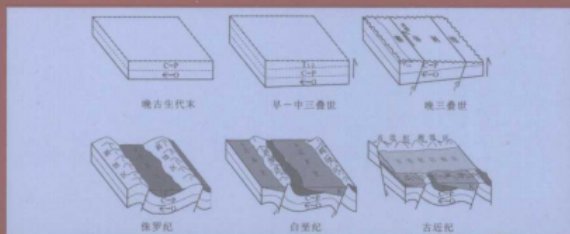
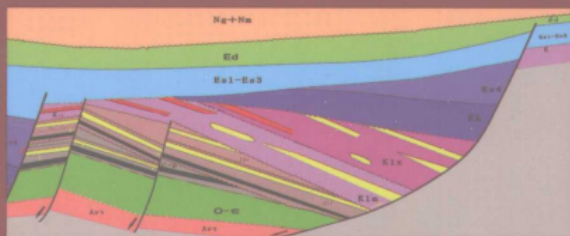


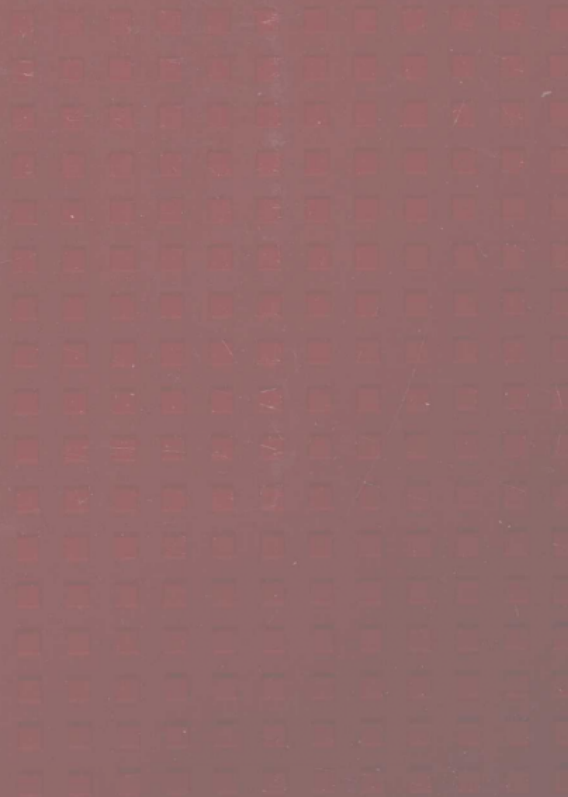
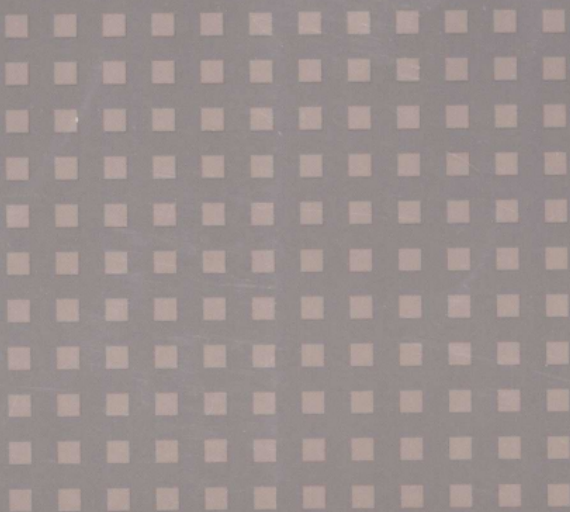
# 断陷型叠合盆地的 原型恢复

——以济阳坳陷中生代盆地为例

■ 王永诗 林会喜 吴智平 李 伟 著



○ 责任编辑/李锋



ISBN 978-7-5636-2521-5



9 787563 625215 >

定价 30.00 元

# 断陷型叠合盆地的 原型恢复

——以济阳坳陷中生代盆地为例

□ 王永诗 林会喜 吴智平 李 伟 著

中国石油大学出版社

**图书在版编目(CIP)数据**

断陷型叠合盆地的原型恢复:以济阳坳陷中生代盆地为例/王永诗等著. —东营:中国石油大学出版社, 2007. 12

ISBN 978-7-5636-2521-5

I. 断... II. 王... III. 中生代—断陷盆地—石油天然气地质—研究—济阳县 IV. P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 190398 号

书 名: 断陷型叠合盆地的原型恢复  
——以济阳坳陷中生代盆地为例  
作 者: 王永诗 林会喜 吴智平 李 伟

---

责任编辑: 李 锋 (电话 0546—8392791)  
封面设计: 王凌波

---

出 版 者: 中国石油大学出版社 (山东 东营 邮编 257061)  
网 址: <http://www.uppbook.com.cn>  
电子信箱: [shiyoujiaoyu@126.com](mailto:shiyoujiaoyu@126.com)  
印 刷 者: 青岛星球印刷有限公司  
发 行 者: 中国石油大学出版社 (电话 0546—8392791, 8395977)  
开 本: 185×260 印张: 10.25 字数: 248 千字  
版 次: 2009 年 4 月第 1 版第 1 次印刷  
精 装: 40.00 元  
平 装: 30.00 元

