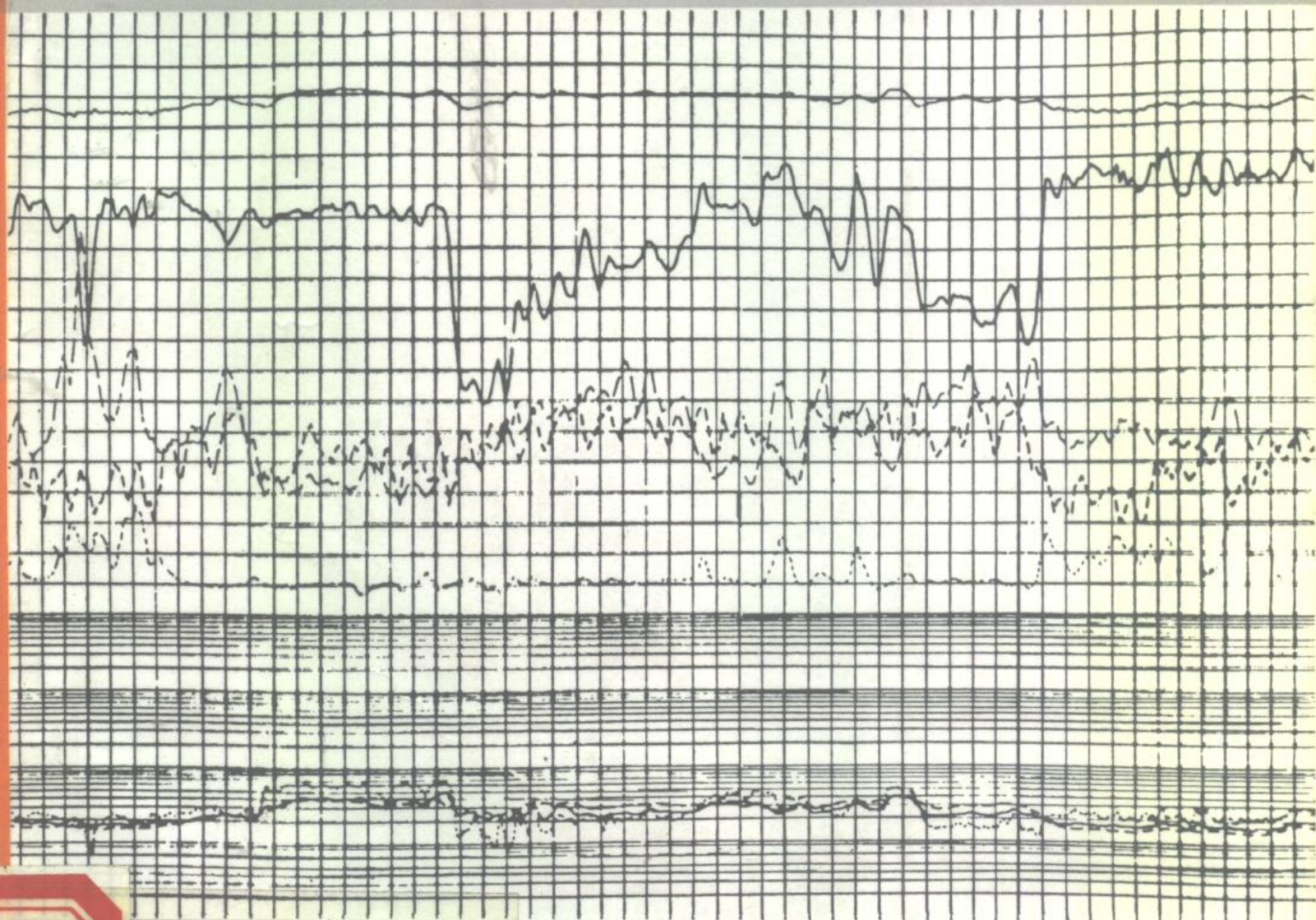


实用倾角测井解释

(美) J. W. 考克斯 等

张超漠 钟兴水 译



(北京)

18

7

石油工业出版社

实用倾角测井解释

〔美〕 J.W.考克斯 等

张超谟 钟兴水 译

石 油 工 业 出 版 社

(京)新登字082号

内 容 提 要

本书以解释经验和解释方法为主,分别介绍了倾角测井的原理、计算方法,构造倾斜的确定及构造倾角的消除,断层与不整合的解释,具有断层的构造图的作法和地层研究方法等内容。本书易学易懂,方便实用,适合于地质、地震工作者及倾角测井初学者参考。

实用倾角测井解释

〔美〕J.W. 考克斯 等

张超谟 钟兴水 译

*

石油工业出版社出版

(北京安定门外安华里二区一号楼)

北京密云华都印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092毫米 16开本 8³/4印张 215千字 印1—2,000

1992年1月北京第1版 1992年1月北京第1次印刷

ISBN 7-5021-0748-7/TE·707

定价: 5.55元

目 录

第一章 概述	(1)
第一节 引言.....	(1)
第二节 仪器.....	(1)
第三节 测井曲线图.....	(8)
第四节 结果的计算与显示.....	(12)
第二章 测井质量控制	(16)
第一节 保证质量的措施.....	(16)
第二节 倾角测井质量检查项目.....	(16)
第三节 油田监控测井图.....	(22)
第四节 监控测井的内容.....	(24)
第三章 倾斜角的计算与结果表示形式	(33)
第一节 影响对比曲线的因素.....	(33)
第二节 判断计算结果正确性的指标.....	(33)
第三节 计算系统与结果表示形式.....	(36)
第四节 计算参数对处理结果的影响.....	(40)
第五节 方位信息的应用.....	(42)
第四章 构造倾斜	(46)
第一节 基本倾斜模式.....	(47)
第二节 大模式.....	(48)
第三节 确定构造倾斜的方法.....	(52)
第四节 盐丘与泥丘.....	(62)
第五节 构造倾斜的消除.....	(68)
第五章 断层与不整合	(78)
第一节 断层描述.....	(79)
第二节 正断层的判断.....	(80)
第三节 逆断层的判断.....	(96)
第四节 隐蔽断层的判断.....	(100)
第五节 判断断层的其他指示方法.....	(102)
第六节 不整合的形成与判断.....	(105)
第七节 假想层水平构造图.....	(108)
第六章 地层研究	(116)
第一节 沉积构造简述.....	(116)
第二节 地层研究的线索.....	(118)
第三节 地层研究的步骤与实例.....	(132)

第一章 概 述

第一节 引 言

自30年代倾角测井投产以来,它在石油工业中的应用与日俱增。当初,倾角仪用于勘探领域中主要是对油气圈闭的地质构造的特征进行定位和识别。随着倾角测井技术的逐步完善,使解释结论更加可靠,因此它的应用范围也不断扩大。如今,倾角测井是描述内部岩性特征及相应的沉积过程的主要方法。

由于当前对沉积成层条件研究方面的加强,所以倾角测井的实用性得到了进一步地提高。井中每英尺120点的高采样密度使倾角测井实际上成为能提供给石油地质学家们有关地下微观构造沉积详细信息的唯一测井方法。

倾角测井仪的主要功能是测量倾斜面的倾角与方位。另外还能提供有关井眼几何形状的测量值,如井斜角、井斜方位、井眼椭圆度等等。本书要从原理上、经验上、假想例子与实际例子等方面介绍根据倾角测井推断地质信息的方法与实际作法。

第二节 仪 器

倾角测井的测量值要保证一个层面的倾斜能计算出来。为了计算层面的倾斜,需要下列三类信息:

- 1) 不在同一直线上至少三点的位置;
- 2) 仪器的方位;
- 3) 仪器的倾向与倾角。

以下要对上述三类信息进行讨论。

一、定义层面

当极板在井中的位置已知时,通过对比各极板上高分辨率电导率曲线来确定同一层面上的各点。

图1-1所显示的是井眼被一个薄的、倾斜较大的层面所切割,该层面相对于上下地层而言是一高阻层。

当仪器在井眼中向上提升时,四个极板各自连续地记录一条电导率曲线(即倾斜曲线)。当每个极板通过高阻层与井壁切割的截面时,对应的倾斜曲线上显示出电导率的变化。由此看到,层面的倾斜使不同的极板在不同的深度上与层面相遇,从而记录下来的电阻率曲线在不同深度产生变化。根据三角学原理,就可以使用不同曲线峰值的深度差异(即高程差)来计算层面的倾斜度(倾斜包括倾角与方位两个因素)。

1. 井径

为了精确地确定各条曲线在空间的相对位置,必须知道相对着的一对极板间的距离,这样的数据由两个井径测量值提供。

井眼常常是椭圆形的,对应井径仪的结构与图1-2相似。

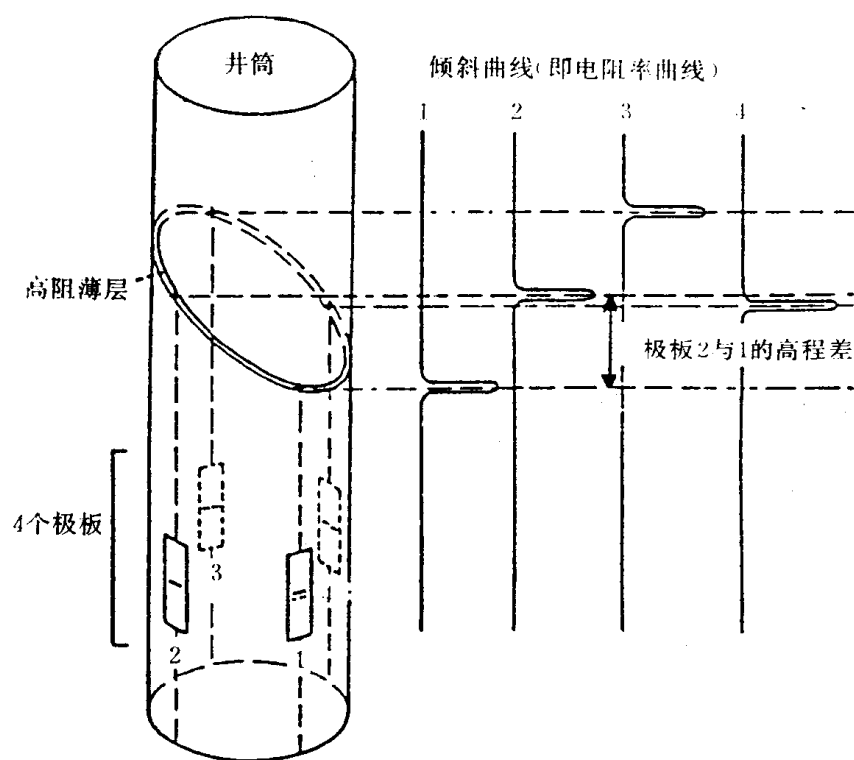


图1-1 倾斜高阻薄层在电导率曲线上的反映

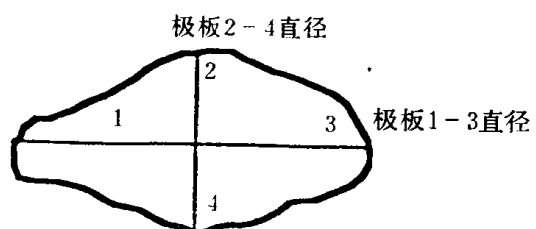


图1-2 椭圆井的井径结构

2. 视倾角与构造倾角

视倾角与真倾角的关系如图1-3所示。视倾角没有考虑到井斜的影响。

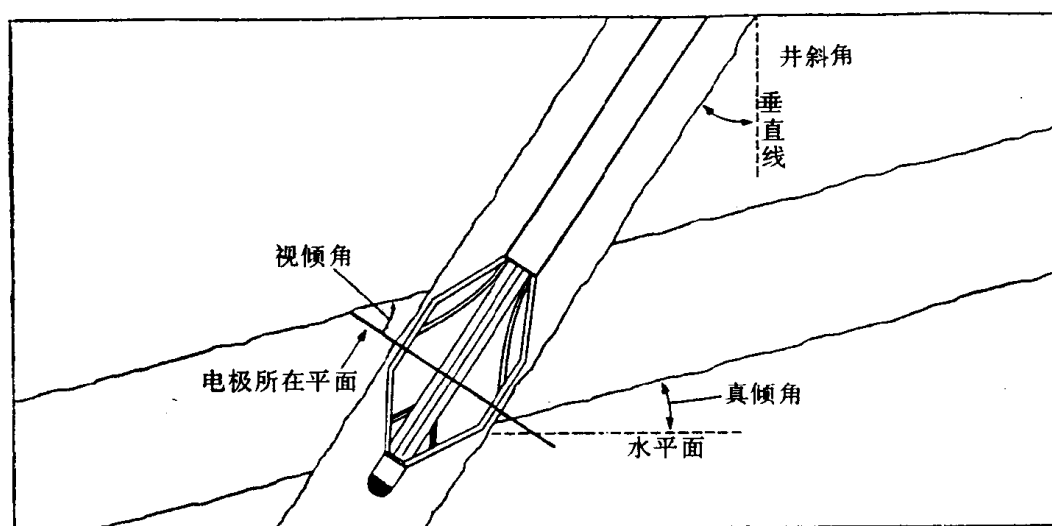


图1-3 真倾角与视倾角的关系

图1-4所示的四条曲线非常相似，各曲线间的高程差很明显。已知井眼直径为8in，与地层面的交角为30°。如果直接根据高程差计算倾角，计算结果应为视倾角。

地层沉积和固结作用之后的很长时间内，由施加于这些地层的地壳运动形成了构造倾斜。在确定油气圈闭的位置时，即使1°的构造倾角也是有意义的。因此，必须非常详细地记录倾斜曲线。以0.1in为采样间隔的聚焦倾斜曲线（即微电导率曲线），可以测出0.1in数量级的高程差。

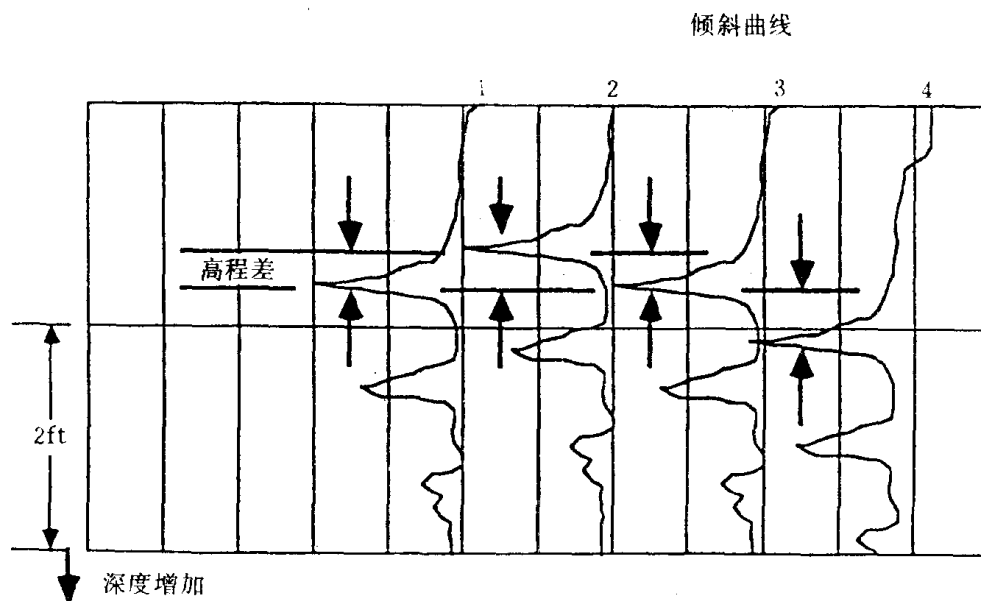


图1-4 微电导率曲线间的高程差

3. 电阻率曲线的刻度

倾角测井的曲线对比取决于电导率的变化，在老仪器中，以绝对电导率的刻度来保持动态细节，因此，这些曲线不能用电导率来精确地刻度。现代仪器可以获得电阻率曲线的详细细节，并有一个能产生电导率或电阻率曲线的精确的刻度系统。

