

湖南省泥盆系碳酸盐岩孔隙的初步研究

朱素琳 梁百和 吴华新

(地质学系)

摘 要

将湖南泥盆系碳酸盐岩的孔隙(显孔隙)按成因划分为原生孔隙、次生孔隙和次生裂隙3类。面孔隙率较高的岩石集中于棋梓桥组上部及余田桥组下部的过渡层位,平均面孔隙率为1.80~2.57%,因而该层位是较为有利的油气储集及容矿空间。用扫描电镜观察碳酸盐岩特别是孔隙率偏低的泥晶碳酸盐岩可以发现更为复杂的微孔隙类型。白云石化作用、重结晶作用及压溶作用有利于次生孔隙形成,而稍晚的溶解及淋溶作用叠加可形成并扩大有效孔隙,提高岩石的面孔隙率。发育于棋梓桥组上部及余田桥组下部过渡层位的淡水潜流压实—胶结等5种成岩相中岩石的次生孔隙率和面孔隙率较高。

关键词 碳酸盐岩, 孔隙, 面孔隙率

湖南泥盆系主要分布于雪峰古陆东南的湘中、湘南地区,出露完整的碳酸盐岩地层剖面在湘中邵东县马鞍山—高梓扩,新邵县巨口铺及湘南新田县骥村一带。由老到新划分为中统棋梓桥组、上统余田桥组、锡矿山组及邵东组。主要是一套以潮坪相带、边缘浅滩相带、边缘生物礁相带及前缘斜坡相带为主的台地型碳酸盐沉积。常见岩石类型为:泥晶生物碎屑灰岩、藻叠层石—层孔虫灰岩、内碎屑泥晶灰岩、纹层状灰质白云岩、花斑状细—粉晶灰质白云岩、钙球泥晶灰岩。局部分布的岩石类型有泥晶生物碎屑核形石灰岩、藻叠层石灰岩(含藻团块灰岩)、亮晶鲕粒灰岩及砾屑灰岩等。据研究,不同类型岩石的孔隙发育和保存除受沉积环境影响外,主要还是受不同成岩环境和成岩相控制。

本文用岩石学方法,附以铸体薄片及扫描电镜分析研究了碳酸盐岩孔隙。岩石学和铸体薄片主要用于 $>0.01\text{mm}$ 孔隙(显孔)研究,扫描电镜则用于 $<0.01\text{mm}$ 的微孔隙研究。

1 孔隙类型及孔隙率

1.1 孔隙类型

研究区泥盆系碳酸盐岩孔隙类型较为复杂,按照大小可分为显孔隙($>0.01\text{mm}$)及微孔隙($<0.01\text{mm}$)。按成因,显孔隙可分出原生孔隙、次生孔隙及次生裂隙等。

本文1990年3月14日收到

1.1.1 原生孔隙 指沉积期形成的孔隙，受沉积作用控制。可细分为：①粒内孔：指颗粒内的孔隙，以生物碎屑和钙球的粒内孔最常见，多被方解石及少量黄铁矿、有机质充填；②粒间孔：指颗粒组分间的孔隙，经压实或胶结作用，这类孔隙已大为减少、缩小，多被方解石、白云石或渗滤砂充填；③晶间孔：指原生碳酸盐矿物晶间的孔隙。由于原生方解石晶粒堆叠紧密，并经压实或压溶作用，晶间孔、缝更为细小，属微孔隙。白云石晶间及重结晶方解石晶间孔是成岩作用过程中形成的，不算入此类；④遮蔽孔隙：指生物碎片或其他长条状颗粒沉积后起遮蔽作用，使碎屑的内弯部分形成孔隙并已充填亮晶方解石。这类孔隙分布局限；⑤生物格架间孔：主要是指藻叠层石、珊瑚、板状或带状层孔虫等造礁生物的生物格架间的孔隙，通常被泥晶或亮晶方解石及少量生物碎屑、陆源物充填。

综合上述，原生孔隙只有成因上的意义。它们通常在沉积期—成岩早期已被泥晶或亮晶方解石填满，时有陆源物，较小的碳酸盐颗粒（如渗滤砂、粉砂等）及黄铁矿、有机质等其它物质充填。对油气贮集或容矿空间没有实际意义。

