平衡钻井dc指数误差处理

李小泉

（四川石油钻采工艺研究所）

平衡钻井是提高钻井速度、降低钻井成本的重要途径。平衡钻井的基础依赖于地层压力预报的精确性。在砂岩和泥页岩地层中，国内外已普遍采用dc指数值预测地层压力。但因成岩环境的差异和钻井工艺、技术参数的不同，一般应用dc值直接预报地层压力，不容易达到预期的目的。

对于风险性较大的气井钻井，准确无误地预报地层压力尤为重要，通过近二年对川西北矿区80多口完井资料的数理统计和分析，对关9井、文9井的dc值进行误差处理，结果表明：这种处理是必不可少的。文9井钻至T_3x^2层砂岩，井深3967米，泥浆比重2.15克/厘米^3，其dc指数值用回归方程计算地层压力梯度为0.207公斤力/厘米^2·米，当钻至3968米时，实际地层压力梯度为0.214公斤力/厘米^2·米。由于预报准确，井喷关井后，用比重2.30克/厘米^{3}的泥浆便恢复钻进。关9井钻至T_3x^5砂岩，井深3234米井喷，dc指数值用回归方程计算地层压力梯度为0.185公斤力/厘米^2·米，即地层压力为600公斤力/厘米^{2}左右。用比重2～2.05克/厘米^{3}的泥浆入井循环，压井一次成功恢复钻进。

以上实例说明，运用概率、回归方程的理论分析是科学的和实用的。中坝、文兴场、老关庙构造回归方程的相关系数r均大于0.85，地层压力的理论值与实际值误差为±0.005公斤力/厘米^2.米。

dc指数值变化的分布规律

定量了解dc指数值变化的分布规律不仅可从大量的原始资料数值中判断出数据的真实性，而且也是本文探讨基础。

设在某一条件下，我们进行了若干口井的试验，取得了相当多个数据，称为总体。欲从总体中取出n个相互独立的、对总体又有代表性的数据，称为样本。我们的目的是用最方便的方法选取样本，推断总体的性质。

假设深度Ho：dc指数值的变化规律服从正态分布，那么，在井深2680～2700米区间内所选取的数据如表1所示，取显著性水平α＝0.01。

dc 值　　表1

1.98	1.96	1.91	1.97	1.96	2.02	2.01	2.00
1.97	1.94	1.91	1.92	1.94	1.91	2.01	2.02
1.97	1.86	1.86	1.91	1.81	1.92	1.89	1.90
1.89	1.91	1.83	1.89	1.89	1.92	1.97	1.91
1.85	1.82	1.85	1.91	1.89	1.88	1.86	1.85
1.84	1.83	1.84	1.85	1.85	1.86	1.86	1.88
1.94	1.87	1.95	1.97	1.93	1.93	1.94	1.85
1.95	1.89	1.94	1.91	1.92	1.93	1.91	1.89
1.95	1.94	1.94	1.93	1.91	1.89	1.87	1.86
1.91	1.89	1.90	1.89	1.94	1.93	1.90	1.93
1.94	1.91	1.95	1.97	1.89	1.98	1.98	1.91
1.95	1.89	1.95	1.97	1.99	1.93	1.98	1.91

将表1杂乱无章的数据整理运算结果列

于表2。

表 2

i	X_i	X_{io}	ν_i	i	X_i	X_{io}	ν_i
1	1.815～1.845	1.83	5	5	1.935～1.965	1.95	17
2	1.845～1.875	1.86	14	6	1.965～1.995	1.98	12
3	1.875～1.905	1.89	17	7	1.995～2.025	2.01	5
4	1.905～1.935	1.92	26				

因为原假设Ho没有给出μ（总体的数学期望）和σ^2（总体的方差），只是说dc指数值随Ho变化服从正态分布。为此我们用样本均值$\overline{X}$、方差S^2作为μ、σ^2的估计值，由表1用均值计算与方差计算得$\overline{X}=1.92$；$S^2=0.0036$，因此对于服从正态N（$\overline{X}$，S^2）分布的一个随机变量η有：

$$P_i=P(C<\eta<D)=\phi\left(\frac{D-\overline{X}}{\sigma}\right)-\phi\left(\frac{C-\overline{X}}{\sigma}\right) \quad (1)$$