二、速度校正

电缆及仪器的摩擦力随深度的变化将使电缆的张力发生改变，因此仪器的速度不是固定的。随着摩擦力的变化，仪器可能加速或减速，这种现象称为电缆交替放收现象（Yo-Yoing）。

小的张力变化可能引起电导率曲线上精度与细节的较大误差，如图1-5所示。

电缆的平均速度与仪器的平均速度一定是相同的，平均倾角也应相同。我们对平均倾斜及单独某个点的倾斜都不感兴趣。在本书的后面将会看到，由相连在一起的倾斜点所构成的模式是构造解释与地层解释的基础。非补偿式的仪器容易毁坏模式，也容易建立模式。所以必须有一个对仪器的变化速度进行校正的系统。

速度校正通过附加的、放在某一选定的极板上的校速电极进行。在较新的仪器中，附加的、更精确的检测是由加速计进行的。

速度电极所记录的曲线应当与同一极板上该速度电极之下的电极所记录的曲线有很好的相关性，这两条曲线之间的位移应当与这两个电极之间的距离相等。

设速度电极与测量电极之间的距离为 d ，如图1-6所示，这里 $d = 4$ 。又记速度电极所测曲

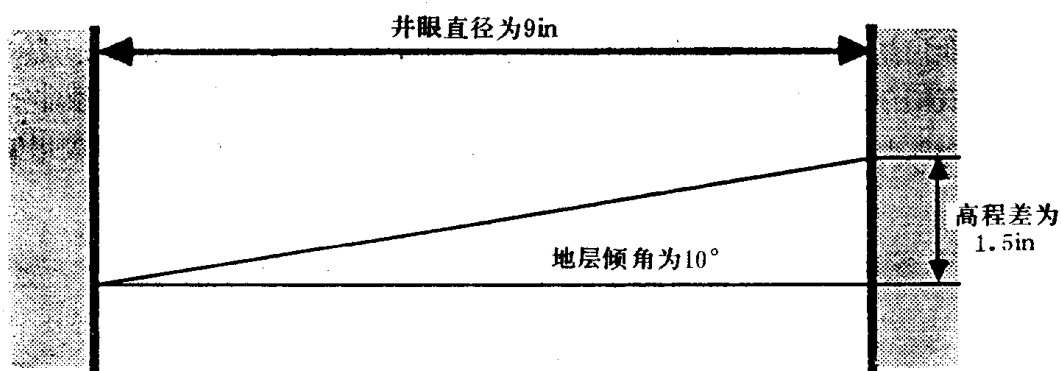


图1-5 速度差异对计算倾角的影响

如果仪器速度为电缆速度的80%，那么倾角计算结果为12.4°，而不是10°。

如果仪器速度为电缆速度的1.5倍，那么倾角计算结果为6.7°，而不是10°

校速电极

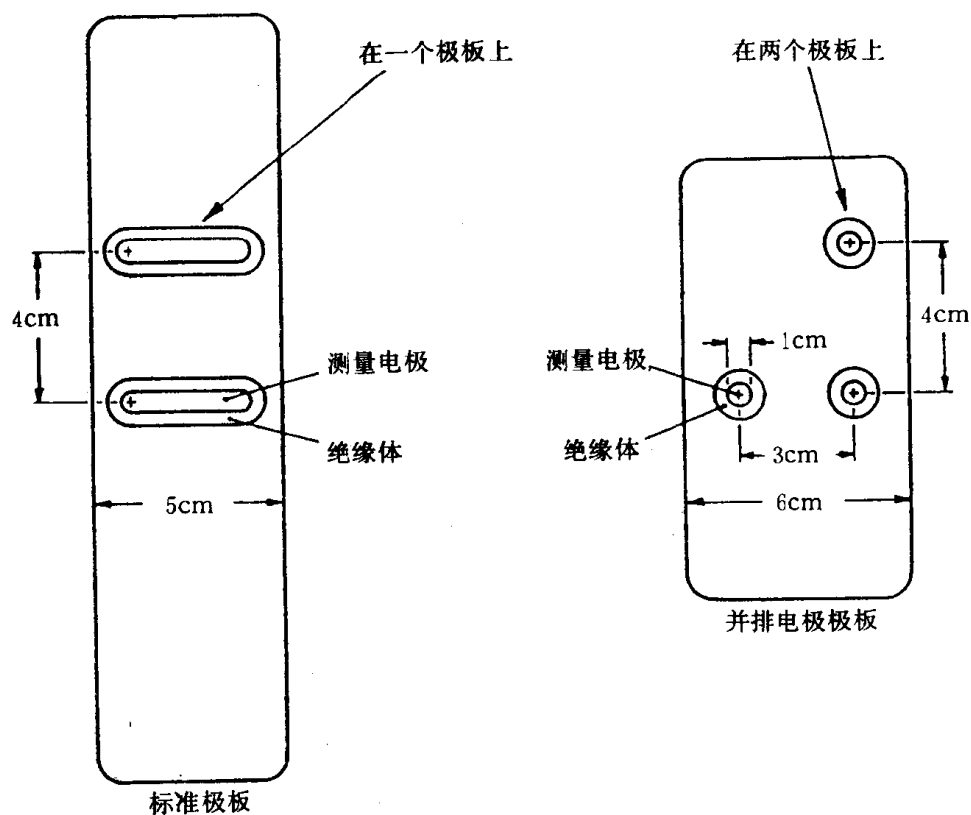


图1-6 标准极板与并排电极极板的比较

线与测量电极所测曲线的视位移为 D 。当仪器的瞬时速度与电缆速度不同时， D 就会发生变化，令 $a = d/D$ ，则 a 称为记录点处曲线位移的速度校正因子。

实际中，校正因子 a 的变化范围为1/2 到 2，即 $\frac{1}{2}D < d < 2D$ 。

三、仪器类型

倾角测井仪有两种基本类型，老一代仪器使用机械罗盘与悬摆，新一代仪器则使用地磁仪与加速计。为了提高资料的质量，新一代仪器中加进了一些其它精密部件。表1-1与图1-7是老仪器与新仪器的比较，图1-8则是两种老式仪器的比较。

表1-1 新老仪器的比较

	老 仪 器	新 仪 器
倾斜曲线条数	5	10
校速电极	仅倾斜曲线	两条倾斜曲线及加速计
采样密度	60次/英尺	120次/英尺
电 导 率	定 性	定 量
测斜机构（井斜、1号极板的相对方位）	机械罗盘	加速计与地磁仪

