

# 钻探参数实时采集系统研制与应用

汤小仁<sup>1</sup>, 孟义泉<sup>1</sup>, 訾兵<sup>2</sup>, 梁日旺<sup>3</sup>

(1.中国地质科学院勘探技术研究所,河北廊坊 065000; 2.宁夏核工业地质勘查院,宁夏银川 750021;

3.广东省地质建设工程集团公司,广东广州 510080)

**摘要:**钻探参数实时采集系统研制的目的是向钻探技术及管理人员提供直观的钻探实时参数,通过该系统可全天候的掌握钻探工况。钻探参数采集的方法是通过传感器采集压力、转速、位移、流量、液位等物理参数,使用配套的软硬件设备进行数据转换和处理,在人机交互界面显示直观的工程参数。该系统根据野外现场不同工作环境可以使用互联网、GPRS 终端或者北斗卫星终端把现场实时工程数据无线传输至远程服务器上,用户通过手机或电脑即可查看到现场的实时或历史工程数据。采用本系统可以预防和减少钻探事故,为事故处理提供数据支撑,为实现钻探自动化、智能化提供基础数据。

**关键词:**钻探参数实时采集;数据采集;传感器;地质云

**中图分类号:**P634.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2020)06-0046-08

## Development and application of the real time acquisition system for drilling parameters

TANG Xiaoren<sup>1</sup>, MENG Yiquan<sup>1</sup>, ZI Bing<sup>2</sup>, LIANG Riwan<sup>3</sup>

(1.*Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000, China;*

2.*Ningxia Nuclear Industry Geological Exploration Institute, Yinchuan Ningxia 750021, China;*

3.*Geological Construction Engineering Group Corporation of Guangdong Province, Guangzhou Guangdong 510080, China)*

**Abstract:** The purpose of the real-time acquisition system for drilling parameters is to provide visual real-time drilling parameters to drilling technicians and managers so that they can grasp drilling conditions all the time. Drilling parameter acquisition is performed in such a way: physical parameters such as pressure, speed, displacement, flow, liquid level are sampled with sensors, and then converted and processed into drilling parameters with the matching hardware and software equipment for visual display on the human-computer interface. Depending on specific working conditions in the field, the system can use Internet, GPRS terminal or Beidou satellite terminal to transmit wirelessly real-time engineering data to the remote server while users can view real-time or historical engineering data on site through mobile phones or computers. Using this system can prevent and reduce drilling accidents, provide data support for accident handling, and provide basic data for drilling informatization and automation.

**Key words:** real-time acquisition of drilling parameters; data acquisition; sensors; geological cloud

## 0 引言

依托于地质云平台<sup>[1]</sup>建设,我们开展了钻探参数实时采集系统的研制工作。地质云是服务于国家基础地质信息共享的网络开放性平台,钻探参数实时采集系统为该平台建立钻探数据库<sup>[2]</sup>,向地质云

平台提供钻探施工的实时动态的基础数据,以便于钻探技术人员、钻探管理人员、钻探工程管理部门、野外施工作业单位掌握钻探施工实时工况,同时也为钻探工程信息化和自动化<sup>[3]</sup>提供基础数据。

本系统通过传感器实时采集钻探现场物理参

**收稿日期:**2020-04-15; **修回日期:**2020-05-06 **DOI:**10.12143/j.tkgc.2020.06.009

**基金项目:**中国地质调查局地质调查项目“地质云系统集成与共享服务(中国地质科学院勘探技术研究所)”(编号:DD20190394)

**作者简介:**汤小仁,男,汉族,1988年生,工程师,工程机械专业,从事小口径全液压钻探设备、非开挖施工设备的研发、小口径金属矿产勘探、地热钻井施工等工作,河北省廊坊市金光道77号,103107161@qq.com。

**引用格式:**汤小仁,孟义泉,訾兵,等.钻探参数实时采集系统研制与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(6):46-53.

TANG Xiaoren, MENG Yiquan, ZI Bing, et al. Development and application of the real time acquisition system for drilling parameters[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020,47(6):46-53.

