

中华人民共和国石油天然气行业标准

SY/ T 5623—1997

地层孔隙压力预测检测方法

Prediction and detection methods of
formation pore pressure

1997-12-31 发布

1998-07-01 实施

目 次

前言 IV

1 范围 1

2 符号 1

3 d_c 指数法 2

4 声波时差法 4

5 预测检测孔隙压力技术总结 7

前 言

本标准是 SY 5623—93 的修订版本。

本标准修订时，增加了用声波时差法预测检测地层孔隙压力的内容，并对原有 d_c 指数法的内容做了必要的修改。

本标准从生效之日起，同时代替 SY 5623—93。

本标准由石油钻井工程专业标准化委员会提出并归口。

本标准起草单位：江汉石油学院石油工程系。

本标准主要起草人 李自俊 王越支

本标准原代号和编号为 ZB E13 006—90,首次发布日期:1990 年 3 月 27 日。

本标准转为行业标准 SY 5623 的日期:1993 年。

地层孔隙压力预测检测方法

Prediction and detection methods of formation pore pressure

1 范围

本标准规定了石油天然气直井钻井中用 d_c 指数、声波时差预测检测地层孔隙压力的方法。
本标准适用于有砂、泥岩层序剖面的探井和油气田初期开发井的地层孔隙压力预测和检测。

2 符号

表 1 给出本标准使用的符号。

表 1 符号一览表

序号	符号	名 称	单 位
1	D	井深	m
2	D_s	泥线深度	m
3	D_r	转盘面至地面或海面的高度	m
4	L	计算 d_c 指数的点距	m
5	d_b	钻头直径	mm
6	W	钻压	kN
7	t	点距 L 的纯钻进时间	min
8	n	转盘转速	r / min
9	ρ_n	正常孔隙压力梯度当量密度	g / cm ³
10	ρ_p	孔隙压力梯度当量密度	g / cm ³
11	ρ_o	上覆岩层压力梯度当量密度	g / cm ³
12	ρ_d	实际钻井液密度 (有条件时可用当量循环密度)	g / cm ³
13	ρ_{fw}	地层水密度	g / cm ³
14	ρ_g	岩石颗粒密度	g / cm ³
15	ρ_b	岩石容积密度	g / cm ³
16	ρ_{sw}	海水密度	g / cm ³
17	ϕ	岩石孔隙度	1
18	ϕ_o	地表岩石孔隙度	1
19	K	半对数坐标图上岩石孔隙度—深度关系直线的斜率	m ⁻¹

表 1(完)

序号	符号	名 称	单位
20	d_c	d_c 指数	1
21	d_{c_n}	正常趋势线及其延伸线上的 d_c 指数	1
22	d_{c_a}	实际的 d_c 指数	1
23	a	半对数坐标图上 d_c 指数—深度关系正常趋势线的横截距	1
24	b	半对数坐标图上 d_c 指数—深度关系正常趋势线的斜率	m^{-1}
25	Δt	岩石的声波时差	$\mu s / m$
26	Δt_n	正常趋势线及其延伸线上的声波时差	$\mu s / m$
27	Δt_a	实际的岩石声波时差	$\mu s / m$
28	Δt_{fw}	地层水的声波时差	$\mu s / m$
29	Δt_{ma}	岩石骨架的声波时差	$\mu s / m$
30	S_{fw}	地层水的氯化钠含量	g / l
31	i	孔隙度—岩石骨架声波时差关系直线的纵截距	$\mu s / m$
32	j	孔隙度—岩石骨架声波时差关系直线的斜率	$\mu s / m$
33	C	校正系数	1
34	U	指数	1

3 d_c 指数法

3.1 现场资料采集

3.1.1 检测起始井深

应在钻入硬化固结的泥页岩层后就开始检测。

3.1.2 计算 d_c 指数的点距

每 5m 一点, 进入可能的压力过渡带时应加密到每 2m 或 1m 一点。

3.1.3 资料采集要求

a) 按点距采集纯钻进时间、井深、钻压、转速、钻井液密度诸参数值。采集的应是均匀层段各参数的平均值, 而不是瞬时值;

b) 正常孔隙压力梯度当量密度根据地层水的氯化钠含量确定。在资料缺乏时可采用平均值 $1.05g/cm^3$ 。

3.1.4 其他资料

其他资料包括:

- a) 钻头尺寸及类型、钻进时的流量及泵压;
- b) 井漏: 应记录时间、井深、层位、漏失量、钻井液密度;
- c) 溢流: 应记录时间、井深、层位、循环池液体增量、钻井液密度、关井立管压力和关井套管压力;
- d) 测试和试油资料: 应记录时间、井深、层位、实测孔隙压力;
- e) 油气水侵: 应记录时间、井深、层位、进出口钻井液密度和粘度。

