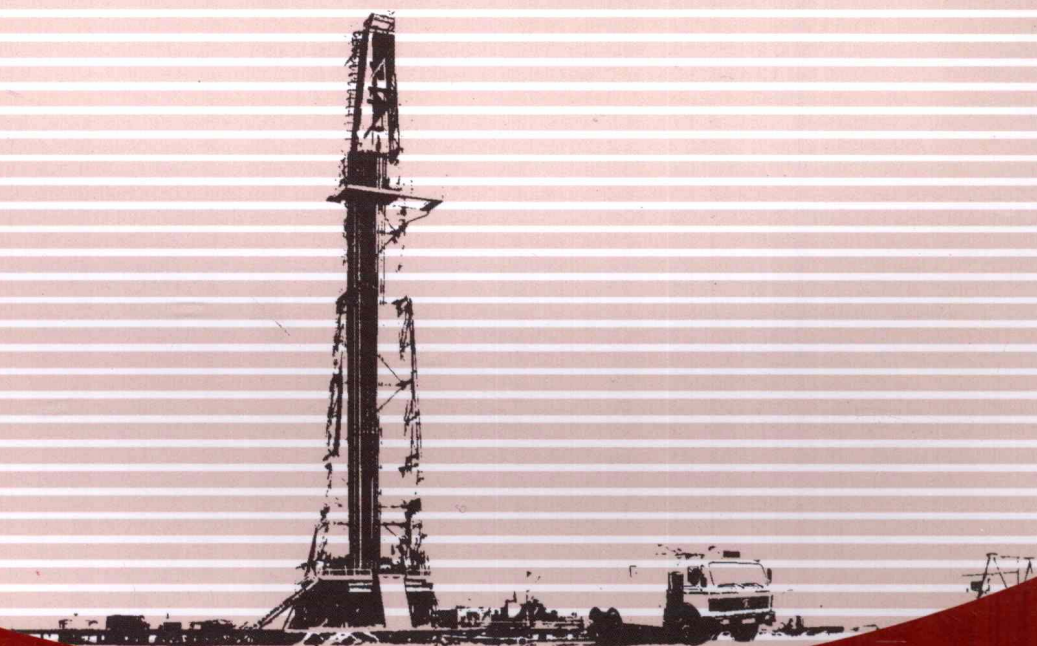


陶宏根 王宏建 傅有升 编著

成像测井技术及其 在大庆油田的应用



CHENGXIANG CEJING JISHU JIQI
ZAI DAQING YOUTIAN DE YINGYONG

石油工业出版社

成像测井技术 及其在大庆油田的应用

陶宏根 王宏建 傅有升 编著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书比较详尽系统地论述了国内外目前常用的声、电成像测井、核磁共振测井、正交偶极阵列声波测井及阵列感应测井等成像测井新技术的发展历程、方法、原理、主要仪器类型及技术指标、有关各类仪器质量评价、仪器刻度及资料质量标准、资料的处理及解释方法,以及这些新技术在大庆油田勘探开发中的应用效果。

本书可以作为从事测井工作的技术人员、领导及测井专业的学生熟悉了解成像测井技术的工具书。

图书在版编目 (CIP) 数据

成像测井技术及其在大庆油田的应用 / 陶宏根, 王宏建, 傅有升编著.
北京: 石油工业出版社, 2008. 8
ISBN 978 - 7 - 5021 - 6767 - 7

- I. 成…
- II. ①陶… ②王… ③傅…
- III. 成像 - 油气测井
- IV. TE151

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 137465 号

出版发行: 石油工业出版社
(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)
网 址: www.petropub.com.cn
编辑部: (010) 64523524

经 销: 全国新华书店
印 刷: 保定彩虹印刷有限公司

2008 年 8 月第 1 版 2008 年 8 月第 1 次印刷
787 × 1092 毫米 开本: 1/16 印张: 20
字数: 508 千字 印数: 1—1500 册

定价: 100.00 元
(如出现印装质量问题, 我社发行部负责调换)
版权所有, 翻印必究

序

随着石油天然气勘探开发程度的不断深入，复杂的地质对象逐步成为寻找新储量的目标。勘探开发的实践证明，低孔、低渗、低阻储层，以及薄互层、裂缝性非均质储层等复杂油气藏在我国油气藏储量中占有重要的地位，但对其识别与评价又具有相当的难度。如何尽可能多地获取多方位、高质量的测井信息，开展以测井资料为核心，充分结合地质、地震和油藏信息，进行复杂储层的测井识别与评价成为当前增储上产的重要手段。20世纪90年代兴起的以成像测井技术为代表的测井新技术给世界测井工业注入了新的活力，为油气田的勘探开发提供了新的强大的工具，对解决复杂、非均质油气藏的勘探开发问题具有重大意义。

通过井下测井探测器的阵列化实现对目标体非均质和各向异性的多频谱或多能谱的观测，是成像测井的主要特征。在此基础上，形成了相应的一整套可视化处理与解释技术，共同构成了成像测井及应用的整体。成像测井在时间和空间上采集更多的岩石物理信息，这些在微观尺度上的丰富信息为解释和评价这类复杂储层提供了重要的方法和手段，它们可以将储层的岩石孔隙结构、层理、裂缝和流体特性等清晰地展示出来，从而使油藏特性的精细分析能力提高到一个新的水平。

