

油气藏储集层 测井评价技术

曾文冲 编著



石油工业出版社

057684



油气藏储集层测井评价技术

曾文冲 编著



SV39/06



石油工业出版社

(京) 新登字 082 号

内 容 提 要

本书以油气藏评价为目标,从大量的现场实际资料入手,系统地阐述储集层评价原理、方法与分析软件。书中突出应用分析,在总结多年实践所形成的观点与经验知识的基础上,进一步指出某些传统测井解释理论的不足,以激发人们更深入地进行专业思考。主要包括:测井技术的宏观结构与发展趋势的分析;测井环境影响及其校正方法;低电阻率油气层的类型、形成机理与评价方法;油气评价的原理、基本途径、分析模式及其实例;储集参数的相关分析及其系统计算方法;用于砂岩储集层评价的计算机解释系统;关于提高油藏三维描述能力的分析等等。

本书可作为测井、地震、地质、油藏工程技术、研究人员的专业用书与培训教材,也可作为石油、地质大中专院校有关专业的教学参考书。

油气藏储集层测井评价技术

曾文冲 编著

*

石油工业出版社出版

(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

*

787×1092 毫米 16 开本 $27\frac{1}{4}$ 印张 6 插页 685 千字 印 1—3,000

1991 年 10 月北京第 1 版 1991 年 10 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-0544-1 / TE · 520

定价: 7.75 元

前 言

当前测井技术所形成的突破力,正在两个主要层次上展开。在微尺度方面,向着精细研究储集层内部地质特性发展,目的在于对储集层的微观结构进行精细描述。在宏尺度方面,则着眼于提高油藏的三维描述能力,目的是以油藏评价为目标,重现储集体的时空分布原貌与直接模拟。因此,测井技术已成为当今资源评价与油藏管理的关键手段。

信息丰度迅猛扩展,是当前测井技术发展的一个重要特点。在这一趋势推动下,正在引起测井系统地下与地面信息采集方式、电缆传输技术、计算机数据处理和解题效能,以及信息的利用和开发等方面的深刻变化。而且这一发展进程也正在改变着有关测井技术及其传统作用的固有概念,从内涵及外延丰富人们对未来作用的认识,并重新形成对将来发展方向具有开拓性的设想。

反映这种发展趋势的事例甚多,例如测井资料的采集规格有了阶跃式的提高。这是因为当今油气勘探技术发展中的一个基本趋势,就是尽可能用最少量的探井与评价井,而以现代地震与测井技术为主要手段,大大地提高发现油藏与迅速搞清油藏的特征、规模与大小的能力。这就意味着,测井要由单一型的储层评价向油藏评价这一更高的目标发展。为此,要改善测井系列,要有高层次、高精度、多信息的测井资料支持,以适应油藏评价的需要。

又如,斯伦贝谢公司即将推出的 MAXIS-500 测井系统,是新一代数控测井仪器的代表。它是一种数据传输率为 500 千比特/秒的多任务采集与成像系统,主要由四部分组成:

- 地面采集与成像记录系统
- 高数据率井下遥测与传输系统
- 新一代阵列式井下成像测井系列
- 数据处理与解释工作站系统

MAXIS-500 测井系统的运用,把传统的沿井筒测量一定体积的地层圆柱体物理参数的平均特性(以随深度变化的测井曲线表示之)变成一种反映这些特性的纵横向分布图像,从而以更高的分辨率清晰地描述地层的特性。

此外,各种类型的测井解释工作站正在相继被推出,为测井分析家、地质家和油藏工程师提供具有人机交互和视算功能、能有效融入经验知识、解题效能甚强的高效率软硬件环境。进入 80 年代以来,伴随着计算机技术的飞速发展,特别是采用 RISC(精简指令集计算机)技术高档微机的出现,行业计算机工作站相继问世,形成一种代表 90 年代计算机应用技术的新趋势。

然而应该指出,地下地质体的隐蔽性与复杂性,测井信息的多解性,以及由此引起认识上的模糊性,造成测井资料对地下地质原貌的还原能力,既取决于占有的信息量与第一性资料的支持,又取决于综合来源于测井与非测井信息的有效性,同时在很大程度上取决于测井分析家的经验、技能与判断力。

当前的主要矛盾仍然是测井采集的信息量与实际利用率之间的不平衡。因此,领域专家应把主要的注意力和兴趣,倾注于努力提高测井技术的地质-经济效益这一重要的课题。

多年来,随着我国油气勘探活动的全方位展开,特别是东部复式油气藏的全面开发,促

使测井评价技术有了长足进步，提出了一些新的观点与认识，形成了不少有效的分析方法与解释软件，并积累了比较丰富的实践经验。显然，这是我国测井技术走向世界的重要基础，总结这些技术、方法与经验，则是我国测井分析家的重要任务。作者力图通过对原理、方法的有针对性介绍，着重进行应用方面的分析，加强经验知识的传递。同时，通过许多典型实例进一步阐明观点，指出某些传统解释理论的不足，从而激发人们进行更深入、更全面的专业思考。但是，由于作者技术经历与专业视野的限制，而且大部分内容是利用业余时间匆忙写就，难免产生片面性，甚至可能出现错误之处。这些都诚恳期待专家和读者的批评与指正。

应该指出，本书的有些内容和实例已在《测井地层分析与油气评价》一书中阐述过。作者认为重述这些内容的必要性在于：一是立足于全书的完整性；二是对于这部分多年实践所形成的观点与认识，有必要在新的基础上进一步深化与扩展，并进行系统的分析。