数,包括压力、转速、位移、流量、液位等,使用配套的软硬件设备进行数据转换和处理,在人机交互界面显示直观的工程参数。根据野外现场不同工作环境可以使用互联网、GPRS 终端或者北斗卫星终端把现场实时工程数据无线传输<sup>[4]</sup>至远程服务器上,用户通过手机或电脑即可查看到现场的实时或历史工程数据。采用本系统可以预防和减少钻探事故,为事故处理提供数据支撑,为实现钻探自动化<sup>[5]</sup>、智能化<sup>[6]</sup>提供基础数据。

本文介绍了钻探参数实时采集系统的整体技术特点,对几种关键钻探参数的采集原理进行了简单的介绍。

## 1 整体技术特点

### 1.1 工程参数和图像同步采集

钻探参数实时采集系统除采集现场钻进过程中的实时工程参数外,还采集现场的图像。

实时工程参数共 10 个,包括井深、钻压、悬重、泵压、扭矩、进尺、泵量、转速、钻速、液位等。钻探参数实时采集系统技术参数见表 1。

### 1.2 野外全环境无线数据双向传输

根据野外现场不同工作环境可以使用互联网、

表 1 钻探参数实时采集系统技术参数

Table 1 Technical parameters of the drilling parameter real-time acquisition system

序号	名称	量程	分辨率/%	精度/%F.S
1	孔深/m	0~5000	0.1	0.25
2	钻压/kN	0~500	0.2	0.25
3	悬重/kN	0~1500	0.2	0.25
4	泵压/MPa	0~32	0.2	0.25
5	扭矩/(kN·m)	0~10	0.2	0.50
6	进尺/m	0~9	0.1	0.25
7	泵量/(L·min <sup>-1</sup> )	0~3500	0.2	0.25
8	转速/(r·min <sup>-1</sup> )	0~1000	0.2	0.25
9	钻速/(m·h <sup>-1</sup> )	0~30	0.1	0.25
10	液位/mm	0~3000	0.1	0.25

GPRS 终端或者北斗卫星终端把现场实时工程数据<sup>[7]</sup>无线传输至远程服务器上;服务器端分析处理后的结果可以高速传输到现场显示终端。

### 1.3 服务器端进行数据分析

在服务器端进行数据处理和分析,可以最大限度地利用服务器端的高速并行处理数据<sup>[8]</sup>的技术优势,利用大数据<sup>[9]</sup>、人工智能等算法对现场实时数据进行全方位综合分析。

### 1.4 钻探参数实时采集系统原理图

钻探参数实时采集系统原理图见图 1。



图 1 钻探参数实时采集系统原理

Fig.1 Schematic diagram of the drilling parameter real-time acquisition system

## 2 关键钻探参数采集

### 2.1 孔深数据采集

钻孔深度的采集主要用于绳索取心<sup>[10]</sup>打捞技术中,取心钢丝绳通过带动安装有磁性感应器的定滑轮转动,电磁传感器<sup>[11]</sup>采集磁性感应器<sup>[12]</sup>的感应信号,装有磁性感应器的定滑轮每转动一圈,电磁感应器采集一次电磁信号<sup>[13]</sup>,并将信号传输至处理器(一般为 A/D 的转换和 CPU)进行累加计数,经

过处理后显示出来的数据为深度,单位为米。

传感器选择单相 NPN 型电压脉冲信号<sup>[14]</sup>,采用 24 V 仪表馈电,信号传输如图 2 所示。

传感器获得脉冲信号传输至仪表处理器,处理器对脉冲进行计数<sup>[15]</sup>,并转换为深度数据显示。每次信号从无效变为有效时,启动有效信号时间计时,在设定的 INA 时间期间信号始终有效则计数,否则不计数。INA 单位为 2 ms,例如设置为 10 则表示 20 ms。计数原理如图 3 所示。

