

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

测井电子信息技术

张家田 陈 宝 严正国 编著

WELL LOGGING ALGORITHM



地

0720933

用丛书

TE151-39

001

主编 王敬农 汤天知 张辛耘

测井电子信息技术

张家田 陈 宝 严正国 编著



石油大学

0740456

石油工业出版社

内 容 提 要

本书详细介绍了目前测井装备中涉及的主要电子信息技术基础,内容包括测井专用传感器原理、测井信号预处理技术、信号采集和处理方法、嵌入式微处理器及其在测井仪器中的应用、测井信息传输理论基础、特种电源设计及电路设计工艺与可靠性等。书中部分内容来自多年的研究成果和技术积累,重点突出、通俗易懂、实用性强。

本书主要供测井工程技术人员使用,亦可作为高等院校的广大师生参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

测井电子信息技术/张家田,陈宝,严正国编著.
北京:石油工业出版社,2010.5

(地球物理测井技术与应用丛书)

ISBN 978-7-5021-7688-4

I. 测…

II. ①张…②陈…③严…

III. ①电子技术-应用-油气测井

②信息技术-应用-油气测井

IV. TE 151-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 045226 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: 石油工业出版社印刷厂

2010年5月第1版 2010年5月第1次印刷

787×1092毫米 开本: 1/16 印张: 22.25

字数: 580千字 印数: 1—3800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

石油是重要的战略资源，是不可再生的自然资源，原有的储层一旦遭到破坏，将永远不再有恢复和开发的可能，世界强国对石油资源的开发与战略储备都十分重视。石油测井是识别地层构造与发现油气层的关键，是油气勘探开发的重要环节。测井资料是地质学家评价油气层、估算油气储量的主要依据。

测井是利用电、声、核、磁、光等学科原理对地层进行探测的一门综合性应用技术。各种物理方法中能反映地层物理特性信息的信号称之为测井信号。油气测井信号的获取、去噪、数据处理和信息传输等是测井技术中的重要环节。这些环节都与电子信息技术密切相关。

测井电子信息技术，就是把电子信息技术应用到石油测井技术之中。由于电子信息技术涉及的领域很宽广，如电路分析基础、电子技术基础、微处理器原理与应用、数字信号处理、通信技术、DSP 技术及 FPGA/CPLD 技术等，受篇幅所限本书不可能全面覆盖，所以本书的主要任务就是针对石油测井技术的特点，介绍应用到的相关电子信息技术。

本书共分八章，即概述、测井专用传感器原理、测井信号预处理、信号采集和处理、嵌入式微处理器及其在测井仪器中的应用、测井数据传输、测井仪器电源、电路设计工艺及测井仪器可靠性设计。

本书的第一章由张家田编写，第二章、第七章、第八章由陈宝编写，第三章、第四章由苏娟编写，第五章由严正国编写，第六章由王炜编写。施坚、苗晓华、何绪新、武向萍、刘湘政、李玉霞、刘国权参与了部分章节的编写工作，硕士研究生吴洋洋、冯川川、李强等完成了部分文字录入及绘图工作。本书由中国石油大学鞠晓东教授、西安交通大学闫相国教授、西安石油大学张乃禄教授主审，在此向他们深表感谢！同时感谢中国石油集团测井有限公司的领导和专家的大力支持，是他们的支持与策划才有该书的面世。

限于作者的学术水平，书中的缺点和不足在所难免，敬请读者批评指正。

编著者于西安石油大学

2009 年 5 月

目 录

第一章 概论	(1)
第一节 电子信息技术发展概述	(1)
一、电子信息技术的基本内容	(2)
二、常用基本技术	(2)
第二节 测井技术及测井仪器	(5)
一、测井技术结构体系	(6)
二、国内外测井技术现状与发展趋势	(6)
第三节 测井电子信息系统构成与特点	(9)
一、测井仪器的构成	(10)
二、测井仪器的特点	(10)
第二章 测井专用传感器原理	(11)
第一节 概述	(11)
第二节 放射性仪器传感器	(12)
一、伽马传感器	(12)
二、中子传感器	(18)
第三节 声波传感器	(21)
一、声波传感器基础	(21)
二、传感器	(23)
第四节 电法仪器传感器	(31)
一、电法仪器传感器概述	(31)
二、几种常用电法仪器传感器	(32)
第五节 核磁共振测井仪器中的传感器	(39)
一、核磁共振基本原理	(39)
二、核磁共振测井传感器	(40)
三、几种典型核磁共振测井仪中的磁场设计方案	(41)
四、MRIL 核磁共振测井仪探头	(46)
第六节 生产测井仪器中的传感器	(48)
一、磁定位传感器	(48)
二、井温传感器	(48)
三、压力传感器	(49)
四、含水率传感器	(52)
五、流量传感器	(53)
第三章 测井信号预处理	(55)
第一节 前置放大器	(55)
一、放射性测井仪器前置放大器	(55)

