

海底环境参数采集电路的硬件实现 及其驱动软件设计

张启升^{1,2}, 邓明^{1,2}, 陈凯^{1,2}, 王猛^{1,2}

1. 地质过程与矿产资源国家重点实验室和地下信息探测技术与仪器教育部重点实验室, 北京 100083

2. 中国地质大学(北京)地球物理与信息技术学院, 北京 100083

摘要: 海底大地电磁探测与陆上同类探测的技术差别之一是其测量过程受环境因素的影响较大。为真实地获取海底岩石介质的电性模型, 在对海底大地电磁实测信号进行数据处理的同时, 需参考海底仪器的方位朝向、倾斜姿态等信息, 以便认识海底电磁场真实的矢量变化方向, 进而实现对整个测网多站位的统一资料解释。为达到这一目的, 海底大地电磁仪内部设有环境参数采集通道, 该通道对诸如方位、倾斜、温度等信息实施分时循环采集。电路包括 PC104 嵌入式计算机、多路选择开关、逻辑控制门阵列等硬件单元。在硬件架构搭建完成后, 开发出相配套的电路驱动软件, 实现对海底环境参数的实时记录与存储。近期的海洋试验效果显示, 所研制的电路硬件及其驱动软件已达到设计要求。

关键词: 大地电磁; 数据采集; 环境监测; 逻辑门阵列; 传感器。

中图分类号: P631.3

文章编号: 1000-2383(2007)04-0499-05

收稿日期: 2007-04-18

Circuit Drivers Design and Hardware Realization of Acquiring Seafloor Environment

ZHANG Qi-sheng^{1,2}, DENG Ming^{1,2}, CHEN Kai^{1,2}, WANG Meng^{1,2}

1. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources; Geo-detection Laboratory of the Ministry of Education, Beijing 100083, China

2. School of Geophysics and Information Technology, China University of Geosciences, Beijing 100083, China

Abstract: Seafloor magnetotelluric detection is greatly influenced by environmental factors, which is different from onshore similar survey technology. To get the genuine seafloor rock medium electrical model, data processing about seafloor magnetotelluric raw signal requires information such as seafloor instrument bearing orientation, obliquity, and temperature, by which the real vector change bearing of seafloor magnetotelluric fields can be acquired, and then the uniform explanation about the whole survey of multi-station is obtained. To achieve this objective, the seafloor magnetotelluric instrument must be equipped with the environmental parameter acquisition channel. The channel acquires many environmental parameters time-sharing circularly, such as orientation, obliquity, temperature and so on; the circuit consists of embedded computer PC104, multiplexers, logical control gate array and other hardware units. After completing the whole hardware architecture, the circuit driver is developed to record and save seafloor environmental parameters in real-time mode. Ocean recent test results indicate that the circuit hardware and driver software have been developed to meet the design requirements.

Key words: magnetotellurics; data acquisition; environment detection; logical gate array; sensor.

大地电磁测深所测量的信号主要包括 2 个水平 (H_y 、 H_z)。在陆上进行测量时, 通常利用人工实现 X 正交的电场 (E_x 、 E_y) 和 3 个相互正交的磁场 (H_x 、 H_y 、 H_z)。轴沿正北南方向、 Y 轴沿正东西方向的电极与磁传

传感器的布设方式. 然而, 将大地电磁测深从陆上移至海洋时, 引发了新的技术难题(邓明等, 2004). 表现之一是: 仪器在海面投放后, 自由下沉抵达海底. 在整条探测剖面上, 各站位的仪器呈现出方位朝向和倾斜姿态各不相同的自然状态. 信号观测时, 各台仪器的实际水平坐标轴并不沿着正北南或正东西向, 其 Z 轴也不垂直, 这给后续的数据处理带来不便. 为获得实际观测的各场源分量在真正的 X 轴和 Y 轴上的矢量投影, 实现整条探测剖面上各站位的统一坐标变换, 必须在进行海底大地电磁信号采集的同时, 记录各台仪器自身的姿态. 海底环境信息(方位朝向、地形倾斜)与仪器姿态直接相关, 而海底温度对场源信号在海水中的传播有间接影响(因温度不同含盐度有所不同). 在探测仪器内部设计测量通道, 实时采集各环境参数, 是解决上述问题的实用方法.

