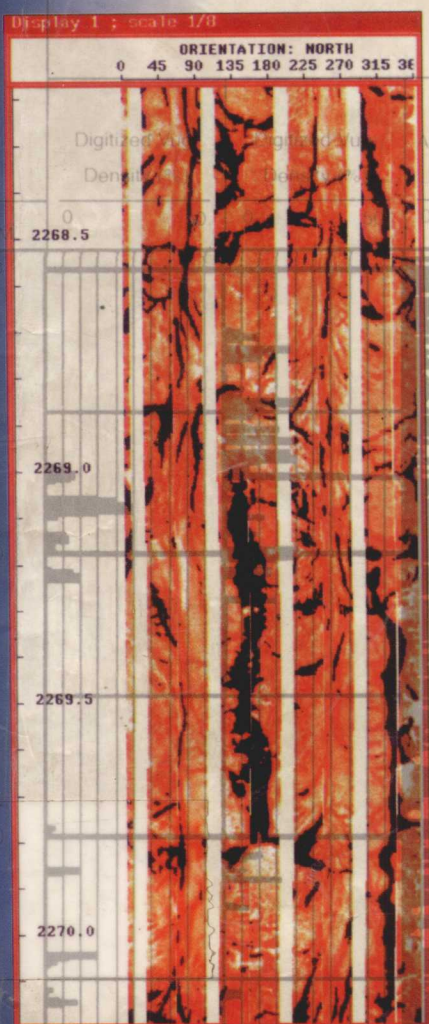




第十一届测井年会论文集

陆大卫 主编



石油工业出版社
PETROLEUM INDUSTRY PRESS

登录号	147147
分类号	P631.81-53
种次号	001

本书是根据石油工业出版社《石油工业论文选编》(P631.81-53)一书编入的

第十一届测井年会论文集

陆大卫 主编

主 编：陆大卫

编 委：王志信 孙宝喜 初洪科 魏继 (中) 王 明 周 吉 陆 洪

第十一届测井年会论文集 石油工业出版社

(注：按姓氏笔画为序) 0-8145-7-2051-5

石油工业出版社



石油大学 0149942

石油工业出版社

内 容 提 要

本书选出了反映我国测井技术发展新水平的学术论文 18 篇, 这些论文不仅包括测井理论新技术, 还涉及现场实例的研究。本书可供油气田测井系统技术人员参考, 也可作为高等院校有关专业人员参考。

主 编 王 大 卫

图书在版编目 (CIP) 数据

第十一届测井年会论文集/陆大卫主编. —北京: 石油工业出版社,
2000.4

ISBN 7-5021-2948-0

I. 第…

II. 陆…

III. 油气田-测井-学术会议-文集

IV. TE15-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 05728 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)

河北省徐水县印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开本 9.375 印张 240 千字 印 1—1100

2000 年 4 月北京第 1 版 2000 年 4 月河北第 1 次印刷

ISBN 7-5021-2948-0/TE·2290

定价: 20.00 元

《第十一届测井年会论文集》

编 委 会

主 编：陆大卫

编 委：王志信 孙宝喜 初燕群 李宝同 何清源

胡以良 谢维肖 鲜于德清 鞠晓东

(注：编委按姓氏笔划为序)

《第十一届测井年会论文集》编委会

陆大卫

1999年12月22日

前 言

中国石油学会测井专业委员会于1999年9月22日至24日在辽河油田测井公司召开了第十一届测井年会暨庆祝中国测井专业诞生60周年大会,出席会议的有来自全国石油、石化、海洋、新星、煤田系统有关测井公司、研究院所、石油院校等50多个单位的领导、专家、技术骨干共计124人。

大会共收到论文121篇。其中,大会宣讲37篇,书面交流26篇。以段康为组长的评审小组对所有论文进行了认真的评审,从中选出了反映我国测井技术发展新水平的学术论文18篇,并对每篇论文提出了修改意见。其研究成果无疑对我国油气工业运用测井学手段研究油气勘探与开发各阶段遇到的疑难问题以及测井学科的一些前沿课题将起到积极推动作用。结合庆祝我国测井诞生60周年,有的论文简要回顾我国石油测井技术在电测井、声测井、核测井等测井方法方面的发展历程,提出了选准重点研究方向的若干建议。多篇论文涉及到有关非均质的正反演理论、算法及数据处理和解释软件。其中针对复杂介质声波传播问题方面的研究水平较高。引进测井新技术应用的论文在裂缝储层流体性质识别和裂缝系统评价、含油气储层评价方面有改进和创新点。会后由作者按要求进行了修改和完善,由测井专业委员会秘书处汇总,全部文章由谭廷栋教授、陆大卫教授级高工逐一进行了审定,由编委会全体会议通过。

此次会议的召开、论文集的出版始终得到了中国石油学会等有关单位及专家的支持,辽河油田测井公司给予了大力资助,在此致以诚挚的谢意!

