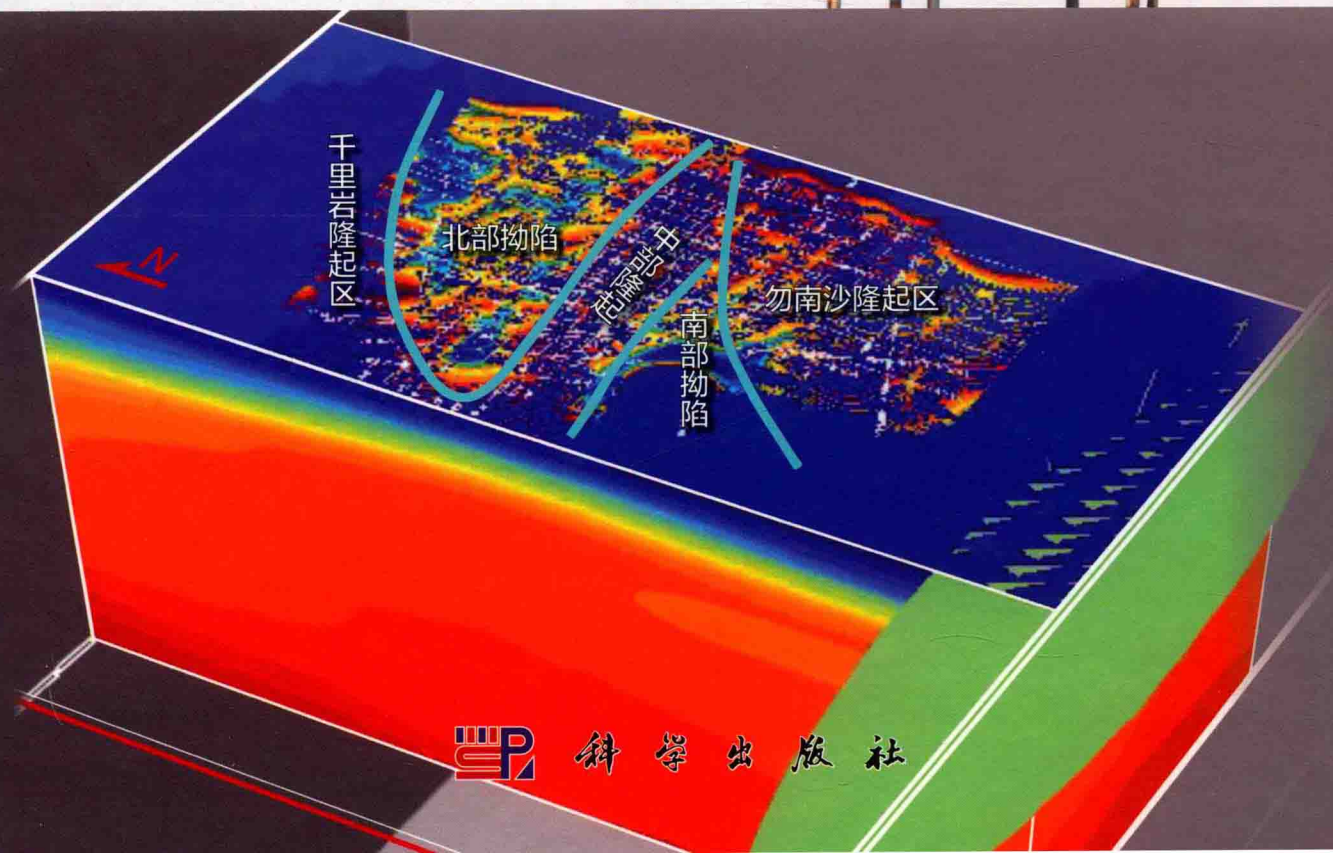


# 南黄海油气勘探 若干地质问题认识和探讨

——南黄海中—古生界海相油气勘探新进展  
与面临的挑战

张训华 肖国林 吴志强 李双林 等 著



科学出版社

# 南黄海油气勘探若干地质问题认识和探讨

——南黄海中—古生界海相油气勘探新进展与面临的挑战

张训华 肖国林 吴志强 李双林 等 著

科学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书作者长期致力于南黄海陆相中—新生界和海相中—古生界油气资源的调查评价。针对海相油气地球物理勘探中存在的主要技术难点,开展勘探技术创新攻关研究和试验,形成了地球物理勘探与钻探的多项关键技术系列。首次在南黄海获得中部隆起及北部拗陷中—古生代海相碳酸盐岩层有效反射,并首次在南黄海中部隆起西部,以全取心钻进揭示了多套中—古生代海相地层,解决了中部隆起长期悬而未决的前新生代地层属性问题,揭示多层良好油气显示和多套中等—好的中—古生界海相烃源岩。在此基础上的区域地质与油气地质研究明确了南黄海处于下扬子块体主体部位,初步厘定了中—古生界海相油气地质条件,评价了生烃潜力、探讨了可能的成藏模式,开创了南黄海油气调查评价的新篇章。

本书比较全面地介绍了地球物理、地球化学、油气地质研究最新进展及面临的挑战,总结了南黄海油气勘查方面的新发现、新认识与新成果,是一部实用性很强的专业论著,内容新颖,理论与生产紧密结合,归纳总结简明扼要,对指南黄海下一步中—古生界海相油气勘查、实现海域油气资源勘探二次创业的突破具有重要参考价值。

本书适合于从事海洋复杂构造与海相油气资源战略性调查的科技人员参考,也可作为大专院校师生教学参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

南黄海油气勘探若干地质问题认识和探讨:南黄海中—古生界海相油气勘探新进展与面临的挑战 / 张训华等著. —北京:科学出版社, 2017. 11

ISBN 978-7-03-055282-2

I. ①南… II. ①张… III. ①南黄海—古生代—海相生油—油气勘探—研究 IV. ①P618.130.208

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 274177 号

责任编辑:孟美岑 韩 鹏 李 静 / 责任校对:张小霞

责任印制:肖 兴 / 封面设计:北京图阅盛世

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2017 年 11 月第 一 版 开本: 889×1194 1/16

2017 年 11 月第一次印刷 印张: 30 1/2

字数: 965 000

定价: 368.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

# 序

改革开放以来，国民经济的持续快速发展带来对油气资源的需求量迅速增长，从1993年开始，我国成为石油净进口国，2004年净进口量首次突破1亿t，2015年达3.28亿t，石油对外依存度突破60%，严重影响着国家的石油安全，也成为制约我国经济社会发展的主要瓶颈。

我国的油气资源丰富，新一轮的油气资源评价结果表明，石油和天然气地质资源量分别为765亿t和35万亿m<sup>3</sup>，目前油气的探明程度分别为34%和14%，分别处于勘探的中期和早期阶段，其中约61%的石油和天然气地质资源集中在中—古生代地层中，而这一层位探明程度更低。因此，在继续寻找陆相新生代盆地油气资源的同时，勘探和扩大前新生代（中生代、古生代，甚至元古代）海相沉积发育区的油气资源领域，发现更多的油气田，支撑国家经济建设持续稳定发展，是时代赋予石油人的历史使命。

南黄海盆地是一个晚元古代、古生代、中生代和新生代叠合盆地，最大沉积层厚逾万米，具有较大的油气资源潜力。始于20世纪60年代初，历经50余年勘探，仅在拗陷内的中、新生代陆相沉积层中获得少量油气发现，究其原因，除油气地质条件复杂、勘探难度大等因素外，更重要的是忽视了隆（凸）起区中—古生界可能的生气层位，重视找油，忽视找气。

