

克拉玛依油田八区下乌尔禾组砾岩的 成岩变化及对储层的影响

罗平 邓恂康 罗蛰潭*

(成都地质学院石油系)

通过薄片、岩心和扫描电镜观察,克拉玛依油田八区下乌尔禾组砾岩(1)结构复杂——有粗、细两种杂基,五种颗粒支撑方式,四种颗粒接触方式;(2)机械压实作用强烈——表现为颗粒变形,粒内裂缝和“假杂基”;(3)自生矿物发育——有沸石、方解石和绿泥石三大系列。

根据自生矿物的产状和成因,综合出下乌尔禾组砾岩的埋藏成岩变化过程和孔隙演化的关系:未成熟阶段机械压实作用极大地减少了原生孔隙度,去方沸石化产生了大量次生溶蚀孔隙,其后的绿泥石生长堵塞孔隙喉道,降低岩石的可渗性。

通过以上讨论,鉴别出两种砾岩的成岩变化方式:易受压实的凝灰质砾岩溶孔不发育发展成非储层,抗压性的中、酸性熔岩岩屑砾岩溶蚀孔发育成为有效储层。

对砾岩的埋藏成岩变化远不如对砂岩那样研究得深入和广泛。这是因为砾岩的经济意义远不如砂岩重要。它的分布和产出程度也远不如砂岩大。

以砾岩为主要储油层是克拉玛依油田的一大特征。故对其八区下乌尔禾组砾岩进行与储层性质有关的岩石学研究,不仅有着重要的理论意义,而且有明显的现实意义。下乌尔禾组属于上二叠统,在八区为一套洪积扇沉积物,由于强烈的埋藏成岩作用,孔隙度一般小于10%,平均空气渗透率一般小于1 mD,属于中、低孔渗性储层。

一、砾岩的岩性特点

下乌尔禾组主要是砾岩。其碎屑成分主要为火山岩岩屑,夹有少量沉积岩岩屑。火山岩岩屑有三种:其一为富硅火山玻璃质的酸性凝灰岩碎屑;其二是以流纹岩为代表的酸性熔岩岩屑;最后是以安山岩、粗面岩为主的中性熔岩岩屑。沉积岩岩屑主要为粉砂岩和细砂岩,其砂粒成分为火山岩岩屑、长石和石英;填隙物为火山灰尘。

下乌尔禾组可细分为三个亚组。上亚组为凝灰岩岩屑砾岩;中、下亚组碎屑成分相近,为中、酸性熔岩岩屑砾岩(图1)¹⁾。

(一) 砾岩的结构特点

下乌尔禾组砾岩的砾径在2—100mm之间,以2—25mm者占大多数。砾石分选差,

本文1984年5月12日收到,1985年8月10日改回。

* 系研究生罗平之导师。

1) 邹义声,1981,克-乌油区八区下乌尔禾组岩相分析阶段总结,新疆石油管理局勘探开发研究院。

杂基含量高。凝灰岩、粉砂岩和细砂岩岩屑为棱角状、次棱角状, 少量次圆状; 中、酸性熔岩碎屑多呈次棱角状和次圆状。

砾岩中的杂基一般指非砾石级的物质^[1]。但是在2—5mm粒级的砾岩中, 砾石和砂通常共同构成砾岩的颗粒支撑格架。在这种情况下, 将砂、粉砂和泥一并当成杂基处理, 显得粗糙, 不能准确反映砾岩的结构特点, 更不能表现与颗粒有关的孔隙系统的性质。因此, 本文定义砾岩中的砂级碎屑(0.1—2mm)为粗杂基, 粉砂和泥(<0.1mm)为细杂基。粗杂基既具有隙间充填物的属性, 又兼有颗粒支撑的作用; 其内的粒间孔隙是砾岩储集空间的重要组成部分。

