

内部资料

编号:

东 濮 凹 陷

文留地区盐下含气层系(沙四段) 砂体微相及成岩作用的研究

赵激林 刘孟慧

冯正行 李 健 寿建峰



华东石油学院 中原石油勘探局

1985年10月

《东濮凹陷文留地区盐下含气层系(沙四段) 砂体微相及成岩作用研究》评审意见书

根据勘探与开发生产的实际需要,中原石油勘探局聘请华东石油学院赵激林、刘孟慧二位副教授来油田,并由油田勘探开发研究院抽出三人组成专题研究组,开展砂体微相和成岩作用研究。具体任务和要求是“研究东濮凹陷文留地区盐下含气层系(沙四段)砂体微相及成岩作用,以及岩性、岩相变化和成岩作用对油气分布的控制作用,为下一步勘探部署提出意见”。课题负责人由赵激林承担。于一九八四年八月十日开题,一九八五年二月二十八日完成,历时仅六个月。在时间短,任务重,工作量大,而且两位老师还要承担教学任务的情况下圆满地完成了任务,达到了命题时所提出的具体要求。可见专题组付出了艰巨的劳动和很大的代价,进行了富有成效的工作。

研究组利用常规和特殊的分析手段,取得了大量的各类资料,应用现代沉积和成岩作用方面的理论进行分析论证,取得了可喜的成果。评审人认为本报告达到了国内同类课题的先进水平。具体表现在以下几个方面:

1.基础资料系统、扎实。研究组观察描述和鉴定了大量的岩心及薄片,分析研究了大量的粒度资料。应用常规和先进的分析测试手段,取得了大量的微观和宏观的资料数据。故其基础工作扎实,所得出的结论与成果依据较充分,令人信服。

2.作者根据实际资料,参考了国内外最新研究成果,对研究区进行了认真细致的分析研究。在沉积作用,微相划分和成岩作用方面都具有一定的深度和广度,紧密结合生产实际,有新认识,新观点,是一份比较成功的研究成果。

3.在沉积相研究方面,通过对大量资料的分析研究,从地层、构造、单井相分析等不同方面进行探讨,建立了研究区沙四段地层的相模式。提出了沙四段自下而上的相层序是:漫湖亚相——浅湖-滨湖亚相——较深湖亚相——咸化较深湖亚相。指出漫湖席状砂、滩砂和指状砂是三种主要的砂体类型。分析了古地形,探讨了物源方向和沉积模式。

电镜扫描在研究层中发现了钙质超微化石,这对探讨盐湖盆地的古地理环

科 研 成 果

文留地区盐下含气层系（沙四段）

砂体微相及成岩作用的研究

编辑出版：华东石油学院 中原油油勘探局

地 址：山东省 东营市

河南省 濮阳市

印 刷：华东石油学院印刷厂

1985年11月

内部资料



境很有意义。在东濮凹陷,这是一个很有价值的发现。

4.在成岩作用研究方面,通过对大量的薄片进行常规的鉴定、阴极发光和电镜的观察描述,并拍摄了大量的彩色和黑白照片,以这些实际资料为基础,从理论上对成岩作用各阶段进行了深入细致的研究。指出沙四段以压实作用和充填胶结作用为主,以溶解和溶蚀作用为次。若成岩早期充填了油气可以抑制成岩作用的进展。并且把埋深、温度和压力变化同实测孔隙度、渗透率结合起来进行讨论,得出储层物性由北向南逐渐变差的想法。这与沉积相研究指出的物源主要在北面,泥质含量由北向南逐渐增加的结论是一致的。

通过电镜扫描,发现泥质类粉-细砂岩中存在着微孔、微缝和超微孔隙,作者应用成岩理论分析了这种现象,并从国外资料中找到了类似的实例,得出这类地层仍不失作为储层的看法。

在进行电镜扫描过程中发现了六种主要类型的沸石。对沸石化作用作了较细致的观察描述。对不同井中出现的沸石种类及纵横向变化规律进行了认真的研究。根据沸石矿物的生成条件,结合埋深、温度及压力等变化进行了较深入的讨论。这对于阐明成岩机理和石油地质领域里的一些主要问题都具有重要的参考价值。

5.根据地层、构造、沉积相和成岩作用等研究成果得出的十条结论,六点建议,其依据是较充分的,观点是明确的。对油田的勘探开发生产实际和理论研究都具有一定的参考价值和指导意义。

评审人建议:

1.为更好地指导生产实践,建议把砂体平面展布,特别是指状砂体的展布情况进一步修改完善。

2.在成岩作用研究方面,再适当增加一些定量数据表和图件,进一步结合储层物性进行论述,分析孔隙的生成与保存条件,更为明确地指出本段地层中储层在纵向上的优劣和平面上的分布变化,这将使报告更为生辉。