二、补偿中子前置放大器	(61)
三、cls 声波测井仪 1609 下井仪前置放大器	(61)
四、源阻抗与前置放大器的合理匹配	(62)
五、工作频率对噪声系数的影响	(62)
六、低噪声运放前置放大器的设计原则	(63)
第二节 滤波器设计	(64)
一、集成滤波器	(64)
二、连续时间滤波器	(65)
三、开关电容滤波器	(67)
四、放射性测井仪器滤波电路	(70)
五、锁相环选频滤波	(72)
第三节 放大器设计	(79)
一、仪表放大器输入扩展	(79)
二、程控增益放大器	(84)
第四节 功率放大电路	(87)
一、功率放大电路概述	(87)
二、乙类互补 OCL 功率放大电路	(91)
三、甲乙类互补 OCL 功率放大电路	(93)
四、甲乙类互补 OTL 功率放大电路	(95)
第四章 信号采集和处理	(98)
第一节 信号采集与 A/D 转换	(98)
一、信号处理的一般过程	(98)
二、信号采集的基本知识	(99)
三、A/D 转换	(105)
第二节 常用数字信号处理方法	(117)
一、傅里叶变换	(117)
二、相关函数	(131)
三、数字滤波器设计	(133)
第三节 信号的频谱分析	(145)
一、连续周期信号的频谱分析	(145)
二、连续非周期信号的频谱分析	(147)
三、频谱分析中需要注意的问题	(148)
第四节 噪声抑制与信号检测	(151)
一、系统中的噪声	(151)
二、白噪声	(152)
三、微弱信号的检测	(154)
第五章 嵌入式微处理器及其在测井仪器中的应用	(161)
第一节 嵌入式微处理器的发展及分类	(161)
一、微处理器 (Micro Processor)	(161)
二、微控制器 (Micro Control Unit)	(161)

三、DSP 处理器 (Digital Signal Processor)	(162)
四、ARM 处理器 (Advanced RISC Machines)	(162)
第二节 测井仪器微处理器选型	(162)
一、概述	(163)
二、DSP 处理器选型	(163)
第三节 ADSP-2189M 结构与功能概述	(167)
一、结构	(167)
二、引脚描述	(169)
第四节 ADSP-2189M 硬件最小系统	(183)
一、电源	(183)
二、时钟	(187)
三、复位和模式设置	(187)
四、Flash 存储器接口	(191)
五、调试和仿真接口	(191)
第五节 DSP 处理器在测井仪器中的应用	(193)
一、ADSP-2189M 在测井电缆信息传输系统中的应用	(193)
二、ADSP-2189M 在测井信号采集中的应用	(202)
三、ADSP-2189M 在测井信号检测与处理方面的应用	(212)
第六章 测井数据传输	(225)
第一节 测井传输理论基础	(225)
一、概述	(225)
二、数字信号的基带传输	(229)
三、数字信号的调制传输	(243)
四、差错控制技术	(254)
第二节 测井电缆信息传输	(270)
一、概述	(270)
二、PCM 数传系统总体描述	(273)
三、CTS 数传系统总体描述	(274)
四、国内外高速数传系统	(280)
五、国产高速数传系统总体描述	(281)
六、哈里伯顿 INSITE 现场测井系统遥传平台	(291)
第三节 结束语	(301)
第七章 测井仪器电源	(302)
第一节 电源概述	(302)
一、电源的分类	(302)
二、电源技术的现状与发展趋势	(302)
第二节 测井地面系统电源	(303)
一、主交流/直流电源	(303)
二、辅交流/直流电源	(304)
三、程控电源	(305)