南黄海盆地是在前震旦纪结晶基底之上，叠加发育了晚元古—古生代克拉通盆地、早—中中生代内陆俯冲和类前陆盆地、晚中生代—新生代拉张断陷—断拗盆地，历经加里东、海西、印支、燕山和喜马拉雅多期构造运动，原来的沉积盆地及沉积体遭受挤压、改造、变形，形成形态多样的复杂地质体，加之不同类型盆地的互相叠加，发育多套生烃与储集层系，多次生烃与多期油气运移聚集造成油气分布复杂，极大地增加了地质认识上的困难和勘探的难度。创新勘探思路和手段，加强针对性的勘探技术攻关和地质与物化探综合研究，是南黄海盆地石油勘探的重大课题。

资源潜力不确定和勘探风险高是一直贯穿其中的难题，对复杂地质体的油气勘探是一个认识逐步积累和深化的过程，对海相中—古生界油气资源的认识，需转变思路，从基础地质调查入手，创新勘探理论，特别是应坚持不懈创新勘探技术方法。实践证明，每一次勘探理论与技术方法的创新和突破，都会带来新领域、新层位、新区域的油气新发现。

值得欣慰的是，中国地质调查局青岛海洋地质研究所长期致力于南黄海陆相中—新生界和海相中—古生界油气资源的调查评价，立足于隆（凸）起新区、中—古生界海相新层位，开展了针对性的油气地质条件和地球物理勘探新技术攻关研究和试验。通过20余年不懈的调查与探索研究，对南黄海前新生界深部地质构造和油气地质条件的认识取得了重要进展，并通过大陆架科学钻探，首次在南黄海中部隆起西部揭示了中—古生代海相地层，解决了中部隆起长期悬而未决的前新生代地层属性问题，钻遇了多层良好油气显示和多套中等—好的中—古生界海相烃源岩，开创了南黄海油气调查评价的新篇章。

本书比较全面地介绍了南黄海油气战略调查在地球物理、地球化学、油气地质等方面取得的最新进展和面临的挑战，是一部实用性较强的专业论著。该书理论与生产紧密结合，对指导南黄海下一步中—古生界油气勘查、实现油气资源勘探的突破具有重要参考价值。

作为长期从事油气藏地质研究的石油工作者，对《南黄海油气勘探若干地质问题认识和探讨——南黄海—中—古生界海相油气勘探新进展与面临的挑战》一书的出版感到由衷的高兴，对南黄海地区油气调查所取得的丰硕成果感到欣慰，希望该书的出版对于发展我国海相油气勘探理论，为国家石油公司和油气战略调查系统广大科技及生产工作者提供指导和借鉴。

中国工程院院士：

2017年9月13日

# 前 言

南黄海油气勘探目前有两个难点问题亟待解决：一是针对中—新生界和中—古生界叠合的复杂地质体，需创新勘探思路，加强针对性的勘探技术攻关，获得反映地下深部地层的地球物理、地球化学特性的有效信息，为地质解释、钻探井部署提供高精度资料；二是陆相中—新生代和海相中—古生代叠合盆地资源前景，尤其是海相中—古生界分布、生烃、储层、成藏地质条件与油气战略接替区等问题。

针对上述两个难点问题，近 20 年来，在国家科技攻关和有关海洋专项及战略性资源调查评价项目支持下，中国地质调查局青岛海洋地质研究所联合相关部门和单位在南黄海海域开展了大量的综合海洋地质与矿产资源调查，积累了大量地球物理和地质资料，特别是从 2005 年在南黄海开展了新一轮的油气地质调查以来，经广大科技人员的共同努力，攻克了诸多方法技术难关，形成了地球物理勘探与钻探的多项关键技术系列。

应用上述技术系列和方法，不仅首次在南黄海获得中部隆起及北部拗陷中—古生代海相碳酸盐岩地层有效反射，并首次在约 3 万 km<sup>2</sup> 的南黄海盆地中部隆起上全取心钻入前新生界，在 629.0 ~ 2843.4m 井段钻遇中生界三叠系、古生界二叠系、石炭系、泥盆系、志留系和奥陶系，证实南黄海盆地中部隆起发育多套中—古生代海相层，明确了南黄海是下扬子的主体，并在下三叠统青龙灰岩裂隙中见到原油渗出，在古生界多个层段见油气显示。钻井与地震综合解释对比进一步证实了南黄海盆地北部拗陷发育巨厚的陆相中生界和海相中—古生界、中部隆起和南部拗陷发育广泛的海相中—古生界，显示其具有良好的油气前景。这些勘探技术方法和科技成果在南黄海油气调查中的应用，转化为现实生产力，直接推动了南黄海海相中—古生界油气调查评价的进展，在海域复杂构造区油气调查技术方面处于国内领先地位。

在前述综合海洋地质调查评价，积累大量地球物理和地质资料基础上，针对上述两个问题，广大科技工作者在《地球物理学报》、《海洋地质与第四纪地质》、《海洋地质前沿》、《中国海上油气》、《石油地球物理勘探》等刊物上发表了大量探索性科研论文。从综合地球物理调查技术方法与试验应用、地球化学探测技术应用研究、盆地地质、结构与形成演化、基本油气地质条件与资源远景等方面进行了大量的探索研究，每位作者均从各自的专业领域出发进行分析总结，为南黄海地区的油气调查提出了诸多技术方法理论与实践建议。

油气调查与勘探是探索性极强和极富实践性的工作，许多专家提出建议，希望能从勘探历史回顾、油气地质特点与勘探难点、勘探技术方法攻关试验、适应性与应用效果等方面，从勘探实践出发，经过深入的思考，将勘探实践中的认识、问题及对策等进行系统归纳总结，为南黄海地区的油气调查提供技术方法理论与实践经验，减少工作的盲目性和失误，将科技成果应用于油气地质调查实践并转化为现实生产力，以期促进南黄海油气勘查和发现。

上述两个问题是本书编写的初衷。从综合地球物理调查、地球物理方法技术研究与应用、地球化学探测与研究、区域地质构造特征、盆地地质结构与形成机制和演化、油气地质条件及资源远景等方面，为南黄海的油气调查评价提供地质依据和具实际应用价值的基础资料。

全书共分为 9 章，分别由不同的作者编写，由张训华、肖国林、吴志强、李双林统稿，并由莫杰进行最终通稿编排电子版。

第一章绪论，由张训华、吴志强、肖国林编写。首先介绍了南黄海油气勘探历史，指出深部地震地质条件复杂、地震反射剖面品质较差、勘探技术方法针对性不强、适应性差，是困扰南黄海海相中—古生界油气调查的主要技术难点；概述了针对海相中—古生界的国家战略性油气调查阶段所取得的最新进展与成果。

第二章区域地质与构造演化沿革，由肖国林、郭兴伟、侯方辉、杨金玉编写。首先概述了南黄海及邻区大地构造背景，区域重、磁场特征，中—古生代盆地边界与地质属性、区域地层发育特征，建立了古生

代、中生代、新生代主要地层层序并确定和推断了其分布特征；以块体构造学理论为指导，论述下扬子苏北-南黄海地区沉积与构造演化。

第三章地球物理勘探技术攻关与成果，由张训华、吴志强、杨金玉编写。概括论述了南黄海地球物理勘探历程，海相油气地球物理勘探主要的技术难点和针对性关键技术攻关研究方法，通过吸收、引进国际先进技术并加以创新，形成了：①地震长排列与立体采集关键技术系列；②复杂构造条件下低信噪比地震资料成像处理关键技术集成系列；③OBS深部探测资料处理关键技术系列；④多参数综合地球物理解释关键技术系列四个技术系列共10项关键技术，为深部地学大断面探测、海相中—古生界碳酸盐岩油气勘探提供了技术支撑。同时，开展了海底大地电磁探测试验，探索利用大地电磁探测获得地震高速屏蔽层之下的地层岩石物性信息与分布特征的技术途径。

