

当代海洋地质科技进展概述

莫 杰

(地质矿产部海洋地质研究所, 青岛)

收稿日期: 1989年3月24日

80年代以来,世界海洋地质科学技术取得最重要的进展主要有:(1)区域海洋地质调查;(2)基础理论(海洋沉积、板块构造、古海洋学)的研究;(3)大洋钻探计划的实施;(4)海底矿产资源的发现等。

我国海洋地质科技,在海岸带综合调查、河口三角洲现代沉积作用的研究、近海油气资源的勘探与滨海砂矿的调查和深海大洋地质与矿产资源调查方面都取得了一系列的新进展。

本文结合80年代国外海洋地质科技新进展和90年代国际海洋地质科技发展的趋势,对当代海洋地质科技发展水平和一些重要进展作一概述。

I. 区域海洋地质调查研究程度^{[6],1)}

目前世界上一些海洋地质科技发展较快的国家,如美国、苏联、英国、法国、西德、日本和加拿大等国,除苏联和加拿大陆架海域面积宽阔、年冰封期长外,都已完成或接近完成本土沿岸陆架区中、小比例尺区域海洋地质调查。如美国1980年完成本土东、西海岸陆架区1/250000海底地质调查;完成了“海洋科学十年规划”(1970~1980),并出版了调查区1/100000~1/200000的测探图、海底地貌图、挠动沉积物等厚图、浅部地质构造图等;目前继续在东、西沿岸海区测制1/62500三维地质图,计划到2000年完成陆架海区大比例尺地质图的测制。

到70年代中期,日本已基本完成本土列岛陆架区的综合调查,编制出版了包括海底地质图、构造图、沉积图、航磁图、总地磁强度

图。布格重力异常图等各类中、小比例尺图件。1975~1986年,先后出版发行了日本列岛周缘1/1000000和1/200000海底地质图、沉积物堆积图共28幅(其中1/200000 17幅)。此外,一些发展中的沿岸国家,如印度、印度尼西亚、墨西哥、秘鲁、巴西、阿根廷和澳大利亚也程度不同地进行了本土周围陆架区的海洋地质调查。

至今,我国以油气普查为主的海洋地质调查已完成小比例尺约 $2 \times 10^6 \text{ km}^2$ 的海域调查。完成一批海洋地质、地球物理调查报告和各类中、小比例尺区域性图件。目前我国海域陆架区小比例尺(1/500000~1/1000000)调查仅完成38%²⁾;而中比例尺(1/100000~1/200000)尚未系统全面开展。与当前国外一些发达国家的海洋地质工作水平比较仍有相当大的差距。此外,至今我国仅出版一份1/3000000全海域地质图、1/2000000南海地质地球物理图集和完成1/500000青岛、南通、上海和温州幅的调查;1/2000000“中国海及其邻域地质地球物理系列图”正在编制中。这些都说明我国海洋地质研究程度还较低。

II. 基础理论研究取得重大进展^[1,2,4,5,7]

海洋地质科学基础理论研究,主要在现代沉积、板块构造和古海洋学方面取得了重要进展。

1) 沪穗青,1989。地矿部1988年海洋地质科技进展概述。

2) 非正规国际图幅面积。

II. 1. 现代沉积理论的研究^[14,15]

一项富有挑战性的国际研究计划——全球沉积地质计划(GSGP, 1986)的提出和实施,无疑也会极大地促进沉积学的发展。

目前沉积地质学研究领域出现一系列与其它学科结合的边缘学科。如有机地球化学沉积学、稳定同位素沉积学和流体动力沉积学等成为地学领域中最为活跃、最富生机的分支学科。

70年代的沉积模式或相模式的出现被认为是沉积学的一个里程碑。足量沉积模式、热沉降模式可用数学方法分析沉积在断裂和冷却被动大陆边缘上的沉积物层序。80年代以来,我国在碎屑岩相分析和相模式研究方面有较大进展,特别是东部陆相油田中沉积相分析和南海的现代碳酸盐台地与生物礁、碳酸盐风暴岩的岩石学和岩相等方面做了大量对比研究工作。我国目前发现的油气资源绝大部分来自中生代陆相沉积盆地。研究结果表明,深湖相是最佳的生油区,我国现已发现的大油气田的储集体主要是三角洲、扇三角洲和浊积砂体。

