

文章编号: 1001-6112(2006)05-0493-06

粘土膜对砂岩储集性能的影响

——以塔里木盆地群 6 井区泥盆系东河塘组下段为例

张惠良¹, 张荣虎¹, 王月华², 朱国华¹, 张春莲²

(1. 中国石油勘探开发研究院 杭州地质研究所, 杭州 310023;

2. 塔里木油田分公司勘探开发研究院, 新疆 库尔勒 841000)

摘要:通过对岩石的铸体薄片、扫描电镜、压汞及物性等资料分析认为:塔里木盆地群 6 井区泥盆系东河塘组下段砂岩中粘土矿物薄膜的成因可分为原生式和自生式,其中以自生式为主。粘土矿物薄膜的形成期往往在成岩早期(或同生成岩期),粘土膜的发育与面孔率基本成正相关关系,与储层孔隙结构成负相关关系。东河塘组下段粘土膜发育的储层(泥质含量 0.5%~3%)孔隙度一般为 7%~17.6%,平均为 11.53%,渗透率一般为 $(0.1\sim 10)\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$,平均为 $4.15\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$;明显高于东河塘组上段粘土膜不发育储层物性,其孔隙度平均为 5.23%,渗透率平均为 $2.88\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ 。粘土膜与储层沉积相带、储层温压系统及早期油气注入较为密切,一般在临滨相带的下临滨—中临滨微相中较为常见,而在泥质淘洗相对干净的上临滨—前滨微相中难以保存,成岩早期油气的注入及异常高压封存体系(群 6 井区压力系数为 1.59)的存在对粘土膜的保存完好起到决定性作用。

关键词:粘土膜;储层;东河塘组;泥盆系;塔里木盆地

中图分类号: TE122.2

文献标识码: A

砂岩中的粘土矿物薄膜是影响其储集性能的重要因素之一^[1~5]。本文的重点是从塔里木盆地群 6 井区泥盆系东河塘组下段砂岩(原称东河砂岩)的微观特征入手,通过大量的铸体薄片、扫描电镜、X 衍射及毛管压力分析,并结合区域地质特征,就粘土矿物薄膜的成分、成因、泥质含量及其对砂岩储集性能的影响进行讨论。

1 粘土薄膜成因及赋存特征

粘土矿物是细微(一般小于 $2\mu\text{m}$,在国际上常取 $4\mu\text{m}$ 为界)分散的含水层状硅酸盐和含水非晶质硅酸盐矿物的总称。其中晶质含水的层状硅酸盐矿物有高岭石、蒙皂石、伊利石和绿泥石等种类;而含水的非晶质硅酸盐矿物有水铝英石、胶硅铁石等种类。群 6 井区东河塘组下段砂岩中粘土矿物的类型主要为晶质含水的硅酸盐矿物:伊利石/蒙皂石间层和伊利石,由其形成的粘土矿物薄膜可分为原生式及自生式(图 1),其中以自生式为主。

原生式薄膜:是以原生沉积的伊利石贴附在颗粒表面并沿颗粒边缘呈环绕状分布形成,该伊利石是在气温稍低的条件下,由长石、云母等铝硅酸盐矿物经风化脱钾后沉积而成。这类薄膜的边缘一般比自生的光滑,厚度在 $7\sim 10\mu\text{m}$ 之间,无再

生演化现象,其中的陆源碎屑伊利石在电镜下呈碎屑片状或弯曲片状,晶形不完整,略具定向性。它的发育对储集性能影响较大,可以抑制非粘土自生矿物的析出,从而起到了保护孔隙作用,该类型在群 6 井区东河塘下段优质砂岩储层中常见(图 1a)。

