

高压气井注气剖面测试技术优化改进

周亮¹, 曾磊¹, 王一鸣², 姜居英¹, 黄剑辉¹, 李灵燕³

1. 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

2. 中国石油华北油田分公司第四采油厂 河北廊坊 065007

3. 中国石油青海油田分公司质量安全环保监督中心 甘肃敦煌 736202

通讯作者: Email: zhouliang8@cnpc.com.cn

项目支持: 中石油渤海钻探油气井测试分公司科技研发项目“复杂井况生产测井技术研究”(CS202209K)。

引用: 周亮, 曾磊, 王一鸣, 等. 高压气井注气剖面测试技术优化改进[J]. 油气井测试, 2023, 32(6): 46-54.

Cite: ZHOU Liang, ZENG Lei, WANG Yiming, et al. Optimization and improvement of gas injection and production profile testing technology in high pressure gas wells[J]. Well Testing, 2023, 32(6): 46-54.

摘要 高压气井注气剖面测试中存在井口压力高容易造成密封脂溢出引发环境污染, 以及测井施工过程中存在仪器适配性等问题。采用以全密封带压滑轮为技术核心的电缆防喷装置降低作业风险, 提高作业施工的安全性, 加强环保的同时降低作业成本; 根据单井实际情况, 对井下仪器进行优化升级, 多仪器组合提高精度及试油效率; 对井下仪器通信类别, 进行通用性改进, 使其功能兼容地面仪器, 形成了高压气井注气剖面测试技术。经华 XX 井不同注采气阶段的作业应用, 成功获取了生产测井数据。该技术为提高国内外储气库高压气井施工作业的安全环保以及注气剖面测试精度提供了技术支持。

关键词 储气库; 高压气井; 带压滑轮; PLT; 剖面测试; 环保; 高精度; 优化

中图分类号: TE353 文献标识码: B DOI: 10.19680/j.cnki.1004-4388.2023.06.008

Optimization and improvement of gas injection and production profile testing technology in high pressure gas wells

ZHOU Liang¹, ZENG Lei¹, WANG Yiming², JIANG Juying¹, HUANG Jianhui¹, LI Lingyan³

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

2. The Fourth Exploit Factory of PetroChina Huabei Oilfield Company, Langfang, Hebei 065007, China

3. Quality Safety Environmental Protection Supervision Center of PetroChina Qinghai Oilfield Company, Dunhuang, Gansu 736202, China

Abstract: With the emergence of a series of adverse problems such as reduced gas well capacity, imbalanced injection and production, and high water content of produced gas in gas storage, the fluid properties, water layer identification, and productivity measurement of each production layer in a single well play an important role in the formulation and adjustment of injection and production plans for gas storage wells. In response to the environmental pollution caused by the leakage of sealing grease caused by high wellhead pressure during high-pressure gas well gas injection surface testing, as well as the adaptability of instruments in logging construction. By improving equipment and optimizing processes, production logging operations are made more in line with the operational characteristics of high-yield gas wells. The use of cable blowout prevention devices with fully sealed pressure pulleys as the technical core reduces operational risks, improves safety during construction, strengthens environmental protection, and reduces operational costs. Based on the actual situation of a single well, optimize and upgrade the downhole instruments, and combine multiple instruments to improve the efficiency and accuracy of oil testing. Improve the universality of underground instrument communication categories and make them compatible with surface instruments. Developed high-pressure gas well injection profile testing technology. The application of high-pressure gas well injection production profile testing technology in different injection and production stages of HuaXX well has successfully obtained production logging data, demonstrating the high accuracy and universal applicability of this technology, reducing environmental pollution while greatly reducing operating costs. The high-pressure gas well injection production profile testing technology provides technical support for improving the safety, environmental protection, and oil testing accuracy of gas storage construction operations at home and abroad.

Keywords: gas storage; high-pressure gas well; pressurized pulley; PLT; profile testing; environmental protection; high precision; optimize

相对于欧洲发达国家, 我国储气库建设起步晚, 整体尚处于初级阶段^[1-2]。徐凤兰等^[3]、何学良

等^[4]、刘宝华^[5]针对储气库近年来随着气井累计注、采次数增加, 出现的气库气井容量降低、注采失

衡、采出气体高含水等一系列不良问题,总结了地层模型用于了解井筒内状况。为了提供更加详实的数据用于支持建立详实地层模型,邹顺良等^[6-7]、易小燕^[8]、羽乔等^[9]提出了使用注产气剖面测试技术对单井各个产层的注产气能力、储层情况、开发动态和动用程度等进行评价,检测气、水界面,识别井下各气层的产出流体性质、识别出水层、定量测量产层产出情况,可为储气库井注采方案的制定和调整,以及气藏开发方案的制定和调整提供可靠依据。

针对储气库井井口压力普遍较高,大部分井口压力大于 25 MPa 的情况,郑如森等^[10]、邓乐等^[11]、王春生等^[12]研究指出高压气井对井口电缆防喷设备的密封性能有更高的要求,并提出电缆防喷设备的密封效果直接关系到录取资料的质量、施工的安全。

王峻岭^[13]、张晓岗^[14]、万玉金等^[15]通过生产测井技术在国内外的使用,总结出生产剖面测试常规使用的是 PLT 生产测试组合仪,采用双工或者曼彻斯特码进行信号传输,高温仪器可以整体耐压 100 MPa,耐温 175 ℃,并在极限温度下稳定工作 2 h。多参数测井仪包括 GR-CCL(自然伽马-磁定位)遥测短节、温度短节、高精度石英压力短节、在线流量短节、密度短节、持水率短节、全井眼流量短节以及扶正器短节等。但针对储气库高压气井的注产气剖面测试特点,需要对部分仪器短节进行改进或优化配置。解决正常生产状况下高压气井注产气剖面的测试难题,满足甲方详细了解高压储气井各层注产情况的需求。

