

中国地质大学学术著作出版基金资助

# 胶莱盆地原型与 盆地动力学分析

吴冲龙 张善文 毛小平 李 星 吕希学 孔春芳 等著



中国地质大学出版社  
ZHONGGUO DIZHI DAXUE CHUBANSHE

中国地质大学学术著作出版基金资助

# 胶莱盆地原型与盆地动力学分析

JIAOLAI PENDI YUANXING YU PENDI DONGLIXUE FENXI

吴冲龙 张善文 毛小平 等著  
李 星 吕希学 孔春芳



中国地质大学出版社

ZHONGGUO DIZHI DAXUE CHUBANSHE

图书在版编目(CIP)数据

胶莱盆地原型与盆地动力学分析/吴冲龙,张善文,毛小平,李星,吕希学,孔春芳等著. —武汉:中国地质大学出版社,2009. 11

ISBN 978-7-5625-2373-4

I. 胶…

II. ①吴…②张…③毛…④李…⑤吕…⑥孔…

III. ①构造盆地-区域地质-研究-山东省②构造盆地-构造动力学-研究-山东省

IV. P548.252 P542

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 160069 号

胶莱盆地原型与盆地动力学分析

吴冲龙 张善文 毛小平 等著  
李 星 吕希学 孔春芳

责任编辑:段连秀

策划编辑:段连秀

责任校对:张咏梅

出版发行:中国地质大学出版社(武汉市洪山区鲁磨路 388 号)

邮政编码:430074

电 话:(027)67883511

传真:67883580

E-mail:cbb@cug.edu.cn

经 销:全国新华书店

http://www.cugp.cn

开本:787 毫米×1092 毫米 1/16

字数:323 千字 印张:10.875 彩插:28

版次:2009 年 11 月第 1 版

印次:2009 年 11 月第 1 次印刷

印刷:武汉市教文印刷厂

印数:1—1 000 册

ISBN 978-7-5625-2373-4

定价:68.00 元

如有印装质量问题请与印刷厂联系调换

# 前 言

盆地原型分析与盆地动力学分析在揭示裂陷盆地形成演化机制和油气资源概略评价方面具有特殊意义,近年来受到普遍的重视,成为我国构造地质和油气地质领域的重要研究课题。在中国东部众多的晚中生代裂陷盆地中,胶莱盆地具有多原型迭加的典型性。该盆地是一个由四个裂陷亚原型迭合而成的晚中生代陆相残留盆地,每个原型的同沉积构造均受到平面双轴拉张构造应力场控制,各原型演化的后期均遭受区域性挤压,形成反转构造和不整合面。

本书在勘探和开发成果的基础上,对所存在的两个关键和难点问题——盆地构造和盆地地热场问题开展了技术攻关和理论探讨,对胶莱盆地的盆地原型、盆地构造、盆地各世代古地热场和有机质热演化史进行了系统分析。具体内容包括:查明胶莱盆地的基底构造格架、同沉积构造格架和沉积期后构造格架;开展盆地动力学研究,恢复盆地原型并分析盆地形成机制和演化历程,以及它们对盆地沉积作用、地热场和油气成藏条件的控制;进行盆地地热场分析,追索盆地古基底热流、古地壳热流与古地幔热流的分布特征,恢复盆地古地温场并分析其热源和演化历程,以及它们对有机质演化和生烃作用的控制;结合盆地模拟(生、排烃模拟),开展盆地油气地质条件概略评价,为进一步在该盆地开展油气勘探提供参考依据。

在研究过程中,遵循系统工程思想,以石油地质学综合研究为基础,采用盆地动力学、构造-地层学、地质流体、构造解析、盆山耦合、迭合盆地与残留盆地、地壳热结构等思想和理论,采用了平衡剖面、“多S”结合与集成、气态-液态包体及其激光拉曼光谱、地壳热结构分析、地热场的多热源多阶段演化模拟、有机质多热源叠

加多阶段演化模拟等技术和方法,对胶莱盆地的构造演化和地热演化进行整体分析、关联分析、动态分析、控制分析和定量分析。通过研究,进一步加深了对胶莱盆地基础地质条件的认识。本书正是这些研究成果的总结。

参加本项研究的人员还有胜利油田地质研究院的刘华高工、柳忠泉高工、刘洪管高工和中国地质大学(武汉)刘刚教授以及博士生王连进、佟彦明、刘进。在研究过程中始终得到胜利石油管理局总地质师办公室、地质研究院、勘探项目管理处,以及地质研究院区域室、南方室、地层室和地化室等有关领导和专家的关心和帮助,并提供了大量的前期研究成果和参考资料。特别应该提出的是,本书中较多地引用了山东省地矿局的区域地质调查资料,以及陆克政、戴俊生、刘明渭、张增奇、宋明春、宋明水和其他教授、专家的野外考察及前期研究资料。值此专著出版之时,谨一并致以衷心的感谢!

