



第十一届世界石油会议 报告论文集

第二分册 地球物理勘探

石油工业出版社

53
1(2)

第十一届世界石油会议 报告论文集

第二分册
地球物理勘探

邱玉春等译

石油工业出版社

ELEVENTH WORLD PETROLEUM CONGRESS

John Wiley & Sons Ltd

•
第十一届世界石油会议报告论文集

第二分册

地球物理勘探

邱玉春等译

•
石油工业出版社出版

(北京安定门外外馆东后街甲36号)

通县印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

•
787×1092毫米 16开本 5³/₄印张 138千字 印 1—3,700

1984年9月北京第1版 1984年9月北京第1次印刷

书号: 15037·2494 定价: 0.65元

出 版 说 明

第十一届世界石油会议于1983年8月在英国伦敦举行，参加这届大会的有来自69个国家的2533名代表。以石油学会理事长侯祥麟为团长的中国石油代表团也前往参加了这次大会。这是我国第一次派代表参加世界石油大会的学术活动。十一届世界石油会议历时六天，会上宣读论文133篇。本论文集，除我国专家在会上做的三篇报告由作者直接提供原稿外，其余全部论文由石油部科学技术情报研究所组织有关同志翻译。

我们按专业分六册出版：

第一分册——石油地质；

第二分册——地球物理勘探；

第三分册——钻井；

第四分册——油田开发、储运；

第五分册——石油炼制及化工；

第六分册——综合。

目 录

测井与测井解释的进展.....	(1)
地震方法的勘探范围在不断扩大.....	(15)
高分辨率技术.....	(21)
构造勘探及直接烃类检测的地震新方法.....	(29)
横波在地震勘探中的作用.....	(38)
地形困难区的三维地震勘探.....	(46)
非地震勘探方法的最近进展.....	(54)
沉积岩中地震波的衰减.....	(68)

测井与测井解释的进展

W. H. Fertl, Dresser Industries, Inc., Houston, Texas, USA.

邱玉春 译 章兆琪 校

摘要 近几年来,以地球物理测井技术为基础的地层评价在几个主要方面取得了进展。这些进展包括:

- (1)改进的、新型的和组合的测井仪器可用于:不利的高温环境;复杂的、低孔隙的、裂缝的、泥质/粉砂质的和低矿化度的地层。与储集层评价有关的裸眼井测井、套管井测井或生产测井。
- (2)裸眼井和套管井测井仪器的刻度和数字化数据的采集。
- (3)先进的、受到用户欢迎的井场解释程序(曲线深度对比、环境校正、交会图和直方图);多组分的复杂碳酸盐岩、泥质/粉砂质碎屑岩地层的评价,包括测井求孔隙度、流体饱和度、粘土矿物的含量和类型、识别重矿物;在一次采油和/或实施提高采收率方案的条件下,监视储集层动态和枯竭状况,确定残余油饱和度等。
- (4)在数据记录位置、数据处理地点和作出决定的地方之间,应用微波及卫星通讯线路,提高快速可靠的数据传输系统。
- (5)以数字为基础,借助于人工智能的专家咨询测井分析系统在概念上的发展和潜在的应用。
- (6)以地震概念、钻井和岩芯数据、测井、试井、油藏工程和油藏模拟为基础的资料协同应用。

根据现代的技术标准和可能的限制条件对上述各方面进行了讨论,用技术发展趋势的远景预测作为本文的结论。

前 言

在整个八十年代期间,地球物理测井曾经是而且仍将是油气资源评价和管理的关键手段之一。

例如,套管井测井有以下广泛的用途:在老油井或大修的报废井中寻找死油气;在淡水、微咸水或未知地层水矿化度的井中进行测量;对不能进行裸眼井测井的新井作出评价;在一次、二次和三次采油的过程中监视油井的生产动态和油(气)层的枯竭情况,等等。

需要以下完整的资料:完井,岩性,孔隙度,储集层流体的类型与分布,渗透率,生产能力和预期的出水量。除了用时间推移测井监视储集层外,采用测-注-测技术提高计算残余油饱和度的精度。

对于裸眼井和套管井,单井评价和/或全油田评价、改进的和新的测井方法、数字化数据采集、传输、解释和综合,并与其他多种来源的讯息相结合,标志着八十年代中期地层评价发展的方向。

一、改进的和/或新的测井方法

自从上届世界石油会议以来,一些改进的和/或新的测井方法已提供使用,它们包括:

1. 自然伽马能谱测井(技术上成熟,可用于裸眼井、套管井)

井下闪烁能谱仪通过三至五个能量窗测量计数率,以测定钾、铀、钍系中各元素的含量[1-4]。

近几年来,这种自然伽马能谱测井仪器已成为最优化测井项目的组成部分。已经证实在裸眼井和套管井环境中记录的自然伽马能谱测井曲线,对于解决许多井中所遇到的复杂解释问题是很有用的。无论是井场解释,抑或在处理中心作详细的数字分析,定性和定量的解释概念都有了改进[5]。

定性和定量解释包括:地质研究(岩性的区分,沉积环境的识别,地层对比,生油岩的评价等);复杂储集层的岩石分析(重矿物,云母,长石,海绿石,裂缝,粉砂等);含泥量的计算;井下粘土类型的划分;阳离子交换能力的估算;在动态流体条件下(即管外窜槽,洞穴,水淹层等)放射性增大现象的解释。

2. 核磁测井(技术上成熟,用于裸眼井)

除了测量渗透率(“自由流体指数”)外,最近在非渗透率方面的应用,包括计算残余油含量和区分重油和可采的水。这是通过将记录的数据进行复杂的再处理来完成的,这对于低的讯噪比和迅速衰减的信号特别有利[6]。

3. 长源距数字声波波形分析(经过有限的试验,可用于裸眼井、套管井)

用高采样率采集长源距数字声波数据和先进的处理技术[7, 8],可以提供纵波和横波资料。其用途包括岩性、孔隙度及流体的识别,岩石的弹性参数和非弹性参数(与钻井有关的破裂压力梯度,与完井有关的地层强度)的计算以及用于地面地震横波数据分析。

4. 井周声波测井(样机试验,用于裸眼井)

裸眼井井周声波测井仪,使用装在贴井壁的极板上、并沿井壁圆周分布的超声发射器和接收器[9]。横波和流体诱导波可供评价定向垂直裂缝之用[10]。

5. 声波扫描测井(样机试验,用于裸眼井、套管井)

一些时候,井下声波电视以大约 1.7×10^4 数据样/英尺的采样率接收来自井壁的反射信号,并以直线形式显示。

由于硬件的改进和数字化实时数据的增加,声波脉冲传播时间和反射信号的记录和显示其采样率达到 9.4×10^6 数据样/英尺[11]。

声波电视有希望在裂缝探测和套管检查方面得到应用。

6. 超声波测井(样机试验,用于套管井)

带有8个聚焦换能器的高频超声波仪器,在套管的不同方位进行探测。这种超声波仪器可以改善垂直分辨率并可区分窜槽和微环形空间[12, 13]。经过小改进后,现正试验用于套管腐蚀的检查。

7. 介电(电磁波传播)测井(样机试验,用于裸眼井)

地下岩层的介电性质,可以提供潜在储集层含水量的资料,而不受地层水矿化度的影响。近期在现场试验的极板式(1.14兆赫)[14]和滑动式(25和47兆赫)[15, 16]是有前途的。固有的限制因素包括探测深度、井眼尺寸、泥浆和地层的电阻率。

8. 电缆式地层测试器(有限的试验,用于裸眼井)

该仪器可进行两次流体取样和多次压力测试,在钻井和油藏工程应用方面有较大的进展。已经成功地从测定储集层动态发展到脉冲式测试,目的在于确定高渗透率储集层内部纵向与横向的连通程度[17]。

9. 地层岩性密度测井(有限的试验,用于裸眼井)

除了测量体积密度外,还测量地层的有效光电吸收截面^[18]。其应用包括:对岩石骨架和重矿物的鉴别,在复杂岩性的条件下对轻烃和裂缝的评价,存在重晶石泥浆时对裂缝的检测以及粘土矿物的鉴别^[19]。最后一项还要借助于自然伽马能谱资料的配合。

10. 四探测器补偿中子测井(样机试验,用于裸眼井、套管井)

利用两个超热中子探测器和两个热中子探测器,测得两个独立的孔隙度^[20-22]。用“脊-肋”计数率处理方法得到的孔隙度值,受岩性和井眼参数的影响较小,还可以估算出井下仪器与井壁间的有效间隙。此外,两个孔隙度值的比较可指示热中子俘获截面高的岩石成分^[23]。

11. 脉冲中子测井(技术成熟,用于裸眼井、套管井)

