

蒸发潮坪碳酸岩的油气储集性

唐泽尧 吴恩国

(四川石油管理局地质勘探开发研究院)

世界上有不少油气田的高产层是碳酸岩¹⁾。它们属于碳酸盐台地边缘的生物礁相、浅滩相及其前缘的斜坡塌积相类型。因为台缘带是沉积环境的水动能高值带,其上的礁灰岩和内碎屑灰岩往往发育大量的原生孔隙,如生物骨架孔、粒(或砾)间孔和遮蔽孔等;台缘带又是构造变动的枢纽带,沉积物易遭暴露溶蚀和受力变形,也会产生如淋滤孔洞和裂缝等次生空间。因此,确定古代碳酸盐台地边缘带的位置和发现礁、滩、塌积岩相,就成为油气勘探和研究工作的一个重要目标。那么,在水能相对较低、构造变动相对较稳定的碳酸盐台地内是否也有形成良好储集岩的条件?如有,储集层具有什么特征?受那些因素制约?本文应用四川的一些实际资料,对上述问题作一初步探讨。

四川盆地是扬子古板块中一个多旋回的克拉通内盆地^[1],自晚震旦世到中三迭世,属古扬子海的西北隅,沉积了巨厚的海相地层。其中碳酸岩占一半,碎屑岩占十分之四,蒸发岩占十分之一。构成多沉积旋回、多生储盖组合的特点。目前已被钻探证实的具工业价值的产气层,就有十多个。它们归属于不同的沉积类型。本文论及的蒸发潮坪沉积,只是其中的一类,广泛发育于盆地内的许多地层中,并在上震旦统、中石炭统、和中、下三迭统等地层中的一些碳酸岩层段,获得高产天然气流。我们的讨论限于这三个层系的储层。

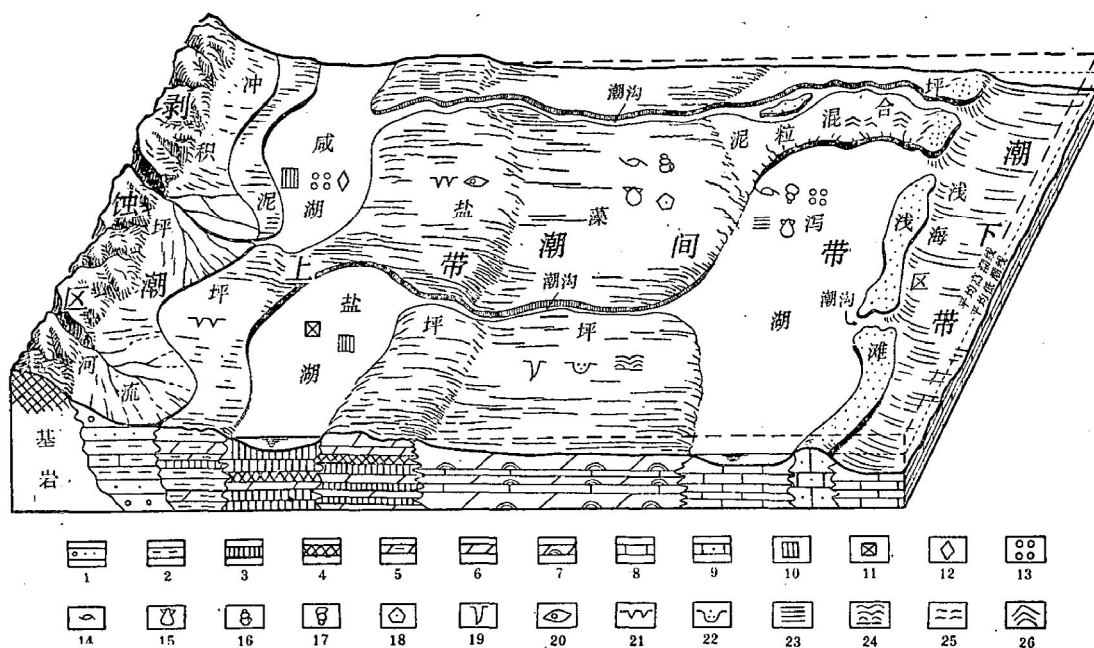
这类沉积的碳酸岩,常与蒸发岩相间,组成碳酸岩-蒸发岩建造,结构以灰泥和隐藻粘结为主,动物种属单调且数量稀少,潮汐型的沉积构造发育,韵律性明显,成层性良好。它是在宽缓的台地、大范围的干燥气候、受限制的极浅水海域和较强的潮汐作用条件下的产物。一般可分为潮上、潮间和潮下(限于近岸部分)三个带,进而可细分若干微相。图1是根据四川盆地三迭系一些层段相分析成果的归纳,可代表这类沉积的一般模式。对不同的层系,必然存在某些相的缺失或增添问题,如在滨外台地或缺乏陆源供给的近陆台地,就会缺失碎屑岩相。

文献中对蒸发岩层作区域性油气盖层,和蒸发环境与油气的生成、聚集的重要性,已被许多石油地质学家充分肯定;而对其中碳酸岩的储集作用,则往往评价较低。四川油气勘探实践证明,这类储层具有产层多、分布广的特点;有的层段储量丰富,产能高,具备形成大油气田的储集条件。它们的特点是:

1 孔隙层发育

在潮坪碳酸岩地层中,孔隙层所占的比例较大,孔隙度较高。如据乐山县范店乡上

1) 即通称的碳酸盐岩——编者注



1. 碎屑岩 2. 泥岩 3. 膏岩 4. 盐岩 5. 泥灰岩 6. 泥晶白云岩 7. 隐藻白云岩 8. 泥晶石灰岩
9. 粒屑石灰岩 10. 膏质 11. 石盐 12. 白云石 13. 球粒 14. 介形虫 15. 瓣鳃 16. 腹足 17. 有孔虫
18. 棘皮 19. 生物钻孔 20. 鸟眼 21. 干裂 22. 冲刷坑 23. 纹层 24. 迭层 25. 条带层理 26. 交错层

