

测井解释

〔美〕斯仑贝尔公司

石油工业出版社

测 井 解 释

〔美〕斯仑贝尔公司

大庆科学研究院地球物理所 译

华东石油学院测井教研室 校译

长春地质学院 李舟波

石 油 工 业 出 版 社

内 容 提 要

本书是美国斯伦贝格公司(Schlumberger)《测井解释》(LOG INTERPRETATION)第二卷的译文。全书共分十章,着重介绍在井场通过简单计算,利用解释图板、测井曲线重叠进行资料解释的方法和两种比较完善的 SARABAND、CORIBAND 解释方法。对测井资料的磁带记录、传输、处理以及测井资料的特殊应用也作了介绍。

本书可供从事测井工作的工程技术人员参考。

Schlumberger LOG INTERPRETATION

Vol. II Applications

New York 1974

测 井 解 释

大庆科学研究院地球物理所 译

华东石油学院测井教研室 校译

长春地质学院 李舟波

石油工业出版社出版

(北京和平里七区十六号楼)

化学工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ 印张 $8\frac{1}{2}$ 字数 201 千字 印数 1—7150

1979年7月北京第1版 1979年7月北京第1次印刷

书号 15037·2016 定价 0.91 元

限 国 内 发 行

目 录

第一章 测井记录和组合仪器	1
测井记录的表示法	1
裸眼井的主要测井仪器	3
裸眼井测井的组合仪器	6
特殊的裸眼井下井装置	8
套管井测井	9
第二章 对比	12
第三章 裸眼井现场解释方法	17
划分渗透层	17
层厚—地层界面	18
孔隙度—岩性—天然气—次生孔隙度	20
饱和度和烃可动性	27
第四章 比较完善的裸眼井测井解释方法	40
SARABAND——泥质砂岩的综合解释方法	40
CORIBAND——复杂岩性解释方法	47
粘土或泥质含量指示	52
测井导出的渗透率指数	54
第五章 套管井的地层评价	57
套管井地层评价所使用的测井方法	57
套管井测井资料的饱和度分析	62
生产监视	70
第六章 测井数据的磁带记录、传输及处理	73
测井数据的传输	73
为什么要用计算机处理	76
第七章 选择解释参数的测井数据处理	80
预解释程序	80
基本交会图	81
SARABAND	83
机械性质测井(MPL)	86
CORIBAND	87
第八章 计算机处理的解释(CPI)测井图	102
处理结果的显示	102
SARABAND 的实例	104
CORIBAND 的实例	104
计算机处理测井曲线的特殊应用	107
展望	111
小结	111

第九章 水井测井	112
确定水的性质	113
颗粒尺寸、渗透率及地层因数	114
测井系列	116
结论	116
第十章 特殊应用	117
矿物解释的实例	117
测定地层强度——机械性质测井	120
储存天然气的井	123
超长电极距电测井(ULSEL)	127

第一章 测井记录和组合仪器

本章将对测井记录的特点作一些基本叙述，并且重温一下用于裸眼井和套管井的现场仪器。对于在同一次下井能得到几种基本记录的比较有效的组合仪器，将列表示出。还将叙述一些虽不经常应用但有专门用途的一些仪器。关于测井资料的磁带记录、电话或无线电传输以及资料的处理，这里都将涉及到，并在以后的章节中加以详述。

测井记录的表示法

几乎所有的测井记录，都是以检流计的偏转随深度变化(在定点测量时，随时间变化)的形式记录在胶片上。胶片记录的宽度为 8.25 英寸。这个范围分成三个曲线道和一条较窄的深度数值道(图 1-1)，曲线道的宽度是 2.5 英寸。深度线通过曲线道水平地记录。

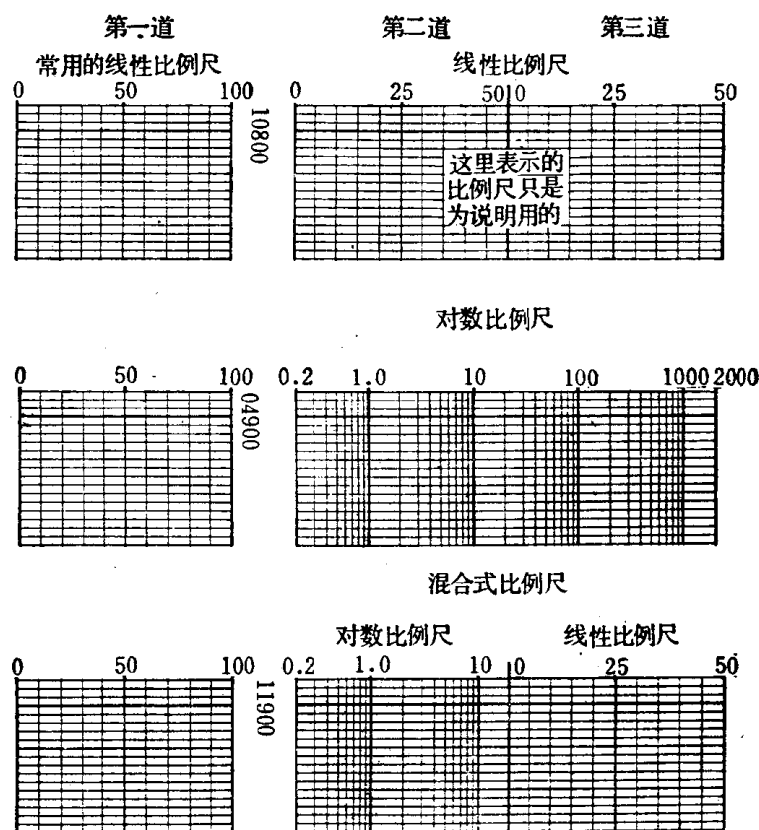


图 1-1 三种普通的测井记录横向比例

曲线横向比例

每个曲线道正常的是用横向比例刻度的。可以采用三种横向比例形式：图 1-1 顶部的是线性横向比例，API 标准(每个分格为 $\frac{1}{4}$ 英寸，每道为 10 个分格)；图 1-1 中部的第二道和第三道为四阶对数横向比例；图 1-1 底部的为对数-线性混合式横向比例，第二道是

