

# SY

## 中华人民共和国石油天然气行业标准

SY/T 5782—93

---

### 砂岩透镜体岩性油藏储量计算细则

1993-09-09发布

1994-03-01实施

---

中国石油天然气总公司 发布

## 砂岩透镜体岩性油藏储量计算细则

## 1 主题内容与适用范围

本标准规定了砂岩透镜体岩性油藏的石油储量分级、分类和计算方法。  
本标准适用于陆上砂岩透镜体岩性油藏的石油储量计算。

## 2 引用标准

GB 269 石油储量规范

SY 5155 油气藏工程常用参数符号及计量单位

## 3 参数符号、代号

- a——年的代号；
- $a_1$ ——压降法压降曲线直线段的截距，MPa；
- $b_1$ ——压降法压降曲线直线段的斜率，MPa/h；
- $B_g$ —— $p$ 压力下天然气的体积系数，无因次量；
- $B_{gi}$ ——原始地层压力下天然气的体积系数，无因次量；
- $B_{ig}$ ——注入气的体积系数，无因次量；
- $B_o$ —— $p$ 压力下的原油体积系数，无因次量；
- $B_{oi}$ ——原始地层压力下原油体积系数，无因次量；
- $B_{o1}$ 、 $B_{o2}$ ——地层压力 $p_{R1}$ 、 $p_{R2}$ 下相应的原油体积系数，无因次量；
- $B_w$ ——注入水的体积系数，无因次量；
- $C_e$ ——地层水和岩石的总压缩系数， $\text{MPa}^{-1}$ ；
- $C_f$ ——地层岩石压缩系数， $\text{MPa}^{-1}$ ；
- $C_o$ ——地层原油压缩系数， $\text{MPa}^{-1}$ ；
- $C_{to}$ ——油藏的总压缩系数， $\text{MPa}^{-1}$ ；
- $C_w$ ——地层水压缩系数， $\text{MPa}^{-1}$ ；
- $D$ ——递减率， $\text{mon}^{-1}$ ；或 $\text{a}^{-1}$ ；
- $G_i$ ——累积注气量， $\text{m}^3$ ；
- $G_p$ ——累积产气量， $\text{m}^3$ ；
- $K$ ——地层有效渗透率， $10^{-3}\mu\text{m}^2$ ；
- $L_b$ ——含油边界距测试井的垂直距离，m；
- $m$ ——在地层条件下，气顶气储量与含油区油储量之比；
- $m_o$ ——油井压力恢复曲线直线段斜率，MPa/cycle；
- mon——月的代号；
- $N$ ——石油地质储量， $\text{m}^3$ ；
- $N_p$ ——油藏累积产油量， $\text{m}^3$ ；

- $p_b$ ——饱和压力, MPa;  
 $p_i$ ——原始地层压力, MPa;  
 $p_R$ ——压降法的地层压力, MPa;  
 $p_{wf}$ ——井底流动压力, MPa;  
 $q_o$ ——油井稳定产量,  $m^3/d$ ;  
 $q_i$ ——油井初产量,  $m^3/d$ ;  
 $q_1, q_2$ ——地层压力  $p_{R1}, p_{R2}$  下相应的油井产量,  $m^3/d$ ;  
 $R_i$ ——在  $p$  压力下的溶解气油比  $m^3/m^3$ ;  
 $R_{i1}$ ——在原始压力下的溶解气油比,  $m^3/m^3$ ;  
 $S_{w1}$ ——油层原始含水饱和度,  $f$ ;  
 $S_w$ ——含水饱和度,  $f$ ;  
 $i$ ——测压降曲线拟稳定阶段的开井生产时间,  $h$ ;  
 $\Delta t_b$ ——边界干扰的显示时间,  $h$ ;  
 $\Delta t_p$ ——关井后达到平均地层压力所需的关井时间,  $h$ ;  
 $\mu_o$ ——地层原油粘度,  $mPa \cdot s$ ;  
 $W_e$ ——累积天然水侵量,  $m^3$ ;  
 $W_i$ ——累积注水量,  $m^3$ ;  
 $W_p$ ——累积产水量,  $m^3$ ;  
 $a_o$ ——油井压降曲线拟稳定阶段直线段的截距, MPa;  
 $\beta_o$ ——油井压降曲线拟稳定阶段直线段的斜率  $MPa/h$ ;  
 $\phi$ ——平均有效孔隙度, %。