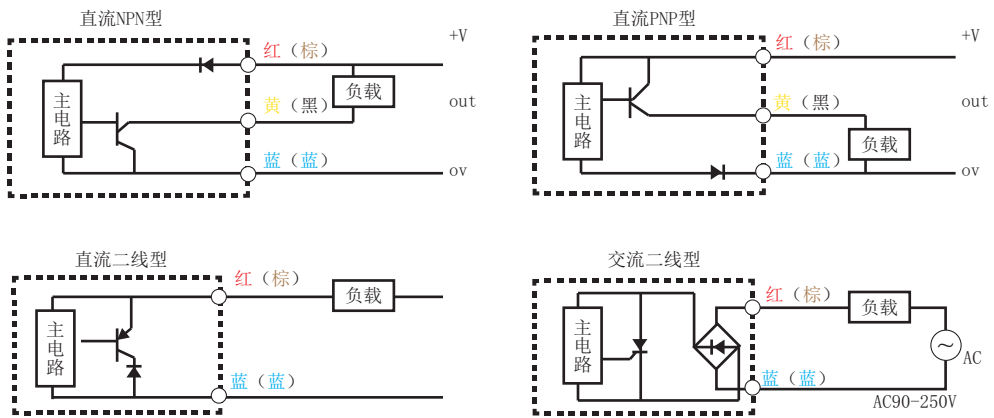


图2 脉冲信号传输示意

Fig.2 Schematic diagram of pulse signal transmission

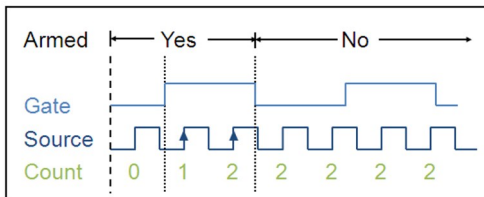


图3 处理器有效计数原理

Fig.3 Effective counting principle of the processor

动滑轮安装感应器位置直径为  $d$  (mm), 脉冲次数为  $n$ , 则对应计数的深度为  $H$  (m) =  $\pi d \cdot n / 1000$ 。

2.2 钻压数据采集

钻压<sup>[16]</sup>数据的采集主要应用于通过液压力加减钻压<sup>[17]</sup>方式的钻进系统, 通过压力传感器(压电式传感器)将液压力信号转换为电信号<sup>[18-19]</sup>, 并进行单位换算, 以此得出加减钻压的参数, 结合孔深数据和钻杆规格<sup>[20]</sup>合并加减压参数计算得出钻压。

选用压力传感器时, 测量范围需预留一定的冗余, 一般选用 0~35 MPa, 过载能力 200%F.S, 破坏压力 500%F.S, 测量介质为液压油, 工作电压为 24 VDC, 最大可承载电压 36 VDC, 综合精度为 0.5% F.S, 工作温度范围 -30~85 °C, 温度补偿范围 -20~80 °C, 温度漂移 0.5% F.S/°C, 消耗电流 ≤ 30 mA, 绝缘电阻 ≥ 100 MΩ(500 VDC), 采用赫斯曼接头连接电路。

瞬时压力冲击过大会对信号传输系统造成损害, 因此信号处理器需设置参数报警<sup>[21]</sup>功能, 该功能可配置 4 个报警点, 每个报警点有 3 个参数:

(1) 报警方式 (SL2, SL3, SL2., SL3.), SL2, SL3, SL2., SL3. 对应的报警设定值和回差值分别是

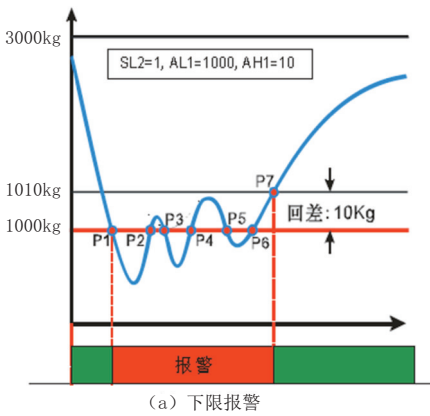
(AL1, AH1), (AL2, AH2), (AL3, AH3), (AL4, AH4)。其设定值见表 2 所列。

表 2 报警参数设定值

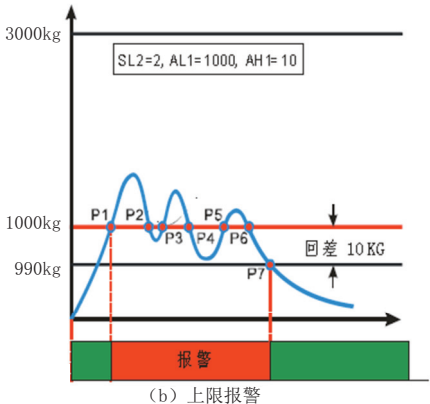
Table 2 Settings of the alarming parameter

参数名称	参数意义	设定范围	说明
AL1	第一报警值	-1999~9999	第一报警限定值
AL2	第二报警值	-1999~9999	第二报警限定值
AL3	第三报警值	-1999~9999	第三报警限定值
AL4	第四报警值	-1999~9999	第四报警限定值
AH1	第一报警值回差	0~9999	第一报警回差值
AH2	第二报警值回差	0~9999	第二报警回差值
AH3	第三报警值回差	0~9999	第三报警值回差
AH4	第四报警值回差	0~9999	第四报警值回差
		0	无报警
		1	第一报警为下限报警
SL2	第一报警方式	2	第一报警为上限报警
		3	第一报警为区域内报警
		4	第一报警为区域外报警
		0	无报警
		1	第二报警为下限报警
		2	第二报警为上限报警
SL3	第二报警方式	3	第二报警为区域内报警
		4	第二报警为区域外报警
		0	无报警
		1	第三报警为下限报警
		2	第三报警为上限报警
SL2.	第三报警方式	3	第三报警为区域内报警
		4	第三报警为区域外报警
		0	无报警
		1	第四报警为下限报警
		2	第四报警为上限报警
SL3.	第四报警方式	3	第四报警为区域内报警
		4	第四报警为区域外报警

