

带远参考测量方式的海底大地电磁同步采集技术

邓明, 李哲, 魏文博, 谭捍东, 金胜, 邓靖武

(中国地质大学地球物理与信息技术学院, 北京 100083)

[摘要]在海底进行带远参考的大地电磁数据采集,需解决的技术问题包括:仪器的硬件电路中需含有高精度的时钟源,该时钟的走时误差仅为微秒级;需将GPS时间信息写入主控计算机中,使得高精度时钟源成为与标准时间一致的时钟;设计同步性能可靠的数据采集电路。在研发过程中,采用温补晶振技术使振荡频率稳定至 10^{-7} 秒;编写时钟驱动程序使PC104计算机能成功地在海面上实施与GPS对钟;运用同步控制电路芯片组成完善的采集系统。海洋试验证明了上述方案的有效可行性。

[关键词]大地电磁 海底探测 GPS对钟 同步采集

[中图分类号]P631.3 **[文献标识码]**A **[文章编号]**0495-5331(2003)05-0077-04

0 引言

大地电磁场信号属于弱信号,在海底的信号幅度只有微伏级^[1]。且由于背景场中混杂着多种噪声,测量过程受到不同程度的干扰,有时甚至造成有用信号的严重畸变,因而,去噪成为提高大地电磁数据观测质量的重要内容。在众多压制干扰的技术方法中,带远参考的测量方式在消除局部区域环境噪声方面有较好的效果^[2]。为实现远参考测量,各台仪器之间需同步采集数据。对陆上测量而言,该问题已得到了解决。其技术方案是:每台仪器配以GPS天线,仪器的主控单元通过天线随时接收卫星时钟信号,测量系统也随时将自己的内部时钟调整到与卫星时钟相一致,因此,各台仪器在采集时间上能做到严格同步。然而,对海底测量而言,上述方案无法得到应用。其理由是:厚厚的海水层对GPS信号起屏蔽作用,被放置在海底的测量仪器无法接收到卫星发出的时间信息。因而,海底多台仪器的同步问题有待解决。

为何在对时钟精度要求严格的测量设备中采用GPS时钟而不采用设备本身的计算机时钟呢?这是因为,一般商业计算机的内部时钟在日常的时、分、秒走时功能上虽能满足用户要求,但在微秒级计时精度上存在误差。也就是,用它作为秒时钟是准的,

但用它作为微秒时钟就不准了。过去,由于时钟精度问题未解决,影响了高精度同步测量技术的发展。如今,虽然GPS技术已成功地使同步测量成为现实,但只限于地面或海面以上。那么,在考虑海底同步采集问题时,则应采取新的技术思路:即在海面上实现每台仪器的GPS对钟,而在海底采用特殊技术保证其钟信号的准确,以使各采集电路获得高精度的且一致的时间基准。在海底大地电磁测量所面临的诸多技术难点中,这无疑是一个值得研究的题目。

1 海底大地电磁数据采集器中的高精度时钟电路

高精度时钟电路的核心问题是晶振器件的稳定性问题,而稳定性主要受环境温度的影响。振荡晶体在变温条件下,其振荡频率会随之改变,从而造成计时误差^[3]。在海上作业时,甲板温度有时高达四十度以上;仪器刚被投放下水时,海面水温约十几度;而在海底,水温只有3℃左右,可见,若没有补偿措施,系统时钟的精度是难以保证的。控制温漂的方法之一是将晶体置于恒温槽内。海底大地电磁数据采集正是采用了带温补的晶振技术。在制作电路板时,专门开发了一块时钟电路板,由它向计算机的RTC单元提供高精度计时脉冲,使得仪器系统的时钟稳定度在 10^{-7} 秒数量级。图1表明了该时钟电

[收稿日期]2001-12-28; **[修订日期]**2002-12-03; **[责任编辑]**曲丽莉。

[基金项目]国家“863”计划研究课题(编号:2002AA615020)资助。

[第一作者简介]邓明(1956年-),男,1982年毕业于中国地质大学,获学士学位,在读博士生,副教授,主要从事地学仪器的教学和科研工作。

路的工作原理。

如图所示,带温补措施的高精度晶振模块经分频后给 PC104 计算机提供了一个稳定的振荡时钟源 32768Hz,在分频器被强制同步前,该时钟的频率间隔虽很准,但相位不一定与标准时间同步。当强制同步控制信号把分频器输出脉冲的相位锁定到与标准时间的相位一致,同时 RTC 在计算机的监控下完成秒信号的同步更新,并随后读入标准时间信息 - GPS 时间,则 RTC 便成为与标准时间只有微秒级误差的实时钟。以这一时钟信号驱动后面的采集电路便能满足远参考测量的同步要求。图中的 IPS 内秒号是送给各采集通道的。海底大地电磁数据采集器共设计了 6 个采集通道,分别记录 Ex、Ey、Hx、Hy、Hz 以及海底环境相关信息。有关 IPS 内秒号的作用本文稍后还会谈到。

