

测井培训丛书

高分辨率地层倾角测井

石油工业出版社

P 631.81





200353296

32806

测 井 培 训 丛 书

高分辨率地层倾角测井

张庚骥 耿全喜 编译 张庚骥 审校



00286886



石 油 工 业 出 版 社

内 容 提 要

本书重点介绍高分辨率地层倾角测井仪的测量原理、仪器结构、电子线路、现场操作及测井成果显示,全书分为两章。第一章系统地阐述了仪器测量原理,仪器结构系统,井下线路基本框图,现场刻度,操作步骤,仪器维修和故障检查,以及测井资料处理成果显示等。第二章的内容更深入地阐述了井斜仪部分的测量原理,井下线路、极板和机械部分的供电,数据采集及信号处理等。此外,还介绍用于高温及油基泥浆井的地层倾角测井仪器。附录中还列举了目前常用的各种倾角测井仪器的型号。

本书可做为测井操作与维修技术人员、资料解释与技术管理人员的培训教材,也可做为测井技术人员及大专院校测井专业师生的参考书。

测井培训丛书

高分辨率地层倾角测井

张庚骥 耿全喜 编译 张庚骥 审校

•

石油工业出版社出版发行

(北京安定门内大街东后街甲36号)

北京顺义燕华营印刷厂排版印刷

•

787×1092毫米16开本5 $\frac{1}{4}$ 印张128千字印1—2,500

1986年7月北京第1版1986年7月北京第1次印刷

书号:15037·2687 定价:1.05元

内 部 发 行

出版者的话

为了做到在引进国外测井仪器的同时，要注意消化、吸收和掌握国外先进的测井技术，提高我国石油测井技术人员的技术水平，我们出版了《测井培训丛书》。该丛书主要根据斯伦贝谢公司CSU数控测井系列编译的，包括有：

- 数控测井
- 声波测井
- 感应测井
- 双侧向测井
- 微球形聚焦测井
- 电磁波传播测井
- 高分辨率地层倾角测井
- 补偿中子测井
- 自然伽马与自然伽马能谱测井
- 岩性密度测井
- 电缆通信系统
- 核测井仪器模块
- 重复式电缆地层测试器
- 打捞技术

《测井培训丛书》每一分册的内容一般分为两部分，第一部分是操作、维修和现场解释人员必须具备的知识，介绍了测井方法原理，测量技术，仪器的基本框图、结构和技术特性，操作与维修须知，刻度与环境校正，质量控制与资料解释。第二部分是更需要更深入了解的知识，主要介绍了测井方法的理论基础，详细框图以及需要详细说明的关键技术问题。因此该丛书可做为数控测井操作与维修技术人员、资料解释与技术管理人员的培训教材，也可做为测井技术人员及大专院校测井专业师生的参考书。

在《测井培训丛书》的编译出版过程中，石油部地质勘探司做了大量的组织工作，石油部科学技术情报研究所、华东石油学院承担了编译工作；大庆石油管理局测井公司、中原石油勘探局测井公司给予了大力支持和帮助；四川石油管理局井下作业处、华北石油管理局测井公司、大港石油管理局测井公司、江汉石油管理局测井公司、江汉石油管理局测井研究所、江汉石油学院物探系、辽河石油勘探局测井公司、西安石油勘探仪器总厂也给予了积极的支持和帮助，在此一并表示感谢。

目 录

第一章	(1)
第一节 高分辨率地层倾角测井仪 (HDT) 测量原理	(1)
第二节 井斜仪 (HDM)	(2)
2.1 HDM-G	(3)
2.2 HDM-H, HDM-JB或L/LB或M/MB	(5)
2.3 井斜角	(5)
第三节 微电阻率曲线	(7)
3.1 浮动比例	(7)
3.2 电阻率曲线	(9)
3.3 速度校正	(9)
第四节 井下仪机械部分HDS-F	(9)
4.1 液压系统	(10)
4.2 极板控制	(13)
第五节 HDE的基本框图	(14)
5.1 HDT的井下线路HDE	(14)
5.2 井下线路的定时系统	(15)
5.3 信号源	(17)
5.4 由井下线路来的信号的说明	(17)
5.5 基本框图——DAM (图1-27)	(20)
5.6 功率源	(22)
第六节 测井资料处理成果显示——CSU-HDT处理程序, HDT处理成果格式	(22)
6.1 HDT	(22)
6.2 HDT测井曲线显示格式	(22)
第七节 安全知识	(23)
第八节 仪器设备	(24)
8.1 HDT-E的部件清单	(24)
8.2 存放和运输	(24)
第九节 刻度	(26)
9.1 刻度记录	(26)
9.2 现场刻度	(26)
第十节 操作提示	(28)
10.1 安装	(28)
10.2 操作步骤	(28)
第十一节 故障查找指南	(30)
11.1 极板伸张收缩故障检查	(30)