# Contents

# 目 录

|                                |      |
|--------------------------------|------|
| 第一章 绪 论 .....                  | (1)  |
| 第一节 叠合盆地的概念及类型 .....           | (1)  |
| 一、叠合盆地的概念 .....                | (1)  |
| 二、叠合盆地的分类 .....                | (2)  |
| 第二节 叠合盆地原型研究的科学意义 .....        | (3)  |
| 第三节 研究思路及研究内容 .....            | (4)  |
| 第二章 济阳坳陷断裂构造发育与演化 .....        | (6)  |
| 第一节 断裂构造特征概述 .....             | (7)  |
| 第二节 断层活动性的定量分析 .....           | (9)  |
| 一、定量分析的方法 .....                | (9)  |
| 二、北东(东)向断层活动性分析 .....          | (11) |
| 三、东西向断层活动性分析 .....             | (19) |
| 四、北西向断层活动性分析 .....             | (19) |
| 第三节 中、新生代断裂发育特征 .....          | (26) |
| 一、印支构造运动期 .....                | (26) |
| 二、燕山构造运动早期 .....               | (26) |
| 三、燕山构造运动中、晚期 .....             | (27) |
| 四、燕山—喜马拉雅构造运动过渡期 .....         | (28) |
| 五、喜马拉雅构造运动早、中期 .....           | (32) |
| 六、喜马拉雅构造运动晚期 .....             | (35) |
| 第四节 断裂构造的演化与转型机制 .....         | (36) |
| 一、印支构造运动晚期 NW 向逆冲断层的形成 .....   | (36) |
| 二、燕山构造运动中、晚期 NW 向断层构造反转 .....  | (37) |
| 三、燕山—喜马拉雅构造运动过渡期断层的活动与演化 ..... | (38) |
| 第三章 济阳坳陷中生代地层划分与对比 .....       | (42) |
| 第一节 中生代地层特征 .....              | (42) |
| 一、岩性地层特征 .....                 | (43) |
| 二、生物群组合序列 .....                | (56) |
| 三、测井定量地层划分 .....               | (59) |
| 第二节 地层划分标志及标准剖面建立 .....        | (61) |
| 一、地层划分标志及时代厘定 .....            | (61) |

|                                   |              |
|-----------------------------------|--------------|
| 二、标准剖面的建立 .....                   | (63)         |
| 第三节 区域地层对比 .....                  | (67)         |
| 一、侏罗系 .....                       | (67)         |
| 二、白垩系 .....                       | (68)         |
| <b>第四章 济阳坳陷中生代构造层划分与展布 .....</b>  | <b>(70)</b>  |
| 第一节 中生代构造层划分 .....                | (70)         |
| 第二节 中生代各构造亚层的识别 .....             | (71)         |
| 一、中生代内部不整合面的识别 .....              | (72)         |
| 二、中生代各构造亚层的特征 .....               | (75)         |
| 第三节 中生代构造亚层的残留厚度 .....            | (78)         |
| 一、第二构造亚层 .....                    | (78)         |
| 二、第三构造亚层 .....                    | (78)         |
| <b>第五章 济阳坳陷中生代地层剥蚀与原始厚度 .....</b> | <b>(81)</b>  |
| 第一节 地层剥蚀量的计算方法 .....              | (81)         |
| 一、构造横剖面法 .....                    | (81)         |
| 二、沉积速率法 .....                     | (82)         |
| 三、声波时差法 .....                     | (83)         |
| 四、镜质体反射率法 .....                   | (84)         |
| 五、磷灰石裂变径迹法 .....                  | (87)         |
| 六、宇宙成因核素法 .....                   | (89)         |
| 七、波动方程法 .....                     | (91)         |
| 八、方法的评价与讨论 .....                  | (92)         |
| 第二节 各构造层的剥蚀厚度 .....               | (93)         |
| 一、古生界的剥蚀厚度 .....                  | (93)         |
| 二、三叠系的剥蚀厚度 .....                  | (97)         |
| 三、侏罗系的剥蚀厚度 .....                  | (101)        |
| 四、白垩系的剥蚀厚度 .....                  | (102)        |
| 第三节 中生代构造层的原始厚度 .....             | (104)        |
| 一、第一构造亚层的原始厚度 .....               | (105)        |
| 二、第二构造亚层的原始厚度 .....               | (105)        |
| 三、第三构造亚层的原始厚度 .....               | (105)        |
| <b>第六章 济阳坳陷中生代原型盆地格局及演化 .....</b> | <b>(109)</b> |
| 第一节 盆地演化的区域背景及控制因素 .....          | (109)        |
| 一、周边造山带及深大断裂的形成与演化 .....          | (109)        |
| 二、深部动力学机制与成盆 .....                | (115)        |
| 第二节 中生代原型盆地格局与演化 .....            | (117)        |
| 一、古生代基底发育 .....                   | (119)        |
| 二、早—中三叠世大型内陆盆地 .....              | (120)        |

|                                    |              |
|------------------------------------|--------------|
| 三、晚三叠世抬升剥蚀与挤压逆推 .....              | (121)        |
| 四、早—中侏罗世充填披覆沉积 .....               | (122)        |
| 五、晚侏罗世—早白垩世北西向断陷盆地 .....           | (122)        |
| 六、晚白垩世隆升剥蚀 .....                   | (122)        |
| 七、新生代北东向断陷盆地 .....                 | (123)        |
| <b>第七章 济阳坳陷盆地叠合关系及石油地质意义 .....</b> | <b>(125)</b> |
| 第一节 盆地叠合单元的概念 .....                | (126)        |
| 第二节 断陷型盆地叠合单元类型 .....              | (127)        |
| 第三节 断陷型叠合盆地石油地质条件 .....            | (129)        |
| 一、前第三系源岩特征 .....                   | (129)        |
| 二、前第三系储层特征 .....                   | (132)        |
| 三、前第三系储层分类评价 .....                 | (142)        |
| 第四节 不同叠合单元油气成藏条件 .....             | (145)        |
| 一、中凹新凹型叠合单元 .....                  | (145)        |
| 二、中凹新凸型叠合单元 .....                  | (146)        |
| 三、中凸新凹型叠合单元 .....                  | (147)        |
| 四、中凸新凸型叠合单元 .....                  | (148)        |
| <b>结束语 .....</b>                   | <b>(150)</b> |
| <b>参考文献 .....</b>                  | <b>(152)</b> |

# 第一章 绪 论

## 第一节 叠合盆地的概念及类型

### 一、叠合盆地的概念

中国大陆地处西伯利亚(以及后来的劳亚)与冈瓦纳大陆之间的转换构造域,由包容在几个巨型造山带之间的华北、扬子、华南、塔里木等小陆块及众多的微陆块拼合而成,由早到晚依次受古亚洲洋(劳亚洋)、特提斯-古太平洋、印度洋-太平洋三大动力体系控制,这三大动力体系在时间、空间上相互叠加、复合或干涉,造成了我国盆地成因机制的多样性和盆地演化过程的阶段性、复杂性及多旋回性(李德生,1994;田在艺等,1996;任纪舜,2002;贾承造,2005)。

