

刘泽容 等编著

断块群油气藏形成 机制和构造模式



石油工业出版社

断块群油气藏形成机制和 构造模式

刘泽容 信荃麟 邓俊国 李亚辉 蔡忠编著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书是作者长期科研实践的总结。主要由断块群油气藏的基本特征、控油断层封闭性研究和断块群油气藏构造模式三部分共八章组成。第一部分即第一章,介绍了复杂断块群油气藏的构造特征、油藏特征及其形成和分布规律。第二部分即第二至六章是本书的核心内容,论述了控油断层形成的力学机制、断层两侧配置关系、泥岩沾污因子、剪切带、控油断层封闭机理、封闭史和封闭性综合评价等诸方面定性、定量研究方法,探讨了封闭模式和有效封闭界限值以及断层封闭性与油藏高度和含油范围的预测。第三部分即第七至八章,论证了我国东部油气区断块群构造是在伸展和走滑复合应力场中形成,分别将伸展和走滑断块群划分为若干种构造样式,阐述了各种构造样式的特征、形成机制和油气富集规律。

本书可供从事石油地质勘探和开发的科研、技术人员以及有关大专院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

断块群油气藏形成机制和构造模式/刘泽容等编著.

北京:石油工业出版社,1998.8

ISBN 7-5021-2351-2

I. 断...

II. 刘...

III. ①断层油气藏-形成-研究②断层油气藏-地质构造-研究

IV. P618.13

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 21427 号

石油工业出版社出版

(100011 北京安定门外安华里二区一号楼)

石油工业出版社印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开本 11³/₄ 印张 1 插页 287 千字 印 1-1000

1998 年 8 月北京第 1 版 1998 年 8 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-2351-2/TE·1962

定价: 20.00 元

前 言

我国东部含油气断陷盆地中广泛发育着复杂断块群油气藏。在我国，这类油田不仅数量很多，而且它的总储量也很大，是世界上同类油田在总储量中占有比例最多的。这类油气藏的构造背景通常呈现出十分复杂的断裂系统，构造破碎、断层多、断块小，其中大多数断块圈闭的含油面积都小于 0.5km^2 。由于断层切割，各断块及断块内含油层系均具有独立的油水系统，导致在一个油田内油水分布错综复杂。正是由于这种复杂的地质条件造就了我国一大批优秀的石油地质工作者，他们通过大量的勘探开发实践和长期不懈的努力，创造性地实现了适合复杂断块油气藏详探开发的“滚动勘探开发”一套行之有效的工作方法，有成效地勘探开发着一个一个新油田，取得了很好的成果及显著的经济效益和社会效益，为石油工业发展做出了贡献。但是，因为这种类型的断块油气藏发育的地质环境很复杂，能直接观察或研究它们的方法或手段尚少，故至今尚留许多问题有待解决，如控油断层的封闭性和封闭程度如何判别？断层封闭或不能封闭的机理是什么？常见的封闭模式有哪些类型？复杂断块油气藏主要发育了哪些类型的构造型式？油气通常分布在哪些构造样式中，又在哪些部位富集？如何在勘探时期预测油气藏范围和油气藏高度？…等等一系列地质难题。这些问题对复杂断块油藏的精细油藏描述来说是至关重要的。因此，作者认为在复杂断块油藏的静态油藏描述中强调构造表征的重要性，加强构造地质学的研究，探讨形成机制，更好地解决上述疑难问题，无疑将会加速勘探进程、降低勘探成本，取得显著的经济效益。

本书是作者长期科研实践的总结。书中所涉及的复杂断块群油气藏的基本特征、断层封闭性、封闭机理和封闭模式、断块构造模式等核心内容，是作者和石油大学（华东）油藏地质研究所同行们在对胜利油田、江苏油田、辽河油田、中原油田、华北油田和冀东油田等十余个地区的盆地分析和 20 余个地区的油藏描述的基础上，总结上升提炼而成的，长期的科研实践和多方面接触生产实际，为本书的写作奠定了良好的基础。即便如此，作者为了更加深入、更加全面客观地认识复杂断块群油气藏，揭示复杂断块群油气形成机理、分布规律和控制因素，以便在勘探程度较低的地区能实现预测复杂断块群油气藏的目的，在撰写该书之前又专门选择了地质学家们公认的、我国东部构造面貌破碎、断裂系统最为复杂的胜利油田东营凹陷中央隆起带和江苏油田金湖凹陷西斜坡的崔庄地区为重点进行研究和解剖。在工作中以多学科的理论为指导，应用地质、地震、测井和油藏工程等多种信息及计算机技术，从东营中央隆起带所在的东营凹陷和崔庄所在的金湖凹陷两地区的整体着眼，再从两个区内存在的每条断层入手，系统而又深入地研究了两个地区断块油藏的构造面貌、断层封闭性和封闭机理、油藏特征、油藏形成条件、分布规律、控制因素等各种复杂的地质问题，揭示了两个地区复杂断块群油气藏的规律。在东营凹陷中央隆起带建立了辛镇平行式地堑断块群、东营放射状、环状断块群和现河庄帚状断阶断块群等三种复杂断块群模式；在崔庄建立了崔 6 弧形断块群、程 1 弧形断块群和崔 7—崔 14 垒堑断块群等三种复杂断块群模式。从解剖的两个地区数百条断层和断块油气藏来看，它们的地质条件和油气分布虽然很复杂，但仍有规律可循。由此，作者提出了断块群的概念，并建立了 11 种断块群构造模式。这里断块群是指由断层复杂化了的、受局部构造应力场控制的有生成联系的断块群体。作为一个断块群其

内部各断块具有相似或相近的构造特征和油气分布规律,从而与另一断块群相区别。应用这些规律不仅可以深化对复杂断块群油气藏的认识,同时还能提高地质家们的预测能力。

目前许多地质学家们都在开展和关注断层封闭性研究,如 Robert R. Berg 于 1995 年首先提出“泥质剪切带”的概念,还提出泥质剪切带能封堵本盘的油气,而未谈及能否封堵对盘的油气。通过我们的科研实践提出剪切带对断层两盘的油气都能封堵,同时还建立了三种“剪切带”模式,故对剪切带的认识更加深入和发展。又如 Richard G. Gibson 1994 年在特立尼达滨外哥伦布盆地进行断层封闭性研究中,首先提出“泥岩沾污因子”的概念,但未能建立有效封闭界限值,而我们通过科研实践后,第一次提出有效封闭断距、有效封闭泥岩厚度和有效封闭泥岩沾污因子三个新概念,同时还建立了东部济阳、江苏和渤海等油气区的有效封闭界限值,应用这个界限值可以预测含油气范围和油气藏高度,这很明显是深化和发展了“泥岩沾污因子”的研究。从断层封闭性研究方面来看,国外很少见这类文章,国内以吕延防为代表,在绘制古断面图的基础上,仅采用断层两盘砂泥对接概率模拟方法,计算各地质历史时期断层侧向封闭程度,但对断层纵向封闭性的演化尚未论述。我们通过科研实践后,提出了一套应用埋藏史、构造演化史和三维应力场演化史相结合的办法来定性定量揭示和评价控油断层在纵横向的封闭性与封闭史,这也很明显的发展了断层封闭史的研究。从目前来看,国内外尚无系统的探讨断块油气藏形成机理、分布规律和预测方法的论文,多数地质学家的论文是论述断块油气藏的主要特征和分布规律,还有相当一部分学者如前面介绍的那样从不同侧面来认识和研究断层的封闭性,讨论断层封闭性与油气的关系。而我们这本专著是以多学科理论为指导,应用多种方法和技术,从控油断层形成的力学机制入手,对断层配置关系、剪切带、泥岩沾污因子、断层封闭史、断层封闭机理、断层封闭模式和断层封闭性综合评价等多方面进行综合研究评价断层封闭性和封闭程度,进而预测油气分布和油藏高度(图 1)。

