

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2014.02.005

湖底热泉声学测温控制系统研究*

蔡 勇¹, 方 辉¹, 金 涛^{1,2*}, 周 艳³, 刘 华⁴

(1. 浙江大学 舟山海洋研究中心, 浙江 舟山 316021;

2. 浙江大学 化学工程与生物工程学系, 浙江 杭州 310000;

3. 浙江金鹰食品机械有限公司, 浙江 舟山 316100;

4. 国家电网浙江舟山市电力公司, 浙江 舟山 316021)

摘要: 针对海底热液口温度场原位长期观测存在的问题,以湖底热泉为研究对象,将声学技术应用到湖底热泉温度场测量中。提出了利用16个水下声学换能器,以构建湖底热泉口声学测温系统的方法,阐述了温度场声学测量的基本原理。声源信号自动切换电路由单片机控制模块、电源模块、滤波模块和驱动模块组成,并介绍了该电路的原理与功能。基于LabVIEW平台,开发设计了自动数据采集程序,包括串口通信模块、信号发生模块、数据采集与存储模块。进行了云南省茄子山水库实验研究,验证了湖底热泉口声学原位一体化测温装置的可行性,精确地重建出了湖底热泉温度场。研究表明,构建的声学测温控制系统,能够满足湖底热泉口声学测温的实际工程需要,且精度较高。

关键词: 海底; 热液口; 声学测温; 控制系统; LabVIEW

中图分类号: TH811; TB52; TP273 **文献标志码:** A

文章编号: 1001-4551(2014)02-0154-05

Control system of acoustic measurement techniques for determining temperature fields around hot springs on bottom of lake

CAI Yong¹, FANG Hui¹, JIN Tao^{1,2}, ZHOU Yan³, LIU Hua⁴

(1. Ocean Research Center of Zhoushan, Zhejiang University, Zhoushan 316021, China;

2. Department of Chemical and Biological Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310000, China;

3. Zhejiang Jinying Food Machinery Co., Ltd., Zhoushan 316100, China;

4. State Grid Zhoushan City in Zhejiang Province Electric Power Company, Zhoushan 316021, China)

Abstract: Aiming at the problems of the observation in situ for a long time around seafloor hydrothermal vents, the method of acoustic was applied to the temperature field measurement of hot springs on the bottom of the lake. The basis of acoustic method used for temperature field measurement of hot springs on the bottom of lake by the 16 underwater acoustic transducers was presented. The function and the composition of the sound source signal switch circuit including single-chip microcomputer control module, power module, filter module and driving module were introduced. At the same time, automatic data collection procedures based on the LabVIEW were developed which composed of serial communication module, the signal producing module, data acquisition and storage module. Experimental research was performed to accurately collect various data and exactly rebuild the temperature fields around hot springs on the floor of Lake Qiezhishan, Yunnan. The experimental results show that the control system can be applied to temperature field measurement detector around hot springs on the bottom of the lake. It also has a good accuracy.

Key words: seafloor; hydrothermal vents; acoustic temperature method; control system; LabVIEW

收稿日期: 2013-10-14

基金项目: 国家科技支撑计划资助项目(2012BAB09B02); 浙江省公益技术研究工业资助项目(2013C31145)

作者简介: 蔡 勇(1985-),男,江苏盐城人,工程师,主要从事海洋机电装备方面的研究。E-mail: caiyong888@163.com

通信联系人: 金 涛,男,教授,博士生导师。E-mail: 435466012@qq.com

0 引言

现代海底热液活动的发现是20世纪海洋科学最重要发现之一,热液成矿作用、极端环境下的生命现象、大洋热平衡和化学元素平衡以及海底热液喷流对全球气候的影响等问题,已成为科学研究的热点之一。现代海底热液活动的调查研究,是当代海洋科学、地质学、地球化学、矿床学及海洋生物学等多学科共同面临的重大使命^[1]。海底热液涌出的富含硫化物、金属元素和挥发酚的流体,滋养着独特的微观和宏观生物群落,包括各类细菌和无脊椎动物。不同温度区域生存的不同物种构建了丰富多彩的生命世界。这些生物无论是从形态上还是生活习性上都与正常环境下的生物不同,它们不依靠光合作用,从 H_2S 、 CO_2 等吸取能量,究竟是什么样的化学和物理环境导致了它们的不同,是目前生物学家们非常关心的问题之一,其中热液口周围的温度场分布与这些生物的生存环境密切相关,准确可靠的热液口温度场观测数据有助于生物学家对海底热液生物系统的研究^[2-3]。

