流动单元划分新方案及其在临南油田的应用

胡文瑄[1]，朱东亚[1]，陈庆春[2]，王秀鹏[2]，曹学伟[1]

1. 南京大学地球科学系，江苏南京　210093
2. 胜利油田临盘采油厂地质研究所，山东临邑　251500

摘要： 把沉积学与储层物性相结合，从流动单元体系的角度出发，提出了流动单元划分的新方案. 在流动单元体系内部划分出流动单元、亚流动单元和渗流区 3 个不同层次. 在储层精细小层对比的基础上，首先根据区域内连续分布的隔层把储层分成几个独立的流体压力系统，即流动单元；然后再根据不连续分布的隔层，把一个流动单元进一步分成若干个亚流动单元；最后根据储层物性的差别把流动单元/亚流动单元划分成不同的渗流区. 按照这个思路，选取临南油田的典型高产区块——以三角洲前缘亚相沉积为主的夏 52 块砂三中段三砂组，进行了流动单元、亚流动单元和渗流区的划分，共划分出 7 个流动单元、7 个亚流动单元和 63 个渗流区，这样划分出来的流动单元体系同时包括了油藏整体与局部细节的特征，为油藏开发提供了详细的地质依据，也在实际应用中取得了良好的效果.

关键词： 流动单元；划分方案；渗流区；储层物性；临南油田.

中图分类号： P618.13　　**文章编号：** 1000－2383(2006)02－0191－10　　**收稿日期：** 2005－06－29

A New Method for Flow Unit Division and Its Application in Linnan Oilfield

HU Wen-xuan[1], ZHU Dong-ya[1], CHEN Qing-chun[2], WANG Xiu-peng[2], CAO Xue-wei[1]

1. *Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing*　210093, *China*
2. *Geology Research Institute of Linpan Oilfield, Linyi*　251500, *China*

Abstract: A new method for flow unit division is proposed which combines sedimentology and the physical properties of a reservoir. The flow unit system is sub-divided into three hierarchies: flow unit, sub-flow unit and seepage zone. On the basis of elaborate sandbody correlation and according to the continuously distributed insulating layers, the reservoir is divided into several individual fluid-pressure systems, namely, flow units. A flow unit is divided into several sub-flow units according to the discontinuously distributed insulating layers. Finally, a sub-flow unit or flow unit is divided into several seepage zones according to the physical properties of the reservoir. A typical prolific block in Linnan oilfield, Xia 52, was selected for this study. According to the dividing method, Xia 52 was divided into 7 flow units, 7 sub-flow units and 63 seepage zones. Such fluid unit system, which includes both frame and local detail characteristics of the reservoir, provides detail geological information for reservoir development. Good effect has been achieved by applying such method in Linnan oilfield.

Key words: flow unit; division method; seepage zone; reservoir physical property; Linnan oilfield.

0　前言

储层流动单元的研究能建立起一个精细的储层三维地质格架，并能详细揭示储层内部由于物性差异造成的非均质性，它对更好的了解地下油水运动规律，合理布置注采井网，预测剩余油分布等都有着较大的意义. 储层流动单元的最初概念是指影响流体流动的岩性和岩石物理性质在内部相似的、垂向和横向上相连的储集带(Hearn *et al.*, 1984)，它是储集层岩性、物性和微观孔喉特征的综合反映，是地下流体渗流的基本单元(Ebanks, 1987). 围绕这一原始概念，许多学者根据自己的理解和具体研究区

基金项目：国家科技部基础研究开发规划项目(2004CB720503).
作者简介：胡文瑄(1959－)，男，教授，矿床学专业，现主要从事油气成藏与流体地球化学研究. E-mail: huwx@nju.edu.cn

的实际情况，对流动单元的概念作了进一步阐释，提出了研究流动单元的不同方法. 有的侧重于从沉积学的角度研究流动单元，以沉积相类型为基础划分流动单元（吴胜和和王仲林，1999；窦之林，2000；Robert *et al.*，2001；曾大乾等，2002）；有的认为流动单元是沉积体内按水动力条件划分的建造块体，从而根据压力系统进行划分（焦养泉等，1995；裘怿楠和陈子琪，1996）；有的侧重于储层孔渗性、微观孔喉特征等方面，根据储层物性划分流动单元（Ebanks，1987；Hamlin *et al.*，1996；Amaefule *et al.*，1996；彭仕宓等，2001；宋子齐等，2002；谭成仟等，2002）. 这些划分流动单元的方法对研究所在区块的储层非均质性、增产增效等方面都起到了较大的作用，对流动单元的研究进行了有益的探索. 但是，这样把从不同角度、不同尺度上划分的储集区块都称作流动单元造成了流动单元在概念上的歧义，给使用和交流带来很大不便.

笔者在济阳坳陷惠民凹陷临南油田的研究中发现，地下流体的活动特征不仅受到特定沉积环境下沉积形成的储层成因单元的限制，同时也受到这个成因单元中的不同部位的储层孔渗性的制约. 因此，油田开发过程中所研究的储层流动单元应是一个既包括宏观沉积特征，又包括微观储层物性特征的相对统一的储集体系，而不应该把这样一个储集体系中具有某种特定属性的区域看作一个流动单元. 本文从沉积学与储层物性相结合的角度提出了新的流动单元划分方案，试图按照流动单元、亚流动单元和渗流区 3 个层次进行区分不同尺度的储集区块，以表征各自在外延范畴和内部性质上的不同. 然后根据上述思路，确定了划分原则和标准，对临南油田夏 52 块砂三中段三砂组的流动单元进行了具体划分，并取得了良好效果.

1 流动单元体系的概念及研究方法

1.1 流动单元体系的概念

前人曾从不同方面、不同尺度对流动单元划分进行了尝试，笔者认为在流动单元划分过程中，先从某一较大尺度对储层进行划分，然后再从不同方面划分次级单元更符合地质事实，也更具有实用性. 从较大尺度划分的结果就是把储层分成若干个独立的流动单元，流动单元可以再细分出次级的亚流动单元和渗流区（表 1）.

