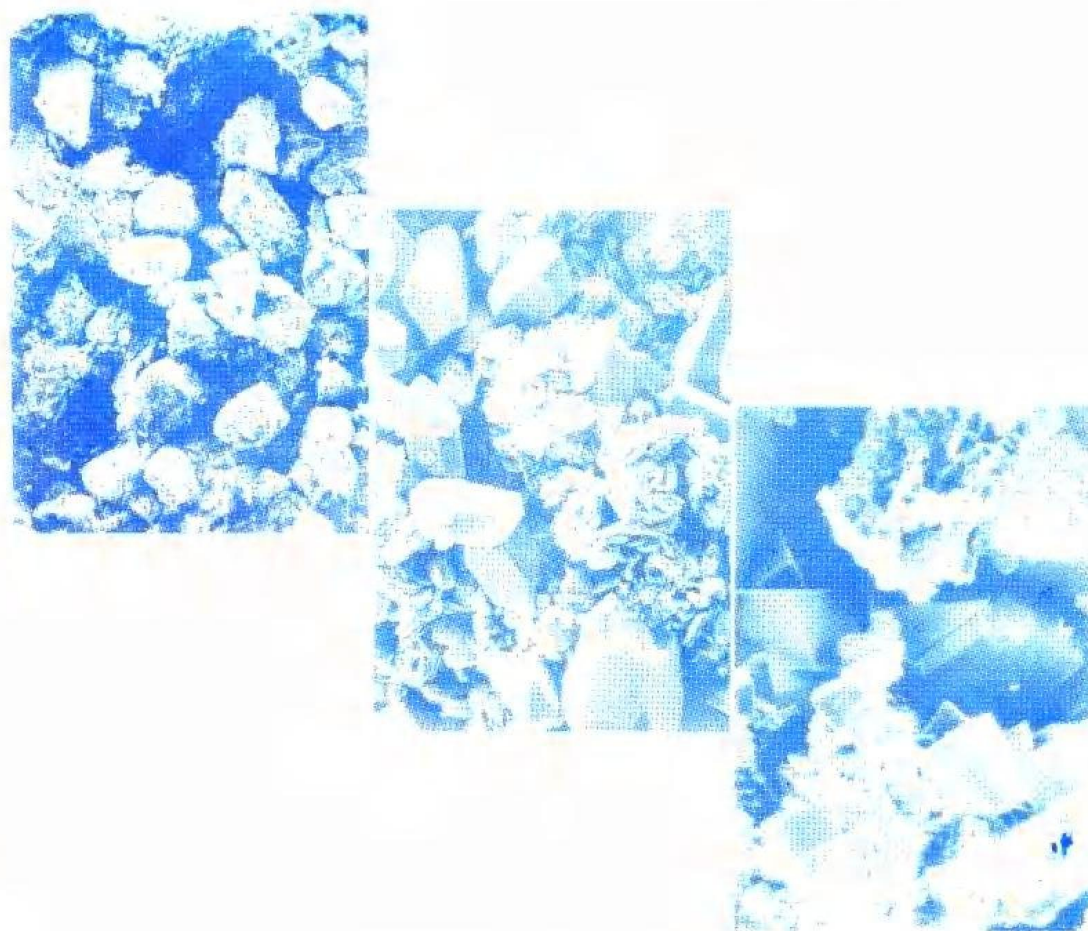


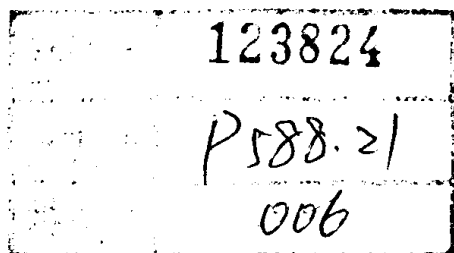
碎屑岩储层 成岩演化模式

● 刘孟慧 赵激林 主编



(北京)

石油大学出版社

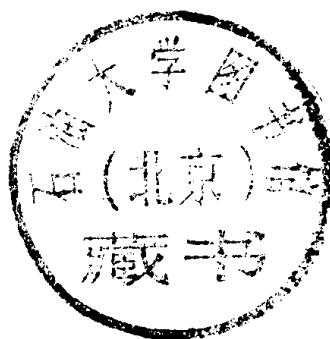


碎屑岩储层成岩演化模式

刘孟慧 赵激林

纪友亮 王留奇 姜在兴 季汉成

SJ15/12



石油0117445

石油大学出版社

鲁新登字10号

内 容 提 要

本专著以东濮凹陷碎屑岩储层为例,全面地分析了断陷湖盆的中-细碎屑岩储层的成岩变化、演化规律、孔隙形成、成岩系列、成岩模式和储层评价。以此建立了碎屑岩储层成岩作用的综合模式。并以内蒙二连盆地下白垩统特殊类型储层为例,说明其成岩变化、储集条件、储层评价和标准,建立了非正常碎屑岩储层成岩作用综合模式。作者在占有大量实际资料的基础上,以实带虚地建立的静态和动态成岩作用模式具有较高的学术价值。对于类似的含油气盆地的储层评价和油气预测,以及对当前东部和西部的油气勘探和开发都有参考价值。

本书可供石油地质人员参考,也可作为石油院校高年级的教学用书。

本书为高等学校博士学科点专项科研基金资助项目的成果,由石油大学科技专著出版基金资助出版

碎屑岩储层成岩演化模式

刘孟慧 赵激林

纪友亮 王留奇 姜在兴 季汉成

*

石油大学出版社出版

(山东省 东营市)

石油大学印刷厂印刷

*

787×1092 16开 7.5印张 192千字

1993年4月第1版 1993年4月第1次印刷

印数1—2000册

ISBN 7-5636-0292-5/P·12

定价: 6.00元

序

刘孟慧、赵澍林老师长期从事沉积学研究，特别是在沉积成岩作用方面更有很深的造诣。

他们的知识更多的来源于实践，他们的才能在生产实践中得到升华。我是在中原油田结识他们的，并为他们长期深入基层、深入实际的精神所感动。

一般地讲，科学是从观察开始的，但观察的结果并不一定就是科学。石油和天然气主要储集于沉积岩中。因此，在油气储层评价研究中成岩作用研究占有十分重要的地位。刘孟慧、赵澍林老师在长期深入油田的实践中，善于将丰富的感性知识、观察的结果总结提高，取得了一批科研成果，丰富了我国储层成岩作用研究，并成为储层评价研究的重要成果。

凡是科学都应有模式。可以将模式看成是新的理论基础。刘孟慧、赵澍林老师不满足于对局部地区的总结，而是通过对具体事件分析，抓住核心，总结其规律，建立新的模式，这就是科学。

本专著就是在“东濮凹陷下第三系砂体微相和成岩作用研究”与“内蒙二连盆中生界砂体微相和成岩作用研究”的基础上，并充分吸收了我国其它含油气地地中一新生代碎屑岩储层成岩作用研究成果综合撰写而成。

