

文章编号: 1000-0550(2005) 03-0461-06

一种求取碎屑岩储层中粘土总量的新方法

鄢继华¹ 陈世悦¹ 张关龙¹ 王海方²

1(中国石油大学 山东东营 257061) 2(河南理工大学 河南焦作 454000)

摘要 在实验分析的基础上,提出了一种新的求取碎屑岩储层中粘土总量的方法——二级抽提分离+非定向 X 射线衍射法,即首先用传统的抽提分离法分别提取出粒径小于 $10\mu\text{m}$ 和 $10\sim 64\mu\text{m}$ 的微粒,然后用粒径小于 $10\mu\text{m}$ 微粒的质量加上利用非定向 X 射线法测出的粒径在 $10\sim 64\mu\text{m}$ 微粒中粘土部分的质量,就得到该样品中粘土总量。并以 WN 油田碎屑岩储层为例,具体论述了该法的计算过程及其实际应用效果。研究结果表明,该法具有原理简单、精度高、理论性强、实际应用效果良好的优点,可作为求取沉积岩储层中粘土总量的可靠方法。

关键词 粘土矿物 X 射线衍射 粒径 总含量 碎屑岩储层

第一作者简介 鄢继华 男 1977 年出生 在读博士生 沉积学及储层沉积学

中图分类号 P588.2 **文献标识码** A

鉴于粘土矿物在地壳中分布的广泛性及其理化性能的特殊性,在油气层的勘探开发过程中,粘土矿物引起的储层损害问题已经引起了人们的广泛关注^[1~10]。如何求取油气储层中粘土总量是一个复杂但又至关重要的问题,它关系到能否对储层进行正确地评价并进而制定出合理的开发方案。为了尽可能精确地计算碎屑岩储层中的粘土总量,本文在实验分析的基础上,尝试着提出了一种两级抽提分离+非定向 X 射线衍射法。

1 计算方法的过程

粘土级矿物粒径大小的上限,依研究目的、研究对象和研究领域的不同有较大的差异^[11,12]。但是从油气层保护的角度来讲,凡是符合由硅氧四面体和铝氧八面体所构成的、对储层有潜在损害的层链状矿物,无论其粒径的大小,都应视为粘土矿物而引起注意。本文所推荐的计算方法不以粒径大小为标准,而以其为操作手段来求取储层中粘土的总量,过程如下:

(1)据斯托克斯沉降法则^[11],用传统的抽提分离方法分别提纯粒径分别为 $d < 10\mu\text{m}$, $10 < d < 64\mu\text{m}$ 两个粒级的微粒。称其重分别为 $m_{d < 10}$, $m_{10 < d < 64}$ 。抽提分离这两个粒级微粒的过程中,要注意两个关键的问题,一是每级抽提要进行彻底,二是不要混入其它

粒级的微粒;

(2)对 $d < 10\mu\text{m}$ 微粒,作定向 X 射线衍射分析,分析粘土矿物的组成类型并根据谱图判断微粒的组成;

(3)对 $10 < d < 64\mu\text{m}$ 粒级的微粒,做非定向 X 射线衍射分析求取其中粘土矿物百分含量,记为 $P_{10 < d < 64}$;

(4)分析样品的粘土矿物总重量可表示为:

$$M_c = m_{d < 10} + m_{10 < d < 64} \times P_{10 < d < 64} \quad (1)$$

(5)分析样品中粘土矿物总含量 $P_c = M_c / M_r \times 100\%$,其中 M_r 为分析样品的总重。

2 碎屑岩储层中粘土矿物总量的计算

2.1 计算过程及结果

依上述方法,对 WN 油田下第三系碎屑岩储层中砂砾岩岩心样品进行了粘土矿物总量的研究。首先进行样品的前处理^[11],然后用传统的抽提分离法得到两级粒径,即 $d < 10\mu\text{m}$ 和 $10 < d < 64\mu\text{m}$ 。为了深入研究,再将 $d < 64\mu\text{m}$ 微粒细分为六个粒级 ($d < 2\mu\text{m}$, $2 < d < 5\mu\text{m}$, $5 < d < 10\mu\text{m}$, $10 < d < 16\mu\text{m}$, $16 < d < 32\mu\text{m}$, $32 < d < 64\mu\text{m}$),分别称重(表 1)。

