

文章编号:1000-0550(2011)04-0724-10

鄂尔多斯盆地长北气田山西组二段 低孔低渗储层特征及形成机理^①

孙海涛¹ 钟大康¹ 张湘宁² 柳慧林³

(1. 中国石油大学油气资源与探测国家重点实验室 102249;

2. 中国石油对外合作经理部 北京 100007; 3. 河北省地球物理勘察院 河北廊坊 065000)

摘要 长北气田山西组二段主要为三角洲平原分支河道沉积的石英砂岩和岩屑砂岩,其埋藏深度中等(2 700 ~ 2 950 m),但物性较差(孔隙度和渗透率平均分别为 5.2% $0.7 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$),属于低孔低渗的致密储层。造成低孔低渗的主要原因是:该套砂岩形成于三角洲平原含煤酸性环境,砂岩中原始孔隙水介质呈酸性,碳酸钙处于不饱和状态,难以形成早期碳酸盐胶结,后来埋藏过程中压实作用损失了大量原生孔隙,使得粒间孔隙体积大大减少。同时,酸性成岩环境导致后来压实过程中大规模的石英次生加大,充填砂岩中未被压实损失的残余孔隙,使岩石孔隙度进一步降低。这是造成该地区砂岩低孔低渗致密化的主要原因。显微镜下岩石薄片观察证明了这种长北气田山西组二段砂岩在埋藏过程中的酸性成岩环境:砂岩孔隙中碳酸盐胶结尤其是早期碳酸盐胶结不发育,平均碳酸盐胶结物含量 1% ~ 3%,自生高岭石胶结发育,含量达 7% ~ 10%,伊利石胶结少, < 3%,石英次生加大胶结发育,普遍达 II—III 级,平均为 5% ~ 10%,个别层段达 10% ~ 18%,最长达 23%。另一方面,长北气田所处的鄂尔多斯盆地在大地构造上属于比较稳定的构造背景,盆地自上古生界二叠系山西组沉积以来,未经历大规模的构造运动,构造活动弱,地层平缓,褶皱少,断裂不发育,地层埋藏史分析表明山西组沉积后未经历明显的抬升与沉降。地下水尤其是含有有机酸或 CO_2 的酸性水不活跃,加之砂岩因压实作用和二氧化硅胶结后原始孔隙度和渗透性差,酸性地下水不能有效地对岩石进行溶蚀改造,不利于孔隙流体中物质的带入与带出;而且岩石中可溶组分(如长石、碳酸盐胶结物)少,长石含量 < 3%。因此,岩石在后期的埋藏过程中,不能形成大量的溶蚀次生孔隙,这是造成研究区目的层段砂岩低孔低渗的另一个原因。

关键词 低孔低渗储层 形成机理 成岩作用 鄂尔多斯盆地 山西组

第一作者简介 孙海涛 男 1985 年出生 博士 储层地质学 E-mail: haitao141141@163.com

中图分类号 TE122.2⁺3 **文献标识码** A

长北气田位于鄂尔多斯盆地中北部伊陕斜坡,面积为 1 588 km^2 ,地理上位于陕西省靖边县以北一榆林县以西地区,目的层段为上古生界二叠系山西组山西组二段。储集岩为三角洲平原分支河道沉积,岩性为石英砂岩、岩屑质石英砂岩及岩屑砂岩^[1~7]。岩性在纵、横向上变化较快,单砂层厚度薄,层间隔层和夹层发育,储集空间以剩余粒间孔、粒间溶蚀孔及微裂缝为主,储层普遍具有低孔低渗特征,这为长北地区天然气的勘探与开发带来很大的难度,目前对其低孔低渗的成因与控制因素认识程度较低,前人做过一些研究,普遍认为这套低孔低渗储层的形成主要是由于强烈的压实压溶作用所致^[8,9],或强烈的压实压溶与胶结作用共同所致^[10~12],或晚期的再次埋藏引起的压实作用^[13]。总之,基本上都归结为强烈的成岩作用尤其是压实作用的结果。但是,这套低孔低渗储层目

前埋深仅 2 700 m 左右为什么会出现强烈的压实压溶作用? 与我国西部盆地和东部盆地相应的埋藏深度的储层相比孔隙度渗透率低许多,西部埋深 6 000 m 左右、东部埋深 3 500 m 左右的储层孔隙度和渗透率(尤其是渗透率)都比这套储层的物性要好。目前几乎没有人从更深的层次去研究这套低孔低渗储层的成因。

本文首先从这套储层的岩石学特征出发,分析其储层岩石的成分与结构,进而研究其成岩作用特征,然后分析这种成岩作用现象所代表的成岩环境,分析不同成岩作用之间的先后顺序及这种顺序对孔隙演化的影响,最后通过系统研究沉积环境、岩石组构、成岩作用、储层埋藏过程、盆地大地构造背景等与孔隙演化之间的内在联系,提出了研究区山西组二段低孔低渗储层的形成机理。

^①国家自然科学基金项目(批准号:41072104)、国家 973 计划项目(批准号:2011CB201104)资助。
收稿日期:2010-11-05;收修改稿日期:2010-12-15

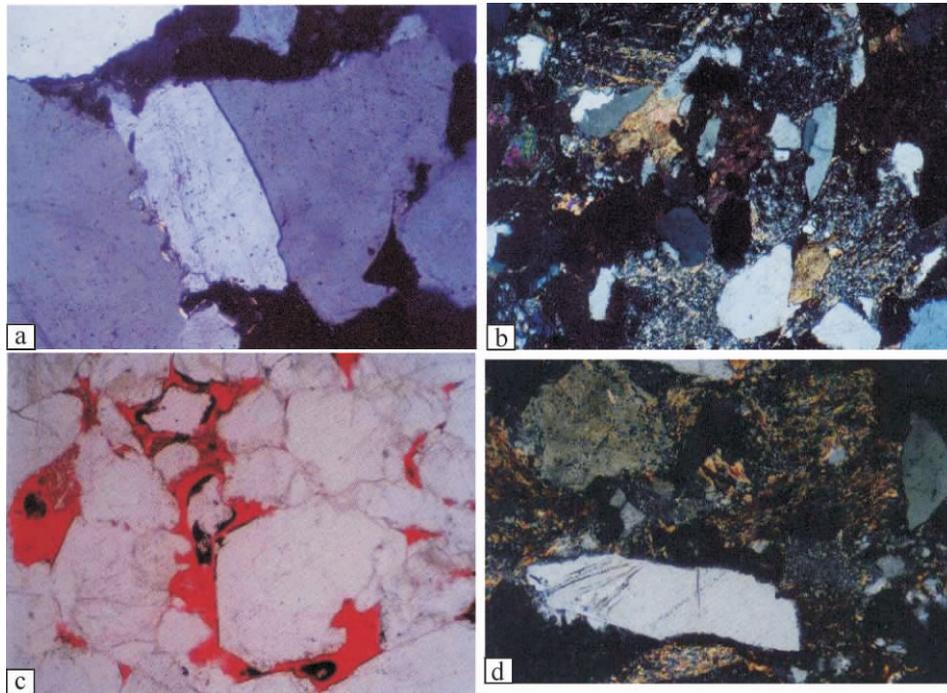


图 1 研究区石英砂岩和岩屑砂岩镜下特征

- a. 石英砂岩 榆 28-12 井 2 863.06 m, ×40(+);
- b. 岩屑砂岩 陕 118 井 2 859.94 m, ×40(+)
- c. 石英砂岩 陕 211 井 2 921.04 m, ×40(-);
- d. 岩屑砂岩 陕 118 井, 2 898.04 m, ×100(-)