第四章地质、地球物理综合研究，由肖国林、雷宝华、吴志强、王明健、孙晶、王建强编写。系统论述地震资料基础、成像品质，地震层序划分与标定、反射波组特征、地震波速度场特征；以钻井确定的古生界、中生界及新生界地质层位，通过井-震对比标定了各地震反射标准层对应的地质界面，结合重力、磁力异常特征和重、磁、震联合反演拟合，获得了南黄海中—新生界盆地基底构成、结晶基底埋藏深度，以及海相中—古生界分布特征，为南黄海盆地油气评价提供基础资料。

第五章油气地球化学勘查，由李双林、董贺平、赵青芳编写。概括论述了南黄海海域油气地球化学勘查工作史，从理论基础、技术方法和实际应用等方面，论述了南黄海油气地球化学勘查工作的新进展与成果，通过对各类地球化学指标异常特征的综合分析，在南黄海盆地中—北部划分出4个综合地球化学异常区并评价了其油气远景。

第六章油气地质条件，由肖国林、张银国、雷宝华、孙晶、王建强、蔡来星编写。依据钻井揭示生烃岩有机质丰度、类型、成熟度、生烃潜量等特征，综合研究指出了下扬子苏北-南黄海地区古生界—下中生界主要发育5套区域性海相烃源岩，并预测了有利生烃区域；南黄海中—新生代陆相盆地各凹陷分隔性强，北部拗陷和南部拗陷均各发育3套烃源岩，按生烃潜力由大到小共划分出3类凹陷。据盆地内勘探主要目的层与烃源岩的关系，中—古生界海相层系划分出3套古生界海相层成藏组合、1套古生界海相-海陆交互过渡层成藏组合、1套下中生界海相层成藏组合；中—新生界陆相层系成藏组合划分为与烃源岩直接相关的“完整型”和与烃源岩间接相关的“非完整型”两大类。按烃源岩、储层、盖层发育特征，以及生储盖组合时空配置，综合划分出优质、中等及较差三类共15种生储盖组合形式。

第七章油气资源评价与远景分析，由肖国林、闫桂京、庞玉茂编写，采用盆地模拟和有机碳法分别评价南黄海的中—新生代陆相和中—古生代海相层系的资源潜力。结果表明，中—新生界陆相盆地内，侏罗系和白垩系烃源岩对北部拗陷的生烃贡献较大，古近系（阜宁组和戴南组为主）烃源岩对南部拗陷的生烃贡献较大；中—新生代生成的油气在北部拗陷主要聚集在白垩系（泰州组），其次为阜宁组和戴南组，南部拗陷则主要聚集在古新统阜宁组，其次为白垩系（王氏组），明确指出了中—新生代陆相盆地有利的烃类聚集区带和成藏组合。

南黄海中—古生界海相层系烃源岩有机质热演化普遍较高，以生气为主，按生烃强度和资源潜力划分，下古生界最具资源远景的层系和区域是下寒武统幕府山组盆地相烃源岩发育区，上奥陶统五峰组-下志留统高家边组发育区次之；上古生界最具资源远景的层系和区域是上二叠统龙潭-大隆组发育区，下二叠统栖霞组发育区次之；下三叠统青龙组浅海陆棚相烃源岩发育区是下中生界海相层系有利远景区，并推测了海相中—古生界可能的成藏组合。

第八章南黄海中部隆起科学探井（CSDP-2）初步成果及其意义，由张训华、肖国林、吴志强、蔡来星、庞玉茂等编写。CSDP-2井为南黄海中部隆起上的第一口科学探井，先后钻遇第四系、新近系陆相沉积层和三叠系、二叠系、泥盆系、志留系、奥陶系等多套海相地层，证明了中部隆起上分布海相中—古生界，厘定了中部隆起地层属性，首次获得多个层位的油气显示，揭示中部隆起中—古生界发育多套中等—好等级的海相烃源岩，并经由源-储对比初步分析了中部隆起海相油气成藏组合及其特征，极大地推动了南黄海尤其是中部隆起海相油气勘查工作。钻探成果对南黄海地区环境地质重大科学问题研究和开辟油气勘探新领域，促进中—古生界海相油气勘探均具有重大科学意义和实际应用意义。

第九章进展与展望。由张训华、肖国林、吴志强、郭兴伟、庞玉茂、蔡来星编写。重点论述了南黄海中—古生界研究新进展，厘定了南黄海中—古生代海相沉积层分布特征。从上、下扬子区构造演化特征差异及叠合盆地油气地质条件对比，油气成藏地质条件及主控要素、“多旋回叠合盆地油气成藏”新理论对南黄海油气勘探的启示，以及四川盆地油气勘探对南黄海的指示意义等方面，探讨了南黄海中—古生界油气勘探突破的关键、地震勘探面临的挑战与努力方向。

本书的成果是中国地质调查局青岛海洋地质研究所老、中、青三代科技工作者和中国石油化工集团公司、中国石油与天然气集团公司、中国海洋石油总公司、教育部、中国科学院等多部门单位协作努力的结果。编写过程中得到青岛海洋地质研究所各级领导的大力支持，老专家周才凡研究员、莫杰研究员、郭振轩研究员和同济大学的耿建华教授审阅了全书，并提出了宝贵的意见，使一些认识得以更加系统化，同时也启发了作者的深入思考。油气勘探专家李阳院士百忙中为本书作序。国家专项之“全国油气资源战略选区调查与评价”、海洋地质调查项目、大陆架科学钻探项目，国家 863 计划项目“海陆联合深部地球物理探测关键技术研究”（2009AA093401），国家自然科学基金项目“黄海及邻区壳幔结构及深浅构造关系的综合地球物理研究”（41210005）、“渤海及邻域深部结构及其对华北克拉通破坏的响应”（90814011），青岛海洋科学与技术国家实验室鳌山科技创新计划项目（No. 2015ASKJ03）等项目提供了丰富的资料。青岛海洋地质研究所赵辉、林曦二位同志分别完成文稿排版打印和部分图件编绘，研究生赵维娜、张晓华、曲中党等完成了部分图件和文稿校对。在此一并表示衷心的感谢！

热诚希望本书的出版能为广大油气地质和地球物理工作者提供一些有价值的资料，在我国海域油气地质战略性勘查工作中发挥一定作用。应该指出，本书涉及的学科和技术方法较多，且有些尚在试验和完善过程中，难免存在不妥之处，一些认识与观点也有待进一步思考与完善。恳请读者给予批评和指正，以求不断完善和改进。



2016年10月10日

# 目 录

第一章 绪论 .....	1
第一节 南黄海油气勘探历史 .....	1
第二节 南黄海油气勘探若干难点问题 .....	7
第三节 主要成果 .....	10
第二章 区域地质与构造演化沿革 .....	16
第一节 大地构造背景 .....	16
第二节 区域地层 .....	20
第三节 沉积与构造演化 .....	49
第四节 构造层与构造区划 .....	80
第三章 地球物理勘探技术攻关与成果 .....	93
第一节 地球物理勘探现状与主要问题 .....	93
第二节 地震反射特征理论模拟研究 .....	95
第三节 地震长排列与立体采集关键技术探索 .....	112
第四节 低信噪比地震资料成像处理关键技术攻关探索 .....	135
第五节 海底地震仪探测技术应用 .....	149
第六节 综合地球物理方法 .....	172
第七节 大地电磁探测技术 .....	175
第四章 地质、地球物理综合研究 .....	187
第一节 资料基础 .....	187
第二节 地震波场与层序 .....	189
第三节 速度场特征 .....	195
第四节 区域重、磁场特征 .....	206
第五节 沉积特征 .....	212
第六节 地质、地球物理联合解释 .....	224
第五章 油气地球化学勘查 .....	240
第一节 油气地球化学勘查综述 .....	240
第二节 油气地球化学勘查技术方法 .....	240
第三节 油气地球化学勘查在南黄海的应用 .....	262
第六章 油气地质条件 .....	274
第一节 烃源岩评价标准 .....	274
第二节 烃源岩特征 .....	278
第三节 烃源岩区域有效性评价 .....	302
第四节 储集层特征与分布 .....	312
第五节 盖层特征与分布 .....	331
第六节 油气成藏控制因素与成藏模式探讨 .....	335
第七章 油气资源评价与远景分析 .....	350
第一节 油气资源概述 .....	350
第二节 盆地模拟与中—新生界油气资源评价 .....	355
第三节 海相中—古生界油气资源潜力评价 .....	385