使用几个不同门系统的脉冲中子测井仪在井眼环境中测量宏观热中子俘获截面(Σ)。十多年来,它已成功地用来划分套管外的高矿化度地层水和油、气,以及监视在一次采油或实施提高原油采收率方案的情况下油层的油、气、水饱和度随时间的变化。得到的资料对油藏工程和修井计划是极为有用的。

近来在仪器和处理技术,如单门时间平均^[24]和多门概念^[25]方面取得进展,大大地提高了仪器的可靠性和数据的精度,从而可将 Σ 值的应用扩大到以前“限定”的解释领域。

在地层水的宏观俘获截面与油的宏观俘获截面差别不大的地区,或者在地层水矿化度不断变化和未知的场合(淡水或注蒸汽),为了评价和监视含油气饱和度,用一种专门的脉冲中子测井仪测量中子辐射地层所产生的非弹性和俘获伽马射线的能量和强度^[26-29]。这种资料可以与地层中的特殊元素(如碳、氧、硅和钙)的相对丰度建立起关系。

由这些元素的相对丰度构成的比值,对于判断岩性、确定孔隙度和流体含量特别有用。

在现场,把连续测量和点测得到的非弹性散射和俘获伽马能谱以数字形式记录在磁带上。在普通测井实践中,可以从数字记录的能谱数据重新得到新选能量窗的计数率和比值资料,如氢、铁等。

使用计算机处理的快速直观解释方法和先进的解释技术^[27, 29],正在得到广泛的承认。

12. 生产测井(技术上成熟,用于套管井)

对同时记录的压力、温度、密度和流量等生产测井数据进行分析,可以诊断油井存在的问题,并可监视油井动态。近来解释方面的进展包括新发展的对井下流体物理性质相关关系的分析和稳步提高对生产过程如油井流量的定量认识^[30]。

正如上届世界石油会议所指出的,由于现在井的深度、温度、压力和费用的提高,更加有必要迅速而有效地获得精确的测井资料,因此改进测井能力和把各种探测器组合成单根井下仪器并行不悖地发展,已经得到承认并将继续受到重视。

根据地质和井眼环境条件,用在淡水或油基泥浆中的一些新的测井系列包括:

(1) 自然伽马能谱/密度/中子/介电

(2) 自然伽马能谱/密度/中子/双感应

(3) 自然伽马能谱/密度/中子/声波*/双感应,以及在同一次测井中,通过中间套管上提测量的组合仪器:水泥胶结*/套管接箍定位器/自然伽马/中子(*加上任选的声波记录)。

在盐水泥浆,用双侧向加 R_{xo} 取代感应测井。但是,即使是双感应和双侧向,也可以同时与三种孔隙度测井组合在一起测量。在充满空气的井眼中,一次测井可以记录自然伽马/中子/井温/双感应。

这些组合测井系列的好处在于:

(1) 大大减少占用钻机的时间($\geq 50\%$), 减少仪器在井内的起下次数; 缩短地层暴露时间, 减少由此而引起的膨胀、垮塌和阻卡; ——这一切都有助于安全操作和减少总的钻井费用。

(2) 改善深度控制 and 对比。

(3) 由于井场计算机装置带有数字化诊断和测试程序, 能保证装备更为可靠。

(4) 提高记录数据的精度。

之所以有可能取得上述的进展, 是因为采用脉冲编码调制器遥测系统, 从而提高了标准七芯测井电缆的利用率。来自不同测井探测器的井下信号先组合, 后分成单组数字脉冲传到地面, 在地面这些讯号再分开进行处理。

为了避免或将部件失灵而延误的时间降至最少, 用软件诊断和测试程序检查井场计算机和所有关键的外围设备及其微型控制器。此外, 借助于数字化仪器模拟器, 可以准确指示地面传动装置、测井电缆或脉冲编码调制器的故障。

现在的组合测井仪, 其固有的限制条件包括: 结构过长和与此有关的对井底部小直径井眼的要求。

在超高温、高压和/或腐蚀性介质这些不利的环境中, 测井能力仍将受到限制。然而, 基本的和裸眼井的不利环境测井装备, 包括标准尺寸和/或小井眼使用的, 多芯电缆或单芯电缆的, 都可以在 500°F 和 $25,000$ 磅/英寸²下工作。

