

天然气水合物赋存区近海底环境 原位观测系统集成与实现

胡 刚^{1,2}, 赵铁虎^{1,2}, 章雪挺³, 季念迎⁴

(1 国土资源部海洋油气资源与环境地质重点实验室, 青岛 266071; 2 中国地质调查局青岛海洋地质研究所, 青岛 266071; 3 杭州电子科技大学, 杭州 310018; 4 山东拓普液压气动有限公司, 济南 250100)

摘 要:天然气水合物资源将是 21 世纪最具潜力的洁净能源之一。对天然气水合物的勘探和试开采, 必须对天然气水合物海底环境变化规律和试开采的环境效应先行研究。介绍了一种适用天然气水合物赋存地区而研发的海底环境原位观测系统, 并对该观测系统的设计原则、系统组成及工作原理、系统的集成与实现等方面进行了详细阐述。该系统的应用将为天然气水合物海底环境变化规律研究和试开采环境效应研究提供可靠的原始数据, 这是进行海底长时间原位观测的良好解决方案。

关键词:天然气水合物; 海底环境; 原位观测系统; 解决方案

中图分类号:TE53; TE122

文献标识码:A

DOI:10.16028/j.1009-2722.2015.06005

天然气水合物俗称“可燃冰”, 是在一定温度、压力条件下由低摩尔质量的气体和水组成的冰状固态物质。除低温高压条件外, 水合物的形成还与气体浓度、水的活度及沉积速率有关, 在低温高压、天然气体丰富及沉积速率较快的情况下, 海洋沉积物中会形成大量的天然气水合物。

随着社会经济的快速发展及全球资源的减少, 能源供需矛盾日趋紧张, 环境和资源问题已成为 21 世纪的主要议题。近年来, 天然气水合物成为开发新能源的焦点, 各国都在争先研究和开发。从目前来看, 天然气水合物的主要勘探手段包括综合地球物理探测、地球化学异常探测、电磁探测、钻探取心技术等。但随着人们对水合物成矿条件、稳定条件的研究和对天然气水合物勘探开发的深入, 对于目标天然气水合物区的海底环境变化规律和开发可能造成的环境效应逐渐引起重视, 必须有足够的防范意识和技术措施, 防止或尽

可能减少由天然气水合物开发利用造成的地质、气象和生物灾害。这就要求必须对海底环境进行多参数监测, 为研究者对水合物区进行综合环境研究提供可靠的、连续的长时间序列数据资料。

1 研究现状

1.1 海洋观测现状

近年来, 国际上对业务化海洋监测的能力建设非常重视, 包括美国、日本、法国、英国、德国、意大利、丹麦、澳大利亚等海洋大国, 以及政府间海洋学委员会(IOC)、世界气象组织(WMO)及其相关机构, 如海洋学和海洋气象学联合技术委员会(JCOMM)等纷纷推出新的海洋监测计划, 或加大了对原有海洋监测能力的升级和改造力度。目前, 世界上主要海洋大国已发展成包括岸基、水基、天基和空基等组成的海洋立体监测网络, 提供业务化的实时或准实时的基础海洋数据和信息产品服务。这些海洋观测系统主要包括美国与加拿大联合在东北太平洋海底建设深海长期监测网海王星(NEPTUNE)计划, 其布设在水下约 3 000

收稿日期:2015-03-09

基金项目:中国地质调查局专项(GZH201100308)

作者简介:胡 刚(1979—), 男, 博士, 高级工程师, 主要从事海洋沉积环境方面的研究工作。E-mail:hg_jinan@163.com

m 海床上,覆盖海域约 500 万 km^2 ,可以长期监测海洋内部和海底各种物理、化学、生物、地质过程,以及欧共体为支撑进行的全球海洋监测系统(Global Ocean Observation System,GOOS)。

我国拥有 1.8 万 km 的大陆岸线、6 500 多个岛屿和 1.4 万 km 的岛屿岸线。海洋监测是我国一项长期的基础性、公益性的海洋工作,国家海洋局自 1964 年成立以来一直承担建设和维护海洋监测网络。此外,中国气象局、水利部、交通部、环保总局、中科院、教育部、地方政府以及一些涉海企事业单位等部门及单位也逐步开展了对中国近岸及近海的海洋监测,经过这些单位的共同努力,我国初步建立了由岸站监测、浮标监测、船舶监测、卫星遥感、航空遥感、雷达监测等平台组成的立体化监测网络。

