

油田开发论文集

SYMPOSIUM ON OIL FIELD DEVELOPMENT

第一集

中国石油学会石油工程学会编

石油工业出版社

1982

PDG

序 言

值“国际石油工程会议”在我国召开的时候,《油田开发论文集》出版了。这里收集的论文部分地反映了我国当前油田开发和采油工艺的水平。它的出版对于国、内外的学术交流,促进我国石油开采的发展,都将是有益的。

我国油气资源丰富,已开发了180多个油、气田。年产原油达到一亿吨以上。1954年开始用边外注水来开发油田。1955年开始应用水力压裂的增产工艺。1960年以来,首先在大庆油田,继之在胜利、大港、辽河、冀中及南阳等油田的开发中进行早期边内注水,并应用了一套分层注采工艺。1970年以后研究在开发中地下油水分布的变化过程,用补充钻井的方法,来调整层系和井网,改善开发效果。加上在四川地区进行天然气田的开采等,都积累了丰富的经验。

特别是围绕开采中的问题,开展了一系列的科学技术研究工作。在陆相砂岩储层的沉积特点,注入水运动规律与储层结构和沉积相类型的关系,断块油藏地质特征及注水方法的应用,碳酸盐岩储层及低渗透储层的地质特点的研究,以及分层选择性压裂、深层压裂,油水分布状况测井,防砂处理,数值模拟等方面都取得了不少新的成就。近两年来,又开展了注蒸汽热采试验,以及三次采油的试验研究。

在各单位内部也编写了不少水平高的论文。可惜,我们过去对这些成果公开出版很少,影响了广泛的学术交流。这次出版的“文集”是近年来我国正式出版发行的第一册油气田开发论文集。愿这一文集出版后,第二集、第三集论文集接踵而出。使我国油田开发领域的科技理论不断发展提高,为我国四个现代化建设做出贡献。

闵 豫

目 录

前言

碎屑储集层的非均质性与现代沉积研究·····	薛培华 肖敬修 陈子琪 (1)
四川盆地海相碳酸盐岩储层模式·····	唐泽尧 周 炜 孔金祥 王泽远 陈季高 (10)
储集岩最小含油喉道半径之确定及其在油藏评价中的应用·····	曲志浩 (20)
应用构造面主曲率研究油气藏裂缝的方法·····	陈太源 罗元华 曾锦光 (29)
早期注水开发油田开采模式的分析研究·····	童宪章 (43)
亲水多盐油藏注入水利用效率研究·····	杨寿山 黄石追 周顺官 (52)
胜坨油田一区油层水淹规律分析·····	胡正平 刘良叔 宗习武 (62)
裂缝-孔隙型碳酸盐岩油藏采油速度研究·····	李功治 (71)
水淹层测井解释·····	常明澈 任贵荣 (81)
裂缝性碳酸盐岩油气田几种渗流模式及试井理论探讨·····	葛家理 栾志安 吴玉树 (94)
灰岩底水油田开发指标概算法·····	桓冠仁 (107)
隐式压力显式饱和度的油水两相渗流数值模型·····	马志元 (119)
根据统计资料研究油层非均质性分布的新方法·····	高承泰 (131)

SYMPOSIUM ON OIL FIELD DEVELOPMENT 1982

CONTENTS

Study of Modern Sediments as an Approach to the Study of the Heterogeneity of Clastic Reservoir Rocks	
.....Xue Peihua, Xiao Jingxiu, Chen Ziji (9)	
Pattern of Carbonate Reservoirs of Marine Origin in Sichuan Basin	
Tang Zeyao, Zhou Wei, Kong Jinxiang, Wang Zeyuan, Chen Jigao (19)	
Determination of the Minimum Oil-Bearing Throat Radius and Its Use in Reservoir Evaluation.....	Qu Zhihao (27)
Application of the Main Curvature of the Structure Plane in the Study of Reservoir Fractures	
.....Chen Taiyuan, Luo Yuanhua, Zeng Jinguang (41)	
Analytical Study of Production Practices in Oil Fields Developed by Waterflood from the Initial Stage.....	Tong Xianzhang (51)
Enhancement of Flooding Efficiency for a Hydrophilic Oil Pool Containing Salt in High Concentration	
..... Yang Shoushan, Huang Shizhui, Zhou Shunguan (61)	
An Analysis of the Effect of Water Flooding on the Reservoir in the 1st Section of Shengtuo Oil Field.....	
..... Hu Zhengping, Liu Liangshu, Zong Xiwu (70)	
A Study of the Rate of Recovery for Fractured Porous Carbonate Reservoirs	Li Gongzhi (80)
Log Interpretation of Watered Out Pay Zones	
.....Chang Mingche, Ren Guirong (93)	
Filtration Model Study and Well Test Analysis of Carbonate Reservoirs with Uniform Fracture Distribution	
.....Ge Jiali, Luan Zhian, Wu Yushu(106)	
Estimation of Development Indices for Limestone Oil Field with Bottom Water.....	Huan Guanren(118)
Numerical Model for Two-phase (Oil and Water) Flow under Implicit Pressure and Explicit Saturation.....	Ma Zhiyuan(130)
A new Method for Determining the Distribution of Reservoir Non-homogeneity Based on Statistical Data.....	Gao Chentai(147)

碎屑储集层的非均质性与 现代沉积研究

薛培华 肖敬修 陈子琪

(石油勘探开发研究院)

