

文章编号: 1009-3850(2002)03-0069-05

渝东武隆上寒武统孔隙结构特征及成岩作用研究

王志宏, 李建明, 高振中, 罗顺社

(江汉石油学院, 湖北 荆州 434102)

摘要: 渝东武隆上寒武统地层, 储集空间以次生孔隙为主, 包括晶间孔、晶间溶孔、粒内溶孔、粒间溶孔、铸模孔、溶洞、裂缝。成岩作用是影响储集性能的主要因素。研究区成岩作用, 依据其对孔隙的影响, 以及本组地层特征可分为建设性成岩作用和破坏性成岩作用两种类型, 前者包括白云石化作用、溶蚀作用、破裂作用; 后者包括胶结作用、压实压溶作用、充填作用。

关键词: 孔隙结构; 成岩作用; 渝东

中图分类号: P588.2

文献标识码: A

1 概述

渝鄂湘边区位于扬子陆块中部, 是我国南方古生界及震旦系海相地层油气勘探的有利地区。渝东地区构造、地层露头良好, 出露有从震旦纪到第四纪各时代的地层, 以下古生界及中古生界出露面积较广。在前人研究的基础上, 通过笔者实地研究分析可知, 渝东地区上寒武统地层自下而上可分为后坝组、毛田组, 其岩性以泥粉晶白云岩、砂屑鲕粒或细晶白云岩、颗粒白云岩为主, 属碳酸盐岩的开阔台地相与局限台地相的交互沉积^[1]。岩层中孔隙大量发育, 是油气聚集的良好层段, 因此, 研究其孔隙结构特征, 对于指导油气勘探、确定兼控目的层有着重要的意义。

2 孔隙结构

2.1 孔隙类型

根据对岩石薄片、铸体薄片、扫描电镜等方面的观察与分析, 渝东武隆上寒武统储层孔隙类型可分为原生孔隙和次生孔隙两大类, 其中原生孔隙包括原生粒间孔隙、生物骨架孔隙、遮蔽孔隙、鸟眼孔隙

等, 次生孔隙包括晶间孔、晶间溶孔、粒内溶孔、粒间溶孔、铸模孔、溶洞、裂缝等。原生孔隙绝大多数已被充填, 具有储集意义的主要是次生孔隙^{1~3}。

晶间孔 主要见于晶粒白云岩和颗粒白云岩中, 孔隙沿晶间分布, 孔隙边界平直, 呈多边形或三角形。孔隙大小为0.015~0.0625mm, 孔隙部分被白云石或方解石充填或未充填, 其孔隙度较高, 孔隙连通性好, 是研究区主要次生孔隙之一。

晶间溶孔 区内晶间溶孔大多是在晶间孔的基础上经小溶液淋滤、溶解作用形成。孔径大小不一, 大多在0.02~0.1mm之间; 孔隙度较高, 可达2%~8%。这类孔隙是研究区最发育的次生孔隙之一。

粒间溶孔 这类孔隙是研究区较为发育的次生孔隙之一, 主要见于亮晶颗粒云岩或灰岩中, 孔隙分布一般不均匀。

粒内溶孔 这类孔隙是由于鲕粒、砂屑或晶粒等内部被溶解形成的, 它的形成与淡水的淋滤、溶解作用有关, 其孔隙度较低, 一般小于1%~2%, 连通性差。

铸模孔 这类孔隙是由上述溶解作用进一步发展, 颗粒或晶粒组分完全被溶解而形成的, 这类孔隙

见于颗粒云岩或具重结晶的晶粒白云岩中,分布不普遍,孔隙度低。

裂缝 研究区局部发育少量构造裂缝,具一组或二组以上多期次构造缝,缝宽多在0.05~1cm之间,延伸小于1m,线密度为2~10条/m;多斜交层面发育,为方解石或石英全充填、半充填。

溶洞 溶洞在上寒武统白云岩中十分发育,孔径5~10cm的大洞及孔径大于10cm的巨洞均大量发育。上寒武统内的溶洞可以分为两类:一类溶洞多顺层分布,长轴方向平行于层面,为沿层面附近发育溶孔的基础上经进一步溶蚀作用而形成的;另一类溶洞呈窜层分布,为淡水沿垂直或斜交层面的缝隙淋滤窜通沿层面发育的溶孔及溶洞并进一步溶蚀而形成。大洞主要发育于泥粉晶白云岩中,而巨洞在

各种岩性中均可发育。溶洞主要发育于后坝组上部及毛田组的下部,多为方解石、白云石、角砾及泥质半充填或未充填。这类孔洞多形成于表生成岩环境,为近地表生溶解作用的产物。

