

海拉尔盆地贝尔凹陷兴安岭群储层粘土矿物组成及特征研究

付正 刘钦甫 田威猛 侯丽华

中国矿业大学资源与安全工程学院,北京 100083

摘要 海拉尔盆地地质条件及其复杂,储层粘土矿物含量高,极大影响了油气资源的高效开发。通过对 X-射线衍射、偏光显微镜观察和扫描电镜分析,确定贝尔凹陷贝 16 断块兴安岭群粘土类型及含量,阐明了其组合及纵向分布特征,并对水敏性极强的钠蒙脱石及其间层矿物进行了详细研究。研究表明,兴安岭群储层自上而下存在 3 种粘土矿物组合 $S+K+(C) \rightarrow K+I/S+I+(C) \rightarrow I+C+S/C+I/S$ 。由地层浅部到深部,粘土矿物含量呈现由高到低的变化规律。凝灰质的水解蚀变及长石和中、酸性岩屑在成岩过程中的次生变化是造成海拉尔地区粘土含量高的主要原因。

关键词 兴安岭群 粘土矿物 钠蒙脱石 地层伤害

中图分类号:P575.5

文献标识码:A

文章编号:1006-3021(2008)02-174-05

Composition and Characteristics of Clay Minerals from the Hingganling Group in the Beier Depression of the Hailar Basin

FU Zheng LIU Qinpu TIAN Weimeng HOU Lihua

School of Resource and Safe Engineering, China University of Mining Technology, Beijing 100083

Abstract Geological conditions of Hailar Basin are very complex. It is difficult to develop its oil reservoirs because of high content of clay minerals. Using X-ray diffraction analysis and SEM observation, the authors studied the form, content, combination and vertical distribution of clay minerals from Hingganling Group, and also probed into the genesis of these clay minerals. The result shows that compositionally there are three types of clay minerals from top to bottom in Hingganling Group: $S+K+(C) \rightarrow K+I/S+I+(C) \rightarrow I+C+S/C+I/S$. With the increasing depth, the content of clay minerals decreases gradually. It is thought that hydrolysis of tuffaceous material and secondary alteration of feldspars and rock debris are two main factors responsible for the high content of clay minerals.

Key words Hingganling Group; clay; Na^+ montmorillonite; formation damage

粘土矿物由于其特有的物理化学性能,在油气开发过程中,由它引起储层伤害约占整个油气层的 70%(徐同等,2003)。海拉尔盆地为中生代断陷——拗陷型盆地,蕴藏着丰富的油气资源,盆地的发育填充过程伴随有频繁的构造活动和火山作用,储层凝灰质及粘土矿物含量高,遇水泥化、坍塌现象严重,给注水开发及压裂、酸化等措施的实施带来了

困难。目前,由于对该区含凝灰质储层粘土矿物研究较少,对由粘土矿物引起的地层伤害未能引起足够的重视,极大制约了油气的有效开发。为此,有必要研究储集层粘土矿物的种类、赋存形式、垂向上分布特征,从而制定和实施有针对性的油层保护方案。

贝尔凹陷为海拉尔盆地贝尔湖拗陷的二级构造单元,发育布达特群潜山裂缝油气藏和上覆的兴安

收稿日期:2007-07-24 改回日期:2007-12-03。责任编辑:刘志强。

第一作者简介:付正,男,1975年生,博士,主要从事煤田、油气田地质研究;通讯地址:100083,北京市海淀区学院路丁11号;电话:010-62331248-8519;E-mail:fuzyuanyuan@126.com。

