

海底底质声学参数测量系统设计

郭常升¹, 李会银^{2,3}, 成向阳³, 谭宝海³, 张庆红⁴

(1. 中国科学院 海洋研究所 海洋地质与环境重点实验室, 山东 青岛 266071; 2. 中国石油大学(华东) 测井重点实验室, 山东 东营 257061; 3. 中国石油大学(华东) 地球资源与信息学院, 山东 东营 257061; 4. 中石化石油勘探开发研究院, 北京 100083)

摘要:海底底质声学参数测量系统用于测量海底沉积物的声速和声衰减参数,它由水上主控子系统和水下测量子系统构成。水上主控子系统由工控机、数据传输接口和 GPS 定位模块组成,实现实时控制、数据处理与记录功能;水下测量子系统由声系、数据采集和传输模块组成,完成水下声波信号数字化及数据上传。水上设备与水下装置间通过电缆建立低速的下行命令信道和高速的上行数据信道,数据通讯采用曼彻斯特编码调制方式。水上计算机通过下传命令实时改变数据采集模块的控制参数,能够在各种环境条件下获得最佳测量效果。实验证明,仪器测量达到预期效果。

关键词:海底沉积物; 声速; 声衰减; 测量系统; 复杂可编程逻辑器件

中图分类号:TB565

文献标识码:A

文章编号:1000-3096(2009)12-0073-06

海底底质声学参数测量是海底探测的重要内容之一,是研究海洋水声环境及水下通讯、进行海洋基础设施建设和海洋资源开发的不可或缺的重要环节。

针对海底底质的声学参数测量问题,国外在 20 世纪 90 年代中期研制开发出了海底底质声学性质原位测量系统,这种系统就是把仪器下放到海底,探针插入沉积物中直接测量声速、声衰减系数等参数,具有代表性的主要是美国研制的沉积物声学现场测量系统(ISSAMS)^[1,2]以及英国研制的海底沉积物声学物理性质测量仪(SAPPA)^[3]。国内目前仍然采用传统的海底沉积物取样分析的方法,由于取样后改变了沉积物所处的原来的环境(压力、温度、含水饱和度等),沉积物的声学性质因此发生变化,这种

方法测量得到的声学参数不能完全反映海底环境下的真实情况;另外,这种间接方法测量海底底质的声学参数的过程非常繁琐复杂,耗费人力物力,花费大量的时间,效率低^[4]。因此,自行研制开发一种能够直接测量海底底质声学参数测量仪器是提高海洋环境声学测量技术水平、提升测量效率的必需。

1 海底底质声学测量系统总体结构

海底底质声学参数测量系统的设计目标是实现海底沉积物的声速和声衰减特性的连续测量。根据这一功能要求,设计海底底质声学参数测量系统总体结构如图 1 所示。系统包括水上主控子系统及水下测量子系统两部分。

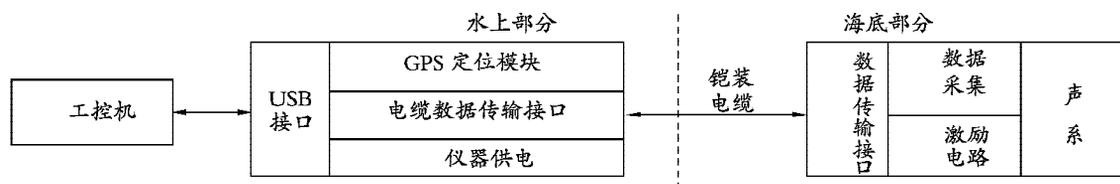


图 1 海底底质声学参数测量系统总体结构

Fig. 1 The structure of acoustic measurement equipment of sea-floor sediments

水上主控系统包括工控机、GPS 定位模块、仪器供电和电缆数据传输接口,其中 GPS 定位模块、仪器供电和电缆数据传输接口组合于一个外置机箱中,与工控机通过 USB 总线通讯。主控子系统以工控机为核心,采用 GPS 定位模块测定仪器的大地坐标,电缆传输接口将水上设备对水下仪器的控制命令调制后通过电缆传送给水下仪器,并对水下仪器

