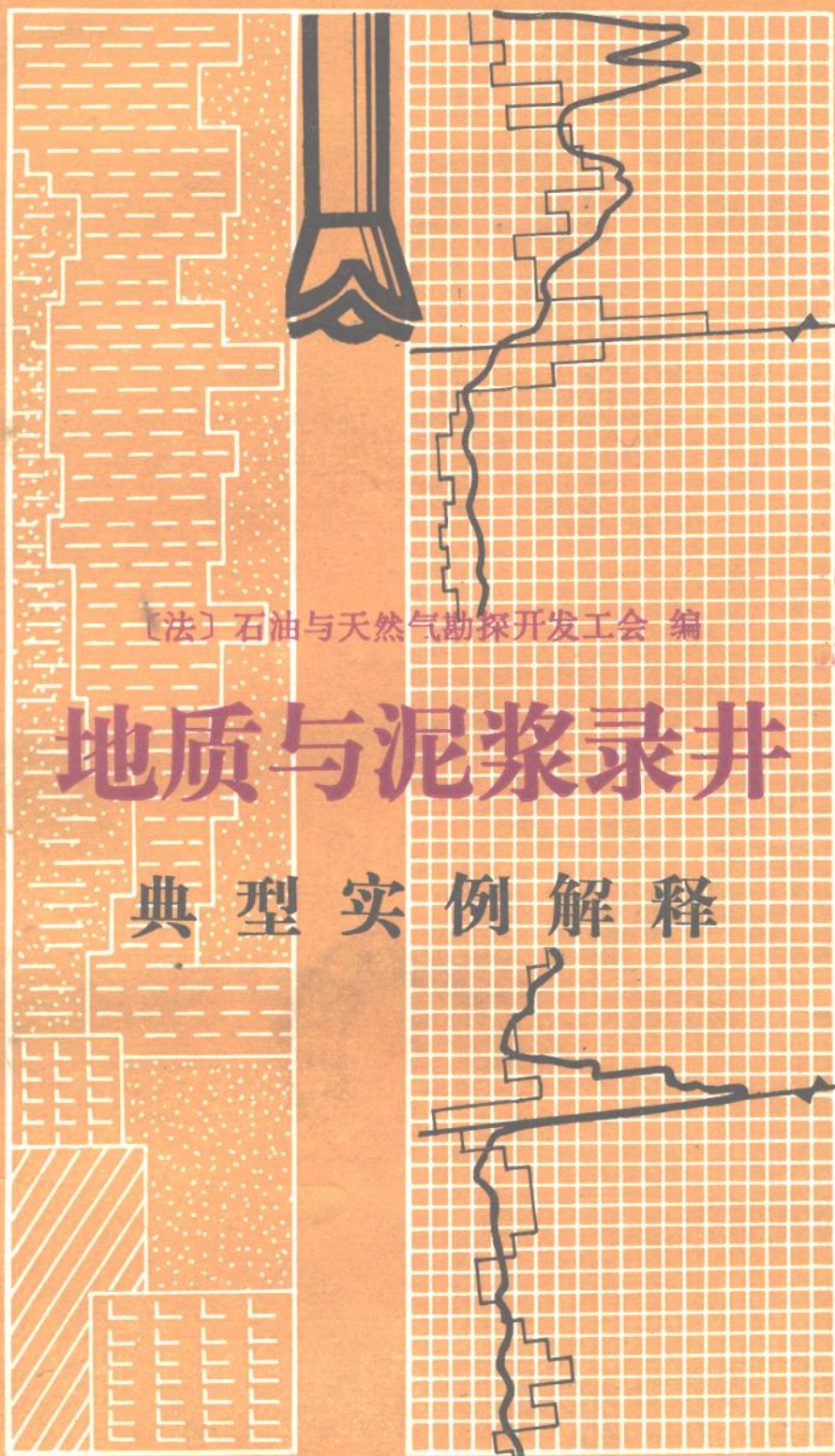


地质与泥浆录井
典型实例解释



【法】石油与天然气勘探开发工会 编

地质与泥浆录井

典型实例解释

石油工业出版社

26768

地质与泥浆录井

典型实例解释

〔法〕石油与天然气勘探开发工会编

段云舫译 郝俊芳校



00279482

52/60/16



200432834



石油工业出版社

目 录

第一章	显示油侵开始的记录	(1)
第二章	接单根抽汲引起水侵的显示	(5)
第三章	在欠压实层段使用色谱仪检测异常压力	(8)
第四章	使用碳酸盐测定仪	(12)
第五章	钻进天然气储集层及起下钻井涌控制	(14)
第六章	使用电阻率测量方法检测盐层	(17)
第七章	循环泥浆排出气侵	(20)
第八章	关闭防喷器后天然气井涌导致地层破裂	(23)
第九章	水侵	(26)
第十章	使用温度测量和d指数计算检测欠压实页岩层	(36)
第十一章	钻进蒸发岩层	(46)
第十二章	从有盐夹层的泥质沙层到厚盐层的钻进	(54)
第十三章	用涡轮钻具加金刚石钻头钻进蒸发岩层	(61)
第十四章	钻进通过具有盐胶结物砂层的砂岩层系	(69)
附录一	在关闭的环形空间内, 天然气段向上运移时的压力变化模式	(75)
附录二	含盐量表示法	(77)
附录三	资料解释方法	(80)
附录四	常用许用单位和非许用单位换算表	(89)

第一章 显示油侵开始的记录

这个实例是1972年钻的一口井，井深为11396~11441英尺之间的一张多道记录曲线（图1-1），钻遇主要是含泥质的三角洲层系，该层系具有薄的砂质和白云质的夹层。

