

文章编号:1001-6112(2011)06-0564-05

# 建南气田飞三段储层成岩作用研究

鲍云杰,王恕一,蒋小琼,管宏林,杨振恒

(中国石油化工股份有限公司 石油勘探开发研究院 无锡石油地质研究所,江苏 无锡 214151)

**摘要:**以建 43 井为例,研究了建南气田三叠系飞三段储层的成岩作用及特点,其中白云岩化作用、溶蚀作用和构造破裂作用对储层贡献较大。其成岩序列为藻粘结、泥晶化→一代胶结→大气淡水溶蚀→二代粒状胶结→新生变形→压实压溶→白云岩化→早期张裂缝及充填→构造挤压作用→埋藏溶蚀 I→进油→白云石、萤石充填、石英充填交代→油演化为沥青→埋藏溶蚀 II→晚期张裂缝→进气;主要经历了海底(潮间)环境、大气淡水环境、浅埋藏和深埋藏环境。白云石晶体、二代粒状胶结物、萤石被溶蚀、压性裂缝发育以及孔隙无明显变形是埋藏溶蚀的主要识别标志。

**关键词:**成岩作用;埋藏溶蚀;成岩序列;飞仙关组三段;下三叠统;建南气田

**中图分类号:**TE122.2<sup>+1</sup>

**文献标识码:**A

## Reservoir diagenesis of 3rd member of Feixianguan Formation, Jiannan Gas Field

Bao Yunjie, Wang Shuyi, Jiang Xiaoqiong, Guan Honglin, Yang Zhenheng

(Wuxi Research Institute of Petroleum Geology, SINOPEC, Wuxi, Jiangsu 214151, China)

**Abstract:** Diagenesis and features of the 3rd member of Feixianguan Formation in the Jiannan Gas Field were studied taking well Jian43 as an example. Dolomitization, karstification and tectonic disruption were contributive to reservoir. Diagenesis sequence was illustrated as follows: algae agglutinate and micritization→first consolidation→atmospheric water erosion→secondary granular consolidation→neomorphism→compaction and pressolution→dolomitization→early tension fissure and filling→tectonic compression→buried erosion I→petroleum entering→dolomite and fluorite filling as well as quartz filling and metasomatism→oil evolving to bitumen→buried erosion II→late tension fissure→gas entering. There were 4 kinds of diagenesis environment including seabed (intertidal), atmospheric water, shallow bury and deep bury. Dolomite crystals, secondary granular consolidations, eroded fluorites, tensional fissures and pores without obvious deformation were the main identifications for buried erosions.

**Key words:** diagenesis; buried erosion; diagenesis sequence; 3rd member of Feixianguan Formation; Lower Triassic; Jiannan Gas Field

建南气田位于重庆—湖北交界的石柱、利川县境内,构造位置处于川东褶皱带与湘鄂西褶皱带的结合部—川东—鄂西基底起伏构造带上的石柱复向斜内<sup>[1-3]</sup>(图 1);建南构造为一北东向膝状低丘背斜,核部出露最早地层为沙溪庙组,产气层位有嘉陵江组嘉一段、飞仙关组飞三段、长兴组长二段和石炭系黄龙组<sup>[4-5]</sup>。

从研究区沉积相横向对比研究来看,飞三段经历了海退、碳酸盐台地向东推进迁移过程,处于台地边缘滩沉积相带<sup>[6-8]</sup>。岩性以浅灰色中—厚层状颗粒灰岩、砂屑灰岩、生屑灰岩和泥晶灰岩为主,以颗粒灰岩发育为特征<sup>[9]</sup>。储层可划分为孔隙型、

孔隙—裂缝型、裂缝—孔隙型和裂缝型 4 类<sup>[10]</sup>。建 43 井是石柱复向斜建南构造南高点上的一口探井,钻探揭示的地层由上到下依次为侏罗系沙溪庙组、自流井组,三叠系须家河组、巴东组、嘉陵江组、飞仙关组,二叠系长兴组、乐平组(未穿)。

