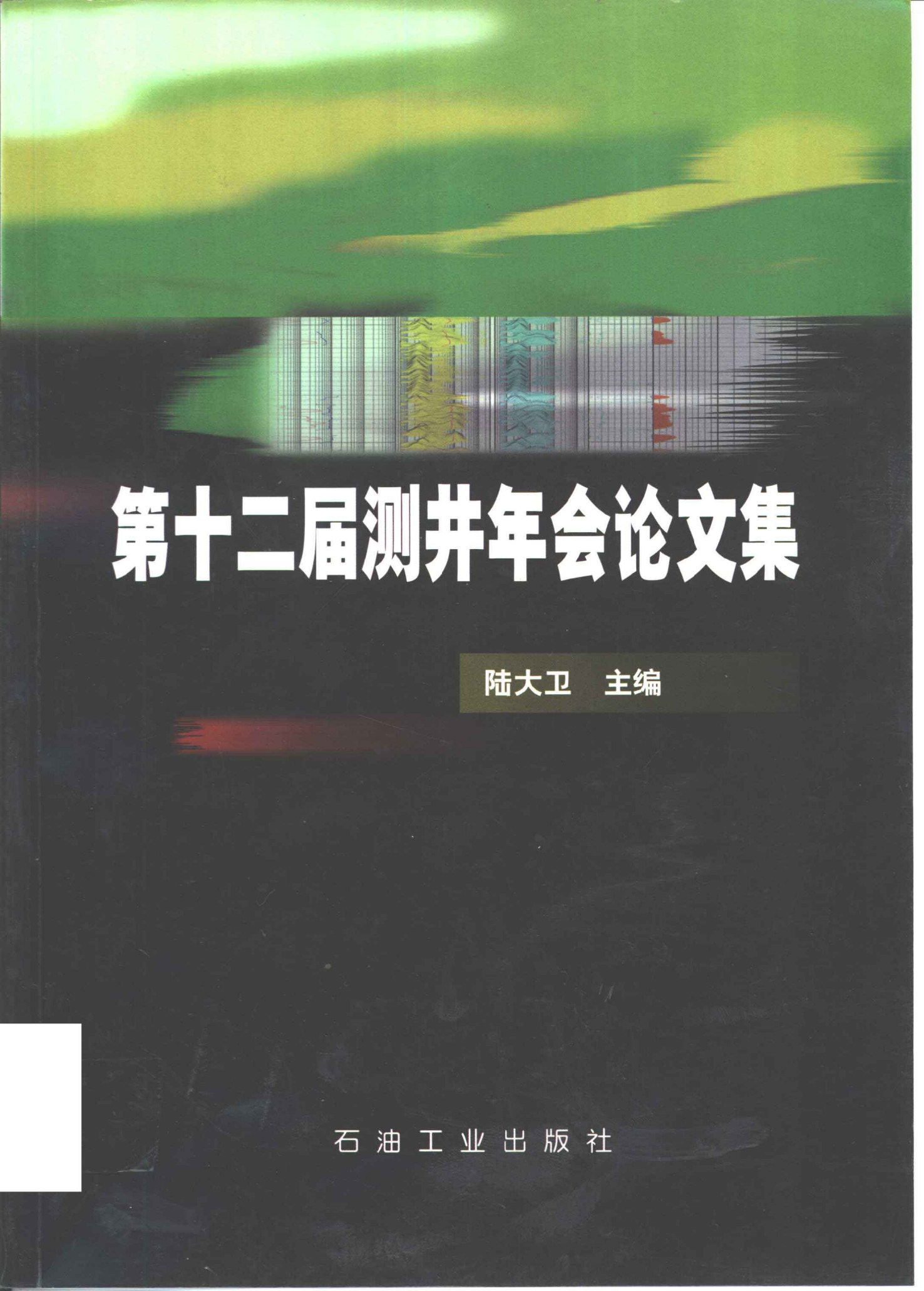




第十二届测井年会论文集

陆大卫 主编

石油工业出版社

第十二届测井年会论文集

陆大卫 主编

石油工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

第十二届测井年会论文集/陆大卫主编.
北京:石油工业出版社,2001.9
ISBN 7-5021-3511-1

I. 第…

II. 陆…

III. 采油井-测井-学术会议-文集

IV. TE151-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 062138 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)
河北徐水县印刷厂排版印刷

*

787×1092 毫米 16 开本 14 印张 355 千字 印 1—2000
2001 年 9 月北京第 1 版 2001 年 9 月河北第 1 次印刷
ISBN 7-5021-3511-1/TE·2598
定价: 25.00 元

《第十二届测井年会论文集》
编 委 会

主 任 陆大卫

副主任 王志信 陈序三

委 员 (以姓氏笔画为序)

何清源 李 宁 李宝同 初燕群

谢维肖 鞠晓东 鲜于德清

主 编 陆大卫

前 言

经中国石油学会批准，中国石油学会测井专业委员会于2001年6月21日—23日在胜利油田召开了第十二届测井年会。来自中国石油天然气集团公司、中国石油股份有限公司、中国石油化工集团公司、中国海洋石油总公司所属的有关单位以及石油科研院所、石油高校等单位的领导、专家、技术骨干共计202名代表参加会议。

会议共收到论文102篇，会上宣讲49篇。以测井专业委员会副主任、石油大学（华东）副校长鞠晓东教授为组长的评审组对所有的论文进行了认真的评审。从中选出反映我国测井技术发展最新水平的学术论文28篇。经作者按要求进行了修改和完善后收入本论文集。

此次年会的召开、论文集的出版始终得到了各油田、研究单位、石油高校等有关单位及专家的支持，山东省石油学会、中石化胜利油田测井公司给予了大力资助，在此谨表诚挚的谢意。

