

YOU CANG MIAO SHU YU YOU CANG MO XING

油藏描述与油藏模型

SHI YOU DA XUE CHU BAN SHE ●

信荃麟 张一伟 刘泽容 ●

石油大学出版社 ●

石油大学图书馆

46382

TE-319
005

油藏描述与油藏模型

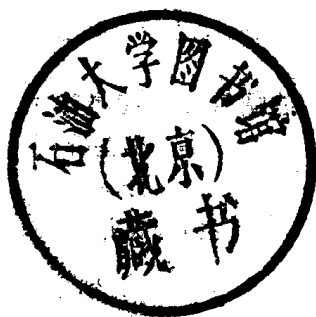
主 编 信荃麟

张一伟

副主编 刘泽容



200417744



00430142

石油大学出版社

内 容 提 要

本书为《油藏描述技术研究》课题的部份研究成果。主要以东营凹陷的牛庄油田为对象，综合运用地质、测井和地震地层学等手段，全面论述了地层古生态、构造体系、沉积体系、成岩作用与孔隙结构及油气分布规律，并建立了薄层砂体识别技术、储层综合评价方法及油藏地质模型以实现油藏描述。

本书提供了从宏观到微观、从定性到定量、从理论分析到实际应用的油藏描述方法。可作为高等院校石油勘探专业选修课教材，并可供从事石油勘探、开发的科研和生产人员参考。

油藏描述与油藏模型

主 编 信荃麟

张一伟

副主编 刘泽容

石油大学出版社出版

(山东省 东营市)

山东电子工业印刷厂印刷

(淄博市周村)

开本787×1092 1/16 15.5印张 插图1 387千字

1990年6月第1版 1990年6月第1次印刷

印数1-2500册

ISBN 7-5636-0029-9/TE·11

定价(压膜): 3.50元

前 言

油藏描述是以沉积学、构造地质学和石油地质学的理论为指导，用地震地层学、测井地质学和计算机的手段，定性和定量描述在三维空间油气藏类型、油藏内部结构、外部几何形态、规模大小、储层参数变化和流体分布状况。最大限度地应用计算机手段，自动绘制各方面的图件，掌握油气藏在三维空间的变化规律，实现预测油气藏的目的。是80年代发展起来的，并有效地用于油气勘探和开发的新技术。

石油大学盆地分析研究室、石油地质教研室部份同志与胜利油田物探公司、测井公司和地质科学研究院合作，承担了科学研究项目“油藏描述技术研究”中的地质子课题，其目的是通过牛庄油田及周缘的整体解剖，全面系统研究牛庄油田油藏形成条件和分布规律及勘探技术为核心的地质地震问题，建立牛庄油田的油藏地质模型和勘探技术，确定开发试验区，进行开发试验，探索适合我国陆相湖盆深水浊积砂岩岩性油藏定性和定量描述的新技术，为该区乃至我国东部深洼陷中岩性油气藏的勘探与开发提供理论依据和新的方法。

工作中解释了5000km地震剖面，分析了200多口井的钻井和测井资料，对其中一些井的测井资料进行了环境校正和数据标准化，并建立了四性关系。观察岩心50口井，心长共4600m。除常规的分析外，还作了电镜扫描、铸体薄片、X光照像、X衍射、热释光分析、图象分析、压汞分析和物性分析等。不仅建立了地层格架，恢复构造体系、沉积体系与演化，同时，建立了储层储集参数测井、地质综合数学模型和牛庄油田油藏地质模型，对油藏进行了定性和定量描述，还建立了油藏综合评价技术。关键井建立了地震相、测井相和地质相三者之间的关系。在微机上建立了小型地质数据库。编制了沉积相分析和储层研究方面的程序。选择牛20油藏为开发试验区，与现河采油公司、开发系合作进行油藏数学模拟，确定合理的采油、注水方案和生产方式，进行开发试验。目前，已在牛20油藏5km²的范围内，完钻15口井，均在预计的深度见到了油层，获得探明储量××万t，投产11口井，平均每口井日产18t，已获总产油量6万t，年底将获总产油量10万t，取得了突出的研究成果和显著的经济效益。

本书由石油大学勘探系信荃麟教授、张一伟教授任主编，刘泽容副教授任副主编。第一章由张一伟、信荃麟和刘泽容编写。第二章由倪丙荣和郭秋麟编写。第三章由刘泽容、王伟峰和方召杰编写。第四章第一节由张杰和朱筱敏编写，第二节由信荃麟和张杰编写，第三节由信荃麟、刘泽容、张杰和侯加根编写。第五章第一节由张杰、郑清和张光辉编写，第二、三、四节由信荃麟、刘泽容、张杰和侯加根编写。第六章第一节由熊琦华和王志章编写，第二、三节由郑清编写，第四节由刘泽容和张杰编写。

工作中得到了石油大学勘探系和胜利石油管理局有关单位和个人的大力支持和帮助，在此一并致谢，由于时间紧迫，水平有限，不妥之处，欢迎批评指正。

编 者

1989年10月

目 录

第一章 总 论

第一节 地层古生态分析	1
第二节 构造体系分析	3
一、东营凹陷构造的基本特征	3
二、东营凹陷构造对沉积的控制	4
三、东营凹陷的构造与油气的关系	4
第三节 沉积体系分析	5
一、牛庄三角洲沉积体系	5
二、滑塌斜坡扇体系	6
三、前缘斜坡扇沉积微相与油气关系	7
第四节 薄层砂体的识别	8
第五节 油藏模型的建立与开发可行性研究	10
一、储集层宏观物性研究	11
二、砂岩成岩作用与孔隙演化	12
三、孔隙结构特征	13
四、油藏地质模型	13

第二章 东营凹陷沙三段及古生态特征

第一节 地层特征及划分对比	16
一、沙三段的岩性特征	16
二、地层的划分与对比	24
第二节 东营凹陷沙三中、晚期古生态与环境分析	27
一、介形类古生态分析	27
二、生物相带的划分	29
三、生物相与沉积环境的关系	35
四、介形类分异度分析	36
参考文献	40

第三章 东营凹陷构造特征与油气聚集

第一节 东营凹陷的构造面貌	41
一、永一胜一东一滨陡坡带的构造特征	41
二、辛一东一现一梁中央隆起带的构造特征	41
三、洼陷带的构造特征	46
四、八一草一金斜坡带的构造特征	46
五、东营凹陷构造发展简况	47
六、构造应力场	50

