

乌尔禾组火山质砾岩储集岩的沉积成岩特征 与油气聚集关系的研究

张 璞 瑚

(地矿部石油地质中心实验室)

本文论述了位于干旱盆地边缘山麓洪积扇相粗碎屑岩的沉积成岩特征,说明了矿物和结构成熟度欠佳的富含火山岩屑砂岩中,自生沸石的析出、溶解和孔隙的演变与烃类聚集之间的内在联系,阐述了乌尔禾系砾岩油田的储集类型属微裂缝-孔隙型(次生孔隙)。自生方沸石是地下次生孔隙发育带的标志矿物,沿克拉玛依—乌尔禾大断裂的古洪积扇的扇腰、扇面上古河槽主流线方向及位于生油岩上倾方向的砾岩体是有利油气聚集的远景区,砾岩体内因差异成岩作用形成了蓄、储、圈闭的有利岩性组合与有利构造位置的配置,这对形成工业油气藏是非常有利的。

序 言

据统计,世界上有一半以上的石油是产在碎屑岩中。因此,地质学者们对于砂岩的储集层的性质及内部结构研究得比较深入,对于砾岩储集层的研究相比之下,则显得差些。特别是火山质砾岩储集层由于类型较稀少,尚未见到更多的报道。事实上,沿着干旱或半干旱地区构造盆地的边缘,往往保存着发育完好的洪积扇,在适当的地质条件下,可以形成大型油气藏,克拉玛依地区的上二叠统乌尔禾组油田就是一例,该油田位于克拉玛依油田之下,自六五年进入勘探阶段以来,迄今为止,已有30多口井获得工业油流。本文试图通过对乌尔禾组洪积扇相砾岩体的沉积成岩特征的研究,阐明储集层内孔隙演变机制与油气储集关系,探讨以火山质岩屑为主要组份的砾岩(包括同类型的砂岩)的成岩特征以及控制储集特征的主要因素,对于识别这类型的储集,扩大勘探领域具有一定的现实意义。

一、地 质 特 点

乌尔禾砾岩油田位于准噶尔盆地西北缘与准噶尔山相接的克拉玛依—乌尔禾断裂带上,呈北东—南西向狭长伸展。上、下乌尔禾组地层分别在五区、八区直接超复在石炭系基底不整合面之上,严格受基底断裂控制。洪积扇内无生油岩,油源来自油田东部的玛纳斯(湖)凹陷,油气向凹陷的上倾方向运移,储集在洪积扇相的砂砾体内。断裂及不整合面是油、水运移的通道,砂砾岩储层的次生孔隙(包括小于1%的原生孔隙)

以及微裂缝是油、气聚集的主要孔隙空间。在图1中,五区、八区代表着乌尔禾组的两个洪积扇体,它们在时代上是迭置关系。五区归属于上乌尔禾组,八区归属于下乌尔禾组。在八区上乌尔禾组大部份已遭到剥蚀,仅在八区南缘保存着较完整的上下乌尔禾组俱全的剖面。

二、沉积特征与相带的划分

1. 沉积特征

五区上乌尔禾组地层基本上为一个向南东倾斜的单斜构造,倾向110度,倾角6度左右。地层厚度一般在200m左右,但向东南盆地方向逐渐加大。岩性为灰绿色不等粒的砾岩夹褐红色薄层砂质泥岩或泥岩。砾石成份,在纵剖面上,顶部以轻度变质的凝灰岩、凝灰质碎屑岩为主,中基性火山岩块次之,酸性火山岩块少量,下部以中基性火山岩块为主,凝灰质碎屑岩块少量。胶结物以自生伊利石、呈桔红色的沸石为主,基质为泥质及氧化铁-泥质,经埋藏成岩已演变成伊利石或绿泥石(微晶质);八区下乌尔禾组,其厚度由西北向东南方向增大,达300—2500m,岩性是一套巨厚灰绿—棕红色砾岩。呈带状分布在沉积盆地边缘。砾岩占总厚度的60—90%以上。砾石最大直径90mm,一般2—10mm,分选及磨圆度极差。砾石成分是邻近物源区的母岩碎块。杂乱堆积的砾石在剖面上频繁地粗细交替,见不到明显的层理和韵律,无化石,夹砂岩及泥岩透镜体。砾岩中以砂、泥质为填充物,砂粒组分,除火山碎屑岩块外,还含有斜长石及少量的正长石、石英,属典型的磨拉石建造类型。洪积扇的扇体清晰,毗连成裙边状,其地形等高线呈弧形向盆地方向突出,扇体的尖灭线基本上受山麓断裂控制。根据沉积特征,可以将山麓洪积扇划分成几种不同的沉积亚相(图2)。以上乌3段为例,检乌3井代表了扇顶的河槽亚相,其岩性特点:砾岩占90%;砂岩占10%,无泥岩;256井代表扇腰部份的漫滩沉积,砾岩77%,砂岩12%,泥岩11%;检乌25井代表扇缘的漫滩沉积,砾



