



石油工业干部科技学习丛书

# 怎样认识油层

亓永荣 编

TE311

1

3

石油工业出版社

石油工业干部科技学习丛书

# 怎样认识油层

亓永荣 编

石油工业出版社

# 目 录

|                      |    |
|----------------------|----|
| 一、油层岩性分类 .....       | 1  |
| 二、油层储油物理性质的研究 .....  | 4  |
| (一) 油层的孔隙性 .....     | 4  |
| (二) 油层的渗透性 .....     | 12 |
| (三) 油层的含油性 .....     | 16 |
| 三、认识油层的基础资料 .....    | 17 |
| (一) 钻井地质资料 .....     | 17 |
| (二) 试油地质资料 .....     | 20 |
| (三) 矿场地球物理测井资料 ..... | 23 |
| 四、研究油气层的基础工作 .....   | 28 |
| (一) 油气层对比 .....      | 28 |
| (二) 油层相分析 .....      | 40 |
| (三) 油气田构造研究 .....    | 49 |
| 思考题 .....            | 57 |

石油是储藏在地下具有孔隙、裂缝、孔洞的岩石中的，能储藏石油和天然气的岩层叫储集层。储集层中含有石油则称为油层，含气称为气层。储集层不但是石油、天然气的储集场所和油气流动的通道，也是控制流体运动的客观条件。为了经济、合理地开发油气田，达到“以提高最终采收率为核心，在一个比较长的时期内稳产高产”地开发油气田的目的，必须对影响开发成效的重要因素——油气层的层位变化及其规律、岩性特点、矿物组成、结构构造、储油物理性质等进行综合研究。从而为合理地划分开发层系，确定井网部署，选择开发方式提供可靠的地质依据。

## 一、油层岩性分类

目前世界上发现的油层种类很多，最常见的是砂岩油层、碳酸盐岩油层，其次还有砾岩油层、泥岩裂缝油层、变质岩和火成岩油层等。其中以砂岩和碳酸盐岩等沉积岩为主要储油层，分布面积最广、储量也最高。

砂岩主要由石英、长石等矿物颗粒和各种岩石碎屑组成的，泥质、钙质、铁质、硅质等固结物质是砂

岩颗粒之间的胶结物，大多数砂岩油层的胶结物是泥质的。砾岩是由各种小砾石与较细的砂泥颗粒组成的，这些小砾石成分比较复杂，有花岗岩、变质岩以及沉积岩等碎块，较细的砂泥岩颗粒为其胶结物质，当砂、砾岩颗粒之间未被胶结物充满，从而留下许多孔隙空间，石油和天然气就储存在这些孔隙空间中，形成砂砾岩储集层。孔隙空间的大小用孔隙度表示，孔隙度是指一块岩石所具有的孔隙体积与这块岩石总体积之比，用百分数表示即：

$$\text{孔隙度岩石中} = \frac{\text{孔隙总体积}}{\text{岩石总体积}} \times 100\%$$

砂岩、砾岩油层又统称为碎屑岩油层。碎屑岩油层是主要的储油气层之一。我国第三系、白垩系和侏罗系的油田主要是碎屑岩油层。

碳酸盐岩主要由方解石和白云石组成，此外还含有少量的菱铁矿、石膏、粘土、氧化铁以及石英碎屑等。常见的碳酸盐岩油层有石灰岩油层、生物灰岩油层和生物碎屑灰岩油层。由于碳酸盐岩的颗粒很细，相当于粉砂岩的颗粒，所以孔隙空间比砂岩油层小得多，孔隙度一般低于8%，其主要储集空间是后期外力作用形成的裂缝和溶洞。碳酸盐岩储集条件，除用孔隙率表示外，还可以用裂缝密度表示。裂缝密度以

油层取心或野外观察统计为依据，即：

$$\text{裂缝密度 (条/米}^2\text{)} = \frac{\text{裂缝条数}}{\text{岩心 (野外) 观察测量面积}}$$

碳酸盐岩油层在世界油气田中占有很重要的位置。据统计碳酸盐岩中的油气储量约占世界油气总储量的二分之一，其产量也约占总产量的二分之一以上，而且日产千吨、万吨的高产井多半是在碳酸盐岩的油田中发现的。例如，我国华北任丘油田震旦亚界的高产油井、四川二迭、三迭系和震旦系的高产气井，都是碳酸盐岩裂缝性油气层的实例。