作者在广泛收集各项分析测试资料的基础上，开展了成岩标志、成岩序列和成岩相研究，阐明了不同类型的成岩作用及其演化特征。在充分掌握国内外研究动态的基础上，归纳总结出适合我国中一新生代陆相含油气盆地的几种有代表性的二维的成岩演化模式。特别是建立了三维的正常碎屑岩储层成岩作用模式和非正常碎屑岩储层成岩作用模式这两种综合模式。每种模式都体现了构造、沉积、成岩、油气运移和聚集等多种演化机制的综合解释。

解释现象并不是科学家的本色，预测才是科学的目的。成岩模式图的建立对于对比的目的来说，能起到标准的作用；对于储层评价及孔隙形成与演化机制进一步研究来说，具有理论指导意义；而对于新的储集体及有利孔隙发育来说，又具有预测作用。这些成果已在油田得到应用和好评。这种模式图的建立对推进我国碎屑岩成岩作用研究和储层评价将会起到重要作用。在这样研究基础上，逐步建立和完善中国储层地质学，还需要更多的专家继续努力。我预祝刘孟慧、赵澍林老师在科学的道路上取得新的更大的成果。

石宝珩

壬申年春节于北京

前 言

本专著是在“碎屑岩储层成岩作用模式及其演化特征”研究的基础上完善撰写成的。该项成果于1991年6月经部级鉴定,评为“优秀”成果,并认为具有较高学术价值。经石油大学科研专著评审委员会评审推荐,由石油大学出版社正式出版。

就本项研究而言,目前尚在探索和发展中。自1893年由J.Wather首先提出成岩作用的概念后,人们对成岩作用的研究不断全面、系统和深入。进入20世纪70年代,国外成岩作用的研究得到很快发展。近年来在我国也有很多人从事这项研究,并取得较多成果。随着油气勘探开发深度、精度和难度的增加,对成岩作用研究的要求也越来越高。各油田、大专院校的专家们正试图寻找成岩作用的一般规律,并由此预测有利孔隙发育带在纵、横向上的分布规律,帮助寻找隐蔽油气藏。同时逐步与测井、物探相结合,使成岩作用研究在油气勘探开发中发挥更大的作用。最近,人们提出成岩作用演化模式或成岩模式的概念,但尚无令人满意的明确定义。

本文所论及的碎屑岩成岩作用演化模式,就其内涵来说,是表述沉积物(岩)在埋藏成岩过程中,因构造、温度、压力、时间、流体等项地质因素的影响,发生一系列岩性和物性变化的二维或三维的立体图形。或者说,成岩演化模式是对沉积物(岩)在成岩过程中一系列演化和变化规律的高度概括。

对石油地质工作者来说,研究储层成岩作用是直接为找油、找气服务的。不论用什么研究方法或着重何项研究内容,最终都应归结到说明储集岩的物性,即指明岩石孔渗性的纵横向变化,进而对储层作出评价和预测。由于不同地区、不同层位的地质情况、岩石类型不同,成岩条件也会有很大差异,经过复杂的埋藏成岩变化后就表现出不同的岩性和物性。目前,人们正采用多种方法和途径对各类岩石的成岩模式进行探索和研究。本项研究采取了以实带虚的研究技术路线,即通过一些油田实例阐明不同类型碎屑岩储层成岩作用及其演化,进而建立静态(二维或三维)的成岩模式和动态(一维)的成岩模成,其结果用于说明有利孔隙发育带和评价储层。

全书共分两篇。第一篇是正常碎屑岩成岩作用模式及其演化特征,分两章七节。第一章是以东濮凹陷碎屑岩储层为例,较全面地说明了断陷湖盆的中-细碎屑岩储层的成岩变化、演化规律、孔隙形成、成岩系列、成岩模式和储层评价等方面的内容和相应的研究方法。其主要地质特征是:储层多夹在暗色粘土岩或膏盐层中,化学成岩作用复杂多样,储层成岩作用明显受沉积相和构造因素以及埋藏深度的影响。重点研究地区有文留、濮城、胡状集、桥口、白庙、马厂等,主要研究目的层是沙三段和沙四段。储层性质多属中孔中渗至低孔低渗,且以后者居多。第二章是模式及演化,是对上一章的概括。首先提出了对东营组剥蚀厚度的新见解,并分地区确立了沙三段的埋藏曲线,以此反映成岩作用的垂向演化特征。在此基础上,归纳总结出东濮凹陷下第三系4种有代表性的成岩演化模式,即西部斜坡带、文留地区、桥口地区和马厂地区的沙三段成岩作用演化模式。这是4个地区性的成岩演化模式。最后,综合应用储集岩-生油岩体系的有机和无机成岩作用,建立了碎屑岩储层成岩作用综合模式。综合模式具有一般性成岩模式的性质,它对于类似含油气盆地的储层评价和油气预测有参考价

值。

第二篇是非正常碎屑岩储层成岩作用模式及其演化特征,共分两章九节。第一章是以内蒙二连盆地蒙古林油田下白垩统阿尔善组砾岩储层为例,说明以火山碎屑组分为主的特殊类型粗碎屑岩储层,在成分成熟度和结构成熟度都低、埋藏深度又较浅的条件下所发生的成岩变化,分析了其储集性能及评价标准,并建立了成岩模式。第二章是以内蒙二连盆地阿南油田下白垩统阿三油组储层为例,说明正常碎屑岩与火山碎屑岩间过渡类型储层的成岩变化、储集条件、储层评价和成岩模式在油气预测中的应用。这两个地区性的特殊类型储层成岩作用模式,及在此基础上建立的非正常碎屑岩储层成岩作用综合模式,对于我国当前东部抑或西部的油气勘探和开发都有一定参考价值。

本专著是刘孟慧和赵激林在多年砂体微相及成岩作用研究的基础上,通力合作完成的,工作内容包括课题研究、全书文字撰写、统编和打印。博士生纪友亮和硕士生王留奇、季汉成结合学位论文撰写,曾参加东濮凹陷下第三系和内蒙二连盆地中生界一些油田的成岩作用研究工作,并参加了本书有关章节部分的编写。“六五”和“七五”期间曾先后参加中原油田、二连油田砂体微相和成岩作用研究的研究生还有姜在兴、寿建峰、吴因业、王德仁、张天营以及中原油田的冯正行、袁政文和二连油田的平学聪、曹广营等科技人员。

衷心感谢中国石油天然气总公司各位领导和蒋其凯、史训知、石宝珩等局长,以及中原石油管理局、华北石油管理局、石油大学等有关领导和生产科研部门多年来对我们从事储层沉积相和成岩作用研究的鼓励、支持和帮助。也感谢中国地质大学何镜宇,北京石油勘探开发研究院吴崇筠、裴亦楠、胡见义、薛叔浩,中科院孙枢,西南地矿所刘宝珩,胜利油田周自立,浙江石油地质研究所朱国华,以及中原油田张全根、朱家蔚、齐兴宇等教授、专家自1984年以来多次参与对我们的“砂体微相和成岩作用研究”有关成果的评审,和在学术上的多方指导。