通过定向 X 射线衍射(图 1)查明在不同粒径中微粒的组成。曲线 1、2 表明, $d < 5\mu\text{m}$ 粒径中的微粒几乎均为粘土矿物,其中所含极少量石英和长石等非

粘土成分的量极少。曲线 3 ($5 < d < 10 \mu\text{m}$) 中石英和长石的含量有所增加, 但是粘土矿物的衍射峰仍然强, 说明在这部分微粒中还以粘土矿物组分占绝对优势。非粘土微粒中, 部分为该粒径范围内的非粘土矿物(石英、长石等), 部分为实验误差(包括人为误差

和系统误差)造成的(抽提较大粒径时, 实验误差的机率就会增大)。但是从整体组成上来看, 这是微量的、可以忽略不计的。由此得出, $< 10 \mu\text{m}$ 的微粒中几乎都是粘土矿物颗粒, 可以将这部分微粒整体算入粘土矿物的量中。

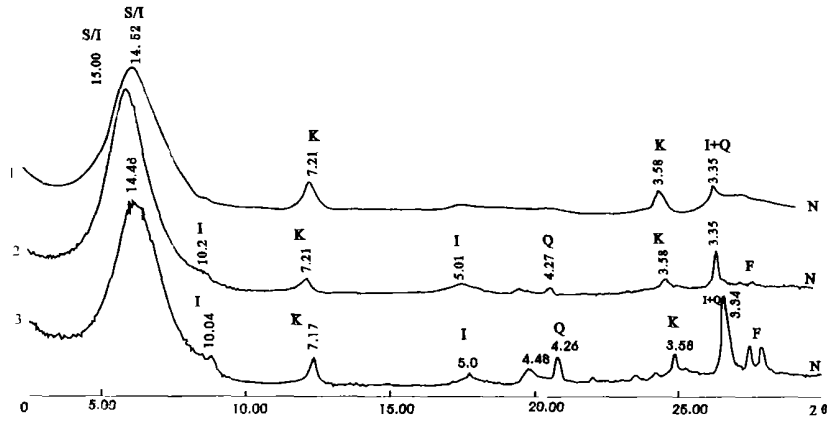


图 1 样品 Z_4 中三个粒级微粒自然定向片 X 射线衍射谱图

1 $< 2 \mu\text{m}$ 微粒; 2 $2 \sim 5 \mu\text{m}$ 微粒; 3 $5 \sim 10 \mu\text{m}$ 微粒

Fig 1 X-ray diffraction traces of nature oriented powders of the three different grain sizes in sample Z_4

表 1 WN 油田五块岩样中微粒抽提结果及粘土矿物总量计算表

Table 1 The particles segregation and the total amount in five rock samples in WN field by the new method

样品编号	样品总重 /g	$< 10 \mu\text{m}$ 重量 /g	各粒级微粒总质量 /g			各粒级粘土矿物相对含量			粘土矿物总量 /g	百分含量
			10~ 16	16~ 32	32~ 64	10~ 16	16~ 32	32~ 64		
Z_1	372.0	49.3	12.9	40	50.6	35%	15%	11%	65.47	17.60%
N_1	326.4	23.5	14.8	21.9	12.9	48%	55%	39%	44.39	13.60%
Z_2	464.9	131.3	5.2	10.3	9.0	6%	4%	0	138.40	29.77%
Z_3	728.7	50.6	14.3	22.1	8.2	47%	37%	31%	68.13	9.35%
Z_4	195.2	22.7	13.1	15.0	23.1	37%	20%	8%	32.38	16.59%

