

深井钻进井底参数测量系统用传感器的分析研究

汤凤林¹, Есауленко В.Н.², 宁伏龙¹, 段隆臣¹, Чихоткин В.Ф.¹

(1. 中国地质大学(武汉)工程学院, 湖北 武汉 430074;

2. Астраханский Государственный Технический Университет, Россия г. Астрахань 414025)

摘要:深井、超深井钻探工程中,钻进工艺和操作技术非常重要,直接影响钻井技术经济指标,目前主要依靠地面仪表显示的读数指标来指导钻进。但是,地面仪表显示的读数与井底钻进工艺参数实际数值有一定差异,而且孔越深,差异越大,据俄罗斯超深井钻井研究结果,这个差异可达20%~30%。为此俄罗斯成功研发出了井底参数测量系统,取得了很好的效果,其中传感器是关键器具。本文将俄罗斯深井钻进测量系统中使用的多种传感器进行了综合整理,包括井底钻井液压力传感器、井底温度传感器、井斜顶角传感器、井斜方位角传感器、井底钻头轴载传感器,介绍了这些井底参数传感器的结构组成及工作原理,并分析了传感器与井底-井口联系通道的配合问题。以期对我国13000 m的特深地质井钻进提供参考。

关键词:深井钻进;井底参数;地面仪表;测量系统;钻井技术经济指标;传感器

中图分类号:P634 **文献标识码:**A **文章编号:**2096-9686(2021)05-0038-09

Analytical research on downhole measurement sensors used in deep drilling

TANG Fenglin¹, ESAULENKO V. N.², NING Fulong¹, DUAN Longchen¹, CHIKHOTKIN V. F.¹

(1. Faculty of Engineering, China University of Geosciences, Wuhan Hubei 430074, China;

2. Astrahan State Technical University, City Astrahan 414025, Russia)

Abstract: Exploration for deep mineral deposits is underway in China and great progress has been made, and the same is true for other countries. In drilling deep boreholes, drilling technology and operation are very important, since it directly influences technical and economical indexes of drilling. At present they are guided mainly by data shown at surface devices. However, the data are different from borehole bottom real parameters, and the greater the depth, the bigger the difference. According to the results from Russian super deep borehole drilling research, the difference between them can be up to 25% to 30%. Russian specialists have successfully developed the downhole measurement system with good results obtained. This paper summarizes, discusses, analyzes and introduces the sensors—the key elements in the measurement system, so as to provide some reference for drilling ultra-deep geological boreholes with depth of 13000m in China.

Key words: deep borehole drilling; borehole bottom parameters; device at surface; measurement system; technical and economical index; sensor

1 概述

我国正在进行深部找矿,并且取得了很大成绩,国外也是如此,浅部找矿工作早已完成,现正在进行深部找矿乃至超深井钻探^[1-4]。钻井工程是个系

统工程,包括钻井设备、工具、钻进工艺、操作技术、生产管理等。在根据井深和所钻地层选定设备、工具之后,钻进工艺和操作技术非常重要,直接影响钻井技术经济指标。目前主要还是依靠地面仪表

收稿日期:2020-03-16; 修回日期:2021-04-19 DOI:10.12143/j.ztgc.2021.05.006

基金项目:国家自然科学基金面上项目“液压冲击回转作用下热压WC-Cu基孕镶金刚石钻头的磨损行为研究”(编号:41972327)

作者简介:汤凤林,男,汉族,1933年生,教授,博士生导师,俄罗斯工程院外籍院士,俄罗斯自然科学院外籍院士,国际矿产资源科学院院士,探矿工程专业,主要从事探矿工程方面的教学和科研工作,湖北省武汉市鲁磨路388号,fltang_wuhan@aliyun.com。

引用格式:汤凤林,Есауленко В.Н.,宁伏龙,等.深井钻进井底参数测量系统用传感器的分析研究[J].钻探工程,2021,48(5):38-46.

TANG Fenglin, ESAULENKO V. N., NING Fulong, et al. Analytical research on downhole measurement sensors used in deep drilling[J]. Drilling Engineering, 2021, 48(5):38-46.

显示的读数指标来指导钻井工艺和操作技术。但是,地面仪表显示的读数与井底参数实际数值有一定差异,例如,钻头载荷指示器(常称钻压表)显示的指标与井底钻头实际载荷、地表钻机上显示的钻头转数与井底钻头转数、地表钻井液流量计显示的流量和井底通过钻头的流量的差别都很大,而且孔越深,差异越大。据俄罗斯超深井钻井研究结果,这个差异可达20%~30%^[4-7]。我国计划打一口13000 m的特深地质井,以超过目前世界上最深的前苏联12262 m的科拉超深井,很有意义。但是,深井、特别是超深井钻进时,井底条件非常恶劣,压力可能大于100 MPa,温度 T 可能大于200 °C,各个方向的振动可达10g~100g(g 为重力加速度),对测量使用的传感器元器件提出了特殊要求^[4-7]。俄罗斯设计出了井底参数自动测量控制系统,其中传感器是关键器具。