对数的, 第一、三道是线性的(第一道始终是线性的)。图 1-1 的比例尺数值仅仅是示意性的。在放大的深度比例尺上记录电阻率曲线时, 一般使用对数比例尺, 而在其它多数情况下则使用线性比例尺。

经计算机处理的(GPI 或 Synergetic)测井记录(见六、七、八各章), 根据需要可以用多种形式的曲线刻度和深度比例尺显示。

深度比例

深度比例随地区和需要而改变。大多数测井记录都同时记录两张胶片, 二者选用不同的深度比例尺, 一张用于对比, 另一张用作详细解释, 或者一张作通常应用, 而另一张用于重叠技术作快速直观解释。

在北美洲, 作对比用的深度比例是: 井深每 100 英尺, 胶片为 1 或 2 英寸(即 1:600 或 1:1200 的比例尺)。作详细分析时, 常用的比例是井深每 100 英尺, 胶片为 5 英寸(即 1:240)。对一些短剖面作详细研究时, 可采用每 100 英尺为 25 英寸(1:48)的扩大比例尺。对于地层倾角测井记录, 则采用每 100 英尺为 60 英寸(1:20)的特殊比例尺。

世界上其它地方大多采用英尺或米的十进制比例(1:1000, 1:500, 1:200, 1:40, 1:20)。米制的测井记录是容易识别的, 它的深度数值出现在每 50 米的水平线上, 而用英尺表示深度的测井记录, 则在每 100 英尺的水平线上标深度数值。

记录仪的选择

标准的斯仑贝尔公司照像记录仪有九只检流计, 可以同时记录两张胶片。每只检流计的线迹可以记录在任何一张或者两张胶片的不同曲线记录道上。两张胶片可以按相同的或不同的深度比例传动。

一般深度比例和横向比例选择:

双感应测井:

放大曲线 1:240 或 1:200, 对数的。

对比曲线 1:600 或 1:500, 线性的。

井眼补偿声波测井:

声波测井曲线 1:240 或 1:200, 线性的。

F 曲线 1:240 或 1:200, 对数的。

新的记录要求——磁带记录

由于引用了新的更复杂的测井组合, 用两个胶片传动装置和九只检流计, 想同时记录所要求的各种形式的曲线, 或者甚至要记录所有的测井资料常常是不可能的。例如, 双感应测井和井眼补偿声波测井的组合, 在一次单一的测井操作中不能实现上述一切选择, 不可能一次记录两张 1:240 和一张 1:600 的胶片, 而且这两套装置的组合多于 10 种不同的测量, 超过了检流计的数目。

这个问题已经得到解决, 这就是在现场作胶片测井记录的同时, 将所有测井资料记录在数字磁带上, 以后, 可以从磁带上回放所希望的测井曲线胶片。回放曲线的表现形式(深度比例、横向比例的形式和比例)可按需要进行选择(参看第六章)。

数字资料处理方法

计算机的使用, 提供了自动进行测井解释计算的手段, 相应地需要建立一种适合输入数字计算机的测井资料记录方法。数字磁带记录符合这种需要。如上节所述, 它作为能把所有有用的测井资料存储起来的存储媒体也是合适的。测井数字磁带记录的另一优点是, 可以经过无线电或电话线快速传送。于是, 可以在井场上用磁带作数字记录, 然后传输到基地站, 在那里进行回放并交付用户。也可以把磁带记录发送到测井解释中心, 在那里, 资料被处理成更适合于直接解释的形式。

测井资料的磁带记录、传输和处理将在第六章中讨论。复杂解释程序中的处理方法, 将在第七章中讨论。在第八和第十章中叙述计算机处理结果的某些应用。

裸眼井的主要测井仪器

井下测井仪器在使用时受到结构因素(如温度与压力)和测量类型固有因素(例如某些仪器对泥浆导电性的要求)的限制。这些限制在第一卷和参考文献 1 中作了叙述, 这里, 只在有关问题作仔细考虑时才重复它们。

电测井仪器

它包括记录电阻率或电导率的仪器, 通常同时记录自然电位。表 1-1 列出电测井(ES)和感应测井仪器, 表 1-2 列出侧向测井仪器。在高 R_t/R_m 比值的高电阻率(碳酸盐岩)地区, 通常推荐使用侧向测井方法。电测井(ES)和感应测井仪器广泛地应用在砂-泥岩(低 R_t/R_m 比值)地区。这种区别不是非常严格的, 可以搭配使用这些方法。

除非另加说明, 这些仪器的额定温度均为 350°F , 耐压为 20000 磅/英寸², 最小的井眼尺寸为 6 英寸。由于类型不同, 表中所列情况在不同的地方可能有些差别。此外, 斯伦贝尔公司在裸眼井使用三种主要类型的电缆, 每一种都有自己的温度界限。