第四节 油气资源潜力评价结果·····	389
第八章 南黄海中部隆起科学探井 (CSDP-2) 初步成果及其意义·····	393
第一节 钻探井位·····	393
第二节 钻探成果及其意义·····	404
第九章 进展与展望·····	423
第一节 南黄海中—古生界研究新进展·····	423
第二节 上、下扬子区构造演化及叠合盆地油气地质条件对比·····	431
第三节 南黄海海相油气地震勘探关键问题与解决方案·····	439
第四节 “多旋回叠合盆地油气成藏” 新理论对南黄海油气勘探的启示·····	449
参考文献·····	454

# 第一章 绪 论

## 第一节 南黄海油气勘探历史

南黄海为我国与韩国共陆架海,自20世纪60年代始,中国和韩国都曾在南黄海开展了一系列的油气资源调查研究,70年代中期始,先后进行了钻探工作。

### 一、我国油气勘探历程

我国在南黄海海域油气调查勘探历史可追溯到20世纪60年代初期,主要工作范围在 $124^{\circ}\text{E}$ 以西海域(梁名胜和郭振轩,1986;莫杰,1987;业治铮,1988;刘光鼎,1989a;袁文光,1989;沿海大陆架及毗邻海域油气区石油地质志编写组,1990)。总结50余年的勘探历程,大致可划分为前期探索与调查起步、自主调查评价、对外合作勘探、相对低谷、国家战略性补充调查和海相碳酸盐岩调查评价共6个阶段。

#### (一) 前期探索与调查起步阶段(1961~1967年)

1961~1962年中国科学院海洋研究所使用“金星号”船在南黄海部分海域( $123^{\circ}\text{E}$ 以西, $31^{\circ}\sim 36^{\circ}\text{N}$ )进行了初查。采用悬挂式24道电缆接收系统(排列长度1km左右)、“51”型光点地震仪记录系统和炸药震源、排列中间放炮、单次连续观测方式实测了9条地震剖面,开始了地球物理技术方法进行海洋地质特征调查的探索工作。

1967年7月,地质部第五物探大队543浅水地震队和浅滩重力小组进入苏北浅滩进行地震和重力调查试验工作。由于苏北沿岸浅水地区海底地形复杂多变,只能选用几十吨位的木制渔船作为工作船,在工作条件远比陆地和深水地震工作更为困难的情况下,获得了500多千米地震剖面资料,为进一步开展浅水地震工作积累了经验,为海陆构造的对比提供了基础资料。

#### (二) 自主调查评价阶段(1968~1978年)

这一阶段地球物理调查工作改变了过去传统地震单打一的作法,积极研制海洋重、磁仪器,逐步做到了地震、重力、磁力多方法的综合应用。在前期对地球物理调查方法探索试验的基础上,进一步开展了海域区域地质特征的地球物理调查评价,并在20世纪60年代末期至70年代末期开展了综合地球物理初查、概查和古新系、新近系拗陷区的普查、构造详查及相应重力和磁力调查,同时进行了石油钻探工作(梁名胜和郭振轩,1986;莫杰,1987;业治铮,1988;刘光鼎,1989a;袁文光,1989;沿海大陆架及毗邻海域油气区石油地质志编写组,1990)。

1968年是南黄海大规模地球物理调查的第一年,开展了面积约 $80000\text{km}^2$ 的 $40\text{km}\times 80\text{km}$ 测网的地震、重力和磁力调查。截止到20世纪70年代末,共完成多道地震测线 $31059\text{km}$ ,重力测量6153个点,磁力测量 $31051\text{km}$ 。

多道地震调查由“奋斗一号”和“奋斗二号”船执行,采用悬挂式24道电缆接收系统(排列长度1km左右)、“51”型光点地震仪记录系统和炸药震源、排列中间放炮、单次连续观测方式进行。1970年开始使用模拟磁带地震仪并且首次在国内海洋地震勘探中应用了多次覆盖技术,覆盖次数由早期的三次、四次,逐步增到六次。与此同时,陆续开展了海洋气枪震源和地震拖缆的研制工作。1973年海上气枪试验成功,次年容量为4L的单枪震源投入了海上地震生产。1977年又试验成功总容量为6.8L的六枪组合阵列。

重力勘探始于1969年,采用由地质部第五物探大队和海洋地质科学研究所共同研制的SG型海底重力仪进行海底重力调查。1970年开始,使用GSS22型海洋重力仪及CHHKI型磁力仪在部分海区进行了试验性生产,这是我国海上重力连续观测的开端。

磁力测量始于1968年,由“燎原一号”船使用加拿大AM-101A型核子旋进磁力仪,完成了一条纵贯海区南北、全长500km的剖面。1971年北京地质仪器厂研制的CHHKI-69型海空核旋磁力仪投入了海上生产。1974年地质部航空物探大队在南黄海也完成了1:50万比例尺的航空磁力测量。

在此后的十余年中,陆续完成了南黄海西部海域的1:100万比例尺的重力、磁力、地震调查,南部拗陷和北部拗陷1:20万比例尺的重力和地震调查,开展了重点构造带的详查,提供了一批海上石油普查井位。

在以上工作的基础上,地质部第一海洋调查大队提交了《南黄海地球物理调查报告》,圈出南黄海盆地轮廓及构造分区,指出:“南黄海大部分海域是一个广阔的新生代沉积拗陷,是苏北拗陷区向海区延伸的一个构造单元;南黄海拗陷区与苏北拗陷区很可能是一个整体,区内局部构造发育,是一个很有含油气远景的海区。”

1974~1979年,根据南黄海地质、地球物理调查成果,地质部第三海洋地质调查大队先后利用我国自行建造的排水量为7960t、可钻探3200m的双体石油钻井船“勘探一号”在南黄海盆地南部拗陷和北部拗陷分别进行了钻探工作,打了8口石油普查井(黄海1、2、3、4、5、6、7、9井),总进尺15562m。由于钻探深度局限在2500m之内(最深黄6井2413m,最浅黄3井535m),未能获得重要的油气显示,但仍起到了探索南黄海海区的含油气性,建立新生代地层层序,验证物探成果的作用,揭开了中国海洋钻探史上新的一页。这一阶段的调查取得了大量的地质、地球物理资料,提交了一系列有价值的成果报告,取得的主要地质成果有:

(1) 根据相邻陆地地质调查,结合南黄海综合地球物理调查资料分析,华北准地台和扬子准地台的分界大致在苏北赣榆至海区 $124^{\circ}\text{E}$ 与 $36^{\circ}50'\text{N}$ 交界点一线,沿NE方向延伸从朝鲜海州以南进入朝鲜半岛陆地,经通川以南、高城以北斜贯朝鲜半岛。扬子准地台与华南褶皱系的界线大致在绍兴-杭州湾-长江口九段沙至海区的 $124^{\circ}\text{E}$ 与 $33^{\circ}\text{N}$ 交点一线,东延至朝鲜半岛南部木浦以南陆地,沿NE向经光州斜贯朝鲜半岛南部。

