海底地震数据记录器

邵安民 张玉云 赵风文
中国科学院地质与地球物理研究所,北京 100101

摘 要 海底地震数据记录器是一种大动态、宽频带数字仪器,能用于海底或陆地边远地区记录地震数据. 它体积小、重量轻、操作简单,采用两个缓存存储器控制 PC/104 嵌入式计算机,能在低功耗、长时间连续记录地震数据. 记录器的关键部件是 PC/104 嵌入式计算机,能保证记录器工作可靠. 它使用硬盘存储数据,2GB 的硬盘能容纳 1.9998 GB 的地震数据,记录地震数据多长时间由抽样率决定.

关键词 海底地震 数字仪器 24 位 A/D 转换器 存储器 PC/104 嵌入式计算机
文章编号 0001-5733(2003)02-0224-05 **中图分类号** P631 **收稿日期** 2001-11-09,2002-07-25收修定稿

AN OCEAN BOTTOM SEISMIC DATA RECORDER

SHAO ANMIN ZHANG YUYUN ZHAO FENGWEN
Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, *China*

Abstract An ocean bottom seismic data recorder is introduced in this paper. The recoder a broad-band digital instrument of large dynamic range, and can be used for recording earthquake data on the ocean bottom or in remote land areas. It is a compact, light-weight and easy to operate instrument, adopting two buffer memories to control the embedded PC/104 computer, so that it can record the seismic data continuously over long time at a low-power dissipation. The key component of the recorder is the embedded PC/104 computer, which ensures the reliable operation of the recorder, the average power consumption is about 2W. The 2 GB hard disk can hold 1.9998 GB seismic datas, the time duration of recording depends on the sampling rate.

Key words Ocean bottom earthquake, Digital recorder, 24-bit A/D converter, Memory, PC/104 embedded computer.

1 引 言

随着世界经济的迅速发展,资源的需求不断增加,而有限的陆地资源正在不断减少,远远不能满足人口增加的需要. 因此,人们不得不把目光投向占地球面积 71 %的海洋领域. 海洋资源的开发与利用已提到 21 世纪的议事日程. 由于海洋资源开发难度大、风险大,迄今为止,海洋资源开发仍处于起步阶段. 目前,美国、英国和其他发达国家,为了海洋资源探测的需要,正投巨资,研究海洋地震观测技术,宽频带、大动态海底地震数据记录器和地震传感器就是其中研究项目之一. 1996 年国家 863 计划海洋项目启动,由此开始研制宽频带、大动态海底地震数据记录器和地震传感器.

众所周知,由于海底地震观测的特殊性,海底地震数据记录器必须具有功耗低、存储容量大、动态范围大、体积小、重量轻、工作可靠、高度自动化等特点,才能取得海底的地震数据. 下面介绍海底地震数据记录器的研制内容.

基金项目 国家海洋 863 项目(820-01-04-01).
作者简介 邵安民,男,1938 年生,1963 年毕业于南京工学院,研究员,主要从事电子仪器研制工作. E-mail: shaosong0823@suna.com.cn

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

2　地震数据记录器的组成

海底地震数据记录器主要由前置放大器和低切滤波器、24 位 A/D 转换电路、两个缓存存储器、门阵列电路、PC/104 嵌入式计算机、时间服务系统、校准电路、电源电路等组成. 其原理图如图 1 所示.

