

中国陆相碎屑岩储层沉积学的进展

裘亦楠

(石油天然气总公司石油勘探开发科学研究院)

提要 陆相湖盆烃类储层以碎屑岩占绝对优势。湖盆规模及湖泊水体能量较小,导致碎屑岩储层比海相砂体有更严重的层间、平面、层内和微观非均质性。湖盆碎屑岩充填可归纳为八种模式,决定于构造位置、湖盆演化阶段和湖水面升降。在远源距和缓坡降背景下,沿长轴发育纵向冲积扇—辫状河—曲流河—三角洲充填模式;横向短轴深断裂一侧,在短源距和陡坡降背景下,发育横向冲积扇—扇三角洲—湖底扇充填模式。以这两种模式为端点类型,之间存在一系列过渡类型。此外还有一些特殊的模式:湖盆萎缩期几乎满盆为河流砂体;盐湖蒸发期滨岸地区以砂坪沉积为主。不同沉积环境的碎屑岩储层有各自的非均质性。冲积扇砾岩和含砾砂岩由于其双模态的粒度结构而具有复杂的孔隙结构,筛积物和泥石流沉积的出现加剧了储层的非均质性。河流砂体储层因其粒度向上变细和窄宽度,注水开发石油效果较差,但其产能一般都高。三角洲砂体具有与河流砂体相反的储层非均质性,注水效果好。滩坝砂体体积上很不重要,但以其高产和均质储层引起人们注意。湖底扇重力流砂体作为烃类储层主要位于扇中和断槽控制的水道式砂体和前缘透镜状砂体。通过露头调整丰富定量化的地质知识库以建立陆相储层地质模型,将是储层沉积学面临的主要任务。

关键词 储层沉积学 陆相湖盆碎屑岩 盆地充填模式 储层非均质性

作者简介 裘亦楠 男 59 岁 研究员 高级工程师 沉积学

储层沉积学 (Reservoir Sedimentology) 作为沉积学的一个应用学科分支,兴起于 70 年代。当时石工业面临一个大的转折:石油勘探转入了以海上和自然地理条件非常差的边远地区,成熟盆地的油气田开发进入了深化开采和迫切要求提高采收率的新阶段。新的生产形势,使人们日益意识到要加深对储层—油气藏构成的三个基本要素之一和油气田开发的主要操作对象——的认识。储层沉积学,应用沉积学的基本理论和方法来描述、解释和预测储层宏观到微观和各种特性,就应运而生。当然对这一学科的问题和内容,沉积学家们早已有很多关注和著述 (Pettijohn et al, 1972, Conybeare, 1976, Taylor, 1977), 但是以储层沉积学内容为主题在国际学术会议上专门开展讨论的则是美国石油工程师学会 1976 年秋季年会,主要论文发表于《石油工艺杂志》1977 年 7 月号,当时编者以新的“里程碑”评价这一期刊物。正式以《储层沉积学》命名的出版物则在 1987 年 (Tillman et al, 1987)。1990 年第十三届国际沉积大会,以“储层沉积学”命名的小组讨论会进行了三天半,标志着储层沉积学新的一个热潮的出现。这些事实说明了近二十年储层沉积学的飞速发展,同时也说明了它的出现与工程生产应用的密切相关

我国开展储层沉积学研究也始于 70 年代初期,为适应大庆油田进入全面注水开发,首先开展了大型湖盆河流—三角洲砂体储层的工作 (裘亦楠, 1980)。随着以渤海湾盆地为主的东部油气田的不断发现和开发,储层沉积学也得到了相应的飞速发展。由于我国的基本石油地质特点——现有的产油盆地都属陆相湖盆,90% 以上的石油储量赋存于陆相碎屑岩储层中,因此,我国的

储层沉积学一开始就有着自己的特色。通过广大沉积学工作者的努力, 近二十年来, 我国储层沉积学不仅为石油产量的高速增长作出了重要贡献, 而且为发展陆相碎屑岩储层沉积学, 在整个沉积学知识宝库中增添一份新的内容, 作出了我们应有的贡献。

