

实验技术方法

砂岩储集岩的分类与评价

王允诚 杨宝星 黄仰洲

(成都地质学院)

砂岩储集岩几乎都是孔隙性储集岩。七十年代以来,国内外对砂岩的孔隙几何学已有了不少专门的研究,人们逐渐认识到,尽管砂岩组份稳定,但在漫长的成岩过程中,由于物理化学条件的改变,岩石经历了一系列成岩变化,砂岩的孔隙类型和孔隙结构相应变得十分复杂。

本文所用的样品取自松辽盆地第三系、陕甘宁盆地延安组及延长统、苏北盆地阜宁组、四川盆地中侏罗统香溪群以及新疆乌尔禾组等,共一千多块样品进行了孔隙度、渗透率的常规测定,孔隙铸体薄片鉴定以及压汞法孔隙结构测定。

孔隙铸体薄片主要鉴定其孔隙几何形态,孔隙类型及其成因;从压汞法孔隙结构测量可取得排驱压力、饱和度中值压力以及最小非饱和孔隙体积等三个参数,从而可研究砂岩的孔隙大小及其分布规律。每个样品在取得上述几项数据后,然后,结合油田实际产能,进行综合分类和评价。

一、砂岩储集岩的孔隙类型

通过孔隙铸体薄片鉴定,观察到的基本孔隙类型有:

粒间孔隙(A)

砂岩孔隙为颗粒支撑或杂基支撑,含

少量胶结物,以粒间孔为主。具有孔隙大、喉道粗、连通性好的特征,一般孔隙度及渗透率较好。大庆油田第三系葡I层的细砂岩油层、陕甘宁盆地马岭地区的侏罗系产层以及苏北下第三系阜宁组部分油层等均属此类。如陕甘宁盆地岭9井延10层,中一细砂岩、细砂岩,水云母杂基含量为0—2%;石英普遍次生加大;粒间孔发育良好;孔隙率达18.5—24%;渗透率为100—125毫达西(图版I1)。

杂基内微孔隙(B)

此种类型的孔隙包括泥状杂基沉积在石化时收缩形成的孔隙及粘土矿物重结晶时形成的孔隙。高岭石、绿泥石、水云母及碳酸盐泥杂基中,均有此类孔隙。孔隙极为细小,一般小于0.2微米。此种孔隙虽然可以形成百分之十几的孔隙度,但是由于孔喉半径细小,渗透率往往很小。如陕甘宁盆地马岭南70井延10层砂岩上部油层段的砾状砂岩,其水云母粘土含量较多,平均孔隙率为14.4%,渗透率仅3毫达西左右(图版I2)。此类孔隙在所有砂岩中均有存在。

矿物解理缝和岩屑内粒间微孔(C)

长石和云母等解理发育的矿物,常见有片状或楔形解理缝,宽度大都小于0.1

微米,有的可达0.2微米。它在各种孔隙含量中只占很小的百分数。有时可见到极少量岩屑内颗粒间微孔,此类孔隙的储集特征与(B)类相似。由于连通性差,渗透率甚微。苏北下第三系阜宁组和河南第三系沙河街组的砂岩中常见此类孔隙(图版I 3)。

纹理及层理缝(D)

由于不同岩层的岩性或颗粒排列方向的差异,沿缝理或层理常具缝隙,它是致密砂岩的良好渗滤通道。有时渗透率具有方向性。

溶蚀孔隙(E)

此类孔隙由碳酸盐、长石、硫酸盐或其它可溶组份溶解而形成。它又可分为:

溶孔(E_A):大小不受颗粒边界限制,边缘呈港湾状,形状不规则,有的比邻近的颗粒大得多(图版II 4、5)。苏北下第三系阜宁组三段上部砂岩层内见有溶蚀孔隙;大庆油田第三系葡I组砂岩虽然以粒间孔为主,但也存在少量溶蚀孔隙。

