

# 天然气盖层质量的影响因素 及盖层形成时间的探讨

——以济阳拗陷为例

李 学 田

(胜利石油管理局地质科学研究院, 东营 257000)

张 义 纲

(地矿部石油地质中心实验室, 无锡 214154)

本文利用盖层及储层的实验分析资料,对济阳拗陷天然气盖层质量的影响因素及盖层的形成时间作了初步探讨。泥岩矿物组成等资料分析表明,盖层质量优劣受沉积环境、泥岩压实及成岩作用强弱的影响;储层排替压力和盖层突破压力的实验资料分析表明,当合适的淤泥沉积成层时,它已成为盖层。

关键词 天然气 盖层 储层 济阳拗陷

作者简介 李学田 男 45岁 工程师 石油地质

天然气盖层是位于储集层上方的能够阻止天然气向上逸散的岩层,常见的盖层有泥岩、页岩、蒸发岩及致密灰岩等,组成济阳拗陷的天然气盖层主要是第三系泥岩。

盖层封闭性能的好坏是天然气能否形成气藏并得以保存的重要条件之一,而盖层所以能有效地封闭天然气藏,阻止其渗漏,其主要条件是:构成封闭面的岩石组合所含具有的最低突破压力  $p_A$  应大于气藏中气层的剩余压力  $\Delta p_i$ , 即  $p_A > \Delta p_i$  时,可以作为该气藏的盖层,  $p_A \leq \Delta p_i$  时,天然气将突破盖层而散失。因此,盖层的突破压力  $p_A$ , 则是评价盖层质量优劣的最重要指标。

本文以济阳拗陷为例,讨论盖层质量的影响因素,并利用  $p_A$  与  $\Delta p_i$  的关系,对盖层的形成时间作初步探讨。

## 一、济阳拗陷天然气盖层的矿物组成及分带

济阳拗陷第三系天然气盖层主要为泥岩,而组成泥岩的矿物主要是粘土矿物,其中又以

蒙皂石、蒙皂石与伊利石混层矿物为主,伊利石次之,高岭石、绿泥石含量很少;非粘土矿物以石英、长石为主,含少量方解石、白云石、黄铁矿、菱铁矿、石膏等(表1)。

表1 泥岩的矿物组成及分带

深度(m)	样品 (块)	M		I		B		K		Ch		Q		F		N	分带
		区 间 值	平 均 值														
<1600	11	40~56	46	4~32	15			2~22	8.5	1~15	3	13~29	17	2~14	4	少	蒙皂石带
1600~2700	30	13~42	25	28~61	47	32~65	41	2~14	7.5	0~14	2.7	7~20	11	1~19	4	少	蒙伊混层带
>2700	37	9~25	18	47~68	58	15~35	28	0~17	5.9	0~4	1	5~19	12	1~5	3	少	伊利石带

注:M蒙皂石,I伊利石,B蒙皂石占混层矿物百分比,K高岭石,Ch绿泥石,Q石英,F长石,N其他矿物,单位百分比(%)

表1统计资料还表明:从浅至深,蒙皂石含量减少,伊利石含量增加,石英含量减少,高岭石、绿泥石及其他矿物含量变化不大。

埋深1600m以上,为蒙皂石矿物带,蒙皂石含量在46%以上,伊利石含量仅15%左右,少见蒙伊混层矿物;

1600~2700m为蒙伊混层矿物带,蒙皂石含量13~42%,平均值为25%,伊利石含量逐渐增加,平均为47%左右,蒙皂石在蒙伊混层矿物中占41%左右;

2700~4000m为伊利石矿物带,蒙皂石含量急剧减小,平均仅为18%,而伊利石含量急剧增加,平均达58%,蒙皂石在蒙伊混层矿物中仅占28%,最小含量在15%以下。