厚层块状的粘土岩和泥岩，由于其组成的颗粒直径较小（小于0.01毫米），所以孔隙小不具备储集条件，可做为良好的盖层。但是当泥岩因外力作用产生不同方向的裂缝和节理、造成相互连通的孔隙空间，就和碳酸盐岩油层一样，形成泥岩裂缝性储油层。柴达木盆地的开特米里克油田第三系裂缝泥岩油层就是其中之一。

上述的碎屑岩、碳酸盐岩、泥岩油层都属沉积岩岩类，沉积岩有利于石油的生成和保存。而由变质作用形成的变质岩，以及因岩浆活动而形成的火成岩，对石油的生成和保存都是不利的。但在适合条件下变质岩和火成岩也可以作为良好的储油层。例如当这

类岩石在地表经受长期风化剥蚀形成裂隙，或因构造运动产生断层、节理之后就具备了储集条件，当它们被不渗透岩层覆盖后，就形成了良好的储油空间。我国渤海海上钻井就曾经发现基岩裂缝储油。另外在酒泉盆地鸭儿峡油田的志留纪变质岩风化带、准噶尔盆地泥盆纪和志留纪变质岩风化带，都发现具有高产油能力的储集层。但是这类油层在世界上是非常少的。

## 二、油层储油物理性质的研究

石油天然气以流体状态存在于岩石的孔隙、缝洞之中，分布于一定的面积之内，油气的储量多少、产能大小，在很大程度上取决于储油层的物理性质——孔隙度、渗透率、含油饱和度等。因此，研究油气层储油物理性质的影响因素、分布规律，对油田的开发与开采具有十分重要的意义。

### （一）油层的孔隙性

#### 1. 影响孔隙度的地质因素

孔隙性的好坏是衡量油层储油量多少的重要因素之一，但对于碎屑岩和碳酸盐岩储油层各有不同的孔隙性质，因此分别进行研究。

影响碎屑岩储油层孔隙性的主要地质因素是岩石颗粒的分选性，即颗粒大小的均匀程度。颗粒大小均

匀，称为分选性好；颗粒大小不均匀，称为分选性差。分选性好坏用分选系数 $S_0$ 表示。从理论上讲，如果岩石颗粒非常均匀，分选性最好，这时分选系数 $S_0 = 1$ 。当颗粒呈球形并且最紧密堆集时，其孔隙度约为25.9%。分选不均匀时，分选系数 $S_0$ 大于1，这时由于颗粒大小不一，小颗粒充填于大颗粒之间的空隙之中，使孔隙空间容积减小、孔隙度降低。图1是我国某油田的油层岩石有效孔隙度与分选系数的关系曲线。从图上看岩石颗粒分选的越好（ $S_0 = 1 \sim 2$ ）孔隙度越大（20~30%）；反之，分选越差（ $S_0 = 2 \sim 4$ ）孔隙度越小（25~10%）之间。

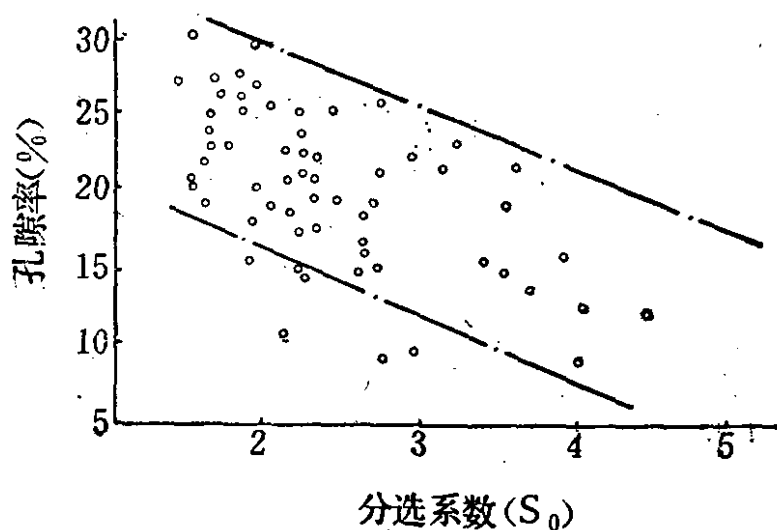
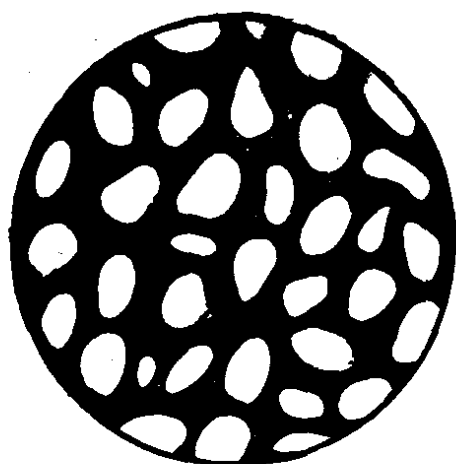