自生式薄膜:以该形式出现的粘土矿物大多数首先是蒙皂石的形式分布于颗粒表面,随着孔隙水盐度的提高和钾离子的供给,蒙皂石表面逐渐地向伊利石/蒙皂石间层矿物转化,向孔隙方向延伸出舌状、丝状及蜂窝状的间层矿物;随着该作用的继续,蒙皂石含量逐渐减少,取而代之的是伊利石呈丝带和丝网状分布于孔喉之中,有时呈搭桥状切断孔隙喉道,这一作用可以造成岩石渗透率的大幅度下降,也是控制研究区储层物性的主要因素(图 1b)。

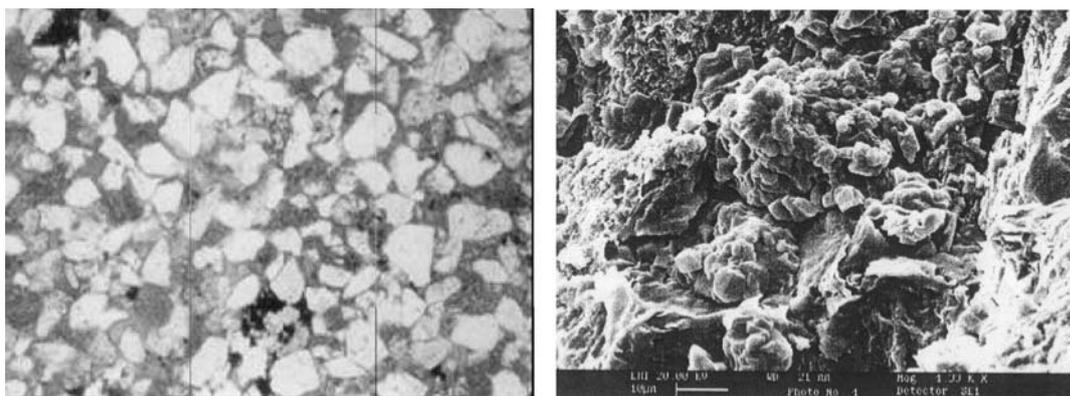
2 粘土薄膜与储层成岩作用

粘土矿物及其演化是储层成岩作用中重要的“序参量”^[6],其中蒙皂石向伊利石的转化反应具有明显的渐变与突变交替的演化程式,并大致经历了蒙皂石带、渐变带(无序间层)、迅速转化带(有序间层)和伊利石的演变(图 2)。研究区伊/蒙粘土矿