上述两条界线在磁测成果中反映明显。两条界线之间的南黄海部分,在大地构造属性上应划归扬子准地台的东延入海部分。同时提出了朝鲜半岛陆地的临津江准褶皱带、京畿地块和沃川沉降带3个构造单元可与扬子准地台相对比;临津江准褶皱带以北的海州沉降带、平壤隆起带和狼林山地块可与华北准地台相对比;沃川沉降带以南的小白山地块则与华南褶皱带的次级构造单元闽浙隆起区相对应。这对多年来一直讨论未定的扬子准地台如何东延入海和朝鲜半岛各构造单元的对应关系提供了进一步研究基础和地质构造的线索。

(2) 通过海区地球物理调查所发现的北部拗陷、中部隆起和南部拗陷与苏北盆地共同构成了我国东部又一个地跨海陆、类似华北渤海湾的含油气盆地,称为南黄海-苏北盆地。它是一个叠置在扬子准地台古生界(包括中、下三叠统)地层基础之上的,以新生代沉积为主的中-新生代复式叠加型盆地,面积约14万 $\text{km}^2$ ,其中海区部分的面积约10万 $\text{km}^2$ 。在南部拗陷和北部拗陷内划分出了21个凹陷和8个凸起。

(3) 盆地内新生代地层最大厚度可达5000~6000m,这套巨厚的以陆相为主的新生代地层被两个明显的区域不整合面分成早、中、晚三大套,即早期的古新世-始新世地层,中期的渐新世地层,晚期的中新世-上新世加第四纪地层。

(4) 盆地中有EW、NE-NEE和NW-NWW三组基本构造线,组成了南黄海苏北盆地的基本构造格局,其中NE-NEE构造线占主导地位。它们在各个不同阶段(印支运动、燕山运动、喜马拉雅运动)发育程度有所不同。早期继承了古生代的EW向构造格局;中期NE向构造线发育;晚期NWW向构造活动强烈。

(5) 盆地内局部构造带发育,主要分布在南部拗陷和北部拗陷,可以分成低凸型背斜构造带、背斜

构造带、断阶构造带和鼻状构造带，其中前两种构造类型较为发育。共发现和圈出了 46 个构造带，含构造高点 82 处。

(6) 盆地中断裂发育、断距大、延伸远，属高角度正断层。它严格地控制着新生代地层的分布和厚薄，是区划各级构造单元的主要界线，也是盆地发生和发展的主要因素。

(7) 通过钻探发现了中、新生代地层内有三套有利于油气生成的暗色泥岩。南部拗陷和北部拗陷是寻找中—新生代，特别是新生代油气远景区，南部拗陷的中部地区和北部拗陷的西部地区是最有油气远景的地区。中部隆起和勿南沙隆起则是寻找中生代—古生代油气的有利远景区。

### (三) 对外合作勘探阶段 (1979 ~ 1990 年)

随着我国改革开放政策的实施，为加快海洋油气资源的勘探开发步伐，以 1979 年 4 月 27 日中法双方公司签订了《联合在南黄海北部海域开展地震普查工作的协议》为开端，进入了南黄海西部海域的中外合作勘探阶段（梁名胜和郭振轩，1986；莫杰，1987；业治铮，1988；刘光鼎，1989a；袁文光，1989；沿海大陆架及毗邻海域油气区石油地质志编写组，1990）。这一阶段大致分为如下两个时期。

#### 1. 区域普查时期 (1979 ~ 1982 年)

这一时期的工作是在自营勘探基本查清盆地面貌的基础之上分北部、南部两个海区进行的，工作中全面应用了数字地震仪、模拟电缆和气枪阵列震源的探测方式。

北部海区由中国石油公司（原石油工业部）与法国埃尔夫阿奎坦公司（Societe National elf Aquitan）和道达尔勘探公司（Total Exploration）联合进行。1979 年 4 月，中国石油公司石油与天然气勘探开发公司与法国埃尔夫—阿奎坦、道达尔石油公司签订了“联合在南黄海北部海域开展地震调查的协议”，埃尔夫是北部海区作业者，另有 33 家外国石油公司参与。从此开始了我国与国外合作勘探海上油气资源的新时期。

地震普查由法国的石油公司雇用我国海洋石油分公司的两艘地震船完成，资料采集采用单船拖缆、多次覆盖的方式进行。工作范围为  $123^{\circ}\text{E}$  以西， $32^{\circ} \sim 37^{\circ}\text{N}$  之间，面积约  $60000\text{km}^2$ ，主要工作区为北部盆地西半部（ $123^{\circ}\text{E}$  以西）的  $18500\text{km}^2$ 。地震测线密度在拗陷区达到  $4\text{km} \times 8\text{km}$ ，隆起区也布置了少量地震测线。在北部海区完成地震测线长  $8579.15\text{km}$ 。1981 年，由石油工业部组成的南黄海北部拗陷资源评价组完成了对地震资料的解释，并编写了石油地质评价报告。

南部海区由中国石油公司与英国石油有限公司（The British Petroleum Company, BP）联合进行。于 1979 年 6 月 8 日，中国石油公司与英国石油有限公司（BP）签订了以评价含油气前景为目的的“南黄海南部海域开展地震调查的协议”，BP 为南部海区的作业者，另有 31 家外国公司参与。调查范围为  $32^{\circ} \sim 34^{\circ}\text{N}$ ， $120^{\circ}50' \sim 123^{\circ}00'\text{E}$ ，部分延伸到  $124^{\circ}00'\text{E}$ 。地震测网密度在拗陷区一般为  $4\text{km} \times 8\text{km}$  和  $8\text{km} \times 8\text{km}$ 。

地震勘探及重、磁测量雇用了中国海洋石油分公司和德国的各两艘地震调查船共同完成。资料采集采用数字地震仪，多次覆盖观测方式，共完成地震测线  $10996\text{km}$ 。此外，根据中英双方公司签订的一项补充协议，英国石油有限公司在南部拗陷的南五凹陷和南七凹陷各钻了一口地层参数井，其中 W20-ST1 井进尺为  $3500\text{m}$ 、W5-ST1 井进尺为  $3260\text{m}$ 。前者探明了新生代地层的岩性；后者揭示了古新系、新近系、下三叠统及上二叠统煤系地层。同时，由海洋石油分公司组织，苏北石油勘探局、上海海洋地质调查局参加的南黄海南部资源评价组于 1981 年提交了“南黄海南部石油地质评价报告”。

#### 2. 区块勘探时期 (1982 ~ 1989 年)

1982 年 2 月 15 日，中国海洋石油总公司正式成立，并向 11 个国家的 41 家物探参与公司发出了南黄海第一轮第一批招标区块。

1983 年 5 月 10 日，中国海洋石油总公司与英国石油有限公司（BP）在北京签订了《中国南黄海南部 23/06 合同区石油合同》。BP 公司租用了美国国际地球物理服务公司的地震船用数字地震仪在合同区进行了地震详查，测网为  $(1 \times 1 \sim 2 \times 2)\text{km}$ ，合计完成地震剖面  $1091.6\text{km}$ 。随后于 1984 年 4 月 15 日于南四凹陷常州 6-1 构造上钻 CZ6-1-1 (A) 井，进尺  $3097\text{m}$ ，在  $3017\text{m}$  以下的古近系井段内多次发现油显示，在阜宁组三

段试获日产原油 2.45t, 首次在南黄海见到了油流, 突破了盆地的出油关。1985 年 8 月在常州 6-2 构造上钻了第二口井——CZ6-2-1, 进尺 2600m, 未见油气显示。