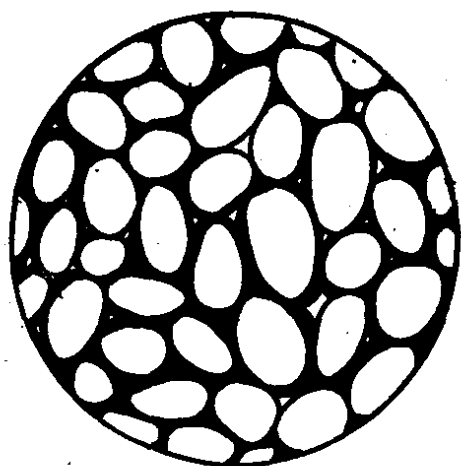
图1 有效孔隙度与分选系数关系曲线

另外，碎屑岩的胶结成分、胶结物含量、胶结类型也直接影响到岩石孔隙的大小。油层的孔隙度随胶结物含量的增高而降低，胶结物含量越高，岩石胶结

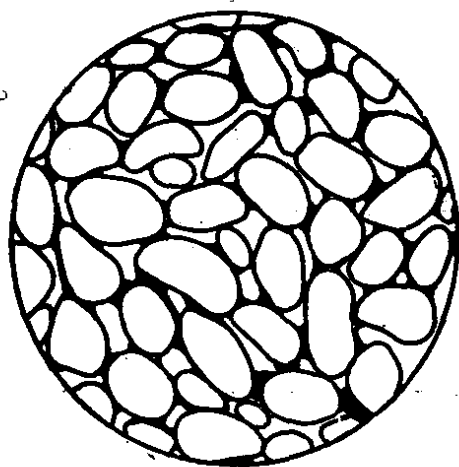
越紧密、孔隙度越小。相反，胶结物含量越少、岩石胶结疏松，孔隙度越大。胶结类型与胶结物的关系表现为当胶结物含量高时，多呈基底式胶结，孔隙大部分被胶结物充填，孔隙度就小（图2,a）；胶结物含量少时，多呈接触式或孔隙式胶结（图2,b,c），胶结物仅存在于颗粒的接触点上，孔隙充填少，孔隙度就大。



(a) 基底胶结



(b) 孔隙胶结



(c) 接触胶结

图 2 碎屑岩的胶结类型

碎屑岩颗粒的大小与岩石孔隙度也有一定关系。

与碎屑岩粒间孔隙相比，碳酸盐岩储集层的储集空间形式较为多样，成因也较为复杂。碳酸盐岩储集层的储集空间按其成因来说，有原生孔隙与次生孔隙之分；按其形式来说，有粒间孔隙、晶间孔隙、裂缝、溶解孔洞、白云岩化孔隙之别。归纳起来，碳酸盐岩（石灰岩、白云岩）具有性脆、可溶、不稳定易化学变化三个特点。因此，当受到外力作用时就会产生可供油气储集和运移的孔洞和裂缝。根据大量资料分析研究认为，碳酸盐岩的岩石性质是决定其储集性质好坏的主要地质因素，是内因；而外力作用、地下水的作用和风化淋滤是影响储集性质的外因。

（1）岩性因素 碳酸盐岩的裂缝、孔洞的分布决定于岩石的泥质含量、厚度、晶粒粗细和生物碎屑含量。泥质含量越少，则裂缝、孔洞越发育。据统计四川二迭系和三迭系石灰岩泥质含量与裂缝发育的关系是：泥质含量  $0 \sim 10\%$  时，裂缝密度  $107 \text{ 条/米}^2$ ，当泥质含量大于  $10\%$ ，裂缝密度  $36 \text{ 条/米}^2$ 。结晶粒度也影响碳酸盐岩裂缝、孔洞发育程度。结晶越细的白云岩裂缝越发育；结晶越粗的白云岩晶洞越发育。表 1 为四川震旦系四组不同晶粒的白云岩裂缝发育程度，显然隐晶白云岩较中晶白云岩裂缝发育。