本书从阐述声电成像测井、阵列感应测井、核磁共振测井方法原理出发，重点论述了各种成像测井在大庆油田的应用，尤其突出的是阐述了成像测井在薄互层解释和火成岩储层岩心解释中建立的方法和取得的成功经验。对多年来成像测井在大庆油田应用中形成的不少具有突破意义的新认识、新方法在书中作了颇具纵深的总结和提炼，是一部系统阐述成像测井方法和应用，以及传承技术经验的论著。该书的出版对传授成像测井解释和评价方法，促使成像测井在其他油田的复杂油气藏应用中发挥更大的作用。

李剑浩

2007年12月8日

前 言

测井技术在油田勘探开发中具有不可替代的重要作用，是石油工程技术服务的重要环节，应用于油田勘探开发的各个阶段。特别是随着技术的进步，测井技术的服务能力不断增强，服务领域不断拓展。

大庆油田勘探开发的历史脚步走过将近五十年，然而，伴随着国家经济发展及对石油需求的快速增长，油田向前迈进的速度却未曾放缓。勘探上在不断突破过去未涉足的新区域、新层位、新极限的同时，也不断向测井技术提出新需求；开发上老油区稳油控水、表外储层投产及外围低渗透油田开发等也向测井技术提出了新挑战。随着 20 世纪 90 年代成像测井技术的逐渐成熟，为利用测井技术解决这些难题提供了技术支撑与手段，使得在测井领域解决这些新问题成为可能。

随着成像测井设备的引进，大庆测井工作者在应用这些设备进行生产的同时，针对新的成像测井技术在解决油田勘探开发中遇到的各种技术难题开展了大量的研究工作，并取得了一系列成果。本书就是对这些应用与研究成果的归纳和总结。

对于成像测井技术的理论介绍已有一些专著。本书不同于这些专著，在简单介绍理论的基础上更侧重于各种成像测井方法与实际地质应用相结合的方法探讨，以及各种成像测井方法相结合在解决相关地质问题方面的综合应用。可帮助从事测井技术理论研究的人员更多地了解生产现场的实际需求，另外对于从事测井生产的现场采集和解释技术人员也具有较大的借鉴和参考作用。

本书共分为八章，第一章由王鹏、陶宏根、苟晓峰编写。第二章由王艳、王宏建编写。第三章由黄宝华、陶宏根编写。第四章由吴庆岩、王宏建编写。第五章到第八章由李庆峰、付晨东、刘砾华等编写。

在本书的编写过程中，得到李剑浩、陆大卫、鲜于德清等同志的大力帮助，在此一并表示感谢。

限于编者的时间及水平，书中不妥之处恳请读者批评指正。

编 者
2007 年 10 月

目 录

第一章 声、电成像测井技术	(1)
第一节 声、电成像测井的基本原理	(1)
第二节 声、电成像测井仪	(2)
第三节 声、电成像测井资料处理与解释	(16)
第二章 核磁共振测井技术	(34)
第一节 核磁共振测井的基本原理	(35)
第二节 核磁共振测井仪	(42)
第三节 核磁共振测井资料的处理与解释	(59)
第三章 正交偶极阵列声波测井技术	(78)
第一节 正交偶极阵列声波测井基本原理	(80)
第二节 正交偶极阵列声波测井仪	(100)
第三节 正交偶极阵列声波测井资料的处理与解释	(109)
第四章 阵列感应测井技术	(141)
第一节 阵列感应测井基本原理	(142)
第二节 阵列感应测井仪	(146)
第三节 阵列感应测井资料的处理与解释	(155)
第五章 松辽盆地中浅层高泥高钙砂泥岩薄互层测井解释	(170)
第一节 地质概况及测井解释主要难题	(170)
第二节 测井解释方法	(172)
第三节 应用地质效果	(189)
第六章 松辽盆地北部徐家围子深层火成岩储层测井解释	(196)
第一节 地质概况及测井解释主要难题	(196)
第二节 测井解释方法	(197)
第三节 应用地质效果	(264)
第七章 海拉尔盆地复杂断块油藏测井解释	(271)
第一节 地质概况及测井解释主要难题	(271)

第二节	测井解释方法	(272)
第三节	应用地质效果	(278)
第八章	成像测井技术在大庆油田工程中的应用	(286)
第一节	检测与预防井喷和井漏事故	(286)
第二节	射孔位置、孔密的检查	(289)
第三节	压裂效果的预测及检测	(290)
第四节	油田开发井网的合理设计与调整	(303)
参数文献	(306)

第一章 声、电成像测井技术

从世界三大测井公司（斯伦贝谢公司、贝克-阿特拉斯公司和哈里伯顿公司）的井壁成像测井仪器特性来看，井壁成像测井仪器可以分成两大类：一类是描述井壁地层电阻率特征的测井仪，如微电阻率成像测井仪等；另一类是反映井壁地层声波特征的测井仪，如超声波井眼成像仪等。