1.1.2 次生孔隙 指成岩过程中由于白云石化、硅化、重结晶、压裂、压溶及次生溶蚀、大气淋溶等作用形成的孔隙，成因比较复杂。可细分为：①次生粒内溶孔：是指颗粒内碳酸盐矿物局部溶解造成的不规则溶孔。例如：组成内碎屑的泥晶方解石集合体局部溶解成不规则孔洞；生物碎屑颗粒体腔内的重结晶方解石充填物局部溶解形成不规则孔洞；次生粒内溶孔大者达0.1mm，多数在0.03~0.05mm，孤立分布，连通性差，溶孔形成后没有其它物质充填，仅在个别类型岩石中见到；②粒间次生溶孔：指颗粒间充填的泥晶方解石，渗滤砂，粉砂及亮晶方解石胶结物局部溶解形成的次生孔隙。例如，泥晶生物碎屑灰岩中充填于生物碎屑颗粒间的渗滤砂—粉砂中的次生不规则溶孔；泥晶方解石充填物局部溶解形成次生不规则孔洞时可断续分布，延长为线状的称粒间次生溶缝。因为泥晶方解石颗粒细小，次生溶孔占据着数颗以上的泥晶方解石，故亦属超晶溶孔类，形成溶孔后一般无其它物质充填（图版-1）；③晶内次生溶孔：指中—粗晶白云石及重结晶中—粗晶方解石晶体内局部溶解后无其它物质充填。这种次生溶孔一般较为细小，<0.05mm，孤立分布，连通性极差；④晶间次生溶孔：因白云石化及重结晶作用形成的细—粗晶白云石及方解石，沿晶体接触处溶蚀，并不同程度破坏了溶孔周围的白云石或方解石晶体形态，溶孔常呈线状（图版-2），故亦可称晶间次生溶缝。个别溶缝可切过晶体，延伸性较好，且有一定连通性，溶缝形成后无其它物质充填；⑤超晶次生溶孔：指占据着一个以上白云石或方解石晶体的次生溶孔，这种溶孔常在方解石重结晶或白云石化后，晶体和周围其它组分均被溶解而形成。溶解作用选择性不明显。孔洞占据着超过一个乃至数个晶体的位置，达0.5mm，成群分布者连通性较好，孤立分布则连通性差。溶孔形成后无其它物质充填；⑥次生铸模溶孔：分颗粒铸模及晶体铸模，成因是选择性溶解作用。颗粒或白云石晶体溶解，溶解后的孔洞形态反映原来颗粒及晶粒形态。通常铸模孔孤立分布，无其它物质充填（图版-3）；⑦鸟眼孔：由潮上带泥晶方解石沉积物中，藻类生命活动产生气泡或泥晶沉积物干裂收缩造成。这种孔洞常沿层理断续分布，但全被亮晶方解石充填（图版-4）。

1.1.3 裂隙 成岩过程中产生的裂隙，有的是成岩后由构造作用造成。可细分为：①

次生裂缝：重结晶白云石或方解石晶体间及不同组分间的接触边缘受压力产生的刚性裂缝，由压裂作用造成。这种裂缝连通性较好，但常有方解石充填（图版-5）；②缝合线：压溶作用在岩石中形成的不规则锯齿状裂缝，常充填泥质、铁质及有机质，岩石若有白云石化，通常缝合线两侧白云石化比其它部分更为强烈。缝合线的充填物被淋滤溶解，则呈现连通性较好的次生缝、洞；③构造裂隙：受应力作用形成的构造裂隙，通常被方解石脉体占据。

综合上述各类孔隙可知，在沉积期形成的原生孔隙成岩过程中，几乎全部被碳酸盐矿物以不同方式（充填、胶结、结晶等）填集，只有极个别被黄铁矿，有机质局部充填，对贮集和容矿空间而言，已失去实际作用。有意义的是成岩过程中形成且未被碳酸盐矿物或其它物质充填的各类次生孔隙。