第二节 构造对沉积的控制作用	54
一、周边断裂控制东营凹陷的形态和规模.....	54
二、周边断裂控制东营凹陷的物源和水系.....	55
三、构造面貌控制三角洲朵叶体发育与分布.....	57
四、构造运动控制盆地演化和沉积中心迁移.....	58
五、构造控制沉积体系发育与分布.....	60
第三节 构造对油气的控制	61
一、构造控制油气生成.....	61
二、构造控制储层和圈闭的发育.....	61
三、构造控制油气运移和聚集.....	62
四、构造控制油气的分布.....	63
参考文献	65

第四章 沉积相与油气关系

第一节 沙三段地震相与沉积相研究	66
一、地震层序的划分及标定.....	66
二、地震相与沉积相.....	69
三、古水流和物源分析.....	81
四、沉积体系的演化.....	85
第二节 牛庄三角洲—前缘斜坡扇沉积体系	87
一、三角洲复合体.....	87
二、前缘斜坡扇.....	93
三、三角洲—前缘斜坡扇模式.....	98
第三节 牛庄三角洲—前缘斜坡浊积扇体系沉积微相与油气关系	104
一、三角洲前缘斜坡浊积扇体系的基本特征.....	104
二、三角洲的演化.....	104
三、沉积微相划分及其特征.....	107
四、沉积微相与油气关系.....	118
参考文献	120

第五章 薄砂体识别的综合技术

第一节 一维模型识别薄砂体	122
一、薄互层砂体的地震响应.....	122
二、砂体预测.....	130
第二节 波形振幅法定量解释砂体	132
一、地质、测井、地震信息的对应关系.....	132
二、薄层砂体的反射特征.....	135
三、薄砂体的定量解释.....	141
第三节 合成声波测井识别薄层砂体	151
一、合成声波测井技术的基本原理.....	151
二、牛庄地区岩石速度分析.....	154

三、合成声波测井识别薄层砂体	156
四、讨论	161
第四节 频率域解释薄层砂体	162
一、积分能谱分析法解释薄层砂体	162
二、频谱分析定量计算薄层储集体厚度	168
参考文献	170

第六章 储层研究与油藏模型

第一节 储层宏观特征	171
一、储集层的划分与对比	171
二、储层物性参数确定及分布规律	180
第二节 砂岩成岩作用	189
一、砂岩成岩作用类型	189
二、砂岩成岩序列与孔隙演化	196
第三节 砂岩孔隙结构	205
一、基本孔隙类型	205
二、孔隙组合类型	206
三、储集砂体的分类与评价	209
第四节 牛庄油田油藏地质模型	221
一、油藏形成地质条件分析	221
二、储层特征	222
三、油气藏类型研究	226
参考文献	234

第一章 总 论

油藏描述是八十年代随着生产和科研的需要而发展起来用于油气田勘探和开发的新技术。它以沉积学、构造地质学和石油地质学的理论为指导,用地震地层学、测井地质学和计算机的手段,定性和定量描述在三维空间油气藏类型、油藏内部结构、外部几何形态、规模大小、储层参数变化和流体分布状况。最大限度地应用计算机手段,自动绘制上述有关方面的图件,以便掌握它们在三维空间的变化规律,预测油气藏。

石油大学盆地分析研究室、石油地质教研室与胜利油田物探公司、测井公司、地质科学研究院合作,共同承担了国家科学研究项目“油藏描述技术研究”中的地质子课题,其目的是通过对牛庄油田及周缘的整体解剖,全面系统研究该区与油藏形成分布有关的地质问题,建立牛庄油田的油藏模型,探索适合我国陆相湖盆油藏定性和定量描述的新技术,为该区乃至我国东部深洼陷中岩性油气藏的勘探与开发提供理论依据和方法。

随着石油工业的发展,油藏定性地质描述(油藏模型建立与描述)技术正在不断丰富与完善,在研究中吸收了前人的经验并结合我国东部陆相湖盆复杂岩性储集体的特点,除采用地层古生态分析、构造体系分析、沉积体系分析、构造岩相分析、储层分析等盆地分析方法外,还针对牛庄油田的储集层是薄层砂岩与泥岩互层的浊积岩,使用储层地震地层学、测井地质学和古生态学等手段,建立了薄层砂体识别的综合技术、储集体综合评价的方法和油藏地质模型。不仅对油藏进行了定性、定量描述,还以牛20油藏为例,用三维三相油模,对牛20油藏进行油藏数学模拟,选择了合理的采油、注水方案和生产方式,进行开发可行性试验。

第一节 地层古生态分析

地层古生态分析是一切地质工作的基础。

东营凹陷位于渤海湾盆地济阳拗陷的南部,北以陈南和滨南断裂与陈家庄凸起和滨县凸起相接,东北以青西断裂与青坨子凸起相邻,南以齐河—广饶断裂与鲁西隆起毗邻,西以高青断裂与高青凸起为界,东与莱州湾相连,东西长1080km,南北宽56km,总面积6万多平方公里,可分为陡坡带、两个洼陷带、中央隆起带和斜坡带等五个次级构造单元。牛庄油田分布在东营凹陷南部的牛庄—六户洼陷之中(图1-1)。区内新生界地层发育全,总厚度约5000m,下第三系有孔店、沙和街和东营组,厚约3000m,是河湖相砂泥岩为主的沉积,上第三系有馆陶和明化镇组,厚约千余米,是河流相砂、泥和砾为主的沉积,第四系平原组厚约300—500m。

依据沙三段地层的特征及沉积环境,可分为沙三下、沙三中和沙三上三个不同的岩性段。油气主要分布在沙三中,故下面重点探讨沙三中的问题。

沙三早期,牛庄—六户一带,是东营凹陷南斜坡上的相对隆起区。八面河、王家道口、

陈官庄以南，龙河—柳桥村一线以南，无沙三下沉积，以北地区主要是暗色泥岩及油页岩发育。据统计，牛庄地区沙三下厚88—112m，平均厚度为102m，其中油页岩厚在15—44m之间，平均厚度约27m，故其厚度占总厚的26%，为全区之首位，单层厚度在1—1.5m之间，也居全区之首位。沙三中期盆地水域扩大，牛庄—六户洼陷已形成，下部发育了三角洲前缘斜坡亚相，以泥岩为主，夹砂岩透镜体，厚450—560m，砂岩平均百分含量为16%，砂泥比值为1:5。上部为三角洲前缘亚相，以砂岩发育为特征，据20多口井资料统计，砂岩百分含量大于60%，砂泥比值突变为1.3:1。沙三上岩石类型及组合特征与沙三中近似，但炭质页岩与灰绿色砂泥岩比沙三中的上部增多，地层厚度为182m，为三角洲平原亚相沉积环境。