石英在1600m以上含量较高,为13~29%,平均值为17%。1600m以下含量变化不大,一般在10%左右。

泥岩矿物组成的变化是受沉积环境及随埋深增加压实-成岩作用加强而控制的。这种变化规律,对泥岩盖层质量有着规律性影响。

## 二、盖层质量与沉积环境的关系

济阳拗陷第三系的泥岩主要是河流-泛滥平原相和湖相沉积,而湖相环境,根据其相带位置又可分为滨浅湖动水湖相和半深-深湖静水湖相。不同相带泥岩中含砂量是不同的,而含砂量的多少,又直接影响着泥岩盖层质量的优劣。图1A是根据盖层泥岩中石英长石百分含量与该泥岩样品的突破压力 $p_A$ 值绘制的相关图。它表明,河流-泛滥平原相及滨浅湖动水湖相泥岩的石英长石含量在18%以上,而其突破压力值 $p_A$ 小于2.5MPa;半深-深湖静水湖相泥岩的石英长石含量小于18%,其突破压力 $p_A$ 值则大于3MPa。

这是因为泥岩中砂质含量增加,使泥岩的孔隙中值半径 $p_m$ 增大,因而造成突破压力 $p_A$ 值减小。

从图1B中可以清楚地看出,河流-泛滥平原相及滨浅湖动水湖相泥岩的石英长石含量在18%以上,其对应的泥岩中值半径 $R_m$ 为14nm以上,而半深-深湖静水湖相泥岩的石英长石含量小于18%,其对应的中值半径 $R_m$ 值在7nm以下。

综上所述,由于沉积相带的变化,决定了泥岩中石英长石含量的多少,因而使泥岩的中值半径  $R_m$  发生相应的变化,突破压力  $p_A$  值随之变化,影响了盖层质量的优劣。

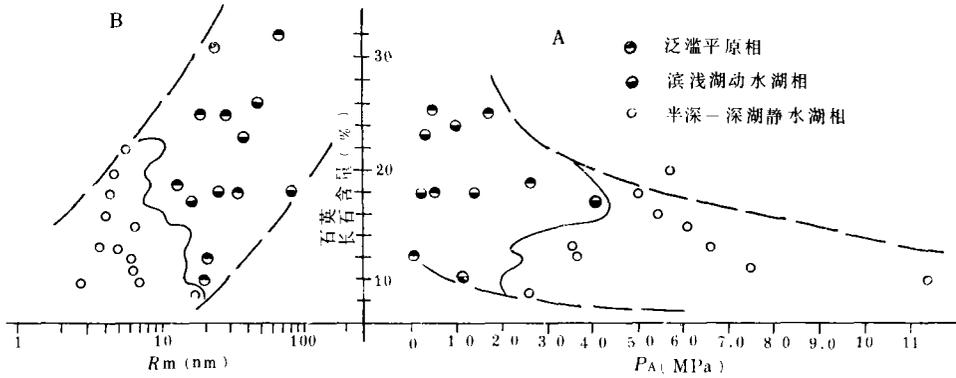


图 1 突破压力与沉积环境和关系图

### 三、盖层质量与压实作用的关系

泥岩压实作用主要表现在泥岩粒间孔隙度和密度的变化。

图 2C,D 是利用实测的泥岩粒间孔隙度  $\varphi$  与泥岩密度  $D$  绘制的埋深关系图。从图可以看出:随着埋深的增加,泥岩粒间孔隙度及密度呈规律性的变化。

从 600~1700m 左右,随埋深增加,粒间孔隙度从 25% 逐渐降至 19%,密度从 2.03g/cm<sup>3</sup> 逐渐增大至 2.18g/cm<sup>3</sup>。

从 1700~2700m 左右,随埋深增加,粒间孔隙度从 19% 急剧降至 5%,密度从 2.18g/cm<sup>3</sup> 急剧增至 2.45g/cm<sup>3</sup>;

从 2700~4000m,随埋深增加,粒间孔隙度从 5% 缓慢降至 0.4%,密度从 2.45g/cm<sup>3</sup> 缓慢增至 2.49g/cm<sup>3</sup>。这里需要说明,2700m 以下,粒间孔隙度的点,有少数偏大现象,经查证,是由于异常高压带内欠压实作用所造成。

