

GUOWAIYOUQIKANTANKAIFAXINJINZHANCONGSHU

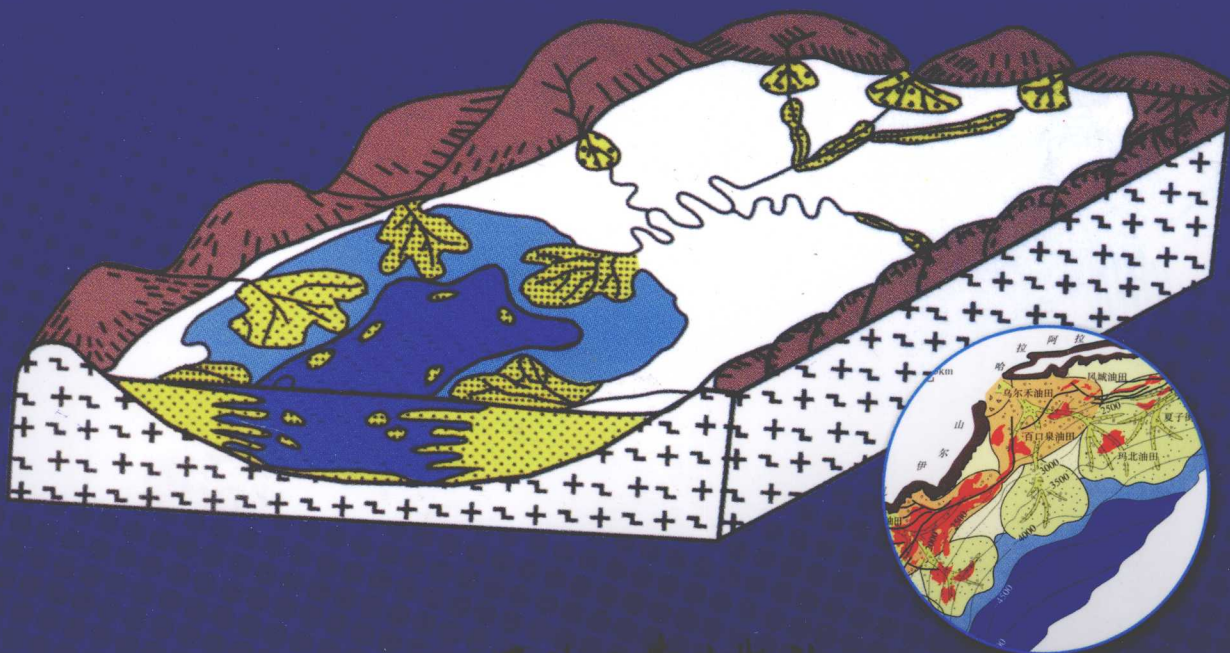


盆地分析与模拟

【法】M. 马胡斯 【俄】Y.I. 加卢什金 著

冷鹏华 金佩强 卢齐军 崔敬伟 秦佳 译

张建 审校



国外油气勘探开发新进展丛书(七)

盆地分析与模拟

[法] M. 马胡斯 [俄] Y.I. 加卢什金 著

冷鹏华 金佩强 卢齐军 崔敬伟 秦 佳 译

张 建 审校

石油工业出版社

内 容 提 要

本书通过对沉积盆地的沉积与压实、热变化与热液流动、构造与海平面变化等的研究,介绍了盆地模拟的原理、方法,重建了沉积盆地的埋藏史、热史和成熟史,对盆地含油气远景评价及勘探目标优选具有重要意义。

本书可供从事油气勘探的地质、地球化学研究人员及高等院校相关专业师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

盆地分析与模拟/[法] M. 马胡斯等著. 冷鹏华等译.

北京:石油工业出版社,2009.12

(国外油气勘探开发新进展丛书·第7辑)

书名原文: Basin Analysis and Modeling of the Burial, Thermal and Maturation Histories in Sedimentary Basins

ISBN 978-7-5021-7555-9

I. 盆…

II. ①马…②冷…

III. ①构造盆地-分析

②构造盆地-数值模拟

IV. P941.75

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 228154 号

版权登记号: 01-2008-1467

Copy@ Editions Technip, Paris. 2005. 本书经 Editions Technip 授权翻译出版, 中文版权归石油工业出版社所有, 侵权必究。

出版发行: 石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址: www.petropub.com.cn

编辑部: (010) 64523544 发行部: (010) 64523620

经 销: 全国新华书店

排 版: 北京时代澄宇科技有限公司

印 刷: 石油工业出版社印刷厂

2009 年 12 月第 1 版 2009 年 12 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本: 1/16 印张: 18.75

字数: 468 千字 印数: 1—2000 册

定价: 60.00 元

(如出现印装质量问题, 我社发行部负责调换)

版权所有, 翻印必究

《国外油气勘探开发新进展丛书（七）》

编 委 会

主 任：赵政璋

副 主 任：杜金虎 张卫国

编 委（按姓氏笔画排序）：

马 纪 王俊亮 邓金根

刘德来 吴因业 冷鹏华

周家尧 徐利军 章卫兵

序

为了及时学习国外油气勘探开发新理论、新技术和新工艺，推动中国石油上游业务技术进步，本着先进、实用、有效的原则，中国石油勘探与生产分公司和石油工业出版社组织多方力量，对国外著名出版社和知名学者最新出版的、代表最先进理论和技术水平的著作进行了引进，并翻译和出版。