1983 年 10 月, 中国海洋石油总公司与英国克拉夫石油有限公司 (Cluff Oil P. L. C) 签订了《中国南黄海北部 10/36 合同区石油合同》, 克拉夫石油公司租用中国调查船用数字地震仪作 48 次覆盖地震详查, 完成剖面 1356km。并分别于 1986 年、1988 年在诸城 1-2 构造和诸城 7-2 构造上各钻了 1 口探井, ZC1-2-1 井进尺 3422m, 于 3417m 井段泰州组岩心裂隙中见液体原油, ZC7-2-1 井进尺 1625m, 未见油气显示。

1983 年 12 月, 中国海洋石油总公司同美国雪佛龙 (Chevron) 海外石油有限公司、德士古 (Texaco) 东方石油公司 (简称 C/T) 签订了《中国南黄海南部 24/11 合同区石油合同》, 实施了测网密度达 (1×1 ~ 2×2)km, 测线总长为 3453.9km 的地震详查。在合同区内钻了 3 口以中生界和古生界潜山油气藏为目的探井。其中, WX13-3-1 井进尺 2228m, 未见油气显示; CZ12-1-1 井进尺 3511m, 钻至石炭系黄龙组, 未见明显油气显示; CZ24-1-1 井进尺 3435m, 终孔于三叠系青龙组, 并于阜宁组三段的 2443 ~ 2449.5m 井段见多层含气水层。

1986 年美国 BP 石油公司在 25/02 区块进行了重磁、数字地震调查, 共完成重力测线、磁力测线各为 1137.225km, 地震测线 1137.225km。

1987 ~ 1989 年, 英国克拉夫 (Cluff) 公司在 24/16 区块上进行了化探剖面工作, 并把原北部盆地的 10/36 转给了太阳公司。

这一时期的地震与钻探工作虽没有在全盆地取得突破性的油气成果, 但取得了相当丰富的资料, 对南黄海盆地石油地质条件有了更系统、深入的认识, 概括起来可归纳为以下几个方面:

(1) 对局部构造及新生代地层作了进一步的划分, 证实南黄海盆地是一处能够生油的拗陷, 有不止一套的生油层, 油质较好。

(2) 北部拗陷北部和盆地其余部分确实具有不同的地质背景和石油地质条件, 生油岩可能更好, 时代偏老, 指出了新的找油前景。

(3) 证实了南部拗陷古近系之下基岩主要为中、下三叠统和古生界, 推测局部保存有中—上中生界, 可与下扬子准地台对比。

(4) 认为南黄海的新近系、中生界和古生界都具备形成油气藏的条件。对勿南沙隆起的地震调查, 初步揭示了一批形态以较宽缓背斜为主的古生界内幕构造, 破坏幅度较轻, 构造条件优于陆地下扬子区, 是一个具有潜在含油气远景的区域。

(5) 基本地应力为拉张性质, 但局部也有挤压应力的影响, 如南部拗陷发现推覆构造, 北部拗陷有挤压背斜等, 证实了中国东部新近纪存在逆冲断层。

长期以来, 许多知名学者将中国大陆和大陆架约 2 亿年前进入地台活化发展阶段形成的沉积盆地分为东部拉张、中部过渡、西部挤压型盆地。因此在中国东部地震资料解释过程中发现了逆断层而不能加以肯定。这一时期获得的 N-72 线地震剖面上对逆冲断层的清晰成像, 地质工作者普遍接受了这一地质事实, 有力地说明中国东部含油气盆地不是“一张到顶”的地质结构 (杨克绳, 2002; 刘春成等, 2010)。

(6) 南黄海绝大部分 (除最北部外) 属下扬子准地台的一部分。中朝和扬子准地台的分界, 在海域似应通过北部拗陷北部, 既不在千里岩隆起南缘, 也不在中部隆起北缘, 而是介于两者之间 (陈颐亨, 1984; 汪龙文, 1989)。

(7) 地质构造单元的划分及其性质有重新考虑的必要性和现实意义。

(8) 找油方向和勘探目标乃至战略部署都需要进一步研究。

(9) 拗陷盆地向东没有封闭, 可能越过 124°E 和朝鲜半岛近海的两个盆地相通。

(10) 在陆相盆地之下, 确实存在上古生界, 特别是在盆地中南部, 因此在基底埋藏较浅区的中、古生界也应作为勘探目标。

#### (四) 相对低谷阶段 (1991 ~ 1995 年)

随着南黄海油气勘探失利, 人们对其油气资源前景产生了疑问和困惑, 大多数外国石油公司也停止

了在南黄海的勘探活动,海上区域性调查工作基本处于停滞状态,油气勘探跌入了低谷。但石油勘探家们并没有放弃对南黄海油气地质条件的研究工作,1990年,地质矿产部海洋地质研究所通过研究盆地的地质结构与演化、构造区划、沉积相与沉积演化等基本油气地质特征,并与苏北盆地对比分析后认为,南黄海已发现的(中生界)泰州组有可能成为盆地的主要生油层,应列为重点勘探对象,认为中、古生界具有较大的油气资源潜力,并采用盆地模拟技术计算了该区的资源量,提出了开展古生界油气勘探的建议,为南黄海的油气资源调查打下了坚实的基础(温珍河,1989a,1995)。上海海洋石油勘探开发研究院陶国宝在前人研究基础上对南黄海周缘地区的地质构造进行了综合研究,提出了“苏北-南黄海陆核的核部主要位于南黄海中心部”,这个由块体及结合带组成的区域,经历了漫长复杂发展史,块体拼贴格架主要奠定于震旦纪前,三叠纪中期又经历一次重大构造变动,至于南黄海东、西两面间地质构造联系,看来并不如想象的那样简单,NW向的南黄海-东海断裂岩浆岩带可能是一条重要的构造界线等结论(陶国宝,1996)。

1990年,地矿部物化探研究中心承担了南黄海海域油气地球化学测量试验。完成测点352个,控制海域面积1000km<sup>2</sup>,圈出综合异常8个,可指示含油气远景的有利区块。

### (五) 国家战略性补充调查阶段(1996~2001年)

基于油气战略性评价的需要,1996~2000年国家再次进行南黄海油气资源的补充调查,为了解南黄海中、古生界的分布,部署了跨越南、北黄海区域地震测线和凹陷补充测线,采用240道、30次覆盖、道间距12.5m的观测系统,完成地震剖面4484.5km,对了解区域构造格局和中—古生代海相地层的分布起到了重要作用。

与此同时,中国海洋石油总公司对中—古生界油气勘探进行了不懈的努力。受20世纪90年代末江苏石油勘探局在盐城凹陷发现了以古生界为烃源的朱家墩气田的启发,开展了中、古生界油气勘探的探索工作,进行了少量的地震补充调查,先后钻探了WX4-2-1和CZ35-2-1两口中—古生界海相油气新领域探索井,但均告失利。

### (六) 海相碳酸盐岩调查评价阶段(2001年至今)

受刘光鼎院士提出中国油气资源“二次创业”观点和我国南方海相碳酸盐岩油气重大突破的启示(刘光鼎,1997,2001,2002;马永生,2006),南黄海油气资源勘探目标由新生代陆相沉积盆地转向中—古生代海相残留盆地。采用了从基础地质研究做起,技术方法研究与海上调查同步进行的勘探思路,开展了针对南黄海海相碳酸盐岩调查评价工作。按照刘光鼎院士的“区域约束局部,深层制约浅层”的勘探思路,首先开展区域地质、构造特征和油气地质条件的研究工作,以此为基础制定了地球物理和地球化学勘探部署,同时进行了有针对性的技术方法研究工作。