虽然砾岩具有砂岩那样的颗粒填集特性, 但由于砾岩成因于洪积扇环境¹⁾, 具有多种粒级、多种成分和比砂岩复杂得多的颗粒填集方式。

1. 颗粒支撑方式

砾岩有五种颗粒支撑类型: 同级颗粒支撑、多级颗粒支撑、局部杂基支撑、杂基支撑和混合支撑(图2)。

(1) 同级颗粒支撑

基本上由同一粒级的砾石或砂所组成的岩石颗粒支撑格架, 定义为同级颗粒支撑。在洪积扇沉积物中, 这种支撑发育在扇体顶部的细密沟槽中¹⁾。钻井岩芯中较少见到。

(2) 多级颗粒支撑

多种粒级的颗粒依级依次构成岩石的支撑格架, 称为多级颗粒支撑。所谓“依级依次”指上一级颗粒的支撑格架空隙内, 由次一级的颗粒构成第二级支撑格架。顺次组成多级颗粒支撑。

(3) 局部杂基支撑

砾岩中相当大的一部分为细杂基支撑(相当于砂岩的杂基支撑), 这就是局部杂基支撑。这是一种较常见的支撑类型。

(4) 杂基支撑

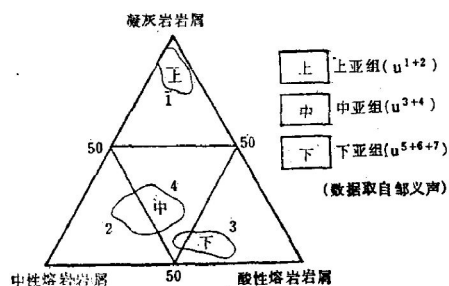


图1 火山岩岩屑成分分类三角图

1—凝灰岩岩屑砾岩, 2—中性熔岩岩屑砾岩, 3—酸性熔岩岩屑砾岩, 4—混杂火山岩岩屑砾岩

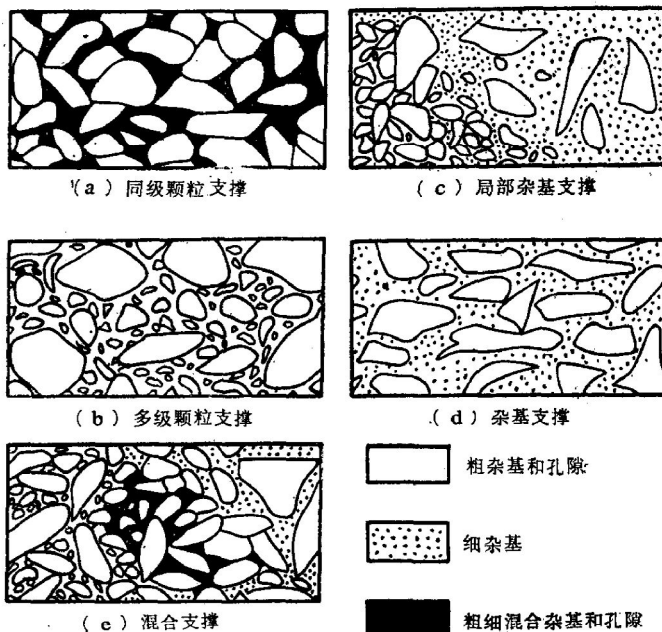


图2 砾岩的支撑类型

1) 张纪易, 1981, 粗碎屑洪积扇沉积模式, 新疆石油管理局勘探开发研究院。

同砂岩一样,作为支撑格架的砾石被细杂基包围成游离状,称为杂基支撑。

(5) 混合支撑

同级颗粒支撑、多级颗粒支撑和少量的杂基支撑相组合搭配构成的支撑格架,称为混合支撑。

洪积扇是一种十分不均质的沉积物。砾石粒径大,在薄片下所观察到的颗粒支撑类型,不能代表整个砾岩的情况。在纵、横向延伸十几厘米,甚至几厘米,砾岩的粒级和颗粒支撑类型可能发生相当大的改变。从实用角度看,在岩芯尺寸范围内,讨论地下砾岩的支撑类型是可取的。现场岩芯观察表明,(1)、(2)型支撑很少见;最常见的是(3)、(4)、(5)三种。