图1 克拉玛依五一八区地理位置示意图

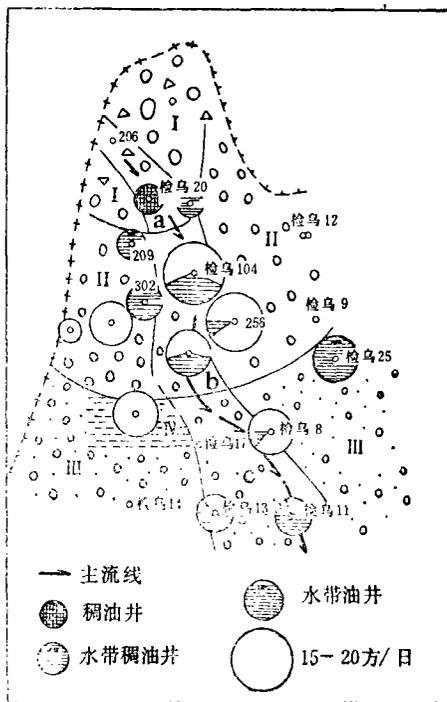


图2 上乌尔禾组乌三段沉积相综合图
I. 扇顶漫滩区 II. 扇腰漫滩区 III. 扇缘漫滩区 IV. 扇缘洼地区 a. 扇顶河槽区 b. 扇腰河槽区 c. 扇缘河槽区

岩76%，泥岩9.2%。上述资料表明洪积扇的沉积特征在纵向上的变化是非常明显的。在沉积厚度及构造特征方面，同样是清晰的，一般近扇顶部份为巨厚砾岩，层理构造不明显；扇腰则仍以砾岩为主，但砂岩夹层明显增加，经常出现斜层理和掘蚀再充填构造；扇缘部份最重要的特征是出现韵律性。在横向上，沿着扇轴以粗碎屑为主的属河槽相沉积以及两侧的粗细碎屑混杂的漫滩沉积。一般说来，有利的沉积储集相带是洪积扇体的河槽相沉积，虽然碎屑颗粒的粒径大、分选差，但由于筛滤作用明显，使一些细粒碎屑被水流带走，且基质少，属疏松填隙结构的砾岩，并保留了较多的孔隙，其次为扇腰部份，碎屑粒径相应变小，最大的直径为80mm，一般2—10mm，少量20—30mm。碎屑圆度及分选度较好，也属多孔层段。这些沉积相带，由于岩石的原始孔隙率及渗透率较大，虽然经过成岩作用改造，但易于产生次生孔隙，仍对油、气运移有明显的控制作用。

2. 物质组成

经29口井，4000多块样品分层统计，总的说来，该砾岩属于成熟度低的岩屑砾岩，岩屑中尤以火山质岩屑为主（图3）。上、下乌尔禾组的碎屑组成基本相似，大于2mm以上的砾石几乎都由岩屑组成，其中又以凝灰质碎屑岩、中-基性火山岩屑为主，变质岩及酸性凝灰岩屑较少；小于2mm的砂粒70%以上由岩屑组成（与砾石成份相似），其余为斜长石（主），正长石及石英少量，并含有大量的角闪石、辉石、绿帘石、柘榴子石、锆石等重矿物。经物源分析表明：沉积物主要来自研究区的西北及东南方向周边老山的石炭系母岩区，源岩由中-基性火山岩以及轻变质火山碎屑岩（沉积型）并受局部202古隆起酸性火山岩的次要物源区供给。这种特定的岩石类型富含化学上不稳定的斜长石及火山玻璃，这些组分在成岩过程的变异中是极为敏感的，其成岩产物也显示了一定的风格。