《第十一届测井年会论文集》编委会

陆大卫

1999年12月22日

石油测井技术现状与发展对策

目 录

石油测井技术现状与发展对策	胡以良 冯启宁 楚泽涵 黄隆基 (1)
电测井研究应用现状与发展态势分析	冯启宁 高 杰 (12)
多井解释软件平台 START	李 宁 (19)
成像测井技术在复杂岩性油气藏中的应用	孙乃明 毛克宇 王淑玲 (24)
成像测井资料在构造解释中的应用	杜旭东 尤 征 杨贻镐 刘玉珍 贺祥龙 (31)
成像测井工程技术应用	王洪亮 董彦喜 林祖彬 毛尚明 何金玉 黄文新 (39)
井周声波成像测井处理解释软件的研制及应用	乔德新 王忠东 付永强 (47)
核磁共振测井资料处理与解释系统	何宗斌 张超谟 (54)
核磁共振测井地质应用	高秋涛 林祖彬 时新芹 程 芳 王志强 黄思赵 (61)
利用偶极声测井中弯曲波衰减反演渗透率的方法	王克协 马 俊 伍先运 王 东 宋公仆 (68)
应用研究	张胜文 韩志明 朱秀英 (75)
激发极化电位测井在辽河油田的应用	张厚和 秦瑞宝 赵立新 (84)
中国海域低电阻率油气层的特征与评价方法	王天波 张宇晓 李玉玲 (92)
非均质厚油层特高含水开发期剩余油评价方法	王建民 马庆诚 姜亦忠 (103)
化学驱采油过程中注入监测技术的新进展	宋晓峰 张庆珍 姜 义 (111)
放射性同位素示踪井间监测确定剩余油饱和度	郭海敏 方战杰 (121)
三相流动优化解释处理方法	司马立强 (128)
测井地震结合储集体描述技术及应用	张 筠 林绍文 徐炳高 (135)
储量计算中的关键测井综合研究	

石油测井技术现状与发展对策

胡以良

(北京石油勘探开发科学研究院测井研究所)

冯启宁 楚泽涵 黄隆基

(石油大学, 北京)

石油测井是十大石油学科之一, 它包含勘探测井、开发测井、射孔、井壁取心等几方面。我国测井工作始于 1939 年, 已经走过 60 年历程。它在石油工业中的地位和作用日显重要。

一、石油工业发展推动了测井技术进步

1. 地面仪器的改进经历五个阶段

(1) 我国石油测井从使用人工点测仪起步, 1947 年自制成功半自动电测仪。1951 年从前苏联进口 ПС-50 型半自动电测仪。1953 年从前苏联进口 АКС-50 型、51 型全自动电测仪。

(2) 1952 年刘永年提出多线电测仪设计方案, 1958 年研制成功我国第一套 JD581 多线式自动电测仪。

(3) 1978 年从美国引进 3600 数字测井仪, 1980 年研制成功国产 SJD-801 型数字测井仪。

(4) 80 年代中期, 从美国引进 3700、CSU、DDL-II、DDL-III、DDL-V 数控测井仪。1990 年引进 3700 数控测井仪生产线。1992 年研制成功国产 XSKC-92 数控测井仪。

(5) 1993 年, 开始从美国引进成像测井仪。1997 年, 启动国产成像测井系统研究。

2. 井下仪器系列和测井解释技术日臻完善

(1) 1956 年开始使用自然伽马、中子伽马等放射性测井仪, 60 年代中期研制出国产声感组合测井仪, “老横向” 加声感组合形成了全套测井的 “老九条”。

(2) 70 年代研制出国产中子寿命测井仪和碳氧比能谱测井仪。80 年代初, 以浅、中、深三电阻率和声波、密度、中子三孔隙度曲线为主的 “新九条” 取代了 “老九条”。

(3) 以后相继开发出国产电磁波传播测井仪、高分辨率地层倾角测井仪、长源距声波测井仪、岩性密度和自然伽马能谱测井仪、电缆式地层测试器、激发极化—自然电位组合测井仪等新仪器, 形成和充实了特殊测井系列。

(4) 80 年代末研制出国产超声成像测井仪。1994 年 10 月, 开始微电阻率扫描成像测井仪研制, 科研样机现已问世。

(5) 测井解释技术从单井处理解释发展为单井精细解释到多井处理解释, 由手工解释发展到计算机处理解释, 并对测井与物探、地质等学科的结合作了有益的尝试。

3. 开发测井从无到有

(1) 生产测井工作目的：注水剖面、产液剖面、工程监测等。

(2) 生产测井工作方法：同位素示踪测井、流量测井、流体参数（含水率、密度、温度、压力）测井、套管腐蚀测井等项目，并开始应用井间示踪监测技术。

(3) 产层测井：在实践中形成了淡水系数校正、数理统计分析、水淹模型等行之有效的判断和评价水淹层的方法；在套管井内利用注采剖面测井、碳氧比能谱测井、中子寿命测井、氯能谱测井、感应电测井（玻璃钢套管）资料监测剩余油饱和度。

4. 射孔取心从“三件宝”发展到全自动、高效率

(1) 1962 年大庆推广定位射孔法，尺子、麻绳和剪刀被称为射孔工人“三件宝”。1965 年研制成功跟踪射孔取心仪，80 年代后期研制成功数控射孔仪。

(2) 射孔器材以聚能射孔弹为主，研制出了深穿透、耐高温、高孔密、多相位射孔弹等，近年出现采用高能气体压裂弹的增效射孔器。各油田普遍采用了油管输送负压射孔和射孔方案优化设计等新工艺新技术。

