

扬子准地台南缘志留系碎屑岩 的几种成岩作用与储集层特征

罗瑞兰 王守德 郑冰

(地质矿产部石油地质中心实验室)

本文对扬子准地台南缘一些地区和层段的含沥青砂岩的成岩作用进行了论述。指出麻江背斜中带的成岩作用以早期白云石胶结作用和白云石溶蚀交代石英碎屑为主,晚期广西运动使该区形成背斜并继续抬升,背斜轴部遭到剥蚀和大气淡水淋溶,致使白云石被溶蚀形成大量次生孔隙,利于石油储集;麻江背斜东翼和无锡、常熟、黄桥地区的砂岩矿物成熟度高,成岩作用以石英次生加大和高岭石充填原生孔隙为主,沥青充填在石英次生加大残留的原生孔隙中,储集条件略差;安吉康山及下扬子广大地区中上志留统的砂岩,由于浅变质泥岩屑含量高,它们在上覆巨厚地层压力下,表现为强烈的机械压实作用所引起的碎屑彼此镶嵌以及粘土杂基的充填,致使砂岩储集性能最差,仅能形成以构造断裂为主的脉状沥青。

扬子准地台南缘志留系海相碎屑岩有着较为丰富的油、气、沥青显示,仅贵州麻江油藏的沥青残留储量就有3.53亿吨¹⁾,浙江安吉康山、皖南太平西山都有大型沥青脉产出,近年在苏南的无锡、常熟,苏北黄桥地区除有沥青外,尚发现有凝析油、烃类气及二氧化碳气产出,表明在志留系碎屑岩中曾经有过大规模的油气运移过程。而扬子准地台以南广大地区,在下古生界发育着盆地相、陆棚相的黑色泥岩及泥质碳酸盐岩,有机碳含量达1%左右,是良好的生油层,为志留系碎屑岩储集层提供了丰富的油气资源。

具有经济价值的烃类聚集除与合适的构造、地层圈闭有关外,还与储集层所处的沉积环境、陆源供给物质和沉积以后的各种成岩后生作用有关。现就上述几个地区志留系碎屑岩的成岩作用对储集层结构的诸多影响加以剖析比较。

应该指出的是贵州八普韩世庆、刘树暉、胡惟元等同志曾对上扬子麻江地区的地质、构造、成岩作用等方面进行了较深的研究,本文是在他们工作的基础上,对该地区的岩石薄片观察后提出的个人对岩石作用与沥青储集关系的粗浅认识。

一、沉积环境与岩石特征

(一) 上扬子麻江古油藏

该油藏位于扬子准地台南缘,与江南隆起西缘相邻。中奥陶世末都匀运动使麻江背斜形成、升起并遭受剥蚀,至早志留世中期,背斜外围才沉积了一套滨海相碎屑岩系,为翁项群($S_{1-2}wn$),厚度700m左右。其中翁二段为主要含沥青层段,厚约0—141.2

1) 韩世庆、王守德等,贵州麻江地区加里东期石油地质综合研究报告,1981。

m. 本段在凯里、都匀、独山之间为滨岸沙坝相沉积(图1)。岩性由东向西粒度变细、钙泥质含量增高,在麻江古油藏分布区,岩性可分为三个带(图2、表1)。东带分布在麻江古油藏的东翼,中带分布在麻江古油藏的轴部及近轴部的西翼,西带在麻江古油藏的西翼。在中、东带之过渡地带,如洛棉、磨刀石、竹山背、坡脚寨及高田坝地区,其岩性及胶结物成分介于两带之间。

