偿回路置于阀的两端。

首先给控制管线加压到 21 MPa 使球阀打开到全开状态,并保持压力直到试压结束。用泵通过下部的试压装置向孔内加试压液,从上部针阀排净空气,关闭针阀,并确保补偿回路打开。化学注入管

线试压时,必须用死堵堵上安全阀下部的化学注入孔,且安全阀内必须充满试压液。完成上述工作后,方可进行化学注入管线的压力试验,先松开化学注入下部丝堵,用试压液对化学注入管线加液,从阀化学注入下部端口排除空气后拧紧丝堵。加压到 35 MPa,内部压力也为 35 MPa。稳压 5 min,不得有渗漏。压力继续增加到 105 MPa,稳压 5 min,不得渗漏。慢慢泄掉化学注入管线压力到 0 MPa。另外,保持内部压力 5 min,不得渗漏。泄内压到 0 MPa。

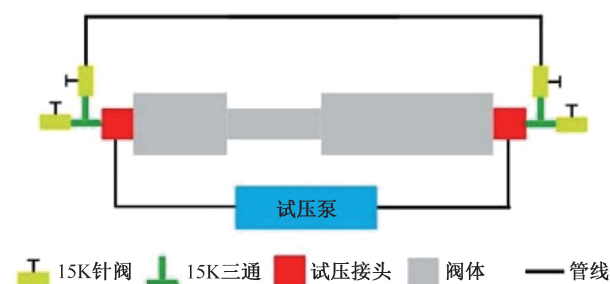


图5 超级安全阀压力实验管路图

Fig.5 Pipeline diagram of pressure test of super safety valve

(5)对球阀的密封性进行试验。连通补偿回路,加压到 35 MPa,稳压 15 min,压力增加到 105 MPa,继续稳压 15 min,确保补偿回路打开。泄掉控制管线压力到 0 MPa,关闭球阀,关闭下部试压装置的补偿回路,保持阀下部压力。从上部试压装置慢慢释放压力到 0 MPa,给球下部加压到 105 MPa,稳压 15 min,不得渗漏,然后泄压到 0 MPa。球下部加压 1.4 MPa,稳压 5 min 后,释放压力到 0 MPa。然后,慢慢加压到 70 MPa,稳压 5 min。继续慢慢增加压力到 105 MPa,稳压 5 min 后,泄压到 0 MPa,允许球阀的最大渗漏量为 10 ml/min。用 1.4 MPa 的氮气对球阀下部加压,试验后泄掉球下部压力,并卸掉下部试验装置。

该试验验证了超级安全阀带压操作的稳定性。

2.3 地面控制台准备

控制台由管线撬装和压力控制柜两部分组成。

控制台出口压力是通过操作控制柜里空气泵来实现。1#泵为主泵,2#泵为备用泵。通常情况下,2#泵的隔离阀为关闭状态,需要时再打开。

工作时,打开 1#泵进气阀,调节进气调节阀直到泵启动。通过给储能器加压打开储能器隔离阀,同时关闭储能器泄压阀。当泵工作时,油被泵入储能器,储能器的压力可通过调节阀门来控制,最大压力不超过 42 MPa。一旦超过 42 MPa,油会从储

能器的调压阀上的回路来泄压。

3 超级安全阀的现场应用

鲁克 10 区块位于伊拉克济加尔省和萨摩瓦省边界地区,距巴士拉西南约 260 km,Eridu-1 井位于 Eridu 构造顶部,目的层位 Mishrif 层,取芯显示为富含油地层。经测井对地层分析,确定最终射孔井段为 1 763.0~1 885.0 m。

该井采用 TCP+DST 射孔联作工艺。采用三开四关工作制度,测试一开井;二开放喷,生产测井;三酸化对比测试,生产测井;地面求取最大地层产能。具体测试流程如下:

(1)连接测试工具后,下放测试管柱。在管柱试压合格后,把测试工具送到目的层。

(2)校深,对工具所在深度进行精确测量。

(3)通过校深深调整封隔器坐封位置及超级安全阀密封短节卡位。

(4)操作 OMINI 阀打开循环孔,井口注入氮气垫造压差。

(5)井下关闭 OMINI 阀关闭循环孔,打开球阀。通过钢丝探阀确认球阀开启状态。

(6)投棒射孔,释放射孔枪。

(7)一开一关井测试原始地层压力。

(8)二开放喷求产。待流动压力稳定后,进行生产测井。二关进行压力恢复。

(9)三开进行连续油管酸化。待流动压力稳定后,进行生产测井,对比测试。三关压力恢复。

(10)开井求取最大地层产能。

按照施工设计,该井在试油阶段需要频繁拆装井口。为了配合施工,需要对超级安全阀进行调试。在现场对超级安全阀进行连接后(图 6),首先将控制管路的压力通过调节阀调到所要求值。控制管路调节完成后,将平衡管线的压力调节阀调到所要求的位置。这时,泵首先给平衡管线加压,当压力升高到所需压力时,将平衡管线的三位四通阀换到关闭位置。

操作泵继续为控制管线加压,加压到所需压力时,超级安全阀打开。这时,关闭控制管线的三位四通阀,憋住控制管线压力使球阀保持打开的工作状态。

此时,打开储能罐的隔离阀,将平衡管线的三位四通阀换到进压位置。平衡管路上的单向阀的作用是防止超级安全阀中的压力回流。

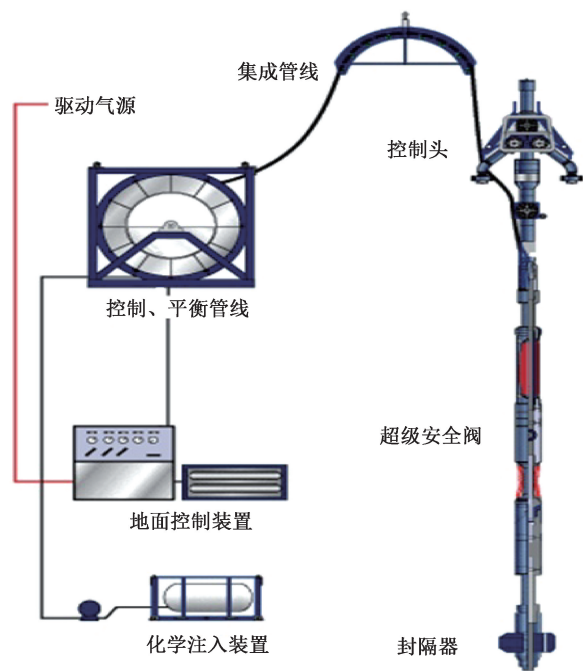


图6 超级安全阀连接图

Fig. 6 Connection diagram of super safety valve

在施工中,遇到测井工具无法通过控制头的情况时,现场操作控制管线进行泄压,20 s后超级安全阀球阀关闭,直接封闭管柱内空间再检查控制头有无沙堵现象。排除控制头沙堵情况后,给控制管线加压打开超级安全阀,测井电缆顺利通过控制头进入正常生产测井施工。

此次施工中,超级安全阀球阀开关稳定、关闭迅速,在工序转换时有效封闭管柱内空间。与连续油管以及测井电缆进行了配合施工,其内防喷功能在拆卸井口时无需进行压井作业,为试油施工节约大量时间,提高了工作效率。

4 结论

(1)超级安全阀内防喷技术的液控系统具有关闭快、带压开启容易的特点,为井口生产设备提供安全保障。

(2)能够在多种工况下作业,与多种工艺进行配合,具有良好的适配性。

(3)将多次管柱作业变为一次,大大缩短了作业时间,提高了工作效率,降低了作业成本。

(4)避免了工序转换期间的压井作业,消除压井对储层可能造成的污染。

(5)化学注入管道的建立,为超级安全阀提供了更多的功能性,可以进行防冰堵以及清蜡。

致谢:感谢渤海钻探油气井测试分公司同意本文公开发表;

