

文章编号: 1001- 6112(2002) 02- 0126- 04

川西坳陷成岩矿物相带对砂岩 储集性能的控制作用

饶 丹, 周东升, 贾存善

(中国石化 石油勘探开发研究院 无锡实验地质研究所, 江苏 无锡 214151)

摘要: 川西坳陷中段沙溪庙组砂岩储层极具非均质性, 现今砂岩储集物性的优劣主要受成岩矿物相带的控制, 其中以绿泥石- 沸石成岩矿物相带为主体, 高岭石成岩矿物相带为次, 是研究区内有利于次生孔隙发育的成岩相标志, 而板状碳酸盐成岩矿物相带以及石英增生成岩矿物相带则是砂岩致密化的重要标志。

关键词: 控制; 储集性能; 砂岩; 成岩矿物; 川西坳陷

中图分类号: TE122. 2

文献标识码: A

川西坳陷中侏罗统沙溪庙组砂岩为低孔、低渗、细喉道及高含水饱和度的三低一高特征的致密储层, 化学致密化作用和机械压实作用是造成该砂岩储层致密化的主要原因。尽管如此, 在这套致密砂岩储层中, 却存在着相对较高孔渗的“储渗体”, 并在其相应部位陆续发现工业性油气流。随着油气勘探的不断深入及科研工作的进展, 对致密砂岩层中有利油气储存的“储渗体”的形成有了突破性的认识, 所谓“储渗体”是砂岩储层在成岩作用期间边致密、边溶解、边进油气的过程中形成的有效“储集体”。经岩石学研究证实, 它的大小、形状及其分布受控于有利的沉积成岩改造相带, 其中, 绿泥石- 沸石成岩矿物相带及高岭石成岩矿物相带与“储渗体”的发育紧密相关。因此研究成岩矿物相带的形成与提高致密砂岩孔渗性是至关重要的。

1 成岩矿物相带的定义

成岩矿物相带是指在碎屑岩储集层中, 一种或一种以上典型的成岩矿物在纵向、平面上的富集范围, 也即是指主要成岩矿物共生组合在纵向上有一定厚度, 在区域上可以对比而构成的一个具有典型地质意义的相带。根据岩石学和沉积学研究, 通常成岩相带的形成以及在平面上和纵向上的分布, 往往与沉积相带有关, 特别是有利的沉积相带, 原生孔

隙在埋藏成岩时期化学致密化作用下, 为成岩矿物的过饱和沉淀析出提供足够的空间场所, 从而导致孔隙空间的缩小, 促使岩石的致密化, 不利于油气的运移和聚集。但是, 一旦特征性成岩矿物及碎屑组分被溶, 就有可能使不利油气储集带转化为有利油气储集带。在研究区内, 绿泥石- 沸石及高岭石是产生次生孔隙、提高孔渗的典型成岩矿物。我们将其在纵向或平面上的分布范围冠以有利成岩相带, 而板状碳酸盐及石英增生则不利于孔隙发育, 在区内构成致密带。

2 成岩矿物相带的类型及其形成条件

据岩石学研究结果, 川西坳陷中段沙溪庙组岩石中普遍存在多种各具典型地质意义的成岩矿物相带, 它们是绿泥石- 沸石相带、高岭石相带、碳酸盐相带及石英增生相带, 其形成条件及地质意义各异, 分别阐述如下。

2.1 绿泥石- 沸石相带

绿泥石是成岩早期最具代表性的成岩矿物, 于碱性水条件下沉淀形成。一般它的产出与碎屑物质有关, 通常在富含中基性火山碎屑物质的砂岩中比较发育, 多在富含铁镁的铝硅酸盐的过饱和溶液中沉淀析出, 赋存在孔隙空间中, 属于层状的铝硅酸盐。通常它在砂岩储层中并不完全单一出现, 经常

收稿日期: 2001- 01- 11; 修订日期: 2002- 02- 01.