表 1 流动单元体系划分

Table 1 Classification of flow unit system

级别	概念	定义	备注
一级	流动单元	被非渗透性边界（区域稳定分布的泥岩隔层、断层等）所限定的、内部具有相对统一流体压力系统的储集单元	多对应于开发过程中的小层
二级	亚流动单元	同一流动单元中被不连续的隔夹层分隔开来的、相对独立的单一储集单元	多对应于开发过程中的单砂层
三级	渗流区	同一流动单元（或亚流动单元）中，因物性明显变化而区分出来的、具有不同渗流特征的区域	可进一步分为： A：高渗流区 B：中渗流区 C/D：低渗流区

本文所指的流动单元是一个由被非渗透性边界（区域上稳定分布的隔层等）所限定隔离的、内部具有相对统一流体压力系统的独立储集单元. 每一个流动单元都对应于一个相对独立的沉积过程，在这个过程中孕育沉积的原始水动力条件保持相对的稳定，既没有沉积环境的突变（如从河流相到三角洲相的改变等），也没有水体的急剧变化（如区域上的洪泛事件等），这样形成的流动单元是一个相对整一的储集体系，内部具有相对统一的流体压力系统，储层孔渗性连续渐变. 区域上沉积环境的突变以及水体的急剧变化都会形成不同的流动单元，各流动单元之间以全区连续发育的隔层相互分开，并且不同流动单元之间没有流体的相互交换.

每一个独立的流动单元所对应的储集体系在垂向上可能是由多期相对独立的砂体叠合而成，它们是在次一级的沉积旋回中形成的，彼此之间由厚薄不等的隔层相互分割开来. 这些砂体之间的隔层在空间分布上多是不连续的，因此它们之间可能会部分相互连通. 由此，一个流动单元通常可再分成几个亚流动单元，这些亚流动单元分别对应于流动单元中局部相互连通的砂体. 储层中的流体可通过亚流动单元之间的连通区域进行交换，压力也可以通过连通区域在各亚流动单元之间传递. 亚流动单元之间流体的交换和压力的传递可能会进行的比较缓慢，但从长期来看，流动单元内部各亚流动单元之间会达到流体压力的均衡.

流动单元和亚流动单元给出了储层中流体运动的边界，但不能反映流体运动的快慢和方式. 所以，还需要把亚流动单元再根据孔隙度、渗透率等储层物性的差异进一步划分出能反映流体渗流特征差异的不同区域，即渗流区. 各渗流区之间没有明显的地

质界限，储层中流体的流动和压力的传递将优先沿着储层物性好的渗流区进行.

流动单元、亚流动单元、渗流区的概念以及它们之间的相互关系可归结到流动单元体系的概念中来(表 1). 一个完整的流动单元体系既包括宏观上由沉积限定的流动单元和亚流动单元，也包括微观上由储层物性决定的渗流区，具有层次性. 按照这样的方法把储层进行流动单元划分将能较为完整地揭示储层的三维非均质性模型，更准确的把握储层中流体的渗流特征，为合理制定开发方案、布置注采井网提供翔实的地下地质资料.

1.2　流动单元体系的研究方法

根据前述流动单元体系的概念，完整研究一个区块的流动单元可分为 2 个方面：一是从砂体连通与否确定流动单元与亚流动单元；二是在平面上确定各亚流动单元内的不同渗流区的分布. 因此，流动单元的研究可分为以下 3 个步骤：

(1)确定研究区的精细地层格架. 为研究流动单元所建立的地层格架要做到尽可能的细致，需在韵律层的尺度上展开研究区域井间地层的精细对比，以确定每一个单砂体以及单砂体之间隔层的空间展布特征. (2)根据隔层发育情况划分流动单元和亚流动单元. 各单砂体之间的隔层特征是对流动单元进行划分的主要依据，因此，研究过程中就要弄清楚单砂体之间的隔层在空间分布上是否连续. 对于不连续分布的隔层也要弄清楚砂体之间连通规律和模式. (3)根据储层物性的好坏划分渗流区. 储层的孔隙度、渗透率等储层物性参数的大小和形成时的沉积环境有着密切的联系. 不同类型的沉积微相以及同一沉积微相的不同部位都具有一定的储层物性特征，也就对应着不同的渗流区. 因此，详细划分沉积微相对把握不同渗流区的分布特征和规律是必须的.

上述各步都要从岩心观察这一基础性工作入手，先在取心井上确定沉积微相特征、韵律层发育特征、隔层特征、连通性模式、孔渗性特征等，并对照测井曲线建立测井响应模式以进一步扩展到未取心井.

2　临南油田流动单元体系划分

临南油田位于胜利油区临南洼陷南部，处于夏口断裂带西段的双丰鼻状构造上. 该构造被双丰 1 号断层切割成 2 个断块，西南为夏 52 断块，东北为夏 32 断块. 本次研究的目的层为夏 52 块的沙三中段三砂组，是临南油田的主力产油层位，地层厚度为 50～70 m 左右，属三角洲前缘亚相的沉积类型(蔡忠和曾发富，2002).

沙三中段三砂组包括 5 个小层，现今的开采也是以小层为单位进行的. 但是每个小层并不是由单一的砂体构成，而是由几个独立的或者相互叠置的单砂体组成，其中每一个单砂体都对应一个沉积韵律层. 目前对各单砂体的空间展布规律、孔渗性分布情况尚不清楚，造成了一些砂体注水见效不明显，而有些砂体则很快就遭受了水淹. 在该区块开展流动单元体系的研究将能更好的把握地下流体活动的规律，对解决开发过程中存在的问题有着积极的意义.

