

东海

地质与矿产

杨文达 崔征科 张昇彪 主编



海洋出版社

东海地质与矿产

杨文达 崔征科 张异彪 主编

海洋出版社

2010年·北京

内 容 提 要

本书是上海海洋石油局第一海洋地质调查大队近40年来,在东海进行海洋地质、地球物理和油气勘探等调查资料及成果报告的基础上,参考有关文献,经系统总结整理和综合研究撰写而成,是我国当前反映东海地质和矿产资源调查研究内容最为齐全的专著。

全书共十三章,采用由浅层到深层,由地质背景到资源评价的循序渐进方法叙述。分别对东海调查研究简史,水动力条件及周边地质,海底地形地貌,表层和柱状沉积,浅部和深部地层,地球物理场,地质构造,盆地形成机制和演化,油气化探,矿产资源,工程地质和灾害地质等方面都进行了详细论述和理论探讨。涉及领域广泛,内容新颖,具有较高的实用性和学术价值。

本书内容丰富,结构严谨,材料翔实,数据可靠,图文并茂。可供从事海洋地质、地球物理和石油地质等专业技术人员及有关高等院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

东海地质与矿产/杨文达,崔征科,张异彪主编. —北京:海洋出版社,2010.4

ISBN 978-7-5027-7700-5

I. ①东… II. ①杨… ②崔… ③张… III. ①东海-海洋地质-研究 ②东海-海底矿物资源-研究 IV. ①P736.526②P744

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 053613 号

特约编辑:张光威

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>

北京市海淀区大慧寺路8号 邮编:100081

北京画中画印刷有限公司印刷 新华书店发行所经销

2010年4月第1版 2010年4月北京第1次印刷

开本:880mm×1230mm 1/16 印张:50.25

字数:1380千字 定价:218.00元

发行部:62147016 邮购部:68038093 总编室:62114335

海洋版图书印、装错误可随时退换

前 言

1960年,地质部根据国家科委于1956年编制的第一个十二年海洋远景发展规划,在天津塘沽组建了中国第一支海洋地质专业调查队伍——地质部渤海综合物探大队,全队职工193人。1962年更名为地质部第五物探大队,主要承担以寻找海洋石油和天然气资源为主的海洋地质调查任务。创业初期条件十分艰苦,地质人员克服了船舶小,技术装备简陋,调查经验缺乏等困难,利用6年时间(1960—1966年),取得了第一批可贵的地震和重力资料,首次划分了渤海地质构造单元,编写了《渤海地质构造特征及含油气远景初步评价》、《渤海海区地质构造初步研究报告》等一批调查研究成果,并获国家科委重大成果奖。成果报告确定的一批局部构造和含油气远景区多为后来的进一步勘探所证实,为渤海成为我国第一个海上石油生产基地起到了先导作用。

1968年,根据国务院批示第五物探大队迁往上海,开展黄海和东海的调查工作,1970年更名为第一海洋地质调查大队。1973年海洋地质调查局成立,第一海洋地质调查大队归属海洋地质调查局;1989年地质矿产部海洋地质调查局更名为地质矿产部上海海洋地质调查局,第一海洋地质调查大队隶属于上海海洋地质调查局(现为中国石化集团上海海洋石油局)。

1968—1980年间,先后提交了《南黄海物探成果报告》、《南黄海盆地地球物理调查报告》、《南黄海水区地球物理调查及含油气远景评价报告》、《北黄海中部海底地形、沉积物和矿产初步概查报告》、《北黄海中部海区综合地球物理初查报告》、《南黄海西部海底地貌、沉积物图集》等一批调查研究成果。

在完成“渤海创业、黄海练兵”以后,1974年9月14日“海洋一号”调查船首次挺进东海,从而拉开了东海综合地质调查工作的序幕。自1974年至今,第一海洋地质调查大队在 $23^{\circ}\sim 34^{\circ}\text{N}$, $121^{\circ}\sim 132^{\circ}\text{E}$ 海域开展了包括地震、重力、磁力、测深等以油气调查为目的的大规模综合地球物理调查工作,完成了测网为 $32\text{ km}\times 32\text{ km}\sim 64\text{ km}\times 64\text{ km}$ 的概查,测网为 $4\text{ km}\times 16\text{ km}\sim 10\text{ km}\times 32\text{ km}$ 的普查,测网为 $4\text{ km}\times 4\text{ km}\sim 8\text{ km}\times 8\text{ km}$ 及 $2\text{ km}\times 2\text{ km}\sim 4\text{ km}\times 4\text{ km}$ 的详查,完成二维地震测线 12×10^4 余千米;三维地震 617 km^2 ;重力测量 $6.6\times 10^4\text{ km}$;磁力测量 10×10^4 余千米。

同时,为配合油气勘探和开发,还开展了海洋工程地质和环境地质、海洋区域地质以及海洋专项等基础性海洋地质调查工作,共完成井场工程地质调查50多个;1:500 000和1:200 000区域工程地质调查评价4个;浅地层剖面测量 $1.5\times 10^4\text{ km}$;旁侧声呐测量 $0.7\times 10^4\text{ km}$;单波束测深 $31\times 10^4\text{ km}$;多波束测深 15×10^4 余千米;底质