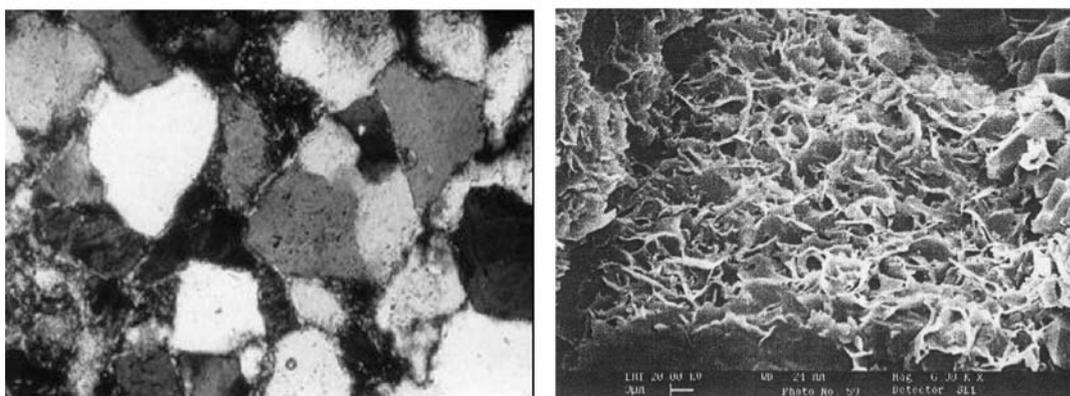
收稿日期:2006-02-28;修订日期:2006-07-27。

作者简介:张惠良(1965—),男(汉族),江西高安人,博士、高级工程师,主要从事沉积、油气储层方面的研究工作。

基金项目:“十五”国家重点科技攻关后两年滚动课题(2004BA616A02-04-02-04 专题)。



a.5 578.34 m, 原生片状伊利石粘土膜发育,石英无加大,原生式粘土薄膜



b.5 584.55 m, 粒表粒间自生片丝状伊利石及蜂窝状I/S混层,可见自生石英,自生式粘土薄膜

图1 塔里木盆地群6井区粘土薄膜成因类型

Fig.1 The cause tape of clay membrane in well Qun 6 of the Tarim Basin

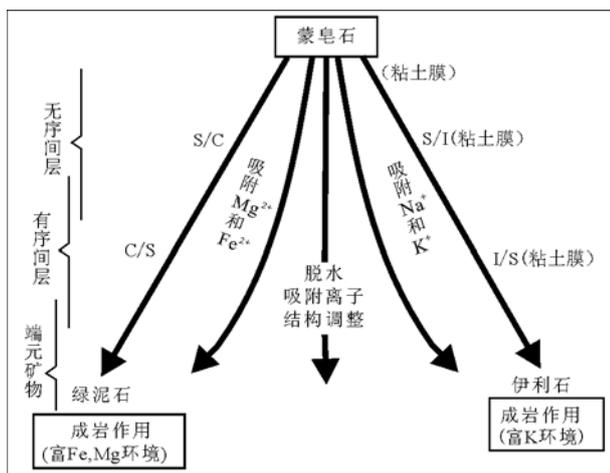


图2 蒙皂石—伊利石的演化趋势

C. 绿泥石; I. 伊利石; S. 蒙皂石

Fig.2 Evolution trend from Smectite to Illite

物的转化现今正处于有序间层——伊利石阶段,伊/蒙混层含量一般为11%~16%,其中的蒙皂石含量为20%(表1),储层处于中成岩演化阶段。而粘土矿物薄膜的形成期往往在成岩早期(或同生成岩期),一般情况下,随成岩程度的增加,混层粘土

矿物的混层比下降,最终向伊利石转化;粘土矿物的产状从蜂窝状向丝条状、桥状、网状转化。

3 粘土薄膜与孔隙结构及面孔率

分析表明(表1),粘土膜的发育与储层孔隙结构成负相关关系,与面孔率基本成正相关关系(表2,图3)。由于伊利石、伊/蒙混层粘土膜的存在,储层的平均孔喉半径一般为0.1~0.2 μm,岩石孔隙结构相对较差,以细孔喉为主,少见中孔喉及粗孔喉;而面孔率相对较高,达到6%~9%,可达中孔类储层。这是由于粒间孔增加了一层粘土薄膜,一方面岩石受上覆岩层压实,在颗粒接触处如果没有伊利石、伊蒙混层粘土膜的存在,由压实可加剧孔隙缩小或减少,同时粘土薄膜可减缓储层后期胶结作用的发生,降低胶结作用对孔隙的缩小、减少;另一方面减少了孔隙喉道的有效半径,常常引起孔隙喉道的堵塞,降低储层渗透率。

在东营塘组下段砂岩储层中(图4),剩余粒间孔中见有自形的自生石英晶体生成,这种自生石英更容易在没有粘土膜发育的地方生长,与碎屑颗粒紧紧相连;而在粘土膜发育的孔隙中却很少见有

表 1 塔里木盆地群 6 井区东河塘组下段砂岩粘土矿物含量

Table 1 Content of clay mineral of the lower Donghetang group in well Qun 6 of the Tarim Basin

