

文章编号: 1009-3850(2009)04-0057-05

伊通盆地岔路河断陷粘土矿物特征及其对储层物性的影响

何雅娟^{1,2}, 周江羽^{1,2}, 王旭丽^{1,2}

(1. 中国地质大学 资源学院, 湖北 武汉 430074; 2. 中国地质大学构造与油气资源教育部重点实验室, 湖北 武汉 430074)

摘要: 粘土矿物的类型和含量对储层的物性有着较大的影响。伊通盆地岔路河断陷储层属于中低孔、低渗储层。据粘土矿物 X 射线衍射分析, 结合电镜扫描等资料分析研究, 得出了储层的孔隙度、渗透率随粘土矿物的含量、成分、产状的变化关系。研究表明, 粘土矿物的绝对含量与孔隙度和渗透率呈现负相关性, 且其对渗透率的影响明显要比对孔隙度的影响大。随着伊利石含量的增加, 砂岩的渗透率有减小的趋势; 而随着高岭石含量的增加, 砂岩的渗透率有增大的趋势, 孔隙度随粘土矿物相对含量的变化不显著。

关键词: 伊通盆地; 岔路河断陷; 粘土矿物; 储集性能; 相关性

中图分类号: TE122.2⁺4 **文献标识码:** A

粘土矿物是砂岩储层中普遍发育的胶结物,^[1-2]。粘土矿物对油气的生成、运移及聚集有着重要的影响^[3]。

在二十世纪九十年代, 国内的学者就将粘土矿物应用于恢复古环境、进行地层对比和研究成岩作用^[4], 取得了良好的效果。国外的学者对粘土矿物的研究也不少, 如对自生粘土矿物成因的探讨^[5-6], 特别是对自生高岭石的成因尤为关注。本文从粘土矿物的含量、成分和产状三个方面分析了粘土矿物对伊通盆地岔路河断陷储层物性的影响, 特别是其对渗透率的影响。

1 研究区地质背景

伊通盆地属于中国东北地区佳伊地堑的南段, 是郯庐断裂带的北延部分。根据基底性质和盖层特征, 伊通盆地由北向南依次划分为三个断陷: 岔路河断陷、鹿乡断陷和莫里青断陷。

岔路河断陷位于伊通盆地北部, 其东南和西北两侧边界分别为岔路河断层和大黑山断层, 西南界

为二号断层, 并与伊丹断隆相连, 东北界为乌拉街斜坡, 毗邻舒兰断陷, 构成北东向展布的菱形断陷盆地, 轴向长约 100 km 纵向宽 10~15 km, 面积近 1350 km²。岔路河断陷划分为 5 个二级构造带: 梁家构造带、新安堡凹陷、万昌构造带、波泥河-太平凹

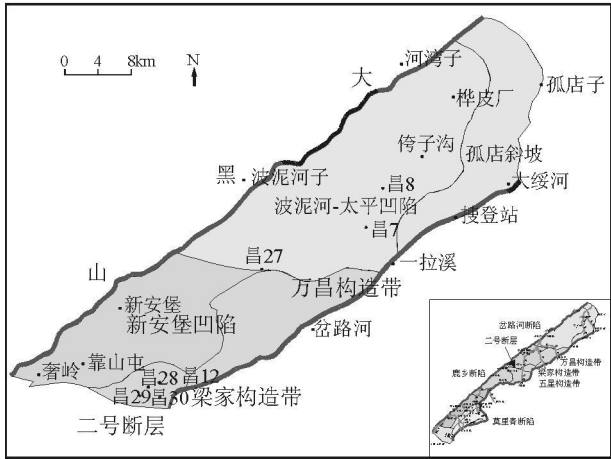


图 1 岔路河构造位置图
Fig 1 Tectonic setting of the Chaluhe depression

陷和孤店斜坡带(图 1)。盆地内油气的主要开发层段为双阳组和奢岭组,该区储层南北埋藏深度相差大,孔隙度分布在 2%~29.9%之间,平均孔隙度为 8.6%;渗透率在 $0.005\times 10^{-3}\sim 785\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ 之间,平均渗透率为 $11.43\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$,属于低孔、低渗透层。