一、陆相湖盆碎屑岩的基本沉积特点

陆相湖盆就是大陆上以湖泊为沉积中心、周缘高地为主要沉积物源供给区的沉积盆地。因而其沉积物有一些基本特点, 有别于海洋盆地。

湖泊水体较小, 盆内生沉积物极少, 源自周缘高地的外生碎屑物供应了盆地内的绝大部分沉积, 因此碎屑岩成为占绝对优势的沉积产物。

湖盆四周环山(或高地), 都具备向湖盆供应物源的条件, 因此多物源、多沉积体系成为湖盆沉积的一个重要特点。

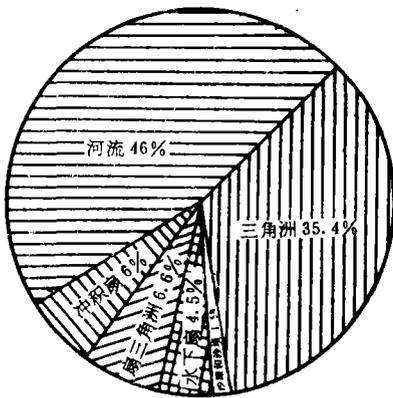


图1 中国新生代陆相湖盆已开发油田中各种环境碎屑岩储层所占石油储量比例
(注: 河流砂体中包括分流河道砂体)

Fig. 1 The original-oil-in-place occurred in various environmental clastic reservoirs being developed in Meso-Cenozoic lake basins, China.

(Note: The distributary channel sandlodies are included in fluvial sandlody)

湖泊水体能量相对较小, 湖体波浪、湖流和湖底重力流作用相对较弱, 又无潮汐作用, 河流成为搬运碎屑物的主要营力。因此, 岸上沉积的各类冲积砂体和入湖砂体占有同样重要地位。以我国东部新生代陆相含油气盆地中已开发油田为例, 河流砂体储层所占储量高达 40% 以上(图 1)。同样, 湖盆三角洲沉积也因此显现其特色, 即以建设型三角洲为主(吴崇筠, 1983), 河流—三角洲(鸟足状三角洲)和冲积扇—三角洲(扇三角洲)成为两大端点类型(裘亦楠, 1982)。

湖盆规模决定了物源区到沉积中心距离(以下简称源距)一般较短。我国东部新生代湖盆多数在数十千米, 短者仅数千米, 最长也仅 200km。短源距、陡坡降, 不仅导致沉积相带窄、相变快, 也构成了一些特殊组合的沉积体系。

湖泊水体较小, 湖进湖退敏感性很大。不仅区域构造活动明显控制着湖进湖退, 即使一些局部的气候变化也会导致一定规模的湖进湖退。因此多旋回性又成为湖盆沉积的一般现象。

以河流为主要搬运营力的沉积体系, 沉积体规模大小受控于河流的规模, 湖盆大量小规模的河流, 决定了各类沉积砂体的规模很小。我国东部新生代湖盆砂体以成因单元估计, 一般来说, 厚度不过 10m, 宽度属百米级, 其连续性与海相砂体有着数量级的差别。

近源搬运沉积, 导致湖盆碎屑岩另一重要特点: 低矿物成分和低结构成熟度, 长石、岩屑砂岩占我国陆相湖盆碎屑岩的绝对统治地位; 除浅湖滩坝砂体外, 分选良好的砂岩绝无仅有, 而双模态的碎屑岩则很常见。

总之，湖盆特殊的沉积环境，所产出的碎屑岩，作为烃类储层，具有比海相砂岩严重得多的层间、平面、层内和微观非均质性。这时石油生产带来了一系列的特殊困难和问题。

二、陆相湖盆碎屑岩充填模式

母岩区碎屑物以多个物源进入和充填湖盆，一个物源构成一个沉积体系，包括近源环境到远源环境的碎屑沉积物，构成了一套有联系的共生相组合，以及一定的相带展布规律。这些特点决定于每个沉积体系所处湖盆部位的构造格架、湖盆地演化阶段和湖水面的升降等条件。就沉积古地貌特征而言，源距、坡降和湖泊水文条件是控制碎屑岩充填方式的三个主要因素。

