

# 新疆巴楚—柯坪地区上石炭统 碳酸盐岩的沉积环境与成岩作用

史基安 马宝林 师育新

(中国科学院兰州地质研究所)

**提要** 本文根据岩矿特征、沉积构造、生物组合等标志将巴楚—柯坪地区上石炭统碳酸盐岩沉积环境自西往东划分为：广海盆地相、台地边缘浅滩相、开阔台地相及滨岸浅滩相。并采用阴极发光、扫描电镜、X射线衍射分析、TAS-plus图像分析仪及测定镜质体反射率等分析手段，对该地区碳酸盐岩的压实、压溶、胶结、溶解及白云化作用进行了详细研究，推断了该岩层经历的最高成岩温度和所处的成岩阶段，并对其孔隙演化特点进行了分析，指出了次生孔隙发育的有利地带。

**关键词** 沉积环境 胶结作用 白云化作用 次生孔隙 碳酸盐岩

**第一作者简介** 史基安 男 31岁 硕士 沉积学

## 一、沉积环境

晚石炭世塔里木盆地西部发生了大规模海侵，海水由西向东不断进侵，使该地区逐渐发展为一陆缘碳酸盐台地。这一时期在巴楚地区沉积的地层称小海子组 ( $C_{3X}$ )，与下伏地层呈整合接触。在柯坪地区则叫做康克林组 ( $C_{3K}$ )，直接覆于泥盆系地层之上。康克林组地层厚度变化很大，具有东薄西厚的变化规律，在开派兹雷克附近厚 86 米。巴楚—柯坪地区上石炭统沉积相的划分如图 1 所示。

### I. 广海盆地相

分布于喀拉铁克山以北和阿图什—莎车以西地区，沉积物以薄层陆源细碎屑岩和泥质灰岩为主。

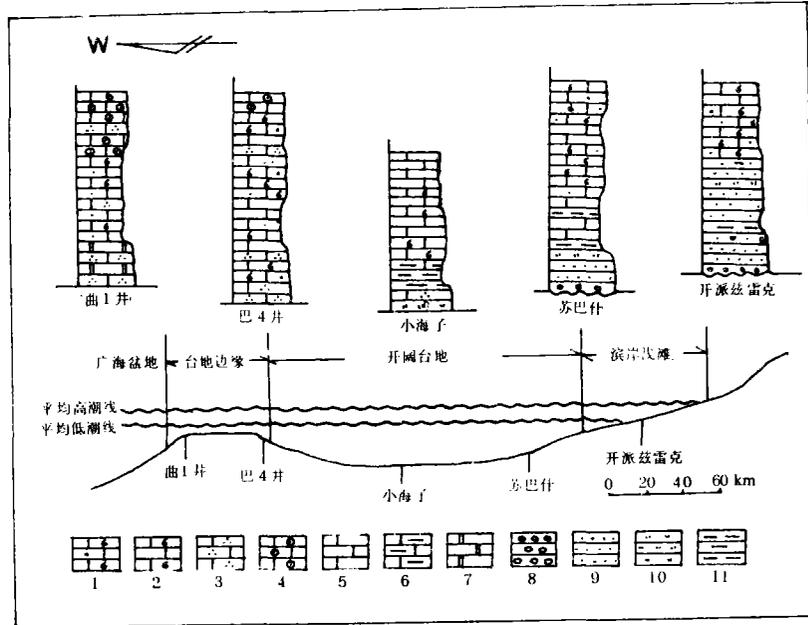
### II 台地边缘浅滩相

分布于麦盖提一带，以亮晶颗粒灰岩沉积为主，主要岩石类型有：浅灰色亮晶生物碎屑灰岩、亮晶砂屑灰岩、鲕粒灰岩、残余鲕粒细晶白云岩、礁灰岩等，颗粒含量常大于 50%，分选较好，生物碎屑常受磨蚀，发育有交错层理，岩石中所含的主要生物类型有：腕足、珊瑚、瓣鳃、蜓科、棘皮等，这些特征说明该相带的沉积环境为波浪作用较强，水体很浅，循环良好，盐度基本正常，属台地边缘浅滩相沉积。

