

文章编号: 1000-0550(2007) 04-0526-09

鄂尔多斯盆地周缘晚古生代火山活动 对盆内砂岩储层的影响

杨 华¹ 杨奕华² 石小虎² 尹 鹏²

(1 中国石油长庆油田分公司 西安 710021; 2 中国石油长庆油田分公司勘探开发研究院 西安 710021)

摘 要 鄂尔多斯盆地上古生界天然气储集体是一套以次生孔隙为主的低渗透砂岩。通过次生孔隙成因研究发现, 各种溶蚀孔隙的形成与砂岩中火山物质和硅酸盐碎屑颗粒的溶蚀、蚀变关系密切。通过储层岩石学研究, 对火山物质成分、结构构造、物态、次生变化等特征精细观察表明, 这些火山物质具有同沉积的特点, 即来源于盆地周缘同期的火山喷发。这些同沉积火山物质不仅改变了储层砂岩的物质成分, 而且为储层次生孔隙的形成提供了溶蚀母质, 形成了晶屑溶孔、岩屑溶孔、灰屑溶孔以及蚀变高岭石、绿泥石晶间孔, 在原生孔隙基本消失的砂岩中形成了以次生孔隙为主的砂岩储层。同时, 火山物质的残存、蚀变和溶蚀的差异使储层表现出强烈非均质性。

关键词 鄂尔多斯盆地 晚古生代 火山活动 火山物质 砂岩储层

第一作者简介 杨华 男 1963 年出生 教授级高级工程师 博士 石油地质 E-mail yh_cq@ petrochina.com.cn

联系人 石小虎 shixh_cq@ petrochina.com.cn

中图分类号 TE122.2 **文献标识码** A

1 火山物质是储层砂岩的重要组分

近年来, 鄂尔多斯盆地上古生界天然气勘探取得了重大突破, 先后发现了榆林、米脂、乌审旗和苏里格气田(图 1)。主力气层为二叠系下石盒子组盒 8 段和山西组山 2 段。通常认为属于河流、湖沼、三角洲相沉积体系, 最近又有湖相滩坝之说(侯方浩、方少仙, 2006 内刊)。储层岩性以粗砂岩、中—粗砂岩和粗—中砂岩为主。砂层厚度介于 10~40 m, 物性变化大, 非均质性强。孔隙度一般为 8%~12%, 渗透率介于 $(0.1 \sim 10) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 属于典型的低孔、低渗、次生孔隙为主的岩性圈闭天然气藏。

岩石研究表明, 构成本区上古生界储层主要岩类为石英砂岩和岩屑砂岩及其二者之间的过渡性砂岩。砂岩普遍含有较多的火山物质, 经 158 口探井、3442 块储层砂岩薄片鉴定资料统计, 其含量一般介于 5%~17% 之间(表 1), 其类型有岩屑、晶屑和火山泥球等碎屑颗粒, 多数为火山灰。

158 口探井几乎覆盖了鄂尔多斯盆地各个区块各组段的砂岩中或多或少都可见及火山物质的存在。这种全盆地大面积分布的特点, 不仅折射出晚古生代鄂尔多斯盆地周缘火山活动的频繁性和强烈性。同

时, 通过各种搬运方式而进入盆地沉积领域的火山物

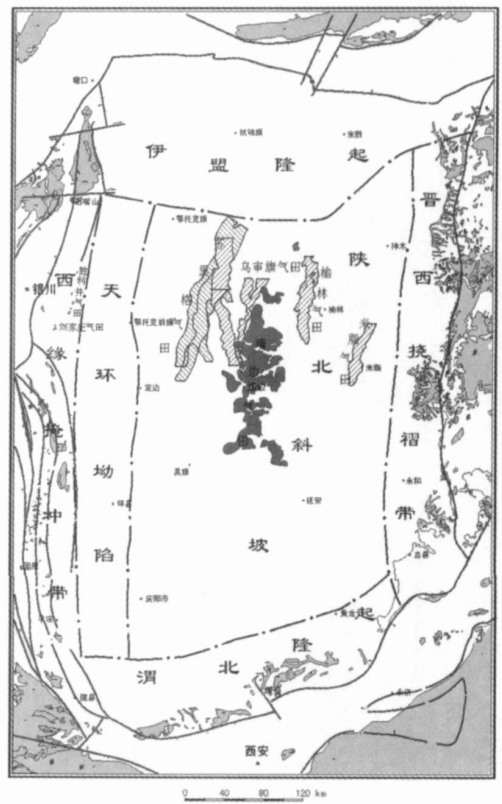


图 1 鄂尔多斯盆地构造区划及气田分布图
Fig 1 The map of tectonic area and the distribution of gas field in Ordos Basin

国家“十五”科技攻关项目(项目编号 2004BA616A-03)资助

侯方浩, 方少仙. 苏里格—吉尔地区上古生界储层微观结构和岩石应力敏感性评价研究. 西南石油大学, 2006

收稿日期: 2006-12-06 收修日期: 2007-01-26

质也不同程度的改变了砂岩的成分和结构, 深刻地影响着砂岩的储集性能。必须强调指出, 赋存在砂岩中的火山物质由于其理化性质极不稳定, 经漫长、强烈的成岩演化、压实形变、交代蚀变、溶蚀改造等作用后, 其成分、结构及物态已发生了明显变化, 以至于让许多岩矿工作者产生许多认识上的差异。笔者通过岩石学显微镜下大量的观察和研究, 将其残余物质特有的特征、物态、结构构造和次生变化以及对储层的影响加以归纳撰写此文, 愿与同行共商。