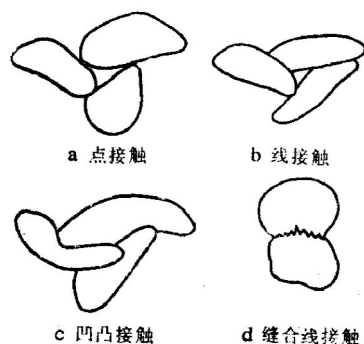


图3 颗粒的接触

2. 颗粒的接触方式

在薄片可见到砾岩中的碎屑(包括砾石、砂和粉砂)有四种接触方式:点接触、线接触、凹凸接触和缝合线接触(图3)。

抗压性较好的中、酸性熔岩碎屑,常为点接触。塑性的凝灰质碎屑和粉砂岩碎屑,受压变形成紧密的线接触和凹凸接触(图版 I-1)。压溶成因的微缝合线接触,只发生在刚性颗粒之间(图版 I-2)。最出现的是线接触和凹凸接触;这两种接触不是压溶作用引起的。这一点与石英砂岩不同。

3. 颗粒的变形

机械外力对砾岩的改造强烈,表现形式为:(1)颗粒的线接触、凹凸接触的紧密贴合,(2)张扭性力造成碎屑内张性裂缝(图版 I-1, 2),(3)压扭性力使颗粒产生一组剪切缝(图版 I-3),(4)“假杂基”的形成(图版 I-4)。

(二) 自生矿物的种类和产出

借助于显微镜,可鉴别出砾石有沸石、方解石和绿泥石,外加钠长石、蒙脱石和伊利石等自生矿物。

1. 沸石

薄片见到的主要是方沸石(图版 I-5)。沸石最常在富含火山玻璃的碎屑物中产出。它产出形式多种多样,计有胶结物(图版 I-1)、组分内(图版 I-3)、裂缝充填物(图版 I-1, 2, 3)等几种。其中组分内产出形式有二种分布状态:(1)星散状(图版 I-3),(2)块斑状或脉状,分布于杂基或凝灰质碎屑内(图版 I-6)。当杂基和相邻的颗粒都为凝灰质时,自生沸石无结构选择交代形成混合产出。

2. 方解石

方解石有微晶或隐晶、粗大亮晶两种。隐晶方解石只出现于岩屑或细杂基中;亮晶方解石作为胶结物和沸石交代物产出(图版 I-2, 3)。岩屑内和杂基内部也有分布。

3. 绿泥石

绿泥石有三种产出形式。(1)组分内产出,多分布于细杂基中(图版 I-3),少量在

岩屑(凝灰质岩屑最明显);(2)胶结物产出(图版 I-3),一般呈局部胶结并与方沸石和方解石共生;(3)溶孔内产出(图版 I-4),晶形大而完整,由于垂直颗粒外缘径向生长的习性往往堵塞喉道(图版 I-6, 7)。早期绿泥石呈微晶集合体,晚期则晶形大而自形程度高。

4. 钠长石

自生钠长石常出现在溶孔发育的砾岩中,与方解石和绿泥石共生(无沸石伴生)(图版 I-6)。常呈团斑或裂缝充填物形式产出,或沿中、酸性熔岩碎屑的边缘生长(图版 I-2),形成钠长石次生加大形象。

