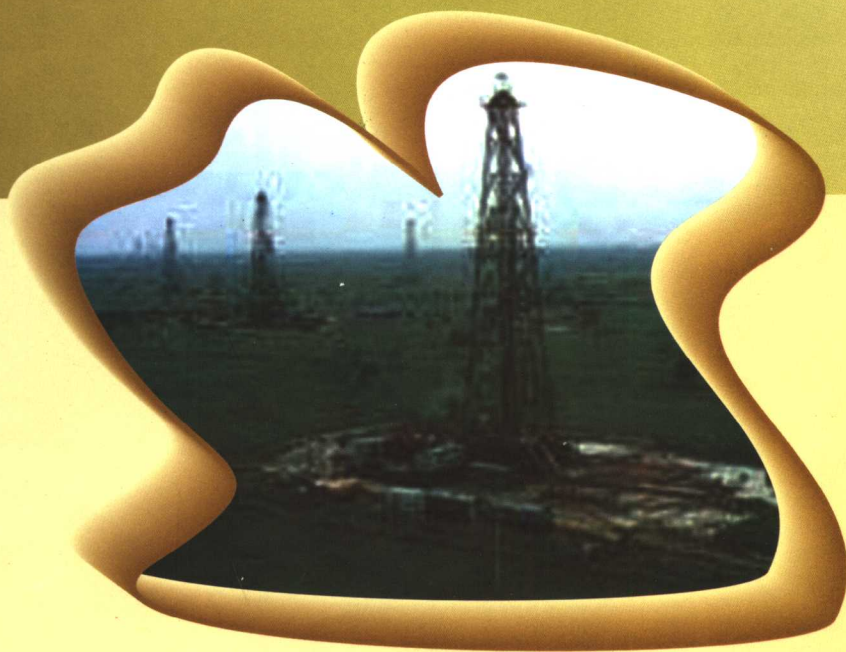


东营凹陷古近系隐蔽圈闭识别 及成藏动力学模式

马丽娟 著



中国地质大学出版社

东营凹陷古近系隐蔽圈闭识别 及成藏动力学模式

马丽娟 著

中国地质大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

东营凹陷古近系隐蔽圈闭识别及成藏动力学模式/马丽娟著. —武汉:中国地质大学出版社, 2005. 9

ISBN 7-5625-2063-1

I. 东…

II. 马…

III. ①东营凹陷-古近系-隐蔽圈闭②识别-成藏动力学模式

IV. P618

东营凹陷古近系隐蔽圈闭识别及成藏动力学模式

马丽娟 著

责任编辑:王凤林

责任校对:胡义珍

出版发行:中国地质大学出版社(武汉市洪山区鲁磨路388号)

邮编:430074

电话:(027)87482760

传真:87481537

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:290千字 印张:11.25

版次:2005年9月第1版

印次:2005年9月第1次印刷

印刷:中国地质大学印刷厂

印数:1—300册

ISBN 7-5625-2063-1/P·653

定价:25.00元

如有印装质量问题请与印刷厂联系调换

前言

《东营凹陷古近系隐蔽圈闭识别及成藏动力学模式》介绍的研究内容主要涉及东营凹陷古近系隐蔽油气藏勘探与预测研究问题。以当今层序地层学的最新理论为指导,充分利用东营凹陷极为丰富的地质、地球物理、地球化学资料建立东营凹陷三级层序地层格架,并在局部地区建立东营凹陷不同地区地质特点和适合油气勘探研究工作精度的高分辨率等时地层格架,研究层序内体系域、各沉积体系的特征及其时空配置关系,对东营凹陷隐蔽油气藏有密切关系的主要砂岩体类型进行解剖分析,形成主要砂岩储层类型的隐蔽圈闭预测模型;在利用地震信息预测与描述岩性油气藏储层的地震理论与应用方面进行了深入的研究,结合测井和钻井、地质资料,充分利用地震资料包含的十分丰富的储层物性信息,及在横向上无可比拟的连续性,建立东营凹陷不同地质条件下的、以地质规律为指导的隐蔽油气藏勘探识别技术系列;采用成藏动力学的研究思路,以构造为单元,选择当前勘探热点地区,有代表性地分析油气运移和隐蔽油气藏成藏的动力环境。对成藏有关的动态要素在地质历史分析的基础上进行研究,实现对重点分析的地区成藏历史和成藏环境的认识,建立了三角洲滑塌浊积砂岩和北带砂砾岩体油藏成藏动力模式。目标之一是为了找寻新的勘探领域和目标服务。

隐蔽油气藏成藏机理研究始终是石油地质学的重要课题。东营凹陷尽管在油气成藏研究方面取得了重大进展,但由于成藏问题十分复杂,涉及到石油与天然气地质学研究的方方面面,因而研究难度很大。许多油气生成、运移、聚集和保存中的重大问题尚未解决,如油气成藏的动力学机制、各种圈闭中油气聚集的机理、油气的散失量和聚集量的定量关系等,都还处于推测阶段,还很不完善。这些问题的解决与否,直接影响油气勘探的成效。因此对隐蔽油藏形成机制的揭示难度更大,意义也更为重要。

该专著取得的主要认识有如下几个方面:

(1)通过测井曲线、地震剖面、岩相、岩心、古生物和地球化学资料的详细研究,提出了东营凹陷古近系不同级别的层序地层界面识别标志,并以此为依据把古近系划分为1个构造层序(TC),4个层序组(SS I, SS II, SS III, SS IV),12个三级层序。建立了全凹陷以三级层序单元为基础的等时地层格架,从地震、岩性剖面上识别出初始湖泛面和最大湖泛面,据此划分了沉积体系域,结合湖盆特点命名为:低位、湖扩展和高位体系域三种类型。