就我国中生代湖盆地研究，可以把陆相湖盆碎屑岩充填方式归纳为八种模式。

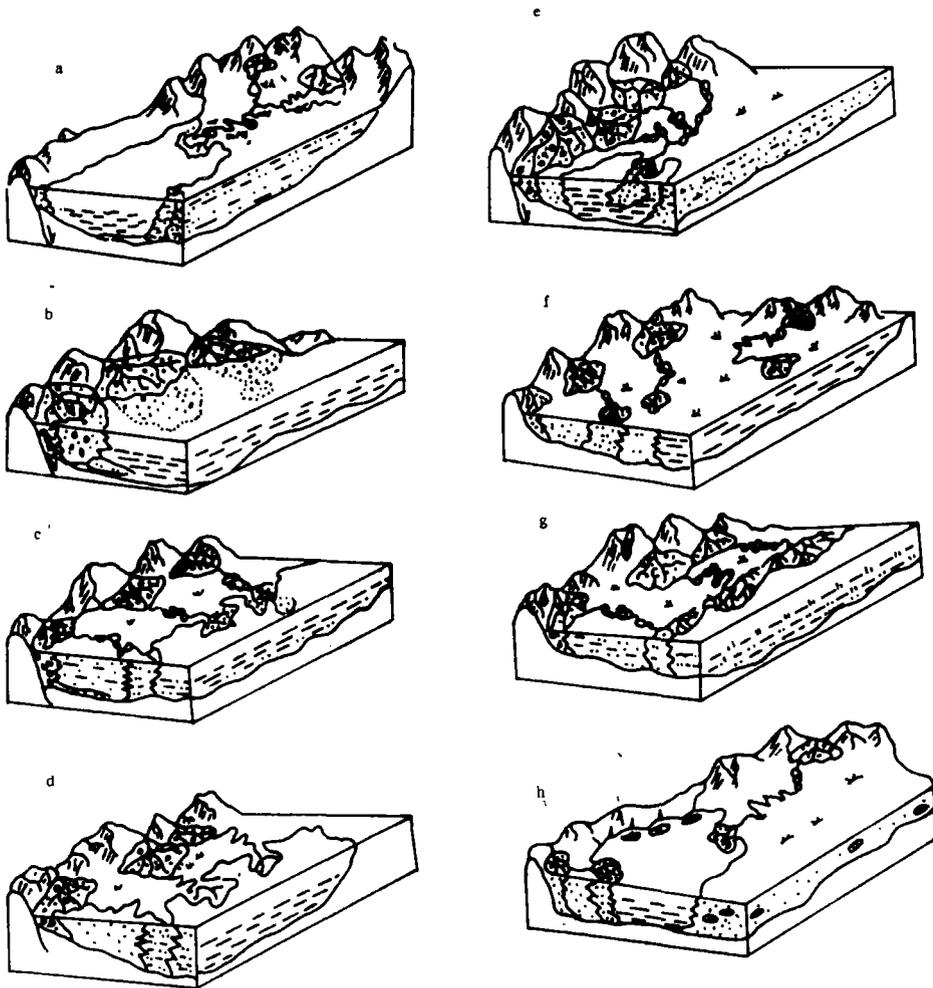


图2 陆相湖盆碎屑岩充填模式

Fig. 2 The basin-filling models in the lake basins

1.纵向冲积扇—辫状河—曲流河—三角洲—湖相泥充填模式 (图 2a)

这种充填模式发育于湖盆纵向长轴上, 平行于湖盆构造格架走向。通常在坳陷阶段容易形成, 发育成长流程的大型沉积体系, 平缓的坡降 ($< 1\text{m}/\text{km}$) 使各种环境碎屑岩体得到全面发育。冲积扇形成于近源山口, 广阔的冲积平原上依次发育有辫状河、低弯度和高弯度曲流河沉积, 然后是三角洲平原, 众多的分支河道入湖建设成鸟足状三角洲, 泥岩为主要湖相沉积, 一般情况下湖底扇不发育。各环境相带展布较宽而相互渐变。这种沉积体系充分发育时, 可形成数千平方公里的大型河流—三角洲是复合体。位于东北松辽盆地的北部沉积体系, 就是一个典型的例子, 在这个沉积体系上形成了我国目前最大的大庆油田。

