

# 2005~2006 年国内外测井技术现状及发展趋势

赵平 陈国华

(大庆石油管理局测井公司)

**摘 要:**介绍了 2005~2006 年国内外测井技术的发展情况,包括:测井地面系统、常规组合测井、成像测井、随钻测井、生产和工程测井、核磁共振测井、测井资料综合评价软件系统和基础应用研究等。预测了测井技术的发展趋势,分析了国内测井技术与国外的差距,给出了发展建议。

**关键词:**测井技术 现状 发展趋势 综述

## 1 前言

国外测井技术领先者是斯伦贝谢、哈里伯顿、贝克休斯三大测井公司。这三大公司发展的突出特点是在技术上规模化和一体化。以服务队伍规模化支持研发的高投入,通过研究、开发和服务一体化的体制,形成了技术和市场的良性循环。另外,这三家公司都从长远战略上考虑,发展了自主的成套测井装备。并且,近两年来,新方法、新仪器不断推出,成套装备也日臻完善,测井技术不断提升。俄罗斯的测井仪器尽管在总体水平上与西方相比还有差距,但在某些局部领域却很有特点,即简单实用。而且,从硬件到软件都自成系统。

国内仍是中石油、中石化和中海油“三足鼎立”的局面。通过引进与自主开发,各油田测井公司的测井装备主要有四类:成像测井系统、数控测井系统、国产小数控测井系统以及生产测井系统,其中高端测井装备均由国外引进,但近两年国产成套测井装备水平也有较大提高,并自主开发出了某些测井系统。譬如:中国石油集团测井有限公司技术中心于 2005 年 1 月研制出了 EILog-100 快速与成像测井系统。从测井评价技术上看,各类解释方法都针对不同地区地质特点有所突破,但针对复杂岩性油气藏解释还需要结合新的测井技术和方法进一步深入。

## 2 国内外测井技术新进展

### 2.1 井下测井仪器

国外三大测井公司对作业需求量大的常规测井系列进行了系统集成,改进仪器传感器设计,优化电子线路和机械设计,大大缩短了组合仪器串长度,增强了仪器稳定性,提高了测量准确度,降低了不确定度,一次下井可以完成所有常规测井资料的采集,提高了测井作业的时效。目前市场主导产品是斯伦贝谢公司的 MAXIS-500 系统、贝克休斯公司的 ECLIPS-5700 系统及哈里伯顿公司的 EXCELL-2000 系统。同时为了满足一些特殊的测井需求,各测井公司又开发了集成快速测井平台系统。如斯伦贝谢测井公司的新的电缆测井系列——扫描仪器系列<sup>[1]</sup>和哈里伯顿公司的 INSITE 仪器系列<sup>[2]</sup>。这些测井系统可为客户提供高性能、高可靠、低成本的测井服务,这类服务正逐步取代原有的常规测井。

在国内,尽管近两年来有些油田推出了一些测井仪器,但由于机制原因和各测井公司各自研发,测井装备的整体水平不高,系统的可靠性差、兼容性低是共同的缺点。

#### 2.1.1 斯伦贝谢测井公司的新的电缆测井系列——扫描仪器系列<sup>[1]</sup>

斯伦贝谢公司在卡塔尔多哈推出了新的电缆

收稿日期:2007-04-18

作者简介:赵平,1966 年生,副译审,1989 年毕业于黑龙江大学英语系,现在大庆测井公司从事情报翻译与调研工作。

测井系列——扫描仪器系列。该测井仪器以真 3D、多探测深度充分地表征地下环境,能够测量岩石和流体界面,更准确地评估地层的油气储量。目前推出的扫描仪器系列有 3 种仪器:声波扫描仪器、Rt 扫描仪器、MR 扫描仪器。

声波扫描仪器(见图 1)利用最新的技术采集声波数据,包括正交偶极和多源距单极数据。除了轴向和方位测量外,仪器还进行径向测量,具有多种探测深度(井眼直径的 2~3 倍)。声波扫描仪器平台可以提供极好的波形质量和数据,简化了声波测井的复杂性。

