

我国近海地质 与矿产资源

张洪涛 陈邦彦 张海启 主编



我国近海地质与矿产资源

Geology and Mineral Resources in China's Offshore Areas

张洪涛 陈邦彦 张海启 主编

海洋出版社

2005 年 · 北京

图书在版编目(CIP)数据

我国近海地质与矿产资源/张洪涛,陈邦彦,张海启 主编.
—北京:海洋出版社,2005.10
ISBN 7-5027-6534-4

I. 我... II. ①张... ②陈... ③张... III. 近海—
地质调查—中国—文集 IV. P736.52-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 002814 号

责任编辑:杨传霞
责任印制:刘志恒

海洋出版社 出版发行

<http://www.oceanpress.com.cn>

(100081 北京市海淀区大慧寺路 8 号)

北京季蜂印刷有限公司印刷 新华书店发行所经销

2005 年 10 月第 1 版 2005 年 10 月北京第 1 次印刷

开本:880 mm×1230 mm 1/16 印张:25

字数:700 千字 印数:1~1000 册

定价:120.00 元

海洋版图书印、装错误可随时退换

《我国近海地质与矿产资源》

编写委员会

顾 问：李廷栋 秦蕴珊 陈毓川 金翔龙 金庆焕

主 编：张洪涛 陈邦彦 张海启

编 委：(以姓氏笔画为序)

王振宇 石学法 刘保华 许东禹 杨胜雄

肖国林 吴必豪 吴金龙 张训华 张光学

郑玉龙 赵金海 祝有海

统稿组：张洪涛 陈邦彦 张海启 吴必豪 张训华

序

海洋是人类实现可持续发展的重要空间和资源宝库,巨量的海洋资源是解决人类社会面临的人口、资源、环境问题的主要途径之一。

根据1994年生效的《联合国海洋法公约》,我国管辖海域面积约为300万平方千米,相当于我国陆地国土面积的近三分之一,这片广袤而宝贵的“蓝色国土”是我国国民经济和社会可持续发展及对外开放的重要战略领域。它蕴藏着极为丰富的矿产资源,其开发、利用和保护关系到我国未来经济社会的发展。

改革开放以来,随着我国经济社会的快速发展和我国周边形势的变化,人口持续增长,工业化和城市化进程加快,对海洋地质基础资料和对海洋油气为代表的资源开发利用的需求也日益增大。但是,由于起步晚、投资少、技术落后和重视不够等诸多历史原因,我国海洋地质工作程度总体较低,无法满足国家维护海洋主权权益、军事海防、涉海工程建设和沿海地区经济社会可持续发展的需求。无论是海洋区域地质调查,还是海底油气资源和固体矿产资源的勘查评价,到上个世纪末都比发达国家总体水平落后30年以上,也远远落后于我国的陆地地质工作,更遑论其研究水平了。

令人欣喜的是,从“九五”计划开始,国家日益重视对海洋的调查和投入。在21世纪开启之际,有关部门根据有关计划圆满完成了海洋地质调查与矿产资源评价项目的各项任务,作为项目主要成果的总结报告已经出版,获得了2004年度的国土资源科学技术奖一等奖(排名第一),现在出版的该文集属依托本项目的成果之一。这些重要成果5年来已在调查、科研、生产、教学、管理、外交、军事等许多领域得到了广泛、有效的应用,产生了很大的经济效益和社会效益。

从项目总体设计开始到具体实施的每一个阶段,项目牵头单位中国地质调查局和国家海洋局都强调要依靠科技进步、遵循调查与科研紧密结合的技术路线,因此在落实海上调查区各地质地球物理调查任务的同时,部

署了6个课题、32个专题的研究任务。本文集的43篇论文就是在这些课题、专题研究成果基础上撰写的近百篇论文中遴选出来的。研究内容有点有面,点面结合,既从海域大空间尺度上开展综合研究、综合分析,去发现、总结区域上规律性的东西,提升认知程度,又就某个或某些地质问题,如重点、难点、争议点问题进行深入研究,由表及里,溯源求真。由于拥有填补了120万平方千米空白海域的新资料、新数据,和一系列全海区的地质、地球物理新图件,又广泛涉及黄海、东海和南海的地球物理场、地质构造特征、地形地貌、沉积类型与沉积作用,以及海底固体矿产、油气资源和天然气水合物新型能源资源等众多选题,这些研究成果大大提升了调查项目的综合程度和科学水平,其创新性也是显而易见的。