四、继电器电源	(306)
第三节 井下电源	(306)
一、井下电源的主要指标	(307)
二、整流、滤波电路原理	(308)
三、稳压电路	(311)
四、电源变压器设计	(313)
第四节 开关电源	(314)
一、开关电源基本构成	(314)
二、开关电源的分类	(315)
三、PWM 工作原理	(315)
四、典型的 PWM 控制芯片以及 DC/DC 应用	(316)
第八章 电路设计工艺及测井仪器可靠性设计	(319)
第一节 测井仪器的工作状况	(319)
一、热老化影响	(319)
二、腐蚀	(319)
三、结构改变	(319)
四、化学反应	(319)
五、润滑油和液压工作液的影响	(319)
六、高压条件下对下井仪器的影响	(319)
七、其他因素的影响	(320)
第二节 测井仪器的可靠性设计	(320)
一、元器件的选择	(320)
二、简化设计	(321)
三、降额设计	(322)
四、热设计	(329)
五、电磁兼容性设计	(330)
参考文献	(343)

第一章 概 论

现代社会无论是国防领域,还是工业或民用领域,都离不开电子信息技术。人们常说当今社会是一个信息时代,那么构成信息时代的基础就是电子信息技术。每个人都享受着电子信息技术带来的恩惠。

如今,中国电子信息技术发展已逾 50 年。这 50 年,是中国电子信息产业执著前进、矢志不渝的 50 年;是中国电子信息产品市场急剧扩大、蓬勃发展的 50 年;是我国第一批半导体人才各领风骚的 50 年;也是无数的默默耕耘者用泪水、汗水乃至生命为我国电子信息产业谱写华章的 50 年。电子信息产业进入高速发展期,电子信息技术也很自然地影响着石油测井技术的发展。

石油是重要的战略资源,是不可再生的自然资源,原有的储层一旦遭到破坏,将永远不再有恢复和开发的可能,世界工业对石油资源的开发与战略储备都十分重视。石油测井是识别地层构造与发现油气层的关键,是油气勘探开发的重要环节,测井资料是地质学家解释油气层、估算油气储量的主要依据。

测井电子信息技术就是怎样把电子信息技术应用到石油测井技术之中。本书的主要任务就是针对石油测井技术的特点对应用到的相关电子信息技术进行叙述。该章的主要任务是介绍电子信息技术发展状况、测井技术及测井仪器的特点以及测井电子信息系统的构成与特点。

第一节 电子信息技术发展概述

我国电子信息技术发展速度很快,但技术水平与发达国家有一定差距。集成电路是电子信息产业的基础,其战略性、市场性、渗透性和增值性在国民经济、国家安全和经济社会发展中日益显现。

1978 年之前,我国集成电路技术与国际先进水平的主要差距表现在工业化规模生产方面。客观上,受制于国内外政治、经济及体制环境;主观上,我们对现代工业化生产和规模经济规律认识不足,使我国在集成电路工业化大产业和技术进步方面未能取得与市场相适应的长足进展。

1990 年 8 月,国家计划委员会和机械电子工业部决定实施 908 工程,其主体工程华晶项目的技术水平提高到 $0.9\mu\text{m}$,生产能力达到 $6\text{in}^{\text{①}}$ 、6000 片/月。

1995 年,机械电子工业部开始实施 909 工程,到 1999 年 2 月,作为 909 工程主体项目的上海华虹 NEC 电子有限公司建成并进行试投产,工艺技术提升到 8in 、 $0.35\mu\text{m}$ 。这条生产线的建成投产,标志着我国进入了深亚微米超大规模集成电路的生产阶段。在 908 工程和 909 工程的支持下,一批集成电路设计企业逐步走向市场,形成了我国集成电路设计业的雏形。

① $1\text{in} = 0.0254\text{m}$ 。

2000 年以来,新投产的集成电路芯片制造厂或生产线项目有:中芯国际(上海、北京、天津、成都)、上海宏力、和舰科技(苏州)、松江台积电、上海新进、无锡华润电子等。这些项目的建成和陆续投产,进一步缩小了我国集成电路产业与国外技术水平的差距,硅单晶直径的工艺水平达到了 300mm、芯片内部线宽 65~90nm。

随着改革开放力度的加大,企业运作机制问题在这一历史阶段也取得了重大突破。以中芯国际为例,其技术、人才、资本、市场已基本实现了国际化运作,企业自身的造血机能开始逐步显现。由于是国际化的企业,因此购置的生产线设备已有可能争取与国际水平同步;在引进的人才队伍中,不仅有可以打拼世界市场的领头人,也有在不同岗位上、有多年实践经验的技术骨干;企业上市、职工期权等经济手段则为迅速吸引国际资本和留住人才创造了有利环境。由完全封闭的自主建设到与开放的国际市场接轨,既是历史发展的必然,也是产业发展的必由之路。