限于水平,文中如有不当之处,敬请读者指正。

石油大学沉积学研究室

1990年12月初稿

于1992年修改完稿

目 录

第一篇 正常碎屑岩成岩作用模式及其演化特征

——以东濮凹陷下第三系碎屑岩储层为例

第一章 东濮凹陷下第三系碎屑岩储层	1
第一节 地质概况和沉积作用	1
一、地质概况	1
二、沉积相及沉积模式	3
第二节 岩石学特征及其成岩演化	8
一、砂岩的陆源碎屑组分及其成岩演化	9
二、化学沉淀胶结物及其成岩演化	20
三、粘土岩的特征及粘土矿物的成岩演化	25
第三节 成岩事件和成岩序列	31
一、压实作用	31
二、胶结及交代作用	32
三、粘土矿物的演化	33
四、溶解并形成次生孔隙的作用	34
五、有机质的成岩演化	34
六、几个地区的成岩事件和成岩序列	34
七、成岩阶段的划分	38
第四节 次生孔隙的形成及分布	39
一、次生孔隙的类型及识别	39
二、次生孔隙的分布	42
三、次生孔隙的成因	48
四、影响次生孔隙发育的因素	51
第五节 成岩相和成岩相模式	54
一、成岩相	54
二、成岩相模式	57
第六节 储层评价	63
一、卫城地区	64
二、文留地区沙三段储层质量评价	66
第二章 模式及演化	69
第七节 成岩演化模式	69
一、成岩埋藏史	69
二、成岩演化模式	71

三、结论与建议	79
---------	----

第二篇 非正常碎屑岩的成岩作用模式及其演化特征

——以二连盆地中生界砾岩及火山碎屑岩储层为例

第一章 蒙古林油田阿尔善组砾岩储层	80
第一节 沉积特征	80
第二节 成岩作用和成岩序列	83
一、成岩特征	84
二、成岩相及成岩阶段划分	87
第三节 次生孔隙的特征及演化	90
一、次生孔隙类型(按成因分类)	90
二、次生孔隙的结构	91
三、孔隙分布及演化	92
四、高孔低渗的原因讨论	93
五、成岩作用控制因素	94
第四节 储层特征	95
一、孔隙度与渗透率	95
二、物性控制因素分析	96
三、结论	97
第二章 阿南凹陷阿三油组火山碎屑岩储层	99
第五节 阿三油组的沉积特征	99
一、矿物学及岩石学特征	99
二、沉积环境及沉积相	101
第六节 成岩事件与成岩演化	102
一、成岩作用类型	102
二、成岩事件与成岩序列	102
三、成岩阶段	103
第七节 成岩相及其相模式	103
一、成岩相划分	103
二、成岩作用控制因素	104
三、成岩模式	106
第八节 储层评价	106
一、储层孔隙性	107
二、储层渗透性	107
三、储层非均质性	107
四、评价与建议	109
第九节 非正常碎屑岩储层成岩作用综合模式	110
参考文献	112

第一篇 正常碎屑岩成岩作用模式及其演化特征

—以东濮凹陷下第三系碎屑岩储层为例

第一章 东濮凹陷下第三系碎屑岩储层

第一节 地质概况和沉积作用

自1984年以来,我们坚持在东濮凹陷做砂体微相和成岩作用研究,陆续完成了一些成果报告。研究地区包括:文留、濮城、卫城、胡状集、庆祖集、桥口、白庙、徐集、马厂、三春集等(图1-1-1)。1989年结合本项研究又补充收集资料和取样。共计描述取心井80口,心长1000m、取样500块、岩石薄片鉴定300余片(含部分铸体薄片)、岩心和薄片拍照300余张、做扫描电镜50个样品、照相300余张、X-衍射分析样品20个。还系统收集了粒度、重矿、镜质体反射率、油层物性、地温、压力、油气水和地震、测井等项资料。编制了单井相分析图、沉积相图、成岩相图以及有关物性参数图20余幅。

一、地质概况

东濮凹陷地处我国中原地区,横跨河南及山东两省,位于豫东、鲁西南之黄河两岸。属华北地台渤海湾含油气盆地南缘临清坳陷东南部的一个凹陷,由5个次级构造单元组成,即东部陡坡带、东部洼陷带、中央隆起带、西部洼陷带和西部斜坡带(图1-1-1)。

1. 演化特征

东濮凹陷从形成到消亡经历由断陷到拗陷两大构造旋回(即 E_k-E_d , $Ng-Q$)和五个演化阶段。即初陷期(E_k-E_{s4})、深陷期(E_{s3})、收缩期($E_{s2}-E_{s1}$)、衰亡期(E_d)、拗陷期($Ng-Q$)。

2. 地层特征

东濮凹陷是以古—中生界为基底,以新生界下第三系为主的断陷盐湖盆地。下第三系包括孔店组、沙河街组、东营组。沉积厚度达8000m以上。

本区下第三系为盐湖沉积,经历了两个大的沉积旋回。第一沉积旋回包括沙四段和沙三段,厚度为4000~3000m;第二沉积旋回包括沙二段、沙一段和东营组,厚度3000~4000m。每一旋回都经历了浅水—深水—浅水,水介质淡—咸—淡的演化过程。沙河街组发育4套盐膏层,主要分布在凹陷北部,累计厚度达2000m以上,盐层的存在对储层的成岩演化和油气的聚集有着重要的影响。

3. 沉积特征

沙三³⁻⁴亚段的主要沉积特征是:①砂体较发育,砂、泥岩呈频繁薄互层;②沉积物粒度偏细、碳酸盐胶结物含量高;③砂岩的成分成熟度中等,结构成熟度偏低;④沉积构造类型丰富多彩,重力流、牵引流兼而有之;⑤构造控制沉积明显,砂体类型及地层展布具有东西分带、南北分区的特征;⑥盐膏岩均位于盆地的沉积中心,碎屑岩呈环带状分布在其周

