

ICS 75.180.99

E 10

备案号: 2636—1999

SY

中华人民共和国石油天然气行业标准

SY/T 5367—1998

石油可采储量计算方法

Methods for calculating oil recoverable reserves

1999 - 03 - 03 发布

1999 - 10 - 01 实施

国家石油和化学工业局 发 布

目 次

前 言 IV

1 范围 1

2 引用标准 1

3 定义 1

4 分级分类 1

5 技术可采储量计算 1

6 经济可采储量计算..... 21

附录 A（标准的附录） 符号注释 25

1 范围

本标准规定了石油可采储量的分级分类、技术可采储量和经济可采储量的计算方法。

本标准适用于主要地质类型和驱动方式油藏的技术可采储量和经济可采储量的计算。

2 引用标准

下列标准所包含的条文，通过在本标准中引用而构成为本标准的条文。本标准出版时，所示版本均为有效。所有标准都会被修订，使用本标准的各方应探讨使用下列标准最新版本的可能性。

GBn 269—88 石油储量规范

3 定义

本标准采用下列定义。

3.1 可采储量

见 GBn 269。

3.2 技术可采储量

是指依靠在现有井网工艺技术条件下，获得的总产油量。水驱油藏一般测算到含水率 98%，其他驱动油藏开采到技术废弃产量时的累积产油量。

3.3 经济可采储量

是指在现有井网、现有工艺技术条件下，能从油藏获得的最大经济产油量。

3.4 经济可采储量计算方法

经济可采储量计算方法是采用投入产出平衡的基本经济原理，根据油藏地质评价、油藏工程评价和油藏地面工程评价提供的技术参数与经济参数，编制出该油藏的现金流通表，计算该油藏在累积净现值大于零，而年净现金流等于零年份时的累积产油量。对新开发油藏来说，此产量是该油藏的经济可采储量；对已开发的油藏来说，则是剩余经济可采储量。

4 分级分类

4.1 分级分类依据

油田不同的勘探开发阶段，不同技术经济条件是分级分类的依据。

4.2 分级分类系统

可采储量分级分类系统见图 1。

5 技术可采储量计算

5.1 技术可采储量计算阶段划分

技术可采储量计算可分为下列三个阶段：

a) 开发前阶段。

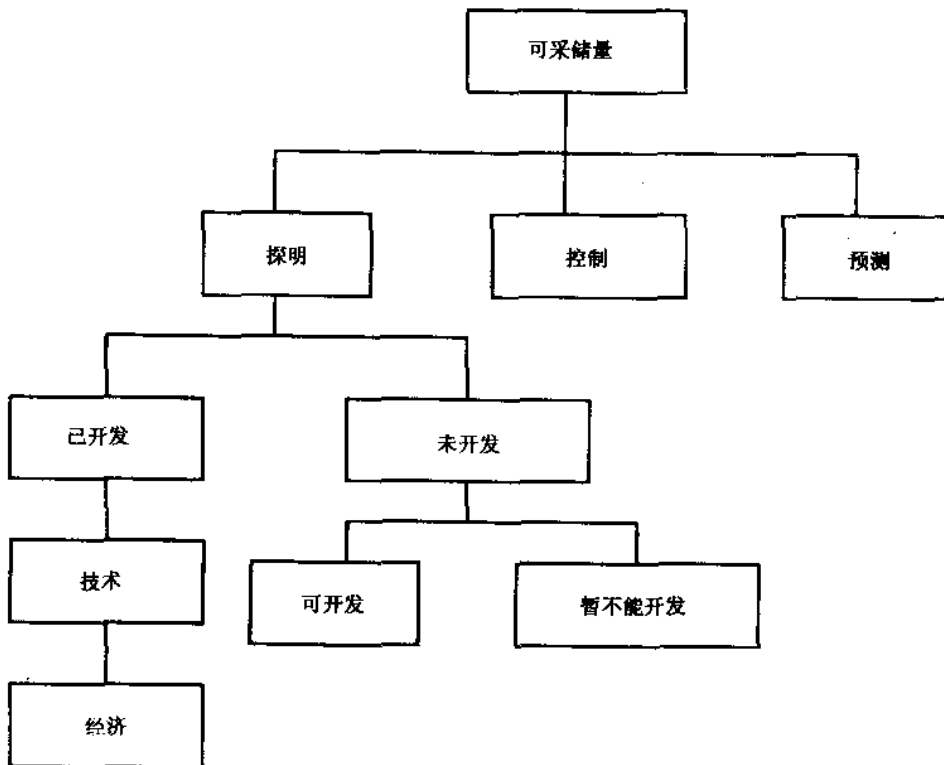


图1 石油可采储量分级分类图

b) 开发初期阶段，水驱油田开发综合含水一般达到40%左右以前。

c) 开发中、后期阶段，水驱油田开发综合含水40%左右以后。

5.2 开发前阶段可采储量计算

5.2.1 经验公式法

5.2.1.1 水驱砂岩油田采收率经验公式：

$$E_R = 0.274 - 0.1116 \lg \mu_R + 0.09746 \lg \bar{K} - 0.0001802 h_{\text{eff}} f - 0.06741 V_k + 0.0001675 T \quad \dots\dots\dots(1)$$

公式(1)应用的参数变化范围见表1。

表1 式(1)中各项参数的分布范围

参 数	油水粘度比	平均渗透率 $10^{-3} \mu\text{m}^2$	平均有效厚度 m	井网密度 hm^2/well	变异系数 f	油层温度 $^{\circ}\text{C}$
变化范围	1.9~162.5	69~3 000	5.2~35.0	2.3~24.0	0.26~0.92	30.0~99.5
平均值	36.7	883	16.7	9.4	0.68	63.0

$$E_R = 0.05842 + 0.08461 \lg \frac{K_a}{\mu_o} + 0.3464 \varphi + 0.003871 f \quad \dots\dots\dots(2)$$

公式(2)应用的参数变化范围见表2。

表2 式(2)中各项参数的分布范围

参 数	地层原油粘度 mPa·s	空气渗透率 $10^{-3}\mu\text{m}^2$	有效孔隙度	井网密度 well/km ²
变化范围	0.5~154.0	4.8~8 900.0	0.15~0.33	3.1~28.3
平均值	18.4	1 269.0	0.25	9.6

5.2.1.2 底水碳酸盐岩油田采收率经验公式:

$$E_R = 0.2326 \left(\frac{\varphi_t S_{oi}}{B_{oi}} \right)^{0.969} \times \left(\frac{\bar{K}_e \mu_w}{\mu_o} \right)^{0.4863} \times (S_{wi})^{-0.5326} \quad \dots\dots\dots(3)$$

公式(3)应用的参数变化范围见表3。

表3 式(3)中各项参数的分布范围

参 数	总孔隙度 f	原始含油 饱和度 f	原始含水 饱和度 f	原始原油 体积系数	有效渗透率 $10^{-3}\mu\text{m}^2$	地下原 油粘度 mPa·s	地下水粘度 mPa·s
变化范围	0.05~0.12	0.70~0.80	0.20~0.30	1.031~1.537	10~30 900	0.50~21.50	0.18~0.38
平均值	0.06	0.74	0.26	1.159	4 060	5.25	0.27

5.2.1.3 水驱砾岩油田采收率经验公式:

$$E_R = 0.9356 - 0.1089 \lg \mu_o - 0.0059 p_i + 0.0637 \left(\frac{\bar{K}_e}{\mu_o} \right)^{0.3409} \\ + 0.001696 f + 0.003288 L - 0.9087 V_k - 0.01833 n_{ow} \quad \dots\dots\dots(4)$$

对于有明显过渡带的油藏:

$$E_{RT} = E_R [1 - 0.225 N(W)/N] \quad \dots\dots\dots(5)$$

公式(4)、(5)应用的参数变化范围见表4。

5.2.1.4 溶解气驱油田采收率经验公式:

$$E_R = 0.2126 \left[\frac{\varphi(1 - S_{wi})}{B_{ob}} \right]^{0.1611} \times \left(\frac{\bar{K}_e}{\mu_{ob}} \right)^{0.0979} \times (S_{wi})^{0.3722} \times \left(\frac{p_b}{p_a} \right)^{0.1741} \quad \dots\dots\dots(6)$$

式(6)中油藏废弃压力 p_a 一般取饱和压力的 15%。

表 4 式(4)、(5)中各项参数的分布范围

参 数	地层原 油粘度 mPa·s	原始地 层压力 MPa	有效 渗透率 $10^{-3}\mu\text{m}^2$	井网密度 well/km ²	油层 连通率 %	渗透率变 异系数 f	采注井 数比	过渡带地质储 量/地质储量 f
变化范围	2.0~215.0	4.45~31.0	30~540	3.75~30.42	42.0~100.0	0.8~1.0	1.89~6.00	0.000~0.408
平均值	21.6	13.3	142	12.40	73.1	0.9	2.94	0.021