11.2 仪器电源或数据记录故障.....	(30)
第十二节 HDT测井质量检验项目	(31)
第十三节 仪器维修.....	(32)
13.1 井下线路与地面插件的匹配.....	(32)
13.2 压力变化周期.....	(32)
第十四节 常见故障.....	(32)
第十五节 地层倾角测井资料处理成果.....	(34)
15.1 CSU.....	(34)
15.2 CSU解释程序包.....	(35)
15.3 裂缝识别程序FIL.....	(36)
15.4 现场测井解释中心 (FLIC) 成果图	(37)
第十六节 井眼几何形状测井仪 (BGT)	(40)
16.1 简介.....	(40)
16.2 设备.....	(41)
16.3 测斜仪系统HDM	(41)
16.4 井径量规BGS.....	(41)
16.5 BGT线路芯子方块图.....	(41)
16.6 BGM.....	(42)
16.7 BGT测井成果显示.....	(42)
16.8 BGT测井成果 (BGT程序)	(43)
16.9 BGT刻度.....	(43)
16.10 井径仪的静态和动态刻度	(44)
16.11 BGT 测井质量控制检查项目.....	(45)
第二章.....	(46)
第一节 测斜仪.....	(46)
1.1 角度的测量	(46)
1.2 摇摆运动	(47)
1.3 阻尼	(49)
1.4 方位角和井斜角电位器的电联接	(51)
第二节 HDE-CB的线路	(51)
2.1 引言	(51)
2.2 线路芯子的供电	(51)
2.3 极板和机械部分供电	(52)
2.4 电极电流源	(53)
2.5 时钟信号	(54)
2.6 程序器	(54)
2.7 数据的采集、转换和放大	(60)
第三节 DAM线路	(65)
3.1 电极供电 (插板104)	(65)
3.2 极板控制 (插板011)	(65)

3.3	直流供电和主控制	(69)
3.4	程序器和同步检测	(69)
3.5	信号处理	(69)
3.6	DAM-CPU接口 (插板007)	(71)
第四节	其它HDT仪器	(71)
第五节	前途展望	(79)
附录	目前常用的仪器型号	(80)

第一章

地层倾角测井仪测量的是这样一些参数，它们用CSU或在计算中心处理后，可以提供并穿过的地层的倾角和倾斜方向。

过去，进行这种测量采用的仪器是HDT-D和HDT-E。

在1982年，它们分别为HDT-G和HDT-J所代替。因为测量的基本原理并不受仪器的多次变形（主要是由于技术发展）的影响，本书仅讨论HDT-E。在书末对全部现存的各型仪器都重新作了扼要说明。

第一节 高分辨率地层倾角测井仪（HDT）测量原理

高分辨率地层倾角测井仪（HDT）包括以下几部分。

- (1) 井斜仪，它测量井斜角和井斜方位角，以及1号井径臂相对于磁北的方位角；
- (2) 每条井径臂都带有小极板，它们将测出四条微电阻率曲线；
- (3) 两对互相独立的井径臂，可测的最大井径为22英寸。

对仪器测量值进行计算，可得到地层倾斜的信息，即水平面和地层层面最大斜度线之间的夹角，以及这个线的水平投影相对于磁北方向的方位角。

图1-1就是垂直井眼穿过倾斜地层层面的平面图。仔细研究一下这个两维图形，就可知道，仪器臂测量的井径是 dh ，并且，在测井时由于微电阻率极板在不同深度穿过地层层面，可以求得 h_c ，在这种情况下，能够简便地求得倾角 A 。

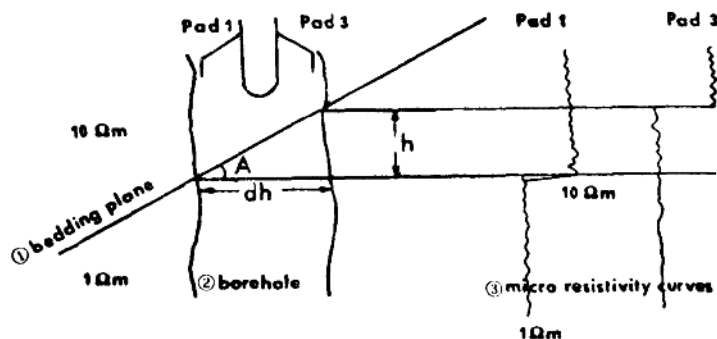


图1-1 铅垂井眼穿过倾斜层面
①地层层面；②井眼；③微电阻率曲线

在三维坐标中，有三个测量值就能精确地确定这个平面相对于井眼的位置。如果已知井眼在空间中的方向（非铅垂井眼），就可以确定地层层面与水平面所成的倾角以及它相对于磁北方向的方位。

第二节 井斜仪 (HDM)

欲确定任一地层层面的空间位置, 必须知道这个平面上的三个点。地层倾角测井仪获取井壁四个点上的微电阻率测量值, 两个相邻测点之间相距 90° 。在这些曲线上, 同一异常间的垂直距离用来定义这个平面。必须定义下面这些角:

- (1) 真倾角, 是地层层面的最大倾斜线与水平面间的夹角。
- (2) 倾向方位角, 最大倾斜线的水平投影与磁北方向的夹角。

图 1-2 为真倾角和倾向方位角。

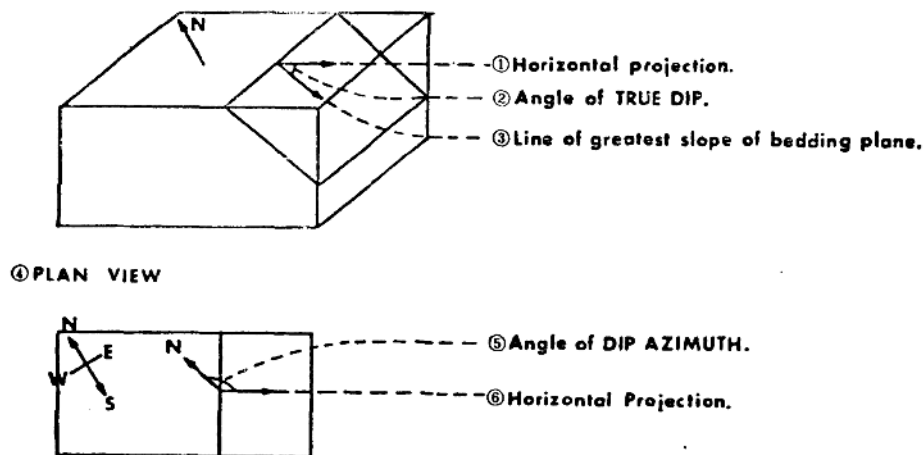


图 1-2 为真倾角和倾向方位角

①水平投影; ②真倾角; ③层面的最大倾斜线; ④水平投影图; ⑤倾向方位角; ⑥水平投影

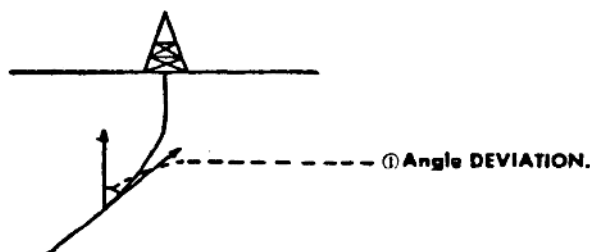


图 1-3 井斜角

①井斜角

(3) 井斜角。井轴方向与垂直方向之间的夹角 (见图 1-3)。

(4) 仪器相对方位角。是 1 号极板 (参考方位) 与仪器外壳的最高母线之间的夹角。

(5) 仪器方位角。有两种意义:

a. 1 号极板与磁北方向间的夹角 (低井斜角仪器用此定义);

b. 井筒的最高母线与磁北方向间夹角 (高井斜角仪器用此定义), 它与井眼方位角等同。

机械系统 (HDM) 就是测量井斜角、相对方位和仪器方位的那一部分仪器。根据它的测量结果可以得出井眼方向和 1 号极板相对于磁北的位置。

HDM 有两种类型, 一种叫低井斜角系统, 适用于井斜 36° 以内的井; 另一种是高井斜角系统, 井斜角可达 72° 。三个探测器 (井斜, 相对方位和方位角) 的机械安装互不相同。

在 HDT-E 中, 低井斜角系统 (HDM-G) 和高井斜角系统 (HDM-H) 都更换为高井斜角系统 HDM-JB。这个高井斜角系统在井斜角低时也比老的 HDM 系统更为精确。

需要指出的是目前仅生产HDM-L/LB。假如将37/31连接器P-97865加以改进，HDM-L/LB就可用于HDT-E（这表明HDE-CB加改进的P-97865就成为HDE-F）。同时，经过简单的改进，HDM-J/JB就成为HDM-L/LB。

2.1 HDM-G

在低井斜角系统中，指向磁北方向的罗盘安装在机械系统总成上，指针带动环形电位器上的电刷，电位器两终端的间隙与基准线对齐（基准线即一号极板所在的母线）。因此，当仪器绕仪器轴转动时，罗盘支架转动，随之，电位器上的读数改变。测量的是基准线（电位器上的开口）和磁北（指南针）之间的夹角（即仪器方位角）。

相对方位部分是一个长的重摆。它被安装在两个地方。它带动环形电位器的电刷，环形电位器两终端之间的间隙与基准线对齐。由于重摆总是位于井的最低母线上，它测量的角度将是井筒最高母线与基准线之间的夹角。图1-4表明如何测量仪器方位角和相对方位角。