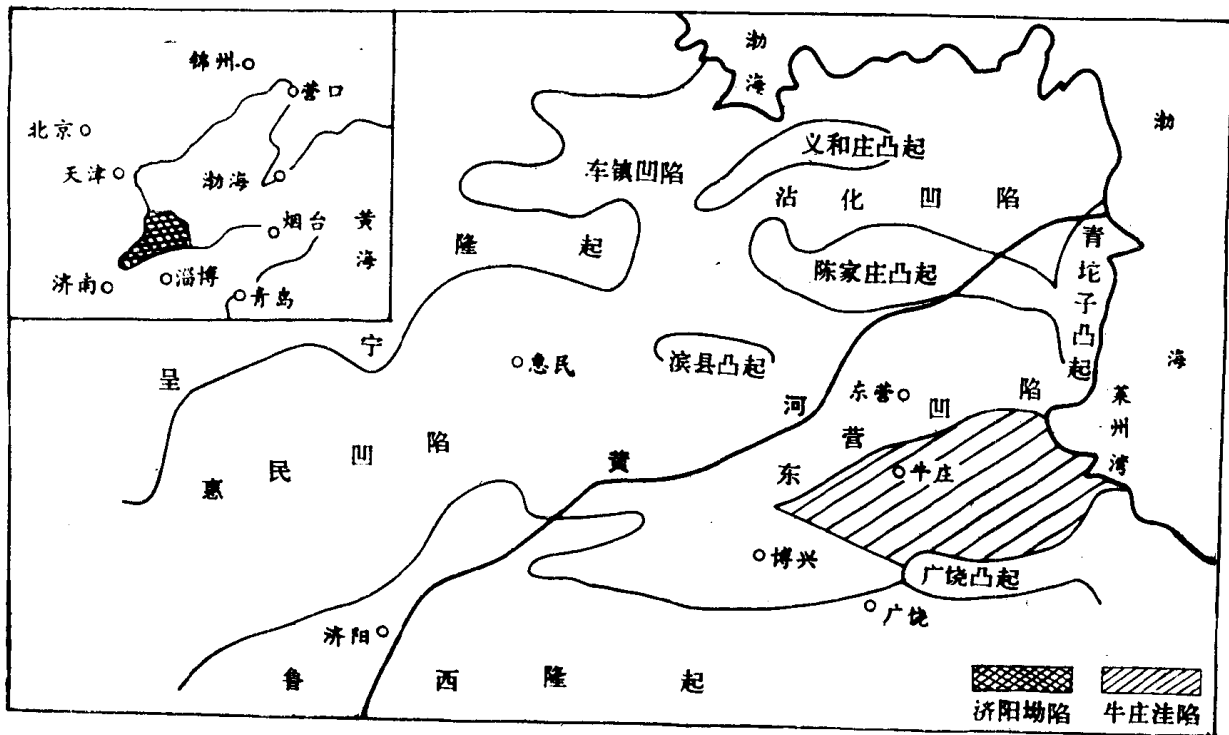


图1-1 研究区——牛庄洼陷构造位置图

采用地震层序分析和古生物地层分析相结合的方法，依据不整合和反射波组特征，结合沉积旋回和古生物资料，再用合成地震记录和VSP标定，将第三系地层划分为：孔店组—沙四段 (T_8-T_6')、沙三段—沙二段 (T_6-T_2')，沙一段—东营组 (T_2-T_1)，馆陶组—明化镇组 (T_1 以上)四个层序，然后，把沙三—沙二段层序又划分为：沙三下 ($T_6'-T_6$)，沙三中 (T_6-T_4)，沙三上 (T_4-T_3)和沙二段 (T_3-T_2)四个亚层序，进而再依据沙三中前积反射层的特征和热释光分析，将牛庄三角洲划分为10个斜反射层，它们分别是沉积层序、亚层序、等时沉积单元(叶瓣体)的地震响应。其界线是时间地层界线，在三维空间内，由这些时间地层界面所限定的时间地层单元的垂向层序和横向分布构成了时间地层格架，它们与岩性地层界限既有区别又有联系，沙三中地层对比和划分的原则应为“斜对”，而不是“平对”，解决了长期争论的这个地层疑难问题。

从牛20、王59井的资料表明，沙三期孢粉组合中，以被子植物的栎属和榆属占绝对优势，两者为总数的80%左右，再以栎榆属的生活习性推测当时是温湿环境。再从牛20井3003m、3041m和牛28井的3080—3307m井段，均见暗色泥岩有沙三中保存很好的艾氏鱼 (*Knighfiasp*)和双棱鲱鱼化石，属海生鱼类。因产鱼层位化石单调，不能阐明真正的海相

环境，但能表明在始新世早期或早些时候，牛庄洼陷与东部海盆相连。古生态分析是古环境分析和地层分析最重要、最灵敏的手段之一。依据介形虫类化石群现生种生活习性，无现生种化石的形态功能特征及亲缘关系时，结合分异度分析，探讨了东营湖的古环境，利用信息函数分异度，结合类比方法，计算出在沙三中晚期古东营湖波基面18m左右，再利用回归分析，建立了优势分异度(x)与水深(y)之间的函数关系：

$$y = ae^{bx}$$

式中： a 、 b 为待定系数

这样不仅能定性恢复古环境，在某些方面对古环境的分析，达到了定量程度。研究表明，牛庄洼陷沙三下地层是前三三角洲亚相沉积环境形成；沙三中地层是三角洲前缘斜坡亚相和三角洲前缘亚相环境形成；沙三上地层是三角洲分流平原亚相环境形成，它们构成一个完整的三角洲沉积体系。