表 1 鄂尔多斯盆地上古生界储层砂岩火山物质统计表 (%)
Table 1 Statistics of volcanic material content of sandstones from the upper Paleozoic in Ordos Basin (%)

| 类型 | 层位 | 盒 7 | 盒 8 | 盒 9 | 山 1 | 山 2 | 太 1 |
|-----|------|------|------|-----|-----|-----|-----|
| | 火山碎屑 | | 3.2 | 4.7 | 3.5 | 4.4 | 1.8 |
| 火山灰 | | 8.7 | 6.5 | 4.1 | 5.5 | 7.5 | 5.0 |
| 总量 | | 11.9 | 11.2 | 7.6 | 9.9 | 9.3 | 5.0 |

2 砂岩中火山物质的基本特征

2.1 晶屑

2.1.1 石英晶屑稳定, 较好的保持着其本身成分、结构和形态

石英晶屑多干净透亮, 呈不规则形态, 具溶蚀港湾和内缩性弧型边缘, 棱角分明, 没有搬运磨蚀痕迹。含量可达 3% ~ 5%, 在部分砂岩中含量可达 5% ~ 10%。石英晶屑部分被火山灰包裹, 部分充填在砂岩孔隙内, 粒度介于 0.05 ~ 0.20 mm 之间, 一般小于正常沉积的碎屑颗粒 (图版 -1), 从而使砂岩在粒度曲线上显示出双峰态的结构特征, 粒度较大的石英晶屑可能是水携型搬运而来火山碎屑。

2.1.2 长石晶屑已经溶蚀或者蚀变, 但仍保持着火山晶屑的基本特征

来自火山喷发的长石晶屑在成岩过程中已经蚀变或者溶蚀, 但仍然保持着火山碎屑的基本结构和特征。蚀变残余物特征分析表明, 长石多以板状、板条状为主, 呈自形晶或半自形晶, 其种类以钾、钠长石为主。长石绝大部分已蚀变为高岭石 (图版 -2), 部分绢云母化或伊利石化, 部分方解石化或者硅化。其溶蚀和蚀变特征与前人研究结果一致^[1-4]。在孔隙较好的砂岩中长石晶屑溶解形成板状铸模孔 (图版 -1, 图版 -2), 大小通常在 0.05 ~ 0.3 mm 左右, 含量

介于 1% ~ 5%, 个别薄层中长石晶屑达 10% 以上, 但是已经完全高岭石化或者方解石化。长石晶屑的晶形、解理清晰可辨, 部分具溶蚀港湾状构造。棱角分明, 不具磨痕。

2.1.3 常见铁镁矿物蚀变晶屑

镜下偶见黑云母、角闪石等铁镁矿物晶屑。角闪石为黄褐色, 淡黄色, 灰绿色长柱状、自形、半自形晶体, 大都具有暗化边结构或溶蚀港湾构造, 棱角明显, 无磨痕。由于其稳定性差, 已蚀变为绿泥石或溶蚀成孔, 两组解理清晰可辨 (图版 -3)。黑云母撕裂和形变显著, 不但具有暗化边结构, 而且具有溶蚀港湾构造 (图版 -3), 钛铁矿化较明显, 部分水化形成水黑云母。

2.2 岩屑

喷出岩屑有铁镁质玄武岩、安山岩、英安岩、流纹岩和火山泥球等。经成岩演化后多呈残余结构, 如残余玻基交织结构、残余斑晶结构、蚀变霏细结构、溶蚀残余斑晶以及球颗结构等。形态极不规则, 如哑铃状、纺锤状、麻花状等。一般不具磨蚀痕迹, 岩屑形态的多样化一方面是喷发过程中塑性、半塑性状态下在大气介质中被撕裂、旋转、扭曲的结果, 另一方面是携带至沉积盆地后, 经过成岩期强烈的压实作用改造所致。相当数量的岩屑在成岩早期碳酸盐化阶段铁方解石化, 内部仍然保持着凝灰质结构, 大小一般介于 0.2 ~ 0.3 mm 之间, 含量一般为 5% ~ 8%, 局部层段可更高。

2.3 玻屑

晶化是火山玻屑成岩演化的必然过程, 石炭、二叠系属于古老的沉积岩系, 新鲜玻屑的保存几乎不可能。镜下观察, 其形态多种多样, 如弓形管状、撕裂状、鸡骨状、毛发状、弧面棱角状等。泥化玻屑多为高岭石, 部分绿泥石化, 玻屑的形态保留较好。除了具有一定的几何形态外, 大量保存在砂岩粒间的是质点极细的集合体尘状物质 (图版 -5 ~ 8), 呈黑褐色、黄褐色、淡黄色等, 显示出不同程度的钛铁矿化。形态呈火焰状、充填状、纤维状等。代表了来自于中基性玄武岩浆的喷发。其含量差异很大, 一般介于 5% ~ 15% 之间, 最高达 36%。中酸性玻屑在部分砂岩中也大量存在, 单偏光下无色, 已完全脱玻化, 多数蚀变为显微晶二氧化硅, 部分蚀变为胶体状伊利石。

2.4 火山物质类型组合

火山物质的类型在组合上具有一定的规律性, 在砂岩中存在着截然不同的两种类型, 即中基性和中酸

性两种。中基性火山物质中岩屑多为玄武岩、安山岩,晶屑主要为板条状长石、蚀变角闪石、黑云母等,火山灰为黑褐色钛铁质、铁镁质。这样的组合特征反映出该期岩浆喷发以中基性为主的岩浆特征。而以英安岩、流纹质凝灰岩岩屑为组合的中酸性火山物质,其晶屑主要为长英质碎屑,玻屑经水化作用已蚀变为无色的伊利石、隐晶—显微晶质石英等酸性矿物。这种组合特征反映了该期岩浆活动以中酸性为主的特征。当然也有中基性岩屑和中酸性岩屑同时存在的现象,这可能是喷发过程中岩浆在温度、压力骤降、迅速冷却造成成分间断,从而形成双峰式火山岩^[5],也可能是不同源区不同岩浆类型同时喷发所致。因为盆地西部宁夏中卫就有不同于阴山造山带类型的同期火山喷发^[6]。

