

国外石油钻采技术

专 辑

-53

科学技术文献出版社重庆分社

TE2-5
3

0622 6

目 录

一般问题

根据钻速预测异常地层压力.....	田中彰一	夏华德译(1)
油气井电钻钻井现状和发展前景.....	Я.А. Гельфгат等	郭公喜译(7)
1979年全世界钻井预测并与1978年和1977年比较.....		(10)

钻井工艺

随钻测量适合监视定向作业和提高钻井效率——随钻测量技术发展水平之一	Willian J. McDonald	李富鸿译(12)
用于 MWD 的四种不同的传输系统——随钻测量技术发展水平之二	Willian J. McDonald	蔡礼澜摘译(19)
电动钻具系统的试验——随钻测量技术发展水平之三	V.T. Bemard	钱永德译(21)
随钻测量项目接近实用——随钻测量技术发展水平之四	R. F. Spinnler等	涂必城译(28)
柔杆钻井连续监控井眼——随钻测量技术发展水平之五		严巨源译(37)
用于测量井眼方位的系统——随钻测量技术发展水平之六	W. F. Roberts等	李 铃译(39)
随钻测量采用负压脉冲——随钻测量技术发展水平之七.....	尹宏锦译	(44)
使用内铜管通信系统——随钻测量技术发展水平之八	J.J. Godbey	朱德一译(46)
有关随钻测量的基础研究——随钻测量技术发展水平之九	鲍有光译	(51)
泄流式脉冲系统解决冲蚀与供电问题——随钻测量技术发展水平之十	Cliff Ainsworth	尹宏锦译(53)
一九九〇年信号、电磁信号系统展望——随钻测量技术发展水平之十		鲍有光译(56)
随钻测量将在五年内改进钻井技术.....	W.D. Moore	严巨源译(61)
喷射钻井的新发展.....	R. Feenstra	刘希圣译(63)



洗井及洗井材料

- 解决用油基泥浆降低钻井成本的新方法.....Jay P. Simpson 朱 墨译(73)
含水溶性羧甲基-羟乙基混合纤维素醚的水基泥浆
.....J. B. Batdorf 等 鲍有光编译(82)
用于北海的钻井泥浆.....田中彰一 解雅琨译(84)
定量测定水基泥浆中硫化物含量的新方法.....R. L. Garrett 黄臣道摘译(88)

固井及油井完成

- 使用高温水泥体系加固油井套管的方法.....J. P. Gallus 鲍有光摘译(97)
高温条件下的固井方法与水硬水泥.....R. C. Martin 鲍有光摘译(100)

钻采设备及工具

- 新型钻机.....B. W. Wagner 卢佩琼译(105)
气穴喷射式钻头加快钻深井作业.....A. F. Conn 等 丁 岗译(109)
连续链式钻头的改进.....M. M. Newson 杨长全译(116)
钻头用的人造金刚石切削刃.....B. A. Eaton 等 王亚禧译(120)
水力旋流器进口压力对泥浆净化质量影响的研究
.....B. C. Гомберг 赵文义译(129)
解卡时震击器工况的设计.....B. H. Панов 郭公喜译(133)
沉没式深井泵.....蔡 洪译(135)
美国深井泵采油用新设备.....蔡 洪译(136)
美国油田油井设备的清蜡法.....蔡 洪译(136)

海洋钻采设备

- 海上钻井减震装置.....К. Я. Капусти 王志强译(138)

公害的控制

- 海上平台噪音的控制经验.....H. K. Pelton 周大千摘译(141)

根据钻速预测异常地层压力

田 中 彰 一

1、前 言

预测地层压力和地层破裂压力，是安全和经济地进行深井钻井和海上钻井工作的重要技术。根据地震的记录解释或附近钻井的记录预测地层压力，虽然可供钻井作业设计使用，但是，若在钻井过程中，能掌握井下地层情况，对及时修改钻井技术措施是很重要的。正确地进行这项工作，最好的方法是靠物理测井，但从经济和时间或测井深度的决定等观点看，利用钻井数据是合适的。根据钻速预测地层压力有多种方法，但为了掌握这些方法以及了解井下情况，需要积累解释钻速数据、判断数据的经验，并需要掌握这些方法的特点。根据这样的观点，本报告对三口井的物理测井和钻速数据进行了解释。

2、解 释 方 法

钻速与钻压、转速的关系是以下式表示：

$$R = KN \left(\frac{W}{D} \right)^a \quad (1)$$

式中 R = 钻速，米/小时； W = 钻压，吨； N = 钻头转速，转/分； D = 钻头直径，厘米； a = 钻压指数； K = 钻速系数。用钻速预测异常地层压力的方法大致分为以下两种：

① 钻压指数法，即 d_c 指数法。

② 钻速系数法，即科姆斯 (Combs) 法和 σ 测井法。

本报告是用 d_c 指数法和科姆斯法解释钻速数据的。并将这两种方法同物理测井法进行了对比。 d_c 指数法和物理测井法，在石油技术协会的技术资料1—3已作了详细说明，所以，本报告只叙述必要的小部份。

钻速的数据是根据泥浆录井获得的，可考虑以1米为单位来处理数据，以每钻进10米所需的时间求出平均钻速进行解释。 d_c 指数用下式计算：

$$d_c = \frac{\log(R/18.3N)}{\log(W/38D)} \times \frac{1.07}{\rho_m} \quad (2)$$

式中 D = 钻头直径，吋； ρ_m = 泥浆密度，克/厘米³；其他与(1)式相同。作为正常的压力梯度，有时是用海水的密度(盐分浓度为1.02—1.04克/厘米³)作标准。但这里采用的是1.07克/厘米³(0.465磅/吋²/呎 $\div$ 9磅/加仑)。经常用加上环形空间压力损失的当量循环密度(ECD)作为泥浆密度。

从物理测井中得到的声速时间(Δt ，微秒/呎)、导电率(C ，毫姆/米)和 d_c 指数，可绘制成如图3所示的半对数坐标图的对数坐标(横坐标)。深度与 Δt 或 C 的关系和深度与 d_c 指数的关系，其倾向是相反的，因此，有时也使用 d_c 的倒数。而且这些数值也适用于所有泥岩层。根据这个半对数坐标图用以下方法求地层压力，其所用符号如图1所示。

依顿(Eaton)法

$$\frac{P_f}{D} = \frac{S}{D} - \left\{ \frac{S}{D} - \left(\frac{P_f}{D} \right)_n \right\} \times \left(\frac{\Delta t_n}{\Delta t_0} \right)^{3.0} \quad (3)$$

$$\frac{P_f}{D} = \frac{S}{D} - \left\{ \frac{S}{D} - \left(\frac{P_f}{D} \right)_n \right\} \times \left(\frac{dc_o}{dc_n} \right)^{1.5} \quad (4)$$

当量应力法

$$\frac{P_f}{D} = \frac{S}{D} - \frac{D_e}{D} \times \left[\left(\frac{S}{D} \right)_{De} - \left(\frac{P_f}{D} \right)_n \right] \quad (5)$$