一、技术资料

1. 钻井

(1) 9⁵/₈英寸套管鞋在10655英尺。

(2) 使用8¹/₂英寸钻头；泥浆比重 $d = 1.42 \sim 1.56$ 。

注意：在8¹/₂英寸井眼内使用6¹/₄英寸的钻铤，增加了可能抽汲产油层的危险。

(3) 钻井时的泥浆排量为1600升/分，由于环形空间的平均容积是30升/米，可计算出理论上的滞后时间大约是60分钟。

2. 录井设备

为了确保钻井控制需使用下列设备：

(1) 机械钻速记录仪和深度指示器；

(2) 脱气器和电导率天然气总量检测器；

(3) 气相色谱仪；

(4) 钻压自动记录器；

(5) 泥浆池液面自动记录器；

3. 记录参数

这张多道曲线，记录在280毫米宽有刻度的记录纸上，从上而下竖直的展开，纵坐标为时间的函数，在两条横线之间（即一格）相当于7分30秒。

(1) 深度标记在记录纸的右边，每5英尺记录一次。

(2) 天然气总量曲线记录在S50的刻度上，相当于分析天然气和空气混合物时，满刻度（full scale）为50%的当量甲烷（equivalent methane）。在这个缩尺上，记录纸上横坐标的一个大格相当5%的含量，一个小格表示0.5%的当量甲烷。

(3) 泥浆池液面变化记录在仪器的全量程为50米³的范围内；记录图中横坐标一个大格为5米³，一个小格表示0.5米³。

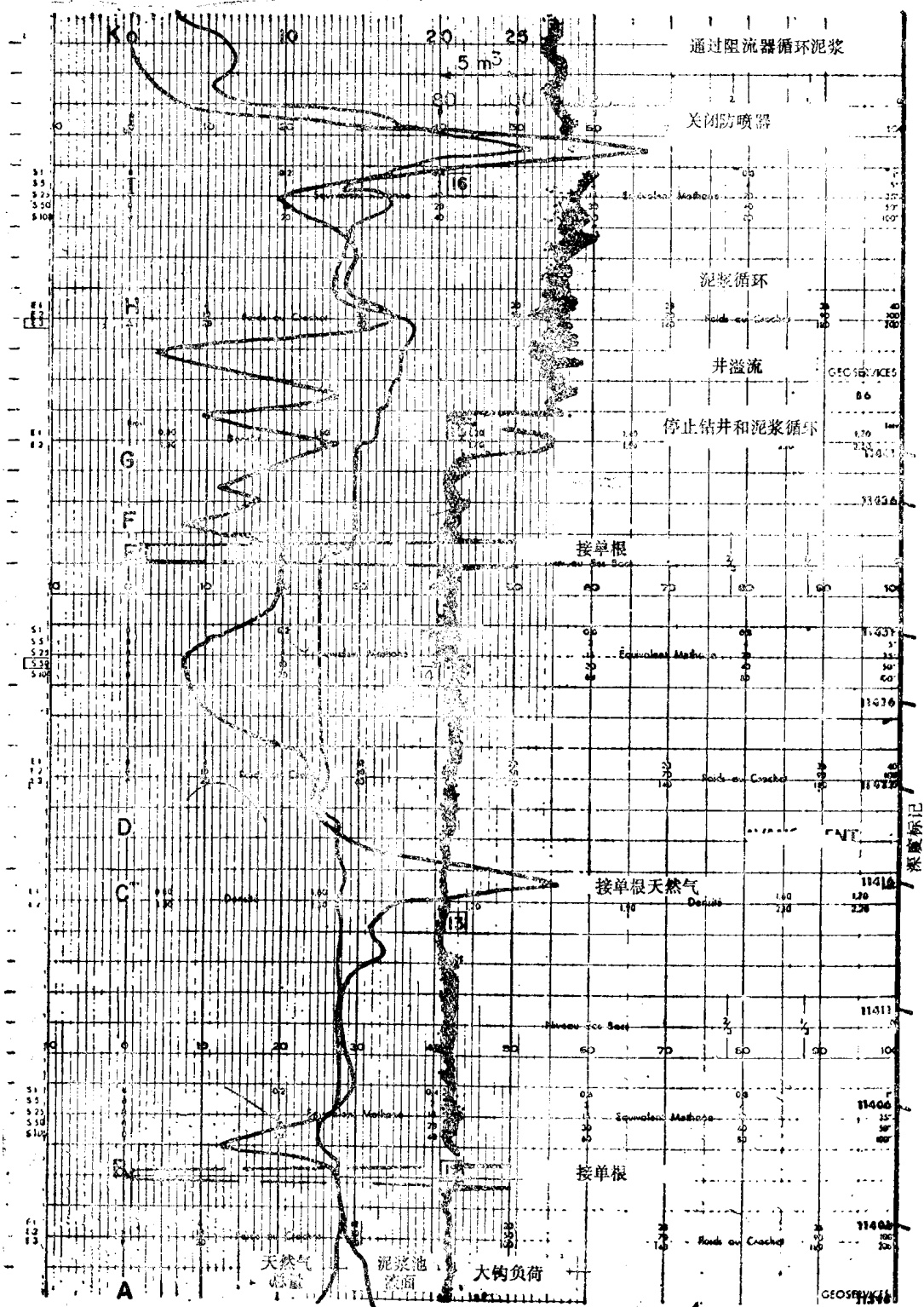
(4) 大钩负荷记录的范围是0~200吨，图中一个大格表示20吨，一个小格代表2吨。