图1 四川盆地蒸发潮坪沉积模式图

震旦统洪椿坪组剖面统计,有孔洞层32层,累厚113.8米,占白云岩层总厚的16%,孔隙度一般4—6%(据相邻的威远气田同层位的岩心分析资料);川东相国寺气田中石炭统白云岩的孔隙层占地层总厚的90%以上,孔隙度平均7.4%;川西北中坝气田中三迭统雷三段孔隙层厚30—40米,孔隙度一般4—5%。这些孔隙层的层位较稳定,展布面积大,能容纳大量油气,是地下流体的主要储集场所。

不同层系中的孔隙类型和成因是有区别的,这是由于岩性条件和地质作用的差别所致。本节以川东卧龙河气田下三迭统嘉陵江组第五段第一亚段(代号 T_c^5)¹⁾储层为例,探讨孔隙成因与沉积环境和地质作用间的内在联系。

T_c^5 储层由石灰岩和白云岩组成,厚30米,其中孔隙层厚12米,孔隙度平均5%,最高可达20%,成层性好。是该气田主要产气层之一。为潮坪沉积的碳酸盐岩层,包括潮下受限制浅海、潮间带和潮上泥坪微相,上下邻层均为盐湖、盐坪微相的膏盐层。从图版I、II看,孔隙类型多,但主要有三种,即白云石晶间孔、溶蚀孔和隐藻粘结窗格孔。从图2可见,孔隙度与白云石含量和溶蚀程度成正相关;从露头、岩心和薄片观察还发现,孔隙度与兰绿藻的发育关系密切,凡属隐藻白云岩²⁾,孔隙度就高(图版I-4、5、6)。这说明促使孔隙形成和发展的地质作用,主要有白云化、溶蚀、与隐藻活动有关的生物和生物化学等作用。

潮坪环境何以有利于形成这些作用和产生这些孔隙呢?因为潮坪区是个暴露与淹没

1) 考虑到本文非地层专著,故仍沿生产部门惯例,未按地层规范改动——编者注。

2) 隐藻指非钙藻类,本文主要指兰绿藻。

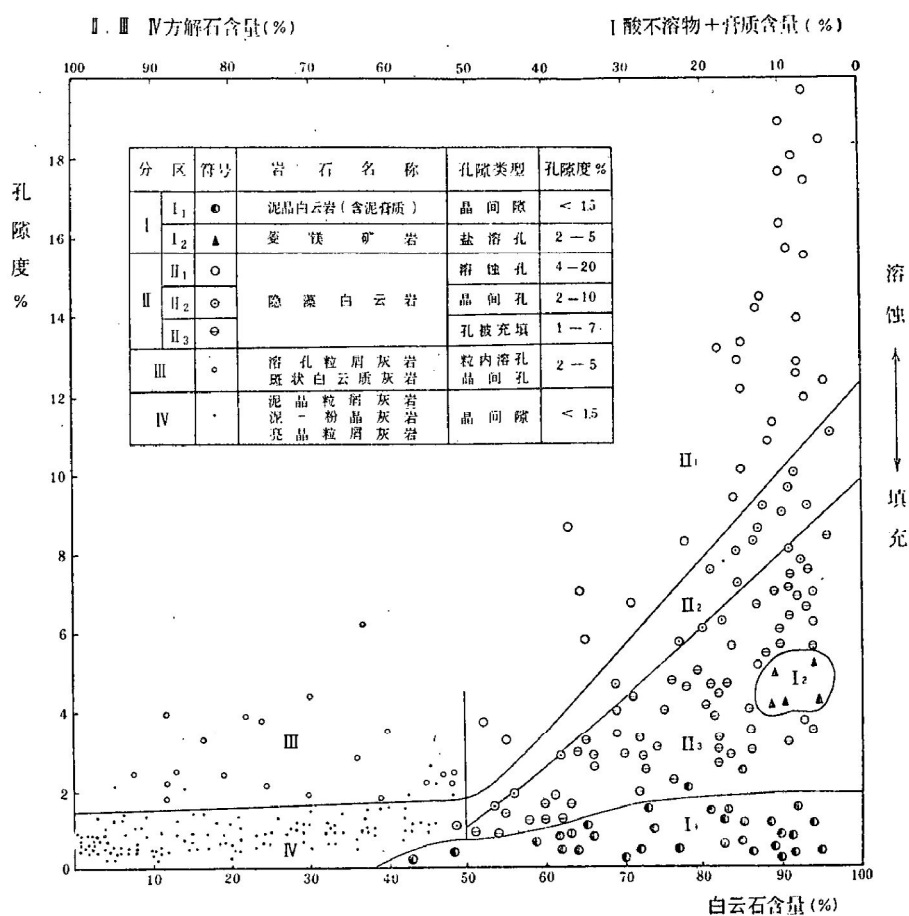


图2 碳酸岩孔隙度与白云石和杂质含量及溶蚀和填充程度关系图

(据川东卧龙河气田下三迭统嘉陵江组第五段)

相间、海陆频繁交替、养料丰富与环境毒化并存的地带。不能忍受毒化环境的动物门类纷纷消亡，而适应力极强的兰绿藻则极为繁茂，成为藻丛世界，与藻活动有关的孔隙大量发育，如粘结窗格孔、鸟眼孔、粒间孔、藻钻孔等。由于潮汐不断供给海水，在强烈蒸发作用的条件下，提供了丰富的镁质，使白云化作用能在大面积范围内发生，与白云化有关的孔隙大量产生，如白云石晶间孔和溶孔，也常见干裂收缩隙。由于周期性暴露，大气降水选择性溶解也产生溶孔，如图版Ⅱ-1中的鲕内溶蚀孔。

叶连俊(1978)^[2]指出，大气圈与水圈、岩石圈与大气圈、水圈与岩石圈以及大陆与海洋这几个界面地带，是自然界诸地质因素矛盾斗争最激烈、最错综复杂的地带，各种地质作用都在这里突出地表现出来。潮坪地带正是叶先生所指的这种“地球化学矛盾带”或“地质物理矛盾带”之一，这里发生的各种地质作用中，有的能促使孔隙的产生和发展(已如上述)，也有的是使孔隙退化和消失，如胶结、填充和压实作用等。图2中孔隙度与基质含量和填充程度成负相关，I区(或称I类)白云岩与IV区粒屑灰岩的孔隙度低等事实，就是这些作用的表现。下面分别作一些讨论。