### III 开阔台地相

分布于巴楚—苏巴什一带，沉积物以深灰色微晶、泥晶生物灰岩、内碎屑灰岩及泥灰岩为主，夹泥岩和亮晶生物灰岩。沉积物厚度几十至百余米，底部常有几十厘米至一米多厚的石英砂岩、含砾砂岩或砾状灰岩，属海侵初期产物。常见水平层理及暗色纹理显示出来的波状层理。生物碎屑比较完整且之间常含较多的灰泥，常见的化石有蜓科，棘皮、珊瑚、腕足、腹足及瓣鳃等。可见晚石炭世该区主要沉积在浪基面之下，含盐度基本正常，气候温

暖，底质坚硬，海水条件适于生物生活繁殖，属开阔台地相沉积。



- 1、亮晶生物屑灰岩 2、泥晶生物屑灰岩 3、砂质灰岩 4、鲕粒灰岩 5、泥晶灰岩
- 6、泥灰岩 7、白云岩 8、砂岩 9、粉砂岩 10、粉砂岩 11、泥岩

图1 巴楚-柯坪地区晚石炭世沉积环境模式图

Fig.1 Sedimentary environment model of late Carboniferous in Bachu-Keping region

#### IV 滨岸浅滩相

该相带位于柯坪以东，沙井子以北地区，其发育完全受阿克苏隆起的控制。该区晚石炭世沉积的康克林组（C<sub>3k</sub>）地层下部均发育有一套几十米厚的石英砂岩和粉砂岩，其厚度占该组地层厚度的二分之一至三分之一以上，基底与泥盆系地层呈不整合接触，在不整合面上可见到底砾岩。石英砂岩中常发育有大型板状交错层理和槽状交错层理，而且砂岩具很高的成份成熟度和结构成熟度。在砂岩层的上部为亮晶生物灰岩，泥晶生物灰岩及含生物灰岩，所含生物主要有腕足、瓣鳃、珊瑚、腹足、蠕虫及菊石等，生物碎屑常受磨蚀，具有较好的分选性。在砂岩和灰岩层间常夹有几厘米至十几厘米厚的泥岩，在灰岩和泥岩中，水平层理和波状层理及波痕等沉积构造较发育。因此该相带沉积环境特点是，水循环良好，水体较浅，能量较大，含盐度基本正常，沉积界面大约位于潮间带或在低潮面以下很浅处，属滨岸浅滩相。

### 二、主要成岩作用

研究区上石炭统碳酸盐岩主要经历了压实、压溶、胶结、白云岩化及溶蚀等成岩作用。

## 1、压实与压溶作用

碳酸盐岩中常见的压实现象有

- (1) 颗粒的定向排列和点接触 (图版 I, 1);
- (2) 颗粒的变形、畸变;
- (3) 颗粒间的线接触、嵌入接触;
- (4) 颗粒的破裂。

碳酸盐岩中常见的压实现象有两种, 即生物碎屑颗粒或其它碳酸盐颗粒之间的缝合线状接触 (图版 I, 2) 和碳酸盐岩中贯穿若干个生物颗粒延伸较远的缝合线状构造。并以第一种压溶现象最常见。这说明本地区晚石炭世形成的生物灰岩遭受压溶作用时间较早, 延续时间较长, 估计在第一世代栉壳状胶结物沉淀后就广泛发生了压溶作用。如果压溶作用是在颗粒间亮晶粒状方解石胶结物形成之后发生的话, 那么将仅出现延伸较远的缝合线状构造, 而不会在颗粒之间产生压溶。

## 2、胶结作用

晚石炭世碳酸盐岩胶结物的主要类型有:

- (1) 针状、纤状等厚环边胶结物

针状文石晶体或短纤维状高镁方解石晶体 (现已转化为方解石) 围绕碳酸盐颗粒呈等厚环边, 其形态与光性方位与碳酸盐颗粒相垂直。这种胶结物在阴极发光显微镜下发暗灰色光 (图版 I, 3, I, 4) 说明其中含铁量较高, 反映了这种胶结物形成时核心质点多, 结晶速度快的海水介质条件, 它是同生成岩阶段海水潜流成岩环境中形成的, 对碳酸盐岩原始孔隙率影响不是很大。

