

川东碳酸盐岩储层非均质模型

强 平 曾 伟 陈景山 黄继祥
(西南石油学院, 四川南充 637001)

川东铁山、雷音铺构造嘉陵江组二段二亚段储层非均质性迥异。前者孔隙度分布不均匀且相差悬殊, 储层密度及分层系数高, 孔隙层呈带状分布, 隔层不稳定, 白云岩段所占比例大; 后者孔隙层呈透镜状分布, 储层密度及分层系数低于前者, 隔层稳定。二者高孔隙段位于上部, 孔隙层横向连通性都较好, 隔层岩性均为膏质白云岩。网格化后建立的储层非均质模型显示, 它们的嘉陵江组二段二亚段上部孔隙层均较发育, 而下部则极不发育, 铁山构造呈层状, 横向连通性较透镜状分布的雷音铺构造为好。经检验与模型预测结果相吻合。

关键词 储层 非均质性 非均质模型 电相

第一作者简介 强平 女 34 岁 讲师 石油地质

四川碳酸盐岩储层可以概分为裂缝型和孔隙(洞)型, 后者由于渗透率低, 一般均要有裂缝改造才能形成工业产能, 称裂缝-孔隙(洞)型储层, 其地质模型, 实际是孔隙层的地质模型。川东地区下三叠统嘉陵江组二段是埋深较浅而又具保存条件的裂缝-孔隙型储层之一。通过对原始资料的初步分析, 我们发现在铁山、雷音铺构造区嘉陵江组二段二亚段上部孔隙层发育, 其实测岩芯物性资料显示出渗透率很低, 变化小; 孔隙度值却相对较高, 变化也大。因此, 我们选用孔隙度这一物性参数作为定量描述孔隙层发育的参数。

1 沉积微相分析及平面相展布

1.1 微相分析

通过对岩芯、岩石薄片等资料的仔细分析, 并结合海岸萨布哈碳酸盐岩沉积层序^[1], 我们认为研究区属于潮坪相沉积, 分为潮下、潮间、潮上三个亚相。潮下亚相包括浅滩和泻湖两个微相, 浅滩微相岩性主要为粒屑灰岩, 泻湖微相岩性为泥晶灰岩; 潮间亚相划分为潮间滩与潮间白云岩坪两个微相, 潮间滩微相岩性为粒屑白云岩, 潮间白云岩坪微相岩性为细粉晶白云岩; 潮上亚相划分为潮上白云岩坪、潮上膏白云岩坪、石膏池三个微相, 潮上白云岩坪微相岩性为细粉晶白云岩, 潮上石膏白云岩坪微相岩性为石膏质细粉晶白云岩, 石膏池微相岩性为纤维状硬石膏岩。成岩作用的研究发现, 潮湿气候条件下在潮间滩、潮间白云

岩坪微相中的沉积物经早期溶蚀与白云石化作用后，最终能保存部分孔隙。此两类岩（溶孔粒屑白云岩、晶间溶孔细粉晶白云岩）即为工区主力储层，以下统称为针孔白云岩（图 1）。