论文作者有老一辈的专家和学科带头人,更多的则是中、青年科技人员,他们代表了我国海洋地质工作的未来和希望。可以肯定的是,这些研究成果必将对推动我国海洋地质调查研究发挥更大的作用。

“文章本天成,妙手偶得之。”借用古人的一句诗,表达我读过这本文集后的高兴心情。是为序。

李延栋

2005年9月28日

目 次

我国海洋地球物理探测技术的发展	陈邦彦 李唐根 杨胜雄(1)
中国东部海域及邻区的几个地学问题	张海启 张训华 孟祥君(7)
黄东海地区及其邻域地质构造单元划分	尹延鸿 汪企浩 张训华 陈正新 肖 菲(14)
东海及邻区重磁场与地质构造特征	高德章 唐 建 薄玉玲(24)
东海区域地质构造单元划分及地质结构特征	曾久岭(37)
冲绳海槽新生代构造演化讨论	赵金海 唐 建 王舜杰(50)
中国东部海区及其邻域活动构造与稳定性研究	张训华 张海启 黄福林 孟祥君(60)
东海南部地球物理特征与资源预测研究	董英君 马开义 薛光琦(68)
冲绳海槽的构造特征及其形成演化	刘保华 郑彦鹏 刘晨光 韩国忠 吴金龙(79)
台湾岛以东海域构造及其板块运动特征	郑彦鹏 刘保华 吴金龙 刘晨光 韩国忠 王揆洋(86)
南海陆坡区地质地球物理特征与成矿地质构造背景	马开义 董英君(93)
南海西部断裂特征及其构造意义	高红芳 白志琳(104)
南黄海表层沉积物元素地球化学特征及沉积动力学意义	陈志华 石学法 王湘芹 刘焱光 孟 毅(110)
东海东北海域沉积物地球化学特征的初步研究	唐保根 张异彪 陈敏娟(121)
东海南部表层沉积物的地球化学分区特征	张异彪 唐保根 陈敏娟(132)
冲绳海槽北段表层沉积物地球化学特征及其物源意义	蒋富清 李安春(138)

冲绳海槽中南部柱状沉积物地球化学特征及其古环境意义	蒋富清 李安春 李铁刚(147)
冲绳海槽南部表层沉积物地球化学特征及其物源和环境指示意义	蒋富清 李安春(155)
冲绳海槽表层沉积物中的钙质超微化石	曹奇原 苍树溪 李铁刚 祝优华(163)
东海大陆架沙脊的形成时代及沉积环境	杨文达 唐保根 王振宇(177)
黄海、东海晚第四纪地层划分、特征及其沉积环境演化的研究	唐保根 陈裕迅 张异彪 杨文达(187)
东海北部陆架晚第四纪层序地层	李西双 刘保华 王揆洋 吴金龙 赵月霞 刘振夏 Serge BERNE(201)
深海沉积物分类与命名初步分析	张富元 林振宏 章伟艳 张霄宇(209)
南海东部海域沉积物粒度分布特征	张富元 章伟艳 杨群慧(217)
南海东部表层沉积物矿物分区及其地质意义	杨群慧 林振宏 张富元 林晓彤 季福武(229)
南海东北部表层沉积物中微体化石的分布及其地质意义	陈荣华 徐建 汪东军 孟翊 刘传联 张富元 章伟艳(238)
南海西部表层沉积物钙质浮游生物分布与碳酸盐溶解	陈芳 李学杰 陈超云 郑凯清 黄雪华(246)
南海东北部表层沉积的孢粉与陆缘植被关系的研究	张玉兰 张卫东 王开发 郑玉龙 华棣 张富元 陈荣华(252)
南海东部海域柱状样沉积物浊流沉积探讨	章伟艳 张富元 张霄宇(259)
南海西部深海平原浊流沉积特征研究	陈芳 李扬 陈超云 王金莲(266)
南海南部海底沉积物古环境演化特征 ——以 97-37 柱状样为例	古森昌 涂霞 颜文 陈忠 郑范 陆钧 罗又郎(271)
南海东部海域晚更新世以来沉积速率、沉积通量与物质组成	章伟艳 张富元 陈荣华 张霄宇(283)
南海东部柱状样沉积物锶同位素变化特征及其研究意义	张霄宇 张富元 章伟艳(291)

