

油藏描述中的沉积相研究

王伟锋 金 强 徐怀民 信荃麟

(中国石油大学 山东东营 257062)

提 要 沉积相和沉积微相研究是油藏描述技术中的基础工作。在油田勘探开发不同阶段,对不同类型的油藏所进行的沉积相研究的内容和方法不同。勘探阶段以沉积学和地震地层学理论为指导,开展沉积盆地地震相、沉积相和构造岩相带分析;滚动勘探阶段综合应用地质、地震、测井和钻井资料,进行沉积亚相、砂体微相与油乞富集关系研究;开发阶段以地质、测井、钻井和油田生产动静态资料为依据,研究油藏内不同开发小层的砂体大小、形态和分布。

关键词 油藏描述 地震相 沉积相 构造岩相带 砂体微相 牛庄洼陷 枣园油田

第一作者简介 王伟锋 男 35岁 副教授 石油地质学

油藏描述技术自80年代引入我国以来,通过在油气田勘探开发中实际应用,逐渐发展完善成为一项系统的方法和技术,主要包括油藏地质、储层地震、测井地质和计算机技术等四个方面。油藏地质研究的主要内容之一是储集体的沉积相和沉积微相研究,其目的在于阐明储集体的沉积环境、沉积相和微相类型及其时空演化,进而揭示砂体成因类型、几何表态、大小、展布及其纵横向连通性的非均质特征,并深入探讨沉积相与油气的关系。作者在国家“七五”攻关项目“牛庄油田岩性油藏描述技术”和中国石油天然气总公司“八五”重点攻关项目“枣园油田油藏精细描述”攻关过程中,以沉积学等理论为指导,以地质、地震、测井资料相结合,以计算机为手段,以沉积相和沉积微相开展了综合研究,解决了油气田勘探开发中的许多疑难问题,曾在多个方面有所突破,获得了显著的经济效益和社会效益。

通过多年的实践,作者认为油藏描述中的沉积相在油气田勘探、滚动勘探开发和开发等不同阶段以及不同的油藏类型中的研究内容和方法不同。解决的问题也不同。

1 勘探阶段油藏描述中的沉积相研究

勘探阶段的油藏描述是在含油气区内少量勘探井见到工业油流,钻井资料和测井资料相对较少而以地震资料为主的情况下所开展的油藏评价研究。

本阶段的沉积相研究是以沉积学、地震地层学等理论为指导,以地质和地震资料为主,结合钻井资料,运用盆地构造岩相带分析方法,以地震层序为单元,研究储集体的分布和沉积相类型。

该方法首先是通过地震资料的分析,应用地震反射终止特征划分地震层序,建立起层序地层格架,在每个地震层序内,根据内部反射结构,识别出每个地震层序内的地震相类型,再根据速度谱、转换成沉积相、归纳出沉积体系类型,确定构造岩相带的分布。

笔者在胜利油田的惠民凹陷、中原油田的黄河南地区以及渤海西部海域等地区所进行的沉积相研究,为勘探阶段的油藏描述工作获得成功奠定了坚实基础。

例如:渤海西部海域下第三系沉积盆地面积约 10000km²,开展研究工作时已完成 1×1km 的数字地震测网,打探井 41 口,主要应用地震资料,结合钻井资料,将下第三系分为 Ed、Es₁、Es₂₊₃、和 Es₄—Ek 等四个地震层序,根据地震反射结构特征在四个地震层序中识别出席状相、丘状相、前积相、楔状相、发散相、充填相、亚平行相和杂乱相等八种地震相类型,利用全区的层速度、砂岩百分比图和部分钻井资料,将八种地震相转换成三角洲、水下冲积扇、深水浊积扇、滩坝、滨浅湖和深湖等六种沉积相类型(图 1)。而后将一定地质历史时期内具有成因联系的沉积相组合在一起,归纳出水下扇沉积体系、水下冲积扇—浊积扇沉积体系、滨浅湖—滩坝沉积体系、三角洲—滩坝—浊积扇沉积体系等四种沉积体系类型。进一步将盆地构造演化与沉积体系发育过程结合分析,揭示不同构造背景与沉积环境之间的内在联系,划分出了缓坡三角洲、陡坡水下扇、缓坡水下扇(扇三角洲),深凹浊积扇和浅凹滨浅湖滩坝等五种构造岩相带及其分布,为下一步的详探指明了方向。

