

油气藏规模概率统计法在资源评价中的应用

张华义^{*}

金之钧

(四川石油管理局地质勘探开发研究院)

(石油大学·北京)

张华义等. 油气藏规模概率统计法在资源评价中的应用. 天然气工业, 1997; 17(1): 19 ~23

摘 要 近几年, 国内外对油气资源评价十分重视, 使用的方法也较多, 有传统的地质方法, 也有数理统计法。文章介绍的油气藏规模概率统计法是一种新的资源预测方法。该方法通过对已发现的油气藏序列勘探样本的划分和研究, 揭示了自然总体中油气藏规模分布, 同时预测自然总体中油气藏个数和总资源量及其资源结构。特别是对勘探程度较高的地区, 该方法能够准确地指出剩余资源和剩余油气藏个数, 从而使我们找出最佳勘探方向, 进而确定合理的投资方案。通过应用实例, 详细地介绍了油气藏规模概率统计法的实施步骤, 其评价结果十分满意。

主题词 油气藏 天然气储量 概率统计算法 勘探评价 资源量计算 四川盆地 东

近几年来, 国内外对油气藏资源评价方法研究较多, 涉及领域越来越广泛, 手段越来越先进。但其基本方法大致分为四类: ①地质成因法; ②盆地模拟法; ③德尔菲法及专家系统; ④概率统计模拟法。而油气藏规模概率统计法则属于概率统计法模拟。其主要原理是通过对已发现油气藏勘探样本的划分和研究, 揭示油气藏在自然界中的客观分布, 许多前人研究认为油气藏分布普遍遵从对数正态分布, 而近几年石油大学(北京)的金之钧博士等人研究认为, 油气藏分布规模并不完全遵从对数正态分布, 同时指出评价区油气藏分布与研究程度有关, 资源转化率是描述勘探程度的主要指标。另外, 油气藏分布参数与资源密度有关。因此, 我们把这种油气藏规模分布称之为“金氏”分布。该分布在描述油气藏规模时, 充分考虑到该地区地质特征的影响, 使其更能准确反应某地区油气藏规模分布。

基本概念

1. 总体(地质系统)

所谓地质系统是指在空间上(剖面上和平面上)能够有独立的生、储、盖组合的含油气空间的地质块体。严格上来讲, 该系统具有自生、自储的特征, 不与外界发生物质上的交换。这一系统可能是一个沉积模式, 或是一个一、二级构造带, 或是某一成因相似的油气藏组合。所有该系统内的油气藏之集合(发现的和未发现的)构成了一个统计总体, 也叫自然总

体。

2. 勘探样本

勘探样本指的是截止到某一时间为止在评价区内所发现的油气藏总数的集合。勘探样本可看作是对自然总体的抽样。很显然勘探样本是一种非随机不放回抽样。

3. 最大油气藏

指某一评价区中具有工业价值的最大油气藏。它可能已经被发现, 也可能现在未被发现。最大油气藏的确定是正确评价资源潜量的关键。

4. 最小工业油气藏

对于某一评价区内, 在当前经济和技术条件下具有开发价值的最小油气藏。

5. 中位数油气藏

对于某一勘探样本而言, 把各个已发现的油气藏按其规模大小排列, 其储量位于中间的油气藏。

6. 资源结构

对于某一评价区而言, 我们可以把地质储量或资源量进行分级。分级的标准有两种: ①按 e^i 来分级($i=1, 2, 3, \dots, l$); ②视评价区具体情况按某一自然数分级, 如 5×10^8 、 10×10^8 、 50×10^8 、 100×10^8 、 200×10^8 、 300×10^8 、 $500 \times 10^8 \text{m}^3$ 等。

