

文章编号: 1000-0550(2004)02-0193-05

储层预测和油藏描述中的一些沉积学问题

王多云 李凤杰 王峰 刘自亮 王志坤 李树同 秦红

(中国科学院兰州地质研究所 兰州 730000)

摘要 储层预测和油藏描述方法技术已经在油气资源勘探开发工程中发挥着日益重要的作用。然而,在重视其方法进步与技术创新的同时,更要注意其丰富的石油地质学内涵。特别是研究对象为岩性、地层等隐蔽油气藏时,其核心内容涉及到沉积地质学的诸多理论问题。基于此因,本文针对我国陆相盆地河流-三角洲-湖泊沉积体系中岩性油气藏的特点,对储层预测和油藏描述中一些诸如:研究对象的背景及其地质基础;油气藏的储层相构形描述;三角洲前缘储层的成因类型及其描述;小尺度岩相制图、成藏要素及目标优选以及以流动单元为对象的储层三维构形研究与油藏描述等沉积地质学的问题给予了阐述。强调储层预测和油藏描述技术离不开沉积地质学这一根本基础。

关键词 储层预测,油藏描述,河流三角洲,沉积学

第一作者简介 王多云 男 1956 年出生 研究员 沉积学

中图分类号 P512.2 **文献标识码** A

1 引言

目前,储层预测和油藏描述方法技术已成为油气资源勘探开发工程中必不可少的核心技术。随着易于寻找的构造型油气藏的减少,油气资源勘探已趋向岩性、地层等隐蔽油气藏方向和面对陆相中小盆地等过去未顾及的领域和地区,加之地表条件趋于恶劣(沙漠、冻土、森林、沼泽和黄土塬等)和地下情况更加复杂,使得勘探目标选择变得困难。比较准确的、精细的储层预测和油藏描述无疑能够回答勘探实践中的一些重要问题,基于此原因,重视以地球物理勘探资料为主要地下信息载体的储层预测和油藏描述技术就在情理之中了。然而,任何先进的方法技术都离不开先进理论基础的支撑,任何先进的计算技术和实现软件都离不开能够反映客观事物本质的数学模型和正确算法,储层预测和油藏描述技术如果仅仅把它视为一种技术,而忽视它的极其丰富的石油地质学内涵,有可能极大地限制其在勘探实践中的作用。事实上,针对岩性、地层等隐蔽油气藏的储层预测和油藏描述的基础问题,很多是涉及沉积地质学的理论问题,本文拟对一些问题给予阐明。

2 研究对象的背景及其地质基础

众所周知,我国石油资源的 80% 以上蕴藏于陆相地层中,河流—三角洲—湖泊沉积体系在陆相环境中

占有绝对主导地位。有两个储油相带最为重要,一是三角洲体系中的分流河道和河口砂坝等,二是河流体系中不同类型的河道沉积物,在这两种成因储层中赋存着我国石油大约 60% 以上的资源和 90% 以上的探明储量。同时,自二十世纪九十年代以来,岩性油藏逐渐成为我国石油产区主要的勘探目标,例如松辽盆地的侏罗白垩系;东部裂谷盆地的白垩系和第三系;鄂尔多斯盆地的三叠系、侏罗系;准葛尔盆地的三叠系、侏罗系;柴达木盆地的侏罗系;塔里木盆地的三叠系、侏罗系、白垩系等等。可以预测,在未来 10—20 年中,我国石油资源主要来自上述盆地的河流—三角洲—湖泊沉积体系,主要的油藏类型之一是岩性油藏。因此,目前,对我国陆相盆地,特别是对西部陆相盆地的储层预测和描述研究主要是以对河流—三角洲—湖泊沉积体系研究为背景的,其储层成因大多是冲积作用为主的各种河道类型的碎屑岩类储集体。

