

文章编号: 1001-6112(2010)04-0362-04

# 江苏下扬子区中—古生界盖层突破压力特征

刘东鹰

(中国石油化工股份有限公司 江苏油田分公司 地质科学研究院, 江苏 扬州 225009)

**摘要:**江苏下扬子区震旦系—第三系发育多套盖层,包括寒武系下统幕府山组、志留系下统高家边组、白垩系上统浦口组区域性盖层等。泥岩盖层的突破压力主要受泥岩孔隙中微孔隙和小喉道分布的控制;统计表明,盖层的突破压力随埋深的增加先是由小变大,埋深继续增加又由大变小,说明突破压力受成岩演化控制。利用吸附法获得的吸附—脱附等温线来测定微孔结构的研究表明,盖层突破压力的变化与泥岩在不同演化阶段的微孔隙结构有关。在较低的演化阶段,泥岩具有孔隙型毛细孔结构特征,在压实作用下,孔隙度逐渐变小,突破压力不断增加。当到达较高演化阶段时,泥岩脆性增加,在地应力作用和抬升作用下,产生微裂隙,突破压力不断变小,封盖能力逐步降低。

**关键词:**突破压力;成岩作用;泥岩盖层;中—古生界;下扬子区;江苏

**中图分类号:** TE122.2<sup>+</sup>5

**文献标识码:** A

## CHARACTERISTICS OF BREAKTHROUGH PRESSURE OF MESOZOIC—PALEOZOIC COVER IN JIANGSU LOWER YANGTZE AREA

Liu Dongying

(Geological Research Institute of Jiangsu Oilfield Company, SINOPEC, Yangzhou, Jiangsu 225009, China)

**Abstract:** Sets of cap formations have generated from Sinian to Tertiary in the Jiangsu Lower Yangtze area, such as  $\text{C}_1mu$ ,  $\text{S}_1g$  and  $\text{K}_2p$ . Breakthrough pressure of mudstone caprock is mainly controlled by distribution of micropores and small throats. Statistics have shown that as burial depth increases, breakthrough pressure increases at first and then decreases, indicating the controlling effect of diagenesis on breakthrough pressure. Adsorption and desorption isotherms of microporosity have proved that caprock breakthrough pressure changes due to micropores structures of mudstone during different evolution stages. During the lower stage, mudstone is characterized by pore-type structure and breakthrough pressure increases with depth. During the higher stage, mudstone brittle increases and micro-fissures come into being, resulting in decreases of breakthrough pressure and sealing ability.

**Key words:** breakthrough pressure; diagenesis; mudstone caprock; Mesozoic—Paleozoic; Lower Yangtze area; Jiangsu Province

江苏下扬子区震旦系—第三系发育多套泥质岩地层,均可作为中、古生界油气藏的盖层,主要有寒武系下统幕府山组、奥陶系上统五峰组、志留系下统高家边组、石炭系下统高丽山组、金陵组、二叠系下统孤峰组、堰桥组、上统龙潭组、三叠系青龙组、侏罗系西横山组、白垩系上统浦口组以及第三系的泥岩。由于后期改造<sup>[1-4]</sup>,有些地层遭受严重剥蚀,分布局限;有些地层变形强烈,连续性差,只能作为局部直接盖层。而连续性较好、厚度较大、分布广泛的区域性盖层主要有 3 套:寒武系下统幕府山组、志留系下统高家边组、白垩系上统浦口组<sup>[5-8]</sup>。盖层微观评价总的原则是盖层的最低突

破压力必须大于油气藏中流体的驱动力<sup>[9]</sup>。本文以主要区域盖层的突破压力评价为基础,描述各种微观特征与突破压力之间的关系,进而探讨泥岩盖层突破压力变化的形成机理,为下扬子区盖层评价提供依据。

### 1 盖层微观参数与突破压力的关系

通过对江苏下扬子区中—古生界泥质岩盖层样品的孔隙度、孔隙中值半径等参数与突破压力的关系统计(图 1),发现盖层孔隙度的变化对突破压力的影响不大,而中值半径和渗透率的变化却对突破压力产生了较为明显的作用。表明突破压力主

