



第二章 油气水层测井解释与测试

- 第一节 油气水层测井解释
 - 测井响应与测井系列
 - 油气层定性解释
 - 油气水层快速直观解释
 - 低电阻率油气层的评价方法
 - 水淹层测井评价
- 第二节 油气井测试
- 第三节 试油



第一节 油气水层测井解释

- 一、测井响应与测井系列
- 二、油气层定性解释
- 三、油气水层快速直观解释
- 四、低电阻率油气层
- 五、水淹层测井评价

- 将测井信息还原为地质信息
- 6个方面：
 - ① 岩性识别
 - ② 储层储、渗性能评价
 - ③ 确定油气层
 - ④ 油气层的丰度和产能
 - ⑤ 油气层的束缚水含量
 - ⑥ 油水分布



一、测井响应与测井系列

岩石基本特征：岩性、矿物、孔隙（裂缝）、流体

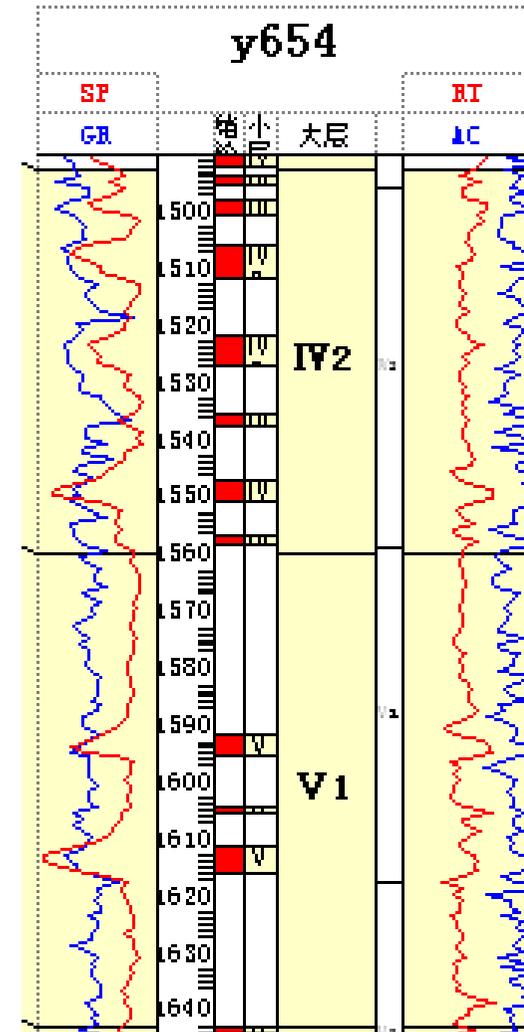
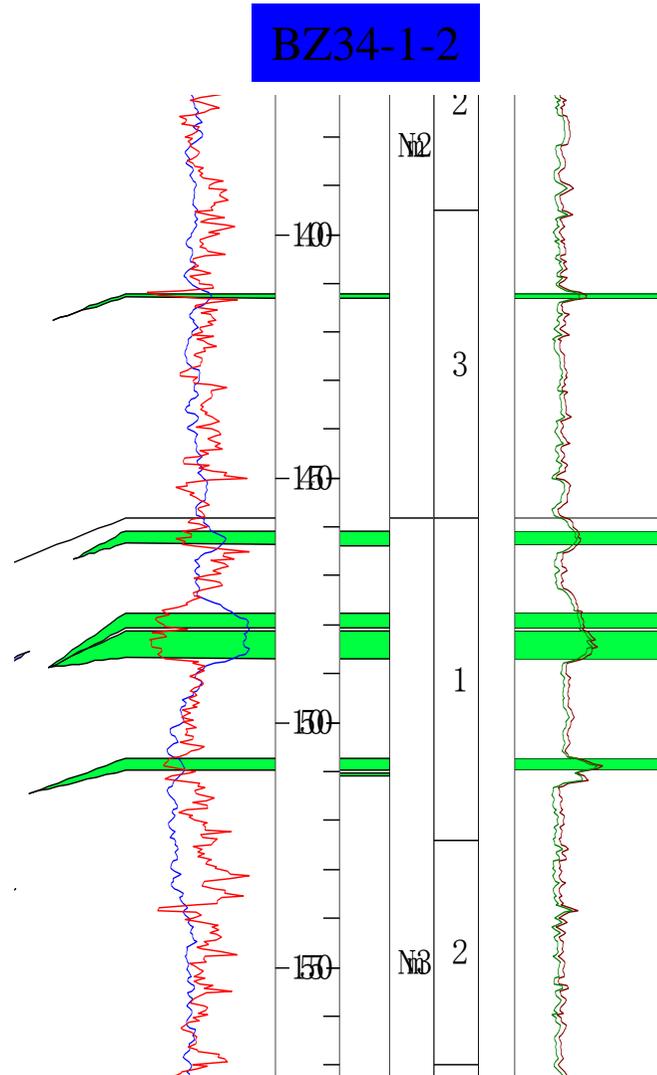
岩石派生特征：声学特性、密度、放射性、电性、导电性、电磁场特征

储渗特性：孔隙性、渗透性

测井曲线系列：岩性、物性、含油性



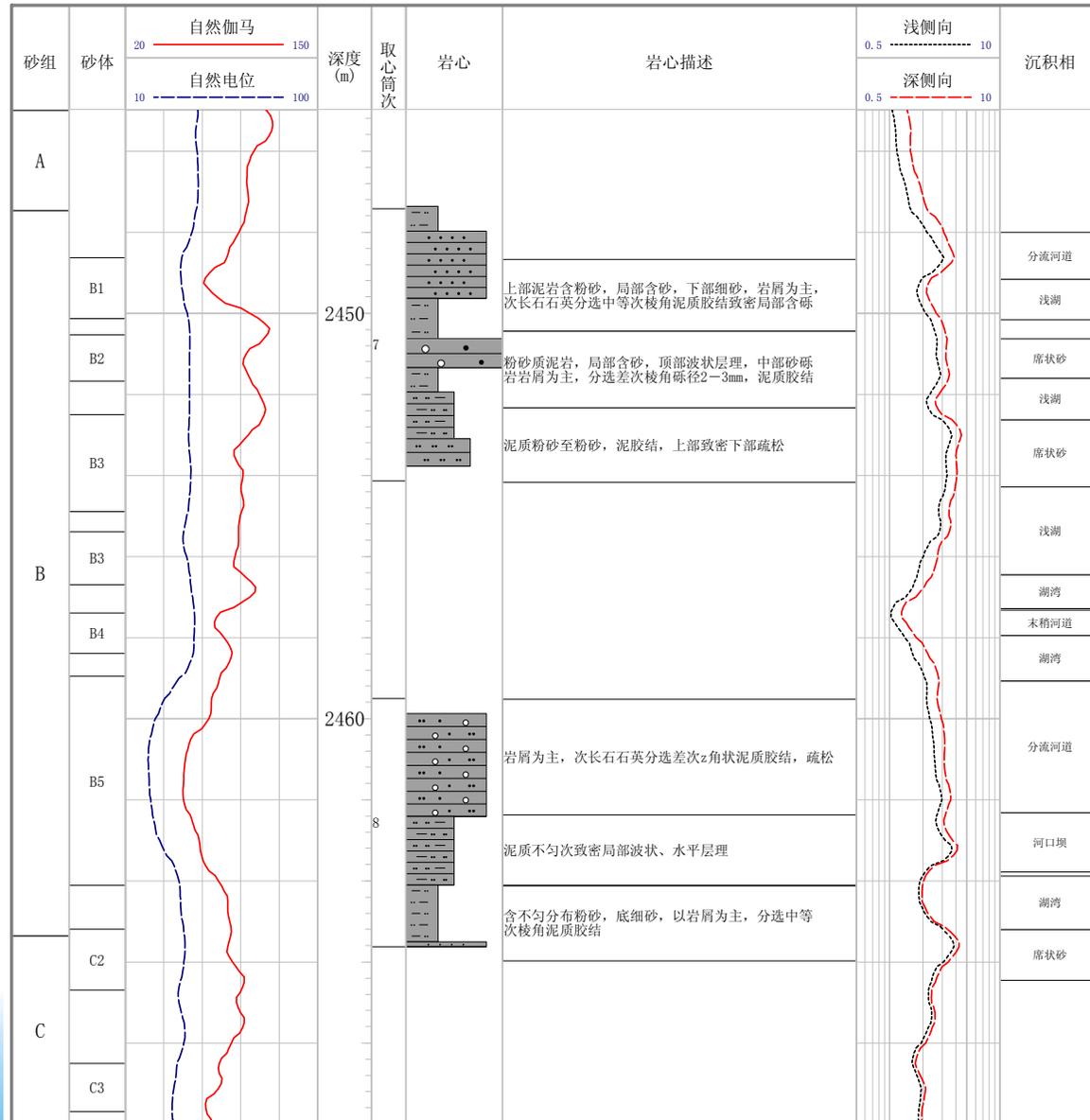
标准测井曲线





物性及含油性测井曲线

胜南3井测井曲线组合图





二、油气层定性解释

- 储层特征:

- 岩性
- 孔隙性
- 渗透性

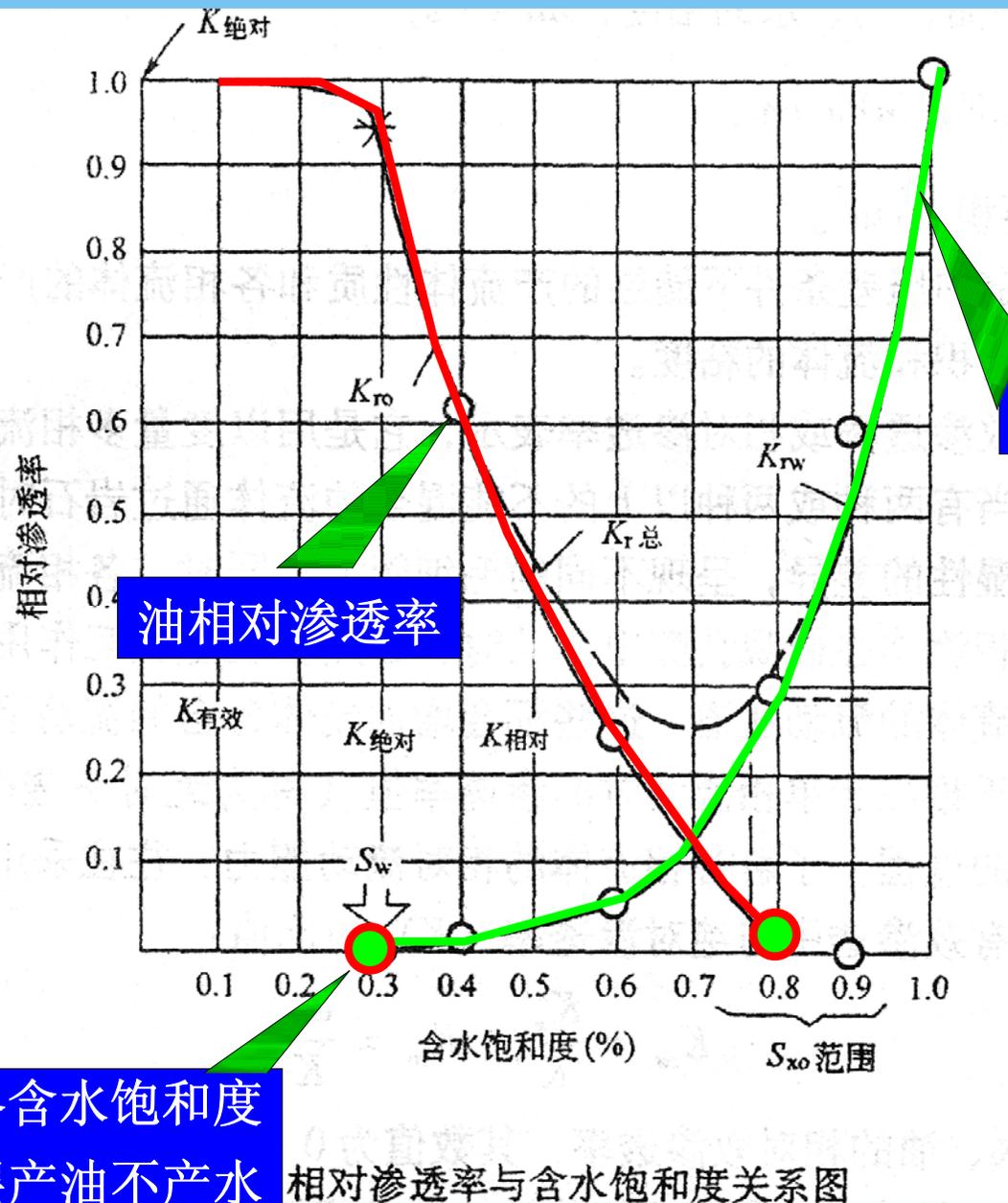
- 油气层特征:

- 含油性
- 含油程度

电
性
响
应



油水



油相对渗透率

水相对渗透率

临界含水饱和度
储层产油不产水



- 当储层水的相对渗透率 k_{rw} 或 k_w 趋于0时，油的相对渗透率达到最大, $k_{ro} \rightarrow 1$, $F_w \rightarrow 0$;储层只产油而不产水，属于油层。
- 若储层油的相对渗透率趋于0，而水的相对渗透率则达到最大;表明储层为水层。
- 若 $0 < (k_{ro}, k_{rw} \rightarrow 0) < 1$; $Q_w > 0$, $Q_o > 0$, 油气同层。



水 层

- ① 微电极：幅度中等，具正幅度差，与油层相比幅度相对较低
- ② 自然电位：负异常，异常幅度比油层大得多
- ③ 长电极：低阻
(地层水矿化度引起)

气 层

- ① 微电极、自然电位、视电阻率曲线特征与油层相同
- ② 声波时差：明显周波跳跃
- ③ 中子伽玛：幅度高于油层
- ④ 气测：全烃读数高，烃接近于零



三、油气水层快速直观解释

1 重叠法评价含油性

2 电阻率--孔隙度交会法

3 直观显示气层的方法

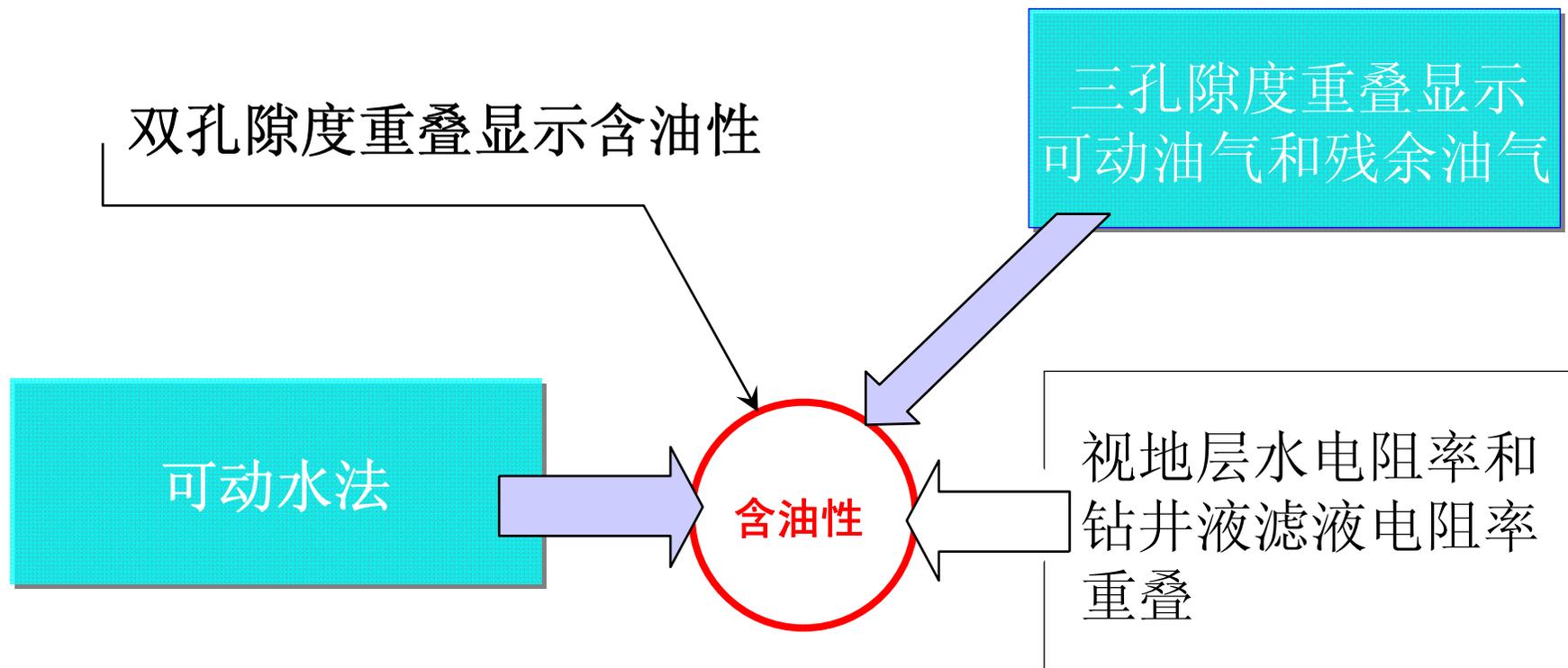
• 知识点

这些方法主要是在井场或解释组进行初步的油气层和水层的解释，以便及时为钻井、完井试油或进一步计算机处理解释提出建议

用于井场解释阶段



1、重叠法评价含油性





Φ_w R_w

m, a

✓ Φ_w : 地层的含水孔隙度

✓ R_w : 地层水电阻率

▪ m : 与孔隙有关的常数

▪ a : 与孔隙有关的常数

R_t

Φ_h

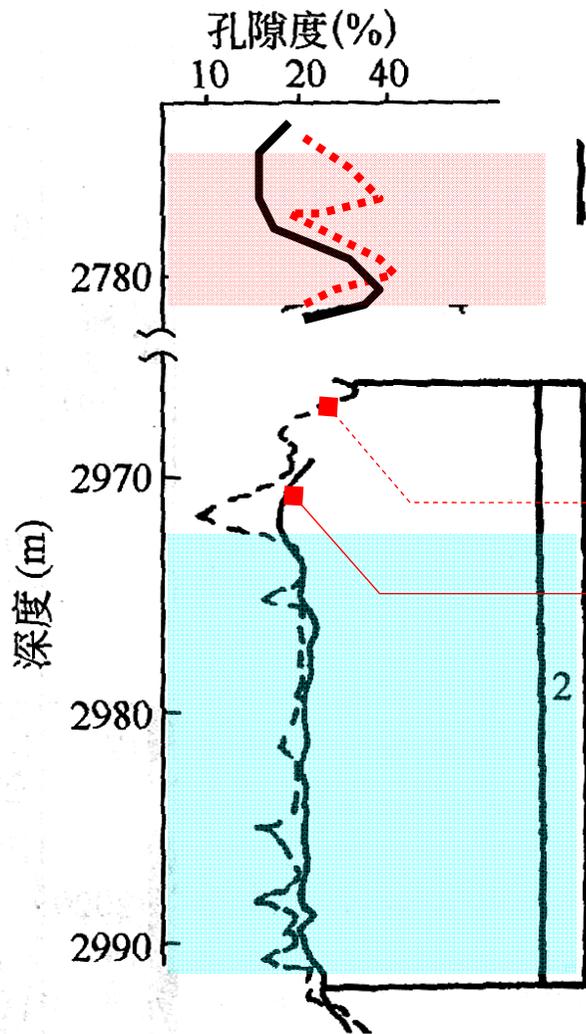
$$\phi_w = m \sqrt{\frac{aR_w}{R_t}}$$

阿奇公式

▪ R_t : 深探测电阻率

▪ Φ_h : 含油气孔隙度

▪ 将含水孔隙度 Φ_w 与孔隙度测井得出的地层有效孔隙度 Φ 重叠，在水层 $\Phi = \Phi_w$ ，在油气层 $\Phi_w \leq \Phi$ ，因此，重叠时的幅度差 $\Phi - \Phi_w$ 反映了地层含油气孔隙度 Φ_h



油

有幅差： s (声波孔隙度) 约为 w (感应孔隙度) 的两倍

声波孔隙度

感应孔隙度

水

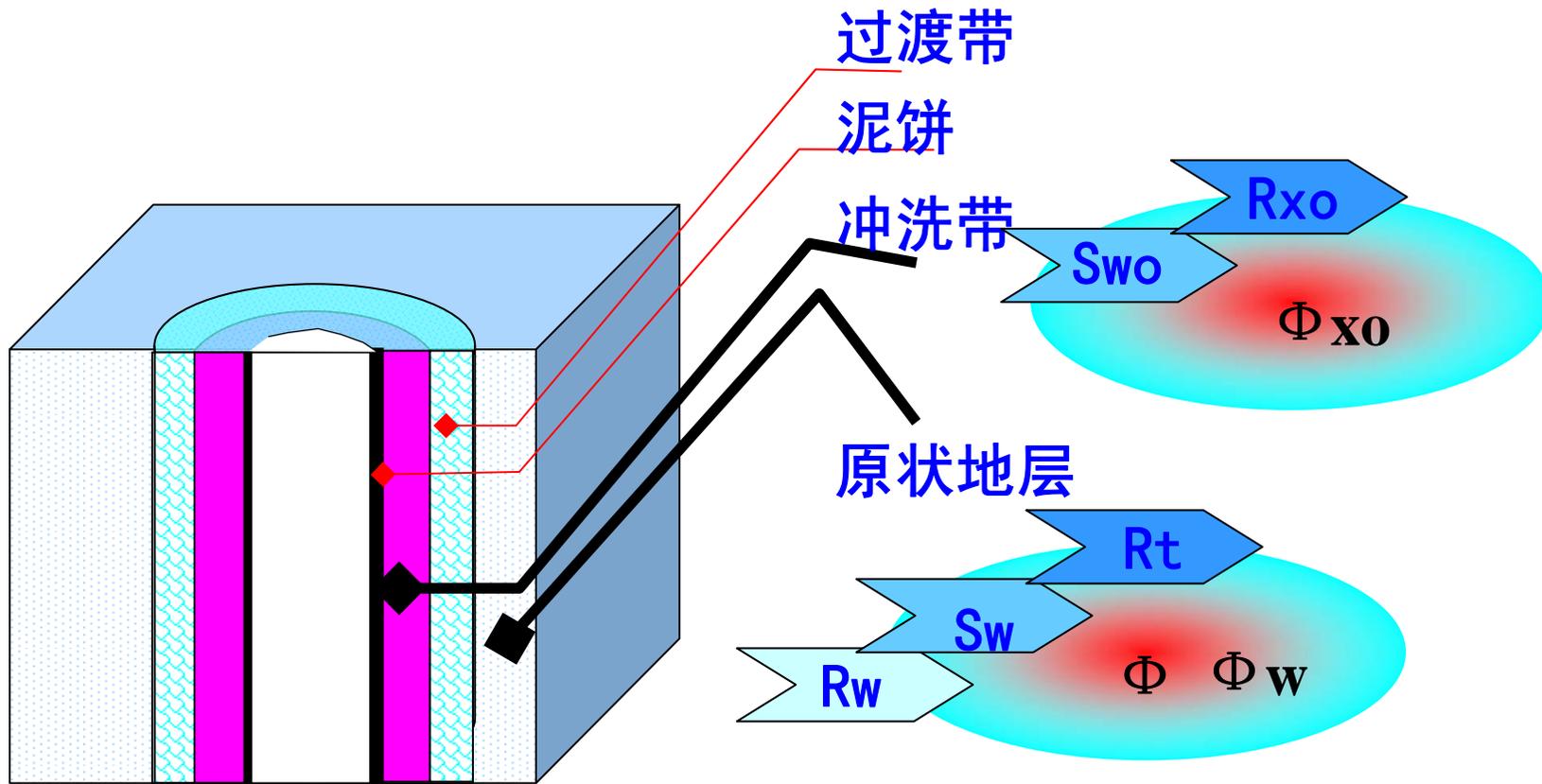
无幅差

S_w 为50%划分油气层和水层，
相当于 $\Phi \geq 2 \Phi_w$

图 2-14 双孔隙度重叠法实例



三孔隙度重叠显示可动油气和残余油气

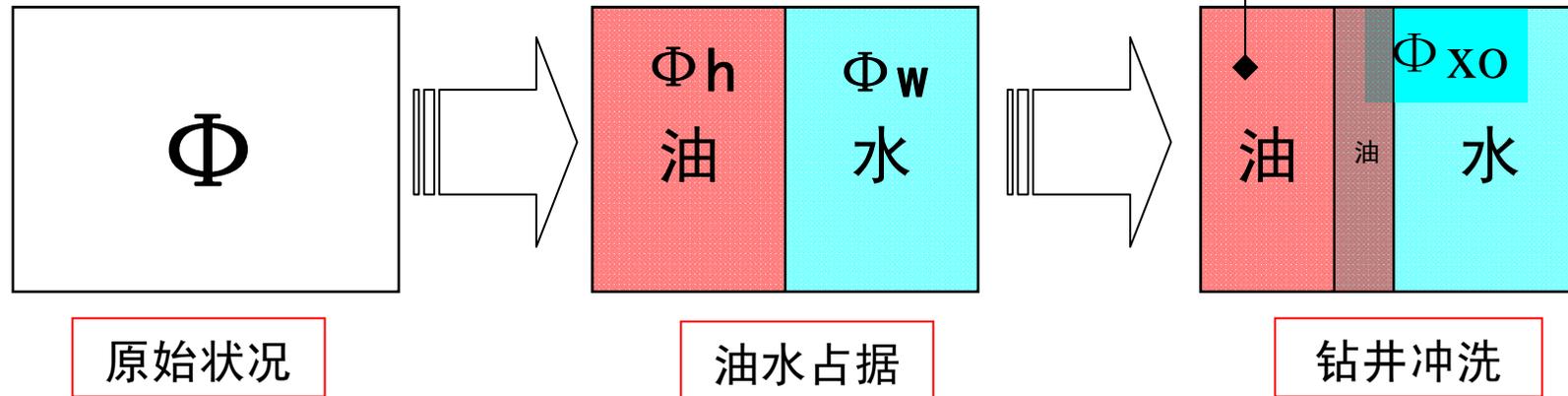


$$\phi_w = \phi S_w ; \phi_{x0} = \phi S_{x0}$$



可动油

残余油

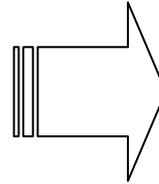


含油气孔隙度: $\phi_h = \phi - \phi_w$;
残余油气孔隙度: $\phi_{hr} = \phi - \phi_{xo}$;
可动油气孔隙度: $\phi_{hm} = \phi_{xo} - \phi_w$

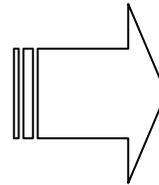
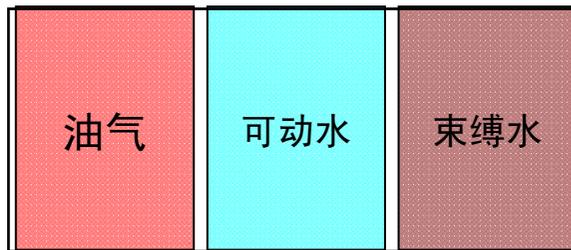


可动水法

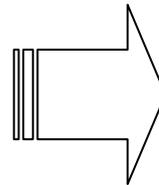
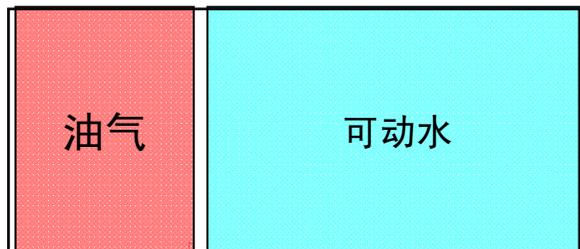
- ◇可动水指地层中可以流动的地层水，即非束缚水。
- ◇地层含水饱和度 (S_w) = 可动水饱和度 (S_{wm}) 与束缚水饱和度 (S_{wi}) 之和。
- ◇因此，用束缚水饱和度 (S_{wi}) 与地层含水饱和度 (S_w) 重叠，可显示可动水 (S_{wm})。
- ◇在油气层, $S_w \doteq S_{wi}$, $S_{wm}=0$ 即没有可动水
- ◇在水层处, $S_w \geq S_{wi}$; $S_{wm} \geq 0$ 。可动水很多



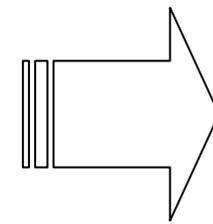
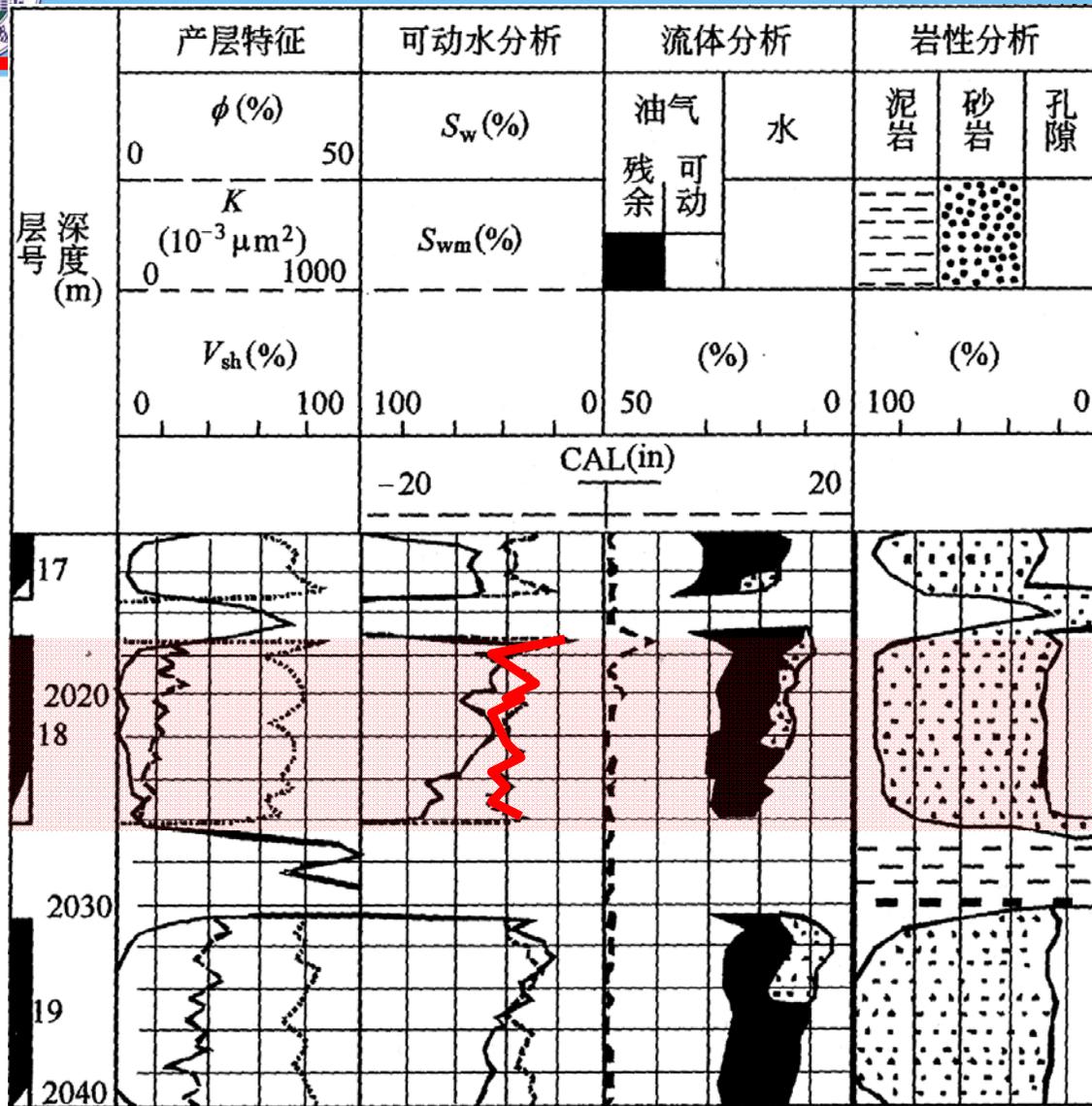
产纯油气