岔路河断陷为近物源快速碎屑堆积,粘土矿物质量分数较高,平均为 6.8%。X射线衍射分析结果表明:岔路河断陷储集层中粘土矿物类型主要有蒙脱石(S)、伊蒙混层(I-S)、伊利石(I)、高岭石(K)和绿泥石(Ch)等。浅部地层发育蒙脱石及高岭石,局部发育伊利石和绿泥石等,深部层位以伊蒙混层、伊利石为主^[7]。

2 粘土矿物的含量对储层物性的影响

国内外的研究表明,在沉积成岩条件大致相同的情况下,粘土矿物绝对含量越高,砂岩的孔隙度和渗透率越低,储集性能越差。砂岩中的粘土含量为 1%~5%时,其属储集性能较好的油气层,当粘土含量超过 10%时,一般为较差的油气层^[8]。岔路河断陷各组均有矿岩发育,其填隙物主要为杂基泥质,含量为 3%~7%,其次为胶结物,亮晶方解石含量约 1%~3%,硅质胶结物含量约 5%。当砂岩中胶结物总量一定时,其粘土矿物含量与孔隙度、渗透率之间存在一定的相关性。以昌 30 井为例,1330~1332^m井段属于扇三角洲前缘席状砂砂体,2102~2106^m井段和 2574~2582^m井段均属扇三角洲平原辫状

分流河道砂体,岩性均为砂砾岩;2231~2233^m井段属于扇三角洲前缘河口坝砂体,岩性为粉砂岩。方解石的含量很低,平均只有 1%~2%,粘土矿物绝对含量大多小于 10%,平均孔隙度最大可达 17.69%,渗透率变化较大,最小为 $0.212\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$,最大可达 $53.881\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ (表 1)。

随着粘土矿物含量的增加,昌 30 井砂岩的孔隙度和渗透率都有所减小,但渗透率的变化更为明显。如 2232.15~2233^m段砂岩,粘土矿物含量为 3.63%时,其平均孔隙度为 16.43%,平均渗透率为 $53.881\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$;而 2573.5~2574.5^m段砂岩,粘土矿物含量为 5.35%时,其平均孔隙度为 12.21%,平均渗透率仅为 $3.936\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ (表 1)。由此看出,在砂岩储层中,粘土矿物的绝对含量是影响储层物性的一个重要因素。

昌 30 井区砂岩储层中粘土矿物绝对含量的多少与其孔隙度和渗透率的大小大体上呈现出负相关性,且对渗透率的影响显然要比对孔隙度的影响大(图 2)。

3 粘土矿物的成分对储层物性的影响

对多个油气田砂岩储集层粘土矿物成分统计表明,胶结物中高岭石含量高的砂岩,比绿泥石、蒙脱石、伊利石含量高的砂岩储集物性好^[9]。在伊通盆地岔路河断陷,粘土矿物的成分与孔隙度、渗透率之间也存在着这样的关系(表 2)。例如,昌 8 井中砂岩的高岭石相对含量为 23%,其孔隙度为 11.1%,渗

表 1 岔路河断陷昌 30 井粘土矿物含量与物性关系

Table 1 Relationship between the contents of the clay minerals and physical properties of the sandstone reservoirs through the Chang 30 well in the Chaluhe depression