深度/m	层位	岩性	粘土矿物组分相对含量, %				
			伊/蒙间层	伊利石	高岭石	绿泥石	伊/蒙间层比
5 583.55	D ₂ d	灰色饱含油细粉砂岩	—	95	5	—	—
5 584.44	D ₂ d	灰色饱含油细粉砂岩	—	100	—	—	—
5 585.99	D ₂ d	褐灰色富含油细砂岩	—	100	—	—	—
5 586.2	D ₂ d	褐灰色富含油细砂岩	14	86	—	—	20
5 587.77	D ₂ d	褐灰色饱含油细砂岩	—	100	—	—	—
5 588.65	D ₂ d	褐灰色饱含油细砂岩	16	84	—	—	20
5 589.41	D ₂ d	褐灰色饱含油细砂岩	12	88	—	—	20
5 590.82	D ₂ d	褐灰色饱含油细砂岩	11	89	—	—	20
5 591.51	D ₂ d	褐灰色饱含油细砂岩	—	100	—	—	—
5 592.89	D ₂ d	褐灰色饱含油细砂岩	—	100	—	—	—

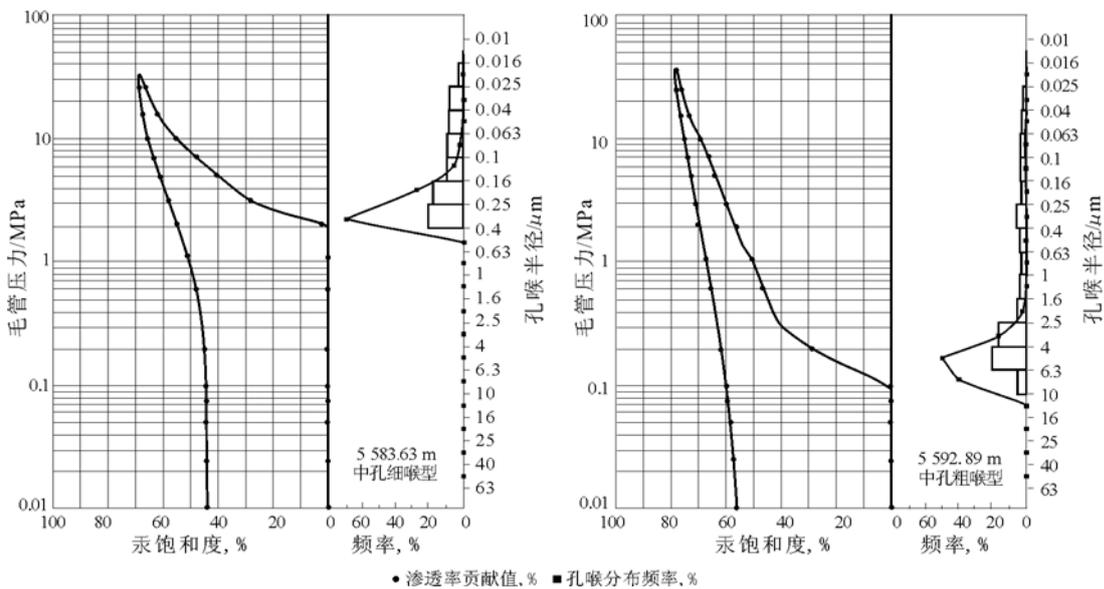


图 3 塔里木盆地群 6 井东河塘组下段储层典型孔喉结构类型

Fig. 3 Representative pore passage type of the lower Donghetang group in well Qun 6 of the Tarim Basin