覆盖法

$$\frac{P_f}{D} = \left(\frac{P_f}{D} \right)_n \times \frac{d_{cn}}{d_{co}} \quad (6)$$

式中 P_f/D = 深度 D 的地层压力梯度; $(P_f/D)_n$ = 正常的地层压力梯度; S/D = 深度 D 的上覆地层压力梯度; d_{co} = 深度 D 的 d_c 指数的测定值; $(S/D)_{De}$ = 深度 D_e 的上覆地层压力梯度; d_{cn} = 假定到深度 D 一直为正常压力时, Δt 的预测值; D_e = 基岩应力具有与深度 D 相等数值的当量深度; Δt_o = 深度 D 的声速时间的预测值; Δt_n = 假定到深度 D 一直是正常压力时, Δt 的预测值。其中依赖法和覆盖法最好有一个对比深度的数据, 而当量应力法需要一个相当浅的深度数据。由于依赖法和覆盖法对后面所叙述的图4等的解析很方便, 故本报告仅限于叙述这些方法。

关于科姆斯法, 目前在我国还没有详细介绍。1968年, 汉布尔石油公司科姆斯⁽⁴⁾提出了这个方法, 后来由壳牌石油公司福特勃特⁽⁵⁾等人进行了修正, 并于1975年发表。此法不仅在墨西哥湾地区而且在尼日利亚也证明了是可用的。此法是根据墨西哥湾地区钻

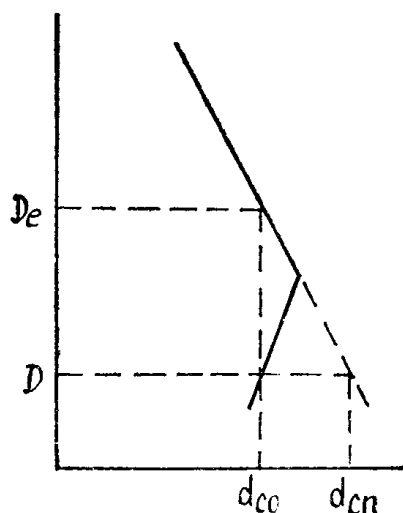


图1 地层压力解析法的说明图。实线表示测定值, 虚线表示正常地层压力区间的倾向延长线

井实践绘制的四幅曲线图来计算, 仅适用于7000英尺(2,100米)深的井眼。

钻速是以钻压(W)、转速(N)、钻头水眼的喷射作用(以排量 Q 为代表)、泥浆柱压力、地层压力的压差(P_d)和钻头磨损(T)的函数关系表示的。

$$R = R_o f(W) f(N) f(Q) f(p_d) f(T) \quad (7)$$

为比较钻速, 需要同样的条件, 即换算成标准条件的数值。

标准条件:

$$\left. \begin{aligned} W/D_h &= 3,500 \text{ 磅/吋} \\ N &= 200 \text{ 转/分} \\ Q/D_h D_n &= 3 \text{ 加仑/分/吋} \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

钻头水眼喷射作用是钻头直径(吋)与排量(加仑/分)的比率, 即以1/32吋为单位测量水眼直径比率的数值。如使用这些标准条件, 钻速以下式表示:

$$R = R_o \left(\frac{W}{3500 D_h} \right)^{0.7} \left(\frac{N}{200} \right)^{1.0} \left(\frac{Q}{3 D_h D_n} \right)^{0.3} f(P_d) f(T) \quad (9)$$

式中 W = 钻压, 磅; N = 转速, 转/分; Q = 泥浆排量, 加仑/分; D_h = 钻头直径, 吋; D_n = 水眼直径, 1/32吋。用图2—d求钻头磨损 $f(T)$, 由该图的横座标得到了钻头的当量

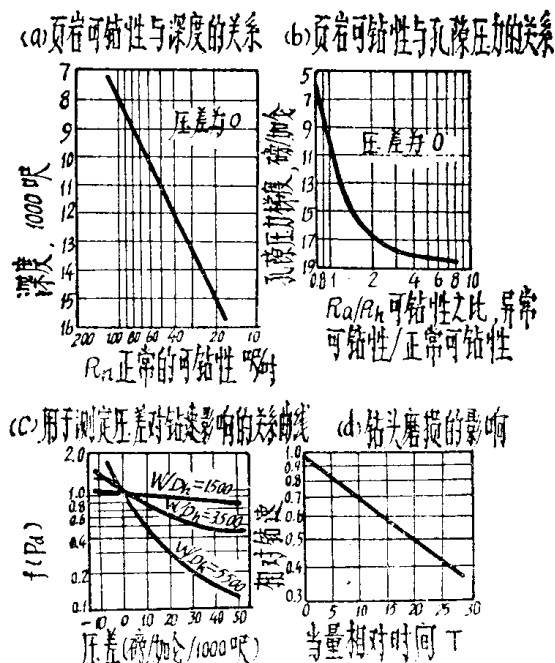


图2 科姆斯法的计算图表

使用时间。这是以泥岩的钻速除以进尺求得的。通常，砂岩的钻速比泥岩高，但因钻头过早磨损，所以如前所述的假定仅作近似使用。

将钻井实际得出的 R , W , N 和 Q 代入 (9) 式，求下面的数值：

$$R_0 f(P_a) f(T) = \frac{R}{f(W) f(N) f(Q)} \quad (10)$$

求当量钻头使用时间，由图2—d求 $f(T)$ ，再求下面数值：

$$R_s' = R_0 f(P_a) = \frac{R}{f(W) f(N) f(Q) f(T)} \quad (11)$$

这表明了在标准条件下新钻头的钻速，地层特性 R_0 值与使用的泥浆和地层压力之差的函数 $f(P_a)$ 成正比。以上是从处理钻速数据中得到的数据。

再用图2计算在标准条件下的钻速。从图2—a的纵座标取适当的深度，求压差为0时的正常地层压力下的泥岩钻速 R_n 。然后假设地层压力梯度，从图2—b纵座标取得，求 R_0/R_n ，与事先求出的 R_n 加在一起求 R_0 。 R_0 表示了假设地层压力梯度的泥岩压差为0时的标准条件下的钻速。用下式计算使用泥浆密度(使用已修正的ECD数值)的泥浆柱压力梯度与预先假设的地层压力梯度之间的压差梯度；

$$P_a = \left(ECD - \frac{P_f}{D} \right) \times \frac{D}{1,000} \quad (12)$$

式中 P_a = 每1,000英尺泥浆柱的压差；磅/加仑/1,000英尺； ECD = 当量循环泥浆密度，磅/加仑； D = 井深，英尺； P_f/D = 假设的地层压力梯度，磅/加仑。 P_a 从图2—C的横座标取得，以 W/D_h 作参数求 $f(P_a)$ 。由图2—a, b 和 c 假设的深度 D 和地层压力梯度 P_f/D 得到在标准条件下新钻头及所给与的压差下的钻速；

$$R_s = f(P_f, D) = R_n \times \frac{R_0}{R_n} \times f(P_a) \quad (13)$$

将从实际计算的 R_s' (11式) 与从图2求出的 R_s (13式) 相比较，求地层压力梯度。若需要象图4的 R_s 那样，可多次假设 P_f/D 进行计算，并根据实际对比来预测地层压力梯度。本报告如前所述是以每10米的平均钻速进行解释。当然，科姆斯法也可用于钻井的方案设计。