5. 蒙脱石和伊利石

自生蒙脱石和伊利石主要出现在上亚组的红色砾岩中,即绿泥石化不强或无绿泥石化的层位。

二、埋藏成岩过程中自生矿物的成因和演化

沉积物的原始组分是不同成岩期各种自生矿物产生的物质基础;换句话说,自生矿物是成岩变化进程的标志;它们的产出和消亡直接影响着储层的储集空间。

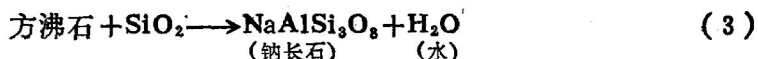
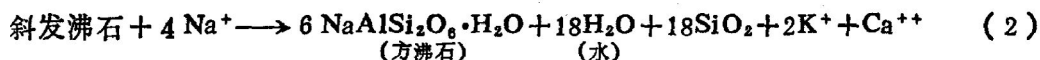
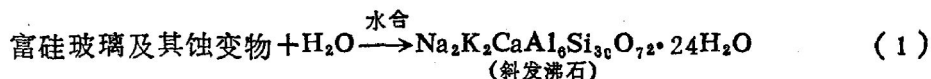
八区下乌尔禾组砾岩形成于扇-三角洲相沉积环境,扇体的远端前积到湖盆的水体中。它的沉积物质来源于火山喷发岩区,含有丰富的火山玻璃质的凝灰岩碎屑。产油区位于扇体的陆上部分即扇体的近端和中端。洪积物刚堆积时,中性地表水为溶液介质。

1. 沸石的成因及矿物系列

C. Colella, R. Aiello 和 C. Porcelli^[2]指出:火山碎屑物质沉积后,渗滤水基本上为天水(必然中性),开始与火山玻璃接触并水合,……水合后,随即溶解;尤其当质点完全水合后,溶解过程更加快速。溶解作用提高了隙间水中的 pH 值,同时也富集了各种生成沸石的阳离子。在大颗粒碎屑内部还产生局部沸石化,这与其局部水合、溶解和沉淀过程有关。

Azuma Iijima^[3]观察到,在硅饱和环境下,上覆沉积物的压力和地层温度使火山玻璃在埋藏成岩变化过程中,发生一系列的沸石反应过程。其中有两组沸石矿物演化系列:(1)斜发沸石→方沸石→碱性长石组成的碱沸石-碱性长石系列;(2)Ca-斜发沸石→片沸石→Ca-丝光沸石→浊沸石构成的钙沸石系列。

碱性沸石系列的化学反应式可表示为:



下乌尔禾组的沸石矿物组合属于碱性沸石-碱性长石组合系列,代表矿物为方沸石和钠长石(图4)。

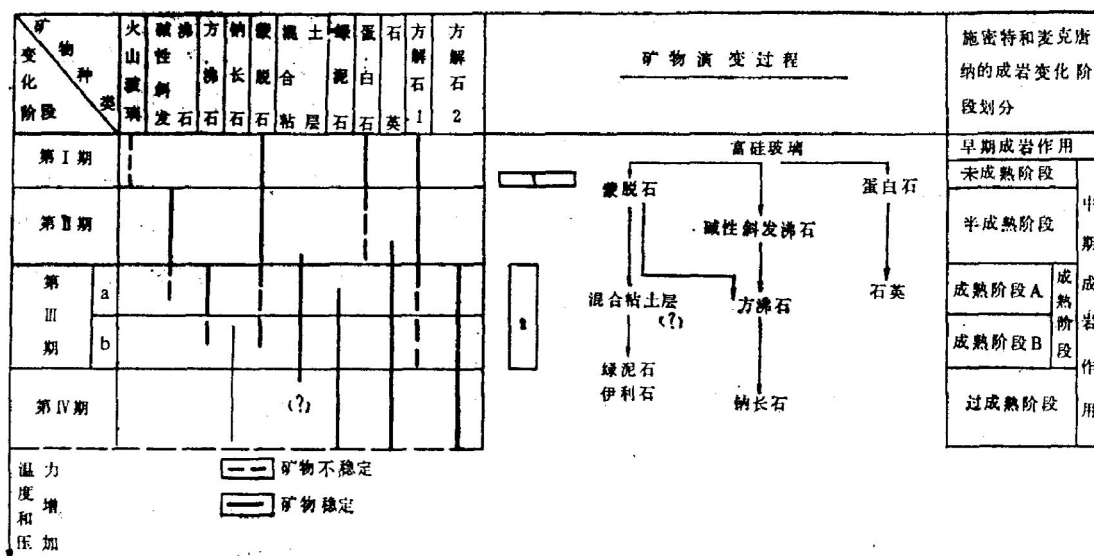


图4 从火山玻璃开始的成岩变化矿物发展系列

(参考 Natural Zeolites, 1978)