1 海底环境多参数采集电路原理

海底环境参数采集总体框图如图 1. 仪器在海底实施测量时, 各环境监测传感器把非电量的物理量转换为电量后送至多路选择开关(MAX308), 逻辑控制门阵列发出 CMD 控制字控制多路选择开关分时选定一路环境参数进入测量通道. 经 24 位 A/D 转换, 该参数变为串行数据流, 再经串并转换门阵列并行输出至 FIFO 数据缓存区(邓明等, 2003a, 2003c). 待 FIFO 存满, PC104 嵌入式计算机执行读操作, 将实测数据存盘(邓明等, 2002). 仪器从海底回收后, 进行数据回放, 存盘数据传至上位机, 最终通过联合解析反演出实测环境参数物理量.

2 测量过程

海底大地电磁仪在海面投放前, 人工进行运行文件的设置. 仪器内嵌入式计算机根据设置情况实现对相应硬件电路的控制(张启升等, 2004).

2.1 信息的分时采集

各环境信息由 8 选 1 器件(MAX308)分时循环选择. CMD 一方面控制多路选择开关, 另一方面控制各环境监测传感器电源的通断. 当某传感器被开启时, 其他传感器的电源被关闭. 方向传感器与倾斜传感器的工作电压不同, 且前者又需分别提供两组

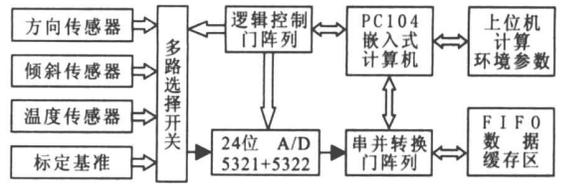


图 1 海底环境状态监测图

Fig. 1 The sketch on monitoring seafloor environment status

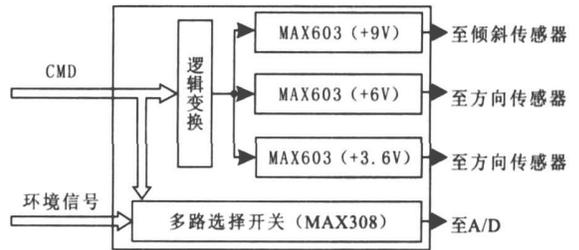


图 2 分时采集控制电路原理框图

Fig. 2 The circuit principle sketch of time-sharing measure

电压. 逻辑变换电路根据 CMD 的指令内容执行相应的驱动(图 2).

2.2 环境信息传感器

方向传感器用于测量海底大地电磁仪 X 轴磁传感器与地磁场的偏角, 其主要技术指标: 测量范围 0~360°, 测量精度 ±1°, 驱动电压 6 V, 电位计电压 3.6 V, 方向角电压转换系数为每度 0.01 V. 测量时, 在 2 s 间隔内, 前 1 s 提供 6 V 的励磁电压, 后 1 s 提供 3.6 V 的电位计电压, 在加电位计电压的同时监测方向传感器的输出信号.

倾斜传感器用于监测仪器的水平状态, 其主要技术指标: 测量范围 ±20°, 测量精度 0.5°, 倾角电压转换系数每度 0.1 V. 且其 X 轴、Y 轴分别与海底大地电磁仪的 X 轴、Y 轴保持一致的方向. 所监测的自身 X 轴倾角 TILTX, Y 轴倾角 TILTY 均代表了海底大地电磁仪 X 轴、Y 轴的倾斜情况.

温度传感器用于测量海底的水温, 选用 HN11 型线性 NTC 温度传感器. 其技术指标: 测温范围 -200~200 °C, 基准电压 V(0) (即 0 °C 时) 为 690~710 mV, 温度电压转换系数为 -2 mV/°C, 工作电流(0 °C 时)为 100 μA, 测量精度 0.3 °C.