7. 资源转化率

指评价区内某一勘探样本中所有油气藏的储量与该评价区的总资源量之比。资源转化率是评价某一评价区勘探程度的最好指标。

^{*} 张华义, 工程师, 1963 年生, 1987 年毕业于成都理工学院数学地质专业; 一直从事资源评价和圈闭评价管理工作, 其科研成果获四川石油管理局科技成果一等奖。地址:(610051) 四川省成都市府青路一段 1 号。电话:(028) 3324911 转 215635。

· 19 ·

基本原理

据前人对世界勘探程度高的油气区进行研究,发现的油气藏规模分布如图 1 所示。该图表明:随着油气藏储量的增大、油气藏个数的增多,较大的油气藏在自然界出现的概率越来越小。

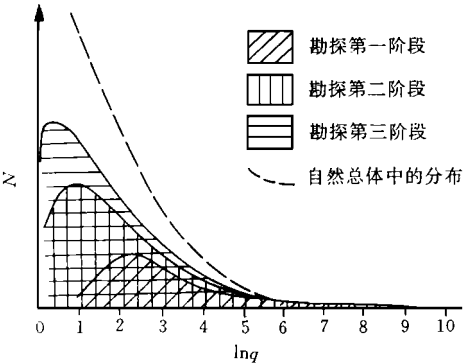


图 1 俄罗斯西西伯利亚盆地已发现油气藏数与分布曲线变迁图

Fig. 1. distribution curve variation size and number of discovered reservoirs in west Siberia basin.

我们可以用 $p(q) = f(q, \lambda)$ 来描述这一分布规律。其中 $p(q)$ 是储量为 q 的油气藏在自然界中出现的概率; $f(q, \lambda)$ 为概率密度函数; λ 为分布系数, 则 $f(q, \lambda)$ 为单调下降的函数。如果我们能够找到这一函数, 并把油气藏限定在 $[q_0, q_{\max}]$ 范围内, 那么我们就可以得到:

$$\begin{cases} \int_0^{q_{\max}} f(q, \lambda) dq \equiv 1 \\ \int_0^q f(q, \lambda) dq \leq 1 \quad (q \in [q_0, q_{\max}]) \end{cases} \quad (1)$$

上述方法则称为油气藏规模概率统计法。该方法的关键环节在于如何正确建立自然界中油气藏的密度函数 $f(q, \lambda)$ 。

据金之钧博士等人研究, 我们可以得到式中油气藏概率密度函数及其它们分布函数。

密度函数

$$f(q, \lambda) = \frac{\gamma(q_0 + \gamma)^\lambda}{(q + \gamma)^{\lambda+1}} \quad (2)$$

分布函数

$$F(q, \lambda) = 1 - \left[\frac{q_0 + \gamma}{q + \gamma} \right]^\lambda + \left[\frac{q_0 + \gamma}{q_{\max} + \gamma} \right]^\lambda \quad (3)$$

式中: γ 为中位数油气藏的储量。并有:

$$\begin{cases} \gamma = A_1 \rho (1 - \alpha) + B_1 q_0 \\ \lambda = A_2 + B_2 \rho \end{cases} \quad (4)$$

式中: ρ 为评价区资源密度; α 为资源转化率。进而得到各种评价指标:

(1) 评价区平均油气藏储量

$$\bar{q} = \left[\frac{q_0 + \gamma}{q_{\max} + \gamma} \right]^\lambda \left[\frac{\lambda}{1 - \lambda} (q_{\max} + \gamma) + \gamma \right] - \left[\frac{\lambda}{1 - \lambda} (q_0 + \gamma) + \gamma \right] \quad (5)$$

当 $\lambda = 1$ 时:

$$\bar{q} = (q_0 + \gamma) \ln \frac{q_{\max} + \gamma}{q_0 + \gamma} + \gamma \left[\frac{q_0 + \gamma}{q_{\max} + \gamma} - 1 \right] \quad (6)$$

