

文章编号:1000-0550(2017)04-0781-08

doi: 10.14027/j.cnki.cjxb.2017.04.012

长庆油田长7段黏土矿物 X 衍射分析 K 因子的求取及应用

林思达¹, 关平¹, 牛小兵², 付玲¹, 梁小斌²

1. 北京大学造山带与地壳演化教育部重点实验室 北京大学地球与空间科学学院, 北京 100871

2. 中国石油天然气股份有限公司长庆油田分公司勘探开发研究院, 西安 710021

摘要 过去一直被认为是烃源岩的长7段泥页岩, 目前被证实可以作为页岩油储层, 这就使得定量分析长7段岩石中各类黏土矿物含量变得十分重要。由于不同地区黏土矿物结晶程度存在差异, 导致传统 X 衍射定量分析的行业标准并不具有普适性, 因此要精确测量长7段黏土矿物含量, 就需要针对研究区具体情况, 实测一套符合该区情况的 K 因子。利用 X 衍射定量分析中的 K 因子法, 以石英为内标物, 求取长7段岩石中各类黏土矿物的 K 因子, 进而计算出了各矿物的含量。此外, 通过 X 荧光光谱矿物化学配平以及热重分析两种方法对相应样品进行了黏土矿物的定量和半定量分析, 进一步验证了 K 因子的正确性, 分析结果与利用 K 因子法获得的矿物含量具有较好的一致性。所求取的 K 因子, 对今后该区域利用 X 射线衍射法定量分析黏土矿物含量提供了基础参数, 从而可以促进判断页岩的岩性、对比不同岩性岩石中单矿物含量及变化关系等方面的研究。

关键词 黏土矿物; K 因子; X 衍射分析; 长7段泥页岩; 鄂尔多斯盆地

第一作者简介 林思达, 女, 1991 年出生, 硕士研究生, 储层地质学, E-mail: kellylin@pku.edu.cn

通讯作者 关平, 男, 教授, E-mail: pguanl@pku.edu.cn

中图分类号 P618.13 **文献标识码** A

近年来随着勘探工作的深入, 研究者发现长7段泥岩中含有丰富的油气资源^[1-3]。在2012年, 耿295井在长7₂油页岩段射孔试油获日产纯油20.5吨的高产工业油流, 预示长7页岩油具有良好的勘探潜力, 引起了人们对于鄂尔多斯盆地长7段页岩油的重视, 因此对这一层位的岩石学研究变得极为重要。然而目前对于长7段泥页岩储层的研究较少, 并且研究砂岩岩石学特征的传统方法对于粒度较细的泥页岩效果差, 因此定量求取岩石中各矿物的含量对于我们详细研究该层位的岩石学特征具有重大意义。但是由于耿295井的出油层段并未取芯, 所以对该井位的岩性研究很难通过直观手段得到准确结论。为了解决这一问题, 我们借助测井数据对比耿295井与周围的特征的取芯井, 最终选取了庄233井、罗254井、里211井、白522井、盐56井这五口井进行长7段泥页岩岩石学的研究。

X 射线衍射分析方法是黏土矿物分析中最常见的方法之一, 既可定性, 又可用于定量分析^[4-6]。目前利用 X 射线衍射进行定量分析的方法有内标法、外标法、K 因子法等^[7-8], 本研究主要采用的方式为 K 因子法。在 X 衍射定量分析中, 各矿物的衍射峰强

度与该矿物的含量有关, 但其并不是简单的正比关系, 需要通过 K 因子进行校正。影响 K 因子的主要因素是矿物的粒度与结晶程度, 由于黏土矿物具有特殊的层状硅酸盐结构以及结晶程度的差异, 导致不同地区甚至不同层位的岩石中各黏土矿物的 K 因子差异比较大。所以尽管前人对于 K 因子的求取已有相当多的结果, 但直接将前人研究中给出的 K 因子应用于长7段泥页岩 X 衍射定量分析中势必会造成误差, 甚至出现严重的错误。因此, 长7段泥页岩中黏土矿物的 K 因子的求取对正确认识该层位的岩石学特征有着重要的意义。

1 K 因子法的试验原理

X 衍射定量计算矿物应用的主要原理^[9]是: 每种物相的衍射线强度随其含量的增加而提高, 由强度值的计算可确定物相的含量。尽管在 X 衍射实验中影响黏土矿物定量分析结果的因素很多, 但是如果我们小心控制实验条件并采取相同的样品制备方法, 还是可以减少某些系统误差的。尤其是同一地层剖面, 黏土矿物的结晶程度相仿, 利用 X 衍射进行定量分析准确度值得信赖。

收稿日期: 2016-03-10; 收修改稿日期: 2016-09-18

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973计划)项目(2012CB214801) [Foundation: National Key Basic Research Program of China (973 Program), No. 2012CB214801]