储层和油藏是具有特定的发展演化过程及其轨迹的沉积盆地的产物,不论是单旋回演化的相对简单盆地,还是多旋回演化的复杂叠合盆地,一套有勘探意义的生储组合是盆地演化过程中某一特定时间段的必然响应。因此,我国中新生代的陆相盆地,不论是东部裂陷型盆地,还是中部像陕甘宁盆地那样的在稳定克拉通上叠合的拗陷盆地以及西部准葛尔、柴达木和塔里木等受原型盆地周边造山带控制的压扭性的拗陷盆地,在每一套生储油气组合的形成期,有其特定的古地

理环境格局和沉积物散布型式,其盆地形态、沉积体系类型、地层充填结构、沉积相组合及其相序配置、储集体物质堆积环境以及有利的储油气相带产出部位等等都有一定的规律,了解掌握研究对象的背景条件和地质基础是非常重要的^[1]。一般地,勘探开发工程所涉及研究区域仅仅是整个沉积盆地内的小区块,因此,充分了解和把握研究区块在盆地中所处的位置以及由盆地性质和演化规律所决定的一系列特征是做好后期研究的基础,由此看来,储层预测和油藏描述的技术专家应该首先是地层学和沉积地质学的专家。

3 三角洲前缘储层的成因类型及其描述

三角洲前缘是陆相盆地最主要的储油相带,水下分流河道和河口坝两类砂体最为重要。对三角洲前缘相带及其砂体成因类型的详细研究,特别是定性定量地描述它们的空间构形,不论是勘探阶段,还是开发阶段都是有重要的理论和经济价值。

首先是对三角洲前缘储层原始沉积特征和构形形态的准确把握。因此,在沉积环境及其组合研究方面,沉积相类型,相模式、相组合、河流—三角洲—湖泊体系的格局特征及展布面貌,湖泊岸线、水下坡折线、侵蚀河流形态,走向等与沉积环境有关的一系列问题是最基础的工作^[4]。从整个区域沉积体系的特征出发,预测三角洲前缘的各个沉积微相属性,分流河道的类型、砂体宽/厚比等有关特征;在储油砂体展布形态及其分布研究方面,着眼区域上宏观研究,旨在了解较大范围内储油相带展布规律,骨架主干砂体发育带的走向,以便了解三角洲前缘储油相带的时空位置和成因属性。

其次是对三角洲前缘沉积作用的详细解释。在目前地震资料可分辨的地层厚度内,可以以微相组合的方法详细描述厚层砂体的成因类型,例如,作者在陕甘宁盆地西峰地区晚三叠世延长统某油组中,将辫状河三角洲前缘从近源到远源划分为“水下分流河道带”、“水下分流河道与河口坝混合带”、“河口坝带”和“河口坝与滑塌浊积混合带”等四个成因带,同时,又将水下分流河道划分为箱形叠加式、箱-钟形叠加式和钟形叠加式3种,反映了水流能量以及砂体的形态;将水下分流河道与河口坝组合划分为河上坝(河道砂体之上叠覆河口坝砂体)和坝上河两大类及其4种亚类:即以河为主的坝上河、以坝为主的坝上河、连续式河上坝和叠加式河上坝;将河口坝组合划分为迁移河口坝和叠加河口坝等等;以上的储层成因类型划分和砂体描述,反映了在陡坡背景下辫状河三角洲退积和湖泊扩张过程中储层的赋存规律^[6]。与陡坡背景相对应的盆地盐

池-定边地区延长统某油组,该区在缓坡背景下呈进积状态的三角洲前缘可划分为“台型前缘”和“坡型前缘”两部分,其识别标志也是以水下分流河道、复合河口坝(坝上河)和河口坝三种主要沉积微相为主导的多种微相的不同组合。水下分流河道可识别出截削式和叠加式2种,河口坝可划分为完整式和复合式两大类,其中复合式河口坝(坝上河)还可划分为下残坝上河、完整坝上河和上残坝上河三种亚类型^[7]。类似这种对三角洲前缘的详细解释以及对其储层沉积微相的精细描述对优质储层鉴别、储层的地质建模、利用地震资料预测其分布甚至对油藏开发中的细分流动单元划分都有所帮助。