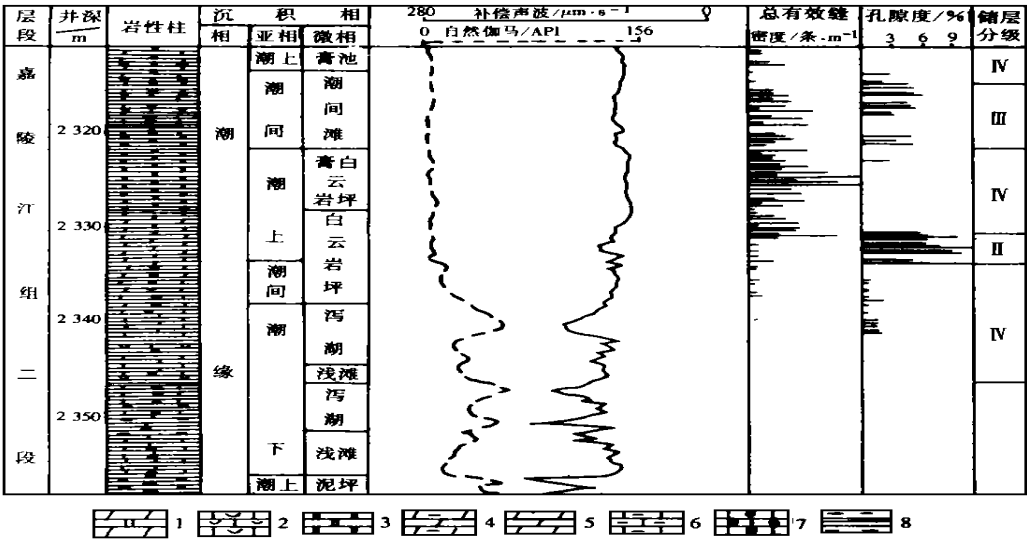


图 1 铁山构造 14 井嘉陵江组二段二亚段储层综合柱状图

1—石膏质白云岩；2—生物屑灰岩；3—石膏岩；4—泥质白云岩；5—白云岩；6—泥质灰岩；
7—鲕粒白云岩；8—石膏质泥岩

1.2 平面相展布

鉴于研究区取芯井段少，而且在垂向上和横向上分布不匀，远不能达到绘制岩相古地理

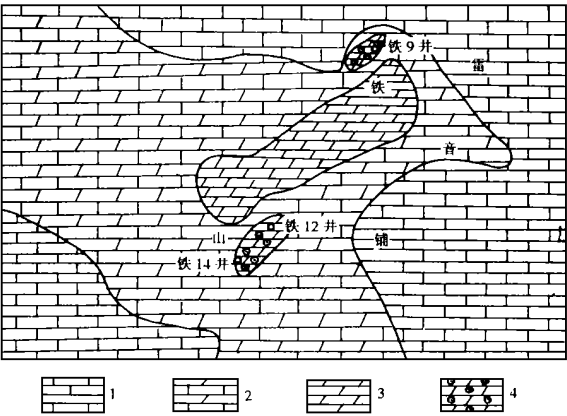


图 2 嘉陵江组二段二亚段岩相古地理图

1—潮下亚相；2—潮间坪；3—潮上白云岩坪；4—潮间滩

图的精度要求，因此，必须充分结合电相特征进行分析。通过对工区内取芯井的多种测井曲线对沉积相响应关系的分析，发现自然伽马和补偿声波的测井曲线形态与微相之间对应关系较好，川东西北部嘉陵江组二段二亚段的电相主要有桶状、倒塔状、杯状、漏斗状、枣核状、箱状 6 种类型。

根据上述电相特征。逐井逐层地进行分析，划分微相类型，同时结合地层厚度百分比等值线图、颗粒岩厚度百分比等值线图，绘制出岩相古地理图（图 2）。由图可知，这一时期本区以潮坪沉积为主，中部铁山 12 井、铁山 14 井及东北部铁山

9 井所在位置颗粒岩发育，累积厚度为 2~ 8 m，表明这里潮流和波浪作用相对较强，沉积了粗粒沉积物。整个潮坪带在工区内沿 NE—SW 方向呈带状分布。根据东部地层增厚白云岩减少消失，沉积物变为泥灰岩，推测向东面逐渐进入潮下。

2 储层岩性、电性、物性及含油气性关系

通过统计工区内所有取芯样品的实测孔隙度，我们发现细粉晶白云岩、粒屑白云岩其平均孔隙度为 2.5%，3.6%，高于其它岩类。整个嘉陵江组二段二亚段储层孔隙度普遍较低，孔隙度小于6%的样品占 10.5%，6%~ 12%的样品占2.6%，大于 12%的样品仅为 0.36%。如果以 3%的孔隙度作为储层下限，则只有 13%的样品可作为储层。从渗透率看，根据 52 个样品压汞资料统计，最小值为 $0.000\ 01\times 10^{-3}\ \mu\text{m}^2$ ，最大值为 $22.3\times 10^{-3}\ \mu\text{m}^2$ ，平均为 $2.28\times 10^{-3}\ \mu\text{m}^2$ ，所有用煤油法实测样品的渗透率平均值只有 $0.01\times 10^{-3}\ \mu\text{m}^2$ 。以上统计结果说明，工区储层以低孔、低渗为特征。然而，就孔隙度与渗透率而言，孔隙度变化范围较大，二者相关性较好（相关系数达 0.92）。工区中孔隙层的电测曲线具有“两低两高”特点，即低自然伽马和低电阻率，高补偿声波和高中子孔隙度。孔隙层发育于白云岩段，电性曲线表现为桶状、倒塔状，自然伽马值在 20 API 左右，补偿声波介于 150~ 200 $\mu\text{m/s}$ 之间。孔隙度与含水饱和度之间呈消长关系，孔隙度小于 6%时，这种消长关系比较明显，以孔隙度 3%时的曲线曲率最大；孔隙度大于 6%时，孔隙度与含水饱和度关系不明显，基本上不随含水饱和度而变化，说明孔隙度不受组构控制。