评审人认为,本专题把沉积相和成岩作用紧密结合起来进行研究,而且比较成功,这在国内同类课题中还是比较鲜见。从基础理论研究出发,紧密结合生产实际,有新观点、新认识,不失为一份比较完好的、有理论和实用价值的研究成果。应用资料多,基础扎实,并采用了先进分析手段,其成果是可信的,对油田的基础理论研究和生产实践都有一定的参考价值和指导意义。报告思路清楚,层次分明,文字简练,图文并茂,资料成套成册,工作质量比较高。认为

本报告基本达到了国内同类课题的先进水平，可予通过验收。结合中原石油勘探局勘探开发研究院有关同行的意见，评为中原石油勘探局优秀科技成果。

评审人员组成：

姓 名	单 位	职 称
吴崇筠	石油部勘探开发科学研究院	教 授
刘宝珪	地矿部西南矿产研究所	教 授
方少仙	西南石油学院	付 教 授
王苏民	中国科学院南京地理研究所	付 研 究 员
朱国华	长庆油田勘探开发研究院	高级工程师
薛叔浩	石油部勘探开发科学研究院	工 程 师
朱家蔚	中原油田勘探开发研究院	付 院 长
赵春元	中原油田勘探开发研究院	付主任工程师、室主任
强启后	中原油田勘探开发研究院	工 程 师

汇总人：

中原石油勘探局勘探开发研究院

强启后

审核人：

中原石油勘探局勘探开发研究院

朱家蔚

中原石油勘探局

一九八五年八月十日

文留地区盐下含气层系(沙四段)

砂体微相及成岩作用的研究

目 录

一、前言	1
(一) 基础资料及研究方面	1
(二) 研究成果及文字报告	2
(三) 人员分工及相应成果	2
二、砂体微相及其沉积作用	4
(一) 地层划分具明显两分性	4
(二) 沉积特征及沉积作用	6
1. 牵引流和重力流兼而有之的构造特征	6
2. 十分发育的生物扰动构造	6
3. 不甚明显的韵律性和较明显的旋回性	9
4. 牵引流和重力流兼而有之的结构特征	9
5. 高成分成熟度和低结构成熟度	13
6. 引人注意的超微化石	16
7. 较咸化的沉积水体与成岩矿物	18
(三) 古构造和古地形特征	18
(四) 沉积物来源分析	18
(五) 沉积相分析	21
1. 工作流程及要点	21
2. 各井自下而上的相层序	21
3. 亚相、微相及砂体	22
4. 相模式、相层序及岩相古地理	25
三、储层特征及其成岩作用	29
(一) 成岩作用与储层性质	29
(二) 压实作用与孔隙的减少	30
1. 孔隙的变化	30
2. 填集优选方位的形成	31
3. 碎屑颗粒的形变	32
4. 构造裂隙的产生	34
(三) 胶结作用与孔隙的充填	34
1. 石英	34

2. 碳酸盐矿物	36
3. 硫酸盐矿物	37
4. 沸石族矿物	38
5. 长石	39
6. 粘土矿物	40
7. 黄铁矿	41
8. 石盐	41
(四) 溶解作用与孔隙的扩大	41
1. 扩大的粒间孔隙	44
2. 粒内溶解孔隙	44
(五) 泥岩中的孔隙与裂缝	45
(六) 成岩阶段分析	46
(七) 沉积因素与孔隙的关系	47
(八) 成岩作用与储层特征	48
四、结论与建议	50
(一) 结论	50
(二) 建议	51
五、专题报告目录	53
六、附图及大型相册目录	54
七、主要参考文献	55
八、文留地区沙四段单井相分析剖面图 (图 1 至图 6)	57
九、图版	
(一) 岩心宏观特征	1
(二) 偏光微观特征	9
(三) 阴极发光特征	28
(四) 扫描电镜特征	33

一、前 言

根据中原石油勘探局与华东石油学院合作开展文留地区盐下含气层系(沙四段)砂体微相和成岩作用研究的技术合作协议规定,本专题的研究任务是:研究东濮凹陷文留地区盐下含气层系(沙四段)砂体微相和成岩作用,以及岩性岩相变化对油气分布的影响因素,为下一步勘探部署提出意见。并通过该项课题为中原油田培养石油地质勘探与开发人才。要求是:1.对该地区已取心井进行系统观察描述和采样,以取心井为重点进行单井微相分析;2.微观研究,以薄片观察为主,辅之以实体显微镜、扫描电镜、阴极发光等手段,研究该区该层系砂体成岩前后各种控制因素,总结出砂体成岩阶段与油气聚集的关系;3.结合地震资料,认识砂体的成因与分布规律,为下一步勘探部署提供地质依据。

