

文章编号: 1000-0550(2002)04-0639-05

鄂尔多斯盆地西北部上古生界碎屑岩 储层的孔隙结构特征初探

陈孟晋^{1,2} 刘锐娥^{1,2} 孙粉锦² 拜文华^{2,3} 黄月明²

1(西北大学 西安 710069) 2(中国石油勘探开发研究院廊坊分院 河北廊坊 065002)

3(中国地质大学 北京 100083)

摘要 碎屑岩储层的孔隙特征是油气勘探开发中最重要的研究课题之一,次生孔隙发育的特殊性更增加了研究难度。本文从微观上对鄂尔多斯盆地西北部地区上古生界碎屑岩盒8、山1储层的孔隙类型、孔隙组合、孔隙结构等方面进行了深入的分析,对于孔隙分布、孔隙成因进行了有益的探讨,提出次生孔隙是主要孔隙类型,次生孔隙发育区也是天然气的高产富集区。这些研究无疑为该区天然气勘探开发提供了重要的地质依据。

关键词 鄂尔多斯盆地西北部 碎屑岩储层 孔隙分布 孔隙成因 次生孔隙

第一作者简介 陈孟晋 男 1964年出生 博士后 高级工程师 石油地质

中图分类号 P618.130.2⁺1 **文献标识码** A

鄂尔多斯盆地西北部泛指内蒙古鄂托克旗以南、陕西定边以北、宁夏天池以东、内蒙苏里格庙以西的广大地区。该区上古生界碎屑岩盒8、山1储层埋深3 200~4 100 m,地温90~108℃,最大古埋深4 100~4 700 m,最高古地温135~190℃,镜质体反射率 R_o 1.3%~1.9%,有机质热演化属凝析气—干气阶段。

西北部地区碎屑岩储层的岩石学具有“三高一低”的特点。即石英、岩屑、填隙物等含量高,而长石含量低。石英68%~82%、岩屑18%~32%、填隙物13%~25%、长石<1%。包含蚀变矿物在内的填隙物主要有自生石英、方解石、高岭石、水云母、绿泥石、I/S间层粘土、蚀变凝灰质等,但对次生孔隙的形成与演化起决定作用的主要为蚀变凝灰质及凝灰岩屑(表1)。产层岩性粗、通常以粗中、粗、砾状砂岩为主要粒级类型。

1 孔隙形态分布特征

(1) 孔隙大小不等:从2 000~20 μm 不等,孔径呈严重的无序分布状态,层内孔径级差常大于50~100倍。

(2) 孔隙分布极不均匀:多孔与无孔伴生,缝合线与大孔隙并存,孔隙相互连通性差异较大、非均质性强。

(3) 孔隙形态不规则:孔隙伸长、如长条状孔隙;超大孔隙,孔隙大于骨架颗粒;凝灰质失水、重结晶楔

状收缩缝,不规则多边形孔隙等。

(4) 溶蚀交代结构明显:火山岩屑、凝灰岩屑、黑云母等部分或全部溶蚀;石英交代长石形成的长石假象;溶蚀蚀变成因的团块状高岭石集合体,也有人称“砂”状高岭石,电镜下高岭石单晶为不规则拉长假六方片状,堆积杂乱,成分复杂,常混有蒙脱石、伊利石和I/S间层矿物、石英质微球粒等,晶间孔发育。

(5) 孔隙类型多样:镜下见有粒间溶孔,超大孔,粒内溶孔,铸模孔,高岭石、绿泥石等粘土矿物蚀变的晶间孔,各种裂隙孔如凝灰质脱水收缩缝、粒缘缝和楔状裂隙。原生残余粒间孔通常<1/3(图1)。

2 储层孔隙组合

根据大量的铸体薄片和扫描电镜观察表明,盆地西北部地区砂岩孔隙类型复杂多变,但以次生孔隙为主,根据孔隙成因分类的标准,主要有以下几种组合类型:

(1) 粒间溶孔与超大孔隙组合

常见于凝灰质含量较高的砂岩中。孔隙直径可大于颗粒直径,孔隙多为粒间凝灰质、假杂基状凝灰岩屑、火山岩屑、绿片岩、长石等溶蚀蚀变而成,孔中常见溶蚀残余物。砂岩的孔隙连通性相对较好,如苏6井盒8段薄片面孔率10.6%。

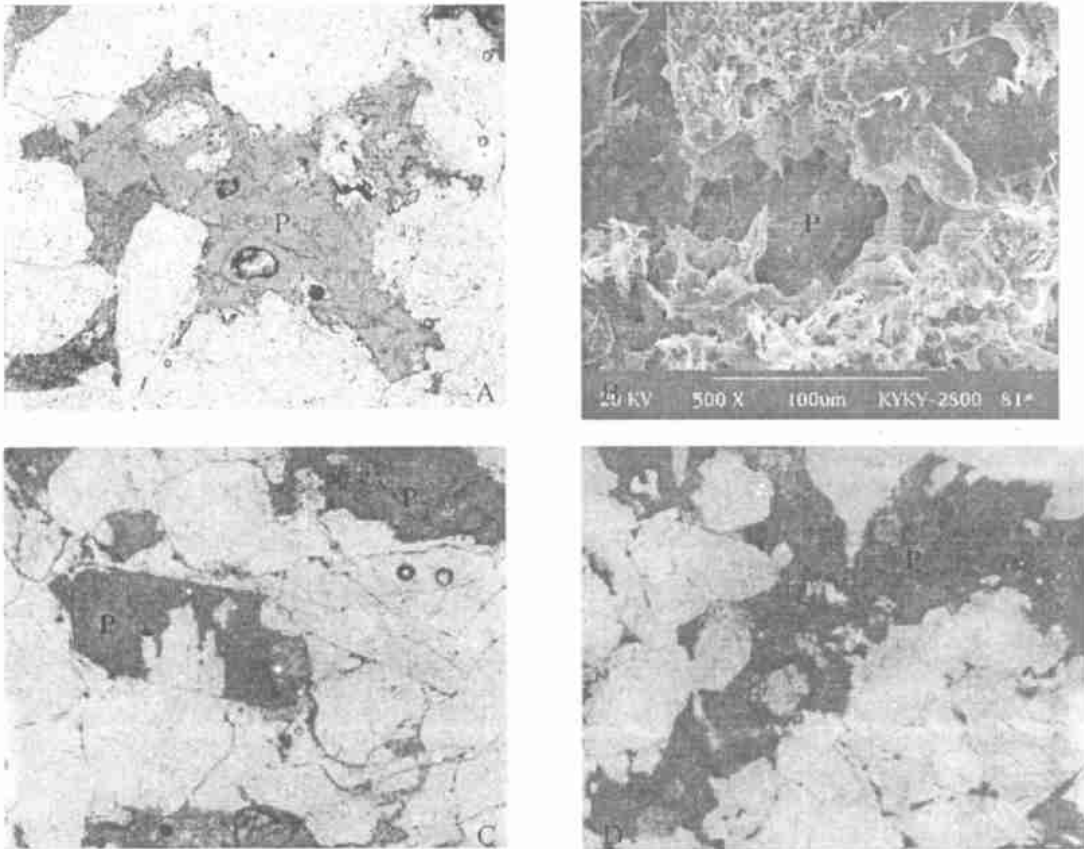
(2) 溶孔与粒间孔组合

以不稳定组分凝灰质、早期碳酸盐胶结物、黑云

表1 石英砂岩中不稳定组分能谱分析数据表

Table 1 Spectrum analysis data of the unstable components in the quartzose sandstone