(2) 评价区油气藏总个数

$$N = Q / \bar{q}$$

(3) 在 $[q_i, q_{i+1}]$ 范围内资源量

$$\begin{aligned} Q_{q_i, q_{i+1}} &= N \cdot \lambda (q_0 + \gamma)^\lambda \\ &\times \left[\frac{1}{(q_{i+1} + \gamma)^\lambda} \left(\frac{q_{i+1} + \gamma}{1 - \lambda} + \frac{\gamma}{\lambda} \right) \right. \\ &\left. - \frac{1}{(q_i + \gamma)^\lambda} \left(\frac{q_i + \gamma}{1 - \lambda} + \frac{\gamma}{\lambda} \right) \right] \end{aligned} \quad (7)$$

当 $\lambda = 1$ 时

$$\begin{aligned} Q_{q_i, q_{i+1}} &= N (q_0 + \gamma) \\ &\times \left[\ln \frac{q_{i+1} + \gamma}{q_i + \gamma} + \gamma \left(\frac{1}{q_{i+1} + \gamma} - \frac{1}{q_i + \gamma} \right) \right] \end{aligned} \quad (8)$$

(4) 在 $[q_i, q_{i+1}]$ 范围内油气藏个数

$$N_{q_i, q_{i+1}} = N (q_0 + \gamma)^\lambda \left[\frac{1}{(q_{i+1} + \gamma)^\lambda} - \frac{1}{(q_i + \gamma)^\lambda} \right] \quad (9)$$

(5) 在 $[q_i, q_{i+1}]$ 范围内的平均油气藏资源量

$$\begin{aligned} \bar{q}_{q_i, q_{i+1}} &= \\ &\frac{\lambda [(q_i + \gamma)^\lambda (q_{i+1} + \gamma) - (q_{i+1} + \gamma)^\lambda (q_i + \gamma)]}{(1 - \lambda) [(q_{i+1} + \gamma)^\lambda - (q_i + \gamma)^\lambda]} - \gamma \end{aligned} \quad (10)$$

当 $\lambda = 1$ 时

$$\bar{q}_{q_i, q_{i+1}} = \frac{(q_i + \gamma)(q_{i+1} + \gamma)}{(q_{i+1} + \gamma) - (q_i + \gamma)} \ln \frac{q_{i+1} + \gamma}{q_i + \gamma} - \gamma \quad (11)$$

此方法的优点和特点:

(1) 能够预测在自然界总体中某一含油气区的资源分布情况(即当 $\alpha = 1$ 时), 即最终资源量; 也可以预测到某一时间为止勘探样本中的油气藏分布情况(即当 $\alpha < 1$ 时)。

(2) 能够自身检验。即应用所建立的分布函数, 将评价区的已知 α 代入即可求证。具体做法如下: 设勘探样本中的油气藏个数及其对应的理论分布 $N_i^T, Q_i^T (i = 1, 2, \dots, l)$, 共为分 l 级。在 l 个级别内对应的实际发现的 N_i^f, Q_i^f 分布。这样便可进行 χ^2 检验:

$$\begin{aligned} \chi_N^2 &= \sum_{i=1}^l \frac{(N_i^T - N_i^f)^2}{N_i^T} \\ \chi_Q^2 &= \sum_{i=1}^l \left(\frac{Q_i^T - Q_i^f}{Q_i^T} \right)^2 \end{aligned}$$

令 $\chi^2 = \chi_N^2 + \chi_Q^2$, 可以查 $F(x)$ 分布表, 给出置信度门限值, 找出标准 x_0^2 , 若公式中 $\chi^2 < x_0^2$, 则符合检验, 反之否定。

应用范围与实际步骤

1. 应用范围

使用油气藏规模概率统计法模型,可以对不同研究程度或勘探程度的评价区的油气资源进行评价,但评价目的和任务有所不同。对于勘探程度较高的地区,评价的目的是给出剩余资源状况及其资源结构;而对勘探程度较低的地区,评价的首要任务是弄清该区的资源总量(Q),评价区内的最大油气藏($q_{\max}$),最小工业油气藏(q_0)。