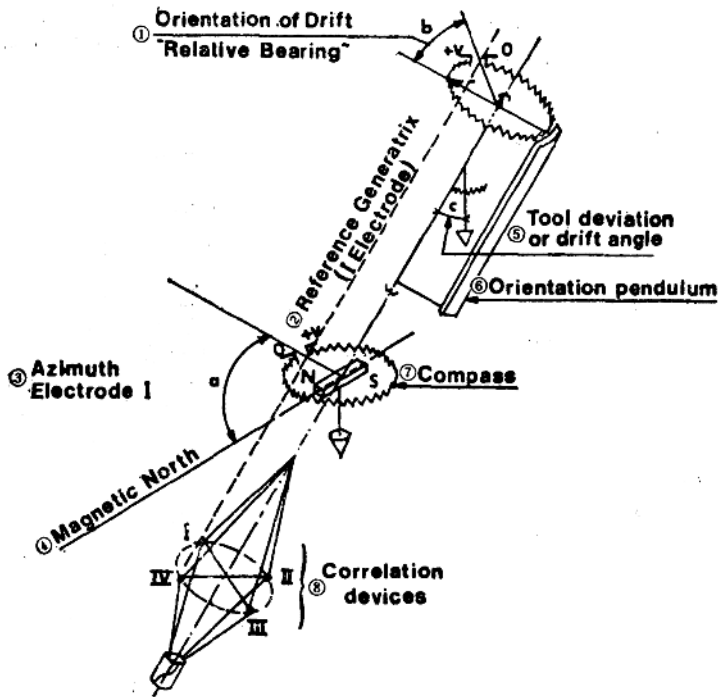


图1-4 方位角和相对方位角的测量原理

- ①相对方位角；②1号电极基准线；③1号电极水平投影的方位角；④磁北；⑤仪器倾角（即井斜角）；⑥定向摆；⑦罗盘；⑧极板和井径仪

在仪器转动时，相对方位角和仪器方位角将随之改变。但是，如果井的方位不变的话，井的方位，即虚线（相对方位RBR）与实线（仪器方位角）之间的差值，将保持不变。

图1-5表明用低井斜角系统测得的方位角和相对方位角曲线大致平行。

还应指出，在RBR或仪器方位角达到360°时，它们就跳回零度。这是因为每一系统都带动一个环形电位器（图1-6），而电位器的两个终端的间隙与1号极板基准线是对齐的。所