油水同出



产水



可动水饱和度和偏高水淹层

图 2-15 可动水重叠法实例

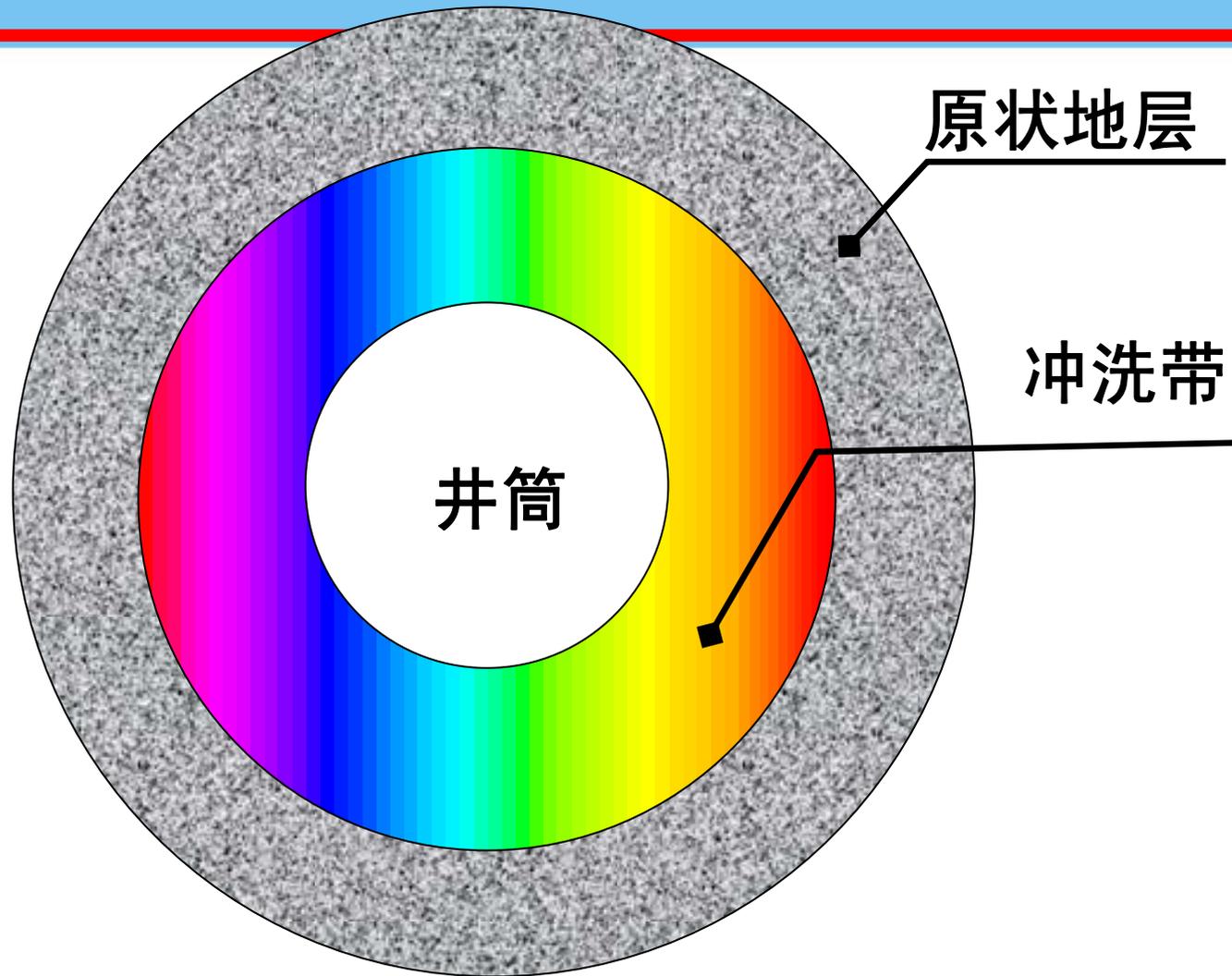


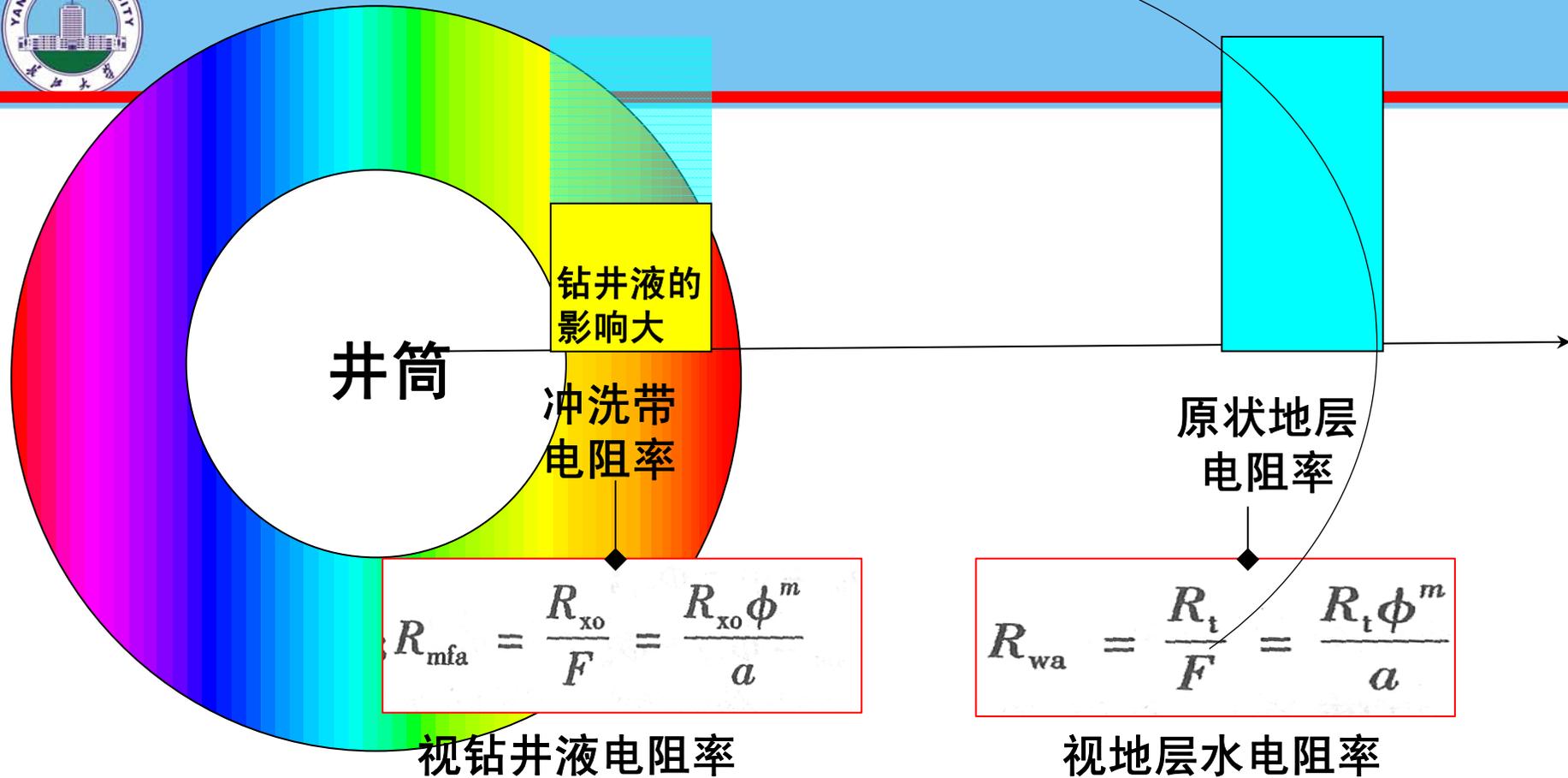
视地层水电阻率和钻井液滤液电阻率重叠





钻井液对地层的渗滤、浸染，导致井筒周围地层的物性发生改变，测井时，探测深度不同，得到的资料不同。





水层（冲洗带电阻率和原状地层电阻率相等）： R_{wa} （冲洗带电阻率） $= R_w$ （地层水电阻率）；
 $R_{mfa} = R_{mf}$ （钻井液电阻率）； $R_{mfa} = R_{wa}$

油气层： R_{mfa} （冲洗带电阻率） $\geq R_{mf}$ （钻井液电阻率）（说明有残余油）； $R_{wa} \geq (3\sim5) R_w$ （原状地层电阻率高
出地层水电阻率3-5倍）



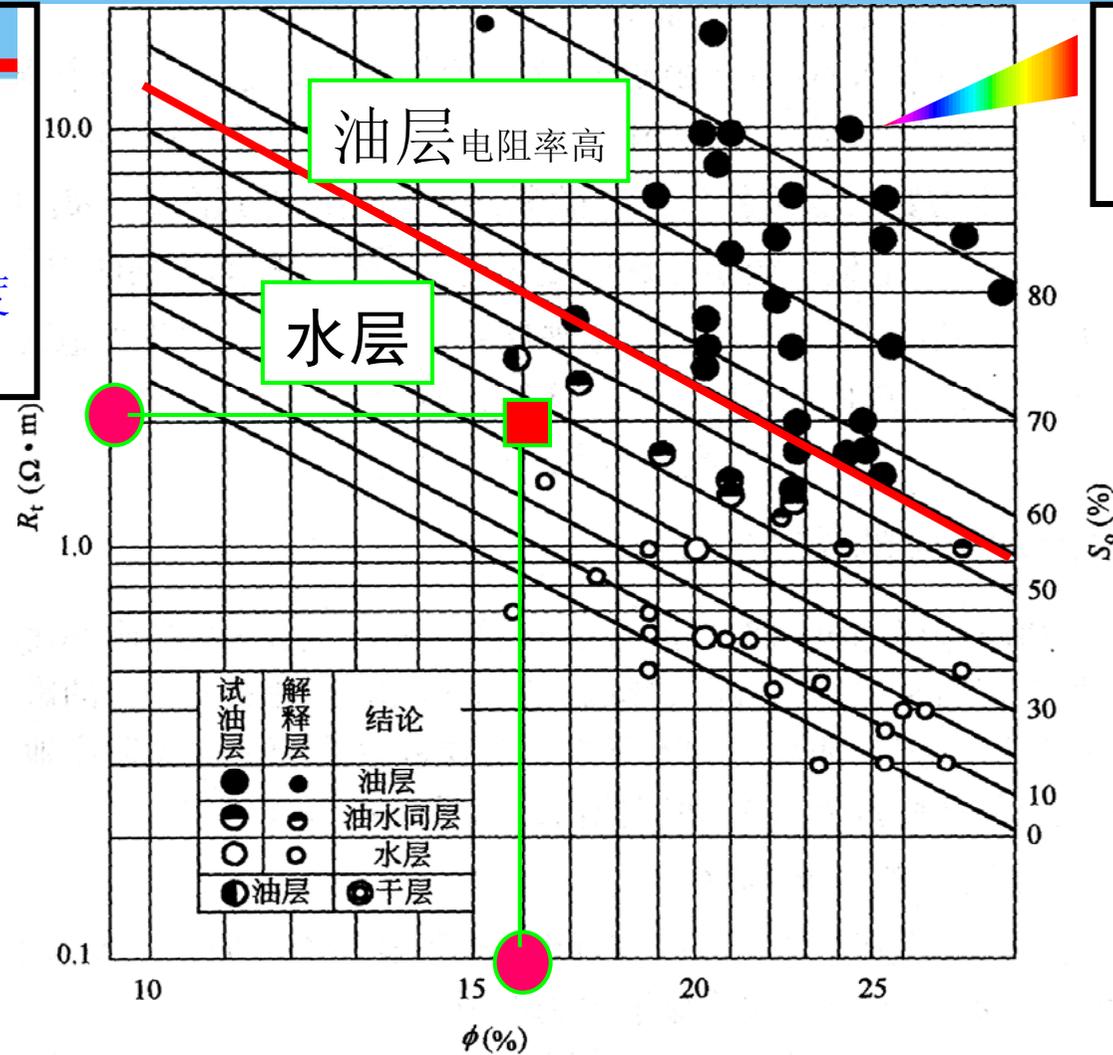
2 电阻率---孔隙度交会图法

- ✓根据阿尔奇公式，在双对数坐标中，电阻率与孔隙度之间是一组斜率为 $-m$ 、截距为 $Lg(abR_w/S_w^n)$ 直线。对于岩性稳定（ a 、 b 、 m 、 n 不变）、地层水电阻率不变的解释井段，直线的截仅随 S_w 而变。
- ✓根据上述原理制定的 R_t --- Φ 双对数坐标交会图，定性判定油气、水、层。



岩性不变 (孔隙度不变)
 地层水电阻率不变
 在半对数坐标中,
 电阻率与孔隙度的关系是直线

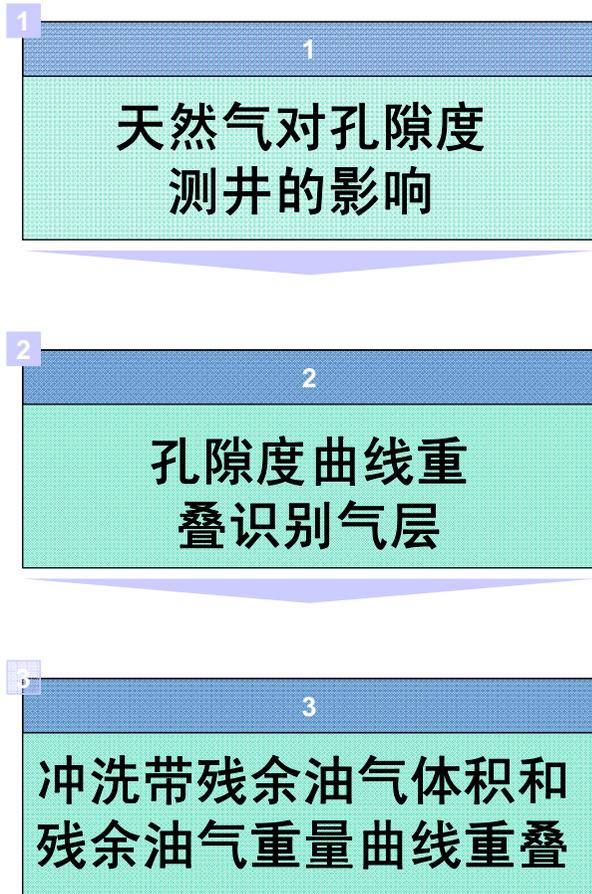
地层电阻率只与孔隙中的流体电阻率有关



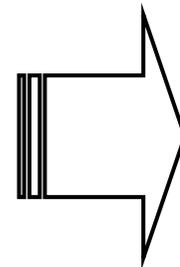
某油田电阻率--孔隙度交会法评价地层含油性



3 直观显示气层的方法



天然气层识别



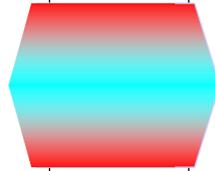
- 油层、气层和水层的快速直观解释是油气层的测井定性解释方法的重要组成部分，
- 手工和计算机都是测井定性解释的有效工具



• 天然气对孔隙度测井的影响

① 声波测井：声波时差明显变大或出现周波跳跃

② 密度测井：密度测井曲线上体积密度下降 ρ_b ，而计算孔隙度 Φ_d 上升。



③ 中子测井：中子测井读数 Φ_n 下降，甚至可能出现负值

④ 中子伽马测井：中子伽马读数明显升高



孔隙度曲线重叠识别气层

用**三种**孔隙度测井曲线或**两种**孔隙度测井曲线按孔隙度刻度重叠在一起是，**幅度差**明显。

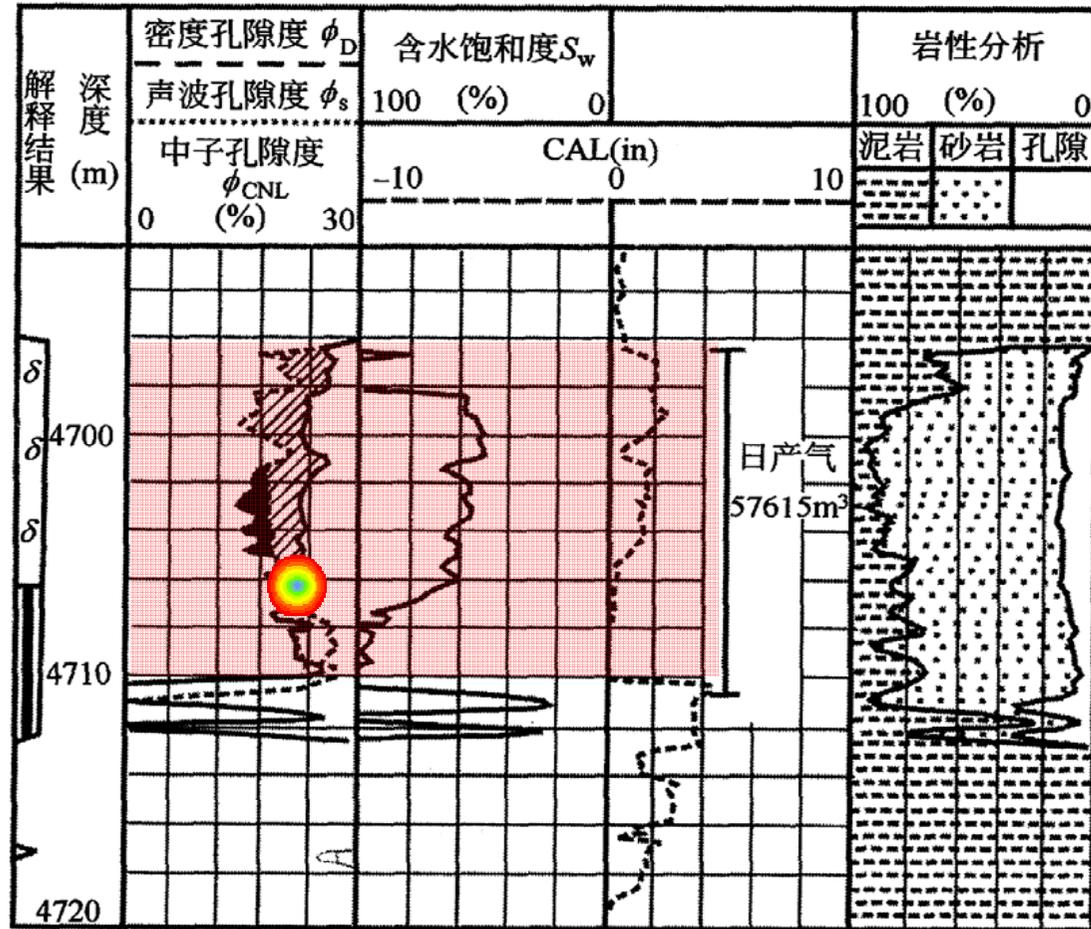


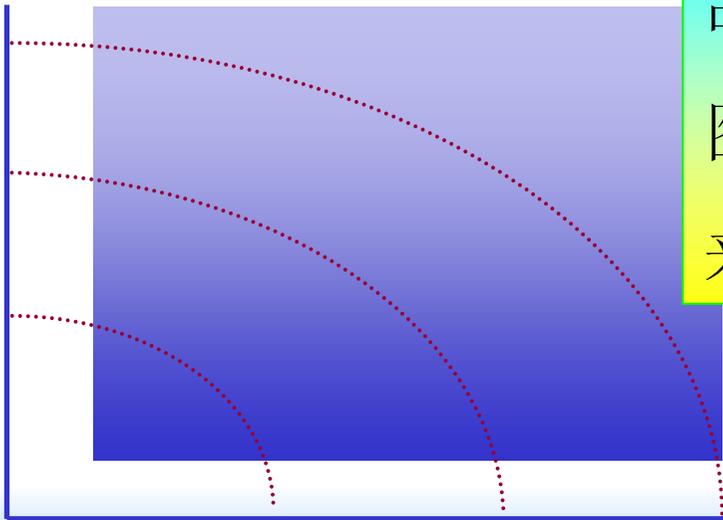
图 2-19 孔隙度重叠实例



冲洗带残余油气体积和残余油气重量曲线重叠

- 在求准油气密度 ρ_h 的前提下，可由残余油气体积 V_{hr} 和残余油气重量 W_{hr} 重叠来识别油、气、水层。这种方法在测井分析程序中经常采用，并在最终解释成果图上显示出 V_{hr} 与 W_{hr} 曲线重叠来划分气层。

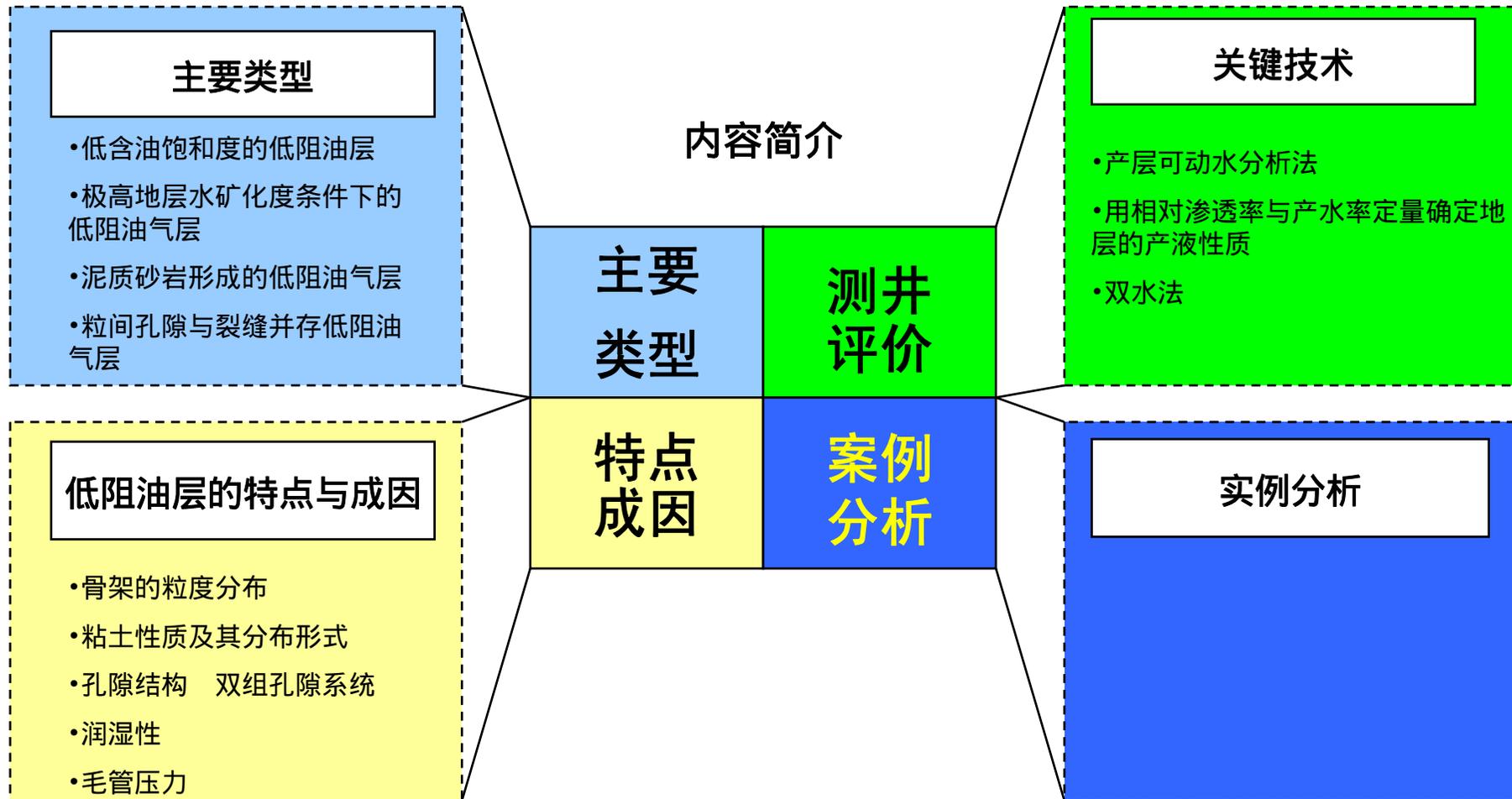
残余油气体积 V_{hr}



残余油气重量 W_{hr}



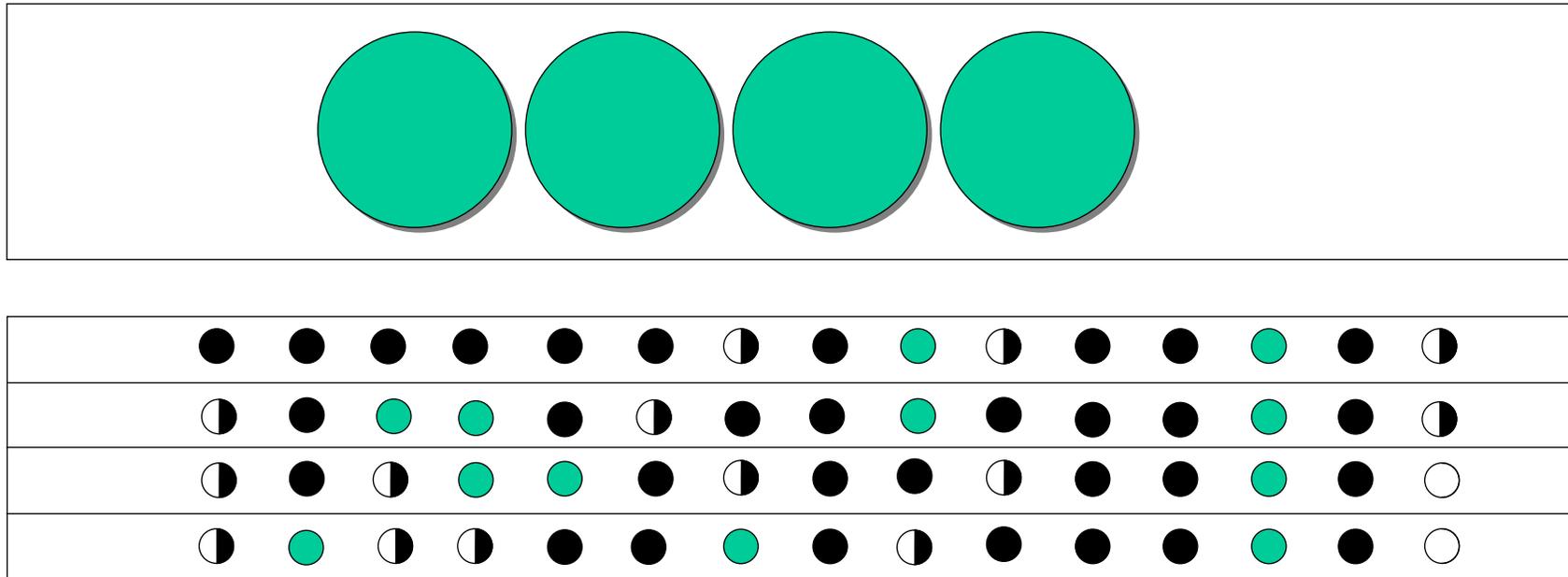
四、低电阻率油气层





1、具有低含油(气)饱和度的低电阻率油气层

- 岩石细粒成分增多，导致产层微孔隙含量的明显增加，形成微孔隙与渗流孔隙两种孔隙系统同时并存，以微孔隙系统为主的特殊孔隙结构特点。
- 产层孔隙系统中的束缚水含量明显增大。
- 实质上是以束缚水为主要成分的高含水饱和度的油气层，普遍具有低油气饱和度的特征。



显然在这种孔隙结构条件下，产层孔隙系统中的束缚水含量明显增大，形成高含水饱和度的油气层。

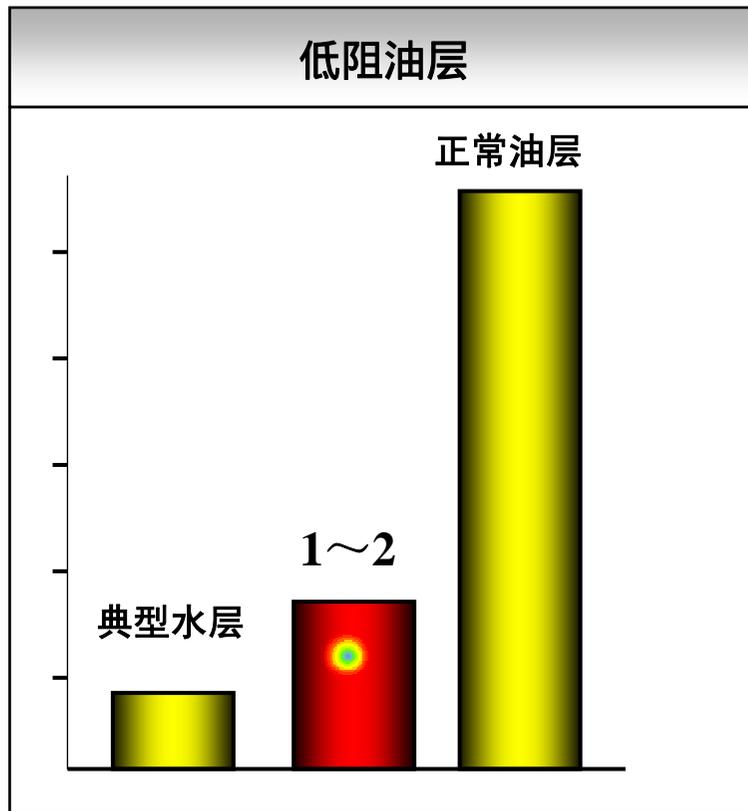


2. 极高地层水矿化度条件下的低电阻率油气层

- 这往往是含泥量较少的砂~粉砂岩地层。
- 电阻率绝对值相当低，在 $1\sim 2 \text{ Q}\cdot\text{m}$ 变化。
- 地层电阻率指数(也称电阻增大率)较大，一般大于4，电阻率也明显大于其周围的典型水层
- 表明这种类型的油气层具有中等以上的含油饱和度数值($S_o < 50\%$)。



2. 极高地层水矿化度条件下的低电阻率油气层



注意事项

- 油气层电阻率绝对值低的原因，主要在于产层具有极高的地层水矿化度，形成高电导的导电网络，油气层电阻率明显降低。识别低阻油气层的难度并不很大，由于电阻率数值甚低，需要做仔细的分析。

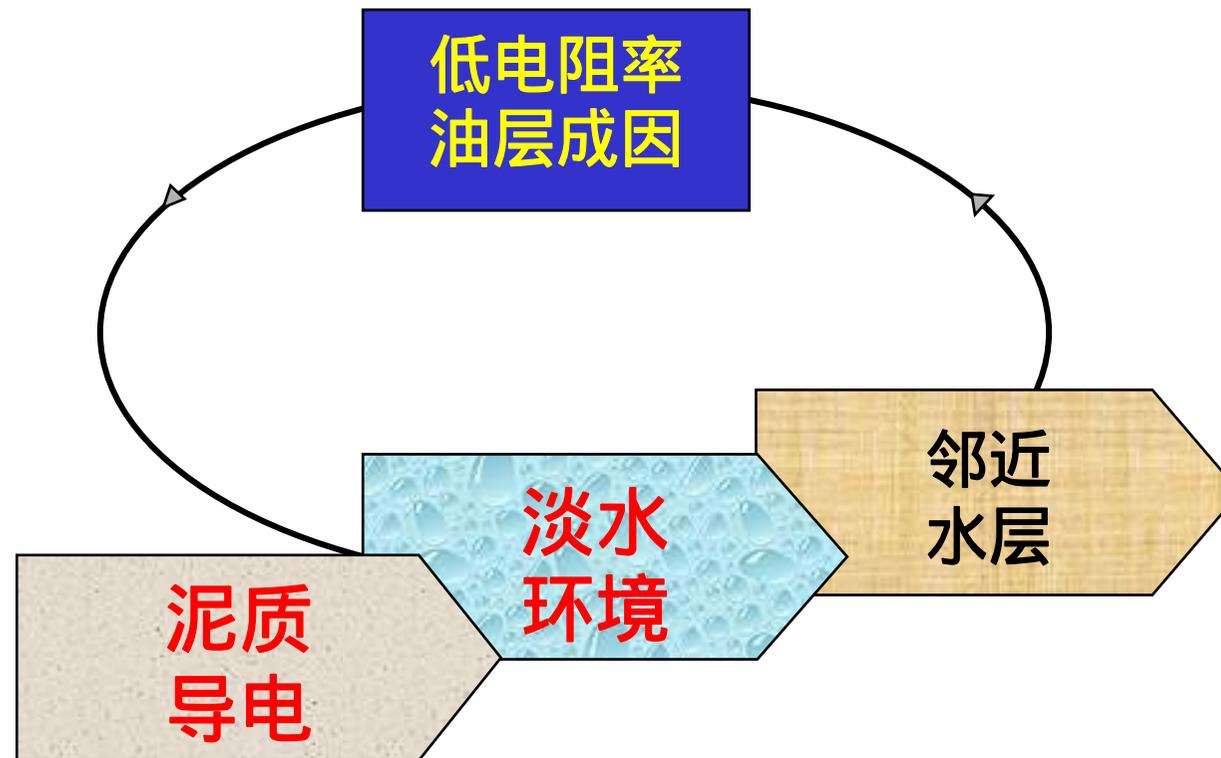


3. 泥质砂岩形成的低电阻率油气层

- 富含泥质或粘土矿物，在附加导电性这一主导因素的支配下形成的低电阻率油气层。
- 往往发生在淡水地层中，在这种条件下泥质砂岩所产生的附加导电性表现得十分突出，从而引起油气层电阻率的急剧降低。
- 降低的幅度往往随着淡水地层矿化度变小而增大，并有与邻近水层的电阻率相靠近的趋势，即明显减小油气层电阻增大的数值。



