

文章编号: 0253-9985(2000)02-0139-05

欧利坨子地区沙三下亚段火山岩 成岩作用及孔隙演化*

邱隆伟¹, 姜在兴¹, 席庆福²

(1. 石油大学资源系, 山东东营 257062; 2. 冀东石油勘探开发公司勘探开发地质研究所, 河北唐山 063004)

摘要: 欧利坨子地区沙三下亚段火山岩类型以火山碎屑岩为主, 次为玄武岩及粗面岩。在把火山岩在埋藏过程中发生的物理及化学变化纳入成岩作用范畴的前提下, 研究了成岩作用特征、演化及储集空间的演化。认为在不同沉积时期古地温梯度值的不同, 成岩作用阶段所对应的深度也随之而改变, 厚层火山岩从沙一段末期至今主要处于早成岩 B 期, 而下部火山岩则从东营组沉积期以后一直处于晚成岩阶段。受其影响厚层火山岩中储集空间以裂缝-原生孔隙或裂缝-混合孔隙为主, 储集空间总体保存较差, 在有机质的作用下, 局部可保存较好; 下部火山岩中则以裂缝-次生孔隙为主, 由于溶蚀作用, 储集空间得以较好保存, 因而在研究区较深埋藏条件下的火山岩中仍具有较好的成藏条件。

关键词: 欧利坨子; 火山岩; 成岩作用; 孔隙演化

第一作者简介: 邱隆伟, 男, 32 岁, 讲师, 矿物岩石学及储层地质学

中图分类号: P588.2 文献标识码: A

位于辽河盆地东部凹陷中部的欧利坨子地区的火山岩主要分布于房身泡组、沙河街组四段、沙河街组三段, 而沙河街组三段火山岩又主要分布于下亚段(简称沙三下亚段), 这是目前火山岩中油气勘探的主要目的层, 也是本次研究的主要对象。

1 岩性特征

欧利坨子地区沙三下亚段火山岩岩石类型较简单, 以火山碎屑岩为主, 粗面岩和玄武岩等次之。

火山碎屑岩根据其火山碎屑组分及胶结物特征应属沉火山碎屑岩, 为水下火山喷发形成^[1]。岩石类型以沉凝灰岩及沉火山角砾岩为主, 有时也出现少量沉集块岩。火山碎屑组分主要为粗面质、玄武质, 围岩组分(砂、泥)很少; 火山碎屑大小变化较大, 粒级从火山灰、火山角砾到集块都有, 多呈具凹边的三角形、四边形等形状, 并且角砾的淬碎现象也常见, 含量一般为 60%~90%。火山碎屑结晶程度有的较好, 呈现典型的粗面结构; 有的则较差, 呈现隐晶质及玻璃质结构。火山碎屑中有时还可见碱性长石及少量斜长石斑晶。碎屑间填隙物主

要为方沸石、方解石等水化学胶结物。

粗面岩多为斑状结构, 多斑结构, 斑晶成分主要为钾长石、斜长石以及少量辉石及橄榄石, 基质具粗面结构。从岩芯及镜下观察看, 粗面岩中气孔-杏仁构造发育较差。

玄武岩可分为间粒结构玄武岩及间隐结构玄武岩, 前者呈斑状结构, 基质呈间粒结构, 斑晶主要为斜长石、辉石及少量橄榄石; 后者斑晶出现较少。玄武岩中还出现杏仁状构造, 含量一般为 5%~20%, 成分为绿泥石、方解石、方沸石等, 形态多呈圆形及似圆形, 也可以呈现不规则形态。

2 成岩作用

从概念上说, 火成岩的成岩作用指的是岩浆沿构造薄弱地带上升喷出地表后, 凝固固结成岩这一过程。而把火成岩形成后受环境的影响而发生的物理的和化学的变化称为次生作用。

然而对于研究区来说, 火山碎屑岩是最主要的火山岩类型。火山岩作为盆地充填过程的插曲, 其岩层顶底的围岩都是正常的沉积岩, 火山岩中还含有沉积岩夹层, 加之火山岩由于岩浆的喷出、冷凝以及后期构造活动等可以形成大量气孔、裂缝及火山碎屑间孔隙, 使得火山岩和其围岩中的地层水相沟通, 并进入和围岩相同的埋藏成岩作用场中。在