2.5 砂岩中火山物质的来源

通常岩矿鉴定工作者将本区上古生界砂岩中这种同沉积的火山碎屑与来自于蚀源区的火山岩风化物相混淆,简单的将其归为火成岩岩屑,从而无意间忽视了晚古生代盆山耦合期频繁的火山喷发等重大地质事件。

晚古生代是全球火山活动最频繁的地史时期之一,正是华北地台与阴山造山带耦合的强烈时期。近年来一些学者对阴山造山带的研究发现^[1,7,8],石炭纪—二叠纪在华北地台北缘阴山造山带发生过 12 期火山喷发事件,形成查干诺尔、宝力格庙、以及大石寨和额里图四套火山岩,厚度均在 1 900~ 2 400 m 之间(图 2)^[9]。在盆地西缘宁夏中卫深井剖面大黄沟群的火山熔岩、火山碎屑岩厚度达 500 余米,其时代为晚古生代石盒子期^[6]。佟再三^[10]在甘肃山丹二叠系发现多层火山碎屑岩。由此可见,晚古生代鄂尔多斯盆地周缘火山活动是十分频繁和强烈的。火山喷发时,细小的火山物质通过大气介质撒落在盆地沉积水域,较大的颗粒通过流水介质进入沉积盆地,随其含量变化,形成各种不同结构的凝灰岩、层凝灰岩以及凝灰质砂岩和凝灰质泥岩等。鄂尔多斯盆地在油气勘探过程中,有限的取芯中就可以发现 4~ 6 层凝灰岩,凝灰质砂岩更加普遍。在测井曲线上凝灰岩的典型反应特征多达 10~ 31 层。与前人提供的盆地周缘同期形成的火山岩、火山熔岩、火山碎屑岩、凝灰岩的论述相比,具有相同的组分和结构。因而笔者认为盆地内部砂岩中的火山碎屑来自于阴山造山带及其周缘同期的火山活动。

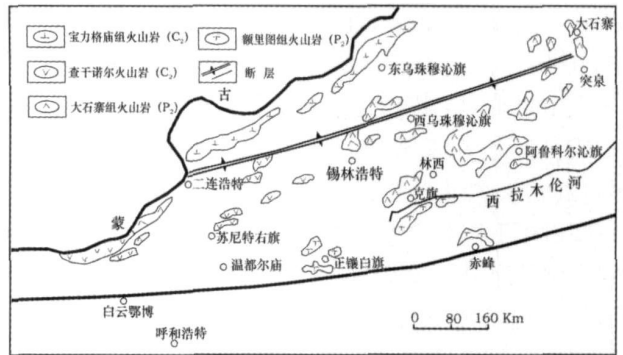


图 2 内蒙古阴山地区石炭—二叠纪火山岩分布图

Fig 2 The distribution map of volcanic rock from Carboniferous to Permian period in Yinshan, Inner Mongolia

3 火山物质对储层的影响

盆地周缘同期的火山喷发携带至盆地的火山物质不仅改变了储层砂岩的物质成分,而且为储层次生孔隙的形成提供了溶蚀母质,这些理化性质极不稳定的火山物质在成岩晚期演化过程中经溶蚀、蚀变作用形成了晶屑溶孔、岩屑溶孔、火山灰基质溶孔以及高岭石晶间孔、绿泥石晶间孔等,在原生孔隙基本消失的砂岩中形成了以次生孔隙为主的储集空间。同时,火山物质的大量残存、蚀变和溶蚀的差异使储层表现出强烈非均质性。

3.1 火山物质为次生孔隙的形成提供了条件

火山物质溶蚀成孔现象,早就引起人们的注意。上世纪 90 年代中期,前人在研究鄂尔多斯盆地石炭—二叠系储层时,便猜测性的提出部分岩屑溶孔、铸模孔和杂基溶孔可能是凝灰质溶蚀的次生孔隙^[11]。罗静兰等^[12]研究松辽盆地火山岩油气藏时提出的孔隙类型在本区上古富含火山物质的砂岩储层中均可见及。即便是榆林气田山 2 气层这种看起来似乎是粒间孔的储集空间也是火山物质被溶形成的次生孔隙。这些孔隙大部分都表现出明显的组构性溶蚀特征,如长石晶屑溶蚀的晶模孔(图版 -1, 2),喷发岩屑溶蚀的岩屑溶孔(图版 -8),晶屑及火山灰溶蚀所形成的各种形态的次生孔隙等(图版 -4, 5, 6),均与火山物质的溶蚀密切相关,并形成气田储层的主要孔隙类型。充填在粒间的火山灰尘溶蚀后恢复了粒间孔,其溶蚀残渣往往沉淀在孔隙的底部,如同示底构造一般。充填在粒间的火山灰中细小的晶屑溶蚀形成网络状孔隙群(图版 -4, 5),每一个孔隙单体都具有一定的几何形态,或板条状、或鸡骨

状、或补丁状等等。这些以火山物质为主的溶蚀孔隙在砂岩原生孔隙基本消失的情况下较大地改善了储层的物性,并在局部形成了高孔渗储集区块。盆地西部苏里格气田中部高产区块即属于此种类型。图 3