K 因子法是在确定待测样品中的各个矿物相之后,配制待测样品中单一矿物相与内标物的混合物后,通过:

$$K_c^j = \frac{I_j}{I_c} \quad (1)$$

式中, K_c^j 为矿物 j 的 K 因子; I_j 为矿物 j 的衍射峰面积强度; I_c 为内标物的衍射峰强度。通过公式(1)可以求出每一个矿物相的 K 因子,再利用混合了已知质量的内标物的待测样品的 X 衍射谱线,通过公式(2)可求得混合了内标物矿物 j 的百分含量 X_j ,再利用公式(3)求出原样品中矿物 j 的百分含量 X_j' 。

$$X_j = \frac{X_c I_j}{K_c^j I_c} \quad (2)$$

$$X_j' = \frac{X_j}{1 - X_c} \quad (3)$$

2 K 因子试验方法及步骤

虽然前文叙述的 K 因子法思路清晰明了,但是在实际操作中却有一些难以实施的地方。比如获得某矿物相的 K 因子时需要使用该矿物相的纯粉末,而黏土矿物的纯矿物粉末难以获取;另外由于黏土矿物结晶程度各地差异很大,不能用其他地区的样品代替。由于以上这些问题,需要对原有的 K 因子法^[10]进行改进,才能获得鄂尔多斯盆地长 7 段岩石中黏土矿物的 K 因子,从而计算出岩石中各矿物的含量。

2.1 样品的处理与内标物的选择

尽管在泥岩中黏土矿物已经占有相当大的比例,但是为了减小误差,按照黏土矿物分离步骤^[11]对原始样品粉末进行处理,提高黏土矿物的比例。具体的分离步骤如下:

- (1) 首先将块状岩石研磨至 200 目以下;
- (2) 在样品粉末中加入蒸馏水制成悬浮液;
- (3) 然后将制成的悬浮液用离心机以 2 000 r/min 的速度分离 2 min, 样品中的石英等矿物大颗粒最终会沉淀下来, 而小于 2 μm 的颗粒仍会保留在悬浮液中;
- (4) 用滴管提取悬浮液放入干净的烧杯中, 放入烘箱以 60 $^{\circ}\text{C}$ 的温度进行烘干。

另外,为了简化计算,不再引入新的物相,根据样品的矿物组成,采用石英作为内标物。

2.2 试样的配制与制备

用 1/10 000 天平称取经过黏土分离的样品 Y 克和内标物石英 Z 克后,在玛瑙研钵中研磨 5~10 分钟

以达到混合均匀。混匀后,将样品加入少量去离子水制成悬浮液,用滴管吸取少量悬浮液滴至载玻片之上,晾干后即可上机进行 X 衍射操作。

另外取一份经过黏土分离的样品,不加入石英,其他操作步骤与加入内标物的样品的操作一致。

2.3 试验仪器和试验条件

本研究中使用的实验仪器为 XD-2 型衍射仪。XD-2 型衍射仪是一种 θ -2 θ 扫描方式衍射仪,采用 X 光源与测量接收系统共同运动,而样品固定不动的全新扫描方式和机械结构。XD-2 是国内新一代的 X 射线衍射仪,具有结构一体化设计、高精度测角仪、长期运行稳定性好、全中文图形界面、丰富的扩展功能等许多特点。

其相关技术参数如下:

- (1) 测角仪扫描半径: 180 mm; 扫描方式: $\theta/2\theta$; 扫描轴: 水平。
- (2) 测角仪角度重现性: 0.000 6 $^{\circ}$ 。
- (3) X 射线发生器 kV、mA 稳定度: 优于 0.01%。
- (4) X 射线发生器额定功率: 3 kW。

2.4 计算 K 因子

计算 K 因子的主要依据是以石英含量的变化为桥梁,根据两次衍射中各矿物衍射强度的变化以及已知的 K 因子利用内标方程求出物相含量,扣除少量未知物相含量,得出所求物相的百分含量之后,就可以求得该物相的 K 因子。在此,以矿物相为石英、长石和伊蒙混层矿物的样品为例,介绍具体的计算方法。

首选通过未添加内标物的样品和添加石英内标物的样品的 X 衍射图谱可以获得两次实验中石英和长石的峰面积强度,分别为 I_Q 、 I_F 、 I_Q' 、 I_F' ;

已知的内标方程为:

$$X_j = \frac{X_c I_j}{K_c^j I_c}$$

由此可得到未添加内标物的样品和添加石英内标物的样品中长石的内标方程:

$$X_F = \frac{X_Q I_F}{K_F I_Q} \quad (4)$$

$$X_F' = \frac{X_Q' I_F'}{K_F I_Q'} \quad (5)$$

两次样品中石英和长石百分含量的关系如下:

$$X_Q' = \frac{X_Q \times Y + Z}{Y \times Z} \quad (6)$$

$$X_{F'} = \frac{X_F \times Y}{Y \times Z} \quad (7)$$

联立(4)~(7)式,可获得以下关系式:

$$X_Q = \frac{\frac{Z}{Y} \times \frac{I_Q}{I_F}}{\frac{I_{Q'}}{I_{F'}} - \frac{I_Q}{I_F}}$$