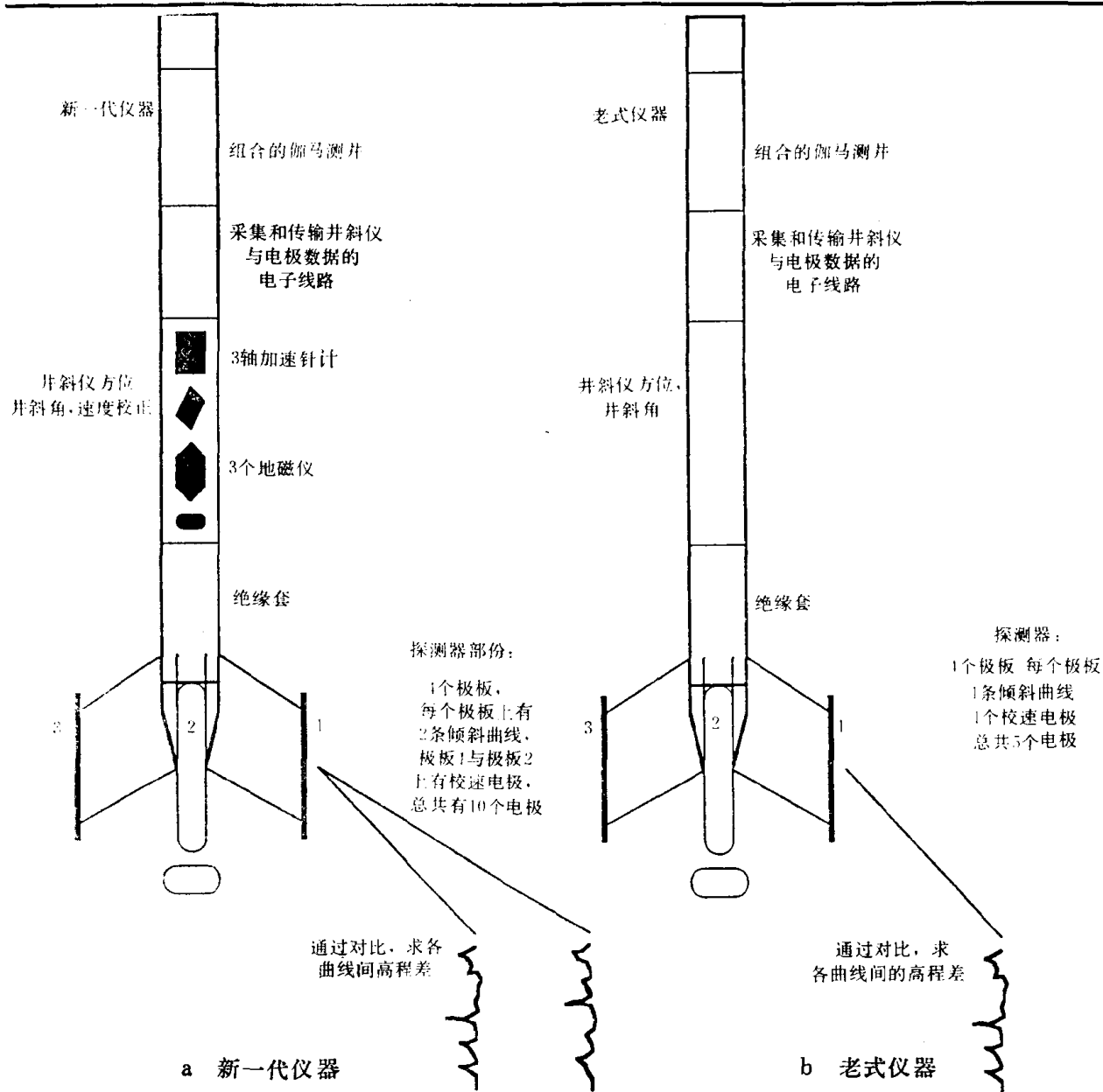


图1-7

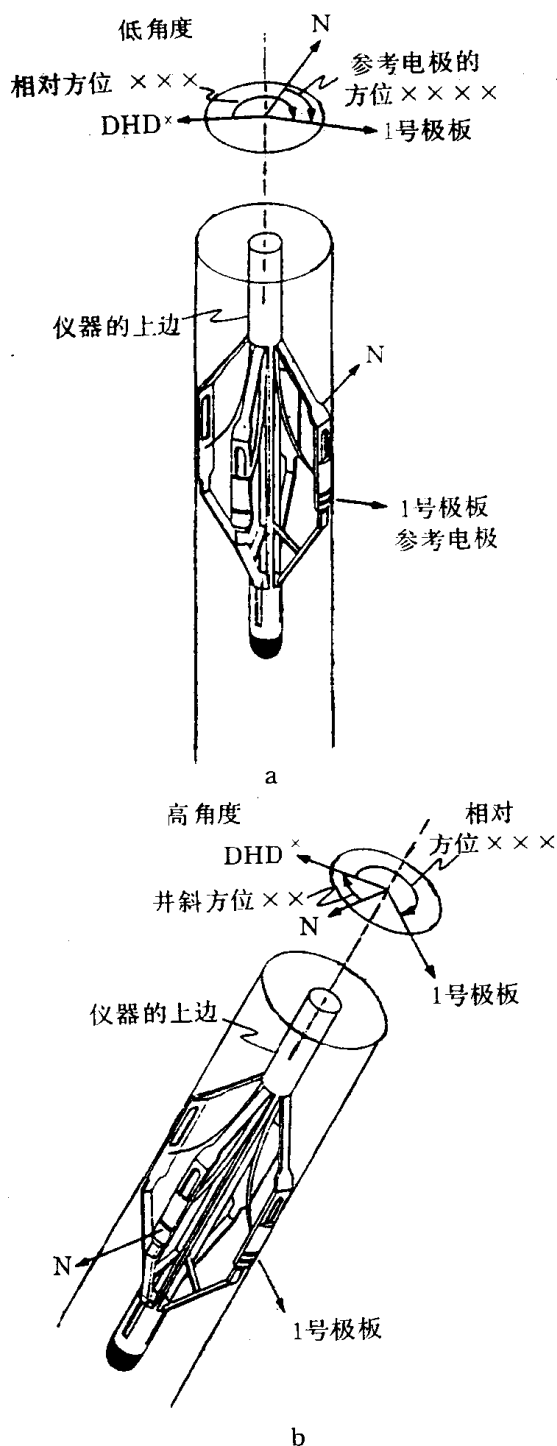


图1-8 低角度仪与高角度仪的比较

× DIID井斜方位 (从仪器上边中心算起); ××井斜方位 (从磁北到DHD顺时针角度); ×××相对方位 (从DHD顺时针到参考电极的角度); ××××参考电极方位 (从磁北顺时针到参考电极的角度)

老式仪有两种类型: 低角度仪与高角度仪。低角度仪用于 $0^{\circ} \sim 36^{\circ}$ 的斜井中; 高角度仪用于井斜角最大为 72° 的井中。

方位角的定义在低角度仪与高角度仪中是有区别的(图1-8)。低角度仪中方位角的定义不论是老式仪还是新式仪, 都与原来的定义相同, 即指磁北极顺时针到1号极板间的夹角。高角度仪的方位角指的是从正北顺时针方向到仪器轴的水平投影之间的夹角, 称之为DHD。

四、仪器方位、仪器倾斜角及倾斜方位

确定地层倾斜的第二种信息为仪器方位, 第三种信息为仪器的倾斜状态。

为了确定地理上的倾斜方位, 必须知道仪器相对于北极的方位, 为此, 用罗盘或地磁仪测量1号极板与磁北极之间的夹角。图1-9为1号极板方位角示意图。

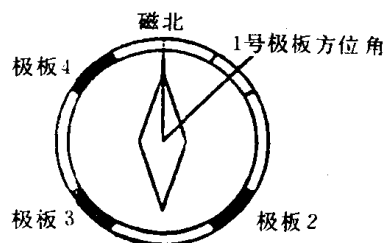


图1-9 1号极板方位角的定义

在较新的仪器中, 使用地磁仪测量仪器方位。地磁仪比罗盘更精确、更可靠, 这主要是因为地磁仪没有运动部件。在某些远北极地区, 磁力系统不能工作, 这时就使用特殊的陀螺仪式的倾角仪。