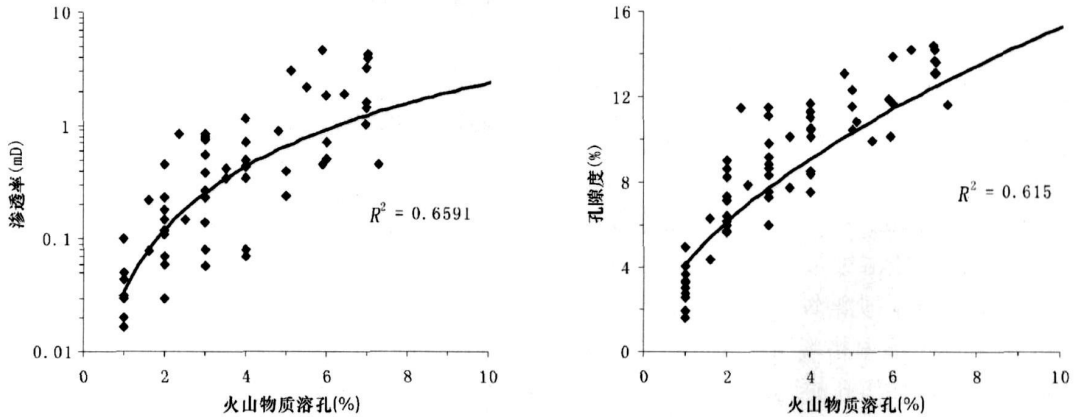


图 3 鄂尔多斯盆地中二叠统下石盒子组火山物质溶蚀量与储层物性相关图

Fig 3 Correlation graph of volcanic material dissolution content and reservoir petrophysical property of the Lower Shexi Formation of the Middle Permian in Ordos Basin

3.2 火山物质收缩和蚀变新生出收缩孔和高岭石晶间孔

在成岩期,火山灰粘土化或硅化并失水形成了收缩孔(图版 -7),这种孔隙一般呈线形网络状分布在粒间,不仅提高了砂岩的孔隙度,同时也大大的改善了砂岩的渗透率。火山物质的高岭石化是非常普遍的,不仅火山灰蚀变为高岭石,而且火山碎屑颗粒和长石碎屑高岭石化(图版 -2)非常显著。在原生孔隙基本消失的上古生界储层中高岭石晶间孔成为主要的储集空间。这些孔隙虽然细小(孔径介于 5~20 μm),但对于天然气来说仍然不失为较好的储集空间。

3.3 火山物质的差异演化是储层非均质性的主因

赋存在砂岩中的火山物质其成岩演化与正常沉积物的成岩演化没有本质上的区别,所不同的是其在喷发和沉积过程中的各种理化反应十分强烈的。本区石炭—二叠系属于煤系地层,成岩介质以酸性为主。因此,喷发物质类型的差异便成了溶蚀、蚀变及其次生变化的主要内在因素。一般而言,中基性凝灰质在酸性介质中极易溶蚀,并且发生在成岩早期。在水介质循环较差的区块钙碱性火山物质极易向高岭石和伊利石转化,角闪石则蚀变为绿泥石。而酸性凝灰质则比较难溶,多向硅质、磷石英、蒙脱石、伊利石等转化。研究发现,溶蚀的强弱还与火山物质的物态

是火山物质溶蚀与储层物性相关分析,从中可以看出火山物质溶蚀不仅提高了砂岩的孔隙度,同时也改变了砂岩的渗透能力。

有关,长石晶屑和铁镁矿物晶屑极易溶蚀,而岩屑由于成分复杂溶蚀作用差异明显,其中的针状、板条状长石和角闪石等显示出易溶的特性,而二氧化硅则残留在晶屑或岩屑的内部。火山灰则因其性质不同其残留量差别较大,中基性的铁镁质易溶,并析出大量的钛铁质。而中酸性的火山灰相对难溶,则以各种蚀变作用为主。这种情况也存在于火山岩屑中,即岩屑中的细小晶屑被溶,而基质则呈蚀变的粘土状态。在缺少晶屑、岩屑等颗粒而以火山灰为主的砂岩中,溶蚀作用极其微弱甚至没有溶蚀孔隙。另外,溶蚀作用还与火山物质的含量有关,凝灰质含量太高,尤其是充填在粒间孔隙中大量的火山灰,经压实而致密化,成岩介质处于滞流状态,也必然影响溶蚀作用的进行。

除了火山物质类型的不同引起的溶蚀差异外,与所赋存砂岩碎屑组成和粘土杂基关系密不可分。在杂基含量少的河道石英砂岩中溶蚀作用强烈,这是由于石英碎屑稳定性高,抗压性强,粒间孔易于保存,成岩流体排替循环良好,为火山物质的溶蚀提供了较好的成岩环境。而在河漫、沼泽等粘土含量高的环境中溶蚀作用则比较微弱。尤其在以柔性岩屑为主的岩屑砂岩中,火山物质的溶蚀受到了极大的抑制,以至于连溶蚀孔隙也难以见及。这是由于高杂基、高柔性物质的砂岩对成岩早期的压实作用特别敏感。一经

压实, 粘土杂基和柔性岩屑与火山物质不仅日趋致密化, 而且严重形变, 致使粒间孔大量消失, 流体大量排出, 残留在砂体中的成岩介质流动不畅, 处于封闭状态的火山物质则以交代蚀变为主, 最终导致致密少孔的砂体形成。

鄂尔多斯盆地上古生界砂岩储层除了上部石千峰组以粒间孔为主的储集类型外, 其它层段均以次生孔隙为主。次生孔隙主要为喷发岩屑溶孔、晶屑溶孔、火山灰基质溶孔、火山灰收缩孔、碎屑长石溶孔、高岭石晶间孔等。以盆地西部苏里格气田主力储层盒 8 为例 (仅对火山物质溶蚀形成的次生孔隙进行统计), 便可以看出火山物质溶蚀程度的差异对储层的影响。表 2 是分布于苏里格气田不同区块的代表性探井的物性与火山物质溶孔的统计资料, 图 4 是根据苏里格气田各探井火山物质溶孔的面孔率所作的等值线图, 气田中部是溶蚀最强烈的区块, S6 井、S4 井是其代表井口 (图 4), 仅火山物质溶蚀便提供了 5.1% ~ 7.8% 的面孔率, 其渗透率平均介于 $9.98 \times$