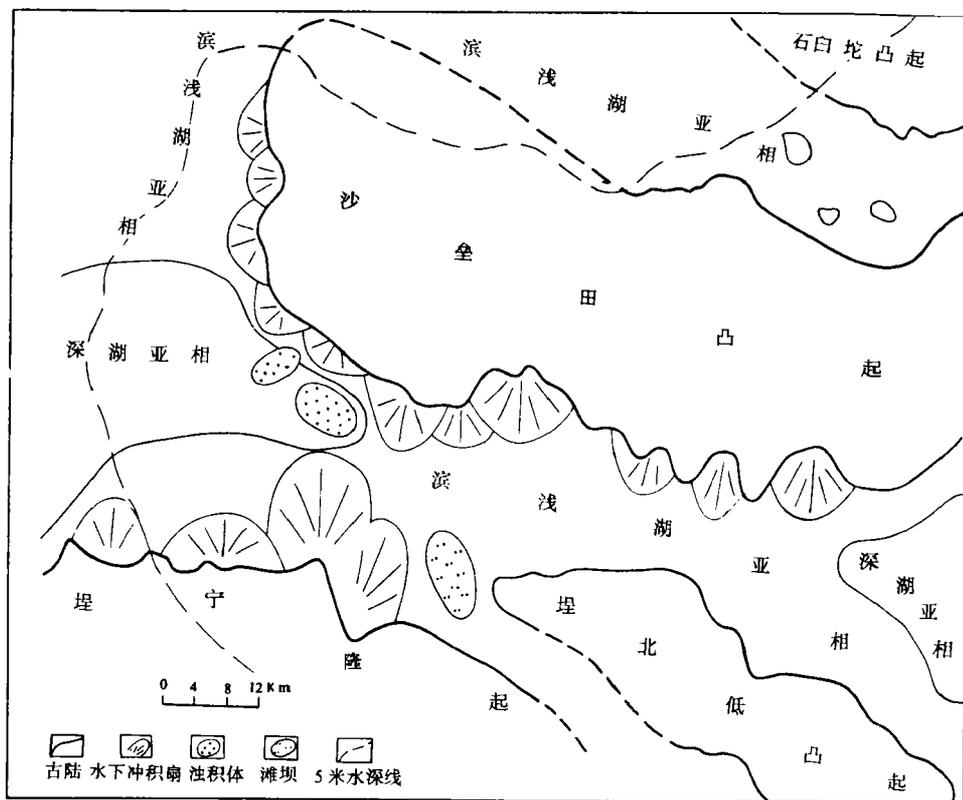


图 1 渤西地区 Es₂₊₃ 沉积相图

Fig. 1 Sedimentary facies of the Es₂₊₃ in the Boxi region

缓坡三角洲构造岩相带分布在盆地缓坡地带,由于地势平缓、构造简单,故砂体分布范围大、前缘砂体分选较好,是大型油气藏发育区(图 1)。

陡坡水下扇构造岩相带分布在盆地陡坡地带、盆地边办断层的下降盘的沙垒田凸起周围(图 1)。由于地势较陡,构造活动性强,物源充足,形成巨厚的砂砾岩储集体,是复合油气藏发育区。

