

文章编号: 1009-2722(2004)12-0014-05

# 现代海洋地质学及其发展

左书华

(华东师范大学河口海岸研究所, 上海 200062)

**摘要:**近几十年来,海洋的重要性愈来愈明显,海洋地质学作为海洋科学中最活跃的一门科学也取得了很大的发展。对海洋地质学的研究内容、意义以及当前发展的现状和趋势作了介绍。

**关键词:**海洋地质学;研究现状;发展趋势

**中图分类号:**P736

**文献标识码:**A

海洋占地球总面积的 70.8%,它拥有极其丰富的自然资源和突出的战略地位<sup>[1]</sup>。据有关方面的统计,海底下除蕴藏着数千亿吨的石油和数百万亿立方米的天然气外,还有几百亿吨的各种金属矿产等;同时,海洋又是整个地球气候的“调节器”,对地球的气候有着重大的影响,如厄尔尼诺现象、海平面上升等,这些均说明海洋科学研究的重要性。海洋地质学作为海洋科学中最为活跃的一个领域,它的重要性愈来愈明显。

## 1 研究内容及其意义

海洋地质学是以海水覆盖下的广大岩石圈为研究对象,主要包括海岸和海滩、大陆架和陆坡、以及广阔的深海海底<sup>[1]</sup>。它是地质学的一个分支,是针对海洋区域的地质学研究科学。

目前海洋地质学的研究内容大致可以包括以下几方面内容<sup>[2]</sup>:海底构造地质学和岩石学,研究海底地壳的圈层结构、各构造单元的分布特征和深化关系、以及洋底结晶岩的特征、分布及成因;海洋沉积和地貌学,研究海底沉积物的沉积特征、时空分布、形成和发育机理,并

在此基础上,研究海底地形特征、地貌景观的空间分布及成因;古海洋学,这是一项新发展起来的较年轻的学科,它依托对上述分支学科的研究成果,追索海洋发展变化史、海陆变迁、海平面的升降及海流、海温、盐度和生产力演化等,从而阐明海洋的成因、古环境的演化;海底矿产地质学,研究各类海洋矿产资源的成因、分布特征和储量等;海洋工程地质学和海洋环境地质学,研究与海洋工程项目如港口、航道、海底管线、桥梁、隧道、人工岛、钻井平台等有关的海底底质物理力学性质,进行海洋工程地质条件的调查和评价,研究与海洋环境保护与预测有关的环境要素,如污染、浅层气、侵蚀与淤积等;海洋地球物理学,使用各种地球物理探测仪器,测量并研究海底各种地球物理场的时空变化,并利用这些研究为上述各分支海洋地质学的研究服务;海洋地质调查技术和手段。

## 2 研究方法及技术

随着新技术、新方法和各种测试仪器精度的不断提高,海洋地质学在调查研究和资源勘探等方面也得到了迅速发展,其主要特点有:在调查研究方面,从区域性到全球性、从浅层向深层发展;在调查研究手段上,广泛采用先进的科学仪器和设备;在基础理论研究方面获

收稿日期:2004-07-24

基金项目:国家自然科学基金项目(40231017)

作者简介:左书华(1979—),男,硕士,从事河口海岸动力地貌研究。E-mail:YS03162014@student.ecnu.edu.cn

得了突破性的进展,而且还在不断涌现新理论、新观点;大规模的国际性合作逐步成为海洋地质调查研究的一条有效途径;通过多学科的合作进行综合性研究,共同解决一个问题,已成为海洋地质研究的一种重要方法。

## 2.1 地球物理测量技术

是指运用先进的仪器测量地球某些物理性质的变化,从而得出海底以下的地质构造和矿产分布的一种测量技术<sup>[1]</sup>。在海上,使用最广的物探方法有地震勘探、重力测量、磁力测量和热量测量等。

重力的变化能反映地质或地理位置的变化。重力测量在海洋矿产资源勘探、天然地震预报和地震灾害预测、卫星空间轨道设计及轨道预报方面都有重要意义。目前在国际上使用最广最有代表性的海洋重力仪是德国产的 KSS-5 和 KSS-30 型海洋重力仪,其中 KSS-5 型属于杠杆型重力仪,KSS-30 型属于弹簧垂直荷载型重力仪<sup>[3]</sup>。