上述资料证实:泥岩粒间孔隙度呈反 S 型三个阶段的规律性变化,泥岩密度则呈 S 型的三段变化。

600~1700m 左右,表现为泥岩孔隙度急剧降低,密度逐渐增大,这一阶段称之为稳定压实阶段。

1700~2700m 左右,表现为泥岩孔隙度急剧变低,密度急剧增大,这一阶段为突变压实阶段。

2700~4000m,表现为泥岩孔隙度缓慢降低,泥岩密度缓慢增大,这个阶段为紧密压实阶段。

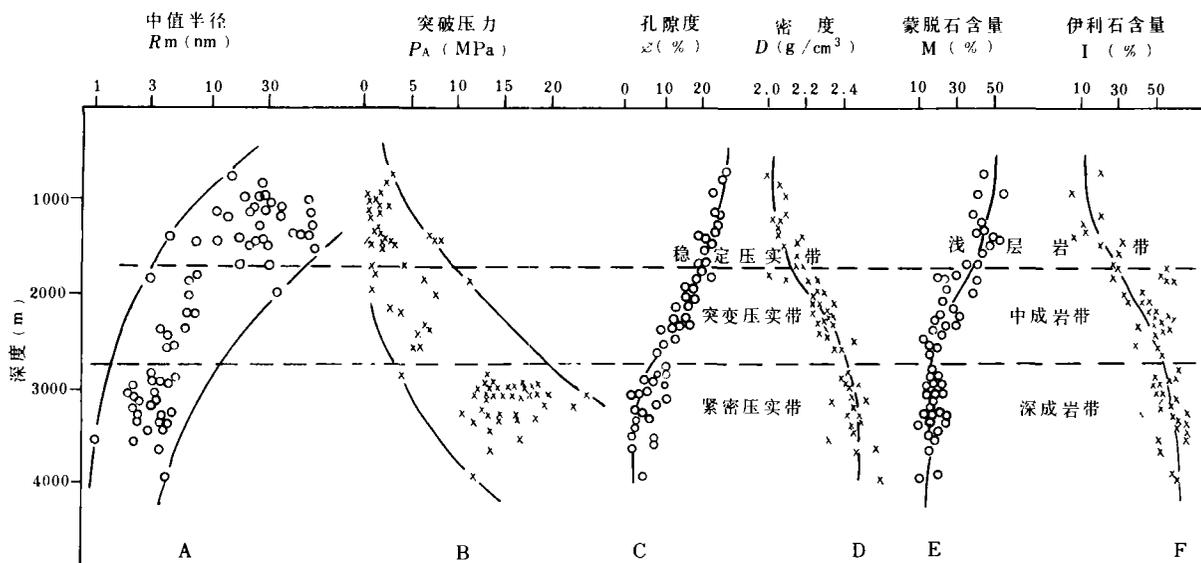


图2 盖层参数与埋深关系图

泥岩压实的三个阶段变化,对盖层的质量也起着相应的影响。从图 2A,B 中可以看到:在泥岩稳定压实阶段,突破压力  $p_A$  值基本上小于 2.5MPa,中值半径  $R_m$  值大于 10nm;在泥岩突变压实阶段,突破压力值从 2.5MPa 上升至 10MPa,中值半径  $R_m$  值从 10nm 降至 3nm 左右;在紧密压实阶段,突破压力  $p_A$  值则大于 10MPa,中值半径  $R_m$  值在 3nm 至 1nm 之间。