然后对 $10 < d < 64 \mu\text{m}$ 微粒做非定向 X 射线衍射分析, 得出该粒级微粒中粘土矿物所占的百分比。由表 1 可看出, 随着粒径的逐渐增大, 粘土矿物在微粒中的百分比呈减小的趋势, 而在 $> 64 \mu\text{m}$ 的微粒中粘土矿物含量已经很少, 对粘土矿物总量的计算结果的影响非常小。所以本文以 $64 \mu\text{m}$ 作为计算的上限是可取的。

由公式 可计算出分析样品的粘土矿物的总量(表 1)。

2.2 实验结果分析

由图 2 可以看出, 随着粒径的增大, 粘土总量值在增加。 $< 2 \mu\text{m}$ 粒径粘土占整个粘土总量的百分比从 3.68% ~ 76.59% 不等。所以, 在碎屑岩储层粘土总量的计算中, 仅以 $2 \mu\text{m}$ 作为粘土粒级的上限是不

可取的。

通过对各个粒级中粘土矿物的含量计算结果, 不难发现, 粘土矿物在不同的粒级中的分布情况是有很大的差别(表 2 图 2)。为了查明原因, 用定向 X 射线衍射分析了各个分析样品中粘土矿物的组成类型(表 3)。由该表可以看出, 该油田砂岩储层中粘土矿物的组成类型有伊利石、蒙皂石间层矿物、高岭石和伊利石三种。随着粒径的增大, 高岭石矿物的相对含量有增大的趋势, 伊/蒙间层矿物与其相反, 而伊利石的相对含量几乎保持不变。

同时, 发现这种规律与岩性密切相关。含泥或泥质砂岩中, 随着粒径的增大高岭石的相对含量增加幅度小, 有时甚至出现减小的情况(样品 Z_2)。在不含泥的砂岩样品中, 随着粒径的增大高岭石的相对含量

表 2 抽提 + X 射线非定向分析法测得各粒级粘土矿物含量表

Table 2 The contents of different clay mineral sizes by particles segregation plus X-ray diffraction of random oriented powder analysis

样品号	粒级		< 2	2~ 5	5~ 10	10~ 16	16~ 32	32~ 64	粘土 总量 %
	含量 %								
Z ₁	各粒径含量		2%	6.80%	4.50%	1.20%	1.60%	1.50%	17.60%
	各粒径累积含量		2%	8.80%	13.30%	14.50%	16.10%	17.60%	
	各粒径含量累积值		11%	50.00	75.57%	82.39%	91.48%	100%	
N ₁	各粒径含量		0.50%	3.40%	3.80%	2.20%	2.20%	1.50%	13.60%
	各粒径累积含量		0.50%	3.90%	7.70%	9.90%	12.10%	13.60%	
	各粒径含量累积值		3.68%	28.68%	56.62%	72.79%	88.97%	100%	
Z ₂	各粒径含量		22.80%	3.20%	2.20%	0.67%	0.90%	0	29.77%
	各粒径累积含量		22.80%	26.00%	28.20%	28.87%	29.77%	29.77%	
	各粒径含量累积值		76.59%	87.34%	94.73%	96.98%	100.00%	100%	
Z ₃	各粒径含量		1.90%	1.80%	3.30%	0.90%	1.10%	0.35%	9.35%
	各粒径累积含量		1.90%	3.70%	7.00%	7.90%	9.00%	9.35%	
	各粒径含量累积值		20.32%	39.57%	74.87%	84.49%	96.26%	100%	
Z ₄	各粒径含量		6.80%	1.52%	3.28%	2.50%	1.54%	0.95%	
	各粒径累积含量		6.80%	8.32%	11.60%	14.10%	15.64%	16.59%	
	各粒径含量累积值		40.99%	50.15%	69.92%	84.99%	94.27%	100% 16.59%	