$10^{-3} \sim 31.45 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 最高可达 $84.78 \times 10^{-3} \sim 561 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 为天然气富集成藏提供了良好的储集条件, 在该区块中探井的无阻流量一般介于 $10 \times 10^4 \sim 120 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$ 。可见火山物质及长石等硅酸盐碎屑颗粒在成岩介质活跃的区块中对储层物性的贡献是非常重要的。

表 2 苏里格气田中二叠统下石盒子组盒 8 段火山物质溶蚀与储层物性关系

Table 2 Correlation of volcanic material dissolution content and reservoir petrophysical property of the Lower Shihezi Formation of the Middle Permian in Sulige gas field

| 井号 | 层位 | 层段 /m | 孔隙度 | | 渗透率 | | 火山物质 | |
|-----|-----|------------|----------------------|--------|----------------------------------|--------|------|--|
| | | | % | | $/ \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ | 溶孔 % | | |
| S32 | 盒 8 | 3408~ 3470 | $\frac{1.42}{10.86}$ | 5.28* | $\frac{0.004}{0.938}$ | 0.119 | 1.8 | |
| S27 | 盒 8 | 3041~ 3090 | $\frac{1.95}{13.66}$ | 5.517 | $\frac{0.0075}{3.5197}$ | 0.507 | 1.9 | |
| S10 | 盒 8 | 3257~ 3269 | $\frac{2.53}{18.78}$ | 9.84 | $\frac{0.011}{5.213}$ | 0.528 | 5.4 | |
| S6 | 盒 8 | 3315~ 3325 | $\frac{2.46}{19.46}$ | 12.39 | $\frac{0.0635}{561}$ | 31.45 | 7.8 | |
| S16 | 盒 8 | 3339~ 3385 | $\frac{6.64}{14.57}$ | 10.98 | $\frac{0.053}{21.68}$ | 0.3243 | 4.3 | |
| S4 | 盒 8 | 3319~ 3327 | $\frac{8.43}{21.84}$ | 14.638 | $\frac{0.08}{84.78}$ | 9.98 | 5.1 | |
| T6 | 盒 8 | 3341~ 3398 | $\frac{0.7}{28}$ | 7.36 | $\frac{0.06}{1.3}$ | 0.2351 | 1.5 | |

注: * 最小值 / 最大值 = 平均值

然而在苏里格气田的北部 S27 井和 S32 井 (图 4) 溶蚀作用较弱, 火山物质大量残存, 溶蚀孔隙的面孔率不足 2%, 渗透率平均介于 $0.119 \times 10^{-3} \sim 0.507 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 之间, 天然气富集程度也随之变差, 无阻流量下降到 $2 \times 10^4 \sim 5 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$ 之间。气田南部也是成岩介质不活跃的微溶区, 与北部的微溶区块相似。位于其中的 T6 井 (图 4) 火山物质的溶蚀量平均只有 1.5%, 渗透率最高仅为 $1.3 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。由此可见, 随着火山物质残存量的增高, 溶蚀作用的减弱, 砂岩储集性也随之变差, 这是上古生界砂岩储层非均质性的主要因素。

4 结论

综上所述, 可以得出如下两点基本认识:

- (1) 鄂尔多斯盆地石炭—二叠系地层砂岩中存在着较多的同沉积火山物质, 并形成了较多的凝灰质砂岩, 火山物质的类型为中酸性和中基性两种基本类

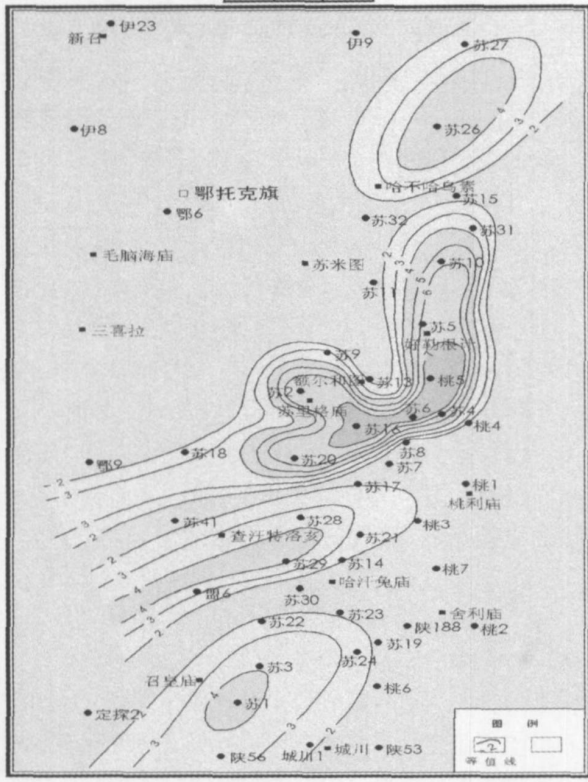


图 4 苏里格气田中二叠统下石盒子组盒 8 段火山溶孔面孔率等值线图

Fig 4 Volcanic dissolution porosity proportion contour map of the Lower Shihezi Formation of the Middle Permian in Sulige gas field

型。它们来自于盆地北部及其周缘晚古生代盆地在盆山耦合期频繁的火山喷发活动;