20 世纪 50—60 年代，微电阻率测井得到迅速发展。苏联推出了微电极测井，斯伦贝谢公司和阿特拉斯公司分别研制出了微侧向、邻近侧向、微球形聚焦测井，利用这些仪器获取了冲洗带及井壁附近电阻率信息。70 年代以来，斯伦贝谢公司研制出了高分辨率地层倾角测井仪（HDT）和地层学高分辨率地层倾角测井仪（SHDT），开始了井壁附近构造、沉积和裂缝研究。到 80 年代中期，斯伦贝谢公司又研制出地层微电阻率测井仪（Formation Microscanner Service，简称 FMS）。其特点是利用密集组合的电传感器，测量井壁附近地层的电导率，并进行高密度采样和高分辨率成像处理，提供一个类似岩心表面成像的井壁图像，可用于识别裂缝，分析薄层，进行储层评价、沉积相和沉积构造等方面的研究。但因其井壁覆盖率、分辨率较低，受到一定限制。90 年代各大测井公司分别推出了相应的微电阻率成像测井仪 FMI、EMI、STAR 等。

50 年代 Drsser 公司的声幅、声速测井仪器相继投入商业服务。70 年代末 80 年代初，我国的华北油田研制成功了井下声波电视成像测井（BHTV），获取的图像信息可以对套管井射孔质量、损坏情况及裸眼井井壁地层评价。进入 90 年代，世界三大测井公司分别推出了超声波井眼成像测井仪（USI、UBI、CBIL、CAST、CAST-V 等），为地层评价提供了重要信息。

第一节 声、电成像测井的基本原理

一、微电阻率成像测井基本原理

目前，国际上较为成熟的微电阻率成像测井仪主要有斯伦贝谢公司的 FMS、FMI，哈里伯顿公司的 EMI 和贝克-阿特拉斯公司的 STAR。这些仪器的测量原理基本相同，只是仪器的结构如极板和电极数目有所差异。由此造成测量精度即井壁覆盖面积有所差异。下面以大庆油田广泛使用的 EMI 仪器为主，介绍微电阻率成像测井的原理。

全井眼地层微电阻率成像仪（EMI）的基本原理如图 1-1 所示。从图 1-1 可见，仪器主要由下部极板上的测量电极、仪器上部的回路电极和仪器中部的绝缘接头组成。

在测井过程中，仪器借助液压系统，使极板紧贴井壁。极板和测量电极向地层发射同极性电流，使极板对测量电极的电

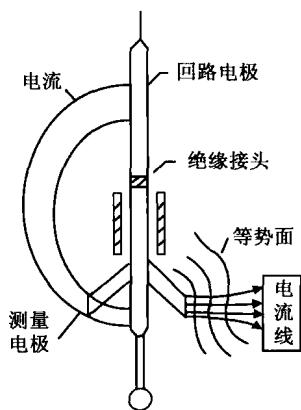


图 1-1 微电阻率扫描成像测井测量原理图

流起着聚焦作用。电流通过井筒内钻井液柱和地层构成的回路回到仪器上部的回路电极。由于极板测量电极电位是恒定的，回路电极离供电电极较近，所以测量电极的电流大小主要反映井壁附近地层的电阻率大小。当地层中岩性、物性、含油性发生变化引起电阻率发生变化时，测量电极的电流也随之变化。扫描测量 150 个测量电极电流的变化，然后进行特殊的图像处理，就可把井壁附近各点之间电阻率的变化转变成反映井壁电阻率变化的黑白或彩色图像。

二、井周反射声波成像测井基本原理

井周反射声波成像测井仪主要有贝克 - 阿特拉斯公司的 CBIL，哈里伯顿公司的 CAST、CAST - V 和斯仑贝谢公司的 USI、UBI。下面以大庆油田广泛使用的 CBIL 仪器为例，介绍井周反射声波成像测井的测量原理。

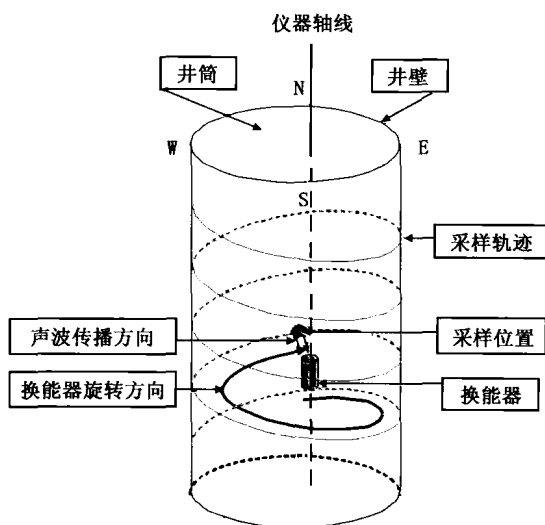


图 1-2 井周反射声波成像测井测量原理图

井周反射声波成像测井仪 (CBIL) 的基本原理如图 1-2 所示。从图 1-2 可见，仪器下部探头 (声系) 包括一个旋转的换能器总成。它具有多个不同尺寸，因此可用于测量所有常规尺寸的套管井和裸眼井。在测井过程中，换能器随仪器提升旋转，声波脉冲信号扫描的轨迹是螺旋纹。换能器发射的超声波脉冲通过井内流体传播，到达套管或井的内壁。由于井壁两侧钻井液与地层剖面 (或套管) 的声阻抗不同，声波产生折射损失能量不同，声阻抗差别越大，能量损失越小。记录从井壁 (或套管) 反射回来波的传播时间及幅度，传播时间反映井径大小，声波幅度反映地层 (或套管) 的声阻抗大小。对这些资料进行