上传数据解调,通过 USB 接口传递给工控机处理、显示、记录。

收稿日期:2008-10-22;修回日期:2009-10-13

基金项目:国家 863 计划项目(2006AA09Z116)

作者简介:郭常升(1964-),男,山东青岛人,博士,研究员,研究方向为海洋地质声学,E-mail:guochine@ms.qdio.ac.cn

水下测量子系统构成如图 2 所示,它由声系、声波发射激励电路、声波数据采集、数据传输和电源组成。声系由一个声波发射探头和两个声波接收探头组成。声波发射激励电路控制发射探头激发声波的时间及强度,数据采集电路对来自接收探头的声波

信号进行放大、滤波并完成模数转换。数据传输接口接收来自水上的控制命令,并将采集电路得到的测量数据调制后上传。水下测量子系统采用电池供电,通过电压转换模块得到所有电路的低压供电及声波探头的高压供电。

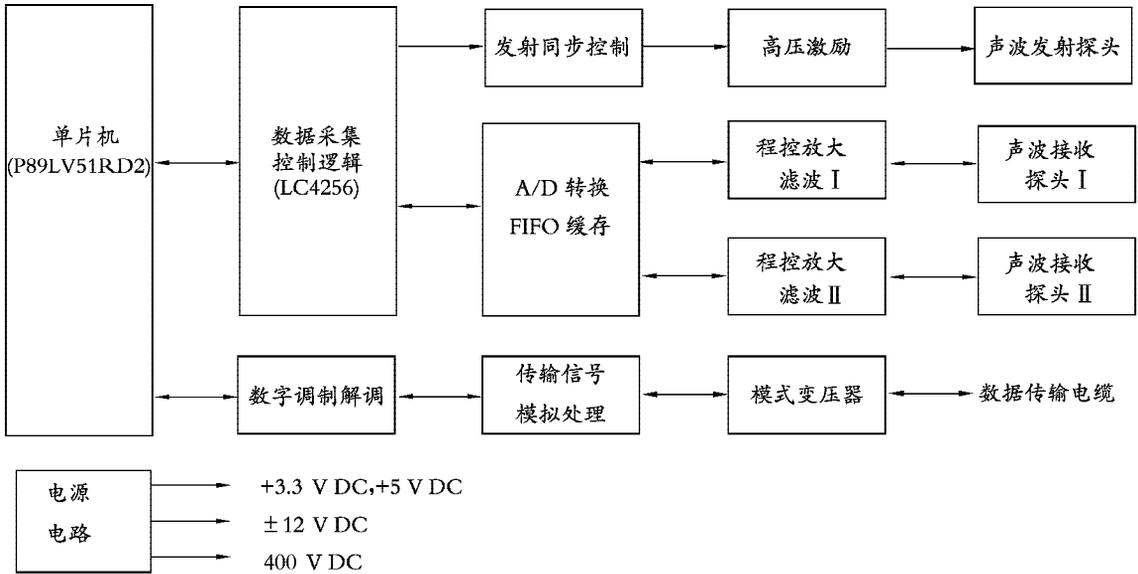


图 2 海底测量子系统结构

Fig. 2 The structure of sea-floor measuring system

2 数据采集电路设计

声波数据采集电路是测量系统核心。它由单片机、声波信号模拟处理、模数转换、FIFO 存储器及数据采集控制逻辑实现。对应两个接收探头设计了两个接收信号处理通道,其结构完全相同。

