

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2016.06.006

水下方位/CTD 数据记录仪硬件 在环测试系统研究*

綦声波, 刘 群, 王圣南

(中国海洋大学 工程学院, 山东 青岛 266100)

摘要:为解决传统的纯软件仿真中存在的误差大、可靠性低等问题,将硬件在环测试技术应用到水下方位/CTD 数据记录仪开发过程中。提出了在仿真系统中尽可能接入实物取代相应的数学模型的设计方法,将硬件系统搭建与 LabVIEW 图形化编程相结合,用于模拟传感器的参数和记录仪的采样过程,并通过参数的比对来验证记录仪工作的可靠性;通过抽取实际海试特征数据完善了仿真参数。研究表明,利用该方法可以使仿真结果最大限度地接近实际海况,且可以增加模拟测试系统的实用性和可靠性,也可用于仪器出厂前的全面功能测试。

关键词:水下数据记录仪;硬件在环;LabVIEW;功能测试

中图分类号:TH766.7;TP274.2

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2016)06-0674-05

Hardware in the loop test system of underwater azimuth/CTD data recorder

QI Sheng-bo, LIU Qun, WANG Sheng-nan

(College of Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266100, China)

Abstract: Aiming at the problems of low reliability and big deviation in the traditional pure software simulation, the hardware in the loop (HIL) testing technology was applied to the underwater azimuth/CTD data recorder. The design method was presented that access objects as much as possible to replace the corresponding mathematical model in the simulation system. The hardware system structures and LabVIEW graphical programming were combined to simulate the parameters of the sensors and the sampling process of the recorder, and the reliability of the recorder was also verified by comparing parameters. The simulation parameters were improved by extracting the actual characteristics of sea trial data. The experimental results indicate that this method can make the simulation results utmostly close to the actual sea conditions and increase the practicability and reliability of the simulation testing system, and it can be also used in the comprehensive functional test of the instrument before delivery.

Key words: underwater data recorder; hardware in the loop(HIL); LabVIEW; functional test

0 引 言

利用可控源电磁法 CSEM(controlled-source electro magnetic method)技术,可以识别海底高阻油气藏,进而提高钻井成功率。方位/CTD 记录仪是 CSEM 海底采集站的重要组成部分,主要功能是定时采集和存储

采集站下降、定深及上升阶段的仪器姿态以及所处海域的温盐深参数,并在系统回收以后将采集的数据导出^[1-4],为后期的数据处理提供校正。记录仪可工作于 4 000 m 的水深,并较长时间工作在水下,一旦失效将带来重大的数据损失。为了提高该记录仪的可靠性,在开发过程中对其进行更多的测试就成为一种必然。

收稿日期:2016-02-01

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51275495,51475197)

作者简介:綦声波(1970-),男,山东平度人,博士,副教授,主要从事嵌入式技术及海洋智能仪器方面的研究. E-mail:qishengbo@ouc.edu.cn

在记录仪的开发过程中,要提供一个 4 000 m 的水深环境进行长期实验是不现实的。一个可供选择的方法是软件仿真,但纯软件仿真与实际情况相比有一定的偏差。一个更好的替代方案就是硬件在环仿真^[5-7],即在仿真系统中尽可能的接入实物取代相应的数学模型,可以保证试验结果与真实情况最大程度地吻合,得到更确切的信息。

