

文章编号: 0253-9985(2003)01-0065-05

煤系粗粒低渗储层自生粘土矿物 特征及其对储层特性的影响

——以焉耆盆地侏罗系三工河组油层为例

姚光庆¹, 孙尚如^{1,2}

(1. 中国地质大学, 湖北武汉 430074; 2. 中国石化河南油田分公司, 河南南阳 473132)

摘要: 中国中西部侏罗系煤系粗粒低渗储层中自生粘土矿物含量高, 尤其是高岭石矿物的相对含量较高。焉耆盆地地下侏罗统三工河组储层研究表明, 粘土总量和高岭石含量在不整合面下随深度加大而减少, 而伊利石和绿泥石的含量却随深度增加而加大。相同深度下, 长石成分含量较高、厚度较大的主河道砂体中高岭石含量普遍较高。煤系地层中酸性流体介质环境下的水岩相互作用对粘土矿物的产生起关键作用。焉耆盆地粘土矿物的大量存在加剧了此类储层的低渗透性; 增加了储层潜在敏感性; 严重影响了油田增产效果。

关键词: 煤系地层; 低渗储层; 粘土矿物; 储层特性

第一作者简介: 姚光庆, 男, 37岁, 副教授, 储层地质学与油藏描述

中图分类号: TE112.221

文献标识码: A

经统计, 世界上许多大型气田与煤系地层有关, 天然气储量的90%来自煤系地层^[1]。国内侏罗系储层普遍以粗粒、低渗为其显著特征, 储层中普遍含有较多的自生粘土矿物。储层中的粘土矿物对油田开发具有重要的实际意义^[2]。

新疆焉耆盆地宝浪油田主力油层为下侏罗统三工河组河道沉积砂砾岩储层。含油层系分3个油组, 油组间被三层稳定的厚度在5~8m的煤层隔开, 油组内夹有多层不稳定煤层或煤线。含油河道砂体与含有丰富碳屑的泥岩频繁间互。油区内三工河组之上覆盖中生界残留地层西山窑组(厚度仅100~300m), 该组顶部为中生界与第三系的大型不整合面, 经历了长时期的剥蚀。宝浪油田储层低孔低渗、粘土矿物含量高、储层敏感性强等不利因素, 严重影响了油田的开发效果, 所采用的常规注水和增产措施效果不佳。本文以宝浪油田为例, 详细研究油层中粘土矿物的岩石矿物学特征, 分析粘土矿物的成因规律, 并对粘土矿物尤其是高岭石矿物的存在对油田开发产生的不利影响加以论述。

1 岩石结构与岩石类型

宝浪油田下侏罗统三工河组物源成分主要为

变质岩, 其次为岩浆岩及沉积岩。因搬运距离近, 水动力条件变化大, 储层岩性以粗粒为主, 砂砾岩及砾状砂岩以上粒级的岩性占储层的80%以上。

1.1 成分

通过对宝北区块三工河组466块岩石样品岩矿鉴定分析, 确定本区岩石碎屑平均含量分别为: 石英(Q)占31.5%、长石(F)占14.5%、岩屑(R)占50.7%, 岩屑成分以变质岩屑为主(占总岩屑的71.3%) (表1)。储层岩石类型以岩屑砂砾岩为主; 其次为长石岩屑砂砾岩(图1)。该区(F+Q)为0.48; R/Q为1.61, 反映岩石成分成