鉴于中国盆地这种复杂的叠加地质结构,中国油气地质学家们发现很难用传统意义上的、依据威尔逊构造旋回所定义的、单一的盆地类型或者某一类原型盆地来定义中国大陆上分布的各个沉积盆地(贾承造,2005)。为此,朱夏先生提出了盆地的“活动论构造历史观”(朱夏,1965、1983、1984)和“盆地运动体制”(朱夏,1986、1990)的概念,认为中国古生代盆地与中、新生代盆地分属两个地质历史阶段,是与两种全球热-构造运动体制(古生代的槽-台体制,中、新生代的板块体制)相联系的两套沉积盆地。盆地构造体制的转变使得盆地的形成环境、沉降机制、沉积充填、构造变形等发生一系列的变化,新的沉积盆地可能继承前期盆地的某些特点,但更多的可能是新生成分。这为叠合盆地概念的提出奠定了理论基础。

随着研究的深入,我国含油气盆地所具有的复杂地质结构被越来越多的石油地质学家所意识到,在国际上曾被称为“中国型盆地”(Bally 和 Snelson,1980),这些盆地不是一个由具有固定边界的盆地基底经过多次沉降和构造变动而形成,也不是由多期负向构造上下简单叠覆而形成,而是由一系列陆、海地质单元经历多期次、多方位构造叠加复合,并在最新一期构造变动中定格形成。不同的研究者给其冠以不同的名称,如多旋回盆地、叠加盆地、叠合盆地、复合盆地、残留盆地等(黄汲清,1980;朱夏,1983;田在艺,1989;刘光鼎,1997),目前“叠合盆地”这一名词已被人们普遍接受和采用。

叠合盆地是指经历了多期构造变革,由多个在单一地球动力学系统下或单旋回构造阶段所产生的单型盆地,经过多方位叠加复合而形成的,具有复杂结构的盆地(朱夏,1981、1984;刘和甫,1993;汤良杰等,2001、2003;王清晨、金之钧,2002等),其具体内涵包括如下几方面(何登发等,2004;贾承造,2005):

① 叠合盆地往往经历了多个不同的动力学性质阶段,不同阶段的热-构造运动体制发生了根本性变化,同一阶段的原型盆地可以是一个,也可以是多个性质相同或性质不同的原型盆地的复合体。由于地壳的地球动力学演化具有旋回性,例如出现伸展-聚敛或开-合旋回,盆地的动力学发展也因此呈现旋回性,表现为螺旋式上升过程。在某一伸展时期形成断陷或被动

大陆边缘盆地,而在随后的聚敛时期形成沟-弧-盆体系或前陆盆地体系;当演化进入新的伸展-聚敛旋回时,虽然可能再次形成相似的盆地类型,但盆地的基底、范围、沉积充填、沉降机制等已发生明显变化。

② 不同阶段的原型盆地相叠置,既有对前期原型盆地的继承或破坏,又有新的原型盆地的新生,它们的盆地类型、地质结构、边界等都有很大不同。因动力学条件的变更,原型盆地之间的叠合在叠加方位、范围、动力方式、几何学样式等方面都有多种变化。不同阶段之间、不同盆地之间并没有一致的叠合模式,既可能出现埋藏、继承等建设性事件,也可能出现褶皱、断裂、隆升剥蚀等破坏性事件。

③ 一个盆地若只经历了两个阶段的成盆演化,其叠加地质结构通常比较清楚,可称为简单的“叠合盆地”,若经历了两个以上阶段的动力学叠加作用,其结构往往较复杂,可称为复杂的“叠合盆地”。但经历了多阶段演化的盆地也可能始终处于相对稳定的构造环境,地质结构仍较简单。如张福礼(2002)认为鄂尔多斯盆地是经历多次构造变动由多个原型盆地复合而成的叠合盆地,与长期以来认为该盆地是“克拉通边缘陆内复合盆地”的观点(孙国凡,1981)较为一致。

④ 叠合盆地常常具有复杂的地质结构,具多旋回成油组合,从油气地质条件来看,不但在叠合界面之上多形成了一套储盖组合,而且将出现单个“原型盆地”中不可能出现的多种成藏模式,如古生新储、新生古储、下生上储,等等。

## 二、叠合盆地的分类

尽管学者们早在 20 世纪 80 年代就已经意识到中国大多数盆地都是叠合盆地,但真正意义上地将“叠合盆地”作为一种新的理论进行系统而全面的研究却只有短短十余年的历史。目前,人们主要依据盆地发育期次、不同期次盆地的成因机制、展布格局等方面对叠合盆地进行分类。主要分类方案有三种:

第一种是以不同阶段原型盆地类型的简单叠加进行分类,如黄怀曾等(1994)认为叠合盆地类型主要有前陆盆地-克拉通盆地、陆缘裂谷盆地-弧后裂谷盆地、裂谷盆地-走滑盆地、前陆盆地-走滑盆地等。

金之钧(2005)认为中国陆上沉积盆地的发生发展是从大陆克拉通化以后开始的,按照大地构造旋回序列可将盆地的叠合理想化为两种单型盆地叠加和三种单型盆地叠加形式。两种不同性质的单型盆地的叠加可以形成九种类型的叠合盆地,其中,单型盆地原型性质发生变化的叠合关系有克拉通盆地-挤压盆地、挤压盆地-拉张盆地、克拉通盆地-拉张盆地、拉张盆地-克拉通盆地、挤压盆地-克拉通盆地和拉张盆地-挤压盆地六种。由三种单型盆地的叠加可以形成 27 种叠合盆地。但是由于在叠合盆地的演化过程中理想化的单型盆地原型系列较为罕见,而多旋回中的叠合盆地常常是不完整的。“变革性”的盆地多数是从中生代以来出现的,以往保留下来的盆地主要为克拉通盆地,故盆地的纵向叠置首先发育于克拉通或裂谷盆地之上。其次,盆地纵向叠合主要表现为三期,即前中生代、中生代与新生代盆地的叠合。故三种单型盆地叠合可以识别出克拉通盆地-拉张盆地-克拉通盆地、拉张盆地-克拉通盆地-拉张盆地、克拉通盆地-拉张盆地-挤压盆地、拉张盆地-克拉通盆地-挤压盆地、克拉通盆地-挤压盆地-克拉通盆地、拉张盆地-挤压盆地-拉张盆地、克拉通盆地-挤压盆地-拉张盆地、拉张盆地-挤压盆地-克

