

具二氧化碳气顶储层的成岩作用研究

杜 韞 华

(胜利油田地质科学研究院)

通常认为, 烃类在储集层中聚集以后, 成岩作用便告结束^[1], 本文提供了一个烃类聚集以后成岩作用仍在继续进行的实例。

一、砂岩储集层概况

研究区位于济阳坳陷东营盆地的西部。砂岩储集层属始新统沙河街组第四段, 沉积厚度200余米, 砂岩厚130米。下部以细砂岩为主, 夹灰绿色及红色泥岩。平面上, 砂体呈长椭圆状(图1), 砂体厚度轴表现了向NE(即湖泊方向)散开, 向NW方向收敛的趋势。剖面上, 砂体顶平底凸, 自然电位呈微带锯齿的箱状, 泥岩夹层的颜色红、绿兼具, 以红为主, 显示了三角洲平原相的沉积特征, 其中的砂体则主要为河道沉积。上部为粗粉砂岩及粉砂岩, 夹蓝灰色泥岩、薄层泥灰岩及油页岩, 含滨县椎实螺 *Lymnaea binxianensis*, 东营琥珀螺 *Succinea dongyingensis*, 潜江扁球轮藻 *Gylogona qianjiangic* 及东营德弗蓝藻 *Deflandrea dongyingensis* 等湖相化石。显微镜下可见砂岩含湖相介形虫及原生碳酸盐。砂岩发育区略呈三角形, 顶点指向物源高青凸起(图1)。需要说明的是图中未表示三角洲的水下部分, 原因是目前尚未钻遇该相带, 也许是因为钻井密度不够, 也许是正如摩尔所述当河流输沙量与径流量之比小于0.24时, 一般不能形成水下三角洲。

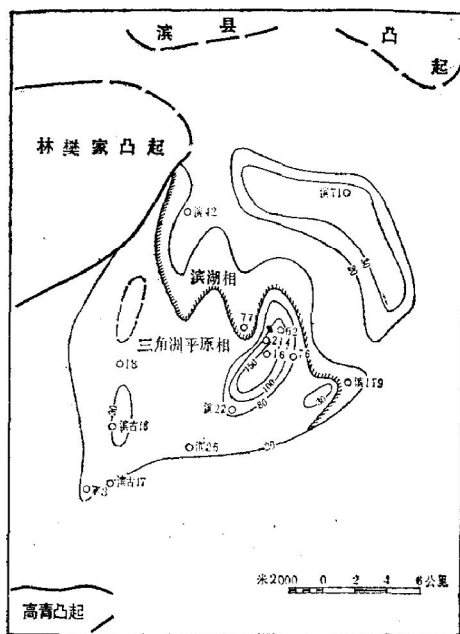


图1 平方王油田砂岩相带分布略图

砂岩储集层下部含油, 上部含气, 天然气中二氧化碳占65—75%。油气界面—1510米, 油水界面—1570米, 是胜利油区唯一的二氧化碳气顶油藏。油田水质为碳酸氢钠型, 矿化度较高。

砂岩储集层陆源矿物含量变化不大, 石英55—60%, 长石28—33%, 岩屑5—15%。岩屑成分有花岗岩麻岩、中酸性—中基性喷发岩及个别碳酸盐岩, 杂基以鳞片结构的水云母类粘土矿物为主。由此可见除石英及碳酸盐矿物外, 都是含钠铝的硅酸盐矿物, 它们与二氧化碳气一起对贮层成岩史及渗透率的变化有着极为密切的联系。

储集层的渗透率平均为69 md, 孔隙度为23%, 与胜利油区主力油层的粉、细砂岩储集层相比, 属中等孔隙度的低渗透性储层。统计该区滨16井砂岩渗透率的变化范围: <1md占16%, 1—7md占10%, 7—30md占23%, 30—180md占37%, 180—300md占10%。其中以30—180md在砂层中所占比例较大, 且多构成油层(图2、表1)。