深海钻探计划早期的重要发现之一,是白垩纪大洋缺氧事件与黑色页岩沉积。尽管目前尚难确定造成这种事件的真正原因,但是世界上一些大油田常与这种富有机碳的沉积物相关,白垩系是主要产油层,也是烃类的母岩层。目前一般认为引起缺氧事件是与大规模海侵作用、火山作用、上涌洋流、气候与温度、生物的生产率和古洋流循环等多种因素有关。

深海沉积通常被认为是连续而完整的。但深海钻探揭示,在所有的洋盆中沉积记录都有重要的区域性间断,特别是晚始新世~晚渐新世的沉积间断最为普遍。最新的研究资料表明,南极底流(AABW)、北大西洋深层流(NADW)和西部边界潜流(WBVC)流速的观测值为5~30 cm/s,因而它们可轻而易举地携带走沉积物。造成沉积间断。现已发现这种区域性沉积间断有8次之多,其时间分别为23.6~22.5, 20.0~18.0, 16.0~15.0, 13.5~12.5, 12.0~11.0, 10.0~9.0, 7.5~6.2, 5.2~4.7, (10⁶

a)底流在深海沉积间断的形成过程中起了最重要的作用。

II. 2. 板块构造理论研究^[1,13,14,15]

进入80年代后,尽管在国外流传着“板块构造后期的忧虑”,需要进行一番“整容”和修正。然而,近十多年来先后出现有热点说、岩浆房、薄壳构造、新造山说、逆掩推覆、弧后扩张、比较俯冲、地体增生、板块牵引和板块聚合动力模式等,它们从不同的角度促进了板块构造理论的发展。纵观诸新说理论与模式,板块构造的运动机制与驱动力仍是当前板块构造理论研究的主要课题。然而,在板块构造研究领域众多新说中,构造地层地体(Tectonostratigraphic Terrane),简称地体说,乃是当前大地构造研究的一大热门。

地体构造说是板块构造理论研究的重要发展。D. L. Jones 等人将地体划分为4种类型:(1)地层地体;(2)破裂地体;(3)变质地体;(4)复合地体。通常地体呈不同的规模和形状出现,它们的构成组分复杂程度不一。从地体分析观点来看,大陆的形状是地体的融合、添加和分散造成的。地体本身或地体与地体之间存在断裂、漂移、碰撞和增生等过程,地体碰撞是造山运动的基本动力。从简单的俯冲造山和碰撞造山模式,发展到现代复杂的地体构造分析,为板块构造理论与研究方法的发展开辟了新的途径。研究地体构造以及地体运动的聚合与离散过程,对揭示地震产生的机制和预测、油气盆地的形成、成矿区的分布规律具有重要的指导作用。

D. L. Jones 等人把北美阿拉斯加划分出50个地体,并编制出五幅从阿拉斯加到墨西哥南部的1/2500000的科迪勒拉地体图,共确定出200多个地体,其中大多数地体的时代为晚古生代和早中生代,早古生代和寒武纪的地体主要分布于东科迪勒拉山系,而时代最年轻的地体则位于环太平洋沿岸地区。

我国华北地块和华南地块具有复杂的地质构造演化史。林金录(1985)根据古地磁研究结

果认为,寒武纪时,这两个地块均属冈瓦纳古陆的一部分,但它们是互相分离的,即华南地块位于古赤道上,靠近澳大利亚北部;而华北地块则位于 35°S 处,靠近伊朗、西藏和印度北部,古生代时期向北漂移;直至中侏罗世,华北地块和华南地块才拼贴在一起。自新生代以来,当印度板块向北漂移并与欧亚板块碰撞时,中国陆块,特别是华南地块相对于欧亚板块北部已向东漂移。

自 80 年代以来,地体构造说在国际上以令人信服的成果,越来越受到地学界专家们的重视。同时,由于不同的地体具有完全不同的地质构造条件和截然不同的矿产分布,它对成矿区划和普查找矿具有重要的指导意义。

II.3. 古海洋学的发展^[2,3]