收稿日期:2009-09-11;修订日期:2010-06-03。

作者简介:刘东鹰(1961—),男,高级工程师,主要从事石油地质研究。E-mail:ldy@joeco.com.cn。

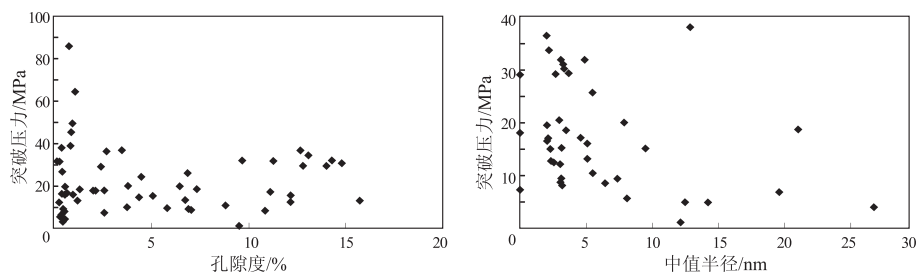


图1 江苏下扬子区中—古生界泥质岩盖层孔隙度、中值半径与突破压力的关系

Fig. 1 Relationship between porosity, permeability and breakthrough pressure of mud cover rocks in Mesozoic—Paleozoic of Jiangsu Lower Yangtze area

要受泥岩孔隙中微孔隙和小喉道分布控制,而与总孔隙分布关系较小。

## 2 盖层突破压力与埋深的关系

进一步统计泥质岩盖层埋深与突破压力的关系(图2),发现在埋深3 100 m左右突破压力存在变化。当埋深小于3 100 m时,突破压力随埋深增加而逐渐变大;当埋深大于3 100 m时,除个别点外,突破压力随埋深增加而逐渐变小,说明突破压力受成岩演化控制。周文等<sup>[10]</sup>对海拉尔盆地泥岩盖层演化特征的研究也发现了盖层封闭性随埋深变化而由差变好、再由好变差的规律。

## 3 盖层突破压力与成岩演化的关系

苏皖下扬子区经历了多次构造运动,盖层埋藏历史非常复杂,简单地用埋深表示其成岩作用显然是不全面的。就区域性盖层而言,白垩系浦口组盖层的埋藏历史相对简单,仅经历了晚燕山—喜山运动,晚白垩世有一次抬升,基本可以看作连续沉积。而志留系高家边组盖层则经历了加里东运动、印支—早燕山运动和晚燕山—喜山运动,其中印支—早燕山运动造成强烈抬升。因此,研究成岩作用对

盖层封闭性的影响就需要恢复其埋藏演化历史,探讨埋藏对盖层封闭性的作用。

镜质体反射率是反映岩石成岩演化阶段的有效指标。由于受样品限制,难以建立起镜质体反射率(成岩演化)与突破压力的关系。通过统计高家边组泥质岩密度与镜质体反射率的关系(图3),发现它们之间存在着良好的线性关系,即可以利用泥岩密度参数探讨岩石成岩作用与盖层封闭性(突破压力)的关系。

从盖层突破压力与密度的关系(图4)可以看出,白垩系浦口组盖层由于成岩程度较低,泥岩尚未脆性化,所以盖层突破压力随着密度增加而加大;志留系高家边组盖层由于早期埋深大,又经历多次构造变动,成岩作用强,泥岩脆性程度高,发育有微裂隙,所以随着密度(成岩作用)增加,突破压力变小。

## 4 盖层突破压力成因机理探讨

通过对吸附法获得的吸附—脱附等温线所测定微孔结构的研究,可进一步分析白垩系浦口组和志留系高家边组盖层的毛细孔形态,探讨突破压力变化的原因。该方法根据微孔隙表面具有吸附和