随着勘探思路的转变和海洋地震调查技术的进步,采用了由针对性的地震勘探方法对南黄海前新生代海相目标层进行探查。2001~2005年中国地质调查局广州海洋地质调查局和青岛海洋地质研究所采用了容量为3000in<sup>3</sup>(1in<sup>3</sup>=1.63871×10<sup>-5</sup>m<sup>3</sup>)的气枪阵列震源、长度大于4000m电缆和240道60次覆盖的采集系统,在该海域又作了补充地震调查,揭示了南黄海北部拗陷存在古、中、新生代地层,中部隆起区存在巨厚的古生界的迹象。

2006年开始,随着国家新一轮海洋地质调查专项的实施,由青岛海洋地质研究所组织实施,联合中海油、中石化、中科院、教育部等部门,开展了新一轮油气资源调查和战略选区工作。针对中—古生代海相油气勘探难题,进行了地震勘探技术方法攻关研究与海上试验工作,基本形成了针对性的地震采集与成像处理技术方案(吴志强,2003,2009;吴志强等,2006,2008a,2008b,2010,2011,2012,2013,2014a,2014b,2014c,2014d,2014e;吴志强和温珍河,2006;童思友,2010;施剑等,2011,2013;唐松华等,2013;张训华等,2014a,2014b;孟祥君等,2014;高顺莉等,2014;高顺莉和徐发,2014;施剑和蒋龙聪,2014)。在此基础上进行了新一轮的区域多道地震调查和同步重力、磁力调查。截止到2014年,共完成多道地震测线17000km,测网密度(8×8~8×16)km,跨越渤海、山东半岛、南黄海

北部的海陆深部地震联测线 1 条, 填补了南黄海深部海底地震仪 (ocean bottom seismometer, OBS) 探测的空白 (孟祥君等, 2014; 祁江豪等, 2015)。

在此期间, 重力、磁力等非地震地球物理方法的研究也在同步进行, 采用位场数据的异常分离、结合岩石物性的正演模拟与反演等新技术方法, 对已有的海洋重力、磁力和卫星重力资料进行处理解释, 获得了南黄海及周边地区高精度的区域重力和航磁异常分布, 划定了南黄海及周边地区的区域构造单元, 圈定残留盆地地层分布范围并推测了残留厚度 (郝天珧等, 2002, 2003a, 2003b; Zhang et al., 2007; 黄松等, 2010; 侯方辉等, 2012a; 张训华等, 2014c)。

2006 年, 针对海相残余地层与上覆地层分界面速度、密度差异突出, 地震波难以有效穿透, 地震成像品质差的问题, 根据碳酸盐岩与其他地层的电阻率特征差异小, 对电磁信号没有强烈的屏蔽作用的特点, 开展了利用大地电磁探测技术获得地震高速屏蔽层之下的地层岩石物性信息与分布特征的方法研究与海上试验。2006 年, 青岛海洋地质研究所联合中国地质大学 (北京), 利用国家“863”项目自主研发的五分量海底大地电磁探测系统, 在南黄海海域完成了 3 个站位海底大地电磁探测试验并取得了良好的效果, 展示该方法能够有效弥补地震勘探不足的优势和良好的应用前景 (魏文博等, 2009)。

2009~2012 年, 青岛海洋地质研究所在南黄海海域完成了 601 个油气地球化学探测工作, 根据各指标异常特征圈定了综合地球化学异常区。

在这一时期, 中国海洋石油有限公司也同步开展南黄海海相油气勘探研究工作。2000~2004 年进行了新一轮的南黄海区域地震补充勘探工作。2006 年, 中国海洋石油有限公司与丹文能源公司就南黄海海域的 11/34 合同区块, 签订产品分成合同。该区块位于南黄海盆地北部, 面积约 10840km<sup>2</sup>。丹文公司进行二维地震勘探, 并钻预探井。

2009 年, 针对浅层强界面屏蔽、目的层内幕阻抗界面弱、地震成像品质差, 中国海洋石油有限公司开展了大震源长缆深沉放地震采集技术攻关实践, 其震源能量超过 6180in<sup>3</sup>, 电缆长度 10050m, 枪缆沉放深度分别为 10m 和 25m。实践证明, 该新技术手段可以有效增大向深部中—古生界传播的低频地震分量, 降低外源噪声干扰, 增加目的层信噪比, 使得地震剖面成像品质得到了明显提高, 同时还开展了双检电缆勘探试验 (高顺莉等, 2014a)。

2012 年, 中海石油 (中国) 有限公司上海分公司采用了两炮三线的拟宽线观测系统和中间放炮递减排列滚动接收的海底电缆 (OBC, 下同) 作业方式进行了地震资料采集, 试验线处理成果剖面的成像效果显示, 针对性设计的海底电缆地震采集方法通过优化的震源设计满足了屏蔽层的下传能量需求; 通过宽线采集处理增加了有效信号的覆盖次数, 达到了较好的噪声压制效果; 通过水陆检合并在一定程度上消除了该区发育的多次波, 提高了信噪比, 海相古生代地层内幕反射形态得到清晰的反映, 主要地质构造界面更加清晰 (高顺莉和徐发, 2014)。

在南黄海新一轮勘探进展与成果的引导下, 2011 年 11 月, 国土资源部在南黄海划出两个区块——盐城东区块 (3800km<sup>2</sup>) 和海安东区块 (3500km<sup>2</sup>) 进行常规油气探矿权竞争性出让。中石油中标的盐城东区块, 在三年勘查期内承诺勘查总投入 71800 万元, 中石化中标的海安东区块, 在三年勘查期内承诺勘查总投入 29912 万元。

2012 年, 中石化、中石油采用 OBC 采集方式, 分别完成了海安东区块 822km、盐城东区块 800km 的二维测线, 初步评价了区块油气资源远景。

2013 年 3 月, 国土资源部完成“南黄海苏北盆地东部北区块油气勘查”、“南黄海苏北盆地东部中区块油气勘查”、“南黄海苏北盆地东部南区块油气勘查”和“南黄海盆地南部石油天然气勘查区块”四个区块的常规油气探矿权竞争性出让, 由中石油、中石化和中海油分别获得了这些区块的常规油气探矿权。

## 二、外国在南黄海的油气勘探历程

与南黄海毗邻的韩国在南黄海东部的石油勘探始于 1968 年, 主要依赖外国公司 (特别是美国的公司或部门) 来进行。

1968年美国海军海洋局地磁计划组织,在124°E以东海域进行8km×8km航磁调查。同年美国海军“亨特号”船在黄海进行地震、磁力调查,做了4条区域大剖面。1969年韩国在南黄海近海划分石油招标区,分别由美国壳牌、德士古和海湾石油公司进行地震、重磁调查和钻探活动。同年10月,美国海军研究所又以CCOP的名义,在南黄海进行反射地震、磁力调查,完成地震测线2500km,地磁剖面4条计2500km。