从而得知未添加内标物的样品中石英的含量

X_Q ;

再利用已知的长石的K值(1.277 4),通过内标方程,即可获得未添加内标物的样品中长石的百分含量;

由于该样品中仅含有石英、长石和伊蒙混层矿物,因此,可以很快得出样品中的伊蒙混层矿物的百分含量,第三次利用内标方程,就可求得其K因子。

以同样的方法,选择适当的样品就可以获得其他黏土矿物的K值。通过计算可知,鄂尔多斯盆地长7段泥岩中各黏土矿物的K值见表1。

表1 鄂尔多斯盆地长7段黏土矿物的K因子

Table 1 K factors of clay minerals in Chang 7, Ordos Basin

矿物相	K 因子
伊蒙混层矿物	3.7
绿泥石	7.75
高岭石	1.98

利用原始样品的全岩X衍射图谱,通过以上方法求得各矿物的K因子,通过公式(8):

$$X_A = \frac{I_A \times K_A}{\sum_n I_i \times K_i} \quad (8)$$

就可以计算出各矿物的百分含量(表2)。而该方法仅能求得伊蒙混层矿物的K因子,要想获得伊利石与蒙脱石分别的含量,需要利用《油气生成过程中的微粒质点矿物》中讲述的方法,通过全岩X衍射图谱确定各样品中伊蒙混层矿物的准确d值,通过查表确定两者含量的关系,即可获得伊利石和蒙脱石分别的含量。

3 化学方法对岩石的定量分析

化学分析方法计算矿物的含量主要就是利用X荧光光谱获得的各主要元素氧化物的含量,结合X衍射分析的定性结果,运用矿物的配平即可获得样品中各矿物相的百分含量。

表2 内标法计算的各样品矿物含量

Table 2 The mineral contents calculated by internal standard method

井号	样品号	矿物含量/%					
		石英	长石	伊利石	高岭石	蒙脱石	绿泥石
白522井	B522-01	24.23	42.51	22.46	0.00	0.57	10.24
	B522-02	52.35	39.55	7.95	0.00	0.15	0.00
	B522-03	31.01	18.22	35.47	1.56	3.29	10.46
里211井	Li211-01	35.60	23.16	34.41	5.80	1.04	0.00
	Li211-02	37.64	18.49	37.82	3.00	3.05	0.00
罗254井	L254-01	35.51	17.66	44.01	0.71	2.11	0.00
	L254-02	27.17	38.90	31.00	0.80	2.12	0.00
	L254-03	24.58	43.77	20.96	4.06	6.62	0.00
	L254-04	30.54	30.48	31.29	6.22	1.48	0.00
	L254-05	27.86	47.20	18.84	1.78	0.52	3.80
盐56井	Y56-01	34.85	29.55	19.80	9.96	1.96	3.88
	Y56-02	32.04	27.37	21.88	10.07	0.66	7.98
庄233井	ZH233-01	30.05	27.56	23.96	6.14	0.90	11.39
	ZH233-02	80.44	0.00	17.44	1.40	0.72	0.00
	ZH233-03	50.91	40.47	5.72	2.83	0.08	0.00
	ZH233-04	31.25	43.40	12.59	12.32	0.36	0.07
	ZH233-06	34.65	44.89	11.73	0.64	0.22	7.88
	ZH233-08	19.85	42.31	34.45	0.00	3.39	0.00
	ZH233-09	48.87	12.38	34.26	1.24	3.25	0.00
	ZH233-10	36.27	32.19	28.51	0.00	3.04	0.00
	ZH233-11	33.76	29.61	26.07	1.37	1.84	7.36
	ZH233-12	28.02	26.23	24.06	1.45	1.01	19.22
	ZH233-13	27.26	32.64	21.23	0.00	0.74	18.12
ZH233-15	24.46	25.53	26.42	2.79	1.31	19.48	
ZH233-17	23.15	26.51	31.23	3.75	1.63	13.73	
ZH233-18	28.10	9.96	54.38	0.00	7.56	0.00	
ZH233-20	27.00	22.80	29.01	3.69	1.62	15.88	
ZH233-21	16.02	28.00	42.46	0.00	5.60	7.93	