如今,中国已经成为世界上的经济总量大国,但是,能源的过度消耗、经济增长的粗放方式和创新能力不足已经成为制约我国经济持续发展的障碍,用信息化带动工业化发展已经成为这一代人的历史重任,这就给我国电子信息产业的发展带来了不可多得的历史机遇。

信息产业是当今世界第一大产业,中国信息产业的销售收入也已经超过日本跃居世界第二位。我国电子信息产品制造企业多数还处于产业链的下游,规模虽然大,但利润微薄,2005 年,中国电子行业平均利润率仅为 3.4%,而处于产业链上游的英特尔公司的利润超过 22%。

一、电子信息技术的基木内容

电子信息技术是一个覆盖面很宽的定义,基本内容包括:电子技术基础(模电、数电)、计算机技术(尤其微处理器技术)、通信技术、传感器技术、数据采集技术、数字信号处理技术等。

二、常用基本技术

1. DSP 技术

一般来说 DSP 有两层含义,其一,DSP (Digital Signal Processor) 芯片,也称数字信号处理器。由于采用特殊的软硬件结构,是一种特别适合于数字信号处理运算的微处理器,其主要应用是实时快速地实现各种数字信号处理算法。其二,DSP (Digital Signal Processing) 数字信号处理。

1) DSP 系统的特点

数字信号处理系统以数字信号处理为基础,它具有数字处理的全部特点:

(1) 接口方便。DSP 系统与其他以现代数字技术为基础的系统或设备都是相互兼容,这样的系统接口以实现某种功能要比模拟系统与这些系统接口容易得多。

(2) 编程方便。DSP 系统中的可编程 DSP 芯片可使设计人员在开发过程中灵活方便地对软件进行修改和升级。

(3) 稳定性好。DSP 系统以数字处理为基础,受环境温度以及噪声的影响较小,可靠性高。

(4) 精度高。16 位数字系统可以达到的精度。

(5) 可重复性好。模拟系统的性能受元器件参数性能变化比较大,而数字系统基本上

不受影响，因此数字系统便于测试、调试和大规模生产。

(6) 集成方便。DSP 系统中的数字部件有高度的规范性，便于大规模集成。

2) DSP 芯片的应用

自从 DSP 芯片诞生以来，DSP 芯片得到了飞速的发展。DSP 芯片高速发展，一方面得益于集成电路的发展，另一方面也得益于巨大的市场。在短短的十多年时间，DSP 芯片已经在信号处理、通信、雷达等许多领域得到广泛的应用。目前，DSP 芯片的价格也越来越低，性能价格比日益提高，具有巨大的应用潜力。DSP 芯片的应用主要有：

(1) 信号处理。如数字滤波、自适应滤波、快速傅里叶变换、相关运算、频谱分析、卷积等。

(2) 通信。如调制解调器、自适应均衡、数据加密、数据压缩、回波抵消、多路复用、传真、扩频通信、纠错编码、波形产生等。

(3) 语音。如语音编码、语音合成、语音识别、语音增强、说话人辨认、说话人确认、语音邮件、语音储存等。

(4) 图像与图形。如二维和三维图形处理、图像压缩与传输、图像增强、动画、机器人视觉等。

(5) 军事。如保密通信、雷达处理、声呐处理、导航等。

(6) 仪器仪表。如频谱分析、函数发生、锁相环、地震数据处理等。

(7) 自动控制。如引擎控制、自动驾驶、机器人控制、磁盘控制。

(8) 医疗。如助听器、超声设备、诊断工具、病人监护设备等。

(9) 家用电器。如高保真音响、音乐合成、音调控制、玩具与游戏、数字电话与电视等。

2. FPGA/ CPLD 技术

FPGA 是英文 Field Programmable Gate Array 的缩写，即现场可编程门阵列，它是在 PAL、GAL、PLD 等可编程器件的基础上进一步发展的产物。作为专用集成电路（ASIC）领域中的一种半定制电路而出现，它既解决了定制电路的不足，又克服了原有可编程器件门电路数有限的缺点。

FPGA 采用了逻辑单元阵列 LCA（Logic Cell Array）的概念，内部包括可配置逻辑模块 CLB（Configurable Logic Block）、输出输入模块 IOB（Input Output Block）和内部连线（Interconnect）三个部分。