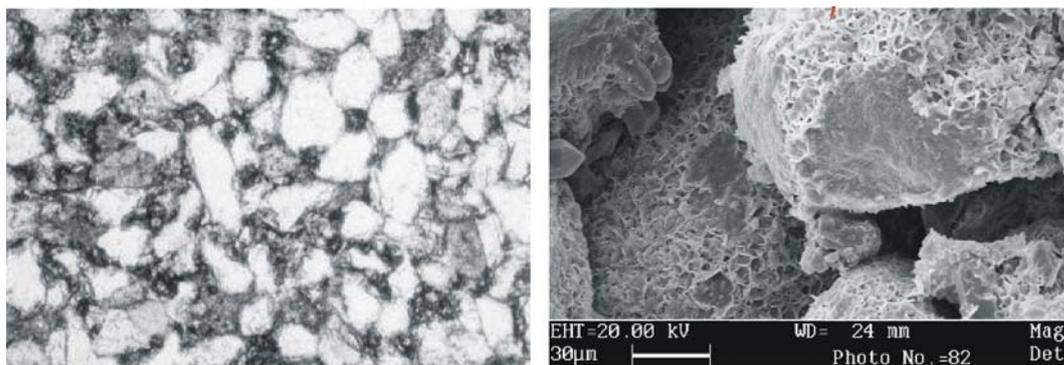
表 2 塔里木盆地群 6 井区粘土膜发育段储层孔隙结构特征

Table 2 Pore structure of reservoir developing clay minerals membrane in well Qun 6 of the Tarim Basin

深度/m	中值压力/ MPa	排驱压力/ MPa	最大孔喉半径/ μm	平均孔喉半径/ μm	面孔率, %	粘土矿物 类型	孔隙结构 类型
5 583.63	8.408 0	1.943	0.386 0	0.132 9	6.0	I	中孔细喉
5 585.16	2.455 0	0.290	2.582 0	0.603 3	6.5	I, I/S	中孔中喉
5 585.69	10.190 0	1.321	0.567 6	0.167 6	4.1	I	中孔细喉
5 586.92	26.280 0	2.032	0.369 0	0.114 0	6.1	I	中孔细喉
5 587.77	3.526 0	0.695	1.079 0	0.321 1	6.5	I	中孔中喉
5 588.52	15.160 0	1.720	0.435 9	0.109 8	6.5	I, I/S	中孔细喉
5 590.00	2.401 0	0.317	2.368 0	0.566 9	6.5	I	中孔中喉
5 590.82	8.219 0	1.456	0.515 0	0.174 8	6.5	I, I/S	中孔细喉
5 591.44	14.780 0	1.416	0.529 6	0.152 8	7.5	I	低孔细喉
5 592.89	0.475 3	0.098	7.660 0	1.713 0	8.7	I	中孔粗喉

自生石英生成,说明粘土膜可阻止自生石英生长,或减小石英生成的数量,达到保护孔隙的作用;而一旦石英在没有粘土膜的碎屑上生长形成,则粘

土膜不能阻止自生石英的生长,自生石英可填满整个剩余原生粒间孔,因此粘土膜在孔隙保护中的作用显著。



5 587.01 m, 褐灰色细砂岩, 粒表大量蜂窝状I/S层及丝状伊利石, 可见次生石英加大

图 4 塔里木盆地群 6 井东河塘组下段储层铸体照片

Fig. 4 Cast liquid photo of the lower Donghetang reservoir in well Qun 6 of the Tarim Basin

4 粘土薄膜与储层储集性能

国内外研究表明,在沉积、成岩条件大致相同的情况下,粘土矿物含量越高,砂岩的孔隙度、渗透率越低,储集性能越差。砂岩中的粘土含量为 1%~5%时,属储集性能较好的油气层;当粘土含量超过 10%时,则认为是较差的油气层^[7]。本次研究表明:在沉积相带及岩矿成分基本一致的情况下,粘土膜发育(泥质含量 0.5%~3%)的砂岩储层物性相对较好(图 5),孔隙度一般为 7%~17.6%,平均为 11.53%,渗透率一般为(0.1~10)×10⁻³ μm²,平均为 4.15×10⁻³ μm²;明显高于东河塘组上段粘土膜不发育储层物性,其孔隙度为 3.5%~7%,平均 5.23%,渗透率为(0.1~1)×10⁻³ μm²,平均 2.88×10⁻³ μm²。粘土膜的发育与储层沉积相带较为密切(表 4),一般在临滨相带的下临滨—中临滨微相中较为常见,而在泥质淘洗相对干净的上临滨—前滨相中难以保存。粘土膜的保存条件相当苛刻,泥质含量少(<0.5%)则难以成完整的膜;泥质含量多(>5%)则往往堵塞孔隙喉道。