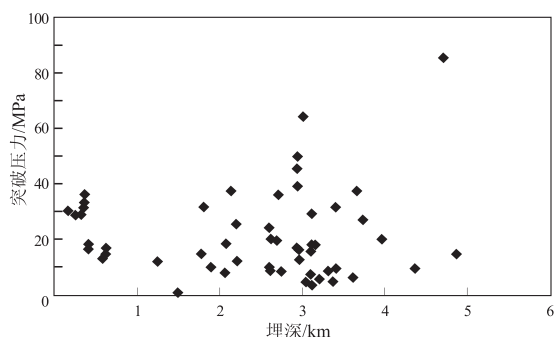


图2 江苏下扬子区中—古生界泥质岩盖层埋深与突破压力的关系

Fig. 2 Relationship between burial depth and breakthrough pressure of mud cover rocks in Mesozoic—Paleozoic of Jiangsu Lower Yangtze area

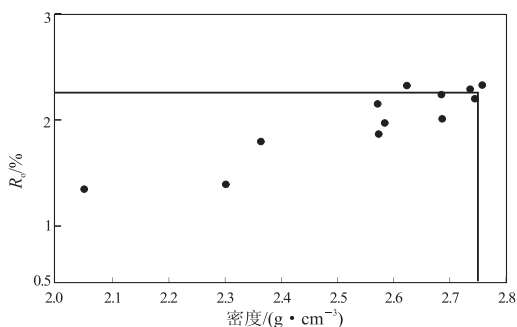


图3 江苏下扬子区中—古生界泥质岩盖层镜质体反射率与密度的关系

Fig. 3 Relationship between vitrinite reflectance and density of mud cover rocks in Mesozoic—Paleozoic of Jiangsu Lower Yangtze area

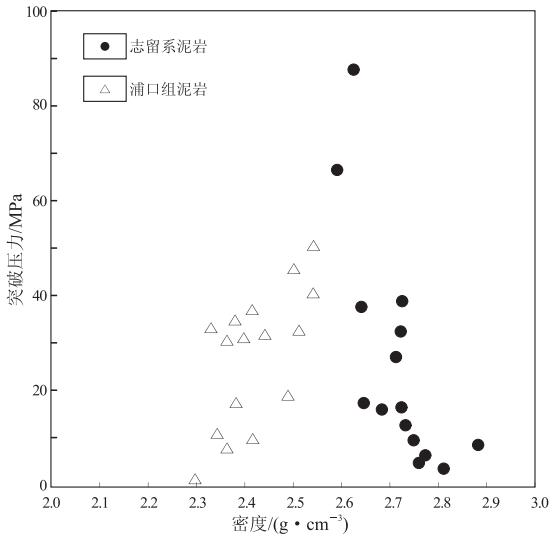


图 4 江苏下扬子区中—古生界泥质岩盖层突破压力与密度的关系

Fig. 4 Relationship between breakthrough pressure and density of mud cover rocks in Mesozoic—Paleozoic of Jiangsu Lower Yangtze area

凝聚的原理,测定微孔的吸附、脱附等温线,利用其形态及对吸附量的研究,来判断微孔隙的形态并对孔隙和裂缝加以区别<sup>[11]</sup>。依照吸附—脱附等温线的形态,将吸附回线分为 5 类:A 类是两端开口的圆柱形管状毛细孔;B 类是具有平行壁的狭缝状毛细孔;C 类是单锥或双锥形管状毛细孔;D 类是四

面开放的尖劈状毛细孔,具这种毛细孔的材料主要由片状或膜状物堆积而成;E 类是具有细颈和体腔宽阔的管状(串珠状)或墨水瓶状的毛细孔。

白垩系泰州组、浦口组泥质岩盖层样品采自苏南句容地区和苏北盆地井下。采自苏南的样品深度 168~364 m,泥岩手标本较疏松;苏北的样品分布在 1 813~2 261 m,岩石致密。样品平均密度为 2.43 g/cm<sup>3</sup> (2.29~2.64 g/cm<sup>3</sup>,共 17 个样品),平均孔隙度为 11.35% (3.39%~15.69%,共 17 个样品)。吸附回线(图 5)在 2~3 nm 之间出现吸附量突然下降,然后吸附、脱附 2 条等温线近于或完全重合。比较接近于 E 类。说明它们应具有一端开口有喉道的墨水瓶状或两端开口而体腔宽阔的管状毛细孔形态。随着孔隙半径的增大,回线更接近 A 类,表明毛细孔的管状变小,喉道扩大,还可能相互沟通。