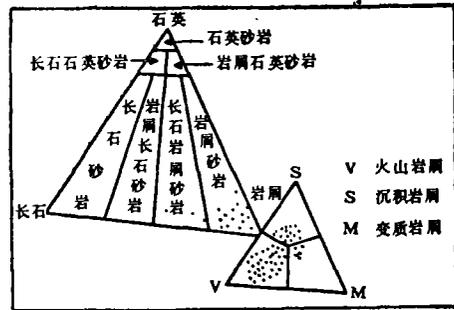
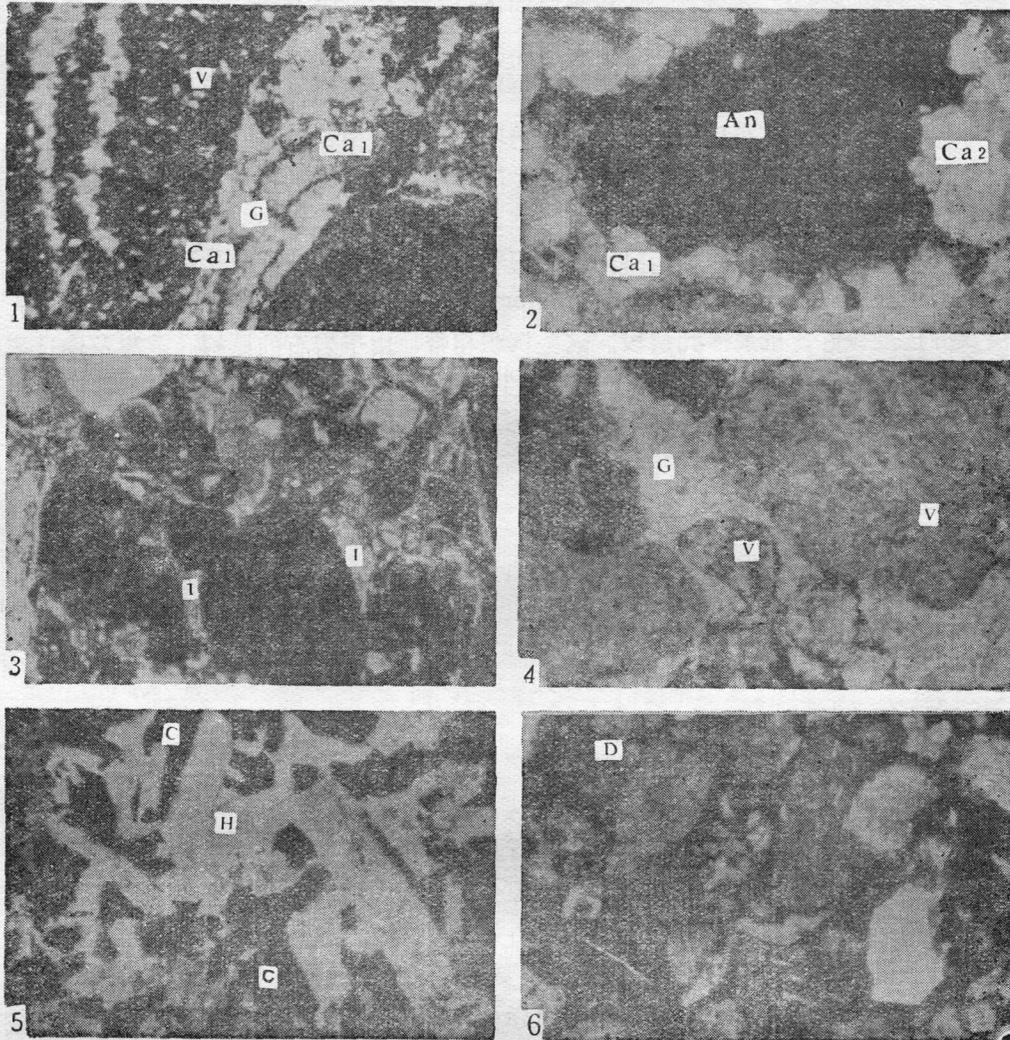