#### 4 砂岩透镜体岩性油藏的认识

##### 4.1 沉积相判别

沉积相为三角洲前缘、河道砂岩、点砂坝、浊流体等。砂体几何形状为透镜体状、舌状、条带状(见图1)。

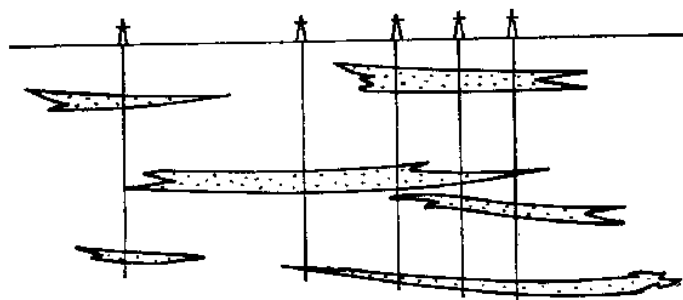


图 1 透镜状岩性油藏分布图

##### 4.2 砂体平面和剖面特征

平面上相变突然, 砂体连通差; 纵向上砂层少而分散; 井间难以对比。

##### 4.3 油、气、水分布

没有统一的油、气、水系统, 有时单砂体自成系统。

#### 4.4 压力系数

油层往往具有较高的压力系数。

### 5 各级储量的勘探程度和地质认识程度

#### 5.1 探明储量

##### 5.1.1 探明储量分类

探明储量按勘探开发程度分为已开发探明储量和基本探明储量二类。

##### 5.1.2 探明储量的勘探程度和地质认识程度

###### 5.1.2.1 已开发探明储量的勘探程度

已开发探明储量的勘探程度编写应符合GBn 269中第5.6条的规定。

###### 5.1.2.2 已开发探明储量的地质认识程度

已开发探明储量的地质认识程度的编写应符合GBn269中第5.6条的规定。

###### 5.1.2.3 基本探明储量的勘探程度

已做地震精查或三维地震,并进行了精细处理解释,对砂体展布作了初步的地震地质学的解释,并提交1比25000的目的层顶(底)面构造图。已钻足够数量的评价井,并开辟试验区解剖储层分布规律。主要油气层至少有一个完整的取心剖面。已确定适合本油田地质特点的测井系列,已能较可靠地判断油、气、水层。

初步解释了油层孔隙度、饱和度、有效厚度等参数,对储层作了粘土矿物分析和三敏试验(三敏为水敏、酸敏、速敏)。已取得油层产能和压力资料,并有一定数量的单层试油资料,已取得用动态法估算储量的试井资料。油井产能在工业油流标准附近的低产油田,必须有部分有代表性的井经过三个月试采,求得稳定产量与其初产量的关系,为编制开发方案提供依据。已取得储层物性参数分析资料及油、气、水性质分析资料 and 高压物性分析资料。

###### 5.1.2.4 基本探明储量的地质认识程度

圈闭条件、构造形态、砂体分布规律、油、水分布特征、油藏类型已基本探明。基本控制含油面积,储量计算参数基本可靠。油井产能、流体性质基本清楚。

#### 5.2 控制储量

##### 5.2.1 控制储量的勘探程度

已做地震详查,并做了必要的精细处理,提交了1比50000邻近储层顶(底)面的地震反射层构造图。已完成预探井和少数评价井钻探;已在油层部位取心,主要油层段有代表性岩心。已有适合本地区地质特点的测井系列,初步解释了孔隙度、饱和度、有效厚度等参数。进行了分层试油,取得了油层产能及压力资料,并对低渗透层进行了压裂改造。已取得油层物性和油、气、水性质及高压物性分析资料。