1.2 孔隙率

在区分孔隙类型基础上，我们将区域泥盆系碳酸盐岩岩石薄片的各种孔隙率进行了概略测定，并用铸体薄片研究作了校正，得出反映不同成因孔隙类型含量的原生孔隙率、次生孔隙率和面孔率3种数据，后者是指在次生孔隙中未被充填部分的有效孔隙率，亦即现存的孔隙。测定结果得出，原生孔隙率10~25%，多数在25%左右，次生孔隙率1~12%，多数在5~7%左右；面孔率为0.28~5%，一般在2%左右。不同岩石类型的孔隙率有较大差别。云化或硅化层孔虫及藻叠层石灰岩原生孔隙率高达25%或略大于25%；其次为泥晶生物碎屑灰岩、泥晶生物碎屑—内碎屑灰岩，残余生物碎屑灰质白云岩，原生孔隙率约为20%；原生孔隙率较低的是含生物碎屑泥晶灰岩、泥晶灰岩、泥灰岩及中—粗晶白云岩，纹层状灰质白云岩等，只有11~15%。次生孔隙率以纹层状灰质白云岩、残余生物碎屑灰质白云岩，中—粗晶白云岩、云化泥晶砾屑灰岩、砾屑云岩、交代硅质岩较高，约10%左右；颗粒泥晶灰岩及含陆源碎屑泥晶灰岩较低，一般2~5%。面孔率较高者大多与白云石化岩石及含砾屑颗粒岩有关，为2%；个别岩石缝合线发育，其充填物大部被淋滤，面孔率高达5%；泥晶灰岩面孔率最低，仅0.05~0.5%。根据湘中马鞍山—高梓护剖面统计，不同孔隙率在垂直剖面变化如表1。剖面所列的岩石孔隙率表明，平均原生孔隙率以棋梓桥组较高，并以中部岩段—板状及带状层孔虫礁灰岩段为最。最低的是锡矿山组及邵东组。平均次生孔隙率及面孔率均以余田桥组最高，较低者仍是锡矿山组及邵东组。显然，较为有利的油气贮集及容矿空间应在余田桥组，特别是在该组下部及棋梓桥组上部的过渡层位。

1.3 扫描电镜下的微孔隙特征

小于0.01mm大小的孔隙我们称之为微孔隙。扫描电镜下的微孔隙主要类型有：不规则状或边缘圆滑的晶间微溶孔（洞）、长条状（图版-6）、缝合线状的微裂隙、“U”形溶沟（图版-7）及菱形晶体铸模微孔（图版-8）。这些微孔隙多以次生为主，且无其它物质充填。微孔隙率一般介于15~40%之间，以白云石化岩石较高。

2 影响孔隙发育的主要因素

不同孔隙类型及发育程度受不同因素控制，这些因素可归纳为沉积作用控制和成岩作用控制两类，即沉积学控制，构造控制的构造裂隙不在本文讨论之列，

表1 湘中马鞍山—高梓塘泥盆系剖面碳酸盐岩的平均孔隙率
Tab. 1 The average porosity in the carbonatite of Devonian cross section, Xiangzhong, Ma An Mt-Gao Zhi Tang

地层层位		孔隙率(%)		
		原生孔隙	次生孔隙	面孔率
棋梓桥组 (D _{2q})	下部	15.00	2.71	0.41
	中部	19.82	3.55	0.99
	上部	19.04	5.01	2.57
	平均值	17.95	3.76	1.32
余田桥组 (D _{3S})	下部	17.50	7.95	1.80
	中部	15.28	8.11	1.69
	上部	16.38	6.38	1.71
	平均值	16.55	7.48	1.73
锡矿山组 (D _{3x})	下部	12.09	5.00	1.06
	中部	17.33	6.30	1.26
	上部	15.00	5.00	0.67
	平均值	14.81	5.43	1.20
邵东组(D _{3sh})		14.38	6.13	0.83

原生孔隙主要受沉积作用控制,如湘中马鞍山—高梓塘泥盆系剖面各层位的碳酸盐岩,原生孔隙率偏低,最高也只有25%左右。这是因为在各类岩石中泥晶组所占比例很大,泥晶间微孔隙在普通岩石薄片及铸体薄片测定孔隙率时很难包括在内,通常只能在扫描电镜下观察。但在所列剖面各层段的沉积相带中,仍以棋梓桥组中部生物滩相和生物礁相的泥晶生物碎屑灰岩(灰质白云岩)、层孔虫生物灰岩原生孔隙率相对最高。这是因为常见的原生粒内孔、粒间孔取决于岩石的颗粒组分类型、含量、分布及粒间填隙物性质。大量板状、带状及枝状层孔虫和少量腕足、珊瑚等生物及其碎屑是上述岩石的主要组分,生物体腔几乎全被亮晶方解石充填。以粒内孔为主的原生孔隙率已达20~25%。锡矿山组下部台地潮坪中一低能带的含陆源碎屑生物碎屑泥晶灰岩、泥晶灰岩等原生孔隙率较低,平均约12%。可见原生孔隙主要受沉积环境影响。

