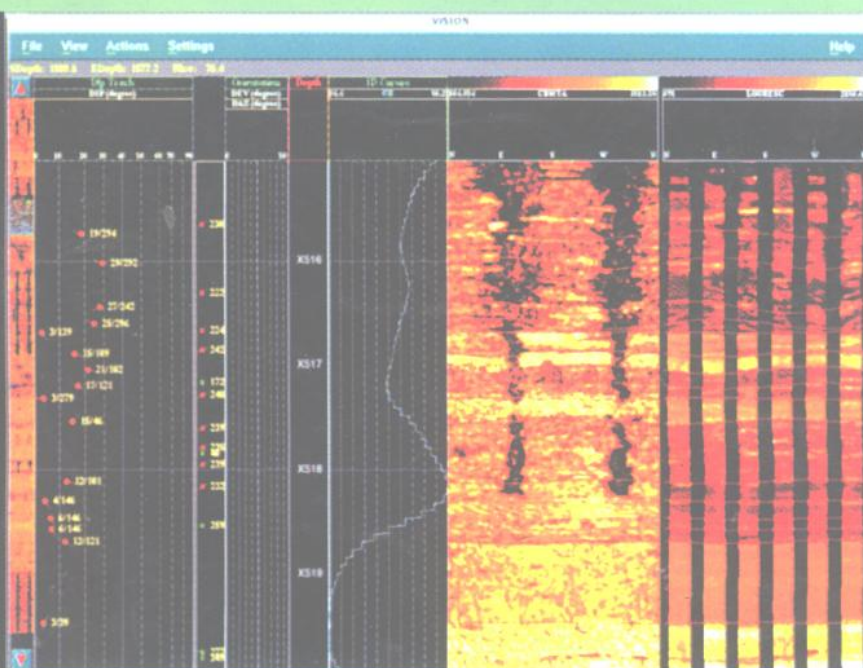
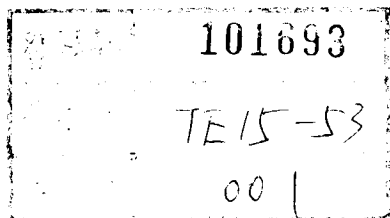


现代石油测井论文集

谭廷栋 著





现代石油测井论文集

谭廷栋 著



5758/08



石油工业出版社

内 容 提 要

本书由 30 篇论文组成。分别论述了测井学科的发展、前沿技术、理论基础、数据采集与处理解释方法、测井评价油气层、测井地质与工程应用以及现代测井技术在勘探与开发中找油找气的实例等内容,具有较高的学术水平和实用价值。

本书可作为测井研究生学位课教材,并可供测井、地质、物探、钻井、开发等专业技术人员、科研人员以及石油院校师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

现代石油测井论文集/谭廷栋著.
北京:石油工业出版社,1997.4
ISBN 7-5021-1994-9

I. 现…
II. 谭…
III. 测井-文集
IV. TE15-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 03295 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)
河北省徐水县激光照排厂排版
河北省徐水县印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开本 16 $\frac{1}{4}$ 印张 429 千字 印 1—800
1997 年 4 月北京第 1 版 1997 年 4 月河北第 1 次印刷
ISBN 7-5021-1994-9/TE·1678
定价: 20.00 元

前 言

从 80 年代起, 作者开始担任硕士和博士研究生导师, 从事研究生学位课教学。经过多年的科研与教学实践, 把学位课“测井理论基础”和“测井解释方法”撰写成数十篇论文, 已先后在《石油学报》、《地球物理学报》、《地球物理学进展》、《石油地球物理勘探》、《石油物探》、《石油勘探与开发》、《测井技术》、《国外测井技术》、《物探与化探》、《石油钻采工艺》、《石油与天然气地质》、《古潜山》、《天然气工业》、《世界石油工业》等刊物上发表, 我们从中优选出 30 篇论文, 正式出版这部《现代石油测井论文集》专著, 作为测井研究生学位课教材。

测井起源于法国。1927 年, 法国人斯仑贝谢兄弟发明了测井, 成为世界石油工业勘探开发的重要方法和有效手段。我国测井创建于 1939 年, 已故中国科学院院士、著名地球物理学家翁文波教授是我国测井学科的奠基人。测井是石油科学中的十大学科之一, 它对我国石油工业的发展起着举足轻重的作用, 做出了突出的贡献, 在石油工业中占有极其重要的地位。

测井仪器的更新换代最能反映测井技术的进步。到目前为止, 我国石油测井仪器经历了四次更新换代, 即:

第一代——半自动测井仪;

第二代——全自动测井仪;

第三代——数字测井仪;

第四代——数控测井仪。

当前, 我国正在发展和推广使用数控测井仪, 实现测井技术现代化。本书主要论述现代石油测井的理论、方法和技术, 同时讨论了第五代测井仪器——成像测井仪, 它是石油工业跨世纪使用的测井高技术。