下限报警即测量值低于报警设定值则报警, 上限报警即测量值高于报警设定值则报警(参见图 4)。



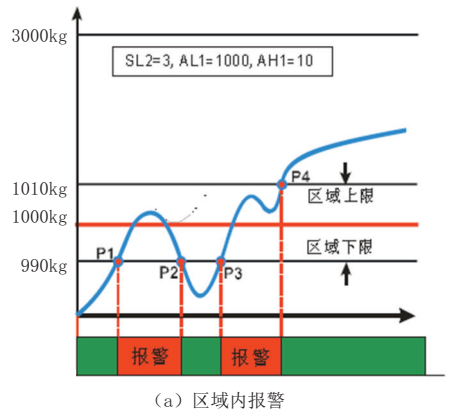
(a) 下限报警



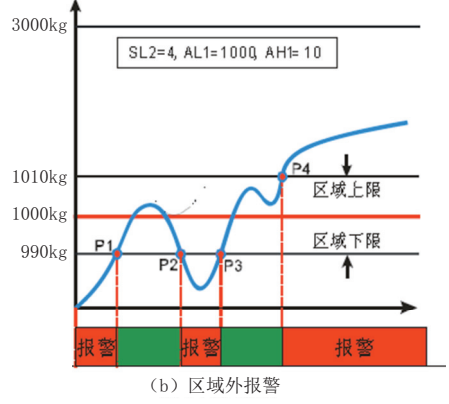
(b) 上限报警

图 4 限位报警

Fig.4 Numerical limit alarm



(a) 区域内报警



(b) 区域外报警

图 5 区域报警

Fig.5 Value area alarm

区域内报警指测量值在  $ALX + AHX$  与  $ALX - AHX$  之间则报警, 区域外报警指测量值大于  $ALX + AHX$  或小于  $ALX - AHX$  则报警(参见图 5)。

(2)报警设定值( $AL1, AL2, AL3, AL4$ ), 其值根据需要设定。

(3)报警回差值( $AH1, AH2, AH3, AH4$ ), 在上限及下限报警中, 为了防止测量值在报警设定值附近波动时造成报警继电器频繁动作, 实际控制时加入了回差值, 通过回差值设定一个报警解除的外延区域。在区域内及区域外报警中, 通过报警回差值调整区域宽度。

压力传感器通过直接接触液压压力油后输出 4 ~ 20 mA 的电流信号<sup>[22]</sup>, 信号与处理器传输反馈通道如图 6 所示。

处理器接受到压力传感器的电流信号后进行换算为钻压  $P$  (MPa), 按设计的计算公式输入相应参数则可得钻压参数。在系统中输入以下 4 个基本参数: 钻杆直径  $D$  (mm)、壁厚  $b$  (mm)、油缸无杆腔直径  $D_1$  (mm)、油缸有杆腔直径  $D_2$  (mm)。

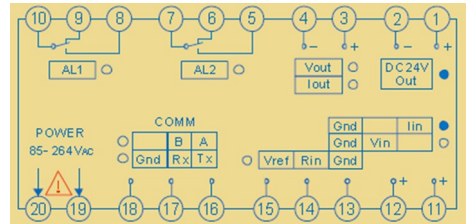


图 6 信号传输反馈通道示意

Fig.6 Schematic diagram of signal transmission feedback channel

系统按照以下设计公式自动生成加压钻进的近似钻压为:

$$P_1 = (\pi/4) [7850H(2Db - b^2)/100 + (D_1 + D_2)(D_1 - D_2)P]$$

减压钻进的近似钻压为:

$$P_2 = (\pi/4) [7.85H(2Db - b^2)/100 - (D_1 + D_2)(D_1 - D_2)P]$$

式中:  $P_1$ ——加压钻进的近似钻压, N;  $D$ ——钻杆直径, mm;  $b$ ——钻杆壁厚, mm;  $D_1$ ——油缸无杆腔直径, mm;  $D_2$ ——油缸有杆腔直径, mm;  $H$ ——孔深参数值, m;  $P$ ——压力传感器实测液压力值, MPa;  $P_2$ ——减压钻进的近似钻压, N。