1.2 天然气水合物环境效应研究现状

在天然气水合物的自然渗漏、外部条件作用下的水合物层破坏以及后续的开发过程中,都会造成一些不利的环境效应,主要包括气候变化、海底滑坡和海底生物灭绝等气象、地质和生物灾害。许多学者都认识到水合物与全球气候变化之间的联系。全球变暖会导致海水温度升高,从而破坏水合物存在的稳压条件,造成水合物分解泄露,而水合物的分解将对全球气候产生重要的影响^[1-4]。海底天然气水合物的分解导致斜坡稳定性的降低是海底滑坡产生的另一重要原因,海底滑坡是能产生巨大危害的海洋地质灾害之一。因天然气水合物引发海底滑坡最著名的例子是挪威海岸的 Storegga 滑坡体,这也是目前为止发现的最大的海底滑坡体之一,其范围从挪威西海岸一直延伸至冰岛南部。该滑坡体所涉及的沉积物年代从第四纪到古近纪,先后发生了 3 次滑坡事件^[5]。海洋生物大都需从海水中吸取氧气,以维持生命活动。但是,很多因素都会导致海水中氧气含量的减少,甚至造成海洋生物灭绝,其中天然气水合物的分解是导致冰期中止和生物灭绝的主要因素^[6-8]。目前中国开展天然气水合物环境效应研究较少,多为跟踪研究,总结了古新世末增温事件、新元古代末期雪球事件、第四纪千年尺度事件等的最新进展,尝试探讨天然气水合物体系的动态演化,以便促进天然气水合物在全球变化和碳

循环中地位与作用的深入理解^[9,10]。

综上,虽然国际和国内有很多业务化的海洋站点及台站,并有针对性针对不同科学目的研制的海底环境原位系统,但是由于天然气水合物赋存和保存的环境条件非常严格,而且天然气水合物泄漏及后续开采过程中可能存在的环境问题都必须依赖于第 1 手的近海底原位环境参数。目前,仍缺少一套集成多环境参数、长期进行海底环境原位监测并进行数据发布的设备。因此,依据天然气水合物赋存条件,研制和集成基于天然气水合物特点的原位观测系统就势在必行。

2 系统设计原则

(1) 适用性

针对我国天然气水合物赋存地区水深条件和地形地貌特点,在进行传感器初步选型的时候就要选择有一定抗压能力的传感器设备。平台整体设计又不宜过大但组装空间又不宜过紧凑,以减少该平台对母船配套装备的依赖性和海底流速对平台稳定性的影响。

(2) 可靠性

系统设计中所采用的传感器原件均为成熟设备,且参数获取对平台姿态要求不高,可保证测量数据的真实性和可靠性。数据采集系统能够将所采集数据进行安全存储。

(3) 利用现有资源

利用现有的人力资源和硬件资源,开展适用于天然气水合物勘查和试采的原位环境监测技术,对现有的资源进行有效整合和改进集成,减少不必要的人力、物力浪费。

(4) 兼容性和开放性

除按照要求提供各种基于水合物勘查和试采的环境数据产品外,系统从方案设计阶段就考虑了系统研发的连续性和持续改进性,为后期可能的设备预留一定的接口,充分考虑后期的开发需求。

(5) 渐进性

海底环境原位监测技术还有诸多不成熟的因素,在研发过程中要做到循序渐进,由简入繁,逐步完善。平台试验和适用的地区可以由浅入深,数据传输可以由母船定期采集(15 d)过渡到卫星实时通讯。保证项目研发过程的渐进性,随着技

术的发展和不断成熟,逐步提高海底环境原位监测系统的性能。

(6) 安全性

系统设计考虑了环境安全、数据安全。系统采用模块化设计方案,子模块独立校准,各模块之间又相互联系。这种设计思想提高了系统的稳定性、安全性,便于后期维护及有利于加快实施进度。