##### 5.2.2 控制储量的地质认识程度

通过地震、地质综合研究,已初步判别油藏类型;确定了储层岩性、物性以及厚度变化趋势;已了解主要油、气层的产能和流体性质,已取得部分储量计算参数。

#### 5.3 预测储量

##### 5.3.1 预测储量的勘探程度

已做地震详查,提交了1比100000各地震反射层构造图,进行了地震地层学解释,预测了岩性圈闭形态。已钻预探井,并间断取了岩心。已有适当的测井系列,解释了油、气、水层,并进行了钻杆测试或试油。

##### 5.3.2 预测储量的地质认识程度

通过地震或其他方法证实圈闭存在,预探井已获油气流,已明确目的层的层位及岩性,储量参数根据邻区资料类比估计。

## 6 容积法计算储量

### 6.1 含油面积的圈定

#### 6.1.1 岩性含油边界的圈定

应考虑储集层砂体的规模、形状以及本地区的有关统计规律,依据与工业油井相邻的邻井性质,确定岩性含油边界与油井的距离。

6.1.1.1 主要砂体连通,且邻井获低产油流或油水同出(低于工业油流),取从油井到邻井距离的 $2/3 \sim 3/4$ 处划岩性含油边界(有效厚度等零线)。

6.1.1.2 地层对比邻井储层的砂体尖灭为泥岩,或砂层对比好,但为干层,取从油井到邻井距离的 $1/2 \sim 1/3$ 处划岩性含油边界。井距较大时,距离不能超过300m。

#### 6.1.2 无井控制时,岩性含油边界的外推

6.1.2.1 储层为连通性不好(剖面砂岩密度小于30%,平面砂体连接配位数零到1)的条带状和透镜状砂体,由钻遇砂体的油井外推岩性含油边界的距离应不大于其(曲流带或心滩)砂体平均宽度的一半。

6.1.2.2 储层为连通较好(剖面砂岩密度30%~50%,平面砂岩连接配位数为1~2)的条带砂岩和透镜状砂岩,可将外推距离控制在一个单砂体宽度以内。

6.1.2.3 地震资料可靠,能清楚反映砂体边界时,可采用地震反映的砂体边界圈含油面积。

6.1.2.4 新区岩性油藏含油边界,应采用类比方法,参照本区沉积类型、油藏条件相似油田的经验作法进行外推,一般条带状和透镜状砂体的岩性含油边界外推距离不能超过500m。

#### 6.1.3 单井控制小型岩性油藏含油面积边界的圈定

应利用地震横向预测技术及压力恢复曲线推测岩性含油边界位置,并根据本油田(或相邻油田)的开发井资料,结合本井地质条件,测算含油面积。单井圈定的含油面积,一般不应超过 $1\text{km}^2$ 。

#### 6.1.4 利用压力恢复曲线资料判断油藏边界

##### 6.1.4.1 油井附近含油边界性质分析

压力恢复曲线不同直线段斜率的变化反映储层不同的地质特征和边界性质的改变(断层、渗透性、原油粘度的改变等),将所测压力恢复曲线斜率的变化对照典型图版,即可了解储层边界性质。

##### 6.1.4.2 储层从油井至含油边界距离的计算

根据压力恢复曲线中边界发生变化(边界干扰)的显示时间 $\Delta t_b$ 。按式(1)计算储层从油井至含油边界的垂直距离 $L_b$ 。

$$L_b = 3.7947 \times 10^{-2} \sqrt{\frac{K \Delta t_b}{\phi \mu_o C_{v0}}} \quad \dots\dots\dots (1)$$

##### 6.1.4.3 验证

将计算的储层从油井到含油边界的距离,与地质、地球物理方法所得的结果互相验证。

### 6.2 有效厚度的确定

#### 6.2.1 确定有效厚度的步骤

以岩心分析资料及单层试油数据为依据,制定出有效厚度岩性、含油性、物性下限标准,并广泛应用测井资料定性、定量解释方法制定出油、气层的判别标准和夹层扣除标准,最后再应用测井曲线及其解释参数划分油、气层有效厚度。