该计算公式提前写入系统,其中  $H$  为系统自动借用提前存储的孔深参数值,  $P$  为压力传感器实测值经换算后的液压值。

### 2.3 主轴转速采集

主轴转速也即钻杆转速采集时通过旋转输出机构向传感器输出一定的频率信号,传感器将频率识别为电压脉冲信号传输至处理器,处理器通过预先植入的计算公式将脉冲频率换算为转速。传感器与处理器信号传输连接示意如图 7 所示。

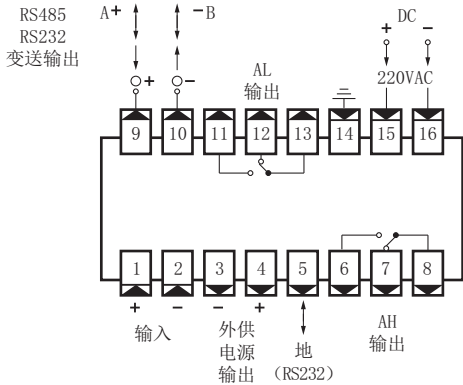


图 7 传感器与处理器信号传输连接示意

Fig.7 Schematic diagram of signal transmission connection between the sensor and the processor

旋转器输出轴开设齿形口或凹槽作为脉冲信号口,安装一个接近开关对准该脉冲信号口,每当信号口转过接近开关时,可取得一个电信号,传输至处理器进行换算。例如输出轴上设置了 8 个脉冲信号口,则接近开关每取得 8 个脉冲信号代表旋转 1 周,因此设置 1 个计量单位对应脉冲数为 8。由于钻杆回转钻进过程总可能会出现抖动,因此加入一个属于数字滤波常数,用于克服输入信号的抖动,一般情况下设置为 1。转速比根据实际情况设置,测量口位于输出轴则设置为 1,计量时间设置为每分钟计量,按此设置可得出每分钟输出轴的转数,即为主轴转速。

采集系统植入的主轴转速计算公式为:

$$N = n/t$$

式中:  $N$ ——主轴转速,  $r/min$ ;  $n$ ——每分钟脉冲数,次;  $t$ ——脉冲信号口数量,次/ $r$ 。

### 2.4 泥浆压力参数采集

泥浆压力参数的采集同钻压参数采集方法类似,相对比较简单,只需在泥浆泵高压口安装好压力传感器,通过传感器向处理器发送采集的压力信号即可。但由于压力传导介质为钻井液,因此压力传

感器需要选用平膜卫生型无腔压力变送器<sup>[23]</sup>,以防止钻井液堵塞压力感应器的取力口。

### 2.5 泥浆流量参数采集

泥浆流量采集的传感器原理是根据法拉第电磁感应定律,当导电液体(钻井液)在电磁场中运动时切割磁力线<sup>[24]</sup>,在导电液体两端即产生感应电动势  $e$ ,其原理如图 8 所示。

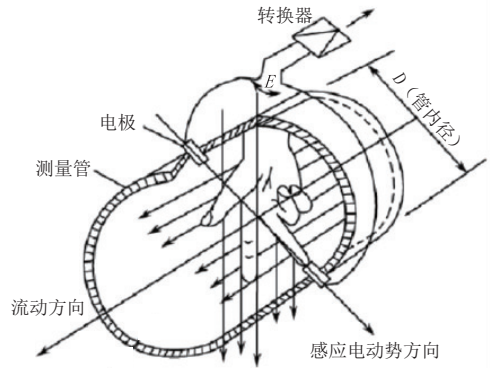


图 8 电磁流量计测量原理

Fig.8 Measuring principle of the electromagnetic flowmeter

根据法拉第电磁感应原理<sup>[25]</sup>:

$$e = BVDK$$

推出泥浆所测流量  $Q$ :

$$Q = \pi e D / (4KB)$$

式中:  $Q$ ——泥浆流量,  $m^3/s$ ;  $e$ ——感应电势,  $V$ ;  $K$ ——与磁场分布及轴向长度有关的系数;  $B$ ——磁感应强度,  $T$ ;  $D$ ——测量管内直径,  $m$ 。

传感器将感应电势  $e$  作为流量信号,传送到转换器,经放大、变换滤波等信号处理后,可用带背光的点阵式液晶显示瞬时流量和累积流量。测量精度不受钻井液的温度、粘度、密度、压力等物理参数的影响。

## 3 应用示范

该系统研制完成后,在雄安地热钻井现场进行了应用示范,在雄安地热钻井现场设置了无线传输设备(见图 9),供远程管理人员观察钻场钻探实况参数,CAN 总线与 GPRS 远程数据传输设备如图 10、图 11 所示,互联网端和现场钻探参数显示终端界面如图 12、图 13 所示。