3 系统组成与工作原理

天然气水合物赋存地区近海底水—沉积物之间的原位环境参数对于研究水合物赋存和环境效应具有非常重要的意义,因此,选取流速、波浪、温

度、盐度、 CO_2 、 CH_4 、 H_2S 、多环芳烃、pH 值、溶解氧等为天然气水合物赋存和环境效应研究的敏感参数,进行海底环境原位监测的开发。海底环境原位监测是一项复杂的多传感器集成并进行数据获取的系统,由搭载平台子系统、传感器子系统、数据采集子系统、多通路供电子系统、数据通讯子系统、释放与回收子系统 6 项子系统以及其他附属设备组成,系统总体电气连接如图 1 所示。采集平台子系统应根据传感器子系统来设计生产,在传感器子系统集成过程中包括数据采集子系统设计和开发、多通路供电子系统设计研发,在此基础上,进行后续数据通讯子系统的设计研发,释放和回收系统必须保证仪器安全平稳实施。

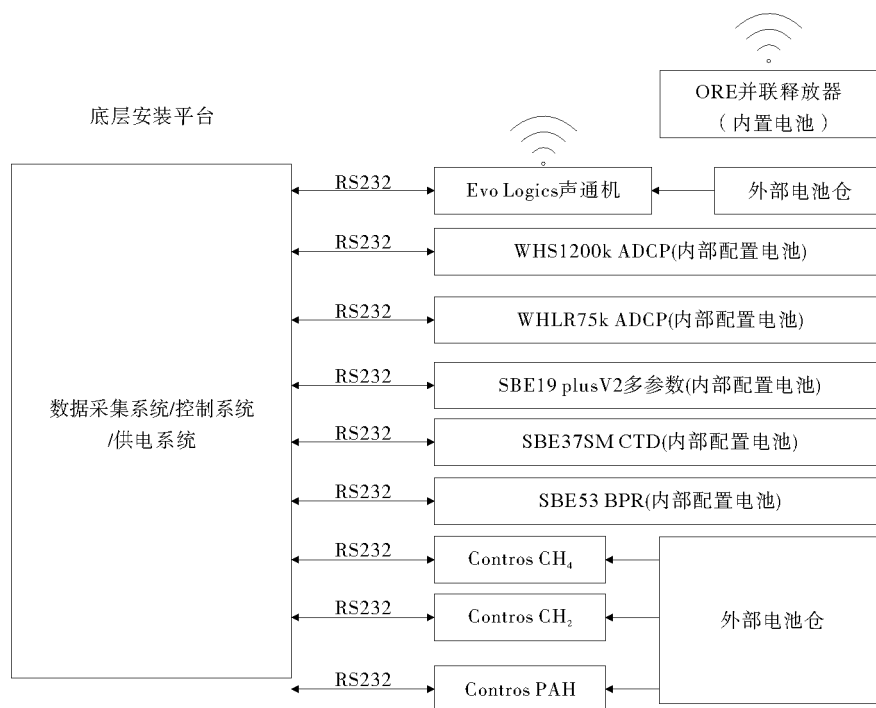


图 1 海底环境原位观测系统电气连接图

Fig. 1 Electrical connection diagram of the in-situ monitoring system

该系统工作原理为多传感器集成设计,研发适用于在天然气水合物的勘查和开采过程中进行海底环境多参数观测的原位观测系统,为海洋天然气水合物勘查、开采和科学研究提供第 1 手的原位数据资料。具体工作原理为:在下放天然气水合物海底环境原位观测系统前,对传感器系统进行参数设置,进入工作状态,母船利用绞车连接

到海底环境原位观测系统上,在系统自身重力作用下沉至海底,达到海底后绞车缆绳通过声学释放器与系统脱离,系统进入工作状态,各传感器的环境参数数据将通过中央数据采集系统进行数据采集、存储,并通过水声通信和卫星进行数据发布传送,水下供电系统将在电源管理模块控制下对电源进行有效管理,工作结束,后由释放装置将监

测系统与压载重块脱离,依靠自身浮力上浮至海面进行回收。

4 系统集成与实现

4.1 搭载平台子系统

采用先进工艺,使用高级不锈钢管材,设计和生产一款外观呈圆笼型 3 层的安装平台。平台最底层可供甲烷传感器、二氧化碳传感器、多环芳烃传感器等仪器设备安放,可最大限度地观测近底层海底环境原位数据资料;平台 2 层主要为电池仓、数据采集仓和数据通讯仓留有布置空间;平台 3 层主要是浮体材料和释放装置。整个平台为锚系悬空设计,克服仪器设备因为海底地貌原因造成的倾斜,避免仪器设备由于海底松软陷入沉积物中影响数据测量(图 2)。

