



湖北经济学院学术文库



高速电缆遥测通信 技术研究

GaoSuDianLan YaoCe TongXin
JiShu YianJiu

张淑玲◎著

湖北长江出版集团
湖北人民出版社

高速电缆遥测通信技术研究

GaoSuDianLan YaoCe TongXin
JiShu YanJiu

责任编辑 陈晓东
封面设计 刘舒扬

ISBN 978-7-216-05631-1



9 787216 056311 >

定价: 22.00 元



湖北经济学院学术文库



高速电缆遥测通信 技术研究

GaoSuDianLan YaoCe TongXin
JiShu YianJiu

张淑玲◎著

湖北长江出版集团
湖北人民出版社

鄂新登字 01 号

图书在版编目(CIP)数据

高速电缆遥测通信技术研究/张淑玲著.
武汉:湖北人民出版社,2008.10

ISBN 978 - 7 - 216 - 05631 - 1

- I. 高…
- II. 张…
- III. 通讯电缆—遥测—通信技术—研究
- IV. TN913.32

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 084396 号

高速电缆遥测通信技术研究

张淑玲 著

出版发行: 湖北长江出版集团
湖北人民出版社

地址:武汉市雄楚大街 268 号
邮编:430070

印刷:湖北立龙印务有限公司
开本:787 毫米 × 1092 毫米 1/16
字数:209 千字

经销:湖北省新华书店
印张:10.75
插页:1

版次:2008 年 10 月第 1 版
书号:ISBN 978 - 7 - 216 - 05631 - 1

印次:2008 年 10 月第 1 次印刷
定价:22.00 元

本社网址:<http://www.hbpp.com.cn>

前 言

石油不仅能做燃料，而且是许多工业产品的原材料，它对一个国家的经济建设起着非常关键的作用，而获取石油的测井技术随着电子技术、计算机技术的飞速发展也得到了进一步的发展。

石油测井技术自 1927 年在法国诞生至今经历了模拟测井、数字测井、数控测井和成像测井四个阶段，20 世纪 90 年代以来人们决定以工作站为核心研制成像测井系统，国外三家大测井公司分别推出了相应的成像测井系统：斯伦贝谢公司的 MAXIS-500、阿特拉斯公司的 ECLIPS-5700 和哈里伯顿公司的 EXCELL-2000。

成像测井系统包括地面信息处理系统、高速电缆遥测数据通信系统和成像测井仪三大部分。地面信息处理系统的主体为一个计算机测井局域网络，地面系统软件采用多用户开放性较强的操作系统，可对井下采集的信息进行实时处理和分析。高速电缆遥测数据通信系统主要实现数据的高速传输，该技术是成像测井系统的一项关键技术。其工作原理为：高速电缆遥测通信系统一般采用双向全双工模式，把井下采集的高速数据，经调制后按帧向地面传送，传送的测井数据和仪器的工作状态链路为上行通信链路，地面信息处理系统接收到测井数据后经整形、滤波以及解调处理，恢复为原始的二进制数据。由地面信息处理系统完成计算机对井下仪器控制命令的下发和井下仪器采集数据向地面计算机的上传。成像测井仪依照所测物理量的不同，可分为电、声、核、磁四种类型。

为了适应新型井下仪器的要求，高速电缆遥测通信系统也出现了新的产品，如斯伦贝谢公司的数字遥测系统 DIS、阿特拉斯公司的 WTS 系统以及哈里伯顿公司的数字交互式遥测系统 DITS (Digital Interactive Telemetry System)。进入 21 世纪以后，计算机技术的高速发展使得体积小、价格低的微机具备了十多年前的工作站的功能，成像测井下井仪又回到以微机为核心的快测平台系统上去，因而使高速电缆遥测通信系统在石油测井技术中发挥越来越重要的作用。

