

「电磁探测」

# 海洋可控源电磁探测系统概述

文/广州海洋地质调查局 杨蜀冀 胡杨承钰  
北京工业大学 宋红喜 高俊侠

海洋可控源电磁发射系统对我国海洋探测有不可替代的作用，符合向海洋进军，海洋强国的战略构想。工欲善其事，必先利其器，完善和改进海洋可控源电磁发射机是实现这一构想的重要一步。

## 海洋可控源电磁探测系统的背景

随着我国的科学技术和经济快速发展，物质财富极大丰富和精神境界极大提高。但是还有许多重大能源问题威胁着人类的生存和发展，人类赖以生存的陆地资源逐渐消耗殆尽，海洋资源开发和利用越来越受到重视，我国拥有18 000多km的海岸线，470多万km<sup>2</sup>的边海和内海水域面积。人们对海洋资源认识和开发严重不足，海底还蕴藏着大量的矿产资源，如石油、天然气、可燃冰、铁、铜和锰结核等，这些大量矿产资源能极大地满足人们对矿产的需求。

海洋资源的勘探和利用对于我国的发展具有

重要的作用，首先要了解海底的地质和地貌，由于海水的阻隔，这使得了解和认识海底增加了不少难度。勘探陆地资源的一系列方法在海洋中不能很好施展。众多的技术中，地球物理勘探是探测海洋一种可行性的手段，海洋电磁探测法则是一种主要的海洋探测手段。海洋电磁法包含了許多探测方法，比如自然电位法、大地电磁法、激发极化法和可控源电磁法等，可控源电磁法又包含有频域电磁法和时域电磁法。

海洋可控源电磁法有着自己的特点：

1) 海洋可控源电磁探测可以描绘出探测地壳构造和油气资源关系，它是研究地球动力学和海底内部构造一个重要方向。

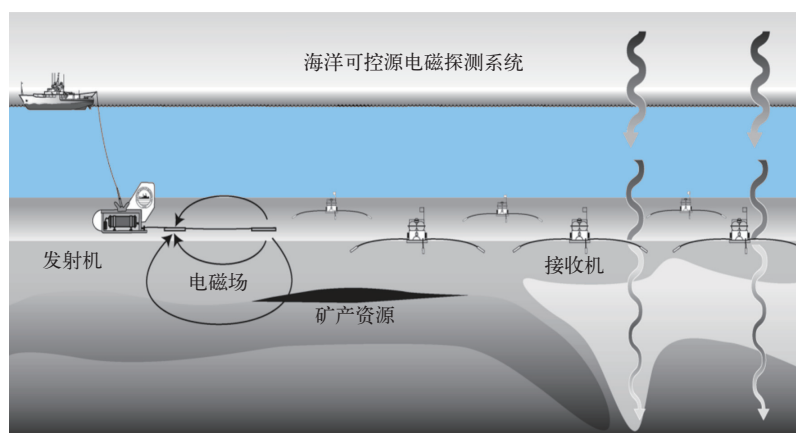


图1 海洋可控源电磁探测系统

2) 海洋可控源电磁探测利用海底分布的电阻率,能很好地区分海底岩石下的“高阻体”。许多油气资源潜在的地区,钻井的成功率可能被大大提高,降低了油气投资成本和风险,使得勘探与开发的“干井率”被降低。

3) 海洋划界和主权问题,海洋里面不仅存储着大量矿产和渔业资源,而且邻国之间的海洋领海和专属经济区还存着众多严重的重叠现象,了解海洋海底资源和地貌,对于维护我国海洋主权和权益方面发挥作用,具有重大战略意义。