提 要

不同成因或结构类型的沉积盆地,其沉积相带的空间展布是不同的。砂体形态与其渗透率各向异性,是储层的平面非均质性的主要内容。这些与沉积环境,特别是水动力条件和古水流方向密切相关。

利用垂向沉积层序,可以探索各种亚相沉积物的剖面非均质性,可以进一步预测剖面上水淹厚度波及系数。

油层孔隙结构,决定于沉积物的结构特征,包括粒度、分选、组构、圆度、球度、基质及胶结物。虽然利用沉积结构判断古环境,已有很多成功的研究,但要直接预测储层孔隙结构,还有大量的现代沉积研究工作期待完成。

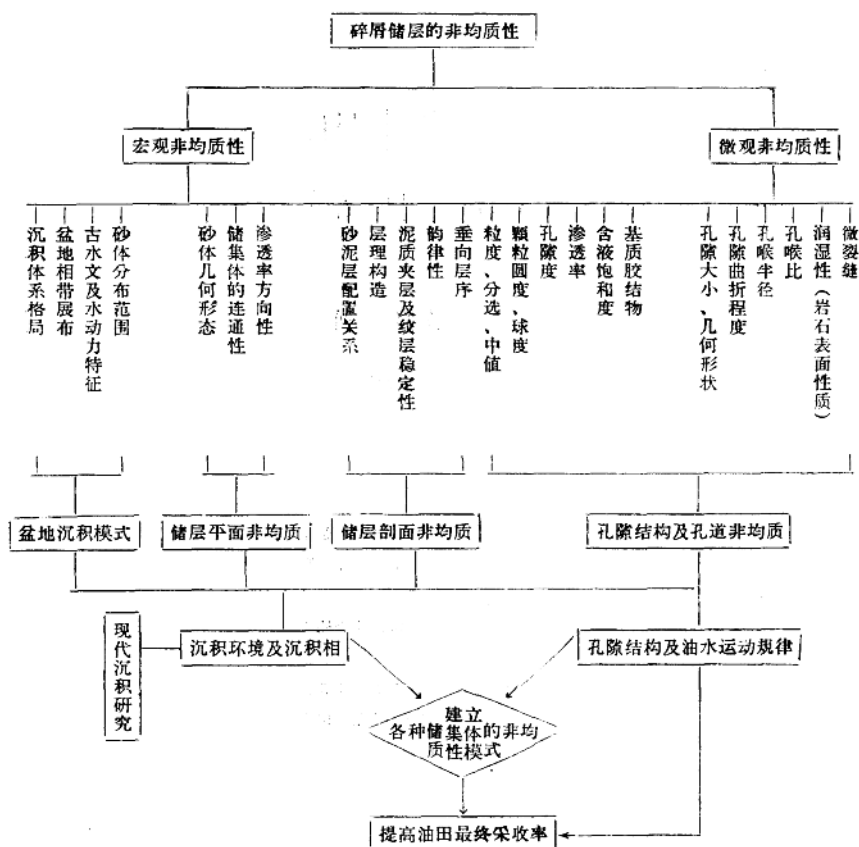
前 言

油田开发地质学研究的重要内容,是油藏的地质结构和油层的非均质性。非均质性是比较复杂而重要的问题,长期以来被认为是影响油田有效注水开发的关键问题之一,但又是油田开发技术上未解决的难点;具体指研究非均质性的途径、非均质性表示的内容以及这一抽象概念的形式等。从油层物理到渗流力学各个学科都曾作过研究和探索。明确了储层非均质性这一问题,不单是一个将变化的岩石物理参数加以平均的问题,而是涉及储层非均质的实质内容及其描述方法。

近年来,随着油田开发地质学的发展,沉积学研究逐渐引进到油田开发工程上,并作为储层非均质性研究的一种重要方法和手段。本文试图从现代沉积研究入手,探讨油田开发中的地质问题。沉积成因是决定储集层的地质特点和非均质性的本质因素。运用沉积学的方法,从现代沉积研究中,建立各种储油砂体的非均质模式,就可以通过重造其沉积过程和古环境,将今论古,更有效地认识其非均质特性。它们的关系见表1。

从我国油田多处于陆相湖盆这一特点出发,开展现代沉积研究主要是针对陆相湖盆的沉积特点,系统对洪积相、河流相以及湖盆三角洲相和浊积相等各种亚相砂体,进行几何形态和沉积结构的非均质研究,剖析湖盆沉积体系的展布特征。以便直接为油田开发服务。

表 1 储层非均质研究谱系表



一、建立不同盆地的沉积模式

随着地球科学的发展,沉积物与大地构造的关系,被认识得愈来愈清楚。除了地壳上升遭受剥蚀,盆地下降接受沉积的不同外,并且还发生着一个地域、时期的沉积组合与另一个地域、时期的沉积组合的明显不同。由于构造作用和沉积作用二者在时空关系上相互制约着。因而,在地质历史发展中的任何盆地,其古地理面貌又往往是直接影响沉积作用发生的地质背景。

实际资料表明:不同成因或结构类型的沉积盆地,其沉积相带分布和砂体形态是不相同的。因此,有必要对沉积盆地进行构造演化和沉积演化的专门研究。这种研究可以一方面直接研究含油气盆地。另一方面可借助现代湖盆,进行构造沉积发展史的解剖,以及研究盆地的砂体分布规律。