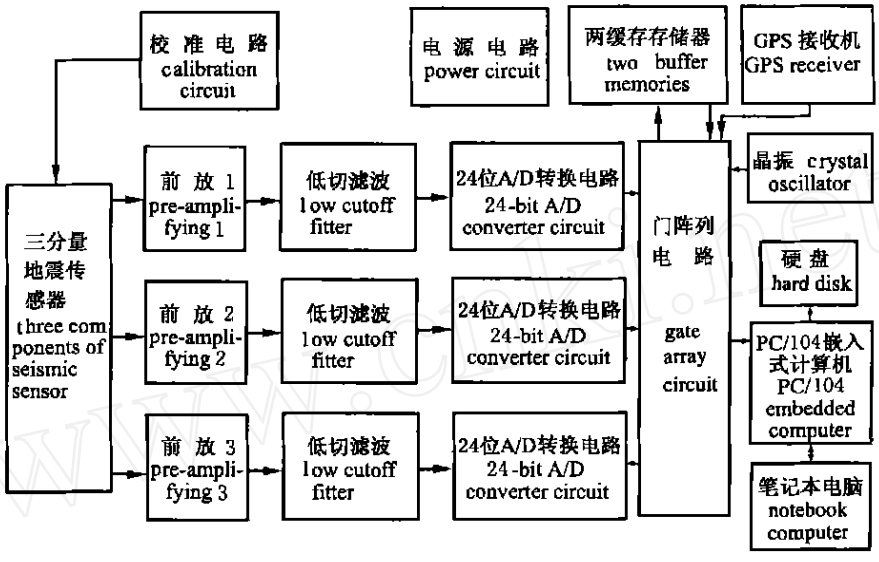

图 1　海底地震数据记录器原理图

Fig. 1　Principle of the ocean bottom seismic data recorder

2.1　前置放大器和低切滤波器

为了将地震传感器输出的微小地震信号变换成 24 位 A/D 转换器所需要的信号大小,记录器采用 3 个运算放大器结构的前置放大器[1]. 它由两级基本电路组成,采用直接耦合方式. 第一级为双输入电压缓冲放大器,允许双端平衡或单端对地的信号输入. 第二级为差分线性放大器,它转换信号输出方式,并进一步消除输入级电路共模信号输出. 最后一级为有源低切滤波器,采用反相运放一阶低切滤波电路. 电路中运算放大器全部采用高精度 OP-177 运算放大器. 电路中关键电阻元件均是专门加工,阻值精度为 1 %、温度系数为 25 $\times 10^{-6}$/℃ 各信道的滤波电容容量差值 ≤1 %. 由于采取以上措施,使电路达到优于 1 %的增益精度和良好的温度性能,提高了电路共模抑制和抗干扰能力.

2.2　24 位 A/D 转换电路

24 位 A/D 转换电路是用美国 CRYSTAL 半导体公司生产的 CS5321、CS5322 组成 Σ-ΔA/D 转换器. 此转换器的核心部分由两个主要模块组成,一个是 Σ-Δ 调制器,另一个是低通数字滤波器和分样器[2~5]. Σ-Δ 调制器是基于过采样的一位编码技术,Δ 为增量,Σ 代表积分. 在基本的 Δ 调制器中用 4 个积分器,1 个一位量化器和 1 个一位 D/A 转换器,就构成了 Σ-Δ 调制器. 通常调制器以大于奈奎斯特频率许多倍的速率采样模拟输入信号,这种采样方法又称为过采样. 调制采样值,输出反映输入信号幅度的一位编码数据流,经分样和低通数字滤波除去噪声,得到一位编码输出. 由于采用一位编码技术,模拟电路减少,抗混叠滤波器容易设计,信噪比提高. 在 Σ-ΔA/D 转换器由于采用过采样技术,把更多的量化噪声压缩到基本噪声频带以外的高频区,并用低通数字滤波器滤除. 在该电路中除了Σ-ΔA/D 转换器外,还有参考电压和电源电路.

2.3　两个缓存存储器

应当着重指出,目前海底地震观测仍处于探索阶段,对海底背景干扰、水流状况等知道甚少. 为了达到海底地震数据记录器低功耗、连续记录地震的目的,用两片 CMOS 静态随机存储器作为缓存存储器(1024 kB);使用硬盘存储数据[6].

闭封球中的记录器投向海底接通电源后,PC/104 嵌入式计算机和硬盘仍处于断电状态,只有采集电路、两个缓存存储器加电,随后两个缓存存储器被门阵列电路控制轮流工作. 假定第一缓存存储器开始读写数据,直到它存满数据后发出控制信号,迫使第二缓存存储器开始读写数据,同时启动 PC/104 嵌入式计算机记录第一缓存存储器送出的数据,直

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

到数据存入硬盘后自动停止工作. 此后两个缓存存储器循环工作,控制 PC/104 嵌入式计算机不断地把数据存进硬盘,直到硬盘存满数据. 2GB 的硬盘能容纳 1.9998 GB 的地震数据,记录地震数据多长时间由抽样率决定.

