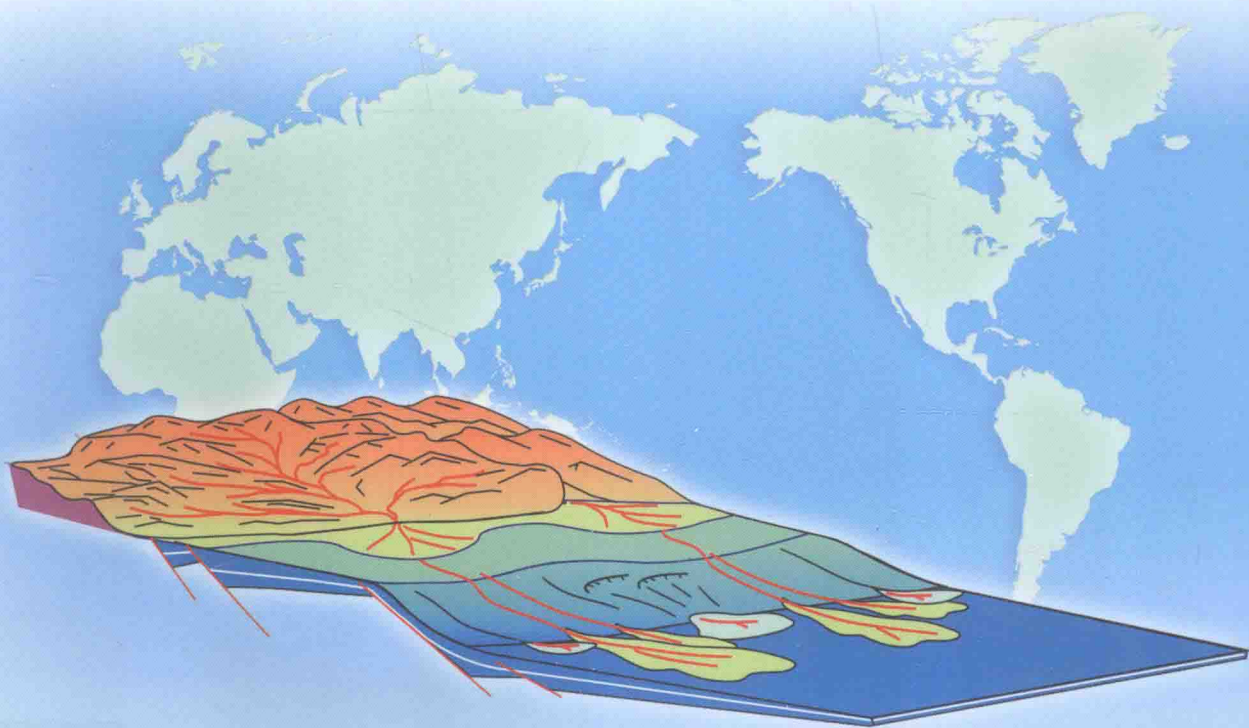




高等院校规划教材

沉积盆地分析原理与应用

林畅松 主编



石油工业出版社
Petroleum Industry Press

高等院校规划教材

Principles and Application of Sedimentary Basin Analysis

沉积盆地分析原理与应用

林畅松 主编



石油工业出版社

内 容 提 要

本书共分九章,较系统地介绍了沉积盆地分析的基本知识、基本原理和分析方法及其在沉积矿产资源预测勘查中的应用。本书着重介绍了盆地整体的动力学过程分析的核心理论,并结合编者多年从事沉积盆地分析教学工作和科研工作的经验。同时力求反映本学科在国内外的新进展。

该教材的内容丰富,概念清晰,理论系统,图文并茂,深入浅出,适用于高年级本科生的基础教育,并可供沉积盆地分析与资源勘查方向的研究生和科技工作者参考。

图书在版编目(CIP)数据

沉积盆地分析原理与应用/林畅松主编.

北京:石油工业出版社,2016.5

高等院校规划教材

ISBN 978-7-5183-1122-4

I. 沉…

II. 林…

III. 沉积盆地—高等学校—教材

IV. P531

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 015551 号

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:<http://www.petropub.com>

编辑部:(010)64251362 图书营销中心:(010)64523633

经 销:全国新华书店

排 版:北京苏冀博达科技有限公司

印 刷:北京中石油彩色印刷有限责任公司

2016 年 5 月第 1 版 2016 年 5 月第 1 次印刷

787 毫米×1092 毫米 开本:1/16 印张:28.5

字数:720 千字

定价:60.00 元

(如出现印装质量问题,我社图书营销中心负责调换)

版权所有,翻印必究

《沉积盆地分析原理与应用》

编写人员

主 编:林畅松 中国地质大学(北京)

副 主 编:胡明毅 长江大学

孟元林 东北石油大学

刘景彦 中国地质大学(北京)

主 审:李思田 中国地质大学(北京)

参编人员:(按姓氏拼音排序)

勾丽敏 中国地质大学(北京)

何登发 中国地质大学(北京)

姜正龙 中国地质大学(北京)

李 琦 中国地质大学(北京)

刘宝林 中国地质大学(北京)

刘 豪 中国地质大学(北京)

宋立军 西安石油大学

吴怀春 中国地质大学(北京)

辛仁臣 中国地质大学(北京)

张 瑞 辽宁工程技术大学

郑求根 中国地质大学(北京)

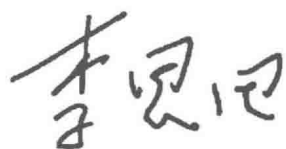
周东升 中国地质大学(北京)

序

沉积盆地是地球演化赋予人类的巨大宝库,在其中形成并保存了人类社会发 展所必需的石油、天然气、煤炭等能源类资源和放射性矿产。盆地又是巨量地下水资源的储存库。因此,揭示盆地的精细结构并研究其形成演化是成功进行上述资源预测和勘探的重要基础。老一代地质学家很早就认识到盆地研究的重要性,并提出了“没有盆地就没有石油”的观点。