俄罗斯在深井,特别是超深井钻进中积累了丰富的经验,现把他们在深井钻进中使用的各类传感器进行整理和分析研究,或许对我国深井钻进有一定的参考价值。

2 井底钻井液压力传感器

井底钻井液压力目前主要是根据地表面仪表读数进行计算的。这种方法计算结果与井底实际压力误差较大,不能反映井底压力实际变化情况。在不同地层条件下,可能产生不同复杂情况,如漏失、卡钻、异常高的地层压力等,因此,有效控制钻井液压力是非常重要的。此外,在进行地层压力和井底压力平衡钻进时,可使机械钻速提高1~1.5倍^[4-7]。这些情况都说明研发在钻井过程中能够测量井底钻井液压力测量仪器的重要性。

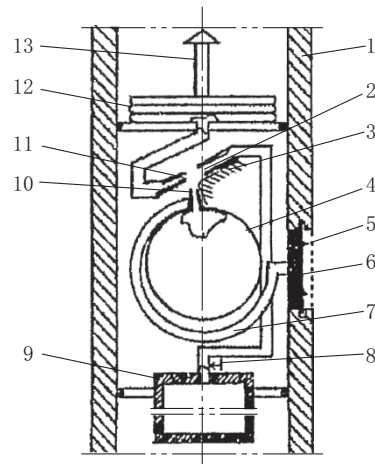
目前俄罗斯使用的井底钻井液压力传感器有以下几种。

2.1 气流式钻井液压力传感器

这种新型传感器工作原理是基于科安德(Коанд)效应的,即当射流通过非平整固体管壁时,则因射流(气流或液流)粘附到附近的管壁上,而改变流动方向^[7]。

井底钻井液压力传感器结构见图1。测量时,通过增加钻头轴载的办法,把可控减速器8打开,空气从压气瓶9中出来,通过供气喷嘴2,粘附非平整管壁3,进入接收喷嘴10,充满用压力弹簧7固定的

接收容器4。由于空气充满了容器,则在接收喷嘴10前面产生负压,使气流离开非平整管壁3,进入出口喷嘴11后进入传压器12。同时,传压器12膨胀,其顶端移动,推动水力放大器控制杆13。出口喷嘴11中的压力呈跳跃式增加,保持最大值,直到接收喷嘴10中的反压降到气流可以重新通过非平整管壁3,充满接收容器4。然后,控制杆得到的系列机械脉冲,被水力放大器转换成钻井液大的水力脉冲(图中未示出),这些水力脉冲被地表仪器记录下来。当钻井液压力变化时,压力弹簧7相对从供气喷嘴2出来的气流改变自己的位置,接收容器4充满气体的时间发生变化,所以,气流进入出口喷嘴11的频率也随之变化。



1—外壳;2—供气喷嘴;3—非平整管壁;4—接收容器;5—过滤器;6—膜片;7—压力弹簧(布尔顿管);8—可控减速器;9—压气瓶;10—接收喷嘴;11—出口喷嘴;12—传压器;13—水力放大器控制杆

图1 气动钻井液压力传感器

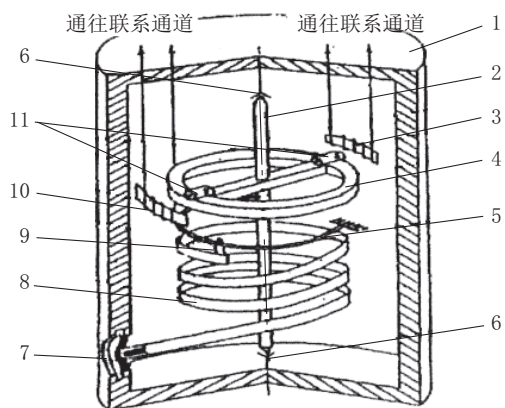
Fig.1 Aerodynamic sensor for drilling fluid pressure

根据得到的钻井液井底数值信息,可以有效地控制钻井过程。

2.2 亚低频钻井液压力传感器

这种传感器是以机械振动系统“摆轮-游丝”为基础的^[8]。如图2所示,这种传感器置于测量容器1内。向驱动系统3供给电流脉冲时,摆轮4由于永久磁铁11磁场和驱动系统内感应磁场的作用而偏离其平衡位置。获得脉冲后,固定在轴承6上的“摆轮-游丝”系统,在其平衡位置附近开始产生振动。

同时,在获得脉冲的系统10内,产生交流电动势,其频率取决于摆轮参数和游丝长度。这个频率信号进入联系通道,然后进入井口接收装置。



1—测量容器;2—轴;3—振动驱动系统;4—摆轮;5—游丝;6—轴承;7—膜片;8—管状弹簧;9—度量计;10—振动获得系统;11—永久磁铁

图2 亚低频钻井液压力传感器

Fig. 2 Infra low frequency sensor for drilling fluid pressure

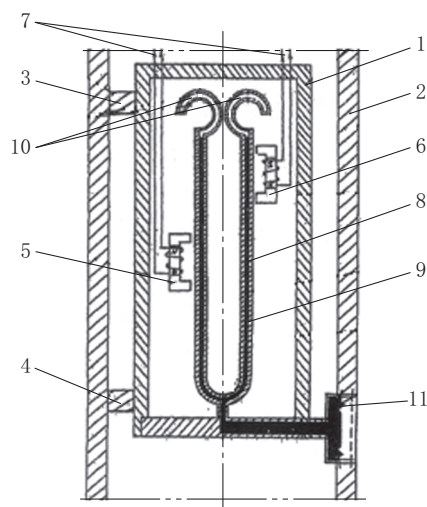
井底钻井液压力变化时,安装在测量容器1内的膜片7弯曲,充满膜片腔和管状弹簧(螺旋管)8的油的压力发生变化。同时,螺旋管自由端和固定其上的度量计9沿着游丝移动,改变与钻井液压力变化成比例的游丝的长度。所以,摆轮振动频率发生变化。