Fig. 1 Microscopic characteristics of quartz sandstone and lithic sandstone in the study area

1 储层岩石学特征

根据岩芯和薄片观察, 山二段主要为粗一中粒石英砂岩和岩屑砂岩, 含有少量砾岩和细砂岩, 石英砂岩分布于山二段下部, 岩屑砂岩分布于上部。

石英砂岩段在岩芯上为灰白色, 成分较纯, 测井曲线上表现为低自然伽马值, 岩芯和测井曲线上均易识别。通过对研究区 6 口取芯井 82 个薄片样品的分析, 镜下石英含量超过 75% (图 1 2), 包括石英含量超过 90% 的纯石英砂岩和石英含量在 75% ~ 90% 的岩屑质石英砂岩。岩屑砂岩在岩芯上为灰色, 自然伽马高于下部石英砂岩, 岩屑含量大于 25%, 最高可达 55%。成分主要为变质岩的板岩、千枚岩和片岩岩屑。无论是石英砂岩还是岩屑砂岩, 长石含量都非常低, 显微镜下几乎不见长石。

镜下观察砂岩颗粒分选较好, 磨圆多为次圆一次棱角状, 颗粒之间以线接触为主, 部分凹凸一线接触, 颗粒支撑。杂基含量低, 主要为泥质, 平均为 4.3%。胶结物主要为硅质, 其次是高岭石, 碳酸盐胶结物含量较低。

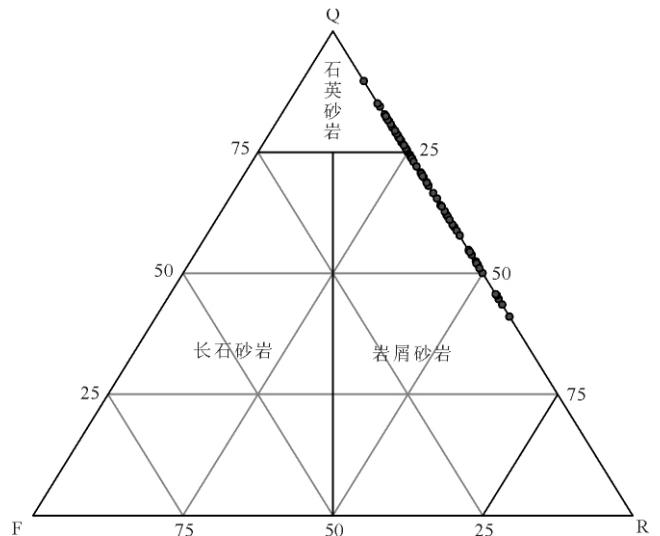


图 2 山二段储层岩石组分三角图^[14]
(Q-石英 F-长石 R-岩屑)

Fig. 2 Composition triangle diagram of the 2nd member of Shanxi Formation (Q-quartz, F-feldspar, R-lithic)

2 成岩作用类型

根据大量的岩石薄片观察, 研究区山二段砂岩埋

藏过程中经历了压实作用、胶结作用、溶蚀作用和交代作用等成岩作用^[15]。本次研究中根据82块岩石薄片和铸体薄片分析,其成岩作用特征如下:

2.1 压实作用和压溶作用

根据薄片观察,长北地区山二段砂岩在埋藏过程中压实作用较强,薄片下可以看到石英颗粒之间的呈线状、凹凸状或缝合状的紧密接触(图1),部分石英颗粒因压实作用发生破裂形成微裂缝(图3)。

2.2 胶结作用

长北地区山二段的胶结作用有硅质胶结、碳酸盐胶结、黏土矿物胶结等类型,局部见铁质胶结,但以硅质胶结为主。

(1) 硅质胶结作用

硅质胶结主要发育于石英砂岩中,岩屑砂岩中较少,主要以石英次生加大的形式出现。根据对6口井82个薄片的统计,在较纯净的石英砂岩中,自生加大

的石英含量大多从3.7%到18.7%不等,平均为8.6%。该区的石英加大在Ⅱ级到Ⅲ级之间,少数达到Ⅳ级,加大边较宽,呈镶嵌状接触,使得粒间孔隙损失很大(图4a)。硅质胶结物主要来源于石英的压溶作用,少部分来源于泥岩转化过程中释放的 SiO_2 。

(2) 碳酸盐胶结作用

根据对陕114、214、198、199、211等井82个样品的分析,研究区碳酸盐胶结物总体上不发育,大多数碳酸盐胶结物含量低于3%,个别达9%。本区碳酸盐胶结物包括方解石、含铁方解石、含铁白云石胶结,但主要为晚期含铁的方解石和含铁白云石胶结(图4b)。在82个薄片,仅36个薄片见碳酸盐胶结,有7个薄片发现存在明显的方解石胶结,其含量在0.5%~4%,平均为2.7%,主要出现在岩屑砂岩中;有10个样品存在含铁方解石胶结物,其含量为0~7.3%,平均为2.2%,主要发育与石英砂岩中;有

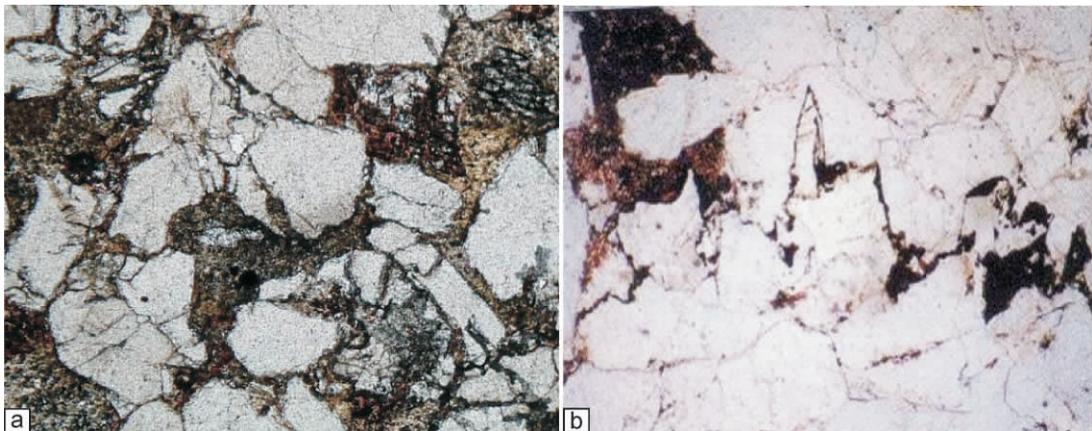


图3 山二段砂岩中的压实现象

a. 石英颗粒的压裂现象, 陕143井2 806.54 m, $\times 100(-)$; b. 石英砂岩中压溶缝合线, 陕118井2 891.06 m, $\times 40(-)$