井号	产状	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	MgO	CaO
		/%	/%	/%	/%	/%	/%	/%
任11	蚀变凝灰质	21.3	65.26	0.03	1.45	10.07	0.15	1.74
色1	蚀变绿色火山灰	32.22	41.95	0.72	21.4	0.54	2.96	0.21
苏7	蚀变绿色凝灰质	24.28	51.97	2.77	17.26	0.44	2.83	0.45
苏7	火山岩屑	20.6	60.76	4.07	11.71	0.43	1.63	0.78
苏6	局部脱玻化的凝灰质变形粒	20.26	70.95	4.42	3.27	0.25	0.54	0.32
苏6	凝灰质球粒	36.09	52.18	8.41	1.69	0.6	0.82	0.21
苏18	蚀变凝灰岩屑核部	31.32	56.68	7.26	3.53	0.42	0.48	0.18
苏18	蚀变残余凝灰质	34.81	51.17	3.75	6.9	0.94	2.17	0.26
苏15	方解石	1.08	1.26	0.05	2.07	0.72	0.43	90.67
芦参1	碎屑黑云母	24.84	61.57	2.26	7.42	1.04	1.3	0.66
苏15	酸性斜长石	20.27	65.13	0.49	1.25	12.41	0.13	0.32



A: 苏6盒8凝灰质溶蚀产生的超大孔红色铸体片 32×; B: 苏10盒8蚀变凝灰质中的不规则溶孔 SEM;
C: 桃6盒8长石铸模孔蓝色铸体片 40×; D: 苏6盒8长条状溶孔蓝色铸体片 40×

图1 次生孔隙的形态特征

Fig. 1 The configuration characteristics of the secondary porosity

母、绿泥石、长石类碎屑的溶解孔隙为主,砂岩中也保留有少量残余粒间孔,孔中基本无充填物,砂岩的孔隙连通性较好,如桃6井和苏6井盒8段下部局部层段。溶孔5%,粒间孔达2.2%。

(3) 溶孔与晶间孔组合

这是一种有介质渗流、但渗流扩散条件较差的孔隙组合类型,铝硅质矿物组分溶蚀蚀变形成了高岭石、自生石英为特征的成岩矿物组合。蚀变高岭石的晶间孔占面孔率 60%~80%,见少量的粒间溶孔,主要分布于苏里格庙西砂带和天环北段,溶孔-晶间孔组合可以有较高的孔隙度,但渗透性较差。如天深 1 井盒 8 段。

(4) 蚀变晶间孔与微孔组合

储层水介质交替不活跃,压实作用为主的成岩环境形成的较差一差的孔隙组合类型,孔隙类型为蚀变高岭石晶间孔,见极少量的溶孔,主要分布于天环北段,物性差。

3 孔隙结构特征

(1) 粒间溶孔与超大孔组合

毛管压力曲线表现为明显的宽缓斜平台,排替压力小于 0.2 MPa,喉道分选差,分选系数 13,如苏 6 井盒 8 高孔渗层(孔隙度 14.6%,渗透率 $2.87 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$),分选系数高达 2.54。孔喉连通性相对较好,30 MPa 的汞饱和度较高,大于 80%,束缚空间较小,为好的孔隙组合。

(2) 溶孔与粒间孔组合

毛管压力曲线表现为斜率不大的平台,排替压力小于 0.5 MPa,孔喉连通性相对较好,30 MPa 的汞饱和度大于 80%,束缚空间较小,为好的孔隙组合。

(3) 溶孔与晶间孔组合

毛管压力曲线通常呈双平台形态特征或斜率大的斜平台,排替压力变化大,孔隙喉道细,分选差,孔喉连通性较差,30 MPa 的汞饱和度较低,60%~80%,束缚空间大,但对于天然气储集而论,仍不失为较好的孔隙组合。

(4) 蚀变晶间孔与微孔组合

毛管压力曲线呈高平台、细偏态,排替压力高,大于 1.0 MPa,孔隙喉道细,喉道分选差,孔隙多呈孤立状,30 MPa 的汞饱和度小于 65%,束缚空间大,为较差的孔隙组合。

总之,与原生粒间孔类型的储层对比(图 2)本区无论那一种组合,均具有喉道分选差、喉道细,孔喉比高的特征。孔/喉一般 280~600,最高 2 840,无疑是选择性溶解蚀变作用导致孔隙结构极端的非均匀化。