* 中国石油天然气集团公司九五科技工程项目部分成果, 合同号: 970206

收稿日期: 1999-10-15

该成岩作用场中火山碎屑岩是作为一种具有特殊成分的碎屑物质来参与成岩作用过程的。火山物质遭受压实变形,并由于地层水的改造而发生胶结、交代等作用,其成岩作用过程和程度都和围岩基本相同。辽河拗陷第三系以来构造活动强烈,受其影响火山岩中裂缝发育。溢流熔岩由于裂缝的影响,使得其中的气孔或裂缝本身都可以和地层水直接发生相互作用,在埋藏过程中除压实作用外,胶结、交代乃至溶蚀作用都和火山碎屑岩相似。

无论是火山碎屑岩还是溢流溶岩,埋藏过程中所改造的对象除岩石骨架外,更重要的是岩石中的气孔、碎屑颗粒间孔、各种成因的裂隙等空隙,改造的结果是这些空隙被充填或得以扩大,即在埋藏过程中对储集空间的影响是主要的。

从上述意义上说火山喷发所形成的以火山碎屑岩为主的火山岩,在埋藏过程中所发生的物理的和化学的变化也应属于成岩作用的范畴。

2.1 机械压实

火山碎屑在埋藏初期,由于蚀变程度较低而处于较刚性状态。随埋深的增加和古地温的升高,蚀变程度逐渐加强,火山碎屑成分由以长石及火山玻璃为主逐渐转变为以绿泥石等蚀变矿物为主。这时火山碎屑的变形将变得容易,因而火山碎屑岩中的碎屑组分随埋深的增加和成岩作用程度的加深,压实作用由纯粹的碎屑颗粒间相互靠近转向形态的变化,一般呈现带有凹边的三角形、四边形等形状,角砾的淬碎现象常见,在镜下可见火山碎屑的撕裂状、棱角状特征保存较好;杏仁体形态较规则,一般呈现圆形或似圆形。火山碎屑间以点-线接触为主,胶结方式为孔隙式或基底式,表明火山岩所遭受的压实程度较低,机械压实对储层的损害较小。

2.2 胶结及交代

胶结作用一般较强,胶结物类型以方沸石、碳酸盐矿物以及绿泥石等为主。胶结作用沿火山岩中各种成因的裂缝或火山碎屑间孔进行。胶结物在沉淀过程中对岩石中已存在的组分有不同程度的交代作用。

2.2.1 方沸石

方沸石是欧利坨子地区火山岩中最重要的胶结物类型,为早期胶结物存在于火山碎屑间,含量通常占胶结物总量的80%~90%以上,局部甚至接近100%。方沸石主要分布于火山碎屑间空隙、火山岩的气孔以及各种类型的裂缝中。在埋藏成

岩作用过程中,火山碎屑岩储层之所以比硅质碎屑岩储层的退化要快得多^[2],在很大程度上和沸石等矿物的胶结作用有关。但方沸石的胶结对以火山碎屑岩为主的火山岩储层发育具有积极意义,因为方沸石主要作为早期胶结物存在,由于方沸石的沉淀降低了压实作用的影响,使其处于较低的压实程度。另外,方沸石本身是一种不稳定矿物,容易遭受溶蚀作用的改造而使碎屑间孔隙空间重新释放出来。在纵向上,方沸石的含量并不均匀,总体随深度的增加而减少。小于2400m时含量较高,一般为10%~20%,高者可达40%左右,而大于2400m则降到5%以下。

2.2.2 绿泥石

绿泥石含量较少(<5%),一般分布于火山碎屑的气孔中,对气孔充填或部分充填,也可以直接交代火山碎屑。绿泥石有两种成因,一是蚀变成因,在地层水的作用下火山物质发生蚀变形成的;二是火山物质的水解,使得铁、镁、铝等离子进入溶液组合而形成的。前者导致火山碎屑的绿泥石化,而后者则导致绿泥石的胶结,且绿泥石形成于方沸石之后,但早于碳酸盐矿物的沉淀。