2. 横向冲积扇—扇三角洲—湖底扇—湖相泥充填模式 (图 2b)

这种充填模式发育于湖盆垂直构造格架走向的陡坡一侧, 尤其是断陷湖盆地深断裂一侧。长期强烈的断裂活动形成了近源距 (数十千米至数千千米) 和陡坡降 (数十米 / km) 的古地貌环境。含大量砾石的粗碎屑物直接进入湖泊形成扇三角洲和湖底扇重力流沉积, 构成一个粗碎屑岩与泥岩的复合体, 不出现冲积平原环境。这种粗碎屑岩复合体面积可小到数十平方公里, 但厚度可以因边界断层的长期活动而达数百米; 同时沿边界断层多个类似的沉积体系可以构成一套裙边状粗碎屑复合体; 这样, 仍然可以为形成一定规模的油气藏提供充分的储层。

这种充填模式与上一种正好相反, 实际上是湖盆碎屑岩充填模式的两个主要端点类型。

河南南襄盆地最大储量的双河油田, 其渐新统砾岩和砂砾岩储层, 就是这种充填模式的典型例子。

3. 横向冲积扇—辫状河—三角洲—湖底扇—湖相泥充填模式 (图 2c)

这是上述两种端点类型的主要过渡类型。它通常发育于湖退期的湖盆短轴陡侧, 或断陷期沿主断裂一侧发育有一系列盆倾的阶梯状断层时。与第二种相比, 坡降较小 (数米 / 千米), 冲积扇与湖相环境之间发育较窄的辫状河冲积平原, 然后辫状河入湖形成河口坝三角洲沉积。再搬运形成的湖底扇重力流沉积, 常以透镜状砂体嵌入深湖泥岩中, 形成异常高压油藏。

山东济阳坳陷的最大油田——胜坨油田渐新统储层就是这类沉积体系的典型产物。

4. 横向冲积扇—小型曲流河—小型三角洲—湖相泥充填模式 (图 2d)

这种充填模式发育于湖盆短轴缓坡一侧。以半地堑式断陷湖盆断裂很不活跃的缓翼为典型。母岩源区和沉积中心之间的低幅度高差, 近源距短流程搬运所捕集的流域面积也小, 使整个沉积体系碎屑物供应贫乏, 不可能形成大型沉积体系, 一般只发育小型河流与三角洲。极端情况下, 可能以大面积严重贫砂的泥坪为主体沉积。

如山东东营盆地南斜坡主要形成一些薄层低渗透储层为特色的小型油气藏。

5. 横向冲积扇—纵向辫状河 (网状河)—三角洲—湖相泥充填模式 (图 2e)

这种模式是小型山间和山前盆地的典型产物。源区碎屑沉积物通过众多小型山间河流流入盆地, 在山口处沉积了一系列冲积扇, 水系继续进入盆地, 很快沿盆地纵轴汇聚成纵向河流而入湖。由于底载河丰富, 这样的纵向河流在主河段通常为辫状河; 然而, 由于横向冲积扇的侧向封堵作用, 也经常发育一些网状河段, 这种沉积体系, 冲积扇和河流沉积的砾、砂岩提供了烃类的主要储层。

甘肃酒西盆地上第三系 L-M 油层是典型代表。

6. 冲积扇—辫状 (网状) 河—曲流河—末端扇充填模式 (图 2f)

这种模式是湖盆衰亡期的代表类型。盆地地形准平原化, 一些小型沼泽或水塘散布于地形低洼处, 没有一定规模的湖泊能形成沉积中心。各种类型和规模的河流蜿蜒于整个盆地内, 具有冲积平原上就逐渐以末端扇形形式消亡。我国东部一些湖盆在晚第三纪衰亡阶段, 几乎满盆为河流

沉积, 河流砂体为众多次生油藏提供了储层。

7. 冲积扇—辫状河—砂、泥坪—盐湖蒸发岩充填模式 (图 2g)