FPGA 的基本特点主要有：

(1) 采用 FPGA 设计 ASIC 电路，用户不需要投片生产，就能得到合用的芯片。

(2) FPGA 可做其他全定制或半定制 ASIC 电路的中试样片。

(3) FPGA 内部有丰富的触发器和 I/O 引脚。

(4) FPGA 是 ASIC 电路中设计周期最短、开发费用最低、风险最小的器件之一。

(5) FPGA 采用高速 CHMOS 工艺，功耗低，可以与 CMOS、TTL 电平兼容。

目前，FPGA 的品种很多，有 XILINX 的 XC 系列、TI 公司的 TPC 系列、ALTERA 公司的 F1EX 系列等。FPGA 是由存放在片内 RAM 中的程序来设置其工作状态的，因此，工作时需要对片内的 RAM 进行编程。用户可以根据不同的配置模式，采用不同的编程方式。加电时，FPGA 芯片将 EPROM 中数据读入片内编程 RAM 中，配置完成后，FPGA 进入工作状态。掉电后，FPGA 恢复成白片，内部逻辑关系消失，因此，FPGA 能够反复使用。FPGA 的编程

无需专用的 FPGA 编程器，只需用通用的 EPROM、PROM 编程器即可。当需要修改 FPGA 功能时，只需换一片 EPROM 即可。这样，同一片 FPGA，不同的编程数据，可以产生不同的电路功能。因此，FPGA 的使用非常灵活。

FPGA 有多种配置模式：并行主模式为一片 FPGA 加一片 EPROM 的方式；主从模式可以支持一片 PROM 编程多片 FPGA；串行模式可以采用串行 PROM 编程 FPGA；外设模式可以将 FPGA 作为微处理器的外设，由微处理器对其编程。

3. ARM 技术

ARM (Advanced RISC Machines)，既可以认为是一个公司的名字，也可以认为是对一类微处理器的通称，还可以认为是一种技术的名字。

采用 ARM 技术 (IP) 核的微处理器，即我们通常所说的 ARM 微处理器，已遍及工业控制、消费类电子产品、通信系统、网络系统、无线系统等各类产品市场，基于 ARM 技术的微处理器应用约占据了 32 位 RISC 微处理器 75% 以上的市场份额，ARM 技术正在逐步渗入到我们生活的各个方面。

ARM 公司是专门从事基于 RISC (Reduced Instruments Set Computer 即精简指令集计算机) 技术芯片设计开发的公司，作为知识产权供应商，本身不直接从事芯片生产，转让设计许可由合作公司生产各具特色的芯片，世界各大半导体生产商从 ARM 公司购买其设计的 ARM 微处理器核，根据各自不同的应用领域，加入适当的外围电路，从而形成自己的 ARM 微处理器芯片进入市场。

ARM 的产品是 IP Core，没有任何物理意义上的硬件或者软件实体。

微处理器核是 ARM 技术的重中之重，目前面向市场的有 ARM7、ARM9、ARM9E - S、StrongARM 和 ARM10 系列。

ARM 开发的 32 位 CPU 核，全球厂商都可以获得授权生产 ARM 芯片，而且价格便宜，这样低端产品可以采用 8051 等 8 位单片机，而中高端产品采用 ARM 是非常明智的选择。现在很多人开始学习 ARM，开始都是买 ARM 实验板和 JTAG 仿真器。

4. EDA 技术

EDA 是一门迅速发展的新技术，涉及面广，内容丰富，理解各异，目前尚无统一的看法。作者认为：EDA 技术有狭义的 EDA 技术和广义的 EDA 技术之分。利用 EDA 技术 (特指 IES/ASIC 自动设计技术) 进行电子系统的设计，具有以下几个特点：

- (1) 用软件的方式设计硬件；
- (2) 用软件方式设计的系统到硬件系统的转换是由有关的开发软件自动完成的；
- (3) 设计过程中可用有关软件进行各种仿真；
- (4) 系统可现场编程，在线升级；

(5) 整个系统可集成在一个芯片上，体积小、功耗低、可靠性高。因此，EDA 技术是现代电子设计的发展趋势。

电子设计自动化 (EDA, Electronic Design Automation) 是指利用计算机完成电子系统的设计。EDA 技术是以计算机和微电子技术为先导，汇集了计算机图形学、拓扑学、逻辑学、微电子工艺与结构学和计算数学等多种计算机应用学科最新成果的先进技术。EDA 技术以计算机为工具，代替人完成数字系统的逻辑综合、布局布线和设计仿真等工作。

