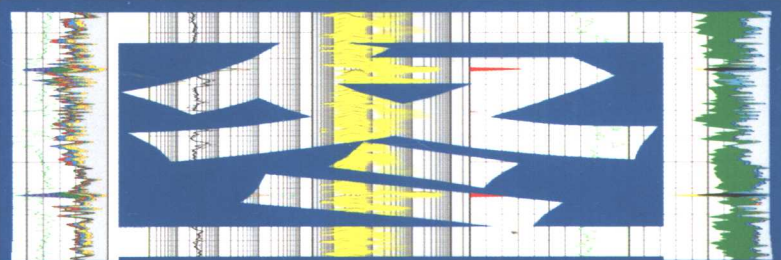


石油测井

新技术适用性典型



集

TYPICAL EXAMPLES OF NEW APPLIED WELL LOGGING TECHNOLOGY

陆 大 卫 主 编

石 油 工 业 出 版 社

石油测井新技术适用性典型图集

陆 大 卫 主编

石 油 工 业 出 版 社

图书在版编目(CIP)数据

石油测井新技术适用性典型图集 / 陆大卫主编 .
北京: 石油工业出版社, 2001.10
ISBN 7-5021-3559-6

I . 石…
II . 陆…
III . 采油井—测井—新技术—图解
IV . TE151-64

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 071281 号

石油工业出版社出版发行
(100011 北京安定门外安华里二区一号楼)
石油工业出版社美编室设计制作
北京国彩印刷有限公司印刷

*

889 × 1194 毫米 16 开本 16 印张 450 千字 印 1-2000
2001 年 10 月北京第 1 版 2001 年 10 月北京第 1 次印刷
ISBN 7-5021-3559-6/TE·2627
定价: 160.00 元

《石油测井新技术适用性典型图集》

编辑委员会

主 任：陆大卫

副主任：李 宁 匡立春

委 员：(依姓氏笔划而序)

王兆年 付有升 司马立强 宁从前

刘德来 孙中春 孙 宏 智 安 涛

江国法 李国欣 肖 承 文 周灿灿

鲜德清

主 编： 陆大卫

责 编： 鲜德清

设 计： 施 云

序 言

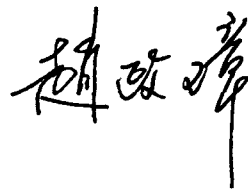
大量研究工作表明,我国陆上油气资源丰富,勘探潜力很大,但随着一些主要含油气盆地勘探程度的不断提高,待探明资源的品位已明显变差,储量开发经济效益的边际性也明显增强。摆在我们面前的主要勘探对象多为隐蔽油气藏、低渗透低丰度油气藏、砾岩等特殊储层油气藏、裂缝性油气藏,以及用常规方法很难识别的低阻油气藏。油气勘探过程中勘探对象复杂化对测井技术提出了新的更高的要求。

20世纪90年代初期,斯伦贝谢公司等国外油气田服务公司在数控测井的基础上先后研制出了以成像测井技术为代表的新一代测井技术,并推出了相应的现场仪器及资料处理软件,使测井技术在油气勘探过程中解决油气层识别问题的能力大幅度增强。成像测井系统是由电成像测井仪、超声成像测井仪和配套使用的核磁共振测井仪、模块式地层动态测试器、核孔隙度-岩性测井仪等一系列下井仪器,以及高速数字遥传系统、多任务数据采集与计算机图像解释工作站等组成。与数控测井技术相比,成像测井仪器和数据处理垂向分辨率高,对复杂油气藏具有更强的适应能力。大量勘探实践表明,使用与发展以成像测井为代表的测井新技术是开拓油气勘探领域,提高勘探效益、降低发现成本的必然选择。

从1993年开始,大庆、辽河、新疆、四川等油气田先后从国外购置了成像测井仪,与此同时通过多种方式与国外油气田服务公司开展了相关领域的合作。这些测井新技术的引进、吸收、消化在我国油气勘探过程中发挥了重要作用,同时,也充分显示了测井新技术在油气勘探中的巨大作用。

