



高等院校石油天然气类规划教材

地层倾角测井原理与应用

陈科贵 © 主编



石油工业出版社
Petroleum Industry Press

高等院校石油天然气类规划教材

地层倾角测井原理与应用

陈科贵 主编

石油工业出版社

内 容 提 要

本书重点介绍地层倾角测井的原理、处理方法及应用,并介绍了层序地层学的相关内容、成像测井的基本原理及应用。本书由浅入深地对相关知识进行了阐述,脉络分明,便于教学与自学。

本书可作为石油高等院校勘查技术与工程专业、资源勘查工程专业师生的教学用书,也可供从事地质、测井和油藏方面工作的科技工作者参考。

图书在版编目(CIP)数据

地层倾角测井原理与应用/陈科贵主编. —北京:
石油工业出版社,2017.7

高等院校石油天然气类规划教材

ISBN 978-7-5183-1915-2

I. ①地… II. ①陈… III. ①地层倾角测井—高等学校—教材 IV. ①P631.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 110180 号

出版发行:石油工业出版社

(北京市朝阳区安定门外安华里 2 区 1 号楼 100011)

网 址:www.petropub.com

编辑部:(010)64251362 图书营销中心:(010)64523633

排 版:北京乘设伟业科技有限公司

经 销:全国新华书店

印 刷:北京中石油彩色印刷有限责任公司

2017 年 7 月第 1 版 2017 年 7 月第 1 次印刷

787 毫米×1092 毫米 开本:1/16 印张:12.75

字数:326 千字

定价:32.00 元

(如发现印装质量问题,我社图书营销中心负责调换)

版权所有,翻印必究

前 言

在以往的勘探工作中,特别是新区勘探时,有时由于构造复杂,地震勘探搞不清地下构造的确切情况;有时由于任务紧迫,来不及作详细的地震勘探,就进行了预探井的钻井;有时即使钻到了工业性油气流,也需要对地下构造情况做出正确的判断……这些情况对进一步的勘探工作提出了更高的要求。另外,对于有开采价值的矿物资源,要估计其分布范围及经济价值,就必须搞清楚地层沉积时的古地理条件和沉积环境,查清沉积体的岩相、几何形状以及邻近地层的垂向和横向关系。但随着油藏埋藏深度增加及地质目的层变得更复杂(如地层圈闭、渗透性阻挡等),仅凭常规的方法很难解决这些问题。

地层倾角测井是认识大规模构造现象及确定沉积构造现象的重要工具,是探测裂缝储集层的有效方法,是解决上述问题高效廉价的测井方法,对指导油气田勘探和开发具有重要意义。它主要用于测量地层的倾角和倾斜方位角(常简称为方位角),进而研究各种地质问题。

本书是根据勘查技术与工程专业的培养方向和要求编写的,较系统、详细地介绍了地层倾角测井测量和数据处理的基本原理,并介绍了其在研究构造地质、沉积学和裂缝识别等方面的应用。

本书由西南石油大学陈科贵任主编,西南石油大学孙嘉戌任副主编,西南石油大学湛海云和东北石油大学张庆国参编。全书共分六章,第一章、第二章及附录由孙嘉戌、湛海云编写;第三章、第四章及第五章的前三节由陈科贵、孙嘉戌编写;第五章的第四节和第六章的第五节由张庆国编写;第六章的前四节由孙嘉戌编写。编写过程中大量引用和参考了国内外公开出版的著作、论文以及有关文献资料,在此一并向相关作者表示感谢!

由于编者水平有限,书中不妥和谬误之处难免,敬请读者批评指正。

编者
2017年2月

目 录

第一章 地层倾角测量原理	(1)
第一节 地层产状及其测量原理	(1)
第二节 地倾角测井仪器的组成及测量参数	(2)
第三节 确定地层倾角和倾向的基本方法和原理	(13)
第二章 地层倾角测井关键数据的获取方法及原理	(33)
第一节 利用相关对比分析法确定高程差	(33)
第二节 利用图形识别法确定高程差	(50)
第三节 利用频率分析解析法确定高程差	(57)
第四节 地层倾角测井仪类型及数据记录格式	(63)
第五节 地层倾角测井的质量控制	(66)
第三章 地层倾角测井的成果显示类型、特点及地质含义	(71)
第一节 地层倾角测井成果的数据表	(71)
第二节 地层倾角测井成果的矢量图显示	(72)
第三节 地层倾角测井成果的频率图显示	(74)
第四节 地层倾角测井成果的其他显示方式	(76)
第四章 地层倾角测井在油气田勘探开发中的应用	(82)
第一节 构造地质学研究	(82)
第二节 沉积学及地层学研究	(102)
第三节 识别裂缝及类型	(113)
第四节 确定地层应力分布	(120)
第五章 地层倾角资料在层序地层学和多井横向预测中的应用	(123)
第一节 层序的概念及测井资料在层序地层学研究中的意义	(123)
第二节 测井资料的层序地层分析方法及应用	(125)
第三节 倾角资料的多井横向预测研究方法及应用	(132)
第四节 碳酸盐岩古潜山内幕识别	(138)

第六章 成像测井测井技术及应用 (144)

第一节 成像测井技术概述 (144)

第二节 电成像测井仪组成及测量原理 (148)

第三节 其他成像测井简介 (152)

第四节 成像测井资料的应用 (156)

第五节 变质岩潜山地应力分析及裂缝分布规律 (171)

附录 矢量图模式及地质解释模型 (184)

参考文献 (198)