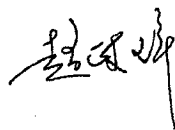
从2001年开始，在跟踪国外油气勘探、开发新理论新技术和最新出版动态的基础上，从生产需求出发，通过优中选优已经翻译出版了6辑34本专著。在这套系列丛书中，有些代表了某一专业的最先进理论和技术水平，有些非常具有实用性，也是生产中所亟需。这些译著发行后，受到了企业和科研院校广大生产管理、科技生产实践人员的欢迎，在实用中发挥了重要作用，达到了促进生产、更新知识、提高业务水平的目的。该套系列丛书也获得了我国出版界的认可。2002年丛书第2辑整体获得了中国出版工作者协会颁发的“引进版科技类优秀图书奖”，2006年丛书第4辑的《井喷与井控手册》再次获得了中国出版工作者协会的“引进版科技类优秀图书奖”，产生了很好的社会效益。

2009年在前6辑出版的基础上，经过多次调研、筛选，又推选出了国外最新出版的6本专著，即《天然气测量手册》、《地面工程合同》、《盆地分析与模拟》、《油井生产实用手册》、《层序地层学原理》、《石油工程岩石力学》，以飨读者。

在本套丛书的引进、翻译和出版过程中，中国石油勘探与生产分公司和石油工业出版社组织了一批专家、教授和有丰富实践经验的工程技术人员担任翻译和审校人员，使得该套丛书能以较高的质量和效率翻译出版，与广大读者见面。

希望该套丛书在相关企业、科研单位、院校的生产和科研中发挥应有的作用。

中国石油天然气股份有限公司副总裁



原 书 序

众所周知，石油和天然气是在沉积盆地中形成的。长期以来，地质学家在对这些沉积盆地构造认识及描述油气形成机理的能力等方面得到了极大的提升。无疑，这些能力的提升将成为寻找可采石油的无价之宝。

更准确地说，三个概念上的进步促进了这一领域取得的巨大进展：

(1) 20 世纪 60 年代末期，发现由干酪根（在某一沉积地层中含有的有机质）形成的油气遵循动力化学定律，取决于温度和时间，表明沉积盆地的热史是形成石油的最重要因素。

(2) 20 世纪 70 年代末期，由于开发了地球动力学模型，从而建立了沉积盆地的热史及盆地形成与演化的关系。

(3) 20 世纪 80 年代初期，发现油气从烃源岩向沉积物中的运移主要遵循多相机理，水和油以分离相存在。

以前，这些概念在石油勘探中很少具有使用价值，这种现象一直持续到 20 世纪 70 年代以来计算机的大发展。如果没有计算机技术的发展，建立上述理论模型，或者对烃源岩形成因素及相互作用进行模拟分析，如此巨量数据是不可能完成的。

科学工作者能够用现有的资源开发越来越复杂的数值模型。实际上，在这些不同的因素之间存在着极其复杂的相互作用，因此，这些数值模型极大地促进了对沉积盆地的地质和地球化学方面的认识。

目前，大型石油公司能够使用盆地模拟这一有效的计算机程序，重建盆地的地质演化、盆地中油气的形成及演化过程。它们还能够估算沉积物的规模。将经过计算机处理的数据输入到这些模拟程序中，随着勘探的继续，输入到模拟程序中的数据的质量和可靠性稳定地增加。

没有困难就不会取得如此惊人的进步。特别在建立数学模型时，研究工作的重点长期集中在模拟的计算问题上，而不是评价数据的质量或者考虑输入到运算中的方程的物理意义。最有能力的团队致力于建立能用于具有特殊资源的巨型油田的极复杂模型，而不是开发简单而稳健的模型。后者虽然没有包括所有油气藏形成的现象，但是却能被大多数石油地质学家使用。

本书的两位作者马胡斯（M. Makhous）和加卢什金（Y. I. Galushkin）尽量简洁而精确地将问题表述出来，尽管如此，本书依然不是很容易读懂，因为它需要对地质学尤其对地球动力学需要有比较透彻的认识。本书并未对油气成藏的各种作用都加以论述，这项工作至少需要十倍的篇幅。相反，本书把重点集中在最重要的方面——沉积物的热史重建。据我所知，本

书是目前这一领域中最严谨而综合的著作。特别是它关注那些被大多数常规分析所忽略的现象，诸如盆地形成过程中地下温度变化、岩浆侵入引起的变化及水层厚度变化所产生的影响。为了将所有这些现象整合到一起并更好的应用，提出了一个简单而稳健的数学模型——Galo 模型。

本书的另一个重点是数值模拟的应用实例。“西方”地质学家对这样的盆地并不熟悉，这也激起了他们的兴趣。

我更关注那些能够用于检验沉积物热史，并且评价得还不够充分的方法，特别是能够检测像镜质组反射率和矿物组合特征的那些方法。当然，这仅仅是一个次要的论题，希望作者将来能进行深入的探索。

