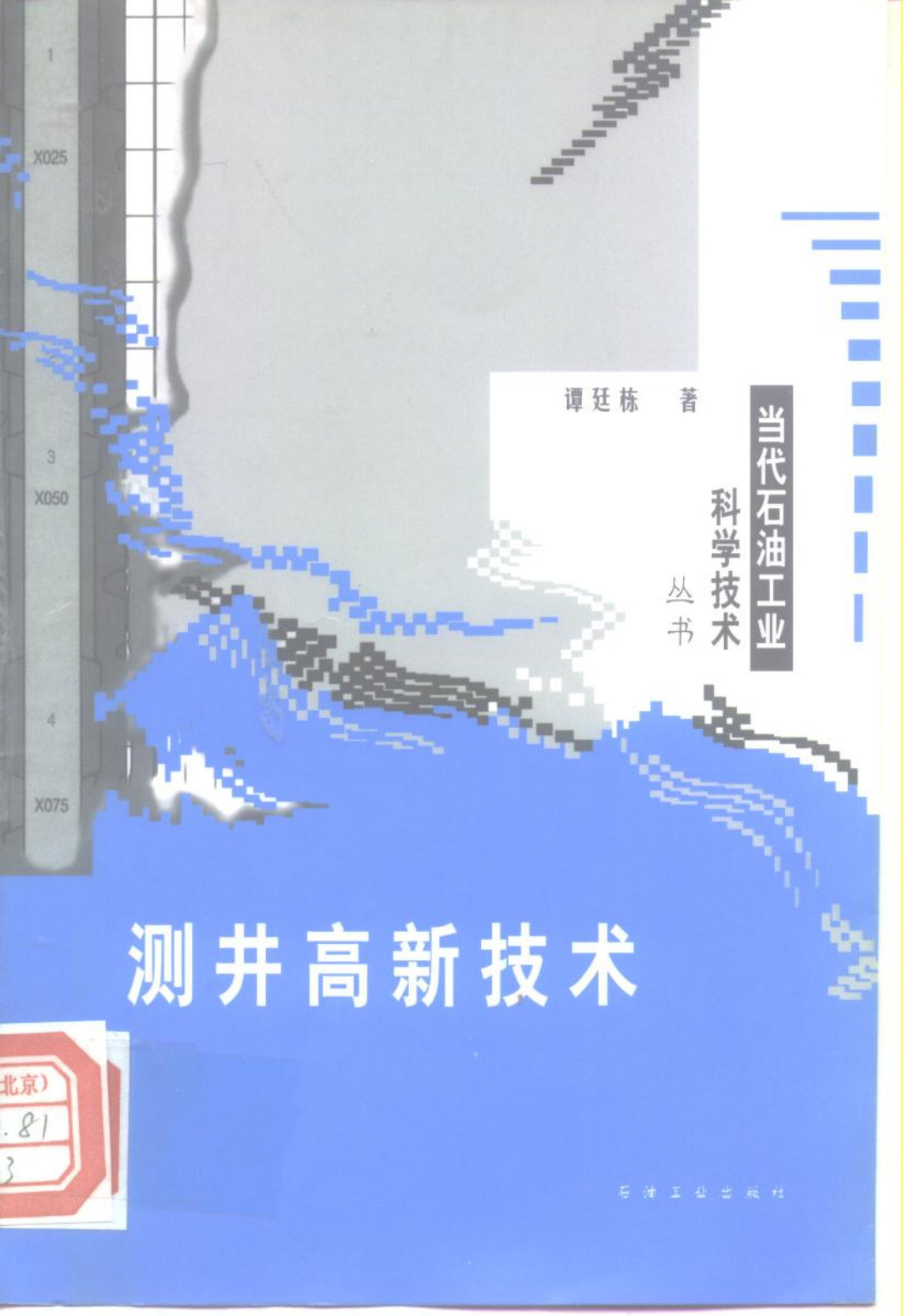




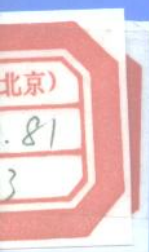
谭廷栋 著

当代石油工业

科学技术

丛书

测井高新技术



石油工业出版社

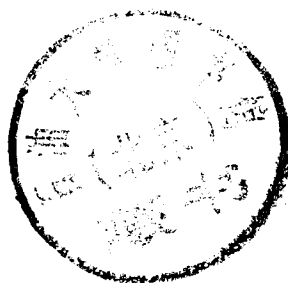
登录号	135309
分类号	FE-15 P631.81
种次号	058 053

当代石油工业科学技术丛书

测井高新技术

谭廷栋 著

5405/50



石油大学0135509

石油工业出版社

内 容 提 要

测井是石油工业中高新技术含量较多的产业部门之一。本书以科普形式论述石油工业中出现过的三代测井高新技术,这就是数字测井技术、数控测井技术、成像测井技术。应用测井高新技术勘探石油与天然气,发现了许多新油气藏,增加了油气储量及产量,为石油工业的高效益做出了贡献。

本书主要供石油工业中非测井专业的科学技术人员阅读和参考。

图书在版编目(CIP)数据

测井高新技术/谭廷栋著.