2.1　流动单元和亚流动单元划分

2.1.1　精细地层格架建立　夏 52 块沙三中段三砂组是发育在三角洲前缘和前三角洲上的沉积类型，由 5 个小层组成，各小层由全区稳定分布的洪泛泥岩相互分开. 第 1 小层由三角洲前缘－前三角洲上发育的水下分支河道、水下天然堤、支流间湾等类型的沉积微相构成；其他的小层由发育在三角洲前缘上的河口砂坝、远砂坝等类型的沉积微相构成. 单砂体精细划分与对比表明，除 2 小层分为 3 个单砂体外，其他的 4 个小层都划分为 2 个单砂体，总共为 11 个单砂体(图 1).

2.1.2　隔层特征分析　小层以及各单砂体之间隔层的岩性类型主要有泥岩、粉砂质泥岩、泥质粉砂岩、粉砂岩以及泥岩－粉砂岩的互层等，不同类型的隔层在空间展布规律、分布的连续性等方面有着较大的区别. 其中泥岩隔层多为深灰色－黑色，自然电位曲线平直，位于泥岩基线处，微电极曲线也平直、无齿化现象，微电位和微梯度无幅度差. 泥岩隔层是形成于洪泛期的深湖－半深湖环境下的洪泛泥岩，沉积形成的时间较长，厚度较大，在全区范围内都能连续分布(Wagoner *et al.*, 1999)，是各小层之间的界线，也往往是各流动单元的边界.

泥质粉砂岩、粉砂岩、粉砂岩－泥岩互层等多形成于滨浅湖或半深湖条件下前三角洲处以及三角洲平原上的漫滩、间湾等处. 粉砂岩、粉砂岩－泥岩互层等类型的隔层都比较致密坚硬，形成于前三角洲处的多为青灰色，而形成于漫滩、间湾等处的多为红褐色. 电测曲线上，自然电位曲线略高于泥岩曲线，微电极曲线有强烈的锯齿状突起. 这种类型的隔层是由于水体的短期波动形成的，厚度薄，局部可能会出现不连续的情况，是各单砂体之间的界限，常成为流动单元

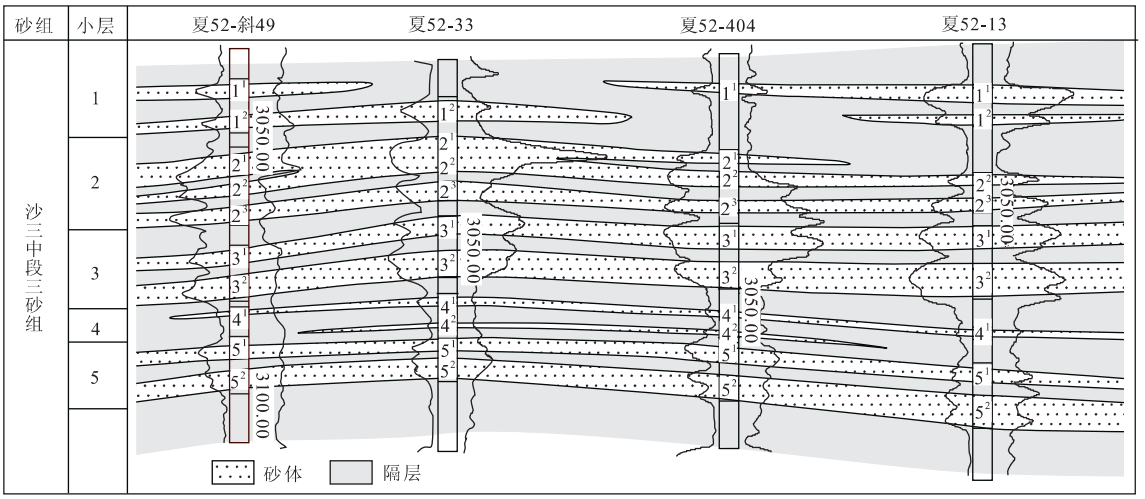

图 1 夏 52 块沙三中段三砂组韵律层的划分与对比

Fig. 1 Rhythmic units correlation of 3rd member of Shahejie Formation in Xia52 area

1^1 代表 1 小层 1 砂体,其他相同

表 2 各小层单砂体之间连通井段统计

Table 2 Statistics on the connective wells between individual sandbodies of each substratum

区块	夏 52 块沙三中段三砂组					
上下砂体号	1^1	2^1	2^2	3^1	4^1	5^1
	1^2	2^2	2^3	3^2	4^2	5^2
连通井个数	8	23	11	8	无	无

注:砂体号 1^1 代表 1 小层 1 砂体,其他相同.

或亚流动单元的边界. 对该区隔层的详细研究(包括类型划分和空间展布)可参阅朱东亚等(2004).

2.1.3 流动单元与亚流动单元的划分 通过详细的逐井对比与统计发现,研究区段内 5 个小层之间均有空间上分布稳定而连续的、封闭性良好的泥岩隔层相互隔离开. 但小层内部的各单砂体之间的隔层多是空间分布不连续,厚度变化较大的粉砂质泥岩、泥质粉砂岩等类型的隔层. 单砂体之间隔层的不连续会造成这些砂体在垂向上局部的相互连通. 精细小层对比结果表明,研究区段局部相互连通的单砂体有 1 小层的 1 砂体和 2 砂体,2 小层的 1 砂体和 2 砂体以及 2 砂体和 3 砂体,3 小层的 1 砂体和 2 砂体(表 2);而 4 小层和 5 小层各自的 2 个单砂体之间的隔层在全区是稳定分布的,垂向上也是不连通的(表 2).