根据上述任务与要求,从八四年八月十日签定协议以后,在学院和油田有关部门及领导的大力支持下,特别是中原石油勘探局车卓吾付局长和华东石油学院胡湘炯付院长自始至终对开展本项研究给予了关怀与指导,整个研究过程在课题负责人赵徵林、刘孟慧的组织和领导下,按照协议的分工原则,全组同志齐心协力,经过短短半年时间的奋战,终于在八五年二月底提前完成了本项专题研究工作。

兹将所获基本研究资料及成果汇总于下:

(一) 基础资料及研究方面

1、系统观察和描述文22、文61、文106、文103、文27、文222等井的岩心,总厚约600米,取样约550块,约每米一块,重点是砂岩和粉砂岩,间或取少量泥岩。每口井的岩心都连续系统的作了素描,以取得地层、岩性、岩相、生储条件的基本资料。并选择典型沉积标志进行拍照,计135黑白卷80张、135彩色卷75张,照片均进行了扩印与放大,装制成册。

2、承中原油田地质院化验室岩矿组和华东石油学院岩矿教研室磨制岩石薄片约1000片,辅之以油田已制老片约300片,共计对1300余片进行了系统观察与描述,取得岩石组份、结构、构造等基本资料,进行正确定名。并择重点进行彩色显微照相约180张。

3、承四川石油管理局研究院化验室制作压塑薄片150片,经观察研究,进一步补充描述了岩石组构及孔隙、微缝特征,并择重点进行了显微照相。

4、承胜利油田地质院化验室电镜组的大力支持,完成系统扫描砂岩和泥岩样品60个,并择重点进行了能谱测定,通过与李载铎同志的一道观察与研究,获得了十分丰富的超微结构、超微化石及矿物成分等项资料,拍照约80卷(120),照片近千张。

5、承北京石油勘探开发研究院化验室岩矿组大力支持,至一月底完成阴极发光下观察与研究40个样,每个样片均进行了单偏光、正交偏光及阴极发光下的观察、研究与照相,又经我们补充解释获得了陆源组份、成岩作用、孔隙类型等项资料。

6、承胜利油田地质院化验室完成X-衍射测试粘土样品30余个,获得了粘土矿物的类型及含量数据。

7、对文22井（180个）、文61井（164个）、文106井（20个）的筛析粒度资料和文222井（49个）、文27井（34个）、文103井（5个）薄片粒度资料进行了系统整理和计算。绘制数百条累积曲线，求取 ϕ 值，计算六种粒度参数（平均粒径、中值、分选系数、偏度、标准偏差及峰度）。编制每个样品的粒度概率曲线共数百幅，还编制了C-M图、结构散点图，以及萨胡综合图解等，从中获得了古水动力学及水流状态等资料。

8、充分利用本区现有沙四段的录井剖面及邻区井剖面40余条，系统的进行了地层划分与对比。建立了本区标准剖面及地层划分、对比标志。

9、综合利用前人成果和资料，约21个地震解释剖面及两幅近期构造图，对文留地区沙四段时期古构造及今构造作了进一步研究。

10、系统收集和整理了文22、文61、文106、文222等井的油气水及孔渗资料。

（二）研究成果及文字报告

1、《东濮凹陷文留地区盐下含气层系（沙四段）砂体微相及成岩作用的研究》总结报告一分；

2、构造、地层、岩性、岩相、仪器测试和鉴定等项专题总结16分；

3、构造、地层、岩性、岩相等项研究附图21幅；

4、宏观、微观特征大型相册12本；

5、粘土矿物X-衍射图谱一本；

6、薄片鉴定、粒度分析的基础图件及报告等数十件。

（三）人员分工及相应成果

根据协议精神，通过本专题研究，既要出成果、又要出人才，并发挥年轻及年老两部分同志的专长及积极性，我们努力做到了合理分工。也注意利用了两位课题指导人，在专题研究期间分别在北京和山东讲课并兼职搞科研的条件。归纳每个人的工作情况如下：

1、李健：主要完成了地层划分和对比及区域地层研究、部分单井及连井相分析、相应井的粒度分析，以及大部分井剖面和孔渗、试气资料的收集整理工作。编写专题总结五分及编制相应的附图及插图。还承担了部分送样及联系工作。

2、寿建峰：主要完成了区域构造及构造发育史的研究、部分单井及连井相分析、相应井的粒度分析，以及大量地震信息及岩性、岩相资料的收集整理工作。编写专题总结五分及编制相应的附图和插图。还承担了部分送样、写相册说明及整理工作。