这种钻井液压力传感器用于井底与井口有线联系通道或无线联系通道中。

2.3 音叉式钻井液压力传感器

这种传感器可以在钻井过程中监控钻井液压力,要解决的问题主要是可靠、耐温,可以在钻井过程中直接监控钻井液压力,以提高测量钻井液井底压力的精度。如图3所示,传感器置于测量容器内钻头的上方,包括有用筋3和4固定在钻杆2的壳体1、振动驱动5和获得系统6、联系线路7、中空机械谐

振(音叉)型压力转换器8(谐振器充满重的液体9,其支管端呈弹性管状弹簧-布尔顿管10)、接受钻井液压力的膜片11。



1—壳体;2—钻杆;3、4—传感器固定用筋;5—驱动系统;6—音叉振动获得系统;7—联系线路;8—音叉;9—重液;10—管状弹簧;11—膜片

图3 音叉式钻井液井底压力传感器

Fig. 3 Tuning fork sensor for drilling fluid pressure

这种传感器工作原理为:当钻头上方外环空间内钻井液压力变化时,膜片11弯曲,重液9在音叉8支管内移动,充满管状弹簧10的腔体,此时管状弹簧的自由端,按照与钻井液压力值呈比例进行移动,导致音叉8支管惯性矩发生变化,因而导致音叉8振动频率发生变化。获得振动系统6把音叉支管的机械振动转换为电磁振动,电磁振动进入有线联系线路7,并且沿着联系线路进入安装在井口的接收装置。音叉8的强迫振动是通过沿着有线联系线路7供给的交变电流保证的,或者是在无线联系通道时用驱动系统5的电源来保证的。

负载音叉的振动频率按下式计算:

$$f_0 = 0.1615 \frac{e}{L^2} \sqrt{\frac{E}{\gamma}} \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{4m_{TB}}{m_k} \left(1 + 1.5 \frac{\alpha}{4}\right)^2 + \frac{9j_2}{m_k L^2}}}$$

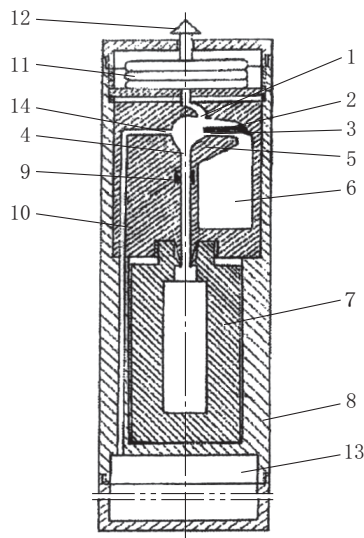
式中: e 、 L ——分别是音叉的厚度和支管的长度; E ——音叉材料弹性模量; γ ——音叉材料密度; m_{TB} ——充满重液的压力弹簧(布尔顿)的质量; m_k ——音叉质量; α ——音叉支管端到压力弹簧重心的距

离; j_2 ——压力弹簧质量相对通过压力弹簧重心中心线和垂直音叉支管平面的惯性矩。

本传感器用于有线联系通道的测量系统中。

3 井底温度传感器

如图4所示的这种传感器是用来在钻井过程中测量井底温度的^[9]。



1—出口喷嘴;2—双金属片;3—接收喷嘴;4—供气喷嘴;5—非平整表面;6—接收容器;7—压缩气体瓶型能源;8—外壳;9—节流器;10—面板;11—传压器;12—水力放大器控制阀;13—接收容器;14—喷嘴

图4 气动式井底温度传感器

Fig.4 Aerodynamic sensor for borehole bottom temperature

此种传感器也是安装在钻头上方测量容器内。传感器包括有射流发生器式温度转换器,射流发生器包括有射流器具,射流器具含有安装在非平整表面5上附近并用转换通道彼此联系起来的出口喷嘴1、双金属片2、接收喷嘴3和供气喷嘴4、接收容器6、压缩气体瓶型能源7。压气瓶固定在外壳8内,也可卸下来。气瓶通过节流器9与供气喷嘴4连接,接收喷嘴3与面板10洼陷式容器6连接,而出口喷嘴1则通过传压器11(其是水力放大器控制阀12的驱动装置)与联系通道,即充满钻井液的钻柱连接。从气瓶出来用过的气体,通过喷嘴14进入接收容器13。