根据隔层分布的稳定性把研究区段进行流动单元和亚流动单元的划分,现以 2 小层为例. 2 小层分为 3 个单砂体(韵律层),这 3 个单砂体都是以沙坝为主的沉积微相类型(1 砂体和 2 砂体沉积微相分布特征见图 2a,2c). 1 砂体与 2 砂体之间以及 2 砂体与 3 砂体之间的隔层都是不连续的,造成砂体彼此之间有较多的相互连通的区域(1 砂体和 2 砂体之间连通区域分布特征见图 2b). 局部的相互连通区域可以形成流体交换和压力传递的通道,使得这 3 个砂体能够形成一个相对统一的油水系统. 流体交换和压力传递的过程总体上可能进行地比较缓慢,但是在连通区域附近会进行得比较快. 2 小层和 1 小层之间以及 2 小层和 3 小层之间的隔层都是厚而稳定的泥岩隔层,相互都不连通. 这样整个 2 小层就形成了一个独立的封闭体系,并且由于内部隔层的局部连通性(图 2b),2 小层内部的 3 个单砂体也能形成一个统一的油水压力系统. 所以,2 小层可以划为一个流动单元,内部的 3 个单砂体可以划分为 3 个亚流动单元(图 2).

按照上述划分方法,夏 52 块沙三中段三砂组共划分出 7 个流动单元和 7 个亚流动单元(表 3). 其中 1、2 和 3 小层的每个单砂体为一个亚流动单元;而 4 和 5 小层的单砂体之间隔层分布稳定,所以每个单砂体都划分成一个流动单元.

2.2 渗流区的划分

流动单元和亚流动单元反映了地下地质流体的活动范围,而在流动单元和亚流动单元内部的不同部位,储层物性具有一定的差异. 物性的差异导致在同一流动单元内部流体渗流能力的不同,地下地质流体将沿着储层质量好的区域优先流动. 因此要摸清流体在地下的渗流特点,就需要对各流动单元和

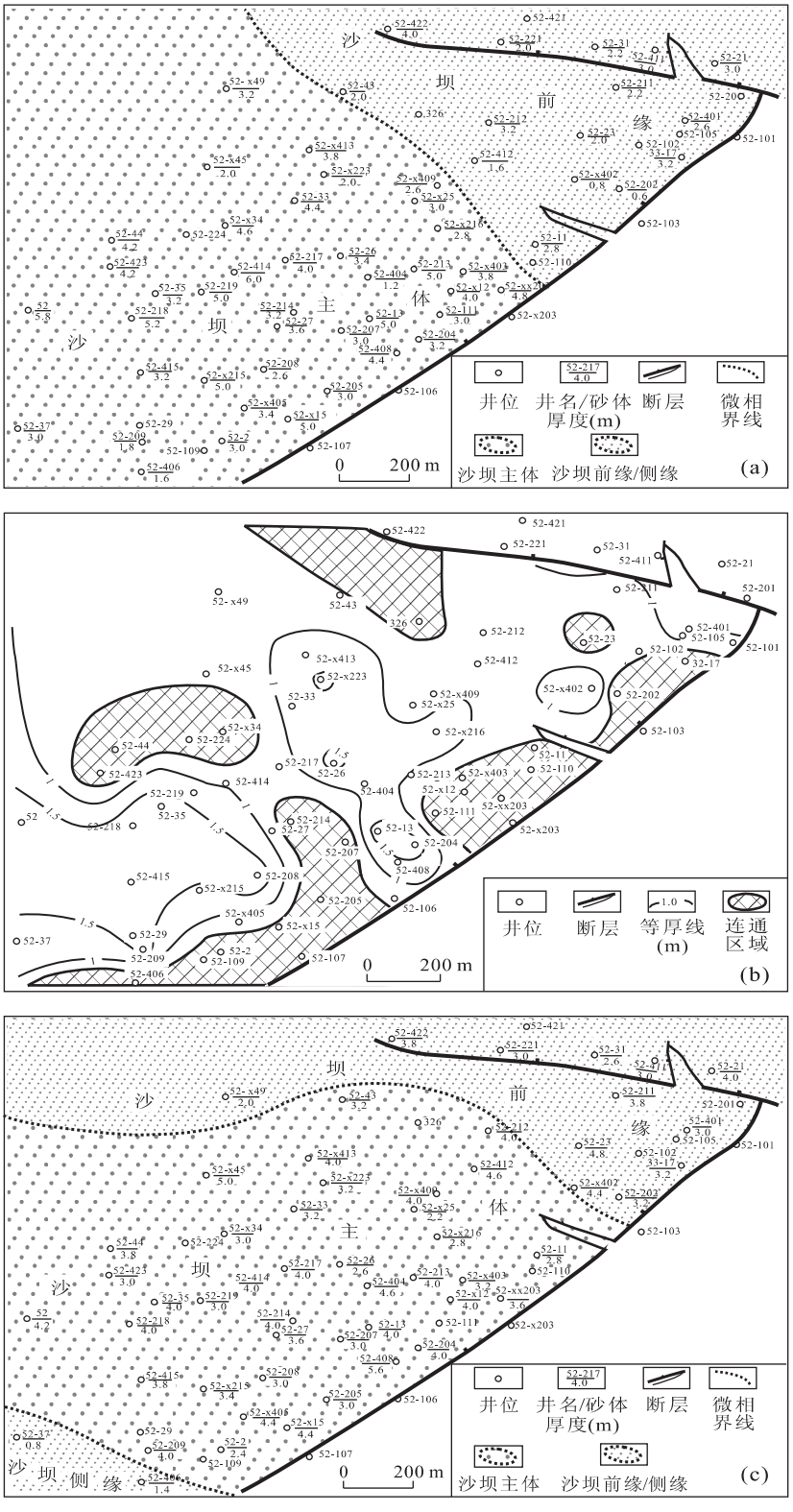

图 2　2 小层 1 砂体和 2 砂体亚流动单元沉积微相分布图及两者之间隔层等厚线和连通区域分布

Fig. 2　Microfacies of 2^1 and 2^2 sub-fluid units, and isopaches of the insulating layer and the distribution of connective area between them

a. 2 小层 1 砂体亚流动单元沉积微相分布;b. 2 小层 1 砂体亚流动单元和 2 砂体亚流动单元之间的隔层等厚线和连通区域分布;c. 2 小层 2 砂体亚流动单元沉积微相分布