拉通盆地、克拉通盆地-克拉通盆地-拉张盆地和克拉通盆地-克拉通盆地-挤压盆地十种类型。

贾承造(2005)根据盆地动力学特征和盆地充填层序叠合方式,将中国叠合盆地简单地分为两类:①奠基在古生代小型克拉通盆地碳酸盐沉积地层之上的叠合盆地,一般有克拉通-前陆盆地之间的叠合以及克拉通-裂谷(断陷)盆地之间的叠合,例如在古生代小型克拉通盆地上叠加了中、新生代前陆盆地的中西部盆地,包括塔里木、四川、鄂尔多斯等叠合盆地;在古生代小型克拉通盆地之上叠加了新生代断陷盆地的渤海湾盆地等。②覆盖在早期中生代断陷盆地之上的叠合盆地,一般是由中、新生代拗陷盆地和中生代断陷盆地相叠置,例如由白垩纪-新生代拗陷盆地叠加在侏罗纪火山岩断陷盆地之上的松辽叠合盆地。

第二种是根据不同阶段原型盆地之间是否存在改造关系进行分类,如侯贵廷等(2000, 2001)、吴智平等(2003)通过对渤海湾盆地济阳拗陷中、新生代盆地构造演化的研究,认为叠合盆地可大致分为继承型和相干型两种类型。

此外,还有学者将上述两种分类方法相结合,如赵文智等(2003)认为叠合盆地主要有继承型叠合、延变型叠合、改造型叠合三种类型,进而依据盆地性质、结构和叠合方式,将中国叠合盆地分为6种基本类型:①古生代海相-海陆过渡相克拉通盆地与中、新生代陆相前陆-陆内拗陷盆地的叠合,如塔里木、鄂尔多斯、四川盆地等;②古生代克拉通盆地与中、新生代裂谷盆地的改造型叠合盆地,如渤海湾、江汉、苏北-南黄海盆地等;③海西-印支期褶皱基底之上的前陆(陆内拗陷)继承型叠合盆地,如准噶尔、吐哈盆地等;④海西-印支期褶皱基底之上的早期拉分(断陷)与后期再生前陆盆地叠置形成的延变型叠合盆地,如柴达木盆地和酒泉盆地;⑤海西-印支期褶皱基底之上的裂谷与拗陷叠置形成的延变型叠合盆地,如松辽盆地;⑥大陆边缘的裂谷-被动陆缘延变型叠合盆地,如我国东南沿海大陆架诸盆地(珠江口、莺-琼、北部湾盆地)。

## 第二节 叠合盆地原型研究的科学意义

叠合盆地是我国含油气盆地的重要特色,演化历史复杂,在不同的地质发展阶段,由于不同的地球动力学背景和构造应力场特征导致了不同的盆地类型、沉积组合、边界条件和盆-山耦合形式,产生了复杂的构造变形,通常具有如下油气地质特征:具有多套烃源岩;发育多套生-储-盖组合;圈闭类型多样;油气运聚规律复杂,具有多个油气成藏关键时刻;含油气系统复合、叠合、混合现象普遍;目的层埋深大,油气成藏机理复杂(徐旺等,1993;汤良杰等,2001、2002;庞雄奇等,2002;金之钧等,2004;何登发等,2005)。此外,赵文智等(2003)认为叠合盆地一些层系的生、排烃机理和成藏、油气运聚及分布与经典石油地质理论相悖,如超压条件使生烃过程滞后、油气在退火背景下超晚期成藏、部分深层储集层保持较好的物性条件、二级油气聚集区带含油性变化大、深层油气分布不完全遵从“源控论”、叠合盆地油气藏发现期长而多高峰等等。

鉴于我国叠合盆地发育的普遍性、丰富的油气资源、较低的勘探程度以及复杂的油气地质特征,开展叠合盆地的地球动力学、构造几何学、关键构造变革期以及油气成藏体系、成藏机理、油气分布规律等方面的研究,对于丰富我国油气地质理论以及油气深层勘探挖潜都具有非常重要的理论和实际意义。

总体而言,近年来叠合盆地研究取得了大量的创新成果,极大地丰富了我国石油地质理

论,对于我国深层油气勘探发挥了重要的指导作用。然而,目前的研究多集中在我国西部盆地中,而对东部盆地研究相对较少,这在一定程度上制约了我国东部油气勘探的纵深发展。

我国东部的中、新生代渤海湾盆地就是一个典型的断陷型叠合盆地(赵文智,2003),断裂是控制盆地格局的主要构造形式,经历了多期次的地质单元多方位的叠加,具有多个构造层结构、多套烃源岩层系、多次油气生运聚过程,造成了叠合盆地内部不同层系、乃至同一层系在不同构造位置的石油地质条件存在差异。目前,人们对新生代盆地的油气勘探程度相对较高,但就中生代盆地而言,由于其经历了复杂的印支、燕山运动阶段的演化及后期喜马拉雅运动的改造,发育有多个区域性的不整合面,地层遭受强烈剥蚀,盆地面貌保存不完整,人们对其演化过程、构造格局认识尚浅,且观点不一,这在很大程度上成为制约华北东部地区前第三系油气勘探取得重大突破的瓶颈。如何恢复叠合盆地各构造阶段的原型盆地格局成为含油气盆地理论研究及早期盆地油气勘探实践的热点和难点。