中 国 石 油 学 会 常 务 理 事
中国石油学会测井专业委员会主任 陆大卫

2001年8月30日

目 录

井间电磁成像测井技术的应用研究及其进展	胜利石油管理局	曾文冲 (1)
中国大陆科学钻探及其测井新进展	中国大陆科学钻探工程中心	牛一雄 (14)
状态空间模型在薄差水淹层测井解释中的应用	大庆石油管理局测井公司	李全厚 (25)
低场岩心磁共振实验分析及其在核磁共振测井中的应用	辽河石油勘探局测井公司	王忠东 (29)
超声成像测井分辨率特性实验研究	江汉测井研究所	李长文 (38)
利用核磁共振测井进行储层评价	胜利石油管理局测井公司	何长春 (47)
驱替过程中岩石电一声参数的实验研究	中国石油新疆油田公司勘探处	匡立春 (60)
贴井壁方位电阻率测井研究	西安石油勘探仪器总厂	朱 军 (68)
MRIL-P 型核磁共振测井技术及应用	大港油田集团公司测井公司	邵维志 (74)
复电阻率测井方法和应用研究	石油大学·北京	高 杰 (86)
利用 T_2 分布研究岩石孔隙结构	胜利石油管理局测井公司	运华云 (94)
泥岩时差随浸泡时间变化规律的实验研究	石油大学·华东	乔文孝 (105)
双探测器碳氧比能谱测井解释理论模型	大庆石油管理局测井公司	赵小青 (110)
UCT 套管—地层环空间介质波阻抗成像方法与应用实例	吉林大学物理科学学院	姚桂锦 (114)
脉冲中子衰减—能谱 (PND-S) 测井方法及应用	胜利石油管理局测井公司	陈序三 (121)
产能预测方法研究及在准噶尔盆地应用效果	新疆石油管理局测井公司	欧阳敏 (127)
脉冲中子氧活化测井仪在油田开发中的应用	大庆石油管理局测井公司	马庆诚 (135)
低产集流生产测井资料解释方法研究	江汉石油学院地球物理系	戴家才 (141)
测井新技术在花岗岩基岩测井储层评价中的应用	中海石油研究中心勘探研究院	朱水英 (145)
分层参数测试技术及应用分析	江汉油田采油工艺研究院	汪 斌 (151)
硼中子寿命测井在冀东油田 X 区块的应用	大港测井公司	冯新茶 (157)
成像测井综合解释技术在辽河盆地粗面岩地层中的应用	辽河石油勘探局测井公司	傅永强 (165)
测井地震结合储层横向预测技术在气藏储量计算中的应用	四川石油管理局测井公司	司马立强 (170)
利用 RST 求持率的改进方法——四点法	江汉石油学院物探系	张绚华 (178)
井间同位素自动监测方法	胜利石油管理局测井公司	张世柱 (183)
低电阻率测井解释识别方法研究	华北石油测井公司	祇淑华 (193)
生产测井多井解释方法研究	石油大学·北京	吴锡令 (208)
核磁共振测井资料在储层孔隙结构及油 (气) 层评价中的应用	新疆石油管理局测井公司	程 芳 (211)

井间电磁成像测井技术的应用研究及进展

曾文冲 陈序三 赵文杰

(胜利石油管理局)

摘 要 用于油藏研究的重要手段——井间电磁成像测井技术，是当代地球物理应用技术发展的重要前沿，是一项极具挑战性的研究课题。其主要的技术目标是实现井间电阻率的直接测量，提供反映井间构造、储层和油、气、水分布的二维乃至三维的电阻率图像。胜利油田与美国 EMI 公司合作，分别在胜利油区的孤岛、埕东油田的三对井中，成功地进行了 10 个井次的 EMI 大型工业性试验，不仅证明仪器性能的稳定和可靠，而且首次在世界范围内，取得井间距达 433.6m（裸眼井—裸眼井）和 147.19m（裸眼井—金属套管井）重复性好、精度高的完整井间电磁测量数据。反演得到的井间电阻率成像图，在分析井间油气分布、砂体展布等方面也见到较好的地质效果。这标志着该项技术的应用研究取得了重要进展。

引 言

油藏研究的重要手段——井间电磁成像（EM）测井，是当代地球物理应用技术发展的重要前沿，也是一项极具挑战性的重大研究课题。它是采用 10Hz~10kHz 的频率，以较高的精度和分辨率直接测量井间地层岩石的导电特性，通过对实测数据的反演，得到井间电阻率分布的二维乃至三维的图象。可广泛用于研究井间油藏的构造形态、储层展布和裂缝的发育方向；描述油气富集区及井间的流体分布；监测油田的开发动态，指示水驱、蒸汽驱和聚合物驱的波及前沿和方向；分析井间剩余油分布。从而可大幅度提高油田滚动勘探和开发调整中钻探高效井的成功率，达到优化开发方案和提高最终采收率的目的。

众所周知，油藏研究的核心问题是建立一个与地下地质情况相逼近的油藏模型，以形成描述与预测功能兼备的模拟工具——油藏模拟器，用于指导钻探，优化开发方案和油藏管理，达到提高最终采收率的目的。虽然现代物探、测井和试井技术，已能为达到这一目标提供强有力的技术支持，但其精度和效果受到很大限制，主要障碍是来自两个方面：一是如何分析与描述地层和油藏的非均质性；二是如何解决“井孔”与“井间”信息的不平衡。以“井”做为油藏特性的“分析窗口”，突出“关键井”的作用，结合三维地震数据的反演，以“井”为数据链，推演与预测井间的油藏属性，形成以油藏属性参数为表征的三维数据体，是现今油藏研究（油藏表征与数值模拟技术）的基本模式。但由于地层与油藏实际存在的非均质性，往往使得这种推演与预测的精度受到很大的限制，而大大影响了油藏研究的精度与效果。其原因就在于目前石油地球物理的技术系列中，缺乏能对“井间”地层特性进行直接、有效测量的实用技术，导致在油藏研究的“数据库”中，以“井孔”为“载体”的信息丰度很大，而由“井间”直接采集的信息甚少。为此，必须解决“井孔”与“井间”所采集到的信息类型和信息量极不平衡的问题。井间测井技术的重要意义就在于实现井间地层与油藏特性的直接测量，尤其是实现井间电磁成像测井，更能提供反映井间地层流体性质及其它

地质特性变化的信息。因此人们普遍认为，这项技术一旦达到实用化阶段，将会引起油藏研究工作的革命性变化。

可以认为，精细描述“井”及其周围地层的地质特性，是测井技术的固有优势，然而横向探测能力的不足，是它的传统弱势，因此井间测井技术的应用，将是当代测井技术的重大突破。它将从根本上改变测井技术横向探测能力不足的固有弱点，把发现油气藏与描述油气藏特性的能力提高到一个新的高度。

井间电磁成像系统的方法原理

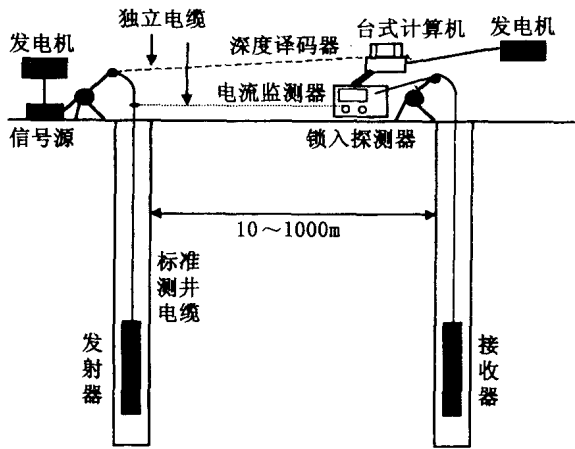


图1 井间电磁成像测量原理示意图

1. 基本原理

井间 EM 成像测井系统是将发射器和接收器分别置于两口井中，接收由发射器发射并经地层传播的电磁波，反演后获得有关井间地层电阻率的分布信息，从而实现井间电阻率的直接测量^[1]（见图1）。由于发射器采用的频率较低，为10Hz~10kHz，使得地层电导率（ σ ）对信号的贡献远大于介电常数（ ϵ ）的贡献，即 $\omega\epsilon \ll \sigma$ 。