(3) 井壁取心主要使用冲击式井壁取心器。国产钻进式井壁取心器投入生产应用。

5. 科技队伍发展壮大，行业发展形成共识

(1) 目前，中国石油天然气集团公司、中国石油化工集团公司的 17 个油气田企业和中国新星石油公司、中国海洋石油总公司都有自己的石油测井经济实体，共有测井工作者 26400 余人。

(2) 1955 年 7 月，北京石油学院创建我国第一个测井专业。现有的 6 所石油高校已有 5 所设置了测井专业。40 多年来，累计培养了 6500 多名本专科学历生，221 名研究生，对石油测井学科建设和技术发展功不可没。

(3) 阵列化探测、高分辨率技术、最优化处理解释、多学科综合应用等技术方向和资源优化配置、团队协作攻关等管理策略已成为测井行业谋求技术发展的共识。

二、市场需求呼唤新的电、声、核测井方法

1. 电测井研究应用现状与发展态势分析

(1) 回顾。

①电测井从 1927 年诞生至今，已在全频域的各个频段建立了相应的电测井方法。常用的直流电测井包括自然电位测井、普通电位、梯度测井、侧向测井及其他电流聚焦测井等。常用的交流电测井包括激发极化电位测井、双侧向测井、双感应测井、双频和随钻电磁波测井、双频介电测井等。现有的电测井方法不仅占满了整个频段，而且能测量表征岩石特性的主要参数，是油藏条件下饱和度解释的主要依据。

②现代微电子与计算机技术的发展使成像测井成为电测井发展的主流方向和未来趋势。微电阻扫描成像测井仪、方位电阻率成像测井仪、阵列感应测井仪、电成像测井仪、高分辨率双感应测井仪、高分辨率双侧向测井仪等成像测井仪器已经在油田测井中发挥了重要作用。

③电测井的探测范围正在不断拓宽。一是电测井正从井壁到井周和井间发展，井间电磁法及其层析成像的研究、发展和应用使测井摆脱了“一孔之见”。二是利用电参数对孔隙流体敏感的特性，开展套管井中的电阻率测井研究。同时，在套管井中进行的井间电磁测量和

层析成像将会提供开发过程中剩余油的动态分布图像。

(2) 电测井研究的发展态势。

电测井的研究向着寻求表征储层特性的新参数和扩大电测井的探测范围与应用效果两个方向发展。

①电测井的探测技术，特别是成像技术，需要在空间域形成阵列。正在研制的 HRLA (高分辨率阵列侧向测井) 同时实现六种不同探测深度的测量；俄罗斯研制成功的 ВИКИЗ 高频感应测井线圈系统，共五组线圈，分别配以 5 个不同的工作频率 (0.875~14.0MHz)，以得到不同径向探测深度的地层电阻率；美国 NEDO (新能源发展协会) 研制的多频阵列感应测井仪 MAIL，采用从 3~42kHz 的 4 种频率，利用 4, 5, 6, 7, 8m 的线圈系测量电磁场的垂直分量，选用 7.5m 的线圈系测量电磁场的水平分量，这种电磁场的三分量测量可以提高鉴别非均质地层如裂缝的灵敏度。

②从实验和理论研究岩石电特性在频率域和时间域的表现特征，有利于挖掘电测井的应用效果。

实验研究表明，在高频段，由于地层非均质而引起的频散，可通过某一频段对复电阻率的频谱分析而加以利用，以确定复杂储层的含油饱和度，这是目前为国内外所关注的实验室重点研究课题之一。

③电测井的正、反演成为研究热点。目前，一维和二维情况下的正演算法非常成熟，已经用于电测井反演中；三维正演也较为成熟，已在仪器设计和资料解释中发挥了重要的指导作用。

由于计算速度、精度和与其他测井方法结合的问题，使严格的电测井反演在实际生产中并未得到广泛应用。一维电阻率反演应用相对普遍一些；二维反演是当前研究的热点，虽有一些实际应用，但远未得到普及；三维电测井反演应用就更罕见了。利用成像电测井提供的测井资料，采用合适的算法，可以得到空间任意位置的电阻率图像。

④扩大电测井的应用范围主要表现在如下三个方面：

A. 井间电磁测量。电阻率对孔隙度、含水饱和度和温度的敏感性明显优于地震波速度，自 80 年代以来，国外从测量原理、测量系统、地层模型以及二维反演成像技术等方面开展了诸多研究工作。近年来，已经陆续报道了井间电磁测量系统在测试井、地热井的温度监测以及油田注水、注气监测过程中的实验测量结果。井间电磁测量目前仍未有商用仪器的原因：一是钢套管的信号衰减作用很强，无法将发射器和接收器均放在钢套管中进行；二是成像分辨率低，一般按井距的 5% 估算分辨率。