为了认真总结和大力推广测井新技术,中国石油天然气股份公司勘探与生产分公司组织专人开展了测井新技术适用性研究。一年来收集了大量测井新技术应用案例,经过反复认真地分析、对比与核实,以测井新技术在现场的适用条件和局限性为重点,筛选出70个成功解决油气地质、油田开发与工程问题的典型案例。分类编排后,作为既针对测井专业技术人员,又适合地质综合研究与现场管理人员的专门图集,由石油工业出版社出版。这是继《中国石油测井典型图集》之后的又一本大型专业实用性图集。相信本图集的出版会对测井新技术的应用起到很好的促进作用,特别是对复杂地质条件下的油气勘探工作起到重要推动作用。

本书既有测井新技术的基本原理,又有针对性的现场应用实例,而且力求做到图文并茂,很值得每一位从事油气勘探工作的专业人员和管理人员一读。



2001年09月28日

前 言

测井既是十大石油学科之一,又是石油工业中高新技术含量最多的学科。70年来,测井经历了从半自动测井仪、全自动测井仪、数字测井仪、数控测井仪到当今最先进的成像测井仪的五次更新换代。大规模集成电路、网络与计算机技术的发展使成像测井成为测井发展的主流方向和未来趋势。目前已经商业化使用的成像测井仪包括微电阻率扫描、阵列感应、方位侧向、井壁声波、阵列声波、阵列中子和核磁共振等。与数控测井相比,成像测井使用了非线性、非均质等当代测井新理论、新方法,对勘探非均质复杂油气藏具有更强的适应能力。因此,成像测井技术是提高非均质复杂油气藏勘探效益的重要手段。成像测井技术还应用于油田开发,探测水驱油田剩余油分布和采出程度,提高采收率。我国自90年代中期开始引进国外先进的成像测井技术,并在大庆、辽河、四川、大港、新疆、塔里木等油田获得成功应用。为了及时总结成像测井在我国应用的现场经验,进一步明确成像测井的应用条件,更好地指导今后的工作,2000年初在中国石油天然气股份公司勘探与生产分公司陆大卫副总工程师建议下开展了“测井新技术适用性研究”课题,其研究成果将以《石油测井新技术适用性典型图集》形式出现。这就是这本图集诞生的背景。

2000年8月10日,陆大卫副总工程师主持召开了图集编撰工作的第一次会议,确定了本书的工作大纲、主编和主要工作人员,以及本书的基本结构和框架。会后,由勘探与生产分公司向各油田分公司下发了关于进行“测井新技术适用性研究”实例征集的通知。新疆油田分公司等许多单位都积极进行了选例及部分编写工作,返回题录100多条。

2000年10月17日,由李宁教授主持,在石油勘探开发科学研究院地球物理所召开了第二次会议。会议的主要议题是对前段工作的进展情况进行总结,并对下一步的具体工作进行了分工。会议讨论并通过了“图例的标准录入格式”,确定了实例征集的截止时间及书稿的完成时间,明确了测井新技术原理简介部分的编写任务,同时指定李国欣同志负责与油田的协调和实例汇总工作,江国法高级工程师编写图集总纲并负责各单位返回的案例中文字说明部分的审校和编辑工作,宁从前博士负责全书电子文档的整理,鲜德清副编审负责全书的编辑出版工作。会议还对其它的一些相关问题进行了研究和讨论。根据第二次会议精神,勘探与生产分公司正式向各油田公司下发了测井新技术应用案例收集的通知。

2000年11月至2001年4月期间,编委会还召开了另外三次例会。

2001年5月,案例收集工作基本完成。

2001年6月,案例的初步审校和编辑工作基本完成,电子文档初稿交由石油工业出版社。

2001年9月,图集终稿完成。

2001年10月,图集正式出版发行。

本图集共收集有效案例70个,其中涉及复杂油气藏勘探问题的案例52个,解决水淹层开发难题的案例4个,解决油田工程问题案例5个,区块勘探开发案例9个,基本反映了我国测井新技术的应用现状,为测井新技术在油田各方面的应用提供了成功的范例。

