

地球物理测井技术与应用丛书

GEOPHYSICAL WELL LOGGING TECHNOLOGY & APPLICATION

主 编

王敬农 汤天知 张辛耘

# EILog 快速与成像测井系统

汤天知 陈 鹏 陈文辉 等编著



石油工业出版社

地球物理测井技术与应用丛书

主编 王敬农 汤天知 张耕耘

# EILog 快速与成像测井系统

汤天知 陈 鹏 陈文辉 等编著

石油工业出版社

## 内 容 提 要

全书分为七章：测井系统概论、EILog 地面系统、EILog 电缆遥传系统、EILog 电法测井仪、EILog 声波测井仪、EILog 放射性测井仪和 EILog 成像测井仪器，主要介绍了仪器组成、测量原理、设计与实现、刻度及数据处理方法等，帮助测井工程师熟练掌握 EILog 装备和软件，并指导测井作业，亦可作为测井培训教材和在校大学生的教科书。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

EILog 快速与成像测井系统/汤天知等编著.  
北京：石油工业出版社，2014. 3  
(地球物理测井技术与应用丛书)  
ISBN 978-7-5021-9890-9

I. E…

II. 汤…

III. 测井-应用软件

IV. P631. 8-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 278619 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) 64523593 发行部：(010) 64523620

经 销：全国新华书店

印 刷：北京中石油彩色印刷有限责任公司

---

2014 年 3 月第 1 版 2014 年 3 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本：1/16 印张：22

字数：560 千字 印数：1—3000 册

---

定价：82.00 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

测井是地球物理测井的简称。测井技术是应用物理学（电磁学、声学、核物理学等）的基本原理解决地质及工程问题的一门综合性应用技术，其作用贯穿石油勘探开发全过程，已发展成为石油工程技术服务的主干技术之一。纵观测井技术 80 余年的发展，一个显著的特点就是，物理学、电子信息、自动化、计算机和新材料等领域的最新成果很快在测井技术中得到应用。

中国石油集团测井有限公司成立以来，大力发展成套测井装备，精心研究测井新方法新技术，全面提升测井技术水平，各项工作取得丰硕成果，为油气勘探开发作出了重要贡献。为了使广大测井工程师能在较短时间内掌握自主研发的装备和软件所包含的技术和方法，中国石油集团测井有限公司组织编写了这套《地球物理测井技术与应用丛书》。《丛书》的作者是工作在生产、科研和教学一线的测井专家和教授，《丛书》是他们科研和教学工作的积淀和凝练。组织出版这套《丛书》，有利于测井学科的传承和发展，是一件意义深远的再创新工作。

从知识结构和谋篇布局上看，《丛书》是一个有机的整体，但各分册又自成体系。《测井电子信息技术》是测井仪器装备所用的各类器件、模块的基础，《测井场论》是测井探测器设计、解释评价的依据，《电测井算法》集中反映了张庚骥教授电法测井理论和方法的精髓。《测井场论》和《测井电子信息技术》以新颖的角度切入，更加突出测井与物理学、电子信息技术等学科领域的紧密结合，这在测井技术理论教材的编写上是一次大胆的尝试和创新。《EILog 快速与成像测井系统》、《油气层测井识别与评价》和《LEAD 测井综合应用平台》剖析了中国石油集团测井有限公司在用的主流测井装备和处理解释软件，分别对应测井技术体系的数据采集、解释评价和测井软件三个技术板块。

这套《丛书》构思缜密、布局精巧、门类齐全，是一套理论与实际相结合的、高水平的专业教材，十分难得。我愿向大家推荐这套《丛书》，它不仅可供测井专业技术人员培训之用，也可作为大专院校相关专业在校本科生、研究生的参考书和教学用书。

陆大卫

2009 年 8 月 27 日

# 前 言

石油天然气勘探开发对象日益复杂,成为增储上产主要贡献者的低孔、低渗、低阻、复杂岩性等油气藏,对测井装备的精度、可靠性提出了更高的要求。以往国内使用的高端测井装备主要靠引进,数量有限,而且大部分测井装备经过多年使用后性能下降;国产测井装备生产厂家众多,不同厂家的测井系统标准不一致,严重影响了测井数据的采集及解释评价。在这样的背景下,中国石油启动了具有自主知识产权的 EILog 快速与成像测井系统的研制。中国石油集团测井有限公司充分利用重组后科研技术整合的优势,在多年技术积累的基础上,通过消化吸收各类系统和仪器的优点,采用集成化、数字化、综合化、标准化设计,2003 年底成功研制出 EILog 快速与成像测井系统,2004—2005 年,在长庆、华北、吉林等油田进行了规模化现场试验。试验结果表明系统指标达到了设计要求,2005 年 9 月第一套 EILog 测井成套装备在长庆油田正式投产,并形成了 50 套/年的生产能力。截至 2012 年,EILog 测井成套装备已推广应用 143 套,在长庆、华北、吐哈、青海等 13 个国内油气田,以及俄罗斯、加拿大、伊朗、伊拉克、乌兹别克、蒙古、缅甸 7 个国家应用。测井 4 万多口,作业一次成功率 96% 以上,油气识别准确率提高 6%,作业时效提高 30%,在解决复杂油气层的识别评价方面取得了显著效果。EILog 测井成套装备已经成为中国石油测井装备主力设备,为找油找气提供了强有力的技术保障。