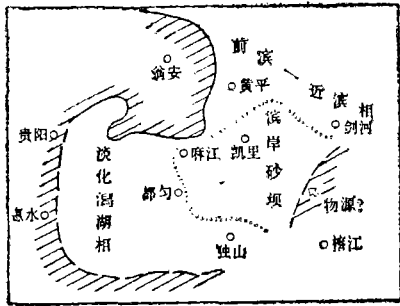


图1 麻江地区早中志留世翁项群翁二段沉积相略图

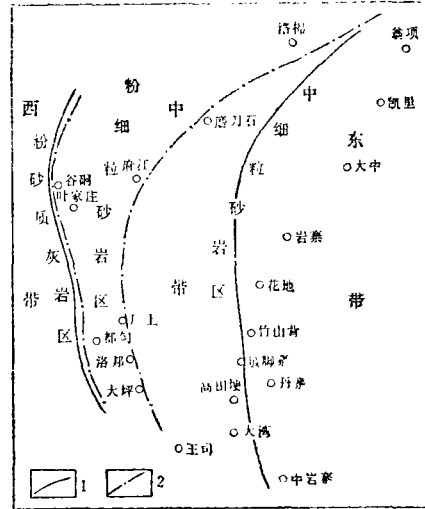


图2 麻江地区早中志留世翁项群翁二段岩性分区图

1. 岩性分带界线 2. 粒度分带界线

(图1及图2选自贵州八普之“贵州麻江地区加里东期石油地质综合研究报告”,图2略作修改。)

表1 麻江地区翁项群第二段岩性特征

分带	西带 (都匀以西,钱家坡—班庄一带)	中带 (叶家庄—大湾)	东带 (凯里—丹寨)
相区	淡化泻湖相区	滨岸沙坝相区	滨岸沙坝相区
岩性	灰质、白云质细砂岩,粉砂质、含粉砂质灰岩。	粉—细粒石英砂岩,石英含量平均为86%,长石含量(10%左右)较东带高。胶结物含量高达10—25%,主要为白云石,石英次生加大程度很弱。	细—中粒石英砂岩,分选好,磨圆中等,含量高达95%,长石含量0—3%,胶结物含量<10%,主要为硅质次生加大,含量达7%,无白云石胶结物,粘土含量低(10%左右)。

(二) 下扬子区安吉康山和无锡、常熟及黄桥一带

该带在志留纪时,分别处于钱塘拗陷和拗陷与下扬子地台转折的过渡带上,沉积厚度分别为6000m及3000m,沉积相属后滨-前滨-临滨相区(图3),岩性由东向西岩石颜色由紫红渐变为黄绿、灰绿色,粒度由粗变细,砂岩中岩屑成分以浅变质泥岩、千枚岩为主,含量较高,有自东而西、自老而新逐渐减少之势,而石英含量则恰恰相反(表

2), 碎屑主要来自东南之华夏古陆。晚志留世晚期, 无锡、常熟、黄桥一带于茅山组顶部沉积了一套滨海三角洲相的碎屑岩系, 厚度 < 200m, 砂岩矿物成熟度高, 石英含量高达95%以上(表2), 胶结物含量 < 10%, 以石英次生加大及自生高岭石为主。

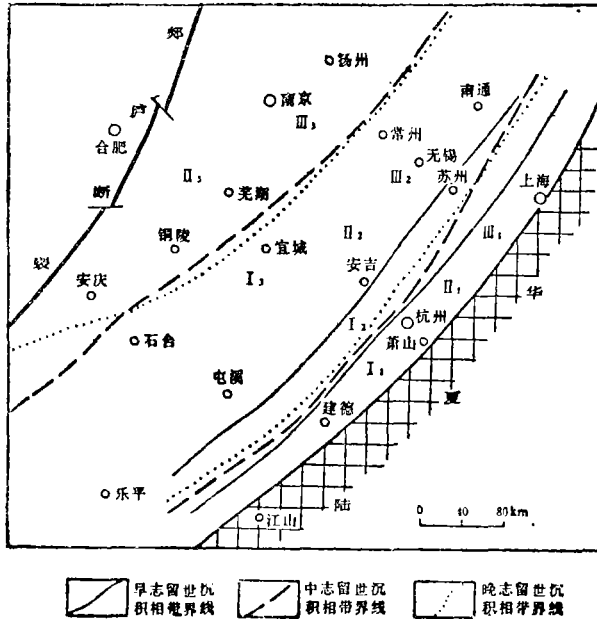


图3 下扬子区中、晚志留世沉积相略图

- I、早志留世
 - I₁、后滨-前滨相
 - I₂、前滨-临滨相
 - I₃、陆棚相
- II、中志留世
 - II₁、后滨-前滨相
 - II₂、前滨-临滨相
 - II₃、临滨-陆棚相
- III、晚志留世
 - III₁、后滨-前滨相
 - III₂、前滨-临滨相
 - III₃、临滨相