1—来自大气中的 CO_3^{2-} 与钙离子生成的隐晶方解石, 2—封存水中的高浓度钙离子与由盆地内运移来的为有机质向油气转变过程中产生的 CO_3^{2-} 反应, 生成大量亮晶方解石

2. 方解石的成因

有机质十分缺乏的砾岩, 成岩作用早期仅有微量的微晶方解石生成。其 CO_3^{2-} 来自间歇补充地表水, Ca^{++} 与沉积物溶解有关。

成熟阶段A(图4)^[4], 由有机物分解生成的 CO_2 从湖盆深部运移到盆地边缘的洪积扇体, 与方沸石化析出的高浓度钙离子结合(反应方程(2)), 生成大量大颗粒亮晶方解石。

3. 绿泥石的成因

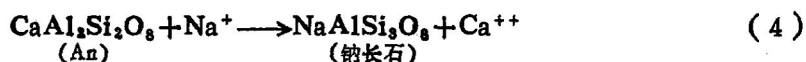
绿泥石是富铁镁矿物, 可能有三种成因。第一, 成因于蒙脱石; 第二, 黑云母、角闪石、辉石以及铁质氧化物等富铁镁成分的矿物, 加上沸石化残余下的火山玻璃富铁镁部分, 在成岩变化过程中不同程度地成为绿泥石生长的母质; 第三, 从溶液中直接结晶出形态为片状、蜂窝状和玫瑰花状等绿泥石集合体丛生在去沸石化后的溶蚀孔隙中。

4. 三大自生矿物的共生关系

沸石首先在凝灰质细杂基中生长和孔隙中结晶出来(图版 I-3)。然后, 残余的富铁镁部分绿泥石化, 形成方沸石在绿泥石中呈星散状分布的图案。方解石作为最后结晶物充填残余的孔隙和沸石的晶间隙, 并交代沸石。

这种结晶次序和共生关系有其内在原因。沸石和方解石同属强碱质条件下的结晶矿物, 在形成大量斜发沸石的中期成岩作用的未成熟阶段和半成熟阶段, 仅有微量微晶方解石形成。“沸石形成的另一条件可能是碳酸根离子的浓度(低), 因而不能形成碳酸盐矿物……”^[5]。

钠长石的生成过程是沸石被交代和溶蚀的过程。同时, 随着方沸石的逐渐消失, 中性熔岩岩屑中的斜长石开始钠长石化(图版 I-2)。



这个进程增加了隙间水的 Ca^{++} 浓度。换句话说, 溶液中的钙离子处于饱和状态。所以弱碱质条件下, 方沸石虽被溶蚀, 而方解石稳定。

图4概括了自生矿物在埋藏成岩变化过程中的共生组合关系。下乌尔禾组砾岩的矿物组合相当于矿物演化的第Ⅲ期。可渗性差的上亚组相当于Ⅲ₁亚期; 溶孔发育的中、下亚组矿物演化处于Ⅲ₂亚期。

与隙间水息息相关的自生矿物的发生、发展为研究次生孔的发生、发展打下了基础, 为揭露砾岩的储集性质的内在因素准备了条件。

三、埋藏成岩变化过程中砾岩的孔隙演化

任何沉积物都具有一定的孔隙。它是沉积物发生机械和化学压实作用的介质。反过来说, 一定成岩阶段中的岩石或沉积物, 经历一定的机械和化学压实, 形成一定的孔隙系统。显然, 岩石的储集空间系统是一个随时间变化的“函数”。