本研究将根据实际情况,搭建基于 LabVIEW 和三维测试架的水下方位/CTD 记录仪硬件在环测试系统,以便最大限度地仿真记录仪的复杂工作环境。

1 测试系统总体架构

实际工作中,方位/CTD 数据记录仪连接温盐深传感器(CTD)和姿态传感器组成。CTD 用来测量海水的温度、盐度和深度。姿态传感器用于测量设备的方向角、倾斜角和俯仰角,以便在设备回收后进行数据校正和姿态反演。该测试系统是水下方位/CTD 数据记录仪的配套系统,运行 LabVIEW 软件的 PC 机称为上位机,方位/CTD 记录仪称为下位机。该测试系统需要模拟 CTD 传感器的测量参数,并发送指令控制搭载姿态传感器的三维测试架运动,从而控制姿态传感器的实际输出,以模拟设备在不同情况下的姿态改变。为了验证数据的正确性,需要通过 RS232 接口将记录仪的数据实时读回,与模拟数据进行对比。由于 LabVIEW 是 NI 公司开发的一款功能强大、方便快捷的开发虚拟系统的编程工具^[8-10],又考虑到模拟测试系统中用到了较多的串口,为了实现软、硬件之间的无缝连接,本研究选用 NI 公司的 USB-232/4 进行上位机与下位机之间的连接。USB-232/4 可以通过 PC 的 USB 接口扩展 4 个串口,这样只要上位机具有 USB 接口即可进行测试,降低了对测试系统上位机的要求。

总体结构如图 1 所示。

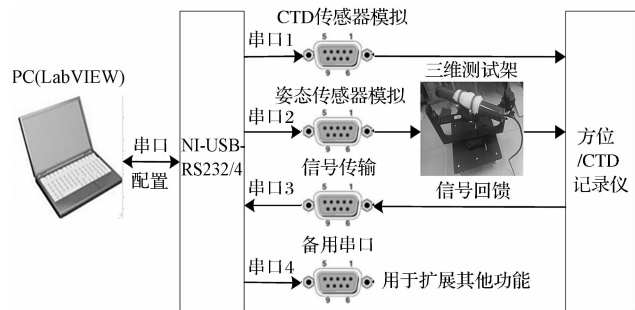


图 1 系统总体结构图

USB-232/4 的 4 个串口功能与分配如下:每个串口既可以作为接收端也可以作为发送端,这样更好地

体现了交互读取数据的功能。串口 1 接记录仪对应的串口接收端,用来将模拟的 CTD 参数发送给记录仪,故数据流是从 PC 机到记录仪;串口 2 接搭载姿态传感器的三维测试架的串口接收端,故数据流是从 PC 机到三维测试架;串口 3 接记录仪对应的串口接收端,用来将记录仪接收到的数据回馈给上位机,故数据流是从记录仪到 PC 机;串口 4 作为备用串口,可以扩展其他的功能。根据实际系统的控制要求,一方面该系统可以同步模拟各传感器工作时序,另一方面记录仪能够定时采集测试系统模拟的各传感器的数据,并且将采集到的数据回馈给上位机。上位机对记录仪反馈回来的数据进行分析验证,从而判断记录仪数据采集的准确性和实用性。

2 仿真系统构成

该模拟测试系统不仅可以单独模拟各个传感器的工作时序和参数变化过程,并且还可以整体模拟某时刻全部传感器的工作情况。CTD 模拟参数既可设置为单值,也可以根据用户的设置算法输出变化的值。譬如深度的模拟,可以分为动态模拟和静态模拟两种。所谓动态模拟,是指周期的增(下降过程)、减(上升过程)来模拟设备投放和回收的全过程;所谓静态模拟,是指在现有深度的基础上,叠加符合潮涨潮落规律的正弦波变化来模拟设备在水下工作的情况。电导率和温度也采用类似的模拟方法,其变化周期和变化幅度均是可设置的。对于姿态传感器参数的模拟,则系统采用控制搭载姿态传感器的三维测试架的运动,用实际姿态传感器的输出供记录仪读取,并通过串口数据反馈的方式进行验证。

为了优化整体设计流程,该模拟测试系统将 CTD 传感器、姿态传感器模拟模块独立设计,在各自完成相应功能的基础上结合为整体。CTD 传感器主要采用了算法模拟,其电源检测模块、命令控制模块、参数变化模块等均为独立仿真模块。姿态传感器则采用在模拟系统中接入实物的方法进行模拟。

2.1 CTD 传感器仿真系统设计

该记录仪采用了意大利 Idronaut 公司的 OCEAN SEVEN 304Plus CTD 传感器,该传感器具有体积小、性能高、功耗低的特点^[11],可以有效满足该记录仪测量海水温度盐度深度的要求。为了使模拟传感器更接近实际传感器,系统应当模拟记录仪与 CTD 传感器交互的每一步,例如传感器上电检测,串口初始化,模拟参数变化等。程序流程示意图如图 2 所示。