白云化作用能产生孔隙，从而使岩石孔隙度增高，那么为何图2中I₂类白云岩孔隙度不高呢？对比图版Ⅱ-1、2、3和Ⅱ-4、5、6以及表1中的I和II，我们认为主要是受压实作

表1 I、II类白云岩特征对比表

特 征	I 类 白 云 岩	II 类 白 云 岩
白云石晶体特点	泥晶, 自形程度差, 紧密镶嵌, 分布均匀。	粉晶至细晶, 自形程度好, 分布不甚均匀。
白云石与原始结构的关系	白云石晶体不破坏原始结构。	晶体常切入或破坏生物、颗粒和层理等。
酸不溶物含量	5—40%, 多>20%	一般<5%
动物化石	无或罕见	常见(介形虫、有孔虫、腹足等)
沉积构造	毫米纹层, 干裂, 鸟眼, 砾片, 石膏和盐的晶体。	条带状迭层, 冲刷面, 生物或水能搅动构造, 钻孔等。
孔隙类型	鸟眼孔, 粒(砾)间孔, 干裂隙, 窗格孔等, 多被石膏质和泥质填充。	白云石晶间孔, 溶孔, 窗格孔, 粒间孔, 粒内溶孔等。填充程度低。
孔隙度	一般1—2%	一般5—8%, 最高20%。
沉积相带	潮上带	潮间带, 以藻坪微相最好。
形成时期	沉积期—成岩早期	成岩晚期—后生期

用所制约。从I类白云岩的特点看, 形成时期早, 沉积物处于尚未固结的软泥状态, 白云化所能产生的孔隙就会被石化过程中的压实作用部分或全部抵消。II类白云岩所具有的特征说明其形成时期是沉积物已固结或基本固结以后, 白云化产生的孔隙因有固体支撑而能得以保留。奇林加和比斯尔^[8]曾指出, 白云化不能使孔隙度提高的唯一时期是沉积物尚未固结的成岩早期, 也主要强调压实作用。据布拉特^[8]等人的意见, 白云化产生两种孔隙, 一种是收缩孔(以白云石晶间孔为主), 一种是溶蚀孔。当白云石分子取代方解石分子时, 岩石体积收缩而产生孔隙, 其理论值是12—13%。有人计算过, 如白云石分子取代文石分子, 其收缩体积只是5%。从现代海洋沉积资料可知, 直接沉积的CaCO₃为文石和高镁方解石, 经新生变形才成低镁方解石。白云化时期早, 白云石取代的可能多是文石或高镁方解石, 产生的孔隙度自然也要比成岩后取代方解石所产生的为低。这些都是以交代白云石成因的观点来讨论, 如认为I类白云岩是沉淀形成, 则无白云化产生孔隙可言。

关于白云化程度与孔隙度间的定量关系, 是个复杂的问题, 这是因为在实际工作中不易把由白云化形成的孔隙与其它作用形成的孔隙分开, 同时还存在后期充填和胶结作用降低孔隙度等因素。考虑到这些条件, 我们采用以白云石晶间孔为主的、且充填物少的白云岩来反映这种关系, 表示在图2的II₂区。由图可见白云化在50—60%时孔隙度为1—2%, 白云化至90—95%时孔隙度渐增至10%左右。

胶结作用对碳酸岩孔隙度的影响, 巴瑟斯特^[4]作了这样的估计, 他说: 近代碳酸泥和砂的孔隙度一般是40—70%, 而大多数古老石灰岩孔隙度小于5%, 主要是胶结物的进入所致。从四川的一些实际资料看, 胶结作用确实是使孔隙度退化的一个重要因素, 最明显的是绝大多数粒屑灰岩被胶结变为致密岩石。至于巴氏所估计的数字则需作具体分析。

从图版I-1, 2看, I类白云岩中也有孔隙, 但多被石膏质填充。

使孔隙发生、发展和退化、消灭的各种地质作用相互交错地进行，使碳酸岩孔隙层内非均质性很突出，但也是有规律的；孔隙层在平面上以潮间带藻坪微相最有利，次为浅滩—潮沟微相；在垂向上海退序列比海进序列好，因前者是趋向咸化的序列，白云化程度及白云岩厚度要优于海进序列。

2 裂缝分布普遍

表2是潮坪白云岩产气层的裂缝数据，再结合图3、图4看，其特点是：以构造裂缝为主，密度大，分布广，张开性较好，组系明显，相互交叉，连通性好；裂缝规模都不大（缝宽一般小于1毫米，延伸长度几米或几分米），裂缝孔隙度低（据岩心统计一般

表2 潮坪白云岩产气层裂缝数据表

层 位	气 田 名 称	岩 心 长 (米)	总 裂 缝		张 开 裂 缝	
			条 数	线 密 度 (条/米)	线 密 度 (条/米)	占 总 缝 的 百 分 数 (%)
中三迭统雷三段	中 坝	91.30	299 (不完全)	3.3	2	60.1
中 石 炭 统	相 国 寺	20.39	2117	103.8	>60	>57.8
上 震 旦 统	威 远	504.60	30050	60	20	34