我国的成像测井系统基本上依赖于从国外进口，其使用受外方的严格控制，尤其是高速电缆遥测通信系统是上下数据通信的咽喉之处，也是新技术的具体体现所在，因此价格比较昂贵，如果研制出有自主知识产权的高速电缆遥测通信系统，将极大地推动国产成像测井系统，尤其是快测平台系统的发展。

高速电缆遥测通信技术的研究重点是基于嵌入式 SOPC 技术和 DSP 技术实现

采用曼彻斯特编码的下传数据传输和离散多音调制 (DMT) 的上传数据传输。本课题立足于石油测井系统的实际应用环境, 充分利用 DMT 的优势来提高测井系统的上传速率和传输的可靠性。在初步设计中下传速率为 9.06kbps, 最高上传速率为 217.6kbps, 如果该课题能进一步开展研究可使数据传输速率达到 1Mbps。DMT 技术已广泛应用于有线数据传输中, 例如 ADSL 等。

本专著依托省教育厅的技术创新项目和湖北经济学院优势学科建设方向, 主要从科学研究的角度论述对高速电缆遥测通信技术的研究、设计和实现方法等。同时该专著也是作者多年工作积累的总结和结晶, 从 1990 年开始, 作者先后主持并参加了九项中国船舶工业总公司石油测井开发、研究部级项目和三项海军国防重点工程项目, 在海军国防重点工程项目中担任通信系统总体的副主任设计师和系统主任设计师。作者主持的海军国防重点工程项目 2007 年获得中船重工集团科学技术一等奖; 研制的用于成像测井系统的“DDQC-1C 地层学高分辨率地层测井仪”1997 年获得中国船舶工业总公司和中国船舶工业总公司第七研究院科技进步一等奖; 研制的用于数控测井系统的“DLC-1C 电缆遥测系统井下仪”1993 年获得中国船舶工业总公司和中国船舶工业总公司第七研究院科技进步二等奖。参与了中国船舶工业总公司第七研究院组织开发的 520、521 数控测井系统的电缆遥测通信系统、成像测井中的下井仪以及 530 数控快测平台的方案论证、方案设计等, 并且主持了基于 16QAM 调制解调技术的电缆遥测通信技术的研究, 利用十多年的工作积累, 加上对新技术、新器件的使用, 研究高速电缆遥测通信技术必将为石油测井技术中的高速数据传输带来新的技术革命。

全书共分六章, 第一章绪论, 简要叙述了国内外测井技术的发展历程和研究高速电缆遥测通信技术的意义及作用; 第二章在对石油测井公司调研的基础上, 结合我国已具备的下井仪的具体使用情况, 提出了能兼容主流下井仪设备的高速电缆遥测通信系统设计方案, 重点阐述了系统的组成、测井电缆信道特性以及传输数据的波形设计等; 第三章对高速电缆遥测通信系统中的关键技术——编译码技术进行了全面而又系统的论述, 针对高速电缆遥测通信系统的特点, 重点分析了 TCM 码、PBICM 码、Reed-Solomon 码、Turbo 码和 LDPC 码的性能, 通过仿真分析认为实用化的比特交织编码调制 (PBICM) 技术适用于本通信系统的设计; 第四章中对多载波调制 DMT 调制 (在无线通信中, 常称为 OFDM, 本书中 DMT 和 OFDM 可以互换) 的工作原理, DMT 调制所涉及的关键技术如信道编码、同步技术、系统的峰平功率比和均衡技术进行了论述; 第五章主要采用 MATLAB 软件对高速电缆遥测通信系统中的 OFDM 性能进行了仿真, 分析了在多种信道参数和不同调制方式条件下的 OFDM 性能, 为确定采用的技术方案提供了理论基础; 第六章论述了高速电缆遥测通信系统的实现过程, 井下调制解调器主要基于嵌入式 SOPC 技术来实现, 而地面调制解调器采用 DSP 技术来完