3.1 化学分析方法对长7段岩石矿物相的定量分析

根据全岩X衍射将样品分类,在其中寻找一个矿物组合较为简单的样品进行分析,并确定一些矿物之间的比例关系,进行具体计算。从表3中可以看出,Si元素存在于每一种矿物中;除石英外的所有矿物均含有Al元素,Ca元素存在于钙长石与蒙脱石两种矿物之中;钾长石与伊利石中含有K元素,Na元素和Mg元素仅存在于钠长石和绿泥石中。

具体的计算过程为:首先通过Na和Mg元素的含量计算出钠长石和绿泥石的分子数;随后对高岭石进行计算;通过K元素和Ca元素含量分别建立钾长石与伊利石、钙长石与蒙脱石之间的比例关系;利用Al元素确定钾长石、钙长石、伊利石、蒙脱石的分子数关系;将各矿物中二氧化硅分子数扣除得到石英分

子数;最后结合各矿物的相对分子质量得到各矿物的相对质量进而得到各矿物的百分含量。

表3 化学分析法中各矿物相化学分子式^[12]

Table 3 The chemical formulas of mineral phases in the chemical analysis

矿物相	化学分子式	矿物相	化学分子式
钠长石	NaAlSi ₃ O ₈	蒙脱石	Ca _{0.15} Al ₂ Si ₄ O _{11.15}
钙长石	CaAl ₂ Si ₂ O ₈	高岭石	Al ₄ Si ₄ O ₁₈ H ₈
钾长石	KAlSi ₃ O ₈	伊利石	K _{1.5} Al _{5.5} Si _{6.5} O ₂₂
绿泥石	Mg ₅ Al ₂ Si ₃ O ₁₄	石英	SiO ₂

利用化学分析方法进行矿物含量定量计算获得了所有样品的矿物含量(表4)。结果表明,长7段岩石中石英含量在20%~70%,平均含量为36%左右;斜长石与钾长石的总量一般为5%~44%,平均为25%。黏土矿物的平均含量在38%左右,主要由伊利石和蒙脱石组成,两者之和达到黏土矿物含量的80%以上。

3.2 化学分析法与K因子法的结果比较

通过对K因子法和化学分析法计算出来长石和黏土总量的结果进行投图比较(图1)。可以看出,这两种方法的计算结果具有比较良好的正相关关系,说

明利用内标法求得的长7段岩石中黏土矿物的K因子是可靠的。

表4 化学分析法计算的各样品矿物含量

Table 4 The mineral contents calculated by chemical analysis

井号	样品号	矿物含量/%					
		石英	长石	伊利石	高岭石	蒙脱石	绿泥石
里211井	Li211-02	23.58	10.87	33.20	0.90	31.45	0.00
罗254井	L254-01	32.29	17.27	34.00	0.89	15.55	0.00
	L254-04	25.45	34.16	32.08	6.63	1.67	0.00
盐56井	Y56-02	34.99	29.79	18.94	8.76	0.57	6.94
庄233井	ZH233-01	34.25	14.42	39.27	2.76	2.62	6.69
	ZH233-02	66.59	0.00	20.47	0.65	12.29	0.00
	ZH233-03	67.50	23.43	6.02	2.97	0.08	0.00
	ZH233-04	55.86	26.52	8.36	8.80	0.39	0.07
	ZH233-06	43.92	42.73	5.35	0.84	3.28	3.88
	ZH233-08	29.54	38.51	21.83	0.00	10.12	0.00
	ZH233-09	47.04	5.60	24.91	1.03	21.41	0.00
	ZH233-10	42.19	29.52	25.53	0.00	2.76	0.00
	ZH233-11	45.21	13.27	25.56	0.84	10.94	4.18
	ZH233-12	30.26	44.71	2.96	5.83	4.78	11.46
	ZH233-13	30.93	30.60	19.71	0.00	0.70	18.06
ZH233-15	21.84	49.91	7.09	5.51	4.05	11.60	
ZH233-17	23.86	29.53	30.59	5.53	1.77	8.72	
ZH233-18	23.56	13.68	48.59	0.00	14.18	0.00	
ZH233-20	23.75	38.97	18.30	5.58	2.77	10.62	
ZH233-21	25.58	14.14	34.93	0.00	21.51	4.35	