作 者

2009年9月

# 目 录

|                                   |      |
|-----------------------------------|------|
| 第一章 研究内容与研究方法                     | (1)  |
| 第一节 胶莱盆地研究概况                      | (1)  |
| 第二节 研究思路与研究内容                     | (3)  |
| 一、基本研究思路                          | (3)  |
| 二、主要研究内容                          | (3)  |
| 第三节 技术方案与研究方法                     | (4)  |
| 一、基本技术方案                          | (4)  |
| 二、胶莱盆地构造原型研究                      | (4)  |
| 三、胶莱盆地动力学研究                       | (11) |
| 第二章 基底岩系、地层格架和沉积特征                | (15) |
| 第一节 基底岩系的组成和特征                    | (15) |
| 一、胶北隆起变质岩系                        | (15) |
| 二、胶南隆起带的变质岩系                      | (18) |
| 第二节 沉积-火山岩系及其层序划分                 | (20) |
| 一、沉积-火山岩系的岩石地层单元划分                | (20) |
| 二、沉积-火山岩系的层序地层单元划分                | (23) |
| 第三节 沉降-充填单元及其沉积特征                 | (27) |
| 一、莱阳早期裂陷-反转旋回( $LSQ1, K_1 l^1$ )  | (27) |
| 二、莱阳中晚期裂陷-反转旋回( $LSQ2, K_1 l^2$ ) | (28) |
| 三、青山期裂陷-反转旋回( $LSQ3, K_1 q$ )     | (40) |
| 四、王氏期裂陷-反转旋回( $SQ4, K_2 w$ )      | (44) |
| 第三章 同沉积期构造、岩浆活动特征                 | (47) |
| 第一节 胶莱盆地的构造特征                     | (47) |
| 一、盆内构造单元划分                        | (47) |
| 二、胶莱盆地分区构造特征                      | (50) |
| 第二节 盆地及周缘岩浆活动特征                   | (57) |

|                        |       |
|------------------------|-------|
| 一、岩浆侵入活动特征·····        | (57)  |
| 二、岩浆喷发活动特征·····        | (61)  |
| 三、岩浆活动成因分析·····        | (64)  |
| 四、岩浆活动对盆地的影响·····      | (65)  |
| 第三节 盖层断裂的同沉积活动·····    | (67)  |
| 一、地震剖面的时深关系标定·····     | (67)  |
| 二、同沉积断裂活动的剖面反映·····    | (67)  |
| 三、断裂同沉积活动的平面特征·····    | (73)  |
| 四、沉积盖层的剥蚀量恢复·····      | (76)  |
| 第四章 盆地形成演化的动力学机制·····  | (79)  |
| 第一节 盆地原型分析与恢复·····     | (79)  |
| 一、盆地原型的性质与转化·····      | (79)  |
| 二、盆地原型各阶段的边界·····      | (80)  |
| 三、盆地基底分异与沉降史·····      | (83)  |
| 第二节 盆地裂陷期伸展作用分析·····   | (88)  |
| 一、伸展量、伸展率和伸展速率计算·····  | (88)  |
| 二、盆地各期亚原型的伸展特征分析·····  | (90)  |
| 第三节 盆地古构造应力场分析模拟·····  | (94)  |
| 一、盆地各阶段的构造体制分析·····    | (94)  |
| 二、盆地构造应力场分析与建模·····    | (97)  |
| 三、构造应力场模拟结果·····       | (99)  |
| 第四节 盆地形成演化动力学机制分析····· | (104) |
| 一、胶莱盆地区域和深部的构造背景·····  | (104) |
| 二、基底构造的几何学和运动学特征·····  | (107) |
| 三、盆地演化动力学机制归纳与总结·····  | (112) |
| 第五章 盆地古地热场及有机质演化·····  | (116) |
| 第一节 盆地古地热场研究的方法模型····· | (116) |
| 一、盆地古地热场组成及多期次叠加·····  | (116) |
| 二、盆地古地热场的分层模型·····     | (117) |
| 第二节 盆地现今地温场特征·····     | (120) |
| 第三节 盆地古地温的古温标法研究·····  | (123) |
| 一、镜质体反射率法·····         | (123) |

|                              |       |
|------------------------------|-------|
| 二、裂变径迹法 .....                | (125) |
| 三、流体包裹体法 .....               | (129) |
| 第四节 盆地古地热场的动态模拟 .....        | (131) |
| 一、分层模型的有限单元法求解 .....         | (131) |
| 二、基底古地热流的静态恢复 .....          | (132) |
| 三、西部坳陷古地热场动态模拟 .....         | (137) |
| 第五节 有机质热演化的动态模拟 .....        | (144) |
| 一、 $R_{o,m}$ 数值计算公式原理 .....  | (144) |
| 二、 $R_{o,m}$ 数值计算公式的应用 ..... | (146) |
| 三、莱阳组有机质热演化动态模拟 .....        | (146) |
| 四、有机质热演化动态模拟结果分析 .....       | (153) |
| 第六章 油气成藏地质条件概略评价 .....       | (154) |
| 第一节 盆地基本油气地质条件评价 .....       | (154) |
| 一、盆地古构造条件评价 .....            | (154) |
| 二、盆地沉积相与沉积环境条件 .....         | (155) |
| 三、古地热场与有机质热演化条件 .....        | (158) |
| 第二节 油气成生与成藏条件综合评价 .....      | (159) |
| 一、油气显示与分布特征 .....            | (159) |
| 二、生、储、盖及其组合特征 .....          | (161) |
| 第三节 油气保存条件与资源潜力评价 .....      | (171) |
| 一、油气保存条件评价 .....             | (171) |
| 二、生排烃动态模拟 .....              | (171) |
| 三、油气资源潜力评价 .....             | (179) |
| 第七章 结论与讨论 .....              | (183) |
| 参考文献 .....                   | (187) |

# 第一章 研究内容与研究方法

## 第一节 胶莱盆地研究概况

胶莱盆地的陆上部分展布于山东省青岛、烟台、潍坊、日照等市和 16 个县的广大区域,面积约为 12 000km<sup>2</sup>,加上海上部分总面积约 25 000km<sup>2</sup>(图 1-1)。盆地总体呈东西走向,横截胶南造山带,为一叠加于该造山带之上的白垩纪断陷盆地。其北界蜿蜒曲折展布于平度—莱西—栖霞—牟平—乳山—荣成一线,南界为五莲—即墨(—朝连岛)断裂,西与郯庐断裂带相接,东部延伸进入黄海。