发射器一般采用磁偶极子源。若发射器磁偶极矩为 M （单位为 Am^2 ），在均匀介质中，则接收器 B_z 分量的磁感应强度（单位为 nT）为：

$$B_z = \frac{\mu M}{4\pi r^3} e^{-P-ib} (1 + P + iP - 2iP^2) \quad (1)$$

式中， r 为发射器—接收器间的距离（单位为 m）， P 称为传播系数，定义为：

$$P = r \sqrt{\frac{1}{2} \omega \mu \sigma} = \frac{r}{\delta} \quad (2)$$

其中

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega \mu \sigma}} \quad (3)$$

称为趋肤深度， μ 为磁导率，对于非磁性介质， $\mu = 4\pi \times 10^{-7} \text{H/m}^2$ 。由式（1）可以看出， B_z 的幅度近似以 e^{-P}/r^3 形式随频率 f （角频率 $\omega = 2\pi f$ ）和距离 r 衰减，相位角近似为 r/δ ，表明幅度和相位角都是地层电导率或电阻率的函数。因此，测量 B_z 的幅度和相位，通过反演则可得到地层电阻率及其变化的信息。

2. 测量准则

为了保证测量结果对地层有一定的分辨率，要求满足

$$P \geq 2, \text{ 即 } r \geq 2\delta \quad (4)$$

另外, 只有当 B_z 值高于接收器的噪声水平或灵敏度, 测量结果方可信, 为此还必须对 B_z 设置下限值。目前单位发射器强时接收器的灵敏度是 10^{-6} nT, 井中放置的发射器强度可达 $1000 \sim 4000 \text{ Am}^2$, 则接收器的噪声水平可达 10^{-9} nT。因此 B_z 应满足

$$B_z \geq 10^{-9} \text{ nT} \quad (5)$$

3. 测井数据采集过程

测井时, 将接收器固定在接收井目的层的某一位置上, 通过连续移动发射井中的发射器, 完成一条剖面的测量; 然后将接收器固定在另一位置, 再连续移动发射器完成另一条剖面的测量。如此往复, 直至接收器的位置覆盖整个测量井段。一般要求测量井段的长度应为井间距的 2 倍, 如果井间距较大, 也要使测量长度尽量接近井间距, 以保证有较好的横向分辨率。同时为了保证测量信号的强度和分辨率, 要求井间距满足 $4\delta \geq r \geq 2\delta$ 。接收器的采样间隔为井间距的 5%, 测量数据的采样密度一般为 $0.9 \sim 1.2 \text{ m/点}$ 。

4. 成像原理与分辨率

井间 EMI 成像通过对测量数据的反演, 提供地层二维乃至三维的电阻率图像。成像处理是在假定地层基本满足轴对称的条件下进行的, 这时可把地层电阻率的空间分布简化为二维子午面上的分布。由于接收器的响应是二维子午面上电阻率的泛函, 如果把子午面“离散化”, 即把子午面分为许多方格 (称为像素 pixel), 并假定每个像素的电阻率各为一固定值, 响应则为各个像素数值的多元函数。这是一个非常复杂的非线性函数, 只有当各像素的电阻率都相等时, 其响应方程才趋于方程 (1)。测量过程中, 以一定的深度间隔固定接收器的位置, 发射器以连续测量的方式进行采样, 这样可以得到数量众多的响应方程。通过反演求解方程的未知数, 达到求解各像素电阻率值的目的。当然, 为了保证求解能取得可信的结果, 方程个数必须等于或大于未知数, 即符合“适定”或“超定”的原则。但是应该指出, 信息量巨大、方程结构的非线性和复杂性, 决定了成像处理方法研究和数据反演工作的难度^[2]。

如何提高电磁法的分辨率, 是普遍关注的问题。根据 EMI 技术前期的研究成果 (模型反演), 初步得到如下的经验法则: 垂向分辨率为井间距的 $1/20 \sim 1/10$, 而水平分辨率是 $1/10 \sim 1/5$ 的井间距。但随着目前仪器性能的改善, 将使分辨率有较大提高。

应用研究的主要进展

进入 90 年代, 以 EMI 公司为中心, 联合了加州伯克利大学及由该校毕业、在各国家实验室和工业界工作的科学家、工程师们, 开始进行井间电磁成像系统的研究。目前基本完成了基础理论、数值模拟法和可行性研究的大部分工作, 并设计和制造了相应的仪器装备, 在井间距为 25100 m , 频率为 $500 \text{ Hz} \sim 20 \text{ kHz}$ 的条件下, 进行了一系列有成效的现场试验。在处理方法和软件开发方面, 也初步具备二维处理能力。在金属套管井中的井间电磁测量和成像, 研究工作也有较大的进展。总之, 前期的研究工作基本可以证明, 到目前为止, 理论研究、处理方法和仪器制造所达到的水平, 已经有可能设计制造出工作频率为 $10 \text{ Hz} \sim 10 \text{ kHz}$ 、在井间距达 500 m 的非金属套管井 (裸眼井、玻璃钢或塑料套管井) 中使用的可靠实用的测量系统; 可在典型的油藏岩石剖面, 获得极为有用的井间电阻率成像; 分辨出至少相当于 $1/20 \sim 1/10$ 井间距的地质目标特征, 能有效适用于较大范围的油藏单元划分、饱和度变化和提高采收率开发过程中的动态监测。为此, 从 1997 年开始, 胜利油田和美方合作, 开展

井间电磁成像系统的应用研究，合作研究包括：由 EMI 公司根据胜利油田的地质特点进行仪器的设计和制造，在油藏低电阻率剖面中，即地层背景电阻率为 $1 \sim 10 \Omega \cdot m$ 的裸眼井条件下，开展井间距达 $400 \sim 500m$ 的井间电磁成像工业性试验，并争取在穿透金属套管方面较大的突破。显然这两个方面都是颇具难度的课题，这是因为：一是当工作频率一定时，电阻率越小的地层，井间电磁成像系统所能穿越的井间距也越小。若该系统能够在低电阻率的地层剖面中，取得大井间距条件下精度高、质量好的测量结果，仪器性能则能得到具有说服力的验证。二是由于金属套管对电磁信号产生强烈的衰减和相移作用，使得实现金属套管井的井间电磁测量成为一个很大的技术难题。前期的研究工作表明，金属套管的磁导率、电导率厚度对测量结果影响很大，若存在一层金属套管，工作频率为 $45Hz$ 时，其磁感强度只相当于没有钢套管时的 10% ，频率越大则衰减也越大。但是这个问题应该努力去解决，否则将会大大降低井间电磁方法的技术意义和实用价值。从实际的情况出发，首先是把实现穿透一层金属套管作为当前现场试验的主要技术目标。