北京:石油工业出版社,1999.7

(当代石油工业科学技术丛书)

ISBN 7-5021-2627-9

I. 测…

II. 谭…

III. 测井—高技术

IV. TE15

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 24702 号

石油工业出版社出版

(100011 北京安定门外安华里二区一号楼)

石油工业出版社印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

*

850×1168 毫米 32 开本 3 印张 67 千字 印 1—5000

1999 年 7 月北京第 1 版 1999 年 7 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-2627-9/TE·2112

定价: 8.00 元

普及石油科技知識
不斷提高職工素質

王濤



当代石油工业科学技术丛书

编辑委员会

主 任：石宝珩

副 主 任：蒋其垵 傅诚德

委 员：张家茂 程希荣

林长海 齐敬思

常务秘书：齐敬思

秘 书：张卫国 杨静芬 何莉 谭忠心

序

21 世纪是一个知识经济的时代。科学技术特别是高新技术，在这个时代中将起着积极促进社会发展的作用，并改变和建立一些新的机制和观念。一些国际新动向表明，一个国家，一个民族，如果没有强大的经济基础和综合国力，在国际事务中就要处于极为不利的被动局面。因此，实施科教兴国，加速科技进步，促进经济发展是我国的基本国策。

中共中央总书记江泽民同志多次指出，发展社会生产力的决定性因素是人的因素，特别是各级领导干部的科学文化素质。因此，普及高新技术知识及先进的科学管理方法，反对伪科学、假科学是一项带有战略意义的任务。为此，石油集团公司有关部门经过两年多策划组织，邀请多位专家撰写的一套含多学科高科技知识及管理方法的大型科普丛书《当代石油工业科学技术丛书》和广大读者见面了，这是我国石油发展史上的一件大好事，对提高广大石油职工素质和加快科技进步必将起到巨大促进作用。我作为一名石油科技工作者，投身祖国石油工业 50 多年的老兵，感到由衷地高兴！并衷心表示热烈的祝贺！

科技普及中有提高，提高科技中有普及。从建国初期开始，石油工业历任老部长、老领导都有重视科技普及工作的良好传统，不同历史时期出版的不同层次的各类科普读物培养和教育了几代人，起到了良好的社会效果。当今世界科技突飞猛进，石油工业发展所涉及的专业领域越来越多。在这种新形势下，这套丛书尤显珍贵。特值此，向这套大型丛书的策划者、组织者、撰写者以及出版发行单位的同志们致以崇高的敬意，他们的眼光和魄力值得钦佩。这套丛书将一定能够起到桥梁作用，促进科技成果转化为现实生产力。长江后浪推前浪，科技飞涛吼新韵。我热诚

希望把这种科普形式坚持下去，将有数量更多、质量更高的科普丛书问世，源源不断地提供给广大石油工作者。

田在艺

1999年6月1日

前 言

测井起源于法国。1927 年，法国人斯伦贝谢兄弟发明了电测井，开始在欧洲勘探煤和油气，两年后传到美国和前苏联。中国应用电测井勘探油气，始于 1939 年。原中国科学院院士、著名地球物理学家翁文波教授是中国测井学科的奠基人。

众所周知，测井是一种井下油气勘探方法，用于发现油气藏，为评估油气储量及产量提供科学依据。测井在油气田开发和钻采工程中也有广泛的用途，并能进行井壁取心和油气井射孔。测井是石油工业的主体学科，它是石油学科中的十大学科之一。测井学是测井学科的理论基础。