### 1 飞仙关组三段储层成岩作用类型及特征

建 43 井飞仙关组三段储层主要岩性为亮晶鲕粒灰岩、亮晶核形石灰岩,局部层段含一些砂屑。主要经历了藻粘结和泥晶化作用、压实压溶、胶结充填、白云岩化、新生变形和重结晶作用、溶蚀、构造破裂等一系列的成岩作用,对储层贡献较大的成岩作

收稿日期:2011-02-14;修订日期:2011-11-01。

作者简介:鲍云杰(1963—),男,高级工程师,从事储盖层测试与研究。E-mail:baoyj.syky@sinopec.com。

基金项目:中国石油化工股份有限公司油田事业部项目(YTB2006-01)。

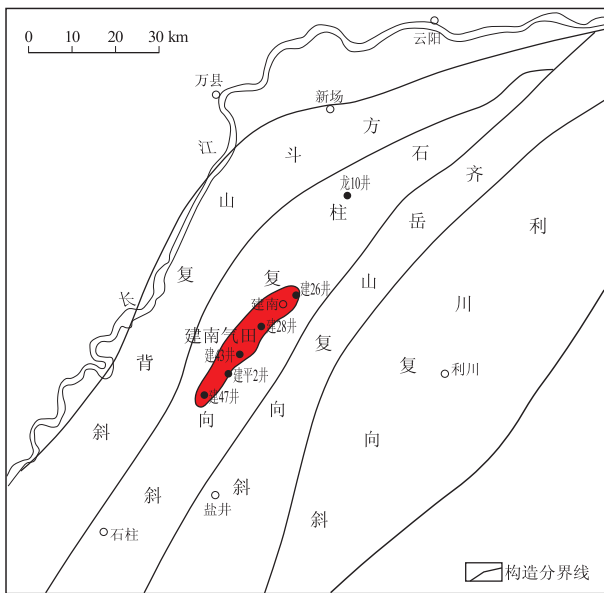


图 1 建南气田构造位置

Fig. 1 Tectonic location of Jiannan Gas Field

用主要有白云岩化作用、溶蚀作用和构造破裂作用。

### 1.1 藻粘结和泥晶化作用

鲕粒表面常发育泥晶化,围绕鲕粒外圈内缘发育形成泥晶套,有利于早期淡水溶蚀形成粒内溶孔和铸模孔。藻粘结作用在该层段比较强烈,表现在鲕粒、砂屑等外缘发育藻包壳(图版 A),鲕粒表面常见角状突起,由泥晶组成,是蓝绿藻包壳粘结的产物。该段下部(3 037.9 m 以下)更常见由蓝绿藻包壳形成的核形石及藻鲕,反映了沉积时水动力条件较弱、有利于蓝绿藻包壳生长的环境。

### 1.2 压实压溶作用

压实作用较弱,鲕粒及其它颗粒多呈漂浮状及点接触。压溶作用则较发育,缝合线常见,沿缝合线有的颗粒被溶蚀(图版 B)。

### 1.3 胶结充填作用

胶结作用发育,粒间发育一世代纤状胶结物及二世代粒状胶结物(图版 C)。局部可见一世代纤状胶结物呈悬垂状组构,反映了局部的海水渗流环境(潮间)。

充填作用也较发育,不同期次的溶蚀孔隙、早期的张裂隙中大多已被充填,早期淡水溶蚀孔中(粒内孔、鲕模孔及少量粒间溶孔)已被粒状方解石充填(图版 D),有时可见溶孔中渗流粉砂充填构成示底构造,早期张裂隙中也已充填方解石。埋藏溶孔中则常见方解石、白云石、萤石充填(图版 E, F),偶见自生石英及异形白云石充填。

### 1.4 白云岩化作用

建 43 井飞仙关组三段储层中白云岩化较弱,白

云石含量一般 10% 左右,局部呈团块状富集。白云石多呈自形、半自形,以粉晶—细晶为主,白云岩化切割原岩结构,常见优先交代颗粒,尤其是具有早期溶蚀孔已被粒状方解石充填的鲕粒(图版 G)。也常见白云石沿缝合线发育及交代早期方解石脉的特征。从建 43 井白云石有序度测试结果(表 1)来看,有序度  $I_{015}/I_{110}$  为 0.80~1.0,平均 0.924,其中大于等于 0.90 的样品占 77%,本区白云石重结晶一般较弱,也表明白云岩化发育于成核作用较缓慢的埋藏成岩环境,不是准同生期的产物。

