

文章编号: 1000-0747(2002)04-0001-03

# 中国含油气盆地砂泥岩黏土矿物的组合类型

王行信, 韩守华

(中国石油勘探开发研究院杭州分院)

**摘要:**通过对国内 15 个含油气盆地 10 余万块砂、泥岩样品黏土 X 射线衍射分析资料和地质特征的分析, 将我国含油气盆地的黏土矿物组合划分为两大类共 12 种, 分别代表不同的沉积和成岩环境。常见黏土矿物组合类型中, 组合 1~5 分别代表早成岩 A、B 及晚成岩 A、B、C 等 5 种不同的成岩环境, 组合 6 常见于高渗透储集层或煤系地层, 组合 7 多见于生油凹陷中的低渗透储集层; 特殊黏土矿物组合类型中, 组合 8 反映膨润土夹层, 组合 9 反映造山带深部地层不断剥蚀的快速堆积环境, 组合 10 反映基性火山岩物源, 组合 11 反映快速剥蚀堆积或富钾的沉积环境, 组合 12 反映干旱富镁的沉积环境。图 2 参 3(王行信摘)

**关键词:**黏土矿物; 组合类型; 沉积-成岩环境

中图分类号: P579; TE121.3 文献标识码: A

## 1 黏土矿物组合类型的划分原则

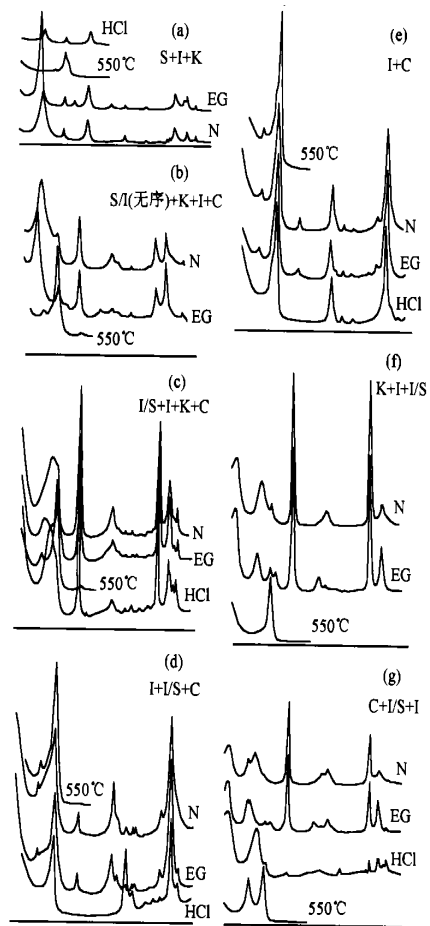
砂泥岩黏土矿物组合反映砂泥岩黏土矿物组成特征, 是在沉积和成岩过程中形成的, 综合反映地层在沉积和成岩过程中各种地质作用的结果, 是进行砂泥岩沉积与成岩史研究的重要线索。但如果单纯按各种黏土矿物相对含量的变化来划分, 一个含油气盆地就可能有几十甚至几百种黏土矿物组合, 显然不利于研究黏土矿物分布规律。

笔者根据国内 15 个含油气盆地 10 余万块样品的黏土矿物 X 射线衍射分析结果<sup>1,2</sup> 和对各含油气盆地黏土矿物组合特征的研究<sup>3</sup>, 将黏土矿物组合划分为与一定地质环境相联系的两大类, 前一类为常见黏土矿物组合(含 7 种组合), 后一类为特殊黏土矿物组合(含 5 种组合)。划分主要根据以下两个原则: ①标志黏土矿物。其含量不论多少, 均反映一定成岩环境, 如蒙皂石-伊利石的无序混层(S/I)代表早成岩阶段 B 亚期, 有序混层(I/S)代表晚成岩阶段。②黏土矿物组成特征的相似性, 即同一组合类型的主要黏土矿物组成和含量变化相似, 而次要组分, 特别是微量黏土组分可以有较大差异。不同地质作用、环境有时可形成相似或相同的黏土矿物组合, 如氧化环境下的成岩作用、富钾的介质条件、干旱的沉积环境和快速剥蚀堆积的构造环境, 都可以导致陆源化学风化不充分, 使泥岩以富含伊利石为特征。因此, 在用黏土矿物组合特征研究砂泥岩演化史时, 一定要结合具体地质条件分析。

