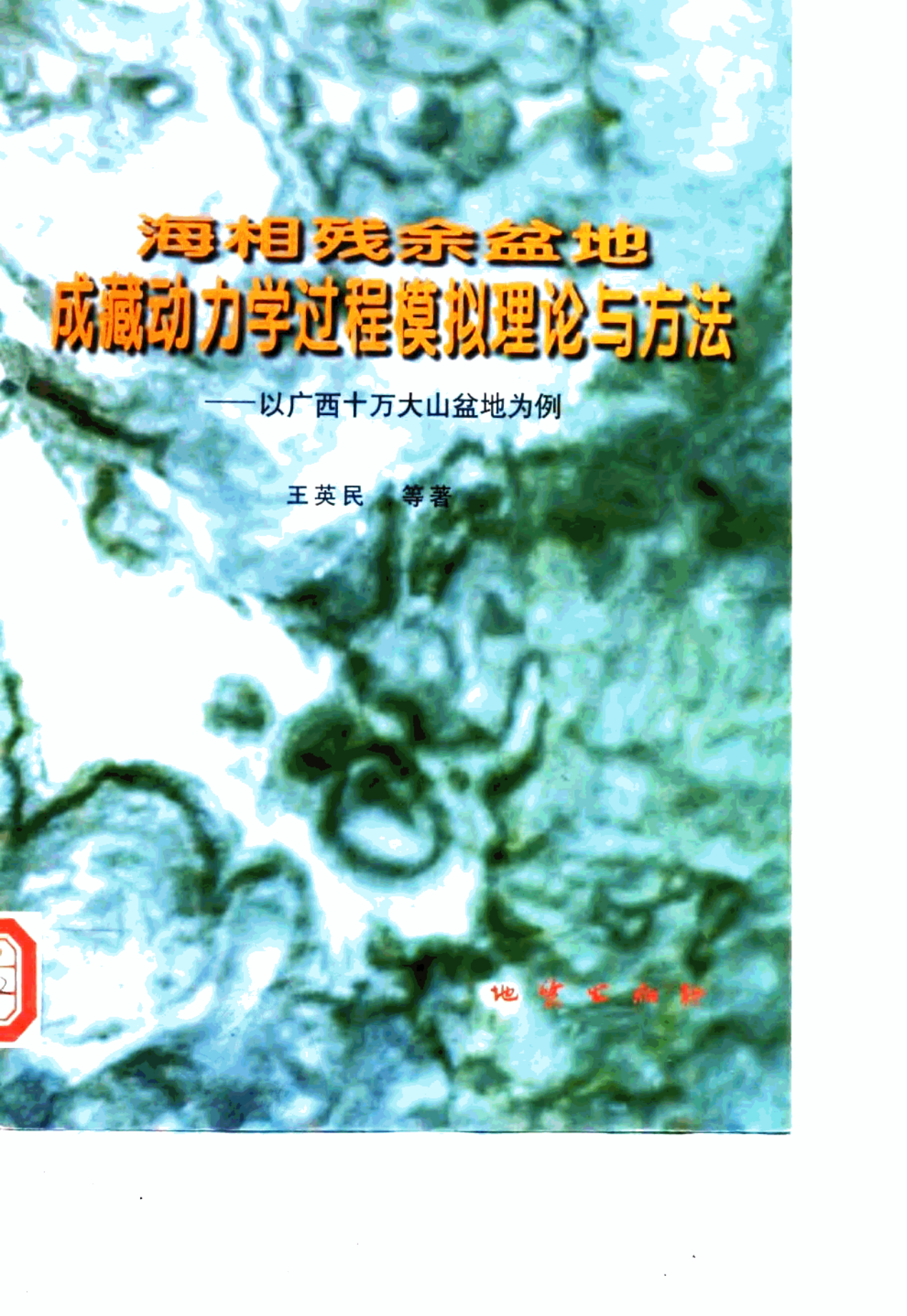




海相残余盆地 成藏动力学过程模拟理论与方法

——以广西十万大山盆地为例

王英民 等著

地质出版社



地质矿产部百名跨世纪
科技人才培养计划资助

海相残余盆地成藏动力学过程 模拟理论与方法

——以广西十万大山盆地为例

王英民 邓 林 贺小苏 罗立民 著
曹正林 王 勇 董 伟

地 质 出 版 社
· 北 京 ·

内 容 简 介

中国的前新生代海相盆地几乎均可归结为残余盆地,它们必将成为我国 21 世纪油气勘探的主战场。本书提出在经历了强烈改造复杂变形的海相残余盆地开展成藏动力学过程模拟和油气资源评价的思路,并详细介绍了作者研制的二维盆地模拟和油气资源评价软件系统的理论方法。着重对以下关键问题进行了深入分析和介绍:① 复杂变形条件下的构造复原及构造演化模拟方法。② 沉积复原及沉积演化模拟方法。③ 储、盖层模拟方法。④ 地下水动力史模拟方法。⑤ 热史模拟方法。⑥ 高一过成熟多期生烃模拟方法。⑦ 多相多组分排烃模拟方法。⑧ 油气运散聚成藏过程模拟方法。⑨ 残余盆地油气资源量、散失量计算方法。本书还介绍了利用该软件系统对十万大山盆地 SD94-N 剖面进行了成藏动力学过程模拟的结果,恢复了其构造、沉积、储层、古水动力和古地温史,再现出盆地的油气生运聚散成藏动力学过程,指出当前油气聚集的位置,计算了油气资源量和损失量。由此揭示出十万大山盆地地质演化和油气富集规律。

本书适合于从事石油地质科学研究的科研人员、生产人员及高等院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

海相残余盆地成藏动力学过程模拟理论与方法——以广西十万大山盆地为例/王英民等著.