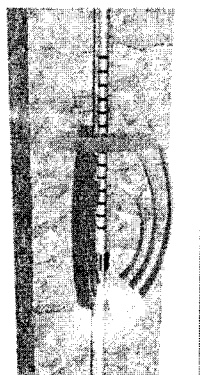


图 1 声波扫描仪器

Rt 扫描仪器可以直接提供 3D 测量结果,用于评价井眼附近地层的垂直和水平电阻率以及地层倾角和方位角。根据这些测量结果,可以更准确地建立储层模型,估算油气储量(见图 2)。Rt 扫描技术已经成功地用于中东的薄油气产层中,在低电阻率环境下提高了油气饱和度的计算精度,降低了储量估算的不确定性。有些情况下,可以发现被忽视的油气层。

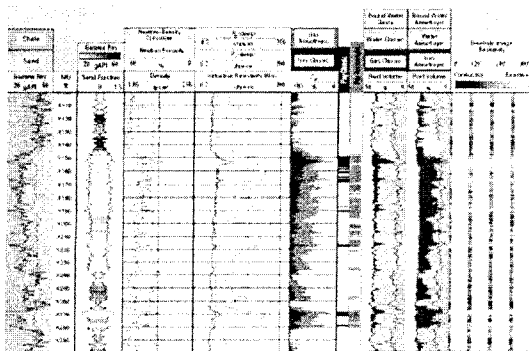


图 2 Rt 扫描仪器测量结果图

MR 扫描仪器(见图 3)是新一代核磁共振电缆测井仪器,同时完成多频率测量,具有多个探测深度(1.5~4in),提供清晰的储层流体分布剖面 and 钻井液侵入信息。仪器的先进设计和简便的计算简化了地层评价。在地层水矿化度未知或变化、低电阻率或低反差油层和薄层,有助于更准确地评价地层。在中东无法用常规电阻率技术评价的碳酸盐岩储层中,用 MR 扫描仪器从含水层区分出了油气层。

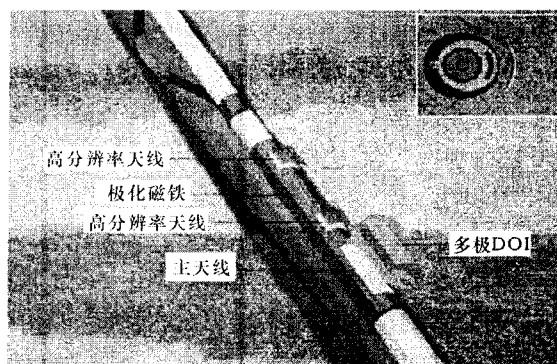


图 3 MR 扫描仪器

### 2.1.2 结构独特的极板型井下仪器<sup>[3]</sup>

2005 年 9 月 29 日,国际知识产权组织官方网站公布了由斯仑贝谢公司申请的一种“井下仪器”(WO2005/090752A1)的专利国际申请。该专利公布的井下仪器包括一个仪器体、一组与仪器体相连并能相对于仪器体作径向运动的推靠臂以及安装在推靠臂上的一组极板,这些极板相对于仪器体绕径向轴转动。当极板绕径向轴转动时,根据极板相对于井眼纵轴的方位,伸长的极板提供不同的井眼圆周覆盖。该专利设计的极板不仅能够绕径向轴转动,极板的角度也能够进行调整。在不同的井眼尺寸和形状情况下,调整极板角度,使覆盖的井周面积相同。

### 2.1.3 哈里伯顿公司的 Log-IQ 成像测井系统<sup>[2]</sup>

Log-IQ 成像测井系统是美国哈里伯顿公司研发制造的。这套测井平台,除了能系统、准确地采集高质量的测井数据外,还具有测后资料处理功能。该系统测井速度快、功能强大,在数据采集上比以前遥传测井的传输速率提高 2~3 倍,能同时运行多个应用程序,可完成套管井、裸眼井以及电缆射孔等多项测井的任务。其模块式设计更

易于今后对每个单元进行升级,以便提高测速、扩大内存、改进功能。

#### 2.1.4 EILog-100 快速与成像测井系统<sup>[4]</sup>

在国内,CPL集团2005年研制成功了EILog-100快速与成像测井系统<sup>[4]</sup>。该系统由综合化地面仪、集成化常规组合井下测量仪(HCT)、国产成像测井仪、一体化处理解释软件(LEAD)构成,先后在不同的温度、压力等环境条件下进行了20井次试验,结果表明:测井成功率高,曲线重复性、一致性、对比性良好,并已在江汉、长庆、胜利、华北等油田测井20余井次,取得了丰富的测井资料,并在试验过程中进一步改进完善了测量系统的稳定性、可靠性及一致性问题。