本书主要由三部分组成,共分八章。第一部分即第一章,介绍了复杂断块群油气藏基本特征;第二部分包括第二章至第六章,集中论述了断层封闭性问题。第三部分包括第七章和第八章,主要阐述了复杂断块群模式。

第一章从构造特征、油藏特征、油气分布规律和控制因素等三个方面来论证复杂断块群油气藏的基本特征。论证了断块油气藏中流体的性质分布具有很强的分割性,提出复杂断块群油气藏的含油范围和油藏高度均受断层封闭性和封闭程度控制。同时提出油气富集与同生铲形正断层和弧形断层相伴生的多种圈闭有关。论述了油气分布规律受断块群构造型式控制等新见解。

第二章是断层封闭性的力学机制研究。在首先论述了压性、张性和扭性断层的断层面、断裂带特征与封闭性、开启性的基础上,进而论证了应用各种录井、地质、地震、测井和油藏工程等方面的资料来分析和鉴定复杂地区断层力学性质,同时还重点讨论了断层面承受的应力及其定量计算,并以金湖凹陷西斜坡为例,计算了该区主要发育的四组控油断层分别在吴堡期和三垛期在不同深度所承受的三种应力值大小,还讨论了断层面承受应力状况与各组断层封闭性的关系,指出各组断层承受应力方式和应力大小随区域应力场的转化而变化。

第三章探讨了断层封闭性的定性和定量研究。文中首先从断层两侧岩性配置、断层两侧产状配置关系、断层活动时期与成藏期配置关系、断层错断层序的岩性结构、断层延伸方向和断层剪切带等 6 个方面来定性研究和确定断层的封闭性,然后再从断层横向封堵评价系数、断层纵向封堵评价系数和泥岩沾污因子等三个方面来定量研究和评价断层在纵向或横向

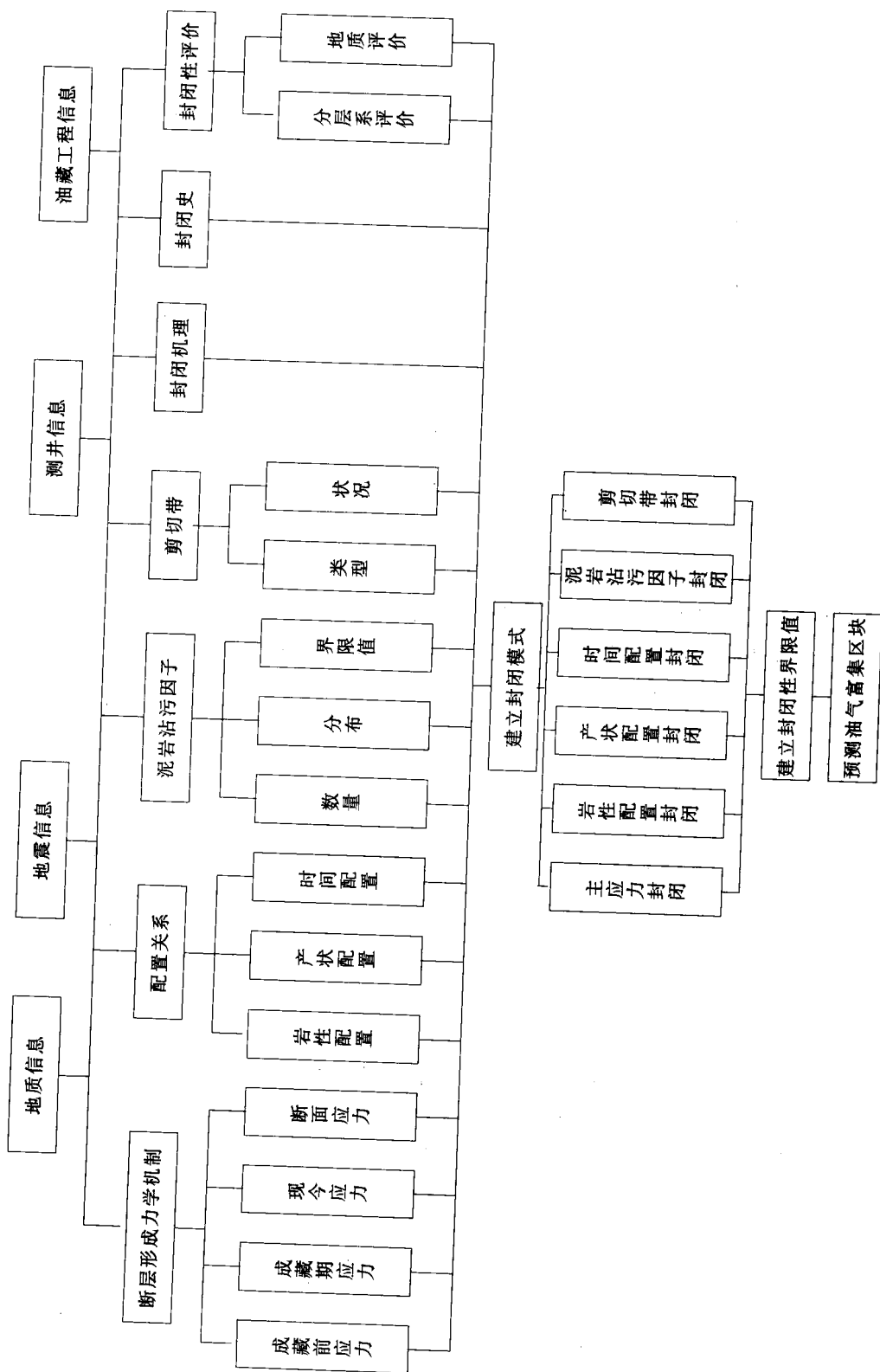


图1 断层封闭性研究的内容和方法

上的封闭性。提出了有效封闭断距和有效封闭泥岩沾污因子的概念和有效封闭界线值，即是说在任一油区中，若某一指定油区控油断层的断距和泥岩沾污因子都分布在一定的界线值范围内，凡在此有效界限值范围内的断层，在该油区都具有封闭油气能力。换句话说，在这些断层展布区内都能找到油藏。若控油断层断距和泥岩沾污因子数值是靠近界限值的下限，表明这些断层的封闭性较差，它所能封闭的油柱高度也较小。若控油断层的断距和泥岩沾污因子数值都是靠近有效界限值的上限，表明这些断层封闭性很强，它所能封闭的油柱高度也很大。有效封闭界限值的建立能在勘探早期预测油藏分布和油藏高度，有极大的推广价值。