-北京:地质出版社,1998.9

ISBN 7-116-02623-1

Ⅰ.海… Ⅱ.王… Ⅲ.①海相-含油气盆地-石油生成-动力学-模拟 N. P618.130.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 27822 号

地质出版社出版发行

(100083 北京海淀区学院路 29 号)

责任编辑:白 铁 江晓庆 赵俊磊

*

北京印刷学院实习工厂印刷 新华书店总店科技发行所经销

开本:787×1092¹/₁₆ 印张:13.75 字数:350000

1998 年 9 月北京第一版·1998 年 9 月北京第一次印刷

印数:1—600 册 定价:35.00 元

ISBN 7-116-02623-1

P·1915

(凡购买地质出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社发行处负责调换)

前 言

1996年初我曾在“残余盆地三维盆地模拟及油气资源评价”一书中指出：“不管人们主观愿望如何，随着中国东部中生代原生油气盆地勘探逐渐进入中晚期，残余盆地必将成为我国油气勘探的主战场，能源问题是我国经济发展的重要关键，石油与天然气又是能源中的重要关键，而残余盆地则将是下一世纪我国油气勘探的关键，残余盆地的油气资源评价是我国油气勘探带战略性、方向性的重大难题”。当时提出这些看法时心中难免还有些底气不足，加之该书中就此所提出的方法和地质认识还仅为初探，担心得不到大家的认同。但不管怎样，我认定这是一个值得全力为此而奋斗的目标，因此将《海相残余盆地成藏动力学过程模拟理论方法研究》选作我博士论文的题目，经过两年多的努力，终于完成了这一论文。论文紧密围绕海相残余盆地成藏动力学过程这一具有战略性的重大理论和实践问题开展了深入研究，在以下3个方面取得重要进展：

1. 指出海相残余盆地油气勘探的意义、复杂性和研究思路

中国的前中生代海相盆地几乎均可归结为残余盆地，随着中国东部中生代原生油气盆地勘探逐渐进入中晚期，中国分布广泛、原生油气条件十分有利、勘探程度很低的海相残余盆地越来越受到人们的重视，它们必将成为我国21世纪油气勘探的主战场。这同样也是国际石油勘探发展的必然趋势。但与原生盆地相比，残余盆地经历过更复杂的盆地动力学演化过程和油气成藏动力学过程，具有更复杂的盆地动力学机制和油气成藏动力学机制，以多期成盆、多期改造、多期生烃、多期运移、多期散失、多期聚集成藏为独有特色，形成的是众多分散的中小型的残余原生油气藏、再生油气藏和次生油气藏，从而研究和勘探难度更大。因此残余盆地的成藏机制和勘探技术方法是我国油气勘探带战略性、方向性的重大难题。

在残余盆地开展油气系统研究的核心问题是对整个盆地开展油气成藏动力学研究。论文提出了成藏动力学过程模拟和油气资源评价的思路。即“以正确认识、描述地质特征的非均一性为关键，以油气的生、运、散、聚成藏动力学过程为主线，从各种地质要素的相互作用的发展演化历史的角度开展定量化、动态化的盆地动力学和油气成藏动力学过程研究，揭示盆地演化和成藏过程的动力学成因机制和规律，揭示各期构造运动中的地质特征和石油地质特征。在此基础上，确定各构造阶段的油气生成量、运移损失量、地表散失量和油气藏聚集量，最后计算出能反映油气聚集的层位和位置的资源量，为区带评价和靶区选择提供直接依据”。

成藏动力学过程模拟对于解决构造变形破坏强烈、保存条件差、有机质演化程度高、以多期性、残余性和非均一性为特征的中国海相残余盆地的成藏机制研究和聚集的油气资源量预测具有特别重要的意义，反映了国际上学科发展的最新趋势和水平。具有广阔的应用前景。

2. 开发了残余盆地油气成藏动力学过程模拟方法

在成藏动力学过程研究的各种方法中，计算机模拟可以定量地、动态地刻划各种因素

相互作用的历史过程,从而更深刻地揭示其内在规律性,因此是一项关键技术。在本次研究中,研制出一套能够适合复杂残余盆地地质条件的盆地模拟和油气资源评价的二维盆地模拟软件系统。它由盆地模拟数据管理、盆地描述、盆地模拟、油气资源评价和图形显示输出五大部分所组成。该系统包括了从构造模拟到油气运聚成藏模拟的全过程,其最主要的特色是在复杂构造变形(拉张、挤压和多期强烈剥蚀)的地区进行真二维的构造复原和质点位移模拟,并具有综合考虑压实流和承压水流的地下水动力场模拟和多相多组分油气运移模拟的功能,这为残余盆地的成藏动力学机制和过程研究,以及油气资源评价提供了有力手段。

为使成藏动力学过程模拟能够解决残余盆地成藏动力学过程和机制研究的问题,并能够对油气勘探中起到实际指导作用,着重对以下技术关键问题进行了深入研究,取得重要进展。

- ①复杂变形条件下的构造复原及构造演化模拟方法。
- ②沉积复原及沉积演化模拟方法。
- ③储、盖层模拟方法。
- ④地下水动力史模拟方法。
- ⑤热史模拟方法。
- ⑥高一过成熟多期生烃模拟方法。
- ⑦多相多组分排烃模拟方法。
- ⑧油气运散聚成藏过程模拟方法。
- ⑨残余盆地油气资源量、散失量计算方法。

3. 揭示了十万大山盆地的油气成藏动力学过程

利用该软件系统对十万大山盆地 SD94-IV 线进行了全面的描述和模拟研究,形成了构造、岩性、孔隙度、渗透率、热传导率、放射性生热率、地温、有机碳含量、累积生烃量、阶段生烃量、阶段气碳降解量、阶段排烃量、累积排烃量、排水量、油饱和度、气饱和度和油气资源量数据体,编制了涉及该盆地各种地质特征和石油地质特征的各类图件。深刻地揭示出十万大山盆地构造、沉积、储层、古地温、生烃、排烃、油气运移和油气富集的特征和规律。实践证明,采用地质过程定量模拟的方法开展研究,确实可以得到大量传统方法所不能得到的信息,它通过其定量化、动态化研究的优势,能充分使油气盆地分析的整体性、全面性、相互联系性和发展演化性的思想精华得到体现,大大加深地质研究的深度和广度,为油气勘探指出新方向。