图3 岩石类型图

三、成岩特征

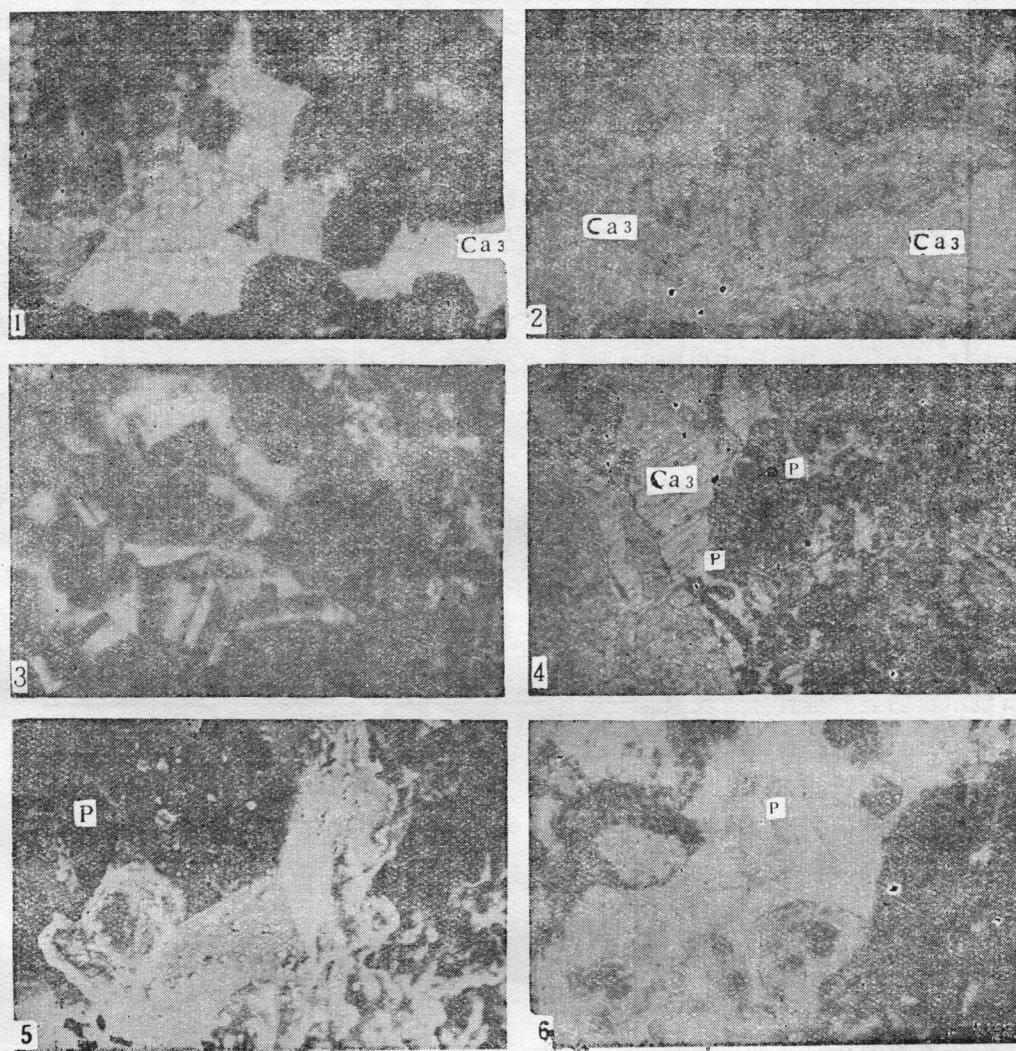
1. 成岩矿物序列

火山质碎屑岩及火山岩为主的碎屑沉积物，在结束沉积作用之后，进入了埋藏成岩作用时期，在这漫长而缓慢的地质历史时期中，它们经受了一系列物理、化学反应，连续不断地形成具有成岩特征的最终产物，以适应物理-化学条件的改变，每种新矿物的产出，相应地增加了岩石的密度或缩小了岩石的体积，导致岩石孔隙率及渗透率的降低。根据成岩矿物共生关系及先后析出顺序，大致可以划分以下几个阶段：1) 早期方解石阶段：包括方解石(Ca1)和方解石(Ca2)。该矿物以充填粒间孔隙的方式产出。平均含量小于5%。方解石1(Ca1)呈泥晶-微晶，常沿着碎屑颗粒或粘土基质(已绿泥石化)边缘生长，结晶度及透明度均差(图版I-1)。方解石2(Ca2)，细晶粒状，镶嵌状分布，其边缘及方解石2晶粒之间存在着方解石1残余体(图版I-2)。2) 自生粘土矿



图版 I 说明

- 1, 方解石1 (Ca1) 呈微晶粒状集合体沿着粘土基质 (CH箭头所指) 的边缘分布, 基质为残余物。方解石1 (Ca1) 连同粘土基质都为方沸石 (G) 切穿。V 为凝灰质粉砂泥砾石, 红色为有机玻璃。检乌3井, 铸体薄片 160× (-)
- 2, 方解石1 (Ca1) 和方解石2 (Ca2) 充填在粒间孔隙中, 方解石2 呈细晶粒状分布在方解石 (Ca1) 边缘, 中间为方沸石 (An) 充填在孔隙中。检乌3井, 100× (+)
- 3, 围绕碎屑颗粒生长的自生伊利石 (I) 构成粘土薄膜, 检乌13井, 40× (+)
- 4, 自生方沸石 (G) 沉淀在粒间孔隙中, 并选择交代凝质岩块 (V), 红色为有机玻璃。检乌3井, 10× 4 (-)
- 5, 自生矿物片沸石 (H) 板状晶体之间的晶间孔中有沥青 (C) 赋存。检乌26井, 250× (-)
- 6, 自生矿物钠沸石 (D) 呈放射状、束状、针状集合体, 从碎屑颗粒边缘向粒间孔隙中心生长, 填满了原生孔隙。检乌17井, 40× (-)