微电阻率测井

微电阻率测井包括微电极测井、微侧向测井、邻近侧向测井和微球形聚焦测井。如表 1-3 所示, 它包括两种类型的仪器。二者的额定温度均为 350°F , 耐压为 20000 磅/英寸²。适用的最小井眼尺寸为 $6\frac{1}{4}$ 英寸。

孔隙度-岩性测井

组成这一类的测井方法有声波、密度和不同形式的中子测井(第一卷七~九章)。它们的结果都受地层孔隙度和岩性的相互变化的影响(第一卷十二章)。气或轻烃的存在对密度测井和中子测井的结果有影响, 有时对声波测井也有影响。

仪器类型列于表 1-4 中。除了一组深井仪器额定温度为 500°F 以外, 其余列举的仪器额定温度都是 350°F 、耐压为 20000 磅/英寸²。除加说明, 适用最小井眼尺寸都是 6 英寸。

地层倾角测量和定向测井

地层倾角仪在井眼的不同方位上记录三条或四条对比曲线, 应用这些曲线可以对比点

表 1-1 电测井和感应测井仪器

测井名称 (缩写)	记录曲线* (测量单位)	限制条件	特 点
电测井(ES)。	16"电位, 64"电位, 18' 8"梯度(欧姆-米)。 SP(毫伏)*。	井内流体电阻率不应太大, 也不应太小。 淡水泥浆是最好的。 侵入浅。 井眼大小不变。	
钻杆电极系。	同上	同上, 对于精确的测井来说, 最大井眼尺寸为6"。	仪器外径是1 $\frac{1}{2}$ " , 但可弯曲。用或不用泵入都可以通过钻杆工作。裸眼井最小尺寸为1 $\frac{1}{8}$ "。
带6FF40感应测井仪的感应电测井(IES)。	R_{16} *, R_{6FF40} (欧姆-米)。 电导率(毫欧姆/米)。 SP(毫伏)。 可以和自然伽玛测井组合*。	泥浆导电性应适于SP和16"电位。在100欧姆-米以上时分辨率低。 为了提高准确度, 通常要求仪器和井壁之间装间隙器。	感应测井可以在充满油或天然气的井中工作。
带有6FF28感应测井仪的感应电测井。	R_{16} *, R_{6FF28} 电阻率(欧姆-米)。 电导率(毫欧姆/米)。 SP(毫伏)*。	同上。不能和自然伽玛测井组合。 在有限的范围内应用。	外径2 $\frac{3}{8}$ " , 用或不用泵入都可以通过钻杆工作。 裸眼井最小尺寸为4"。
双感应-八侧向(DIL)。	R_{ILS} , R_{ILm} 和 R_{ILD} (欧姆-米)用对数比例尺; 对比测井曲线用任意线性比例尺。 SP(毫伏)*。	泥浆导电性应适于SP和LL8。在100欧姆-米以上分辨率低。 为了达到最好的准确度, 通常要求仪器与井壁之间有间隙器。	当侵入是严重的解释问题时, 若 $R_{xo} > R_t$, 它是最好的测井组合。它能提供快速直观法的 R_{xo}/R_t (参看第3章)。可以和补偿声波组合, 记录 R_{wa} 和 F_s 曲线(见第3章)。
感应-球形聚焦测井(ISF TM)。	SFL TM , ILd(欧姆-米, 对数比例尺)。 IL电导率(毫欧姆/米, 线性比例尺)。 对比测井曲线用线性比例。 SP(毫伏)*。	当和BHC一起工作时, SFL和ILd曲线画在二阶对数坐标上, 这就限制了可利用的电阻率范围。	组合仪器可以包括BHC、自然伽玛测井, 并径仪。同BHC一起可以求出 R_{wa} 和 F_s 。 能用 R_{xo}/R_t 方法作快速直观解释。

* 所有的仪器组合都包括自然电位曲线, 不然要加上自然伽玛测井曲线。某些种类的仪器偶而可以同时测量自然电位和自然伽玛曲线, 但在多数情况下不能这样做。

表 1-2 侧向测井仪器

测井名称 (缩写)	记录曲线	限制条件	特 点
三侧向(LL3)。	深侧向, 自然伽玛测井或SP。	要求泥浆是导电的, 最好是 $R_m < R_t$ 。	
七侧向(LL7)。	同LL3。	同LL3。	
分别测量的双侧向测井(DLL TM)。	第一次深探测的LLd和自然伽玛或自然电位在一起记录, 浅探测的LLS加自然伽玛或自然电位在另一次下井时记录。	同LL3。测井曲线是分两次记录的。要求人工把一条曲线画在另一条上。	大大改善了存在侵入带时的解释。 扩大了侧向测井的有效电阻率范围。 给出了改善计算真电阻率的可能性。
同时测量的双侧向测井(DLT DST)。	(DLT); LLd, LLS, 自然伽玛或SP。 (DST): 上述的再加上 R_{MSFL} (看表1-3) 和并径曲线。	要求泥浆是导电的, 最好是 $R_m < R_t$ 。	除上述之外, 并有同时记录可节省时间和带一条并径曲线及微球形聚焦电阻率曲线的优点。

间的深度位移和井眼大小, 确定相对于井眼的地层倾角。井眼大小(井径)由地层倾角仪测量臂扩张的程度确定。组装在地层倾角仪中的井斜仪, 记录井眼的倾斜角度和方位。综合这些资料, 能够确定真实的地层倾角和方位。在参考文献2中讨论了地层倾角测量的原理和应用。