### 1.5 新生变形和重结晶作用

新生变形作用使沉积的文石和高镁方解石转变为低镁方解石,局部泥晶增大为微晶。埋藏期的重结晶作用普遍发育弱,没有见到明显的矿物晶体增大现象。

### 1.6 溶蚀作用

溶蚀作用大致有三期:一期为大气淡水溶蚀,二期和三期为埋藏期溶蚀。

一期溶蚀(大气淡水溶蚀):研究层段为滩相沉积,由于海平面波动,常使滩相沉积暴露,受到大气淡水淋滤而发生溶蚀。剖面中该期溶蚀比较普遍,表现为鲕粒及其他颗粒中的溶蚀形成粒内溶孔、鲕粒铸模孔,局部淡水溶蚀强烈的地方,粒间一世代胶结物被溶蚀。建 43-10 样品(3 017.5 m)亮晶鲕粒灰岩中,早期淡水溶蚀形成的粒内孔达到 15%~20%,粒间一世代胶结物被溶蚀,仅剩少量残余(图版 D),总的溶蚀面孔率可达 35%,一般该期溶蚀可形成 5%~10% 溶蚀孔(面孔率)。但是该期溶蚀形成的孔隙随后又被等粒状方解石充填胶结,形成现今薄片可见的多晶鲕、粒内粒状方解石组成的团块以及粒间的二世代粒状胶结物。

表 1 建南气田建 43 井飞三段白云石有序度

Table 1 Order degrees of dolomites from 3rd member of Feixianguan Formation, well Jian43, Jiannan Gas Field

样品号	岩性	白云石含量/%	$I_{015}/I_{110}$
J43-2	亮晶鲕粒白云质灰岩	10	0.95
J43-17	亮晶砾—砂屑鲕粒白云灰岩	10	0.90
J43-19	亮晶砂砾屑鲕粒白云灰岩	10	1.0
J43-20	亮晶砂砾屑鲕粒白云灰岩	10	1.0
J43-21	亮晶核形石砂屑鲕粒白云灰岩	10	0.90
J43-22	泥—亮晶砂屑鲕粒白云灰岩	10	1.0
J43-23	泥—亮晶砂屑鲕粒白云灰岩	12	0.82
J43-28	亮晶砂屑鲕粒白云灰岩	10	0.95
J43-36	泥晶核形石灰岩	2	0.80

二期溶蚀,即 I 期(早期)埋藏溶蚀:发育于粒间及粒内,粒间的溶蚀多发育于二世代粒状胶结物之间,多从粒间孔中心开始发育,溶蚀粒状胶结物。粒内溶蚀则常沿粒内的压裂缝、鲕粒同心层圈发育(图版 H);局部白云石富集处,也发育于白云石晶间,形成晶间溶孔(图版 I)。该期溶蚀孔中多已充填沥青或白云石、萤石(图版 D, E)。大致在飞三段中上部(3 035.8 m 左右以上),该期溶蚀孔中多被沥青充填,面孔率 3%~6%;下部溶蚀孔中主要充填白云石及萤石,溶孔面孔率小于等于 1%。

三期溶蚀,即 II 期(晚期)埋藏溶蚀:溶蚀发育较弱,面孔率小于 1%,溶蚀作用发育于粒间或粒内的晶间,一般白云石富集处、白云石晶间溶蚀较发育。该期孔隙均为有效孔(图版 I)。

### 1.7 构造破裂作用

大致分为三期:第一期为张裂缝,已充填方解石,研究层段中该期裂缝不常见;第二期为压性构造裂缝,沿缝一般有沥青充填,该期挤压应力常造成鲕粒挤压变形错位,并在鲕粒内部产生微裂缝,以及沿同心层圈发育环状微裂缝、沿鲕粒边缘的环状脱壳缝,沿这些微裂缝发生溶蚀并充填沥青(图版 H);第三期为张裂缝,未充填,为现今有效缝,研究层段中分布较普遍,但一般缝窄短(0.01~0.02 mm 左右)(图版 H)。