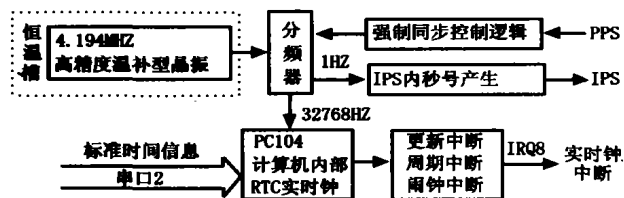


图1 海底大地电磁数据采集器时钟电路原理图

2 与 GPS 时钟的一致性问题的

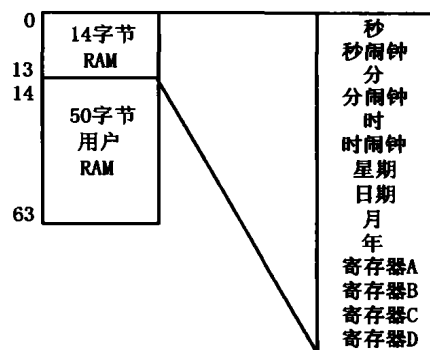
海底大地电磁探测的海上作业过程是:多台仪器搭载在同一条船上,该船沿预定的测线航行。每到达一个测量点往海下投放一台仪器^[4],每两个测量点之间的距离在 5 km 以上。可见,所有仪器都不是同时到达海底的。为了使多台仪器同步采集,需给每台仪器设好采集时间表,该表存放在仪器内部的驱动程序中。在海下等待阶段,程序运行在定时循环状态。当采集时间到,每台仪器在同一个时间起点按同一节拍采集数据。为达到这一目的,除了赋予每台仪器高精度时钟电路外,还需向其置入标准时间信息,即 GPS 时间。每台仪器下水前,只有一次对钟机会,与陆上测量拥有多次对钟机会相比,海底测量条件较苛刻。为保证一次对钟即能成功,采用了如下对钟技术。

2.1 RTC 秒更新与 PPS 秒信号的同步

在 RTC 内,除有走时功能的时间存储器外,还有 A、B、C、D 4 个寄存器,如图 2 所示。

图中,寄存器 B 和 D 的内部结构图略。

寄存器 A 和 C 在完成秒同步过程中起着重要



寄存器A

Bit7	6	5	4	3	2	1	0
UIP	DV2	DV1	DV0	RS3	RS2	RS1	RS0

寄存器C

Bit7	6	5	4	3	2	1	0
IRQF	PF	AF	UF	0	0	0	0

图2 RTC 实时钟内部的时间存储器与寄存器

作用。在对钟操作时,所用到的寄存器位有:

UIP:时间更新标志。当为“1”时,表示秒更新正在进行。

DV2 - DV0:基准频率选择位。置全“1”时,RTC 处于复位状态。置“010”时,RTC 以 32768Hz 为基准频率工作于计时状态。

IRQF:总中断请求标志位。每次中断服务程序结束,需对该位进行清零。

UF:更新结束中断标志位。当 RTC 复位后,DV2 - DV0 被重新置“010”,0.5 秒之后便产生第一个中断触发脉冲。

对钟分两步进行,一是 RTC 秒更新与 GPS 秒信号的同步,二是标准时间信息读入。在 GPS 卫星上,每秒发出一个秒脉冲 PPS,其上升沿与格林威治绝对秒时刻精确一致。为使 RTC 能与 PPS 对准,并最终完成 RTC 内的时间更新,硬件上,将 PC104 的总线 B4 端作为 PPS 秒脉冲的引入端,将串口 2 作为标准时间信息 - NEMA 语句的输入口。其硬件连接及程序运行如图 3。

GPS 接收机作为仪器外围暂用部件。每台仪器投放前,与 GPS 连接执行对钟。对钟完成后,将它们相互脱离。当仪器与 GPS 连上时,每秒一个的 PPS 脉冲通过总线 B4 端一方面送给强制同步控制电路,使分频器的输出脉冲相位与 PPS 相位一致。另一方面向 PC104 发出中断请求,RTC 与 PPS 的同步操作由中断服务程序完成。