2.1 单片机

海底测量系统的控制核心采用 PHILIPS 公司的 P89LV51RD2 单片机^[5],其内核为 80C51 微控制器,3.3 V 供电,具有 64 kB Flash 和 1 024 字节的数据 RAM。P89LV51RD2 支持 X2 时钟方式,从而在相同的外部时钟频率下获得常规 80C51 微控制器 2 倍的吞吐量,在获得同样性能的条件下极大地降低了电磁辐射干扰 (Electro-Magnetic Interference, EMI)。该芯片程序存储器支持并行和串行在系统编程 (In System Programmable, ISP) 及在应用中编程 (In Application Programmable, IAP),使系统开发、调试及软件升级极为方便。单片机通过传输接口接收来自水上主控计算机的命令,对声波采集信道进行参数设置及数据采集。设置参数包括声波信道的放大倍数、数据采集延迟时间、采集密度 (采样间隔) 及采样点数等。

2.2 声波信号模拟处理

模拟处理电路包括程控放大及带通滤波,其作用是抑制带外噪声、提高声波信号的信噪比。

2.3 模数转换

声波信号的模数转换由高速模数转换器、先进先出缓存 (First In First Out, FIFO) 及数据采集控制逻辑组成。

2.3.1 A/D 转换器

根据系统中采用的声波测量频率,A/D 转换电路选用 AD 公司的 14 位高速 A/D 转换器 AD7899^[6]完成模拟量到数字量的转换,其转换时间为 2.2 μs ,信号量程为 $-10\text{ V}\sim+10\text{ V}$,支持 +5 V 单电源供电,本系统中模拟处理供电采用 +5 V,数字接口供电采用 +3.3 V。

2.3.2 FIFO 存储器

FIFO 完成对转换数据的缓存,FIFO 器件采用 IDT 公司的 IDT72LV06L35^[7],3.3 V 供电,存取时间 35 ns,存储容量为 16 kB \times 9 bit,为实现 14 位 A/D 转换数据的存储,需要两片并联。为进一步减少水下系统的体积,通过分时写入和增加 1 个通道标志位的方法实现两通道数据共用一组 FIFO。

2.3.3 数据采集控制逻辑

数据采集控制逻辑的功能是:在单片机发出发射激励命令后,按照设定的延迟时间和采集数据量,依次启动两个通道的 A/D 转换,并控制 A/D 转换数据顺序写入 FIFO,数据采集结束时向单片机申请中断。为减小系统规模,本系统中采用 LATTICE 公司的 CPLD 芯片 LC4256V-75T100C^[8] 实现以上功能,该芯片是 ispMach4000 系列之一,内部具有 256 个宏单元,TQFP-100 引脚封装,3.3 V 供电,支持在系统编程,开发工具采用 LATTICE 公司的

ispLEVER 7.0^[9]。

为实现系统所需功能,内部设计了 1 个控制寄存器和 4 个可编程计数器。控制寄存器为 4 位,用于设定数据采集周期(3~15 μ s),4 个可编程计数器均为 12 位:通道 1 延迟计数器 DLY1、通道 1 采集计数器 CNT1、通道 2 延迟计数器 DLY2、通道 2 采集计数器 CNT2。图 3 为数据采集逻辑的仿真结果,数据采样周期设定为 3 μ s,两个通道的延迟时间均为 3 μ s,两个通道的数据采样点数均为 4。