(该图选自石油地质中心实验室1985年下扬子区下古生界主要沉积、构造及油气选区评价报告)

表2 下扬子区志留系砂岩中主要碎屑的含量

剖面名称	矿物成份			岩屑 %			
	时代	石英 %					
		S _{1g}	S _{2f}	S _{3m}	S _{1g}	S _{2f}	S _{3m}
富阳上须村		32	50-55		68	45-50	24(顶部) 52(下部)
杭州六合塔				75(顶部) 48(下部)			
南陵北贡		34	66(上部) 51(下部)		58	32(上部) 40(下部)	
巢县大司家		55	65-75(上部) 65-70(下部)		45	25-35(上部) 30-35(下部)	
安吉康山		<50	70-71		>50	20-25	
长兴木人芥				75			25-30
无锡鸡笼山				70-75			25-30
江阴秦皇山				65-77			23-35
常熟虞山				75-95(顶部)			5-25(顶部)
苏太174井		70-85	85	95-97	5-20	3-10	3-5

二、砂岩的主要成岩作用

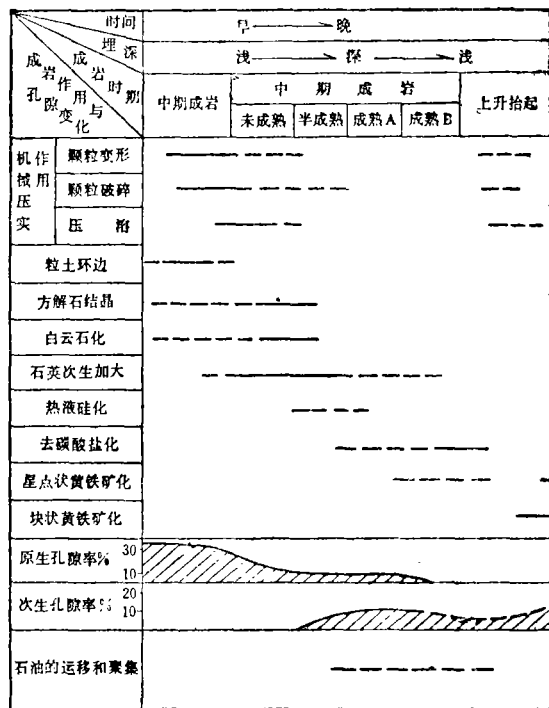
麻江、康山、无锡、常熟、黄桥虽然同在扬子地区，但由于其所处的构造部位、沉积环境、陆源供给物质及沉积期后的物理化学条件差异，致使它们的成岩后生作用显示了各自独特的性质，但也不乏有某些相似之处。纵观这些地区的砂岩成岩顺序大体上都经历了压实作用、粘土薄膜环边、石英次生加大、压溶、碳酸盐化及黄铁矿化，但在这种普遍性之中又各自以某一、两种成岩作用为主，或以先后顺序之差别而展现了不同的风格。

(一) 麻江地区中带

本带位于麻江背斜轴部，其成岩顺序如下：

构械压实作用→伊利石粘土环边→石英次生加大(弱)→白云石胶结(强)→白云石溶蚀交代石英长石等碎屑(强) 抬升、剥蚀、大气淡水淋溶 →去白云石化→大量次生溶孔形成→进油→黄铁矿化→去白云石化(弱)→次生溶孔中无充填物。

表3 志留系翁二段砂岩成岩作用、孔隙演化以及石油储入时间与埋藏深度之间的关系



该带的砂岩成岩作用、孔隙演化及石油储入时间列入表 3。其成岩作用以早期白云石胶结作用、白云石溶蚀交代石英、长石、粘土等碎屑以及后期的去白云石化作用最为突出。砂岩中的白云石含量 10—25%，为自形-半自形的粉晶-细晶，另散分布。白云石的成因可能有三种，一种是白云岩岩屑，这可能与翁二段沉积时期邻近隆起的下奥陶统红花园组及大湾组的白云石作为母岩供给物有关；第二种是白云石结晶作为早期的碎屑胶结物形式存在；第三种是白云石普遍而强烈地交代碎屑颗粒。薄片中可以清楚地见到石英和长石颗粒呈溶蚀残留状“漂浮”在白云石晶体之中(图版 I-1)；白云石胶结物与相邻的白云石交代碎屑的结晶连成一片，石英的边缘或石英次生加大边常被白云石溶蚀成港湾状，有时在白云石晶体中

