

鄂中上石炭统碳酸盐岩的 成岩作用与孔隙演化

艾华国

(地质矿产部石油地质综合大队, 湖北江陵 434100)

本文在岩石学研究的基础上,应用阴极发光、氧碳稳定同位素、微量元素、混合染色*的资料,详细地研究了鄂中上石炭统碳酸盐岩的成岩作用、成岩序列和孔隙演化,认为:填积作用、胶结作用、溶蚀作用、白云石化作用、压实、压溶作用,是控制鄂中上石炭统碳酸盐岩储集性能的主要因素,其中,白云石化作用、压溶作用、埋藏溶蚀作用是形成聚集期孔隙(油气运移、聚集时岩石的孔隙)的最为重要的因素。

关键词 鄂中 成岩作用 孔隙演化 聚集期孔隙

作者简介 艾华国 男 37岁 工程师 石油地质

一、区域地质概况

鄂中西起宜昌-长阳,东至黄石,北到钟祥-京山,南达洪湖-监利,位于中扬子准地台的中部(图1)。

上石炭统为一套海相碳酸盐沉积,属潮坪、碳酸盐台地相。自下而上分成黄龙组和船山组,厚约60—200 m(图2)。

黄龙组分布广泛,自下而上分成二段,下段以泥-粉晶白云岩为主,局部地区发育粒屑白云岩,并

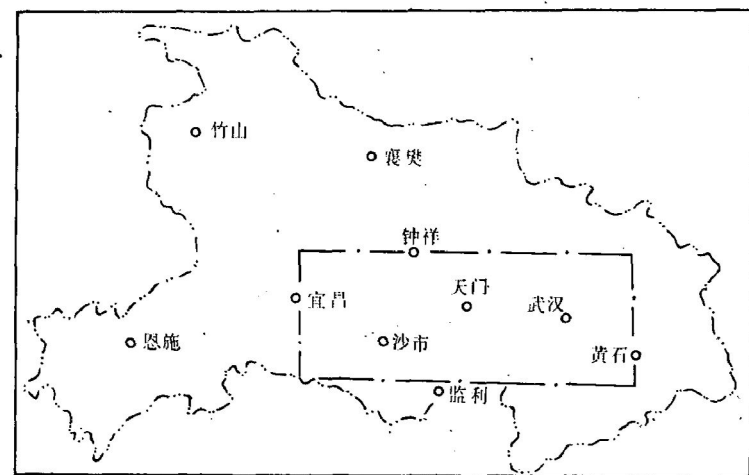


图1 研究区位置图

含石膏;生物主要有广盐度的有孔虫和蓝藻类,厚约4—80 m,分别不整合于志留或泥盆系之上,局部地区(如洪湖-松滋)与下石炭统呈假整合接触。上段为泥-粉晶灰岩、生物屑灰岩及其它粒屑灰岩,生物繁茂,筴、有孔虫、棘皮类、珊瑚、藻类十分发育,厚约50—118 m。

船山组分布零星,以含生物屑核形石灰岩、含核形石生物屑灰岩为主,夹生物屑灰岩,生

收稿日期:1990-05-03 改回日期:1990-08-16

* 混合染色指的是用茜素红-铁氰化钾混合液染色

物以蓝藻为主,少量有孔虫、筴等,厚0—26 m,常整合于黄龙组之上,并与上覆的下二叠统呈假整合接触。

二、成岩作用及其序列

(一) 主要成岩作用

上石炭统不仅经历了海底和埋藏成岩环境,而且也经历了大陆成岩环境,并发生了多类成岩作用。

1. 泥晶化作用

泥晶化作用常见于颗粒灰(云)岩中,发育在生物屑或其它颗粒周缘,宽窄不等,厚约几微米,内圈极不规则(图版 I-1)。尽管泥晶化不能直接产生次生孔隙,但因其产物具较强的抗蚀力,在后期粒内溶孔、铸模孔的形成中,有构架功能。