传感器工作原理为:从供气喷嘴4出来的气流,流经面板10中非平整固体表面5,通过接收喷嘴3上的孔眼进入接收容器6。由于接收容器6充满了气体,在接收喷嘴3前面形成反压,使气体离开非平整表面5,进入出口喷嘴1,然后进入传压器11,使其中的压力提高、产生位移,也使与其连接的水力放大

器控制阀12产生位移。此时,在出口喷嘴1中的压力呈跳跃式增加,保持最大值,直到接收喷嘴3中的反压降到气流可以重新流经面板10中非平整固体表面、充满接收容器6的数值为止。

射流发生器出口振荡频率按下式计算:

$$f=c/V$$

式中: f ——振荡频率,Hz; c ——与射流发生器机构有关的常数, cm^3/s ; V ——容器体积, cm^3 。

其上固定有双金属片弹性元件的接收喷嘴3,一端固定在面板10上,另一端是自由端,随着温度的提高而膨胀。因此,接收喷嘴3的这个自由端相对于非平整表面产生位移,气流从气流轴线向其边缘移动,粘附非平整表面,边缘处气体用量减少。所以,气体充满接收容器6的时间变化了,与所测井底温度成比例的射流发生器的振荡频率也相应发生变化。

接收喷嘴3自由端的位移按下式确定:

$$\Delta h = \alpha \frac{l^2}{s} \Delta T$$

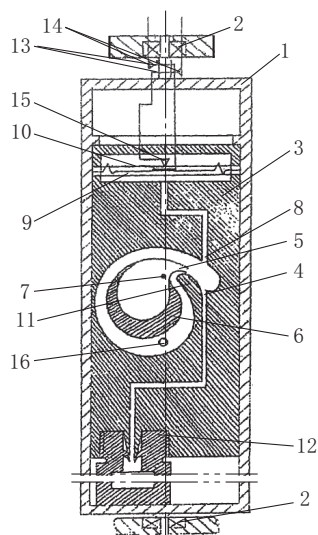
式中: α ——双金属片材料的线膨胀系数; l ——接收喷嘴连同其上固定双金属片初始状态的长度; s ——双金属片的厚度; ΔT ——温度变化值。

在射流发生器中产生的系列气动脉冲,利用传压器被转换成水力放大器控制阀拉杆12的机械位移。在水力放大器的出口端,出现水力脉冲。这个脉冲在充满钻柱的钻井液中传播,直到井口,进入水力缓冲器的入口,在此消除钻井液泵压力脉动产生的干扰。载有井底温度信息的有效水力信号,进入应变计的入口,转变成与之成比例的电信号,进行放大,经过筛选滤波器后,进入电子计算机入口,在计算机内转换成相应的温度值,输出到计算机终端。这种传感器符合射流器件的抗振性能要求,试验表明完全可以满足井底测温条件。

4 井斜顶角传感器

如图5所示,传感器安装在测量容器内钻头的上方,包括有密封腔并在轴承2上回轮的框架1和射流发生器3。射流发生器含有供气喷嘴4、接收喷嘴5、出口喷嘴8、非平整表面11、压缩气体气瓶型供气源12、接触环13、获得信息的触点14和开关触点15。接收喷嘴5位于重锤6中,重锤6固定在轴7上。出口喷嘴8与膜片腔体9连通,膜片腔体内固定

有触点10^[10-11]。



1—框架;2—轴承;3—射流发生器;4—供气喷嘴;5—接收喷嘴;6—重锤;7—轴;8—出口喷嘴;9—膜片腔体;10—触点;11—非平整表面;12—供气源;13—接触环;14—获取信息的触点;15—开关触点;16—孔眼

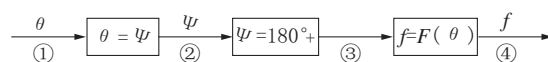
图5 带有中空重锤的井斜顶角传感器

Fig.5 Borehole inclination sensor with the hollow weight

传感器工作原理为:气体从供气喷嘴4出来,流经非平整表面11,粘附该表面,通过接收喷嘴5的孔眼充满重锤6的腔体。在流经的非平整表面上形成反压。这个反压使气流离开非平整表面,进入出口喷嘴8,然后进入膜片腔体9。此时,出口喷嘴中的气体呈跳跃式增加并保持其最大值,直到接收喷嘴5中的压力降到气流可以重新粘附非平整表面、开始充满重锤6的腔体为止。

随着井斜角度的变化,其上固定有偏心气瓶12的框架1,在重力的作用下开始转动,中空重锤6位于井斜的平面内(见图5)。同时,射流发生器3的接收喷嘴5相对从供气喷嘴4流出的气流,从射流中心线向周边移动,导致充满重锤6的时间增加(因为周边的供气用量比射流中心小),射流发生器的振动频率减小。所以,射流发生器的振动频率与井斜顶角的变化成比例。然后,在射流发生器3出口喷嘴上得到的系列气动脉冲,进入膜片腔室9,膜片弯曲,接通(或断开)触点10和15。触点14和接触环13是常闭的,可以保证把触点10和15闭合和断开时得到的脉冲传送到联系通道。

传感器设计思路是:先把井斜顶角转换成框架转动角度,然后把框架转动角度转换成接收喷嘴转动角度,再把接收喷嘴转动角度转换成出口的脉冲频率,最后把频率 f 的脉冲传送给井底和井口的联系通道(见图6)。



