

第二章

储集层和盖层

储集层：凡具有一定的连通孔隙，能使液体储存，并在其中渗滤的岩层，称为储集层。

储集层中储集了油气称含油气层。

投入开采后称产层。

§1 储集层的物性参数

储集层的基本特征是具孔隙性和渗透性，其孔隙渗透性的好坏、分布规律是控制地下油气分布状况、油气储量及产量的主要因素。

一、储集层的孔隙性

绝对孔隙度：岩样中所有孔隙空间体积之和与该岩样总体积的比值。是衡量岩石孔隙的发育程度。

$$Pt=V_p/V_t*100\%$$

按岩石孔隙大小，有超毛细管孔隙、毛细管孔隙和微毛细管孔隙三类。

1.超毛细管孔隙：直径>0.5mm，相应裂缝宽度>0.25mm，液体在重力作用下自由流动。

2.毛细管孔隙：直径0.5～0.0002mm，裂缝宽度0.25～0.0001mm，由于毛细管力的作用，液体不能自由流动。

3.微毛细管孔隙：直径<0.0002mm，裂缝宽度<0.0001mm，液体在非常高的剩余流体压力梯度下流动。

有效孔隙度：指彼此连通的，且在一般压力条件下，可以允许液体在其中流动的超毛细管孔隙和毛细管孔隙体积之和与岩石总体积的比值。

$$Pe=V_e/V_t*100\%$$

级 别	砂岩孔隙度（%）	评 价
1	20-30	很好
2	15-20	好
3	10-15	中等
4	5-10	差
5	0-5	无价值

根据孔隙度的大小储集层分级表

二、储集层的渗透性

渗透性：指在一定的压差下，岩石允许流体通过其连通孔隙的性质。对于储集层而言，指在地层压力条件下，流体的流动能力。其大小遵循达西定律。

$$Q = K \cdot \frac{S \cdot \Delta P}{\mu \cdot L}$$

K即为岩石的渗透率，国际单位为μm^2，常用单位为达西（D）。

国际单位：μ=1Pa.s △P=1Pa S=1 m^2 L=1m Q=1m^3/s

则：K=1m^2 =10^{12} μm^2

常用单位：μ=1厘泊 △P=1大气压 S=1cm^2 L=1cm Q=1cm^3/s

则：K = 1D = 1000md

国际规定： 1D （达西）= 0.987 μm^2

1mD（毫达西）= 0.987*10^{-3} μm^2

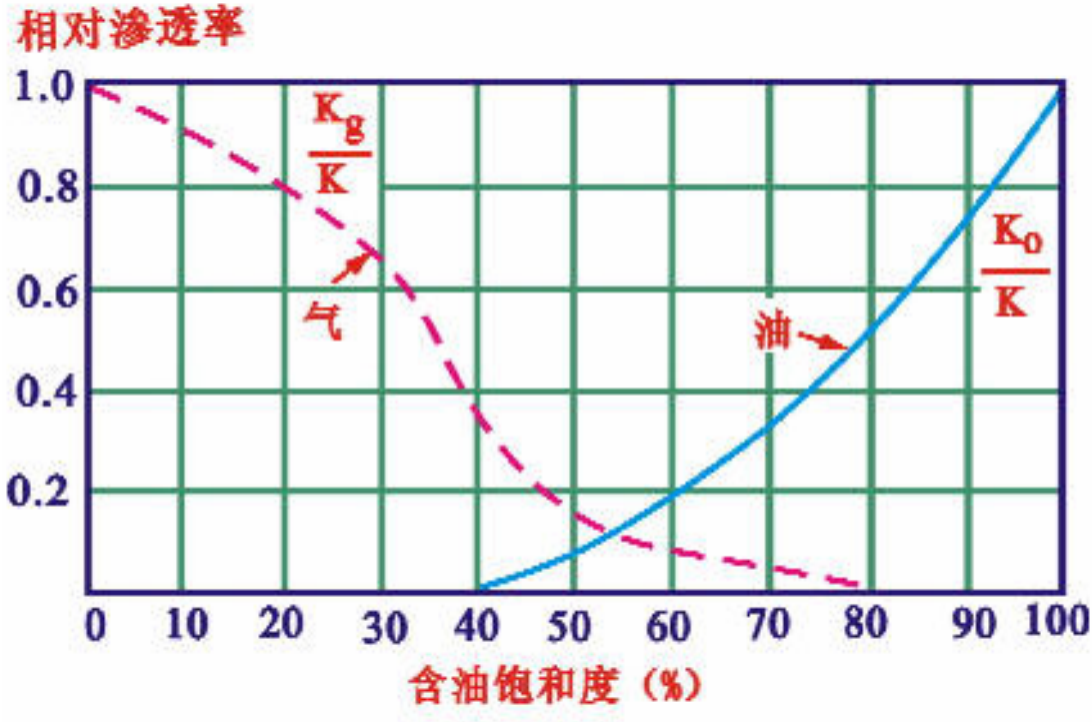
级 别	渗透率 ($10^{-3}\mu cm^2$)	评 价	
		油 层	气 层
1	>1000	极好	常
2	1000-500	好	规
3	500-100	中等	储
4	100-10	较差	层
5	10-1	差-可能	低渗透储层
6	1-0.1	不渗透	
7	<0.1		致密储层

绝对渗透率：单相液体充满岩石孔隙，液体不与岩石发生任何物理化学反应，测得的渗透率称为绝对渗透率。

有效渗透率：储集层中有多相流体共存时，岩石对每一单相流体的渗透率称该相流体的有效渗透率。油气水分别用Ko、Kg、Kw表示。

相对渗透率：对每一相流体局部饱和时的有效渗透率与全部饱和时的绝对渗透率之比值，称为该相流体的相对渗透率。

某相有效渗透率的大小与该相流体的饱和度（流体体积与孔隙体积之比）成正相关系。饱和度增加，其有效渗透率和相对渗透率均增加，直到全部为某一相流体饱和，其有效渗透率等于绝对渗透率，即相对渗透率等于1

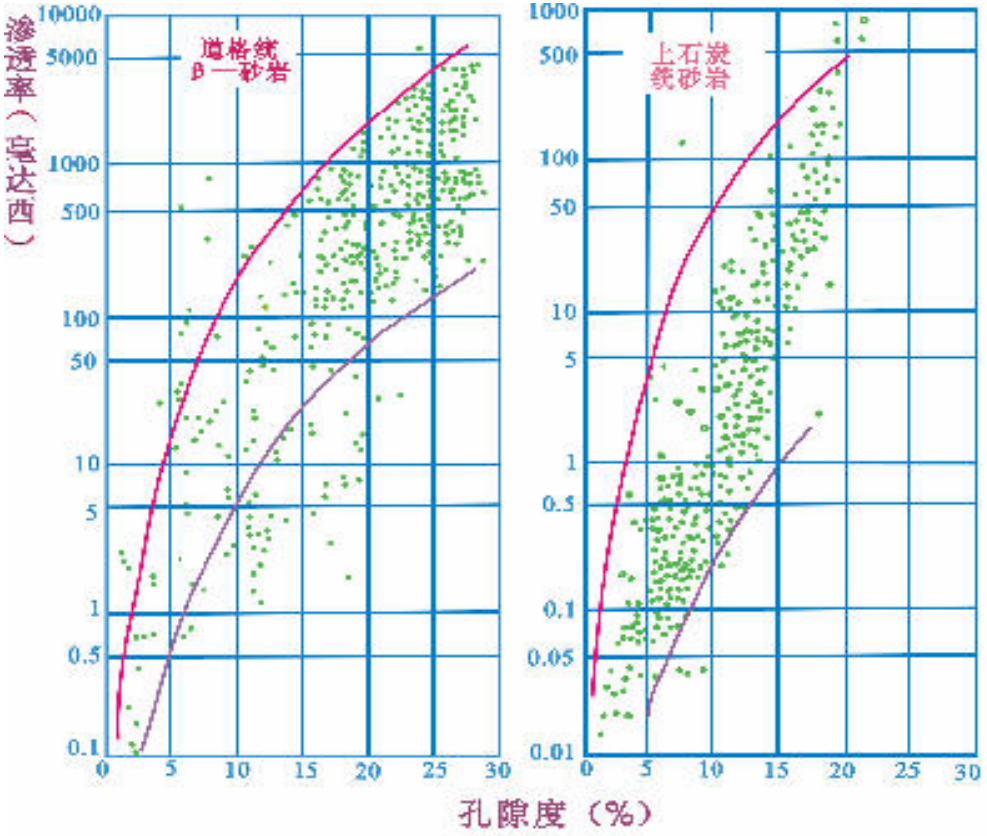


油-气饱和度与相对渗透率的关系曲线

孔隙度与渗透率之间的关系

碎屑岩储集层：渗透率与有效孔隙度有很好的正相关关系。渗透率的变化幅度要比孔隙度的变化幅度大很多。

碳酸盐岩储集层：两者无明显的关系。孔隙大小主要影响其孔隙容积。因为碳酸盐岩储集空间的分布与岩石结构特征之间的关系变化很大，不一定以原生孔隙为主，有时可以是次生孔隙占主要。



渗透率与孔隙度的关系图

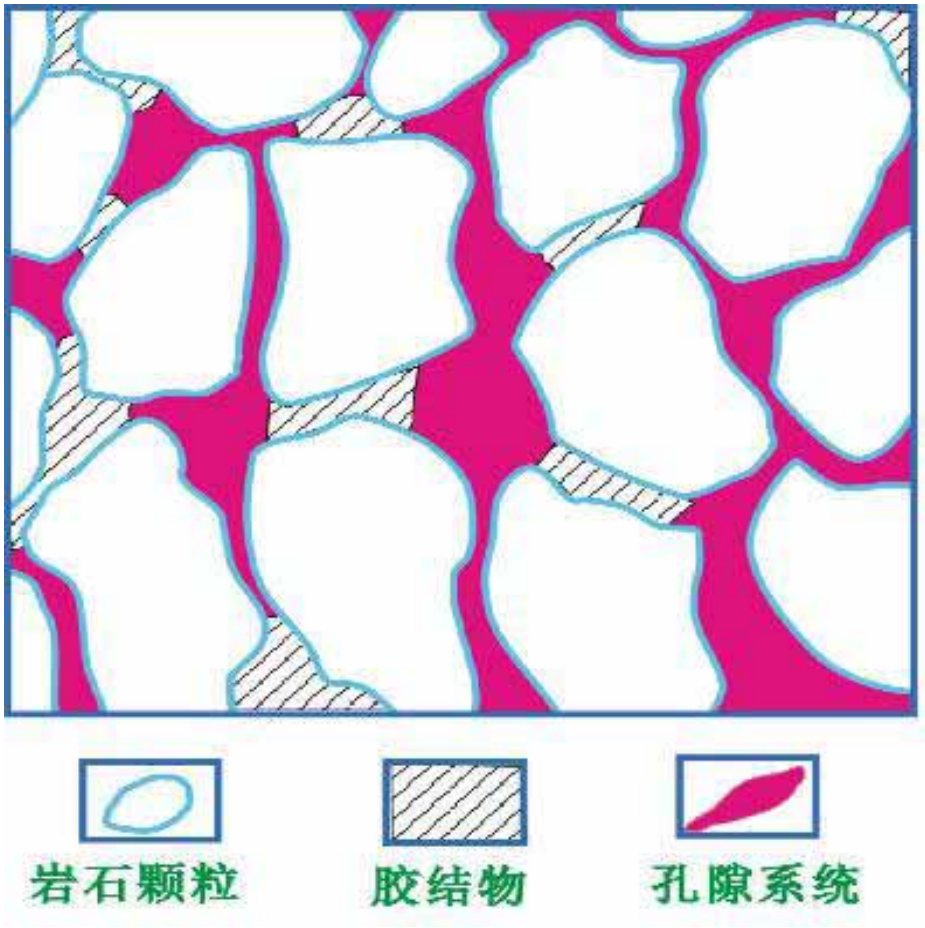
三、储集层的孔隙结构

1、概念

孔隙结构：指岩石所具有的孔隙和喉道的几何形状、大小、分布以及相互关系。

孔隙：是孔隙系统中的膨大部分。决定了孔隙度大小。

喉道：是孔隙系统中的细小部分。决定了储集层储集能力和渗透特征。



岩石孔隙系统示意图

2、研究方法

① 孔隙铸体薄片法：把岩石切片，孔隙注入红颜色的胶体，作成薄片，在镜下观察其孔隙及喉道的类型、形状、大小等特征。

② 扫描电镜：放大倍数增大。

③ 压汞曲线法

压汞曲线法

原理：由于孔喉细小，当两种或两种以上互不相溶的流体同处于岩石孔隙系统中或通过岩石孔隙系统渗流时，必然发生毛细管现象，产生一个指向非润湿相流体内部的毛细管压力Pc。

$$Pc = \frac{2\sigma\cos\theta}{r}$$

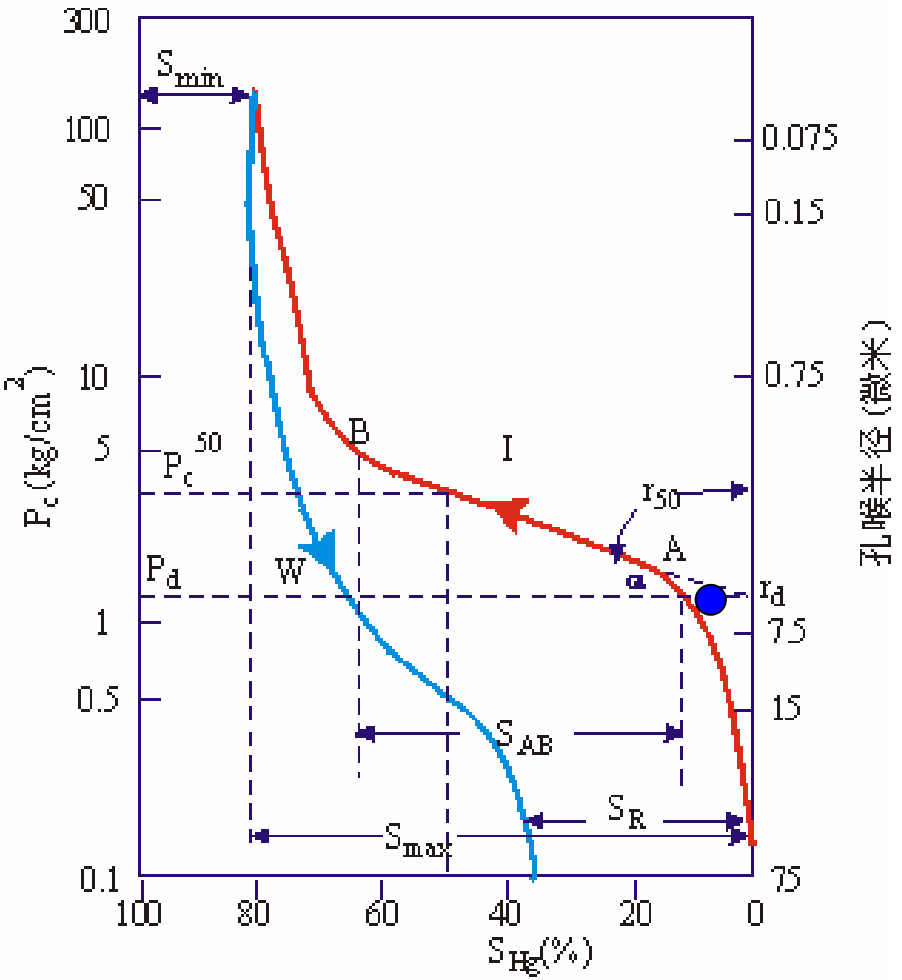
方法：

在不同压力下，把非润湿相的汞压入岩石孔隙系统中，根据所加压力与注入岩石的汞量，绘出压力与饱和度关系曲线，称为毛细管压力曲线或压汞曲线。 按公式算出某一压力下的孔喉等效半径，结合岩石的总孔隙度资料，作出孔喉等效半径分布图。 根据以上两图，可以对岩石的孔隙结构进行定量评价。

