

储层描述尺度与储层地质模型分级^①

姚光庆 马 正 赵彦超

(中国地质大学, 武汉 430074)

本文提出了碎屑岩储层描述尺度及储层地质的模型8级划方案: VI. 盆地级; V. 油田级; IV. 砂组级; III. 砂层级; II. 砂体级; I. 层理级; -I. 毫米级; -II. 微米级。不同级别的储层地质模型反映不同层次的储层非均质性, 具有不同的用途, 对应不同的研究手段。

关键词 储层描述 地质模型 储层非均质性

第一作者简介 姚光庆 男 29岁 讲师 储层地质学

沉积地层层序是分级别的。如层序地层学中的大层序、超层序、层序、小层序组、小层序(李思田, 1992), 生物-岩石地层学中的界、系、统、组、段、亚段等等都是不同规模的地层层序单元。这些层序单元是通过不同级别的地层界面类型限定的。客观存在着的不同级别的储层界面也就决定了储集层具有不同的规模单元。因此, 在对储层进行研究过程中不可避免地会涉及到选择最佳描述尺度(层次表征问题)及建立相应级别的储层模型(层次建模)的问题。合理选择储层描述尺度不仅能充分地利用油田现有资料用于准确描述储层非均质性, 而且分级建立的储层地质模型能及时正确地指导油田勘探开发地进行, 避免建立的模型与生产脱节。分级建立储层地质模型, 符合客观事物的认识规律, 有利于分层次逐步认识储层非均质程度。油田勘探开发的不同阶段也要求有不同内容的储层地质模型与之对应, 根据研究的详细程度, 在某一储层级别上分别对应概念模型、静态模型和可预测模型(裘亦楠, 1991)。现就储层模型分级的划分方案讨论如下:

1 前人关于储层描述尺度的划分方案

现行的较有代表性的关于储层描述尺度的划分方案有4种:(1)按肉眼对储层非均质性的识别程度分出宏观非均质性和微观非均质性两种尺度, 对宏观非均质性通常按平面、层间、层内进行描述。很明显, 此种方案没有真正从规模上对宏观储层进行尺度划分。(2)H. H. Heldorsen 和 L. W. Lake(1984)提出了储层描述的4种尺度(R. C. Nolen-Hoeksema, 1991): 特大尺度(gigascope scale)是指整个储集层规模; 粗视尺度(megascope scale)是油田模型网格化尺度, 即油藏模拟尺度; 宏观尺度(macroscope scale)是岩芯分析尺度; 微观尺度(microscope scale)是孔隙规模尺度, 应用显微镜分析。R. C. Nolen-Hoeksema(1990)明确了每种描述尺度的作用及研究手段。此方案不足之处是把模拟尺度仅分为一种, 实际上需要

① 本项成果属国家自然科学基金青年基金成果之一, 项目编号 49202031

更细的划分。(3)按储层沉积界面系统描述储层(A. D. Miall, 1991),将河流沉积体系中的沉积界面分为6级,规模由小到大分别为1级、2级、3级、4级、5级、6级,它们分别对应不同规模的底形迁移面。此方案适用于同一沉积体系的储层露头描述,应用于油田地下尚有一些困难。(4)W. J. E Van De Graaff和P. J. Ealey(1989)从油藏模拟的角度出发,将储层的非均质性分为4级:油田级(约1~10km)、储层级(约0.1~1km)、油层到原生砂体级(0.01~0.5km)、层理级(1cm~1m)(W. J. E. Van De Graaff et al, 1989)。他们还详细说明了各级别上储层描述的重点内容。这种方案强调了储层非均质性的层次性和储层模型的实用性。但是,此种划分方案没有与研究手段相联系,分级规模与地层界面的对应关系不够明确。

综上所述,4种划分方案分别强调了储层研究中的不同方面,划分的目地和研究侧重点各有不同。

2 储层规模分级原则

我们主张储层描述尺度应与储层地质模型级别一致,即两者分级系统应相同,这样便于研究和应用。具体对储层规模进行划分或选择建立储层模型级别时,要重点考虑以下5条原则。(1)储层分级能从成因地层中得到解释,分级界面具有地层意义和成因意义。要考虑到油田现行的地层单元划分习惯,如统、组、段、亚段、砂层组、小层(或时间单元)等实用地层单元。(2)分级建立的储层地质模型应反映不同层次的储层非均质性,并服务于油田勘探开发的不同阶段。这就要求不同级别的储层地质模型各自有不同的研究内容,解决不同的地质问题。(3)储层层次建模受储层描述(或研究)手段及资料丰富程度的制约。如地震资料与相对密集的钻井资料对储层的分辨能力差别很大,自然用这两种手段建立的模型应分属不同等级。(4)储层描述的资料相同时,储层本身的非均质程度影响着地质模型的精度。图1表示了储层非均质程度的两种极端实例,3口钻井能较准确地描述砂层规模上的海滩-障壁坝砂体,而不能正确描述砂层规模上的河道砂体。(5)储层规模分级方案要便于应用和推广,术语选用尽量与现行方案一致。