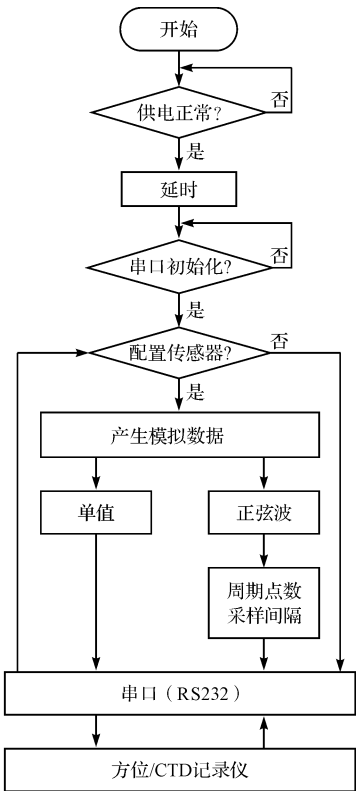


图2 CTD 传感器仿真流程示意图

2.1.1 电源检测模块

串口型传感器可以用电源控制其通断。接通电源后,由于传感器有一定的启动时间,在模拟传感器的工作时序中,需要加上延时环节,保证准确地模拟真实传感器的特性。具体是通过在电源检测环节后加一个“等待”控件来实现的。该控件的“等待”时间是由不同传感器的特性来决定的,该测试系统中设置为 50 ms。

2.1.2 命令控制模块

CTD 传感器有自容式和非自容式两种工作模式,其工作模式是通过传感器自带的上位机软件设置的,在实际工作中,本研究将该传感器设置为非自容式,即当传感器接收到记录仪发送来的请求命令时,会识别并回应这条命令。因此,该模拟测试系统只模拟 CTD 传感器在非自容式工作模式下的工作过程即可。

该模拟测试系统模拟了 CTD 传感器与记录仪交互的每一步,首先记录仪通过串口 1 向上位机发送请求数据命令“0x50 0x54 0x0A”,当运行于上位机的模拟 CTD 传感器接收到该指令时,会解析该命令并且通过串口 1 向记录仪回复模拟的 CTD 数据。当记录仪通过串口 3 接收到上位机传来的数据反馈指令“0x01”时,记录仪会将采集到的 CTD 数据反馈给上位机。上位机将反馈回来的数据和发送的数据通过数据库文件进行存储,作为数据比对的依据,从而验证测试

系统的准确性。程序示意图如图 3 所示。

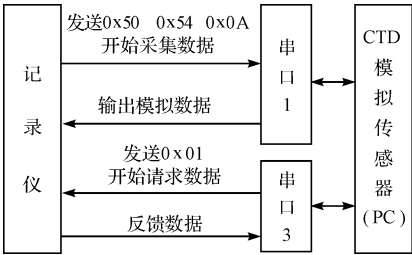


图3 程序示意图

2.1.3 模拟参数变化模块

正如上文所述,CTD 参数模拟有两种模拟方式:动态模拟和静态模拟。在该测试系统中,其中一种静态模拟方式是指以 $X = M\sin(\omega t + \theta) + N$ 正弦波变化来模拟真实环境中的参数变化。 M 和 N 值可以任意设置,只要不超出实际的测试范围均可,以便进行参数全覆盖测试和极限测试。但为了使参数更加接近实际的数据,可以从实际海试数据抽取特征值来确定 M 和 N 的值。例如深度数据,根据实际海试数据,可以设定深度模拟中的 $C = 80, c = 120, \varphi = 165^\circ$ 。静态模拟程序示意图如图 4 所示。