Fig.3 Compaction of the 2nd member of Shanxi Formation

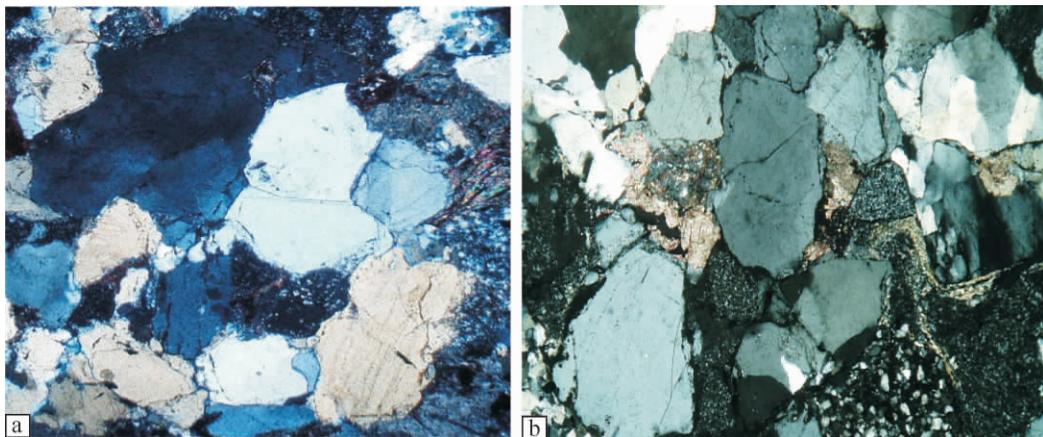


图4 石英次生加大和碳酸盐胶结

a. 硅质胶结, 陕117井2 919.53 m, $\times 25(+)$; b. 钙质胶结, 陕118井2 923 m, $\times 25(+)$

Fig.4 Quartz overgrowth and carbonate cementation

19个样品存在含铁白云岩胶结,含量为0~8.7%,平均为4.7%,在岩屑砂岩和石英砂岩中均有分布。由此可以看出,从方解石到含铁方解石再到含铁白云岩,其碳酸盐胶结物的分布越来越广,说明该地区碳酸盐胶结作用主要发育于晚期(图4)。

(3) 黏土矿物胶结作用

研究层段的黏土胶结物主要为高岭石,其次是伊利石,绿泥石胶结比较少见(图5)。薄片下高岭石胶结物含量在0~19.7%,平均为5.3%;伊利石胶结物含量为0~9.3%,平均仅1.6%,绿泥石少见。高岭石胶结物主要充填于石英砂岩的孔隙中。X衍射分析结果表明,黏土矿物基本上也是以高岭石为主,与薄片下观察结果基本一致(表1)。

2.3 溶蚀作用

研究区目的层段溶蚀作用总体上不发育,对改善本区储层物性的作用有限。薄片下仅见到少量岩屑颗粒溶蚀和杂基溶蚀(图6),溶蚀作用形成了部分次生孔隙,但由于原生孔隙保存较少,因此次生孔隙仍

是研究区的主要孔隙类型。

表1 研究区部分井砂岩X衍射分析黏土矿物含量

Table 1 Clay mineral content from the X-diffraction analysis in sandstone from wells in the study area

井号	高岭石/%	绿泥石/%	混层矿物/%	伊利石/%
陕118	60	0	10	30
陕198	61	4	17	18
陕202	61	6	6	27
平均值	60.7	3.3	11	22

溶蚀作用的发育程度与岩石的类型及颗粒支撑类型有关。溶蚀作用在岩屑砂岩中并不发育,可能因为岩屑砂岩压实太致密,原始孔渗条件较差,不利于酸性流体流动,从而无法产生溶蚀作用。在杂基含量较少,分选好,颗粒支撑结构好的石英砂岩中,孔隙水流动性强,溶蚀作用较强。

2.4 交代作用

在研究层段交代作用不发育,主要见碳酸盐交代

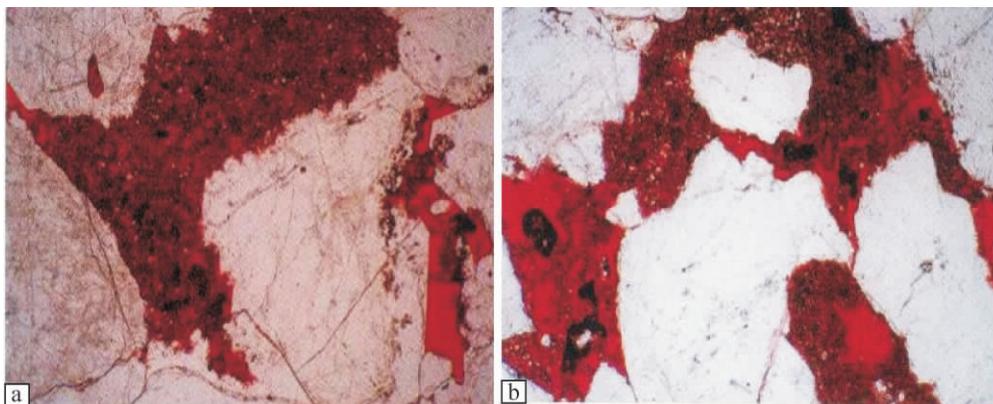


图5 高岭石黏土矿物胶结

a. 孔隙充填高岭石胶结物,陕117井,2914.39m×40(-); b. 岩屑高岭石化,陕118井,2887.16m,

Fig. 5 Kaolinite clay mineral cementation

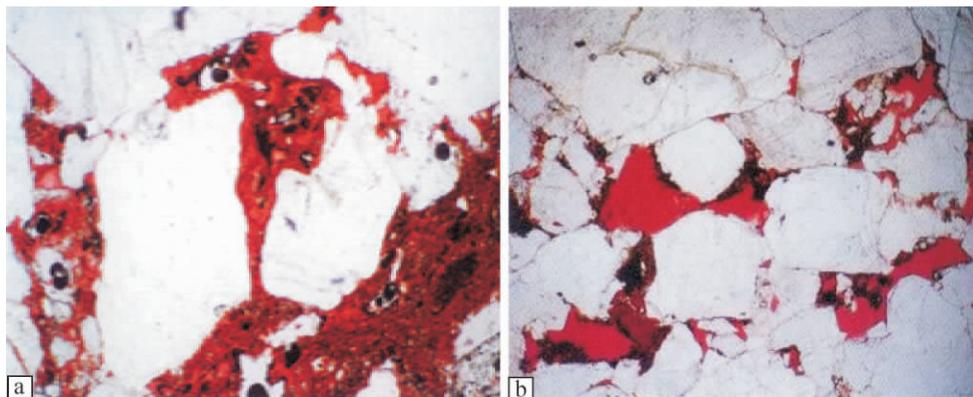


图6 石英砂岩中的溶蚀作用

a. 岩屑溶蚀,并可见铸模孔,陕118井,2858.71m,×40(-); b. 杂基溶蚀,陕118井,2892.24m,×40(-)