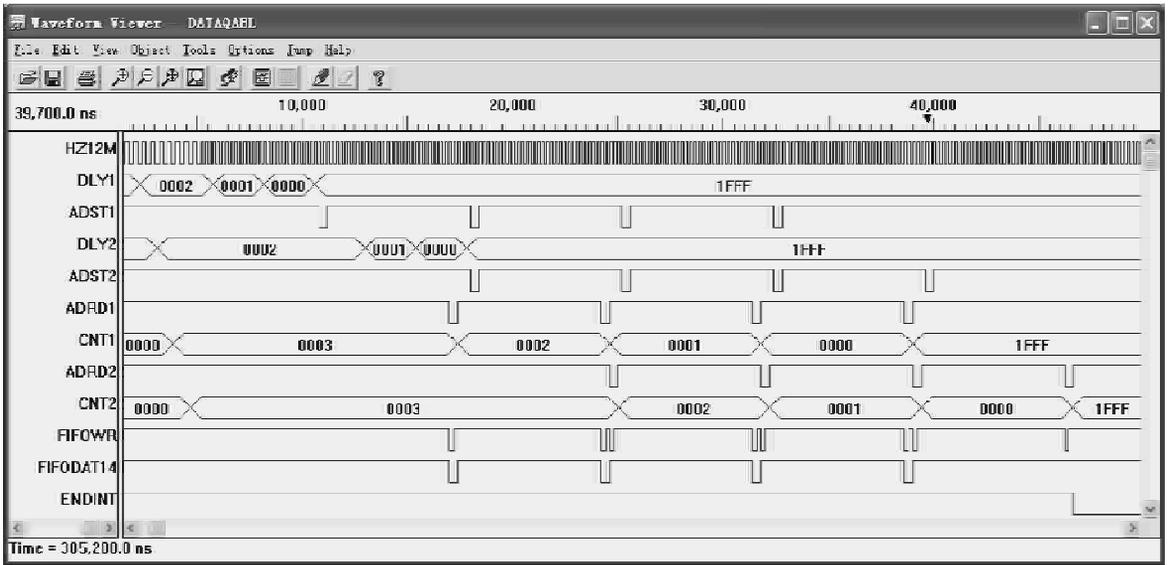


图 3 数据采集控制逻辑时序仿真结果

Fig. 3 The timing simulation of data acquisition and control

发射探头被激励发射声波后,通道 1 延迟计数器 DLY1 工作,按编程设定的初始值每隔 1 μ s 减 1,减到计数器产生借位时(DLY1=1FFF),延迟结束,A/D 转换启动信号 ADST1 输出负脉冲,启动第 1 通道的 A/D 转换器开始第 1 次 A/D 转换,转换结束时,A/D 数据读出信号 ADRD1 输出一个负脉冲,A/D 转换器数据输出到 FIFO 数据输入端,FIFO 写入信号 FIFOWR 有效,A/D 转换结果被写入 FIFO。FIFO 的第 14 位数据输入端 FIFODAT14=0,作为通道标志也同时被写入,通道 1 采集计数器 CNT1 减 1。之后,每隔一个采样周期通道 1 完成一次采样,直到 CNT1 产生借位(CNT1=1FFF),通道 1 采样结束。

通道 2 延迟计数器从通道 1 启动第 1 次数据采集开始定时,每隔 1 μ s 减 1,减到计数器产生借位时(DLY2=1FFF),延迟结束,A/D 转换启动信号 ADST2 输出负脉冲,启动第 2 通道的 A/D 转换器开始第 1 次 A/D 转换,之后的过程与第 1 通道类似,所不同的是,第 2 通道数据写入时通道标志 FIFODAT14=1。第

2 通道计数器减到借位时(CNT2=1FFF),数据采集完成,采集结束中断 ENDINT 由逻辑 1 变为逻辑 0,向单片机申请中断,单片机响应中断将采集数据上传。

3 数据传输接口设计

测量系统的水上和水下部分的通讯通过四芯铠装电缆实现,下行命令信道与上行数据信道分别占用两根缆芯。铠装电缆同时还承担着测量过程中拖动水下设备的任务。

信道传输采用曼彻斯特调制方式。为减少信道互扰,上行信道与下行信道采用两种不同的速率,由于下行信道只是传输少量的命令参数,而上行信道需传送大量的波形数据,因此设计上行信道为高速信道,传输速率为 100 千位/s;下行信道速率采用 10 千位/s。

3.1 数据传输接口构成

水下测量子系统数据传输接口结构如图 4 所

示。命令接收通道由命令接收变压器、信号放大滤波电路、过零比较电路和曼彻斯特码解调器构成。命令接收变压器主要用于实现通讯电缆与接收放大电路间的阻抗匹配。来自通讯电缆的下行命令信号经命令接收变压器送信号放大电路,然后通过带通