第一章 地层倾角测量原理

地层倾角测井技术是基于石油勘探和开发的实际需要发展起来的。在国外,它的起步几乎与最早使用的测井方法差不多,1930 年就第一次成功地使用了地层倾角测井仪。它利用沉积岩特别是泥岩的各向异性进行测量,测得的资料只能给出地层的倾斜方向。1942 年,在美国海湾油田砂泥岩剖面中使用自然电位式地层倾角测井仪取得良好的测井资料,在这些油田的砂泥岩剖面中,自然电位曲线的幅度大,变化明显;1945 年,在自然电位不明显的地区,开始使用电阻率式地层倾角测井仪;1952 年,斯伦贝谢公司开始使用 CDM-T 型连续地层倾角井仪;1961 年开始使用磁带记录并用电子计算机处理测井资料;1963 年发展了一种四臂式地层倾角测井仪,这样电极的垂直分辨率就明显提高了(约 0.5in);20 世纪 80 年代,使用了高分辨率地层倾角测井仪和六臂地层倾角测井仪,能在严重不规则的井眼及仪器本身不居中的情况下,得到可靠的资料;20 世纪 90 年代,各大公司又相继推出了各具特色的成像测井仪,如地层微电阻率扫描测井仪(FMS)、全井眼地层微电阻率扫描测井仪(FMI),在数据处理方面,在相关对比基础上提出了图形识别法,这样就使地层倾角测井资料不仅能够研究地质构造,而且还能研究沉积环境,识别裂缝,找出油气勘探最有利的地区。本章将对地层倾角测量的原理进行说明。

第一节 地层产状及其测量原理

一、地层的产状要素

在沉积过程中,原始地层的层面呈水平状态,在漫长的地质年代里,经历了各种地壳运动,发生倾斜、变形,形成了褶曲和断裂岩层等。为了确定任意一套地层在三维空间的延伸方位和倾斜程度,通常采用地层的走向、倾向和倾角进行说明(图 1-1)。走向、倾向和倾角被称为地层的产状三要素。

1. 地层面的走向

地层面的走向表示地层在空间的水平延伸方向。地层面与水平面交线的交线称为走向线(图 1-1 中 AOA'),走向线与正北方向的夹角(顺时针)表示该地层的走向。

2. 地层面的倾向与视倾向

地层面的倾向表示地层在空间的倾斜方向,是地层面由高到低变化最大的方向,倾斜线 OB 在水平面上的投影 OC 称为倾向线,倾向线与正北方向的夹角(顺时针)称为倾斜方位,如图 1-1 所示, OC 所指地层倾斜一端的方向为地层的倾向。地层的倾向只有一个,出现在走向的一侧,且与走向相差 90° 。地层面的倾向有真倾向(倾向)与视倾向(假倾向)之分,凡是不与走向线垂直的倾斜线都称为视倾斜线,视倾斜线在水平面上的投影称为视倾向线,视倾向线所指地层倾斜一端的方向称为视倾向,如图 1-2 所示, OA 、 OC 与正北方向的夹角(顺时针)均为视倾向。在一个测点上,真倾向只有一个,但视倾向可以有无数个。

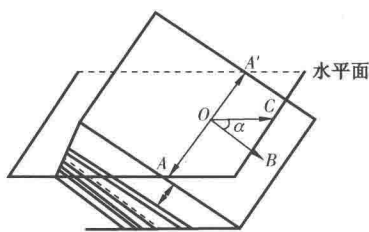


图 1-1 地层产状示意图

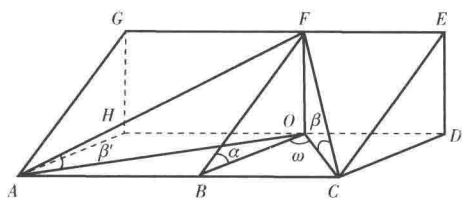


图 1-2 地层倾角示意图

3. 地层面的倾角

地层面的倾角表示地层的倾斜程度,是在倾斜方向上地层面与水平面的夹角,或倾斜线与倾向线之间的夹角;又称真倾角,是倾斜地层的最大倾角(图 1-2 中 α)。因为地层有真倾向和视倾向,所以倾角也有真倾角(倾角)与视倾角(假倾角)之分,视倾斜线与视倾向线间的夹角称为地层的视倾角(图 1-2 中的 β 和 β')。从图 1-2 可以看出,在 1 个测点上,地层的真倾角(倾角)只有一个,而视倾角(假倾角)可以有无数个,且视倾角永远小于真倾角。由图 1-2 可以看出,真倾角与视倾角的数学关系为:

$$\tan \beta = \tan \alpha \cdot \cos \omega \quad (1-1)$$

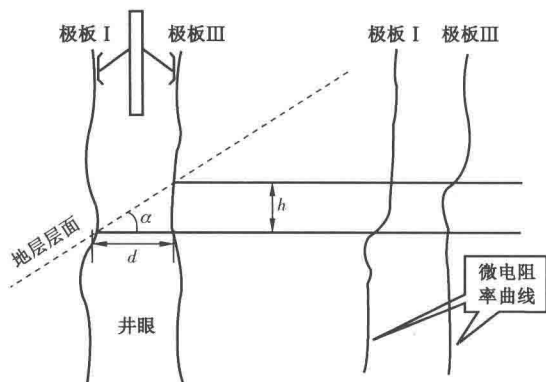


图 1-3 地层倾角计算几何原理图

二、地层产状的测量原理

地层倾角测井要获取的参数为地层的倾角及倾斜的方位,即获取主要的地层产状要素。实际上该产状要素是直接测量不到的,在地层倾角中,是用间接的方法通过测量到的微电阻率(或电导率)、井斜及井斜方位等参数计算出来的。其基本原理如图 1-3 所示。

根据几何原理,利用参数 h 和 d 便可求得地层倾角 α 。 d 为井径,在倾角测井仪中,通过极板 I 和极板 III (或极板 II 和极板 IV 这

两个极板与极板 I 和极板 III 垂直)的井径测量装置测得; h 为地层面高程差,一般情况下,所有极板电极所测微电阻率曲线在同一地层面处的特征是相同或相图似的,因此 h 可通过对微电阻率曲线的相关分析而找到同一地层面在不同曲线上的特征点(或相似点)获得。

同理,在实际测量的三维空间中,利用所有极板所测的微电阻率曲线,至少可以得到用于确定一个平面的三个点的数据,利用三个点的数据便可确定该平面相对于井眼的位置,在测得井眼在空间的角度及方位(非铅直井眼)后,便可确定地层面的倾角及方位角。