2.4 门阵列电路

随着电子技术的进步,在市场上有许多先进的门阵列器件,它们具有操作灵活、使用方便、开发迅速和投资风险低等特点,成为海底地震数据记录器改进性能的首选器件[7]. 为此,根据海底地震数据记录器设计和试验成功的逻辑电路,设计和制造两个门阵列器件,以供组成门阵列电路. 门阵列电路与分立元件电路的 1/40 一样大,但功耗水平略有增加. 利用门阵列电路可以实现数据的格式变换、数据缓存、二进制计数器、功能控制、中断申请和总线接口等功能. 从 1999 年至今,在野外观测,逻辑控制功能正常,取得了较好的地震记录.

2.5 PC/104 嵌入式计算机

海底地震数据记录器利用美国 AMPRO 公司的 PC/104 嵌入式计算机[5],作为记录器的核心控制部件,将它配上笔记本电脑和相应的控制软件可以完成参数的设置、启钟、测钟差、两个缓存存储器送出的数据采集、数据存入硬盘的控制和数据的波形显示等. 通常 PC/104 嵌入式计算机常保持断电状态,其工作受两个缓存存储器的控制,在启动工作时电流大,对电路造成大的干扰,因此必须采用电源隔离、前放平衡输入、数字地和模拟地一点接地等方法,将干扰降到最低.

2.6 时间服务系统

海底地震数据记录器用 PC/104 嵌入式计算机的实时钟(RTC)和数字钟组成时间服务系统. 为了达到 1/100 s 的时间精度,使用从美国进口的 4096 kHz 温补晶振做频率源,其稳定度达到 2×10^{-7}. 经过门阵列电路多级分频后,4096 kHz 能为 16 位二进制计数器、24 位 A/D 转换器、两个缓存存储器和钟差计数器等提供同步脉冲.

数字钟提供秒、分输出. 利用 PC/104 嵌入式计算机实时钟(RTC)提供年、月、日、时、分输出,精减了数字钟电路.

在记录器投下海底之前,为了使时间服务系统的时间与标准时间同步,利用 GPS(Global Positioning System)接收机接收卫星发出的标准时间信号,用笔记本电脑、PC/104 嵌入式计算机和相应的软件进行启钟和测出钟差. 在记录器回收上岸后,利用同样的方法测出钟差. 最后根据两次钟差经内插计算出事件初至时间.

2.7 校准电路

海底地震数据记录器专门设计和安装一个由时序电路、定宽电路、倒相电路、相加电路、模拟开关、DC/DC 变换器和延时电路等部分组成的校准电路. 在 PC/104 嵌入式计算机控制下,有规律地(约 24 h)给地震传感器的校准线圈发出正负脉冲. 正脉冲的宽度为 3s,30s 后,再产生脉冲宽度相同、相位相反的负脉冲. 校准线圈在两脉冲的作用下,在工作线圈中产生两个不同相位的跳变信号,被采集后存储在硬盘中.

2.8 电源电路

海底地震数据记录器供电电源为 6 V,由DC/DC 变换器和低压差稳压电源,为各种电路、PC/104 嵌入式计算机和硬盘提供 ±6 V 和 ±5 V 电源.

3 综合检查仪

海底地震数据记录器使用笔记本电脑作为综合检查仪器. 无论在实验室、野外现场,利用相应的程序,启钟、测钟差、数据检查和转存等. 电源可用交流供电、也可用直流供电,使用灵活,操作简单.

4 主要性能指标

1. 信号道数: 3
2. 输入阻抗: ≥1 MΩ
3. 放大倍数: 1,8,32,64 四档,可人工选择
4. 输入方式: 平衡输入也可单端对地
5. 抽样率: 31.25,62.5,125.0,250.0 Hz
6. 分辨率: 24 bits
7. 动态范围: ≥120 dB
8. 缓存存储器: 2×1024 kB
9. 晶振稳定度: 0.2×10^{-6} (0～+50 ℃)
10. 数据采集控制机: PC/104 嵌入式计算机
11. 数据存储: 硬盘
12. 电源电压: 6V
13. 平均功耗: 2 W
14. 记录方式: 自动连续记录
15. 工作温度范围: 0～40 ℃
16. 重量: 1.2 kg
17. 体积: (20×20×8) cm^3