其中在以下方面取得重要进展:

- ①恢复了十万大山盆地构造演化史,计算了在各地史时期的盆地伸缩量、升降(剥蚀)量和断层活动史。
- ②建立了该区的热史和生烃史。
- ③总结了排烃演化规律。
- ④揭示出盆地的古水动力场特征。
- ⑤再现出盆地的油气运聚成藏过程,指出当前油气聚集的位置,计算了油气资源量和损失量。

由于十万大山盆地在我国海相残余盆地中具有相当高的复杂性,因此通过本项研究取

得的成功,为进一步在我国深入开展海相残余盆地成藏动力学过程研究理清了思路,奠定了方法基础。

该博士论文得到专家们热情鼓励,如:“海相残留盆地这个问题确实很重要,王英民同志认为必将成为我国 21 世纪油气勘探的主战场,我则认为是中国油气工业的第二次创业”(刘光鼎院士);“作者以油气的生、运、散、聚为主线,从各种地质要素的相互作用的发展演化进行定量动态研究,其研究思路正确,方法先进,结论可信,该成果学术价值及社会效益均高,有不少创新点”(刘宝珺院士);“作者选题追踪国际地球科学的前沿问题,并与国民经济建设的主战场接轨,取得创造性成果”(郭令智院士)。论文经以刘宝珺院士为主席的答辩委员会审查答辩通过,给予高度评价并建议该论文以专著形式尽快发表。根据专家们的建议,现将博士论文增改成为此书,由地质出版社出版。

如果说在 1995 年探讨海相残余盆地油气勘探理论方法问题时还显得势单力薄的话,近几年情况已有了显著的变化。1997 年 10 月 28 日刘光鼎院士来成都理工学院作“中国油气盆地的勘探方向”专题学术报告时特别强调了古生代海相残留盆地具有极为重要的意义,指出:“古生代海相残留盆地的勘探是中国油气工业的第二次创业,要解决这一难题,首先是理论认识,应从中国的大地构造演化史来理解;其次应解决勘探的技术方法;第三是盆地模拟技术。”1998 年 2 月在中国石油大学召开的国家重大基础研究项目“中国海相油气生成与富集规律”立项论证会上,李德生、田在艺等院士指出:“中国海相石油地质理论的发展,必将迎来我国石油工业的第二个春天;但中国古生界海相地层经历了多期构造运动的改造,成藏期次多,保存与破坏矛盾尤其突出,必须发展中国的海相石油地质理论”。1998 年 3 月由西北大学提出的国家重大基础研究项目“中国含油气盆地动力学与油气资源的持续发展”立项建议上,把“中国含油气盆地成盆动力学与盆地的演化—改造过程”和“改造类复杂盆地油气多次(期)油气成藏动力学模式与分布规律”作为研究的核心内容,受到与会专家的赞同。1998 年 4 月成都理工学院提出的国家重大基础研究项目“青藏高原演化及其资源、环境效应”立项建议中,则把青藏高原及邻区的海相残余盆地的盆地动力学和油气成藏动力学作为青藏高原演化油气效应的核心问题。这充分表明海相残余盆地油气勘探的理论方法问题确实具有重大的战略意义,尽管对“残余盆地”的术语上目前还有着不同的称谓或理解,但后期改造强烈、油气成藏动力学过程复杂的前新生界海相地层这一客观对象无疑已广泛受到各方面的高度重视,这使得本人更加坚定了开展此项研究的信心。

博士论文是在我近 10 年来负责的多项科研成果基础上完成的。残余油气盆地成藏动力学过程模拟这样一个庞大的软件系统是与多年合作的科研群体的集体智慧的结晶。其中古地温、古水动力模拟程序由邓林副教授完成;贺小苏工程师在构造演化模拟和质点位移模拟方法研究中提出许多宝贵思路,并完成部分图形程序;董伟副教授完成了部分图形程序的开发;此外论文中还包括了多名我指导的博士生、硕士生的汗水。其中罗立民博士在地震岩性反演方法上、王勇硕士在沉积过程响应模拟方法上、曹正林硕士在碳酸岩风化壳储层的流体-岩石反应动力学模拟方法上均进行了大胆的探索,为整个软件系统的深化完善起了重要作用。正因为如此,在本专著出版时,作为集体创作的成果由大家共同署名。

值此专著出版之际,首先要对我的导师彭大钧教授致以衷心的感谢!本人 10 年前能够踏入油气盆地模拟和成藏动力学过程研究领域,在很大程度上是受到他的感染和鼓励,他一再强调盆地模拟和地质研究的定量化、动态化是石油地质学科发展的前缘和方向,并鼓

励我在此方向深入钻研。在我所负责的国家“八五”攻关项目《塔里木盆地三维模拟和油气资源评价》中，他作为学术顾问悉心指导，对该项目圆满完成并达到国际先进水平给予了很大帮助，在论文的选题、研究和撰写过程中，导师以严谨的治学态度和深厚的专业造诣悉心指导我克服了论文研究中的许多困难，论文的每一章节无不凝聚着导师的心血。

在此还要感谢我的硕士导师徐怀大教授，没有徐老师呕心沥血为我在地质、物探和计算机技术紧密结合上所奠定的坚实基础，要完成博士论文是不可能的。

感谢钱奕中、程学福两位教授级高工，是他们分别在石油天然气总公司系统和地矿部系统给了我第一次开展盆地模拟理论方法研究的机会，并在研究中给予了亲切的关怀和指导，从而为本人能在此领域有所前进以及能完成本篇论文创造了必不可少的条件。