表 3 沙三中段三砂组流动单元体系划分

Table 3 Division of the flow unit system of the 3rd member, the 3rd member of Shahejie Formation

区块	小层号	单砂体	流动单元	亚流动单元	渗流区个数
夏52块沙三中段三砂组	1	1 砂体	1 小层流动单元	1 小层 1 砂体亚流动单元	8
		2 砂体		1 小层 2 砂体亚流动单元	5
	2	1 砂体	2 小层流动单元	2 小层 1 砂体亚流动单元	5
		2 砂体		2 小层 2 砂体亚流动单元	4
		3 砂体		2 小层 3 砂体亚流动单元	7
	3	1 砂体	3 小层流动单元	3 小层 1 砂体亚流动单元	5
		2 砂体		3 小层 2 砂体亚流动单元	4
	4	1 砂体	4 小层 1 砂体流动单元	/	5
		2 砂体	4 小层 2 砂体流动单元	/	9
	5	1 砂体	5 小层 1 砂体流动单元	/	5
		2 砂体	5 小层 2 砂体流动单元	/	6
合计	/	5	7	7	63

亚流动单元进行渗流区的划分.

2.2.1 渗流区的分类 判断一个储层质量好与坏的标准比较多,但最能直接反映流体活动能力的是储层的孔隙度和渗透率. 孔隙度和渗透率大的,流体在其中活动能力强;孔隙度和渗透率小的,流体在其中活动能力就弱. 研究区段内共有 10 余口取心井,260 多个点的孔隙度、渗透率测试数据,根据这些井孔隙度、渗透率的统计分析结果,并结合开发过程中的实际情况,该区的储集层分为 4 种类型的渗流区,即 A 型、B 型、C 型和 D 型渗流区(表 4).

A 型渗流区的孔隙度主要分布区间为19.0%～24.0%,平均值为 20.7%,渗透率的分布区间为(20.0～几千)$\times 10^{-3}$ μm^2,平均值为 328.8$\times 10^{-3}$ μm^2;B 型渗流区的孔隙度主要分布区间为17.0%～21.4%,平均值为 19.1%,渗透率的分布区间为(6.0～20.0)$\times 10^{-3}$ μm^2,平均值为 14.1$\times 10^{-3}$ μm^2. A 型和 B 型渗流区是临南油田储层质量最好的区域,原油采出程度高. 其中 A 型渗流区属于该区的高孔、高渗储层,流体在其中的活动能力最强,受注水的影响,A 型渗流区已差不多完全遭受了水淹. B 型渗流区属该区的中孔、高渗储层,水淹程度也比较严重,目前仍有部分的剩余油存在,虽产液量大,但含水率非常高.

C 型渗流区的孔隙度主要分布区间为12.0%～20.0%,平均值为 16.5%,渗透率的分布区间为(1.6～10.0)$\times 10^{-3}$ μm^2,平均值为 4.2$\times 10^{-3}$ μm^2,属于该区的中低孔、中低渗储层,储层质量中等. C 型渗流区的原油采出程度低,是目前挖潜的主要区域. D 型渗流区的孔隙度主要分布区间为5.0%～16.0%,平均值为 13.0%,渗透率的分布区间为(0.19～3.0)$\times 10^{-3}$ μm^2,平均值为 1.3$\times 10^{-3}$ μm^2,属于该区的低孔、低渗储层,储层质量差,流体在其中的活动能力很小. 对于 D 类渗流区,如果不采取一定的措施,很难从其中采出油来.

在电测曲线形态上,A 型渗流区的自然电位呈高幅箱形或指形,微电极曲线幅度差大、平滑、无齿化;B 型渗流区的自然电位呈高中幅薄层的指形、钟形或漏斗形,微电极曲线具有较大的幅度差、弱齿化;C 型渗流区的自然电位呈中幅钟形或漏斗形,微电极曲线幅度差小,齿化程度强、且有明显的突起;D 型渗流区的自然电位曲线幅度低,微电极曲线基本无幅度差,齿化程度强,具有尖峰状的强烈突起(表 4).

仅依据实测的孔隙度和渗透率值对取心井段进行渗流区的划分是远远不够的,还要进一步扩展到未取心井段,这样就需要建立实测储层物性和电测曲线之间的对应关系. 测井曲线中的自然伽玛和声波时差值相对来说能比较准确的反映储层孔隙度和渗透率的好坏. 把依据实测孔隙度和渗透率值划分出的每种类型渗流区所对应的自然伽玛和声波时差值进行统计,按照贝叶斯最小错误决策原理可得出每一种类型渗流区基于电测曲线的判别式:

A 型渗流区:$F(A)=1.151\,804x_1+6.401\,194x_2-894.689$; B 型渗流区:$F(B)=1.582\,575x_1+6.267\,817x_2-884.982$; C 型渗流区:$F(C)=1.851\,374x_1+6.064\,64x_2-853.61$; D 型渗流区:$F(D)=2.116\,029x_1+5.957\,548x_2-850.444$.

其中 $F(X)$代表判别结果,x_1 和 x_2 分别代表自然伽玛值和声波时差值. 把某一小层的自然伽玛和声波时差值(可取各自的平均值)分别代入 4 种类型渗流区的判别式,判别结果最大的式子对应的渗流

表 4　各类型渗流区孔隙度、渗透率及测井曲线特征

Table 4　Porosity, permeability and well log characteristics of each seepage zone

渗流区类型	孔隙度(%)		渗透率(10^{-3} μm^2)		测井曲线形态		储层质量
	范围	平均	范围	平均	自然电位	微电极	
A 型	19.0～24.0	20.7	20.0～数千	328.8	高幅箱形或指形	幅度差大、平滑	高孔、高渗
B 型	17.0～21.4	19.1	6.0～20.0	14.1	高中幅薄指形、钟形或漏斗形	幅度差较大、弱齿化	中孔、高渗
C 型	12.0～20.0	16.5	1.6～10.0	4.2	中幅钟形或漏斗形	幅度差小，齿化强、突起明显	中低孔、中低渗
D 型	5.0～16.0	13.0	0.19～3.0	1.3	低幅	基本无幅度差，强齿化，强烈尖峰状突起	低孔、低渗