志留系高家边组泥质岩盖层样品采自苏北盆地许古 1 井 3 047~3 594 井段,岩石致密坚硬,肉眼可见较多裂缝,多被硅石或方解石充填。样品平均密度为 2.79 g/cm<sup>3</sup> (2.64~2.88 g/cm<sup>3</sup>,共 7 个样品),平均孔隙度为 0.47% (0.37%~0.59%,共 7 个样品)。吸附回线出现 2 种现象(图 6),一种是中—微孔段吸附量比较平缓地减少,大致与吸附等温线平行(3 593.54 m);另一种吸附回线在 2~3 nm 之

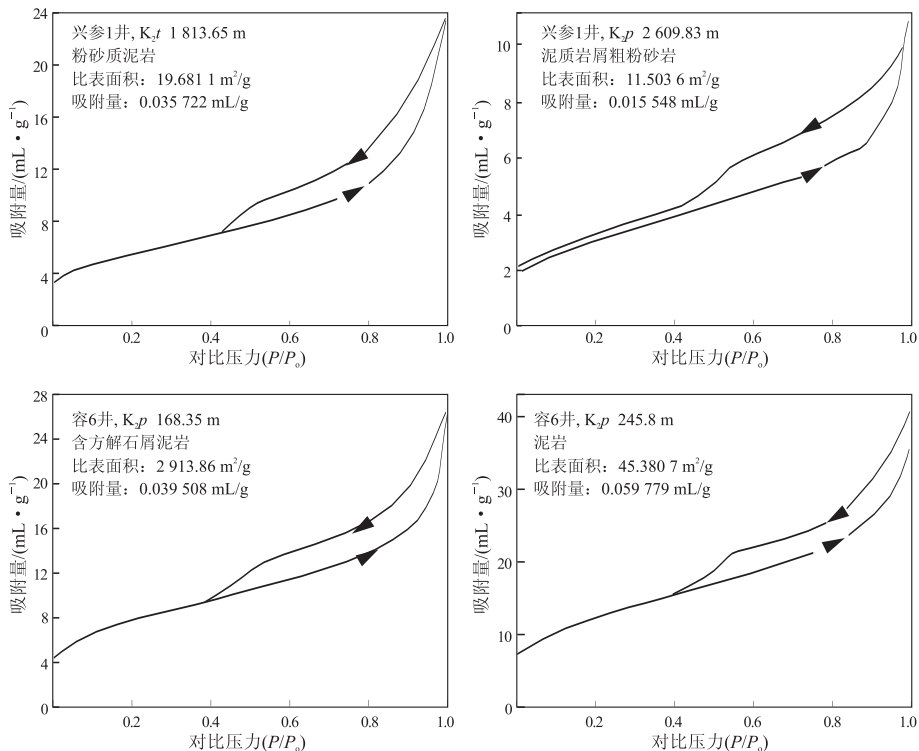


图 5 江苏下扬子区白垩系浦口组泥岩吸附—脱附等温线

Fig. 5 Mud rock adsorption—desorption isotherms of Pukou Formation of Cretaceous in Jiangsu Lower Yangtze area

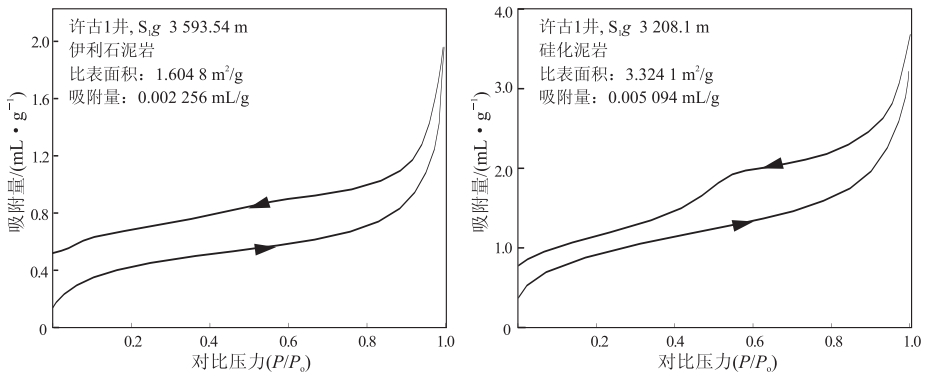


图6 江苏下扬子区志留系高家边组泥岩吸附—脱附等温线

Fig. 6 Mud rock adsorption—desorption isotherms of Gaojiabian Formation of Silurian in Jiangsu Lower Yangtze area

