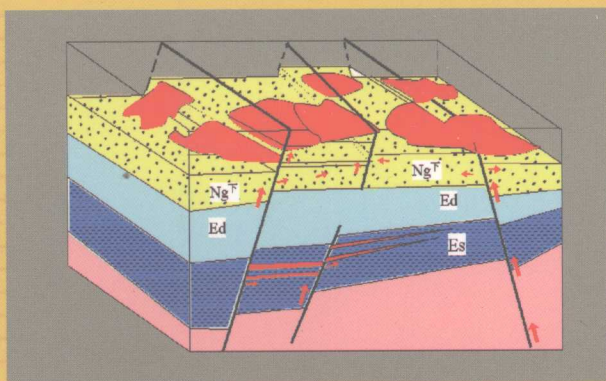


网毯式 油气成藏体系

——以济阳坳陷新近系为例

张善文 王永诗 石砥石 著



中国石油大学出版社

网毯式油气成藏体系

——以济阳坳陷新近系为例

张善文 王永诗 石砥石 著

中国石油大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

网毯式油气成藏体系:以济阳坳陷新近系为例/张善文,王永诗,石砥石著. —东营:中国石油大学出版社, 2007.12

ISBN 978-7-5636-2520-8

I. 网… II. ①张… ②王… ③石… III. 坳陷—含油气盆地—油气藏 x 研究—济阳县 IV. P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 190207 号

书 名: 网毯式油气成藏体系——以济阳坳陷新近系为例
作 者: 张善文 王永诗 石砥石

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

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, 8391809)

开 本: 185×260 印张: 10.5 字数: 254 千字

版 次: 2008 年 5 月第 1 版第 1 次印刷

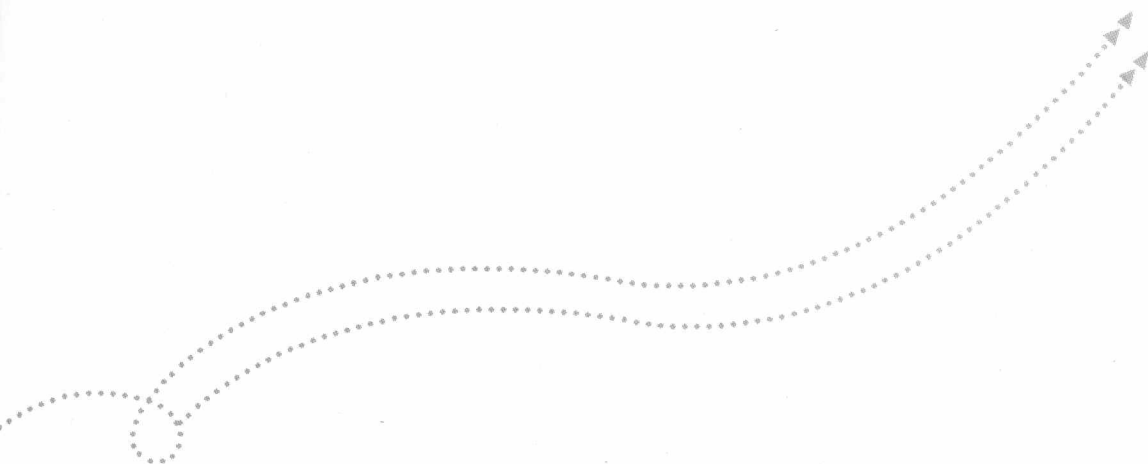
平 装: 48.00 元

精 装: 54.00 元

内容提要

本书以济阳拗陷新近系为实例，系统总结了陆相盆地拗陷期油气勘探取得的勘探成果，利用含油气系统的成因分析思路，提出了网毯式油气成藏体系这一全新的理论。从拗陷期河流相沉积特征，断裂系统的大小、活动性等方面阐述了网毯式成藏体系的组成结构、形成条件和成藏特征，通过地球化学分析和物理模拟实验，证实了网毯式油气运移、聚集和成藏的过程，最后建立了网毯式油气成藏体系的成藏模式，并指出了济阳拗陷新近系隐蔽油气藏的勘探方向。

本书可供从事油气勘探的科研工作者、技术人员以及高等院校相关专业的师生参考。



序

PREFACE

张善文等所著《网毯式油气成藏体系——以济阳拗陷新近系为例》的出版问世,为我国石油地质理论及实践增加了新的篇章。

早在 20 世纪 60 年代初期,国务院批准在渤海湾地区开展石油大会战之初,前人的普查结果已经显示出在这一地区广泛分布着 1 000~1 300 多米的新近系,其下埋藏着多个巨大隆起带,它们之间则是古近系的沉积盆地。古近系东营组、沙河街组总厚 2 000~5 000 m 的地层已确认是主要含油层系,勘探、发现油气田的工作主要是针对这套含油层系的,取得了丰硕的成果。从上世纪 70 年代开始,在济阳拗陷多个凸起带上发现了新近系大型披覆构造油气藏,探明石油地质储量占济阳拗陷总储量的三分之一,而其北部的沾化凹陷新近系探明的石油地质储量占凹陷总储量的四分之三。这种大型披覆构造油气藏,埋藏浅、规模大,勘探难度相对较小。经过多年勘探以后,这种类型油气藏发现的几率逐步变小。

时光荏苒,站在 21 世纪的新起点上,以济阳拗陷为代表的陆相断陷盆地,应该以什么理论指导油气勘探的持续发展,是新一代石油地质工作者必须回答的问题!