第二节 构造体系分析

一、东营凹陷构造的基本特征

东营凹陷属渤海湾盆地济阳拗陷南部的一个次一级凹陷，总的构造特点是褶皱少、断层多，不同性质、不同级序的断层，组成各种型式的断裂体系，它们相互联合或复合，形成现今复杂的构造面貌。依据区内的构造特征、构造发育历史和构造应力场，将本区划分为五个二级构造带，位于北部的是永—胜—东—滨陡坡带，发育在陈家庄和滨县凸起与东营凹陷之间，长100km，主要由永南、胜北、东坡庄和滨南四条同生断裂组成，呈向北凸出的左行斜列展布，在下降盘发育断阶带、逆牵引构造和其它断裂组合型式。上升盘发育超覆不整合和削蚀不整合。位于凹陷之中的是辛镇—东营—现河庄—梁家楼中央隆起带，东西长50km，南北宽8—14km，面积约550km²，东端主要由被两条东西向纵断层破坏的辛镇背斜组成。西端则是由北东向延伸，向南凸起的三条弧形断裂组成，平面上呈现北东收敛，南西撒开的帚状展布，两者在东营地区复合，导致下部沙四段中的膏盐层上拱，形成盐丘构造，盐丘顶部放射状和环状断裂发育，故以小断块圈闭为主。位于深陷区的是洼陷带，自沙三段之后，被分割成民丰—利津和牛庄—博兴两个洼陷带，构造相对较简单，主要为大型向斜或伴生了为数不多的断层，它们都是下第三系的深陷区和沉积中心，也是重要的生油区，控制牛庄三角洲的10个亚三角洲的发育和分布。位于凹陷南部的是八面河—草桥—金家斜坡带，构造简单，主要为北倾单斜，其上发育了断鼻构造带，东部为北东向的王家岗和八面河断鼻构造带，西部有北西向的草桥—纯化镇鼻状构造带，其间是陈官庄断阶带。王家岗断鼻构造带，北东向倾没、为古隆起，被四条北东向延伸、左行斜列的断层切割。八面河断鼻构造，也是北东向倾没、倾没端与根部高差很大，达600m，轴部发育了八面河断裂，该断裂长30km，最大落差200m，东段比西段活动强烈，导致小清河由原先的南西—北东流向转为由东向西注入东营湖，形成沙三期的牛庄三角洲浊积扇沉积体系。草桥—纯化镇古鼻状构造带，北西倾没，被北西和北东两组断层复杂化，南侧有石村大断裂，控制第三系沉积，并导致屋脊式鼻状构造圈闭发育，为复式油气聚集带。陈官庄断阶带，位于两者之间，由数条东西向延伸的北倾断层组成，控制下第三系沉积与剥蚀，给不整合油气藏形成创造了条件。上述东营凹陷的构造模式与渤海湾盆地相似，在燕山运动末期形成，经历了三个发展阶段，中生

代左行扭动，新生代右行扭动，才形成现今复杂的面貌。

二、东营凹陷构造对沉积的控制

东营凹陷构造对沉积控制非常明显。譬如，周边断裂不仅控制凹陷的形态和规模，使凹陷限制在它的下降盘。而陡坡带常常是水体边界位移距离小，多与断面陡、落差大的边界断层相对应，缓坡带往往水体边界位移距离大，多与断面缓、落差小的边界断层相对应。次级注陷幅度和深陷时期多与断层落差大小和断层持续活动时期相一致。主断层上升盘是重力高值区，也是剥蚀区和物源区，而下降盘则为重力低值区，也是主要沉积区，边界断层的展布形式常与盆地的形态和轴向相似。断层发育历史与盆地演化史一致。物源主要来自凸起或断层上升盘。古水系多发育在鼻状构造轴部、张性断裂分布区，如莱4井和莱11井区是向斜槽部或多组鼻状倾没部位，常为多组水系汇聚的场所。各沉积体系主要分布在主断层下降盘，沿长期继承性深凹陷(利津注陷)区方向迁移。

三次构造运动导致盆地出现三个大发展阶段，燕山运动末期使盆地出现雏形，济阳运动一幕盆地大发展，东营运动盆地消亡。沙三至东营期，沉积中心由南往北迁移。永一胜一东一滨陡坡带与凸起相接，是边界断层下降盘，断层活动强烈、落差大，距物源近，多发育流域短、能量强的河流，物源充足，河流携带大量泥砂注入湖盆或在陡坡边缘快速堆积，形成冲积扇和扇三角洲沉积体系，或在陡坡地区形成近岸水下扇沉积体系。注陷带往牛庄向斜槽部和断层下降盘，属深陷区，水体很深，以浊流作用为主，多发育深水浊积扇沉积体系；有时也可以在前三角洲亚相带中发育深或半深湖相的浊积岩砂体。牛庄油田的主要储层，就是牛庄三角洲10个叶体的前三角洲亚相带中的浊积岩体。八面河—草桥—金家斜坡带，主要是北倾的单斜，地势平缓，物理风化作用不强，陆源碎屑不足，多发育流域较长，能量较弱的河流，将携带的泥砂在缓坡地带堆积，形成短轴三角洲，因波浪作用较强，常改造上述三角洲，再形成滩坝沉积体系。也可在缓坡发育成狭谷型水下扇，它们往往沿斜坡向下滑到深水区。上述各种成因类型的砂体，多是油气的主要储集体，它们分布的地区，常常是油气富集高产区。

三、东营凹陷的构造与油气的关系

东营凹陷是陈南、滨南、青西、齐河—广饶、西断裂下降盘多组构造复合的负向部位，在济阳运动I、II幕和东营运动时都有明显的活动，故长期保持快速稳定下降，最大生油岩厚2000m，生油面积5700km²，为很好的生油凹陷。其中的利津注陷，再与东坡庄帚状构造的旋回层复合，为五组负向构造复合部位，暗色泥岩厚达600—800m(E_s)，为渤海湾盆地中最好的生油区。陡坡带的主要圈闭类型是边界断层伴生或派生的断块圈闭、背斜或鼻状构造圈闭。主要储层是河流三角洲、水下冲积扇和近岸水下扇砂体，距油源近。这里地层倾角和断层倾没都很陡，油气运移很活跃，常常形成小而肥的高产油气田，同时，分布的油田数量也较多。中央隆起带，断块极为发育，约300多个，这些断层静止期为遮挡面，活动期多为油气运移通道，圈闭类型以断块圈闭为主，储层为三角洲砂体，位于生油注陷之中，油源充足而又近，故不仅找到的油田数量多，而且有的产能也很高。斜坡带多是地层不整合、大型鼻状构造和断块圈闭为主，储层主要是中小型三角洲或沿岸滩坝等砂体，不整合面常为油气运移的重要通道，能在纵向上将不同层位的储集体贯穿起来，形成统一连通体和油气藏。目前已找到的油田数量比前两个构造带少。注陷带以岩性圈闭为主，也常有断块岩性圈闭和成岩圈闭，主要储层是近岸浊积扇、狭谷型浊积扇和深水浊积透镜体等浊积岩砂体，