2. 实施步骤

- (1) 选定评价区,确定评价区含油气地质系统,即确定自然总体模型。
- (2) 按时间序列建立勘探样本序列。由于勘探程度低,油气藏发现个数有限,所以建立勘探样本有一定的困难。一般情况下,已发现的油气藏个数要大于 30 个,这样可以建立两个勘探样本,即第一个勘探样本 20 个左右,第二个勘探样本在 30 个左右。一般来讲,建立的勘探样本有四个即可,事实上勘探样本越多越好。若限定样本边界为 $[q_0, q_{\max}]$,并假定在第一个勘探样本之中。
 - (3) 确定评价区最大油气藏和最小工业油气藏
 - ① 最大油气藏的确定
 - 对于勘探程度低的地区来说,确定该地区的最大油气藏是正确评价该区资源总量的关键,而且也是最棘手的问题之一。但我们可以利用其他方法去加以确定,比如应用油气藏规模序列法来确定 $q_{\max}$,此方法见有关文献。
 - ② 最小工业油气藏的确定
 - 据评价区的地质特征和产能要求,结合当前经济和技术手段来确定 q_0 。
 - (4) 根据建立的勘探样本建立中位数(Y)、油气藏个数(N)与资源转化率(α)之间的函数关系:
$$\begin{cases} Y = k\rho(1 - \alpha) + Bq_0 \\ N = C\alpha e^{A\alpha} \end{cases} \quad (12)$$

当评价区确定后, ρ, q_0 均为已知,用 Y, α 对应值可以确定 k, A, B 和 C 值。

 - (5) 求 λ 的初始值(λ_0)
 - 由公式 (3) 两边取对数,即
$$\ln(1 - F) = \lambda \ln \frac{q_0 + Y}{q + Y} + C \quad (13)$$

公式 (13) 确定 λ_0 对于一个确定的勘探样本来说,存在 $F \sim q$ 对应值关系,用一元一次线性回归方法即可求出 λ_0 值。

 - (6) 求 λ 的真值

经过第 (5) 步获得的 λ 只是一个初始值 λ_0 ,可以根据已有的勘探样本用 χ^2 检验来确定 λ 的准确值。具体做法如下:

- ① 在公式 $F = 1 - \left[\frac{q_0 + Y}{q + Y} \right]^\lambda + \left[\frac{q_0 + Y}{q_{\max} + Y} \right]^\lambda$ 中,对于每一个勘探样本,其 $q_0, Y, q_{\max}$ 均为已知,取 $\lambda = \lambda_0 \pm \xi, \xi$ 为一个很小的数,一般在 0.1 ~ 0.01 间。每对应一个 λ 我们就可以获得一个油气藏个数及其资源量的理论数列: $N_i = N_{q_{i-1}, q_i}, Q_i = Q_{q_{i-1}, q_i} (i = 1, 2, \dots, l)$, 同时与之对应的实际值为 N_i^f, Q_i^f , 利用公式可求出 χ^2 值。
 - ② 取 ξ 为步长,在计算机上模拟出一系列的 $\lambda, \chi_j^2 (j = 1, 2, \dots, n), n$ 为循环次数。
 - ③ 取 χ_j^2 中最小值所对应的 λ 为该勘探样本的最佳 λ 真值。
- 对于每个勘探样本重复上述 (5)、(6) 两步,可以获得描述每个勘探样本的最佳 λ 值。通过研究表明, λ 的取值一般在 0.8 ~ 1.4 间,且和 α 值关系不密切,仅和评价区资源密度和油气富集程度有关。当 ρ 值大且富集程度高时, λ 值低;反之亦然。所以对于某一评价区自然总体中 λ 值的确定,一般采取各勘探样本中 λ 值之和的平均值。即
- $$\lambda = \frac{1}{n} \sum \lambda_i \quad (n \text{ 为勘探样本个数})$$
- (7) χ^2 检验
 - 要检验所建立的分布是否符合统计要求,可以用皮尔逊检验(即 χ^2 检验)。可以查 $F(x)$ 分布表,找出标准 χ_0^2 ,即主值位移为 2、自由度为 1 ~ 2 的 $F(x)$ 。若公式的 $\chi_v^2 < \chi_0^2$,则符合检验,反之否定。
 - (8) 资源预测若通过 χ^2 检验,则可利用所建立的油气藏分布模型来预测该评价区的油气藏个数及其资源状况。
- 据已建立的方程:
- $$\begin{cases} Y = k\rho(1 - \alpha) + Bq_0 \\ N = C\alpha e^{A\alpha} \end{cases}$$
- 令 $\alpha = 1$,则有自然总体中的中位数 Y 值和油气藏总个数 N 值。则评价区总资源量(Q)为:
- 当 $\lambda \neq 1$ 时
- $$Q = N\lambda \times \left[\left[\frac{q_0 + Y}{q_{\max} + Y} \right]^\lambda \left[\frac{q_{\max} + Y}{1 - \lambda} + \frac{Y}{\lambda} \right] - \left[\frac{q_0 + Y}{1 - \lambda} + \frac{Y}{\lambda} \right] \right]$$
- 当 $\lambda = 1$ 时
- $$Q = N(q_0 + Y) \times \left[\ln \frac{q_{\max} + Y}{q_0 + Y} + \frac{Y}{q_{\max} + Y} - \frac{Y}{q_0 + Y} \right]$$
- 然而在实际计算过程中,油气藏个数模型即 N