缓坡水下扇构造岩相带主要发育在埕宁隆起的北坡,为扇三角洲沉积,扇体规模较小,是岩性油气藏分布区。

深凹滨浅湖构造岩相带中浊积扇砂体分布局限,且埋深较大,储集性能较差。主要是生油地带,也可育岩性油气藏。

浅凹滨浅湖构造岩相带分布在超覆边界一侧,为构造活动相对稳定地区,发育滩坝相砂体、物性好,分布范围大,是岩性油气藏发育区。

2 滚动勘探开发阶段油藏描述中的沉积相研究

滚动勘探开发阶段的油藏描述是在获取了大量地质、地震、测井和钻井资料,对油藏有了一定的认识,并有了部分开发井的情况下,针对生产中存在的问题而开展的油藏综合评价工作。

本阶段的沉积相和沉积微相研究,是以沉积学、岩性地震地层学等为理论为指导,充分利用地质、地震、测井和钻井资料,以亚地震层序为单元,开展沉积亚相和砂体微相研究,阐明砂体分布和油气富集的关系。

“牛庄油田沉积相和沉积微相研究”是“七五”国家攻关项目“牛庄油田岩性油藏描述技术研究”的基础研究内容之一。研究中,旬对 180km² 范围内的沙三中沉积层系内地质条件复杂,岩性岩相变化大,又缺乏一般可利用的对比标志、地层对比、砂体成因类型和砂体分布等存在争议的问题,开展了以下几方面的研究。

2.1 牛庄洼陷沙三段地震相和沉积相

根据地震剖面反射特征,结合合成地震记录和 VSP 资料进行层序划分和层序标定,把研究区沙三段划分为四个地震亚层序(S₁¹、S₂¹、S₃¹、S₄¹)。通过对全区近 4000km 时间剖面的反射外形、内部结构、顶底及侧向接触关系、地震相内部物理特征的变化、几何参数以及辅助参数的物理特征的解释研究,结合地质、测井、钻井及古生物资料,再考虑古构造位置,将沙三段划分为缓坡区、陡坡区和洼陷区三大地震相区,并在这三个地震相区中可进一步识别出 12 种地震相类型和对应的沉积相类型(表 1)。

研究表明,在牛庄地区沙三早、中期主要发育了三角洲一前缘斜坡扇复合体系,晚期发育了河流相沉积。另外,在沙三早期尚发育深水扇沉积体系。牛庄三角洲一前缘斜坡扇体系由 10 个亚三角洲(朵叶体)组成(图 2),每个朵叶体向西倾斜,由东向西推进,长达 40km。在沙三中期,研究区内发育有 6 个朵叶体,它们相当于前三三角洲亚相,即前缘斜坡亚相。在前缘斜坡上发育主要由三角洲前缘亚相滑塌成因的斜坡扇,由众多的小型透镜状浊积砂组成,叠合连片分布,构成区内 5 个岩性油气聚集带。

2.2 牛庄三角洲一前缘斜坡扇沉积微相

由于牛庄三角洲内部缺乏一般对比标志,笔者以三角洲侧向加积的沉积学理论为指导,以地震反射同相轴代表等时界面为依据,利用天然热释光随地层年代增长而能量积累的原理,作为界面等时性的检验标准。综合运用地质、地震、测井和试油试采信息,在沙三中范围

内划分出若干个倾斜的时间界面(而不是通常的岩性界面),并用于沙三中三角洲沉积内部小层系的地层划分和对比。在此基础上,根据所划分的时间界面,按照时间—沉积成因单元,即以每个三角洲朵叶体为等时沉积单元,研究其形成、发展和分布特征,用小层系大比例尺进行工业制图,从而揭示了不同朵叶体的沉积微相展布。每个朵叶体(斜坡浊积扇),均可划分为扇主体、扇缘、扇间和滑塌带四个沉积微相(图 3)。

表 1 东营凹陷东南部 S_3^{-4} 亚层序地震相类型及解释

Table 1 Seismic facies and sedimentary facies of the Es_3^{-4} in southeast Dongying depression