(2) 火山物质的介入不仅改变了砂岩的成分和结构, 而且对砂岩储集性能具有双重作用的重大的影响。一方面, 在晚期埋藏成岩演化过程中, 具备充盈的酸性介质条件下, 这些理化性质不稳定的火山物质形成了晶屑溶孔、岩屑溶孔、火山灰基质溶孔等次生孔隙, 在以石英等刚性颗粒为岩石骨架的前提下即便是成岩介质不很充分, 火山碎屑溶蚀蚀变形成高岭石、绿泥石又派生出高岭石晶间孔、绿泥石晶间孔, 火山灰在高温缺水的状态下干固收缩形成线性收缩孔。在砂岩原生孔隙基本消失的上古生界砂岩中, 形成了以次生孔隙为主的储集类型。在普遍低孔低渗砂岩覆盖的地质背景条件下形成了局部相对高孔高渗优质储层, 对于天然气的富集成藏具有重要意义。另一方面, 火山物质对砂岩储集性具有严重的破坏作用。大量的火山灰堵塞粒间孔, 加之火山灰对压实作用过于敏感, 使砂岩过早地丧失了储集性能。鄂尔多斯盆地上古生界砂岩储层之所以普遍致密少孔, 与当时强烈而频繁的火山活动所带来的大量火山物质密切相关。在成岩演化进程中, 由于火山物质类型的差异, 含量的不同, 盆地各构造区块成岩温、压力、流体介质及其活动性的差异, 导致了火山物质不同的成岩途径, 其溶蚀、蚀变、残存的差异性导致了储层在纵向的分布和横向的展布出现了强烈的非均质性, 给天然气勘探与开发带来较大的困难。

参考文献 (References)

- 1 周安朝. 华北地块北缘晚古生代盆地演化及盆山耦合关系. 北京: 煤炭工业出版社, 2002 1-150 [Zhou Anchao. Basin Development and Compelling Relation of Basin and Orogeny of the late Paleozoic on the North Edge of North China Plate. Beijing: Coal Industry Press, 2002 1-150]
- 2 顾尚义, 万国江. 广西凭祥英安岩的化学风化作用研究. 地球化学, 2003, 32(4): 328-339 [Gu Shangyi, Wan Guojiang. The research of chemical weathering activity of quartz-andesite in Guangxi Pingxiang area. Geochimistry, 2003, 32(4): 328-339]
- 3 苏达姆 R C, 博尔斯 JR. 火山砂岩的成岩作用. 见: 西北大学地质系编译. 碎屑岩的成岩作用. 西安: 西北大学出版社, 1986 111-125 [Sudan R C, & Bers J R. Diagenesis of volcanic sandstone. In

- Translated by Geology Department of Northwest University. Diagenesis of Clastic Rock. Xi'an: Northwest University Press, 1986 111-125]
- 4 王晓方, 杨奕华. 苏里格气田盒 8 储层粘土矿物稀土元素表征的源区信息. 西北大学学报, 2003 (增刊): 165-167 [Wang Xiaofang, Yang Yuhua. Provenance information from REE of clay mineral of Shihezi Formation in Sulige gas field. Journal of Northwest University, 2003 (Suppl): 165-167]
 - 5 郑海飞, 陈斌, 孙樯, 等. 高压下玄武岩浆的不混溶及其对双峰式火山岩的成因意义. 岩石学报, 2003, 19(4): 745-751 [Zhenghaifei, Chen Bin, Sun Qiang, Xie Hongsen. Infusibility of high-pressure basalt lava and its forming cause significance on bimodal volcanic rock. Acta Petrologica Sinica, 2003 19(4): 745-751]
 - 6 宁夏回族自治区地质矿产局. 宁夏自治区区域地质志. 北京: 地质出版社, 1991 136-144 [Geological Resource Bureau of Ningxia Municipality. A Real Geology Record of Ningxia Municipality. Beijing: Geological Publishing House, 1991 136-144]
 - 7 贾炳文, 谷东起. 晋中冀西太原组中段火山事件岩矿地化特征及其意义. 沉积学报, 1998 16(3): 85-91 [Jia Bingwen, Gu Dongqi. Petrochemistry and mineralogical characteristics and their significance of volcanic event in the middle Taiyuan Formation of the northern Shanxi and the west Hebei province. Acta Sedimentologica Sinica, 1998 16(3): 85-91]
 - 8 贾炳文, 武永强. 内蒙古大青山晚古生代煤系地层中火山事件层的物质来源及地层意义. 华北地质矿产杂志, 1995 1(2): 203-212 [Jia Bingwen, Wu Yongqiang. Material source and stratigraphic implication of volcanic event formation in Inner Mongolia Daqing Mountain Paleozoic coal formation. Geological Resource of North China, 1995 1(2): 203-212]
 - 9 内蒙古自治区地质矿产局. 内蒙古自治区区域地质志. 北京: 地质出版社, 1991 162-206 [Geological Resource Bureau of Inner Mongolia Municipality. A Real Geology Record of Inner Mongolia Municipality. Beijing: Geological Publishing House, 1991 162-206]
 - 10 佟再三. 甘肃山丹煤田二叠系火山碎屑岩的发现及其主要特征. 沉积学报, 1988 6(1): 102-107 [Tong Zaisan. Discovery and main characteristics of Permian volcaniclastic rock in Gansu Shandan coalfield. Acta Sedimentologica Sinica, 1988 6(1): 102-107]
 - 11 杨俊杰, 裴锡古. 中国天然气地质学 (卷四). 北京: 石油工业出版社, 1992 160-204 [Yang Junjie, Pei Xigu. Nature Gas Geology of China (Vol 4). Beijing: Petroleum Industry Press, 1992 160-204]
 - 12 罗静兰, 邵红梅, 张成立. 火山岩油气藏研究方法 with 勘探技术综述. 石油学报, 2003, 24(1): 31-38 [Luo Jinglan, Shao Hongmei, Zhang Chengli. Studying methods and exploration techniques summary of volcanic rock reservoir. Acta Petrologica Sinica, 2003, 24(1): 31-38]

Influence of the Late Paleozoic Volcanic Activity on the Sandstone Reservoir in the Interior of Ordos Basin