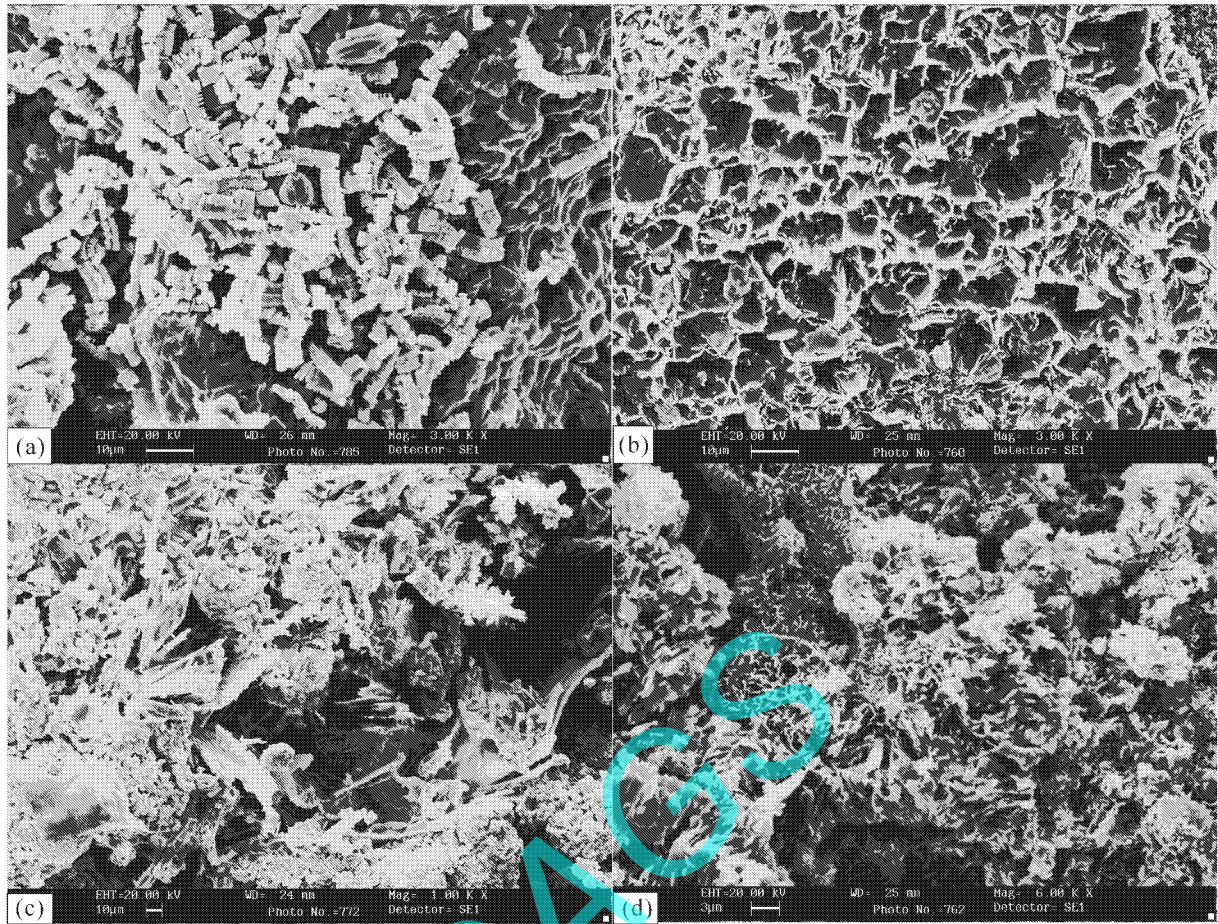


图 1 高岭石、蒙脱石 SEM 图

Fig. 1 SEM photo of kaolinite and montmorillonite

- (a) 粒表溶孔内蠕虫状高岭石 ,1331 m×3000 ;(b) 粒表蜂窝状蒙脱石 ,1388 m×3000 ;
 - (c) 粒表绒球状绿泥石 ,1388 m×6000 ;
 - (d) 溶蚀孔内片、丝状伊利石 ,1494 m×1000
- (a) oolitic kaolin in grain surface corroded hollow ,1331m ×3000 ;(b) honeycomb montmorillonite at grain surface ,1388 m×3000 ;
- (c) bobbles-shaped chlorite ,1388 m ×6000 ;(d) slice within corroded hollow , filamentous illite ,1494 m ×1000

岭群两套油藏。兴安岭群储层总体为湖泊—扇三角洲沉积,岩性为陆源碎屑岩、火山碎屑岩和二者之间的过渡类型,上部地层发育的岩石类型有岩屑砂(砾)岩、粉砂岩、凝灰质砂(砾)岩、沉凝灰(火山角砾)岩、下部地层发育流纹质凝灰岩—熔结凝灰岩、英安质凝灰岩—熔结凝灰岩及沉凝灰岩。岩石碎屑颗粒分选较差,成分成熟度和结构成熟度低,反应了一种近源快速堆积的特征。