沉积盆地与造山带是地球表层最基本的构成单元。从地貌角度来讲,沉积盆地是负向单元,其邻区为高地或山脉。盆地的形成和演化,盆地与山脉的转换是地球表层动力学过程的重要部分。因此,沉积盆地的研究一直是地球系统或岩石圈动力学研究的一个重要的领域。

被国际地质界誉为“沉积学之父”的 E. J. Pettijohn 最早提出盆地整体分析的观点。20 世纪中期,人们还侧重于盆地的沉积学研究,经过数十年的发展,盆地整体分析已形成完整的学科体系,并成为从事地球科学研究,特别是能源勘探和沉积矿产资源勘探专业的大学生和研究生的必修课。因此,编写一本高水平的盆地分析教材就十分必要。本人十分高兴地阅读了以林畅松教授为主编,并由多个院校具有丰富经验的中年教授为主组成的团队完成的“沉积盆地分析原理与应用”教科书初稿。全书分九章,图文并茂、概念清晰,全面涵盖了该学科的基本内容。此书既注意汲取该学科的新进展,又加入了我国陆上及海域的典型研究实例,是现有的外文名著难以做到的。考虑到今后参加生产及科研实践的需求,此书在基本理论的基础上也介绍了必要的研究方法,是一本合格的高等教育教材,希望本教材在使用过程中进一步精炼和完善。



2015 年 1 月

前 言

沉积盆地是地球系统中的一个重要组成部分,沉积盆地的研究一直是地球科学研究的一个重要的领域。沉积盆地和造山带是构成地球表面的两个基本的地貌单元。地球表面发生沉降,接受沉积,形成盆地;沉积的盆地区又可遭受挤压隆起,盆地衰亡,形成山脉,遭受剥蚀。这一过程是地球表层动力学演化的基本过程,而这一过程事实上是由地球岩石圈动力学过程所决定的。沉积盆地的形成演化直接与岩石圈的演化密切相关,还受到气候、海平面变化等的深刻影响。同时,沉积盆地赋存着丰富的人类社会赖以生存和发展的煤、油气、矿物以及水等地质资源。没有盆地就没有沉积矿产,因此对沉积盆地的研究一直受到国际能源工业界的高度重视;也正是人类对能源资源的巨大需求不断推动着沉积盆地研究的高速发展。

“沉积盆地分析”是人们在多年研究沉积盆地的特征、形成演化及相关资源的富集规律的过程中形成的一套理论和方法体系。它不仅是一门重要的地球科学的基础性学科,而且也是一门具有重要应用价值的应用基础学科。当代沉积盆地的研究,促进了地质学、海洋学、地球物理学、地球化学、能源地质学等多学科的广泛融合和交叉,为地球科学多个领域的研究和沉积矿产的预测勘探提供了重要的依据和理论方法。“沉积盆地分析”最早是作为沉积学的一个分支学科诞生的,侧重对盆地的沉积充填和古地理演化的整体研究。随着时间的推移,它汲取了多学科的研究进展,形成了相对完善的、以盆地整体和动力学过程分析为总体研究目标的综合性学科。

本书是一本主要为高年级的本科生编写的基础性教材,力图较系统地介绍“沉积盆地分析”的基础知识、概念体系及技术方法。在编写上,本书着重对沉积盆地整体和动力过程进行综合分析的理论和方法的介绍,同时注重对学科的新进展、新概念的介绍和引入,并尽量结合了我国的研究实例和编者多年从事相关领域的研究成果。本书的第一章概述了沉积盆地分析理论的发展和研究现状,并简要介绍了沉积盆地分析的基本思路。第二章介绍了沉积盆地的有关概念,较系统地阐述了沉积盆地的成因类型及其基本特征。第三章介绍了盆地的沉降机制和不同盆地成因类型的形成过程,重点分析了不同构造成因盆地形成的动力学机制。第四章介绍了从陆地到海洋的各种沉积体系和沉积相的分析方法,并对不同构造成因盆地的沉积体系的发育和分布进行了简要讨论。第五章重点介绍盆地的地层格架和沉积充填演化的控制因素,突出了构造与沉积作用的结合分析,在简要介绍层序地层学基本概念的基础上,试图在更广泛的意义上阐述盆地的沉积层序结构、形成过程及控制因素的分析思路和方法。第六章介

介绍了盆地沉降史的分析方法,并讨论了不同成因盆地的构造沉降特征。第七章介绍了沉积盆地的热史分析方法,同时结合盆地构造—热机制的理论进行讨论。第八章介绍了盆地研究在能源等沉积矿产预测方面的应用,除了石油、天然气和煤以外,对海洋矿产资源等也进行了介绍。第九章介绍了盆地分析的主要技术方法。由于盆地研究的具体思路、技术方法的应用视不同的研究对象和研究目标而有不同的侧重,本章重点介绍的内容是较为基础的理论和成熟的技术方法。值得指出的是,“沉积盆地分析”作为一门综合性且实践性很强的地学分支学科,包含着十分广泛的研究内容。要较全面地掌握这门学科的基础理论知识,了解学科的研究进展,需要阅读更多参考书或其他相关的出版物,特别是相关的学术期刊上的研究成果。可进一步阅读的经典教材或专著有《古流与盆地分析》(Potter 和 Pettijohn, 1977)、《沉积盆地分析原理》(Miall, 1984)、《沉积盆地》(Eneile, 2000)、《盆地分析——原理与应用》(P. A. Allen 和 J. R. Allen, 1992, 2005)及重要国际学术期刊《Basin Research》(国际沉积学会)、《AAPG Bulletin》(美国石油地质学会)等。