取样 3 000 多个站位;地质浅钻 50 多个。为东海油气勘探和基础地质研究积累了丰富的第一手资料。

由于历史原因以及生产单位调查任务繁重,疏于总结,除部分调查研究成果已公开发表外,大量成果资料未能系统整理公开发表。值此第一海洋地质调查大队建队 50 周年之际,特组织有关科技人员编写本书,以表献礼。其出发点是,试图通过对东海数十年积攒的大量调查研究成果资料进行系统总结,将此推荐给广大读者,让东海的地质成果、矿产资料发挥更大的作用,为我国的现代化建设服务。

本书的主要特点是以实际资料为主,力求能充分反映第一海洋地质调查大队及上海海洋石油局在东海 36 年来获得的实际调查成果,资料真实可靠,论述充分合理。其中,东海地形图中分布广阔并朝长江口方向聚拢的脊槽状地形,是第一海洋地质调查大队集数十年测深资料经统一潮汐改正以后编制而成,深受广大同行关注。东海沉积物类型图资料丰富、内容详细,尤其是长江口区水下沉积物类型的分布,系上海海洋地质调查局的全新世长江水下三角洲调查成果,该成果在有关文献及出版物中被广泛引用。本书系统总结了东海第四纪地层与沉积环境演变、前第四纪地层、地质构造、油气资源、天然气水合物及海底淡水资源等成果。首次对新构造、油气化探、工程地质及灾害地质作了系统阐述。

本书共分十三章。

第一章为调查研究简史,该章重点从基础性海洋地质调查、海洋工程地质调查和海洋油气等矿产资源调查三方面,介绍了本书编写单位的调查研究历史和主要成果;

第二章为自然地理与海洋水文及周边地质概况,该章是后续各章的基础,它概略介绍了东海的自然地理环境,与沉积作用有关的海洋水文条件及海流流场特征以及与东海盆地发育有关的周边地质简况;

第三章为海底地形地貌,该章基础资料是本书编写单位编制的东海地形图、地貌图和历年的海洋地质基础调查研究成果;

第四章为表层沉积,从表层沉积物类型、特征及分布格局的控制因素,碎屑矿物及黏土矿物,沉积物化学成分和微量元素,微体古生物和孢粉等方面叙述了东海表层沉积物的沉积环境和分布特征;

第五章为柱状沉积及其地层学意义,根据东海海区 5 个区域地质调查报告的柱状取样资料,组合成多条剖面,从沉积物颗粒组分特征,碎屑矿物及黏土矿物、沉积物化学常量和微量元素、微体古生物和孢粉等方面,详细总结了海底下 3~4 m 深度内沉积物在垂向上和横向上的变化特征及其地层学意义;

第六章为第四纪地层层序与沉积环境演变,在对东海地区浅地层剖面全面研究解释的基础上,结合全区 21 个孔深 30~50 m 的浅孔资料和 25 个石油钻孔资料,进行了东海第四纪地层层序与沉积环境演变的系统论述;

第七章为地球物理场特征,本章根据长期积累的研究成果,详细总结了东海重磁场和地震波场的基本特征及其地质学意义,是研究东海地层、地质构造、盆地演化及油气藏等矿产资源分布的基础性资料;

第八章为前第四纪地层,本章从东海陆架盆地、冲绳海槽弧后盆地和钓鱼岛岩浆岩带三大区块,分述了前第四纪地层特征;

第九章为构造与岩浆岩,本章重点介绍了东海的地质构造分区、基底性质、盖层构造、构造运动与新构造、岩浆岩及变质岩等新成果;

第十章为东海盆地成因机制和演化,该章从板块理论出发,对东海陆架盆地和冲绳海槽盆地的成因与演化作了理论探讨;

第十一章为油气地球化学勘探,本章为油气勘探的方法之一,重点介绍了油气地球化学场特征与异常特征,并对异常区块进行了油气资源远景评价;

第十二章为矿产资源远景评价,本章总结了东海数十年地质勘探获得的主要矿产成果,对石油天然气、滨海砂矿、天然气水合物、海底淡水等矿产资源的分布特征及远景进行了评价;

第十三章为工程地质与灾害地质,本章根据东海区域工程地质调查成果和 50 多个井场工程地质调查资料,阐述了东海陆架的工程地质条件和有可能存在的地质灾害因素,并分析了典型工程地质问题,可为东海油气勘探开发和海洋工程建设提供重要参考依据。

本书前言由杨文达、崔征科编写;第一章由杨文达、王振宇编写;第二章由杨文达编写;第三章由陈裕迅、王振宇编写;第四章至第六章由唐保根编写;第七章由杨文达、赵金海、王舒畋编写;第八章由赵金海编写;第九章由王舒畋、赵金海编写;第十章由赵金海编写;第十一章由王振宇编写;第十二章由王振宇、赵金海编写;第十三章由张异彪编写。文字处理由汪培莉完成,图件计算机清绘由汪培莉、李斌、施健、胡津荧、戴顺翔、唐松华完成,本书最后由杨文达、王振宇统一修改定稿。

本专著所应用的资料是第一海洋地质调查大队包括上海海洋石油局几代人数十年集体劳动的成果,是集体智慧的结晶。本书在立项和编写过程中得到刘望军局长助理及第一海洋地质调查大队各级领导的大力支持和指导,在此一并致谢。

东海资料十分浩繁,涉及的专业面很广。由于时间仓促及篇幅限制,加之作者水平不高,错漏、不妥和谬误之处在所难免,敬请广大读者批评指正!

