

中国南方 下古生界 油气地质异常分析与评价

赵鹏大 吴冲龙 郭彤楼 陈建平 等著
蔡勋育 汤达祯 付孝悦 毛小平



科学出版社
www.sciencep.com

中国南方下古生界 油气地质异常分析与评价

赵鹏大 吴冲龙 郭彤楼 陈建平 等 著
蔡勋育 汤达楨 付孝悦 毛小平

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书介绍了采用地质异常及地质异常致矿理论,以成盆-成烃-成藏、建造-改造-破坏、充注-逸散-保存、物质-能量-信息等为内涵的油气资源地质异常预测评价的新方法。书中以中国南方重点区块的海相层系为例,从大地构造格架(时空结构和背景)、盆地原型与盆地演化、烃源特征及其演化、油气成藏保存条件动力条件四个方面着手,进行致藏地质异常、专属地质异常、综合地质异常、油田地质异常和油藏地质异常分析和圈定,进而对油气成藏可能地段(1P)、找油气可行地段(2P)、找油气有利地段(3P)和潜在油气藏地段(4P)进行了预测和评价。

本书可供从事石油天然气地质勘探和研究的技术人员、博士生、硕士生及本科生参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

中国南方下古生界油气地质异常分析与评价 / 赵鹏大等著. —北京: 科学出版社, 2010

ISBN 978-7-03-027412-0

I. ①中… II. ①赵… III. ①古生代—石油天然气地质—研究—中国
IV. ①P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 079937 号

责任编辑: 罗 吉 / 责任校对: 李奕莹

责任印制: 钱玉芬 / 封面设计: 王 浩

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>

天 时 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010 年 5 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2010 年 5 月第一次印刷 印张: 23 1/4

印数: 1—1 500 字数: 563 000

定价: 120.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

《中国南方下古生界油气地质异常分析与评价》
编写人员名单

赵鹏大 吴冲龙 郭彤楼 蔡勋育 陈建平

汤达祯 付孝悦 毛小平 孔春芳 冷德勋

汤 军 刘大锰 冯常茂 伍大茂 刘 刚

杜远生 周江羽 王连进 宋立军 等

前 言

本书是在中国石油化工股份有限公司南方油气勘探开发公司重点科技项目“中国南方海相下组合成藏条件与选区评价”^①研究基础上编写而成的。

中国南方有着十分复杂的地质构造演化历史，自新元古代以来经历了频繁的板块汇聚和裂解、造山和造盆运动，其油气生成、运移、聚集和保存条件、地质条件也因此变得十分复杂。本书在对中国南方川东南—黔中、鄂西—渝东及其外围地区海相下组合油气成藏地质条件进行系统总结的基础上，采用地质异常及地质异常致矿（赵鹏大等，1991）理论和方法，通过分析油气成藏的特异条件和特异规律，进行以成盆—成烃—成藏、建造—改造—破坏、充注—逸散—保存、物质—能量—信息等为内涵的油气资源地质异常预测评价的新理论和新方法探索，并在此基础上对各重点区块的油气资源潜力进行评价和选优，为下一步勘探工作提供了参考依据。

课题研究以石油地质学综合研究为基础，采用地质异常的理论与方法，结合板块构造学、盆地动力学、构造地层学、地球物理学、有机地球化学、有机岩石学、盆地耦合、地热学等多学科理论和技术，从大地构造格架（时空结构和背景）、盆地原型与盆地演化、烃源特征及其演化、油气成藏保存条件和动力条件四个方面着手，进行致藏地质异常、专属地质异常、综合地质异常、油田地质异常和油藏地质异常分析和圈定，进而分别对油气成藏可能地段（1P）、找油气可行地段（2P）、找油气有利地段（3P）和潜在油气藏地段（4P）进行了预测和评价。

通过各种基础研究工作^①，取得的进展包括以下12个方面：

1) 课题组以油气地质异常和GIS理论为基础，结合中国油气地质理论，应用成矿预测及资源评价技术（如证据权重法、ART神经网络法、层次分析法等），首次进行了中国南方扬子及其周缘各类沉积盆地的油气地质异常研究。

2) 探讨了油气地质异常的基本理论及评价方法，认为致矿（藏）油气地质异常的尺度，按照工业评价对象可分为四级：①区域地质异常，②盆地

^① 赵鹏大，吴冲龙，陈建平，汤达祯等，2006，中国南方海相下组合成藏条件与选区评价——油气地质异常分析与资源定量预测，中国石油化工股份有限公司南方勘探开发分公司项目研究报告。