间吸附量从高到低突然下降形成陡坡(3 208.1 m)。但是,两者吸附回线均不与吸附线重合,只是后者在2 nm孔隙半径以下相差较小。前者接近于D类,后者接近于B类,说明前者具有四面开口的尖劈形毛细孔,后者则具有平行壁的狭缝状毛细孔。另外,志留系盖层的吸附量和比表面积(7个样品统计平均为2.56 m<sup>2</sup>/g)均较小,比白垩系小一个数量级(17个样品统计比表面积平均为20.56 m<sup>2</sup>/g),表明大孔隙不存在,而微孔隙也很少或基本消失,所谓“中孔”和“大孔”部分可能是发育的微裂隙。

从以上分析可以认为,白垩系泥质岩具有孔隙型毛细孔结构特征,而志留系泥岩应以裂缝型毛细孔结构为主。表明随着地层埋深的加大,成岩作用加强,泥岩压实作用增强,封盖能力不断提高;而随着成岩演化的进一步深入,到达一定量时,泥岩脆性增加,在地应力作用和抬升作用下产生微裂隙,封盖能力逐步降低。

## 5 结论

下扬子区突破压力主要受泥岩孔隙中微孔隙和小喉道分布控制,而与总孔隙分布关系较小。随着盖层演化程度的加大,突破压力先是由小变大;当达到较高的演化阶段时,突破压力又由大变小。盖层突破压力的变化与泥岩在不同演化阶段所具有的微孔隙结构有关。在较低的演化阶段,泥岩具有孔隙型

毛细孔结构特征,在压实作用下,孔隙度逐渐变小,突破压力不断增加;当到达较高演化阶段时,泥岩脆性增加,在地应力作用和抬升作用下产生微裂隙,突破压力不断变小,封盖能力逐步降低。

## 参考文献:

- [1] 丁道桂,王东燕,刘运黎. 下扬子地区古生代盆地的改造变形[J]. 地学前缘,2009,16(4):61-73.
- [2] 范小林,方成名. 苏北盆地深层古生界结构与海相油气勘探[J]. 石油实验地质,2008,30(5):435-438.
- [3] 余晓宇,徐宏节,何治亮,等. 江苏下扬子区中、古生界构造特征及其演化[J]. 石油与天然气地质,2004,25(2):226-236.
- [4] 刘士林,肖焕钦. 中国东部盆地喜山运动Ⅱ幕研究现状及问题[J]. 石油实验地质,2008,30(2):121-126.
- [5] 林小云,刘建. 中、下扬子区构造演化与海相地层成藏主控因素分析[J]. 石油天然气学报(江汉石油学院学报),2006,28(6):23-26.
- [6] 叶舟,梁兴,马力,等. 下扬子独立地块海相残留盆地油气勘探方向探讨[J]. 地质科学,2006,43(3):523-544.
- [7] 秦顺亭. 江苏下扬子区中—古生界的成藏条件及勘探思路[J]. 海相油气地质,1998,3(1):6-10.
- [8] 郭念发,尤效忠,刘德法. 下扬子区古生界油气地质条件及勘探选区[J]. 石油勘探与开发,1998,25(1):4-7.
- [9] 付广,张建英,赵荣. 泥质岩盖层微观封闭能力的综合评价方法及其应用[J]. 海上油气地质,1997,2(1):36-41.
- [10] 周文,刘文碧,程光瑛. 海拉尔盆地泥岩盖层演化过程及封盖机理探讨[J]. 成都理工学院学报,1994,21(1):63-70.
- [11] 朱盘良,张文达,陈伟钧,等. 天然气盖层微孔隙形态的研究方法及其地质意义[J]. 石油实验地质,1994,16(2):172-179.

(编辑 韩 或)