#### 2.1.5 SDZ-3000 快速测井平台<sup>[5]</sup>

SDZ-3000快速测井平台是中国电子科技集团公司第二十二研究所最新自主研发成功的新一代高集成、高可靠、高时效的组合测井系统。仪器组合了常规测井的全部性能,采用集成化设计、数字处理等先进技术,大大缩短了仪器长度,改善了仪器的分辨率。仪器一次下井可同时完成电法、声波、放射性和辅助测井功能,极大地提高了测井时效。该系统非常适合应用于水平井和大斜度井的测井作业,目前已成功地应用于近百口井的水平井作业。

#### 2.1.6 SL-6105 数字微球聚焦测井仪<sup>[6]</sup>

SL-6105数字微球聚焦测井仪是胜利测井公司新研发的一种新型数字化微球测井仪。数字聚焦微球仪器能够通过对微球曲线的处理得到反演的微电极曲线,只需要一块微球极板就可得到冲洗带电阻率、微电位、微梯度等曲线。

#### 2.1.7 SL-6680 数字声波测井仪<sup>[7]</sup>

SL-6680是由胜利测井公司研制开发的新型数字化声波测井仪,包括SL-6667声波数字化通用短节和SL-6680声波探头两部分。采用先进的井下高速数字化技术,直接在井下把来自声波探头的声波信号进行高质量数字化采集,通过数传通道送到地面系统,保证了信号无畸变传输,可明显提高声波测井质量。

#### 2.1.8 GYJ-D 感应测井仪<sup>[8]</sup>

GYJ-D感应—聚焦测井仪是中国石油集团

测井有限公司测井仪器厂的新型高精度感应—八侧向测井仪。该仪器可与多种井下仪组合,又可配接多种数控测井系统。

### 2.2 随钻测井技术

迄今为止,已有比较完整的随钻电、声、核测井系列,还有随钻地层压力以及随钻地震等。有些LWD探头的测量质量已经达到同类电缆测井仪器的水平。国际三大石油技术服务公司紧盯测井领域的随钻测井这一发展方向研制随钻测井仪器。斯伦贝谢的VISION系列、Scope系统,哈里伯顿的Geo-Pilot系统和贝克休斯的OnTrack系统等均能提供中子孔隙度、岩性密度,多个探测深度的电阻率、伽马,以及钻井方位、井斜和工程方面等参数,基本能满足地层评价、地质导向和钻井工程应用的需要。根据用户的需要,这些系统分别有各种不同的组合形式和规格,最常使用的有两种组合是MWD+伽马+电阻率,提供地质导向服务,结合邻近地层的孔隙度资料还可用于地层评价;二是MWD+伽马+电阻率+密度+中子,提供地质导向和基本地层评价服务<sup>[9,10,11]</sup>。

#### 2.2.1 随钻电阻率测井

##### (1) 新一代钻头电阻率测井仪(GVR)<sup>[12]</sup>

图4为斯伦贝谢公司的GVR仪器示意图。GVR属于侧向类随钻电阻率测井仪器,用于导电性钻井泥浆,提供5种间距的侧向类电阻率和3个探测深度的井眼电阻率成像资料。目前这种仪器有两种规格,分别适用于6.75in和8.25in的钻铤。

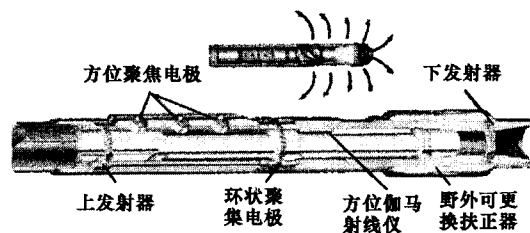


图4 斯伦贝谢公司 GVR 仪器示意图

##### (2) 随钻聚焦型电成像测井仪<sup>[13]</sup>

贝克休斯INTEQ公司已开发并现场测试了一种高分辨率、随钻聚焦型电成像测井仪Star-Trak。仪器提供全井眼电成像图,适用于导电性钻井泥浆(水基泥浆)。在淡水泥浆环境( $R_m$ 在