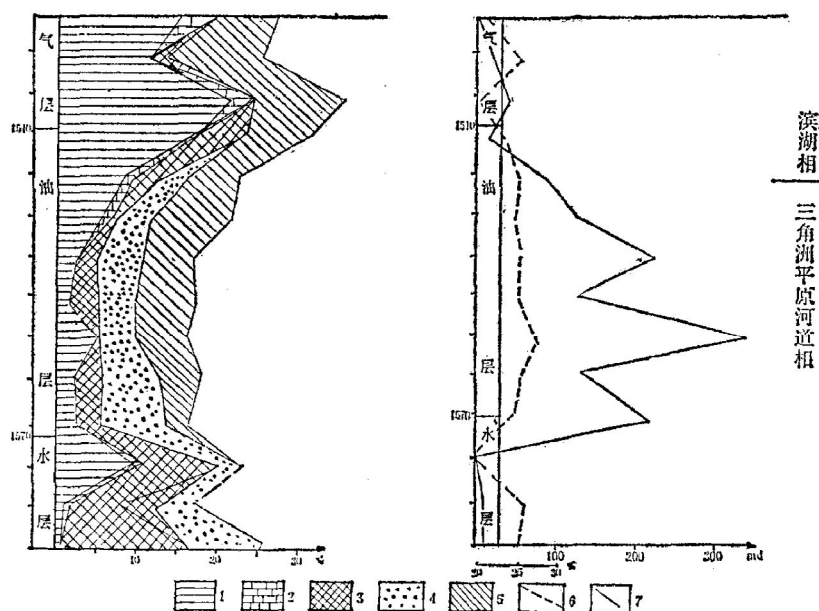


图2 成岩矿物与渗透率关系

1—水云母, 2—泥晶碳酸盐, 3—自生方解石及白云石, 4—高岭石, 5—片钠铝石,
6—孔隙度, 7—渗透率(md)

表1 油、气、水贮层的孔隙类型及物性变化

油气藏部位	渗透率 (md)	孔隙度 (%)	孔隙类型
气层	<50	15	微孔隙
油层	8—130	20—30	粒间孔、微孔及溶孔兼具
水层	<10	20—25	微孔隙

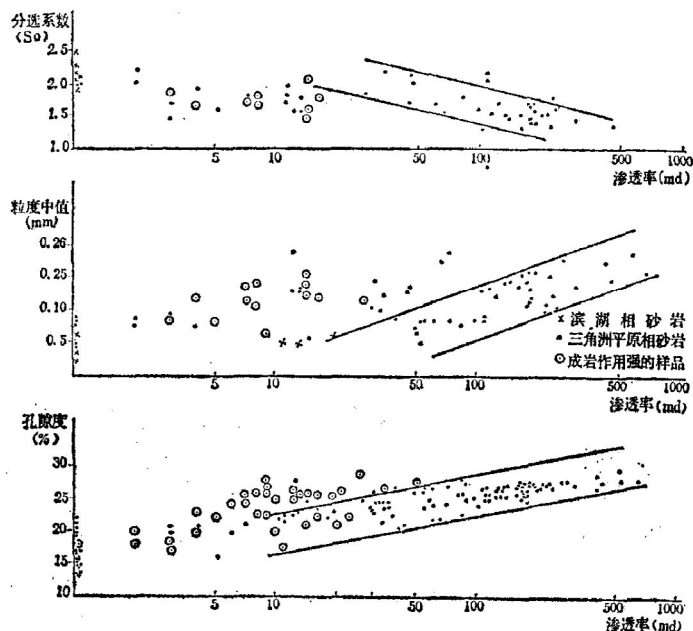


图3 渗透率与孔隙度, 粒度的关系图

据渗透率与孔隙度、粒度关系图所示(图3), 渗透率的变化二元结构很清楚: 一部分样品的渗透率与孔隙度及中值之间成正相关, 与分选系数(S_o)成负相关, 说明其变化主要受沉积环境的影响; 另一部分样品即使孔隙度高, 粒度中值大, 分选也好, 而渗透率仍然很低, 表明它们主要受成岩作用控制。成岩作用不但导致本区储集层的低渗透性, 而且使其在剖面上表现出上、下低, 中间高的规律性, 成为油气开发不可忽视的一大特点。