3.2 d_c 指数计算公式见式 (1)

$$d_c = \frac{\rho_n}{\rho_d} \cdot \frac{\lg \frac{3.28L}{nt}}{\lg \frac{0.0685W}{d_b}} \dots\dots\dots(1)$$

3.3 d_c 指数录井图孔隙压力梯度的解释

3.3.1 正常趋势线的确定

在 d_c 指数录井图上应及时地确定合理的正常趋势线。

3.3.1.1 确定原则

- a) 用于确定正常趋势线的正常孔隙压力井段应该大于 300m;
- b) 应由泥页岩 d_c 指数点来确定正常趋势线;
- c) 纠斜吊打、取心钻进、钻头磨合及磨损后期、井底不清洁等非正常钻进的 d_c 指数点不参加正常趋势线定位。

3.3.1.2 正常趋势线方程见式(2)

$$d_{c_n} = a \times 10^{bD} \dots\dots\dots(2)$$

其中系数 a 和 b 按如下方法确定:

- a) 由井的正常孔隙压力井段所取得资料按公式 (2) 回归确定 a 、 b 值。建立该井的正常趋势线;
- b) 钻井较多的地区, 在有充足资料时, 采用公式 (2) 回归确定一系列的 a 、 b 值, 取其平均值作为地区性正常趋势线的横截距和斜率。用地区性正常趋势线方程计算得到的孔隙压力与实测压力相比, 相对误差在 5% 以内, 方程才能应用;
- c) 新区探井除采用正常孔隙压力井段所取得资料回归确定 a 、 b 值以外, 也可采用推荐的 b 值 $5.5329 \times 10^{-5} \text{m}^{-1}$, 并求得相应的 a 值。

3.3.2 预测或检测孔隙压力梯度当量密度的计算

3.3.2.1 计算公式见式(3)

$$\rho_p = \frac{d_{c_n}}{d_{c_a}} \cdot C \rho_n \dots\dots\dots(3)$$

校正系数 C 由实测压力代入求得。

当采用其他公式时, 应在 d_c 指数录井图上注明。

3.3.2.2 计算孔隙压力梯度当量密度的注意事项

- a) 应选取 d_c 指数曲线中连续变化的测点进行计算;
- b) 当 d_c 指数曲线由于钻头尺寸和类型改变、钻头水功率变化较大或钻遇地层不整合等原因产生整体向左或向右偏离时, 应基于偏离前后孔隙压力相等的原则, 将正常趋势线适当平移 (斜率不变) 或改用新的正常趋势线后, 再作计算;
- c) 非泥页岩的以及 3.3.1.1c) 所指明的情况相同的 d_c 指数点, 不参与孔隙压力梯度的解释和计算, 可认为其孔隙压力梯度当量密度值近似于相邻泥页岩 d_c 指数点的孔隙压力梯度当量密度。

3.4 d_c 指数录井图记录纸的有关规定

3.4.1 横坐标

d_c 指数用对数尺度, 从 1 到 2 相当于纸上 40mm。

3.4.2 纵坐标

井深用算术尺度。每大格长度为 25mm, 并等分成 10 小格。

3.5 d_c 指数录井图绘制要求

3.5.1 绘制内容

绘制内容包括井深、钻井简况、钻速、 d_c 指数、钻压、泵压、孔隙压力梯度当量密度 (记录纸中简称孔隙压力梯度)、钻井液密度、岩性剖面。

3.5.2 绘制符号规定

3.5.2.1 起下钻位置、钻头尺寸和类型

在“钻井简况”栏中对应井深处以 $\frac{\text{“尺寸和类型”}}{\downarrow}$ 表示, 例如 $\frac{\text{“215P2”}}{\downarrow}$ 。

当仅是钻头类型变化时, 除相同尺寸的第一只钻头外, 其余钻头可简化表示为 $\frac{\text{“类型”}}{\downarrow}$, 例如 $\frac{\text{“P2”}}{\downarrow}$ 。

3.5.2.2 测试、试油或关井求得的孔隙压力梯度当量密度

在“钻井简况”栏中对应井深处以 $\frac{\text{“测试 (试油或关井)”}}{\text{孔隙压力梯度当量密度 (数值)}}$ 表示, 例如 $\frac{\text{“测试”}}{1.00}$ 。

3.5.2.3 气侵、溢流、井塌等情况

在“钻井简况”栏中对应井深处用文字表示, 例如“溢流”。

3.5.2.4 岩性剖面

按地质录井有关规定画出。

3.5.2.5 孔隙压力梯度当量密度和钻井液密度

在相应栏内分别以虚线和实线表示。如数值超过横坐标范围, 可在图上用数值表示。

3.5.2.6 地质分层

将层位标注在“井深”栏内, 例如东营组表示为“东营”。

3.5.3 绘图比例

井深可选 1 大格表示 100m (每 5m 一点), 1 大格表示 40m (每 2m 一点), 1 大格表示 20m (每 1m 一点) 中的任一比例。

3.5.4 绘图示例 (见图 1)。

4 声波时差法

4.1 资料采集

4.1.1 声波时差资料来源

预测检测孔隙压力用声波时差资料主要来源于:

- 由地震资料提取的地层层速度, 其倒数即声波时差;
- 声波测井曲线;
- VSP 测井曲线。

4.1.2 声波时差资料要求

4.1.2.1 地震资料提取的地层层速度, 应在速度资料分辨能力范围内将层段划小。

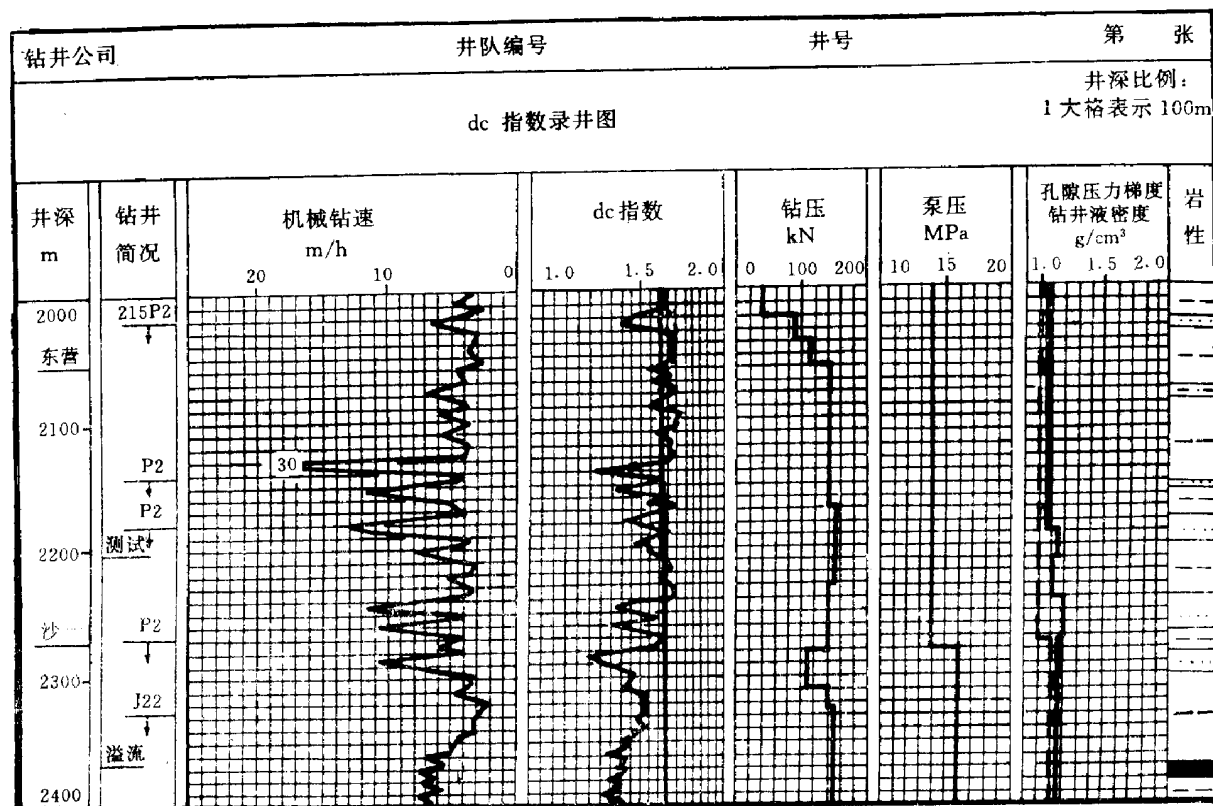
4.1.2.2 声波测井资料应选取:

- 有比较平直的、低自然电位的、均匀低电阻率的和高自然伽马值的泥页岩层段;
- 厚度大于 2m 的泥页岩层段;
- 非缩径的或井径扩大不超过 6cm 的泥页岩层段。

4.1.3 其他资料

其他资料包括:

- 密度测井、感应测井和伽马测井的组合测井曲线;
- 地层水氯化钠含量的资料;
- 实测孔隙压力梯度的测试资料和钻井液密度;
- 海洋钻井时泥线深度和转盘面海拔高度。



注:本图为示意图,未标实物比例尺。

图 1 d_c 指数录井图

4.2 正常趋势线的确定

4.2.1 正常趋势线方程 见式 (4)

$$\Delta t_n = i + (\Delta t_{fw} + j - i)\phi_o e^{-KD} - j\phi_o^2 e^{-2KD} \quad \dots\dots\dots(4)$$