本书是《地球物理测井技术与应用丛书》之一,主要由测井系统概论, EILog 地面系统, Eilog 电缆遥传系统, EILog 电法测井仪, EILog 声波测井仪, EILog 放射性测井仪, EILog 成像测井仪 7 章构成,介绍了仪器组成、测量原理、设计与实现、刻度及数据处理方法等,帮助测井工程师熟练掌握 EILog 装备和软件,并指导测井作业,同时可作为测井培训教材和在校大学生的教科书。

本书由汤天知、陈鹏、陈文辉等编著,第一章由汤天知、陈文辉、陈鹏撰写;第二章由陈文辉、武向萍、张崇斌、余卫东、陈江浩、林德强、阳晓红等撰写;第三章由王炜、宋青山、秦力等撰写;第四章由陈鹏、刘湘政、毛小民、李妙侠、徐涛、陈光健、陈草棠等撰写;第五章由汤天知、岳爱忠、何子忠、解琪等撰写;第六章由王易安、陈江同等撰写;第七章由陈涛、王成龙、贺秋莉、肖宏、朱涵斌、马雪青、贾向东、李玉霞、秦玉坤、李文博、朱文奎、贺飞、冯林伟、张本庭等撰写。张家田、鞠晓东、赵养真等专家对全书进行了审核和修订,杨兴琴、唐宇对书稿进行了格式编排和校对。在此,对审稿人所付出的辛勤劳动表示衷心的感谢,同时对为本书编写提供帮助的人员一并表示诚挚的谢意。

尽管我们的目标是将本书打造成“精品”,但由于笔者水平有限,书中存在的不足和问题,敬请广大读者批评指正。

编者

2013 年 3 月

# 目 录

<b>第一章 测井系统概论</b> .....	(1)
第一节 测井系统的发展历史 .....	(1)
第二节 测井系统基本概念 .....	(3)
第三节 EILog 测井系统组成和特点 .....	(4)
第四节 EILog 测井系统的发展方向 .....	(6)
<b>第二章 EILog 地面系统</b> .....	(9)
第一节 概述 .....	(9)
第二节 IDAP 地面系统硬件平台 .....	(10)
第三节 EILog 地面系统辅助设备 .....	(21)
第四节 ACME 地面系统软件平台 .....	(28)
<b>第三章 EILog 电缆遥传系统</b> .....	(75)
第一节 CTGC 电缆遥传短节 .....	(75)
第二节 TELC 电缆遥传短节 .....	(86)
<b>第四章 EILog 电法测井仪</b> .....	(95)
第一节 HRDL 高分辨率双侧向测井仪 .....	(95)
第二节 DIL 双感应—八侧向测井仪 .....	(107)
第三节 MSFL 微球形聚焦测井仪 .....	(116)
第四节 ECIM 电极系、井径与微电极组合测井仪 .....	(124)
第五节 TTMC 钻井液电阻率、井温和张力三参数测井仪 .....	(131)
第六节 ECIM 连续测斜测井仪 .....	(138)
<b>第五章 EILog 声波测井仪</b> .....	(150)
第一节 BCA 补偿声波测井仪 .....	(150)
第二节 VDSL 声波变密度测井仪 .....	(162)
<b>第六章 EILog 放射性测井仪</b> .....	(172)
第一节 CTGC 自然伽马测井仪 .....	(172)
第二节 SNGR 自然伽马能谱测井仪 .....	(175)
第三节 CNLT 补偿中子测井仪 .....	(186)
第四节 CDMF 补偿密度测井仪器 .....	(192)
第五节 LDLT 岩性密度测井仪 .....	(197)

<b>第七章 EILog 成像测井仪</b> .....	(210)
第一节 MIT 阵列感应测井仪 .....	(210)
第二节 MCI 微电阻率成像测井仪 .....	(230)
第三节 HAL 高分辨率阵列侧向测井仪 .....	(250)
第四节 UIT 超声成像测井仪 .....	(270)
第五节 MPAL 多极子阵列声波测井仪 .....	(292)
第六节 MRT 多频核磁共振测井仪 .....	(314)
<b>参考文献</b> .....	(342)

# 第一章 测井系统概论

“测井”这个术语对应的英文是“Log”，原意为“航海日志”。这个单词生动形象地描述了“测井”的过程和特点：测井工程师使用测井系统，连续记录随深度变化、反映地层信息的各种参数。测井的主要目的是发现和评价油气层。在油气资源领域，测井被誉为地质家的“眼睛”，帮助地质家回答油气勘探开发的6个基本问题，即地下是否有油气？有多少？是否可开采？能开采多久？开采效率如何？下一口井该布在哪里？如今，测井的应用贯穿油气勘探开发的全过程，成为石油工程技术服务的主干技术之一。测井采集系统（测井成套装备）是测井行业中完成测井信息采集、处理和解释的软硬件集成应用系统，主要包括电、声、核、磁等物理信息量的激发、采集、传输、存储和处理，各种井下仪器的测量方法、测量精度、稳定性与可靠性直接影响测井信息的采集质量和油气层评价效果。