以上分析结果表明，工区中储层“四性”之间基本吻合，即颗粒粗或受过白云石化作用的岩石则孔隙度高，电性以上反映为自然伽马幅度较低，补偿声波幅度中偏低，含水饱和度较小，含气饱和度较高。因此，根据岩性、白云岩含量、颗粒含量等特征与孔隙度在电测曲线上的综合反映，结合取芯井资料，可大致推断孔隙度值。

3 储层非均质性

3.1 层间非均质性

我们利用岩芯资料计算了铁山和雷音铺构造白云岩段的层间非均质参数（表 1）。由表 1 可知，铁山构造嘉陵江组二段二亚段白云岩段均质性比雷音铺构造更差，即整个白云岩段孔隙度分布比雷音铺更不均匀，孔隙度极差为 32，原始物性资料表明其高的孔隙度可达 11.08%，低的孔隙度仅 0.39%，相差非常悬殊；但铁山构造白云岩段储层密度、分层系数比雷音铺构造高，表明其储层在整个白云岩段中所占的比例比雷音铺大，两者的层间隔层在横向上的分布都比较稳定。

表 1 孔隙型储层层间非均质参数表

构造	分层系数	储层密度/%	平均孔隙度/%	孔隙度极差	突进系数	均质系数	变异系数	隔层厚度/m	隔层岩性
铁山	4	39.22	2.84	32.00	3.36	0.30	0.91	17.60	泥质细粉晶白云岩 膏质细粉晶白云岩
雷音铺	3	34.29	2.89	11.18	2.52	0.40	0.62	9.74	膏质细粉晶白云岩

3.2 平面非均质性

研究区按白云岩、灰岩、白云质灰岩分为 3 小段进行孔隙度与自然伽马、补偿声波二元二次回归所得出的经验公式如表 2 所示。结果表明，实测岩芯孔隙度与用经验公式计算的孔隙度很接近，两者相差一般小于 1.5%，个别误差超过 2%。因此，利用经验公式对铁山和

表 2 铁山、雷音铺构造孔隙度回归分析表

白云岩段	相关方程	$\Phi=5.295\ 06-22.556\ 85\Delta GR+4.784\ 25\Delta T-31.070\ 74\left(\Delta GR\right)^2+67.990\ 65\Delta GR\Delta T-10.601\ 42\left(\Delta T\right)^2$		
	相关系数	0.790 79	相对误差	0.210 65
白云质灰岩段	回归方程	$\Phi=-0.653\ 38+12.596\ 39\Delta GR+9.487\ 65\Delta T+18.086\ 82\left(\Delta GR\right)^2-65.196\ 5\Delta GR\Delta T-3.934\ 51\left(\Delta T\right)^2$		
	相关系数	0.773 845 2	相对误差	0.174 373 2
灰岩段	相关方程	$\Phi=0.241\ 14-0.356\ 27\Delta GR+0.570\ 34\Delta T+5.022\ 73\left(\Delta GR\right)^2-8.434\ 83\Delta GR\Delta T+7.078\ 92\left(\Delta T\right)^2$		
	相关系数	0.881 727 6	相对误差	0.255 951 8

注：Φ为孔隙度，ΔGR、ΔT 分别为极差化的自然伽马值和声波时差值

雷音铺所有测井资料的非取芯井及井段进行了孔隙度计算，划分出了孔隙度大于 3 % 的储层段。根据上面对孔隙度的测井判断,发现工区嘉陵江组二段二亚段下部孔隙层极不发育,只有个别呈零星分布的小透镜体(最长 800 m,最厚 0.5 m);上部孔隙层较为发育,铁山构造的孔隙层分布在嘉陵江组二段二亚段顶部,横向上呈带状分布,孔隙层长 12~ 14 km,厚 2~ 9 m,雷音铺构造的孔隙层呈透镜状分布,长 5~ 18.6 km,厚 2~ 14 m。两个构造的孔隙层在纵向连通都不好。隔层在雷音铺构造很稳定,在铁山构造白云岩段的下部层不太稳定。两个构造白云岩段的层间隔层岩性都主要为膏质白云岩。铁山构造孔隙层的平均孔隙度 4.48 %,最大 11.08 %,最小 3 %,雷音铺构造平均孔隙度 4.24 %,最大 7.24 %,最小 3.02 %。