4 储层物性特征说明次生孔隙是储集空间的主体

通过研究区 2 465 块物性资料统计,储层孔隙度

主要分布在 4%~12% 区间,渗透率主要分布在 $(0.1 \sim 1) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,渗透率大于 $3 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 的样品仅占 6.8%。可见,本区储层应以致密低渗透层为主。但储层物性非均质性强,低渗透带中仍然不乏高渗层,孔隙度大于 18%,渗透率大于 $500 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,从而表明层内非均质性的级差明显增大,统计表明(表 2)级差越大、含气饱和度越高、测试产量也越高,这充分反映了差异性埋藏溶解作用而形成的次生孔隙储层的物性分布特征。

5 成岩演化阶段

据埋藏史、古地温、有机酸生成史、包裹体等综合研究,本区成岩演化阶段已进入晚成岩 A-B 期,即次生孔隙发育期(图 3)。

晚成岩“A”期有机酸溶蚀一次生孔隙发育期,伴随埋深增加,在地温 80~120 °C 时,烃源岩干酪根进入成熟高峰期,干酪根中羧基以及 O、N、S 等杂原子团破裂,派生一元、多元有机酸、CO₂、NH₄、H₂S 等酸性组分对石英砂岩中不稳定组分—长石、叶绿泥石、黑云母、少量碳酸盐胶结物,特别是无色、棕色、脏绿色的凝灰质岩屑、晶屑和蚀变火山灰进行选择性地溶解和蚀变,形成大量的次生孔隙。

晚成岩“B”期即埋藏压溶再胶结成岩期,古地温 > 130 °C,有机质演化已进入湿气阶段,羧酸基团已丧失产生一、二元水溶性有机酸的能力,孔隙水的酸度变弱,pH 值向中、碱性转化。成岩矿物含铁方解石,含铁白云石、绿泥石、它形自生石英、加大边自生石英、及自

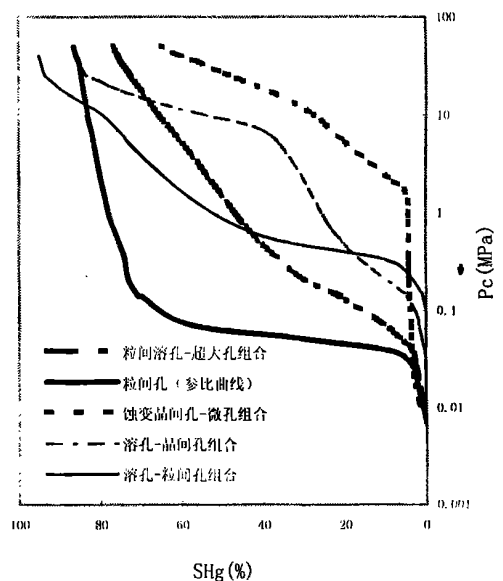


图 2 鄂尔多斯盆地西北部不同类型压汞曲线
Fig. 2 The different types the capillary pressure curves in North-west Ordos basin

表2 苏里格庙气田盒8气层物性分析数据表

Table 2 The physical analysis data of He 8 gas layer in Suligemiao gas field

井号	孔隙度 / %	渗透率 / ($\times 10^{-3} \mu\text{m}^2$)	渗透率级差	含气饱和度 / %	产量 / ($10^4 \text{m}^3/\text{d}$)
苏4	11.9	6.3	1 662	64.3	50.2
苏5	7.8	0.8	889	65.4	28.5
苏6	11.0	19.3	8 014	70.1	120.2
桃4	10.2	0.4	14	62	1.9
桃5	13.5	13.7	1 104	70.1	26.2