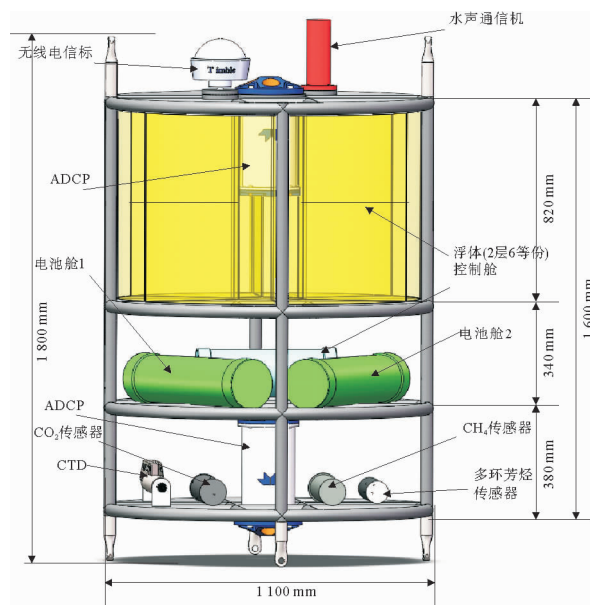


图 2 海底环境原位监测平台整体安装示意图

Fig. 2 Sketch map of the in-situ environmental monitoring platform

4.2 传感器子系统

将各传感器进行测试获取各传感器的数据接口定义、参数配置命令、通信传输协议和供电方式,通过仪器接口统一集成在中央处理单元,并有

序摆放在搭载平台(图 2),便于管理、供电和数据采集。

4.3 数据采集子系统

硬件系统设计多路即插即用的数据采集通道。根据各传感器的不同数据通信接口标准,设计实现可与每一类传感器实现数据通信,亦即可接收各传感器的采集数据、可根据传感器的协议规定配置传感器相应参数的专供通道。硬件系统可参照普遍的接口标准,为后续可能搭载的传感器预留两路可随时进行参数配置的 RS232/RS485 接口;软件系统能够对具有在线数据传输通道的传感器进行数据提取,对具备在线修改参数功能的传感器进行简易参数设置,并具备数据打包,数据存储,以及通过 RS232 通信将数据转发至上行通信通道的功能。

系统主要由数据采集与通信单元、数据存储单元部分组成,设计框图如图 3。相应的命令操作均有对应软件支持(图 4)。

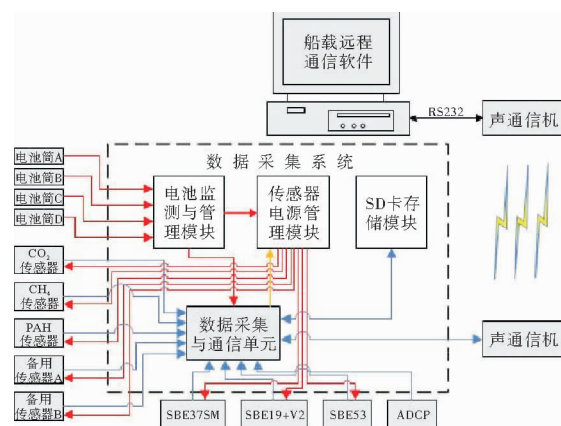


图 3 数据采集子系统的设计框图

Fig. 3 Architecture of data acquisition subsystem

4.4 多通路供电子系统

硬件系统设计一个电源管理分配单元,在所采购传感器具有外部供电方式的前提下,可提供多通路不同传感器的供电通道(图 5),电池采用锂电池。在排除传感器漏水、短路或自身故障的前提下,电源管理模块可对各传感器实现安全、稳定、高效的电源分配功能。相应的命令操作均有