继地学革命的代表——板块构造学说之后,深海钻探给地球科学带来的又一重大突破,是近年来古海洋学的研究成果。当前氧同位素测温、超导磁力仪古地磁测年和液压活塞三大技术进步,为古海洋学的发展,特别是在定量重建中生代 ($1.8 \times 10^6\text{a}$) 以来海洋的形状、性质和演化史,提供了良好的条件。

氧同位素测温,自 70 年代 Shackleton 和 Kennett (1975) 完成了 DSDP 第 29 航次在南大西洋的稳定同位素测定,发现第三纪以来共有 7 个温度急剧下降的时期,其中最重要的是始新世末期~渐新世早期 ($3.5 \times 10^7 \sim 3.8 \times 10^7\text{a}$ 前)、中新世中期 ($1.2 \times 10^7 \sim 1.4 \times 10^7\text{a}$ 前) 和上新世 ($2 \times 10^6 \sim 3 \times 10^6\text{a}$ 前); Shackleton 和 Opdyke (1976) 根据赤道太平洋 V-28-238 孔 Globigenoides saculifer 的同位素曲线,总结了 $1.6 \times 10^6\text{a}$ 以来的水温变化; Savin (1974) 和 Dansgaard (1981) 分别成功地进行了低纬度区和南极冰岩芯的稳定同位素测定。科学家们发现,所有这些氧同位素数据都呈现温度变化的周期性,与 Milankovich 旋回(地球绕太阳自转轴和黄道面变动的周期)相吻合。

70 年代中期发展起来的超导磁力仪,将

古地磁测量的精度从 $10^{-6} \sim 10^{-7} \text{e} \cdot \text{m} \cdot \text{u}$ 提高到 $10^{-8} \sim 10^{-9} \text{e} \cdot \text{m} \cdot \text{u}$,从而使碳酸盐沉积的测年成为可能。深海钻探岩芯的测定,又发现了海底横向磁异常条带与地层垂向剖面中的极性事件具有可比性,为制订全球统一的古地磁年表奠定了基础。

1979 年 DSDP 成功地使用液压活塞取样器获取 200m 以上的未扰动连续沉积物岩芯(每获取 100m 长的岩芯,则可恢复 $1 \times 10^7\text{a}$ 以来的古环境和古气候的变化),通过生物地层、放射性测年和地磁倒转史等多种方法的综合对比,得出了距今 $1500 \times 10^4\text{a}$ 以来,包括 16 个极性期的地磁年代表。

至今,人们对中生代以来一些重要的古海洋事件,诸如:中白垩末期生物大规模灭绝事件;渐新世强烈底流造成的海底不整合;中新世红粘土沉积事件;中新世末期碳同位素偏移事件;第四纪冰川消长周期等事件的形成原因已初步有了认识。

III. 大洋钻探的重大成就^[12,15]

以美国为首,由“格·挑战者”号执行的历时 15 年的深海钻探计划 (DSDP, 1968~1983 年)取得举世瞩目的重大成就。DSDP 为验证和发展板块构造理论立下了丰功伟绩。科学家通过对 1.8×10^4 多个沉积物(层)的岩芯样的分析研究,揭示出海洋的历史、古环境、古气候和古生物的演化、海底火山喷发、沉积作用和海底矿产的分布。钻探的成果对人们重新认识海洋和地球的演化,特别是对地学领域中基础理论研究的发展起了至关重要的作用。

大洋钻探计划 (ODP, 1985~1995 年)是在总结 DSDP 的基础上进一步向纵深发展的钻探计划。该计划使用了比“格·挑战者”更为先进的“JOIDES Resolution”钻探船。其主要目的是,调查研究大洋盆地的形成与演化,陆架边缘区的构造,海底沉积物的形成机理及其结构,大气、海洋和地磁等的长期变化规律。

深海大洋钻探最重要的成果就是直接揭示

了洋底的年龄,从而为海底扩张说提供了最有力的证据。此外,证明了洋壳不仅存在大规模水平运动,也有垂直运动;查明了洋壳上层的物质基本由3层组成;采到大洋最古老的沉积物(中侏罗世,约距今 170×10^6 a);发现有研究价值的生物种类,钙质超微浮游生物已被用于建立侏罗纪~全新世的化石带;发现深海大洋沉积的区域性间断达8次之多;证实了海洋中的热点位于现代火山岛链附近;确定了极地冰盖期的开始期(距今 20×10^6 a)和极盛期(距今 5×10^6 a);证实了“弧后扩张”说,并发现各类海底矿产。