图版 I 说明

- 1, 呈多边形自形-半自形的方沸石(黑色)沿着碎屑颗粒边缘生长, 被晚期方解石(Ca₃)所包围, 检乌3井, 160×(+)
- 2, 与1号照片内容相同, 单偏光, 红色为有机玻璃
- 3, 方沸石向钠长石(具双晶纹)演化。检乌3井, 100×(+)
- 4, 呈晶簇状的方沸石经溶解作用形成铸膜孔(红色), 铸体薄片: 红色为有机玻璃, 检乌3井, 40×(-)
- 5, 方沸石晶体中的次生溶孔(P), 检乌17井, 扫描照片, 500×
- 6, 充填在粒间孔隙中的方沸石经脱沸石化形成大小不等、形状不定的次生孔隙(P), 检乌3井, 250×, (-), 铸体薄片, 红色为有机玻璃

物阶段；自生伊利石呈云雾状沿着碎屑颗粒不规则状或薄膜式分布（图版 I-3）。自生绿泥石呈脉状或玫瑰花、鳞片状分布在粒间孔隙或砾石表面的裂缝中，3）自生沸石类矿物阶段；自生沸石共计有方沸石、片沸石、钠沸石等矿物，是本区最重要、最发育的成岩矿物。它们以充填为主，交代为辅的方式占据粒间孔隙并交代碎屑颗粒，特别是凝灰质碎屑被交代现象比较普遍，中基性火山碎屑岩屑及斜长石次之（图版 I-4、5、6）。4）晚期方解石阶段；晚期方解石（Ca₃），呈连生状结晶，分布在呈自形-半自形晶方沸石周围（图版 I-1、2）。该矿物晚于方沸石而形成，5）其它如黄铁矿、菱铁矿、石膏及钠长石等成岩矿物，含量较少，分布不普遍，其中钠长石部份是由方沸石演化而成（图版 I-1）。成岩矿物析出顺序代表着乌尔禾组火山质砾岩的成岩历史（图5）。

2. 分布特征

笔者根据岩矿特征，将八区乌尔禾组分成上、中、下三段，各段的成岩矿物特征与埋藏深度相关，以最有代表性的检乌3井为例：乌上段（2650m以上）成岩矿物以早期方解石、自生伊利石为标志，该段沸石类矿物含量少，成岩矿物不发育，总含量为2%—3%左右。乌中段（2650—3000m左右），以沸石类矿物为主，早期方解石及晚期方解石次之；其中方沸石、片沸石、钠沸石显示较明显的垂直分带现象。一般说来方沸石及钠沸石出现的位置比片沸石的深度要浅，在有些地区显示了沸石矿物重叠带。该段成岩矿物发育，且普遍分布，含量15—20%，少数样品中可达25%，甚至更多。乌下段（相当于3000m以下），自生鳞片状绿泥石为主，并含少量的早期方解石。上述矿物的分布特征，在五一八区内具有普遍意义（图4）。

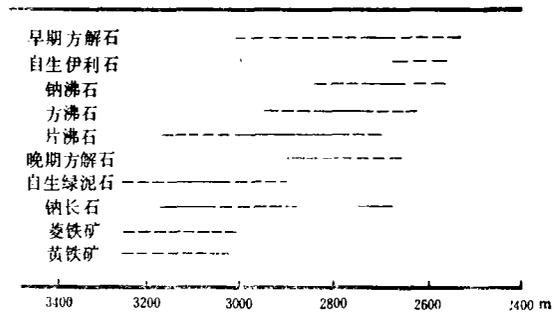


图4 成岩矿物特征与埋藏深度相关图
(检乌3井)

根据矿物析出顺序与储集层在纵剖面上孔隙的演变、储集类型与烃类聚集在时空上的关系，建立了乌尔禾组火山质砾岩的成岩固结史，从图5中，清楚地显示，储集层孔隙空间的演变与沸石矿物的析出及改造密切相关。沸石的形成与砾岩的物质组成相关，并与以中-基性火山岩、凝灰质碎屑岩为母岩剥蚀区的水质有关，正如 C. Colella, R. Aiello and C. Porcelli 指出的那样，火山碎屑物质中的斜长石及火山玻璃与水相接触时，易于发生水化作用，形成含水矿物相，例如玻璃 + 水 → 水化玻璃；斜长石 + 水 → 水化斜长石。在水化过程中提高了水的pH值，富集了Ca²⁺离子，因此水化作用可以视作沸石化作用的前驱阶段，那些经过水化作用的中基性火山岩屑及凝灰质碎屑岩屑，在高的pH值的孔隙水作用下，特别易于沸石化，形成的沸石优先在粒间孔隙空间中以充填方式占据孔隙空间，其次以交代方式，对早于它形成的自生矿物以及颗粒以选择交代方式进行交代，经沸石胶结的砾岩，一般来讲，孔隙率降低得很快，未被填满的残余孔隙，又被晚期方解石充满，最终使多孔疏松的砾岩层演变成致密层，后来由于