## 第一节 测井系统的发展历史

测井技术历经80多年发展，随着电子技术、计算机技术、通信技术和材料技术的飞速发展，测井系统由最初的简单模拟测量装置发展到现今的成像测井系统。

法国的Conrad Schlumberger和Marcel Schlumberger兄弟发明了电测井，于1927年9月5日在法国Pechlbrom油田488m深的井中，测出了世界上第一条测井曲线，清楚地指示出盖层和含油砂岩，测井技术由此诞生。

中国于1939年开始将电测井应用于油气勘探。著名地球物理学家，已故中国科学院院士翁文波先生是我国测井学科的奠基人。1939年12月20日，翁文波先生首次在我国进行测井试验，在四川巴一井（石油沟一号井）用点测方法获得了测井曲线。1948年9月，在玉门老君庙油田，翁文波先生率领赵仁寿、刘永年、王曰才等技术人员用半自动测井技术在I-25井发现了油层，从测井曲线上清楚地划分出K、L和M等几个重要的油层。

从1927年至今的80余年时间里，测井技术从简单的测量逐步演变成集成化的测量系列，能完成一套高精度的、相互匹配的测量；测量数据通过电缆、钻井液等传送到地面。测井技术依据电、声、核、磁等各种物理原理，采用先进的电子技术和信息处理技术，采集丰富的地下信息，经过处理、解释，对油气层进行评价，为石油勘探开发提供极为重要的资料。按照数据采集、传输、存储和处理等方面的技术发展，测井系统的发展大致可分为模拟测井、数字测井、数控测井和成像测井4个阶段，目前正向网络测井阶段迈进。

### （1）模拟测井阶段（1927—1964年）。

在1927年测井技术问世以后，人们将电、声、核、磁等各个领域内的理论和技术应用于测井，一项又一项测井技术相继诞生。1931年意外地发现了自然电位；1946年自然伽马测井诞生；1948年，朗格里油田应用油基钻井液进行钻井，在油基钻井液内无法进行直流电测井，迫使人们进行探索，发明了感应测井；1950年，人们将伽马源与相应的密度测量技术应用于测井，地层密度测井诞生；电磁场理论在测井中的进一步应用，使人们于1952



年发明了能将电流聚焦的七侧向测井和三侧向测井；同年，人们将超声波技术成功地应用于测井，声波测井诞生；将中子源与相应的放射性测量技术用于测井，中子伽马测井诞生；1956年，闪烁测量技术被应用于核测井。至1964年，用于地层评价的常规测井系列基本配齐。

#### (2) 数字测井阶段（1965—1972年）。

进入20世纪60年代，世界石油产量达到10亿吨，测井工作量大增；同时，测井技术的发展使测量信息越来越丰富，模拟测井仪器已不能满足测井资料计算机处理的需要。60年代初，人们开始研制数字化测井地面仪器以及与之配套的下井仪器。1965年，斯伦贝谢公司首次用“车载数字转换器”（包括模/数转换器、数字深度编码和磁带记录装置）记录数字化测井数据，数字测井时代开始。数字测井系统在60年代至70年代初得到广泛应用。

#### (3) 数控测井阶段（1973—1990年）。

计算机技术的高速发展，推动测井仪器的更新换代。1973年，第一次在现场用计算机记录和处理数据，数控测井时代开始。数控测井地面采集仪器是由车载计算机和外围设备组成的人机联作系统，能完成对井下仪器测量数据的采集和实时记录，并能在井场进行快速直观处理。数据传送方式由单向编码传输发展为双向可控数据传输，传送速度大大提高。在这一时期，人们继续把各种新技术用于测井。将电视的观念与超声波技术相结合，发明了井下声波电视测井；根据电磁波测量原理，发明了电磁波传播测井；随着对横波认识的深化，把横波技术也加入到声波测井的内容中去。人们充分发挥高速数据传输的优势和计算机快速数据处理的优势，采用多传感器、大信息量的方法，提高分辨率、增大探测深度，提高测量精度和准确度。测井资料可以更加精细地用于油气藏的描述。

#### (4) 成像测井阶段（1990年以后）。

石油勘探中，越来越多地遇到裂缝性地层等各种复杂地层，迫使人们寻求对付复杂地层的测井方法。1986年，第一种成像测井仪器（微电阻率扫描成像测井仪）问世，对裂缝识别和评价提供了全新的手段，引起了人们的兴趣和充分重视。以后，其他一些成像测井下井仪器相继诞生。为了满足各种成像测井仪器在大信息量传输、记录、图像处理等方面的要求，研制成像测井地面仪器并将各种成像测井仪器与之集成而形成完整的成像测井系统已成为必然趋势。90年代初，斯伦贝谢公司率先推出了MAXIS-500成像测井系统。成像测井是一个集各种先进技术之大成的系统，是高新技术的结晶；成像测井地面系统是计算机技术、遥控遥测技术、高速数据传输、应用软件密切结合的体现。

正当成像测井广泛受到欢迎之时，快测平台测井系统又在20世纪90年代末问世。它的开发是基于以下考虑：一是以深、中、浅3个探测深度的电阻率测井和中子、密度、声波3种孔隙度测井为主体的常规测井资料，在大多数井内可以基本满足地质家的需要。二是油公司期望尽量减少测井占用井场的时间，希望测井快，不返工。于是现场的生产需求迫切需要采用多种新技术对常规测井仪器进行根本性的改造，研制出一种组合性强、长度短、可靠性高、测井速度快的常规测井组合仪器。由于微机功能的大大增强，现在的快测平台已经可以挂接各种成像测井下井仪器，因此国外有些测井公司已经停止生产原有的成像测井地面系统。