仍可辨认出呈板状含泥质斑点的长石轮廓。白云石沿长石颗粒的解理及边缘溶蚀交代，偶而见到白云石交代粘土岩屑及伊利石粘土杂基。

石英次生加大在该带普遍可见，但程度很弱，尤其在背斜轴部的叶家庄-厂上-大坪

机械压实作用→伊利石粘土环边→球粒状菱铁矿→石英次生加大(强)→自生微晶石英结晶→自生微晶粒状高岭石结晶→压溶作用→进油→碳酸盐化(白云石及方解石)→黄铁矿化。

从以上两个地区的成岩作用可以看出, 这里的成岩作用均以石英次生加大为特征, 由于在石英的粒间有足够大的空间, 以及有足够的时间, 所以加大的晶体发育良好, 可见到柱面及锥面的外形(图版 I-4), 并且可见到两个石英加大边相邻接的部位产生压溶嵌合, 说明压溶作用发生在石英次生加大之后。无锡、常熟、黄桥一带, 在石英次生加大后, 又有自生微晶粒状高岭石充填空隙(图版 I-5), 致使后生的残留孔隙很少。

无锡至黄桥一带的碳酸盐岩(方解石及白云石)分布虽广, 但除球粒状菱铁矿系早期成岩矿物外, 其余多与后期的构造运动所形成的断裂与裂隙发育程度有关, 镜下常可见到方解石呈脉状分布, 并沿细脉两侧溶蚀交代石英等碎屑颗粒。方解石被溶解形成的次生溶孔中无任何充填物, 可见这里的次生溶孔的形成是在油气进入储层之后。

上述地区各成岩阶段孔隙损失情况见表5、6、7。

表5 麻江古油藏中带翁二段进油前中成岩各阶段孔隙损失

剖面名称	岩性	伊利石粘土杂基 %	未成熟阶段			半成熟阶段		抬升渗透溶蚀孔隙增大 %	沥青质充填 %
			压实用 %	自生伊利石 %	白云石胶结及交代 %	石英次生加大 %	残留原生孔隙 %		
麻江叶家庄	含沥青长石质粗粉砂岩	5	20		20	少		18	18
" "	含沥青长石质石英细砂岩	3	15		23	2		15	15
都匀大坪	含沥青细砂岩	1	12		27	<1		10	10
" "	" "	5	15		25	/		10	10
" "	" "		10		25	5		25	25
厂上	粉-细砂岩	5	20		20	少		20	20
" "	含沥青中-细砂岩		8		25	2	5		5
洛邦	细粒石英砂岩	少	20	5	11	4			6
新厂	" "	1	20	1	8	4	7	8	15
大湾	含沥青石英砂岩		15		18	5	7		7
洛棉	粉-细砂岩		15	3	15	2	5		5
磨刀石	细粉砂岩	5	10		20		10		10

(三) 安吉康山及无锡一带的中、下志留统

位于下古生代沉降带上的安吉康山中志留统康山组及无锡一带的中、下志留统(包括上志留统的中下部), 沉积厚度大, 岩屑含量高达30—40%, 岩屑成分主要为浅变质泥岩、千枚岩等软岩屑, 它们在上覆巨厚地层压力下, 砂岩骨架结构极不稳定, 中成岩

表 6 麻江古油藏东带进油前中成岩各阶段孔隙损失

剖面名称	岩 性	伊 利 石 粘土杂基 %	未 成 熟 阶 段		半 成 熟 阶 段		残留原生孔隙充填物	
			压实作用 %	自生伊利石 粘土 %	石英加大 %	石 英 次 生 加 大 %	沥 青 质 %	铁 质 %
凯里寨	不等粒石英砂岩	少	29		1	10		
翁 项	细粒石英砂岩		29	1	8	1—2		
大 中	• •		25	2	12	1		
大 中	• •		30	8	1			1
花 地	细粒石英砂岩		30	7	3			
中 岩 寨	中-细粒石英砂岩		30	< 1	7	3		
•	中粒石英砂岩	2	30		8	2		
•	细粒石英砂岩		28	2	6	3		1