南海西部沉积物的物质来源	杨慧宁 陈毓蔚 李 扬 陈 忠 吴必豪(300)
中国海域油气资源潜力及其勘探前景	肖国林(310)
南黄海海域中生代盆地的分布与油气资源远景	蔡 峰 孙 萍 孙和清(315)
南海南部油气资源远景评价	刘宝明 夏 斌 刘振湖(322)
南海天然气水合物找矿远景的地球化学研究	吴必豪 祝有海 张光学 卢振权 张富元 陈邦彦(330)
南海沉积物中烃类气体的地球化学特征及其意义	祝有海 吴必豪 白瑞梅 饶 竹 黄永样 张光学(343)
南海沉积物中的硫酸盐还原带厚度及其对天然气水合物的找矿意义	祝有海(353)
应用沉积物吸附烃指示南海东部油气的研究	卢 冰 张富元 章伟艳 金海燕(359)
南海固体矿产资源与分布	杨慧宁 陈 忠 颜 文 古森昌 吴必豪(368)
南海东部沉积物来源的锶同位素示踪研究	张霄宇 张富元 章伟艳(376)

CONTENTS

Development of Marine Geophysical Exploration Techniques in China

CHEN Bangyan, LI Tanggen, YANG Shengxiong (1)

Some Geoscience Problems in the Eastern Offshore Areas of China and the Adjacent Areas

ZHANG Haiqi, ZHANG Xunhua, MENG Xiangjun (7)

Tectonic Units in the Yellow Sea and East China Sea and Their Adjacent Areas

YIN Yanhong, WANG Qihao, ZHANG Xunhua, CHEN Zhengxin, XIAO Fei (14)

Property of Gravity and Magnetic Field and the Geological Structure of the East China

Sea and Its Adjacent Regions

GAO Dezhang, TANG Jian, BO Yuling (24)

Division of Regional Tectonic Units and Characteristics of Geological Structure in the East

China Sea

ZENG Jiuling (37)

Structural Evolution of the Okinawa Trough in Cenozoic

ZHAO Jinhai, TANG Jian, WANG Shunjie (50)

Active Tectonics and Stability in the Offshore of Eastern China and Its Adjoining Areas

ZHANG Xunhua, ZHANG Haiqi, HUANG Fulin, MENG Xiangjun (60)

Geophysical Characteristics and Mineral Resource Prediction in the Southern East China Sea

DONG Yingjun, MA Kaiyi, XUE Guangqi (68)

Structural Characteristics and Evolution of the Okinawa Trough

LIU Baohua, ZHENG Yanpeng, LIU Chenguang, HAN Guozhong, WU Jinlong (79)

**Plate Movement and Structural Characteristics of the Sea Area East of Taiwan Island,
China**

*ZHENG Yanpeng, LIU Baohua, WU Jinlong, LIU Chenguang, HAN Guozhong,
WANG Kuiyang* (86)

**Geological and Geophysical Characteristics and Ore-forming Setting in the Continental
Slope Area of the South China Sea**

MA Kaiyi, DONG Yingjun (93)

Characteristics of Faults in the Western South China Sea and Their Tectonic Significance

GAO Hongfang, BAI Zhilin (104)

**Geochemical Characteristics and Significance of Sedimentation Dynamics of Surface
Sediments in the Southern Yellow Sea**

CHEN Zhihua, SHI Xuefa, WANG Xiangqin, LIU Yanguang, MENG Yi (110)

**Preliminary Study on the Geochemical Features of the Sediments in the East-northern
Area of the East China Sea**

TANG Baogen, ZHANG Yibiao, CHEN Minjuan (121)

Geochemical Zoning of Surface Sediments in the Southern East China Sea

ZHANG Yibiao, TANG Baogen, CHEN Minjuan (132)

**Geochemical Characteristics of Surface Sediments in the Northern Segment of
the Okinawa Trough and Their Provenance Significance**

JIANG Fuqing, LI Anchun (138)

**Geochemical Characteristics of the E017 Sediment Core from the South-central
Okinawa Trough and Its Paleoenvironmental Significance**

JIANG Fuqing, LI Anchun, LI Tiegang (147)

**Geochemical Characteristics of Surface Sediments of the Southern Okinawa Trough and
Their Significance for Indicating the Provenance and Environment**