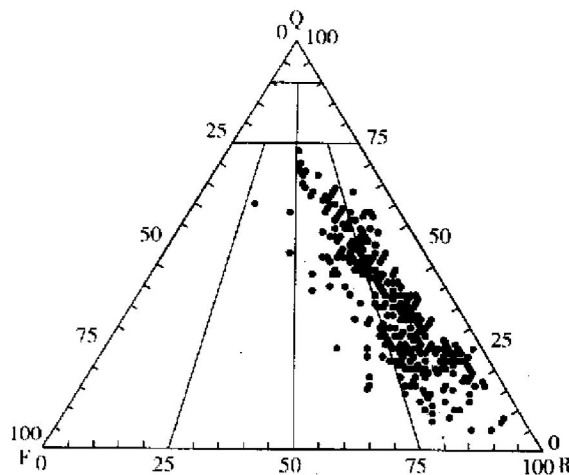


图1 宝浪油田储层岩石类型图

Fig. 1 Reservoir rock types in Baolang oilfield

熟度低。X 衍射全岩成分定量分析表明,长石质颗粒组成(包括长石颗粒和岩屑中的长石成分)占岩石总颗粒的 30%~ 50%左右。岩石成分以低成熟度、高塑性成分为其显著特征。

表 1 宝浪油田三工河组储层碎屑成分平均值
Table 1 Average values of reservoir clastic components in Sangonghe Fomation, Baolang oilfield

井 号	样品数/个	石英(Q)/%	长石(F)/%	岩 屑(R)/%			其他/%	Q/(F+ R)	R/Q
				沉积岩屑	变质岩屑	火山岩屑			
宝 1 井	37	51.0	11.6	10.9	21.3	2.5	2.7	1.10	0.68
宝 102 井	5	27.8	17.2	2.8	44.6	5.6	2.0	0.40	1.91
宝 105 井	75	37.6	11.8	12.2	29.1	8.2	1.1	0.77	1.00
宝 103 井	145	31.9	11.3	3.1	26.7	22.0	2.7	0.51	1.62
宝 108 井	76	31.8	11.2	3.7	33.3	11.9	2.1	0.53	1.54
宝北 6- 12 井	60	31.1	11.1	2.3	43.0	11.1	1.4	0.46	1.81
宝 1310 井	30	42.0	11.5	1.8	28.5	7.0	3.2	0.86	0.89
宝北 4- 4 井	12	17.8	17.3	4.0	49.2	10.7	1.0	0.22	3.58
宝北 6- 8 井	5	18.1	24.0	3.6	42.0	12.3	0	0.21	3.19
宝 1315 井	21	26.4	18.0	3.0	43.8	6.8	2.0	0.34	2.03

1.2 结构

本区岩石不仅成分成熟度低,而且结构成熟度也较低。表现为颗粒分选差、砂砾混杂、颗粒棱角状、植物碎屑混杂其中等结构特征。岩石压实作用较强,颗粒紧密接触。岩石胶结物类型主要为自生粘土矿物,储层中粘土矿物含量变化大,普遍含量超过 10%。碳酸盐胶结物含量比较低,大部分在 0.2%~ 2%,平均约为 1.18%。硅质胶结物及铁质胶结物等其他胶结物含量更少。

岩石结构成熟度低、塑性颗粒含量高、压实强烈、粘土胶结严重是侏罗系储层物性普遍低孔低渗的重要原因。宝北区块储层孔隙度分布仅为 2%~ 19%,平均孔隙度为 13.18%;渗透率主要分布在 $2 \times 10^{-3} \sim 160 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均渗透率为 $26.63 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,不少岩石样品渗透率小于 $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,属于典型的低渗特低渗储层类型。

2 自生粘土矿物

2.1 类型与产状

扫描电子显微镜及 X 衍射全定量分析证实,宝浪油田储层中自生粘土矿物类型按其含量相对多少依次为高岭石、伊利石、绿泥石、伊利石/蒙脱石混层(I/S)等矿物(表 2)。显微镜和扫描电镜观察极易识别主要的粘土矿物类型。高岭石单体形态为假六方型鳞片状;集合体为书栅状、手风琴状及蠕虫状(图 2- I, II)。伊利石单体形态为片

状、蜂窝状;集合体为不规则弯曲状、薄片状、鳞片状(图 2- III)。绿泥石单体形态为针叶片状、绒球状;集合体为薄片状、鳞片状(图 2- IV)。伊蒙混层呈不规则絮状、丝缕状分布。