在图1中,海洋电磁探测系统主要包含了海洋可控源电磁发射机和接收机,海洋可控源电磁发射机主要用于形成人工激励电磁场源。在海洋资源和地质结构探测过程中,轮船利用拖缆拖着海洋电磁可控源发射机匀速向前移动,两个电源偶极子不断向海底发射不同频率的方波电流,激发且形成强大的电磁波,在一定的海底范围放置海洋电磁接收机,持续的接收从海底返回的电磁信号。海洋电磁发射机的研制对海洋电磁探测具有决定性意义,是海洋可控源电磁探测系统的关键环节,利用研制和改进设备的机会,逐步掌握核心科技,从而使得摆脱了海洋电磁发射机对我国海洋探测的限制和阻碍,进一步增强该领域的话语权。本课题资金来源于中科院战略性先导科技专项资金,同时由中国科学院地质与地球物理研究所和中国地质大学(北京)合作完成海洋接收装置以及相应传感器的研制,由北京工业大学对海洋可控源电磁发射机设备实施攻关研究,由广州海洋地质调查局提供船舶和出海勘探服务。

## 海洋可控源电磁探测系统发展状况

目前世界上有许多公司都在积极开发海洋电磁探测系统,并应用于海底资源和地貌的勘探,并取得很好效果。以下从国内外介绍海洋可控源电磁探测系统的研究状况。

### 1. 海洋可控源电磁探测系统国外发展状况

20世纪70年代,西欧国家和美国开始了对海洋可控源电磁探测设备进行了研究,并且很快应用到实际当中。美国人Cox首先提出了深海可控源电磁勘探的设想,并指出使用水平电偶极子发射器和接收器完成可控源电磁探测过程。此后诞生了许多海洋探测和服务单位,这些单位主要有美国的Scripps海洋研究所,英国剑桥大学,加拿大多

伦多大学先后开展的相关海洋可控源探测试验,陆续完成了100多个海洋电磁探测项目和海域。

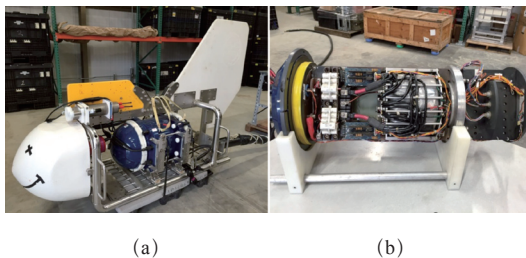


图2 美国Scripps海洋研究所的海洋可控源电磁探测系统

研制比较先进的海洋电磁探测设备公司主要有美国的Scripps海洋研究院研制出SUESI-100和SUESI-500型海洋电磁勘探系统,英国的OHM公司研制了DASI系列的发射机,美国的WesternGECO公司和挪威的EMGS公司。这些研究所和公司所研制的海洋电磁探测设备在许多海域进行海底地质考察和油气勘探,使得整个海洋探测系统趋于成熟,探测成果比较可靠,大大推动了海洋电磁探测技术的进步和发展。图2a和2b为美国Scripps海洋研究所的海洋可控源电磁探测系统。

### 2. 海洋可控源电磁探测系统国内发展状况

我国海洋可控源电磁探测系统研究比较晚,20世纪末,少数单位和科研人员对海洋可控源电磁探测系统进行跟进和研究,但是进展并不是明显。吉林大学林君等一批教授率先对辽河滩海进行了大地电磁探测试验和数据分析。之后,同济大学、中南大学等单位对时间域可控源电磁法(TEM)和大地电磁法(MT)这两种方法进行试验。随后,广州海洋地质调查局和中国地质大学开展了海洋电磁法的研究,利用人工可控源电磁场对海底进行探测,也是我国首次进行的海洋勘探技术试验,这对地质构造进行了初步的认识,同时奠定了下一步海洋探测的基础。

目前国外海洋可控源电磁系统对中国采用技术封锁,禁售有关的仪器设备,仅提供必要的探测服务,且价格昂贵。国内的海洋电磁发射方法和技术都不成熟,而且与国外仪器相比,工作深度浅、发射电流小,输出功率低,勘探深度远不能满足实际资源勘探和对海底地质结构的需求。不仅如此,发射电偶极的伸展性和水平稳定、电磁相位的精确观测和自动释放机制等尚未得到很好解决。为了更好地推动我国的海洋电磁可控源电磁发射机的进步和发展,中科院深海

所、中国地质大学(北京)、北京工业大学和广州海洋地质调查局等合作,首先对海洋可控源电磁发射机设备进行攻关研究,并且取得良好的效果和成果,完成一系列的相关电磁发射实验。

