

浅述次生孔隙的成因

李义军

(西北大学地质学系, 陕西 西安 710069)

摘 要: 生油岩生成的油气, 必须运移到储集层中贮存起来, 这样油气才可成藏, 而岩层的孔隙度是其储集性好坏的重要标志, 次生孔隙在此更是有极重要的意义 (因为随着岩层的埋深, 成岩作用不断在进行, 原生孔隙将减少, 次生孔隙将在储油方面扮演重要角色), 因此, 笔者着重论述次生孔隙的成因及其相关问题。

关键词: 储层; 次生孔隙; 溶解作用; 迁移作用

中图分类号: 618.13 **文献标识码:** A

任何岩层都将经历如下变化: 原始沉积 (主要是原生孔隙) $\xrightarrow{\text{埋深}}$ 又失去部分原生孔隙阶段 $\xrightarrow[\text{元素迁移减弱}]{\text{物质交代}}$ 形成次生孔隙阶段 $\xrightarrow[\text{再失去}]{\text{埋深增加}}$ 次生孔隙阶段 (暂时终端)。关于这点, Maxwell, 1964; Atwater and Miller, 1965 等曾有一个原生和次生孔的深度分布和演化顺序图^[1] (图 1)。

1 次生孔隙的成因机制

产生次生孔隙的成岩作用是多样的, 主要有岩石破裂作用、颗粒破裂作用 (主要因压实作用)、收缩作用 (主要因矿物脱水作用) 以及溶解作用 (物理的、化学的、生物等) 等等, 下面从几个具体的方面探讨次生孔隙的生成。

1.1 与有机质有关的次生孔隙的生成

(1) 有机质成熟释放 CO_2 , 溶解碳酸盐矿物产生次生孔隙 (Schmidt 等)。

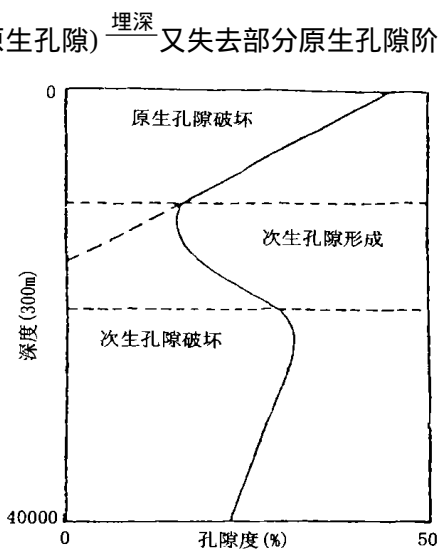
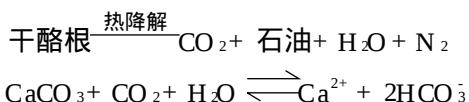


图 1 砂岩孔隙度与埋藏深度的关系示意图

Fig. 1 General sketch about the relationship between the porosity and the depth of burial

收稿日期: 2001-04-30; 修回日期: 2001-10-27

作者简介: 李义军 (1976-), 男 (汉族), 陕西省商南县人, 1999 年毕业于西北大学地质学系, 现硕士在读, 主要从事储层方面的学习和研究。

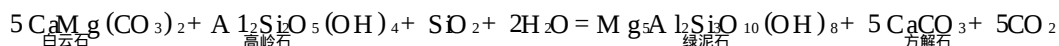


(2) 烃类物质的转化造成的影响也可形成次生孔隙, 如: 固态干酪根^[2] → 液态油 + 气态气时, 体积膨大而形成次生孔隙。

(3) 间隙水中的羧酸能导致砂岩中酸溶性组合, 特别是硅酸盐的溶解。Carothers (1978) 等指出在 800~200 的温度范围内, 油田水中所含醋酸根可达 $5\,000 \times 10^{-6} \sim 1\,000 \times 10^{-6}$, 羧酸也是沉积物中有机质热演化过程中的产物, Surdam (1982) 等证明, 与油田水相同温度和相同浓度范围内的草酸溶液可使铝的溶解度增加一个数量级, 而草酸溶液能使铝的溶解度增加 3 个数量级。溶解铝能以有机络合物 $[\text{Al}(\text{C}_2\text{O}_4)_2^-]$ 的方式迁移。

1.2 与粘土矿物有关的次生孔隙的生成

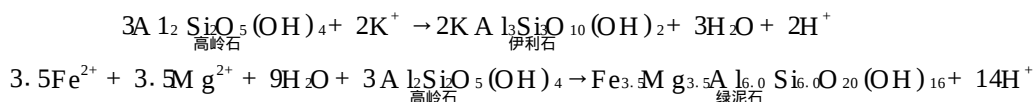
(1) 粘土-碳酸盐的反应, 在深埋地质作用时期提供 CO_2 从而溶解碳酸盐矿物 (Huth-heon 等)^[3]。