3、冯正行：主要完成了700余个薄片的系统鉴定及资料统计，编写了单井及综合的薄片专题研究总结。还承担了大量采样编目汇总及制片协调工作等。

4、刘孟慧：除承担部分组织指导工作外，还完成了150个压薄片、300个油田旧片的鉴定及显微照相、阴极发光专题研究、扫描电镜部分专题研究，以及各类大型专题相册的科学编辑整理工作。完成成岩作用专题及总报告的编写工作，以及各专题的审核工作。成果签定通过以后，又作了对总报告的修改补充及出版印刷等大量工作。

5、赵微林：除承担部分组织指导工作外，还完成了60余个样品扫描电镜下的系统观察、描述与研究，宏观、微观、古沉积环境及砂体微相的研究，以及30余个粘土岩X-衍射

资料的分析整理及后来制作的200个薄片鉴定工作等。完成上述专题及总报告的组织与编写工作，以及审核工作。成果鉴定通过以后，又作了对总报告的修改补充及出版印刷等大量工作。

还有丁贵春同志也参加了少量工作。

在整个研究工作中，除油田和学院有关领导的关心支持外。油田地质院的任健、朱家蔚、安舆等领导同志，科技办刘国臣、潘培忠、强启后等同志，以及勘探室、开发室、化验室等单位均给了大力支持，学院的科研处、勘探系系行政及总支等单位也给了大力支持，特别是黄醒汉教授、陈景达付教授始终给予了关心帮助。

时间紧、任务重，繁重的分析测试工作是与胜利油田化验室、四川石油管理局研究院化验室、北京石油勘探开发研究院化验室、华东石油学院岩矿实验室等单位的大力支持分不开的，在此一并表示感谢。

为了使油田的广大同志能进一步了解我们的研究成果，并使其中的某些认识在勘探与开发的生产实践中逐步发挥作用，今年三月份在油田勘探开发研究院通过审查鉴定之后，按照协议精神，我们就着手进行了本报告的修改补充及出版印刷工作。为了使报告图文并茂，能使更多同志了解到文留盐下含气层系（沙四段）的宏观、微观及超微观特征，我们特从大量照片及成果图件中精选出一部分，加以科学编辑排于正文后面。这部分图件也可作为成果图件单独印刷出版。

制版印刷过程中，特别是彩色版的制版与印刷得到了华东石油学院印刷厂和胜利油田印刷厂的大力支持，特致谢意。

最后还要衷心感谢，应中原石油勘探局之邀，热情为本报告评审鉴定的石油部石油勘探开发研究院的吴崇筠教授、薛叔浩工程师，地矿部西南地质矿产研究所刘宝君教授，西南石油学院方少仙付教授，中国科学院南京地理所王苏民付研究员，长庆油田朱国华高级工程师。中原石油勘探局勘探开发研究院的朱家蔚付院长、赵春元付主任地质师（原勘探室主任）和强启后工程师也参加了审查工作，在此一并致谢。

文图之中如有谬误之处，敬请指正。

华东石油学院 中原石油勘探局
文留地区盐下含气层系（沙四段）
砂体微相及成岩作用专题研究组

完成于1983年2月28日

修改补充于1985年8至9月

二、砂体微相及其沉积作用

文留地区位于东濮凹陷中部，北起濮深1井，南至黄河岸边，南北长约30公里，东西宽约6公里，面积约200平方公里。钻穿沙三⁴盐（即文23盐）的井已有25余口，井主要集中在文23块（图1）。据油田计算资料，1982年文23块上报含气面积11.65平方公里，气储量×××余亿方。钻井及地震资料初步证实沙三⁴盐厚约600—700米，盐盖层明显的控制文留地区沙四段油气藏的分布。

文留地区下第三系厚度6000—7000米，长期以来研究的重点是沙三段及其上覆地层，对沙四段的地层及沉积相研究的均较少。近来，不仅文留北部地区勘探有所进展，在中-南部一些井也见到了良好的气显示。但试气结果却不太令人满意，为此，除构造因素外，也需对岩性、岩相、储层孔渗变化等因素作深入研究。当前，对文留地区沙四段的地层划分、沉积相及砂体类型尚存在不同认识。现就本次研究结果把我们的认识归纳如下：

（一）地层划分具明显两分性

东濮凹陷北部与渤海湾周缘其它拗陷一样，沙四段具有明显的两分性。本文采纳以红层顶为界的划分方法，将沙四段划分为红、灰两个亚段。即沙四上段和沙四下段，或简称沙四上（S₄上）和沙四下（S₄下）。