3、预测地层压力的实例

3.1 海上A井

这口井是非洲西岸海上的一口井。图3表示了这口井的导电率、声速时间和 d_c 指数的分布。在这个图中央的地质柱状图空白部份表示砂岩，虚线部份表示泥岩。在 $12\frac{1}{4}$ " 和

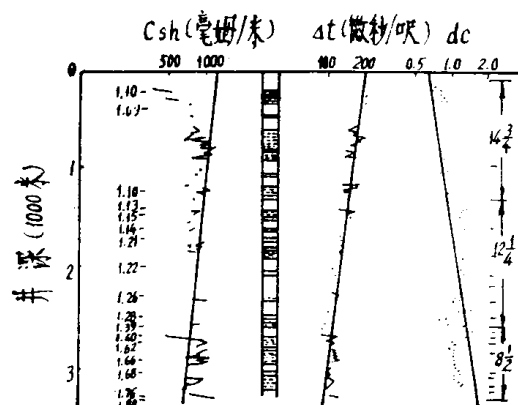


图3 A井的导电率、声速时间和 d_c 指数的分布

$12\frac{1}{4}$ " 钻头区间，从所使用的泥浆比重来看，认为地层压力是正常的，这部份是以倾向线表示。 $8\frac{1}{2}$ " 钻头区间是连续的厚泥岩，其导电率和声速时间的曲线都是偏离倾向线，表示了存在异常高压层。

d_c 指数曲线，由于点太分散，因此，绘制倾向线是困难的，根据物理测井，若以判断高压层位为目的，就要知道泥岩厚度在100米以上，这部份 d_c 的点不太分散而表现了集中的倾向。由于这个问题，在现场绘制 d_c 指数曲线时，必须懂得而且要记住地质柱状图。

图4表示了异常高压层井段钻速的解释。

这个图的左侧表示了砂岩(黑点)与泥岩(x符号)的实际钻速的区别。接着是表示了声速时间和地质柱状图。地质柱状图的符号与图3相同。在图5以后各图也是一样。右边记录了钻井参数,接着表示了砂岩(黑点)和泥岩(x符号)的 d_c 指数。x符号表示科姆斯法的实际结果,实线表示计算值,参数表示假定的地层压力梯度。计算值的凹凸实线主要是由于钻压的变化而引起的。例如,在2700米左右的泥岩中钻速大致相等,但换钻头之后,钻压由13.6吨变为4.5吨。因地层变软,可钻性变好,而同样的地层压力梯度的曲线偏向于右侧。

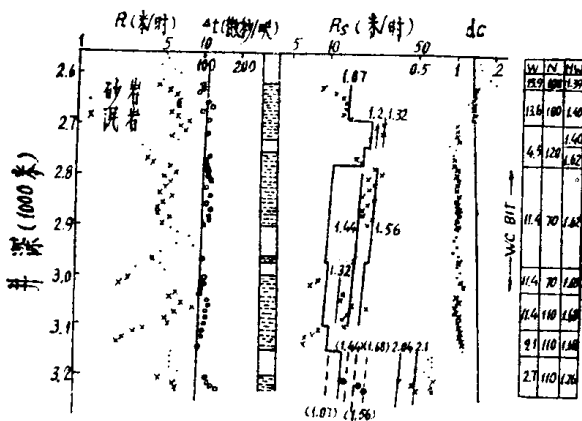


图4 A井的异常高压层区间的钻速解释

从声速时间和 d_c 指数的分布来看,在2700米左右的泥岩上部压力是正常的。而从后半部就进入异常高压层。这口井在厚的泥岩层中间夹有数十米厚的砂岩,但在泥岩与砂岩相接井段声速时间缩短,表明了地层压力逐渐下降。在3,000—3,150米处的泥岩层,声速时间大大缩短。在3,200米的泥岩层,声速时间急增,地层压力也明显急增。因此, d_c 指数也显示了出来。这个井段所用的钻压为2.7吨,是很小的数值。若科姆斯法用这个数值,就可获得2.1克/厘米³的值。如上所述,钻头的钻压同样为9.1吨,图4中央下部以括号和虚线表示可获得1.6克/厘米³左右的值。

图5所示的这个异常高压层井段的地层

压力梯度是用科姆斯法, d_c 指数依赖法、 d_c 指数覆盖法和声速时间依赖法四种方法预测和比较的。钻速是以每10米求平均数值。声速时间虽然采用变化明显的井段,但是 d_c 指数显示是小的。如果 d_c 指数与用依赖法的标准钻速 R_s 相比较,可知后者表示了钻速实际变化值(图4)。由上述及图5左侧所示,根

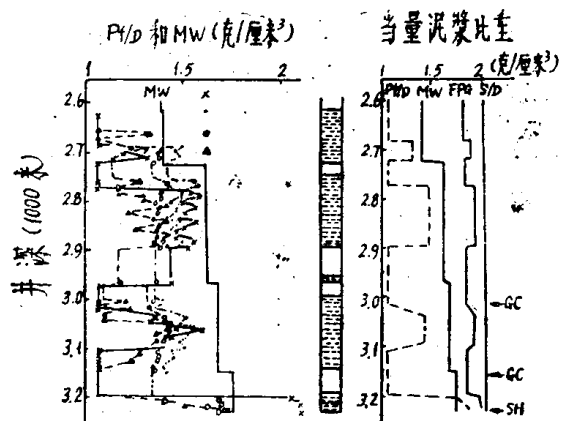


图5 A井的地层压力预测, P_f/D = 地层压力梯度, MW = 泥浆密度, FPG = 地层的破裂压力梯度, S/D = 岩石压力梯度, GC = 气侵, SH = 泥岩塌崩。

据声速时间和科姆斯法预测的数值可知其上下倾向常常是一致的。从 d_c 指数预测的数值来看,用依赖法得到的数值比用覆盖法得到的数值低,两者的差随其预测值增加而变大。3,200米深的泥岩层使用 d_c 指数依赖法为1.68—1.70克/厘米³,但用覆盖法为2.35—2.46克/厘米³,成为不真实的数值,因而在图5被省略了。如将2,800—2,900米的泥岩层与3,000—3,100米的泥岩层中间井段的数值相比较,则 d_c 指数依赖法与声速时间依赖法的数值大致相等。由上述这些数值求平均值,图5右侧的曲线表示了地层压力梯度的分布,此图还表示了泥浆密度、地层破裂压力梯度和上覆地层压力梯度的分布。2,700—3,200米之间的异常高压层相当于过渡带,3,200米深进入真正的异常高压层。

地层破裂压力梯度用下式计算:

$$FPG = K_1 \left(\frac{S}{D} - \frac{P_f}{D} \right) + \frac{P_f}{D} \quad (14)$$