区类型就是对应小层的渗流区类型. 如取心井夏 52－27 的 3 小层 2 砂体，按照实测储层物性为 A 型渗流区；该层的自然伽玛和声波时差平均值分别为 42 和 270，判别结果 $F(A)$、$F(B)$、$F(C)$ 以及 $F(D)$ 的值分别为 882.0、873.8、861.6 和 846.9，其中 $F(A)$ 的值最大，所以判定为 A 型渗流区，这与实际岩心物性测试得到的渗流区类型是一致的. 按照这种方法对所有有实测储层物性数据的取心井段进行回判，回判正确率为 97.5%，表明使用上述判别式对未取心井段进行渗流区的判别是可靠的. 由此，就可以依据测井结果对未取心井的某一小层逐一进行渗流区的判别，如未取心井夏 52－312 的 3 小层 2 砂体的自然伽玛和声波时差值分别为 70 和 260，各判别式的结果分别为 $F(A)=850.2$，$A(B)=855.4$，$F(C)=852.8$ 和 $F(D)=846.6$，其中 $F(B)$ 的值最大，所以应划为 B 型渗流区.

2.2.2　流动单元/亚流动单元中渗流区的划分　储层孔隙度、渗透率的好坏与形成时的沉积环境有着密切的关系，形成时水动力强的区域，分选性、磨圆性好、泥质含量低，沉积形成的储层孔渗性就会比较好；而水动力弱的区域中形成的储层孔渗性则较差. 因此，研究渗流区的分布要先从研究储层的沉积微相出发，沉积微相制约着渗流区的空间展布.

研究区段除 1 小层是在三角洲分流平原－三角洲前缘亚相上的沉积外，其他 4 个小层主要是在三角洲前缘亚相上发育的沉积序列，包括分支河道、天然堤、沙坝主体、沙坝前缘、沙坝侧缘、远沙坝等类型的沉积微相. 沙坝主体、分支河道沉积微相主要是由 A 型和 B 型渗流区构成；沙坝前缘、侧缘、天然堤等主要是由 C 型渗流区构成，也有少数部位属 B 型渗流区；远沙坝类型的沉积微相主要是由 D 型渗流区构成.

根据 4 种类型渗流区判别式判别结果，结合电测曲线模式以及沉积微相的空间展布，对临南油田沙三中段三砂组各流动单元和亚流动单元进行了渗流区的划分，共划分出 63 个渗流区(表 3). 图 3 是研究区段 1 小层流动单元 2 砂体亚流动单元和 4 小层流动单元 1 砂体亚流动单元沉积微相和渗流区划分的结果.

渗流区的划分为注水开发以及注水开发效果预测提供了基础的地质依据. 如果在 A 型渗流区注水，在同一个 A 型渗流区内会很快见效，甚至很快遭受水淹，而相邻的 B 型或 C 型渗流区则要经过很长时间才能被波及到，甚至不能被波及，导致其中的剩余油不能采出. 如果在 B 型或 C 型渗流区注水，在临近的 A 型渗流区开采，那么在 C 型或 B 型渗流区内的剩余油会比较容易的被驱替出来.

2.3　应用效果分析

研究区段的 3 小层 1 砂体和 2 砂体都是储集性良好的河口砂坝类型沉积，渗流区类型以 A 和 B 型为主，局部为 C 型. 夏 52－27 井是注水开发前打的油井，与之相临近的夏 52－312 井和夏 52－228 井是注水开发后打的油井，注水井位于这三口井附近，注水层位为 3 小层 2 砂体. 早期的夏 52－27 井揭示 3 小层 1 砂体和 2 砂体均是较好的油层(图 4). 后期的夏 52－312 井和夏 52－228 井均揭示 3 小层的 2 砂体遭受了不同程度的水淹(图 4)，其中夏 52－228 井完全水淹成为水层，夏 52－312 井部分水淹成为油水同层；而 3 小层 1 砂体尚未遭受水淹.

3 小层 2 砂体水淹程度的差别是由储层孔渗性的差别造成的. 夏 52－228 及临近井的 3 小层 2 砂体为 A 型渗流区，而夏 52－312 及临近井的 3 小层 2 砂体为 B 型渗流区，所注水将先在 A 型渗流区内形成优势通道，而后才能逐渐波及到 B 型渗流区，这样就造成了夏52－228和夏52－3122口井水淹