经过双方的共同努力，井间电磁成像系统的应用研究取得明显进展。由美方公司负责设计、制造的 XBH2000 型井间电磁成像测量系统已通过现场验收。该系统由井下大功率谐振式发射器、高灵敏度反馈式三分量接收器和地面采集工作站等组成，采用模块化设计，由台式计算机进行系统控制。共有 10 个测量频率，应用数字遥测装置进行井下一地面—控制微机之间的通讯。如图 2 和图 3 所示，是井下发射器和接收器的结构示意图。

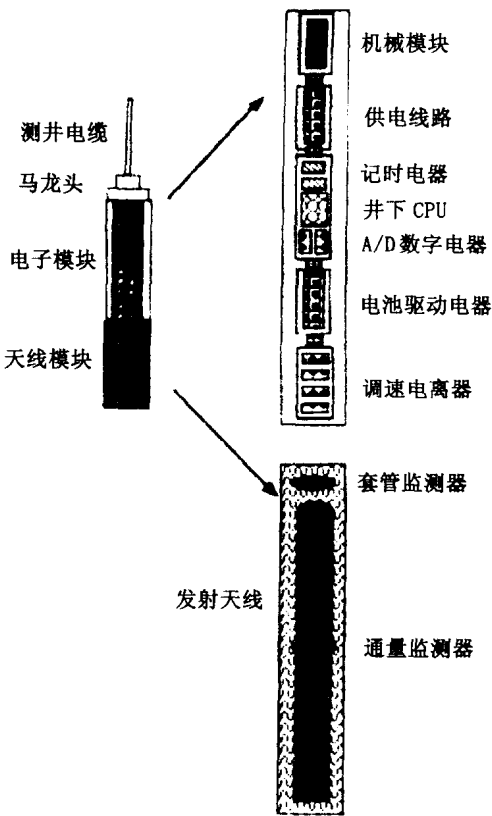


图 2 发射器模块结构示意图

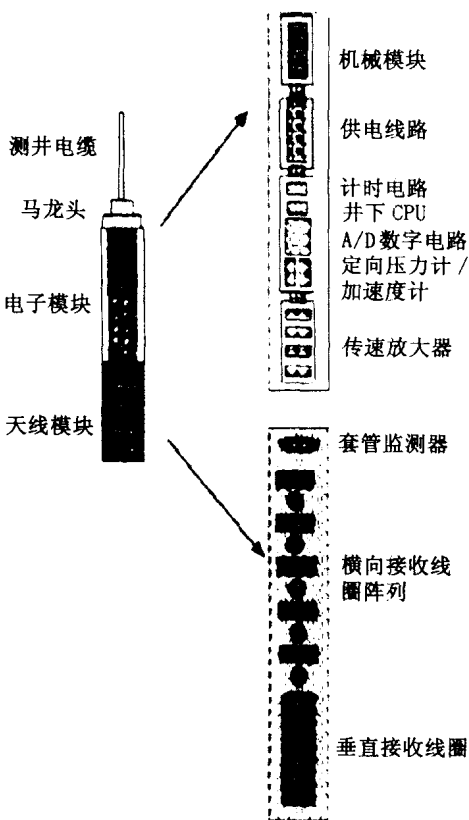


图 3 接收器模块结构示意图

1998 年 11 月和 1999 年 6、7 月间, 利用 XBH2000 型仪器, 分别在胜利油区的孤岛、埕东油田的三对井中, 成功地进行了 10 个井次的井间电磁成像大型工业性试验。如上所述, 试验是在对于井间电磁技术很有难度的条件下进行的, 一是地层为典型的低电阻率剖面, 地层背景电阻率仅为 $1.5 \sim 2\Omega \cdot m$; 二是进行穿透一层和二层金属套管的系统试验。三次试验都采集到高精度、高质量的井间电磁数据, 证明仪器性能稳定、可靠。反演得到的井间电阻率成像图, 在分析井间油气分布、砂体展布等方面也见到较好的地质效果。试验达到预期目的。

孤岛油田中一区现场试验

试验井对为中 9—409 和中 10—更 409 井, 属于孤岛油田中一区注聚合物先导试验区。该井区自 1971 年 10 月投产后, 先后经历了弹性能量开发、水驱开发和聚合物开发三个阶段。其中尤以水驱开发阶段最长, 从 1974 年 9 月开始延续约 22 年, 造成油层严重水淹。

1. 数据采集

中 9—409 和中 10—更 409 井按设计同步完钻, 两井间水平距离 147.19m (井位见图 4), 完钻井深为 1380m。两口井均钻穿上 Ng 的 5 个油层组, 其中以主力油层组 Ng3、Ng4 连通性好, 分布稳定, 如图 5 的测井曲线所示。选取 Ng3、Ng4 作为试验

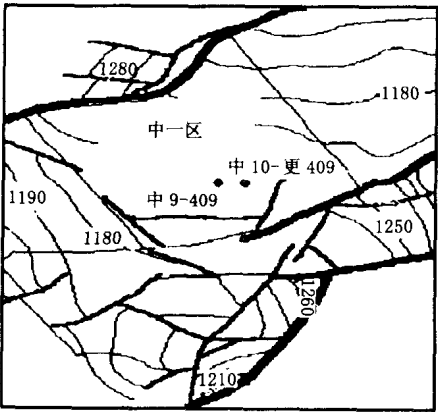


图 4 中 9—409 井和中 10—更 409 井的井位图

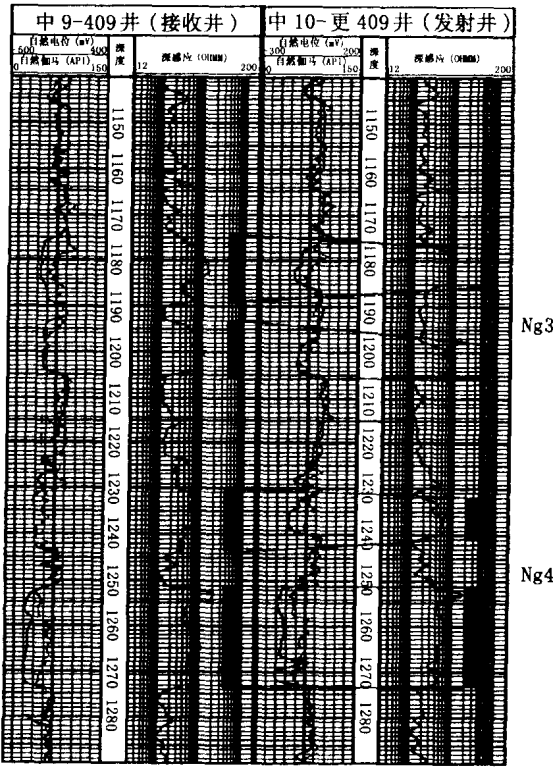


图 5 中 9—409 井和中 10—更 409 井的测井曲线

的目的层, 测量井段为 1075~1325m。地层背景电阻率约为 $1.5 \sim 2\Omega \cdot m$, 目的层电阻率约为 $10\Omega \cdot m$ 。