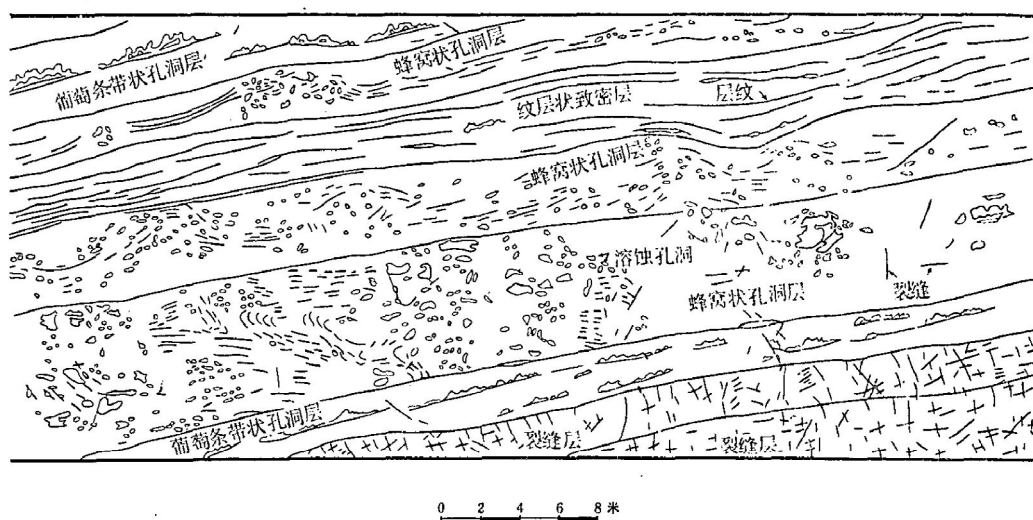


图3 四川乐山县范店乡上震旦统白云岩层缝洞素描图

只有千分之几），但具有很高的定向渗透率，是地下流体产出的主要通道。前节描述的孔隙，如以孔隙结构划分则多与古德奈特等人^[7]提出的封闭孔隙（dead-end pore）或容储孔隙（storage pore）同类；它储集油气的能力大，产出油气的贡献小。而裂缝则具相反的作用。在岩层内二者有机搭配时，就可形成工业性的储产能力，称为裂缝—孔隙类型。这种储层，往往能高产、稳产，但非均质性也明显。后者除受制于孔、缝发育不均外，相互搭配不好也有影响，如图3就是孔缝相间，图4表示的储层也有这种特点。

裂缝发育的岩性因素，一是层理薄，二是泥质含量少，质纯性脆，三是与蒸发岩或泥质岩互层，组成软硬交迭的组合。地层受力时，软层易作塑性形变，而层薄、性脆的碳酸岩则易碎裂。

3 能形成盐溶垮塌角砾岩储集体

图5中的中石炭统储层，在剖面里夹于下二迭统和志留系之间，平面上分为南北两区。北区为角砾状白云岩，厚十余米，孔洞缝发育，储渗性能好；含气范围内的探井经测试均获工业性产能，钻探成功率高；单井日产气数十万至一百多万立方米，南区为角砾状石灰岩，厚度只几米，储渗性能变差，单井日产气只有几万立方米。

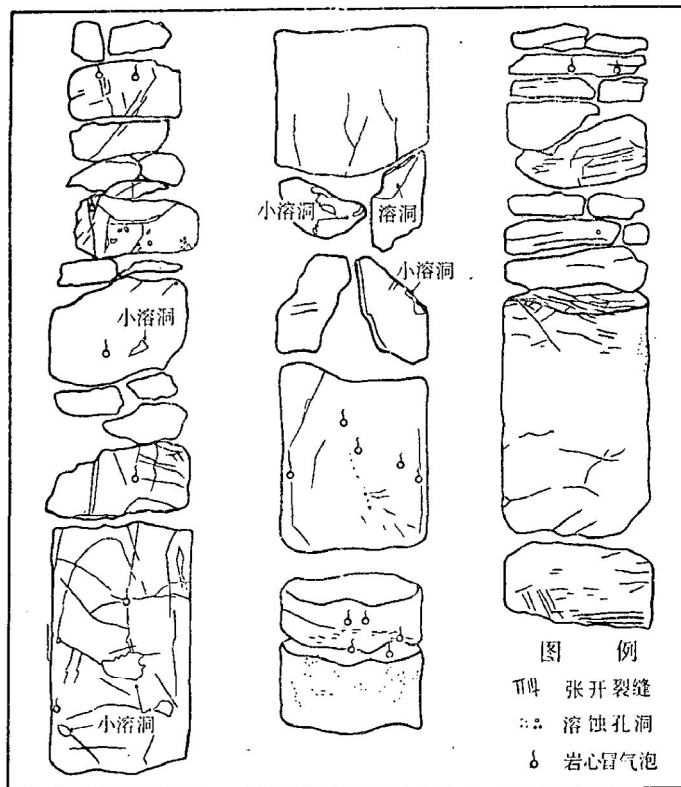


图4 川西南威远气田上震旦统白云岩储层岩心缝洞素描图

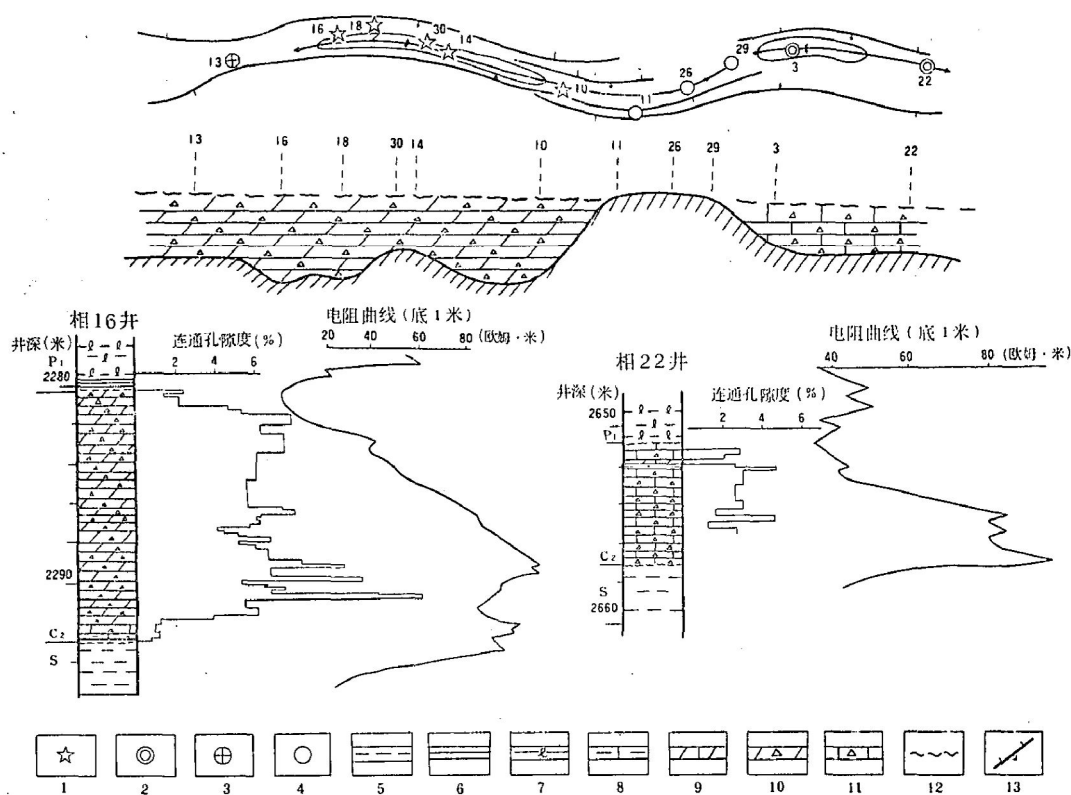
盐溶垮塌角砾岩的成因，是原岩为硬石膏岩和碳酸岩组合，在地层暴露遭受风化时，硬石膏吸水膨胀成石膏，与之相间的或上覆的碳酸岩层受挤压而破裂；石膏岩被溶解淋失后，碳酸岩崩塌产生角砾，成为成片分布的次生岩体。在其形成过程中，化学风化与物理风化作用相辅相成，派生出多种新的空间，先成的空间也受到再改造，故岩体内孔、洞、缝兼有，储渗性能好。本节讨论的中石炭统储层就是这种成因。其依据是：