- ①把井斜顶角转换成框架转动角度
- ②把框架转动角度转换成接收喷嘴转动角度
- ③把接收喷嘴转动角度转换成出口的脉冲频率
- ④把频率 f 的脉冲传送给井底和井口的联系通道

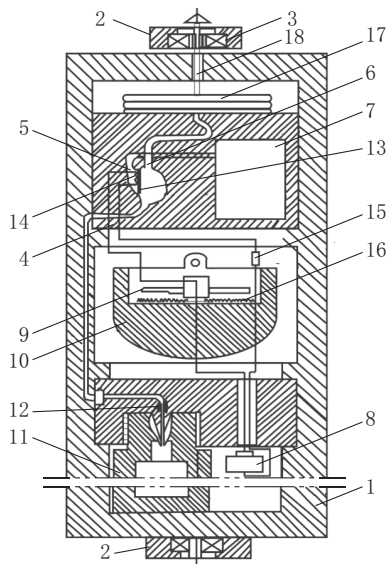
图6 井斜顶角传感器设计思路

Fig.6 Design methodology for the borehole inclination sensor

5 井斜方位角传感器

从图7可见,射流发生器型传感器位于带有偏心重锤的框架1内,框架1用轴承3固定在支座2上。传感器由供气喷嘴4、接收喷嘴5和出口喷嘴6组成,出口喷嘴6通过转换通道与接收容器7连接。机械谐振装置13呈一端固定的舌片形式,置于射流发生器非平整表面的射流粘附区内。在框架1内固定有带有压缩气体的气瓶11,这个气瓶既是转换器的供气来源,同时也起重锤作用。气瓶11利用调速减压器12与供气喷嘴连接。气囊17与水力放大器18控制连杆连接。传感器装置中有装有磁针9的锅状物体10,可以锁定滑线电阻器16的线圈。谐振装置13的驱动系统14接入由滑线变阻器16、电阻15和供电电源8组成的电路^[12]。

测量时,从滑线电阻器16线圈中来的电流,与按地球磁子午线确定的磁针9的位置有关。此时,减压器12打开,气流从气瓶11出来,经过喷嘴4,被粘附管壁,进入接收喷嘴5,充满接收容器7。充满接收容器7后,在接收喷嘴5前产生反压,使气体脱离管壁,转入出口喷嘴6。此后,气体进入气囊17,气囊17推动水力放大器18的控制连杆。出口喷嘴中的压力以频率 f 进行跳跃式变化。气流依次粘附管壁,充满接收容器7,进入出口喷嘴6。在喷嘴5的入口端置有舌片13,舌片13在驱动系统14作用下产生振动。气流发生器的振动频率,与谐振装置的振幅有关。供电用交变电源8进行。框架1位于井筒弯曲平面内。井筒弯曲方位角变化时,带有偏



1—框架;2—支座;3—轴承;4—供气喷嘴;5—接收喷嘴;6—出口喷嘴;7—接收容器;8—供电电源;9—磁针;10—锅状物体;11—气瓶(偏心重锤);12—调解减速器;13—机械谐振装置;14—驱动系统;15—电阻;16—滑线电阻器;17—气囊;18—水力放大器

图7 方位角传感器

Fig.7 Borehole-azimuth sensor

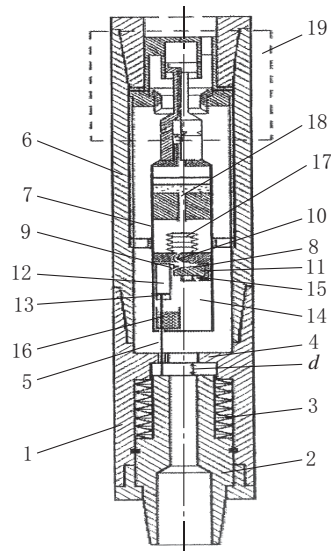
心重锤11的框架1相对按子午线确定的磁针开始转动。磁针重新锁定滑线变阻器的线圈,使电阻发生变化。滑线变阻器是接入平衡电桥的一个臂上的,所以,电桥电阻的变化,可以改变电桥对角线臂电压的变化,改变谐振装置14的振幅,此时,射流元件的振动频率也发生变化。利用水力放大器18的拉杆,把脉冲传给井底和井口的水力联系通道,这样就方位角转换成了频率为*f*的跟踪脉冲。

6 井底钻头轴载传感器

6.1 气动式井底钻头轴载传感器

从图8可见,气动式井底钻头轴载传感器包括接头1和弹簧3。接头1一端置有连杆2和弹簧3。连杆2与钻头连接,弹簧3靠在接头1挡板4的凸缘和连杆2的端面上。传动扭矩用的接头1和连杆2带有花键。拉杆5通过挡板4固定在连杆2的上部。这些零件组合起来可以把轴载转换为拉杆的位移。接头1另一端连接有接头6,其中置有密封容器7。容器7中置有科安德(Коанд)射流器具,这套射流器具包含有供气喷嘴8、接收喷嘴9、出口喷嘴10和