本书是由中国地质大学(北京)等多个院校的同行合编的。第一章、第二章、第三章第一节,第三章第二节,第四章第一、五节,第五章第一、二、四、五节,第九章第一节由林畅松执笔。第四章第三、四节,第九章第七节由胡明毅执笔。第六章第一、二、三节,第七章第四节由孟元林执笔。第三章第三节、第五章第三节、第九章第四节由刘景彦执笔。第八章第三节、第九章第三节(部分)由刘豪执笔。第六章第四节、第五节由姜正龙执笔。第三章第五节由何登发执笔。第三章第四节、第九章第二节(部分)由郑求根执笔。第四章第二节、第九章第二节(部分)由辛仁臣执笔。第四章第六节由李琦执笔。第七章第二、三节由周东升执笔。第八章第一节由宋立军执笔。第八章第二节由张瑞执笔。第九章第五节由吴怀春执笔。第九章第六节由刘宝林执笔。第九章第三节(部分)由勾丽敏执笔。全书由林畅松统稿;李思田教授审阅了全书的提纲和主要章节内容。本书的出版得到国家 973 项目课题(2006CB202302、2011CB201100-3)和国家自然科学基金重点基金(41130422 和 91328201)等项目的资助。

由于编者水平有限,书中错误之处在所难免,敬请读者批评指正。

编者
2015. 09. 01

目 录

第一章 绪论	1
第一节 沉积盆地分析理论的形成和发展史	1
第二节 沉积盆地分析的主要内容和研究现状	2
第三节 盆地研究的思路与工作流程	7
思考题	9
第二章 沉积盆地的基本类型及其发育的构造背景	10
第一节 沉积盆地的基本概念和构成要素	10
第二节 沉积盆地发育的区域构造背景	18
第三节 沉积盆地的基本类型及其特征	25
思考题	42
第三章 沉积盆地的形成机制	43
第一节 盆地沉降的控制因素	43
第二节 伸展(裂谷)型盆地的成因和形成机制	47
第三节 前陆盆地的形成机制	65
第四节 走滑型盆地的形成机制	84
第五节 克拉通盆地的成因和沉降机制	91
思考题	98
第四章 沉积体系和盆地沉积充填样式	99
第一节 沉积体系的类型和分布	99
第二节 大陆沉积体系	106
第三节 滨海和近岸沉积体系	127
第四节 浅海陆架沉积体系	149
第五节 深海和陆架斜坡沉积体系	155
第六节 不同构造背景盆地的沉积充填样式	158
思考题	176
第五章 盆地地层结构与控制因素	177
第一节 概述	177
第二节 沉积旋回和层序地层单元	181
第三节 沉积层序发育演化的控制因素	202
第四节 盆地构造对沉积充填的控制作用	212

第五节 沉积层序形成过程模拟·····	233
思考题·····	244
第六章 盆地沉降史分析 ·····	245
第一节 沉积物压实过程·····	245
第二节 古水深变化·····	249
第三节 不整合剥蚀量分析·····	260
第四节 盆地沉降过程回剥·····	265
第五节 不同成因盆地的沉降过程分析·····	269
思考题·····	273
第七章 盆地热体制和有机质演化 ·····	274
第一节 盆地的热流体制·····	274
第二节 有机质成熟度和古地温·····	280
第三节 有机质热演化与烃类生成·····	286
第四节 古地温与有机质演化模拟·····	293
思考题·····	302
第八章 盆地分析应用 ·····	303
第一节 盆地分析与油气资源·····	303
第二节 煤炭资源分析·····	335
第三节 海洋矿产资源分析·····	350
思考题·····	362
第九章 盆地分析技术方法简介 ·····	364
第一节 概述·····	364
第二节 野外地质剖面综合分析·····	368
第三节 盆地研究相关的地球物理技术方法·····	379
第四节 沉积物源分析·····	400
第五节 沉积盆地年代学和构造、热事件分析·····	411
第六节 沉积地球化学分析·····	422
第七节 盆地分析综合编图·····	430
参考文献 ·····	437

第一章

绪 论

沉积盆地分析是将盆地作为一个地球动力学整体来进行综合研究(Allen, 1992, 2005)。早在 20 世纪 70 年代, Potter 和 Pettijohn 在他们的《古流与盆地分析》(1977)一书中就指出, 将盆地作为一个整体的研究为古地理分析提供了一个真正统一的方法。四十多年来, 盆地动力学的综合研究促进了包括地质学、地球物理学、地球化学及计算机技术等多学科的空前合作和交叉, 取得了一系列突破性的进展, 形成了一套完善的沉积盆地分析理论和技术方法, 并成为当前盆地中沉积矿产资源分布预测和勘探的重要工具。

没有盆地就没有沉积作用发生, 也就没有各种沉积矿产。煤、油、气等沉积矿产形成于沉积盆地, 也赋存于沉积盆地。正是人类对能源资源的巨大需求不断推动着沉积盆地研究的迅速发展。同时, 沉积盆地的形成演化又直接与岩石圈的演化密切相关。盆地的形成和演化反映了区域构造或板块构造和岩石圈动力学过程的控制作用, 盆地和造山带构成了大陆动力学和岩石圈研究的基本领域。因此, 沉积盆地分析是地球科学研究的重要组成部分。这一领域的研究和发展, 一直得到国际地球科学和能源工业界的高度重视。