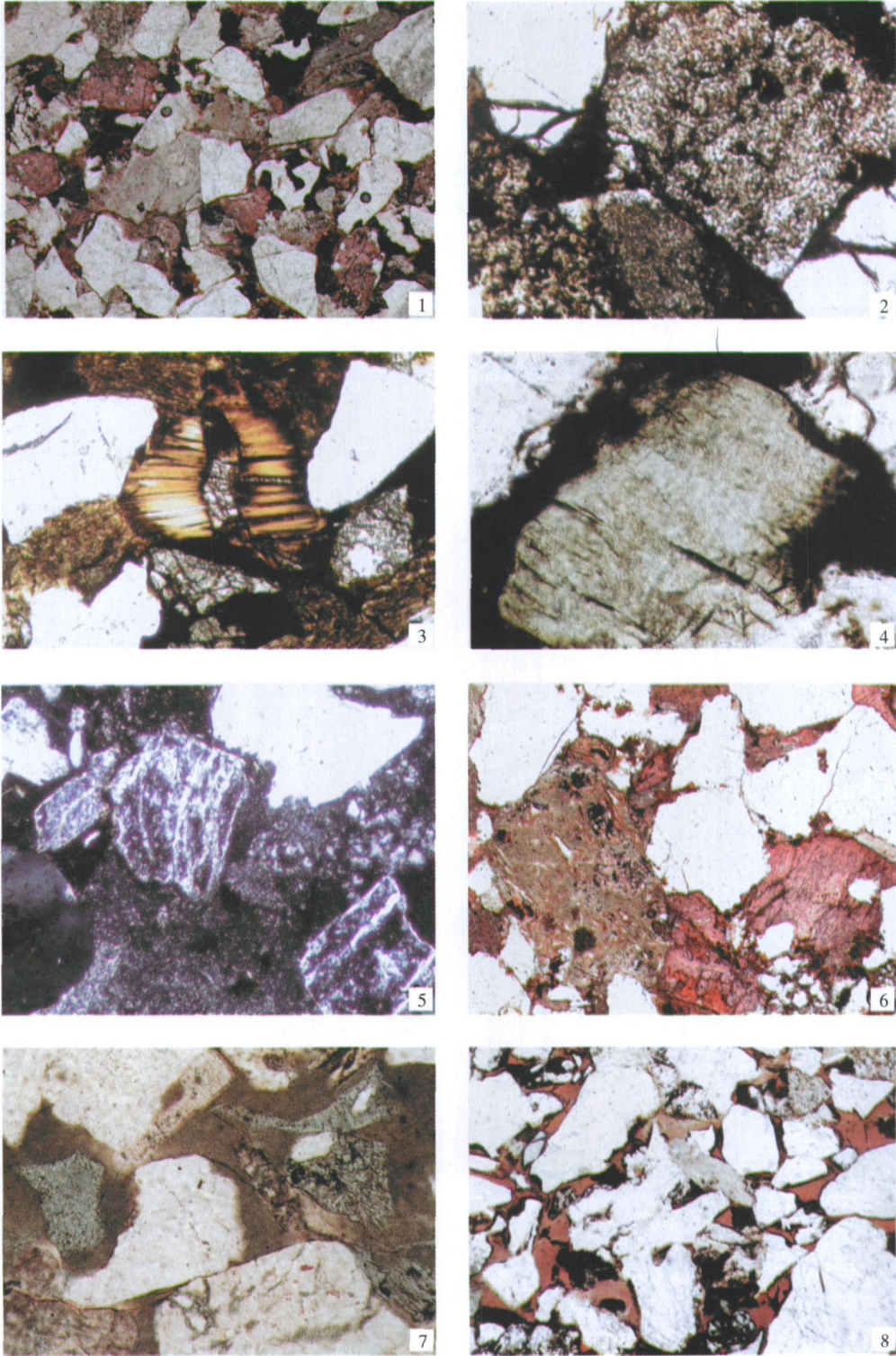
YANG Hua¹ YANG Yihua² SHI Xiaohu² YIN Peng²

(1. Changqing Oilfield Company, PetroChina Xi'an 710021;