测井技术的发展显示出2个明显的特点。一方面，测井技术的发展与石油勘探开发紧密联系在一起，勘探开发的需求成为测井技术发展的重要动力；另一方面，测井科技工作者时刻关注着物理学、电子学、计算机学等各领域的最新进展，这些领域的最新成果往往很快就

在测井技术中得到体现。

当今，国外测井数据采集系统的主导产品是斯伦贝谢公司的 MAXIS-500 成像测井系统和 PEX 快测平台；贝克休斯公司的 ECLIPS-5700 成像测井系统和 FOCUS 快测平台，哈里伯顿公司的 EXCELL-2000 成像测井系统和 LogIQ 快测平台。这些测井系统具有以下特点：普遍采用大规模集成电路，大幅缩小了仪器体积；数据采集系统的可靠性和稳定性显著提高；采用统一的数据传输格式和通信接口标准、高数据传输率的电缆传输系统，使得数据采集和传输速度显著提高；可视化、组件化和实时采集加快了测井资料采集和向用户提交资料的速度。三大测井公司的测井系统仍然代表了当今测井技术的最高水平。

## 第二节 测井系统基本概念

测井系统的主要功能是完成井下地层的各种物理特性的测量和分析，它是实现测井信息采集、传输、处理和质量控制等功能的以数据为中心的系统，是所有测井信息应用技术的物质载体，包括系统硬件和系统软件。

如图 1-2-1 所示，测井系统主要包括以下四部分：

- (1) 地面的数据采集、控制、记录和处理系统，简称地面仪。
- (2) 测量不同地层物理特性的下井仪器。系统可以根据测井作业的要求，选择不同组合系列的下井仪器组合串，获取所需的测井信息。
- (3) 测井仪器特种车辆或拖橇。内部装有测井绞车，用于装载地面仪器和电缆进行测井作业施工。
- (4) 测井辅助设备。包括井口装置、深度系统、水平井测井工具等特殊专用设备。

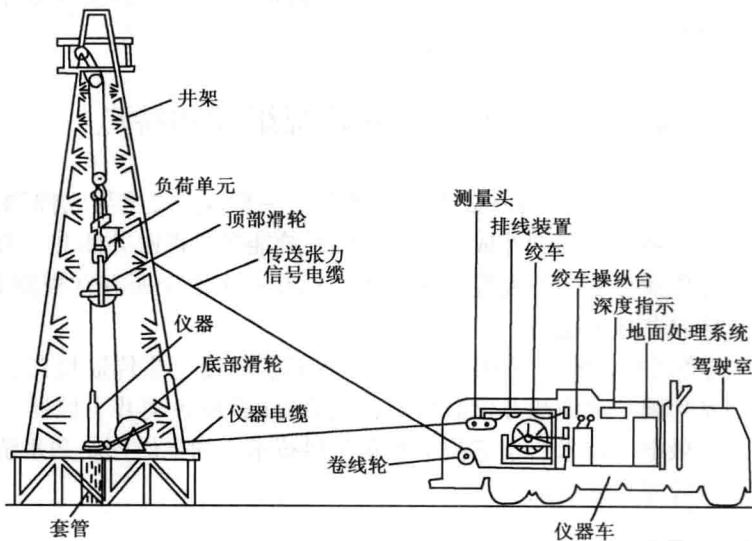


图 1-2-1 测井系统组成简图

测井系统的主要工作流程是：将各种对不同地层信息敏感的传感器用电缆或其他方式送入井下，通过地面仪器控制井下传感器，在地面采集系统的控制下，测量反映对应的地质和工程特性的相关信息，并转换成可测量的物理量。下井仪器的电子线路，对这些信号进行测

量, 经过归一化、放大和处理后, 按照一定的编码方式, 通过专门的传输介质(有线, 如电缆; 无线, 如钻井液脉冲) 传送到地面。地面仪器对这些从井下传来的数据进行“信号恢复”处理后, 由系统软件完成深度对齐, 实时处理, 实时监控和绘制测井图件, 并将数据记录在系统的永久记录介质上。在井场可以利用快速直观解释软件完成现场的资料处理, 并通过远程网络传送到数据中心进行专家诊断, 实时指导现场的测井数据采集。其中, “测井信息” 是测井学的主要研究对象, 从测井信息的正演和反演流程, 确立测井系统在测井信息研究中的位置。测井信息流的转化过程可以分为正演和反演两类问题。测井信息的正演过程以研究测井基本原理为主, 是把可能用测井方法认识的地质和工程实际问题, 经过合理抽象建立的物理模型, 给出该模型各组成部分的岩石物理参数和井眼工程参数的空间分布, 推导出相应的介质物性参数空间分布; 由已知其特性的激发源发出激励信号与这些介质作用后, 形成主要由介质物性参数决定的物理场。具有一定特性的传感器在此物理场的作用下, 输出原始测井电信号, 然后经过采集和处理, 得到原始的测井信息。测井信息的反演过程是以研究测井实际应用为主的问题, 主要是从实测得到的原始测井信息出发, 结合传感器的响应特性, 通过相应的数据处理手段, 得到介质物性参数空间分布, 进而得出相应的岩石物理和井眼工程参数。