测井是石油工业中高新技术含量最多的产业部门之一，系列化、数字化和标准化是现代测井技术的重要标志。在世界石油工业中出现过三代测井高新技术，这就是：

70 年代初，出现第一代测井高新技术——数字测井技术；

80 年代初，出现第二代测井高新技术——数控测井技术；

90 年代初，出现第三代测井高新技术——成像测井技术。

进入 21 世纪，将会出现第四代测井高新技术——信息测井技术，它是未来测井高新技术的发展方向。

应用测井高新技术勘探石油与天然气，发现了许多新油气藏，增加了油气储量及其产量，给石油工业带来了高效益。

迄今为止，全世界有 4 个石油测井大国，它们是美国、法国、中国和俄罗斯。美国和法国正在应用成像测井技术提高油气勘探效益，用成像测井技术更新换代数控测井技术处于世界领先地位；俄罗斯正在应用数字测井技术提高油气勘探效益，用数控测井技术更新换代数字测井技术处于早期阶段；中国正在应用数控测井技术提高油气勘探效益，应用成像测井技术提高油气勘探

效益刚开始起步。

中国油气资源丰富，但油气勘探和油气田开发的地质难度越来越大。进入 21 世纪，中国测井高新技术有两个发展趋势，一是发展油气勘探测井高新技术，提高非均质、复杂油气藏的勘探效益，增加新的油气储量及产量；二是发展油气田开发测井高新技术，提高水驱油田薄层及高含水剩余油动态监测能力，增加原油采收率。

本书以科普形式论述三代测井高新技术。

目 录

第一章 数字测井技术	(1)
第一节 数字测井仪器.....	(1)
一、数字测井原理.....	(1)
二、数字测井系统.....	(3)
第二节 数字测井数据物理解释.....	(5)
一、数字测井数据物理解释系统.....	(5)
二、数字测井数据物理解释成果图.....	(7)
三、解释砂岩油层、气层与水层.....	(8)
第三节 提高砂岩油气藏勘探效益.....	(9)
一、砂岩油藏	(10)
二、砂岩气藏	(11)
第四节 开辟水驱油田应用新领域	(13)
一、产层三饱和度	(13)
二、三饱和度的用途	(15)
三、饱和度的误差	(18)
第二章 数控测井技术	(20)
第一节 数控测井仪器	(20)
一、数控测井系统仪器原理	(20)
二、磁带记录仪	(23)
三、测井质量控制	(24)
第二节 数控测井数据物理解释	(26)
一、碳酸盐岩储层岩石模型	(26)
二、最优化方法和程序	(28)
三、数控测井数据物理解释成果图	(29)
第三节 评估裂缝性碳酸盐岩油气藏储量	(30)

一、裂缝性油藏储量	(30)
二、裂缝性气藏储量	(32)
第四节 地质应用	(33)
一、识别生油气岩	(34)
二、评价储油与储气层	(35)
三、研究油气藏盖层	(37)
四、解释油气藏圈闭	(40)
第五节 工程应用	(45)
一、提取地层破裂压力	(46)
二、预测地层压力	(47)
三、确定最大水平主地应力方向	(47)
四、计算岩石弹性模量	(48)
第三章 成像测井技术	(50)
第一节 成像测井仪器	(50)
一、成像测井系统仪器原理	(50)
二、电成像测井仪	(53)
三、声成像测井仪	(55)
第二节 配套的非成像测井仪	(57)
一、核测井仪	(58)
二、磁共振测井仪	(60)
三、模块地层动态测试仪	(62)
四、钻进井壁取心器	(63)
第三节 提高复杂油气藏勘探效益的应用实例	(64)
一、大庆油田	(64)
二、胜利油田	(67)
三、新疆油田	(68)
四、辽河油田	(72)
五、四川气田	(73)
第四节 预测油气层产能	(76)
一、预测模型	(77)

二、油气层产能	(77)
三、预测油气层产能的例子	(77)
参考文献	(79)

第一章 数字测井技术

70年代初，西方国家使用的第一代测井高新技术——数字测井技术，提高了砂岩油气藏的勘探和开发效益。中国使用数字测井技术始于70年代末期。

第一节 数字测井仪器

数字测井仪器是由井下测量仪器和地面记录仪器两部分组成，通过绞车电缆连接起来供电和传输测量信号。数字测井技术实现了系列化、数字化和标准化，开创了应用计算机处理解释测井数据的新纪元，推进了测井技术的发展和进步。

一、数字测井原理

1. 测井原理

图1—1是数字测井原理图。数字测井数据采集是通过探测器实现的，井下测量仪器（探头）用装在陆地测井车或海上拖撬上的绞车多芯钢丝铠装电缆下入井内，测量地层的电磁特性、声波特性、核（放射性）特性、力特性、热特性等物理信息随深度变化过程，用于发现油气藏，为评估油气储量及产量提供科学依据。测井车是一个包括光学和磁带记录设备、控制面板、深度和张力测量装置、计算处理器的实验室。