成的。

本专著不仅对实现遥控遥测、远程数据通信的通信体制、调制解调技术进行仿真分析,而且采用先进的嵌入式 SOPC 技术和 DSP 技术来实现相应的通信软件。因此该学术专著不仅对推进成像测井技术的发展具有十分重要的意义,而且对提高团队的科研水平和实践性教学水平具有深远的意义,必将为电子信息工程专业的发展起到积极的推动作用。

目 录

第一章 绪论	1
第一节 国外测井技术发展历程回顾	1
一、模拟测井时代 (1927—1964 年)	1
二、数字测井时代 (1965—1972 年)	2
三、数控测井时代 (1973—1990 年)	2
四、成像测井时代 (1990 年以后)	2
第二节 国内测井技术发展历程回顾	3
第三节 研究高速电缆遥测通信技术的意义与作用	5
第二章 电缆遥测通信系统的设计	7
第一节 高速电缆遥测通信系统组成	7
一、井下调制解调器	7
二、地面调制解调器	8
第二节 信道特性	8
一、测井电缆特性	8
二、测井电缆的组合传输方式	9
三、测井电缆对传输信号的影响	10
第三节 下行波形技术要求	11
第四节 上行波形技术要求	11
一、上行波形体制论证	11
二、技术指标要求	13
第五节 波形设计	14
一、OFDM 符号设计	14
二、波形帧结构	15
三、同步头设计	15

四、数据波形设计	16
五、OFDM 调制解调	19
第三章 电缆遥测通信系统的编译码技术	28
第一节 TCM 编译码技术	28
第二节 PBICM 编译码技术	34
一、PBICM 编码	34
二、PBICM 译码算法	35
三、PBICM 与 TCM 的性能比较	37
四、交织长度对 PBICM 的性能影响	38
五、符号映射器对 PBICM 的性能影响	39
六、迭代次数对 PBICM 的性能影响	41
第三节 Reed - Solomon 编译码技术	41
一、BCH 码与 RS 码	41
二、RS 编码	42
三、RS 译码	43
四、RS 码的性能	48
五、RS 码小结	51
第四节 Turbo 码编译码技术	52
一、Turbo 码编码器	52
二、Turbo 码译码器	52
三、Turbo 码在短帧通信中的性能	58
四、Turbo 码与卷积码的性能比较	60
五、改进短帧 Turbo 码系统性能的措施	63
第五节 LDPC 码编译码技术	68
一、LDPC 码的编码原理	68
二、LDPC 码译码算法	70
三、不同帧长条件下的 LDPC 码与 Turbo 码的性能	79
第四章 DMT 调制解调理论	87
第一节 DMT 调制理论分析	87

一、DMT 调制解调理论推导	87
二、OFDM 调制器	89
三、OFDM 解调器	92
四、OFDM 系统的信道编码和交织	92
五、OFDM 系统的峰平功率比 (PAPR)	92
六、OFDM 系统的符号同步问题	93
七、均衡	94
第二节 OFDM 系统的快速突发同步算法	94
一、同步算法原理	94
二、自动频率控制 (AFC)	95
三、符号定时检测	96
第三节 OFDM 系统中的均衡技术	99
一、频域均衡器设计	99
二、时域均衡器的设计	102
第四节 利用训练符号进行信道估计	105
第五章 电缆遥测通信系统仿真	109
第一节 调制技术仿真	109
第二节 OFDM 调制的 MATLAB 仿真及分析	110
一、OFDM 码元发送	111
二、OFDM 码元解调	115
三、仿真结果分析	118
第三节 OFDM 性能 MATLAB 仿真	119
一、AWGN 条件下的性能仿真	119
二、多径条件下的 OFDM 性能仿真	122
三、限幅对 OFDM 性能影响仿真	124
第六章 电缆遥测通信系统的实现	131
第一节 调制解调器的设计	131
第二节 下行数据传输的编译码过程	134
一、曼彻斯特码编码过程	134