令　$X_1=\frac{D-\overline{X}}{\sigma}$，　　$X=\frac{C-\overline{X}}{\sigma}$

将方程（1）整理得：

$$\phi(X_1)-\phi(X_2)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_C^D e-\frac{t^2}{2dt} \quad (2)$$

由辛普生近似计算公式得（3）式：

$$P_i=P(C_i<\eta<D_i)=\frac{D_i-C_i}{3n}[(y'_0+y'_n)+2(y'_2+y'_4+\cdots\cdots+y'_{n-2})+4(y_1'+y_3'+\cdots\cdots+y'_{K-1})] \quad (3)$$

那么
$$p_1=P(1.815<\eta\leqq1.845)=0.06569$$
$$p_2=P(1.845<\eta\leqq1.875)=0.12097$$
$$p_3=P(1.875<\eta\leqq1.905)=0.17515$$
$$p_4=P(1.905<\eta\leqq1.935)=0.1974$$
$$p_5=P(1.935<\eta\leqq1.965)=0.17515$$
$$p_6=P(1.965<\eta\leqq1.995)=0.12097$$
$$p_7=P(1.995<\eta\leqq2.025)=0.06569$$

由　$X_g^2=\sum_{i=1}^{7}\frac{(\gamma_i-np_i)}{nP_i}$　得　$X_g^2=3.6712$

式中　γ_i——落入某区间的样本值个数；　n——样本容量；　P_i——随机变量落入某区间范围内的概率。

而自由变为（7—3）＝4，从X^2——分布表中查得自由度为4的$X^2_{0.01}=12.277$，因$Xg^2=3.6712<X^2_{0.01}=12.277$。

故原假设成立。这样，就可从大量原始数据中优选真实数据，为作回归方程提供了依据。

dc数值系统误差和偶然误差的求算

为清楚系统误差和偶然误差对dc指数值变化的影响，举表3的数据为例。

表 3

泥浆比重	井深在3120～3130米内的dc值									
1.23	2	2.04	2.05	2.08	2.07	2.04	2.07	2.05	2.01	1.99
1.30	1.89	1.89	1.92	1.89	1.93	1.89	1.94	1.85	1.90	1.91
1.38	1.80	1.81	1.80	1.82	1.81	1.82	1.81	1.79	1.80	1.77

显然，表中数据参差不齐。造成这种差异的原因是由试验条件不同和偶然因素构成。前者即所谓系统误差，是指与试验数据有关的诸因素的变化所引起的误差，可人为控制；偶然误差是指由测试仪器或感官记录引起的误差，它是不可控制的。因此本章的目的是定量地分析试验数据dc指数值的总误差与系统误差、偶然误差之间的关系。找出条件因素对指标dc值的影响显著与否的结论。

1．单因素条件试验

设X_1，X_2，……，X_m 相互独立，各X_i服从正态N（μ，σ）分布，X_{i1}，X_{i2}，……，X_{in}的样本，（$i=1$，2，3，……，m）于是有：

$$\overline{X}_i=\frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n}X_{ij}\quad(i=1,\ 2,\ \cdots\cdots,\ m)\tag{4}$$

$$\overline{X}=\frac{1}{mn}\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}X_{ij}\quad(j=1,\ 2,\ \cdots\cdots,\ n)\tag{5}$$

$$Q=\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}(X_{ij}-\overline{X})^2\tag{6}$$

$\overline{X}_i$ 表示第i个总体X_i的样本平均值，$\overline{X}$表示全部观察值的总平均，Q表示所有观察值总平均之差的平方和。在抽样的情况下，可用Q表示总的误差，m表示试验条件，n表示每个条件重复进行试验的次数。下面对Q进行分解：

$$\begin{aligned}Q&=\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}(X_{ij}-\overline{X})^2=\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}\left[(X_{ij}-\overline{X}_i)+(\overline{X}_i-\overline{X})\right]^2\\&=\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}(X_{ij}-\overline{X}_i)^2+2\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}(X_{ij}-\overline{X}_i)(\overline{X}_i-\overline{X})\\&+\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}(\overline{X}_i-\overline{X})^2\end{aligned}\tag{7}$$