地震相区	地震相类型	环境解释
缓坡区	楔形发散地震相	滨浅湖
	低斜交前积地震相	
	滩状地震相	三角洲前缘、前三角洲
	缓丘形地震相	滨浅湖滩坝
	楔状断谷充填地震相	河流
凹陷长轴端部及洼陷区	前积地震相	三角洲前缘及前缘斜坡
	楔状收敛地震相	三角洲
	席状充填地震相	深湖半深湖
陡坡区	强振幅透镜状地震相	浊积砂体
	变振幅平行波状地震相	三角洲平原
陡坡区	斜方形地震相	水下冲积扇
	陡丘形地震相	水下冲积扇或塌积砾岩锥

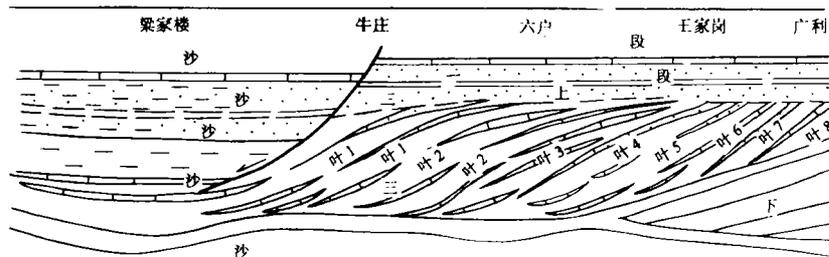


图 2 牛庄地区沙三中朵叶体剖面分布图

Fig. 2 A section of the delta lobes in the Es_2 in the Niuzhuang Sag

扇主体微相:它占据前缘斜坡的主要部位。砂层较厚,以含砾中、细砂岩为主要特征。主要发育中粒浊积岩垂向层序,小型薄砂体发育,叠合连片常形成数个砂体富集区,分布范围较大。