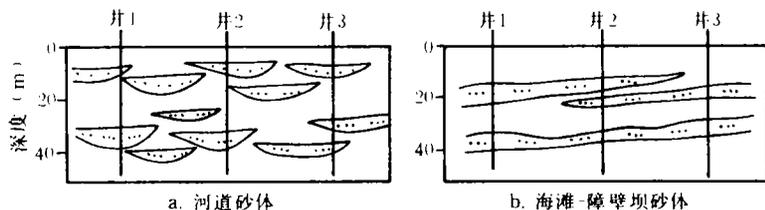


图1 河道砂体(a)和滩-坝砂体(b)的二维模型

综合前人成果,考虑上述原则,笔者提出了储层描述尺度及储层地质模型的8级划分方案。按储层规模由大到小分别是:盆地级(Ⅵ级)、油田级(Ⅴ)、砂组级(Ⅳ)、砂层级(Ⅲ)、砂体级(Ⅱ)、层理级(Ⅰ)、毫米级(-Ⅰ)、微米级(-Ⅱ)。这8种级别包括了盆地内储层研究的完整系统。在具体地区(盆地、油田、露头)储层研究中,可根据实际情况选择某一个或几个级别上进行储层描述和建模。其中-Ⅰ级、-Ⅱ级可统称为微级,主要用于建立孔隙结构模型。各

级别上储层模型特点、非均质性重点及对应研究手段综合于图 2 中。

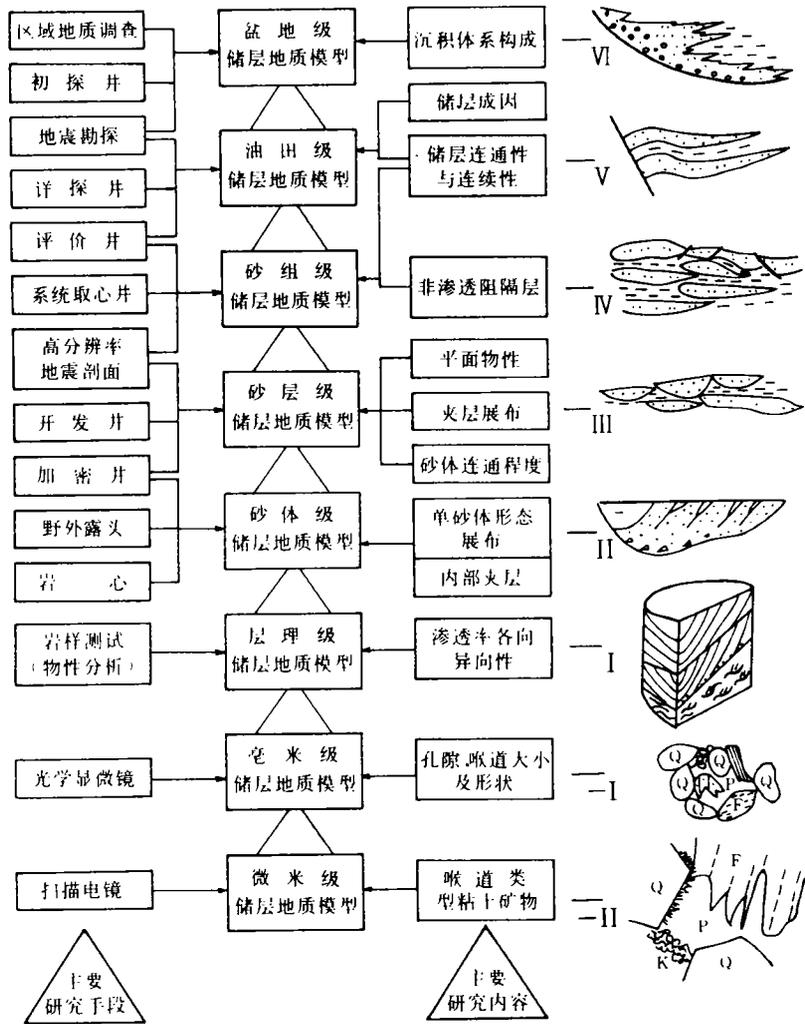


图 2 储层地质模型分级综合图

3 储层地质模型分级讨论

VI 级 盆地级储层地质模型

规模相当于地层单元的组或统。储层描述以沉积体系为对象，重点是沉积体系的外部沉积构成，包括储层形态、范围、厚度及层面起伏等特征。盆地级储层建模以地震勘探手段为主，少数探井及区域地质调查(包括野外露头研究)资料对认识沉积体系的构成是必不可少的。该储层模型一般服务于区域储层预测，为寻找有利详探区提供依据。