因：
$$\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}(X_{ij}-\overline{X}_i)(\overline{X}_i-\overline{X})=\sum_{i=1}^{m}\left[\sum_{j=1}^{n}(X_{ij}-\overline{X}_i)\right](\overline{X}_i-\overline{X})=0$$

$$\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}(\overline{X}_i-\overline{X})^2=n\sum_{j=1}^{m}(\overline{X}_i-\overline{X})^2$$

故得：
$$\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}(X_{ij}-\overline{X})^2=\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}(X_{ij}-\overline{X}_i)^2+n\sum_{j=1}^{m}(\overline{X}_i-\overline{X})^2\quad\cdots\cdots\cdots\cdots(8)$$

（8）式中右边第一项为偶然误差记作Q_1，第二项为系统误差记作Q_2，将（8）记为：

$$Q = Q_1 + Q_2 \tag{9}$$

将（8）式化简：

$$Q_1 = \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}(X_{ij} - \overline{X}_i)^2 = \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}X_{ij}^2 - \frac{\sum_{i=1}^{m}T_i^2}{n} \tag{10}$$

$$Q_2 = n\sum_{i=1}^{m}(\overline{X}_i - \overline{X})^2 = \frac{\sum_{i=1}^{m}T_i^2}{n} - \frac{T^2}{mn} \tag{11}$$

其中　$T_i = \sum_{j=1}^{n}X_{ij}$，　$T = \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}X_{ij}$

2. 多因素条件试验

设总的试验次数为n，试验结果为X_1，X_2，……，X_n。假定每个因素的水平数为a，每个水平做了b次试验，则$n = ab$。总离差平方和：

$$Q_{总} = \sum_{k=1}^{n}(X_K - \overline{X})^2$$

$$= \sum_{k=1}^{n}X_k^2 - \frac{\left(\sum_{k=1}^{n}X_K\right)^2}{n} \quad (K = 1, 2, \cdots\cdots, n) \tag{12}$$

式中　$\overline{X} = \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n}X_K$

各因素的系统误差为：

$$Q_{Ai} = \frac{1}{b}\sum_{i=1}^{a}\left(\sum_{j=1}^{b}X_{ij}\right)^2 - \frac{1}{n}\left(\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}X_{ij}\right)^2$$

又因　$\sum_{k=1}^{n}X_K = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}X_{ij}$　$(i = 1, 2, \cdots\cdots, a;\ j = 1, 2, \cdots\cdots, b)$

则　$$Q_{Ai} = \frac{1}{b}\sum_{i=1}^{a}K_i^2 - \frac{1}{n}\left(\sum_{k=1}^{n}X_K\right)^2 \tag{13}$$

（13）式中　$K_i = \sum_{j=1}^{b}X_{ij}$

故偶然误差为：　$Q_E = Q_{总} - Q_{Ai}$（包括交互作用）　(14)

而自由度为：

$f_{总}$ = 总试验次数 − 1 = $n - 1$；　$f_{(Ai)}$ = 因素水平数 − 1 = $a - 1$；　$f_{Ai\times(Ai+1)} = f_{Ai}\times f_{(Ai+1)}$；　$f_E = f_{总}$ − 各因素自由度之和。

3. 条件因素对指标影响显著与否的检验

（1）将各因素的系统误差和偶然误差分别除以各自对应的自由度，即得各自的平均系统误差和平均偶然误差。

（2）用各因素的平均系统误差与平均偶然误差相比，得 $F_i = \frac{Q'_{Ai}}{Q'_E}$。如果比值接近

于1，说明因素的水平改变对指标的影响在误差范围之内，否则就认为对指标有显著的影响。

(3) 计算出的F_i值与F——分布表中查到的相应临界值(λ_a)比较，当$F_i>\lambda_a$，便认为条件改变对指标影响显著。

4. **实例**

引用表3中的数据为例，在其它影响因素不变，验证试验数据仅由泥浆比重的变化，对dc指数值影响是否显著。其计算结果列于表4。

表 4

泥浆比重	试验号	$T_i=\sum_{i=1}^{10}Xx_j$	T_i^2	$\sum_{j=1}^{10}X_{ij}^2$
1.23	2,2.04,2.05,……,1.99	20.40	416.16	41.6241
1.30	1.89,1.89,1.92,……,1.91	19.01	361.38	36.1440
1.38	1.80,1.81,1.80,……,1.77	18.03	325.08	32.5090
Σ		57.44	1102.62	110.2771