粘土矿物在孔隙空间中的产出状态多种多样。高岭石矿物以长石交代蚀变产状为主;也存在大量孔隙充填式胶结形式(图 2- I, II)。伊利石、伊利石/蒙脱石混层和蒙脱石矿物多见孔隙充填式、孔隙衬垫式胶结产状。绿泥石以孔隙衬垫式为主。另外粘土矿物也存在零星状、桥塞状等各种不同产出形式存在于岩石的孔隙及喉道内。粘土矿物在孔隙和喉道中的各种存在形式严重加剧了储层微观孔隙结构的非均质性,导致储层低渗透性、储层潜在敏感性和油气产能的不稳定性。

2.2 分布

在宝浪油田近 300 m 厚的地层中,各类粘土矿物的相对平均含量垂向上有一定的分布规律。由浅到深,高岭石含量有减少趋势,伊利石的含量呈小幅度增高趋势,绿泥石含量则一直呈稳定增加的趋势,伊蒙混层矿物基本保持稳定(图 3,表 2)。各类粘土矿物占岩石体积总量随深度加深总体表现为减小趋势(图 3)。粘土矿物所表现的垂向变化规律与其演化规律和成因关系密切。

2.3 成因及控制因素

砂岩类储层中自生粘土矿物是碎屑岩地层埋藏成岩作用的产物。有关粘土矿物的成岩成因,

表 2 宝北区块主要粘土矿物的相对含量分布表
Table 2 Relative content distribution of main clay minerals in the north of Baolang oilfield

油组	深度范围/m	高岭石平均含量/%	伊利石平均含量/%	绿泥石平均含量/%	伊/蒙混层平均含量/%
I	2 120~ 2 200	61.45	19.00	9.00	10.96
II	2 200~ 2 280	60.66	17.89	8.74	12.72
III	2 280~ 2 380	60.79	19.12	15.58	6.53