本书撰写过程中，刘振宇、朱留芳、刘呈冰、许辛根、徐金武、刘法梅、王建新等同志，都提供不少帮助，在此表示深切的感谢。

目 录

第一章 测井技术的体系结构与特点分析	(1)
第一节 测井技术发展的趋势分析	(1)
一、发展概况	(1)
二、测井信息丰度的扩展与过载	(2)
三、关于新的测井仪器	(4)
四、测井的传统作用与未来作用	(4)
五、解释技术的发展	(7)
六、基本设想	(10)
第二节 测井技术的宏观体系结构	(11)
一、三个相互关联、制约、作用的子系统	(11)
二、技术体系中的双重心结构	(18)
三、双重刻度的相关分析技术	(20)
参考文献	(22)
第二章 原始测井数据的校正与标准化处理	(23)
第一节 测井数据的环境校正	(24)
一、井眼条件对测井数据的影响	(24)
二、油基泥浆取心井测井资料的综合对比	(35)
三、主要认识	(46)
第二节 测井环境影响的校正方法	(55)
一、概述	(55)
二、环境影响的校正方法	(56)
第三节 环境影响校正程序及应用实例	(71)
一、环境影响校正程序的功能	(71)
二、应用实例	(71)
三、效果分析	(73)
第四节 测井数据的深度校正	(83)
一、测井深度校正的重要意义	(84)
二、测井曲线深度校正自动化的原理与方法	(84)
三、计算机校深系统及应用实例	(88)
第五节 测井数据的标准化	(88)
一、方法的描述	(88)
二、实例分析	(90)
参考文献	(91)
第三章 低电阻率砂岩油气层与泥质砂岩地层的解释理论与分析方法	(92)
第一节 泥质砂岩解释理论的简要回顾	(92)

一、有关储集层评价的基本认识	(93)
二、含水饱和度解释模型综述	(93)
三、解释模型应用的主要约束条件	(98)
第二节 低电阻率砂岩油气层特点的剖析	(100)
一、低电阻率砂岩油气层的主要类型	(100)
二、低含油 (气) 饱和度砂岩油气层的典型实例	(105)
三、低电阻率油气层的成因分析	(126)
第三节 关于泥质砂岩解释模型	(127)
一、泥质砂岩的导电特性	(127)
二、现场实例	(134)
三、解释模型的改进	(144)
参考文献	(146)
第四章 油气评价	(147)
第一节 评价油气层的一个重要原理	(148)
一、回顾	(148)
二、油 (气)、水在微观孔隙中的分布与渗流	(149)
三、相对渗透率概念的运用	(153)
四、油气层饱和度界限的分析	(156)
五、评价油气层的基本途径	(159)
第二节 油气层的地质解释	(168)
一、一般原理	(169)
二、提高解释成功率的三个基本要素	(169)
三、分析刻度技术的应用	(171)
四、曲线形态、异常测井响应特征与油、气、水典型模式的描述与分析	(176)
五、正确地区分两种不同性质的变化过程	(188)
六、注意综合来源于测井与非测井的信息, 进行认真与过细的分析	(191)
第三节 实例分析	(210)
一、渤南油田义 37 井区	(210)
二、梁家楼油田的梁 61 断块	(213)
三、王庄油田	(217)
四、桩西潜山油田	(222)
五、胜利油田天然气的探测与评价	(229)
参考文献	(247)
第五章 确定储集层参数	(248)
第一节 孔隙度与油气饱和度	(248)
一、经验性认识	(248)
二、孔隙结构指数 m 的地质意义与确定方法	(255)
三、注意改善低层次技术结构测井系列的应用状态	(264)
第二节 束缚水饱和度与粒度中值	(267)
一、束缚水饱和度的影响因素	(267)

二、测井解释方程	(284)
三、确定粒度中值的方法	(292)
第三节 渗透率	(302)
一、基本概念	(302)
二、相关分析	(303)
三、测井解释方法	(314)
四、特点分析	(323)
五、相对渗透率和有效渗透率	(330)
第四节 其它地质参数	(334)
一、评价产能与含水率	(334)
二、确定孔隙结构的有关参数	(335)
三、地层的粉砂含量	(339)
参考文献	(341)
第六章 用于砂岩储集层评价的测井计算机解释系统	(342)
第一节 功能与特点	(342)
一、解释系统的构成	(342)
二、功能与特点	(342)
三、解释逻辑的描述	(343)
四、成果显示	(344)
第二节 裸眼井储集层评价解释系统	(349)
一、基本构思	(349)
二、计算机解释程序	(357)
三、地质应用与实例	(363)
第三节 套管井储集层评价解释系统	(376)
一、解释原理	(376)
二、计算机解释程序	(390)
三、地质应用	(397)
参考文献	(407)
第七章 着眼于提高油藏的三维描述能力	(408)
第一节 向多井解释发展	(408)
一、必然趋势	(408)
二、两个相关的系统	(408)
第二节 油藏描述技术	(410)
一、油藏描述技术的特点、研究目标及基本内容	(410)
二、主要的技术方法	(414)
参考文献	(426)
附表 测井中常用的许用单位与非许用单位对照表	(427)