对应软件支持(图6)。

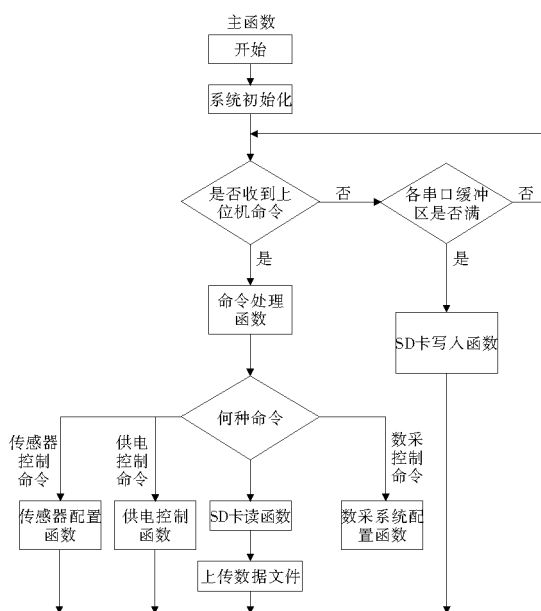


图4 数据采集系统主控电路程序软件流程图

Fig. 4 Flowchart of main control circuit in data acquisition subsystem

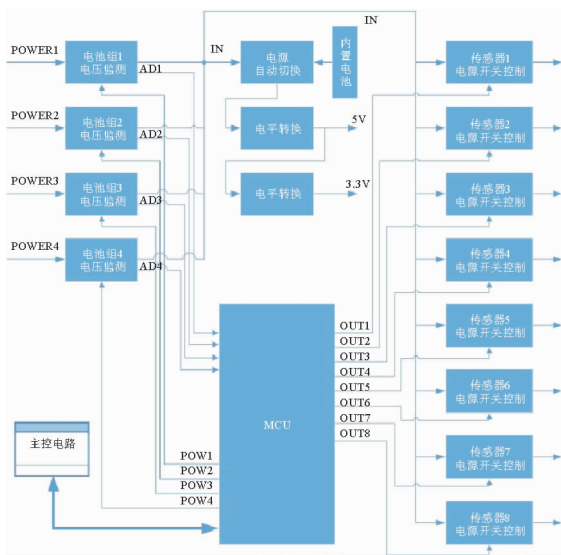


图5 电源管理电路设计框图

Fig. 5 Architecture of power management circuit

4.5 数据通讯子系统

根据项目的不同工作程度,先期使用仪器自容监测,SD卡通过电脑直接读取数据。继而发展为无线水声通讯进行数据传输,在浮标上安装一

套通信机,支持高速和中速通信模式,能量以太阳能+蓄电池提供,能量供应视为无限,通过串行口与无线电通信设备通信。在观测系统上安装一套1个换能器的通信机,支持高速发射和中速接收,能量由蓄电池提供,通信串行口与监测设备通信,并最终可实现卫星数据传输。

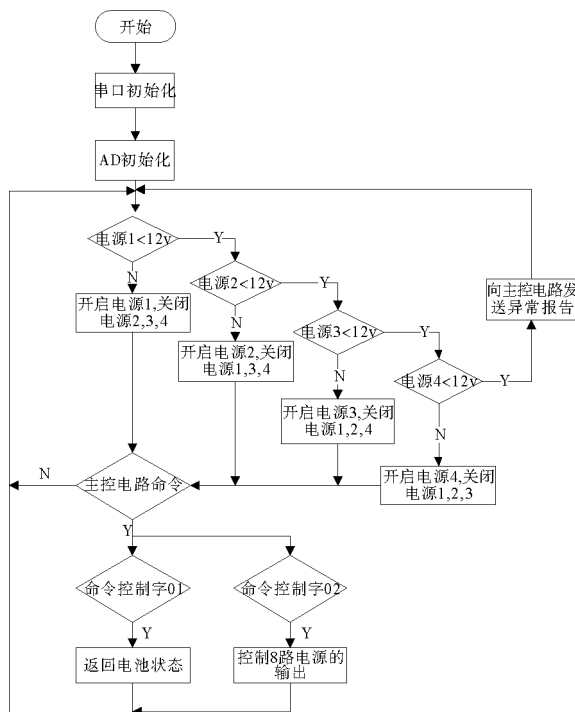


图6 数据采集系统电源管理模块软件程序流程图

Fig. 6 Flowchart of power management circuit in data acquisition subsystem

4.6 释放回收子系统

设备与释放钢缆之间、监测平台和压载重块之间加置声学释放器,首先将该监测平台释放到海底,断开设备与释放钢缆之间的声学释放器,使之保持在海底进行原位监测。如要进行维护保养,可对设备与压载重块之间的声学释放器发射释放命令,并在浮体材料作用下向海面浮起,利用加装在设备上的无线电信标和报警装置进行设备搜寻和回收。