与此同时,油田动态监测的技术需求在不断增加,找水、找漏、注产剖面等测试工艺需要进行带压施工,油田后期开发阶段也有很多油气井带压电缆补孔作业。本文针对储气库注采生产特点进行调研,从升级高压电缆井口防喷装置承压能力,优化井下仪器配置,改进仪器结构,改进施工工艺及其解释方法,提高资料解释重复性等方面进行研究,最终形成一套完整的适用于高压气井的注产气剖面测试技术。随着“西气东输”项目、气井勘探测试的快速发展,该项技术将会创造更多的经济效益。

1 电缆防喷装置密封性能改进

电缆防喷装置传统的作业方式为:从井口依次向上连接井口转换法兰或接头、防喷器、下捕捉器,地面水平连接多根防喷管、上捕捉器、剪切器、密封头、防喷盒、刮缆器、吊装工具、普通天滑轮等井口防喷组件,由吊车吊钩挂着吊装工具吊装环整体垂

直吊起地面连接在一起的防喷管串(见图 1)。

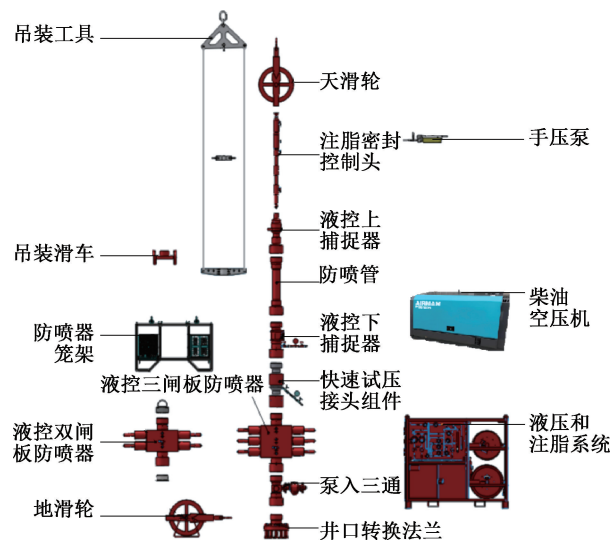


图 1 电缆防喷装置示意图

Fig. 1 Schematic diagram of cable blowout preventer

施工中,常因井口压力较高,从而增加注脂密封头密封级数,造成井口防喷管连接增长。这样极易引发因密封不严造成的密封脂飘散问题,不仅对环境造成极大破坏,也提高了生产成本^[16-21]。

1.1 带压密封滑轮的应用

为了增强电缆防喷设备密封性,研发使用带压滑轮技术,主要包括带压滑轮应用、注脂密封头改进以及密封脂回收方案 3 部分。

带压滑轮是一种带压电缆天滑轮,其除了可以作为天滑轮进行承载起吊功能,同时可承受作业环境中井液或者气体压力,进行带压作业。在油气井电缆测井、射孔或钢丝绳、钢丝带压作业中,利用带压滑轮一端连接上捕捉器剪切器和防喷管,另外一端连接注脂密封头、防喷盒及刮缆器,使注脂密封头、防喷盒及刮缆器旋转 180°朝下(见图 2)。通过这种方式不仅增强了井口防喷装置的整体密封性,也可以有效降低增加密封级数造成的井口防喷装置吊装高度,减少现场对大型起吊设备的技术要求,从而降低油田电缆测井、射孔及其它类似带压作业的作业成本。

由于带压密闭滑轮的应用使注油头的朝向从向上改为向下,传统的低进高出的注脂方式会造成密封脂无法有效堵塞阻流管与电缆之间的缝隙,造成密封不严。因此,根据注油头密封作用原理,注脂方向应与压力差方向相同,即注脂方式改为高进低出。这样电缆密封脂在井口压力和自身重力的双重作用下,更容易建立良好的注脂循环,起到更好的密封作用。

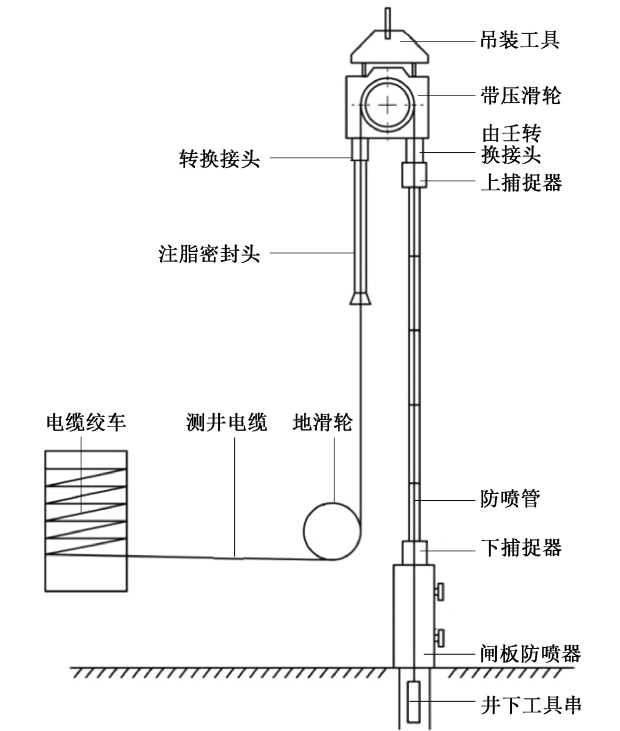


图 2 带压密闭天滑轮工作示意图

Fig. 2 Working diagram of pressurized airtight pulley

注油头顶端朝向的改变,使得其与地滑轮的间距大幅缩减,因此可在注油头至地滑轮之间使用橡胶导脂软管对密封脂进行引流,导入设备下方的储脂盒。该设计可以有效较少电缆上体过程中出现的密封脂飘丝现象,降低对井场环境的污染。

新式带压滑轮作业方式如下:

- (1)拆下带压滑轮下端堵头、试压堵头;
- (2)从电缆绞车绕出的测井电缆穿过地滑轮;
- (3)通过地滑轮的测井电缆继续拉伸,并穿过 35 MPa 注脂密封头,及连接所用转换接头;
- (4)从注脂密封头伸出的电缆从带压滑轮下端入口处穿入并从另一侧穿出,完成此动作后需来回拉动电缆,保证滑轮转动灵活;
- (5)从带压滑轮穿出电缆继续拉伸穿过由壬转换接头、上捕捉器及防喷管串;
- (6)连接井下工具串到测井电缆上;
- (7)安装转换接头到带压滑轮上,随后将注脂密封头连接到转换接头上;
- (8)连接转换接头到带压滑轮另一端,最后将已组装好的防喷管串、上捕捉器连接到转换接头上;
- (9)吊装工具通过带压滑轮和弓形卸扣连接到带压滑轮上,用现场吊车起吊已经组装好的组合体,起吊至立起后,操作电缆绞车提起井下工具串隐藏于防喷管串中;

(10)操作吊车起吊组合体,同时进行电缆绞车联动保证工具串不露出且不上升到防喷管串顶端;

(11)将起吊的组合体安装到安装有防喷器及下捕捉器的井口上,并进行连接。

1.2 其他密封性能升级措施

1.2.1 安全阻流球阀

密封头下部设计一个安全阻流球阀装置(见图 3)。当电缆意外地从密封头抽出时,钢球在高压气液流的推动下,及时堵住密封头内通径孔,防止在井口阀门未来得及关死前井内压力液流或气流通过密封头向外喷,污染环境以及可能出现的安全隐患。

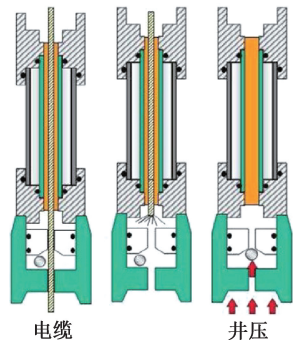


图 3 安全阻流球阀装置及其工作原理

Fig. 3 Safety choke ball valve device and its working principle

1.2.2 闸板防喷装置

常规使用双闸板防喷器,在两层闸板见注入密封脂来实现电缆密封,在开启闸板时必须平衡闸板上下的压力,在上下闸板之间注脂密封就必须反装下闸板,下层闸板反装是为了密封来自上部密封脂的压力(见图 4)。

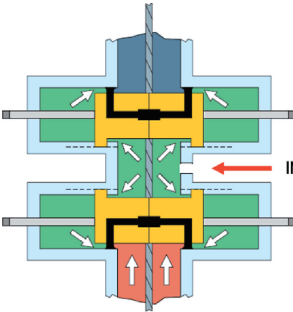


图 4 注脂密封示意图

Fig. 4 Schematic diagram of grease injection seal

为了增加防喷器的密封等级以及通用性,选用三闸板防喷器(见图 5)。闸板体采用分体设计,增大接触面积,加强密封。活塞杆加强材质强度,减小运动中的摩擦力。液缸实现快速正反装,可钢丝电缆作业快速切换,提高设备通用性。吊装提环内设密封圈,可带试压功能。

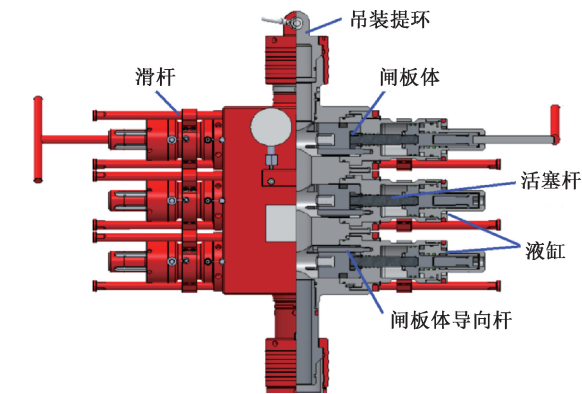


图 5 三闸板防喷器示意图
Fig. 5 Schematic diagram of three-ram BOP

2 井下仪器的改进与优化配置

由于国内外 PLT 生产测井组合仪的测试对象主要是自喷油气井,在液气混合或是纯液流体的井中具有较好的适用性,而储气库的注采井基本为单一气态,且井内流体的方向随着注采期的变化而不同,因此生产测井仪器需要根据不同的工况进行优化配置^[22-24]。

2.1 持水仪的优化配置

持水率仪主要用于测量各产出层的产液持水率,采用电容式探头,适用于自喷井的测量。为了更加精准测量高压气井的气液两相,升级优化使用光纤持气仪,利用光源产生的光通过光纤传递到探针尖端,根据返回光线的强度来判定气液两相。气、液的折射率不同,当光由光纤入射到气体中时,满足全反射条件,即全部的光入射光将在光纤尖端处反射回光纤,返回光的强度大;而当光经光纤入射到液体时,只有不足 1% 的光发生反射,而超过 99% 的光将散射到液体中,返回的光强度小。利用气体和液体的折射率差别,测量返回的光强度可以很容易的区别气体和液体(见图 6)。

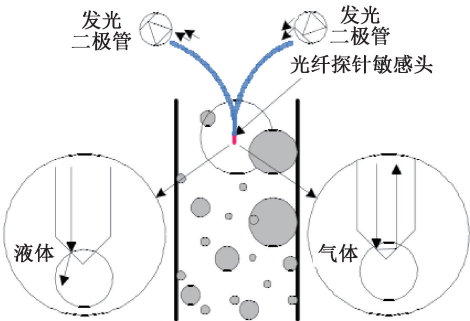


图 6 光纤探针识别气液基本原理
Fig. 6 Basic principle of optical fiber probe to identify gas and liquid