第四章是断层封闭史。首先介绍如何应用埋藏史、构造演化史、构造应力场演化史和断面承受主应力相结合的办法来研究和揭示控油断层的封闭史。随后介绍了两个油田主要控油断层封闭史研究的实例，即崔庄油田崔6、崔7和东辛油田营8、辛23等4条具有代表性的控油断层的封闭性、封闭史及研究方法。

第五章是断层封闭机理和封闭模式。作者提出和论证了断层岩、剪切带、泥岩沾污带等三者是导致形成断层封闭油气的机理，还论证了排驱压力或孔喉大小是决定断层封闭性的理论依据。建立了主应力封堵、岩性配置封堵、产状配置封堵、时间配置封堵、泥岩沾污带封堵和剪切带封堵等6种主要封堵模式，分别论述了各种封闭模式的主要特征、形成机制和油气聚集。

第六章是复杂断块群油藏多级模糊综合评价。首先论述了多级模糊综合评判原理，其中主要论述原始模糊综合评判原理和多级模糊综合评判原理，然后进行断层封闭性模糊综合评价，其中首先建立断层封闭性单因素评价矩阵，然后进行断层封闭性评价标志的选择，之后进行断层封闭性标志隶属度的确定，在进行单因素评价矩阵的构成，再通过计算求得有关参数，进行断层封闭性模糊综合评价，确定各断层在不同地段、不同深度的封闭性和封闭程度。然后还论述了复杂断块群模糊综合评价和断块圈闭多级模糊综合评价，其中的断块圈闭评价以江苏油田金湖凹陷的崔庄—西园地区为例，对该区的圈闭进行了一级评判、二级评判、三级评判，最后进行综合评判，优选出崔庄—西园地区的最佳圈闭。

第七章是伸展构造与伸展断块群模式。首先讨论了伸展构造概念、伸展构造的主要类型和伸展构造形成机制，然后提出了伸展断块群概念，进行伸展断块群类型的划分，建立了铲形断块群、地堑断块群、地垒断块群、阶梯状断块群、放射状断块群和环状断块群等6种断块群模式。文中还分别论述了6种断块群各自的构造特征、油藏特征、流体特征、形成机制和油气富集规律。

第八章是走滑断裂与走滑断块群模式。讨论了走滑断裂概念、走滑断裂基本特征、走滑断裂构造样式和走滑断裂形成机制。之后提出了走滑断块群概念，进行了走滑断块群类型的划分，然后建立了雁行式断块群、棋盘格式断块群、“人”字型断块群、帚状断块群和弧形断块群等5种断块群模式，分别论述了5种断块群的构造特征、油藏特征、流体特征、形成机制和油气富集规律。长期以来许多学者和专家们一直认为我国东部盆地为典型的伸展盆地，通过我们科研实践，认为东部断陷湖盆除发育了伸展构造有关的典型构造样式外，还发育了大量典型的与走滑断裂有关的多种多样的构造样式，它们控制了油区油田和油藏的形成与分布。研究表明，不同构造样式不仅形成机制不同，它们的油气富集规律也往往不同，故区分伸展构造和走滑断裂有关的各种构造样式，不仅有重要的理论意义，同时还能正确揭示油藏的构造特征、形成机制，进而能准确的预测圈闭发育的位置和油气分布，对油气勘探和开发都有重要的指导意义。

该书的主要特色是以石油地质学、构造地质学、地质力学、板块学说等多学科的理论我国东部复杂地质条件相结合, 综合应用地质、地震、测井和油藏工程等信息和计算机技术, 对复杂断块群油藏进行深入的研究, 提出了一系列新认识和新见解。提出复杂断块群油气藏的构造特征是同生断层发育, 活动期长, 力学性质变化大, 控油断层普遍发育了不同成因类型的断层岩, 它们具有一定厚度并沿断面成连续分布。还提出控油构造样式除 6 种与伸展构造有关外, 还发育了 5 种与走滑断裂有关的构造样式, 它们多在复合和联合应力场中成生。更为突出的是建立了一套综合研究评价断层封闭性的方法技术, 从研究断层封闭性的力学机制入手, 再从多个方面进行断层封闭性定性定量研究, 然后应用埋藏史、构造演化史和应力场演化史来研究断层封闭史, 之后研究封闭机理, 建立封闭模式, 最后对断层封闭性进行模糊综合评价。在此基础上, 还提出了断层有效封闭断距和有效封闭泥岩沾污因子的概念; 建立了我国东部油气区有效封闭界限值, 应用这个界限值不仅可以在勘探早期就能判别断层的封闭性和封闭程度, 同时还可以预测含油范围和油藏高度。作者以断块构造的形成机制为准则, 将复杂断块群构造首先划分为伸展构造和走滑断裂两大类构造样式, 然后再依据两大类中各自的局部应力方式、应力场和成生的局部变形场, 将油气区中发育的伸展构造细分为 6 种断块群构造型式, 将与走滑断裂有关的构造细分为 5 种断块群构造型式, 深入地论述了 11 种断块群的构造特征、油藏特征和油藏中的流体特征, 同时, 还阐明了它们的形成机制和控油规律。上述走滑断裂对油气区的影响、依据走滑构造样式进行油气区构造分类、开展油气区走滑断裂的综合评价、提出走滑断裂的控油规律等方面的主要内容, 都是前人涉及甚少或是尚未涉及的领域。以上的基本观点和见解不仅具有重要的理论意义, 同时还能指导油气勘探和开发, 具有重要的实用价值。

本书由石油大学(华东)油藏地质研究所刘泽容教授等编著。前言、第一章、第二章和第五章由刘泽容教授和信荃麟教授编写, 第三章、第四章、第七章和第八章由刘泽容教授、信荃麟教授、邓俊果教授和李亚辉博士编写, 第六章由邓俊果教授和蔡忠副教授编写。全书由刘泽容教授统稿。历年来参加石油大学(华东)油藏地质研究所科研工作的还有侯加根、林承焰、徐守余、杨少春、侯连华、任怀强、阮建新、毕晓红和王京红等, 以及博士、硕士研究生谢向阳、曾发富、朱连章。熊良华完成了书稿文字录入工作。作者在研究工作中得到了中国石油天然气总公司勘探局丁贵明局长的大力支持, 在本书的著述期间, 曾收集和引用了大量有价值的实际资料, 特别是胜利石油管理局东辛采油厂和现河采油厂、江苏石油勘探局地质研究院及其南京分院等单位的领导和专家们给予了大力支持和帮助, 在此一并表示衷心感谢。由于学术水平有限, 不咎之处敬请批评指正。