二、曼彻斯特码译码过程	135
第三节 井下调制器的实现	136
一、井下调制器硬件平台	137
二、SOPC 软件硬件开发环境	138
三、井下调制器的实现过程	140
第四节 地面调解器的实现	149
一、地面解调器组成框图	149
二、芯片选择	150
三、DSP 及其配置电路	151
四、地面调解器软件流程	160
后记	163

第一章 绪论

测井技术根据电、声、核、磁等物理原理,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。随着勘探开发的需求和电子技术、信息处理技术的飞速发展,石油测井技术自1927年在法国诞生至今经历了模拟测井、数字测井、数控测井和成像测井四个阶段。成像测井技术是当前国内外石油测井的先进技术,在距地面5000~10000m的井下、高温达摄氏150℃左右、高压为140MPa的环境条件下,采用密集传感器阵列,沿井眼纵向、周向或径向进行扫描测量或旋转扫描测量来采集地层信息,传输到井上以后通过图像处理技术得到井壁的二维或三维图像,能更直观、更方便地描述地层的结构,特别是对地下薄互层、裂缝等复杂储油层的测井效果很好,识别能力强,既可用于裸眼测井满足油气勘探需要,也可用于生产测井解决油田开发中的问题。

第一节 国外测井技术发展历程回顾

1927年9月5日,Conrad Schlumberger和Marcel Schlumberger两兄弟在法国Pechlbrom油田,用一个手动绞车和电缆,将一个电极系入488m深的井中,测得了世界上第一条测井曲线。曲线清楚地指示出覆盖层下面的厚层含油砂岩,测井技术由此诞生,并很快得到推广应用。

从1927年开始到现在的80年间,测井技术从简单的测量逐步深化成了集成化的测量系列,能完成一套高精度的、相互匹配的测量过程,测量数据通过电缆、钻井仪等传送到地面。根据数据采集系统的不同特点,测井技术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四个阶段。

一、模拟测井时代(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测井;1946年自然伽马测井诞生;1948年,朗格里油田应用油基泥浆进行钻井,在油基泥浆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，人们于1952年发明了能将电流聚焦的七侧向测井；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。直到1964年，用于地层评价的常规测井系列基本配齐。

二、数字测井时代（1965—1972年）

进入20世纪60年代，世界石油产量达到 $10 \times 10^8 \text{t}$ ，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处理测井资料的计算机处理的需要。20世纪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20世纪60年代至70年代初得到广泛应用。

三、数控测井时代（1973—1990年）

计算机技术和电子技术的高速发展，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合系统，能完成对井下仪器测量数据的采集和实时记录等，并能在井场进行快速直观处理。数据传送方式由单向编码发展为双向可控数据传输，传送速度大大提高。在这一时期，人们继续把各种打捞技术用于测井，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。

四、成像测井时代（1990年以后）

石油勘探中，越来越多地遇到裂缝性等各种复杂地层，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，引起了人们极大的兴趣和充分重视。之后，其他一些成像测井下井仪器相继诞生。为了满足各种成像仪器在大信息量传输、记录和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。20世纪90年代初，斯伦贝谢公司率先推出了MAXIS-500成像测井系统。成像测井技术集各种

先进技术、高速数据传输以及应用软件于一体,充分体现了现代综合技术应用的发展水平。

正当成像测井广泛受到欢迎时,快测平台测井系统又在酝酿之中。它的开发是基于以下考虑:

1. 以深、中、浅三个探测深度的电阻率测井和中子、密度、声波三种孔隙度测井为主体的常规测井资料,对大多数井来说可以基本满足技术分析的需要;

2. 各石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,测井公司决定应用各项新技术对常规测井仪器进行了根本性的改造,研制出一种组合性强、总长度短、可靠性高、测井速度快的常规测井组合仪器。1996年,快测平台测井系统问世,在一只组合仪上集成了多种传感器(包括电成像测井电极系或线圈系)。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,有的外国测井公司已经停止生产原有的成像测井地面系统,而把各种成像测井下井仪器也都挂接到快测平台地面系统上。