杨文达 崔征科

2010 年 3 月

目 录

第一章 调查研究简史	(1)
第一节 基础性海洋地质调查	(1)
一、区域地质调查	(1)
二、1:1 000 000 区域地质编图	(8)
三、国家专项海洋地质调查	(10)
第二节 海洋工程地质和环境地质调查	(15)
一、海洋区域工程地质调查	(15)
二、井场和锚地工程地质调查	(18)
三、近海及沿海地区建设项目工程地质调查	(20)
第三节 油气资源调查	(22)
一、油气物探和钻探调查	(22)
二、油气化探调查	(29)
第四节 国内外有关单位调查研究历程	(33)
第二章 自然地理与海洋水文及周边地质概况	(39)
第一节 自然地理	(39)
一、地形地貌	(40)
二、海岸与岛礁	(41)
三、主要入海大河	(41)
四、气象环境	(42)
第二节 海洋水文	(44)
一、海水温度及盐度	(44)
二、潮汐与潮流及海流	(46)
三、波浪	(50)
第三节 周边地质	(51)
一、区域地层	(51)
二、岩浆岩及其分布	(56)
三、断裂构造	(60)
第三章 海底地形地貌	(65)
第一节 海底地形	(65)
一、大陆架地形	(66)
二、大陆坡(冲绳海槽西坡)地形	(72)
三、冲绳海槽地形	(72)
四、琉球岛弧西侧岛坡(冲绳海槽东坡)地形	(73)
第二节 海底地貌	(74)
一、地貌分类	(75)
二、大陆架地貌类型与特征	(76)

三、大陆坡(冲绳海槽西坡)地貌类型与特征	(84)
四、冲绳海槽地貌类型与特征	(87)
五、琉球岛弧地貌类型与特征	(91)
第三节 海底地貌成因机制	(92)
一、大陆架地貌成因	(92)
二、过渡带地貌成因	(95)
第四章 表层沉积	(97)
第一节 表层沉积物	(97)
一、表层沉积物类型及特征	(97)
二、表层沉积物分布格局的控制因素	(108)
第二节 矿物学	(110)
一、碎屑矿物	(110)
二、黏土矿物	(120)
第三节 沉积物地球化学	(128)
一、常量元素	(128)
二、微量元素	(148)
第四节 沉积物古生物	(164)
一、生物介壳	(164)
二、钙质超微化石	(168)
三、有孔虫	(176)
四、孢粉	(190)
第五章 柱状沉积及其地层学意义	(194)
第一节 沉积物类型及垂向分布	(194)
一、东海西部海区	(194)
二、东海东部海区	(203)
三、冲绳海槽海区	(210)
第二节 矿物成分	(213)
一、碎屑矿物	(213)
二、黏土矿物	(223)
第三节 地球化学	(226)
一、常量元素	(226)
二、微量元素	(230)
三、元素地球化学控制因素	(239)
第四节 微体古生物	(240)
一、有孔虫与介形虫	(240)
二、钙质超微化石	(253)
三、孢粉组合	(259)
第五节 柱状沉积物地层时代的讨论	(265)
一、东海西部海区	(265)
二、东海东部海区	(266)
三、冲绳海槽海区	(269)
第六章 第四纪地层层序与沉积环境演变	(272)

第一节 浅地层剖面层序划分及其地质解释	(272)
一、东海西部海区	(274)
二、东海东部海区	(281)
第二节 第四纪地层层序及其特征	(290)
一、地层划分	(290)
二、典型钻孔剖面	(291)
三、区域地层对比	(310)
四、第四纪地层层序	(317)
第三节 第四纪沉积环境演变	(323)
一、东海陆架区	(323)
二、冲绳海槽海区	(325)
第七章 地球物理场特征	(327)
第一节 重磁场	(327)
一、西区	(330)
二、中区	(330)
三、东区	(330)
第二节 重磁异常综合解释	(331)
一、西区重磁异常及综合解释	(331)
二、中区重磁异常及综合解释	(341)
三、基底结构与重磁异常	(342)
四、莫霍面构造特征	(342)
第三节 地震波场	(343)
一、地震波反射特征及层序划分	(343)
二、地震层序面及层序的地质属性	(349)
三、地震波速度特征	(351)
第四节 海底热流分布	(364)
一、我国东部海区及周边海底热流	(364)
二、我国在东海海区海底地热流测量	(366)
三、冲绳海槽热流	(367)
第八章 前第四纪地层	(370)
第一节 东海陆架盆地	(370)
一、元古界(Pt)	(370)
二、中生界(Mz)	(371)
三、新生界(Kz)	(374)
第二节 冲绳海槽弧后盆地和钓鱼岛岩浆岩带	(389)
第九章 构造与岩浆岩	(390)
第一节 构造分区	(390)
一、浙闽隆起区	(391)
二、东海陆架盆地	(392)
三、钓鱼岛隆起带	(405)
四、冲绳海槽盆地	(406)
第二节 东海基底的性质与结构	(408)

