

柴达木盆地北缘侏罗系砂岩孔隙发育特征

刘云田¹, 杨少勇²

(1. 中国科学院长沙大地构造研究所, 湖南长沙 410013;

2. 中国石油股份公司青海油田分公司, 甘肃敦煌 736202)

摘要: 柴达木盆地北缘侏罗系砂岩岩性以中- 粗砂岩为主, 次为含砾粗砂岩和中细砂岩, 胶结物含量低, 储集空间以原生孔隙为主, 次生溶孔为辅, 孔隙度与今埋深不具相关性。由于胶结作用和溶蚀作用较弱, 不足以引起压实减孔量的差异, 因此成岩压实作用就成为孔隙演化和保存的主要控制因素。侏罗系砂岩今埋藏深度下压实减孔量达 20% ~ 32%, 不同地区成岩压实减孔量随今埋藏深度的变化率近于一致, 但相同深度下的成岩压实减孔量却不尽相同, 这主要与构造演化史密切相关, 尤其与砂岩在埋藏过程中所经历的最大古埋藏和后期剥蚀量有着内在联系。目前砂岩孔隙度的大小代表的是 65~ 12 Ma 期间砂岩达到最大埋深时的孔隙度, 因此古埋深越大, 孔隙度越小。

关键词: 埋藏史; 成岩作用; 砂岩孔隙度; 柴达木盆地; 侏罗系

第一作者简介: 刘云田, 男, 37 岁, 博士生, 石油地质学

中图分类号: D618. 130. 2⁺ 1

文献标识码: A

柴达木盆地北缘侏罗纪为断陷盆地发育时期, 以含煤粗碎屑岩沉积为主, 扇三角洲和近岸水下扇砂体是主要的储集砂体。早第三纪为断坳过渡期, 形成冲积扇、辫状河和辫状三角洲沉积。晚第三纪为大型坳陷盆地发育期, 广泛沉积滨浅湖相细粒碎屑岩。上新世晚期到第四纪为盆地的褶皱上升期^[1], 北缘地区第三系受到不同程度的剥蚀。

1 基本特征

(1) 侏罗系岩性以中- 粗砂岩为主, 次为含砾粗砂岩和中细砂岩。砂岩的分选中- 差, 泥质杂基含量 0. 5% ~ 12%, 其中, 下侏罗统泥质杂基含量较高, 可达 5% ~ 12%。岩矿类型属于岩屑砂岩和次长石岩屑砂岩(图 1)。岩屑含量平均为 38. 7%, 以石英质变质岩等刚性颗粒岩屑为主。砂岩中的胶结- 充填作用较弱, 其胶结物含量一般小于 3%, 对砂岩孔隙度的影响较小。下侏罗统砂岩的成岩压实作用已很强, 其颗粒接触关系为线接触至凹凸接触; 中、上侏罗统成岩压实作用稍变弱, 颗粒接触关系主要为线接触, 鱼卡地区为点线接触。平面上同一层位砂岩在不同地区成岩压实程度有明显变化。

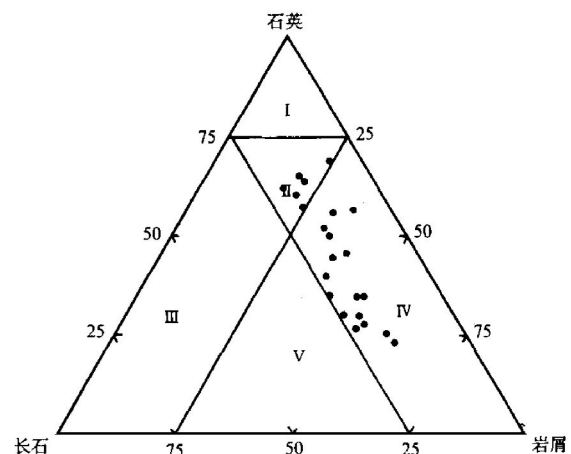


图 1 柴达木盆地北缘侏罗系砂岩岩矿特征

Fig. 1 Characteristic of Jurassic sandstone deposit in the north margin of Qaidam Basin