如牛庄油田,就是分布在前三角洲或三角洲前方被生油岩覆盖的深水浊积透镜体中,形成油质轻、粘度和相对密度较小,产能高的岩性油藏。上述表明,东营凹陷的构造不仅控制沉积,同时也控制油气藏的形成与分布。

第三节 沉积体系分析

沉积体系,是一定地质时期内,具成生联系的沉积相的三维组合。做好沉积体系分析,才能识别储集砂体的成因类型和分布规律。沙三段的上、中、下三个亚层序,有12种地震相,主要发育了青坨子水下扇,八面河—牛庄河流三角洲,王家道口—丁家屋子河流—三角洲,陈官庄三角洲及三角洲沿岸滩坝等五种沉积体系。各沉积体系的形成和物源,受青坨子、八面河、王家道口和陈官庄等四个古水流体系的控制,而沉积体系的发育、演化和分布则受构造带控制,故在不同时期、不同地区分别组成不同的构造岩相带。譬如,沙三早期,发育了狭窄的陡坡冲积扇、洼陷长轴三角洲、断阶泥质滨浅湖构造岩相带。沙三中期,发育了陡坡冲积扇、洼陷三角洲、断阶小型三角洲—沿岸滩坝、斜坡冲积扇—滨湖构造岩相带。晚期,发育了陡坡洪积锥、洼陷三角洲、断阶小型三角洲—沿岸滩坝、斜坡冲积平原构造岩相带。下面重点讨论区内主要的也是与油气有关的沉积体系。

一、牛庄三角洲沉积体系

牛庄三角洲沉积体系,发育在沙三中、上段,分布在牛庄—六户洼陷广大地区内,东西长40km,是东营凹陷南部最大的沉积体系。

(一) 三角洲地震响应

研究表明,牛庄三角洲为大型河控三角洲,在地震剖面上,呈现明显的三层结构,即顶积层、前积层和底积层。位于 T_4 和 T_6 二个反射层之间(即沙三中),均有向西倾斜的典型的的前积反射结构,它们多呈“S”和切线斜交型,这些斜反射层均由顶超点和下超点所限制,上述一系列的斜反射层,构成三角洲最为特征的前积层,反映三角洲前积作用的产物。

1. 前积层下超点以下,对应 T_6 波组(即沙三下)为底积层,为强振幅、高连续性、平行反射结构,相当于沙三下段油页岩顶界的响应,为深湖—半深湖沉积。

2. 前积层顶超点以上(削蚀点),即 T_3 和 T_4 之间是顶积层,其特点是变中振幅、中连续性、亚平行/波状地震相,相当于三角洲平原亚相,岩性以砂岩为主,夹有泥岩和炭质页岩。

3. 前积层上部,主要为弱—中振、低—中速、高频地震反射结构,是砂质泥岩发育的三角洲前缘亚相响应,有时还呈现为变振幅、中连续、波状/蠕虫状地震反射结构,后者可能是前沿滑塌沉积的响应。

4. 前积层下部,为强—中振,高一中速、平行、亚平行地震反射特征,为大套泥岩夹有少量薄层砂岩的前三角洲前缘斜坡亚相响应。

(二) 三角洲沉积相特征

据岩心和测井资料研究表明,牛庄三角洲各亚相带均很发育。三角洲平原亚相发育有分流河道、天然堤、河漫沼泽、分流间湾等微相。分流河道以砂质沉积为主,底部具冲刷面,其上常见泥砾,自下而上,由中粗砂过渡为细砂,垂向呈间断正韵律。分流间湾及河漫沼泽以泥岩为主,夹炭质页岩,构成三角洲平原主要组成部份,其中生物种类繁多,除植物根、

茎、叶及大量碳屑外，出现较多的沼泽拟星介，浅水生活的阶状似瘤田螺，山东小旋螺等生物，反映该三角洲平原亚相特点，自然电位曲线为中幅齿化的箱形或钟形，上部细齿加多，呈内收敛。

三角洲前缘亚相，遍布牛庄地区，主要由河口坝和远砂坝微相组成。河口坝单砂层厚一般5—15m，自下而上由粉砂岩到中细砂岩，相应的层理类型由波状交错层理过渡为楔状、板状交错层理和平行层理。远砂坝，位于河坝的前方，在剖面中位于其下，由薄层砂或泥质粉砂岩组成，以透镜状一脉状层理及水平层理为主。三角洲进积过程中形成的由远砂坝至河口坝的这种反韵律，反映水动力条件不断增强。生物以螺、蚌等浅水动物为主。自然电位曲线为漏斗形或箱形—漏斗形组合，特征为自下而上SP幅度增高，下部曲线渐变且多齿化，上部曲线多较光滑，顶部突变，表明环境发生突变或有侵蚀作用。

前三角洲(前缘斜坡)亚相，是三角洲体系中沉积最厚(局部可达500m)，分布最广的相带，岩性主要为暗色泥岩粉砂质泥岩、夹薄层粉、细砂岩。泥岩质纯，常发育水平层理，富含有机质，以小拟星介、脊刺华北介等占优势的组为特征。SP曲线表现为在平直基线背景上，局部有低幅指形、齿形凸起。在剖面上各亚相叠置形成巨厚的三角洲层序，即上部为砂泥岩互层的三角洲平原亚相；中部为厚层砂岩河口坝—远砂坝反韵律构成的三角洲前缘亚相；下部为大套暗泥岩夹薄层砂岩的前三角洲亚相；底部以暗泥岩和油页岩为主的盆地平原亚相，属深湖半深湖沉积。SP曲线具有少量低幅指形、齿形凸起的平直泥质基线，向上到微齿化漏斗形曲线，再到指形—箱形曲线，构成三角洲典型河控的测井相组合特征。