我们知道,济阳拗陷新近系本身没有烃源岩,古近系沙河街组暗色泥岩为其烃源岩,油气成藏的关键是输导体系。而输导体系一直是成藏理论研究的瓶颈问题,是含油气系统中所有运移通道(输导层、断层、裂缝、不整合面等)及其相关围岩的总和。输导体系和油气运聚相辅相成,输导体系类型决定了油气运移的方式,油气总是沿渗透性最好和阻力最小的路径运移,即存在着油气运移主干道,因此在研究某一含油气系统时,不仅要关注输导体系,更要重视追踪和确定油气运移的主干道。

张善文等以济阳拗陷新近系为实例,利用含油气系统的动态分析和综合研究的思路,提出了网毯式油气成藏体系。网毯式油气成藏体系具有 3 层结构:下部为油源通道网层,中部为仓储层,上部为油气聚集网层,这种岩相结构由河流层序发育过程中可容空间的变化速率由小到大的所决定。油源通道网层由古近系断裂构成,切入烃源岩的油源断裂起油气向上运移的单向阀作用,为新近系提供它源油气;仓储层为新近系馆陶组下段低位域辫状河流相砂砾岩,连通性好、分布广、厚度大,蓄积来自古近系的油气形成毯状聚集;油气聚集网层由新近系馆陶组上段、明化镇组的曲流河砂体组成,油气通过砂体-断裂输导网络运移聚集。对网毯式油气成藏体系中油气运移、聚集过程的二维物理模拟实验结果表明,在油源断裂幕式活动的地震泵作用下,周期性沿断裂向上输送的油气首先充注仓储层,以放射状方式进行毯式运移,通过沟通仓储层与上覆岩层的断裂进入上覆砂层的油在断裂两侧的砂体聚集成藏。网毯式油气成藏体系在潜山披覆构造主体及其周围形成构造油气藏组合、在凹陷带形成岩性油气藏组合、在缓坡构造带形成地层油气藏组合。

网毯式油气成藏体系突出了仓储层的特征及成藏作用,扩大了寻找它源型隐蔽油气藏的

序

PREFACE

勘探领域,丰富了陆相石油地质理论,在济阳拗陷新近系隐蔽油气藏勘探过程中发挥了重要的指导作用。近年来,运用网毯式油气成藏体系的勘探思想,在济阳拗陷义和庄凸起北坡、陈家庄凸起北坡、埕东凸起北坡、垦东、孤岛、孤东等潜山披覆构造带周围的油气勘探中取得重大突破和进展,已探明石油地质储量数亿吨,取得了巨大的经济效益和良好的社会效益。

胜利油田老一辈石油地质家们为复式油气聚集理论的创立做出了重要贡献,长江后浪推前浪,张善文等年轻一代石油地质家们在深化油气勘探的同时,致力于陆相盆地的勘探理论的创新,并已初见成效。相信此书的出版能为国内外类似盆地的勘探提供有益的借鉴,并起到重要的指导作用。

最后,我诚恳地感谢本专著的作者,给我一个能够拜读、学习的机会,使我很高兴深知你们的新发现、新成就。并祝你们在油气勘探发现及理论创新方面再创佳绩。

张希珍

2008.2.28

前言

PREFACE

油气藏形成理论是石油地质研究的核心,是深化油气勘探和提高开发效益的关键,也是世界石油地质理论发展的前沿热点问题。它研究的主要问题是油气怎样从源岩中排出?什么时候排出?排出多少?排到什么地方?可能在哪聚集?至今还能保存下来多少?从石油工业诞生以来,油气成藏理论一直是石油地质学家们孜孜探索的基础理论问题,也是油气勘探家们极为关注的问题。因此,国内外许多学者致力于油气成藏机制的研究,取得了大量研究成果。

含油气系统的雏形——石油系统(oil system)的概念于1972年首先由美国石油地质学家Dow在丹佛召开的AAPG年会上提出,其后,L. B. Magoon(1988,1989,1991)又进一步明确了含油气系统的定义,并强调含油气系统是一种新思路或方法论,即使用从源岩到圈闭这一思路进行油气预测。中国石油地质学家根据陆相盆地的特点,创造性地提出了一系列有关油气生成、聚集的理论。20世纪60年代末期,我国学者提出了油气藏形成的“生、储、盖、运、圈、保”六大要素,并提出了成藏体系的概念,实际上与现在的含油气系统概念已十分相似。

中国油气成藏理论的形成与发展大体上可分为三个阶段:初期阶段为沿背斜褶皱带分布的油气藏的背斜说或重力说;第二阶段约在20世纪50年代及以后的20年间,在油气藏不断发现和现代科学技术发展的基础上研究油气藏形成的基本条件(因素),进而掌握油气藏的分布规律,大大增强了勘探油气藏的科学性和效果;第三阶段即近10多年来对油气藏形成的基本条件和机制进行研究,然后进行各项条件的综合配套分析,大大发展了油气藏形成的理论,不断挖掘和扩大新的油气藏领域,目前这一阶段仍在继续发展。

济阳拗陷是渤海湾盆地的典型代表,是陆相断陷盆地油气成藏理论形成和发展的重要发源地。老一辈石油地质工作者针对济阳拗陷的地质情况,早在20世纪60年代初就已开始油气成藏的理论研究。20世纪80年代中、后期,根据渤海湾盆地多断陷、多断块、多含油气层系和多种油气藏类型的特点,总结了断陷盆地油气藏形成的条件和分布规律,提出了复式油气聚集带的概念,即:在含油气断陷盆地中,由于断块活动强烈,断层十分发育,岩性岩相变化大,地层超覆和沉积间断多,在二级构造带的背景上有利于多种类型圈闭的形成,在此背景下不仅发育背斜构造和断块圈闭,还在不同层系中广泛发育多种类型的地层-岩性圈闭,这些储油圈闭具有一定的地质成因联系,有相同的油气运移和聚集过程,形成了以一种油气藏类型为主,其他类型为辅的多种油气藏类型群,且具有成群成带分布的特点,在平面上构成不同层系、不同类型油气藏叠置连片的含油气带,故称复式油气聚集(区)带。这些理论在油气勘探的不同阶段和不同地区都发挥了重要作用。