## 4 应用示范效果

### 4.1 系统稳定可靠

试验期间,系统完整跟踪整孔的钻探周期且运行平稳,系统采集的数据通过与现场机械方式采集的数据基本一致,其中系统采集的各个压力参数与现场测压力一致,转速与现场仪器测试的转速相同,整个系统所有节点均无报错,验证了系统使用的可靠性,达到了设计的目的。

无线数据传输系统数据传输速度满足现场实时数据传输要求。

不在现场的技术人员可以通过手机或连接互联网的电脑方便地查看现场的实时数据,及时掌握现场的信息。



图 10 CAN 总线数据输出设备  
Fig.10 CAN bus data output device



图 9 雄安新区地热井钻探现场数据采集系统  
Fig.9 Data acquisition system for drilling at site of Xiongan geothermal well



图 11 GPS 数据传输设备  
Fig.11 GPS data transmission equipment

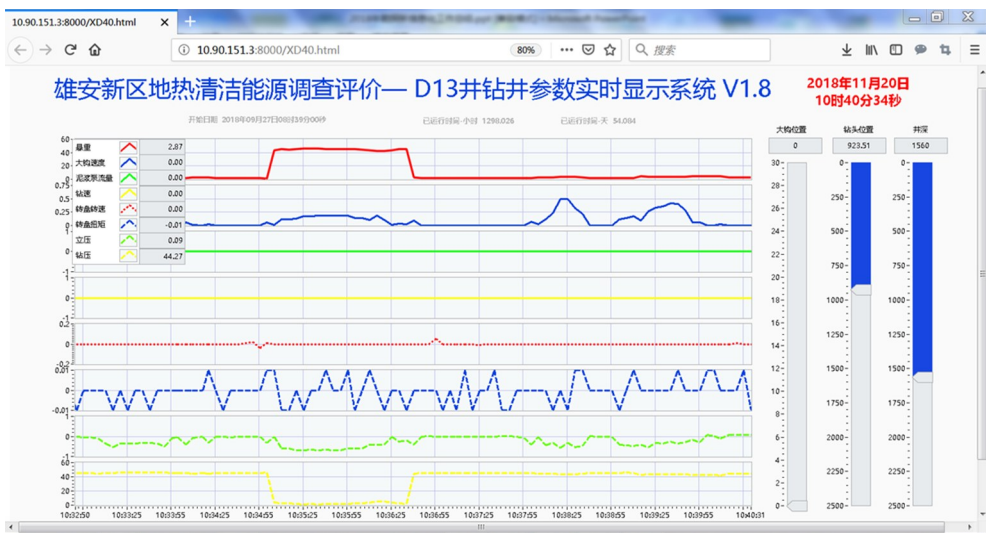


图 12 互联网端钻探参数显示界面  
Fig.12 Drilling parameter interface of the network terminal

#### 4.2 不足之处

试验现场手机网络信号覆盖良好,试验时采用

GPRS 网络进行数据传输,没有测试北斗终端数据传输的效果。



图 13 钻探现场参数显示界面

Fig.13 Drilling site parameter display interface

## 5 结语

现场钻探工程参数通过各种传感器采集相关物理量,经过参数转换和处理,一方面可以为现场操作人员提供直观的参数显示界面,为钻进操作提供技术指导;另一方面现场实时数据可以无线传输到远程服务器,不在现场的相关人员可以通过手机或电脑查看现场的实时或历史工程数据;同时保存在服务器端的现场数据,可以充分利用服务器端高速并行处理数据的技术优势,利用大数据、人工智能等算法对现场实时数据进行全方位综合分析,在最短的时间范围内对地面设备和钻进过程出现的异常工况进行预警,并实时传输到现场显示终端,及时向钻机操作人员进行报警提示,从而防止井下事故的发生。保存在服务器端的历史数据,还可以为现场事故处理提供真实可靠的信息,对分析事故的发生原因、为事故处理方案提供有力的保障。

## 参考文献(References):

[1] 张为民,唐剑峰,罗治国,等.云计算 深刻改变未来[M].北京:科学出版社,2009.  
ZHANG Weimin, TANG Jianfeng, LUO Zhiguo, et al. Cloud computing Profoundly change the future[M]. Beijing: Science Press, 2009.

[2] 鄢泰宁.钻探微机智能监测系统的研制与应用[J].探矿工程, 1998(4):26-27,29.  
YAN Taining. The development and applications of the intelligent drilling computer monitor system[J]. Exploration Engineering, 1998(4):26-27,29.