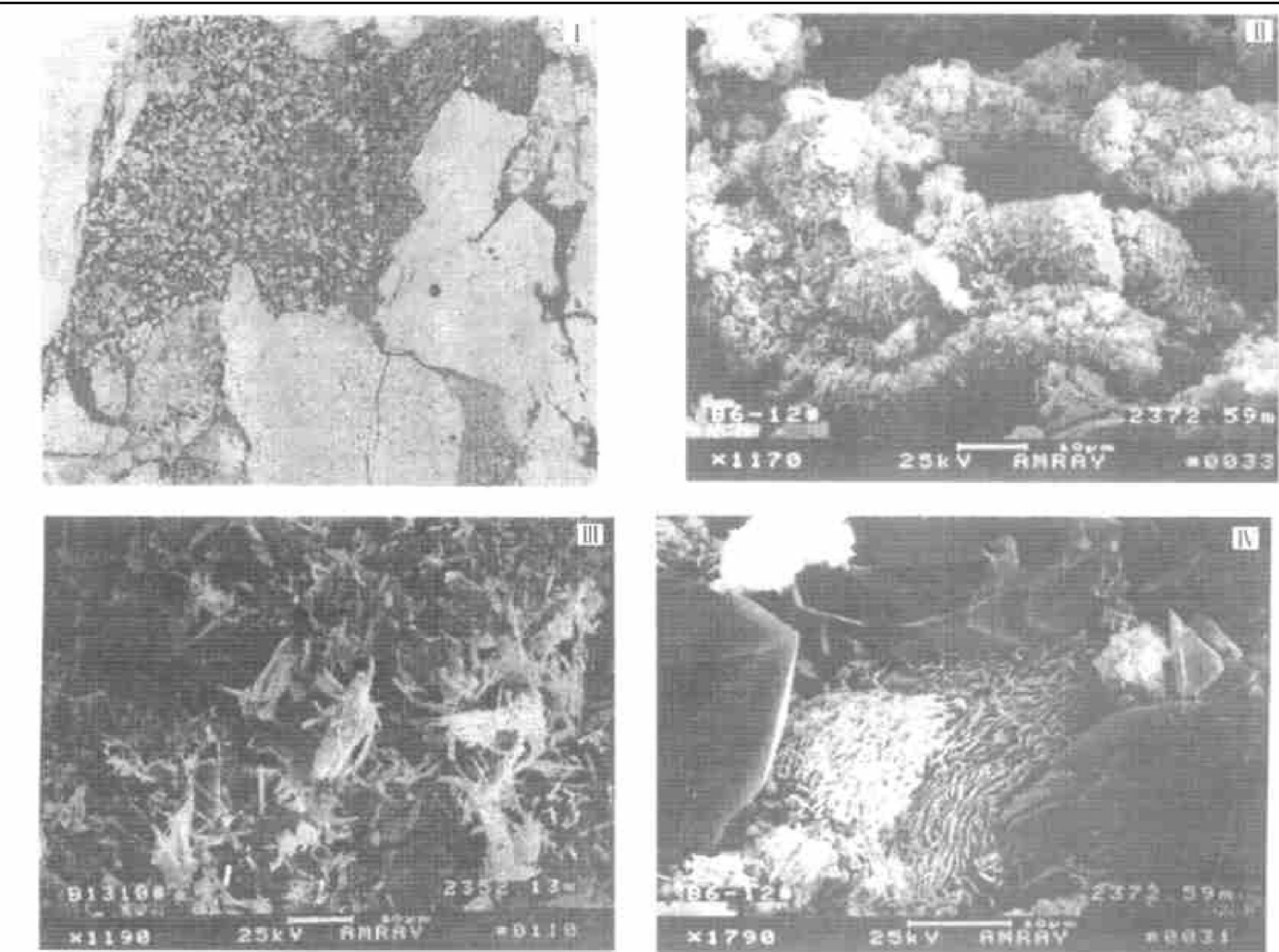


图 2 孔隙电镜照片
Fig. 2 Electron micrograph of pores

I—高岭石充填孔隙, 井深 2 372. 59 m; II—蠕虫状高岭石充填孔隙, 井深 2 372. 59 m;
III—伊利石矿物, 井深 2 352. 13 m; IV—绿泥石矿物, 井深 2 372. 59 m

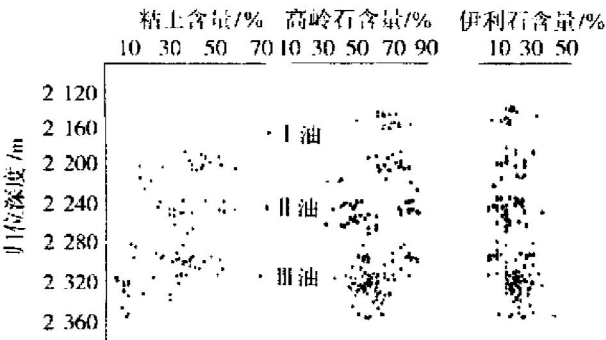


图 3 宝浪油田粘土矿物含量垂向分布图
Fig. 3 Vertical distribution chart of oil- bearing clay minerals in Baolang oilfield

国内外学者自 20 世纪 80 年代以来作了大量研究^[3,4]。从粘土矿物的产出形式看, 粘土矿物主要为颗粒交代蚀变、化学沉淀充填孔隙以及粘土自身演化转变 3 种成因为主。从水岩相互作用过程看, 粘土矿物的形成与次生孔隙的形成密不可分, 它们都是大气水或压实地层水与岩石颗粒或基质长期化学反应的结果^[3]。煤系地层中储层成岩作用有其显著特点, 煤层压实成岩演化过程中酸性水大量排出, 一方面造成骨架颗粒大量溶解, 另一方面粘土矿物大量沉淀, 致使自生高岭石矿物大