2. 填积作用

填积作用常见于生物屑灰岩中,为准同生成岩阶段,原生的生物体腔孔(如腕足、有孔虫等体腔孔)被碳酸盐灰泥和小生物屑充填,使原生孔遭受一次破坏(图版 I-2)。

3. 胶结作用

胶结作用是颗粒灰(云)岩最为重要的成岩作用之一,但因区内上石炭统以中-低能沉积为主,高能环境下形成的颗粒岩不多,所以胶结物不甚发育,常见的胶结作用有:

(1) 海底胶结作用

镜下见纤状、刃状方解石及其粗短变种,垂直于颗粒表面或粒内缘作等厚环边栉壳状生长,构成第一世代胶结物(图版 I-1, 3)。这种胶结物均为无铁方解石,阴极发光为桔黄色。多发育于台滩和潮坪浅滩上的粒屑灰(云)岩里,是沉积物处于高孔隙率时期,沉淀物质充分供应的结果。海底胶结物虽使孔隙降低5%—10%,也堵塞了孔喉,但由它构成的环边胶结,加固了岩石的支撑格架,在一定程度上,保护了因压实破坏的粒间孔。

(2) 淡水胶结作用

淡水胶结常出现在沉积间断面之下的地层和潮坪沉积物里。为粉-细晶级的等轴粒状亮晶方解石,绕第一世代胶结物或直接绕颗粒表面或粒内缘生长。构成第二世代胶结物(图版 I-3),有时,充填于溶孔、溶缝内,其特征为晶粒向孔隙中心变粗,为无铁方解石,阴极发光为桔黄色,混合染色为红色。这种胶结物既破坏了残余原生孔,也堵塞了淡水溶蚀产生的溶孔、溶缝,使孔隙度下降10%—20%。

(3) 埋藏胶结作用

埋藏胶结的规模小得多,仅见于残余溶孔和粒间孔。等轴粒状,晶粒粗大,多为0.1—0.5 mm,晶体表面粗糙,双晶纹发育,并含少量包体,常为含铁方解石、白云石、硬石膏,阴极射线下不发光,混合染色为紫红、紫色或浅蓝色,并使孔隙降低1%—5%。

(4) 共轴生长和重力(悬垂式)胶结

地统	层组	厚度m	岩性剖面	相	亚相
下二叠统	栖霞组				
上石炭统	梁山组	0—26		碳酸盐	局限台地
	C ₂ ch			酸	台滩
石炭统	黄龙组	50—118		碳酸盐	开阔台地
	C ₂ h			盐	台地
	下段	4—80		潮坪	碳酸盐坪
	C ₂ h			坪	
	C ₂ h				
	S				
	C ₁				

图2 鄂中上石炭统柱状剖面图

共轴生长胶结主要发育于棘屑周缘,生长部分表面干净透明(图版 I-4),阴极发光有桔黄色和不发光两类,混合染色从红、紫红至紫色。此外,在沉积间断面之下的船山组核形石灰岩里,常见核形石的一方发育等轴粒状亮晶方解石,而在其他方位未见这种胶结物,即重力(悬垂式)胶结(图版 I-5)。这种胶结物阴极射线为桔黄色。上述特征表明:大部分共轴胶结物和全部的悬垂式胶结物是大陆成岩环境的产物。

4. 溶蚀作用

上石炭统溶蚀作用特别发育,无论是野外露头上,还是室内镜下,均可见到大量溶孔、溶缝、溶洞及其充填物,根据被溶组分和充填物的成分、结构特征,大致可将区内溶蚀分成如下三期:

(1) 海底溶蚀作用

海底溶蚀偶见于台滩粒屑灰岩中,镜下钙质颗粒边缘见有幅度不大的港湾溶蚀边,直接与碳酸盐灰泥接触。由于海底溶蚀形成的空间,很快地被松散灰泥占据,所以海底溶蚀一般不能产生次生孔隙。