(三) 三角洲发育演化

在T₄—T₆之间的沙三中段，是三角洲前积层，地震剖面上由一系列斜反射层组成，这些斜反射层，是因三角洲形成过程中堆积的砂泥岩岩性差别而产生的波组抗界面(即反射同相轴)所致。根据反射同相轴强弱相间的特点，将三角洲前积层可以划分出10个斜反射层，即10个斜列的三角洲叶瓣体，每个叶瓣体相当于三角洲演化不同阶段的一个亚三角洲。各叶瓣体向西倾斜，顶部倾角约为10°，剖面上呈叠状，自老至新，由东向西排列，延伸长达40km依次命名为叶8、叶7、叶6、叶5、叶4、叶3、叶2、叶2'、叶1、叶1'，从而构成东营凹陷南部最大的沉积体系。

牛庄三角洲的展布与古水系密切相关，在沙三中期中古构造和古地理背景控制下，古水流自东向西流入湖盆，据三角洲前缘砂等厚图可知，牛庄、六户地区的古水系，除存在主要的东西向水系外，在不同时期，还有向南西和北西的分支，从而形成以东西向水系为主干的复杂网状水系。这些古水系的发育和展布，奠定了牛庄三角洲及各亚三角洲的演化和分布格局。牛庄三角洲的演化可分为三期。早期(雏形期)，相当于叶8、叶7、叶6沉积时期，此时叶瓣体规模小，仅10km²，分布在湖盆入口处，即东侧，也是王家岗古鼻状构造西翼和倾没端；中期(兴盛期)相当于叶5至叶2沉积时期，此时叶体规模很大，分布范围约为110—100km²，向西推进距离为数十公里；晚期(衰退期)，相当叶1和叶1'沉积期，湖盆水域向西退缩，叶瓣体面积明显减小，至沙三中的晚期，湖盆东部牛庄—六户广大地区三角洲沉积填满，普遍发育三角洲平原和河流相沉积，湖水域已不复存在。

二、滑塌斜坡扇体系

进积到深水区的三角洲的前缘斜坡是形成浊流的有利场所(Klein等, 1972)，这是因为三角洲前缘快速堆积、沉积物不稳定，它们常常由于滑塌作用而失去支撑能力，经过液化呈

浊流性质，在重力作用下搬运，在较深水的前缘斜坡上堆积下来，形成浊流砂扇体，故称滑塌斜坡扇。因它与经典水下扇的沉积模式有明显不同，再考虑到这种扇体沉积模式的特殊性，为了有利于油气勘探的战略布署，把它与经典水下扇区别开来，故命名为滑塌(前缘)斜坡扇，简称(前缘)斜坡扇。

(一) 浊流砂沉积特征

区内沙三中段发育了典型滑塌斜坡扇。沙三中段地层，由三角洲沉积和浊流沉积组成，二者形成时期相当。在三角洲前缘斜坡(前三角洲)上，浊流沉积是三角洲前缘滑塌形成的，它呈薄层浊积砂体夹于三角洲前缘斜坡亚相的大套暗色泥岩中。这里发育的浊积砂体，有中粒和细粒浊积砂体两类，其中的中粒浊积砂体，可用Bouma层序进行描述，以CDE组合最常见(>50%)，BCDE、BE组合次之，岩性以中、细砂岩为主，少量含砾，主要是长石砂岩和岩屑砂岩的细砂岩和粗粉砂岩，少见中砂岩，沉积构造类型丰富，滑塌变形构造甚为发育，表明三角洲前缘沉积物经常处于不稳定环境。以浅水生物(沼泽拟星介、玻璃介等)和深水生物(中国华北介、东营华北介等)混生为特征，主要分布在三角洲前缘的前方，即前缘斜坡的中上部，构成近源斜坡扇。细粒浊积扇砂体，是指由泥岩为主夹有细粉砂岩形成的单调韵律性沉积，单个韵律规模都很小，韵律总特征是向上细粉砂岩减少，渐变为均质泥岩。细粒浊积岩层序特征，可用Stea(1980)提出的细粒浊积岩标准层序进行描述，完整的层序自下而上包括T₀至T₈九个单元。其特征概括如下，T₀段为细粉砂岩，具水平、波状交错纹层。T₁—T₃段是泥岩与细粉砂岩互层，后者为断续不规则状，向上变为规则状纹层。T₄—T₆段，以泥岩为主，夹细粉砂岩，后者由模糊纹层状向上变为零星小透镜体。T₇—T₈段，为均质泥岩和生物扰动泥岩，偶见细粉砂质假结核。

(二) 沉积模式

上述层序中，常见的是T₂—T₈、T₂—T₇、T₃—T₇等组合，也见有少量T₀—T₈组合的完整层序。它们多分布在前缘斜坡中、下部及盆地平原，构成远源斜坡扇。上已述及，滑塌前缘斜坡扇沉积模式，不同于经典的水下扇模式，它们最主要的区别是前者没有长期稳定大型水道或峡谷的点状物源，因而它就不存在发育水道的内扇和中扇环境。前缘斜坡扇最独特之处，它不是点状物源，而是线状物源，即不稳定的砂质沉积物沿三角洲前缘许多地点，在外界因素诱导下滑塌，呈阵发性瀑布状片流，倾泻到三角洲前缘斜坡或盆地平原上，从而形成规模小、数量多、分布广的薄层浊积砂体，在平面上叠合成片，但无象典型海底扇中的相带分离现象。它们与三角洲一起构成三角洲—前缘斜坡沉积体系，其沉积模式，从大陆向湖的方向依次为：三角洲平原→三角洲前缘→三角洲前缘斜坡滑塌带→近源斜坡扇→远源斜坡扇。综上所述，斜坡扇沉积由叠合连片的席状浊积砂岩组成，向斜坡下倾方向。总体特征是，砂泥岩比值逐渐降低，砂岩层数减少，厚度变薄，粒度变细，由中粒浊积岩层序为主渐变为以细粒浊积岩层序为主。