杭州石油地质研究所的杨兰英、徐美茹和严志民等在与我们合作进行的残余盆地模拟软件开发项目中相互支持，密切配合，提出了许多重要的新思路，作了大量出色的工作。成都理工学院的蒋建平副教授和刘玲副教授曾分别参加过储层、生烃和油气运移程序的早期研究开发工作，在此一并表示感谢。

在对十万大山盆地的地质研究中，赵锡奎副教授和朱利春硕士在构造研究上、李国蓉副教授和周心怀硕士在层序地层学和储层研究上均进行了深入研究，取得了许多重要进展，本人作为他们各项目组的研究人员，在一起研究中受到许多启发，并在论文中引用了一些他们的重要认识，在此感谢。

广西石油研究院吴大华、冷德勋、旷湘林等人1990年完成的《广西十万大山盆地油气勘探前期工程规划部署研究》项目和杭州石油地质研究所李大成、郭庆新、尤绮妹等人1995年完成的《十万大山盆地评价研究设计》项目对十万大山盆地的地质和石油地质特征开展了深入研究，为开展本论文的研究奠定了扎实的地质基础，论文中引用了其中一些数据和观点，在此表示感谢。

在此还要向为我在本科生、硕士生和博士生阶段授过课的成都理工学院和中国地质大学的各位老师表示感谢，特别是李思田教授的《盆地分析》和李明诚教授的《油气运移》课，对我向油气盆地分析和成藏动力学过程研究领域发展起到了重要的潜移默化的影响。

论文完成后，郭令智院士、刘宝珺院士、刘光鼎院士及十几位著名专家学者于百忙之中审阅我的论文详细摘要，并提出宝贵的修改意见，指出进一步发展的方向；这些宝贵的意见使论文大为增色，在此对他们的关怀和帮助表示衷心的感谢。

感谢成都理工学院石油系及研究生处和学院的领导和老师们多年来对本人在学业上的关怀和支持。

最后要特别感谢我的母亲李淑华和妻子林亚萍女士对本人在学业的充分理解和支持，为了在繁重的教学、科研任务之外挤时间攻读学位，在上有老父瘫痪、下有幼子读书的情况下，她们默默地承受了一切，使我能集中全部的时间和精力来完成论文。

王英民

1998年5月22日

目 录

前 言

第一章 概述	(1)
第一节 全球与我国海相地层的分布和油气勘探状况的对比	(1)
一、全球海相地层的情况	(1)
二、我国海相地层的情况	(2)
第二节 残余盆地——中国海相油气盆地复杂的根本原因	(3)
一、残余盆地的概念	(4)
二、残余盆地油气演化的复杂性	(6)
三、残余盆地类型划分	(8)
第三节 华南板块海相残余盆地的地质背景和油气成藏规律	(9)
一、大地构造背景	(9)
二、烃源岩条件	(13)
三、保存条件	(14)
四、油气成藏规律	(16)
第四节 海相残余盆地油气成藏动力学过程研究的思路和方法	(17)
一、前人关于南方海相残余盆地油气藏研究的思路和方法	(17)
二、油气系统理论的发展趋势及其在残余盆地中的应用	(20)
三、油气成藏动力学过程的研究思路和方法	(21)
四、残余盆地油气成藏动力学过程模拟软件系统	(22)
五、开展残余盆地油气成藏动力学系统研究的战略意义	(23)
第二章 盆地构造演化模拟方法	(26)
第一节 概述	(26)
第二节 真二维“古垂线法”构造剖面模拟方法	(29)
一、二维构造剖面描述方法	(29)
二、古垂线法构造复原的原理	(30)
三、古垂线法构造复原的方法	(30)
第三节 多期剥蚀条件下的构造复原方法	(34)
一、问题及研究现状	(34)
二、多期复合不整合面的虚拟面描述	(35)
第四节 构造活动史参数提取	(36)
一、盆地张缩史参数	(36)
二、盆地基底沉降史参数	(37)
三、断层活动史参数	(37)
第五节 二维拟三维构造模拟方法	(38)
一、离散数据网格化的插值方法	(38)
二、断层条件下的平面网格化方法	(40)

第三章 盆地沉积演化模拟方法	(42)
第一节 概述	(42)
第二节 统计学岩性模拟方法	(43)
一、马尔科夫序列正演模拟	(43)
二、层、相、期控模拟	(45)
第三节 沉积过程响应模拟方法	(47)
一、碎屑岩-碳酸岩沉积过程的综合响应方程	(47)
二、方程求解	(53)
三、岩性模拟	(57)
四、输入参数	(58)
第四节 反演岩性模拟方法	(60)
一、由地震岩性反演进行现今岩性剖面的精确描述	(60)
二、质点位移模拟	(61)
三、被剥蚀地层的岩性恢复	(64)
第四章 盆地储盖层物性演化模拟方法	(65)
第一节 概述	(65)
第二节 孔隙演化的统计学模拟	(66)
一、正常压实模型 (Athy 模型)	(66)
二、次生孔隙演化模型	(66)
三、孔隙演化的多元统计模型 (Ehrenberg 模型)	(68)
第三节 渗透率和突破压力模拟	(72)
一、渗透率模拟	(72)
二、突破压力模拟	(74)
第四节 碳酸岩古风化壳的流体-岩石反应动力学模拟	(74)
一、概述	(74)
二、碳酸岩古风化壳流体-岩石系统化学热力学研究	(78)
三、碳酸岩古风化壳流体-岩石系统化学动力学研究	(82)
四、碳酸岩古风化壳流体-岩石系统溶质运移及描述	(89)
第五章 盆地古水动力演化模拟方法	(92)
第一节 概述	(92)
第二节 数学物理模型	(92)
一、Darcy 定律和渗流连续性方程	(92)
二、描述承压流运动的基本微分方程	(93)
三、描述潜流运动的基本微分方程	(93)
四、流体运动学方程中的有关参数	(94)
第三节 流体运动学方程的数值求解	(95)
一、网格剖分	(95)
二、差分方程建立及解法	(96)
三、流体运动学方程的定解条件	(96)
四、流势场和流速场	(97)