一、新生代沉积基底	(409)
二、中、新生代复合盆地基底	(412)
第三节 盖层的结构、构造类型与构造圈闭	(415)
一、结构	(415)
二、构造类型及其成因	(418)
三、构造圈闭(局部构造)及其形成机制	(424)
第四节 断裂构造	(433)
一、断裂的展布特征	(434)
二、断裂性质	(434)
三、断裂的分级及主要的断裂构造	(439)
第五节 构造运动与新构造	(449)
一、构造运动	(449)
二、新构造与新构造活动的表现形式	(455)
三、新构造活动的特点	(463)
四、新构造分区	(465)
第六节 岩浆岩与变质岩	(467)
一、岩浆活动期次	(467)
二、岩浆岩与变质岩的岩石学与岩石化学特征	(475)
三、岩浆岩的分布规律及岩浆活动的特征与活动时代	(481)
第十章 东海盆地成因机制和演化	(488)
第一节 东海中、新生代以来的动力学背景	(488)
第二节 东海陆架盆地演化的动力学特征	(490)
一、陆架盆地西部凹陷带	(490)
二、陆架盆地东部凹陷带	(492)
第三节 冲绳海槽盆地成因机制探讨	(493)
一、冲绳海槽的地质特征	(495)
二、太平洋板块向欧亚板块俯冲所产生的火山弧	(496)
三、关于冲绳海槽形成时间和机制的初步讨论	(496)
第十一章 油气地球化学勘探	(502)
第一节 化探指标及其数据	(502)
一、化探指标及其地质意义	(504)
二、主要化探指标丰度和数据结构	(507)
三、化探指标筛选及干扰因素抑制	(511)
四、异常下限的求取(背景值的确定)	(515)
第二节 区域地球化学场和异常分布	(517)
一、化探指标平面分布	(517)
二、化探指标剖面分布	(558)
第三节 井下油气化探	(572)
一、井下化探指标的选择	(572)
二、烃含量分布的影响因素	(572)
三、井下化探指标丰度特征	(575)
四、油气层的判别	(583)

五、烃类垂向运移机制	(588)
六、井下化探与表层沉积物化探之间的关系	(589)
第四节 综合化探异常特征及地质分析	(590)
一、综合化探异常特征	(590)
二、化探异常综合地质分析	(593)
第五节 化探异常区块油气远景预测与评价	(594)
一、化探异常综合评价原则	(594)
二、化探异常区块油气远景预测	(595)
三、含油气性质预测	(597)
四、油气远景评价	(598)
第十二章 矿产资源远景评价	(600)
第一节 石油天然气资源	(600)
一、陆架盆地新生界油气成藏地质条件	(600)
二、陆架盆地新生界油气藏分布及油气特征	(613)
三、陆架盆地新生界含油气系统分布及其成藏前景	(614)
四、陆架盆地中生界油气成藏地质条件	(617)
五、冲绳海槽弧后盆地油气成藏地质条件	(618)
六、油气资源远景评价	(619)
第二节 砂矿资源	(629)
一、滨海砂矿	(629)
二、浅海砂矿	(638)
第三节 冲绳海槽热液矿产资源	(646)
一、热液沉积物分布及特征	(647)
二、热液矿产资源初步评价	(651)
第四节 冲绳海槽天然气水合物资源	(653)
一、调查研究现状	(654)
二、成矿地质背景	(655)
三、成矿标志分析	(657)
四、天然气水合物资源远景预测	(667)
第五节 海底淡水资源	(671)
一、海底找水地质依据	(672)
二、海底水文地质调查	(677)
三、海底淡水资源初步评价	(686)
第六节 海底煤层、浅层气、泥炭及 CO ₂ 资源	(687)
一、海底煤层	(687)
二、浅层气	(689)
三、泥炭	(691)
四、海底 CO ₂ 资源	(691)
第十三章 工程地质与灾害地质	(696)
第一节 东海西部海域工程地质与灾害地质	(697)
一、工程地质层的划分及其工程地质特性	(700)
二、灾害地质因素	(703)

三、工程地质条件分区及其评价	(707)
第二节 东海西湖凹陷中南部海域工程地质与灾害地质	(712)
一、工程地质层的划分及其工程地质特性	(712)
二、灾害地质因素	(721)
三、工程地质分区及其评价	(732)
第三节 东海西湖凹陷中北部海域工程地质与灾害地质	(738)
一、工程地质层的划分及其工程地质特性	(738)
二、灾害地质因素	(741)
三、工程地质分区及其评价	(745)
第四节 东海陆架典型工程地质问题	(748)
一、与移动式石油钻井平台有关的地基承载力和锚固力问题	(749)
二、海底斜坡稳定性问题	(761)
三、砂土液化问题	(766)
四、冲刷与海底管道稳定性问题	(769)
五、浅层气问题	(772)
参考文献	(776)