近年来,国内外十分重视这种研究工作。如我国云南地处云贵高原,其构造地貌特点发

育有大量断陷盆地，其中多数至今还是湖泊。这些盆地的形成时代不一，少数发生于第三纪初，多数形成于第三纪末和第四纪初。并且它们多是不对称的。这种断陷盆地由于其两侧构造活动强度和幅度的差异性，从而控制了湖盆内相带分布的不对称性(图1)。这些断陷盆地的沉积模式，明显区别于一般构造拗陷盆地的沉积特点。

如位于红河深断裂北段的洱海湖盆，形成于上新世末到更新世初，盆地南北长48公里，东西宽2~12公里，面积近500平方公里，其中洱海水域面积占一半以上。西侧点苍山十八溪挟带大量泥砂入洱海，形成一个宽3~6公里，长40公里的洪积冲积平原，最宽处于大理至喜州间，最窄处则于上关。十八条溪以阳溪最大，流域面积43平方公里，河口砂坝向外伸展也很快。而苍山东麓的洪积扇则不下数十个，组成一片洪积裙。

据考古资料研究，现代洱海水域仍在不断萎缩，岸线东进。有记载曾建于公元738年的南诏太和城原濒临洱海岸边，但历1200年之后至1964年，该城距今洱海岸线已逾二百余米。可见岸线迁移率平均达20厘米/年。亦说明湖泊西侧沉积速度之快。

洱海西岸之洪积冲积平原地形则以 $7\sim 9^\circ$ 和 $3\sim 2^\circ$ 倾斜，向湖滨过渡。这样的坡降提供了溪流下切，水流急湍，挟砂量多，岩性粗，堆积快的条件。而洱海东侧迥然不同，由于相对活动幅度小，山势低，水系少，滨湖断层崖仅作北北西方向延展后，直接与湖水接触，相带极窄，仅见零星坡积物、残积物等。总之，湖盆东西两侧构造活动的不均衡性，控制着湖盆的构造格局和沉积特征。

总括洱海湖盆的现代沉积所见，西侧广泛发育洪积冲积物，而东侧仅见零星坡积残积物。湖泊南、北两端则各自发育一定规模的三角洲沉积体，其形态也互有差异。整个湖盆相带展现为不规则的、不对称的长条形。此种型式多为断陷盆地所特有。

洱海湖盆特点与我国渤海湾断陷盆地相类似。这种湖盆的沉积模式表现为近物源、短河流、大坡降、岩性粗、厚度大、储集类型复杂，并且湖盆陡岸与缓岸的相带展布差异很大。这种现象在古代沉积中也可见到，如下辽裂谷的西部凹陷和河南的泌阳凹陷，其沉积格局就有些相近，与隆台油田和双河油田都是发育在各自湖盆陡岸一侧的扇三角洲。从储层地质特点分析，这种储层岩性粗、厚度大、分选差，孔隙结构复杂，油田开发过程中将遇到很多特殊的问题。

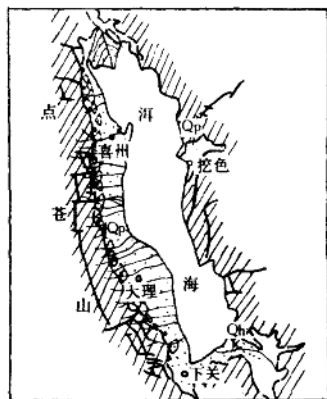


图1 云南大理洱海湖盆现代沉积模式图

二、砂体形态与储层平面非均质性

所谓砂体平面非均质性，是指宏观上砂体的分布、形态、发育方向以及厚度变化；微观上指砂体的颗粒结构及其异向性，以及粒度、孔隙度、渗透率的平面变化。油田开发地质学，在油田详探阶段或开发初期，都必须运用这些沉积规律，去仔细研究一个盆地或一个新油田的沉积环境和储层沉积相，搞清砂体形态特征，以提供制定合理开发设计的地质参数和依据。尤其是在确定井网方式、注采井别或完善注采系统时很有意义。也是能否获得好的开

发效果的关键。

以三角洲沉积而言,其砂体类型是千变万化的。如长江三角洲为一个自西北而东南,依次发育呈雁行式排列的六个亚三角洲(即红桥期、黄桥期、金沙期、海门期、崇明期、长兴期)组成的复式三角洲。而黄河三角洲则又不同,为一新老交错、互相迭置、排列无序的复式三角洲,和密西西比三角洲有些近同。

另外,从一些古、今沉积湖盆中看到:同一湖盆,不同部位或不同时期发育的三角洲类型各异,骨架砂体形态不同。如洱海北端的弥苴河三角洲为鸟足状三角洲,砂体顺流向发育,即垂向岸线分布(图2)。而南端的波罗江三角洲则为朵状三角洲,砂体规模相对较小,发育方向与岸线略成斜交。其原因是由于河口动力条件不同,潮流使砂体重新受改造的结果而形成。