(区块)地质异常,③区带地质异常,④圈闭地质异常;按照空间规模可分为五级:①巨型地质异常,②大型地质异常,③中型地质异常,④小型地质异常,⑤微型地质异常。进而,把油气资源预测评价对象的级次分为:对油气成藏可能地段(1P)、找油气可行地段(2P)、找油气有利地段(3P)、潜在油气藏地段(4P)和远景油气藏地段(5P)。

3) 中国南方的原始油气成藏条件十分优越,包括多套巨厚的优质烃源岩、多套巨厚的优质盖层、多种类型的油气运移通道、多种类型的储层和圈闭,以及多个适配的关键时刻。但由于经过了漫长而强烈的构造运动改造,原始油气系统遭受了严重破坏。例如,黔中隆起的麻江、瓮安、良村和岩孔等众多大型古油藏,都成为裸露地表的沥青矿。在中国南方对油气藏保存条件起主导作用的是持续而强烈的构造变形,特别是印支—燕山期的多岛洋闭合和多块体聚合碰撞造成的前陆构造变形。

4) 在加里东一早印支期,南方海相盆地原型演化以建设为主,原型之间主要是继承性叠加,形成了优越的生储盖组合和成藏条件;在中印支—晚燕山期,南方海相盆地原型演化以改造为主,原型之间主要是破坏性叠加,使生储盖组合遭受破坏。在印支运动过程中,华夏板块与扬子板块、扬子板块与华北板块、扬子板块与昌都—思茅微板块相继拼合,古特提斯多岛洋逐步走向封闭,中国南方整体进入陆内造山、造山带周缘前陆盆地、弧后前陆盆地的形成、演化阶段,所形成的复合盆山体系及其推覆—滑覆构造带,是研究区油气藏保存的主导性控制因素。在喜马拉雅运动中,中国南方海相盆地原型的改造主要表现在: K_2 —E走滑—伸展背景下的裂陷盆地叠加;E—N初期的大规模隆升剥蚀;N—Q区域性披覆层形成。

5) 研究区海相下组合烃源母质主要由低等生物、藻类体和浮游动物等组成,原生沉积组分生烃潜力大,原始有机质类型属于腐泥型(即I型)。源岩含有四种显微组分即:藻类组、腐泥组、动物有机组和热变组(次生组)。结合烃源岩常量和稀土元素地球化学研究,划分出五类沉积有机相,即动荡局限海笔石相、滞流局限海笔石相、碳酸盐台地藻积相、泥质台地藻积相和深水陆架藻积相。

6) 下组合烃源岩成熟演化,在时间序列上主要受寒武纪—志留纪、二叠纪—三叠纪、侏罗纪—白垩纪沉降埋深影响,油气系统形成的关键时刻大体是:①加里东运动(463.9~408.5Ma);②海西—印支运动(256.1~203Ma);③燕山中、晚期运动(135~88.5Ma);④喜马拉雅中、晚期运动(23.3Ma以来)。但分别受到随后的泥盆纪、中—晚三叠世、中白垩世以后沉积间断(特别是抬升剥蚀)的阻滞。生排烃中心均位于相应烃源岩的最大厚

度处，黔中和湘鄂西是寒武系烃源岩生排烃强度中心，川东南—渝南志留系烃源岩生排烃强度最大，湘西北为志留系的局部生排烃中心。

7) 黔南、黔东南进入“油窗”、“气窗”时间明显早于川东、黔北—川南。前者震旦—寒武系烃源岩于海西—印支早期衰竭，志留系烃源岩于印支期衰竭；后者震旦—寒武系烃源岩于燕山早—中期衰竭，志留系烃源岩燕山早—中期处于生气高峰但因抬升而暂停。鄂西—渝东、湘西北的震旦—寒武系烃源岩于海西—印支早期衰竭，志留系烃源岩于燕山中期进入“气窗”但因抬升而暂停；黔中地区受三次构造运动影响曾大幅度抬升，烃源岩生烃作用受到阻滞，致使震旦—寒武统烃源岩至燕山早中期仍具有生气能力，而且至今仍有残余产烃能力。

8) 下组合烃源岩绝大部分达到过成熟的干气阶段，少量处在高成熟的湿气晚期阶段。川东—重庆—鄂西是区域连片的高演化中心，寒武系等效镜质体反射率达 4.0 以上，志留系等效镜质体反射率达 3.0 以上，向周边逐渐降低。黔南、湘西以及湖北荆州的烃源岩成熟度最低，寒武系等效镜质体反射率也达到 2 左右，湘西北残存志留系等效镜质体反射率达 1.3 左右，也超过液态烃门限。

