

粘土矿物在油气初次运移中作用的探讨

赵杏媛

(石油工业部石油勘探开发科学研究院)

提要 本文在大量实际分析资料基础上,总结出我国含油气盆地中蒙脱石的转化类型,并讨论了它们在油气初次运移中的作用。在蒙脱石向伊利石连续转化型的盆地中,矿物转化对初次运移有明显作用;在蒙脱石向伊利石不连续转化或少量转化类型盆地中,由于矿物转化与生油期不相匹配或可转化的蒙脱石含量太少,对初次运移的作用不明显;在蒙脱石无转化和缺少蒙脱石的盆地中,基本不存在蒙脱石的转化过程,因而对初次运移不起作用。

主题词 粘土矿物 初次运移 蒙脱石转化 伊利石 绿泥石

作者简介 赵杏媛 女 52岁 高级工程师 粘土矿物

本文在20个含油气盆地、8000余块样品分析基础上,对粘土矿物在油气初次运移中的作用进行了初步研究,发现不同沉积盆地中粘土矿物转化类型不同,从而决定了它们对初次运移的作用也有明显差别。

一、粘土矿物转化

1 转化中有关矿物

沉积岩中最常见的是蒙脱石向伊利石转化,其次是蒙脱石向绿泥石转化。为了说明粘土矿物的转化问题,首先简述转化中涉及到的三种矿物:

(1) 蒙皂石属于2:1层型层状硅酸盐,它包括三八面体皂石和二八面体蒙脱石、贝得石。沉积岩中以二八面体蒙皂石(蒙脱石和贝得石)为主。蒙脱石结构式 $Al_{4-x}M_x(Si_8)O_{20}(OH)_4$,其中M为交换性阳离子(Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 、 H^+),X为电荷数(0.2—0.6)。单位构造高度 $d_0=15.4A$ 。

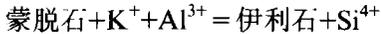
(2) 伊利石为2:1层型层状硅酸盐,Grim在鉴定美国伊利诺斯州煤层下的粘土时,把(001)衍射峰为10A的云母类粘土矿物统称为伊利石。伊利石一般为二八面体,其简化的结构式为 $K(Al \cdot Fe \cdot Mg)_5(Al \cdot Si)_8O_{20}(OH)_4$,钾是伊利石层间主要平衡阳离子。单位构造高度 $d_0=10A$ 。

(3) 绿泥石属2:1层型(过去曾用2:1:1层型)层状硅酸盐。包括三八面体绿泥石(富Mg、富Fe和Fe—Mg绿泥石)、二八面体绿泥石(富Al、富Li绿泥石)和三八—二八面体绿泥石。沉积岩中虽然也存在二八或三八—二八面体绿泥石,但最常见的是三八面体Fe—Mg绿泥石。一般结构式为 $(Mg \cdot Fe \cdot Al)_6(Al \cdot Si)_4O_{10}(OH)_8$,它最大的特点是层间存在铁、镁氢氧化物层(水镁石层)。单位构造高度=14.3A。

2. 蒙脱石向伊利石转化

蒙脱石→伊利石/蒙脱石混层→伊利石是沉积岩蒙脱石最普遍的转化形式。是脱水、加

钾、加铝、去硅的过程, Hower 等 (1976) 把这一反应简化为:



蒙脱石向伊利石转化的条件包括两方面:

一方面 是随埋深、温度、压力增加, 引起蒙脱石脱水; 另一方面是水介质盐度、酸碱度、离子浓度和比例。水介质富含钾时, 温度、压力较低情况下, 蒙脱石就可以转化为伊利石。钠的存在有助于 K^+ 的固定。在富钾的沉积盆地, 可能只有伊利石, 而不出现蒙脱石。水介质缺少钾时, 可延缓蒙脱石向伊利转化进程。

3. 蒙脱石向绿泥石转化

蒙脱石和绿泥石的主要区别是: 前者层间包含水和交换性阳离子, 后者层间包含铁、镁氢氧化物层, 因此, 蒙脱石向绿泥石转化是脱水、加铁、镁的过程。在含有一定浓度的铁、镁离子的介质条件下, 随埋深增加, 可出现蒙脱石→绿泥石/蒙脱石混层→绿泥石的转化序列。在铁、镁离子非常丰富的介质条件下, 可能根本不出现蒙脱石或绿泥石/蒙脱石混层, 而只存在绿泥石。

二、蒙脱石转化类型

粘土矿物分布规律的研究结果表明, 我国含油气盆地蒙脱石转化有以下几种类型:

1. 蒙脱石向伊利石连续转化型

随埋深增加, 蒙脱石含量减少, 伊利石含量增加; 伊利石/蒙脱石混层中蒙脱石层减

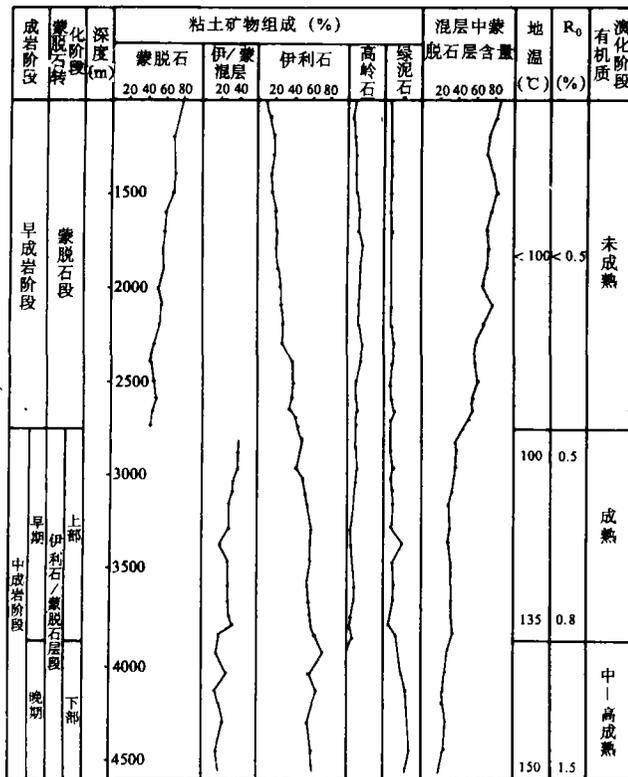


图1 渤海湾盆地某井第三系蒙脱石向伊利石连续转化剖面图

Fig. 1 Section of smectite-illite continous transformation of Tertiary in one well, Bohaiwan Basin

少, 伊利石层增加。蒙脱石向伊利石转化是连续的 (图 1)。蒙脱石向伊利石转化可划分为蒙脱石、伊利石 / 蒙脱石混层和伊利石三个转化阶段。蒙脱石转化阶段与有机质热演化阶段有确定的相关性。蒙脱石段: 相当于早期成岩阶段, 有机质尚未成熟; 伊利石 / 蒙脱石混层段; 相当于中成岩阶段, 有机质处于成熟—高成熟阶段, 为大量生油期; 伊利石段: 相当于晚成岩阶段, 有机质已经过成熟。由于从伊利石 / 蒙脱石混层段到伊利石段延续时间长, 伊利石段出现的温度较高, 图 1 所表示的井尚未钻遇伊利石段。

具这种蒙脱石转化类型的典型代表为渤海湾含油气盆地第三系, 与美国墨西哥湾沿岸第三系粘土矿物转化情况可以很好地对比。

2. 蒙脱石向伊利石不连续转化型

随埋深增加, 存在蒙脱石向伊利石转化的趋势, 但这种转化是不连续的。在埋藏较浅的地层中, 含蒙脱石的样品和不含蒙脱石的样品不规则地相间出现。反映在伊利石 / 蒙脱石混层中蒙脱石层所占比例随埋深忽高忽低变化。粘土矿物纵向分布与有机质热演化阶段不存在较好的对应关系。例如东濮凹陷第三系沙河街组生油门限为 2550m, 而蒙脱石仅在 2200m 以上少数样品存在 (图 2)。