第一节 沉积盆地分析理论的形成和发展史

将沉积盆地作为一个单元进行整体分析的基本思想, 源于 20 世纪 60 年代至 70 年代的盆地沉积地质和古地理研究。从 20 世纪 40 年代开始, 欧美国家和苏联学者就对许多盆地开展了盆地整体的古地理和构造演化史的重建, 这对盆地分析理论的发展和煤、油、气等资源的预测和勘探起到过重要的推动作用。20 世纪 60 年代至 70 年代板块构造理论的出现, 给沉积盆地的研究带来了深刻的影响。人们从板块构造背景和岩石圈动力学机制上重新认识了沉积盆地的成因和演化, 认识了盆地类型的差异与板块构造背景的关系, 并提出了新的分类(如 W. R. Dickinson, 1974)。人们认识到沉积盆地是地球系统中的一个基本单元, 盆地整体的古地理和构造演化是地球动力学系统演化的响应。这一时期盆地分析是作为沉积学的一个分支学科发展起来的, Pettijohn 在他的《古流与盆地分析》一书中最先提出了将盆地作为一个单元进行古地理重建的思想。1977 年 Patron 主编的《地震地层学》出版, 依赖于当时地震勘探技术的进步, 提出了一套从盆地整体出发来进行沉积层序和沉积体系域演化分析的理论方法, 并发展成为当前的层序地层学理论。同一时期 Conybeare(1979)出版了《沉积盆地的岩相地层格架分析》(Lithostratigraphic analysis of sedimentary basins), 提出了盆地的地层格架和构造格

架等重要概念。此后沉积盆地分析的理论发展日益体现了多学科交叉和综合分析的特点。

20世纪80年代至90年代,沉积盆地分析进入了一个全面发展阶段,在盆地形成演化的动力学机制,盆地沉积充填特征和沉积过程,热体制和有机质演化,压力和流体系统以及定量动力学模拟等方面取得了一系列重要进展,出版了大量有关沉积盆地分析的系统性论著。Miall(1984)的《盆地分析原理》(Principle of Sedimentary Basin Analysis)以板块构造为盆地发育背景,论述了盆地地层和沉积结构分析的基本方法和原理。Einsele(1992)的专著《沉积盆地:演化、沉积相和沉积物供给》,系统阐述了不同盆地的形成、沉降及充填演化。Ingersoll和Busby(1995)著有《沉积盆地构造》(Tectonics of Sedimentary Basin)。Leeder(1999)的《沉积地质与沉积盆地》(Sedimentology and Sedimentary Basin),从盆地的沉积到构造演化进行了深入论述。Angevine等(1992)的论著《定量盆地模拟》全面阐述了沉积盆地的定量分析理论和技术方法。20世纪90年代初P. A. Allen和J. R. Allen编著了一本系统总结盆地分析理论和进展的教科书——《盆地分析:原理与应用》(Basin Analysis: Principles and Applications),2005年该书再版。该书明确提出了沉积盆地分析是将沉积盆地作为一个地球动力学整体(geodynamic entities)进行综合分析的概念,并在沉积盆地成因机制与岩石圈力学、盆地的沉降、盆地地层和沉积演化、盆地热流体系与有机质演化、盆地分析与油气资源预测等方面进行了系统性的阐述。近些年来,我国也出版了不少关于沉积盆地分析的研究生教材(李思田等,2004;王成善等,2004;陆克政等,2003)。

社会发展对能源资源的巨大需求,一直是推动沉积盆地分析迅速发展的主要动力。沉积盆地分析理论的发展一直与能源资源勘查实践相结合。20世纪末出版了大量着眼于盆地演化对油气聚集控制作用的沉积盆地分析专著。如美国石油地质学会组织编著了有关各类型盆地(包括裂谷盆地、被动大陆边缘盆地、克拉通内盆地、活动大陆边缘和前陆盆地等)的演化与油气勘探的系列性著作。这些专著均提供了将盆地构造与古地理演化、油气聚集作用及盆地板块构造背景结合分析的范例(如Leighton等,1991;Edwards and Samtoggrossi,1990;Landon,1994;Biddle,1991)。对于湖相盆地分析,也有较多的相关专著(Katz,1995)。

在我国,许多大型的含煤盆地、含油气盆地为陆相或湖相盆地,我国学者在陆相盆地分析领域出版了大量有特色的著作(李思田,1988,1992;胡见义、黄第藩等,1991;田在艺,1996)。近些年来,我国大型叠合盆地的综合研究不断取得突破,为盆内油气资源的预测和勘探提供了重要指导,并丰富了具有我国地域特色的叠合盆地分析理论(朱夏,1983;李德生,1992;金之钧等,2004;林畅松等,2010)。目前,在国际盆地分析的研究中,理论探讨和模拟技术的发展十分迅速,不断取得新的突破,对地球科学的发展产生着重大的推动作用。这些新的进展多刊登于《盆地研究》(Basin Research)、AAPG期刊、《沉积学报》(Sedimentology)、《沉积地质学报》(Sedimentary Geology)等国际性重要刊物中。

第二节 沉积盆地分析的主要内容和研究现状

认识沉积盆地首先要认识沉积盆地是如何构成、形成和演化的,特别是要认识盆地形成演化的各种动力学过程。在沉积盆地研究中,盆地形成演化的动力学机制一直是人们最为关注的核心理论问题之一。盆地形成演化的动力学机制或成因,被许多学者作为盆地基本类型划分的主要依据(如Beaumont和Tankard,1987;Allen和Allen,1992,2005)。