### 1.8 进油

研究层段中普遍分布沥青,主要分布于粒内粒间的溶孔、缝合线及压性缝中,偶见分布于早期方解石脉晶间、白云石晶间(图版 B, C, H)。暗示着层段中有一次油聚集事件。

## 2 埋藏溶蚀特征及识别标志

建 43 井飞仙关组埋藏溶蚀作用发育于粒内粒间及晶间,早期(I 期)埋藏溶蚀孔缝多已被沥青或白云石、萤石充填,晚期(II 期)埋藏溶蚀孔则未被充填,为有效孔隙。根据成岩序列及相应的成岩事件,可以区分埋藏溶蚀作用和早期大气淡水溶蚀作用。研究层段埋藏溶蚀的识别标志如下:

### 2.1 溶蚀、压性缝发育且孔隙无变形

表明孔隙形成于构造挤压作用之后。而早期大气淡水溶蚀作用形成的残余孔隙,在构造挤压作用下会变形消失。剖面中的一些溶蚀孔隙与构造挤压作用形成的裂隙关系密切,且未见明显变形。

### 2.2 白云石晶体、萤石被溶蚀

表明溶蚀作用发生于这些矿物形成之后。成岩作用研究表明,剖面中二世代粒状胶结物已堵塞

了粒间一世代胶结后的剩余孔隙,并具有向心增大的结构。这些粒状胶结物形成于大气潜流至浅埋藏期,孔隙中心结晶较大的晶体当形成于成核较慢的浅埋期;粒间溶孔则常从孔隙中心开始发育,表明它们形成于浅埋之后。剖面中的白云石形成于埋藏期,萤石更是埋藏期的产物,因此,白云石、萤石的溶蚀也表明溶蚀作用发生于埋藏期。

### 2.3 I 期和 II 期埋藏溶蚀的识别标志

剖面中 I 期埋藏溶孔中大多充填沥青或白云石、萤石,而 II 期埋藏溶孔多未充填,有无沥青及大量的白云石、萤石的充填,是区分 I 期和 II 期埋藏溶蚀的重要标志。

## 3 储层成岩序列、环境及模式

### 3.1 成岩序列及成岩环境

根据薄片研究,建 43 井飞仙关组三段成岩序列如下:藻粘结、泥晶化→一世代胶结→大气淡水溶蚀→二世代粒状胶结→新生变形→压实压溶→白云岩化→早期张裂缝及充填→构造挤压作用→埋藏溶蚀 I→进油→白云石、萤石充填、石英充填交代→油演化为沥青→埋藏溶蚀 II→晚期张裂缝→进气。

成岩演化过程中,主要经历了海底(潮间)环境、大气淡水环境、浅埋藏和深埋藏环境,不同环境中相应的成岩作用及特征见表 2。

### 3.2 成岩作用模式

#### 3.2.1 建 43 井飞仙关组埋藏史及热演化史

建 43 井飞仙关组沉积后,持续沉降埋藏,至中三叠世末受晚印支运动影响,随区域抬升,结束了本区海相沉积历史;晚三叠世及以后进入陆相沉积;中三叠世末一晚三叠世早期有轻微剥蚀,随后继续沉降沉积了上三叠统及侏罗系地层,至晚侏罗世末期埋深达 6 300 m 左右,地层温度达 200 °C 左右;晚侏罗世末期—白垩纪以来,由埋藏转为抬升,埋深变浅,地层温度降低,直至现今的埋深和地层温度。

在埋藏过程中,大约在早侏罗世,二叠系烃源岩进入成熟期,至中侏罗世进入大量生油期,油进入了建 43 井飞仙关组三段储层聚集,同时大量有机酸等进入流体,使飞仙关组三段储层产生早期溶蚀,为油的聚集提供了储集空间。随着进一步埋深,大约在晚侏罗世,聚集的油逐渐热演化为沥青。之后进一步埋深,地层温度达到 200 °C 左右,地层压力也增大,可能含硫化氢的酸性流体进入产生了晚期溶蚀作用。