2. 电缆及深度

绞车可装载长度达8000m多芯钢丝铠装电缆，它的作用是输送井下仪器和测量井下地层埋藏深度，同时还能供电和传输测量信号。数字测井系统多芯电缆中的每根导电电缆芯都要用聚丙烯、聚四氟乙烯、橡胶等套封材料绝缘起来，在地面测量缆芯绝缘电阻必须大于 $10\text{M}\Omega$ ，才能保证高温环境（ $175\sim 200^{\circ}\text{C}$ ）下的

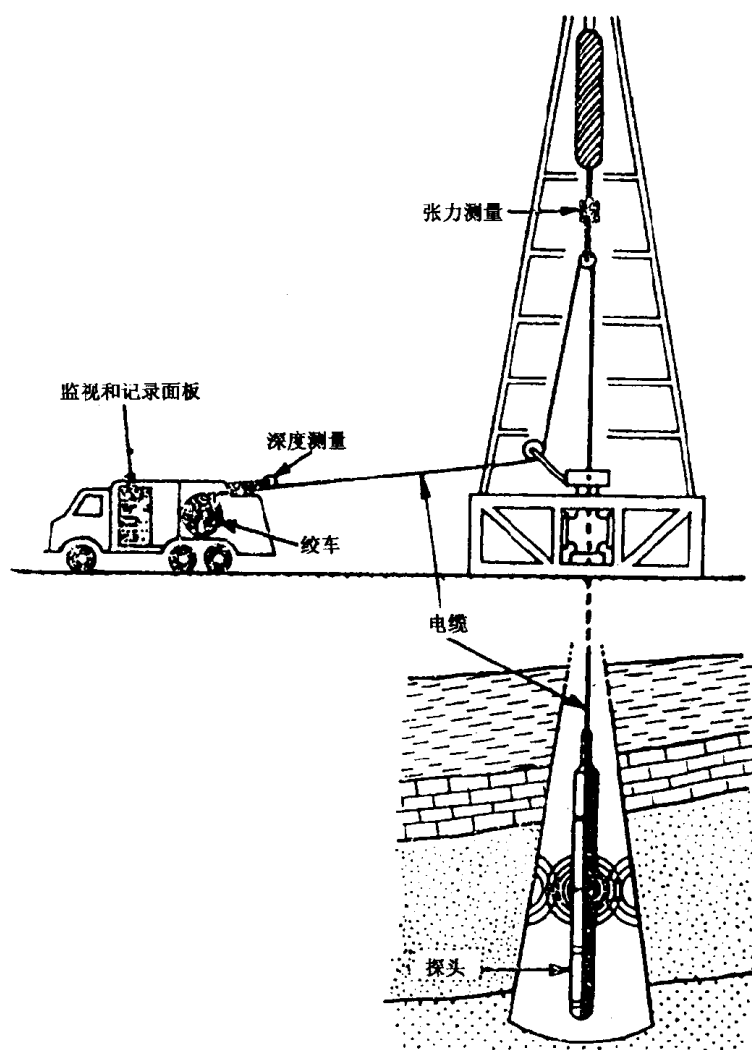


图 1—1 数字测井原理图

绝缘性能，使传输信号畸变最小。多芯钢丝铠装电缆的另一个功能是测量地层埋藏深度。电缆在井中运动，控制着地面记录仪器的磁带和感光胶片运动，而电缆运动的信息经过标定导轮传输给

机械的或电气的驱动系统，通过该系统可以选择磁带速度或记录感光胶片的深度比例。

在一定的电缆张力条件下，电缆长度每 25m 做一个磁性记号，每 500m 做一个特殊磁性记号。当电缆通过导向轮装置时，这些磁性记号被探测到，作为精确的深度测量信息。在石油工业中，钻井穿过地层的深度是以电缆测量深度为准的。

二、数字测井系统

1. 仪器原理框图

图 1—2 是数字测井系统仪器原理框图，该图包括井下测量仪器和地面记录仪器两部分。井下测量仪器系列分为裸眼井测井仪器系列和套管井测井仪器系列；地面记录仪器由接线控制、辅助测井、各种专用测井面板、深度延迟、程序控制面板、计算机、数字记录控制部分、磁带机、模拟记录控制面板、照相记录仪组成。