从板块构造理论的兴起以来,盆地的成因和形成机制的研究就一直注重从板块构造作用

和岩石圈动力学的角度揭示盆地的形成过程。由于深部地球探测技术的迅速发展和来自盆地的大量高分辨率的地质、地球物理和地球化学等资料的获得,盆地形成机制的研究日益深化,是盆地分析研究中取得最令人瞩目进展的领域之一。从20世纪70年代至20世纪末,裂陷型盆地形成动力学机制的研究取得了一系列重要进展。McKenzie(1978)提出了具有里程碑意义的均匀纯剪切拉伸盆地模式,定量地描述了岩石圈减薄、同裂陷期和裂后期盆地沉降以及相应热体制之间的动力学关系。Wernicke(1981)从岩石圈的另一种变形机制提出了简单剪切拉伸模式。随后许多学者提出了各种改进的模式,包括Barbier的联合剪切模式(1986)、Kusznir的双层悬臂梁模式(1992)以及Lister(1992)有关各种联合剪切作用的总结等。前陆型盆地形成机制的研究同样取得了许多进展,并形成了系统性的基础理论。二维弹性薄板挠曲作用被广泛应用于分析前陆盆地在挤压背景下由于岩石圈挠曲的沉降机制(Watts等,1992)。Beaumont等(1978,1984)还提出了应用岩石圈的黏弹性变形机制解释前陆盆地多期次的挠曲沉降过程。最近的一些研究还表明,后退式板块俯冲作用可能是形成弧后盆地的一种重要机制。这方面的大量实例研究揭示了这一复杂动力学过程对前陆盆地的沉降—沉积充填史、几何形态及地层样式的控制作用(Allen和Allen,2005)。自20世纪80年代明确提出沉积盆地动力学的重要学术思想以来,盆地研究不断得到深化。盆地研究的聚焦点已从盆地分类转向盆地形成过程的动力学分析(Dickinson,1993)。人们已广泛认识到,盆地的形成和演化常常是多重作用联合控制的结果,是多种作用的复杂函数。

沉积盆地分析的基本任务之一是研究盆地的沉积充填特征、演化过程及各种控制因素。半个多世纪以来,沉积学领域从沉积相模式、沉积体系、地震地层学到层序地层学的一系列重大进展,为盆地的沉积充填分析提供了理论基础。20世纪50年代在沉积学领域取得的重要进展体现在建立了各种沉积环境的识别标志和相模式(Reading,1978)。在沙床底形与水动力条件的成因关系(Allen,1963)、碳酸盐沉积结构(Folk,1959)和浊流或海底扇沉积(Midellon,Bouma,1962)等方面的研究,是近代沉积学取得重大进展的标志。

从20世纪60年代开始的沉积体系的研究,结合了现代沉积过程的广泛调查,强调了沉积相在三维空间上的有机组合与沉积过程的成因联系,被认为是在沉积环境和沉积相研究基础上更完善的概括(Brown和Fisher,1977)。值得指出,20世纪70年代以来的盆地沉积充填研究的一个突出的进展是从盆地的规模上分析沉积演化并与盆地动力学过程或多种控制因素的紧密结合分析。大地构造沉积学或板块构造与沉积作用,盆地沉积充填样式和沉积体系域,构造地层或构造沉积学,从物源、沉积物搬运到沉积充填的“源—汇”系统(source-to-sink system)等方面的研究,都取得了令人瞩目的进展。从70年代的地震地层学(Vail等,1977;Clayton,1977;Wagoner,1988)发展起来的层序地层学理论的形成,被誉为给地质学带来了革命性的进展。这一理论体系已成为油气勘探中广泛应用的权威性工具。层序地层学将沉积体系和沉积体系域的研究置于盆地的框架中加以分析,强调了海平面或沉积基准面变化等的控制作用。近年来,更多学者强调了盆地地层学的综合研究和地层动力学过程分析。盆地的地层结构和沉积演化是构造作用、海(湖)平面变化以及物源供给等因素综合作用的结果。“源—汇”系统概念提出,将从造山带的物源形成到盆地区的搬运、沉积充填作为一个整体的动力学过程进行研究,这将对认识整个地球表层动力学过程,包括地球表面物理、化学与生物及气候条件等相互作用及其对深部岩石圈动力学过程的响应等产生深刻影响。认识由各种地质营力塑造的现今剥蚀和沉积地貌与长期地质历史记录之间的关系,是揭示地球地质演化历史的钥匙。这是一项以地球动力学过程分析为目标并探究研究方法、需要多学科交叉融合的重大课题。

沉积盆地的热体制和盆内的流体过程研究也一直是沉积盆地分析的重要内容。盆地的热体制首先与盆地形成的动力学背景和深部岩石圈结构密切相关。盆地形成动力学机制的研究一直十分重视对盆地热体制的研究。盆地流体活动对盆内沉积有机质的演化至关重要,是决定油气成藏、成矿的关键因素。有关这方面的研究成果极其丰富,例如美国地球动力学委员会编写的“沉积盆地动力学”研究纲要(Dickinson 等,1994),重点强调了板块构造和地幔对流格架中的盆地形成机制、盆地演化过程中烃类的生成和运移、现今流体和古流体的活动及其运移的化学动力学以及与构造环境有关的盆地充填和热演化等的研究。

盆地形成的理论模型与计算机技术相结合产生的盆地模拟方法,在盆地研究与油气勘探中已得到了广泛应用。盆地模拟技术在当代盆地分析中占有重要的地位。盆地模拟技术能定量地正演和反演盆地的动力过程,包括盆地沉降史、构造—热演化、构造变形过程、沉积充填过程、生排烃史和流体运移史等。在油气勘探中盆地模拟技术已成为定量预测的重要方法。盆地模拟技术的发展,使盆地分析逐渐从定性的静态描述转向定量的、动态的,以盆地动力学过程研究为目标的系统科学(Angevine 等,1992)。这种多学科的综合研究显示出了深远的发展前景。

总之,沉积盆地分析就是对盆地进行整体的动力学分析,包括盆地发育的地球动力学背景、盆地成因或形成演化的动力学过程、盆地的沉积充填过程、盆地构造沉降—反转史、热演化史以及成矿、成藏过程分析及预测方法等方面的研究内容。因此,沉积盆地分析是一项需要应用多学科交叉方法的综合性研究。概括起来,沉积盆地分析主要包括下列研究内容。