5 结论与探讨

1)群 6 井区泥盆系东河塘组下段砂岩中粘土矿物的类型主要为:伊利石/蒙皂石间层、伊利石,由其形成的粘土矿物薄膜的成因主要有原生式及自生式,其中以自生式为主。

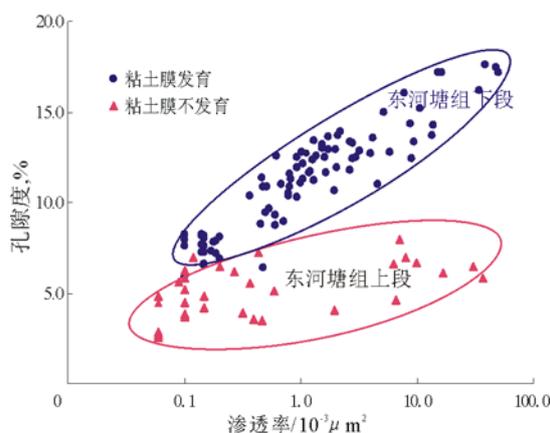


图 5 塔里木盆地群 6 井区粘土膜与储层物性相关图

Fig. 5 Relationship between reservoir quality and clay minerals membrane in well Qun 6 of the Tarim Basin

表 4 塔里木盆地群 6 井区东河塘组下段砂岩储层粘土膜与储层性质

Table 4 Relationships between reservoir quality and clay minerals membrane of the lower Donghetang group in well Qun 6 of the Tarim Basin

井深/m	孔隙度, %	渗透率/ 10 ⁻³ μm ²	泥质含量, %	粘土矿物 类型	粘土矿物产状	沉积微相 类型
5 585.90	12.32	1.280	3.0	I	衬垫式(薄膜)	下临滨
5 586.92	10.31	0.922	3.0	I	衬垫式(薄膜)	下临滨
5 587.77	13.87	2.220	2.0	I	衬垫式(薄膜)	下临滨
5 588.52	8.76	0.456	2.0	I,I/S	衬垫式(薄膜)	下临滨
5 589.84	12.15	1.060	2.0	I,I/S	衬垫式(薄膜)	中临滨
5 590.00	13.70	2.110	1.0	I	衬垫式(薄膜)	中临滨
5 591.82	11.22	1.300	0.5	I	衬垫式(薄膜)	下临滨
5 592.89	14.96	5.230	1.0	I	衬垫式(薄膜)	下临滨
5 593.48	17.44	47.700	0.5	I,I/S	衬垫式(薄膜)	下临滨

2) 粘土矿物薄膜的形成期往往在成岩早期(或同生成岩期), 一般情况下, 随成岩程度的增加, 混层粘土矿物的混层比下降, 最终向伊利石转化, 粘土矿物的产状从蜂窝状向丝条状、桥状、网状转化。

3) 粘土膜的发育与面孔率基本成正相关关系, 与储层孔隙结构成负相关关系, 这是由于粒间孔增加了一层粘土薄膜之后, 一方面增强了岩石的抗压实强度, 而且减缓了储层后期胶结作用的强度, 降低胶结作用对孔隙的缩小、减少; 另一方面粘土膜的大量发育减少了孔隙喉道的有效半径, 常常会引起孔隙喉道的堵塞, 降低储层渗透率。

4) 在沉积相带及岩矿成分基本相同的情况下, 粘土膜的发育对储层性质的改善较为显著。东河塘组下段粘土膜发育(泥质含量 0.5%~3%)的储层孔隙度一般为 7%~17.6%, 平均为 11.53%, 渗透率一般为 $(0.1\sim 10)\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$, 平均为 $4.15\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$; 明显高于东河塘组上段粘土膜不发育储层物性, 其孔隙度为 3.5%~7%, 平均 5.23%, 渗透率为 $(0.1\sim 1)\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$, 平均 $2.88\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ 。