沙四上段顶与沙三⁴亚段是以盐底或盐底以下页岩集中段为界，沙四段底见高阻红层出现划为中生界。沙四段总厚约400米左右，地层划分基本特征参看表1。

地层专题研究结果表明：视文留地区沙四段岩性，电性及厚度变化，大致以文68井一线为界，可划分为南部和北部两个沉积区或相区，参看表1及图1。

1. 北部沉积区

沙四上段，即灰色段，厚约200米，全剖面可划分四个岩、电段落，参看附图（附图见附件）11。顶为深灰色泥岩、页岩、劣质油页岩和钙片页岩的互层，夹少量薄层状粉-细砂岩及泥质粉砂岩；上部为深灰色泥岩、页岩、劣质油页岩和含膏泥岩互层；中部为灰色泥岩、细砂岩、粉-细砂岩和粉砂岩，以及泥质粉砂岩的不等厚互层；下部为细砂岩、粉砂岩、泥质粉砂岩和粉砂质泥岩的不等厚互层，夹少量深灰色泥岩。

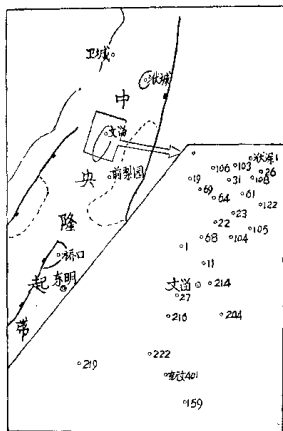


图1 文留地区位置及井位图

表1 文留地区沙四段岩性、电性基本特征

	北 部 沉 积 区		南 部 沉 积 区	
	岩 性 特 征	电 性 特 征	岩 性 特 征	电 性 特 征
沙四上 ¹	深灰色泥岩、页岩、劣质油页岩及含膏泥岩互层，夹薄层状粉-细砂岩	尖峰电阻曲线、不扩径、中波状自然电位曲线，具五个高导泥岩尖子	灰色泥岩、膏泥岩、泥膏岩及膏盐层	梳状自然伽马曲线，极高的电阻值与极低电阻值相间，声波时差筒状
沙四上 ²	上部灰色泥岩、细砂岩、粉-细砂岩、粉砂岩互层；下部以粉-细砂岩、泥质粉砂岩为主，夹少量深灰色泥岩	自然伽马曲线基值数低，尖峰电阻率曲线，中波状自然电位	深灰色泥岩为主，夹有粉砂岩或泥质粉砂岩薄层	自然伽马起伏不大，但基值较高，具稳定高导泥岩尖子
沙四下	紫红色粉-细砂岩、泥质粉砂岩、粉砂质泥岩为主，夹少量质纯紫红色泥岩	小型波状自然电位，自然伽马曲线，电阻低值，声波时差较小，不扩径	上部以紫红色泥岩和粉砂质泥岩为主，夹有粉-细砂岩或泥质粉砂岩；下部紫红色粉-细砂岩、粉砂质泥岩及泥岩互层	自然伽马曲线起伏大，电阻曲线起伏不大，声波时差较大，具高导泥岩

沙四下段，即红色段，也厚约200米左右。为一套紫红色细砂岩、粉-细砂岩、粉砂岩、泥质粉砂岩、粉砂质泥岩组成，夹少量质较纯净的紫红色泥岩。

上、下段之间有时出现一个红灰过渡段。

2. 南部沉积区

沙四上段，即咸化段，厚约180—220米，参看附图12。地层全剖面亦为上下两分。上部为膏盐岩、泥膏岩；下部为灰黑色泥岩夹粉砂岩、泥质粉砂岩和粉砂质泥岩。

沙四下段，仍为红色段，厚约200米。上部为紫红色泥岩和粉砂质泥岩，夹粉-细砂岩、粉砂岩及泥质粉砂岩；下部为紫红色粉-细砂岩、粉砂岩、泥质粉砂岩和粉砂质泥岩的不等厚互层。

根据油田资料，沙四上段含火红美星介、潜江扁球轮藻；沙四下段含肥实美星介、中华扁卷螺及洁丰拉氏轮藻。

沙四段总的岩性（附图17、18）和厚度变化（附图15、16）是：由北往南泥质增加、膏盐沉积增加；呈现北粗南细、北淡南咸的变化特征，地层总厚度无明显变化，仅沙四上段有由北往南变厚的趋势。

沙四上段大致可以划分出两个砂层组，下段无明显对比标志层，难于细分砂层组。

总之，不论南区 and 北区，文留地区沙四段按地层颜色、岩性组合特征及电性特征进行两

分还是可行的。

(二) 沉积特征及沉积作用

综合文22、文61、文106、文103、文27、文222等井的岩心资料及分析鉴定资料，归纳其沉积特征如下：

1. 牵引流和重力流兼而有之的构造特征

牵引流主要指碎屑物质以床砂形式搬运，次为悬移搬运的一种水流状态，为两相体，海湖滨岸浅水及河流体系中常见；重力流或密度流，碎屑物质主要以悬浮负载搬运为主，固体物质与水体混为一体，从而不同于一般液体的性质。上述两种水流状态在文留地区沙四段的岩石结构和构造特征上均有明显反映。