第一章 测井技术的体系结构与特点分析

第一节 测井技术发展的趋势分析

世界性油气需求的日益增长,要求油气储量与产量有大幅度的增加。尤其是,当前的勘探对象与勘探条件日趋复杂。非背斜、小型断块和特殊岩性储集层油气藏,以及困难环境或困难条件下的各种复杂油气藏,已逐渐成为寻找新的油气储量的目标和勘探重点。基于经济上的考虑,油藏的科学和合理开采又更加引起人们的重视与关注。在上述这些相互联系的因素推动下,不仅要求现有的勘探与开发技术得到最佳的发挥,而且正在促使整体技术系统发生阶跃式的变化。做为当今油气资源评价和油藏管理的重要手段之一的测井技术,也必然会在这一需求浪潮的驱动下,向新的深度和广度扩展。而世界范围内正在崛起的高技术群体,特别是信息技术群体,包括微电子、计算机、光电子与卫星通讯等技术,以及新材料技术群体的崛起,又为测井技术的这一发展进程提供了空前未有的支持。下面拟从几个方面入手,对进入 80 年代的测井技术作一概括性描述,其目的是进一步激发我们自身的时代使命感和增强跟踪世界先进技术的自我发展意识。

一、发展概况

可简要地归纳为以下五个方面。

1. 在新概念和新技术的支持下推出的多种新型或改进型测井仪器,标志着测井技术在传感器和测量方法的研究方面有了新的突破,从而在深度和广度上大规模地提高了测井信息的采集能力。

这一系列新型测井仪器,无论探测性能和测量机制都有很大改善,它们广泛地采用了数字技术、遥测技术、成像技术和能谱技术,正向着多传感器组合、高数据率采样和井下微控制的方向发展。因而,这些新型仪器具有井下实时监控、数据采样、信息传输、诊断及自愈合的多种功能。同时,更能适应高温、高压和腐蚀性流体等困难条件下的测井要求。其中的自然伽马能谱测井,岩性密度测井,次生伽马能谱测井,电磁波传播测井,数字声波测井等测量技术日趋成熟,并已投入商业性服务。随钻测井,核磁测井,微电阻率扫描测井及四探测器补偿中子测井等也日趋定型,正在逐步投入试验性使用。在这些测量原理各异的仪器中,除了极个别是根据近期提出的新概念而开发的产品外,其余绝大部分仪器的设计思想在 50 年代就已经被提出。例如,能直接反映地层岩性的新型岩性密度测井,它除了提供原有的体积密度参数外,还测量地层光电吸收截面,从而提高了测井信息对岩性的分辨能力。然而,这种测量手段的设计思想,已经体现在 50 年代提出的“选择伽马-伽马法”之中,经历了 30 年的漫长过程才得以实现和定型,并以一种崭新面貌显示出它所具有的使用价值。这一事实足以说明,做为多学科综合技术成果的电测井,对当代高技术发展的依赖性。

2. 普遍使用计算机数控测井系统

这种由车载计算机及其外围设备组成的人机联作测井系统,实现了操作全过程的程控化,其中包括测井仪器的检查、刻度、监测、诊断,信息采集、数据处理和显示,以及测井质量的实时控制。从而大大地提高了测井数据的采集、记录、传输和处理的能力,以及现场

经营决策的效率。即将推出的 MAXIS—500 则是新一代数控测井系统的代表。

3. 在这一基础上, 测井解释软件的开发取得令人瞩目的进展

在计算机数据处理过程中, 由于广泛地应用人机联作绘图显示技术, 群分析、统计回归分析以及人工智能专家系统等技术, 最佳地利用所有信息, 形成了一种引人注目的突破能力, 即把来源于测井与非测井的信息, 综合成为有用答案的能力, 并从内涵和外延方面扩展了测井的传统应用范围。复杂岩性、低孔隙、富含泥质和粉砂、低矿化度和裂缝性等多种复杂储集层的评价, 有了长足的进步; 在油田开发全过程的动态监测、高含水期和三次采油中日益发挥更重要的作用; 常规的地层评价则更趋于精细化和综合化发展, 开展更高层次的油藏评价。总之, 测井技术已成为油气资源评价和油藏管理的关键手段。

4. 信息传输技术迅速发展, 远距离数据传输纳入了工业生产的轨道

由于信息传输技术的迅速发展, 从而把现场、计算中心和决策机构联为一体, 全方位地提高了决策的实时性和效率, 并减小可能的风险性。同时, 还出现了一种明显的趋势, 即随着井场数据处理和解释软件功能的日趋完善, 大量的单井评价和一般层次的解释工作, 将在井场完成。计算中心的作用不仅不会因此而削弱, 反而会在新的基础上进一步发展和加强, 担负起油田评价、油藏描述和模拟等更高层次的综合分析工作。

5. 与此相联系, 具有前景优势的是通过测井—地震—地质等多学科的结合和协作, 提高综合信息对地层原貌的还原能力, 为油田勘探和开发、油藏管理等一系列经营决策, 提供尽可能全面和可靠的地质—技术—经济依据

主要在两个层次上展开。在微尺度方面, 向着精细研究储集层的岩石成分和结构, 孔隙类型和分布, 流体性质及其动态变化, 定量确定能反映储集层原貌的静态和动态参数等方面开拓和深化, 目的是对储集层的微观地质特性进行更精细地描述。在宏尺度方面, 则着眼于提高油藏的三维描述能力, 它是对储集体时空分布的再现和直接的模拟。主要是通过正在发展的油藏模式分析及油藏描述技术, 搞清油藏构造与储集体的几何形态和时空分布, 确定储集参数的空间分布规律, 建立油藏模型, 形成表征储集体时空分布特性的数据体。这一数据体中的每个时空控制点, 是由一系列表示时间、空间及其内部特性的地质—岩石物理参数矢量表达的。由于在这一基础上提高了如实描述油藏原貌的能力, 因此有利于开展逼近于实际的油藏模拟, 进行油藏的资源和经济评价, 以达到最终优化开发方案的目的。