国内外测量热液口温度时,主要采用阵列式温度传感器(如热电偶、热电阻)进行接触式测量^[4-5],例如:Fomari等学者使用Hobo和Vemco热电偶传感器,在东

太平洋原位测量了温度高达400℃的热液喷口。美国明尼苏达大学的丁抗使用钛合金封装的J型热电偶在Juan de Fuca Ridge测量了深海热液喷口温度。但接触式温度测量具有只能测得有限点温度、干扰热液介质的原始温度场分布等缺点。

针对海底热液口高温、高压、腐蚀、多尘的极端环境,要想获得精确的温度场观测数据,同时避免干扰热液口的原始温度场分布,海底热液口声学原位测温系统必须制成一体化的非接触式测量装置^[6-7]。该装置主要由机械、测量电路和软件3部分组成,机械部分主要包括水声换能器阵列、机架和水密舱,测量电路包括声波飞渡时间测量系统模块、声源自动切换电路模块和电源模块,软件部分由串行通讯程序、数据采集与存储程序组成。机械部分在文献[7]中已介绍,但测量电路、软件部分等控制系统无详细说明,为此,本研究将研究测量电路、软件部分等控制系统,满足海底热液系统原位长期观测一体化装置的实际工程需要。

1 湖底热泉温度场声学测量方法

湖底热泉平面温度场声学测量的基本原理是^[8]:测量平面内布置16个发射和接收水声换能器(示意图如图1所示),接收水声换能器用于接收发射水声换能

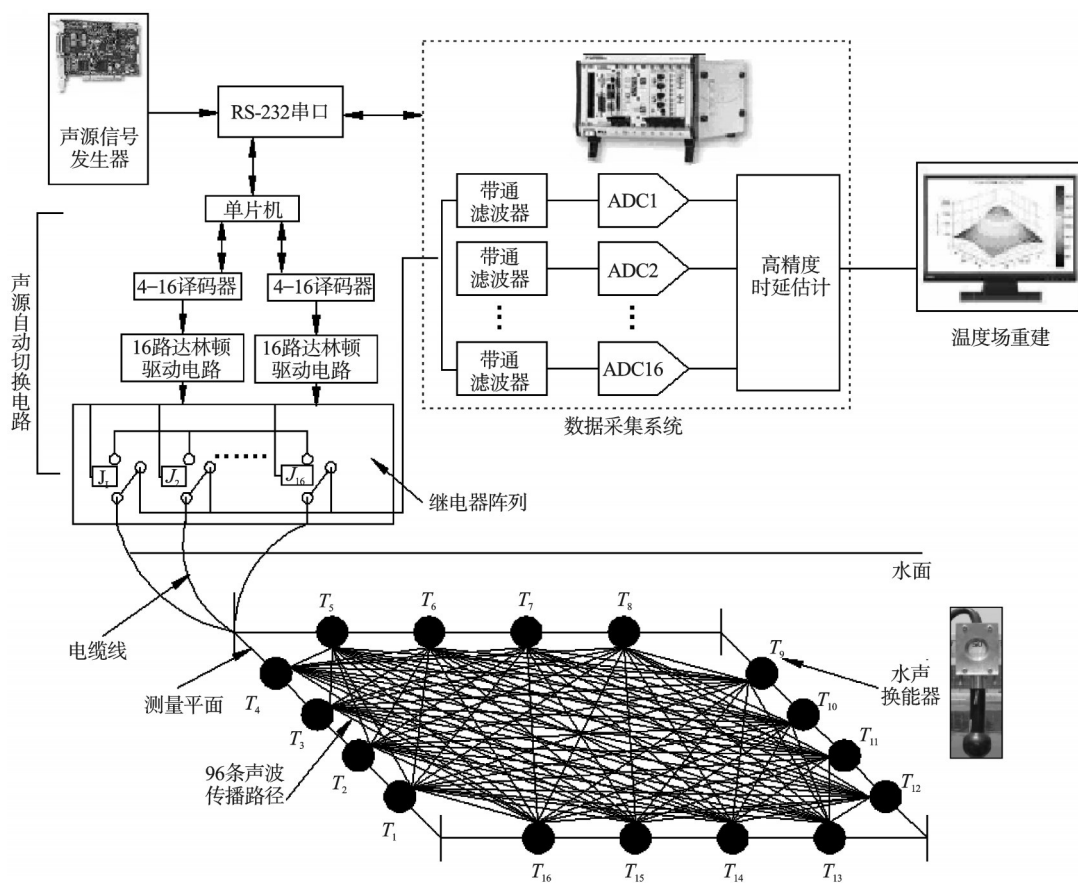


图1 海底热液口温度场声学测量示意图

器发送的声波信号,并与之作广义互相关时间延迟估计运算,得到96条独立有效传播路径的声波飞渡时间,进而得到这些路径上声波传播的平均速度。研究者利用温度与声速的关系^[9]得出这些有效传播路径的平均温度值,通过总体最小二乘重建算法,即可拟合出整个热泉口待测平面的二维温度场,从而实现湖底热泉口一个平面内的二维温度场重建。