本书选择渤海湾盆地济阳拗陷作为重点解剖对象,开展地层学、构造地质学、沉积学、地史学以及地球物理学等多学科综合研究,以地层剥蚀厚度、原始厚度的恢复以及控盆断层发育演化特征的研究为切入点,辅以沉积相的时空展布研究,并结合盆地转型机制、地球动力学背景分析,对济阳拗陷中生代各构造期的盆地原型进行详细解剖和分析,探讨其与新生代盆地的叠合关系。

本书针对陆相断陷型叠合盆地提出了一套较为系统的原型盆地恢复的思路和方法,旨在为我国叠合盆地的理论研究提供参考,其研究成果对于济阳拗陷前第三系的油气勘探具有指导意义。

### 第三节 研究思路及研究内容

原型盆地恢复的思路是综合分析,即把盆地视为一个整体,从时空、物质方面来研究盆地的形成、发展和灭亡(杜旭东等,1999a、1999b)。研究内容应包括原始沉积地层的空间展布特征、盆地边界、相带展布、盆地类型、盆地构造、控盆因素等方面,此外,为了正确认识不同阶段原型盆地之间的叠加、改造关系,还应对盆地的转型机制进行详细研究。研究方法主要有盆地地层学研究、盆地沉积学研究(尤其是相带类型和分布的研究)、盆地内外构造学研究、地质历史学研究以及它们彼此之间的相互结合和渗透等。

济阳拗陷位于渤海湾盆地的东南部,是我国东部重要的含油气盆地。该盆地是在华北古生代地台基础上发育而成的一个典型的中、新生代断陷型叠合盆地。目前,新生代盆地研究的程度相对较高,观点较为一致,为一主要受NE和NEE向扭张断裂控制的半地堑式复合盆地,但就中生代盆地而言,人们对其演化过程、构造格局认识尚浅,造成这一现象的原因主要有两个方面:

(1) 经历了燕山期、喜山期多期次的构造演化和改造,发育有多个区域性的不整合面(如P/T, T/J<sub>1+2</sub>, J<sub>1+2</sub>/J<sub>3</sub>+K, K/E等),地层遭受了强烈剥蚀,使得早期盆地面貌保存不完整。

(2) 中生代各构造阶段控盆构造的发育、组合特征尚不明晰。断裂是济阳拗陷中、新生代主要的控盆构造形式,现今我们所看到的断裂发育与组合特征为多期构造运动的叠加效应,如何从复杂的叠加效应中离析出各构造阶段的控盆断裂,是恢复盆地原型的又一关键。



针对上述问题,本书选择地层剥蚀厚度、原始厚度的恢复以及控盆断层发育演化特征的分析为研究突破口,结合沉积相带的展布特征及盆地地球动力学背景分析,对济阳拗陷中生代原型盆地进行恢复,并探讨其与新生代盆地的叠合关系,分析各叠合单元的石油地质意义。具体研究内容和方法包括如下几方面(图 1-1):

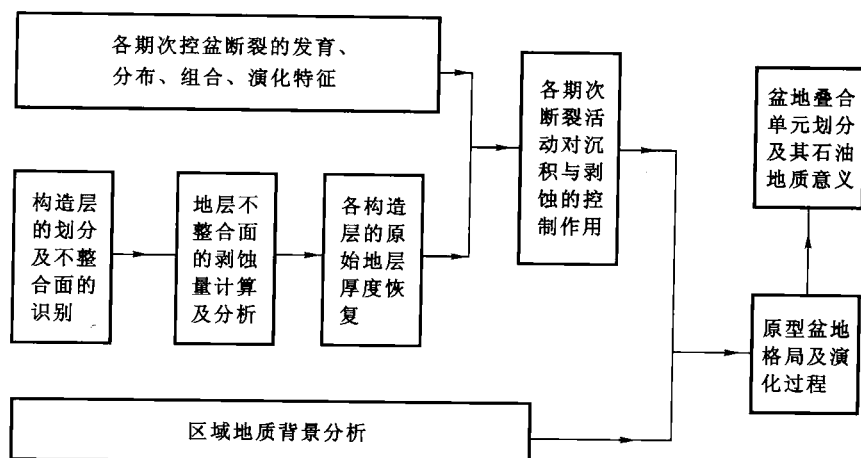


图 1-1 断陷型叠合盆地原型恢复研究工作流程

(1) 不整合面的识别:对穿过研究区的主要地震测线进行详细解剖,依据地震反射特征的差异性识别不整合面;对钻穿、钻遇中生界井的测井曲线进行分析,采用声波时差法、TOC 法识别不整合面。

(2) 地层剥蚀量的计算:运用宇宙成因核素法、波动方程法、裂变径迹分析法等新技术和手段,并结合传统的利用构造横剖面、声波时差、镜质体反射率等计算剥蚀量的方法,计算各不整合面的地层剥蚀量。

(3) 地层原始厚度恢复:依据地震剖面、钻井资料,分析中生代各构造层的残余厚度分布特征,结合地层剥蚀量的研究,恢复济阳拗陷中生代各构造期的原始地层厚度。

(4) 控盆断层的发育演化特征分析:通过对断层进行活动速率分析,识别出中生代的主要控盆断层,并分析其形成机制、发育演化特征及其对地层沉积与剥蚀的控制作用。

(5) 盆地演化的地球动力学背景分析:结合周边板块(西伯利亚板块、扬子板块、伊泽奈歧板块、库拉板块、太平洋板块、印度洋板块等)的运动特征,对控制济阳拗陷中生代盆地演化的边界条件(如郯庐断裂带、沧东—兰聊断裂带等)进行详细的研究,探讨济阳拗陷中生代盆地演化的深部动力机制。

(6) 原型盆地恢复及叠合关系探讨:在以上分析的基础上,恢复济阳拗陷中生代不同构造期的原型盆地,根据盆地沉积中心、沉降中心的迁移规律以及控盆断层的发育演化特征探讨其与新生代盆地的叠合关系,分析不同叠合单元的石油地质特征,为济阳拗陷油气勘探提供理论指导。