马胡斯和加卢什金的著作非常值得一读，我把它推荐给所有的石油地质学家和地球化学家，以增进他们的认识，并且有助于他们更有效地发现沉积盆地中蕴藏的石油和天然气。

Bernard Durand

法国石油研究院地质与地球化学研究所前所长

原 书 前 言

盆地分析是对沉积盆地中沉积物的沉积与压实、热变化与液体流动、构造力与海平面变化以及油气生成与开采之间相互作用的研究。定量研究是认识这些过程的动力学相互关系并且用现今数据进行控制，以提高我们的地质认知及预测未来的石油勘探前景重要手段。

由于温度不仅影响油气生成，也影响沉积物和流体的许多物理性质，所以它是盆地分析中最重要的参数。在盆地演化过程中，压实和液体流动直接受到温度的控制，因此，温度史的现实重建对于盆地演化模拟和认识极其复杂的过程及其在盆地发育中的相互作用是至关重要的。

自从 1970 年以来，对沉积岩和盆地热史的关注程度迅速地提高，而且目前更加强烈。过去的 10 年在量化与沉积盆地，特别是拉张型盆地（如被动陆缘盆地和克拉通内盆地）有关的地质和地球化学过程中做出了极大的努力。出现这种现象的主要原因是认识水平的提高：组成烃源岩的干酪根生成油气的自然过程本质上取决于埋藏加热作用。关于其他因素（地球动力学、剥蚀、岩浆作用、热流、经历的时间、加热速率、干酪根类型、特殊的干酪根组成、自然催化作用等）所起作用的争论一直在持续，但是实际上地球化学家和所有石油地质学家都承认，保存下来的有机沉积碎屑的加热作用对于油气生成是必不可少的，而且除了热流之外，形成商业性油气藏需要沉积盆地或沉积中心内的埋藏作用达到足够的加热程度。

不同的人应用不同的盆地模拟程序完成的热模拟可能得出完全不同的结果，差异可能来自于不同的地质解释、热流方程、热流与其他方程的耦合、热参数、边界条件和井数据的校准。热模拟中输入参数的准确度不容易确定，所模拟的岩石层序的平均热导率的准确性一般没有报道。盆地模拟的热导率估算有时根据完成的（或其他）测井资料进行的端元岩性（砂岩、页岩等）相对含量的评价来进行，这样的确定相当主观，而且可能产生 20% 甚至更高的误差（Hermanurd, 1993）。该值可以与测量值及岩石层序平均值导出的热导率误差对比，后者报道的值为 10%（Chapman 等, 1981；Andrews Speed 等, 1984）。

拉张盆地的地球动力学演化是盆地热量输入的重要原因之一，热量输入通常是空间和时间的函数。通过考虑整个岩石圈—软流圈的演化历史推测描述了这一热量输入，或多或少加入了物理过程，如岩石圈拉伸、软流圈对流、岩浆作用、永冻层、辐射热和地幔刺穿作用等。许多研究模拟的地质学家特别关注的是由 Mc Kenzie（1978）首先引入的“岩石圈拉伸”概念与随后被 Royden, Keen 等在 20 世纪 80 年代改变为“非均匀拉伸”概念，可能与此期间开发的更复杂的岩石圈—软流圈对流模型相矛盾。

过程（诸如加热与液体流动、压实、油气生成、排驱与运移）的模拟也是盆地模拟的基础之一。这些过程中每种模拟的系统发展都可以追踪，技术现状表明仍然还有若干遗留的问题。20 世纪早期开发盆地模拟的有四所大学（法国、德国及美国南卡罗莱纳大学和伊利

诺伊大学), 还有一些著名的盆地模拟的计算机系统 (Matoil, Genex, Temispack, Pdi, Galo 等) (Welte 和 Yukler, 1981; Nakayama 和 Lerche, 1987; Welte 和 Yalcin, 1988; Espitalie' 等, 1988; Ungerer, 1990; Ungerer 等, 1990; Foybes 等, 1991; Welte 等, 1997; Makhous 等, 1997; Galushkin, 1977; Förster 等, 1998; Mohamed 等, 1999; Petmecky 等, 1999; Makhous 和 Galushkin, 2003a 和 b)。

由盆地模拟程序得出的结果被认为是石油公司作出钻井决策的辅助管理手段。敏感性、极限和误差的分析对实现这些目标是极其重要的, 然而历史上曾对此强调得不够充分。最近几年对盆地模拟文献的检索显示, 尽管仍然需要进行重大的改进, 强调准确度和敏感性的趋势正在上升, 对盆地地热、液体流动、压实与运移方面的认识取得了进展。然而, 迄今为止, 这些进展并未促进对这些过程的数学模拟进行重要的修正。预期未来盆地模拟可能进一步发展。当了解到地下物理过程时, 特别是在排驱模拟中, 可能引入新参数项。用户前端将可能继续开发, 直接存取来自盆地模拟的其他数据库将可能成为标准而不是例外。连续改进计算机性能将使盆地模拟程序与其他程序 (如沉积物沉积模拟程序) 的集成变成可能。

研究的主要目的是促进盆地模拟的发展。本书所讨论的研究成果专门论述沉积盆地的埋藏史、热史和成熟史, 以便评价含油气远景和勘探目标。所介绍的模拟系统使用了一维和二维变量, 考虑到浅盆地的演化, 认为沉积层的横向变化明显小于随深度的变化。同时, 对于上述条件都无效的大陆盆地、被动陆缘盆地和弧后海洋盆地, 研究中基本上使用了二维方法。然而, 该系统的一维方法还是具有一定的优势, 这是因为它能够进行许多过程的分析, 而使用二维方法很难或不可能进行这些分析。