作者简介: 饶 丹(1966-), 女(汉族), 四川乐至人, 高级工程师, 主要从事石油地质研究工作。

与晚于它形成的多种成岩矿物伴生在一起,形成了以绿泥石为主、其它成岩矿物为辅的多种组合类型,如自生绿泥石-沸石型、自生绿泥石-微晶石英-沸石型、自生绿泥石-晚期碳酸盐-高岭石型、自生绿泥石-晚期碳酸盐型等等。自生绿泥石主要发育在粒间孔隙空间中,也可以充填在早期形成的粒内缝隙中,其晶形精巧,晶体呈针状垂直颗粒表面向孔隙空间中心生长,形成了栉壳状结构,扫描电镜下常见自生绿泥石呈针叶状、板片状、蔷薇花状、蜂窝状和卷心菜的自形晶集合体形态^[1]。绿泥石本身的性质较稳定,不易改造,因此其含量的多少直接影响着孔隙度和渗透率,特别是对渗透率的影响尤为重要。它在储层成岩改造过程中具有双重性,一方面,由于它的产生,抑制了粒间孔隙因压实作用而进一步缩小,使早期的粒间孔隙得以保存,为沸石等晚于它析出的成岩矿物提供足够的空间,从而为中后期次生孔隙的产生奠定物质基础;另一方面,由于绿泥石本身的性质较稳定,不易改造,而绿泥石所占据的位置等同于被破坏(减小)的孔隙体积,因而若绿泥石含量过高,并呈密集型形态充填于碎屑颗粒间的时候,则会大大降低或破坏碎屑颗粒之间的原生孔隙,这明显不利于油气聚集。

沸石常与绿泥石相伴生,在剩余的粒间孔隙中沉淀下来,以板状自形晶形貌出现。沸石类矿物属于似架状铝硅酸盐类,形成于强碱性的溶液中,同样与中基性喷发岩、火山碎屑岩、中基性长石的分解有关,由于碎屑成分及水介质化学组成的差异,可以形成多种类型的沸石。沸石是一种很不稳定的矿物,对介质变化反应较为敏感,当孔隙水的性质发生改变时它就会发生演变或者被溶解^[2],即脱沸石化作用,致密储层也因发生脱沸石化作用而得到改善。因此沸石的沉淀或被溶解都对砂岩储层孔隙的消长起到一定的影响。由于该相带有利于次生孔隙的发育,因而其展布控制了次生孔隙发育带,从而说明自生绿泥石-沸石相带对孔隙演变是具有指向特征的,它指示着储层性能的好坏,并具有区域地质意义。

2.2 高岭石相带

自生高岭石的沉淀析出往往与砂岩中的碎屑成分有关,并且与长石发生溶解和蚀变,甚至所处的沉积相带和成岩环境具有内在的联系。储层中的自生高岭石多以孔隙充填为主,分布在次生原生粒间孔隙中,部分或全部堵塞孔隙,然而由于自生高岭石具有较大的晶间孔(扫描电镜下呈手风琴状),可以作为油气的聚集空间,尤其是天然气。另外,从普通薄

片及扫描电镜中均发现高岭石具有溶蚀现象,同样可以起到扩大孔隙的作用。

而本文着重研究的是第二世代高岭石,它们多出现在较大深度处,由于构造抬升、环境开启、天水的渗滤,导致孔隙水发生了新的变化,蚀变及化学沉淀造就了二世代自生高岭石的形成。根据其产状及赋存条件,它与封闭成岩环境下形成的自生高岭石有别,该时期的自生高岭石有两种类型,一种充填在裂隙、裂缝中;另一种与碎屑长石颗粒的部分或全部高岭石化有关。这类高岭石集合体可以构成长石或某些碎屑的假象,在薄片清楚见到这些高岭石集合体被溶解成各种类型的孔隙或孔洞中存在着油迹,这些有效油气运移空间的存在是由于孔隙水再次发生改变,形成了孔隙水与岩石之间新的平衡,导致了以二世代高岭石为主,及早于它形成的成岩矿物、碎屑物质再次发生溶解,提高了致密岩层的孔隙度,改善了储层的孔渗性能。因而二世代高岭石的溶解,对提高致密砂岩的孔渗性能具有重要的地质意义,它意味着在岩石都已相当致密的情况下,仍能通过构造抬升、环境开启及天水淋滤等因素造成二世代高岭石的沉淀与溶蚀,从而使储层性能得到改善,高岭石相是晚期(喜山期)孔隙再造的有利相标志。