B. 套管井电阻率测井。早在 1939 年和 1945 年，苏美两国就分别提出了套管井内进行电阻率测井的设想。80 年代末期以来，美国先后研制了两代试验样机在井中进行测量。

套管井电阻率测井未能成为商用仪器的主要原因：一是高噪声下的弱信号检测难度较大，二是套管腐蚀损伤、接箍和套管底部等因素对测量结果有较大影响。

C. 随钻电阻率测井。随钻测井 (LWD) 是随钻测量 (MWD) 服务的主要组成部分。随钻电阻率测井分为高频的电磁波传播电阻率测井和低频的侧向电阻率测井，与电缆电阻率测井相比，具有及时、准确等优点。

随钻电阻率测井的发展趋势如下：一是向成像仪器发展；二是采用混合补偿技术、多频发射技术以减小发射器/天线数目，并改善地层评价；三是采用现代数字信号处理和直接的数字合成技术以简化电路，并提高测量精度；四是它在地质导向中的应用必将越来越重要。

(3) 对我国电测井研究方向的建议。

近期目标和工作重点是：

①电测井探测系的研究。应大力发展电测井的正演数值模拟研究，根据我国的实际地质条件，充分利用数值模拟进行仪器的研制与设计，做到减少研究费用，提高仪器设计能力，达到理论研究服务于实践的目的。

②测井资料后处理。应继续加大电成像测井反演研究的力度，使电成像测井解释定量化。定向井及水平井的实际应用引发了三维介质反演和电阻率各向异性的研究，这也是电测井曲线后处理的重要发展方向。

③频率域复电阻率研究。岩石电性参数的频散特性为物理模拟所证实，发展频率域测井可打破只通过探测距组合来扩大信息量的传统作法，更适合于非均质储层评价。在此领域开展的研究将使我国独创创新的测井方法和仪器。对于多频的电测井仪器，在其资料解释当中，应对岩石电性参数的频散特性有所考虑。

远期研究目标是：

④随钻电阻率测井仪器研究。

⑤井间电磁测量研究。

2. 声测井发展述评

(1) 发展历程的回顾。

声波测井方法 50 年代初在国外开始出现，先后发展了声幅测井、声速测井、井下声波电视测井、长源距声波全波列测井、偶极子及多极子横波测井、阵列声波测井、三维体积扫描测井等。声波测井在其近 50 年的发展历程中，有几个代表其发展阶段的事件。

①1956 年由 Wyllie 提出的时间平均公式，使得用声波测井资料估算储层孔隙度成为现实。

②70 年代末出现长源距声波全波列测井，实现了对声波全波列的数字化记录，从而在相当长的一段时期内，支持了对井筒内声场的理论研究。

③90 年代初出现了偶极子及多极子横波测井，使对井壁声场的研究从传统的滑行波等转换波模式发展为直接激发模式，从轴对称的圆柱场发展为非对称的圆柱场。

④以获得井壁直观图像为目的的井下声波电视及后来的体积扫描、井周声波成像方法的完善，使在方法原理上较为简单的声脉冲反射法依托计算机技术实现了对井壁附近空间介质分布的声波成像。

从声波测井的发展特点来看，仪器的研制略超前于方法理论的完善，即在大致的理论方向指导下研制成功仪器，并在井下取得较丰富的测井资料的前提下，使方法理论趋于完善。

(2) 70 年代末以来，声波测井发展的重要方向。

①井筒内声场的理论计算。

圆柱状井筒中声场的理论计算即正演问题是声波测井的最基本问题之一。在这方面，国外模拟计算了井外为均匀无限介质和孔隙介质、井内为液体时的全波列图形。国内亦进行了跟踪。

②声波全波列的信号处理及解释评价。

声波全波列的信号处理是依据正演问题的结果。在对井下接收到的声波波列中的各种类型转换波进行正确识别的基础上，估算出井壁地层的纵、横波速度，以及各种波的幅度及衰减系数等。

③岩石声学或孔隙介质声学及声波测井资料地质解释。

1952 年提出的 Biot 理论,给出了一种将岩石这样的孔隙介质(非均匀介质)当作均匀介质处理、并描述其中波动过程的近似方法。特别是 Biot 理论预计的孔隙介质存在慢纵波得到实验证实后,将其用于声波测井资料的地质解释,成为关注的重点之一。其中最诱人的前景是可根据横波、管波的幅度或能量估算储集层的渗透率。声波测井解释方法研究的另一个受到重视的方向是对估算孔隙度模型的改进。对时间平均公式先后提出的改进是:声波时差与孔隙度间的关系是非线性的;在岩石类孔隙介质中声波主要是通过岩石骨架传播,准确给定岩石骨架的声速或时差是准确估算孔隙度的关键。实验研究有两个明显的方向,一是考察和证实了孔隙度和泥质含量是影响岩石声速的最主要因素;二是孔隙岩石在饱和液体(水或油)与气体中时声学性质的差异在声波测井解释中的应用。

国内也有人提出用声波测井资料评价泥岩的生油性能,识判断层,以扩大声波测井地质应用的工作案例。

④声脉冲反射成像测井及水泥胶结测井方法研究。

用较高频率的声波脉冲向井壁发射并记录由井壁或井壁外各声学界面的反射回波,可准确反映井壁及井壁外各声学界面的位置及声学特性(主要是声阻抗)。60 年代国外就出现了井下声波电视;80 年代出现水泥胶结评价测井(CET),90 年代出现了兼有井下电视和水泥胶结评价的井周声波成像测井(USI)。国内从 70 年代末起步的声波电视测井,到目前已和国外水平相当接近;自行研制的水泥胶结评价测井仪器 UCT、CBET 的设计要求都有评价二界面胶结状况的功能。