#### 6.2.2 有效厚度下限标准确定内容

有效厚度下限标准是指有效厚度的岩性、物性、含油性、及测井解释参数下限标准。对砂岩透镜体岩性油藏,应特别注重研究物性下限标准。

#### 6.2.3 有效厚度物性下限确定方法

##### 6.2.3.1 测试法

对原油性质变化不大，单层试油资料较多的油田，绘制每米采油指数与空气渗透率的关系曲线，每米采油指数大于零时所对应的空气渗透率值，即为油层有效厚度的渗透率下限（见图2）。对于单层试油资料不多，原油性质又有差别的地区，绘制每米采油指数和流度（ $K/\mu$ ）的关系曲线，每米采油指数大于零时所对应的流度，即为原油流动的界限，然后再用该地区的地下原油粘度算出有效厚度的渗透率下限。

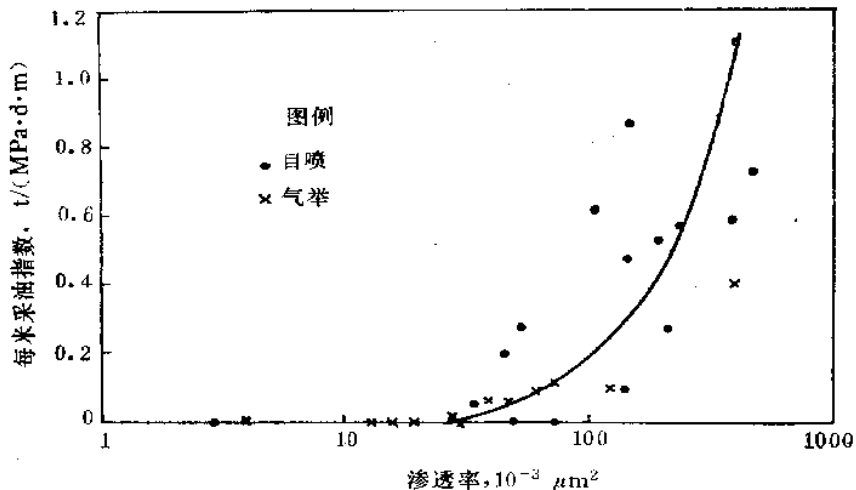


图 2 单位厚度采油指数与渗透率关系曲线

#### 6.2.3.2 经验统计法

绘制全部取心井储层样品分析的渗透率和孔隙度直方图，并在图上画出累积能力丢失分布曲线（见图3、4），累积能力包括渗透率能力和孔隙度能力。渗透率能力指渗透率乘以样品代表的厚度，反映产油能力。孔隙度能力指孔隙度乘以样品代表的厚度，反映储油能力。然后根据具体情况，选择一个产油能力和储油能力丢失的合理界限，与这个界限对应的渗透率值和孔隙度值，即为物性下限值。