为了解决这一问题, 设计了一种算法系统和软件包, 能够进行裂谷沉积盆地岩石圈的地温状况和沉降史的数值分析。特殊的重点集中在这类盆地的演化特征上: 不同沉积速率的沉积物压实、沉积地层与基底的剥蚀、侵入与热液活动、热活化与基底的再活化、大洋与大陆岩石圈不同时代地块的横向热传导、扩张轴的突变等。岩石圈的重力异常与均衡面起伏的分析是计算和模拟系统不可缺少的组成部分。该系统的另一个重要组成部分是分析与沉积作用有关的地表热流扰动, 以及基底与沉积盖层中岩性非均质性和起伏不规则性的折射作用。讨论的大多数题目都与基本原理和应用有关, 尤其是沉积盆地中油气生成与含油气前景。本书提出了交替法, 并将其应用于构造沉降、地壳均衡与流变性、岩石圈拉伸与变薄的控制。为了评价这些因素对盆地热史的作用, 模拟了拉伸轴突变、剥蚀热的评价、对热史的影响及其与剥蚀前后沉积史的关系、侵入活动、南北半球高纬度盆地中永冻层的形成与破坏。进行了沉积盖层与下伏岩石圈和软流圈热传递的联合分析, 以便更好地重建沉积盆地中油气的生成史和热史。为了确定油气生成的动力学反应参数, 将一种新方法应用于拟合程序中, 应用算法具有可变频率因子 (A_i), 而且, 为了更好地估算油气生成量, 对有机质成熟度 (加上岩石热解试验的阶段) 的地质阶段进行综合分析。

用镜质组反射率和现今温度作为主要的热指标。众所周知, 温度主要受盆地构造史的影响, 而且在使用时有严格的限制条件, 还存在与温度测量和井眼与测井曲线导出温度的修正上有关的不确定性问题, 这就是为什么使用它作为补充的独立控制参数的原因。最高温度的估算根据黏土矿物组合, 特别是反应在其晶体多型特征和分子筛上。这对于较高温度特别可靠。然而, 这种方法还未经过充分地推敲, 且具有其固有的不确定性。最后, 引入了一个模型的有效性的辅助控制工具, 即基底面构造沉降曲线的重合 (用两种独立的方法计算得出: 回剥法和地壳中与温度相关的密度分布法)。当然, 也可用后面的方法确定所研究盆地

可能发生的构造事件和热事件的次序。

对侵入和热液过程的持续时间及强度的估算是相似的，因此结果是定性的而不是定量的。通过平常使用中规定侵入体的深度、厚度和温度以及热液活动的不同参数值，可以获得同一条现今 R_0 剖面。对侵入效应更详细地分析需要考虑用较小的深度和时步计算相应的方程。此外，建立如此精确的模型需要更详细的 R_0 数据。

尽管如此，在这项工作中使用的方法足以显示出侵入—热液活动对成熟度剖面所产生的影响，并且调整观测到的结果。

另一个重要问题是构造沉降分析中盆地岩石圈对负载的局部地壳均衡的响应。地壳均衡补偿面的最大深度 Z_i 与计算域下部边界 Z_{low} 的重合表明：由于地幔岩石在最大深度 $Z \approx Z_i$ 的流变性变弱，缺少足够的有效应力差。此外，不仅在盆地岩石圈因热活化或拉伸作用下变弱期间，而且在盆地发育的区域阶段，如果沉积盖层的典型尺寸超过盆地岩石圈有效弹性厚度的 2~4 倍，而且没有水平的构造挤压作用，预期与局部地壳均衡的偏差变小。

第三个问题涉及输入参数，如古海洋深度。在一些已经研究过的盆地中，有足够的证据来说明这些深度的变化是未知的。这些不确定性可能造成估算相应时期内构造事件的幅度和次序不可靠。然而，只要确保模拟有效性的标准不变，盆地现今热状态和成熟状态的模型也会保持不变。

本书第 1 章介绍了地球动力学背景和裂谷盆地开始形成与发育的某些方面的初步调查，诸如盆地岩石圈的拉伸和变薄作用，主要阶段转变及其在盆地沉降中的作用，裂谷之下岩石圈的起伏和热场以及裂谷盆地形成的热机理等。这一背景说明了在盆地发育期间出现的关键特征。在大陆裂谷轴向拉伸作用下出现的盆地岩石圈变薄和软流圈刺穿作用是控制裂谷盆地形成的主要因素。

第 2 章介绍了本书的主题之一——Galo 程序系统。详细地论述了盆地模拟系统的主要特征，包括：用于埋藏史和热史模拟的输入参数、热传导方程与热物理参数、边界与初始条件、有限差分格式与构造沉降模拟。同时还讨论了系统的一些辅助特征，例如对放射性衰变产生热的评价以及地下水流动和加热（稳定或非稳定）的热流系统。描述并讨论了特定程序：第一个是用来重建上新世—全新世期间南北半球高纬度盆地中在永冻层周期性形成和融化条件下沉积盖层的热流系统；第二个是用来评价侵入热和相关热液活动对盆地热史所起的作用。后者应该是任何盆地模拟系统必须具备的组成部分。