评价孔隙结构的参数：

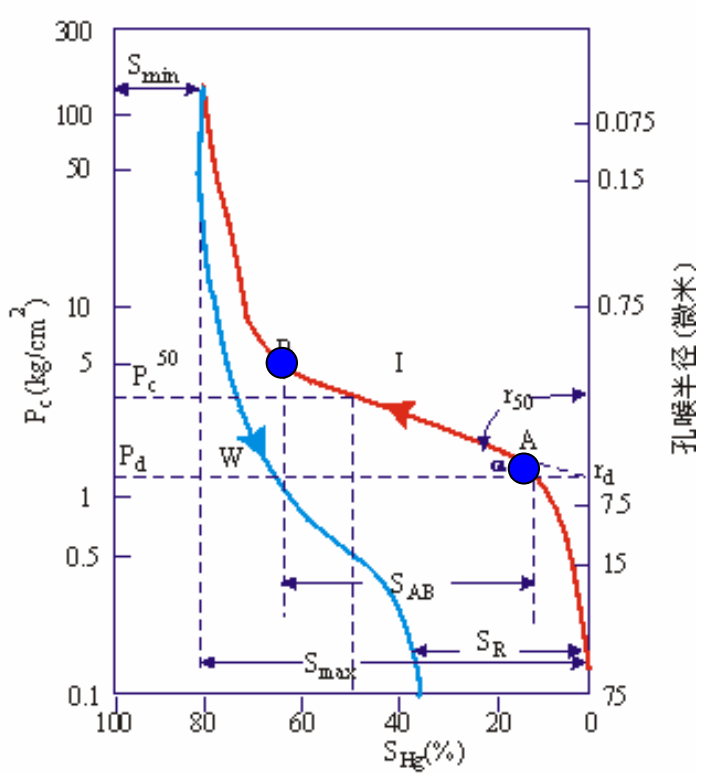
①排驱压力（Pd）：

表示非润湿相开始注入岩样中最大连通喉道的毛细管压力，在曲线压力最小的拐点。排驱压力越小，说明大孔喉越多，孔隙结构越好。

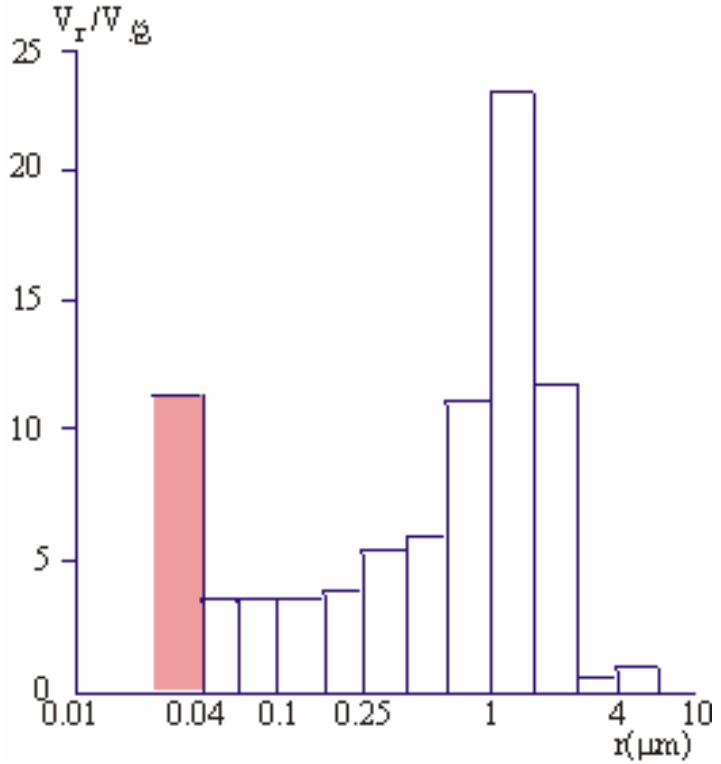


毛细管压力曲线图

②孔喉半径集中范围与百分含量：反映了孔喉半径的粗细和分选性，孔喉粗，分选好，其孔隙结构好。毛细管压力曲线上，曲线平坦段位置越低，说明集中的孔喉越粗；平坦段越长，说明孔喉的百分含量越大。



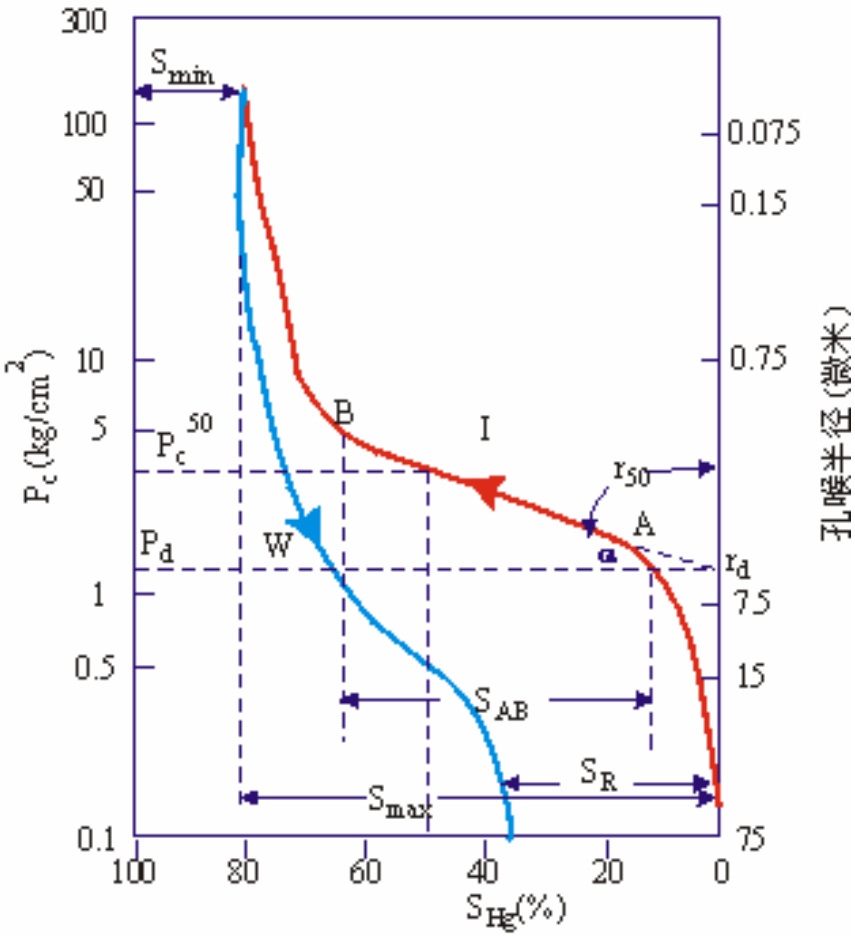
毛细管压力曲线图



孔喉等效半径分布图

③饱和度中值压力：非润湿相饱和度为50%时对应的毛细管压力（Pc50%），与之对应的喉道半径称为饱和度中值喉道半径(R50）。Pc50%越低，R50越大，则孔隙结构好。

④最小非饱和的孔隙体积百分数（Smin%）：当注入汞的压力达到仪器的最高压力时，仍没有被汞侵入的孔隙体积百分数。一般将小于0.04μm的孔隙称为束缚孔隙。束缚孔隙含量愈大，储集层渗透性能越差。



毛细管压力曲线图

§2 碎屑岩储集层

99%以上的储集层为沉积岩，其中又以碎屑岩和碳酸盐岩为主，1%为其它岩类储集层。所以按岩类可分以下三种类型储集层。

碎屑岩储集层的岩类包括：砾岩，含砾砂岩，中、粗砂岩，细砂岩及粉砂岩，其中物性最好的是中-细砂岩和粗粉砂岩。

一、碎屑岩储集层的孔隙类型

传统的观念认为砂岩储集层的孔隙类型以原生的粒间孔隙为主，只有很小一部分是次生的，并且都把次生孔隙（除了裂缝以外）解释为是地层出露地表时大气水淋滤的结果。直到1979年，自从施密特.麦克唐纳（Schmidt）发表了“砂岩成岩过程中的次生储集孔隙”之后。人们对次生孔隙的概念、类型、识别标志、形成机制及意义才有了较明确的认识。

Schmidt将碎屑岩孔隙类型分为五类

①粒间孔隙：一般为原生孔隙。其孔隙度随埋深的增加有所降低，但降低的速度比粘土岩慢得多。

②特大孔隙：按Schmidt标准，超过相邻颗粒直径1.2倍的孔隙属特大孔隙。多数为次生孔隙。

③铸模孔隙：是指砂岩中具有一定特征几何形状的介壳碎屑、碳酸盐粒屑、结晶矿物（盐、石膏、菱铁矿）被溶蚀后，保持原组构外形的那些孔隙。属于一种溶蚀的次生孔隙。

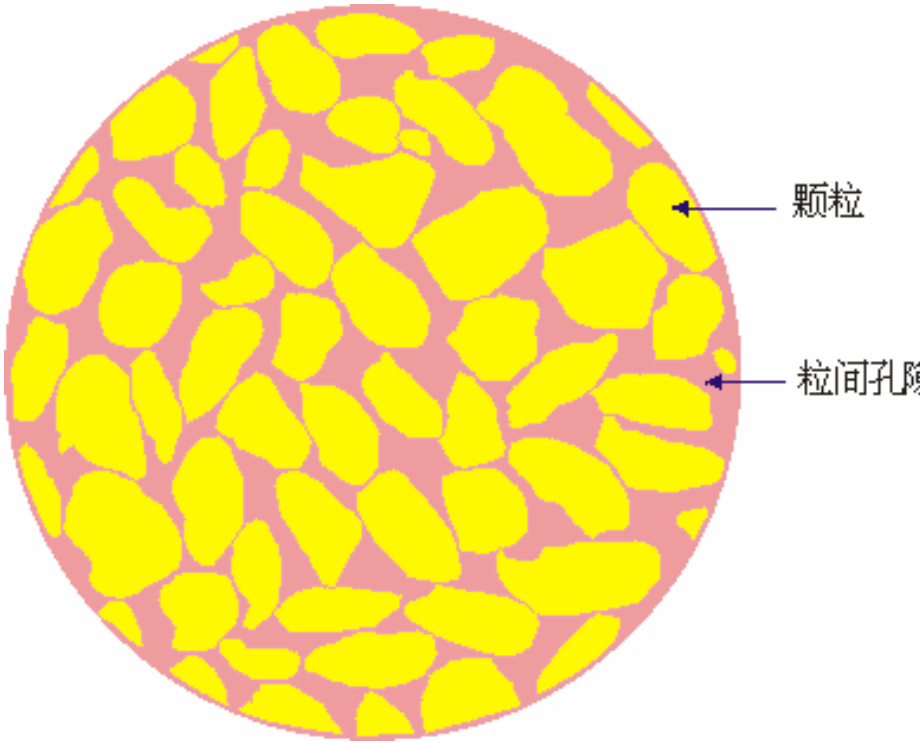
④组分内孔隙：一切组分，如颗粒、杂基、胶结物内出现的孔隙。可以是原生的（沉积的和沉积前），也可以是后生的（成岩过程及其后新生的）。

⑤裂缝：砂岩中裂缝较为次要，但如果沿裂缝发生较强烈的溶蚀作用时，它的作用就十分重要。

碎屑岩储集层的孔隙类型，按成因可分为原生孔隙、次生孔隙和混合孔隙（据戴启德等，1996）。

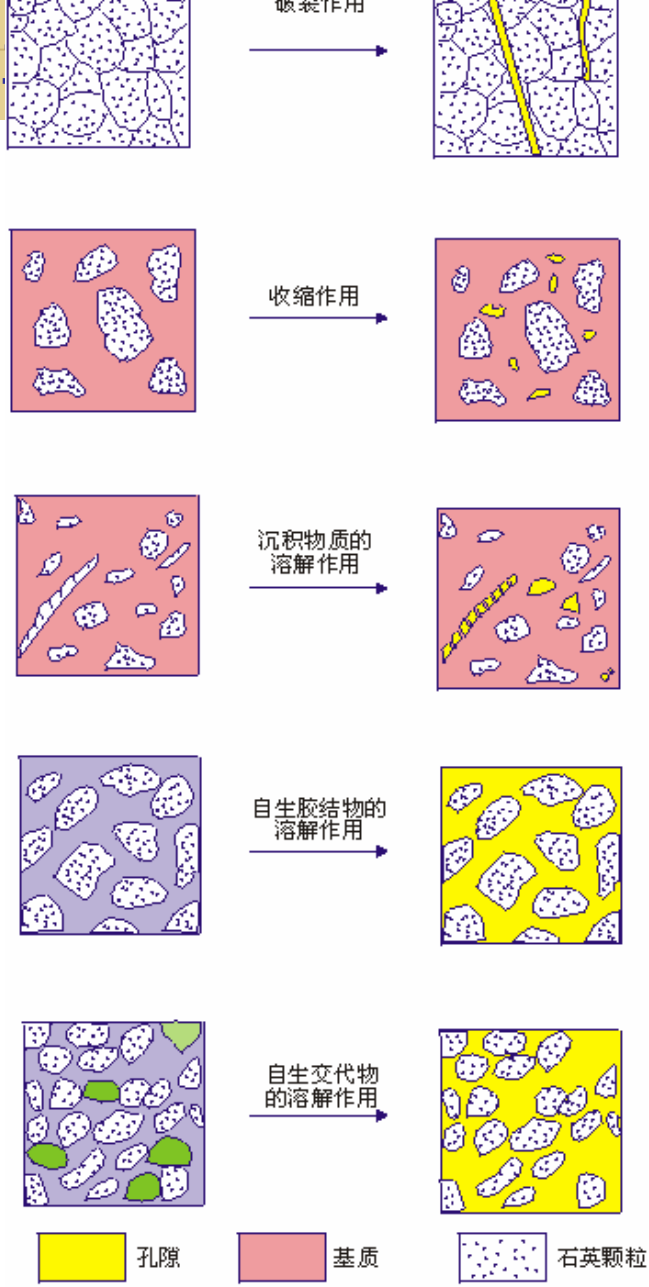
1.原生孔隙

原生孔隙是指在沉积时期或在成岩过程中形成的孔隙。原生孔隙主要是粒间孔隙。所谓粒间孔隙是指碎屑颗粒支撑的碎屑岩，在碎屑颗粒之间未被杂基充填，胶结物含量少而留下的原始孔隙（如图）。粒间孔隙在砂岩储层中最普遍，分布比较稳定。具粒间孔隙的砂岩储集层其孔隙度为5%-40%，后者几乎是未固结的松散砂层。