4.2.2 正常趋势线有系数的确定

4.2.2.1 ϕ_o 和 K 的计算步骤如下:

- 由密度测井数据回归岩石容积密度 ρ_b 和井深 D 的关系曲线;
- 根据 ρ_b-D 曲线上各深度的岩石容积密度, 按公式 (5) 计算相应深度的岩石孔隙度, 即

$$\phi = \frac{\rho_g - \rho_b}{\rho_g - \rho_{fw}} \quad \dots\dots\dots(5)$$

计算时, ρ_g 可用平均值 2.60g/cm^3 , ρ_{fw} 可用平均值 1.05g/cm^3 ;

- 由岩石孔隙度数据, 用公式 (6) 回归岩石孔隙度 ϕ 和井深 D 的关系曲线, 即

$$\phi = \phi_o e^{-KD} \quad \dots\dots\dots(6)$$

从中求得 ϕ_0 和 K 。

4.2.2.2 Δt_{fw} 可根据地层水的氯化钠含量 S_{fw} 计算, 见式(7)和式(8):

a) $S_{fw} < 107.1\text{g/l}$ 时, 即

$$\Delta t_{fw} = 715 - 0.306 S_{fw} \quad \dots\dots\dots(7)$$

b) $107.1\text{g/l} < S_{fw} < 229.6\text{g/l}$ 时, 即

$$\Delta t_{fw} = 682 - 0.509(S_{fw} - 107.1) \quad \dots\dots\dots(8)$$

4.2.2.3 i 和 j 的计算步骤如下:

a) 根据各深度的岩石声波时差 Δt 、孔隙度 ϕ 和地层水声波时差 Δt_{fw} , 按公式(9) 计算相应深度的岩石骨架的声波时差: 即

$$\Delta t_{ma} = \frac{\Delta t - \phi \Delta t_{fw}}{1 - \phi} \quad \dots\dots\dots(9)$$

b) 由计算出的岩石骨架声波时差 Δt_{ma} , 用公式(10) 回归岩石骨架声波时差 Δt_{ma} 和孔隙度 ϕ 的关系直线, 即

$$\Delta t_{ma} = i + j\phi \quad \dots\dots\dots(10)$$

从中求得 i 和 j

4.3 上覆岩层压力梯度的计算[见式(11)]

$$\rho_o = \int_0^{D_s - D_r} \rho_{sw} dD + \int_{D_s - D_r}^{D - D_r} [\rho_g(1 - \phi) + \rho_{fw}\phi] dD \quad \dots\dots\dots(11)$$

对于陆上钻井, $D_s - D_r = 0$ 。

4.4 预测或检测孔隙压力梯度当量密度的计算

预测或检测的孔隙压力梯度当量密度可选用式(12) 或式(13) 计算。

a) 比值式:

$$\rho_p = \frac{\Delta t_a}{\Delta t_n} \cdot \rho_n \quad \dots\dots\dots(12)$$

b) 伊顿式:

$$\rho_p = \rho_o - (\rho_o - \rho_n) \left(\frac{\Delta t_n}{\Delta t_a} \right)^U \quad \dots\dots\dots(13)$$

指数 U 由实测压力代入求得, 无实测压力时可取 $U = 3.0$ 。

4.5 绘制孔隙压力梯度预测检测图

4.5.1 横坐标

当量密度用算术尺度, 从 1.0g/cm^3 到 2.5g/cm^3 相当于纸上 37.5mm , 等分为 15 小格。

4.5.2 纵坐标

井深用算术尺度, 每 500m 相当于纸上 25mm , 为 1 大格, 等分为 10 小格。

4.5.3 绘制内容

绘制内容包括: 孔隙压力梯度当量密度、钻井液密度、实测孔隙压力梯度当量密度和岩性剖面。

4.5.4 绘制符号

4.5.4.1 孔隙压力梯度当量密度用虚线表示。

4.5.4.2 钻井液密度用实线表示。

4.5.4.3 实测孔隙压力梯度当量密度在对应井深处用“测试孔隙压力梯度当量密度（数值）·”表示，如“测量 1.98·”。

4.5.4.4 岩性剖面按地质录井有关规定画出。

5 预测检测孔隙压力技术总结

5.1 表格形式(见表 2)

表 2 ×× 井孔隙压力数据表（格式）

起止井深 m	层 位	孔隙压力梯度当量密度 g/cm ³			钻井液密度 g/cm ³
		预测	检测	实测	

5.2 文字内容

根据计算资料和按规定收集的资料综合分析该井孔隙压力状况。

对该井使用的钻井液密度是否合理作出评价，对以后邻井钻井液密度的设计提出意见和建议。

对该井的预测检测孔隙压力技术进行总结，对不同预测检测方法的预测检测精度作出评价，并提出改进的意见。