第 3 章涉及烃源岩含油气远景的重建。用全部现有限制条件和观点讨论了作为主要成熟度指标的镜质组反射率。特别注意专门论述了镜质组成熟的动力学模型。油气生成量及生成率、运移与排烃门限、二次裂化和油气生成的 3 组分与 5 组分系统的计算构成了这一章的主体部分。广泛地讨论了动力学参数的不确定性和敏感度的影响。当以不同的形式介绍 Galo 模拟系统时，研究目的是通过使用可靠的模拟系统和油气潜能评价进行沉积盆地成熟史的分析。

第 4 章包括一套以构造和发育史而闻名于世的大陆沉积盆地的分析，如撒哈拉盆地，过去的三四十年在该地区进行了密集勘探，在地质时期上进行了广泛的研究，这保证了具有足够的地质和地球化学资料。连同其他资料一道，可以作为开发 Galo 模拟系统的数据库。然而，在说明该系统的应用之前，提出裂谷沉积盆地热演化史和成熟史的一般特性，除了盆地岩石圈的热复活和拉伸作用之外，还包括裂谷和裂谷后阶段的成熟作用。

用一维和二维模拟方法研究撒哈拉和东欧盆地（乌拉尔和西巴斯基尔盆地），用一维方法研究西西伯利亚盆地。在将软件包应用于撒哈拉和东欧地区的特殊盆地时，用实例说明了Galo模拟系统的关键特征。在此将讨论尚未最后确定的一些关键特征在热史中所起的作用，诸如剥蚀、岩浆及相关的热液活动、岩石圈的拉伸及变薄、局部和区域的地壳均衡、流变性、横向热传导、上新世—全新世气候变化引起的温度剖面的变化、沉积物中分散有机质的热效应等。自然地，提供一份所研究地区的含油气远景评价作为最终输出。

第5章的主题是介绍另一组沉积盆地的模拟结果。首先，提出进行被动大陆边缘和弧后中心的大洋与大陆岩石圈热演化分析的方法。典型的被动大陆边缘盆地是巴西桑托斯和佩洛塔斯盆地、澳大利亚—南极洲盆地和复杂成因的太平洋—南极洲盆地（别林斯高晋海域、东太平洋洋隆、阿鲁克洋隆）。在被动大陆边缘盆地的岩石圈热演化和有机质成熟的研究中，用实例说明了特征要素（诸如大陆边缘岩石圈中过渡带的构造及演化、温度、海底地形起伏和重力异常计算以及海底表面热流计算的特殊性质）。利用西北太平洋、白令海（克曼多尔海盆、阿留申洋隆等）盆地和西太平洋、菲律宾盆地资料做出了对边缘海盆地的成熟史以及岩石圈热流系统的评价。

在第5章结尾介绍了天然气水合物问题。研究的目标包括天然气水合物的成因与特征、天然气水合物稳定带的压力—温度条件、游离气层和天然气水合物稳定带顶部的海底模拟反射层（BSR）以及对具有BSR层地区的天然气体积的评价。

目 录

1 裂谷盆地形成与演化阶段的地质力学表征及地球动力学环境	(1)
1.1 (含油气) 沉积盆地及其分类	(2)
1.2 裂谷盆地形成与演化过程中的构造背景	(18)
1.3 地壳拉张——裂谷沉积盆地基底沉降的重要成因之一	(19)
1.4 低变质岩层向麻粒岩相的转变及其在盆地沉降中的影响	(21)
1.5 热传导模式下裂谷期地壳的热力场与形变分析	(23)
1.6 裂谷盆地形成的热力学机制	(28)
1.7 结论	(31)
2 利用计算机 Galo 盆地模拟系统进行沉积盆地埋藏史和热史的数值重建——系统的主要原理	(33)
2.1 常规模拟方案	(34)
2.2 埋藏史和热史模拟	(35)
2.3 构造沉降	(48)
2.4 用盆地模拟方法进行热史和构造沉降分析——以阿尔及利亚塔克浩科特地区韦德迈阿盆地为例	(50)
2.5 高纬度盆地的热史模拟: 盆地模拟框架下的气候因素分析	(51)
2.6 模拟岩浆侵入对沉积盆地温度分布和所包含有机质成熟的热效应	(62)
3 盆地埋藏史中烃源岩含油气远景的数值重建	(75)
3.1 有机质成熟度的评价	(76)
3.2 用 Galo 系统模拟油气生成	(84)
3.3 用热解试验方法重建动力学光谱	(93)
3.4 动力学参数中不确定性的影响	(99)
3.5 结论	(99)
4 利用 Galo 模拟系统进行大陆沉积盆地分析	(101)
4.1 裂谷型沉积盆地热演化和成熟史的综合特征	(102)
4.2 撒哈拉盆地埋藏史、热史和成熟史的二维模拟	(107)
4.3 西西伯利亚盆地(乌连戈伊气田)热史和成熟史的模拟: 盆地模拟中专门考虑的问题	(175)
4.4 东欧地台西巴斯基尔地区里菲(Riphean)盆地的演化史和成熟史	(189)