铸模孔(E_B):包括颗粒的铸模和粒间易溶胶结物的铸模。新疆克拉玛依二迭系乌尔禾组的砾岩胶结物内的铸模孔即为一例(图版II 6)。

颗粒内和胶结物内溶孔(E_C):这种孔隙是早期易溶矿物交代了颗粒而后被溶解形成的,常呈蜂窝状。发育相当普遍,在川中香溪群砂岩、陕甘宁盆地侏罗系产层中均可见到(图版II 7)。此外,当介质条件变化时,胶结物组份部分溶解,形成胶结物晶内溶孔(图版II 6)。从国内几个油田的储层情况看来,溶蚀孔隙的发育,一般都使砂岩的储集性变好。

晶体再生长晶间隙(F)

胶结物充填未饱和孔、胶结物晶间孔(G)

石英的再生长使原生粒间孔减少,只在再生长的晶体之间保存了细小的四面体孔或片状缝隙。四川中侏罗统香溪群的长石石英砂岩中,石英再生长发育,大部分呈嵌接接触,仅在局部有片状晶间隙及细小的四面体晶间孔存在,储集性能明显变差。新疆乌尔禾组的火山砾岩中,方沸石胶结物内存在晶间孔隙(图版II 8)。

收缩孔隙(H)

构造裂隙(I)

老君庙M层、川西北须家河组,辽河油田第三系砂岩中,都具有相当发育的微裂隙,它不仅构成了一定的储集空间,而且是孔隙之间的连通通道。微裂隙呈细小片状,缝面绕颗粒弯曲。粘土、海绿石、鲕绿泥石和植物碎屑在收缩时,可形成收缩孔隙。

实际的砂岩储集层,往往是各种孔隙类型的混合体。对于这种混合孔隙类型的砂岩,毛细管压力曲线可反映出它们的特征。

二、各种孔隙类型的砂岩的储集性能

对国内一些地区的储油砂岩进行了研究,发现油层的产能与砂岩的孔隙度、渗透率、毛细管压力参数及孔隙类型有关(表1)。由表1可知,砂岩的孔隙度、渗透率、毛细管压力参数及孔隙类型,可作为评价砂岩储集性能的依据。现将国内一些主要油气田中储油砂岩的孔隙类型、毛细管压力参数、孔隙度、渗透率和产能等

资料列于表2。从表2可归纳出如下四种储集类型：

储集砂岩的性能与孔、渗、孔隙结构类型的关系表

表 1

地区	层系	孔隙度 (%)	渗透率 (毫达西)	排驱压力 (大气压)	饱和度中值 (大气压)	主要孔隙类型	产能 (单井日产)	
松辽	葡 I—III 层	20—30	100—5000	<0.1—1.5	0.7—3	A	大于100吨	
甘肃	M 油层	好	20—25	30—100	1—4	3—10	G、A、I	几十吨
		中	17—20	10—30	4—8	50—80	G、B	几吨
		差	10—17	0.5—10	10—20	>100	B、F	很微
江苏	阜宁组	好	20—30	2—400	<0.1—4	1—2	A、Ea	<100吨
		差	10—20	0.3—20	3—15	6—40	B	几百公斤到几吨
河南	沙河街组	好	16—23	60—1000	0.2—1	1—6	A	几十吨
		差	7—16	0.3—40	2—7	15—50	B	无产能
四川中部	香溪群	5—9	<0.1—5	7—45	3—>100	F	产微气到无产能	
四川北部	须家河组	1—5	<0.1	>20	>70	F	无产能	
陕北	延长统	9—15	0.1—5	3—30	10—>50	B	压裂后低产能	
	延安组	15—25	5—300	<1—4	8—20	B、A	几吨到几十吨	
华北	沙河街组	15—25	2—500	0.2—6	2—25	B、A	十几—100吨	