北京工业大学对海洋可控源电磁发射机进行深入的研制和改进,先后组织了多次湖泊和海洋试验。但是海洋可控源电磁发射机面临着诸多的技术问题和困难:

1) 海洋发射机由船舶提供电能,电能从船上传输到海底面临着严重损耗,低电压中长距离电能传输技术及效率有待克服和提高。

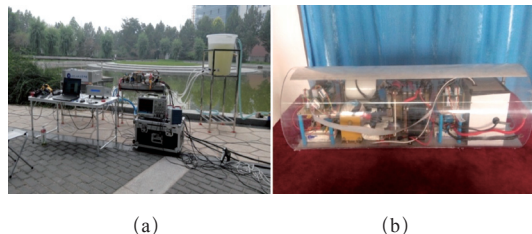
2) 海洋发射机存在整流和滤波电路,导致功率因数并不高,大量的无功功率使得海洋发射机产生很大的能耗,电能转化率不高。

3) 海洋发射机安装在承压舱内部,承压舱密闭性和散热性有待提高,密闭性不好直接导致电气设备因渗水短路而损坏,同样散热性不好直接导致电气设备因温度过高而损坏。

4) 海洋发射机发射电压冲击过高,发射电流陡度小,发射频率低,这些直接降低了海底电磁场的质量和海洋勘探质量。

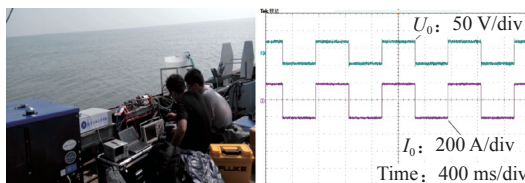
5) 海洋发射机发射功率和发射电流过小,探测面积小,探测深度浅,影响着大规模的海洋勘探进程。

海洋发射机最重要指标为发射电流等级,发射机电流越大,则形成的海洋电磁强度越强,探底海底的深度越深,反馈的信号就越强,采集的数据越准确。因此北京工业大学研制的海洋发射机可分为两个等级,一个是输出电流为200 A,功率等级为6 kW的小功率海洋可控源电磁发射机;另一种输出电流为1 000 A,功率等级接近100 kW的大功率海洋可控源电磁发射机。



(a) (b)  
图3 北京工业大学月亮湖试验现场

图3a所搭建的海洋可控源电磁发射平台,图3b海洋可控源电磁发射机实物图,在图3中,输出电流为200 A海洋可控源电磁探测试验,取得预期的试验效果。



(a) (b)  
图4 天津港渤海试验现场

图4(a)所搭建的海洋可控源电磁发射平台,图4(b)发射机发射出的电流和电压波形。在天津港海洋电磁发射机发射出200 A的电流,功率等级为6 kW,这仅仅满足海洋近海可控源电磁探测。



(a) (b)  
图5 大功率海洋电磁发射机试验设备

图5a海洋电磁发射机的集装箱,图5b海洋电磁发射机模拟海水负载,在图5中大功率海洋发射机初步设计指标:发射功率不超过100 kW,发射电流为1 000 A,发射电压不高于100 V,发射频率范围为0.05~100 Hz,强大的电流激形成强大的电磁场完全可以满足海洋深海可控源探测。

## 海洋可控源电磁发射系统展望

海洋可控源电磁发射系统对我国海洋探测有不可替代的作用,符合向海洋进军,海洋强国的战略构想。工欲善其事,必先利其器,完善和改进海洋可控源电磁发射机是实现这一构想的重要一步。海洋电磁探测在欧美国家已成为海洋油气勘查必备的技术手段。目前各个国家正在竞相进行各种海洋测试,不断推出功率更大,更为精密的海洋电磁发射机,海洋电磁探测的发展趋势为:

1) 海洋电磁发射机的高功率,大电流且频率范围广以便于探测海水深,探测范围广。

2) 海洋电磁发射机要求重量轻,体积小,功率密度高,探测精度高,电能转化效率高。EA

(收稿日期:2018.01.16)

(编辑:朱金凤)