9) 通过生排烃作用模拟实验证实，研究区海相下组合烃源岩生烃作用，表现为已成烃类的裂解和干酪根生烃潜力的逐渐耗竭，气态烃主要来自重烃裂解而不是高演化的干酪根。参照烃源岩对比样品的生、排烃效率，南方下组合烃源岩有机质进入干气阶段后仍然具有 5% 左右的生烃潜量。即使不计已成烃的裂解转化产物，对于规模巨大的下组合烃源岩来说，也具有一定数量天然气的补充来源。这种情况的存在，使得南方海相下组合具有“生烃较早而聚集成藏较晚”的特点。

10) 本次研究圈定的南方重点区域的油气田地质异常有 25 个。其中，一类（好的）油气田地质异常（AA）区域 3 个，二类（中等）油气田地质异常（BB）区域 17 个，三类（差的）油气田地质异常（CC）区域 5 个。地质异常总面积有 30 余万平方公里，预测天然气资源量约 20 万亿立方米。说明中国南方具有很好的资源潜力，尤其在川、渝、黔、湘、鄂交界区，有希望实现天然气资源的新突破。

11) 在中国南方海相残留盆地中，除了三江、龙门山、江南、川滇、武夷和闽浙沿海造山带等的核心部位，以及浙闽岩浆岩带之外，在 8 个原始超级油气系统的范围内（包括造山带前缘逆冲推覆构造掩盖区），都是油气成藏可能地段（1P）。其中，四川盆地东北部、鄂西—渝东地区是一类最有利保存单元和找气可行地段（2P—A）；滇东、黔中、黔北和湘鄂西、下扬子地区是二

类最有利保存单元和找气可行地段 (2P-B); 黔南—黔东南和中扬子北部是三类较有利保存单元和找气可行地段 (2P-C)。

12) 根据扬子地区油气分布特点, 基于证据权重法、ART 神经网络方法和层次分析法, 认为四川盆地北部、鄂西—渝东地区、下扬子地区是找气最有利地段 (3P-A); 而滇东、黔北等地区则为找气次有利地段 (3P-B); 大方背斜带、梨子冲向斜、贵定断阶以及滇黔北部拗陷部分地区是黔中隆起最佳潜在油气藏地段 (4P-A), 而开阳凸起、织金凸起、三塘拗陷以及黔南拗陷是次佳潜在油气藏地段 (4P-B)。鄂西—渝东地区的万县大池井至大天池地区、利川建南地区、利川以北的板桥地区、吉首以北地区和大庸以北的较平缓地区也为潜在油气藏地段 (4P)。

在本书的研究和编写过程中得到中国石油化工股份有限公司前副总裁牟书令教授和马永生院士的关心和指导, 中国石油化工股份有限公司南方油气勘探开发公司领导及技术负责杨方之、田海芹、谢刚平等, 中国地质大学(武汉) 和中国地质大学(北京) 有关领导和科研管理机构也给予许多支持和帮助。谨此表示衷心的感谢!

赵鹏大

2007 年 10 月

目 录



 项目研究思路与研究方法	1
第一节 勘探现状、存在问题和研究思路	1
一、中国南方海相勘探与研究状况	1
二、勘探成果和研究成果	3
三、亟待解决的问题	5
四、本书的研究思路	6
第二节 油气地质异常理论与方法	6
一、油气地质异常的概念	7
二、油气地质异常的尺度水平	7
三、油气地质异常的类型	9
四、油气地质异常的研究方法	13
第三节 主要研究内容和技术路线	20
一、主要研究内容和关键技术	20
二、本书的技术路线	22
 南方及邻区海相盆地原型及改造	24
第一节 特提斯多岛洋与中国南方海相盆地格局	24
一、特提斯多岛洋的概念	24
二、华南及邻区海相盆地格局	27
第二节 中国南方海相盆地原型及其演化	27
一、中国南方南华纪—震旦纪盆地原型	28
二、中国南方加里东期海相盆地原型	30
三、中国南方海西—印支期海相盆地原型	38
第三节 扬子板块及其边缘海相盆地原型的叠加改造	53
一、扬子板块及其边缘在印支以来的演化概况	53
二、下扬子海相盆地原型在印支以来的叠加改造	56
三、中扬子海相盆地原型在印支以来的叠加改造	61
四、上扬子海相盆地原型在印支以来的叠加改造	66
五、中国南方海相盆地原型的变形分区	77

