

川东石炭系有效储层下限标准的确定

周文 王允诚

(成都理工学院, 四川成都 610059)

张高信 冉宏 蒲家奇

(四川石油管理局川东开发公司, 四川重庆 630021)

将川东石炭系储层划分为中孔中渗(I级)、中孔低渗(II级)、低孔低渗(III级)和超低孔渗(IV级)4级,提出以2%及50%的孔隙度、含水饱和度界线划分储层和非储层,再依据储层级别及其所处气水界面以上位置,通过对比注入浮力与各级别毛细管阻力大小,来判断储层是否为有效储层的方法——浮力-毛细管阻力比较法。通过比较认为,I级、II级、III_A级、III_B级储层只要分别位于气水界面以上5 m、25 m、60 m和100 m,即为有效储层。

关键词 川东 石炭系 白云岩储层 有效储层下限标准 特殊物性 孔隙结构

第一作者简介 周文 男 34岁 讲师 石油地质

1 储层级别划分

根据储层岩性、物性及特殊物性特征,考虑现场的实用性并结合目前国内外流行的储层级别划分原则,将川东石炭系储层划分为4级(图1)。

1.1 中孔中渗储层(I级)

孔隙度在10%以上,渗透率大于 $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,突破压力小于0.5 MPa,有效孔隙体积百分数大于80%,主要为溶蚀孔隙发育的颗粒白云岩和部分粉细晶白云岩。

1.2 中低孔渗储层(II级)

孔隙度6%~10%,渗透率 $1 \times 10^{-3} \sim 0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,突破压力为0.5~1 MPa,有效孔隙体积百分数

50%~80%,主要为溶蚀孔隙较发育的粉细晶白云岩、颗粒白云岩和部分角砾白云岩组成。

1.3 低孔低渗储层(III级)

进一步分成两个亚级:(1) III_A级,孔隙度4%~6%,渗透率 $0.1 \times 10^{-3} \sim 0.05 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,突破压力0.5~5 MPa,有效孔隙体积百分数20%~50%,主要为晶间孔发育的粉晶白云岩和角砾白云岩;(2) III_B级,孔隙度2%~4%,渗透率 $0.05 \times 10^{-3} \sim 0.01 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,突破压力5~10 MPa,有效孔隙体积百分数在10%~20%,主要为晶间孔发育的晶粒白云岩组成。

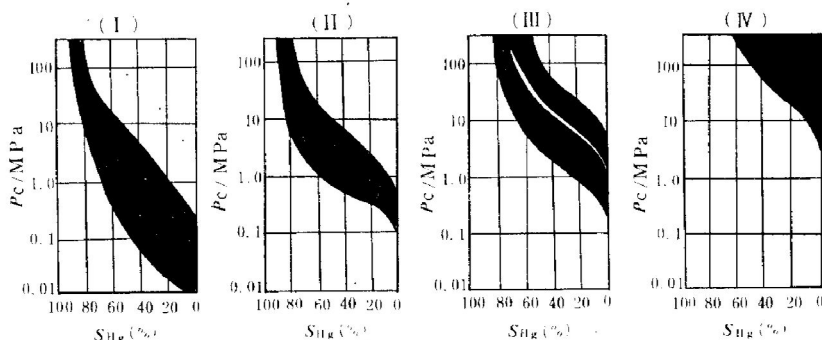


图1 各级储层毛细管曲线特征

1.4 超低孔渗储层(N级)

孔隙度小于2%,渗透率小于 $0.01 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,突破压力大于10 MPa,有效孔隙体积百分数小于10%,主要由晶间孔、晶间微孔为主的致密微晶白云岩、灰岩类等组成。

2 下限标准确定方法

石炭系储层中天然气是由下伏志留系或上覆阳新统的烃源岩生成并运移进入其中的,这一过程为气排水过程。由于孔隙喉道内壁上吸附了一层牢固的束缚水膜,因而气体要进入这些孔隙,则要求孔隙喉道半径大于吸附水膜厚度。所以吸附水膜厚度和天然气分子半径的值对应的孔喉半径,是天然气进入储层孔隙的极限喉道半径下限值。川东石炭系储层孔喉壁吸附水膜厚度在 $500 \times 10^{-10} \text{ m}$ 以内,考虑喉道中的结构粘土等因素,只有当喉道半径达到 $1000 \times 10^{-10} \text{ m}$ (即 $0.1 \mu\text{m}$)时,天然气才能进入储层孔隙,所以下限喉道半径可以考虑为 $0.1 \mu\text{m}$ 。^[1]

根据Hobson公式^[2]可以计算出不同气柱高度下的临界喉道半径($r_{\min}$)值:

$$r_{\min} = 1 / \left[\frac{Zg(\rho_w - \rho_g)g}{2\sigma_{gw}} + \frac{1}{r_p} \right]$$

式中 Z_g 为计算点距气水界面高度(cm); σ_{gw} 为气水界面张力(25 dyn/cm); ρ_w, ρ_g 为地层条件下水、气密度(g/cm^3); r_p 为平均孔隙半径(μm); g 为重力加速度。

计算结果(表1)不同气柱高度,其临界喉道半径不同。川东石炭系气藏的气柱高度一般为100~200 m,对应的临界喉道半径值在 $0.063 \sim 0.032 \mu\text{m}$ 之间,通常放大一倍处理,则其平均临界喉道半径约为 $0.094 \mu\text{m}$ 接近 $0.1 \mu\text{m}$ 。