⑤偶极子及多极子横波测井。

由于低速地层或软地层不能通过纵波入射转换为滑行横波,国外在 90 年代提出在井下激发非对称声场,并在井壁上产生速度接近于横波的弯曲波或扭曲波,这种方法使对井内声场的研究发展到更高的阶段,并为低速地层的横波勘探奠定了良好的基础。但这种方法成功的工作案例还不多,在声速很低的地层中,效果不一定好。

⑥声源及声频谱的研究。

近年的研究表明声源的谱函数不同,将影响到对其所产生的波列的模拟。声波信号的频率将主要影响声波测井在井壁地层中的探测深度。石油大学(北京)提出在井下设置频率不同的声波探头组合,以实现对距井壁表面不同径向深度地层声波性质差异的探测。

⑦井间声波探测研究。

与井间地震相比,井间声波探测不破坏井壁,所记录的信号可控而且可重复。多井间的测量结果可进行层析成像(CT),这对追踪储集层在注水、注气开发后的动态监测有重要作用,而且这种方法的可靠程度要超过现有的测井方法。

在这些研究方向中,井内声场的理论研究重于井内声波方法的实验研究。已有的声波测井信号处理及解释方法在声波时域中的研究(声场运动学的研究)比较充分,而在声场的幅度或能量分布的研究和频率域中的研究方面较为薄弱。另外在声波测井资料的地质应用方面也还有很多空白。

除了上述这些方向外,近年来的研究内容还有电一声效应,或声—电效应等方法。这些方法使传统的地球物理概念中各种物理场独立的假设,重新受到检验。

(3) 声波测井方法面临的问题及发展趋势。

①对储集层的认识及地层的声学模型。

虽然非均匀介质模型打破了传统的均匀各向同性介质概念,也只是把孔隙流体和骨架对岩石声速的影响用最简单的线性模型来表示。实际的储集层应是非均匀、各向异性和多相态的,而且是随时间而变化的。这些都要求建立更接近实际的地层声波模型,及相应的可解或可计算的微分方程。

②反演问题的多解性。

反演问题的多解性是地球物理中最普遍,也是最困难的问题。各种数学手段、计算技术对解决多解性问题也显得无能为力。解决这一问题的途径是充分利用已有的地质知识剔除数学解中不合理的部分。

③地球物理测井服务对象的调整。

世界各国的大油田都进入了开发后期,待发现的油气藏大都属于复杂油气藏,测井工作应该更侧重于解决油田开发中的各种问题。在大段的测井资料中有相当数量的非储集层段的测井资料未得到应用,如泥岩段的测井资料中可能含有大量与生油有关的信息,因此测井资料能否在资源评价方面发挥作用,也是一个有希望的研究方向。

④向其他学科领域开拓、渗透。

测井方法及手段在其他学科中的应用领域是:生态环境的监测、评价及预测;地应力场的研究;弱反差矿层(如薄油气层、小油气藏)的勘测。此外还有地球物理测井与其他方法的联合反演问题。声波测井作为研究地质体弹性场的方法之一,其可能的应用方向是解决各种与地应力有关的问题,如油田开发中的储集层压力、岩石破裂应力预测,油层开发过程中的应力变化研究等。另外还可能延拓到大地构造研究、地震预测中的应力研究中去。作为声波测井方法本身,其发展方向应是波场动力学问题(声波的幅度、能量)与各种地质过程和作用的关系。为了增加从已有的声波测井资料中能获取的信息量,应更重视在频域内声波参数的研究。

在90年代中期及以后的发展中,除了以强调综合利用频谱信息的声波频谱测井方法作为一种完整系统的方法提出外,各种技术和方法还是着眼于对现有方法记录信息的处理和应用上。声波测井方法研究的对象是一种随时间变化的对象,对象的特征参数是时间的函数。因此以变化和发展的处理手段研究问题才能获得对对象正确、真实的反映。

3. 核测井发展规律和我们的战略思考

(1)核测井发展的回顾。

①核物理发现和探测技术进步是基础。

核测井包括以核物理学和核物理技术为基础的一系列测井方法,分为伽马测井、中子测井和核磁测井三大类。独立的核测井方法有三十余种,在测井业中占有举足轻重的地位,能为石油勘探和开发提供近50种参数,具有良好的发展前景和经济效益。核物理中放射性、中子和核磁共振三大发现和核射线探测技术的进步,是上述三大类核测井技术产生和发展的基础。1896年发现了自然放射性,随后发展了射线探测仪器和探测技术,1935~1939年,自然伽马测井得到市场的确认,成为当时唯一的核测井方法。同样,1932年发现了中子,随后科学界研究了中子与物质的相互作用和中子探测技术,1941年以后中子测井成为代表核测井技术的测井方法。1945年发现了核磁共振现象,1949年出现核磁测井技术,1988年研制出第一套核磁共振测井样机,1990~1995年核磁测井得到市场的普遍确认。核测井的发展按上述顺序大致可分为三个时期,每一时期均由一种核测井方法代表当时的技术水平,如核磁测井是90年代核测井最有代表性的成果。