表 1-3 微电阻率测井

测井名称 (缩写)	记录曲线 (单位)	限制条件	特 点
微电极测井 (ML) 微侧向测井 (MLL)。	$R_{1'' \times 1''}, R_{2''}, R_{MLL}$ (欧姆-米)。 井径(英寸)。	在泥饼厚度大于 $\frac{1}{8}$ "时, MLL 将受到严重影响。	微电极和微侧向的极板是安装在 双臂联动的井径仪的两个相对臂 上。根据 $1'' \times 1''$ 微梯度和 $2''$ 微电位 曲线的幅度差异, 微电极能定出泥 饼(在渗透性地层上)的存在(参看 第3章)。
微电极-邻近侧向 测井(MPL) 仪器和上面的一 样。	$R_{1'' \times 1''}, R_{2''}, R_{PL}$ (欧姆-米)。 井径(英寸)。	当冲洗带直径 $d_1 < 40''$ 时, 确 定 R_{xo} 的准确程度降低。	仪器与上述相同。用邻近侧向的 极板代替 MLL 的极板。 在 h_{mc} (泥饼厚度) 超过 $\frac{1}{8}$ " 时, 对于确定 R_{xo} , 邻近侧向测井比 MLL 更好。
微球形聚焦测井 (MSFL) 这种测井仅作为 同时记录的双侧向 测井(DST)或密 度-微球形聚焦组 合仪的一部分。	R_{MSFL}^* (欧姆-米)。 井径(英寸)。		能在比 MLL 或 PL 更宽的条件 范围获得好的 R_{xo} 值。不需要单独 进行测井。

* 和微球形聚焦一起, 记录两条能确定泥饼厚度的微电极类型曲线的仪器正在研究中, 在未来的仪器中将采用。

表 1-4 孔隙度-岩性测井

测井名称 (缩写)	记录曲线 (单位)	限制条件	特 点
声波			
井眼补偿声波测 井(BHC)。	Δt (微秒/英尺), ϕ 声波 (孔隙度单位)。 井径(英寸)。 任选的: 声波幅度(毫伏), 变密 度测井曲线(VDL), 波形 照相, 累计传播时间, 自 然电位。	计算 ϕ 声波 要求知道骨架和流 体类型以及岩层压实程度。	和 ISF 或 DIL 组合。
密度			
补偿地层密度测 井(FDC) 电动推靠的伽玛 伽测井仪(PGT)。	$\rho_b, \Delta\rho$ (克/厘米 ³) ϕ_D (任选的)(孔隙度单位) 或 $\log F_D$ (任选的)。井径 (英寸)。	计算 ϕ_D 或 $\log F_D$ 要求知道骨 架密度。	在大多数情况下, 泥饼和井眼不 规则对体积密度测量造成的影响得 到了补偿。
密度-微球形聚焦 组合仪(FRT)。	同上, 加 R_{MSFL} (参看表1-3) (欧姆-米)。	仪器供应有限制。	仪器提供井中同一线上的 R_{xo} 和 ρ_b 资料。(如果从井的不同侧面取 的话, 可能对测量结果造成错误解 释)。
中子测井			
自然伽玛-中子测 井(GNT)。	中子计数, (API)中子 数/秒。自然伽玛射线强度 (API, 伽玛射线单位)。 套管接箍指示。	受井内流体, 井眼尺寸和仪器 偏离井轴的影响。 骨架有一些影响。 孔隙度的推导是有条件的。	这个仪器对于定量计算孔隙度不 是经常使用的。然而因为是小井眼 仪器, 万一井的条件要求, 可以通 过钻杆或在钻杆内部进行测井。可 用在套管井中测井。
井壁中子孔隙度测 井(SNP) 电动推靠的超热中 子测井仪。	ϕ_N (孔隙度单位)。 自然伽玛射线(API, 伽 玛射线单位)。 井径(英寸)。	不能应用于套管井测井。厚泥 饼对曲线有不利影响。 骨架也有一些影响。	对于充满气的未下套管的井, 它 是最好的中子测井。井眼尺寸、泥 浆或地层中的中子吸收体几乎没有 影响。对于不同骨架岩石的响应是 一致的而且可以估计的。

续表

测井名称 (缩写)	记录曲线 (单位)	限制条件	特点
双源距补偿中子测井(CNL TM) (仪器名称: CNT-A)。	ϕ_N (孔隙度单位)。 任选的: 套管接箍指示。	充气井不能用。 和SNP相比,泥质有较大的影响。 骨架有一些影响。	这个仪器的主要优点是它的普遍的组合性。 比别的中子仪器探测深。 泥饼影响比SNP较小。 在裸眼井或套管井均可应用。
小井眼的补偿中子测井(CNT-B)。	同上。	仪器供应有限。	1 $\frac{3}{8}$ "的仪器适用于通过油管工作。也可以应用在小尺寸的裸眼井中。
自然伽玛测井			
自然伽玛测井通常是和上述所有的测井一起进行。除了GNT外,要求有单独的自然伽玛仪器。	自然伽玛测井曲线(API自然伽玛射线单位)。	自然伽玛测井本身不是一个测孔隙度手段,但对岩性和泥质含量的指示是很有用的。	与其它测井同时进行的,很少或不占用井场时间。