2.3 孔隙结构特征

研究区上寒武统各组碳酸盐岩储层代表性样品的孔隙结构特征参数见表1、表2。

后坝组 由表中可知,该组储层孔喉均值(D_m)变化于0.0595~5.027 μm ,以小于0.5 μm 的小喉为主,约占测试样品的55%;其次为小于0.4 μm 的微喉,占30%,最小非汞饱和度(S_{min})范围为10%~87%,以小于40%为主。该组储层孔喉大小总体比较粗。排驱压力值(P_d)为(0.010~2.633) $\times 10^6\text{Pa}$,平均排驱压力为1.11 $\times 10^6\text{Pa}$ 。其中 P_d 小于1 $\times 10^6\text{Pa}$ 的储层

表1 渝东上寒武统后坝组主要储层孔隙结构特征参数表

Table 1 Characteristic parameters for the porosity textures of the reservoir rocks in the Upper Cambrian Houba Formation, eastern Chongqing

样品编号	岩性	$\varphi/\%$	$K/10^{-3}\mu\text{m}^2$	$P_d/10^6\text{Pa}$	$P_{c50}/10^6\text{Pa}$	$R_d/\mu\text{m}$	$R_{50}/\mu\text{m}$	$D_m/\mu\text{m}$	S_{KP}
101-C ₃	粒屑云岩	10.8	0.559	1.13	4.304	0.6637	0.1742	0.246	2.168
105-C ₁	粒屑云岩	2.80	0.02	0.771		0.9732		0.1619	3.694
109-C ₂	粒屑云岩	4.5	0.068	1.331	116.92	0.5635	0.0443	0.1456	2.605
111-C ₁	粒屑云岩	3.1	0.072	1.961	19.33	0.3823	0.0387	0.0878	2.809
116-C ₁	粒屑云岩	4.1	0.055	0.01	3.724	75	0.2013	3.974	2.629
116-C ₂	粒屑云岩	2.7	0.042	0.02	8.02	37.34	0.0935	2.161	2.914
116-C ₃	粒屑云岩	4.7	0.077	0.01	6.658	75	0.1126	5.027	2.376
119-C ₁	粒屑云岩	1.6	0.012	0.02		37.25		2.826	3.710
121-C ₂	细晶云岩	2.5	0.019	2.633	23.68	0.2847	0.0316	0.0595	2.928
126-C ₁	粒屑云岩	10.3	39.5	0.313	0.914	2.397	0.8205	0.8555	1.495
127-C ₂	细晶云岩	12.2	0.752	0.681	1.184	1.101	0.6334	0.4824	0.7663
130-C ₁	粒屑云岩	5.5	0.79	0.642	1.127	1.168	0.6651	0.4787	0.7732
132-C ₁	粒屑云岩	4.4	8.8	0.915	2.244	0.8193	0.3341	0.307	1.606
139-C ₂	细晶云岩	8.8	0.705	0.758	1.547	0.9899	0.4845	0.4125	0.9336

表2 渝东上寒武统毛田组主要储层结构特征参数表

Table 2 Characteristic parameters for the porosity textures of the reservoir rocks in the Upper Cambrian Maoian Formation, eastern Chongqing

样品编号	岩性	$\varphi/\%$	$K/10^{-3}\mu\text{m}^2$	$P_d/10^6\text{Pa}$	$P_{c50}/10^6\text{Pa}$	$R_d/\mu\text{m}$	$R_{50}/\mu\text{m}$	$D_m/\mu\text{m}$	S_{KP}
152-C ₁	粒屑云岩	4.0	0.02	0.022	3.9	34.34	0.1922	3.208	2.493
154-C ₁	粒屑云岩	7.5	1.01	0.049	0.8845	15.25	0.8478	1.655	2.764
156-C ₁	粒屑云岩	5.6	0.405	0.066	0.8583	11.36	0.8737	1.4	2.518
164-C ₁	中晶云岩	10.7	15	0.052	0.1974	14.36	3.799	3.59	1.862
172-C ₁	粒屑灰岩	6.7	0.098	0.13		5.76		1.34	2.428

占大多数。

上述特征表明,该组储层大多数具排驱压力值小,最小非汞饱和度低的特点,反映其孔隙结构条件良好。

毛田组 该组储层孔喉均值变化于 $1.34 \sim 3.59 \mu\text{m}$,喉道类型多样,以中一大喉为主,约占60%, $0.04 \sim 0.5 \mu\text{m}$ 的小喉占40%。该组储层孔喉大小总体比较粗。排驱压力值变化于 $(0.022 \sim 0.13) \times 10^6 \text{Pa}$,均小于 $1 \times 10^6 \text{Pa}$,平均为 $0.06 \times 10^6 \text{Pa}$ 。最小非汞饱和度在19%~55%之间,以小于30%的为主,占80%,反映大孔喉比例较大。