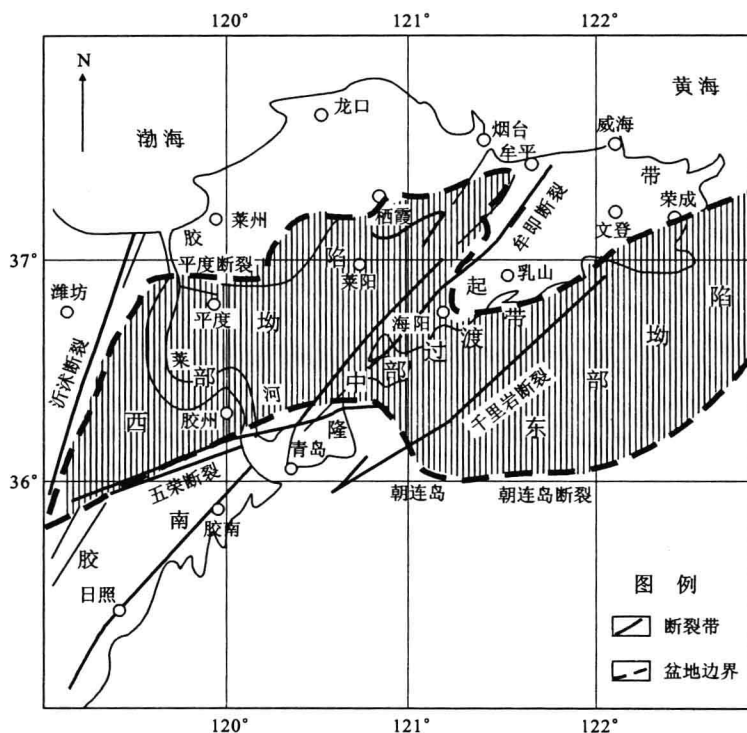


图 1-1 胶莱盆地地理位置图

该区的油气勘探始于 1958 年。山东省地质矿产局在该区进行了最初的区域地质调查工作,完成了全区 1:20 万地质图,部分地区 1:5 万地质图,并且进行了全区 1:50 万的航磁测量工作。1959—1961 年地质部第一普查大队在莱阳西朱儿宅的龙旺庄段地层中发现了 7 层含油砂岩。1970 年山东省地质局综合三队以找煤为目的,共钻浅井 12 口,在水南段地层中发

现了大量的液态原油。

胜利石油管理局从 1971 年开始在该区进行油气勘探,先后完成了 1:10 万重力普查和区域性油气资源详查,1979—1981 年开展了地震普查,1993—1995 年完成了 1:5 万及 1:10 万重力和电法勘探,还在诸城地区完成了 1:2.5 万高精度重力和磁力测量。

2000 年在莱阳地区开展高精度化探,取得了较好的效果。迄今为止共完成地震探测 3 000 km 左右,已钻探参数井 5 口(胶参 1、胶参 2、胶参 3 井、诸参 1 井、莱参 1 井),浅探井 2 口(莱浅 1 井、莱浅 2 井)。

在此基础上,胜利石油管理局于 2001 年设立了“胶莱盆地石油地质条件及勘探方向”的重点科技攻关项目。该课题组综合运用石油地质学、有机地球化学、构造地质学、地震地层学、沉积岩石学等理论,针对技术难点和核心技术问题等进行重点攻关,采用岩矿薄片鉴定、火成岩同位素年龄测定、阴极发光、扫描电镜、包裹体均一温度、有机碳、干酪根、氯仿沥青“A”等分析化验手段,对胶莱盆地的地层、构造、沉积、储层、盖层进行综合分析评价,基本明确了胶莱盆地今后的勘探目的层系和有利区带。

2003 年胜利油田地质科学研究院又与石油大学和山东省区域地质调查研究院合作,展开了新一轮的“胶莱盆地野外地质综合考察研究”。该课题组通过大量的野外综合考察工作,在莱阳组各段地层的岩性、沉积特征和沉积环境,以及其与盆地构造演化的关系方面,得出了一系列新认识。这些研究成果深化了对胶莱盆地形成演化及其基本石油地质条件的认识,为制定新的油气勘探部署提供了依据。但由于种种原因,仍有一些重要问题来不及深究,亟待进一步解决。这些问题归纳起来,大致有如下几点。

(1)盆地全貌、原型特征及其形成演化的动力学机制不清晰,究竟是不是受到郯庐断裂的控制,还是与郯庐断裂同为一个构造体制下的产物?

(2)盆地的同沉积构造格架的样式、结构特征和性质,以及沉积期后的多期次迭加改造历程究竟如何,至今尚无令人信服的解释。

(3)盆地的古地热场(古地热流场和古地温场)面貌不清,地热史、有机质成熟史、生烃史和排烃史的理论研究也尚未正式开展。

(4)盆地各层段沉积环境的配置情况尚不清楚,成因地层学和层序地层学研究,特别是高分辨率的露头精细层序地层学研究,有待进一步开展。

(5)盆地油气运聚的通道体系、储集体系、封盖体系和动力体系,及其时空匹配关系还不清楚,油气成藏动力学研究有待进行。

(6)盆地烃源岩的时空分布、有机地化特征、生烃潜力、油源对比和有机流体特征的工作量不足,一些必要的实验研究尚缺。

(7)盆地的主要油气圈闭类型、成藏模式以及油气保存条件的研究比较薄弱,为油气资源潜力评价所提供的依据仍显不足。

(8)在这种勘探程度偏低的中、新生代残留盆地中,进行油气资源潜力预测和勘探目标优选评价,目前尚缺乏有效的理论与方法。

其中,关键和难点问题为盆地构造原型和盆地地热场问题,关系到对盆地油气资源潜力的总体评价,也关系到其他各方面研究的深入开展和勘探工作的部署。就研究内容而言,盆地构造原型问题包括盆地基底构造格架、同沉积构造格架、沉积期后构造格架、盆地原型的类型和形貌、成盆动力学机制,以及它们对盆地沉积作用、地热场和油气成藏条件的控制,等等;盆地