Fig. 6 Dissolution of quartz sandstone

石英和长石颗粒,但都比较微弱。随着深度加大,存在铁方解石和铁白云石的交代现象。

3 孔隙类型和物性特征

3.1 孔隙类型

根据薄片观察,山2段砂岩孔隙总体上不发育,见残余原生粒间孔、粒间溶孔、粒内溶孔、晶间孔以及杂基黏土中的微孔,由于研究区原生孔隙保存较少,故次生粒间溶孔和高岭石晶间孔仍是主要的孔隙类型(图7)。石英砂岩和岩屑砂岩中孔隙类型有些差异,石英砂岩以剩余原生粒间孔和次生粒间溶孔为主,晶间孔相对较少;而岩屑砂岩以次生粒间孔和晶间孔为主,原生粒间孔保存较少。

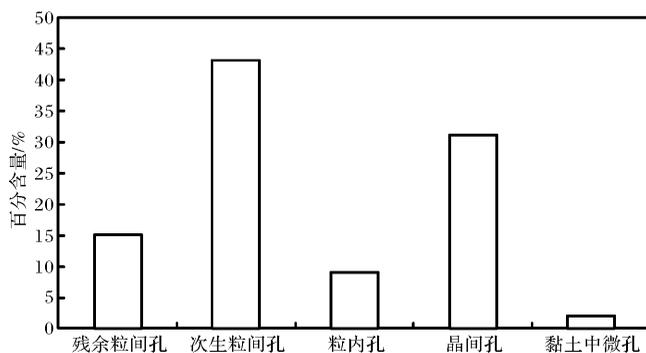


图7 研究区储层孔隙类型

Fig. 7 Porosity categories of reservoir in the study area

3.2 物性特征

研究区岩芯分析的氮孔隙度、水平渗透率物性数据表明:山2段储层孔隙度最小值为0.9%,最大值为14.8%,平均6.5%,孔隙度大多在4%~8%之间(占54%);渗透率最小值为 $0.01 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,最大值为 $2400 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均值为 $0.7 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,渗透率介于 $0.1 \times 10^{-3} \sim 1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 之间的储层占整个分布频率的45%以上。该区储层物性特征主要为低孔低渗储层。

岩屑砂岩与石英砂岩物性特征有所不同,石英砂岩的孔隙度和渗透率平均值分别为5.2%和 $1.3 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,岩屑砂岩分别为4.8%和 $0.056 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,前者物性好于后者,尤其是渗透率。

4 储层物性控制因素与低孔低渗形成机理

任何一个地区储层物性受沉积条件、成岩作用、

构造运动、油气充注、异常高压等多种因素控制,但大多数情况下主要受前两者影响^[16~19]。有的地区主要受原始沉积条件控制,有的地区主要受后期成岩改造控制^[20~22]。对于一个具体地区而言,各个因素表现出来的特征也不相同。

对于长北气田而言,沉积条件的影响相对较小。根据对物性参数与岩石成分结构参数的统计,一般情况下中粗粒分选好磨圆度高杂基含量低的石英砂岩其孔隙度渗透率都较高,孔隙度渗透率与石英含量呈正相关(图8、9),中粗粒砂岩孔隙度可达5%~8%,而细粒砂岩只有3%~4%,镜下薄片观察的情况也是如此,粒度较粗的石英砂岩原生孔隙保存较多,次生孔隙也相对较发育。这说明了原始沉积条件对储层物性的控制。

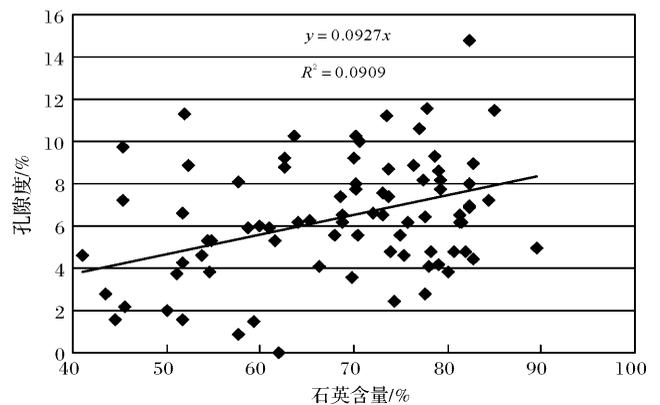


图8 储层孔隙度与石英含量之间的关系

Fig. 8 The relationship between porosity and quartz content

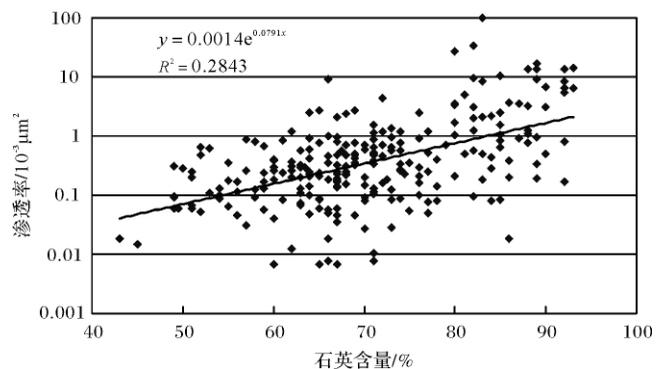


图9 渗透率与石英含量的变化关系

Fig. 9 The relationship between permeability and quartz content

但研究区为什么会形成低孔低渗呢?其物性主要受什么因素控制?根据对82个砂岩样品薄片观察以及对孔隙度与粒间体积的研究发现,长北地区砂岩

物性主要受成岩作用控制。

(1) 破坏性成岩作用对岩石孔隙度和渗透率起了绝对控制作用,远远大于建设性成岩作用,压实作用和胶结作用降低的孔隙度明显大于溶蚀作用所新增加的孔隙度。从薄片下可以看出,无论是石英砂岩还是岩屑砂岩,由于压实作用岩石颗粒的粒间体积大大减少,而溶蚀作用对储集性能的改善又是在岩石经过压实和胶结对孔隙破坏以后的基础之上进行的,加之该地区溶蚀作用不发育,可溶的成分少,因此,压实作用对储层性质起了主要的破坏作用。