从角砾岩特点看（图版Ⅱ-2、3），角砾棱角清楚，成分杂，分选差，大小不等（岩心中可见直径0.05—5厘米），堆积零乱；有的角砾内具不规则缝和搓揉构造；砾间充填物由小角砾、白云砂、泥质和有机质等组成，部分岩心还含有上覆层（下二迭统底部）的碳质页岩或粉砂岩等成分。说明是次生而不是原生沉积形成。

从角砾岩产状看，成片展布，不受断层和局部构造控制，说明它不是构造角砾岩类型。

从角砾内部特征看，有的角砾具膏模孔或石膏假象（图版Ⅱ-3、6，Ⅲ-3），相22井岩心中发现残存的石膏；角砾成分多为隐藻白云岩和泥晶灰岩，动物化石种属和数量都少，常见层纹、迭层、鸟眼等构造（图版Ⅱ-3—6）。说明原属蒸发潮坪沉积环境，有膏盐沉积，为石膏岩-白云岩建造。是生成这类角砾岩的物质基础。

从角砾岩剖面的迭置序列看，往往在剖面的底部出现次生石灰岩（图5相16井剖面）。灰岩的特点是方解石具白云石假象，结晶粗，应为退白云化作用形成。其化学反



1. 高产气井 2. 工业气井 3. 水井 4. 干井 5. 泥岩 6. 页岩 7. 铝土质页岩 8. 泥质灰岩
9. 白云质灰岩 10. 角砾状白云岩 11. 角砾状灰岩 12. 假整合面 13. 断层

图5 盐溶垮塌角砾岩型储集体特征图
(川东相国寺气田中石炭统气藏)

应式为:

$\text{CaSO}_4 + \text{CaMg}(\text{CO}_3)_2 \rightarrow 2\text{CaCO}_3 + \text{MgSO}_4$ (被带走) 式中看出, 次生方解石生成, 需大量 SO_4^{--} 离子和 Ca^{++} 离子, 这可由膏质被淋滤提供。富含 Ca^{++} 、 SO_4^{--} 离子的潜水, 因有志留系页岩隔水层而在剖面下部形成滞流带, 经交代作用形成次生灰岩。不是所有剖面底部都有次生灰岩出现, 如古地形高者不能聚水的区域则缺失; 当然有的剖面里也不限于底部, 如相 22 井全剖面均被退白云化, 推断该地当时为一聚水洼地。据此理, 预测南区仍有可能在侵蚀古地形的高部位找到角砾状白云岩储集体。

再从地史发展看, 石炭纪与早二迭世之间有一构造运动, 即云南运动, 本区内表现为造陆运动。剖面中缺失上石炭统。且下二迭统底部是泥炭沼泽相含煤地层, 反映当时气候温暖潮湿, 对石膏岩和碳酸岩的风化作用强。有产生盐溶的地质条件。

有利于这种储集层类型发生和发展的地质作用, 主要是表生淋滤和崩塌碎裂, 不利者是填充和退白云化。

4 常出现深岩溶储集层段

川东南区下三迭统嘉三气藏 (包括 $\text{Tc}^3 - \text{Tc}^4_1$) 中, 有的高产层段属于蒸发潮坪沉积形成的深岩溶类型, 图 6 是一个气藏内这种储集层段的分布情况。 Tc^3 储层厚 150 余米, 主要为石灰岩, 其中一些高产层段是具强烈溶蚀的灰质白云岩或白云质灰岩, 外表

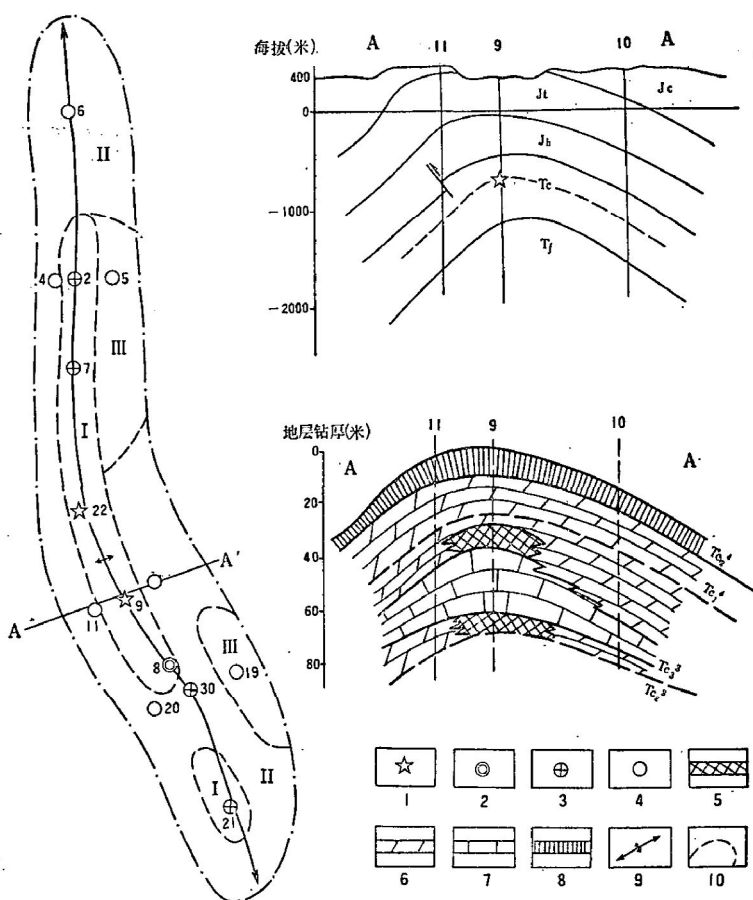
有的象炭渣状, 有的呈土状或白垩状, 故常被称为炭渣状或土状白云岩。它们在平面上沿背斜轴部分布, 向翼部和端部侧变为含膏质白云岩或硬石膏与白云岩、灰岩交互的地层; 在剖面中分布在两个次一级沉积旋回过渡的部位。“炭渣状”岩类发育段, 钻井中常有放空、恶性井漏或强烈井喷显示, 为高产层段。