4 油气藏的储层相构形描述

储层相构形描述是指在研究储层在二维及三维空间上的筑造样式,这一内容主要以沉积砂体堆积形态理论为指导,辅以地震资料对储层和油藏的三维构形给予精确描述。

储层相(Reservoir Facies)是指具有储油气性能的岩石单元,它的构形(Architecture)乃指储层相在二维和三维空间上的几何式样和形态,储层相本身以及和非储集岩(内部夹层和上、下的围岩等)构成的在空间上的叠复图案可以有各种各样的花样,因此,储层相有丰富多彩的空间构形。毫无疑问,研究这些不同的构形对于准确认识和反映油藏是重要的。

储层相筑造构形(Reservoir Facies Architecture)是油藏开发的重要地质基础^[9,10],特别在河流—三角洲—湖泊体系中形成的岩性圈闭的油藏,含油层及其空间上的形态几乎完全取决于储层堆积时那种筑造构形,因此,不论是勘探阶段还是开发阶段,研究作业区的储层相筑造构形具有非常重要的意义。

千姿百态的储层相构形的形成源于千变万化的沉积动力学机制。在不同的沉积环境及其内部的微环境中,沉积物堆积时的动力学环境千差万别,由此造成沉积体筑造构形的千差万别。例如对于河流和三角洲中分流河道成因的砂岩储层来讲,河流的类型、水体运送沉积物的能量、粒度、堤岸稳定性、弯曲度、下切深度、摆动幅度等特性决定砂岩在空间上的筑造构形。一般地,对于碎屑岩类的石油储层而言,这种原始构形很大程度上决定油藏结构的优劣。

在油气勘探区和开发区,研究储层的筑造构形不外乎正演方法和反演方法两种。正演方法指在露头剖面、密集的连井剖面上直接刻画描述其三维构形,这种方法需要充足的资料,适用于在油藏开发中后期为二次、三次采油服务。反演方法指利用少量的井资料

(测井、岩芯和测试数据),以地震资料为依托^[11],研究者凭借对研究对象的了解知识和经验积累,在实际资料抽象基本符合油藏实际的地质模型,然后约束地震资料进行反演。反演方法是在勘探期和开发期使用最广泛的方法,其效果固然与研究者使用的具体技术手段有关,但是更重要的是研究者所具备的对储层筑造构形的了解深度和即时技术开发能力,例如,如果一口井有良好的油气显示或者具有工业产能,研究者可以根据含油层的地层结构,岩性序列,岩石类型,测井曲线形态和有关资料,便可判断该井孔在砂层筑造构形系统中的大致位置,由此提供地质模型甚至指出主力油层或者油藏的方位。

在油藏开发阶段,针对一个具体的已知含油区块,油藏描述的目的是准确地认识和反映油藏,以便为开发部署服务。首先要立足于对储层相筑造构形理论,研究在河流—三角洲沉积条件下,河流、河道行为所造成的各种各样的储层筑造构形体,研究这些构形体的地质、测井乃至地震标志^[2,5],建立符合油藏实际特征的各种地质模型;其次应充分发挥地震反演技术的作用,特别是应用现今较先进的地震反演技术,针对实际地质问题。适时开发一些新方法,特别强调地质解释人员和地质研究家熟悉应用甚至能够开发反演新技术。

需要强调的是,储层筑造构形问题研究即使为油藏描述服务,其本质问题仍是一个沉积地质学问题,如果和测井、地震技术结合得好,将起到事半功倍的作用。

5 小尺度岩相制图、成藏要素及目标优选

高分辨率层序地层学方法可用来进行小尺度的岩相制图^[12,13,16],短期旋回和超短期旋回可以达到细分油组的精度,同时,其建立的地层格架具有等时性。尽管目前高分辨率层序地层学方法对于识别短期旋回和超短期旋回的界面还不够成熟,但是,根据不同级别的湖泛面和侵蚀面在小区域内和密集的钻井之间还是可能的。