沸石类矿物又经历了广泛的淋滤，溶解形成了次生孔隙，使原来比较致密的砾岩层又改造成多孔层。从检乌3井的铸体薄片中所观察到的孔隙都与沸石相关，为这一认识提供了有力的地质证据（图版 I-4、5、6），除了次生孔隙外，在沸石晶体之间尚保留了晶间孔（图版 I-5）。

四、成岩作用与孔隙演变机制

正如以上所述，乌尔禾组砾岩体中的原始孔隙率及渗透率，随着成岩作用的过程趋于下降，到晚期方解石析出之后，乌尔禾组砾岩已进入中成岩时期的成熟阶段，原生孔隙小于1%，然而，邻近的油源岩正处于热降解阶段，随着有机质热演化的脱羧作用，释放出来的CO₂进入页岩孔隙水中形成碳酸水，这种富于酸性的水，沿着断裂及不整合面向盆地上倾方向运移进入砾岩层，以自我加速溶解的方式，首先使稳定在高pH值体系中的沸石矿物发生溶解，同时，伴随着断裂及节理产生脱水作用，造成了物质的淋滤和溶解，被溶解的物质，伴随着循环水而向别处转移，当脱沸石化作用达到顶点时也是次生孔隙最发育的阶段，为有机质达到生油高峰温度大量排烃准备了储集空间。由此可见，在砾岩体中，从孔隙的下降—消亡到孔隙的创造和保存，是原始岩石组成及成岩矿物改造与被改造的过程，也是与烃类的成熟、运移、聚集紧密相联系的。乌尔禾组砾岩中，也有方解石胶结物，但是方解石不易发生脱碳酸盐化作用，相反，方解石能保持稳定免遭破坏，其原因与沸石矿物伴生有关。这也可能是火山质砾岩的一个特点。乌尔禾组砾岩中次生孔隙形成与油源区有机质热降解进程有关，这可以从以下资料提供佐证：据准噶尔盆地西北缘艾参1井二叠系生油岩热降解演化曲线所知，在埋藏年限为10Ma时，进入生油门限值，门限温度为66°—76℃，直至154Ma时，进入生油高峰，高峰温度115.3℃—125.3℃，该生油门限温度与储集岩中各钻孔中沸石的最大埋深温度相匹配，沸石形成温度65—75℃左右，因此，沸石发生脱沸石化作用产生的次生孔隙对油气聚集是有效的。

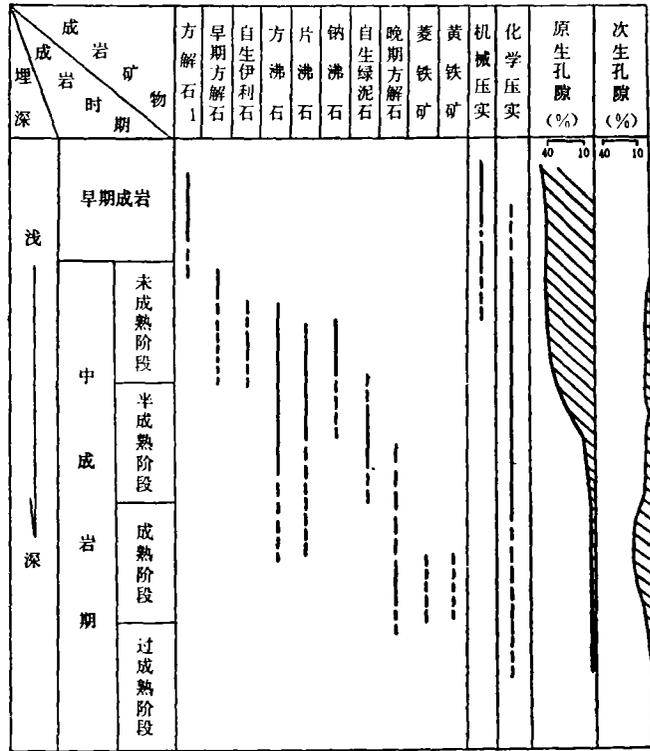


图5 乌尔禾组火山质砾岩成岩固结史及孔隙演化史图

首先使稳定在高pH值体系中的沸石矿物发生溶解，同时，伴随着断裂及节理产生脱水作用，造成了物质的淋滤和溶解，被溶解的物质，伴随着循环水而向别处转移，当脱沸石化作用达到顶点时也是次生孔隙最发育的阶段，为有机质达到生油高峰温度大量排烃准备了储集空间。由此可见，在砾岩体中，从孔隙的下降—消亡到孔隙的创造和保存，是原始岩石组成及成岩矿物改造与被改造的过程，也是与烃类的成熟、运移、聚集紧密相联系的。乌尔禾组砾岩中，也有方解石胶结物，但是方解石不易发生脱碳酸盐化作用，相反，方解石能保持稳定免遭破坏，其原因与沸石矿物伴生有关。这也可能是火山质砾岩的一个特点。乌尔禾组砾岩中次生孔隙形成与油源区有机质热降解进程有关，这可以从以下资料提供佐证：据准噶尔盆地西北缘艾参1井二叠系生油岩热降解演化曲线所知，在埋藏年限为10Ma时，进入生油门限值，门限温度为66°—76℃，直至154Ma时，进入生油高峰，高峰温度115.3℃—125.3℃，该生油门限温度与储集岩中各钻孔中沸石的最大埋深温度相匹配，沸石形成温度65—75℃左右，因此，沸石发生脱沸石化作用产生的次生孔隙对油气聚集是有效的。