在20世纪80年代,人们决定以工作站为核心研制成像测井系统,到了21世纪,计算机技术的高速发展使得体积小、价格低的微机具备了十多年前的工作站的功能,成像测井下井仪又回到以微机为核心的快测平台系统上去。这种由简到繁、又由繁到简的轮回,是技术进步的必然。

第二节 国内测井技术发展历程回顾

1939年12月20日,中央大学教授翁文波先生等在四川巴一井(石油沟一号井)用点测法进行测井实验,得到了测井曲线。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、王曰才用半自动测井技术在I-25发现了油层,从测井趋向上划分出K、L和M油层。以后,中国的测井技术在石油勘探、开发 and 实践中不断发展。我国大面积的陆相地层的分布,以及低孔低渗、非均质地层的存在,不断向测井技术提出挑战,同时也促进了中国一些有特色的测井技术的形成和发展。

20世纪50年代,我国引进苏联技术,同时自力更生开发新技术,取得了较大的进展,在消化吸收从苏联引进技术的基础上,于1954年成功研制国产全自动测井仪,而后又开发出一批下井仪器,形成了我国的测井系列。1978年2月,来自全国的测井队伍,胜利完成了我国第一口7000m深井——关基井的测井任务,该井井深7175m,井下温度172℃,井底压力达140MPa。这次测井的成功是我国当时的测井系列以及我国超深井测井能力的一次展示。

1978年,从美国引进的3600数字测井仪进入我国。1980年,国产801数字测井仪研制成功。1980年外国公司首次进入中国提供测井服务。20世纪80年

代,我国引进数控测井仪。20世纪90年代,利用引进的生产线技术生产了一批3700数控测井仪。我国实现了测井仪器数字化、系列化和标准化。形成和发展了以深、中、浅三电阻率和声波、密度、中子三孔隙度为主测井系列以及七参数组合生产测井系列,并具备了地层倾角测井、电缆式地层测试、固井质量测井和多臂井径等测井技术。国内还相继开发了电磁波传播测井仪、自然伽马能谱测井仪、岩性密度测井仪、长源距声波测井仪、超声成像测井仪和固井质量检查仪。1995年,引进的成像测井仪开始测井。1997年,国产微电阻率扫描成像测井仪科研样机下井实验。1998年,中国测井在国际竞争性招标中取胜,中国测井服务进入国际市场,标志着中国测井资料的采集能力达到了国际水平。

我国目前的测井装备市场主要有三个层次的测井产品,分别是成像测井系统、数控测井系统和小数控测井系统。其中成像测井系统全部是由国外进口,外方对他们出口的产品有严格的使用控制条件;数控测井系统是国内目前主要使用的设备,其中大部分是从国外直接进口或转让技术后国内生产的产品,目前国内研制的数测井系统开始逐步更新国外的产品;小数控测井系统是由国内的各生产厂家在收集国外数控测井系统技术的基础上,针对油田的具体需要简化设计的产品,它具有一定的局限性。

目前国内广泛使用的测井系统有:

1. SKC2000 数控测井系统

SKC2000数控测井系统是由西安石油勘探仪器总厂研制生产的,它可以在裸眼井和套管井中进行各种组合测井作业,可对测井过程自动进行质量监控。系统配有100kbps的电缆遥传系统。

2. SKC9800 数控测井系统

SKC9800数控测井地面系统是由西安石油勘探仪器总厂研制的,主要用于替代CLS3700地面系统。

3. SL3000 数控测井系统

SL3000数控测井地面系统是由中石化胜利测井公司研究制造的,该系统具有综合服务能力,可以完成裸眼井、套管井、生产井、射孔和取芯全部作业。

4. 520/521/530 数控测井系统

520/521数控测井系统是原中国船舶工业总公司第七研究院的石油测井设备公司(目前改为北京环鼎科技有限公司)研发的,能以人工/自动工作方式,进行井下仪器实时程控运行并记录数据。520数控测井系统配有100kbps的电缆遥测系统井下仪,可配接520系列下井仪器。530数控测井系统是在520/521数控测井系统的基础上,改进已有的下井仪而研发的数控快测平台。