由此可见, 新技术和高技术的发展正在改变着有关测井技术及其传统作用的固有概念, 从内涵和外延丰富了人们对其未来作用的认识, 并重新形成将来富有开拓性发展方向的设想。现在可以从四个方面说明这一问题。

二、测井信息丰度的扩展与过载

测井信息丰度正以人们预想不到的速度迅猛发展, 表明测井技术正在经历一场信息扩张的过程。这不仅表现在测井系统的输入部分, 即所要和所能采集的原始数据大量增加, 而且表现在系统的输出部分, 测井数据处理的中间环节和最终提供于油气田勘探开发工程的有用信息, 以及适用于全过程的配套软件系统数据量的明显增大。大约在 10 年前, 有人曾对测井技术系统的几个领域内, 这种信息扩张的趋势作了总结和预测^[1], 如表 1—1 所列。然而在 10 年之后, 这种预测已经远小于实际的发展速度。这是因为 10 年来科技能力和知识积累有了惊人的增长。事实证明, 一个普通的测量往往包含着大量有用信息。当声波测井仅仅记录纵波时, 其信息量十分有限。一旦推出数字声波测井仪, 其信息量则成十、成百倍地增加。在测量过程中, 不仅记录声波全波列波形、常规声波时差、长源距声波时差和泥浆

表 1-1 测井技术系统的几个领域内信息扩张的趋势

年 代	1968	1978	1988
用户成果 (二进制数位 / 米)	25	50	100
原始数据 (二进制数位 / 米)	500	12, 000	2, 000, 000
软 件 (指令数)	50	1, 000, 000	4, 000, 000
核物理知识 (点数)	100	1000	1000

声波时差, 而且记录水泥胶结测井曲线和声波变密度测井曲线等。据初步统计, 一口井平均获得的声测井记录的总信息量, 约相当于一英里地震剖面的信息。经过数字处理和解释, 声测井系统输出的有用信息又是如此之丰富, 蕴藏着解决地质工程问题颇大的能力和潜力, 纵、横波与斯通利波的时差与能谱, 以及有关水泥胶结的力学刚度信息, 对于计算岩石物理及力学参数, 确定岩石矿物成分、裂缝位置和分布, 以及进行地层和完井评价都有着广泛用途, 并且成为提高地震资料解释效果必不可少的刻度数据。应该指出, 有关声测井的应用价值尚未被人们充分开发和认识。可以相信, 随着这一工作的深化, 将会进一步拓宽声测井的应用领域, 不言而喻, 信息丰度将会进一步扩展。至于在地层倾角测井基础上发展起来的地层微电阻率扫描测井 (FMS), 无疑与四五十年代提出的地层倾角测井原型有天壤之别。当时采用三电极测量自然电位曲线和用简易方法确定的相应方位, 与今天的 FMS 以每 0.1 英寸采集 64 个微电阻率数据点和同时记录出的 6 条方位、井斜、井径和张力等曲线构成的数据点, 其信息量更是无法比拟。目前, 测井方法已发展到 60 多种, 每种记录的信息量达到 80~100 千比特。

但是信息扩张正在引起专业性的“信息过载”, 导致各种领域专家面临着专业知识不足的新问题。同时面对着过量的信息, 使人们需要耗费更多时间用于数据的管理, 从而大大地减少发挥其工作技能与经验的有效时间。这就成为领域专家全面进行专业思考和提高决策效率的最大障碍。为此, 必须大力发展具有人机交互、视算功能的各种类型测井解释工作站。

计算机的应用无疑使数据采集过程产生极大的改善, 在自动采样和存储方面发挥显而易见的作用, 而且在数据处理及评价过程中也有其明显特色。但是作为一种求解的工具, 计算机目前的解题能力仍受到颇大的限制。过于刻板的程序设计与运行, 难以避免的不可靠甚至相互矛盾数据的输入, 以及可能与客观实际不一致甚至逻辑荒谬的输出结果, 即通常所说的 GIGO 现象 (无用输入, 无用输出)。这一系列状况都显示出当今计算机在解题方面的能力不足。当计算机处在只能保证数学运算的正确结果、而不具备推理和判断的功能这样一个阶段时, 那么严格地说, 它提供给人们将不是有关决策的完整意见, 有可能是一堆使用最好的图表和曲线表达的选择方案。而且只要计算机存在着这种能力方面的不足, 面对着过载的信息量所引起的数据处理工作量的剧增, 领域专家就很难避免在某种程度充当一种计算机仆人的角色, 而使许多决策是在不完整的分析基础上匆忙作出的。对于实时性要求高的专业尤其如此。为此, 必须应用人工智能技术来改进计算机在解题方面的能力不足, 通过开发专家系统, 使计算机具有推理、判断和决策的能力, 犹如为领域专家提供一个“电子助手”, 以适应和解决信息扩张和“过载”所面临的一系列问题。

测井信息量的大幅度增加, 正把测井电缆的数据运载能力推向极限。根据井场试验, 常

规七芯电缆的数据传输率约为 80 千位/秒。许多先进的测井仪器之所以未能以最高的测井速度进行工作，就是因为电缆的“细颈”堵塞了巨量数据流的通过，因此从发展的眼光来看，常规测井电缆将成为测井技术进一步发展的障碍。克服这一障碍的设想途径是采用光纤电缆（简称光缆）替代常规电缆，这样可使每根光纤的传输能力至少达到 10 兆位/秒。国外有些公司已经推出这种新型光缆，但成本昂贵是限制其广泛应用的主要因素。