## 2 常见黏土矿物组合

以下 7 种黏土矿物组合是在国内含油气盆地中最常见的类型(见图 1), 代表了不同成岩阶段烃源岩和储

集岩的黏土矿物组成特征。



N—自然片, EG—乙二醇片, HCl—盐酸, 550℃—加热片(550℃, 2h); (a)渤海湾 洼 38-34-27 井 1363.5m, 砂岩; (b)南堡 高参 1 井, 2372m, 泥岩; (c)南襄 双 407 井, 1500.5m, 含砾中砂岩; (d)江汉, 陵 40 井, 1144.23m; (e)江汉, 新 7 井, 1407.5m; (f)塔里木, 塔中 10 井, 4238m, 灰色细砂岩; (g)塔里木, 羊屋 1 井, 5238m, 浅灰色细砂岩

图 1 常见黏土矿物组合 X 射线衍射图谱

### 2.1 组合 1: S+I+K+(C)

由蒙皂石(S)、伊利石(I)、高岭石(K)和绿泥石(C)组成,最重要特征是含蒙皂石而不含间层黏土矿物,标志着浅层砂泥岩的蒙皂石尚未向伊利石(或绿泥石)转化,大致与早成岩阶段 A 亚期相当。蒙皂石相对含量一般大于 50%,不同地区和层位变化较大,渤海湾盆地济阳坳陷蒙皂石相对含量常大于 85%,另一些盆地和地层中可以小于 10%;伊利石、高岭石和绿泥石的相对含量随沉积环境的变化而变化,泥岩中伊利石含量比相邻砂岩高,而砂岩中高岭石、绿泥石相对较多,有时缺失绿泥石。组合 1 在全国绝大多数含油气盆地的浅层砂泥岩中普遍可见,是盆地边缘浅层砂泥岩的主要黏土矿物组合类型。

X 射线衍射图特征<sup>[1]</sup>为:自然风干定向片上可见 1.25~1.55nm(S)、1.42nm(C)、1.0nm(I)、0.72nm(K)的(001)特征衍射峰;在乙二醇饱和的 EG 片上,蒙皂石的衍射峰迁至 1.7nm,峰形对称且具完整的反射系列,其它矿物衍射峰位置不变;550℃下经 2h 处理后,蒙皂石的 1.7nm 衍射峰收缩至 1.0nm,1.0nm(I)和 1.42nm(C)衍射峰加强,1.7nm(S)和 0.72nm(K)衍射峰消失(见图 1a)。

### 2.2 组合 2: S/I+I+K+C

主要由蒙皂石-伊利石无序混层(S/I)和伊利石组成,含少量高岭石和绿泥石,最大特征是含 S/I,标志蒙皂石已开始向伊利石转化,是早成岩阶段 B 亚期砂泥岩地层中典型的黏土矿物组合类型。组合 2 一般位于组合 1 之下,而且伊利石含量较组合 1 增加。组合 2 在全国绝大多数含油气盆地上部地层的砂泥岩中普遍存在,但不同地区和层位各种矿物的相对比例可以变化很大,有些地区缺绿泥石(如苏北盆地),有些地区缺高岭石(如柴达木盆地、塔里木盆地)。

组合 2 与组合 1 的 X 射线衍射特征区别在于:自然风干定向片中 S/I 的衍射峰较蒙皂石减小、变宽且不对称<sup>[2]</sup>;EG 片上衍射峰仍为 1.7nm,但强度减弱至消失,峰形不对称,不存在整数倍反射系列(见图 1b)。

### 2.3 组合 3: I/S+I+K+C(或 S/C)

由 I/S、伊利石、高岭石、绿泥石(或 S/C,即蒙皂石-绿泥石无序混层)组成,最重要标志是含 I/S,I/S 和伊利石含量之和一般大于 70%,高岭石、绿泥石(或 S/C)的含量一般小于 15%,是晚成岩阶段 A 亚期砂泥岩(尤其是泥岩)典型的黏土矿物组合,一般与有机质低成熟-成熟阶段相对应,不同地区和层位黏土矿物可以变化较大,有的地区同时含 I/S 和 S/C(如松辽盆地、准噶尔盆地)。普遍见于各含油气盆地的主要含油层系中,