<i>JIANG Fuqing, LI Anchun</i>	(155)
Calcareous Nannofossils in Surface Sediments of the Okinawa Trough	
<i>CAO Qiyuan, CANG Shuxi, LI Tiegang, ZHU Youhua</i>	(163)
Formation Age and Sedimentary Environment of the Sand Ridges on the Continental Shelf of the East China Sea	
<i>YANG Wenda, TANG Baogen, WANG Zhenyu</i>	(177)
Study on the Stratigraphic Division and Characteristics and Evolution of the Sedimentary Environments since Late-Quaternary Period in Yellow Sea and East China Sea	
<i>TANG Baogen, CHEN Yuxun, ZHANG Yibiao, YANG Wenda</i>	(187)
Late Quaternary Sequence Stratigraphy in the Continental Shelf of the Northern East China Sea	
<i>LI Xishuang, LIU Baohua, WANG Kuizhang, WU Jinlong, ZHAO Yuexia,</i> <i>LIU Zhenxia, Serge BERNE</i>	(201)
A Preliminary Study of Classification and Nomenclature of Deep-Sea Sediments	
<i>ZHANG Fuyuan, LIN Zhenhong, ZHANG Weiyan, ZHANG Xiaoyu</i>	(209)
Characteristics of Grain-size Distributions of Surface Sediments in the Eastern South China Sea	
<i>ZHANG Fuyuan, ZHANG Weiyan, YANG Qunhui</i>	(217)
Mineral Zoning of Surface Sediments in the Eastern South China Sea and Its Geological Significance	
<i>YANG Qunhui, LIN Zhenhong, ZHANG Fuyuan, LIN Xiaotong, JI Fuwu</i>	(229)
Distribution of Microfossils in Surface Sediments of the Northeastern South China Sea and Their Significance	
<i>CHEN Ronghua, XU Jian, WANG Dongjun, MENG Yi, LIU Chuanlian,</i> <i>ZHANG Fuyuan, ZHANG Weiyan</i>	(238)

**Distribution of Calcareous Plankton and Carbonate Dissolution in Surface Sediments
of the Western South China Sea**

CHEN Fang, LI Xuejie, CHEN Chaoyun, ZHENG Kaiqing, HUANG Xuehua (246)

**Relationship between Sporopollen in Surface Sediments of the Northeastern South China
Sea and Continental – Margin Vegetation**

*ZHANG Yulan, ZHANG Weidong, WANG Kaifa, ZHENG Yulong, HUA Di,
ZHANG Fuyuan, CHEN Ronghua* (252)

**The Characteristics of Turbidity Deposits from Sediment Cores in the Eastern South
China Sea**

ZHANG Weiyan, ZHANG Fuyuan, ZHANG Xiaoyu (259)

**Characteristics of Turbidity Current Deposits in the Abyssal Plain of the Western South
China Sea**

CHEN Fang, LI Yang, CHEN Chaoyun, WANG Jinlian (266)

**Paleoenvironmental Evolution of Sediments in the Southern South China Sea by the
Piston Core NS97 – 37**

*GU Senchang, TU Xia, YAN Wen, CHEN Zhong, ZHENG Fan, LU Jun,
LUO Youlang* (271)

**Sedimentation Rates, Sediment Fluxes and Material Composition in the Eastern South
China Sea since the Late Pleistocene**

ZHANG Weiyan, ZHANG Fuyuan, CHEN Ronghua, ZHANG Xiaoyu (283)

**Study of Systematic Variations and Significance of $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ Ratios in Piston Cores from
Eastern South China Sea**

ZHANG Xiaoyu, ZHANG Fuyuan, ZHANG Weiyan (291)

Material Sources of Sediments in the Western South China Sea

YANG Huining, CHEN Yuwei, LI Yang, CHEN Zhong, WU Bihao (300)

Petroleum Potential and Exploration Prospects in Sea Areas of China

XIAO Guolin (310)

Distribution of Mesozoic Basins in the Southern Yellow Sea and Petroleum Prospects

CAI Feng, SUN Ping, SUN Heqing (315)

Evaluation of Prospects of Petroleum Resource in the Southern South China Sea

LIU Baoming, XIA Bin, LIU Zhenhu (322)

Geochemical Research on Perspectives of Gas Hydrate in the South China Sea

WU Bihao, ZHU Youhai, ZHANG Guangxue, LU Zhenquan,
ZHANG Fuyuan, CHEN Bangyan (330)

Geochemical Characteristics and Their Implications of Hydrocarbon Gases from the Sediments of the South China Sea

ZHU Youhai, WU Bihao, BAI Ruimei, RAO Zhu,
HUANG Yongyang, ZHANG Guangxue (343)