I 一石英砂岩类; II 一次长石岩屑砂岩(或岩屑长石砂岩);
III—长石砂岩; IV—岩屑砂岩; V—长石岩屑砂岩(或岩屑长石砂岩)

(2) 砂岩的储集空间以原生孔隙为主, 次生溶孔居次要地位。下侏罗统砂岩的溶孔较发育, 属于原生- 次生孔隙型储层, 但溶孔绝对量小于 1. 0%, 对砂岩孔隙度的贡献不大; 中- 上侏罗统砂岩为原生孔隙型储层, 仅发育少量溶孔。侏罗系砂岩的平均有效孔隙度的变化范围较大, 为 6. 3% ~ 17. 4%(图 2)。砂岩孔隙度与今埋藏深度并未显示相关性, 如冷湖 3 号地区今深度 1 000 m 左右的砂岩平均有效孔隙度仅 13. 1%, 鱼卡断陷

今深度 1 500~ 1 800 m 的砂岩平均有效孔隙度为 15.4%~ 17.4%。

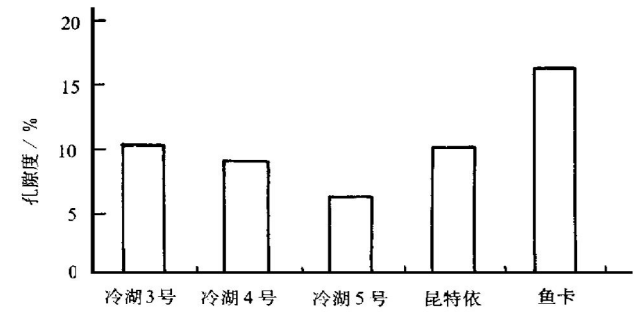


图 2 柴达木盆地北缘砂岩孔隙度变化特征

Fig. 2 Variation of sandstone porosity in the north margin of Qaidam Basin

2 控制因素分析

柴达木盆地北缘地区侏罗系砂岩的成岩胶结作用和溶蚀作用均较弱, 决定了成岩压实作用是孔隙演化和保存的主要控制因素。压实减孔量的计算结果表明, 侏罗系砂岩今埋藏深度下的成岩压实减孔量达 20%~ 32%(图 3)。不同地区的成岩压实

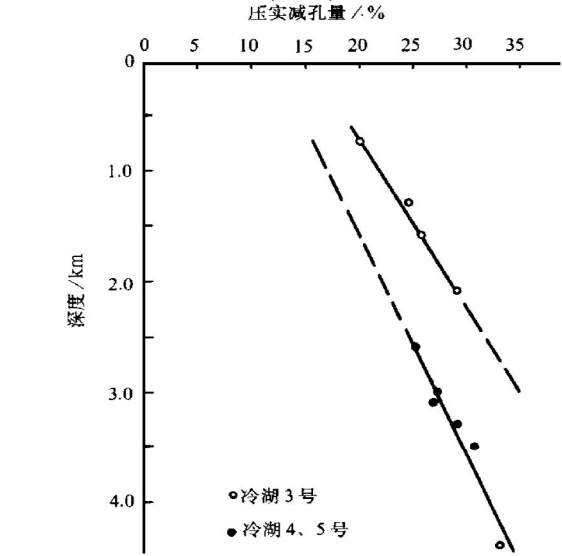


图 3 冷湖地区压实减孔量变化特征

Fig. 3 Variation of porosity reduction caused by compaction in Lenghu Region

减孔量随今埋藏深度的变化率(图 3 中直线的斜率) 近于一致, 表明它们处于相似的成岩作用场中。但相同深度下的成岩压实减孔量却不尽相同。如同今埋藏深度下, 冷湖 3 号地区的压实减孔量比冷湖 4 5 号地区约高 8%, 与岩芯实测有效孔隙度的差异接近, 相同压实减孔量下冷湖 3 号地区与冷湖 4 5 号地区的深度差异达 1 000 m 左右; 同时, 一定深度剖面上的压实减孔量亦具有明显偏高现象,