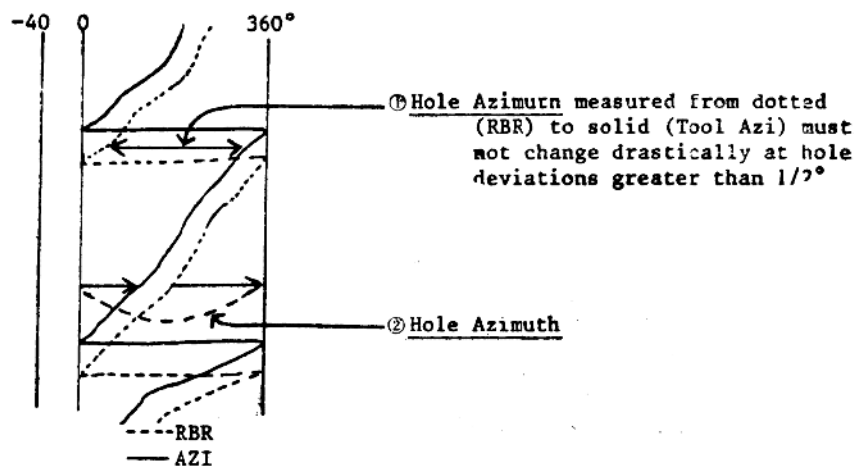


图1-5 用低井斜角系统测得的方位角和相对方位角曲线大致平行

①虚线 (RBR) 与实线 (仪器方位角) 之间的差值代表井眼方位角, 在井斜大于 $1/2^\circ$ 时, 它一定不能剧烈的变化; ②井眼方位角



图1-6 方位角和相对方位角电位器

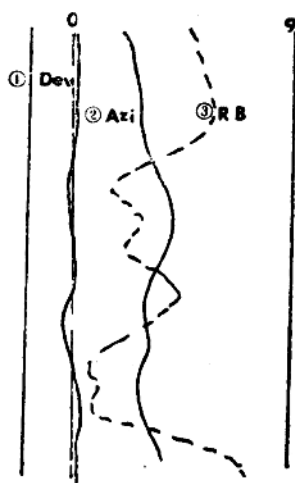


图1-7 在铅垂井中, 方位角和相对方位角曲线不保持平行

①井斜角DEV; ②一号极板方位角AZI; ③相对方位角RB

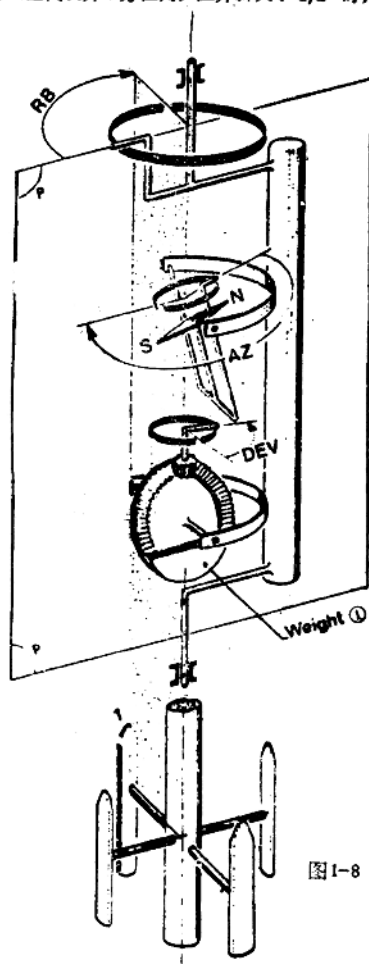


图1-8 高井斜角系统
①重块

以, 当仪器转动时, 电位器相对于电刷进行转动, 电刷由 360° 跳回到零度。

类似的, 在井斜角小于 $1/2^{\circ}$ 的垂直井眼中, 因为井眼没有最高母线, 电刷就不一定跟随井的方位 (也无方位可言), 相对方位角可以显示任意的读数 (图1-7)。

2.2 HDM-H, HDM-JB或L/LB或M/MB

在高井斜角测量系统中 (图1-8), 罗盘总成安装在相对方位部分上, 电位器上的缺口与井眼的最高母线对齐。当仪器围绕其纵轴转动时, 相对方位系统停留在同一空间位置, 罗盘总成将保持不动。所以, 测量的角度是仪器最高母线和磁北方向的夹角。它既是仪器方位角, 又是井的方位角。

图1-9为高井斜角系统测量结果。

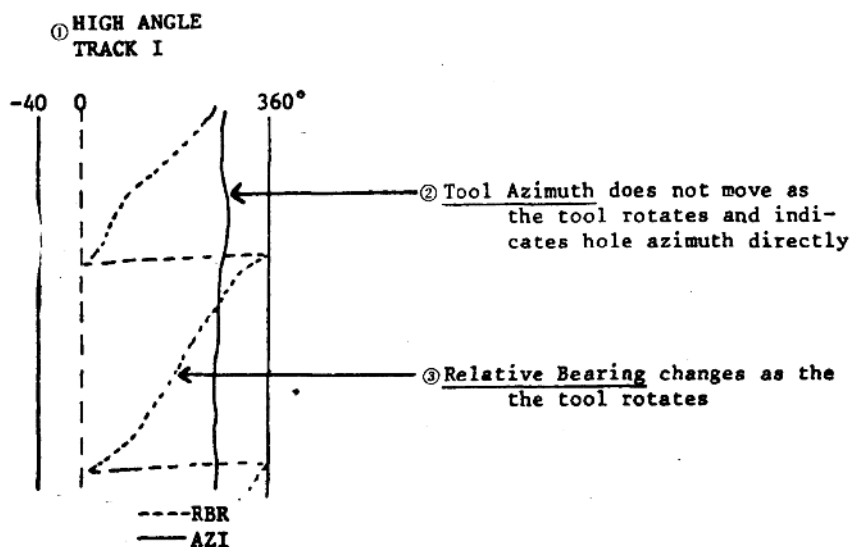


图1-9 高井斜角系统测量结果

① 高井斜角: 道I; ② 当仪器转动时, 仪器方位系统保持不动, 仪器方位角等于井斜方位角; ③ 相对方位角随仪器转动改变

在垂直井眼中, 高井斜角系统的井斜方位角部分和相对方位部分将向相反方向转动 (即所谓的Mae West效应, 见图1-10)。

2.3 井斜角

在各种HDM仪器中, 测量井斜的部分是相同的。都是用安装在相对方位系统总成上一个重摆进行测量的。重摆带动环形电位器上的电刷, 其方式和仪器方位部分及相对方位部分的方式相同。

可是, 为避免电刷进入死点, 电位器偏置一小的数值, 使得重摆的运动, 在低井斜角系统 (图1-11) 和高井斜角系统中, 分别被限制在 $-4^{\circ} \sim 35.5^{\circ}$ 和 $-8^{\circ} \sim 72^{\circ}$ 范围之内。

井斜仪系统中的另一部分是产生摇摆动作的电动机 (Tacking motor), 它使三个探测仪 (井斜仪, 罗盘和相对方位仪) 产生很轻微的振动。这种轻微的摇摆 (振动) 将使各接触