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

5　野外试验

1997 年下半年,海底地震数据记录器样机研制成功,首先在北京白家疃地震台进行试记,记录到许多地方震、近震和远震数据. 同年 11 月又在岗南水库进行水下试验,记录到 7.5 级西藏玛尼地震数据. 地震波形如图 2 所示. 1999 年下半年,海底地震数据记录器改进样机研制成功,在白家疃地震台记录地震数据,与同时工作、性能相似的 Quanterra-680 数据记录器(美国)比较,记录波形基本相同. 地震波形如图 3 所示.

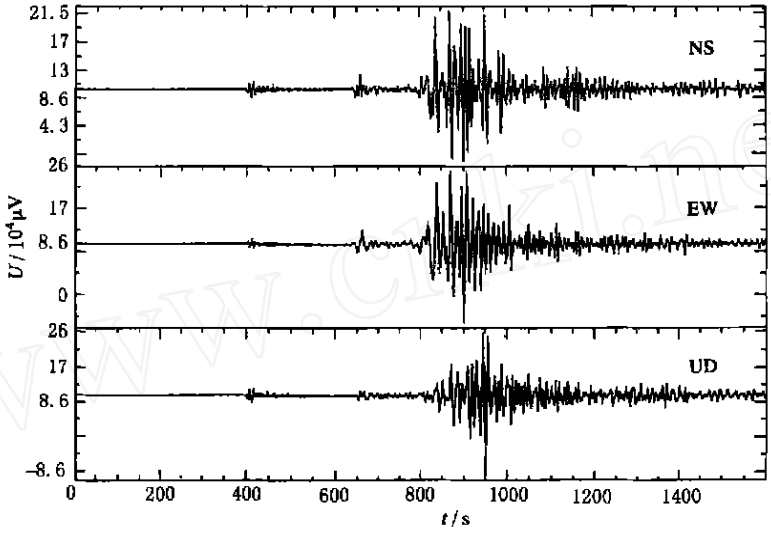

图 2　1997 年 11 月 8 日西藏玛尼 7.5 级地震波形

Fig. 2　Seismic waveform of magnitude 7.5 of NOV. 8, 1997 in Mani of Xizang

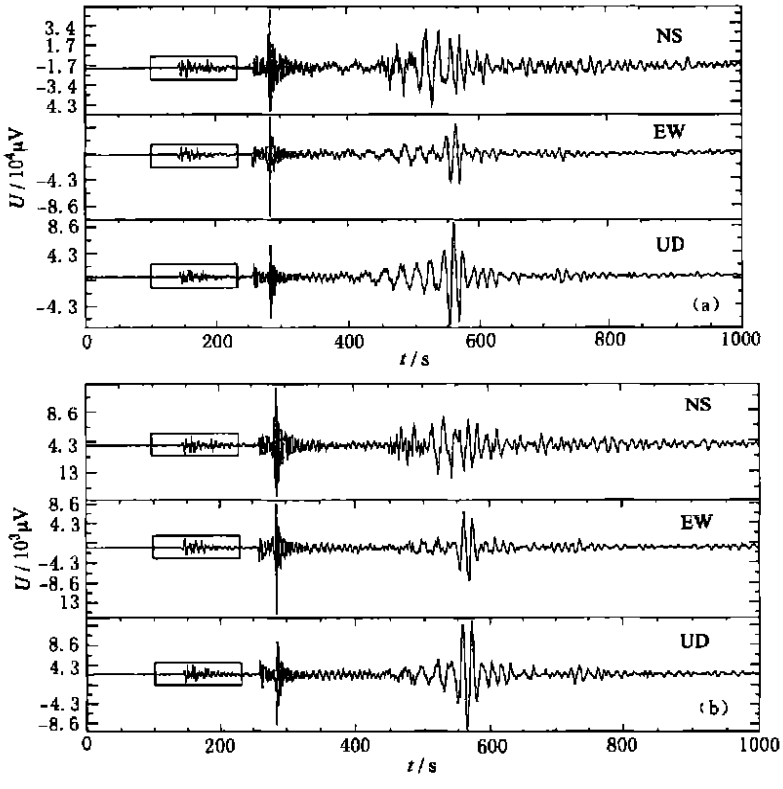

图 3　用两种仪器记录的日本 6.5 级地震波形对比图(2000-06-25)

(a) Quanterra-680 数据记录器; (b) 海底地震数据记录器.