表 7 无锡—常熟，茅山组 (S_{3m}) 上部进油前中成岩各阶段孔隙损失

剖面名称	岩 性	伊 利 石 含量	未 成 熟 阶 段		半 成 熟 阶 段		剩余原生孔隙充填物	
			压实作用 损失的粒 间 孔 %	自生伊利石 环边 损失的孔 间 孔 %	石英加大 损失的粒 间 孔 %	自生高岭 石 损失的孔 间 孔 %	沥 青 质 %	铁 质 %
无锡井亭里	含砾粗-中粒 石英砂岩	2	29		8		3	
• 历村	细-中粒石英 砂岩	少	28	少	5		3	4(铁质微粒)
• 勤新	粗-中粒石英 砂岩	少	30	少	7		3	
• 鸡龙山	粗-中粒石英 砂岩	3	33	少	7			
• •	细粒岩屑砂岩	3	33	少	7			
常熟虞山	粗粒石英砂岩	少	34		6			
• •	中-粗粒石英 砂岩	2	32		8			
• •	粗粒石英砂岩	6	38		1			
• •	粗石英砂岩	8	36	2	1			1
• •	中-粗粒石英 砂岩	11	36		4			
• •	粗粒岩屑质 石英砂岩	11	39	少	1			
江阴秦皇山	粗-中粒石英 砂岩		30	1	7	2		
• •	中-细粒岩 屑砂岩		25	5	6	4		

未成熟期的机械压实作用十分明显，表现为浅变质泥岩被压弯曲，或压入到相邻颗粒的缝隙之中（图版 I-6），造成碎屑彼此镶嵌，它们与伊利石粘土杂基一起将原生粒间孔隙几乎大部堵塞，致使这里的砂岩孔渗性能大大降低。由于粘土杂基与浅变质泥岩类岩屑较多，因而这里的石英加大不太发育，仅在石英颗粒密集处有石英加大现象。

据上述，可以认为康山沥青脉两侧围岩的砂岩受原油污染，这种污染在短距离内即行消失，就是由于以上原因造成的。沥青在围岩中常浸染在浅变质泥岩屑及伊利石粘土杂基的微孔中，有时在长石的解理缝中亦可见及。

三、砂岩的孔隙类型与沥青赋存特征

砂岩的孔隙类型往往与沉积期后的成岩后生作用密切相关，随着埋藏深度的增加，岩石密度增大，孔隙减少，各种化学压实作用，如碳酸盐化、硅化等，又会使孔隙急剧下降，但后期构造运动所产生的断裂、抬升，又往往使岩石产生许多溶解的次生溶孔，使砂岩储集性能变好。根据上述地区沥青赋存的特征，将孔隙划分为以下三种类型：

(一) 原生粒间孔隙

此种类型的孔隙以无锡、常熟、黄桥一带茅山组顶部石英砂岩及贵州麻江背斜东带的凯里、岩寨中-细粒石英砂岩为代表，沥青多分布在石英颗粒间或石英次生加大后残留的粒间角孔中（图版 I-7、8），可见石油是在石英次生加大的过程中进入储层的，沥青含量一般为3%。镜下尚可见到凡是在石英加大、晶形发育较好并填满孔隙空间、彼此镶嵌时，一般无沥青存在或沥青仅侵染在石英周边的伊利石粘土环边的微孔隙中，如凯里的大中。

(二) 次生孔隙

1. 溶蚀的次生孔隙

以贵州麻江的叶家庄、都匀的大坪、大湾为代表，这里的白云石胶结物与白云石溶蚀交代碎屑边缘非常发育，但由于后期抬升、岩石被渗滤溶蚀，产生了大量的次生溶解孔隙，即形成所谓的扩大的粒间孔隙，沥青充填其中，镜下可以见到被溶蚀的白云石晶体或溶蚀成港湾状的石英颗粒“漂浮”在沥青中（图版 II-1）。石英粒内溶孔也是次生孔隙的极好标志，粒内溶孔中有黑色沥青充填（图4），沥青含量一般为10—25%。此外尚可见到一些菱形白云石晶体被溶解形成的次生溶孔，但无充填物，这是进油以后形成的次生溶孔，已无实际意义。在一些砂岩样品中，白云石胶结物含量虽高（35%），但由于未被溶蚀，因而也就没有次生孔隙，沥青则不存在，如高田埂。