在一个高密度资料区进行小尺度的岩相制图,一要多学科综合。对岩性油藏而言,储层成因,展布形态及其三维构形是描述油藏的最核心内容,其依托理论基础便是古地貌学和沉积学。因此,分析一个编图地层单元最实用方法便是成因地层学。此外,测井地层学,储层沉积学、储层岩石学、地震资料反演储层理论以及描述油藏的理论等均是需要的;二是多种方法技术集成,方法技术手段是实现项目目标的关键,将地质、测井和地震资料解释技术集成综合起来,以丰富的

陆相盆地河流—三角洲—湖泊沉积体系理论为指导,会对每一个编图单元做出精细刻画和描述。三是以点—线—面体的步骤开展工作,即以井点(发现井、评价等)解剖,建立模式;以点连线,考察井点特征和侧向变化;由线成面,从面上考察编图单元的空间特征;多面叠合成体,从三维空间体上研究成藏要素的构成,从而评价有利区块,优选井位;四是研究目标必须具体,细致了解和刻画每个细分层编图单元的沉积相,沉积微相,储层成因物性,含油性,储油层三维构形,成藏要素,叠复规律,连通性,圈闭条件以及有利区块,具体井位等等与勘探开发有关的问题。

6 以流动单元为对象的储层三维构形研究与油藏描述

三角洲前缘分流河道相带控制的油藏,具有油层较厚、连片整装、物性较好、单井产量较高的特点。然而,由于其储油层特殊的沉积条件^[14,15],加之后期的成岩改造,使得该类型岩性油藏的开发过程,比其他诸如孤立带状的厚层河道型油藏的开发过程成本高、难度大。因此,以流动单元为对象,精细研究储油层在三维空间上的构形、内部结构、成因微相、物性、均质性、连通性等等问题与油藏的关系^[8],从而为开发部署提供真实的油藏地质模型,一直被开发专家们所关注。而恰恰上述问题,又不是一般的勘探阶段和开发早期阶段的油藏描述所能解决的,因此,在理论上解决那些在低坡降、低能量,高含泥量,高频河道迁移型的三角洲前缘岩性油藏,在开发阶段的沉积相、微相和组合模式;在方法上探索早期油藏描述向开发主体阶段的油藏描述的转变;在生产应用上尝试以流动单元为对象描述油藏特征,以期能够提供真实的油藏地质模型,从而提高开发经济效益,也是十分重要的问题。

在以流动单元为对象的储层三维构形研究与油藏描述研究中,首先要正确认识油层成因类型和油层微相。在三角洲前缘岩性油藏中,油层成因类型决定着其骨架颗粒的类型、大小、结构、杂基乃至后期成岩作用对储层的改造结果。一言蔽之,开发中油层的物性优劣、产能高低很大程度上取决于油层的成因类型。一个采油层或者属于一个流动单元的油层有时可能厚度较大,侧向连片,但是不一定同属一个成因类型。在那些河道化较弱,随机摆动性较快,水体较浅,湖岸线变动较频繁的情况下,不同成因的微相砂体可以在侧向上拼接在一起,也可在垂向上粘合在一块,由此造成流动单元层的不均质性。其次要正确认识油藏组合。在一个油藏或者油藏群区的油藏结构是复杂的。在湖岸线下方,三角洲河道砂体成因的油藏,有差异压实构