Thickness of Sulfate Reduction Zones in Sediments of the South China Sea and Its Significance for Gas Hydrate Finding

ZHU Youhai (353)

The Use of Absorbed Hydrocarbon in Sediments for Indicating Petroleum in the Eastern South China Sea

LU Bing, ZHANG Fuyuan, ZHANG Weiyan, JIN Haiyan (359)

Solid Mineral Resource and Its Distribution in South China Sea

YANG Huining, CHEN Zhong, YAN Wen, GU Senchang, WU Bihao (368)

Tracing the Source of Sediments in the Eastern South China Sea Using Strontium Isotopes

ZHANG Xiaoyu, ZHANG Fuyuan, ZHANG Weiyan (376)

我国海洋地球物理探测技术的发展

陈邦彦,李唐根,杨胜雄

(广州海洋地质调查局,广州 510075)

摘要: 中国海洋地球物理探测始于 1959 年,迄今开展了 40 余年,大体上可划分为三个阶段:始创阶段;以油气勘探为主的阶段;面向经济建设,服务于资源与环境发展的阶段。文章以我国国土资源系统海洋地质地球物理综合调查为例,概述“九五”以来,海洋重力、磁力、地震等地球物理探测技术取得的长足进步,以及海洋物探工作在油气勘查、区域地质调查、海域深部构造综合研究方面的实际应用效果。

关键词: 中国;海洋;地球物理勘测;高技术

中国海上地球物理调查始于 20 世纪 50 年代末,当时由中国科学院、地质部、石油工业部所属单位协作,组成我国第一个海上地震队,在渤海湾进行了海上人工地震勘探方法的技术试验。从那时算起,弹指间我国海洋物探走过了 40 余年的风雨历程。40 余年间,我国海洋物探从无到有,从小到大,从单一的人工地震法拓展到重、磁、热、电、测井和放射性,以及遥感、视像等综合方法系列。以最具代表性的海洋地震勘探为例,地震仪由光点、机械式到模拟磁带,再发展到全数字化、集成化;相应的勘探技术由二维到三维,由单源单缆到 4 源 8 缆甚至 16 缆;由纵波扩展到多波(横波、转换波)多分量;在处理解释方面,由较完善的数字处理系统发展成物探信息加工、处理、显示全过程的自动拟合图和人机交互解释。

40 余年间,海洋物探工作区域从近到远,从边缘海到大洋、南极;勘探深度从海底深到沉积盆地基底,由地壳层至上地幔、软流圈,构成三维空间的不同尺度、不同目的的勘探组合。海洋物探面向经济建设主战场,得以更广泛更有效的应用,渗透到海洋地质、海洋环境、海洋资源的众多学科。尤其是在我国陆架海域调查并发现渤海、东海陆架、北部湾、珠江口、莺琼和万安等大型油气盆地,在太平洋圈定多金属结核矿区和富钴结壳远景区等,为维护我国海洋权益作出了重大贡献。

40 余年间,海洋物探事业陶冶、锤炼和培育、造就了一批批献身祖国地质、油气、海洋事业的人才。英才辈出,后继有人。承担我国管辖海域地质地球物理调查与研究工作的队伍中的主力、骨干就是一批青年。笔者在“八五”、“九五”期间有幸参加了国家南海海域油气勘查、大洋多金属矿产资源勘查、国家“863”计划海洋领域资源探查与开发技术和我国国土区域海洋地质调查等重要项目,亲身感受到我国海洋物探技术与与时俱进的发展及取得的长足进步。

1 水深探测技术的革命

1925 年诞生了第一台回声测深仪,结束了计测海底铅锤的钢索长度的历史。回声测深仪根据发射的声波信号与从海底返回的声信号间的时间差乘以水中声波传播速度的半值求出水深。水中声速不是定值,而是随海水温度、压力及盐度等的变化而变化。于是,水深测量还需引入声速、潮汐等一系列校正。20 世纪 60 年代出现多波束回声测深仪(SWATH),之后多波束测深技术不断发展,日臻成熟。顾名思义,多波束测深系统能一次给出与航向垂直的平面内几十个甚至上百个海底反射的窄波束及相应点的水深值,或给出一条一定宽度的全覆盖水深条带,所以它能快速精确地测出沿航线左右各一定宽度内海底地形地貌的精细特征^[1]。20 世纪 70 年代中期,美国率先推出 SEABEAM 系统,法、英、德和挪威等先后推出 Hydrochart、Simrad EM 和 Hydrodeep 等系列的多波束