扇缘同相:位于扇主体外缘,分布范围较窄,砂岩较薄,以粉、细砂岩为特征,主要发育细粒浊积岩垂向层序,砂体规模较小,分布零星。

扇间微相:夹持在扇主体的几个分支之间的地带。砂质缺乏,泥质发育。

滑塌带微相:分布在前缘斜坡上方,位于扇主体和前缘之间。浊积砂不发育,泥多砂

少,常见砂泥混杂岩性,滑塌变形构造发育。

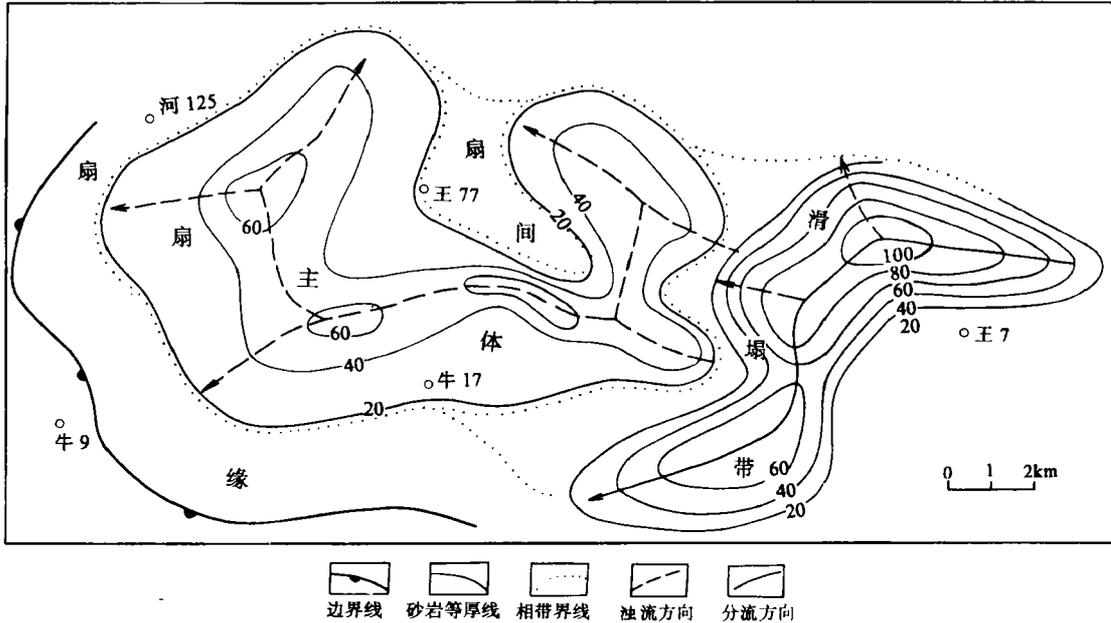


图 3 叶 3 沉积微相分布图

Fig. 3 The microfacies of the lobe 3 in the Niuzhuang Sag

纵观前缘斜坡的四种微相,总的特征是沿着水流方向能量的衰减,砂岩厚度、粒度、砂泥比及垂向层序都有明显变化,趋于变小。浊积砂体分布规律与浊流的古流向有关,二者都受古地形起伏控制,浊流顺坡而下,沿低尘地带流动,并充填堆积其中,成为滑塌浊积岩。从地层等厚图对照比较中,明显看出古地形的控制作用。故在无或少量探井的覆盖区,可根据朵叶体地层等厚图初步查明浊积砂的分布,进而寻找岩性油藏。

3 开发阶段油藏描述中的沉积微相研究

开发阶段的油藏描述是在油田地质研究基础上,综合应用钻井、测井和油田生产动态资料,对油藏进行的整体解剖,目的是揭示油藏在三维空间的变化特征,为进行油藏数值模拟,选择增产措施,优选合理开采工艺,改善开发效果,提供充分依据。本阶段的沉积微相研究,主要是为了查明砂体展布,微相带宽度,并按开发小层为单元,进行细分砂体微相研究,从而揭示储集砂的非均质性。

枣园油田,含油面积 43.6km²,井网密度局部已达 212m,但由于地质情况复杂,长期以来,产量低,产能递减快,注水困难,油井利用率低。针对上述问题,在沉积微相研究中开展了以下几方面的工作。

3.1 油层对比

研究区内,四个层段中共发育了 46 个断块,最大断块面积为 2.8km²,最小断块为 0.04km²,断块间断距多在 20~200m 范围内。因此,给沉积微相的基础研究——油层对比带

来很大困难。为了解决这一难题,作者利用模式识别方法,建立了同一类型测井曲线的识别模式,进行了油层的自动划分和对经,并利用地层倾角资料与人工对比相结合,较好地解决了断块油藏小层范围内的油层划分和对比。