目 录

第一章 断块群油气藏基本特征	1
第一节 复杂断块群的构造特征	1
第二节 复杂断块群油气藏的主要特征	7
第三节 复杂断块群油气藏油气分布规律和控制因素	12
第二章 断层封闭性的力学机制研究	16
第一节 断层力学性质与封闭性	16
第二节 断层力学性质的定量研究	31
第三章 断层封闭性的定性和定量研究	40
第一节 断层封闭性定性分析研究	40
第二节 断层剪切带研究	45
第三节 断层封堵系数	51
第四节 泥岩沾污因子分析	55
第四章 断层封闭史研究	61
第一节 断层封闭史研究方法	62
第二节 断层封闭史研究实例分析	63
第五章 断层封闭机理和断层封闭模式	81
第一节 断层封闭机理和影响因素	84
第二节 断层封闭的理论根据	89
第三节 断层封闭模式	92
第六章 复杂断块群油气藏多级模糊综合评价	103
第一节 多级模糊综合评判原理	103
第二节 断层封闭性模糊综合评价	108
第三节 复杂断块群模糊综合评价	111
第四节 断块圈闭多级模糊综合评价	115
第七章 伸展构造与伸展断块群模式	122
第一节 伸展构造	122
第二节 伸展断块群模式	125
第八章 走滑断裂与走滑断块群模式	144
第一节 走滑断裂	144
第二节 走滑断块群模式	150
参考文献	178

第一章 断块群油气藏基本特征

复杂断块群油气藏，是受众多的断层控制的油气藏，它们主要圈闭类型是断层圈闭，是断裂带发育了不同成因类型的断层岩，成带状连续分布在断面附近封堵油气，或者说是以细粒为主的低孔隙度、低渗透率特征的断层岩形成高排驱压力带或高毛细管压力带封堵油气，进而在断面附近油气富集起来形成有工业价值的油气藏。故这类油气藏的主要特征都与断层有关，或者说主要是受断层的控制。从我们研究解剖或揭示的东部复杂断块群油气藏来看，它们的构造特征主要有五个方面：①构造破碎，断层多，断块小。②同生断层发育，活动期长，力学性质变化大。③控油断层发育不同类型断层岩。④控油断块型式与伸展和走滑作用有关。⑤主要断层在联合和复合应力场中成生。油气藏特征主要表现在三个方面：①垂向含油层系多，侧向油层分布受断块局限。②断块油气藏为主，油气藏数目多而规模小。③油气分布叠合连片，各断块自成独立的油水系统。油气分布规律和控制因素也主要表现在下列三方面：①油藏含油范围和油藏高度受断层封闭性控制。②油气主要富集在弧形断层内侧和铲形断层伴生的垒块反向屋脊断块、牵引背斜、鼻状构造等应力低值区。③油气分布规律受断块构造型式控制。

第一节 复杂断块群的构造特征

复杂断块群油气藏，是我国东部主要的油气藏类型，通过长期的生产和科研实践表明，这类油气藏的构造特点是：在一个油田范围内断层数量很多，构造极为破碎，断块的规模一般都较小，控制油气的断层都发育了不同类型的断层岩，主要发育与伸展构造有关的地堑、地垒、断阶、箕状构造、剥离断层和大型断阶盆地等构造型式，还发育了与走滑断裂有关的雁行构造、横盘格式构造、牵引式弯曲、花状构造和旋扭构造等多种构造型式。上述断裂很少是在单一应力场中成生，而是两种或两种以上应力场综合或复合的产物，下面分别讨论其构造特征。

一、断层数量多，断块规模小，构造面貌破碎

复杂断块群油气藏的构造面貌极为复杂，其复杂性的主要特点之一是油田范围内常常发育了不同级别、不同方向、不同时期和不同力学性质的众多断层，将构造切割破碎，形成规模较小的断块，组成形态和成因各异的断块群，从而控制油气藏的形成和分布。据勘探实践证实，在一个复杂断块群油气藏分布区发育的断层可达百余条至二三百条以上，将油田切割成一二百个断块，各断块面积大于 1km^2 的为数不多，且大多数断块面积不足 0.5km^2 。在复杂断块群分布区内，90%以上的钻井都钻遇断层，平均每口井钻遇断点一般为3~4个，甚至可达5个以上，表明断层多且密集。如东辛油田，位于东营凹陷中央隆起带的东段（图1-1），是一个由东营背斜和辛镇背斜组成的东西向背斜构造带，长30km，宽8~10km，面积为 240km^2 ，发育了东西向、南北向、北西向、北东向等多组断裂共计260余条，断层落差在500~3000m之间，上述断层将该区切割成174个断块，分为25个断块区，其中辛镇

背斜分为 10 个断块区共计 53 个断块，东营背斜分为 15 个断块区共计 121 个断块，多数断块含油面积在 $0.2\sim 1\text{km}^2$ 之间，在含油面积约 0.5km^2 左右的断块内的油气储量为整个断块群油气藏储量的近 $2/3$ 。 Es_3 — Ng 组内都分布有含油层系，主力油层为 $\text{Es}_2^{\text{下}}-\text{Es}_2^{\text{上}}$ ，储量为油田总储量的 61.7%，从累计产油量来看，该类断块油藏含油极为丰富。