5) 粘土膜的发育与否影响因素相对较多, 包括沉积、成岩、温压系统及油气等流体的保护, 如何在横向上进行综合预测仍需进一步探讨; 就本

次研究而言, 粘土膜与储层沉积相带、储层温压系统及早期油气注入较为密切, 一般在临滨相带的下临滨一中临滨微相中较为常见, 而在泥质淘洗相对干净的上临滨一前滨相中难以保存, 成岩早期油气的注入及异常高压封存体系(群6井区压力系数为 1.59)的存在对粘土膜的保存完好起到决定性作用。

参考文献:

- 1 Brindley, Brown. Crystal structure of clay mineral and their X ray identification[M]. London: Mineral Soc, 1988. 291
- 2 朱国华. 碎屑岩储层孔隙的形成、演化和预测[J]. 沉积学报, 1992, 10(3): 114~123
- 3 程晓玲. 粘土矿物成岩作用对油气储集性和产能的影响——以苏北盆地台兴油田阜三段储层为例[J]. 石油实验地质, 2003, 25(2): 164~168
- 4 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): 59~68
- 5 孙玉善, 杨帆. 粘土矿物研究在塔里木盆地地层对比及储集层研究中的作用[J]. 新疆石油地质, 1998, 19(5): 397~400
- 6 李昌存, 韩秀丽. 塔里木盆地克孜勒苏群碎屑岩成岩作用研究[J]. 石油实验地质, 1998, 20(2): 135~138
- 7 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]. 大庆石油地质与开发, 1983, 2(1): 1~6

INFLUENCE OF CLAY MINERALS MEMBRANE ON SANDSTONE RESERVOIRS —A CASE STUDY ON THE LOWER DONGHETANG

RESERVOIRS OF THE DEVONIAN OF WELL QUN 6 IN THE TARIM BASIN

Zhang Huiliang¹, Zhang Ronghu¹, Wang Yuehua², Zhu Guohua¹, Li Yuwen², Zhang Chunlian¹

(1. Hangzhou Institute of Geology, Research Institute of Petroleum Exploration and development of China, HangZhou, Zhejiang 310023, China; 2. Research Institute of Petroleum Exploration and development, Tarim Oil Field Branch Company, Korla, Xinjiang, 841000, China)

Abstract: According to cast liquid photo, scan electron microscope, impressing hydrargyrum, quality etc., the research thinks that clay minerals membrane of the lower Donghetang reservoir of the Devonian in well qun 6 area of the Tarim Basin is divided into original cause and self-generating cause, among them with self-generating cause for most. Clay minerals membrane usually comes into being in earlier diagenetic stage(or developing together diagenetic stage), which have a just relation to the face porosity of the reservoir, and a negative relation to the pore structure. Porosity of the lower Donghetang reservoir developing clay minerals membrane is most of 7%~17.6%(mean of 11.53%) and permeability is most of $(0.1\sim 10)\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ (mean of $4.15\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$), and these quality is obviously higher than the upper Donghetang reservoir not developing clay minerals membrane, whose mean porosity is 5.23% and mean permeability is $2.88\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$. Clay minerals membrane has a close relation to depositional facies, temperature and pressure system of reservoir, earlier hydrocarbon infusion. Generally speaking, clay min-

erals membrane develops in lower-middle shore face more familiar, while is short in the upper shore face and foreshore where clay is washed cleanlily. Hydrocarbon infusion in earlier diagenetic stage and abnormal high pressure system(well qun 6 area pressure coefficients for 1.59) have crucial function to protect clay minerals membrane.