石油工业即将进入跨世纪的发展新时期, 测井急需培养跨世纪的高级技术人才。迄今为止, 我国没有出版过供测井研究生使用的学位课专著。于是, 北京石油勘探开发科学研究院研究生部和作者产生了出版一部《现代石油测井论文集》专著的想法, 作为测井研究生学位课和培养跨世纪测井人才的教材。在研究生部和石油工业出版社的努力和支持下, 这个愿望变成了现实。

翁文波先生生前曾指出, 研究生的学习方法是求知, 求知就是创新。本书作为测井研究生学位课教材, 能为研究生求知起到抛砖引玉的作用。

北京石油勘探开发科学研究院研究生部

目 录

测井学科的新进展·····	(1)
测井学科研究水平的提高方向·····	(4)
当今世界测井的前沿技术·····	(10)
成像测井技术·····	(18)
斯仑贝谢公司的测井刻度·····	(27)
测井解释油气层的理论基础·····	(32)
剖析“声波地层因素公式”·····	(44)
数字测井最优化解释·····	(52)
三电阻率覆盖法直观识别油、水层·····	(62)
用地层胶结指数法指示油气层·····	(71)
用可动水率解释油水层的方法·····	(81)
碳氧比能谱测井解释油、气、水层的方法基础及应用实例·····	(87)
碳酸盐岩油藏测井评价新方法·····	(97)
裂缝性油藏测井资料定量解释·····	(106)
裂缝性地层侧向测井解释新方程·····	(112)
识别裂缝性油层及水淹层的特殊解释方法·····	(121)
测井评价稠油层等级的新方法·····	(136)
我国近海大陆架油气藏测井解释的特征·····	(145)
测井复查老井油气层实例·····	(155)
几种有效的测井找气方法·····	(161)
测井处理解释“两度”技术的差别·····	(171)
水文测井解释模型·····	(179)
东南亚测井解释新技术·····	(189)
测井解释粘土矿物·····	(201)
测井资料识别生油岩方法·····	(208)
测井资料识别碎屑岩沉积相·····	(219)
地层倾角测井在隐蔽油气藏勘探中的应用·····	(229)
从测井信息中提取地层破裂压力·····	(238)
电阻率时间推移测井·····	(246)
水驱油田剩余油的测井技术·····	(254)

测井学科的新进展

测井是地球物理学的分支学科,广泛应用于煤、石油、天然气、地下水、金属矿产等资源的勘探中。“一学”(测井学)、“二论”(非线性与非均质测井理论)、“三谱”(能谱、频谱及光谱测井技术)是当今世界测井学科的新进展。

众所周知,测井学科的内涵是测井理论、测井方法、测井仪器和测井技术。当然,测井技术本身涉及到测井数据采集技术、处理解释技术及地质应用技术。在过去,人们只强调测井技术的发展,忽视了测井学科的重要性,因而测井学术地位不高。一些研究项目不按学科设置,影响了测井前沿技术的发展。近年来,人们认识到,测井前沿技术的发展必须要有测井学科研究作指导,才能提高测井学科的学术地位,充分发挥测井勘探矿产资源的潜力。

测井起源于法国。1927年,法国人斯仑贝谢兄弟发明了电测井,成为世界测井学科的创始人^[1]。我国使用测井技术始于1939年,著名地球物理学家翁文波教授是我国测井学科的奠基人^[1]。测井界老前辈赵仁寿、刘永年、王曰才先生为我国测井学科的创立和发展做出了卓越的贡献。

“一学”——测井学

世界测井技术的发展,已有66年的历史;我国测井技术的发展,也有54年的历史。在这期间,测井形成了电测井技术、声测井技术、核测井技术、热测井技术、磁测井技术、力测井技术等。但是,测井学没有建立起来,至今还没有一部测井学专著问世。进入90年代,测井界有人提出建立测井学的设想,把测井前沿技术引入测井学科中来^[2]。当今世界上使用的现代测井技术,都是在测井学科基础上发展起来的。因此,建立测井学的条件基本具备。在本世纪末或下世纪初,可以建立电磁测井学、地声测井学、核测井学、力测井学、测井解释学等。并将出版一批测井学专著。在这个领域里,我国设有测井专业的高等院校拥有一批从事测井理论、测井方法、测井仪器和测井技术研究的教授、学者,他们具有较高的学术水平,可以撰写测井学专著,这是发展我国测井学科的知识财富。

“二论”——非线性与非均质测井理论

传统的测井理论都是研究线性和均质测井理论。换句话说,地层被看成是均质的,测井对地层的响应是线性的。应用这种理论指导测井仪器设计、数据采集及处理解释,结果出现多解性。近年来,人们研究出非线性与非均质测井理论,用于指导成像测井技术的发展^[3],这是测井学科领域理论认识的进步。

1. 非线性测井理论

测井对岩石的非线性响应早已存在,只因当时人们不认识,把非线性响应作线性处理,导致测井处理解释质量不高。最新实验研究指出^[2],测井对岩石孔隙度、饱和度、渗透率、泥质含量,骨架(矿物)成分含量的响应是非线性的,建立的测井响应方程也是非线性的。