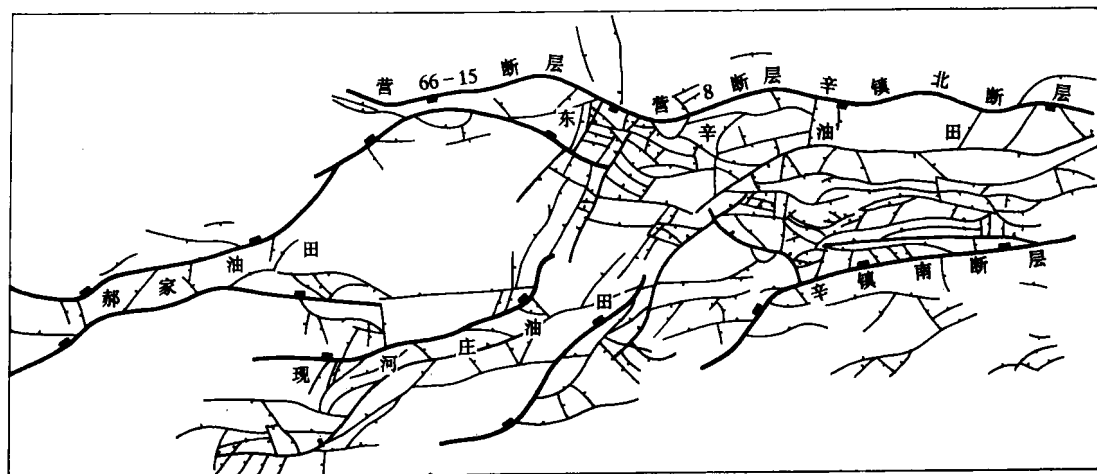


图 1-1 东营凹陷中央隆起带断裂体系图（据胜利油田，改编）

二、同生断层发育，活动期长，力学性质变化大

我国东部油区的断陷盆地，可分为拗陷、凹陷和洼陷等三级，它们的构造剖面形态都为一翼陡另一翼缓的箕状盆地。在上述各级盆地的陡翼，普遍发育了同生铲形断层，构成盆地的陡坡边界，它们活动期长，强度大，落差也大，可为一、两条或三条近于平行的断层组成断裂带。该断裂带上升盘为物源区，下降盘为沉积区，沉积了第三系不同成因类型的砂体。在湖盆的缓翼，有时也发育一条活动强度小，落差也小的同生断层构成湖盆缓坡边界。在凹陷内中央隆起带的二级断层或凹陷内其他二级构造带的主断层以及某些三级断层，都常具有同生性，它们在第三纪早期已形成，其中控制拗陷和凹陷的主断层形成更早，在燕山末期已形成，后至喜马拉雅期再次活动，即活动期较长，从而控制孔店组、沙河街组、东营组、馆陶组和明化镇组的生储盖层和圈闭的发育与分布。这类同生断层，下部形成早，落差大（可达 $500\sim 1000\text{m}$ ），断面倾角较缓（约为 $20^\circ\sim 30^\circ$ ），承受压应力很大，可达 50MPa 以上，大于一般岩石抗压强度呈挤压状态。而断层上部形成时期晚，落差较小（一般 $< 500\text{m}$ ），断面倾角较陡（通常 $> 50^\circ$ ），断面承受压应力较小，约为 20MPa 左右，小于一般岩石抗压强度，呈引张状态。这类断层发育在砂泥岩高含水的塑性地层中，当断层两盘相对运动时，下盘向上滑动，易形成正牵引背斜、反向屋脊断块、断阶带，断面附近泥岩层发生塑性流动形成剪切带和泥岩沾污带，使断层具有封闭性，给大量的油气创造了良好的聚集场所（图 1-2）。从解剖金湖凹陷的崔庄—范庄地区，吴堡至三垛期，在同一区域应力方式和应力场作用下范庄（ $\text{N}55^\circ\text{E}$ ）、崔 6（ $\text{N}35^\circ\text{E}$ ）、崔 12（ SN ）和崔 9（ NW ）等不同方向断层，自 $1000\sim 4000\text{m}$ 不同深度，断面承受正应力和剪应力的数值分析看，范庄断层浅层为张剪左行，深层为张剪右行；崔 6 断层为压性；崔 7 断层浅层为左行剪张，深层为左行剪压；崔 12 断层浅层为右

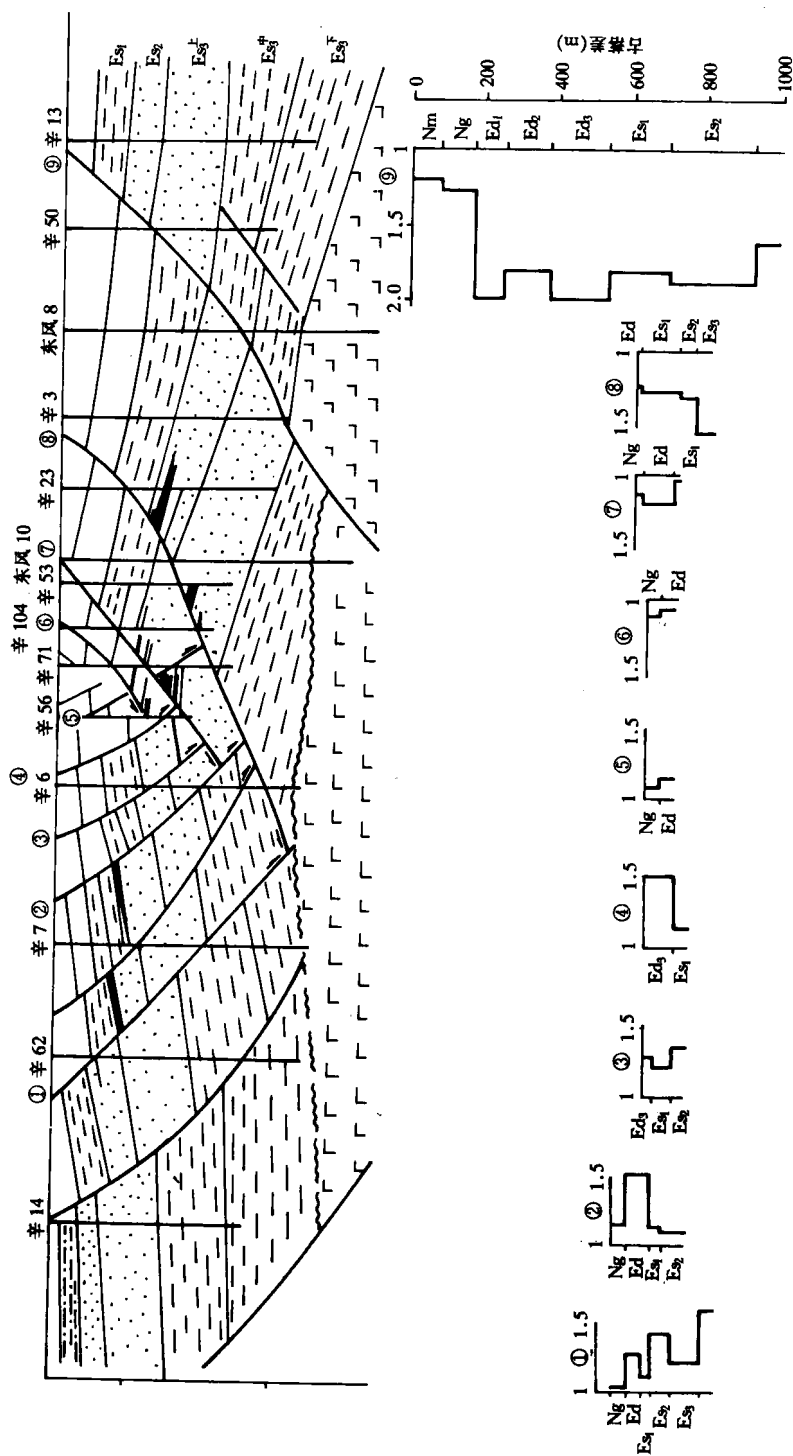


图 1-2 辛镇构造主断层生长指数对比图 (据胜利油田, 改编)

行剪张，深层为右行剪压；崔9断层为压性。研究结果表明各断层不仅应力变化大，同时也很复杂，不仅不同方向的断层断面承受应力不同，就是同一条断层在不同地段、深度和不同时期，断面承受的应力性质也不相同。一般来说，在浅层多为张应力发育地区，而深层则多为压应力发育区。若区域应力方式或应力场发生变化，断面承受应力变化将更加复杂。由此可见，这是导致主要控油断层封闭性变化大，断块油气藏形成分布复杂的最主要原因之一。