5.2.2 表格计算法

5.2.2.1 不同驱动类型油田采收率估计范围:

不同驱动机理类型的油藏可估算其采收率的范围见表 5。

表 5 油藏采收率范围表

驱动机理类型		采 收 率 f
1	液体和岩石弹性	0.02~0.05
2	溶解气驱	0.12~0.25
3	油环气顶驱	0.20~0.40
4	重力驱	0.50~0.70
5	边水驱	0.35~0.60
6	底水驱	0.20~0.60
7	注水驱	0.25~0.60

5.2.2.2 溶解气驱油田采收率计算:

溶解气驱油田的采收率估计范围见表 6。

5.2.3 类比法

待投入开发的油田,根据油藏的驱动类型、储层物性、流体性质、井网密度和非均质性同已开发的油田类比,选取适当的采收率计算可采储量。

5.3 开发初期阶段可采储量计算

5.3.1 水驱砂岩油藏

5.3.1.1 一维流管法:

a) 渗透率非均质分布描述:

—— $\Gamma(x)$ 型分布:

累积分布函数为:

表6 溶解气驱油田的一次采收率范围表

参 数	溶解 气油比 m ³ /m ³	原油密度 g/cm ³	采 收 率 f					
			砂 岩			石灰岩、白云岩或燧石		
			最大	平均	最小	最大	平均	最小
变 化 范 围	10.69	0.965 9	0.128	0.086	0.026	0.280	0.040	0.026
		0.876 2	0.213	0.152	0.087	0.328	0.099	0.029
		0.779 6	0.342	0.248	0.169	0.390	0.186	0.080
	35.62	0.965 9	0.133	0.088	0.033	0.275	0.045	0.009
		0.876 2	0.222	0.152	0.084	0.323	0.098	0.026
		0.779 6	0.374	0.264	0.176	0.398	0.193	0.074
	106.86	0.965 9	0.180	0.113	0.060	0.266	0.069	0.019
		0.876 2	0.243	0.151	0.084	0.300	0.096	0.025
		0.779 6	0.356	0.230	0.138	0.361	0.151	0.043
	178.10	0.965 9	—	—	—	—	—	—
		0.876 2	0.344	0.212	0.126	0.326	0.132	0.040
		0.779 6	0.337	0.202	0.116	0.318	0.120	0.031
	365.20	0.965 9	—	—	—	—	—	—
		0.876 2	—	—	—	—	—	—
		0.779 6	0.407	0.248	0.156	0.328	0.145	0.050

$$F(x) = \frac{\Gamma\left(\frac{v}{2}, \frac{K}{K_{\text{on}}}\right)}{\Gamma\left(\frac{v}{2}\right)} \quad \dots\dots\dots(7)$$

$\Gamma(x)$ 分布理论图版见图 2。

—— $\Gamma(x^2)$ 型分布；

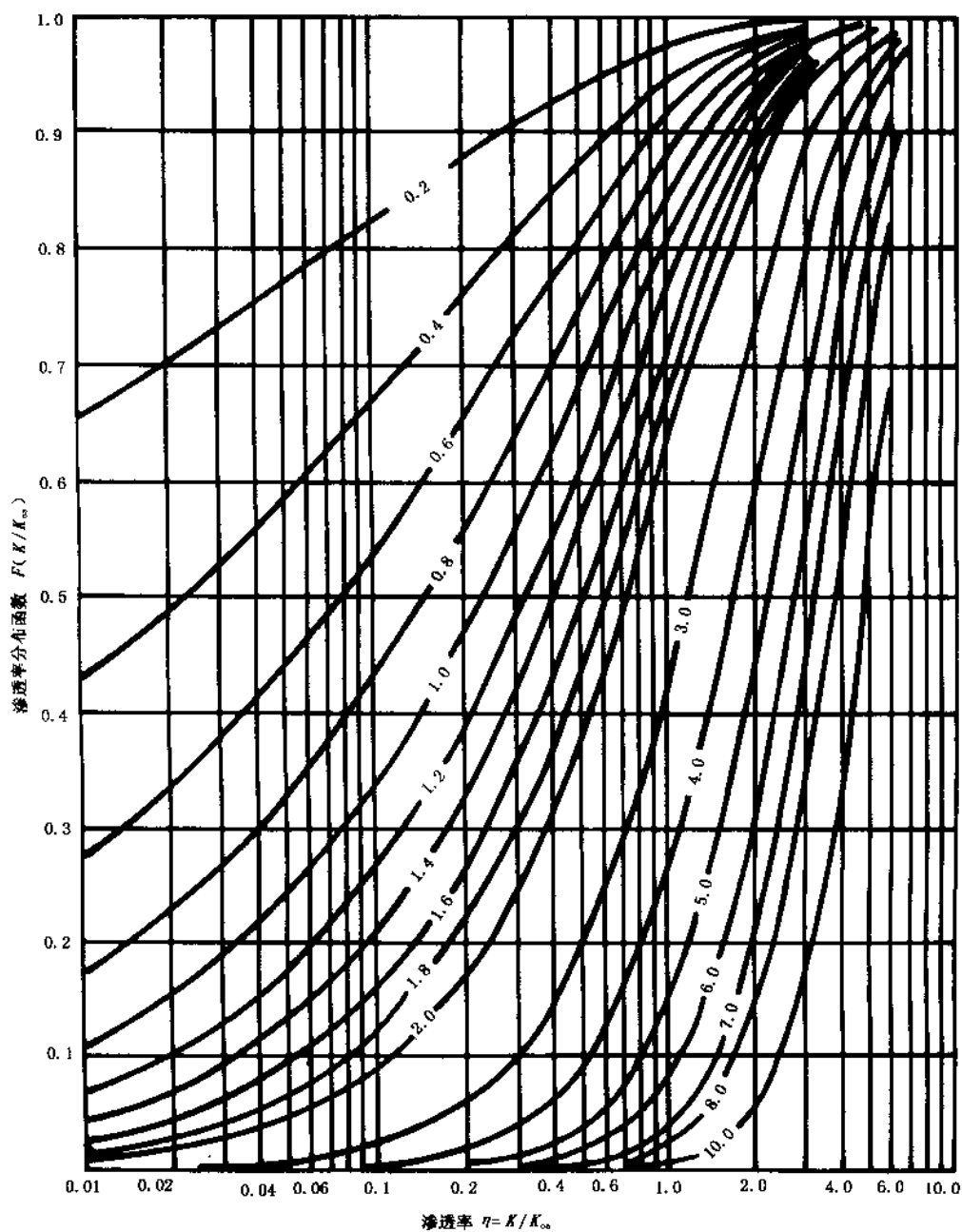
累积分布函数为：

$$F(x^2) = \frac{\Gamma\left[\frac{v}{2}, \left(\frac{K}{K_{\text{on}}}\right)^2\right]}{\Gamma\left(\frac{v}{2}\right)} \quad \dots\dots\dots(8)$$