上述事实说明，在信息扩张趋势的推动下，正在引起测井系统的地下和地面的记录方式、电缆传输技术、计算机数据处理和解题效能，以及信息的利用和开发等多方面的深刻变化。其结果又将产生反馈作用，通过提高信息利用率，促使原有的测井手段趋于成熟，为新测量手段的开发提供具体方向和要求，并推动信息扩张的继续发展，形成一种测井系统自身发展的良性循环。

三、关于新的测井仪器

正在发展中的测井仪器有许多引人注目的特色，现概括如下：

1) 遥测技术的突破，实现了一次下井可组合更多的传感器和从每个传感器获得更多的信息。

2) 核能谱测量技术的应用，不仅可用于识别岩性、进行地层对比、确定沉积环境和分析剩余油分布，而且在套管井中，与数字声波测井相结合，是重新进行老井评论和揭示油气采收状况的有力手段。

3) 井眼成像技术是环井壁扫描得到相应图象的一种测量方法，可用于裸眼井与套管井。它是一种精细描述岩石外观、进行沉积分析、探测裂缝和检测套管状态的直观显示手段。但数据率过高及对井眼过于敏感，从而影响到测量速度和效果，这也是目前不能推广应用的主要原因。MAXIS—500 新一代阵列式井下成像测井系列则是这方面的重要改善。

4) 随钻测量技术目前主要应用于提高钻井效率，特别是对于定向井；其次，则用于地层评价，主要是可以获得不受泥浆侵入影响的地层原始信息，正确地评价低电阻率油层和低压产层。这种技术目前尚未成熟，主要障碍来自以下四个方面：缺少探测特性良好的新型传感器；数据传输率过低；尚待克服井下振动冲击以及成本过高。水平井的发展将促其完善。

5) 做为连接地震—测井数据链的垂直地震剖面（VSP），虽然目前的技术状态尚未得到最佳发挥。但由于它在油气勘探过程中的作用及技术上的需求，诸如致力于提高地震资料的解释效果，有效追踪储集体的空间延伸，精确地确定油藏边界等，决定了这一技术将较快的趋于成熟。

6) 水平井的测井技术与工艺

四、测井的传统作用与未来作用

在这一演化过程中，测井的地位和作用正在发生新的变化。众所周知，测井的传统作用是在成功的油气藏勘探和开发过程中显示出来的，长期以来主要在三个领域展开（图 1-1）。

1) 地层评价。以逐井形式完成，其工作阶段介于地震测量之后到生产测试之间，主要任务是对储集层进行描述和评价，一般采用电阻率与孔隙度测井组成的基本系列，以传统的阿尔奇公式及其演绎方程为分析模式，形成相应的解释技术。通过分析所钻穿剖面的储集层分布情况，以及所提供的孔隙度及油气饱和度数值，可以对油气层位置、厚度及油气含量作出最终的评价。

2) 完井评价。基本上也是逐井完成。它所采用的是另一组测量方法，主要进行固井质量

检查及油井工程状态的监测,其中包括校正深度,确定封隔器位置,防砂及压裂效果的分析等。

3) 油井的监测与管理。主要由生产测井完成。其工作阶段已超越生产测试,而与采油工程相互渗透与交叉,是测井地质与工程应用的另一个重要领域。任务是监测产层的油水运动状态,水淹状况及其采出程度,同时进一步揭示油井工程状态的变化情况,所依据的方法是通过采集油井生产过程中有关产层的静态和动态参数,包括温度、压力、流量、油气水比等,搞清油井产液、注入剖面及工程状况的原始状态,以及随时间推移的变化情况,以便采取相应的调整措施,保证油井处在最佳状态、油田处在最大限度采收的状况下工作。热中子衰减时间测井(TDT)和次生伽马能谱测井(GST)的投产使用,标志着产层监测,特别是在分析剩余油分布和确定残余油饱和度又有了新的进展。

对于测井未来作用的预测与分析,是建立在以下的基础之上:

- 1) 测井仪器发展所产生的突破能力;
- 2) 测井信息蕴藏的对地层原貌及特性的还原能力,正在被人们所认识、挖掘和进一步开发;
- 3) 测井、地球物理、地质和岩石物理等多学科的相互结合、协同和渗透已成为公认的、具有最佳地质-经济效益的技术途径。在它们各自的结合部上形成一批有异于传统特点的综合技术,例如垂直地震剖面(VSP)、油藏模式分析及油藏描述等,并已经在实践中展现出良好的前景。

但是,在讨论测井未来作用之时,还应该看到测井目前采集的信息量与其实际利用率之间存在着明显的不平衡。即测井用于信息采集方面的工作量及经济投入已经相当浩大,而实际解决地质与工程问题的“产出”仍然比较有限。这种投入与产出的不协调是表现在各个方面,例如当今世界测井技术已经能够取全六十多种测井信息,但是面对着一一些测井可能发挥作用的领域,测井分析家有时却显得无能为力。就以解释工作覆盖面最大的基本参数——地层水电阻率(R_w)来说,也只在有利条件下,才能获得比较准确的计算结果,以致使不少地区由于 R_w 求不准,导致识别油气层和定量估算含水饱和度的错误。克服测井资料利用率不高的状况,显然已经达到刻不容缓的地步。一切有责任心的测井分析家,应把工作重点、个人的兴趣和注意力,转移到测井资料的地质解释和应用的这一中心环节上,通过发展解释方法和过细的实际分析,拓宽和深化测井的未来作用,并在更高的层次上,扩大测井技术的地质-经济效益。