例如,在测井最优化处理解释方法中,采用非线性测井理论,提高了测井处理解释油层物理参数的精度。必须指出,测井对岩石的线性响应也是存在的,但是,测井响应作线性处理要比非线性处理简单得多。当今非线性测井理论作为线性测井理论的前沿研究课题,测井线性响应只是非线性响应的一个特例。特别是,在水平井测井中,线性测井理论是局部的,非线性测井理论是普遍的,应当引起测井学术界的重视。

2. 非均质地层测井理论

如果对岩石孔隙度、饱和度、渗透率等参数作三维测定,可以发现地层的非均质性,其中裂缝性地层的非均质性特征最明显。此外,地层纵向和径向的非均质性也很突出。在非均质地层中,从不同测井信息中提取的油层物理参数很难取得一致,结果出现多解性。目前,从四方面研究非均质地层测井理论^[2]:一是研究非均质地层正演与反演模型,从测井视信息中提取测井真信息;二是研究非均质地层测井信息的匹配,排除由于测井纵向分辨率不匹配出现的多解性;三是研究非均质地层测井信息的转换,建立新的测井解释模型与响应方程;四是研究非均质地层新一代的测井处理解释方法,对油气层和矿产资源层作出科学的评价。

在过去的测井仪器设计中,油气层被看成是简单、均质的地层。大量的实际资料证明,简单、均质的地层是少数,复杂、非均质的地层是多数^[3]。我国陆相地层油气藏复杂、非均质的特点更加突出,研究非均质地层测井理论,用于指导现代测井技术的发展,具有重要的实用价值和学术意义。

“三谱”——能谱、频谱及光谱测井技术

近代物理学中的“三谱”技术正在应用到测井学科中来,推动现代测井技术的发展。

1. 能谱测井技术

在核测井技术中,能谱测井技术发展很快,应用越来越广^[2]。例如,自然伽马能谱测井技术可以探测地层中3种天然放射性化学元素(铀、钍、钾)浓度,次生伽马能谱测井技术可以探测地层中7种化学元素浓度的比值(如碳氧比、硅钙比或硅与钙+硅比、氯与钙+硅比、铁与钙+硅比、氯氢比等);岩性-密度测井技术可以探测地层光电吸收指数和体积密度;热中子及超热中子测井技术可以探测地层含氢指数;中子寿命测井技术可以探测地层热中子寿命或俘获截面;地球化学测井(又称元素测井)技术可以探测地层中10种化学元素(铝、钙、氯、氢、钾、硅、硫、铁、钍、铀)浓度。因此,能谱测井技术是核测井技术的重要发展方向。

必须强调指出,美国斯仑贝谢一道尔研究中心正在研究电子加速器和新一代中子发生器,革新现有能谱测井技术使用的伽马源和中子源。

2. 频谱测井技术

在电磁测井技术和地声测井技术中,正在发展频谱测井技术。例如,电磁感应测井仪和介电测井仪改变供电频率,可以获得不同的径向探测深度,测量冲洗带、过渡带和原状地层的电阻率或介电常数;也可以测量频率的变化来探测地层的物理性质,后者在岩电实验室中作了测量研究,但尚未研制出测量岩石频率变化的测井仪器。频谱测井技术用于探测岩石孔隙空间油气饱和度的变化,具有较高的分辨率和灵敏度。又例如,声波测井技术能够测量到纵横波在地层中传播的速度(或时差)、振幅及频谱信息,纵横波频谱可以用来指示岩性和

识别气层。

3. 光谱测井技术

西方一些测井公司正在探索光缆测井技术，用光缆传输测井信息。随着光缆测井技术的进步，在未来测井学科中，将会出现光谱测井技术。当今，光谱测井技术还是一片空白。必须指出，光对油气水响应有其独特的物理性质，它将是未来潜在的测井技术。

结 束 语

测井学科新进展正在推动测井前沿技术的进步。按照测井学科设立的测井前沿技术研究课题，可以把近代物理学、化学、力学、电子学、地学、数学、计算机学等学科的最新研究成果引入到测井学科中来，充分反映测井学科是一门边缘学科的特点，发展先进、实用的现代测井技术。把测井技术的发展引入测井学科轨道中来，改变过去只有测井学科而无测井学的局面。

1986年，中国石油学会批准成立了石油测井专业委员会^[1]，使测井学科成为一门独立的学科，它与石油地质、石油物探、石油工程等周边学科处于平等的地位，提高了测井学科的地位。但是，测井学科学术地位没有达到周边学科学术地位的水平。提高我国测井学科的学术地位，还有许多事情要做。测井界的专家、教授、学者可以充分发挥自己的作用，为提高我国测井学科的学术地位做出积极的奉献。

参 考 文 献

- [1] 谭廷栋. 测井的回顾与展望. 地球物理测井, 1989.13 (3)
- [2] 谭廷栋. 当今世界测井技术的前沿. 国外测井技术, 1992.7 (4)
- [3] 常熹、陆大卫、胡玉林、谭廷栋. 测井技术的新进展及其对油气勘探的贡献. 测井技术, 1992.16 (6)