在图例征集及图集编撰工作过程中,得到中国石油天然气股份公司勘探与生产分公司赵政璋副总经理、赵邦六处长,石油勘探开发研究院地球物理所邹才能所长,以及各油田分公司各级领导和油田工作者们的大力协助和支持,在此仅向参加案例征集与编写工作的油田工作人员表示衷心地感谢。他们是:大庆油田陶宏根、周波、王宏建、张宏彬、王鹏、杨晓玲、高会军、宫旭东、吴庆岩、孙利国、尚作萍;辽河油田李能根、柯启宇、傅永强;华北油田严建奇、程维营、张国杰、蔡文渊、李拥军、李素娟、周明顺、郝以岭、曹文利、吴剑锋;四川油田张树东、李学义、张红英、周缙;新疆油田孙德杰、林祖彬、薛新克、张义杰、陆怀强、张年富、欧阳敏、李芹、程芳、李桂秋、高秋涛、王洪亮、李小钊、董彦喜;塔里木油田祁兴中、朱登朝、郭秀丽、张承森、付海成、李进福、吴远东、刘兴礼、张莉;吐哈油田杨俊年、谭增驹、赵莉、张建礼、刘海涛、石连杰、张振远、阙玉泉、王现良、张振元、刘洪亮、周小军;吉林油田赵志魁、赵占银、修立军、孙红;冀东油田周凤鸣、司兆伟。此外,长庆油田和大港油田为本图集提供了部分案例。

石油大学陶果教授、辽河油田测井公司乔德新高工参加了测井新技术原理简介部分的编写工作;石油勘探开发研究院张龙海、朱怡翔、刘国强、王雷等在编撰初期也参与了部分工作,在此一并表示感谢。

限于作者水平,书中不妥之处恳请读者批评指正。

《石油测井新技术适用性典型图集》

编辑委员会

2001年10月

目 录

第一章 测井新技术简介

测井技术的发展回顾及其对成像测井的需求	2
微电阻率扫描成像测井	4
阵列感应成像测井	8
核磁共振测井	13
井周声波测井	21
多极子阵列声波成像测井	27
MDT 地层动态测试器	35

第二章测井新技术应用典型案例

成像测井在岩性、岩相综合识别及储层评价中的应用

测前设计——应用测井新技术的重要环节	42
成像测井在某科探井综合评价中的应用	46
核磁共振测井资料在塔中 40 井综合解释中的应用	48
核磁共振测井资料在大宛 109 井综合解释中的应用	50
核磁共振测井资料在吐孜 3 井综合解释中的应用	52
利用 FMS 成像测井资料识别储层的有效性	54
核磁共振测井在复杂油藏综合解释中的应用	56
核磁共振测井在黑 106 井综合解释中的应用	58
MDT 测井技术在储层流体识别中的应用	60
核磁共振测井资料在牛 101 井储层综合评价中的应用	62
微电阻率扫描成像测井在精确评价储层中的应用	64
核磁共振测井资料在 XX2 井某层系储层综合评价中的应用	66
预深井裂缝、孔隙双重介质储层评价技术在测井综合评价中的应用	68
成像测井在垂向相序综合地质解释中的应用	72
测井新技术在储层识别中的应用	74

成像测井在裂缝识别及评价中的应用

FMI 定量处理方法及软件实现	76
FMS 裂缝响应与岩心裂缝对比	78
井周声波成像测井在混合花岗岩地层评价中的应用	80
井周声波成像测井在碳酸盐岩地层解释中的应用	82
成像测井资料在火成岩综合解释中的应用	84
成像测井在马 6 井储层综合分析中的应用	86
FMI 成像测井在网状裂缝评价中的应用	88
FMI 成像测井在鲕滩储层评价中的应用	90
成像测井资料在飞仙关鲕滩溶蚀孔洞储层评价中的应用	92
利用成像测井资料检测大天 8 井井漏位置	94