(2) 淡水溶蚀作用

晚石炭世,由于云南运动的影响,黄龙组和船山组沉积时或之后,常被抬置于地表、近地表,遭受大气淡水的作用,形成粒间溶孔(图版 I-6)、粒内溶孔、粒缘溶孔、铸模孔(图版 I-7)、基质溶孔(图版 II-8)、溶缝、溶洞,尔后被表面干净透明、等轴粒状单晶或多晶方解石充填(胶结)。这类溶孔一般为 0.1—1.5 mm,使孔隙增加 5%—20%,最高达 30%。有时,在纤状、刃状胶结物外缘,见有一极不规则的港湾溶蚀边,其上有铁质浸染物和分散状黄铁矿,所成溶孔被亮晶方解石充填(胶结),在胶结物和充填物间构成结构不整合(图版 I-8)。黄龙早期,整个鄂中处于海侵初期,下段的沉积物时而暴露,同样遭受淡水作用,主要形成基质溶孔,后被表面干净透明、完整自形的无铁白云石充填。

(3) 埋藏溶蚀作用

埋藏溶蚀大致可分两期:早期发生于早二叠世晚期或晚二叠世晚期,由于东吴运动或苏皖运动的影响,鄂中几次暴露,淡水沿断层渗进黄龙组和船山组,使颗粒、基质、胶结物、前期溶孔、溶缝充填物均遭溶蚀,形成的溶孔,一般 0.17—0.33 mm±,溶缝宽 0.3—1 mm±,长 2—5 mm±,孔、缝率一般 2%—5%,后被埋藏胶结形成的铁方解石、铁白云石、硬石膏充填(图版 II-1, 2),仅在局部有少量保存。这期溶蚀孔、缝常与构造裂缝伴生,区域上,分布于晚古生代断层发育区。晚期溶蚀主要发育于天门地区的黄龙组,常为前期的溶蚀孔、缝充填物(铁方解石、白云石、硬石膏)遭溶蚀,新形成的溶孔圆形、近圆形,一般为 0.017—0.07 mm,面孔率一般为 1%—5%,局部高达 10%±,被沥青和黄铁矿充填(图版 II-2)。

5. 白云石化作用

上石炭统白云岩不仅厚度大,分布广,主要呈层状产出,并见带状和斑块状。根据白云岩(石)的产状、结构特征,大致可分两期:即准同生白云石化和埋藏白云石化。

(1) 准同生白云石化

该作用形成的白云石,晶粒细小,常以泥-微晶为主,少数达粉晶,晶体以半自形为主,少数为自形,晶体表面较为混浊,并发育少量晶间孔,孔隙度一般 2%—4%,基本未被充填(图版 II-3),这类白云石,阴极射线常为橙红色,氧碳稳定同位素组成为: $\delta^{13}\text{C} = 2.23\text{‰} - 3.57\text{‰}$ (PDB); $\delta^{18}\text{O} = -1.90\text{‰} - -5.27\text{‰}$ (PDB),主要微量元素含量为: $\text{Sr} < 100 - 200\text{ppm}$,

$\text{Na} < 300\text{ppm}$, $\text{Mn} = 200—500\text{ppm}$, $\text{Fe} = 500—1000\text{ppm}$, 常呈层状产于黄龙组下段。

(2) 埋藏白云石化

该作用形成的白云石, 晶粒较大, 以细晶为主, 少数粉晶, 晶体以半自形为主, 少数自形, 且具雾心亮边特征。晶间孔、晶间溶孔发育, 孔隙度一般为8%—10%, 局部高达13%, 常被沥青和黄铁矿充填(图版Ⅱ-4)。这类白云石常为(含)铁白云石, 阴极射线为不发光与暗红色环带, 常呈斑块状、带状产于黄龙组上段下部。

6. 新生变形作用

新生变形作用可能包括海底成岩环境形成的纤状、刃状文石, 镁方解石胶结物转化成目前见到的低镁方解石, 保留其原始组构特征(图版Ⅰ-1, 3), 以及原为泥晶方解石或白云石基质或由其构成的颗粒重结晶成微晶-粉晶、细-中晶、粗晶方解石、白云石或由其构成的颗粒, 前者发生于大陆成岩环境, 后者发生于埋藏成岩环境。