0.6~2.5 $\Omega \cdot m$ 之间)测试结果表明,仪器产生的成像图质量与电缆测井相当,但没有图像间隙。电缆测井中,这些间隙一般与成像仪器的极板有关。在更低( $R_m \approx 200 \Omega \cdot m$ )或更高( $R_m \approx 0.04 \Omega \cdot m$ )矿化度的泥浆环境进行试验,也给出了有用的结果。

(3) 新型定向电磁测量工具和 3D 旋转导向系统<sup>[14]</sup>

斯仑贝谢公司开发出定向电磁波随钻测井仪(以下简称电磁测井仪),它与 3D 旋转导向配合使用,可以安全地实现地质导向。该仪器在北海的 Veslefrikk 油田进行了应用。

## 2.2.2 随钻核测井

(1) 随钻方位伽马和密度成像测井仪器<sup>[13]</sup>

贝克休斯 INTEQ 公司推出了随钻方位伽马和密度成像测井仪器,该仪器记录 8 个扇区的数据,用于事后成像进行构造和地质解释,可以选择 2 个或 4 个扇区进行实时井眼导向。

(2) 随钻密度和中子测井<sup>[15]</sup>

斯仑贝谢公司现在使用的随钻方位密度中子测井仪(adnVISION)和随钻补偿密度中子孔隙度测井仪(CDN)在测量原理上与同类电缆密度测井和中子测井类似,提供实时的视中子孔隙度、地层体积密度和光电因子数据,用以在钻井过程中描述地层孔隙度和岩性。为提高精度,这些测量都进行井眼补偿。ADN 按方位测量岩石和流体性质,地层评价精度高,储量描述准确,诊断能力增强。仪器的放射性源安装在钻铤内,与一根钛缆连接,万一钻铤卡在地层内,放射性源就容易通过钻杆的电缆打捞出来。CDN 还包含 1 对超声传感器,用于提供多轴井径信息。

近几年另有 3 种新的 LWD 密度—中子仪器问世:精确钻井康普乐公司的新的随钻孔隙度测井系统;哈里伯顿 Sperry—Sun 公司的补偿热中子(CTN)和方位岩性密度(ALD);贝克休斯 INTEQ 公司的先进孔隙度测井服务(APLS)。

(3) 新一代钻井测量工具<sup>[16]</sup>

2006 年 6 月 7 日,斯仑贝谢在深圳蛇口召开新一代钻井测量工具系列技术发布会,同时向中、日、韩三国石油大公司推出解决地层评价、地质导向和优化钻井等难题的技术产品,业内专家称这组技术是钻井测量的一次飞跃。

## 2.2.3 随钻地震(SWD)<sup>[13]</sup>

哈里伯顿和 SensorWise 已公布了随钻地震(SWD)装置的设计依据及现场测试结果。井眼随钻地震测量保证了钻井深度和地震波反射深度的一致性,准确的测量要求地面仪器和井下传感器的时间完全同步。时间同步的直接方法目前还未用于随钻测量方式。

在随钻测井技术方面,国内只有几家民营公司、油田钻井公司或研究院开发出了有限的几种随钻地质导向技术和仪器,随钻测井地层评价工作刚刚开始(利用引进装备),我国在这方面与西方发达国家的差距很大。随钻测井服务的能力对于自行开采我国近海丰富的石油,同时对于提升油田技术服务的整体水平和核心竞争力,进一步拓展海外油田技术服务市场,具有重大战略意义。

## 2.3 生产和工程测井技术

### 2.3.1 隔离扫描器<sup>[17]</sup>

中油网 2006 年 4 月 30 日报道,斯仑贝谢公司推出了新的评价水泥隔离情况的仪器——隔离扫描器。新仪器能够准确地评价常规和非常规水泥及膨胀材料。通过完成径向和地层深处测量,隔离扫描器可以证实层段隔离情况,指示水泥中的窜槽,确保做出恰当的挤注水泥的决定。此外,由于其探测深度,隔离扫描器可以提供详细的关于套管和套管偏心的信息,利用 1D 和厚度测量识别套管腐蚀或钻井造成的磨损。隔离扫描器利用新技术,还可评价轻质水泥、超轻质水泥和重水泥以及常规水泥。可以从流体中区分出低密度固体,能够从受污染的水泥或液体中区分出轻质或泡沫泥浆。