成像测井资料在确定钻井井漏井段中的应用 96

成像测井在构造描述中的应用

用成像测井资料分析凉东 1 井井周构造形态 98

用成像测井资料分析洋渡 3 井井周构造形态 102

测井新技术在薄储层评价中的应用

快速平台测井在吐孜 3 井的应用 104

薄层电阻率及核磁共振测井在前 14 井的应用 106

成像测井在神 602 井综合评价中的应用 108

薄层电阻率测井及核磁共振测井在赵 61 井薄层评价中的应用 110

测井新技术在低电阻率油气层评价中的应用

核磁共振测井在海南构造带低阻油气层识别中的应用 112

核磁共振测井在赵 113 井低电阻率油层解释中的应用 114

MDT 测井在庙 105-1 井低阻油气层识别中的应用 118

核磁共振测井与常规测井资料结合评价低电阻率油层 120

测井新技术在低孔低渗储层评价中的应用

成像测井资料在评价平落 17 井低孔-裂缝型致密砂岩储层中的应用 122

测井新技术在深层、复杂岩性油气储层评价中的应用

核磁共振测井在芳深 8 井气层解释中的应用 124

测井新技术在升平气田探明储量中的应用 128

高温井温测井仪 (HTT) 在葡深 1 井中的应用 130

测井新技术在油气水界面识别中的应用

利用阵列感应测井识别 KL201 井气层及气水界面 132

利用纵横波衰减法识别 KL204 井气水界面 134

利用偶极横波测井识别 KL2 井气水界面 136

测井新技术在产能预测中的应用

产能预测在 XX9 井预探井综合解释中的应用 138

产能预测在 XX5 井预探井综合解释中的应用 140

测井新技术在油气层快速评价中的应用

油气层快速评价技术在 X64 井的应用 142

油气层快速评价技术在呼图壁气田 001 井中的应用 144

应用MDT测压及其PVT取样技术快速查明油气藏的类型	146
油气层快速评价技术在XX6井的应用	148
应用MDT测井技术快速验证6井疑难储层的流体性质	150

核磁共振测井技术在水淹层评价中的应用

核磁共振测井在水淹层评价中的应用	152
------------------	-----

测井技术在油田开发中的应用

中子寿命测井在大庆油田开发中的应用	154
脉冲中子氧活化测井在油田开发中的应用	158
硼中子寿命测井在油田开发中后期的应用	160

成像测井在套管损坏检测中的应用

CBIL成像测井在检测套管损坏中的应用	164
超声电视测井评价套管变形、腐蚀与破损	166

成像测井在地应力估算中的应用

云安11井井眼稳定性分析	170
--------------	-----

成像测井在地层压力及破裂压力预测中的应用

破裂压力及压裂造缝高度预测技术在准噶尔盆地砾岩、火山岩储层中的应用	174
测井新技术在储层改造中的应用	180

第三章 测井新技术在油田区块勘探开发中的应用

我国陆上油气勘探开发面临的新形势及对测井新技术的需求	184
岩相解释技术在准噶尔盆地某油田中的应用	187
核磁共振测井资料在准噶尔盆地腹部某油气田低饱和度油藏储层综合评价中的应用	190
成像测井在准噶尔盆地腹部某油田双重介质中的应用	194
罗家寨构造储层横向预测	204
测井资料在克拉2气田前期气藏描述中的应用	207
快速储层评价技术在陆梁油田油气勘探中的应用	211
偶极声波测井在直劈天然裂缝综合识别中的应用	215
海拉尔盆地苏131区块多井区域评价研究	218
测井新技术在芳深9井区天然气控制储量计算中的应用	221
成像测井在苏20、苏21井综合评价中的应用	225
吉林油田大情字井区测井精细解释	237



第一章

测井新技术简介

测井技术的发展回顾及其对成像测井的需求

测井技术起源于法国。1927年,法国人斯伦贝谢兄弟发明了电测井,开始在欧洲探测煤和油气,两年后传到美国和前苏联。中国于1939年开始将电测井应用于油气的勘探。解放前,在玉门油矿成立第一个电测站,有一套半自动测井仪进行油、气勘探。中国科学院院士、著名地球物理学家翁文波先生,是我国测井学科的奠基人。

测井技术是一种井下油气勘探方法,是准确发现油气藏和精确描述油气藏的重要手段,是油气储量及产量评估不可缺少的科学依据。测井技术是石油科技的一个重要组成部分,是石油天然气工业中高新技术含量最多的学科之一。近60年来,我国油气测井仪器经历了五次更新换代,即第一代半自动测井仪,第二代全自动测井仪,第三代数字测井仪,第四代数控测井仪,第五代当今国际最先进的成像测井仪。跟随国际科技浪潮的涌进,我国测井技术的发展也依次走过了半自动测井技术、全自动测井技术、数字测井技术和数控测井技术四个阶段,正在步入成像测井时代。

未来几年,陆上油气勘探难度越来越大,中油股份公司的发展将面临许多挑战。油气勘探也将面临诸多地质难题,主要表现在:

(1)大面积、低丰度、低渗透岩性油气藏。其难点是储层薄,砂体纵向、横向变化大,砂体基质孔隙结构复杂,地层敏感性强,部分区域高角度或水平裂缝发育等。

(2)前陆冲断带的高陡构造区。其难点是地质构造复杂,地层倾角大,构造应力大,复杂地层多,易跨塌,多套压力系统,作业难度大,资料获得难等。

(3)高成熟区的复杂小断块油气藏。其难点是地质构造复杂,断裂破碎,地层速度纵、横向变化大。

(4)台盆区的碳酸盐岩裂缝性油气藏。其难点是碳酸盐岩缝、洞、孔发育,非均质性强,埋藏深,地温高、梯度大,地层压力变化大等。

(5)低幅度构造区的低阻油气藏。其难点是储层电阻率接近水层的电阻率,储层易受污染,岩石附加导电性增强,且圈闭幅度小,识别圈闭、油层难度大等。

(6)隐蔽性复杂岩性体油气藏。其难点是储层岩性复杂、致密,非均质性强,储层参数难以准确测量等。

以上难点充分说明,要有效识别与评价复杂的勘探对象,使用传统的分辨率较低,直观性较差,评价油气层出现多解性的测井技术,已经不能满足勘探生产的需要。目前,迫切需要深探测、高分辨率和高精度的仪器及其解释方法。

这些困难和挑战需要我们采用新的技术和手段去迎接和面对。成像测井技术作为近十年才发展起来的新一代测井技术,它与随钻测井、地质导向测井、过套管电测井等,同属于跨世纪的测井新技术。成像测井系统是由电成像测井仪、声成像测井仪和配套使用的核孔隙度—岩性测井仪、核磁共振测井仪、模块(组件)地层动态测井仪等一系列下井仪器,以及数字遥传系统、多任务数据采集与计算机工作站等组成。与上一代数控测井技术相比,成像测井的仪器和数据处理方法,考虑了复杂、非均质地层的特性,采用阵列探测器及非线性、非均质处理解释方法,垂向分辨率高,实现了测井与地震相结合,对复杂油气藏具有更强的适应能力。因此,发展以成像测井为代表的测井新技术是一种必然选择。

在油气勘探生产中,有效使用成像测井技术,能够提高对特殊储层的识别与评价能力,增加油气储量,同时也会带来可观的经济效益。因此,成像测井对未来世界石油工业的发展具

有很强的吸引力。我国引进成像测井技术的初步实践也证明了这一点。本书将展示成像测井在我国油田各类应用的若干实例。

测井技术的每个日新月异的重要发展和进步，都是以石油工业为代表的大量生产实践中的需求作为动力的。同时，科学技术的进步，又为测井技术的发展提供了坚实的技术保证，使之广泛的需求成为可能。如成像测井技术的产生与发展，就得益于当代信息技术发展：微电子技术的发展为复杂而精密的成像测井仪的研制奠定了基础；通信技术的发展为大量成像测井数据的准确、快速传输提供了条件；计算机技术的发展使得成像测井大量的资料处理和运算成为可能。测井技术的发展历程说明了测井自身的基础理论完善和新技术、新方法形成，需要丰富、精细的研究成果作为支撑。在我国，每个油气勘探生产的重要阶段中出现的各种需求，都是对测井技术的挑战，同时也推动了我国测井技术的进步。只有不断创新，形成拥有自主知识产权的技术成果系列，才能更好发挥测井学科在油气勘探和生产中的地位和作用。每个测井工作者都应当努力拼搏。