第三章	烃源岩油气潜力及其地质成因	83
第一节	中国南方烃源岩的基本特征	83
一、	有效烃源岩的划分标准	83
二、	烃源岩发育的沉积环境	84
三、	海相烃源岩特征及其分布	84
第二节	川黔渝鄂湘边区烃源岩沉积特征与分布	87
一、	震旦系烃源岩	87
二、	寒武系烃源岩	90
三、	奥陶系烃源岩	93
四、	志留系烃源岩	96
第三节	烃源岩有机岩石学特征	98
一、	烃源岩岩石类型	98
二、	有机显微组分分类命名及基本特征	101
三、	有机显微组分组合及有机质类型	104
第四节	烃源岩油气地球化学特征	108
一、	烃源岩发育特征	109
二、	烃源岩有机质丰度	110
三、	烃源岩品质区域变化	118
第五节	烃源岩地质地球化学成因	124
一、	烃源生物相	124
二、	地球化学相	128
三、	沉积有机相	137
第四章	烃源岩成熟演化与生排烃作用	143
第一节	有机质成熟度及其区域变化	143
一、	高熟有机质热演化特征	143
二、	有机质成熟度评价	144
三、	成熟度变化趋势	146
第二节	烃源岩成熟演化	147
一、	区域地热背景	147
二、	有机质成熟演化	152
三、	生排烃作用	168
四、	生排烃期次	179
第三节	生排烃作用模拟实验	181
一、	实验目的与流程	181
二、	试验结果与讨论	181
三、	实验小结	187

第五章	中国南方海相油气成藏保存条件分析	189
第一节	中国南方海相残留盆地油气成藏可能地段 (1P)	189
一、	中国南方海相原始油气系统与致藏地质异常分析	189
二、	川黔渝鄂湘边区典型古油藏剖析	195
三、	油气成藏可能地段 (1P) 分析结果	226
第二节	中国南方油气藏保存条件	226
一、	构造活动与油气保存	226
二、	岩浆活动与油气保存	230
三、	水文地质条件与油气保存	230
第三节	油气成藏组合模式、油气保存单元与找气可行地段 (2P)	233
一、	油气成藏组合模式与专属地质异常	233
二、	油气保存单元与找油气可行地段 (2P) 评价	235
第六章	找气有利地段和潜在资源地段评价	239
第一节	南方古油藏与现代油气系统分布	239
一、	南方古油藏及油气系统分布与区域构造的关系	239
二、	南方古油藏及油气系统分布与地球化学急变带的关系	242
第二节	扬子地区综合地质异常与 3P 地段证据权重法评价	244
一、	扬子地区有利地段 (3P) 证据权重法模型	244
二、	扬子地区有利地段 (3P) 证据权重法评价	254
三、	预测结果及综合评价	256
第三节	鄂渝黔湘交界处综合地质异常与 4P 地段神经网络评价	258
一、	鄂西—渝东—黔北—湘西石油地质概况	258
二、	ART 神经网络评价模型的特点	260
三、	ART1 神经网络评价模型的应用	261
四、	鄂东—渝西下古生界油气地质异常有利区带 (3P) 预测	275
第四节	黔中隆起及周缘地质异常与 4P 地段层次分析法评价	277
一、	黔中隆起地质概况	277
二、	油气地质异常的层次分析评价法	278
三、	黔中隆起油气成藏、保存条件层次评价	284
四、	黔中隆起及周缘油田地质异常和 4P 地段定量综合评价	302
第七章	重点区块下组合潜在资源地段	304
第一节	下组合油气田地质异常及成藏模式	304
一、	下组合油气系统的成藏特征	304
二、	下组合油气系统的成藏模式	308
第二节	下组合油气成藏动力学特征	310
一、	生烃动力学特征分析	310

二、排烃动力学特征分析·····	311
三、运聚动力学特征分析·····	313
第三节 下组合油田地质异常分类与分布·····	316
第四节 下组合潜在油气资源地段(4P)的预测·····	317
一、潜在油气资源地段评价的参数与指标·····	317
二、重点区块潜在油气资源地段(4P)评价·····	319
第五节 典型油气田地质异常系统描述·····	322
一、潜在油气资源地段(4P)的典型油气田地质异常系统·····	322
二、中、古生界古油藏的地质异常系统·····	324
第六节 中国南方油潜在油气资源地段(4P)的资源潜力·····	328
一、南方重点区域油气地质异常区域·····	328
二、南方重点区域资源潜力及评价·····	328
 结论与讨论·····	331
第一节 油气地质异常分析与选区评价方面·····	331
一、油气地质异常的基本理论及评价方法·····	331
二、致藏地质异常与1P、2P地段评价·····	331
三、综合地质异常与3P地段评价·····	332
四、油田地质异常与4P地段评价·····	332
第二节 海相下组合盆地原型与盆地演化方面·····	333
一、特提斯多岛洋与中国南方海相盆地格局·····	333
二、扬子板块及其边缘海相盆地原型的叠加改造·····	336
三、上扬子复合盆地体系及其对海相盆地原型的改造·····	338
四、中国南方海相盆地原型的变形强度分区·····	340
第三节 海相下组合烃源特征及其演化方面·····	341
一、原始主力烃源岩·····	341
二、烃源岩品质特征·····	342
三、烃源岩生物、地球化学相·····	342
四、烃源岩成熟演化与生排烃作用·····	344
五、碳沥青的类型与成因·····	345
六、古油藏形成与破坏·····	346
第四节 海相下组合油气成藏保存方面·····	347
一、优越的原始油气成藏条件·····	347
二、欠佳的油气藏保存条件·····	349
三、找气可行地段(2P)圈定·····	352
第五节 存在问题和进一步研究方向·····	355
 ·····	356