(2)在东营凹陷古近系识别出了冲积扇、扇三角洲、三角洲及其滑塌浊积体系、深水浊积扇、湖泊体系包括滨浅湖、深湖及浊积扇等沉积体系,基于井和连井沉积相剖面分析,建立了东营凹陷古近系沙三段—东营组区域沉积格架。在纵向上,湖盆在古近系先后经历了从浅湖到深湖,接着变浅,又从浅湖到深湖,再变成浅湖的演化过程。在横向上,北部陡坡带多发育冲积扇和扇三角洲相,南部缓坡带一般发育扇三角洲、三角洲及浅湖滩坝相,洼陷带半深湖—深湖中发育三角洲及浊积扇。在层序内部,低水位时期陡坡带发育冲积扇、扇三角洲,缓坡带发育废弃三角洲、扇三角洲;湖扩展时期陡坡带发育冲积扇和扇三角洲,缓坡带发育远岸浊积扇和滨浅湖相;高水位时期陡坡带发育扇三角洲,缓坡带发育三角洲。研究了层序各体系域沉积体系时空展布规律;在系统研究了不同层序组各三级层序体系域时空演化的基础上,重点研究了SS III层序组层序内岩性储集体的发育规律。岩性储集体的发育明显受构造坡折带的控制,早

期(SSⅢ_A、SSⅢ_B)发育在盆地陡坡断阶状构造坡折带活动强烈的部位;晚期(SSⅢ_C、SSⅢ_D)发育在盆地缓坡及中心构造坡折带较活动的部位,研究了各个体系域内部沉积相和沉积体系的构成特征,为砂体预测奠定了基础。

(3)通过岩心、单井和连井剖面的对比,应用地震旋回体分析技术,对东营凹陷古近系发育的典型沉积体系进行了高频层序地层研究。研究表明,东营三角洲复合体可划分为4个三级层序(SSⅢ_A、SSⅢ_B、SSⅢ_C、SSⅢ_D),14个进积准层序。确立了胜北断层下降盘各类砂砾岩扇体高分辨率层序地层单元划分和对比级次,胜坨SSⅢ_A—SSⅢ_C共划分为10个准层序组,36个准层序,其中第一个准层序组又可分为3个准层序;第二个准层序组可分为2个准层序;第三个准层序组可分为3个准层序;第四个准层序组可分为5个准层序;第五个准层序组也可分为5个准层序;第六个准层序组可分为6个准层序;第七个准层序组可分为2个准层序;第八个准层序组可分为5个准层序;第九个准层序组可分为4个准层序;第十个准层序组只有1个准层序,从钻井出发,明确了准层序组中储层的发育和成藏的有利相带。

(4)地震地质紧密结合,利用地震波速度、振幅、频率、相位、积分能谱、时频能量等地震属性特征与地层岩相组合、岩石密度、孔隙度、流体性质等的密切关系,从地质模型、地震正演模拟出发,通过正演模拟,建立了冲积扇、扇三角洲、三角洲滑塌浊积岩、滨浅湖滩坝砂等地质体的地震识别模式。依据层序地层学原理,提出并采用地震旋回体分析技术,利用时频分析提高地震资料的分辨率,对地震资料进行层序分析,不仅定性,而且定量地分析储层的地震特征。并创新应用于高分辨率层序的划分中。

(5)根据东营凹陷不同的地质特点,在大量研究的基础上,部分地震储层预测与描述理论及方法取得突破,改进了反距离内插法、相位内插法和虚拟井法三种外推并旁地震子波的方法,特别是在少井或井比较稀疏的地区,应用小波理论,求取虚拟井反射系数的方法;理论推导了地震属性计算公式,提出了地震属性的优化方法。

(6)结合勘探热点区域,重点地对三角洲滑塌浊积岩、砂砾岩体进行储层描述和预测,针对不同储层的沉积特征探索相应有效的预测描述方法,针对浊积岩储层单层厚度薄分布范围广的特点,首先研究其地球物理特征,选取砂岩、泥岩岩心,通过实验室模拟地下温度、压力条件,测定岩石样品的密度、砂岩孔隙度,分别计算饱水、饱油状态下的纵、横波速度以及计算泊松比等弹性、物性参数,同时对砂岩样品进行岩石结构、构造、支撑、胶结方式,密度,矿物组成、含量,填充物,泥质、钙质含量镜下薄片描述和分析,为速度研究、地震剖面极性判别、合成地震记录制作等提供了基础资料;利用地震信息预测与描述岩性油气藏储层技术,通过应用地震测井约束反演、沉积体三维空间解释、时-频分析、相干分析等多种方法,依据高分辨率层序划分,研究了三角洲准层序的构造特征,利用属性分析技术预测了SSⅢ_B层序中每期进积准层序的储层发育带,利用测井约束反演剖面精确描述了浊积砂体,形成浊积岩储层描述技术系列。

(7)由于砂砾岩有效储层的分布受沉积相带的控制,因此利用地震相分析技术,划分扇根、扇中和扇端;利用合成记录标定,时频分析技术划分砂砾岩扇体沉积旋回,利用三维沉积体系空间解释技术、属性分析技术和测井约束反演等资料,精细地描述了胜北地区砂砾岩储层,形成砂砾岩体储层描述技术系列,通过上述描述研究工作,均取得了可喜的地质成果,形成了一套适合东营凹陷储层预测和油藏描述的技术系列,表明应用地震信息是解决目前勘探开发难题最有效的方法之一。

(8)盆地流体流动和油气运聚的动力条件在油气成藏中起到十分关键的作用,是成藏动力系统研究的核心问题;综合利用声波时差、地震层速度和试油测试资料,系统地研究东营凹陷

的地层压力,将地层压力系统划分为正常压力、弱超压、强超压体系三大部分,垂向上从沙三中下亚段至沙四段超压强度逐渐增强;平面上各超压带主要分布于利津、牛庄和民丰洼陷的中央,在洼陷周缘及凹陷中央隆起断裂带均为泄压带。其中,岩性和断裂是影响压力系统平面分布的主控因素。