另一方面,从薄片下观察得到的胶结物含量与岩石粒间体积的交会图上可以看出,所有样品都落在强—较强压实作用的范围(图10)。

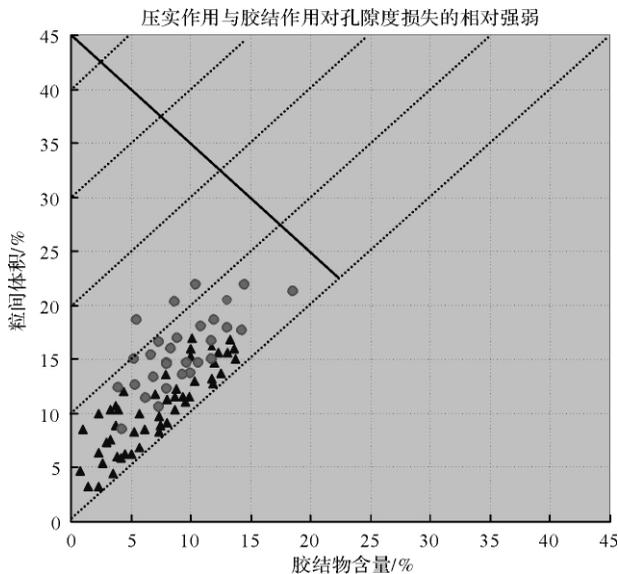


图10 压实作用与胶结作用对孔隙度损失的比较

Fig. 10 Comparison of porosity reduction between compaction and cementation

(2) 在破坏性的成岩作用中压实作用对岩石孔隙度的损失大于胶结作用对孔隙度损失,如果将砂岩的原始孔隙度视为45%(理论上为47.6%),则压实作用损失的孔隙度在10%~35%,大部分在20%~25%,而胶结作用对孔隙度的损失大约为5%~15%。

(3) 镜下观察溶蚀作用对岩石孔隙度的贡献大约为0~9%,平均为2.3%。与前两者破坏性成岩作用相比,其新增加的孔隙度很有限。

(4) 在石英砂岩和岩屑砂岩中,压实作用对岩屑砂岩的孔隙损失最大,而对石英砂岩的孔隙度损失相对较小。从图10可以看出,石英砂岩(图中●点)的

粒间体积整体比岩屑砂岩(▲点)高,孔隙度也比其高。

但是为什么研究区压实作用对孔隙度的损失大于胶结作用?为什么溶蚀作用新产生的孔隙度低?综合本区砂岩的沉积环境、岩石学特征、孔隙类型及发育状况、成岩作用类型与成岩序次,结合研究区所处的大地构造背景以及目的层段的埋藏史分析认为,研究区山西组二段砂岩低孔低渗的原因与其沉积环境、岩石学特征、成岩序次以及构造背景有密切关系。

4.1 砂岩储层夹于酸性煤系地层环境

鄂尔多斯盆地长北地区山西组基本上为含煤的酸性沉积环境,研究区22口探井几乎每口井都钻遇3~4层煤层,单层煤层厚度1~3m,累计7m左右,山西组2段砂岩基本上被夹于上下的煤系地层之中。煤系地层在埋藏过程中会产生腐殖酸,使地层水呈酸性,含煤的泥质地层内的酸性水在压实过程中进入邻近的砂岩,造成砂岩孔隙水呈酸性,这种酸性水环境控制了砂岩在埋藏过程中的成岩序次和成岩作用类型及其特征^[23,24]。

4.2 酸性成岩环境中砂岩早期碳酸盐胶结物不发育

含煤的酸性沉积环境控制了研究区的砂岩的成岩作用类型、各种成岩作用的强度以及先后序次在这种酸性环境中碳酸盐胶结不发育,尤其是早期碳酸盐的沉淀,岩石薄片鉴定结果证实了这一点,前面碳酸盐胶结部分说明研究区碳酸盐胶结物含量低(平均仅3%左右),而且以晚期为主。

4.3 早期碳酸盐胶结的缺乏导致砂岩成岩早期的快速强烈压实作用

由于缺乏早期碳酸盐胶结,导致砂质沉积物在埋藏早期发生强烈的压实作用,损失大量原生粒间孔隙。通过对前述砂岩粒间体积研究说明了这一点(图10),将各种胶结物与孔隙度以及杂基加在一起恢复得到的无充填物孔隙度在5%~23%之间,按照原始碎屑沉积物理论孔隙度为47.6%计算,那么由于压实作用损失的原始孔隙度为24%~42%。石英次生加大和碳酸盐以及黏土矿物胶结损失的原始孔隙度为3%~15%,但大多发生在沉积物快速压实之后。

镜下岩石薄片观察也可以见到岩石颗粒经过压实作用后颗粒呈线状一凹凸以及缝合线接触,颗粒堆积紧密,由于压实作用使得原生粒间孔隙度损失很大,尤其是岩屑砂岩。

4.4 早期快速埋藏加剧了压实作用

另一方面,根据对研究区北部陕205井、中部陕118井和南部陕43-8井的埋藏史分析,山二段沉积后不久到晚三叠世沉积之前的50 Ma时间,经历了一个快速深埋藏的过程。即50 Ma过程中埋藏达2500 m,埋藏速度为50 m/Ma,而在其后的210 Ma期间,埋深仅500 m,埋藏速度为2.38 m/Ma(图11)。如果说岩石由于缺乏早期碳酸盐和硅质胶结,造成岩石抗压强度低,出现快速压实,是损失大量原生孔隙的内因,那么构造引起的快速沉降则是造成损失原生孔隙的外因,早期的快速构造沉降深埋加剧了压实作用的强度,这一快速深埋过程损失了24%~42%的原始孔隙,造成原生孔隙的大规模消失。

4.5 中晚期成岩阶段各种胶结作用使物性再次变差

岩石在经过快速埋藏后,进入中等埋深的成岩阶段,开始出现石英压溶作用,压溶产生的 SiO_2 由于孔隙水的酸性环境,再次形成强烈的石英次生加大,石英次生加大胶结物含量从3.7%到18.7%不等,平均为8.6%;同时这种酸性环境导致了明显的自生高岭石沉淀胶结,高岭石胶结物含量在0~19.7%,平均为5.3%。由于石英次生加大和高岭石的胶结,孔隙水的pH值有所增高,此时导致部分晚期碳酸盐沉淀胶结,对次生加大后剩余的孔隙再一次充填破坏,使砂岩孔隙度渗透率再次降低。镜下鉴定表明,孔隙内的碳酸盐胶结物一方面充填于石英颗粒被压裂后的裂缝,另一方面方解石含铁量较高,这就说明碳酸盐胶结物形成较晚。