第一章 项目研究思路与研究方法

第一节 勘探现状、存在问题和研究思路

中国南方海相油气勘探从 1956 年起至今,已有 50 年历史,取得了许多重要的成果,特别是在川东北和鄂西—渝东地区取得了重大突破,为中石化制定“积极准备南方”的战略决策提供了依据。为了寻找本项目研究的切入点,采取合理的研究思路与方法,有必要对南方的油气勘探现状及主要成果进行分析和总结。

一、中国南方海相勘探与研究状况

1. 区调与物探工作状况

南方已完成了全区 1:20 万和部分地区的 1:5 万区调,完成了大部分地区的 1:5 万石油地质普查和滇、黔、桂中、湘鄂西地区的 1:5 万地面构造详查,开展了全区与 MT 叠合的织金—泰兴、双柏—惠来、赤水—木央、监利—钦州、武汉—厦门、蒙城—温州 6 条区域走廊地质大剖面和苏皖南、江汉、楚雄、思茅地区的 25 条 1:2.5 万~1:5 万地质构造廊带大剖面的调查。

全区已完成 1:100 万航磁、1:50 万重力测量和楚雄、十万大山、江汉、苏皖南、合肥等大部分地区的 1:5 万~1:20 万重磁测量;全区开展了织金—泰兴、双柏—惠来等 6 条区域 MT 大剖面的测量(1205 点/6650km),在苏皖南、苏北、湘鄂西、合肥、楚雄、思茅、黔东、桂中、江西、浙江等地完成了 MT 剖面测量约 22622 点/9626km;此外,还进行了全区 1:100 万~1:200 万和苏皖南、江汉、兰坪—思茅、南盘江、桂中、湘中、麻阳、鄂西等地区的 1:20 万~1:50 万油气地质遥感图像处理解释。

为了解剖盆地结构,先后完成了 24 条区域数字地震大剖面:中扬子区的监利—应城 2 条,下扬子区 4 条,楚雄盆地 9 条,南盘江拗陷 3 条,十万大山盆地 5 条,川—黔—湘 1 条。而为了解剖盆—山结构及其演化过程,把上述各盆地的区域大剖面与造山带地学断面连接起来,形成了 13 条地质—地球物理综合解释基干剖面:①龙门山—方斗山—雪峰山剖面;②秭归—房县—溁川剖面;③宜都—信阳—太康剖面;④大冶—六安—凤台(宿松—六安,舒城—淮南)剖面;⑤宁国—肥东、衢州—九华山剖面;⑥平湖—灌南—沂源剖面;⑦腾冲—保山—东川剖面;⑧耿马—景谷—弥勒剖面;⑨老君山—坝林—嵩明剖

面；⑩那坡—八渡—赤水剖面；⑪峒中—天等—从江剖面；⑫钦州—西大明山、阳江—桂平—武宣剖面；⑬贵阳—雷山剖面。

南方海相数字地震勘查工作，除四川盆地外，主要集中在鄂西—渝东区、江汉盆地、苏皖下扬子地区、楚雄盆地、十万大山盆地及南盘江秧坝—潞城地区，总计逾 80000km。江汉及苏北盆地充分利用陆相普查、详查细测网抽稀构成海相普查、详查网约 12000km。鄂西—渝东区测网密度达到 $1\text{km}\times 2\text{km}$ ，江汉、苏北东部及句容地区 $2\text{km}\times 4\text{km}$ （局部 $1\text{km}\times 2\text{km}$ ），楚雄盆地、十万大山盆地、秧坝—潞城地区 $4\text{km}\times 6\text{km}$ 。