2.3 石英增生相带

石英增生(加大)指在碎屑石英颗粒的基座上同光轴连续生长的部分,一般具有尘埃线的加大的颗粒,在普通薄片镜下观察时能够清楚地分辨,当无这一特征时,就需要借助阴极发光显微镜观察增生程度以及与其它矿物之间的关系。对于石英含量较少的砂岩(矿物成熟度中一低的砂岩),硅质胶结的方式除石英加大以外,还可以以非共轴生长的微晶石英集合体或呈他形镶嵌状充填在粒间孔隙中,起到减少孔隙体积的作用。石英增生的强度随埋藏深度的增加而增强,在薄片中可以清楚地见到相邻的碎屑石英颗粒由于增生构成了似斑状结构(连晶状结构),从而导致了储层的非均一性。石英增生常常与其它矿物伴生在一起,共同占据孔隙空间,降低储层的孔隙度。由于它不利于改造,对储层起到破坏性的作用,它只在发生压溶产生压溶缝或受构造应力影响产生似斑状破碎结构时才对储层的改善起到积极的作用^[3]。

2.4 碳酸盐相带

碳酸盐类矿物遍布于各类碎屑岩中,但是将其列为碳酸盐类成岩相带则具有特定的地质意义。它的存在和演化对砂岩的孔隙结构以及油气聚集或构

成岩圈闭均有着重要的影响。各类碳酸盐矿物在砂岩中的产状、结晶形态以及析出顺序有着明显的差异,按照它们在纵剖面或平面上的富集特征,形成了各自的规律。例如早期晶粒状碳酸盐、晚期板状碳酸盐等。本文所指的碳酸盐相带特指由碳酸盐类矿物(以晚期碳酸盐为主,包括早期碳酸盐)含量超过 10% 的致密砂岩构成的层状封隔带或封隔层,该封隔层有的局部封闭,有的完全封闭。该相带中以晚期板状碳酸盐为主,早期晶粒状碳酸盐较少。板状碳酸盐矿物包括富铁和贫铁方解石及白云石,结晶透明度好,常具双晶纹或连生晶体^[4],与碎屑颗粒构成嵌晶结构或镶嵌粒状结构,通常以充填粒间孔隙为主,并选择交代碎屑颗粒,致使砂粒呈漂浮状直至彼此孤立为止,除此外,常沿着矿物的解理、层间裂缝充填或呈脉贯入。从薄片及阴极发光观察均可以证明该类碳酸盐矿物属偏晚成岩期形成的自生矿物。嵌晶碳酸盐矿物以沉淀为主,很少发生溶解,因此对储层是不利因素^[5],其含量与孔隙度呈反比,碳酸盐相带是致密带、封隔带的标志。

3 成岩矿物相带的展布特征及其与产能的关系

川西坳陷中段新场、洛带、合兴场等构造沙溪庙组三角洲相、河流相砂体中普遍发育自生绿泥石,其含量介于 1% ~ 15%。经岩石学研究认为,以绿泥石含量 2% ~ 8%,成岩矿物总量小于 18% 为佳,若绿泥石含量超过 8% 或成岩矿物总量超过 18% 都对

