

“油气藏地质及开发工程”

国家重点实验室

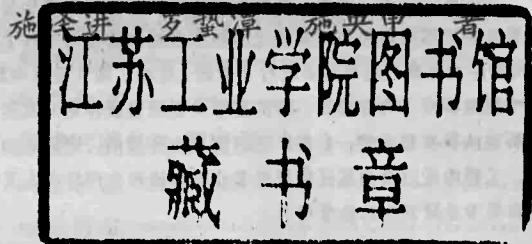
系列著作

构造动力学 系统模拟与 油气地质 研究

施泽进 罗蛰潭 施央申 著

科学技术出版社

构造动力学系统模拟 与 油 气 地 质 研 究



安徽科学技术出版社

(皖)新登字 02 号

责任编辑：邢广义

封面设计：盛琴琴

构造动力学系统模拟与油气地质研究

施泽进 罗蛰潭 施央申 著

*

安徽科学技术出版社出版

(合肥市九州大厦八楼)

邮政编码：230063

安徽省新华书店经销

安徽省南陵县印刷厂印刷

*

开本：850×1168 1/32 印张：6.25 字数：160 千字

1994 年 11 月第 1 版 1994 年 11 月第 1 次印刷

印数：1000

ISBN 7-5337-1152-9/P·19 定价：7.50 元

(本书如有倒装、缺页等问题请向承印厂调换)

内 容 提 要

全书以盆地理论的最新进展为指导,以大量详实的地质工作和岩石力学物性参数系统测试分析为基础,首次系统地将非线性理论和塑性流动理论应用于盆地分析研究中。在此基础上,给出了构造动力学模拟初始模型和边界条件的建立方法,揭示了地质体和断层带内的应力演化过程,并对不同边界条件下同生断层形成演化过程的应力场和位移场进行了模拟。同时,对构造应力与油气运移关系进行了分析,总结了油气运移和聚集规律。

书中观点鲜明,内容翔实,层次清晰,思路自成体系。其所述数学模型和分析方法具有普适性,有着广泛的使用参考价值,可供石油地质、构造地质、工程地质以及地震研究等各专业的科研和生产技术人员参考,也可作为有关专业研究生的参考用书。

目 录

引言	1
第一章 盆地模拟的地质基础	6
第一节 苏北盆地的演化特征	8
第二节 苏北盆地区域构造运动及断裂构造	11
一、构造运动	11
二、断裂构造	12
第三节 溱潼凹陷的地质背景	15
一、构造特征	15
二、地层特征	15
第四节 郯庐断裂与苏北盆地形成演化	18
第二章 中下扬子区岩石力学和物性参数的 系统测试及分析	20
第一节 岩石力学和物性参数的系统测试	21
一、岩石力学参数测试	21
二、岩石物性参数测试	33
三、岩石力学和物性参数的相互关系	34
第二节 中下扬子区滑动系统岩石力学和物性参数	35
一、滑动系统厘定	35
二、力学物性参数纵横对比	36
第三章 反演断层数学模型的建立及应用	47
第一节 反演断层数学模型的建立	48
第二节 反演断层数学模型的校正	52
一、剖面校正	52

二、压实校正	53
第三节 反演断层数学模型的应用	56
一、剪切角的影响及选取	57
二、反演断层模型在溱潼凹陷中的应用	59
第四节 小结	61
第四章 溱潼凹陷形成演化的运动学研究	63
第一节 概述	63
第二节 有限差分数学模型的建立	65
一、数学模型的建立	65
二、差分方程的推导	66
三、方向场的选择	68
四、压实作用的影响	69
第三节 溱潼凹陷的演化模拟	70
一、凹陷西部演化模拟	71
二、凹陷中部演化过程	75
三、ST365 剖面构造演化	80
四、溱潼凹陷的演化特征	85
第四节 拉张量研究及构造运动强度分析	86
一、拉张量研究	86
二、构造运动强度分析	89
三、结论	91
第五章 溱潼凹陷的构造动力学模拟研究 及程序系统	92
第一节 直接解法的基本数学模型	94
一、位移模式的建立	94
二、荷载列阵	95
三、应力矩阵及劲度矩阵和结点平衡方程	97
四、温度应力场有限元模型	99