3. 泥质砂岩形成的低电阻率油气层

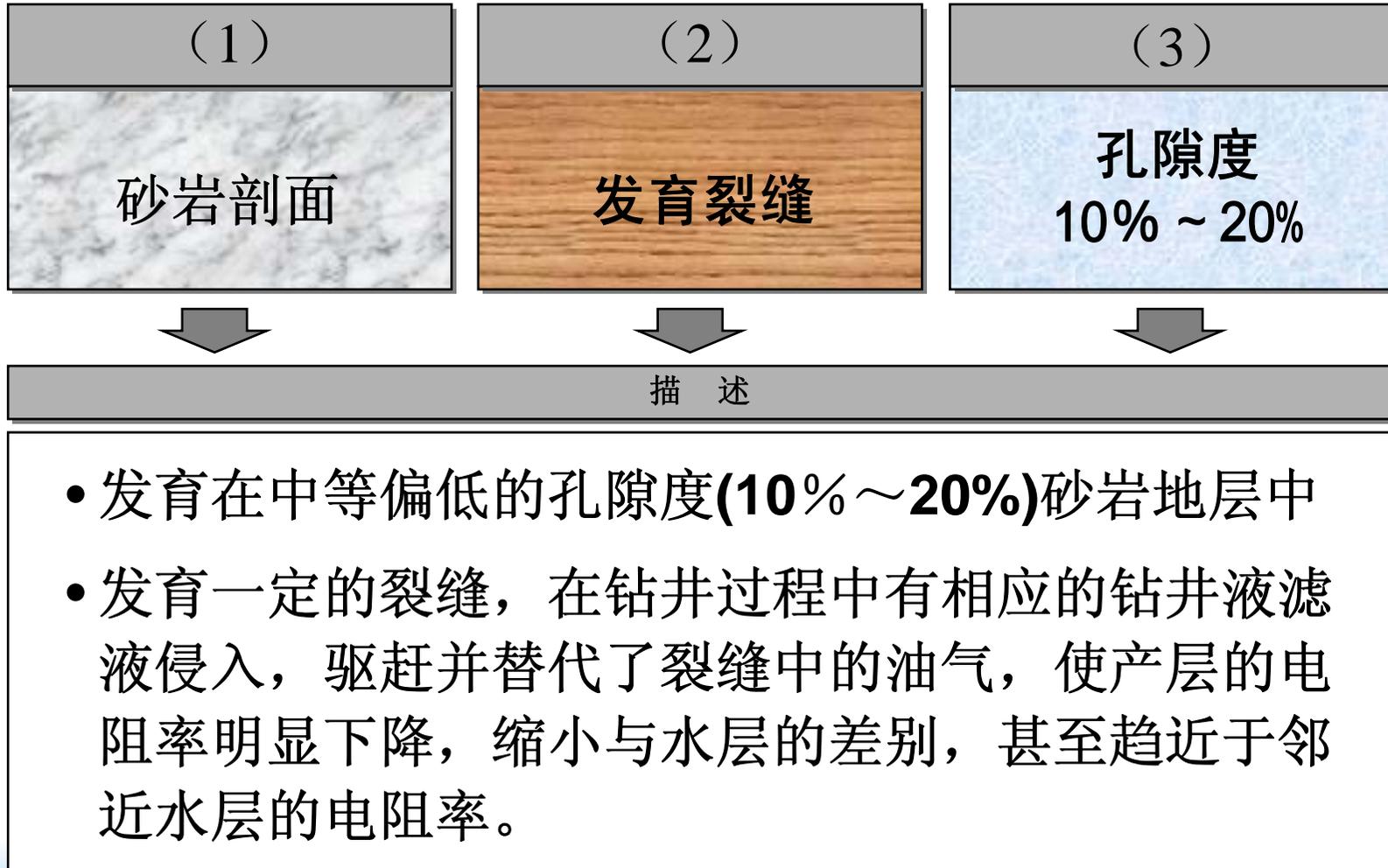




4. 粒间孔隙~裂缝孔隙并存的低阻砂岩油气层

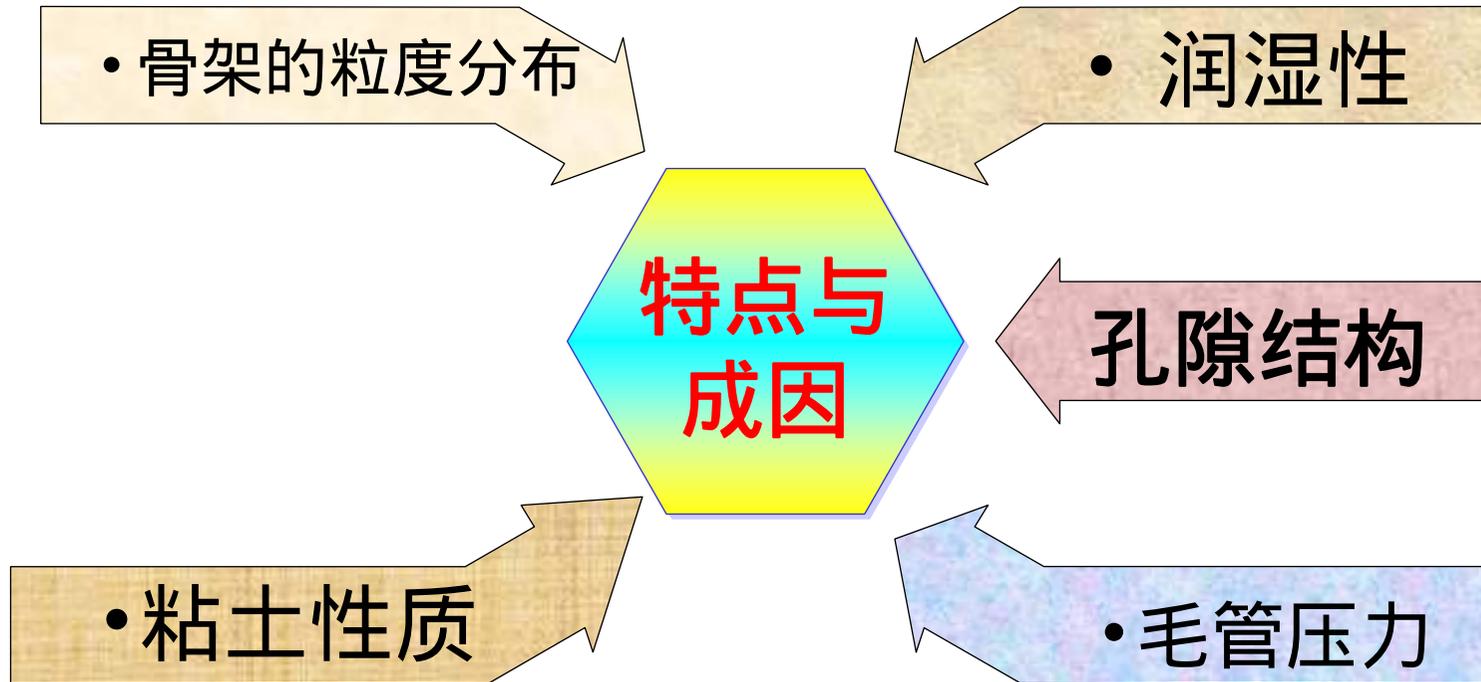
易引起解释上的失误

与钻进液的驱替有关



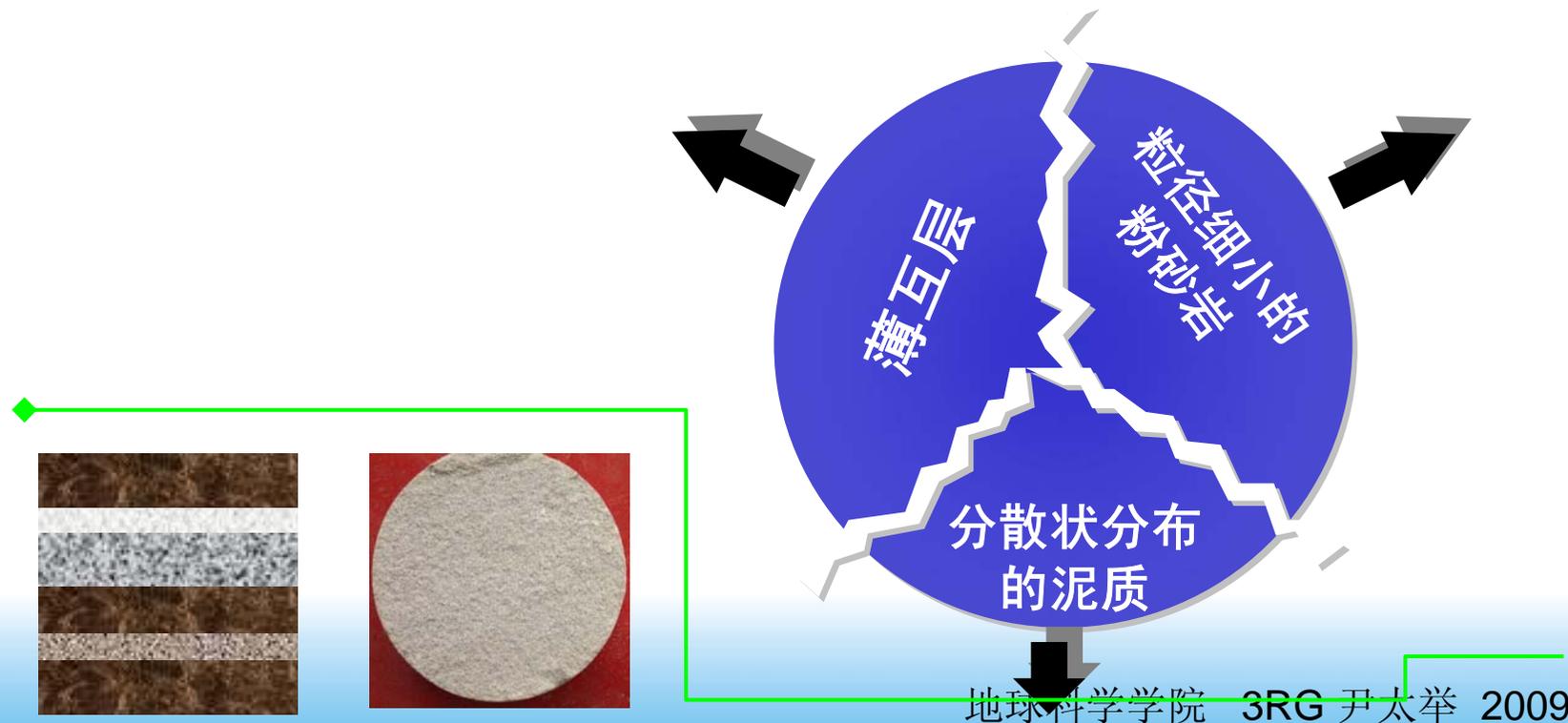


储层岩石特点及低阻成因





- ✓ 这种油层粘土矿物含量少，粒径十分细小的粉砂岩地层；
- ✓ 含有以水云母（伊利石）和蒙脱石为主的粘土矿物并呈分散状分布的泥质砂岩地层；含高岭石的泥质砂岩；
- ✓ 砂泥岩薄互层地层。





粘土性质及其分布形式

1

含分散状粘土是形成低电阻油气层的一个重要因素。

2

分散状粘土约占粒间孔隙的10%~25%。

3

由于蒙皂石晶格间隔比较大，分子间引力相对较弱，因而有较强吸水性。

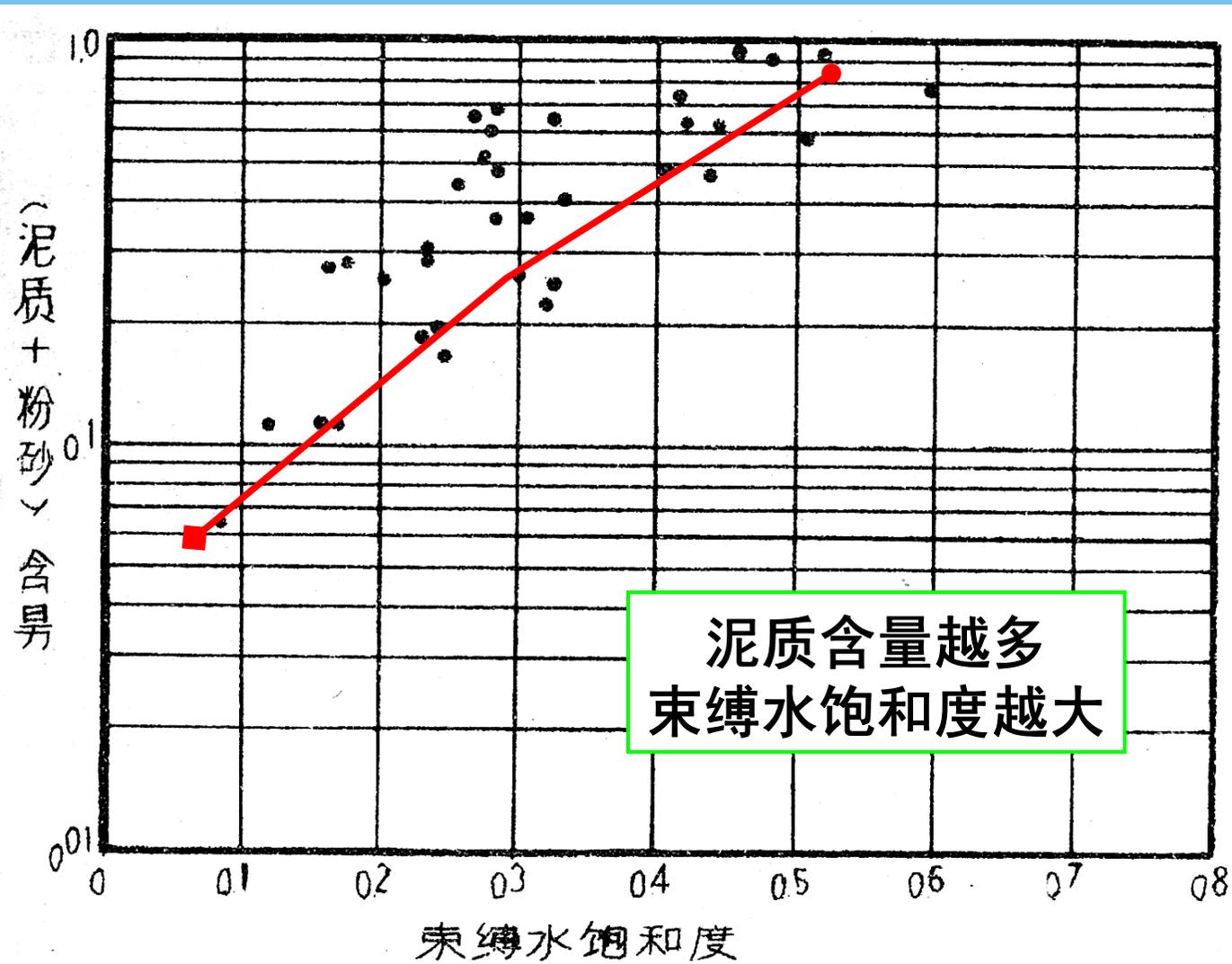


图8-1 束缚水饱和度与〔泥质+粉砂〕含量关系图



水云母自身形成**蜂窝状**微孔隙，水云母与蒙皂石晶体聚合体间形成微孔隙，长石风化形成**针状**水云母而发育微孔隙，粘土矿物普遍具有高束缚水饱和度的特点，并成为油气层电阻率降低主要因素。粘土有三种分布：

— 薄膜式

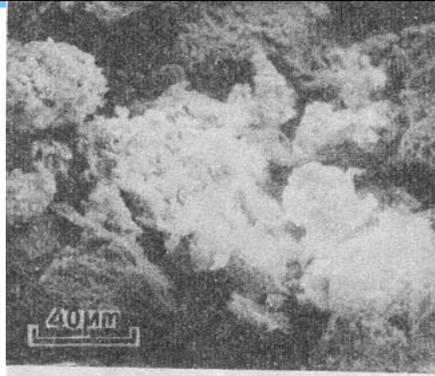
包围岩石的颗粒

— 搭桥式

连接岩石颗粒

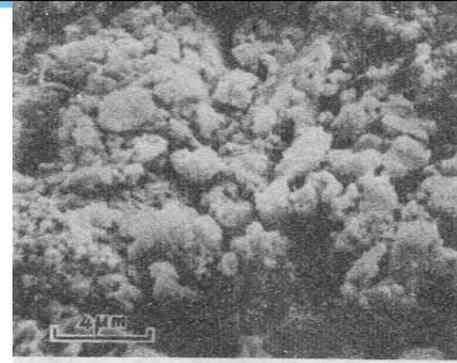
— 充填式

填满部分粒间孔隙



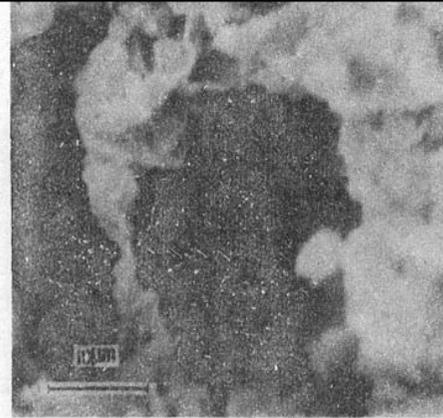
薄膜式

图8-6 水云母呈薄膜式
(Pore-Lining) 包围石英颗粒



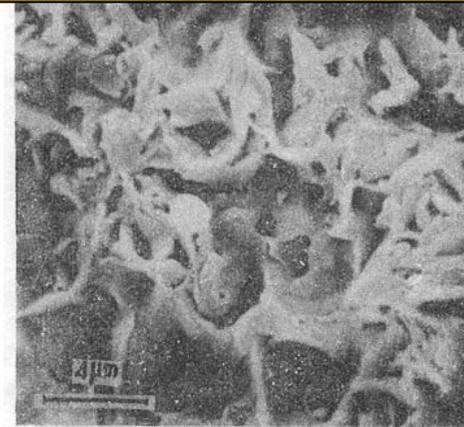
充填式

图8-5 粒间充填的絮状
蒙脱土粘土矿物,微孔隙发育



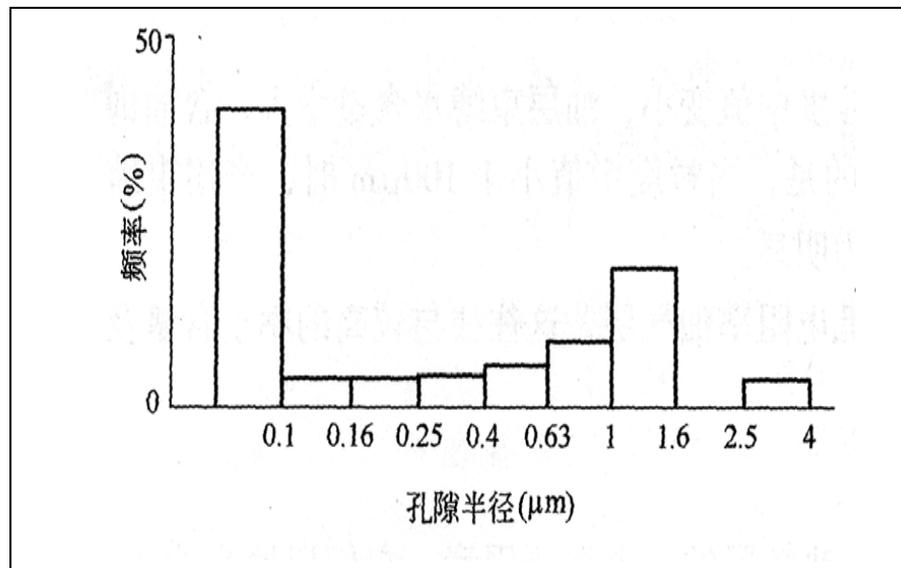
搭桥式

图8-7 水云母粘土桥
(Pore-bridging) 放大

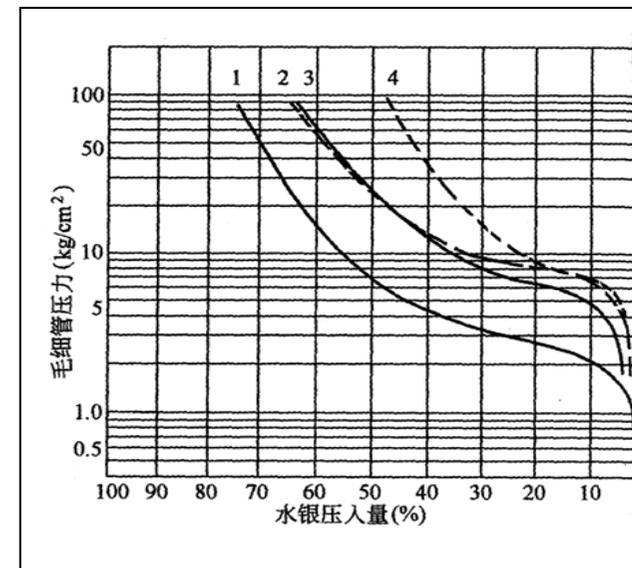


蜂窝状微孔隙

图8-9 水云母形



双组孔隙系统



排替压力较大



亲水性

亲水性

亲水性岩石是低电阻率油气层普遍具有的特性。低电阻率油气层都具有亲水特点。低电阻率油气层富含以水云母和蒙皂石为主的粘土矿物，决定它们具有较强的吸水性。

高阻岩石亲油

实验

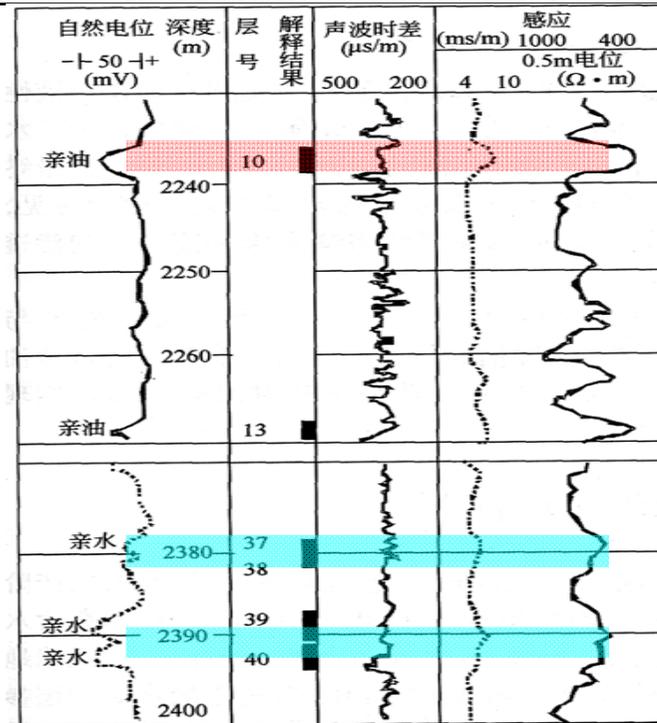


图 2-22 润湿性测定与测井曲线对比图

实验室测定的亲水性岩石为低阻



五、水淹层测井评价

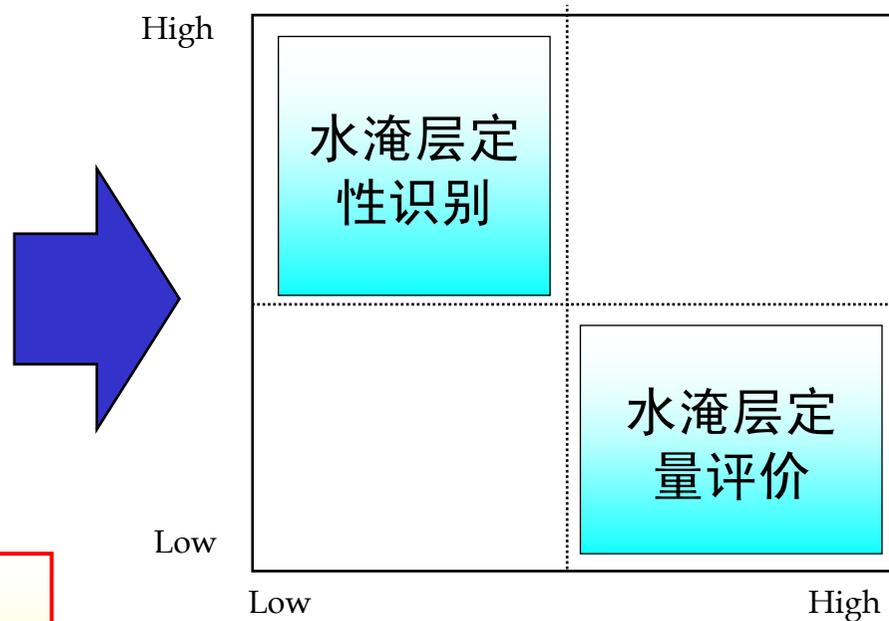
水淹特征



剩余油饱和度及水淹层分类

水淹层地质特征

有常规测井方法评价水淹层





水淹层

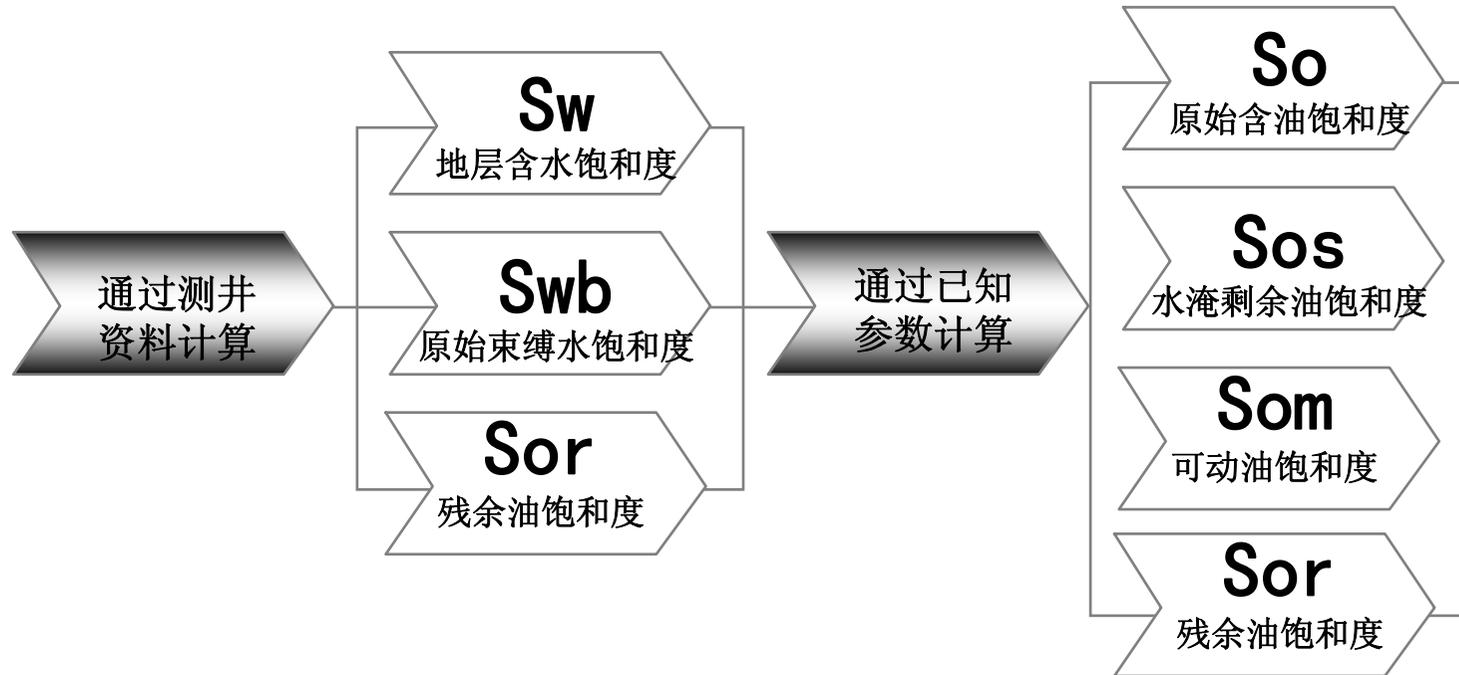
- 为了保持油层压力，国内大多数油田都采用油田早期注水开发的方式。
- 由于油层的非均质性，往往引起注入水舌进和单层突进，造成油层早期水淹。

水淹层测井

- 在注水开发区块要打调整井，并采用测井方法确定油层水淹层段，水淹程度，剩余油 S_o ，渗透率 K 等参数。
- 水淹区调整井的测井称为水淹层测井。它们大多数是在裸眼中进行的。



剩余油饱和度及水淹层分类





- **So**油层原始含油饱和度：开采前油层中油气体积占总有效孔隙的百分数。
- $So=1-Swb$ (Swb --原始束缚水饱和度)

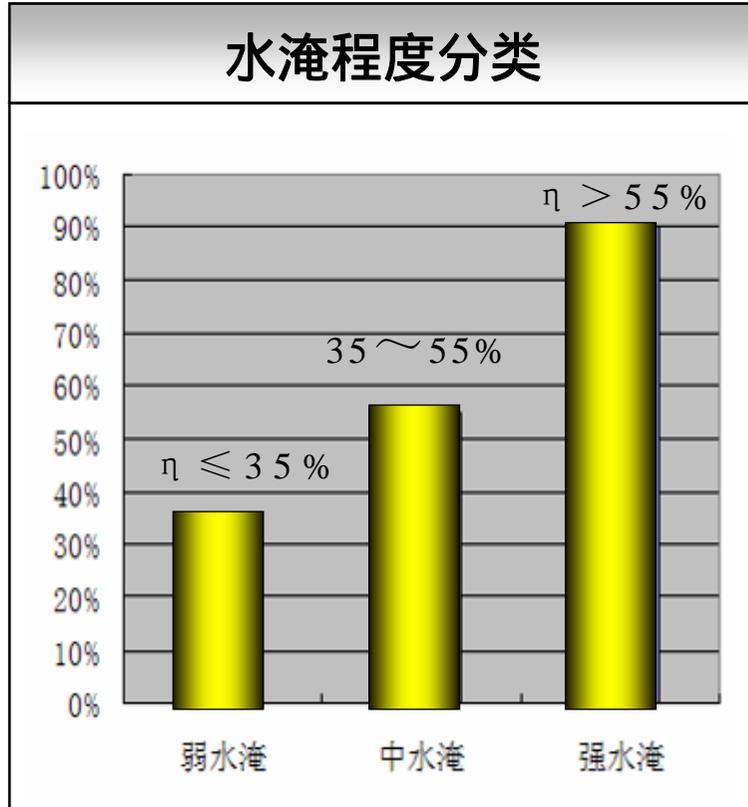
- **Sos**水淹油层剩余油饱和度：注水开采时油层水淹后剩余的油气体积占总有效孔隙的百分数。
 $Sos=1-Sw$ (介于So和Sor间)