(9)分析研究东营凹陷岩性油藏的基本构成要素和成藏过程,鉴于压力驱动的重要性,在圈定超压体轮廓的基础上研究了流体势,并结合输导系统研究了运移方式。通过 R_o % 资料分析、流体包裹体分析、粘土矿物演化和水化学特征,研究了岩性油气成藏过程流体活动特征,表明岩性油藏中骨架砂体及断裂系统是油气运移的主要输导体系。

(10)重点模拟浊积岩透镜体动态成藏过程,得出了油气充注成藏关键时刻的古温度、古压力、孔隙度以及渗透率等值。研究表明透镜状砂岩体成藏与砂体本身物性(孔隙度、渗透率以及比表面)、油源条件(烃源岩演化);成藏过程中或成藏后,油气的大量充注可能会导致地层超压的形成。在研究运移动力、运移通道的基础上,结合水化学特征、地层压力场,建立了东营凹陷北带砂砾岩体油藏构成特征和模式。在上述研究基础上提出了三角洲滑塌浊积岩成藏模式和陡坡低位砂岩复合体成藏模式。

该专著在编写与出版过程中始终得到了中国石油化工股份有限公司胜利油田物探研究院多位领导的关切,在具体的工作中,得到了中国地质大学资源学院盆地所解习农教授给予的长期的热心支持和学术指导,同时感谢中国地质大学资源学院王华教授、任建业教授、刘晓峰等老师的大力支持和帮助,在资料的分析研究过程中也得到了胜利油田物探研究院东部室和西部室的众多同志的协助。在此向他们表示衷心的感谢!

笔者多年来一直从事地质地球物理的综合研究工作,具有丰富的实践经验,书中的内容全部为油田勘探中的实例,对同类盆地的隐蔽油气藏的预测有着针对性和借鉴性,具有较高的参考价值。

需要指出的是,随着计算机技术的推广与应用,隐蔽油气藏的预测技术将飞速发展,日新月异,因而本书总结的只是其中的一部分,并不能代表全部。同时,由于著者的研究水平与工作经验有限,对东营凹陷众多地质问题的认识、分析与总结上定会存在欠妥之处,热忱欢迎读者指出本书的不足,并予以指正。

著 者
2005 年 3 月

目 录

第一章 研究内容及技术路线简介	(1)
第一节 隐蔽圈闭识别的研究意义	(1)
第二节 层序地层学与成藏动力学研究意义	(2)
第三节 研究思路与研究内容	(5)
第四节 采用的技术路线及技术关键	(7)
第二章 东营凹陷区域地质特征	(9)
第一节 东营凹陷构造格局及盆地动力学性质	(9)
第二节 东营凹陷第三系地层序列特征	(14)
第三节 东营凹陷隐蔽油气藏的油气地质特征	(17)
第三章 层序地层格架及层序界面识别标志	(19)
第一节 层序地层格架	(19)
第二节 层序边界的识别	(25)
第三节 体系域边界的识别及特征	(31)
第四章 东营凹陷主要沉积体系及分布特征	(36)
第一节 冲积扇体系	(36)
第二节 扇三角洲体系	(38)
第三节 三角洲体系	(42)
第四节 深水重力流沉积	(49)
第五节 湖泊体系	(50)
第六节 东营凹陷主干沉积剖面分析	(55)
第七节 东营凹陷 SSⅢ层序组沉积体系时空展布规律	(57)
第五章 油气成藏动力条件分析	(62)
第一节 成藏要素分析	(62)
第二节 地层流体压力特征	(67)
第三节 流体势特征分析	(77)
第四节 现今地温梯度特征	(81)
第五节 油气成藏过程流体活动特征	(83)
第六章 隐蔽油气藏储层预测技术	(91)
第一节 东营凹陷古近系隐蔽油气藏	(91)

第二节	基于模型技术建立地质体的地震识别模式	(93)
第三节	储层预测的波阻抗反演方法	(100)
第四节	地震属性分析技术	(109)
第五节	地震旋回体分析技术	(116)
第七章	典型砂岩体油藏储层预测	(120)
第一节	三角洲前缘浊积岩砂体储层预测	(120)
第二节	陡坡带砂砾岩扇体储层预测	(134)
第八章	典型岩性体成藏动力过程分析及成藏模式	(152)
第一节	东营三角洲砂体成藏过程分析	(153)
第二节	东营凹陷北部陡坡带油气运移条件及运移特征	(160)
结论		(165)
参考文献		(167)

第一章 研究内容与技术路线简介

本书以东营凹陷古近系为研究对象,以隐蔽油气藏勘探与潜力为研究的主要内容,应用新思路、新方法、新技术,以层序地层学、隐蔽圈闭识别、油气成藏动力学为研究的主要方法基础,充分应用现有的地震、地质、分析化学资料,以沉积-构造研究为起点和支撑点,以隐蔽圈闭识别技术研究为主线,同时应用模拟技术,对东营凹陷在沉积、构造、热演化、隐蔽圈闭油气的生储盖、油气藏成藏动力即成藏动力学模式进行了系统、全面的分析与总结,目标之一是为隐蔽圈闭的识别提供可参考的方法,为寻找新的勘探领域服务,同时进行隐蔽圈闭成藏模式分析及潜力评价。

第一节 隐蔽圈闭识别的研究意义

隐蔽油气藏的概念最早是由卡尔(1880)提出的。1919年世界上发现了第一个非背斜油藏。威尔逊(1934)提出了非构造圈闭是“由于岩层孔隙度变化而封闭的储集层”的观点。莱复生(1936)提出了地层圈闭的概念,并发表了题为“地层型油田”的论文。隐蔽圈闭(subtle trap)一词较早见于莱复生(Levorsen)1964年的论文,是用来称构造、地层、流体(水动力)多要素结合的复合圈闭。