第一章 调查研究简史

东海作为我国大陆与西北太平洋之间的边缘海,不但地理位置十分重要,而且还蕴藏着丰富的海底矿产资源,是国民经济发展的巨大宝库。早在 20 世纪 30 年代以前,人们就开始收集积累东海的水深和底质等方面的资料,谢帕德等首次编制了中国海沉积物略图(Shepard F P, 1932)。20 世纪 60 年代初,埃默里与新野弘根据日本渔船的实测资料,编制了东海沉积物类型图,论述了东海陆架的底质分布,划分了东海沉积物类型,并提出了东海外陆架的砂质沉积物是晚更新世冰期低海面时的残留沉积物之概念(Emery K O, Hiroshi Niino, 1961)。

我国著名的地质学家李四光先生,从他开创的地质力学角度出发,提出了东亚大陆边缘存在着 NNE 向延伸并相间排列的 3 个隆起带和 3 个沉降带,即新华夏构造体系的论述。东海则是第一沉降带中的一个盆地,并且认为东海盆地有可能存在有经济价值的沉积物,从而为我国东部海区开展油气勘探工作奠定了理论基础。

我国对东海的地质调查始于 1970 年。1973 年 4 月地质部海洋地质调查局(现为上海海洋石油局)的成立,标志着东海以石油天然气为主的大规模海洋地质调查拉开了序幕。

东海地质调查研究按专业可分为三大类:一是基础性海洋地质调查(包括区域地质、地质编图、国家专项等);二是工程地质环境地质调查(包括区域工程地质、井位工程地质、项目工程地质等);三是海底矿产资源调查(包括固体矿产、油气资源、天然气水合物等)。

本章首先重点介绍上海海洋石油局和第一海洋地质调查大队在东海开展海洋地质调查研究的概况,然后再介绍国内外有关单位在东海进行海洋地质调查研究的历程。

第一节 基础性海洋地质调查

一、区域地质调查

海洋区域地质调查是一项调查范围较大,调查周期较长,调查项目及手段较多,涉及课题内容较广,科研成果较丰富和服务对象较全面的海洋地质综合性、战略性及基础性调查。根据海洋地质调查规范的规定,其测线及测点密度,必须满足不同调查比例尺的要求。自 1972 年以来,分别对东海北部、长江现代三角洲、东海西部、冲绳海槽、上海市海岸带和东海岛屿等地区开展了海洋区域地质调查,现分述如下。

(一) 东海北部(包括南黄海西部)海洋地质调查

1972—1979 年期间,对东海北部及南黄海西部海域 $32^{\circ}00' \sim 37^{\circ}00'N$, $123^{\circ}00'E$ 以西至岸边范围内开展了海洋地质调查,调查面积约 $130\,000\text{ km}^2$,调查网距一般为 $10\text{ km} \times 10\text{ km}$,近岸地区加密至 $5\text{ km} \times 5\text{ km}$ 。共完成测深剖面 $16\,138\text{ km}$,沉积物取样站位 $2\,385$ 个(其中表层样为 $2\,122$ 个,柱状样为 263 个)。对沉积物样品分别进行了粒度、矿物、化学、光谱、微体古生物(有孔虫、介形虫)、孢粉、藻类、生物贝壳、差热、X 光衍射、电子探针、电子显微镜、氧碳稳定同位素、 ^{14}C 测年和物理力学性质等项目的分析测定。在对大量现场实物资料和实验室分析测试数据进行综合分析研

究的基础上,编制了各种地质图件。并于1977年提交了“南黄海西北部海底地形地貌、沉积物和矿产概查报告”^①;1979年提交了“南黄海西南部海底地形地貌、沉积物和矿产概查报告”^②。在上述调查报告的基础上,于1983年分别编制了“南黄海西部海底地貌沉积物图集和说明书”、“1:500 000 青岛幅、南通幅沉积物类型图”、“1:500 000 南黄海西部海底地形图”^③。通过上述各项工作,取得的主要成果如下:

1. 利用实际调查资料首次编制了1:500 000 南黄海西部海底地形图和地貌图。根据成因、形态划分海底地貌类型的原则,该区共划分出9个一级地貌单元,又依据外营力作用方式和强度的不同以及外部形态上的差异,进一步划分出二级地貌类型和不同的地貌形态。其中对苏北浅滩和潮流辐射沙脊群的地形地貌特征、塑造过程和形成机制、发展趋势和演变前景等方面进行了详细阐述和研究,这对我国近海现代潮流沙体的研究和苏北海岸带的开发利用都有重要的理论和现实意义。

2. 利用实际调查资料,首次编制了1:500 000 南黄海西部海底沉积物类型图和自由分幅的青岛幅、南通幅沉积物类型图。根据谢帕德沉积物分类命名法将本区划分为12种沉积物类型,为第二次修订海洋调查规范中沉积物分类命名提供了充分的依据。