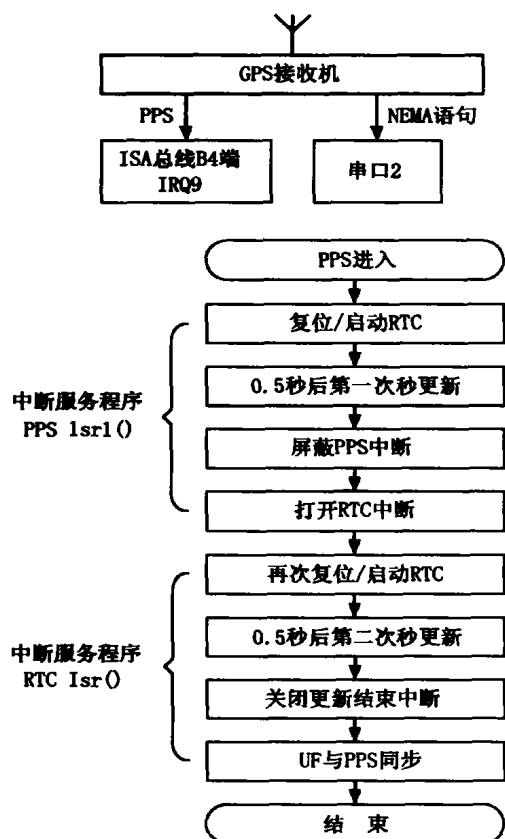


图3 对钟硬件连接及 RTC 秒更新程序运行图

编程思路可描述为:利用 PPS 作为中断源产生使 RTC 秒更新的第一个中断,引发 0.5 秒后由更新结束中断 UF 产生的第二个中断,进而导致第二个延迟 0.5 秒的 RTC 秒更新。两次中断服务运行之后,RTC 的秒更新 UIP(与 UF 同步)与 PPS 秒脉冲的起始相位就对准了。

2.2 GPS 时间信息的读入

在执行了 RTC 秒更新与 PPS 秒脉冲相位同步操作后,PC104 还需做另一件事,即将 GPS 标准时间信息读入。在 GPS 信号中,除了发送 PPS 秒脉冲外,还发送包含有位置、速度、时间、状态等信息的 NEMA 语句^[5]。我们感兴趣的是其中的时间信息,它存在于 NEMA 语句的 GPRMC 子语句中。此子语句提供了格林威治标准时间,其格式为 hhmmss,以及格林威治标准日期,格式为 ddmm yy。NEMA 语句通过串口 2 读入,并写入 RTC 实时钟内,将时间存储器 RAM 的内容更新,以使 RTC 成为与 GPS 时间只有微秒级误差的实时钟。为保证读入过程的可靠性,编程设定,当 PPS 出现后,方才进行数据读入,以免读入错误信息。图 4 说明了读入操作的运行过程。

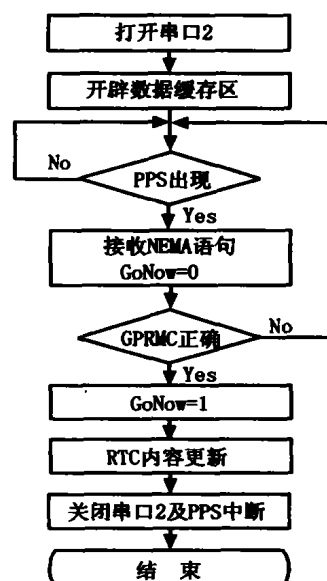


图4 GPS 时间信息的读入过程

在 NEMA 语句读入过程中,程序设置了一个 GoNow 全局标志,该标志表明 GPRMC 的内容是否被正确读入。因为在 NEMA 语句中,除 GPRMC 以外还有许多信息。我们只提取 GPRMC 的内容,它只占 NEMA 语句的一小部分,其它大部分信息是我们不关心的。为保证所提取内容的正确性,对所获得的数据作分析判断是必要的。

3 海底大地电磁信号的同步采集

经过 PPS 同步和时间存储器内容刷新后,每台仪器由于有高稳定度晶振提供基准频率,其走时精度都是一致的。在甲板上完成 GPS 对钟和采集参数设置后,各台仪器先后被投放到各指定区域海底。由于都设置成同一个采集时间表,故各台仪器都在同一时刻启动硬件采集单元。

在每台仪器内部,与同步采集相关的电路原理如图 5。

采集时刻尚未到时,仪器处于等待状态,PC104 计算机休眠。采集时刻即将到来,RTC 的闹钟中断将 PC104 唤醒,程序跳出定时循环。一俟采集时间到,计算机主控单元令逻辑控制门阵列将 IPS 内秒号引向各模数转换器的复位端,6 个采集通道被同时复位。IPS 内秒号在对钟阶段已被 PPS 同步,它的相位与 PPS 是对准的。模数转换器被复位后,逻辑控制门阵列将下一个 IPS 引向同步端。在 IPS 的启动下,各模数转换器开始记录数据,同步采集正式开始。根据预先置入的采集参数表,各台仪器的采