1982年,萨维特(Savit)撰文指出:“所谓隐蔽圈闭,是用目前普通采用的勘探方法难于圈定其位置的圈闭。它包括:①不易鉴别其形态特征的圈闭。如在一单斜地层内孔隙度横向变化而形成的圈闭;②在形态上可以确定,但若无有效的钻井措施却不能得以证实的圈闭,如在勘探程度较低的盆地中某一上超层序地层内的圈闭;③这种圈闭也许能很好地确定,但在它上面被复杂的地质体所覆盖以致严重地歪曲了地震信号,甚至使信号完全无效”。显然这一定义不是强调隐蔽圈闭在成因上与构造圈闭的差异,而是强调这类圈闭的隐蔽性、复杂性及勘探难度。

因此,关于隐蔽油气藏的含义有人认为有两种理解:其一,认为隐蔽油气藏是指采用目前通用的勘探技术和方法找不到的油气藏,将各种岩性油藏、地层超覆油藏、地层不整合油藏、古地貌油藏、还有深层构造油藏、逆掩断层下盘油藏等统统包括在内。其地震含义不够确切或不严格,仅代表勘探技术水平或勘探难以达到的程度;其二,认为隐蔽油气藏指的是非构造类型的。在沉积过程中形成的岩性油气藏、地层不整合或地层超覆油气藏以及古地貌油气藏等。就是说在一个含油气盆地受古构造条件、古地貌条件、古水流条件依据古盆地地质历史演化所控制的岩性变化和某些地层接触所形成的圈闭油气藏。笔者认为第二种的理解更为合理。将隐蔽油气藏分为四大类,即岩性圈闭、地层圈闭、复合圈闭、水动力圈闭等油气藏类型,其中岩性油气藏是最普遍、分布最广的隐蔽油气藏。

由于隐蔽油气藏形成机制和分布规律复杂,勘探难度大,技术要求高,勘探上具有高难度和高风险的特点。针对这类油气藏的勘探技术和理论一直是石油地质家研究和探索的重要内容。

东营凹陷是渤海湾裂谷系内大型宽缓的中、新生代张扭型半地堑伸展盆地,是一个典型的复式油气聚集区,近年来,随着油气勘探程度的提高,东营凹陷的勘探重点从易于发现的大型背斜断块构造和潜山披覆背斜构造油气藏勘探转向地层、岩性等隐蔽型非构造油气藏的勘探上来。东营凹陷隐蔽油气藏探明石油地质储量呈上升趋势,特别是在控制和预测石油地质储量中隐蔽油气藏所占比例达到 50% 左右。经过多年的勘探,东营凹陷中不仅构造油气藏发现率大幅度下降,而且大的岩性油气藏(大砂体)发现率也在下降,今后勘探重点将是各种规模不等的中小型砂体,预测和描述的难度进一步加大,常规地质理论和地震技术难以满足勘探的需要,所以只有通过高精度的地质描述和配套的地震预测技术相结合来提供勘探成功率和寻找优质储量,因此隐蔽圈闭的识别方法研究就显得十分重要。

东营凹陷已经历了 40 余年的勘探历程,前人对该东营凹陷油气生成、运移和聚积的研究基本上搞清了主要烃源岩特征、生油门限、油气运移的期次和聚集特征。但对隐蔽型非构造油气藏的发育特征、油气成藏机理和控制因素研究甚少。目前隐蔽油气藏识别的研究方法和勘探技术手段较多,如地质学方法中的层序地层学方法、地球物理方法、测井技术等,也是直接找油气的技术,但综合应用上述地质、钻井和地球物理等新技术手段在隐蔽油气藏的识别研究中具有很大的前景。

第二节 层序地层学与成藏动力学研究意义

一、层序地层学研究的必要性

在岩性油气藏勘探的同时,相应的地质理论和勘探技术也在迅速发展,与岩性油气藏勘探相关的新理论和新方法不断取得重大突破,如层序地层学、含油气系统、成藏动力学、油藏描述、储层地震技术等。20 世纪 80 年代中期以来,在地震地层学的基础上诞生了层序地层学,对油气勘探也产生了重大影响。作为一种勘探工具,层序地层学被用于确定生油区、储层砂岩的位置和盖层情况、因为层序地层学综合测井资料、化石资料及地震反射特征来解释岩石的组合及沉积环境。更重要的是层序地层学通过不同规模层序的划分、体系域等的识别,使油气与各体系域中的沉积体在时间序列的演化和空间配置有规律地联系起来,从而使油气预测更为有效。

1995 年,据 Baum 统计,世界上大部分油气田 86% 的储量赋存于低水位体系域中,只有 12% 与水进体系有关,2% 与高水位体系域有关。1997 年,易绍国等对松辽盆地东南部梨树一德惠凹陷的主要试油层段的体系域属性进行了统计分析,研究表明,约 72% 的油气段分布在低水位体系域中,24% 的油气段分布在高水位体系域中,4% 的油气段分布在水进体系域中。由此看来,油气藏的分布与体系域类型有一定的关系。除少数盆地外,大多数油气藏都赋存于低水位体系域中。而与低水位体系域有关的油气藏多数是地层、岩性油气藏。

目前,国内外应用高分辨层序地层学来识别和预测隐蔽油气藏,高频层序地层学的概念最早由 Van Wagoner J C (1990) 提出。他把四级海平面旋回以下的高频海平面旋回所形成的层序或准层序叫高频层序。随后, Brown, Benson, Brink *et al* (1995) 在南非 Pletmos 盆地、Bredasdorp 盆地、Orange 盆地白垩系裂后期地层的三级层序中划分出了 10~12 个时限在 0.2~0.5Ma 的低位体系域(LST)、海侵体系域(TST)、高位体系域(HST)发育完整的四级层序。

高分辨率层序地层学最早由 Coroloda 矿业学院的 Cross(1994)提出,他把地层基准面旋回作为理解地层层序成因并进行层序划分的主要依据,按地层基准面的长周期和短周期旋回的地层沉积过程响应来实现高分辨率成因层序地层对比。