可见随着压实作用的加强,泥岩孔隙度由大变小,密度由小变大,中值半径由大变小,突破压力值由小变大,盖层质量逐变好。

但是,在不同的泥岩压实阶段,压实作用对盖层质量的影响也是有差异的。

图 3 是突破压力  $p_A$  与泥岩孔隙度  $\varphi$  及密度  $D$  的关系图。当  $D < 2.15\text{g/cm}^3, \varphi > 14\%$  时,相当于泥岩稳定压实阶段,  $p_A$  值在 0~2.5MPa 之间变化,点子集中,  $p_A$  值的变化斜率较大;当  $2.15 < D < 2.4\text{g/cm}^3, 14 > \varphi > 8\%$  时,相当于泥岩突变压实阶段,  $p_A$  值在 2.5~10MPa 之间变化,虽然  $p_A$  值随压实作用加强而增大,但其变化斜率逐渐变小;当  $D > 2.4\text{g/cm}^3, \varphi < 8\%$  时,相当于泥岩紧密压实阶段,  $p_A$  值则大于 10MPa,随压实作用加强,  $p_A$  值变化斜率更缓。

因此,笔者认为,压实作用对泥岩盖层质量的影响,主要表现在稳定压实阶段,其次是突变压实阶段,在紧密压实阶段,压实作用对盖层质量影响不大,甚至出现在欠压实地层中,密度变小,孔隙度增大的“逆转”现象。

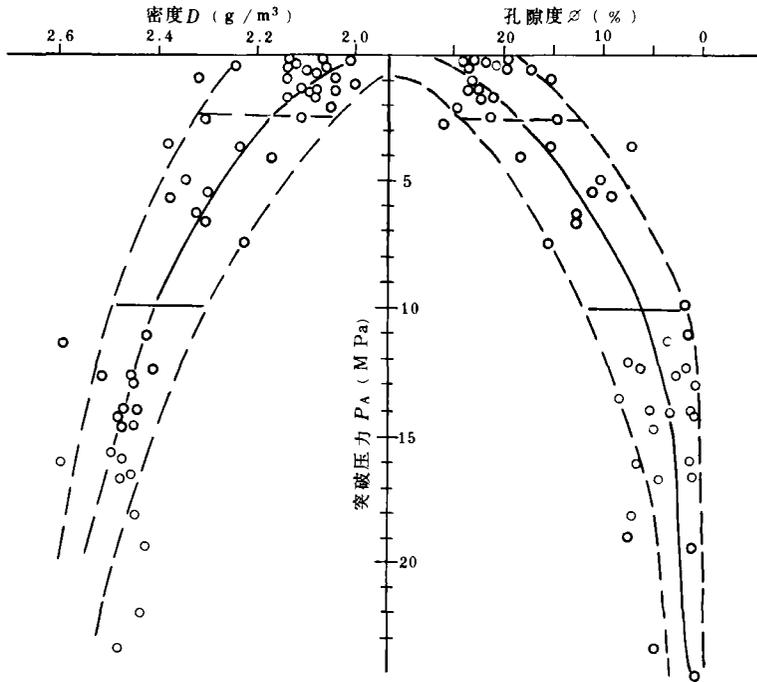


图 3 突破压力与压实作用的关系图

### 四、盖层质量与成岩作用的关系

前已述及,泥岩粘土矿物可根据其成分、含量分成三个带,即蒙皂石矿物带、蒙伊混层矿物带、伊利石矿物带。盖层质量的优劣,与粘土矿物成分变化有关,而粘土矿物成分的变化,又受成岩作用的控制。

图 2E 和 F 显示了蒙皂石(M)和伊利石(I)的含量随埋深增加而相应减增的变化规律。

从 600~1700m 左右,蒙皂石含量从 50% 逐渐降至 36%,伊利石含量从 10% 逐渐增至 30%,矿物成分呈逐渐变化趋势,以蒙皂石含量为主,这一阶段为浅成岩带;

1700~2700m 左右,蒙皂石含量从 36% 急剧降至 13%,伊利石含量急剧增至 60%,矿物成分呈急剧变化趋势,以蒙伊混层矿物为主,这一阶段为中成岩带;