## 第二章 济阳坳陷断裂构造发育与演化

济阳坳陷及滩海地区地处山东省的北部,位于东经  $116^{\circ}40' \sim 119^{\circ}$ ,北纬  $37^{\circ} \sim 38^{\circ}$  范围,面积约  $29\,000\text{ km}^2$ 。地跨山东省德州市、滨州市、淄博市、东营市等四地市的 20 余个县区。构造位置位于渤海湾盆地的东南隅,东以郯庐断裂为界,西北为埕宁隆起,南与鲁西隆起相邻,属于渤海湾盆地的一个次级构造单元(图 2-1)。

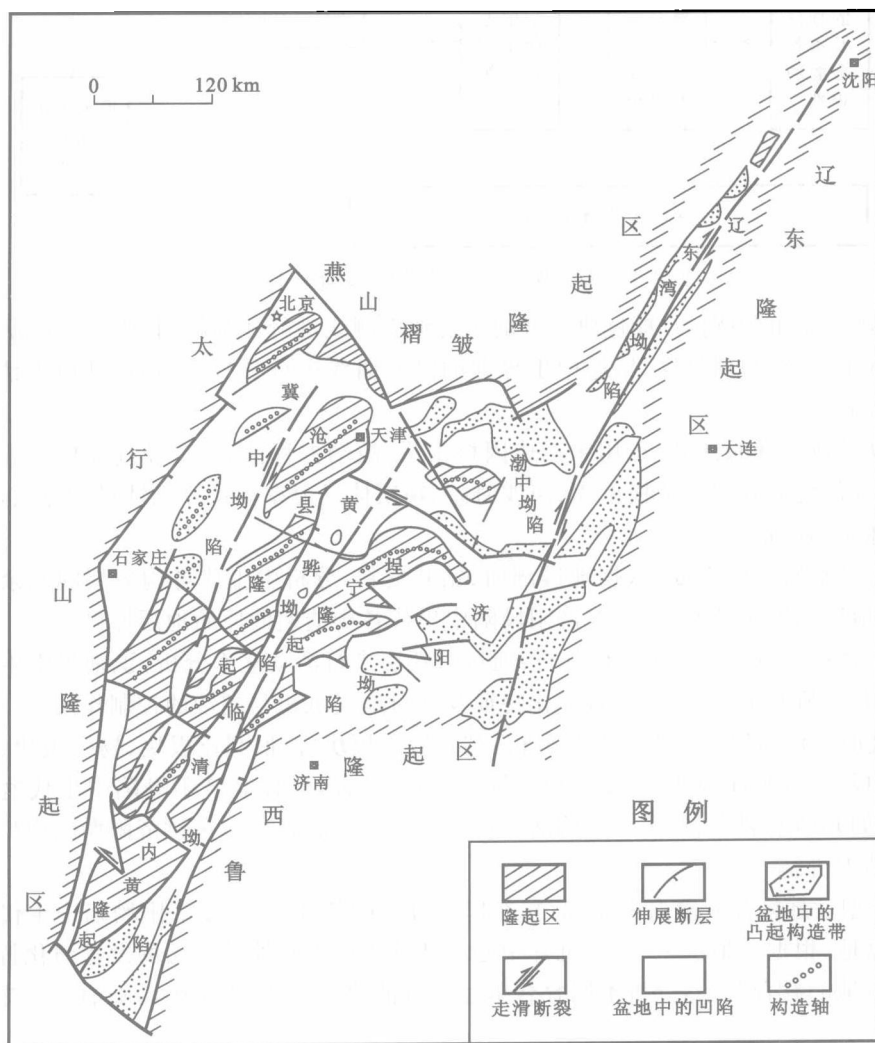


图 2-1 济阳坳陷构造位置图

济阳坳陷平面上呈向西南收敛、东北发散的形态,坳陷内部凸、凹相间,次一级的构造单元包括四排凸起和三排凹陷,凸起自西北至东南依次为:埕子口凸起—庆云凸起、义和庄凸起—

无棣凸起—宁津凸起、陈家庄凸起—滨县凸起、青城凸起—广饶凸起；凸起之间所夹的凹陷自西北至东南依次为：车镇凹陷、沾化凹陷—惠民凹陷、东营凹陷(图 2-2)。

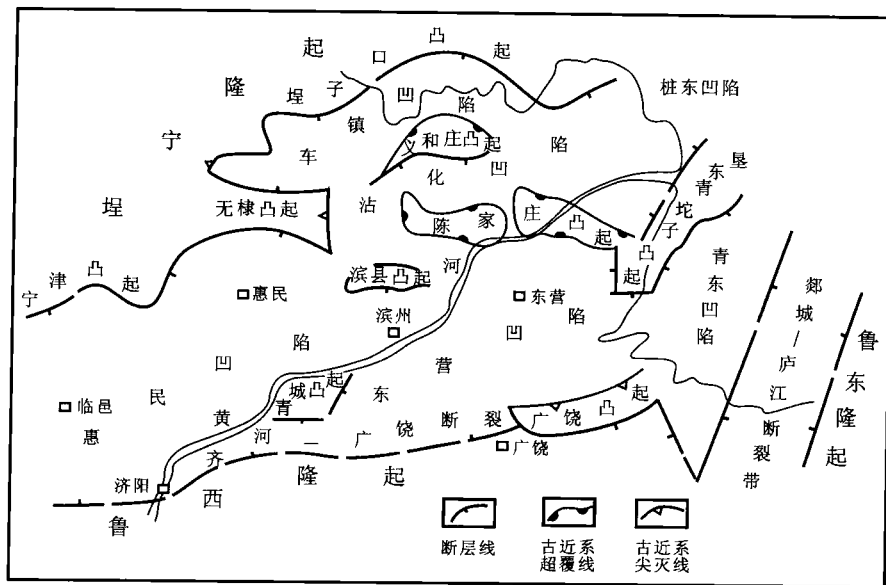


图 2-2 济阳拗陷构造单元略图

作为断陷型叠合盆地,断裂是控制盆地演化的主要构造形式,各构造时期的断裂活动控制了盆地的形态、格局,也控制了地层的沉积与剥蚀,盆地的边界断层往往还是沉积与剥蚀的突变边界;后期发育的断裂则控制了对前期盆地的改造,因此,对断裂构造的演化与活动性进行分析是恢复中生代盆地原型的关键。