1 粘土矿物组成

1.1 粘土矿物类型

本次研究对贝尔凹陷贝 16 断块 170 个岩石样品进行了系统测试。研究表明,兴安岭群浅部储层发育的粘土矿物主要有高岭石(K)、蒙脱石(S)、伊利石/蒙脱石(I/S)间层、伊利石(I)、绿泥石(C)、绿泥石/蒙脱

石间层(C/S)。在局部地区和局部层位还可见柯绿泥石、钠板石、坡缕石和海绿石。从扫描电镜下可以清晰观察到粘土矿物的形态特征。高岭石(图 1(a))集合体为蠕虫状、书页状等,主要附着于长石颗粒的粒表、充填于粒间;蒙脱石(图 1(b))及伊/蒙无序间层镜下呈包膜状、蜂窝状或片状;伊/蒙有序间层(图 1(c))镜下呈片状、短丝状、掌状集合体形式存在;绿泥石(图 1(d))镜下呈花朵状及绒球状等。

1.2 粘土矿物组合及分布

根据研究区 170 个薄片分析统计,岩石中粘土矿物总量在 9.1%~69.1% 之间,自上而下有三种特征粘土矿物组合: S+K+(C)→K+I/S+I+(C)→I+C+S/C+I/S 相应可以分为 3 个不同的粘土矿物组合带(表 1)。以粘土矿物相对含量之和为 100,得出粘土矿物的垂向分布如图 2。

表 1 兴安岭群粘土矿物相对含量 / %

Table 1 Relative content of clay minerals of Hingganling Group / %

深度/m	粘土组合	粘土相对含量/%						粘土总量
		蒙脱石	高岭石	伊利石	伊/蒙间层	绿泥石	绿/蒙间层	
1325~1430	S+K+(C)	71.5	23.5	—	—	5.0	—	38.6
1430~1570	K+I/S+I+(C)	—	52.9	8.5	31.2	4.4	—	23.5
1570~1850	I+C+S/C+I/S	—	—	25.3	6.3	30.9	37.6	12.3