3. 对该区海底沉积物类型的分布、组成成分、沉积物分区、沉积环境和沉积作用、晚更新世以来地层发育和古地理演变、有用矿物异常区的划分与评价等方面都作了比较详细的研究和论述。

4. 对海州湾外侧钙质结核的分布、形态特征、组成成分、形成时代等方面进行了详细的测定与研究,纠正了前人认为是海底砾石的认识。钙质结核的形成机制和物质基础为晚更新世玉木间冰期古黄河所携带的富钙物质入海沉积,并保存有较多的生物贝壳和泥质团块。在晚玉木冰期海退过程中,海底逐渐成陆,处于一种长期风化剥蚀阶段,在蒸发作用和冲淡水淋滤作用及地下水毛吸管上升作用下,于地表之下一定的深度形成钙质结核。因此,钙质结核为陆相成因,其形成时代大约25~15 ka BP之间。在晚更新世晚期最低海面之后的海进过程中,由于海平面停留形成不同时期的古海岸线,在其外侧强烈的水动力作用对海底进行侵蚀,结果把钙质结核暴露于海底表面或海底较浅的部位。进入全新世冰后期,由于海面继续上升,并受各种因素控制,现代沉积作用微弱,使钙质结核被海水淹没并得以保存。

5. 海州湾外侧及南黄海西部的中部大片分布的砂质沉积,认为是晚更新世晚期和全新世早期的海进型残留砂,形成时代大约12.5~8 ka BP之间。苏北浅滩及潮流沙脊群地区的砂质沉积,其物质基础为古代和近代长江三角洲、黄河三角洲沉积体,后在特殊的海湾地形边界条件下,经复杂的海洋水动力条件(潮流、沿岸流、波浪等),在海水辐聚(壅水)和辐散(射流)的反复作用下,对海底不断冲刷侵蚀扰动,对沉积物不断淘洗粗化,因此,在该区形成现代大面积分布的潮流砂体。

(二) 现代长江水下三角洲海洋地质调查

长江贯穿中国大陆腹地,长江三角洲位于我国海岸线的中点,随着经济发展增长,长江水下三角洲地区海洋地质资料的调查和应用研究显得十分迫切。

过去长江三角洲陆地部分地质调查研究单位甚多,各种成果报告、研究专著和论文硕果累累。但水下部分因受各种条件限制,调查资料和成果相对较少,往往缺乏系统性,尤其是对长江口外深水区域更是如此。

1978—1983年上海海洋地质调查局对长江三角洲水域部分开展了系统的海洋地质调查,在

① 第一海洋地质调查大队. 1977. 南黄海西北部海底地形地貌、沉积物和矿产概查报告.

② 第一海洋地质调查大队. 1979. 南黄海西南部海底地形地貌、沉积物和矿产概查报告.

③ 上海海洋地质调查局. 1983. 南黄海西部海底地貌沉积物图集和说明书, 1:500 000 青岛幅、南通幅沉积物类型图, 1:500 000 南黄海西部海底地形图.

30°00′~32°00′N, 124°00′E 以西至长江口沿岸地区,面积约 $4.5 \times 10^4 \text{ km}^2$ 范围内,进行了近万千米测深和 590 个表层样和柱状样的采集和室内鉴定分析工作。特别是在 1982—1983 年期间,在该区开展了浅地层剖面和地质浅钻相结合的综合调查,布置浅地层剖面主测线和 NE—SW 向联络测线 3 300 km;第四纪地质钻孔 5 个,孔深 40~50 m;柱状取样 51 个,取样长度 2~4 m;沿岸陆区第四纪地质钻孔 1 个(“长江一号”孔),进尺为 344.69 m。对所获得的沉积物和岩芯样品,进行了粒度、矿物、化学、光谱、孢粉、有孔虫、古地磁、差热、X 光衍射、扫描电镜、 ^{14}C 年龄等项目的分析鉴定。在上述各种调查资料的基础上,结合沿岸陆区有关资料和文献,于 1985 年编写了《长江水下三角洲调查研究报告》^①;1987 年上海海洋地质调查局与江苏省地矿局、浙江省地矿局、上海市地矿局合编了《长江三角洲地区水文地质工程地质综合评价报告》^②;1996 年由地质出版社出版了《中国三角洲沉积地质学丛书》中的《长江三角洲沉积地质学》专著(黄慧珍等,1996)。通过上述各项调查和研究,得出主要成果如下。

1. 长江水下三角洲地形地貌可划分为 4 个单元,即:①水下三角洲平原,从里向外可细分为浅水平台、前缘斜坡和前三三角洲;②晚更新世古长江三角洲;③杭州湾河口湾堆积平原;④苏北琼港潮流辐射状沙脊群。

2. 对长江水下三角洲沉积物类型和分布特征,沉积物的粒度、矿物、化学、微体古生物等物质组成成分,沉积结构和构造特征,沉积环境和沉积作用等方面进行了比较详细的论述。

3. 对长江水下三角洲晚更新世晚期以来地层进行了划分和特征描述,从下至上可划分为:晚更新统上组余山组(Q_3^s)、全新统下段鸡骨礁组(Q_4^j)、全新统中段大戟山组(Q_4^d)和全新统上段嵎四组(Q_4^c)。