井深 /m	样品编号	岩性	粘土矿物 绝对含量	孔隙度 /%		渗透率 / $10^{-3}\mu\text{m}^2$	
				变化范围	平均值	变化范围	平均值
1330~1331	30~47	杂色油迹砂砾岩	6.39	11~11.9	11.45	1.782~4.188	2.985
1331~1332	30~45	杂色油迹砂砾岩	5.98	12.9~15.3	14.1	0.212~0.321	0.267
2102.7~2106	30~38	灰色砂砾岩	3.26	12.3~20.8	17.69	5.537~52.074	23.913
2231.3~2232.15	30~35	灰色油浸粉砂岩	3.11	16.3~18.1	17.5	28.834~73.325	57.621
2232.15~2233	30~31	灰色油浸粉砂岩	3.63	11.5~18.5	16.43	5.839~121.165	53.881
2233~2233.5	30~27	灰色油浸粉砂岩	2.55	—	17.1	—	43.906
2573.5~2574.5	30~3	灰色砂砾岩	5.35	11~12.4	12.21	1.876~7.408	3.936
2574.5~2575.5	30~19	灰色油迹砂砾岩	3.05	11.1~12.9	11.73	2.011~15.615	4.961
2576.5~2577.5	30~15	灰色油斑砂砾岩	1.82	7.6~11.7	10.73	0.857~17.607	6.653
2579~2580	30~12	杂色油斑砂砾岩	3.87	7.9~12.3	10.31	2.087~10.858	5.342
2581~2582	30~10	杂色油斑砂砾岩	1.60	9.8~13.3	11.04	4.187~10.628	7.447

透率为 $2.3 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$;而昌12井中砂岩的高岭石相对含量只有3%,其渗透率也低至 $0.11 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

随着伊利石含量的增加,砂岩的渗透率有减小的趋势,而随着高岭石含量的增加,砂岩的渗透率有增大的趋势,两个趋势都非常的明显(图3)。孔隙

度随粘土矿物相对含量的的变化并不显著。

4 粘土矿物的产状对储层物性的影响

粘土矿物的产状是指自生粘土矿物分布特征及其与岩石骨架颗粒之间的相互关系,表现了粘土矿

表 2 岔路河断陷粘土矿组合与物性关系

Table 2 Relationship between the clay mineral assemblages and physical properties of the sandstone reservoirs in the Chalhe depression

井号	层位	深度		孔隙度 /%	渗透率 / $10^{-3} \mu\text{m}^2$	粘土矿物相对含量 /%				
						S	I	K	C	IS
昌7	S1	3817.25	3817.35	7.8	0.27	0	7.5	10	0	82.5
昌8	S2	4014.5	4014.7	11.1	2.3	2	26	23	13	36
昌12	S2	3704.42	3704.54	6.8	0.11	0	75	3	9	13
昌28	Sh1	2922.15	2922.25	10.8	1.76	0	34.57	10.14	7.43	47.86
昌29	Y2	2467.85	2468	11.9	1.15	0.25	26.6	36.9	7.6	36.8
昌27	S2	3487.2	3487.3	9.46	0.5	0	67.51	0	0	32.49
昌27	S2	3495.4	3495.5	7.51	0.165	0	31.95	0	0.78	67.27
昌30	Y2	2227.35	2227.55	16	15.7	1.3	22.8	26.3	6.2	43.4

注: S为蒙脱石, I为伊利石, K为高岭石, C为绿泥石, IS为伊蒙混层

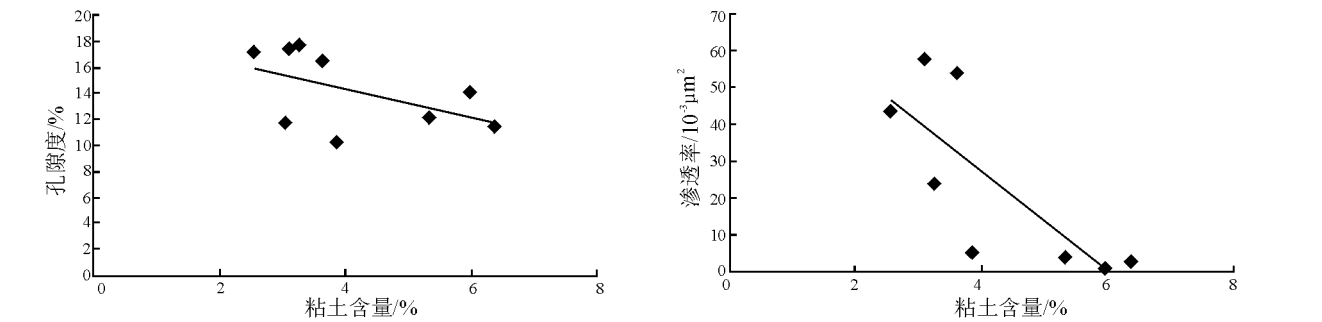


图 2 岔路河断陷昌 30井粘土矿物总量与孔渗关系图

Fig 2 Relationship between the total contents of the clay minerals and porosity and permeability of the sandstone reservoirs through the Chang 30 well in the Chalhe depression