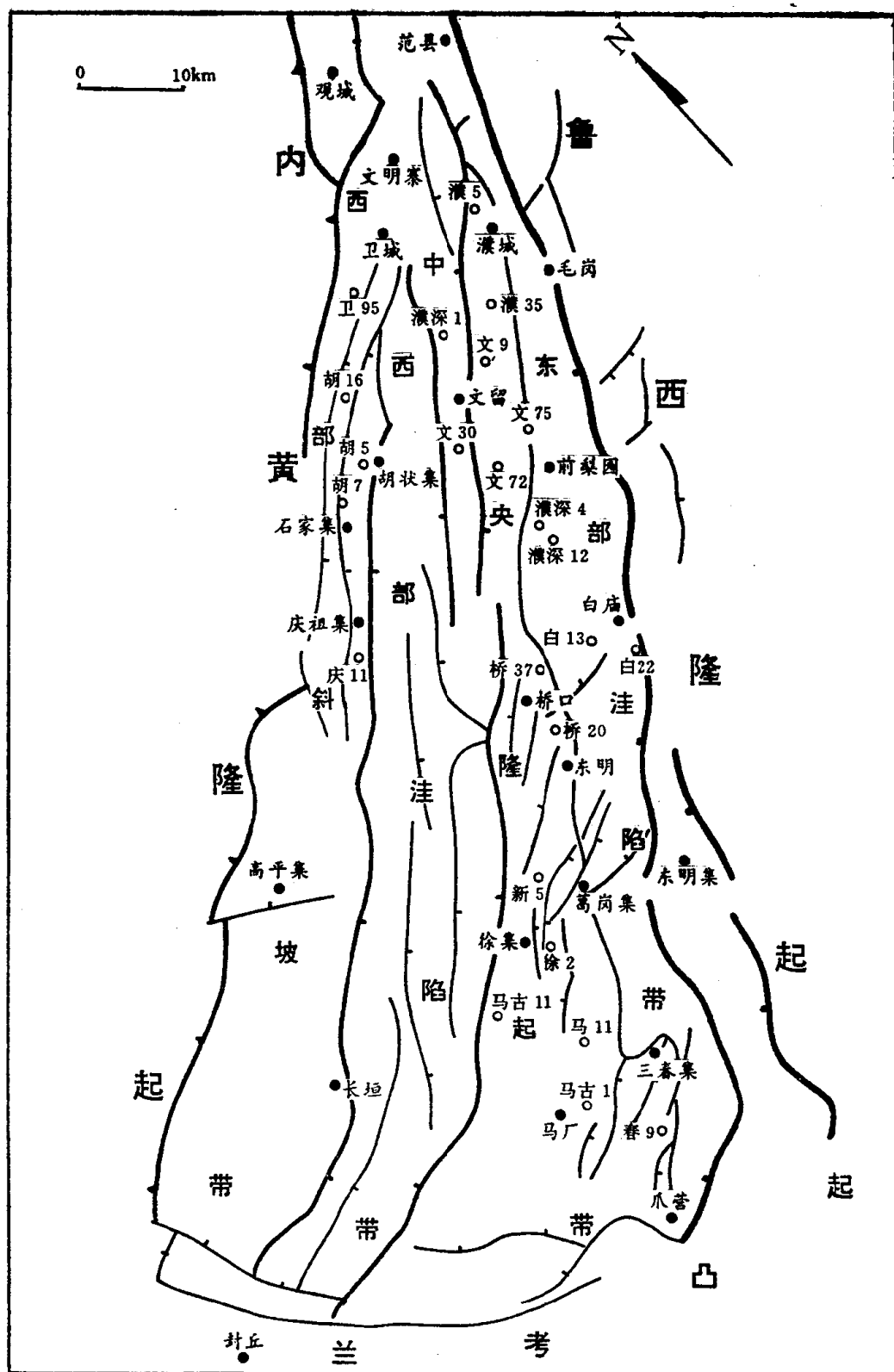


图1-1-1 东濮凹陷区域构造略图

围。

4. 沉积背景

沙四段沉积时期，为断陷的初始期，古地形较平坦，基底为略呈东北倾的单斜。沙三段沉积时期，控制东濮凹陷的兰聊断裂大规模活动，造成了盆地与周围凸起之间有较大的地形高差。盆内诸多不同级别、不同序次断裂的活动，使盆地分割成多个深浅有别的次级洼陷和

凸起区。

从已获得的大量古生物资料来看,沙三段沉积期的古气候为干旱—半干旱气候。

从砂岩等厚图、砂岩百分含量等值线图、石英及长石百分含量等值线图中可以看出,盆地周围的边缘地区为砂岩厚度高值区和砂岩百分比高值区,明显反映有4个方向的物源区,即东部物源区,西部物源区,北部物源区和南部物源区。主要物源在南部和北部。

二、沉积相及沉积模式

通过对东濮凹陷下第三系沙四段—沙三³⁻⁴亚段的沉积相进行较全面系统的研究,确定出洪水—漫湖、湖底扇、重力流水道、滩坝、扇三角洲、三角洲、风暴重力流及表层密度流等相类型。

1. 洪水—漫湖沉积

通过对东濮凹陷卫57、卫40、卫气1及新胡4等井的沙四^F亚段红层的研究,认为东濮凹陷沙四^F亚段红层为洪水—漫湖沉积。

洪水—漫湖沉积是湖泊环境中的一种特殊类型。它是在湖盆发育早期,古地形平坦的浅水湖泊中,气候干旱、半干旱的条件下,与近源、短源阵发性洪水的注入及随之而来的沉积作用有关。即在开阔平坦的湖岸环境中,在洪水期高水位面附近的低能带形成了泥坪,以紫红色泥岩、红色泥岩为主,夹泥质粉砂岩和粉砂质泥岩,具透镜状层理,生物扰动弱;在低水位(枯水位)面附近的高能带形成砂坪或滩砂,主要是红色的粉细砂岩夹紫红色泥岩,具平行层理及青鱼骨状层理,生物扰动强度中到强;在高、低水位面之间的间歇能带形成砂泥混合坪,由紫红色泥岩、粉砂质泥岩与粉细砂岩间互组成,波状及透镜状层理发育,具强—极强的生物扰动构造;洪水注入高峰期,在泥坪上可形成洪水水道及冲刷充填沉积,主要由具盆内砾屑的递变层理砂岩相和平行层理砂岩相组成,底部具冲刷充填构造。

2. 湖底扇沉积

沙三³⁻⁴亚段沉积时期,由于兰聊断层、石家集断层的剧烈活动,造成湖盆东西两侧地形高差大,洪水携带大量碎屑物质直接入湖,形成了一系列湖底扇沉积。综合各单井相分析的结果,东濮凹陷沙三³⁻⁴亚段的湖底扇可以划分出如下亚相和微相:

补给水道:是重力流通向盆地底部的通道。见于白7、白22等井,由杂基支撑砂砾岩相和滑塌岩相组成,砾岩中见有大漂砾(10~15cm)。

内扇:主沟道微相以正序、反序、正序-反序和杂乱砾岩相为主,也见卵石砂岩相、叠复冲刷砂砾岩相、滑塌岩相和块状砂岩相。为向上变细层序,层序厚度一般为0.5~2m。见于白7、白10、胡13、胡6、卫95-2等井。主沟堤和漫溢微相主要由CDE和DE序的典型浊积岩构成,也见平行层理砂岩相和滑塌构造,见于胡6、白10、白7等井。

中扇:辫状沟道见于开37、卫79、濮63、白12、濮深12等井。主要由叠复冲刷砂岩相、块状砂岩相、平行层理砂岩相组成,夹于暗色泥岩相中,多为向上变细层序,单个层序厚度1.5~3.5m,其粒度概率曲线为上凸弧形或二段过渡式。辫状沟堤、沟间微相及中心微相主要由平行层理细砂岩相和BCDE序、CDE序的典型浊积岩相组成,夹于暗色泥岩相中,层序厚度0.1~1.5m,见于白12、濮63等井。