- **Som**可动油饱和度：油层中可采出油气的饱和度。
- $Som=So-Sor$, 水淹层 $Som=Sos-Sor$

- **Sor**残余油饱和度：当前经济条件下无法采出的剩余油的饱和度。 $Sor=1-Sox$



根据驱油效率 η 划分油层水淹级别



划分方案

$$\eta = \frac{S_w - S_{wb}}{1 - S_{wb}}$$

相当于注入水饱和度
比原始含油饱和度

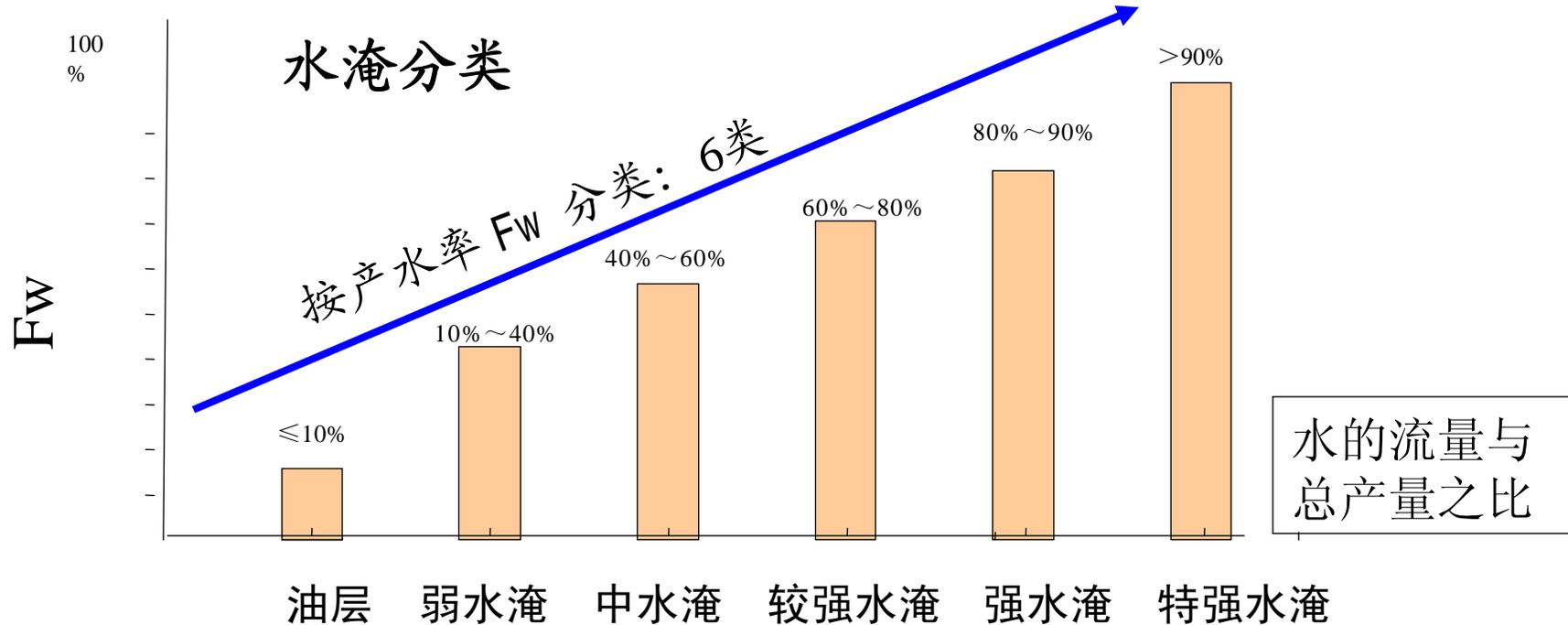
分子：进入油层的注入水饱和度
分母：代表油层原始含油饱和度

S_w --- 水淹油层的当前含水饱和度

S_{wb} --- 水淹油层的原始束缚水饱和度



根据产水效率 F_w 划分油层水淹级别



$$F_w = \frac{Q_w}{Q_o + Q_w} = \frac{1}{1 + \frac{K_{ro}\mu_w}{K_{rw}\mu_o}}$$

$$K_{rw} = \left(\frac{S_w - S_{wb}}{1 - S_{wb}} \right)^m$$

$$K_{ro} = \left(1 - \frac{S_w - S_{wb}}{1 - S_{wb} - S_{or}} \right)^n \left[1 - \left(\frac{S_w - S_{wb}}{1 - S_{wb} - S_{or}} \right)^R \right]$$



注水开发

含油性
及分布

矿化度
和电阻率

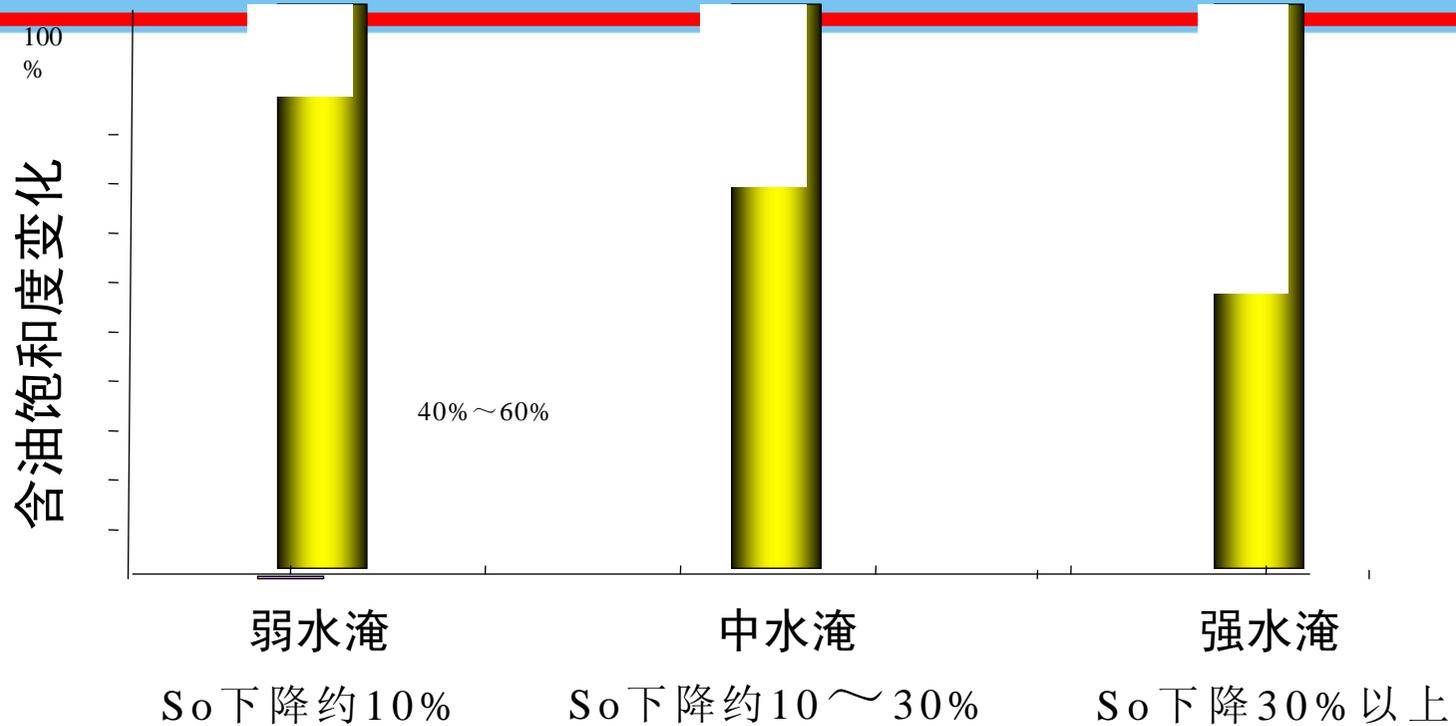
粘土
矿物
结构

孔隙度
和渗透率

变化

水淹层的识别

水淹层的评价问题



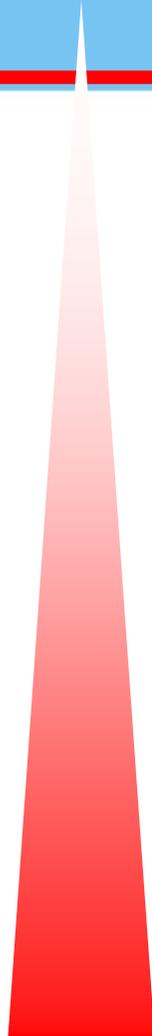
物性好的高孔、高渗部位早水淹，水洗强度大；低孔低渗部位晚水淹，水洗强度小，甚至未被水淹。这样，在高含水期，原来的好油层变成强水淹层；

而较差的油层可能成为主力油层。因此，尽管某些油井的产水率很高，低孔低渗油层、薄油层或厚油层中的低孔低渗段仍有潜力。

含水饱和度增大



粒度变化



灰绿色泥质粉砂岩，具波状交错层理。



灰绿色泥质细粒砂岩，具波状交错层理。



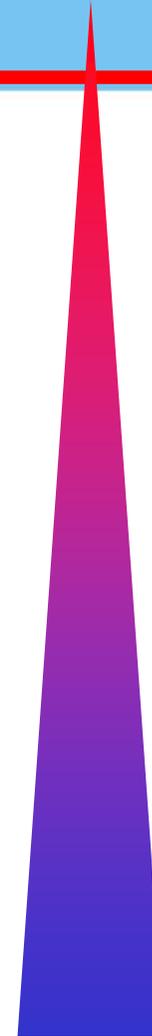
低角度交错层理。



楔状交错层理。

灰绿色细砂岩，具板状交错层理

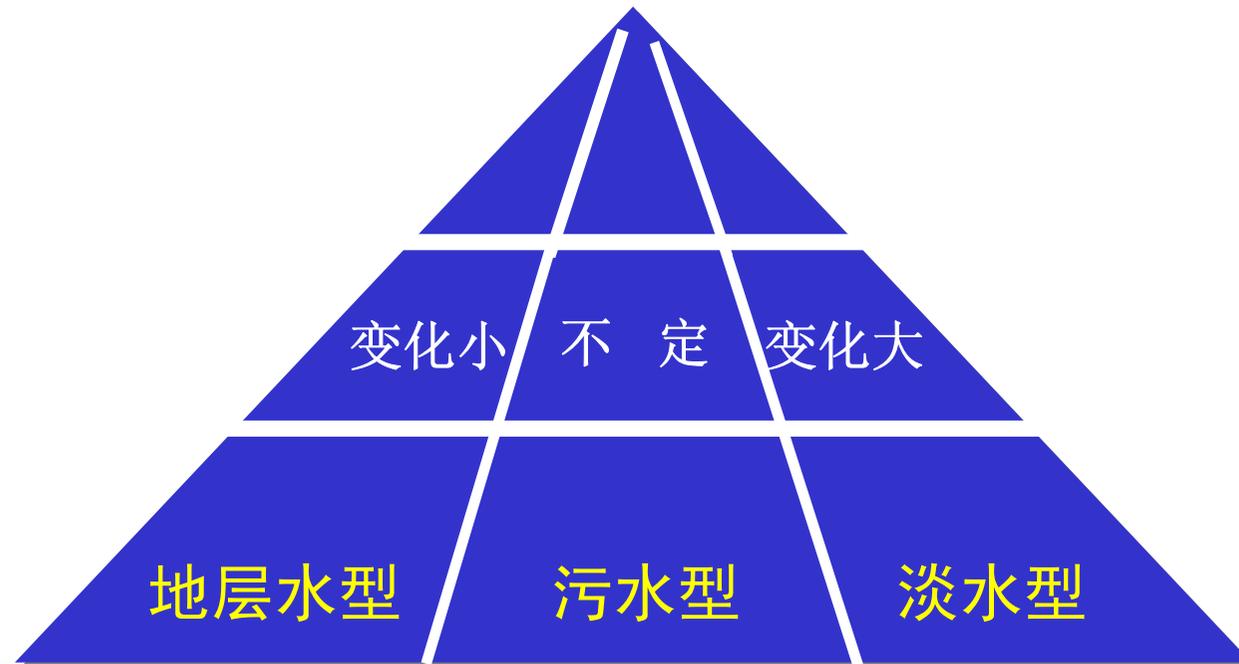
水洗度变化



河流砂体，底部水洗强度大。上部低孔低渗段注水效果不好。



淡水型注入水导致地层矿化度变化最大，注入淡水沿大孔隙驱油，溶解储层盐类，并与地层水发生混合，降低地层矿化度，随着注入水量增加，水淹程度增大，矿化度下降幅度增大，电阻率下降。



矿化度变低



注水罐



注水泵



注入河水和水塘水

淡水注入



— 大庆油田矿化度变化很大 —



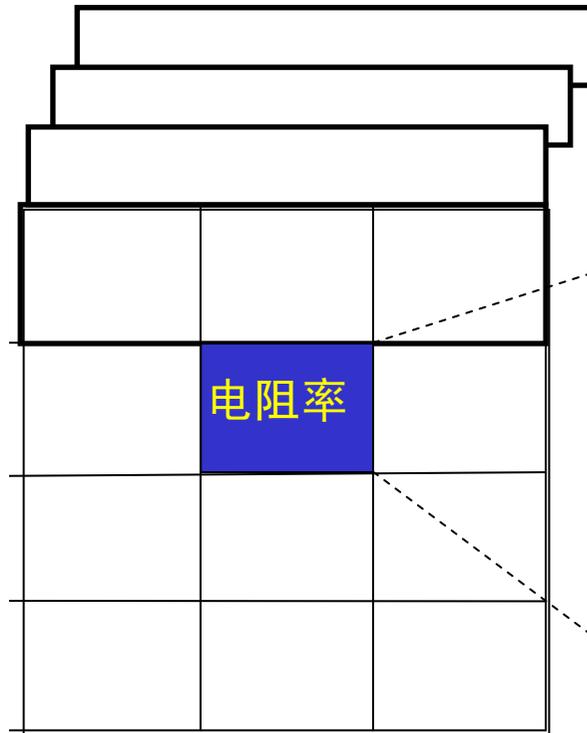
实际资料



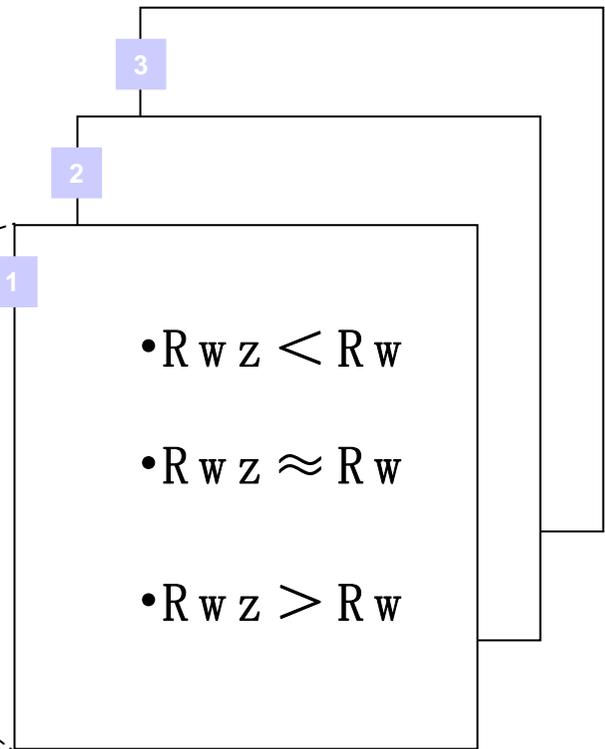
参数	
水型	
地层水型	
污水型	
淡水型	

注入水

矿化度



混合水



- R_{wz} : 混合水电阻率
- R_w : 地层水电阻率



粘土矿物明显减少

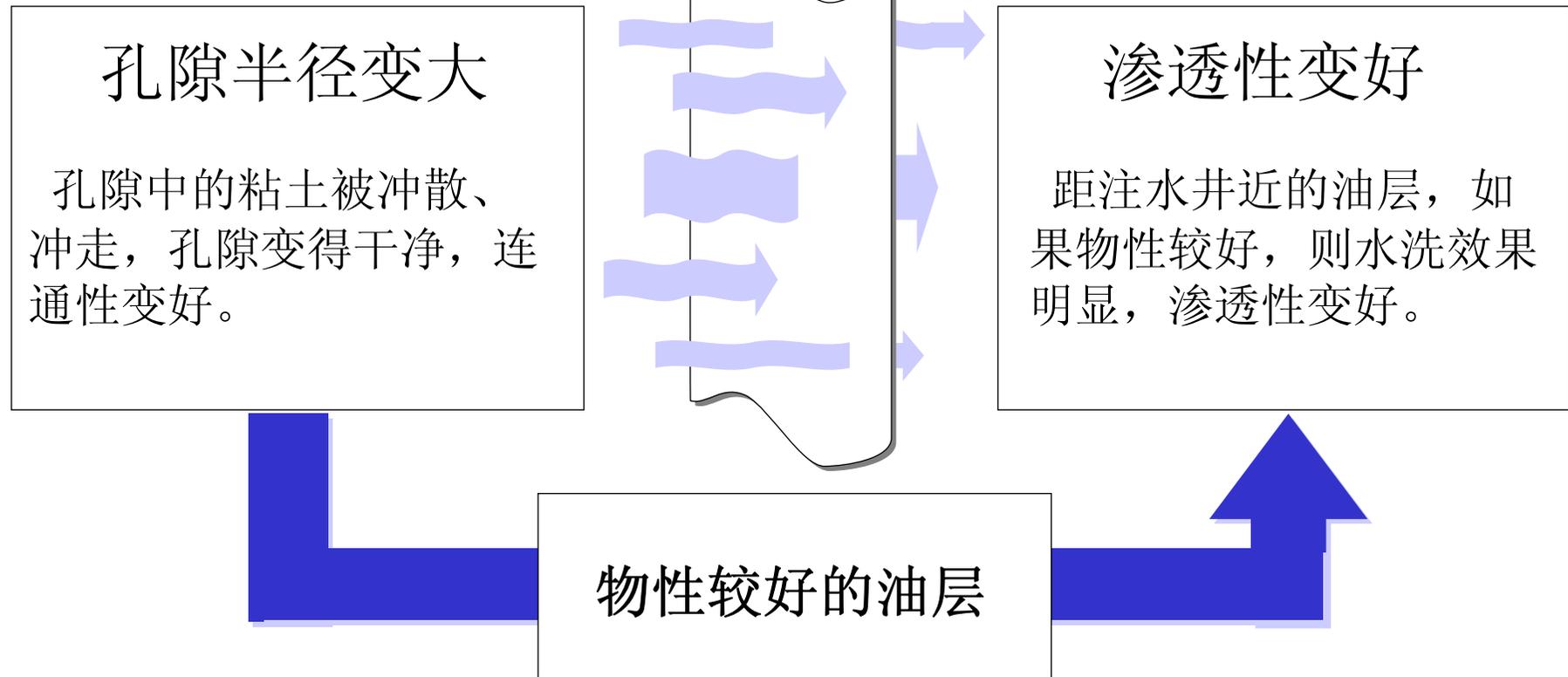
现象

大庆油田对岩心用电镜观察，发现岩样经过长期水洗，岩石颗粒表面覆盖的粘土明显减少，岩石颗粒表面附着的高岭石被溶解，绿泥石和伊蒙混合粘土明显减少。



很复杂

粘土矿物的作用很复杂，它同注入水性质、粘土矿物的性质、分布状态等有关。不同的油田，这种作用也不尽相同。而且，注入水同粘土矿物的作用，是注水油层物理参数发生变化的重要原因。



距注水井近的好油层，物性改变明显

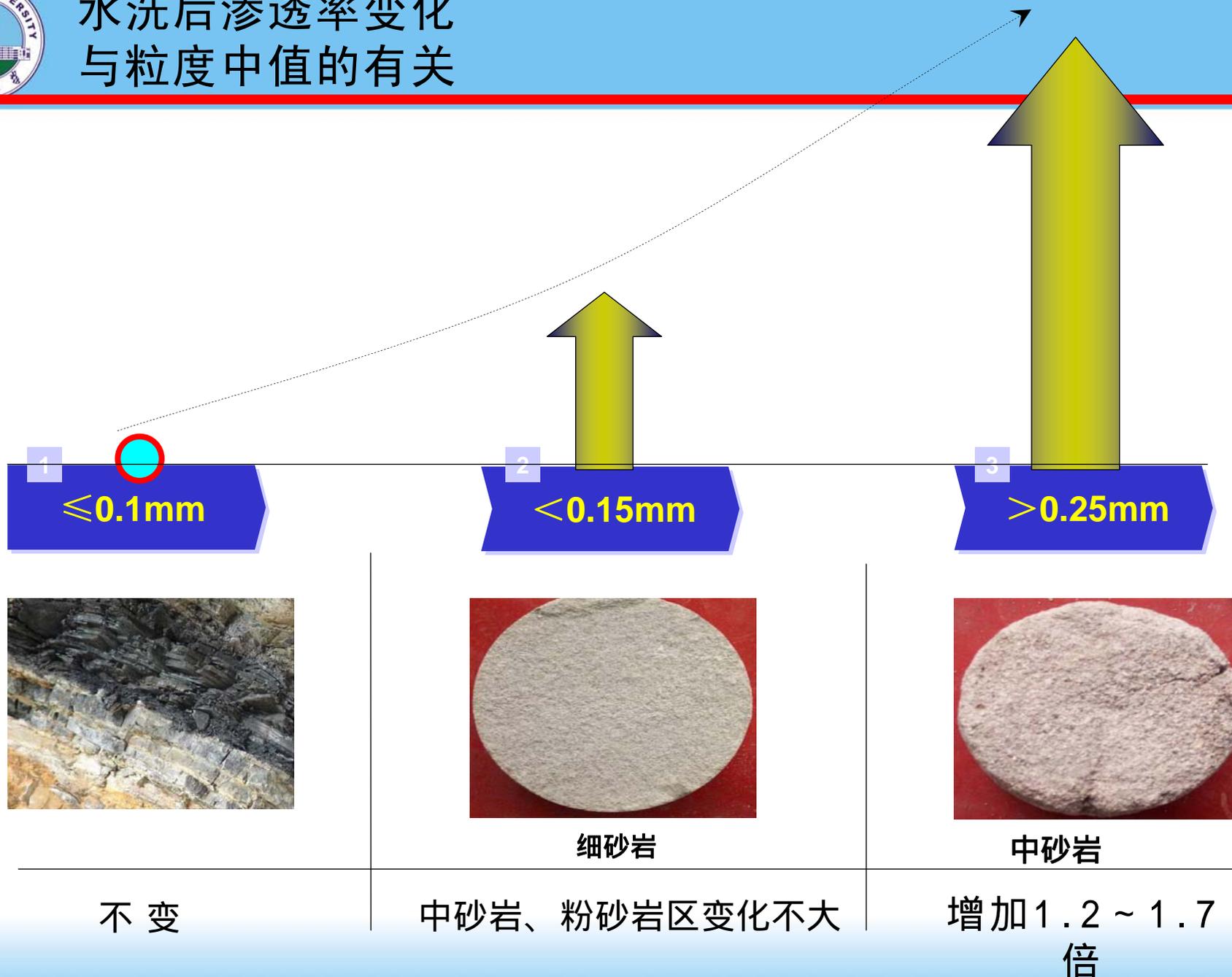


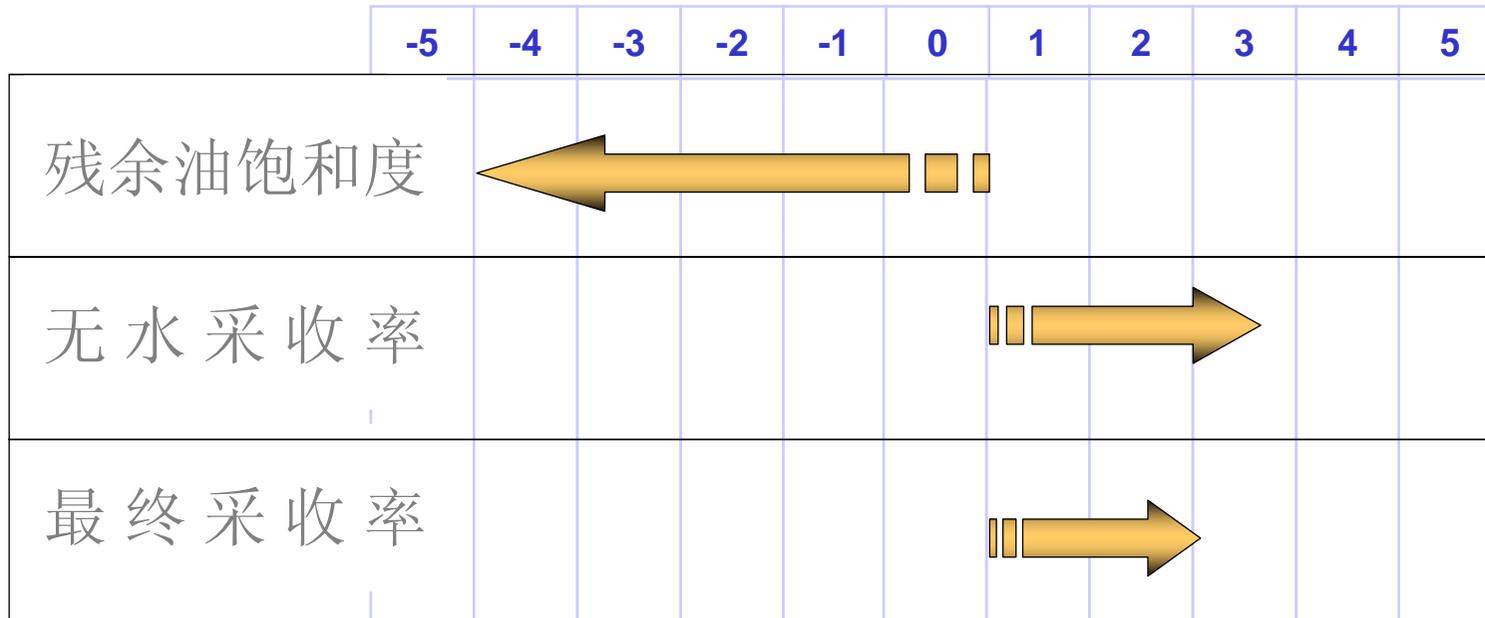
河流砂岩上部以泥质粉砂岩为主，注水后孔渗性不变。

河流砂岩下部物性较好，水洗后孔渗性变得更好。



水洗后渗透率变化 与粒度中值的有关





实验单位	大庆油田
实验时间	长期
样品数量	3口井5块样



水淹层的识别

定性识别

① 淡水水淹层的识别

定性识别

② 污水水淹层的识别

定性识别

③ 用交会图和电阻率比值定性识别水淹层

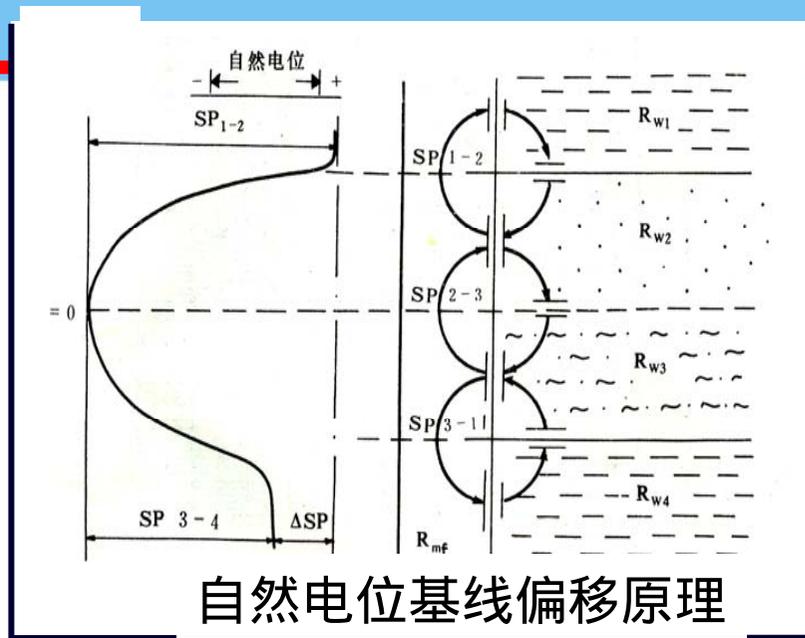


Rt

Sw

深中浅
电阻率

自然电位



最基本的变化

- 电阻率和含水饱和度的变化是水洗地层最明显的特征

最基本的方法

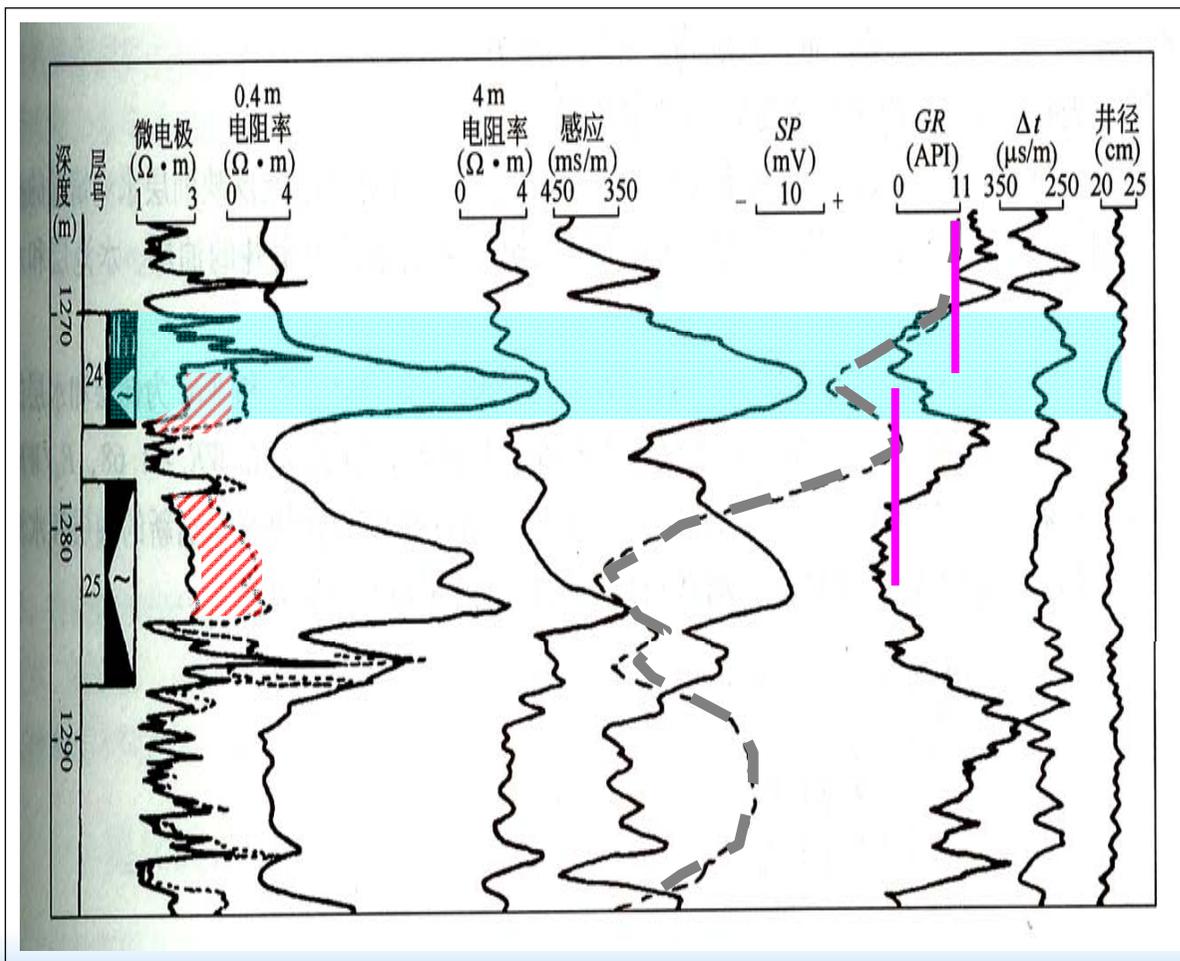
- 深中浅电阻率及声波、自然电位测井，他们对电阻率及含水饱和度最敏感。



特点

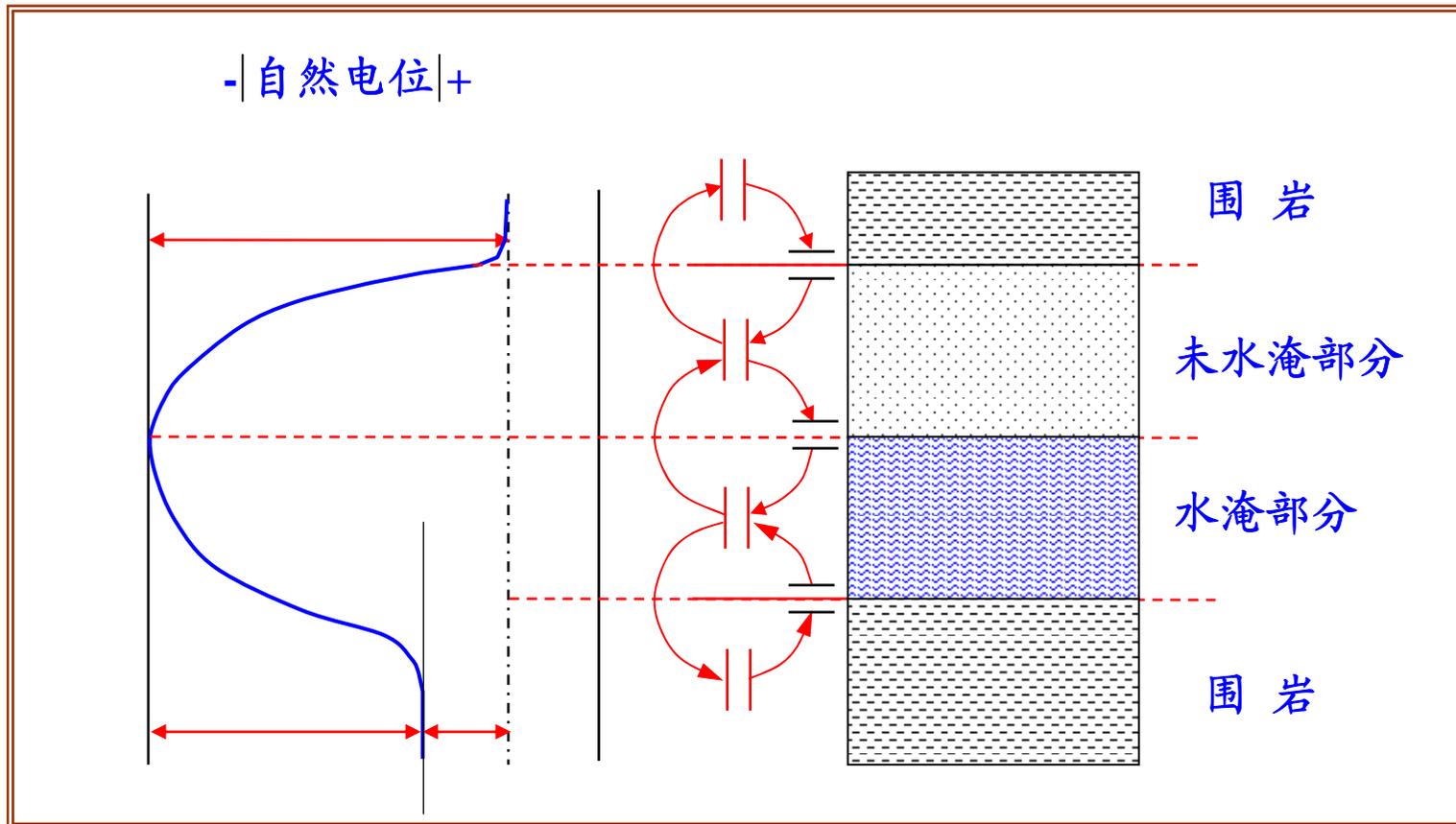
- ① 自然电位基线偏移；与水洗强度成正比。
- ② 微电极电阻率幅差增大；
- ③ 感应电导率明显下降；
- ④ 声波时差下降；
- ⑤ 自然伽马下降