高分辨率层序地层学的应用主要体现在隐蔽油气藏的勘探研究方面(Cross, 1994; 王洪亮、邓宏文, 1997; Sangree, 1998),有助于寻找隐蔽油气藏和发现被遗漏的远景圈闭及靶区,可以更好地确定和预测油气储层的分布,识别储层的非均质性,正是储层的非均质性把油气层分隔成侧向上和垂向上不同级别的流体单元。美国墨西哥湾斯特拉顿油气田是一个已开发 40 余年、以河流相砂体为储层的老油气田,通过对不同级别流体单元的研究,确定了未动用层,并使用三维地震和垂直地震剖面识别和追踪薄层气藏,新增天然气储量达 15.4 亿 m^3 。胜利探区也做了这方面的研究和应用,郑和荣等(1997)在研究东营凹陷下第三系沙四段一沙二下层序各体系域的发育特征基础上,指出湖侵和高水位体系域是岩性油气藏勘探的主攻方向,并预测了勘探目标。樊太亮等(1999)研究了济阳拗陷胜海地区东营组层序地层格架和沉积体系,识别出 4 条浊积水道及其控制的 6 个有利储集体。其次在油气勘探中,用高分辨率层序地层学全面研究油气成藏机制。近十年来全球范围的油气勘探无论在陆上还是在海上层序地层学的应用均取得了巨大的成功。当今研究的重点已向高精度储层层序地层学发展。

二、成藏动力学研究的现实意义

成藏动力学是当前石油地质领域研究的热点,它以研究油气成藏过程为核心,以解决油气勘探的实际问题、指导油气勘探开发实践为目的。成藏动力学是综合利用地质、地球物理、地球化学手段和计算机模拟技术,在盆地演化历史中和输导格架下,通过能量场演化及其控制的化学动力学、流体动力学和运动学过程分析,研究沉积盆地油气形成、演化和运移过程和聚集规律的综合性学科。成藏动力学研究的基础是盆地演化历史和流体输导格架,研究的核心是能量场(包括温度场、压力场、应力场)演化及其控制的化学动力学和流体动力学过程。近年来,由于油气勘探的深入和多学科联合研究的开展,成藏动力学在流体输导系统、盆地能量场演化与流体流动样式、油气成藏机理与充注历史分析等各个方面都取得了重要进展。

流体输导系统研究进展:在含油气盆地中,砂岩和某些碳酸盐岩、不整合面、断裂构成流体输导系统。在不同尺度上有效地预测各种输导体的流体行为和输导能力是成藏动力学研究的基础。输导系统研究的进展主要表现在砂体分布及输导能力预测和断裂流体行为的深入研究两个方面。由于沉积学、高分辨率层序地层学、地震岩性预测和地层模拟技术的发展和综合应用,砂岩型输导层分布的预测能力已明显提高。同时,水-岩反应过程和成岩作用机理及控制因素的研究已取得长足的进展,Primmer 等通过对全球 100 个盆地和地区不同沉积背景、不同演化历史的砂岩成岩作用进行了对比研究,总结出 5 种成岩样式;Qile 系统论述了不同地质条件下流体的流动、物质搬运和能量传递及其成岩效应,为砂岩输导能力的有效预测奠定了基础。

断层结构、输导能力和流体行为的研究取得了长足的进展。断裂带具有复杂的结构,通常发育一系列小断层、不同规模的裂隙、砂岩碎裂岩和泥岩涂抹层。由于断裂带结构的复杂性,断裂的输导能力和流体行为非常复杂。断裂带的流体运移包括流体沿断裂带的垂向运移和穿过断裂带的侧向运移。根据广泛应用的 Allen 模式,当砂岩与对盘泥岩对接时形成断层封闭,而砂岩与砂岩对接时流体穿过断层进行侧向运移。但近年来的研究证明,断层的封闭性

能及穿过断层的流体运移不仅取决于对盘岩性,而且与断裂带的结构密切相关。例如,美国湾岸砂岩与砂岩对接的断层上下盘储层流体的性质、地层压力和流体界面明显不同。除泥岩对接型断层封闭外,砂岩-砂岩对接可发育泥岩涂抹层型、砂岩碎裂岩型断层封闭。断层带的流体输导能力和流体沿断层的垂向运移取决于断裂带的结构、断层的力学性质及活动强度等。流体沿断裂带的运移可能是幕式的,特别是在超压盆地中,流体沿断裂带的幕式运移可能引起局部温度、压力异常,Roberts 等定量模拟了超压流体通过断裂的幕式释放过程。断裂在活动期具有较强的流体输导能力,晚期构造运动引起的断裂活化亦可明显增强断裂的流体输导能力,诱发大规模的流体运移,并控制油气的分布。

除常规输导层外,一些盆地的泥岩强烈裂隙化甚至发育断距较小的层内断层。泥岩的裂隙化可大大提高其流体输导能力,成为一种特殊的输导层,引起流体在裂隙化泥岩中的侧向运移。

在沉积盆地中,层状输导层(砂岩体,不整合面及其上、下的低位砂岩)与断层构成复杂的流体输导系统。近年来的研究表明,主要砂岩体的分布及其与生烃凹陷和源岩的时空配置决定了源岩排烃的非均质性,而切割源岩的断裂发育特征在一定程度上决定了源岩的排烃效率。因此成藏动力学研究中的输导系统分析不仅要刻划不同输导体的分布及其相互关系,而且要建立输导系统与生烃凹陷和源岩的关系。

能量场及其控制的动力学过程和流体流动样式研究进展:温度场、压力场和应力场统称为能量场。沉积盆地的温度场主要取决于盆地的背景或基底热流及其再分配。20 世纪 90 年代以来,温度场的控制因素及研究手段均取得了重要进展。在背景热流方面,地质学家对地幔对流、地幔柱及幕式裂陷作用过程及其对温度场的控制作用研究不断深入;在热能分配方面,国内外学者的大量研究已证明流体流动是热能的重要载体,不仅地形驱动的流体流动可强烈影响地温场,超压流体的集中释放同样可明显影响地温分布;在研究手段和测试技术方面,流体包裹体测温和重矿物裂变径迹分析技术大大提高了识别地质热事件的能力,基于化学动力学过程的 EasyRo 模型为古温度场的重建提供了更先进的计算模型。