[3] 孟义泉,李文秀,王庆晓,等.地质勘探轻便全液压岩心钻机自动化控制技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(S1):57-60.  
MENG Yiquan, LI Wenxiu, WANG Qingxiao, et al. Automatic of portable all hydraulic core drill[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2013,40(S1):57-60.

[4] 罗光强,周策,李扬,等.深孔智能化钻井参数无线实时传输系统研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(11):60-64.  
LUO Guangqiang, ZHOU Ce, LI Yang, et al. Wireless real-time transmission system of deep hole intelligent drilling parameters[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(11):60-64.

[5] 李文秀,孟义泉,董向宇,等.YDX-1型轻便岩心钻机的研制与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(2):8-14.  
LI Wenxiu, MENG Yiquan, DONG Xiangyu, et al. Development of YDX-1 portable core drill and its application[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2015,42(2):8-14.

[6] 郭启锋,王佃明,黄磊博,等.地质灾害监测无线自动化采集传输系统的研究与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(7):9-13.  
GUO Qifeng, WANG Dianming, HUANG Leibo, et al. Research and application of automatic wireless collection and transmission system for monitoring geological hazard[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2008,35(7):9-13.

[7] 邵春,鄢泰宁.基于SK-DLS2000综合录井仪的钻进参数实时采集与开发[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(9):19-21.  
SHAO Chun, YAN Taining. Real-time collection and development of drilling parameters based on SK-DLS2000 comprehensive logging instrument[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2010,37(9):19-21.

[8] 王江萍,孟祥芹,鲍泽富.钻进参数实时监测与故障诊断技术[J].钻采工艺,2008,31(1):49-52.  
WANG Jiangping, MENG Xiangqin, BAO Zefu. Technology of drilling parameters real-time monitoring and fault diagnosis[J]. Drilling & Production Technology, 2008,31(1):49-52.

[9] 徐刚.智慧油田发展中的大数据技术应用[J].中国设备工程,2020(10):24-25.  
XU Gang. Application of big data technology in the development of Zhihui Oilfield[J]. China Plant Engineering, 2020(10):24-25.

[10] 任启伟,刘凡柏,高鹏举,等.5000米绳索取心绞车设计[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(4):46-52,57.  
REN Qiwei, LIU Fanbai, GAO Pengju, et al. Design of 5000m wireline coring winch[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020,47(4):46-52,57.

[11] 黄增波.一种抗电磁干扰的开停传感器设计[J].单片机与嵌入式系统应用,2020,20(4):72-74.  
HUANG Zengbo. Design of device operating and stopping state sensor with anti-electromagnetic Interference[J]. Microcontrollers & Embedded Systems, 2020,20(4):72-74.

[12] 吉晓丹,周兆元,贾向义.磁性研磨机的两种电磁感应器[J].机床与液压,2005(4):74-75.  
JI Xiaodan, ZHOU Zhaoyuan, JIA Xiangyi. Two kinds of electromagnetic sensors of the magnetic grinder[J]. Machine Tool & Hydraulics, 2005(4):74-75.

[13] 王宝元.基于分数阶傅里叶变换的混叠电磁信号分离研究[J].安徽电子信息职业技术学院学报,2020,19(1):8-11.  
WANG Baoyuan. Study on the separation of aliased electro-