表 2 建南气田建 43 井飞仙关组三段储层成岩环境

Table 2 Diagenesis environment for reservoirs in 3rd member of Feixianguan Formation, well Jian43, Jiannan Gas Field

成岩作用及油气聚集事件	产 物	成岩环境
藻粘结	颗粒的藻包壳、粒间的藻粘结	
泥晶化	颗粒泥晶化、泥晶套	海底环境 (潮间)
海底胶结	一代纤状胶结物 (纤状悬垂组构)	
大气淡水溶蚀	粒内溶孔,局部纤状胶结物被溶蚀	大气淡水环境 (渗流带)
渗流粉砂	渗流粉砂、示底构造	
粒状胶结	粒状胶结物,充填早期粒内溶孔,粒间形成二代粒状胶结物,向心增大	大气淡水 (潜流带)—浅埋藏环境
新生变形	文石、高镁方解石转变为低镁方解石,泥晶增大为微晶、粉晶	
压实压溶	缝合线	
白云岩化	白云岩化穿插、切割原岩结构,白云石半自形—自形,粉晶—细晶,优先交代鲕粒,有时沿缝合线发育	
早期张裂缝	早期方解石脉	
构造挤压作用	压性裂缝、鲕粒等颗粒挤压变形错位及粒内微裂隙	
I 期埋藏溶蚀	形成粒内溶孔及粒间溶孔	埋藏环境
进油—热演化为沥青	早期溶蚀孔隙、压性裂缝及缝合线中充填沥青	
充填作用	白云石、萤石充填溶蚀孔隙,石英充填及交代	
II 期埋藏溶蚀	粒内或粒间方解石、白云石晶间溶蚀,形成溶孔,未充填	
晚期张裂缝	未充填裂缝	
进气	现今含气层	

3.2.2 流体包裹体资料

对建 43—35、建 36、建 37—1、建 37—2 等 4 个样品中的方解石脉、充填孔隙的萤石、白云石、方解石等矿物流体包裹体进行了测试研究。

(1) 充填溶孔的方解石盐水包裹体大致为五期。一期:94.3~108.6 °C,平均 100.1 °C;二期:113.2~118.6 °C,平均 116 °C;三期:122.6~135.6 °C,平均 129 °C;四期:143.3~145.6 °C,平均 144.45 °C;五期:167.8~181.5 °C,平均 173.73 °C。反映了大致为五期的流体活动期,样品中方解石充填大致发育于一期和二期,即 100.1 °C 和 116 °C。

(2) 充填溶孔的萤石盐水包裹体均一温度为 144.3~148.6 °C,平均 146.45 °C。

(3) 异形白云石盐水包裹体均一温度为 125.6~135.4 °C,平均 131.23 °C。

(4) 方解石脉中盐水包裹体大体分为四期。均一温度:一期:98.8~113.2 °C,平均 106.87 °C;二期:120.8~136.8 °C,平均 130.71 °C;三期:136.8~

144.3 °C,平均 140.47 °C (为另一条方解石脉);四期:164.2~172.5 °C,平均 168.88 °C。

从上述数据分析,方解石脉大致形成于 106.87 °C 和 140.47 °C,与一、二期和四期流体活动期大致相当;萤石充填地层温度大致为 146 °C 左右,与第四期流体活动同期;异形白云石盐水包裹体分布于晶体中心,初始沉淀发生于 131.23 °C 左右,与第三期流体活动相当。