淡水水淹层的识别





自然电位基线偏转





自然电位基线偏移在淡水驱油时特征明显

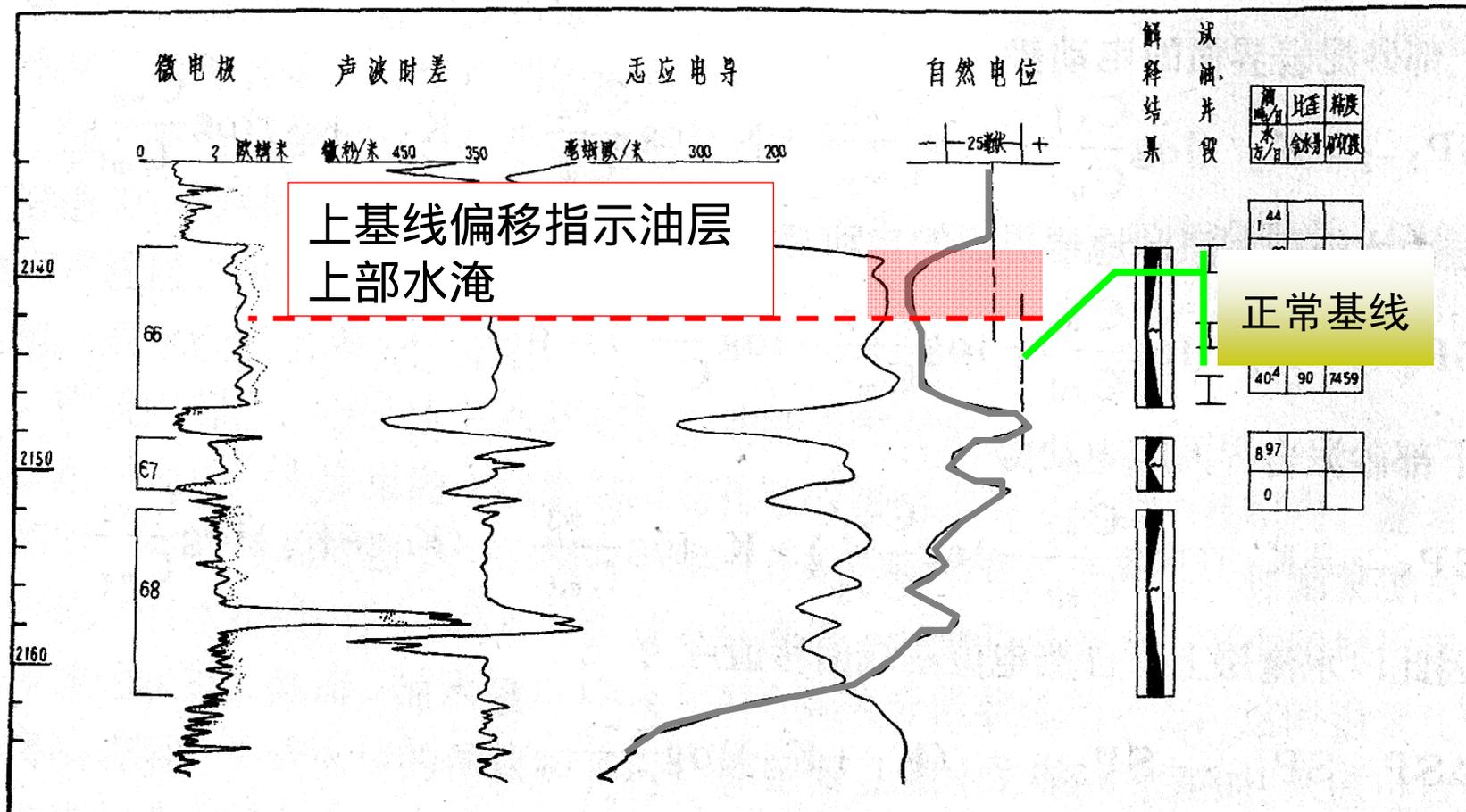
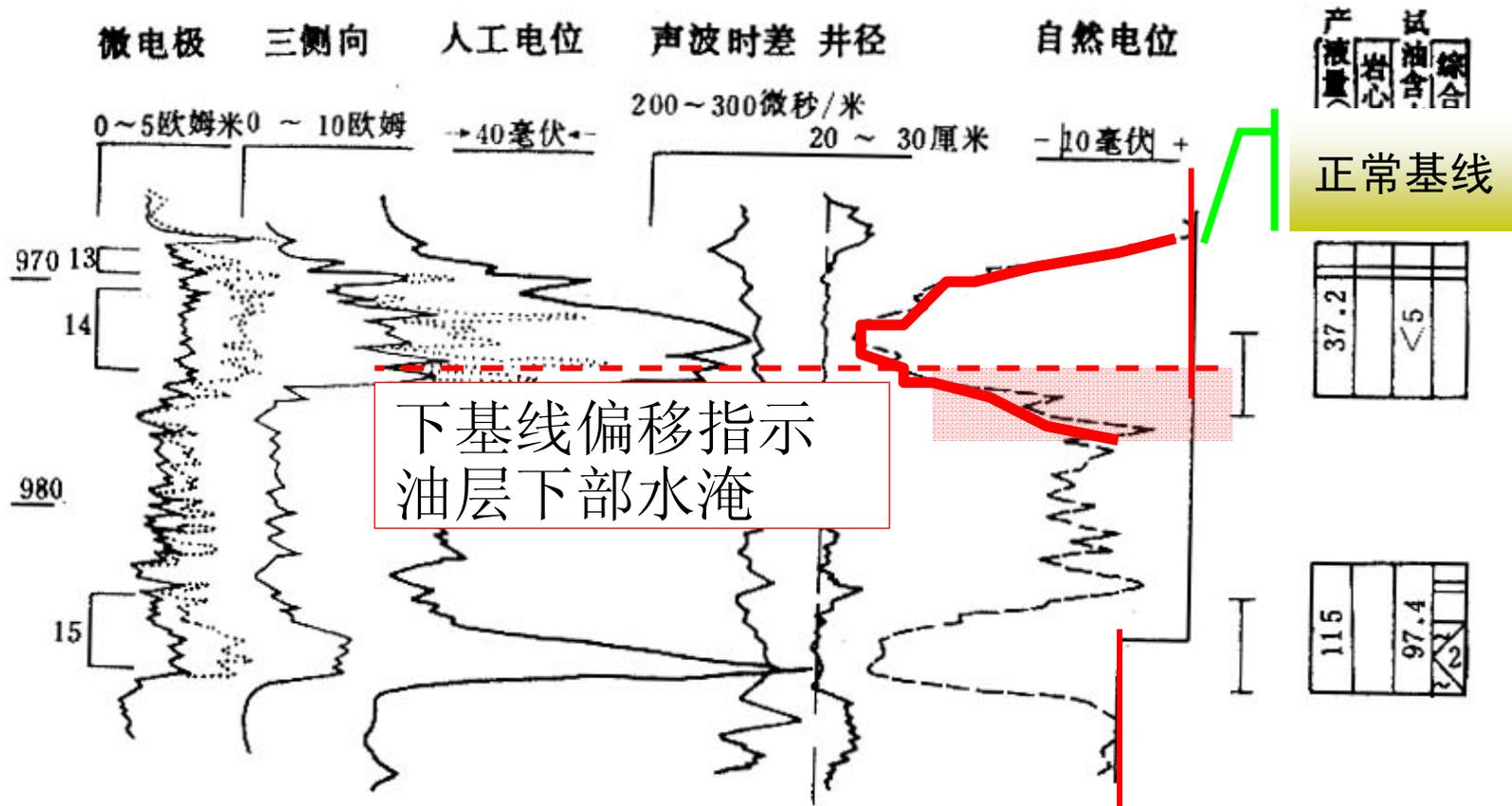


图 8 - 31 胜利油田 2 - 2 - 178 井水淹层自然电位显示特征 (上台阶)



大庆油田北Ⅱ-J5-38井水淹层自然电位显示特征(下台阶)

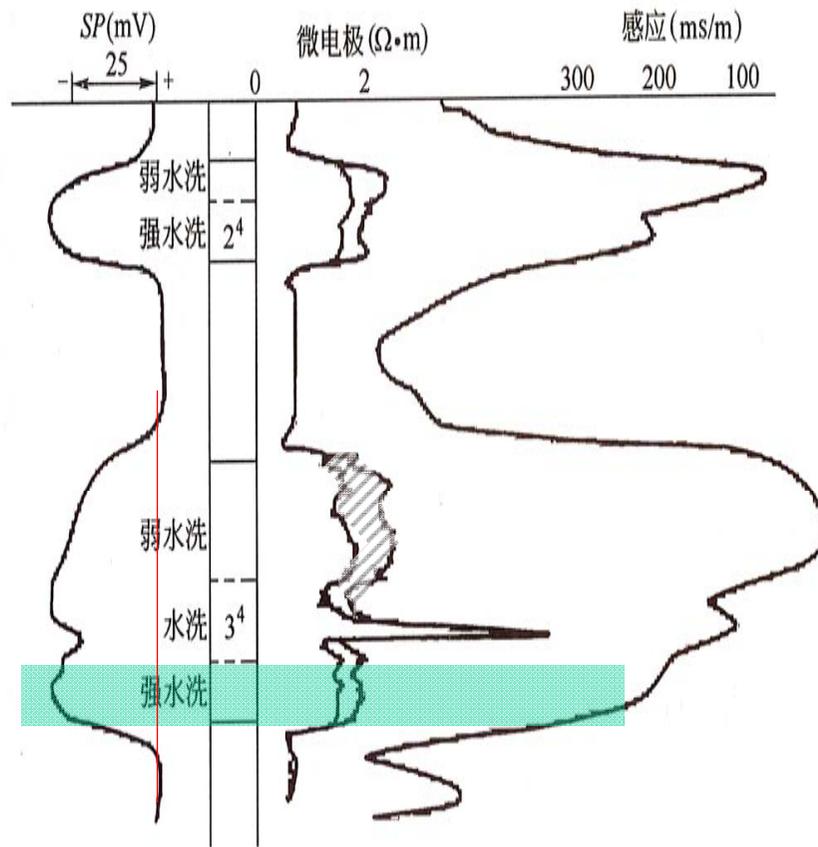


注 意

- 自然电位基线偏移的大小，主要取决于水淹前后矿化度的比值。二者比值越大，基线偏移越大，表示水洗越强。淡水驱油，这种特征明显。基线偏移的部位，是原始地层水淡化的部位。

注 意

- 如果油层中部或全层均匀水淹，自然电位基线不发生偏移，而表现为自然电位全程下降。



有些油田先用淡水驱，后用污水驱。电阻率有减少。

污水（矿化度高）水淹

- 自然电位基线偏移一般不明显
- 自然电位负异常幅度增加
- 视电阻率下降
- 感应电导率增高
- 微电极电阻率曲线幅度变小（相对水淹层位）。



用交会图和电阻率比值定性识别水淹层

根据已开发油田的油层、水淹层和水层的测井信息，计算某些能反映油层水淹情况的参数，绘制一系列定性识别水淹层的交会图，用以快速判别新钻加密井的油层、水淹层和水层，取得良好的效果。

用这种图版能快速识别新的油层和水淹层。在使用过程中，要选取岩性、物性与目的层相近的水层来计算比值。



油层感应视电阻率

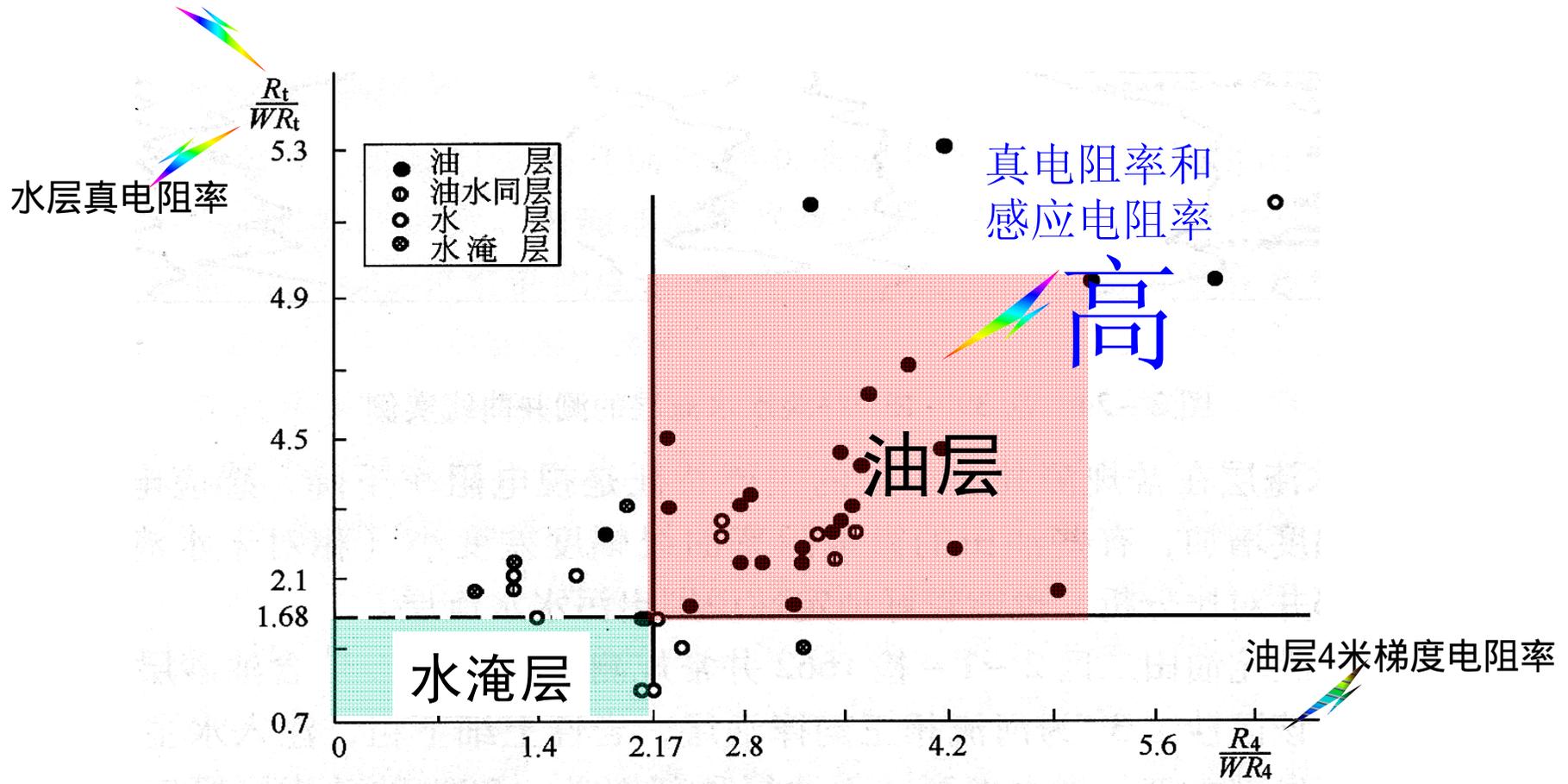


图 2-26 晋 45 断块的水淹层识别图版

R_4 —4m 电阻率; R_t —地层真电阻率; WR_t —水层真电阻率



储层泥
质含量

粒度
中值

孔隙度
渗透率

含水饱
和度

含油饱
和度

采取
程度

核 心

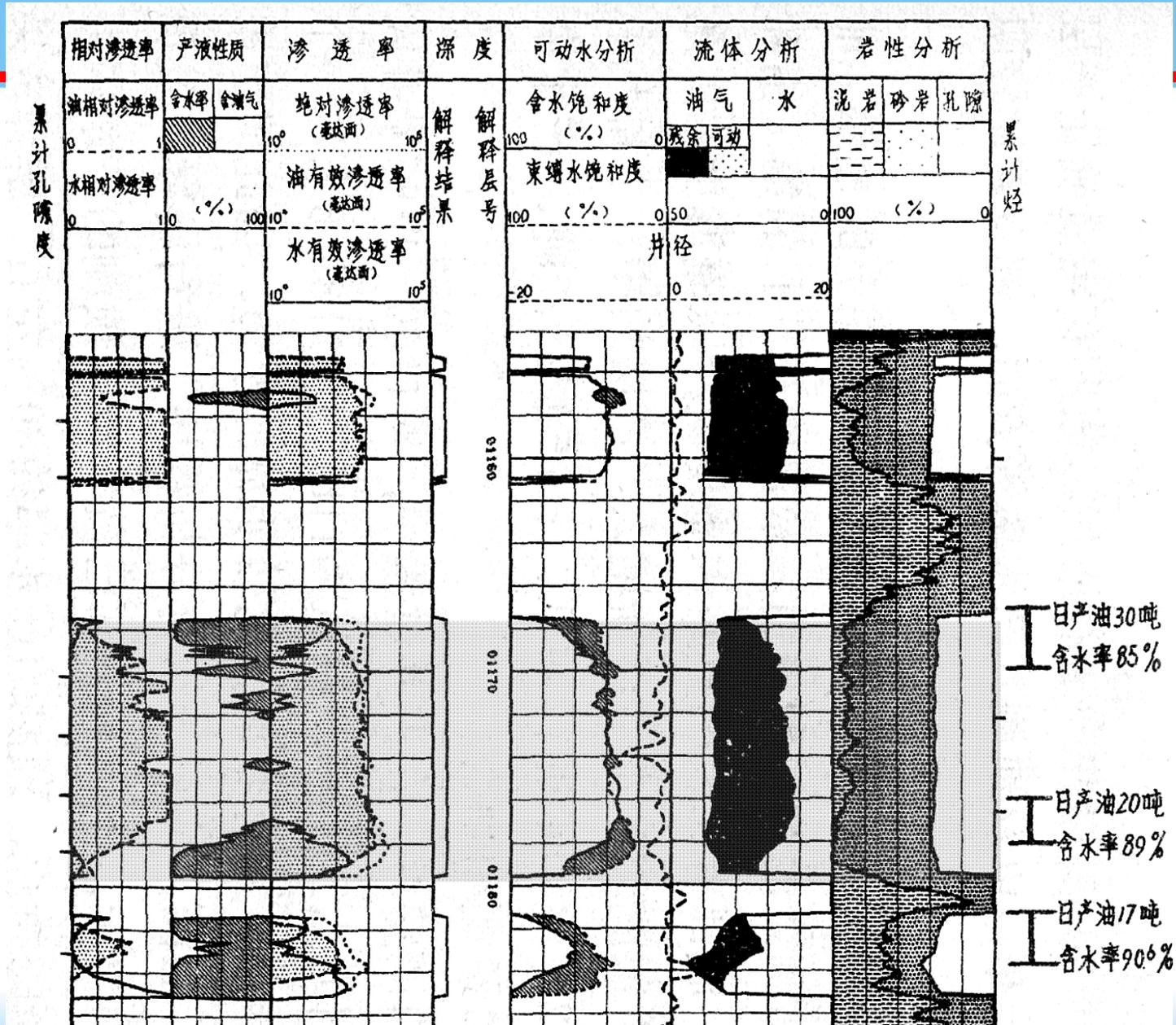
产水率

•计算剩余油饱
和度是核心

产能
指数

驱油
效率

阿尔奇公式、以体积模型为基础的测井解释响应方程



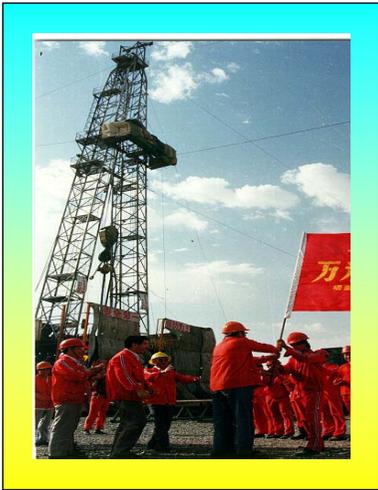


第二节 油气井测试

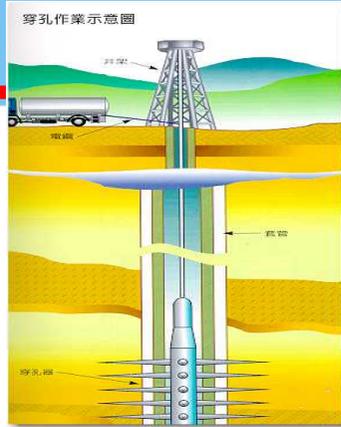
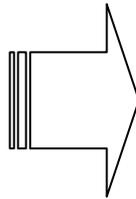
- 广义的试井，包括从压力、温度的测量，到取高压物性样品，测量不同工作制度下的油、气、水流量，测压力、温度梯度以研究井筒内的流动等。
- 狭义的试井，指井底压力的测量和分析，以及为了进行压力校正而进行的温度测量和为了分析压力而进行的产量计量。

- **稳定测试**

- **不稳定测试**



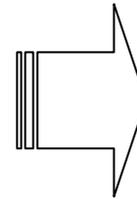
开钻



电缆重复测试



钻杆测试



油气井测试



油田有试油处或公司，专门负责完井后的试油。资工、油工专业的学生可以去。

钻进期间

完井期间



现代试井分两种情况

不稳定试井

改变油井的工作制度，以引起地层压力重新分布，测量井底压力随时间的变化

系统试井

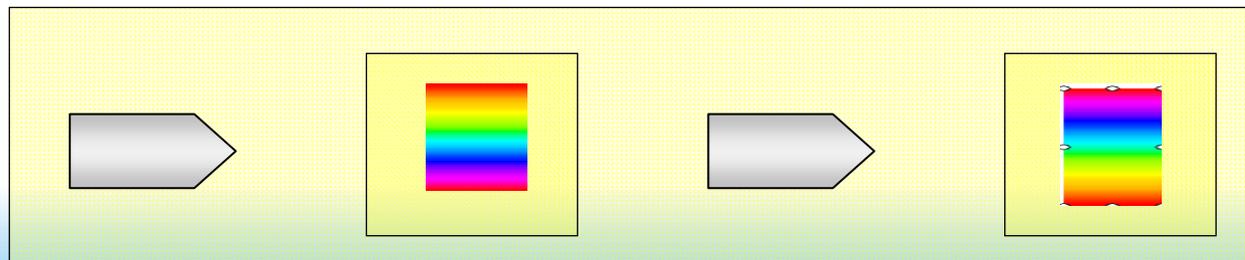
稳定试井

逐步改变油井工作制度，系统测量每一个工作制度下的产油量、流压--等。

压力恢复试井和压降试井

未稳定状况下测试

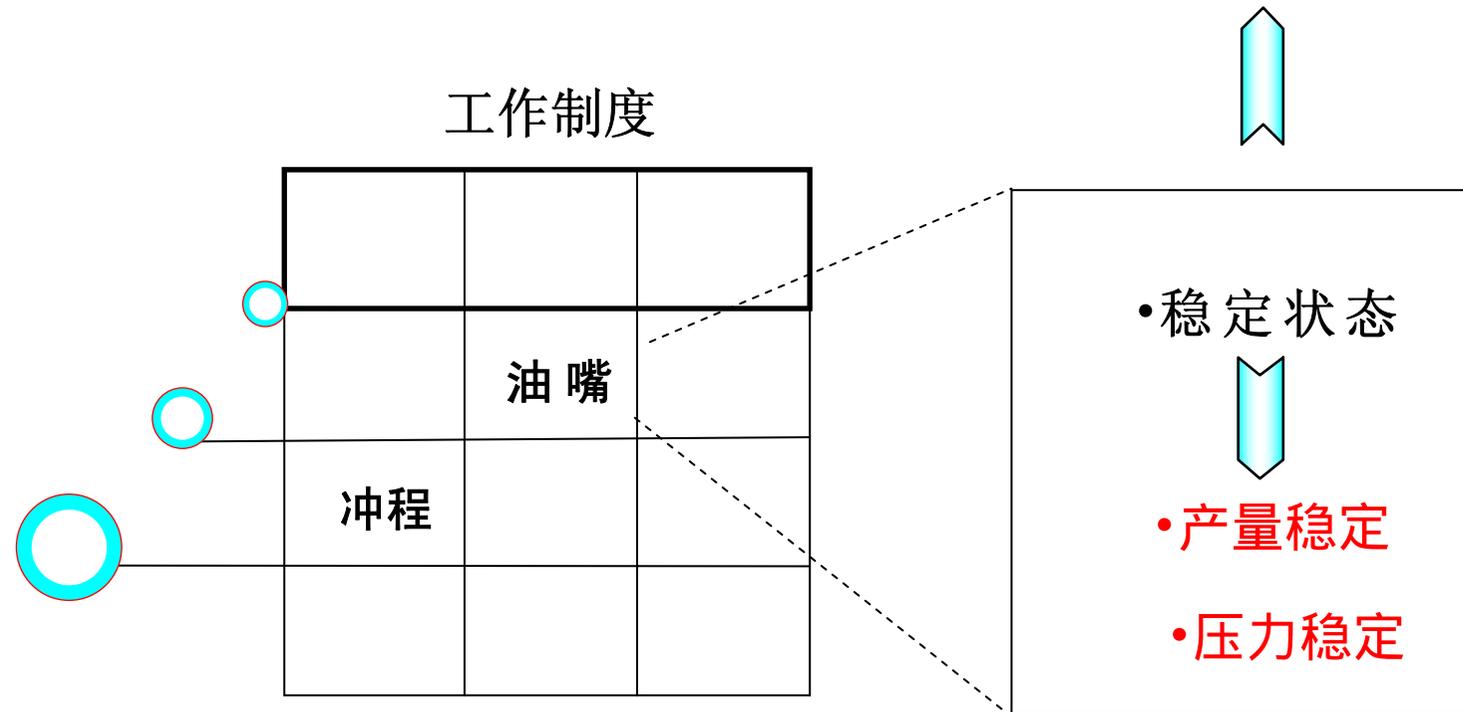
稳定状态下测试





稳定试井 = 系统试井

确定合理的工作制度



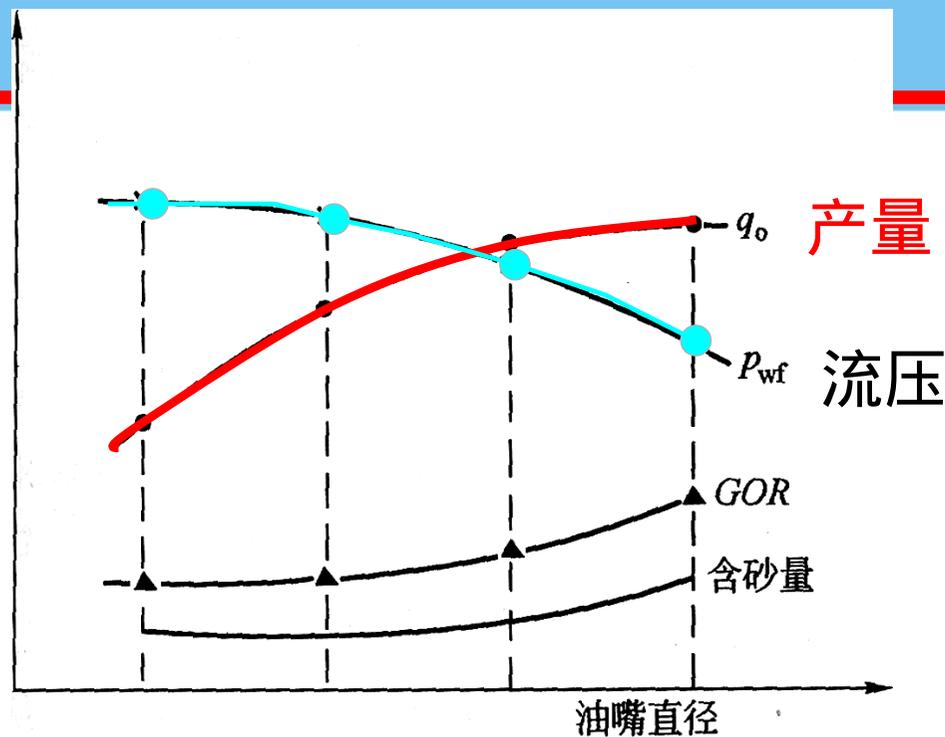
现代试井	完井之后
稳定试井	不稳定试井



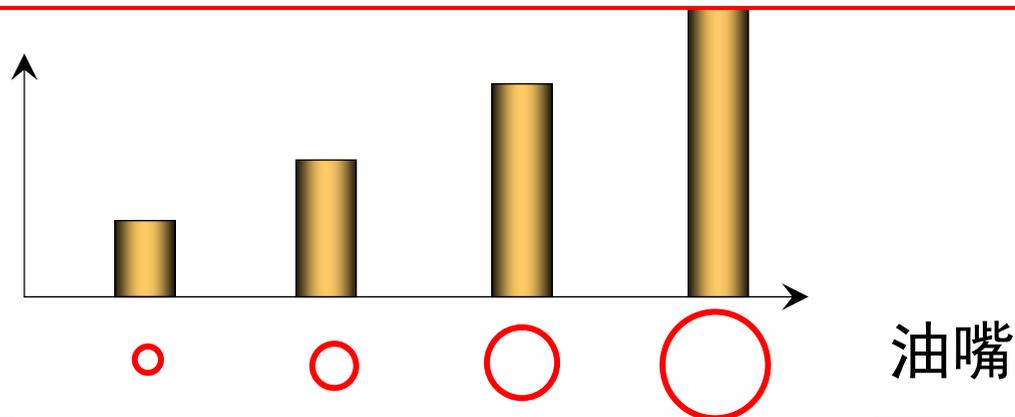
稳定试井

•每次改变工作制度之后，都必须保持产量稳定，并且要等井底流动压力达到稳定之后才能测量各项数据，因此称为“稳定试井”也常称作“系统试井”。

产油比GOR
流压 p_{wf}
产油量 q_o

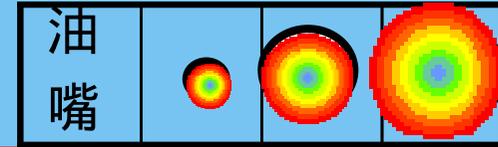


产量

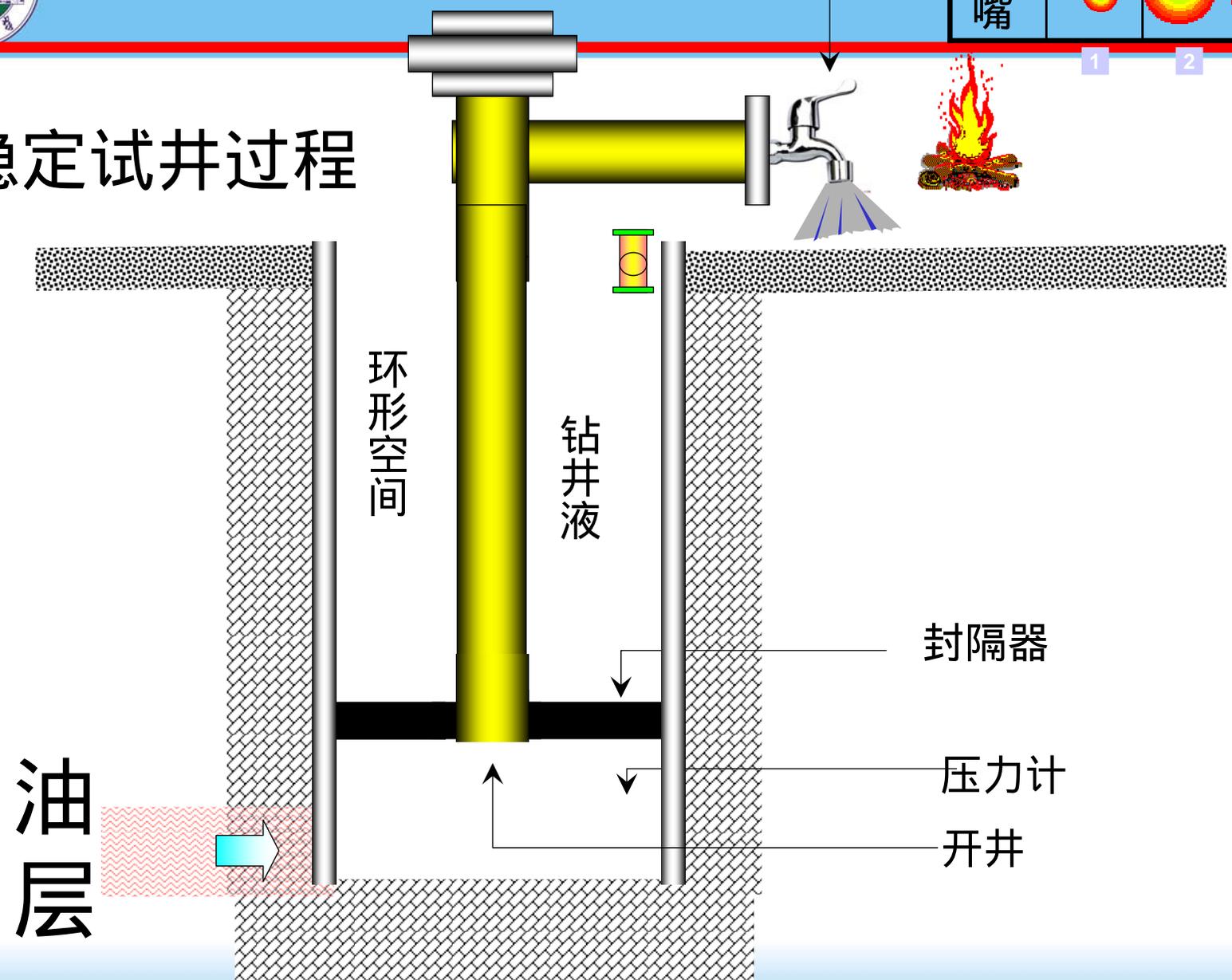




- 油层流动压力，简称流压。是油层生产时用压力计测得的油层中部的压力。流压等于井内液柱、井口压力(油管压力)与井内液体流动所损失的压之和。流动压力是随着静压的变化而变化的，在没有能量补充的情况下，随生产时间的增长流压也随之降低。经过注水、注气后，静压恢复上升，流压也上升。