测井信息采集中所涉及的物理场多种多样, 有电磁场, 声场, 核辐射场, 重力场, 温度场等。前三者是目前绝大多数测井井下仪器测量的物理场, 可以把测井信息的研究分成 3 个组成领域: 测井的地质和工程物理基础研究, 测量方法和仪器研究以及测井信息处理和解释研究。正是通过 3 个领域的技术研究, 开发出相应的测井系统。反之, 利用测井系统, 可以不断改进测井信息的技术研究, 推动测井技术和测井系统的不断创新。EILog 快速与成像测井系统的研发与技术升级也是基于测井系统的总体特点, 主要围绕电磁场、声场、核辐射场三大物理学领域研发了集成化的常规测井仪器, “三电两声一核磁” 的成像测井仪器, 过套管测井仪器等, 形成了具有自身特色的测井系统。

### 第三节 EILog 测井系统组成和特点

基于网络等新技术的新一代测井数据采集系统——EILog 快速与成像测井系统是多任务、高精度、高可靠、系列全的测井成套装备。该系统能提供裸眼井测井、套管井测井、生产井测井和射孔取心作业等全系列电缆测井服务, 具有一次取全所有常规测井参数的能力, 同时还具备多种成像测井作业能力。

EILog 快速与成像测井系统主要由综合化地面仪器、高速电缆传输仪器、集成化常规快速组合测井仪器和系列国产成像测井仪器组成, 共有 60 多种各类井下仪器。该系统是当今先进的计算机技术、微电子技术、信息技术和新材料技术等的集成创新和系统集成, 具备高可靠、高精度、高时效等技术特点。

#### 一、综合化地面系统

EILog 综合化地面系统采用前端和后台网络分布式结构, 主要由接线控制箱体、数据采集与控制箱体和井下电源箱体等组成, 完成数据采集、质量控制、数据处理记录和成果输出。可配接常规测井、成像测井、生产测井等下井仪器, 提供裸眼井测井、工程测井、生产测井、射孔和取心等全系列电缆测井服务。

硬件平台由单系统和便携系统两部分组成，便携系统为可选配置，两部分可以独立工作，也可以交叉互换，共享资源。能满足常规仪器实时测井、实时质量监控、测井数据管理和系统服务的技术要求，具有射孔和生产测井能力，具有良好的扩充性和一定的兼容性。通过扩充模块，能挂接 RFT、旋转式井壁取心器等。

## 二、集成化常规快速组合测井仪器

EILog 常规快速组合测井仪器由自然伽马、自然伽马能谱、自然电位、补偿中子、补偿密度/岩性密度、补偿声波/数字声波、高分辨率双侧向、双感应八侧向、微球形聚焦、井径、井斜、方位、井温、钻井液电阻率、压力、磁定位、声波变密度/数字声波变密度、微电极、电极系（0.4m、2.5m、4.0m）、六臂地层倾角等仪器组成，已形成 150℃/100MPa、175℃/140MPa、15m 一串测和非常规油气版四大系列。具有组合能力强、稳定性好、探测深度大、测井作业效率高等特点，一次下井可以测量深、中、浅三电阻率，密度、中子、声波三孔隙度，以及自然伽马、自然电位、井径、井温、井斜等 18 条常规测井曲线。

### 1. 仪器主要构成

遥传仪器：两种传输速率，分别是 100k（BPSK）和 430k（COFDM）两种传输模式；  
电测井仪器：高分辨率（普通分辨率）双侧向、双感应、微球形聚焦；  
声测井仪器：高分辨率双发双收模拟补偿声波、单发五收数字补偿声波；  
核测井仪器：自然伽马、自然伽马能谱、补偿中子、补偿密度、岩性密度；  
辅助参数测量仪：连续测斜仪、三参数（井温、电缆张力、钻井液电阻率）、井径、微电极、电极系（0.4m、2.5m、4.0m）。

### 2. 主要特点

#### （1）电路集成与共用。

EILog 集成化常规快速组合测井仪器实现了放射性测井仪、双侧向测井仪、双感应仪器和声波仪器等的电子线路集成。电源电路是系统中的重要功能单元，通过分析和计算，确定各部分所需要的功率以及确定哪些部分的电源可以共用，从而达到减少电源数目和缩短长度的目的。放射性测井仪器功耗小，可与遥传仪器的电源共用；电测井仪和声测井仪虽然功耗大，但相互之间的干扰小，通过适当加大部件的功率也实现了电源共用。补偿密度、补偿中子、自然伽马的测量电路基本上均是由前置放大、主放大、鉴别整形、分频及驱动几个部分构成，因此在该系统中除前置放大外，基本上实现了共用。

#### （2）传感器复用。

补偿密度探测器和微球形聚焦极板是两种不同类型的传感器，电气上相互之间干扰小。实现这两种探测器同时测量的办法有两种：一是将补偿密度滑板延长，再将微球极板放置在延长段，这时由于密度滑板增长、质量增加，造成推靠器推力不足，探测器不能与井壁良好接触，必然降低测量数据可靠性和测量精度。二是将微球极板放置在推靠器副臂上，这样将造成两种探测器测量地层方向的差异（这两种探测器测量具有方向性），造成评价对象的不同从而产生响应结果不一致。此外，由于微球极板和仪器腔的连接线裸露在钻井液中，降低了系统密封的可靠性。