五、沉积、成岩有利相带与油气聚集的关系

从五一八区钻井中,发现产能井主要集中在扇顶及扇腰的河槽亚相及扇腰的其它部份(图2)。但是从五区试油资料表明,油水分布从构造高部位向低部位呈规律分布,水的总液量的百分含量由西北向东南增加,原油比重则由西北向东南降低(检乌20井为0.9007,检乌13井为0.8545)。为什么油不是在构造部位,如检20井,206井富集呢?如果只用区域构造作用解释,显然是说不通的。但是从沉积、成岩变化的研究说明储集层的次生孔隙性质,也许能够得到完满的答复。前面所述的以扇顶及扇腰的古河槽亚相以及扇腰地区为有利沉积相带,地处该带的砾岩多属疏松多孔层段,但是,当砾岩在成岩过程中经早期方解石及沸石矿物的胶结作用,使多孔的砾岩层几乎成为致密层,尔后经过了脱沸石化作用的改造产生次生孔隙,改善了岩石的物理性质,成为适合烃类的储油层。笔者认为在众多成岩矿物中,唯有沸石矿物的改变直接影响了储集空间的演变。因此,沸石矿物可以作为寻找地下次生孔隙发育带的成岩矿物标志,该带代表了有利的成岩作用改造带。

沸石带的分布在纵向上及平面上有规律可找,经五一八区钻井揭示的深度表明,纵向上,油层主要集中在2600—3325m的乌中段,轻质油从岩心的孔隙中冒出来,荧光观察轻质油呈网络状分布,甚至在砾石的表面裂缝及一些岩屑的粒内孔中都含油,但是最主要的是在胶结物中含油,这些胶结物绝大部份是沸石。镜下观察,在方沸石、片沸石、钠沸石的晶间孔以及溶解、淋滤孔中都可以见到轻质油、稠油、沥青。铸体薄片进一步证实,含油气的孔隙90%以上是沸石溶孔及淋滤孔。次生孔隙的形态不一,大小不等,有的具有方沸石假象的印膜孔,以上迹象,充分说明次生孔隙形成于烃类聚集之前。在纵向上油气聚集在方沸石带及其重叠带内(图6)。

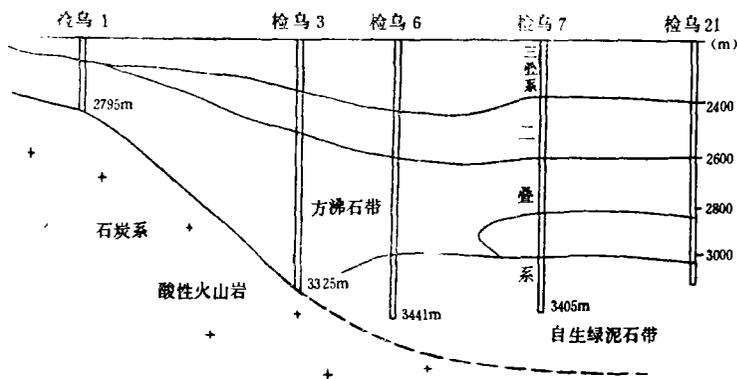


图6 克拉玛依五一八区二叠系自生沸石纵向分布图

在平面上,以八区乌中段为例,在方沸石区内的钻井都是产能井,其中检乌3井油层厚度达423m,现已构成开发区;方沸石、钠沸石混合区,含油相应差些;片沸石区则更差(图7)。