(1) 层理 (照片1—23, 指图版中照片)

总的来看，本区沙四段的层理类型较单调。相对而言，沙四上段较下段层理类型多样，北区又较南区发育，参看文22、文106、文61等井的单井相分析剖面(单井相分析剖面图1、2、3)。沙四下段的上部和沙四上段的中、下部，除泥质岩中有较发育的水平层理及块状层理外，在砂质沉积物中可见具有牵引流特征的波状、斜波状、小型槽状交错层理，以及间或出现的透镜状、压扁状、爬升状层理，均系较微弱单向或往复水流条件下砂质床形迁移的产物(图2)。与重力流或密度流沉积作用有关的层理类型有渐变层理、平行层理、旋涡状层理，以及滑动变形层理等(图3)。沙四下段中下部以块状层理为主，其它类型层理不发育，仅见断续水平、平缓波状、波状及斜波状层理。

(2) 其它构造 (照片24—30, 37—48)

灰色的上段常见的较深水密度流沉积构造有水下岩脉(或碎屑岩脉)、液体逃逸或泄水现象、槽模、沟模、重荷构造、截切构造、暗色泥岩撕裂屑，以及再沉积的泥砾等。当然，还常伴生一些较深水的虫迹及扰动构造。直立的砾石偶然也能见到(照片24)。

红色的下段中，沉积构造较单一，多为块状。可见一些浅水重力流的截切构造，以及再沉积的泥砾及砂块等。

还有一些特殊沉积标志，如产于粉-细砂岩和各色泥岩中的蒸发矿物(石膏、硬石膏、石盐等)，及顶层分布的硫磺等，均具有重要指相意义(照片37—40)。

由于构造变动产生的各种裂隙和孔隙等在岩心上也均可见(照片41、42、46—48)，它们常被石膏充填。

2. 十分发育的生物扰动构造 (照片31—36)

近年来在国内外有关古生态学及遗迹化学的研究有了飞速的进展，资料积累逐渐丰富，基础理论日趋完善，研究途径不断向多样化、现代化的方向发展。古生态学及遗迹化学已成为一门独立的富有生命力的分支学科。

东濮凹陷沙四段红层及灰层中均有十分丰富的遗迹化石，在数量上不亚于海相沉积物中的遗迹化石。在研究过程中，我们对此自始至终给与了很大的重视(图5)。

灰色的上段生物扰动构造不如红色的下段发育，主要是小型潜穴或平行层面的爬迹，反映较深水环境。文106、文103、文27的灰色段中还见有特征的再沉积虫管，形态、大小、分布状态等均类似。

红色的下段生物扰动构造达到了十分丰富的程度，主要是垂直和倾斜的大小不一的潜

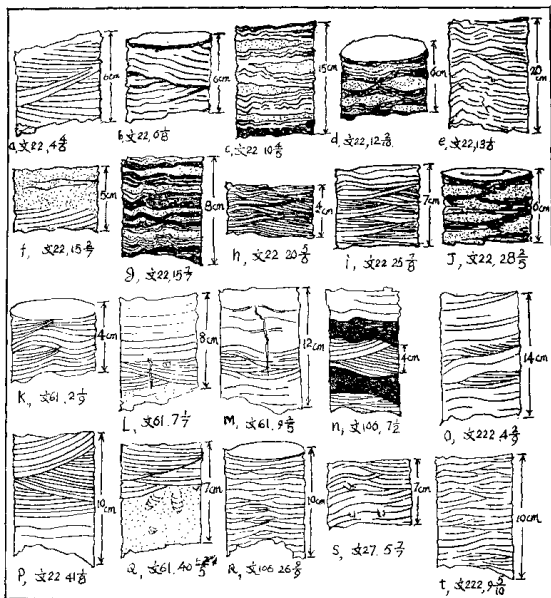


图2 牵引流水流状态为主形成的层理类型

a—楔状交错层理, b—楔状交错层理, c—不规则透镜状层理, d—透镜状层理, e—槽状-斜波状层理, f—槽状斜层理, g—波状-透镜状层理, h—波状-交错层理, i—槽状交错层理, j—不规则透镜状层理, k—丘状交错层理, l—楔状交错层理及水下岩脉, m—丘状交错层理, n—槽状交错层理, o—斜波状层理, p—槽状交错层理, q—槽状交错层理, r—不规则波状层理, s—丘状交错层理, t—不规则斜波状层理。a至n为沙四上段, o至t为沙四下段