3.3 层内非均质性

工区孔隙层为潮间滩微相粒屑白云岩与潮间白云岩坪微相细粉晶白云岩,主要发育水平纹层与韵律互层、粒序韵律不发育。其层内孔隙度非均质性主要由各微相带夹层特征,以及由成岩作用所造成的孔隙度分布不均引起。通过对铁山和雷音铺构造岩芯孔隙度实测资料的统计,工区裂缝-孔隙型储层各微相类型孔隙度非均质特征如表 3 所示。

表 3 潮间滩和潮间白云岩坪孔隙层非均质特征表

相带类型	平均孔隙度/ %	变异系数	夹层密度/ %	夹层频率	夹层分布位置	最高孔隙度段位置	夹层岩性
潮间滩	3.95	0.43	3.5	0.4	中部	上部、下部	泥晶灰岩
潮间白云岩坪	5.63	0.66	5.1	0.4	中部	上部	去膏化灰岩、泥质灰岩

潮间滩微相的粒屑白云岩比潮间白云岩坪微相的晶间溶孔细粉晶白云岩均质性好,其变异系数、夹层密度均较小。潮间滩微相孔隙层的最高孔隙段分布在上、下端,而潮间白云岩坪的最高孔隙层分布在上部;夹层岩性在潮间滩孔隙层中为泥晶灰岩,在潮间白云岩坪孔隙层中为去膏化灰岩、泥质灰岩,都分布在孔隙层中部。

4 确定储集岩几何形态并网格化

根据沉积相研究和孔隙层测井判断,铁山和雷音铺构造白云岩段在平面上沿当时的古高地呈 NE 向带状分布(图 2),其厚度向两侧减薄,呈带状、透镜状分布在嘉陵江组二段二亚段上部。由于勘探早期井都沿背斜轴向,因此,所选择的剖面线也是沿着铁山和雷音铺构

造走向, 主要想尽可能多地选出剖面线上及其两侧同一相带内有代表性的井点, 以便更精确地进行井间孔隙度插值。对选出的代表井, 有取芯的以岩芯划相, 没有取芯的用电相划相, 然后进行横向对比。利用岩芯实测孔隙度及测井孔隙层判断, 将相同微相类型的孔隙层连在一起, 对孔隙层内夹层如它们在两口井间虽上下错开, 但基本位置相同则将其连在一起, 以简化模型。

根据目前储层沉积学研究的成果, 网格横向上的长度一般取 50 m, 这已达到精度极限^[2], 纵向上的厚度视非均质情况而定。根据工区储层在横向上变化不是太大, 在纵向上孔隙度非均质性较严重这一特点, 因此网格在横向上取 100 m, 纵向上取 0.5 m。

5 确定网格孔隙度值

5.1 井柱孔隙度值的确定

对有实测岩芯孔隙度资料的井段, 按 0.5 m 厚取一个实测岩芯孔隙度值填入网格。对没有取芯但有测井资料的井及井段, 用数字化仪按 0.5 m 厚间距在测井图下读值后经极差化处理为 ΔGR , ΔT 值, 然后代入经验公式* 计算出孔隙度值, 直接填入网格。铁山构造用了铁山 2 井、铁山 3 井、铁山 14 井、铁山 5 井、铁山 8 井、铁山 7 井及铁山 9 井 7 个井柱, 雷音铺构造用了雷 1 井、雷 10 井、雷 4 井、雷 3 井、雷 12 井及雷 6 井 6 个井柱。

5.2 井间网格中孔隙度值的确定

井间孔隙度插值采取如下原则: (1) 根据储层对比先圈定针孔白云岩储层边界与孔隙层内夹层边界, 赋予边界结点孔隙度值 30%, 夹层内结点值赋予 0; (2) 按层内非均质特征, 在孔隙层中(针孔白云岩)圈出高孔隙度带与低孔隙度带并赋予边界结点孔隙度值; (3) 其余井间结点孔隙度值采用克里金地质统计法用计算机估算。