海洋磁力测量是勘测水域磁场的分布和随时间的变化或发现异常磁场。目前海洋磁力勘探主要用核子旋进磁力仪<sup>[3]</sup>,其中美国森尼维尔大地测量公司的 G801 海洋质子核子旋进式磁力仪应用较多。

海底热力测量不仅可以发现地热资源,而且可以应用其得到的海底地热资料详细考察海底地壳、地幔、板块构造及热过程(如岩浆侵入、热液环流)。海洋有源电磁探测系统测量可以直接测定地壳内熔融物质的存在和温度及岩石的孔隙率,用于热液或岩浆活动的海洋扩张中心的地质作用过程的调查和研究。

几十年来,我国先后研制和生产了重力仪、结构核子旋进式磁力仪、质子磁力梯度仪及多种底质取样设备,在国际海洋地质调查和地球物理勘探中发挥了重要作用,尤其是海洋石油地球物理勘探技术和资源综合评价方面已基本达到国际先进水平,并在地震勘探作业方面具备了国际市场的竞争能力<sup>[3]</sup>。20 世纪 80 年代以来随着科学的发展,许多新技术包括三维勘

探、高分辨率勘探、子波处理和波动理论等反演技术,也逐渐被应用在测量技术上,使信号质量、信息的准确性、分辨能力和穿透力等方面都有了明显的提高,也使得物探技术有了较大的进展。近年来,人们还研究海底声学特征和沉积物理特征之间的直接联系,并通过声速、声吸收、声反射率与海底沉积物类型、颗粒度和空隙率的关系,建立起海底地质声学模型,从而为判断和分类海底地质结构提供定量分析的依据<sup>[4]</sup>。其中精密回声测深仪、深浅地层剖面仪、旁侧声纳先进仪器的应用最为广泛。

我国在水声技术研制方面也取得重大进展,现已研制成功具有世界先进水平的惟一可在 2 m 浅海作业的高分辨率浅地层剖面仪和彩色双频率垂直鱼探仪,还有走航式声字多卜勒海流剖面仪,这些技术广泛应用在海洋科学研究、海洋资源勘探和开发以及军事活动等各个领域。

## 2.2 大洋钻探技术

1968 年 8 月开始执行的“深海钻探计划”,大大促进了海洋地质学的发展,标志着海洋地质学的发展进入了一个新的阶段<sup>[5]</sup>。“深海钻探计划”所取得的成果向人们揭示了海洋的历史、古环境、古气候、古生物的演化、海底火山喷发、沉积作用和海底矿产的分布,验证了海底扩张事实的存在。这对于人们重新认识海洋,特别是重建中生代(1.8 亿 a)以来的古海洋演化的模式有着巨大的推动作用<sup>[2]</sup>,对基础地质理论的发展产生了深刻的影响。

从 1968 年以来,大洋钻探技术在世界各大洋钻井 2 000 余口、取心 20 余万米,证实了板块构造学说,创立古海洋学,把地质学从陆地扩展到全球,从根本上改变了地球科学界的视野和思路,带来了地球科学的革命<sup>[6]</sup>。

随着科技的发展,人们更想通过高科技手段深入地揭示地球内部的奥秘。于是一些国家更是加紧推行一系列的钻探计划(如日本的“OD-21”计划),向“地球深部进军”,“探索环境演变的奥秘”<sup>[6]</sup>。IODP 计划已于 2003 年 10

月 1 日开始实施并开展为期 10 年的初始研究阶段,着重开展了 深部生物圈和洋底下的海洋; 环境变化过程和结果; 固体地球循环和地球动力学 3 个领域的研究。我国也正以稳健的步伐迎接以综合大洋钻探为标志的海洋地质调查研究的新高潮,这必将会使海洋地质学又进入一个新的发展阶段。

### 2.3 遥测遥感技术

海洋遥测遥感技术是海洋探测技术的主要内容之一。由于地球资源卫星的发射,使得遥感技术得到了迅速发展和广泛应用。目前不少国家把它列为重点发展计划,大力开发本国的遥测遥感技术,如美国、苏联、日本、加拿大等<sup>[3]</sup>,我国也已在 1980 年 3 月将海洋遥感技术研究列为“全国遥感技术近期发展规划”重点项目之一<sup>[7]</sup>。