2.2.3 碳酸盐矿物

其类型有方解石、含铁方解石、白云石、含铁白云石等,其中白云石较少。碳酸盐矿物充填于火山碎屑间及裂隙中,对火山碎屑及方沸石、绿泥石等具有明显的交代作用,碳酸盐矿物间也存在如下的交代关系:(1)含铁方解石及含铁白云石交代方解石及白云石,随埋深的增加,呈现方解石、白云石含量减少,而含铁碳酸盐矿物含量升高的趋势;(2)含铁白云石交代含铁方解石。

综上所述,各种胶结物之间存在如下的生成顺序(先→后):方沸石→绿泥石→方解石、白云石→含铁方解石→含铁白云石。

2.3 溶蚀

由于火山岩中不稳定组分的存在,因而在成岩作用过程中较容易形成溶蚀孔隙,溶蚀作用主要表现在两个方面:(1)火山岩是在高温下形成的,固结后由于温度较低,加上地层水的作用而变得不稳定,常沿气孔、微裂缝、矿物晶屑内部解理缝等进行溶蚀,形成次生孔隙;(2)方沸石及碳酸盐矿物形成于碱性环境,在埋藏成岩作用过程中,由于下伏地层中有机质成熟伴随形成的有机酸等因素的影响,地层水性质逐渐由碱性变为酸性,使其变得不稳

定, 遭受溶蚀改造。

3 成岩演化

新生代辽河盆地经历了从发育到消亡的全过程。在该过程的不同阶段构造活动特征是不一样的, 与之相对应, 古地温梯度也相差较大; 而在同一时期盆地中的不同位置构造活动强度以及古地温梯度也存在明显的差别(表 1)。从欧利坨子地区来

表 1 东部凹陷地温梯度

Table 1. Geothermal gradient of east sag					
时 期	地温梯度/ $^{\circ}\text{C}\cdot\text{m}^{-1}$				
	荣 16 井	大 15 井	黄 100 井	欧利坨子*	牛 22 井
沙一、二段沉积期	0.053 0	0.054 0	0.062 0	0.060	0.056 0
东营组沉积期	0.039 7	0.042 5	0.052 0	0.050	0.045 2
现今	0.035 0	0.028 7	0.028 7	0.030	0.034 3

注: 带* 地区为根据趋势插值而成, 其余为邱楠生^[3]通过磷灰石裂变径迹实验得出

看, 各个时期的地温梯度是较高的。正因为如此, 火山岩中的埋藏成岩作用程度将随深度的增加而变快。由于不同沉积时期古地温梯度值的不同, 成岩作用阶段所对应的深度也随之而改变(图 1)。

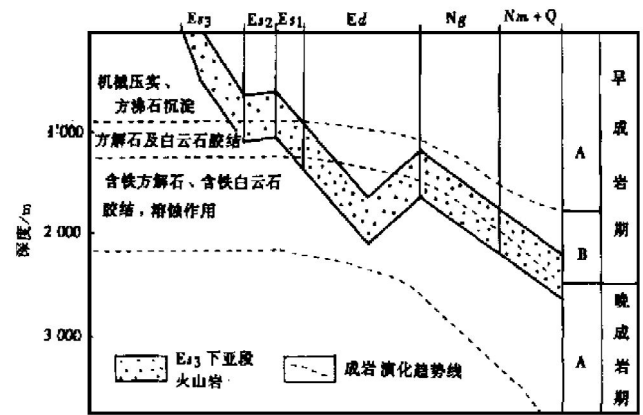


图 1 欧 29 井火山岩埋藏成岩演化曲线图

Fig. 1 Diagenetic evolution curves of volcanic rocks in Our 29 well

为了弄清欧利坨子地区沙三下亚段火山岩随埋藏深度逐渐增大相对应的古地温变化情况, 对该地区钻遇火山岩的几口主要井中厚层火山岩顶部的古地温进行了估算(表 2)。如果从古地温角度来考虑, 沙一段末期厚层火山岩岩层顶部尽管埋深较浅, 成岩作用阶段已达到或接近早成岩 B 期, 而到东营期以后达到最大埋深(埋深 2 000 m 上下)时, 成岩作用则已达晚成岩 A 期, 这个结果和薄片中有某些位置含铁方解石、含铁白云石的大量出现相一致。由于东营组达到最大埋深后, 盆地抬升并紧接着发生大幅度的剥蚀, 成岩作用程度发生了显著