Tc^3 石灰岩层是受限制浅海台地的沉积, 代表海浸阶段产物, 以潮间或潮下低能带为主^[6]。在地壳短暂上升时期, 海水闭塞或处于潮上带时, 即有蒸发岩类和白云岩的沉积, 前者成斑状、条带状或薄层状夹于碳酸岩层中, 这些层段具有层理薄、岩性杂的特点, 是构造褶皱期地层形变的脆弱带。在张应力强, 受力集中的背斜轴等部位, 裂缝发育, 成为地下水活动的主要通道; 易溶的蒸发岩被溶解, 含硫酸根的地下水又使碳酸岩(尤其是白云岩)的溶解度增高, 溶蚀缝洞发育, 成为良好的储集体。

综上所述, 可小结如下:

第一、台内潮坪, 多属低能沉积环境, 储集岩类以白云岩居多, 尤以隐藻白云岩储渗条件最好, 它在平面上分布在潮间带藻坪微相或藻滩微相中, 垂向上多位于海退序列的上部。其它岩类也可能成为储集岩。进行相旋回分析、重建岩相古地理和研究沉积作用, 不仅有利于发现储集岩, 而且也是研究储层地质的基础。

第二、潮坪碳酸岩的储渗空间, 有形成于沉积期前和沉积期的原生孔隙, 如生物体腔孔、窗格孔、粒间孔等, 但就总体而言不占主要; 起主要作用的是成岩后生期产生的次生空间, 这是因为碳酸岩具有化学活泼性、可溶性和脆性, 与之相间的蒸发岩具塑性、强溶性和膨缩性, 受地质作用时就会产生多种类型空间。有利于产生和发展空间的地质作用, 主要有白云化、早期暴露溶蚀、风化淋滤、塌陷、地下水溶解和构造碎裂等, 使空间退化和消灭的有压实、胶结、填充和退白云化等。新与旧、生长与退化的各



1. 高产气井 2. 工业气井 3. 水井 4. 干井 5. 次生变化碳酸岩
6. 白云岩 7. 石灰岩 8. 硬石膏岩 9. 背斜轴线 10. 岩性分区线

图6 次生碳酸岩的分布与背斜构造部位和产油气关系图
(川东石油沟气田下三迭统嘉陵江组第三一四段)

种矛盾相互交替，故这些储层往往是多种空间迭加的复合体，形成多种储层类型。储层变化复杂，很不均匀。因此，进行成岩后生作用的研究甚为必要，并应找出各层系中影响储层生长或退化的主要作用。

第三、四川盆地基底结构稳定，但升降活动频繁，使这类储层具有成层性好，展布面积大和层数多等优点，同时也存在储层较薄、储集较分散的不利方面。在长期稳定下沉但又常有短暂暴露条件下，才能在有利相带形成巨厚的储集岩。

第四、不同层系中的蒸发潮坪碳酸岩储层，具有许多相同的特点，但储集条件的变化主要受地质经历的制约，经历的差异导致储层类型和特点的不同。因此，用历史的和辩证的观点，找出各层系中储层发育的主要控制因素，才能掌握储集条件的变化规律。

在编写过程中，得到廖思微、周炜、刘淑英和冉隆辉等同志的帮助和鼓励，提供了一些资料和照片，赖远志、陈瑞芬、陶明孝、党仁珊等同志协助清绘图件，在此一并致谢。

(收稿日期 1980年1月14日)

主要参考文献

- [1] 罗志立, 1979, 扬子古板块的形成及其对中国南方地壳发展的影响。地质科学, 第2期。
- [2] 叶连俊, 1978, 沉积矿床理论研究的现状与趋势。《地质科学在发展中》之十八, 国家地质总局情报研究所编印。
- [3] H. 布拉特等, 1978, 沉积岩成因。冯增昭等译, 科学出版社, 第341—354页。
- [4] R. 巴瑟斯特, 1977, 碳酸盐沉积物及其成岩作用。中国科学院地质研究所译, 科学出版社, 第305—334页。
- [5] 范嘉松、张荫本、陈季高, 1974, 四川南部三迭系嘉陵江组碳酸盐岩孔隙类型及其成因的初步研究。地质科学, 第4期。
- [6] Chilinger, G. V. and Bissell, H. J., 1961, Dolomitization by seepage refluxion. Bull. AAPG, p. 679—681.
- [7] Goodknight, R. C., Klikoff, W. A. and Fatt, I., 1960, Non-steady state flow and diffusion in porous media containing dead-end pore volume. J. Phys. Chem., Vol. 64, P. 1162.
- [8] Ginsburg, R. N., 1975, Tidal deposits. Springer-Verlag, New York.

OIL AND GAS RESERVOIR CHARACTERISTICS OF TIDAL-FLAT EVAPORATION CARBONATES

Tang Zeyao Wu Enguo

(Geological Exploration and Exploitation Research Institute, Petroleum Administration, Sichuan)

Abstract

The tidal-flat evaporation carbonates, widely spread in the Upper Sinian, the Middle Carboniferous and the Middle and Lower Triassic of the Sichuan Basin, are important reservoir rocks. The carbonates are

often interbedded or intercalated with evaporites. The constituents of the carbonates are mainly lime-mud and algae-cohered, the fossils being seldom and few in species. The tidal sedimentary features are well developed, and the cyclothems and rhythms are clear. These rocks were obviously formed under conditions of regional arid climate, restricted and extremely shallow waters and strong tidal activities on a wide and gentle platform.