第二节 地倾角测井仪器的组成及测量参数

如前所述,地层倾角和倾斜方位角不是直接测量的,地层倾角测井是通过贴井壁的几个极板(三个、四个、六个)所测量的微聚焦电导率或电阻率曲线及其他参数来计算井眼穿过的地层面的产状。由于这种微测井的探测深度很浅,使得地层倾角测井所能探测到的地层面范围

也只是比井眼的直径略大一些,在这样有限的范围内,不论与井眼相交的地层面形态如何,都可以将它设想为一个平面,利用同一地层面上电阻率或电导率曲线的相似性,可确定井眼穿过地层面的单位法向矢量,然后再计算出地层面的倾角和倾斜方位角。当井倾斜时,还要进行井斜角和井斜方位角的校正。

目前使用的地层倾角测井仪器主要有以下几种:德莱赛公司的地层倾角测井仪、斯伦贝谢公司的高分辨率地层倾角测井仪 HDT、地层学地层倾角测井仪 SHDT、地层微电阻率扫描仪 FMI,哈里伯顿的六臂地层倾角测井仪等。但不论哪一种地层倾角测井仪,总是由两个主要部分组成,一是极板系统,二是测斜系统。

一、德莱赛公司地层倾角测井仪

德莱赛公司地层倾角测井仪的测量原理如图 1-4 所示,它测量的主要参数(或曲线)包括以下 4 个方面。

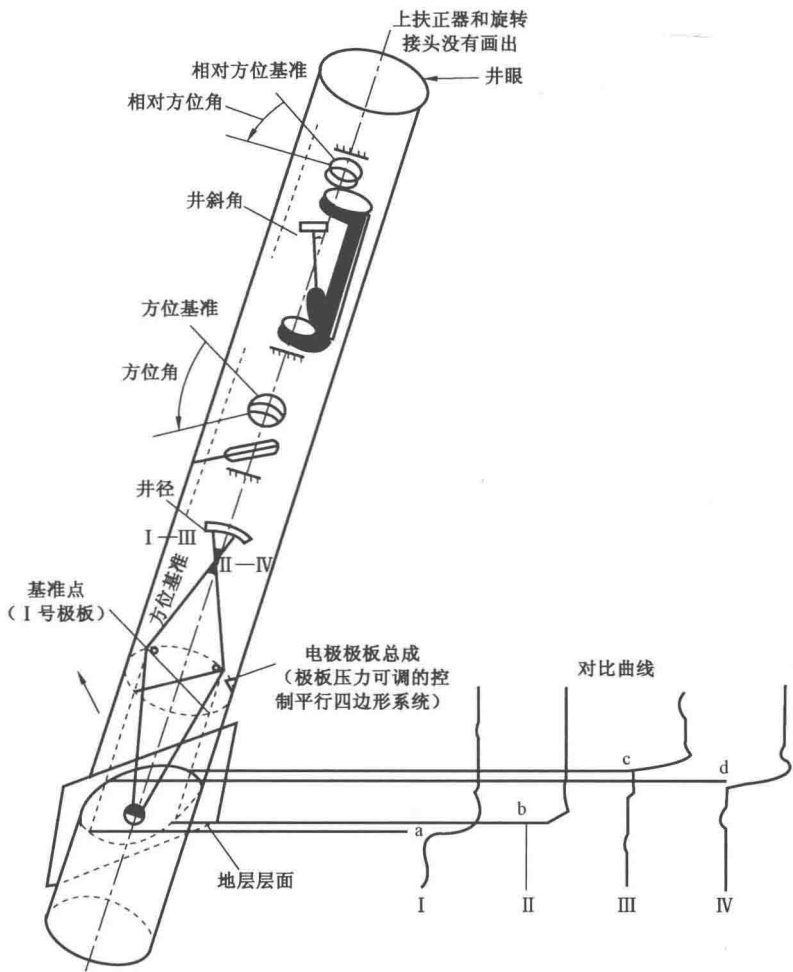


图 1-4 地层倾角测井仪器原理图

1. 四条微聚焦电阻率(或电导率)测井曲线

地层倾角测井仪上有 4 个贴井壁的极板,两两成 90°,按顺时针方向依次编号为 I、II、

Ⅲ、Ⅳ号极板。每个极板上都装有一个微聚焦电极系,其记录点始终在垂直于仪器轴的同一平面内,该平面称为仪器平面或电极平面,仪器与仪器平面构成仪器坐标系。当仪器在井内移动时,可测出四条微聚焦电阻率或电导率测井曲率,通过曲线对比可确定岩层层面上4个点 M_1 、 M_2 、 M_3 、 M_4 沿井轴方向的高度 Z_1 、 Z_2 、 Z_3 、 Z_4 。

2. 两条井径曲线

分别由Ⅰ、Ⅲ极板和Ⅱ、Ⅳ极板组成两套井径测量装置,当井径变化时,4个极板产生横向位移,通过机械传动装置改变电位器的电阻值,进而反映Ⅰ、Ⅲ极板方向和Ⅱ、Ⅳ极板方向的井径 d_{13} 和 d_{24} 的大小。

当仪器轴与井轴重合时,一般也能满足这个条件,因为仪器上方加有扶正器,这时岩层层面上4个点 M_1 、 M_2 、 M_3 、 M_4 在径向上的位置分别为 $\frac{d_{13}}{2}$ 、 $\frac{d_{24}}{2}$ 、 $\frac{d_{13}}{2}$ 、 $\frac{d_{24}}{2}$,在仪器坐标系中的坐标分别是 $M_1\left(0, \frac{d_{13}}{2}, Z_1\right)$ 、 $M_2\left(\frac{d_{24}}{2}, 0, Z_2\right)$ 、 $M_3\left(0, -\frac{d_{13}}{2}, Z_3\right)$ 、 $M_4\left(-\frac{d_{24}}{2}, 0, Z_4\right)$ 。因井眼可能不规则,则 $\frac{d_{13}}{2}$ 不一定等于 $\frac{d_{24}}{2}$ 。