2700~4000m,蒙皂石含量从 13% 缓慢降至 9%,伊利石含量从 60% 缓慢增至 68%,矿物成分以伊利石为主,呈缓慢变化趋势,这一阶段为深成岩带。

三个成岩作用带中泥岩盖层质量有着明显的差异。

从图 2A、B 可以看出:在泥岩浅成岩带,突破压力  $p_A$  值小于 2.5MPa。中值半径  $R_m$  值则在大于 10nm;在中成岩带,突破压力  $p_A$  值在 2.5~10MPa 之间,中值半径  $R_m$  值在 10~3nm 之间;在深成岩带,突破压力  $p_A$  值大于 10MPa,中值半径  $R_m$  在 3~1nm 之间。

因此,随着成岩作用的加强,蒙皂石含量减小,伊利石含量增加,中值半径值减小,突破压力值增大,盖层质量变好。

但是,在不同的成岩阶段,泥岩的成岩作用对盖层质量的影响也是不同的。

图4是突破压力 $p_A$ 与伊蒙指数 $I/M$ 的关系图,伊蒙指数的大小反映了成岩作用的强弱。

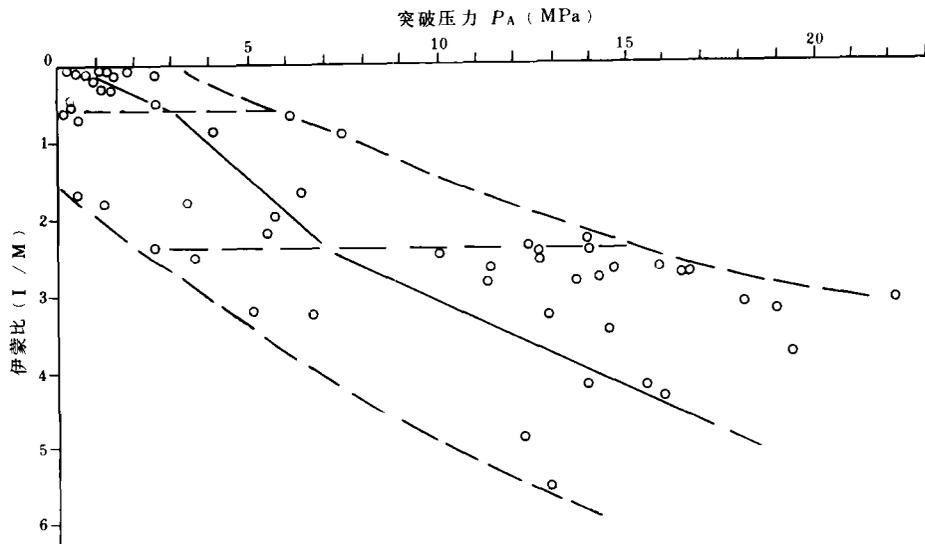


图4 突破压力与成岩作用的关系图

图中 $I/M < 0.6$ ,相当于浅成岩带, $p_A < 2.5$ MPa,在这一区间中,虽然点子集中,但变化斜率呈逐渐变化趋势;当 $0.6 < I/M < 2.4$ 时,相当于中成岩带,此时 $2.5 < p_A < 10$ MPa,此区间的变化斜率呈急剧增大趋势;当 $I/M > 2.4$ 时,相当于深成岩带,此时 $p_A > 10$ MPa,点子呈离散状,此区间的变化斜率变缓,并且在 $I/M$ 达到5.5, $p_A$ 达到13MPa以后,虽然 $p_A$ 继续增大,但其斜率更缓,并且 $I/M$ 出现“回返”现象。

因此,笔者认为:成岩作用对泥岩盖层质量的影响主要表现在中成岩带,其次是深成岩带,在浅成岩带,成岩作用对盖层质量影响不大。在深成岩带,出现 $I/M$ “回返”现象,其原因可能是在深成岩带中,蒙皂石含量少且变化不大,而伊利石含量由于绿泥石开始出现而波动,造成 $I/M$ 回返。对于深成岩带,因为存在欠压实现象,其封盖因素是多方面的,如压力封闭等,这些问题,尚待进一步研究。