通过对浅地层剖面资料对比解释,划分为 3 个反射界面和 4 个反射波组,第 I 反射波组相当于全新统中、上段,第 II 反射波组相当于全新统下段,第 III 反射波组相当于晚更新统余山组,第 IV 反射波组相当于前第四纪岩浆岩。此外,还首次编绘了长江水下三角洲全新统等厚度图,总体上全新统地层厚度自西向东逐渐减薄,至 123°50′E 附近开始趋于尖灭,在长江古河道内厚度也减薄,为 0~5 m 左右。在长江口北支口门处,厚度最大,可达 65 m。

4. 对长江河口变迁、水下三角洲沉积作用、沉积相特征和模式进行了研究。认为长江河口随海平面升降不断变迁,总的规律为海平面下降河口外延,伴随南偏;海面升降河口退缩,伴随北偏。15 ka BP 左右,长江河口在 29°00′N, 126°30′E 附近入海,7 ka BP 左右,河口退缩至扬州附近入海,冰后期高海面以来,河口总趋势呈现向南偏转之势,呈雁行状分期入海。

5. 对长江三角洲形成演化史进行了探讨。根据晚更新世晚期以来所发生的地质事件,探讨了长江三角洲的形成、发育、废弃的演化历史。25~10 ka BP 时期为晚更新世晚期长江过境河流侵蚀阶段;10~7.5 ka BP 时期为全新世早期退积型三角洲形成阶段;7 500~2 500 a BP 时期为全新世中期加积—进积三角洲形成阶段;2 500 a BP 以来为全新世晚期进积三角洲形成阶段。

6. 在对长江三角洲地形地貌、沉积和演化研究的基础上,落实到实际应用方面的地质问题主要有:①长江三角洲冲淤变化与土地资源的保护和围垦;②沿岸港口码头的选址与开发利用;③海域长江古河道淡水资源的寻找与开发利用;④水下工程地质条件的分区与评价;⑤海底灾害地质类型与防御措施。

(三) 东海西部海洋地质综合调查

为了配合东海油气普查勘探和开发工作,并满足沿岸地区国民经济建设和开展海洋地质基础

① 地质矿产部海洋地质综合研究大队. 1985. 长江水下三角洲调查研究报告(初稿).

② 江苏省地矿局,浙江省地矿局,上海市地矿局,地质矿产部上海海洋地质调查局. 1987. 长江三角洲地区水文地质工程地质综合评价报告.

研究的需要,地质矿产部上海海洋地质调查局相继在 1978—1988 年期间,在东海西部海域开展了海底地形地貌、沉积物和工程地质调查。其调查范围为 $26^{\circ}00' \sim 32^{\circ}00' \text{N}$, $124^{\circ}00' \text{E}$ 至大陆岸线,面积约为 $17.4 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。调查比例尺基本上按 1:500 000 区域海洋地质调查要求进行。底质取样站位密度基本上为 $10 \text{ km} \times 10 \text{ km}$,在近岸地区可达 $4 \text{ km} \times 5 \text{ km}$,外海地区则为 $20 \text{ km} \times 20 \text{ km}$ 。地球物理调查测线在长江口海域主测线方向为 $90^{\circ} \sim 120^{\circ}$,联络测线方向为 $0^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 呈扇形向东南展布,测网间距为 $(10 \sim 20) \text{ km} \times 30 \text{ km}$;在杭州湾海域主测线方向为 0° ,联络测线方向为 90° ,在舟山及温东海域主测线方向为 300° ,联络测线方向为 30° ,测网密度一般为 $20 \text{ km} \times (20 \sim 40) \text{ km}$,温东海域放宽到 $40 \text{ km} \times 90 \text{ km}$ 。近岸工程地质调查比例尺为 1:25 000 ~ 1:50 000,测网密度为 $(250 \sim 500) \text{ m} \times (250 \sim 1\,000) \text{ m}$ 。井位和锚地工程地质调查比例尺为 1:10 000,测网密度一般为 $(100 \sim 200) \text{ m} \times 500 \text{ m}$ 。并布置了适量地质钻孔用于浅地层剖面的解释对比,井位调查钻孔一般布置在设计井位中心点上。