V 级 油田级储层地质模型

盆地内二级构造带上的油田规模或相当于油田范围的储层级别，一般对应地层单元段或亚段。模型所反映的主要内容是储层的垂向连通性及横向连续性。因此建模过程中储层成因解释及砂体类型识别要做更细致的工作。研究表明(W. J. E. Van De Graaff *et al*, 1988),砂/泥比值是反映储层垂向连通性的重要参数,对非均质程度极高的分流河道储层来讲,一般当砂/泥比值大于 0.5 时,其砂体连通性才显著增加(Allen,1978)。研究手段仍以地球物理勘探为主,其中测井资料的应用显得更加重要,储层的主要参数均来自测井数据的处理。有限的岩芯资料、地层测试及分析资料是沉积相分析的重要基础。油田级储层模型一般应用于油田开发前期(详见期末)地质研究中,指导油田开发方案的设计。

IV 级 砂组级储层地质模型

砂组级与通使用的砂层组规模相当。该级别的地质模型不仅要反映储层的连通性及连续性,还要对储层内明显的低渗透或非渗透阻隔层的分布、厚度、岩性等进行分析。同时还要研究储层物性的宏观展布。一般来说,砂组规模是地震资料所能够区分的最小地层单元,所以,地质相-测井相-地震相三者之间的转换(图 3)是储层研究的重点内容。为配合高分辨精细处理的地震资料,要有资料齐全的测井系列和取芯资料(系统取芯),且井网密度达到百米级。该级别上的储层模型常直接用于油藏模拟,模拟的结果用于指导油田开发方案的实施及二次采油方案的制定(或实施)。



图 3 地质相-测井相-地震相之间的转换关系

III 级 砂层级储层地质模型

此级别相当于国内地层对比中的最小单元——小层或时间单元。储层研究重点是砂层平面物性的非均质性,要解决砂层内夹层展布及砂体连通程度这一难题。砂岩成岩作用也应作为研究的内容之一,重点考虑胶结作用及次生孔隙形成作用对储层非均质性的改造程度。研究手段以开发井网下(一般井距 300~500m)测井和钻井资料为主。建立该级别地质模型的技术关键是合理划分小层,这要求从关键井研究出发,用成因地层学的观点根据储层沉积特点合理划分沉积层序,找准各级地层单元界面,最后通过井间对比完成在三维空间上对砂层的描述。该模型也常用于油藏模型,确定剩余油宏观分布,为老油田挖潜及二次采油方案的调查服务。

I 级 砂体级储层地质模型

砂体或称早砂体规模相当于早期成因砂体单元。该级模型平面上重点反映砂体的形态展布,垂向上重点表示砂体垂向渗透率剖面。对一些侧向迁移的砂体(如点砂坝)还必须搞清内部泥质夹层的存在形式。目前不同的垂向层序对应的垂向渗透率变化规律已经得到了较好的认识(裘亦楠等,1985)。成岩作用中胶结作用对砂体储层的影响规律也有了初步认识(姚光庆等,1991)。但是单砂体,尤其是水道型砂体的空间形态展布一直是研究难点。为此,

要建立准确的砂体级二维或三维模型一般要在露头出露良好的野外进行。可采用类比的方法将野外建立的模型用于相同成因的地下砂体储层中,借此搞清小规模剩余的油分布,提高油气采收率。

I 级 层理级储层地质模型

层理级规模由层理组界面限定(相当于 Miall 提出的 2 级界面)。研究层理级的意义在于了解渗透率的各向异性。一般平行于前积纹层方向注入流体驱油效果最佳(W. J. E. Van De Graaff 等, 1989)。实际工作中一般不必建立此种小规模的模型,但这不等于不必考虑层理引起的渗透率的差异。在岩芯中就能看到由于层理面、纹层面控制含油不均一性的现象。对层理的研究除了岩芯观察外,主要是测试分析,如密集定向渗透率测试、压汞、粒度分析等。高分辨率地层倾角测井(SHDT)也能识别层理面的倾向和倾角。

微观级(-I、-II级)储层孔隙结构模型

通过显微镜、扫描电镜等仪器研究薄片以下级别的岩石微观特征建立的模型属孔隙结构模型。研究内容包括孔隙类型、喉道大小及形态、岩石结构、粘土矿物产状、成岩标志等等。这些微观级别上的储层描述对储层质量评价、含油产状、油藏动态分析等极有参考价值。