- (2) 共轴环边胶结物

大量见于棘皮类单晶生物体外, 其光性与生物碎屑一致 (图版 I, 5), 在阴极发光显微镜下发黄—桔黄色光, 其形成时间略晚于等厚环边胶结物, 属于早期成岩阶段的产物。这类胶结物在上石炭统碳酸盐岩中分布较少, 对碳酸盐岩原始孔隙性具有一定的影响。

- (3) 他形—半自形粒状亮晶方解石胶结物

这是研究区上石炭统碳酸盐岩中的主要胶结类型, 含量大, 分布广, 主要充填于生物碎屑及其它碳酸盐颗粒粒间孔中。它在阴极发光显微镜下发黄—桔黄色光, 含铁量很少。这期胶结物是成岩早期大气水潜流带成岩环境中形成的, 它形成时间晚于共轴环边胶结物。该胶结物对碳酸盐岩原始孔隙性破坏最大。

- (4) 明亮镶嵌状铁方解石胶结物

含量较少, 分布也很不均匀, 仅在上石炭统小海子组某些样品中见到, 在曲 1 井小海子组的残余鲕粒白云岩中较为常见, 它的分布受台地边缘相的控制, 主要充填于粒间孔中, 有时也见于粒内微孔中, 在阴极发光显微镜下发暗灰色光, 发光很弱, 用铁氰化钾与茜素红混合染色剂染色后呈紫色 (图版 I-6)。这种胶结物的形成时间较晚, 可能是在晚期成岩阶段—后生阶段区域地下水成岩环境中形成的, 它对白云岩和白云质灰岩的孔隙性有一定影响。

- (5) 半自形—自形白云石胶结物

含量较少, 仅见于曲 1 井上石炭统小海子组的残余鲕粒白云岩的粒间孔中, 其分布受台地边缘相的控制, 常与铁方解石胶结物共生。它在阴极发光显微镜下发粉红色光, 用铁氰化钾和茜素红混合染色剂染色后为无色 (图版 I, 6), 这种胶结物也是成岩晚期的产物, 其形

成时间及对碳酸盐岩孔隙性破坏程度与铁方解石胶结物大致相同。

### 3、白云化作用

白云化作用主要发生在巴楚地区上石炭统小海子组地层中,尤其在巴楚以西曲1井附近的台地边缘相带的亮晶颗粒灰岩的白云化作用比较强烈,在曲1井和麦参1井中常可见到残余鲕粒粉晶—细晶白云岩。由于方解石或文石在转变成白云石时体积缩小,从而产生了大量的晶间孔隙,这些由光滑的白云石晶面所保存的晶间孔为后期次生孔隙的产生提供了良好的孔隙通道,在扫描电镜下,白云石晶面上可见到大量晶间收缩孔和晶间溶孔(图版1,7),因此在上石炭统小海子组残余鲕粒粉晶—细晶白云岩中发育有大量的次生孔隙,其孔隙度最高可达18%,平均达10%(图版1,8)

上石炭统小海子组白云岩在阴极发光显微镜下发淡红色光,它的形成可能与混合白云化机理有关,是在成岩阶段中期埋藏条件下有大气水影响的成岩环境中形成的。

### 4、溶解作用与次生孔隙的形成

上石炭统碳酸盐岩在长期的成岩过程中经历了压实、压溶、胶结等作用,原生孔隙大都丧失。但在成岩晚期及后生阶段由于孔隙水化学性质的改变,造成溶解作用发生,产生了部分次生孔隙。这时压实作用已基本不起作用,次生孔隙可以保存下来,从而改善了部分岩石的孔隙度和渗透性。

碳酸盐岩中次生孔隙主要类型有

#### (1) 粒间、粒内溶孔

在许多亮晶碳酸盐颗粒灰岩、亮晶、微晶生物灰岩及含生物灰岩中都可见到粒间及粒内溶孔,粒间孔大小差别较大,最大可达2mm,一般为0.1~0.5mm,相对分布比较均匀。粒内孔隙通常较小,小于0.1mm,且分布亦不均匀。在亮晶生物灰岩的生物碎屑粒间较为常见,少数碳酸盐岩样品的粒间、粒内孔隙度较高,可达10%左右,这可能是由于它们沉积后经历的海底成岩环境相对较短就进入了大气水成岩环境,受到强烈的溶解及选择性溶解所致。晚期胶结作用可再次充填这些孔隙。