非平整表面11。射流器具和气缸(接收容器)12组成气动振动发生器。限制气缸12体积、密封盖住气缸底端的底部13,可以相对气缸壁移动,与气缸形成磨合付,并用拉杆5与连杆2连接。此外,容器7内还有压气瓶14、供给启动发生器的压力减速器15、气体吸收反应器16、传压器17和液压缸18。液压缸18的出口连杆,与按照差分减压阀模式设计的阀门系统19连接。使用这种器具可以实现用频率法表示和传送井底钻头轴载的信息。



1—接头;2—连杆;3—弹簧;4—挡板;5—拉杆;6—接头;7—密封容器;8—供气喷嘴;9—接收喷嘴;10—出口喷嘴;11—非平整表面;12—气缸(接收容器);13—气缸底端的底部;14—压气瓶;15—压力减速器;16—气体吸收反应器;17—传压器;18—液压缸;19—阀门系统

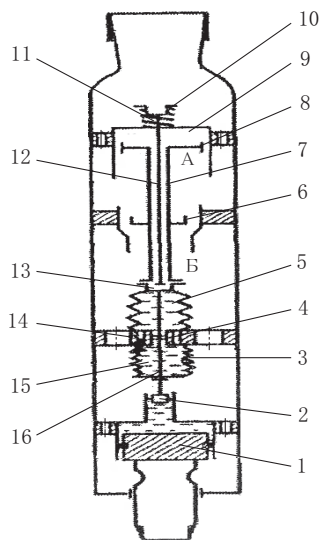
图8 气动式井底钻头轴载传感器

Fig.8 Aerodynamic borehole bottom bit load sensor

6.2 指示型钻头轴载传感器

如图9所示,指示型钻头轴载传感器产生压力脉冲,其频率是所要控制井底钻头轴载的函数。活塞1和活塞2组成的系统,形成液力转换器。轴载由活塞1承受,活塞1产生的力通过活塞2传递给液体流量传压装置14。液体从腔室3出来,通过校准节流阀4流入传压器5的上部。传压器14的压缩速度与钻头轴载数值成比例。在传感器测量部件上面,置有其执行阀件。当冲洗液流动路程中的阀6位于如图9所示的位置时,在A区和B区之间形成压力降0.1~0.15 MPa;当阀6移动到下部位置时,

压力降为1~2 MPa(这个压力差等于信号值)。阀6连同中空杆件7和活塞8一起,呈定期性的上下移动,其频率与轴载成比例。同时,活塞8在缸套9中移动,缸套上部置有阀10和弹簧11。根据在地表接收的压力脉冲的时间间隔,可以判断井底钻头的轴载数值。



1、2—活塞;3—腔室;4—校准节流阀;5—传压器;6—阀;7—中空杆件;8—活塞;9—缸套;10—阀;11—弹簧;12—阀件控制杆;13—传压器顶盘;14—传压装置;15—液体;16—流量测量用连杆

图9 指示型钻头轴载传感器

Fig.9 Indicator type bit load sensor

7 传感器与井底-井口联系通道的配合

钻井过程中井底信号传到地面,可以利用下列联系通道类型及其组合:

(1)水力通道,是指把在井内循环的钻井液作为传送介质,其中的压力振动是信息传送源。

(2)无线电磁通道,是指钻井周围的岩石和钻杆柱是传送介质。

(3)有线通道,是指下入井内的电缆或光缆是其传送介质。

(4)声波通道,钻柱是其通道,钻头或专用冲击器在钻柱中产生的振动(噪声)是信息传送介质。

上述各种方法各有优缺点,如果将其合理组合起来,取长补短,可以取得好的效果。Шевченко М. А. 提出使用组合方法,例如把水力联系通道和无线电磁联系通道结合起来的组合方法,或把水力

联系通道和有线联系通道结合起来的组合方法,对于超深井(深度>6000 m)来说,可以在井底3000 m深度以内使用水力联系通道,在大于3000 m深度,使用无线电磁通道或有线通道^[13-15]。

现以顶角传感器和水力通道、有线通道组合结合一起为例,进行分析与讨论(参见图10)。

从图10可见,联系通道安排在钻杆柱1中,钻杆柱用锁接箍2和带有圆锥形螺纹的套筒连接起来。钻杆柱中置有顶角转换器12,顶角转换器用轴承15安装在装有偏心重锤14的回转框架13中。由喷嘴系统和供气容器组成的射流发生器11,与传压器10的腔体连通。传压器保证把射流发生器的空气动脉冲转换成传压器端部的线性位移。传压器10与水力放大器的控制连杆9相互作用。水力放大器的出口连杆8连同其阀系统在流动的冲洗液中,形成强大水力脉冲,这个脉冲在钻杆柱中传送。为了保证能在修理和安装中进行拆卸,联系通道结构组成中设有卸管接头5和密封件6。

由于在钻孔水力系统中,例如在钻杆柱中有出于各种原因的干扰出现,为此安置了水力缓冲器4。安装在深度2500~3000 m钻杆柱中的感应式压力转换器3,可以把形成的水力脉冲转换成电流脉冲。