2.次生孔隙

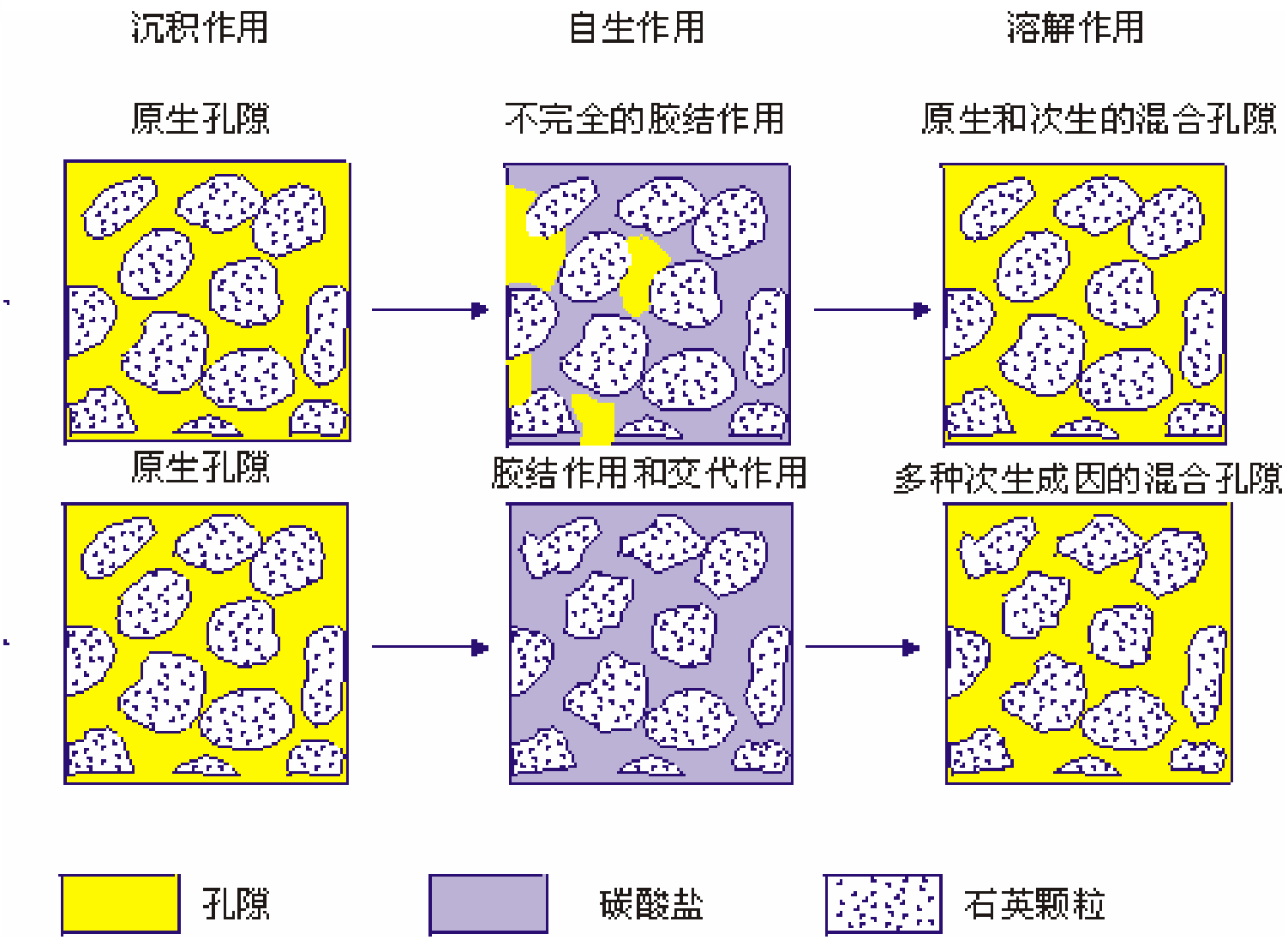
砂岩的次生孔隙主要是其非硅酸盐组分（以碳酸盐矿物为主）溶解的产物。形成这种溶解孔隙的可溶物质可呈三种结构形式：沉积的物质、自生胶结物以及自生交代产物。岩石组分的破裂和收缩也可使砂岩产生重要的次生孔隙，不过，通常在数量上都是居于次要地位。按次生孔隙的成因，我们可将其划分为五种基本类型（如图）



3.混合孔隙

指部分原生孔隙和部分次生孔隙组成的孔隙。例如，砂岩颗粒的边缘遭受溶蚀形成的次生孔隙与原生孔的组合；砂岩发生不完全的胶结作用，胶结物溶解形成的次生孔隙与原生孔隙的组合；在砂岩颗粒边缘的交代物溶解形成的次生孔隙与原生孔隙的组合；在砂岩颗粒边缘被交代时，经常与其相邻的粒内空间同时被同一种矿物所胶结，当这些自生矿物全部被溶解以后，就会形成混合孔隙。以上这些孔隙都是混合孔隙。

大部分孔隙都是混合成因的，它们可以具有次生孔隙的所有结构方式。但混合孔隙中原生孔隙和次生孔隙的相对含量往往难于估计。



混合孔隙结构发育示意图

二、影响碎屑岩储集层储集性的因素

1、沉积作用对砂岩储层原生孔隙发育的影响

（1）矿物成分对原生孔隙的影响

矿物成份主要以石英、长石、云母。矿物成份对储集物性的影响主要视以下两个方面：

矿物的润湿性：润湿性强，亲水的矿物，表面束缚薄膜较厚，缩小孔隙空间，渗透性变差。

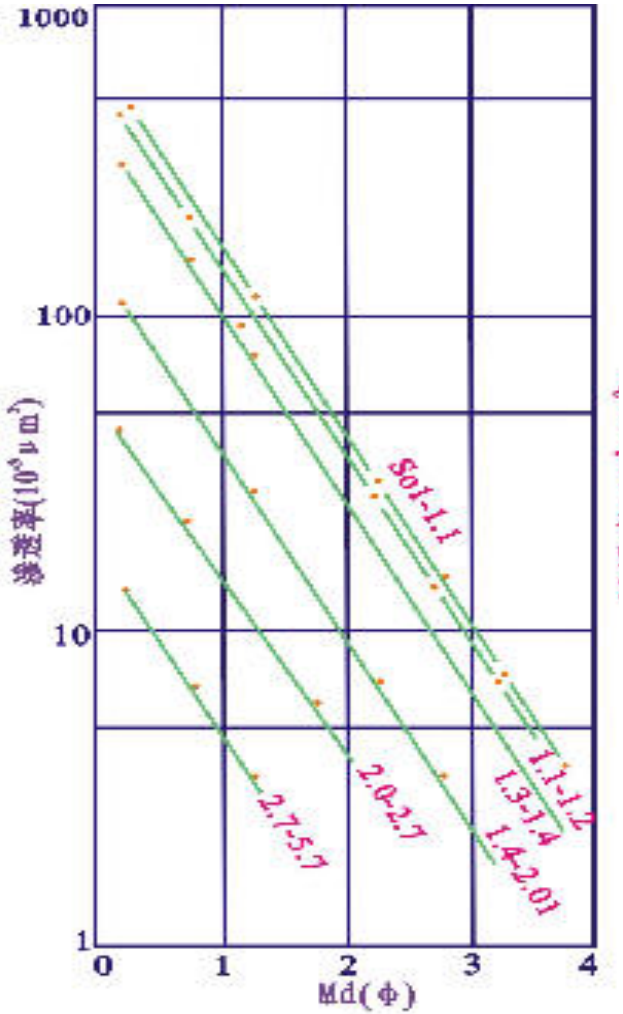
矿物的抗风化能力：抗风化能力弱，易风化成粘土矿物充填孔隙或表面形成风化层减小孔隙空间。

因此，长石砂岩较石英砂岩物性差。除长石外，其它颗粒矿物成份对物性影响不大。

（2）岩石结构对原生孔隙的影响

粒度和分选系数的影响

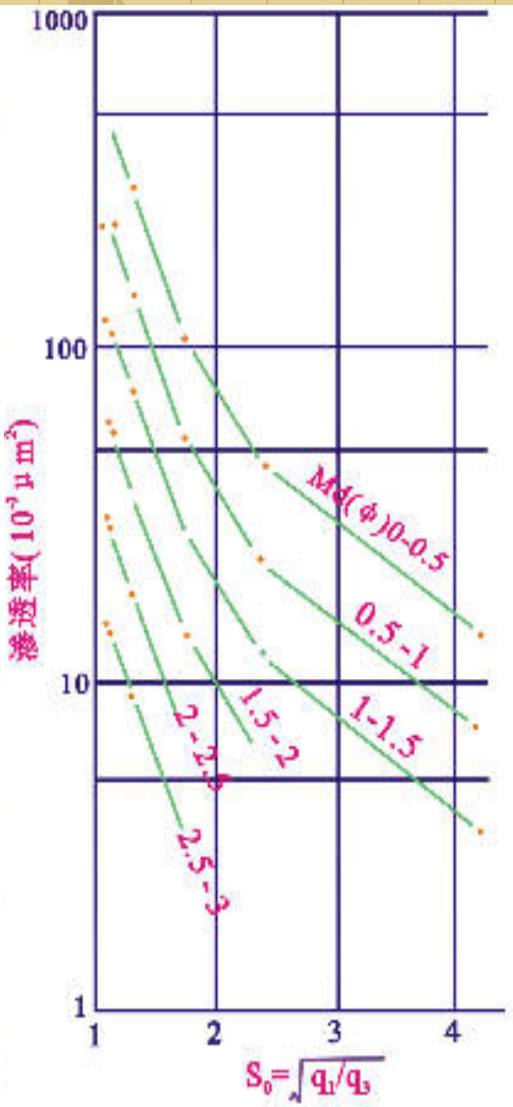
粒度：总孔隙度随粒径加大而减小。因为粒度小，分选差，磨圆差，较松散，比圆度好的较粗砂岩孔隙度大。渗透率则随粒径的增大而增加。因为粒径小，孔喉小，比表面积小，毛细管压力大。当分选系数一定时，渗透率的对数值与粒度中值成线性关系。



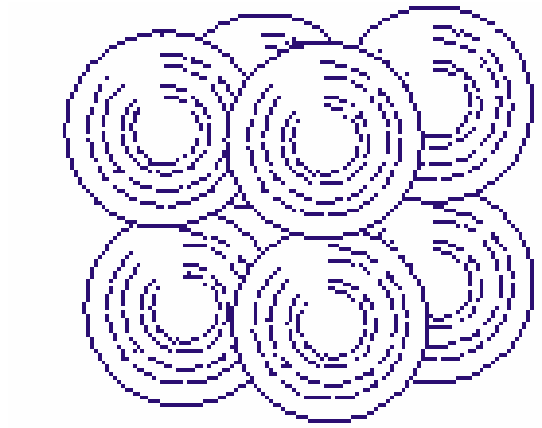
分选系数一定时，
渗透率与粒度中值关系图

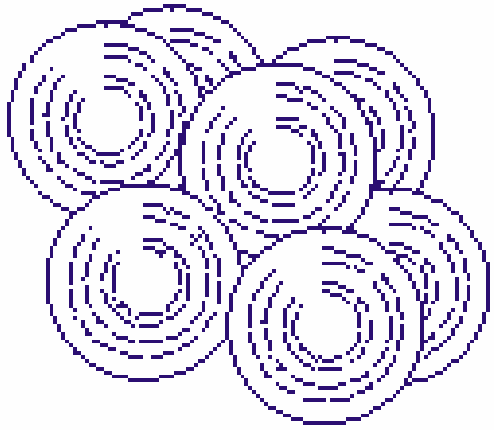
分选：粒度中值一定时：分选差的岩石，小颗粒充填大孔隙，使孔隙度、渗透率降低；分选好的岩石，孔渗增高。孔隙度、渗透率随着分选系数趋于1而增加，分选系数So<2时，各种粒径的砂岩孔隙度、渗透率都随So增大而降低；分选系数So>2时，中细粒砂岩，孔隙度随So增大而缓慢下降；粗粒和极细粒砂岩，So增加时，孔隙度基本不变。

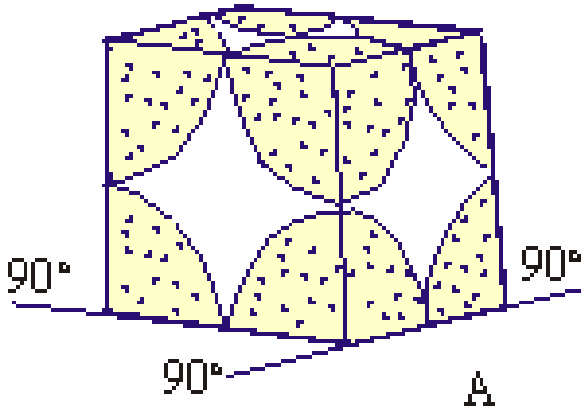
立方体排列：堆积最松，孔隙度最大，渗透率最高；斜方体排列：孔隙直径较小，渗透率低。磨圆度增高，储集物性变好。

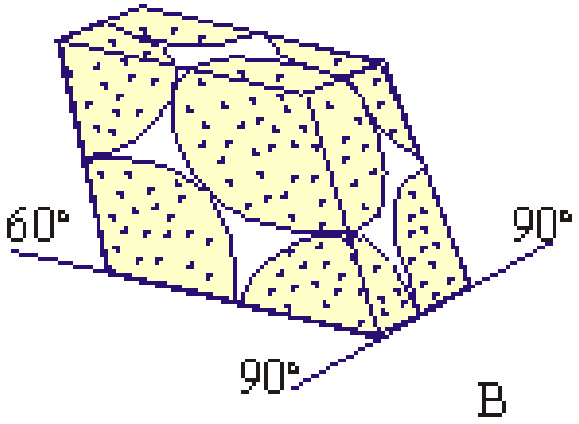


粒度中值一定时，






90°
90°
90°
A


60°
90°
90°
B

（3）杂基含量对原生孔隙的影响

杂基：指颗粒直径小于**0.0315mm**的非化学沉淀颗粒。代表沉积环境能量，在沉积作用的影响因素中最重要的因素是杂基含量。

杂基含量高，一般代表分选差，平均粒径也较小，喉道小，多为杂基支撑，孔隙结构差，其孔隙、渗透性也差。

2、成岩后生作用对砂岩储层物性的影响

压实作用：包括早期的机械压实和晚期的化学压溶作用。压实作用结果使原生孔隙度降低。

胶结作用：胶结物的含量、成份、类型对储集性有影响。含量高，粒间孔隙被充填，减少原生孔隙，连通性变差，物性变差。泥质、钙-泥质胶结的岩石较松，物性较好；纯钙质、硅质或铁质胶结的岩石致密，物性差。胶结类型由接触式→接触→孔隙式→孔隙→基底式→基底式物性逐渐变差。