东海西部海洋地质综合调查所使用的仪器设备及精度见表 1-1;实际调查和样品分析测试所完成工作量见表 1-2。

表 1-1 调查工作使用的仪器设备及精度

调查方法	使用仪器	精度	备注
测深	Lesp—Ⅲ型测深仪、LAZ—17KD 万米测深仪、681 型测深仪	水深的 1% ~ 2%	1984 年前使用
	日制 PS—10 型小型精密回声测深仪	$\pm 3 \text{ cm} \pm \text{深度}/1\,000$	1984 年后使用
	联邦德国 DESO—20 型测深仪	$\pm 0.12\% \pm 1.5 \text{ cm}$	
定位	六分仪	一般小于 400 m	1984 年前使用
	航测 I 型无线电导航定位系统	小于 50 m	
	MX1107 卫星导航定位系统	小于 20 m	
	福康 484 微波测距仪	$\pm 2 \text{ m}$	1984 年后使用
	阿戈(Argo)—玛西兰(MAXIRAN)定位系统	阿戈: $\pm 5 \sim \pm 10 \text{ m}$;玛西兰:60 km 内为 5 m,超过 60 km,每增加 10 km,误差递增 1.5 m	
旁侧声呐	K—MAPS—531 型声呐扫描系统	工作频率 100 kHz,单侧扫距 50 ~ 300 m	1982 年引进
浅地层剖面	EG&G 公司 UNIBOOM—230 浅地层剖面仪	穿透深度 10 ~ 100 m,分辨率 0.2 ~ 5 m	1982 年引进
	O. R. E 公司 Geopulse 浅地层剖面仪	穿透深度 10 ~ 120 m,分辨率 0.2 ~ 0.5 m	1985 年引进
底质取样	表层样:曙光 HNM1—2 型(大洋 50)采泥器	开口面积 0.10 m^2	
	柱状样:振动活塞取样器	取样长度一般为 3 ~ 4 m	
磁法	CHHK—I 型与 II 型海空核子旋进磁力仪	0.1 Gal	
钻探	CJ—1 ~ CJ—5 孔由浙甬机 2 号船施工,采用油压 600 型钻机,回旋式钻进	孔径 110 mm,岩芯采取率大于 67%	1983 年在长江水下三角洲施工
	QZ501 孔、QZ504 孔及井位、锚地工程地质调查中施工钻孔均由勘 407 轮完成,采用汽车钻机、锤击法、绳索取芯	孔径不小于 75 mm,岩芯采取率一般大于 60%	1983 年、1985 年、1986 年施工

在海上调查所获得的大量实物、记录资料和样品分析测试数据的基础上,经过整理统计、处理解释、分析研究和图件编制,于 1989 年编写了《东海西部海洋地质综合调查报告》、《1:500 000 上海幅、宁波幅、温州幅沉积物类型图》、《1:1 000 000 东海海底地形图》和《1:2 000 000 东海海底地

貌图》^①。通过上述各项工作,所取得的主要成果如下。

表 1-2 东海西部实际调查与样品分析测试完成工作量

序号	项 目	单位	数 量	测试单位	备 注
1	调查总面积	km ²	174 000		
2	取样站位总数	个	1 040		
3	表层取样站位数	个	645		
4	柱状取样站位数	个	395		
5	地质钻孔数及进尺	个	7 个/301.85 m		
6	工程地质钻孔数及进尺	个	10 个/269.68 m		
7	浅地层剖面测量	km	9 016		电火花试验 380; 工程地质调查 2 500
8	旁侧声呐扫描	km	2 000		
9	测深	km	80 000		
10	锚地井位工程地质调查	个	7		
11	平台测流站位	个	7		
12	沉积物粒度分析(常规)	个	2 333	上海海洋地质调查局实验室	其中钻孔样 175
13	沉积物粒度分析(1/4φ)	个	104	上海海洋地质调查局实验室	其中钻孔样 42
14	碎屑矿物鉴定	个	721	上海海洋地质调查局实验室	其中钻孔样 85
15	黏土矿物差热分析	个	159	无锡石油中心实验室	
16	黏土矿物 X 衍射分析	个	53	无锡石油中心实验室	
17	黏土矿物电镜扫描	个	7	无锡石油中心实验室	
18	沉积物常量元素分析	个	274	上海海洋地质调查局实验室, 南京中心实验室	其中钻孔样 37
19	沉积物微量元素分析	个	184	南京中心实验室	其中钻孔样 43
20	有孔虫分析鉴定	个	608	上海海洋地质调查局实验室, 中国地质科学院地质所	其中钻孔样 178
21	介形虫分析鉴定	个	361	上海海洋地质调查局实验室, 中国地质科学院地质所	其中钻孔样 178
22	孢粉分析鉴定	个	420	上海海洋地质调查局实验室, 中国地质科学院地质所及正定水文所	其中钻孔样 192
23	钙质超微化石分析鉴定	个	261	中国地质科学院地质所	其中钻孔样 161
24	硅藻分析鉴定	个	53	中国地质科学院地质所	全为钻孔样
25	古地磁测量	个	282	中国地质科学院力学所	其中钻孔样 84
26	¹⁴ C 年代测定	个	9	中国地质科学院桂林岩溶所	其中钻孔样 1
27	生物贝壳鉴定	个	161	上海自然博物馆	其中钻孔样 43
28	稳定同位素 δ ¹⁸ O 分析	个	2	无锡石油中心实验室	样品为钙质结核
29	土工试验样	个	61	同济大学	

1. 对东海西部海底地形地貌特征进行了全面阐述,并根据成因、形态的分类原则划分了不同的地貌类型。尤其对全新世长江水下三角洲的边界、东海陆架古河口湾及潮流沙脊群、断陷洼地

^① 第一海洋地质调查大队. 1989. 东海西部海洋地质综合调查报告; 1: 500 000 上海幅、宁波幅、温州幅沉积物类型图; 1: 1 000 000 东海地形图; 1: 2 000 000 东海海底地貌图。