试验是在 1998 年 11 月 9~15 日进行的, 目的是: (1) 验证硬件系统的性能; (2) 验证用井间电磁系统监测油田水淹状况、剩余油或聚合物分布的适用性; (3) 探索和分析在金属套管中进行井间电磁测量的可行性与可信性。

共进行了三种不同方式的测量: 第一种方式, 两口井都为裸眼井, 工作频率 370Hz、测速 10m/min、采样间隔 1.1m/点, 采集 28 条剖面; 第二种方式, 一口井下了金属套管, 另一口仍为裸眼井, 用

工作频率 90Hz、测速 8m/min，采样间隔 0.9m/点，同样采集 28 条剖面；第三种方式，两口井都下了金属套管，采用工作频率 10Hz、测速 6m/min、采样间隔 0.7m/点，采集 9 条剖面，后采用 24Hz 又采集 14 条剖面。测量结果如图 6、7、8 所示。

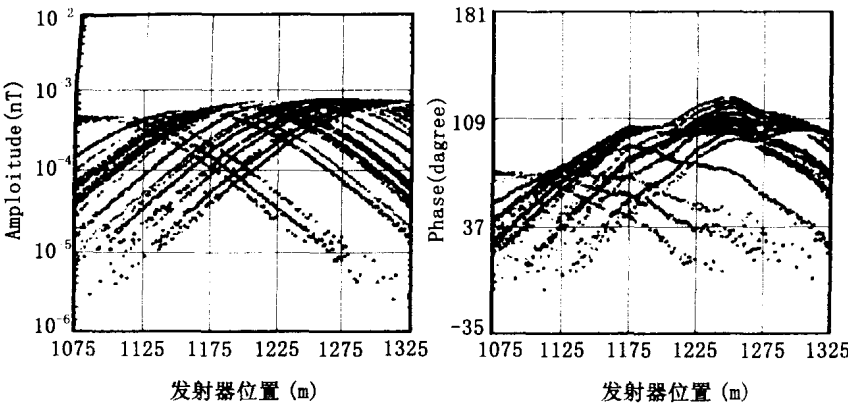


图 6 孤岛中一区井间电磁测量数据（裸眼井—裸眼井）

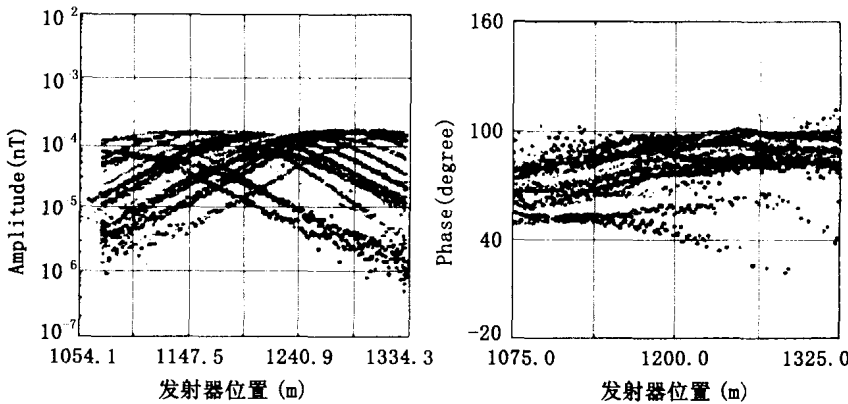


图 7 孤岛中一区井间电磁测量数据（裸眼井—金属套管井）

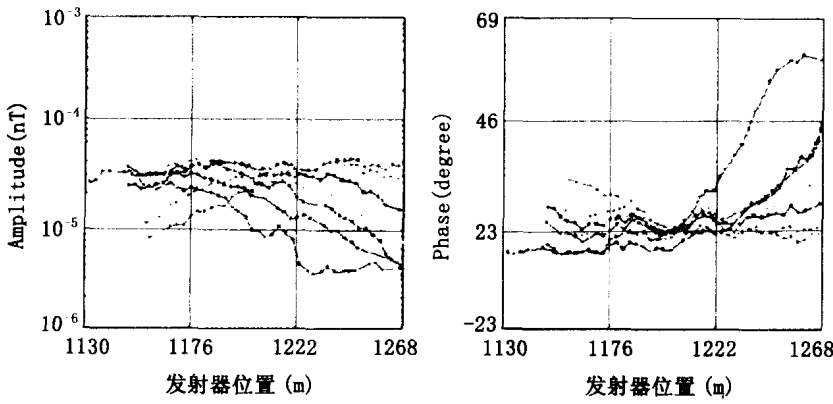


图 8 孤岛中一区井间电磁测量数据（裸眼井—套管井）

2. 井间电磁测量结果分析

分析测量结果, 可得如下的认识:

(1) 当发射器和接收器处于同一深度时, 在每一条剖面上都会出现幅度和相位的极大值显示。

(2) 在测量剖面上, 相位比幅度更能反映地层电阻率的变化。

(3) 在裸眼井-裸眼井的条件下, 获得精度高、质量好、能如实反映井间地层电阻率纵横向变化的测量结果:

① 测量结果与正演模型十分逼近 (图 9);

② 剖面的变化特点与试验井的电阻率测井响应有良好对比性;

③ 测量结果有极好的重复性和一致性: 根据实际统计的重复测量误差: 幅度 $<1\%$, 相位 $<0.5^\circ$ 。

(4) 在金属套管-裸眼井的条件下, 通过对比表明, 一层金属套管将吸收 80~90% 的电磁能量, 使接收信号的强度呈数量级衰减。但仍取得精度高、质量好、能较好反映井间地层电阻率变化的测量结果。

(5) 当两口井均下了钢套管后, 由于双层金属套管对电磁能量的强烈吸收作用, 信噪比大大降低。测量结果实际是反映金属套管的非均质性 (如导磁率、导电率和壁厚变化的影响), 而基本不是地层电阻率的响应 (图 8)。但自身测量的重复性仍然较好, 这说明随机干扰较小。