储集砂岩的性能及类型对比表

表 2

类别	I			II			III		IV	
	a	b	c	a	b	c	a	b		
主要孔隙类型	A或B	A或E	A或E、B	B、G	B、G	B、G	B或F	B或F	B或F	
次要孔隙类型	B、I、C	B、D、C	C	A、E、I	A、E	E	D、I	D、H	H	
粒度范围	粗、中、细	中、细	中、细、极细	细、极细	细、极细	细、粉	细、极细	细、粉	极细、粉	
孔隙度 (%)	>25	20—30	20—30	13—20	13—20	12—18	9—12	7—9	<6	
渗透率 (毫达西)	>600	100—600	100—300	10—100	5—50	1—20	0.2—1	0.1—0.5	<0.1	
毛细管参数	P_d (大气压)	<0.1	0.1—1	0.1—1	1—3	3—5	5—7	7—11	11—15	>15
	P_{c50} (大气压)	0.7—2	2—15	15—30	5—15	15—30	15—50	30—60	60—90	>90
	S_{min} (%)	<20	<20	<30	20—35	20—35	25—35	25—45	35—50	>50
主要连通孔隙半径 r_d (微米)	>75	7.5—75	7.5—75	2.5—7.5	1.5—2.5	1.07—1.5	0.83—1.1	0.68—0.8	<0.68	
评价	非常好 单井日产 油百吨以上	很好 单井日产 油近百吨	较好 单井日产 油数十吨	中上等 每天几 十吨	中等 每天十 几吨	中下等 每天几 吨	较差 每天几 百公斤	很差 无自然 产压裂 投产	非工业 性油气 储集岩	

1. 储集性能好的砂岩

这类储集岩的主要孔隙类型为原生粒间孔隙或次生溶蚀孔隙。大部分孔隙喉道半径大于7.5微米，但由于存在少量杂基和胶结物，也有一部分孔隙为小喉道所控制，孔隙度一般大于20%；渗透率大于100毫达西；毛细管压力曲线特征为歪度略粗，属于中等到小的孔隙和细的喉道；孔隙分选性变化较大，从差到较好都有；饱和度中值压力一般小于15大气压。根据孔喉分选的差别又可分成三个亚类（表2）。大庆油田第三系葡I—III组砂岩即属此类型，图1为它的毛细管压力曲线。

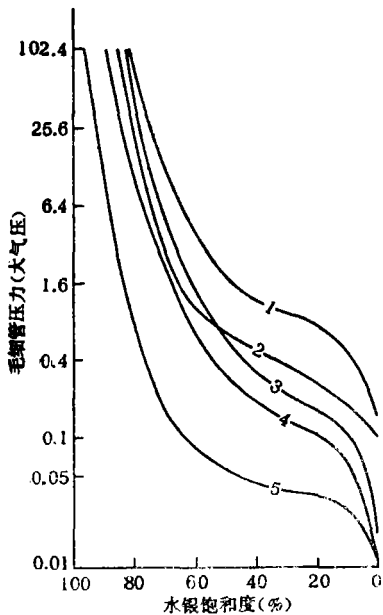


图1 大庆油田第三系葡I—III组的砂岩毛细管压力曲线图

井号	孔隙度(%)	渗透率(毫达西)
1 庆12	26.39	172.67
2 庆18	29.71	860.50
3 庆7	29.20	1183.60
4 庆5	31.70	1729.00
5 庆23	18.60	4702.90

2. 储集性能中等的砂岩

这类储集岩的主要孔隙类型为杂基内

孔隙、胶结物晶间隙以及部分未被胶结物充填满的孔隙，还有少量粒间孔及溶蚀孔。由于杂基含量增多，部分粒间孔或溶蚀孔为杂基内小孔喉道所控制。最大的孔喉半径在1—7.5微米的范围内；孔隙度约12—20%；渗透率变化范围为1—100毫达西；毛细管压力曲线特征为歪度略粗，属于中等到小的孔隙和细的喉道；孔隙分选性变化较大，从差到较好都有；饱和度中值压力一般小于30大气压；单井产量一般每天几吨到几十吨。根据孔喉大小及分选程度，又可分为三个亚类（表2）。陕甘宁盆地延安组及苏北盆地阜宁组的部分储油砂岩即属此种类型。其毛细管压力曲线形态如图2所示。