表 1

| 结 晶 构 造  | 中 粒 | 细 粒 | 微 晶 | 隐晶质 |
|----------|-----|-----|-----|-----|
| 裂缝 (条/米) | 14  | 16  | 21  | 24  |

表 2 是四川震旦系震三组与震四组不同结晶粒度的白云岩与晶洞的发育关系, 可以看出结晶越粗, 晶洞越发育, 孔隙度越高。

表 2

| 结 晶 结 构        | 中-细晶 | 细晶   | 微晶   | 隐晶   |
|----------------|------|------|------|------|
| 洞洞层数           | 3    | 15   | 12   | 1    |
| 地层层数           | 4    | 64   | 161  | 86   |
| 洞洞层数/地层层数 (%)  | 75   | 20.3 | 7.45 | 1.12 |
| 洞洞层厚度/地层厚度 (%) | 93   | 16.2 | 9.2  | 2.3  |
| 孔 隙 度          | 7.25 | 2.4  | 2.21 | 2.1  |

地层厚度也影响着裂缝的发育程度。当构造部位相同时, 薄层石灰岩和白云岩比厚层的裂缝发育。例如厚层状石灰岩裂缝率为15条/米<sup>2</sup>, 中-薄层状则为41条/米<sup>2</sup>; 块状-厚层状白云岩裂缝率为14~18条/米<sup>2</sup>, 中-薄层状则为23条/米<sup>2</sup>。

在生物碎屑灰岩中, 质纯、介壳 (或生物化石) 含量高则裂缝较发育。

(2) 外力因素 从生产实践中认识到碳酸盐岩的裂缝、孔洞的发育部位、规模、大小和方向均受地质构造的控制。即构造裂缝主要分布在构造高点、长轴、断裂、扭曲等部位。特别是在这些部位相复合的地方，如高点上的断裂带、长轴上的扭曲部分、构造线的十字交汇点等处，更有裂缝数量多、组系多、大洞大缝多、张开性好、连通性好的特点。这是由于这些部位受力大、张力集中的原因。张力不仅能使地层产生的裂缝张开性好，而且也最容易使岩层断裂。对四川二迭系的一些石灰岩所作力学实验表明：用29.7公斤/厘米<sup>2</sup>的张力就能使岩层破碎形成裂缝，而剪切力则要85.4公斤/厘米<sup>2</sup>、压力要492.2公斤/厘米<sup>2</sup>才能使其破碎。地下水的活动起着改造缝缝洞洞的作用，它沿着晶粒间隙、层间裂缝和构造裂缝将缝缝洞洞进一步溶蚀或充填。白云岩化作用可使岩石产生次生孔隙，而且次生孔隙和裂缝的发育程度还随着白云岩化程度的增加而增加。根据分析统计，在白云岩化过程中，当白云石含量大于50%时，孔隙度很快增加，当白云石含量达80~90%时，孔隙度可增大至30%。

以上介绍了影响孔隙度的地质因素，那么，如何应用孔隙度值评价油层储集性能的好坏呢？实践表明多数油层孔隙度变化在5~30%范围之内，一般是

10~20%之内。根据现场经验,孔隙度的分类如下:

孔隙度 5~10% 不好

孔隙度 10~15% 中常

孔隙度 15~20% 好

孔隙度 20~25% 极好

## 2. 油气层孔隙度分布规律

碎屑岩和碳酸盐岩油气层的孔隙分布规律,因储集性质和孔隙成因不同而决定了它们的分布规律各有特点。

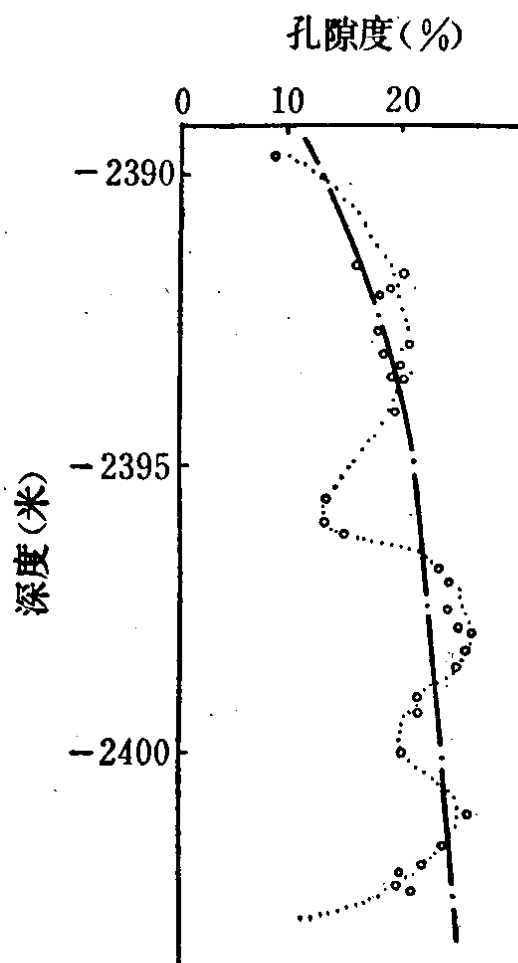


图 3 孔隙度纵向分布图

碎屑岩的孔隙度无论在纵向上和横向上,其分布都与沉积条件、岩性紧密相关。为了研究孔隙度的分布,可以编制油层孔隙度的剖面图和平面图。如图 3 表示某井不同深度油层部位的孔隙度变化值,可以看出,油层的孔隙度分布与地层的旋回性相一致,证明油层孔隙度

在纵向上的变化受沉积条件的控制。图 4 为油层等孔

隙度图,是将各井层的孔隙度数值标于平面井位图上,然后用内插法勾绘出的等值线图。从图4中可以看出油层孔隙度在平面上的变化是与沉积物的搬运方向、距离和沉积环境相关的,距物源近,物性条件好,孔隙度大。

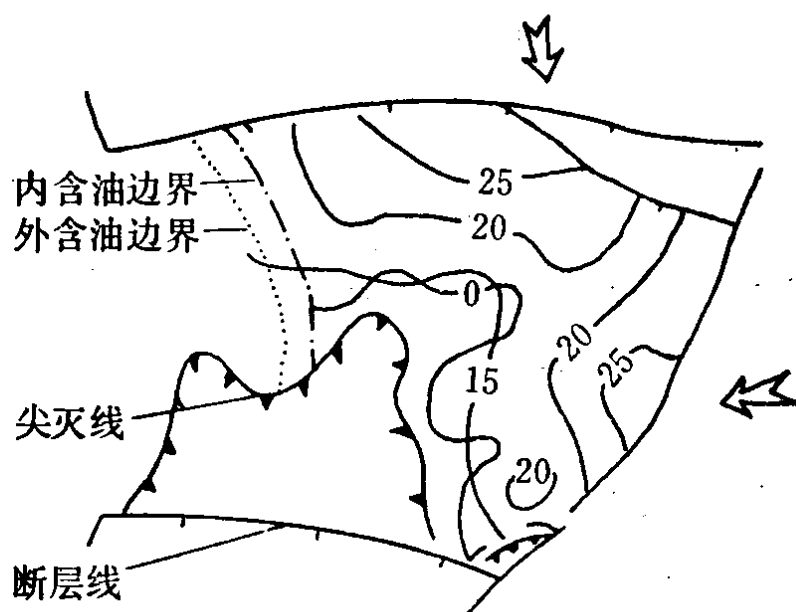


图4 油层等孔隙度图

碳酸盐岩孔隙度的分布因岩性和外力作用的影响不同而各具特点。由构造应力形成的裂缝其分布具有多组系、多种裂缝系统的特征。裂缝一般按产状分纵向缝、横向缝、斜交缝、层间平缝四个组系。这些组系相互交叉、彼此连通,主要组系构成骨架,次要组系穿插其间,组成连通网脉。凡相互交叉连通的复合组系构成一个统一的裂缝系统。裂缝系统的特征受构

造形态的控制，如在狭长的背斜构造上，主要裂缝系统沿长轴成带状分布，纵向缝发育，是主要组系。较宽缓的构造则裂缝成片分布，除纵向裂缝外，在高点附近横向裂缝比纵向裂缝更为发育。白云岩化形成的裂缝、孔洞具有孔洞类型多（葡萄状、蜂窝状、斑块状及针孔状）、密度大、大孔洞孔隙连通差、孔洞孔隙排列具有方向性等特点。白云岩化所形成的孔洞只有具备了裂缝发育的条件，靠裂缝使其连通才能形成油气通道。风化淋滤作用所形成的裂缝和孔洞，大小不等、形状不一、方向性不强，有时被沉淀物、携带物充填。这种裂缝和孔洞在平面上大面积分布，不受层位限制，在纵向上具有一定厚度。长期风化淋滤形成的古地形高，后期又被巨厚沉积岩覆盖形成封闭良好的古潜山，就可以做为很好的储集场所，如我国华北地区广泛分布的震旦亚界及下古生界的古潜山油气田，即是这种储集类型。