上述多种胶结作用使得岩石成为现今的低孔低渗致密储层。

4.6 埋藏期间溶蚀作用弱次生孔隙不发育

研究区山二段砂岩埋藏过程中,由于稳定的构造背景、岩石早期致密化以及岩石内部可溶性成分含量较低等多种原因造成溶蚀作用弱,未能对岩石进行次生改造,新产生的次生孔隙少。

(1) 稳定的大地构造背景不利于地下流体流动

区域构造研究表明,长北气田所处的鄂尔多斯盆地在大地构造上属于比较稳定的构造背景,盆地自上古生界二叠系山西组沉积以来,未经历大规模的构造运动,构造活动弱,地层平缓,褶皱少,断裂不发育。地层埋藏史分析也表明山二段沉积后未经历明显的抬升与沉降,地下水尤其是含有机酸或 CO_2 的酸性水不活跃,酸性地下水不能有效地对岩石进行溶蚀改造,不利于岩石孔隙流体中物质的带入与带出,构造作用对砂岩孔隙演化的这种影响在许多盆地中都可

以见到^[25,26]。

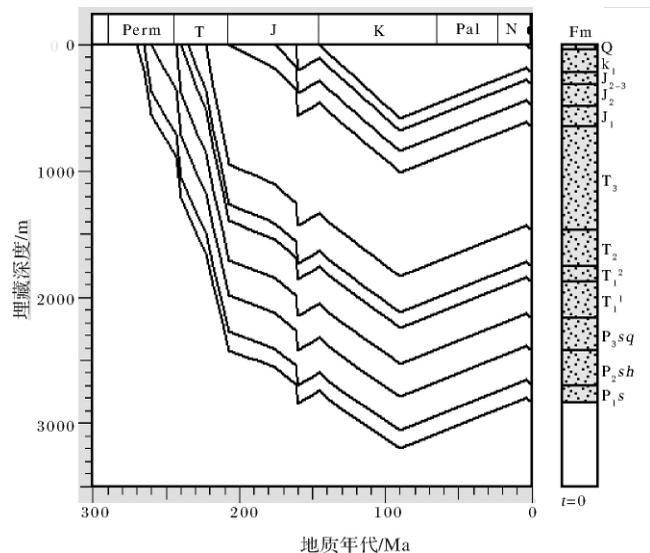


图11 研究区陕205井山二段埋藏史

Fig. 11 Burial history of the 2nd member of Shanxi Formation of Well 205 in the study area

(2) 早期快速埋藏压实与后期各种胶结使岩石致密化不利于酸性流体进入

研究区由于早期的快速埋藏压实作用以及紧随其后的石英次生加大胶结和高岭石胶结,使岩石的孔隙条件较差,有机质在埋藏阶段成熟后产生的酸性水难以进入储层进行改造形成一定的次生孔隙。砂岩中次生孔隙发育的一个重要条件是岩石的原始孔隙条件较好,酸性流体易于进入在其内流动,对岩石进行溶蚀,溶解的物质能够比较容易带出,从而留下一定的次生孔隙空间。

(3) 砂岩内可溶性成分的缺乏是溶蚀弱次生孔隙不发育的另一原因

砂岩中溶蚀作用强烈、次生孔隙发育的另一个重要条件是岩石内含有较多的可溶性成分如碳酸盐胶结物、长石颗粒、部分可溶性火山岩岩屑,存在大量可溶性物质,这些物质是形成次生孔隙的基础,在酸性流体作用下发生溶解形成大量次生孔隙。

然而,根据前面对岩石学特征的研究,长北地区砂岩主要为石英砂岩和岩屑砂岩,两类砂岩内长石含量极低,不足3%,显微镜下几乎很少见有长石;岩屑砂岩中岩屑成分主要为板岩、片岩、千枚岩和泥岩岩屑,可溶性的火山岩岩屑较少;另外,岩石的碳酸盐胶结物含量低,且多形成于较晚的时期,属于中晚期的碳酸盐胶结物,形成时间大多晚于酸性水形成时间,早期碳酸盐胶结物缺乏。因此,上述可溶性物质的缺

乏是造成研究区目的层段砂岩低孔低渗的另一个原因。

5 结论

综上所述,长北地区山二段低孔低渗储层的形成机理可以简单的归结为:含煤酸性沉积环境控制了成岩演化序次,使得早期碳酸盐胶结弱,加之早期盆地快速压实作用,从而使大量原生孔隙损失;成岩中后期石英次生加大和高岭石沉淀以及晚期碳酸盐胶结使岩石孔隙度及渗透率再次降低;原始储集空间的大规模损失、加上稳定的大地构造背景以及岩石内部可溶组分的贫乏,使得溶蚀作用微弱,从而形成了现今的低孔低渗储层。

参考文献(References)