三、控油断层发育了不同类型的断层岩

控油断层广泛发育了不同类型、不同规模、不同组构和成分的断层岩，是复杂断块油气藏构造的又一特征。这里的断层岩，是通常地质家们所称的断层成岩，即在断层作用中，断层两盘岩石被改造后的变形产物。它们是一种具有特征性结构、构造和矿物成分的岩石，包括浅层次脆性岩石断层伴生的碎裂岩系和深层次韧性岩石断层伴生的糜棱岩系两大类。依据断层岩的特征，不仅可以确定断层的存在，识别断层的属性，为分析确定断层两盘运动方向提供依据；同时还能测定或分析断层形成的温度和压力，为判断断层形成深度和形成环境的温压状态提供信息。除一般的断层岩外，考虑到控油断层的封闭机理还可分出剪切带和泥岩沾污带两种特殊类型的断层岩。剪切带可以看作是一种特殊类型的断层岩。这种断层岩，是在同生正断层两盘沉积物尚未固结成岩的特定地质条件下，断层的下盘相对向上滑动，在下盘的上部，多形成正牵引不对称背斜；断层的上盘相对向下滑动，在上盘的下部，多形成正牵引不对称向斜。牵引背斜和向斜的陡翼都靠近断层，因而在陡翼附近派生低级序局部压扭性应力。在断层两盘滑动和陡翼派生的局部压扭性应力联合作用下，牵引构造陡翼尚未固结成岩的高含水的泥岩层，沿着断裂带发生塑性流动，被拉长减薄，甚至有些为线形条带，连续分布，形成剪切带。这种剪切带断层岩结构致密，孔喉半径很小，孔渗性能很差，因而，剪切带的延伸连续分布，对油气可以形成一定的封堵能力。泥岩沾污带，也是一种特殊类型的断层岩，在被断地层的偏泥层序中是普遍存在的现象，实践表明，当泥岩的累计厚度不小于被断地层总厚度的25%时，这种断层在位移和滑动过程中，易形成以变形泥岩为主并夹少量砂岩碎块细粒化、泥化的断层岩，即所谓的泥岩沾污带。这种泥岩沾污带断层岩结构致密，颗粒均一化，孔隙度比原岩减小，孔渗性能差，具有良好封堵流体的能力。上述三种类型的断层岩它们形成的地质环境有所不同，但都是油气的良好遮挡面，可以构成断块油藏重要的圈闭机制，在它们发育的地区，常常也是油气富集的地区。

四、断块构造型式与伸展构造和走滑断裂有关

断块构造型式，是地壳上岩石受力后发育的变形场，不同的断块构造型式，反映了不同的地质变形环境和不同的应力方式和应力场。长期以来绝大部分地质学家们认为我国东部的断陷湖盆，在新生代时期属于伸展作用形成的盆地。通过我们长期的科研实践，揭示了东部断陷湖盆内的构造特征、形成机制及其对油气的控制作用，研究了盆地的充填史、构造演化史、埋藏史及油气聚集史，建立了断陷湖盆的构造岩相模式，认为东部新生代断陷湖盆内，除广泛发育在区域性引张作用下形成的、并具有一套以正断层为主的地堑、地垒、阶梯状断层、箕状构造、剥离断层和大型断陷盆地（华北盆地）等具有特色的典型的伸展构造系统外，同时还发育了与走向滑动断层作用下形成的构造，具有一套以雁列式褶皱、断裂、断块隆起和断陷盆地、棋盘格式断裂、帚状断裂、“入”字型、弧形断裂和花状构造等多种具有特色的直扭和旋扭构造系统。特别是其中的雁列式和帚状构造，规模很大，级序也高，这在

郯庐断裂带两侧的冀鲁帚状构造和苏北帚状构造中都有充分显示（图 1-3）。如郯庐断裂西

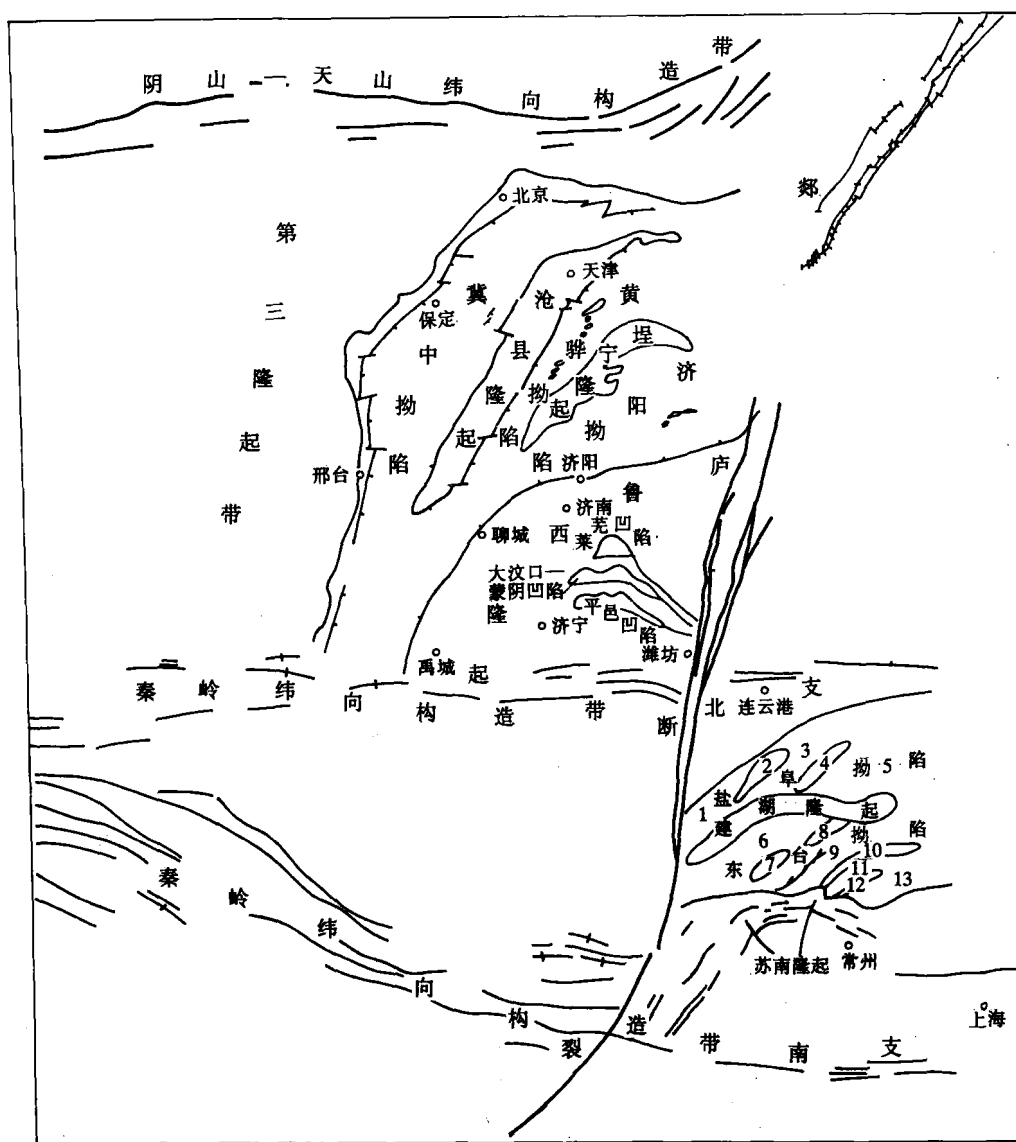


图 1-3 郯庐断裂两侧帚状构造体系图

- I. 盐阜拗陷：1—洪泽凹陷；2—淮安—苏家嘴凸起；3—阜宁凹陷；4—塘洼—大喇叭凸起；
5—盐城凹陷；II. 建湖隆起；III. 东台拗陷；6—金湖凹陷；7—菱塘桥凸起；8—柳堡凸起；
9—高邮凹陷；10—吴堡—小海凸起；11—溱潼凹陷；12—泰州凸起；13—海安凹陷