光纤持气率计主要包含光纤探针、光源(LD)、光探测器(PD)、分光耦合器、光源驱动电路、信号处理电路等部分组成(见图 7)。

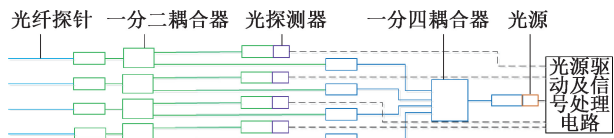


图 7 光纤持气率计结构示意图
Fig. 7 Structure diagram of fiber optic gas holdup meter

光纤持气率计通过光纤探针对气井内的气液两项进行探测。比对气体、液体通过探针时产生的数值,设定门限值。在流体匀速通过探针的过程中,仪器记录数值在门限值以上的时间与仪器开始工作总时间的比值即为持气率(见图 8)。

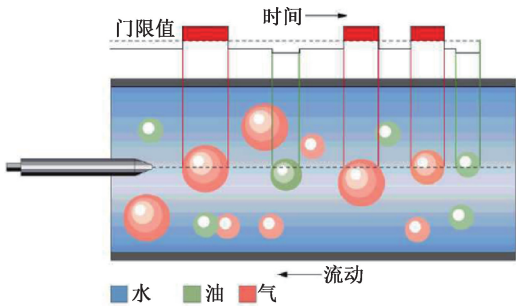


图 8 持气率计算原理
Fig. 8 Calculation principle of gas holdup

光纤持气率计与持水仪的混合使用,可以精准测量气井中的气液比例,为后续开发提供数据依据。

2.2 流量短节的优化配置

生产测井定性解释中,需要得到各产层压力、温度、密度以及持水等信息,然后结合流量计涡轮转速信息,便可以根据不同的解释模型,获得各产层的具体产量信息,从而为油田开发以及生产措施调整提供依据^[25-27]。现有的仪器串中负责测量流量参数的是在线流量短节以及全井眼流量短节。由于在线流量短节安装在仪器中部,与井内流体接触面积小,全井眼流量短节处于仪器尾端,其叶轮的叶片与流体接触面积更大,测量数据较在线流量更为精确。所以,尾端流量短节的选用尤为重要。

目前,可用的尾端流量短节有 3 种不同的结构:全井眼流量计、护套式铝合金涡轮流量计以及连续流量计。这 3 种尾端流量短节在实际应用中各有优缺点需要根据实际施工工况需求进行选用。

2.2.1 全井眼流量短节

全井眼流量短节通过叶轮将流体流速转换为叶轮转速,进而求得流体在井筒内的流量,由于其

叶片受力角度不对称及叶片收缩支撑结构的限制(见图 9),对于向上产出流体更为敏感,所以该短节更适用于产出剖面测试。

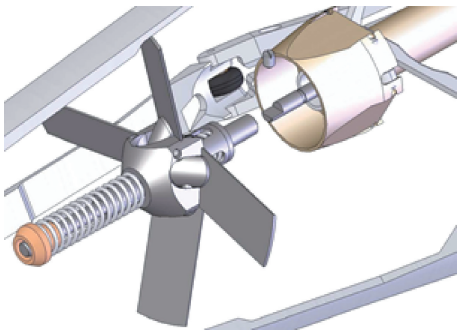


图 9 全井眼流量短节叶轮总成

Fig. 9 Full borehole flow sub-section impeller assembly

另外,全井眼流量短节末端导锥离叶轮位置较远,且叶轮在进入小于 139.7 mm 的管柱后短节机械部分整体收缩至 38 mm,对于粘在叶轮上的井下沾污可以起到一个自清洁作用。通过改进井眼流量计叶片、叶片材料由不锈钢改为钛合金,叶轮机构更加轻盈,转动更加灵活。同时改进了叶片加工工艺,使用钛合金直接 3D 打印而成,避免焊接工艺存在叶片一致性问题,使得叶轮机构转动更灵活。

2.2.2 护套式铝合金流量短节

护套式铝合金流量短节可替换全井眼机械部分,使用全井眼短节的电路部分进行通讯,它通过铝制涡轮将流体流速转换为涡轮转速,进而求得流体在井筒内的流量,由于使用的是涡轮结构整体与轴对称(见图 10),对于流体的流向灵敏度一致,且其制造材料为铝合金,具有强度高可测大流量油气井的特点。但也因为使用铝合金材质,涡轮质量较大,导致短节的最小启动排量也变大,而且由于护套与涡轮间隙较小,在实际施工中涡轮护套之间极易发生沾污或砂卡,导致仪器无流量计数。

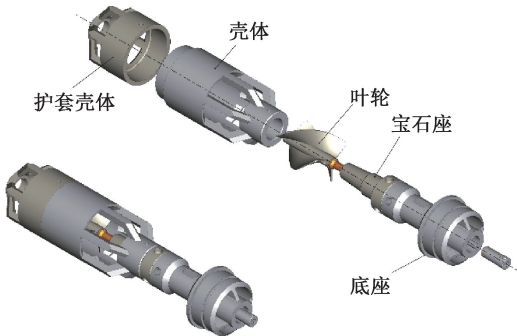


图 10 护套式铝合金涡轮流量短节

Fig. 10 Sheathed aluminum alloy turbine flow sub

2.2.3 连续流量短节

连续流量短节电路与涡轮集成为一个整体短节(见图 11),长度较全井眼流量计更短,外径与仪器整体外径一致。涡轮为耐高温复合材质,具有质量轻,强度高的特点,使得连续流量短节的最小启动排量大幅变小。结构上,连续流量短节采用的涡轮也是整体轴对称,对于不同流向的流体都较敏感,在涡轮保护部分使用 4 根加强筋式护罩的连续流量短节,涡轮与护罩的空间足够大不易被井内沾污卡住不动,且不受套管尺寸的影响。但也由于护罩开放空间大,其强度较弱,如需要探底则无法使用连续流量计短节。