穴构造, 大者 $5 \times 1\text{cm}$ (即延伸长度 5cm , 直径近 1cm)、 $3 \times 1\text{cm}$ 、 $2 \times 0.5\text{cm}$, 小者 $0.5 \times 0.2\text{cm}$ 、 $0.3 \times 0.1\text{cm}$ 等。潜穴多具壁及弯曲的砂纹蹼状构造, 单个分布或互相重叠。强扰动时呈斑迹状或斑点状, 极强扰动时则近于均一结构的块状。肉眼观察描述时, 我们采用了穆尔和斯克拉顿 (Moore 和 Scruton, 1957) 的分类, 视扰动强度分为: 规则层→不规则层→斑迹 (明显)→斑迹 (不明显)→均匀的 (块状)。规则层反映沉积物补偿速度高和潜穴密度低的环

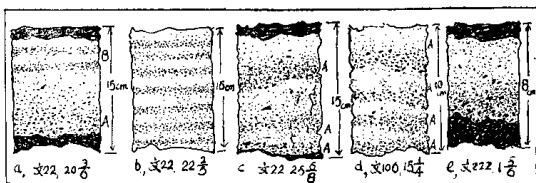


图3 重力水流状态为主形成的层理类型

a—“AB”序波积岩, b—平行层理波积岩, c—“AAA”序波积岩, d—“AAA”序波积岩, e—A序波积岩。a至d为沙四上段, e为沙四下段特征

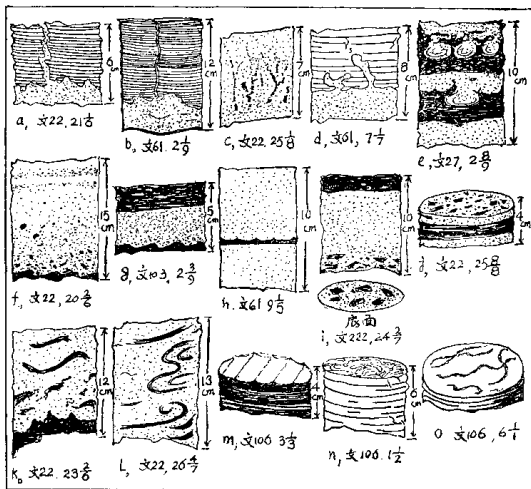


图4 较深水沉积构造

a—水下碎屑岩脉, b—水下碎屑岩脉, c—泄水构造, d—泄水构造, e—重荷构造, f—底面印模构造(槽模), g—槽模, h—重荷构造, i—再沉积的暗色泥砾, j—破屑定向分布, k—撕裂屑, l—旋涡构造, m—较深水振荡波痕, n—深水虫迹, o—深水虫迹。上述构造主要产自沙四上段

境，不规则层和明显斑迹层反映物质补偿速度较高和潜穴密度较大的环境，不明显斑迹层和均匀层则反映物质补偿速度缓慢和高潜穴的环境。故在岩层剖面上出现潜穴密度变化周期或扰动强度变化周期是与沉积补偿周期相一致的。东濮凹陷沙四段红层中的潜穴密度和扰动强

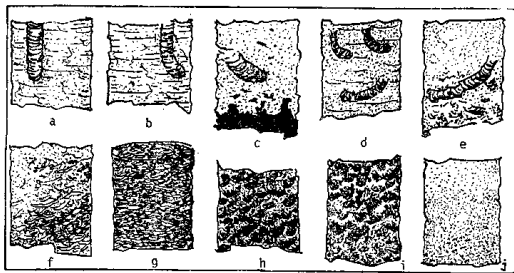


图5 生物扰动构造

a—垂直潜穴，文22， $52\frac{5}{8}$ ；b—垂直潜穴，文222， $9\frac{3}{11}$ ；c—倾斜潜穴，文22， $53\frac{3}{8}$ ；d—倾斜潜穴，文222， $8\frac{4}{8}$ ；e—倾斜潜穴，文106， $24\frac{4}{7}$ ；f—不均一的小型潜穴，文103， $1\frac{1}{2}$ ；g—密集的小型潜穴，文22， $52\frac{5}{8}$ ；h—斑状砂岩（较强扰动），文61， $18\frac{7}{8}$ ；i—斑状砂岩（强扰动），文61， $31\frac{1}{2}$ ；j—块状砂岩（极强扰动），文61， $33\frac{3}{4}$ 。a和f产于沙四上段，其它均见于沙四下段