外扇:由末稍微相的远源浊积岩组成。为薄层的CDE、DE序的典型浊积岩相夹于厚层的暗色泥岩相中(>2m)。砂体呈席状分布,见于濮63、濮120、白7等井。

3. 重力流水道沉积

东濮凹陷是一个南北向延伸的狭长的箕状断陷盆地,其沉积作用明显受盆地构造格局的

控制，在沙三段沉积时期，在黄河断层、长垣断层及其派生的次级小断层的控制下，在中央隆起带的卫城、文留、桥口、新霍等地区形成了一系列平行于盆地延伸方向的北北东向“断槽”或深切水道。来自凹陷南北两端的轴向重力流和来自凹陷东西两侧的洪水及滑塌重力流，将沿断槽进入湖底，卸载后形成以沟道型浊积岩为特征的重力流沉积。根据桥16、卫18-5、桥33、文204等井的单井相分析结果，将东濮凹陷沙三³⁻⁴亚段重力流水道沉积进一步划分为两个亚相。

重力流水道亚相：其沉积特征类似于湖底扇的主沟道及辫状沟道微相。

漫溢亚相：视距水道的远近可划分出近水道漫溢和远水道漫溢微相，其沉积特征类似于湖底扇的辫状沟堤及中心微相。重力流水道的沉积模式见图1-1-2。

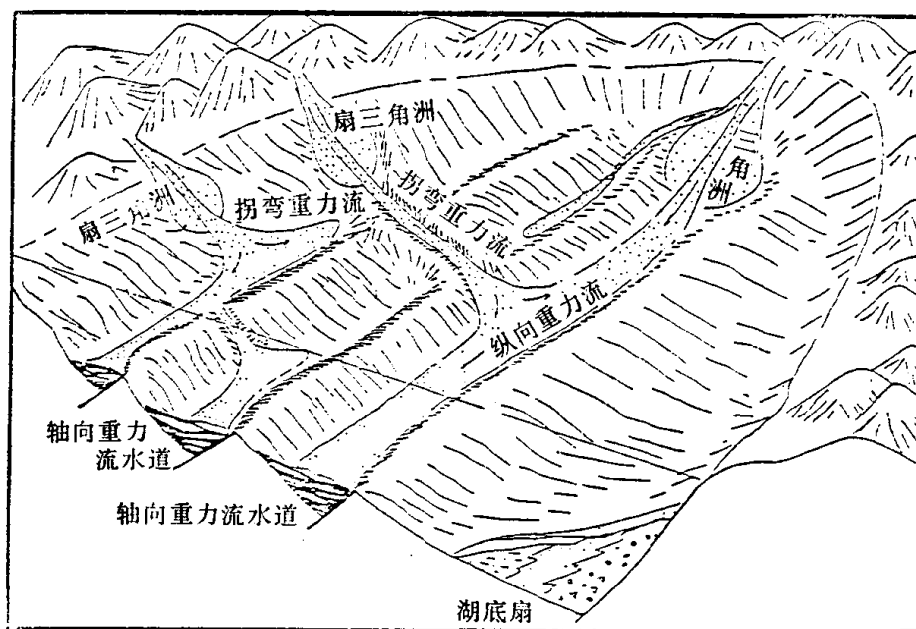


图1-1-2 沙三³⁻⁴段重力流水道沉积模式图

4. 扇三角洲沉积

东濮凹陷是呈长条状的箕状凹陷。在短轴方向上，坡度陡、物源近，很难形成源远流长的曲流河。由于沙三³时期石家集断层的活动相对于沙三⁴时期较弱，西部斜坡带的古地形高差相对较小。暴洪或辫状河进入浅湖，形成扇三角洲沉积。

综合单井相分析的结果，东濮凹陷沙三³亚段的扇三角洲可以划分出两个亚相。由于后期的剥蚀作用和钻井资料所限，扇三角洲平原亚相未曾发现。

扇三角洲前缘：水下辫状河道微相主要由递变不明显的中细砂岩相、块状粉细砂岩相、交错层理、波状层理粉细砂岩相和卵石砂岩相组成。粒度概率曲线为三段式，表明流体牵引作用明显。河道间主要由紫红色、灰绿色及浅灰色具波状层理、小型交错层理、透镜状层理的泥质粉砂岩、粉砂质泥岩及少量粉砂岩组成，见火焰构造及旋涡构造。河口坝以具块状层理、平行层理、交错层理的粉、细砂岩为主。夹有灰色、绿灰色泥岩。

前扇三角洲：岩性主要为块状或水平层理灰色、深灰色泥岩夹粉砂条带。

5. 三角洲沉积

东濮凹陷沙三³⁻⁴亚段三角洲砂体是重要的油气储集体，主要分布于盆地南端的马厂、三春集地区和北端的观城、文明寨地区。它们属于稳定性河流形成的大型复合三角洲。

综合分析的结果表明，东濮凹陷三角洲可进一步分出如下亚相和微相。由于剥蚀作用和

钻井资料的限制, 本区沙三³⁻⁴亚段未钻遇三角洲平原亚相。

三角洲前缘: 水下分流河道见于兰1、马23和徐7井。其沉积特征为灰白色、浅灰色块状泥岩、块状含细砾中粗砂岩、斜层理、块状层理及平行层理细砂岩、粉细砂岩间互, 粒度概率曲线为以跳跃总体为主的两段式。分流间湾主要由微细斜层理粉砂岩相、微细水平纹层含粉砂泥岩相与浅灰、灰白色块状泥岩相薄互层组成, 粉砂质重荷构造以及近于对称的小型波痕亦可见到。河口坝在岩心剖面上主要见于马11—16井、马24井、马27井、马1井、马33井、徐3井及兰1井。主要由块状或平行层理粉砂岩相, 斜层理粉砂岩相与泥质粉砂岩相及槽状交错层理粉砂岩相夹薄层浅灰、浅绿灰及灰白色块状泥岩相组成。粒度概率曲线为两段过渡式。远砂坝在岩心剖面上见于徐10井, 马25井和马33井。其沉积层序为略向上变粗层序。主要由小型交错层理粉细砂岩相、波状层理泥质粉砂岩相与浅灰色、浅灰绿色灰黑色泥岩相呈薄互层状组成。此外, 倾斜潜穴、中等生物扰动构造、同生变形构造与碳屑亦有出现。

前三三角洲: 主要由厚层块状(深)灰色泥岩夹薄层粉砂质泥岩和泥质粉砂岩组成, 具微细水平层理。

6. 浅水滩坝沉积

沙三³⁻⁴亚段滩坝分布于中央隆起带的文留地区, 沙三³亚段沉积早期, 由于文西断层和文东断层的相继形成并活动, 使中央隆起已具雏形, 并成为长期的水下隆起区, 形成较发育的水下滩坝沉积。

滩坝沉积见于文95(沙三³亚段)、文220(沙三³亚段)等井, 其沉积特征为中薄层的波状层理粉细砂岩相, 浪成交错层理粉细砂岩相, 斜波状层理粉细砂岩相与灰绿色、暗紫红色及灰色泥岩相互层。滩砂的成分成熟度和结构成熟度均较高。反映浅水波浪对滩砂的淘洗作用。粒度概率曲线为三段式和双跳跃式, 它反映了往复水流作用的结果。沉积模式如图1-1-3所示。