表1 不同气柱高度下临界喉道半径

气柱高度/m	50	100	150	200	250
临界喉道半径/ μm	0.125	0.063	0.042	0.032	0.025

据石炭系储层孔隙度与喉道宽度关系(图2),当喉道宽度为 $0.1 \mu\text{m}$ 时对应的孔隙度为2%~6%,那么孔隙度多大才是储层与非储层的界线,这就要看具2%~6%孔隙度的岩石其大于 $0.1 \mu\text{m}$ 孔喉占总孔喉体积的比例。当岩石孔隙度大于2%时,束缚水饱和度小于80%,有效孔喉体积百分数大于10%,相渗透率的临界水饱和度小于50%,突破压力小于10 MPa,所以可将2%作为石炭系储层与非储层的孔隙度界线。据石炭系储层的孔隙度与饱和度关系(图3),曲线的拐点在 $\Phi \approx 1.98\%$, $S_{wi} = 48\%$,与2%的孔隙度和50%的临界水饱和度界线相近。

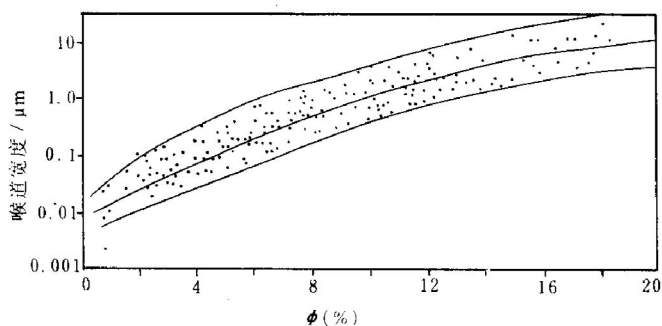


图2 储层孔隙度(Φ)与喉道宽度关系

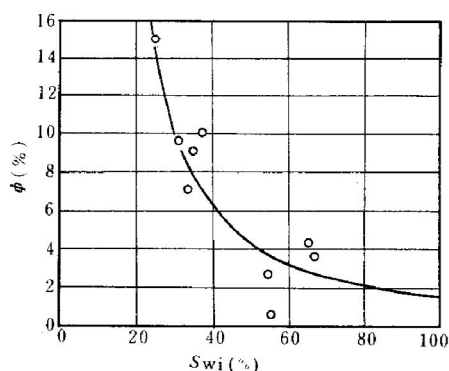


图3 孔隙度(Φ)与束缚水饱和度(S_{wi})关系图

据测试井的含水饱和度统计,气井的储层段含水饱和度一般在40%以下,而水井储层段含水饱和度均在50%以上。部分气井的测试资料反映出(表2),当储层段平均孔隙度小于2%时测试为干层,如池2井、

$$P_{\min} = P_c^{\text{g-w}} \left(\frac{\sigma_{\text{Hg}}}{\sigma_{\text{gw}}} \right) \left(\frac{\cos \theta_{\text{Hg}}}{\cos \theta_{\text{gw}}} \right)$$

式中 $P_c^{\text{g-w}}$ 为气水毛细管压力 (MPa); σ_{Hg} 为汞蒸气表面张力 (410 dyn/cm²); σ_{gw} 为气水界面张力, 取 25 dyn/cm²; θ_{Hg} 为汞蒸气润湿角 (160°); θ_{gw} 为气水润湿角 (0°)。

(7) 根据井剖面中各级储层的 $P_{\min}$ 值和其在气水界面以上高度 (或海拔), 将点投入图版中, 判断为有效储层或无效储层。

由石炭系各级储层的压汞资料确定出各级储层的下限高度: I 级只要位于气水界面以上 5 m 就是有效储层; II 级则只要在气水界面以上 25 m 则是有效储层; III_A 级要在气水界面以上 60 m 才是有效储层; III_B 级则要在气水界面以上 100 m 才是有效储层。

参 考 文 献

- 1 周文. 确定裂缝-孔隙型碳酸盐岩储层有效厚度. 测井技术, 1988, 12(3): 68~73
- 2 罗蛰潭, 王允诚. 油气储集层的孔隙结构. 北京: 科学出版社, 1986, 162~169

DEFINITION OF LOWER LIMIT OF CARBONIFEROUS NET PAY RESERVOIRS IN EAST SICHUAN

Zhou Wen Wang Yuncheng

(Chengdu Institute of Technology, Chengdu, Sichuan)

Zhang Gaoxing Ran Hong Pu Jiaqi

(East Sichuan Gas Development Co., Sichuan Petroleum
Administration, Chongqing, Sichuan)

Abstract

Carboniferous dolomite reservoirs in East Sichuan could be divided into four grade: 1. middle porosity-middle permeability (grade-I); 2. middle porosity-lower permeability (grade-II); 3. lower porosity-lower permeability (grade-III); 4. ultra low porosity-ultra low permeability (grade-IV). Reservoirs and nonreservoirs could be distinguished by 20% of porosity and 50% of water saturation. Based on the reservoir grades and their position above water-gas boundary, the contrast of injected buoyance and different capillary pressures, a new method—buoyance-capillary pressure contrast method is proposed in this paper so as to determine a reservoir to be net pay one or not. The result suggests that the reservoirs of grade-I above water-gas boundary 5 m, of grade-II above the boundary 25 m, of grade-III_A above the boundary 60 m and of grade-III_B above the boundary 100 m are all net pay reservoirs.