应力系数(K_1)是依顿使用了墨西哥沿岸地区的数据。上覆地层压力梯度(S/D)是使用该地区的密度测井的数据,假定其前后求得的。市川^[6]研究了关于密度测井的抽测方法,比较了采用岩相变化的方法和采用与岩相无关的等间隔(25米)的方法,并用两种方法换算深度和上覆地层压力梯度的关系,明显地表明在实际使用中没有什么差别。在该处使用了等间隔抽测所得的数值。泥岩层的破裂压力梯度与上覆地层压力梯度大致相等,(14)式表示砂岩层的情况。因而,可以认为图5的 FPG 曲线表示了具有相同地层压力梯度的砂岩的数值,或者,也可以认为是表示了地层破裂压力的最小值。

3.2 海上B井

这口井也是非洲西岸海上的一口井。图6表示了导电率、声速时间和 d_c 指数的分布。从左侧的泥浆密度可知2,600米深处的压力是正常的。利用这个绘制倾向线,深度在2,600米以上的地层是厚的泥岩层,通过物理测井证明是异常高压层。 d_c 指数分布的点是分散的,只用这个来判断是相当困难的,但如A井所记录的那样,从厚的泥岩层及集中倾向方面来看,可以判断最下部是异常高压层。

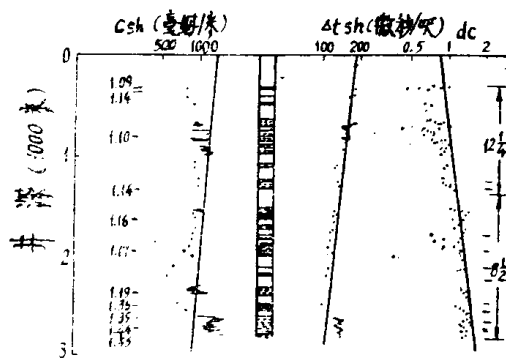


图6 B井的导电率、声速时间和 d_c 指数的分布

图7表示了扩大的异常高压层井段。若从实际钻速来看,在2,300—2,400米的正常压力的泥岩层中,平均钻速为8米/时。但在异

常高压层的上部,钻速大约为5米/时。在2,600米深的压力正常区间内,最高钻速达到9米/时。即仅靠钻速就可判断为进入异常高压层。在这个异常高压层进行钻井,使用相同钻压和转速时,可认为钻速的变化就是地层压力的变化。泥岩层的下部是薄的砂岩,其地层压力趋于下降。

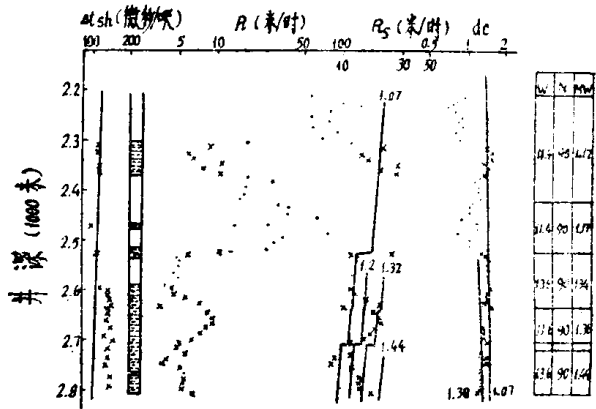


图7 B井的异常高压层井段的钻速解析

表1表示了标准条件下,用(11)式换算压力正常区间的泥岩实际钻速 R'_s 值和从图2用(13)式计算 R_s 值。两者之间存在着系统的误差。 $\log R'_s / \log R_s$ 之比的平均值为0.92。这表明所测地区与墨西哥湾沿岸地区沉积环境的误差。如图2—a适用于这个比。所测地区的1,200英尺处认为正是进入压密井段。

表1 B井正常区间在标准条件下
钻速校正系数

深度(米)	R'_s (米/时)	R_s (米/时)
2,315	20.9	26.1
2,325	14.4	25.9
2,335	15.9	25.7
2,345	28.0	25.5
2,355	19.5	25.4
2,365	26.9	25.2
2,528	12.1	16.2
2,595	11.6	15.5
2,605	12.5	15.4

$$\log R'_s / \log R_s = 0.92$$

异常高压层井段的解析是由(13)式计算所得的值然后加上其校正系数。如图7的 R_s 栏所表示的那样, 在2,600—2,700米的泥岩中部的压力梯度为1.3—1.34克/厘米³, 井底附近为1.3—1.38克/厘米³。将覆盖法应用在 d_c 指数上, 绘制地层压力梯度1.3克/厘米³的曲线。可认为所测的这些数值和使用泥浆的数值的关系是一致的。

3.3 陆地C井

这口井是新泻县附近陆地上的一口井。图8表示了这口井在4,000—4,260米之间的数据, 在4,130米左右钻速急剧增加, 即使减少钻压也能保持高钻速, 这是反映地层压力的变化。导电率的分布或 d_c 指数的分布均证实了这个现象。图8所示的上部区间是砂岩, 其实测的地层压力相当于1.54克/厘米³的压力梯度。假定4,000—4,100米之间具有与此相同的地层压力梯度, 采用科姆斯法计算所得的数值示于图8中央的 R_s 栏中。由此

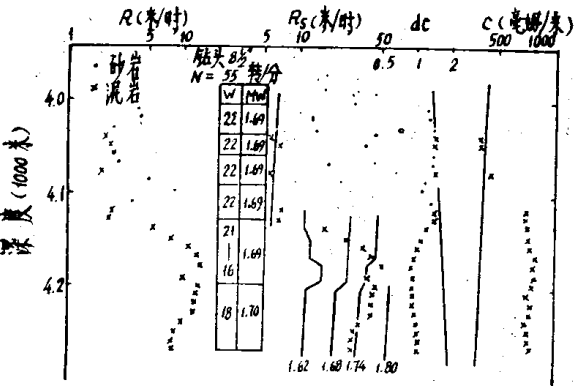


图8 C井的钻速和导电率的分布

读出的值示于图9。在4,150米附近的地层压力梯度和泥浆密度是一致的。4,150米以上的地层压力梯度成为0.05克/厘米³左右的低平衡状态。假设泥浆循环压力损失为0.02克/厘米³, 实际上就变成0.03克/厘米³左右(3磅/加仑/1000英尺)的低平衡状态。4,100米附近地层压力梯度为0.15克/厘米³(17磅/加仑/1000英尺)的超平衡状态。若钻压20吨, 从图2—C这个区间, 随着地层压力

的变化, 压差减少, 钻速提高了2—3倍。还可认为由于图2—b的岩石可钻性变好, 而能获得4,200米附近的高钻速。

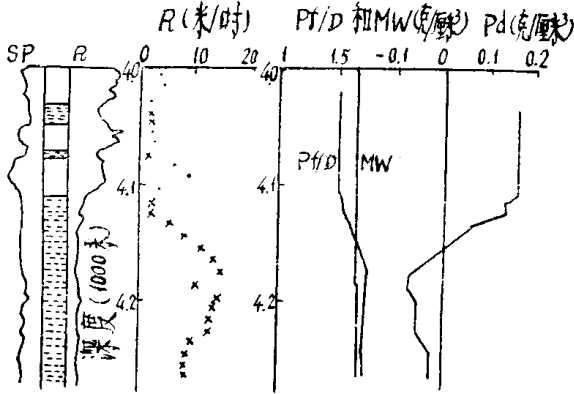


图9 C井的地层压力梯度的分布。左边表示电测的自然电位(SP)和电阻率(R)。R = 实际钻速, P_f/D = 地层压力梯度, MW = 泥浆密度, $P_d = MW - P_f/D$