Fig. 3　Comparison of recording of the 6.5-magmitude earthquake of Jun. 25, 2000 in Japan, as acquired with two instruments at the Baijiatuan Seismic Station, Beijing

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

6 结束语

海底地震数据记录器是用 4 年多时间研制的成果,通过测试和现场使用证明,均已达到设计指标,得到参加鉴定专家的高度肯定.

在仪器研制过程中,得到了刘光鼎院士和刘福田教授的直接指导,得到了徐水石油仪器厂总工罗维炳先生和全组同志的具体指导和帮助,得到了游庆瑜博士编程支持,在此我们表示衷心的感谢.

参考文献

[1] 郑宏军,黎 昕,杨少卿等. 几种典型运算放大器的应用技术. 电子技术应用,1999,25(8):56～58
ZHENG Hongjun, LI Xin, YANG Shaoqing, et al. Applicable technique of a few typical oprational amplifiers. *Application of electronic technique* (in Chinese), 1999, **25**(8): 56～58

[2] 张亮,孟庆昌,华正权等. Σ-Δ 模数转换器基本原理及应用. 电子技术应用,1997,**23**(3):50～52
ZHANG Liang, MENG Qingchang, HUA Zhengquan, et al. Basic principle and application of sigma-delta A to D converter. *Application of electronic technique*, 1997, **23**(3): 50～52

[3] Schmid H. Electronic Analog/Digital Conversions. Van nostrand reinhold company, 1970

[4] 刘益成,罹维炳. 信号处理与过抽样转换器. 北京:电子工业出版社,1997
LIU Yicheng, LUO Weibing. Signal Processing and Oversampling Converter. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 1997

[5] 陈万春,朱良军. ALL-IN-ONE 型 PC/104 嵌入式工业控制计算机. 电子技术应用,1996,**22**(7):55～58
CHEN Wanchun, ZHU Liangjun. The Embedded industrial control computer of all-in-one model. *Application of electronic technique*, 1996, **22**(7): 55～58

[6] 徐厚骏等. IDE 接口和 IDE 硬盘驱动器. 新浪潮,1996,(7):17～183
XU Houjun, et al. IDE interface and IDE driver of harddisk. *New wave*, 1996, (7): 17～183

[7] DSP56001 user's manual. Motorola. 1989

《地球物理学报》荣获"第二届国家期刊奖"

为了进一步繁荣期刊出版事业,2002 年 9 月新闻出版署举办了第二届国家期刊奖评选活动。经过反复审核和认真筛选,全国共推荐出参评期刊 971 种(其中社科类期刊 449 种,科技类期刊 522 种)。这些参评期刊经过评选办公室的参评资格审查、出版规范审查、编校质量审查、广告内容审查后,由专家组和评选工作委员会进行评选。2002 年 12 月最终评出国家期刊奖的科技期刊 30 种,国家期刊奖提名奖的科技期刊 50 种,百种重点期刊的科技期刊 99 种。这些获奖期刊,是我国近 9000 种期刊(包括社科类与科技类)的优秀代表,体现了我国期刊业目前的总体发展水平,反映了我国期刊业近年来深化改革、促进繁荣取得的丰硕成果。

并于 2003 年 1 月 17 日召开了第二届国家期刊奖颁奖大会。

第二届国家期刊奖科技期刊名单(30 种)

地球物理学报　中国科学(B 辑)　科学通报　中华医学杂志　物理学报
高等学校化学学报　金属学报　分析化学　地球科学 ——中国地质大学学报
机械工程学报　生理学报　北京师范大学学报(自然科学版)　林业科学　自动化学报
中华外科杂志　清华大学学报(自然科学版)　中国物理快报(英文版)　电力系统自动化
金属热处理　上海环境科学　中国药学杂志　特种铸造及有色合金　中草药
电子技术应用　工程塑料应用　中国蔬菜　家庭医生　无线电　汽车与驾驶维修
航空知识

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net