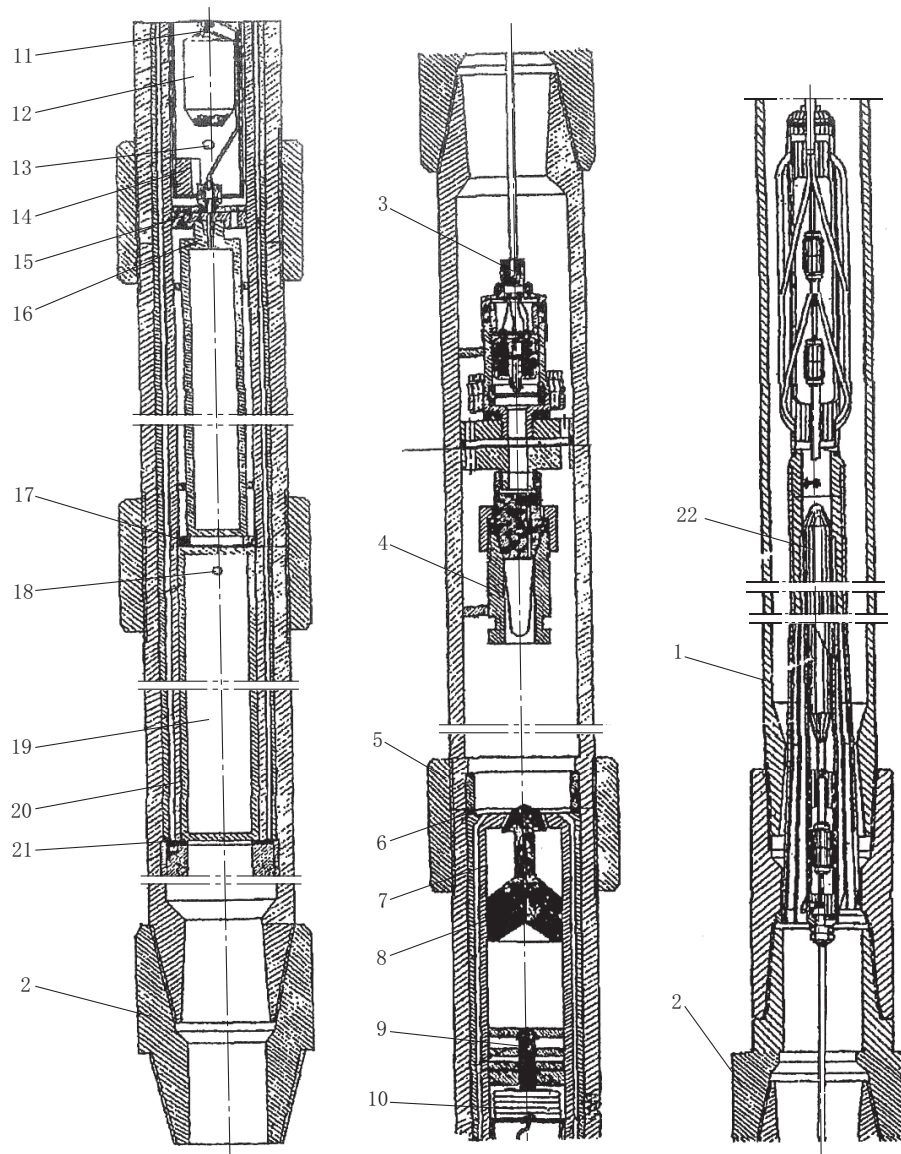
采用带有密封系统17的压气瓶16作为供气源。供气通过孔眼18经过密封件21进入同轴安装在测量容器20外壳中的接收容器19。在必要时,把在感应式转换器3出口上得到的、与顶角变化成比例的电脉冲,用电子放大器放大,进入深度3000 m的联系通道中的有线部分(见图10中的部件22)。这个有线部分包括有一系列装在钻杆柱内部的感应式转换器和有线线段。在井口,有线联系通道地表部分包括有电子滤波器、有用信号放大器和检波器。

8 讨论和建议

根据上述分析和研究,可以做下述讨论和建议。

(1)世界上许多国家浅部找矿均已完成,正在向深部或更深部找矿进军,这是总的趋势。我国也是如此,为此宜在各方面做好准备。特别是我国已经成为世界上第二经济大国,经济建设的发展和人民生活的需要,都要求我们为今后五年计划甚至更期间的发展规划做好矿产资源保障。所以要对深部找矿,包括超深部找矿给予高度重视。

(2)深井特别是超深井钻进中,如何提高钻探



1—钻杆柱;2—锁接箍;3—感应式压力转换器;4—缓冲器;5—卸管接头;6—密封件;7—水力放大器;8—水力放大器出口连杆;9—水力放大器控制连杆;10—传压器;11—射流发生器;12—顶角转换器;13—框架;14—偏心重锤;15—轴承;16—压气瓶(供气源);17—密封系统;18—放气孔;19—接收容器;20—测量容器外壳;21—密封;22—通道有线部分部件

图10 顶角传感器与井底-井口组合联系通道配合图

Fig.10 Connection of the inclination sensor with the bottom-to-surface link channel