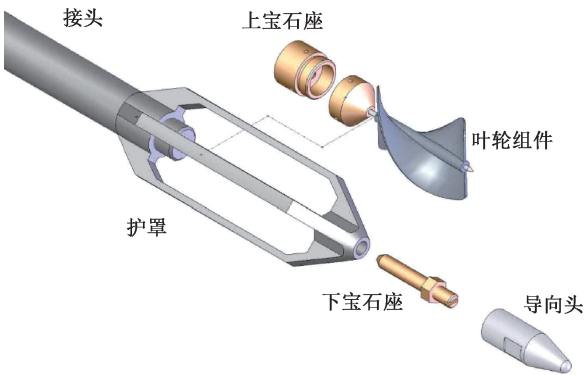


图 11 连续流量短节

Fig. 11 Continuous flow sub

3 地面系统的改进与优化配置

国内目前使用的井下仪器通信方式分为双工和曼码两种。全双工通讯涵盖所有套管井测井功能;包括工程测井、吸水剖面测井、产液剖面测井、地层参数测井等。全双工通信的数字信号处理模块通常由 DSP、现场可编程门阵列(FPGA)以及高速 AD、14 Bit、6 Msps 等芯片组成,使其功能可以通用化、模块化,且系统结构简单,操作智能方便,后续扩展性强且经济高效快捷^[28-29]。

Warrior 数控测井系统是全球应用最广的测井地面系统,能够同时支持双工和曼码通信。系统采用开放式用户界面和菜单引导方式,操作简单;具有中英文菜单切换,公制、英制切换功能。测井曲线出图格式用户可自行定义,能满足国内和国外市场的需求。其所具有的虚拟示波器功能和基本的解释功能,能够使虚拟示波器随测井程序同时运行,实时显示当前信号波形。灵活多样的图头和头尾设置模块,可使测井数据可转化为 LAS 格式、LIS 格式、DLIS 格式、XTF 格式、DAT716 格式、WIS 格

式、PDF 等通用的数据格式。

Warrior 数控测井系统处理信号时,FPGA 负责外围接口、时分信号解调、下行命令调制等任务,DSP 完成上行信号的数字滤波处理和解码任务,高速 AD 完成上行信号数字化。连接不同测井仪器时,可以选择配置测井服务表,与之对应的 DSP 固件程序即通过 USB 总线下载至 DSP 的外部程序存储器,对 DSP 动态加载,完成各种测井服务任务。所有的固件程序存放在 PC 机内,具体的测井服务表选择后才被加载到 DSP,以完成相应的测井任务。系统良好的通用性可以支持众多厂家生产的测井工具,例如:CBG, Sondex, Computalog Flex Stack, Madden Systems, Maxim, Panex, Gearhart MUX/Sequential, Lee 以及 Analog 等。

4 现场应用

华 XX 井是一口注采井。该区块原始地层压力 20.60 MPa,射孔井段 1 998.6~2 121.4 m,最大井斜:深度 1 450 m,斜度 39.74°。

2020 年 6 月、8 月、11 月,先后于不同注采气阶段,在此井运用不同的仪器配置和工艺方法进行了注产气剖面测试(见表 1)。

表 1 华 XX 井基础资料对比表				
Table 1 Basic data comparison table of well Hua XX				
注采气阶段	井口压力/ MPa	日注气量/日采气量/ (10 ⁴ m ³ ·d ⁻¹)	日产液量/ (m ³ ·d ⁻¹)	
6 月 注气中期	19.5	注 10.32	/	
8 月 注气末期	18.3	注 7.6	/	
11 月 采气初期	14.5	采 20	产水 12	

4.1 现场设备应用选择

在华 XX 井,首次应用里以带压滑轮技术为核心的电缆防喷装置(见图 12),设备密封性能良好。

新电缆防喷装置的作用和效果:

- (1)有效降低井口防喷装置的连接和起吊总高度,降低施工作业对起吊设备的有效起吊高度和吨位要求,降低施工作业成本。
- (2)避免密封头组件在起吊及放倒过程中的弯曲和折断风险。
- (3)减轻电缆与刮缆器或防喷盒喇叭口偏磨程度,有效延长电缆使用寿命。
- (4)这样电缆密封脂在井口压力和自身重力的双重作用下,更容易建立良好的注脂循环,起到更好的密封作用。
- (5)密封脂回收系统有效降低了电缆上密封脂

的飘丝现象,大大减少了对井场环境的污染。

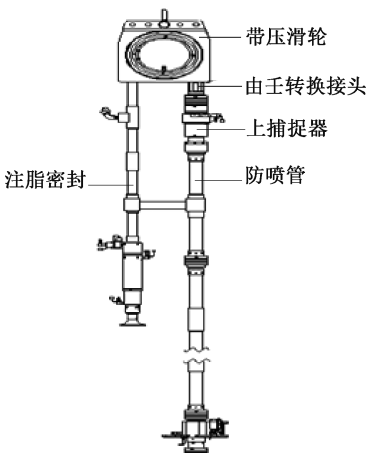


图 12 带压密闭天滑轮工作示意图
Fig. 12 Working diagram of pressurized airtight pulley

4.2 工艺优化

为了确定井下流体的性质、含量和分布规律。在注气期和采气期都应使用密度短节。密度短节主要用于测量井下流体的密度,再结合其它参数对流体进行定性定量分析。常规密度短节使用有源密度技术,会造成一定的放射性污染。华 XX 井使用非放射性方法进行密度的测量,通过检测音叉传感器在流体中的振荡周期来计算流体密度,从而得到流体密度曲线。从音叉密度与有源密度的实验数据对比可知(见图 13),音叉密度的精度可达到行业标准。