大洋钻探计划已完成其第一阶段(1985~1987年)18个航次(Legs: 101~118)的调查任务。1988年完成了6个航次(Legs: 119~124)。迄今已进行调查的航次所取得的主要成果为:(1)已证实北大西洋巴哈马滩曾是个巨型沙洲;(2)大西洋型大陆边缘的海侧倾斜反射面表明,该区形成了大量玄武岩流;(3)已查明北半球的冰盖发育期为 $280 \sim 300 \times 10^4$ a前,其与赤道西北非岸外的涌升流活动是同时发生的;(4)南半球的冰盖在此时期可能快速形成;(5)查明巴巴多斯加积体具有两种类型的“地下水”水流;(6)采用了先进的钻探技术,成功地对裸露岩石进行钻探和取样;(7)孔内详细测量获得洋壳物性的各类数据;(8)获得了有关海台基底岩石类型和喜马拉雅山上升史的新资料。

据ODP的宏观计划日程,“JOIDES Resolution”钻探船将在1989年底至1990年初首次进入我国南海海槽进行第130航次的调查。为此,我国于1986年8月成立了“中国大洋钻探委员会南海工作组”,并决定以此名义向国际大洋钻探委员会提出在南海的孔位建议。鉴于该航次在我国海域钻探,该委员会答应将采用适当方式使中国科学家能参加调查活动。

IV. 海底矿产资源的新发

现^[4,7,9,10,16]

海底矿产资源,除众所周知赋存于大陆架

的油气之外,就非能源海洋矿物资源而言,至今已发现有5大类:(1)建筑材料(如砂砾、钙质贝壳、文石砂等);(2)砂矿(重矿物、轻矿物和宝石类砂矿);(3)磷块岩;(4)金属氧化物(锰结核和结壳);(5)金属硫化物(金属软泥、块状硫化物)。

自1965年首次在红海发现热液重金属软泥和1976年第一次在东太平洋海隆加拉帕戈斯断裂发现海底热液喷气口和热液硫化矿床以来,先后在东太平洋海隆、大西洋中脊、印度洋中脊以及加利福尼亚湾等海区扩张中心附近均有发现。至今发现这些矿床(矿物)的海区已有30多个。而近年来最引人注目的则是含金属硫化物矿床,在枕状玄武岩流上或一些热液喷口(水温高达 350°C 以上)出露有许多高几米到几十米,直径几十米的矿体,其顶部不断地喷出白色或黑色的“浓烟”热液,称之为“烟囱”。这种热液同冷海水起反应变成金属微粒沉积下来堆积而成块状硫化物,包括有锌硫化物、黄铁矿、黄铜矿和其他金属元素达32种之多。据最新报道,1988年夏季日、法联合考察船在冲绳海域距冲绳西北约110 km,水深1400 m海底处,发现了大规模的热液矿床,估计1t矿石中含有14g金和11g银等贵金属。此外,还有Cu, Pb, Zn等多种有色金属。这是迄今在大洋海底发现Au, Ag品位最高的热液矿床。同年秋季,日本海洋科学技术中心在冲绳海域又发现高温热水(200°C 以上)和喷出的沉淀物中有碳酸钙、Pb, Zn, Au, Ag和硫化物等。目前积极进行探测活动的国家有美国、法国、日本、西德、加拿大、墨西哥和苏联等。近年美国在东太平洋的探测区主要是胡安一德富卡海岭、东太平洋海隆、瓜伊马斯海盆、加拉帕戈斯海岭和戈尔达海岭等海区。1986年7月,在迈阿密以东2900 km的大西洋底首次发现海底热液矿床,使美国在世界各国频繁的海底热液调查活动中处于领先地位。