20世纪90年代以来,胜利油田对油气生成、运移、聚集的研究已不只局限于单一因素,而是展开了全面多因素的综合研究,把盆地不同时期的古应力场、古流体势、古生物群落、古地温,与沉积体系和油气的生成、运移、聚集成藏联系起来综合研究。开展了“陆相断陷盆地隐蔽

油气藏形成机制与勘探”研究,对济阳拗陷古近系沙河街组和东营组沉积、构造、含油性及油气成藏机理进行全面研究解剖,取得了重要进展。这在国内属首次探索,也代表了油气藏研究的一大趋势。

近年来,济阳拗陷隐蔽油气藏探明石油地质储量呈上升趋势。可以预言,在“十一五”期间,隐蔽油气藏将是增储上产的重要对象。但是经过多年的勘探,济阳拗陷不仅构造油气藏发现率大幅度下降,而且大型岩性油气藏(大砂体)的发现率也在下降;着眼中国东部各含油气盆地,都已经进入隐蔽油气藏勘探阶段,常规石油地质理论难以满足目前勘探的需要。济阳拗陷多年勘探的实践表明,油气勘探的任何一种规律性的认识和系统的理论都是与特定的勘探阶段相适应的,油气勘探是不断实践和多次深化认识的过程,经验和规律性的认识应该成为勘探不断进步的阶梯,而不应该成为束缚创新、进步的“框框”和束缚人们向新领域不断探索的“桎梏”。因此对于已有的理论和认识不仅要继承,更要发展,只有不断深化对油气成因和机理等内在成藏规律的认识,才能实现油气勘探的不断突破。

着眼未来不断增加的油气勘探难度,隐蔽油气藏的勘探仍然没有找到最佳的解决方案,无论在油气成藏理论研究还是油气成藏机理研究方面,多集中于古近系,对新近系的研究进行得较少。而济阳拗陷新近系是重要的勘探层系之一,已探明石油地质储量占总储量的31.6%,其中沾化凹陷新近系探明的石油地质储量占其总储量的76%,这些储量主要分布在沾化凹陷中的孤东、孤岛以及浅海水域的埕岛等多个亿吨级的新近系大型潜山披覆构造油藏中。在以往的研究中,人们似乎仅仅注意到了油气沿边界大断层垂向运移的作用,而对油气沿储集层的横向运移或者横向运移过程中可能形成的油藏却考虑、研究较少。因此研究古近系烃源岩生成的油气如何经过断层、横向连通砂体、地层不整合面运移,如何在新近系聚集、成藏,必将促进新近系勘探的不断深入。

本书紧密结合济阳拗陷的勘探实际,以新近系河流相沉积体系研究为基础,以油气运移、聚集、成藏机理为重点,通过物理模拟实验研究新近系油气的运移、聚集、成藏过程,研究新近系油气成藏机理,揭示了济阳拗陷新近系河流相砂岩隐蔽油气藏的形成及分布规律,建立河流相砂体隐蔽油气藏的分布模式。不仅具有隐蔽油气藏分析预测的理论和实践意义,而且使隐蔽油气藏的研究和勘探理论基础不断地走向深入,并有效指导勘探实践,实现勘探理论和勘探目标的新突破;可以丰富油气成藏的基础理论,还可以为济阳拗陷油气勘探决策提供参考,亦可为国内其他盆地隐蔽油气藏的勘探提供理论指导。

本书是胜利石油人苦苦求索的成果之一,是胜利油田勘探经验长期积累的结晶。胜利油田众多科研人员参与了研究及素材的提供。在本书的编写过程中,得到了许多专家和学者的帮助与指导,他们不仅提出了不少有益的学术指导,而且还提供了大量的宝贵资料,在此向他们表示衷心的感谢。尤其是徐怀民、纪友亮、曾溅辉、蒋有录、姜素华、黎茂稳等教授,他们给予了巨大的帮助,对此我们表示真诚的谢意。中国石油大学(北京)资源与信息学院和盆地与油藏研究中心、胜利油田石油地质测试中心做了大量的实验和分析化验,在这里一并表示感谢。