第六章 盆地热演化模拟方法	(98)
第一节 概述	(98)
一、盆地地温场分布的控制因素	(98)
二、古地温演化模拟的基本流程	(99)
第二节 古热流反演方法	(99)
一、基本思路	(99)
二、单井古热流(基本热流)反演	(99)
三、平面古热流(区域背景热流)反演	(102)
四、岩浆热流反演	(103)
五、岩石放射性生热率	(103)
第三节 古地温演化模拟方法	(104)
一、非稳定地温场的热传导热对流方程	(104)
二、边界条件	(105)
三、初始条件	(105)
四、古地温模拟参数	(106)
五、数值解法	(106)
第七章 盆地生、排烃动力学过程模拟方法	(108)
第一节 概述	(108)
一、研究现状	(108)
二、存在的问题	(108)
三、解决办法	(109)
第二节 热解产烃率法生烃演化模拟方法	(110)
一、模拟步骤	(110)
二、有机地化参数	(110)
三、热降解模拟参数	(111)
四、 TTI 史	(112)
五、 R_o - TTI 关系拟合	(113)
六、累积生油、气量计算	(114)
七、阶段生油、气量和碳化沥青转化量计算	(115)
第三节 化学动力学法生烃模拟方法	(115)
一、串联-并行一级反应动力学地质模型	(115)
二、干酪根热降解并行反应动力学模拟	(116)
三、油热裂解成气反应动力学模拟	(118)
四、气热裂解成碳化沥青反应动力学模拟	(119)
五、串联方程组求解的总体流程	(120)
第四节 多相多组分物质平衡排烃模拟方法	(120)
一、多相多组分物质平衡排烃地质模型	(120)
二、计算油、气、碳化沥青组分质量	(121)
三、计算油、气、水组分在各种相态时的体积	(123)
四、计算油、气饱和度和临界饱和度	(124)
五、计算排出和残余的油、气、水相体积	(124)
六、计算排出和残余的油、气、水组分质量	(125)

第八章 盆地油气运聚成藏动力学过程模拟方法	(126)
第一节 概述	(126)
第二节 油气多相多组分运聚成藏地质模型	(126)
一、关于相和组分的问题	(127)
二、流体状况	(128)
三、运移动力	(128)
四、关于初次运移与二次运移的关系问题	(128)
五、初次二次统一渗流运聚的地质模型	(129)
第三节 油气水二维三相渗流运移成藏过程模拟	(130)
一、油、气、水互溶三相三组分渗流方程	(130)
二、非线性方程的全隐式求解方法	(132)
三、模拟条件和参数选择	(133)
第四节 轻烃扩散运移模型	(135)
一、地质模型	(135)
二、数学模型	(136)
第九章 盆地油气资源量、损失量计算方法	(138)
第一节 概述	(138)
一、统计外推方法	(138)
二、概率统计模拟法	(138)
三、圈闭体积法	(138)
四、成因预测方法	(139)
五、油气损失量计算	(139)
第二节 聚集的油气资源量计算方法	(140)
一、关于“聚集的油气资源”的概念	(140)
二、计算方法	(140)
第三节 生排烃模拟油气资源量计算方法	(141)
一、研究现状及存在问题	(141)
二、对生排烃模拟油气资源量计算方法的改进	(142)
第四节 油气损失量计算方法	(143)
一、损失量及损失系数的概念	(143)
二、热变质损失系数	(144)
三、吸附损失系数	(144)
四、地表散失量和散失系数	(144)
第十章 十万大山盆地的地质过程演化	(145)
第一节 盆地的区域地质背景	(146)
一、地层和沉积特征	(146)
二、主要断裂特征	(150)
三、构造区划	(151)
四、岩浆活动	(152)
第二节 十万大山盆地构造演化史	(153)
一、构造演化阶段划分及特征	(153)

二、盆地伸缩史和升降史·····	(160)
三、断层活动史·····	(161)
第三节 十万大山盆地沉积演化史·····	(163)
一、沉积相特征·····	(163)
二、沉积过程模拟结果·····	(164)
第十一章 十万大山盆地成藏动力学过程(1)——古地温和生、储、盖演化 ·····	(168)
第一节 热史和有机质成熟史·····	(168)
一、古热流特征·····	(168)
二、古地温和有机质成熟度演化·····	(170)
三、有机质成熟度演化的地化指标·····	(172)
第二节 生烃动力学过程·····	(173)
一、烃源岩特征·····	(173)
二、模拟参数·····	(174)
三、生烃史·····	(177)
第三节 储、盖层参数演化史·····	(179)
一、储层地质特征及演化机制·····	(179)
二、储层参数演化模拟结果·····	(182)
三、盖层参数演化·····	(183)
第十二章 十万大山盆地成藏动力学过程(2)——排烃、水动力、运聚、保存 ·····	(185)
第一节 十万大山盆地排烃过程·····	(185)
一、排烃演化曲线·····	(185)
二、模拟排烃、排水量的剖面分布特征·····	(188)
三、多组分呈各种相态排烃的演化规律·····	(188)
四、排烃效率特征·····	(190)
第二节 古水动力场演化及其对油气成藏保存的影响·····	(191)
一、古水动力场特征·····	(191)
二、水动力场演化史·····	(194)
第三节 油气运聚成藏保存过程·····	(195)
一、油气运聚成藏过程及油气的空间展布·····	(196)
二、油气破坏损失史·····	(198)
三、聚集的油气资源量·····	(200)
四、油气系统划分及评价·····	(202)
参考文献 ·····	(204)