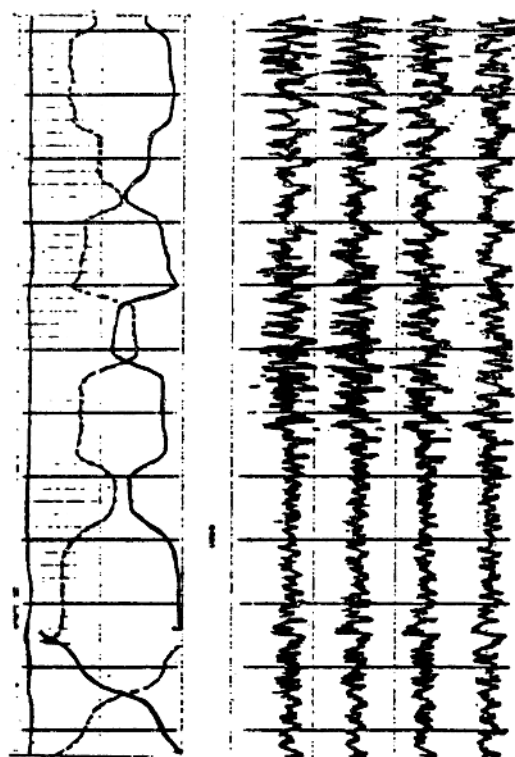


图1-10 Mac West 效应

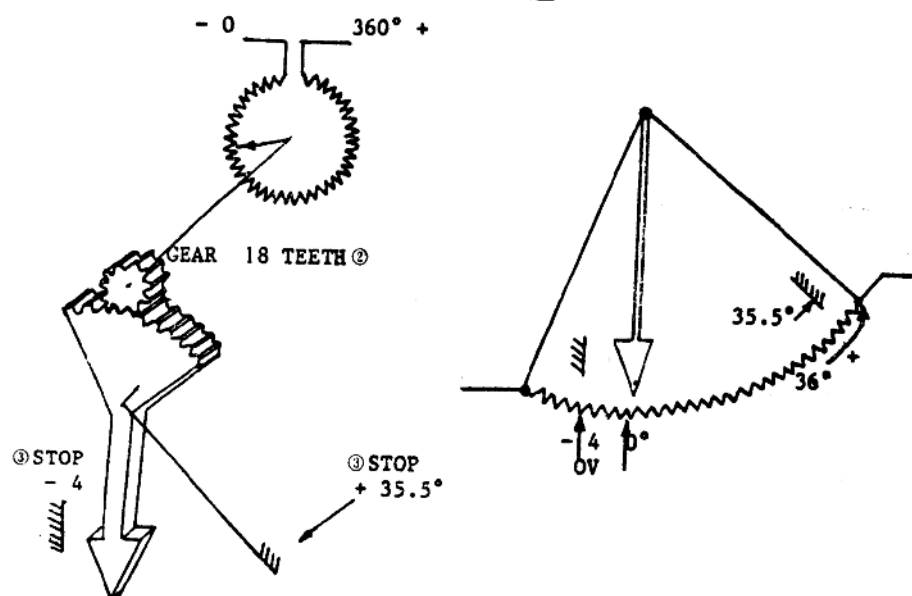


图1-11 低井斜角测斜仪

①低井斜角测斜仪位于图右；②18齿齿轮；③档板

点上的摩擦力降低。如果产生摇摆动作的电动机不工作，三个探测仪各接触点上的摩擦力将很大。因此，它们转动将滞留在仪器转动的后面，滞后量无法确定。这样，就会得到不正确的测井结果（图1-12）。

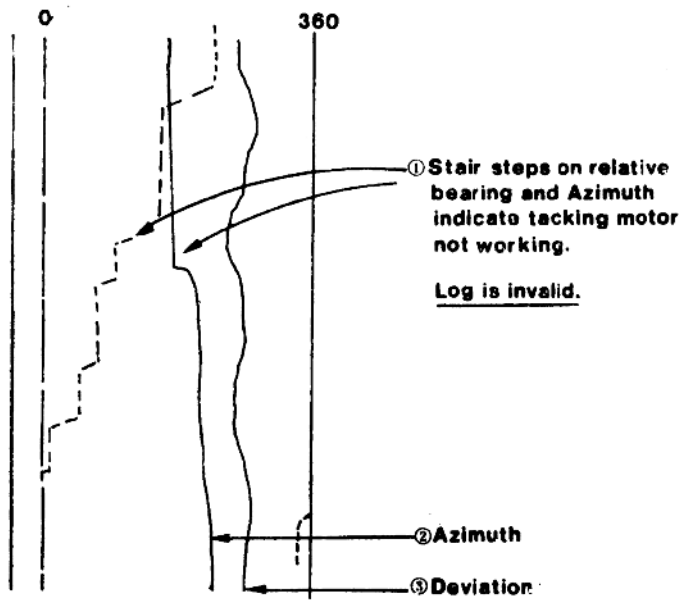


图 1-12 方位角和相对方位角曲线上的台阶

①方位角曲线和相对方位曲线出现台阶，表明产生摇摆动作的马达没有工作，测井资料不正确；②井斜方位角；③井斜角

第三节 微电阻率曲线

地层倾角测井仪的微电阻率部分，HDS-F有四条极板臂，每条臂上装有一个极板，极板上镶嵌一个电极，它测量出一条微电阻率曲线。唯有在一号极板上镶嵌两个电极，其中一个在另一个之上，所以，总共测量五条微电阻率曲线。由电极和极板部分的骨架发出一个不变的供电电流 I_{emex} （有二十个不同的电流值），返回到仪器外壳。极板部分骨架和仪器主体的外壳必须相互绝缘。这种绝缘是在极板部分的上部实现的。