由于卫星遥测遥感技术具有全球范围的大尺度、近同步、快速收集地球表面物体信息资料的优点,因此,这项技术在近 20 年来发展非常迅猛。遥测遥感技术的发展,也使得海洋调查研究得到了发展。特别是在海洋地质底形、地貌调查研究中,如对海水中悬浮泥沙运动<sup>[8]</sup>、海岸带与滩涂资源<sup>[9]</sup>、河口三角洲形成与演化<sup>[10]</sup>、海岸与浅海地质地貌及其变化的调查研究<sup>[11]</sup>和海冰监测<sup>[12]</sup>等方面,遥测遥感技术得到更加广泛的应用,并取得了明显成效,大大推动了海洋地质学的发展。

### 2.4 其他技术

水下工程探测技术也是海洋地质调查中一项必要的技术,它可以为各种海洋水下工程服务或进行水下探测和作业,在海洋探测和海洋工程技术中发挥了重要作用。深潜技术、水下机器人作业系统和饱和潜水技术是当前水下工程探测技术的研究重点和今后水下工程探测技术的主要发展方向。常压载入深潜器(ADS)一般可潜水 2 000 ~ 3 000 m,最大水深已超过 6 000 m,如日本的“深海 6500”号,潜水深度达 6 500 m,是目前世界上载人潜水最深的深潜

器;无人遥控深潜器则可以潜入水下 10 000 多米。

我国在深潜技术方面取得了很大进展,已于近期研制出载人 ROV 深潜器和自治式无人潜水器(AUV)等,都已达到了世界先进水平。

## 3 理论研究及发展趋势

近年来,海洋地质学在理论研究和应用方面都获得了迅速发展,新的发现层出不穷,不断涌现出新思想、新观点和新理论。

### 3.1 板块构造理论

人类对地球认识的一次重大突破是使地球变为一元化的全球板块构造说的创立。板块构造理论是 20 世纪地球科学的重大成就之一,这一学说包括大陆漂移与海底扩张两部分。其基本概念是,整个地球表面是由一系列刚性、不能变形但比较薄(100 ~ 150 km)的板块所组成<sup>[13]</sup>。

板块构造理论一直在海洋地质学研究中起着支配作用。在 20 世纪 70 年代调查研究的基础上,一方面更加广泛地为国际地质学界所承认;另一方面板块构造理论本身也正从它原来的简单模式通过检验,进一步深入研究和探讨了它的多样性及其形成的机理<sup>[3]</sup>。深海和大洋钻探计划取得的重大成果,促进了板块构造理论的迅速发展,使其在大洋中脊与海底扩张、比较俯冲学、热点说、地体构造与薄壳构造、板块聚合带的形成等方面都有了新的进展,而且一种简称为“地体学”的板块构造新理论正在逐渐兴起<sup>[4]</sup>;另外,通过深海钻探资料研究,对大陆边缘俯冲带海沟的性质和发生在海沟内侧的不断增生体的构造有了更多了解。

### 3.2 古海洋学

古海洋学产生于 20 世纪 70 年代,它是继板块构造学说之后,对海洋地质学研究的又一重大突破,也是深海钻探带来的一项重大科研成果。它是以大洋的水体作为主要研究对象,探索海洋环流和海水物理、化学特征的变化,研

究海洋生产力和海洋生物的宏观演化等大洋系统的发展历史。

古海洋学研究大洋系统的发展历史,而大洋系统的核心问题是大洋环流<sup>[14]</sup>,因此,大洋环流是古海洋学的一个重要研究内容。古海洋学另一个重要研究内容是古海水化学,包括海水古盐度、含氧量、各种微量与痕量元素含量、同位素成分、海水碱度和碳酸盐补偿面等,特别是海水中碳酸盐饱和度和碳酸盐补偿深度(CCD)的变化,直接反映了海水中  $\text{CO}_2$  浓度和生产力的高低,是大洋地层对比和海洋古环境再造的重要信息来源<sup>[14]</sup>。生物古海洋学也是古海洋学一个重要研究内容,它是研究古海洋的宏观生物和生产力。

古海洋学以海洋沉积物为主要研究依据,尤其是所含有孔虫、放射虫、钙质超微化石、硅藻、介形虫等微体化石,从有机界的生物化石和无机界的矿物颗粒两方面,通过定量分析和同位素分析或大洋分层学的方法,用代替性标志来提取古环境参数,然后根据已知的边界条件进行海水环流之类的古海洋学数值模拟。