溶解作用：粗粒、孔隙水多或含有有机酸的砂岩，能溶解孔喉中的碳酸盐、硫酸盐、硅酸盐，改善储层物性。

交代作用和重结晶作用：物性的改变要视被交代物和重结晶结果而定。

三、碎屑岩储集层的形成环境及分布

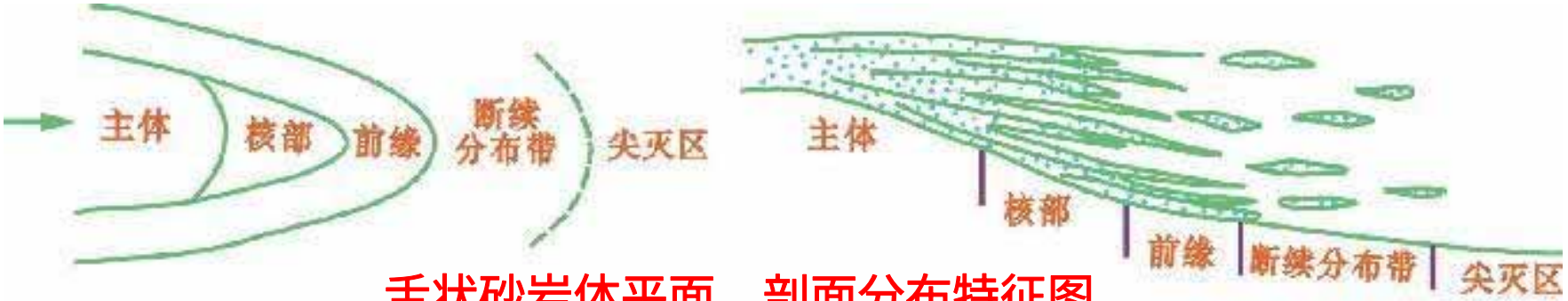
碎屑岩储集层的形成和分布，受古沉积条件及古构造条件的控制。一个沉积盆地内碎屑岩储集层发育情况，受沉积旋回的控制，一般在一个完整旋回的中后期所沉积的砂质岩，分布广，厚度大，储集物性好，常常形成良好的碎屑岩储集层。

古构造条件对碎屑岩储集层的形成和分布也有影响。一般在盆地的斜坡带，碎屑物质经过机械分异作用，颗粒较均匀，圆度好，胶结物含量少，储集物性甚佳。在水下大型古隆起的顶部和翼部，由于湖水的冲洗作用，形成物性良好的碎屑岩储集层。

横向上碎屑岩储集层的分布主要是受沉积环境的控制，主要分布于砂岩体中。

砂岩体：是指在一定的地质时期，某一沉积环境下形成的，具有一定形态、岩性和分布特征，并以砂质为主的沉积岩体。

舌状砂岩体可分为四个带：主体：近沉积物部分；核部：砂岩体中部、砂岩最发育的地段；前缘带：砂岩体最前方和两侧边缘的砂岩体尖灭带，连通性较差。断续分布带：介于砂岩体沉积区与泥岩沉积区之间的透镜体砂岩，以泥质粉砂岩为主。

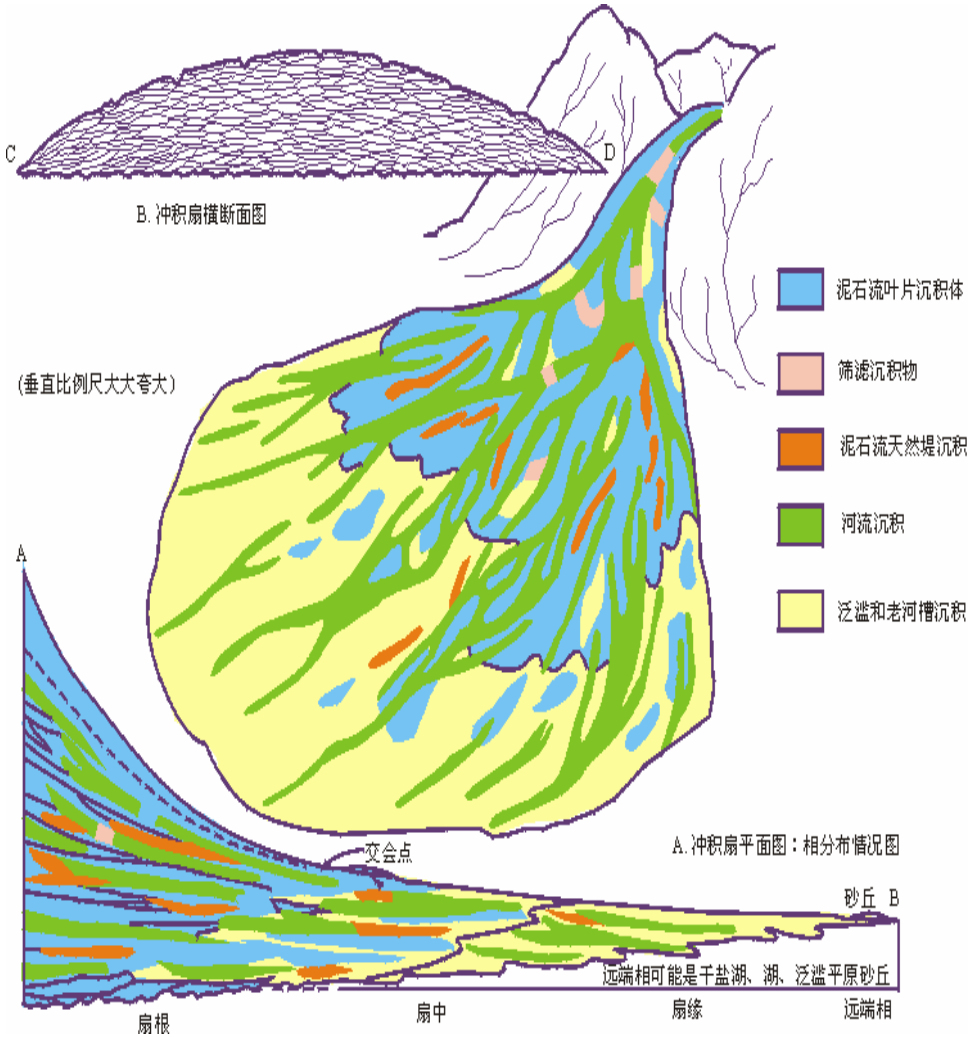


舌状砂岩体平面、剖面分布特征图

1、冲积扇砂砾岩体

在干旱、半干旱气候区，山地河流进入平原，在山的出口堆积而形成的扇形砂砾沉积体。岩性为砾、砂和泥质组成的混杂堆积，粒度粗，分选差，成份复杂，圆度不好。

物性特征：孔隙结构中等，各亚相带的岩性特征有差别，因此其渗透性和储油潜能也有变化。其中以扇中的辫状河道砂砾岩体物性较好，若邻近油源，可形成油气藏。

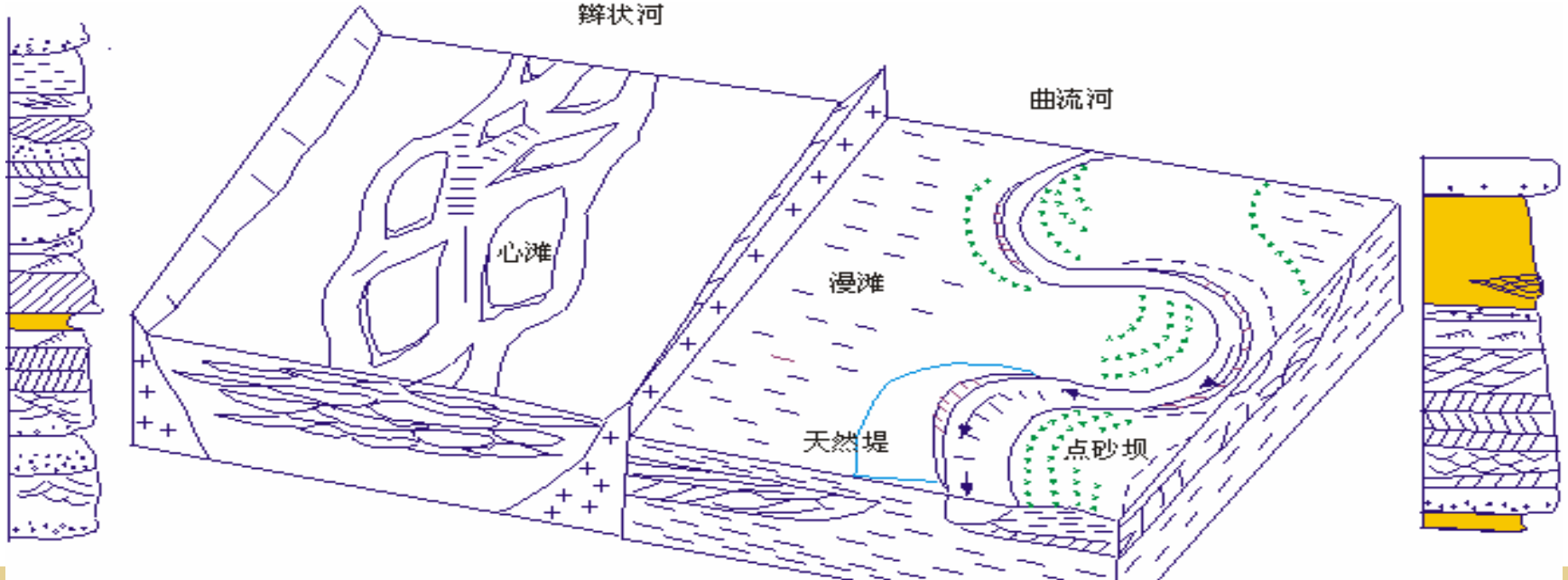


洪积锥（或冲积扇）沉积模式图

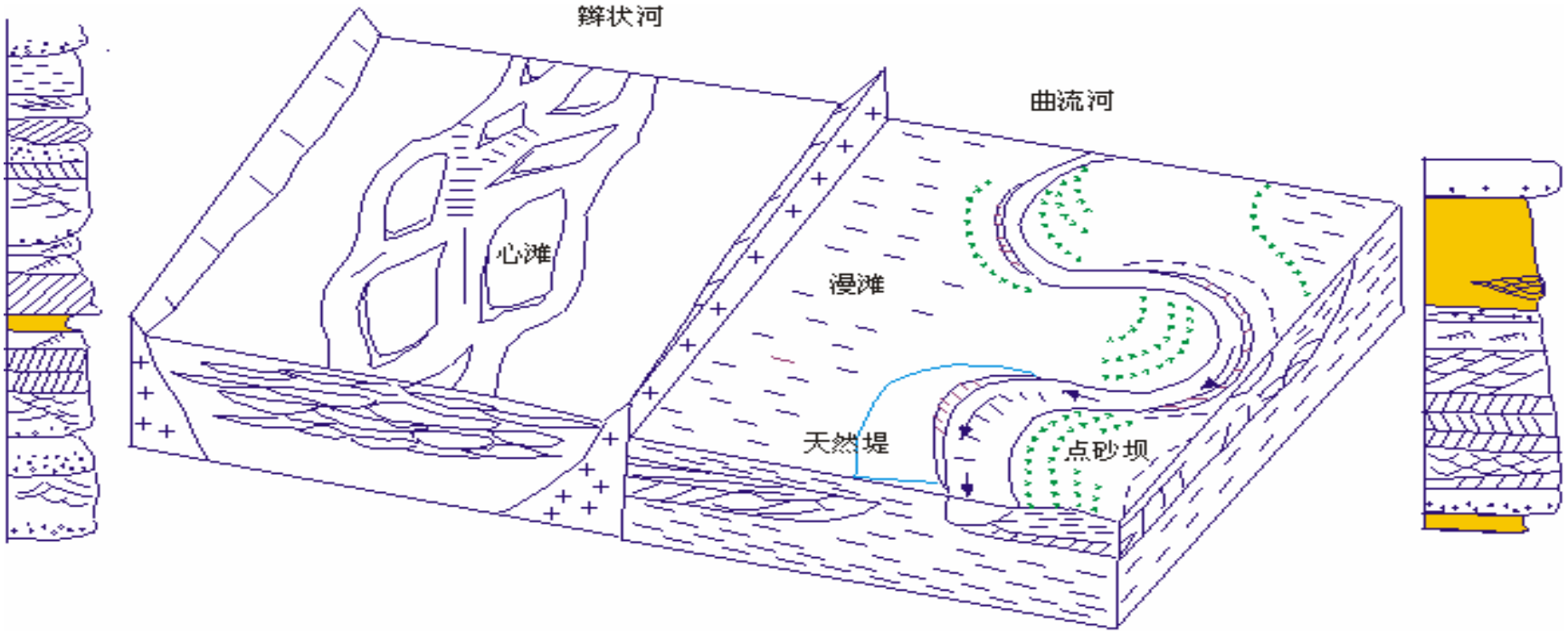
2、河流砂岩体

岩性由砾、砂、粉砂和粘土组成，以砂质为主，成分复杂，分选差—中等。

边滩砂岩体（属称点砂坝）：发育于河流中、下游弯曲河道内侧（凸岸），为透镜状，由下到上，粒度由粗到细的正粒序。中部储油物性较好，向上、向两侧逐渐变差。



河床砂砾岩体（属称心滩）：沿河道底部沉积。平面呈狭长不规则条带状，走向一般与流向垂直或斜交；剖面上呈透镜状，顶平底凸。物性一般中部好，向顶、向两侧变差。渗透率变化较大。