(一) 砾岩的原始孔隙度

如前所述, 砾岩有5种颗粒支撑类型。以理想化的多级颗粒支撑作为例子计算一下, 便可清楚砾岩原始孔隙度的总轮廓。

假设每个碎屑颗粒都为理想球体; 那么当第一级球状颗粒充填时, 岩石的体积:

$$V = a_1 \cdot V + (1 - a_1) \cdot V \quad (\text{式1})$$

[定义: 第*i*级球状颗粒孔隙度 a_i = 第*i*级孔隙体积 ÷ 第*i*级总体积 (第*i*级孔隙体积 + 第*i*级颗粒体积)]

当第*i*级球状颗粒充填时, 其所能充填的空间 (即第*i*级总体积):

$$\prod_{k=1}^{i-1} a_k \cdot V = \prod_{k=1}^i a_k \cdot V + (1 - a_i) \cdot \prod_{k=1}^{i-1} a_k \cdot V \quad (\text{式2})$$

那么, 充填了*n*级理想球状颗粒的岩石, 其体积*V*由下面组成:

$$V = \prod_{i=1}^n a_i \cdot V + \sum_{i=1}^n (1 - a_i) \cdot \prod_{k=1}^{i-1} a_k \cdot V \quad (\text{式3})$$

假设每一级次的充填方式即紧密程度一致, 也就是 $a_i = a$, ($a < 1$), 则*n*次填集后的孔隙度(Φ):

$$\Phi = \prod_{i=1}^n a_i = a^n \quad (\text{式4})$$

式4表明孔隙度与充填的级次“*n*”成几何级数下降。例如, 当有两级颗粒充填时 (疏松填集, $a = 0.476$, 紧密填集 $a = 0.259$), 岩石孔隙度:

$$\Phi_{\text{松}} = a^2 = (0.476)^2 \approx 22.66\%,$$

$$\Phi_{\text{密}} = (0.259)^2 \approx 6.7\%$$

当有三种球状颗粒构成岩石支撑时,其孔隙度 $\Phi_{\text{松}}=10.8\%$, $\Phi_{\text{密}}=1.74\%$ 。以上计算表明多级颗粒支撑和混合支撑的砾岩原始孔隙度低;局部杂基支撑的岩石孔隙度更低。需要一提的是,砾石内部常具有微孔隙。尽管如此,原始孔隙度低是砾岩的基本特征之一。

(二) 中期成岩作用阶段的埋藏成岩变化对孔隙的影响

下乌尔禾组砾岩经历了几个重要的成岩变化事件:(1)压实作用,(2)沸石化及其胶结作用,(3)方解石充填残余孔隙和交代沸石作用,(4)去方沸石化伴随次生溶孔发育,(5)溶孔大晶体绿泥石生长和钠长石化。从(1)到(3)是原始孔隙度消失的过程,(4)是次生孔隙发育阶段,(5)是喉道受破坏的时期。

1. 成岩作用各阶段的划分

砂岩的中期成岩作用^[4]可由浅到深依次划分为(1)未成熟阶段,(2)半成熟阶段,(3)成熟阶段和(4)过成熟阶段。未成熟阶段以机械压实作用为主,半成熟阶段过渡为化学压实作用——压溶作用和胶结作用。成熟阶段分为两期,前期为次生孔隙发育期,后期是次生孔隙消失期。过成熟阶段标志着变质作用开始。

八区下乌尔禾组砾岩与砂岩一样,经历了早期成岩作用 and 中期成岩作用。图4是以矿物演化为标志的砾岩各成岩阶段。油气进入储层之前,砾岩成岩阶段达到成熟阶段B。虽然砾岩的矿物演化达到B阶段,但它的孔隙演化进程有自己的特点:次生溶蚀孔隙,在成熟阶段A将结束,成熟阶段B开始时,才大量产生(图版I-5,6)。

2. 机械压实作用对孔隙的影响

机械压实作用的结果表现为碎屑物趋于紧密填集和塑性颗粒的变形。颗粒由原来的点接触或不接触,被改造成紧密贴合的线接触和凹凸接触。部分颗粒被挤入孔隙中成为假杂基。结果,岩石的原生孔隙度在未成熟阶段的末期就极大的减少,以凝灰质岩屑砾岩尤甚。化学压实作用(主要指压溶作用)虽在中期成岩变化阶段对孔隙的影响不显著,但它能持续到孔隙全部消失(变质阶段)。