处理，可以获得高分辨率水泥胶结评价、套管腐蚀情况和井壁地层声波图像。

第二节 声、电成像测井仪

一、微电阻率成像测井仪

(一) 微电阻率成像测井仪的种类及技术指标

1. 微电阻率成像测井仪的种类

1) 哈里伯顿公司的 EMI 和 XRMI

哈里伯顿公司的 EMI 和 XRMI 仪器主要由隔离短节、遥测短节、自然伽马、电子线路、外部绝缘、导航包、探头共 7 部分组成，如图 1-3 所示。

(1) 隔离短节。EMI 和 XRMI 仪器串包含两个附加的隔离短节，一个直接安装在电缆头下面来保证电缆外皮和遥测短节隔离，电缆外皮作为电压参考电极，遥测短节作为电流回路电极。另一个隔离短节用在电子线路上面，可以增加外部绝缘的长度。

(2) 遥测短节。用于传递数据，由测量电极扫描采集的地层信息、各种辅助测量值一

起经 A/D 转换，由测井电缆传递至地面，EMI 传输的速率为 200kbps，XRMI 传输速率为 435 kbps。

(3) 自然伽马。以地层自然放射性为基础，测井时用伽马射线探测器沿井眼进行测量，只记录伽马射线强度。与 EMI 和 XRMI 组合测井是为了校验深度。

(4) 电子线路。用于采样、检测和放大测量电极信号，保证图像的分辨率和清晰度。具有以下功能：①从微电导率信号中滤掉直流成分，如 SP。②对信号数字化，以提高信号的抗干扰性。③对数字信号滤波，提高信噪比。④对数字信号处理，以确定地层微电导率数据的同相位幅度。

(5) 外部绝缘。它可使探头与电子线路外壳绝缘，以便电流从极板流入地层，再回到遥测短节，使两者有一定的电位差。

(6) 导航包。由三个正交的磁通脉冲磁力计和三个正交的重力计组成。它们可提供有关仪器在井中的位置、运动、方向和方位的精确信息。磁力计和重力计所产生的信号经过滤波可以被处理成方位曲线。重力加速度计是参考地球的重力加速度方向来确定仪器偏离垂直方向的角度；磁力计是参考地球磁场方向来确定仪器 1 号极板与磁北极的夹角。重力加速度曲线记录着仪器运动状态，用来对测井曲线进行速度校正。

(7) 探头。由极板和液压装置组成（图 1-4）。从图 1-4 可见，极板的曲面设计可以使仪器在大斜度井或水平井中有效推靠井壁。EMI 由 6 个臂组成，每一个臂上装有一个极板，共有 6 个极板。每个极板上有 25 个测量电极，共有 150 个测量电极。每个电极阵列包括上下两排电极，上 12 个，下 13 个，两排相距 0.3in，相错 0.1in。每个电极都是由直径为 0.16in 的金属钮扣和 0.24in 的绝缘环组成，每个电极的绝缘环有益于信号聚焦，并使电扣达到 0.2in 的分辨率，在 8.5in 的井眼中其井眼覆盖率达 64%。

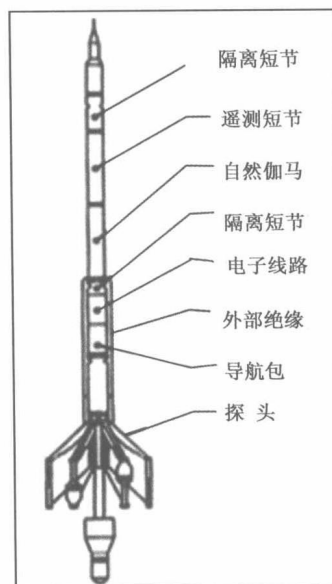


图 1-3 EMI 仪器结构图



图 1-4 EMI 仪器极板结构和电极尺寸示意图

每个极板安装在一个相互独立且垂直的旋臂轴上，这样有助于仪器平稳运动并有效推靠井壁。EMI 仪器在测量时有两种模式可供选择，即图像模式和倾角模式。在图像模式下，测量 150 条微电阻曲线，允许最大测速为 1800ft/h。在倾角模式下，仅测量 6 条微电阻率曲线，即极板中心电极的电阻率数据，允许测速为 3600ft/h。

XRMI 是在 EMI 基础上改进的仪器。该仪器除继承了 EMI 优秀极板结构设计外，还在如

下几个方面进行了改进：

(1) XRMI 在 EMI 的基础上在每个极板上安装一个数字化模块，对测量电极的数据进行数字化处理，从而消除色彩亮度干扰引起的错误。

(2) XRMI 的极板上的电子线路允许两个测量电极同时进行采样，增加了采样次数。

(3) 每个测量电极的数据可以实时显示并对数据进行处理，从而大大减少由于相位探测器探测相位的瞬时现象和偏差引起的错误。

(4) EMI 的发射器的驱动信号是 7.5kHz 或 15kHz，而 XRMI 的发射器驱动信号则为 2kHz，低频可以减少干扰降低信号衰减。

(5) 通过对信号数字化处理，XRMI 可以同时得到有用的实部信号 R 和虚部信号 X，而 EMI 只使用 R 信号来成像。

(6) XRMI 的电子线路的电路板采用 through - hole 电子原件而不是 surface - mount 器件，减少了由于焊接不良而引起的故障，提高了仪器的可靠性。