地热场问题包括盆地古地温场与现代地温场、古地壳热流状态与现代地壳热流状态、古地幔热流状态与现代地幔热流状态,以及它们的来源、影响因素和演化,对有机质演化和生烃作用的控制,等等。

## 第二节 研究思路与研究内容

### 一、基本研究思路

盆地构造和盆地地热场问题是盆地动力学的基本问题。对这两个问题的深入研究可以为其他各方面(沉积、烃源、成烃、成藏、保存等)的研究奠定基础,提高对胶莱盆地油气成藏条件的认识水平,进而可以为胶莱盆地油气资源潜力评价和勘探部署提供依据,还能为济阳坳陷外围同类盆地研究提供借鉴。

摆在我们面前的主要任务是:查明胶莱盆地的基底构造格架、同沉积构造格架和沉积期后构造格架,开展盆地动力学分析,恢复盆地原型并分析盆地形成机制和演化历程,揭示它们对盆地沉积作用、地热场和油气成藏条件的控制;进行盆地地热场分析,追索盆地古基底热流、古地壳热流与古地幔热流的分布特征,恢复盆地古地温场并分析其热源和演化历程,以及它们对有机质演化和生烃作用的控制;编制各种单因素分析图件和多因素综合图件,对上述研究成果进行理论概括和阐述。

胶莱盆地处于一系列具有重大地质意义的大型构造带交汇处,其构造演化、盆地原型和地热场特征涉及许多重大的理论问题和复杂的区域构造、深部构造背景问题,在我国东部中生代裂陷盆地中具有代表性意义。这些问题很早就引起学术界的广泛兴趣和关注,并且已经有不少人开展了相关的研究,取得了一系列重要成果。但是,要在勘探程度较低的状况下完全解决这些问题是不可能的,我们只能力求在前人工作成果基础上有所前进。为了完成上述研究任务,需要采用新的思路和方法,重视对现有资料的再利用、再分析,并且努力加大研究的广度和深度。

我们的基本思路是充分利用前人所获得的资料、数据和成果,同时从实际出发而不是从概念出发,突破传统理论、认识的约束,尽可能采用新手段和新方法提取新信息,抓住盆地构造和盆地地热场两个关键性问题,对胶莱盆地的构造格架、盆地原型和地热场演化进行整体分析、系统分析、动态分析和定量分析,争取在认识上有新的飞跃,同时总结出可供在勘探程度偏低的中、新生代残留盆地中进行盆地构造原型恢复和地热场演化研究借鉴的理论、方法和技术。

### 二、主要研究内容

#### 1. 盆地构造原型及盆地动力学研究

(1)识别并划分盆地盖层中的基底构造、同沉积构造和后沉积构造,选择纵向和横向典型地震剖面并制作其平衡剖面,从盆地纵、横两个方向分析同沉积构造的发展过程和沉积期后的多期次迭加改造历程。

(2)开展盆地的同沉积构造格架和后沉积构造格架分析,总结盆地的同沉积构造格架样式和后沉积构造格架样式,判断其受力方式和方向。

(3)开展盆地各演化阶段的剥蚀量计算和原生沉积厚度恢复工作,同时进行差异压实校正

和构造史回剥分析,确定各阶段沉降中心。

(4)分层次、分阶段地进行盆地古构造应力场和应变场的动态模拟,并且以此为基础来验证、评价并修正上述有关研究成果。

(5)综合上述成果,恢复胶莱盆地的构造原型,归纳并阐述其形成演化的动力学机理,以及对沉积、地热、生烃和成藏、保存作用的控制。

## 2. 盆地古地热场特征及其演化研究

(1)分阶段研究盆地古地温场的时空特征,并将其与盆地构造演化的时空特征进行对比,确定其演化方向和影响因素。

(2)分阶段开展地壳热结构分析,追索胶莱盆地的古地壳热流和地幔热流的时空特征,确定其演化方向和影响因素。

(3)分阶段研究地层压实状况和孔隙度特征,并将其与盆地构造-沉积演化的时空特征进行对比,确定其演化方向和影响因素。

(4)在多热源复合的热传导和热对流条件下,分阶段开展盆地地热场演化动态模拟,阐述胶莱盆地的地热史和地热场演化模式。

(5)在多热源叠加、多阶段演化条件下,开展盆地有机质成熟演化的动态模拟,阐述胶莱盆地的有机质成熟史和有机质演化模式。

(6)分析胶莱盆地地热场与盆地构造演化的关系,概括、归纳地热场对有机质演化和生烃作用的控制,并且从理论上加以阐述。

(7)根据盆地的地热史、有机质成熟史,对胶莱盆地的生烃史进行初步分析和模拟,进而对胶莱盆地的油气资源潜力作出评价。

## 第三节 技术方案与研究方法

### 一、基本技术方案

在研究中,涉及一些新的技术方法和技术手段的应用,例如构造应力场、构造演化、地热场和盆地生烃史的计算机动态模拟等。为了防止出现画蛇添足的现象,而使这些新的技术方法充分发挥作用,应当严格遵循系统工程准则,即,不是追求局部最优化,而是追求整体最优化,注意这些新理论、新方法和新技术的综合运用。