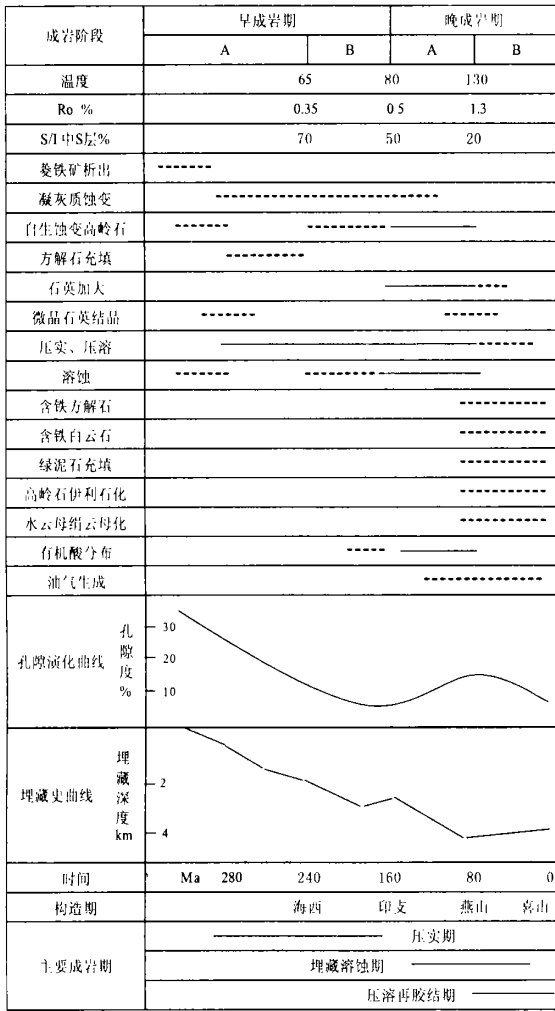


图3 鄂尔多斯盆地西北部砂岩储层成岩模式图

Fig. 3 The diagenetic model of the sandstone reservoir in North-west Ordos basin

形晶柱形石英开始重新结晶析出, 这些晚期成岩矿物使砂岩储层孔隙度降低。

成熟期烃类进入储集层, 排出孔隙水, 使储层孔隙得以保存, 烃类的聚集限制了地层水的交替渗流, 同时

成岩矿物也失去了存在的空间。

6 储层次生孔隙分布特征

(1) 碎屑岩储层次生孔隙发育带主要分布于河流及三角洲前缘相原始粒间孔相对较发育的河道砂坝、点砂坝、分流河道等微相中。

正如刘林玉等所提出的那样, 这些相带属于“原生有效碎屑岩体”, 具有形成大规模溶蚀次生孔隙的基础条件。如本区盒8段的苏15—苏6—桃6河道砂体、鄂6—苏18河道砂体、地鄂3—伊26河道砂体等均属次生孔隙为主、含少量残余粒间孔隙的储层类型。这里也可以引伸出另一个次生孔隙的分布特征: 粗砂岩中次生孔隙发育, 细砂岩中不发育。

(2) 近煤系的碎屑岩储层次生孔隙发育。显然, 煤系地层热成熟期释放有机酸量是惊人的, 李剑等模拟试验 80 °C 时每克煤的产酸率 40 mg, 120 °C 时产酸率为 20 mg, 这就意味着本区主要产层山1、山2和盒8段砂岩储层有更充足的酸性介质渗流, 形成相对发育的次生孔隙, 而盒8以上则缺乏这种介质条件, 溶孔相对贫乏。

(3) 含不稳定组分如火山岩屑、凝灰岩屑、凝灰质填隙物的净砂岩是次生孔隙的主要发育区, 而含较多水云母、千枚岩、板岩、片岩、变质粉砂岩屑的杂砂岩次生孔隙发育较差。

净砂岩良好的孔隙结构已被赵澄林等所论证, 本区净砂岩以化学性稳定的石英砂岩、石英质岩屑砂岩为主, 不稳定组分的溶蚀孔隙在稳定的支撑骨架中得以保存。与之相反的浊积、洪积型、废弃河道等杂砂岩是充填、压实作用控制下的沉积型致密砂岩, 极其困难的渗流条件必然缺乏次生孔隙, 这也就是说河道砂岩不一定是好的渗流储集体。

(4) 微裂隙发育区次生孔隙发育。详细的岩石学研究表明: 本区东部高产区的苏8、9、13、桃5等储层发现宽度 8~25 μm 的微裂隙, 这些半—全充填晚期铁方解石的微裂隙分布深度完全与主要产层的井深一致, 这也证明次生孔隙储层的孔隙形成过程中微裂隙作用是必不可少的。更确实的证据来自本区西南的定探1井, 一条宽度 3.8 mm 的微裂隙切穿致密无孔的凝灰质石英粗砂岩, 裂隙部位出现了 9% 的面孔隙度, 主要孔隙为凝灰质溶孔、溶缝、蚀变高岭石晶间孔、而离裂隙 3 mm 处的基岩、即凝灰质石英粗砂岩的面孔隙度仍然几乎为零。