1. 方位角的定义

测井图上注明的 Azimuth* 1, 或者 Pad1AZ, 或者 P1AZ的定义如下:

Azimuth* 1 = 1号极板相对于北极的夹角 (1-1)

2. 磁偏角

我们知道, 地球的旋转轴穿过地球表面的那两点称为极点, 在北面的称为地理北极 (我们在这里简称为真北极), 在南面的那一个极点称为地理南极。

地球是一个大的磁体, 地球本身及其周围存在着充满磁力的空间, 叫做地球磁场。可以

磁偏角, (°)

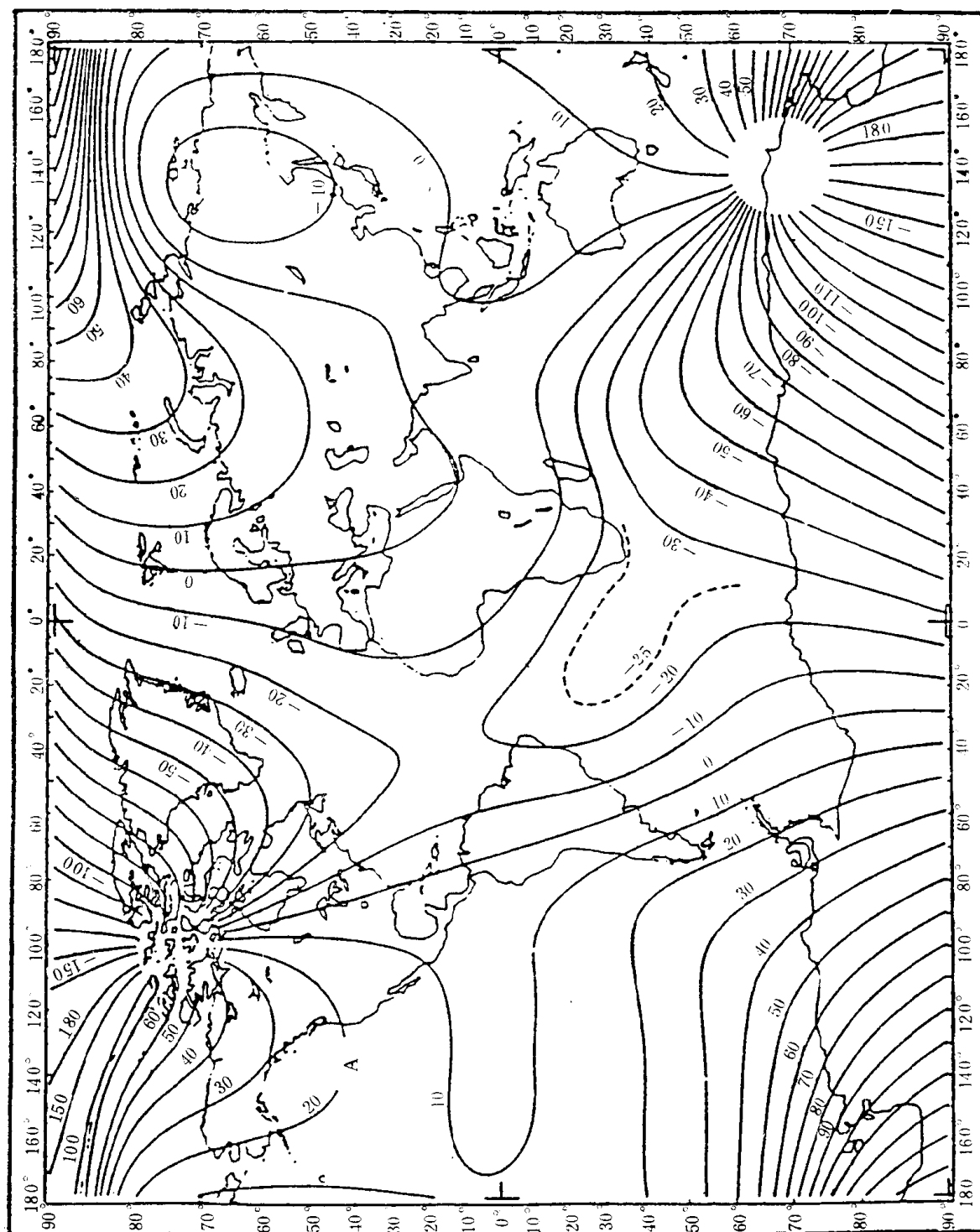


图1-10 磁偏角图

认为，地球磁场是用一个大磁棒放在地心所产生的，这个磁棒的轴线与地球表面的两个交点称为地磁极。

倾角测井仪的仪器方位参照系是真北极，而真北极与磁北极往往不同，这两者之间的差叫做磁偏角。在地表某一点的磁偏角定义为地理子午线与地磁子午线的交角。地球上每一地区的磁偏角不尽相同，表示当前磁偏角的图形对地球上每一地区都是可行的，图1-10是磁偏角图的一部分。图中，A点的磁偏角为北偏东 20° ，必须将 20° 值加到磁北方位上，才能获得仪器相对于真北极的方位。

向东偏指的是磁北极的值包含有真正的地理北极向东的一部分，向东偏就要求将这个偏移值加到磁北方位测量值上。

向西偏移指的是磁北极的值包含有真正的地理北极向西的部分，向西偏移就要求将这个偏移值从磁北方位测量值中减去。

3. 井斜角、井斜方位

由于井眼可能是斜的，所以仪器的轴就可能是斜的，计算地层倾斜时必须考虑这点，即进行井斜校正。为此，必须知道井斜角与井斜方位。

$$\text{井斜角} = \text{仪器倾斜线与铅垂线的夹角} \quad (1-2)$$

在较老的仪器中，井斜方位是由相对方位摆来测量的。这种装置测出1号极板相对于井斜上倾斜线的夹角。

$$\text{相对方位} = 1\text{号极板相对于井斜方位的夹角} \quad (1-3)$$

由式(1-1)与(1-3)得：

$$\text{井斜方位} = 1\text{号极板方位} - \text{相对方位} \quad (1-4)$$

在较新的仪器中，尽管井斜方位是由加速计测量的，但该术语仍然相同，方程(1-4)也仍然保留。

第三节 测井曲线图

油田监控测井图可以显示出：

- 1) 倾角仪的各部件是否都工作正常；
- 2) 全井段各点的井斜角与方位；
- 3) 相互垂直的两条井径，指示井的椭圆度。

通过上述信息就可以根据计算程序获得地层倾斜的有关信息。

一、测井标题

倾角测井的结果记录在光学胶片与数字磁带上。光学记录的胶片对现场的测井质量控制是非常有用的，同时，从光学胶片上可以直接看出井眼条件与井斜情况。

1. 鉴别型数据

图1-11显示了一张典型测井记录的标题及一段井的曲线。标题中有作为鉴别测井曲线及记录情况所必须的数据。出现在标题中的典型数据有：测井公司名，所测井的典型位置，测井日期，深度段，套管与钻头直径，钻井泥浆的类型，测井时间，温度，工程师及证人名字，仪器类型，记录系统等。