7. 风暴重力沉积

通过对东濮凹陷20口井岩心的描述, 并充分参考了前人的资料, 认为东濮凹陷沙三³⁻⁴亚段的风暴沉积是风暴对原始沉积物的改造并重新堆积的结果。

地层对比表明, 风暴沉积的物源是滩和扇三角洲。这两种沉积环境砂质富集, 又位于浅水, 故极易被风暴流搅起, 在晴天浪底和风暴浪底之间形成风暴岩, 当风暴能量很强时, 风暴回流可穿过风暴浪底, 在更深的水中形成浊积岩。这样, 风暴沉积应由物源相、风暴相和浊积相三部分组成(图1-1-4)。

8. 表层密度流沉积

东濮凹陷沙三³⁻⁴亚段普遍发育粉砂岩、泥质粉砂岩、暗色泥页岩和盐膏岩组成的互层

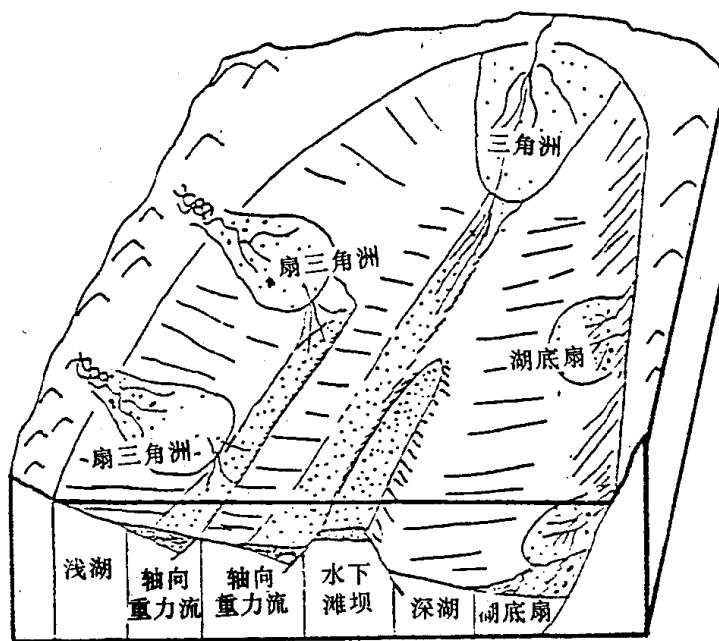


图1-1-3 沙三³亚段滩坝沉积成因模式图

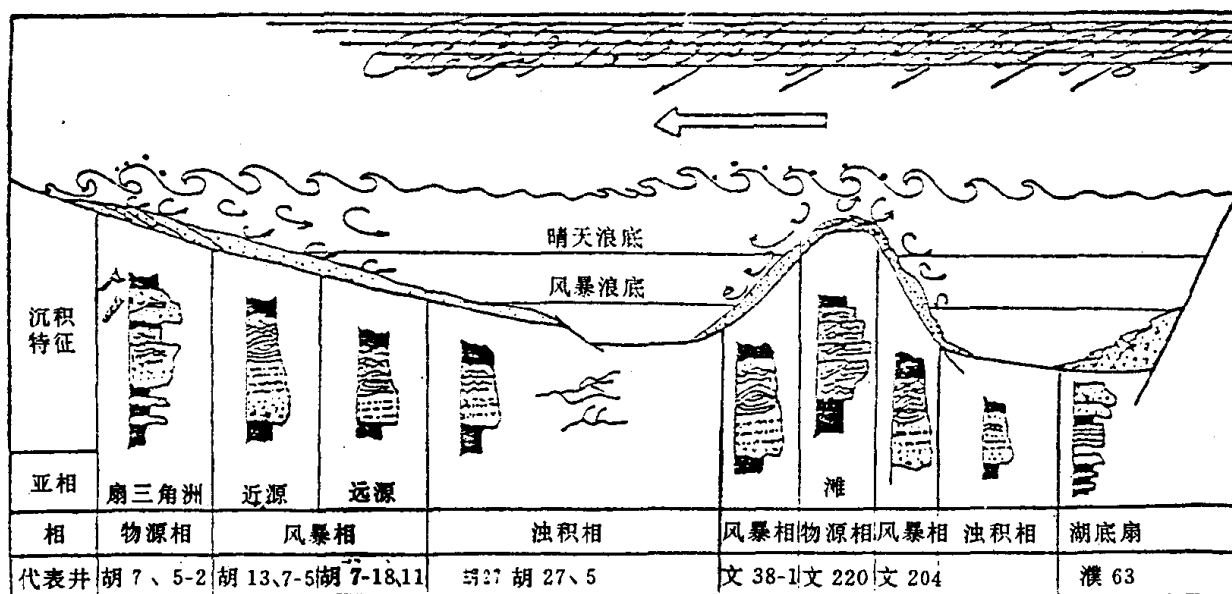


图1-1-4 沙三³⁻⁴亚段风暴沉积模式图

沉积，类似季节纹层。有相当一部分薄层粉砂岩（ $<1\text{cm}$ ）厚度稳定，无完整和不完整的鲍玛层序，无法用底部浊流来解释。

M. Sturm和A. Matter (1977) 在研究布里次湖的浊积岩与纹层泥时提出了表层密度流 (over flow)、层间密度流 (inter flow)、底层密度流 (under flow) 的沉积模式，这种模式对解释东濮凹陷不具BCDE序而分布广泛的薄层粉砂岩有一定的参考价值。

东濮凹陷沙三段盐膏岩沉积厚度逾千米，从沉积特征及与暗色泥岩的组合关系上看，是深水沉积，分层卤水是成盐的基本形式。分层卤水由三部分组成。即：稀释层（相当于半咸水—咸水，密度低）；盐跃层（盐度迅速增加，与稀释层有一密度界面）；卤水层（基本为饱和盐水，密度大，厚度小）。

盐度的变化引起了湖水的密度分层。同时，因季节性，甚至是昼夜的温度变化，也导致湖水密度的分层。当洪水携带碎屑物质及风力吹来的粉砂及粘土物质进入湖水后，如果其密度小于稀释层的密度，那么它将作为溢流在湖的表面流动。如果洪水密度大于稀释层的密度，而小于中部的盐跃层的密度，它将作为层间流注入稀释层与盐跃层、温跃层的分界处，并且随着水的流动搬运到远处。在搬运过程中，粗粉砂颗粒从盐跃层、温跃层中沉淀下来，堆积成粉砂质层，而大部分最细的颗粒保留在温跃层和盐跃层的悬浮体中。只有当随着季节性变化，湖水分层遭到破坏后，悬浮的细小颗粒才开始作为一个“悬浮盖层”沉淀出来。形成暗色泥、浅色粉砂及盐岩间互的“季节纹层”。这种沉积作用有一定的周期性，以至形成东濮凹陷沙三段几乎遍及全盆地的各种盐膏岩—粉砂岩—暗色泥岩组成的韵律层。

9. 沉积环境与砂体展布

在按成因研究了砂体类型的基础上，我们按层段来讨论沙四段及沙三³⁻⁴亚段沉积环境与砂体分布。沙四^下亚段沉积期盆地西部与中部为洪水—漫湖沉积。东部资料不全，可能为扇三角洲或滩坝沉积。盆地南部资料缺乏，可能为三角洲沉积。洪水水道砂体垂直于湖岸分布，漫湖砂坪砂体呈席状或带状沿湖岸分布。