稳定试井过程



油层

环形空间

钻井液

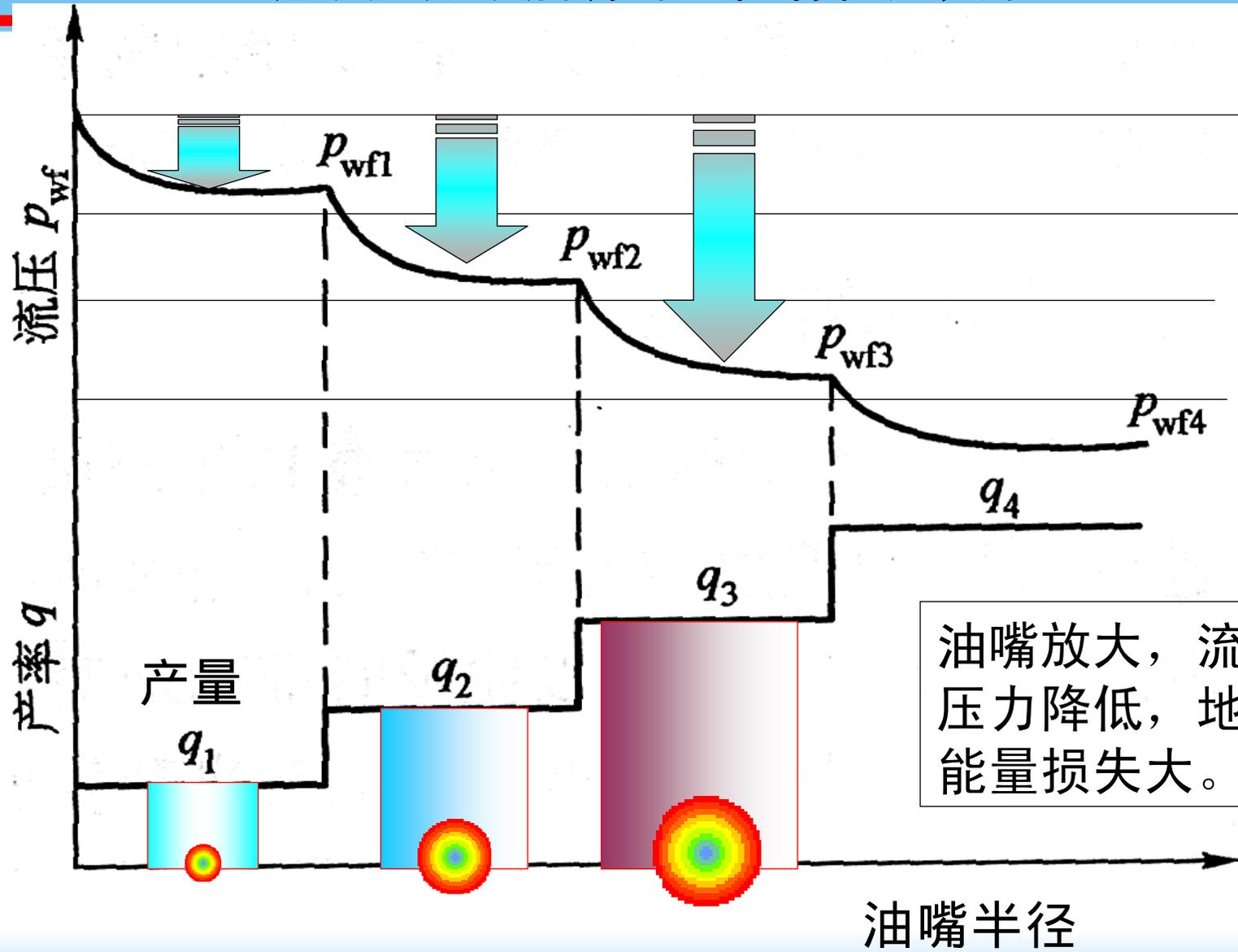
封隔器

压力计

开井



流动压力跟油嘴的直径有很大关系

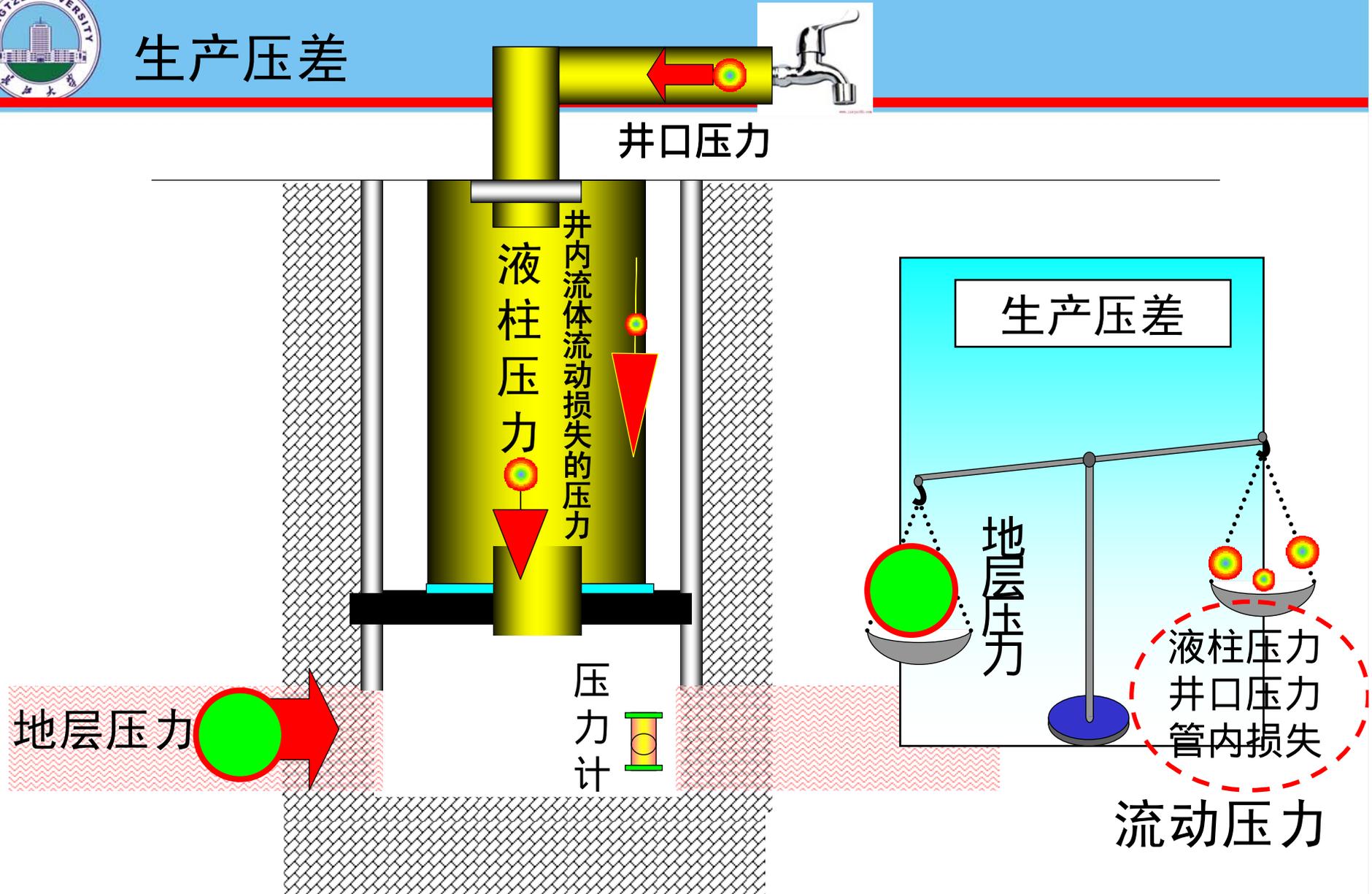




- 流压上升意味着油井自喷能力增强。它的降低，反映了油藏能量的消耗。为了保持流压，可以调整油嘴的直径。
- 生产压差：油层静止压力与井底流动压力之差。生产压差越大流量也越大。压差等于零时，表示没有产油能力。



生产压差



钻杆内没有钻井液，试油时为油、气、或水。所以，液柱压力肯定小于地层压力，地层中的流体才能流出。



稳定试井资料整理----控制曲线绘制

反映产量、压差(即地层压力与井底流动压力之差)、气油比、含砂量随油嘴大小而变化的曲线称控制曲线，又叫油井系统试井曲线。

横座标表示油嘴直径，纵座标分别表示产量、井底流动压力、气油比、含砂量、含水量等。



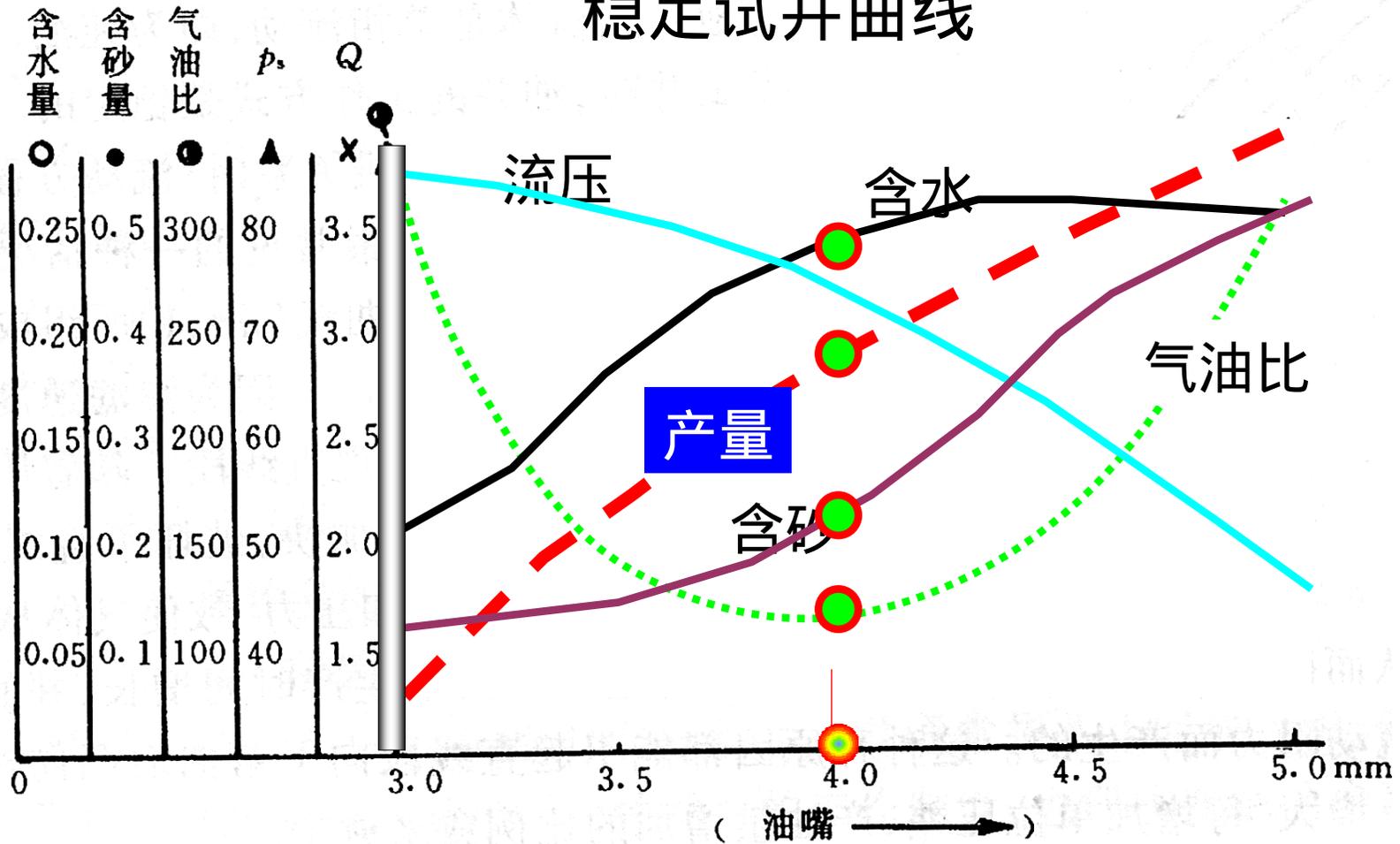
- 利用采油控制曲线，可确定合理的工作制度，即合理的油嘴直径。一般选择气油比小，含砂、含水量小，油井产量较大的油嘴进行生产定为合理的工作制度。当然，油井是整个油田的一部分，因此，在确定每口油井的工作制度时，还应满足整个油田计划产量对油井合理配产所提出的要求。



选择合理的工作制度

4mm油嘴生产较合理

稳定试井曲线



产量较大

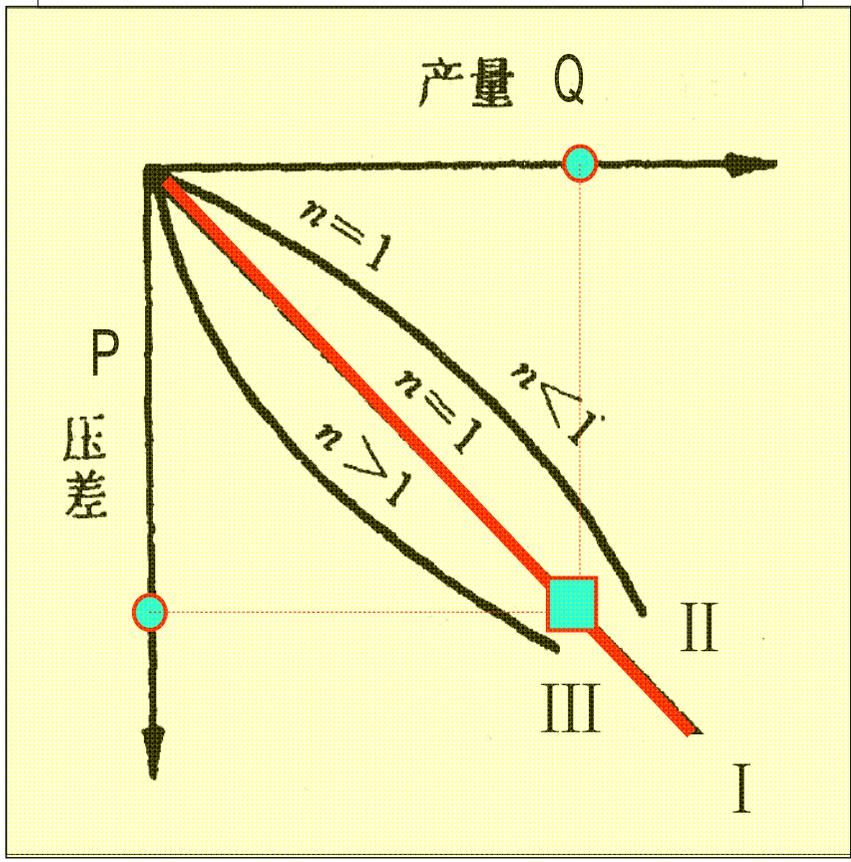
气油比小

含水少

含砂少



油井指示曲线



$$\text{采油指数} = \frac{Q}{p_d - p_i}$$

$$\text{有效渗透率 } K = \frac{Q\mu B_o \ln \frac{R_G}{R_J}}{2\pi h \Delta p}$$

参数含义

$$Q = C(p_d - p_j)^n = C(\Delta p)^n$$

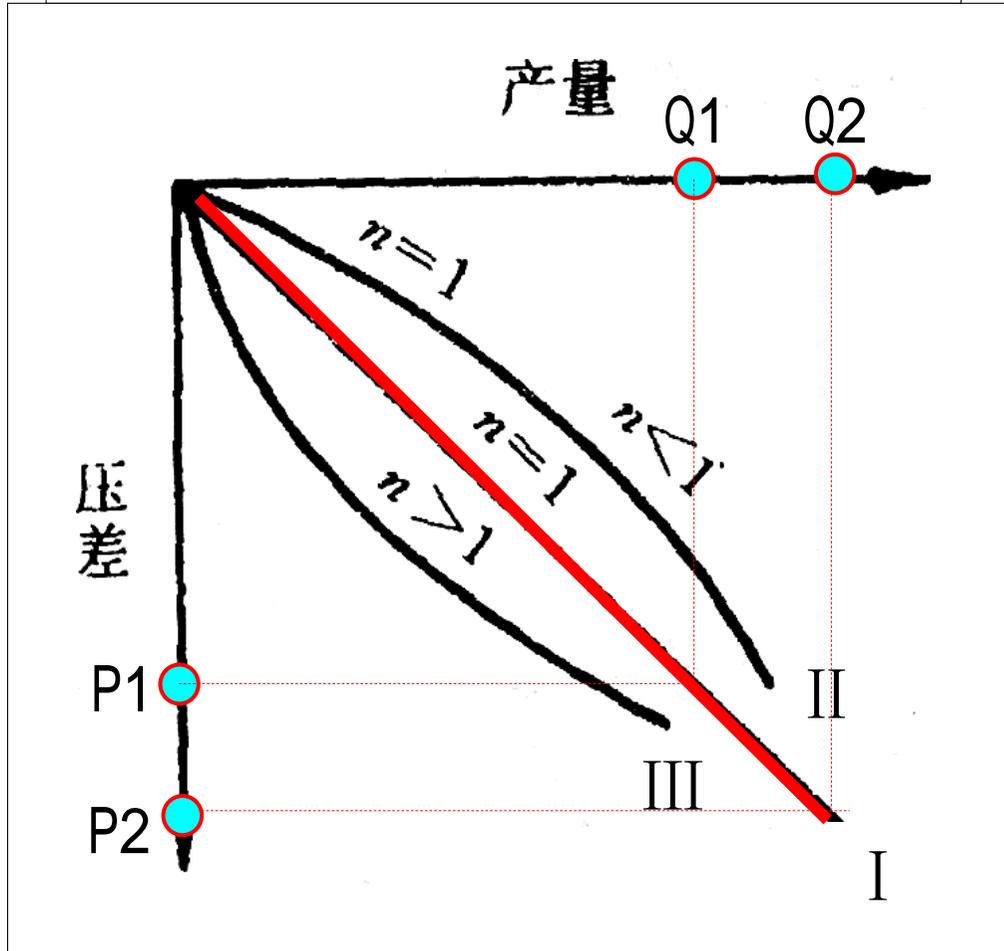
→ 生产压差

- 式中 Q——油井产量 t/d;
- p_j ——稳定的井底流动压力, MPa;
- p_d ——目前地层压力(或为原始地层压力), MPa;
- C——油流系数;
- n——渗流特征指数。

- 式中 K——油层有效渗透率, μm^2 ;
- Q——油井日产量, t/d;
- μ ——地下原油粘度, $\text{mPa}\cdot\text{s}$;
- B_o ——原油体积系数;
- R_J ——井半径, cm;
- R_G ——产能供给边界半径, cm;
- h——产层厚度, cm;
- Δp ——生产压差, MPa。



油井指示曲线



采油指数

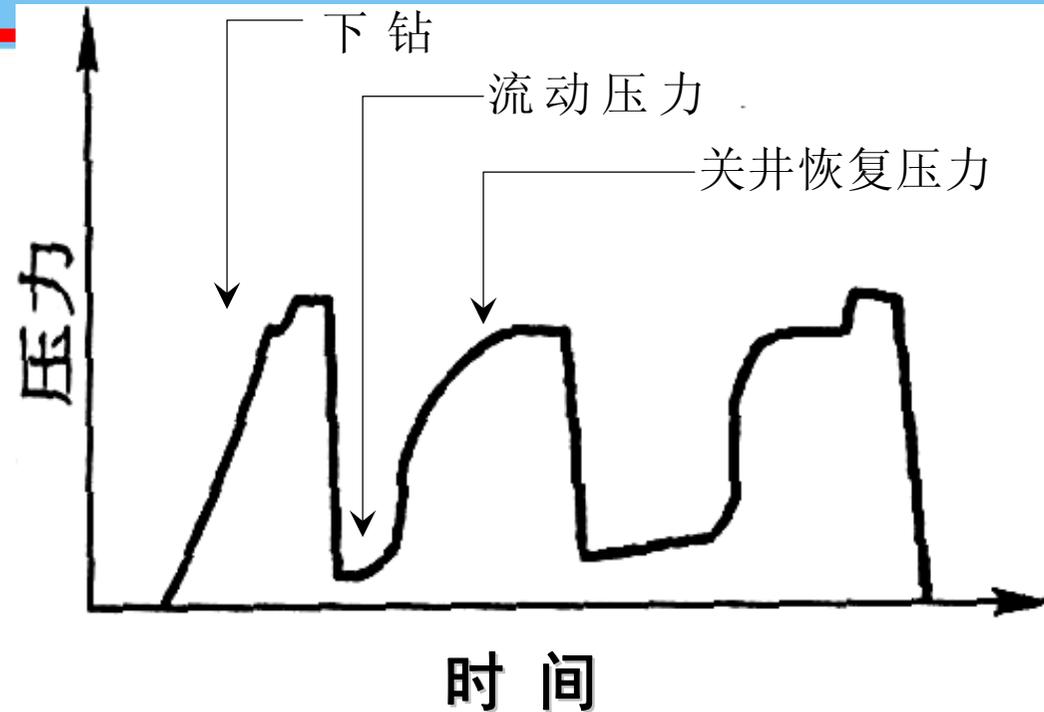
($n=1$)的斜率

$$\text{tga} = \frac{Q_2 - Q_1}{\Delta p_2 - \Delta p_1}$$



不稳定试井

•是广泛采用一种方法。井底压力在改变油嘴时随时间的变化，是地层特性和流体性质的函数，如流动系数、渗透率、地层压力、地层边界、储量丰度等。



钻井过程中以寻找油层为目的DST测试

完井试油用于油层油藏评价的测试

针对油藏分析的干扰和脉冲试井

针对层间关系的垂向干扰和脉冲试井

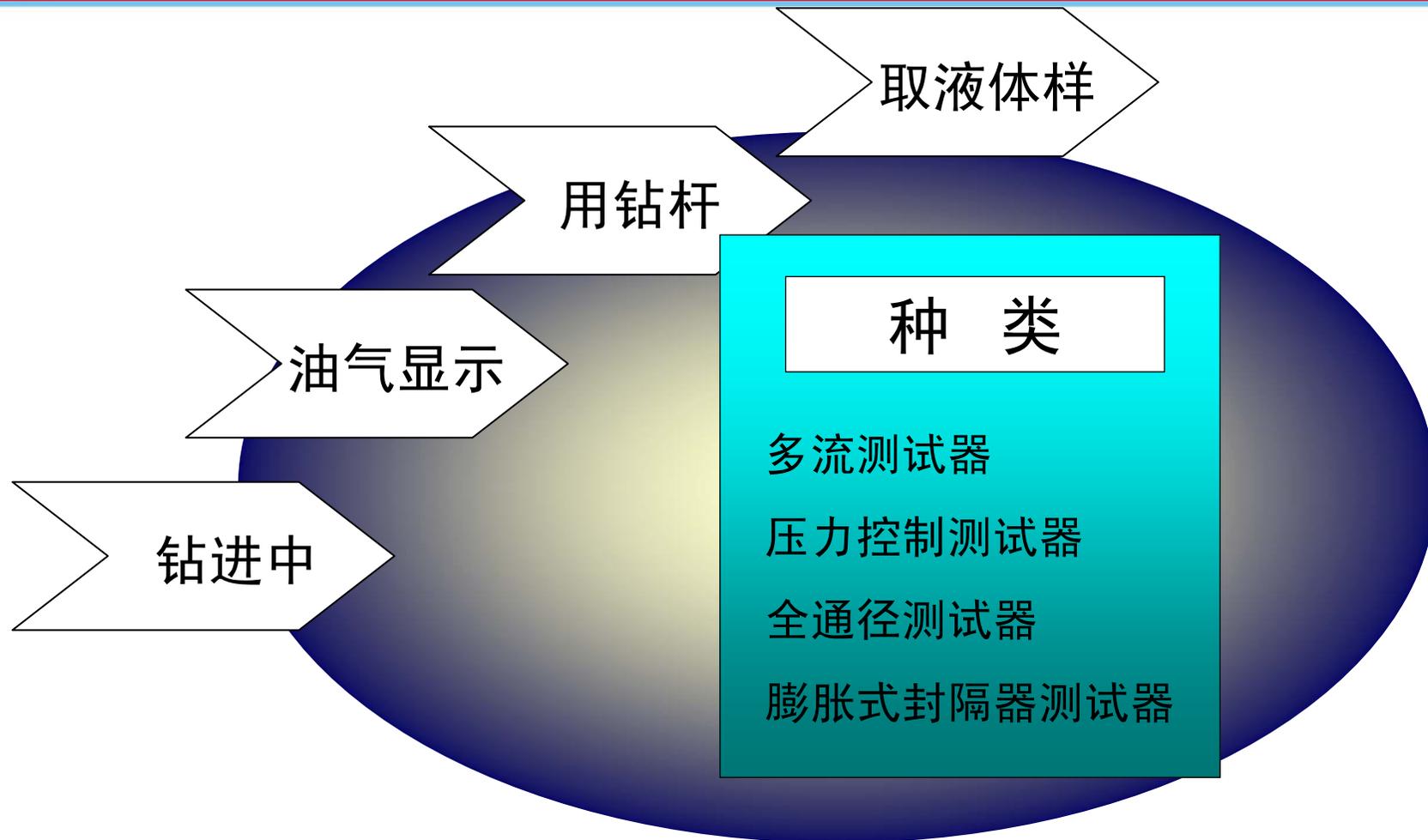
评价酸化压裂效果的措施前后测试





钻柱测试技术

也称钻杆测试或DST测试 (Drill Stem Testing)，是在钻进中对油气显示层段不进行完井而用钻杆和测试工具，通过地层测试工作检测目的层是否含油气，抽取液体样品测取压力等特性资料，以便及时准确地对产层进行经济和技术评价。





①

地层有效渗透率

②

储层的孔隙结构性质

③

原始地层压力

④

不渗透边界的大致形状及最近边界的距离

⑤

表明井底受污染情况的表皮系数

⑥

油井的流动效率(FF)地层的污染系数(DI)
或堵塞比(DR)

⑦

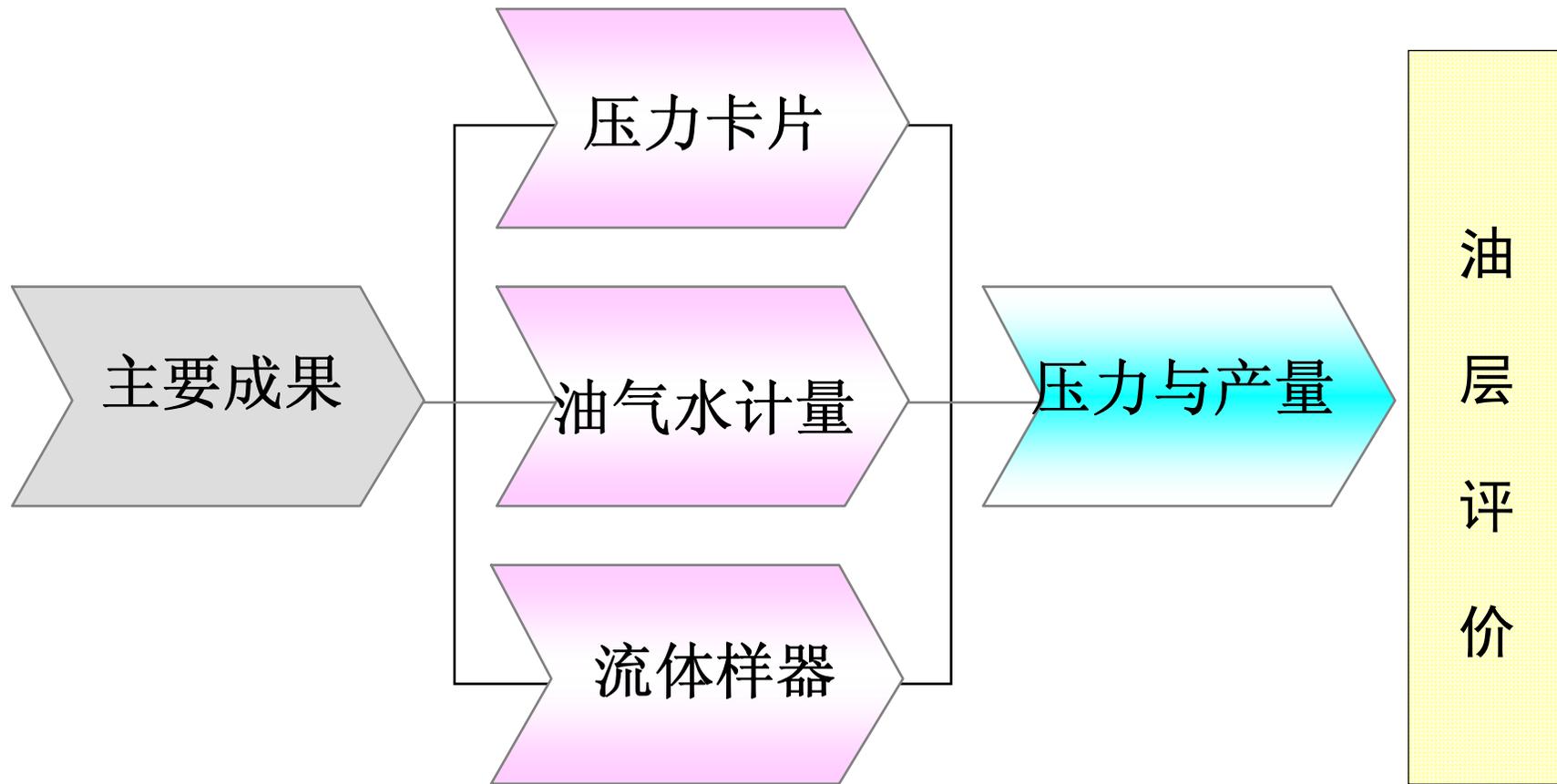
措施效果的评价

⑧

油井控制的动储量

资料

钻杆测试可以获取的
资料和信息8类



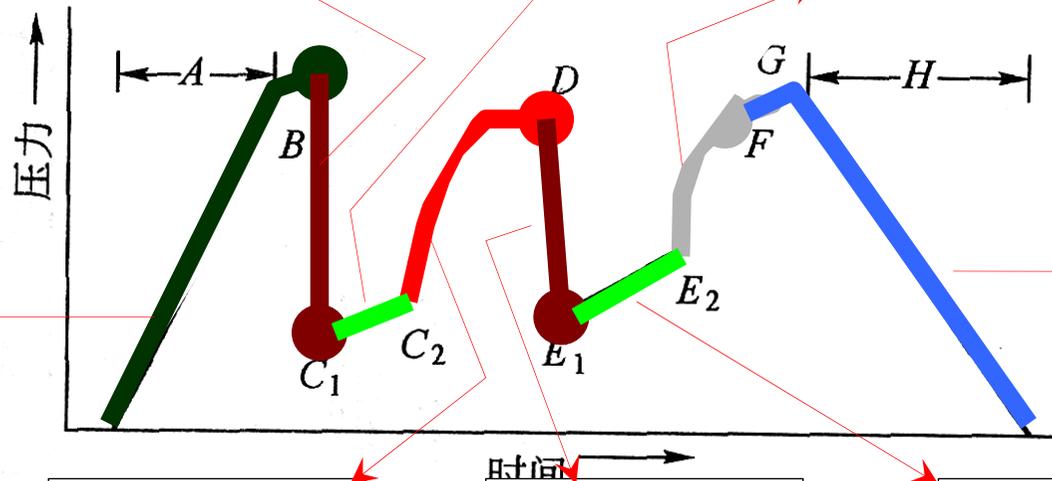


打开测试器，被测试层段处的压力急速下降，直到C点，应与空钻杆内的大气压力接近。

从C1点开始，流体将不断地从地层通过筛管进入钻杆，在此期间压力逐渐上升，初流动结束时压力为C2

终流动结束前取样器取到终流动时的流体样品。终关井后压力恢复，终关井压力为F。

A段表示随工具下井深度增加而增加的钻井液静液柱，压力工具下到井底后，静液柱压力达到最大



测试器关闭，提松封隔器，使压力恢复到静液柱压力G。在G点后将测试器起出，压力逐渐降低直到起至地面，整个测试过程至此结束。

开始初关井压力恢复，初关井压力为D。如果关井时间足够长，D点压力将是地层静压力(通常不会达到地层静压力)