降低, 重新回到早成岩 B 阶段。根据现今地温的推算及 R_0 值分布, 在 2 500 m 左右埋深时, 成岩作用程度才达到成岩 A 期, 因而在现今埋深下该层火

表 2 欧利坨子地区主要火山岩钻遇井
厚层火山岩岩层顶部的古地温

Table 2 Paleogeothermal gradients of the top of thick volcanic rocks drilled in some wells in Oulituozi region

井号	古地温/ $^{\circ}\text{C}$			
	沙一段末期	东营组达最大埋深时	东营期末	现今
欧 8	64	104	68	75
欧 26	59	104	68	75
欧 27	65	115	78	82
欧 15	73	113	76	79
欧 14	65	107	71	75
欧 29	66	106	70	76

山岩仍处于早成岩 B 期。对于下部火山岩层来说, 情况就不一样了, 由于埋藏深度较大, 在沙三沉积晚期就已开始进入早成岩 B 期, 在东营组沉积初期开始便逐渐进入晚成岩 A 期。受东营期后湖盆抬升的影响埋藏深度有所变浅, 但在深度上仍处于晚成岩的范围之内。馆陶组沉积开始以后, 受区域构造的影响古地温梯度虽逐渐降低, 但由于埋深的持续增加, 多数情况下晚成岩阶段仍得以维持下来。欧利坨子地区沙三下亚段火山岩为湖盆湖侵时期的火山活动产物, 火山岩岩层之间常夹有暗色泥岩的分布。据蔡国钢* 等研究认为, 上述暗色泥岩中富含有机质, 是较好的生油岩。由于火山岩和其围岩处于同一成岩作用场中, 火山岩和泥岩在大致相同的深度范围内所经历的成岩作用是基本相同的。有机质成熟过程中所释放的有机酸能及时地传送到火山岩中, 并对胶结物及火山物质进行溶蚀形成次生孔隙。和有机酸生成高峰相对应, 在晚成岩 A 期最有利于次生孔隙的形成。从埋藏演化曲线可以看出, 欧利坨子地区沙三下亚段火山岩中厚层火山岩之下的下部火山岩从东营组开始沉积以后一直处于晚成岩阶段中, 这为火山岩中次生孔隙乃至油气藏的形成提供了有利条件。

4 储集空间

4.1 类型

4.1.1 原生储集空间

是在火山岩成岩过程中所形成的储集空间, 包

* 蔡国钢, 陈富新, 苏晓捷, 等. 欧利坨子-大湾地区石油地质特征研究(内部资料). 1997

括气孔、角砾间孔、炸裂缝、冷凝收缩缝等类型。

(1) 气孔是岩浆在喷出过程中, 所携带的挥发组分因压力减小而发生体积膨胀, 因岩浆急剧冷却而被封锢在火山岩中形成的。爆发成因火山碎屑中气孔最发育, 其含量可达 90%, 大小可达 0.2 mm; 而溢流玄武岩及粗面岩中则相对较差, 其含量一般小于 20%。同一岩体中, 外侧的气孔比中心的气孔更发育。

(2) 角砾间孔分布于火山碎屑颗粒间, 形态为三角形及不规则多边形, 其含量一般为 10%~30%, 但多为胶结物充填。

(3) 炸裂缝主要分布于火山碎屑岩的斑晶中, 有时在溶岩中也出现, 表现为斑晶中沿解理缝发育一些微裂隙, 其规模较小, 也较少见(含量<1%)。

(4) 冷凝收缩缝为岩浆在喷出作用过程中冷凝收缩而成, 或火山岩因遇水淬碎而形成淬碎角砾间冷凝收缩缝。裂缝表面粗糙、断续延伸, 也可连续延伸达几十厘米。

由于原生储集空间在火山岩中形成时间早, 在地层水的作用下容易受到改造, 因此多数被方解石、方沸石、绿泥石等所充填或部分充填, 而成为无效的储集空间。另一方面, 由于其中的充填物都为易溶的水化学胶结物, 如方沸石、方解石等, 因此在后期地层水的改造下也较容易遭受溶蚀而形成次生储集空间。