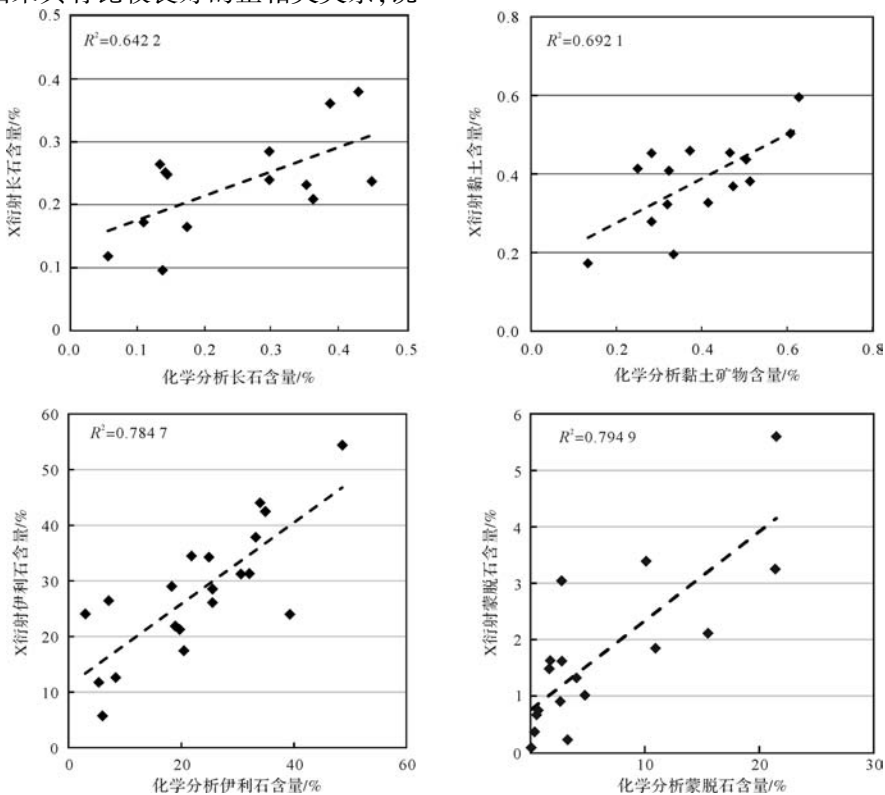


图1 K因子法与化学分析法求得的长石和各黏土矿物含量相关图

Fig.1 The relationship between the mineral contents calculated by K values and chemical analysis

4 热重分析法对岩石的半定量分析

热重分析法(TG),主要是指在程序控制温度下,测量待测样品中质量与温度变化关系的一种热分析技术^[13]。由热重法记录的重量变化与温度的关系曲线称为热重曲线(TG曲线),在地质学中可以用来定性的判断某些矿物是否存在。结合X衍射对长7段岩石样品的物相分析可知,在长7段岩石样品的热重曲线中,200℃前重量的减少说明样品中含有一定量的蒙脱石(排出吸附水),利用这一点对样品中蒙脱石的含量进行估算,以检验利用K因子求取的矿物含量是否准确。

热重的变化与利用K因子求取的蒙脱石含量的相关性很好(图2),说明计算的K因子比较准确,具有一定的应用价值。

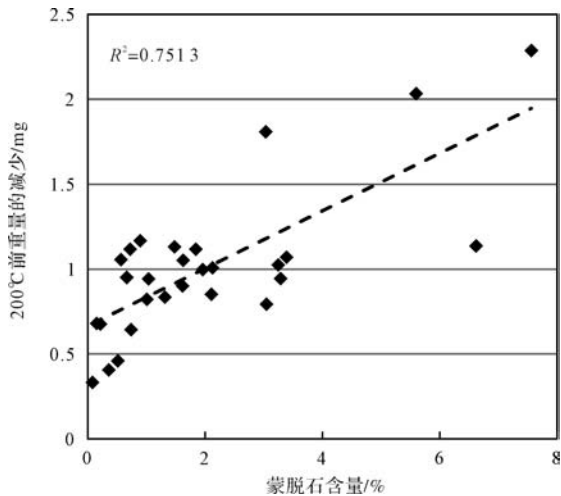


图2 200℃前热重减少值与K因子求得的蒙脱石含量相关图
Fig.2 The relationship between the reduction of TG analysis below 200℃ and the montmorillonite contents calculated by K factors

5 讨论

表5中为不同研究中获得的黏土矿物K因子,从中可以看出,不同研究中求得的K因子均有所差异,有的甚至差别很大。

在X衍射定量分析中,影响K因子的主要因素是矿物的粒度与结晶程度,在不同的研究中黏土矿物K因子的巨大差异是由黏土矿物自身的性质造成的。黏土矿物是一类层状硅酸盐矿物的总称,其层间可以填充不同的物质或元素,并且黏土矿物的结晶程度差异较大。这些差异与黏土矿物形成的水环境密切相关,在同一盆地不同时期内形成的黏土矿物,其层间填充物质和结晶度差别都会有所差别。由此可见,如

果在计算长7段泥岩矿物含量时使用前人已得出的K因子,那么获得的矿物含量就存在着严重的错误,导致对这一层位岩石学特征的认识出现错误,阻碍对这一重点勘探层位的研究。

表5 各研究中求取的K因子^[14-16]

Table 5 K factors in different researches^[14-16]