二次开井后，压力迅速下降，终流动开始压力为E1，应和C1近似相同。

从该点开始，流体将从地层流入钻杆，压力上升，该段最大压力为终流动结束压力E2



危險

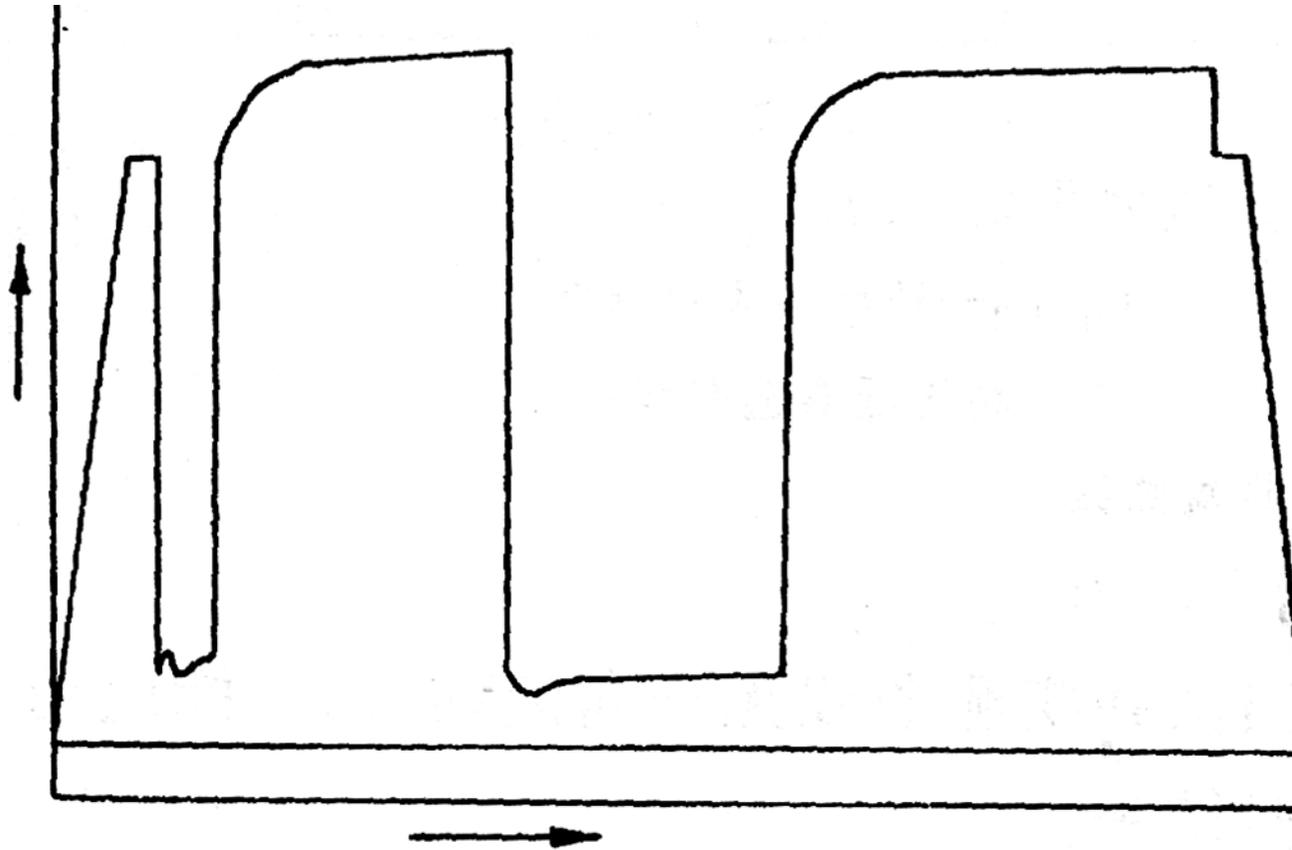


图 2-20 地层压力大于钻井液液柱静压的测试

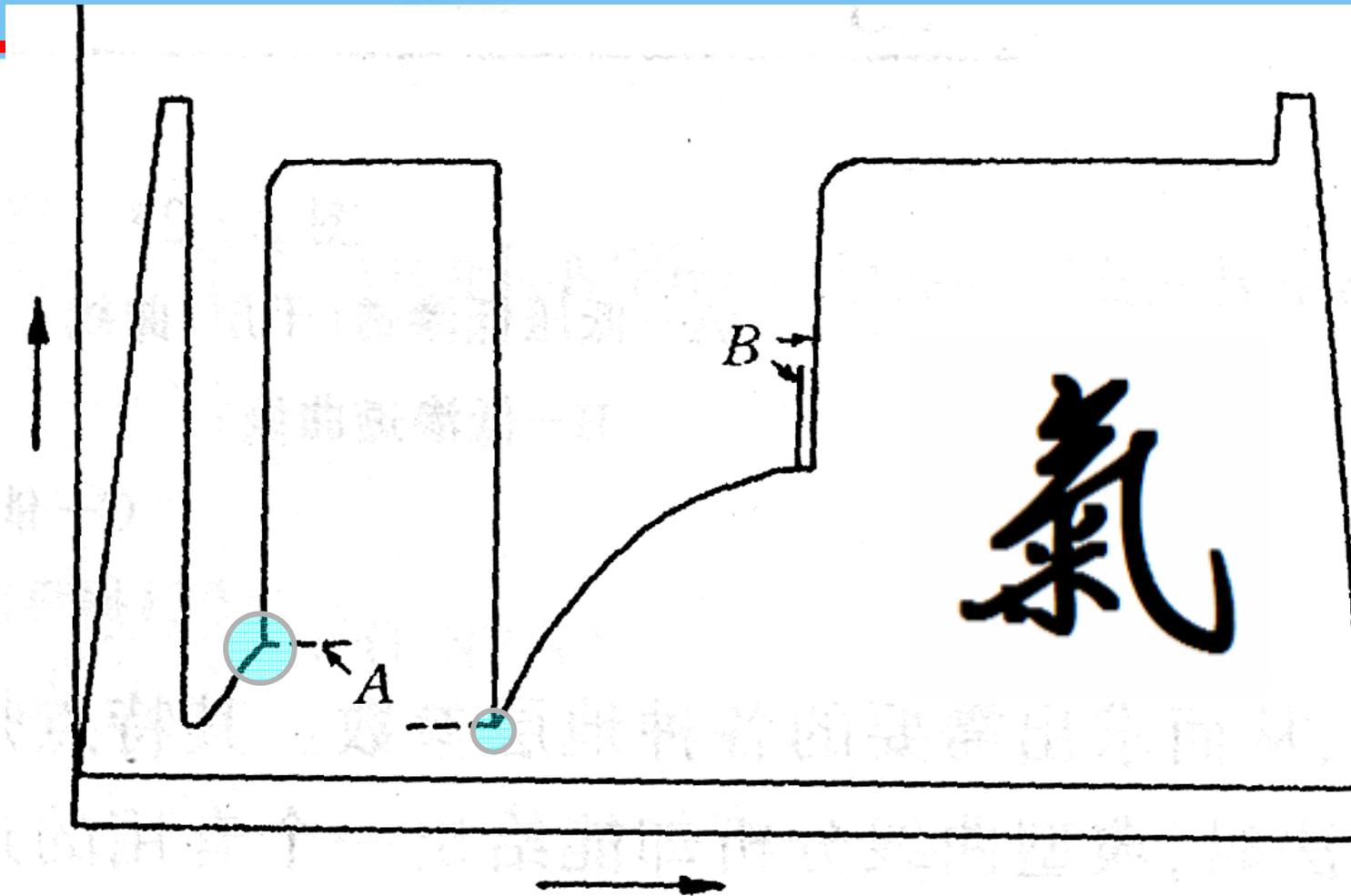


图 2-21 高产天然气流的测试卡片



油气到达地面，流压稳定

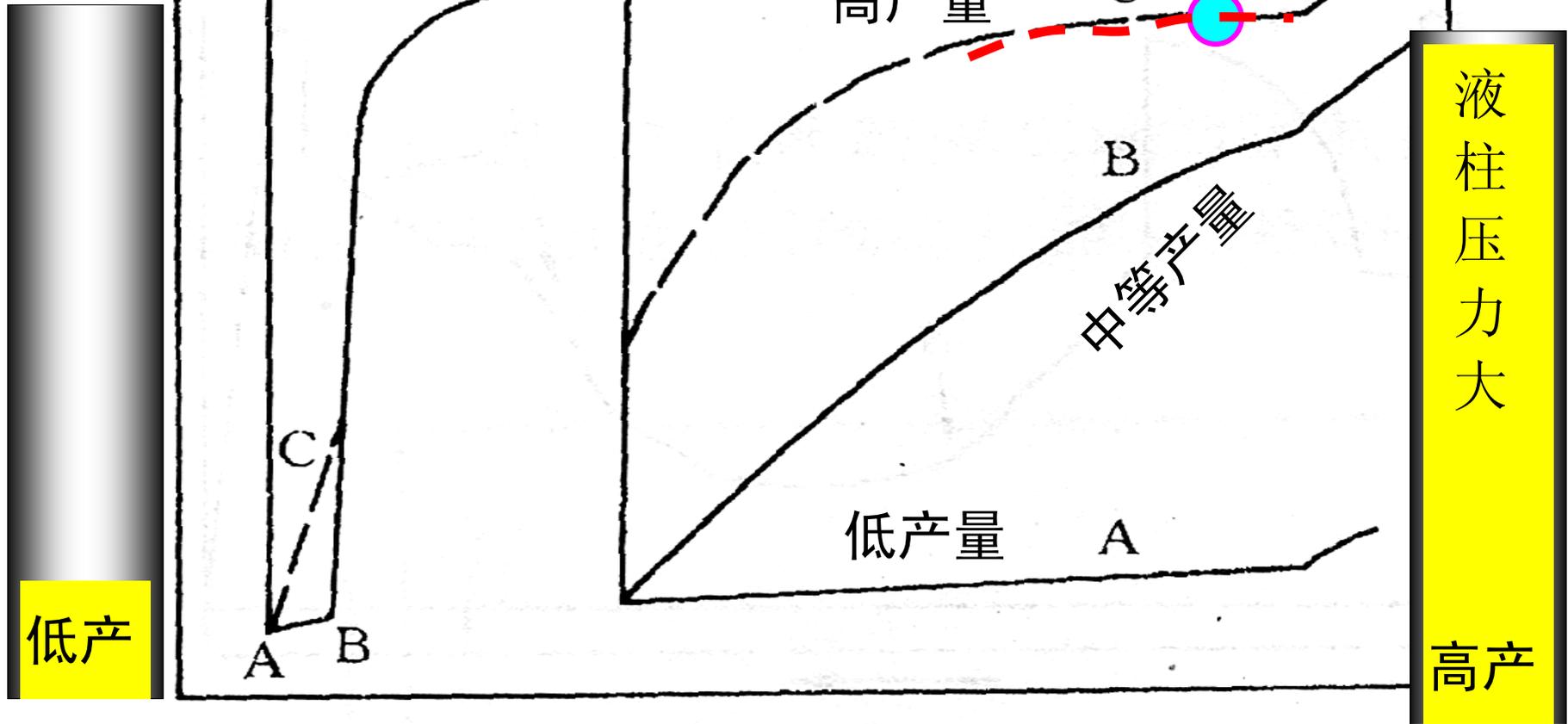


图 2-22 终流动压力曲线(一)

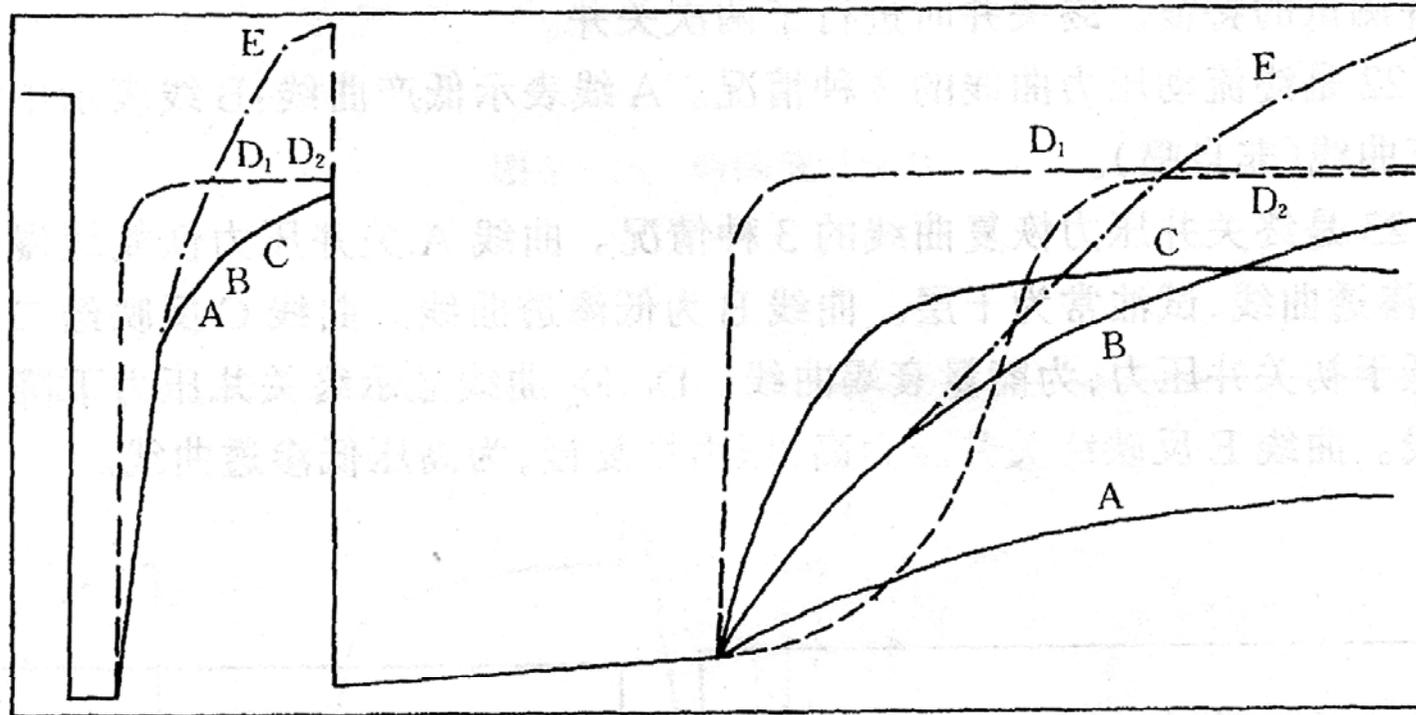


图 2-23 终关井压力曲线(二)

A—低压低渗透(干层)曲线

D₁、D₂—地层污染堵塞曲线

B—低渗透曲线；

E—高压低渗透曲线；

C—能量衰竭曲线



油气水计量

如果油气到达地面

油、水产量是钻柱测试应取的主要资料之一。若测试井的液体能自喷到地面时，通过油嘴和分离器的控制，确定油水产量。

油气没到达地面

油

$$Q = \frac{H}{t} \cdot V_u \cdot 1440$$

式中Q=液体产量(地面), m³ / d;

H=液面高度m;

V_u=单位长度钻杆(钻铤)的容积, m³ / m;

t=流动时间, min。



测试层产气量较小时，可使用垫圈流量计，测试范围从几十到几千立方米。



一般使用孔板流量计气体经过孔板时，流速增加，当气流速度小于临界速度时，孔板前后的压差越大，流经孔板的气量越大，所以测定孔板前后的压降就能算出气量。

氣

一体化孔板流量计



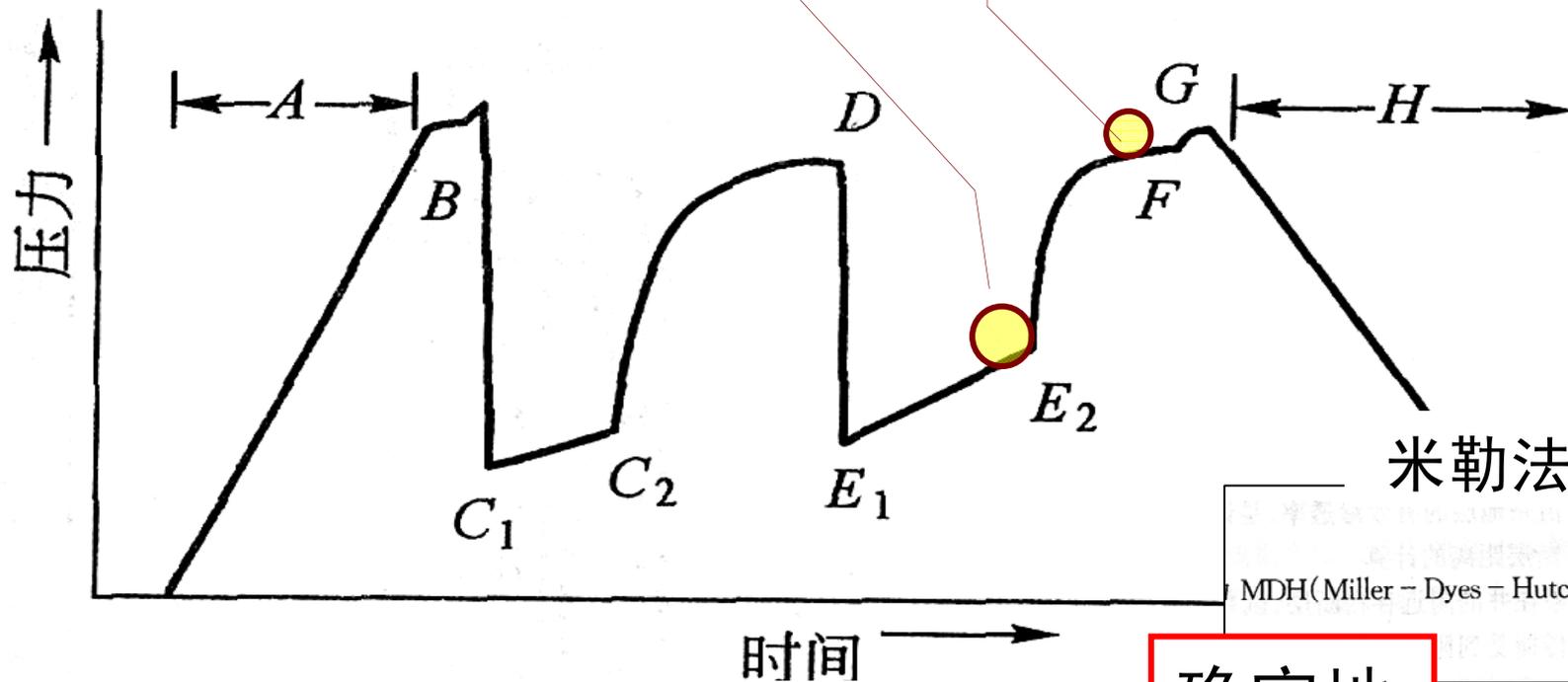


$$p_{wf} = p_i - m \cdot \left(\log \frac{8.0853Kt}{\phi\mu_o C_t r_w^2} + 0.87S \right)$$

$$m = \frac{2.12 \times 10^{-3} Q_o \mu_o B_o}{Kh\rho_o}$$

$$C_t = C_o S_{oi} + C_w S_{wi} + C_f$$

$$p_{ws} = p_{wf} + m \left(\log \frac{8.0853K\Delta t}{\phi\mu_o C_t r_w^2} + 0.87S \right)$$



式中 p_{ws} —— 井底恢复压力, MPa;
 Δt —— 关闭测试阀的压力恢复时间, h;

确定地层参数



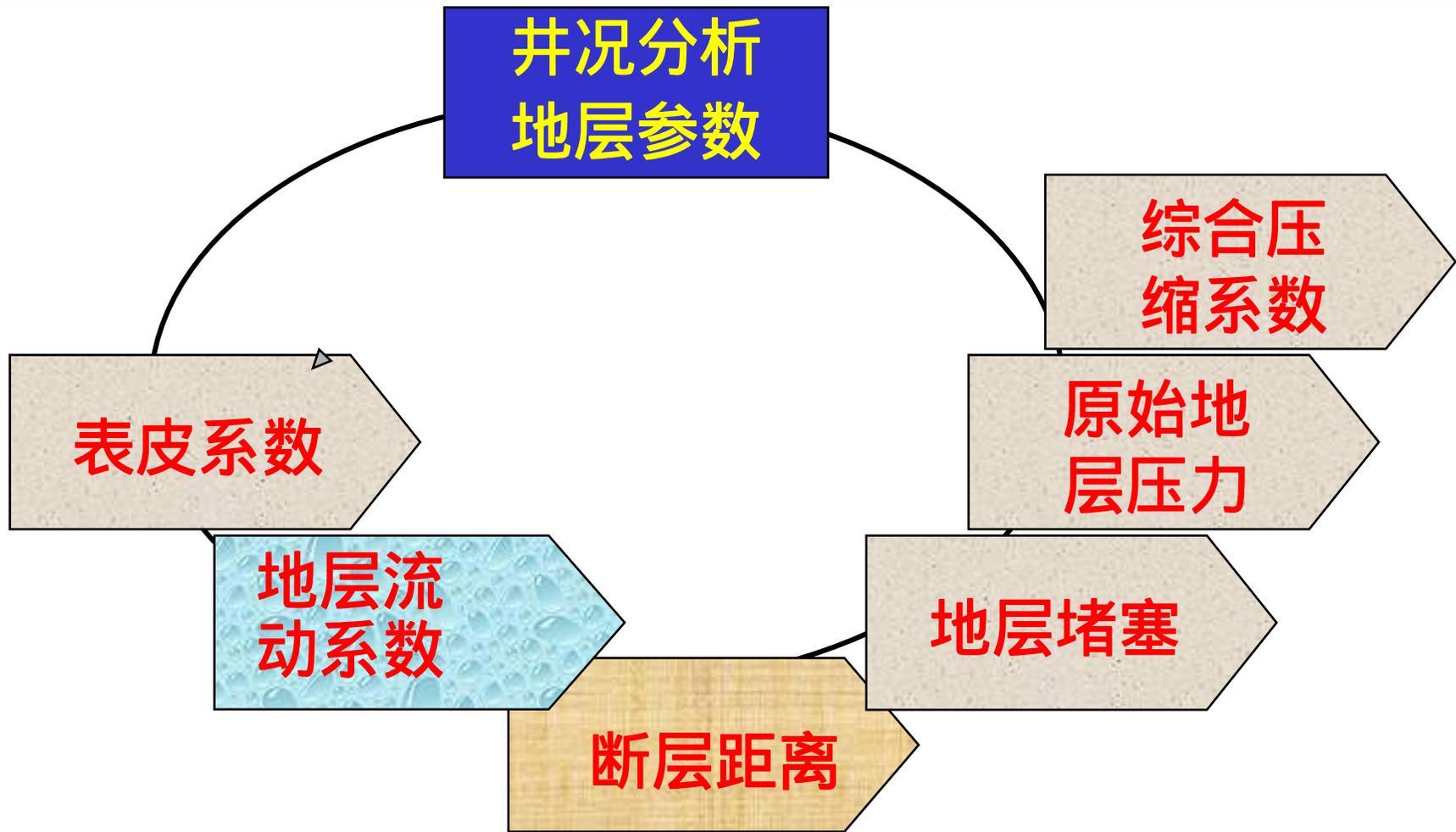
米勒法

$$p_{wf} = p_i - m \cdot \left(\log \frac{8.0853 K t}{\phi \mu_o C_t r_w^2} + 0.87 S \right)$$

$$m = \frac{2.12 \times 10^{-3} Q_o \mu_o B_o}{K h \rho_o}$$

$$C_t = C_o S_{oi} + C_w S_{wi} + C_f$$

- 式中 p_{wf} ——井底流动压力或 DST 的终流压,MPa;
 p_i ——原始地层压力,MPa;
 m ——压力曲线直线段的斜率,MPa/cycle;
 K ——地层有效渗透率, μm^2 ;
 t ——打开阀后的生产流动时间,h;
 ϕ ——地层有效孔隙度,小数;
 μ_o ——地层原油粘度,mPa·s;
 C_t ——综合压缩系数,MPa⁻¹;
 r_w ——井底半径,m;
 S ——表皮系数;
 Q_o ——流动阶段的折算产油量,t/d;
 B_o ——地层原油体积系数;
 h ——地层有效厚度,m;
 ρ_o ——地面脱气原油密度,t/m³;
 C_o ——地层原油压缩系数,MPa⁻¹;
 C_w ——地层水压缩系数,MPa⁻¹;
 C_f ——地层岩石压缩系数,MPa⁻¹;
 S_{oi} ——地层原始含油饱和度,小数;
 S_{wi} ——地层束缚水饱和度,小数;





表皮系数（井附加阻力系统）的计算公式

$$S = 1.15 \left[\frac{p_i - p_{wf}}{m} - \left(\log \frac{Kt}{\phi \mu_o C_t r_w^2} + 0.908 \right) \right]$$

表皮系统描述了井
如果S的值大于1，
➤该系数值越大，
✓如果S等于1，说
✓如果s值小于1，
应当指出后面的这
的

式中 p_{wf} ——井底流动压力或 DST 的终流压,MPa;
 p_i ——原始地层压力,MPa;
 m ——压力曲线直线段的斜率,MPa/cycle;
 K ——地层有效渗透率, μm^2 ;
 t ——打开阀后的生产流动时间,h;
 ϕ ——地层有效孔隙度,小数;
 μ_o ——地层原油粘度,mPa·s;
 C_t ——综合压缩系数,MPa⁻¹;
 r_w ——井底半径,m;
 S ——表皮系数;
 Q_o ——流动阶段的折算产油量,t/d;
 B_o ——地层原油体积系数;
 h ——地层有效厚度,m;
 ρ_o ——地面脱气原油密度,t/m³;
 C_o ——地层原油压缩系数,MPa⁻¹;
 C_w ——地层水压缩系数,MPa⁻¹;
 C_f ——地层岩石压缩系数,MPa⁻¹;
 S_{oi} ——地层原始含油饱和度,小数;
 S_{wi} ——地层束缚水饱和度,小数;

情况。
污染，

到改善。
出现





地层流动系数的计算公式

$$\frac{Kh}{\mu_o} = \frac{2.12 \times 10^{-3} Q_o B_o}{m \rho_o}$$

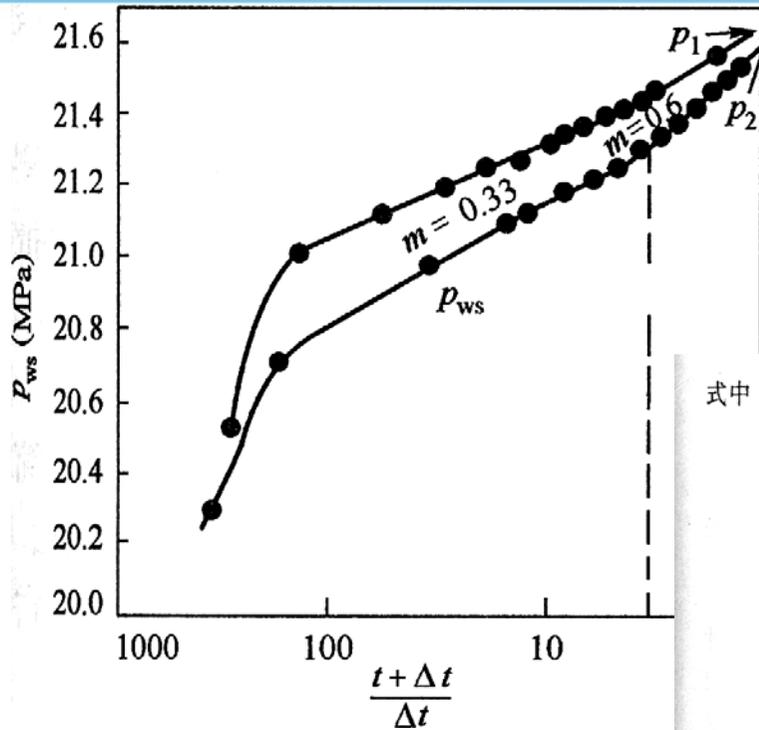
地层流动系数的大小
 + 在测得地层原油的
 来, Kh称为地层系
 + 在得知地层的有效
 K值是地层的有效渗
 能力的最重要的参

- 式中 p_{wf} ——井底流动压力或 DST 的终流压,MPa;
 p_i ——原始地层压力,MPa;
 m ——压力曲线直线段的斜率,MPa/cycle;
 K ——地层有效渗透率, μm^2 ;
 t ——打开阀后的生产流动时间,h;
 ϕ ——地层有效孔隙度,小数;
 μ_o ——地层原油粘度,mPa·s;
 C_i ——综合压缩系数, MPa^{-1} ;
 r_w ——井底半径,m;
 S ——表皮系数;
 Q_o ——流动阶段的折算产油量,t/d;
 B_o ——地层原油体积系数;
 h ——地层有效厚度,m;
 ρ_o ——地面脱气原油密度, t/m^3 ;
 C_o ——地层原油压缩系数, MPa^{-1} ;
 C_w ——地层水压缩系数, MPa^{-1} ;
 C_f ——地层岩石压缩系数, MPa^{-1} ;
 S_{oi} ——地层原始含油饱和度,小数;
 S_{wi} ——地层束缚水饱和度,小数;

]参数。
 出
 出来。
 通过



断层或岩性尖灭距离计算公式



$$L_b = 1.422 \sqrt{\frac{K \Delta t_b}{\phi \mu_o C_t}}$$

- 式中
- p_{wf} ——井底流动压力或 DST 的终流压,MPa;
 - p_i ——原始地层压力,MPa;
 - m ——压力曲线直线段的斜率,MPa/cycle;
 - K ——地层有效渗透率, μm^2 ;
 - t ——打开阀后的生产流动时间,h;
 - ϕ ——地层有效孔隙度,小数;
 - μ_o ——地层原油粘度,mPa·s;
 - C_t ——综合压缩系数, MPa^{-1} ;
 - r_w ——井底半径,m;
 - S ——表皮系数;
 - Q_o ——流动阶段的折算产油量,t/d;
 - B_o ——地层原油体积系数;
 - h ——地层有效厚度,m;
 - ρ_o ——地面脱气原油密度, t/m^3 ;
 - C_o ——地层原油压缩系数, MPa^{-1} ;
 - C_w ——地层水压缩系数, MPa^{-1} ;
 - C_f ——地层岩石压缩系数, MPa^{-1} ;
 - S_{oi} ——地层原始含油饱和度,小数;
 - S_{wi} ——地层束缚水饱和度,小数;



如果在井的附近存在断层
将会发生上翘现象，这就
上翘直线段的，斜率要比

的直线段
挡。一般
左右



地层堵塞或损伤分析

$$DR = DF = \frac{p^* - p_{wf}}{m \left(\log \frac{Kt}{\phi \mu_o C_t r_w^2} + 0.908 \right)}$$