隔离扫描器在北海、欧洲、非洲、中东、北美和墨西哥湾完成了 80 多次作业,证实该仪器能够有效地评价各种水泥。

### 2.3.2 新一代井眼环形声波扫描仪 CAST-V<sup>TM</sup><sup>[18]</sup>

哈里伯顿公司的新一代井眼环形声波扫描仪(CAST-V<sup>TM</sup>)(见图 5)能够提供大量裸眼井和套管井测井信息。在裸眼井中,CAST-V 为精确地进行地层评价提供了完整的井眼成像。在套管井中,超声波套管检查和水泥评价可以同步进

行。

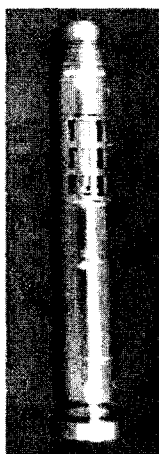


图5 CAST-V 仪器图

### 2.3.3 能谱流动(Spectra Flow)测井——精确的水流量分析<sup>[19]</sup>

哈里伯顿的能谱流动(Spectra Flow)测井服务能够精确地探测井下水流量和对其进行定性分析。它具有以下特点:①能够精确地识别水源:能谱数据能够精确地识别吸液点,以便能及时采取有效的补救行动;②评价井下流动型式;③减小水处理成本。仪器结构如图6所示。



图6 能谱流动仪器结构

### 2.3.4 气体悬持仪<sup>[20]</sup>

哈里伯顿新一代生产测井仪器—气体悬持仪能够快速精确地完成流体分析,其主要特点:①提

高对实际井底流动情况的认识;②加速了地层评价进展,最大限度地优化了生产;③避免由于不精确的流体分析而导致的重大错误。

## 2.4 核磁共振测井技术

采用梯度磁场、多种发射频率,以提供多种探测深度的数据,使用预极化磁体以提高测井速度,成为当今核磁共振测井仪器的特征。

### 2.4.1 新的磁共振自动调频测井仪器<sup>[21]</sup>

斯仑贝谢公司2006年推出了新的磁共振自动调频测井仪器,在静态磁场 $B_0$ 发生变化时,仪器能够自动调节并校正仪器的工作频率。当金属碎屑粘附在仪器的永久磁铁上时,就会发生这种变化。 $B_0$ 场直接影响到拉莫尔频率。传统上,拉莫尔频率是在测井之前的拉莫尔频率搜索作业(LFST)期间确定的。测井期间,新仪器监测 $B_0$ 的变化,当 $B_0$ 的变化超过指定的门限值时,完成新的LFST。

### 2.4.2 核磁共振成像分析(MRIAN<sup>TM</sup>)<sup>[22]</sup>

哈里伯顿公司的核磁共振成像分析(MRIAN<sup>TM</sup>)技术同核磁共振成像测井技术(MRIL)和传统数据结合能识别含油储层。MRIAN<sup>TM</sup>使用双水模型技术来估计原状地层的储层流体体积。在MRIAN<sup>TM</sup>程序中使用双水模型来识别自由水体积。当计算得到有效含水体积同利用MRIL计算得到的束缚水体积相同时,为纯油层。提供了 $T_2$ 弛豫时间和渗透率计算来指示储层性质(见图7)。对MRIL单独进行分析,在MRIL测量的深探测区域进行油气类型解释。当MRIL数据同其它测井曲线结合时,可以得到更多的储层信息。MRIAN<sup>TM</sup>为使用这一数据组合的解释模型之一。

## 2.5 测井资料综合评价软件系统

### 2.5.1 新的油藏描述程序<sup>[23]</sup>

斯仑贝谢公司推出了一套新的油藏描述程序,从大范围到小尺度分级考察,如先弄准构造,再搞清分层,确定孔隙体积之后,再计算累积含油量,该软件涉及高分辨率层序地层学、四维地震技术、井间地震技术以及储集层物性动态变化空间分布规律研究等技术。