造成因,渗透性差异变化成因,砂岩透镜体、缓倾鼻状构造等等成因;在水下坡折线上方的三角洲前缘砂体成因的油藏也可能有压实构造,渗透性差异,砂体上倾尖灭,成岩圈闭等等成因以及复合的成因。由此,同一油区中的不同部位,油藏成因及组合是不同的,导致其油井产出情况千差万别,看来,区分不同的油藏组合,从而制定不同的开发措施是必要的。第三要正确认识流动单元三维构形及其不均质性。一个流动单元的形成可以是侧向上河道迁移砂体叠复的结果,也可以是垂向上河道下切所致,可以是断层错动储层拼接成因,也可以是裂缝系统造成两个油层的连通,也有各种复合成因的。在大多数情况下,原生沉积过程控制着流动单元的构形,一是侧向上河道频繁迁移,垂向上三角洲前缘的前积、退积造成上下不同成因的储油层叠合在一起,这种流动单元体的不均质性肯定很强。如果有足够的资料和井网密度,完全能够描述这种流动单元体的三维构形,同时,结合油层成因,油藏组合等宏观特征分析和储微观岩石学研究,也可以在平面上勾画这种不均质性。正确认识储层的微观岩石学特征油层岩石学,例如孔喉特征,形成机理,粘土矿物类型、水敏性、酸敏性以及注水开发过程中的孔喉堵塞机制等等问题,一方面与先天性的沉积环境有关,另一方面,与成岩作用、油田水化学,水—岩作用有关。

陆相盆地的沉积成岩过程相当复杂,油藏精细描述中面临的沉积学问题很多,勘探开发中遇到的问题也给沉积学和地层学理论提出一些问题,例如,陕甘宁盆地陕北靖安油田三角洲前缘相带控制的储油砂体,它既不是典型意义上的水下分流河道砂体,也不是典型的席状砂体,它们看起来似乎是连片的、席状的,但是其内部的成因结构是复杂的、多变的、不均质的,不确定的。因此,从宏观和微观两个方面描述刻画,认识剖析该类油藏,并非易事。

参考文献(References)