图1中, $T_1 \sim T_{16}$ 为16个水声换能器,可在测量平面中形成96条有效声波传播路径。声源自动切换电路用于控制声源信号逐一与对应的水声换能器连接,使该水声换能器为发射换能器工作。数据采集系统由LabVIEW可执行程序自动控制,用于同步采样所有水声换能器的电信号,并进行信号前置通道带通滤波、数模转换等处理。

2 声源自动切换电路

实际湖底热泉口温度场测量时,为了进行两个温度场平面测量,本研究在每一个测量平面上分别均匀布置16个水声换能器。和声源信号连接的一个水声换能器作为发射换能器,用于发射声波信号,其他31个换能器都作为接收换能器接收声波信号。数据采集系统测量31路接收电压信号,得到各声波飞渡时间测量值。然后声源信号切换到下一个换能器,使之作为发射换能器,其余31个换能器都作为接收器,依次类推,直到结束一轮测量。

为实现上述目的,本研究设计了声源信号自动切换电路,用以控制32个换能器的发射和接收切换。该切换电路由单片机控制模块、电源模块、滤波模块和驱动模块组成。其设计原理如图2所示,实物调试如图3所示。

声源自动切换电路的工作原理为:以AT89C2051

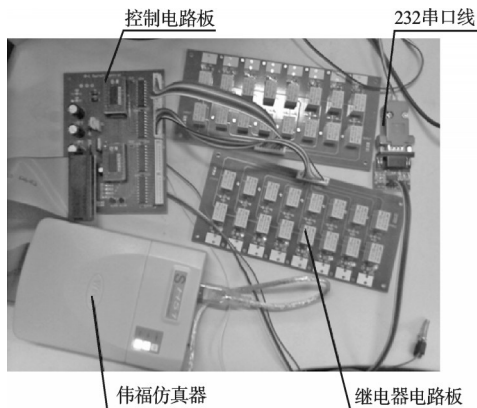


图3 切换电路实物调试图

单片机为核心,负责与上位机的RS-232通信和两片译码电路SN74154的控制。某一时刻,译码电路中有1位低电平输出,驱动对应的继电器通电闭合,声源信号与对应的换能器相接,使该换能器作为发射换能器工作;译码电路中的其余31路输出高电平,与之连接的换能器接入数据采集系统,作为接收器使用。

数据采集系统作为上位机,通过RS-232串口与单片机通讯,发送各类工作指令控制切换电路。单片机则按指令进行译码、驱动等操作,通过继电器将驱动信号连接到某路水声换能器。单片机也通过RS-232串口反馈给数据采集系统一个响应信号,告之任务完成。