4.1.2 次生储集空间

是指在火山岩形成后, 由于构造活动或成岩、风化作用改造而形成的储集空间。其类型按成因可分为构造缝及溶蚀孔隙等。

(1) 构造缝为在构造活动特别是断层活动过程中所形成的储集空间。裂缝较平直, 裂面上出现镜面或擦痕, 擦痕有低角度(近水平)及高角度两种类型, 且以后者为主。从方向上看, 有 NE、NW 两个方向, 和主要断层走向以一定角度斜交; 从形态上看, 总体呈“X”形分布, 如在岩芯上看到的两个裂面相交叉的现象。裂缝之间, 还出现发育的菱形节理。构造缝宽度一般为 0.5~2 mm, 可以是开启的, 也可以是半充填甚至完全充填的。岩芯观察表明, 裂缝开度较大者往往充填较轻, 因此裂缝对油藏的贡献和其规模是呈正相关的。构造缝在火山岩孔隙演化中起着重要作用, 它不仅可作为地层水运移的通道, 而且本身也可以被溶蚀扩大而形成好的储集空间。

(2) 溶蚀孔隙主要为火山岩受地层水改造而形成的次生孔隙。它既可以是沿原生气孔发育而成, 也可以是沿微裂隙, 或斑晶、晶屑以及胶结物发育而成, 甚至火山角砾也可被明显溶蚀。溶蚀孔隙在火山碎屑岩中较发育, 其大小一般小于 0.3 mm, 有时还可见到孔径约 1 mm 左右的超大孔隙。溶蚀孔隙的面孔率一般为 5%~15%, 分布明显受埋深控制, 如欧 28 井埋深大于 2 500 m, 溶蚀孔隙含量多达 20%以上; 埋深大于 2 500 m, 溶蚀孔隙的含量小于 10%。

4.2 演化

岩石中的储集空间发育多数情况下是由酸性流体对岩石骨架颗粒和胶结物的溶解造成的, 而酸性流体又起因于有机质的热演化。热成熟度和埋藏史对储层的成岩变化和储集空间演化有十分重要的影响^[4], 成岩演化是储集空间演化最直接的控制因素。

4.2.1 沙一段沉积末期以前

火山岩埋藏较浅, 古地温较低, 火山岩及其围岩总体处于早成岩阶段(图 1)。在该阶段早期, 火山物质水解并形成大量方沸石胶结物的沉淀, 因此有效阻碍了机械压实作用对储层的影响。随埋藏成岩作用程度的加深, 方解石和白云石等碳酸盐矿物胶结逐渐成为主要的成岩事件, 受其影响火山岩中原生储集空间大幅度降低(5%以下), 此时的储集空间以因胶结作用缩小的原生孔隙及冷凝收缩缝等为主, 次生孔隙发育程度很低。

4.2.2 东营组沉积时期

古地温梯度较高, 每百米达 5.0℃左右, 成岩演化程度随埋深变化较快, 在埋深达 1 500 m 左右时即进入晚成岩 A 期(图 2)。然而从成岩演化趋势图中(图 1)可以看出, 东营组开始沉积以后沙三下亚段火山岩才逐渐进入晚成岩期。在东营组沉积晚期, 受区域应力场的影响, 下辽河盆地的断裂活动性质发生了很大变化, 由以伸展活动为主变为以右旋走滑为主, 这一方面使得在东营组沉积达最大厚度时旋即由于湖盆抬升而大量剥蚀, 因而火山岩经受晚成岩作用改造的时间较短, 酸性地层水对储层进行改造较弱, 次生孔隙形成的量很少; 另一方面, 断层的走滑活动也使火山岩中产生大量次级断裂或节理。此时期总孔隙度较低, 以原生孔隙或混合孔隙为主, 裂缝却较发育, 储集空间以裂缝-原生或混合孔隙为特征。