3. 数据处理与解释

对所采集的大量数据进行反演, 包括现场预处理 (如图 10 的幅度和相位等值图), 以及采用已开发的二维成像软件, 对裸眼井-裸眼井和裸眼井-金属套管井两种方式的测量数据

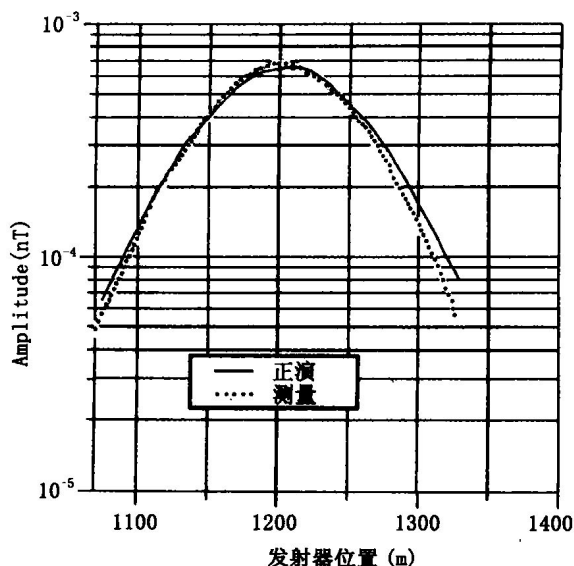


图 9 测量与正演结果十分接近 (RX=1200m)

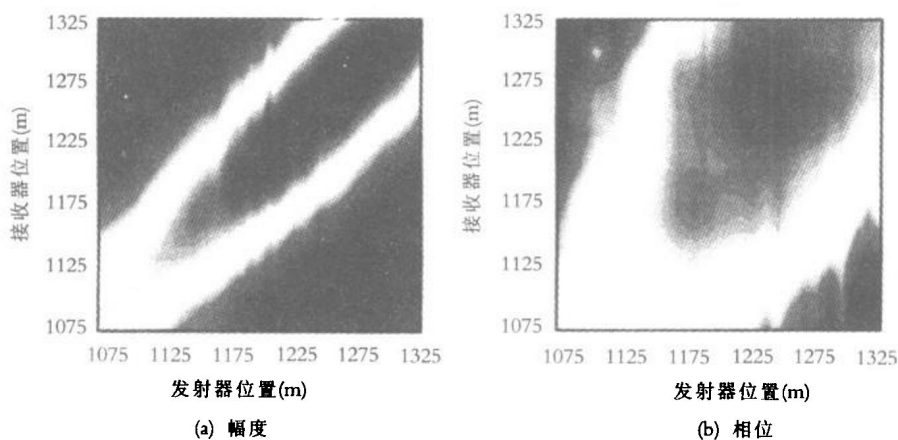


图 10 孤岛中一区井间电磁数据等值图 (裸眼井-裸眼井)

进行成像处理等，取得甚为接近油藏实际情况的处理结果。图 11、12 分别为两种测量方式的电阻率成像图，可看出二者有良好的一致性。

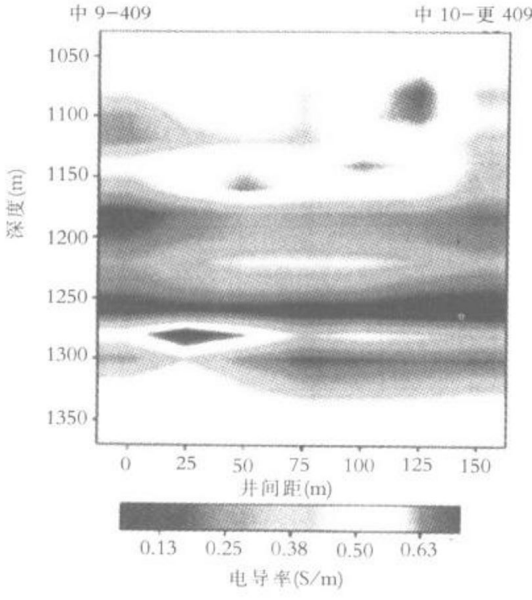


图 11 孤岛中一区井间电磁成像图
(裸眼井—裸眼井)

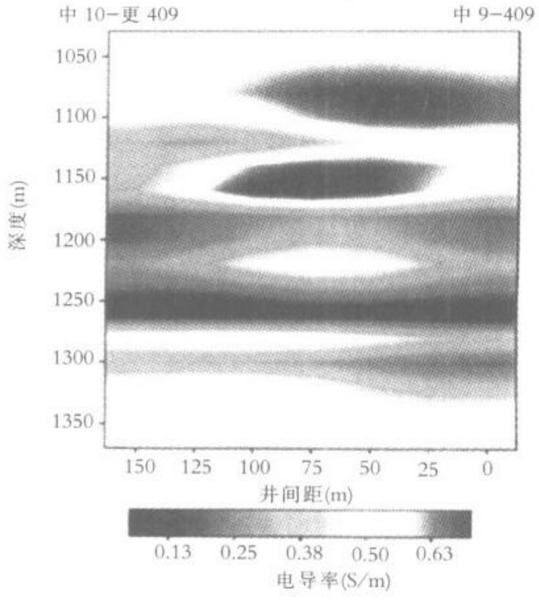


图 12 孤岛中一区井间电磁成像图
(金属套管井—裸眼井)

从处理的成像结果来看，所显示的两个主力油层组 Ng3、Ng4 的主要特点是：

- (1) 呈明显的高阻显示，并有良好的连通性；
- (2) Ng4 油层组的电阻率数值普遍大于 Ng3 油层组；
- (3) Ng3 油层组的井间电阻率有明显的变低现象。

这一处理结果比较接近油田开发的现状，与两个主力油层组 Ng3、Ng4 目前的采收动态相吻合。

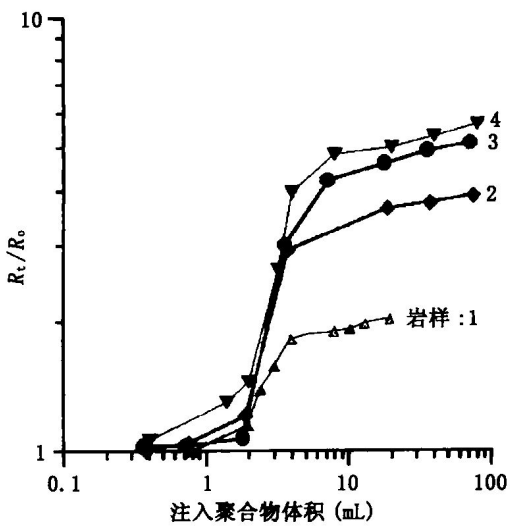


图 13 注聚合物引起岩样电阻率增大

试验井中 9—409 和中 10—更 409 井属于中一区聚合物驱先导试验区，由于先前长期的水驱开发，使两个主力油层组均已高度水淹，含水率都达 90% 以上，又因为长期采用污水回注，造成油层电阻率降低。而图中 Ng3、Ng4 的高电阻率显示，则主要是由于近期采用聚合物驱开发的结果。实验室测定表明，聚合物（聚丙烯酰胺）具有高电阻率特点（图 13），因此注入聚合物的结果，将会引起水淹层电阻率的增高。Ng3 是从 1992 年 9 月开始进入聚合物驱开发，1997 年 10 月又转注污水。Ng4 是从 1997 年 7 月开始至今仍在进行注聚试验。这样就不难理解，Ng4 的井间电阻率普遍并明显高于 Ng3 的原因，不在于剩余