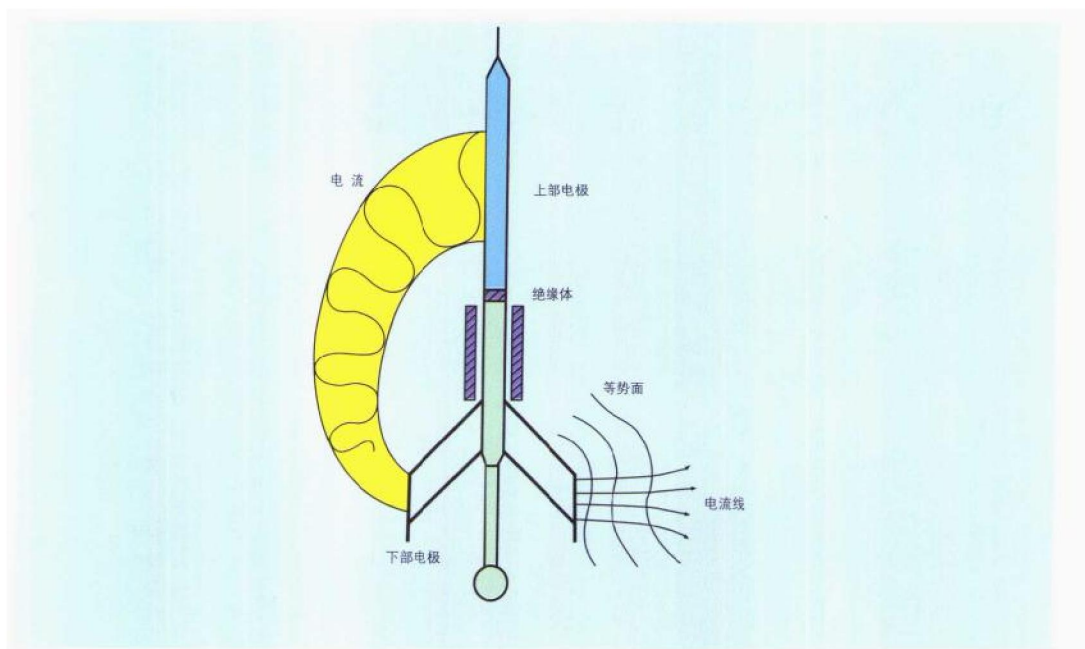
微电阻率扫描成像测井

20 世纪 80 年代中期，斯伦贝谢公司首先推出微电阻率扫描成像测井仪(FMS)，最初的 FMS 仪器与地层倾角测井仪类似，包括 2 个 SHDT 极板和 2 个微电阻率扫描极板（每个微电阻率扫描极板上安装 27 个钮扣电极），后来改进为四极板微电阻率扫描仪（每个极板安装 16 个钮扣电极）。1991 年斯伦贝谢公司推出全井眼地层微电阻率扫描成像测井仪（FMI）。90 年代中期，哈里伯顿公司和西方阿特拉斯公司也先后推出微电阻率扫描成像测井仪 EMI 和 Star Imager。本节以 FMI 为例简单介绍微电阻率扫描成像测井的测量原理。

测量原理

图 1 是 FMI 测量的电流路径图，电流回路为下部电极—地层—上部电极，交流电流由下部电极流入地层，回到上部电极，上部电极是电子线路的外壳。测井过程中，借助液压系统使极板贴靠井壁，由地面装置控制向地层发射电流，记录每个钮扣电极的电流强度及对应的测量电位差，它们反映了井壁地层的电阻率变化。

图 1 FMI 测量的电流路径图



FMI 测量电流由三部分组成：

- (1)“高频”成分。它的大小变化取决于钮扣电极面对的井壁地层微电阻率的高低，这样就保证了优良的垂向分辨率和方位分辨率。
- (2)“低频”成分。它取决于探测深度范围内地层电阻率的高低，它的探测深度与浅侧向相近。
- (3)“直流”成分。它由极板与井壁摩擦或地层的自然电流产生，这一成分在信号处理中被滤掉。

高频成分反映了岩性及岩石物理性质的变化。在用探测深度与 FMI 类似的定量电阻率对 FMI 图像进行刻度时，使用“低频”成分。在用图像对裂缝、结构及地层进行定量分析时，

需要对图像进行刻度。

仪器的分辨率与极板钮扣电极的几何结构密切相关。电扣越小，分辨率越高；电扣越小，电极电流越小，要求仪器灵敏度越高；电扣越小，电扣与井壁之间泥饼厚度对分辨率影响越大；电扣周边绝缘环带宽度对仪器测量信噪比有影响，绝缘环带越宽，噪音愈低。大于仪器分辨率的地层特征用几个分辨率单元在图像上表示，小于仪器分辨率的地层特征，在图像上表示为相当于仪器标称分辨率的一个特征。FMI 成像测井仪的周向分辨率、垂向分辨率都为 0.2in (5mm)。

仪器的数据采样率是仪器所要求的分辨率的函数。信号处理原理（采样原理）要求在与仪器分辨率相当的间距内至少要采两个样。FMI 的分辨率为 0.2in，则采样间隔必须为 0.1in。它是采用下述方法获得的：