模型是很难建立的, 所以求总资源量可以通过统计模型来实现。具体做法如下: ①对假定的资源量初值(Q)进行校正。②令 $Q_{\text{总}} = Q_{\text{初值}} \pm \Delta Q$, 其中 ΔQ 为一不大的量, 一般在 $50 \leq \Delta Q \leq 250$, 对于不同的 Q 值, 有一个 γ 在自然总体中的值, 如图 2 所示。

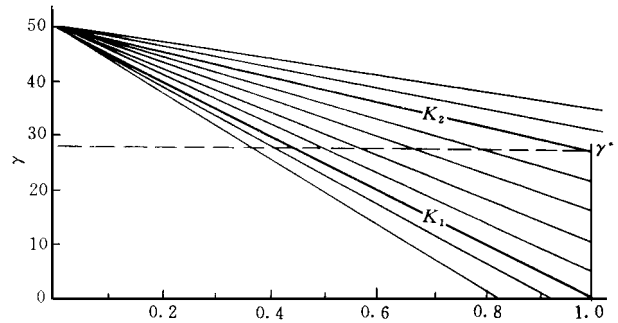


图 2 自然总体中中位数油气藏模拟示意图

Fig. 2. Simulation diagrammatic sketch of median reservoirs in nature.

也就是说, 当变换 Q 值时引起了 γ 的变化, 勘探样本中的中位数油气藏不变。这样使其关系式 $Y = A + K\alpha$ 中 A 值不变, 它为 γ 的截距, K 值是变化的。当 $\gamma = 1$ 时, γ 的取值范围应在 $q_0 < \gamma < \gamma^*$, γ 为到目前为止的勘探样本的中位数油气藏, K 的变化只能在 $[k_1, k_2]$ 之间变化, 对应的 $[Q_{\min}, Q_{\max}]$ 上、下限随之被确定。同时, 对于每一个 Q 、 K 值, 就可利用前面公式(5)、(6)得到该评价区平均油气藏(q)和油气藏个数(N)。综合上述几项参数, 由地质学专家评判, 即可选定其中某个最佳的 Q 作为该评价区的最可能值。反过来说, 一旦确定了总资源量(Q), 油气藏个数也随之而确定, 这样评价区油气藏分布和未发现的资源量及其结构就完全被预测了。