伴随着计算机和集成电路的发展，EDA 技术进入到计算机辅助工程设计阶段。20 世纪 80 年代初推出的 EDA 工具则以逻辑模拟、定时分析、故障仿真、自动布局和布线为核心，

重点解决电路设计没有完成之前的功能检测等问题。利用这些工具，设计师能在产品制作之前预知产品的功能和性能，能生成产品制造文件，使设计阶段对产品性能的分析前进了一大步。

EDA 工程设计流程图如图 1-1 所示。EDA 设计过程，实际上包含了 DSP 开发和 FPGA/CPLD 开发和 ARM 技术开发。他们的开发流程大致相同。图 1-1 主要是针对 FPGA/CPLD 开发的流程。

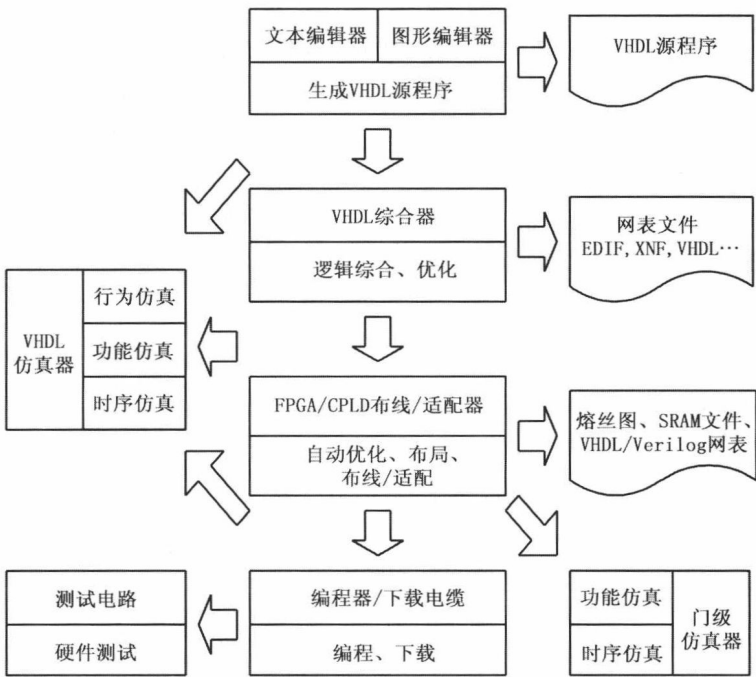


图 1-1 EDA 工程设计流程图

5. SOC 技术

SOC (System on chip) 称之为片上系统，是最近工业领域中高级的应用技术，它比嵌入式系统的理念更进一步，应用最广泛的领域是通信行业。可以这么认为，片上系统是指具有独立系统性能的复杂电路系统通过掩模技术一次集成，比 DSP、AM 等技术更进一步。在未来的测井系统中，下井仪器的性能要求越来越高，为了压缩空间，缩短仪器长度，一定会应用该技术的。

第二节 测井技术及测井仪器

测井技术是识别地层构造与发现油气层的关键，是油气勘探开发的重要环节。其测井资料是地质学家评价油气层、估算油气储量的主要依据。测井仪器是实现测井技术方法的必要手段。

一般来说，大学本科生设置的测井仪器原理课程中的测井仪器分为两大类：电法仪器与非电法仪器。电法仪器有电流聚焦测井仪器、感应测井仪器、电磁波传播测井仪器；非电法仪器有声波测井仪器、补偿中子测井仪器、岩性密度测井仪器、自然伽马能谱测井仪器。但

测井界的专家对测井技术与仪器的分类方法随技术的发展而有所变化，从测井技术结构体系的变化中可以看出技术发展的痕迹。

一、测井技术结构体系

在“十一五”初期，中国石油集团测井有限公司组织相关专家进行广泛的意见征询和反复讨论，将测井技术结构体系分为三大类、9 个技术群类、82 项技术（表 1-1）。测井技术结构体系如图 1-2 所示。