4. 结 论

本报告解释了三口井的数据, 论述了是否能用钻速预测地层压力。引用物理测井对钻速进行了试解释。认为只用钻速数据预测地层压力是可能的。

1) d_c 指数的分布很分散, 因此, 要判断异常高压层是相当困难的。但一边用地质柱状图作比较, 一边进行解释是可能的。必须注意下面两点: 要有充分的泥岩厚度(100米以上)和在这个层位内的 d_c 指数应比较集中。

2) 需要对包括异常高压层上部100米的正常压力井段进行解析。

3) 作为 d_c 指数解释法、覆盖法可以得到比依顿法高的数值。随着地层压力梯度的变大, 其差值也变大。用覆盖法得到的数值可能很大。

4) 用依顿法预测地层压力梯度和地层破裂压力梯度时, 也需要上覆地层压力梯度。由密度测井求上覆地层压力梯度, 使用等间隔抽测是可行的。

5) 科姆斯法虽有其适用的条件, 但只要满足其条件, 即使在现场也可使用此法。

6) 如果钻压、转数一定时, 钻速的变化反映了地层压力的变化, 因此, 钻进时应很好考虑。

7) 泥岩中夹有砂岩时, 地层压力会向砂岩层下降。因此, 完井时要特别注意。

8) 用钻速预测地层压力, 期望着使用复数的方法。由于采用的方法不同, 故数据的精确性有所不同。钻速、钻压、转速和泥浆密度的数据必须正确。

参考文献

1) 田中彰一, その他: 掘进率による地层压の推定法について— d 及び d_a 指数法, 石油技术协会技术资料1, 昭和50年3月

2) 田中彰一, その他: 物理检层および掘进率による地层压と地层の破壊压の推定法とその応用, 石油技术协会技术资料2, 昭和52年1月

3) 田中彰一, その他: 异常地层压の予知と作井作业への応用, 石油技术协会技术资料3, 昭和52年10月

4) Combs, G. D.: Prediction of Pore Pressure from Penetration Rate, *SPE* 2162, 1968

5) Fontenot, J. E. & Berry, L. N.: Study Compares Drilling-Rate-Based Pressure-Prediction Methods, *OGJ*, P.123, Sept. 15, 1975

6) 市川祐一郎: 物理检层による地层の破壊压の推定に関する研究, 东京大学工学部卒業論文, 昭和52年3月提出

(夏华德 译自《石油技术协会志》, 昭和54年, 44卷, 第1号38—44季龙光校)

油气井电钻钻井现状和发展前景

Я. А. Гельфгат

全苏钻井技术科学研究所从建所开始, 即从1953年开始, 就致力于研究电钻钻井的技术和工艺问题。

到1964年, 电气工业系组织的电动钻具研究组从事研制直径为164、170、215和250毫米的不同结构的电动钻具, 并进行了广泛的工业试验。

而后, 电动钻具研究组继续研究这些工作。而全苏钻井技术科学研究所开始研究电钻钻井的工艺问题: 电钻钻井的合理使用范围; 电动钻具的电气参数和工艺参数的确定; 编制电动钻具及与电钻钻井有关的其它技术的技术任务书; 技术设备的试验; 投入成批生产; 制定采用新技术设备的钻井工艺。

从1963年起, 在整个石油部门, 采用电

钻钻进油气井的总进尺为450万米。目前, 巴什基里亚石油联合企业、土库曼石油联合企业、阿塞拜疆石油联合企业和乌克兰石油联合企业都采用电钻钻井法。石油天然气管理总局正在总结使用电钻钻井的经验。

现代井底马达包括直径为164、185、240和290毫米的大扭矩电动钻具, 钻头转速在700—70转/分的范围内变化。这样宽的转速范围是靠采用与电动钻具成批生产的注油式调速器来实现。

在高转矩下能调节钻头的转速, 电气参数同在井中循环的工作介质种类和质量无关, 因而有可能在极复杂的地质条件下, 以最优钻压和转数钻井, 而且获得良好的效果。

为了提高电动钻具的工作指标, 采用了

其它一些技术设备:

连接电线的井底遥控系统能检测井斜,并且有效地控制井斜;

直径164、185、240毫米的造斜机构,每进尺10米可使井斜 1° — 3° ;

直径为164和240毫米的双造斜机构,每进尺10米可使井斜 4° — 7° ,并且可供钻进分支水平井时使用。

在没有电力供应的地区,采用柴油发电机组作为电动钻具的电源。

处于研制阶段的设备有:

多电极测井电极系,用来进行缓倾斜井筒的综合矿场地球物理测井;

全套电钻设备和钻具,使用直径为127毫米的电动钻具钻垂直井、斜井和分支水平井;

可调变向钻具。

上述电钻钻井的工艺特点和技术设备在近几年来钻井中达到很高的技术经济指标,并引起一系列石油开发企业采用和继续发展这种钻井方法的兴趣。

电钻钻井适用范围如下所述:

采用比重达2.3克/厘米³的加重泥浆钻进3000—5000米的深井;

钻定向井;

钻分支水平井。

采用气体介质钻井;

钻地质施工井。

以土库曼为例可以说明,在复杂的矿山地质条件下采用加重泥浆进行电钻钻井的经济效果。最近这里使用电动钻具在地层异常高压地区成功地钻了一系列深井:科土尔-特佩808号井(5042米)、科土尔-特佩809号井(4700米),共青团27号井(4803米)。在钻进最后这口井时,取得了最好的效果,与巴尔萨-格尔美斯52号井用转盘法钻井相比,在相同的条件下,经济钻速提高了0.8倍(见表)。

采用不同直径(394、269、214和190毫米)的电动钻具在含油区钻井时,获得了很

指 标	巴尔萨-格尔美斯52号井	共青团27号井
井深, 米	4851	4803
经济钻速, 米/台月	222	400
技术钻速, 米/台月	384	600
机械钻速, 米/时*	3.04/3.80	5.80/6.08
行程钻速, 米/时*	1.60/1.70	2.20/2.54
钻头进尺, 米*	33/35	35.05/43.50

* 分子——整个钻进过程(包括取心钻头)
分母——只是普通钻井钻头

高的技术经济指标。

在钻定向井时,电钻钻井的效率大大提高,因而在土库曼石油联合企业中,几乎所有定向井都是采用电动钻具配合井底遥控系统钻进的。在巴什基里亚石油联合企业中,最广泛地采用电动钻具钻定向井。在这里由于钻头钻速较高(主要是依靠控制定向井的井斜方向),当钻遇漏失地层时,可用泥浆(其中包括加重泥浆)堵漏,所以,电钻钻井与涡轮钻井相比,不但经济钻速高,而且钻井成本也较低。1976年巴什基里亚石油联合企业使用电动钻具钻进11.9万米,1977年钻进13万米,1978年预计钻进15万米。