在第二章中讨论了地层倾角测量作为地层对比手段的用途,也涉及到地层倾角测量在构造和地层方面的研究和应用。第二章后面列出的参考文献7-11中对此有详细的讨论。

井斜测量资料在超长电极距电法测井计算中(第十章),对计算井斜图和确定真垂直深度以及设计与评价高角度井的测井都是有用的。

高分辨地层倾角测井仪(HDTTM)使用4个相隔90°的微电阻率类型的极板。两对臂构成两个独立的井径仪。仪器的额定值是350°F和20000磅/英寸。适用的最小井眼尺寸为6英寸。

PDT是三个臂的仪器,记录一条井径曲线,额定值是400°F和20000磅/英寸。它使用专门的电极系,适用的最小井眼尺寸为4 $\frac{1}{2}$ 英寸。

裸眼井测井的组合仪器

这一节将叙述几种组合仪器,使用这些组合仪器可以节省钻井时间,正确进行深度对比。

仪器的组合出现了这样的问题:各种敏感元件在仪器串中位于不同位置,因而不同方法的测量结果深度是不同的。这一问题是通过使用存储装置解决的,存储器把仪器串上部仪器记录的测井数据存储起来,并将之与最下部仪器记录的资料按同一深度回放出来。另一个必须考虑的问题是,对于靠近井底的井段,仪器串上部的装置不能予以记录,所以测井之前,必须认真考虑测井漏掉的这一段长度。在某些一般的组合中,最上部的装置(通常是自然伽玛测井仪)将要遗漏至少50英尺的井段。为提供参考,这里给出大多数组合仪器的典型尺寸草图和说明,但要注意,由于仪器不同,尺寸的某些变化是可能的。

组合仪器的额定值将等于各组合部分的最低温度和压力额定值,以及最小井眼尺寸。对于标准仪器,额定值是350°F,20000磅/英寸和6英寸。

感应组合仪器

1. 除6 FF 28 感应电测井仪(2 $\frac{3}{16}$ ")(IES)外,自然伽玛测井装置可与任何感应测井

仪组合。图 1-2 给出了常用的 6 FF 40-自然伽玛测井组合仪的尺寸。图 1-3 和图 1-4 示出另一种感应-自然伽玛测井组合仪。

2. 双感应-八侧向(DIL)可以与井眼补偿声波-自然伽玛组合仪组合(图 1-5), 但在显示时需要采取折衷办法。如果详细的和对比的比例尺都需要, 便碰到在测井图上放置声波曲线的问题。为了使它们适用于这个地区的需要, 已经提出了一些可行的显示方案。

当从组合仪器获得的测井曲线数目超过胶片实际记录的能力时, 把测井数据记录在数字磁带上具有相当大的重要性。记录在磁带上的测井资料, 在磁带处理中心能够产生任何需要的显示。

3. 感应-球形聚焦测井(ISF)与井眼补偿声波组合(图 1-6)进行测井, 可以加井径仪或自然伽玛测井仪(但不能同时加上两个)。

以上讨论过的显示问题也适用于这个组合。对数-线性横向比例(图 1-1 底部)对墨西哥湾沿岸类型地层有很好的显示。再重复一遍, 为得到所需要的全部显示, 磁带记录的回放可能是必须的。

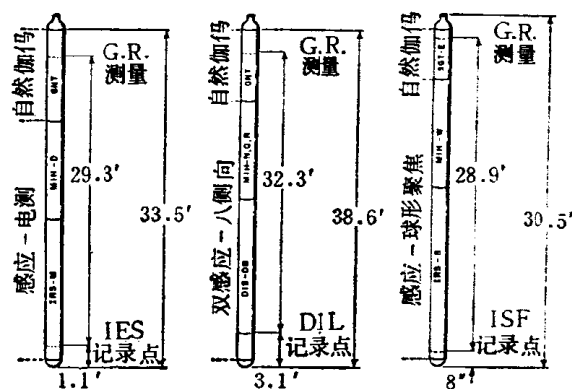


图 1-2 感应电测井-自然伽玛测井组合。标出的尺寸是示意性的。由于仪器不同, 可能有一些变化。

图 1-3 双感应八侧向-自然伽玛测井组合

图 1-4 感应球形聚焦-自然伽玛测井组合

侧向测井组合仪器

1. 深侧向测井通常总是与自然伽玛测井组合。
2. 分别测量的双侧向测井仪在和自然伽玛测井组合的同时, 还可以和补偿中子测井(CNL)组合(图 1-7)。显示问题(类似于“感应组合仪器”条款 2 中在低电阻率组合条件下