一、盆地发育演化的区域地质背景和深部过程分析

盆地的区域地质背景和深部过程分析是盆地整体动力学研究的基础。盆地的发育演化必须置于区域构造背景中进行。盆地的基本特征和形成演化过程与盆地的基底、区域构造或板块构造背景及深部过程等密切相关。

在地质学中,基底指盖层之下的古老岩石单元,其性质与盆地成因、演化关系密切。世界上许多大盆地都发育于古老的地台或微地块基底,即板内最稳定的部分,如我国的鄂尔多斯盆地、四川盆地和塔里木盆地。对含油气盆地十分重要的前陆盆地也大多发育于稳定地块的边缘。也有一些盆地基底是复合的,包括古老的微地块和古生代褶皱带,如准噶尔盆地、松辽盆地和东海陆架盆地。

盆地的类型或成因等与其所处的板块构造格架中的位置及板块相互作用相关。沉积盆地可以发育于离散的、聚敛的或走滑的板块构造背景。例如,断陷或裂谷型盆地主要形成于离散的构造环境,而前陆型盆地则形成于聚敛的挤压的板块构造环境。我国古生代末到中生代初一系列前陆式盆地的形成,都是在大陆块体的汇聚后再碰撞的背景下形成的。因此,研究盆地时也必须了解其发育的背景,特别是相邻古海洋、造山带等的演化历史。

地球物理探测技术和岩石—地球化学方法的发展对盆地的研究已不满足于了解基底的性质,而是深入底界面去了解整个地壳的性质,并进一步探索岩石圈的底界面,了解整个岩石圈的变形。盆地动力学的研究将盆地深部研究的焦点延伸到岩石圈的底界面,该界面是流动的地幔软流层与岩石圈之间的界面,被认为控制盆地演化的最重要的界面,具有十分重要的动力学意义。以裂谷盆地为例,流动的软流圈加之于岩石圈底界面的力可能是岩石圈伸展、减薄的主要原因,并导致裂谷盆地的形成(Ziegler,1992)。探索岩石圈与软流圈之间界面的难度远大于对莫霍面的探测,应用大地电磁方法所探测的幔内高导层可能近似地反映了上述界面。近

些年来发展起来的天然地震层析成像技术分析为地球深部的探索提供了重要的手段。

二、盆地形成的动力学机制研究

盆地形成的动力学机制研究是盆地分析的中心内容和热点之一。盆地形成的动力学机制的研究,需要从岩石圈力学和热力学角度探讨盆地的成因,这一前沿研究领域在近二十多年来取得了最显著的进展。

沉积盆地的成因和形成机制研究要从板块构造作用和岩石圈动力学角度出发来揭示盆地的形成过程,特别需要依据深部地球探测技术和来自盆地的大量地质、地球物理、地球化学等方面的资料来进行综合分析。盆地形成机制的研究中首先要探讨盆地的沉降机制。构造应力作用、热力作用、重力均衡作用等是控制盆地沉降的重要因素。构造应力作用,包括挤压、拉伸、走滑等都可导致盆地的形成。例如,断陷或裂谷盆地的形成主要是因岩石圈受到拉伸、变薄及重力均衡作用,地表发生沉降形成的;前陆型盆地则与岩石圈受到挤压、岩石圈加厚时发生挠曲均衡沉降有关。盆地的形成机制研究还涉及定量动力学过程的研究。盆地沉降史的分析已形成了完善的定量回剥技术,可定量建立盆地的构造沉降、总体沉降速率的变化曲线。20世纪70年代McKenzie(1978)就提出了具有里程碑意义的均匀纯剪切拉伸盆地模式,定量地描述了岩石圈减薄、同裂陷期和裂后期盆地沉降以及相应热体制之间的动力学关系。二维弹性薄板挠曲作用被广泛应用于定量分析前陆盆地在挤压背景下由于岩石圈挠曲的沉降机制(Watts等,1982)。

盆地的形成机制决定着盆地构造格架的基本特征。了解盆地的形成机制,首先要认识盆地的构造格架特征。例如,在裂谷和断陷类盆地中,最重要的是对盆地形成演化起重要作用的主干断裂系统,这些断裂具有同沉积性,并常常把盆地分隔成一系列断隆带和断陷带。在前陆型盆地中,岩石圈受到构造挤压作用,往往形成从造山带前缘的逆冲造山楔、前渊、前隆及隆后的构造系统。盆地的构造格架是不断演化的,是盆地的动力学过程及演化的产物。多数大型沉积盆地的动力演化过程都具有阶段性,如渤海湾盆地和松辽盆地,裂陷期和裂后期构造样式有重大区别,因此要分阶段进行研究。不同演化阶段通常都以区域性不整合为分界。

三、盆地的沉积充填过程分析

沉积盆地的沉积充填分析一直是盆地研究的基本内容。盆地沉积充填分析包括沉积物组成、沉积相或沉积体系的沉积充填过程及盆地总体的沉积充填过程的整体分析。从盆地的规模出发建立盆地的沉积充填样式是一项主要的研究任务。

研究盆地的沉积充填首先要涉及沉积物的来源,这与物源区的母岩性质、构造作用、气候条件或风化过程有关。从物源的产生、搬运和堆积的整个过程,或称“源—汇系统”的整体分析事实上构成了地球系统研究的一个重要组成部分。将盆地的沉积充填特征和演化与构造作用相结合,一直是盆地沉积充填分析的重要特色。近年来,随着层序地层学的发展,从构造沉降、海平面(或沉积基准面)变化、沉积物供给、气候变化等因素的互相作用方面分析盆地沉积充填的动力学过程成为当前广泛关注的研究内容。

沉积盆地研究的基本任务之一是建立盆地的地层(或等时地层格架)及沉积体系(或沉积相)的配置样式。沉积盆地是一个三维空间上的沉积地质体,具有复杂的外部形态和内部地层结构特征。描述沉积盆地的地层格架时要揭示它们随时间的演化。地震勘探技术和资源勘查