#### (2) 晶间收缩孔和晶间溶孔

主要见于上石炭统小海子组台地边缘相带的残余鲕粒白云岩中,该相带的鲕粒灰岩在混合带内发生了强烈的白云化作用,形成具残余结构的白云岩及白云化灰岩,白云化作用形成的晶间收缩孔常大于0.01mm,且连通性好,为成岩晚期及后生阶段溶解作用的发生创造了良好的条件,从而在其中形成了大量的晶间溶孔(图版1,7)及其它溶孔,使之成为良好的储集层。

#### (3) 压溶裂缝及构造裂缝溶孔

这类溶孔在碳酸盐岩样品中分布极不均匀,大小、形状也差别很大,在个别样品中裂缝溶孔宽度可达0.2mm~0.5mm,并且其中常有沥青质充填,裂缝溶孔可作为油气运移的良好通道。

## 二、成岩特点及孔隙演化

巴楚—柯坪地区上石炭统泥岩中镜质体反射率( $R^0$ )为1.20~1.52,平均1.34。泥岩中伊利石开形指数( $N_k$ )也在1.5~1.7之间,可见它所经历的最高成岩温度应在120℃~

160°C, 因此可以认为该地层现处于后生阶段的中期, 即为有机质成熟阶段。

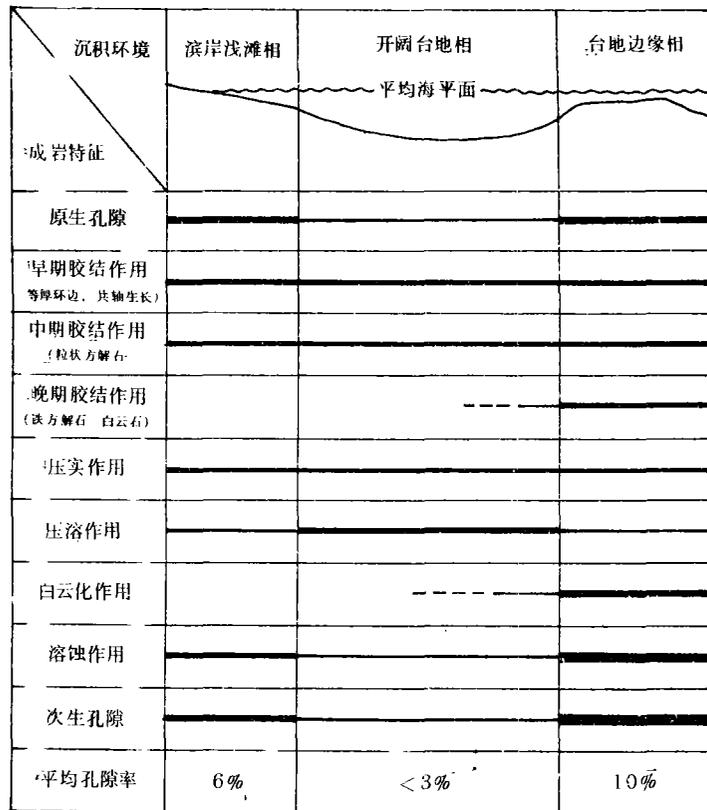


图2 上石炭统碳酸盐岩沉积环境与成岩特征关系

Fig.2 Relationship between sedimentary environment and diagenesis characteristic of Upper Carboniferous carbonate