由表4计算得：

$$Q_1=\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}X_{ij}^2-\frac{\sum_{i=1}^{m}T_i^2}{n}=110.2771-\frac{1102.62}{10}=0.0151$$

$$Q_2=\frac{\sum_{i=1}^{m}T_i^2}{n}-\frac{T^2}{mn}=\frac{1102.62}{10}-\frac{(57.44)^2}{3\times10}=0.2385$$

$$F_i=\frac{Q_2/(m'-1)}{Q_1/(n'-1)m'}=\frac{0.2835/2}{0.0151/27}=253.46$$

若信度为0.05，自由度为(2，27)查F-分布表得$\lambda_a<3.4<F_i$。便可得出泥浆比重的变化对dc指数变化有显著影响的结论。实际上影响dc指数变化的因素很多：如钻头选型；钻井参数的过大变化，包括钻压、转速、泥浆性能、水力参数；以及地史中沉积速度的变化、构造应力的不同和各井队的技术素质不一均，都可用上述方法检验影响是否显著。

我们曾对川西北矿区80多口完井资料进行了这方面的工作，得到以下认识。

(1) 喷射钻井对dc指数值影响显著。因此，用dc指数监测地层压力必须在保持井底清洁的喷射钻井前提下进行，否则dc指数不能真实地反映地层压力。

(2) 泥页岩在正常压实状态下，泥浆比重$\gamma_m>1.25$克/厘米^{3}时，dc指数泥浆比重的关系$dc=\frac{d}{\gamma_m}\times1.07$，不成立。

(3) $12\frac{1}{4}''$、$9\frac{3}{4}''$、$8\frac{1}{2}''$钻头对dc指数影响较小，换言之$8\frac{1}{2}''$钻头尺寸的回归方程可以代替其它尺寸的回归方程计算地层压力。

(4) 一般泥页岩在井深1500米以内为临界压实深度，没有规律性。因而作回归方程时，在此深度范围内的dc指数值可略去。

分项误差的传播与处理

设直接测量的参数为X_1，X_2，……，X_m，需间接测量的参数为$Y=f(X_1, X_2,……, X_m)$ (15) 如果各X_i的测量误差为ΔX_i，Y的误差为ΔY。

则 $Y+\Delta Y=f(X_1+\Delta X_1,\ X_2+\Delta X_2,\ ……X_m+\Delta X_m)$ (16)

若（15）式每个X_i只含有偶然误差ξ_i，其中对各X_i进行了n次等精度测量，于是可以得到n个Y的值。

即

$$Y_1 = f(X_{11},\ X_{21},\cdots\cdots,X_{m1})$$
$$Y_2 = f(X_{12},\ X_{22},\cdots\cdots,X_{m2})$$
$$\cdots\cdots$$
$$Yn = f(X_{1n},\ X_{2n}\cdots\cdots,\ X_{mn})$$

对其中第K次直接测量有：

$$Y+\xi_K = f(X_{1K}+\xi_{1K},\ X_{2K}+\xi_{2K},\ \cdots\cdots,\ X_{mK}+\xi_{mK}) \tag{17}$$

由多变量函数的泰勒公式

$$f(X_1+\Delta X_1, X_2+\Delta X_2,\cdots\cdots,X_m+\Delta X_m) = \sum_{q=0}^{n}\frac{1}{g!}\left(\Delta X_1\frac{\alpha}{\alpha X_1}+\Delta X_2\frac{\alpha}{\alpha X_2}+\cdots\cdots,\ \Delta X_m\ \frac{\alpha}{\alpha X_m}\right)^q f(X_1,\ X_2,\cdots\cdots,X_m)+\frac{1}{(n+)!}\left(\Delta X_1\frac{\alpha}{\alpha X_1}+\frac{\Delta X_2}{\alpha X_2}+\cdots\cdots\Delta X_m\ \frac{\alpha}{\alpha X_m}\right)^{n+1} f(X_1+h\Delta X_1、X_2+h\Delta X_2,\ \cdots\cdots,\ X_m+h\Delta X_m)\qquad (O<h<1) \tag{18}$$