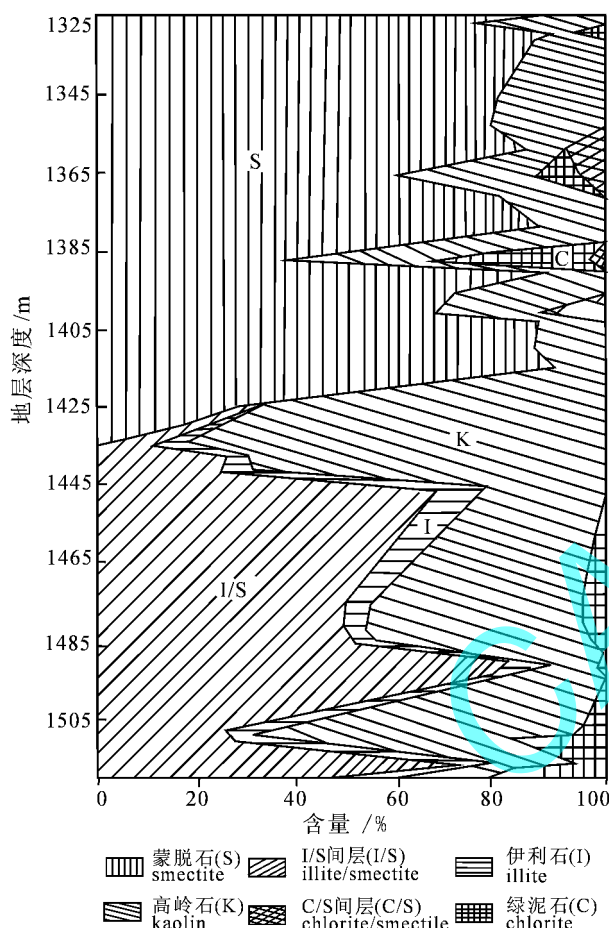


图 2 粘土矿物纵向分布图

Fig. 2 Vertical distribution of clay minerals in sandstone

1.3 研究区蒙脱石矿物特征分析

由于蒙脱石及其间层矿物是水敏性极强的矿物,造成的储层损害也最为严重。为此,有必要对蒙脱石及其间层矿物进行详细研究。

图 2 表明,蒙脱石主要存在于兴安岭群 1430 m 以上地层,含量在 70%~90% 之间。X 射线衍射(图谱 3(a))显示,研究区蒙脱石的特征峰峰值 $d(001)$ 在 1.2~1.3 nm 之间,该蒙脱石还具有极高的离子交换能力,阳离子交换容量(CEC)总量在 101.05~108.06 mmol/100 g 之间,为钠蒙脱石。交换性阳离子为 Na^+ 离子的蒙脱石(钠蒙脱石),层

间水分子层随着湿度的增加而增加,渗透膨胀可导致其体积增大 20~25 倍(赵杏媛等,1990; Kraehenbuehl et al., 1987)。

1430 m 以下地层粘土组合为 I/S + K + I + (C),以富含伊/蒙间层和高岭石为特征,最高含量可达 80% 以上,标志着地层中发生了蒙脱石向伊/蒙间层矿物的转化。地层浅部伊/蒙间层矿物基面衍射峰 $d(001)$ 一般在 1.2~1.3 nm 之间,经乙二醇处理后 $d(001)$ 一般都在 1.7 nm 左右,为无序间层。随着成岩作用的深入,逐渐过渡为伊/蒙有序间层。图 3(b)为间层比 45% 的伊/蒙间层 X 衍射图谱,乙二醇处理后出现 1.7 nm 衍射峰,但低角度出现散射现象。图 3(c)为伊/蒙有序间层 X 衍射图谱,乙二醇处理后衍射峰 $d(001)$ 略微有所增加,达到 13 nm 左右。参考前人(Srodon, 1981; Atsuyuki et al., 1989)以间层比 $S = 45\%$ 作为划分无序间层和有序间层依据,目的层伊/蒙间层矿物由无序向有序转变的层位在 1520 m 左右。

2 粘土矿物成因探讨

海拉尔地区沉积岩为特征明显的非典型沉积岩(贾丹等,2006),储层中粘土矿物含量高,地层浅部含有大量的蒙脱石及其间层矿物含是该区最显著的特点。粘土矿物按其成因可分为陆源和自生两大类,前者的组成主要受物源区粘土矿物组成的控制,后者受母岩、沉积、成岩环境(盆地水介质、古气候等)等多种因素的影响(王行信等,1990)。研究表明,研究区粘土矿物主要来源于以下两个方面。

2.1 火山碎屑物质水解蚀变

海拉尔盆地兴安岭群沉积时期曾伴随着大规模的火山爆发(赵海玲等,1998),形成了现今沉积岩和火山碎屑岩互层的特点。火山物质形成于高温条件下,在进入盆地后,由于温度的变化或盆地流体、大气淡水的作用下,易发生蚀变作用,当处在无水的环境中,它将脱玻化生成方英石、鳞石英、玉髓等稳定矿物,当处在水介质中,经水解作用,向沸石、蒙脱石和高岭石类矿物转化。显微镜下观察,自生粘土矿