7. 压实作用

碳酸盐沉积物的压实作用始于沉积时, 止于固结成岩, 其总的表现为: 基质、颗粒紧密堆积, 孔隙水不断排出, 孔隙度降低, 沉积物体积减小, 密度增加以及颗粒变形、破裂, 常见的产物特征有:

(1) 塑性变形

塑性变形常见于粒屑岩中, 颗粒长轴平行, 定向排列, 并在粒间见微晶胶结物。有时, 在颗粒局部弯曲、破裂处, 形成鸟咀状尖钩(图版Ⅱ-5)。

(2) 颗粒破裂

颗粒破碎主要发生于硬质脆性颗粒岩中, 常见相互挤压的粒屑外壳和等厚环边胶结物出现不同程度的破裂, 多节碎片参差、重叠, 具很强的方向性(图版Ⅱ-6)。

8. 压溶作用

上石炭统碳酸盐岩压溶作用较为发育, 根据其产物和分布特征, 可分为层间压溶和层内压溶两种。

层间压溶出现在两种岩层间, 形成的缝合线常具低频(1条/薄片)、低幅(波幅 $< 1\text{mm}$)的特征, 所成的缝合状缝隙一般为0.1%±, 多被铁质充填。

层内压溶既可出现于泥-粉晶灰(云)岩中, 也可出现于颗粒岩中, 其产物的特征是: 频率(1—3条/薄片)、幅度(波幅0.02 mm—5 cm)以及所成缝隙变化均大, 所成的缝合状缝隙一般为0.5%—1%, 多被沥青、黄铁矿充填, 有时被溶缝、裂缝切割(图版Ⅱ-7)。

9. 裂缝及其充填作用

区内上石炭统各组、段均较发育。根据裂缝相互切割和切割其他成岩产物的先后顺序, 可将其分为早、晚两期, 推测形成于燕山、喜山构造期, 即形成于油气生成、运移之后, 主要依据有二: (1) 裂缝内无沥青充填物, 并见裂缝切割充有沥青的孔和缝合线(图版Ⅱ-7), (2) 裂缝充填物里有时含有机包体。早期裂缝较宽, 缝壁具溶蚀特征, 被含铁方解石充填, 阴极射线不发光; 晚期裂缝较窄, 缝壁平直, 切割早期裂缝和溶孔及其充填物, 并被含铁或无铁方解石充填(图版Ⅱ-8)。

10. 进油

进油是否可作为一种成岩作用, 值得商榷, 但对储层来说, 烃类一旦进入储集空间, 所有的无机成岩作用及孔隙演化就会减缓。

(二) 成岩类型、序列和环境

区内上石炭统碳酸盐岩的主要成岩序列为：基质、颗粒沉积→泥晶化、海底溶蚀、海底胶结→淡水溶蚀、淡水胶结、新生变形（文石、镁方解石的转化）→压实、新生变形（重结晶）、埋藏溶蚀、埋藏胶结、压溶、进油、裂缝-充填；主要的成岩环境为：海底→大陆→埋藏（浅埋—深埋）。

1. 黄龙组下段白云岩

本段白云岩的成岩作用类型及其序列和环境如图3所示。与综合的成岩作用序列相比，其主要差异有：（1）泥晶化、海底溶蚀和胶结作用较弱；（2）准同生白云石化发育；（3）埋藏晚期溶蚀较为发育。造成上述差异的主要原因有二：（1）本段沉积于潮坪（主要是潮间）环境，沉积物中，粒屑少，原生粒间孔不发育，加之强烈地蒸发；（2）晚期溶蚀与有机质的成熟和丰富有关。