(7) XRMI 电子线路可以在油基钻井液中直接使用，但探头的极板必须更换成油基钻井液中使用的极板。

2) 斯伦贝谢公司的 FMI

斯伦贝谢公司的 FMI 仪器组成与 EMI 基本相同，仅探头部分差异较大（图 1-5）。从图 1-5 可见，探头装有四个能伸缩的臂，相邻两个臂相互垂直。每个臂上安装两个极板，即一个主极板和一个副极板，所以共 8 块极板。主极板主动受力，副极板随主极板活动，并与主极板用弹簧相连，弹簧片和液压系统迫使主极板与地层接触，副极板打开后与主极板呈曲面贴靠井眼。每个极板设有 24 个电极，这些电极在极板上分两排，每排 12 个电极，8 块极板共有 192 个电极，可获得 192 条曲线。两排电极间距、每个电极直径和绝缘环尺寸与 EMI 相同。

FMI 仪器在测量时有三种模式可供选择，即全井眼图像模式、四极板图像模式和倾角模式。全井眼测井方式时，采用 8 个极板测量（主、副极板全用），可以获得最大的井壁覆盖率。在 8.5in 的井眼中其井壁覆盖率达 80%，允许最大测速为 1800ft/h。四极板方式测量时，只用四个主极板，不用副极板，与微电阻率扫描测井仪（FMS）相似，在 8.5in 的井眼

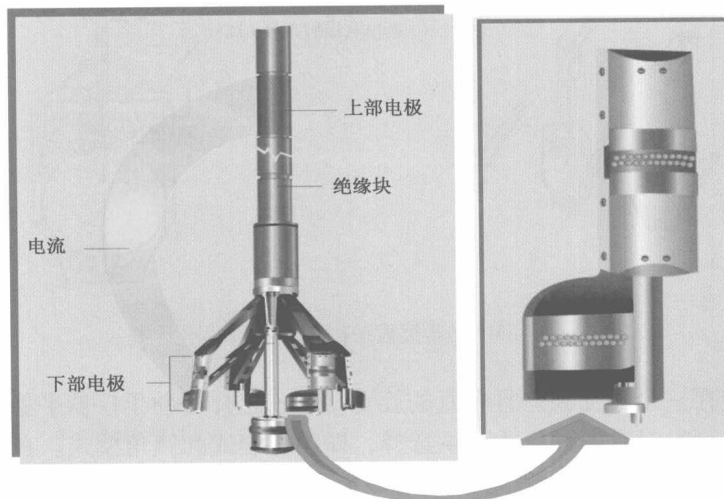


图 1-5 FMI 仪器探头结构图

中其井壁覆盖率达 40%，允许最大测速为 3600ft/h。这种方式适用于对地层比较熟悉的地区，可以节省测井费用和提高测井速度。倾角方式测量时，只用每个主极板上的两个电极测井，相当于 SHDT 测井。

3) 贝克-阿特拉斯公司的 STAR

STAR 测井仪的仪器组成与 FMI 和 EMI 基本相同，仅极板部分差异较大（图 1-6）。从图 1-6 可见，探头装有六个能独立伸缩的臂，每个臂上安装一块极板，所以共有 6 块极板。每块极板设有 24 个钮扣电极，共测 144 条曲线。电极的排布、间距、直径、绝缘环尺寸、测量模式和测井速度与 EMI 相同。

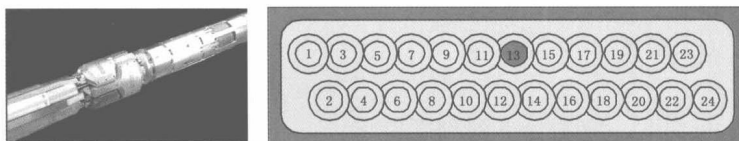


图 1-6 STAR 仪器极板结构示意图

2. 各类微电阻率成像测井仪的主要技术指标

表 1-1 给出了各类微电阻率成像测井仪器技术指标。

表 1-1 微电阻率成像测井仪器的技术指标

参数	EMI	XRMI	FMI	STAR
仪器总长	7.34m	7.37m	8.02m	9.40m
重量	262.7kg	97.5kg	211kg	308.9kg
腿直径	127mm	127mm	127mm	140mm
极板、电极数	6 个、150 个	6 个、150 个	8 个、192 个	6 个、144 个
采集系统	Excell-2000	INSITE	MAXIS-500	ECLIPS-5700
遥测系统	D2TS、D4TG	D4TG、D4TG-X	DTS	3514
最大测井速度	成像模式时 548m/h	成像模式时 548m/h	全井眼方式时 548m/h	成像模式时 548m/h
最大井眼尺寸	53.3cm	53.3cm	53.3cm	53.3cm
最小井眼尺寸	15.8cm	14.92cm	15.8cm	16.5cm
最大井斜	90°	90°	90°	90°
测量范围	0.2 ~ 5000Ω·m	0.2 ~ 10000Ω·m	0.2 ~ 10000Ω·m	1 ~ 3000Ω·m
最大耐压	20000psi	20000psi	20000psi	20000psi
最高耐温	175℃	175℃	175℃	175℃
井壁覆盖面积	64% (8.5in 井眼)	64% (8.5in 井眼)	80% (8in 井眼)	60% (8.5in 井眼)
采样率	0.1 in	0.1 in	0.1 in	0.1 in
分辨率	0.2 in	0.2in	0.2in	0.2 in
测井方式	成像、倾角方式	成像、倾角方式	全井眼、四极板、 倾角方式	成像、倾角方式
仪器组合方式	不能与其他测井仪组合测井	能与偶极横波成像仪 (WSIT) 组合测井	能与其他测井仪组合测井，但必须在仪器串最底部	能与声波成像仪 (CBLL) 组合测井