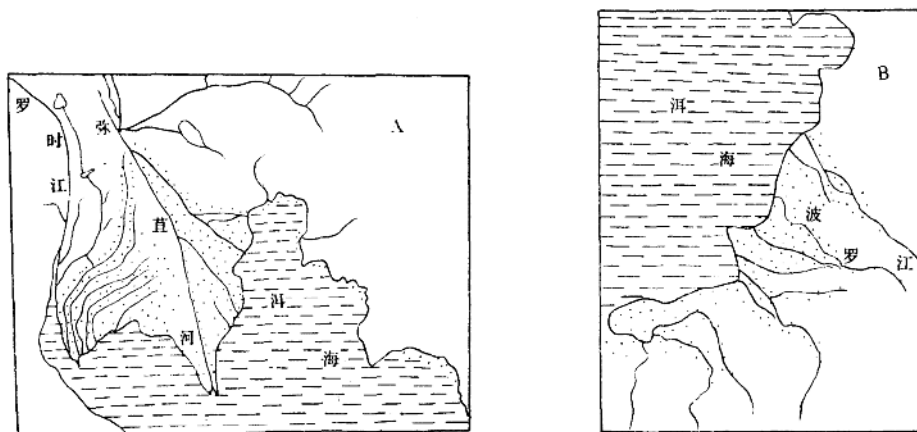


图2 洱海三角洲砂体类型比较
A、洱海弥苴河三角洲; B、洱海波罗江三角洲

类似情况,在古代湖盆亦可见到。据松辽盆地地质资料分析,湖盆内有两种三角洲体系,即叶状三角洲和扇形三角洲。具体为顺盆地长轴发育的叶状三角洲(大庆油田所在的松辽盆地北部三角洲属此),由于规模大,相带宽,单层砂岩厚度一般在10米以下。但前缘相砂体类型较多,有河口砂坝、前缘席状砂、残留水下河道砂等,以前两者为主。扇形三角洲,则顺盆地短轴发育,如松辽盆地英台三角洲,自西向东入湖,规模小,相带窄,单砂层厚度大,除河口砂坝和水下砂洲外,浊积物也很发育。

平面非均质中的一个重要问题是渗透率的方向性,砂体沉积型式不同,导致砂体平面非均质性的很大差异。如大庆油田,物源自北向南沉积,由于这一缘故,在同一切割注水井排的两侧,油水井距相当,但却出现水驱油效率的明显不同,北侧油井受效高,南侧油井受效低,注入水向南易流动,推进快,油井见水快,向北则相反。其原因被解释为受颗粒定向排列和沉积构造的方向性所致。从大庆北区的统计资料来看,南、北侧开发效果不同,无水采收率北侧较南侧高出2.2%左右。如果从相同含水程度的采出程度相比较,当含水较低时,采出程度相差较小;含水升高后,采出程度相差较大。可见砂体平面非均质性之影响(图3)。

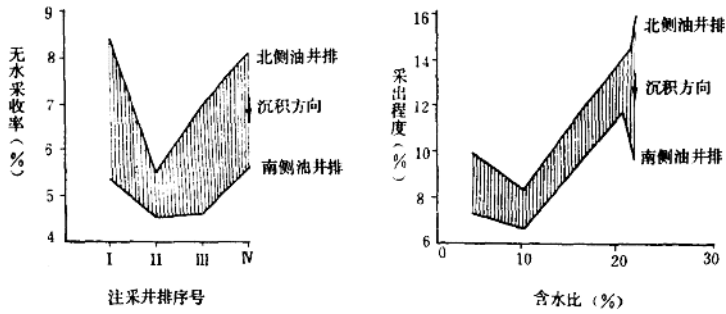


图 3 大庆油田萨北地区下白垩系河道砂体沉积方向与注水采油关系

三、垂向层序与储层剖面非均质

垂向层序实际是一个自然的岩石序列，它表征每一段沉积时间的各种变化，其中包括岩性特征及各种小间断和其它变化等。这种垂向层序实际上包含了储层剖面上的层内非均质和层间非均质的特征（图4、5、6）。

在垂向岩性剖面上，其粒度组成的各种韵律类型，一般包括正韵律、反韵律、复合韵律等。而不同环境的沉积，其韵律特征又有很大不同。研究现代和古代沉积后进一步发现，不仅每一亚相的韵律特征有所区别，甚至在组成层理的层系或层系组的这些小单元内部，表现次一级的韵律特征仍然是明显的。如曲流河点坝层序的正韵律沉积，以发育的槽状交错层为特征，剖面岩性比较均一，向上都出现稳定的粘土或亚粘土薄层。但往往在一些交错层理中仍有粒度变化。串沟沉积为点坝的伴生相，多冲刷、充填下伏点坝侧积体，正韵律不很明显，因为水动力强，故岩性粗，沉积构造以平行层理为主。总之，这些变化不同程度的影响着储层非均质的特性。

沉积构造中的层理，在垂向层序中往往起着更重要的作用。如交错层能使储层形成明显的定向渗透率。因为交错层内的粒度变化，乃至泥质纹层的出现和形成，都会构成层间渗流遮挡，即储层的层内非均质问题。

尽管每种沉积砂体都有其各自的垂向层序特征。如果从韵律性上模式化，又会发现其剖面水淹的不同。这就是渗流力学数值模拟证实的三种储层的简单韵律性水淹剖面：即正韵律型、反韵律型、复合韵律型（图7）。

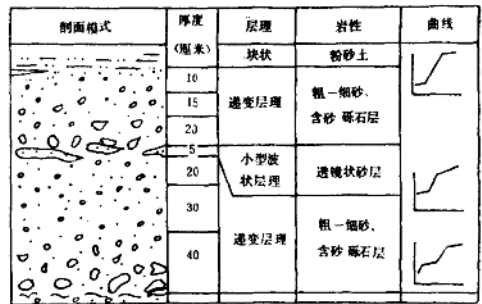


图 4 洪积扇垂向层序

同样，油田实际也证实了这种韵律性水淹对开发效果的影响。如大庆油田的分流河道砂体，属多个正韵律组成，由于垂向加积，平面上稳定性较好，垂向上往往呈现多段下部水淹特点，因此，水洗厚度较大。又如南2—5—检32井密闭取心的白垩系姚家组的葡₁₂油层，在注水倍数仅为孔隙体积0.08倍时，水淹厚度已达41.8%，水洗段驱油效率上部为47.5%，下