系统,以及 GLORIA 和 SENMARC 海底侧扫声呐系统。配合全球定位系统(GPS)和差分 GPS 为主的综合导航定位技术,保证了测线定位精度达到米级,水深测量误差在 0.2%~0.5% 之间。多波束系统是一套全覆盖、高精度、高效率的海底地形探测系统,集测深与侧扫技术、声呐技术与计算机技术于一体,是 20 世纪 80 年代末以来海底地形探测技术的一次革命^[2]。

我国引进了 SEABEAM-2110 系列、SIMRAD EM950 和 EM3000、SeaBat 9001 和 8001 型及 ATLAS 等 10 余套深、浅水多波束系统,开展了我国广大海域的国土资源与环境调查、近岸和浅海海洋工程勘查以及大洋多金属矿区的地形测量。经过几年实践,特别是在“863”计划海洋领域重点项目“海域地形地貌与地质构造探测技术”(820-01)的技术支撑下,全面掌握了这些技术,在我国 100 余万平方千米的管辖海域内取得了海底地形地貌的全新成果。如在国内外调查研究程度较高的东海冲绳海槽区,我们对其南、中段的多波束资料,用自己开发集成的 SEAMAP 或 MBChart 系统,绘出以往单波束测深无法相比的精密地形图(1:250 000),得出对冲绳海槽构造地貌的新认识,为科学研究、海域管理及资源勘查提供了准确而翔实的资料依据,达到了先进海洋大国的水平。如今,随着多波束探测技术的不断完善,其应用领域在不断扩宽,如河口与海岸带调查、航道测量、大比例尺海底地质填图、天然气水合物调查、海底热液及金属硫化物矿床的调查研究等。

2 海洋重磁测量与卫星测高技术

在海洋地质地球物理调查项目中,海洋重磁调查的面积与工作量均占第二位。布设在黄海、东海和南海有关区块的重磁总工作量各为 131 200 km。国土资源部、国家海洋局、中国科学院和中国石化集团等下属 9 个单位经过 3 年 10 余艘船只近 20 个航次的调查工作,圆满完成了任务,使得黄东海有关区块调查程度达 1:500 000,南海有关区块达 1:1 000 000 的精度。

项目的实施成果,除表现在新编制的 20 幅(1:500 000、1:1 000 000)自由空间重力异常图、布格重力异常图和磁力 ΔT 异常图上,还表明我国海洋重磁调查技术自 20 世纪 90 年代起达到一个新水平,突出地表现在以下几个方面。

2.1 海上重力测量精度普遍提高

由于普遍采用 GPS 和差分 GPS 技术,船只位置的定点精度优于 10 m;以及数字化的重磁仪器性能改善,使海上重力观测精度显著提高。从区块调查资料统计,海上重力观测精度为 $\pm 1.3 \sim 2.2$ mGal;部分区块经过调差消除半系统误差后,精度可提高 0.3~0.5 mGal。海上磁测精度,在黄海、东海及南海陆架区,可优于 $\pm 6 \sim 8$ nT;而在远离陆岸的南海海域,由于难以设立地磁日变观测站,必然影响磁测精度。中国科学院南海海洋研究所根据磁日变规律,提出并实践利用同一纬度上的国内外地磁台的磁日变资料做校正,或用“实时磁测数理统计的磁日变校正”均获得较好效果。

2.2 自主开发出多套海洋重磁处理软件

各单位普遍开发出各有特点的重磁数据处理系统,现场柱状岩芯磁化率测定系统,以及二维、三维重磁异常正、反演解释系统。其中上海石油局、广州海洋地质局开发的“地壳结构重磁地震综合反演技术”(GMSIS),包含重磁内业整理、数据处理、综合反演、3D 正演拟合、图形输出等功能,给出更适于地质解释的格莱尼(Glennie)重力异常^[3]计算流程,值得推广。

2.3 新老资料融合与自动成图技术

本次重磁调查的工作量仅相当于 1995 年以前所拥有资料量的 1/3。各区块面对的一个共同问题,就是如何同化处理不同时间、不同单位、不同仪器、不同精度的新、老资料。在规范与技术规程中做出统一坐标系、统一投影系、统一正常场、统一基点系统的前提下,借助于 GMT、GMSIS、COREL DRAW 等图形编辑系统和例行的调差原则,较成功地解决了这一难题,编制出质量好、色泽均匀并符合规范的数字图件。

2.4 卫星测高技术成果广泛应用

卫星测高技术是1975年以后发展起来的,它为研究全球重力场、海洋表面及内部现象、海底构造等提供了前所未有的途径。对海洋卫星测高数据,可利用大地水准面高与重力异常的数学关系,反解海域重力异常。这可填补地球表面71%海洋水域中上千万平方千米的重力资料空白,原先约需一个世纪才有望完成的全球海洋重力测量,如今几个月就实现了!