将（17）式按（18）式展开，并略去高阶项（取n＝1）

得

$$Y+\xi_K=\sum_{g=0}^{1}\frac{1}{g!}\left(\xi_{1K}\ \frac{\alpha}{\alpha X_1}+\xi_{2K}\ \frac{\alpha}{\alpha X_2}+\cdots\cdots\xi_{mK}\ \frac{\alpha}{\alpha X_m}\right)qf(X_1,\ X_2,\ \cdots\cdots X_m)$$

$$=Y+\frac{\partial f}{\partial X_1}\ \xi_{1K}+\frac{\partial f}{\partial X_2}\ \xi_{2K}+\cdots\cdots+\frac{\partial f}{\partial X_m}\ \xi_{mK} \tag{19}$$

则

$$\xi_K=\sum_{i=1}^{m}\ \frac{\partial f}{\partial X_i}\xi_{iK} \tag{20}$$

将（20）式两边平方，再把n次测量结果相加后得：

$$\sum_{k=1}^{n}\xi_K{}^2=\sum_{i=1}^{m}\ \sum_{k=1}^{n}\left(\frac{\partial f}{\partial X_i}\right)^2\ \xi_{iK}{}^2=\sum_{i=1}^{m}\left(\frac{\partial f}{\partial X_i}\right)^2\sum_{k=1}^{n}\xi_{iK}{}^2 \tag{21}$$

上式两端同乘以$\frac{1}{n}$，并根据标准偏差的定义，则（21）式变为（22）式：

$$\sigma^2=\sum_{i=1}^{m}\left(\frac{\partial f}{\partial X_i}\right)^2\sigma_i{}^2 \tag{22}$$

当偶然误差ξ_i为正态分布时有：

$$\Delta X_i=3\sigma_i,\qquad \Delta Y=3\sigma$$

因此

$$\Delta Y=\pm\sqrt{\sum_{i=1}^{m}\left(\frac{\partial f}{\partial X_i}\right)^2\ \Delta X_i{}^2} \tag{23}$$

根据（23）式求算，当条件不变时，在预测地层压力过程中各分项误差对dc指数值的影响。由钻速方程得：$dc=\left(\frac{lg3.282-LgN-lgT}{lg0.003113+lgw}\right)\times\frac{1.07}{\gamma_m}$

式中设N＝55转/分，ΔN＝5转/分，W＝15吨，Δw＝2吨，T＝50分，ΔT＝5分，

$\gamma_m = 1.20$克/厘米^3，$\Delta\gamma_m = 0.02$克/厘米^3。

则
$$\frac{\alpha dc}{\alpha N} = \frac{-\frac{1}{N}}{lg0.003113+lgw} \times \frac{1.07}{\gamma_m} = 0.01218$$

$$\frac{\alpha dc}{\alpha T} = \frac{-\frac{1}{T}}{lg0.003113+lgw} \times \frac{1.07}{\gamma_m} = 0.0134$$

$$\frac{\alpha dc}{\alpha w} = \frac{lgN+lgT-lg3.282}{W(lg0.003113+lgw)^2} \times \frac{1.07}{\gamma_m} = 0.09809$$

$$\frac{\alpha dc}{\alpha \gamma_m} = \frac{lg3.282-lgN-lgT}{lg0.003113+lgw} \times \frac{1.07}{-\gamma_m} = -1.6318$$

将以上数据代入（23）式计算得： $\Delta Y = \Delta d = \pm 0.2183$

上述计算指出，各分项误差对总误差的影响是不同的。其中，泥浆比重和钻压对其影响大。所以当给出总误差Δd求各分项误差时，应该有无限多个解，也就存在着误差分配的问题。根据现场的实际情况对误差分配问题姑且进行定性的讨论。

因泥浆比重误差$\Delta\gamma_m < 0.02$克/厘米^3，即$\left(\frac{\alpha dc}{\alpha\gamma_m}\right)^2 \Delta\gamma_m{}^2 = 0.001065$，所以其误差影响相对来说较小。