量发育^[5]。华北地台石炭-二叠系成岩作用的研究就证明了这一观点^[1]。

研究表明,宝浪油田长石质颗粒的大量溶解,伴生有大量高岭石矿物的沉淀,它们之间成相互消长关系,而它们的发育程度共同受岩石岩性、岩石渗透性、不整合面、成岩阶段等因素的控制。

2.3.1 岩性及沉积微相

宝浪油田储层岩性变化大,从细砾岩到细砂岩均含油,X衍射分析表明,不同岩性其粘土矿物总量有一定区别,岩性表现出对粘土矿物含量的控制作用。几种主要岩性其粘土矿物含量由低到高依次是砂砾岩、细砾岩(25%~30%);砾状砂岩、含砾砂岩(30%~36%);粗砂岩、细砂岩(34%~40%)。粗砂岩和含砾砂岩中粘土含量最高,而这两种岩性正是河道砂坝微相的主体岩性。

在宝浪油田低渗储层中,相对高渗带单元主要对应辫状河道砂坝微相。河道砂坝微相由于是流体流动活跃带的相对高渗带,适合自生粘土矿物形成,因此粘土矿物含量较高。

2.3.2 不整合面

宝浪油田三工河组(J₁)油层顶部的不整合面对粘土矿物的形成和演化起了重要的控制作用(图4)。越靠近不整合面粘土总量和高岭石含量越高,说明通过不整合面向下渗流的大气水和地层水对高岭石的形成是有利的。华北地台等其他地区也有类似情况存在。这说明不整合面、储层高渗带及裂隙带是水动力活跃带,大量流体自由交换有利于粘土矿物的形成,在煤系地层中特别适合高岭石的形成。

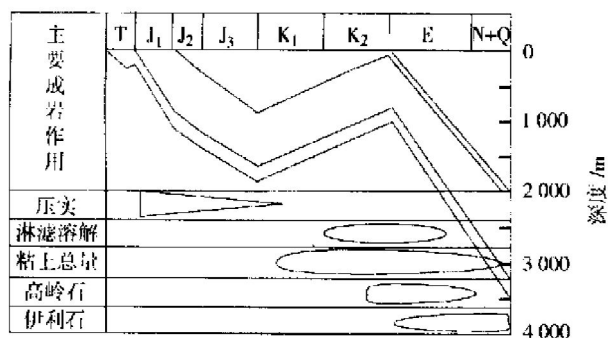


图4 宝1井埋藏曲线及主要成岩作用时序图

Fig. 4 Burial curve and time sequence of main diagenesis in Bao-1 well

2.3.3 成岩

宝浪油田下侏罗统经历了两次埋藏过程(图4)。第一次是晚侏罗纪末以前,地层埋藏深度约1700 m。白垩纪时抬升剥蚀,中、上侏罗统剥蚀殆尽。随着下第三系至第四系的沉积埋藏,目的层发生第二次沉降,埋深达3050 m。在两次埋藏过程中,地层不断地被压实,成岩作用增强,颗粒紧密堆积,喉道变小。在二次抬升过程中,地层遭受剥蚀淋滤处于表生成岩阶段,此时自生粘土矿物交代作用强烈,粘土矿物广泛发育,骨架颗粒次生溶解强烈(FGD);长石质颗粒溶蚀强烈且广泛发育。侏罗系两次埋藏过程使三工河组两次达到晚成岩阶段A2期,即有两次成油和两次运移成藏过程。

3 对储层特性的影响

综合起来看,侏罗系煤系砂砾岩储层中自生粘土矿物(主要是高岭石)的形成是沉积和成岩共同作用的结果。宝浪油田的开发实践已证实,粘土矿物的大量存在对油气储层特性产生了如下影响。