通过对海底环境原位观测各子系统的集成及研发,最终将会形成一套对天然气水合物赋存地区进行多参数、长时间序列的原位观测系统(图2),为天然气水合物勘探与开发研究提供有力保障。

5 结论与展望

天然气水合物海底环境原位观测系统是集成了多参数传感器,并研制开发了针对该系统的数据采集及通讯子系统和多通路供电等子系统,对天然气水合物目标赋存地区可进行长时间序列的、可靠的水体及气体环境参数的观测,为深入研究天然气水合物提供重要的原始资料。

该观测系统提供了模块式设计,在后期应用过程中,通过软硬件升级改造,不仅可以实现传感器的扩充和即插即用,还能够通过水声通讯技术和卫星传送技术达到对该系统的无线遥控,对海底环境观测系统的数据采集、数据传输等进行遥控,该系统可为天然气水合物勘探和开采提供环境数据的支持和服务。

参考文献:

- [1] Kvenvolden K A. Methane hydrates and global climate[J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 1988, 2: 221-229.
- [2] Paull C K, Ussler III W, Dillon W P. Is the extent of glaciation limited by marine gas-hydrates? [J]. *Geophysical Research Letters*, 1991, 18(3): 432-434.
- [3] Paull C K, Buelow W J, Ussler III W, et al. Increased continental-margin slumping frequency during sea-level low-stands above gas hydrate-bearing sediments[J]. *Geology*, 1996, 24(2): 143-146.
- [4] Kerr R A. A smoking gun for an ancient methane discharge [J]. *Science*, 1999, 286(5 444): 1 465.
- [5] Bouriak S, Vanneste M, Saoutkine A. Inferred gas hydrates and clay diapirs near the Storegga slide on the southern edge of the Voring Plateau, offshore Norway[J]. *Marine Geology*, 2000, 163: 125-148.
- [6] Kats M E, Pak D K, Dickens G R. The source and fate of massive carbon input during the latest Paleocene thermal maximum [J]. *Science*, 1999, 286(5 444): 1 531-1 533.
- [7] Dickens G. On the fate of past gas: what happens to methane released from a bacterially mediated gas hydrate capacitor? [J]. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 2001, 2(1): 5.
- [8] Dickens G R, Castillo M M, Walker J G. A blast of gas in the latest Paleocene: simulating first-order effects of massive dissociation of oceanic methane hydrate[J]. *Geology*, 1997, 25: 259-262.
- [9] 宋海斌. 天然气水合物体系动态演化研究(I):地质历史演变[J]. *地球物理学进展*, 2003, 18(2): 188-196.
- [10] 宋海斌. 天然气水合物体系动态演化研究(II):海底滑坡[J]. *地球物理学进展*, 2003, 18(3): 503-511.

INTEGRATION AND IMPLEMENTATION OF SEABED ENVIRONMENT IN-SITU MONITORING SYSTEMS IN NATURAL GAS HYDRATE AREA

HU Gang^{1,2}, ZHAO Tiehu^{1,2}, ZHANG Xueting³, JI Nianying⁴

(1 Key Laboratory of Marine Hydrocarbon Resources and Environmental Geology, Ministry of Land and Resources, Qingdao 266071, China;

2 Qingdao Institute of Marine Geology, CGS, Qingdao 266071, China; 3 Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China;

4 Shandong Top Hydraulic and Pneumatic Co., Ltd, Jinan 250100, China)

Abstract: Gas hydrate is an important potential energy source for the 21st century. The mechanism of seabed environmental variation and the environmental effect of pilot production must be studied before the exploration and production of gas hydrate to be carried out. In this paper, a seabed in-situ monitoring system is introduced for collecting serial long-term environmental data in the areas where gas hydrate occur. The design principle, constitution and integration of the in-situ monitoring system are explained in details. The system has the capability to provide long-time serial data service as a good solution for monitoring the changes in seabed environment.

Key words: natural gas hydrate; seabed environment; in-situ monitoring system; the solution