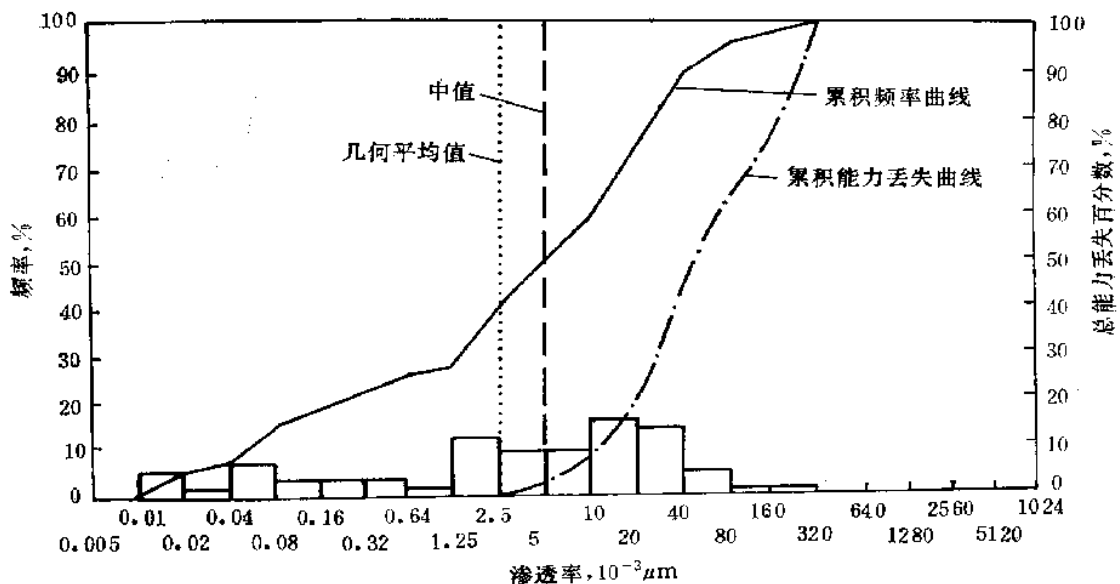


图 3 渗透率直方图

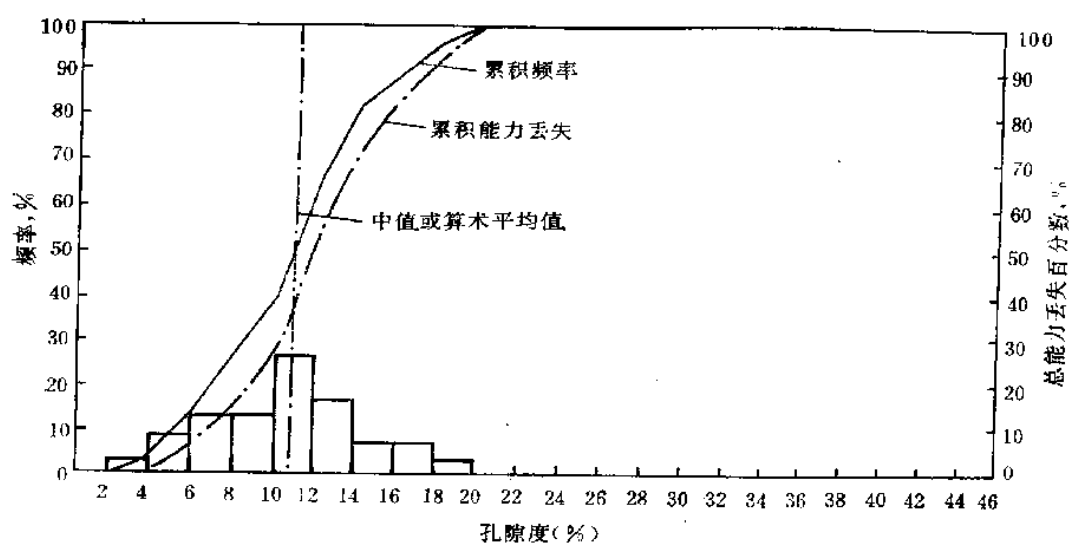


图 4 孔隙度直方图

#### 6.2.3.3 泥浆侵入法

在储层渗透率（或孔隙度）与含油饱和度有相关关系的油田，利用水基泥浆钻井取心测定的含水饱和度和渗透率（或孔隙度）关系曲线上的拐点所对应的渗透率（或孔隙度），可作为泥浆水进入岩心，原油开始流动的物性下限（见图5）。