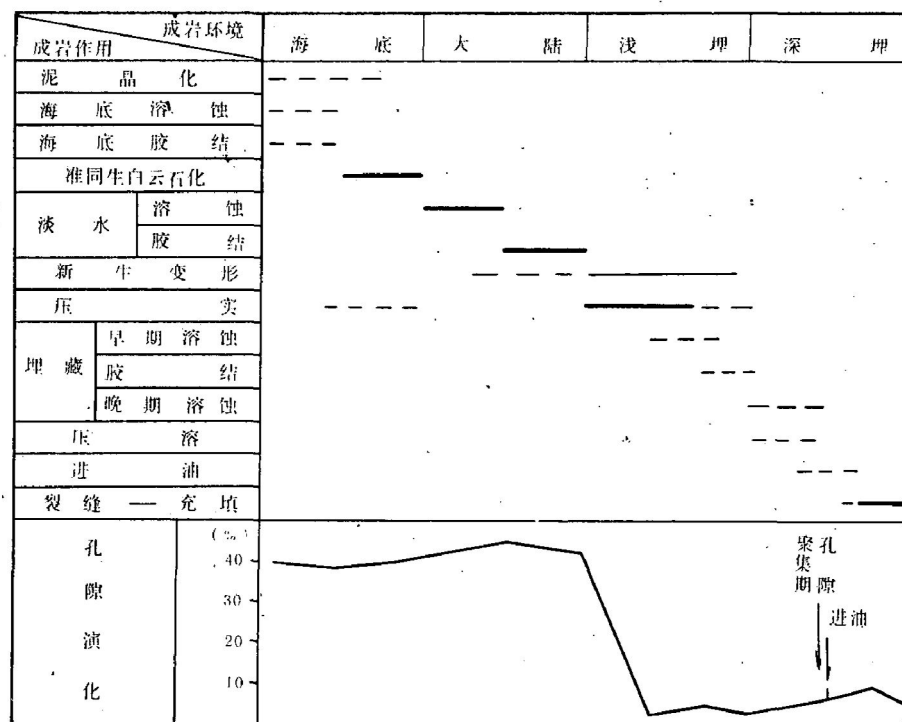


图3 鄂中上石炭统黄龙组下段白云岩成岩序列、环境及孔隙演化

2. 黄龙组上段灰岩

与综合的成岩作用序列相比，本段还发育填积作用，共轴生长胶结和埋藏白云石化（图4），这主要是：（1）本段沉积于开阔台地和台滩环境，波浪为填积提供了必需的能量；（2）沉积的大量粒屑和沉积物沉积后不久就进入大陆成岩环境，为共轴生长胶结提供了底质和条件；（3）高镁方解石在埋藏成岩环境里释镁，是埋藏白云石化的主要镁源。