二、成岩作用

(一) 主要成岩作用

1. 溶解前的胶结、交代作用 主要的胶结物是(铁)方解石及(铁)白云石,呈自形、半自形及它形晶充填粒间孔(图版I-1, 2)。白云石自形程度高,往往占据原生孔隙的边部,或形成陆源白云石的加大边。镜下见方解石交代铁白云石,有的铁白云石被方解石包裹,因此白云石早于方解石。方解石和白云石又有含铁和不含铁之分,结晶大小略有变化,总的趋势是随深度增加,晶粒加大,含铁量增高。主要分布在粒间孔隙较发育的粗粉砂岩及细砂岩中,含量变化较大,一般在5—20%之间。

2. 溶解作用 镜下见有(铁)方解石、(铁)白云石溶孔,其中最有意义的是前者(图版I-3, 4),它标志着溶解作用发生在铁方解石的胶结作用之后。根据一些学者对砂岩次生孔隙成因的分析^[3],笔者认为该储集层东北部为沙三段生油凹陷,生油层中的泥质沉积物及烃类,在成岩阶段的转化,为砂岩储集层中次生孔隙的形成提供了酸性水溶液。剖面下部三角洲平原河道砂岩的粒间孔是水介质活动及物质交替的通道,因此溶孔较为发育。

3. 溶解作用后的胶结交代作用 以溶解孔隙被充填为标志。首先充填孔隙的是高岭石(图版I-2, 5, 6),它是在碳酸盐矿物溶解过程中,水介质中的硅、铝离子(主要来自粘土矿物的转化),以及斜长石等铝硅酸盐的溶解,被交代而游离出来,随着pH值的降低而晶出自生矿物高岭石。紧接着形成的胶结物是片钠铝石^[4,5]。这是一种少见的矿物,其理论分子式是 $\text{NaAlCO}_3(\text{OH})_2$,为含水的钠铝碳酸盐。在砂岩中主要有两种产状:①以纤维状、毛发状集合体出现,交代陆源的斜长石、钾长石、石英及白云石屑;也交代同生泥屑,水云母杂基及较早晶出的高岭石、白云石等(图版I-1—3)。②以放射状、菊花状充填粒间孔、胶结物溶孔及生物溶孔等(图版I-6;图版II-4, 5)。在孔隙中片钠铝石沿C轴方向伸长,可达350 μ ,常受自生方解石、白云石、高岭石及孔隙形态的限制。说明片钠铝石是形成最晚的成岩矿物。

片钠铝石主要分布在油层和气层中,随二氧化碳的含量而发生变化。气层中二氧化碳含量最高,片钠铝石含量达35%;油层中二氧化碳含量较低,片钠铝石含量为6—8%;水层中二氧化碳含量最低,片钠铝石的含量也最少<4%。

高岭石通常在pH值为6的酸性水溶液中晶出,片钠铝石则在碱性介质中形成。从产状看,高岭石与片钠铝石的晶出互有先后,说明水溶液的pH值交替变化。推测其成因是:富钠铝的长石类矿物首先被交代形成片钠铝石的集合体,从而消耗了大量的二氧化碳并使溶液中的 Al^{3+} 和 Na^+ 相对较多时,交代对象就转向云母和石英等;当二氧化碳再次得到大量补充时,又可交代其它富铝矿物,如高岭石等而形成片钠铝石,甚至充填孔隙。这说明发生片钠铝石的胶结和交代作用时,必须有足够的二氧化碳。根据以上分析,笔者认为含钠铝硅酸盐矿物及足够浓度的二氧化碳的存在,是该储集层中生成片钠铝石的必要条件。这也说明了在研究区内片钠铝石的含量以贮气层最高,贮油层为次,贮水层极少的原因。