第二节	等参单元数学模型	103
一、	等参单元的数学分析	104
二、	等参单元的力学分析	108
第三节	非线性分析及塑性力学分析	109
一、	非线性分析	109
二、	塑性力学分析	112
第四节	模型的建立原则和断层处理	115
一、	数学模型的建立方法	115
二、	地质模型的建立方法	115
三、	结构模型中断层的处理	116
第五节	有限元数值模拟程序系统	117
一、	平面问题直接解法程序系统	117
二、	平面带夹层非线性弹塑性等参八结点 单元数值模拟程序系统	117
三、	等参八结点单元程序应用的主要公式	118
第六节	有限元数值方法分析步骤	126
第七节	溱潼凹陷应力演化模拟	126
一、	材料参数选取	128
二、	溱潼凹陷西部 ST08 剖面应力演化模拟	129
三、	ST245 剖面的应力演化模拟	132
四、	ST365 剖面应力演化过程模拟	136
第八节	模拟结果解释	139
第六章	下扬子区同生断裂的形成和演化模拟	147
第一节	地质概况	148
第二节	模型建立	150
第三节	数学模拟	152
一、	边界条件的选取	153
二、	模拟结果	154

第四节 讨论与结论.....	157
第七章 溱潼凹陷的构造动力学与油气运移	
聚集关系研究.....	161
第一节 溱潼凹陷油气藏形成条件.....	161
第二节 溱潼凹陷构造动力与油气运移的关系.....	162
第三节 构造演化及圈闭形成.....	166
第四节 溱潼凹陷油气运移和聚集规律的认识.....	167
主要结论.....	168
参考文献.....	170
英文摘要.....	184

Contents

Introduction	1
Chapter 1 Geological basis of basin simulation	6
1 Evolutional characteristics in Northern Jiangsu Basin	8
2 Regional structural movement and fault structure	11
2-1 Structural movement	11
2-2 Fault structure	12
3 Geological background of the Qintong depression	15
3-1 Structural features	15
3-2 Stratigraphic features	15
4 The relationship between Tan—Lu fault and forma- tion and evolution of northern Jiangsu basin ...	18
Chapter 2 Systematic parameter determination and analysis of the rock mechanics and physical properties in the middle—lower Yangzi area	20
1 Systematic parameter determination of the rock mechanics and physical properties	21
1-1 Parametric determination of the rock mechanics	21
1-2 Parametric determination of physics properties of rocks	33

1—3 The relationship of various parameters between the rock mechanics and physical properties	34
2 Parameters of the rock mechanics and physical properties on slip systems in middle—lower Yangzi area	35
2—1 The division of regional slip systems	35
2—2 The longitudinal—lateral comparision of various parameters of the rock mechanics and physical properties	36
Chapere 3 Establishment and application of mathematical model of fault inversion	47
1 Establishment of mathematical model of fault inversion	48
2 Rectification of mathematical model of fault inversion	52
2—1 Oblique cross—section rectification	52
2—2 Correction of compaction	53
3 Application of mathematical model of fault inversion	56
3—1 Influence of simple shear angle and its selection	57
3—2 Application of mathematical model of fault inversion in the Qintong depression	59
4 Brief summary	61
Chapter 4 Kinematic study on formation and evolution of the Qintong depression	63
1 Introduction	63
2 Establishment of finite difference mathematical	

model	65
2-1 Establishment of mathematical model	65
2-2 Development of the difference equation	66
2-3 Selection of direction field	68
2-4 Influence of compaction	69
3 Evolutional simulation of the Quintong depression	70
3-1 Evolutional simulation of western depression	71
3-2 Evolutional process of middle depression	75
3-3 Structural evolution of ST365 profile	80
3-4 Evolutional characteristics of the Quintong depression	85
4 Extensional study and analysis of structural movement	86
4-1 Extensional study	86
4-2 Analysis of structural movement	89
4-3 Conclusion	91
Chapter 5 Study on structural dynamic simulation of the Quintong depression and program systems	92
1 Basic mathematical model of direct solution	94
1-1 Establishment of displacement model	94
1-2 Load matrix	95
1-3 Stress matrix, rigid matrix and node balanced equation	97
1-4 Finite element model of temperature stress	99
2 Mathematical model of equal-parameter	