滤波滤除带外噪声,得到下行命令模拟信号,再经过过零比较电路得到下行命令的曼彻斯特码数字调制信号,送曼彻斯特码解调器。解调器完成数据解码并转换为并行数据,然后向单片机申请中断,请求读出、处理。

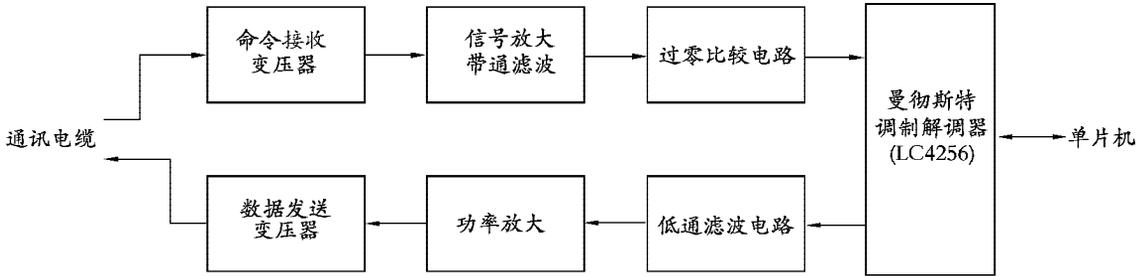


图 4 数据传输接口结构

Fig. 4 The structure of data communication interface

数据发送通道则由曼彻斯特调制器、低通滤波电路、功率放大和数据发送变压器构成。发送数据时,单片机将数据送入曼彻斯特码调制器,由调制器完成数据的并-串转换和曼彻斯特码调制。低通滤波电路对调制器输出的逻辑信号进行滤波,滤除其中的高频成分,以减少其占用带宽及后续功率放大电路的驱动功率。数据发送变压器用于实现功率放大电路与通讯电缆的阻抗匹配。

功能,与单片机接口时需要增加移位寄存器实现并-串和串-并转换功能。设计中采用 LC4256V-75T100 实现了具有并行接口功能的曼彻斯特调制解调器,简化了单片机接口设计,减小了系统规模。图 5 为曼彻斯特调制的仿真波形。图 5 中, HZ12M 为系统时钟, DBUS 为单片机数据总线, ALE 为单片机地址锁存信号, WR 为数据写控制信号, TDAT 为发送数据寄存器, TDATSTAT 为发送数据寄存器状态, BUSY 为调制器状态, BZO, BOO 为调制器的曼彻斯特码互补输出。