片钠铝石是砂岩中少见的成岩矿物。在美国尤英他盆地格林河组(Green R. Formation)曾有报道^[4],我国只有吉林及广东省的个别探井中见到过,而且都与储集二氧化碳有关。

据以上成因分析,片钠铝石的生成应在油气聚集之后,也就是说烃类聚集以后,成岩作用并未告终。

(二) 自生矿物的分布规律

区内储集层中自生矿物分布的规律表现为:贮气层以片钠铝石胶结为主;贮油层中白云石、方解石及片钠铝石兼具,以片钠铝石含量居中;贮水层为白云石、方解石及高岭石胶结(图2)。

三角洲平原河道砂岩保留大量的原生孔隙,为后来各种成岩矿物的晶出及溶解作用的进行提供了必要的通道和空间,使油气聚集对成岩作用的影响明显地表现出来。油气聚集之前,性质相同的砂层中自生矿物的种类与含量并无明显差异,但在油气藏形成后,油气层中由于二氧化碳的大量聚集而使白云石、方解石发生变化。贮气层中由于二氧化碳含量很高,利于片钠铝石交代那些已形成的碳酸盐

矿物,使其含量不但没有增加,反而有所降低,使片钠铝石成为主要的成岩矿物;贮油层中片钠铝石比贮气层为低,影响较微,白云石、方解石基本上保持了油气聚集前的含量;贮水层中由于无油气抑制,白云石、方解石的胶结作用继续进行,从而构成上述纵向分布的差异。油水界面附近,由于石油氧化引起的还原作用,使水介质的pH值发生交替变化,白云石(含铁)、方解石(含铁)、高岭石交替出现,形成胶结物高含量带,有时还有自形石英、黄铁矿、重晶石等矿物的局部富集(图版I-6)。

因此,油气聚集的结果,不但使片钠铝石的分布呈现出贮气层中含量高,贮油层中较少,贮水层中没有或很少的规律,而且使白云石、方解石及高岭石的分布出现在贮气层中含量最低,贮油层其次,贮水层中最高规律性。

(三) 成岩作用对储集性的影响

与非油气层相比,该区成岩作用对储集性的影响表现在两个方面。

1. 降低储层的孔隙度,特别是油气聚集以后所析出大量的片钠铝石的充填胶结作用,使该区砂

岩储集空间在油气藏形成以后仍进一步降低。若不计砂岩胶结物,可见孔隙度气层为3—8%,油层为12—18%;若不计片钠铝石,则气层为3—6%,油层为8—10%。由此可知,孔隙度的降低主要是油气聚集后片钠铝石胶结、充填造成的。设想这种孔隙度的降低将会使气层中的气体受到相应的压缩(增大气层压力)。

2. 成岩矿物改变孔隙结构,降低渗透率。油气藏形成以后,虽然大量片钠铝石及一些高岭石使孔隙继续降低,但岩石中仍有大量的微孔隙存在(图版I-5)。其值并不很微,然而渗透率却很低。原因正如图4所示,渗透率朝粒间孔、溶孔的极点方向增加,向微孔隙极点方向降低^[6]。