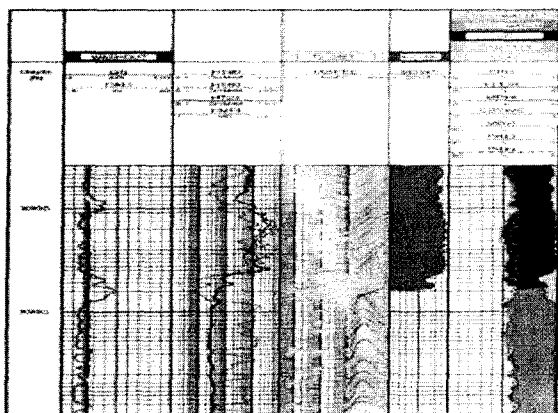


图7 核磁共振成像分析显示油水接触面在 X940 处。  
曲线 3 所显示的核磁共振成像弛豫时间  $T_2$  说明了核磁共振成像分析的弛豫时间的改变。

### 2.5.2 WellEye 3D 井眼数据浏览器<sup>[23]</sup>

斯仑贝谢公司推出的 WellEye 3D 井眼数据浏览器可以观察和分析电缆和随钻测井获得的高分辨率图像。WellEye 浏览器可以沿井眼轨迹以交互方式显示井眼图像,同时可以提供标准的 2D 测井显示。

### 2.5.3 Hal Log Viewer(tm) 系统<sup>[23]</sup>

哈里伯顿公司的 Hal Log Viewer(tm) 系统使哈里伯顿公司能为用户以标准的媒体格式 (CGM; computer graphics metafile) 提供测井信息,这是一种新的轻型网络测井资料观察工具 (viewing tool),允许灵活、安全、快速和容易地交换复杂的图形信息。

### 2.5.4 套管评价和探伤软件 (CASE<sup>TM</sup>)<sup>[24]</sup>

哈里伯顿公司的套管评价和探伤软件 (CASE<sup>TM</sup>) 使用 CASE-V<sup>TM</sup> 仪器在成像和套管两种模式下提供精确的套管评价。套管评价和探伤软件 (CASE) 提供了精确的套管识别和厚度,对套管损害进行解释。

### 2.5.5 LEAD 测井综合应用平台<sup>[25]</sup>

LEAD 测井综合应用平台是由 CPL 技术中心牵头开发的一套适用于复杂油气藏储层评价的测井资料处理与解释软件集成系统。该系统目前已推广应用 30 余套。

### 2.5.6 Forward.NET 综合应用网络平台<sup>[26]</sup>

北京石油勘探开发研究院开发出了新一代测井地质应用平台—Forward.NET 综合应用网络平台<sup>[26]</sup>。平台提供了由单井解释、精细评价直至储层综合分析所需的各种应用分析方法和工具。适用于测井处理、关键井研究、多井评价、沉积研究、储层参数分布研究等,强大的测井地质图表绘制功能满足用户随意组合出地质应用图件。

### 2.5.7 Logdbis 测井数据库系统<sup>[30]</sup>

天津九码软件开发有限公司的 Logdbis 测井数据库系统是基于 Windows 操作系统的新一代测井数据库管理系统。系统结合了数据库管理与 Internet 信息发布的功能,实现对测井资料的管理与信息发布,能够为中央计算处理以及多井分析处理提供数据保障。

## 2.6 基础应用研究

近年来应用基础研究方面的进展突出表现在对储层岩石非均质性和各向异性的理论和实验研究方面。相对于 20 世纪 90 年代中期以前,近几年在国际会议和期刊上发表的这方面的文章明显增多,岩石非均质性和各向异性研究几乎成了一个热点。斯仑贝谢公司开展了介电常数在层状地层中对电阻率各向异性的影响研究。奥斯丁德州大学开展岩石润湿性与含油饱和度对电阻率的影响研究。墨西哥一所大学开展饱和混合流体的双孔隙度碳酸岩储层电阻率模拟研究。澳大利亚大学建造了一套三维成像、评价沉积岩性质的装置。哈里伯顿新型的套管井钾—铀—钍自然伽马处理计算方法为过套管测量,它可以更全面地描述储层和估计产层有效厚度。方法通过使用 1.4in 的 BGO 探头来精确地测量井眼校正后的钾、铀、钍的含量。利用该方法可以探测产层,增加对储层的认识;依据钾—铀—钍的数据显示,当铀含量较高而钾和钍的含量较低时,储层为裂缝或渗透储层;当铀、钍含量较高而钾的含量较低时,储层为含有重矿物的纯净储层。该方法还可确定泥岩类型、体积、阳离子交换能力<sup>[28]</sup>。