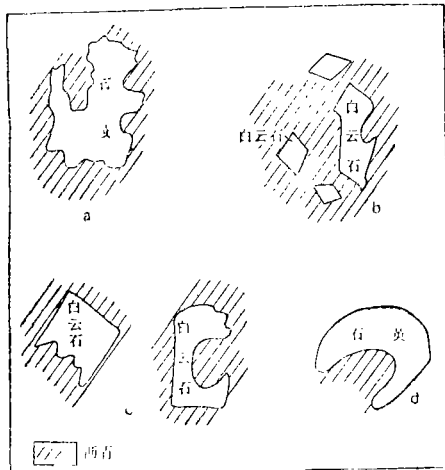


图4 溶蚀作用形成的次生孔隙被黑色沥青充填（斜线部分）

- a. 石英被溶蚀成港湾状
b. 自形白云石呈分散状“漂浮”在沥青中
c. 白云石被溶蚀成港湾状“漂浮”在沥青中
d. 石英粒内孔中充填着沥青

2. 裂隙孔隙

裂隙孔隙主要分布在安吉康山地区的康山组砂岩中，此类储集类型与区域性断裂有关，沥青呈脉状产出，宽达数米。此外，在无锡、常熟、黄桥一带，由于晚期（可能是

燕山期)推覆构造的挤压,使砂岩的石英颗粒产生稳滑,石英颗粒局部被压扁拉长(图版Ⅱ-2),颗粒裂而不错位,在镜下还可看到有两组方向的“擦痕”,并出现与擦痕方向垂直的次级微细张裂纹,其中充填有沥青(图版Ⅱ-3、4),从而使整个砂岩呈黑色。此种类型的储集空间仅限于局部地区。

3.混合类型孔隙

混合类型的孔隙以贵州都匀的新厂、大湾及磨刀石为代表,这里既有石英次生加大后残留下来的粒间孔隙,也有碳酸盐岩胶结物或交代物溶解后形成的次生孔隙。此外,在厂上尚可见到沥青充填在白云石胶结物的晶间缝隙及晶间孔隙中,或沥青赋存于白云岩屑、棘屑经自生加大而残留的粒间角孔及缝隙中。沥青含量一般为5—15%。

四、 结 语

1.扬子准地台南缘志留系碎屑岩有丰富的油气沥青显示,但其富集的程度差别较大,这除与所处的沉积环境、构造背景、沉积物组份有关外,还主要受沉积期后的成岩后生作用的控制。

2.麻江古油藏的中带,翁二段的储集性能最为优越,主要原因是加里东末期的广西运动使麻江地区抬升并形成背斜圈闭,同时又遭受剥蚀,使早期形成的白云石胶结的砂质岩类经受大气淡水淋滤、溶蚀,大量的次生溶孔以及良好的背斜圈闭为以后的油气运移提供了良好的运移通道和储集场所。

3.麻江古油藏东段的翁二段与无锡、常熟、黄桥一带的上志留统茅山组的石英砂岩,其成岩作用以石英次生加大最为发育,后者在石英加大后又有微晶粒状高岭石充填,致使孔隙变小,沥青仅赋存于粒间角孔及粒间缝隙之中,石油是在石英次生加大及高岭石充填孔隙之后进入储层“残留”的孔隙中,此种类型储集条件略差。

4.安吉康山及下扬子广大地区中、下志留统的碎屑岩,由于软岩屑(浅变质泥岩类、千枚岩等)含量高,它们在上覆巨厚地层压力下,表现为强烈的机械压实作用所引起的碎屑彼此镶嵌,另外还有粘土杂基的影响,从而使得砂岩储集性能最差,仅可形成以构造断裂为主的脉状沥青。

(收稿日期:1986年10月27日)

参 考 文 献

- [1] 刘树暉等, 1985, 麻江古油藏翁项群成岩序列时代划分及油源讨论, 石油与天然气地质, 6卷, 2期。
- [2] 杨主恩等, 1986, 粘滑与稳滑实验条件下石英岩某些显微形貌特征及其地震地质意义, 地震地质, 2期。
- [3] 韩世庆、王守德等, 1982, 黔东麻江古油藏的发现及其地质意义, 石油与天然气地质, 3卷, 4期。
- [4] 沃马光·施密特等, 1982, 砂岩成岩过程中的次生储集孔隙, 美国石油地质学家协会进修丛书(十二), 石油工业出版社。
- [5] P.J.H. 奥金斯, 1978, 东米德兰博孔姆油田上石炭统砂岩储集的成岩作用、孔隙率降低与石油富集的关系, 地质协会志杂, Vol.135.