测井学科研究水平的提高方向

引 言

测井是找油找气的重要方法和手段。它是一门边缘学科，又是密集型技术和高技术，当代测井技术更新换代特别快，科学技术研究是它的基础。

本文论述提高我国石油测井科学技术研究水平的方向。文章在分析我国测井科学技术研究现状的基础上，针对测井科研存在的某些问题和如何实现测井技术现代化，从四个侧面探讨了测井科学技术研究水平的提高方向，有助于加速我国测井技术的发展。

建立多层次的测井研究布局

经过多年的努力，我国建成了一批测井科学技术研究机构，分布在大庆、胜利、辽河、大港、华北、江汉、四川、新疆、中原油田和西安、北京等地。从事测井科学技术研究的科技人员约占全国测井技术人员的 10% 左右，具有比较雄厚的技术力量，能够独立地进行测井方法和仪器以及数据处理解释研究，取得了一批重要的科研成果，有的达到了国际先进水平。在石油勘探开发中推广应用，发现了许多石油与天然气，获得了国家和石油部科学技术进步奖，为发展我国石油工业做出了贡献。

但是，应当看到，我国测井科学技术研究力量比较分散，有的研究课题出现低水平的重复，测井方法和仪器研究还有某些脱节现象。当前测井科学技术研究的现状不适应我国现代测井技术发展的需要。建立多层次的测井研究布局，是提高我国测井科学技术研究水平的方向之一。

多层次的测井研究布局有两种涵义：一是测井科研机构布局要合理，不仅要有油田或测井公司一级的研究机构，而且还要有测井方法和仪器研究相结合的测井研究中心；二是测井科研课题布局要分级（国家级、石油部级和油田或测井公司级），突出测井科研配套技术的研究。科研课题要进行宏观控制，明确分工，加强横向联合，搞好协作攻关，确保重点课题研究任务的完成，这是改变测井科研力量分散和低水平重复研究的重要途径。

测井方法和仪器研究是相辅相成的，发展我国现代测井技术，必须要有测井方法和仪器研究相结合的测井研究中心。建立这样的测井研究中心，必须同技术服务、仪器制造、数据处理与培训结合在一起，形成一个整体，测井界和有关部门议论过多次，基本意见是一致的，并且提出了具体方案。但是，由于种种原因，目前尚未实施。

测井不仅技术复杂、而且难度很大，现在已被公认为是密集型技术和高科技。但是，我国测井科学技术研究的物质条件较差，增加科研经费、改善研究条件和向科研部门输送合格的研究人材，这些都是提高我国测井科学技术研究水平迫切需要解决的问题。

加强测井基础研究

测井是运用物理学的原理和方法测量井下岩石的电、声、核、热、力学信息，用于找油找气，评价油、气层，确定岩石孔隙度、饱和度、渗透率、矿物成分和地层压力以及研究地质构造、沉积、生油、油藏描述和地球物理解释等。

测井基础研究系指测井方法和解释方法的基础理论与基础实验研究，它是发展测井新理论、新方法、新技术、新仪器的重要环节。

我国电法测井、声波测井、核（放射性）测井方法和解释方法研究取得了重要的进展，国产多线测井仪、801 数字测井仪、83 系列以及生产测井仪使用的各种测井方法和解释方法，集中体现了我国测井基础研究的成果。现已成为勘探开发测井找油找气的主要手段。但总的来讲，我国的测井基础研究仍然是个薄弱环节，特别是测井新方法和新仪器研究力量不足，人员不够稳定，缺乏先进的实验手段，有的测井和解释新方法还没有开展基础研究工作。加强测井基础研究，解决独立发展测井技术问题，这是我国测井科学技术研究一个重要的提高方向。

众所周知，测井是一门边缘学科，要把电学、声学、核学、热学、光学、磁学、力学等原理和方法应用到测井中来，研究出测井方法、仪器及其解释方法用于找油找气，这是测井基础研究的主要内容。

我们必须做好“七五”期间已在研制的测井方法、仪器及其解释方法的基础研究工作，同时还要做好“八五”和“九五”期间测井储备技术的基础研究工作。

斯伦贝谢公司道尔研究中心专门从事测井基础研究，使该公司测井技术不断更新，保持竞争和垄断地位。道尔研究中心测井基础研究有两点经验：

- 1) 测井方法研究必须落实到测井仪器设计中去，试制出样机，并且提供仪器测量方程、仪器刻度、质量控制、环境校正、解释响应方程、解释图版及其参数、现场试验、方法应用等。
- 2) 解释方法研究必须落实到测井数据处理与评价中去，取得地质、工程的应用效果。

这样做的目的，测井基础研究的配套技术能力很强，有利于测井新技术投产使用，变为生产力。

我国测井基础研究的配套技术较差，上述经验值得参考。

做好消化吸收与创新研究

党的“对外开放，对内搞活”的政策，为我国测井科学技术研究工作者“认识世界，走向世界”开辟了途径。根据我国石油工业发展的需要，近年来以多种方式（包括购买设备、雇队服务、合资经营、对外技术交流等）从国外引进了一批测井技术，对解决我国复杂油、气藏勘探开发生产急需、缩短与国外先进测井技术差距和加快发展我国现代测井技术，发挥了积极的作用。