(二) 微电阻率成像测井资料的质量控制

微电阻率成像测井资料的质量控制包括仪器刻度标准、曲线质量标准、极板压力实验和测井资料质量评价。

1. 仪器刻度标准

测井刻度是通过刻度装置建立测井仪器在规定的测量条件下的测量值与相应刻度装置已知值之间函数关系的操作过程。包括车间刻度（主刻度）和现场校验，其目的是保证同一类型仪器计量结果的统一。微电阻率成像测井的刻度主要包括对加速度计、磁力计、井径、电阻率刻度和扶正器选择。由于各公司仪器刻度方法相似，下面以 EMI 仪器为例，说明微电阻成像的刻度标准。

1) 车间刻度（主刻度）

(1) 要求。

对仪器进行车间刻度，应满足下列刻度要求：

①仪器每六个月对磁力计进行一次车间刻度，其他项每月进行一次车间刻度。仪器维修或软件更新后必须进行车间刻度。

②仪器刻度时，线路和探头必须硬连接。

③仪器做吊升检查必须在做加速度计车间刻度时完成。

④仪器在做磁力计和加速度计刻度时，应加电预热至 47℃ 以上方能进行刻度。

⑤微电阻率成像仪刻度时，极板压力应加至 60%。

(2) 刻度及容差。

下面分别介绍井径仪、加速度计、磁力计和电阻率仪的车间刻度及容差。

①井径仪车间刻度。

分别在 178mm 和 381mm 刻度环执行井径刻度；

井径刻度的误差为井径刻度环值的 $\pm 6\text{mm}$ 。

②加速度计车间刻度。

加速度计刻度时必须吊离地面作垂直检查，仪器在垂直静止状态下井斜角的偏离值应小于等于 0.2° ；

加速度计的值与偏差范围：ACCX 为 $0\text{g} \pm 0.005\text{g}$ 。ACCY 为 $0\text{g} \pm 0.005\text{g}$ 。ACCZ 为 $1\text{g} \pm 0.005\text{g}$ 。其中，ACCX、ACCY、ACCZ 分别是加速度计 X、Y、Z 三个方向分量。g 为重力加速度，设其最大值为 1，最小值为 0。

③磁力计的车间刻度。

磁力计的车间刻度分别执行以下六个刻度项：

MAGZ = +1（最大值），MAGZ = -1（最小值）；

MAGY = +1（最大值），MAGY = -1（最小值）；

MAGX = +1（最大值），MAGX = -1（最小值）。

磁力计刻度误差：最小值 = $-1\text{H} \pm 0.005\text{H}$ ，最大值 = $1\text{H} \pm 0.005\text{H}$ 。其中 MAGX、MAGY、MAGZ 分别是磁力计 X、Y、Z 三个方向分量，H 为代表磁场强度的一个物理量，设其最大值为 +1，最小值为 -1。

④电阻率仪车间刻度。

I 仪器线路检查。测量记录仪内部标准电阻的“零刻”和“高刻”值。

II 6 块极板的 13 号电极刻度。将井径腿打开，确保极板电极不接触任何东西，采集“空气值”。然后依次将带有 5kΩ 电阻的刻度盒装在 1~6 块极板上，分别采集数据。极板刻度盒响应值见表 1-2。

表 1-2 极板刻度盒的响应值读值表

极板刻度盒	电阻率, $\Omega \cdot m$
空气值	2000
5kΩ	0.45
步级 Key	1.9

III 电极检查。应用“步级 Key”分别对 1~6 号极板进行检查。若每个电极方波呈线性等高逐次上升，仪器正常。

2) 现场校验

(1) 井径现场校验与车间刻度相同。

(2) 电阻率现场核查。采集“零刻”和“高刻”值和“空气值”，核查过程与车间刻度相同。

(3) 加速度计现场核查。先将仪器垂直吊起静止，核查 ACCZ 值应为 $1.000g \pm 0.005g$ ，ACCX 值和 ACCY 值应为 $0g \pm 0.005g$ 。

3) 扶正器的选择。

选择适当的扶正器，首先可以使仪器完全居中，从而保证各极板与地层接触良好，其次可以准确测出各个角度（井斜角、井斜方位角、1 号极板方位角等）。当仪器不居中时，极板在井壁分布不均匀，影响到最终的解释结果，特别是在大斜度井或井眼较大的井中，居中显得尤为重要。按现场经验，在不同的井况下推荐使用的 EMI 扶正器如表 1-3 所示。

表 1-3 EMI 扶正器推荐使用尺寸表

位置	8~12.5in 井眼、井斜角 $5^\circ \sim 20^\circ$	8~12in 井眼、井斜角大于 20°	井眼大于 12.5in、井斜角 $5^\circ \sim 20^\circ$	井眼大于 12.5in、井斜角大于 20°
仪器顶部	3 $\frac{5}{8}$ in 居中扶正器	3 $\frac{5}{8}$ in 钛氟纶扶正器（必需）	3 $\frac{5}{8}$ in 居中扶正器	3 $\frac{5}{8}$ in 钛氟纶扶正器（必需）
仪器中部		4 $\frac{1}{4}$ in 橡胶扶正器（可选）		4 $\frac{1}{4}$ in 橡胶扶正器（必需）
探头部分	居中扶正器	4 $\frac{1}{4}$ in 橡胶扶正器（可选）	居中扶正器	4 $\frac{1}{4}$ in 橡胶扶正器（必需）