## 第一节 断裂构造特征概述

济阳拗陷中、新生代断裂极为发育(图 2-3),其数量多,活动强度较大,一级至二级断层共有近 200 条,包括四级断层在内共有 1600 余条,断裂发育具有多期次、多伸展方向、多断层类型、多种组合方式的特征。济阳拗陷东部自北向南,车镇凹陷、沾化凹陷、东营凹陷都表现为单断式,西部惠民凹陷表现为双断式,其北部边界断层的活动性明显强于南部边界断层。

### 1. 断层级别的划分

依据断层的断距大小、发育时间长短及断层控制规模大小,可将济阳拗陷断层分为四个级别:一级断层为分割凸起与凹陷的边界断层,该类断层开始活动时间较早,规模较大,大多造成断层上升盘地层的缺失;二级断层为控制凹陷中构造带的断层,该类断层比一级断层规模小,但它明显地控制了断层两盘地层的厚度变化;三级断层为一、二级断层派生的产物,也能控制断层两盘地层厚度的差异;四级断层是次级派生断层,规模较小,主要分布于各局部构造单元之上。

### 2. 断层活动的期次

构造扭张、挤压、伸展等运动及其诱发的塑性地层拱张和重力滑动等均可作为断层的成

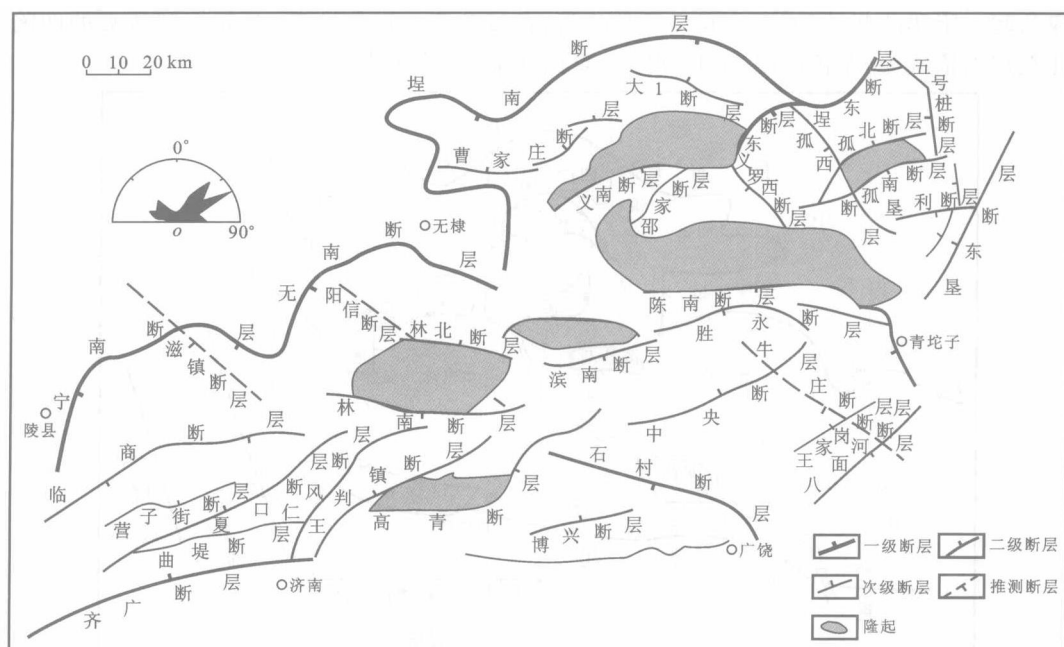


图 2-3 济阳拗陷中、新生代主要断层分布图

因,构造运动的阶段性必然造成断层发育的阶段性。如燕山运动前,济阳拗陷断层较少,只有 26 条切割太古界的断层,燕山运动时期断层的活动也超不过 30 条,而喜山运动时期断层的数量逐渐增多,断层的活动也逐渐增强。至东营运动早期活动断层达 119 条,晚期断层活动减弱甚至停止,仅剩 9 条活动断层。活动断层的数量变化也反映了断层的活动期次演化。

### 3. 断层伸展方向

依据地震剖面、钻井、火山岩分布、重力资料等识别出的济阳拗陷的主断层主要存在五个优势方位:北东向( $30^{\circ} \sim 40^{\circ}$ )、北东东向( $60^{\circ}$ )、北西向( $340^{\circ}$ )、北西西向( $290^{\circ}$ )和东西向。其中,北西、北西西向断层开始活动时间一般较早,控制了中生代的构造格局,断层活动结束时间从古近纪初到新近纪末不一;北东向断层主要在新生代发育,切割早期形成的北西向断层,形成济阳拗陷凹凸相间的构造格架,断层在渐新世活动较为强烈,断层活动结束时间一般为新近纪末,有的可到第四纪;东西向断层发育较少,主要受郯庐断裂左旋至右旋转变的影响而形成。

### 4. 断层的平面和剖面组合

从断层的剖面形态上看,济阳拗陷断层主要表现为板式、铲式和坡坪式三种。板式断层规模较小,是同沉积断层初期具有的形态;铲式断层规模较大,发育至中期的断层多表现为铲式;坡坪式断层是沉积伸展断层晚期的产物,规模大,在其控制下常发育多个沉降中心(图 2-4)。

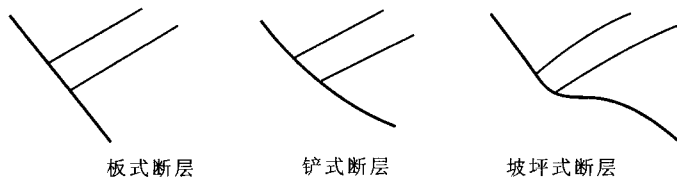


图 2-4 济阳拗陷主要断裂剖面形态类型图

济阳拗陷断裂在平面和剖面上的组合形式也是多种多样(图 2-5)。

| 平面组合 | 锯齿   | 网格   | 羽状 | 无规则状 | 斜列 | 侧列 | 环状 |
|------|------|------|----|------|----|----|----|
|      |      |      |    |      |    |    |    |
| 剖面组合 | “Y”型 | “λ”型 | 阶状 | 马尾状  | 羽状 | 斜列 | 梳状 |
|      |      |      |    |      |    |    |    |