K因子	1	2	3	4	5
伊利石		30.200 4	8.542 1	1.603	0.25
蒙脱石	伊蒙混层矿物 3.7	22.041 2	2.077 6	0.479	0.64
高岭石	7.75	10.597	10.597	1.029	0.33
绿泥石	1.98	4.995 8	4.997 9	0.835	/

注:1.本研究;2.内华达试验场(NTS);3.邓学能,1993;4.林金辉,林锡锦,1998;5.孙繁凡,2013。

另外,在本研究中部分样品X衍射内标法和化学分析法得出的黏土矿物含量的数据差距较大,造成这种差距的内在原因是黏土矿物的化学组成的差异。为了简化计算,本研究统一了每一种黏土矿物的化学式,但实际上不同的样品中黏土矿物的化学组成可能有所不同,因此造成一定的误差。由此可见,对于黏土矿物的定量研究,我们还是应该采取X衍射内标法进行计算。

6 应用与结论

由于在对长7段岩石的勘探中发现了可观的石油资源,对于该层位的认识应该从过去单纯的烃源岩转变为页岩油储层,因此,对于长7段岩石的岩性及其储集性的研究变得非常紧迫和重要。

对长7段岩石可以细分为3段,利用K因子计算出研究中各样品的矿物百分含量,并绘制这3段岩石的平均含量柱状对比图。从图3中可以看出长7₂段

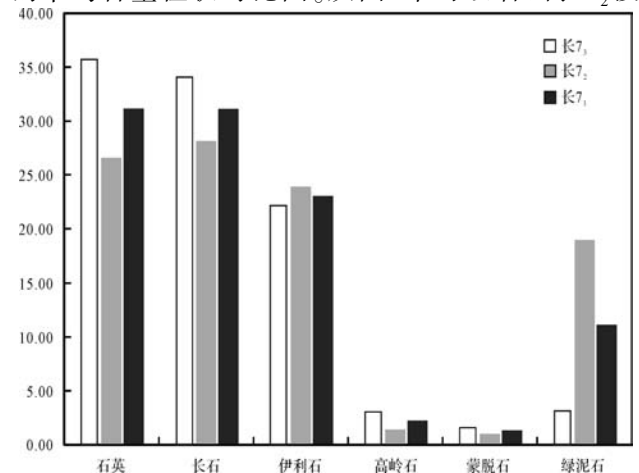


图3 各层位单矿物含量柱状图

Fig.3 Histogram showing mineral contents in different layers

岩石的石英和长石含量明显低于另外两段,表明该段岩石的岩性以泥页岩为主,经手标本和显微薄片鉴定证实了这一结果(图4)。

另外,利用K因子法求取的矿物百分含量可以进一步对比不同岩性的岩石中单矿物含量及其变化关系。通过对长7段中出现的细砂岩、粉砂岩以及泥页岩三类岩石中石英等六种单矿物组分含量进行统

计,获得了三类岩石的单矿物平均含量饼图(图5)。结果表明随着岩石粒度的减小,石英、长石含量逐渐减少,黏土含量逐渐增加,细砂岩中黏土矿物含量小于30%,粉砂岩的黏土矿物含量在30%到40%之间,而泥岩的黏土矿物含量超过40%。由此可以看出,岩石中黏土矿物的含量与岩性有着密切关系。

通过K因子法、化学分析法和热重法对长7段

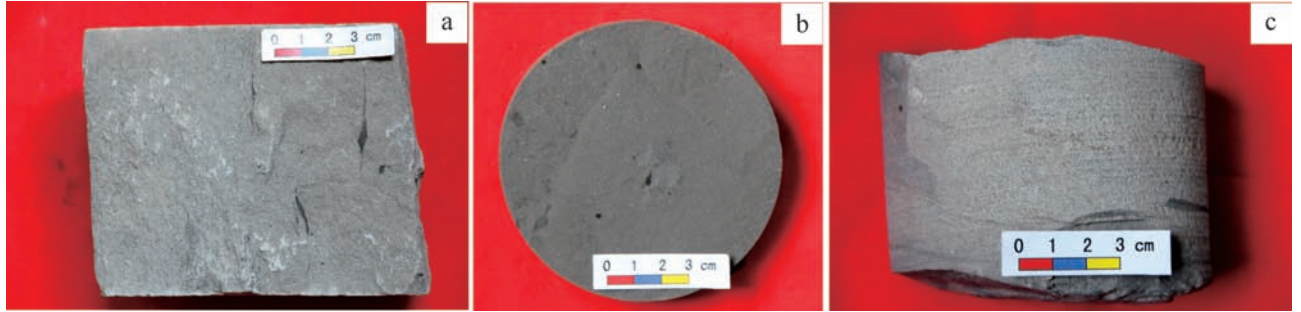


图4 长7段各层位典型岩性

a.长7₁段以泥质粉砂岩为主;b.长7₂段以泥岩为主;c.长7₃段以泥质粉砂岩为主。

Fig.4 Photo pictures showing typical lithology in different layers

a. argillaceous siltstone in Chang 7₁; b. mudstone in Chang 7₂; c. argillaceous siltstone in Chang 7₃