3 基于LabVIEW的系统软件

本研究基于LabVIEW软件平台^[10-11],开发了能用于湖底热泉口声学测温的自动数据采集程序,该程序包括串口通信模块、信号发生模块和数据采集与存储模块,软件平台设计图如图4所示。串口通信模块的作用主要是与系统的切换电路配合,进行发声换能器与接收换能器的选择,信号发生模块的作用主要是给发声水声换能器提供系统的最佳信号源,数据采集与存储模块的作用是通过接收水声换能器进行信号采集,并建立特定路径存储信号的相关信息。

3.1 串口通信模块

串口通信模块的通讯过程是由NI数据采集系统发送一个指令,然后切换电路应答,返回数据给上位机,上位机读取出来,完成一次通信。

串口参数的设置包括串口资源分配、波特率、数据位、停止位、校验位、流控制类型等。本研究启用终止符选择的是FALSE,超时设置为10 000 ms,选择COM1串口,波特率9 600 bps,数据位8 bit,停止位为1 bit,奇偶校验和流控制类型都为NONE,发送数据使用VISA Write,接收数据使用VISA Read,结束串口通

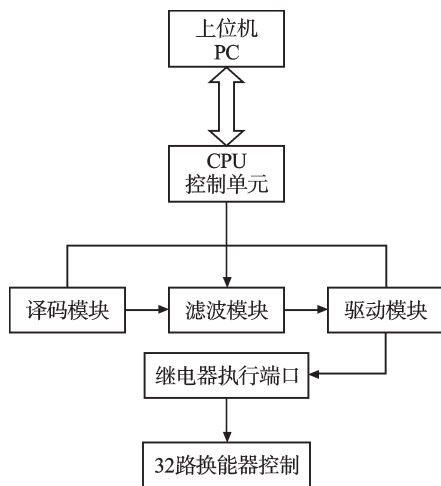


图2 切换电路设计原理图

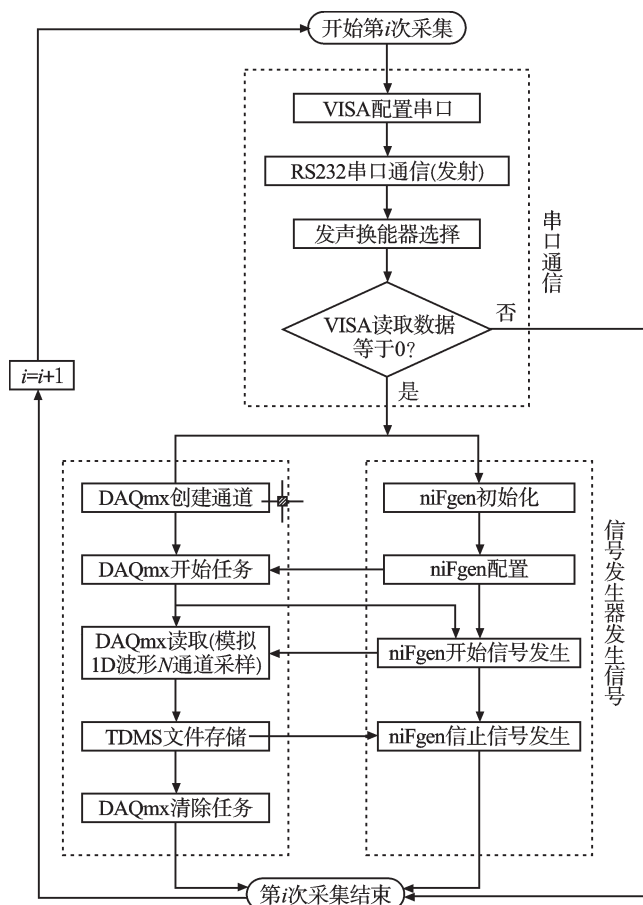


图4 基于LabVIEW的软件平台设计

讯使用VISA Close。

3.2 信号发生模块

信号发生模块采用美国国家仪器公司提供的设备驱动程序NI-FGEN。NI-FGEN含有一系列的标准函数用于创建、配置、启动和终止波形的发生。本研究选用任意波形发生器NI-PXI-5402,其是一块具有14位分辨率、100 MS/s采样率和512 MB板上存储器的PXI模块电路。信号源类别设置为Sine,起始频率为18 000 Hz,终止频率为23 000 Hz。