图 2-5 济阳拗陷断层平面和剖面组合类型图

上述复杂的断层发育特征,体现出了济阳拗陷断裂多期次活动的叠加效应,因此,分析断裂的活动性,从各时期断层的复杂叠合效应中离析出济阳拗陷中生代的主要控盆断裂,是了解中生代原型盆地格局必须解决的问题。

## 第二节 断层活动性的定量分析

### 一、定量分析的方法

济阳拗陷的断层主要表现为控制凸起与凹陷的边界正断层(图 2-6b)、控制洼陷及断块的同沉积正断层(图 2-6a)、挤压逆断层及反转断层(图 2-6c,d)等几种形式,目前人们主要采用断层生长指数、断层落差、断层活动速率三类参数来定量表示断层的活动性。

#### 1. 断层生长指数

断层生长指数(Q):为上盘厚度与下盘厚度之比,即:

$$\text{断层生长指数} = \frac{\text{上盘厚度}}{\text{下盘厚度}}$$

当断层生长指数=1 时,说明断层两盘厚度相等,断层不活动;当断层生长指数>1 时,说明上盘厚度大于下盘厚度,断层活动,而且是正断层;当断层生长指数<1 时,说明上盘厚度小于下盘厚度,断层活动,而且是逆断层。断层生长指数越偏离 1,表示断层活动越强烈。该概念自 1963 年提出以来,在国内外生长断层的研究中得到了较为广泛的应用,被认为是研究生长断层的有效手段。

尽管如此,断层生长指数在表现断层的活动性方面,还存在着不足,体现在如下几方面:

首先,断层生长指数在研究盆地边界断层时往往难以奏效。盆地边界断层(图 2-6b)通常是控制盆地形成和演化的主要断层,其下盘往往是隆起区,为向盆地提供物源的剥蚀区,因此就某一地质时期而言,其上盘接受沉积,而下盘则遭受剥蚀,沉积厚度为零,计算出的断层生长

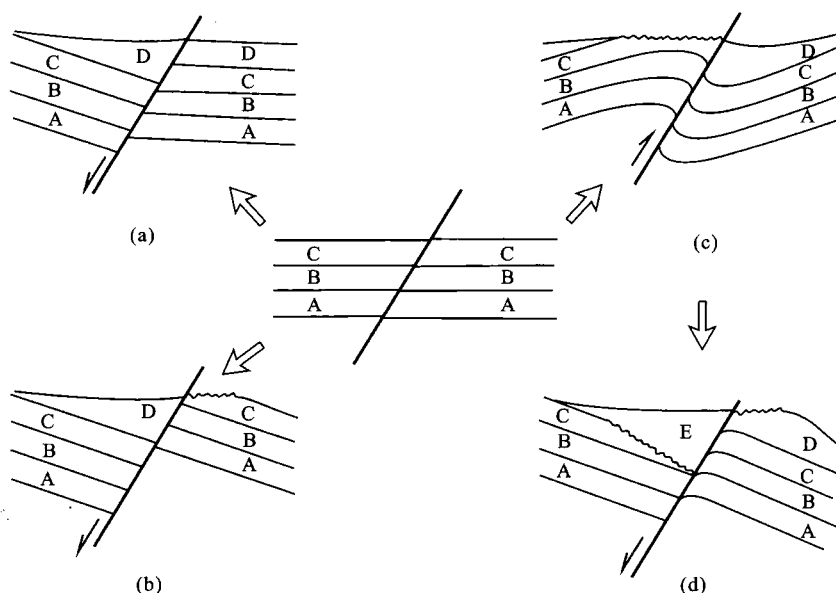


图 2-6 济阳坳陷内部垂向断层的活动类型及其对沉积、剥蚀的控制作用

(a) 同沉积断层, 控制洼陷及断块的形成; (b) 边界断层, 控制凸起与凹陷

(c) 逆断层; (d) 逆断层发生构造反转

指数为无穷大, 无法体现盆地边界断层的活动性。

其次, 就逆断层而言 (图 2-6c), 如果上盘没有接受沉积, 那么生长指数均为零, 也不能准确地表达上升盘缺失地层的断层的活动历史和活动强度。

此外, 断层两盘地层的沉积厚度是盆地沉降因素与断层活动因素叠加的结果, 盆地沉降幅度严重影响着断层生长指数。当盆地的大幅度沉降形成巨厚的沉积时, 计算出的断层生长指数往往会弱化断层的活动强度; 反之, 当盆地沉降幅度很小时, 形成的沉积物很薄, 即便是断层活动很弱, 也能计算出很大的断层生长指数, 造成断层活动强烈的假象。

## 2. 断层落差

断层落差是指在垂直于断层走向的剖面上两盘相当层之间的铅直距离, 也称铅直断层滑距, 能反映断层两盘差异升降的幅度。

就同沉积断层而言 (图 2-6a), 断层的落差实际上是两盘的下降幅度差, 可以用两盘地层的厚度差来表示, 即:

$$\text{生长断层落差}(D) = \text{上盘厚度}(H) - \text{下盘厚度}(h)$$

就边界断层而言 (图 2-6b), 上盘沉降接受沉积, 下盘抬升遭受剥蚀, 因此在某一地质时期的断层落差应表示为:

$$\text{断层落差}(D) = \text{上盘沉积厚度} + \text{下盘剥蚀厚度}$$

逆断层与正断层相反 (图 2-6c), 其上盘抬升遭受剥蚀, 下盘沉降接受沉积, 断层落差表现为负值:

$$\text{断层落差}(D) = -\text{上盘剥蚀厚度} - \text{下盘沉积厚度}$$

与断层生长指数相比, 用断层落差来反映断层的活动性, 具有不受上升盘是否存在地层缺失的限制、不受盆地整体沉降幅度的影响、能清晰反映断层的活动性质等方面的优点, 其不足