井底遥控设备,高效定向器,以及检测钻头工况和在缓倾斜井筒中采用矿场地球物理测量的可能性,使得电钻钻井具有一系列优越性,对于钻进深的定向井,特别是在复杂的地质条件下,电钻钻井可以说是最完善的钻井法。

乌克兰石油联合企业之所以只用电动钻具钻定向井,而用涡轮钻具钻别的井,是由于在给定的方向继续钻进有很大的困难,只好改用电钻钻井(斯巴斯401和74号井,多利纳693号井,北多利纳160和129号井)。

在1977年,基于同样的原因,博里斯拉夫斯克钻探局77号深的定向井也由涡轮法改用电钻钻井,而且顺利地钻完了井深3500米。在这里还有两口定向井计划改用电钻钻井,而且已经用电动钻具开始钻进。

多林斯克钻探局钻进10口3000米深的分

支水平井中，电钻钻井工艺的优越性表现得更加明显。在复杂的地质条件下，钻进所有这些井，都按照设计要求完成了，并且达到很大的经济效益。某些油井的日产量达到70—150吨原油。

电钻钻井时采用空气和泡沫清洗井底可以有效地破碎坚硬的岩石。而且在复杂的地质条件下，由于采用钻定向井的技术经济指标的综合工艺而提高了钻穿漏失地层的能力。

例如，乌克兰石油联合企业纳德沃尔斯基钻探局，在0—2000米井段采用电动钻具钻进一系列定向井和垂直井时，用空气清洗井底，使钻头进尺提高了5—9倍，而机械钻速提高了2—4倍。

制造了能在较大振动下工作的遥控系统，供钻定向井时使用。

1977年阿塞拜疆石油联合企业扎格雷-泽瓦油田成功地钻完了一口丛井，它是由三口平均井深2200米的定向井组成，其中两口井是在0—1100米井段采用泡沫清洗井底钻进的。这些井的钻进指标已大大超过早先用涡轮法钻井所达到的指标，特别是经济钻速

增加了0.67倍。钻一口试验性丛井花了12.89万卢布。井身质量和方向的精确度大大提高了。

乌斯特-巴拉克斯基油田在1976年进行的电钻钻进丛井的试验，说明这一方法在西西伯利亚能够得到有效地采用，因为此法是按一定的剖面钻进的，精确度高，同时采用一种放在钻杆内的地球物理测量仪，缩短了地球物理测量工作时间，并能提高钻头的工作指标。

后者说明了在任何工艺必须的钻压和钻头转速下都能进行钻井；由于钻具外环形空间的液体阻力减少，从而降低了井底差压，因为用电钻钻井时，允许减少泥浆用量。

在西西伯利亚，电钻钻井法显然适用于钻2500米以上的井身方向要求准确的定向井，同样可用来钻分支水平井。

近年来通过试验所得的结果表明，在已经采用电钻钻井的地区和有希望达到很大的经济效益而重新使用电钻钻井的地区，进一步扩大电钻钻井的范围是适宜的。

(郭公喜译自《Бурение》，1978，№6，17—19蔡礼澜校)

(上接第45页)

一个数量级。GOI公司相信使用仪器的全部费用可能低于1000美元/天。若与通用烃类泥浆录井机构结合起来使用就会更加经济。

表1 设计准则

1. 10,000英尺深的井眼要产生一个地面有用的脉冲，应向环形空间放出多少泥浆？
答：0.25加仑/秒。
2. 一只实际大小的直接作用的电动凡尔要放出2,000磅/时²压差的泥浆需要多少电功率？
答：170瓦。
3. 上述第2点的凡尔开关需要多长时间？
答：供电40毫秒，开/关为2毫秒。
4. 一套17个锂硫电池组总能量为1400瓦特-小时，能产生多少个泥浆脉冲（上述第3点中每个泥浆脉冲需2次电脉冲；一次开，一次关）？
答：380,000个。
5. 上述第4点的电池能维持电子设备和伽马射线传感器工作多少天？

答：115天。

6. 每10秒钟一个泥浆脉冲的速率，上述第4点的电池能维持几天？

答：30天。

7. 新的研制中可望有何改进？

答：电池寿命系数为2—3，或为额定的4倍。

8. 还有什么主要问题？

答：目前锂硫电池的温度极限是280°F。可以指望耐温更高的电池（新式高能电池在将近600°F的高温下工作）。

因为仪器结构简单，一套伽马射线GOI WMD井下仪器的价格大约为20,000美元。

GOI公司是对所有三种随钻测量系统——泥浆脉冲、硬线、感应耦合进行深入研制和成功地钻井试验的唯一的一家公司。

(尹宏锦译自《Oil and Gas J.》，1978，76，№24，70—72王刚校)

1979年全世界钻井预测并与1978年和1977年比较

大陆和国家	1979年 预 测	1978 年 已 钻 的 井							1977年已钻的 总 井 数*	
	总井数	油井	气井	干井	辅助井	停产井	总井数	总进尺,英尺	各类井	总进尺,英尺
北 美 洲	56,805	19,138	15,063	17,109	1,468	4,223	57,001	270,497,856	52,670	246,419,697
加 拿 大	7,821	1,236	3,840	1,627	61	0	6,764	24,096,559	6,257	21,235,843
墨 西 哥	360	147	54	45	41	19	306	2,985,139	307	3,005,599
美 国	48,624	17,755	11,169	15,437	1,366	4,204	49,931	243,416,158	46,106	222,178,255
西印度群岛	223	177	5	19	23	5	229	933,098	235	1,044,424
特立尼达和多巴哥	210	165	5	17	23	5	215	895,098	217	922,295
其 它	13	12	0	2	0	0	14	78,000	18	122,129
中 美 洲	16	0	0	13	0	0	13	107,334	13	92,523
南 美 洲	2,526	1,590	71	351	113	150	2,275	13,733,934	2,030	10,975,297
阿 根 廷	694	620	24	95	36	0	775	4,955,294	880	4,215,022
玻利维亚	26	10	6	16	0	1	33	299,959	38	257,091
巴 西	350	152	17	120	22	0	311	1,729,087	261	1,492,855
智 利	95	29	10	33	0	16	88	546,327	78	536,989
哥伦比亚	142	52	10	19	2	0	83	616,948	69	416,614
厄瓜多尔	16	11	0	5	0	0	16	168,759	16	164,264
秘 鲁	200	118	1	26	10	1	156	1,038,975	155	969,183
委内瑞拉	1,000	598	3	31	43	132	807	4,320,070	530	2,893,750
其 它	3	0	0	6	0	0	6	58,515	3	29,529
西 欧	662	225	161	269	23	30	708	5,552,601	656	5,662,082
奥 地 利	69	16	14	24	1	0	55	390,714	77	467,273
丹 麦	10	1	0	3	0	0	4	42,259	4	42,230
法 国	37	24	2	17	6	1	50	373,522	34	285,260
西 德	120	56	19	30	5	0	110	867,076	105	798,520
希 腊	10	0	3	5	0	0	8	64,928	7	68,527
意 大 利	70	9	34	53	0	1	97	734,760	74	688,823
荷 兰	80	11	51	37	0	0	99	565,316	83	753,961
挪 威	20	6	1	12	0	0	19	209,886	24	213,137
西 班 牙	25	5	3	14	0	0	22	222,036	24	162,593
英 国	200	96	31	26	11	28	192	1,878,948	197	2,084,058
其 它	21	1	3	48	0	0	52	203,156	27	97,700
非洲北部	496	278	30	96	40	12	456	3,533,447	425	3,564,742
阿尔及利亚	180	105	28	17	17	10	177	1,567,069	189	1,673,310
埃 及	85	28	1	38	6	2	75	550,000	76	748,684
利 比 亚	200	134	0	27	14	0	175	1,172,159	136	905,178
摩 洛 哥	3	0	0	4	0	0	4	43,204	5	60,980
突 尼 斯	28	11	1	10	3	0	25	201,015	19	176,590