至于反韵律本身也有差异。数学模型计算结果,表明了反韵律油层的自身变化与采收率的关系。在高渗透的反韵律油层中,受重力作用比低渗透反韵律油层大,因此高渗透的底部水洗较上部好。

油田实际资料也证实正韵律油层开发效果差,如胜坨沙二上的1—3砂层组,见水厚度薄,水淹体积小,注水利用率低。

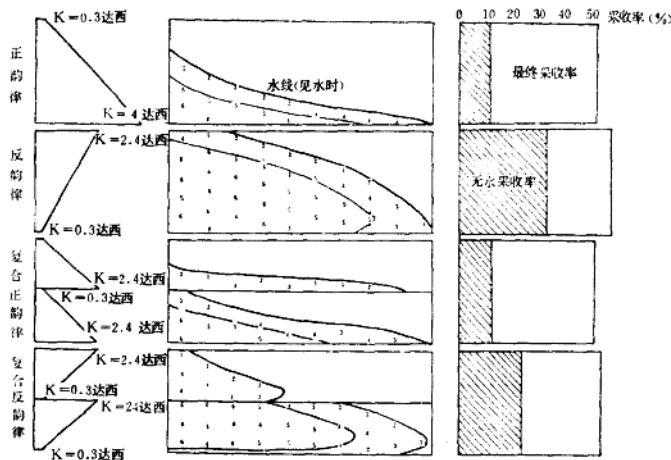


图 7 垂向层序中储层韵律性水淹的数值模拟结果和开发效果比较

四、沉积结构与孔道非均质

现代沉积研究,虽然不能直接解决沉积物的结构问题,但是可以从控制岩石结构的沉积作用一面进行研究。这样有利于认识储集孔道的非均质规律。

由于砂岩的圆度、球度、粒度、分选、中值乃至成岩后的孔隙结构等,都受控于沉积环境及其早期的作用。因此,研究储层的结构特征,必须首先研究沉积作用。

G. Visher (1969) 曾在现代沉积研究上作过重要贡献。他根据采自现代和古代沉积的1500个样品作了分析,对具有不同特征的对数粒度概率曲线进行了分类,列出了不同沉积环境的典型曲线类型,并从水力学观点上作了定性解释,为环境识别提供了粒度的信息。这对于进一步研究不同环境的沉积结构是十分有意义的。并且说明从现代沉积研究入手,研究沉积结构的方法也是可行的。

成岩后生作用对于岩石的孔隙-渗透性能有很大影响,但是沉积作用仍然是首先的,十分重要的。也正如普赖尔 (Pryor) 指出的,岩石孔隙空间的特性,多半是从沉积时期继承下来的。因为岩石孔隙骨架最初是在沉积作用下形成,颗粒的成分,粒径、分选等都决定着沉积物搬运和堆积的环境。

从大量研究现代和古代沉积看,一般粒度较细的岩石,分选较好。孔隙度渗透率都比较好。随着中等粒度成分的增加后,分选逐渐变差,以至粗粒出现分选更差。这种变化直接影响孔隙度、渗透率的改变。

国内油田研究初步发现:孔隙结构与沉积相有关。如大庆油田白垩系姚家组储油层 P_{1Y}^3

层的结构系数 $\left(\bar{r} = \sqrt{\frac{8K\phi}{M}} \right)$; $\bar{r}$ 平均孔隙半径 K 渗透率 M 孔隙度 ϕ 结构系数) 在油

田南北有明显变化, 北部结构系数较小为2.35~3.14。南部平均值明显增大从3.63~5.23; 油田南部外围则达3.46~4.61。论沉积相则河床相、滨湖相、浅湖相的结构系数较小; 三角洲、边滩、河口砂坝的结构系数偏大。

同样, 胜利油田的研究也说明: 孔隙结构与沉积相带和渗透率的关系密切。通过样品压汞实验, 计算吞吐效率和孔喉比, 也表明三角洲前缘沉积的孔喉比远比河床相沉积的孔喉比小得多, 相差近一倍左右。原因主要三角洲沉积的孔隙较均匀(表2)。

表2 胜利一区河二上砂层组样品分析比较

层 位	沉 积 相	渗 透 率 (达西)	孔 喉 比	吞 吐 效 率
1 ¹	河床相	3.3	20.7	31.2%
4 ⁶⁺⁷	河床相	2.4	10.4	42.3%
2 ⁴	三角洲前缘相	4.6	6.7	45.0%
5 ⁵	三角洲前缘相	4.8	3.9	61.5%

由于孔隙大小和均匀程度直接影响油层渗透率。而孔隙结构的均匀性与沉积环境有较密切的关系。因此, 可以从这些古沉积的研究中, 追索至粒度的特征参数研究, 为现代沉积的相同环境识别和建立对比模式, 来加深储层孔道非均质性规律的认识。