测井工作目前采集的信息量与实际利用率之间,测井仪器及解释软件技术的复杂性与实用性之间,以及技术类型的多样性与有效性之间出现这种不平衡,原因在于:

1) 从一般规律来看,解释方法及应用分析技术的开发,总是要滞后于仪器技术。因此,对于已经研制和推出的新型仪器,不管其设计思想多么先进,预测效果如何吸引人,都要通过现场的实际检证,评估其有效性。在得到明确肯定之后,则应注意全力着眼于解释方法和应用技术的开发,挖掘和发挥其自身的应用潜力。

2) 国外测井公司从经营目的出发,无不希望用户多测井,多使用各种类型的仪器。因此,非常注意仪器的更新换代,以其新颖性和先进性增强对用户的吸引力。不可否认,这种经营动力在测井技术发展的历程中将起着重要的推动作用。但是,不可避免的商业性倾向却时常掩盖了科学技术的实事求是。一些尚未成熟或没有明显优点的新型或改进型仪器过早地被推出,仪器的设计指标被描述为实际指标,预测的可能应用效果被放大为实际效果,况且先进技术并不一定都是实用技术。这种商业性倾向无疑需要排除。跟踪世界先进技术,规划

发展战略，确定具体开发方案，甚至到选择测井系列等，既要广泛地吸收国外的思路和技术成就，包括尚未成熟的思路和技术成就，同时更要针对自己的特点，把目光集中在技术的有效性和实用性上，注意发展自己的实用技术。例如，我们肯定了微电阻率扫描测井仪(FMS)、电磁波传播测井等新型仪器的推出，是标志着测井技术的一大进步。同时也要指出，它们技术状态尚未成熟以及实用中的局限性。以 FMS 为例，到目前为止，通过 64 条电导率曲线的成象处理，有利于分析地层的成层特性和裂缝的分布状况。但从总体角度来说，提供给人们仍然是一种具有多解性的井壁定性图象。因此，从定性或定量角度来看，它们仍然无法替代岩心。这就决定了 FMS 只能做为一种用于沉积相及裂缝分析的辅助手段，而不能做为用于资源评价和地层分析的基本手段。由此可见，对于推出技术如此之复杂，经济投入又十分可观，解决实际问题又十分有限的测井手段，理所当然地使人们在进一步挖掘其技术本身所具有的地质-经济效益产生疑虑，而把主要的注意力放在去开发诸如地层倾角测井、重覆式地层测试器等有效的测井手段上。

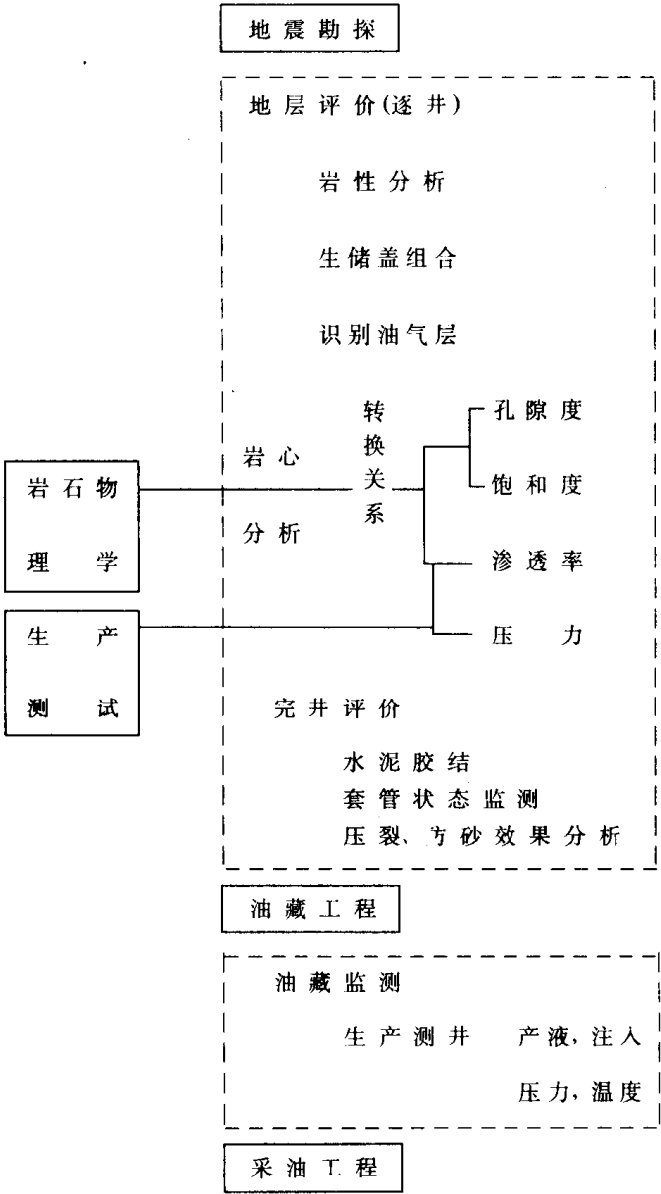


图 1-1 测井的传统作用

3) 重方法研究轻地质解释, 重软件开发轻应用分析的倾向, 成为阻碍测井分析家把兴趣和注意力倾注于测井资料的地质、工程应用研究的主观因素, 而导致测井技术的地质-经济效益未能得到充分发挥。关于这个问题将在后面有关章节中进行分析。

下面继续讨论测井的未来作用。

图 1-2 是对测井未来作用的概括性描述。从图上可以看出, 它既是传统作用的深化和扩展, 又是测井技术的优势在另一个新阶段的进一步发挥, 其特点是:

1) 单井评价趋于精细化和系统化。其中包括精细的油气评价和产能分析, 以及通过系统确定地质参数, 对储集层特性进行详细描述。

2) 以三维地震为主要手段, 通过测井-地震信息的相互结合, 开展油藏模式分析。搞清油藏构造与储集体的时空分布规律。在这一过程中, 做为联系测井-地震数据链的垂直地震剖面 (VSP) 将得到最佳发挥。

3) 开展沉积相分析, 更深入认识储集层成因及其地质史, 预测储集体及其油气的分布规律。

4) 以测井资料为主要手段, 通过与地质、地球物理、岩石物理及计算机技术的相互渗透, 搞清储集体地质参数的空间分布规律, 形成描述油气藏潜在空间形象的数据体, 致力于提高油气藏三维描述能力。

5) 为油藏工程研究输入可信、系统的反映油藏特性的静态和动态参数。

6) 渗入油气藏开采的全过程, 为采油工程提供可靠的动态监测手段, 搞清油井的产液、注入、温度及压力剖面, 揭示油水的运动规律, 定量分析产层的水淹状况, 搞清剩余油分布, 为油田三次采油提供正确的依据。

但是也应该指出, 由于地下地质情况的复杂性, 以及测井信息反映地质特点的间接性而引起认识上的多解性和模糊性, 因此, 测井解释是一项具有风险性的活动。人们一般很难对地下的地质特性作出全面和精确的解答, 但人们应该也有可能分析所有可用的信息, 尽量获取最佳的答案。

五、解释技术的发展

测井地质应用的深化与扩展主要取决于信息丰度及利用率的提高, 而其中的重要环节则有赖于解释方法与软件的开发。事实证明, 对于实践性与经验性表现十分强烈的测井技术来说, 测井信息的丰度只是获取地质-经济效益的基础和前提, 解释方法及其相应软件的完备性和有效性则是获取实际效益的重要因素。

如上所述, 测井信息一般都是对地质特性的一种非直接性的反映。这种间接性所带来的模糊性, 以及其自身所隐含的多解性, 致使测井资料解释的本身就是一种对地质特性的推理、演绎和还原过程。因此, 人们一开始就十分重视研究测井信息与地质特性之间的定性与定量关系。其中最直接、最基本的方法, 是以岩心、岩屑以及生产测试实际资料与测井数据建立某种定性与定量联系, 从而赋予测井信息以某种直接的地质意义, 这是一种广义的分析刻度过程, 其显示方式可以采用交会图、直方图等作图技术, 群分析或统计回扫分析, 甚至用单一或组合测井曲线的形式, 直接描述特定的地质现象和储集层岩性以及所含流体的性质。通过建立多种实用模式和一系列相应的经验表达式, 形成测井地质分析的最基本方法。测井分析家也正是通过这些工作获得技能、积累经验, 并形成在解释过程中具有重要意义的判断力, 最终产生出不少有价值的经验法则。