These reservoir rocks are characterized by:

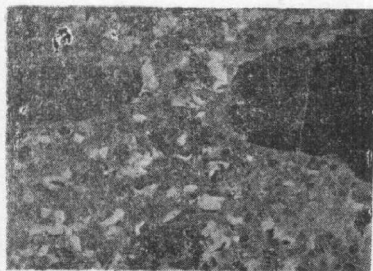
1. Well developed porosity mainly appearing in crypto-algae dolomites of algae-flat microfacies in intertidal zone. The combining effect of intercrystal pores and cavities produced by diagenetic and epigenetic dolomitization and solution, along with algae-supported fenestral and intergranular pores, will certainly cause an increase in the porosity;

2. Wide spread fractures and fissures greatly improve the permeability of reservoir rocks. Because of their thin bedding and pure quality and of their intercalation with soft evaporites and/or argillaceous rocks, the carbonates usually yield easily to fracturing when a tectonic event happens;

3. Weathering in the interval of sedimentation gap, which makes the evaporites expand and dissolve, thus the carbonates may be compressed to form collapse breccia. Obviously, these cavity and fracture-rich rocks may constitute a collapse breccia type of reservoir generated by dissolution;

4. Evaporated tidal flat deposits, intercalated within thick carbonates are apt to produce deep-seated karst and thus may form a reservoir with high productive potentiality.

Generally, these reservoirs are usually formed from dolomites with fractures and pores of secondary nature. Such a sort of reservoir usually contains many productive horizons and is wide-spread, but shows little homogeneity. It is a notable sedimentation type of carbonate platform.



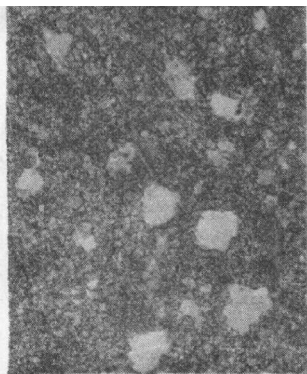
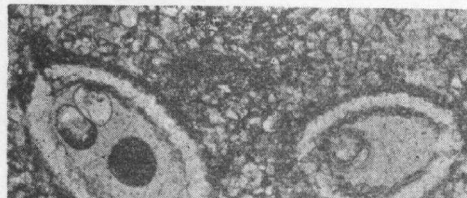
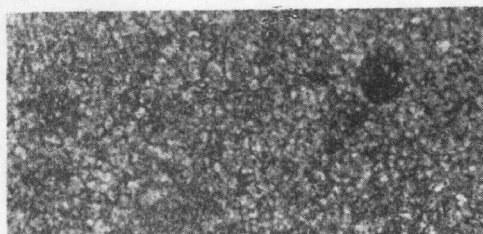
1. 含砾片的膏质白云岩

砾片顺层排列,呈“竹叶状”,砾内具干裂纹。岩石主要由砂状和粉砂状内碎屑组成,其成分多为泥—细粉晶白云石,有的为硬石膏。胶结物为亮晶白云石。属潮上带沉积。孔隙度1.11%,渗透率0.19毫达西。川东卧龙河气田卧64井,层位为下三迭统Tc⁴₄,井深3012.31—3012.47米。薄片单偏光 ×9



2. 具鸟眼孔的泥晶膏质白云岩

岩石主要为纹层状泥晶白云岩,夹有粉砂屑膏质白云岩条带。鸟眼构造发育,大体沿层分布,均为硬石膏填充。属潮上带泥坪微相。孔隙度2.92%。川东双龙气田双12井,井深2334.8米,层位为下三迭统Tc⁵₂。薄片单偏光 ×10

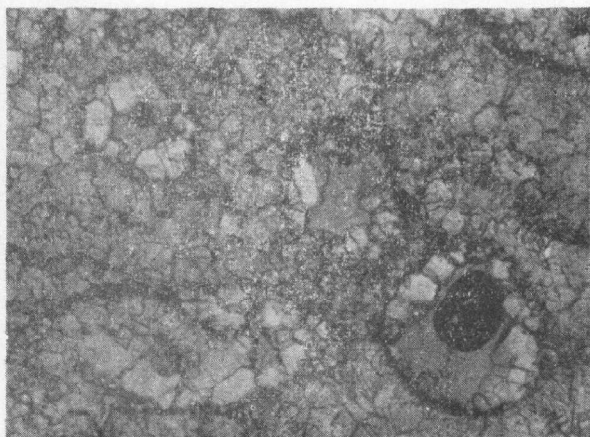


中,孔局部富集成微层状,沿层分布。属潮间带藻坪微相。孔隙度15.67%,渗透率0.33毫达西。双12井,井深2345.46—2345.81米,层位Tc⁵₁。薄片单偏光 ×43

▷ 6. 条纹状含膏质白云岩

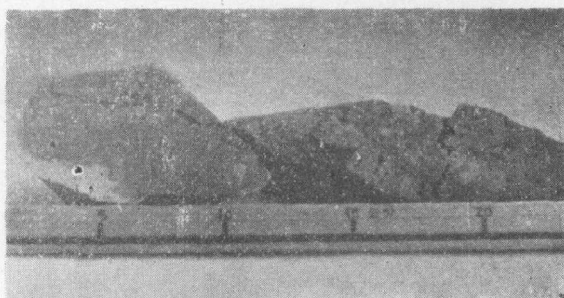
隐藻粘结微层与内碎屑和生物颗粒的微层相间,组成层厚2—3毫米的条纹状构造。粒间孔和晶间孔均发育,但较大的隙孔多被硬石膏质充填。属潮间带泥粒混合坪微相。孔隙度6.15%,渗透率0.59毫达西。卧33井,井深2327.58—2329.99米,层位Tc⁵₁。薄片单偏光 ×12