结 束 语

提高油田最终采收率的开发方案, 需要对储层非均质性作精确的描述和预测。现代沉积研究提供了油田开发中建立储层非均质模式的可能性。

一、不同成因或结构类型的沉积盆地, 其沉积相带的空间展布型式是不同的, 沉积体系各具特征, 储层宏观非均质性也相区别。

二、砂体形态和渗透率各向异性, 是储层平面非均质性的主要内容, 因为这些与沉积环境, 特别是水动力和古水流条件密切相关。

三、研究垂向沉积层序, 可以进一步探索各种亚相沉积物的剖面非均质性, 以预测剖面水淹厚度波及系数的变化。

四、油层孔隙结构决定于沉积物的结构特征; 包括粒度、分选、颗粒结构、圆度、球度及其基质、胶结物等。研究现代沉积物的这些特征, 有助于认识储层孔隙结构。

诚然, 研究储层非均质性, 还有待进行成岩后生作用研究和油层物理、渗流力学、油藏工程以及开发实验室研究的多学科配合。

参 考 文 献

- [1] 袁亦楠、王衡璧、许仕策 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1980年(增刊)
- [2] 李德生 渤海湾含油气盆地的地质构造特征与油气分布规律 石油学报 1980年 第一卷第1期

- [3] 韩大匡、桓冠仁、谢兴礼 非均质亲油砂岩油层层内油水运动规律的数值模拟研究 石油学报 1980年第3期
- [4] 杨普华 孔隙结构对水驱油机理影响研究 石油学报 1980年(增刊)
- [5] 黄弟藩等 青海湖综合考察报告 科学出版社 1979年
- [6] J. M. Coleman and L. D. Wright 1975 Modern River Deltas, Variability of Processes and Sand Bodies "Deltas Models for Exploration" p99-150

STUDY OF MODERN SEDIMENTS AS AN APPROACH TO THE STUDY OF THE HETEROGENEITY OF CLASTIC RESERVOIR ROCKS

Xue Peihua, Xiao Jingxiu, Chen Ziji

(Scientific Research Institute of Petroleum Exploration and Development)

Abstract

Sedimentary basins of different origin or structure are different in spatial distribution of their sedimentary facies zones. The establishment of sedimentary models may unveil the macroscopic heterogeneity of the reservoirs.

The geometry of sand bodies and the anisotropy of permeability, which are closely related to depositional environment particularly to the hydrodynamic conditions and the direction of ancient water ways, are the main items of the areal heterogeneity of a reservoir.

Study of the vertical sedimentary sequence may reveal the cross-sectional heterogeneity of different kinds of subfacies deposits which is useful in the prediction of the thickness coverage of waterfloods.

The pore structure of a reservoir is determined by the textural character of sediments, including their granularity, sorting, fabric, roundness, sphericity, matrix and cementation. Despite the many cases of successful application of sedimentological study in the identification of paleoenvironment, a great deal of research work on modern sediments remains to be done for the prediction of pore pattern of reservoirs.

四川盆地海相碳酸盐岩储层模式

唐泽尧 周 炜 孔金祥 王泽远 陈季高

(四川石油管理局地质勘探开发研究院)

提 要

本文应用沉积学、岩石学、构造地质学、油层物理学和油矿地质学等多学科结合的方法,分析储层的结构特征、成因、及空隙演化规律,并提出四川盆地的四种主要碳酸盐岩储层类型:(1)受岩相带控制的潮坪及局限浅海碳酸盐岩裂缝-孔隙型储层;(2)受风化带控制的膏溶角砾状碳酸盐岩裂缝-孔隙型储层;(3)受构造带控制的潮下生物灰岩缝洞型储层;(4)受多因素控制的潮坪白云裂缝-洞孔型储层。文中对各类储层作了评价,提出勘探开发碳酸盐岩油田中的有关问题,及相应的措施和办法。

前 言

四川盆地天然气的勘探和开发具有悠久的历史。早在东汉末年(公元147年)就在川西的邛崃钻成了一口天然气井;自西晋太康元年(公元280年)又在自流井气田用顿钻打井,从地下吸卤采气、煎卤制盐,在十七世纪时就已钻开了深埋一千余米的海相碳酸盐岩气藏。自此开始了碳酸盐岩地层的勘探开发,到目前为止已发现了十多个工业性产气层。

四川的碳酸盐岩储层的沉积类型多,年代老,埋藏深,且经历多次构造运动,故后期改造的因素多而强。所以这类储层多是几种空隙迭加的复合体,结构复杂。根据储层的空隙演化规律和储层结构特征,提出四种储层模式。

一、储层模式的划分

碳酸盐岩除具有沉积时形成的原生孔隙外,由于它的化学活泼性、可溶性和脆性,沉积以后又经多种地质作用产生多种次生空隙*,先成的空隙也受到程度不同的改造。所以,碳酸盐岩储层常是复杂的、多种空隙结构的复合体。

一个特定的碳酸盐岩沉积建造**在演化中受到一定序次的地质作用改造时所形成的空隙类型及其搭配关系和分布格局,都有一定的规律性,我们将储层的成因规律(或演化模式)与结构特征(结构模式)之间的因果关系称为储层模式。依据演化模式可预测储层的展布,