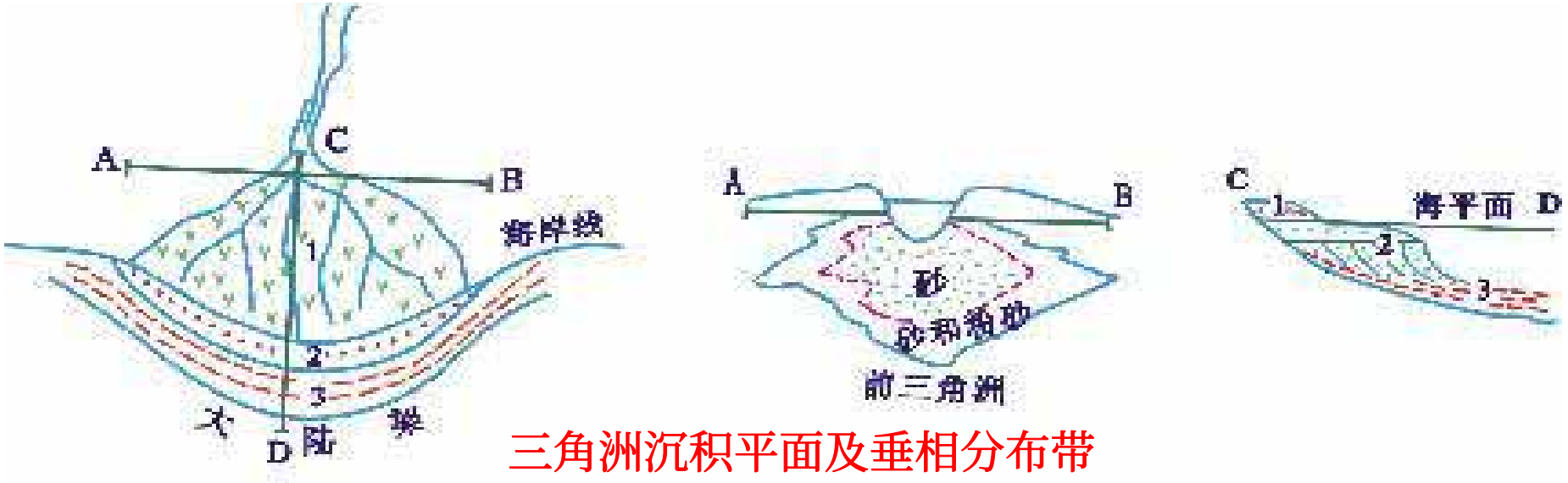


3、三角洲砂岩体

三角洲是河流入湖或入海口流速降低而形成的扇形沉积体，以砂岩为主，岩性偏细。可分三个亚相带，各亚相带主要的砂体有：

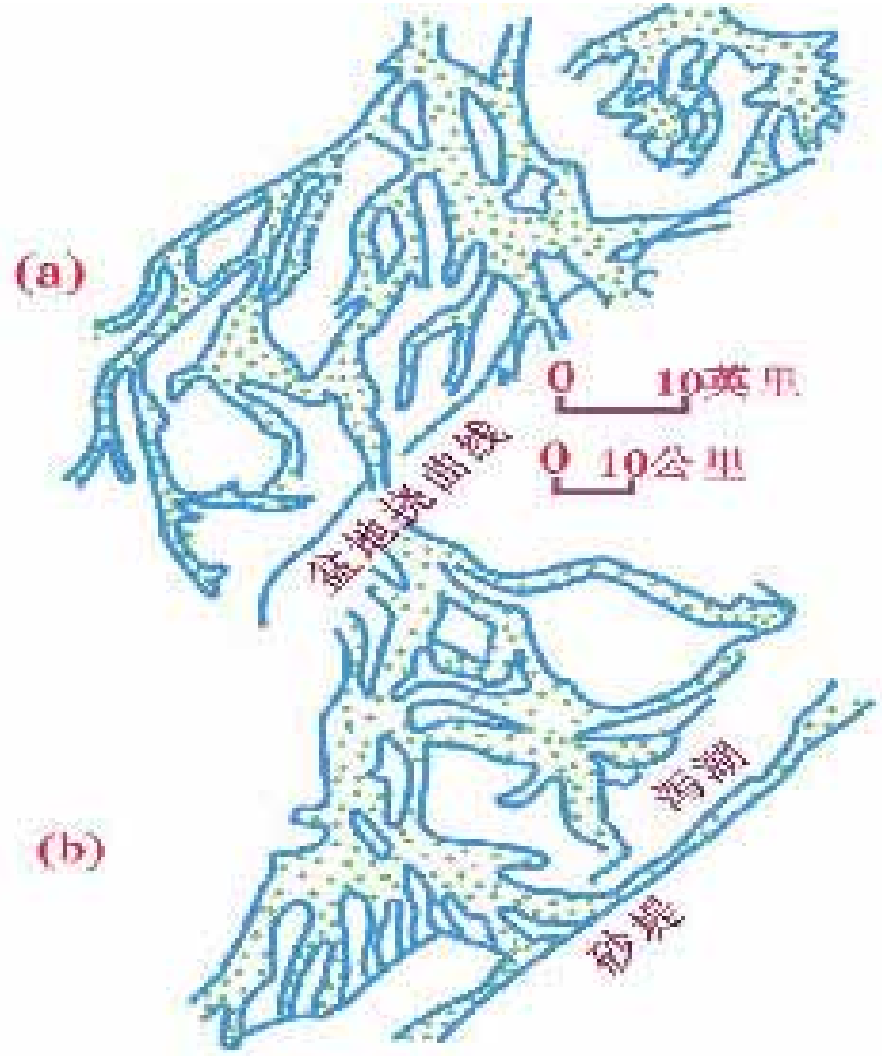
三角洲平原：分流河道砂岩体，以粉砂岩、砂岩为主，偏细。

三角洲前缘：水下分流河道；河口砂坝：细、粉砂，分选好；远砂坝：粉砂、细砂和少量粘土。



三角洲沉积平面及垂相分布带

前三角洲：席状砂：砂质纯，分选好。以前缘带的砂坝砂岩体和前三角洲的席状砂岩体，分选好，粒度适中，为三角洲储集层发育的相带。



美国两个典型三角洲砂岩体分布图

4、湖泊砂岩体

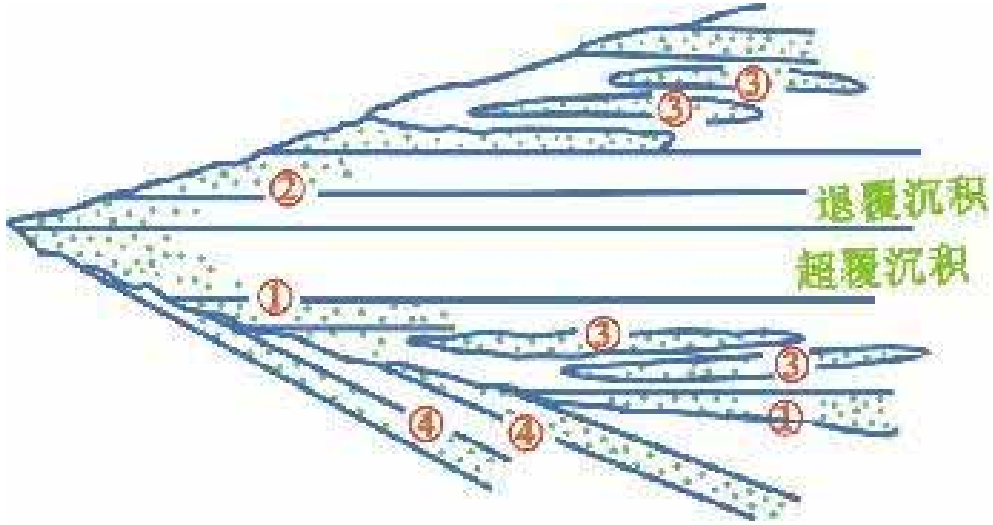
平行湖岸成环带状分布滨湖相、浅湖相、深湖相，砂体集中于滨湖区和浅湖区，这两区颗粒受波浪的淘洗，粒度适中，分选、磨圆好，胶结物多为泥质，浅湖区为泥质和钙质混合，相对来讲，浅湖区砂体物性优于滨湖区。

湖泊砂岩体为我国多数油田的储集层类型。

5、滨海砂岩体

滨海区由于波浪、沿岸流、潮汐、风的作用，破坏附近的三角洲可形成沿岸线呈带状、串珠状分布的砂坝；由于海水的频繁进退可形成超覆与退覆砂岩体。

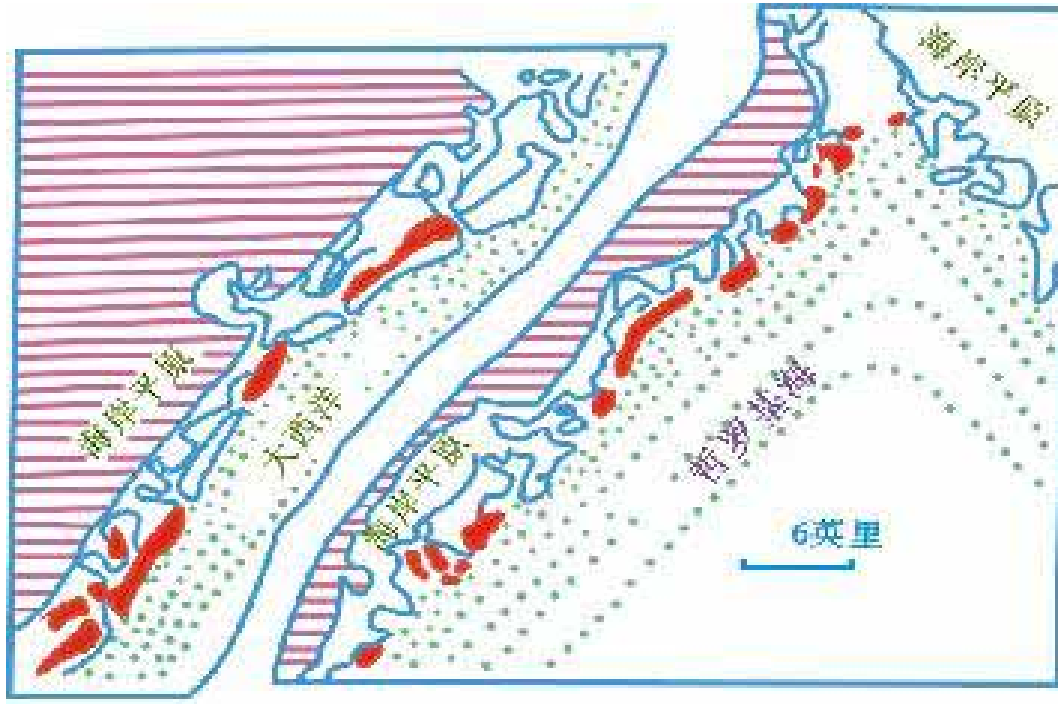
超覆和退覆砂岩体：海进海退的频繁交替形成。海进砂岩体：下覆三角洲平原或其它海岸沉积物，不利生油。海退砂岩体：下伏海相页岩，是很好的生油岩，形成较好的生储组合。



超覆退覆砂岩体与海滩砂岩体

滨海砂洲：平行海岸线分布。平面上呈狭长带状，形成较好的生储组合。 剖面上呈底平顶拱的透镜状，由下到上粒度变粗。向上物性变好，向海一侧砂岩与页岩分界明显,渗透性好；向陆一侧砂岩渐变为页岩和粘土,富含泥质，渗透性变差。

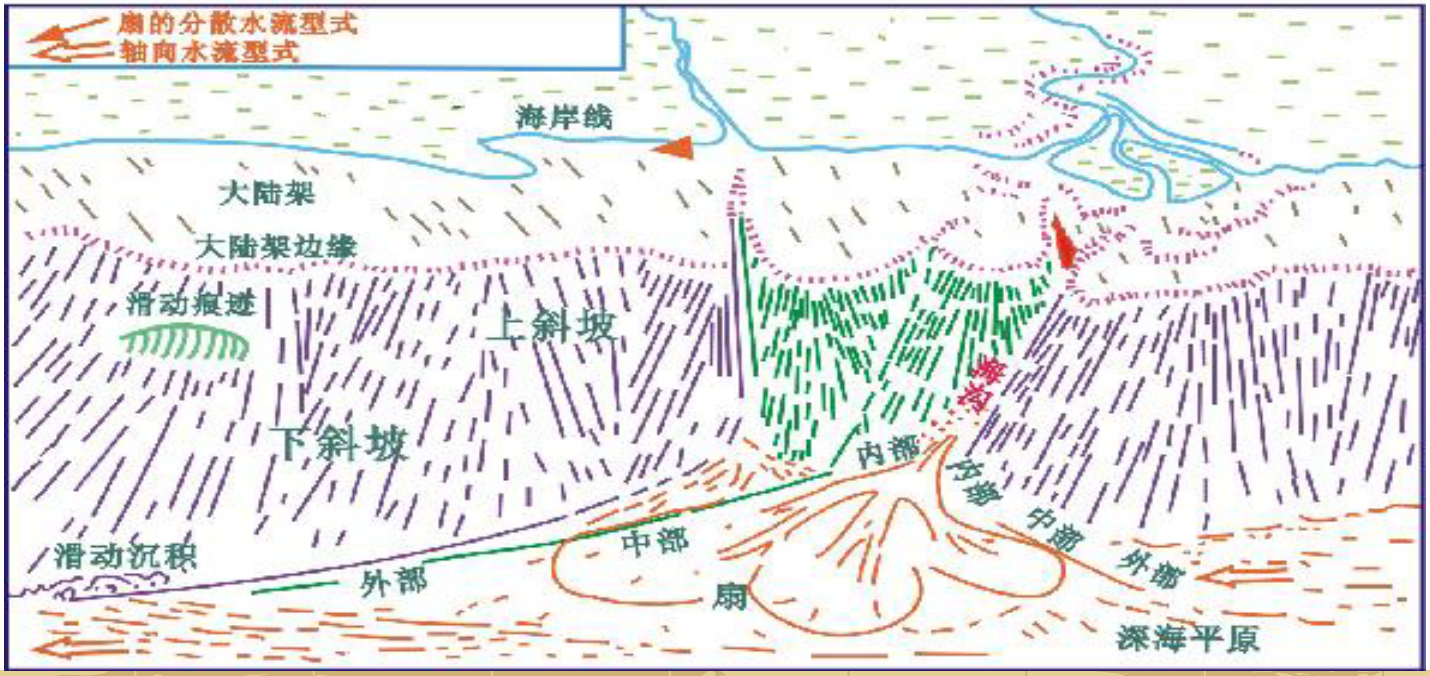
走向谷砂岩体：在海进过程中的海岸上，沿单面山古地形陡崖或断层陡阶走向分布的滨海砂岩体，岩性以中、细砂为主，分选磨圆好，松散，物性好。



滨海砂洲地图

7、浊流砂岩体

浊流携带大量的泥砂在大陆斜坡到深海平原形成的扇形堆积体。由根部到前缘，由下部到上部，沉积物由粗变细，分选由差变好，前方和上部是分选较好的砂质沉积，可构成良好的储集层，浊积砂岩体发育在深水泥岩之中，有丰富的油源，构成了油气藏面积不大．但油层厚．储量大。



浊流砂岩体沉积环境模拟图

8、风成砂岩体

在大陆沙漠区、河岸附近，可形成风成砂丘。由成份纯、圆度好、分选佳、胶结弱的砂粒组成，无泥质夹层，厚度大，孔隙渗透性好，最有利的碎屑岩储集体。

在陆相沉积中，湖成（海岸）砂岩体往往同河床、三角洲、冲积扇、风成砂体混在一起，不同时期，不同成因的砂岩体有时连成一片，形成一个穿时层状砂岩体。

§3 碳酸岩盐储集层

现在，从碳酸盐岩储集层中发现的油气储量已接近世界油气储量的一半，产量则已达总产量的60%以上。碳酸盐岩储集层的类型很多，岩性以粒屑灰岩、生物骨架灰岩和白云岩为主。