5	被动大陆边缘和弧后中心的盆地分析——地球动力学、热史和成熟史	(216)
5.1	被动大陆边缘和弧后中心内海洋和大陆岩石圈热演化的分析方法	(216)
5.2	被动大陆边缘盆地的模拟	(220)
5.3	岩石圈热状态和复杂成因被动边缘盆地中有机质成熟条件的数值分析——以南极洲—太平洋区段别林斯高晋海区和东太平洋海隆的阿鲁克洋脊为例	(230)
5.4	边缘海岩石圈的热状态：数值模拟——以白令海科曼多尔盆地和菲律宾海盆为例	(236)
5.5	海洋区域天然气水合物是未来油气的潜在资源	(244)
5.6	小结	(252)
6	结 论	(255)
6.1	模拟地球动力学及相关的地热学	(255)
6.2	模拟热史	(255)
6.3	模拟油气生成	(257)
6.4	模拟特殊地区	(257)
6.5	盆地模拟方法在油气勘探中的应用	(259)
	参 考 文 献	(260)

1 裂谷盆地形成与演化阶段的地质力学表征及地球动力学环境

裂谷盆地在全球含油盆地中占据着相当重要的位置(Ziegler,1996)。沉积盆地的演化(其产生、发展和转化或者消亡)构成了地壳全球演化的一部分。盆地丰富多彩的构造与基底形态通常被解释不同的盆地演化模式,它被认为是地壳演化过程中区域构造的一种往复循环。这种循环始于陆块的破裂,继而海槽的形成,并以洋壳的关闭、海洋的消亡、板块的漂移以及碰撞造山过程而结束(Wilson,1965;Turcotte 和 Schubert,1982;Cloetingh 等,1996)。

沉积盆地不同的岩石圈演化过程造就了包括内陆构造(坳拉槽)到被动大陆边缘在内的多种盆地类型和边缘海盆地的扩张中心,还影响到每个盆地不同的构造发展史、热流系统以及有机质(OM)成熟环境。

在盆地的发展过程中随着表层沉积物和水的堆积会引发基底结构性的沉降,同时造成基底岩石热液和构造在空间分布特征上的变化,这还包括地壳和地幔岩石圈在相态上的转换(Mckenzie,1978;Hegarty 等,1988;Rehault 等,1990;Artyushkov,1993;Cloetingh 等,1996)。然而,由于我们对这些转换动力机制认识上的不足,目前针对内陆盆地结构性沉降所引起的陆壳下部向他形花岗岩与榴辉岩转变的研究还处于定性阶段(Barid 等,1995;Artyushkov 和Merner,1997)。

诸如拉张和热活化等过程会在裂谷盆地发展过程中周期性地重复出现,这一点在任何单个盆地的构造沉降和热演化模拟过程中都应当予以关注。岩石圈地块之间不同时代与构造的侧向热交换以及拉张轴向的改变都会对被动大陆边缘以及边缘海盆地的热流系统产生影响。

高地温梯度、大拉伸幅度、深部物质相态的变化以及与被认可的瞬时拉伸模式相比明显偏大的热液与构造活动(Mckenzie,1978,1981)都是盆地发展早期裂谷阶段的特征(Takeshita 和 Yamaju,1990)。热传导过程是造成地壳减薄的原因之一,但即使是存在软流圈底辟而可以认为热流充分对流上升的地方它们也不是决定性的因素。可以假设由于对流的不稳定性而使软流圈的低密度物质通过刺穿而进入到岩石圈中。软流圈上升的过程可以更为迅速(30~35Ma),这取决于底辟物质与其围岩有效黏度的比例关系(Neugebauer,1983;Heeremans 等,1996;Huisman 等,2001)。然而,底辟的上升将会导致岩石圈相对于底辟物质本身来说大规模的拉张。在地幔异常中很明显地观测到断层区域产生的形变要远小于隆升区域(Artyushkov,1983,1992;Zorin 和 Lepina,1989;Ibrahim 等,1996)。

本章将简要介绍裂谷盆地形成与演化阶段的部分表征及地球动力学背景,这些表征包括:盆地地壳的拉伸与减薄、盆地沉降过程中主要相态的转化以及它们所起到的作用、地热场以及地壳在裂谷期和最终阶段的起伏变化、裂谷盆地地层的热力学特征。以上这些都是在盆地发展过程中出现的主要特征。认为盆地地壳的减薄和沿大陆裂谷拉张轴向出现的软流圈底辟是控制裂谷盆地地层发育的主要因素。

1.1 (含油气)沉积盆地及其分类

含油气沉积盆地通常意味着具有相对较大规模的地质层系,通常涉及油气藏形成过程中烃类的生成、运移、聚集、转化和降解。这些盆地内的烃类源于正在沉降的沉积物所含有有机质的热裂解。

沉积盆地演化,其形成、发展、转化或者消亡是地壳全球演化的一部分。本书创新性的工作就是基于现代的板块构造地球动力学理论系统地划分含油气沉积盆地的类型。在这种情况下,20世纪60—70年代新的、成熟的地球动力学理论需要对传统地质学的基础予以修正,尤其是对过去100~120年间作为地质学发展基石的槽台理论作一修正。