目前，美国和法国测井技术已进入数控测井技术时代，我国数字测井技术尚未普及应用。数字测井技术比数控测井技术至少落后 10 年左右。与国外先进测井技术比较，我国测井技术的某些方面还有较大的差距，特别是测井数据采集技术的差距更大。做好引进测井技术的消化吸收与创新研究，赶超世界先进水平，这是我国测井科学技术研究又一个重要的提

高方向。

应当指出,我国测井科学技术研究人员具有较强的消化吸收能力,创新研究也有相当高的水平,比如国产 801 数字测井仪、岩性—密度测井仪等,在消化吸收国外测井技术的基础上,创新研究出自己的测井仪器;测井数据处理与解释方法的消化吸收与创新研究更突出,结合我国油、气藏地质特征研究出许多测井解释新方法。有的测井解释新方法评价油、气层的精度超过了国外先进水平。当前,在我国测井科学技术研究中,消化吸收与创新研究的深度还不够,某些测井新技术还没有掌握,例如,地层微电阻扫描测井技术、地层学地层倾角测井技术、垂直地震剖面测井技术、重复式电缆地层测试器技术、电磁波传播测井技术,次生伽马能谱测井技术、油藏描述技术、随钻测井技术等,国外已投入商业服务,但是我国还没有研究出来,有的测井项目还没开展研究,做好上述测井技术的消化吸收和创新研究,是加快发展我国测井技术、赶超世界先进水平的捷径。

我国引进了斯仑贝谢公司的 CSU 数控测井技术,德莱赛公司 CLS 数控测井技术和吉尔哈特公司 DDL 数控测井技术,同时还引进了测井数据计算机处理解释技术。在近期内,应重点消化吸收数控测井技术和计算机处理解释技术,创新研究国产数控测井技术和计算机处理解释技术,争取早日实现数控测井技术国产化和进入世界先进行列,使国产数控测井技术能够打入国际市场,提供技术服务。

发展现代测井技术

数控测井技术、随钻测井技术和油藏描述技术是当今发展我国现代测井技术的重要标志,已列为国家“七五”科技攻关项目,正在进行研究。这些攻关项目的研究成功,有助于解决我国海上和陆地复杂油、气藏勘探开发难度较大的测井技术问题,提高测井找油找气的精度。

发展现代测井技术,必须从我国油、气藏的实际出发。我国油、气藏储层类型繁多,岩性复杂,孔隙度、渗透率变化大。已探明的石油与天然气储量分布在不同地质时代和不同岩性储层之中(参看表 1),有砂岩(石英砂岩、长石砂岩、泥质砂岩、钙质砂岩等)油、气藏和非砂岩(石灰岩、白云岩、花岗岩、火山岩、生物灰岩、页岩等)油、气藏,油、气资源基础雄厚。发展现代测井技术,必须同时适应我国砂岩油、气藏与非砂岩油、气藏找油找气的需要,这又是我国测井科学技术研究一个重要的提高方向。

我国石油储量 90% 来自砂岩油藏,10% 来自非砂岩油藏;我国天然气储量 39% 来自砂岩气藏,61% 来自非砂岩气藏。表 1 对发展我国现代测井技术具有重要的参考价值,发展现代测井技术不仅要满足砂岩油、气藏找油找气的需要,而且还要满足非砂岩油、气藏找油找气的需要,特别是要解决我国复杂油、气藏的测井找油找气问题。

1. 数控测井技术

80 年代,西方国家普遍使用数控测井技术找油找气。我国采用引进的数控测井技术,在华北、大港、新疆、四川、中原、大庆、辽河、胜利、江苏和海上油田找油找气,获得了显著的地质效果。数控测井方法多,找油找气适应能力强,这是它的一个显著特点。

国产数控测井仪研制方案考虑了适应我国油、气藏地质特点的需要。地面仪器使用计算机操作、控制测井数据的采集和处理。井下仪器品种繁多,测井方法比较齐全,有利于合理选择有效的勘探和开发测井系列,提高找油找气的精度。

表 1 我国油、气储量分布与储集层岩性

地质时代	纪	油、气储量分布, %		储 集 层 岩 性
		石油	天然气	
新生代	第四纪		2.6	砂岩
	第三纪 (晚)	7.3		砂岩
	第三纪 (早)	32.8	28.5	砂岩、生物灰岩、火山岩
中生代	白垩纪	38.4	1.4	砂岩、火山岩、页岩
	侏罗纪	6.9	0.5	砂岩、火山岩
	三叠纪	3.6	24.02	砂岩、石灰岩、白云岩
古生代	二叠纪	1.4	18.5	砂岩、石灰岩、白云岩
	石炭纪	0.4	9.5	砂岩、石灰岩、白云岩
	泥盆纪	0	0	
	志留纪	0.1	0	变质岩
	奥陶纪			石灰岩、白云岩
	寒武纪	1.6	3.33	石灰岩、白云岩
元古代	震旦纪			石灰岩、白云岩
	前震旦纪	7.5	11.6	花岗岩