由测高数据及海陆重力资料求解重力异常的方法与成果^[4],在南海重力项目中得以应用。

中国地质调查局航遥中心1999年利用卫星测高数据编制出南海重力异常图(1:1 000 000)。中国科学院南海海洋研究所苏达权对比了卫星测高反解的重力异常和实测的重力资料,指出“两者的相关系数达0.98。对2万余点数据逐点对比,对全部实测数据按区块进行分析,求得均方差为 $\pm 4 \sim 5$ mGal”。这与国际上利用测高数据推算的 1×1 重力异常精度达 ± 4 mGal相当。在此基础上,我们新编了南海自由空间重力异常图(1:1 000 000)和布格重力异常图。

3 找油找气的关键技术——数字地震勘探

由于地震勘探的信噪比、分辨率、保真度、精确度、清晰度、可信度高,因此成为油气资源勘探的关键技术。海上地震勘测又有优于陆上地震的作业条件,如日效率高,综合性强,新的勘测设备与技术更新快,易推广。所以,1970—1985年的15年间,基本实现了地震技术的三次跨越式发展。令人欣慰的是光点式、模拟与数字记录三代地震仪器都结出了丰硕成果。1971年采用光点式地震技术发现的北部湾盆地,1977年在涠(涠洲岛)西南1号构造上打出工业油气流;1975年模拟地震仪调查发现了珠江口盆地,1979年8月珠五井打出高产工业油流,日产295.7 m³,实现我国南方找油的重大战略突破;1980年装备了DFS-V型数字地震仪,随即开展了南海北部陆坡和南部海域的油气综合地球物理调查,证实和圈出万安、曾母两个大型含油气盆地。与此同时,东海陆架盆地油气勘探实现重大突破。上海海洋石油局在三维地震资料基础上,进行了油气藏描述、储量计算并提交了储量报告^[5]。

“九五”初期,原地质矿产部石油地质海洋地质局先后引进了“发现”号、“探宝”号数字地震勘探船,配备了LRS-16A数字电缆、LRS-16A数字地震采集系统、四列LRS/TI气枪阵及MicroMax地震后处理子系统等,实现全数字化。1996年起,广州海洋地质调查局在南海南部海域成功地应用了这套系统,所获资料与以往地震资料相比,显示出地震层序特征明显,浅层反射界面连续,断点清晰可靠,中深层信噪比、分辨率明显提高,特别是在压制多次波及其他干扰波方面有较大改善。2002年,“探宝”号船上新装备480道24位数字电缆和5 080、7 560立方英寸两种震源系统。在琼东南盆地和潮汕坳陷实现单船长缆大容量震源的地震采集。与外业设备更新改造的同时,地震资料处理解释手段也相应改观。处理工作由SUN-工作站、服务器组成的FUCUS系统及IES人机联作工作站完成。

补充调查项目在我国管辖海域的一批沉积盆地,开展以地震为主的路线概查或区域剖面调查,虽然工作量有限,但由于采用了全数字地震技术,依然获得“探边、摸底、找构造”的主要地质成果。具体介绍如下。

(1) 查明和证实了南海中建南盆地、南薇西盆地、礼乐盆地、笔架南盆地等的分布特征、沉积特征和构造特征。

(2) 补充地震调查查明,南黄海北部盆地的中生代地层厚度,最大可超过8 000 m,并以中生界为主;这里可能存在古生代、三叠纪海相盆地,有古生界-三叠系、中生界白垩-侏罗系、新生界下第三系三套生油岩系及生、储、盖组合。盆地的东部边界仍向东延伸,可能与韩国群山盆地相通。在东海揭示了台北坳陷基隆凹陷西南段的中新统、渐新统、始新统均以海相地层为主;钓鱼岛隆褶带西南段形成时间晚于东北段,中新统、上新统和第四系主要为喜山中晚期火成岩所组成;冲绳海