其偏高量达 13.9%~ 15.3%(即图 3 中深度为零时的压实减孔量)。因为北缘地区的古地温梯度变化范围不大, 一般为每百米 2.8~ 3.0℃; 其次, 该区除了少量富泥质杂基砂岩外, 砂岩的岩石学特征变化不大, 它们在工区范围内对砂岩孔隙演化的影响基本相似; 再次, 该区砂岩的溶蚀增孔量小, 远不足以引起如上所述的压实减孔量差异。因此, 这种差异并不是由盆地的古地温场、砂岩的成分与结构特征及溶蚀作用等因素引起。

研究表明, 造成相同深度下各地区的成岩压实减孔量不同与构造演化史密切相关^[2], 尤其与砂岩在埋藏过程中所经历的最大古埋深和后期剥蚀量有内在联系。为了恢复各个地区的古埋藏史, 从邻近地表地层厚度与钻井地层厚度的对比和盆地模拟反演等方法, 得出不同地区的晚期抬升剥蚀量(表 1)。可以看出, 不同地区的晚期地层剥蚀量变化较大, 从南八仙地区到冷湖三号地区, 地层剥蚀量逐渐增大, 其最大差异达千余米。

表 1 柴达木盆地北缘不同构造带地层剥蚀量统计表

Table 1 The Statistics of strata denudation amount of different structural belts in the north margin of Qaidam Basin						
地 区	冷湖 3 号	冷湖 4 号	冷湖 5 号	冷湖 6 号	冷湖 7 号 - 南八仙	鄂博梁 I 号
剥蚀量/m > 2 300	1 500~ 1 900	1 500~ 1 900	1 064	750	> 2 300	
剥蚀层位	K- Q	N ₁ 上- Q	N ₁ 上- Q	N ₂ - Q	N ₂ - Q	N ₂ - Q

代表性地区的构造埋藏史如图 4 所示。可以看出, 各地区的地层埋藏方式基本相似, 208~ 65 Ma 期间缓慢浅埋, 65~ 12 Ma 期间快速深埋, 12~ 0 Ma 期间抬升剥蚀, 只是不同地区在 65~ 12 Ma 期间的古埋深幅度和 12~ 0 Ma 期间的抬升剥蚀厚度不同而已。冷湖 3 号地区在 65~ 12 Ma 期间的最大埋藏深度平均为 3 100 m, 冷湖 4 号地区 4 500 m, 鱼卡地区为 2 000 m, 冷湖 5 号地区 5 000 m, 冷湖 6 号、冷湖 7 号和鄂博梁等地区在 5 500 m 以上。这种古埋深幅度的大小与今砂岩的孔隙度有良好的一致性, 而与今深度的相关性较差(表 2)。也就是说, 目前砂岩孔隙度的大小代表的是 65~ 12 Ma 期间砂岩达到最大埋藏深度时的孔隙度, 此古埋深越大, 其孔隙度越小; 后期抬升剥蚀期间只有极少量的胶结减孔作用, 而抬升幅度的大小对砂岩粒间孔隙的保存几乎不产生影响; 或者说, 用连续型埋藏成岩作用特点所建立的砂岩孔隙度与深度的关系来预测该区目前埋深下的孔隙度会远大于实际孔