成藏流体的来源和运移通道、油气充注过程和充注历史及油气成藏各因素的配置关系是成藏机理研究的主要内容。20 世纪 90 年代以来,油气成藏机理的研究进展表现在如下 3 个方面:①油气运移路径和运移主通道研究;近年来,国内外学者对油气的二次运移过程进行了大量的模拟实验和数值模拟研究,油气二次运移的动力是浮力和水动力,其优势运移取向是势能降低梯度最大的方向,因此可以从生烃凹陷出发,利用射线追踪(ray-track)技术进行运移路径的三维预测。②油气成藏的能量配置研究;储、盖组合是圈闭评价的重要内容,在考虑储盖组合的同时研究圈闭的能量配置是与传统的石油地质评价相比成藏动力学研究的重要特征之一。但盖层的水力破裂是较常见的地质现象,盖层的破裂并非意味着不能成藏。超压条件下石油特别是天然气的成藏机理是有待深化的研究领域。③油气充注过程与充注历史研究;由于与油气成藏密切相关的各种化学动力学和流体动力学过程和模型研究的深入,盆地演化和油气生成、运移和聚集过程的模拟技术不断改进,并由二维发展为三维。目前的模拟技术对稳态流体的模拟较为成熟,对幕式流体的模拟尚待改进;同时,大多数模拟系统未考虑流体流动过程中的化学物质搬运和沉淀及其对流体流动的影响。然而,尽管目前的模拟技术作为预测油气分布的有效工具尚待完善,但计算机模拟为石油地质学家认识和再现地质历史中油气成藏的化学动力学和流体动力学过程提供了有效的工具。

成藏动力学研究的核心是流体形成、演化和运移的化学动力学和流体动力学过程。但化学动力学和流体动力学过程的研究必须在盆地的演化历史过程中、特定的输导格架下和不断变化的能量场中进行。成藏动力学的进一步发展有赖于地质过程及其机理和主控因素研究的深入,在进一步认识与油气成藏密切相关的化学动力学和流体动力学过程和机理的基础上,实现盆地温度场、压力场、应力场的耦合和流体流动、能量传递和物质搬运的三维模拟,是成藏动力学的重要发展方向。

含油气系统作为油气成藏研究十分先进的理论体系在油气成藏研究中已得到了广泛的应用。但是由于陆相断陷盆地构造发展、沉积充填和油气成藏的复杂性,盆地普遍存在着多套烃源岩系、多套储盖组合,这就使得对油气成藏过程和油气聚集分布特征的研究变得十分复杂。利用源控论的观点对成熟探区陆相断陷盆地进行含油气系统分析就显得精度不足,难于指导油气勘探。然而利用含油气系统的思想通过对已知油藏成藏要素和成藏动力学过程的研究获得对该类油气藏成藏机理和发育模式的认识用于指导同类油气藏勘探,的确大有裨益。

隐蔽油气藏成藏机理研究始终是石油地质学的重要课题。油气成藏过程包括油气的生成、运移、聚集以及保存多个环节。油气藏形成理论是石油地质学的核心,这些理论是伴随着石油和天然气的勘探和开发而提出并不断完善的。可以说,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,取得了大量的研究成果。东营凹陷尽管在油气成藏研究方面取得了重大进展,但由于成藏问题十分复杂,涉及到石油与天然气地质学研究的方方面面,因而研究难度很大。许多油气生成、运移、聚集和保存中的重大问题尚未解决,如油气成藏的动力学机制、各种圈闭中油气聚集的机理、油气的散失量和聚集量的定量关系等,都还处于推测阶段,还很不完善,油气二次运移聚集模拟实验还不能模拟地下温压环境下的真实情况,天然气成藏的特殊性研究得还不够等。这些问题的解决与否,直接影响油气勘探的成效。因此,开展油气成藏机制研究,解决一些制约油气勘探的重大理论问题已成为石油与天然气地质工作者亟待攻关的目标。因此对隐蔽油藏形成机制的揭示难度更大,意义也更为重要。

第三节 研究思路与研究内容

岩性油气藏储层综合预测和勘探思路应该按照从宏观到微观、从区域到砂体的原则,采用以下三个层次进行:①在盆地规模上进行整体、动态的综合研究,利用古构造及演化研究做好选区选层工作。用古构造结合生烃史和生烃强度研究确定有利的生烃区;用动态的古构造演化研究确定古构造圈闭、古隆起对油气运聚散的控制及有利的油气聚集带;最终确定今构造背景条件下的有利油气聚集带。②在有利油气聚集带上开展层序地层学和高分辨率层序研究、寻找各类有效尖灭体和圈闭。③在有利砂岩发育部位开展地震技术为主的定量储层预测研究。

根据东营凹陷勘探现状、面临的主要问题、层序地层及油气成藏理论最新发展的现状、本书采用层序地层学的理论进行隐蔽油气藏识别和预测的研究思路。首先,从测井资料入手、识别准层序、准层序组、密集段;并且配合生物地层学资料 and 同位素年龄资料,确定年代地层格架;接着在地震剖面上寻找反射终止点,识别不整合面和最大湖泛面,结合测井信息和古生物资料,进行经典层序地层学研究,划分一级层序(构造层序)、二级层序(层序组)、三级层序(即