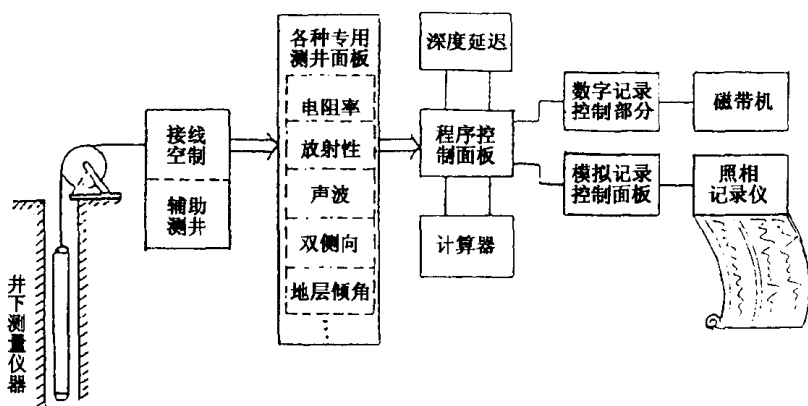


图 1—2 数字测井系统仪器原理框图

2. 数字测井记录

数字测井记录是用一系列离散的数字量来表示被测物理量随深度变化的过程。每个数字量（称为子样）代表一个采样点的物理量大小，并按等间隔或等时距采样。采样间隔的倒数称为采样

率，不同测井方法采样间隔或采样率不同。例如，双感应或双侧向测井、声波测井、放射性测井方法的每个采样间隔为 12.5cm，而地层倾角测井方法的每个采样间隔为 4cm，主要取决于测井方法对地层纵向分辨率的高低。测井方法对地层纵向分辨率高，采样间隔小；测井方法对地层纵向分辨率低，采样间隔大。由于磁带能够记录大容量的测井数据，而且精度高，动态范围大，又便于贮存，可以直接输入计算机处理解释，从而提高了测井定量评价油气层的精度，这是测井数字化的主要优点。

3. 裸眼井测井仪器系列

双感应—八侧向测井仪或双感应—球形聚焦测井仪是测量地层电阻率和自然电位，用于发现油气层和计算含油气饱和度，确定油气层埋藏深度及其有效厚度。

双侧向—微球形聚焦测井仪也是测量地层电阻率和自然电位，同样用于发现油气层和计算含油气饱和度，确定油气层埋藏深度及其有效厚度。

地层倾角测井仪是测量地层倾角和方位角，用于解释构造、断层、沉积、不整合。

井眼补偿声波测井仪是测量声波（纵波）在地层中的传播速度或时差，用于发现气层，确定地层岩性、孔隙度和作地震解释。

井眼补偿密度测井仪是测量地层体积密度，用于发现气层和确定地层岩性及孔隙度。

井眼补偿中子测井仪是测量地层含氢指数，用于发现气层和确定地层岩性及孔隙度。

自然伽马测井仪是测量地层天然放射性强度，用于确定地层岩性和泥质含量，识别沉积环境。

井径测井仪是测量井眼直径，用于划分地层岩性、渗透层及非渗透层，校正井眼对测井的影响，计算固井水泥量。

井斜测井仪是测量井身的倾角和方位角，检查井身质量，将地层视厚度校正为地层真厚度和井的真垂直深度。

电缆地层测试器是采集地层单个流体样品和测量地层单个孔隙流体压力，用于直接发现油气层，评估油气层产量、渗透率和异常地层压力。

井壁取心器采用冲击式井壁取心器在软地层中取出岩心，分析岩性、物性及含油性，直接发现油气层。

4. 套管井测井仪器系列

中子寿命测井仪是测量产层热中子寿命，用于评价水淹层和计算剩余油饱和度。

碳氧比能谱测井仪是测量产层碳氧比和硅钙比，用于评价水淹层和计算剩余油饱和度，监视水驱油田剩余油动态变化。

固井质量测井仪是测量声波（纵波）幅度的衰减，用于评价油气井固井质量及水泥返回高度。

生产测井仪是测量井筒内流体的流量、温度、压力和持率，用于评价注入剖面及产出剖面，确定单相和两相流体流量。

油气井射孔器采用子弹射孔器和聚能射孔器射开油气层，使油气井生产。

中国在引进、消化、吸收和创新的基础上，由西安石油勘探仪器总厂、江汉测井研究所、油田测井公司等单位共同研制的数字测井仪，实现了数字测井仪器系列化和国产化，已在全国各油田推广应用。

第二节 数字测井数据物理解释

众所周知，数字测井仪器系列采集的测井数据，记录在野外测井磁带上，直接输入计算机物理解释，获得地层孔隙度、饱和度、渗透率、泥质含量、岩石矿物成分、油气层有效厚度及埋藏深度等参数，为发现油气藏和评估油气储量及产量提供科学依据。

一、数字测井数据物理解释系统

中国数字测井数据物理解释系统最早使用 PE 计算机，它是