作者

2007年4月

目 录

CONTENTS

第一章 济阳坳陷地质概况/1

第一节 基本地质特征/1

- 一、地层结构/2
- 二、构造特征/2
- 三、沉积特征/5

第二节 油气地质特征/8

- 一、烃源岩/8
- 二、储盖组合/11
- 三、圈闭有效性/11
- 四、含油气层系/11
- 五、复式油气聚集/12

第二章 网毯式油气成藏体系的概念及分类/13

第一节 浅层勘探的思考/13

- 一、油气横向运移条件与实例/13
- 二、与油气横向运移有关的勘探方向/14

第二节 网毯式油气成藏体系概念及构成/15

- 一、网毯式油气成藏体系概念/15
- 二、网毯式油气成藏体系结构/16
- 三、网毯式油气成藏体系分类/17
- 四、网毯式油气成藏体系意义/18

第三节 网毯式油气成藏体系形成条件及成藏作用/19

- 一、网毯式油气成藏体系的形成条件/19
- 二、网毯式油气成藏体系的成藏作用/20

第三章 网毯式油气成藏体系“网”的特征/22

第一节 断层特征及分布/22

- 一、断层级别/22
- 二、断层发育特征/23
- 三、断层的宏观展布/26

第二节 网的构成及作用/31

- 一、油源通道网/31
- 二、油气聚集网/32

第三节 断层活动期与油气成藏期/33



- 一、油气充注期次及时间/33
- 二、断层活动期次及时间/34
- 三、晚期断层活动与油气聚集/34

第四章 网毯式油气成藏体系“毯”的特征/36

第一节 层序地层格架/36

- 一、层序地层单元划分/36
- 二、层序地层格架/38

第二节 沉积相类型/48

- 一、冲积扇相/48
- 二、扇前洪泛平原相/51
- 三、河流相/52

第三节 沉积相分布及演化/59

- 一、沉积相的分布/59
- 二、沉积相的演化/65
- 三、沉积相与油气/66

第四节 储集层特征/67

- 一、时空展布/67
- 二、储集物性/72

第五章 网毯式油气成藏体系的地球化学证据/76

第一节 油源对比和二次运移/76

- 一、储层流体性质/76
- 二、生物标志物成分/79
- 三、热成熟度/82
- 四、油源对比/83

第二节 重点地质剖面的地球化学分析/84

- 一、四扣洼陷—太平油田/84
- 二、孤南洼陷—孤东油田/86
- 三、利津洼陷—王庄油田/87
- 四、网毯式油气运移机制/88

第六章 网毯式油气成藏体系的物理模拟/91

第一节 地质模型及实验方法/91

- 一、地质模型的建立/91
- 二、实验装置/93
- 三、实验方法/94

第二节 主断裂控油地质模型的油气运聚物理模拟/95

- 一、实验模型/95
- 二、实验条件/96
- 三、实验结果/97

第三节 主-次断裂复合控油地质模型的油气运聚物理模拟/99

- 一、实验模型/99
- 二、实验条件/101
- 三、实验结果/101

第四节 结论及启示/104

- 一、实验结论/104
- 二、对油气勘探的启示/105

第七章 网毯式油气成藏体系的运移机理/107

第一节 断裂垂向运移机理/107

- 一、研究思路/107
- 二、垂向运移压力梯度公式推导/108

第二节 仓储层横向运移机理/109

- 一、横向运移条件/109
- 二、横向运移压力梯度公式推导/110
- 三、垂向运移泄压公式推导/111

第三节 实例分析/112

- 一、初始压力的计算/112
- 二、仓储层内横向运移合力的计算/113
- 三、仓储层内横向运移合力的分布/114

第八章 网毯式油气成藏体系的成藏模式/116

第一节 油气藏类型及其组合/116

- 一、构造油气藏/116
- 二、岩性油气藏/119
- 三、地层超覆油气藏/121
- 四、成藏组合模式/122

第二节 潜山披覆构造带油气藏组合模式/122

- 一、油气地质条件/123
- 二、网毯式成藏体系构成/125
- 三、油气藏特征/129

第三节 斜坡构造带油气藏组合模式/132

- 一、太平油田/133
- 二、老河口油田/137

第四节 中央背斜带油气藏组合模式/141

- 一、网毯式成藏体系构成/141
- 二、油气藏特征/148

第九章 结束语/152

参考文献/154

第一章 济阳拗陷地质概况

第一节 基本地质特征

济阳拗陷位于山东省北部,东经 $116^{\circ}30' \sim 119^{\circ}20'$,北纬 $37^{\circ} \sim 38^{\circ}20'$,是渤海湾含油气盆地的一个次级构造单元。东以郯城—庐江断裂的中段(沂沭断裂)与鲁东隆起相隔,西部和北部以埕宁隆起和渤南凸起与黄骅拗陷、渤中拗陷相邻,南部以齐河—广饶断裂与鲁西隆起分界,西南部与临清拗陷相连。济阳拗陷的东部处于渤海海域,陆上部分面积达 $2.65 \times 10^4 \text{ km}^2$ (图 1-1)。