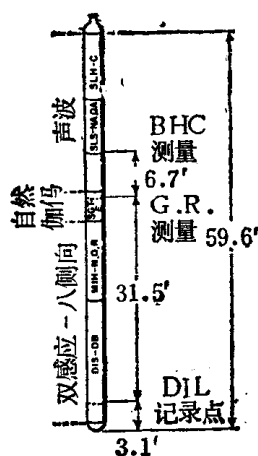


图 1-5 双感应八侧向-声波-自然伽玛测井组合

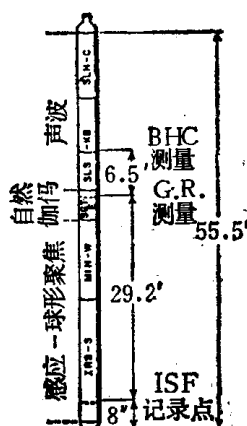


图 1-6 感应球形聚焦-声波-自然伽玛测井组合

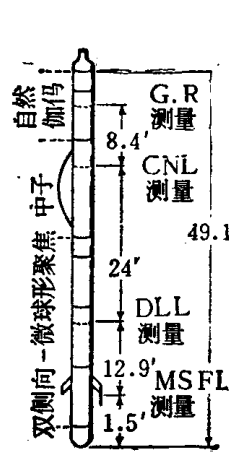


图 1-7 双侧向- B_{xc} -补偿中子-自然伽玛测井组合

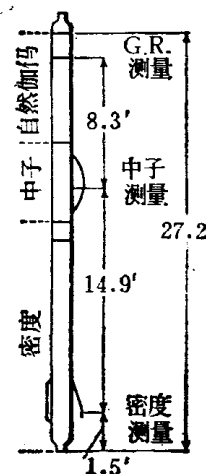


图 1-8 补偿密度-补偿中子-自然伽玛测井组合

所讨论的问题), 由于分别测量的双侧向测井两次下井, 所以是容易解决的。

由于两种仪器的居中要求不同, 提出了互相矛盾的要求。双侧向测井(DLL)应当位于井眼的中心, 而 GNL 必须用偏心弹簧使之紧贴井壁。在中等尺寸的井眼中, 仪器组合的总长度很长, 可以认为近似地符合两种条件, 但在大的或垮塌的井眼中, 其中的一种或两种测井结果都可能受到影响。

3. 同时记录的双侧向测井仪除了和自然伽玛测井仪、微球形聚焦以及井径仪相组合之外, 同样可以和 GNL 相组合。显示问题是一个难题。用这种组合, 为了记录全部测井曲线, 通常应当利用磁带记录。

居中与贴靠井壁的矛盾和上述分别测量的双侧向仪器是一样的。

孔隙度和岩性测井组合

(这些仪器通常是与自然伽玛测井和井径仪组合)。

1. 声波测井:

a. 如前所述, 井眼补偿声波可以和双感应八侧向和感应球形聚焦测井仪相组合。

b. 井眼补偿声波-补偿中子组合仪。在坚硬岩石地区的套管井中, 特别是当井和套管直径小的时候, 这种组合是有用的。在没有自然伽玛测井时, 用它提供深度控制。它也给出孔隙度资料。

2. 密度测井:

补偿地层密度测井(FDG)可以和补偿中子测井相组合(图 1-8)。已经证明, 这个结合是最有效的孔隙度-岩性组合。由于 FDG 和 GNL 都是与井壁接触测量, 所以不存在居中的矛盾。显示的问题同样也不大, 并且已证实, 密度和中子孔隙度曲线显示在同一张图上对于快速直观分析气层是非常有效的(第三章)。在下套管井用水泥封固的井中, 它可以通过套管探测气层的存在(第五章)。

3. 中子测井:

补偿(双源距)中子测井(GNL)可以和目前使用的各种裸眼井地层评价仪器相组合, 然而, 为了得到好的结果, 必须用偏心弹簧使 GNL 仪器保持和井壁接触。

特殊的裸眼井下井装置

取 样 器

井壁取芯器在精确控制的深度上把空心的圆柱形子弹射向井壁取岩样。一次下井可以取 72 块样品。最小井眼尺寸是 4 $\frac{1}{4}$ 英寸。所有下井装置的额定压力和温度均为 20000 磅/英寸² 和 280°F, 但是, 特殊装药可以应用到 430°F 以上。

切割式机械取芯器可以割取三英尺长、一英寸厚的三角形岩芯。一次下井可以取 4 块岩芯。对于用井壁取芯器难以取芯的很坚硬的地层, 用机械式取芯器(MCT)取芯却是很容易的。但是, 这个仪器的应用是有限制的, 并且如果需要的话, 井还应当事先作好准备。对于软地层, 建议不用这种仪器。

为了得到地层的液体样品, 可以利用三种不同的仪器。每一种仪器在取样时都能够记录管线内的压力。地层测试器(FTTM)和间隔地层测试器(FITTM)在性能上是相似的, 前者

是为软的未胶结的地层设计的,后者适用于其它类型地层和套管井。多样品液体取样器也是类似的仪器,只是可以在一次下井过程得到几个样品(受装置的实际长度限制)。

超长电极距电测(ULSEL)

超长电极距电测井,是探测井周围不同距离的地方是否有高电阻或导电物体的一门技术。它的最值得注意的应用是绘制盐丘剖面 and 根据附近井的测量确定套管位置。超长电极距电测井在第十章中讨论。由于使用大的电极距,需要一段特殊的很长的绝缘加长电缆,这根加长电缆通常是单独地运送到井场。

深井仪器

依据需要,对于超深井或高温井可以采用一组特殊的下井仪器。这些仪器的适用范围是 25000 磅/英寸和 500°F。目前可以采用的仪器种类有:感应电测井,井眼补偿声波测井和普通中子测井。

斜井仪器

在井眼条件好,并采取某些预防措施的情况下,使用标准仪器可以在井斜 40° 以内的井中进行测井。

如果井眼条件非常好,在井斜 40° 到 60° 的井中用标准的测井仪器仍然可以进行测井。然而,测井作业必须谨慎地规划,另外还需要一些专门的辅助设备。

井眼偏斜超过 60° 以上时,用标准的仪器和电缆一般不能进行测井。补救的办法是利用一个能通过钻杆泵到井底的仪器。

对于条件很差并且井斜大于 40° 的井,以及井斜大于 75° 以上的井,测井仪器必须通过钻杆泵到井内。目前已有的小尺寸测井仪有:电测井、感应电测井(6 FF 28)、井眼补偿声波测井、自然伽玛-中子测井、补偿中子测井、补偿地层密度测井和热中子衰减时间测井。