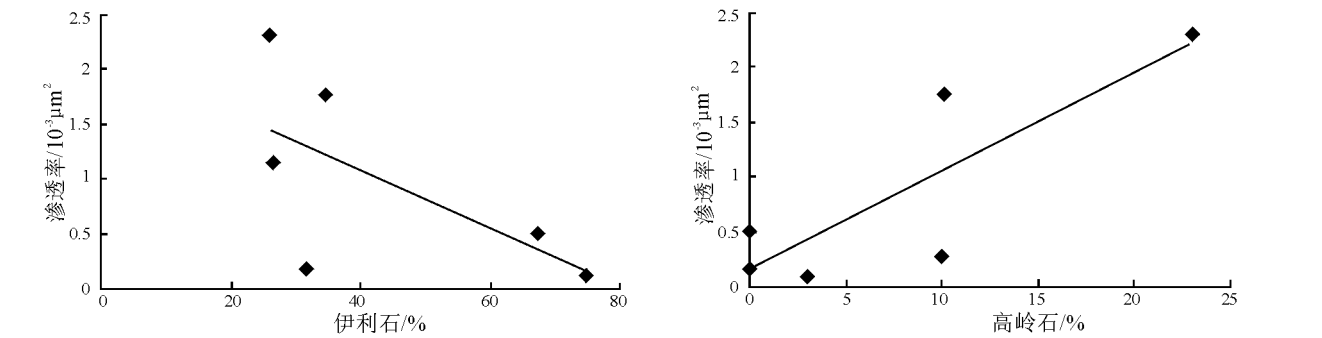


图 3 岔路河断陷粘土矿物与渗透率关系

Fig 3 Relationship between the contents of the clay minerals and permeability of the sandstone reservoirs in the Chalhe depression