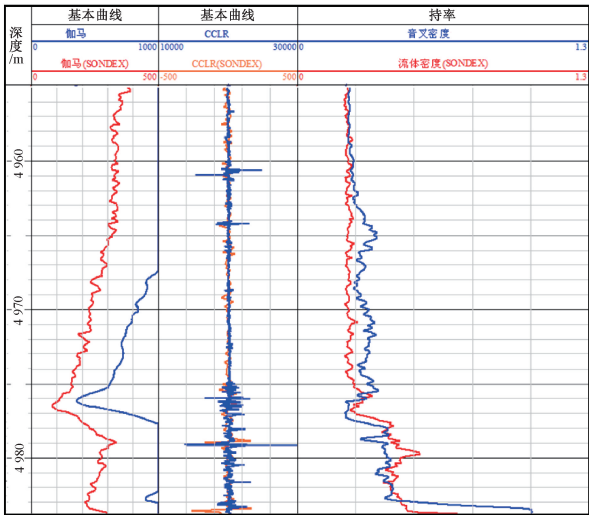


图 13 音叉密度仪与有源密度仪的数据对比
Fig. 13 Data comparison between tuning fork densitometer and active densitometer

音叉密度使用声波振动进行数据收集,因此测井速度不能超过 600 m/h,过高的测速会使仪器串震动(如扶正器通过接箍时)产生噪音,从而对音叉

密度仪造成干扰,测井曲线也会出现较大的跳跃。测井仪器进出防喷管时,特别是气井,应缓慢升压降压,避免音叉探头总成内进压,造成探头连接失效。

尽量避免在井下液体中存在气泡或者液体黏度过高的井内施工,因为音叉振动频率会降低,从而造成密度测量值出现误差。

4.3 华 XX 井现场曲线对比

6 月测井仪器串:磁定位+GR+扶正器+温度+压力+在线流量计+扶正器+持水+持气+全井眼。900 m/h 上提测井曲线(见图 14)。

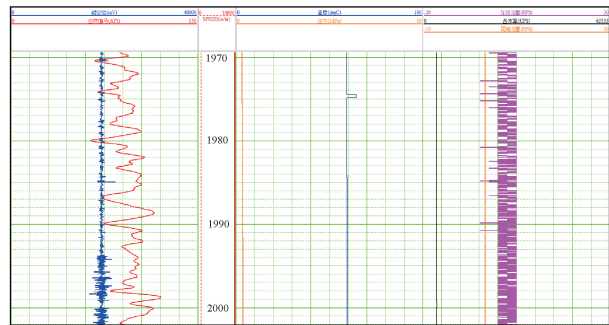


图 14 6 月华 XX 井 900 m/h 上提测速曲线
Fig. 14 In June, the 900 m/h upward speed measurement curve of Well Hua 1-1

8 月测井仪器串:磁定位+GR+扶正器+温度+压力+在线流量计+扶正器+持水+持气+连续流量。900 m/h 上提测井曲线(见图 15)。

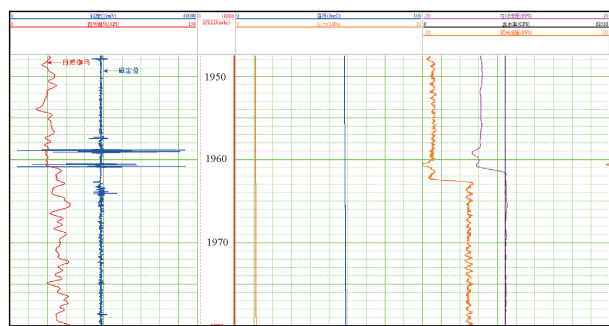


图 15 8 月华 XX 井 900 m/h 上提测速曲线
Fig. 15 In August, the 900 m/h upward speed measurement curve of well Hua 1-1

11 月测井仪器串:磁定位+GR+扶正器+温度+压力+在线流量计+音叉密度+扶正器+持水+全井眼,600 m/h 下放测井曲线(见图 16)。

通过现场试验对比,可知:
(1)在首次下探时通过持水探头监测液面位置,出现液面后停止下放,可以有效避免仪器发生沾污淤卡,然后进行校深,在确保资料可以录取完全的情况下尽量少下放至液面以下。6 月曲线造成

在线转速波动大的主要原因是首次下探时仪器直到遇阻才停止下放,上提后仪器流量出现卡死或转速不稳的问题,8 月和 11 月的曲线由于在现场施工时避免了这个问题,流量短节工作均正常。

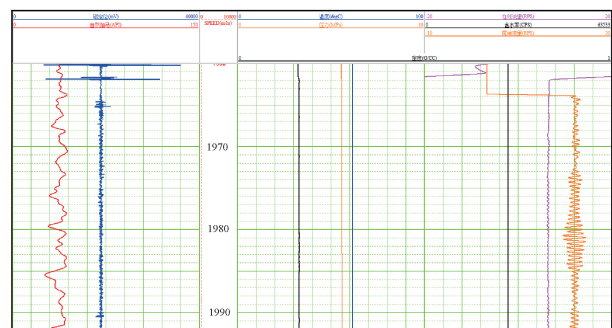


图 16 11 月华 XX 井 600 m/h 下放测速曲线
Fig. 16 In november, the velocity measurement curve of well Hua 1-1 at 600 m/h was released

(2)针对不同工况选择合适的流量短节可有效提高仪器工作的稳定性和测井成功率。通过对比 3 次测井曲线,在仪器运动与流体运动方向相反,速度大小一样的情况下,各支不同的流量短节表现存在较大差异,在注气期优先选用连续流量短节,采气期优先选用全井眼流量短节。

(3)在注气期和采气期都应使用密度短节,密度参数可以有效帮助分析井下流体的状态,避免在仪器进入井下液面后还继续下探造成叶轮(涡轮)卡死。

5 结论

(1)已带压滑轮技术为核心的新型井控设备增强了管柱密封性能,减少了 3~4 m 的防喷管树立高度以及吊车的伸臂高度,降低了作业风险。同时密封脂溢出率减少了 80% 以上,井场密封脂散落范围缩小 70% 以上,也降低了环保风险,有助于安全环保生产。