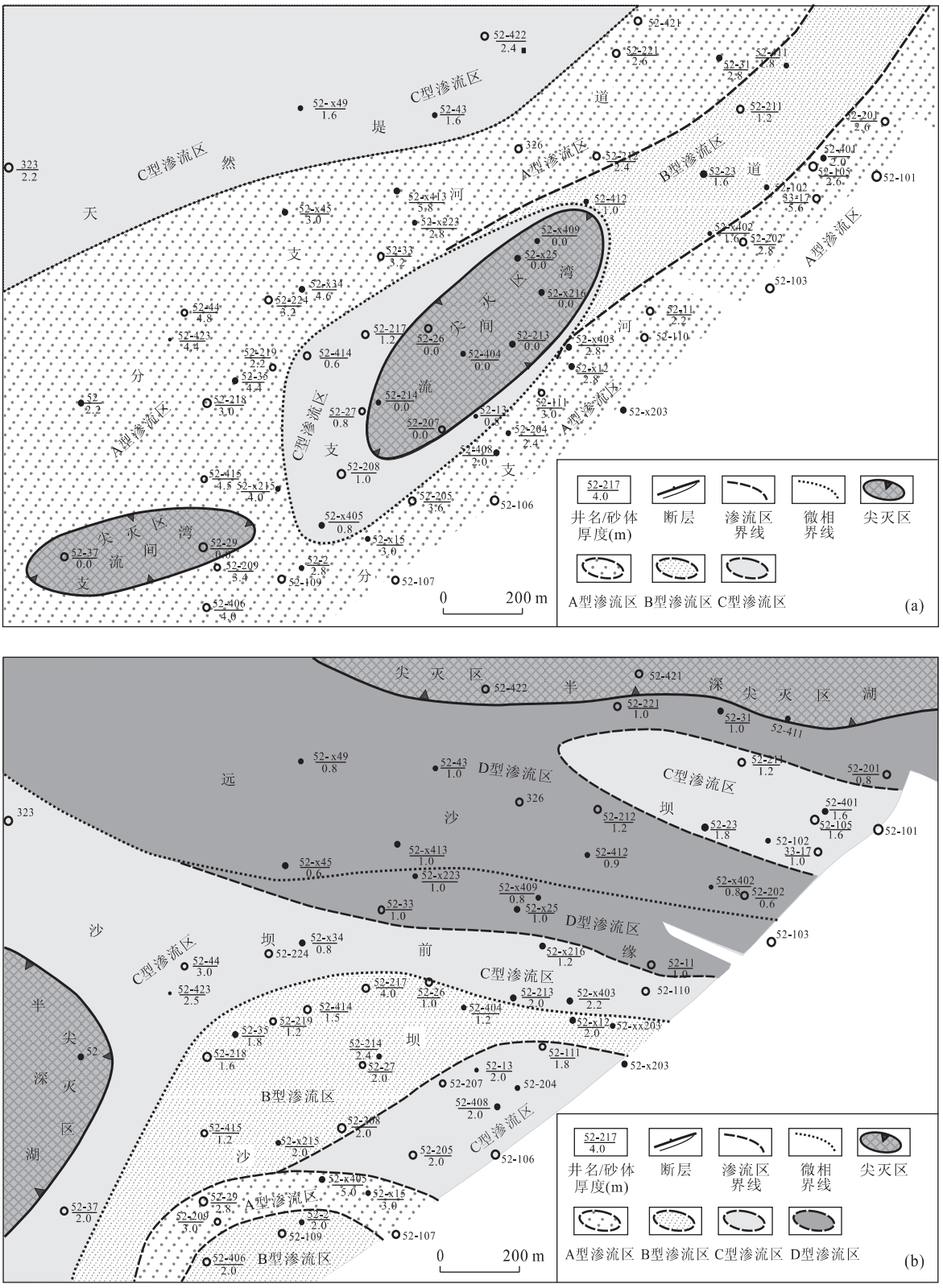

图 3 沙三中段三砂组沉积微相和渗流区分布

Fig. 3 Distribution of seepage zones and microfacies of the 3rd member of Shahejie Formation

a. 1 **小层** 2 **砂体，属三角洲平原—三角洲前缘亚相沉积，沉积微相类型以分支河道沉积为主，渗流区类型主要是** A、B **和** C **型**；b. 4 **小层** 1 **砂体，属三角洲前缘亚相沉积，沉积微相类型主要是砂坝，渗流区类型有** A、B、C **和** D **型**

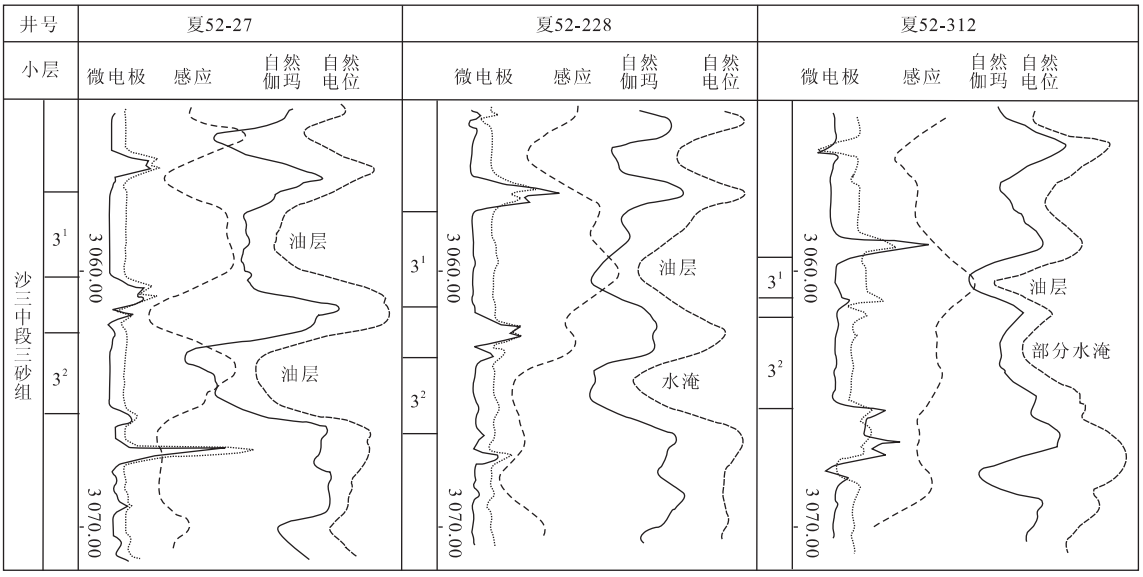

图 4　3 小层 2 个不同亚流动单元油水动态变化比较

Fig. 4　Comparison of the oil-water dynamic changes between 3^1 and 3^2 sub-flow units

程度的差别.

注水之所以只影响 3 小层 2 砂体而未影响到 3 小层 1 砂体是因为两砂体之间的隔层在垂向上起到了一定的阻隔作用. 尽管 1 砂体和 2 砂体是同属于 3 小层流动单元的两个亚流动单元(表 3),两者之间的隔层也是不连续的,但由于连通的井较少,短期来看,两层之间的流体成分和压力还不能很快达到均衡,这种均衡是一个长期的过程.