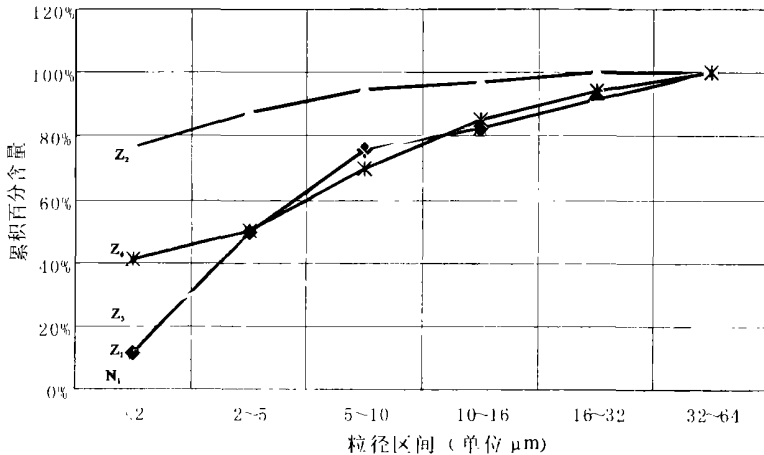


图 2 粘土矿物在不同粒径中的分布图

Fig 2 The distributions of clay minerals in different sizes

有较大幅度的增加(样品 Z₁例外)。出现这种规律的内在原因是储集岩的孔渗条件的影响。孔渗条件好的砂岩中, 满足形成大粒径自生高岭石的条件^[10]。而含泥质砂岩中孔渗条件会变差就不利于自生高岭石的形成。

因而, 在通常情况下, 粒级大的组分中高岭石的相对含量仍高于同一块样品中粒级小的组分, 而伊/蒙间层矿物则与之相反。所以, 在地层中, 粒度小的

粘土颗粒中更多分布蒙皂石和伊利石, 而粒度大的粘土颗粒中, 高岭石有更多的分布。分析样品 Z₂中粘土矿物组成以细粒的伊蒙间层矿物占绝对部分, 所以粘土矿物在粒径小的颗粒中有更大的分布(76.59%)。而在 N₁样品中粘土矿物组成以伊蒙间层矿物和高岭石两者为主, 且随着粒径的增大, 高岭石相对含量在增加(2~ 5 μm 之间两者含量相等, 5~ 10 μm 后者含量已经大于前者)。相比较而言, N₁样

表 3 WN油田砂岩样品不同粒径粘土矿物组成类型表

Table 3 The types of clay minerals in different sizes in sandstone reservoir in WN oil field

	岩性	< 2 μm			2~ 5 μm			5~ 10 μm			10~ 16 μm			16~ 32 μm			32~ 64 μm		
		I/S	K	I	I/S	K	I	I/S	K	I	I/S	K	I	I/S	K	I	I/S	K	I
Z ₁	泥质粉砂岩	85	12	3	82	15	3	80	17	3	/	/	/	/	/	/	/	/	/
N ₁	含砾砂岩	52	38	10	45	45	10	39	51	10	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Z ₂	含砾泥质砂岩	92	5	3	89	7	4	88	8	4	86	5	9	81	7	12	87	4	9
Z ₃	含砾泥质砂岩	84	10	6	69	21	10	67	22	11	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Z ₄	泥质砂岩	80	11	9	75	16	9	71	20	9	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Z ₅	细砂岩	63	30	7	56	36	8	39	51	10	30	61	9	20	72	8	9	82	9
Z ₆	中砂岩	20	70	10	17	73	10	15	75	10	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Z ₇	粗砂岩	31	58	11	24	66	10	25	61	12	/	/	/	/	/	/	/	/	/

品中粘土总量会有更多部分在大粒径颗粒中分布。因此,粘土中矿物的组成类型及其相对含量这两个因素就决定了粘土矿物在不同粒径中的分布状况。

3 实际应用效果

因为粘土矿物种类复杂,不同矿物颗粒大小的范围有很大的不同,同一种矿物颗粒粒径也有较大的变化,这样就导致了碎屑岩储层中粘土矿物总量的求取是一个很复杂的问题。而碎屑岩储层物性的好坏与其中粘土总量之间有很密切的关系,总量的多少,直接影响储集层孔隙度及渗透率的好坏^[13]。鉴于储层的物性与粘土总量之间的这种关系,可以使用储层的物性反过来验证储层中粘土总量计算的准确性。