当前,我国重点发展电缆数控测井技术,国产数控测井仪能够提供下列测井方法:

- 1) 双感应—球形聚焦测井;
- 2) 双侧向—微球形聚焦测井;
- 3) 长、短源距声波测井;
- 4) 自然伽马测井 (短节);
- 5) 自然伽马能谱测井;
- 6) 岩性—密度测井;
- 7) 双孔隙度中子测井;
- 8) 中子寿命测井;
- 9) 碳氧比能谱测井;
- 10) 地层学地层倾角测井;
- 11) 生产测井。

此外,国产 801 数字测井仪中所有的测井方法也可以使用。

在国产数控测井系列配套技术中,缺少电缆地层测试器、电磁波传播测井仪、地层微电阻率扫描测井仪,这些项目应该研制。数控测井技术密集,又是高科技,需要测井科研人员掌握更多的科学知识,才能够完成这一繁重的现代测井技术研究任务。

2. 随钻测井技术

多年来,人们把直接找油找气的期望寄托于随钻测技术的发展。随着科学技术的进步,这一期望能够成为现实。

与电缆测井技术比较,随钻测井技术有以下几个优点: 1) 在钻开油、气层的同时采集测井信息,不受井身条件和泥浆侵入的影响; 2) 实时测井不占用钻井时间,提高了钻井效率; 3) 在钻井过程中能够及时确定岩性和发现油、气层; 4) 能够指导定向钻井。

由于随钻测井技术难度大，我国随钻测井技术研究分两步走：第一步，研制井下存贮式随钻测井仪，采集自然伽马和电阻率信息，获得成功后，再扩展采集环空温度和泥浆电阻率信息；第二步，研究电磁传输通道随钻测井仪。采用电阻率时间推移随钻测井技术，能够实现直接找油找气的目的。

随钻测井技术外国有几十家公司在进行研究，斯仑贝谢公司和吉尔哈特公司已经研制出随钻测井仪器，现已投入商业服务。我国随钻测井技术正在进行攻关，如果获得成功，它将会成为我国直接找油找气的现代测井新技术。

3. 油藏描述技术

油藏描述是近期发展起来的计算机处理解释新技术，它以测井资料为主，并与地震、地质、油藏工程等资料结合在一起，使用计算机定量描述油藏构造形态、断层、沉积环境，油藏类型、物性参数，油、气储量的平面及空间分布，寻找油、气富集和高产规律，提供油田勘探开发决策和部署。我国选择了胜利、中原和江汉油田作为油藏描述试验研究对象，获得成功后将在各油田推广使用。

油藏描述技术包括：

- 1) 单井最优化测井数据处理与解释技术；
- 2) 多井最优化测井数据处理与解释技术；
- 3) 关键井研究技术（测井地质参数刻度）；
- 4) 垂直地震剖面测井和地面地震数据处理与解释技术；
- 5) 测井数据库技术；
- 6) 人工智能专家系统评价技术；
- 7) 计算机绘制油藏三维形态图与剖面图及其显示技术。

油藏描述是多学科相互渗透、相结合的技术，进行这项研究工作需要测井分析家、地质学家、地球物理学家和油藏工程师共同工作，利用先进的计算机技术，把所有的数据综合利用起来，研究并绘制出油藏三维形态图、剖面图、油（气）层厚度图、孔隙度图、饱和度图、渗透率图、岩相图、油气体积图等，以供油田有关部门使用。

结 束 语

本文从四个侧面探讨了我国石油测井科学技术研究的提高方向，当然，测井科学技术研究的提高方向还会涉及到其他方面。

我国石油测井技术还包括气测与射孔技术，它们也是找油找气的重要方法和手段，发展现代气测与射孔技术，赶超世界先进水平，也是提高我国测井科学技术研究水平的重要方向。

油、气藏岩石存在大量的物理—化学信息，使用现有测井方法只能探测其中一小部分。未来的测井技术要研制光缆数控测井仪，发展声波、光波、电磁波、X—射线以及化学测井新方法，我们应当加强测井储备技术的研究，不断进行测井技术更新换代。

现代科学技术发展的一个特点是不同学科的相互渗透和相结合。测井是一门边缘学科，这一特点显得更加突出。因此，参加今后测井科学技术研究的人材，不仅要有来自石油院校测井专业的毕业生和研究生，而且还要有来自非石油院校理、工科专业的毕业生和研究生，如果在一个测井研究中心，非石油院校理、工科专业毕业生和研究生占有适当的比例，

那么这对提高我国测井科学技术研究水平是十分有利的。

我国石油测井已有一支强大的技术队伍，我们有能力走向世界，并在竞争中推进测井技术的发展。我国测井技术将在世界上占有重要的地位。

当今世界测井的前沿技术

——访斯仑贝谢道尔研究中心

摘要 当今世界测井技术的前沿是什么？用一句话来概括：成象测井技术是当今世界测井技术的前沿。在本世纪末或下世纪初，成象测井技术将会取代数控测井技术。

斯仑贝谢道尔研究中心从事当今世界测井技术前沿的研究。1992年6月，作者参观访问了该研究中心，本文叙述参观访问该研究中心从事测井技术前沿研究的所见所闻，供我国测井界借鉴和参考。