钻探技术的进步和层序地层学方法的出现,使得在盆地研究中能快速识别不整合间断面及其相应的整合面,划分对比不同级别的层序地层单元,并建立等时的地层格架。在此基础上可以进一步研究沉积(相或沉积体系)及沉积体系域的特征,重建不同时期盆地的古地理、古构造及沉积体系的分布和演化。与一般古地理分析不同的是,在含油气盆地分析中将巨层序(megasequence)、超层序(supersequence)、层序(sequence)、体系域(depositional systems tracts)、沉积体系(depositional system)和相(facies)分别看作是一种地质体,即充填沉积盆地不同级别的建造单元(building blocks)。此种研究可阐明含油气盆地的烃源岩、储层和盖层的空间配置关系。

四、盆地流体研究

沉积盆地分析在揭示盆地的结构特征基础上,需要进一步研究盆地流体系统。这对油气成藏、成矿和水资源等的勘查都是至关重要的。盆地流体研究已成为当今盆地分析突出关注的领域。

盆地流体分析首先要研究流体的成分、性质及来源。盆外、盆内或深部流体具有不同的流体成分和性质。流体在盆内的活动和运移都离不开输导层或输导体系。研究流体输导体系需要研究输导层的类型、输导能力和空间组合关系。输导体系往往是由具渗透能力的输导层、古间断面和断裂组合而成的。在此基础上,要研究流体的循环样式和驱动机制。沉积盆地中油气和金属矿床的成藏、成矿作用都是在一定的能量场中流体活动的结果。这要涉及包括古地温场、流体的压力场和构造应力场的综合研究。这些能量参数均与盆地的类型密切相关,并在演化过程中不断变化。因此,不仅需要研究反映能量场的地质、地球化学标志,还常常需要应用盆地模拟技术再现其演化历史。

五、盆地成藏、成矿系统分析

盆地内油气的生成、运移,聚集区带的形成、分布,大型层控矿床以及煤等的富集过程都与盆地的各种过程和演化密切相关。从盆地规模来探讨成矿成藏规律是盆地分析的主要目的之一。沉积盆地中油气的形成和富集规律的研究,要从盆地的构造—地层格架和沉积充填样式或沉积相的空间配置方面阐明盆内生、储、盖的组合及其分布特征;而阐明盆地的构造演化、沉降埋藏及热演化史等是揭示油气的生、运、聚过程并进行有利成藏区带分布预测的前提。沉积盆地古环境的再造,是阐明盆地中成煤环境分布的基础,而富煤带的发育和分布主要取决于盆地的古构造、古地理的分布和演化。除了油气的运、聚以外,一些大型的层控矿床的形成也与盆地规模的流体作用密切相关。从盆地规模的流体过程的研究探讨大型层控矿床的形成是当前颇受关注的课题。

六、盆地过程定量分析与模拟

近二十年来,由于计算机模拟技术的引入,定量盆地分析理论和技术发展迅速,使盆地分析从静态的、定性的描述向动态的、定量的、预测性的学科发展。沉积盆地地质过程模拟是应用数学方法定量描述地质过程,建立定量的理论模型,借助计算机技术“模拟”、“仿真”或动态再现地质过程及其结果。因此,盆地过程模拟有助于评估各种未知参数、分析地质作用与结果的内在联系,进而检验地质解释,并进行定量预测。20世纪60年代开始的地质过程模拟研究

主要是单因素的、一维的理论性的模拟分析。到 20 世纪 80 年代,地质过程模拟开始走向多因素、多维模型、可视化、多学科综合模拟的发展阶段,并在地质资源的勘探和开发等方面得到广泛的应用。沉积盆地的模拟分析研究涉及盆地研究的多个领域,如沉积盆地形成的动力学机制、盆地的构造演化、盆地的沉积充填过程、热和有机质演化、流体运移和成矿过程、资源勘查和预测等。盆地模拟技术已成为沉积盆地分析和资源预测勘探不可缺少的组成部分。

第三节 盆地研究的思路与工作流程

沉积盆地分析是一项基于地质、地球物理、地球化学等资料的,与多学科技术方法相结合分析的系统工程,是固体地球科学基础的一个重要组成部分,也是寻找能源资源、矿产资源和水资源的最重要的基础工作。对不同的研究任务,盆地的研究需要采用具有针对性的、不同的方法和技术。这里仅介绍有关含油、含煤、含气盆地分析的基本研究思路和工作流程。

图 1-1 为对盆地进行整体分析的基本研究内容和 workflows。在取得大量的地质、地球物理、地球化学数据的基础上,首先要揭示盆地各种构成要素的特征,包括地层、沉积充填、构造、古地温、盆地背景、深部结构等特征,在此基础上需要根据地球动力学理论进行分析和综合,并开展物理模拟——特别是应用计算机技术进行演化过程的模拟分析。最终落实到解决重要的地质基础科学问题,并为矿产资源的勘探预测提供理论支持和指导。盆地分析是以地下盆地地质研究为主要任务的,因此地球物理探测和钻探,特别是地震勘探技术在揭示地下盆地三维地质结构特征等方面有着特殊的重要性。地球物理技术的飞速进步,特别是地震勘探技术的发展已成为认识盆地结构和深部特征的有力手段。地质学的许多分支学科的进展和计算机技术都被快速地引入到具有国民经济意义的沉积盆地学研究领域。应当指出,盆地分析的内容及方法,因研究目标不同而异。