沙四^上亚段比沙四^下亚段沉积期湖水变深，西部缓坡带为滨浅湖沉积，中央隆起带部位为水下滩坝沉积，东部为湖底扇，南部可能为三角洲沉积。

可以看出,沙三⁴亚段沉积期沿兰聊断层的濮城、前梨园、白庙地区出现一系列湖底扇,盆地西侧胡状集、庆祖集地区形成众多缓岸水下扇,南北两端为三角洲—滑塌轴向重力流沉积。以文留为中心分布有盐湖相盐岩、膏岩夹深湖相泥岩沉积,其外围为深湖—半深湖暗色泥岩沉积。湖底扇砂体呈裙边状分布在湖盆的东西两侧,三角洲砂体呈舌状或席状分布在盆地的南北两端,重力流水道砂体沿盆地的轴向分布。

沙三³亚段沉积环境与沙三⁴亚段沉积环境基本相似,只是东侧湖底扇的前端形成深切扇抵达文东地区,盆地西侧由缓岸水下扇变为扇三角洲沉积,盐湖沉积中心北移至卫城,并在文留地区出现水下滩坝沉积。湖底扇砂体呈裙边状分布在湖盆的东侧,扇三角洲砂体呈裙边状分布在湖盆的西侧,三角洲砂体呈舌状或席状分布在盆地的南北两端,重力流水道砂体沿盆地的轴向分布,滩坝砂体呈带状分布在文留地区。