与其他方法相比,核测井具有下述优点:核测井揭示的是岩石的核物理性质,即岩石中各种核素微观特性的宏观表现,它深刻地反映着岩石的本质。对测量条件有广泛的适应性,能在含有各种井内流体的裸眼井、套管井中对各种不同类型的储层进行有效测量。能提供大量具有不同物理实质的参数,且大部分参数不可能用其他方法获得,即具有不可替代性。

②发展变化的市场需求是动力。在石油工业发展的初期,测井服务的市场几乎完全决定于勘探的内容和规模。划分岩性和确定孔隙度的市场需求,推动了自然伽马和中子孔隙度测井的发展。但这两种核测井方法,在大多数情况下不是不可替代的,这就降低了它们的 market 价值。随着油田的大规模开发,套管井的数量急剧增长,石油公司需要在套管井内实时监测地层油、气、水界面和剩余油或气饱和度的变化。由于重力场、声场甚至电场都无法与中子和伽马射线对套管的穿透能力相比,当脉冲中子源在测井中得到应用后,中子寿命测井首先进入市场,在地层水矿化度高且稳定的地区获得成功。但随着注水开发技术的普遍应用,孔隙流体的矿化度成为一种难以确定的参数,碳氧比伽马能谱测井就成了一种不可替代的套管井饱和度测井技术。

油气田开发对核测井的需求量很大,需要有新的技术完成下述任务:在套管井内监测储层剩余油饱和度的空间分布和随时间的变化;为生产测井提供新方法(持率、注入量、产能);井间监测(连通性、驱替速度、剩余油分布);工程测井和特殊钻采工艺条件下(特种钻井液、完井液;特种驱替剂及驱油方式;水平井及丛式井;随钻测井)的测井技术。开发测井在测井市场中占的份额将会日益增长,这为核测井提供了新的发展机遇。而高技术含量与市场需求的统一,是核测井发展的关键。

(2) 核测井技术开发过程。

①研究核物理、核技术成果转变为测井新技术。核测井研究立项的主要依据是岩石核物理性质的研究成果,同时要考虑相关领域的技术条件及获取利润的潜力。核测井工作者的创新意识和创新能力,首先就表现在能否迅速和正确地对核物理新成果作出评价,判定它转化为测井新技术的可行性,并立即开展基础实验研究,获取知识产权和抢占技术市场,为获取高额利润打好基础。如1945年发现了核磁共振现象,美国的科学家很快就预感到这一发现用于测井的巨大潜力,并在1949年获得第一个核磁测井专利,最终垄断了除俄罗斯以外的全球市场。

②研制射线源或信号源激发地层的核物理场。如果选用自然场,如自然射线场,就要研究其强度的能量和空间分布特征;若激发人工场,则需研制射线源或信号源(如脉冲中子源),研究如何在井眼中激发出主要决定于地层性质的核物理场。源的类型能决定在地层中激发出的核物理场的特点,决定强度、能量、时间和空间分布特征,从根本上决定一种方法的潜力。源的创新能引起核测井方法质的飞跃,可称之为一级创新。如加速器中子源的出现使中子测井产生了划时代的进步。

③研制新型探测器对已激发出的核物理场进行数据采集。探测器类型、布局(个数和排列)和工作模式的合理选择,能使测量系统尽可能多地采集到已激发出的有用信息,并便于解析。探测器的水平,决定能测到多少信息。新型探测器的出现将在第二个层次上使核测井方法提高到新的高度。如闪烁探测器进入测井市场就形成了各种能谱测井。探测器的创新可称之为二级创新。

源和探测器组成的探头,决定了仪器对地层的响应,决定了这一测井方法的水平和潜力,从根本上确定了仪器的档次,所以研制下井仪器中的新型探头是核测井技术发展的主攻

方向。

④研究信号处理方法。信号处理的目的在于将探测器测到的复杂信号进行解析与重组，并提高信噪比，而不是创造信息。研究工作包括算法研究（如谱的解析和多指数拟合等）和软件开发。信号处理软件是这一阶段的主要产品，在流程中属三级创新。

⑤建立参数转换的数学模型。信号处理得到的结果是每个深度点上的核参数值，要把核参数转变成地质参数还需要建立两者之间的转换关系，即建立模型。这种模型往往具有地区特点，常用半经验公式完成参数的转换。这方面的研究包含大量属于四级创新的题目，对核测井的地质效果有重要影响。

(3) 对发展我国核测井技术的思考。

①核测井技术仍表现出巨大活力。

A. 核磁测井是当前最有活力的测井方法，根据对 SPWLA、The Log Analyst 和 JPT 等几种英文文集和期刊的不完全统计，有关核磁测井方面的论文近年有明显的上升趋势。1996~1997 两年间，共发表核磁测井论文 90 篇，而其他核测井论文总数只有 36 篇。核磁测井技术的先进性主要表现为：一是采用人工梯度磁场对氢核进行磁化，并用射频脉冲的频率选定激发区（工作区），为实现径向成像奠定了基础；二是采用了先进的天线和脉冲回波技术；三是用多指数拟合确定 T_2 分布；四是用复杂孔隙分布模型，求取多种状态的流体饱和度。