度有明显周期性或韵律性。据国外有关白垩纪和第三纪沉积物中潜穴研究的实例表明，在水流较强条件下，粘土和有机质混合呈悬浮状态，动物将在砂质底床内筑造潜穴。由于床砂在水底仍可能作牵引运动，动物便在潜穴内筑壁，以保持潜穴壁不塌垮。动物的食物来自流经潜穴网中的粘土及有机质。韦默等（R.J. Weimer, 1964）曾报导过现代十足类（*Callinassa major* Say）的这种栖息和吃食习性的一个实例。不言而喻，本区沙四下段红层中丰富的潜穴构造是形成于具有牵引流和密度流双重沉积作用的浅水环境，随沉积物的补偿快慢和水体的混浊程度而呈现出潜穴丰度的周期性或岩性变化的韵律性。使我们更感兴趣的是，原始砂泥混合沉积物经生物扰动后，显然能提高其储集性能。不利的因素，可能是成岩或后生阶段的多次再充填，从而导致孔隙性变差。今后我们将在这方面开展专题研究，把沉积学的研究引向新的领域。

3. 不甚明显的韵律性和较明显的旋回性

灰色的上段韵律性较明显，砂质富集的下部以正韵律为主，即粉-细砂岩逐渐过渡为粉砂岩或泥质粉砂岩，韵律下部可能显递变，韵律之间有时夹暗色泥岩。泥质富集的上部或膏盐的上部以反韵律为主，为较深水沉积特征。红色的下段，韵律不甚明显，有时隐见正韵律。

纵向上，沙四段总的岩性变化的是由粗变细，泥岩颜色由红变暗，生物扰动由强变弱，膏盐由少变多，水体有由浅变深的趋势（图18c）。

4. 牵引流和重力流兼而有之的结构特征

本区沙四段主要由粉砂岩、粉砂质泥岩及泥岩组成。岩性细、砂泥分选差的部分，具密度

流沉积特征；粒度较粗，分选较好的细砂岩、粉-细砂岩，多具牵引流沉积特征。

有关文22 (180样品)、文106 (20个样品)、文61 (164个样品) 和文222 (49个样品) 等井的粒度分析总结参看专题报告 4、7、8、10 等有关部分，并参看表 2，即文留地区沙四段粒度特征综合表，以及单井相分析图 (图 1、2、3、4、5、6) 中概率曲线的变化特征。

该区沙四段概率曲线有四种类型，三段-过渡带型、二段-过渡带型、二段一段渐变型和一段型。

沙四段粒度概率曲线所反映的水动力学特征，自下而上牵引流特征减少，密度流特征增加。但仅从线段上看跳跃总体的百分含量高于悬浮总体，这是由于筛析有其不完善性所致，其中较粗碎屑组分在样品研磨时被破坏掉或排除了，薄片粒度分析是对它的补充。

C-M图特征较清晰，点区多近于平行 $C=M$ 基线。文22井沙四段的C-M图表现为QR、RS段，少量PQ段， $C=120-330\mu$ ， $M=20-100\mu$ 。 $C_s=250\mu$ (最大扰动系数)，与典型C-M图比较，其值偏小， I_m 值2.6，比一般情况偏大，反映分选极差。文61井沙四段 $C=120-100\mu$ ， $M=30-150\mu$ ， $C_s=250\mu$ ， $C_u=170\mu$ (悬浮搬运的最大粒径)，大致可以分出PQ、QR和RS段，由于其分散度较大，显示牵引流与重力流过渡的沉积类型；沙四上段的分散度更大，显示了递变悬浮搬运的特点 (图6)。

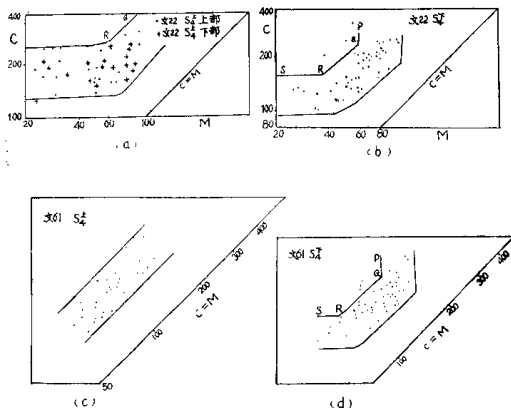


图6 文留地区沙四段部分井的C-M图

通过对文22、文106、文61等井上千个粒度参数 (平均粒径、中值、分选系数、偏度、标准偏差、峰度) 的计算与统计，均表现出沉积物分选较差，如文106井的标准偏差 (σ_1) 为0.8—1.3，属中-较差分选；文22井 σ_1 多为1.1—2.0，属较差-差分选。文106井的水动力条件比文22井更具有潮滩特征。

弗里德曼 (Friedman, 1961, 1967) 研究了取自世界各地具有代表性的砂样，他用矩