THE DIAGENESIS AND RESERVOIR PROPERTIES OF SILURIAN CLASTIC ROCKS IN THE SOUTHERN MARGIN OF YANGTZE PARA-PLATFORM

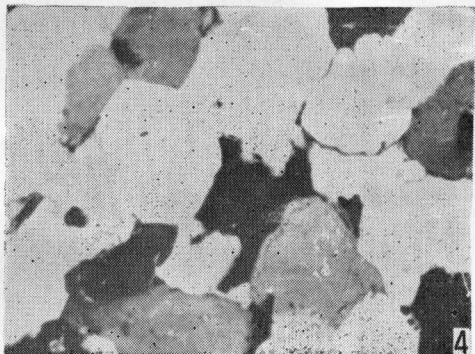
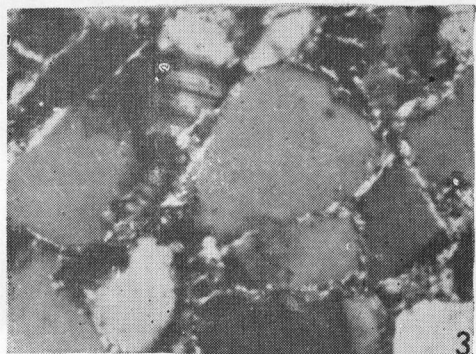
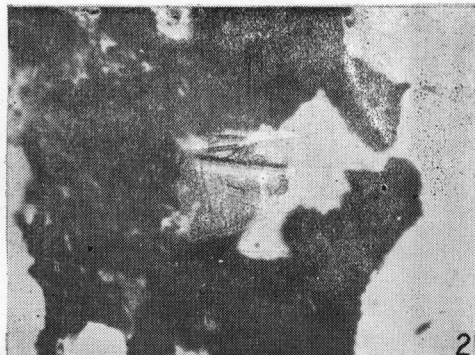
Luo Ruilan Wang Shoude Zheng Bing

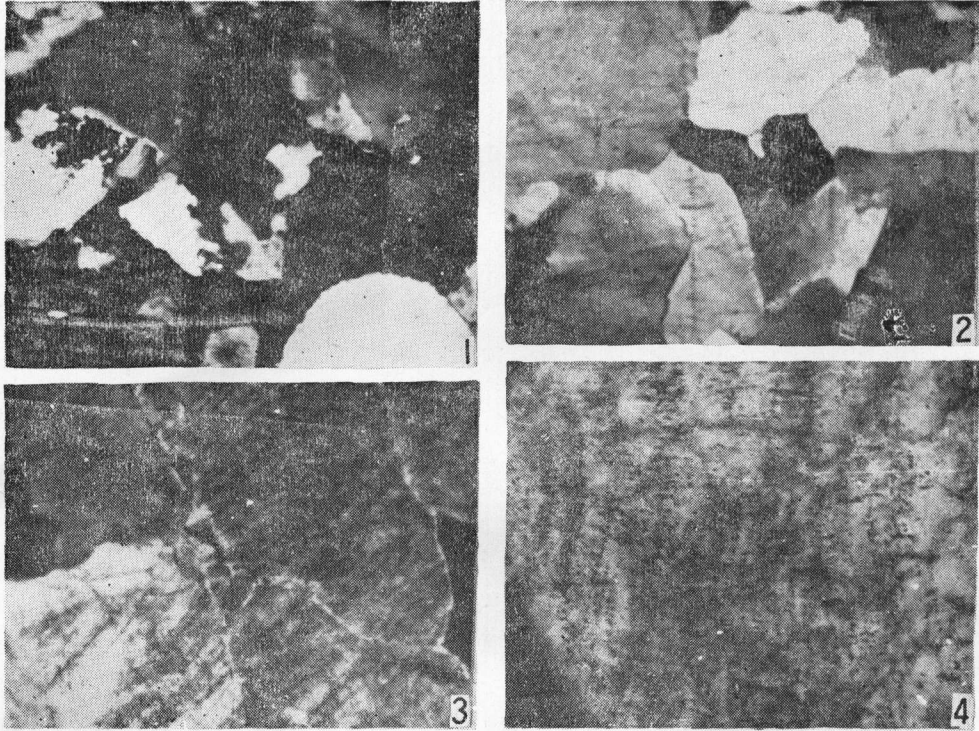
(Central Laboratory of Petroleum Geology,
Ministry of Geology and Mineral Resources)