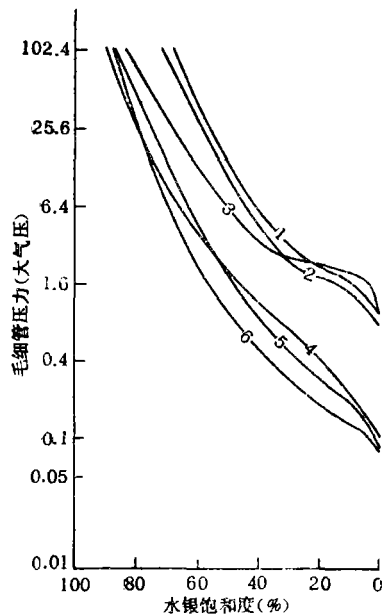


图2 陕甘宁盆地延安组及苏北盆地阜宁组产层的砂岩毛细管压力曲线图

井号	孔隙度(%)	渗透率(毫达西)
1 延2	20.41	89.3
2 延11	19.93	103.5
3 延19	20.44	64.5
4 苏13	29.59	163.0
5 苏4	27.03	126.5
6 苏14	31.58	332.7

3. 储集性能差的砂岩

这类储集岩的主要孔隙类型为杂基内的微孔隙，或者是晶体再生长形成的晶间隙。薄片内几乎找不到粒间孔或溶蚀孔。砂岩粒级为细砂—粉砂，杂基含量较多，粒间隙几乎全部被杂基充填。石英的次生加大十分发育，从而使粒间隙缩小，形成一些晶间孔。孔隙间的连通孔喉半径一般

在0.68—1.07微米之间；孔隙度约7—12%；渗透率很低，仅0.1—几毫达西；排驱压力及饱和度中值压力均很高，打开油层时，单井产量每天只有几百公升到几吨。通过增产措施后，产能可以增加十倍左右，但递变速度较快。陕甘宁盆地的延长统以及四川中部的香溪群产层则属于此种低产能储层。其毛细管压力曲线如图3所示。

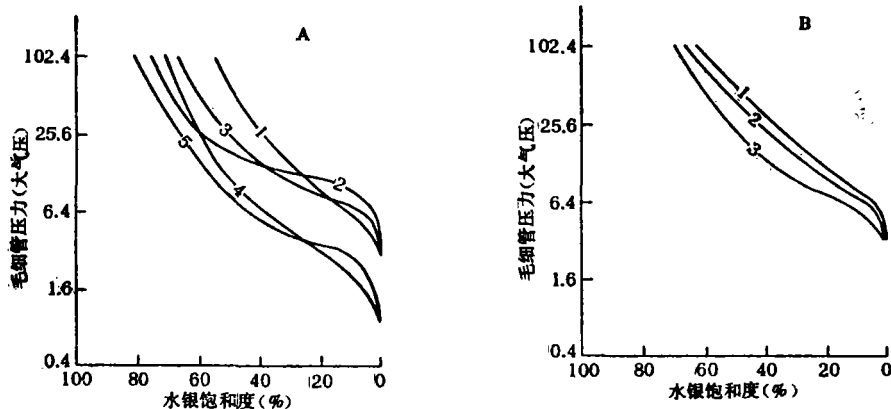


图3 低产能毛细管压力曲线图

A 陕甘宁盆地延长统

井号	孔隙度(%)	渗透率(毫达西)
1 阳144	10.29	0.52
2 阳394	13.53	1.29
3 阳 14	11.36	0.43
4 华106	15.20	1.90
5 华 97	14.10	3.20