3. 自生矿物对孔隙的影响

半成熟阶段(图5)胶结物沸石充填了相当一部分原生孔隙。成熟阶段A,方沸石化过程产生少量的次生孔隙(反应式2表明斜发沸石转变成方沸石时释放出结晶水)。其后方解石充填使砾岩孔隙度降到最低点。

中、酸性的熔岩岩屑砾岩(见图5B)抗压性好,保存了较大部分的原生孔隙,凝灰成分低,沸石化作用没有将原生孔隙全部充填,有利于成熟阶段B的去方沸石化,形成大量次生溶蚀孔隙(图版I-5,6),所以中、下亚组溶孔发育。凝灰质岩屑砾岩,机械压实作用减少了大部分原生孔隙,加之沸石化和绿泥石化十分强烈,故半成熟阶段末,孔隙度相当低,因而它的隙间水很不活跃。方解石充填后,孔隙进一步变少,隙间水活动趋于停滞。所以去沸石化时期,它的沸石基本未受溶解,也没有钠长石化(薄片观察表明,自生钠长石愈发育,方沸石愈溶解的彻底,溶孔愈发育)。成熟阶段B(图5B,图版II-6, I-4)片状、蜂窝状和玫瑰花状绿泥石群体径向地向孔内生长,在喉道处“合拢”即搭桥,堵塞喉道,极大影响砾岩的渗透性。

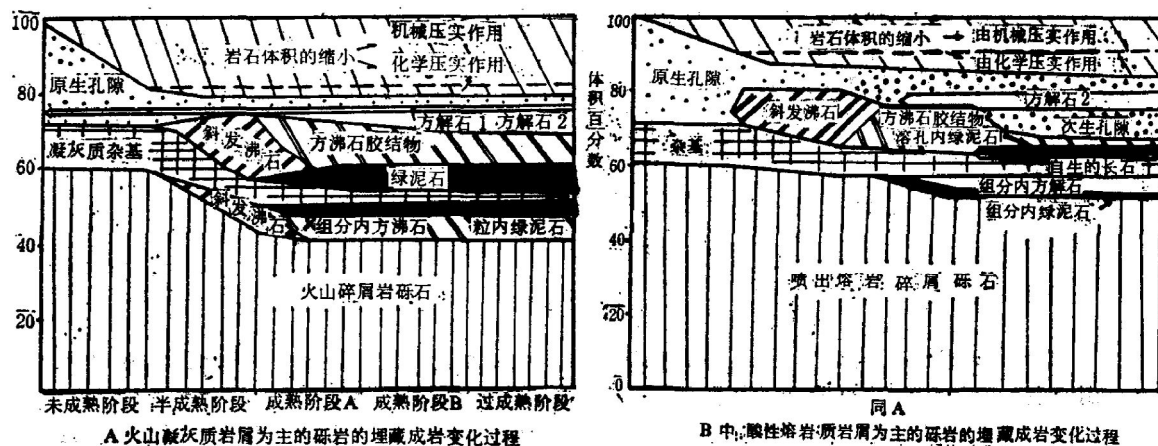


图5 中期成岩作用各阶段砾岩的成岩变化与孔隙演变的关系

图5表示下乌尔禾组砾岩两个基本埋藏成岩变化过程。图5A相当8545井致密凝灰岩岩屑砾岩的成岩变化过程; 图5B相当8645井U₁⁴段中、酸性熔岩岩屑砾岩的成岩变化过程。A型砾岩发展成为非储层(或盖层)(图版I-1, I-1, 2, 3, 4, I-3); B型砾岩成为有效储层(图版I-2, I-5, 6, 7, I-4, 5, 6)。