* 空隙:指孔隙、洞穴和裂缝的统称。

** 沉积建造:简称建造,指岩石的共生组合体,它包含若干沉积相带。

依据结构模式可抽象出物理模型和数学模型,以指导油气田的勘探和开发。

四川盆地已发现的含气岩层都属于稳定碳酸盐岩台地型,可归纳为潮汐坪台、局限浅海台地和开阔海台地三种浅海环境的沉积;产气建造有蒸发潮坪的白云岩建造和白云岩-膏岩建造,局限浅海碳酸岩建造,潮坪和局限浅海碳酸岩建造,开阔海潮下生物灰岩建造等。这些建造从沉积至今曾经经过沉积、成岩、深埋藏和地层褶皱等几个演化阶段,有的还经历成岩早期表生阶段和成岩后风化剥蚀阶段。每个阶段都有多种地质作用发生,其中有些是使空隙形成和发展的建设性作用,重要者有蓝绿藻的生物(或生化)作用,白云化、淡水淋滤、风化、深岩溶和构造破裂等作用;也有些是使空隙退化和消失的破坏作用,重要者有压实、胶结、风化残积物填充、去白云化、重结晶和矿物质沉淀等作用。

一种沉积建造在其演化的各阶段中,都有不同的地质作用交替出现或同时并存,因而岩层中的空隙一方面不断产生,另一方面又不断消失。但每一个演化阶段中建造与改造、建设性作用和破坏性作用相互制约,有利于形成、保存空隙的条件时,这些空隙就被保存下来成为储层中的主要储渗空间。储层的储产能力和变化规律都受到空隙产生阶段中的地质作用所控制,即构成储层的模式。因此本文采用主要控制因素、沉积建造类型和空隙类型的复合命名法,以概括反映储层的模式。

表1所列的四种模式是四川盆地最常见的和主要的类型。

表1 四川盆地碳酸盐岩储层模式类型

模式名称 代表层位	沉 积 建 造	形 成 孔 隙 的 用				空 隙 类 型 组 合							储 渗 体 结 构		
		沉 积	成 岩	风 化	褶 皱	粒间孔隙	窗格孔隙	溶格孔隙	晶间孔隙	缝溶孔隙	孔缝性溶洞	裂隙性溶洞		小缝	中缝
I、岩相带 缝孔型 (TC)	潮坪及局限浅海 碳酸盐岩	沉白云 积化	溶蚀												由穿层缝系统和断层串通 孔隙层和网状裂缝段组成的 连通体
II、 风 化 带 缝孔洞型 (C ₂)	蒸发潮坪白云岩 和膏岩			淋滤											网状缝系统与单一孔隙层 迭合,呈层状或残丘状储 集体。
III、 构造及岩溶 带缝洞型 (P ₁)	潮下质纯石灰岩														裂缝系统沟通分散的洞 穴,形成窗格状连通体 形状不规则。
IV、 多因素复合 带缝孔洞型 (Z _b)	潮坪白云岩 破裂	沉白云 积化	溶蚀	淋滤											自穿层缝和断层,串通多 个孔隙层及网状裂缝段、 分散大溶洞组成的连通体。

二、四种模式的特征

(一) 受岩相带控制的潮坪及局限浅海碳酸盐岩储层

以川南下三迭统嘉陵江组为代表(图1)。

1. 岩性特征 为碳酸盐岩及蒸发岩的组合, 二者各占一半, 总厚约 1000 米。碳酸盐岩主要分布在 T_c^1 和 T_c^2 , 代表海浸阶段; 蒸发岩 (硬石膏岩夹盐岩) 分布在 T_c^3 、 T_c^4 和 T_c^5 中, 代表海退阶段。纵向上组成两个由海浸到海退沉积旋回, 海退过程中又有五次短暂海浸而出现次一级旋回。故地层剖面中的碳酸盐岩-蒸发岩旋回大小共八个, 形成八个独立的油气储盖组合。碳酸盐岩为储层, 蒸发岩为盖层。

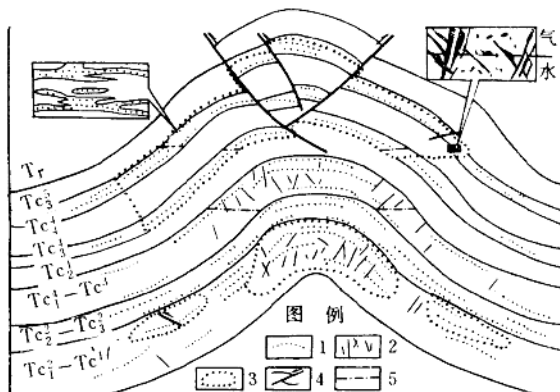


图 1 岩相带潮坪及局限浅海碳酸岩缝孔储层模式
图例: 1—孔隙层; 2—裂缝; 3—裂缝系统; 4—逆断层; 5—气水界面

碳酸盐岩中的石灰岩与白云岩之比约为 3:1。潮间-潮下高能带浅滩相和潮上-潮间藻席碳酸盐岩是主要的储集岩。

2. 孔隙特征 常见的孔隙有窗孔、粒内溶孔、膏模孔、白云石晶间孔和缩小的粒间孔隙。这些孔隙是准同生和成岩阶段由蓝绿藻的生长和腐烂、淡水淋滤和白云化等作用形成的。形成后由于上覆膏岩、泥岩或致密泥晶碳酸盐岩的保护, 成岩后又未受风化剥蚀, 故保持至今。这种孔隙形成的时期早, 受组构控制, 其分布与沉积相关系密切。从岩相类型看, 它们主要发育于藻席、白云化滩、暴露浅滩等岩相中, 尤以藻粘结白云岩和粒屑白云岩中发育最好。