续 表

大陆和国家	1979年 预 测	1978 年 已 钻 的 井							1977年已钻的 总井数*	
	总井数	油井	气井	干井	辅助井	停产井	总井数	总进尺,英尺	各类井	总进尺,英尺
非洲中部和南部	298	115	8	75	12	84	294	2,336,154	308	1,947,329
安哥拉	18	6	0	6	1	1	14	113,447	12	36,203
喀麦隆	45	27	3	12	2	0	44	189,382	41	168,046
刚果	20	24	0	5	3	3	35	159,361	17	56,753
乍得	5	1	0	4	0	0	5	52,439	3	29,473
加蓬	40	18	0	10	2	0	30	214,207	36	248,083
尼日利亚	140	33	3	20	2	80	138	1,334,110	172	1,224,331
南非	6	0	0	6	0	0	6	84,778	13	59,885
扎伊尔	7	1	0	4	2	0	7	35,692	2	18,148
其它	17	5	2	8	0	0	15	152,738	12	106,407
中 东	601	279	39	89	147	93	647	4,714,647	742	5,756,143
阿布扎比	100	17	1	2	34	39	93	822,961	83	727,876
巴 林	10	7	1	1	0	0	9	50,500	5	9,812
杜贝(Dubai)	10	7	0	2	0	0	9	92,125	23	223,000
伊 朗	25	49	19	12	9	23	112	1,097,600	166	1,613,568
伊 拉 克	47	36	0	6	0	0	42	388,000	45	400,500
以 色 列	18	6	7	10	0	1	24	114,090	17	76,197
科威特	12	0	0	0	0	5	5	54,350	3	33,300
中立区	3	0	0	0	2	0	2	20,967	4	22,600
阿 曼	60	34	3	3	4	10	54	316,939	48	241,477
卡 塔 尔	40	12	4	2	14		32	225,462	20	183,486
沙特阿拉伯	150	46	2	5	83	9	145	820,786	180	1,273,000
叙 利 亚	38	21	0	15	0	0	36	216,000	37	210,000
土 耳 其	80	44	2	25	1	6	78	463,238	105	650,455
其 它	8	0	0	6	0	0	6	31,629	6	90,872
亚洲远东	242	83	56	81	28	0	248	1,933,544	250	1,953,642
緬 甸	33	24	2	5	0	0	31	257,538	26	216,000
印 度	105	49	11	29	28	0	117	869,465	138	1,069,606
日 本	24	3	20	12	0	0	35	307,681	26	182,762
巴基斯坦	16	2	3	2	0	0	7	79,990	12	101,923
泰 国	18	1	3	17	0	0	21	195,679	21	206,375
其 它	38	4	10	15	0	0	29	161,108	24	153,620
大 洋 洲	864	443	74	199	9	40	765	4,328,966	636	3,790,628
澳大利亚	100	5	22	45	0	1	73	582,945	41	283,500
文 莱	75	33	0	6	7	21	67	368,634	75	476,492
印度尼西亚	550	334	38	110	1	16	499	2,645,059	442	2,417,053
马来西亚	129	71	6	21	1	2	101	531,327	59	440,000
新 西 兰	8	0	8	13	0	0	21	168,399	3	27,462
其 它	2	0	0	4	0	0	4	32,602	16	146,091
全世界总数	62,725	22,328	15,500	18,300	1,863	4,637	62,628	307,651,298	57,962	281,183,151

* 修正数字

(资料来源:《World Oil》, 1979, 189, №3)

随钻测量适合监视定向作业和 提高钻井效率

——随钻测量技术发展水平之一

Willian J. McDonald

随着钻井深度越来越深、近海作业不断增加和钻井费用急增,促使人们把注意力集中在寻找更安全和更省钱的钻井方法。来自钻头的实时数据最有可能满足这些要求。

因此,许多公司展开了竞争,努力提高这项油田的服务能力,争夺有利的世界市场。据估计,到1980年全世界实时测量服务的交易额可达3—5亿美元,1985年可达5—10亿美元。

实时测量的基本服务范畴分为两大类。第一类也是最重要的一类是钻井的安全和效率;第二类是实时测井或地层评价。

钻井的安全和效率包括井眼控制、井斜测量和控制、最优化钻井。石油公司管理部门和工程师最强调头两项,即井眼控制和井斜测量。

本文提出了所研究的装置的类型,叙述了正在进行的设计,估计了成功的实际可能性,考虑了成品装置的商业市场。

研究钻头水力学和钻柱动力学(特别是深、热或含硫气体的环境)的数据和其他特殊的要求,可能超出一般结论的范围。

有40多家公司直接参与井下遥测系统的设计,有15项以上的设计属于硬件的研制和试验。

正在研制的四种装置是:

1) 泥浆压力脉冲系统

2) 硬导线遥测系统

3) 电磁系统

4) 声学系统

目前,泥浆压力脉冲系统的研制处于领先地位。提利科(Teleco)、施伦伯格(Schlumberger)、吉尔哈特-欧恩(Gearhart-Owen)公司可能在1978年提供实时数据系统。其他几种正在研制的装置必须有特殊的应用,工作能力有显著提高,或降低成本,才能与泥浆脉冲系统竞争。

应用 钻井安全难以指定一个数值,但它却是极其重要的。使用随钻测量系(MWD),由于钻进更快、更经济和更安全,可以获得最大的经济利益,这不但对近海钻井特别重要,而且对陆地深井勘探也同样重要。井斜测量和井眼控制对近海平台开发井特别重要;陆地井斜资料的市场潜力不大。

钻井效率和最优化与井眼控制更好地结合,可获得最大的经济利益。地层评价认为是次要的,但是一旦基本遥测系统被采用,地层评价所花的钱并不多。

MWD系统的市场潜力到1985年可望超过5亿美元/年。市场分析指出,定向服务费用可能为1000—2000美元/天;钻井效率测量的费用可能为2000—4000美元/天。