上石炭统碳酸盐岩是一套陆缘碳酸盐台地沉积环境中形成的泥晶、微晶灰岩, 生物灰岩及亮晶颗粒灰岩等, 由于它们沉积环境不尽相同, 造成了成岩特点及孔隙演化特点的不同(图2), 总的来说, 上石炭统碳酸盐岩的主要成岩特点是: 在同生阶段及成岩阶段早期, 沉积物除普遍遭受压实作用外, 还围绕生物及其它碳酸盐颗粒边缘形成了一层纤状等厚环边胶结物及共轴生长胶结物。之后在成岩阶段期间碳酸盐岩的粒间孔隙中广泛发育了粒状亮晶方解石胶结物, 这一时期还有压溶作用和早期溶解作用发生。此外在小海子组台地边缘相带的亮晶颗粒灰岩中发生了强烈的混合白云化作用, 形成残余鲕粒细晶-粉晶白云岩, 在开阔台地相带的灰岩中白云化作用较弱, 仅形成少量白云质灰岩。在成岩阶段晚期及后生阶段, 这时胶结作用已退居次要地位, 仅在台地边缘相带的残余鲕粒白云岩中见有少量的铁方解石和白云石等晚期胶结物。这一阶段由于溶解作用的广泛发生, 在上石炭统碳酸盐岩中形成了大量粒间、粒内次生孔隙, 台地边缘相带的白云化作用所形成的大量晶间收缩孔隙为次生孔隙的形成创造了有利条件, 因此在该相带的白云岩中次生孔隙最为发育, 是研究区最有利的碳

酸盐岩储集层 (图3)。

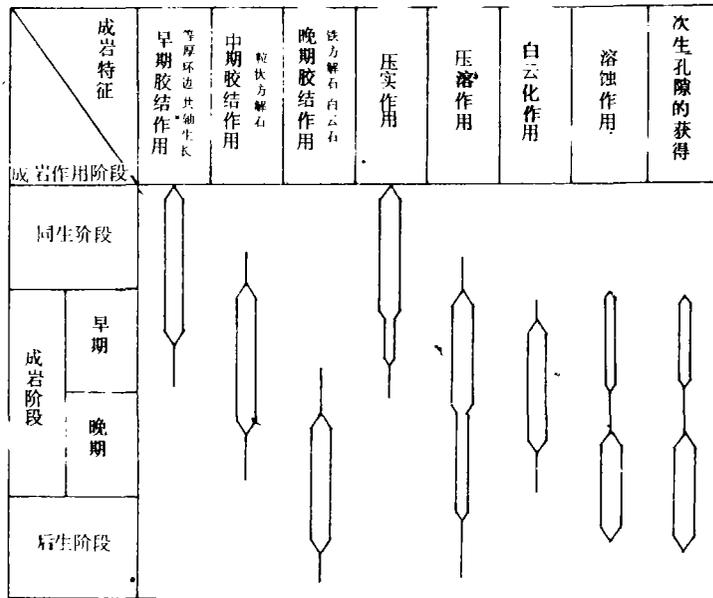


图3 上石炭统碳酸盐岩成岩阶段与成岩特征

Fig.3 Diagenetic stage and characteristic of carbonate of Upper Carboniferous

溶解度不同的各种矿物其发生压溶的临界压力也不同，碳酸盐岩压溶的临界压力较低，因此在碳酸盐岩中各种压溶现象更为常见，通常在大于一千米的深处几乎很少有空隙形成，这是因为均匀碳酸盐岩中溶解作用产生的是缝合线，而不是孔隙。在曲1井和巴四井三千余米深的碳酸盐岩中常见各种缝合线构造，但也见有孔隙率在百分之几至百分之十几的碳酸盐岩，特别是白云质灰岩和白云岩常有较高的孔隙率，这些富含次生孔隙的碳酸盐几乎都缺乏铁方解石和白云石晚期胶结物，并且孔隙边缘常有沥青质痕迹（图版1，8），因此笔者认为：绝大部分次生孔隙形成时间早于晚期胶结作用，小海子组的白云化作用产生的白云质灰岩和白云岩及重结晶作用产生的粉晶、细晶白云岩，一方面由于矿物体积缩小产生大量晶间收缩孔，另一方面白云岩变成颗粒接触或晶体格架支撑，就会抑制其中灰岩的压溶作用进一步产生，次生孔隙形成后可能一直被油气所占据（孔隙边缘常有沥青质痕迹），使这些地带所产生的次生孔隙免遭压溶作用的破坏和晚期胶结物的充填，成为本地区最有希望的储集层。而那些油气等物质没有占据的次生孔隙，之后又被铁方解石和白云石等晚期胶结物所充填，所以具有铁方解石和白云石胶结物的白云岩和白云质灰岩的孔隙度都不高。

收稿日期 1989年9月18日

### 参 考 文 献

- (1) 刘宝锜, 曾允孚, 1985, 岩相古地理基础和工作方向, 地质出版社。
- (2) 罗蛰潭, 王允诚编著, 1986, 油气储集层的孔隙结构, 科学出版社。
- (3) A.Parker and B.W.Sellwood, 1981, Sediment Diagenesis. p.379-417, D.Redel Publishing Company.
- (4) Grover, G. J. and Read. J. F, 1983, AAPG, V.67, p.1275-1303.
- (5) Longman, M. W, 1980, AAPG, V.64, p.459-487.