Key words: clay minerals membrane; reservoir; the Donghetang group; the Devonian; the Tarim Basin

东、西秦岭和大别造山带构造演化差异与盆地

秦岭—大别造山带位于中国大陆中部,北纬 30° 与 34.5° 之间,其南北分别为扬子与华北地块。通常以青海共和盆地以东至河南南阳盆地以西区间统称秦岭,并往往又以甘肃微成盆地界,东西分别称东秦岭和西秦岭,又以南阳盆地以东到郟庐断裂以西称为大别造山带。近年来工作表明,东秦岭/西秦岭/大别造山带三者的构造演化之间既具有某些相似的特征又有所不同。三个造山带的相似处是:它们都位于古中国洋的东段,即古中国洋的形成演化是相似的,就是说,在晚元古代—早古生代具相似的演化特征。三个造山带的差异是:之一是西秦岭勉略有限洋盆($D-C-T_2$),而它的东延(东秦岭—大别)是一个拗拉槽,它们的发生、发展和消亡具有差异;之二是大别的热隆伸展(J_3-K_1)。秦岭—大别古生代的板块构造特征:东秦岭为一洋二陆(华北古板块、古秦岭—大别洋、扬子古板块);西秦岭为二洋三陆(华北古板块、古秦岭洋、古秦岭微板块、勉略洋和扬子古板块);大别为一洋二陆(华北古板块、古秦岭—大别洋、扬子古板块)。大地构造环境控制了盆地的发育,因此上述三个造山带两侧具有三个不同的盆地序列,其中造山带南侧的盆地演化序列简述如下:

1 东秦岭造山带南侧的中、上扬子克拉通北部盆地演化序列

1)晚元古代—早古生代被动大陆边缘阶段:a.晚元古代(青白口纪)陆内断陷;b.震旦纪—中奥陶世克拉通内拗陷、碳酸盐台地和台地周边条状拗陷(Z_2-O_2);c.晚奥陶世—志留纪板块俯冲阶段(O_3-S),大型台内拗陷。2)泥盆纪—石炭纪整体隆起阶段:局部拗陷(D_2-C_1)和条状拗陷(C_2)。3)二叠纪—中三叠世南秦岭拗拉槽发育阶段($P-T_2$):碳酸盐台地、台内断陷相间的台盆格局。4)晚三叠世—早白垩世迁移前陆盆地(T_3-K_1)。5)晚白垩世以来走滑拉张盆地和后期反转。

2 西秦岭造山带南侧盆地演化序列

1)晚元古代—早古生代被动边缘阶段:a.晚元古代裂陷(陆内裂谷);b.寒武纪—中奥陶世移离阶段($\epsilon-O_2$),发育被动大陆边缘盆地;c.晚奥陶世—早泥盆世俯冲—碰撞阶段(O_3-D_1),收缩充填,发育残余海盆。2)泥盆纪—中三叠世勉略小洋盆发育阶段(D_2-T_2):a.泥盆纪裂陷;b.石炭纪—早三叠世小洋盆;c.中三叠世收缩充填,残余海盆。3)晚三叠世—早白垩世会聚阶段(T_3-K_1),发育前陆盆地。4)晚白垩世以来走滑盆地和更新世及全新世隆升(K_2-Q_4)。

3 大别造山带南侧中、下扬子克拉通北部盆地演化序列

1)晚元古代—早古生代被动大陆边缘阶段:a.晚元古代(青白口纪)陆内断陷;b.震旦纪—中奥陶世克拉通内拗陷、碳酸盐台地和台地周边条状拗陷(Z_2-O_2);c.晚奥陶世—志留纪俯冲—碰撞阶段(O_3-S),被动边缘盆地和大型台内拗陷。2)泥盆纪—石炭纪整体隆起阶段:局部拗陷(D_2-C_1)和条状拗陷(C_2)。3)二叠纪—中三叠世南秦岭—大别拗拉槽发育阶段:碳酸盐台地、台内断陷相间的台盆格局。4)晚三叠世—中侏罗世,迁移前陆盆地。5)晚侏罗—早白垩世热隆伸展阶段,发育伸展盆地。6)晚白垩世以来走滑拉张盆地和后期反转。