3. 船山组核形石灰岩

本组核形石灰岩的成岩作用类型及其序列和环境如图5所示，它与综合的成岩作用序列的主要差异是：重力（悬垂式）和共轴生长胶结物发育，主要是由于云南运动的影响，船山

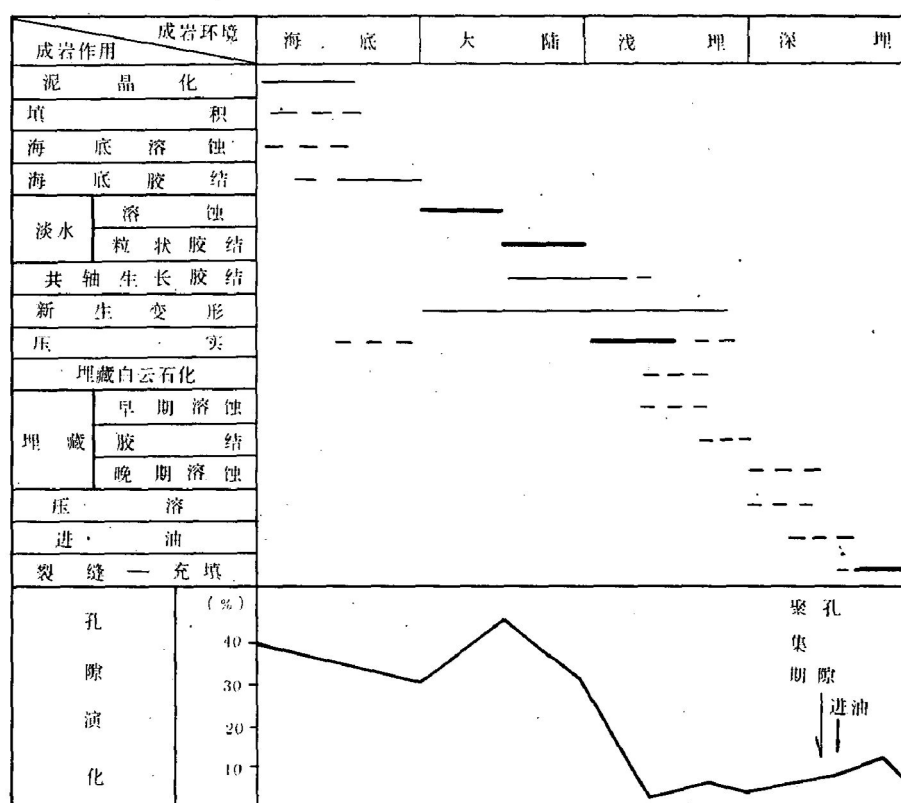


图4 鄂中上石炭统黄龙组上段灰岩成岩序列、环境和孔隙演化

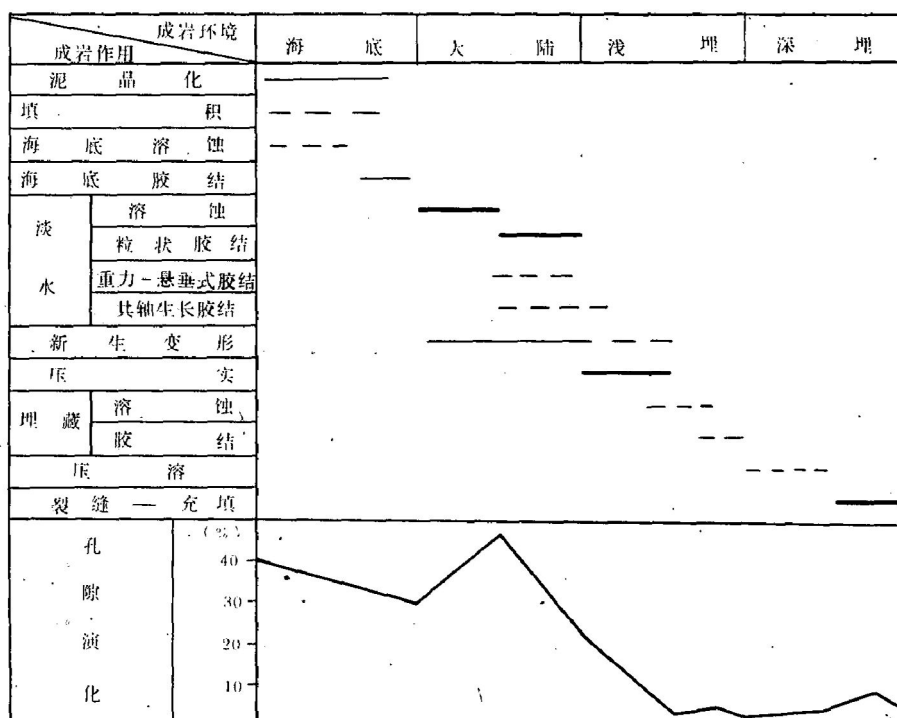


图5 鄂中上石炭统船山组核形石灰岩成岩序列、环境和孔隙演化

组一沉积,就进入了大陆渗流环境,广遭淡水溶蚀、胶结。

三、孔隙演化及聚集期孔隙

(一) 主要储集组段的孔隙类型及其演化

1. 黄龙组下段白云岩

本段白云岩的孔隙演化特征如图3所示。黄龙早期,区内出现了大的海侵,除少部分古陆外,其余地区均接受了沉积,潮坪碳酸盐灰泥分布广泛,所以,沉积物里除少量粒间孔、体腔孔(2%—3%)外,主要发育基质微孔(约38%±)。(1)海底成岩环境,填积和胶结作用使粒间孔、体腔孔全遭破坏,准同生白云石化产生了2%—4%晶间孔(这时沉积物的孔隙度约40%);(2)潮进、潮退,沉积物时而步入大陆成岩环境,间歇性暴露,沉积物(岩)时遭淡水作用,产生了2%—6%的基质溶孔、体腔溶孔,虽经后期胶结充填,局部仍有少量保存;(3)随地壳进一步下沉,沉积岩进入浅埋成岩环境,压实作用破坏了全部基质微孔,并使晶间孔和残余溶孔进一步缩小(这时岩石的孔隙仅有2%±);天门、洪湖等地,埋藏早期溶蚀产生2%—5%晶间溶孔、体腔溶孔,虽被埋藏胶结物充填,局部仍保存有1%—2%;(4)深埋成岩环境,压溶作用产生0.5%—1%缝隙;另外,埋藏晚期溶蚀产生1%—5%晶间溶孔、体腔溶孔,局部高达10%,这时岩石的孔隙度一般为4%—6%,局部高达15%,被沥青和黄铁矿充填,构造应力产生3%—5%裂缝,后被亮晶方解石充填。

2. 黄龙组上段灰岩