2. 方位

测井标题中有该仪器所测量的以及计算的各种角度的定义。如上节所指出，方位角这一术语在低角度仪与高角度仪中是不同的。现代记录系统通常显示出测量方位与计算方位。

3. 相对方位

相对方位的测量总是从仪器的上倾方向开始顺时针方向转到参考电极。在低角度仪中，1号极板方位与相对方位的轨迹应当大致相互平行地移动，因为这两者的差值表示井斜方位，而除了在接近垂直的井眼条件以外，井斜方位不应该发生突变。

4. 井斜

井斜部分测出井轴与铅垂线的夹角，即井斜角。这个值以实线绘制在测井图上。因为与井斜方位角及相对方位角相比，井斜角相对较稳定，所以很好识别。从图1-11中可以看出，井斜角的刻度分成9等分，从0°~9°或从0°~18°，或从0°~36°或从0°~72°。

5. 仪器旋转

曲线由下向上变化，从方位和相对方位上可以看出仪器的旋转变化情况。当电缆往仪器车上缠绕时，一般电缆要顺时针方向旋转才能使电缆在圆周方向上的受力平衡。图中方位和相对方位曲线（轨迹）从左向右变化，角度增大，所反映的就是这种旋转变化的。

6. 深度

深度标志显示在测井图的中间一栏。图1-12是加拿大一口井以公制表示的1:240比例的缩小图。这种公制刻度与美国以5in代表100ft的比例相等。

北美以外的其它地区1:200（1cm代表2m）的比例为标准比例。这里1cm代表2m，意即图纸上1cm代表实际深度2m。

也可以用1:20，1:40，1:48等放大比例，但标准的1:200的比例显示了大多数质量控制检测所必须的细节，并且测井图也不会太长。

7. 对比曲线

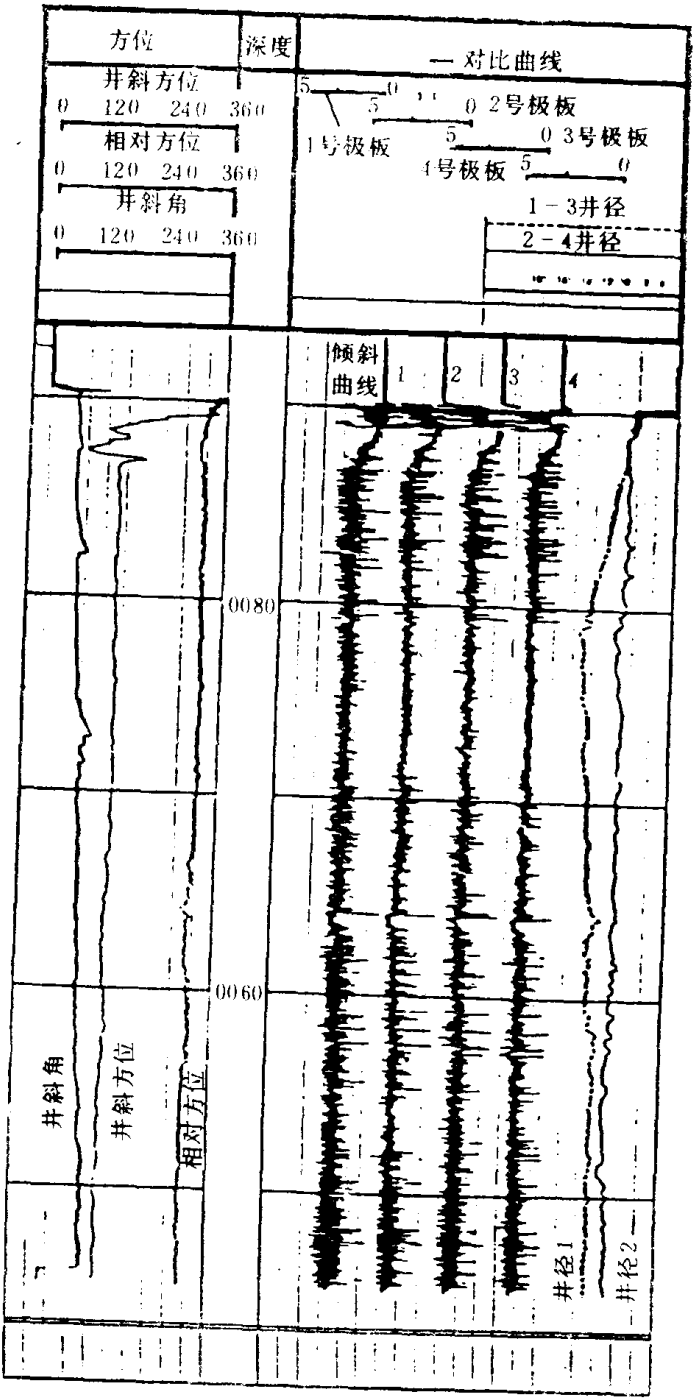


图1-11 油田监控测井图典型图例

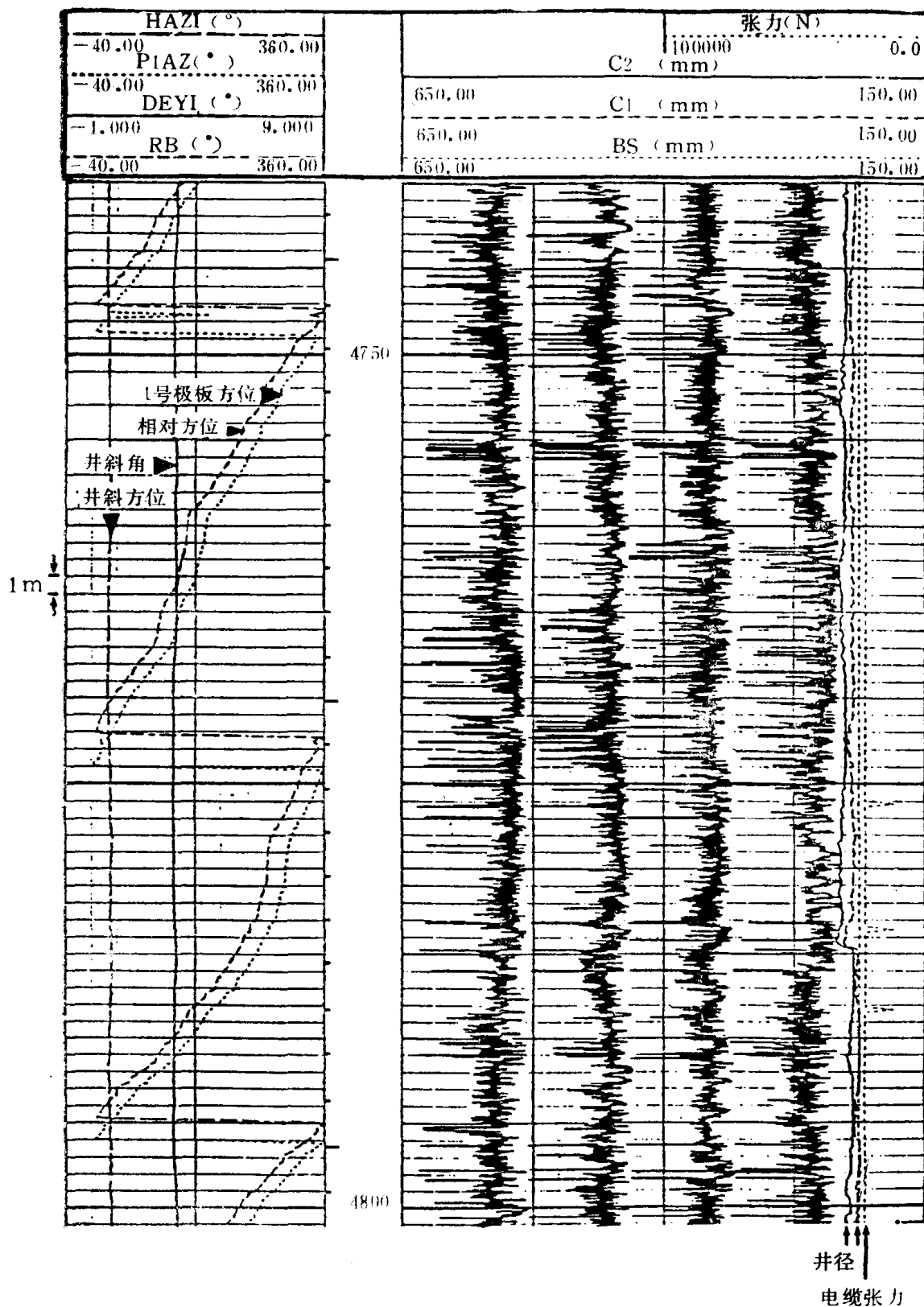


图1-12 加拿大某井监控测井图 (1:240)