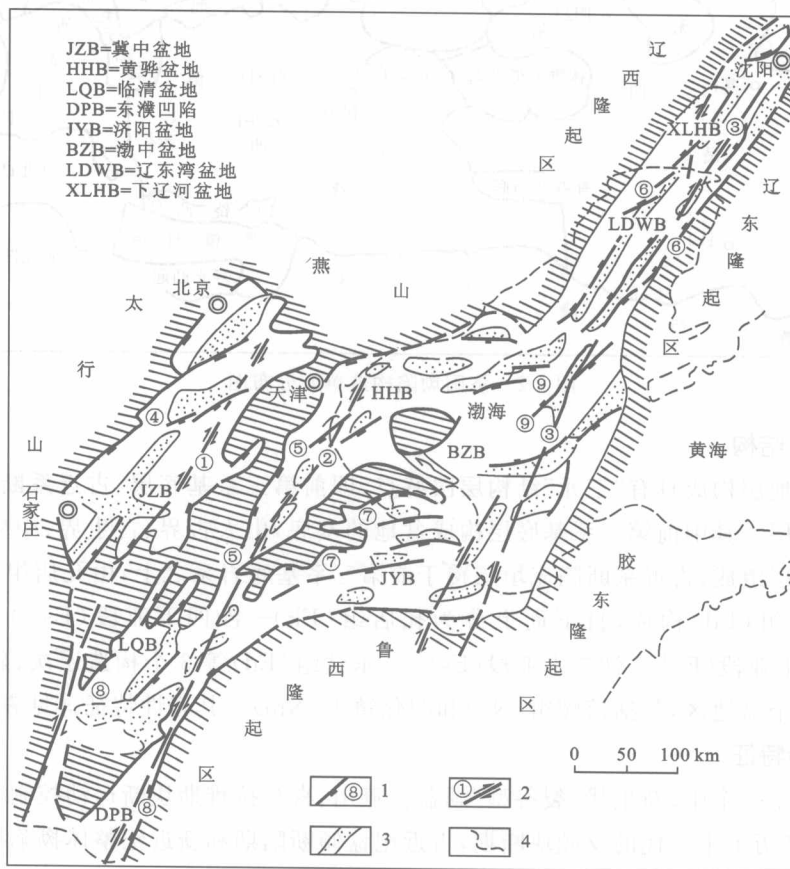


图 1-1 渤海湾新生代盆地区域构造轮廓简图(据陆克政、漆家福等,1997)

- ① 霸县—束鹿—邯郸走滑断裂带;② 黄骅—东明走滑断裂带;③ 郯城—庐江断裂带;
- ④ 冀中盆地伸展断裂系统;⑤ 黄骅盆地伸展断裂系统;⑥ 下辽河—辽东湾盆地伸展断裂系统;
- ⑦ 济阳盆地伸展断裂系统;⑧ 渤海湾盆地南部伸展断裂系统;⑨ 渤中盆地伸展断裂系统

以古近系尖灭线、边界大断层为界,济阳拗陷可分为四排凸起和三排凹陷(图 1-2):四排凸起自西北向东南依次为: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;三排凹陷自西北而东南依次为:车镇凹陷、沾化凹陷、惠民凹陷、东营凹陷。

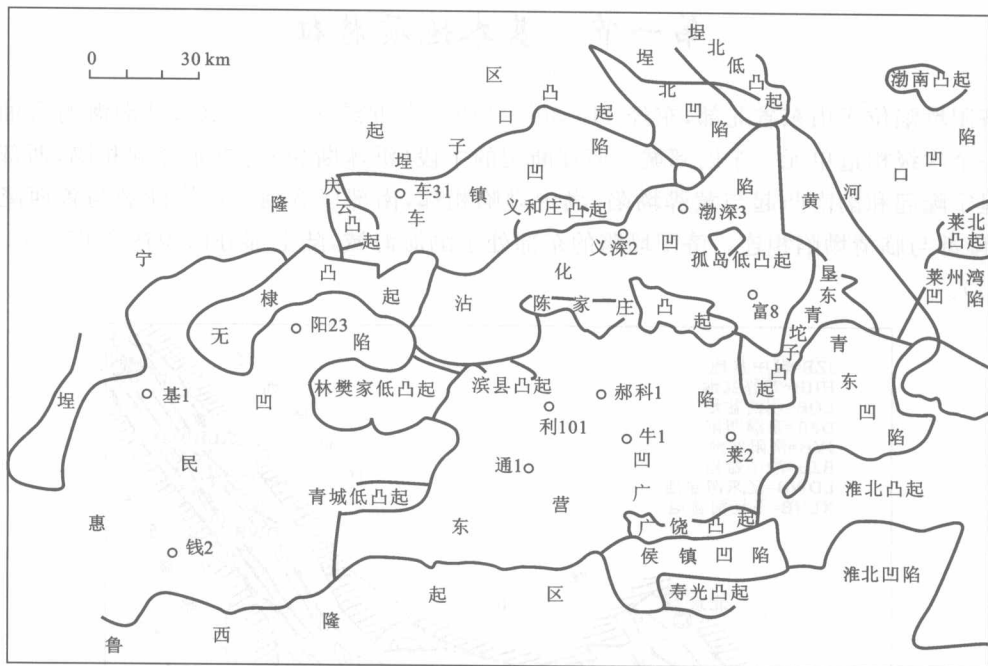


图 1-2 济阳拗陷构造单元分布图

一、地层结构

济阳拗陷地层构成具有“三元”结构层次特点,即前第三系基底层、古近系断陷充填层、新近系拗陷充填层。其中前第三系基底层构成盆地的基底,由太古界、古生界、中生界等 3 个规模较大的构造层组成;古近系断陷充填层覆于前第三系基底岩系之上,由孔店组(Ek)、沙河街组(Es)和东营组(Ed)构成,自下而上分为孔店组(Ek)—沙四下亚段(Es_4^F)、沙四上亚段(Es_4^+)—沙二下亚段(Es_2^F)、沙二上亚段(Es_2^+)—东营组(Ed)等 3 个构造层次;新近系拗陷充填层披覆于整个盆地区,包括馆陶组(Ng)和明化镇组(Nm)。其岩性特征详见表 1-1。

二、构造特征

济阳拗陷是一个中、新生代“裂谷型”湖盆。燕山、喜马拉雅期块断运动控制着湖盆的形成和发展,盆地经历了中生代的反倾块断期,古近纪盆倾断陷期和新近纪整体拗陷期 3 个发展阶段。