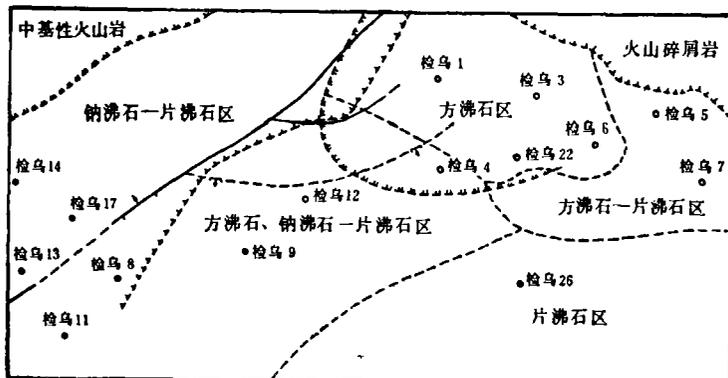


图7 克拉玛依五一八区二叠系乌中段自生沸石平面分布图

六、几点认识

1. 以火山质岩屑为主的砾岩(包括砂岩)同正常的火山碎屑岩一样,在成岩过程中易于产生含水沸石。沸石种类与碎屑组份、孔隙水的性质、Ca/Na离子比值、CO₂分压、盐度等因素有关;

2. 火山质碎屑岩中的碎屑沸石化程度不同,其原因可能与成岩前碎屑的水化作用相关,水化作用强,沸石化作用则强,因此分别统计这些组分,有助于研究沸石的分布规律;

3. 沸石矿物可以作为寻找次生孔隙发育带的矿物标志,一般说来,只有沸石含量在10—20%左右,胶结类型为接触-孔隙式,脱沸石化作用强,次生孔隙较发育;

4. 巨厚的洪积扇相砾岩,在纵向剖面上,自上而下,可以分为三段,上段,自生沸石及其它自生矿物不发育,含量1—2%,砾岩以泥质及铁染泥质为基质呈紧密填隙结构,反映原始沉积相带差,平均孔隙率1—2%,起盖层作用,中下段,自生矿物发育,反映沉积相带有利,由于中下两段可能存在两种不同的孔隙液水力体系,中部形成沸石矿物带,下部则形成绿泥石矿物带,前者经脱沸石化作用产生次生孔隙成为有效多孔带;后者则改造后成为不利储集的致密带起到了圈闭作用。因此,在相同的沉积相体系中,由于沉积作用及成岩作用的差异,导致储层孔隙空间的差异,尽管在巨厚的砾岩体中,虽无盖层条件,仍能形成盖、储、圈闭系统;

5. 笔者认为,对以次生孔隙为主的储层评价,要视具体情况而定,不能按照原生孔隙的储集标准作评价;

6. 沸石产出条件受碎屑组份、孔隙水性质的控制,不受时代、地区、层位的控制,因此以火山岩为源岩的沉积物中,沸石胶结物是普遍存在的,一般起到破坏原生孔隙的作用,如果能够成为有效次生孔隙发育带,一定与油源岩或有机质之间存在着内在联系;

7. 在火山质碎屑岩中,如果沸石化作用比碳酸盐化作用强烈时,脱沸石化作用形成

大量次生孔隙，而脱碳酸盐化作用可以不发育或影响较小，甚至在脱沸石化作用的同时，可以引起碳酸盐化作用；

8. 在克拉玛依—乌尔禾断裂带的洪积扇体中，进一步研究岩石类型，弄清楚它们的沉积史、成岩史及孔隙演变机制与油气聚集关系，将有益于勘探工作部署。

（收稿日期：1988年5月28日）

参 考 文 献

- (1) Ronald C. Surdam and James R. Boles, Diagenesis of Volcanic Sandstones, Sepm Special Publication No. 26, P. 226—242 March 1979
- (2) William E. Galloway, Diagenetic Control of Reservoir Quality in Arc Derived Sandstone, Sepm Special Publication No. 23, P. 251-262, March 1979
- (3) V. Schmidt and D.A. McDonald, Secondary Reservoir Porosity in the Course of Diagenesis, Sepm No. 40
- (4) C. Colella, R. Alello and C. Porcelli, Natural Leolites, P. 345-353

CHARACTERISTICS OF SEDIMENTARY DIAGENESIS FOR RESERVOIR ROCKS OF VOLCANIC CONGLOMERATES IN URHO FORMATION AND RELATIONSHIP WITH HYDROCARBON ACCUMULATION

Zhang Puhu

(Central Laboratory of Petroleum Geology, Ministry of
Geology and Mineral Resources)

Abstract

With the discussion on the characteristics of sedimentary diagenesis for conglomerates of piedmont diluvial fan facies on the dry basin margin, the inner relations of the resolution, solution and porosity evolution of authigenic zeolites with hydrocarbon accumulation in sandstone enriched in volcanic clastics with poor minerals and low textural maturities were explained. The author related the reservoirs for oil fields with conglomeratic rocks in Urho system to minor fissure-pore type (secondary pores). Authigenic zeolites are index minerals for the growing band of secondary pores. In the direction of stream line of palaeo-river channel on the fan waist and the sector, and in the updip of source rocks along Karamay-Urho rift, there are conglomeratic bodies within which good collocation of lithological assemblage of cap-reservoir-trap and ideal structural deposition were formed, which are favourable for the formation of commercial oil and gas pools.