虽然基本传感系统已有销售,但需要继续研究,使其达到更便宜、更坚固和更

可靠。如同需要进一步研究新型灵敏的井眼控制传感器一样,需要更好地研究井斜传感器。目前,井下资料的处理似乎被忽略了。

定向井和直井钻进用的井下马达对于改善钻井,扩大MWD系统的市场销售和应用具有很大的潜力。

由于MWD系统的积极研制,可望继续获得更大的可靠性,更高的数据传输速度和双向通信,并可降低成本。

背景 旋转钻井已成为勘探烃类资源的一种有效手段。巨大的高效钻井设备和服务市场(1976年美国40000口井的钻井和定井花费为60亿美元)意味着效率稍有提高,就会产生巨大的经济效果。最近能源的需求引起越来越多的注意,促使打更深的井,并加强在成本较高的近海及其他不利的环境中钻井。过去10年中,基本钻井费用已提高了150%。能源的需求和费用的增加,使人们努力寻求所有更安全和更省钱的钻井方法。在各种可能的方法中,来自钻头的实时数据能大大提高探井和生产井的钻井效率。自从旋转钻井出现以来,一直在研究钻井中从钻头附近获得各种参数的可靠和诊断方法^[2];半个多世纪以来这门技术的无数专利证明了这一点。然而,除了非常特殊的情况外,以前化了很多力量研制实时MWD系统都没有成功。

不能认为利用现有技术使我们对钻头上发生的情况一无所知。但是,现有技术仅限于提供一些钻井效果的地面资料。例如,在钻井中测量转速、机械钻速、大钩载荷、扭矩及其他钻井参数,此外还测量钻井液性能(比重、粘度、静切力、氯含量、pH等)、泥浆池容积及钻屑。

现行的装置用于地面测量是可行的,它能把来自模拟计算机的数据转换为数字形式,进行处理并显示所得参数,提供情报。如有足够的经验,这些测量结果能成功地预报诸如井眼控制问题发生以前异常地层压力等问题,岩层特性可从某些测量结果中推导

出^[3],在不同转速和钻压下进行实验对最优化钻井是有用的。但是,只能利用地面数据推断4—5英里深的地下情况。井斜测量可用泵送工具或绳索起下工具进行,但这是事后测量,它需要相当长的停钻时间,也没有钻头的导向装置。

“Teledrift”和“Teleorienter”^[4]泥浆脉冲系统已投入市场,这是一些能力有限和应用不广的工具,使用时需要停钻,而且只能为与它配用的特制设备提供数据。Scientific Drilling Controls公司研制的称为“EYE”装置是一种与钻井马达配用的准确可靠的定向工具,但这是一种绳索装置,也相当昂贵。有几家公司提供这类设备。

取心、中途测试、泥浆录井、绳索测井等都是地层评价的主要方法。取心很慢,而且或多或少是“盲目”决定开始和停止取心。为了安装取心钻头和岩心筒,再收回岩心,一般需要起下钻作业。在钻头下入井中时,能被切割和收回的岩心数量很有限。

中途测试和地层测试不用装管就可得到地层流体,但这些测量需要停钻,速度慢而费钱。

通过对泥浆录井和从钻屑或邻近地层进入泥浆中的烃类钻井液的分析,可以了解所钻地层中原有流体的情况;测量这些烃类及计算积累的烃(background hydrocarbons)的灵敏方法的研究,使泥浆录井成为一项有用的工作。但是这种方法反应时间慢,得不到很多最优化钻井所需的资料。

绳索测井是鉴别和评价所钻地层唯一的最重要的方法,但也是事后测量,要在钻过一段再起出钻杆后进行。绳索测井是一种高度发展的方法,一般能给出可靠而详细的结果。但是,在某些情况下不能进行测井,或者不需要一套详细的测井资料;这时,实时数据能大大节省测井费用。

现在市场上供应的设备不能为地质师、钻井工程师和管理人员提供为保护他们的人员和装备、打出最经济的井、估计和确定烃

类资源和最好地支配公司利益所需的全部资料。

遥测的必要性

为了最安全而经济地钻井，需要了解钻头的工作情况，但是至今还没有一种能在钻井过程中获得这类实时数据的实用经济技术。由于所钻的井越来越深，而且是在更不利的环境中钻井，同时随着近海勘探迅速开展，用经济刺激发展所需的技术已经很明显。

需要的资料基本分为两类。第一类也是最重要的是安全和经济钻井所需的资料。第二类是实时测井或地层评价。第一类的目的在于提高钻井效率，可再细分为三组：安全、测斜和导向、钻井效率。

类型	重要性
井眼控制	大
定向	大
效率	中到大
地层评价	中

石油公司的工作人员认为最重要是安全和井斜测量⁽⁵⁾，其次是钻井效率或最优化，因为可能遇到不能按计划快速而经济钻井的环境。

实际上，各组测量是相互联系的。例如，对钻井中临近危险的井控情况有更大的把握，可以使用较轻的泥浆，进一步提高机械钻速。

此外，两大类基本测量也是相互交错的。例如，有助于描述岩层特性(特别是页岩层)的γ射线测井可指示高压带，它是一种对钻井和地层评价都有用的工具。

安全 表1-4列出的参数与在钻井中从钻头附近收集的四类数据有关。井眼控制可望优先考虑。这些资料主要是应用在地层状况没有明确肯定的探井上，尤其是用在花费极高和井喷后果严重的近海探井上。

如表 1 所示，许多参数与井眼控制检查

问题有关。为了使用井下安全设备而发展了双向通信。除了更多了解钻井操作以外，由于更好而更省钱的钻井液计划；钻井时间更充分的利用；套管座更好的选择，所以在钻井过程中，来自钻头的井眼控制数据给提高钻井效率提供了最大的可能。

表 1 与安全有关的测量项目

测 量 项 目	井眼状况						P-切 实可行 D-困难	重 要 性
	压 力 平 衡	液 体 流 入	气 体 流 入	渗 透 性	孔 隙 率	岩 层 损 伤		
泥浆温度	×	×					P	大
泥浆温度变化	×	×					P	大
环空压力	×	×	×				P	大
钻杆与环空压差， ΔP	×	×	×				P	大
泥浆声波速度	×		×				P	大
泥浆电阻率	×	×	×				P	大
地层压力或地层与 环空压力差， ΔP	×	×	×				D	大
自然γ射线				×	×	×	P	大
自然电位 SP				×	×	×	P	中
地层电阻率		×					D	中
深度								
微 测 井		(到达)					D	中
声波密度				×	×		D	中
伽马密度				×	×		D	中
(起下钻波动压力)						×	P	中

定向控制 定向钻井主要用于在固定平台上打生产井。除了打救险井或在人口稠密地区打井等特殊情况下，打高度偏斜的陆地井眼是很少见的。陆地井斜数据的应用基本上限于使用较简单而廉价的设备，以防严重的狗腿。

表 2 列出了各定向参数。方位角和倾角提供了确定井眼位置和钻井方向所需的资料，利用这些资料，可以控制能造成钻杆和套管事故的狗腿。

井斜控制与工具面向角及钻柱扭曲有关，能确保井眼轨迹符合设计要求。

将来研制一种有效的井斜控制装置，它不仅能跟踪钻头，进行地面控制，而且可作