本段灰岩的孔隙演化特征如图4所示。由于黄龙晚期进一步海侵,本段既发育开阔台地相的灰岩,也发育台滩相的粒屑灰岩,与下段相比:(1)本段原生孔隙不仅类型多(图版I-2,3),而且含量高,填积和胶结发育;(2)溶蚀作用特别发育,溶孔不仅类型多(图版I-6,7,8;图版I-8),而且含量也高,孔隙度一般10%—15%,最高达20%—30%,虽经后期胶结,局部仍有少量保存;(3)进入埋藏成岩环境后,本段孔隙演化类似于下段的相应演化。

船山组核形石灰岩的孔隙演化特征如图5所示。由于它跟黄龙组上段的演化史十分相似,在此不再赘述

上述孔隙演化研究表明:区内主要储集层段的孔隙演化,不仅受控于沉积环境,而且与成岩环境和成岩作用的变化息息相关。其中,使孔隙消减的主要作用有:压实、胶结和填积作用,而白云石化作用、溶蚀作用是产生次生孔隙,使孔隙增加的主要作用。

(二) 聚集期孔隙及其控因

聚集期孔隙是各成岩环境里各成岩作用的产物,是孔隙演化的结果。区内聚集期孔隙全为次生型的,主要有白云石晶间孔(图版II-3)、晶间溶孔(图版II-4)、粒间溶孔(图版II-2)、粒内溶孔、基质溶孔及缝隙(图版II-7)。孔隙一般为0.01—0.1 mm,不规则—近圆形,孔隙度一般为1%—6%,最高达10%—15%±,主要分布于黄龙组下段白云岩里。

区内上石炭统碳酸盐岩聚集期孔隙主要受控于成岩作用,其中最主要的有:白云石化、溶蚀和压溶等作用。

1. 白云石化作用

白云石化可分两期,准同生白云石化发生较早,产生的晶间孔虽经后期成岩作用的破坏,仍有2%—4%保留至今。埋藏白云石化局部发育,形成的晶间孔经后期溶蚀,孔隙度高达

8%—10%±，均被沥青和黄铁矿充填。

2. 溶蚀作用

前已述及，上石炭统碳酸盐岩里可见多期溶蚀。淡水溶蚀虽产生过大量溶孔，但经胶结充填后，残存的所剩无几，而埋藏溶蚀，选择原有的孔、缝扩大、开启和改造，产生了晶间溶孔、基质溶孔、粒间溶孔、粒内溶孔，使孔隙度增加2%—4%，成为聚集期的主要储集空间。