element	103
2-1 Mathematical analysis of equal-parameter	
element	104
2-2 Mechanic analysis of equal-parameter	
element	108
3 Analyses of the nonlinearity and the plastic	
mechanics	109
3-1 Nonlinear analysis	109
3-2 Analysis of the plastic mechanics	112
4 The establishing principles of models and fault	
dispositions	115
4-1 The establishing method of mathematical	
model	115
4-2 The establishing method of geological	
model	115
4-3 Fault dispositions in the textural model	116
5 The program systems of finite element numerical	
simulation	117
5-1 The program system of direct solution on	
two-dimensional question	117
5-2 The program system of numerical simulation of	
planes with intercalation from "eight-node	
elements of equal parameters"	117
5-3 Main formulae for the program of eight-node	
elements of equal parameters	118
6 The analysable steps of finite element numerical	
method	126
7 Evolutional simulation of stress in the Quintong	

	depression	126
7-1	Selection of material parameters	128
7-2	Simulation of stress evolution of ST08 profile in the west of the Qintong depression	129
7-3	Simulation of stress evolution of ST245 cross-section	132
7-4	Simulation of stress evolutionary process of ST365 profile	136
8	Explanation of analogous results	139
Chapter 6	Simulations on formation and evolution of contempo- raneous faults in the lower Yangzi area	147
1	Geological introduction	148
2	Establishment of the model	150
3	Mathematical simulation	152
3-1	Selection of boundary conditions	153
3-2	Analogous results	154
4	Discussion and conclusion	157
Chapter 7	Study of relationship between structural dynamics and migration and gathering of petroleum and natu- ral gas in the Qintong depression	161
1	Formative conditions of oil-gas reservoir of the Qintong depression	161
2	The relationship between structural stress and oil- gas migration in the Qintong depression	162
3	Structural evolution and trap formation	166
4	Recognition of the regularity of migration and gathering of petroleum and natural gas in the Qin- tong depression	167

Conclusion	168
References	170
Abstract	184

引 言

近几十年来,能源的需要使含油气盆地的研究得以迅猛发展。自 Sleep 研究发现大西洋被动大陆边缘基底沉降符合指数规律后^[185], McKenzie 等众多学者相继提出^[158]拉张盆地成因的一些定量模型,成为研究盆地的重要方法,时至今日已形成一个多学科综合的沉积盆地理论。沉积盆地中赋存着具有工业价值的油流,它是在一定的时间和空间内由若干地质因素作用形成的,其后又经历许多地质事件的影响。油气的生成、运移和聚集过程非常复杂,它就像一个庞大的演化系统,某一个或几个环节出了问题,就导致这个过程不能完成^[85]。由于地质过程规模宏大,影响深远,历时漫长,多次叠加而形成复杂的地质现象,如何再现这种地质过程及其内部应力演化规律成了众多研究者的追求目标。

自 Weeks 提出“盆地分类是油气资源评价”的基础以来, Dickison、Bally 和 Snelson 在这方面做出了杰出成就,综合盆地的沉积环境、构造类型、岩相组合及板块构造背景于一体,提出盆地模式的概念;叶连俊、孙枢、朱夏等也分别提出各自的盆地分类方案。狭义的拉张盆地仅指 Dickison 的离散边缘盆地,近代拉张盆地的内容则要广泛得多。结合盆地的成因动力学机制、构造类型、岩相组合的沉积盆地模式已经成型,构成了沉积盆地的经典理论。Sengon 和 Burke、Bott、Sheridan、Le Pichon、Veevers 等对盆地所做的工作,奠定了拉张盆地的研究基础。

另一方面,经典科学的黄金时代已经过去,而且那样的一种思想也随之一去不复返了^[91]。取而代之的是各学科之间的相互渗透,边缘科学的发展。自从 40 年代中期计算机问世以来,在各个