随着科技的发展,特别是 20 世纪 80 年代以来氧同位素测温、超导磁力仪古地磁测年和 DSDP 液压活塞(HPC)三大技术进步,为古海洋学的发展提供了良好条件<sup>[3]</sup>和发展空间。

### 3.3 现代海洋沉积学

对现代海洋沉积作用过程的研究是海洋地质学一个重要的研究课题,主要包括海底浊流沉积、陆架沉积物输运、沉积物来源、河口海岸沉积层序、海底地貌体构造与成因等方面的内容。通过对大洋底部沉积物性质和沉积作用的研究来为大洋形成及其环境的演化和全球气候变化以及海底矿产资源的开发提供信息。

1968 年以来所开展的一系列的深海和大洋钻探计划,为大洋沉积作用的研究提供了丰富的资料。通过对海洋沉积层的形成、结构及其机理的研究,使其对传统观念有很大改变;通过对海岸带、河口三角洲和深海沉积作用的研究,发现海洋沉积物在时间和空间上都存在着

许多不同的“带”,例如与古气候相应的沉积物带、海洋底部与地形相对应的沉积物带等<sup>[3]</sup>;等深流和浊积层的发现对深刻认识深海底的侵蚀和沉积作用起到了重要影响,并促进了粗粒浊积物理论的发展<sup>[15]</sup>。另外在沉积盆地的形成与演化、滨海(潮坪)及陆架沉积特征及成因、有机碳和重金属的分布规律、古磁性地层学、沉积物声学、沉积速率及其原因、层序地层学、事件沉积学、海洋物质通量等<sup>[16]</sup>方面也取得了一些进展。

海洋沉积动力学也是海洋沉积作用研究的一个对象,它的发展把海洋水体的动态过程与沉积物运移、沉降结合起来,定量地测定各种参数并加以数学处理,得到多维的定量过程,并从地化、生物和动力等方面去研究机制,从而使定性的描述性研究向定量的解释性的学科转化<sup>[3]</sup>。随着多学科交叉性研究的发展,海洋沉积动力学和生态系统动力学的研究也逐步兴起,它将为全球生态系统变化和预测做出贡献。

### 3.4 大陆边缘海洋地质

大陆边缘是指陆壳向洋壳过渡的地带,在其内部根据深度和坡度,通常可分成大陆架、大陆坡和大陆麓等 3 个组成部分<sup>[1]</sup>。它是研究海洋地质学的重要地区。研究大陆边缘海洋地质学,对于勘探海底矿产资源和了解现代地壳运动机制、火山活动、地震、洋壳演化规律和俯冲消亡作用都具有重要意义<sup>[3]</sup>。

大陆边缘又是全球沉积物最为发育的区域<sup>[17]</sup>,其沉积层保存着全球海平面变化、气候变化、岩石圈变形、大洋环流、地球化学循环、有机生产力和沉积物补给等重要信息<sup>[15]</sup>。目前许多国家把大陆边缘的沉积演化及其机制问题列为重点课题来研究。对边缘海的成因及其演化做了大量工作,提出了其演化模式和新的见解。对三角洲及沉积物、海平面变化引起的沉积间断等方面的研究都有新的进展<sup>[3]</sup>。

1999 年 9 月 28 日—10 月 1 日,美国国家科学基金委员会(NFS)和联合海洋学协会(JOI)组织专家为大陆边缘计划(MARGINS)

沉积学和地层学项目组制定了“源到汇”科学计划。这个科学计划可望为实质性地了解大陆边缘地貌、沉积和地层过程提供蓝图,并为未来大陆边缘沉积作用的研究提供指导方向<sup>[18]</sup>。

#### 4 现代海洋地质学的发展趋势

纵观 20 世纪海洋地质学的发展历程,作为一门独立学科,它的开始至少比近代陆地地质学晚一个世纪,然而,它的迅猛兴起却导致了地球科学最深刻的革命性变化<sup>[19]</sup>。对于一个全新的 21 世纪,海洋地质学的研究也必将进入一个新的阶段。当前,海洋地质学的研究重点和趋势主要有以下几个方面:

(1) 海洋的起源、发育和演化进而研究地球的形成演化<sup>[2]</sup>。主要包括板块构造理论的进一步研究;古气候与古海洋学的研究;大洋发展史等。

(2) 海洋资源的研究<sup>[19]</sup>。研究各种海底自然资源的成因、分布特征和开发。主要包括油气资源、深海海底矿产资源和近海矿产资源。

(3) 全球变化与海洋环境的研究<sup>[19,20]</sup>。研究海洋对气候的影响和制约,通过对海洋表面和深部变化及与陆地的相互关系的研究来了解全球气候及气候变化的历史和联系,以及极地地区的海陆变化对整个全球变化的影响,并提出措施。

致谢:感谢李九发导师的指导和陈庆强老师的支持!

#### 参考文献:

[1] 同济大学海洋地质教研室. 海洋地质学[M]. 北京:地质

出版社,1982. 1—2.

- [2] 温孝胜. 海洋地质学的发展现状与未来展望[J]. 海洋通报,2000,19(4):66—173.
- [3] 吴崇泽. 八十年代以来海洋地质学的进展[J]. 海洋湖沼通报,1990,(1):77—82.
- [4] 刘光鼎. 论地球科学[J]. 地学前缘(中国地质大学,北京),1998,5(1-2):1—8.
- [5] 朱光文. 我国海洋探测技术五十年发展问题与展望(三)[J]. 海洋技术,2000,19(1):23—31.
- [6] 汪品先. 大洋钻探与海洋地质新世纪[J]. 中国地质,1998(8):9—10.
- [7] 朱光文. 我国海洋探测技术二十年发展回顾与展望(二)[J]. 海洋技术,1999,18(2):116.
- [8] 李四海,恽才兴. 河口表层悬浮泥沙气象卫星遥感定量模式研究[J]. 遥感学报,2001,5(2):154—160.
- [9] 高曼娜,黄韦良. 海岸带环境遥感信息提取与分析[J]. 中国航天,1998(10):8—10.
- [10] 陈丰. 地球科学研究进展[J]. 贵州地质,1999,16(1):1—7.
- [11] 李桂香,艾万铸. 海洋科学研究进展[J]. 科技导报,1995,6:8—11.
- [12] 吴永森. 遥感在水面薄层研究中应用的可行性分析及验证[J]. 遥感技术与应用,1994,9(4):1—8.
- [13] 肯尼特[美]. 海洋地质学[M]. 北京:海洋出版社,1992. 415—417.
- [14] 汪品先. 古海洋学[J]. 地球科学进展,1994,9(4):9—96.
- [15] 许红. 地球科学进展[J]. 海洋地质动态,2000,16(5):1—4.
- [16] 许东禹,郭玉贵,莫杰,等. 亚洲海洋地质研究进展概述[J]. 海洋地质与第四纪地质,1995,15(4):135—136.
- [17] 吕炳全,孙志国. 海洋环境与地质[M]. 上海:同济大学出版社,1997.
- [18] 李铁刚,曹奇原. 从源到汇:大陆边缘的沉积作用[J]. 地球科学进展,2003,18(5):713—721.
- [19] 杨子赓. 二十一世纪海洋地质学发展趋势[J]. 海洋地质动态,1999,(8):1—4.
- [20] 孟繁莉,程日辉. 全球变化与海洋地质[J]. 世界地质,2000,21(3):228—234.

## ABSTRACTS

### HEAVY METAL GEOCHEMISTRY OF SEDIMENTS IN THE MAIN RIVER MOUTHS OF CHINA

LAN Xian-hong

(Qingdao Institute of Marine Geology ,Qingdao 266071 ,China) ,2004 ,20(12) :1-4

Recently ,estuarine bottom sediments ,a main medium for accumulation of pollutants and important living place for aquatic lives ,have attracted more and more attention from the environmental field especially marine environmental field as they can show more steady and intensive regional environmental quality changes and tendency than water medium. Great progress has been made in the heavy metal geochemistry of main estuarine sediments of China ,and many results have been acquired from the research. These results provide important information for the knowledge of heavy metal distribution and the understanding of the diffusion ranges and estuarine pollution.