表 1-1 济阳拗陷地层发育简表

界	系	统	组	代号	岩性特征	厚度/m
新生界	第四系		平原组	Qp	未固结黄土层	200~450
	新近系		明化镇组	Nm	棕黄色、棕红色泥岩夹粉砂岩	800~900
			馆陶组	Ng	灰色含砾砂岩、砂岩夹灰色、绿色、紫色泥岩	300~900
	古近系		东营组	Ed	灰色、灰绿色泥岩与含砾砂岩、砂岩互层	700~1 000
			沙河街组	Es	深灰色泥岩与灰白色砂岩夹碳酸盐岩和油页岩	>2 000
			孔店组	Ek	棕红色与紫红色砂岩、泥岩夹灰色砂岩、泥岩	>1 000
中生界	白垩系	上统	王氏组	K ₂ w	紫色、杂色砾岩、含砾砂岩、砂岩与泥岩	
		下统	西洼组	K ₁ x	灰色安山岩与紫色砂泥岩	>700
	侏罗系	上统	蒙阴组	J ₃ m	杂色含砾砂岩与灰色砂岩、灰绿色泥岩互层	
		中一	三台组	J ₂ s	紫色泥岩与灰白色泥岩、砂岩、砾岩互层	250
		下统	坊子组	J ₁₊₂ f	暗色、紫色、灰绿色泥岩、砂岩夹煤层	90~200
	三叠系	中一下统	聊城组	T ₁₊₂	暗紫色与灰白色泥岩,与砂岩互层,含砾石层	>1 000
上古生界	二叠系	上统	石千峰组	P ₂ s	紫红色、棕红色、灰紫色泥岩与浅紫色砂岩	0~600
			上石盒子组	P ₂ sh	黄绿色厚层砂岩与紫色、灰色泥岩、泥质砂岩	400~500
		下统	下石盒子组	P ₁ xs	灰色与灰绿色泥岩、砂岩夹薄煤层	110
			山西组	P ₁ s	灰色泥岩、炭质泥岩与石英砂岩夹煤层	60
	石炭系	上统	太原组	C ₃ t	灰色泥岩、炭质泥岩与砂岩夹灰岩及煤层	160~180
		中统	本溪组	C ₂ b	杂色铁铝岩、铝土岩,灰色泥岩夹灰岩	40~100
下古生界	奥陶系	中统	八陡组	O ₂ b	深灰色块状灰岩、灰色泥质白云岩	60~260
		下统	上马家沟组	O ₁ sm	黄色角砾状泥灰岩、豹皮灰岩、灰岩夹白云岩	280~300
			下马家沟组	O ₁ xm	黄色角砾状灰岩、豹皮灰岩、灰岩夹白云岩	200
			亮甲山组	O ₁ l	灰色结晶白云岩,底部为燧石结核白云岩	90~120
			冶里组	O ₁ y	灰色结晶白云岩,底部为竹叶状白云岩	90~120
	寒武系	上统	凤山组	Є ₃ f	浅灰色结晶白云岩、泥质条带灰岩	100~110
			长山组	Є ₃ c	灰色泥质条带灰岩、竹叶状灰岩夹黄绿色页岩	50~100
			崮山组	Є ₃ g	疙瘩状灰岩、泥质条带灰岩夹黄绿色页岩	50
		中统	张夏组	Є ₂ z	灰色鲕状灰岩及微晶灰岩	180~190
			徐庄组	Є ₂ x	灰绿色、紫灰色页岩夹灰岩,含海绿石砂岩	80~100
			毛庄组	Є ₂ mz	下部灰岩,上部暗紫红色页岩、砂岩	30~60
			下统	馒头组	Є ₁ m	灰色隐晶白云岩及紫红色页岩
太古界			泰山群	Art	以多种片麻岩为主,其次为闪长角闪岩、角闪岩	>10 000

据不连续界面的存在、沉积体积在时空上的演化、沉积的旋回性、沉降速率的变化样式和岩浆活动特征等,将济阳拗陷第三系盆地形成阶段分为 5 个幕式期:裂陷 I 幕(Ek 沉积期)、裂

陷Ⅱ幕(Es_4 沉积期)、裂陷Ⅲ幕($Es_3—Es_2^F$ 沉积期)、裂陷Ⅳ幕($Es_2^+—Ed$ 沉积期)和拗陷期($Ng—Nm$ 沉积期)(图1-3)。