领域得到普遍发展,70年代中期国外即开始从依赖传统的地质研究手段和地震勘探技术转向多种手段的综合应用,对沉积盆地的形成机制和演化过程以及盆地动力学的研究尤为重视。这些研究所取得的突破性进展,导致了80年代初盆地数值模拟与方法的诞生。

在石油勘探日益变得困难,费用日趋昂贵的今天,用盆地模拟方法定量评价油气资源已成为石油勘探工作中一个不可缺少的组成部分。实践表明,在某些生储盖配置有利的储油构造或圈闭中,却没有发现石油,勘探风险愈来愈大。为减小风险性,在对新的盆地实施勘探计划前,都必须对盆地资源作出定量评价^[136,92]。由此可见,加强盆地的系统分析模拟工作的经济意义十分显著。

沉积盆地的数值模拟在国外已有10多年历史,如法国石油研究院(IFP)和西德核技术研究中心地球化学研究所(KFA),他们根据各自模型设计的模拟系统已在10多个国家进行了应用和验证,据文献报道均获得较满意结果和相当大的效益。80年代初,计算机在我国地球科学中的应用,强有力的推进了我国盆地数值模拟研究,从各个侧面,许多专家展开了研究工作,北京石油勘探开发研究院也做了较系统性的研究^[28,29];但是,如何从盆地的形成演化出发,模拟盆地内部构造应力演化过程,结合其它模拟工作,对油气运移聚集规律进行研究,国内外文献中尚未见报道。

江苏地处长江下游,由于其特殊的构造和地理位置,苏北盆地油气资源评价受到广泛重视。从1956年开始,地质部、原石油工业部即组织有关单位,在本区开展石油普查勘探和科研工作。30多年来,积累了1000余口钻井及地球物理测井与地震物探剖面54507公里的资料。“六五”和“七五”期间的科研工作,亦取得丰硕成果,王良书和施央申、张逸昆、张渝昌和魏武、吴聿元等先后在本区开展盆地模拟的研究工作^[58,83,82,60],这些成果的取得,

为笔者以该区为例展开深入的盆地分析模拟研究创造了条件。

近些年来,随着我国石油地质科学的发展,人们逐步认识到地质演化、应力作用以及油气的运移和聚集是一个不可分割的整体,地质过程中各期次构造应力分布状况决定了油气的运移方向^[33-42]。盆地构造动力学是贯穿盆地发展始末的动态动力学并与盆地演化背景互为因果,因此,以地质体演化的运动学特征为依据,系统模拟地质体内应力的分布状态和演化过程,可以消除模拟过程中的人为因素,极大地提高模拟精度。基于以上考虑,出版一部论述构造动力学系统模拟理论与方法的专著是非常必要的,它不仅有助于加深对地质过程相互作用的认识,而且对深入了解油气运移和聚集规律也大有裨益。本书以盆地理论的最新进展为指导,以大量详实的地质工作和岩石力学物性参数测试分析为基础,将非线性理论和塑性流动理论应用于苏北溱潼凹陷的研究,首次将运动学研究和构造动力学模拟有机地结合起来,由运动学研究提供初始模型和边界条件,排除了边界条件的假想性和人为性,将整个系统应用于苏北溱潼凹陷的研究中,模拟给出了凹陷的边界断层形态和位置、运动学演化特征以及构造应力演化史,第一次给出了本区应力场的演化数据、图形和特征,其所建立的数学模型具有广泛适用性。此外,笔者还对同生断层的形成演化进行了模拟研究,最后,对构造动力与油气运移和聚集关系进行了总结。

总结本书工作,主要包括了下述几方面内容:(1)对中下扬子区的岩石力学和物性参数进行了系统的测试分析和总结,拟定了几套主要滑脱层位,提供了模拟所需参数,可资参考;(2)通过断层反演数学模型的建立,模拟给出了四条剖面的主断裂形态和滑脱深度,结果表明本区的边界断层滑脱深度在8—10 km左右,它也为运动学研究提供了断层边界条件;(3)模拟给出三条剖面运动学正演平衡剖面,揭示凹陷的演化运动学特征和沉降特