经研究得到的认识是,沉积相受构造活动的控制,而沉积相和成岩相又共同控制着储层特征。例如在黄河南,沙三³⁻⁴时期有四种沉积体系(图1-1-5、图1-1-6)。

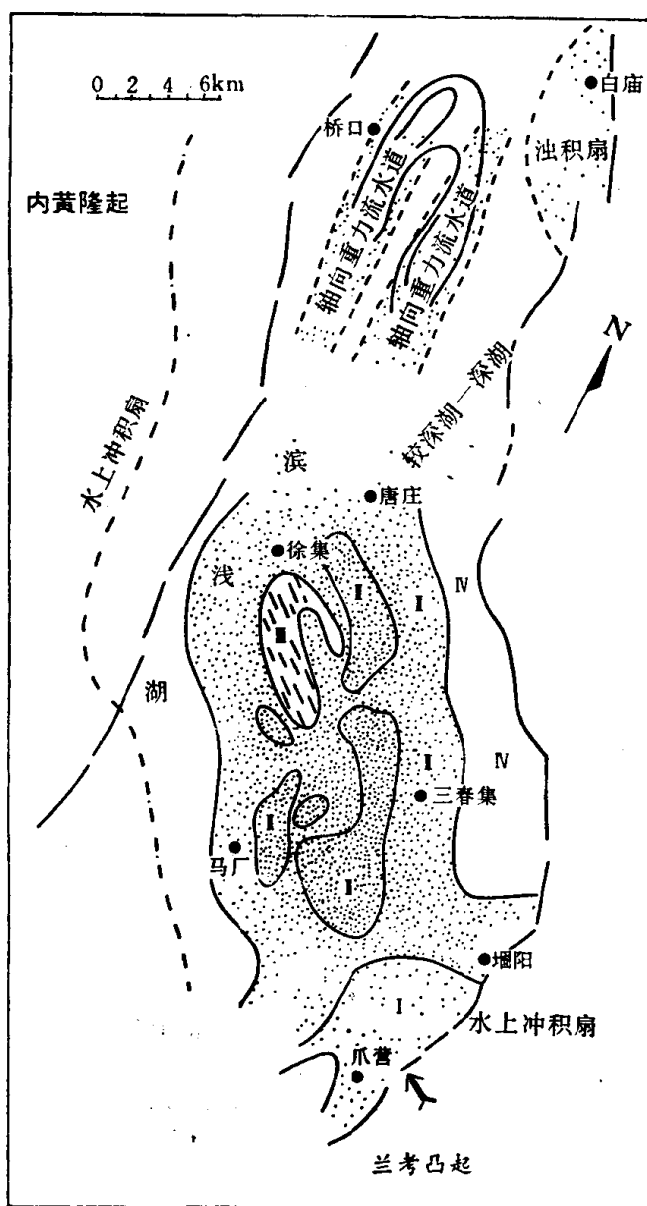


图1-1-5 黄河南地区沙三⁴亚段沉积相模式

I 三角洲水下平原 II 河口砂坝及侧缘
III 坝间 IV 前三角洲

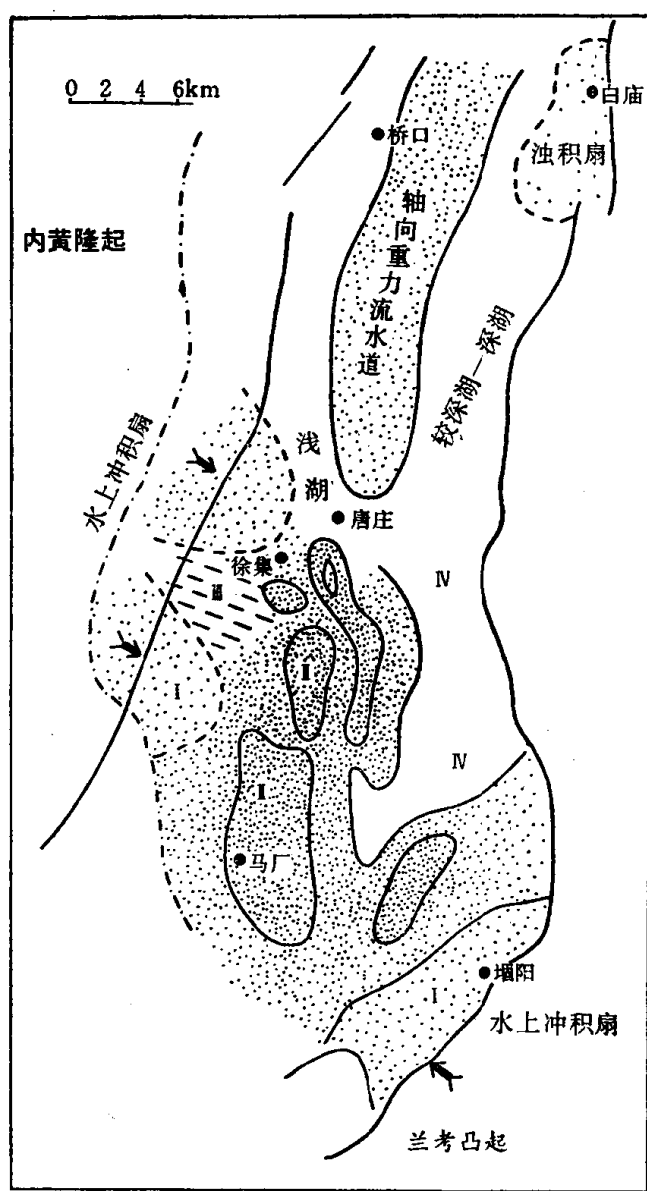


图1-1-6 黄河南地区沙三³亚段沉积相模式

I 三角洲水下平原 II 河口坝、远砂坝
III 三角洲间湾 IV 前三角洲

(1) 水上冲积扇体系。扇中、扇缘在豫深1井附近,在爪营南部可能存在水上冲积扇沉积。

(2) 三角洲沉积体系。主要在徐集—马厂—三春集地区,徐集、马厂以西可能是三角洲水上平原沉积区。

(3) 轴向重力流沉积体系。分布于唐庄以北地区。

(4) 陡岸滑塌浊积扇沉积体系。分布于白庙、新庄等地区。

黄河南地区沙三³⁻⁴地层就是由水上冲积扇、朵状三角洲和深水(包括较深水)重力流沉积的复合体系构成的。

黄河南地区沙三³⁻⁴亚段的沉积作用明显地受构造活动的控制。沙三³⁻⁴时期,兰聊断层和长垣断层的不均衡活动,造成自东而西为断槽、断斜坡和断棱的断块结构。由于兰聊断层和基底块体在不同地区的活动差异性,使不同地区的断块体具有不同的沉积特征,从而组成不同类型的构造—岩相带。该区沙三³⁻⁴亚段有下列主要的构造岩相带。

(1) 深槽—深水暗色泥岩带。分布于兰聊断层的下降盘,其分布范围主要受兰聊断层下陷幅度的控制。主要岩相为块状泥岩相和水平纹层泥页岩相,这是良好的油气生成带。

(2) 断斜坡—三角洲前缘净砂岩带。发育于马厂、徐集构造的马东和徐东断阶带以及三春集鼻状构造上,分布范围较广。主要岩相为块状及平行层理粉细砂岩相,次为交错层理和波状层理粉砂岩相,是理想的油气聚集带。马厂构造的主要含油区块即分布于该带中。

(3) 断斜坡—深水重力流杂砂岩带。主要分布于桥口构造的中部和东翼以及唐庄至新霍地区。因砂岩的杂基含量较高、埋藏深度大、溶解作用也较弱,故其油气聚集性能相对较差。

(4) 断棱—三角洲水下平原泥砂岩带。主要位于徐—马构造的西南侧高部位和爪营构造,其油气聚集性能界于(2)与(3)之间。

此外还可以有断槽—深水重力流杂砂岩带等。构造—岩相带控制油气聚集,可见这项研究在油气勘探中是十分重要的。

沉积作用和沉积类型受断层构造控制,它们与油气聚集条件密切相关。同时沉积微相类型和构造活动又明显地控制和影响着成岩作用,而油气的聚集又很大程度上受制于成岩作用。我们就是围绕这些关系,从砂体微相入手,进而研究成岩作用、成岩相,建立成岩作用模式,归纳成岩演化的规律,目的是为勘探和开发提供地质依据。

第二节 岩石学特征及其成岩演化

经对东濮凹陷黄河北和黄河南多个油田和地区的研究,对其岩石学及成岩演化特征得到如下认识。

在卫城—濮城及文留等地区,沙三至沙四段岩石的主要类型有含砾砂岩、中细砂岩、粉砂岩、泥质粉砂岩、白云质(或灰质)泥岩、泥质云岩(或灰岩)以及油页岩。

在砂岩中出现最多的是细组构砂岩,包括粗细粉砂岩、粉—细砂岩和细砂岩,而粗组构的砂岩则较少分布。如在文东地区,经用500多块薄片统计,不同砂岩类型的含量比例如表1-2-1所示。

砂岩的结构成熟度低,颗粒多为次棱角状,次圆状者较少;尤以含有杂基为特征。结构组分特征见图1-2-1。

表1-2-1 碎屑岩粒度类型

岩石类型	细粉砂岩	粗粉砂岩	细砂岩	中砂岩	粗砂岩
含量 (%)	10	46	34	7	3

注：包括含砾砂岩

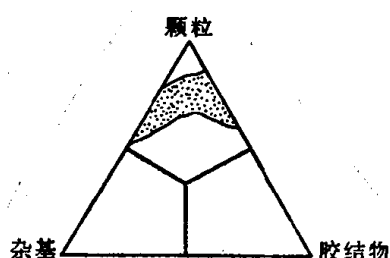


图1-2-1 卫城地区砂岩的结构组分特征（见阴影区）

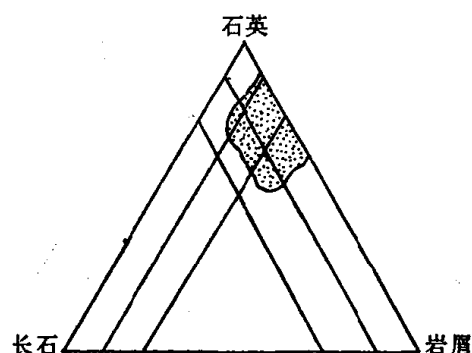


图1-2-2 卫20井砂岩类型图（见阴影区）

砂岩中碎屑成分以石英为主，其次是长石和岩屑。以卫20井为例，该井多见岩屑质石英砂岩，如图表1-2-2所示。卫城地区其它井所见与卫20井大同小异，如卫18-5井沙三⁴亚段55块样品的统计结果是（岩屑+长石）/石英=0.33。而在文东地区的砂岩中则长石多于岩屑，主要砂岩类型为长石砂岩和含长石石英砂岩，其次才是岩屑石英砂岩。

表1-2-2 砂岩组分表

组分	石英	长石	岩屑	粘土杂基	灰（云）泥
含量 (%)	60~90	5~15	10~30	10	10~40

在濮卫及文留地区，砂岩组分总的特点是：碎屑组分以石英为主，长石、岩屑的含量相仿。杂基在数量上多于胶结物，胶结物的主要组分是碳酸盐矿物，杂基中灰泥和云泥杂基多于粘土杂基。在文东净砂岩相对较多，杂砂岩和杂粉砂岩在砂（粉砂）岩中占25%~30%。

东濮凹陷濮卫及文留地区沙三—沙四段埋深都超过2600m，甚至达到4000m。由于埋深大，虽然地层时代很新，但所经受的成岩作用都是比较强的。具体的成岩作用有压实作用、胶结作用、重结晶作用，以及组分的溶蚀和溶解作用。围绕储层研究这一目的来考虑，有些成岩作用对于储层性质是不利的，如压实和胶结导致孔隙的减少和减小；但也有一些成岩作用对于形成孔隙是有利的，如溶蚀、溶解作用可以直接产生次生孔隙。我们研究成岩作用，就是为讨论有利孔隙形成和发育的条件，寻找构成储层的次生孔隙发育带和由成岩作用而形成的成岩圈闭条件。

下面分别认识砂岩中不同组分的成岩变化。

一、砂岩的陆源碎屑组分及其成岩变化

1. 石英的变化

(1) 石英的次生加大

这是一个普遍可见的现象。当石英颗粒的周围自由空间充分时，石英通过加大、增生可恢复晶体的自形，这是成岩早期石英加大的特征（图1-2-3）。在成岩后期由于大量的粒间