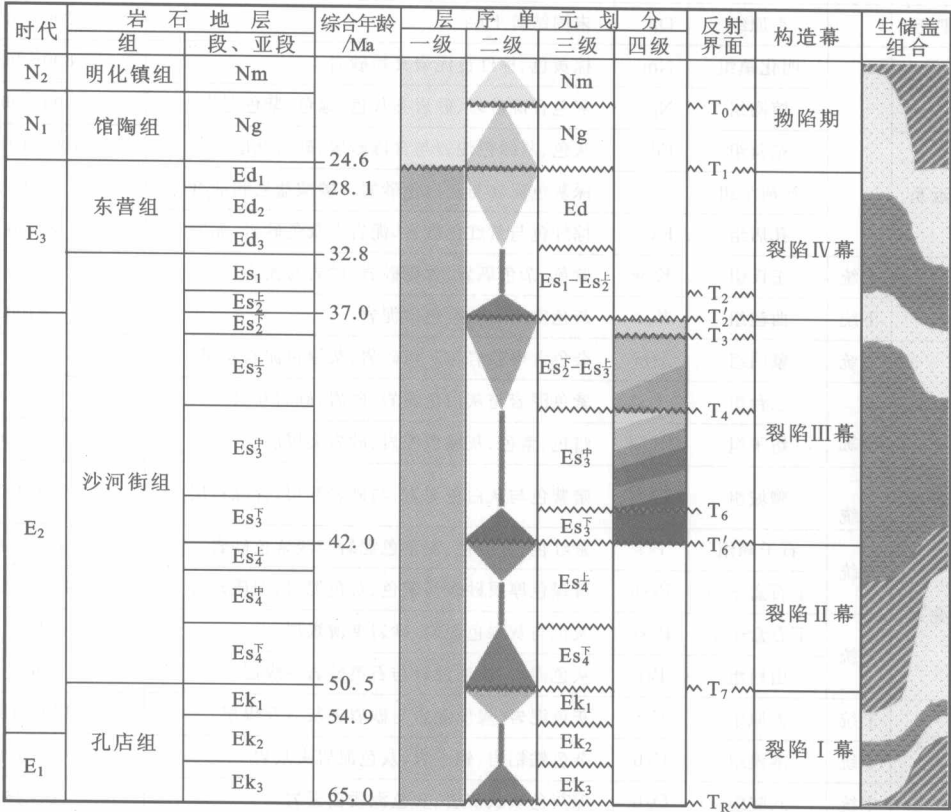


图 1-3 济阳拗陷层序地层及构造演化综合柱状图

1. 裂陷Ⅰ幕(Ek 沉积期)

Ek 沉积期,构造沉降量占总沉降量比重大,周缘断层及凹陷内部断层活动性均强,地形高差大,供屑快,属补偿式沉积且厚度大。

2. 裂陷Ⅱ幕(Es_4 沉积期)

发育于 T_7 不整合面之上,其沉积面积由下向上迅速增大,水体加深。平面上,从凹陷边缘向中心,沉积体系组合为:冲积扇体系→河流体系→滨浅湖(及盐湖)体系→深湖体系。纵向上从 Es_4^F 到 Es_4^+ ,盐湖不断萎缩直至消失,半深—深湖体系发育,冲积扇体系萎缩后退,河流体系亦呈萎缩趋势,形成了欠补偿式沉积格局。同时,沉积物粒度由下向上变细(红色砂砾岩→砂泥互层→白云岩、灰岩、泥岩及油页岩),直至 Es_4 顶部在盆缘略有变粗,扇体有增强发育之趋势,构成了一个不完整的沉积旋回,其顶界为 T_6' 层序界面。

3. 裂陷Ⅲ幕($Es_3—Es_2^F$ 沉积期)

平面上,在凹陷边缘发育有数量少、规模小的冲积扇体,而河流—三角洲沉积体系异常发育,从凹陷区的边缘(东部、西南部)向中心(半深湖—深湖)推进。纵向上, Es_3^F 沉积时缺少粗质沉积,东营凹陷形成的深湖区自 Es_3^+ 起很快被入湖的大型三角洲朵叶复合体及其后的河流粗碎屑沉积砂体所充填,它们从凹陷北东方向向南西西方向推进,导致水体被充填变浅。 Es_2^F 沉积时在全凹陷区河流体系进一步发育,沉积进一步变粗。

4. 裂陷Ⅳ幕(Es_2^+ —Ed 沉积期)

Es_2^+ 是继局部性的抬升后再次沉降的产物。平面上,从边缘到中心,发育有冲积扇体系→河流体系→滨浅湖体系;沉积厚度小,面积局限,物源供屑趋于稳定且量少,表明了凹陷四周地势已变得平缓,东西向河流平衡剖面已经建立。垂向上,尽管随着水体范围的扩大,在 Es_1 出现了浅湖—深湖相欠补偿式沉积,但很快被河流—三角洲体系所取代,至 Ed_3 末期,滨浅湖相已不复存在,凹陷已大面积冲积河流化,到Ed末期,沉积面积快速变小,凹陷区大规模抬升,一级层序界面 T_1 发育。总体上,由下向上,构成了粗→细→粗的沉积旋回;沉积面积由小→大→小;覆水深度由浅→深→浅;冲积扇体系仅在早期局部发育而河流体系则由不发育→发育→极发育,这些均表明了该幕的构造活动性与前3幕相比均较弱,体现了凹陷此时伸展量小、沉降慢的特点。

5. 拗陷期(Ng—Nm 沉积期)

Ng沉积时期,济阳拗陷的扩张十分微弱,该期区域构造应力场进入调整性活动期,断陷期间强烈的水平方向引张力不再占据主导地位,取而代之的垂向重力统治了区域构造变形。断陷期隆凹相间的构造面貌被夷平,一道接受了厚度相差不大的河流相沉积。这个时期一些大型生长断裂仍有轻微的活动,一些断裂的活动仍比较强烈,表现为沿这些断裂有强烈的幔源玄武岩喷发。平面上,沉积面积达到前所未有的规模。冲积扇体系局限于拗陷南部的鲁西隆起带,其他地区河流体系大面积发育,尤其是以发育洪泛平原为特征。主要沉积相带及界线已变成北—南向展布,而与裂陷充填期的展布样式全然不同;垂向上,沉积体系没有发生大的变化,由地层厚度(最大为500 m)及其发育时间段(19.4 Ma)可见,该幕的沉积充填速率很低(约为25 m/Ma),体现了在均一化的沉积体系背景下补偿式缓慢沉降的特点。

Nm沉积时期的加速沉降是相对于Ng沉积时期缓慢的热沉降而言的,在济阳拗陷主要表现为沉降速率在这一时期明显加快。

第四纪新构造期的活动主要受北东东向挤压应力场控制,在这种区域应力场作用下济阳拗陷内多数北东向断裂表现出右旋剪切的特点。但一些北西向断裂则表现出左旋剪切的特点。这一时期济阳拗陷东北部地区的沉降突然加强,最终导致海水入侵,渤海湾形成。这一构造事件可能与渤中地区地幔大规模上涌有直接关系,在此情况下,剧烈的断裂作用移至渤中地区。