- magnetic signals based on fractional Fourier transform[J]. Journal of Anhui Vocational College of Electronics & Information Technology, 2020,19(1):8-11.
- [14] 温向成, 吴艳微, 张俊爽, 等. 多通道程控脉冲电压、脉冲电流校准装置研究[J]. 中国计量, 2018(1):80-83.  
WEN Xiangcheng, WU Yanwei, ZHANG Junshuang, et al. Research on multi-channel program-controlled pulse voltage and pulse current calibration device[J]. China Metrology, 2018(1):80-83.
- [15] 梁青青, 马超, 张志文. 多惯组脉冲数据采集系统设计[J]. 国外电子测量技术, 2019,38(12):92-96.  
LIANG Qingqing, MA Chao, ZHANG Zhiwen. Design of multi-inertia group pulse data acquisition system[J]. Foreign Electronic Measurement Technology, 2019,38(12):92-96.
- [16] DZ/T 0227—2010, 地质岩心钻探规程[S].  
DZ/T 0227—2010, Geological core drilling regulations[S].
- [17] 王达, 何远信, 等. 地质钻探手册[M]. 长沙: 中南大学出版社, 2014:304-311.  
WANG Da, HE Yuanxin, et al. Geological drilling handbook [M]. Changsha: Central South University Press, 2014:304-311.
- [18] 冯开林, 杨鹏, 胡帅, 等. 一种压力传感器性能测试的液压试验台设计[J]. 机床与液压, 2019,47(24):59-63.  
FENG Kailin, YANG Peng, HU Shuai, et al. Design of a hydraulic test rig for pressure sensor performance testing[J]. Machine Tool & Hydraulics, 2019,47(24):59-63.
- [19] 王炳友, 邢亚敏, 陈阳正, 等. 基于 FPGA 的压电传感器信号采集系统设计[J]. 电子世界, 2018(6):156,158.  
WANG Bingyou, XING Yamin, CHEN Yangzheng, et al. Design of the signal acquisition system for the piezoelectric sensor based on FPGA[J]. Electronics World, 2018(6):156,158.
- [20] 张少波, 张春斌, 郭赞扬. 大规格绳索取芯钻杆的生产工艺试验[J]. 江西冶金, 2006,26(2):24-26.  
ZHANG Shaobo, ZHANG Chunbin, GUO Zanyang. Production process test of large sized cord core drilling tubes[J]. Jiangxi Metallurgy, 2006,26(2):24-26.
- [21] 刁海胜. 油田 SCADA 系统报警参数优化技术研究与应用[J]. 信息系统工程, 2018(6):93-94.  
DIAO Haisheng. Research and application of alarm parameter optimization for the oil field SCADA system[J]. China CIO News, 2018(6):93-94.
- [22] 叶新群, 项德贵. 钻井实时数据采集系统的建立及应用[J]. 钻采工艺, 2008,31(3):141-142.  
YE Xinqun, XIANG Degui. Establishment and application of real time data acquisition system for drilling[J]. Drilling & Production Technology, 2008,31(3):141-142.
- [23] 王娇艳, 张海宁. 压力变送器标定方法的研究[J]. 电子测量技术, 2020,43(3):77-80.  
WANG Jiaoyan, ZHANG Haining. Research on the calibration method of pressure transmitters[J]. Electronic Measurement Technology, 2020,43(3):77-80.
- [24] 李勇明. 法拉第的创造思维[J]. 创新科技, 2009(11):61.  
LI Yongming. Faraday's creative thinking[J]. Science New Ground, 2009(11):61.
- [25] 许斌斌. 光电互感器的原理及应用前景[J]. 广东输电与变电技术, 2007(2):8-11.  
XU Binbin. Principle and application foreground of optical instrument transformer[J]. Guangdong Power Transmission Technology, 2007(2):8-11.

(编辑 王建华)

## (上接第 12 页)

- [11] 翟育峰, 王鲁朝, 丁昌盛, 等. 西藏罗布莎科学钻孔冲洗液技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2014,41(4):1-4.  
ZHAI Yufeng, WANG Luzhao, DING Changsheng, et al. Flush fluid technique in scientific drilling hole situated in Luobusa of Tibet[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2014,41(4):1-4.
- [12] 张伟, 胡时友, 贾军, 等. 汶川地震断裂带科学钻探项目钻探工程实施总结[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2014,41(9):94-101.  
ZHANG Wei, HU Shiyu, JIA Jun, et al. Implementation summary of drilling engineering of Wenchuan Earthquake Fault Scientific Drilling Project[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2014,41(9):94-101.
- [13] 梁健, 尹浩, 孙建华, 等. 特深孔地质岩心钻探钻孔口径及管柱规格研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2019,46(8):36-46.  
LIANG Jian, YIN Hao, SUN Jianhua, et al. Research on hole diameter, drill string specification and casing program for ultra-deep geological core drilling[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(8):36-46.
- [14] 张伟. 科学深孔复杂地层钻进技术难题与对策[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2014,41(9):7-12.  
ZHANG Wei. Technical problems and countermeasures for the drilling operation in complex formations of scientific deep drilling projects[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2014,41(9):7-12.
- [15] 翟育峰, 张英传, 田志超. 中国东部海区科学钻探工程 CSDP-02 井钻探效率统计分析[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2019,46(12):13-17.  
ZHAI Yufeng, ZHANG Yingchuan, TIAN Zhichao. Statistical analysis of drilling efficiency for Well CSDP-02 of the eastern sea scientific drilling project of China[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(12):13-17.
- [16] 梁国栋. 山东莱州吴一村 ZK01 科学钻孔钻探施工技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2018,45(4):36-39.  
LUAN Guodong. Drilling technology for scientific drilling ZK01 in Shandong Province [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018,45(4):36-39.

(编辑 周红军)