3. Ⅰ号极板方位角曲线

Ⅰ号极板方位角 μ 定义为Ⅰ号极板方向的水平投影与正北方向的夹角(顺时针),变化范围 $0^\circ \sim 360^\circ$ 。德莱赛公司的地层倾角测井仪用磁针罗盘测量Ⅰ号极板的方位角,其测量原理如图1-5所示,图中A点与井轴O点的连线OA与Ⅰ号极板同方位,称A点为Ⅰ号极板方位的基准点,因此,电阻 R_{AB} 随Ⅰ号极板方位角 μ 变化而变化,根据 R_{AB} 的大小就可确定Ⅰ号极板方位角 μ 。需要说明的是,当井斜角 $\delta \leq 20^\circ$ 时,此种测量方法能满足要求;当井斜角 δ 较大时,必须采取一定的校正方法。

方位角 μ 是从正北方向开始顺时针计量的,4个极板顺时针方向排列,并以 90° 等间隔分布,所以地层层面上4个点 M_1 、 M_2 、 M_3 、 M_4 在柱坐标系 ϕ 方向的角度为: μ 、 $\mu + \frac{\pi}{2}$ 、 $\mu + \pi$ 、 $\mu + \frac{3\pi}{2}$ 。

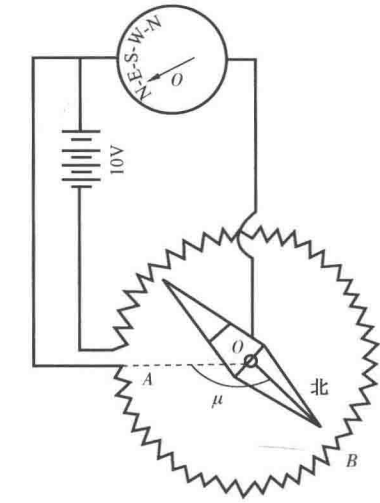


图1-5 Ⅰ号极板方位角测量原理图

在柱坐标系中,根据地层层面在仪器平面上的4个点 $M_1\left(\frac{d_{13}}{2}, \mu, Z_1\right)$ 、 $M_2\left(\frac{d_{24}}{2}, \mu + \frac{\pi}{2}, Z_2\right)$ 、 $M_3\left(\frac{d_{13}}{2}, \mu + \pi, Z_3\right)$ 、 $M_4\left(\frac{d_{24}}{2}, \mu + \frac{3\pi}{2}, Z_4\right)$ 就可以确定层面方程 $Z = AX + BY + C$ (A 、 B 、 C 为系数),并进一步计算出地层面在仪器平面上的倾角和倾斜方位角。

如果井是铅直的,则上面计算的倾角和倾斜方位角就是地层面相对于大地坐标系的倾角和倾斜方位角;如果井是斜的,就要进行井斜校正。为了便于仪器制造和数字推导,设计测量Ⅰ号极板相对方位角代替井斜方位角。Ⅰ号极板相对方位角又称仪器的相对方位角,井轴相

对方位角是指仪器平面上 I 号极板方向与井斜方向的夹角,逆时针为正,变化范围 $0^{\circ} \sim 360^{\circ}$,也是 I 号极板与仪器高侧边的夹角,用 β 表示。

4. 井斜角与 I 号极板相对方位角曲线

井斜角就是井轴或仪器轴与铅垂线之间的夹角。德莱赛公司的地层倾角测井仪用弧形电位器及铅锤来确定井斜角,如图 1-6 所示,当井铅直时,电阻 $R_{oc} = 0$,井斜角 δ 越大, R_{oc} 就越大,用 R_{oc} 上的电位差值来测量井斜角 δ 。

I 号极板相对方位角 β 是用定位摆及环形电位来测量的,如图 1-7 所示,定位摆由于重力作用而下垂,它的连接线 OD 为井轴截面上的倾斜线, OA 与 I 号极板同方位, OA 与 OD 的夹角就是 I 号极板相对方位角。相对方位角 β 越大,电阻 R_{AD} 也越大,根据电阻 R_{AD} 上的电位差值就可测出 I 号极板相对方位角 β 。

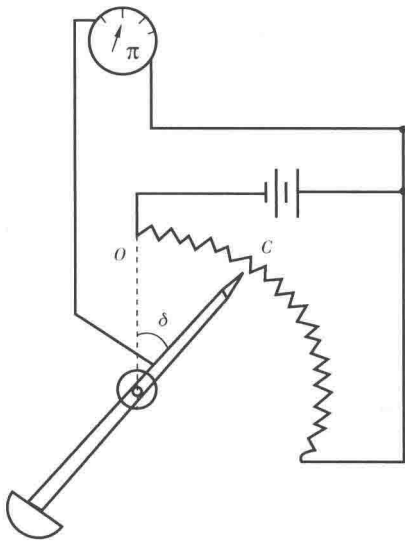


图 1-6 井斜角测量原理

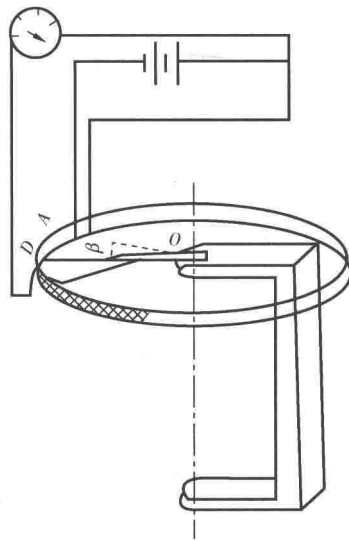


图 1-7 I 号极板相对方位角测量原理

当井斜不大,一般当 $\delta \leq 20^{\circ}$ 时,根据 I 号极板方位角 μ ,相对方位角 β 可以近似计算出井斜方位角 γ 。井斜方位角 γ 定义为井斜方向在水平面上的投影与正北方向的夹角(顺时针),变化范围是 $0^{\circ} \sim 360^{\circ}$,其计算公式为

$$\gamma = \mu - \alpha \approx \mu - \beta \tag{1-2}$$

$$\alpha = \arctan \frac{\sin \beta}{\cos \beta \cos \delta} \tag{1-3}$$

当 $\delta \leq 20^{\circ}$ 时, $\cos \delta \geq 0.94$, 则 $\alpha \approx \beta$ 。