应用实例

川东石炭系黄龙组灰岩含油气层, 其主要岩性为一套浅灰岩至灰色白云岩, 角砾岩、生物碎屑灰岩。厚度 0~100 m, 一般 10~50 m。该层孔隙发育, 孔隙类型多, 孔隙度平均为 5%~7%, 是良好的储集层。其下伏志留系的厚度为 500~1 200 m, 以暗色泥质为主, 为富含有机质的生油岩系。据四川盆地油气资源二次评价研究, 其生烃量为 $3\,288 \times 10^8 \text{ t}$, 生烃强度为 $5.9 \times 10^8 \text{ t/km}^2$, 为石炭系气藏形成提供了重要的烃源条件。据地球化学研究成果认为, 石炭系天然气与志留系生油岩有着密切的关系。二叠系底部为一套含膏泥岩, 并处于超压条件下, 这形成了良好的区域盖层。以上事实说明川东地区志留系

—石炭系—二叠系是一个独立的成藏体系, 在此地质体系进行统计分析是可行的。

1977 年在石炭系首次发现相国寺气田, 从而揭开了该成藏体系的研究序幕。到目前为止, 该层系发现油气藏 40 个。由此我们可以构造三个勘探样本: ①截止到 1989 年底共 24 个油气藏的勘探样本; ②截止到 1992 年底共 33 个油气藏的勘探样本; ③截止到 1995 年底共 40 个油气藏的勘探样本。经过研究, 目前仅就构造圈闭而言, 川东石炭系最大气藏应为五百梯, 最小气藏据当前的经济、技术条件暂定为 $q_0 = 1 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。利用本方法原理和实验步骤对川东石炭系气藏进行了预测, 其结果如表 1。

表 1 石炭系总资源量模拟结果一览表

Table 1. Simulation results of general resources in Carboniferous system

Q (10^8 m^3)	A	K	γ (10^8 m^3)	N	q (10^8 m^3)
7 250	72. 58	- 67. 0	5. 51	353	20. 51
7 000	72. 58	- 64. 75	7. 83	276	25. 40
6 750	72. 58	- 62. 44	10. 14	226	29. 80
6 500	72. 58	- 60. 12	12. 45	192	33. 82
6 250	72. 58	- 57. 81	14. 77	167	37. 52
6 000	72. 58	- 55. 50	17. 08	146	40. 96

从表 1 中可以看出, 当 $Q = 6\,500 \times 10^8 \text{ m}^3$ 时, 其对应的 γ 、 q 、 N 值较适合川东石炭系, 为最可能值。若以概率的形成反应川东石炭系资源则为 $7\,000 \times 10^8 \text{ m}^3$ (25%)、 $6\,500 \times 10^8 \text{ m}^3$ (50%)、 $6\,000 \times 10^8 \text{ m}^3$ (75%)。

另外, 若将川东石炭系的所有气藏分为 6 级, 即 1~10, 10~50, 50~100, 100~200, 200~300, 300~500(10^8 m^3), 则川东石炭系气藏资源结构如表 2。

表 2 川东石炭系资源结构预测表

Table 2. Prediction of Carboniferous resource configuration in east Sichuan

级 别	1	2	3	4	5	6	
储 量 (10^8 m^3)	1~10	10~50	50~100	100~200	200~300	300~500	合计
油气藏总个数	85	74	17	10	3	3	192
已发现个数	4	13	6	8	1	1	33
未发现个数	81	61	11	2	2	2	159
未发现个数 已发现个数	50. 94	38. 36	6. 92	1. 26	1. 26	1. 26	100
剩余资源量 剩余总资源量	9. 14	34. 35	18. 55	9. 50	12. 05	16. 41	100

发现井气层测井—井壁取心 解 释 史 例

谭廷栋*

(中国石油天然气总公司石油勘探开发科学研究院)