感谢油气井测试分公司工程技术科、国际项目经理部对本文撰写提供的帮助和支持。

参考文献

- [1] 刘国军,许维峰,任利宝. 井控技术对油田油水井井下作业安全生产的作用[J]. 化工设计通讯,2017,43(8):242,256.
LIU Guojun, XU Weifeng, REN Libao. Important function of well control technology on the safe production of oil and water well underground operation [J]. Chemical Engineering Design Communications, 2017,43(8):242,256.
- [2] 吴志均,陈刚,郎淑敏,等. 天然气钻井井控技术的发展[J]. 石油钻采工艺,2010,32(5):56-60.
WU Zhijun, CHEN Gang, LANG Shumin, et al. The development of the well control technique in natural gas drilling [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2010, 32(5):56-60.
- [3] 刘书杰,杨向前,郭华,等. 井控溢流快速判断方法研究[J]. 煤炭技术,2017,36(5):296-298.
LIU Shujie, YANG Xiangqian, GUO Hua, et al. Research for judgment method of well control overflow [J]. Coal Technology, 2017,36(5):296-298.
- [4] 孙永明,李迪洋. 带压作业现状与发展浅析[J]. 油气田环境保护,2011,21(6):78-79.
SUN Yongming, LI Diyang. Status and development of snubbing operation [J]. Environmental Protection of Oil & Gas Fields, 2011,21(6):78-79.
- [5] 孙海林,白田增,吴德,等. 大套变井连续油管带压注水泥塞技术[J]. 油气井测试,2017,26(1):51-54.
SUN Hailin, BAI Tianzeng, WU De, et al. Under pressure cementing for the severe casing deformation well through CT [J]. Well Testing, 2017,26(1):51-54.
- [6] 刘柏超. 大庆油田电缆带压直读技术[J]. 油气井测试,2021,30(1):36-40.
LIU Baichao. Direct reading technology of cable under pressure in Daqing Oilfield [J]. Well Testing, 2021,30(1):36-40.
- [7] 张慧,刘春全,艾志久. 浅谈我国旋转防喷器技术的现状与发展[J]. 石油矿场机械,2007,36(1):28-32.
ZHANG Hui, LIU Chunquan. The review of the situation and the developing trend of rotary blowout preventer [J]. Oil Field Equipment, 2007,36(1):28-32.
- [8] 高成军,郑军辉,景英华,等. 全通径钻具内防喷器研制与应用[J]. 钻采工艺,2011,34(6):65-67.
GAO Chengjun, ZHENG Junhui, JING Yinghua, et al. Development and application of full-diameter inside blowout preventer [J]. Drilling & Production Technology, 2011, 34(6):65-67.
- [9] 邓乐,黄船,潘登. 安岳气田高温酸性气藏完井技术[J]. 油气井测试,2019,28(1):52-59.
DENG Le, HUANG Chuan, PAN Deng. Completion