二、应用记录讨论

A~B 11点30分至12点

以平均钻速为4分钟/英尺钻进，在11点45分至11点50分之间，钻穿一个薄的多孔隙地层时，泥浆漏失量在记录上为3~4个小格，相当于1.5~2米³。

图 1-1 油侵开始



B~C 12点至13点7分

从12点到12点5分, 钻达11403英尺接单根。提钻时大钩负荷突然增加, 以后当钻杆柱放于卡瓦上时, 大钩负荷减少。

接单根也清楚地显示在天然气总量曲线上, 但有4分钟滞后时间, 这相当于气体从脱气器到检测器的传输时间。

由于接单根而引起泥浆池液面的轻微变化, 在图上也是很明显的。

从12点5分到13点7分, 以4~5分/英尺的钻速, 由11403英尺钻至11415英尺。大钩负荷曲线的扩散, 是由于司钻以更快的速度继续钻进时, 调整钻压而引起的。

C~D 13点7分至13点20分

在11403英尺接单根时, 自井壁渗入井中的天然气段(gas slug)到达地面。在图中的这段位移与理论滞后时间相一致。

D~E 13点20分至14点30分

由11418英尺到11434英尺井深的钻进中, 于11420英尺钻穿了一个薄而多孔隙的地层, 引起轻微的泥浆漏失(1米³)。泥浆稳定地漏失(0.5米³)是由于充填那段时间所钻的井段。在14点15分至14点30分之间天然气百分比的增高, 非常可能是由于在11403英尺接单根时形成的天然气段又循环到井内, 这些天然气是在13点7分时就观察到了。

E~F 14点30分至14点35分

于11434英尺接单根。大钩负荷曲线和天然气总量曲线重复前面叙述的现象。另一方面, 泥浆池液面曲线, 在两分钟内显示出突然增加了5个小格(2.5米³) (很可能是由于接单根上提钻具时, 抽汲作用引起了泥浆溢流)。

F~G 14点35分至14点58分

从11434英尺钻进到11441英尺井深, 钻速增加了50%。由于钻进井眼的容积不断地增加, 需要泥浆充填, 但泥浆池液面曲线上并没有显示减少而保持稳定状态, 这意味着钻遇的地层仍然产生少量的天然气。

G~H 14点55分至15点30分

由于发现有少量的气流流入井内, 所以停止了钻进和泥浆循环, 以进行观察。把钻具提离井底, 在记录图中立即出现了1米³泥浆增量(由提钻的抽汲所致)。

天然气从井中溢出经过了半个小时。可观测到泥浆池液面稳定地增加(从开始增加计算, 总的增加量为6.5米³)。从另一方面来说, 天然气总量曲线出现了明显不稳定的几个波峰; 实际上, 这些波峰完全与各部分钻柱的排代量(体积)有关。

H~I 15点30分至16点

当重新开始循环泥浆时, 泥浆池液面突然下降, 而五、六分钟后, 这口井再一次开始溢流, 起初慢, 而后较快(开始在20分钟内增量为4米³, 然后在7分钟内增加了12米³)。

I~J 16点至16点15分

与显著的泥浆增量有关的, 相当含有34%当量甲烷的天然气总量曲线上的波峰, 表示在14点30分钻达11434英尺接单根时, 从地层进入井内的油和气到达地面。

图中表明的天然气滞后时间是正确的: 这段时间是与理论滞后时间(60分)加上停止泥浆循环时间(30分)相符合。

J~K 16点15分至16点37分

在16点15分做出决定要关闭防喷器和借助阻流器循环排出天然气，并要加重泥浆。从那时起，天然气总量检测器就不传送信号，因而天然气总量曲线回到零点（没有任何偏移，准确的返回到零）。

三、记录仪器的运行

总的来说各种仪器记录的质量是好的。可指出以下几点：

(1) 天然气的传输时间(从脱气器到检测器)，即使加上变弱时间，似乎也不长（4分钟）。

(2) 在5小时的记录期间，检查天然气曲线没有零值，可是在记录的最后返回到零，说明此记录是精确的。

(3) 当钻进过程中，大钩负荷曲线上点的分散，反映了司钻使用刹车对钻压的多次调整，钻进时钻压由大变小，这些都会表现在记录图上。

实际上，记录的大钩负荷曲线是每20秒记录一个数值，这就是说，测量并不总是在同样条件下进行的：即有时负荷降低(例如由于钻头钻入地层)，而有时负荷增加(例如由于司钻对钻压的调整)。对软地层尤其是这样。对于硬地层，大钩负荷测定是曲线的分散，可有另外的解释：当钻头钻入地层，由于跳钻使方钻杆振动而引起的。

四、评 论

1. 钻井操作讨论

尽管录井设备进行正常，记录的各种参数描述正确，但这口井是失败的：由于地层流体流入井内，引起松散的地层坍塌而卡钻。

如果司钻能够始终严格的按照各种规程操作，就很可能防止井的损失。

(1) 在11433英尺，图上第一次发现泥浆增量时，就要关井并测量关井环形空间的压力，以鉴别流入井内流体(气体或液体)。

当关井和停止泥浆循环时，如果流体是液体不含有气体，则关井套管头压力将是常数。假如钻头是在最后井深处，关井钻杆压力加上钻杆内的泥浆柱静液压力，即得出地层压力。

反之，如果地层进入井中的流体是气体，则关井井口压力将不断增加，直到天然气到达地面为止。只有在地层和(或)套管被压裂的情况下，压力才不断增长。

(2) 在11434英尺，第一次井口发生循环泥浆溢流时就应进行循环排气；钻至11441英尺，在观察到第二次泥浆增量时，即无论如何也要通过阻流器循环，并加重泥浆。

采用以上方法，就可以限制地层流体流入井内，而可能防止井内事故。

2. 地层流体的类型

地面上的泥浆体积平稳而直线地增加，就表示地层流体是一种液体(油或水)，而不是气体。如果地层正在流出气体，由于天然气将在环形空间内膨胀，地面上的泥浆增量增长速度将越来越快。