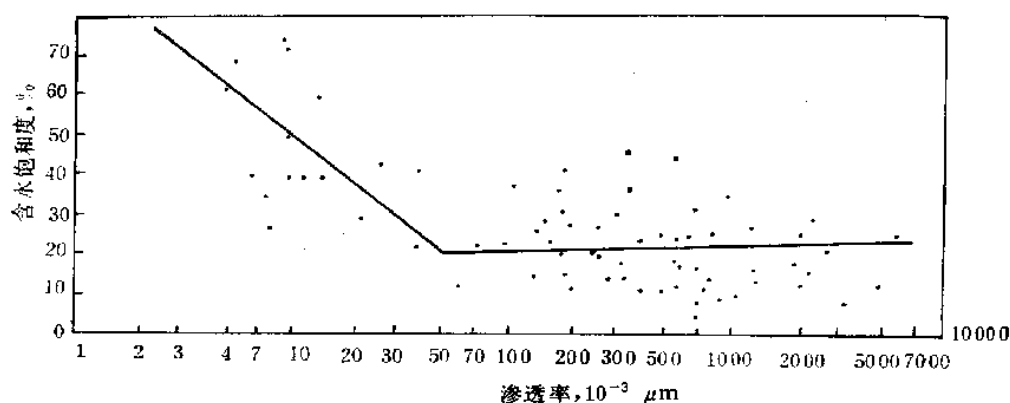


图 5 泥浆侵入法确定渗透率下限图

#### 6.2.3.4 含油产状法

选择一定数量不同含油产状和物性的单层进行试油，搞清岩性、物性、含油产状和产油能力的关系，确定含油产状和物性的出油下限。由于多种因素影响，含油级别定名是不严格的。有效产油层与非有效层界限处，有效层样品与非有效层样品常有交叉，需要用数理统计方法统计其物性界限。当有效层丢失和非有效层混入界限以内的样品块数达到平衡时，该界限成立。为了消除人为的取样密度不同的影响，对样品先要进行密度折合，使样品块数能代表地下有效层与非有效层的真实厚度。由于界限选择在混入和丢失样品块数相等处，因而还需进行块数折合，使有效层和非有效层样品总块数相等。含油产状法不能用于原油粘度低、挥发性强、颜色浅的轻质油油藏。

#### 6.2.4 有效厚度取值

6.2.4.1 井数多, 井点分布均匀的油藏, 有效厚度取算术平均值或面积权衡平均值。

6.2.4.2 有一定井数, 但井点分布不均匀, 有效厚度取面积权衡平均值。

6.2.4.3 井数少, 或只有一口井钻遇砂体, 根据井所处构造位置和区域厚度变化确定。

6.3 原始含油饱和度、有效孔隙度、原油体积系数、原油密度等参数的确定

原始含油饱和度, 有效孔隙度、原油体积系数、原油密度等参数的确定, 应符合GB 269中第6.1.3、6.1.4、6.1.5、6.1.6条的规定。

## 7 动态法计算储量

### 7.1 压降法

#### 7.1.1 地层压力与累积产量关系

压降法又称为地层压力降与累积产量关系法, 其关系式为:

$$p_R = a_1 - b_1(N_o B_o) \dots\dots\dots (2)$$

$$a_1 = p_i \dots\dots\dots (3)$$

$$b_1 = \frac{1}{NB_{oi}C_{io}} \dots\dots\dots (4)$$

$$C_{io} = C_o + \frac{C_w S_{wi} + C_g}{1 - S_w} \dots\dots\dots (5)$$

#### 7.1.2 储量计算

定容的透镜体岩性油藏, 地层压力  $p_R$  与地下累积产油量  $N_o B_o$  呈直线下降关系 (见图6)。当由线性回归求得直线的斜率  $b_1$  后, 可由 (4) 式计算油藏的地质储量。

#### 7.1.3 适用条件

压降法适用于定容封闭的弹性驱纯油藏。采出程度大于10%时, 储量计算较为准确。

### 7.2 矿场不稳定试井法

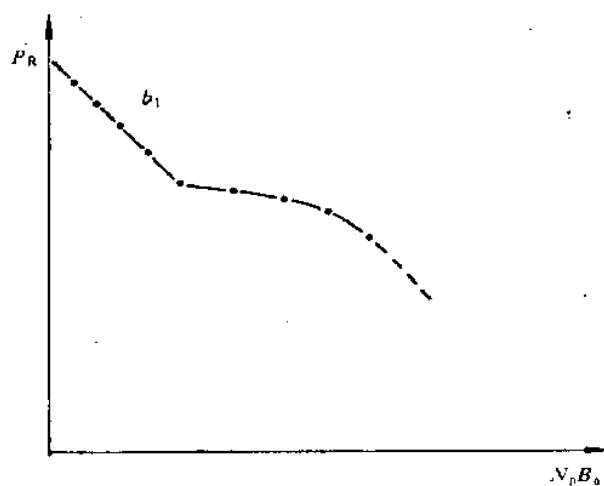


图 6 压力降与累积产量关系图

适用于定容封闭体积不大的透镜体油藏。如果认为单井资料已能反映整个透镜体油藏情况, 矿场不稳定试井法计算的单井控制储量即为透镜体油藏的储量 (即油井钻穿的透镜体内的储量)。矿场不稳定试井法有压降曲线的拟稳定阶段法和压力恢复曲线法两种。