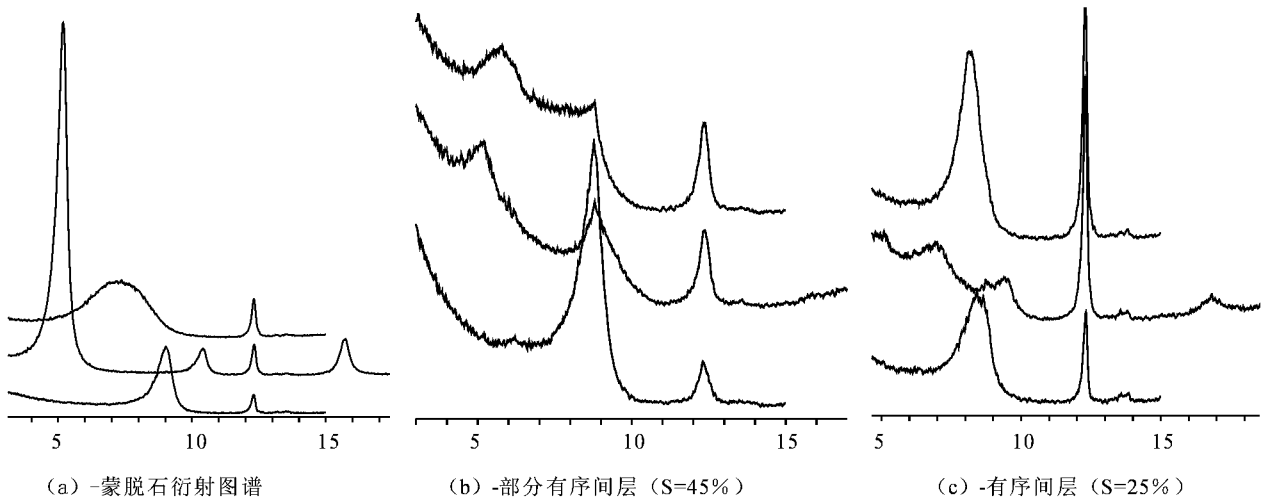


图 3 蒙脱石及 I/S 间层矿物 XRD 图谱

Fig. 3 X-ray diffraction patterns of montmorillonite and I/S interlayer minerals

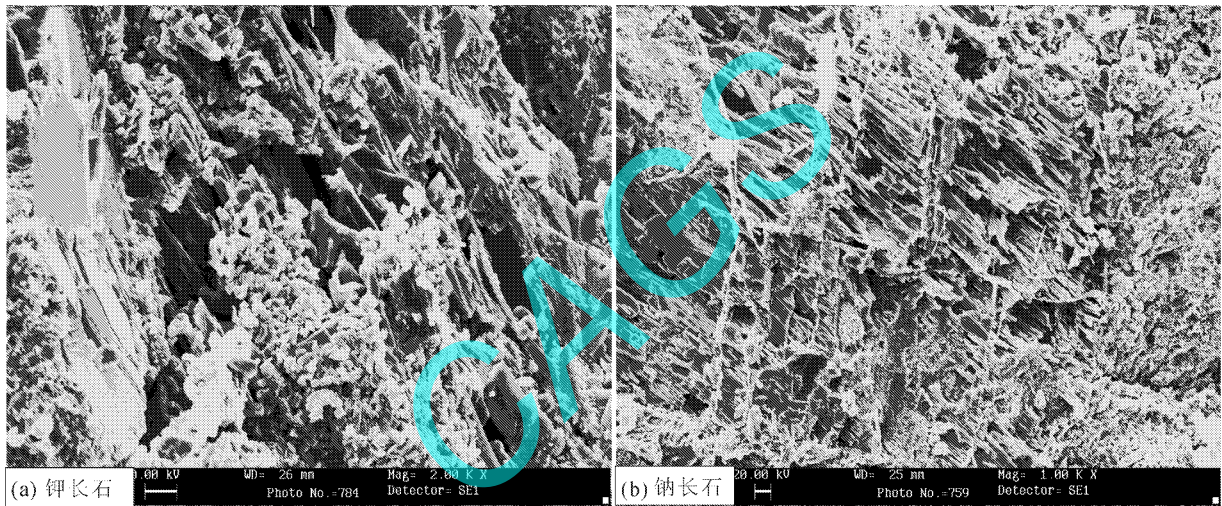
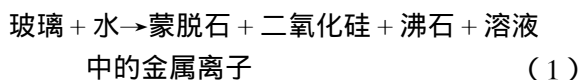


图 4 长石溶蚀形成的次生孔隙 SEM 照片

Fig. 4 SEM photo of induced porosity of feldspar erosion

物包裹在火山碎屑颗粒周围,正交偏光下表现为一圈彩色的亮带—粘土矿物包壳。在碱性、偏碱性介质条件下,凝灰物质极易蚀变为蒙脱石矿物。海拉尔盆地现今地层水 pH 值较高,地层常常为碱性偏碱性环境(滕洪达等,2004)。地层中的蒙脱石就是由火山玻璃在碱性环境下经水解作用而形成,转化的通式为:



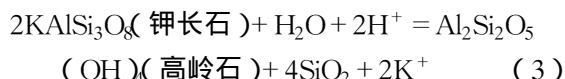
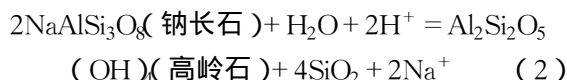
在发生蚀变的过程中,由于物质成分的重新分配,有适量的二氧化硅释放出来,在火山角砾的边缘形成一圈甲冑状的自生石英微晶。

2.2 岩屑及长石成岩变化

薄片观察,本区正常的沉积岩以岩屑砂岩或长石岩屑砂岩为主。岩屑含量在 60%~65% 之间,主

要类型有安山岩、花岗岩等中酸性喷出岩及凝灰岩岩屑,其次为片麻岩、片岩和轻微变质泥质岩岩屑,并含有大量的陆源长石碎屑,主要为钾长石和斜长石。这些组分不仅化学成份复杂,且在埋藏成岩过程中容易与孔隙介质发生各种化学反应,生成高岭石、绿泥石和伊利石等矿物。显微镜下可以清晰看到碎屑长石表面附着有大量晶形完好的自生高岭石晶体,与蒙脱石不同的是,高岭石生成需要酸性介质环境下生成,它是由酸性流体与含 Al^{3+} 的矿物相互反应的产物,孔隙中 Al^{3+} 主要来自骨架组分中碎屑长石和酸性岩屑的溶解(郑秀才,1997)。自生高岭石的形成过程和孔隙体积发育相一致,需要足够的空间、酸性介质和开放系统,所以,自生高岭石常与孔、渗及反映孔隙发育、联通性相关的参数成正相关关系(赵杏媛等,2005;冷军等,2006)。扫描电镜分

析发现,自生高岭石大量出现的层位,类似于图4的溶孔普遍存在,能谱分析表明,这些溶孔都是钾(钠)长石被溶蚀形成,长石往往只残留了部分格架。其反应过程可表示如下:



随着成岩作用的进行和介质环境变化,高岭石和蒙脱石将向伊利石和绿泥石转化。1430 m 以下伊/蒙间层矿物大量出现,1600 m 左右出现了绿/蒙间层矿物,都是蒙脱石成岩转变的结果,最终将转变为伊利石和绿泥石。高岭石的成岩变化主要取决于地层水介质的 pH 值,研究区高岭石在 1600 m 左右消失,说明在碱性介质条件下,发生了高岭石向伊利石和绿泥石的转变。

3 结论与建议

(1) 海拉尔地区兴安岭群储层含有大量的火山碎屑尤其是凝灰物质,富含长石及中、酸性喷出岩岩屑,凝灰质的水解蚀变和长石等中酸性岩屑的成岩次生变化形成了大量的粘土矿物;

(2) 岩石中粘土矿物总量在 9.1%~69.1% 之间,自上而下粘土矿物绝对含量减少,可以分为三个不同的粘土矿物组合带: $S+K+(C) \rightarrow K+I/S+I+(C) \rightarrow I+C+S/C+I/S$ 。研究区蒙脱石为火山凝灰物质水解蚀变而来,为水敏性极强的钠基蒙脱石,遇水极易发生膨胀;

(3) 建议对使用有针对性的粘土稳定剂或采取周期性的粘土稳定技术,钠基蒙脱石及其间层矿物存在的强水敏地层进行注水井预处理。同时,由于储层含有大量的速敏性矿物高岭石,下部地层含有较多的绿泥石及绿/蒙间层等酸敏性矿物,在注水开发过程中,注意防止速敏、酸敏损害的发生。

参考文献

- 贾丹,刘财,张民志. 2006. 海拉尔盆地非典型沉积岩中柯绿泥石和钠板石组合的发现及其石油地质意义[J]. 地学物理学进展, 121(3): 949~956.
- 康毅力,罗亚平. 2000. 川西致密气砂岩粘土矿物与地层损害研究-回顾与展望[J]. 钻井液与完井液, 17(5): 36~40.
- 冷军,龙玉梅. 2006. 粘土矿物特性分析在砂岩油藏开发中的应用[J]. 江汉石油职工大学学报, 17(6): 18~20.
- 滕洪达,姜洪启,王平. 2004. 海拉尔盆地地层水特征与粘土矿物转化和赋存的关系[J]. 大庆高等专科学校学报, 20(4): 83~87.