以前的工作是对以垂向运动为主导的两种地学体系,即地槽和地台的认识为基础的。地槽体系被认为是一种伴随着补偿性沉积和岩浆活动的地壳强烈下沉,以及随后的构造体系的倒转和在某些地槽沉降过程中出现的褶皱山系构造。在此之后,在相同的格架体系下作为一种更加稳定(相对于地槽而言)的大型地壳构造体系,地台的概念被推上前台。然而,随着岩石圈研究的地质与地球物理方法的不断发展与完善,发现越来越多的事实与槽台理论并不符合(Wilson,1965)。一方面,针对大陆地质的传统理论研究主要关注于地槽垂向运移过程,并且实际上并不能反映岩石圈板块的水平位移。这与近期对海底的地球物理研究所揭示的结果有所不同,研究表明地壳板块和块体在地质时间尺度上存在着明显的水平位移(图1.1)。空间测量的数据也证实现代的岩石圈板块(图1.2—图1.4)之间存在着相对或者绝对的运动。另一方面,传统的理论回避了同时期地球其他区域地壳的演化而研究地槽的成型与发展,并且最终很难对其形成、发展和消亡给出合理的解释。

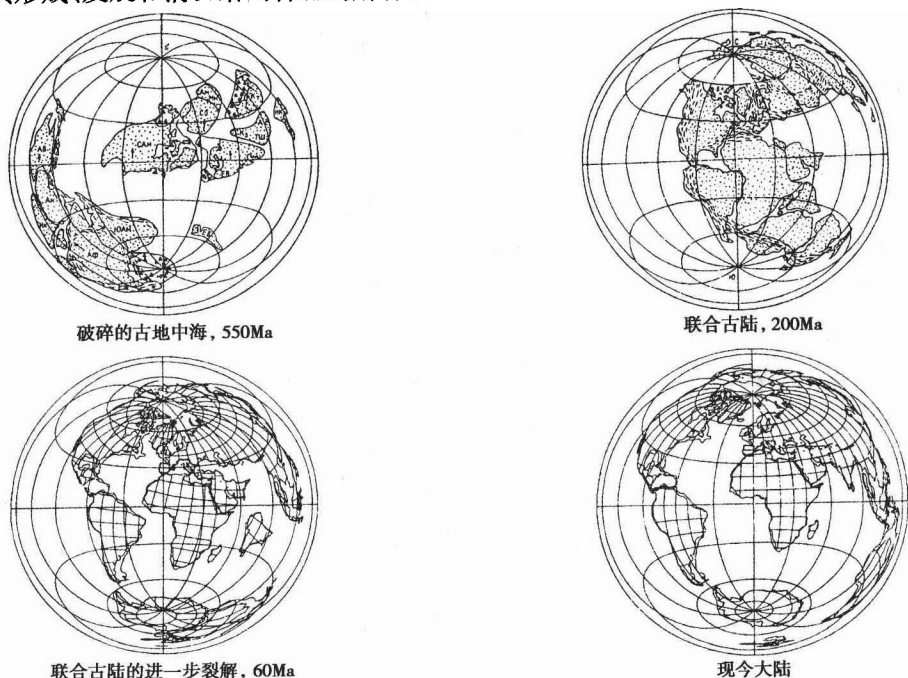


图 1.1 板块可能位置的再现(Smith 和 Brieden,1977)