B. 伽马测井得到稳步提高，自然伽马和散射伽马测井在短期内都不会有大的进步。但探测器的效率、仪器的稳定性、数据处理和解释方法均在稳步提高。代表当前水平的伽马测井方法是双晶自然伽马能谱测井和双 P_{γ} 岩性密度能谱测井。

C. 中子测井正面临新的飞跃，目前已进入市场的中子测井方法，反映 90 年代水平的中子法是双晶碳氧比伽马能谱测井。研制中的伴随粒子飞行时间碳氧比能谱测井，可能会成为中国第一个拥有完全知识产权的从本质上具有创新意义的测井方法。脉冲中子发生器和中子及探测系统均具有发展潜力。

②我们在思维方式和技术上的差距。

A. 对核物理、核技术的最新成就不敏感。

表 1 是核物理新发现与相应测井方法形成的时间对照表，由表可见美国测井技术对核技术的跟踪速度加快了。美国获得第一项核磁共振测井专利的时间只比发现核磁共振现象晚 4 年，而中国过了半个世纪还没有自己的方案。

表 1 美国测井技术对核技术的跟踪

核物理新发现	年代, (a)	测井新方法形成	年代 (a)	时差 (a)
天然放射性	1896	自然伽马测井	1935~1939	39
中 子	1932	中子伽马测井	1941	9
核磁共振	1945	核磁测井	1949	4

B. 资金投入对创新支持不利，中国测井界人数占世界第一，但却没有形成独立的测井产业，没有定向风险基金支持测井创新活动，而没有风险的创新是不存在的。

C. 核元件、器件和核材料保障能力差

③结论和建议。

A. 加强对核物理新成果的跟踪和考察。密切注意核物理的新成果，及时考察其转变为测井新技术的可能性，在未来的创新领域中起步要早，以争先获得知识产权和技术专利。核

磁测井仍是发展中的核测井技术,可实现创新的领域还很宽,在前述的五个环节中都有可能出现新技术。选择核磁测井为突破口,在这一领域中,集中力量在若干年内建立自己的知识产权和技术产业是可能的。

B. 研究重点向开发测井转移。核测井研究重点应逐步向油田开发转移,近期内主要是完善套管井剩余油饱和度测定和井间监测技术,并积极研制我国拥有完全知识产权的新一代核测井仪器,加快核测井技术国产化的进程,加强水淹层宏观核物理特性的研究,提高应用效果。

用高新技术改进传统方法,包括对每个系统的每个环节的改进,比较稳定的常规方法同样可以有高新技术。

C. 发展薄层核测井技术。用三探测器系统取代目前的双探测器系统,将单因素(井眼或泥饼)补偿改为双因素(加上围岩)补偿,从测量原理上保证仪器能提供更多的信息,同时提高它的分层能力。

三、我国测井技术发展面临的问题和挑战

1. 与国外主要测井公司相比处于不利地位

(1) 探测技术。80年代初期,斯仑贝谢公司就具有较完整的数控测井井下仪器系列,90年代初形成成像测井井下仪器系列。

我国在90年代初形成较完整的数控测井井下仪器系列,80年代末研制出超声成像测井仪,1998年国产微电阻率扫描成像测井仪下井试验成功。

(2) 数据采集与传输技术。国外在70年代末至80年代初推出数控测井系统。90年代初推出成像测井系统,其数据传输速率由80年代末、90年代初的200kB/s达到现在的213~500kB/s。我国90年代初研制出数控测井系统,其数据传输速率为100kB/s。1997年启动成像测井系统研究。

(3) 数据处理技术。国外测井公司与测井装备配套的商用软件包功能较强。我国在应用其测井软件的基础上亦作了一些开发工作,基本上满足了国内市场的需求。

(4) 测井应用基础研究。斯仑贝谢公司道尔研究中心致力于开发10年以后的技术。我国的发展战略研究和技术储备项目研究不够。

(5) 多学科综合应用。国外油公司都有集地质、物探、测井等学科知识于一身的测井分析家,服务公司亦能为油公司提供油藏综合服务。我国新一代复合型人才有待于各方大力栽培和好“苗子”自强不息地成长。

(6) 综合管理。斯仑贝谢公司已建立起技术、质量、安全、健康、环保综合项目队。我国在按健康、安全、环保(HSE)体系的要求加强管理方面正处在起步阶段。

2. 勘探地质、开发和工程测井难题使测井技术发展面临新的机遇和挑战

(1) 勘探地质难题。石油储量近90%来自以陆相沉积为主的砂岩油藏,天然气储量大部分来自非砂岩气藏。油、气藏储层类型多,岩性复杂,储层非均质严重,物性变化范围大,迫切需要深探测、高分辨率的测井仪器和解释方法。

(2) 开发测井难题。注水开发储量已占可采储量90%以上,受注水影响的产量占总产量80%以上,综合含水85%以上,抽油井已占近80%。强化油田动态监测,确定剩余油饱和度及其分布,预测油气层产量的需求很迫切。

(3) 勘探和开发中的工程测井难题。钻井地质导向、地层压力预测、井下就地应力和现代构造应力分析、井眼力学稳定性研究、固井质量检测、套管损坏测量、酸化压裂等增产激励措施效果检测等方面,都要求提供新的测井手段。