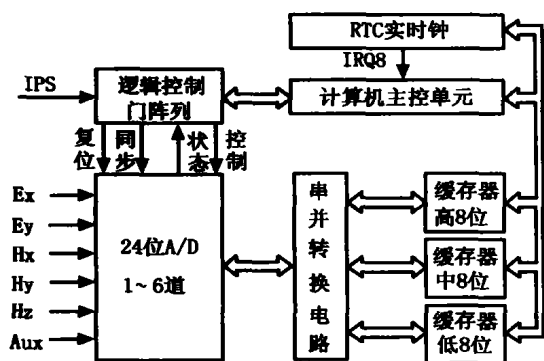


图5 同步采集硬件原理图

样率和记录长度都是统一的。进入缓存器的数据，最终经总线被存入计算机的硬盘中。

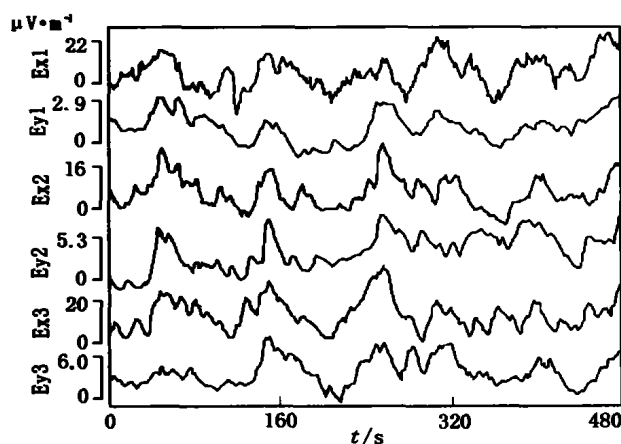


图6 实测的海底大地电场信号

图6展示了我国海域首次探测的海底大地电磁场的部分电场信号时间序列。图中Ex_i、Ey_i(i=1~3)分别表示3个不同测量地点在同一时刻的实测曲线。由图可见,6路电场信号具有相同的起伏变

THE SYNCHRONIZING ACQUISITION TECHNOLOGY OF REMOTE REFERENCE MAGNETOTELLURIC METHOD

DENG Ming, LI Zhe, WEI Wen-bo, TAN Han-dong, JIN Sheng, DENG Jing-wu
(College of Geophysics and Information, China University of Geosciences, Beijing 100083)

Abstract: In order to realize synchronizing acquisition on the seafloor, some technical problems should be solved. First of all, the hardware of the instrument should has a high-precision clock which has errors at microsecond level; secondly the GPS information should be input into the controlling computer and which make the clock synchronize with the standard time; the third problem is that the acquisition electrocircuit with good synchronizing capability should be designed. In this research, the temperature compensation technology of crystal vibration has been used to make the vibration frequency of the clock stabilize at 10^{-7} second. The synchronization program had been written, which made the PC 104 synchronize with the GPS on the sea. The system is improved by electrocircuit chips which have good synchronizing capability. The experimentations in the sea had shown that the scheme is valuable and practicable.

Key words: magnetotelluric method, submarine prospecting, updated by GPS, synchronizing acquisition

化趋势,这是大地电磁场的显著特征之一^[6]。如果不采用同步采集技术,则不同测点间的信号相关现象难以揭示,这正说明了同步采集的重要性。同时也证明,本文所阐述的测量方法及电路有实用价值。

4 结语

海底大地电磁同步采集技术可归纳为:在每台仪器内部设计一个高稳定度的晶振时钟;仪器海上投放之前,在甲板上进行GPS对钟;每台仪器所设采集参数一致。还需补充一点:当数据采集完成,仪器从海底回收至甲板上时,再次进行GPS对钟,以检验出经海底多天工作后的RTC是否存在计时误差,并用插值方法进行校正。经校正后,可使各仪器的同步误差进一步缩小。

本课题得到了国土资源部广州海洋地质调查局及“海洋四号”远洋科学考察船全体工作人员的大力支持,特致谢意。

[参考文献]

- [1] 邓明,刘志刚,白宜诚,等.海底电场传感器原理及研制技术[J].地质与勘探,2002(6):43~47.
- [2] 陈乐寿,王光镔.构造电法勘探[M].武汉:中国地质大学出版社,1991,105~107.
- [3] 张肃文,陆兆熊.高频电子线路[M].北京:高等教育出版社,1993,68~70.
- [4] 邓明,魏文博,余平,等.海底大地电磁探测的海洋试验研究[J].现代地质,2002(4):443~447.
- [5] 曹幼元.手持式GPS测量在地质勘查中的应用[J].地质与勘探,2002(5):71~73.
- [6] A D Chave, D S Luther, J H Filloux. Observations of the boundary current system at 26.5° N in the subtropical North Atlantic ocean[J]. Journal of physical oceanography, 1997, 27: 1827~1848.