上述特征表明,该组储层大多数具排驱压力值小,最小非汞饱和度低的特点,反映其孔隙结构条件非常优良。

2.2 孔隙结构评价

通过对孔隙结构特征的分析可知,约30%左右的后坝组储层和40%的毛田组储层岩样毛管压力特征为细歪度,分选中等,孔隙度变化于2.4%~10.8%,渗透率变化于 $(0.02 \sim 0.705) \times 10^{-3} \mu\text{m}$,孔隙中值半径为小喉,最小非汞饱和度低,说明孔喉结构一般,为粗孔小喉型或细孔小喉型(表3),具有一定的储渗能力,但为细小的喉道所控制,为攻关挖潜的对象。

约15%左右的后坝组储层和约60%的毛田组储层岩样毛管压力特征为粗歪度,分选好,孔隙度变化为5.5%~12.2%,渗透率变化为 $(0.79 \sim 15) \times 10^{-3} \mu\text{m}$,孔隙中值半径为中喉和大喉,最小非汞饱和度非常低,说明孔喉结构好,为粗孔(细孔)中喉和粗孔大喉型,具有工业性储渗能力。

3 成岩作用

成岩作用在很大程度上决定着储层的储渗性,这种影响具有双重性,既有充填或缩小孔缝导致储渗性变差的一面,又有形成新的孔缝改善储渗性的一面。依据成岩作用对孔隙的影响,以及本组地层特征,可分为建设性成岩作用和破坏性成岩作用两种类型^[1,3]。

3.1 建设性成岩作用

研究区上寒武统地层中建设性成岩作用主要包括白云石化作用、溶蚀作用和破裂作用。

1. 白云石化作用

(1) 回流渗透白云化作用。主要见于海底潜流环境,岩石类型为亮晶粒屑云岩或粉晶云岩。岩石孔隙较发育,主要为白云石晶间孔,可作为储集层。

(2) 埋藏白云石化作用。主要为深埋藏环境下混合水白云石化作用,代表性的岩石类型为细晶-中晶白云岩。原岩结构类型多为亮晶砂屑或亮晶鲕粒结构。上述特征表明研究层内细晶-中晶白云岩系后期交代产物,主要发生于深埋环境。但是,有相当部分的细晶-中晶白云岩主要由原浅滩相颗粒白云岩因重结晶作用形成。

除上述类型的深埋白云石化白云岩外,还在少量的深埋压溶白云石化的发育。白云石化多分布在缝合线两侧,白云石晶形完好,以自形为主,晶体表面干净。这种白云石化虽然不具规模,但是,因它与压溶缝合线伴随,其晶间孔与缝合线能大大改善岩石的渗透性。

(3) 混合水白云化作用。混合水白云化发生于

表3 碳酸盐岩孔隙结构及储集岩分类表

Table 3 Classification of the reservoir rocks and porosity textures of the carbonate rocks in the study areas (modified from Kong Jinxiang et al., 1994)

储集岩级别	孔隙结构类型	中值喉宽 $R_{50}/\mu\text{m}$	基质克氏气体渗透率 $K_1/\mu\text{m}$	孔隙度/%	评价	孔隙类型
I	粗孔大喉型	> 1.0	$> 1 \times 10^2$	> 12	好的孔隙型储集岩	粒间溶孔及砾间孔洞
II	粗孔中喉型或细孔喉型	$1.0 \sim 0.2$	$1 \times 10^{-2} \sim 2.5 \times 10^{-4}$	$5 \sim 12$	较好的裂缝-孔隙型储集岩,易采	溶孔、粒间溶孔、确定间孔洞
III	粗孔小喉型或细孔小喉型	$0.2 \sim 0.03$	$2.5 \times 10^{-4} \sim 4.4 \times 10^{-6}$	$2 \sim 5$	中等的裂缝-孔隙型储集岩,难采	晶间孔、溶孔、砾间孔洞
IV	微隙微喉型	< 0.03	$< 4.4 \times 10^{-6}$	< 2	差。若有缝洞可产生工业气流	微晶间隙、晶间孔及溶孔

注:据孔金祥等(1994),稍修改

混合水环境,所形成的岩石也常具有残余砂屑结构,岩石类型为粒屑云岩及粉晶云岩。岩石孔隙发育,有粒内溶孔、晶间孔及晶间溶孔,如果没有晚期胶结物的充填,能作为良好的储集层。

2. 溶蚀作用

根据溶蚀作用的特征,可将研究层段划分出4期溶蚀作用(表4):淡水淋滤溶蚀作用、埋藏溶蚀作用、表生溶蚀作用和构造阶段抬升-暴露环境的溶蚀作用。

溶蚀作用的发生,起到了扩大和增加岩石孔隙的作用,可大大改善岩石的储集性能。

3. 破裂作用

破裂作用的发生,在岩石中形成十分丰富的构造裂缝,这不仅可以改善储层的连通性能,而且裂缝本身亦是油气储集的良好场所。区内构造缝具有多期次、多方向的特点,根据野外观测结果表明,至少存在4个组系的构造裂缝:北东向、北西向、近南北向和近东西向,以北东向、北西向两个组系为主。早期形成的裂缝一般多被方解石、石英半充填—全充填,主要形成于印支-燕山期。晚期形成的裂缝未充填—半充填,较紧密,主要为喜马拉雅期形成,具有储集意义。