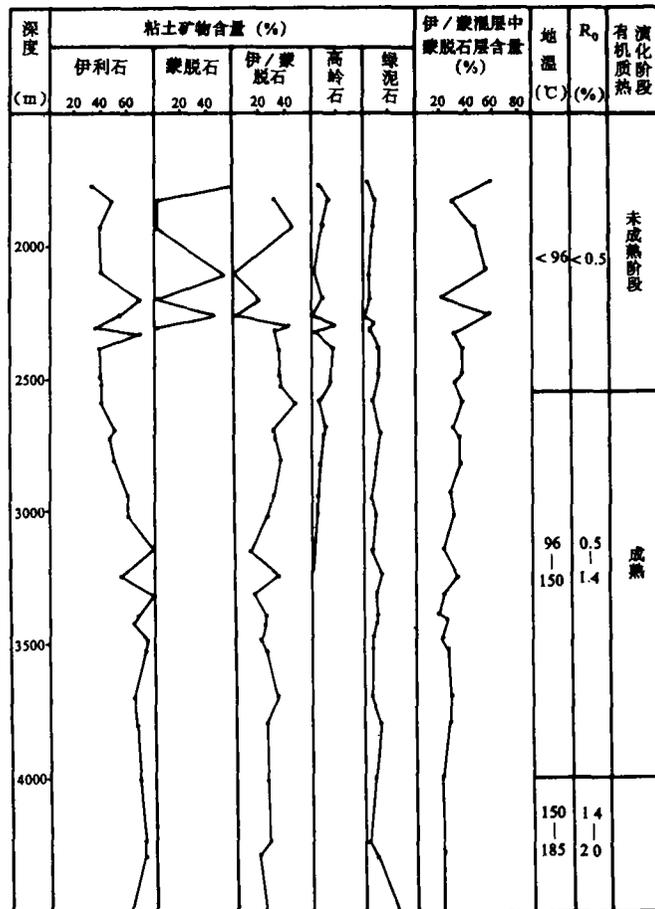


图 2 东濮凹陷沙河街组蒙脱石向伊利石不连续转化剖面图

Fig. 2 Sectio of smectite- illite noncontinous transformation of Shahejie group,

3. 蒙脱石向绿泥石转化型

随埋深增加, 蒙脱石转化为绿泥石/蒙脱石混层, 进而转化为绿泥石。表现在绿泥石/蒙脱石混层比上, 蒙脱石层所占比例逐渐减少。这一转化过程比较连续, 但混层出现深度(1800m)大大浅于生油门限深度(3300m)。全井从上到下均以伊利石为主, 蒙脱石及其混层含量比较低(图3)。

4. 少量蒙脱石向伊利石转化型

随埋深、温度、镜质体反射率增加, 存在蒙脱石向伊利石转化的趋势。但混层出现的部位 R_o 较高, 且混层中蒙脱石层减少速率缓慢, 并出现伊利石与蒙脱石规则混层。 R_o 从低到高 ($R_o = 5\%$) 均存在高岭石, 多数情况下高岭石含量较高或很高。而蒙脱石及其混层含量低。例如华北石炭—二叠系等煤系沉积盆地多存在这种情况。

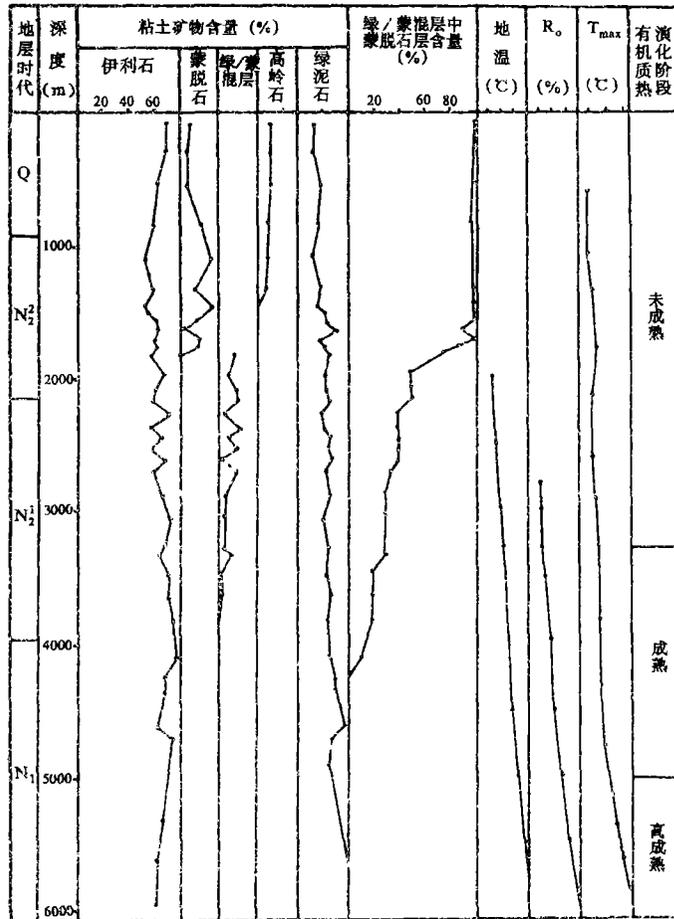


图3 茫崖坳陷某井第三系蒙脱石向绿泥石转化剖面图

Fig. 3 Section of smectite—chlorite transformation in one well, Mangya Depression