图1-13表明了电流流经的路径。

在地面用电压控制电极电流的强度，这个电压由DAM发出，对0V到150V共分十段。在井下电子线路中还有一个双档波段开关，用以粗调电极供电电流。所以，电极供电电流共有二十个档。

3.1 浮动比例

$$I_{emex} = I_A + I_B = \text{常数}$$

$$I_A = V_A \times C_A$$

$$I_B = V_B \times C_B$$

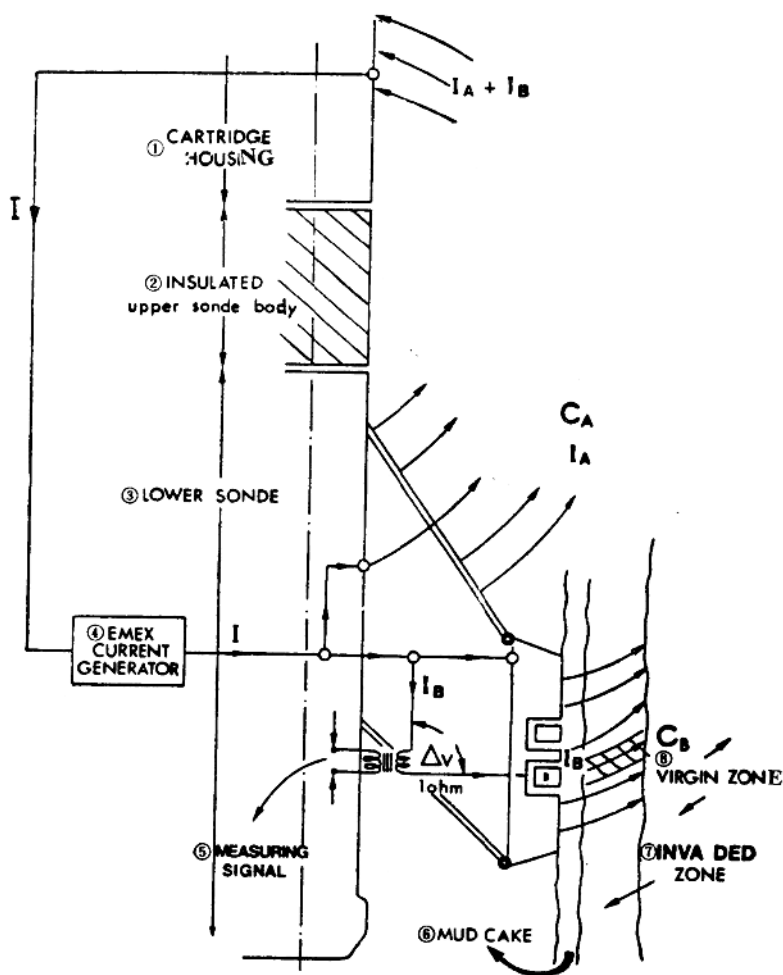


图1-13 电极电流的路径

①仪器主体的外壳；②极板部分上部是绝缘体；③极板部分骨架；④电极供电电流；⑤测量信号；⑥泥饼；⑦侵入带；⑧原状地层

式中 C_A 和 C_B 分别是对由极板部分骨架流出的电流和由钮扣电极流出的电流的电导。

由于极板部分骨架和钮扣电极的尺寸悬殊， $I_A \gg I_B$ ，

因此 $I_A = I_{emex}$

另外，由于测量信号变压器的特殊设计， I_B 在变压器上产生的电压降 ΔV 是很小的。因此，可以认为 $V_A = V_B$ ，

所以，

$$I_B = C_B \times \frac{I_A}{C_A}$$

$$= I_{emex} \times \frac{C_B}{C_A}$$

即测量电流正比于对由钮扣电极发出的电流的电导 C_B 和对由极板部分骨架发出的电流的电导 C_A 的比值。

3.2 电阻率曲线

四条微电阻率曲线代表电流 I_B ， I_B 正比于 C_B 与 C_A 的比值。同时，也测量和记录钮扣电极和远处马笼头之间的电压 V (或PEH-A，如果N°9和N°10连结起来)。在计算中心，计算出比值 V/I_B ，它大致与地层电阻率成正比，并用它和其它测井曲线对比。

3.3 速度校正

尽管电缆在绞车滚筒上的速度不变，但是，像HDT这样一些极板型仪器也总是不能均匀的向上滑行。重复测井表明，由于极板部分的跳跃或拉伸，会引起测量层段的“缩短”或“拉长”。因为在计算时，以一个不变的纵向比例为前提，电极速度的不稳定就会直接影响地层倾角的计算。

利用在1号极板上纵向距离为4.5cm的两个电极进行校正(图1-14)。沿着同一路径，测出两条曲线，如果速度是不变的，则两条曲线上同一异常之间的距离应是4.5cm。如果不是4.5cm，说明仪器加速了或减速了，这时必须作校正。