次生孔隙的发育不利。下面以新场等气田为例阐明成岩矿物相带与储层物性及其产能的关系。

新场气田上沙溪庙组储层纵向上划分为 A、AB、B、C 四大砂体。图 1 展示出各砂体在成岩矿物相带分布上的差异性,其中 A 砂体和 C 砂体均为绿泥石-沸石成岩矿物相带,是纵向上最好的两个相带,且横向上较稳定、连续,可以进行区域对比。与之相对应的是打在该两层砂体上的钻井,油气显示级别都较高,多为气层,特别是 158 井, A 砂体单层测试产能为 $4.9555 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$; 129 井 A—C 层的混合测试每日也高达 $5 \times 10^4 \text{m}^3$ 。值得注意的是从 167 井往东 A 砂体与 C 砂体的成岩相未变,仍为绿泥石-沸石相带,但油气显示级别却有所降低,均为含气层。通过岩石学研究,发现 A 砂体的岩性从 167 井往东都呈现出富含黑云母等暗色矿物的特征,并聚集成条带,形成带状构造,条带之间含有各种类型的孔缝,在未成条带处部分颗粒间有绿泥石分布,由于挤压应力的作用,颗粒与基质的界线不清,变形明显,碎屑云母有的呈拉伸状,有的呈挠曲,塑性颗粒发生位移变形占据粒间孔隙的现象较多,因而尽管同是绿泥石-沸石相带,其岩石物性却相对变差。这种岩性不仅仅出现在新场地区,在其它几个地区的某些井段中也有类似现象出现,具有对比价值。而 C 砂体在 167 井油气显示级别的降低则是由于砂体尖灭、岩性变差的原故。AB₁ 和 AB₂ 砂体仅次于前者,同样地为绿泥石-沸石成岩矿物相带,仅在砂体尖灭处出现了碳酸盐相,再加上砂体的横向展布范围较窄,因而油气显示的级别及产量

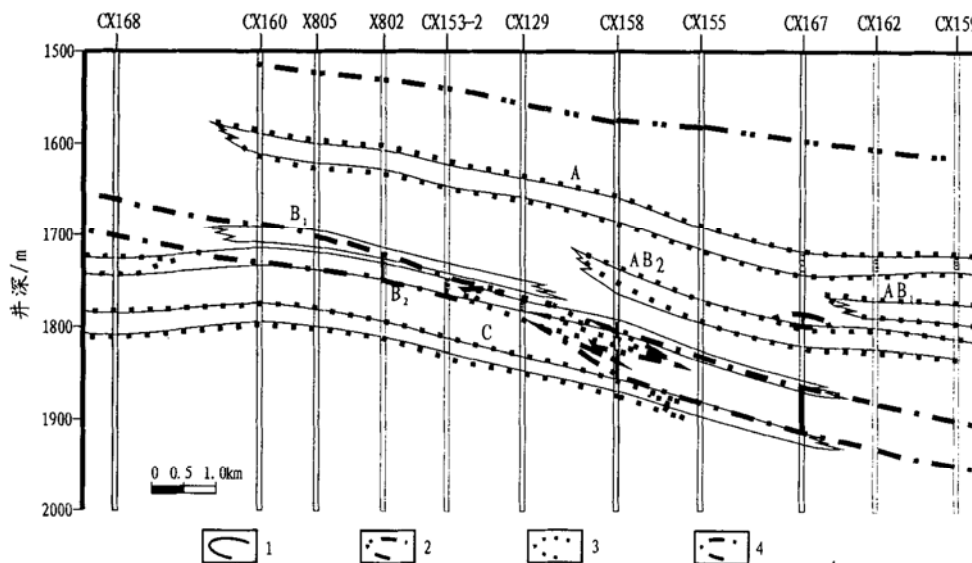


图 1 新场地区沙溪庙组砂岩成岩相带纵向展布图

1. 砂体展布; 2. 早期碳酸盐相带; 3. 绿泥石相带; 4. 晚期碳酸盐相带

Fig. 1 Longitudinal distribution of diagenetic facies belts of sandstone in the Shaximiao Formation of Xinchang area

略次于前者。B砂体是新场气田相对最差的砂体,从西往东由绿泥石-沸石相逐渐过渡为绿泥石-沸石相+碳酸盐相,最后完全演变为碳酸盐相,油气显示也由西部168井、160井的气层过渡到X805井、X802井、153-2井、158井、167井的含气层,油气产量明显减少,158井B₂砂体的测试产能仅 $0.7244 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$ 。