因
$$\left(\frac{\alpha dc}{\alpha N}\right)^2 \Delta N^2 = 0.003708 \qquad \left(\frac{\alpha dc}{\alpha T}\right)^2 \Delta T^2 = 0.00449$$

而
$$\left(\frac{\alpha dc}{\alpha W}\right)^2 \Delta W^2 = 0.0385 \gg \left(\frac{\alpha dc}{\alpha N}\right)^2 \Delta N^2 + \left(\frac{\alpha dc}{\alpha T}\right)^2 \Delta T^2 + \left(\frac{\alpha dc}{\alpha\gamma_m}\right)^2 \Delta\gamma^2 = 0.009265$$

因此主要考虑W项的误差处理。当给出$\Delta dc = \pm 0.1389$时，

$$\Delta W < \frac{\Delta dc}{\alpha dc/\alpha W} = \frac{\pm 0.1399}{0.09809} = \pm 1.416(\text{吨})$$

在现场实际工作中，ΔN、ΔT、$\Delta\gamma_m$可以控制在一定的误差范围之内。而ΔW由于井下管柱受力情况复杂，加以送钻的不均匀性等。所以有必要放宽ΔW的误差限制。最好适当提高钻压，降低转速，保证各项指标在规定的误差范围工作。

dc指数回归方程的预测问题

用回归方程对地层压力进行预测时，由于没有给出某一区间范围，难免要增加预测的难度。若真值d_{co}的估计值为$\widehat{d_{co}} = aH_{io} + b$，希望估计值与真值的偏差越小越好。或者说对于任一固定的$H_i = H_{io}$（式中H_i表示实际井深），要对d_{co}作区间估计。

因随机变量d_c服从正态分布N（$\widehat{d_{co}}$，S^2），则方差近似$S = \sqrt{\frac{Q}{n-2}}$

式中 $Q = (1-\gamma^2)\ L_{dd}$

而 $\gamma = \dfrac{\sum_{i=1}^{n}(d_{ci}-\overline{d_c})(H_i-\overline{H})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(d_{ci}-\overline{d_c})^2\sum_{i=1}^{n}(H_i-\overline{H})^2}}$ $L_{dd} = \sum_{i=1}^{n}(d_{ci}-\overline{d_c})^2$

正态分布的性质可知： d_c落在$\overline{d_{co}}\pm S$范围的概率约为68%； d_c落在$\overline{d_{co}}\pm 2S$范围内的概率为95； d_c落在$\overline{d_{co}}\pm 3S$ 范围内的概率为97%。我们取d_c落在$\pm 3S$范围内的概率约97%为d_c的预测区间，这样我们得到随着H_{io}的变化，d_c预测区间的上下限

L_1： $\hat{d}_{co} = aH_{io} + b + 3S$；

L_2： $\hat{d}_{co} = aH_{io} + b - 3S$。

若满足一定条件，搞好各分项误差分配，则全部可能出现的d_c值中大约有97%的点落在L_1、L_2直线所辖范围内。否则判断为异常点。据此川西北矿区老关庙构造泥页岩回归方程的上下区间直线方程为：

L_1： $\hat{d}_{co} = 0.0001094H + 1.7934253$；

L_2： $\hat{d}_{co} = 0.0001094H + 1.5156013$。

结　论

1． d_c指数经概率、数理统计分析，基本上解决了d_c指数值变化的分布规律；引起d_c指数值变化的系统误差和偶然误差对回归方程的影响；d_c指数值的各分项误差控制；d_c指数回归方程的区间估计。

2． 通过川西北矿区80多口完井资料和关9、文9两口试验井检验，d_c指数值经上述方法处理后所作中坝、文兴场、老关庙构造回归方程的相关系数γ均大于0.85，其地层压力梯度的理论值与实际值的误差一般在±0.005公斤力/厘米²．米范围之内。

3． 文中所给出的d_c指数误差处理和各分项误差控制及区间估计等有关数学表达式为电子计算机在预测地层压力过程中提供了可靠的数学模型，从而使d_c指数预测地层压力提高到更加准确的阶段。

参 考 文 献

[1] 周晓钟、邹德成编 《概率论及数理统计》 黑龙江人民出版社 1983年

[2] 成都电讯工程学院郑家祥、傅崇伦编 《电子测量基础》 国防工业出版社 1981年4月

[3] 何国伟编 《误差分析方法》 国防工业出版社 1978年11月

（本文收到日期 1984年11月22日）

ucing gas wells is summarized and the advantage or drawback of various technology of water withdrawal in gas production is also appraised. It is pointed out that using the technique of intensifying water withdrawal is an efficient way for synthetically administering and well developing this gas pool.