通常所说的层序)及体系域,作合成地震记录,将地震和测井结果联系起来,建立研究区层序地层格架;通过露头或岩心观察对地震和测井分析结果进行检验和完善,并开展高分辨率层序地学研究。利用岩心或测井曲线,分析可容空间变化和地层基准面旋回(短期的、中期的和长期的),以地层基准面旋回(上升和下降)为依据,进行连井地层精细对比;进行地震相分析,根据地震相与沉积相的关系将其转化为沉积相,作反射振幅(或波阻抗)平面分布图,在地震相分析基础上,解释地震微相,研究砂体平面展布特征;在有利砂岩发育部位开展地震技术为主的定量储层预测研究,包括地震模型的建立、地震反演、地震属性分析等方法即时预测砂岩几何形态和厚度,综合分析形成油气藏的地质条件和成藏模式,重点识别隐蔽圈闭,探讨层序地层与隐蔽油气藏的关系;通过地震资料特殊处理,利用地震油气检测手段预测岩性油气藏和定量计算油藏属性参数,对圈闭进行含油气性检测和评价,指出油气勘探的有利区块和目标。研究思路见图 1-1。

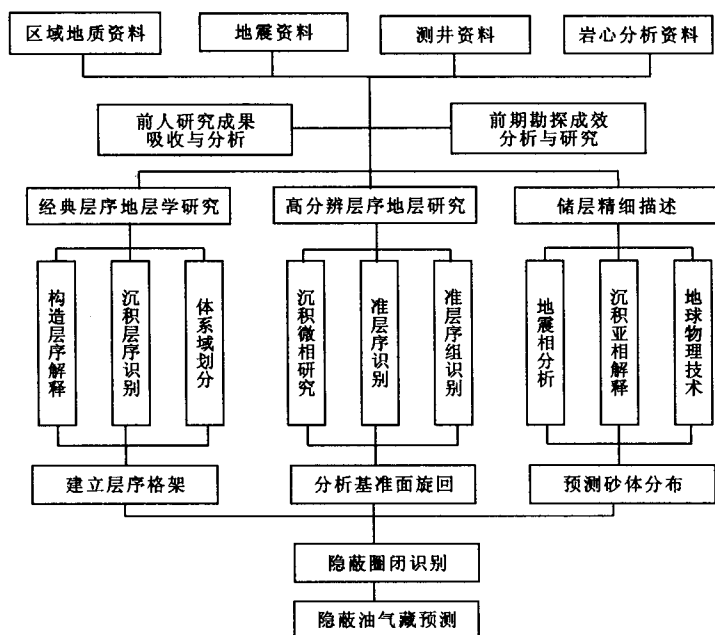


图 1-1 研究思路和工作流程

一、主要沉积间断面研究与等时地层格架的建立

应用层序地层学的基本观点,充分考虑古近系东营凹陷断陷盆地的特征,使该凹陷层序地层的分析与盆地构造分析、基准面变化分析和气候演变特征分析相结合,建立全盆地以三级层序为单元的等时层序地层对比格架。把综合应用地质录井、岩心、测井曲线、高分辨率地震剖面和地球化学资料鉴别作为层序界面的不同级别的不整合面及其与之相当的界面作为建立等时地层格架的关键。

二、研究各个时期沉积体系的时空展布特点

在建立等时地层格架的基础上,对盆地内发育的主要沉积体系如冲积扇、扇三角洲、三角洲、深水浊积扇、湖泊等沉积体系进行精细分析,研究沉积体系的沉积模式及其宏观配置。在三级层序地层格架内,充分应用岩心、高分辨率三维地震剖面、自然电位和自然伽马曲线对东营凹陷盆地裂陷伸展幕发育的大型河控型三角洲、扇三角洲等主要沉积体进行高频层序地层学的研究,建立高分辨率的地震层序模型。从东营凹陷古近系隐蔽油气藏发育的不同类型典型地区出发,开展高频层序和沉积相、亚相、微相研究为主的研究工作,在高频层序地层格架沉积相和湖盆构造活动精细研究的基础上对隐蔽圈闭及储集岩分布进行分析,形成隐蔽油气藏有利储集体空间分布和内部构成的定性及定量认识,建立不同类型的隐蔽圈闭分布和预测模式,探讨隐蔽圈闭的分布规律。

三、砂体预测地震模型研究

对东营凹陷隐蔽油气藏有密切关系的主要砂岩体类型进行解剖分析,以岩石相、测井相、地震相研究为基础识别高频层序的沉积相、沉积微相构造和储层成因类型及纵向和横向上的变化特征与分布规律,分析控制其变化的主要因素,总结其与油气聚集的关系,形成主要砂岩储层类型的隐蔽圈闭预测模型。本研究主要从沉积学角度对隐蔽圈闭储集层形成机制和内部结构进行研究,并探讨地震及解释技术在砂体预测地质模型中的主要作用。

四、隐蔽油气藏预测及描述技术研究

在以上研究的基础上,建立东营凹陷不同地质条件下的、以地质规律为指导的隐蔽油气藏勘探识别技术系列。其主要内涵是对地质规律的把握、地质综合研究及其对隐蔽油气藏分布和规律的预测技术、地球物理方法对隐蔽油气藏(圈闭)的直接预测和描述技术、隐蔽油气藏勘探目标的地质综合评价技术等。

五、隐蔽油气藏成藏动力学模式研究

针对东营凹陷隐蔽油气藏的现状,综合运用有机地球化学资料、声波测井、RFT 试油和高分辨率地震剖面等资料,采用含油气系统的思路和成藏动力分析为主的研究手段,抓住成藏过程和机制这个关键环节,通过典型油气藏的解剖,分析储层性质、成岩作用、构造活动等因素对隐蔽圈闭成藏的影响,实现对油气分布规律的准确认识。包括控制各类砂体形成的因素和油气成藏与富集的基本条件分析等,具体探讨和总结不同类型砂体的成藏模式,最终建立隐蔽油气藏分布的不同模式。