## 五、盖层形成时间的探讨

盖层所以能够有效地对油气层起封闭作用,主要是盖层的突破压力 $p_A$ 要大于储层的剩余压力 $\Delta p_i$ 。

储层排替压力的大小,则表示天然气克服储层毛细管力及流体阻力的最小压力 $p_B$ 。

因此,盖层的突破压力 $p_A$ 与储层的排替压力之差接近或等于零,即 $p_A \cong p_B$ ,则是有效盖层形成的最小极限值。若 $p_A < p_B$ ,则组成盖层的岩层没有形成最低的封闭能力。因此,盖层的有效性是一个相对的概念。

根据上述原则,对比同一时代(或深度)的盖层突破压力与储层排替压力值的大小,就可以得出盖层形成时间的结论。

图5是根据济阳拗陷盖层突破压力  $p_A$  与储层排替压力  $p_B$  数据绘制的关系图。从图中可以看出:济阳拗陷上下第三系储层的排替压力值都小于相应层位(深度)的盖层突破压力值。从表2中180余块储层排替压力  $p_B$  和近100块盖层突破压力  $p_A$  值分析数据统计结果证明:无论是一般值,还是算术平均值,无论是河流-泛滥平原相砂、泥岩,还是三角洲-湖相砂、泥岩、其盖层的突破压力  $p_A$  值都高出相应储层排替压力  $p_B$  值1~2个全数量级以上。从图中还可以看出,直至600m井深,储层的排替压力  $p_B$  和盖层突破压力  $p_A$  仍无相交的迹象,反而显示出平行延伸至地面的趋势。