第二章 接单根抽汲引起水侵的显示

一、技术资料

1. 钻井

- (1) 13³/₄英寸套管鞋在3165米。
- (2) 使用12¹/₄英寸钻头。
- (3) 使用XB23生物聚合物泥浆；比重1.01~1.03；粘度=35；失水=10；含盐量=0.5克/升。
- (4) 泥浆排量为2250升/分；滞后时间大约75分钟。
- (5) 钻压14~18吨；转速60~70转/分(用12¹/₄英寸方稳定器)。

2. 地层类型

碳酸盐层系；灰色微亮晶灰岩(含少量页岩)。岩屑分析表明含有大量的方解石(5~20%)，由此可知地层有碎裂。从3240米到3250米，地层是由含页岩较多的致密暗灰色到黑色泥晶灰岩组成的。

3. 录井

本例中使用下列录井方法(见图2-1)：

- (1) 泥浆池液面记录(每一个泥浆池使用一个浮子传感器)；
- (2) 钻井进尺自动记录；
- (3) 分析天然气的色谱记录。

4. 记录数据和刻度

- (1) 在记录表格纸的右纸边，每钻进1米记录一次深度。
- (2) 记录纸的右半面是泥浆池液面的记录，横坐标每格代表1米³。
- (3) 在记录纸的左半边，色谱记录是用分析的混合气体中含有的甲烷数值来显示；绘出了C₁波峰的包线。
- (4) 记录表格的中心线是时间的坐标轴，每个横格相当15分钟。

二、应用记录讨论

下完套管后即重新开钻；裸眼井段不足100米。处理泥浆没有结束。在3242.80米至3243.80米，加进泥浆13米³。钻至3252.40米时，泥浆池液面曲线显示出很小的波浪形状的变化，并有部分漏失的趋向，而这种趋向被处理泥浆所掩盖。

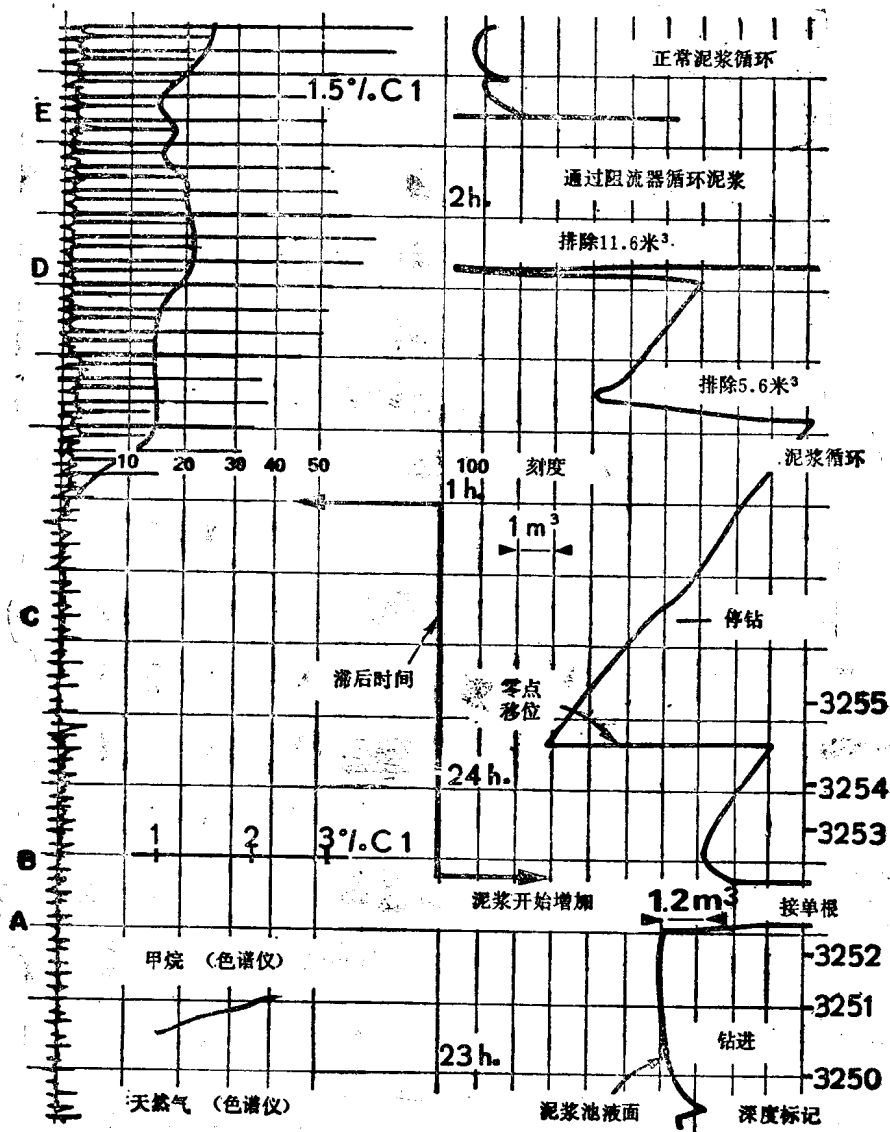
钻井以每小时3~4米的平均速度钻进。

A~B 23点30分至23点40分

在3252.40米，由于接单根而停钻。23点30分可注意到1.2米³的瞬时泥浆增量。

B~C 23点40分至0点35分

图2-1 饱和盐水侵检测记录



在23点40分重新开钻。0点10分时，泥浆量增大需要泥浆池液面曲线向零点移位。

当接最近一次单根恢复钻进以后，泥浆池液面曲线出现4.5米³的增量，为了检查这口井的特点，在3255.20米停钻。

C~D 0点35分至1点50分

泥浆在正常的情况下保持循环，在1点时，色谱曲线上显示出C₁的到达，即接单根后80分钟(当排除天然气的时候，记录到1.5% C₁的最大读数)。在正常的循环情况下，先排除了5.6米³的泥浆。