二、数字化数据采集和仪器刻度

数字测井系统配备有为采集、处理、存储和显示测井数据所必需的硬、软件。

图1是数字测井系统的一种。它是以小型计算机为中心而设计的, 后者备有一个6万4千字节的永久性随机存取存储器。正因为存储器是永久性的, 如果电源发生故障, 计算机可自动地再启动。还有一个附加的10兆字节的快速存取存储器, 由专用的磁盘驱动器提供使用。这个外加的存储器用作程序存贮和特殊数据的处理。本系统还带有两台9轨磁带机, 用作存储和组合测井数据。测量结果实时地显示在14英寸荧光屏上。由两台光导纤维绘图仪把测井曲线制成硬拷贝(或者是纯醋酸盐胶片, 或者是自显影的记录纸)。

小型计算机作为主控制器使用, 而不要求它去完成全部必要的数据处理。每台外围设备都有它自己的以微处理机为主的控制器, 它们都受主系统的控制。这种“微型随动”结构, 使得本系统拥有一台相当大型和快速的计算机功能。这也意味着, 本系统可以方便地按未来的需要加以扩展。在工作基地专门建立的场地, 用原始刻度标准进行数字的主刻度或工场刻度。然后, 用便携式的次级标准校验仪器响应。

将原始刻度值连同用便携式次级标准得到的读数一起存入磁盘或磁带。

在现场, 野外工程师将存储的刻度值取出, 结合特定井下仪器在使用原始刻度时所得到的数值对野外仪器自动地重新刻度。在系统重调之后, 用次级标准的测量值作测前校验。照同样的方法进行测后校验。上述过程一完成, 打印机就打出用原始刻度标准得到的数值和用次级标准得到的三次校验数据^[31]。

从表1和表2可以看出, 最后一栏的数值是以工程单位表示, 便于算出由于仪器响应改变而引起测井读数变化的大小。

这种刻度方法有以下一些主要优点:

(1) 仪器是在远离金属建筑物、管架、人群等外界干扰的合适环境中刻度的。

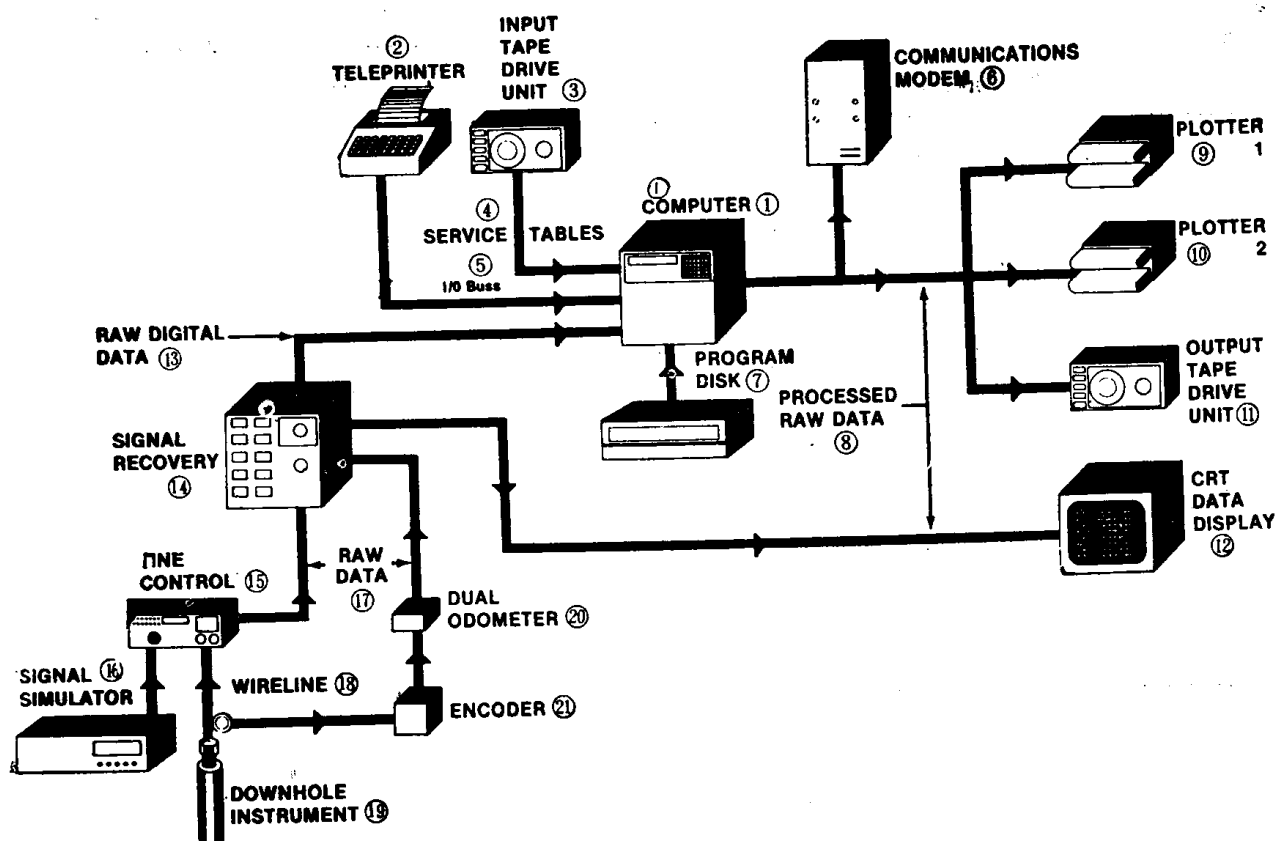


图1 井场计算机测井系统

①计算机；②电传打字机；③输入磁带机；④操作表格；⑤输入/输出总线；⑥通讯调制解调器；⑦程序磁盘；
⑧处理了的原始数据；⑨绘图仪1；⑩绘图仪2；⑪输出磁带机；⑫阴极射线管数据显示器；⑬原始数字数据；
⑭信号恢复；⑮线控制；⑯信号模拟器；⑰原始数据；⑱电缆；⑲井下仪器；⑳双深度计数器；㉑编码器

表1 数字测井刻度校验汇总表

刻度/校验汇总表						
日期(82.6.21)		时间12:7:34				
测井名称: 井眼补偿密度测井		登记号: 33548	仪器号: HL 6310			
原始刻度(1982年6月14日7时29分5秒)			大型井下仪			
曲线	计数/秒	换算系数	比值	工程值	单位	
	块	数值	加	乘	镁块/铝块	
日期: 82.6.14		刻 度		时间7:29:5		
长源距计数	镁块	295				
短源距计数		388				
密 度				2.200	克/厘米 ³	
校 正				0.000	克/厘米 ³	
长源距计数	铝块	92	0.000	1.000	3.2147	
短源距计数		262	0.000	1.000	1.4795	
密 度				2.800	克/厘米 ³	
校 正				0.000	克/厘米 ³	
长源距计数	镁块(倒过来)	267				
短源距计数		421				
密 度				2.480	克/厘米 ³	

续表1

校正	日期: 82.6.14	原始校验	0.230	克/厘米 ³
			时间7:37:48	
长源距计数	铝块 95	0.000 1.000		
短源距计数	264	0.000 1.000		
密度			2.783	克/厘米 ³
校正			-0.008	克/厘米 ³
	日期: 82.6.21	测前校验	时间7:23:29	
长源距计数	铝块 90	0.000 1.000		
短源距计数	260	0.000 1.000		
密度			2.810	克/厘米 ³
校正			-0.009	克/厘米 ³
	日期: 82.6.21	测后校验	时间12:1:56	
长源距计数	铝块 93	0.000 1.000		
短源距计数	260	0.000 1.000		
密度			2.794	克/厘米 ³
校正			-0.009	克/厘米 ³