3.3 数据采集与存储模块

在LabVIEW环境中,整个数据采集过程运用到的DAQmx数据采集子vi有:DAQmx创建单个或多个虚拟通道vi,DAQmx定时vi,DAQmx开始任务vi,DAQmx读取vi和DAQmx清除任务vi。整个数据采集过程设置的参数为:采集声压信号幅值的最大值为10 V,最小值为-10 V。由于测试系统已安装4块NI PXI-6133数据采集卡,则物理通道可设为Dev1/ai0:7,Dev2/ai0:7,Dev3/ai0:7,Dev4/ai0:7。采样率设置为1 MHz,采样模式为有限点采样,每通道采样数为500 000,超时时间设定为10 s。

针对湖底热泉口温度场声学测试系统的实际需

求,结合对上述模块的分析,笔者设计的系统软件LabVIEW程序框图如图4所示。该程序需在LabVIEW环境下创建可执行文件,并将该文件添加到PC机Windows XP系统中的“开始”——“所有程序”——“启动”菜单中,设置PC机系统的启动模式为通电开启模式,可保证声学测温系统通电后自动开启PC机,接着先前生成的LabVIEW数据采集可执行文件自动运行。

4 实验研究

本研究选择了中国云南省保山市龙陵县境内的茄子山水库天然湖底热泉作为试验的对象,其具体位置为北纬24°32'33",东经98°47'44"。试验小组采用的装置如图5、图6所示,可进行两个温度场平面测量,在每一个温度场测量平面上均匀布置16个水声换能器,形成水声换能器阵列,用于收发声波信号。在数据采集系统密封舱中,有NI数据采集系统、信号放大器、串口通信模块和切换电路等电子设备,用于声波信号的发送、采集和水声换能器间的自动切换。在供电系统水密舱中有12个锂电池构成的36 V锂电池组和UPS电源,用于数据采集系统密封舱中电子设备的供电。

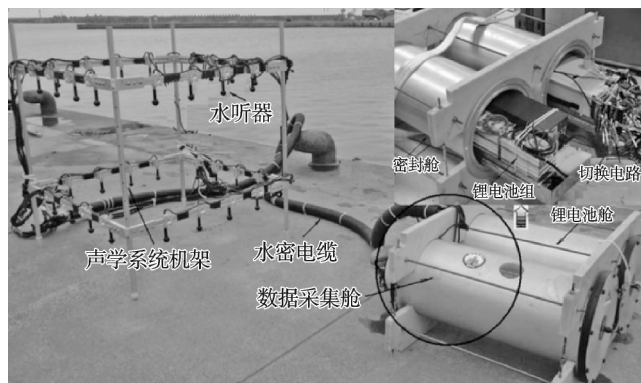


图5 集成后的湖底热泉口声学原位测温系统



图6 实验系统布放图

整个系统实际工作时,潜水员只需旋转供电系统水密舱端盖上的水密开关至OPEN状态,UPS电源工

作,可以将36 V锂电池组的直流电转换为220 V的交流电,NI数据采集系统通电后开机,开机后事先编好的LabVIEW可执行程序自动运行。R232通信模块开始工作,打开切换电路通道,信号发生器发出扫频信号,经过信号放大器(1:3)把信号放大经切换电路传输到水声换能器发出声音信号,其余31个水声换能器接收声波信号,NI-6133采集卡将水声换能器发出和接收的信号采集回来,并存储在硬盘中。数据采集的过程是一个循环的过程,每一个过程中32个水声换能器都轮流作为发射声波的水声换能器,且信号存储完成后才算一个完整的周期。一个完整的周期结束后继续下一个周期的数据采集。直至实验完成后,旋转电池密封舱端盖上的水密开关至CLOSE状态,系统就停止工作。