D~E 1点50分至2点20分

通过阻流器循环泥浆。在此期间(1点50分开始)，排除了被地层流体污染的泥浆 11.6米³。

分析和鉴定表明侵入的地层流体是盐水，温度为 55°C ，其中含有每升333克的NaCl和每升9克的Ca。

测出关井钻杆压力为20巴(300磅/英寸²)。

三、评 述

(1) 地层孔隙压力计算

在井深3250米处，泥浆比重为1.03，产生334.7巴的静液压力，于是地层孔隙压力为 $334.7 + 20 = 354.7$ 巴。

该段井底压力测量表明，3247米处的压力为354.69巴。

需要把泥浆比重从1.03加重到1.10。

(2) 由于处理泥浆，而难以监控泥浆体积，在1.3米³增量之前，泥浆的漏失或增加部分被掩盖。在这种情况下必须记住，这是在下完套管重新钻进和处理泥浆；在这种情况下要求密切注意。

(3) 尽管在接单根时，泥浆体积已有明显的增加，还是冒着有未知的地层流体严重污染泥浆的危险，几乎钻进了一个小时。如能及时停钻，检测泥浆体积和关井立管压力的变化，就会判断地层流体的类型。知道了地层流体的类型并算出了它的压力，就没有必要再进行测试。

四、结 论

泥浆池液面变化检测曲线是很有用的记录。新式的仪器有可能发现很小的变化。然而，检测的起始值，陆上钻井装置可低到100升，而海上钻井装置可高达几个立方米。

(1) 由于压力的不平衡而造成的泥浆量的增加或漏失，在多数情况下，都能立刻检测出来。

(2) 由于钻杆柱在井中运动产生抽汲现象，可破坏井内的压力平衡(如接单根、提钻换钻头或单纯的钻头提离井底)。在钻至储集层或钻穿之后，都可能出现压力不平衡。

第三章 在欠压实层段使用色谱仪检测异常压力

在欠压实的页岩地层，通常会遇到各种困难的钻井条件（起钻遇卡、井眼扩大和泥浆气侵等等），这往往与泥浆中所含天然气成分逐渐变化有关，通过 C_1/C_2 、 C_1/C_2+ 、 C_2/C_3 等比值的变化，可证实泥浆含气量的变化。

我们经常观测到 C_2/C_3 小于或等于1。

这种比值的逐渐变化或演变，一般都给钻井带来困难，往往是重大事故的前兆。

用下面的两个实例说明上述的演变。在一定程度上，这种演变取决于作用到地层的压力 ΔP ，它也可改变天然气指数的性质和(或)其代表性。此外，地层中有机物质熟化度的增加，可通过上述演变而显示表示，这时在厚的页岩层中将会出现孔隙压力(异常压力)的增高。

一、实例1(图3-1)

这个例子中，在1800米处地层结构出现变化，即在各种钻井问题(提钻受阻、井眼扩大和泥浆气侵)发生之前大约100米，可能表明正在钻遇一个超压地层。

在这口井中进行的检测进一步证实了压力梯度的变化。

增加泥浆比重，也加大与地层压力之间的压力差(ΔP)，结果排除钻井中的困难，并且恢复了地层原始的结构。

二、实例2(图3-2)

1. C_2/C_3 曲线

这条曲线是用气相色谱仪测量记录得出的(图3-2①)，在含气带每10米记录一次。仅使用页岩层的天然气指数，而不使用砂层和褐煤层的(只有渗透性相近地层的天然气指数才可以有效的对照)。