3. 压溶作用

压溶作用产生的缝合状缝隙尽管含量不高，但更为重要的是，它不仅是油气的储集空间，而且是油气的运移通道，这已被事实（几乎所见的缝合状缝隙均有沥青和荧光显示）证实。

综上所述，区内最好的储集层段是黄龙组下段，不仅聚集期孔隙类型多、孔隙率高，而且厚变大、横向变化小，是石炭系的主要勘探目的层；黄龙组上段颗粒岩发育，粒间溶孔、粒内溶孔也较发育，为次要的目的层。区域上，洪湖-天门一带，上述两目的层的聚集期孔隙明显地较其他地区高，且深埋地下，上有中、新生代的盖层，最近已被物探证实，尚有局部储油构造，是今后鄂中石炭系油气勘探的重点地区之一。

结 论

(1) 鄂中上石炭统各组、段的孔隙演化极为复杂。它不仅发育过原生孔，而且次生孔也很发育，只不过某些孔隙在成岩作用过程中被破坏，聚集期孔隙全为次生型的。储集性能的评价，只有用聚集期孔隙度，才算有其真正意义。

(2) 成岩作用是控制鄂中上石炭统碳酸盐岩储层储集性能的主要因素，其中主要的有：填积作用、胶结作用、溶蚀作用、白云石化作用、压实、压溶作用，而白云石化作用、埋藏溶蚀作用和压溶作用是形成聚集期孔隙的最为重要因素。

DIAGENESIS AND POROSITY EVOLUTION OF CARBONATES FROM UPPER CARBONIFEROUS IN CENTRAL HUBEI

Ai Huaguo

(Comprehensive Research Institute of Petroleum Geology, MGMR, Jiangling, Hubei)

Abstract

Based on the study of petrology, using the data of cathodoluminescents, stable isotopes of oxygen and carbon, trace elements and composite colouring, the diagenesis, diagenetic sequences and pore evolution of Upper Carboniferous carbonates in Central Hubei were studied in detail. The study shows that filling, cementation, solution, dolomitization, compaction and pressure-solution were the principal factors in controlling the reservoir properties of the Upper Carboniferous in Central Hubei, the most important of which were the dolomitization, solution in deep burial environment and pressure-solution in forming the pores of accumulation stage.

《中国塔里木盆地北部油气地质研究》出版

一部反映地质矿产部西北石油地质局及其合作者“七五”期间在塔里木盆地北部从事油气勘查与科研攻关所获丰硕成果的论文集《中国塔里木盆地北部油气地质研究》，不久前由中国地质大学出版社正式出版，它是七千名勘查大军及五百余名科技工作者五年中辛勤劳动的汗水和智慧的结晶。全书共 160 万字，分三辑出版，由贾润霄高级工程师主编。

第一辑为“地层沉积”，有著名科学家黄汲清教授的题词和关士聪教授的序言，计收入地层、岩石、沉积、成岩作用论文 36 篇，从生物序列、地层层序、时代归属、岩石地球化学、磁性地层、沉积特征、沉积相、古地理、成岩作用、储集性能及地震地层特征等方面，全面系统地阐述了诸多基础地质问题。

第二辑为“构造与油气”。包括用板块、槽台和地质力学观点，研究塔北大地构造属性、构造演化、盆地类型、构造区划、构造体系和构造型式、断裂和局部构造特征、构造对油气生成、聚集与保存的控制；并用传统的和现代的方法技术，研究油气性质与成因类型、油气生成与演化、生储盖层特征、圈闭类型、油气聚集带划分、资源评价及石油勘探决策研究等。

第三辑为“物化探和钻井”，共收入重力、磁力、电法、地震、化探、钻井、测井等方面论文 34 篇，它们不但提供了重要的地质和油气信息，而且在方法技术上也有创新成果。

该书资料翔实，内容丰富。对于在塔北和塔里木盆地其它地区进一步开展油气勘查有重要指导意义，也是教学、科研部门和有关院校师生的一部良好的参考书。

(党仁珊)