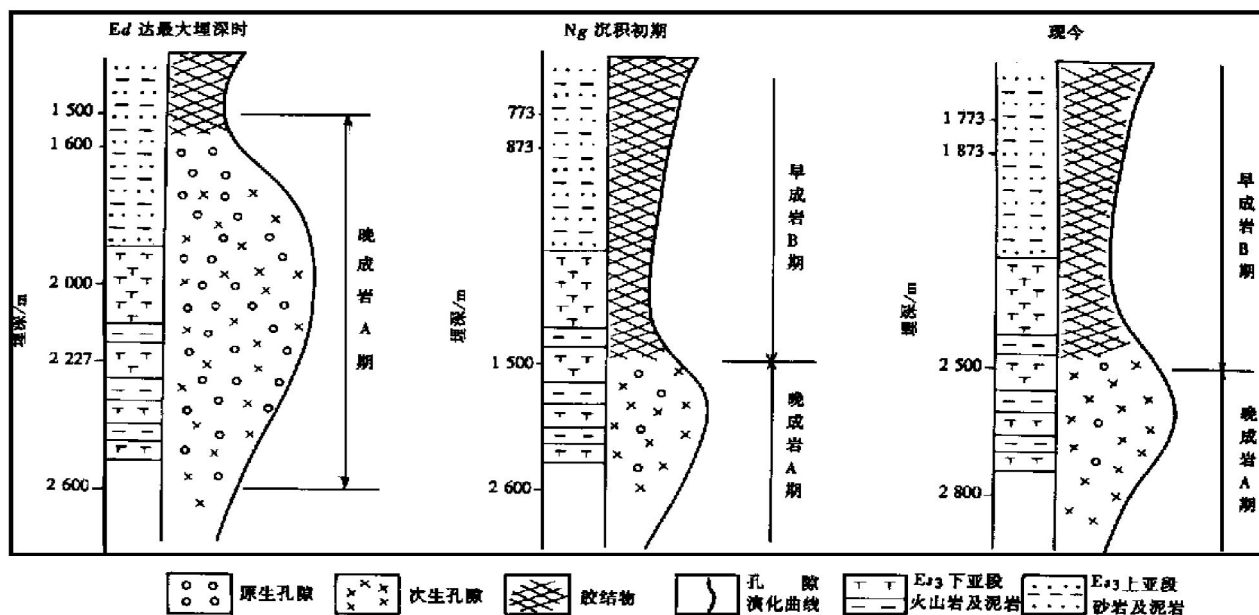


图2 欧利坨子地区沙三下亚段火山岩成岩作用及孔隙演化模式图

Fig. 2 Model of diagenesis and pore evolution of Lower Es3 volcanic rocks in Oulituozhi region

4.2.3 馆陶组沉积初期

该时期基本维持了东营组末期高古地温梯度环境, 由于东营组沉积后期的剥蚀强度较大, 火山岩埋深显著降低, 部分火山岩层(主要是上部厚层火山岩)成岩作用重新进入早成岩阶段(图1)而遭受胶结作用改造, 火山岩中储集空间明显减少(图2), 主要为残余裂缝及孔隙。厚层火山岩顶部的泥岩盖层使火山岩顶部的高部位有利于油气聚集, 下伏生油岩有机质成熟伴随的油气侵入使本阶段的碳酸盐胶结受到抑制, 使得火山岩中的次生孔隙或混合孔隙在总体减小的背景下得以局部保存; 沙三上亚段的湖相砂岩也有类似的趋势。下部火山岩则基本保持了晚成岩阶段, 裂缝和孔隙得到进一步发育。

4.2.4 现今阶段

从馆陶组沉积初期开始, 受区域地质构造的影响, 欧利坨子地区的古地温梯度持续降低, 逐渐降至现今的每百米 3.0°C 左右, 埋深达 $2\,500\text{ m}$ 以上才进入晚成岩阶段。尽管埋藏深度在加大, 沙三下亚段厚层火山岩成岩作用程度仍维持早成岩的状态(图2), 由于持续的胶结作用, 除已有油气聚集的部位外, 大部分位置储集空间的损害都较强。而下部火山岩层则从东营组沉积以来到现今阶段一直处于晚成岩状态, 有利于次生孔隙的发育, 因而可以形成较好的储集空间。如欧28井, 在 $2\,500\text{ m}$