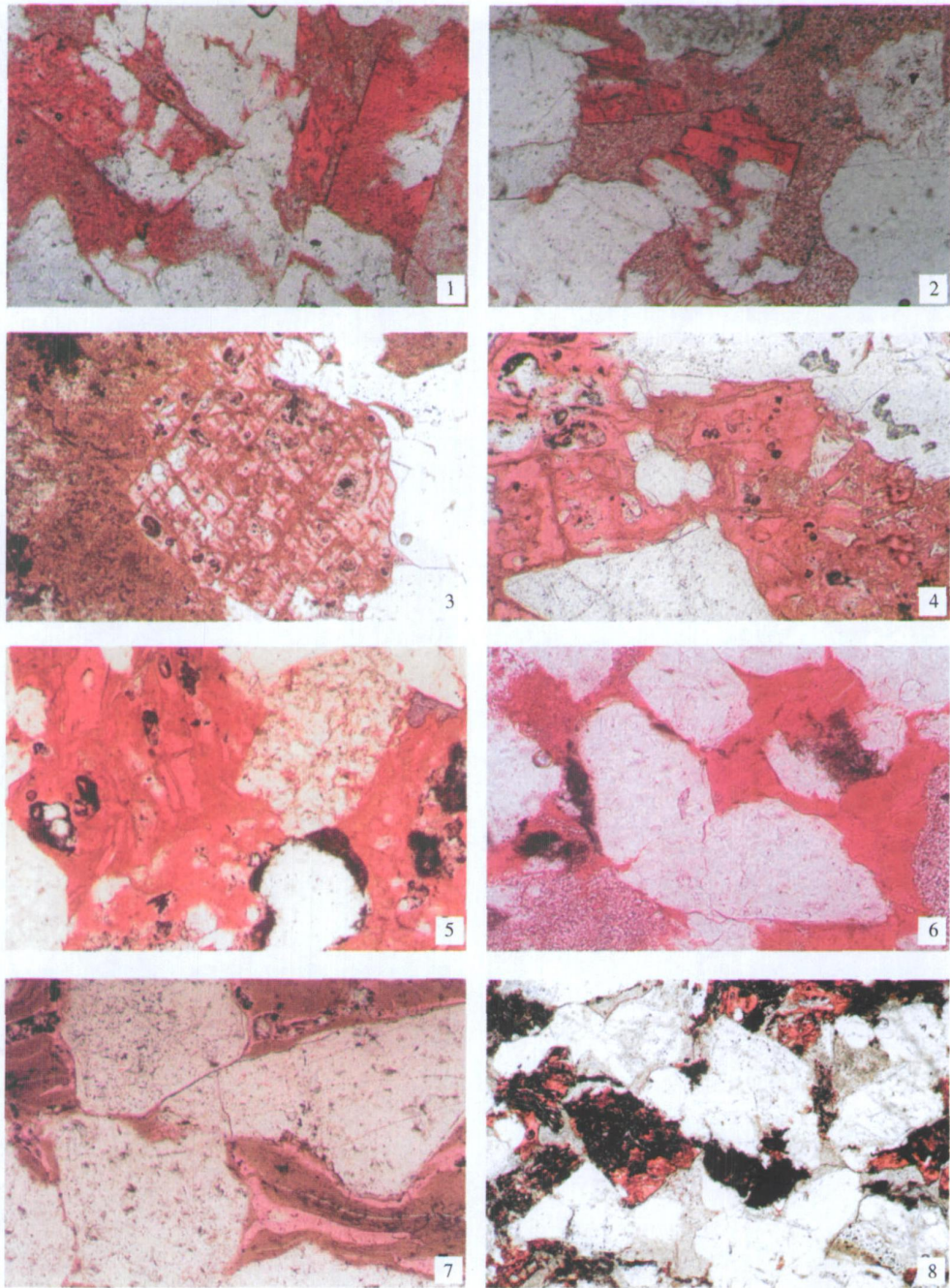
2. Exploration and Development Research Institute of Changqing Oilfield Company PetroChina Xi'an 710021)

Abstract Upper Paleozoic natural gas reservoir of Ordos Basin consists of low-permeability sandstone which bears typical secondary porosity. After studying secondary porosity forming cause, it is turned out that there is some direct relation between formation of all kinds of dissolution porosity and dissolution and erosion of volcanic material. Based on the study of petrology, the observation of volcanic material composition, construction and structure, the state and secondary change, we can reach the conclusion that these volcanic materials has the characteristics of simultaneous sedimentation. Combining the formal achievements about simultaneous volcano eruptive-rock on basin edge, there is cause-effect relation, which showing volcanic material of the sandstone comes from the simultaneous sedimentary volcanic eruption, which confirms that important geological events in Basin-orogen coupling period have great influence on inter-basin sedimentation. Not only the simultaneous volcanic material changes the composition of the sandstone, but also offers the dissolution matter for the formation of secondary porosity in these sandstones. The dissolution of volcanic material with largely unsteady physical and chemical characteristics, led to the formation of dissolution porosity in crystal-fragment, in rock-fragment and in ash-fragment, as well as eroded kaolinite and chlorite inter-crystal porosity in diagenetic period. Meanwhile, remnant erosion of volcanic material and dissolution differences lead to the heterogeneous reservoir.

Key words Ordos Basin, Late Paleozoic Period, volcanic activity, volcanic material, sandstone reservoir



图版 说明: 1 火山石英碎屑, Sh19 井 2 752.35 m, 山 2, 单偏光 $\times 50$ 2 高岭石化了的长石晶屑, S25 井 3174.44 m, 盒 8 正交偏光 $\times 100$; 3 来自于火山喷发的黑云母晶屑, 具暗化边结构和溶蚀边结构, S25 井 3209.17 m, 盒 8 单偏光 $\times 100$ 4. 向绿泥石转化的角闪石晶屑, S25 井 3174.44 m, 盒 8 单偏光 $\times 100$ 5. 高岭化和伊利石化的火山岩屑, S26 井 3280.34 m, 山 2, 正交偏光 $\times 100$ 6~8 赋存在砂岩孔隙中的镁铁质火山灰及细小晶屑, T6 井 3298.39 m, 盒 6, 单偏光 $\times 100$



图版 说明: 火山物质溶蚀、蚀变、收缩形成的各种次生孔隙 1 长石晶屑溶蚀后的板状铸模孔, S2井 3 398.7 m, 盒 8, 铸体薄片 $\times 100$; 2 长石晶屑被溶形成板条状铸模孔, 火山灰蚀变成高岭石并产生晶间孔, S2井 3 398.5 m, 盒 8, 铸体薄片 $\times 100$; 3 角闪石晶屑被溶, 其 (110)解理尚存, S15井 3 226.07 m, 盒 8, 铸体薄片 $\times 100$; 4 火山晶屑被溶形成的次生孔隙群, S2井 3 494.97 m, 盒 2, 铸体薄片 $\times 100$; 5 火山灰中包裹的细小晶屑被溶形成的次生孔隙群, S6井 3 314.60 m, 盒 8, 铸体薄片 $\times 100$; 6 火山灰被溶形成的次生孔隙, DT1井 3 703.20 m, 盒 7, 铸体薄片 $\times 100$; 7 火山灰蚀变成伊利石并形成收缩孔隙, S15井 3 016.08 m, 盒 2, 铸体薄片 $\times 100$; 8 火山岩屑溶孔, Yu24井 2 810.96 m, 太原, 铸体薄片 $\times 40$