B 四川盆地香溪群

井号	孔隙度(%)	渗透率(毫达西)
1 遂3	5.07	0.21
2 遂5	6.02	0.20
3 遂9	11.42	0.71

4. 非工业性储集砂岩

这类储集岩的孔隙类型为杂基内的微孔隙及晶体再生长晶间隙。镜下几乎见不到孔隙，杂基及胶结物充满了全部孔隙；晶体再生长成嵌接触。砂岩粒级为极细到粉砂级。主要连通孔隙喉道半径均小于0.68微米；孔隙度一般都小于6%；渗透率小于0.1毫达西；毛细管压力曲线特征为明显的细歪度；饱和度中值压力高达90大气压以上，最小非饱和的孔隙体积超过

总孔隙体积的一半。这类砂岩即使含油，在目前也无工业价值。

砂岩储集性能的分类评价在国内开展得较少，特别是将砂岩的孔隙类型和孔隙大小分布资料结合起来研究，还只是一个尝试。上述分类纯属统计归纳性质，但由于结合实际产能进行探讨，就具有实用意义。今后如能对孔隙成因、类型及其大小分布规律进行研究，无疑文中所提的分类标准对石油勘探与开发将起到一定的促进作用。

(收稿日期 1980年10月11日)

CLASSIFICATION AND EVALUATION OF SANDSTONE RESERVOIR

Wang Yuncheng Yang Baoxing Huang Yangzhou

(Chengdu College of Geology)