另外,油藏环境下岩石物理基础实验研究和流体分析技术越来越受到重视。斯仑贝谢公司推出了井下流体成分测试仪 (DFA)<sup>[13]</sup>,实现了在井下分析样品烃组成成分的功能。

## 2.7 其它测井技术

为了解决油田勘探开发中不断出现的技术难题,一些新的测井方法和技术也在随之出现。具体包括如下。

### 2.7.1 过钻头测井(Through Bit Logging, TBL)<sup>[29]</sup>

斯仑贝谢公司与Reeves油田服务公司合作开发了一种新的测井数据采集方式——过钻头测井(Through Bit Logging, TBL)。TBL是一种将钻杆和钻头作为导管把仪器送入井里进行资料采集的方法,可作为标准电缆测井和随钻测井的一种低成本、高效率的替代方法。这项技术已进行大量测试,目前正在准备推广到商业应用。正在研究该仪器与旋转导航和随钻测量(MWD)的兼容性问题。

### 2.7.2 温度测井技术<sup>[30]</sup>

Kwiklog测井车是一种完全独立的温度测井系统。它利用最新的光纤探测技术,每分钟可以向井中布放200ft光纤电缆。当光缆到达预定的深度后,在4.5min时间内测量沿光纤的温度分布,测量数据被立即记录在内部服务器上。Kwiklog测井装置使用内部电源,此外还有备用电池,加热与冷却系统允许其在外部温度为 $-40^{\circ}\text{C}\sim+30^{\circ}\text{C}$ 的环境下作业。

### 2.7.3 海底测井(SBL)<sup>[30]</sup>

海底测井(SBL)是一项正在兴起的技术,它所提供的信息可消除地震和钻井施工中的危险。SBL采用电磁(EM)方法,测量数据对油水含量敏感,可以监测到被盐体遮盖的结构。应用主要包括如下几个方面:直接识别烃;在采用成本高、先进的地震成像技术之前进行有效的成像扫描;对储层横向分布进行成像描述,为开发设计钻井提供信息;时间推移储层监测和监查。

### 2.7.4 渗透率测井<sup>[23]</sup>

Sondex公司在过去的两年里试图通过研制多频声波仪来计算和记录储层渗透率。英国皇家学院对于在研的动电测井(EKL)仪进行了分析模拟,该仪器产生的电响应用于探测和计算被声波仪器所激励的岩石的渗透率,样机在一口水井

里进行了测试,效果较好。

### 2.7.5 PressureXpress测压仪<sup>[13]</sup>

斯仑贝谢的PressureXpress是一种组合式、只测压力的电缆测试仪,它可快速采集地层压力资料。采用该仪器,压力测量周期(从仪器安装到仪器拆除)有望少于1分钟。为了降低仪器遇卡风险,对仪器外径和外形进行了独特的设计。短探头部分偏心直径为3.875in(98.4mm),下井仪外壳的其余部分直径只有3.375in(85.7mm)。PressureXpress可与测井仪器串(如斯仑贝谢的Platform Express)组合下井。

## 3 测井技术未来发展趋势

通过以上介绍,可看出测井技术的发展趋势有以下特点。

### 3.1 地面系统:综合化、便携化、网络化

未来地面系统具有多种作业功能,不仅可以挂接成像测井仪器和常规测井仪器,进行裸眼井测井,还能挂接生产测井、测试、射孔、取心等工具,进行套管井测井,满足全系列测井服务的要求。

### 3.2 井下仪器:集成化、高分辨、深探测、高可靠、高时效、低成本

井下仪器测量探头阵列化,变单点测量为阵列测量以适应非均质的地层测量需要,为储层评价的深入提供丰富信息,提高储层饱和度测量精度。各种测井仪器的集成化测量不但提高了测井时效,而且改善了测井综合评价所需信息的一致性,提高了测井资料的整体评价水平,同时仪器长度的缩短不但降低了钻井成本也降低了测井施工的风险。阵列感应测井、阵列侧向测井和阵列声波测井是测井技术发展主流的具体体现。以方位侧向、多分量感应和正交偶极子声波测井为代表的储层各向异性测井不但实现了三维测井,也为突破薄储集层测井评价的瓶颈技术指明了方向。因此,井下仪阵列化和集成化已经成为测井技术发展的主流,储层物性各向异性测井技术研究是单项测井技术发展的方向。