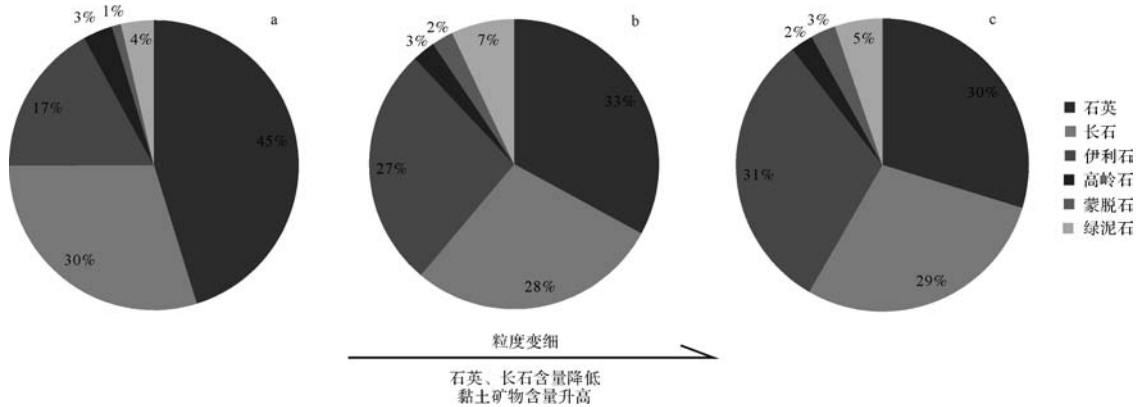


图5 不同岩性中各单矿物平均含量饼图

a.细砂岩;b.粉砂岩;c.泥页岩

Fig.5 Pie chart showing mineral contents in different lithology

a. fine sandstone; b. siltstone; c. mud stone

岩石定量分析的比较以及利用K因子法求取的黏土矿物含量对岩石的岩性进行判断,可以看出:

(1) 由于黏土矿物的特殊结构和结晶程度的差异导致不同地区不同层位的岩石的K因子不同,要想在一个地区中利用K因子计算岩石中矿物含量的话,就必须求取当地的K因子。

(2) 通过X衍射内标法求出了鄂尔多斯盆地长7段K因子,并计算出了岩石中各矿物的含量,同时利用化学配平法与热重法对其结果进行验证,获得了

良好的相关性;此外,结合地质情况分析,利用K因子求出的黏土矿物含量判断出的岩石岩性是合理准确的。以上三种验证方法均证明了,通过X衍射内标法求得的长7段岩石的K因子是正确的。

参考文献 (References)

[1] 杨华,李士祥,刘显阳. 鄂尔多斯盆地致密油、页岩油特征及资源潜力[J]. 石油学报,2013,34(1):1-11. [Yang Hua, Li Shixiang, Liu Xianyang. Characteristics and resource prospects of tight oil and shale oil in Ordos Basin[J]. Acta Petrolei Simica, 2013, 34