5 蒙脱石无转化型

在有机质已转化到成熟, 高成熟甚至过成熟阶段, 仍存在大量蒙脱石, 尚未转化为伊利石/蒙脱石混层, 例如准噶尔盆地西北缘某井, 上覆地层2300m处 $R_o = 0.8\%$ (未分析粘土矿物), 2785—3031m井段已存在伊利石/蒙脱石混层, 但进入二叠系地层后, 井段3166—3965m, $R_o = 0.90—1.85\%$, 又出现大量蒙脱石, 不少样品中蒙脱石含量几乎达100% (图

4)。准噶尔盆地西北缘石炭——二叠系火山碎屑岩沉积区广泛存在这种现象, 其它地区如渤海湾盆地苏桥地区、酒泉盆地花海地区等均见到类似情况。

6 缺蒙脱石型

粘土矿物只有伊利石和绿泥石。例如江汉盆地下第三系潜江组, 根据有机地化指标确定有机质热演化从未成熟、低成熟、成熟、高成熟到过成熟等五个阶段, 而粘土矿物均以伊利

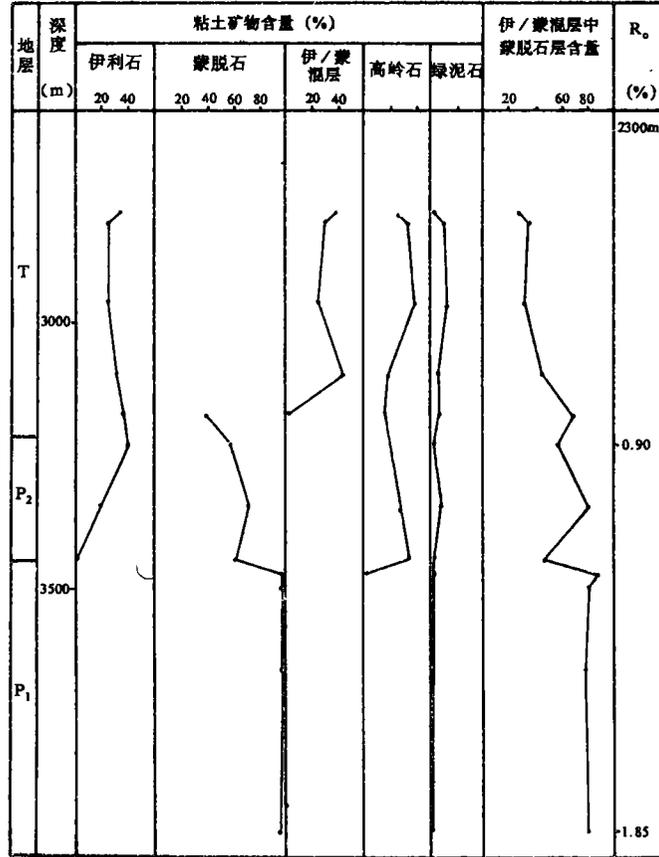


图 4 准噶尔盆地西北缘某井粘土矿物纵向分布图

Fig. 4 Vertical distribution map of clay minerals of Permian-Triassic in one well, northwest Zhungeer Basin

石为主, 含少量绿泥石, 偶见少量蒙脱石及其混层。这种矿物组合多存在于富钾的含盐盆地。另外, 以绿泥石为主, 含少量伊利石的剖面多存在于古水介质铁、镁离子极丰富的沉积盆地。

三、粘土矿物在初次运移中的作用

1. 粘土矿物转化脱水在油气初次运移中主要有三种作用:

(1) 提供油气初次运移通道。蒙脱石向伊利石转化, 表现在矿物单位构造高度减少, 由蒙脱石的 15.4A 减至混层 15—10A 及伊利石的 10A, 蒙脱石结构收缩使泥岩产生微裂缝, 从而导致泥岩孔隙度, 渗透率增加, 为初次运移创造了条件。

(2) 提供油气初次运移载体。和粘土矿物相联系的有三种水：吸附在粘土颗粒表面的吸附水；位于矿物层间域的层间水；包含在矿物晶格结构内的结构水（OH）。吸附水在地层成岩作用早期大部分被排出，这时油气尚未大量生成。（OH）结构水一般在 500℃ 以上随矿物晶格破坏脱出，这时油气初次运移早已结束。而层间水排出时期正是油气大量生成时期，对油气初次运移才有较大的意义。蒙脱石脱水可以提供页岩总体积 10—15% 的水量，特别是脱层间水段在生油门限深度以下，可以提供生油岩成熟后的深部水源，而且释放的层间水几乎不含盐类，溶烃效率高，有助于油气以水溶状态进行初次运移。