6 非均质模型

铁山和雷音铺构造储层孔隙度非均质剖面图(图 3, 4)表明, 两个构造嘉陵江组二段二亚段下部孔隙层极不发育, 呈零星分布, 颗粒灰岩原生孔隙多被方解石胶结物充填殆尽。测井判断孔隙度大于 30% 的点为泻湖细粒沉积物。嘉陵江组二段二亚段上部孔隙层较为发育, 横向连通性较好, 岩芯、录井及电相反映为潮间滩、潮间坪环境, 岩性为溶孔粒



图3 铁山构造孔隙度非均质剖面图

屑白云岩, 晶间溶孔细粉晶白云岩。铁山构造孔隙层横向连通情况比雷音铺好, 基本呈层状, 分布在嘉陵江组二段二亚段顶部; 雷音铺构造孔隙层横向连通情况较差, 雷 1、雷 10 井间连通

* 吕国祥, 张尚华, 蒋裕强. 石油数学地质. 1988

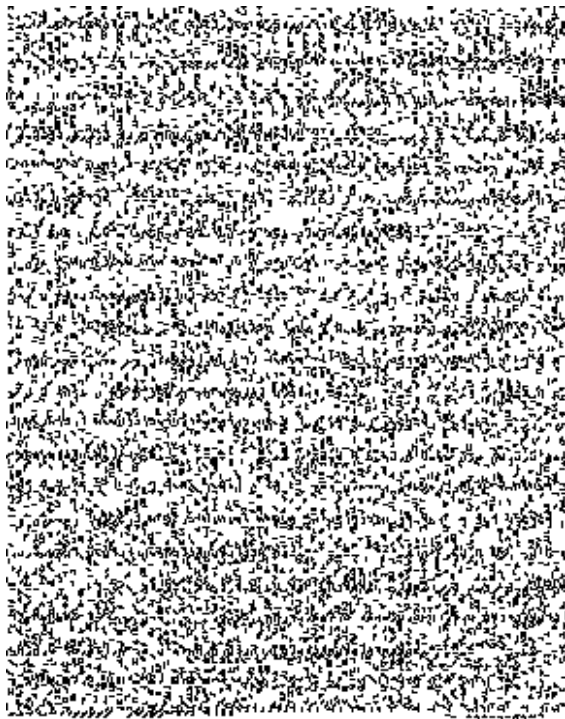


图4 雷音铺构造孔隙度非均质剖面图

较好,基本呈透镜状分布。

7 模型检验

从最南边的铁山3井到北边的铁山9井,嘉陵江组二段二亚段顶部孔隙层基本具层状分布,横向连通性较好(图3),构造资料与油气水资料表明,南区为一断垒型背斜构造,嘉陵江组二段二亚段顶闭合面积约 34 km^2 ,闭合高度250 m左右,圈闭完整,保存条件较好。位于南高点圈闭中心的铁山5井嘉陵江组二段二亚段获气 $59\,000\text{ m}^3/\text{d}$,而位于构造鞍部和南倾末端的铁山8井、铁山3井经测试产水,说明其气藏具统一的气水界面,这与我们所建模型所显示的孔隙层具层状分布、横向连通性好是一致的。

从图4看,雷3井所在位置储层发育较好,但横向连通性差,向两侧迅速尖灭。实际资料也表明雷3井钻采获得气藏,与模型所预测的结果亦相吻合。

参 考 文 献

- 1 何镜宇,孟祥化. 沉积岩和沉积相模式及建造. 北京:地质出版社,1981. 336
- 2 吴蕾,袁亦楠. 碎屑岩储层概念模型的建立方法. 石油勘探与开发,1991,18(3): 85~ 97

HETEROGENOUS MODELS OF CARBONATE RESERVOIRS IN EAST SICHUAN

Qiang Ping Zeng Wei Chen Jingshan Huang Jixiang
(Southwest Petroleum Institute, Nanchong, Sichuan)

Abstract

It is obvious that the reservoir heterogeneity of the second submember of the second member of the Jialingjiang Formation in Tieshan and Leiyinpu structures in east Sichuan differs greatly. The reservoir porosity of the Tieshan structure isn't distributed evenly, reservoir density and stratification coefficient are high, the pores are in zonal distribution, the confining bed of the reservoir is not stable. As for the reservoir of the Leiyinpu structure, the pore-layer is in lensing distribution, reservoir density and stratification coefficient are lower than that of Tieshan structure, its confining bed is stable. Pore sections of the both reservoirs are in the upper parts with good lateral connection, the confining beds are gypsodolomites. The meshed heterogenous models of the reservoirs indicate that they match well with the actual reservoirs.