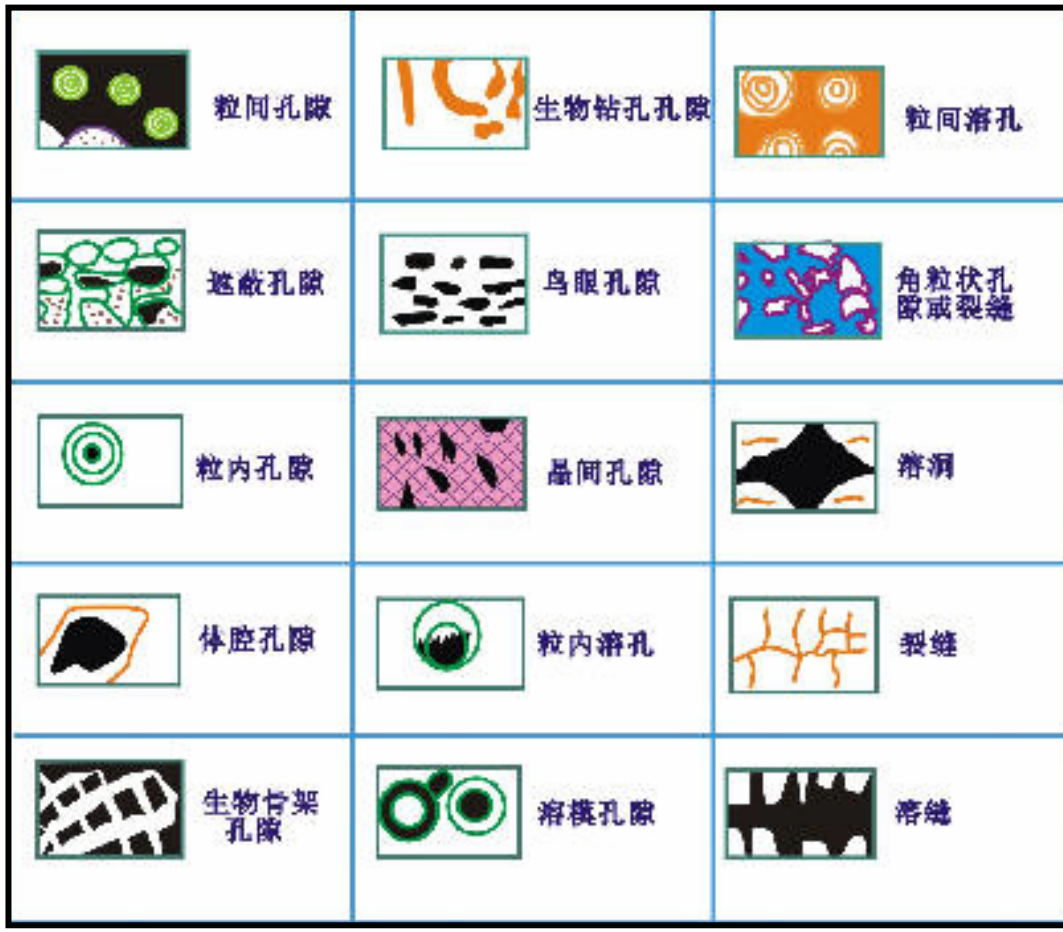
一、碳酸盐岩储集层的孔隙类型

（一）原生孔隙

1、粒间孔隙

多存在于粒屑灰岩，特征与砂岩的相似，不同之处是，易受成岩后生作用的改变，常具有较高的孔隙度。

另外，有的由较大的生物壳体、碎片或其它颗粒遮蔽之下形成的孔隙，称遮蔽孔隙，也属粒间孔隙。



孔隙类型示意图（黑影部分代表孔隙）

2、粒内孔隙

是颗粒内部的孔隙，沉积前颗粒在生长过程中形成的，有两种：

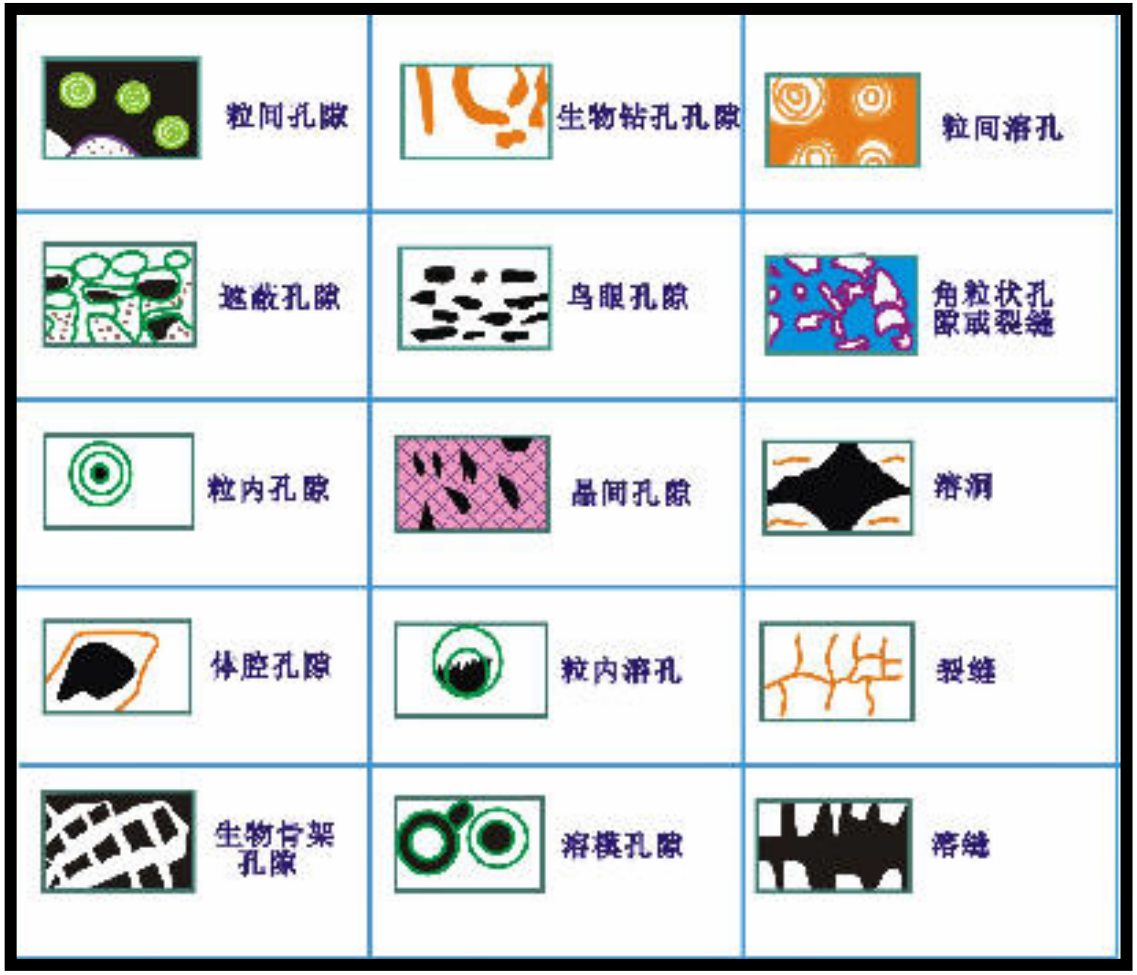
生物体腔孔隙：生物死亡之后生物体内的软体腐烂分解，体腔内未被灰泥充填或部分充填而保留下来的空间。多存在于生物灰岩，孔隙度很高，但必须有粒间或其它孔隙使它相通才有效。

鲕内孔隙：原始鲕的核心为气泡而形成。



孔隙类型示意图（黑影部分代表孔隙）

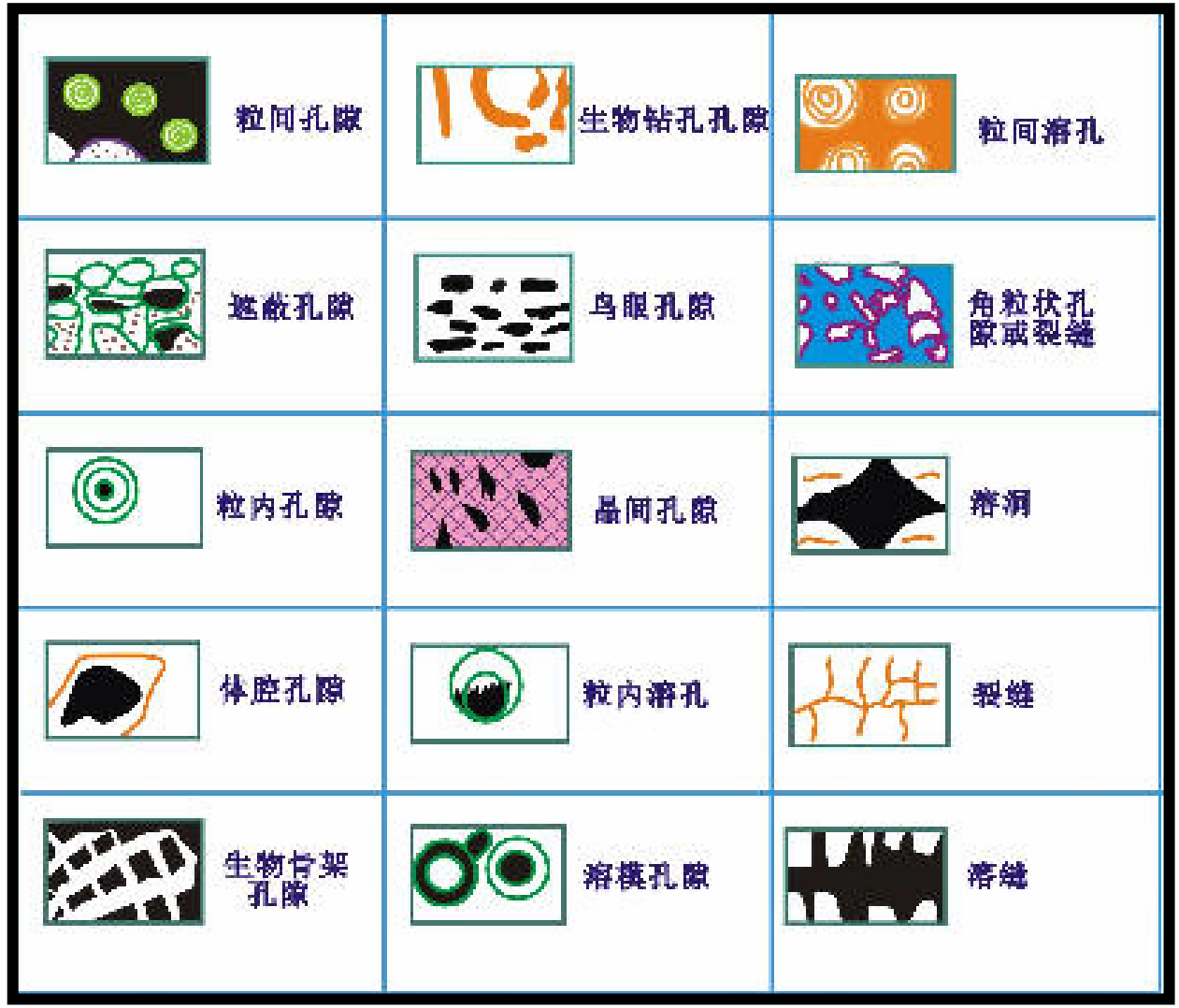
3、生物骨架孔隙
4、生物钻孔孔隙
5、鸟眼孔隙



孔隙类型示意图（黑影部分代表孔隙）

（二）次生孔隙

1、角砾孔隙



孔隙类型示意图（黑影部分代表孔隙）

2、溶蚀孔隙

根据成因和大小，包括以下几种：

粒内溶孔或溶模孔：由于选择性溶解作用而部分被溶解掉所形成的孔隙，称粒内溶孔。整个颗粒被溶掉而保留原颗粒形态的孔隙称溶模孔。

粒间溶孔：胶结物或杂基被溶解而形成。

晶间溶孔：碳酸盐晶体间的物质选择性溶解而形成。

岩溶溶孔洞：上述溶蚀进一步扩大或与不整合面淋滤溶解有关的岩溶带所形成的较大或大规模溶洞。孔径<5mm或1cm为溶孔；>5mm或1cm为溶洞。

3、裂缝

依成因可分为：

①构造裂缝：边缘平直，延伸远，成组出现，具有明显的方向性、穿层。

②非构造裂缝：包括：成岩裂缝：压实、失水收缩、重结晶而形成。不穿层，平行层面，裂缝面弯曲，形状不规则，延伸短。风化裂缝：地表水淋滤和地下水渗滤溶蚀改造形成。大小不均，形态奇特，边缘具明显的氧化晕圈。压溶裂缝：压溶作用，选择性溶解而形成的头盖骨接缝似的缝合线。

在实际工作中，常把裂缝性碳酸盐岩储层的孔隙空间系统分为：裂缝孔隙系统：油气渗流通道，是成为高产井的重要条件之一。基块孔隙系统：是油气的主要储集空间，也是获得稳产的关键。

二、碳酸盐岩储集层的类型

根据碳酸盐岩储集层储集空间的类型来划分，可将储集层类型分为：

1．孔隙型储集层（包括孔隙-裂缝性）

岩性：主要为颗粒石灰岩：鲕粒、碎屑、生物碎屑、粒晶灰岩及白云岩等。

储集空间：原生和次生的粒间、粒内、晶间孔隙发育；裂缝次之。

2．溶蚀型储集层

储集空间：以溶蚀孔隙、洞，连成一个洞穴系统。

分布：不整合面及大断裂带附近。特别是古风化壳、古岩溶带。

3．裂缝型储集层

岩性：主要为白云岩、白云岩化灰岩。

储集空间：裂缝为主，尤其纵横交错构成的裂缝网。其特征是：岩性测定其物性极低，与油气实际产能不适应。

4．复合型储集层

储集空间：孔、洞、缝同时或出现两种。有利于形成储量大、产量高的大型油气田。

三、影响碳酸盐岩储集层的因素

由于碳酸盐岩储集层储集空间多样，尤其是次生改造作用，使得其物性的影响因素及分布规律较为复杂，要视不同的储集层类型而不同。

1、孔隙型储集层发育的影响因素

孔隙型储集层储集空间多以原生粒间-晶间孔隙为主，影响其发育的因素取决于原来岩石的沉积特征（沉积环境），即类似于碎屑岩储集层，其孔隙度、渗透率大小与粒度、分选、磨圆、杂基含量以及造礁生物发育程度。

分布：孔隙型储集层其物性受沉积环境的控制，因此，在高能环境或有利生物礁形成的环境，能形成好的粒间-晶间孔隙，是此类储集层分布的主要相带。

平面上主要分布在台地前缘斜坡相、浅滩相、盆地边缘生物礁相、潮坪相；

剖面上储集层处于两次海进之间的海退层序，其下海进的细粒碳酸盐岩作为生油层，其上海进的细粒碳酸盐岩作为生油层和盖层。

2、溶蚀型储集层发育的影响因素

碳酸盐岩溶解度：其它条件相同时，成分越纯正，易溶。溶解度从大到小是石灰岩>白云岩>泥灰岩（即与Ca/mg比成正比）；从结构构造来看，粗晶、厚层石灰岩比细晶、薄层灰岩易溶。

地下水的溶蚀能力：取决于地下水的PH值、CO_2含量、SO_4^{2-}含量、温度、压力。水中含CO_2及有机酸时，水呈酸性，PH值下降，碳酸盐岩溶解度增大。

分布：主要分布在厚层、质纯、粗结构的碳酸盐岩层段，特别是白云岩。发育于富含CO_2的地下水活动地带，主要在古风化壳带，岩石遭受风化剥蚀，孔隙发育，地下水沿裂缝渗流地下，形成岩溶带。分三带：

垂直渗流带：水流特点以向下淋滤作用为主，流速快，溶蚀作用不太充分；溶孔以垂直孔缝为主，储集层分带性不明显，有时有地表渗入的沉积物所充填。

地下水水位季节变化带：水流特点为水平与垂直流动的周期性交替。孔缝具有水平及垂直方向均发育，形成孔、洞均好的储层。厚度据地下渗流条件和岩溶作用不同而不同。

潜流带：水流为水平方向，上述两带补充CO_2，水流缓慢与岩石作用时间长。发育良好的水平方向溶蚀孔洞，储层分带性明显。厚度与易溶岩层厚度有关。

3、裂缝型储集层发育的影响因素

岩性控制因素

成份较纯，脆性大，裂缝发育，泥质含量高，裂缝不发育。结构构造上，质纯粒粗、结晶粗的裂缝发育，薄层裂缝密度较大，但规模较小，易产生层间缝和层间脱空；厚层裂缝密度小，但规模较大，以立缝和高角度斜缝为主。