- 胡见义,黄第藩. 中国陆相石油地质理论基础. 北京:石油工业出版社,1991. 79~162 [Hu Jianyi, Huang Difan. The Bases of Nonmarine Petroleum Geology in China. Beijing: Petroleum Industry Press, 1991. 79~162]
- 裘怿楠. 油气储层评价技术. 北京:石油工业出版社,1997 [Qiu Yinan. Evaluation method in hydrocarbon reservoir. Beijing: Petroleum Industry Press, 1997]
- 李凤杰,王多云,郑希民,等. 陕甘宁盆地华池地区延长组缓坡带三角洲前缘的微相构成. 沉积学报,2002,20(4):582~587 [Li Fengjie, Wang Duoyun, Zheng Ximin, et al. The microfacies architecture of delta front along gentle slope zone of Yanchang Formation in Huachi Area, Shanxi - Gansu - Ningxia Basin. Acta Sedimentologica Sinica, 2002, 20(4): 582~587]
- 王多云,陈应泰,徐洪生. 受周期性湖平面升降控制的冲积扇-扇三角洲沉积体系. 沉积学报,1991,9(4):43~48 [Wang Duoyun, Chen Yingtai, Xu Hongsheng. Alluvial fan - fandelta - lacustrine sedimentary system controlled by lake - level Changes: Ganचाigou Formation (Tertiary), front of Aerjinsan, Western Chaidamu Basin, China. Acta Sedimentologica Sinica, 1991, 9(4): 43~48]
- 王多云. 沼泽环境中的河流类型及其侧向演化模式. 沉积学报,1993,11(3):1~6 [Wang Duoyun. Types and lateral evolution models of swamp rivers. Acta Sedimentologica Sinica, 1993, 11(3): 1~6]
- 刘自亮,王多云,郑希民,等. 陕甘宁盆地西峰油田主要产层储油砂体沉积微相组合及特征. 沉积学报,待刊 [Liu Ziliang, Wang duoyun, Zhen Ximin, et al. The microfacies combination and characteristic of main sandbodies in Xifeng Oil Field, Erdos Basin. Acta Sedimentologica Sinica, to be published.]
- 王峰,王多云,郑希民,等. 陕甘宁盆地姬塬地区延长组三角洲前缘微相组合及特征. 沉积学报,待刊 [Wang Feng, Wang Douyun, Zheng Ximin, et al. The microfacies combination and characteristic of delta front of Yanchang Formation in Jiyuan Area, Shaanxi - Gansu - Ningxia Basin. Acta Sedimentologica Sinica, to be published.]
- 邓宏文,王红亮,翟爱军,等. 中国陆源碎屑盆地层序地层与储层展布. 石油与天然气地质,1999,20(2):108~114 [Deng Hongwen, Wang Hongliang, Zhai Aijun, et al. Sequence stratigraphy and reservoir distribution in China terrigenous Clastic Basins. Oil & Gas Geology, 1999, 20(2): 108~114]
- Miall A D. Bulletin of Canadian Petroleum Geology, 1980, 28:59~80
- Galloway W E. Genetic stratigraphic sequence in basin analysis I: architecture and genesis of flooding-surface bounded depositional units. AAPG Bulletin, 1989, 73: 125~142
- Vail P R. Seismic stratigraphy interpretation using sequence stratigraphy. Part 1: stratigraphy interpretation procedure. In: Bally A W, ed. Aalals of Seismic Stratigraphy. AAPG, Studies in Geology, 1987, 27:1~10
- Cross T A. Stratigraphic controls on reservoir attributes in continental strata. Geology Frontier, 2000, 7(4): 1~29
- Cross T A, Lessenger M A. Sediment volume partitioning: rationale for stratigraphic model evaluation and high-resolution stratigraphic correlation. Accepted for publication in Norwegian Petroleum Foreing Conference Volume, July 1996. 1~24
- Nelson R A, Moldovanyi E P, Matcek C C, zpiritxagaI A, et al. Production characteristics of the fractured reservoirs of the La Paz field, Maracaibo basin, Venezuela. AAPG Bulletin, 2000, 84(11): 1791~1809
- Reinhard Hesse, Ingo Klaucke, Khodabksh, et al. Sandy submarine braid plains: Potential deep-water reservoirs. AAPG Bulletin, 2001, 85(8): 1499~1521
- Guy Flint A, Paul J McCarthy, Ubiratan F. Faccini. Nonmarine sequence strigraphy: Updip expression of sequence boundaries and systems tracts in a high-resolution framework, Cenomanian Dunvegan Formation, Alberta foreland basin, Canada. AAPG Bulletin, 2001, 85(11): 1967~2001

Some Sedimentological Problems on Reservoir Prediction and Oil-pool Characterisation

WANG Duo-yun LI Feng-jie WANG Feng LIU Zi-liang

WANG Zhi-kun LI Shu-tong QIN Hong

(Lanzhou Institute of Geology, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000)

Abstract Techniques and methods used for prediction of reservoirs and description of petroleum accumulation have important effect in exploration and exploitation of engineering of oil and gas resource. However, their more abundant base connotations are taken into account when advancement of method and innovation of technique are paid attention to. Especially when the research objects are hidden petroleum accumulations such as lithologic and strata reservoirs, their core contents refer to theory problems of sedimentary geology. So, in this paper it aims at the peculiarity of lithologic reservoirs of sedimentary system of fluvial-delta-lacustrine of terrigenous basin in our country, many sedimentary geological problems in prediction of reservoirs and description of petroleum accumulation are expounded. These problems include the background and geological basement of research objects, the description of reservoir facies architecture of petroleum accumulation, genetic types and their description of reservoir at delta front, petrographical facies mapping on small scale, elements of reservoir formation and high grade target and the research of reservoir three dimensional architecture taking the reservoir flow units as objects, and it emphasizes that techniques of prediction of reservoirs and description of petroleum accumulation are dependent on sedimentary geology, which is the fundamental basis.

Key words reservoir prediction, oil pool characterisation, fluvial-delta, sedimentology