引言

斯仑贝谢道尔研究中心位于美国康涅狄格州费尔蒂山脉，离纽约市180km。该中心研究人员和服务人员共160名（各占一半，其中研究人员22个国籍，全部获得博士学位），每年投入研究经费1.7亿美元，占斯仑贝谢公司测井服务收入费用的10%左右。该中心从事10年后测井技术的研究，设有4个测井学科研究部：电磁学测井研究部、地声学测井研究部、核学测井研究部、解释科学研究部。这4个测井学科研究部从事当今世界测井技术前沿课题的研究。另外，力学测井研究部从美国斯仑贝谢道尔研究中心迁移到英国斯仑贝谢剑桥研究中心，从事流体力学测井技术前沿课题的研究；法国斯仑贝谢蒙特鲁日研究中心从事测井与地震结合技术前沿课题的研究。由此可见，斯仑贝谢公司建立了3个测井研究中心，统一领导，发挥各自的特长。研究课题不重复，按照研究世界测井技术前沿的要求，分工合作，最后获得配套的先进测井技术，在世界测井技术服务中保持垄断地位。

在测井学科领域里，测井技术前沿是指超前的先进测井技术，它能起到更新换代的作用。例如，数字测井技术被数控测井技术更新换代，在当时，数控测井技术是数字测井技术的前沿。又例如，数控测井技术将会被成象测井技术更新换代。当今的成象测井技术成了数控测井技术的前沿。因此，测井技术前沿是个相对概念。

斯仑贝谢道尔研究中心除了研究当今世界测井技术前沿外，还特别注意研究改造常规测井技术，把常规测井技术改造成当今世界测井技术的前沿。例如，自然电位测井技术是常规测井技术，改造为自然电位成象测井技术，它是当今自然电位测井技术的前沿。

在50年代和60年代，斯仑贝谢公司在世界测井市场技术服务业中约占95%，现在下降到70%左右，失去了常规测井技术市场，其中一个重要的原因是这20年来该公司只重视发展新的测井高技术，结果测井费用大幅度增加。石油公司改用其它测井公司，降低测井费用，这引起了斯仑贝谢公司的重视，于是，斯仑贝谢道尔研究中心正在改变自己的研究策略，注意改造常规测井技术的研究，发展先进实用的测井技术，控制测井费用过快增长，力图把失去的世界测井市场再夺回来。

当前，西方石油工业不景气，石油公司和服务公司纷纷裁员。为了保持斯仑贝谢公司在世界测井技术中的垄断地位，该公司宣布：斯仑贝谢道尔研究中心的研究人员不裁员，研究经费不减少。这两条措施稳定了研究人员的情绪，保证了研究工作的顺利进行。西方测井界

人士普遍认为：斯仑贝谢公司投入斯仑贝谢道尔研究中心的研究经费多，技术实力强，研究设备先进，其它测井公司研究中心是无法比拟的。事实上，斯仑贝谢道尔研究中心在领导世界测井技术发展新潮流，其它测井公司仍然停留在追赶阶段。

电磁学测井技术

电磁学测井研究部从事电磁学测井技术前沿的研究。已研究出电磁学测井技术的前沿有阵列感应成像测井技术、全井眼地层微电阻扫描成像测井技术、方位侧向成像测井技术和自然电位成像测井技术，正在研究电磁学测井技术的前沿有深探测脉冲感应测井技术、深探测电磁测井技术、介电成像测井技术等。

1. 阵列感应成像测井技术

这项测井技术是由英国石油公司最先提出的。斯仑贝谢道尔研究中心借助自己的研究实力，很快研究出阵列感应成像测井仪，它是当今感应测井技术的前沿。西方测井专家认为：阵列感应成像测井技术的出现是电磁学测井划时代的技术进步。

阵列感应成像测井技术能够同时测量 5 种不同径向探测深度的地层感应电阻率，这 5 种径向探测深度是：0.25m, 0.5m, 1.0m, 1.52m, 2.28m。在相应径向探测深度上测量地层感应电阻率，能够反映地层径向电阻率的变化。地层感应电阻率信息经过成像处理，获得阵列感应成像测井图，用于评价油气层，提高了测井解释油气层的直观性和准确性。

2. 全井眼地层微电阻扫描成像测井技术

在类似地层倾角测井仪的 4 个极板上，安装 164 个钮扣电极，可以贴向井壁，钮扣电极对井眼周围地层的覆盖率为 80%，径向探测深度 5cm。全井眼地层微电阻扫描成像测井测量井眼周围地层电阻的变化，地层电阻信息经过成像处理，获得地层微电阻扫描成像测井图，它与实际岩心照片一样清晰、直观、实感性强。

全井眼地层微电阻扫描成像测井技术是斯仑贝谢道尔研究中心最早研究成功的电成像测井技术之一。地层微电阻扫描成像测井图除了确定地层倾角和方位角外，还可以对油气层的岩性、结构及其特征进行细致地描述，特别是指示裂缝的产状及其分布，效果最佳。此外，对确定侵蚀面、构造形态、断层位置，岩相、沉积环境等也有显著的效果。可以认为，全井眼地层微电阻扫描成像测井技术是当今地层倾角测井技术的前沿。