次生孔隙和面孔率除受沉积作用影响外,主要受成岩作用控制。我们曾对湘中马鞍山—高梓塘泥盆系碳酸盐岩剖面的成岩作用研究时划出16种成岩相¹⁾。次生孔隙类型及孔隙率与成岩相有密切关系。据研究,发育于棋梓桥组—余田桥组邻近层位的淡水潜流压实—胶结成岩相、海水潜流压实—胶结成岩相、海水潜流云化—重结晶成岩相、深埋藏云化—重结晶成岩相及压溶—重结晶成岩相等5种成岩相中的岩石次生孔隙率和面孔率较高。其中,平均次生孔隙率达5~10%,面孔率2~5%。常见的次生孔隙类型为超晶溶孔、重结晶晶体的晶内溶孔、晶间溶缝及沿缝合线溶蚀,淋滤的次生缝、

1) 将一定成岩环境下发生主要的成岩作用类型称为成岩相

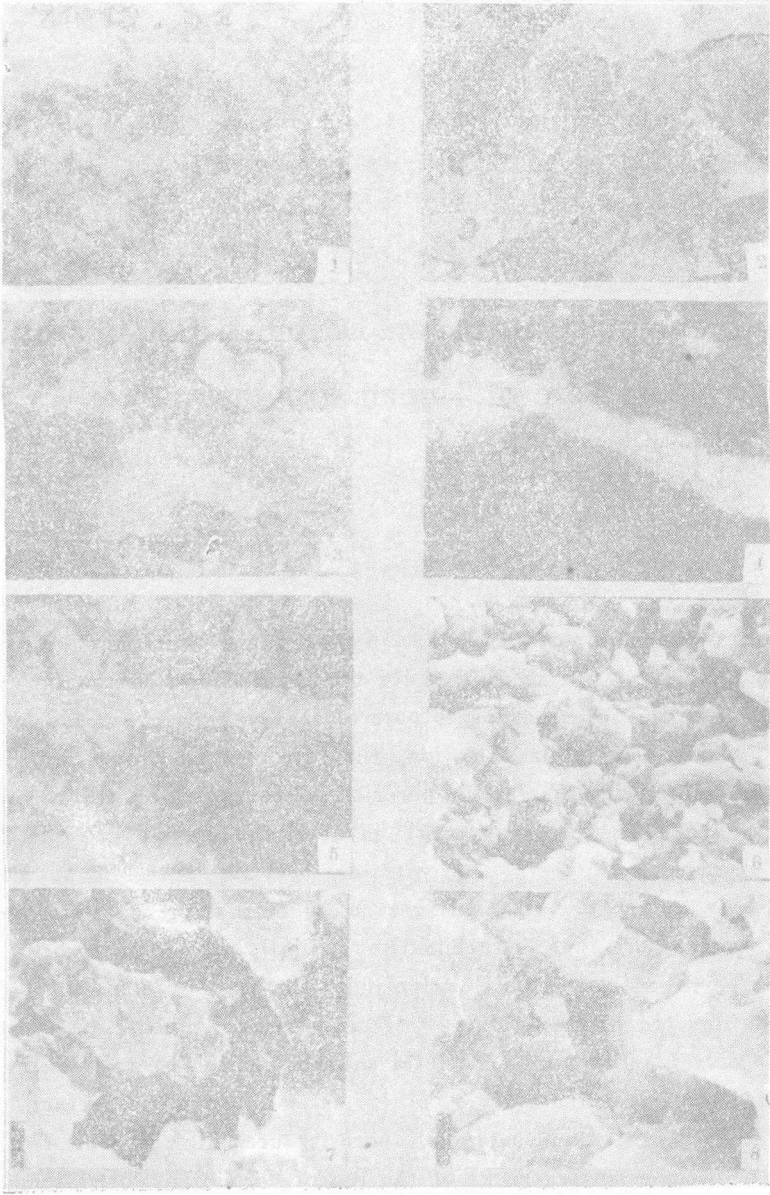
洞。这些次生孔隙无其它物质充填,规模较大,一般为0.03~0.5mm,而棋梓组下部及中下部深埋藏压实—压溶成岩相及淡水渗流压实—重结晶成岩相中的岩石次生孔隙率和面孔率偏低,次生孔隙率仅3~4%,面孔率仅0.3~0.4%。不同成岩相的微孔隙特征亦有差别,表2为不同成岩相岩石的微孔隙特征。