运用图5、图6所示的系统,本研究共测量了8组数据,本研究随机选用第7组实验数据,重建出的温度场三维图和等温线图分别如图7、图8所示。

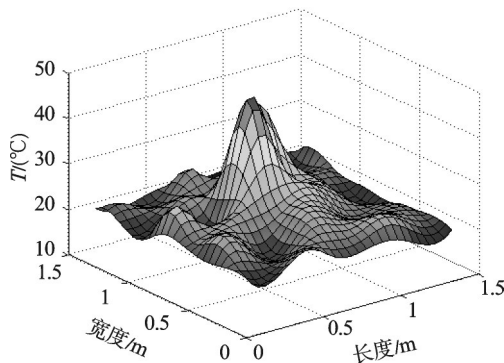


图7 重建出的温度场图

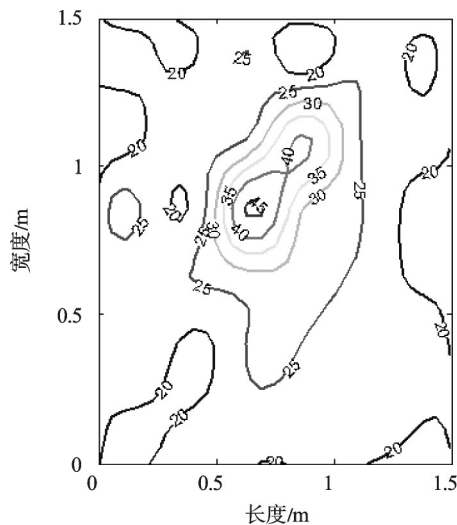


图8 重建出的温度场等温线图

从图7、图8可得出:重建出的温度场呈单峰状,最高温度为44.1℃,最低温度为18.0℃,边界区域温度场较平滑,抖动稍小,四角区域温度无畸变。

5 结束语

在茄子山水库天然湖底热泉重建试验中,本研究所构建的声源自动切换电路、串口通信模块、信号发射模块、数据采集与存储系统等声学测温自动控制单元,能在复杂的水面下工作,且操作简单、稳定性强,验证了水下声学测温的可行性,同时精度较高,满足实际工程应用的要求。

参考文献(References):

- [1] 杜同军,翟世奎,任建国. 海底热液活动与海洋科学研究[J]. 青岛海洋大学学报:自然科学版,2002,32(4):597-602.
- [2] 秦蕴珊,栾锡武. 现代海底热液活动的调查研究方法[J]. 地球物理学进展,2002,17(4):592-597.
- [3] LEE R W. Thermal tolerances of deep-sea hydrothermal vent animals from the northeast pacific [J]. *Biol Bull*, 2003,205(2):98-101.
- [4] FAN Wei, CHEN Ying, PAN Hua-chen, et al. Experimental study on underwater acoustic imaging of 2-D temperature distribution around hot springs on floor of lake Qiezishan, China [J]. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 2010,34(8):1334-1345.
- [5] PAN Hua-chen, CHEN Ying, MAO Jie, et al. Progress in developing a device for measuring heat flux from the hydrothermal vent in deep ocean using acoustic method[C]//Proceedings of the OCEANS MTS/IEEE Quebec conference & Exhibition. 2008:15-20.
- [6] 蔡勇,潘宏,周艳,等. 海底热液口温度场高精度声学测量方法研究[J]. 仪器仪表学报,2012,33(3):649-654.
- [7] 樊炜. 海底热液口温度场声学测量技术研究[D]. 杭州:浙江大学机械工程学系,2010.
- [8] 毛洁,吴友凤,樊炜,等. 声学法深海热液温度场测量及重建算法研究[J]. 仪器仪表学报,2010,31(10):2339-2344.
- [9] DUSHAW B D, WORCESTER P F, CORNUELLE B D. On equations for the speed of sound in seawater [J]. *Acoust Society of America*, 1993,9(4):255-275.
- [10] 张鑫,李冬梅,黄元庆. 基于LabVIEW的阵列式传感器数据采集系统[J]. 仪器仪表学报,2006,27(6):1399-1401.
- [11] 杨忠仁,饶程,邹建,等. 基于LabVIEW数据采集系统[J]. 重庆大学学报,2004,27(2):32-35.

[编辑:张翔]

本文引用格式:

蔡勇,方辉,金涛,等. 湖底热泉声学测温控制系统研究[J]. 机电工程,2014,31(2):154-158.

CAI Yong, FANG Hui, JIN Tao, et al. Control system of acoustic measurement techniques for determining temperature fields around hot springs on bottom of lake[J]. *Journal of Mechanical & Electrical Engineering*, 2014,31(2):154-158.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>