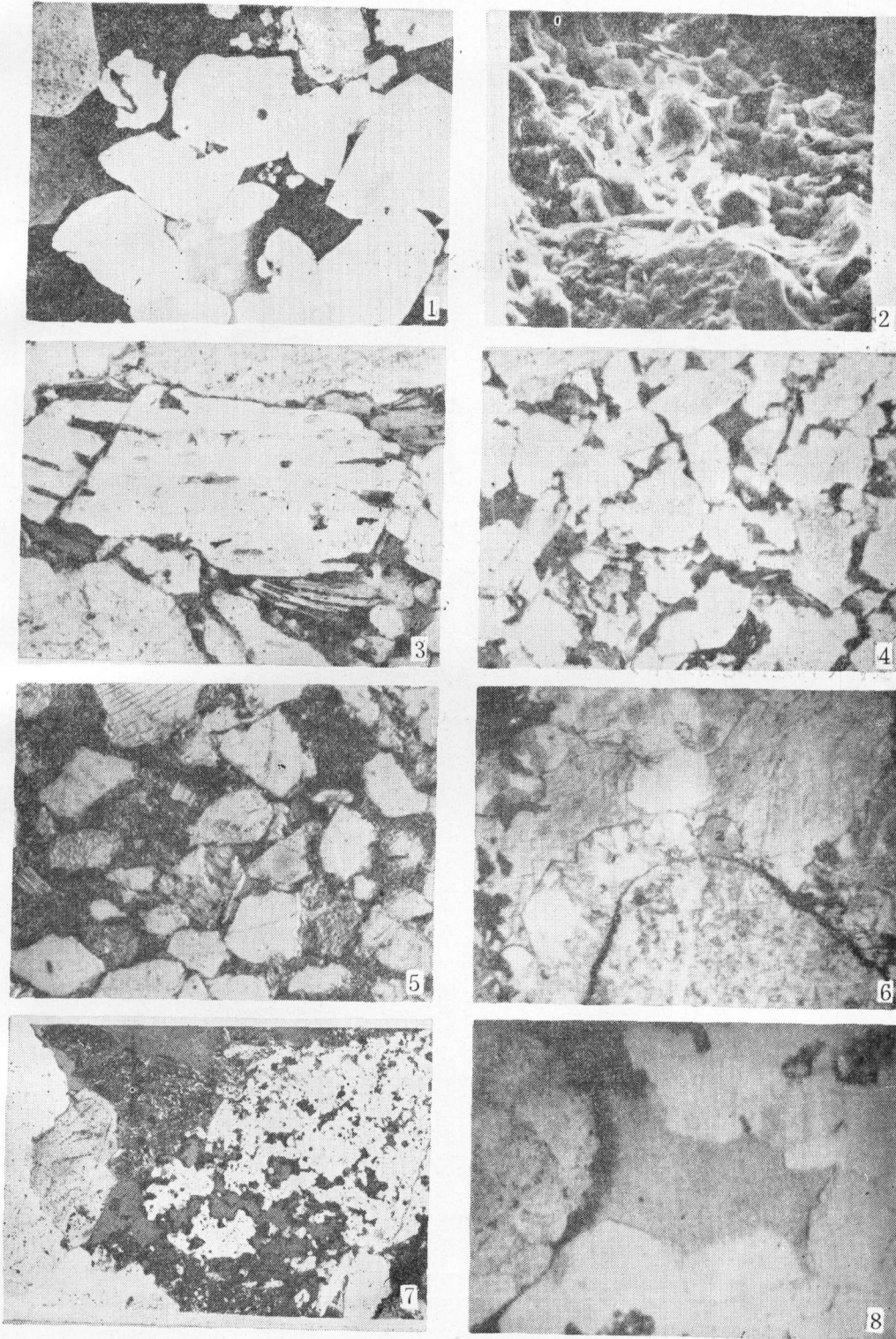
Abstract

This paper briefly describes the pore types of sandstone reservoir which are located in some regions of China. Then, according to the pore type and pore-size distribution data, the sandstone reservoirs are classified and evaluated with respect to oil production capacity. Studies indicate that sandstone reservoir in China can roughly be divided into three categories, (i) Sandstones which mainly involve intergranular pores and dissolved corrosion pores possess good physical properties. Their capillary pressure curves show rough-skewness and well sorting, their natural production capacities are high, (ii) Sandstones which mainly involve micropores, interstitial pores and cement intercrystal pores in matrix possess poor to medium physical properties. Their capillary pressure curves show fine-skewness and poorly sorting, so they have only medium to low natural production capacities, (iii) Sandstone reservoir loses its commercial value when its radius of an essential part of pore-throat-size are smaller than 0.68 micrometre. Table of classification and evaluation is listed in this paper. Unquestionably, it gives petroleum geologists much convenience for accelerating the discovery of beneficial accumulation zone in beneficial lithofacies zones.

图 版 I 说 明

王允诚等：砂岩储集岩的分类与评价

- 照片 1 $\times 100$ 正交偏光 细—中粒石英砂岩粒间孔 黑色部分为孔隙 陕甘宁盆地 马岭
侏罗系 延10层 (据朱国华)
- 照片 2 电子扫描照片 $\times 500$ 伊利石杂基内的微孔 陕甘宁盆地 马岭 侏罗系 延10层
(据朱国华)
- 照片 3 $\times 300$ 平行偏光 砂岩内长石碎屑中的解理缝 河南 第三系 (铸体薄片)
- 照片 4 $\times 300$ 平行偏光 砂岩内的溶蚀孔隙 石英边缘溶蚀成港湾状 颗粒间的深灰色部分为
孔隙 河南 第三系 (铸体薄片)
- 照片 5 $\times 50$ 平行偏光 砂岩中的溶蚀孔隙 石英再生长边遭溶蚀 深灰色部分为 孔隙
江苏 下第三系 阜宁组 (铸体薄片)
- 照片 6 $\times 50$ 平行偏光 砾岩胶结物内方沸石的铸模孔 自形方沸石晶体沿砾石边 缘 生 长
砾间其余部分为方解石充填
(1)方沸石晶体部分溶蚀形成晶内孔
(2)方沸石晶体全部被溶蚀形成铸模孔、溶孔保留其晶体外形
新疆 克拉玛依 二迭系 乌尔禾组 (铸体薄片)
- 照片 7 $\times 100$ 平行偏光 长石碎屑内的溶蚀孔隙 黑色处为沥青充填的孔隙 深灰色部分为孔
隙 陕甘宁盆地 侏罗系 (铸件薄片)
- 照片 8 $\times 50$ 平行偏光 砾间孔隙未被方沸石胶结物填满而留下的孔隙 灰色部分为孔隙
新疆 克拉玛依 二迭系 乌尔禾组



(图版说明见324页)