油饱和度高而是由于注聚合物的影响所致。最近已经对中 10—更 409 井进行测试, 日产油 0.6t/d, 综合含水达 98.8%, 证明上述解释是正确的。另外中 9—409 是属于该试验区的边角井, 容易保留相对较多的剩余油和聚合物, 才会造成 Ng3 的电阻率由该井经井间向中 10—更 409 井明显变低的趋势。

总之, 这次的现场试验系统地验证了仪器性能, 并取得突破一层金属套管的重要成果, 同时证明了 EMI 技术是研究油藏特性的有效技术手段。

埕东油田西区现场试验

埕东油田西区的主要含油层系为上第三系 Ng 组, 储层属于河流相砂岩, 由上往下分为 10 个砂层组。试验井埕 27-93 和埕 28-91 井位于埕 28-9 至埕 48 井之间的开发空白区 (图 14), 属于滚动扩边井, 两井的测井曲线图如图 15 所示。由于井区内含油砂体多, 储层厚度较小相变又较大, 油水关系复杂。试图这次通过井间电磁测井, 利用井间电阻率成像剖面, 了解两井之间含油性的变化, 为搞清区块油气层分布特点提供直接依据。

1. 试验情况

试验目的: 一是了解两井之间含油性的变化, 为搞清区块油气层的分布特点, 寻找油气富集区提供直接的依据; 二是在大井间距的条件下, 进一步验证硬件系统的性能; 三是在井间砂体多、厚度又较小的条件下, 考察仪器的分辨率。试验在 1999 年 6 月 22~26 日进行, 井间距为 309.6m, 测量井段 1140~1460m, 地层背景电阻率约为 $1.5 \sim 2 \Omega \cdot m$, 目的层电阻率约为 $7 \Omega \cdot m$, 测量频率 190Hz、测速 10m/min、采样间隔 1.1m/点, 共采集 28 条剖面。实测数据示于图 16。试验结果表明, 在井间距近 310m 的条件下, 由于选用的工作频率偏高, 导致接收信号明显减弱, 影响了实测数据的精度。但总体来说, 数据质量仍然较好, 幅度重复误差 $< 1.5\%$, 相位重复误差 $\leq 2^\circ$ 。不仅进一步证实第一次大型试验所取得的认识, 而且用实际资料证明, 在埕东油田这种典型的低电阻率砂泥岩剖面, 井间距达 300m 的条件下, 采用井间电磁测量进行油藏研究是可行的。

2. 数据处理与解释

成像图比较清楚地显示各砂层组有较好的连通性, 以及井间电阻率的变化 (见图 17), 与油藏的实际情况吻合较好, 表现在: Ng5 (1190~1216m) 与 Ng7 (1350~1370m) 砂层组不仅连通性较好, 而且电阻率相对较高, 为油水同层的显示; Ng5 砂层组的下部, 主要砂层的电阻率由西向东有明显的变低, 说明其岩性和含油性均有变差的趋势; Ng7 砂层组东西向的电阻率则变化不大, 说明其含油性基本相近。分别射开埕 28—91、27—93 井 Ng7 砂层组顶部的 2m 和 3m 的井段进行测试, 结果油水同出, 含水率分别为 76% 和 72%, 与上述的认识基本一致。但处理结果的不足之处也比较明显, 主要是分辨率较低, 造成层厚明显大于