三、前缘斜坡扇沉积微相与油气关系

从三角洲进积作用原理出发，可将每个三角洲叶瓣体看作一个等时沉积体，即由倾斜等时界面限定的沉积成因单元，该沉积成因单元中，包含着由三角洲进积作用形成的三角洲前缘斜坡浊积砂的岩性组合。根据沉积学和地震地层学原理，以叶瓣体即沉积成因单元为对象，研究它的形成、发展和特征，并对同一叶瓣体的前缘砂和浊积砂分别统计，编制研究区内出现的六个叶瓣体(叶5至叶1)的地层等厚图和砂层等厚图，在此基础上再考虑叶瓣体的地

层厚度、浊积砂厚度、砂泥比、粒度变化、中细粒浊积岩垂向层序的特点，将前缘斜坡扇划分为扇主体、扇缘、扇间和滑塌带等四种沉积微相，它们的沉积特征与油气关系叙述如下：

(一) 扇主体微相占据前缘斜坡的主要部位。砂岩较厚，以含砾中细砂岩为特征，主要发育中粒浊积岩，浊积砂体发育，叠合连片，常形成数个砂质富集区，分布面积大，是油气聚集的最有利相带。据统计，10t以上的高产井，全分布在该微相内，并有随砂岩厚度越大，油气产能越高的趋势。

(二) 扇缘微相位于主体外缘。分布范围狭窄，砂岩较薄，以粉细砂岩为特征，主要发育细粒浊积岩层序，砂体较小，分布零星，因储集条件由中等至差，故常是油气低产区。据统计，扇内缘(砂层厚20—30m)一般日产油1—10t，而扇外缘一般日产油1t左右。

(三) 滑塌带分布在前缘斜坡上方，位于扇主体和前缘砂的过渡带，浊积砂不发育，泥多砂少，常见砂泥杂岩性，滑塌变形(甚至断裂)构造发育，储集条件差，不利于油气聚集，一般日产油小于1t，甚至为干井。

(四) 扇间微相夹持在扇主体两个分支间的地带，砂质缺乏，泥质发育，该微相存在与否及其分布范围，取决于扇主体的分支状况。储集条件极差，不利于油气聚集。据统计，分布在该相带的井，试油结果，只见油花，未见油流。

研究区为一大型向斜，仅在翼部即洼陷周缘发育了为数不多的断层，进积到洼陷深水区的三角洲前缘斜坡的岩性岩相，上部为前缘砂，中下部为大套暗色泥岩夹薄层浊积砂岩。这些暗色泥岩富含有机质，具良好生油条件，浊积砂岩被大套生油岩包裹，构成油气运移的指向，成为油气聚集最有利的场所，故主要油气藏类型是受浊积砂控制的原生岩性油藏和断块岩性油藏。前缘砂发育区，由于砂岩厚度较大，连通性好，如无其它圈闭条件，不能形成油气藏。据统计，分布在这种相带的试油井，均未获得高产。

应指出，在扇主体相带内也可能有低产井或干井。其原因除成岩作用影响外，与砂体规模小、彼此不连通、油水分布自成系统、单个砂体多为砂泥岩性组合、砂体彼此叠合成片等复杂地质条件有关。故沉积微相研究与薄层砂体识别相结合，在沉积微相的宏观控制下，查明单个砂体分布范围，进行定量解释，可望在区内预测高产含油区块和高产井位。为此，建立一套行之有效的薄砂体识别的综合技术，对在深洼陷中寻找原生岩性油藏具有重要意义。

第四节 薄层砂体的识别

地层分析、构造体系分析和沉积体系分析能在宏观上指出油气的分布规律和勘探方向。要寻找油气藏尚需落实油气水的微观分布特点，要做到这一点，其中储集体的形态和分布范围的确定是至关重要的。特别是对岩性和地层油气藏，还应识别每一个薄层或复油层的储集体。这些工作需要使用以储层地震地层学为中心的分析方法来完成。牛庄油区主要是透镜状浊积砂岩岩性油气藏，因此，寻找或识别浊积砂岩体就是该区研究工作和找油的重要问题。在研究工作中，以地震方法为主要手段，并与地质、测井方法相结合，建立了波形振幅分析法、频谱和积分能谱分析法和速度分析法等多种方法，并以牛庄油田为例，探讨了储集砂岩体的定性定量解释，从而在牛庄油田找出了一大批薄层浊积砂体。

波形振幅分析法是一种应用比较普遍,且效果明显的方法。为了排除时间域地震信息的多解性,首先研究了牛庄地区各种平均速度(VSP平均速度、声波平均速度和东营量板速度),指出通过井资料的深时转换、人工合成地震记录、VSP通道叠加剖面等手段,可以确定井资料与地震资料的对应关系,为在地震资料解释砂体中利用井孔地质、测井等信息打下基础。接着通过研究一系列砂泥岩等厚薄互层、砂泥岩视等厚互层、砂泥岩视不等厚互层、砂泥岩视不等厚等速度递变互层、砂泥岩随机厚度互层等一维理论模型,探讨垂向上岩性变化,不同砂泥组合的地震反射特征。可以看出,很薄的单层所组成的互层,不管怎样组合只有层组的顶底有反射,薄互层可视为均质体;而单层变厚时,组内也有反射;薄互层组的反射特征与单层厚度、互层组内部结构和砂泥比都有关联。进一步研究了岩性横向变化所引起的反射特征改变,针对牛庄油田实例,分别分析了单层楔状体和砂泥薄互层楔形体模型的反射特征。理论模型分析可得几点重要认识:(1)当地层厚度 $\Delta H \approx \lambda/4$ 时,无论是均质砂岩,还是砂泥岩薄互层层组,其反射振幅均达最强。(2)当地层厚度 $\Delta H < \lambda/4$ 时,对均质砂岩体来说,随厚度减薄,振幅变弱;对砂泥岩薄互层组来说,振幅的变化与砂岩含量有关,为振幅厚度可分辨区。(3)当地层厚度满足 $\lambda/4 < \Delta H < \lambda/2$ 时,地震响应为比较肥胖的复波,为复波厚度可分辨区。(4)当地层厚度 $\Delta H > \lambda/2$ 时,顶底层反射分开,振幅稳定,为时间厚度可分辨区。根据这些理论分析,通过对牛庄地区高分辨率剖面反复对比,分析建立了透镜状单波、透镜状复波、平行双轨波、视高频多波四种储集砂体的地震相模式,它们分别是厚度 $< \lambda/4$ 、 $\lambda/4 - \lambda/2$ 、 $\lambda/2 - \lambda > \lambda$ 砂体的地震响应。利用这些模式,结合井资料在牛庄洼陷内定性解释了55个楔状、透镜状浊积砂体。借助Sidis人机联作系统在时间厚度可分辨区利用砂体顶底反射时间确定厚度,振幅区则利用厚度—振幅关系计算砂体的厚度,绘制砂体顶底构造图及等厚图等,实现定量解释和描述薄储集砂体的目的。