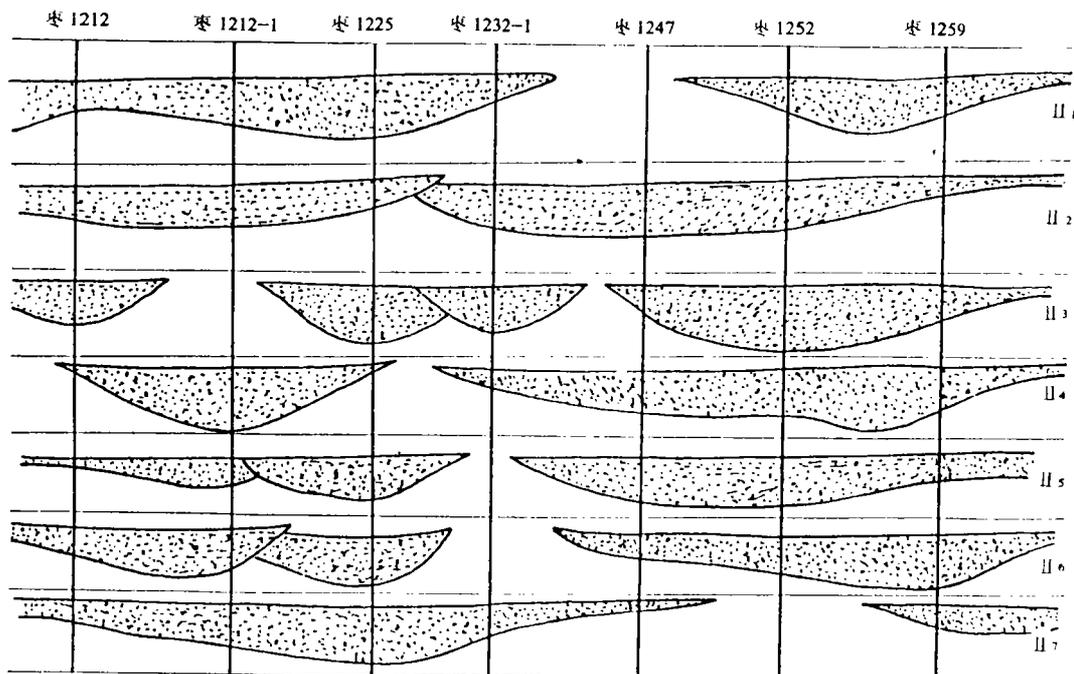


图 4 枣 1212—枣 1259 剖面砂体分布图

Fig. 4 Distribution of the sandbodies in the section Zao 1212— Zao 1259

3.2 测井曲线的形态

研究区的测井方式主要是声感系列,其中的自然电位曲线(SP)能够较准确反映沉积物的岩相类型。

孔一段砂泥岩剖面 SP 曲线基本类型有:箱形曲线,反映物源丰富,水动力条件强且稳定。钏形曲线反映水动力条件由强变弱。漏斗形曲线反映水动力条件由弱变强,这些曲线形态都是识别分流河道沉积的标志。每一种沉积环境都具有特定的岩性和层序组合,在测井曲线的响应上也必然有其特定的形态组合。这里常见的有箱形—钟形、漏斗形—箱形以及漏斗形—钟形等组合形态,也是分流河道常见的曲线形态,它们反映分流河道在发展演化过程中进积、或侧向迁移的变化情况。

低幅负异常、低幅漏斗反映分流河道间或过渡带的粉砂岩沉积。

平直或齿形曲线代表漫湖泥质粉砂或粉砂质泥沉积。

3.3 沉积微相特征

根据岩性、古生物和测井曲线特征,结合单井相分析,首先区分出该区孔一段为扇三角洲前缘亚相和漫湖亚相,前者又可划分为五种微相类型:水下分流主河道,水下分流次河道,水下分流河道间,过渡带、前扇三角洲等。

水下分流主河道:往往表现为几期河道的叠加。砂层厚度大。一般在3m以上,带状分布,岩性以中细砂为主。水下分流主河道砂体是孔一段主要储集体。

水下分流次河道:它是水流不经常流过的地方,往往表现为一期河道的废弃或迁移,砂层较薄,一般在8m以下。岩性以细砂为主,具有较好的渗透性。

水下分流河道间:岩性以暗色泥质粉砂岩、粉砂质泥岩为主,生物扰动作用较强。SP曲线为低幅负异常,微电极曲线幅度差很小。砂体渗透性较差。

过渡带:位于扇三角洲前端,发育前缘薄层砂和暗色泥岩,受波浪改造作用显著,砂体渗透性较好。

前扇三角洲:以暗色泥岩沉积为主,夹少量泥质粉砂岩。

漫湖亚相:指洪水期水体漫出河道在滨浅湖地区的沉积。岩性以暗紫红色泥质粉砂岩,粉砂质泥岩为主,夹灰白色粉砂岩。砂岩渗透性较差。

在上述研究基础上,利用单井相分析图、连井剖面对比图、砂泥比等值线图、砂层等厚图编制了九个油组48个小层的砂体分布图,查明了各开发小层内河道位置、砂体大小和分布特征(图4),为枣园油田改善开发效果奠定了基础。

结 论

1)沉积相、沉积微相研究是勘探开发不同阶段,对不同油藏类型进行油藏描述的基础工作和重要研究领域之一。

2)勘探阶段油藏描述中的沉积相研究,主要是利用地质、地震资料和部分钻井资料相结合,以某一段或以某一个地震层序为单元,进行盆地构造岩相带分析,查明盆地内构造岩相带类型和砂体的分布。