孔隙的纵向分布受沉积旋回所控制, 以海退系列的上部最好, 故多数储层中的孔隙都发育在剖面的上部, 有一定的层位性。同时, 由于潮坪沉积物韵律性频繁, 孔隙层也就具有层薄、层多和分散的特点。据统计, T_c 组中共有 35~40 层, 累计厚度约 50 米, 占碳酸盐岩总厚的 10%。横向上藻席成因的岩类孔隙层多为层状, 连续性较好; 浅滩相岩类孔隙层多为透镜状。

孔隙受组构控制, 层内分布比较均匀。但这些孔隙又多半是次生的, 与沉积的原生孔隙结构不同, 孔隙的类型多, 在一个层中以至一块标本中能出现多种孔隙。孔的大小不等, 有的选择性溶蚀孔隙远比颗粒大得多, 形态多样, 分布不均。孔隙度多在 3~10% 间, 少数高达 20% 以上。连接孔隙之间的喉道多为片状和管状, 细而长, 其宽度一般都小于 2 微米, 属于中喉 (2~0.5 微米) 和小喉 (0.5~0.04 微米) 类型, 渗透率多小于 1 毫达西, 少数可达几个毫达西。孔隙层有一定的容积, 具工业性储能, 但渗透性差, 产能低, 需裂缝配合才能形成工业价值储层。

至于粒间孔白云岩, 孔隙类型单一, 孔隙度 10~20%, 渗透率 10~几百毫达西, 喉道属

大喉型(宽2至几十个微米),单靠孔隙即可形成工业性产能的储层,属孔隙性储层。藻屑溶孔白云岩也有类似的孔隙结构,但分布都很局限。

3. 裂缝特征 有成岩缝、压溶缝和构造缝。前两种对烃类的运移可能都起过作用,但现今多被填充,对流体的储集和产出作用甚微,而起作用者是它形成于褶皱阶段的构造缝。构造缝形成后也普遍遭受地下水的改造,从岩心和露头看,有被矿物填满了的充填缝(简称填缝)和未被填满、或未填充的张开缝(简称开缝)。开缝是有效缝,是本文论述的对象。据岩心、揭片、薄片以及露头和坑道的统计推算,张开构造缝的孔隙度(即裂缝率)只有0.1~0.3%左右。储集能力有限,但定向渗透率很高,是流体产出的主要通道。

裂缝的结构和分布受岩性的控制。 T_c 剖面是脆性岩类与塑性岩类的组合,脆性碳酸盐岩裂缝一般都较发育。据岩心观察统计,背斜范围内开缝的平均密度每米有数条。在碳酸盐岩储层中,质纯、性脆和颗粒结构的岩类最发育,往往与孔隙层相迭合。在剖面中也有多层段的特点,但以上部较集中。

裂缝的规模和密度受层理厚薄的影响, T_c 碳酸盐岩层是由微层到块状相间的组合,所以微、小、中、大等级的裂缝都有,但以小和中缝为主。裂缝在平面上的分布主要受构造控制。发育区里的裂缝,是由不同方位和不同产状(与层理呈立、斜、平相交)的组系构成网格状体系。由有效缝组成且能彼此勾通的网状体系称为裂缝系统。 T_c 组中的裂缝系统,有的只有一个层段和一个发育区,如 T_{c2}^1 储层。但更多的是由断层或(和)穿层缝连通几个层段和几个发育区所组成的。也有断层窜通了几个储集层而构成一个包括多层系、多层段的大裂缝系统(图1中的 $T_{c2}^1 \sim T_{c3}^1$)。

3. 储渗体的特征 据岩石物性特征,碳酸盐岩储层可分为两部分岩体,一部分是发育有效的储渗空隙,因而能产出和储集油气的岩体;另一部分是无有效孔隙发育的致密岩体。前者对流体起储渗作用,后者起屏障、封隔作用。我们把储层中相互连通的储渗岩体称为储渗体,或称为储渗系统。流体在此连通体内按重力分异,具统一气水界面和水动力系统,在生产中作为勘探开发的基本单元。

根据孔隙的搭配关系, T_c 组的储渗体可分为四种基本类型:

第一、裂缝-孔隙型:低渗透孔隙层与低孔隙的网状裂缝系统相互搭配,孔隙是主要储集空间,裂缝是主要渗滤通道,两者搭配形成工业性储能及产能。此型分布最广,各层系中都有,是最主要的类型。

第二、裂缝-洞穴型:此型仅在 T_{c2}^1 储层部分层段和地区中见到,由裂缝串通分散的大中型溶洞组成。

第三、孔隙型:岩类为鲕粒白云岩或藻屑溶孔白云岩,孔隙结构为大喉型,孔隙度和渗透率高,单靠孔隙就可储集和产出工业性流体。仅分布于 T_{c2}^1 和 T_{c1}^1 的部分地区和层段中(图片1)。

第四、裂缝型:储集和产出都靠裂缝,一般初产量高,储量小。在 T_{c1}^1 的局部地区(圣灯山气田)见到。

此外还有包括上述两类或两类以上的复合类型。

根据储渗体连通的范围和宏观的格架结构,上述每种类型又可分为单一层段、多层段和多层系三种亚型。以多层段亚型分布最普遍,它是由穿层缝和(或)与断层穿通多个孔隙层及裂缝段组成的统一连通体。多层系亚型仅见于卧龙河气田 $T_{c2}^1-T_{c1}^1-T_{c3}^1$ 气藏(图1)。由于该背斜构造的断层和裂缝发育,不仅使储层中各层段相互勾通,还切断了两个盖层,使三套