2. 钻探工作状况

近 50 年来，在南方地区钻遇中—古生界海相地层的钻井近千口，总进尺超过 $120\text{m}\times 104\text{m}$ 。其中，以海相地层目的层的近 600 口。这些钻井较集中分布在江苏、江汉、湘鄂西、湘中、桂中、黔中、黔东、煤山等地，普遍见油气显示（500 余口），而且油气显示层位多（ Z_2-J ）、类型多，反映南方海相地层发生过油气生成与成藏过程。

1996 年以来，先后在下扬子区句容二圣桥构造钻探了圣科 1 井，在中扬子区当阳复向斜建阳驿构造钻探了建阳 1 井，在楚雄、秧坝、川东北及鄂西—渝东区块实施了乌龙 1 井、云参 1 井、秧 1 井、建南 1 井、黄（金）1 井、长生 1 井、河坝 1 井、毛坝 1 井、普光 1 井、双 1 井、太 1 井及新场 2 井、茶园 1 井等的钻探。其中，毛坝 1 井、太 1 井和普光 1 井都获得重大突破；在楚雄、秧坝、赤水、建南和句容等地仅有一些小的发现，而中、下扬子的多数地区未达到钻探目的。

3. 科研工作状况

近 50 年来，我国各有关部委和产业部门在南方油气勘探领域投入了巨大的科学研究工作量。其中包括：原地质矿产部及原新星石油公司所开展的 320 项地质综合研究，749 项物探研究及 37 项化探研究；CNPC 在南方探区开展大量油气地质研究，并先后组织第一轮（1985～1987 年）、第二轮（1990～1993 年）油气资源评价、第三轮（1999～2001 年）油气资源评价、新一轮（2004～2006 年）油气资源评价，以及江汉平原前白垩系（1990～1992 年）、苏皖南海相（1991～1995 年）、楚雄盆地（1990～1993 年）3 个油气勘探前期工程综合研究。连续三个五年的国家重点科技攻关项目，先后进行了“南方海相碳酸盐岩地区油气普查勘探技术方法的研究”（65-20-1）、“扬子海相碳酸盐岩地区油气勘探技术和评价研究”（75-54-02）、“中、下扬子海相地层成气（油）藏条件及勘探目标研究”（85-102-14），以及“我国西部远景含气盆地天然气富集规律的综合研究”。

此外，滇黔桂石油勘探局在“八五”期间还开展了“滇黔桂碳酸盐岩地区最佳油气保存单元的选择与评价”项目的研究。

特别是 1999 年开始，为配合中国石油化工股份有限公司对南方海相及陆相地层全面开展第三轮（1999～2001 年）油气资源评价，南方项目经理部开展了 1999 年度生产性评价研究课题 48 项，2000 年区块部署研究类 8 项，圈闭计价与井位论证 12 项，专题、综

合研究 25 项, 其他 3 项。2000 年以来, 又相继对南方海相开展了多项综合研究: ①中扬子、下扬子、扬子陆块东南缘、南盘江和十万大山“五条地球化学骨干剖面”; ②中国南方海相震旦系—中三叠统构造—层序岩相古地理研究及编图; ③各重点区块地质研究; ④中国南方海相中古生界天然气地质综合研究; ⑤中国南方海相油气成藏理论研究; ⑥中国南方区域构造与原型盆地演化; ⑦“十五”国家攻关课题“中下扬子北缘地区天然气勘探目标优选与关键技术研究(2004BA616A-06)”等。通过这些深入的研究工作, 取得一系列重大成果, 对南方海相油气勘探工作的进展做出了重要贡献。但由于南方石油地质极端复杂, 至今仍存在一些亟待解决的问题。

二、勘探成果和研究成果

几代石油地质人员经过 40 多年来的艰辛努力, 对中国南方海相盆地基本油气地质条件有了较为深刻的认识, 先后发现了下三叠统嘉陵江组、飞仙关组、上二叠统长兴组、上石炭统黄龙组 4 套含气层系和一大批具有工业价值的油气田, 获控制储量数千亿方。第三次资源评价结果表明: 南方海相石油远景总资源量为 33.627 亿 t, 其中潜在(圈闭)资源量为 1.31 亿 t; 海相可燃天然气远景总资源量为 14.2 万亿 m^3 , 其中潜在(圈闭)资源量为 1.24 万亿 m^3 , 探明储量为 50.55 亿 m^3 (建南气田, 不包括赤水气田), 控制储量为 179 亿 m^3 (苏北朱家墩); CO_2 探明加控制储量为 261.48 亿 m^3 (黄桥)。最近的进展表明, 第三次资源评价结果偏于保守。特别是在鄂西—渝东地区多口井钻获天然气流, 南方公司提交太 1 井预测天然气储量为 153 亿 m^3 ; 江汉油田建南气田提交新增探明天然气 48 亿 m^3 、控制 71 亿 m^3 、预测 59 亿 m^3 ; 川东北达县宣汉探区毛坝 1 井喜获高产工业气流, 日产天然气 33 万 m^3 , 无阻流量超过 100 万 m^3 ; 在普光构造已经探明了 3000 亿 m^3 的储量。所有这些成果, 确立了南方海相古生界作为我国陆上油气勘探开发战略接替区的地位。