第一章 概 述

第一节 全球与我国海相地层的分布和油气勘探状况的对比

一、全球海相地层的情况

从全球油气勘探的历程看，海相环境是油气藏形成的最主要的地质环境。

全球显生宙的全部地质历史说明构造-沉积体系中海相沉积岩石组合和体积占据绝对的优势（图 1-1）。

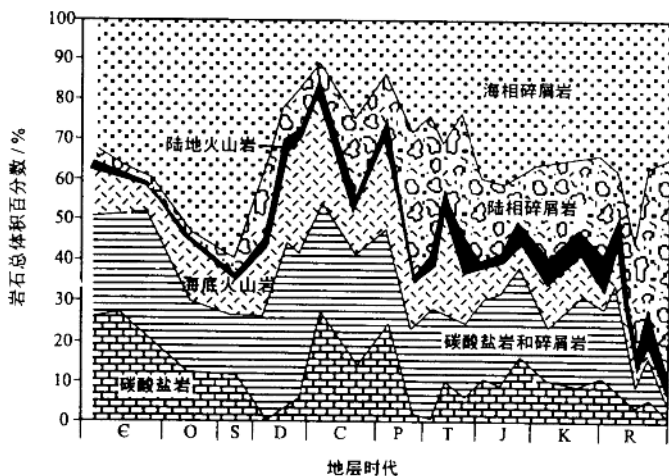


图 1-1 世界显生宙各时代地层的岩性组合比例变化图

(据 Ronov, 1980)

元古宙—早古生代全球属于泛海相沉积时期，陆相沉积不足 5%，加里东运动后至石炭纪海相沉积仍占 90%，陆相沉积主要分布在大陆边缘经碰撞成山的前陆区，但随即又被海侵所覆盖，在二叠纪经海西运动，许多大陆开始增生拼接，联合大陆开始形成，出现频繁的海陆交互沉积，但发育的盆地仍以海相或海陆交互相为主，陆相碎屑沉积虽开始增加，但海相仍占主要地位，占 60% 以上。在整个中生代陆相盆地和沉积虽然取得越来越明显的地位，可是，海相沉积仍占据着稳定的优势，即在沉积岩石比例中维持在 70%~80% 之间。在新生代随着大陆的增生加积，陆相沉积迅速扩展，但海相沉积仍在 50% 以上。

世界的油气勘探历史说明海相地层中生烃条件和储集条件一般都十分有利，从而油气

资源十分丰富。迄今为止,来自海相油气层的石油产量占全球油气总产量的绝大部分。到1995年底,世界石油年产量30亿吨,天然气年产量2万多亿立方米,石油探明剩余可采储量1374亿吨,天然气探明剩余可采储量13962亿立方米,其绝大部分来自海相沉积。中东是当今世界上石油储量最集中最丰富的地区,油气层主要是中新世海相碳酸盐岩;墨西哥名列世界十大产油国之一,油气层主要是中新世海相碳酸盐岩。

二、我国海相地层的情况

我国是海相地层十分发育的国家,新元古代90%以上为海相沉积环境,早古生代约80%为海相沉积环境,晚古生代是海域向陆相沉积的剧烈转化时期,海西与印支运动后海水大面积退出,中、新生代很大部分为陆相沉积。但无论海相沉积的分布或体积规模,在我国仍有相当大的比重。我国共有500多个沉积盆地,沉积岩面积 $670 \times 10^4 \text{ km}^2$,其中可供油气勘探的中元古界—古生界海相地层大约 $300 \times 10^4 \text{ km}^2$,此外西藏与新疆西部的中、新生界和沿海大陆架的中新统还有大面积的海相沉积分布。其中上扬子区具有自上震旦统和古生界广泛分布的多套层系均具油气潜力;下扬子区二叠、三叠系以及下古生界均有生烃潜力,有效面积达 $15 \times 10^4 \text{ km}^2$;华北区发育新元古界—下古生界碳酸盐岩和上古生界碎屑岩,均有生烃能力,塔里木盆地地下古生界寒武—奥陶系是主要烃源岩,志留系、泥盆系和石炭系也有生烃能力;藏北和塔里木盆地西部中、新生界海相地层已确认发育有烃源岩,储层主要是碳酸盐岩,如寒武系—奥陶系、石炭系与二叠系以及华北的蓟县系和扬子区的震旦系,碎屑岩的储层主要见于塔里木盆地和四川盆地等。

显然,我国海相地层的分布规模与全球分布较为接近,烃源岩也很发育。但在海相地层中获得的油气资源却有非常大的差距。据中国1995年油气资源评价结果(冯福闾等,1995),我国古生界和元古宇海相沉积中的石油资源仅占13.42%,天然气资源较为丰富,占52.4%。但我国的油-气资源的比例远较国际为低。当今不少产油大国石油与天然气的产量差不多是1:1,而我国则是10:1,天然气工业特别落后,因此在海相地层中获得的天然气资源其实也是很低的。

为什么我国海相地层及其烃源岩如此发育,而从其中获得的油气资源却如此之少呢?我国海相地层的油气资源前景究竟如何呢?

与国际相比,我国石油天然气工业的发展道路十分独特。由于中生代陆相盆地极为发育,因此当全世界石油地质界几乎一致认为石油天然气主要产生于海相沉积之中而陆相地层“贫油”时,中国石油地质学家却主要致力于以中生界陆相沉积为主的油气勘探,并形成了一套独具特色的陆相生油和陆相油气勘探的理论方法,获得巨大的油气储量和产量,成为世界上陆相油气勘探的强国。

与此同时,我国对海相地层也开展过一定程度的油气勘探。早在60年代中期,即在东亚和西南太平洋180多个盆地中还没有实现古生代海相油气勘探重要突破的时候,我国就在四川盆地找到了当时储量最大、时代最老的海相震旦系威远气田。随后又在该盆地发现了70余个以海相二叠、三叠系和石炭系为主要目的层的天然气田。其中威远、大池干井、磨溪为大中型气田。已发现的天然气储量达3000~4000亿立方米。1984年,沙参2井的喷油,标志着我国在海相地层中取得了石油勘探的首次重大突破。迄今为止已在塔里木盆地找到了上亿吨储量的大油气田。“八五”期间除了在四川、塔里木进一步发现了更多的油气储量外,还在研究了40多年的鄂尔多斯海相奥陶系古风化壳上取得重大突破,发现了4000