- (1)每块极板上相距为 0.3 in 的有两排钮扣电极，每排电极各钮扣间的横向间距为 0.1in。
- (2)在 1800ft/h 的最大测速情况下，采样率足够高，可以满足 0.1in 井段采到一次样。

极板和井壁之间存在间隙会降低仪器的垂向分辨率，因此在进行微电阻率成像的数据处理和地层特征解释时应注意极板和井壁的贴合程度。

在均匀地层中，侵入对微电阻率扫描成像测井响应中低频分量的影响类似于对浅侧向测量响应的影响。在薄互层中侵入对微电阻率扫描成像测井响应的影响比层厚时大得多。

仪器简述及技术指标

理论上讲，FMI 测井仪只能在钻井液电阻率小于 50Ω·m 的水基钻井液中工作，为了得到高质量的图像，钻井液电阻率与地层电阻率的反差必须小 2000。表 1 中给出了 FMI 仪器的技术指标。

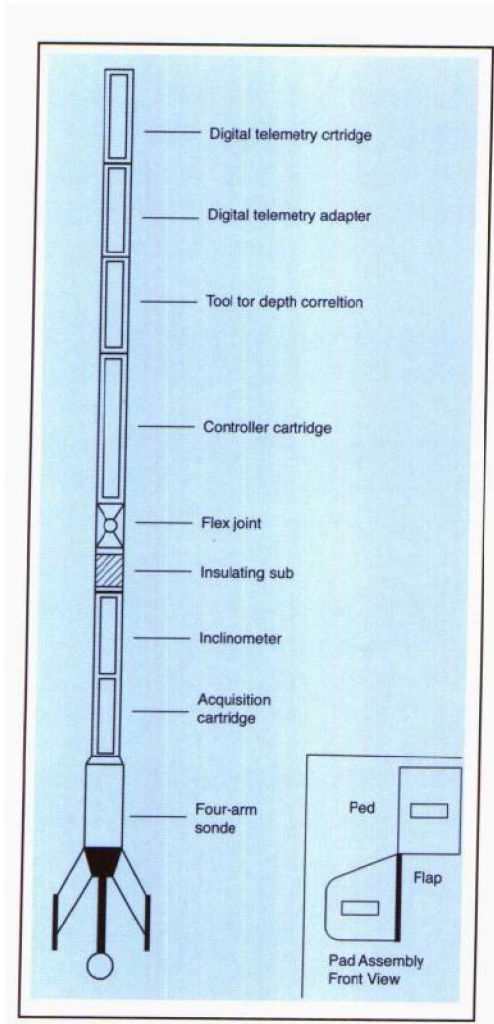
图 2 给出 FMI 仪器的结构示意图，它主要包括以下几个部分：

- (1)遥测系统。用于传输数据，由钮扣电极采集的地层信息、各种辅助测量和控制测量的信

表 1 FMI 仪器的技术指标

连接长度		316in (8.02m)	
重量		465lb (211kg)	
关折翼后直径		5in (127mm)	
极板数量		8 个	
电极数量		192 个	
采集系统		MAXIS-500	
遥测系统		只能用 DTS	
最小井眼尺寸		6 1/4in (158mm)	
最大井眼尺寸		21in (533mm)	
覆盖面积	全井眼方式	80% (8in 井眼)	
	四极板方式	40% (8in 井眼)	
测井速度	测量方式	最大速度	建议速度
	全井眼方式	1800ft/h	1500ft/h
	四极板方式	3600ft/h	2500ft/h
	倾角方式	5400ft/h	3000ft/h
最大井斜		90° (使用韧性接头)	
最大耐温		350°F (175°C)	
最大耐压		20000psi	

图2 FMI 仪器结构示意图



信息一起经测井电缆传送到地面,要求传输速率为 200kbps。

(2)控制系统。控制短节可放大描述地层特征的信号,扩大仪器的动态范围,并能周期性地检查各子系统的工作状态并反馈给测井工程师,实现对井下仪器的最佳控制。在每种测井方式(共三种方式)下都能在最短的时间内采集到所需的数据。

(3)绝缘短节。它把电子线路外壳与探测器分开,使电流从极板流入地层,回到电子线路外壳,且使极板和回路电极间有一定的电位差。

(4)数据采集系统和倾角系统。数据采集电子线路有如下功能:

- ①从微电导率数据的信号中去掉直流成分;
- ②在处理前进行数字化,增强抗干扰能力;
- ③对数字信号滤波,提高信噪比;
- ④对数字信号作处理,确定微电阻率数据同相位幅度。

倾角系统能测量井眼的井斜和方位以及仪器移动的加速度,它们被用于对图像和倾角数据进行加速度校正。

(5)极板系统。板板系统包括高分辨率电极阵列和专门用于探测和放大钮扣电极信号的电子线路。

FMI 探头包括4个臂,每个臂上都装有一个

主极板和一个折叠式副极板。弹簧片和液压系统迫使主极板与地层接触,副极板打开后将自适应井眼的形状。

测井方式

表2 FMI 不同测井方式下的特点

工作方式	全井眼	四极板	倾角
探头电极个数	192	96	8
8 1/2 in 井眼中覆盖率	80%	40%	—
最大测井速度 (ft/h)	1800	3600	5400

FMI 测井仪有三种测井方式,即全井眼方式、四极板方式、倾角方式。表2给出各种方式的基本情况。

图像处理

1)深度校正

由于主极板和副极板上的4排钮扣电极在纵向上的排列处于不同井深位置,必须把各排电极的数据深度对齐。深度校正由 MAXIS-500 系统完成,磁带上的数据是未经深度校正的。

2) 图像生成

由主极板和副极板上每个钮扣电极采集的数据形成处理数据矩阵。在每个测量深度点得到的数据矩阵包括各个钮扣电极采集的方位数据和微电阻率数据。每个矩阵元素都用一个色标显示在图像上，它的空间位置取决于它所处的方位和图像选择的深度、方位比例。用倾角系统采集的方位数据对图像进行定位。

3) 均衡处理

电子线路的漂移不一致，钮扣电极几何结构不一致（或出现故障）或其它因素等都对FMI原始测量数据有一定影响。均衡处理技术是在用户指定的窗长内计算所有钮扣电极的均衡增益和截距，以代替各个钮扣电极的增益和截距，这样可以均衡补偿因各个钮扣电极的增益和截距不同所造成的影响。这个窗长通常为15ft。还可选用统计方法确定并校正死电极及EMEX电流变化所产生的影响。

4) 速度校正

对仪器运动不规则情况进行校正，计算每个钮扣电极测量值的有效深度。有两种校正方法：一是对仪器运动的加速度进行两重积分；二是对相邻两排钮扣电极的测量响应进行相关对比，从而重新确定每个测量值的实际深度。两种方法相互补充可得到更好的效果。

5) 标准化

标准化用于定义图像的色标范围。首先计算出测量数据的频率直方图，然后把它分成42个等级，每一个等级具有相同的数据点。在最终图像上使每种色标具有相同的面积。这42种色标的等级是从白色（高电阻）到黄色再到黑色（低电阻）。有两种标准化方式：

(1) 静态标准化。把全井段所有数据都用于确定色标的级别，适用于观察较大的电阻率变化范围和进行岩性对比。

(2) 动态标准化（动态加强）。它在一个较短的，用户指定的滑动深度窗口内对颜色重新进行刻度。它使得图像显示更详细。

6) 图像显示

将测量数据经过颜色或灰度等级刻度，按速度校正后给定的空间位置在图形终端显示图像。

地质应用

经过一系列处理和图像增强，微电阻率图像代表沿井壁地层的电阻率非均质特征变化，电阻率的变化反映岩性、孔隙结构和泥质含量变化，冲洗带的流体性质，井壁不规则也存在一定影响。

如果不知道岩石类型，就难于从微电阻率图像中提取有意义的地质信息。因此在开始进行有意义的地质特征提取之前，应充分收集区域和局部地质知识，将图像和岩心进行对比，实现对微电阻率图像的地质刻度。FMS图像解释工作站是强有力的图像解释辅助工具，它可把图像数据与倾角数据及传统的测井资料结合在一起，可以对长井段的图像数据进行解释，也可以对细微的特征进行解释。

微电阻率扫描图像的地质应用正在继续开发，目前主要应用有：

- (1) 裂缝识别和评价；
- (2) 薄储层评价；
- (3) 地层沉积环境分析；
- (4) 地层孔隙结构分析和地质构造解释；
- (5) 帮助岩心归位和岩性描述。