注意：在井斜角大于 10° 或者井眼尺寸大于 8in 时，EMI 仪器必须采取居中措施或必须加扶正器。因为仪器中部的线路中有磁定位计。若一定要在仪器中部电子线路上加扶正器，则必须保证扶正器没有磁性（当心带有微磁的螺丝、顶丝等），否则对测量角度有很大影响。

2. 曲线质量标准

1) 基本要求

(1) 图幅、图面及图头。

①测井原图图头规格化，图头数据齐全。图头内容应与测井通知单内容一致。

②测井原始胶片、蓝图上应有测速标记，图面曲线清晰。

③原图格线均匀，不出现大小格。

④原始测井图记录按照测井图头、主曲线、重复曲线、验证曲线、主刻度、主核实、测前和测后核实、仪器串图、图尾顺序记录。并记录下井仪器参数和测井参数。

⑤下井仪器参数包含仪器号、各曲线测量点、测量模式，测井参数包含采样密度、曲线滤波参数。

(2) 在图像模式下，测井速度不得超过 1800ft/h。在倾角模式下，测井速度不得超过 3600ft/h。

(3) 测井曲线。

①曲线记录齐全，曲线交叉可辨认，曲线线条宽度应小于 1mm。

②在仪器允许范围内，曲线不得出现与井下仪器无关的零值、负值、干扰、跳动、图像不连续等异常，否则应重复测量进行验证。若仍有疑义，则应更换仪器进行证实，并把验证曲线放到原始胶片及蓝图重复段的后面。

③按录取资料要求取准各项测井资料，组合测井项目的最低记录点记录曲线，井底漏测不得超过 15m。

④曲线显示特征和数值应与地层岩性吻合，各曲线之间有良好的相关性，并符合地区规律。

⑤在测量过程中，若仪器在砂岩层段遇卡而造成曲线、图像、波形畸变超过 0.5m，泥岩层段超过 2m，则应重复测量。

⑥测井曲线应记录张力曲线，张力曲线应变化正常。

(4) 数据磁带。

①根据用户要求格式提供数据磁带，数据磁带按用户能识别的版本拷贝。

②数据磁带内除曲线数据外，还应包含主刻度、主核实、测前和测后核实、测量参数和图头信息。

③交给用户的数据磁带各条曲线深度对齐，磁带上贴正规标签并注明井号、日期、测量井段、文件名称、软件版本号、测井仪器系列号、地区、小队号、测量项目，所标示的文字应与磁带记录内容相符。

(5) 深度误差要求。

①曲线对技术套管的测量深度与套管下深之间的深度误差不超过 0.5m，否则应用 CCL—GR 进行测量以查明原因，并进行深度校正，在 REMARKS 中注明原因。

②同一组合测井各曲线深度误差应小于 0.15m。

③同一电缆在同一口井中测井，各系列曲线间深度误差应小于 0.3m。

④不同电缆在同一口井中测井，各系列曲线间深度误差应小于 0.3m。

⑤每串仪器测井都应带测自然伽马，以确保深度准确。

(6) 重复曲线。

①重复曲线应选择测量井段内井眼规则、岩性变化明显处，测量井段长度不少于 10m。

②电成像测井，重复井段要选在井壁有明显电性特征的井段进行测量。声波成像测井，重复井段要选在井壁有明显声特征的井段进行测量，重复井段测量与主测井测量所反应井壁特征要一致。

③井斜角如出现负值，其绝对值不得大于 0.5°。

④双井径曲线变化正常，在套管内的测量值与套管内径相差应不超过 6.3mm。

⑤井斜方位角的重复测量误差要求见表 1-4。

表 1-4 井斜方位角重复测量误差

井斜角范围, (°)	井斜方位角最大允许误差, (°)
1~2	50
2~3	30
3~4	20
4~5	10

2) 具体要求

- (1) 井眼规则井段, 声、电成像图像清晰并与常规电阻率、声波曲线对应良好。
- (2) 对于同一井段, 井眼规则处, 声、电成像测量结果要相互对应, 深度及方位要一致。
- (3) 在岩性均匀层段, 电成像测井六个极板图像颜色应一致。同时, 每个极板颜色均匀。
- (4) 在刻度范围内, 电成像测井六个极板曲线不应有干扰。每个极板无效电极数不应超过 4 个。
- (5) 井斜角、方位角曲线无异常跳跃, 不出现台阶, 井斜无负值。
- (6) 测井过程中 1 号极板相对方位角曲线 12m 内转动不能超过一周 (360°)。
- (7) 三条井径曲线变化正常, 在套管内应基本重合, 误差不超过 5%。
- (8) 由于数据通讯中断等造成的图像、曲线数据缺失长度不超过 0.5m。
- (9) 仪器遇卡连续井段超过 1m 以上必须进行补测。