表2 不同成岩相岩石的微孔隙特征

Tab. 2 The micro pore characteristics in the different diagenetic facies rocks

成岩相	代表性岩石	微结构特征
海水潜流压实—胶结成岩相	泥晶生物碎屑灰岩	微孔隙发育,微溶洞边缘圆滑,可见晶体铸模,有方形、长条形微裂隙,连通性好,微孔隙率约20~30%
海水潜流压实—云化成岩相	云化亮晶生物碎屑灰岩	微孔隙不发育,有“U”形溶沟,连通性较好,溶沟内有菱形铸模微孔。其中云化的亮晶方解石排列疏松,微孔隙连通性较好。微孔隙率约30~40%,有菱形铸模微孔
海水潜流压实—胶结—云化成岩相	纹层状泥晶灰质白云岩	晶间微孔较发育,形态不规则,少数铸模微孔,连通性差,微孔隙率较高,达40%
淡水潜流胶结成岩相	亮晶生物碎屑—内碎屑灰岩、泥晶灰岩	晶间微孔不发育,且连通性差,微孔隙率约15%
淡水潜流压实—胶结—云化成岩相	泥晶灰岩纹层状泥晶灰质云岩	微孔隙发育较差,形态不规则,连通性不好,微孔隙率约15~20%
淡水潜流胶结—云、硅化—重结晶成岩相	云化层孔虫礁灰岩	多数微孔无一定形态,个别见近圆形的晶间微孔,后生微裂隙发育,呈缝合线状,深而细小,微孔隙率约15%
深埋藏胶结成岩相	亮晶鲕粒灰岩、泥晶生物碎屑核形石灰岩	晶间微孔隙发育,无一定形态,连通性好,微孔隙率约20~30%
深埋藏压实—压溶—云化成岩相	云化含生物碎屑泥晶灰岩	晶间微孔隙发育,但无一定形态,连通性较好。微孔隙率约20~30%

上述资料表明,白云石化作用、重结晶作用及压溶作用等成岩作用类型有利于次生孔隙的形成,而稍后溶解及淋溶作用的叠加可形成并扩大有效孔隙,提高岩石的面孔率。



图版说明

Plate A preliminary study on devonian carbonatite pore of Hunan Province

1. 泥晶生物碎屑灰岩渗滤砂一粉砂中的次生溶孔，个别溶孔伸入层孔虫内。×76，单偏光。
2. 云化重结晶角砾灰岩中的次生晶间溶缝及晚期切过晶体的晶间溶缝。×76，单偏光。
3. 泥晶生物碎屑灰岩中的生物（体腔）铸模孔，照片暗色部分为填隙物，较亮部分为层孔虫碎屑。×76，单偏光。
4. 含钙球内碎屑泥晶灰岩中的鸟眼孔，鸟眼被重结晶方解石充填。×76，单偏光。
5. 泥晶生物碎屑灰岩中次生方解石脉内重结晶方解石的晶间次生溶缝。×76，单偏光。
6. 泥晶含生物碎屑灰岩中泥晶方解石晶间微孔隙发育，多呈长条形，连通性好，微孔隙率约为30%。×1800（扫描电镜）。
7. 亮晶生物碎屑球粒灰岩中亮晶颗粒紧靠，难见孔隙，可见“U”形溶沟，沟宽（2~2.5 μm ）而深。×4800（扫描电镜）。
8. 亮晶生物碎屑球粒灰岩中铸模溶孔的菱面体形态，连通性差。×4800（扫描电镜）。

参 考 文 献

- 〔1〕 叶胜德, 矿物岩石, 5(1985), 4
〔2〕 曾允孚等, 沉积岩石学, 地质出版社, 1986
〔3〕 王英华等, 华北地台早古生代碳酸盐岩岩石学, 地震出版社, 1988

A Preliminary Study on Devonian Carbonatite Pore of Hunan Province

Zhu Sulin Liang Baihe Wu Huaxin

Abstract

Pore is not only an important texture in carbonatite but also an important storage space for oil and gas as well as for the layered or stratabound solid metallic deposits. The Devonian carbonate pore of Hunan Province is classified into three types based on genetic classification, they are original pore, secondary pore and secondary fissure. High surficial porosity is concentrated on the top of Qi Zhiqiao formation and on the transitional layer of the bottom of She Tianqiao formation. The average surficial porosity is between 1.8—2.57%. Therefore, this layer is available for oil and gas reserve and for ore storage space. More complex micro pore type in carbonatite specially in low porosity micrite carbonate can be found by the observation under the scanning electron microscope. Dolomitization and recrystallization as well as pressure solution are suitable for the formation of secondary pore. The later superimposition by solution and leaching may form and enlarge the available pore so as to improve the surficial porosity. The secondary porosity and surficial porosity are high in the fresh water under flow compress-cemented rocks of the top of Qi Zhiqiao formation and the transitional layer of the bottom of She Tianqiao formation.

Keywords carbonatite, pore, surficial porosity

* Department of Geology