这是具高盐度水体湖盆地蒸发阶段的特殊充填模式。我国东部中生代一些间歇性盐湖盆地, 或湖盆地盐化阶段, 由于淡水注入量远小于蒸发量, 湖中以盐类沉积为主, 洪泛期入盆的碎屑物绝大部分沉积于滨岸以上地区。冲积平原上间歇性很强的河流一般以辫状河型出现, 在滨岸地区则发育为砂坪和泥坪的间互沉积, 构成了层内非均质性非常严重的储层。

河南东濮拗陷东北部渐新统沙二上发育有这类典型的沉积体系。国内一些学者也有称之为“洪水—漫湖”沉积体系 (赵徽林等, 1991)。

8. 三角洲间湖湾砂滩和砂坝充填模式 (图 2h)

这种模式发育于三角洲间湖湾环境。那里没有大型河流供给足够的碎屑物以形成三角洲, 只有一些由波浪和湖流作用形成的近岸砂滩和砂坝沉积。水下局部隆起周缘也可发现这类沉积。这类沉积砂体在储层体积上显得不很重要, 但它的良好储层特征及高产能力引起了人们的注意。如辽宁辽河拗陷兴隆台油田渐新统沙一段第四亚层就是一个典型实例, 2—4m 厚度砂坝储层, 单井原油产量高达 100 吨/日。

近年来一些湖盆中发现了风暴沉积 (赵徽林 1991, 蔺毓秀 1990), 丰富了湖盆碎屑岩沉积, 其规律性有待进一步积累资料和深入研究。

三、陆相湖盆碎屑岩储层非均质性

陆相含油气湖盆碎屑岩储集体丰富多彩。由于湖盆规模较小, 各种环境的碎屑岩, 包括最近源的冲积扇砂砾岩体, 都有较大机率捕集深湖相生成的烃类形成油气藏。储层沉积学的任务, 就是要以“沉积作用—非均质性响应”的观点, 从沉积成因机理上, 去掌握各类环境、亚环境直到每个砂体的储层非均质特性的规律。我国数百个油气田的开发实践, 积累了大量的资料, 本文由于篇幅有限, 只能对陆相湖盆各类环境储层的基本面貌和主要特征作一般性的概述。

1. 冲积扇砂砾岩体

以冲积扇砂砾岩体为储层的油田, 在我国陆相湖盆中已有大量发现。冲积扇储层以砾岩、含砾砂岩为主体, 高度间歇性、砾—泥各种粒组的碎屑物同时快速沉积, 这一基本沉积特点决定了其储层的基本面貌。

砾、砂双模态的岩石结构只能形成低—中孔隙度和渗透率储层; 孔喉呈非常分散的多峰分布, 微观孔隙非均质性最为剧烈; 开采石油的驱油效率很低。

岩石中杂基含量对储层物性极为敏感, 沉积水动力能量的变化又对杂基含量影响极大。高度间歇的洪泛事件及每次洪泛事件水动力能量的快速变化, 导致了冲积扇储层严重的层内非均质性。但缺少纯泥质层的沉积, 又较大地改善了垂向上和侧向上的连续性。

冲积扇储层根据古气候条件可以进一步分为两个亚类: 潮湿型和干旱型。

潮湿型冲积扇以少见泥石流沉积, 多见筛积物为特征。极薄 (分米级) 的特高渗透率的筛积层, 往往成为油田注水开发中的“贼层”, 进一步加剧了层内非均质性 (张纪易, 1985)。

干旱型冲积扇以大量存在泥石流沉积的泥质砾岩为特征, 这些泥石流沉积作为不渗透非储层极大地削弱了储层的连续性, 增加了开采难度 (王振彪, 1991)。

2. 河流砂体 (裘亦楠等 1988)

河流砂体作为烃类储层, 在陆相湖盆中与三角洲砂体有同等重要的地位。石油储量在亿吨级

的大型油田也屡见不鲜。

河流砂体储层物性在同沉积体系中一般居于首位。在陆相湖盆中以短流程沉积体系为主和湖体能量不大的背景下, 河流砂体粒度粗于下游三角洲等入湖砂体, 分选好于上游的冲积扇砂砾岩体, 使它得到优于其它碎屑体的孔隙和渗透性, 成为相对的高产储层。