计算机技术的广泛应用, 又把测井解释工作推向新的阶段。随着各种解释模式的积累和

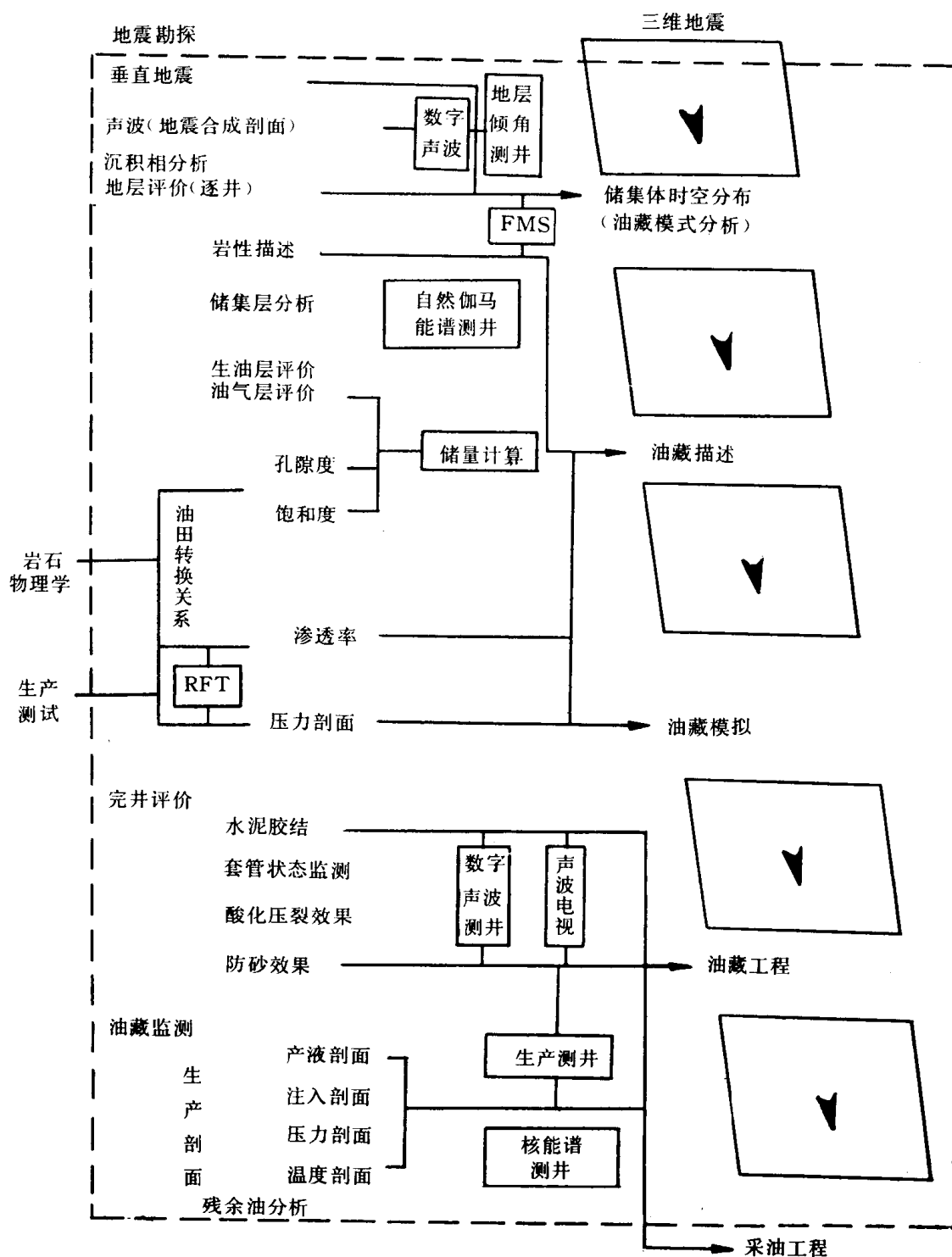


图 1-2 测井的未来作用

地质-地球物理解释模型的建立，以及多种演化形式的数学模型的产生，不仅适应了计算机解题的需要，而且为测井数据处理和分析的定量化，开辟了简便和有效的途径，促使计算机技术的优势在解释领域内得到正确的发挥。

测井数据及其影响因素的复杂性与强烈的随机性，以及由此表现出来的不确定性，促使

人们试图借助于现代的数学工具,以便实现对地下复杂的地质特性作出比较确切的解释。因此,在这一基础上,一些引用现代数学研究成果的数学模型相继被提出,其中当然有不少由于能对地下地质特性进行如实的描述,而被证明具有较好地实用价值。但是也有不少的模型,由于具有过多的假设和复杂的推演,却往往掩盖了所要研究问题的地质意义。甚至使人们产生这样的错觉,似乎没有复杂的数学推导和相应的表达式就不是高水平的解释。计算机技术的应用,又更加浓化了这种观念。其结果使一些醉心于理论、数学推导和计算机分析的测井分析家,往往对面临的地质课题缺乏应有的兴趣,而潜心致力于某种假设条件下数学模型的推演。这种单纯运用数学自身严密的逻辑性和概念,而掩盖实际地质概念的做法,在一些涉足测井解释工作不深的技术人员中,产生一种连锁反应,似乎测井地层分析与油气评价的成果,主要产出自严密的数学公式和计算机分析,而不重视对实际的地质现象和特性的研究与分析,不注意在油气勘探和开发实践的业务经历中积累经验和增长知识。显然这是与测井学科的性质和特点背道而驰。很难设想,由数学概念淹没地质概念的模型会有实际描述和解决地质问题的能力。值得庆幸的是,由经验及其形成的法则与判断力对测井解释所产生的能动作用,已经被许多测井分析家充分肯定和认识,并且体现在地质-物理模型的确定以及由岩心和测试等实际数据的分析刻度所形成的各种定量转换关系之中。不容置疑,这是测井技术得到最佳发挥的两个关键环节。

计算机广泛用于测井数据处理,无疑是对于手工分析具有历史性的进步,标志进入测井解释数字化的新阶段。但是也应该指出,单纯采用数据处理并不能完全解决测井解释面临的问题。这是因为,测井解释所要解决的地质、工程课题,一般不能单纯用地质-数学模型及其相应的解释方程表达和描述,它既有数值运算,又包含着由许多经验法则组成的非数值运算。因此,测井解释不仅面临一般“数据世界”的问题,又有“事实世界”的问题,其实这并不难理解,因为测井解释的分析和决策过程有其自身的特点。

1) 在众多的输入和输出参数中,其相关性及规律性相差甚远。对于一些相关性和规律性密切的参数,可以通过在它们之间建立多种形式的解释模型和转换关系,用常规数据的数据处理方法来解决。对于有些规律性差或难以用数值表示的推理性、演绎性和经验性的法则,则需要发展一种具有能力性的程序来解决。

2) 动态性强。输入和输出参数的规律性与相关性,往往随着地区、地层以及油藏不同开发时期而变化,具有强烈的地区性、时态性特点。目前使用的计算机测井分析系统,不能对付这种变化的地质环境。

3) 对决策的实时性要求较高。因此,仅采用常规数据处理技术,不能提供最终的答案。这就是为什么在数据处理过程中,强调要综合来源于测井与非测井的各种信息,以及在数据处理成果的基础上还要强调进行地质综合解释的缘由。我们曾经聘请国外有关测井和咨询公司,对在济阳坳陷钻遇沙三段地层的多口关键井的测井资料进行数据处理,虽然提供正确的地区解释参数,并采用目前公认的先进测井分析程序。但处理结果与地区实际情况相差甚远,灰质泥岩及油页岩与砂岩储集层难以区分,而绝大部分在数据处理图上显示为典型油层。

这些事实表明,使用常规的计算机处理方式,只能为测井解释提供分析问题的手段与依据,而不能最终提供自动解题的能力和决策的最佳答案。为了解决“数据世界”与“事实世界”能力性的不平衡,大力发展测井解释工作站是一种最现实的途径,同时,人工智能的重要分支——知识工程的专家系统,也开始被引入测井领域,这标志着计算机不仅能够进行测井的