若 $\mu \approx 240^{\circ}$, $\beta = 80^{\circ}$, 则井斜方位角 $\gamma = 240^{\circ} - 80^{\circ} = 160^{\circ}$ 。

若 $\mu = 40^{\circ}$, $\beta = 240^{\circ}$, 则井斜方位角 $\gamma = 40^{\circ} - 240^{\circ} = -200^{\circ}$ 或 $\gamma = -200^{\circ} + 360^{\circ} = -160^{\circ}$ 。

综上所述,这种地层倾角仪一次下井可以测得九条曲线(图 1-8),即四条微聚焦电阻率(或电导率)测井曲线,两条井径曲线,三条角度曲线。

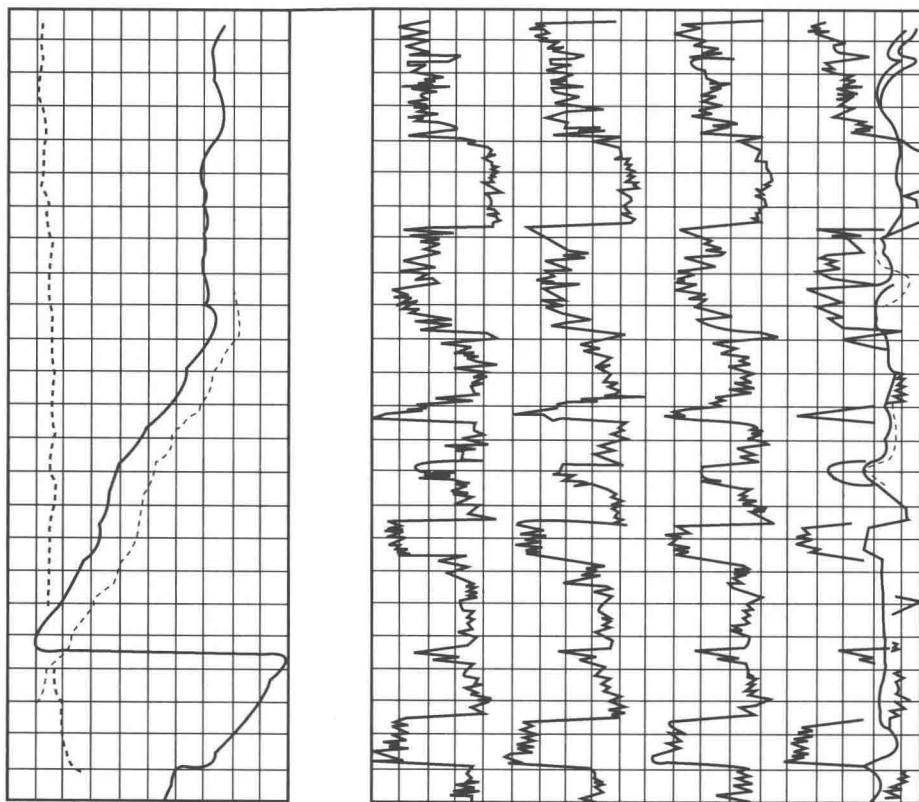
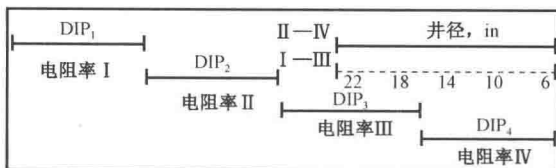
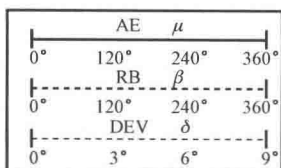


图 1-8 德莱赛公司地层倾角测井曲线图

二、斯伦贝谢公司高分辨率地层倾角测井测井仪 HDT

斯伦贝谢公司的高分辨率地层倾角测井仪 (HDT) 在测井信息设计方面基本上与德莱赛公司的仪器相同, 但有以下几点改进。

1. 极板部分的改进

在 I 号极板上镶嵌两个纵向排列的电极, 两电极相距 4.5cm, 上方的电极称为“校速”微电极。如图 1-9 所示, 沿着同一路径, 测出两条曲线, 如果仪器速度与电缆速度一致时, 则两条曲线上同一异常值之间的距离应等于 4.5cm; 当仪器在测井过程中遇阻或遇卡, 仪器速度与电缆速度不一致时, 两条曲线同一异常之间的距离就不等于 4.5cm, 可用校速电极测得的微聚焦电阻率曲线对高程差进行速度校正。其校正过

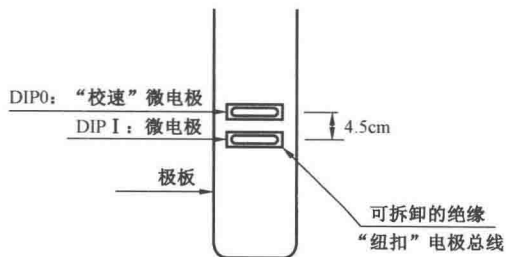


图 1-9 HDT I 号极板示意图

程为:设校速电极与标准电极的纵向距离为 H , 这里为 4.5cm , 通过曲线对比计算出某一地层面在这两条曲线上的高程差 h , 则其他任何两条对比曲线的高程差 h_{ij} 与实际高程差 H_{ij} 的关系为

$$\frac{H_{ij}}{h_{ij}} = \frac{H}{h}$$

所以

$$H_{ij} = \frac{H}{h} h_{ij}$$

2. 测斜部分的改进

测量三个角度时, HDT 有低角度和高角度两种类型。低角度测斜系统, 其井斜角测量范围为 $-4^{\circ} \sim 35.5^{\circ}$, 高角度测斜系统其井斜角测量范围为 $-8^{\circ} \sim 72^{\circ}$ 。低角度装置的测量原理如图 1-10 所示。低角度装置测井斜角 δ (仪器倾角)、I 号极板方位角 (AZ) μ 和 I 号极板相对方位角 (RB) β 。