利用本文提出的二级抽提分离+非定向X射线衍射法对WN油田沙一段碎屑岩储层中粘土总量进行了计算。将计算结果与使用激光粒度法计算出来的粘土总量(粒径上限为4 μm)进行了对比,并且将

两种方法的计算结果与储层物性关系进行了研究(图3、4、5)。这些碎屑岩储层在岩性、岩石胶结类型、主要粒度、主要孔隙特征及其它胶结物方面的特征是基本相近的,储层物性与粘土总量之间是存在很密切的关系的。研究结果表明,利用本文方法得出的粘土总量与储层物性之间有很好的负相关关系(相关系数均达到0.75以上)。而激光粒度法求得的粘土总量与储层孔隙度相关关系很差。

这就说明用本文方法计算出的储层中的粘土总量更加接近于客观实际含量。激光粒度仪的测量范围、测试原理和颗粒形状等因素^[14]也在很大程度上决定了激光粒度法不适合测定储层中粘土总量。本文法的最大优点就在于它最大限度的排除了这些实验系统误差因素的干扰。从本文粘土总量计算过程及实际效果来看,这种计算方法具有操作原理简单、理论性强、代表性好和精度高等优点。

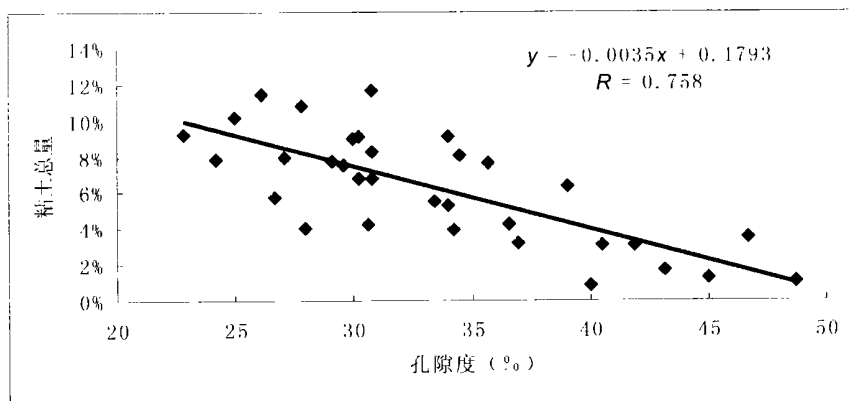


图 3 本文方法求得的粘土总量与储层孔隙度关系图

Fig 3 The correlation between reservoir's porosity and total amount of clay calculated by the new method

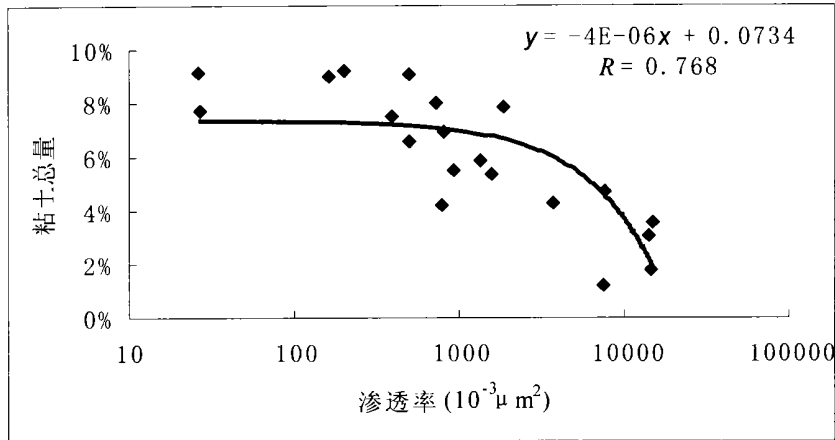


图 4 本文方法求得的粘土总量与储层渗透率关系图

Fig 4 The correlation between reservoir's permeability and total amount of clay calculated by the new method