河流砂体基本的粒序为向上变细, 反映在储层物性上则为渗透率向上降低。在目前石油工业普遍采用注水采油的方式下, 这样的层内非均质性, 是提高石油采收率不利的因素。

河流砂体另一特点是条带状的几何形态以及层理结构的定向性, 导致储层渗透率的方向性, 也是石油开采中必须认真对待的一个问题。

不同类型的河流砂体, 其储层特性, 又相对有所不同。

辫状河砂体以垂向加积的心滩坝为主体, 层内非均质性出现无规则粒序, 层内不连续薄泥质夹层很少; 曲流河砂体以侧向加积的点坝为主体, 级差很大的向上变细粒序, 存在不连续的侧积爬复泥质夹层, 使其层内非均质性成为河流砂体之最; 网状河和顺直型河流砂体, 以河道内填积为主要沉积方式, 重力分异作用引起的下粗上细粒序, 级差较小, 储层之内非均质性是河流砂体中相对较弱者。然而, 最小的宽/厚比成为石油开采中的主要矛盾。

3. 三角洲砂体

三角洲砂体因其紧邻生烃源区, “近水楼台先得月”, 成为湖盆中的重要储层。我国陆相含油气盆地中, 最大的三角洲体系往往是盆地内的主力油田所在。其它入湖的碎屑岩储集体, 体积上远小于三角洲砂体。

如前所述, 湖盆内以建设型三角洲占绝对优势, 建设型三角洲前缘砂体以向湖向前加积为主要沉积方式, 向上变粗的粒序成为层内非均质性的基调, 这是注水开采石油非常有利的储层结构。

三角洲砂体的侧向连续性也明显优于河流砂体。湖能改造及众多的前(侧)缘席状砂, 改善了平面非均质性, 这又是另一有利储层特点。我国大量油田注水开发实践表明, 三角洲前缘砂体和河流砂体两种主要储层, 形成了开发效果好与差的绝然对照。

湖盆三角洲两种端点亚类, 它们之间储层特性的差异, 主要表现在扇三角洲的特殊性上。扇三角洲中砾岩及含砾砂岩常见, 储层结构相似于冲积扇具双模态, 岩石粒度与储层物性出现复杂的关系, 砾石含量达一定程度后, 储层物性反而下降, 向上变粗的粒序并不一定是物性向上变好, 而是高低相间, 使剩余油分布非常分散。

4. 滩坝砂体

已如前述, 湖湾及水下隆起周缘浅湖环境沉积的滩坝砂体, 体积上在湖盆中不占主要地位, 作为烃类储层, 却具一些有趣的特殊性。

首先, 其矿物和结构成熟度都明显高于湖盆其它类型砂体, 是湖盆中唯一发现石英砂岩的环境。除了有较好的储层物性外, 砂体内部物性分布也比较均匀。

其次, 湖湾滩坝处于生烃源岩包围之中, 又没有与大型近源砂体相连, 成熟石油进入储层后, 得到很好的保存, 我国东部在滩坝砂体中都发现油质很好的石油。

上述两个条件的综合, 使滩坝砂体储层不仅高产, 而且注水采收率也在湖盆砂岩储层中属最高之列。

5. 湖底扇砂体

以重力流进入深湖环境沉积的砂体统称湖底扇。由于它们与生烃泥岩共生, 储油机率很高, 成为湖盆中的重要储层。湖盆中的湖底扇与深海扇相比, 成因机制更为复杂, 它可以由三角洲前

缘沉积物再滑塌而成;也可以直接与洪泛事件有关,由洪泛事件触发而成。断陷湖盆的基底结构,导致断槽对重力流影响较大(刘孟慧,1984),典型沃克模式(Walker,1979)的湖底扇并不占主导地位,水道式和透镜状重力流沉积砂体却相当发育。

从烃类储层意义上分析,扇根部位的粗杂砾岩,往往因结构成熟度极低而属非储层或差储层。扇缘部位因细粒度和薄厚度(厘米或分米级)储层意义也不大。我国中生代湖盆中有工业价值的湖底扇石油储层几乎都与扇中的重力流水道有关,其次是前缘的透镜状砂体。