近年来,中国从西方引进了成像测井仪器,在大庆、胜利、辽河、新疆、四川和海上等油田使用,发现了一些勘探难度极大的油气藏,增加了新的油气储量

及产量,从而提高了复杂油气藏的勘探效益。这一时期的主要特点是:

1. 把微处理器用于井下仪器,把计算机工作站用于地面装置,测量结果由传统的测井曲线变成二维或三维图像,使人们对井下地质状况的认识出现大的飞跃。

2. 井下仪器采用小型传感器,实现阵列化、组合化,可以进行阵列测量并用图像化表示测量结果。许多井下仪器已向成像发展,1998年已经出现核磁共振成像测井仪。

3. 井下成像仪器的新发展是将多种参数的传感器组合成一个单一的仪器,称之为“快测平台”,可以减少下井仪器的长度,节省测井时间,降低成本。

4. 成像测井资料有利于油气藏评价,地层的非均质性是油藏描述的难点,成像测井使地层评价更完善,使油藏描述更准确,特别是可以对薄层、复杂岩性及裂缝等复杂结构的油气藏进行评价,提高复杂油气藏的勘探和开发效益。

第三节 研究高速电缆遥测通信技术的意义与作用

在测井仪器领域关于下井仪器信息传输的研究已有几十年的历史,从基带数据传输技术如PCM脉冲编码、双相位特征码到曼彻斯特编码已经使数据传输用的七芯电缆(七芯电缆的通频带宽度小于100kHz)的频带利用率达到了极限,在国内数控测井系统中数传速率由早期的8kbps发展到100kbps。由于受高温高压的环境和承载下井仪重量的限制,几十年使用的测井电缆一直没有改变,因此成了提高数据传输速率的瓶颈。而高速电缆遥测通信技术的研究主要以满足成像测井系统的需要为主要目的,数据传输速率要求最高达到500kbps以上,因此高效的编码调制新技术为提高数据传输速率开辟了新的途径,尤其是高速耐高温的FPGA器件的出现,促进了高速电缆遥测通信技术的进一步发展,也开辟了成像测井系统的新纪元。

随着石油与天然气工业的发展,油气勘探的难度越来越大,测井技术面临许多地质和工程方面的难题。采用先进的测井技术来解决这些难题,能给油气勘探带来高效益。正在发展中的成像测井技术,对勘探复杂的非均质的油气藏具有较强的适应能力,是当今世界测井技术的前沿。成像测井技术除了能提供石油与天然气工业中所需的油气储量及其产量参数——孔隙度、饱和度、油气层厚度以及渗透率、地层压力、流体粘度和油气层有效厚度以外,还特别适合于提供裂缝、孔洞、薄互层等非均质性信息。因此,在21世纪,成像测井技术将会替代数控测井技术而成为最新的测井新技术。开展成像测井技术的研究和成像测井装备的研制对促进我国油气资源的开发具有十分重要和深远的意义。

主要参考文献

- [1] 中国石油天然气集团公司测井重点实验室编著. 测井新技术培训教材, 北京, 石油工业出版社, 2004. 7
- [2] 贾文玉 田素月. 成像测井技术与应用, 北京, 石油工业出版社, 2000. 3
- [3] 张守谦. 成像测井技术及应用, 北京, 石油工业出版社, 1997. 3
- [4] 陆大为. 跨世纪测井技术发展趋势及分析, 《国外测井技术》, 1995 增刊 (10)
- [5] 胡澍 编译. 电缆通信系统, 北京, 石油工业出版社, 1986. 6
- [6] 殷修刚. 数控测井简明教程, 山东, 石油大学出版社, 1990. 6