物在油气层岩石孔道中的存在位置, 以及粘土矿物本身的聚集状态。通常分为三种基本类型, 即充填

式(分散质点式)、衬垫式(薄膜式)和搭桥式。本区储层中这三种产状均可见(图4)。

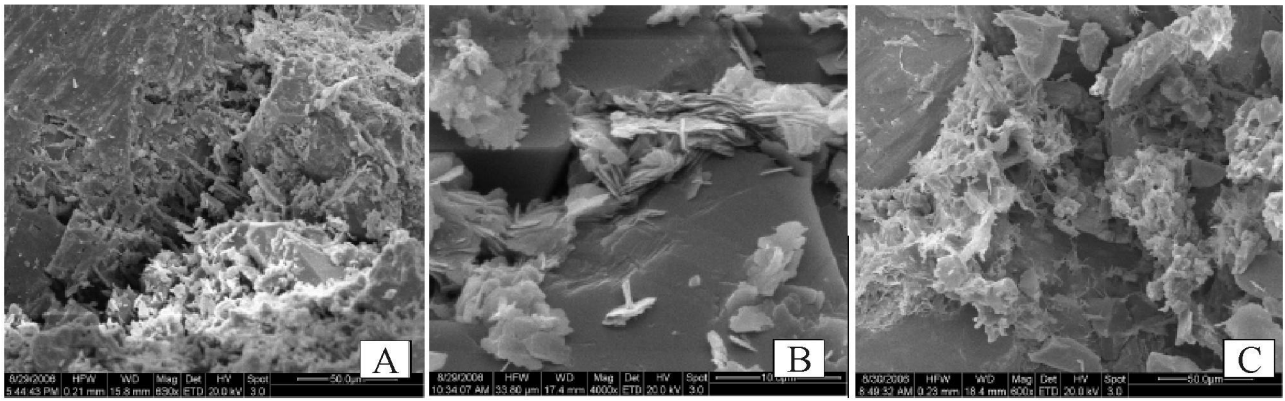


图4 扫描电镜下的粘土矿物类型

A C12-Sh1-3-001 3035 21m 桥接式伊利石, ×630 B C29-Y3-2-006 2460 6m 绿泥石充填孔隙, ×4000 C C12-S2-4-006 3708 95m 薄膜式伊利石充填, ×600

Fig 4 Types of the clay minerals

A Bridge-shape illite in the C12-Sh3-001 sample from 3035 21 m, ×630 B Chlorite filling in the pores in the C29-Y3-2-006 sample from 2460 6 m, ×4000 C Film-shape illite fillings in the C12-S2-4-006 sample from 3708 95 m, ×600

分散质点式粘土矿物以高岭石和绿泥石为主。因为充填在孔隙间的粘土矿物常较为松散, 与碎屑颗粒的吸附力较差, 所以极易造成孔隙吼道的堵塞, 降低储层的物性; 薄膜式充填的粘土矿物主要为伊利石、蒙皂石、绿泥石和伊/蒙混层; 搭桥式粘土矿物以伊利石和绿泥石为主, 储层中原始的粒间孔隙被这些粘土矿物晶体切割, 形成粘土矿物晶体之间的微细孔隙, 降低了储层的渗透率(表3)。

粘土矿物产状是影响储层物性的一个重要参数, 例如, 有些储层尽管粘土矿物含量不很高(小于10%), 但这些粘土分布在孔隙中, 与孔隙中的流体

表3 主要粘土矿物的基本存在形式及对储层的影响^[10] (略有修改)
Table 3 Effects of the occurrence and types of the clay minerals on the physical properties of the sandstone reservoirs in the Chahue depression

粘土矿物类型	产状	在孔隙中的存在形式	储层影响
高岭石	分散质点式	分布在粒间少数在粒表	微粒运移、堵塞孔喉硅酸盐沉淀
伊利石	薄膜式、搭桥式	充填于粒间或分布在粒表	水化膨胀分散运移增大束缚水饱和度
伊蒙混层	薄膜式	充填于粒间或分布在粒表	水化膨胀分散运移
绿泥石	薄膜式、搭桥式、分散质点式	充填于粒间与石英、高岭石共生	微粒间运移、沉淀

接触面积较大, 所以易受到储层中流体性质的影响而造成储层物性的变化。有些粘土矿物在骨架颗粒表面形成包被或呈薄膜衬垫状, 粘土易与外来流体充分接触, 严重影响储层的渗透性。

根据扫描电镜和 X射线衍射资料分析, 本区粘土矿物主要为高岭石、伊利石、绿泥石及伊/蒙混层矿物, 蒙脱石少见。粘土矿物以薄膜状包裹在碎屑颗粒表面或充填在碎屑粒间孔隙中。

高岭石: 在本区砂岩中含量较高, 常以书页状、手风琴状集合体充填在粒间孔隙中。据薄片观察, 自生高岭石形成较早, 主要由长石转化而成。随着深度的增加, 高岭石含量有所下降。高岭石的含量在粗粒砂岩中比在细粒、杂基含量相对较高的砂岩中高。随着高岭石的增多, 岩石孔隙度减小。

伊利石: 伊利石是本区分布最广泛的粘土矿物, 在较浅部层位中以片状、针刺状为主, 之后自生伊利石多向丝发状转化, 局部形成粘土桥堵塞孔隙, 降低储层物性。其亦可呈圆滑的波形弯曲的薄片状或丝发状, 围绕碎屑颗粒生长。有时伊利石沉淀于高岭石微晶之间。