对比曲线、倾斜曲线、微电导率曲线等都是同义词，只是在不同场合说法不同。测井图的右边为对比曲线，标题上定义了各条曲线相互摆放的方式，并指出从右到左电导率增加。

油田工程师要对这些对比曲线进行活度检查。如果一条或几条曲线不变化，则从正常处开始，找出这种不变化段的原因是什么。有时这种不变化段可能是仪器遇到了垂直裂缝切割

井眼。对照仪器旋转、井径读值及同一井中电阻率测井进行横向检查，可能会查到这种效应来源的线索。

8. 井径

测井图的右边有两条井径曲线，极板1—3的井眼直径为虚线，2—4的井眼直径为实线。在圆形井眼中，两条井径曲线重合，而在椭圆井中，两条曲线分开。

二、当前仪器的测井曲线

图1-13是一新型仪器所测的曲线，该例采用公制1:240，是一现场测井图。

DP1A	DP2A	EY (Y)	
-1000.0	-1000.0	1000.0	0.0
DB1	DB2	E1	50.000
0.0	5000.0	0.0	2.5000
-40.00	RB	DP3A	DB4R
-40.00	PIA2	-1000.0	4000.0
-40.00	HAZ1	0.0	5000.0
-40.00	DEVR	360.00	24.000
0.0		10.000	24.000

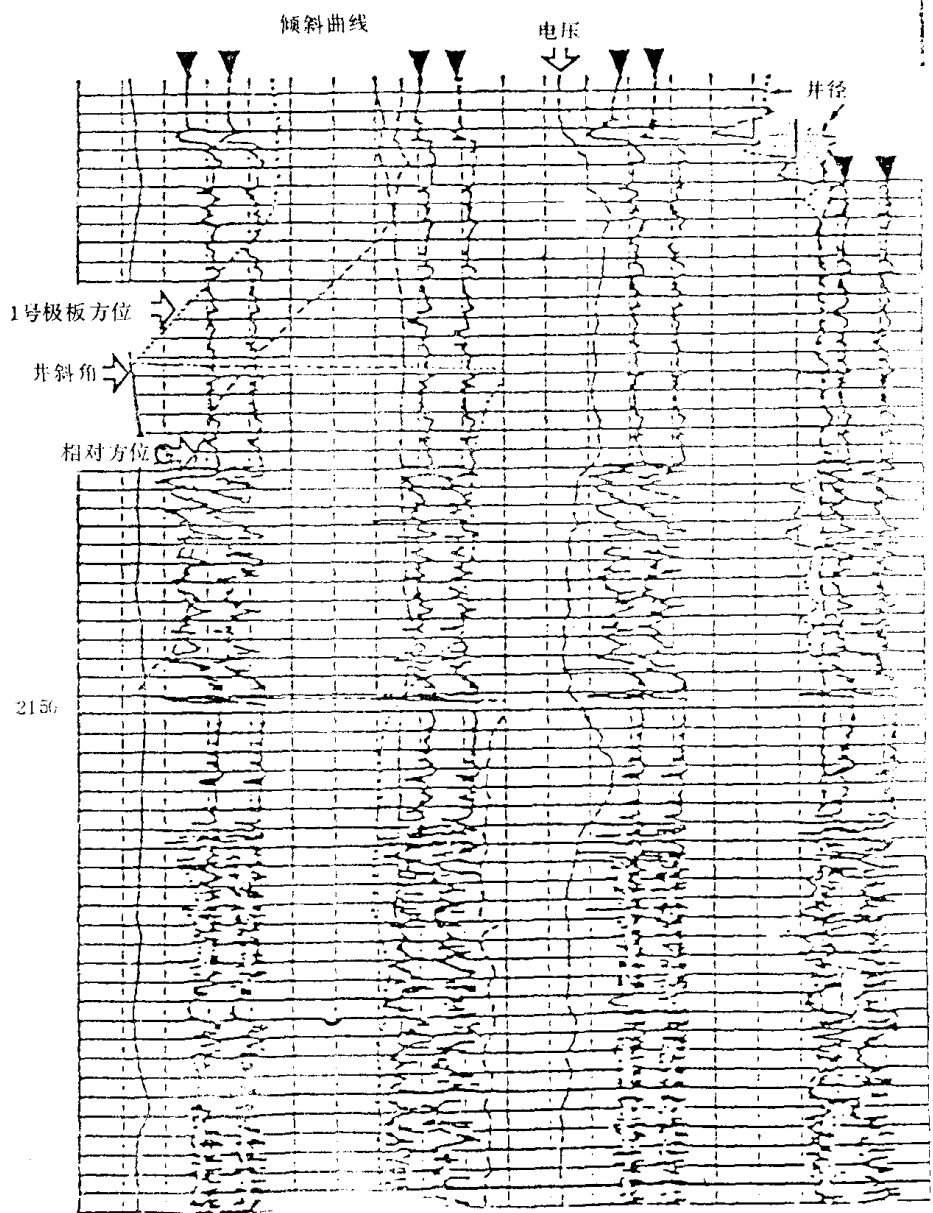


图1-13 新型仪器现场测井图

当前系列的测井仪器产生四对曲线，以增加分辨率。仪器电压与电流信息可用于监控仪器的操作并计算地层的电阻率。老式仪器中关于方位角与相对方位角的说明在现代仪器中也适用。

油田监控测井图的详细分析，将在第二章中讲述。

第四节 结果的计算与显示

一、结果的计算

在倾角测井的早期，操作员直接从类似于现代测井的读数装置中读出倾斜值。电导率曲线以很详细的刻度来记录，其深度比例为1:20（即60in代表100ft）。

每条曲线上每一特征都代表着仪器所通过的沉积层序中的某一地质事件，同一事件有时可以从8条曲线上识别出来。当然，由于地层的倾斜，这一事件在每一曲线上所出现的深度不同，如图1-14所示。测量出该事件在每条曲线上的位移，根据精确的深度比例，即可推知实际位移量。根据三角学原理，可计算出这些电极所反映的地层面的倾斜，同时可计算出井斜角、井斜方位、1号极板方位、相对于水平面的真倾角与方位等。