与上述研究内容相应的技术方案如图 1-2 所示。

### 二、胶莱盆地构造原型研究

胶莱盆地的发育历经晚中生代和新生代两个世代,其原型遭受过强烈的改造。以往的构造研究,主要依靠露头 and 区域对比,对地震剖面的利用限于总体构造面貌和层序地层分析,盆地构造格架的分期配套、构造原型及盆地动力学研究尚待深入。

这里有必要指出,“盆地原型”与“原型盆地”是两个不同的概念。“盆地原型”这一术语最早见于 Klemme(1974)仅指盆地原始形态类型。朱夏(1983,1984,1986)引用并发展了这一概念,将其与特定的动力学机制联系起来,提出了中国式盆地多原型并列、多世代迭加——在横向上呈现多种型式并列,而在垂向上形成多个层次迭加的观念。按照不同的沉降作用及其组

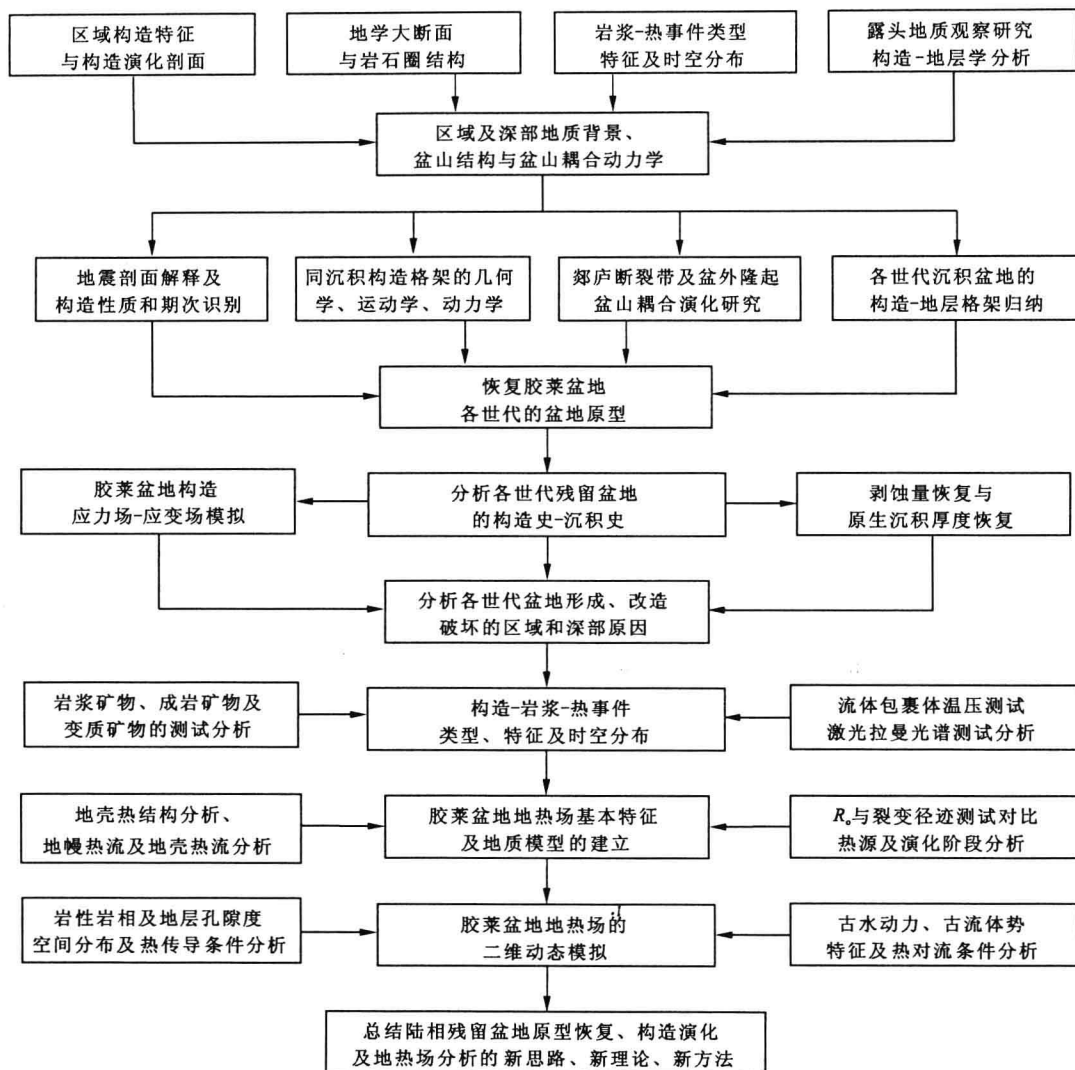


图 1-2 胶莱盆地原型恢复、构造-地热演化研究与生烃潜力预测流程

成实体的演化关系,可以从盆地各种结构中划分出若干个单一的结构单元,而每一种结构都同某一阶段沉降动力机制相关。这种单一的结构单元,是一种构造形式,也是一种沉积实体(张渝昌等,1997),更是一种构造-沉积格架的型式。因此,按地球动力学机制来区分和类比的应当是构成这些原型的构造-沉积格架,而不是所谓结构完整的“原型盆地”。所谓的“原型盆地”在 20 世纪 70~80 年代,通常称为“原生盆地”或“原初盆地”(Original basin)。