4 应用讨论

前已指出,根据研究目的的不同,结合地区特点可以有选择地建立储层模型,进行储层描述。为了进行微相制图,并服务于油田开发,我们在新民油田(松辽盆地南部)、濮城油田(东濮凹陷)进行了大量工作,针对目的层完成了砂组级和砂层级(时间单元)储层二维模型。在新民油田扶余油层研究中划分出了 4 个砂组、13 个时间单元(图 4)。在对砂组进行描述中,将地震解释处理与测井资料紧密配合,充分发挥了各自的优势。在砂层级描述过程中,依靠开发井资料进行分析对比,较好地解决了河道单砂体的空间组合分布。图 4 表示了二维剖面上,砂组规模的储层分布规律。

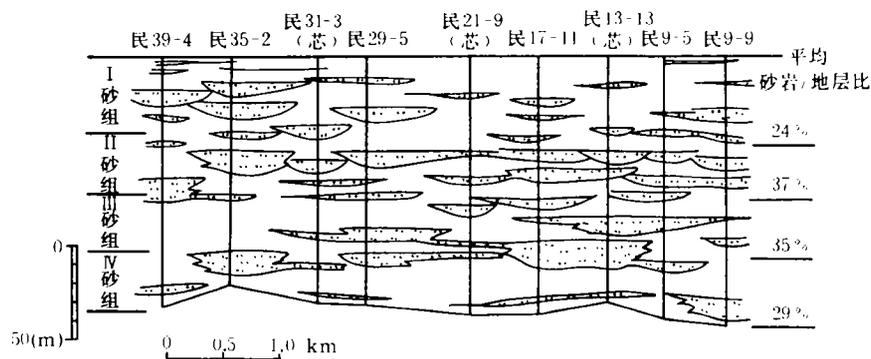


图 4 新民油田扶余油层(K_{1q}¹)民 39-4 井—民 9-9 井砂体剖面图

研究过程中,作者体会到对储层进行 8 级规模划分是合理的,这样的划分有许多方便之处。

(1) 便于选择最佳制图单元:根据研究主要目的、资料丰富程度、储层非均质程度等条

件,选择某一种储层描述尺度采用对应的研究方法进行储层建模的同时,也就意味着选择了最佳制图单元。因为最佳制图单元完全与合理的储层描述尺度对应。

(2)便于实用数据库技术对储层资料进行管理:油藏模拟是通过建立庞大的储层数据库来模拟油藏动态并进行分析的。为了便于不同层次油藏模拟的需要,按储层模型分级可以建立储层资料或油藏资料数据库分级。先期建立的高一级别的子数据库不受后期建立的低级别子数据库的影响,保持了数据库的相对稳定性。

(3)便于选择合理的井网密度:根据已建立的高级别上的储层模型反映出的储层非均质程度,可以决定下一步新增加钻井数量及新井井位。新井数的下限值以能反映低一级别上的储层非均质性为原则。新井钻完后,又能重新建立更低级别的储层模型,再进一步决定是否继续增加钻井。实际上,油田从勘探到开发的每一个阶段都面临着选择合理的井位及井网密度的问题,因此每一阶段始终离不开正确的储层分级描述。

本文初步稿完成后,孙永传教授、李惠生副教授提出了具体修改意见,在此深表感谢!

(收稿日期:1992年8月13日)

参 考 文 献

- 1 李思田.论沉积盆地分析领域的追踪与创新.沉积学报,1992,10(3):10~14
- 2 裘亦楠.储层地质模型.石油学报,1991,12(4):55~62
- 3 Nolen RC-Hoksema,金福锦译.地球物理学在未来油藏工程中的作用.国外油气勘探,1991,3(4):1~13
- 4 Miall AD,周庆凡译.相模式的出路在三维定量分析.地质科学译丛,1991,(2):46~53
- 5 Van WJE De groaff and Ealey PT. Geological Modeling for Simulation Studies. AAPG,1989,73(11):1436~1444
- 6 裘亦楠等.沉积方式与碎屑岩储层的层内非均质性.石油学报,1985,6(1):41~50
- 7 姚光庆,李惠生.南阳凹陷下第三系核桃园组砂岩中碳酸盐胶结物及其成因的初步探讨.地球化学,1991,16(5):549~556

MEASURES ON RESERVOIR DESCRIPTION CORRESPONDING WITH THE GRADUATION OF GEOLOGICAL RESERVOIR MODELS

Yao Guangqing Ma Zheng Zhao Yanchao

(China Geology University)

Abstract

In this paper, the authors propose eight grades for reservoir descriptions corresponding with different reservoir models as the following scales: W. Basin, V. Oil field, IV. Sandstone formation, III. Sand bed, II. Sand body, I. Bedding, - I. Millimeter and - II. Micron. The reservoir models with different grades may reflect the reservoir heterogeneity at different levels. Therefore, the description can be applied in various scale of reservoirs by such measurements.