3)滚动勘探开发阶段岩性油藏描述中的沉积相研究,是综合应用地质、地震、测井和钻井资料,以地震亚层序为单元,查明某一个沉积体系内的亚相和微相类型及分布,分析砂体微相与油气的关系。

4)开发阶段断块油藏描述中的沉积相研究,主要以地质、测井、钻井和油田生产动态资料相结合,以油藏内的开发小层为单元,查明砂体分布、微相带宽度、分析储集砂体大小和形状。

收修改稿日期:1993-4-18

参 考 文 献

- [1] 徐怀大、王世凤、陈开远,1990,地震地层学解释基础,武汉:中国地质大学出版社。
- [2] Robert R. Berg 著,信荃麟译,1992,储集层砂岩,东营:石油大学出版社。
- [3] 信荃麟,刘泽容,张杰,郑清,1988,牛庄洼陷薄砂体识别的综合技术,石油大学学报,12(3):10~21。
- [4] 信荃麟,刘泽容,朱筱敏,郑清,1988,惠民凹陷西部下第三系构造岩相带与油气聚集,石油大学学报,12(3):1~9。

Study of Sedimentary Facies in Reservoir Description

Wang Weifeng, Jin Qiang, Xu Huaimin, Xin Quanlin

(University of Petroleum, China)

Abstract

It is a fundamental work to study sedimentary facies or microfacies in reservoir description. In order to reveal the sizes and distribution of the reservoirs and to help the oil development, this paper emphasizes that it is very important to apply integratedly geological, seismic, logging information to identify the depositional environments, facies or microfacies types of the reservoirs by means of computer program. However, the consideration and methods of sedimentary facies are different in the reservoir descriptions at different stages of petroleum exploration or development.

Because the reservoir description at the exploration stage is carried on under the situation that only a few drilled wells and their logging are available in which the industrial discovery has been found, the description is made mainly on seismic information. At this stage, study of sedimentary facies is first to establish the seismic sequences by the terminal characteristics of the reflections, to set up sequential stratigraphic framework, to identify seismic facies types by structural nature of the reflections with each seismic sequence, then to transform the seismic facies into sedimentary facies by the velocity spectrum, at last to classify the types of depositional systems and to determine the distribution of the structural lithofacies belts.

After a large number of geological, seismic and logging data has been received in the programming exploration, the reservoir description is conducted on some problems from the oil exploration and development. At this stage the sedimentary facies analysis is to integrate all the available information to reveal all the sub-facies and microfacies and their distribution in the seismic sub-sequence and then to correlate the microfacies of the sandbodies and the hydrocarbon accumulations. The reservoirs in E_3 of the Niuzhuang Oil field, the Dongying Depression, vary greatly in the lithology and facies, which leads to alternative recognitions in the stratigraphy correlation, sandbody genesis and distribution. In the study on the Oilfield, the authors firstly classified the E_3 into 12 seismic facies and corresponding sedimentary facies, outlined six sand lobes of the delta, and then studied the formation and arrangement of the iso-chronous lobe and concluded that each lobe consisted of the main-fan, marginal fan, inter fan and slip zone. The main-fan controlled the distribution of oil and gas.

The study of sedimentary facies in the reservoir description at the development stage represents fully using large volumes of drilling and logging data to analyse the microfacies of each sandbody in the developing sequences so that expound the anisotropy of the sandbody. In the research at the Zaoyuan Oilfield, the authors applied the pattern identification for the first time to auto-classifying and correlating the reservoirs, then carried on the logging facies analysis and mapped sandbody distributions for the 48 layers in the 9 reservoir groups by means of the combination of the single-well facies analysis map, the cross-well section correlation, the iso-lines of sand/mud ratio and isopach map of the sandstones. Therefore, the research has established the sizes and distribution of all the sandbodies in the developing sequences and made solid foundation for enhancement of oil recovery.