高角度测斜系统与低角度系统的不同之处, 是将仪器方位角系统置于定位摆系统中 (图 1-11), 此时圆环电位器的起点与井斜方向一致 (在通过井轴的铅垂面内), 故磁针北极带动滑动臂测出的角度是井斜方位角 γ , 而不是 I 号极板方位角 μ 。

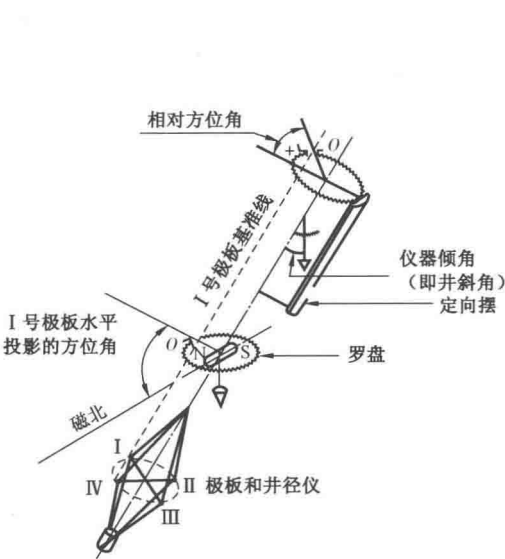


图 1-10 HDT 低角度地层倾角测井仪测量原理

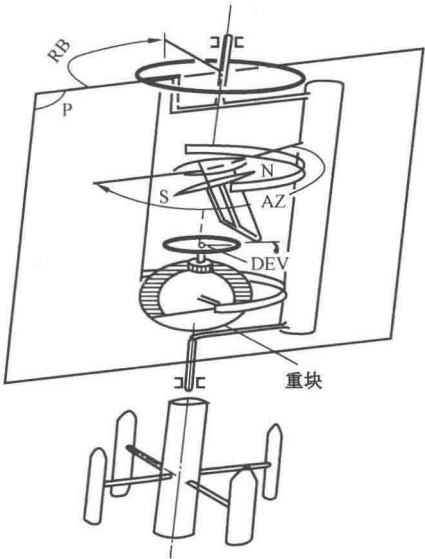


图 1-11 HDT 高角度地层倾角测井仪测量原理

高分辨率地层倾角测井仪一次下井可以测量十条曲线, 即五条电阻率 (电导率) 曲线、两条井径曲线和三条角度曲线。

三、斯伦贝谢公司地层学地层倾角测井测井仪 SHDT

斯伦贝谢公司的地层学地层倾角测井仪 SHDT 的测井信息又有不少改进, 如图 1-12 所示。

1. 极板部分

SHDT 的四个极板都具有两个水平距离为 3cm 的并列电极 (图 1-13), 这两个并列电极

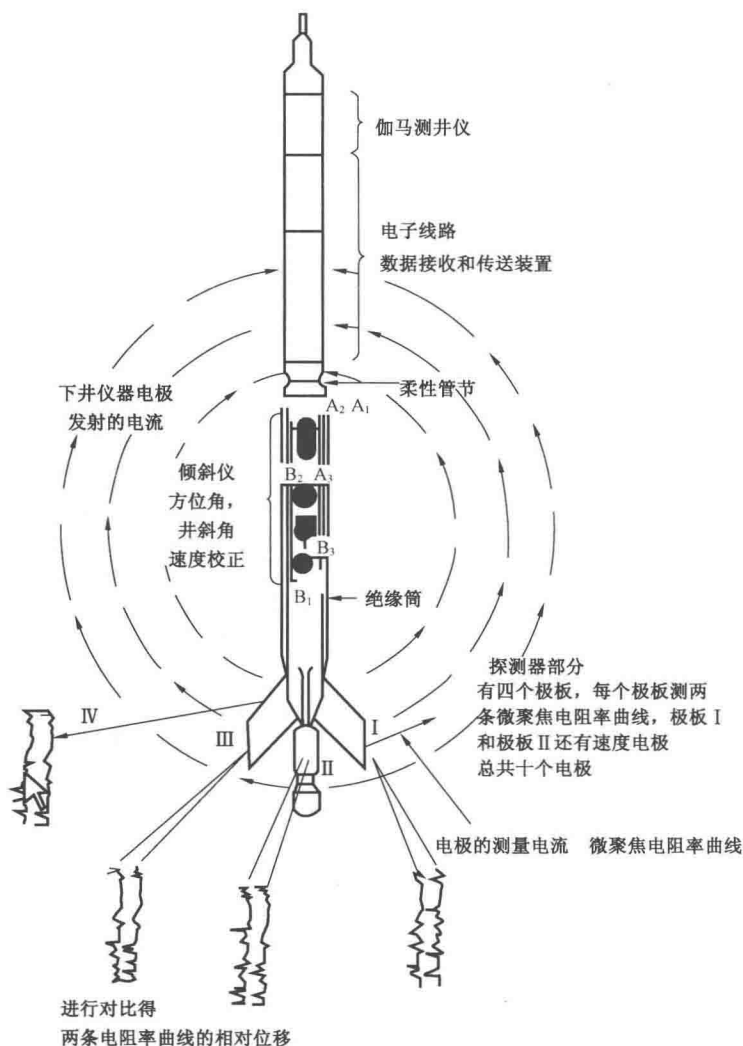


图 1-12 SHDT 地层倾角测井仪

A_1, A_2, A_3 —三维加速度计; B_1, B_2, B_3 —磁力计

靠得很近,所以它们记录的电阻率(电导率)曲线非常相似,当进行相关对比时,它们所得结果的精度非常高,在图 1-14 中可以看到这样的结果。图 1-14 中给出了沿着 12ft 长的井段用极板 II 和 III 所记录的曲线,图中并列电极所测曲线的对比用实线标出,在同一间隔中找到的极板与极板的对比以虚线表示。由于电极的空间位置非常靠近,由并列对比所得到的位移比极板与极板对比所得到的位移小,因而可以测量很大的地层倾角,使用极板与极板对比就不能达到这个目的。这样使用并列对比,就能解决沉积学方面的问题和对垂直裂缝的测量。