套管井测井

表 1-5 按一般应用范围分类列出了主要的套管井测井仪器(见表中最右边的一栏)。这些仪器和它们的一些应用将在别的地方讨论。表中不仅列举了适用于地层评价和深度控制的仪器,而且还介绍了测量井的条件、胶结情况和生产测井的仪器。本书中,我们主要感兴趣的是在地层评价和监视地层生产的测井方面。这些测井的应用将在第五章中讨论。另外一些,特别是生产测井仪器将和储气井的讨论一道叙述(第十章)。生产测井的应用,在本章参考文献 2 和在第五章最后列出的参考文献中都有介绍。

热中子衰减时间测井和自然伽玛测井、补偿中子测井共同进行,在有利情况下可以在套管井中评价地层(第五章)。它也可以在裸眼井中进行,但是对地层中存在的泥浆滤液是很灵敏的,因此,它主要被看作是套管井仪器。

在现场有三种仪器。TDT-B 是 3 $\frac{1}{8}$ 英寸(或 3 $\frac{1}{4}$ 英寸,随额定压力值而定)仪器,适用于 4 $\frac{1}{2}$ 英寸或更粗的套管。它的额定值是 275°F 和 15000 磅/英寸²(3 $\frac{1}{8}$ 英寸外径的为 20000 磅/英寸)。

TDT-G 是直径为 1 $\frac{1}{8}$ 英寸的仪器,应用范围是 275°F, 15000 磅/英寸²。1 $\frac{1}{8}$ 英寸的

表 1-5 套管井测井和取样仪器

	仪 器	作 用	仪器直径 (英寸)	最小管子尺寸 (内径)	在什么地方 讨论
地* 层 评 价	热中子衰减时 间测井(TDT)	探测管子外面的烃。 计算液体饱和度。	1 $\frac{11}{16}$ 3 $\frac{5}{8}$	2"油管	参考文献1和 第 I 卷—11章
	双源距热中子 衰减时间测井 (TDT-K)	探测烃。计算孔隙度指数和液体饱和度。探测 气。指示套管状况。 测井曲线包括: Σ , τ , 短源距和长源距探测器计 数率比值及套管接箍。根据需要可带测自然伽玛曲 线。	1 $\frac{11}{16}$	2"油管	第 II 卷—5章
	间隔地层测试 器(FIT)	射穿套管, 取得地层压力下密闭流体的样品。 测量流动压力和关井压力。也可以进行封闭穿 孔。可以和套管接箍定位器或自然伽玛测井仪在一 起组合。		用于 5 $\frac{1}{2}$ " 到 3 $\frac{5}{8}$ "的 套管	参考文献1
	中子测井 (CNT或GNT)	确定孔隙度指数、气体液体接触面、气体储量、 地层深度和厚度。	1 $\frac{11}{16}$ 3 $\frac{5}{8}$	2"油管	参考文献1和 第 I 卷—9、 18章
	自然伽玛测井	确定岩性、泥质含量、地层深度和厚度。	1 $\frac{11}{16}$ 3 $\frac{5}{8}$	2"油管	参考文献1和 第 I 卷—10、 18章
	套管接箍定位 器	探测套管接箍作为参考深度。	1 $\frac{11}{16}$ 3 $\frac{5}{8}$	2"油管	参考文献1
	套管分析测井 (PAL™)	探测腐蚀损坏。评价套管的剩余使用期限。		外径5" (11 磅)套管	参考文献1、3 和第 I 卷—18 章
	通过油管的井 径仪	确定井眼尺寸。	1 $\frac{11}{16}$	2"油管	参考文献1和 3
	水泥胶结测井 CBL™	确定地层的封隔情况和水泥面高度。	1 $\frac{11}{16}$ 3.9	2"油管	参考文献1和 第 I 卷—18章
	水泥面探测器	在充满气的井中, 利用密度类型的测量方法探测 水泥顶面。	1 $\frac{11}{16}$	2"油管	
生 产 测 井	封隔器流量计	确定每个带对于总的生产或注入的贡献。指出流 量变化的特征(低流速)。	1 $\frac{11}{16}$ 2	2"油管	参考文献1、3
	连续流量计	确定每个带对于总的生产或注入的贡献。指出流 量变化的特征(高流速)。	1 $\frac{11}{16}$ 2	2"油管	同上
	全井眼涡轮流 量计	确定每个带对于总生产或注入的贡献。指出流量 变化的特征(中等流速)。	1 $\frac{11}{16}$	2"油管	参考文献3
	梯度压力计	确定液体密度。确定气的入口, 流体接触面。	1 $\frac{11}{16}$	2"油管	参考文献1、3
	高分辨率温度 计	测定流体入口, 生产或注入的最下部深度。探测 管外面的液体流动和气体漏失。测定地温梯度。	1 $\frac{11}{16}$	2"油管	参考文献1、3 和第 I 卷—18 章
	放射性示踪器	确定流体速度(中到低流速)。探测注入流体在套 管外面的流动。确定注入液体的移动路线。	1 $\frac{1}{8}$	1 $\frac{1}{2}$ "油管	参考文献1、3
	流体取样器	得到适合于 PVT (压力-容积-温度) 工作的一个 井筒流体的有代表性的体积。	1 $\frac{11}{16}$	2"油管	同上
	生产组合仪	包括: 连续流量计或全井眼涡轮流量计, 高分辨 率温度计, 接箍定位器, 压力计和梯度压力计。	1 $\frac{11}{16}$	2"油管	同上
	可膨胀的组合 仪	确定生产或注入剖面 and 辨别流体。包括有: 封隔 器流量计, 地层含水量测定仪和密度计(液体密度)。	1 $\frac{11}{16}$ 或 2 $\frac{1}{8}$	2"油管	同上