构造的控制作用

在构造强烈部位构造裂缝发育。长期持续上升的区域，局部构造高点、长轴、倾没端、断层及断裂带附近裂缝发育。

地下水的控制作用

地下水活跃的地区，构造裂缝溶解，扩大裂缝的作用。

分布：在质纯、脆性大，构造强烈的部位，以及地下水活跃的地区。

四、碳酸盐岩与碎屑岩储层的区别

碳酸盐岩与碎屑岩相比，由于其化学性质不稳定，容易遭受剧烈的次生变化，通常经受更为复杂的沉积环境及沉积后的变化。有以下几点区别：

1、碳酸盐岩储集层储集空间的大小、形状变化很大，其原始孔隙度很大而最终孔隙度却较低。因易产生次生变化所决定。

2、碳酸盐岩储集层储集空间的分布与岩石结构特征之间的关系变化很大。以粒间孔等原生孔隙为主的碳酸盐岩储层其空间分布受岩石结构控制，而以次生孔隙为主的碳酸盐岩储层其储集空间分布与岩石结构特征无关系或关系不密切。

四、碳酸盐岩与碎屑岩储层的区别

3、碳酸盐岩储集层储集空间多样，且后生作用复杂。构成孔、洞、缝复合的孔隙空间系统。

4、碳酸盐岩储集层孔隙度与渗透率无明显关系。孔隙大小主要影响孔隙容积。

总之，碳酸盐岩储层的主要特点：储集空间发育具不均一性或突变性，也称各向异性。

§4 其它类型储集层

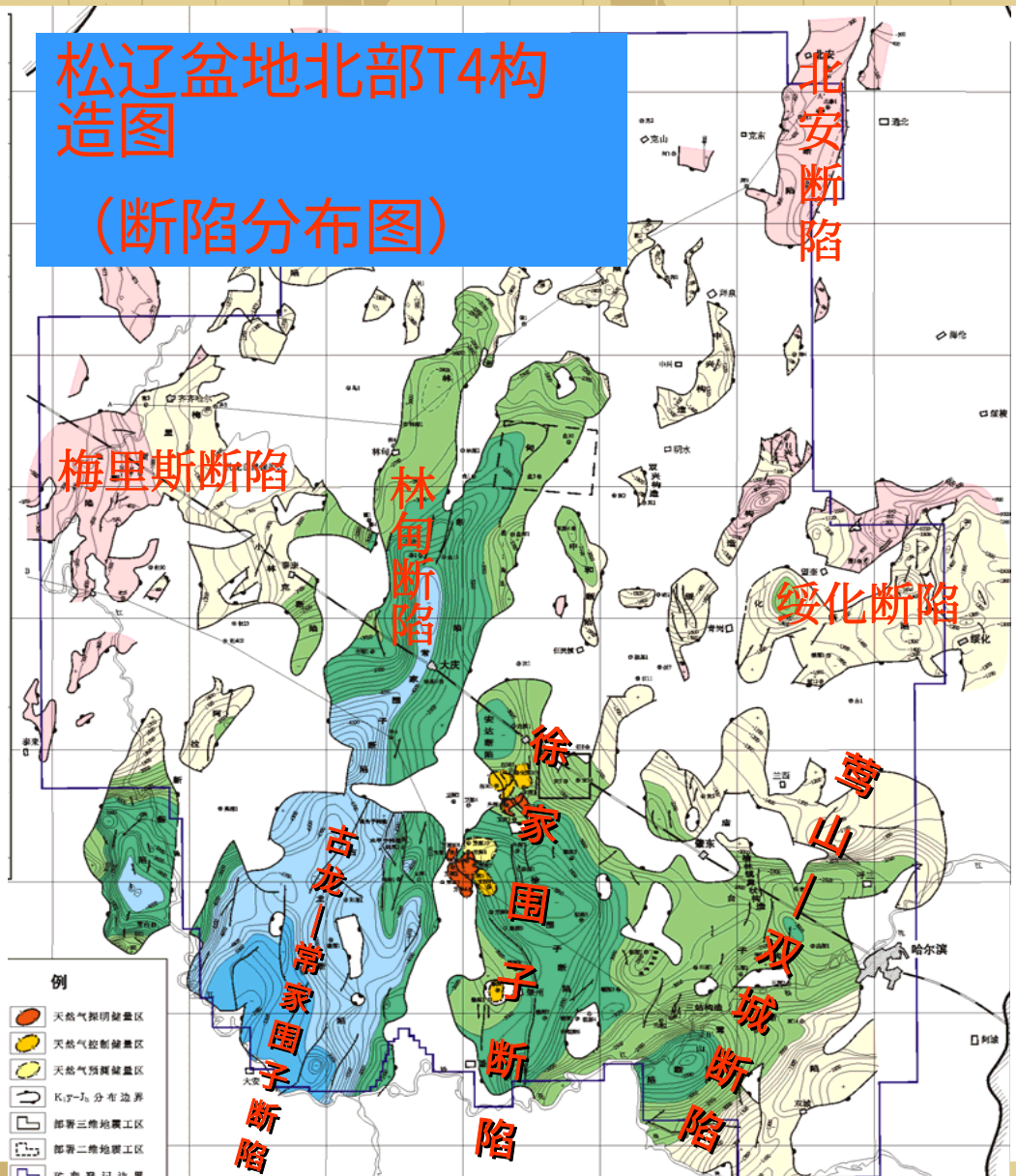
火山岩储集层：包括火山喷发岩和火山碎屑岩。主要储集空间为构造裂缝或受溶解的构造裂缝，因此，在构造裂缝发育的小型断陷盆地边缘与隆起过渡带，有火山岩储层。它往往发育于生油层之中或邻近的火山岩，对含油有利。

结晶岩储集层：包括各种变质岩，储集空间主要为风化孔、缝及构造缝。多发育在不整合带、盆地边缘斜坡及盆地古突起，以此为储集层的油气藏属称基岩油气藏。

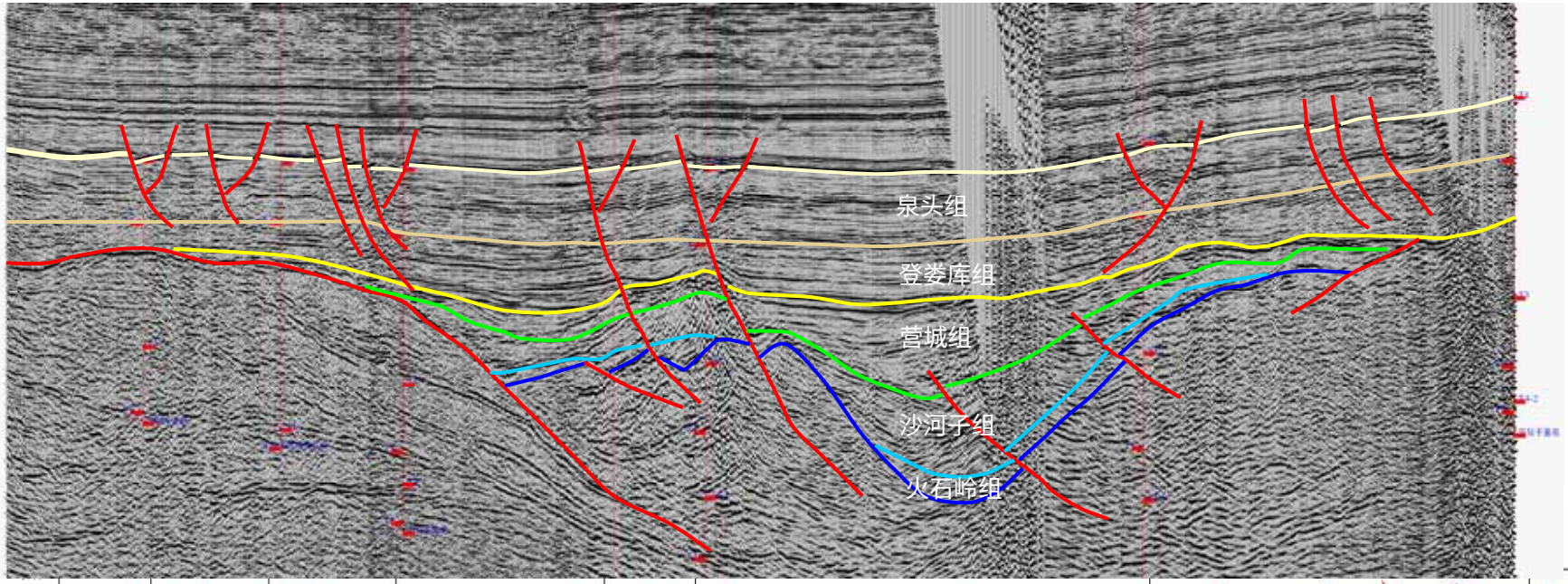
泥质岩储集层：储集空间主要为构造裂缝或泥岩中含有易溶成分石膏、盐岩等，经地下水溶蚀形成溶孔、溶洞等。

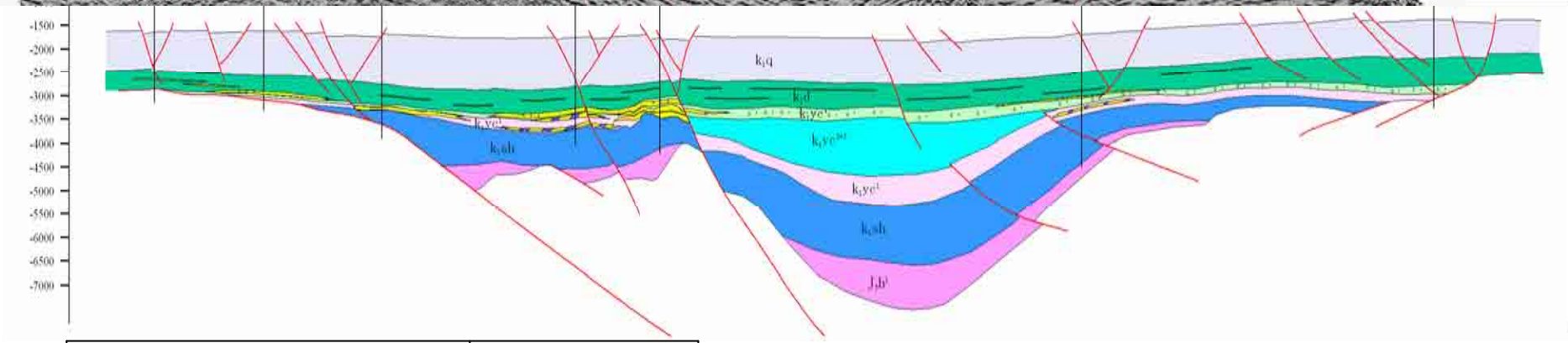
第二章 储集层与盖层

松辽盆地为断坳叠加的复合盆地，深部目的层包括坳陷期地层和断陷期地层，北部深层存在30多个断陷盆地。其中徐家围子断陷带、常家围子-古龙断陷带和莺山-双城断陷带是目前重点勘探地区，有利勘探面积为28860km2。



第二章 储集层与盖层


泉头组
登娄库组
营城组
沙河子组
火石岭组


-1500
-2000
-2500
-3000
-3500
-4000
-4500
-5000
-5500
-6000
-6500
-7000
K1q
K1d
K1yc1
K1yc2
K1yc3
K1sh
K2yc1
K2sh
J3b
昌德气藏
兴城气藏