## STUDY ON THE SEDIMENTARY ENVIRONMENT AND DIAGENESIS OF UPPER CARBONIFEROUS CARBONATES IN BACHU-KEPING REGION, XINJIANG

Shi Ji'an Ma Baolin Shi Yuxin

(Lanzhou Institute Of Geology, Academia Sinica)

### Abstract

The Late Carboniferous in Western Tarim Basin is the typical sedimentation of epicontinental carbonate platform. Its main sediments are micrite, sparite, biomicrosparite and dolomite. The study on sedimentary environment, features of diagenesis and evolution characteristic of pores of Upper Carboniferous carbonates was carried out by Cathodoluminescence Microscope, SEM, X-diffraction analysis, TAS-plus Image Analysis System and Reflectance of Vitrinite ( $R^{\circ}$ ), based on field work and a large quantity of thin section observation. Through research, the following main conclusions are proposed:

1. The sedimentary environment of Upper Carboniferous carbonates in Bachu-Keping region can be divided into four facies from west to east.

(1) Open Sea Basin Facies It is distributed north of Kalatieke Mt. and west of Atushi-Shache County area. The most of sediments are terrigenous fine clastic rock and marl.

(2) Platform Border Shoal Facies It is distributed Maigaiti County area. The most of sediments are sparite and dolomite.

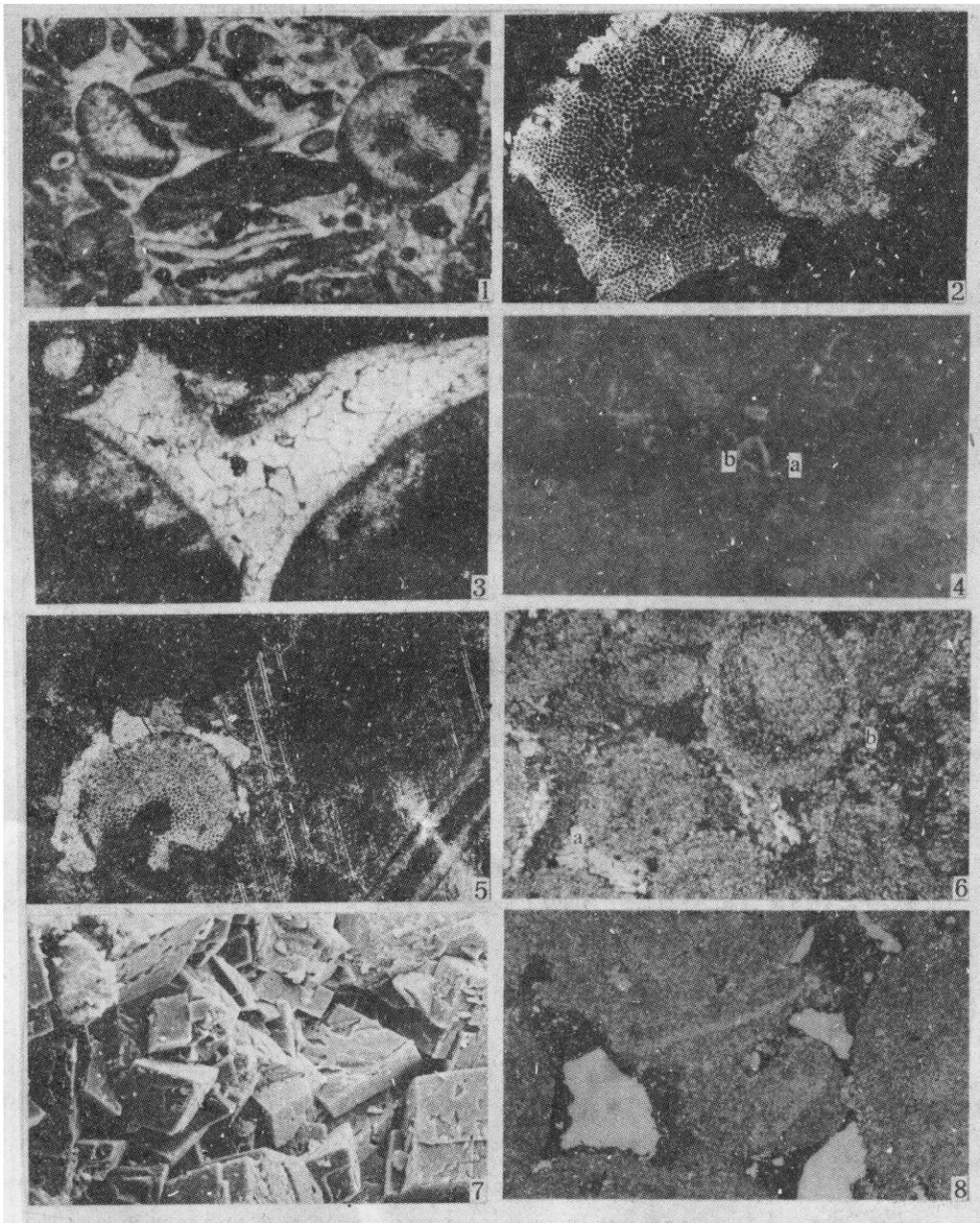
(3) Open Platform Facies It is distributed Bachu County-Subashi village area. The most of sediments are biomicrite and marl.