多亿立方米的天然气储量。

以上重大进展表明我国海相地层确实具有很大的油气勘探前景。但也必须看到,我国海相地层的勘探难度远较陆相盆地为大。已发现的海相油气田的规模和丰度也均比陆相盆地小。勘探成功率很低,已发现的储量远较人们预期的低。以塔里木盆地为例,投资100多个亿,10年大干下来,到手的探明加控制储量包括以前发现的柯克亚近1500亿立方米天然气当量在内,不到5亿吨,投入多而产出少。储量与资源量(估算)之间的比例反差过大。“七五”期间估算的资源量数字是180亿吨,“八五”扩大到205亿吨,然而目前的发现量是资源量下限的3%不到,大大低于“七五”末期全国石油探明程度占预测资源量16%的水平。在我国许多盆地中,迄今为止其发现率最低;在已有控制储量(到1994年上半年)的16个油气田中,除塔中4号达到近亿吨级外,多数油气田只能算是中小型。在中国南方的找油找气工作从50年代迄今始终未断,但除四川盆地外均未取得突破。显然,我国海相盆地的油气勘探与陆相盆地形成了鲜明的对比,而与国际上油气以海相为主的现实更是截然相反,这其中的原因值得深思。

一般说来,油气资源的发现程度与3方面的因素有关,一是勘探程度高低,二是地质条件好坏,三是勘探理论方法正确与否。

目前我国海相盆地油气勘探程度普遍偏低,例如塔里木盆地平均每平方公里的钻井工作量仅有1.17 m,每平方公里的地震测线仅有0.4 km。而华南区除四川盆地外勘探程度更低,地震测线和钻井均极少。这样的勘探程度与中国东部中生代油气盆地根本无法相比,这无疑是在海相盆地所发现油气资源很少的一个重要原因,也是海相盆地油气勘探具有很大潜力的一个重要原因。

但勘探程度低决非根本原因。认真分析一下就不难看出,其根本原因在于中国海相地层的地质特征与国外相比要复杂得多,亦与中国陆相原生盆地有天壤之别。从而在油气勘探的理论方法上,既不能简单照搬国外海相盆地的理论方法,也不应沿袭国内陆相原生盆地的经验。换言之,地质特征的复杂性和勘探理论方法的适用性才是决定了我国海相油气盆地勘探进程的关键。

第二节 残余盆地——中国海相油气盆地复杂的根本原因

中国海相地层的石油地质特征为何复杂?不少人将其归结为时代偏老。我国海相地层以下古生界甚至新元古界为主,到了上古生界已有相当多的地区转化为陆地。中生界海相地层分布更是局限。从全球来看,新元古界和古生界油气繁荣程度普遍不如中、新生界,全球中生界的油气储量占总储量的近70%左右。从油气大国美国来看,其墨西哥湾地区中生界海相地层的油气就占全国可采油气储量的50%以上,而在世界油气的中心——中东地区,其油气也主要在中生代。一般而言,在其它条件相同的情况下,地层时代越老,则油气的演化程度必然越高,破坏越强烈。但时代新老并非问题的本质。对于古克拉通含油气盆地,如果在中生代演化比较稳定,未经强烈构造逆转,同时元古宇—古生界海相含油气层系中的封盖层未受到侵蚀与破坏,仍可具有较好的含油性,如东欧(俄罗斯)和北美克拉通内部许多盆地。根据俄国学者的研究,在西伯利亚古克拉通发育的

含油气区内烃类（包括含油气藏）损失量达 3000 亿吨石油当量以上。但是只要控制烃类运移的封盖层受到的是局部破坏，则仍可保持一定程度的烃类聚集；经中、新生代地层的封盖从而有二次生烃可能的地区，也可保留一定的油气聚集。如俄罗斯西伯利亚通古斯—勒拿盆地。而俄罗斯东西伯利亚近 20 年发现了一大批前寒武纪海相碳酸盐岩和碎屑岩油气田，仅一个库尤塔震旦系大油气田，含油气面积达 $1.2 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，石油地质储量 27 亿吨，天然气储量 1 万亿立方米，油气均为原生。中国的塔里木、鄂尔多斯和四川等盆地中也均有古油气田的存在，具有较好的油气远景。据统计，全球古生界和元古宇的油气储量占 31%，相当可观，其中不乏特大型油气田，这充分说明了地质时代的古老并非是决定油气资源丰富与否的根本原因。我们认为，由于后期的强烈改造从而转化成为残余盆地才是问题的关键。

一、残余盆地的概念

我国大约有 300 多万平方公里的古生界海相地层分布在不同构造区之内，其中较为完整的以碳酸盐岩层为代表的稳定克拉通型沉积盖层，主要分布在塔里木、扬子和华北（即中朝）3 个古老克拉通内。其它则处于不同时期各种类型的活动带上（图 1-2）。