2.3 逻辑门阵列受令控制

该电路单元设在海底大地电磁仪内部逻辑控制板中, 它不仅为整机提供精确的与 GPS 完全同步的秒脉冲(邓明等, 2003b), 而且为整机提供各种逻辑控制信号, 其原理如图 3 所示.

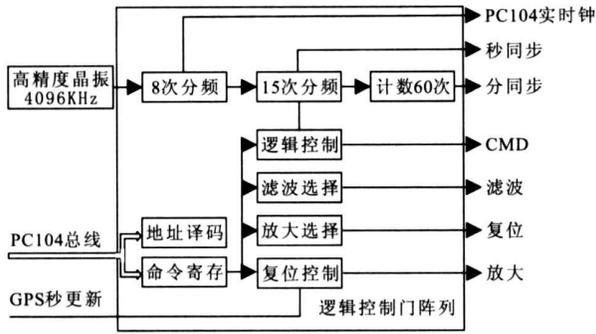


图 3 逻辑控制门阵列原理

Fig. 3 The principle sketch on logical control gate array

在电路开启的情况下, CMD 在秒节拍的作用下依次从 000~111 循环交替, 实现环境信息的分时监测, 循环顺序表如表 1。表中分时间间隔为 1 s, CMD 信号循环一周的时间为 8 s。当 CMD 为“110”和“111”时给方向传感器供电, 实现对仪器方位信息的测量; 当 CMD 为“100”和“101”时给倾斜传感器供电, 实现对 X 轴和 Y 轴的倾斜测量; 当 CMD 为“010”和“001”时测定温度并对仪器进行基准标定。

逻辑控制门阵列内分频秒同步到来时, 若复位信号存在, 在采用秒同步或分同步并启动采集的情况下, 开始发同步采集信号并初始化 CMD 为 000。在同步采集状态下, 若环境信息监测位 W292_Latch(0)为 1(见 3.1 的 VHDL 程序), 则使 CMD 开始从 000~111 循环(受秒更新控制), 实现环境信息的分时采集。

2.4 软件控制

主控单元为 PC104 嵌入式计算机, 利用其 ISA 总线实现与逻辑控制门阵列的信息交互。程序指令通过向总线发相应的控制字, 逻辑控制门阵列接收并解析相应信息来实现对环境信息采集的开启。在逻辑控制门阵列中, 设有对钟同步口—W292, 用于写入控制字实现 GPS 对钟、数据采集启停、测量通道控制(邓明等, 2003a), 其有效位的定义如表 2。

表 2 定义了对钟同步口—W292 的各位功能。其中 MSEL 为同步方式位, “0”为秒同步, “1”为分同步。GPSEN 为 GPS 对钟位; STARTEN 为数据采集启停位; CTR 为测量通道控制位, “1”或“0”分别代表启或停。

当需进行海底环境状态监测时, 将参数文件所对应频段设为 OriSensor=1。采集运行过程中主程序将调用 ConstructParaStruct()函数(详见 3.2), 读取参数文件构建采集参数结构体; 而后将结构体

表 1 环境状态信息分时监测

Table 1 Time-sharing monitoring about environment status information

CMD	时间间隔(s)	测量值	加电选择
000	1	地	
001	1	标定基准	
010	1	温度	
011	1	地	开 TILT 工作电源
100	1	测 TILT X	开 TILT 工作电源
101	1	测 TILT Y	开 TILT 工作电源
110	1	地	开 ORI 驱动电源
111	1	测 ORI	再开 ORI 电位计电源

表 2 W292 有效位定义

Table 2 The definition on the effective bit of W292

B7		B6		B5		B0	
MSEL	GPSEN	STARTEN	CTR				
0	1	0	1	0	1	0	1
秒	分	终止	启动	终止	启动	终止	启动
同	同	GPS	GPS	终止	启动	测量	测量
步	步	对时	对时	采样	采样	通道	通道

送交采集子函数 DiskAcq() (见 3.2) 和硬件接口子函数 BuildCommand() (见 3.2) 实现硬件接口设置, 并使全局变量 DirSensor 置为 1。此后 DiskAcq() 函数在计时时间到来后调用启动数据采集函数 AcqStart(), 而 AcqStart() 调用中断函数 NewSecondIsr_StartAcq() 开始整机的同步采集(张启升等, 2004), 在此中断函数中置 W292 的 B0 位为 DirSensor, 并通过 PC104 总线发送至逻辑控制门阵列的 W292_Latch(见 3.1) 来开启环境监测。