1982年以来,陆续发现了洋底富Co锰结壳,含Co量可达1.2%,还有Ni, Cu, Mn, Fe

等,其单位面积的经济价值远大于锰结核。虽然其水深相对较浅,但因结壳厚度仅5~8cm,采矿条件亦较困难。

我国在海底矿产资源勘查方面,重点是近海陆架区的油气资源,其次是沿岸的滨海砂矿。同时也着手开展中太平洋C-C和C-P海区的锰结核调查。

近年来,我国近海油气勘探与开发取得前所未有的重大发展。至今,全海域打了近200口勘探井,成功率高达30~40%,圈定了上百个含油气构造,已发现47个含油气构造。已证实六个大型油气富集区:即辽东湾海域锦州14~锦州20海区;渤海湾南部的渤中28~渤中34海区;东海陆架盆地的西湖凹陷区;珠江口盆地的西江~惠州~陆丰海区和莺歌海的崖13-1含气区。先后在辽东湾绥中36-1构造、珠江口盆地流花11-1和黄河入海口浅海域(埕岛)探获石油储量上亿吨的大油田。对外合作和自营勘探的成果表明,我国近海油气勘探前景良好。现已确定的海上油气田有12个,已正式投产的有3个、待开发的有9个。预计到1990年,我国近海石油产量将大于 3×10^6 t。

我国滨海砂矿资源相当丰富。现已探明的具有工业价值的矿种有锆英石、钛铁矿、独居石、石英砂等11种。据统计资料,大型矿床20个、中型39个、小型74个和矿点135处。浅海区圈定重矿物I级异常区21个,II级异常区28个和高含量区19个。

1983年以来,我国共进行了7个航次的大洋调查,获得了大量的重力、磁力、测深、地震等地球物理资料和多金属结核、富钴锰结壳、水化学、沉积物和岩样等样品。在中太平洋海区调查面积达 $1.15 \times 10^6 \text{ km}^2$,捞取锰结核841.735kg,划分出远景区超过 $27 \times 10^4 \text{ km}^2$;在东太平洋C-C区调查面积约 $8 \times 10^5 \text{ km}^2$,圈出富矿区11块,总面积达 $2.8 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。初步查明C-C和C-P两测区的海底地形特征、沉积物类型、锰结核(壳)类型分布、锰结核的丰度与金属品位等情况,为我国开展深海远洋调查积累

实践经验和申请国际海底多金属结核开辟区提供科学依据。

80年代,国际上在地学领域中开展有代表性并取得重要进展的研究计划主要有:海洋地质的“大洋钻探计划”、“全球海平面观测系统”和“大气-海洋环流研究”;大陆地质的“岩石圈研究计划”、“大陆深部地震反射剖面”和“深钻井与超深钻井”;海陆兼有的“全球大断面计划”、“大气-大陆-海洋系统”和“全球地球科学计划”等国际性重大研究计划,将使地球科学朝天(文)、地(质)、生(物)有机地结合的方向发展。90年代地球科学将再一次迎来革命——建立一门全新的全球“大气圈-水圈-岩石圈-生物圈”系统理论。它必将推动地球科学向前发展。

主要参考文献

- [1] 金性春,1984。板块构造学基础。上海科学技术出版社,281~283。
- [2] 许靖华,1985。地学革命风云录。地质出版社,11~17,101~107。
- [3] 何起祥,1986。古海洋学的新进展。海洋地质动态 12: 1~4。
- [4] 何起祥,1987。深海多金属矿床的研究现状。海洋地质动态 9: 3~5。
- [5] 何起祥,1987。事件沉积学的兴起及其意义。海洋地质动态 4: 1~3。
- [6] 莫杰,1987。对开展我国区域海洋地质调查的初步调研。海洋地质动态 7: 1~3。
- [7] 孔祥瑞,1987。海底热液块状金属硫化物矿床的调查研究概况。海洋地质动态 9: 1~4。
- [8] 叶德燎,1988。全球沉积地质计划简介。地质科技情报 4: 92~94。
- [9] 陈国成,1988。我国海域油气勘探工作评述。海洋地质动态 4: 1~2。
- [10] 沪穗青,1988。地矿部1987年海洋地质科技进展概述。海洋地质动态 5: 1~7。
- [11] 莫杰,1988。地球科学进展信息。海洋地质动态 7: 4~6。
- [12] 唐连江,1988。海洋钻探20年。地质科技情报 1: 9~13。
- [13] 陈友明,1988。八十年代地球科学研究的动向(二)。地球科学信息 3: 28~32。
- [14] 施央申等,1988。地体构造——板块构造研究的最新进展。地球科学信息 3: 33~36。
- [15] 莫杰,1988。海洋地质科技新进展。海洋科学 6: 48~50。