#### 7.2.1 压降曲线的拟稳定阶段法

##### 7.2.1.1 压降曲线拟稳定阶段关系式

$$p_{wf} = a_o - \beta_o t \dots\dots\dots (6)$$

## 7.2.1.2 油井控制地质储量计算

压降曲线拟稳定阶段的井底流动压力与生产时间，在普通直角坐标纸上为一直线（见图7），当用线性回归求得直线的斜率 $\beta_0$ 之后，由下式（7）确定地质储量。

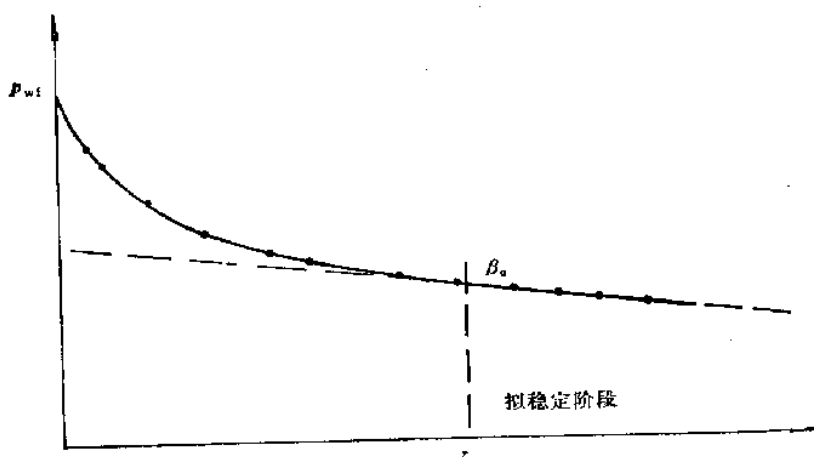


图7 油井压降曲线

$$N = \frac{\varepsilon q_0}{\beta_0 C_{t0}} \dots\dots\dots (7)$$

$\varepsilon$ 是与时间 $t$ 所用单位有关的常数，当 $t$ 用小时单位时， $\varepsilon = 4.167 \times 10^2$ ；当 $t$ 用天为单位时， $\varepsilon = 1.0$ 。

## 7.2.1.3 适用条件

适用于定容封闭体积不大的砂岩透镜体岩性油藏，单井以稳定产量（ $q$ 为常数）生产，压力动态达到了拟稳定条件，即 $dp_{wf}/dt$ 为常数，计算的储量为单井控制的地质储量。

## 7.2.2 压力恢复曲线法

对于定容封闭的透镜体油藏，当油井以稳定产量开井生产，测试的压降曲线达到拟稳定阶段之后，如果将井关闭，可以测得油井的压力恢复曲线。该压力恢复曲线可以用霍纳法进行整理，判断直线段的位置，确定直线段的斜率 $m_0$ 。（见图8）。再用（8）式确定地质储量。