在 G_1 处(3000米)，曲线显示出比值明显的减少，从1.7~0.9~0.7，再减至0.5。然后停留在0.5~0.6之间。

在 G_2 处(3360米)，开始出现井涌，通过阻流器循环泥浆以前，比值降至0.2。当一加重泥浆，数值即回升超过2.0。

2. 泥浆出口温度

图3-2②中，每段曲线表示了每一个钻头使用过程中的温度记录。

3. 温度梯度

图3-2③中的曲线是应用泥浆出口温度值绘制的。采用一定的间距(例如每钻进10米)或每一钻头的行程进行计算。因为我们这里用的钻头较多，所以用的是后一种方法。

温度梯度是每百米的摄氏温度：

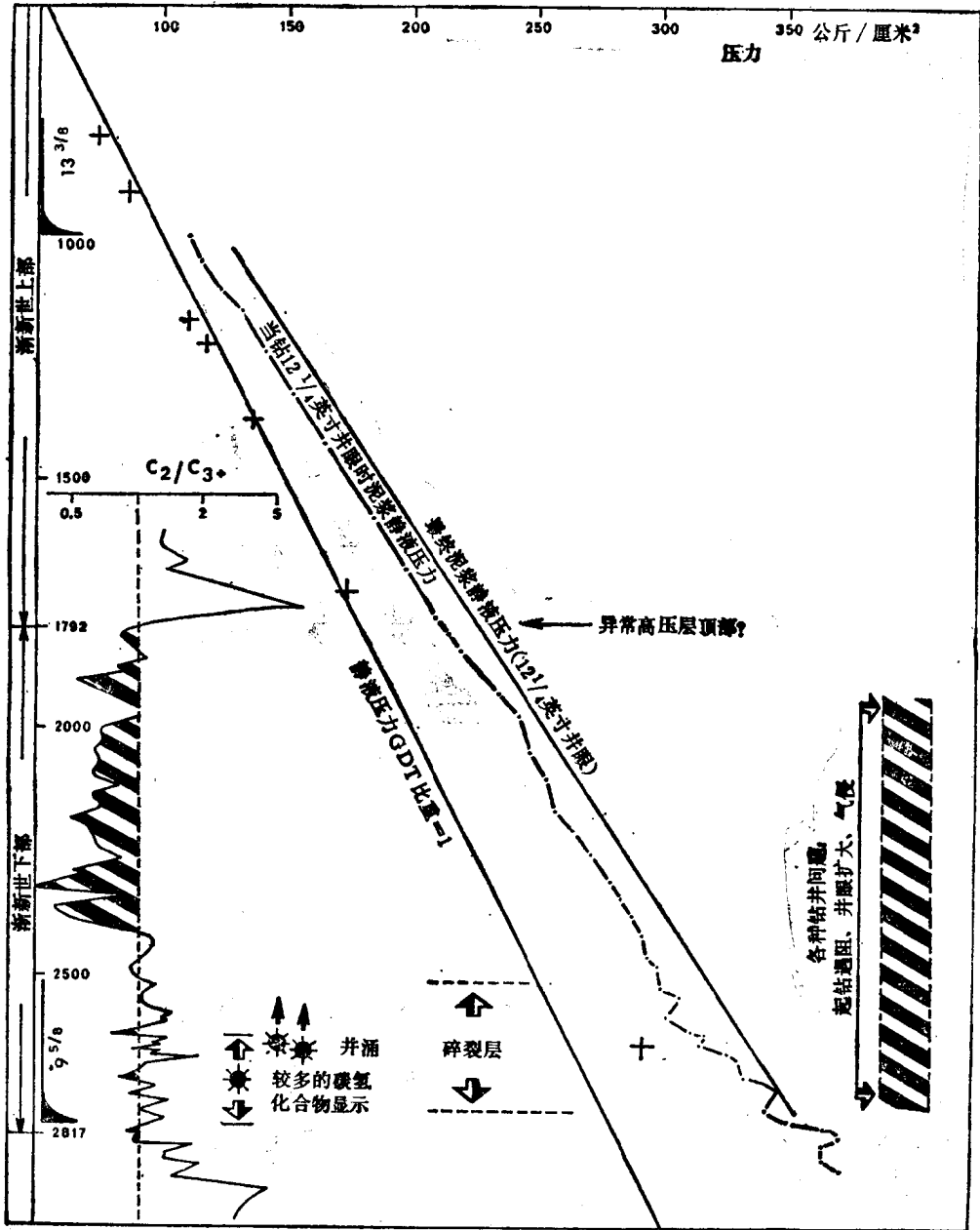
$$G^{\circ C/100} = (t_2 - t_1)100/h$$

式中 t_1 ——钻头行程开始的温度, °C;
 t_2 ——钻头行程末尾的温度, °C;
 h ——钻进的间距, 米。

4. 由测试资料得到的压力分布图

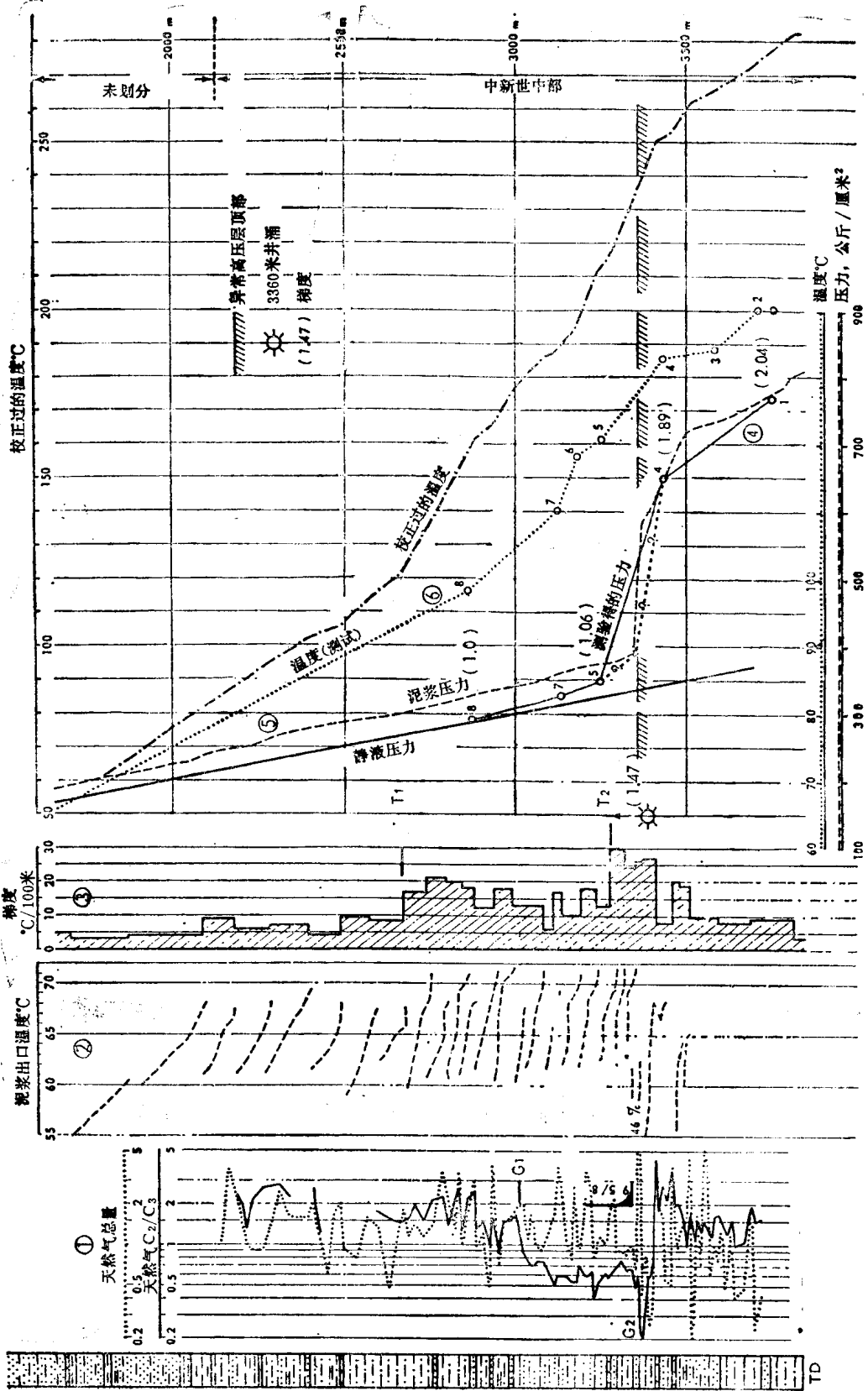
用在各不同深度测得的压力值, 绘制压力分布图 (图3-2④)。曲线上在点4和点5之间