高岭石相带的分布是局部的,如新场132井从上到下成岩矿物相带可划分为3个带,2293m以上是绿泥石相带,2293~2296m是碳酸盐相带,2361~2363m是绿泥石-高岭石相带。在高岭石相带中可见长石颗粒转化为高岭石、粒间充填有高岭石、高岭石被溶等现象,特别是2361.61m处出现了碳酸盐交代长石,长石被溶后充填了高岭石,又见高岭石被溶蚀后残余的孔隙,说明晚期高岭石是在岩石相当致密的情况下得以改造的关键因素。158井、129井C砂体及新802井A砂体均出现了绿泥石-高岭石组合,油气显示级别及产量都较高。川合111井2520~2521m砂岩为高岭石相,薄片下未见粒间高岭石充填、长石高岭石化、高岭石被溶的残余等,测试渗透率为 $0.145 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,物性明显优于同一口井不同井段石英增生相致密砂岩。石英增生相在坳陷中的金马-云西地区相对最发育;其次是洛带地区;新场地区不甚发育,仅在少数井(153-2, 155)的个别井段出现石英增生;合兴场地区、中江地区石英增生在下沙溪庙组普遍发育,上沙溪庙组仅有少许石英增生。上述地区沙溪庙组砂岩石英增生强度从浅部的iv-㉔级向深部可过渡为㉔-㉕级,似斑状结构发育,岩石致密,不利于化学改造,孔渗性能差。如洛带地区川金619井2338~2351m井

段属石英增生相带,物性明显差,孔隙度仅4.56%,渗透率仅 $0.078 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$;合兴场地区川合111井2440.25m局部石英增生,具似斑状结构,石英增生之后还出现大量的钙质胶结,导致岩石致密化,孔隙度4.25%,渗透率 $0.048 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。但是,在鸭子河地区189井沙溪庙组、千佛崖组石英增生较发育的致密砂岩中,却由于应力作用较强,导致了岩石的破碎,产生了裂缝,显微镜下可见大量残存有机质赋存在这些构造裂缝中。说明经过石英增生的这类砂岩,通过应力作用的改造,同样可以成为较好的、具有双重介质的储层。因而尽管石英增生相的地质意义为致密带、不利相带,但通过应力作用产生的似斑状破碎结构对孔、渗有利,使致密储层得以改造,仍是一个较有利于改造的成岩相带。

由此可见,在川西坳陷成岩矿物相带对砂岩储集性能具有明显控制作用,我们应避开石英增生以及碳酸盐成岩矿物相带,在寻找有利沉积相带的基础上,去寻找绿泥石-沸石相带(即绿泥石含量介于2%~8%,成岩矿物总量<18%的绿色相带)以及二世代高岭石相带中有利于油气运移聚集的“储渗体”,这一特征在研究区内具有普遍性。

参考文献:

- [1] 刘宝君. 沉积成岩作用[M]. 北京: 科学出版社, 1992. 126.
- [2] 梅博文. 储层地球化学[M]. 西安: 西北大学出版社, 1992. 134.
- [3] 范小林, 等. 川西地区中深层天然气勘探领域展望[J]. 石油实验地质, 2000, 22(4): 359.
- [4] 赵澄林. 碎屑岩沉积体系与成岩作用[M]. 北京: 石油工业出版社, 1992. 62.
- [5] 吕正祥, 等. 川西新场气田下沙溪庙组气藏预测评价研究[J]. 石油实验地质, 2001, 23(4): 401.

INFLUENCE OF DIAGENETIC MINERAL FACIES BELTS ON THE ACCUMULATION PROPERTIES OF SANDSTONE IN THE WESTERN SICHUAN DEPRESSION

RAO Dan, ZHOU Dong-shen, JIA Cun-shan

(Wuxi Research Institute of Experimental Geology, SINOPEC, Wuxi, Jiangsu 214151, China)

Abstract: The sandstone reservoirs show severe heterogeneity in the Shaximiao Fr. in the central part of the Western Sichuan Depression. The accumulation properties of the reservoirs are mainly controlled by diagenetic mineral facies belts. The development of secondary porosity is indicated by the chlorite-zeolite facies belt and the kaolinite facies belt. And where the plate carbonate and quartz overgrowth diagenetic mineral facies belts are developed, the sandstone is with compact texture.

Key words: control; reservoir property; sandstone; diagenetic mineral; the Western Sichuan Depression