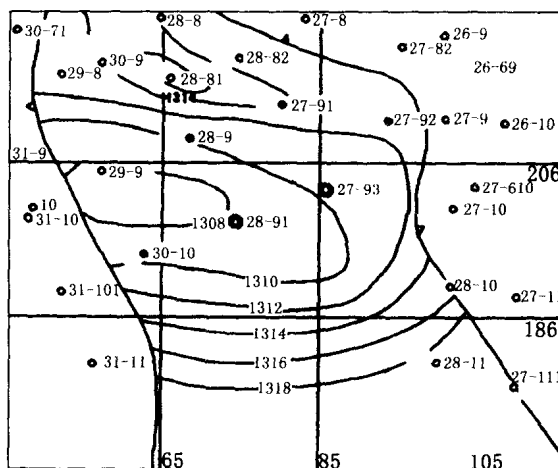


图 14 埕东油田西区井位图

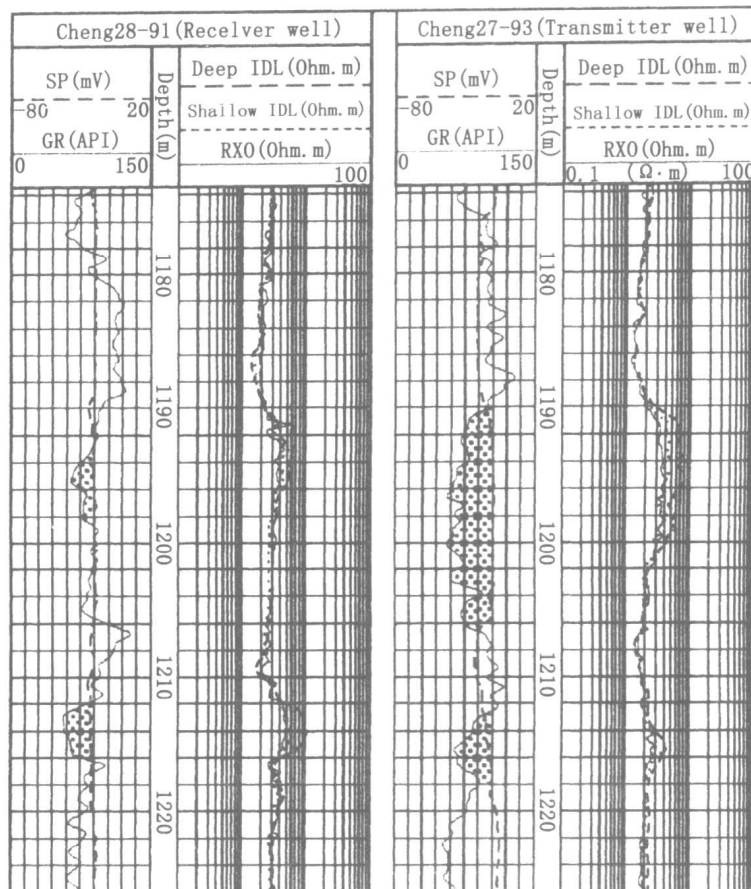


图 15 埕 28-91 和埕 27-93 井的测井曲线

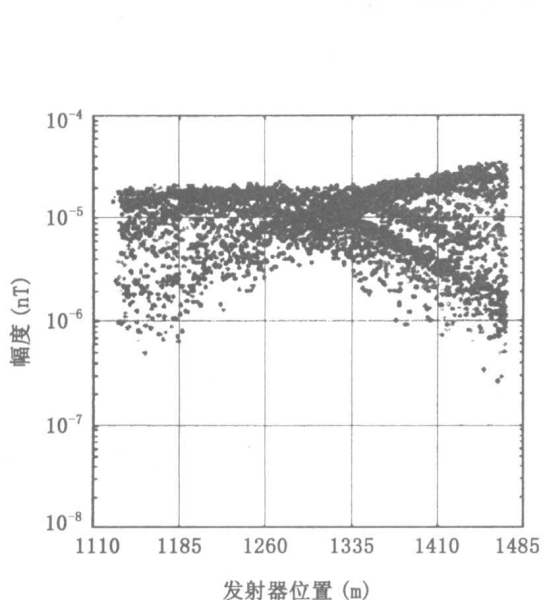


图 16 埕东油田井间电磁测量数据

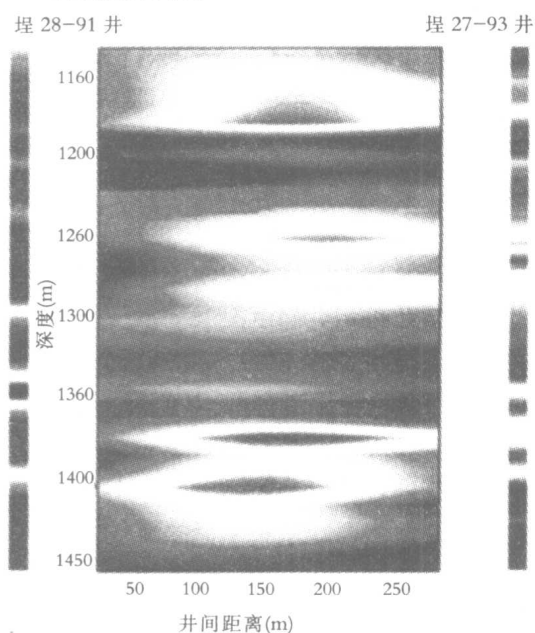


图 17 埕东油田井间电磁成像图

实际地层,同时也反映不出埕东油田下 Ng 组主要砂层组上油下水的分布特点。为此必须进一步提高仪器的分辨率,并进行高分辨率处理。

孤岛油田东区现场试验

孤岛油田东区位于孤岛披覆构造的东翼,主要含油层系为 Ng3、Ng4 砂层组,属河流相沉积,储层物性好,胶结疏松。试验井东 19—16、东 19—19 井位于东区边部的稠油热采开发区(图 18),未受注水波及,完钻井深 1400m,钻遇 Ng3、Ng4 油层组,深度 1260~1292m。其中东 19—19 井已钻穿油水界面(约为 1290.5m),见图 19 的测井曲线图。

1. 试验情况

目的是在前两次现场试验的基础上,再加大井间距,以进一步验证仪器性能和检测井区剩余油分布的可行性。试验于 1999 年 7 月 4~6 日在东 19—16、19—19 井进行,井间距达 433.6m,地层背景电阻率为 $1.5\sim 2\Omega\cdot m$,目的层电阻率 10

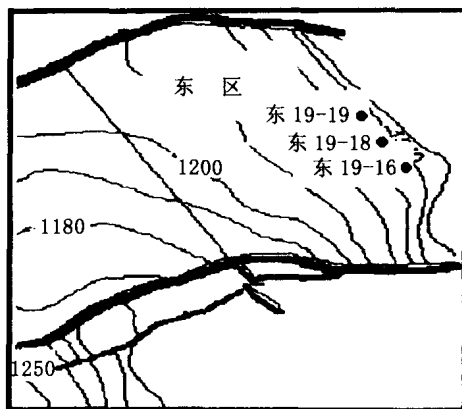


图 18 孤岛东区东 19—16、东 19—19 和东 19—18 井的井位图

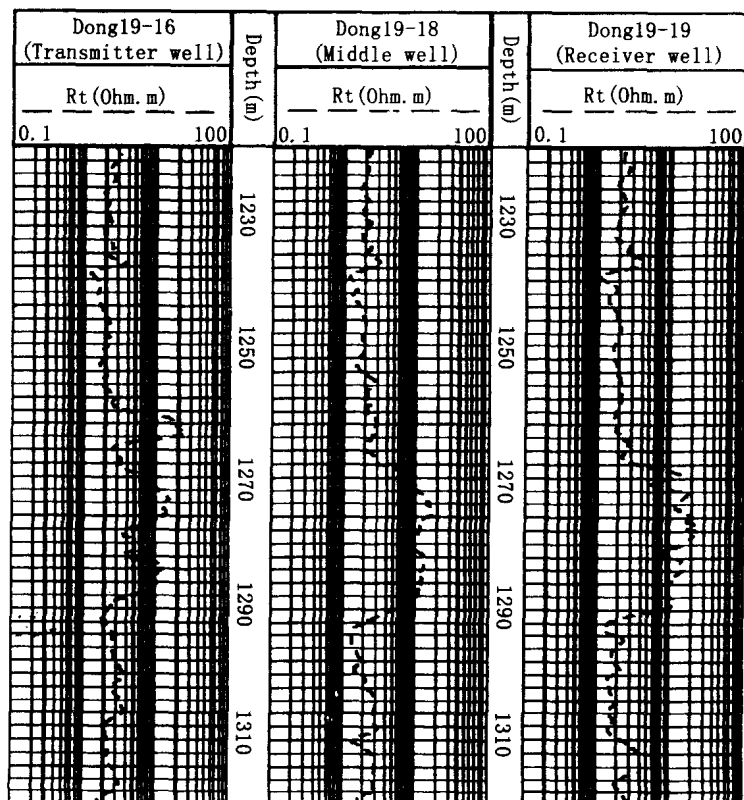


图 19 东 19—16、19—19 和 19—18 井的测井曲线