从孔隙演化过程来看(图6), A型砾岩的孔隙是一个持续递减的过程, B型储层的孔隙有两次波动。

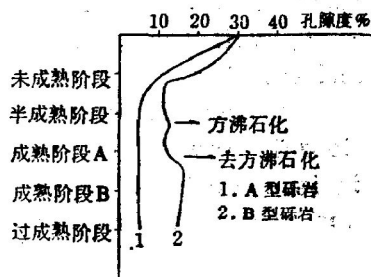


图6 砾岩孔隙演化示意图

参 考 文 献

- [1] 刘宝珺主编, 1980, 沉积岩. 地质出版社.
- [2] Colella, C., Aiello, R. and Porcelli, C., 1976, Hydration as an early stage in the zeolitization of Natural glass. In: L. B. Sand and F. A. Mumpton (ed), 1978, Natural zeolites—occurrence, properties, use. Pergamon Press.
- [3] Azuma Iijima, 1976, Geological occurrences of zeolite in marine environments. In: L. B. Sand and F. A. Mumpton (ed), 1978, Natural zeolites—occurrence, properties, use. Pergamon Press.
- [4] 沃克马·施密特和戴维·A·麦克唐纳, 1979, 砂岩成岩过程中的次生孔隙. 美国石油地质学家协会进修丛书(十二). 陈荷立和汤锡元译, 1982, 石油工业出版社.
- [5] V.恩格尔哈特, 1977, 沉积物和沉积岩的成岩——沉积岩石学(Ⅱ). 何起祥, 1982, 地质出版社.

DIAGENESIS OF THE LOWER WUERHE CONGLOMERATE IN KARAMAY OIL FIELD AND ITS EFFECT ON RESERVOIR PROPERTIES

Luo Ping Deng Xunkang Luo Zhetan*

(Chengdu College of Geology)

Abstract

Observation and electronscanning of rock slices and core samples in 8th district, Karamay oilfield, have the following characters:

1. Complicated petrofabric—coarse and fine matrices, five kinds of grainsupported frameworks and four types of grain contact.

2. Violent mechanical compaction—grain deformation, intra-grain fissures and false matrices.

3. Well developed authigenic minerals—three series of zeolites, calcites and chlorites.

Based on the occurrence and origin of the authigenic minerals, the relationship between pore evolution and diagenesis processes, the conglomerate are in immaturated and semi-maturated diagenesis, mechanical and chemical compaction greatly decreased primary porosity, but the de-analcitization resulted in a large amount of secondary corrosion pores, and then, the chlorite grown in pores apparently blocked the throats, thus reduced the permeability of the conglomerate.

Two diagenesis processes are discriminated; the ductile tuffaceous clastic conglomerate with a few secondary corrosion evolved into nonreservoir, whereas conglomerates composed of compression-resistant neutral and acidic lava clastics with much more secondary pores, developed into effective reservoir.

会 议 通 告

为了交流碳酸盐岩地区油、气勘探方法技术和经验,以促进我国广大碳酸盐岩沉积区的油、气勘探工作,现定于一九八六年十一月中旬由地质矿产部石油物探研究所在南京主持召开碳酸盐岩地区油、气勘探方法技术国际讨论会。有关碳酸盐岩地区的油、气地质及地球物理勘探工作中的复杂问题,诸如复杂构造、礁、推覆体以及山区勘探等问题将在这次会议上进行讨论。这次会议上还将发表有关我国南方碳酸盐岩地区油、气勘探方法技术的研究成果。会议期间还将组织一次在我国南方碳酸盐岩地区的地质旅行。

我们热烈欢迎对这次会议感兴趣的国内外地质及地球物理专家提供论文并届时参加会议,需要了解这次会议的详细情况,请来信寄:

江苏省南京市卫岗21号石油物探研究所碳酸盐岩地区油、气勘探方法技术国际讨论会筹备组

石油物探研究所碳酸盐岩地区油、气勘探方法
技术国际讨论会筹备组

一九八六年一月

* Postgraduate Luo Ping's tutor.