- technology for high temperature sour gas reservoir in Anyue gas field [J]. Well Testing, 2019,28(1):52-59.
- [10] 汪凯,张晓东,李一岚,等. 基于箭型止回阀案例的模糊可靠性评价方法[J]. 机械设计与研究,2015,31(6):127-130.
- WANG Kai, ZHANG Xiaodong, LI Yilan, et al. Research on fuzzy reliability approach in view of arrow-type check valve [J]. Machine Design & Research, 2015,31(6):127-130.
- [11] 张晓东,闫家,汪凯,等. 钻柱内防喷止回阀结构及失效原因分析[J]. 石油矿场机械,2013,42(3):74-77.
- ZHANG Xiaodong, YAN Jia, WANG Kai, et al. Structures and failure reason analysis for check valve used as IBOP in drill column [J]. Oil Field Equipment, 2013,42(3):74-77.
- [12] 唐俊,金伟,严辉容. 一种新型箭型止回阀的结构设计与试验研究[J]. 钻采工艺,2014,37(1):81-83.
- TANG Jun, JIN Wei, YAN Huirong. Structural design and experimental study of a new arrow clappet valve [J]. Drilling & Production Technology, 2014,37(1):81-83.
- [13] 任连城,李帅,袁力,等. 钻井用内防喷压差自密封式旋塞阀结构改进[J]. 石油矿场机械,2019,48(1):31-35.
- REN Liancheng, LI Shuai, YUAN Li, et al. Structural improvement of internal differential pressure self-sealing cock valve for drilling operation [J]. Oil field equipment, 2019,48(1):31-35.
- [14] 肖晓华,戴巍,杨贵康,等. 方钻杆旋塞阀的失效分析及改进[J]. 流体机械,2009,37(1):45-49.
- XIAO Xiaohua, DAI Wei, YANG Gguikang, et al. Failure analysis and improvement on kelly cock [J]. Fluid Machinery, 2009,37(1):45-49.
- [15] 聂海滨,于兴胜,岳苏,等. 旋塞阀密封失效机理分析与改进[J]. 石油矿场机械,2010,39(4):53-56.
- NIE Haibin, YU Xingsheng, YUE Su, et al. Analysis on seal failure and improvement of kelly valve [J]. Oil Field Equipment, 2010,39(4):53-56.
- [16] 刘鹏,罗建伟,王新涛. 井下安全阀力学性能分析[J]. 石油矿场机械,2020,49(4):36-39.
- LIU Peng, LUO Jianwei, WANG Xintao. Mechanical performance analysis of subsurface safety valve [J]. Oil Field Equipment, 2020,49(4):36-39.
- [17] 周大伟,钟功祥,梁政. 国内外井下安全阀的技术现状及发展趋势[J]. 石油矿场机械,2007,36(3):14-16.
- ZHOU Dawei, ZHONG Gongxiang, LIANG Zheng. The study of technical state and development tendency for down hole safety valve of domestic and foreign [J]. Oil Field Equipment, 2007,36(3):14-16.
- [18] 李英松,董社霞,付强,等. 井下安全阀启闭阀板流场及应力场有限元分析[J]. 钻采工艺,2017,40(1):61-64.
- LI Yingsong, DONG Shexia, FU Qiang, et al. Finite element analysis on flow field and stress field of sssv flapper open/close [J]. Drilling & Production Technology, 2017,40(1):61-64.
- [19] 牛贵锋,杨万有. 高温高压井下安全阀阀板优化研究[J]. 石油矿场机械,2017,46(2):11-16.
- NIU Guifeng, YANG Wanyou. Optimization of valve plate of high temperature and high pressure downhole safety valve [J]. Oil Field Equipment, 2017,46(2):11-16.
- [20] 蒋召平,王通,李海涛,等. 海上耐高温深水式井下安全阀的设计与试验[J]. 石油机械,2019,47(8):74-78.
- JIANG Zhaoping, WANG Tong, LI Haitao, et al. Design and test of high temperature deep-water subsurface safety valve [J]. China Petroleum Machinery, 2019,47(8):74-78.
- [21] 廖洪千,李夯,杨德锴,等. 不压井采油管内防喷器关键技术[J]. 石油机械,2019,47(7):105-110.
- LIAO Hongqian, LI Hang, YANG Dekai, et al. Key technology of in-tubing blowout preventer for production without well killing [J]. China Petroleum Machinery, 2019,47(7):105-110.
- [22] 覃毅,吴永超,刘振通,等. 浅层气井防气窜固井技术[J]. 精细石油化工进展,2015,16(5):39-42.
- QIN Yi, WU Yongchao, LIU Zhentong, et al. Shallow gas well channeling prevention and cementing technology [J]. Advances in Fine Petrochemicals, 2015,16(5):39-42.
- [23] 杨鸿波,齐恒之. 渤海油田浅层气井喷预防及控制技术[J]. 中国海上油气,2004,16(1):43-46.
- YANG Hongbo, QI Hengzhi. Well blowout precaution and control technology for shallow gas in Bohai Oilfield [J]. China Offshore Oil and Gas, 2004,16(1):43-46.
- [24] 李进,常培敏,张启龙,等. 海上油田浅层气窜风险预测方法及应用[J]. 天然气与石油,2020,38(2):68-73.
- LI Jin, CHANG Peimin, ZHANG Qilong, et al. Research on the new prediction method of shallow gas migration risk for Bohai Oilfield [J]. Natural Gas and Oil, 2020,38(2):68-73.

编辑 刘振庆

第一作者简介:周亮,男,1985年出生,工程师,2008年毕业于天津工业大学机械工程及自动化专业,现主要从事地层测试、测井以及试采等工作。电话:0317-2552227,13613262858;Email:zhouliang8@cnpc.com.cn。通信地址:河北省廊坊市广阳区万庄石油渤海钻探油气井测试分公司,邮政编码:065007。