(4) Coastal Shoal Facies It is distributed east of Keping County and north of Shajinzi Town area. The most of sediments are quartzose sandstone, siltstone, intramicrosparite and biomicrosparite.

2. Upper Carboniferous carbonates have undergone deep compaction, Presolution, cementation, dolomitization and solution. Measurement of vitrinite reflection ( $R^{\circ}$ ) and illite crystallinity in mudstone demonstrate that diagenetic temperature is  $120^{\circ}\text{C}$  to  $160^{\circ}\text{C}$ . Therefore in author's opinion, this sequence is in the middle-late postdiagenetic stage that is organic mature stage.

3. There are five kinds of cement which are formed in different period in Upper Carboniferous carbonates: (1) Needle isopachous ring cement. (2) Co-axial ring cement. (3) Allotriomorphic to hypautomorphic granular sparrycalcite cement. (4) Sparry cyclopean ferrocalcite cement. (5) Hypautomorphic to idiomorphic dolomite cement.

4. The original sedimentary environment of carbonate is the important condition that influences the diagenesis of carbonate. The good reservoir rocks are often evolved from sparry granular carbonate and biosparite. Especially sparry granular carbonate of Xiaohaizi formation in platform border facies, because the widespread dolomitization, formed dolomitic limestone which has residual structure, that is helpful for the formation of secondary pores. Mean porosity of dolomite is 10%. So the authors suggest that this sort of rocks is the hopeful reservoir of oil.



图版 I-1 生物灰岩中生物碎屑的定向排列,  $\times 30$ , (-)。图版 I-2 生物灰岩中生物碎屑的缝合线状接触,  $\times 60$ , (-)。图版 I-3 单偏光下亮晶生物灰岩中两期方解石胶结物的分布形态,  $\times 65$ , (-)。图版 I-4 阴极发光下纤状等厚环边胶结物 (a) 发暗灰色光, 晚期镶嵌状亮晶方解石胶结物 (b) 发桔黄色光,  $\times 65$ 。图版 I-5 生物灰岩中棘皮类单晶生物体的共轴生长,  $\times 65$ , (+)。图版 I-6 残余鲕粒白云岩中铁方解石胶结物 (已染成紫色 a) 和白云石胶结物 (目形, 无色 b),  $\times 35$ , (-)。图版 I-7 扫描电镜下残余鲕粒白云岩中晶间收缩孔及晶间溶孔,  $\times 320$ 。图版 I-8 残余鲕粒白云岩中的次生孔隙,  $\times 30$ , (-)。