表 1-1 测井技术结构体系分类

测井技术（A）包括： 三大类（B1 - B3） 9 个技术群（C1 - C9） 82 项（D1 - D82）	测井装备及测井采集技术类（B1）包括 4 个技术群（C1 - C4） 46 项（D1 - D46）	成像测井及其配套技术（C1） 包括 15 项（D1 - D14, D46）
		随钻测井技术（C2） 包括 7 项（D15 - D21）
		油藏动态监测技术（C3） 包括 16 项（D22 - D37）
		常规电缆测井技术及装备（C4） 包括 8 项（D38 - D45）
	测井资料处理及解释类（B2）包括 3 个技术群（C5 - C7） 20 项（D47 - D66）	测井方法和处理解释及软件（C5） 包括 4 项（D47 - D50）
		复杂地层测井评价及相关技术（C6） 包括 10 项（D51 - D60）
		油藏动态监测资料解释（C7） 包括 6 项（D61 - D66）
	射孔技术类（B3）包括 2 个技术群（C8 - C9） 16 项（D67 - D82）	新型射孔器材及应用（C8） 包括 10 项（D67 - D76）
		射孔工艺及相关技术（C9） 包括 6 项（D77 - D82）

二、国内外测井技术现状与发展趋势

1. 国外测井技术现状与发展趋势

1) 国外测井技术现状

斯伦贝谢、哈里伯顿、贝克休斯三大油田技术服务公司的成像测井系统（MAXIS - 500、EXCELL - 2000、ECLIPS - 5700）及其配套处理解释软件占据主要测井市场，代表当今测井技术的水平。目前测井技术处于由成像测井向网络化测井过渡的阶段。

（1）常规电缆测井系统。将电阻率、密度、中子、声波（可选）、伽马、井径等测井仪器集成，形成长度短、重量轻、性能好、时效高的组合测井系统，一次下井提供基本地层评价所需的各种测量，降低测井服务成本，已成为当今电缆测井仪器发展的一个重要方向。目前商用的仪器主要有斯伦贝谢公司的快测平台（PEX）、哈里伯顿公司的 IQ 四组合约，贝克休斯公司的 FOCUS 组合测井系统。