图3-1



十 压力测试

图3-2 压力-温度分布图



的延伸是不实际的：这段曲线很可能应靠近带有问号标志的那段线。

5. 泥浆压力

图3-2⑤曲线是所记录的泥浆静液压力与深度有关的静液压力曲线。

6. 测试温度(图3-2⑥)

泥浆压力曲线上的点是取自测试的数值。它们与图3-2⑦曲线有同样的趋势。注意在异常高压顶部的斜率变化。

7. 校正温度(T_c)

校正温度(Corrected temperature)是从以前得出的各种温度梯度值(图3-2③)计算而得到的。其计算公式如下：

$$T_c \text{ } ^\circ\text{C} = (\text{温度梯度}/100 \cdot \text{h}) + T_{\text{corr}}$$

T_{corr} 是上一个钻头行程末尾的校正温度。地面温度取决于环境，可以是平均的地面温度或海底温度(海洋)。下入最后套管以前，电测井时进行井温测量通常是方便的。一种简单的解决办法是把图3-2②各段曲线的头尾连接制图：这张头尾连接曲线，大多数由地质调查服务公司提供。

钻头更换的越多(或任何其他原因停止钻进)，就越干扰校正温度曲线的准确性。在这样的情况下，校正温度会比地层温度高得多，本例就是这种情况。实际上，人们都不使用这条曲线获得地层温度，而只是使用它的分布图取得井底温度。

三、评 论

(1) 温度梯度(T_1)的第一次增高，除了由于沉积介质改变外，其他的解释都不会令人满意。

(2) 温度梯度(T_2)的第二次增高，在危险带以上60米时就提供了危险预报。

(3) 由于天然气成分比值开始减小(G_1)，而地层压力梯度增大，因此可以推断在喷发层顶部上面大约350米处，将有地层压力梯度增加(压力过渡带)。

第四章 使用碳酸盐测定仪

一、随钻对比

碳酸盐测定曲线(Calclmetry curve), 在以碳酸盐为主的地层是很好的对比工具。遗憾的是在希望对某井进行对比时, 往往得不到这种记录曲线。

二、使用累计声波(integrated sonic)

直接用碳酸盐测定曲线与大比例尺的声波传播时间 Δt 曲线对比是得不到结果的。

从另一方面说, 使用深度增量(例如10米)的累计声波传播时间(transit time integrated)曲线对比, 则可获得很好的结果。

使用声波记录的累计峰值, 很容易绘制上述曲线。

假如要绘制1/10000缩尺的曲线, 可得到比较好的对比结果, 而且展示了某些特征, 这些特征在1/500缩尺的曲线图上是很难找到的(例如在图4—1中, α 和 β 符号之间, 碳酸盐含量缓慢地减少)。

三、应用举例

在这个例子中, 所钻的三口井基本上是由页岩和碳酸盐岩所构成的地层, 具有非常单一的岩性(图4-1):