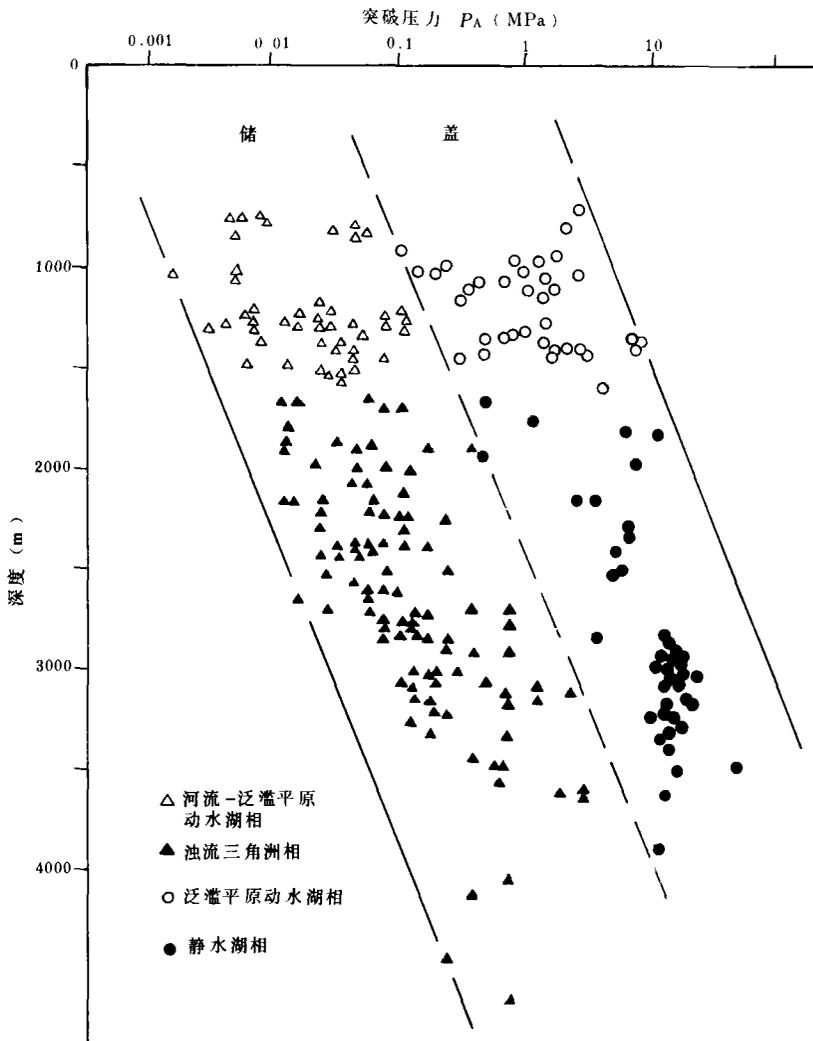


图5 盖层突破压力与储层排替压力关系图

表2 储层排替压力与盖层突破压力综合对比表

层位	深度(m)	$P_B$				$P_A$			
		沉积环境	样品(块)	一般值	平均值	沉积环境	样品(块)	一般值	平均值
中第三系	<1500	河流相	56	0.005~0.08	0.0289	泛滥平原-滨浅湖相	29	0.2~3.0	1.2512
下第三系	1500~2700	河流-三角洲相	71	0.01~0.4	0.1039	浅湖-半深湖相	18	0.5~8.0	3.8856
	>2700	三角洲-浊积相	54	0.1~3.0	0.4395	半深湖-深湖相	50	3.6~50.0	14.7580

注:  $P_B$  储层排替压力,  $P_A$  盖层突破压力, 单位 MPa

这项资料说明, 盖层的形成时代(深度), 可能是从组成盖层的淤泥沉积后, 即对其下的储集层起到了封闭作用。从济阳拗陷孤岛浅层气田 192m 发现气层的事实, 以及国内很多浅层气田(如柴达木涩北气田)的发现, 都证实了这一点。

## 六、结 论

济阳拗陷第三系天然气藏的盖层主要是由蒙皂石及伊利石组成的河流-泛滥平原相、湖相泥岩, 淤泥一经沉积成层, 即成为盖层。

盖层质量优劣受沉积环境影响, 静水湖相泥岩与流河-泛滥平原相及动水湖相泥岩, 由于含砂量不同, 其盖层质量出现差异。

盖层质量优劣受压实作用、成岩作用影响。随着压实及成岩作用的加强, 泥岩粘土矿物从以蒙皂石为主, 转为以蒙伊混层矿物为主, 继而转为以伊利石为主。泥岩孔隙度呈反 S 型由大变小, 泥岩密度呈 S 型由小变大, 盖层质量也随之逐渐变好。

在稳定压实-浅成岩带, 主要是压实作用影响盖层质量优劣, 成岩作用影响甚微; 在突变压实-中成岩带, 主要是成岩作用影响盖层质量优劣, 压实作用影响次之; 在紧密压实-深成岩带, 成岩作用继续影响着盖层质量的优劣, 压实作用的影响基本消失。

(收稿日期: 1990年5月17日)

## 参 考 文 献

1. 包茨主编. 天然气地质学, 科学出版社, 1988, 270~274
2. F. J. 朗斯塔夫[加]编, 邢顺淦等译. 粘土矿物和资源地质学, 1985, 17~45
3. 李明诚编著. 石油与天然气运移, 1987
4. 真柄钦次著. 压实与流体运移, 1981

## DISCUSSION ON THE INFLUENTIAL FACTORS OVER THE QUALITY OF NATURAL-GAS CAPROCKS AND THE TIME OF THE CAPROCK FORMATION

Li Xuetian

*(Research Institute of Geoscience, Shengli Bureau of Petroleum Administration)*

Zhang Yigang

*(Central Lab. of Petroleum Geology, MGMR)*

### Abstract

Based on the experimental analysis of caprocks and reservoir rocks of natural gas, the authors of this paper study the influential factors over the quality of natural-gas caprocks and the time of their formation in the Jiyang Depression. The analysis data of the mineral compositions of argillites reveal that the quality of natural-gas caprocks is dominated by sedimentary environment, compaction and diagenesis levels of argillites. Furthermore, the experimental analysis on the expulsion pressure and the breaking pressure of the reservoir rocks suggest that the caprocks could be taken as capping beds as the sufficient sludges deposit and become stratified sequences.