- (1): 1-11.]
- [2] 张文正,杨华,杨奕华,等.鄂尔多斯盆地长7优质烃源岩的岩石学、元素地球化学特征及发育环境[J].地球化学,2008,37(1):59-64. [Zhang Wenzheng, Yang Hua, Yang Yihua, et al. Petrology and element geochemistry and development environment of Yanchang Formation Chang-7 high quality source rocks in Ordos Basin[J]. *Geochimica*, 2008, 37(1): 59-64.]
- [3] 张文正,杨华,杨伟伟,等.鄂尔多斯盆地延长组长7湖相页岩油地质特征评价[J].地球化学,2015,44(5):505-515. [Zhang Wenzheng, Yang Hua, Yang Weiwei, et al. Assessment of geological characteristics of lacustrine shale oil reservoir in Chang 7 Member of Yanchang Formation, Ordos Basin[J]. *Geochimica*, 2015, 44(5): 505-515.]
- [4] 董红梅,宋友桂.黏土矿物在古环境重建中的应用[J].海洋地质与第四纪地质,2009,29(6):119-130. [Dong Hongmei, Song Yougui. Clay mineralogy and its application to paleoenvironmental reconstruction[J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2009, 29(6): 119-130.]
- [5] Johns W D, Grim R E, Bradley W F. Quantitative estimations of clay minerals by diffraction methods[J]. *Journal of Sedimentary Research*, 1954, 24(4): 242-251.
- [6] 赵杏媛.黏土矿物与油气[J].新疆石油地质,2009,30(4):533-536. [Zhao Xingyuan. The impact of clay minerals on oil-gas reservoir[J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2009, 30(4): 533-536.]
- [7] Chamley H. *Clay Sedimentology*[M]. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 1989.
- [8] Kahle M, Kleber M, Jahn R. Review of XRD-based quantitative analyses of clay minerals in soils: the suitability of mineral intensity factors[J]. *Geoderma*, 2002, 109(3/4): 191-205.
- [9] 刘粤惠,刘平安. X射线衍射分析原理与应用[M].北京:化学工业出版社,2003:258. [Liu Yuehui, Liu Ping'an. The principle and application of X-ray diffraction[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2003: 258.]
- [10] 任垒夫,关平.油气生成过程中的微粒质点矿物[M].北京:地质出版社,1992:106. [Ren Leifu, Guan Ping. The mineral particles in the process of hydrocarbon generation[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1992: 106.]
- [11] 蒲海波.用X射线衍射分析鉴定粘土矿物的方法[J].勘察科学技术,2011(5):12-14. [Pu Haibo. Method of identifying clay mineral by X-ray diffraction analysis[J]. *Site Investigation Science and Technology*, 2011(5): 12-14.]
- [12] 秦善,王长秋.矿物学基础[M].北京:北京大学出版社,2006:198. [Qin Shan, Wang Changqiu. *Mineralogy*[M]. Beijing: Peking University Press, 2006: 198.]
- [13] 赵杏媛,张有瑜.粘土矿物与粘土矿物分析[M].北京:海洋出版社,1990:341. [Zhao Xingyuan, Zhang Youyu. *Clay minerals and analysis of clay minerals*[M]. Beijing: China Ocean Press, 1990: 341.]
- [14] 邓学能.粘土沉积物XRD定量分析方法[J].沉积学报,1993,11(4):99-104. [Deng Xueneng. A method of XRD quantitative analysis for argillaceous sediments[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1993, 11(4): 99-104.]
- [15] 林金辉,林锡锦.粘土矿物定量分析偏差的修正[J].成都理工学院学报,1998,25(1):80-82. [Lin Jinhui, Lin Xijin. Revision of quantitative analysis deviation of clay minerals[J]. *Journal of Chengdu University of Technology*, 1998, 25(1): 80-82.]
- [16] 孙繁凡,孙雯,侯紫峻,等. X射线分析方法测定粘土矿物含量[J].矿产保护与利用,2013(3):47-50. [Sun Fanfan, Sun Wen, Hou Zijun, et al. X-ray analysis method for measurement of clay minerals content[J]. *Conservation and Utilization of Mineral Resources*, 2013(3): 47-50.]

The Calculation and Application of K Factors of Clay Minerals by X-Ray Diffraction Analysis in Chang7, Changqing Oilfield

LIN SiDa¹, GUAN Ping¹, NIU XiaoBing², FU Ling¹, LIANG XiaoBin²

1. School of Earth and Space Science, Peking University, Beijing 100871, China

2. Research Institute of Exploration and Development, Petro China Changqing Oilfield Company, Xi'an 710021, China

Abstract: The shale in Chang 7 oil-bearing formation of the upper Triassic Yanchang Formation, Ordos Basin, have always been considered as high quality hydrocarbon-source rock in past, but recent exploration shows this oil-bearing formation is a possible shale reservoir and rich in oil and gas resources. However, the research of its characteristics of lithology and reservoir is still limited, and the traditional research methods of petrological characteristics of sandstone are disappointment for the shale which are composed of fine grains. Consequently, it is extraordinarily important to confirm the lithology and reservoir characteristics of Chang 7 oil-bearing formation by quantitatively calculate the content of clay minerals in the rocks of it. In the quantitative analysis of XRD, the diffraction peak intensity of each mineral is related to the content of the mineral, but it is not a simple proportional relationship, so we need rectify the result by the K factor. Because the special structure and the different crystallization degree of clay minerals are the main factors which influence the K factor, instead of using the results of the former researches, we need calculate the K factors of the clay minerals in Chang7 oil-bearing formation. Therefore, based on the internal standard method of XRD analysis, we carried out the clay mineral separation step to deal with the samples for increasing the proportion of clay minerals, and used quartz as the internal standard material. Depending on the change of quartz content, the diffraction intensity of minerals in two XRD analysis of with and without the internal standard material, we can calculate the K factors. Then, using the internal standard method, the content of each mineral in the rock can be calculated by the K factors. In order to verify the K factor, we choose monomineralic balancing method based on XRF and thermogravimetric analysis to get quantitative and semi-quantitative result, respectively. The analysis result has good consistency with mineral content that calculated based on the K value. The consistency shows the K factor is reliable. In practice, the mineral content calculated by K factor analysis method is useful in judging lithology and comparing mineral content and variation relationship of different kind rocks.

Key words: clay minerals; K factors; XRD analysis; shale in Chang 7 oil-bearing formation; Ordos Basin