- 樊太亮,郭齐军,吴贤顺. 鄂尔多斯盆地北部上古生界层序地层特征与储层发育规律[J]. 现代地质, 1999, 13(1): 32-37 [Fan Tai-liang, Guo Qijun, Wu Xianshun. Features of sequence stratigraphy and distribution regularities of reservoir in the upper Paleozoic of north Ordos Basin[J]. Geoscience, 1999, 13(1): 32-37]
- 陈洪德,侯中健,田景春. 鄂尔多斯地区晚古生代沉积层序地层学与盆地构造演化研究[J]. 矿物岩石, 2001, 21(3): 16-22 [Chen Hongde, Hou Zhongjian, Tian Jingchun. Study on sequence stratigraphy of deposits and tectono-sedimentary evolution in Ordos Basin during Late Palaeozoic[J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 2001, 21(3): 16-22]
- 何义中,陈洪德,张锦泉. 鄂尔多斯盆地中部石炭二叠系两类三角洲沉积机理探讨[J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(1): 68-71 [He Yizhong, Chen Hongde, Zhang Jinquan. Discussion on sedimentation mechanism of two kind deltas from Permian-Carboniferous of central Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2001, 22(1): 68-71]
- 汪正江,陈洪德,张锦泉. 鄂尔多斯盆地晚古生代沉积体系演化与煤成气藏[J]. 沉积与特提斯地质, 2002, 22(2): 19-25 [Wang Zhengjiang, Chen Hongde, Zhang Jinquan. The late Palaeozoic sedimentary systems and humic gas pools in the Ordos Basin[J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2002, 22(2): 19-25]
- 梁积伟,郭艳琴,李玮,等. 靖边气田山西组下段储层沉积微相特征[J]. 西北大学学报:自然科学版, 2007, 37(5): 808-814 [Liang Jiwei, Guo Yanqing, Li Wei, et al. Reservoir microfacies characteristics of lower member of Shanxi Formation in northwest part of Ordos Basin[J]. Journal of Northwest University: Natural Science Edition, 2007, 37(5): 808-814]
- 付锁堂,田景春,陈洪德,等. 鄂尔多斯盆地晚古生代三角洲沉积体系平面展布特征[J]. 成都理工大学学报:自然科学版, 2003, 30(3): 236-242 [Fu Suotang, Tian Jingchun, Chen Hongde, et al. The delta depositional system distribution of late Paleozoic Era in Ordos Basin[J]. Journal of Chengdu University of Technology: Science & Technology Edition 2003, 30(3): 236-242]
- 陈安清,陈洪德,向芳,等. 鄂尔多斯东北部山西组上石盒子组砂岩特征及物源分析[J]. 成都理工大学学报:自然科学版, 2007, 34(3): 306-313 [Chen Anqing, Chen Hongde, Xiang Fang. Sandstone characteristic and provenance analysis of the Permian Shanxi Formation Shangshihezi Formation in the Northeast of Ordos Basin, China[J]. Journal of Chengdu University of Technology: Science & Technology Edition 2007, 34(3): 306-313]
- 刘小洪,罗静兰,张三,等. 榆林—神木地区上古生界盒8段及山2段气层的成岩作用和成岩相[J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(2): 200-208 [Liu Xiaohong, Luo Jinglan, Zhang San, et al. Diagenesis and diagenetic facies of gas reservoirs in the upper Paleozoic the 8th Member of Shihezi Fm. and the 2nd Member of Shanxi Fm. in Yulin-Shenmu Area, Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2006, 27(2): 200-208]
- 刘锐娥,李文厚,陈孟晋,等. 鄂尔多斯东部下二叠统山西组2段储层评价及勘探前景[J]. 古地理学报, 2006, 8(4): 531-539 [Liu Rui'e, Li Wenhou, Chen Mengjin. Reservoir evaluation and exploration prospect of the member 2 of Shanxi Formation of Lower Permian in the eastern Ordos[J]. Journal of Palaeogeography, 2006, 8(4): 531-539]
- 朱国华,等. 成岩作用与砂岩孔隙的演化[M]. 北京:石油工业出版社, 1982 [Zhu Guohua, et al. Diagenesis and Porosity Evolution of Sandstones[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1982]
- 胡江奈,张峭楠,李德敏. 鄂尔多斯盆地北部下石盒子组—山西组成岩作用与储层的关系[J]. 成都理工大学学报, 2001, 28(2): 169-173 [Hu Jiangnai, Zhang Shaonan, Li Demin. The influence of diagenesis on reservoir quality in Xia shihezi-Shanxi Formation in Northern Ordos Basin[J]. Journal of Chengdu University of Technology, 2001, 28(2): 169-173]
- 刘岩,张峭楠,丁晓琪,等. 鄂尔多斯盆地定边北部石盒子组—山西组储层成岩作用[J]. 成都理工大学学报:自然科学版, 2009, 36(1): 29-34 [Liu Yan, Zhang Shaonan, Ding Xiaoqi, et al. Reservoir diagenesis of Shihezi Formation and Shanxi Formation in the North of Dingbian, Ordos Basin, China[J]. Journal of Chengdu University of Technology: Science & Technology Edition, 2009, 36(1): 29-34]
- 张刘平,罗晓容,马新华,等. 深盆地—成岩圈闭:以鄂尔多斯盆地榆林气田为例[J]. 科学通报, 2007, 52(6): 679-687 [Zhang Liuping, Luo Xiaorong, Ma Xinhua, et al. Deep basin gas-diagenetic trap: A case study of Yulin gas field in Ordos Basin [J]. Chinese Science Bulletin, 2007, 52(6): 679-687]
- 朱筱敏,等. 沉积岩石学(第四版)[M]. 北京:石油工业出版社, 2008 [Zhu Xiaomin, et al. Sedimentary Petrology (Fourth Edition) [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2008]
- 何自新,南珺祥. 鄂尔多斯盆地上古生界储层图册[M]. 北京:石油工业出版社, 2004 [He Zixin, Nan Junxiang. Atlas of Upper Palaeozoic Reservoirs in Ordos Basin [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2004]
- 李忠,李蕙生. 东濮凹陷深部次生孔隙成因与储层演化研究[J]. 地质科学, 1994, 29(3): 267-275 [Li Zhong, Li Huiheng. An approach to genesis and evolution of secondary porosity in deeply buried

- sandstone reservoirs , Dongpu Depression [J]. Chinese Journal of Geology: Scientia Geologica Sinica , 1994 , 29(3) : 267-275]
- 17 郑浚茂, 应凤祥. 煤系地层(酸性水介质)的砂岩储层特征及成岩模式 [J]. 石油学报, 1997, 18(4) : 19-24 [Zheng Junmao, Ying Fengxiang. Reservoir characteristics and diagenetic model of sandstone intercalated in coal-bearing strata (acid water medium) [J]. Acta Petroli Sinica , 1997, 18(4) : 19-24]
- 18 钟大康, 朱筱敏, 张枝焕, 等. 东营凹陷古近系砂岩储集层物性控制因素评价 [J]. 石油勘探与开发, 2003, 30(3) : 95-98 [Zhong Dakang, Zhu Xiaomin, Zhang Zhihuan. Controlling factors of sandstone reservoir of the paleogene in Dongying Sag [J]. Petroleum Exploration and Development 2003, 30(3) : 95-98]
- 19 钟大康, 朱筱敏, 周新源. 塔里木盆地中部泥盆系东河砂岩成岩作用与储集性能控制因素 [J]. 古地理学报, 2003, 8(3) : 378-389 [Zhong Dakang, Zhu Xiaomin, Zhou Xinyuan. Diagenesis and controlling factors of reservoir quality of Devonian Donghe sandstones in central Tarim Basin [J]. Journal of Palaeogeography , 2003, 8(3) : 378-389]
- 20 钟大康, 朱筱敏, 李树静, 等. 早期碳酸盐胶结物作用对砂岩孔隙演化的影响——以塔里木盆地满加尔凹陷志留系砂岩为例 [J]. 沉积学报, 2007, 25(6) : 885-890 [Zhong Dakang, Zhu Xiaomin, Li Shujing, et al. Influence of early carbonate cementation on the evolution of sandstones: A case study from Silurian sandstones of Manji-aer Depression , Tarim Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica 2007, 25(6) : 885-890]
- 21 钟大康, 朱筱敏, 张琴. 不同埋深条件下砂泥岩互层中砂岩储层物性变化规律 [J]. 地质学报, 2004, 78(4) : 863-871 [Zhong Dakang, Zhu Xiaomin, Zhang Qin. Variation characteristics of sandstone reservoirs when sandstone and mudstone are interbedded at different buried depths [J]. Acta Geologica Sinica , 2004, 78(4) : 863-871]
- 22 黄思静, 黄培培, 王庆东, 等. 胶结作用在深埋藏砂岩孔隙保存中的意义 [J]. 岩性油气藏, 2007, 19(3) : 7-13 [Huang Sijing, Huang Peipei, Wang Qingdong. The significance of cementation in porosity preservation in deep-buried sandstones [J]. Lithologic Reservoirs , 2007, 19(3) : 7-13]
- 23 Morals M A S, Surdam R C. Diagenesis heterogeneity and reservoir quality: Fluvial, deltaic, and turbiditic sandstone reservoirs, Potiguar and Reconcavo rift basins, Brazil [J]. AAPG Bulletin, 1993, 77(7) : 1142-1158
- 24 Marley N A, Bennet P, Janecky D R, et al. Spectroscopic evidence for organic diacid complexation with silica in aqueous systems-I oxalic acid [J]. Organic Geochemistry, 1989, 14(3) : 525-528
- 25 Martin K R, Baker J C, Hamilton P J, et al. Diagenesis and reservoir quality of palalocene sandstone in the Kupe south field, Taranaki Basin, New Zealand [J]. AAPG Bulletin, 1994, 78(4) : 624-643
- 26 Wilkinson M, Darby D, Haszeldine R S. Couples secondary porosity generation during deep burial associated with overpressure leak-off: Furmar Formation, United Kingdom Central Graben [J]. AAPG Bulletin, 1997, 81(5) : 803-813