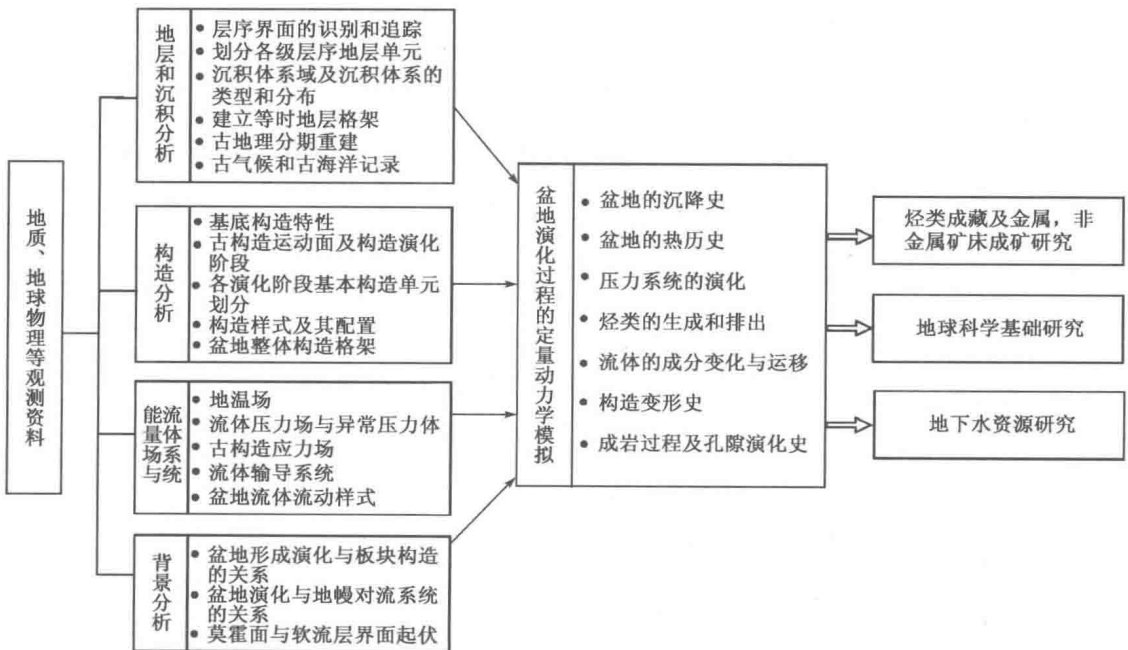


图 1-1 盆地分析研究内容与 workflows (据李思田等, 2004)

总体而言,沉积盆地分析的总体思路有下列几个特点。

一、盆地构成要素的整体性分析

阐明盆地的地层、构造等基本特征要素,是进行盆地整体动力学分析的基础。盆地分析要求对盆地各种要素进行整体性研究。因此,盆地分析要完整地揭示盆地的沉积充填、构造等特征,并阐明其历史演化的相互关系。比如,对盆地的构造和地层格架的研究,要基于地质、地球物理、地球化学等资料的综合研究,不仅要局部地区进行重点解剖,还要着眼盆地的整体特征分析,盆内的断裂体系、隆坳格局、基底和深部地壳或岩石圈结构、地层和重要的地质界面的分布和变化,要从盆地的整体格局上加以分析,并揭示其成因关系。因此,盆地分析是一项具有基础性和战略性的研究工作(李思田等,2004)。对沉积盆地较全面的认识,是多学科团队合作、反复实践、多年积累的过程。

二、沉积盆地古构造、古地理、古环境演化历史的结合分析

将盆地的古构造、古地理以及古环境演化结合后进行分析,是盆地分析的基本思路和方法之一。盆地的古构造、古地理和古环境演化,集中反映在盆地的地貌变迁和源—汇系统的动力学特征上。沉积盆地从其形成到衰亡,经历了多阶段的演化历史。沉积盆地演化历史的再造,需要划分盆地的演化阶段,按照不同的演化阶段对古构造、古地貌及古地理进行分析。不同阶段或时期,盆地的构造格架、区域构造背景、气候条件及沉积地理等常常是不一样的,从剥蚀区的剥蚀地貌到盆地区的沉积地貌,都可以发生重要变革;区域性的重要不整合的存在往往标志着这种变革事件的发生。盆地的形成演化过程中的构造作用或应力场是变化的,有时是阶段性、幕式进行的,需要从不同的演化阶段分析盆地的构造作用。因此,对于盆地的古地理、古构造的研究,需要按盆地的演化阶段重建其古地理、古构造格局,这要涉及等时地层单元的建立和系统的编图工作。事实上,沉积盆地的各项基本参数,如沉积特征、构造、源—汇系统、流体以及温压场都在演化过程中不断改变。因此,要揭示制约盆地整体发育演化的各种动力学过程及其相互作用,包括盆地形成的区域背景、盆地演化的动力学过程、沉积充填演化、各种沉积矿产资源的聚集过程等。在当代地球系统科学的研究中,盆地中的沉积记录是最完整地保留了各种尺度的水圈、生物圈和大气圈演化的连续档案。可利用高精度长时间沉积记录开展古环境与气候的研究,特别是结合盆地构造和沉积演化,与生物演变、环境或气候突变及全球性地质事件来进行综合研究。

三、盆地形成过程与区域动力学背景的结合分析

沉积盆地是地球动力学系统中的一个重要的组成部分。沉积盆地的形成和演化不是孤立的地质过程,而是与区域的动力学背景密切相关。因此,研究盆地的形成和演化必须结合其发育的地球动力学背景加以分析。

盆地发育的区域动力背景的分析主要涉及盆地所处的板块构造背景、深部岩石圈的结构特征及动力学关系等。沉积盆地可以发育于离散的、聚敛的或走滑的板块构造背景。盆地的形成演化,包括形成机制、构造—热体制、沉积充填演化过程,需要结合其形成的动力学背景分析。同时,对盆地深部的地幔动力学过程的认识也是揭示盆地成因和演化的关键之一。