左右的深度处, 火山碎屑岩中的孔隙度可达 25% 以上。

5 结论

(1) 欧利坨子地区火山岩成岩作用以胶结交代及溶蚀作用为主, 机械压实作用较弱。

(2) 由于在不同沉积时期古地温梯度值的不同, 成岩作用阶段所对应的深度也随之而改变, 上部厚层火山岩主要处于早成岩B期, 而下部火山岩则从东营组沉积期以后一直处于晚成岩阶段。

(3) 厚层火山岩中储集空间以裂缝-原生孔隙或裂缝-混合孔隙为主, 储集空间总体发育较差; 而其下伏火山岩中则以裂缝-次生孔隙为主, 储集空间发育程度较高。

(4) 研究区较深埋藏条件下的火山岩中仍具有较好的成藏条件。

参考文献

- 邱隆伟. 欧利坨子地区火山岩产状研究[J]. 地质论评, 1999, 45 (增刊): 468~473
- 邱楠生, 冯石, 廖兴明, 等. 辽河盆地东部凹陷构造-热力史分析[J]. 石油学报, 1988, 19(2): 32~35
- Seemann U, Scherer M. Volcaniclastics as potential hydrocarbon reservoirs[J]. Clay Minerals, 1984, 9: 457~470
- 戴启德, 纪友亮. 油气储层地质学[M]. 东营: 石油大学出版社, 1996. 67~68

(下转第147页)

水水化学分析等手段,对储集体进行随钻判别和解释。

4 结论

(1) 天然气与石油在成藏机理上差异很大,因而应针对天然气来研究天然气,不可盲目借用石油成藏理论加以套用。

(2) “分散气储,超压运移,储集体成藏,多级补给”这一天然气成藏模式表达了天然气的成藏机理。

(3) 扭张性裂隙是最有利于形成天然气储集体

的构造裂隙,具有独特的构造特征。

(4) 在钻孔设计上应采用多侧向水平钻井,在钻井施工中应采用欠平衡钻进。

本文在写作过程中,得到林传律高级工程师、赵泽君工程师的热情帮助,在此表示感谢!

参 考 文 献

- 1 谢泽华. 表层脱底褶皱的试验研究[J]. 四川地质学报, 1989, 9(4): 1~7
- 2 Vozniak J. Under-balanced drilling sees advances[J]. Amer Oil Gas Rep, 1997, 40(7): 59~62

POOL-FORMING MODELS AND EXPLORATION METHOD OF NATURAL GAS —— TAKE WEST SICHUAN GAS POOLS AS AN EXAMPLE

Xie Zehua

(The Second Geological Brigade of Southwest Petroleum Bureau, Zigong, Sichuan)

Abstract: Gas pool-forming mechanism differs greatly from oil pool-forming mechanism. Separate reservation, superpressure migration, reservoir-formed pool and multi-grade supply is the popular gas pool-forming model. Transensional fracture developed area is favourable for the formation of gas reservoirs. To explore gas resources, one should adopt multi-lateral horizontal well in drilling planning and unbalance drilling in operation.

Key Words: natural gas; pool-forming model; reservoir; horizontal well

(上接第143页)

DIAGENESIS AND PORE EVOLUTION OF LOWER Es3 VOLCANIC ROCKS IN OULITUOZI REGION

Qiu Longwei¹ Jiang Zaixing¹ Xi Qingfu²

(1. Department of Petroleum Resources, Petroleum University, Dongying, Shandong; 2. Geological Research Institute, Jidong Petroleum Exploration and Development Co, Tangshan, Hebei)

Abstract: The volcanic rocks of the Lower Es3 in Oulituozi region are mainly volcanoclastic rock, basalt and trachyte. The volcanic rock diagenesis and reservoir space evolution are studied. It is considered that, different deposition stages have different paleo-geothermal gradients, and different diagenetic stages correspond to different depths. Thick volcanic rocks from Sha1 member to present are in the early diagenetic B-stage; the reservoir spaces are generally fissure primary porosity and fissure compound porosity, and are poorly preserved; the volcanic rocks in the lower part are mainly well-developed fissure secondary porosity.

Key Words: Oulituozi; volcanic rock; diagenesis; pore evolution