(1) 加剧岩石低渗透性。粘土矿物的存在形式多为充填孔隙或附着颗粒表面,其大量存在无疑会大大降低岩石的渗透性。同时粘土矿物抗压实能力弱,极易压实体积减少,也会加剧降低岩石的孔隙性和渗透能力。

(2) 岩石塑性增强。覆压孔渗测定实验和岩石三轴压裂实验证实,由于宝浪油田粘土矿物含量高,造成砂砾岩储层塑性强,弹性模量大,岩石破裂压力高(大于73 MPa)。给压裂改造储层增加了难度,同时增加了压裂成功风险性。事实证明单井常规压裂措施无助增加产能。

(3) 潜在敏感性增加。粘土矿物是极易移动和分散性极强的微粒矿物,是速敏、水敏和酸敏最为敏感的矿物^[6]。粘土矿物的存在使宝浪油田储层普遍存在较强水敏性,给注水开发增加了难度。

(4) 孔隙结构非均质性增强。长石颗粒的溶解和粘土矿物的沉淀,加剧了低孔低渗储层孔隙结构的非均质性,造成孔喉半径分布的双峰或多峰结构,不利于提高油气驱替效果,造成油气采收率的下降。

(5) 束缚水饱和度增加。油水相对渗透率曲线显示,低渗储层残余水饱和度高(达20%~

30%), 水相渗透率上升慢, 相渗曲线异常, 表现为产能下降快。而粘土矿物含量少的岩石相渗曲线正常, 水相渗透率稳定增加, 驱油效果相对好。

参 考 文 献

- 1 郑浚茂, 应风祥. 煤系地层(酸性介质)的砂岩储层特征及成岩模式[J]. 石油学报, 1997, 18(4): 19~ 24
- 2 王行信. 砂岩储层粘土矿物与油层保护[M]. 北京: 石油工业出版社, 1992
- 3 Surdam R C, Crossey L J, Sven Hagen E, et al. Organic- inorganic interactions and sandstone diagenesis[J]. AAPG Bull, 1989, 77(1): 1~ 23
- 4 伏万军. 粘土矿物的成因及对储层储集性的影响[J]. 古地理学报, 2000, 2(3): 59~ 68
- 5 吴胜和, 马晓芬. 煤系地层低渗透岩屑砂岩储层成因机理及储集特征[J]. 低渗透油气田, 1996, 1(1): 13~ 17
- 6 陈忠, 陈哨楠, 沈明道. 粘土矿物在油田保护中的潜在危害[J]. 成都理工学院学报, 1996, 23(2): 80~ 87

CHARACTERISTICS OF AUTHIGENIC CLAY MINERALS IN COARSE- GRAINED AND LOW PERMEABILITY RESERVOIRS IN COAL MEASURES AND ITS EFFECT ON RESERVIOR PROPERTY —AN EXAMPLE OF OIL RESERVOIR IN JURASSIC SANGONGHE FORMATION IN YANQI BASIN

Yao Guangqing¹ Sun Shangru²

(1. China University of Geosciences, Wuhan, Hubei; 2. Henan Oilfield Company of SINOPEC, Nanyang, Henan)

Abstract: The coarse- grained and low permeability sandstone reservoirs in Jurassic coal measures in west- central China is characterized by high content of authigenic clay minerals. Especially, the content of kaolinite is very high relative to other clay minerals. The study made in Yanqi basin shows that the total content of clay minerals and kaolinite content decreases with depth below the unconformity, but the content of illite and chlorite increases with depth. At same burial depth, the sandbodies with higher feldspar content and larger thickness in the main channel have more abundant kaolinite. The acidic fluid medium environment was the key factor controlling the formation of clay minerals in coal measure strata. The existence of abundant clay minerals has reduced the permeability and enhanced the sensibility of reservoir, and strongly affected the EOR efficiency in the oilfield.

Key words: coal measure strata; low permeability reservoir; clay minerals; reservoir properties