3 主要控制程序

3.1 CPLD 内的 VHDL 程序

Process_Sync;

——Latch_Clk1Hz 为秒更新脉冲

PROCESS(Latch_Clk1Hz)

BEGIN

——秒更新上升沿到来

IF Latch_Clk1Hz 'EVENT and Latch_Clk1Hz=' 1' THEN

——逻辑控制门阵列复位信号存在

IF Latch_Reset=' 1' THEN

——采用秒同步或分同步并启动采集

```

IF ((W292_Latch(7)='0') and (W292_
Latch(5)='1') or ((Latch_1Minute='1') and
(W292_Latch(7)='1') and (W292_Latch(5)
='1')) THEN
    Latch_SYNC<='1'; ——开始同步采
    集
    Latch_CMD<="000"; ——初始化
    CMD 寄存器
    Reset_Temp<='1';
    END IF;
    ——逻辑控制门阵列复位信号消失
    ELSIF Latch_Reset='0' THEN
        ——停止发送同步采集信号
        Latch_SYNC<='0';
        Reset_Temp<='0';
        ——开启环境监测, 启动采集
        IF (W292_Latch(5)='1') and
        (W292_Latch(0)='1') THEN
            Latch_CMD<=Latch_CMD+1;
        END IF;
    END IF;
END IF;

```

```

END PROCESS Process_Sync;

```

——CMD 寄存器内容输出至 CMD 引脚

```

CMD<= Latch_CMD;

```

3.2 PC104 内的 C 程序

```

/*读参数文件构建采集参数结构体函数*/

```

```

int ConstructParaStruct (struct ACQ_PARAMETERS
*papP1, int iTotal, FILE *fp)

```

```

{ ...
    /*从 fp 所指向的参数文件中读取环境监测位
    OriSensor 并存储于 char 型数组 szTmp 中*/
    if (ReadSettings (sParaKey, "OriSensor", szT-
    mp, fp)) {papP1[ ptr ]. OriSensor=(char)str-
    toI (szTmp, &endptr, 10); /*将环境监测位
    OriSensor 转换为整型数字存入对应的采集参
    数结构体的方向传感器启停使能成员中*/}
    ...
}

```

```

/*硬件接口参数设置函数*/

```

```

char BuildCommand (struct ACQ_PARAMETERS
*pParas)

```

```

{

```

```

/*软件设置环境状态信息采集 DirSensor */
if (pParas-> OriSensor==1)

```

```

{
    DirSensor=1; /*开启海底环境参数采集*/
}

```

```

else

```

```

{
    DirSensor=0; /*关闭海底环境参数采集*/
}

```

```

...

```

```

}

```

```

/*数据采集函数*/

```

```

unsigned int DiskAcq (struct ACQ_PARAMETERS
*papPara)

```

```

{ ...

```

```

/*调用硬件结构参数设置函数实现对各个硬
件接口的设置*/

```

```

if (! BuildCommand (papPara))

```

```

{

```

```

printf ("DiskAcq(): I can't build the com-
mands. Bad parameters! \n"); /*若设置
硬件接口失败则申明失败并退出本数据采
集函数*/

```

```

farfree (RdBuf);

```

```

return 0;

```

```

}

```

```

WaitTimeOut (papPara); /*调用 "计时时间
到则跳出计时循环函数", 用于定时等待*/

```

```

AcqStart (); /*调用启动数据采集函数, 启动
本频段的数据采集*/

```

```

...