(2)井下仪器的优化配置,增强了井下数据采集的精度以及效率,实现了整体耐压 100 MPa,耐温 150 ℃,流量范围 35~1 000 m³/d,为高压气井的开发提供了有力支持。

(3)新型地面设备的应用,提高了仪器的通用性,可以同时兼容双工以及曼码仪器,降低了仪器适配所需的采购成本。

(4)为储气库注产气剖面测试的现场施工解决了多项难题,高密封性的防喷装置保障了正常施工,多样化仪器组合提高了高压气井注产气剖面测试的适应性,一次施工成功率和符合率可达 98% 以

上。防喷装置高度的降低有利于协调施工车辆,同时配合多功能测井仪器的使用,减少了仪器反复测量数据的时间,可以缩短 1 天左右施工周期并降低作业成本。高压气井注产剖面测试技术的稳定可靠应用,证明该设备可以在国内外同类型油藏进行广泛推广。

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 BOC 石油公司、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] 周军,梁光川,杜培恩,等. 欧洲天然气储气库概况与运营模式[J]. 油气储运,2017,36(7):759-768.
ZHOU Jun, LIANG Guangchuan, DU Pei'en, et al. Status and operation mode of underground gas storage in Europe [J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2017, 36(7): 759-768.
- [2] 徐俊杰,王起京,梁康. 碳酸盐岩底水气藏型储气库气井水淹机制分析——以 X 储气库为例[J]. 天然气勘探与开发,2018,41(4):76-79.
XU Junjie, WANG Qijing, LIANG Kang. Waterout mechanism of gas wells in underground gas storage rebuilt from carbonate-rock gas reservoirs with bottom water: A case study on X underground gas storage [J]. Natural Gas Exploration and Development, 2018, 41(4): 76-79.
- [3] 徐凤兰,刘述忍,李琳琳,等. 枯竭油气藏储气库试注氮气评价注气能力方法[J]. 油气井测试,2021,30(4):7-12.
XU Fenglan, LIU Shuren, LI Linlin, et al. Evaluation of gas injection capacity of depleted oil-gas reservoirs by nitrogen injection test in gas storage [J]. Well Testing, 2021, 30(4): 7-12.
- [4] 何学良,黄世军,孙常伟,等. 水淹枯竭气藏型储气库多周期注采气水相渗变化规律[J]. 油气储运,2015,34(2):150-153.
HE Xueliang, HUANG Shijun, SUN Changwei, et al. Gas-water relative permeability variation in multi-cycle injection production of underground gas storage in flooded depleted gas reservoir [J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2015, 34(2): 150-153.
- [5] 刘宝华. 储气库井试气工作制度及求产方法[J]. 油气井测试,2021,30(6):41-46.
LIU Baohua. Gas testing working system and production method of gas storage well [J]. Well Testing, 2021, 30(6): 41-46.
- [6] 邹顺良. 分布式光纤产出剖面测试技术应用[J]. 测井技术,2021,45(4):439-444.
ZOU Shunliang. Application of distributed optical-fiber production profile testing [J]. Well Logging Technology, 2021, 45(4): 439-444.
- [7] 邹顺良,杨家祥,胡中桂,等. FSI 产出剖面测试技术在涪陵页岩气田的应用[J]. 测井技术,2016,40(2):209-213.
ZOU Shunliang, YANG Jiaxiang, HU Zhonggui, et al. Application of FSI production profile logging technique in Fuling shale gas field [J]. Well Logging Technology, 2016, 40(2): 209-213.
- [8] 易小燕. 水平井产气剖面测试工艺适应性分析及在大牛地气田的应用[J]. 中外能源,2021,25(3):52-55.
YI Xiaoyan. Adaptability analysis on testing technology of gas production profile in horizontal wells and its application in Daniudi gas field [J]. Sino-Global Energy, 2021, 25(3): 52-55.
- [9] 秦羽乔,石文睿,石元会,等. 涪陵页岩气田水平井产气剖面测井技术应用试验[J]. 天然气勘探与开发,2016,39(4):18-22.
QIN Yuqiao, SHI Wenrui, SHI Yuanhui, et al. Experimental study on producing profile logging for horizontal wells, Fuling Shale-Gas Field [J]. Natural Gas Exploration and Development, 2016, 39(4): 18-22.
- [10] 郑如森,高文祥,王磊,等. 塔里木油田高压气井压井技术[J]. 油气井测试,2021,30(2):30-33.
ZHENG Rusen, GAO Wenxiang, WANG Lei, et al. Well killing technology for high pressure gas wells in Tarim oilfield [J]. Well Testing, 2021, 30(2): 30-33.
- [11] 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.
- [12] 王春生,代平,何斌,等. 浅谈库车山前超深高压气井井控安全与储层保护[J]. 钻采工艺,2015,40(4):28-30.
WANG Chunsheng, DAI Ping, HE Bin, et al. Well control safety and reservoir protection of ultra-deep highpressure gas well in Kuche piedmont [J]. Drilling & Production Technology, 2015, 40(4): 28-30.
- [13] 王峻岭. 生产测井与试井联合作业技术[J]. 油气井测试,2021,30(2):51-55.
WANG Junling. Combined operation technology of production logging and well testing [J]. Well Testing, 2021, 30(2): 51-55.
- [14] 张晓岗. 变工作制度生产测井技术在伊拉克 H 油田应用[J]. 国外测井技术,2018,39(2):58-60.
ZHANG Xiaogang. Application of variable working system production logging technology in Iraq H Oilfield [J]. World Well Logging Technology, 2018, 39(2): 58-60.
- [15] 万玉金,钟世敏,王小鲁,等. 利用产气剖面精细描述多层气藏动态特征[J]. 油气井测试,2018,27(3):72-78.