谭廷栋. 发现井气层测井—井壁取心解释史例. 天然气工业, 1997; 17(1) : 23 ~27

摘 要 在勘探新区, 采用测井—井壁取心技术解释发现井气层, 对新区油气藏的发现有着重要意义。我国所采用的技术是横向测井—井壁取心、感应测井—井壁取心和组合测井—井壁取心技术, 其优点在于能够排除测井解释发现井气层时出现的多解性。在克 1 井采用横向测井—井壁取心技术, 具体应用了侵入性质—井壁取心法和电阻率—井壁取心法, 成功地解释了克 1 井气层(15 m/1 层)。在文 23 气藏采用了感应测井—井壁取心技术, 应用了饱和度—井壁取心、电导率—井壁取心等 5 种方法, 发现了文 23 井气层(119 m/39 层), 产气 $26.4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 、凝析油 3.5 t/d 。在黄骅坳陷孔店构造采用了组合测井—井壁取心技术, 应用了视地层水电阻率—井壁取心等 4 种方法, 发现了官 187 井气层(12. 7 m/1 层)。这些解释技术的应用结果表明, 测井—井壁取心技术已成为我国解释发现井气层的重要方法和有效手段, 其现代组合测井—井壁取心技术更具发展潜力。

主题词 测井系列 井壁取心 发现井 气层 综合解释

我国是最早使用测井—井壁取心技术解释发现井气层的国家之一。早在 50 年代, 克拉玛依油田发现井使用测井—井壁取心技术解释气层, 获得了令人满意的效果。从此以后, 测井—井壁取心技术成为我国解释发现井气层的重要方法和有效手段。笔者分析了测井与井壁取心存在多解性的特点, 总结出从发现井油气层中识别出气层的科学方法和实践经验, 从而能够排除多解性。下面给出的测井—井壁取心解释史例, 颇有实用价值和借鉴意义。

横向测井—井壁取心解释史例

图 1 是克拉玛依油田发现井——克 1 井气层测井—井壁取心解释史例^[1]。该井在裸眼井中作了横向测井和井壁取心, 同时还作了井径及自然电位测井。该井储层为三叠系砾岩和中—粗砂岩, 共采用两种方法解释发现井气层。

1. 侵入性质—井壁取心法

最后应当指出, 该地区已经发现的气藏均为构造圈闭型, 所以估计出的资源量应当为构造圈闭型的资源量, 因此该量在本区是有把握的。

参 考 文 献

1 赵旭东. 石油资源定量评价. 北京: 地质出版社, 1988

在淡水泥浆侵入情况下, 横向测井左枝电探曲线求得的地层电阻率, 假定代表侵入带地层电阻率; 横向测井右枝电探曲线求得的地层电阻率, 假定代表非侵入地层电阻率(又称地层真电阻率)。当侵入带地层电阻率小于非侵入带地层电阻率时, 储层出现减阻侵入性质, 指示为油气层; 当侵入带地层电阻率大于非侵入带地层电阻率时, 储层出现增阻侵入性质, 指示为水层。

在这里, 油层和气层均出现减阻侵入性质, 采用横向测井解释, 难于分开发现井的油层和气层。在这种情况下, 井壁取心能够帮助横向测井排除多解性。储层出现减阻侵入性质, 井壁取心含油, 储层直观解释为油层; 储层出现减阻侵入性质, 井壁取心不含油, 储层直观解释为气层。

2. 电阻率—井壁取心法

在储层岩性、孔隙度和地层水电阻率相同条件下, 非侵入带储层电阻率大于水层电阻率 3 倍时, 储

2 金之钧. 油气田规模概率分布规律研究及油气资源评价方法的完善. 莫斯科: 莫斯科石油大学, 1992

(收稿日期 1996-09-08 编辑 韩晓渝)

* 谭廷栋, 1933 年生, 教授级高级工程师, 博士研究生导师; 1952 年毕业于川北大学电机专业; 发表论文 150 余篇, 出版专著 4 部; 现从事测井学科方面的研究及教学工作。地址: (100083) 北京市学院路 20 号 910 信箱。电话: (010) 62097105。