在同一构造-沉积旋回内,一般随埋藏深度增加,I/S 减少,伊利石增加,两者呈明显的互为消长关系。

X 射线衍射图的最大特征是:在自然风干定向片上,I/S 的衍射峰比 S/I 进一步减小,特别是 EG 片无 1.7nm 衍射峰,其衍射峰一般在 1.4nm 左右;I/S 中蒙皂石层的比例一般小于 45%,这也是与 S/I 的最大区别(见图 1c)。

### 2.4 组合 4: I+I/S+C

由伊利石(含量一般大于 50%)、I/S、绿泥石组成,是晚成岩阶段 B 亚期(或有机质高成熟阶段)泥岩的典型黏土矿物组合,高岭石已转化为伊利石或绿泥石,I/S 中蒙皂石层的比例也进一步减少。不含高岭石,I/S 中蒙皂石层的比例小于 30%,是组合 4 与组合 3 的最大区别。

组合 4 与组合 3 的 X 射线衍射图最大区别是:自然风干定向片的 I/S 衍射峰在 1.05~1.28nm,EG 片上该衍射峰在 1.1~1.3nm(见图 1d),并且在所有 X 射线衍射图上均不见高岭石的衍射峰。

### 2.5 组合 5: I+C

由伊利石和绿泥石组成,伊利石含量(泥岩一般大于 70%,砂岩一般大于 50%)大于绿泥石,是晚成岩阶段 C 亚期(即有机质过成熟阶段)泥岩的典型黏土矿物组合,也见于晚成岩阶段低渗透砂岩中(见图 1e)。

### 2.6 组合 6: K+I+I/S(或 S/I)+C

以富含高岭石为特征,高岭石含量一般为 30%~60%(最高可达 80%以上),还可见少量的 I/S(或 S/I)、伊利石、绿泥石。组合 6 是各含油气盆地砂岩黏土胶结物中最常见的黏土矿物组合,广泛见于松辽盆地、准噶尔盆地、渤海湾盆地,不同地区和层位矿物的组成和含量可以明显不同,有些地区缺 I/S(如吐哈盆地),有些地区缺绿泥石(如塔里木盆地)。在鄂尔多斯盆地东部斜坡的侏罗系延安组、天环向斜和晋西挠褶带的二叠系、石炭系以及准噶尔盆地西北缘的侏罗系和三叠系克拉玛依组、二连盆地的侏罗系中,泥岩亦可见到此黏土矿物组合,高岭石含量一般大于 30%(见图 1f)。

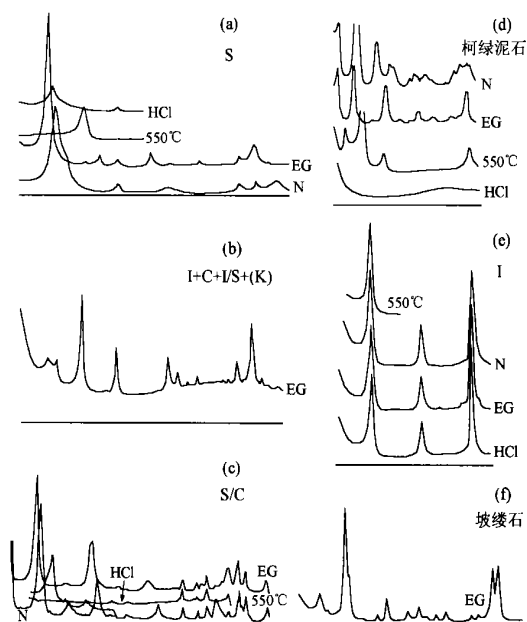
### 2.7 组合 7: C+I/S+I

以富含绿泥石为特征,与其共生的有伊利石和 I/S,一般出现在深层的砂岩胶结物中,特别是在生油凹陷内或临近生油凹陷的低渗透砂岩储集层中。如苏北盆地高邮凹陷 Ef<sub>1</sub>、Ef<sub>2</sub> 的砂岩胶结物中,它的形成往往与碱性的水介质有关。另外也见于塔里木盆地志留系浅灰色砂岩中,还可见于柴达木盆地、二连盆地和渤海湾盆地冀中坳陷(见图 1g)。