(2) 粘土中孔隙水的活力对于砂粒的离子溶解作用亦可形成次生孔隙, 这些孔隙水的来源及其活化的因素可以归结为: 酸性大气水及地表水的渗入; 碱性蒸发岩的卤化; 成岩作用释放的水、压实水及粘土矿物本身的“反馈水”等。影响活度的因素, 则一般可由: 水的活度随 t 、含盐度的升高而减少; 水的活度随压力增大而增加。

至于在成岩过程中发生的反应, 诸如: H^+ 、 OH^- 、 CO_2 的释出, 造成介质 pH 值的变化, 以及 H_2S 、有机酸分离物等亦均影响到 pH 值与 Eh 值的变化, 即如 CO_2 的出现就至少有利于 $\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+}$ 的转化。 CO_2 的来源是多方面的。例如: 有机质的氧化、火山活动、变质作用、细菌对硫酸盐矿物进行的还原作用、生物的发酶作用、热脱羧作用、矿物氧化还原反应、碳酸盐矿物的热分解 (菱铁矿的分解) 等等均可生成 CO_2 , 而可能导致次生孔隙的生成。

(3) 粘土矿物转化产生的氢离子可降低间隙水的 pH 值, 导致酸溶性矿物溶解。



1.3 与温度、压力有关的次生孔隙的生成

(1) 通过温度的下降和后生的与碳酸盐有联系的不饱和液在上升断块或者由于压实作用在大断裂带上流动而产生的淋滤作用导致次生孔隙的生成。成岩流体的流动方式与次生孔隙的分布有关, 常见的流动方式有下降流、上升流和热循环对流。下降流主要指大气降水通过渗透性单元向下流动, 特别在地形起伏较大地区, 此种流体可在浅部岩层中形成淋滤次生孔隙发育带; 上升流指地层流体从盆地凹陷负向构造单元部位向上或向外侧运移, 其动力主要来自压实作用、粘土矿物脱水及流体的膨胀作用, 主要发生在盆地的中-浅部位; 流体的热循环对流通称贝纳德·雷利热循环对流, 是最有说服力的一种深部地层中搬运溶解物机制。借鉴这一理论 (Wood 和 Surdam, 1978, 1982) 用来解释东部深部次生孔隙发育带的形成已见效果。有许多证据表明, 在我国东部深层碎屑岩储集层中确实存在热循环对流, 并且在深部产生了次生孔隙发育, 形成了成岩圈闭。而流体的形成和运移与温度、压力都有很大的关系^[4]。

须有可以利用的水和足够的压力梯度,把水从页岩中迁移到砂岩和排出砂岩。必须有发生溶解反应所需的离子来源。被释放到溶液中的离子,不能以任何方式沉淀在砂岩孔隙中。

首先,水的主要来源可以有 2 部分:大气水和页岩水。页岩压实 (Dickinson, 1953) 和热膨胀 (Barker, 1972)、蒙托石向伊利石的转化放出吸附水 (Barst, 1969) 以及碳氢化合物形成时期,页岩中固体干酪根转化为液态碳氢化合物 (尤其是天然气的形成) 所引起的体积膨胀 (Hedburg, 1924) 都可产生页岩水。很显然,地下存在足够的压力梯度,从而页岩水被排挤出来,使它成为溶解物质迁移或扩散的动力学营力。另外,由于水的向下流动有一个高于海平面的水压头,所以通常只有由大气水形成的孔隙水才能向下运动,流动的驱动力是高于海平面的淡水柱形成的水压头,流动会沿着垂直于等势线的方向发生,而且同从水文边界上的盆地中排出的孔隙水相遇,从而参加溶解作用和物质迁移过程。

至于 H^+ 的来源,前面已经谈到,在此就不再赘述。下面讨论铝的迁移问题。因为从砂岩中迁移的铝量与作为溶剂的有效水量的关系,铝的络合物浓度高于 100×10^{-6} ,才能利用大多数盆地中有效的水量将铝从砂岩中迁移出去。早期有机质成熟阶段产生了酸和有机络合剂,它们皆可络合铝。含有 H^+ 和络合剂的溶液被排入到砂岩中,在这里由于不稳定长石使铝的活度被高度地缓冲了,因而提供了较高浓度的络合铝,这种溶液溶解了长石和其他铝硅酸盐组分,而且络合了大量由此而产生的铝,并搬运出砂岩,从而形成次生孔隙。