频谱和积分能谱分析法有别于时间域波形振幅方法,在频率域利用薄层的特征定性识别砂岩的存在,定量解释砂体。理论计算表明,地层厚度等于调谐厚度 $\lambda/4$ 时,其反射波第一周期内主频值 f_1 等于入射子波主频;层厚增加(减薄)时, f_1 减小(增大)。频率的这种偏移量可以通过积分能谱来预测。

通过对不同厚度的单层和不同的砂泥岩等间隔、不等间隔薄互层一维理论模型的振幅谱、积分能谱计算得知,积分能谱不仅受振幅谱值响应,也受频谱形状影响,其频带更窄。振幅谱中高频峰值转换成了积分能谱百分率曲线中的高陡度线段,而低幅谷值则转换成了缓升台阶状线段。通过对不同形态、不同速度结构的二维模型的频谱和积分能谱研究证实,积分能谱不仅能识别薄层砂体的存在,而且能估计厚度的变化。可识别和应用的标志是,积分能谱等值线上从低频到高频极值点的轨迹是向层厚减薄的方向迁移的,等值线倾斜方向指出地层增厚方向;等值线倾角变缓稳定为零的点即为砂体尖灭位置。这在对牛庄油田617.5测线上牛26砂体进行的实例分析中得到证实。

计算表明,地层较厚时,反射系数的振幅谱是一个多周期的函数,随着层厚增加,谱极值个数增多,每一个周期内的峰值频率都向低频方向移动。反射系数振幅谱的峰值频率与层厚有严格的函数关系,即

$$f_i = \frac{(2i-1)}{2DT}$$

式中: f_i 为第*i*周期内的峰值频率(Hz), DT 为地层的双程旅行时间(s),而且相邻峰值频率

间隔等于 $1/DT$ 。因此，反射系数振幅谱的峰值频率决定于地层厚度，我们可以象利用复合波振幅值求薄层厚度的方法一样，绘制峰值频率与地层厚度的关系曲线(这就是频率-厚度标定曲线)，利用峰值频率值计算地层厚度。同样地质体，其反映波的频谱与反射系数谱极为相似，所不同的是，虽然峰值频率仍与地层厚度成反比，但它们之间不再有上述简单函数关系式。这是由于反射波谱中引入了子波谱的缘故，子波相当于一个带通滤波器，因此，反射波谱在高频部分严重受子波谱影响，尽管如此，仍可制作峰值频率-层厚标定曲线，该曲线用实际地震资料标定后，同样可以用来计算薄层厚度。对牛庄油田牛23井等五口井单井资料进行验证，证明该方法是可行的。这样，计算了牛庄油田617.5测线上牛26砂体的厚度，结果与用波形振幅等方法的计算厚度相比基本一致，且频率分析法指出砂体并非均匀递变的，局部有增厚现象。因此，利用频率域薄层的特征、振幅谱、积分能谱分析识别薄层集体的存在和半定量地估计厚度变化，再利用频谱分析定量计算砂体厚度，达到完善地解释一个砂体的目的。可以认为频率域识别砂体是储层地震学研究的一个新的有效手段。

速度分析法是以地震道与测井曲线的相互转换为基础，从地震道中反演求取波阻抗曲线或速度曲线(合成声波测井曲线)，从而提供地震测线覆盖的广大区域内地层的岩性、岩相变化。牛庄油田现有多种波阻抗或合成声波测井资料，我们研究工作中，使用了合成声波测井剖面等，以探讨地震反演方法识别储集砂体。

合成声波测井剖面上每一道实际上是深度(或时间)-速度曲线，它把不同的速度分级分区，用不同的颜色表示。因而，只要确定出各种岩石的速度范围，在剖面上划分出对应的颜色分区，即可圈出砂体的分布范围，因此，我们首先分析研究区内各种岩石速度的关键因素，结合前述各节所论述的本区地质特征，目的层沙三中、下，牛庄洼陷存在一欠压实带，总的背景是一个低速层，其中孤立或连片分布的薄层浊积岩砂体则表现为低速背景中的高速层，这是该区用合成声波测井识别砂体的重要依据。据此，借助声波测井压缩滤波曲线等，从井出发，确定井中的砂层段在合成声波测井部位上的相应层段和速度，并横向追踪，确定出每个砂体在一条剖面上的分布，多条剖面对比闭合，最终可圈出砂体的空间形态、分布范围。在无井区，据研究区内各种岩石的速度变化规则，特别是砂岩的速度范围，同样可以解释相对高速层，排除其它岩性的影响，就可以预测砂体。本方法关键是地震反演的处理方法和选择参数适当与否，但解释时，与研究区井资料相结合，以地质规律为指导，不但能准确地识别出储集砂体，而且与其它方法相比要简明快速得多。牛26、牛27等7个砂体的解释成果与用波形振幅等方法的解释结果很相符。这样，牛庄油田所有井中的浊积砂体都可以用该方法在合成声波测井剖面解释得出，而不论它在地震剖面上是否有典型反射。

波形振幅、频谱和积分能谱及速度分析是从地震波的不同方面解释砂体的方法，研究区内，各种方法可体现互相补充、互相验证的效果，再与井资料结合，以沉积学、地层学理论为指导，能实现定性、定量解释和描述薄层储集砂体的目的。

第五节 油藏模型的建立与开发可行性研究

油藏地质模型，是用于表征油藏内部地质结构、外部几何形态、规模大小、油藏类型、物性参数变化及流体分布状况的高度概括。它是理想化的一种三维型式。建立油藏地质模型的意义，在于它可以作为油藏描述的标准进行类比；对于勘探和开发同类油藏可作为指南；