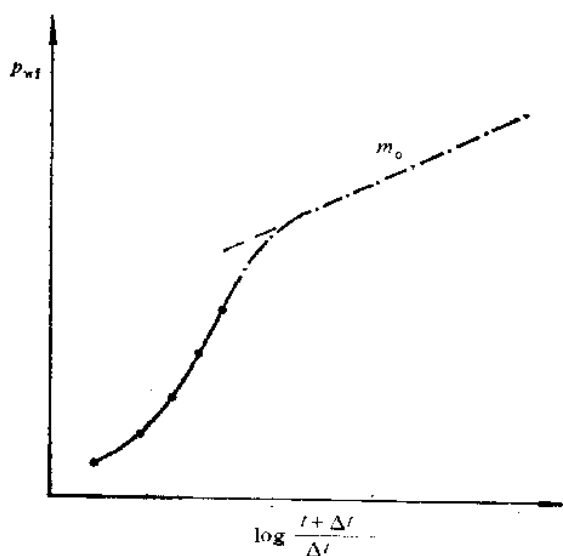


图8 油井霍纳法图

$$N = \frac{0.2419 q_o \Delta t_p}{m_o C_{to}} \dots\dots\dots (8)$$

### 7.3 压力—产量递减法

对于定容封闭性的未饱和 ( $p_i > p_b$ ) 岩性油藏, 在探井或评价井以某一固定工作制度投产之后, 如果地层压力和产量随时间同步下降 (见图9), 在取得两个地层压力及其间的产量递减率之后, 由(9)式计算油藏的地质储量。

$$N = \frac{E[q_1(B_{o2} - B_{o1}) + q_1 B_{o1} - q_2 B_{o2}]}{DB_{oi}C_{to}(p_{R1} - p_{R2})} \dots\dots\dots (9)$$

式中  $E$  为递减率换算系数, 取值按表1的规定。

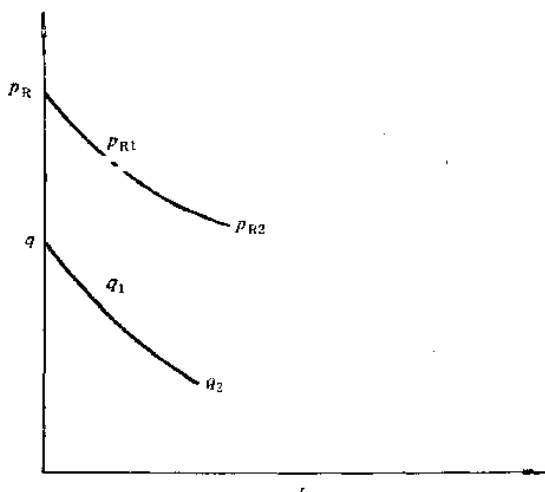


图 9 压力—产量递减关系图

表 1 递减率换算系数表

产量单位	递减率单位	$E$ 值
$m^3/d$	$mon^{-1}$	30.5
	$a^{-1}$	30.5

### 7.4 物质平衡法

对于任何驱动类型的油藏, 经过一段时间开采, 当地层压力明显降低后, 可以利用物质平衡法计算石油动态地质储量。

#### 7.4.1 饱和油藏的物质平衡方程式

油藏的原始地层压力等于饱和压力时, 可由(10)式计算不同驱动类型油藏的地质储量。

$$N = \frac{N_p(B_o - R_s B_g) + G_p B_g - [W_e + (W_i - W_g)B_w] - G_i B_{ig}}{(B_o - R_s B_g) - (B_{oi} - R_{si} B_g) + \frac{m B_{oi}}{B_{gi}}(B_g - B_{gi}) + (1+m)B_{oi}C_o \Delta p} \dots\dots\dots (10)$$

$$C_o = \frac{(C_w S_{wi} + C_i)}{(1 - S_{wi})} \dots\dots\dots (11)$$

#### 7.4.2 未饱和油藏的物质平衡方程式

油藏的原始地层压力高于饱和压力时, 可由(12)式计算不同驱动类型油藏的地质储量。

$$N = \frac{N_p B_o - [W_e + (W_i - W_o) B_w] - G_i B_{ig}}{B_{oi} C_{to} \Delta p} \dots\dots\dots (12)$$

#### 7.4.3 需具备条件

油藏投入开发后地层压力有明显的下降，油藏地层流体的  $pVT$  分析数据和地面流体物性数据，以及油、气、水产量数据和地层压力变化数据必须齐全准确。

#### 附加说明：

本标准由油气田开发专业标准化委员会提出。

本标准由油气田开发专业标准化委员会技术归口。

本标准由石油天然气储委办公室和长庆油田勘探开发研究院负责起草。

本标准主要起草人杨通佑、田信义。

本标准于 1999 年复审继续有效，该复审结果已被国家石油和化学工业局批准。