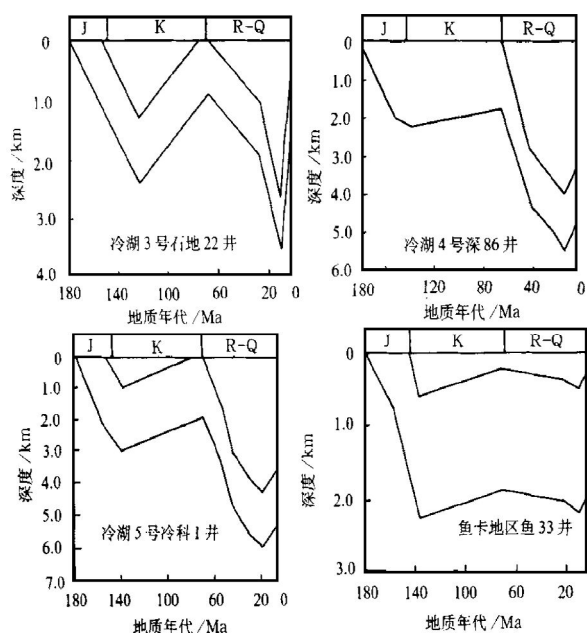


图4 地层埋藏史图

Fig. 4 Strata burial history

表2 古埋深与对应孔隙度的关系

Table 2 Relationship between paleoburial depth and the corresponding porosity

地区	鱼卡	冷湖3号	冷湖4号	冷湖5号
今埋深/m	1 500	850	3 700	4 400
古埋深/m	2 000	3 100	4 500	5 000
实测孔隙度/%	17.4	13.1	12.9	5.3
预测孔隙度/%	18.8	12.5	10.8	4.0

注: 预测公式为 $\Phi = 118.37 \times e^{-2.8188 \times R_0}$; 冷湖5号今孔隙度消除了次生溶孔量1.0%。

隙度值,其误差值可以从图3中两条相关线向上延伸至地表的成岩压实量获知,即冷湖3号地区偏高15.3%,冷湖45号地区偏高12.3%。这种偏高量的大小取决于后期的抬升剥蚀量,抬升剥蚀越大,其偏高量越大。其实,图3中相同成岩压实减孔量下冷湖3号与冷湖45号地区之间的埋深差异即反映后期抬升剥蚀量的差异。

3 小结

柴达木盆地北缘的地质背景比较复杂,受局部构造演化的控制,侏罗系储层的最大古埋藏幅度和后期地层侵蚀量均变化较大。因此在研究储层孔隙度的控制因素及进行储层性质评价预测时应充分考虑成岩压实作用和地层的埋藏史,也就是说,储层性质评价和预测中不能把今深度作为其中的一个指标,而要考虑砂岩经历的最大古埋藏幅度和后期地层剥蚀量。

参 考 文 献

- 1 罗梅,贾疏源. 柴达木盆地及相邻地区地质构造演化[J]. 成都地质学院学报, 1991, 18(4): 56~ 64
- 2 寿建峰,朱国华. 砂岩储层孔隙保存的定量预测研究[J]. 地质科学, 1998, 33(2): 244~ 250

CHARACTERISTICS OF POROSITY DEVELOPMENT OF JURASSIO SANDSTONE IN THE NORTH MARGIN OF QAIDAM BASIN

Liu Yuntian¹ Yang Shaoyong²

(1. Changsha Institute of Geotectonics, Chinese Academy of Sciences, Changsha, Hunan; 2. Qinghai Oilfield Branch of Petro-China, Dunhuang, Ganshu)

Abstract: The Jurassic sandstone in the north margin of Qaidam Basin consists of medium-coarse size sandstone, conglomerate sandstone and fine sand with low content of cement. The reservoir spaces of the sandstone are mainly primary porosity with a small part of secondary porosity. Diagenetic compaction was the controlling factor of porosity evolution and preservation. The porosity reduction of the Jurassic sandstone caused by compaction at present burial depth is 20%~ 32%, and it is related to tectonic evolution history, especially to the maximal paleo-burial depth and the maximum of post-denudation. The present porosity formed during 65~ 12 Ma when the sandstone was in the maximum buried depth. So it is considered that the deeper of the sandstone buried, the smaller the porosity would be.

Key words: burial history; diagenesis; sandstone porosity; Qaidam Basin; Jurassic