侧的冀鲁帚状构造内的拗陷和隆起，凹陷和凸起、褶皱和断裂多为雁行排列，同时控制了华北盆地内济阳拗陷、埕宁隆起、黄骅拗陷、沧县隆起、冀中拗陷和临清拗陷及其中低序凹陷、凸起直至二级构造带以及它们派生的低级序构造或断裂的形成和演化，从而也控制凹陷内油气的形成和分布。又如位于郯庐断裂东侧的苏北帚状构造中的拗陷和隆起、凹陷和凸起，不同级序的褶皱和断裂多呈雁列式排列，同时还控制苏北盆地内盐阜拗陷、建湖隆起、

洪宁拗陷、鲁苏隆起及其中低级序凸起、凹陷直至二级构造带以及它们派生的低级序构造或断裂的形成和演化，从而也控制了苏北盆地内各个凹陷中油气的形成和分布。上述伸展构造和走滑断裂有关的两种类型断块型式，不仅它们的特征、形成机制不同，其控油规律也各不相同，它们常常是成生在同一个地区，形成复杂的构造面貌和油气分布，故研究和区分伸展构造和走滑断裂有关的断块型式，揭示它们形成机制和控油规律，对指导东部油气勘探有重要的理论和实际意义。

五、主要断层在复合或联合应力场中成生

这里所指的主干构造，包括东部断陷湖盆内的隆起和拗陷、凸起和凹陷，凹陷内的主干断裂、二级构造带及它们派生、伴生的三级断裂和部分四级断裂等构造成分，可以肯定地说，它们都不是在单一应力场中成生，而是在复合或联合应力场中形成的。

众所周知，构造型式是构造形成过程中应力方式和应力场的记载，地质学家们研究和分析地质历史时期的应力方式和应力场，常用的方法是依据各时期的变形场来反推追塑应力场，同时也常用模拟实验来检验，两者结合就能较准确的判断和确定各个时期的应力场。从前面谈到的东部断陷盆地内展布的变形场，除有典型的区域引张作用下形成的一套正断层为主的地堑、地垒、阶梯状断层、箕状构造、剥离断层、大型断陷盆地等伸展构造系统外，还发育了一套典型的走滑断裂作用下形成的雁列褶皱和断裂、断块隆起、断陷盆地、帚状构造、棋盘格式断裂、“人”字型断裂、弧形断裂、花状构造等各具特色的走滑断裂构造系统（图 1-4）。两套构造系统，各自形成的地质环境、应力方式、应力场都不相同。两套构造

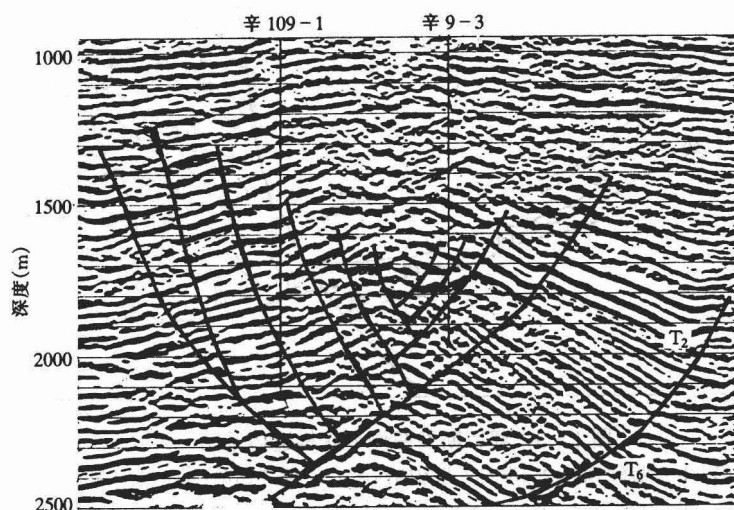


图 1-4 东辛地区负花状构造图

系统并存，表明东部断陷盆地新生代是伸展作用和走滑作用两种应力方式和应力场并存。如剥离断层，在东部断陷盆地内广泛发育，它不仅是控制东部箕状断陷盆地陡坡的边界，也是控制陡坡构造岩相带的形成、演化和油气藏形成分布的主干断层，同时还是控制断陷盆地内二级构造带发生发展和油气藏形成分布的主干构造，平面上常呈锯齿状弧形展布，剖面上为上陡（倾角为 50° ）下缓（倾角为 $20^\circ \sim 30^\circ$ ）的铲形。经大量露头区调查和模拟实验证实，

锯齿状弧形断层是在地应力长期作用下，岩石受力后变形早期形成的两组扭裂面经应力场复合和联合改造而形成的，如兰聊断裂是东濮凹陷黄河南凹陷东部的边界断层，也是典型的剥离断层，平面上为锯齿状弧形，在弧顶指向隆起区的部位，常为两组相向倾斜的扭裂面组成，形成沟谷，在其下游方向常发育了大量的各时期近岸水下扇储集砂体；而在弧顶指向凹陷区的部位，常为两组相背倾斜的扭裂面组成，多形成山脊，构成分水岭，砂体一般不发育（图 1-5）。兰聊断裂是上陡下缓的铲形正断层，在上部 $E_{s2}^{\downarrow}$ 地层中，断层倾角较陡为 65° ，经计算断面承受的压应力分量较小，为 21MPa，比一般岩石抗压强度小，此段无油气分布。而下部 $E_{s2}^{\downarrow}$ 地层中，断面倾角变缓为 29° ，断面承受的压应力分量较大，为 54.7MPa，大于一般岩石抗压强度，此处富集油气，表明同一断层上部受拉张，下部受挤压，两种应力方式同时出现在一条断层上，导致油气富集的差异。又如金湖凹陷西斜坡崔庄地区的弧形断裂，有的弧顶指向东南，有的弧顶指向西北，它们是由北东向和近东西向两组断裂不同部位联合而成。当北东向断裂的西南段与东西向断裂东段联合，形成联合弧的弧顶则指向东南，若北东向断裂的东北端与东西向断裂的西段联合，形成联合弧的弧顶则指向西北。类似上述的联合和复合构造，在东部断陷盆地内普遍存在，也可以说断陷盆地的绝大多数断裂，特别是主干断裂都不是在一次构造运动一种应力方式下形成，从而导致联合或复合构造发育，使油区中的构造面貌极为复杂。