3.2 破坏性成岩作用

1. 胶结作用

胶结使用的成岩效应是生成大量的胶结物,堵塞孔隙,对岩石的原生孔隙产生负影响。按其结构的不同,可将上寒武统岩层中的胶结物分为以下两种类型:(1)纤状等厚环边胶结物,分布于砂屑、鲕粒等类型颗粒的周围,常构成第一代胶结物。第二代胶结物常为粒状。这类等厚环边胶结物形成于海底潜流环境。(2)粒状胶结物,常具多世代粒状胶

结特点,第一世代为细粒状,第二世代为粗粒状,围绕各类型颗粒生长,缺乏纤状等厚环边胶结物,主要形成于淡水潜流环境,为低海平面期浅滩暴露在海平面以上受大气淡水胶结所致。

2. 压实、压溶作用

压实作用是碳酸盐及陆源碎屑沉积物(岩)孔隙度降低的主要成岩作用,特别在灰泥沉积物中影响更大^[4],在颗粒云岩中常见的压实现象有颗粒的嵌入、变形及压拆等。明显的压实作用发生在浅埋藏环境,即在孔隙水脱离海水或大气淡水的影响之后发生的。

压溶作用最直观的特征就是缝合线,它可使地层明显减缩,并且析出CaCO₃,为方解石的胶结作用提供物质来源,它具有建设孔隙与破坏孔隙的双重效应。

3. 充填作用

研究区充填作用十分显著,主要表现为:早期形成的溶孔及裂缝多被表生期干净、明亮、粗大的方解石、石英等充填胶结,这也是导致现今储层孔隙大量减少的一个主要原因。

4 结语

(1)渝东武隆上寒武统储层中,储集空间以次生孔隙为主,包括晶间孔、晶间溶孔、粒内溶孔、粒间溶孔、扩大溶孔、铸模孔、溶洞、裂缝。孔喉结构为粗(细)孔小喉型、粗(细)孔中喉和粗孔大喉型。

(2)渝东武隆上寒武统储层中,可划分出6种成岩作用类型。其中白云石化作用、溶蚀作用、破裂作用是建设性成岩作用,有利于孔隙的形成;而破坏性成岩作用,如胶结作用、压实压溶作用、充填作用则导致了储层孔渗性的迅速降低。

表4 溶蚀作用期次及特征

Table 4 Stages and characteristics of dissolution

期次	成岩阶段	成岩环境	水介质	溶蚀特征	溶蚀强度
I	同生成岩	大气	大气淡水	选择性溶蚀,形成铸模孔、粒内溶孔及晶间溶孔	较强
II	晚成岩	深埋藏	在机酸性水	非选择性溶蚀,主要形成各种扩溶孔缝	弱
III	构造期	抬升埋藏	有机酸性水	非选择性溶蚀,主要沿各期构造缝扩溶,形成溶蚀孔、洞、缝	较强
IV	表生期	大气	大气淡水	沿构造裂缝溶蚀形成各种规模的孔、洞缝成溶洞	强烈

参考文献:

- [1] 朱忠德,等.鄂西南湘西北地区上震旦统至奥陶系石油地质研究[M].北京:地质出版社,1995.
- [2] 王英华,等.黔东-湘西地区下古生界白云岩成岩环境与孔隙成因研究[M].北京:石油工业出版社,1993.
- [3] 胡明毅,等.湖南石门地区中上寒武统碳酸盐岩成岩作用和储层特征[J].石油学报,1994,15(3):35-41.
- [4] 李建明,等.湖北松滋下奥陶统大湾组碳酸盐岩成岩作用[J].石油与天然气地质,1993,14(4):278-284.

Porosity textures and diagenesis of the Upper Cambrian strata in Wulong, eastern Chongqing

WANG Zhi-hong, LI Jian-ming, GAO Zhen-zhong, LUO Shun-she
(Jiangnan College of Petroleum, Jingzhou 434102, Hubei, China)

Abstract: The accommodation spaces of the Upper Cambrian strata in Wulong, eastern Chongqing consist dominantly of secondary porosity such as intercrystal pores, intercrystal solution openings, intragranular solution openings, intergranular solution openings, cast pores, caves and fissures. Diagenesis is considered as a principal factor affecting the reservoir capacity, and may be divided into two types: constructive and destructive. The former includes dolomitization, dissolution and fracturing while the latter comprises cementation, compression and pressure-solution, and filling.

Key words: porosity texture; diagenesis; eastern Chongqing