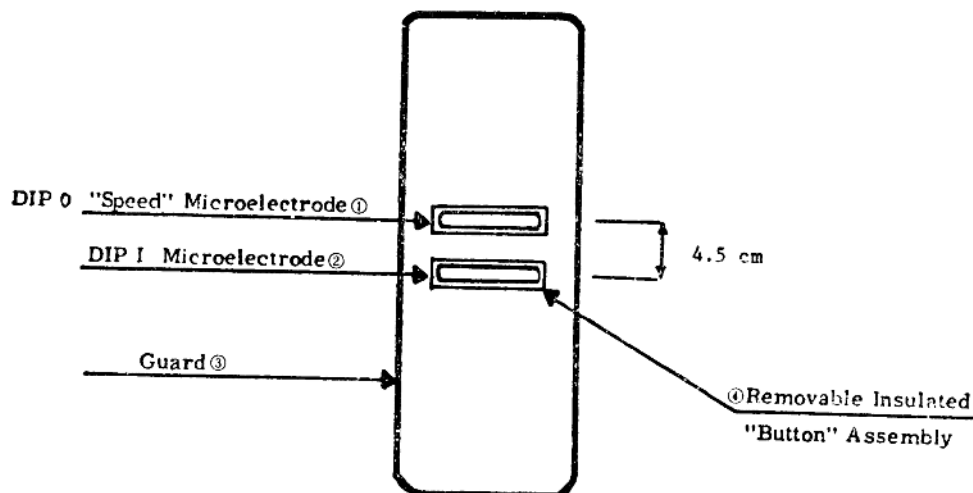


图1-14 HDS-F极板电极示意图

①DIP0 为“校速”微电极；②DIP1为微电极；③极板；④可拆卸的绝缘“钮扣”电极总成

第四节 井下仪机械部分 HDS-F

井下仪机械部分(图1-15)由以下四部分组成：

(1) 非磁性外壳。它分成两段，由丝扣联接。在联接处有用氯丁橡胶制成的套箍，用环氧树脂粘上，以保证不漏水。外壳内有HDM和液压力部分。

(2) 两对互成90°的极板臂。每一对极板臂带动一个电位器，以给出该方向上井径的线

性量度。每一个臂有一个极板，用来做微电导率测量。极板和铰接点设计成这样的，使得当极板伸张或收缩时，四个电极总是在同一平面上。

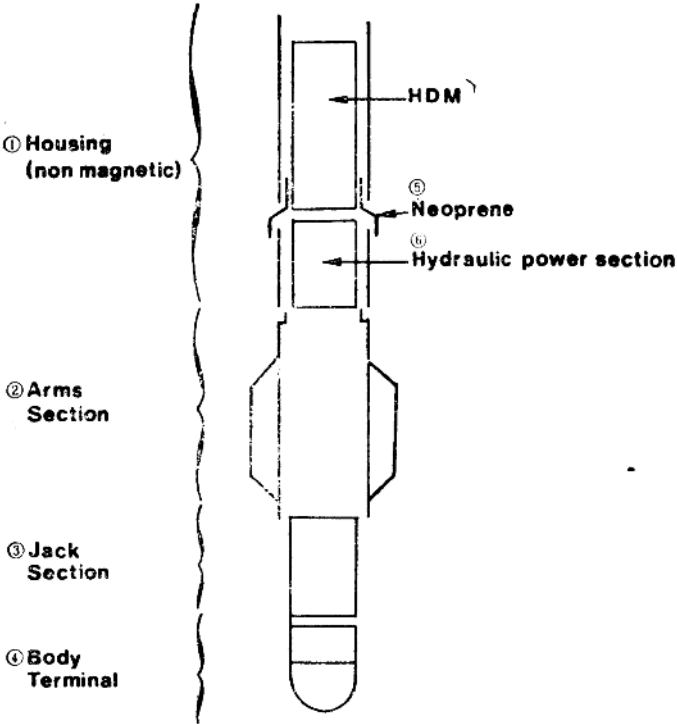


图1-15 井下仪机械部分HDS-F

①非磁性外壳；②极板部分；③液压控制部分；④底端；⑤氯丁橡胶；⑥液压动力部分

极板伸张的动力由每个极板后面的弹簧提供。当极板收缩时，弹簧的压力可以是93磅或48磅。高值用于倾斜井。

(3) 液压控制部分包括控制阀、收缩活塞和补偿活塞。

(4) 底端部分包括一个助力弹簧，在地面时它轻微地压迫储油箱，以便于为油泵注油。

4.1 液压系统

1) 收缩极板

一个用电动机驱动的油泵从储油箱中抽油并且在压力下将油注入压力室。收缩活塞向上移动，推动极板部分的中心轴，从而使极板收缩。

2) 伸张极板

收缩活塞下面的油在压力下经过一电磁阀返回储油箱。每个极板后面的弹簧产生向外的推力。但是这里产生了一个困难：弹簧推动极板只能推到井径所允许的那么远。以后，在测井过程中，由于收缩活塞并不和中心轴联在一起，当井眼变小时，极板将自由收缩，但是当井眼再次变大时，它们将不会自动伸张（见图1-16）。