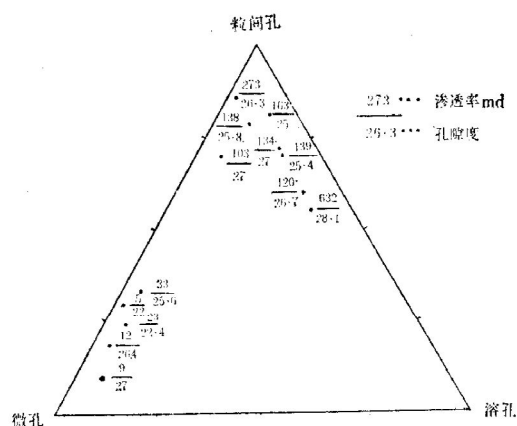


图4 孔隙类型分类图

正是由于上述成岩作用,在开发低渗透砂岩油藏时,往往贮油层物性相近,增产措施相同,而效果却大不一样。研究区和商河油田都用注水加压裂的开采措施,前者获得日产原油130—480吨,稳产一至九个月的良好效果;而后者日产30—40吨,稳产期不满一月。原因在于片钠铝石的胶结、交代作用,改变了粘土矿物的可变性及活动性。片钠铝石是脆性的纤维状含水碳酸盐矿物,犹如混凝土中增加了钢筋,使贮油层变得有利于注水,酸化作业虽然也能增产,但酸化势必消耗片钠铝石,又会造成粘土矿物的堵塞,使油田不能稳产。因此,成岩作用的研究,有可能为有效开发方案的选择和确定,提供部分理论依据。

研究工作得到周自立同志的帮助,有关专业组为本文提供了有关资料,借此致以谢意。

(收稿日期 1983年12月10日)

参 考 文 献

- [1] Tillman, R. W. and Almon, W. R., 1979, Diagenesis of Frontier Formation offshore bar sandstones, Spearhead Ranch Field, Wyoming. In: P. A. Scholle and P. R. Schluger (eds), Aspects of diagenesis-symposia. Soc. Econ. Paleontologists and Mineralogists Spec. Pub. 26, P. 362.
- [2] F. J. 佩蒂庄等著, 1972, 砂和砂岩. 李汉瑜译(1977), 科学出版社.
- [3] Schmidt, V. and McDonald, D. A., 1979, The role of secondary porosity in the course of sandstone diagenesis. In: P. A. Scholle and P. R. Schluger (eds), Aspects of diagenesis-symposia. Soc. Econ. Paleontologists and Mineralogists Spec. Pub. 26, P. 175.

- [4] 杜韞华, 1982, 一种次生的片钠铝石. 地质科学, 第 4 期.
- [5] Smith, J. W., Mitton, C., 1966, Dawsonite in the Green River Formation. *Economic Geology*, 1029—1042.
- [6] Pittman, E. D., 1979, Porosity, diagenesis and productive capability of sandstone diagenesis. In, P. A. Scholle and P. R. Schlager (eds), *Aspects of diagenesis-symposia*. Soc. Econ. Paleontologists and Mineralogists Spec. Pub. 26, P. 159.

STUDY OF DIAGENESIS OF RESERVOIR WITH A CO₂ GAS CAP

Du Yunhua

(Geological Research Institute of Shengli Oilfield)

Abstract

It is usually considered that diagenesis will end by and large as soon as hydrocarbon accumulates in reservoirs. In this paper, a case is presented in which diagenesis still continues after hydrocarbon accumulation.

The reservoirs studied are sandstone with a CO₂ gas cap located in the western part of Dongying depression. Diagenesis mainly consists of cementation, replacement and solution before oil and gas are accumulated. The cement mineral contains mainly dolomite and calcite, and the latter is a soluble mineral. Cementation of the above dolomite and calcite stops while a large amount of dawsonite associated with kaolinite and primary quartz are produced. Poorly permeable sandstone reservoirs are generated because of the decrease of permeability caused by diminished porosity in sandstone filled by dawsonite. The generation of dawsonite is closely related to carbon dioxide. In gas-bearing formation, there is more CO₂, then the amount of dawsonite is large too, as much as 35%; in oil-bearing formation, less amount of CO₂ could be found, dawsonite is of less amount too, about 6-8%; in aqueous formation, the amount of CO₂ is the least, the amount of dawsonite is the least too. The poor physical properties of the reservoir caused by diagenesis after the accumulation of oil and gas will not be favourable for the high yielding of oil and gas. However, the effect can be eliminated by acidization and hydraulic fracturing, and production can be increased because dawsonite is the aqueous carbonate.