- 王行信,章国海,冯永才. 1990. 松辽盆地粘土矿物研究[M]. 哈尔滨: 黑龙江科学技术出版社, 5~12.
- 徐同台,王行信,等. 2003. 中国含油气盆地粘土矿物[M]. 北京: 石油工业出版社, 3~36.
- 赵杏媛,张有瑜,等. 1990. 粘土矿物与粘土矿物分析[M]. 北京: 海洋出版社, 130~149.
- 赵海玲,邓晋福,陈发景,胡泉,赵世柯. 1998. 中国东北地区中生代火山岩石学特征与盆地形成[J]. 现代地质, 12(1): 56~61.
- 郑秀才. 1997. 塔中地区东河砂岩成岩作用和次生孔隙演化[J]. 西安地质学院院报, 22(2): 34~40.
- 赵杏媛,罗俊成,杨帆. 2005. 粘土矿物研究成果在塔里木盆地油气勘探中的应用[J]. 新疆石油地质, 26(5): 570~575.

References

- ATSUYUKI Inoue, et al. 1989. Convenient technique for estimating smectite layer percentage in randomly interstratified illite/smectite minerals[J]. Clays and Clay Minerals, 37(3): 227~234.
- JIA Dan, LIU Cai, ZHANG Minzhi. 2006. Discovery of corrensite and allevardite in the extremely special reservoirs of Hailaer Basin and its mining to genesis mineralogy[J]. Progress in Geophysics, 121(3): 949~956 (in Chinese with English abstract).
- KANG Yili, LUO Yaping. 1998. Influence of clay minerals on formation damage in sandstone reservoir-a review and prospect in it[J]. Drilling Fluid and Completion Fluid, 17(5): 36~40 (in Chinese with English abstract).
- KRAHENBUHEL F, STOECKLI H F, BRUNNER F, et al. 1987. Study of the water-bentonite system by vapour adsorption, immersion calorimetry and X-ray techniques[J]. Clay Mineral, 22(1): 1~9.
- LENG Jun, LONG Yumei. 2004. Application of clay mineral characteristics analysis in sandstone oil reservoirs[J]. Journal of Jiangnan Petroleum University of Staff and Workers, 17(6): 18~20 (in Chinese with English abstract).
- SRODON J. 1981. X-ray identification of randomly interstratified illite/smectite in mixtures with discrete illite[J]. Clay Minerals, 16(2): 297~304.
- TENG Qida, JIANG Hongqi, WANG Ping. 2004. The relations between the characteristics of stratum water and the transform and accumulation of clay in Hailaer Basin[J]. Journal of Daqing College, 24(4): 83~86 (in Chinese with English abstract).
- WANG Xingxin, ZHANG Guomei, FENG Yongcai. 1990. Research on clay minerals in Songliao Basin[M]. Harbin: Heilongjiang science and technology Press, 5~12 (in Chinese).
- XU Tongtai, WANG Xingxin, et al. 2003. Clay Minerals in Chinese Petroleum Basins[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 3~36 (in Chinese).
- ZHAO Hailing, DENG Jinfu, CHEN Fajing. 1998. Petrology of the Mesozoic Volcanic Rocks and the Basin Formation in the Northeast China[J]. Geoscience, 12(1): 56~61 (in Chinese with English abstract).
- ZHENG Xiucai. 1997. Diagenesis and porosity evolution of the Donghe sandstone in the central Tarim Basin[J]. Journal of Xi'an geology academy, 22(2): 34~40 (in Chinese with English abstract).
- ZHAO Xingyuan, ZHANG Youyu. 1990. Clay Minerals and Clay Mineral Analysis[M]. Beijing: Ocean Press, 130~149 (in Chinese).
- ZHAO Xinyuan, LUO Juncheng, YANG Fan. 2005. Application of clay mineral study results to hydrocarbon prospecting in tarim basin [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 26(5): 570~575 (in Chinese with English abstract).