对中国南方海相盆地基本油气地质条件的认识, 归纳起来有以下几个方面:

1) 明确了南方海相古生界为重要勘探领域, 将南方海相探区划分为三个层次九个有利区块, 即战略展开区: 鄂西—渝东区块、川东北区块; 战略突破区: 句容—海安区块、江汉盆地南部区块、楚雄盆地北部区块、南盘江拗陷(秧坝)区块、十万大山盆地南部区块; 战略准备区: 思茅拗陷区块、湘鄂西区块。近期发现黔中隆起区的震旦系和寒武系在地层产状与构造特征上较为有利, 也可能成为新的战略突破区。

2) 对南方海相盆地的性质、结构有了基本了解, 认识到南方多期次(印支、燕山、喜马拉雅)构造运动对海相盆地进行了强烈的改造和破坏。

3) 认识到南方海相盆地存在多套生储盖组合, 其中包括 3 套主力烃源岩和 5 套地区性烃源岩, 烃源基础雄厚, 但演化程度普遍较高 (R^o 一般为 1.35%~2.5%, 高者超过 4%), 勘探目标主要是天然气, 而且气源具多样性(生油岩裂解气、原油裂解气、水溶气、煤成气和深盆解吸气, 甚至还有炭沥青裂解气)。

4) 针对南方海相油气后期经受强烈改造的特点, 提出了“保存条件”是南方海相油气勘探的关键问题, 进而提出了以“保存单元”来取代传统“构造地质单元”的评价思路和方法, 提出了寻找“整体封存条件下的有效成藏组合”。

5) 提出以盖层突破压力、孔喉半径等微观指标来评价盖层有效性, 以及海相油气保存单元的概念和划分方法^①; 提出以地层水变质系数 ($r_{\text{Na}^+}/r_{\text{Cl}^-}$)、矿化度、脱硫系数 ($r_{\text{SO}_4^{2-}} \times 100/lr_{\text{Cl}^-}$) 等水化学指标和水动力 (地下水渗入、沉积水封存) 分析, 进行水文地质系统开启/保存的评价; 应用非常规微量分析技术与冷变质模拟试验, 以油、气、水、沥青四大类 32 种系列地球化学指标来有效评价油气开启与封闭的保存条件。

特别值得提出的是: 针对南方油气勘探和研究领域长期存在、亟待解决的 3 个关键问题和 3 项关键性技术, 即在成藏理论方面的残留盆地有效烃源问题、油气保存问题及海相碳酸盐岩特殊储层预测问题, 在勘探技术方面的圈闭有效性评价技术、地震及非震勘探技术、钻井工艺及气层保护和改造技术等, 中国石油化工集团公司于 2001 年 7 月启动了“中国南方海相油气成藏理论研究”项目。其主要研究内容有 5 大方面: ①南方海相盆地演化与重点区块构造特征研究; ②南方海相有效烃源研究及重点区块评价; ③南方海相重点区块油气保存条件研究; ④南方海相沉积和储层研究; ⑤南方海相成藏规律及勘探目标优选。目前, 已经取得了以下 10 项重要成果和认识:

1) 中国南方海相盆地纵向上经历了 6 个演化阶段; 横向上可划分为 2 个板块、4 个造山带; 中、新生代构造可以划分为 3 种类型、15 个构造带; 加里东期盆地可划分为 5 种类型; 加里东构造运动可划为 5 个构造强度区块, 由南东向北西变形渐弱; 早中海西期盆地可划分为 4 种类型; 东吴运动以康滇构造带为界表现出 3 种不同性质的构造活动; 在康滇南北向构造带以东地区, 可以划分出 4 个构造强度区块。

2) 编制了以探索油气运移聚集轨迹为目的的加里东、海西及早、中三叠纪系列盆地类型演化图及构造纲要图。

3) 遵循从已知到未知的原则, 以川东北、鄂西—渝东为重点解剖对象进行有机地球化学分析、对比, 确定了原始有效烃源岩的地球化学指标。通过与国内、外大型碳酸盐岩油气田形成条件的对比, 明确认为: ①南方海相烃源有失有存, 寻找有效烃源仍是勘探成功的关键之一; ②南方海相在有保存条件的地区仍有有效烃源 (岩)。