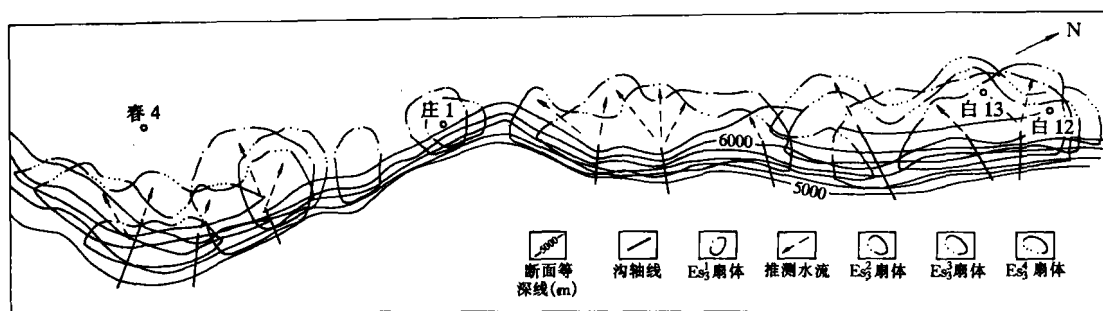


图 1-5 兰聊断裂下降盘（陡坡带）沙三段沉积期近岸水下扇构造岩相分布图

第二节 复杂断块群油气藏的主要特征

复杂断块群油气藏，顾名思义是受众多断层切割复杂化了的断块圈闭所形成的油气藏，它们可表现为反向屋脊、地垒、断阶等多种断块圈闭类型。在这类油气藏中断层是至关重要的组成部分。它们的主要特征与其他类型的油气藏有明显的不同，首先从油层发育和分布来看，复杂断块群油气藏垂向含油层系多，侧向油层分布受断块局限。从发育的油气藏类型看，是以断块油气藏为主，油气藏数量多，但规模一般都较小。从油气分布来看，油气分布广泛，各断块自成为独立的油水系统。从油气控制因素来看，油气藏含油范围和油气藏高度主要受断层封闭性和封闭程度控制。这类油气藏主要富集在弧形断层内侧和下降盘反向屋脊断块等正向圈闭中，油气分布规律受伸展构造和走滑断裂所伴生的各种断块群构造型式的控制。

从解剖东部许多地区断块群油气藏来看，发育在不同地区的断块群油气藏虽然各有自己

的特点和彼此间的区别，但都具有共同的特征和规律，概括起来，它们的共同主要特征为下列几个方面。

一、垂向含油层系多，侧向油层分布受断块局限

渤海湾盆地，是我国东部复杂断块群油气藏广泛发育分布的地区，工作中我们解剖了胜利、江苏、中原、冀东、大港和辽河等各油田内为数众多的断块油气藏。发现分布在各个油田或同一油田内的各个断块油气藏，尽管它们的含油层位、油层数量和特征各自有所不同，但油层分布具有共同的规律，即油层垂向分布深度范围大，在一个断块内通常都发育了多套含油层系，有些油田沙河街组的沙四段、沙三段、沙二段和沙一段都是重要的含油层系，同时位于浅层的东营组、馆陶组甚至明化镇组内部发育了油层，累计含油层井段长度很大，可达2000m，其原因与油区中断层多次活动，发育期较长，断层切割层系较多和断层在活动期和静止期性质转化有关。相反，在一个断块内，侧向上单一油层分布范围较小，仅限于一个断块展布的范围，明显受断层局限。从解剖的众多油气藏来看，在各个断块群油气藏内的每一个油层，在平面上的分布面积一般都较小，很少超过断块展布的范围，绝大多数单层含油面积均小于 1km^2 ，且介于 $0.1\sim 1\text{km}^2$ 之间，而含油面积小于 0.1km^2 的也不少，它们只是由于在平面上可以叠合连片，从而导致油气分布范围广。如胜利油田东营凹陷的中央隆起带，其东段为东西向的东营—辛镇构造带，东营背斜被多组断层切割改造，形成放射状、环状断块群；辛镇背斜被四条东西向断层切割，形成地堑式断块群；现河庄断阶带，由三条南东凸出的弧形断层组成北东收敛、南西撒开的帚状断块群。上述三个复杂断块群，在不同地质环境、不同应力方式和不同应力场中生成，控制东辛油田、现河庄油田及其中众多油气藏的形成和分布，各油气藏中，油层分布的深度范围很大，自沙河街组的沙四段、沙三段、沙二段、沙一段直至东营组、馆陶组各层系都含油，主力油层是沙二下段和沙二上段，其中单一油层分布的面积均较小，一般介于在 $0.1\sim 1\text{km}^2$ 之间，很少超过断块展布的范围，其原因是该区被众多断层切割破碎，各断层落差不同，并具有一定封闭性能，它们将油层切割成较小的块体，随着断层活动，沿着各自落差被断层位移到相应的位置，并由封闭性断层将油层圈闭起来，形成平面规模较小，独立的断块油藏（图1-6）。因主要控油断层自沙河街至

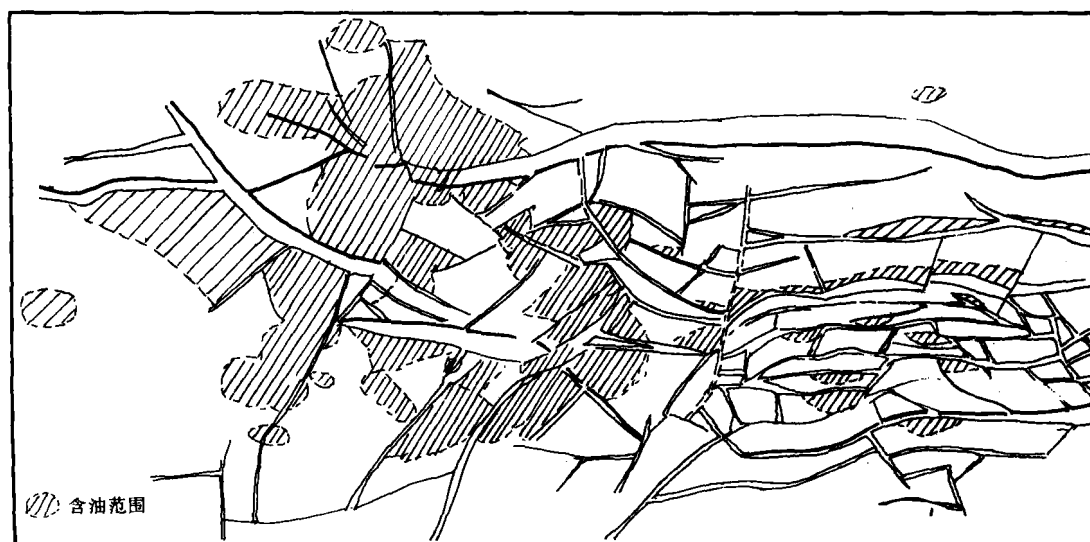


图1-6 东辛油田油藏分布图