1. 亮晶负鲕灰岩

鲕粒经暴露淋滤形成粒内溶孔，沿孔的边缘又有方解石填充，但未填满。粒间为亮晶方解石胶结。贯注的有机玻璃将粒内孔填满，部分亮晶方解石晶间隙也见其痕迹，说明它们相互连通。孔隙度 3.32%，渗透率 < 0.01 毫达西。属潮间带浅滩微相。卧33井，井深2316.92—2317.03米。层位 Tc_1^{51} 。铸体薄片单偏光 $\times 50$



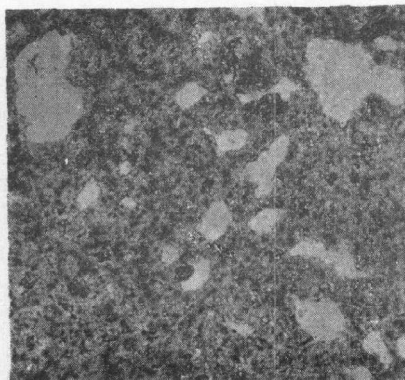
2. 具溶孔的角砾状白云岩

角砾大小不等，堆积杂乱。岩心中可见针状溶孔和小溶洞(照片中深色者)。孔隙度 2.99—11.63%。相国寺气田相14井，井深 2225.41—2226.20米，层位 C_2 。岩心照片。



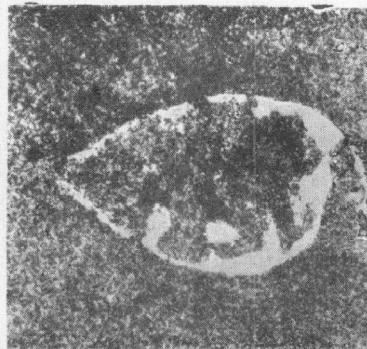
3. 具膏模孔的角砾状白云岩

角砾大小相差悬殊，大角砾中具膏模孔，孔内无填充物(照片中白色者)。该大角砾由结构不同的两层组成。角砾岩由蒸发盐岩溶解后，白云岩垮塌形成。孔隙度 5.53%。相14井，井深2225.70米。薄片单偏光 $\times 6$



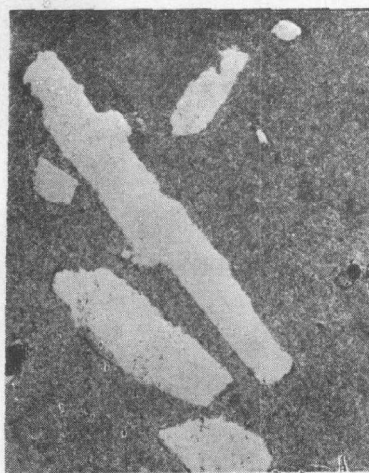
4. 具溶蚀藻架孔的隐藻白云岩(角砾)

照片为一个角砾的一部分。岩石由藻球粒组成。照片中白色者为无填充物的孔隙，可能是鸟眼孔和藻粘结的窗格孔再溶解形成。孔隙度 11.63%。相14井，井深2225.80米。薄片单偏光 $\times 17$



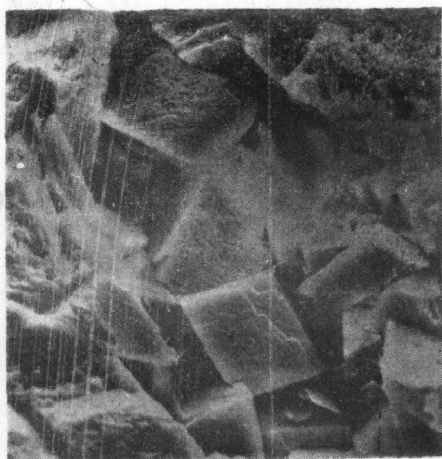
5. 具生物铸模孔的粉晶白云岩(角砾)

介形虫壳的溶蚀铸模孔很清楚，未被填充。照片为一个角砾的一部分。孔隙度 6.06%。相14井，井深2226.80米。薄片单偏光 $\times 17$



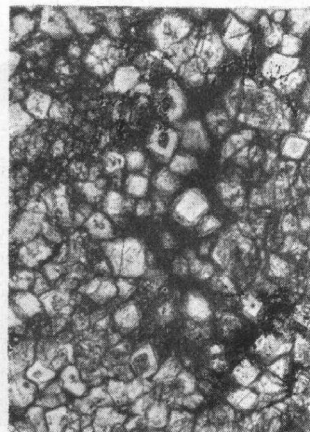
6. 具膏模孔的粉晶白云岩(角砾)

由粉晶白云石组成，结构单调。所含石膏晶体被溶解形成铸模孔，孔内无填充。孔隙度 6.14%。相14井，井深2225.41米。薄片单偏光 $\times 17$



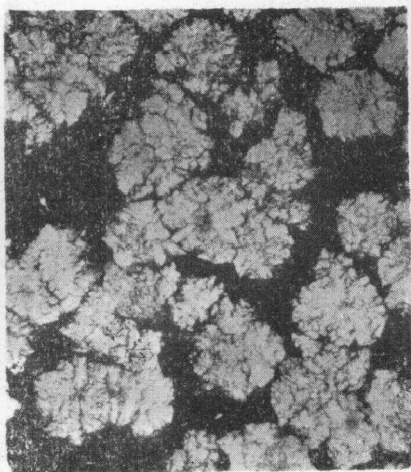
1. 白云岩中的晶间孔隙

照片为一个泥—粉晶白云岩角砾电子扫描图像。可见白云石多为菱面体，自形程度好，晶间孔隙发育。相16井，井深2281.40—2281.91米，层位C2。
扫描电镜 ×1080



2. 具白云石假像的次生石灰岩(角砾)

方解石具白云石假像，环带构造明显。由退白云化作用形成。孔隙度1.06%，渗透率0.02毫达西。相22井，井深2653.63—2653.98米，层位C2。薄片单偏光 ×27



3. “雪花状”次生石灰岩

“雪花状”方解石，呈石膏假像，为脱石膏化的产物。照片中黑色者为泥质和有机质。孔隙度2.67%，渗透率<0.01毫达西。相22井，井深2650.66—2650.78米，层位C2。
薄片单偏光 ×4