3.2 基于 CPLD 的曼彻斯特码调制解调器

数据传输接口的核心部件是曼彻斯特调制解调器。定制的曼彻斯特码调制解调器只完成编码解码

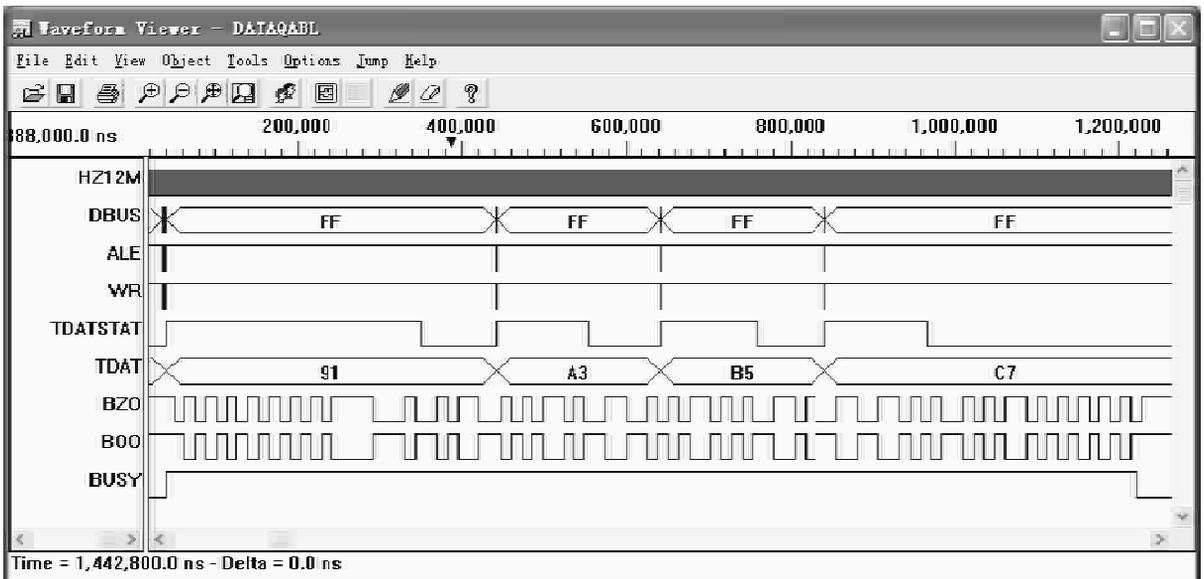


图 5 曼彻斯特调制器仿真波形

Fig. 5 Simulation of Manchester code modulation

调制器为空闲状态时, $BUSY=0$, BZO , BOO 输出均为逻辑 1, 发送数据寄存器 $TDAT$ 为空: $TDATSTAT=0$ 。单片机向 $TDAT$ 写入数据 $91H$ 后, $TDATSTAT$ 变为逻辑 1, $BUSY$ 变为逻辑 1, 调制器开始工作, 首先由 BZO , BOO 输出 8 个 0 及曼码同步信号, 然后将 $TDAT$ 中的数据加载到移位寄存器进行编码, $TDAT$ 变空, $TDATSTAT=0$, 单片机将下一个数据 ($0A3H$) 装入 $TDAT$, 前一数据编码完成后, 再把 $TDAT$ 中的第 2 个数据加载到移位寄存器进行编码, 依次类推, 直到 $TDAT$ 中不再装入数据, 所有数据编码完毕后, $BUSY$ 由逻辑 1 变为逻辑 0, BZO , BOO 则恢复到逻辑 1 状态。

4 结论

海底底质声学参数测量系统设计完成后, 已经进行了室内实验, 图 6 为实验室测试获得的测量波形。结果表明, 系统设计的数据采集、数据传输功能基本实现, 达到设计要求。

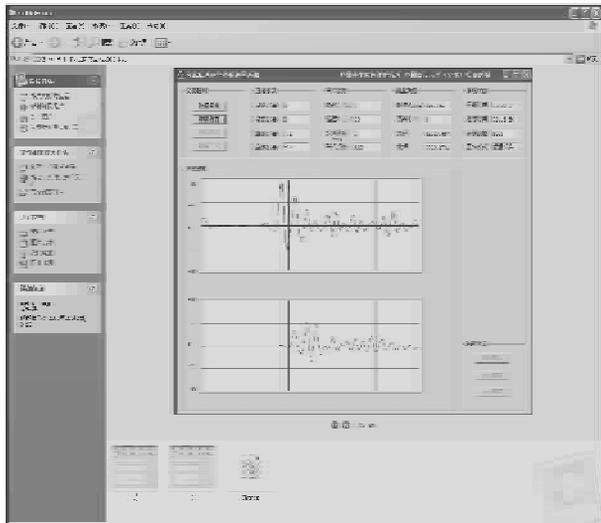


图 6 测量系统实验波形

Fig. 6 The received waveform in laboratory

海底底质声学参数测量系统具有如下特点:

(1) 水上主控系统与水下测量子系统建立双向数字信道, 使得声波信号的数据采集可在海底完成, 然后以数字信号形式传送到水上主控系统, 避免了模拟信号的长电缆传输, 提高声衰减及声速的测量精度; 水上主控系统可以根据实际测量环境向水下测量系