我国的克拉通构造与世界上其它“典型”的克拉通构造，如北美、西伯利亚、俄罗斯、阿拉伯相比，有相当大的差别。它们既有相类似之处：古老的前寒武纪刚性基底，盖层以

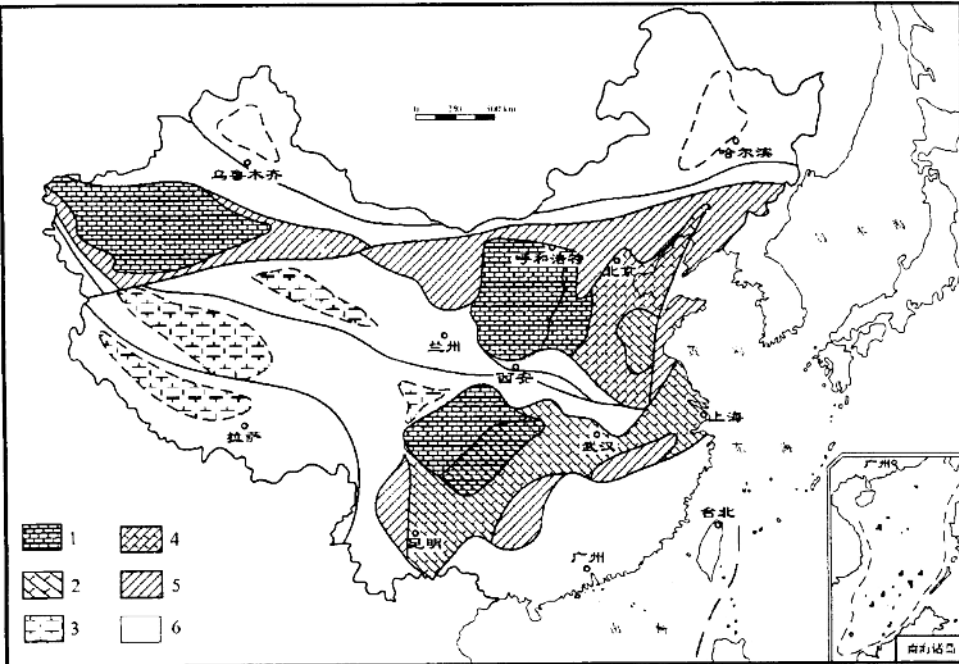


图 1-2 中国前新生代海相地层构造演化

（据冯福图，1995 修改）

- 1—克拉通后沉降；2—克拉通后隆褶；3—中生界海相地层；4—克拉通后断陷；5—克拉通基底出露区；
6—中国大陆上其它空白区为不同时期活动带

浅海相碳酸盐岩台地相为主,夹有海相或海陆交互相碎屑岩层,岩性较稳定,厚度不大,长期处于缓慢沉降背景下;但也有显著的差别:中国的古生代克拉通盖层后期遭受程度不等的改造,如大幅度的沉降、块断构造作用、部分地区发生较强甚至是非常强烈的构造形变,如褶皱、推覆构造、岩浆侵入等;只有少部分地区仍然保持着较为稳定的构造性质,构造形变微弱。这种早期(古生代)构造稳定,晚期(中生代)以来构造活动的双重构造特点,反映了中国大地构造体制曾经发生过大的变革。中国的构造学家将变革的时代放在印支构造期(大致在 200 Ma 左右)。

印支期之前,在上述 3 个克拉通(华北、塔里木、扬子)内,构造变形不强烈。克拉通边缘或克拉通之间,虽然经过古生代几期构造变动,包括边缘海关闭、碰撞等造山作用,但克拉通本部却没有受到强烈变形;部分克拉通内在古生代时期,虽然发生过喷发活动和拉张构造作用(如塔里木、四川二叠纪喷发活动),但涉及范围有限,规模不大。估计当时深部热活动规模不大,地壳未发生大规模拉伸和显著的热上升作用(热隆)。

印支期之后,中国大陆由于受到来自特提斯构造体系与滨太平洋构造体系两个方面的影响,中国大陆本部构造格局发生较大变化。原来的 3 个克拉通构造单元受到程度不同的影响,特别是扬子克拉通和华北克拉通发生解体或构造分异。

古生代克拉通盖层构造,归纳起来有 4 种演化形式(据冯福阁等,1995):

(1) 继承性克拉通型层次

古生代时期为稳定克拉通沉积,进入中生代后,虽然覆盖了陆相沉积,但仍然是缓慢地均衡沉降,当盆地结束时,边缘形变较为明显,而内部形变极微弱。实例如鄂尔多斯和沁水向斜,前者从开始(寒武纪)到盆地结束(白垩纪)历经 500 Ma,然而沉积总厚度平均只有 5000 余米,每百万年沉积厚度不到 10m,与典型克拉通沉积速率非常近似。

(2) 克拉通层次被后期沉积深埋

古生代时期构造、沉积作用总体上是稳定的,但沉降并不均一。到中、新生代沉降速率加快,尤其是近期更为剧烈,致使古生代沉积深埋地下,例如塔里木、四川盆地部分地区。虽然晚期变形,部分地区隆褶上升,但总体上保存较为完整。

(3) 克拉通层次被后期裂谷作用改造

华北与扬子区东部的古生代克拉通层系在中生代晚期,尤其是新生代发生裂陷而被深埋地下。克拉通层系在未沉降前经历过一段褶皱或隆起剥蚀,受到一定破坏,但一部分中、古生界被保存下来。

(4) 克拉通层次后期发生隆褶

古生代克拉通盖层经过中生代(印支—燕山期)构造作用,发生程度不等的隆起、褶皱,除去前面两种情况由于沉降和裂陷保存较好外,其余部分基本上处于上升隆起状态,长期遭受剥蚀破坏,最为典型的例子是扬子区(四川盆地以外地区)的古生界、早中生界层系发生强烈变形:褶皱、冲断、推覆、岩浆活动等。在世界范围内的克拉通构造区内,构造作用的强烈程度达到像扬子克拉通区这样的构造变动程度是极为罕见的。

如果在元古宇—古生界古克拉通背景上发育的盆地经历了多次较强的构造断裂活动,烃源岩或古油气藏的区域封盖层受到破坏,特别是隆起部分遭到侵蚀,或者深大断裂活动频繁,则可造成相当程度的烃类损失,并形成油气的多期运移、聚集、散失和再聚集,使油气赋存状况高度复杂。而此类盆地即所谓“残余盆地”。中国的前中生代海相盆地几乎均