2.2 迁移作用

对于迁移作用来讲,溶解物质要迁移,则必须有地下流体的流动,而地下流体的流动,是因为地下流体的能量分布不均衡造成的,引起这种不均衡的因素很多,主要有:沉积物的埋藏和成岩作用。沉积物随埋深的增加,由于机械压实作用和化学胶结作用等成岩作用,特别是温度、压力和水介质的影响,导致一系列物理和化学变化。第一种是沉积物处于正常压实状态时,促使沉积物中孔隙流体流动的是上覆新沉积负荷引起的瞬时过剩压力;第二种是沉积物特别是泥质沉积物在埋藏到一定深度之后,常有较为广泛的超压 (又称异常高压) 出现,它也会造成孔隙流体的流动,尤其在盆地稳定下沉接受沉积阶段 (油田水文地质学上又称沉积水文地质阶段) 更是如此。据 Hunt (1990) 统计,仅目前尚保存有非正常压力的盆地世界上就有 180 多个,且其中大多数表现为超压。大气水和地表水的渗入作用。从盆地边缘露头或地层埋藏浅处渗入的大气水和地表水,是地下水的另一重要来源。特别当盆地处于渗入水文地质阶段,即相当发生区域隆起、海 (湖) 退、含水岩石遭受剥蚀时,渗入水对地下流体动力学的贡献最大。此时,水受重力作用主要通过渗透层或开启性断层等连通条件较好的介质,在重力位势差驱动下,由高位势区流向低位势区,位势差越大,水的驱动力越强。

构造作用。构造活动对流体动力学的影响主要有:渗透层构造形态 (如褶皱、差异沉降) 的改变,将引起原地层中任意两点间流体势的调整;断层、裂缝等构造的形成,可使得纵横向上原本相互分隔、能量不同的两个或多个流体动力体系得以沟通,改变了原有介质的渗透性能,后者为不同动力体系间的流体交换提供了条件;平均正应力的变化速率也是影响流体运移的一个驱动力 (通过耦合成流体压力而起作用)。需要指出,构造作用对流体动力学的影响往往具有某种周期性和阶段性,呈幕状出现。如从热液矿脉的结构证据来看 (R. H. Sibson, 1994),与断层有关的裂缝系统中的流体流动总是呈阶段性发生的,且具有明显的动应力旋回,即在构造应力旋回、岩石渗透性的形成与破坏及流体动力学之间存在某种复杂关系。地下流体

(油、气、水) 的相对分布。岩石可视为一种由不同孔径的管道所组成的多孔介质, 即一个复杂的毛细管系统, 当有油气进入该系统时, 单相 (水) 变成了多相 (油-水、气-水、油-气、油-气-水) 流, 此时在流体界面上就会产生毛细管压力差, 能促进 (油气由小孔隙进入大孔隙时) 或阻碍 (油气由大孔隙进入小孔隙时) 流体发生运动。

3 问题与讨论

其实, 次生孔隙的形成是一个多元的、复杂的过程。笔者主要从一个微观角度叙述了它的成因以及相关问题, 宏观的影响因素, 如宇宙体的运动、壳幔物质的对流、沉积环境与沉积相等等方面对次生孔隙的形成与演化也都是有影响的。另外, 在次生孔隙这一研究领域^[6], 依然有很多问题因主观或客观因素未曾被人们认清楚和意识到, 所以依然需要不断的研究, 从而有利于更准确和全面的认识储层, 以有利于油气田的开发。

参考文献:

- [1] 林壬子, 张金亮. 陆相储层沉积学进展 [M]. 北京: 石油工业出版社.
- [2] 西北大学地质系. 碎屑岩的成岩作用 [M]. 西安: 西北大学出版社, 1986.
- [3] 沃马克·施密特, 戴维A·麦克唐纳. 砂岩成岩过程中的次生储集孔隙 [M]. 北京: 石油工业出版社.
- [4] 朱国华. 碎屑岩储集层孔隙的形成、演化和预测 [J]. 沉积学报, 1992, 10 (3).
- [5] 陈丽华, 等. 碎屑岩天然气储集层次生孔隙的三种成因机理 [J]. 石油勘探与开发, 1999
- [6] 文玲, 胡书毅, 田海芹. 靖安油田延长组长6段低孔低渗透储层特征及评价 [J]. 西北地质, 2001, 34 (4): 53-60

The discussion about the genesis of induced porosity

L I Y i-jun

(Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069, China)

Abstract: Oil and gas which derived from oil source rock must be sent to oil-bearing reservoir, so that it can be stored and then it can be used. The porosity of the rock mass is very important for the stored energy, and the induced porosity has much more things to do with it (because with the lithogenesis come on, and the primary porosity will be reduced and the induced porosity will play important part in oil accumulation). The genesis of induced porosity and related some questions are discussed.

Key words: oil-bearing reservoir; induced porosity; solvent action; transporting action