2. 速度校正

因为并列位移很小,基本上能用最大的精度测量并列位移。这除了增加采样率(比 HDT 数据获得率大一倍)之外,还改善了速度校正,能补偿井下仪器瞬间速度对地面电缆速度的变化。利用装在井下仪器上的三轴加速度计的连续读数能够进行速度校正,对这些速度积分就可以计算井下仪器的瞬间速度,再积分就可求得在任意时间间隔中井下仪器的旅行长度,如图 1-15 所示。图中显示了平均测井速度为 1.0ft/s 的一段井眼处的速度变化。

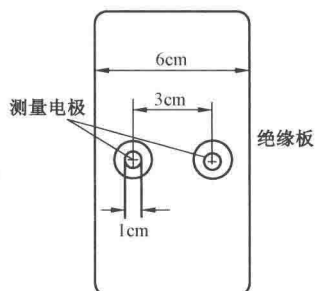


图 1-13 SHDT 地层倾角测井仪极板示意图

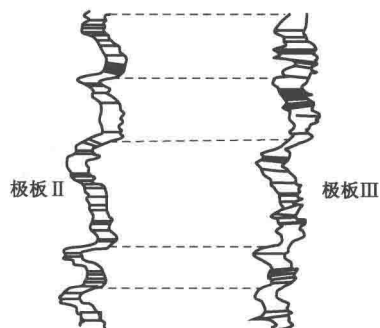


图 1-14 并列对比和极板与极板对比

可以看出,井下仪器看起来好像是均匀地移动着,事实上它的速度经常在平均值附近发生小的波动变化,若不进行校正,将引起计算位移的误差,也必然导致测量地层计算倾角的误差。尤其是遇阻受卡和解卡时,井下仪器从一个停止到另一个停止跳跃式地移动,这种情况下的记录如图 1-16 所示,可以看出,所有的有用信息都被压缩在井下仪器移动期间窄小的间隔中,测井曲线的其他部分是由不含信息(井下仪器停止移动期间)的直线组成。比较井下仪器的瞬间速度与地面仪器稳定的记录速度,就相当于将记录的数据进行压缩或扩张。这样就需要进行速度校正,将记录数据还原成真实深度下的数据,再进行地层倾角的计算(图 1-16 的下半部)。

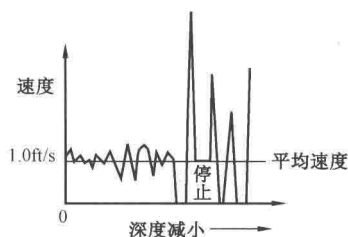


图 1-15 根据加速度计的数据计算的速度变化

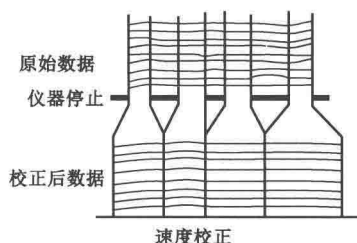


图 1-16 速度校正

SHDT 仪器 I 号极板和 II 号极板的电极对方上方 4cm 处都分别安装有校速电极,所测曲线供速度校正使用。

3. 井斜测量

SHDT 仪器用 1 个三维加速度计和 3 个磁力计进行测量并计算 4 个角度,即 I 号极板方位角 μ 、I 号极板相对方位角 β 、井斜角 δ 、井斜方位角 γ 。与常规的装置相比,减少了井下的可动部分,也比重锤、罗盘提高了测量精度。

4. 自动调节测量电流

SHDT 仪器可以随地层电阻率的变化自动调节测量电流,这样就可以保证地层倾角曲线在高、低电阻率地层中都有最佳的活度,同时也不需要经常地人工调节和监视电流强度。

5. 简化了井下仪器臂的结构

当臂张开和合拢时,电极沿圆弧运动,这样就避免了连接问题和由于井径突然缩小而遇卡的问题。两个相对的极板彼此独立,就可在椭圆形井眼或斜井中进行可靠的测量,也可以在不规则井眼中较好地跟踪井眼大小的变化。

综上所述,地层学地层倾角测井仪 SHDT 能记录以下信息:10 条电阻率曲线;3 条加速度

曲线;3条磁力曲线;2条井径曲线;探测器的偏斜角曲线(由于SHDT的探测器部分与下井仪上部之间采用活动接头,致使探测器的轴与井轴不一致,其夹角称为探测器轴对井轴的偏斜角);I号极板方位角 μ ;I号极板相对方位角 β ;井斜角 δ ;井斜方位角 γ ;电缆张力;自动调节的测量电流和电压信号等。

四、井壁电成像测井仪

最早的井壁电成像测井仪器是斯伦贝谢公司于1986年推出的地层微电阻率扫描仪FMS,紧接着该公司又对该仪器进行了改进,发展成为现在使用的全井眼地层微电阻率数字成像测井仪FMI。另外,哈里伯顿公司和阿特拉斯公司也相继推出了各自的井壁电成像测井仪EMI和Star-II。这三家公司的井壁电成像测井仪器的原理相同,仪器测量极板结构相似,只是各自的极板和电极数量有所不同而已。三家的仪器均有包括倾角测井模式在内的多种测井模式。

地层微电阻率扫描仪(又称FMS)是在SHDT仪器的基础上发展改进而成的,它描述井壁电阻率的微小变化,将测得的资料在计算机中心处理成井壁电图像,这种图像和岩心柱子极为相似,能非常直观地记录井眼所穿过地层的沉积、构造、裂缝特征。除电子线路部分外,FMS与SHDT的差别仅在Ⅲ号和Ⅳ号极板的结构不同。