## 3 特殊黏土矿物组合

特殊黏土矿物组合(见图 2)在某些特殊的地质环

境或地质事件作用下形成,因此分布往往局限于某些地区的局部环境和层位。



(a)辽河,高70井,1350.5m,泥岩;(b)塔里木,羊塔1井,4950~4952m,泥岩;(c)准噶尔,彩7井,1642m,砂岩;(d)松辽,金6井,柯绿泥石;(e)江汉,广29井,2755m,砂岩;(f)塔里木,轮南3井,3579m,紫红色含砾细砂岩  
图2 特殊的黏土矿物组合X射线衍射图谱

### 3.1 组合8: S(或S/I)

由蒙皂石(或S/I)组成(相对含量为80%~100%),有时含少量高岭石或伊利石,是膨润土层典型的黏土矿物组合特征,常以薄夹层形式出现,由火山灰或凝灰物质水解形成。组合8与组合1、2的产状和地质意义有明显差异,反映沉积过程中盆地外围火山活动的影响。松辽盆地、准噶尔盆地、渤海湾盆地和鄂尔多斯盆地及南方中生代小盆地中均有分布(见图2a)。

### 3.2 组合9: I+C+S/I+(K)

主要由伊利石和绿泥石组成,含少量S/I,偶见微量高岭石,见于塔里木盆地边缘第三系泥岩和台湾的上第三系泥岩中,柴达木盆地边缘的新生界可能也存在。组合9与组合5的区别是:除通常含微量S/I外,更主要的是伊利石具明显的近变质矿物学特征,结晶度小于0.4( $\Delta 2\theta$ ),并且随着埋深减小,由下向上结晶度变好,反映沉积过程中盆缘造山带不断上升使深部近变质岩系被快速剥蚀、堆积,未经风化作用改造(或改造作用很弱),所以仍保持变质—近变质带伊利石的原始矿物学特征,主要反映物源区母岩的原始黏土矿

物组成面貌(见图2b)。

### 3.3 组合10: S/C<sup>[3]</sup>

以富含S/C为特征,有时几乎由S/C规则间层(柯绿泥石)组成,有时微含伊利石(见图2c、d),只作为砂岩的胶结物,形成于富铁镁的沉积环境(如塔里木盆地塔北白垩系砂岩)。富铁镁环境也可以出现在成岩过程中,如松辽盆地金6井青山口组沉积于正常的湖相环境,含柯绿泥石的基性火山角砾岩被周围厚层泥岩封闭,在埋藏过程中,富铁镁矿物的分解导致孔隙介质中铁镁组分富集,形成柯绿泥石。

### 3.4 组合11: I

几乎完全由伊利石组成,有时含少量绿泥石(少于10%),出现的环境一是沉积时期陆源区上升,被剥蚀的陆源火山岩碎屑未经强烈化学风化作用就快速堆积,如宁波盆地宁参1井朝川组的泥岩;二是膏盐沉积环境,富钾的水介质条件下形成的砂泥岩中,尤其是砂岩胶结物中(见图2e),如江汉盆地潜江凹陷的广华油田、渤海湾盆地东濮凹陷的文东地区。

### 3.5 组合12: P+S/I(或S)+I+C

由坡缕石、S/I(或蒙皂石)、伊利石和绿泥石组成,最大特征是含坡缕石,在干旱气候和富镁的水介质条件下形成(见图2f),仅见于塔里木盆地第三系和白垩系。

本文部分X射线衍射图谱分别引自黄毅(1995)、从良滋和常学军(1996)、孙尚如(1995)、龙玉梅(1995、1996)、赵杏媛(1995)、薛士凯(1995)有关资料,谨此一并致谢。

#### 参考文献:

- [1] 赵杏媛,张有瑜.黏土矿物与黏土矿物分析[M].北京:海洋出版社,1990.
- [2] 赵杏媛,等.中国含油气盆地黏土矿物[M].武汉:中国地质大学出版社,1995.
- [3] 王行信,等.松辽盆地黏土矿物研究[M].哈尔滨:黑龙江科学技术出版社,1990.