效率和保证钻孔质量是一个关键问题。为了解决这个问题,首先要解决井底钻井实际工艺参数与地面仪表所示读数的差异问题,这样才能根据后者读数正确指导钻探工艺和施工操作。俄罗斯钻探工作者研发出了深井钻进时井底实际参数测量系统,基本上解决了这个问题。

(3)在井底参数测量系统中,传感器是关键器具。传感器是一种检测装置,能感受到被测量的信

息,并能将感受到的信息,按一定规律变换成为电信号或其他所需形式的信息输出,以满足信息的传输、处理、存储、显示、记录和控制等需求。在现代工业生产尤其是自动化生产过程中,要用各种传感器来监视和控制生产过程中的各个参数,使设备工作在正常状态或最佳状态,并使产品达到最好的质量。但是,在深井特别是超深井钻进中,井底条件非常恶劣,压力可能大于100 MPa,温度 T 可能大于

200℃,各个方向的振动可达 $10g\sim 100g$ (g 为重力加速度),对测量使用的传感器元器件提出了特殊的要求。

(4)传感器有多种,俄罗斯在井底参数测量系统中使用的主要不是一般国家标准的传感器,而是钻探专家研发出来的新型传感器。这种传感器包含有空气射流元件和机械谐振装置。使用机械谐振装置是因为其技术性能好:质量好、稳定性高、井底和井口联系通道参数容易协调等。使用空气射流元件是因为其可靠性高、发生作用快、简单和价廉,可以在其它传感器不能使用的条件下使用,其频率范围可以与井中无线联系通道的频带相适应。利用射流之间以及其和固体井壁的相互作用,可以设计出具有比例特征、继电器特征和实现各种逻辑功能的转换器元件。因为具有这些优点,所以可以在深井钻进时受制约的条件下使用。对于深井钻进来说,这是一种具有发展前景的传感器。

(5)俄罗斯钻探专家研发的井底参数测量系统包括其中的传感器,对深部找矿和特深地质井钻进有一定参考价值,建议有关单位和专家对此进行分析、研究和试验,探讨其可行性和必要性。

参考文献(References):

- [1] 胡郁乐,张惠,王稳石,等.深部岩心钻探关键技术[M].武汉:中国地质大学出版社,2018.
HU Yule, ZHANG Hui, WANG Wenshi, et al. Key technologies in deep core drilling[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 2018.
- [2] 朱恒银,王强,杨凯华,等.深部岩心钻探技术与管理[M].北京:地质出版社,2014.
ZHU Hengyin, WANG Qiang, YANG Kaihua, et al. Deep core drilling technology and management[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2014.
- [3] 朱恒银,王强,杨展,等.深部地质钻探金刚石钻头研究与应用[M].武汉:中国地质大学出版社,2014.
ZHU Hengying, WANG Qiang, YANG Zhan, et al. Research and application of diamond bit for deep geological drilling[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 2014.
- [4] Козловский Е. А. Кольская сверхглубокая [М]. Москва: Издальство Недр, 1984.
- [5] В. Н. Есауленко. Телерегулирование забойных парпметров при бурении глубоких скважин [М]. Россия, г. Астрахань: Астрахинский Государственный Технический Университет Издательство, 2015.
- [6] В. Н. Есауленко, Н. В. Есаулеко. Частные датчики в бурении [М]. Россия, г. Астрахань: Астрахинский Государственный Технический Университет Издательство, 2012.
- [7] В. Н. Есауленко, Н. В. Есаулеко. Аэродинамические измерительные преобразователи для телеметрии забойных параметров при бурении скважины [М]. Россия, Г. Астрахань: Астрахинский Государственный Технический Университет Издательство, 2010.
- [8] В. Н. Есауленко, Н. В. Есауленко. Механические измерические преобразователи для систем телеметрии забойных параметров [J]. Автоматизация, Телемеханизация И Связь В нНефтяной Промышленности, 2009(7):4-7.
- [9] В. Н. Есауленко, А. М. Дегтярева, Н. В. Есауленко. Устройство для измерения температуры вскважине: № 2381361 [P]. 2010-01-10.
- [10] В. Н. Есауленко, А. М. Дегтярева, Н. В. Есауленко. Устройство для измерения зенитного угла искривления ствола скважины: № 2285797 [P]. 2006-10-20.
- [11] В. Н. Есауленко, А. М. Дегтярева, Н. В. Есауленко. Устройство для измерения зенитного угла искривления ствола скважины: № 2349750 [P]. 2009-03-20.
- [12] Шевченко М. А. Датчик азимута искривления скважины [J]. Автоматизация, Телемеханизация И Связь В Нефтяной Промышленности, 2011(7):2-3.
- [13] В. Н. Есауленко, А. М. Дегтярева, Н. В. Есауленко. Устройство для определения параметров искривления в скважине: № 2468201 [P]. 2012-11-27.
- [14] Шевченко М. А. Имитационная модель комбинированного канала связи для телеметрии забойных параметров в процессе бурения скважины [С]// 4-АЯ Всеросс. Науч.-Практ. Конф., 2013, 11:136-138.
- [15] Шевченко М. А. Применение струйных элементов для коммутации датчиков скважинной телеметрической системы [J]. Нефтяное Хозяйство, 2013(11):124-126.

(编辑 荐华)