统发送各种控制命令, 实时调整海底数据采集电路的信号增益、数据采集延迟时间、采样密度及数据量, 进一步提高了信号采集质量; (2) 测量、记录声波全波列原始测量数据, 信息资料完整, 有利于以后采用新的处理方法提取更多的沉积物声学特性信息; (3) 采用复杂可编程逻辑器件 (CPLD) 实现数据采集控制、曼彻斯特码调制与解调等功能的集成, 既减小了系统规模, 又有利于以后测量技术和功能的升级。

参考文献:

- [1] Griffin S R, Grosz F B, Richardson M D. ISSAMS: A remote in situ sediment acoustic measurement system [J]. *Sea Technology*, 1996, 37(4): 19-22.
- [2] Buckingham M J, Richardson M D. On tone-burst measurements of sound speed and attenuation in sandy marine sediments [J]. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 2002, 27(3): 429-453.
- [3] 褚柳宁. SAPP-新型的现场沉积物声学观测测量仪 [J]. *海洋技术*, 2000, 19(C00): 145-146.
- [4] 谷明峰, 郭常升, 李会银, 等. 海底松散沉积物声学性质原位测量实验研究 [J]. *海洋科学*, 2008, 32(5): 1-5.
- [5] Philips S. P89LV51RD2: 8-bit 80C51 3 V low power 16/32/64 kB Flash microcontroller with 1 kB RAM [EB/OL]. [http://www. standardics. nxp. com](http://www.standardics.nxp.com), 2008-12-20.
- [6] Analog D. AD7899: 5 V Single Supply 14-Bit 400 kSPS ADC [EB/OL]. <http://www. analog. com/en/analog-to-digital-converters/ad-converters/ad7899/products/product.html>, 2008-12-20.
- [7] IDT company. 72V01_72V06DS. pdf [EB/OL]. <http://www. idt. com/? catID=58 613>, 2008-12-20.
- [8] Lattice S. Ds1020. pdf [EB/OL]. <http://www. latticesemi. com/products/cpldspld/isppmach4000bcv>, 2008-12-20.
- [9] Lattice S. ispLEVER Design Software Family [EB/OL]. <http://www. latticesemi. com/products/design-software/isplever/index. cfm? source = toptnav>, 2006-12-20.

A Design on an equipment for measuring acoustic properties of sea-floor sediment

GUO Chang-sheng¹, LI Hui-yin^{2,3}, CHENG Xiang-yang³, TAN Bao-hai³, ZHANG Qing-hong⁴

(1. Key Laboratory of Marine Geology and Environment, Institute of Oceanology, the Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 2. Key Laboratory on Well Logging of East China University of Petroleum, Dongying 257061, China; 3. Faculty of Geo-Resource and Information of East China University of Petroleum, Dongying 257061, China; 4. Petroleum Exploration and Production Research Institute of China Petroleum and Chemical Corporation, Beijing 100083, China)

Received: Oct. , 22, 2008

Key words: sea-floor sediment; compressional velocity; acoustic attenuation; measuring equipment; complicated programmable logical device(CPLD)

Abstract: A design on an equipment for measuring acoustic attenuation and compressional velocity in sea-floor sediments is described. It is composed of on-water equipment and under-water measuring module. The on-water equipment, including a computer, a global positioning module and a data communication module, is used for the real-time remote control of under-water data acquisition, data receiving, processing, and re-coding. The under-water measuring module includes sonic sondes, data acquisition module, and data communication module, fulfills data acquisition and transmission. With a communication cable between them, a duplex channel with Manchester code modulation is formed. Under-water module can transmit data up with high speed, and the On-water computer can transmit commands down to adjust control parameters for data acquisition to get the best results in various conditions. It is certified that the design is feasible by experiment.

(本文编辑:刘珊珊)