3. 方位侧向成像测井技术

在三侧向测井原理基础上发展起来的方位侧向成像测井把主电流电极垂直分割成 24 个独立的主电极，独立主电极之间彼此绝缘，供给主电流电极的主电流保持不变。在均匀、各向同性地层中，分配给 24 个独立主电流电极的电流相等，但是，在非均匀、各向异性地层（比如说，裂缝性地层）中，分配给 24 个独立主电流电极的电流不相等。当独立的主电流电极碰到裂缝时，流入裂缝的主电流增加。独立的 1 号主电流电极有定位装置，可以把裂缝的方位直接探测出来。

方位侧向成像测井除了测量深和浅侧向地层电阻率变化外，同时还要测量供给独立主电流电极电流的变化。主电流信息经过成像处理，获得方位侧向成像测井图，用于识别裂缝，它与全井眼地层微电阻扫描成像测井的作用相类似。方位侧向成像测井仪刚研制出样机，投入商业服务还需要 1 至 2 年。可以看出，方位侧向成像测井技术是当今侧向测井技术的前沿。

4. 自然电位成象测井技术

测量自然电位的钮扣电极安装在带推靠器的极板上，钮扣电极是由不极化的金属制成，极板是耐磨的绝缘物质，12个钮扣电极分两排交叉排列，分布形状类似地层微电阻扫描成象测井仪极板。

自然电位成象测井只测量井内自然产生扩散电位的变化。扩散电位信息经过成象处理，获得自然电位成象测井图，用于划分岩性、识别渗透层与非渗透层。自然电位成象测井图与全井眼地层微电阻扫描成象测井图相似，两者对比结果很好。因此，自然电位成象测井技术是当今自然电位测井技术的前沿。必须指出，斯仑贝谢道尔研究中心刚研制出自然电位成象测井仪样机，还有一些技术难点尚待研究解决，预计两年后可以投入商业服务。

5. 深探测脉冲感应测井技术

油气层电阻率随着泥浆侵入深度的增加而降低，这是普遍的规律。随钻测井测量的油气层电阻率比电缆测井测量的油气层电阻率高数倍，这是由于电缆测井时油气层受到泥浆侵入影响的缘故。为了把感应测井的径向探测深度提高5倍，使其径向探测深度能够达到12m左右，测量的电阻率信息主要来自原状地层，在这种情况下，泥浆侵入的影响可以忽略不计，斯仑贝谢道尔研究中心提出了研究深探测脉冲感应测井技术的设想。脉冲感应测井的工作原理是：在发射线圈中瞬时供给强大的脉冲电流，穿入地层深处产生感应电磁场，由接收线圈把它接收下来，测量信号经过计算机处理，获得原状地层电阻率（或电导率），又称地层真电阻率；这是当今正在进行探索性研究的感应测井技术的前沿。

众所周知，地层真电阻率是计算油气层含水饱和度的关键参数。在过去，使用双感应测井技术测量的深、中感应电阻率，经过井眼环境和泥浆侵入影响的校正，获得地层真电阻率的精度很不理想，误差相当大。因此，应用感应测井电阻率评价油气层存在多解性。

6. 深探测电磁测井技术

到目前为止，所有的电阻率测井技术都是在裸眼井中测量地层电阻率。斯仑贝谢道尔研究中心提出一种设想，在套管井中测量地层电阻率。这种测井技术以电磁学原理为理论依据，径向探测深度要求超过100m以上，它既可以在井与井间进行测量，又可以在同一口井中进行测量，目的在于探测死油区或死气区，指导老油田或老气田挖潜，提高油气采收率。

深探测电磁测井技术实验研究结果表明，大约90%的电流都从套管短路流走，剩下10%左右的电流流入地层，这10%左右的电流是探测地层电阻率变化的有用信息。

世界油气勘探新区越来越少。在21世纪，油气由新区勘探将会转向老区勘探，发现剩余油气。由于老油田已有大量的套管井，因此，建立一种深探测电磁测井技术，在套管井中测量地层电阻率的变化，这是当今正在进行探索性研究的电磁测井技术的前沿，它将会开辟老区勘探油气的新领域，斯仑贝谢公司瞄准了这个潜在的世界测井市场。

7. 介电成象测井技术

在电磁学测井技术中，介电成象测井技术正在进行探索性研究，它是当今介电测井技术的前沿。但是，这项技术尚未研制出样机。

顾名思义，介电测井是测量地层介电常数的变化。如果介电测井能够测量不同径向探测深度的地层介电常数，那么采集的介电常数信息经过成象处理，获得介电成象测井图。它的用途与阵列感应成象测井图相似。必须指出，油气的介电常数远小于水的介电常数，因此，油层（或气层）与水层介电常数的反差特别大，而且介电常数受地层水矿化度变化的影响程度小，它是探测水淹油气层的有效测井方法之一。