3　小结

本文从沉积与储层物性相结合的角度把储层划分成流动单元、亚流动单元和渗流区 3 个不同的层次. 宏观上由沉积所限定的流动单元是一个相对独立的流体压力系统,由区域连续分布的隔层与外界隔离开来;亚流动单元则是在同一个流动单元内部由不连续分布的隔层分开的储集砂体,彼此之间可通过连通部位进行流体和压力交换,这个过程会比较缓慢. 微观上由储层物性划分的渗流区反映了在同一流动单元或亚流动单元内部不同部位流体活动特征的差异. 这样对储层进行流动单元、亚流动单元和渗流区进行划分的方法能比较准确的反映制约地下流体活动的储层地质特点,为注水开发过程中合理布置注采井网提供了比较可靠的依据.

References

Amaefule, J. O., Altunbay, M., Kersey, D. G., 1996. Enhanced reservoir description: Using core and log data to identify hydraulic (flow) units and predict permeability in uncored intervals/well. SPE26435, presented at the 68th annual conference and exhibition.

Ebanks, W. J., 1987. Flow unit concept—Integrated approach to reservoir description for engineering project. *AAPG Bulletin*, 71(5): 551－552.

Cai, Z., Zeng, F. F., 2000. Micro-facies models and distributions of residual oil in Linnan oilfield. *Journal of University of Petroleum (Science Edition)*, 24(1): 44－47 (in Chinese with English abstract).

Dou, Z. L., 2000. Fluid unit model of fluvial reservoir of Guantao Member in Gudong Oil-field and distribution of residual oil. *Petroleum Exploration and Development*, 27(6): 50－52 (in Chinese with English abstract).

Hamlin, H. S., Dutton, S. P., Seggie, D., et al., 1996. Depositional controls reservoir properties in a braid-delta sandstone, Tarrawazza oilfield, South Australia. *AAPG Bulletin*, 80(2): 139－156.

Hearn, C. L., Ebanks, W. J., Tye, R. S., et al., 1984. Geological factors influencing reservoir performance of the Hartzog Draw field, Wyoming. *Journal of Petroleum Technology*, 36: 1335－1344.

Jiao, Y. Q., Li, S. T., Li, Z., et al., 1995. Sediment system of sinuous river and lacustrine delta and inner structure analysis of typical sandbodies. Geologyical Publishing House, Beijing, 1－2 (in Chinese).

Peng, S. M., Yin, Z. J., Chang, X. J., et al., 2001. A new method for quantitive research of terrestrial reservoir flow unit. *Petroleum Exploration and Development*, 28(5): 68—70 (in Chinese with English abstract).

Qiu, Y. N., Chen, Z. Q., 1996. Reservoir characteristics. Petroleum Industry Press, Beijing.

Robert, G. L., Entzminger, D., Sakurai, S., 2001. High-resolution sequence stratigraphic approach to carbonate reservoir characterization for understanding flow units and petrophysical properties: Example from Permian North Cowden Field, West Texas. *AAPG Annual Convention Abstract*.

Song, Z. Q., Gao, X. J., Tan, C. Q., et al., 2002. Study on fluid unit of conglomerate reservoir of the 8th zone in Kelamayi oilfield. *Xinjiang Petroleum Geology*, 23(2): 150—153 (in Chinese with English abstract).

Tan, C. W., Song, Z. Q., Wu, S. B., et al., 2002. Flow units of the block Bo-21 sandstone reservoir in the Gudao oilfield, Jiyang depression. *Geological Review*, 48(3): 330—334 (in Chinese with English abstract).

Wagoner, J. C., Mitchum, R. M., Campion, K. M., et al., 1999. Siliciclastic sequence stratigraphy in well logs, cores and outcrops: Concepts for high-resolution correlations of time and facies. *AAPG Methods in Exploration Series*, 7: 55.

Wu, S. H., Wang, Z. L., 1999. A new methold of non-marine reservoir flow unit study. *Acta Sedimentologica Sinica*, 17(7): 252—257 (in Chinese with English abstract).

Zeng, D. Q., Li, Z. C., Song, G. Y., et al., 2002. Base level cycle and reservoir flow unit of Shasan upper part in Pucheng oilfield. *Acta Petrolei Sinica*, 23(3): 39—42 (in Chinese with English abstract).

Zhu, D. Y., Hu, W. X., Cao, X. W., et al., 2004. Classification and distribution of insulating layers in Linnan oilfield. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 29(2): 211—218 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

蔡忠，曾发富，2002. **临南油田沉积微相模式及剩余油分布. 石油大学学报（自然科学版）**，24(1)：44—47.

窦之林，2000. **孤东油田馆陶组河流相储集层流动单元模型与剩余油分布规律研究. 石油勘探与开发**，27(6)：50—52.

焦养泉，李思田，李祯，等，1995. **曲流河与湖泊三角洲沉积体系及典型骨架砂体内部构成分析. 北京：中国地质大学出版社**，1—2.

彭仕宓，尹志军，常学军，等，2001. **陆相储集层流动单元定量研究新方法. 石油勘探与开发**，28(5)：68—70.

裘怿楠，陈子琪，1996. **油藏描述. 北京：石油工业出版社.**

宋子齐，高兴军，谭成仟，等，2002. **克拉玛依油田八区克上组砾岩油藏流动单元研究. 新疆石油地质**，23(2)：150—153.

谭成仟，宋子齐，吴少波，等，2002. **济阳坳陷孤岛油田渤21断块砂岩油藏流动单元研究. 地质论评**，48(3)：330—334.

吴胜和，王仲林，1999. **陆相储层流动单元研究的新思路. 沉积学报**，17(2)：252—257.

曾大乾，李中超，宋国英，等，2002. **濮城油田沙三上地层基准面旋回及储层流动单元. 石油学报**，23(3)：39—42.

朱东亚，胡文瑄，曹学伟，等，2004. **临南油田隔层类型划分及其分布规律研究. 地球科学——中国地质大学学报**，29(2)：211—218.