井眼补偿密度测井用“工场刻度”系统进行刻度。比较三次校验得到的测量值(克/厘米³),可以简单地确定仪器的稳定性。

表2 数字测井刻度校验汇总表

刻度/校验汇总							
测井名称: 双感应		日期 82.6.16		时间 20:37:34		仪器号: HL6080	
原始刻度(1982年6月14日7时1分50秒)							
曲 线	毫伏		换算系数		工程值		单位
	低值	高值	加	乘	低值	高值	
	日期82.6.14	刻度			时间7:1:50		
深感应电导率	0.3	486.8	0.791	2.0010	1.000	500.000	毫姆欧
中感应电导率	0.0	546.5	0.971	2.0611	1.000	500.600	毫姆欧
聚焦测井电导率	0.2	477.3	0.765	2.5523	1.000	500.000	毫姆欧
	日期82.6.14	原始校验			时间7:9:41		
深感应电导率	4.9	480.8	0.791	2.0010	4.939	492.735	毫姆欧
中感应电导率	4.5	537.5	0.971	2.0611	4.888	491.588	毫姆欧
聚焦测井电导率	1.6	469.0	0.765	2.5523	2.408	491.386	毫姆欧
	日期82.6.16	测前校验			时间15:10:43		
深感应电导率	3.5	488.9	0.791	2.0010	3.780	501.880	毫姆欧
中感应电导率	5.5	452.9	0.971	2.0611	5.778	496.646	毫姆欧
聚焦测井电导率	3.7	485.6	0.765	2.5523	4.605	508.742	毫姆欧
	日期82.6.16	测后校验			时间20:31:12		
深感应电导率	5.0	487.9	0.791	2.0010	4.988	500.601	毫姆欧
中感应电导率	3.6	554.7	0.971	2.0611	4.089	508.021	毫姆欧
聚焦测井电导率	2.9	489.2	0.765	2.5523	3.847	512.506	毫姆欧

双感应(DIFL)刻度。自动显示每次的准确时间和日期。最后两栏可用来比较原始校验、测前和测后校验的响应。

(2) 刻度是在工场进行的,对工作人员没有时间压力,因而可以得到更为精确和一般的读数,而且节省了在测量之间进行刻度所占用的钻机时间。

(3) 刻度值按便于解释的格式显示, 然后就可以做出决定, 偏差是否大到需要进行第二次测量。

(4) 将每四个步骤(原始级刻度, 原始校验, 测前校验和测后校验)完成的准确时间和日期自动地显示在打印的刻度输出上。不必怀疑刻度日期和校验的可靠性。

(5) 校验时仪器可以直立或平放, 可以单独或与其他仪器组合进行。这意味着, 在井下仪器下井之前和提出井口之后, 立即把它悬吊在井口之上, 在几分钟内就可以完成测前或测后的校验。这样就不必再把仪器拆开并把它平放在刻度架上进行刻度, 从而可以节省测量之间所占用的钻机时间。

三、解释软件的发展

在最近几年内, 井场测井解释取得了长足的进步, 它与以往单纯追求“快速直观”解释无疑有天壤之别。在井场开始出现功能相当先进的解释方法, 包括裸眼井、套管井、生产测井及井场地震资料的解释。

例如, 裸眼井测井曲线的人机联作数字化现场地层评价, 可以逐个地解释碎屑地层和复杂的裂缝性储集层(图2)。这种分析是以深度移动程序、真垂直深度选择、井眼和环境影响校正数据编辑程序以及各种频率图、直方图和其他交会图程序作为保证的^[32]。

地层倾角评价也是在井场作业, 并且在测井的同时立即实时完成。电缆式地层测试的数字化记录, 在井场利用计算的地层压力以及压力降低和压力恢复时求得的渗透率来证实。井场地震分析技术仍然不成熟, 但是无疑将迅速得以完善。

井场数字化套管井测井和生产测井技术正在日益普及。它们已经发展到包括归并和统计检查多次测井操作所得的资料, 并结合以前存储的数字化裸眼井数据。

然而, 用于单井分析和详细的多井油田研究, 油藏工程以及模拟研究的一些高度先进的技术, 将继续局限于在能利用大型综合数据库的计算机中心应用。

在单井研究中, 例如, 用Waxman-Smits模型进行数字化泥质砂岩分析, 可以确定储集层总的和有效的孔隙度、流体饱和度、生产能力以及地层中粘土矿物的体积、类型和分布方式^[33]。还可以结合n维交会图和概率概念, 求出最大可能的最小误差解^[34]。这些资料, 对于储集层的详细描述、钻井作业、地层损害的估计、沉积环境的识别, 都是必不可少的。

在复杂的层状地层、电阻率差异小和斜的井眼中测得的高分辨率地层倾角值, 应用专门的讯息理论和图形识别进行预处理^[35、36]。

此外, 利用一些与测井有关的地质参数, 把地层分成若干相关的地质相, 以便获得地质相、地层层序、储集层分带、井与井对比的有用资料。以拥有岩心资料和测井资料的关键井或关键井段为基础, 建立可靠的数据库, 为利用测井方法自动识别地质相提供了方便^[37]。