(5) 次生孔隙带的分布深度为埋深 2 800~4 000 m。本区的成像测井、声波时差曲线也提出了这一观点。通过 21 口井测井资料复查, 本区碎屑岩储层

声波时差曲线上下低、中间高的次生孔隙三段式结构十分清楚,次生孔隙发育段的声波时差值在 220~260 $\mu\text{s}/\text{m}$,即孔隙度 $>7.14\%$,最大值 $>13\%$,渗透率 $>0.54\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$,最大超过 $1.54\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$,完全达到了储层级的物性标准。

次生孔隙带在苏里格庙东侧的苏6等井区埋深在 3000~3500 m 之间,苏里格庙西侧的苏18等井区埋深在 3300~3700 m,研究区西部的天池、李家场一带为 3500~4000 m。

7 结论

鄂尔多斯盆地西北部上古生界碎屑岩盒8、山1储层隶属次生孔隙为主体的孔隙性储层,选择性的 CO_2 和有机酸埋藏溶解作用、有效的原生碎屑岩储集砂体、储层高石英又含蚀变凝灰质的双组分岩石学特征、微裂隙的存在和低流体势场等有利的介质渗流条件是形成次生孔隙储层的必要条件。次生孔隙储层具有其特有的孔隙形态特征、孔隙结构特征、非均质特征

和时空分布特征。次生孔隙储层以低渗透致密储层为主,同样也有高孔高渗层,在一个广复性生烃的大型沉积盆地内,次生孔隙储层的分布同样具备普遍性和广泛性,次生孔隙带与生烃窗有良好的配置关系,次生孔隙发育带也是天然气高产富集带。

参考文献(References)

- 1 裘怿楠等. 油气储层评价技术[M]. 北京:石油工业出版社,1997 [Qiu Yinan, *et al.* Evolution method in hydrocarbon reservoir[M]. Beijing: China Petroleum Industry Press 1997]
- 2 刘玉林等. 碎屑岩储集层溶蚀型次生孔隙发育的影响因素分析[J]. 沉积学报,1998,16(2):97~101 [Liu Linyu, *et al.* Analysis on influencing factors of solution-type secondary pore-evolution in elastic reservoirs[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1998, 16(2): 97~101]
- 3 秦云龙. 砂岩储层次生孔隙预测研究[J]. 古潜山,1993,(2):21~28 [Qin Yunlong. The prediction of secondary pore in sand stonl reservoir[J]. Buried Hill, 1993, (2): 21~28]
- 4 Surdam R C, Boese S W, Crossey L G. The chemistry of secondary porosity[A]. AAPG Memoirs, 1984, 37: 127~149

Preliminary Approach on the Clastic Reservoir's Pore Textures of Upper Paleozoic in Northwest Ordos Basin

CHEN Meng-jin^{1,2} LIU Rei-e^{1,2} SUN Fen-jin² BAI Wen-hua^{2,3} HUANG Yue-ming²

1(Northwest University, Xi'an 710069)

2(Langfang Branch, Institute of Petroleum Exploration and Development, CNPC, Langfang Hebei 065002)

3(China University of Geology, Beijing 100083)

Abstract The study on the pore texture of clastic reservoirs is one of the most important work in the oil and gas exploration and development. The particularity of the distribution of secondary pore makes the study more difficult. Through analyzing the clastic reservoirs' pore types, pore combinations and pore textures of upper Paleozoic in northwest Ordos Basin, the authors analyzed the pore's distribution and genesis. Finally, the authors indicate that the predominant pore type is secondary pore. Undoubtedly, all of these will be important to the gas exploration and development in this area.

Key words Northwest Ordos Basin, clastic reservoir, the distribution of pore, the pore's genesis, secondary pore