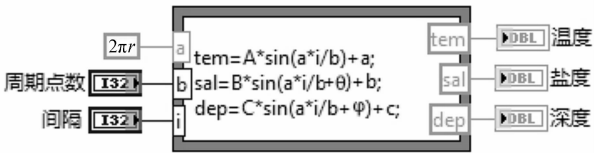


图4 静态模拟程序示意图

2.2 姿态传感器仿真系统

姿态传感器采用了美国 PNI 公司的三轴捷联磁阻式数字磁罗盘 TCM XB 传感器,该传感器功耗低精度高,并且有先进的校正系统,安装方便。在该系统中,采用由步进电机驱动的三维测试架搭载姿态传感器来模拟姿态参数,将搭载姿态传感器的三维测试架与 PC 机连接,利用串口输出控制三维测试架的运动,从而姿态传感器的输出也相应的变化。记录仪定时存储采集模拟的姿态参数,并且可以通过串口将数据回馈给 PC 机,这样就可以验证模拟参数的准确性。姿态传感器仿真系统示意图如图 5 所示。

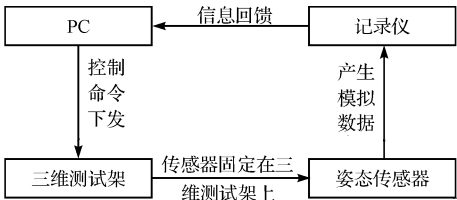


图5 姿态传感器仿真系统示意图

姿态参数的模拟是通过控制三维测试架的运动,从而使姿态传感器的输出发生改变。PC 机通过串口方式发送控制指令给步进电机控制器,例如:当步进电机控制器接收到上位机发送的数据命令“@ 01 20 16 12”时,测试架沿 X 轴旋转 20°、沿 Y 轴旋转 16°、沿 Z 轴旋转 12°,此时姿态传感器相应的输出指令为“00 15 05 03 05 41 A0 00 00 18 41 80 00 00 19 41 40 00 00 27 9E”;当接收到上位机发送的数据命令“@ 01 00 00 00”时,三维测试架复位。记录仪周期性采样姿态传感器的输出参数,并在接收到上位机通过串口 3 发送的数据反馈指令“0x02”时,将采集到的数据回馈给上位机,进而验证模拟参数的准确性。

数据交互如图 6 所示。

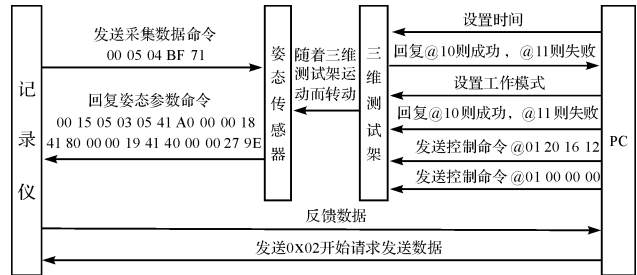


图 6 姿态传感器模拟程序示意图

注:00 15 05 03 05 41 A0 00 00 18 41 80 00 00 19 41 40 00 00 27 9E;00 15—字节数;05—Frame ID;03—ID count;05—Component ID;41 A0 00 00—方向角 20°;18—Component ID;41 80 00 00—倾斜角 16°;19—Component ID;41 40 00 00—俯仰角 12°;27 9E—CRC 校验

3 通信及界面设计

3.1 串口通信

测试系统与记录仪之间主要是串口通信^[12]。串口通信驱动为模拟测试系统的核心部分。串口通信驱动部分将“模拟命令控制”环节发出的命令转换为符合通信协议的字符串,并将字符串发送给相应的接收端。不同种类传感器的通信协议不同,因此各个模拟传感器的驱动部分应按模块分别编写。

驱动模块主要包括两方面的内容:获取字符串和发送字符串,由 NI 公司的 VISA 模块来实现^[13],内部用与串口通信相关的底层程序编写,能驱动串口收发信息。

3.2 人机界面

该上位机软件利用 LabVIEW 语言进行可视化编程,功能灵活,充分发挥图形化编程的特色,既考虑到当前传感器的使用情况,又为未来的传感器扩展留有

充分的空间^[14]。

以 CTD 参数为例,不同海域的实际情况如水深、温度等都不同,记录仪及 CTD 传感器按照控制要求在不同水域上升和下潜过程中的速度也不同,因此,对于 CTD 参数模拟,本研究依照驻留点位置、个数等设置采样间隔和周期,使模拟测试系统可以模拟任意深度和任意时刻的参数值,从而保证其最大限度地模拟传感器在不同海域中的工作情况。