### 3.3 随钻测井:小型化、集成化,应用范围和测量项目日益完善

目前,随钻测井已能进行几乎所有的电缆测

井项目,其应用范围在不断扩大。国外,在海上,几乎所有的裸眼测井作业都采用随钻测井技术;在陆地上,特别是大斜度井和水平井,以采用随钻测井技术为主。所以说,随钻测井技术日益成熟,它对地质导向和地层评价的作用越来越大。另外,随钻测井方法的多样化,如随钻声、电、核、核磁、地层测试等方法都已出现,随钻地层评价全面替代电缆测井是必然结果。

### 3.4 生产工程测井:逐渐向油藏动态监测方向发展和完善

过套管电阻率测井<sup>[4]</sup>为油田三次采油提高采收率提供了新的监测方法,井下永久传感器<sup>[22]</sup>使得油藏生产开发状态的监测工作由长周期定期测试向全面实时动态监测方向发展。

### 3.5 测井解释软件:综合化、网络化、可视化

从国外三大测井公司的软件到国内各公司自行开发的软件都能体现这一点。

## 4 国内与国外测井技术的差距

目前我国测井技术存在的主要问题表现在以下几方面:

(1) 早期引进的高精度数控测井设备大部分超期服役,近几年引进的成像测井设备井下仪器不配套,能力未能完全发挥。

(2) 国产地面系统多种多样,传输速率低,没有统一标准和整体的设计规范,系统综合性、互换性、可靠性、兼容性、可升级性差。

(3) 核磁、随钻、电缆地层测试、过套管电阻率、井下永久传感器等新技术的研发严重滞后。

(4) 处理解释软件种类多、集成度差、规模小、覆盖面窄,没有形成主流产品,并且与测井装备的开发不配套。

(5) 目前国内在用的测井技术和装备大部分是从国外三大测井公司引进或仿制的,具有自主知识产权的技术较少。这是影响国内测井队伍国际竞争力的关键因素。

总之,与国外三大测井公司相比,国内测井装备技术水平明显低于这三个公司。国内各测井公司目前引进的成像设备都是这三个公司 5~10 年前的技术,正在使用的主力测井装备都是这三个公司 20 年前的技术,早已该淘汰。目前,这三个

公司普遍具有的先进技术如快测平台技术、随钻测井技术等,在我国还没有形成规模服务能力。各测井公司在用的测井评价软件系统都是引进国外的老版本系统,需要尽快升级。

## 5 结论和建议

### 4.1 结论

(1) 测井技术正向成像化、系统化和阵列化方向发展。

(2) 多分量阵列感应测井技术将成为各向异性储层评价的重要手段。

(3) 核磁共振测井正在向储层流体识别和定量描述方向发展。

(4) 随钻测井近几年内发展迅速,测井系列不断完善;地质导向和地层评价作用越来越大;专家预计:几年内新钻井随钻测井和电缆测井将平分天下。

(5) 过钻头测井、海底电磁测井和渗透率测井相继出现,并会在勘探开发中逐步发挥其作用。

### 4.2 建议

(1) 加强测井基础理论研究和基础实验研究,建立各种岩性孔、渗、饱模型和油、气、水层识别方法;针对地质难题在精细解释和多井评价方面,形成成熟的测井评价技术系列。

(2) 要把已有的科研成果转化成具有自主知识产权的、统一技术标准的和高可靠的品牌测井装备,也就是说地面系统要综合化、常规测井要集成化、成像测井要国产化,进而替代现有的测井装备,这样才能满足目前的市场需求。

(3) 建议关注过钻头测井、网络测井、海底电磁测井和渗透率测井的发展。

(4) 紧密跟踪国际先进测井技术水平,同时发展针对我国特殊地质条件的特色测井技术。

(5) 针对各油田公司技术需求和国际测井技术发展方向,“十一五”期间应重点开展以下几方面测井技术攻关:

① 随钻测井技术及其评价技术;② 井下生产动态实时监测技术(尤其是新兴的永久传感器技术);③ 井下快速地层测试和取样技术;④ 套管井测井评价技术;⑤ 井间监测和油藏描述技术。