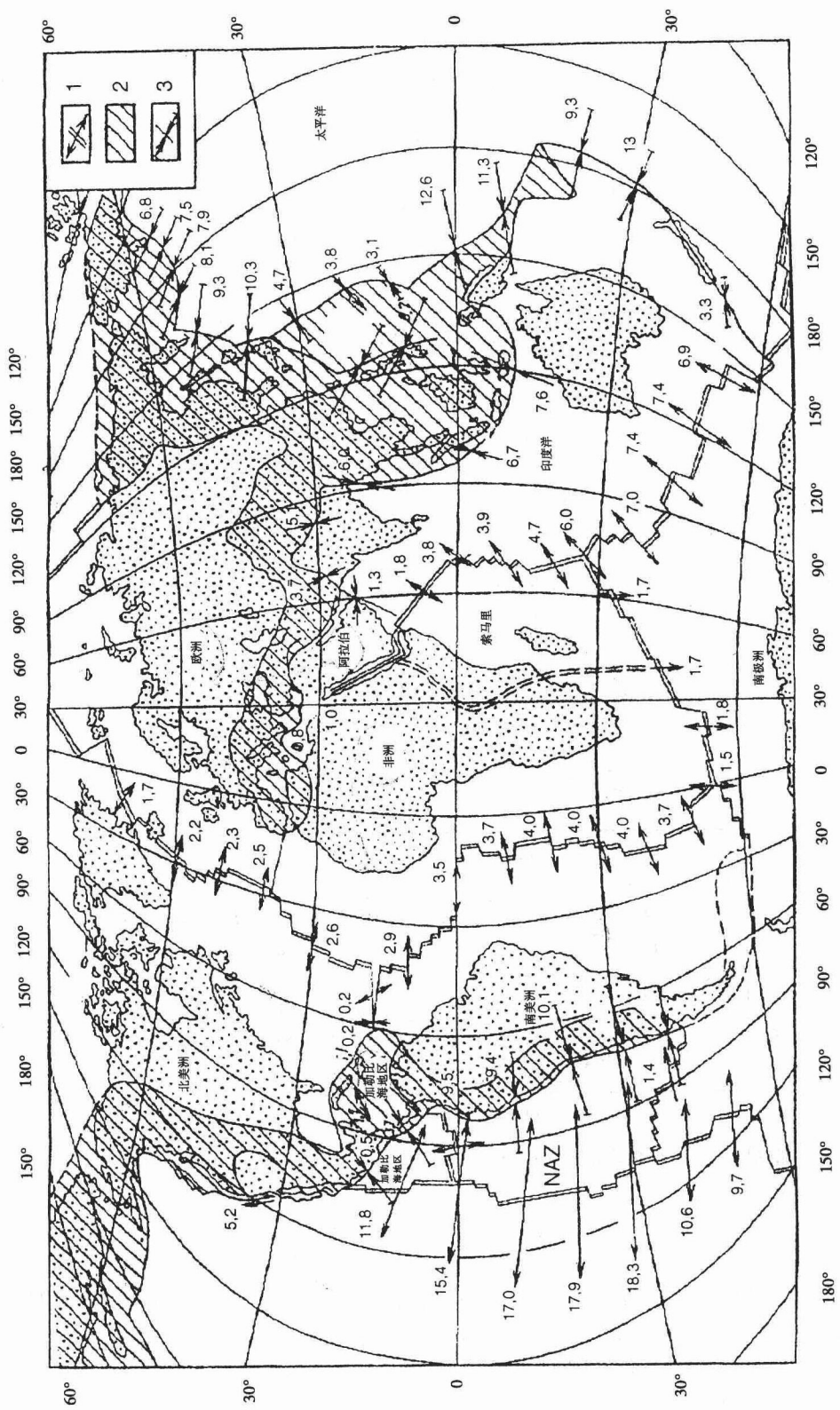


图 1.2 主要地壳板块边界以及板块在这些边界上的相对运动速度 (Galushkin 和 Ushakov, 1978)

1—拉伸轴和转换断层；2—行星式挤压带；3—板块边缘消减带

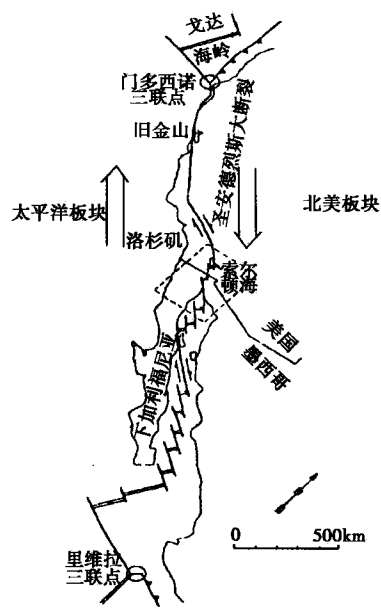


图 1.3 太平洋板块与北美板块之间的边界 (Lachenbruch, 1985)

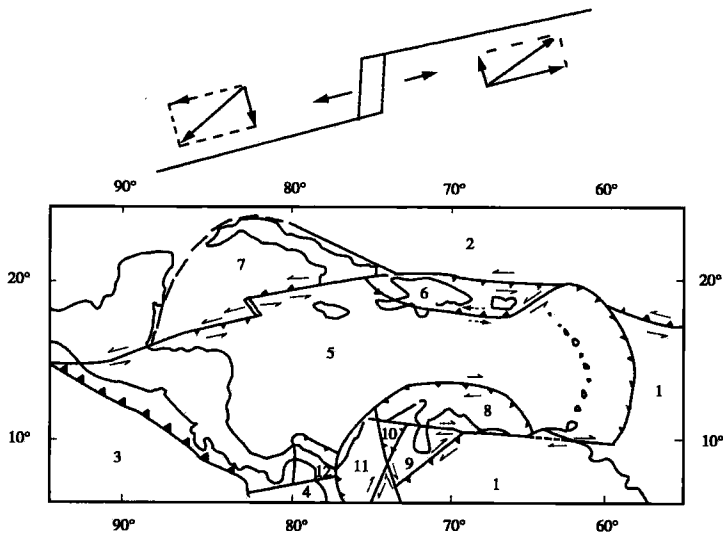


图 1.4 加勒比地区的小板块以及凯门 (Cayman) 海沟的形成 (Kucheruk 和 Ushakov, 1985)

板块: 1—南美; 2—北美; 3—科科斯 (Cocos); 4—纳斯卡 (Nasca); 5—加勒比 (Caribbean)
小板块: 6—Gaity; 7—Cubinian; 8—Kyurosao; 9—马拉开波; 10—克里斯托瓦尔—科隆 (Cristobal—Colon);
11—马格达莱纳 (Magdalena); 12—安南 (Panamanian)

根据地壳板块的结构, 沉积盆地的形成与演化及其分类将涉及从大陆裂解、新的发散型板块边界产生, 年轻的生长型洋盆走向消亡且洋盆逐渐萎缩, 从地壳板块的会聚与碰撞到造山带与缝合带的形成等一系列演化事件 (图 1.5、图 1.6、表 1.1) (Ushakov 和 Galushkin, 1983)。