第一作者简介:王行信(1936-),男,浙江奉化人,中国石油勘探开发研究院杭州分院教授级高级工程师,长期从事黏土矿物研究工作。地址:浙江省杭州市西溪路920号,邮政编码:310023。

收稿日期:2002-01-08

(编辑、绘图 梁大新)

(下转第11页)

**作者简介:** 李景贵(1943-), 男, 辽宁喀左人, 中国科学院兰州地质研究所研究员, 1967年毕业于北京大学地质系, 1985年和1992年赴美国俄克拉何马大学地质系 Philp 教授实验室做访问学者, 现从事油气有机地球化学研究工作。地址: 甘肃省兰州市东岗西路 324 号, 中国科学院兰

州地质研究所气体地球化学国家重点实验室, 邮政编码: 730000。

收稿日期: 2001-09-08

(编辑、绘图 邓春萍)

## Unusual distribution and its origin of n-alkanes in extracts of marine carbonate rocks with high maturity and over maturity

LI Jing-gui

(State Key Laboratory of Gas Geochemistry, Lanzhou Geological Institute, Chinese Academy of Sciences, Gansu 730000, P. R. China)

**Abstract:** Alkanes in extracts from carbonate rocks of the Lower Ordovician Majiagou Formation in the central gas field of the Ordos basin and the Upper Sinian Dengying Formation of Weiyuqiang gas field, Sichuan basin, are characterized by bimodal distribution with the dominant carbon numbers of C<sub>17</sub>, C<sub>19</sub>, C<sub>20</sub> or C<sub>21</sub> in the first groups, and C<sub>25</sub>, C<sub>27</sub> or C<sub>29</sub> in the second groups. In most samples, the lower carbon number components are present in greater abundance than those in the higher carbon number range. Most samples contain significant concentrations of waxy hydrocarbon (C<sub>22+</sub>) with C<sub>21</sub>-/C<sub>22+</sub> ratios between 0.50 to 2.75 (one exception of 3.16), and an average value of 1.27; the n-alkanes in extracts of outcrops and shallow core samples of Upper Proterozoic and Lower Palaeozoic carbonate rocks in the western and southern parts of North China basin have unimodal distribution dominated by n-alkanes maximizing in the C<sub>25</sub>~C<sub>29</sub> range. These extracts have very high concentrations of waxy hydrocarbons with the C<sub>21</sub>-/C<sub>22+</sub> ratios all < 1.0, ranging from 0.14 to 0.90 and an average value of 0.36. All of the extracts have marked odd/even predominance in the high molecular weight n-alkane range regardless of whether they are from shallow or deep cores or outcrop samples. Simulation experiments were performed using typical sapropelic-type kerogens from the immature Sinian Lower Xiamalin Formation calcareous shales collected at Jixian, Hebei province, North China basin, and the contemporary micropalaeontonic blue-green algae *Spirulina subsala*. Results indicate that the unusual distributions of n-alkanes in the extracts of Upper Proterozoic and Lower Palaeozoic carbonate rocks possibly originate from algae in highmaturity and overmature source rocks.

**Key words:** high maturity and over maturity; marine carbonate rocks; normal alkanes; bimodal; algae; origin

(上接第 3 页)

## The combination pattern of clay minerals of sandstone and mud rock in China's petroliferous basins

WANG Xing-xin, HAN Shou-hua

(Hangzhou Institute of Petroleum Geology, RIPED, PetroChina, Zhejiang 310023, P. R. China)

**Abstract:** The combination pattern of associated clay minerals are classified into two major categories with twelve types by geological feature and X-ray diffraction analyses of more than one hundred thousand samples of sandstones and mud rocks fifteen petroliferous basins of China, each type represents different sedimentary and diagenetic environments respectively. The first to the fifth normal types represent five kinds of different diagenetic environment that include early diagenetic stage A and stage B, and later diagenetic stage A, stage B, and Stage C. The sixth type commonly happens in high permeability reservoir or coal measures strata, the seventh one often happens in low permeability reservoir of oil generation depression. The five special types of combination pattern of associated clay minerals represent the following different sedimentary environments: (1) bentonite band; (2) the environment of continuous denudation of deep-stratum and quickly accumulation; (3) source area of basic volcanic rocks; (4) the sedimentary environment of quickly degradation and accumulation of potassium-rich materials and (5) the arid sedimentary environment of magnesium-rich materials.

**Key words:** clay mineral; combination pattern; sedimentary environment