**Key words** :sediments ;heavy metal ;geochemistry ;river mouth of China

### INFLUENCE OF HEAVY METALS IN UPSTREAM URBAN SOILS ON JIULONG ESTUARY

QIAO Sheng-ying<sup>1</sup> , YANG Jun-hua<sup>2</sup> ,BAO Zheng-yu<sup>1</sup> ,HAN Yin-wen<sup>1</sup>

(Faculty of Earth Science ,China University of Geosciences ,Wuhan 430074 ,China ;Fujian Province Geological Survey Institute ,Fuzhou 350003 ,China) ,2004 ,20(12) :9-13

Estuarine systems adjacent to urban areas are at risk of contamination by contaminants from anthropogenic sources ,such as heavy metals. Zhangzhou is the main city nearest Jiulong estuary ,and the Jiulong River runs through Zhangzhou City. The present study is based on a preliminary geochemistry survey on Zhangzhou areas and aims at comparing heavy metals from the estuary sediments with more densely populated city soils. Topsoil samples from urban and estuary have higher Hg and Cd concentrations compared with regional mean values. The estuary has higher EF for Hg than Cd. Hg from Zhangzhou urban areas has strong influence on Jiulong estuary. Based on results of clustering analysis and principal component analysis ,As ,Zn ,Mo ,Ni ,Cr ,and Mn are inferred to derive from lithogenic inputs. Pb ,Se and Cd can be identified as a tracer of anthropogenic pollution for samples from urban and periurban. Hg and Sn show independence of other elements. Heavy metals in the estuary are similar to those in the urban area except Pb ,Cu ,Se ,Mo ,and Cd that are high by two factors ,suggesting both lithogenic and anthropogenic sources.

**Key words** :heavy metal ;Zhangzhou urban soil ;Jiulong River estuary

### MODERN MARINE GEOLOGY AND DEVELOPMENT

ZUO Shu-hua

(State Key Laboratory of Estuarine and Coastal Research, East China Normal University, Shanghai 200062, China), 2004, 20(12): 14-18

The importance of oceans has become more and more evident in the past several decades, and marine geology that is one of ocean sciences has got great development. This study gives a detailed marine geology introduction, including research objects, research contents, research meaning, and present research condition involved in the progress of ocean research technology and basic theory and development tendency of marine geology.

**Key words:** marine geology; present condition of research; development tendency

## **RATIONAL DEVELOPMENT OF GROUNDWATER RESOURCES ON THE COASTAL ZONE OF QINHUANGDAO**

MENG Fan-jie

(Qinhuangdao Hydro-Geologic Investigation Bureau, Qinhuangdao 066001, China), 2004, 20(12): 22-25

This study shows the present conditions of groundwater in the coastal area of Qinhuangdao after a long-term monitoring the water table. The results tell us that the groundwater recharge decreases and exploitation increases in the coastal area, leading to an overexploitation of the groundwater, drop of the water table, falling funnel in some areas, expansion of polluted area, destruction of the original steady and good groundwater equilibrium, invasion of seawater, and decrease of wetland. We establish the groundwater resource management pattern, analyze the bearing capacity of the water environment, and calculate ecologic water volume. We give suggestion that exploitation of groundwater should be strictly controlled to guarantee the good circulation of surface and underground water, protect wetland, improve water environment and keep rational application of groundwater resources.

**Key words:** groundwater management; ecologic water volume; the coastal area of Qinhuangdao

## **3D AVO ANALYSIS AND APPLICATION TO GANG-186 WELL AREA IN THE HUANGHUA DEPRESSION**

MO Wu-ling, PAN Ren-fang

(Department of Geosciences, Yangtze University, Jingzhou 434023, China), 2004, 20(12): 28-30

Dagang gasfield has been processed using 3D seismic data from Hampson-Russell/ Geoview/ AVO software and has been investigated with AVO technology for detection of gas reservoirs in the Gang-186 well area of Honghu reservoir or Huanghua depression. On the basis of the 3D AVO data, the seismic reflection amplitude varying with offset and AVO attribute properties of gas-bearing sandstone are analyzed. From this study we know that, in the areas of complicated geologic conditions, 3D AVO analysis can be used to better distinguish the response of natural gas and determine the spatial distributions of the proved gas reservoirs and the anomalous areas.

**Key words:** AVO; seismic wave; light spot; amplitude; reflection coefficient; gradient; petroleum resource predication