四、加快测井技术进步要处理好的几个关系

1. 引进国外装备、技术与消化吸收、自主开发的关系

50年代以来,引进苏联和西方国家测井装备、技术及服务,为推动我国测井技术的发展发挥了积极作用,国际交流与合作今后应继续加强。但必须提高引进设备的利用率和投资效益、对引进设备的消化吸收工作进行统一规划和组织管理、根据实际生产需要按照适当的比例配置不同档次的装备、制定优惠政策推广优质国产装备和技术,为降低油气勘探、开发成本提供用户满意的测井服务。

2. 加强应用基础研究与解决当前生产技术难题的关系

测井应用基础研究主要指测井方法和解释方法的基础理论和实验研究,在我国仍然是个薄弱环节,需要高素质人才,先进的实验装备,较多经费投入和较长时间进行积累和创新。而目前油气勘探和开发又有诸多难题急待解决。为了解决这一矛盾,一是必须立足于油气勘探和开发的需求,选取基础研究的课题;二是必须统筹考虑经费、人员等科技资源的配置问题,使生产经营难题的解决与加强应用基础研究互相推动;三是必须建立有效的管理体制和运行机制,以课题为纽带组织一流人才协同攻关。

3. 以市场为导向和加强宏观调控的关系

测井技术的发展在客观上依赖于油气勘探、开发、工程及其他领域对测井技术服务需求的持续与增加。但从整体上看,我国测井力量分散、服务价格偏低、科研低水平重复、技术创新不够、整体效率和效益不高的问题比较突出,因此在健全市场机制的同时,优化资源配置,加强宏观管理十分必要。在集团公司重组改制的新形势下,建议主管部门加强行业管理和技术发展的统一规划并抓好组织落实;测井界亦应从自身的根本利益出发,对行业自律的紧迫性尽早统一认识并立即付诸行动。

4. 加快前沿技术攻关和加速科技成果转化为生产力的关系

目前我国测井技术发展正处于加快普及数控测井、启动成像测井系统研制时期。一方面,油气勘探和开发迫切需要核磁共振测井、成像测井、井间测井、地质导向、新型地层测试器、油田开发动态的井下持续监测、非均质非线性处理解释等测井新技术,因此加快测井前沿技术攻关的任务迫在眉睫;另一方面,“八五”、“九五”期间的科研成果转化为生产力的比例很低。解决“鱼和熊掌”兼得的根本出路在于加速科技体制改革。测井科技工作者必须彻底转变观念,科技开发项目的管理必须把起点是市场、终点是效益的原则贯穿始终。

5. 扩大国内服务市场和开拓国际市场的关系

目前解决复杂油气勘探、开发、工程难题主要还是依靠购买国外测井装备和技术服务。要使我国石油测井技术的发展进入良性循环的轨道,首先要使自制设备、自研技术在满足国内需求方面让油公司满意,使油公司在同等条件下乐于优先使用中国产品和服务,争取在下一个世纪上半叶,使自制设备、自研技术在本国测井市场竞争中取得优势。其次,在经济全球化的形势下,使我国具有知识产权的测井技术进入国际油气勘探和开发服务市场并占有一席之地,是扩大我国石油测井队伍生存和发展空间的应有目标和必然选择,是世纪之交

新老测井工作者义不容辞的历史重任。以集团公司为依托,联合进入国际油气勘探和开发服务市场,是一个比较现实的选择。

五、关于加强宏观管理的几点建议

1. 在市场竞争中加快测井技术发展

当前,要立足于市场,需要加强应用基础研究,加强重点实验室的建设;重视和加强测井发展战略的软科学研究;在专业研究所实行理事会(由国有资产代理人、主管部门负责人、测井公司经理等组成)领导下的所长负责制;加强测井资料与物探、地质、试井与生产资料的综合应用研究;加速网络技术在测井行业的应用。

2. 在重组改制中实现资源的优化配置

抓住集团公司重组改制的契机,推进测井队伍的优化重组,实行产、学、研结合,逐步形成新的利益共同体;完善市场运行机制,搞好专业化分工、协作,防止因分散、重复造成新的资源浪费。

3. 在优势互补、互惠互利的基础上加强测井行业的宏观管理

联络南、北两大集团测井界同仁,认真实行行业自律,在研究、制造、服务等科技经营活动中尽快建立合法有序的竞争局面;按照健康、安全、环保(HSE)体系的要求,加强测井作业的综合项目管理;完善并认真实施一整套测井资料质量控制体系。

4. 立足新世纪的需求,培养复合型的高级技术和管理人才

加强继续工程教育和全员技术培训,把职工培训从学历培训尽快转移到岗位、职务培训和能力培训上来,石油高校作为企业高校应发挥主力军作用;做好国外智力引进工作,邀请知名专家、学者来华讲学和作短期研究,作到“一家引进,多家受益”;以研究和工程项目为依托,与国内外高等院校合作,加速高素质人才培养;深化劳动用工制度改革,鼓励测井专业技术人才在行业内依法有序流动。

5. 鼓励技术创新,加强知识产权保护工作

按照国家鼓励技术创新的有关政策法规,在机制转换、制度创新的实践中,落实本单位技术参股、技术分红等激励措施,最大限度地调动测井科技人员的积极性;建立测井技术市场,定期开展测井技术交易活动,推动技术协作和技术转让工作的健康发展。

(江国法、高杰、李艳华同志为本文撰写提供了帮助,并得到谭廷栋教授的指导,在此表示感谢。)