FMS的极板结构如图1-17所示,在Ⅲ号和Ⅳ号极板上分别装有27个纽扣电极,它们的直径为0.2in,间距为0.4in,排列成矩阵系统,下边是SHDT的两个并排电极。在井下工作时,这27个纽扣电极向地层发射电流,对井壁进行电扫描,其宽度为2.8in(7cm)。两个极板在8.5in井眼中测量一次可获得覆盖率为20%的井壁电扫描图像。如果在某井段重复测量2~3次,由于电缆扭力作用,仪器不会同步一个路径,因此可达到30%~50%的覆盖率。如果测量效果好,这种图像分析时就像看到岩心柱子一样,相当直观。

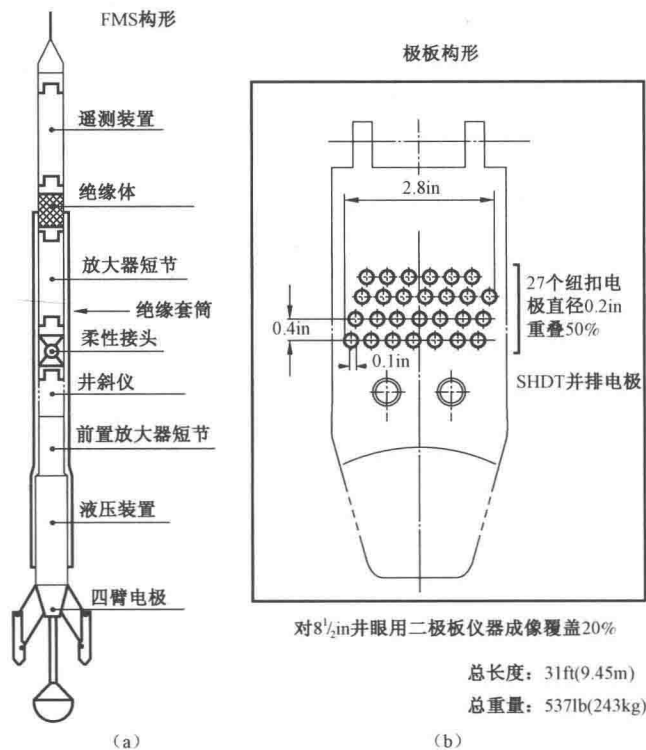


图1-17 FMS极板结构图

除此以外,FMS 仪器还具有 SHDT 的所有功能。测井时,FMS 的 54 个电极信号和 SHDT 的所有信号都记录在磁带上,而模拟记录是分开的。

五、哈里伯顿公司六臂地层倾角测井仪

六臂地层倾角测井仪是新一代的地层倾角测井仪,它在研究倾斜地层及沉积层的成层性方面有突出优点,其设计的新颖性主要表现在以下几个方面:

这种仪器具有 6 个臂。由于计算平面层的倾角只需要 3 个点,用该仪器所测资料计算倾角的冗余度系数明显增大,提高了寻求真倾角的统计机率(为四臂倾角测井仪的五倍)。

在地层倾角测量中,最关键的要素是曲线的相似性,而要提高曲线相关对比的质量,必须要求各极板与井壁保持良好的接触。在斜井中,由于仪器不居中,而在四臂倾角仪的结构中,电极作垂直和平行移动,且相对两臂是彼此联动的(图 1-18),所以很难保持每个极板与井壁的良好接触。六臂地层倾角仪允许每一个臂能各自独立地伸缩(图 1-19),这样就解决了在任何情况下接触良好的问题。当然,这又出现了一个新的问题,那就是每个电极的测量点在不同的纵向深度上,即 6 个电极的记录点不在同一平面,这必然引起测量点纵向深度的位移差别。因此必须对此进行校正,一般用程序实现,这样才能得到一个实际倾斜层面的真倾角。斜井及狗腿子井中,极板常常以一定的角度偏离井壁,致使四臂地层倾角仪所测曲线之间没有相似的对比关系,而在六臂倾角仪中,由于它将电极系装在垂向旋壁上,在有限的范围内可以转动,因此彼此平行的极板表面都能面向井壁,如图 1-20 所示。

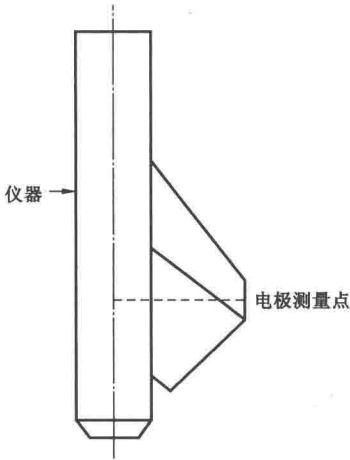


图 1-18 标准平行四边形臂对仪器的移动示意图

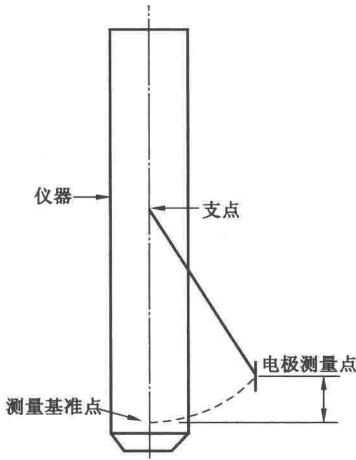


图 1-19 支点臂运动路径示意图

为了在垂直方向上获得最佳的极板接触状态,六臂倾角仪的极板设计得很短(4in 左右),这大大改善了仪器在极不规则井眼条件下的接触特性。

对所有极板型和居中型仪器来说,仪器的不规则运动或者上下乱动是一个严重的问题,地层倾角仪更是如此,它导致所记录的位移加长或缩短。不管井斜为几度,重力迫使仪器壳体紧贴井眼的下侧边。在井眼增大的顶部边缘上,联动结构的井径仪在仪器不居中时迫使井径仪产生动力来举起整个仪器的重量,这样就会使仪器产生不规则运动。六臂地层倾角仪的设计使仪器各臂在活动时彼此独立,从而使这种问题的影响变得最小,仪器在沿井眼运动时,各个臂不会太大地影响仪器壳体的正常运动。