3.2.3 储层成岩作用模式

根据建 43 井飞仙关组三段储层成岩作用序列及充填物盐水包裹体资料,结合其埋藏史、热史演化,建立了储层成岩作用模式 (图 2)。

4 结论

1) 建南气田飞三段储层成岩作用类型丰富,但从成岩作用的特点、序列、模式等方面来看,白云岩化作用、溶蚀作用、构造破裂作用对储层起建设性作用。

2) 白云岩化作用总体较弱,较高的白云石有序度和重结晶一般较弱的特征,表明本区白云岩化发育于成核作用比较缓慢的埋藏环境,应该主要形成于埋藏时期。

3) 溶蚀作用比较发育,溶蚀作用大致有三期:一期溶蚀 (大气淡水溶蚀) 是受到大气淡水淋滤而发生的溶蚀,该期溶孔多已被方解石充填;二期溶

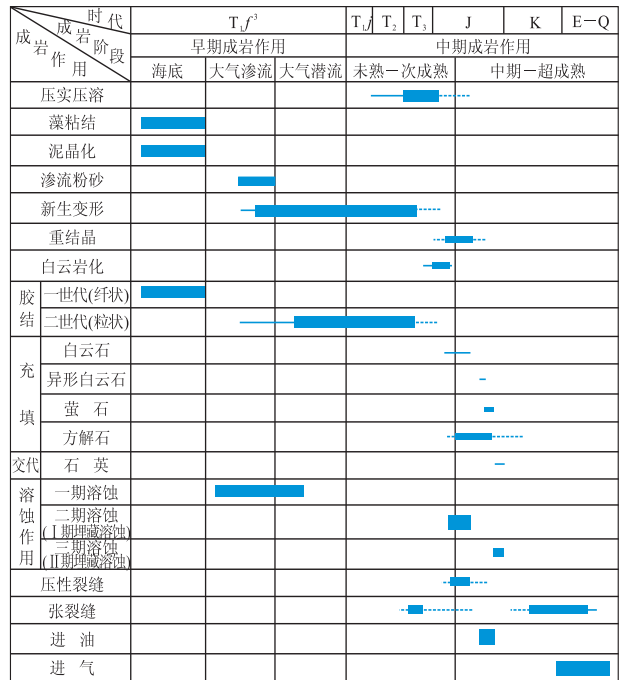


图 2 建南气田建 43 井飞仙关组三段成岩作用模式 Fig. 2 Diagenesis pattern of 3rd member of Feixianguan Formation, well Jian43, Jiannan Gas Field

蚀(I期埋藏溶蚀)形成的孔隙空间已被沥青充填;三期溶蚀(II期埋藏溶蚀)形成的孔隙空间尚没有被充填。现今储层的有效孔隙主要是II期埋藏溶孔,其次为I期埋藏溶孔被充填后的残余孔隙。

4)构造破裂作用比较发育,大致分为三期,对储层均有一定的建设性作用。其中第一期、第二期形成的裂缝多数已被方解石和沥青充填,第三期为张裂缝,未充填,为现今有效缝。

致谢:研究中得到中国石化南方分公司和江汉油田研究院的支持和帮助,特致谢忱。

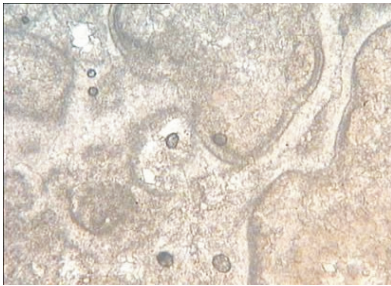
参考文献:

[1] 丁道桂,郭彤楼,翟常博,等.鄂西一渝东区膝折构造[J].石油实验地质,2005,27(3):205-210.  
 [2] 盛贤才,王韶华,文可东,等.鄂西渝东地区石柱古隆起构造沉积演化[J].海相油气地质,2004(1-2):43-52.

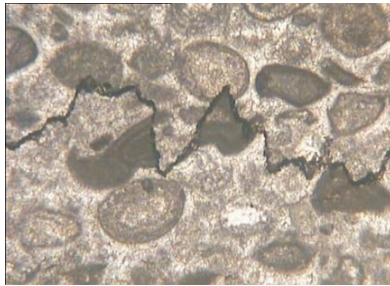
[3] 胡纯心,高林,刘锐.鄂西渝东区构造特征及其发展演化[J].江汉石油科技,2000,10(2):59-62.  
 [4] 王韶华,万云强,林娟华.建南气田海相天然气藏成因类型探讨[J].石油天然气学报,2008,30(4):37-42.  
 [5] 陈学辉,张毅.鄂西建南地区天然气勘探成果认识与勘探目标[J].江汉石油职工大学学报,2006,19(4):10-12.  
 [6] 梁西文,郑荣才.建南构造飞仙关组三段高精度层序地层学及南北高点储层差异原因探讨[J].沉积与特提斯地质,2006,26(3):45-50.  
 [7] 曾庆立.建南气田周缘地区飞仙关组沉积特征与勘探目标[J].江汉石油职工大学学报,2004,17(2):8-9.  
 [8] 倪新锋,陈洪德,田景春,等.川东北地区长兴组一飞仙关组沉积格局及成藏控制意义[J].石油与天然气地质,2007,28(4):458-465.  
 [9] 万云强,殷文洁,陈明剑.建南地区低孔低渗储集层改造技术应用效果分析[J].石油天然气学报,2005,27(2):249-250.  
 [10] 范松之,韦林波.建南地区飞三段储层的测井评价[J].江汉石油科技,2002,12(3):25-28.