本研究通过把温度、盐度和深度设计成带数字显示的垂直条形式,可以使用户直观地了解当前的采样速度以及数据变化趋势,并且将 3 种参数整合在一个波形图中便于观察曲线变化,更好地分析当前模拟系统的工作状态以及温盐深的相对关系。

CTD 传感器模块人机界面示意图如图 7 所示,模拟参数以动态和静态两种方式变化。

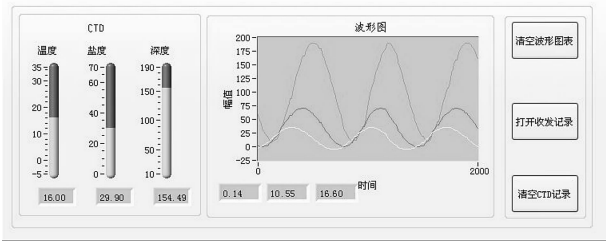


图 7 CTD 模块主程序界面示意图

4 实验结果及分析

该测试系统实时存储了下发和回馈的参数变化,并以时间的顺序存储为数据库文件,方便数据的对比验证。在设备开发前期,由于无参考数据可用,只能根据相关资料来确定各模拟数据,以定性测试为主;由于记录仪本身具有数据记录及存储的功能,随着后期实验的展开,每次海试都会采集到大量的实际数据。为了使各参数模拟函数的变化更加接近实际数据,本研究采用了从大量的实际海试数据中抽取参数特征值,并在函数的模拟中加入动态随机数,既可以定性测试,也可以定量测试。

以深度和方向角为例。对于深度的静态模拟,系统从黄海海试中多次获得的实际测试数据来抽取特征数据,并对记录仪采集的数据和实际数据进行了对比,虚线曲线为模拟数据,实线曲线为记录仪在黄海中海试时的实际采集数据。对于方向角参数,由于每次投放时方向角是不定的,实验中希望能进行全方位的模拟,即从 0°依据一定的规律转动到 360°。实验数据比对如图 8 所示(图中:实线曲线是上位机发送的模拟数据,虚线曲线是记录仪中采集到的模拟数据)。

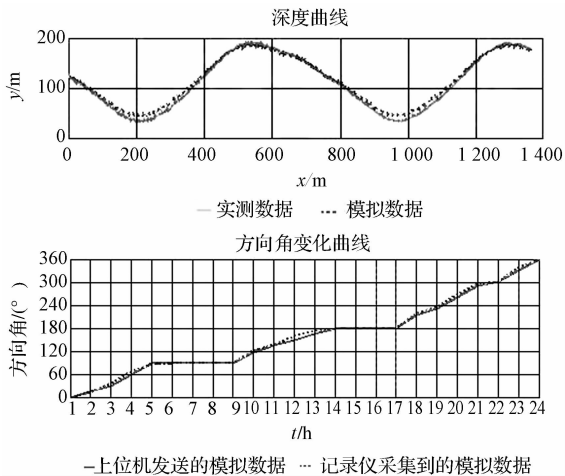


图 8 实验数据比对

从图 8 中可以看出,实际测试时采集到的深度曲线近似于正弦波,符合了潮涨潮落的规律。模拟深度变化曲线是从多次获取的实际数据中抽取特征值模拟的正弦波并且叠加了白噪声信号,以模拟干扰,故两者大体趋势一致,但并不完全重合;由于受到涨潮退潮以及海流的影响,采集站在水底时也会发生轻微的晃动,真实的方位数据也会随时间而变化。在模拟方位参数的变化过程中,由于执行结构的偏差,记录仪中接收存储的方向角数据曲线与模拟系统下发的模拟数据稍有差异,但曲线趋势基本一致。