4) 通过对建南气田、川东北区的气/气、烃/源对比, 应用天然气浓缩轻烃指纹参数及其他指标, 指出川东北工业气流的有效烃源岩为二叠系碳酸盐岩和泥质岩; 鄂西渝东的建南气田石炭系产层天然气的有效烃源为志留系源岩的二次裂解水溶气, 二叠系、三叠系产层天然气的有效烃源 (岩) 为二叠系碳酸盐岩、泥质岩和源于志留系原油的二次裂解水溶气。再次探索了“气/气对比、气/源对比”的方法。

5) 对川东北及鄂西渝东地区的主力储层进行了再次分析, 并利用地质、测井、地震储层参数相结合的方法, 探索了白云岩、滩、礁及岩溶裂缝储层定量化研究方法。

6) 南方海相发育 5 套区域性盖层, 可划分出 6 种类型的保存单元; 构造运动对盖层本身的保存和油气保存条件有重大影响, 通过解剖已知油气藏、古油藏, 阐述了重点区块油气有效保存条件的评价方法系列及有效盖层的评价指标。

7) 认为石柱复向斜区、川东北区为烃源条件好的地区, 利川复向斜区为烃源条件差

^① 刘特民, 陈国栋, 吴正永等, 1990, 滇黔桂上扬子地区海相碳酸盐岩油气演化与保存条件研究, 国家重点科技攻关项目 (54-02-11-01) 研究报告。

的地区,近期勘探应以川东北及石柱复向斜鲕滩地震异常体为重点目标;提出句容—海安区块成藏主要受二次或晚期生烃及保存条件控制,可划分出4种储盖组合类型;提出白驹凹陷西部、盐城凹陷、阜宁凹陷、溱潼凹陷、涟南凹陷、泰州—泰兴—海安—东台一带为下一步的有利勘探地区。

8)对区内15个(古)油气藏进行了解剖分析,利用各类研究成果初步统计了原始沥青储量约为21.55亿t,按油—沥青(最小)转化系数1.6计算,原始石油储量至少有34.48亿t。这部分资源已经损失。

9)确认中国南方具有形成大中型油气田的原始地质条件;印支以后的三期构造运动改变了南方海相(不含四川盆地)原始的优越成藏条件,膏盐岩的发育是影响保存条件的有利因素。提出南方海相油气成藏模式,主要有中生代时期相对稳定的“准原生”成藏模式,以及“古生界二次生烃+下生上储或古生新储”的“晚期生烃”成藏模式。认为在南方进行油气勘探,既应重视有效烃源(岩)、有效圈闭、晚期成藏组合研究,也应重视原生成藏的研究。

10)根据石油地质条件及目前勘探技术水平,认为南方海相有利油气勘探方向是:有较好、较厚中生界盖层覆盖的盆地区,构造活动早期活跃晚期稳定的盆地区,以及具有较好保存条件的逆掩推覆带或近源、深埋、逆断层发育的地区。指出大川东地区是勘探首选地区,同时提出了南方海相近期研究方向的建议。

三、亟待解决的问题

应当指出,上述勘探和研究成果的获得是十分喜人的,但仍然有待进一步总结和深化,有些认识也有待勘探实践验证。显然,要在这种经历过长期多次强烈构造运动改造的高一过成熟海相残留盆地中寻找油气,需要进行系统、完整的理论、方法与技术探索,特别是需要建立起一个具有中国南方海相残留盆地特色,以强烈形变、高一过成熟、多期成藏和残余保存为主要研究内容的天然气地质理论,以含油气区、盆地(区块)、区带、圈闭4个工业性评价层次为资源预测对象的油气系统分析方法,以克服结构信息不全、关系信息不全、演化信息不全和参数信息不全状况为基本原则的数据采集、处理、解释和应用的信息技术体系,以及以这种类型复杂、破坏严重、残缺不全的油气藏为目标的勘探技术体系(物探、钻探、试油等)。经过几代石油地质工作者的多年努力,这种状况已经有了改变,但由于南方大地构造和油气演化的高度复杂性,以及由此而引起的地层介质高度不均一性和不连续性,在争取南方海相油气勘探领域战略突破的道路上,仍然面临着一系列亟待解决的问题。

(1) 盆地演化、热体制及动力学背景方面

早古生代以来,我国南方海相含油气盆地形成、演化的大地构造背景、历史过程及动力学条件究竟如何?每个地质时期的盆地原型所遭受改造的形式、时空特征有无规律性?哪些地区是寻找大中型油气田最可行、最有利的地段?