(编辑 徐文明)

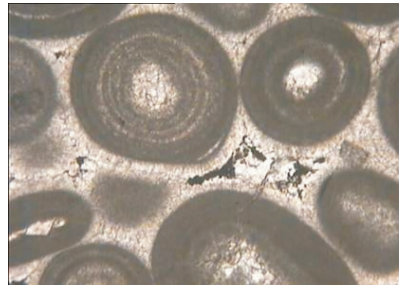
图 版



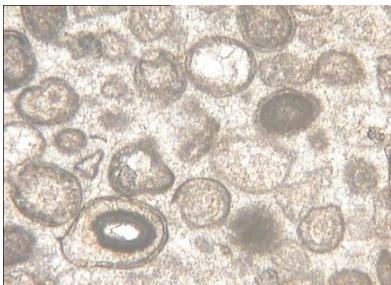
A. J43-19, 飞三段(3 037.0 m), 亮晶鲕粒灰岩, 砾屑与藻包壳。10×2.5



B. J43-11, 飞三段(3 020.5 m), 亮晶鲕粒灰岩, 缝合线充填沥青。10×2.5



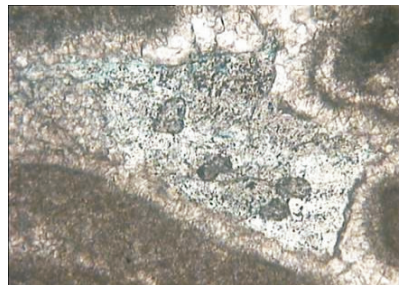
C. J43-1, 飞三段(3 008.1 m), 亮晶鲕粒灰岩, 一、二代胶结物及沥青。10×4



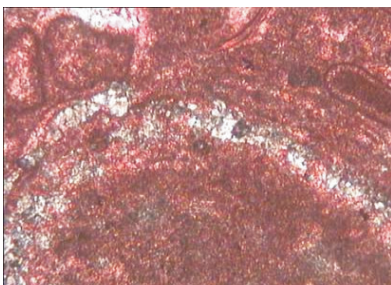
D. J43-10, 飞三段(3 017.5 m), 亮晶鲕粒灰岩, 鲕模孔及鲕粒内溶孔均已充填。10×2.5



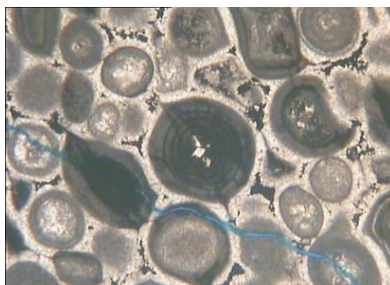
E. J43-17, 飞三段(3 036.2 m), 亮晶鲕粒灰岩, 粒内溶孔中充填萤石和白云石。10×10



F. J43-34, 飞三段(3 063.4 m), 亮晶核形石灰岩, 粒间溶孔中充方解石, 方解石又被后期溶蚀。10×4



G. J43-38, 飞三段(3 066.7 m), 白云石沿核形石同心层交代。10×4



H. J43-7, 飞三段(3 011.8 m), 亮晶鲕粒灰岩, 沥青充填鲕内裂纹及同心层, 后期张裂缝。10×4



I. J43-32, 飞三段(3 060.6 m), 亮晶核形石灰岩, 核形石中白云石化, 发育于白云石晶间溶孔。10×10