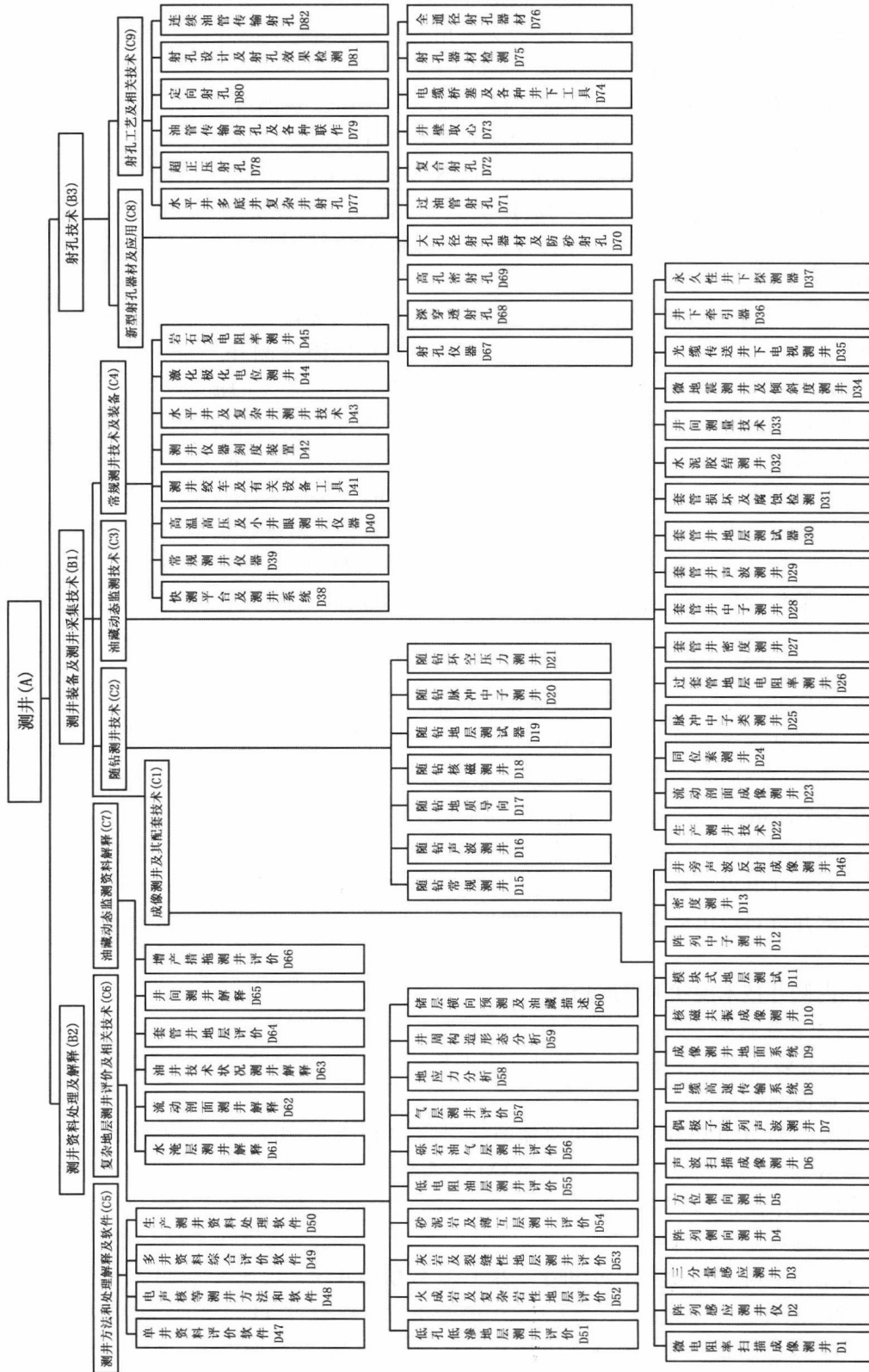


图1-2 测井技术结构体系

(2) 成像测井系统。20 世纪 90 年代形成了成像测井系列。近年来又不断开发一些新的电、声、核、核磁成像测井仪器,其中较为突出的有三分量感应测井仪、在油基钻井液中使用的微电阻率成像测井仪和新型核磁共振测井仪。

(3) 随钻测井系统。已形成比较完整的随钻电、声、核测井系列,有些项目已经达到同类电缆测井仪器的水平。国外三大测井公司紧盯随钻测井这一发展方向,投入大量资金,研制随钻测井仪器。斯伦贝谢的 VISION 系列和 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。

(4) 油气藏动态监测。油气藏动态监测是近几年发展最快、最活跃的领域。技术进步主要体现在井内流体动态可视化测量、套管井地层电阻率测井、地层测试、井下永久监测等方面。斯伦贝谢公司流体剖面成像仪可得到水平井流体的流动图像;生产测井快测平台 PS Platform 可用于水平井、大位移井的生产测井;氧活化水流测井和相速度测井可测出井内水相及油相的相速度;储层饱和度仪 RST - Pro 能够在多种环境下进行测量,并提供精确的结果。哈里伯顿公司储层监测仪器 RMT Elite,测速是同类仪器的 2 ~ 5 倍,具有很高的精度和准确性。斯伦贝谢公司第二代过套管电阻率仪器 CHFR - Plus,提高了测井速度。套管井电缆地层测试器发展到能够在一次起下作业中,完成射穿套管、测量储层压力、采集地层流体、封堵测试孔眼等一系列操作。井下永久传感器可以长时间对油藏动态进行监控。

2) 国外测井技术发展趋势

国外测井技术发展趋势表现在如下几个方面:

- (1) 测井装备向高可靠、集成化、可视化、网络化、实时化发展;
- (2) 井下仪器向阵列化发展。变单点测量为阵列测量,以适应地层非均质的需要;变分散的仪器为高精度集成化仪,以适应质量和效率的需要;
- (3) 随钻测井在国际测井市场的份额不断增加;
- (4) 套管井电阻率测井以及井下永久传感器等油藏动态监测技术系列不断发展和完善;
- (5) 测井资料应用从目前的单井评价和多井评价发展为油气藏综合优化管理的整体解决方案。

2. 国内测井技术现状与发展趋势

1) 测井装备状况

国内测井装备大致可分为成像测井、引进数控测井和国产数控测井三个层次。

(1) 成像测井系统。

国内从 1993 年开始陆续引进贝克休斯公司的 ECLIPS - 5700、哈里伯顿公司 EXCELL - 2000 成像测井系统。斯伦贝谢公司的 MAXIS - 500 测井服务队在新疆、四川、大港等油田进行了成像测井服务。

(2) 引进数控测井系统。

20 世纪 80 年代中期,国内引进了一批 CSU 数控测井仪,现在大部分仍在使使用。后来又引进了 3700 数控测井仪及 DDL、AT + 生产测井系统。1990 年 11 月在西安石油勘探仪器总厂建成 3700 系列数控测井生产线,1991 年投产,但目前已基本停产。

(3) 国产数控测井系统。