- WAN Yujin, ZHONG Shimin, WANG Xiaolu, et al. Using gas production profile to describe the dynamic characteristics of multilayer gas reservoirs [J]. Well Testing, 2018, 27 (3): 72-78.
- [16] 牛洪媛, 梁栋, 赵永华. 浅谈高压井口电缆防喷装置的研制与应用[J]. 科技风, 2018(6): 162.
- NIU Hongyuan, LIANG Dong, ZHAO Yonghua. Discussion on the development and application of high pressure wellhead cable blowout preventer[J]. Ke Ji Feng, 2018 (6): 162.
- [17] 刘锐熙, 杨万虎, 朱治理, 等. 浅谈普光气田动态监测测井工艺[J]. 石油管材与仪器, 2015, 1(6): 62-69.
- LIU Ruixi, YANG Wanhua, ZHU Zhili, et al. Dynamic monitoring well logging technology in PuGuang gas field [J]. Petroleum Tubular Goods & Instruments, 2015, 1 (6): 62-69.
- [18] 杨登波, 刘强, 陈锋, 等. 带压作业三级注脂电缆动密封技术分析研究及应用[J]. 钻采工艺, 2018, 41(4): 59-62.
- YANG Dengbo, LIU Qiang, CHEN Feng, et al. Analysis and application of dynamic sealing technology for three-stage fat-injected cable under pressure [J]. Drilling & Production Technology, 2018, 41(4): 59-62.
- [19] 杨登波, 陈锋, 唐凯, 等. 分簇射孔电缆两级注脂动密封技术分析研究及应用[J]. 测井技术, 2017, 41(5): 611-615.
- YANG Dengbo, CHEN Feng, TANG Kai, et al. Analysis and application of dual grease injection cable dynamic seal in multi-cluster perforation [J]. Well Logging Technology, 2017, 41(5): 611-615.
- [20] 蒋建平, 罗荣, 崔光, 等. 塔河油田裸眼井测井作业井控工艺技术探讨[J]. 测井技术, 2014, 38(5): 634-637.
- JIANG Jianping, LUO Rong, CUI Guang, et al. Well control technology of open hole logging operation in Tahe oilfield [J]. Well Logging Technology, 2014, 38(5): 634-637.
- [21] 刘祖林, 杨保军, 曾雨辰. 页岩气水平井泵送桥塞射孔联作常见问题及对策[J]. 石油钻采工艺, 2014, 36(3): 75-78.
- LIU Zulin, YANG Baojun, ZENG Yuchen. Common problems of pumping bridge plug and clustering perforation for horizontal shale gas well and countermeasures [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2014, 36(3): 75-78.
- [22] 张金海, 王中涛, 谢海波, 等. 长庆油田长停井生产测井组合找漏技术[J]. 油气井测试, 2021, 30(5): 61-67.
- ZHANG Jinhai, WANG Zhongtao, XIE Haibo, et al. Leak detection technology of production logging combination for long term shutdown well in Changqing Oilfield [J]. Well Testing, 2021, 30(5): 61-67.
- [23] 侯振永, 付焱鑫, 马焕英, 等. 生产测井技术在低产水凝析气藏出水层位识别中的综合应用[J]. 长江大学学报 (自然科学版), 2020, 17(4): 29-33.
- HOU Zhenyong, FU Yanxin, MA Huanying, et al. Comprehensive application of production logging technology in water level of low-water-production condensate gas reservoirs [J]. Journal of Yangtze University (Natural Science Edition), 2020, 17(4): 29-33.
- [24] 张金海, 贾建涛, 桂鹏飞, 等. 连续相关流量测井技术在低渗透油田的应用[J]. 测井技术, 2019, 43 (5): 469-473.
- ZHANG Jinhai, JIA Jiantao, GUI Pengfei, et al. Application of continuous cross-correlation flow logging technology in low permeability oilfield [J]. Well Logging Technology, 2019, 43(5): 469-473.
- [25] 平海涛, 秦瑞宝, 李雄炎, 等. 七参数生产动态测井在注水油田动态监测中的应用[J]. 中国海上油气, 2021, 33 (4): 103-111.
- PING Haitao, QIN Ruibao, LI Xiongyan, et al. Application of seven-parameter logging in dynamic monitoring of water flood performance in oilfield [J]. China Offshore Oil and Gas, 2021, 33(4): 103-111.
- [26] 邓瑞, 郭海敏, 刘海军, 等. 基于 PVT 相态图的凝析气井产出剖面测井解释[J]. 科技导报, 2014, 32 (3): 44-48.
- DENG Rui, GUO Haimin, LIU Haijun, et al. Production profile logging interpretation based on condensate gas well of PVT phase diagram [J]. Science & Technology Review, 2014, 32(3): 44-48.
- [27] 张闪, 马文岭, 吴波, 等. 生产测井技术在哈萨克斯坦 Z 油田的应用[J]. 石油仪器, 2013, 27(6): 60-62.
- ZHANG Shan, MA Wenling, WU Bo, et al. Application of production logging technology to Z oilfield of Kazakhstan [J]. Petroleum Instruments, 2013, 27(6): 60-62.
- [28] 金仁高, 田鹏, 何西攀, 等. 便携式生产测井地面系统设计方案[J]. 长江大学学报 (自科版), 2018, 15(15): 23-29.
- JIN Rengao, TIAN Peng, HE Xipan, et al. The design scheme of a surface system for portable production logging [J]. Journal of Yangtze University (Natural Science Edition), 2018, 15(15): 23-29.
- [29] 胡荣维, 冯龙飞, 刘君华, 等. 一种基于数据压缩传输的高速大满贯测井系统[J]. 电子测量技术, 2021, 44(2): 71-76.
- HU Rongwei, FENG Longfei, LIU Junhua, et al. High-speed slam well logging system based on data compression [J]. Electronic Measurement Technology, 2021, 44 (2): 71-76.

编辑 穆立婷

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, 现主要从事电缆测井、钢丝试井以及地层测试的研究与现场作业等工作。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。