由于残留盆地都不同程度地存在着参数信息不完全、结构信息不完全、关系信息不完全和演化信息不完全的情况(吴冲龙等,1993),要完全恢复是不可能的,也是不必要的。进行盆地原型及其迭加改造分析的目的,只在于了解盆地原型形成、演化的地球动力学条件和机制,为进一步认识和理解盆地原型中的油气成藏条件和成藏位置打下基础。遵从这一概念的内涵,本书仅着重考虑与盆地某一阶段沉降动力机制相关的构造形式、构造-沉积格架和热体制,而

暂不涉及其他更加具体的内容。

盆地原型的分析和恢复实际上与盆地分析(basin analysis)并无两样。关于盆地分析的目标、内容和方法在Potter & Pettijohn(1977)、Conybeare(1979)、Miall(1984)、李思田等(1988)和(Allen *et al.*, 1990)都有详细的介绍。仅就盆地原型的构造分析而言,主要是盆地地层格架和构造格架分析,以及构造-地层格架的一体化分析。

### (一)地层格架分析

盆地的地层格架(stratigraphic framework)即盆地的内部几何形态,由组成盆地的岩性地层单元的形态和相互关系所决定(Conybeare, 1979)。

#### 1. 层序地层格架分析

层序地层学运用地层界面的地震反射波谱特征,进行地层结构和沉积体系分析。层序地层学的最突出成就,是以等时地层界面结束了单纯以岩性分组划段所造成的同期异相叠置和地层单元穿时状态。它以不同级别的不整合面作为单元分界面,把盆地沉积盖层分为巨层序(一级层序)、大层序组或大层序(二级层序)、层序(三级层序)和小层序(或亚层序、四级层序)。层序地层学的优势在于等时地层界面划分,发源于海相盆地分析的层序地层学,在许多细节上并不能完全适应陆相盆地分析,只是其中关于构造层序概念和方法具有较强的适用性。考虑到我国陆相盆地构造与充填演化的特殊性,可采用格架层序地层学分析思路与方法,即充分利用二维地震资料和三维地震资料,先进行盆地世代和盆地原型的构造层序分割,然后在盆地世代和原型的框架下,进一步开展层序地层格架、成因地层格架和构造-地层格架分析(吴冲龙等, 1994)<sup>①</sup>。

对于具有多世代多原型迭加的盆地,层序的划分可按照如下的级次进行:巨层序(ESQ,一级层序)对应盆地的世代及其沉积组合体,大层序组(LSQG,二级层序)对应盆地的原型及其沉积组合体,大层序(LSQ,相当于二级层序)对应盆地的沉降-反转旋回及其沉积组合体,层序(SQ,三级层序)对应盆地的沉降-充填阶段及其沉积组合体。一个盆地原型可以有一个或一个以上的沉降-反转旋回,而每一个裂隙-反转旋回大致经历了四个大的沉降-充填阶段:初始沉降-填平补齐阶段、快速沉降-湖泊发育阶段、减速沉降-准平原化阶段和反转沉降-后续沉积阶段,形成总体下粗、中细、上粗、顶极粗的充填序列(图1-3)。

在初始沉降-填平补齐阶段,由于基底古地形不平整,可能出现山麓堆积和洪泛洼地沼泽相并存现象,但还没有形成统一的汇水湖泊,主要的沉积相组合是冲积扇、过境辫状河流堆积和洪泛洼地沼泽相组合,总体面貌比较粗并且成分成熟度和结构成熟度都很低。

在快速沉降-湖泊发育阶段,基底古地形已经被填平补齐,开始形成统一的汇水湖泊,主要的沉积相组合是湖泊相、冲积扇-扇三角洲和辫状河三角洲相组合,总体面貌比较细,碎屑物主要来自陡坡侧,粗碎屑的成分成熟度和结构成熟度比较低。

在减速沉降-准平原化阶段,湖泊逐步淤塞且向平原化方向转化,盆地轴向两端部的河流发展成为过境曲流河,两侧隆起区被逐渐夷平,扇面河流和辫状河则转化成源远流长的支流,碎屑物主要来自两端河流和缓坡侧,主要的沉积相组合是曲流河、辫状河和洪泛洼地沼泽相组合,总体面貌再度变粗,但成分成熟度和结构成熟度都比初始沉降-填平补齐阶段显著增高。

<sup>①</sup> 吴冲龙,李绍虎等.大型含油气盆地层序地层学研究.国家“七五”科技攻关项目“天然气预测勘探技术研究”的二级课题研究报告,1994.