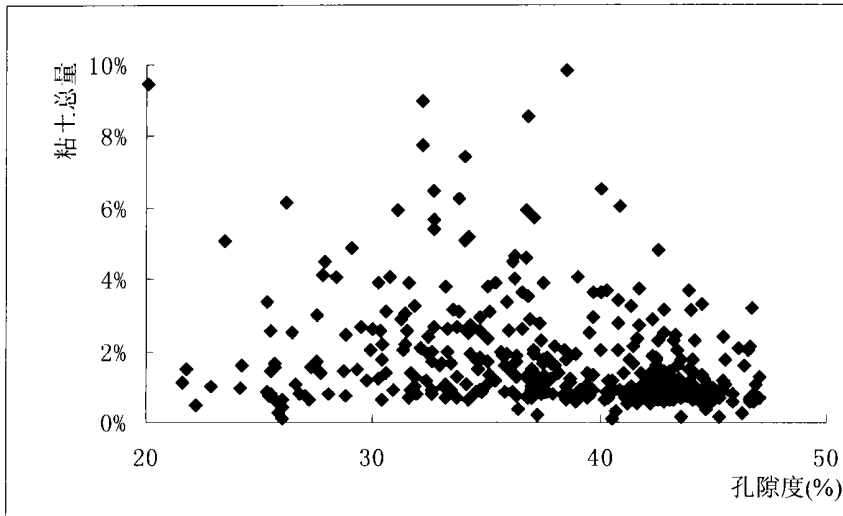


图 5 激光粒度法求得的粘土总量与储层孔隙度关系图

Fig 5 The correlation between reservoir's porosity and total amount of clay calculated by laser grain-size analysis

4 结束语

本文在实验分析的基础上提出的这种二级抽提分离+非定向 X 射线衍射法是将传统的抽提分离法与类似全岩分析法结合起来,能有效提高碎屑岩储层中粘土总量的计算精度。它充分利用其它方法的优点而尽量避开缺点,是一种值得推荐的方法。但是,作为一种新的方法,还很有必要在实践中得到进一步检验。

致谢 本文定向、非定向和全岩 X 射线衍射的分析工作是在中国海洋石油股份公司渤海石油研究

院实验室韩慧工程师等帮助下完成的,激光粒度分析及储层物性测试工作是在中国石油化工股份公司胜利油田地质科学研究院开发实验室有关人员的帮助下完成的,此外,在成文的过程中,还得到中国石油股份公司勘探开发研究院赵杏媛高工的大力帮助,在此一并表示衷心的感谢!

参考文献 (References)

- 1 赵杏媛, 陈洪起. 粘土矿物与防止油层损害. 石油勘探与开发, 1988, 15(4): 72~79 [Zhao Xingyuan, Chen Hongqi. Clay minerals and preventing the formation damage. Petroleum Exploration and Development