* 要参看正文中所讨论的 BHC-CNL 和 FDC-CNL 组合仪。

仪器是为通过 2 英寸或较大的油管设计的。

双源距热中子衰减时间测井仪(TDT-K)是一个更先进的仪器。它的直径是 1 ½ 英寸,应用范围是 300°F, 14000 磅/英寸²(用特殊元件时为 17000 磅/英寸²)。关于双源距的热中子衰减时间测井的更进一步的资料,参看表 1-6 和第五章。

表 1-6 TDT 仪 器

测井名称 (缩写)	记 录 曲 线 (单位)	限 制 条 件	特 点
热中子衰减 时间测井 (TDT-B)	τ -热中子衰减时间,(微秒) Σ -俘获截面(俘获单位) ($\Sigma \times \tau = 4.550$) 套管接箍指 示。	由于计数率比较低,仪器局限 于用在水矿化度大于 50000ppm 和孔隙度在 20% 或以上的地层。 参看第二卷—5 章。	
TDT-G	同 上		通过油管尺寸(1 ½")
双源距热中 子衰减时间测 井仪 (TDT-K)	同上,加上: N_1 *和 F_1 计数率、 F_3 计数率、 (N_1/F_1) 比值和质量控制曲线 (任选的)(更详细的叙述参看第 二卷—5 章)。		这种双源距仪器能得出用来计 算视孔隙度(ϕ_k)和视水矿化度 的资料($W S_w$)。 计数的效率、孔隙度和水矿化 度的有效范围,要比老的仪器大 很多。在中等到高孔隙度时, N_1-F_1 显示提供了一个有效的 快速直观的气体探测技术。

* " N_1 "表示短源距探测器,门 1; " F_3 "表示长源距探测器,门 3, 等等。

对于充满液体的套管井,最合适的中子测井方法是补偿中子测井,它可以用来做定量解释。普通中子测井可以在空井(干井)和作地层对比使用。

在套管井中,对于评价地层唯一可以使用的测井组合是自然伽玛-补偿中子-热中子衰减时间测井。它是一个标准尺寸(3 ½ 英寸)的组合仪器,因此,仅局限于未下油管的套管井中使用。

当测井必须通过油管进行时,用 TDT-K 可以得到和自然伽玛-补偿中子-热中子衰减时间组合仪器相类似的测井结果。

参 考 文 献

1. "Schlumberger Engineered Production Services", Schlumberger Well Services, Houston.
2. "Fundamentals of Dipmeter Interpretation", Schlumberger Limited (1970).
3. "Schlumberger Production Log Interpretation", Schlumberger Limited (1973).

第二章 对 比

做井与井之间的地层对比,是测井曲线最早的用途之一,而且直到目前仍然是最重要的用途之一。对比不同井的测井曲线是根据曲线的相似,或者根据曲线对于岩性标志层的特殊反映进行的。

使用测井曲线作地层对比的优点在于,测井曲线提供了全井段的连续记录,不象其它方法,例如钻井取芯有漏失井段*。尤其重要的是,由于测井下井仪进行了精确的深度记录,所以各标志层的深度是很准确的。

根据井与井间的对比分析可以作出精确的地下图件,从而确定:

1. 本井出现的地层和其它井的出露或者地球物理推断的地层间的相互关系;
2. 井是不是位于给定的主要地质构造之中;
3. 井深是不是达到了预计的生产层位,如果没有,大约还得钻多深;
4. 是否有断层存在;
5. 倾角、褶皱、不整合以及地层的厚度和岩性的横向变化。

作地层对比用的测井曲线

任何一种连续记录的测井曲线都具有一定的能作地层对比的性质,因此,每一种裸眼井曲线无疑都可以用作对比。然而,最好选择在井与井间变化不是太大的那种岩层的曲线,作为对比曲线。

对比最常用的是电阻率、自然电位和自然伽玛曲线^{4,5}。表 2-1 列出在大量对比研究中应用的基本曲线,并指出它们各自的用途和特点。地层倾角测量是有价值的补充资料⁶。

一些计算得到的曲线可以作为很好的对比曲线。例如由 CORIBANDTM 得到的视骨架密度 (ρ_{ma}) 曲线,以及由 SARABANDTM 得到的泥质相对体积 (V_{sh}) 和粉砂质相对体积 (V_{silt}) 曲线(第四、七章)都是有用的。

地 层 倾 角 测 量

对于井与井间的地层对比,构造或倾角是一个有价值的补充资料,它可以预示井与井间地层的起伏变化(图 2-1 和 2-2)。这有助于辨认相关的地层,并有助于分析构造和地层的异常,例如断层、不整合等。地层倾角图形和各种地质构造之间的关系,在参考文献 7 中有介绍。

由地层倾角测量结果作成的“短棒图”,对于地层对比来说,是一种有效的表现形式。在这种图中,井身通常用一个垂直线表示,在给定的垂直断面上的视地层倾角用一条短线和井身垂线交叉成适当角度来表示。图 2-3 表示三口井的短棒图,井间画出了对比线(要注意,这三口井不是在一条线上;井 1 到井 3 断面的方向是 360° —— 180° ,井 3 到井 5 的

* 象用切片、岩芯、动植物化石等经典对比方法常常可以和测井曲线特点联系起来,这些方法的讨论能在参考文献 1~4 中找到。