#### （3）结构与工艺优化。

骨架结构优化通过工字形骨架结构与三角形骨架结构的综合使用实现。工字形骨架结构通常用于电源变压器等大体积部件的安装及由小体积元器件构成的电路板安装，而三角形骨

架结构一般用于小型变压器、继电器及高度稍高元器件电路板安装。

### 三、EILog 成像测井仪器

EILog 成像测井仪器现由 MIT 阵列感应测井仪、MCI 微电阻率成像测井仪、HAL 高分辨率阵列侧向测井仪、MPAL 多极子阵列声波测井仪、UIT 超声成像测井仪和 MRT 多频核磁共振成像测井仪组成。成像测井技术为在低孔、低渗、低阻储层等复杂油气藏中进行油气识别和储层评价提供了手段，大幅度地提高了油气层识别准确率。

(1) MIT 阵列感应测井仪是一种阵列化、数字化的成像测井仪器，通过数字合成聚焦和软件成像，提供 3 种纵向分辨率（30cm、60cm 和 120cm）、5 种径向探测深度（25cm、50cm、75cm、150 和 225cm）的 15 条地层电导率处理曲线，提供比常规电阻率仪器更丰富、更准确、更直观的测量，具有较强的薄层划分能力，能详细描述地层侵入特征，可获取地层真电阻率，从而确定储层饱和度，主要用于定量描述层理和侵入特性、测量地层电导率，求取地层含油饱和度。

(2) MCI 微电阻率成像测井仪提供环井眼地层高分辨率电阻率图像。该仪器有 6 个极板，每个极板上分布 24 个电极，共 144 个电极电扣。对电扣测量进行刻度，并进行合成处理，获得伪彩色或灰度图像。主要用于裂缝识别、薄层评价、岩性划分、地层各向异性评价、沉积相和构造分析，是解决复杂非均质储层测井评价、地质特征分析的重要手段。

(3) HAL 高分辨率阵列侧向测井仪器是为适应复杂油气层识别和评价而设计研发的，很好地解决了双侧向仪器受井眼和围岩影响不规律及存在格罗尼根现象和校正困难的问题。一次测井可测得 6 条曲线，主要用于定量描述薄层和地层侵入特性、测量地层电阻率，反演地层真电阻率，以及求取地层含油饱和度等。

(4) MPAL 多极子阵列声波测井仪不仅能够实时获取准确的纵波时差，还可以多种组合模式在裸眼和套管井中通过单极全波、偶极横波和正交偶极挠曲波波列的采集，在各种地层中提取纵波、横波和斯通利波波速，并能够获得地层各向异性特征，进而在储层地质评价中提供包括孔隙度和渗透率、岩性、岩石力学特性等一系列重要参数。

(5) UIT 超声成像测井仪是一种用超声波作信息载体的测井仪器。利用超声波信号反射原理，探测井眼表面，对井壁进行圆周扫描，用图像来表现井下地层及井身的特性。识别地层裂缝形态，分辨套管射孔、变形。这种图像是从井内所看到的井壁的实际表面影像。超声成像测井产生的是井壁图像，解释直观、方便，分辨率高，而且是全方位检测整个井壁。

(6) MRT 多频核磁共振成像测井仪通过外加交变磁场与静磁场中地层流体氢核相互作用，产生核磁共振。氢核弛豫信号幅度与地层的孔隙大小成正比，其弛豫速率或弛豫时间与孔隙度、渗透率、孔径大小分布、流体性质及含量等有关；能够确定地层有效孔隙度、研究孔隙结构、有效识别复杂油气层。

### 第四节 EILog 测井系统的发展方向

通过 EILog 测井装备的研制，国产系统具备了集成化常规测井、“三电两声一核磁”成像测井、过套管测井及生产测井、动态地层测试、地层元素测井、旋转井壁取心等作业能力。系统实现了高可靠、高精度、高效率，达到了测得好、测得快的目标。建立了以油气评价为核心的地层成像 EILog 测井技术系列，构建了高效、多信息的测井采集硬件平台。但

是，为了适应复杂油气储层、非常规油气勘探开发的技术需求，EILog 测井系统仍然需要在已有的基础上进一步发展，不断创新，以满足用户需要。

## 一、与现代互联网技术相结合，形成以测井数据为中心的测井采集、处理与解释为一体的测井网

随着互联网络技术的飞速发展，它的最大优越性之一是可以按人们的意愿对同一信息进行几乎无限制的共享。而且，宽带技术又突破了信号传输的速度和总量的限制，从而使信息的实时共享和多向控制成为可能。网络测井是今后测井系统发展的方向，它能够实现信息的实时共享和指令的多向传递。在互联网上，空间距离的概念已经没有意义。空间距离概念的突破对测井作业具有非常重要的意义，尤其是对于一些困难条件下的作业，如海上、沙漠，将会大大提高作业效率和决策速度。因而以互联网，无线通信方式为物理媒介，以实时数据远程传输和同步技术支持为特点的地面数据采集网络将测井现场进行了延伸，使目前独立单一的作业方式向网络式、互动式的作业方式转变，形成以测井数据为中心的测井采集、处理与解释为一体的测井网。