(3) 提供油气初次运移的动力。蒙脱石脱水与异常高压有密切关系。Powers (1967) 指出层间水的密度比自由水的密度要大，当它解吸以后水就要膨胀从而引起流体异常高压中。显然 Powers 强调了蒙脱石脱水在形成异常高压中的作用。也有学者持反对意见，对此问题目前仍在争论中。笔者认为形成异常高压的原因比较复杂，在一些地区异常高压形成与蒙脱石脱水有密切关系，而在另一些地区二者可能没有关系。

2. 蒙脱石转化脱水对油气初次运移的作用并非存在于所有沉积盆地中，而且它们作用大小也是因地制宜。根据蒙脱石转化类型基本可以归纳为以下三种情况：

(1) 只有在蒙脱石向伊利石连续转化型的含油气盆地中，蒙脱石转化脱水对油气初次运移才起明显作用。因为在这种盆地中，蒙脱石向伊利石转化脱水阶段刚好与油气生成阶段相匹配，一方面有机质转化为油气，同时和有机质共存的粘土矿物向伊利石 / 蒙脱石混层、伊利石转变，转变过程中所产生的泥岩微裂缝为油气初次运移提供了通道，所脱的层间水为初次运移提供载体，所产生的异常高压为初次运移提供了动力。

(2) 蒙脱石向伊利石不连续转化型，少量蒙脱石向伊利石或向绿泥石转化等类型含油气盆地，或者由于其与生油阶段不相匹配或者由于可转化的蒙脱石矿物含量太少，蒙脱石转化脱水对油气初次运移的作用不明显。

(3) 蒙脱石无转化型、缺蒙脱石型含油气盆地，基本不存在蒙脱石转化脱水作用，所以粘土矿物对油气初次运移不起作用。

综上所述，应用粘土矿物进行初次运移研究时，首先要了解粘土矿物分布特征及蒙脱石转化类型，在此基础上才能研究粘土矿物在初次运移中的作用。做到具体情况具体分析，有些地区或层系粘土矿物在初次运移中起重要作用，而另外一些地区或层系油气初次运移则和粘土矿物关系不大或没有关系。

陈洪起、林西生、郑乃莹、刘建宪等参加分析或提供资料，在此一并表示感谢。

收稿日期：1987年10月23日

参 考 文 献

- (1) 李明诚编著 (1987), 石油与天然气运移, 石油工业出版社。
- (2) 须藤俊男著, 1981, 粘土矿物学, 地质出版社。
- (3) John Hower and *et al* 1976, Mechanism of burial metamorphism of argillaceous sediment: 1. Mineralogical and chemical evidence. Geological society of America Bulletin, V.87, p.725-737

DISCUSSION ON THE EFFECT OF CLAY MINERALS IN PRIMARY MIGRATION OF PETROLEUM

Zhao Xingyuan

(Scientific Research Institute of Petroleum and Development, Beijing, China)

Abstract

On the basis of analyzing clay minerals of more than 8, 000 shale samples collected from 20 oil-bearing basins, we summarize six transformation types of smectite in Chinese oil-bearing basins: I. Continual conversion type from smectite to illite; II. Noncontinous conversion type from smectite to illite; III. Conversion type from smectite to chlorite; IV. Conversion type from minor smectite to illite; V. Nonconversion type of smectite and VI. Smectite-absent type.

We discuss different effects of these types on the primary migration of petroleum in this paper. First of all in the basin of continual conversion type, the mineral transformation does obvious effect to the primary migration. For in this kind of basin, the dehydration stage in the conversion from smectite to illite corresponds to the stage of the primary migration of petroleum. When organism transform into petroleum, the mineral smectite coexisted with organism transforms into interstratified illite / smectite—and further illite. The shale microfractures emerged in the process of transformation provides channel for the primary migration of petroleum. The dehydrated water in this process contributes as a carrier and the unusual high pressure produces power to the primary migration. Whereas, the second, in the basins of noncontinous conversion or non-conversion type, the effect is not obvious, since mineral transformation does not match with the stage of petroleum generation or there is not enough transformative smectite. And the third, if there isn't smectite's transformation or smectite itself in the basins, the transformation and dehydration of smectite seldom occur. Consequently, there is no effect of clay minerals on the primary migration.