水道式重力流砂体储层,表现为侧向连续性很差的条带状砂体。沿纵向断槽分布时,可以成为较好的连通砂体(如辽河坳陷高升油田,吴崇筠1988)。大多数横向体系的湖底扇,砂体受断层频繁切割,加剧了不连续性,成为开发难度很大的储层(如黄骅坳陷高尚堡油田^①,肖敬修等,1990)。

散布于深湖泥岩中的透镜状重力流砂体,一般形成异常高压油气藏,空间上的交错叠置,可以形成大面积连片的假象,实际上是一个相互独立的单砂体油藏群(如济阳坳陷牛庄油田,林昌荣1990);目前地震分辨率带未完全满足这类砂体的识别精度,“可碰而不可找”,实际上还属于经济上的边际油藏。

重力流砂体的层内非均质性也有其特殊性。浊积岩具向上变细的粒序,同时分选性向上变好,储层物性因此表现为底部差、中下部最好、向上又变差的复合韵律性。鲍马序列的A段常属非储层。总体看,其层内非均质性介于河流和三角洲砂体之间。

湖盆中碎屑岩储层千姿百态,自然界没有完全相同的两个沉积体,各种亚类之间还存在着一系列过渡类型,新的类型还会不断发现,湖盆碎屑岩储层模式的建立和完善,将是一个不断深入和逐步细分扩大的过程。

四、发展陆相湖盆碎屑岩储层的地质知识库

今日之石油工业,已进入到精雕细刻挖掘每一滴石油资源的时代,要求储层描述必须向建立三维定量的储层地质模型方向发展。储层沉积学已有的定性、半定量的知识也必须向量化方向发展。

储层地质模型的建模技术,必须依靠多学科多专业的综合,包括地质、沉积、地震、测井、石油工程和计算机等多种技术和信息的应用。目前国际上正在发展多种建模技术(Haldorsen,1990),但是不论应用何种技术和方法,建立的储层地质模型必须符合地质逻辑,必须受沉积学知识的指导和检验,因此,一个丰富的储层地质知识库,是任何一种建模方法的基础。丰富定量的储层地质知识库,已成为储层沉积学面临的主要任务。

为了实现这一任务,沉积学工作者再次重返露头,进行精细的露头测量和研究,采样测量密度达到米级和分米级,甚至按纹层进行测量(Hartkamp-Bakker,1990; Jackson,1991)。我国近30年来,石油工业主要发展于东部中生代含油气湖盆,这些盆地储层都缺乏露头,在发展我国陆相湖盆沉积学中,露头工作一直是一个薄弱环节,为建立定量储层地质模型的露头工作更微不足道;现在应该是补上这一课的时候了。我国西部有很丰富的陆相沉积露头,东部很多聚煤盆地也可作为研究陆相砂体的场所;这些大自然赋予的知识宝库,远没有被挖掘利用。怎么样利用这些露头,使之成为有普遍指导意义的陆相储层地质知识库,为石油地下地质工作服务,将

^①肖敬修等,1990,高尚堡油田深层储层研究(内部资料)。

是我国储层沉积工作者任重而道远的任务!