该阶段以其简单的沉积体系构成、补偿式沉积和大规模发育河流体系为特点,沉积体系展布已不再受主干断裂活动性的控制,地层厚度在全区比较稳定,表明东营凹陷此时已统一于整个渤海湾盆地之中,进入裂后热沉降阶段,其构造活动性相对较弱,而且均一化。

三、沉积特征

1. 古近纪沉积特征

古近纪,济阳拗陷在拉张块断区域构造背景下,湖盆发生多期沉降,其范围、水体深度和性质发生相应变化,具典型的块断湖盆型沉积特征,表现为沉积物源多和分割性强的特点。

济阳拗陷古近系具有以凹陷水体为中心呈环状展布的特点(图1-4)。沿岸相带和平原相带所围的湖相沉积有明显分割性,每个凹陷都有自身的物源、碎屑供给和沉积机制,形成了多源的沉积体系。它们就地接受陆源碎屑,既发育近源扇、滩、坝等各种碎屑流沉积,又有不同规模的三角洲、扇三角洲体系和相关联的浊流沉积。近源快速沉积使各凹陷沉积相带在纵向频繁交替,横向急剧变化。横向的多物源性造成储层的广布性,而近源沉积的分割性和断裂活动多期性使不同时代的烃源岩与不同构造单元、不同时代的储集体相接触,形成了多种形式的生储配置方式。在交互式、侧变式、包裹式、互层式、披盖式等不同生储配置形式中,三角洲前缘

砂体与前三角洲生油岩呈指状交错的“交互式”组合是形成古近系大油田的最佳生储配置方式。例如东营凹陷的胜坨、东辛油田，惠民凹陷的临盘油田，沾化凹陷的渤南油田，均属于此类。

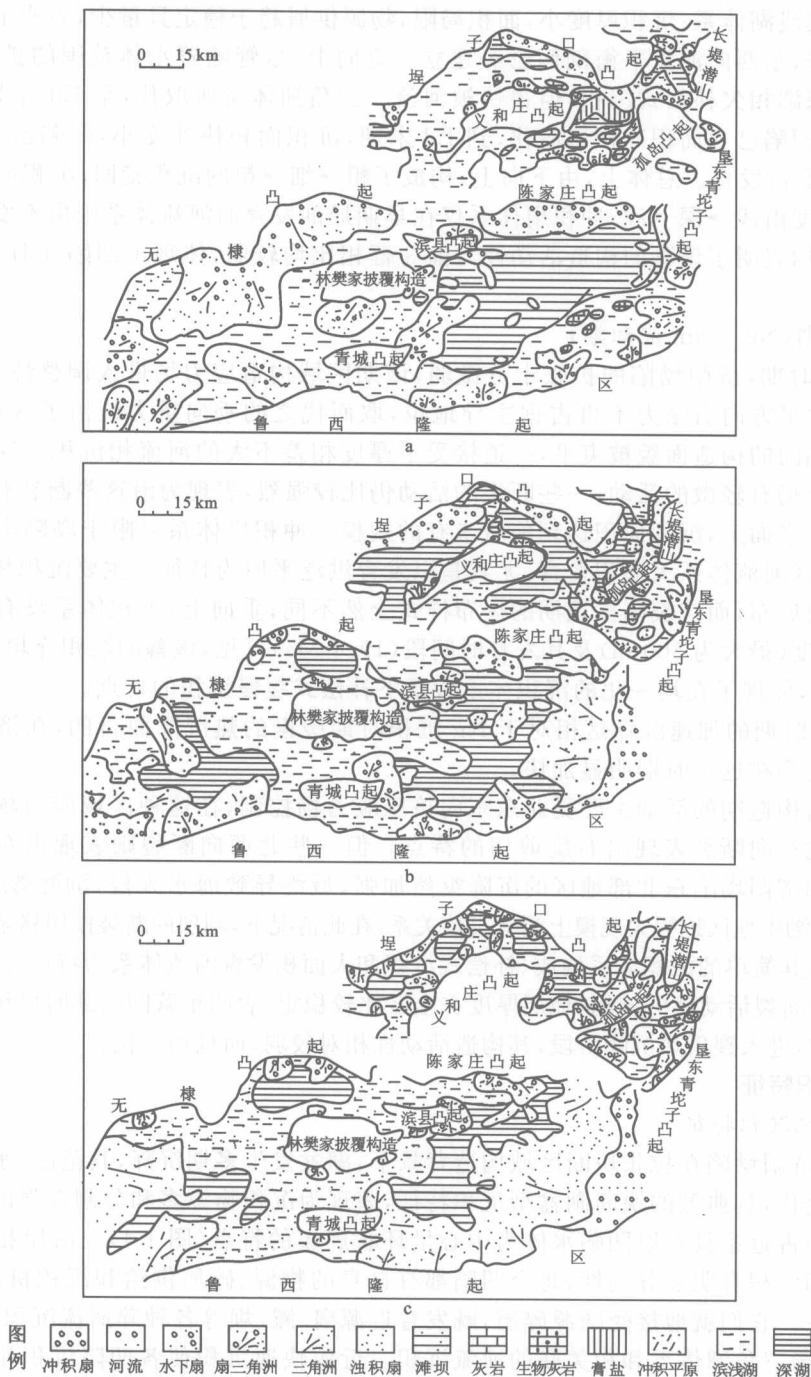


图 1-4 济阳拗陷古近系层序沉积体系分布图(据邱以钢,2000)

a Es_4 层序; b Es_3 层序; c Es_2 层序