第四节 采用的技术路线及技术关键

一、采用的技术路线

在研究工作中采取三项研究并进的技术路线。

(1)以陆相湖盆三级层序地层格架的完善和部分地区高精度层序地层格架的建立为基础,

对隐蔽圈闭的分布、储集层的分布和发育程度进行较高水准的地质分析,建立隐蔽圈闭分布的基本模式并对低勘探程度地区和层系进行预测,形成用于勘探目标分析和技术序列建立的基础。

(2)以模拟实验为基础,对隐蔽圈闭的成藏机理进行研究,通过对典型油气藏的解剖,总结出适合东营凹陷特点的、具有高度可预测性的隐蔽油气藏分布预测模式,对发现的隐蔽圈闭和潜在的隐蔽油气藏勘探区带进行整体评价和预测,筛选出一批满足勘探工程要求和经济效益的有利目标,促进勘探效益的提高和今后油气勘探工作的持续发展。

(3)对隐蔽储集体的地质-地球物理参数即隐蔽圈闭的类型和特点进行分析,结合对东营凹陷隐蔽油气藏地质综合研究的成果,建立和完善隐蔽油气藏的地质-地球物理-地质实验综合勘探、评价技术序列。

通过本课题的研究进展,达到发展和丰富隐蔽油气藏地质理论,形成陆相湖盆高精度层序地层研究方法,完善与之相适应的预测评价和勘探配套技术的目的。

二、技术关键

(1)应用层序地层学、油气成藏动力、盆地动力学等方法基础,充分应用已有的地震、地质、分析化验资料,补充部分新资料,对研究区在沉积、构造、热演化、油气的生储盖与油气否等方面进行系统、全面地分析,目标之一是为了寻找新的勘探领域,通过等时地层格架的建立,在等时地层格架、沉积相和沉积微相分析的基础上,对不同类型沉积体进行空间解剖,建立隐蔽圈闭及其储集岩分布的模式,定量和定性地确定研究区沉积、地质条件与隐蔽圈闭空间分布规律和发育程度的内在联系,并对低勘探程度地区和层系隐蔽圈闭的性质、发育规律做出预测。

(2)隐蔽圈闭的地质-地球物理精确预测和描述。具体的隐蔽圈闭的识别、描述一直是隐蔽油气藏勘探的重点和关键所在,近年来的勘探实践中已经发展和运用了多种不同的方法并取得了明显的效果,但这些方法并不能适合所有地质条件下的勘探要求。因此,集中精力实现不同地质条件下的单项技术和方法上的突破,在此基础上实现技术的系列化。

(3)隐蔽油气藏成藏动力学模式和含油气的评价。根据不同层系、不同类型岩性体成藏的地质要素、油气藏类型和微地质环境,利用含油气系统的思想通过对已知油藏成藏要素和成藏动力学过程的研究获得对该类油气藏成藏机理和发育模式的认识用于指导同类油气藏勘探,确实大有裨益。对类似凹陷的其他地区的勘探具有指导意义。

第二章 东营凹陷区域地质特征

第一节 东营凹陷构造格局及盆地动力学性质

一、东营凹陷构造地质特征

东营凹陷是渤海湾裂谷盆地济阳坳陷内的次级大型宽缓的箕状凹陷。该凹陷区域构造背景和盆地发展演化的动力学背景完全受控于渤海湾盆地乃至西太平洋构造域整体演化的动力学特征。渤海湾盆地四周均为深大断裂围限：东为郯庐断裂带，西为紫荆关断裂带，北为燕山南缘断裂、南为兰聊-齐广断裂带(图2-1)。东营凹陷位于山东省东部，北至垦利县城，南抵广饶县城，东达莱州湾，西过高青县城，东西长90km，南北宽65km，面积5700km²。其西以青城凸起、林樊家构造为界与惠民凹陷毗邻，北以滨县凸起、陈家庄凸起为界与沾化凹陷为邻，南与鲁西隆起、广饶凸起呈超覆关系，东与青东凹陷沟通，是一个四周有凸起环绕的晚白垩世—

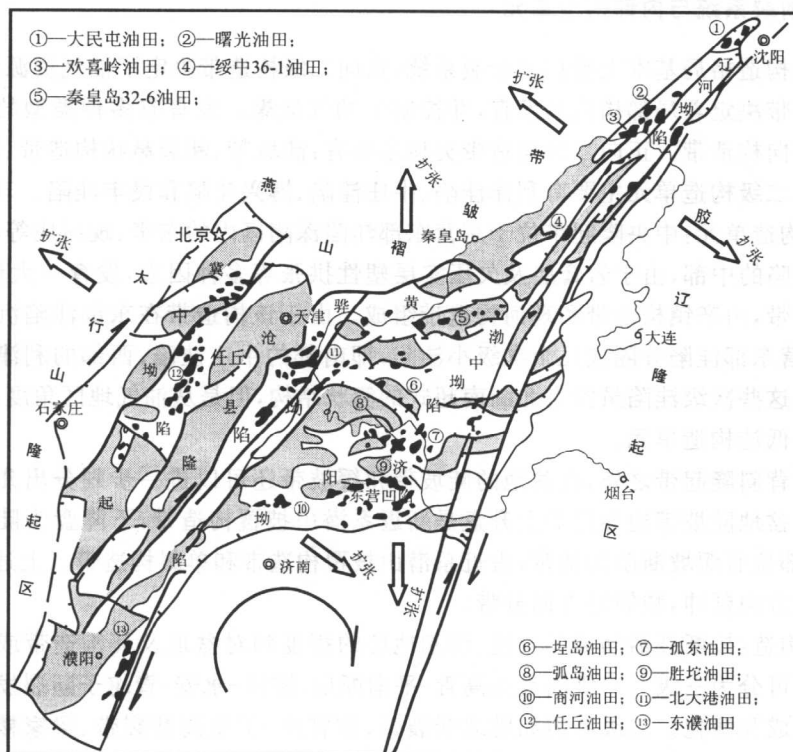


图2-1 渤海湾盆地构造格局及东营凹陷区域构造位置图

(据石油勘探开发研究资料改编,1997)