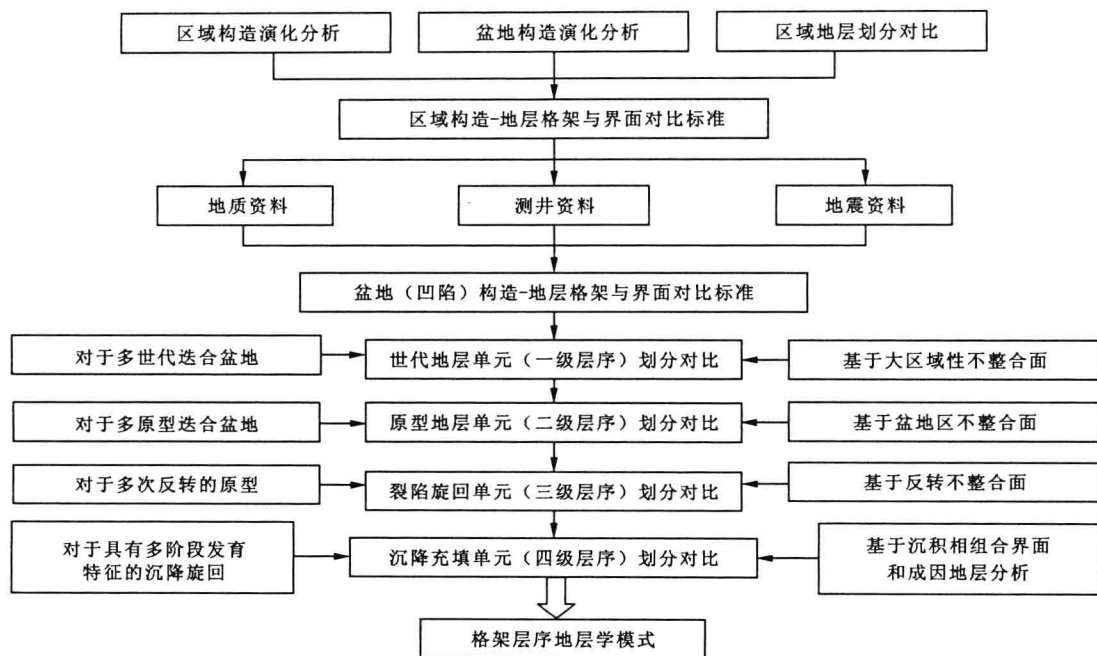


图 1-3 以构造-地层格架分析为主线的格架层序地层学建模思路

在反转沉降-后续沉积阶段，盆地基底仍在继续沉降，但两侧隆起区的褶皱变形和抬升剥蚀再度加剧，以泥石流为代表的冲积扇沉积作用开始发育并不断强化，盆地基底再度出现构造分异和差异沉降，而来自盆地端部的过境曲流河可能因区域性构造反转和分异而再度转变为短程河流，碎屑物多数来自陡坡侧的冲积扇和端部的曲流河，主要的沉积相组合是冲积扇、曲流河、辫状河和冲积平原相组合，沉积物总体面貌进一步变粗，而成分成熟度和结构成熟度变低。之所以认为盆地（或凹陷）在构造反转阶段能继续沉积，是因为理论分析和数学模拟的结果表明，单纯的构造挤压不足以克服重力而使基底抬升，只有地壳重力均衡调整才有可能结束基底沉降。

根据以上分析，每一个盆地原型的完整的裂隙-反转旋回，都可以划分为四个沉降-充填单元（简称为沉降单元，对应于四个层序）（图 1-4）。

PSU 初始沉降-充填单元（填平补齐，粗碎屑含量高，总体上为下粗段）；

SSU 快速沉降-充填单元（湖泊发育，细碎屑含量高，总体上为中细段）；

DSU 减速沉降-充填单元（准平原化，粗碎屑含量高，总体上为上粗段）；

ISU 反转沉降-充填单元（后续沉积，粗碎屑含量极高，总体为顶极粗段）。

但由于构造反转发生的时间不同，反转后的剥蚀量也不同，每一个裂隙-反转旋回上部和顶部的沉降-充填单元（亚层序）可能保存不完整，DSU 与 ISU 通常较难分开。在多数情况下，可以大致地划分出三个沉降单元：PSU、SSU、DSU。如果反转后的剥蚀量太大，也可能只保存两个沉降单元：PSU 和 SSU。同时，由于一些陆相裂隙盆地是由许多相对独立的凹陷所组成，随着与盆地边缘距离的变化，其物质供应和受力状况都有差异，导致沉积物的粒度和后期变形特征显著不同。因此，不仅同一盆地不同凹陷的相同沉降-充填单元在粒度粗细上是相对的，

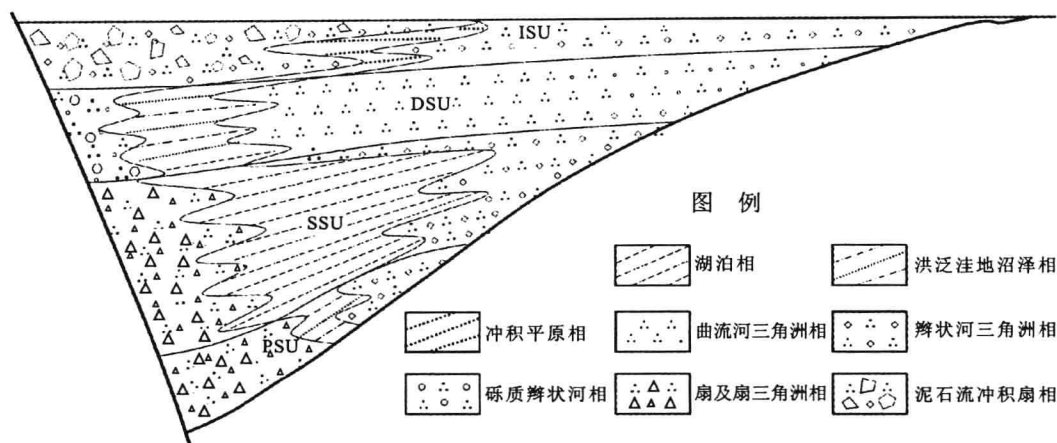


图 1-4 盆地(凹陷)裂陷-反转旋回的沉降-充填单元结构

其保存状况也是不相同的。

## 2. 成因地层格架分析

盆地成因地层格架是盆地沉积相时空分布及其相互关系的一种宏观结构,反映了盆地古环境及其水动力条件的时空演化过程。在盆地原型的框架下进行成因地层单元分析,可以避免出现沉积相穿时的荒谬状况。成因地层格架由不同级别的成因地层单元组成,就规模而言可分为原型单元(相当于二级层序)、沉降单元(相当于三级层序)和相组合单元(相当于四级层序)。原型单元的界面通常为构造不整合面,反映了盆地原型的交替和构造应力体制的转换或反转;沉降单元的界面是盆地原型内各成因地层段的分界面,反映了盆地各演化阶段基底沉降速率与水体面积的变化;相组合单元的界面则是各成因地层段内部的相组合或沉积体系界面。