## （二）油层的渗透性

油气层除了具备能储油的孔隙之外，还必须具有石油能在孔隙之间流动的通道，才能在一定的压力差条件下驱使石油从油层中流向油井。岩石具有允许流体通过的性质叫岩石的渗透性，渗透性的好坏用渗透率来度量，其单位为达西或毫达西。

## 1. 影响渗透率的地质因素

决定油气层渗透性好坏的基本因素有两条，一是孔隙或裂缝是否连通、连通性好坏；二是连通孔道的截面积大小。

影响碎屑岩孔隙连通性的岩性因素是岩石颗粒胶结物成分和胶结物含量。碎屑岩的胶结物常有泥质、钙质、硅质、铁质等。图 5 是某油田  $L_3$  油层绝对渗透

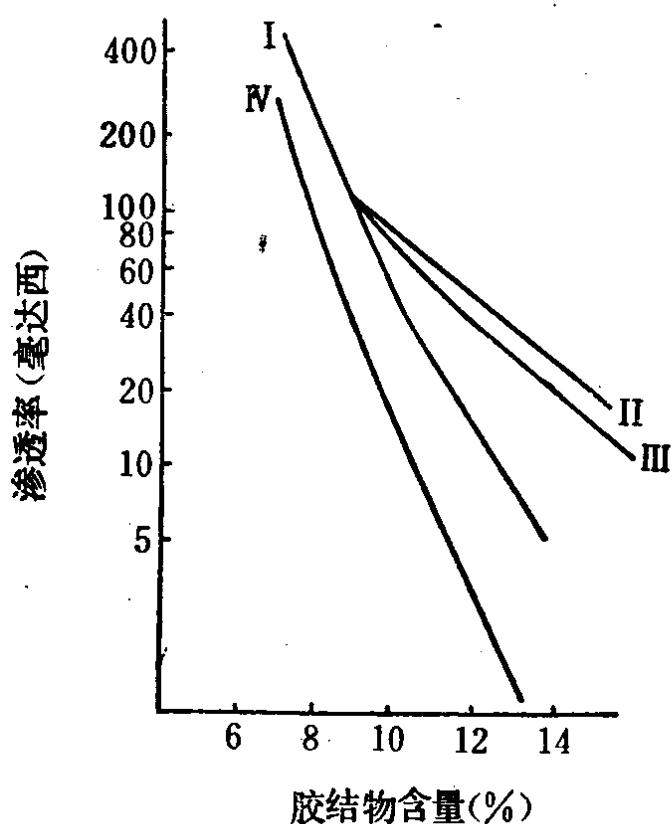


图 5 渗透率与胶结物含量关系曲线

率与胶结物含量关系曲线图。从图中可以看出油层的渗透率随胶结物含量的增加而急剧下降。胶结物以泥质胶结最好，硅质、铁质最差；影响孔道大小的主要

因素是岩石粒度的大小、分选好坏。一般情况下，岩石颗粒越粗分选越好，岩石的孔道半径就大，渗透率就高。

碳酸盐岩渗透率的大小决定于裂缝和孔洞的发育程度，以及连通情况。影响裂缝和孔洞发育主要是岩性和构造因素，而决定同一裂缝系统连通好坏则是水文地质条件。因为地下水的活动既能使裂缝和空洞被溶解扩大，也可以充填裂缝和溶洞，使空间容积和孔道变小。在生产实践中，我们对油层常采用酸化和压裂措施加以改造，其目的就是造成人工的裂缝和孔洞，以增加油层的渗透性，达到增加生产、提高采收率的目的。

## 2. 油气层渗透率分布规律

由于油层岩性存在着不均匀性，因而油气层的渗透率在油层剖面上和平面上都有很大变化，呈现出非均质性，因此研究油气层渗透率的变化，对油田开发和开采是十分重要的。

为了研究油层渗透率的分布规律，绘制油层渗透率沿钻井剖面（纵向）分布图和平面分布图，如图 6 (a、b)。为了进行油层评价，又将渗透率进行分级，划分出不同级别的渗透率分布区间。一般储集层渗透率变化在 5 ~ 1000 毫达西之间，渗透率变化分四级：