1969年,韩国单方面划定了“黄海近海石油租让区”(图1.1),通过招标由西方有关石油公司进行重、磁和地震调查工作。

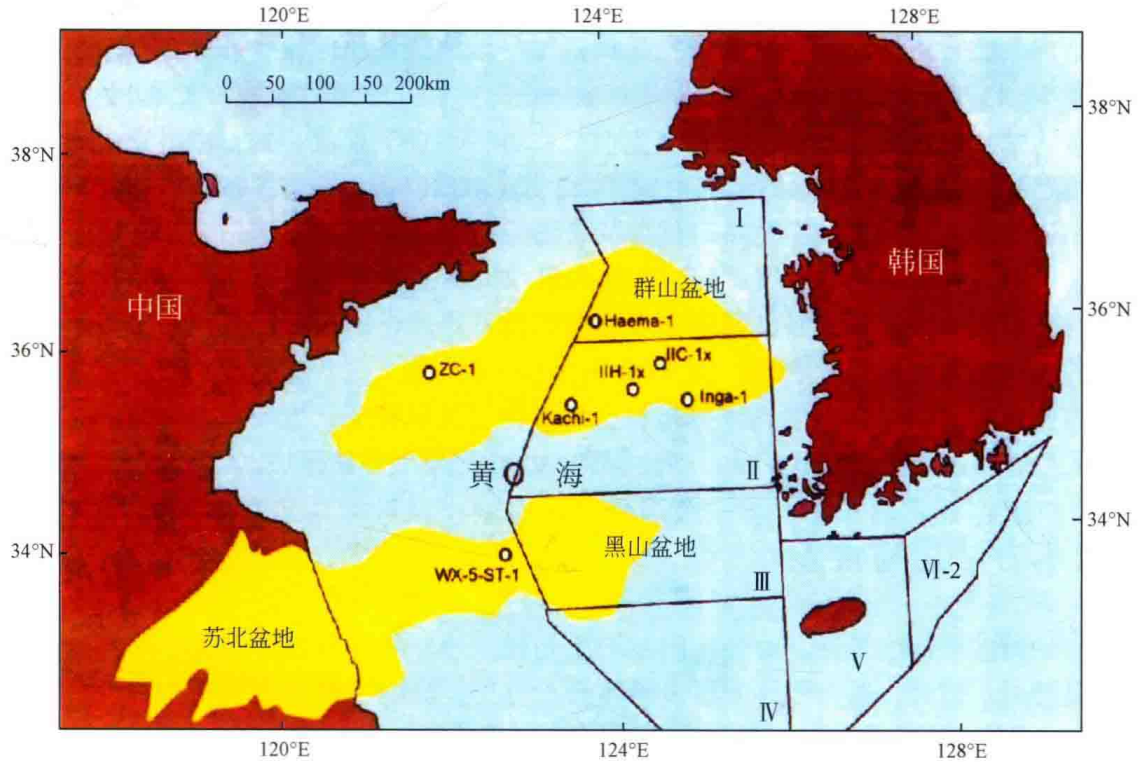


图1.1 韩国招标区块位置图(据韩国KIGAM)

1969~1971年,美国海湾(GULF)石油公司在II区块完成海洋磁力调查3068km,重力测线4645km,数字地震测线4645km。

1972年11月—1973年6月,韩国与海湾石油公司租用美国环球海洋公司的“格拉玛斯号”钻探船,在II区块内施工了3口探井,井号为IIH-1(826m)、IIH-1XA(3467m)、IIC-1(2017m),均为干井,未见油气显示。

1989~1991年,韩国国家石油公司(PEDCO)与Marathon公司又在II区块内钻了3口探井:INGA-1(4104m)、KACHI-1(2726m)、HAEMA-1(2541m),前两口井在白垩系中见少量油气显示。

到1999年,韩国在南黄海东部的I区块完成地震剖面4631km;II区块完成地震10380km,钻井6口,总进尺为15680km;III区块完成地震6141km。地震测网密度南、北两个盆地区达到5km×5km,其他海区为(20×40~40×50)km。

2002年,韩国资源研究院(KIGAM)经中国政府批准,在位于122°30'E以东中部隆起和北部拗陷的区域,开展了多道地震的补充调查工作。

## 第二节 南黄海油气勘探若干难点问题

南黄海中、古生代海相原型盆地在印支运动、燕山-喜马拉雅运动的强烈作用下被改造、破坏得面目全非,完全变成构造改造型叠合残留盆地,海相烃源岩大都已处于高成熟或过成熟演化阶段,油气运移、聚集、最终成藏和保存的地质条件显得十分复杂苛刻。因此,南黄海中、古生界海相油气勘探是个高复

杂、高难度、高风险的勘探领域，海相油气勘探的关键问题是油气成藏与保存条件和地球物理勘探技术方法的针对性。海相油气勘探主要存在如下难点。

## 一、海相油气勘探程度较低，地质认识有限

自 20 世纪 60 年代至今南黄海的油气勘探历时 50 余年，前地质部、地质矿产部、石油工业部和中国海洋石油总公司对南黄海盆地的石油地质特征进行的研究，多侧重于古近系，并进行了多次油气资源评价和资源量计算。至 80 年代，因该区自营勘探在古近系失利，各部门在调查和研究新生界的同时，开始注意和研究盆地内凸起（或低凸起）区的中生界及古生界的油气地质问题，并于 1983 年 12 月，在南黄海盆地南部拗陷 24/11 合同区块进行了中生界和古生界钻探，钻井中虽然未见油气显示，但拓宽了南黄海油气勘探思路和领域。

南黄海盆地迄今揭示中—古生界的钻井十分有限，已钻的 26 口探井（含韩国钻探的 5 口），仅 7 口钻入前中生界，钻遇的最老地层为上古生界的石炭系高骊山组，所有钻井均未钻入下古生界，早古生代地层研究程度低。同时，因地震成像品质不佳，在绝大多数剖面上下古生界未显现有效反射，前人曾利用重磁资料进行反演推测地层分布，但也因存在多解性的技术难题，结果并不理想。因此，对南黄海地区下古生界分布的轮廓基本上是不清楚的。

有关海相古生界（尤其是下古生界）分布、层位对比、沉积特征、生烃源及储集岩特征及其生储盖层组合关系等的认识，大多基于陆区的区域对比得到，迫切需要更多钻探加以证实。

## 二、勘探技术方法适应性差

南黄海海相残留盆地构造复杂、地层横向非均质性强，地球物理场复杂多变，海相碳酸盐岩目标层地震资料成像品质差，重力、磁力资料反演多解性问题突出，影响了对地质构造与地层分布及油气成藏特征的正确认识，制约了油气勘探的进程，也是南黄海海相油气勘探长期未能突破的主要原因之一。

### （一）勘探目标层段地震成像品质较差，制约了地质认识的深入

始于 20 世纪 60 年代末的南黄海盆地油气普查勘探，投入的总物探工作量达 10 余万千米测线（包括合作测线），受当时的勘探设备和技术条件的限制，仅在南部拗陷中获得二叠系龙潭组之上的地层界面有效反射。虽然目前的调查在陆相中—新生代盆地之下的海相中—古生界构造层内发现了一些构造轨迹，但因在深部地震反射能量弱，且受二维资料侧面反射等因素的影响，地震反射剖面总体品质较差，仅仅是在单方向、个别地震剖面段上见到比较清晰的反射，二叠系龙潭组以下界面地震反射不清，造成对其构造特征的认识不清，制约了对油气地质条件研究的深入。

### （二）针对海相中—古生界的地震勘探技术有待进一步攻关

地震勘探方面存在的关键问题是，南黄海盆地中、古生界历经多个世代的构造演化与改造，多期构造变动叠合导致逆冲构造、地层反转，地下地质构造复杂，碳酸盐岩块状非均质介质（与碎屑岩层状介质不同）等复杂地质条件，地震波场复杂，严重偏离了建立在水平层状连续介质之上的地震勘探理论基础，使之难以做到对目标层段的清晰成像；另外，地震资料采集环境恶劣，各种干扰波发育，多个强反射界面对地震波的阻滞、目标层段反射能量微弱等多种因素叠合作用，也是造成地震资料品质差的重要原因。目前已有的地震资料，有的连新生界内部的反射都不太清楚，代表前新生代地层的地震反射波组所反映的地质构造似是而非，内部细节难以识别。由于资料品质差，假象多，目前所钻构造圈闭，其可靠性落实程度差，对其所作的各种认识与推测甚至与实际地质情况大相径庭。虽然近年从岩石物理性质、地震反射特征、资料采集与成像处理等方面开展了大量的攻关研究与海上试验，在中部隆起与北部拗陷获得了海相地层的有效反射，地震资料的成像品质在逐步提高，但仍不能满足海相油气目标层段勘探评