伊/蒙混层: 主要以孔隙充填和交代碎屑颗粒的形式存在。孔隙中的伊/蒙混层是由蒙脱石转化形成的, 所以本区的蒙脱石含量非常低(表2)。

蒙脱石: 多以颗粒粘土薄膜、衬垫的形式出现, 在孔隙吼道处形成充填式胶结, 影响储层渗透率。

但是蒙脱石对水有极强的敏感性,遇水后体积可膨胀数百倍,堵塞孔隙喉道,使砂岩丧失渗透性。当蒙脱石含量达到 17%以上时,砂岩的水相渗透率接近于零^[11]。

绿泥石:在扫描电镜下呈叶片状、针叶状集合体,多以充填粒间孔隙和衬垫方式分布于粒表。本区砂岩中绿泥石分布较少,相对含量最大不超过 10%。

5 结 论

(1)研究区储层属于中低孔、低渗储层,粘土矿物对储层的物性有较大的影响。

(2)砂岩储层中粘土矿物的绝对含量与孔隙度和渗透率呈负相关性,且对渗透率的影响明显要比对孔隙度的影响大。

(3)随着伊利石含量的增加,砂岩的渗透率有减小的趋势,而随着高岭石含量的增加,砂岩的渗透率有增大的趋势,而孔隙度随粘土矿物相对含量的变化并不显著。

参考文献:

[1] 邹春艳. 电镜扫描在碎屑岩储层粘土矿物研究中的应用[J]. 天然气勘探与开发, 2005 28(4): 4—8

[2] 周峰德. 岔路河断陷梁家—新安堡地区低渗储层敏感性影响因素分析及预测[J]. 矿物岩石, 2007 27(3): 101—105

[3] 罗蛰潭. 粘土矿物对碎屑岩储层评价的控制理论探讨及应用实例[J]. 成都地质学院学报, 1991 18(3): 1—12

[4] 赵杏媛. 粘土矿物与防止地层损害[J]. 石油勘探与开发, 1988

[5] EHRENBERGE S N Depth dependent transformation of kaolinite to dickite in sandstone of the Norwegian Continental Shelf[J]. Clay and Clay Mineral 1993 41(28): 325—352

[6] KELLER W D Authigenetic kaolinite and dickite associated with metal sulfides probable indicator of a regional thermal event[J]. Clay and Clay Mineral 1998 46(2): 153—158

[7] 张建光. 伊通地堑岔路河断陷粘土矿物分布演化特征及影响因素[J]. 地质科技情报, 2009 28(1): 51—56

[8] 王行信. 泥岩中碎屑高岭石的分布及其在沉积环境研究中的意义[J]. 大庆石油地质开发, 1983 2(1): 1—6

[9] 伏万军. 粘土矿物成因及对砂岩储集性能的影响[J]. 古地理学报, 2000 2(3): 59—67

[10] 李克向. 保护油气层钻井完井技术[M]. 北京: 石油工业出版社, 1993 45—47.

[11] 赵国泉. 吉林省伊通地堑岔路河断陷岩石学特征及成岩作用研究[J]. 河南石油, 2004 18(6): 4—7.

Clay minerals and their effects on physical properties of the hydrocarbon reservoirs in the Chaluhe depression, Yitong Basin, Jilin

HE Ya Juan², ZHOU Jiang yu², WANG Xu li²

(1. Faculty of Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074 Hubei, China; 2. State Key Laboratory of Tectonics and Petroleum Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074 Hubei, China)

Abstract: The sandstone reservoirs in the Chaluhe depression, Yitong Basin, Jilin have moderate to low porosity and low permeability. The types and contents of clay minerals tend to have an important effect on the physical properties of the hydrocarbon reservoirs. The results of SEM and X-ray diffraction analysis have revealed that there is a negative correlation between the absolute contents of clay minerals and their porosity and permeability. The permeability tends to decrease in response to the increase of the contents of illite and to increase in response to the increase of the contents of kaolinite. The porosity is less variable in response to the relative contents of the clay minerals.

Key words: Yitong Basin, Chaluhe depression, clay mineral, reservoir potential, correlation