应用DST测试资料也可以对钻井
 伤或是否堵塞的情况进行分析。

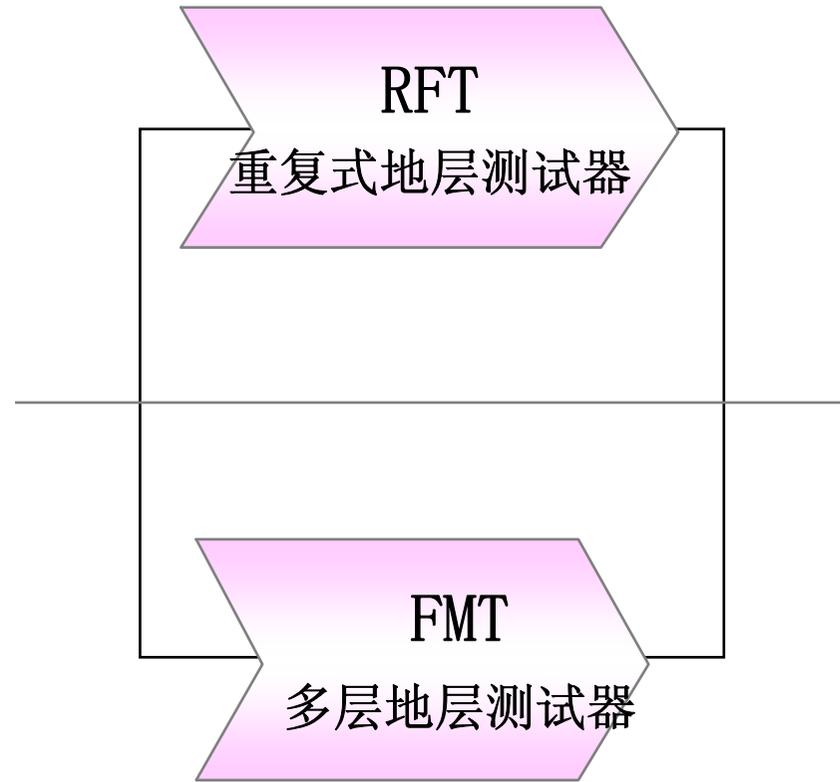
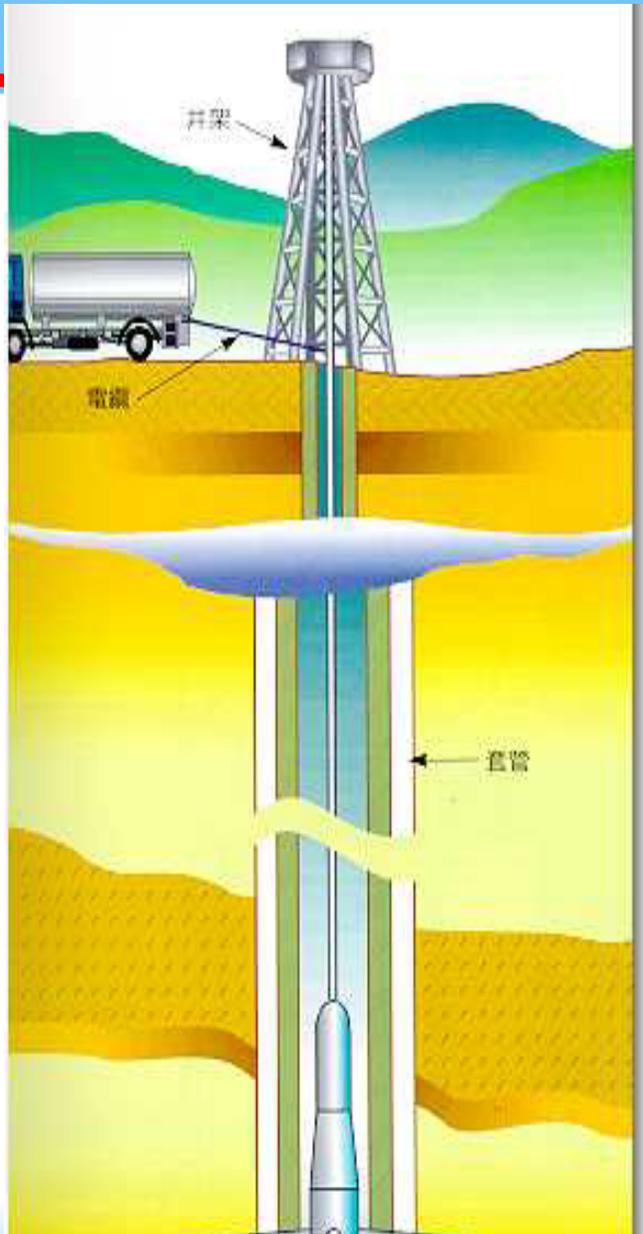
◇ 堵塞或损伤的程度用堵塞比DI
 DF (Damage Factor) 来表示。

◇ 使用该式进行计算所得到的值
 伤的程度越大，

◇ 其值近于1时，说明地层未受

- 式中
- p_{wf} ——井底流动压力或 DST 的终流压, MPa;
 - p_i ——原始地层压力, MPa;
 - m ——压力曲线直线段的斜率, MPa/cycle;
 - K ——地层有效渗透率, μm^2 ;
 - t ——打开阀后的生产流动时间, h;
 - ϕ ——地层有效孔隙度, 小数;
 - μ_o ——地层原油粘度, $\text{mPa}\cdot\text{s}$;
 - C_t ——综合压缩系数, MPa^{-1} ;
 - r_w ——井底半径, m;
 - S ——表皮系数;
 - Q_o ——流动阶段的折算产油量, t/d;
 - B_o ——地层原油体积系数;
 - h ——地层有效厚度, m;
 - ρ_o ——地面脱气原油密度, t/m^3 ;
 - C_o ——地层原油压缩系数, MPa^{-1} ;
 - C_w ——地层水压缩系数, MPa^{-1} ;
 - C_f ——地层岩石压缩系数, MPa^{-1} ;
 - S_{oi} ——地层原始含油饱和度, 小数;
 - S_{wi} ——地层束缚水饱和度, 小数;

损





第三节 试油





探井钻井中和完井后，为取得油气储层压力、产量、流体性质等所有特性参数，满足储量计算和提交要求的整套资料录取和分析处理解释的全部工作过程。

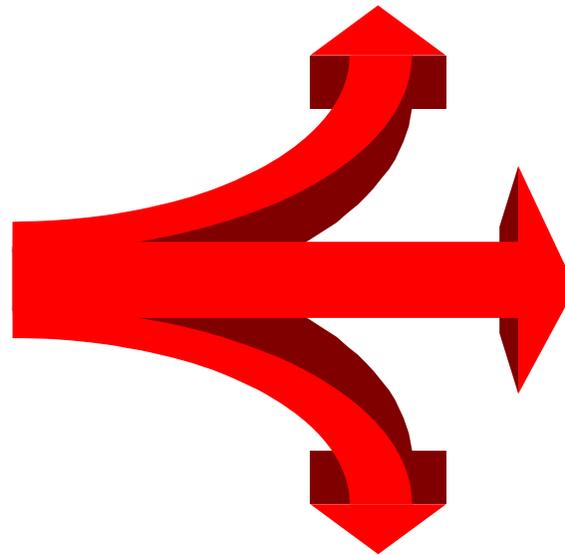
地震和地质综合研究是提供钻探井位的依据，钻井、地质录井、测井为发现一个构造或圈闭是否有油气藏提供了间接信息

试油（气）是寻找油气田，直接了解地下情况的最直接手段，是最终确定一个构造或一个圈闭是否有油气藏存在和油气藏是否具备开采价值的依据，是油气勘探取得成果的关键，同时也是为开发提供可靠数据依据的重要环节。



试油（气）技术包括通洗井、压井与射孔液、射孔、地层测试、诱喷与排液、求产与地面分离计量、油气层封隔和措施改造及资料分析处理解释等一系列单项技术

常规试油
地层测试
增产措施



试井
修井
完井
试采
解释
评价



发展简史

- **20世纪70年代末期**以前基本仿照苏联的试油工艺方法，习惯上称为常规试油。一般通过射孔、替喷、诱喷等多种方式，使地层中的流体（包括油、气和水）进入井筒，流出地面。诱导油流的一整套工艺过程将取得地层流体的性质、各种流体的产量、地层压力及流体流动过程中的压力变化等资料，并通过对这些资料的分析 and 处理获得地层的各种物性参数，对地层进行评价。
- **20世纪70年代末期**以后，引进了以地层测试和测试资料处理解释软件为主的，同时包括油管传输负压射孔、试油油气水三相分离计量系统、电缆桥塞封隔等一系列技术。地层测试和测试资料处理解释技术能直接取得或计算出地层和流体特性参数，并且可以从动态角度，直接录取油气藏生产状态下的参数。针对中国油气藏地质条件，将这些技术与常规试油方法相结合，经过多年试油（气）生产实践，基本形成了符合中国实际情况的试油（气）工程——科学试油（气）系统工程。



试油设计

试油（气）设计编写的依据：

- (1) 试油（气）地质目的和试油（气）层基本情况；
- (2) 试油（气）工艺要求；
- (3) 试油（气）井筒条件；
- (4) 技术装备状况；
- (5) 相关法规标准。

试油（气）设计的原则：

- (1) 达到地质目的和要求；
- (2) 安全环保无事故；
- (3) 资料数据准确可靠；
- (4) 试油测试简单易行，快速经济；
- (5) 保护好油气层及井筒。



试油（气）设计所需基本数据：

- (1) 钻井及井筒基本数据；
- (2) 油（气）层基本数据；
- (3) 钻井液使用情况；
- (4) 定向井数据；
- (5) 试油井井身结构图；
- (6) 试油层位；
- (7) 井内复杂情况；
- (8) 地质简介。



试油（气）地质设计

提供油气井基本地质情况，明确试油（气）目的和资料录取要求，提出射孔、测试、诱喷、求产的工艺建议的指导性文件。其编写依据是试油（气）地质方案、钻井完井基本数据及有关标准和规范。

基本内容包括：（1）基本地质情况；（2）钻井及井筒基本数据；（3）油（气）层基本数据；（4）试油层序及要求；（5）试油（气）目的；（6）分层产能、压力、流体性质预测及地质要求；（7）试油资料录取；（8）试油（气）方式和工艺建议。

试油（气）地质设计应充分体现其目的和要求，并为试油（气）工程设计、试油（气）施工设计提供依据。



不同类别的井具有试油目的和要求

参数井 落实油气层段的产能、流体性质，以便发现油气流，尽快打开新区的油气勘探局面，为区域含油气远景的早期评价提供资料依据。

预探井 证实主要含油气层系的产能、流体性质，以便发现油气层，查明油气层位置及其工业价值，为提交预测储量和控制储量提供资料依据。

评价井 查明油、气、水层的分布规律，产能变化特征，地层压力变化趋势，掌握油气藏的驱动类型，探明油气边界，圈定含油气面积，为计算控制储量和探明储量提供资料依据。



试油（气）工艺设计

依据试油（气）地质设计提供的数据、要求和建议，通过参数计算，优选并确定合理的试油（气）工艺的指导性文件。

主要内容包括：（1）**设计依据。**根据油气井地质、工程基本情况和石油行业与试油工作相关的法律、法规及标准，提出试油（气）工艺和技术要求，达到试油（气）地质目的的要求，为制定试油（气）工艺和计算工艺参数提供科学依据，并指导施工设计和现场施工。（2）**试油（气）工艺及参数计算与选择：**射孔、诱喷、排液、洗井、求产、压井、封层及封井工艺的确定，套管柱强度计算，井内管柱变形、强度计算；（3）**试油工序；**（4）**试油设备及仪器仪表；**（5）**试油工具；**（6）**试油器材；**（7）**试油主要管柱图；**（8）**试油地面流程图；**（9）**试油周期；**（10）**试油健康安全环保。**

试油（气）工程设计要充分考虑试油目的和要求、井筒状况、邻区邻井试油情况、设备能力、工艺发展及技术进步要求。



试油（气）施工设计

依据试油（气）地质设计、试油（气）工程设计和相关标准制定的详细施工步骤、操作要求、材料明细、录取资料的具体措施、井控设计和试油健康安全环保的指导性文件，是现场施工的依据。

试油（气）施工设计应明确各工序的工艺要求、操作步骤、施工要求及标准和试油健康安全环保措施等。

试油（气）施工设计的变更（修改）应随试油（气）地质设计、试油（气）工程设计的变更（修改）而同时变更（修改）。



试油地面流程

根据试油（气）工艺和安全规程要求绘制的地面流程安装示意图。是试油（气）工程设计中的附图，也是连接地面流程设备的执行依据。

主要内容包括：井口控制头（采油树），安全阀，地面计量油嘴管汇，压井管汇，地面加热器，试油三相分离器（试油两相分离器），计量罐，储液罐，压井液罐，油、气、水进出口管线，防喷管线。海上试油平台还包括试油（气）用燃烧臂，试油（气）用燃烧器，点火装置，喷淋系统，污水、污油回收、处理及安全环保控制系统等。



试油工序

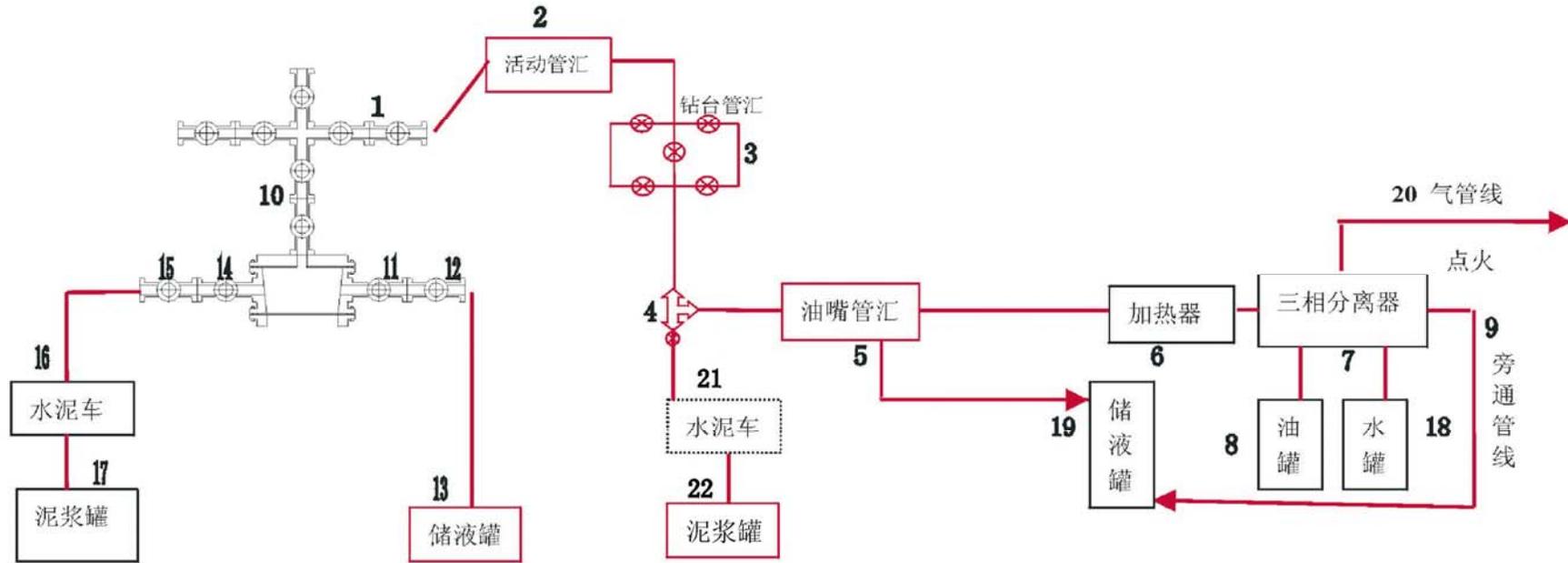


图3 典型的试油地面流程示意图

试油生产流程：10-1-2-3-4-5-6-7、8（18、20）或9-19；

放喷排污流程：10-1-2-3-4-5-19；

反循环压井流程：17-16-15-14-10-1-2-3-4-5-19；

正循环压井流程：22-21-4-3-2-1-10-11-12-13



试油工序

试油作业工艺步骤的先后顺序安排。是施工有序推进的依据，各工序均有明确的任务和目标要求。

正常试油井的主要工序安排为：

- (1) 开工准备；
- (2) 通井；
- (3) 洗井；
- (4) 试压；
- (5) 射孔；
- (6) 诱喷；
- (7) 地层测试；
- (8) 求产；
- (9) 油气水分析；
- (10) 试油（气）层封隔；
- (11) 试油封井。

不同的试油井包含的试油（气）工艺、试油（气）工序不尽相同。



试油（气）工艺

- 利用专门的设备，取得地层液性、产能、压力、温度等资料的方法。通常把试油工艺中每一相对独立、完整的实施步骤称为试油工序。
- 一口试油（气）井相对完整的试油工序包括：试油（气）准备，通井，洗井，试压，射孔、诱喷、地层测试、求产、油气水取样、油气水分析、试油（气）层封隔和试油封井等。
- 试油（气）工艺按试油时间分为钻井中途测试、完井试油（气）；按有无套管分为裸眼井试油、套管井试油；按斜度分为直井试油、定向井试油和水平井试油。
- 试油（气）工艺选择要针对不同的井筒条件、地层情况、地质工程目的，选择不同的措施与方法，满足试油健康安全环保、资料录取的要求，应遵循先进、适用、经济、配套的原则。



通井

用专门的工具验证套管径向尺寸变化及完好程度的作业。通常用钻杆或油管带通井规下入井内探人工井底，清除套管内壁上黏附的固体物质，如钢渣、毛刺、固井残留的水泥等，检查套管是否有影响试油工具通过的弯曲和变形，检查固井后形成的人工井底是否满足试油要求，调整井内的压井液，使之符合射孔排液要求。

通井作业一般是在井筒内需要下入较大直径的井下工具之前进行的。无论是射孔完井或裸眼完井，试油作业之前必须用通井规通井。射孔完成的井通井至人工井底，裸眼、筛管完成的井用通井规通至套管鞋以上10~15m，然后用油管带相同外径的喇叭口或笔尖通至人工井底。

通井规一般规定外径应介于套管最小内径的6~8mm之间。采用裸眼完成或下筛管、尾管完成的井，应根据不同套管或井眼内径选择适当的通井工具分段通井。若有特殊要求，如试油期间需要下入直径较大或长度大的工具，应选择与下井工具相适应的通井工具，长通井规一般选用薄壁材质加工。

通井过程中下钻应平稳操作，注意悬重变化，避免猛提猛放，通井规下至设计深度后应立即起出，禁止将通井规长时间停放在井内，以防卡钻。通井过程中，若中途遇阻或井底沉砂，应采用与井内性质相同的压井液循环洗井后再逐步下入。



洗井

使用泵注设备，利用洗井液，通过井内管柱建立管柱内外循环、清除井内污物的作业。目的是落实试油产出流体的类型、数量，对油井进行循环脱气、降温、清洗井筒内杂物等。

洗井所用的主要设备有试油用泵车、橇装式柱塞泵。分为正洗井和反洗井2种方式。正洗井是洗井液从油管进入，从油套环形空间返出；反洗井是洗井液从油套环形空间进入，从油管返出。

洗井时，将油管下至设计所定的位置，用清水（或选用合适的洗井液）进行循环洗井。洗井液的用量不少于井筒容积的1.5~2倍，排量大于500L/min，将井内污物及沉淀物清洗干净，达到进、出口液性一致，机械杂质含量小于0.2%。同时，应密切注意进出口液性及压力的变化情况，计量好进出口液量，对漏失较严重的井一般在洗井前或洗井时采取堵漏措施。



射孔

利用专用设备，建立地层到井筒内的连通孔道，促使地层流体进入井内的工艺过程。分为射孔弹射孔、水力射孔。

射孔弹射孔 根据传送射孔枪方式的不同分为电缆传输射孔和油管传输射孔。电缆传输射孔是用电缆下带定位仪器和射孔枪，对目的层进行射孔的方法；油管传输射孔是用油管将射孔枪送到射孔目的层，对目的层进行射孔的方法。20世纪60-70年代，一般使用正压射孔方法，射孔弹为带弹架58-65型射孔弹、文革弹、文胜弹，带枪身只有57-103型，射孔效率均较低，进入20世纪80年代后基本停用。从1979年开始，引进推广使用过油管射孔，开辟了负压射孔新途径。最初使用无枪身铝壳弹、胶木壳弹，试用过陶瓷、玻璃壳弹等，逐渐发展为有枪的“51型”过油管射孔枪，由于射孔弹在枪内排列只能是一个方向或两个方向，穿透效率低，射孔后枪身极易变形，很难再下入 $\Phi 73\text{mm}$ 油管，常发生拉断电缆、枪身落井事故，在80年代后期就很少使用了，但在特殊情况下，仍然是一种有用的射孔工艺。80年代后期，普遍采用油管传输射孔。根据套管尺寸和需要，可选用73枪、89枪、102枪、127枪等。



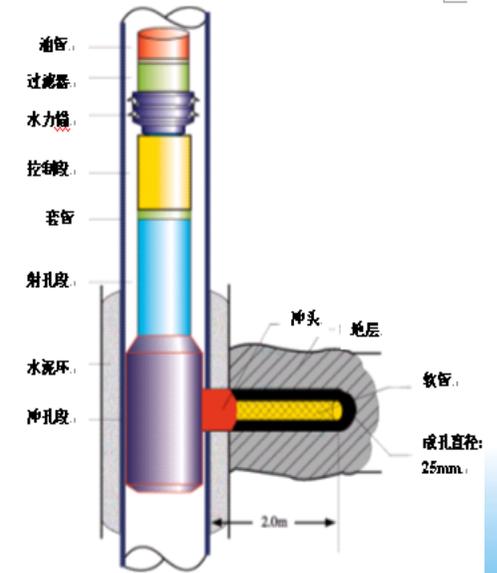
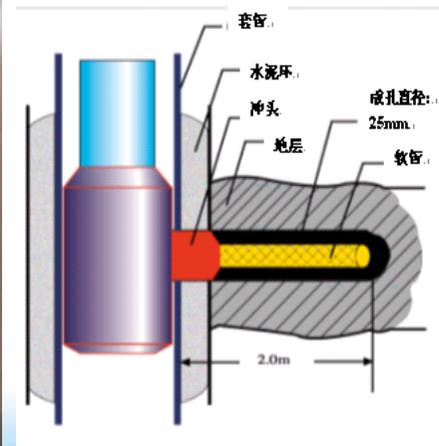
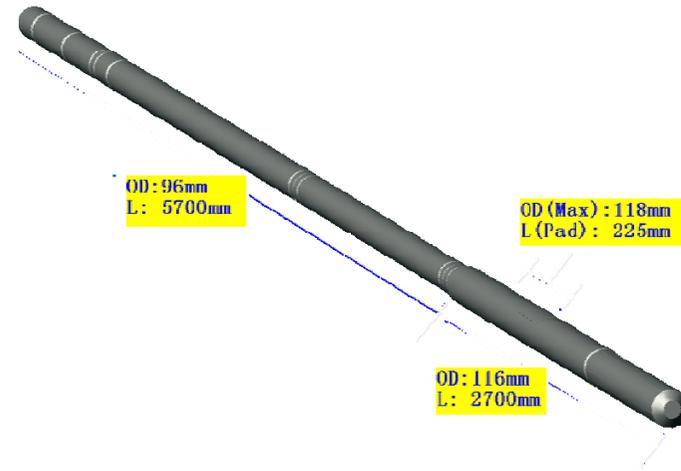
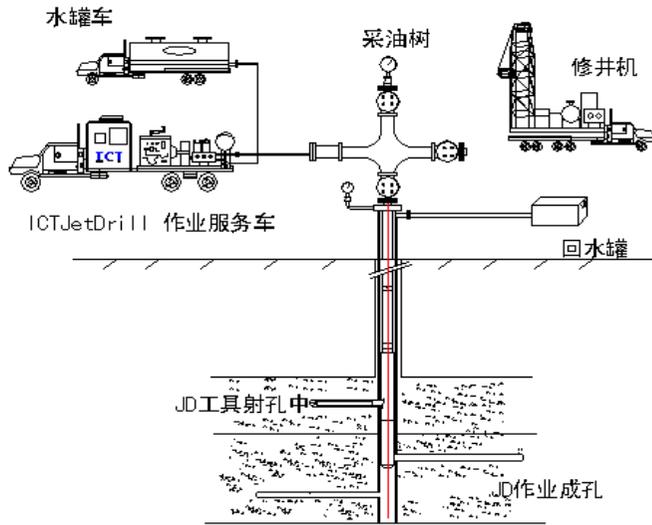
水力射孔 20世纪60年代，水力射孔技术就已经得到了应用，但受当时技术条件所限，其应用数量和范围非常小。到20世纪80年代，水力射孔的特殊优势引起人们的重视，加上技术的进步，水力射孔又重新被应用于现场。主要有高压水力射孔和水力喷射射孔。

高压水力射孔通过地面高压供给设备，将水或特殊液体以大于70MPa以上的压力从喷嘴喷出，利用高压水射流的强大冲击力，将套管和目的层冲蚀成孔，从而提高油井产量。它可在地层中冲蚀深度大于2m的孔道，孔眼直径可达20~30mm。

水力喷射射孔作为一种特殊的射孔工艺，各油田曾探讨实验过。在 $\Phi 140\text{mm}$ 套管内，3-5min可喷射穿孔，但由于工艺较复杂，极少使用。美国ICT公司研制的喷射射孔装置，用30min时间，一次可喷射 $\Phi 25\text{mm}$ 深3m的孔眼一个，对低渗透层和薄油层将有一定的使用前景。



第四部分 试油工艺





替喷

用密度较小的液体（一般为清水或清洁原油）逐步替出井内密度较大的压井液、使井底液柱压力小于油（气）藏压力，诱导油气从油气层流入井内、再喷出地面的技术措施。分为一次替喷和二次替喷。替喷的方式可采用正循环亦可采用反循环，为使井底压差较小不致造成井漏，应采用正循环替喷。在井不漏的情况下，为了更好地携带井下脏物、清洁井底，宜采用反循环。无论采用哪种方式，替喷过程中都要大排量连续进行，中途不停泵。

替喷能够缓慢均匀地建立井底压差，不致因骤然建立大压差而引起井壁坍塌和油层大量出砂；缺点是压差较小，诱导油流的能力较差。



诱喷

采用人工方法降低井内液柱的压力，使井筒液柱压力低于地层压力，诱导地层流体进入井筒或喷出地面的作业。降低井筒内液柱压力的方法分为二种：一是用密度较小液体置换井筒内密度较大的液体，通常称为替喷；二是通过提捞、抽吸、气举、混气水排液、液氮排液、泵排等方式将井筒内的液体排出，以降低液柱的压力，通常称为排液。

诱喷的强度要根据油层套管和油气层的情况严格控制，如套管的抗外挤强度，油层岩石的胶结情况，底水油层以及油气层的速敏反应等。



求产

在油气勘探中，通过各种工艺技术和方法求取地层产能、流体性质、压力、温度等资料的过程。一口井油气产量的大小，是衡量其生产能力高低的主要标志，是评价储层价值的主要参数，是计算储量、确定开采方案的重要依据。

单井产量的大小主要受地层渗流能力和井筒流动能力制约（储层能量充足时），而井筒流动能力主要受流体摩阻、流体性质（黏度、凝固点）和冲蚀速度极限值制约，地层渗流能力受地层条件下流体黏度、渗透率、产层厚度及生产压差制约。由此可见，要想增产就需设法改善以上诸因素，如加大管径、降低黏度、改善渗透性等。可通过不同工作制度调整生产压差来控制 and 调整单井产量。

地层压力是评价油层能量的主要指标，是地层流体流入井内的动力，是钻井、试油、修井工程设计的重要参数，是试油过程中选择井控设备、压井液、放喷流程的主要依据，也是储量计算的重要参数。利用压力恢复数据可求地层参数。

油气层产能是指在某一生产压差下的产量，它能比较准确地反映油气井生产能力，产量随着生产压差的增大而提高。



非自喷井求产

经诱喷后，对靠地层自身能量不能使地层流体流至地面的井的求产。通常，根据地层物理性质、液体性质、供流体能力以及井筒条件、现场条件等情况决定采用何种求产方法。常用的方法有测液面求产、抽汲求产、气举求产、水力泵排液求产、机械泵举升求产等。

测液面求产 一般对于地层供液能力差的储层，采用气举或混气水等方法将液面降至要求掏空深度范围内，然后采用测液面配合洗井及井底取样、测压的方法确定流体性质及产能。（1）产量计算。降低液面后在液面恢复过程中，下入压力记录仪连续测液面恢复（或间隔一定的时间测点），根据压力上升值计算日产液量。（2）确定液量及液性。测液面后，洗出井内所出液体，计量油水量并取样分析。若地层产量低，则利用井下取样器取水样，确定地层水水性。

抽汲求产 按地层供液能力的大小定深度、定时间、定次数进行抽汲，使动液面始终保持一定深度，连续求得一定时间的油水稳定产量。

气举求产 将管柱完成至试油层以上某一深度，采用定深、定时、定压气举，将井筒液体举出地面，求得油层产液量。气举周期由试油层供液能力确定。连续求得一定时间的油水稳定产量。



水力泵排液求产 有水力活塞泵和水力喷射泵排液求产两种。常用的是水力喷射泵排液求产，其原理是从进口打入高压动力液，通过喷嘴、喉管及扩散管时，在喷嘴与喉管处形成一个负压区，从而吸入并携带地层液体，经出口返出地面，进行分离和计量。泵压和排量越高，产生负压越大，相应地层产量就越高。由于水力泵排液求产时地层液体与地面动力液混合产出，所以地层水样品不能直接在地面取到。当地层产液达到一定量后，在水力泵芯下部带上取样器进行取样。水力泵排液时，通常在水力泵芯下部装有压力记录仪，记录整个排液过程中的流动压力和温度情况，可计算出生产压差，判断井下异常情况等信息。与其他非自喷井求产方法相比，水力泵排液求产能够实现连续、深排，井筒液面可以降至3000m，可形成较大的生产压差，提高产量。对于稠油井，可以加热动力液或在动力液内加入降黏剂、降凝剂等，对稠油储层求产。适用于地层压力较低的稠油井、低压漏失井或措施改造后需要连续大量排液的试油层排液求产。

机械泵举升求产 利用机械泵将井内液体排至地面进行分离并计量的方法。常用的机械泵有NAVI（纳维）泵、螺杆泵、抽油泵、电潜泵等。其中纳维泵和螺杆泵适用于物性较好、供液能力较强的低压高产地层求产，可以泵排相对密度较大、黏度较高或带有较多固相的液体。



自喷井求产

靠地层自身能量使地层流体流至地面的井进行的求产。
通常采用分离器在不同的工作制度下分别求取油、气、水产量。
分为气产量求产和油水产量求产。

气产量求产 利用专用计量器具，测出天然气瞬间流量再换算成标准状态（中国规定标准状态为温度 20°C 和压力 760mm Hg ）下的日产气量。常用的测量工具有孔板式垫圈流量计、临界速度流量计及数字流量计。若采用三相分离器，则气量可直接读出。

油水产量求产 根据油井自喷能力，选择合适的油嘴求产。两相分离器求产，需测出游离水（自然状态下和油分离的地层水）和乳化水（自然状态下不能和油分离的水）的量，其中游离水的量一般用计量罐计量，乳化水是现场做含水化验取得的，分别求得油量和水量。若用三相分离器则从仪表直接读取油气水量。



暂闭封井

试油工作结束后，对近期暂不具备生产条件井的封闭。

暂闭封井可采取注水泥塞、下桥塞、填砂等方式完成。是在油层套管水泥返深以下、射孔井段顶部以上50~100m注水泥塞，厚度不小于50m，并在距井口50~100m之间，再注一个水泥塞。起出井内全部管柱，卸掉采油树，装简易井口，井口砌一个梯形水泥台并标明井号、封井日期以及施工单位。

最上部已试层顶部的水泥塞必须通过加压和负压两种方法验证合格。

在敏感地区可根据需要在水泥台外采取其他的加固措施。

海上暂闭封井保留井口，必须装航标灯、保护桩，经检验合格并报海监备案。



永久封井

试油工作结束后，对无利用价值或特殊需要井作报废处理的封闭。

在油层套管的水泥返深以下、射孔井段顶部以上50~100m间注水泥塞，厚度不小于50m，并在距井口50~100m之间，再注一个水泥塞。

对有套管回接、悬挂或套管破损的井，应在套管回接、悬挂或套管破损处以上50~100m增加一个水泥塞并验证合格。

最上部已试层顶部的水泥塞必须通过加压和负压两种方法验证合格。

对无利用价值或特殊需要的废弃井，需采取管外防窜处理、取套管、割井口，在地面彻底清除并恢复地貌。



试油装备

- 井控设备，试油井架，通井机，修井机，试油用水泥车，防喷器，井控管汇，地层测试设备及仪表，试油两相分离器，试油油气水三相分离计量系统，计量罐，储液罐，地面直读测试装置，校深射孔一体化装置等。
- 完成作业：
 - 起下作业。如钻杆、油管及井下工具的起下；
 - 液体泵注循环作业。如压裂、酸化、防砂、冲砂、洗井、注水泥塞等；
 - 旋转作业。如钻水泥塞、钻桥塞等；
 - 测试作业。如测压、求产、数据采集分析等。