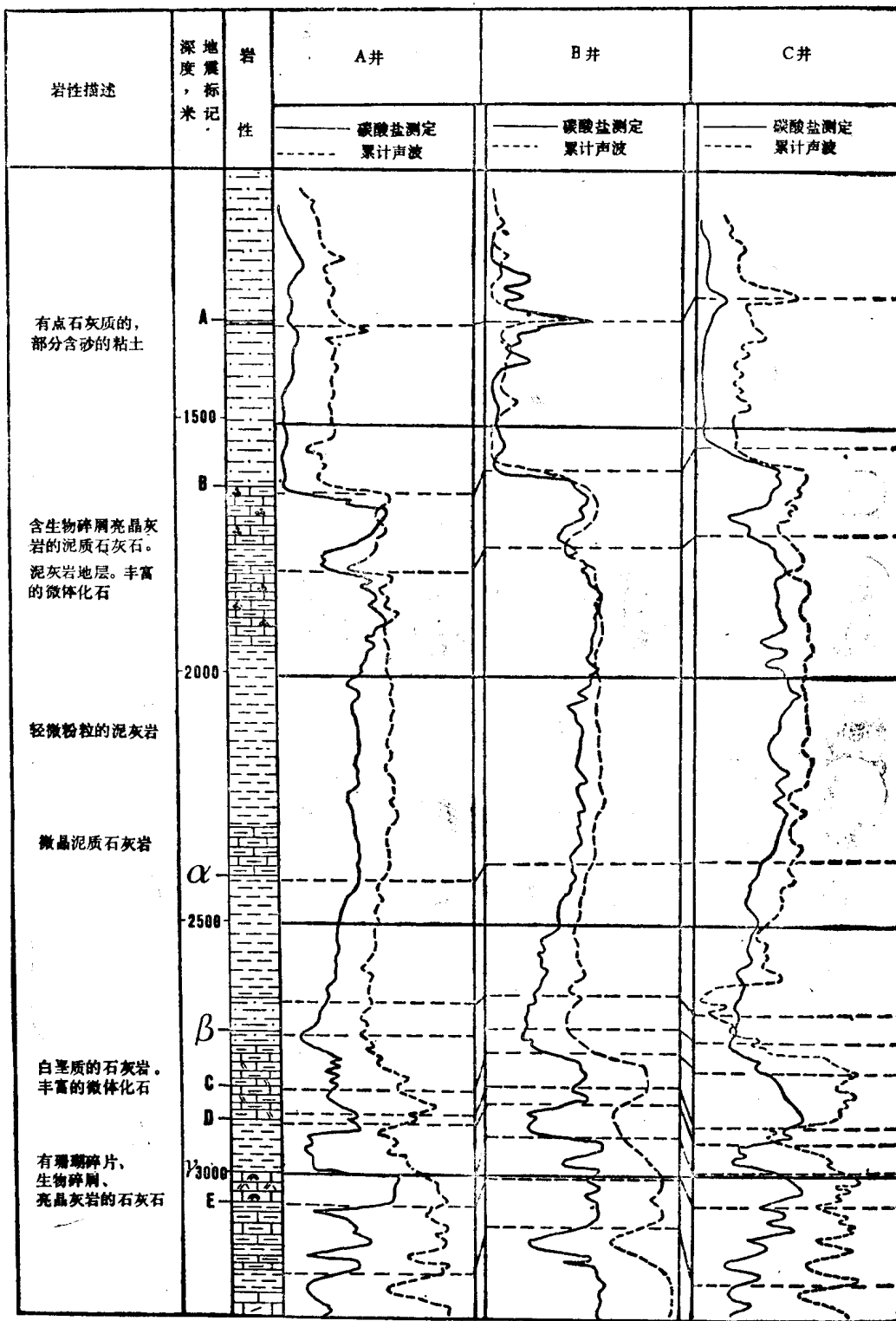
- (1) 碳酸盐测定曲线: 在图中左边(实线)。
- (2) 累计声波传播时间曲线: 在图中右边(虚线)。
- (3) 显示的相互关系和界限, 主要根据微古生物分析。
- (4) 水平线A、B、C、D和E是地震标志。

注意: 累计声波曲线随地层中的碳酸盐含量而变化; 所钻井的碳酸盐测定曲线与在这个区域钻的另一口井的累计声波曲线对比是没有困难的。

(5) 只用碳酸盐测定曲线, 地质家们就可以知道与另一些井的曲线对比时, 他所关心的层位在何处, 而且当有主要地震标志时就能发现它们。

(6) 根据地震标志“D”, 可给出所关心层位的顶部: 显然, 碳酸盐测定曲线和累计声波曲线可充分的对比及互相连系, 这就可随时提醒地质工作者们。

图4-1 碳酸盐测定与声波对比图



第五章 钻进天然气储集层及起下钻井涌控制

一、技术资料

1 钻井

这个实例给出了1975年在海上钻的一口井，水深为300米。9⁵/₈英寸套管鞋在2360米。使用8¹/₂英寸的钻头继续钻进，泥浆比重为1.19。泥浆排量是1800升/分，泥浆返回时间是45分钟。

2. 录井

多道记录曲线是记录在宽度为280毫米，有格的记录纸上，从上而下竖直的展开，纵坐标为时间的函数，竖格1厘米(两条横线之间)表示7分30秒。

3. 记录资料和刻度

在图5-1中，表示了如下内容：

(1) 天然气总量曲线，图中用点线表示。这条记录曲线首先从“S5”刻度比例记录，这相当在分析天然气和空气混合气体时，满刻度为5%当量甲烷。

在6点时，曲线刻度变化到“S25”，相当在分析天然气和空气混合气体时，满刻度代表25%的当量甲烷。

(2) 出口泥浆比重曲线，图中用虚线表示。刻度从0.75到1.75，一个大格等于0.10。

(3) 泥浆池液面曲线，图中用实线表示。这条曲线表示1+2+3号泥浆池的总容积。图中一个大格代表1000升，即每小格为200升。

(4) 开泵和关泵的状态，记录在图的右边，停泵时该线中断。

(5) 深度标志(每米2个标志)，表示在右图框外边。

二、使用记录讨论

A~B 5点37分至6点

接单根以后，在井深2666米处钻进。可以看出由于接单根而引起的泥浆池液面曲线的变化。当继续钻进时，泥浆池液面连续增高。由于泥浆池液面的升高，又由于高的钻速而停钻。保持泥浆循环。

B~C 6点至7点19分

在6点10分，泥浆池液面显著下降，以后又上升，这表明一个天然气段的运移。

6点22分时，天然气总量曲线迅速增加。6点25分时，由于曲线刻度的变化，不能读出B₁波峰的最大值。

这些变化表明天然气到达井口。在波峰B₁前15分钟，所记录的泥浆池液面记录的降低与