5 结束语

(1)本研究通过模拟各个传感器在水下的工作顺序,并将搭载姿态传感器的三维测试架接入仿真系统,构成硬件在环测试,最大限度的模拟了记录仪的复杂工作环境,从而使模拟系统的数据更加接近实际环境,有效检验了记录仪的工作可靠性。

(2)本研究从面向对象的角度,采用 LabVIEW 语言进行上位机界面的设计,使得开发人员能够清晰直观的观察记录仪当前的采样速度以及数据变化趋势,界面直观,模块化好,具有良好的扩展性。在开发前期,可以辅助记录仪系统的调试。开发后期可达到不下水或少下水就可以进行全面程序调试的目的。此外,该系统可根据实际情况进行扩充和剪裁,只需进行适当的软件更改即可投入使用于多种监测场合,对提

高设备利用率,提高生产效率均具有一定的实用价值。

参考文献(References):

- [1] 辛 凯. 海洋可控源电磁勘探系统中方位/CTD 记录仪的研制[D]. 青岛:中国海洋大学工程学院,2014.
- [2] LUCY M G, MARTIN S. Use of marine controlled-source electromagnetic sounding for sub-basalt exploration[J]. **Geophysical Prospecting**, 2000, 48(6): 1091-1106.
- [3] CONSTABLE S. Ten year of marine CSEM for hydrocarbon exploration[J]. **Geophysics**, 2010, 75(5): 67-81.
- [4] DARNET M, SMAN P V D, HINDRIKS F, et al. The Controlled Source Electro-Magnetic (CSEM) Method in shallow water: a calibration survey [J]. **Seg Technical Program Expanded Abstracts**, 2010(1): 701-705.
- [5] 袁建润,孙志宏. 基于 LabVIEW 的燃料电池硬件在环测试系统[J]. 东华大学学报:自然科学版, 2015, 41(3): 348-353.
- [6] BRACCO G, GIORCELLI E, MATTIAZZO G, et al. Hardware-In-the-Loop test rig for the ISWEC wave energy system [J]. **Mechatronics**, 2015(25): 11-17.
- [7] 李志强,戴 勇,赵文宏,等. 基于 LabVIEW 的汽轮机硬件在环仿真研究[J]. 机电工程, 2009, 26(7): 37-39.
- [8] LI L. Acoustic phased array video surveillance system based on LabVIEW [J]. **Electronic Measurement Technology**, 2013, 36(4): 11-14.
- [9] 谢 启,方 玉. 基于 LabVIEW 软件开发测试系统的关键技术研究[J]. 机床与液压, 2005, 32(10): 54-57.
- [10] 李 青,李 健,徐 浩. 基于 LabVIEW 的厂级负荷优化分配系统仿真实验平台[J]. 兵工自动化, 2015, 34(7): 52-55.
- [11] 吴明钰,李建国. 高精度 CTD 剖面仪温 54R 度传感器 [J]. 海洋技术学报, 2001, 20(1): 143-146.
- [12] 吴 侃,于明礼,李 明. 基于 Matlab GUI 的超声电机控制系统串口通信研究[J]. 机电工程, 2015, 32(11): 1471-1476.
- [13] 杨浩前. 基于 VISA 架构的物联网资源驱动层研究 with 实现[M]. 西安:西安石油大学出版社, 2015.
- [14] 陈宗喜,张喜验,蔡声波,等. 基于 LabVIEW 的自升沉式潜标模拟测试系统设计[J]. 海洋技术学报, 2012, 31(2): 1-5.

[编辑:李 辉]

本文引用格式:

蔡声波,刘 群,王圣南. 水下方位/CTD 数据记录仪硬件在环测试系统研究[J]. 机电工程, 2016, 33(6): 674-678.

QI Sheng-bo, LIU Qun, WANG Sheng-nan. Hardware in the loop test system of underwater azimuth/CTD data recorder[J]. **Journal of Mechanical & Electrical Engineering**, 2016, 33(6): 674-678.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>