参 考 文 献

- (1) 王振彪等, 1991, 大港枣园油田冲积扇储层研究, 石油勘探与开发, 18卷, 4期, 86-92页。
- (2) 刘孟慧等, 1984, 渤海湾地区下第三系湖底扇的沉积特征, 华东石油学院学报, 4期。
- (3) 林昌荣, 1990, 牛庄油田沙三段砂体成因类型及其形成机理探讨, 石油勘探与开发, 17卷, 1期, 39-46页。
- (4) 吴崇筠, 1983, 构造湖盆三角洲与油气分布, 沉积学报, 1卷, 1期, 5-26页。
- (5) 张纪易, 1985, 粗碎屑洪积扇的某些沉积特征和微相划分, 沉积学报, 3卷, 3期, 75-85页。
- (6) 赵徽林等, 1991, 渤海湾早第三纪断陷盆地含油气岩系沉积学及沉积相的基本特征, 石油学报, 12卷, 2期, 28-32页。
- (7) 裘亦楠等, 1980, 松辽陆相湖盆河流—三角洲各种沉积砂体的油水运动特点, 石油学报增刊, 73-94页。
- (8) 裘亦楠等, 1982, 湖盆三角洲分类的探讨, 石油勘探与开发, 1期, 1-11页。
- (9) 裘亦楠等, 1988, 我国河道砂体储层沉积特征和非均质模式, 碎屑岩沉积物研究, 石油出版社, 216-244页。
- (10) 满毓秀, 1990, 苏北盆地东台拗陷阜宁组储层研究, 储层评价研究进展, 126-142页。
- (11) Conybeare C.E.B., 1976, Geomorphology of oil and gas fields in sandstone bodies.
- (12) Haldorsen H. Helge et al, 1990, Stochastic Modelling, JPT V.42, N.4, p.404-412.
- (13) Hartkamp-Bakker, C. A., 1990, Permeability patterns in Tertiary point bar deposits: Loranca Basin Central Spain, Abstracts, 13th IAS p.213.
- (14) Jackson R. Susan et al, 1991, Applicability of outcrop data for characterizing reservoirs and deriving grid-block scale values for numerical simulation, 3rd International Reservoir Characterization Technical Conference, DOE/NIPER.
- (15) Pettijohn F.J. et al, 1972, Sand and Sandstone.
- (16) Taylor J.C.M., 1977, Sandstones as reservoir rocks, Developments in Petroleum Geology 1, p.147-196.
- (17) Tillman R.W. et al eds, 1987, Reservoir Sedimentology, SEPM Spec. Publ. No.40.

Developments in Reservoir Sedimentology of Continental Clastic Rocks in China

Qiu Yanan

(Institution of Petroleum Exploration and Developing, China Ministry of Oil and Natural Gas)

Abstract

Clastic rocks as hydrocarbon reservoir are prevailed overwhelmingly in the continental lake basins. The smaller scales in basin area and water body of lake lead to more serious heterogeneities of interlayer, areal, inlayer and micropore scales in the continental clastic reservoirs than in the marine analogues. Eight clastic filling models can be distinguished in the lake basins depended on the tectonic setting, the evolutionary stage when they deposited and the fluctuation of lake level. Under the background of long distance between the sediment source area and the depocenter and the gently gradient slope, the loniitudianl alluvial fan—braided river—meandering river—delta filling model is developed along the long axis, parallel to the strike of

tectonic framework, of a lake basin, while the transversal alluvial fan—fan delta—sublacustrine fan filling model is developed in the steep, deeply faulted side along the short axis due to the short distance between the sediment source area and the depocenter and the steeply gradient slope. These two filling models can be regarded as the end-members in the lake basins, among them there are a series of transitional filling patterns developed. Some particular models can also be observed: the fluvial sandbodies all most cover the overall basin during the dying stage, and the sandflat prevails in the littoral environment during the evaporated stage in a saline lake.

The elastic reservoirs deposited in different environments are distinctively characterized by their own heterogeneities.

Alluvial fan conglomerates and conglomeratic rocks are characterized by the complicated pore—texture in terms of its bimodal grain texture, also the occurrence of seive and debris flow deposits can much worsen the reservoir heterogeneity. The fining upwards in grain size and narrow width of the fluvial sandbody reservoirs bring about a low recovery efficient in waterflooding, however, often a high productivity can be found. A deltaic sandbody just has an opposite reservoir heterogeneity to the fluvial one, and always a high recovery efficient in waterflooding can be got. The beach and bar sandbodies are no significant volumetrically in a lake basin, however, its high productibility and homogeneous reservoir properties have been noticed interestingly. In sublacustrine fan environment, the sandbodies, which could be served as hydrocarbon reservoir are mainly of channelized deposit in the middle fan and fault—bounded trough subenvironments and of lenticular deposit in front area.

Through outcrop work to enrich a quantified geological knowledge base for building the geological models of continental reservoirs will be a main target facing to the reservoir sedimentologists.