```

```

}

```

上述 DirSensor 用于海底环境的采集控制, 为 0 或 1 分别表示关闭或启动海底环境采集(张启升等, 2004)。

4 结语

本文所阐述的电路硬件及其驱动软件在 2000 年东海试验(魏文博等, 2001)和 2005 年南海试验(邓明等, 2006)中, 成功测取了仪器所在点位的海底环境信息, 为大地电磁资料处理提供了可靠的实测数据, 验证了电路的实用效果。

海底环境参数采集有其自身的特点与要求,在电路的设计过程中突出了以下两点:(1)由于海底大地电磁仪在海底长时间地工作,其所携带的电源有限,因而需考虑功耗问题.多路复用的采集电路方案正是针对低功耗的技术要求而提出的.(2)由于结构设计中采用了特殊技术(邓明等,2001),使海底大地电磁仪可抵御底流推曳的影响,而海底水温在较长的时间段内一般不改变.因而,海底环境参数变化较缓慢.针对这一实情,采用分时采集的测量方式,可提高仪器电路资源的使用效率.

References

- Deng, M., Bai, Y. C., Chen, R. J., et al., 2002. The application of PC104 in seafloor magnetotelluric signal acquisition. *Journal of Central South University of Technology*, 33(6): 555—558 (in Chinese with English abstract).
- Deng, M., Liu, F. L., Zhang, Q. S., et al., 2006. Long-span and multi-point synchronizing data acquisition for seafloor magnetotelluric based on union of marine and land. *Science & Technology Review*, 24(10): 28—32 (in Chinese with English abstract).
- Deng, M., Wei, W. B., Deng, J. W., 2001. Assembly of the five component seafloor magnetotelluric instrument. China Patent: ZL00254754.6, 2001—07—13 (in Chinese).
- Deng, M., Wei, W. B., Tang, H. D., et al., 2003a. The interface technology of the seafloor magnetotelluric acquisition circuit. *Geophysical & Geochemical Exploration*, 27(1): 23—27 (in Chinese with English abstract).
- Deng, M., Wei, W. B., Tang, H. D., et al., 2003b. The circuit design for the acquisition of seafloor MT signal. *Earth Science Frontiers*, 10(1): 155—161 (in Chinese with English abstract).
- Deng, M., Wei, W. B., Tang, H. D., et al., 2003c. Collector for seafloor magnetotelluric data. *Chinese Journal of Geophysics*, 46(2): 217—223 (in Chinese with English abstract).
- Deng, M., Zhang, Q. S., Qiu, K. L., et al., 2004. Technique problems in marine geoelectrical field prospecting. *Instrument Technique and Sensor*, 9(1): 48—50 (in Chinese with English abstract).
- Wei, W. B., Deng, M., Tang, H. D., et al., 2001. Development of marine magnetotelluric prospecting technique in China. *Seismology and Geology*, 23(2): 131—137 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, Q. S., Deng, M., Luo, F., et al., 2004. Circuit drivers of signal-acquiring unit in seafloor magnetotelluric system. *Progress in Geophysics*, 19(4): 789—793 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 邓明, 白宜诚, 陈儒军, 等, 2002. PC104 嵌入式计算机在海底大地电磁信号采集中的应用. 中南工业大学学报, 33(6): 555—558.
- 邓明, 刘方兰, 张启升, 等, 2006. 海陆联合大跨度多点海底大地电磁同步数据采集. 科技导报, 24(10): 28—32.
- 邓明, 魏文博, 邓靖武, 2001. 五分量海底大地电磁仪总成. 中国专利: ZL00254754.6, 2001—07—13.
- 邓明, 魏文博, 谭捍东, 等, 2003a. 海底大地电磁数据采集电路的接口技术. 物探与化探, 27(1): 23—27.
- 邓明, 魏文博, 谭捍东, 等, 2003b. 海底 MT 信号采集电路的设计. 地学前缘, 10(1): 155—161.
- 邓明, 魏文博, 谭捍东, 等, 2003c. 海底大地电磁数据采集器. 地球物理学报, 46(2): 217—223.
- 邓明, 张启升, 邱开林, 等, 2004. 海洋环境下大地电场勘探的若干技术问题. 仪表技术与传感器, 9(1): 48—50.
- 魏文博, 邓明, 谭捍东, 等, 2001. 我国海底大地电磁探测技术研究的进展. 地震地质, 23(2): 131—137.
- 张启升, 邓明, 罗锋, 等, 2004. 海底大地电磁信号采集电路的驱动程序. 地球物理学进展, 19(4): 789—793.