- opment 1998, 15(4): 72~79]
- 2 王欣, 杨贤友. 影响敏感性储层主要因素的确定. 钻井液与完井液, 1998, 15(6): 7~10 [Wang Xin, Yang Xianyou. The confirmation of affecting formation sensitivity's main factors. Drilling and Completion Fluids, 1998, 15(6): 7~10]
 - 3 黄瑛. 国内外酸化技术发展近况. 钻井液与完井液, 2000, 17(1): 31~38 [Huang Ying. The recent development of acidizing technology home and abroad. Drilling and Completion Fluids, 2001, 17(1): 31~38]
 - 4 杨贤友. 保护油气层钻井完井液现状与发展趋势. 钻井液与完井液, 2000, 17(1): 25~30 [Yang Xianyou. The recent state and development trends of drilling and completion fluids in protecting oil formation. Drilling and Completion Fluids, 2000, 17(1): 25~30]
 - 5 Davies D K. Reservoir stimulation of dirty sandstones. SPE Fourth Symposium. On Formation Damage Control Procedure, 1980, 41~48
 - 6 Basan P B. Formation damage index number—a model for the evaluation of fluid sensitivity in shaly sandstones. 1985, SPE 14317
 - 7 Civan F. Effect of clay swelling and fines migration on formation permeability. 1987, SPE 16235
 - 8 Leone J A. Characterization and control of formation damage during waterflooding of a high-clay-content reservoir. 1987, SPE 16234
 - 9 Zaitoun A. and Berton H. Stabilization of montmorillonite clay in porous media by high-molecular-weight polymers. 1990, SPE 19416
 - 10 徐同台, 王兴信, 张有瑜, 等. 中国含油气盆地粘土矿物. 北京: 石油工业出版社, 2003, 63~84, 569~611 [Xu Tongtai, Wang Xingxin, Zhang Youyu, et al. Clay Minerals in Oil-gas Bearing Basins in China. Beijing: Petroleum Industry Press, 2003, 63~84, 569~611]
 - 11 赵杏媛, 张有瑜. 粘土矿物与粘土矿物分析. 北京: 海洋出版社, 1990, 1~3, 73~83 [Zhao Xingyuan, Zhang Youyu. Clay Minerals and Clay Minerals' Analysis. Beijing: Ocean Publishing House, 1990, 1~3, 73~83]
 - 12 陈忠, 沈明道, 赵敬松, 等. 粘土矿物含量分析中的几个问题. 沉积学报, 1998, 16(1): 137~139 [Chen Zhong, Shen Mingdao, Zhao Jingsong, et al. Problems on quantitative analysis of clay minerals. Acta Sedimentologica Sinica, 1998, 16(1): 137~139]
 - 13 陈丽华, 姜在兴. 储层实验测试技术. 北京: 石油工业出版社, 1993, 220~232 [Chen Lihua, Jiang Zaixin. Testing Technology of Reservoir Experiments. Beijing: Petroleum Industry Press, 1993, 220~232]
 - 14 程鹏, 高抒, 李徐生. 激光粒度仪测试结果及其与沉降法、筛析法的比较. 沉积学报, 2001, 19(3): 449~455 [Cheng Peng, Gao Shu, Li Xusheng. Evolution of a wide range laser particle size analysis and comparison with pipette and sieving method. Acta Sedimentologica Sinica, 2001, 19(3): 449~455]

A Novel Approach for the Total Amount of Clay in Clastic Reservoirs

YAN Jihua¹ CHEN Shiyue¹ ZHANG Guanlong¹ WANG Haifang²

1 (University of Petroleum, Dongying Shandong 257061) 2 (Henan Polytechnic University, Jiaozuo Henan 454000)

Abstract On the basis of experimental analysis, a new method, twice grain size segregation plus X-ray diffraction of randomly oriented powders of clay minerals, was put forward to calculate the total amount in clastic reservoir rock. Firstly, particles of which radius less than $10\mu\text{m}$ and 10 to $64\mu\text{m}$ were separated from the samples by the way of traditional segregation of clay minerals, and then weigh them respectively. Secondly, the weight of the part of clay minerals in the particles with radius 10 to $64\mu\text{m}$ can be available by means of analysis of X-ray diffraction of randomly oriented powders of clay mineral. Finally, the first part of clay minerals' weight plus the second part, the total amount of clay of the sample can be obtained.

In order to concretely discuss the course and the effect of practical application of the method, clastic reservoirs in WN oil field was introduced. The study result indicates that the method mentioned in the paper has simpler principle, higher precision, good theorization and shows a satisfactory effect, so it is a reliable approach for the total amount of clay in clastic reservoir rocks.

Key words clay minerals, X-ray diffraction, particle radius, total amount, clastic reservoirs