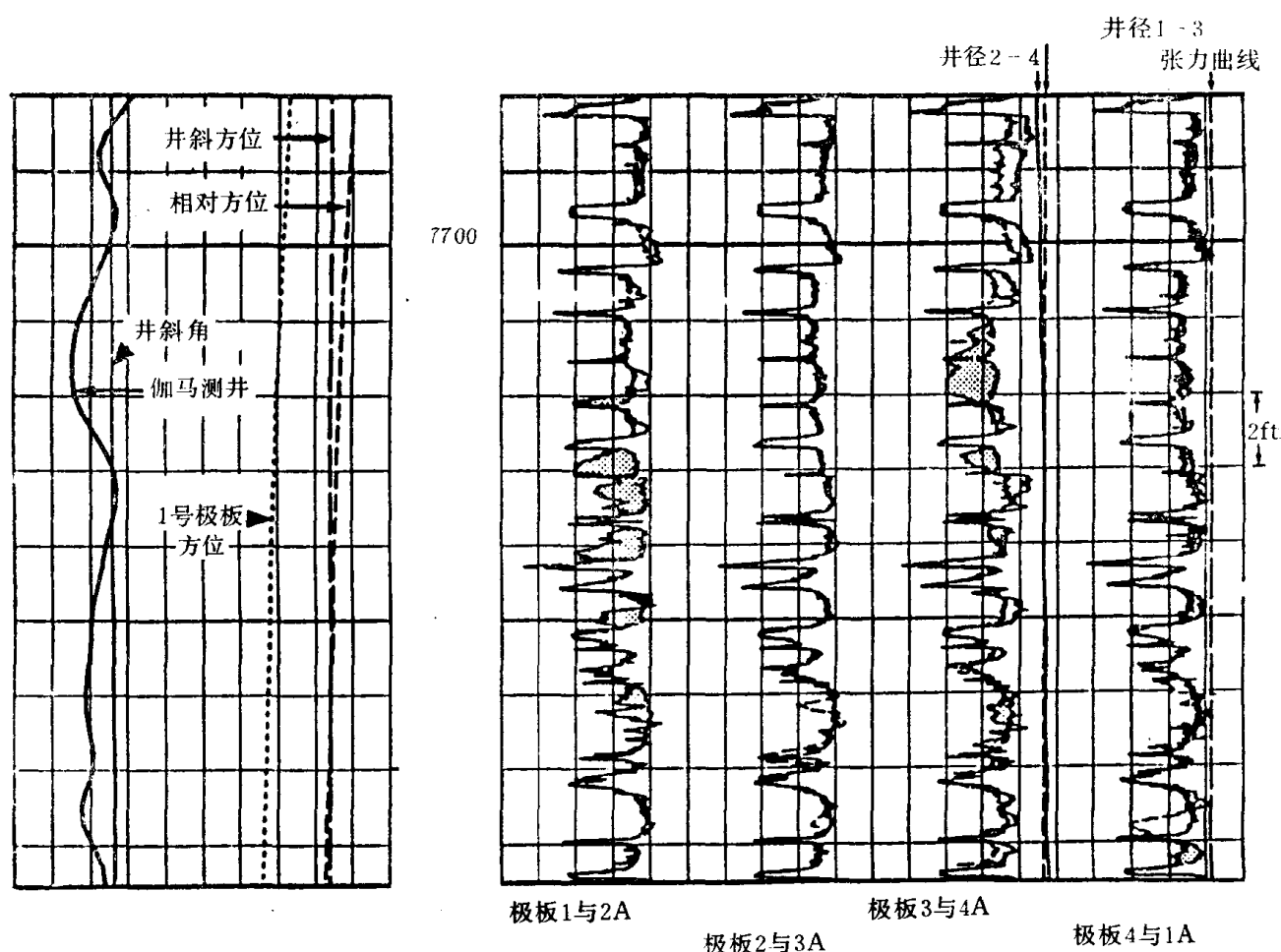


图1-14 地质事件在测井曲线上反映的深度差示例

倾角测井中，数据的计算机处理完全取代了一般应用中的手工计算，但基本原理不变。手工对比及详细的测井曲线的监视，在质量控制、裂缝研究及其它特殊的地质事件的研究中仍然是有用的。

计算机从原始资料中获取倾角信息的一种方法是倾斜曲线层段的相关对比。从数学家的观点看，相关就是任何两条曲线间取得一致的一种度量。从数值上讲，相关系数的变化范围可以从0（表示两条完全不相关的曲线）到1（表示两条相同的曲线）。

计算机相关对比的过程如图1-15所示。首先，计算机要对一条曲线的一段AB与另一条曲线等长度的一段进行对比，AB段的深度差叫对比长度，AB所在的曲线叫基本曲线，另外一条曲线叫对比曲线。然后，计算机在对比曲线上移动一个预先给定的小增量（如一个采样

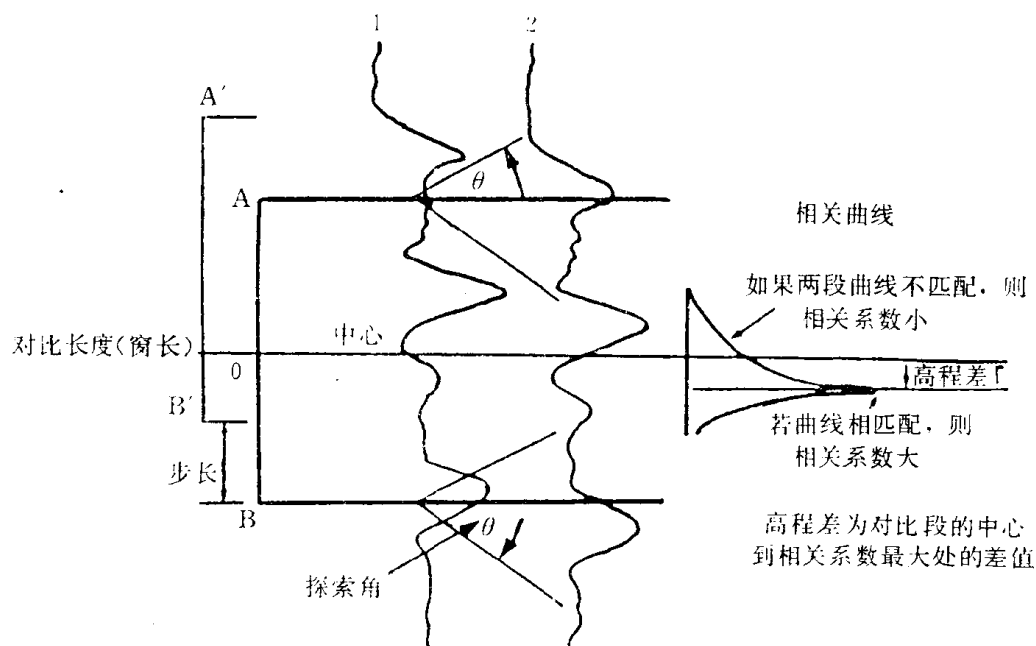


图1-15 对比术语与对比过程示意图

点)，重新计算相关系数，反复重复这一过程。在计算机进行基本曲线与另一条对比曲线的相关对比之前，当前这对曲线的对比中，对比曲线的上端与下端所移动的最大长度叫探索长度。探索角定义为：

$$\theta = \text{ATAN}^{-1} (S/2/D) \quad (1-5)$$

式中 S ——探索长度；

D ——井径。

每一步对比得出一个相关系数值，在整个探索长度的范围内对比完后，就得出若干个相关系数值。它们构成一条相关系数曲线。相关系数曲线上的最大值作为基本曲线段AB与对比曲线段的最佳对比，相关系数曲线上最大值所对应的深度与AB曲线中点O的深度差叫做基本曲线与对比曲线的高程差。

在深度点O，任何两条曲线对都要重复上述过程，全部对比完毕则该深度的对比完毕。

本次对比完毕，然后第一条曲线要移动到下一位置，再重复上述对比过程。第一条曲线所移动的距离叫做步长。

现代数据采集及机器对比方面的研究使倾角测井结果的密度及可靠性都大大超过了老式