第二章 储集层与盖层



炸裂缝



微裂缝



砾间缝



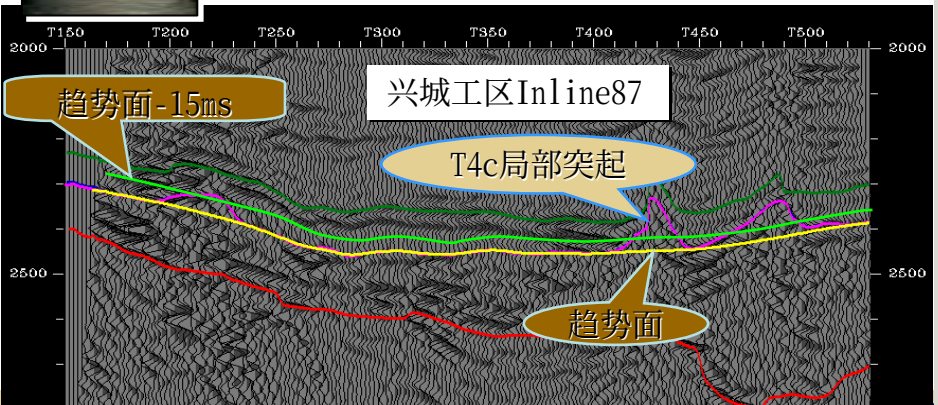
溶蚀裂缝

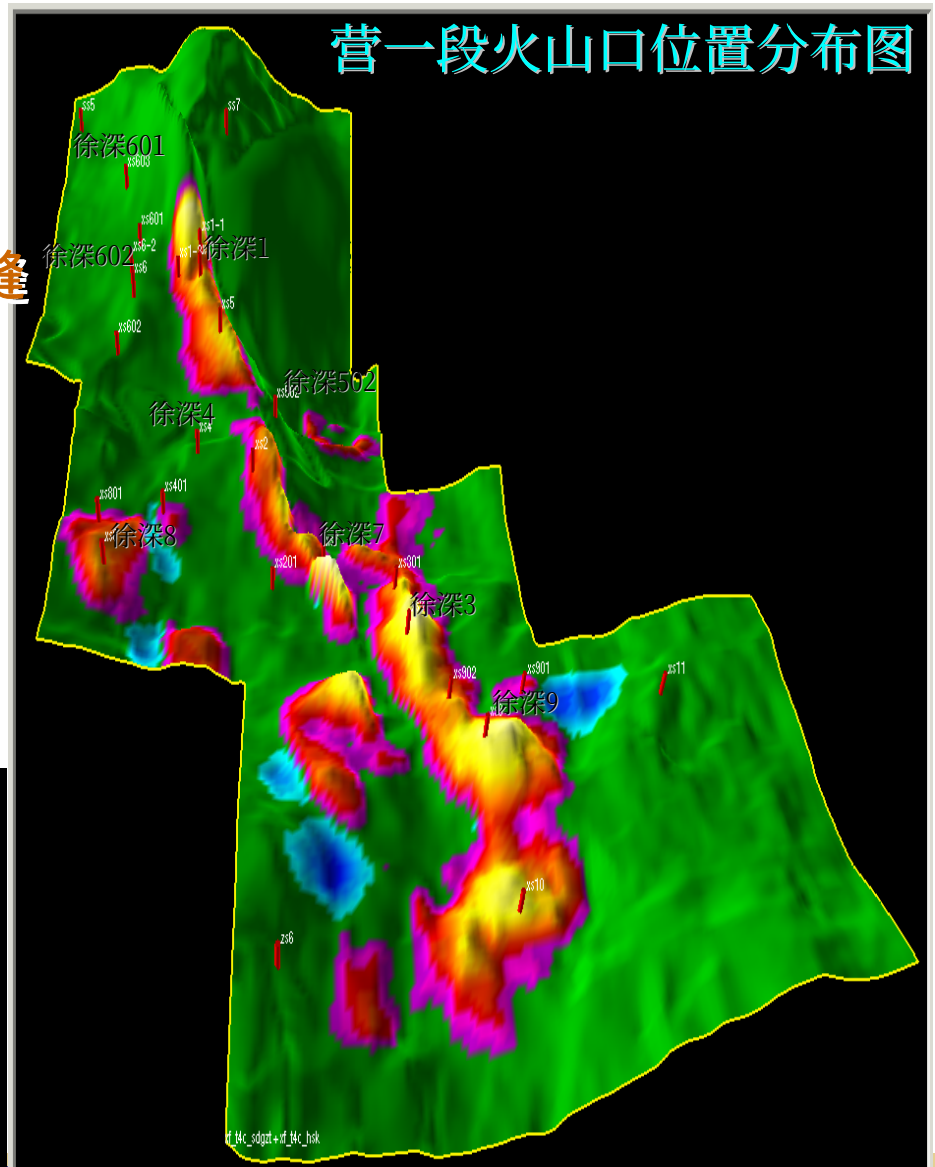


水平构造裂缝

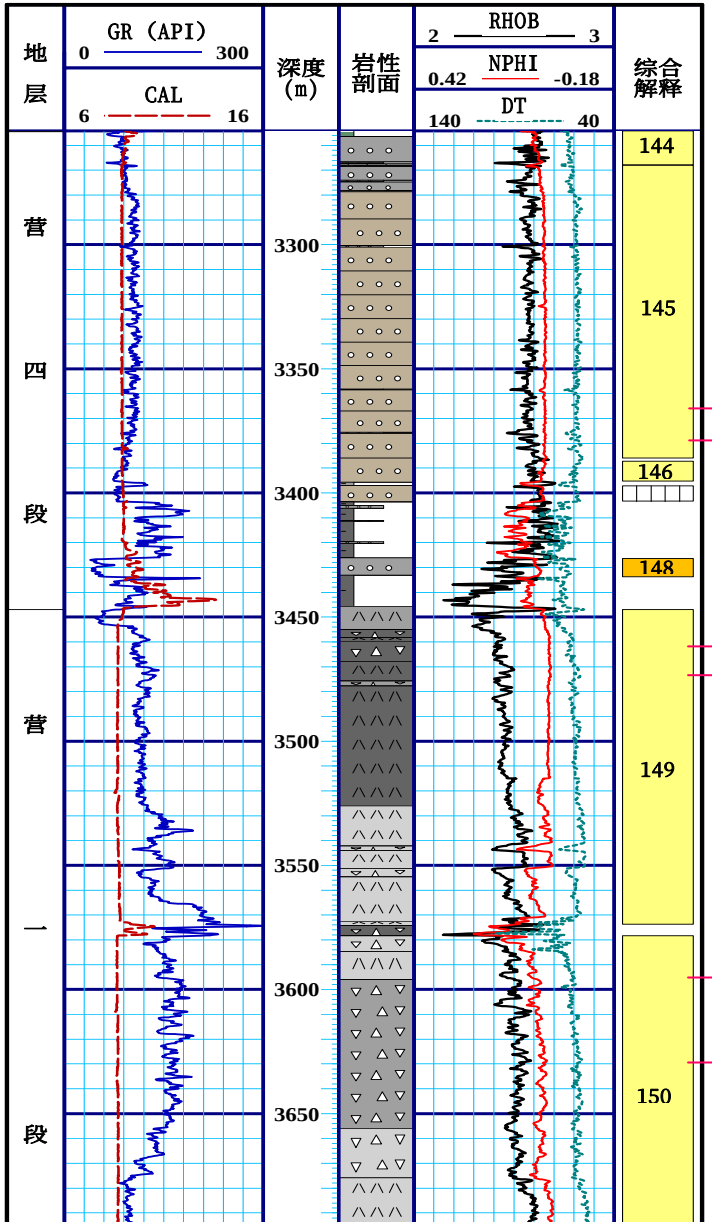


高角度构造裂缝





徐深1井柱状图



营四段砂砾岩3364-3379 m 井段，测试日产天然气9m³。压后日产天然气54758 m³。

营一段149号层火山岩,厚度126.8m，3460-3470m测试日产气301m³，压后日产气195698m³。

营一段150号层火山岩,厚度126.8m， 3592-3624m压后日产气530057m³，计算无阻流量118.48×10⁴ m³/d。

§5 封盖条件

一、概念

盖层：指在储集层的上方，能够阻止油气向上逸散的岩层。

常见的盖层有：石膏和盐岩占33%，泥岩、页岩占65%，致密灰岩占2%。

二、盖层的封闭机制

盖层较致密，岩石孔径小，渗透性差；无或少开启裂缝，即使产生裂缝，由于其可朔性较好，也容易弥合成为闭合裂缝；盖层具较高的排替压力；异常压力带也能阻止油气向上逸散而成为盖层。

三、盖层的性质

盖层有两大类：区域盖层与局部盖层。前者覆盖了油气运移路径，后者限定了油气聚集。盖层可以是任何岩性，唯一的条件是组成盖层的岩性界面的最小排替压力要大于下伏油气聚集油柱的浮压。

对盖层的分析首先应当确定生烃、排烃的时间和位置。只有那些在成熟生油岩之上，分布范围又大，且有储盖组合的盖层才对特定含油气系统具有重要意义。只要集中注意那些控制成因上相关的油气运移与聚集的不渗透面即可。

（一）盖层的微观性质—封闭能力

盖层在特定时刻的封闭性能从根本上说，取决于从孔隙或裂隙中排出同生水所需的最小压力(同生水排出即为渗漏)，相邻油气要通过此封闭层，它的浮压必须要达到这一进入毛细管的最小压力。

$$Pd = 2r\cos\theta / R$$

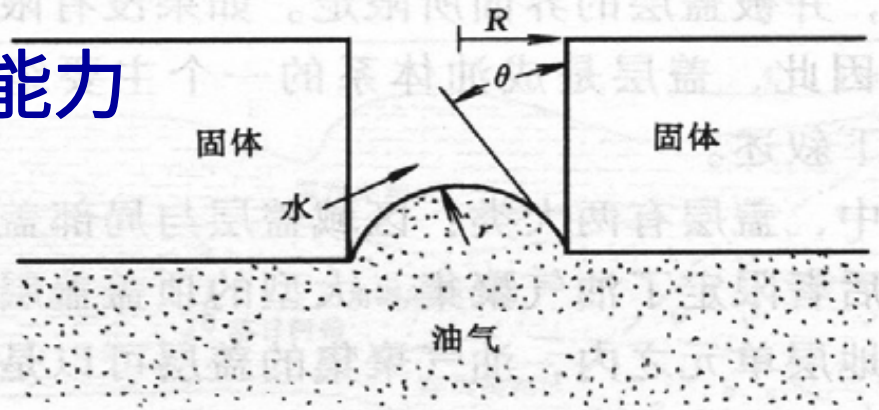


图 11－1 毛细管压力参数（据 Downey，1984）

R．最大孔喉半径；*θ*．可湿度；r．烃－水表面张力

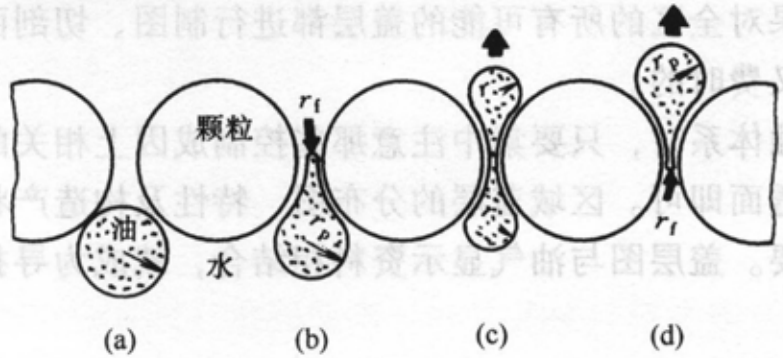


图 11－2 油珠在水湿润的碎屑岩中的二次运移图解（据 Bery，1975）

（a）油珠停留在孔隙中；（b）油珠进入孔喉；（c）油珠通过孔喉的半程；

封盖岩毛细管力的作用是将油气限制在圈闭之内。确切地说是油滴要通过封盖层小孔隙时两种岩层之间的毛细管阻力差阻止油气的通过。两种岩层的毛细管阻力差：

$$\Delta P_c = 2\Upsilon(1/r_t - 1/r_p)$$

静油柱的浮力是： $F_r = -Z\cdot(\rho_w - \rho_o) g$

如果油柱的浮压超过盖层的油水排替压力，则油气就穿过盖层。当然，向下的水动力流将使进入压力增加，而向上的水动力流使盖层的有效进入压力减小。

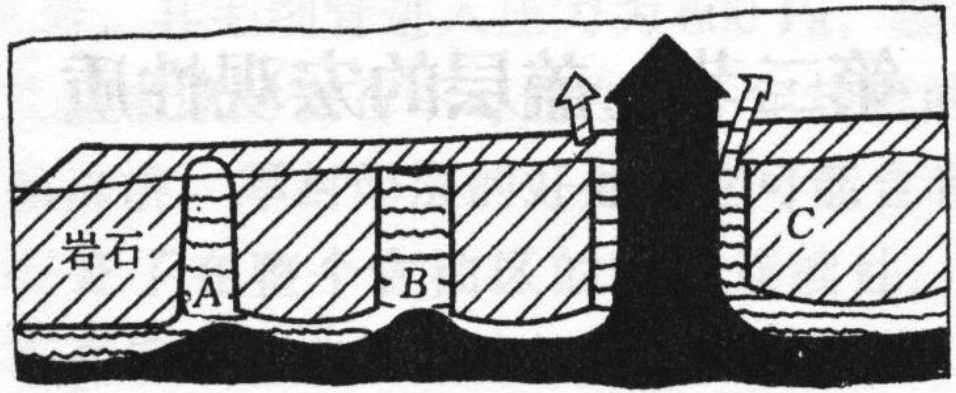


图 11－3　岩石孔喉半径对油气运移的影响

（据 Downey，1984）

岩石孔喉 *A* 和 *B* 被阻塞（具高的毛细进入压力），孔喉 *C* 较大，油柱的浮压足以使油穿过孔喉

自岩石标本的“微观数据”推广到整个宏大的封闭面，其用处十分有限。只有当封闭面是均匀的而且是非常细粒的岩性时，例如粘土岩或蒸发盐岩，随机取得的岩芯样品才会有实测的极高值，但如果致密岩有裂隙或破碎，则测得的数据完全无效。

当封闭面是横向上连续的均匀细粒岩石时，毛细排替压力的实验室测量才能提供有用的数据，这些数据可以用来估计封闭层可以经受的最大油柱浮力。

（二）盖层的宏观性质

1.岩性

通常有效封闭层的岩性为蒸发盐岩、细粒碎屑岩及富含有机物的岩石，它们通常占整个盆地充填物的很大部分。岩性是决定封闭层的最重要的因素。

2.韧性

与岩性有关：碳酸盐岩及泥岩虽然排替压力很高，但它们形变时比盐层、石膏层、粘土页岩及富含有机质的岩石更易产生裂隙。

岩石韧性排列次序

韧　性	岩　性
最大 ↓ 最小	盐层 石膏层 富干酪根页岩 粉砂质页岩 碳酸盐泥岩 燧石层

2.韧性

与温度、压力、埋深有关：如蒸发盐岩上面的覆盖层超过几千米，则它是非常韧性的封闭层，但在浅部却很脆。

细粒且韧性的岩石，是很好的封闭岩。富含有机质的岩石含有干酪根层，可以变形，褶皱时表现为塑性形变。松软的干酪根层在形变时的流动性，使残余孔隙的排替压力变得非常之高。

3.厚度

理论上说，很薄的页岩就可以封闭很高的油柱。例如，粒度为10^{-4}mm的粘土页岩，其毛细管进入压力为600Pa，理论上可以阻止915m高的油柱。但几厘米厚的岩石不可能在有一定规模的圈闭范围内维持不破、不裂、不被淋溶。厚封闭层的好处是它可能含有许多互相邻接的小封闭层，从而保证了在整个含油区的整体连续性。厚封闭层是重要的，但其厚度并不直接影响它所保持的油柱高度。

若圈闭是由储层的断层位移所造成，则顶部封闭层的厚度十分重要。这时，顶部封闭层可位移成侧向封闭层，其厚度将与其所封闭的油柱高度直接相关。

4.均匀性

具有封闭性能的地质单元，还要研究它在整个地质单元分布区内是否均匀。中等程度的岩性变化可能在其毛细管性质上有极大的不同，利用电测物性及岩性柱状图来认定可能的封闭层在整个成油体系范围内是否均匀，是一个很好的起点。

（三）区域性封闭层

区域性封闭层的特点是分布广、厚度大、横向均匀、韧性高。控制了成因上相关的油气的区域分布。

封闭层的特性与岩性有关：

Ⅰ类最优质盖层：铝土质泥岩、砂质泥岩及含泥粉砂岩，盖层物性以低渗透率、高突破压力及低扩散系数为特点。

Ⅱ类盖层：沉积凝灰岩，孔隙度、扩散系数中等。粉砂质泥岩和泥岩其封盖能力处于Ⅰ类和Ⅱ类之间。

Ⅲ类盖层：含鲕泥岩，扩散系数虽小，但其突破压力较小，渗透率较大。

不同岩石类型盖层的物性参数

岩石类型	研究号	渗透率／$10^{-3}\mu m^2$	孔隙度／%	扩散系数/cm^2/s	突破压力／MPa		有机碳／%	FeS/%	C_1/C_2^+	盖层评价
					饱含空气	饱含煤油				
粉砂质泥岩	3，6 7，10 8	1.70×10^{-6}～3.07×10^{-3} 1.42×10^{-3}	0.53～1.74 0.91	2.292×10^{-8}～2.13×10^{-7} 9.962×10^{-8}	0.8～>15 >4.7	6～>15 >11.25	0.14～1.56 0.55	0.22～0.59 0.41	0.96～2.15 1.53	Ⅱ／Ⅰ
含粉砂泥岩	5，9 14	1.3×10^{-4}～1.74×10^{-2} 6.068×10^{-3}	0.43～0.58 0.48	1.44×10^{-8}～7.054×10^{-8} 3.066×10^{-8}	0.3～2 0.96	3～>15 >9.3	0.20～6.36 2.90	0.18～2.20 0.97	1.39-3.63 2.40	Ⅱ／Ⅲ
沉积凝灰岩	2 13		0.93～1.32 1.12	1.169×10^{-7}～5.057×10^{-7} 3.113×10^{-7}			0.14～0.15 0.15	0.18～0.22 0.20	0.48～1.83 1.16	Ⅱ
含鲕含粉砂泥岩	11 12	2.50×10^{-3}	0.68～1.54 1.11	6.353×10^{-8}～5.426×10^{-7} 3.310×10^{-7}	0.5	2	0.16～1.94 1.05	0.22～5.90 3.06	1.02～5.17 3.10	Ⅱ／Ⅲ
铝土质泥岩	16	2.7×10^{-5}	0.85	4.450×10^{-8}	>15	>15	1.19	6.48	1.14	Ⅰ
泥岩	15	5.60×10^{-4}	0.40	6.040×10^{-8}	2	>15	1.56	0.41	0.96	Ⅰ／Ⅱ
含鲕泥岩	17	6.23×10^{-3}	0.71	9.952×10^{-9}	0.2	0.8	7.40	36.95	16.66	Ⅲ
砂质泥岩	1	5.3×10^{-4}	0.91	1.125×10^{-7}	6	15	0.20	0.14	1.32	Ⅰ
含泥粉砂岩	4	1.4×10^{-4}	0.87	9.627×10^{-7}	8	>15	0.15	0.18	2.62	Ⅰ