$\Gamma(x^2)$ 分布理论图版见图 3。

——对数正态分布；

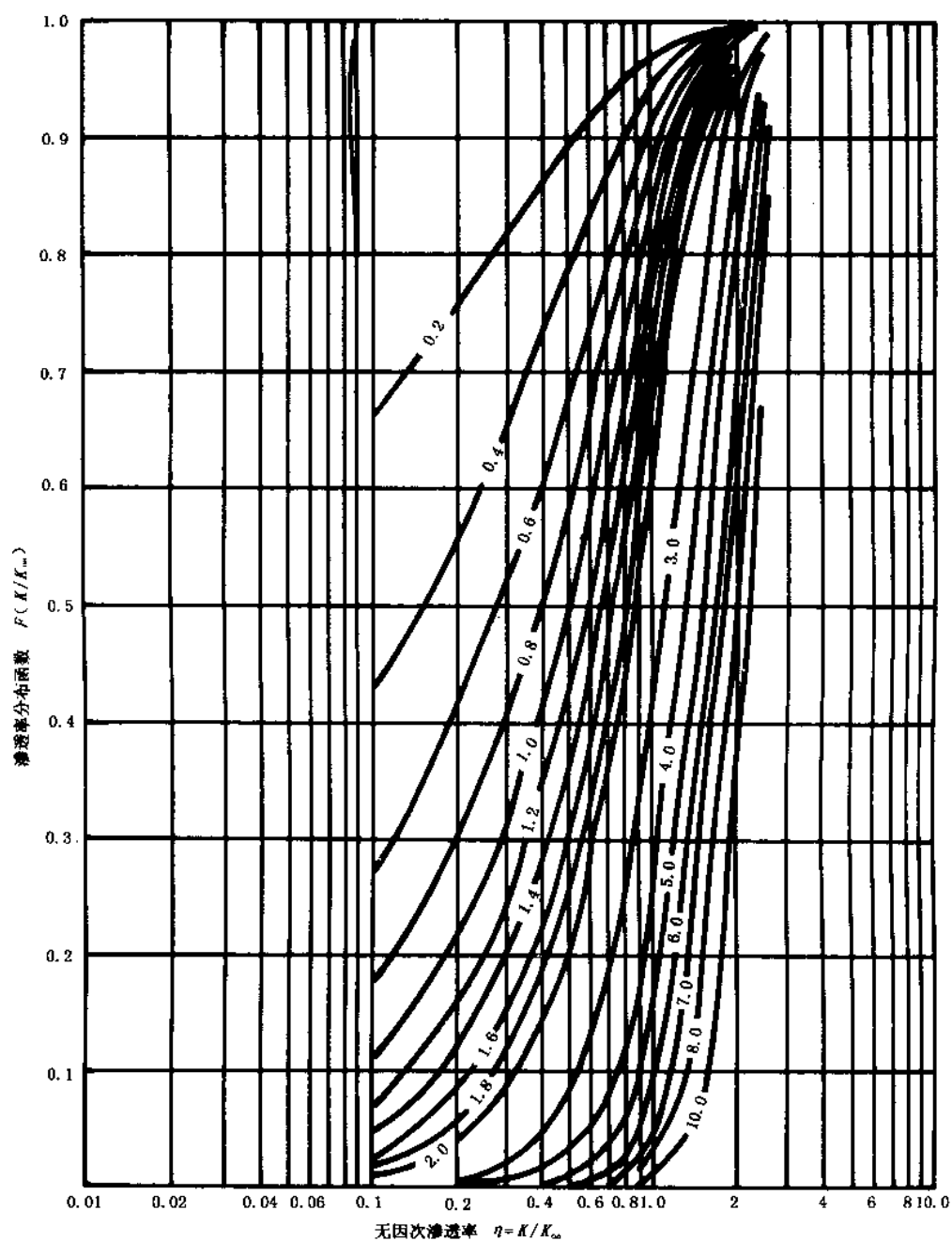
累积分布函数为：

图2 $\Gamma(x)$ 型分布理论图版

$$F(K) = \int_0^K \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma K} e^{-\frac{(\lg K - \mu_1)^2}{2\sigma^2}} dK \quad \dots\dots\dots(9)$$

对数正态分布渗透率变异系数 V_k 的计算公式为：

$$V_k = \frac{\bar{K} - K_\sigma}{\bar{K}} \quad \dots\dots\dots(10)$$

图3 $\Gamma(x^2)$ 型分布理论图版

对数正态分布标准图版见图4。

非均质分布类型判定用描述渗透率分布的 $\Gamma(x)$ 、 $\Gamma(x^2)$ 、对数正态分布类型图版，用实际数据拟合，选择相关性最好的非均质分布类型进行判定。

b) 油藏平均油水相对渗透率曲线制作：

根据油藏岩心水驱油试验制作的各渗透率条件下的多组油水相对渗透率曲线，作 $S_{wi}-\lg K$ 、 $S_{or}-\lg K$ 、 $K_{rwm}-\lg K$ 三张关系图，去掉在任何一张图上过于偏离直线关系的点子，将比较符合规律的岩心试验数据作为制作平均油水相对渗透率曲线的基础数据。

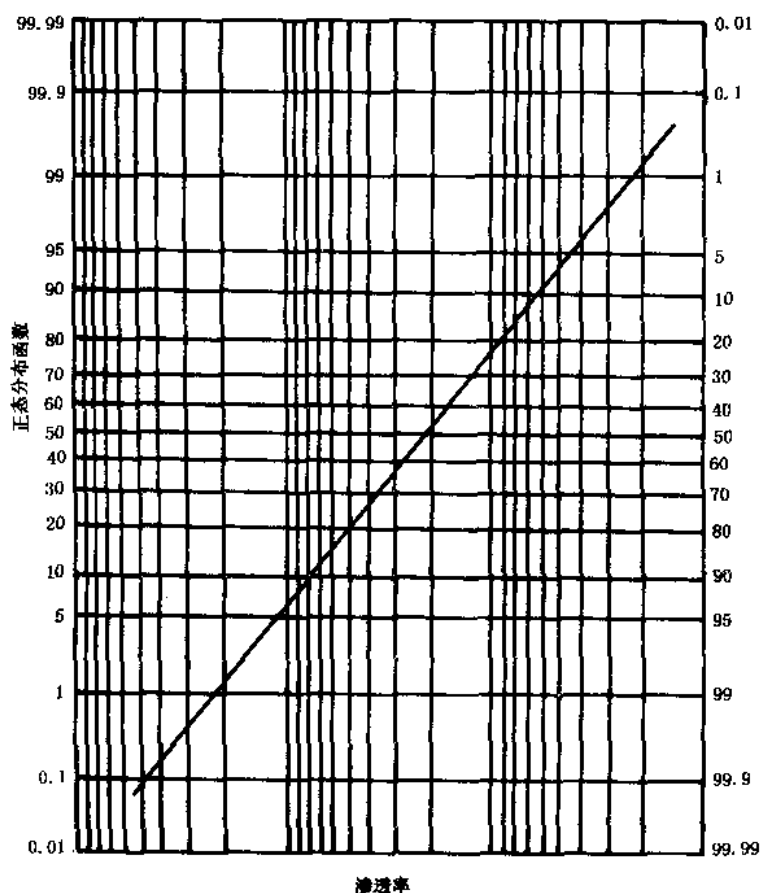


图4 对数正态分布标准图版

利用选择的岩心试验数据根据式 (11) 计算归一化的含水饱和度 S_w^* 与 K_{ro} 、 K_{rw} 的关系:

$$S_w^* = \frac{S_w - S_{wi}}{1 - S_{wi} - S_{or}} \quad \dots\dots\dots(11)$$

取 $S_w^* = 0, 0.1, 0.2, \dots, 0.9, 1.0$ 计算每一个 S_w^* 下的 K_{ro} , K_{rw} 算术平均值, 得出归一化的平均油水相对渗透率曲线 \bar{K}_{ro} , $\bar{K}_{rw} - S_w^*$ 曲线。其中 $S_w^* = 0$ 时对应 $\bar{K}_{ro} = 1.0$, $S_w^* = 1.0$ 时对应 $\bar{K}_{rw} = K_{rwnk}$ 。

根据计算的油田平均空气渗透率 \bar{K} 在 $S_{wi} - \lg K$ 、 $S_{or} - \lg K$ 、 $K_{rwm} - \lg K$ 图上查出相应的 S_{wi} , S_{or} 及 K_{rwm} 。由式 (12) 计算 S_w^* 对应的 S_w 。

$$S_w = S_w^* (1 - S_{wi} - S_{or}) + S_{wi} \quad \dots\dots\dots(12)$$

由式 (13) 计算平均油水相对渗透率曲线 K_{rw} 随 S_w 的变化:

$$K_{rw} = \bar{K}_{rw} \cdot \frac{K_{rwm}}{K_{rwnk}} \quad \dots\dots\dots(13)$$

平均化的 K_{ro} 曲线形状与归一化的 \bar{K}_{ro} 曲线形状相同。得出油田平均的油水相对渗透率曲线。

c) 单流管计算:

根据平均的油水相对渗透率曲线计算。

基本公式:

$$f_w(S_w) = \frac{\frac{\mu_o}{\mu_w} K_{rw}(S_w)}{K_{ro}(S_w) + \frac{\mu_o}{\mu_w} K_{rw}(S_w)} \quad \dots\dots\dots(14)$$

$$f_o(S_w) = \frac{K_{ro}(S_{wi})}{K_{ro}(S_{wi}) + \frac{\mu_o}{\mu_w} K_{rw}(S_w)} \quad \dots\dots\dots(15)$$

$$\Phi(S_w) = \frac{df_w}{dS_w} \quad \dots\dots\dots(16)$$

$$\bar{v} = \frac{1}{\Phi} \quad \dots\dots\dots(17)$$

$$\bar{v}_o = (1 - f_w)\bar{v} + (S_w - S_{wi}) \quad \dots\dots\dots(18)$$

$$J(S_w) = \int_0^\Phi f_o(S_w) d\Phi \quad \dots\dots\dots(19)$$

计算前缘饱和度 S_Φ 与无因次见水时间:

$$\Phi(S_\Phi) = \frac{f_w(S_\Phi)}{S_\Phi - S_{wi}} \quad \dots\dots\dots(20)$$

$$A_1 = J(S_\Phi) - \Phi(S_\Phi) \quad \dots\dots\dots(21)$$

$$\bar{t} = \frac{K \cdot K_{ro}(S_{wi}) \cdot \Delta p}{\mu_o \cdot l^2 \cdot \varphi} \quad \dots\dots\dots(22)$$

$$t_{BR} = \frac{1}{\Phi(S_\Phi)} + \frac{A_1}{2\Phi^2(S_\Phi)} \quad \dots\dots\dots(23)$$