Characteristics and Mechanism of Permian Shanxi Tight Reservoir of Changbei Gas Field, Ordos Basin

SUN Hai-tao¹ ZHONG Da-kang¹ ZHANG Xiang-ning² LIU Hui-lin³

(1. China University of Petroleum, Beijing, 102249; 2. PetroChina Foreign Cooperation Administration Department, Beijing 100007)

3. Geophysical Exploration Institute of Hebei Province. Langfang Hebei, 065000)

Abstract Changbei gas field is located in Yishan Slope of the northern center of the Ordos Basin, China. The main pay zone reservoir is Upper Paleozoic Lower Permian Shanxi P₁S² quartz arenite, which deposited in distributary channel of delta plain. The reservoir is low porosity low permeability tight reservoir with average porosity of 5.2% and average permeability of $0.7 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ in a current depth of 2 700 ~ 2 950 m. Integrated study on depositional environment, lithology, diagenesis and tectonic background has been conducted. The reasons cause this low porosity low permeability tight reservoir features are considered as the following two factors. (1) On one hand, the reservoir was deposited in a coaly bearing acid environment of deltaic distributary channel, the original pore water is acid water with non saturated calcium carbonate, which can not form earlier cementation within the sandstone reservoir. However, compaction has significantly reduce the original pore and pore volume. On the other hand, this acid diagenesis environment cause large amounts of secondary quartz cementation fill the pores left out during compaction of sandstone reservoir. This is the main reasons cause the low porosity low permeability tight reservoir features in the region. Observation from thin section indicate that calcium carbonate cementation is not developed in the pore of sandstone reservoir especially in the earlier stage, the average component of calcium carbonate cementation is 1% ~ 3%, authigenic kaolinite cementation is well developed with an average component of 7% ~ 10%, illite segmentation is also less devel-

oped <3% secondary quartz cementation well develop, mostly reach II—III level with an average component of 5% ~10%, some layer can reach 10% ~18% and maximum is 23%, this phenomenon indicated the acid diagenesis environment of P_1S^2 quartz arenite reservoir in Changbei gas field. (2) Tectonic study indicated that Changbei gas field is located in Ordos Basin tectonically stable at the time when Lower Permian Shanxi Formation was deposited. No tectonic movement and significant structure activities developed so that the formation layers are flat and rare faults and folds seen in the Changbei field. Buried history analysis also indicated that there is no apparently uplift and subsidence after P_1S^2 Shanxi Formation deposited. Underground water especially organic acid and CO_2 acid water is not active, and pore is reduced by compaction and silicon dioxide cementation, acid water can't effectively dissolve the reservoir and displacement of materials in the pore. On the other hand, there are few dissolvable components e. g. feldspar (<3%), lithic and carbonate cementation in the rock, hence limited amount of secondary pores generated, this is the second reason that cause poor quality reservoir in Changbei gas field.

Key words tight reservoir; mechanism; diagenesis; Ordos Basin; Shanxi Formation

会议报道

国际沉积学会 (IAS) 28 届沉积学大会在西班牙召开

国际沉积学会 (IAS) 28 届沉积学大会于 2011 年 7 月 5—8 日在西班牙萨拉戈萨 (Zaragoza) 顺利召开。本次沉积学大会主题包括 1) 陆相沉积环境、2) 海相沉积环境、3) 沉积过程、4) 盆地分析、5) 成岩作用、6) 应用沉积学和资源沉积学, 以及两个专题讨论会 (干旱内流盆地中河流沉积过程与结构、显生宙碳氢化合物泄漏示踪)。来自五大洲 42 个国家约 600 名代表参加该次沉积学大会, 其中东道主西班牙人数最多 (180 人), 其次为意大利 (70 人); 我国代表人数位列第三 (50 人)。其余依次为英国 (42)、法国 (40)、德国 (30)、美国 (25)。会议共收录 550 个摘要, 三天期间 21 个会场共安排 253 个报告 (包括 10 个主旨报告和 4 个大会特邀报告)。

围绕大会主题和西班牙沉积地质特色, 会议组织了 4 条会前和 4 条会后野外路线。包括层序地层、构造控制热液白云岩化、碳酸盐岩台地、前陆盆地演化 (会前路线) 和碳酸盐岩缓坡、中白垩沙漠沉积体系、猪背盆地沉积充填、第四纪和现代泉华沉积 (会后路线) 成为会议重要的交流讨论场所。参加者达 150 余人 (包括 36 名学生会员)。

大会宣布下次会议 (29th IAS Meeting of Sedimentology) 将于 2012 年 9 月 10—13 日在奥地利风景优美的莱奥本 (Leoben) 召开 (<http://www.sedimentologists.org/ims-2012>)。建议的 13 个会议主题包括: 沉积作用过程、盆地分析、海相沉积环境、陆相沉积环境、成岩作用和流体、应用沉积学、油气系统、地质灾害—地质事件和气候特征、模拟和应用、山地沉积学、地层学与沉积相、地球物理—地震—岩石物理学、沉积矿产。计划的 10 条会议野外地质路线将成为了解奥地利阿尔卑斯的重要窗口。目前 (至 9 月底) 正在进行会场或讨论专题的主题征集。

随着我国近年地学研究的蓬勃发展, 国际沉积学会组织的相关会议将成为我们重要的学术成果交流平台, 中国研究者的参与已经开始受到 IAS 重视。29 届沉积学大会组织者欢迎我国学者、研究生和相关企业积极参与、参展。

(颜佳新供稿)