NGI Vol.5 No.1 1985

平衡钻井中dc指数值的误差处理

李 小 泉

本文运用概率、数理统计方法，通过对川西北矿区80多口完井资料的分析，对dc指数值在预测地层压力中所出现的问题进行计算、研究，着重探讨了dc指数值的误差处理，以期对作准dc指数回归方程和预测高压地层的层段提供理论依据，供从事平衡钻井工作者参考。

《天然气工业》 第5卷 第1期 1985

Treatment of the Error in dc Exponent Value in Balanced Drilling

Li Xiaoquan

By applying the probability and mathematical statistics and analyzing the completion data of more than 80 wells of gas mining area in Northwestern Sichuan, this work makes a calculation and a study of the problems arised in forecasting the formation pressure by using the dc exponent value and emphatically discusses the treatment of the error in dc exponent value to expect to provide the theoretical basis for correctly making the dc exponent regression equation and forecasting the high pressure intervals and to give a reference to those who are engaging in balanced drilling.

NGI Vol.5 No 1 1985

泥、页岩的水敏性与井壁的稳定性

李 健 鹰

本文探讨了各类粘土矿物与水敏性的关系。粘土吸水后的总膨胀量是由于本身微观内容的相互作用力及外界吸力和斥力作用后达到新的平衡的结果。聚丙烯酰胺等高聚物可有效地抑制粘土的水敏性。抗盐能力强的高聚物与钾盐复配，可以提高高聚物对泥、页岩的水敏性的抑制作用。

《天然气工业》 第5卷 第1期 1985

Water Sensitivity of Mud Stone and Shale and Wall Stabilization

Li Jianying

This paper discusses the relationship between various clay minerals and water sensitivity. The total amount of expansion of water-absorbed clay is due to the result of new equilibrium established between the interaction forces of its microcontent and the external faces. High polymers such as polyacrylamide etc. can effectively inhibit water sensitivity of clay. The recombination of high polymer with strong antisalt and sylvite can enhance its inhibitory action on water sensitivity of mud stone and shale.

NGI Vol.5 No.1 1985

桥塞剂堵漏工艺实践

张 敬 荣

在压力梯度悬殊的碳酸盐岩破碎地层中钻井，井漏是损失钻机月的重要因素。本文总结了川东矿区1984年应用桥塞剂堵漏的经验，简介了此项工艺堵漏的优点和施工要领，并列举了桥塞剂堵漏的典型井例。

《天然气工业》 第5卷 第1期 1985

Technology of Stopping Lost Circulation by Using the Bridging Plug Agent

Zhang Jingrong

Drilling a well in the broken carbonate strata where the pressure gradient is widely different, lost circulation is an important factor that makes the rig time losed.

This work sums up the experience of gas mining area in Eastern Sichuan about stopping the lost circulation by using bridging plug agent in 1984, briefly presents its advantage and main points in operation and enumerates some typical examples.

NGI Vol 5 No 1 1985

合理选择有水气井自喷管串数学模式的研究及应用

杨川东　张宗福

本文参考国内外有关文献，推导出了不同规格直径自喷管串连续排液所必需的临界流量、临界流速、对比流量、对比流速公式，以及当对比参数小于1时，所应选择的合理自喷管串公式并编制了TI-59计算机求解程序，设计绘制了数学模式诺模图，运用于优选川南气井管串排水采气实践和研究气水两相垂管流动特征，获得明显的经济效果。

《天然气工业》 第5卷 第1期 1985

A Study of Rational selection of Mathematial Mode of the Flow String in the Water-producing Gas Wells and Its Application

Yang Chuandong, Zhang Zongfu

Consulting the relevant documents at home and abroad, the author finished the derivation of equations