出水前产量:

$$\bar{q} = \frac{1}{\sqrt{1 + 2A_1\bar{t}}} \quad \dots\dots\dots(24)$$

$$\bar{v} = \frac{\sqrt{1 + 2A_1\bar{t}} - 1}{A_1} \quad \dots\dots\dots(25)$$

出水后产量:

$$\bar{v} = \frac{1}{\Phi(S_e)} \quad \dots\dots\dots(26)$$

$$\bar{v}_o = [1 - f_w(S_e)]\bar{v} + (S_e - S_{wi}) \quad \dots\dots\dots(27)$$

$$\bar{q} = \frac{\Phi(S_e)}{J(S_e)} \quad \dots\dots\dots(28)$$

$$\bar{q}_o = [1 - f_w(S_e)]\bar{q} \quad \dots\dots\dots(29)$$

$$\bar{t} = \bar{t}_{BR} + \int_{\bar{v}_{BR}}^{\bar{v}} \frac{d\bar{v}}{\bar{q}} \quad \dots\dots\dots(30)$$

d) 多流管叠加计算:

根据渗透率非均质分布函数及单流管计算结果积分叠加。

油藏无因次累积产液量:

$$\bar{V} = \frac{1}{\bar{K}} \int_0^\infty \bar{v}(\bar{t}) K f(K) dK \quad \dots\dots\dots(31)$$

油藏无因次累积产油量:

$$\bar{V}_o = \frac{1}{\bar{K}} \int_0^\infty \bar{v}_o(\bar{t}) K f(K) dK \quad \dots\dots\dots(32)$$

油藏无因次生产时间:

$$\bar{T} = \frac{\bar{K}}{K} t \quad \dots\dots\dots(33)$$

油藏平均含水率:

$$\bar{f}_w = \frac{d(\bar{V} - \bar{V}_o)}{d\bar{V}} \quad \dots\dots\dots(34)$$

根据计算的采出程度随含水率的变化关系, 取含水率 0.98 对应的采出程度为采收率。

5.3.1.2 驱油效率——波及系数法:

水驱油藏采出程度由下式表达:

$$R = E_D \cdot E_h \cdot E_A \quad \dots\dots\dots(35)$$

a) E_D 与 f_w 关系计算:

根据分流方程:

$$f_w = \frac{\frac{\mu_o}{\mu_w} \cdot \frac{K_w}{K_o}}{1 + \frac{\mu_o}{\mu_w} \cdot \frac{K_w}{K_o}} \quad \dots\dots\dots(36)$$

根据威尔吉方程:

$$\bar{S}_w = S_w + \frac{1 - f_w}{f_w} \quad \dots\dots\dots(37)$$

油藏驱油效率 E_D 用下式表示:

$$E_D = \frac{S_w - S_{wi}}{1 - S_{wi}} \quad \dots\dots\dots(38)$$

b) E_A 与 f_w 关系计算:

根据以下经验公式计算:

$$\frac{1 - E_A}{E_A} = [a_1 \ln(M + a_2) + a_3] f_w + a_4 \ln(M + a_5) + a_6 \quad \dots\dots\dots(39)$$

表 7 提供了式 (39) 中的系数值。

表 7 面积波及系数关系式 (39) 的系数

系 数	5 点	直 线	交 错
a_1	-0.206 2	-0.301 4	-0.207 7
a_2	-0.071 2	-0.156 8	-0.105 9
a_3	-0.511 0	-0.940 2	-0.352 6
a_4	0.304 8	0.371 4	0.260 8
a_5	0.123 0	-0.086 5	0.244 4
a_6	0.439 4	0.880 5	0.315 8

c) E_b 与 f_w 关系计算:

对于 $0 \leq M \leq 10$ 和 $0.3 \leq V_k \leq 0.8$, 计算 C 值的相关的 Y 的计算公式如下:

$$Y = \frac{(F + 0.4) \cdot (18.948 - 2.499 V_k)}{(M + 1.137 - 0.809 4 V_k) 10^{f(V_k)}} \quad \dots\dots\dots(40)$$

式中 $f(V_k)$ 由下式计算:

$$f(V_k) = -0.6891 + 0.8735V_k + 1.6453V_k^2 \quad \dots\dots\dots(41)$$

根据计算的 Y 值可以按下式计算 E_h :

$$Y = a_1 E_h^{a_2} (1 - E_h)^{a_3} \quad \dots\dots\dots(42)$$

式中: $a_1 = 3.334\ 088\ 568$; $a_2 = 0.773\ 734\ 820$; $a_3 = -1.225\ 859\ 406$ 。

d) 流度比 M 计算:

流度比 M 按下式计算:

$$M = \frac{\frac{K_{ro}(\bar{S}_{wi})}{\mu_o} + \frac{K_{rw}(\bar{S}_{wi})}{\mu_w}}{\frac{K_{or}(\bar{S}_{wi})}{\mu_o}} \quad \dots\dots\dots(43)$$

将以上 E_D 、 E_h 、 E_A 与 f_w 关系计算结果代入式 (35), 得到 R 与 f_w 关系, 取 $f_w = 0.98$ 时的 R 为采收率。

5.3.2 弹性驱动油藏

弹性驱动油藏的采收率用下式计算:

$$E_R = \frac{[C_o + \frac{C_f}{\phi} + S_{wi}(C_w - C_o)]}{(1 - S_{wi})[1 + (p_i - p_b)C_o]}(p_i - p_b) \quad \dots\dots\dots(44)$$

5.3.3 溶解气驱油藏

5.3.3.1 用岩心及高压物性试验确定以下关系曲线:

- 油相对渗透率曲线, $K_{ro} - S_o$;
- 气相对渗透率曲线, $K_{rg} - S_o$;
- 油粘度随压力变化曲线, $\mu_o - p$;
- 气粘度随压力变化曲线, $\mu_g - p$;
- 原油体积系数随压力变化曲线, $B_o - p$;
- 气体地下体积系数随压力变化曲线, $B_g - p$;
- 溶解气油比随压力变化曲线 $R_s - p$ 。

5.3.3.2 计算 $\bar{S}_o - \bar{p}$ 关系曲线:

其公式为:

$$\frac{d\bar{S}_o}{d\bar{p}} = \frac{\frac{\bar{S}_o}{B_o B_g} \frac{dR_s}{d\bar{p}} + \frac{\bar{S}_o K_{rg}}{B_o K_{ro}} \cdot \frac{\mu_o}{\mu_g} \cdot \frac{dB_o}{d\bar{p}} + (1 - \bar{S}_o - \bar{S}_w) \frac{1}{B_g} \frac{dB_g}{d\bar{p}}}{1 + \frac{K_{rg} \mu_o}{K_{ro} \mu_g}} \quad \dots\dots\dots(45)$$

初始条件: $p = p_b$, $S_o = S_{o0}$ 。

5.3.3.3 确定油藏废弃压力 p_a 后计算采收率:

根据式 (45) 计算的 $\bar{S}_o - \bar{p}$ 关系曲线, 求出油藏废弃时的含油饱和度 $\bar{S}_{o\alpha}$, 再按下式计算采收

率:

$$E_R = 1 - \frac{B_{oi} \cdot \bar{S}_{oi}}{B_o(p_a) \cdot S_{oi}} \quad \dots\dots\dots(46)$$

废弃压力 p_a 一般取饱和压力的 15%，也可根据具体要求确定。

5.3.4 对任何类型油藏的油藏数值模拟法

开发初期可用简单模型，不历史拟合；开发中后期必须进行油藏动态历史拟合。

5.4 开发中后期阶段可采储量计算

5.4.1 童宪章图版法

水驱油田 f_w — R 有如下关系:

$$\lg \frac{f_w}{1-f_w} = 7.5(R - E_R) + 1.69 \quad \dots\dots\dots(47)$$

用 N_p 和 N 可计算出 R ，根据对应的 f_w 可由式 (47) 计算出 E_R ，再由 N 反算 N_R 。也可根据图 5 的图版，用 R 和对应的 f_w 查出相应的 E_R 。