3. 极板压力实验

1) 贝克-阿特拉斯公司

贝克-阿特拉斯公司建议 STAR 成像测井仪极板压力范围为 -10 ~ 10, 推荐值为 -5。极板增益范围: 0 ~ 3, 推荐值为 3。屏蔽增益范围为 0 ~ 10, 推荐设为自动增益。根据这套参数测得成像图像与同井的斯伦贝谢公司 FMI 相比, 清晰度之间差异较大。为分析问题产生原因, 了解测井参数对原始测井图像清晰度的影响, 选择了大庆采油十厂的朝翻 × × × - × × × 井进行改变极板压力、自动极板增益、屏蔽增益参数的现场试验。

(1) 极板压力实验。极板压力实验结果如图 1-7 所示。从图 1-7 可见, 采用自动极

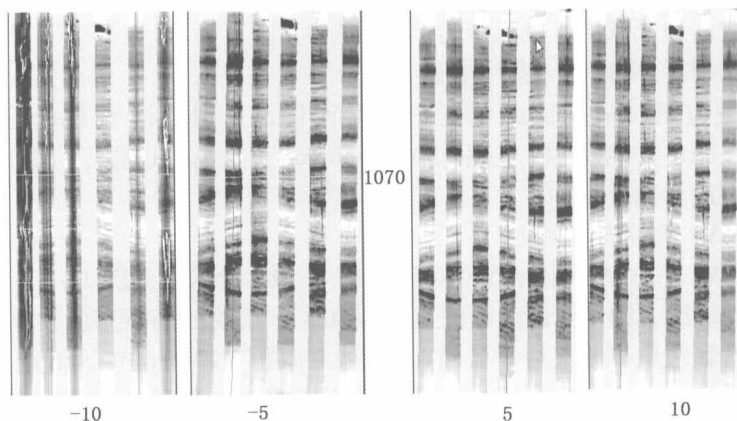


图 1-7 朝翻 × × × - × × × 井 极板压力实验成果图

板增益、屏蔽增益参数，当极板压力为-10时，井深1069~1071m井壁划痕和钻井液涂抹清晰，但层理较模糊。当极板压力为5以上时，水平、斜、交错层理清晰，井壁划痕和钻井液涂抹较模糊。而极板压力达到10时，图像清晰度与5相当，说明再增大极板压力无意义，同时增大测井风险，所以这一地区极板压力应选择5。

(2) 屏蔽(buck)增益实验。屏蔽(buck)增益实验如图1-8所示。从图1-8可见，左图应用极板压力10，极板增益应用3，屏蔽(buck)增益设为10，图像出现饱和现象，效果变差。右图应用极板压力10，极板增益为3，屏蔽(buck)增益设为自动增益，图像效果变好。

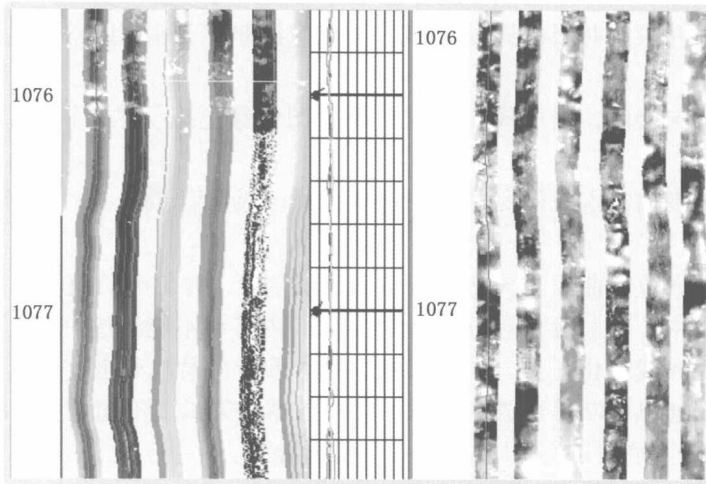


图1-8 朝翻×××-××井极板压力实验成果图

2) 哈里伯顿公司的XRMI

XRMI是哈里伯顿公司推出的最新型微电阻率成像测井仪，所记录的曲线有反映极板压力的PRES，其刻度范围是0~1。徐深××井不同极板压力图像成果如图1-9所示，该井的岩性为火成岩。从图1-9可见，主图像极板压力PRES为0.7，图像非常清楚。重复图像极板压力PRES R为0.64，图像较模糊，每个极板上都有垂直的钻井液涂抹线条，这是因为极板压力太小，导致极板与地层未能很好接触所致。根据上述实验结果，结合实际情况确定，大庆深层火成岩地层XRMI极板压力PRES为0.8。

4. 各类微电阻率成像测井仪资料质量评价

为进行各类微电阻率成像测井仪资料质量评价，分别选择了FMI与STAR、EMI与STAR、XRMI与STAR并测资料，应用相同Geoframe-G包处理程序、参数和图像处理方法，对两种测井方法对比分析如下。

1) FMI与STAR测井资料对比

肇深××井FMI与STAR测井资料对比如图1-10所示。从图1-10可见，3405.5~3408.0m为砂砾岩地层，FMI图像井眼覆盖率为80%，反映的高阻亮色大块砾石棱角、边缘清晰，较小的砾石颗粒也可明显分辨。STAR图像井眼覆盖率为60%，高阻亮色大块砾石棱角、边缘较模糊，较小的砾石颗粒难以分辨。从而说明FMI图像清晰度明显高于STAR。

2) EMI与STAR测井资料对比

英××井EMI与STAR测井资料对比如图1-11所示。从图1-11可见，2300~2350m