Abstract

The diagenesis on the sandstones bitumen bearing in certain regions and sections of the southern margin, Yangtze Para-platform is discussed in this paper. It is suggested that the diagenesis in Majiang Anticline Belt is dominated by early stage dolomite cementation and by the corrosion and replacement of dolomite in clasts. The late Guangxi movement caused the formation and then the successively upliftings of the anticline in the area. The axis of the anticline was eroded and eluviated by atmosphere fresh water, resulted the development of secondary pores in dolomites, which would be favourable for oil/gas accumulations. The maturities of sandstone minerals in the eastern flank of Majiang Anticline, Wuxi, Changshu and Huangqiao areas are rather high and the diagenesis are mainly quartz overgrowth and kaolinites filling the primary pores. The bitumen was filled into the residual primary pores of quartz overgrowth, so that the accumulation of oil/gas is unfavourable and poor.

The Middle - Lower Silurian sandstones in a large area of Anjikang Mountains and lower section area of Yangtze River are observed as mosaicism of clasts and clay matrix fillings which are resulted by severe mechanical compaction, since the content of metamorphic debris is quite high and the heavy load-press of overlain strata. That is why the oil/gas accumulation in such a sandstone area is poor and only vein bitumen controlled by fractures can be formed.





图版 I 说明

1. 白云石胶结物及白云石强烈溶蚀交代碎屑，石英碎屑“漂浮”在白云石晶体中，含沥青细砂岩，麻江叶家庄翁二段，正交光， $\times 100$ 。
2. 白云石胶结物被溶解成港湾状（白色），黑色为沥青。灰黑色含沥青细砂岩，麻江叶家庄二段，单偏光， $\times 630$ 。
3. 伊利石粘土环绕石英颗粒生长，灰色中一细粒石英砂岩，凯里大中，翁二段底部，正交光， $\times 250$ 。
4. 石英次生加大发育，加大边柱面及锥面晶形发育完好，细粒石英砂岩，凯里大中，翁二段，正交光， $\times 100$ 。
5. 微晶粒状高岭充填在石英加大残留的粒间孔隙中，中一细粒岩屑质石英砂岩，江阴秦皇山，茅山组，正交光， $\times 250$ 。
6. 千枚岩岩屑被压弯并挤入到相邻的粒间孔隙中，粗粉一细砂岩，安吉康山，康山组，正交光， $\times 250$ 。
7. 沥青充填在石英加大残留的粒间角孔及缝隙中，中一细粒石英砂岩，翁二段都匀高田埂，单偏光， $\times 250$ 。
8. 沥青充填在石英颗粒之间的角孔及缝隙中，粗一中粒石英砂岩，无锡舜一，茅山组，单偏光， $\times 100$ 。

图版 II 说明

1. 白云石被溶蚀成港湾状，白云石溶蚀形成的次生溶孔中充填着沥青质，细一中粒石英砂岩，都匀大坪，翁二段，单偏光， $\times 250$ 。
2. 石英颗粒受压扭作用而产生局部压扁拉长，石英长轴方向与“擦痕”方向平行，粗粒石英砂岩，常熟虞山，茅山组顶部，正交光， $\times 40$ 。
3. 石英颗粒中的“擦痕”，擦痕穿过数个石英颗粒，灰黑色粗粒石英砂岩，常熟虞山，茅山组顶部，正交光， $\times 100$ 。
4. 沥青充填在垂直“擦痕”方向的张裂纹中，灰黑色粗粒石英砂岩，常熟虞山，茅山组顶部，正交光， $\times 100$ 。