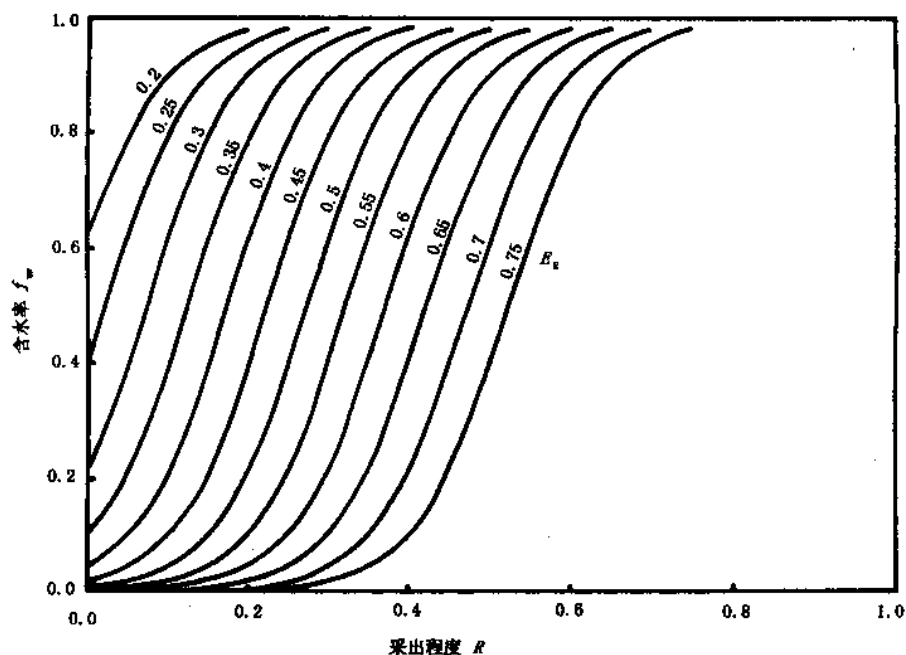


图 5 水驱采收率计算图版

5.4.2 水驱特征曲线法

5.4.2.1 未实施重大调整措施油田的水驱特征曲线法:

a) 水驱特征曲线公式 1——纳札洛夫水驱曲线:

推荐用于低粘 (小于 $3\text{mPa}\cdot\text{s}$) 层状油藏和碳酸盐岩底水驱油藏。其表达式为:

$$\frac{L_p}{N_p} = a + bW_p \quad \dots\dots\dots(48)$$

累积产油量与含水率关系式为:

$$N_p = \frac{1}{b} \left[1 - \sqrt{(a-1) \left(\frac{1-f_w}{f_w} \right)} \right] \quad \dots\dots\dots(49)$$

b) 水驱特征曲线公式 2——马克西莫夫—童宪章水驱曲线:

推荐用于中粘 (3~30mPa·s) 层状油藏。其表达式为:

$$\lg W_p = a + bN_p \quad \dots\dots\dots(50)$$

累积产油量与含水率关系式为:

$$N_p = \frac{1}{b} \left\{ \lg \left[\frac{0.4343}{b} \left(\frac{f_w}{1-f_w} \right) \right] - a \right\} \quad \dots\dots\dots(51)$$

c) 水驱特征曲线公式 3——西帕切夫水驱曲线:

推荐用于中粘 (3~30mPa·s) 层状油藏。其表达式为:

$$\frac{L_p}{N_p} = a + bL_p \quad \dots\dots\dots(52)$$

累积产油量与含水率关系式为:

$$N_p = \frac{1}{b} \left[1 - \sqrt{a(1-f_w)} \right] \quad \dots\dots\dots(53)$$

d) 水驱特征曲线公式 4——沙卓诺夫水驱曲线:

推荐用于高粘 (大于 30mPa·s) 层状油藏。其表达式为:

$$\lg L_p = a + bN_p \quad \dots\dots\dots(54)$$

累积产油量与含水率关系式为:

$$N_p = \frac{1}{b} \left\{ \lg \left[\frac{0.4343}{b} \left(\frac{1}{1-f_w} \right) \right] - a \right\} \quad \dots\dots\dots(55)$$

e) 水驱特征曲线公式 5——张金庆水驱曲线:

适用于任何原油粘度和类型的水驱油藏。其表达式为:

$$\frac{W_p}{N_p} = a + b \frac{W_p}{N_p^2} \quad \dots\dots\dots(56)$$

累积产油量与含水率关系为：

$$N_p = b \left[1 - \sqrt{\frac{a(1-f_w)}{f_w + a(1-f_w)}} \right] \quad \dots\dots\dots(57)$$

f) 水驱特征曲线公式 6——俞启泰水驱曲线：

适用于任何原油粘度和类型的水驱油藏。其表达式为：

$$\lg N_p = a - b \lg \left(\frac{L_p}{W_p} \right) \quad \dots\dots\dots(58)$$

累积产油量与含水率关系式为：

$$N_p = 10^a \left\{ \frac{2bf_w}{1-f_w + b(1+f_w) + \sqrt{[1-f_w + b(1+f_w)]^2 - 4b^2f_w}} \right\}^b \quad \dots\dots\dots(59)$$

5.4.2.2 实施调整措施油田的水驱特征曲线法：

油藏实施重大调整措施的油藏，待措施完成后，在稳定水驱条件下，水驱特征曲线表现为 $\lg W_p - N_p$ 关系与相应的 $\lg F - N_p$ 曲线平行。具体应用中，可以分段根据 $\lg W_p - N_p$ 曲线与 $\lg F - N_p$ 曲线平行的原则找出水驱特征曲线的应用段，选择相应的水驱特征曲线公式计算可采储量。

5.4.2.3 逐年度计算可采储量推荐方法：

a) 广义水驱特征曲线法：

$$N_R = \left(1 + \frac{aN_p}{W_p} \right) \frac{N_p}{C} \quad \dots\dots\dots(60)$$

式 (60) 中：

$$C = \frac{\sqrt{49+a}}{\sqrt{49+a} - \sqrt{a}} \quad \dots\dots\dots(61)$$

应用广义水驱特征曲线计算可采储量步骤如下：

应用公式 (56) 线性回归求出 a 值及用公式 (61) 求出 C 值。用以后每年年末的 N_p ， W_p 根据计算出的 a ， C 值，应用公式 (60) 计算 N_R 即为以后的可采储量。

b) 水驱特征曲线法：

利用水驱特征曲线公式 1，2，3，4 可推导出：

$$\frac{W_p}{N_p} = \frac{a-1}{\left(1 - \sqrt{\frac{a-1}{49}} \right) \frac{N_p}{N_R}} \left[\frac{1}{1 - \left(1 - \sqrt{\frac{a-1}{49}} \right) \frac{N_p}{N_R}} - 1 \right] \quad \dots\dots\dots(62)$$

$$\frac{W_p}{N_p} = \frac{b}{\left(\lg \frac{21,280.7}{b} - a \right) \frac{N_p}{N_R}} \left\{ 10^{\left[\frac{N_p}{N_R} \left(\lg \frac{21,280.7}{b} - a \right) \cdot a \right]} - 10^a \right\} \quad \dots\dots\dots(63)$$

$$\frac{W_p}{N_p} = \frac{a}{(1 - \sqrt{0.02a}) \frac{N_p}{N_R}} \left[\frac{1}{1 - (1 - \sqrt{0.02a}) \frac{N_p}{N_R}} - 1 \right] - 1 \quad \dots\dots\dots(64)$$

$$\frac{W_p}{N_p} = \frac{b}{\left(\lg \frac{21.715}{b} - a \right) \frac{N_p}{N_R}} \cdot \{ 10 \left[\left(\lg \frac{21.715}{b} - a \right) \frac{N_p}{N_R} + a \right] - 10^a \} - 1 \quad \dots\dots\dots(65)$$

5.4.3 递减曲线法

5.4.3.1 阿普斯指数递减曲线公式:

a) 产量变化公式:

$$Q_t = Q_i e^{-D_i t} \quad \dots\dots\dots(66)$$

b) 累积产量计算公式:

$$N_p = \frac{Q_i - Q_t}{D_i} \quad \dots\dots\dots(67)$$

c) 可采储量计算公式:

$$N_R = \frac{Q_i - Q_a}{D_i} \quad \dots\dots\dots(68)$$

d) 递减参数求取方法

方法 1:

式 (66) 两端取自然对数得:

$$\ln Q_t = \ln Q_i - D_i t$$

t 为变量, $\ln Q_t$ 为因变量, 回归上述直线方程, 得斜率为 $-D_i$, 从而求出 D_i ; 截距为 $\ln Q_i$, 从而求出 Q_i 。

方法 2:

(67) 式可改写为:

$$N_p = \frac{Q_i}{D_i} - \frac{1}{D_i} Q_t$$

Q_t 为变量, N_p 为因变量, 回归上式直线方程, 得斜率为 $-\frac{1}{D_i}$, 截距为 $\frac{Q_i}{D_i}$, 从而求出 D_i 和 Q_i 。

5.4.3.2 阿普斯双曲递减曲线公式

a) 产量变化公式:

$$Q_t = Q_i (1 + n D_i t)^{-\frac{1}{n}} \quad \dots\dots\dots(69)$$

b) 累积产量计算公式:

$$N_p = \frac{Q_i}{(1-n)D_i} [1 - (1 + nD_i t)^{\frac{n-1}{n}}] \quad \dots\dots\dots(70)$$

或

$$N_p = \frac{Q_i^n}{(1-n)D_i} (Q_i^{1-n} - Q_t^{1-n}) \quad \dots\dots\dots(71)$$

c) 可采储量计算公式:

$$N_R = \frac{Q_i}{(1-n)D_i} - \frac{Q_i^n}{(1-n)D_i} \cdot Q_a^{1-n} \quad \dots\dots\dots(72)$$

d) 递减参数求取方法:

采用基于公式 (69) 的重复线性回归法, 步骤如下:

——给一个 nD_i ;

——求 $\lg Q_t$ 对 $\lg (1 + nD_i t)$ 的回归方程的相关系数;

——对不同的 nD_i 求出相关系数最大的一组 nD_i 和相应的 $\lg Q_t - \lg (1 + nD_i t)$ 关系;

——得出相关系数最大的 $\lg Q_t - \lg (1 + nD_i t)$ 关系的斜率为 $-1/n$; 截距为 $\lg Q_i$, 可算出 n 和 Q_i ; 由相应的 nD_i 和求出的 n 可求出 D_i 。

这种方法不适于指数递减 ($n=0$) 的情况。

5.4.3.3 阿普斯双曲递减指数 $n=0.5$ 的递减曲线公式:

a) 阿普斯双曲递减指数 $n=0.5$ 时 N_p 表达式为:

$$N_p = \frac{Q_i}{0.5D_i} - \frac{\frac{Q_i}{0.5D_i} \cdot \frac{1}{0.5D_i}}{\frac{1}{0.5D_i} + t} \quad \dots\dots\dots(73)$$

可采储量计算式为:

$$N_R = \frac{Q_i}{0.5D_i} - \frac{Q_i^{0.5}}{0.5D_i} \cdot Q_a^{0.5} \quad \dots\dots\dots(74)$$

b) 马休斯和列夫柯维兹递减曲线:

这种曲线也相当于阿普斯递减指数 $n=0.5$ 的曲线。

N_p 表达式为:

$$N_p = a - \frac{\frac{a^2}{Q_i}}{\frac{a}{Q_i} + t} \quad \dots\dots\dots(75)$$

可采储量 N_R 计算式为:

$$N_R = a - a\sqrt{\frac{Q_n}{Q_i}} \quad \dots\dots\dots(76)$$

Q_i 计算式为:

$$Q_i = \frac{a^2}{Q_n} \cdot \frac{1}{\left(\frac{a}{Q_i} + t\right)^2} \quad \dots\dots\dots(77)$$

c) 变形的柯佩托夫衰减曲线 I:

这种曲线也相当于阿普斯递减指数 $n=0.5$ 的曲线。

N_p 表达式为:

$$N_p = \frac{a}{b} - \frac{a}{b+t} \quad \dots\dots\dots(78)$$

可采储量 N_R 计算式为:

$$N_R = \frac{a}{b} - \frac{a}{b} \sqrt{\frac{Q_n}{Q_i}} \quad \dots\dots\dots(79)$$

Q_i 计算式为:

$$Q_i = Q_n \left(\frac{b}{b+t} \right)^2 \quad \dots\dots\dots(80)$$

Q_i 计算式为:

$$Q_i = \frac{a}{b^2} \quad \dots\dots\dots(81)$$

d) 递减参数求解方法:

可以看出, 式 (73)、(75)、(78) 实际上是一样的, 因此以柯佩托夫衰减曲线 I 的公式 (78) 的参数求解方法为例。

方法 1 非线性最小二乘法:

采用非线性最小二乘法, 用实际生产数据处理公式 (78), 可同时求出 a 、 b , 这是求取递减参数最准确的方法。

方法 2 直线回归法:

用下式:

$$\frac{1}{N_p} = \frac{b}{a} + \frac{b^2}{a} \cdot \frac{1}{t} \quad \dots\dots\dots(82)$$

变量取 $1/t$ ，因变量取 $1/N_p$ ，式 (82) 为一直线方程，回归此方程可求出 b/a 和 b^2/a ，从而求出 a 、 b 。

5.4.3.4 变形的柯佩托夫衰减曲线 II：

N_p 表达式为：

$$N_p = a - \frac{b}{c+t} \quad \dots\dots\dots(83)$$

Q_t 计算式为：

$$Q_t = \frac{b}{(c+t)^2} \quad \dots\dots\dots(84)$$

可采储量 N_R 计算式为：

$$N_R = a - \sqrt{bQ_a} \quad \dots\dots\dots(85)$$

递减参数求取方法为：

方法 1：配线法：

a) 绘制 N_p-t 曲线求 c 。取尽量大的跨度时间 t_1 和 t_3 ，在 N_p-t 曲线上查得对应的 N_{p1} 和 N_{p3} ，用式 (86) 求 N_{p2} ：

$$N_{p2} = \frac{1}{2}(N_{p1} + N_{p3}) \quad \dots\dots\dots(86)$$

根据 N_p-t 曲线，由 N_{p2} 查得对应的 t_2 ，按式 (87) 计算参数 c ：

$$c = \frac{t_2(t_1 + t_3) - 2t_1t_3}{t_1 + t_3 - 2t_2} \quad \dots\dots\dots(87)$$

b) 以 $(c+t)$ 为横坐标，以 $N_p(c+t)$ 为纵坐标，绘制校正的衰减曲线，将得到一条直线，回归此直线，斜率为 a ，截距乘以 (-1) 为 b 。

方法 2：线性回归法

根据线性方程：

$$tQ_t + N_p = a - cQ_t \quad \dots\dots\dots(88)$$

取 $(tQ_t + N_p)$ 为因变量， Q_t 为自变量，线性回归可求得截距为 a ，斜率为 $-c$ ，从而求出 a ， c 。

根据计算出的 a ， c 值和公式 (89)：

$$b = (a - N_p) \cdot (c + t) \quad \dots\dots\dots(89)$$

由要求拟合的 N_p , t 数据段计算 b 值。

以上式 (68)、(72)、(74)、(76)、(79)、(85) 中

$$Q_a = 0.02Q_{Li} \quad \dots\dots\dots(90)$$

5.4.3.5 递减曲线在计算可采储量中的应用:

a) 油藏稳定递减三年后方可用递减曲线法测算可采储量。

b) 没有进行重大调整措施的水驱和重力驱油田应用变形的柯佩托夫衰减曲线 I, 即公式 (78) 计算可采储量。

c) 应用中选择递减曲线类型的步骤: 先用双曲递减处理实际数据, 求出相应的递减参数。当递减指数 $n < 0.2$ 时, 可近似为指数递减计算, $n > 0.2$ 用双曲递减计算。也可应用变形的柯佩托夫衰减曲线 II 即公式 (83) 进行计算。

d) 用双曲递减曲线处理实际数据计算可采储量, 应注意递减指数 n 不应 ≥ 1.0 。如出现这种情况, 可采用强制限制 n 的方法计算可采储量, 即对水驱和重力驱油田限制 $n = 0.5$, 对溶解气驱油田限制 $n = 0.3$ 。

5.4.4 增长曲线法

5.4.4.1 增长曲线公式 1——威布尔增长曲线:

a) 累积产量计算公式:

$$N_p = N_{Rmax}(1 - e^{-t^b/a}) \quad \dots\dots\dots(91)$$

b) 产量变化计算公式:

$$Q_t = N_{Rmax} \cdot e^{-t^b/a} \cdot \frac{b}{a} \cdot t^{b-1} \quad \dots\dots\dots(92)$$

c) 增长曲线参数求取方法:

方法 1——0.632 12 准数法:

根据油田实际资料计算 tQ_t — N_p 关系, 求出 tQ_t 达到最大值 $(tQ_t)_{max}$ 时对应的 N_p 为 N_{pm} , 对应的 t 为 $t(tQ_t)_{max}$, 则

$$N_{Rmax} = \frac{N_{pm}}{0.632\ 12} \quad \dots\dots\dots(93)$$

$$b = \frac{(tQ_t)_{max}}{0.367\ 879N_{Rmax}} \quad \dots\dots\dots(94)$$

$$a = t^b(tQ_t)_{max} \quad \dots\dots\dots(95)$$

方法 2——重复线性回归法:

根据公式:

$$\lg \frac{tQ_t}{N_{R\max} - N_p} = \lg \frac{b}{a} + b \lg t \quad \dots\dots\dots(96)$$

给不同的 $N_{R\max}$ 以 $\lg t$ 为自变量, $\lg \frac{tQ_t}{N_{R\max} - N_p}$ 为因变量, 进行线性回归, 对应相关系数最大时的 $N_{R\max}$ 即为所求 $N_{R\max}$, 斜率为所求的 b , 根据截距 $\lg \frac{b}{a}$ 及求出的 b 可求出 a 。

5.4.4.2 增长曲线公式 2——俞启泰增长曲线:

a) 累积产量计算公式:

$$N_p = N_{R\max} \frac{b^t - 1}{b^t + a} \quad \dots\dots\dots(97)$$

b) 产量变化计算公式:

$$Q_t = N_{R\max} \frac{(a+1) \cdot \ln b \cdot b^t}{(b^t + a)^2} \quad \dots\dots\dots(98)$$

c) 增长曲线参数求取方法——重复线性回归法:

根据公式:

$$\lg \frac{\frac{Q_t}{N_{R\max}}}{(1 - \frac{N_p}{N_{R\max}})^2} = \lg \frac{\ln b}{a+1} + (\lg b) \cdot t \quad \dots\dots\dots(99)$$

给不同的 $N_{R\max}$, 以 t 为自变量, $\lg \frac{\frac{Q_t}{N_{R\max}}}{(1 - \frac{N_p}{N_{R\max}})^2}$ 为因变量, 进行线性回归, 对应相关系数最大

时的 $N_{R\max}$ 即为所求 $N_{R\max}$; 根据斜率 $\lg b$ 可求出 b ; 根据截距 $\lg \frac{\ln b}{a+1}$ 及所求出的 b 可求出 a 。

5.5 油藏溶解气凝析油可采储量计算

按 GBn 269 执行。

6 经济可采储量计算

6.1 经济可采储量计算方法

6.1.1 编制现金流通表

现金流通表由两部分构成: 现金流入 (CI) 和现金流出 (CO)。

现金流入由产品销售收入、回收流动资金和回收固定资产残值构成。

现金流出由固定资产投资、流动资金、操作费、销售税金和所得税构成。

现金流入减现金流出等于净现金流量, 净现金流量用规定的贴现率 (i) 进行贴现后为贴现净现金流量。

6.1.2 经济可采储量有关指标

6.1.2.1 经济可采储量 (N_{ER}):

在 6.1.2.2 规定的条件下, 当 $NPV > 0$, 如果是新油藏该年的累积采油量为经济可采储量 (N_{ER}), 如果是已开发老油藏, 则为剩余经济可采储量 (N_{RER})。

6.1.2.2 经济可采储量的价值 (NPV):

$$NPV = \sum_{T_a=1}^n \frac{(CI - CO)_{T_a}}{(1+i)^{T_a}} \dots\dots\dots(100)$$

当 $NPV > 0$, $CI - CO = 0$, 此时, NPV 为经济可采储量的价值, 如果油藏已开发, 则 NPV 为剩余经济可采储量的价值。

6.1.2.3 经济开采年限 (T_E):

在 6.1.2.2 规定的条件下, $(CI - CO)_{T_a} = 0$ 到该年的年数 (T_a) 为经济开采年限 (T_E)。如果是已开发老油藏, 此年数 (T_a) 加上已开发年数 (T_0) 为该油藏经济开采年数 (T_E)。

6.1.2.4 经济采收率 (E_{ER}):

$$E_{ER} = N_{ER}/N \dots\dots\dots(101)$$

6.2 油藏经济可采储量计算步骤**6.2.1 确定技术参数****6.2.1.1 油藏地质参数:**

油藏地质参数包括含油面积、地质储量、油层物性、油气物性和埋藏深度等。

6.2.1.2 油藏工程参数:

油藏工程参数包括开发基建规模、开发方式、开采方式、钻井工艺、采油工艺、地面建设工艺。提供开发或调整方案, 预测开发指标: 各年产油量、天然气量、产水量、注水量和技术可采储量。

6.2.1.3 油藏地面工程参数:

油藏地面工程参数包括地面建设油气集输及相应配套工程投资定额指标。

6.2.2 确定经济参数**6.2.2.1 开发时间:**

确定基础年、新油藏开发建设期、开发生产期等。

6.2.2.2 价格:

原油、天然气和轻烃的销售价格。

6.2.2.3 各种税金及附加:

根据现行税收政策要求采用油田实际每吨油缴纳的税金及附加测算。

6.2.2.4 原油商品率取油田实际值。**6.2.2.5 基本折旧方法:**

采用直线法, 折旧年限为 8 年, 年折旧率为 12.5%。已开发的老油藏, 视已开发年限而定。

6.2.2.6 已开发油田固定资产净值:

固定资产净值一般采用折旧的方法进行计算。

6.2.2.7 基准收益率 (贴现率) 取 12%。**6.2.2.8 开发投资价格指数取 6%, 因物价影响的操作费与油价不考虑上涨。****6.2.2.9 国家的特殊政策。****6.2.3 投资的估算****6.2.3.1 勘探投资的计算:**

勘探投资按实际情况进行计算，如果难以计算可按照提取的储量使用费进行计算。

6.2.3.2 开发投资估算：

开发投资包括钻井工程投资、地面建设工程投资、采油工程投资、固定资产投资建设期利息和流动资金。开发投资用下列方法进行计算：

a) 钻井工程投资估算：

该投资是指油气田开发建设期所钻开发井的投资。

钻井工程投资 = 钻开发井数 × 平均完钻井深 × 平均每米进尺成本

b) 采油工程投资估算：

包括采油井油管费、下油管费、射孔费、投产投注费和其他采油工程费等。

c) 地面建设工程投资估算：

包括油气集输工程投资、系统工程投资和公用工程投资。其计算方法依据油田开发建设方案提出的工程量由设计部门提供投资估算，在油田开发初期评价阶段采用钻井工程投资、地面建设工程投资和采油工程投资分别占开发总投资的比例系数进行估算。

d) 固定资产投资建设期利息的计算：

已开发老油藏建设期利息为零。新油藏为简化计算，假定借款发生在当年均在年中使用，按半年计算，其后年份按全年计息；还完款当年按年末偿还，全年计算。

e) 流动资金的计算：

流动资金按固定资产原值的 1% ~ 5% 进行计算。

6.2.4 操作费的计算

6.2.4.1 与采油井有关的费用计算：

a) 材料费：

根据油藏单井定额或实际发生值进行测算。

b) 生产人员工资及福利费：

按油藏生产工人人数和人均年工资水平进行测算。

c) 井下作业费：

井下作业费 = 采油井井数 × 单井平均年作业次数 × 每井次平均作业成本或油田定额进行测算。

d) 测井试井费：

按单井测井试井费定额或实际发生值进行测算。

e) 修理费：

根据单井修理费定额或实际发生值进行测算。

6.2.4.2 与注水（气）量有关的费用计算：

注水（气）费按该油藏年注水（气）量和单位注水（气）费（包括注水（气）井折旧、水费、动力费、劳务费等）进行测算。

6.2.4.3 与产液量有关的费用计算：

油气处理费按每生产一吨液所摊派的油气处理费用进行测算。

6.2.4.4 与产油量有关的费用计算：

a) 燃料费：

按年产油气量与吨油所消耗的燃料费定额或实际发生值进行测算。

b) 热采费：

用每吨原油所摊派的热采费用进行测算。

c) 轻烃回收费：

按轻烃回收数量和单位轻烃回收费进行测算。

d) 油田维护费的计算：

可按每吨原油提取的油田维护费进行测算。

e) 其他开采费用:

根据基础年实际财务决算吨油其他开采费用进行测算。

6.2.5 开采成本的计算

开采成本包括操作费、折旧费和储量使用费。

6.2.5.1 折旧费的计算:

按规定提取的折旧。6.2.2.5 规定了折旧方法、年限和折旧率。

6.2.5.2 储量使用费的计算:

可按每吨原油所提取的储量使用费进行测算。

6.2.6 三项费用的计算

6.2.6.1 管理费用的计算:

此费用简化为两项,一项为矿产资源补偿费,一项为矿产资源补偿费以外的其他管理费用。矿产资源补偿费按销售收入的1%计取。其他管理费为油田其他管理费用定额与总定员乘积。

6.2.6.2 财务费用的计算:

按各油田基础年实际财务决算吨油财务费用进行测算。

6.2.6.3 销售费用的计算:

按销售收入0.2%~0.5%测算销售费用。

6.2.7 销售税金及附加的计算

销售税金及附加包括增值税(或营业税)、城市维护建设税、教育费附加和资源税。按各油田基础年实际吨油缴纳的税金进行测算。

6.2.8 所得税的计算

按企业利润总额的33%的统一税率征收企业所得税。

附 录 A
(标准的附录)
符 号 注 释

- a ——系数;
 A_1 —— J 函数与 Φ 函数在前缘饱和度处之差;
 a_1 ——系数;
 a_2 ——系数;
 a_3 ——系数;
 a_4 ——系数;
 a_5 ——系数;
 a_6 ——系数;
 b ——系数;
 B_g ——气体地下体积系数, 1;
 B_{gb} ——饱和压力下气体地下体积系数, 1;
 B_o ——原油体积系数, 1;
 B_{ob} ——饱和压力下原油体积系数, 1;
 B_{oi} ——平均原始原油体积系数, 1;
 C ——厚度波及系数;
 c ——系数;
 C_f ——岩石压缩系数, MPa^{-1} ;
 CI ——年现金流入, 10^4 元;
 CO ——年现金流出, 10^4 元;
 C_o ——地层原油压缩系数, MPa^{-1} ;
 C_w ——地层水压缩系数, MPa^{-1} ;
 D_i ——初始递减率, $1/a$;
 E_A ——面积波及系数, f ;
 F_D ——驱油效率, f ;
 E_b ——厚度波及系数, f ;
 E_{ER} ——经济采收率, f ;
 E_R ——原油采收率, f ;
 E_{RT} ——有油水过渡带油藏的采收率, f ;
 F ——水油比, 1;
 f ——井网密度, 为油藏含油面积除以油藏总注采井数, hm^2/well , well/km^2 ;
 $f(K)$ ——渗透率分布函数;
 f_o ——含油率, f ;
 f_w ——含水率, f ;
 f'_w ——含水率导数;
 \bar{f}_w ——油藏平均含水率, f ;
 h_{oc} ——油藏平均有效厚度, m ;

- i ——贴现率, f ;
 J ——含油率对 Φ 函数的积分函数;
 K ——渗透率, $10^{-3}\mu\text{m}^2$;
 K_a ——空气渗透率, $10^{-3}\mu\text{m}^2$;
 \bar{K} ——分布规律平均渗透率, $10^{-3}\mu\text{m}^2$; 概率为 50% 处的渗透率, $10^{-3}\mu\text{m}^2$; 油藏平均空气渗透率, $10^{-3}\mu\text{m}^2$;
 \bar{K}_e ——油层平均有效渗透率, 用稳定试井法求出, $10^{-3}\mu\text{m}^2$;
 K_o ——油相渗透率, $10^{-3}\mu\text{m}^2$;
 K_{oe} ——渗透率分布参数, $10^{-3}\mu\text{m}^2$;
 K_{rg} ——气相相对渗透率, f ;
 K_{ro} ——油相相对渗透率, f ;
 \bar{K}_{ro} ——平均油相相对渗透率, f ;
 K_{rw} ——水相相对渗透率, f ;
 \bar{K}_{rw} ——平均水相相对渗透率, f ;
 K_{rwm} ——残余油饱和度下的水相相对渗透率, f ;
 K_{rwmk} —— $S_w^* = 1.0$ 时对应的 \bar{K}_{rw} ;
 k_w ——水相渗透率, $10^{-3}\mu\text{m}^2$;
 K_e ——对数正态分布中, 在累积样品数为 84.1% 处的渗透率, $10^{-3}\mu\text{m}^2$;
 L ——油层连通率, %;
 l ——流管长度, m ;
 L_p ——累积产液量, $10^4 t$;
 M ——流度比, 1;
 N ——地质储量, $10^4 t$;
 n ——指数;
 N_{ER} ——经济可采储量, $10^4 t$;
 n_{ow} ——采注井数比, 1;
 N_p ——累积产油量, $10^4 t$;
 N_{p1} ——对应时间 t_1 的累积产油量, $10^4 t$;
 N_{p2} ——对应时间 t_2 的累积产油量, $10^4 t$;
 N_{p3} ——对应时间 t_3 的累积产油量, $10^4 t$;
 N_{pm} ——对应 $(tQ_t)_{max}$ 的 N_p , $10^4 t$;
 NPV ——经济可采储量的价值, 10^4 ¥ ;
 N_R ——可采储量, $10^4 t$;
 N_{Rmax} ——最大可采储量, $10^4 t$;
 N_{RER} ——剩余经济可采储量, $10^4 t$;
 $N(W)$ ——油水过渡带地质储量, $10^4 t$;
 p ——压力, MPa ;
 \bar{p} ——平均压力, MPa ;
 p_a ——油藏废弃压力, MPa ;
 p_b ——饱和压力, MPa ;
 p_i ——原始油层压力, MPa ;

- Δp ——流管两端压差, MPa;
 \bar{q} ——无因次产量;
 Q_a ——油藏废弃产量, t/a;
 Q_i —— $t=0$ 时刻产量, t/a;
 Q_L ——年产液量, t/a;
 Q_{Li} ——对应 Q_i 时的 Q_L , t/a;
 \bar{q}_o ——无因次产油量;
 Q_t —— t 时刻产量, t/a;
 R ——采出程度, f;
 R_s ——溶解气油比, m^3/m^3 ;
 S_e ——出口端含水饱和度, f;
 S_o ——含油饱和度, f;
 \bar{S}_o ——平均含油饱和度, f;
 \bar{S}_{oa} ——油藏废弃平均含油饱和度, f;
 S_{oi} ——原始含油饱和度, f;
 S_{or} ——残余油饱和度, f;
 S_w ——含水饱和度, f;
 S_w^* ——归一化的含水饱和度, f;
 \bar{S}_w ——平均含水饱和度, f;
 \bar{S}_{wf} ——水驱前缘后的平均含水饱和度, f;
 S_{wi} ——原始含水饱和度, f;
 S_Φ ——前缘饱和度, f;
 T ——油层平均温度, $^\circ\text{C}$;
 T_a ——开采年限, a;
 \bar{T} ——油藏无因次生产时间;
 t ——生产时间, a;
 t_1 ——对应 N_p-t 曲线上 N_{p1} 的时间, a;
 t_2 ——对应 N_p-t 曲线上 N_{p2} 的时间, a;
 t_3 ——对应 N_p-t 曲线上 N_{p3} 的时间, a;
 \bar{t} ——无因次时间;
 t_{BR} ——单元流管无因次见水时间;
 $(tQ_t)_{\max}$ —— tQ_t 达到最大时的值, t;
 T_E ——经济开采年限, a;
 T_0 ——已开发年限, a;
 $t(tQ_t)_{\max}$ —— $(tQ_t)_{\max}$ 对应的 t , a;
 \bar{V} ——油藏无因次累积产液量;
 \bar{v} ——累积产液量与孔隙体积之比表示的单流管无因次累积产液量;
 \bar{v}_{BR} ——单流管见水时间无因次累积产液量;
 V_k ——对数正态分布渗透率变异系数, f;
 \bar{V}_o ——油藏无因次累积产油量;

-
- \bar{u}_o ——累积产油量与孔隙体积之比表示的单流管无因次累积产油量；
 W_p ——累积产水量，t；
 Y ——厚度波及系数计算相关函数；
 μ_1 ——均值；
 μ_g ——天然气粘度，mPa·s；
 μ_{gb} ——对应原油饱和压力下天然气粘度，mPa·s；
 μ_o ——地层原油粘度，mPa·s；
 μ_{ob} ——饱和压力下地层原油粘度，mPa·s；
 μ_R ——油层条件下油水粘度比，1；
 μ_w ——地层水粘度，mPa·s；
 v ——自由度；
 σ ——均方差；
 Φ ——饱和度对含水率的导数，饱和度分布函数；
 φ ——孔隙度，f；
 φ_t ——地质储量计算用总孔隙度，f。
-