原型单元的识别和划分可以直接利用地震剖面来实现,其方法与二级层序的识别和划分一致,主要研究内容是地层接触关系。如果两套地层之间呈不整合或者假整合接触,表明下伏地层沉积之后有过沉积间断,即前一阶段沉积结束时有过构造反转,遭受过抬升、剥蚀,则界面上的地震反射波谱将出现强相位,甚至会有显著的削截现象。下伏地层倾角越大,变形越厉害,表明所经历的构造反转越强烈;而缺失地层越多,则表明沉积间断的时间越长。不整合面上多形成古风化壳,碎屑岩和火成岩的风化壳多为红色古土壤层或褐铁矿层,碳酸盐岩风化壳多表现为喀斯特型岩溶缝洞层。在不整合面上下的两套地层,往往属于不同的盆地原型,甚至可以划分为不同的盆地世代。如果这种不整合关系在剖面上多次重复出现,则表明盆地存在着多世代多原型迭加情况;如果某一套地层变形厉害而且结构不完整,则表明该盆地原型遭受了强烈的后期改造和破坏;如果上覆地层对下伏地层呈上超关系,则表明该上迭盆地及其沉积区域逐步扩大;如果上覆地层对下伏地层呈下超关系,则表明该上迭盆地及其沉积区域逐步缩小。

由于沉积环境的空间连续性,沉降单元界面和相组合单元界面往往都是模糊的,需要采用多种资料进行分割。沉降单元的界面是沉积条件出现显著变化的界面。例如,初始沉降单元与快速沉降单元的界面,通常是以冲积扇-河流复合沉积体系为主的下部成因地层段与以湖泊

-三角洲复合沉积体系为主的中部成因地层段的界面;快速沉降单元与减速沉降单元的分界面,通常是以湖泊-三角洲复合沉积体系为主的中部成因地层段与以冲积扇-河流复合沉积体系为主的上部成因地层段的分界面。识别和划分沉降单元的最简单方法,是找出主复合沉积体系转换(分布范围由大变小,或者由小变大)的起点位置。可能是区域和深部构造作用的原因,主复合沉积体系的转换都较快,在分界面上通常会出现下超、上超和削截的组合地震相。当然,识别和划分复合沉积体系的转换界面不应该单独依靠地震相来实现,还需要通过地震资料与岩芯、测井和露头资料的结合分析,甚至还要通过沉积相和沉积环境的剖面与平面的结合分析才能实现。相组合单元及其构成的识别和划分,实际上就是宏观沉积相分析,主要依靠岩芯、测井曲线和露头观察来实现,如果地震资料品质好,也应加以充分利用。针对盆地构造分析而开展的成因地层单元研究,重点在于原型单元和沉降单元的识别和划分上,相组合单元的研究一般仅涉及边缘相、古水体系识别和划分。

边缘相分析对于确定盆地的原始沉积范围、确认盆地边界性质具有特殊的意义。冲积扇相是最可靠的边缘相,一系列冲积扇的扇根连线便是盆地、坳陷或凹陷的原始沉积边界。边缘相不存在或不完整时,可综合各种资料进行外推。

重建古水体系是建立盆地成因地层格架的重要内容之一,其关键步骤是确定古水流方向。沉积物的指向构造与砂分散体系分析相结合,是确定古水流方向、重建古水体系、揭示沉积格架的简易而有效途径(Potter & Pettijohn, 1977)。常用的古水流指向构造包括排除构造变动因素后,能够反映古水流方向的沉积学标志有砾石的排列方向、同层沉积碎屑粒度或重矿物含量变化趋势、层面构造(包括槽模、工具模、波痕等)与交错层理真倾向统计等。应用计算机技术对野外古水流测量数据进行岩层产状的翻平校正(赤平极投影)和自动成图,可以有效地排除构造变动因素的影响。

## (二) 构造格架分析

盆地构造格架是盆地动力学体制的形变产物,反之,不同类型的构造格架是不同盆地动力学体制的标志。

### 1. 盆地构造格架的分类

沉积盆地的构造格架可分为先存构造格架、同沉积构造格架和后沉积构造格架三类,对于伸展裂陷盆地而言,主要是指断裂格架。其中,先存构造格架主要是指先于盆地而存在,并且直接控制盆地形成演化的基底断裂格架;同沉积构造格架主要是指伴随盆地发育,并且对盆地沉积作用起一定控制作用的断裂格架;后沉积构造格架主要是指形成于盆地结束充填之后,并且对盆地起破坏和改造作用的断裂格架。在盆地形成演化过程中,先存构造格架有可能局部发展成为同沉积构造格架甚至后沉积构造格架的成分;而同沉积构造格架也有可能局部发展成为后沉积构造格架的成分。

在多世代多原型迭加、改造的盆地中,这三种构造格架都可能互相转化。例如,前一代或前一原型的同沉积断裂,可能转化为后一代或后一原型的先存断裂;前一代或前一原型的后沉积断裂,可能转化为后一代或后一原型的同沉积断裂。因此,迭合盆地的构造格架分析和比较,应以盆地原型为单位进行——在上述盆地构造期次和构造类型的识别划分基础上,以构造层序界面(通常是较大的不整合面)为准,通过同期骨干构造的空间组合来进行。在完成不同期次的构造格架组合后,分别拟定各期同沉积构造格架样式和后沉积构造格架样式,分析其应力状态和变形过程,判断其受力方式和方向,进而分析和判断莱阳盆地的成因、形成机