## 二、与先进的通信技术相结合，实现 1Mb/s 更高速率的电缆数据传输系统

20 世纪 90 年代，斯伦贝谢公司 MAXIS-500 测井系统数据传输能力就达到了 500kb/s；哈里伯顿公司新一代快速测井系统 LOG-IQ 数据上传速率在 7600m 电缆时为 800kb/s，井下仪器总线速率 10Mb/s。EILog 测井系统目前上传速率为 500kb/s。500kb/s 电缆传输速率已经不能满足正在发展的三维成像测井技术（特别是三维声波测井）、电成像与偶极声波成像组合测井对数据传输的要求，因此，加快研发高速电缆数据传输系统，力争实现 1Mb/s 传输速率的高可靠稳定的电缆传输。

## 三、与油田技术需求相结合，发展各具特色的油田测井系列，实现 EILog 测井系统的系列化

目前，油田的勘探地质对象日益复杂，如低阻低孔低渗储层、碳酸盐岩缝洞复杂储层、火山岩复杂岩性储层、非常规油气（页岩气、煤层气、致密油气）等，这些复杂地质体对测井数据的采集提出了更高和差异化的技术需求；另外，大斜度井、水平井、超深井、小井眼、复杂困难井眼、非导电钻井液等特殊钻完井技术的规模应用，对测井数据采集也提出了更高的井眼环境适应能力。针对地质与工程技术革命给测井技术发展提出的种种挑战，在充分考虑测井系统的普遍性要求基础上，与油田技术需求紧密结合，发展各具特色的油田测井系列，实现 EILog 测井系统的系列化，是今后的主要发展方向。

(1) 针对油田提速提效的要求，将常规测井与阵列感应组合，重点发展高集成化的“一串测”快速测井，一次下井取全开发井评价所需的常用测井数据；

(2) 针对超深井小井眼的工程需求，解决这种环境下测井采集“测得成、测得全”的问题，为勘探开发提供基本的测井评价资料，必须大力发展小直径、耐高温和高压（200℃/170MPa 以上）的常规测井系列和成像测井系列；

(3) 针对非常规油气（如煤层气、页岩气、油砂）的地质、工程的特点，特别要考虑技术的经济有效性，在现有测井系列的基础上进行补充与完善，着力发展具有解决特殊测井评价问题（如地层元素测井）、经济适用、高可靠的非常规油气测井技术系列；

- (4) 针对水平井测井的需求，应加快发展过钻杆存储式测井技术系列；
- (5) 针对油基钻井液的井眼环境，发展基于油基钻井液的微电阻率成像测井技术；
- (6) 针对缝洞性储层井旁 10m 以上局部构造识别的需求，重点发展声波远探测成像测井技术。

为了更好地发展各具特色的测井系列，在做好仪器硬件的基础上，特别注重 EILog 测井仪器在不同地质与井眼环境条件下测井曲线校正算法有效性的研究与应用，补充完善各类环境校正图版，提高测井仪器的采集质量，拓宽测井仪器的适用范围。

#### 四、与现代物理新技术相结合，发展三维成像等新的高端测井技术装备

勘探地质对象的复杂性主要体现在地质体的非均质性和各向异性，如深水油田的超薄互层引起的电特性的各向异性，裂缝、溶洞发育引起的地层各向异性，高陡构造以及水平井造成的测井响应的各向异性等。常规测井只反映传感器在地层的综合响应，无法反映地层的各向异性，早期的二维成像虽然能获取部分方位信息，但也不能精细刻画地层的三维地质信息。为了更好地解决地层的各向异性评价的技术难题，斯伦贝谢公司在 2005 年相继推出了 Scanner Family 三维扫描成像测井技术系列，实现测井信息的多方位、全谱阵列化测量，已经成功进行商业应用。“十二五”国家重大专项和中国石油天然气集团公司重大专项正组织科技攻关，实现三维扫描成像测井关键技术的突破，重点发展的测井技术有：(1) 三维感应成像测井；(2) 全频谱的声波扫描成像测井；(3) 方位阵列侧向成像测井；(4)  $T_2$  分布与扩散系数多参数测量的二维核磁成像测井；(5) 基于可控源中子发生器的脉冲中子全谱测井。

## 第二章 EILog 地面系统

### 第一节 概 述

EILog 地面系统采用前端和后台网络分布式结构,完成测井信号的预处理、井下仪器的命令控制、数据采集和处理、质量控制、测井数据记录和成果输出。可配接 EILog 测井系统集成化常规测井系列、成像测井系列和生产测井系列等下井仪器,提供裸眼井测井、生产测井、工程测井、射孔和取心等全系列电缆测井服务。前端采集系统、主机以及用户计算机等组成了一个测井局域网,系统控制和采集模块都是网络中的一个节点,再配备相应的远程网络设备,可以实现测井作业的远程数据传输、远程监控和专家技术支持。

IDAP6100 地面系统硬件平台具有单机系统和便携系统,便携系统为可选配置,两部分可以独立工作,也可以互换,共享资源。支持 EILog 系统 COFDM、BPSK 两种编码接口的井下仪器和常规模拟信号井下仪器,挂接射孔、取心、地层测试器等作业设备。其主要技术特色为:

(1) 基于 cPCI 总线的测井采集总线接口技术。

EILog 地面系统的数据采集部分采用 cPCI 高性能工业总线架构,通过 cPCI 总线接口的电路设计、逻辑设计及软件控制技术,实现对各种测井信号的采集和中断控制。

(2) 基于 FPGA 和 DSP 的集成化接口技术。

利用 FPGA 实现控制信号的逻辑控制和编码信号解码,利用 DSP 实现测井信号的采样和时序控制。采用表贴器件和 SMT 工艺,减少接口板的数量和系统走线的复杂性,在一个接口板上实现了 16 道模拟信号、6 道脉冲信号、深度信号、高速模拟信号、生产测井 WTC 编码信号和 BPSK 编码信号的采集和控制功能,提高了硬件电路的集成度和电路的可靠性。

(3) 集成化的井下仪器电源箱体。

集成化的井下仪器电源箱体负责 EILog 地面系统所有井下仪器的供电,集成了主交流、辅交流、主直流、辅直流、继电器电源和程控电源 6 种电源,具有集成度高,体积小,重量轻的特点。

(4) 主机与前端机间的网络通信技术。

采用以太网技术,实现主机和前端机之间的数据和命令的网络通信。采用客户/服务器结构,可将多台计算机通过网络接入到采集前端机,实现多点数据传输,即在系统工作时可以在多台主机上获取前端机上传的测井数据。采用远程无线通信技术,实现远程数据传输和远程监视控制。

(5) 基于 VxWorks 操作系统的 cPCI 总线软件控制技术。

前端系统采用嵌入式 cPCI 主板及 VxWorks 实时多任务操作系统,实现测井信号的实时采集与控制的多任务调度管理、多路硬件中断服务处理和测井数据的网络传输。

(6) 仪器处理软件的动态添加技术。



采用面向对象设计和 COM 组件技术，为第三方添加新仪器处理模块提供接口标准统一的二次开发包（SDK），集成仪器处理的算法、刻度处理、测井辅助监视窗口和参数文件管理等功能。

(7) 多视图、多模板的测井组合显示与绘图。

采用显示绘图模板技术，用户可根据加载测井服务表的仪器组合来定制多个显示绘图模板，并与仪器组合进行自动关联，实现以不同的形式在多个窗口中同时监视测井曲线。

## 第二节 IDAP 地面系统硬件平台

### 一、基本组成及功能

IDAP6100 地面系统可以根据用户的需要进行灵活配置，其基本配置为单机系统，扩展的配置为单机系统加便携系统，两种配置的机械结构一致，都为高低机柜桌面结构。在单机系统连接测井电缆进行测井时，便携系统可以通过电缆模拟器配接下井仪，其他仪器在地面进行测前校验等准备工作。便携系统还可以作为单系统的冗余备份，当单机系统发生故障时，它可以替代单机系统继续进行当前的测井作业。IDAP6100 地面系统结构如图 2-2-1 所示。

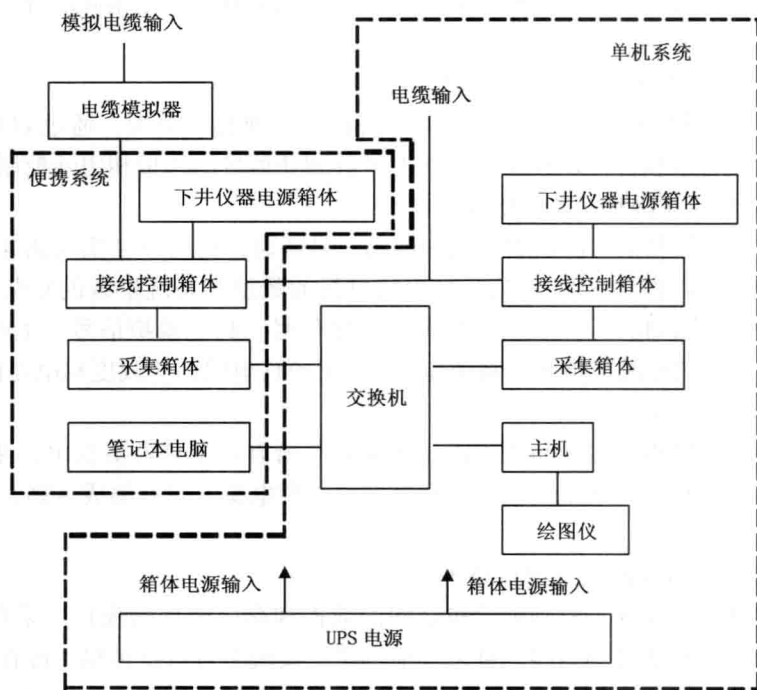


图 2-2-1 IDAP6100 地面系统硬件平台结构图

单机系统由以下几部分组成：CABI6101 系统机柜、LCD6102 显示器、KEYB6103 键盘、LANS 6104 交换机箱体、ACQM6105 采集箱体、WSRA6106 接线控制箱体、DPSP 6107 下井仪器电源箱体、GPLT6110 灰度绘图仪、PPC6111 收纸盒、IPC6112 主机、UPS6113 电源（2