测井导出的数据用在合适的系统工程模型中, 可以优化射孔和生产管柱程序及固砂和砾石充填设计标准。

比较合成地震记录和地震道的反演技术, 涉及垂直地震剖面(VSP)^[38]的许多计算结果^[38]。对井下近间距记录的地震信号进行处理, 可以得到全井段上下的资料。在地面地震解释遇到困难的地方, 这种资料特别有用。应用可控震源和单脉冲源进行连续解释的研究, 以及提高解决问题的野外经验, 都将有助于确立垂直地震剖面作为勘探井和主要开发井的关键测量项目之一。

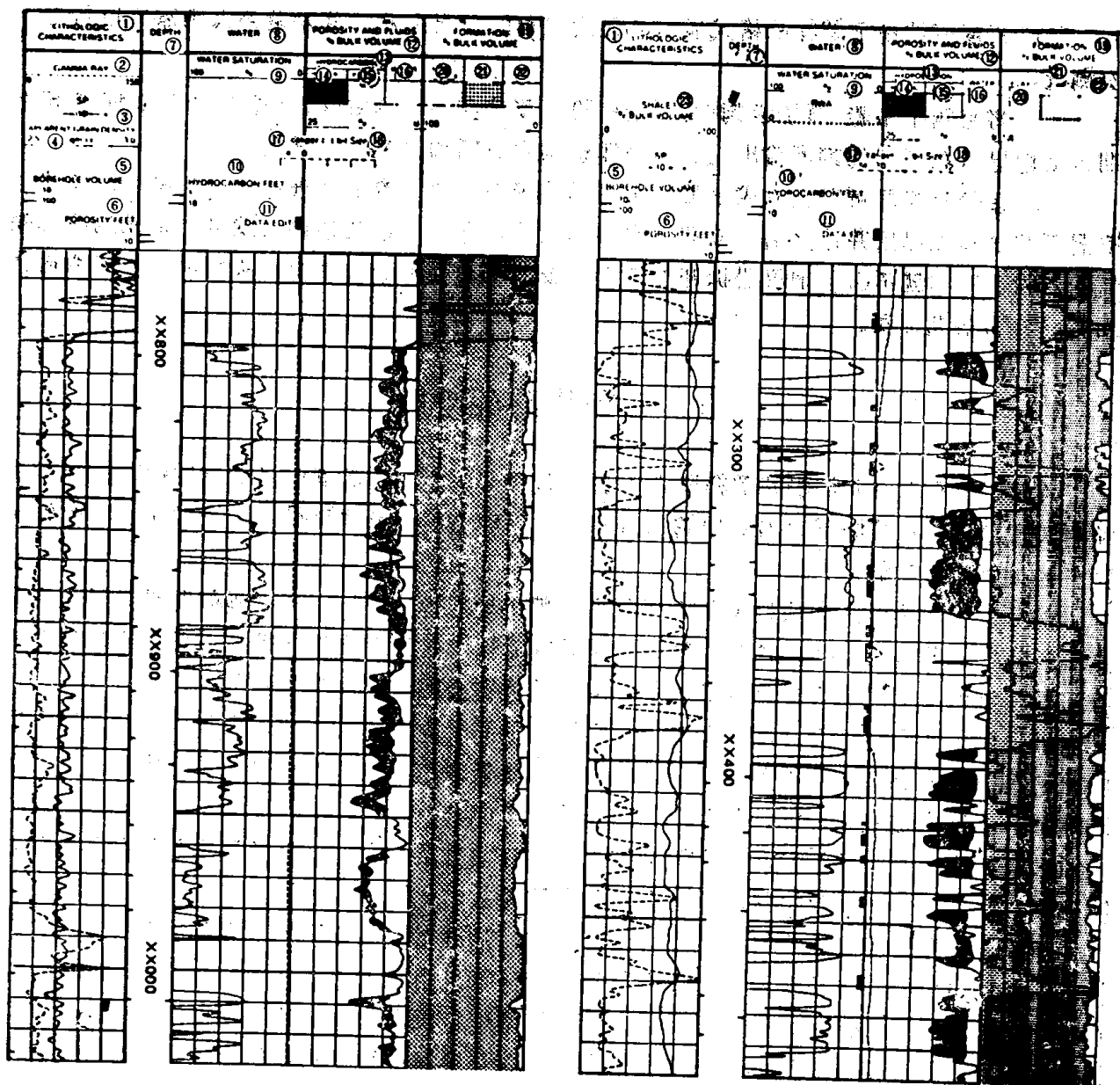


图2 井场数字化分析

①岩性特征；②自然伽马；③视颗粒密度；④克/厘米³；⑤井眼体积；⑥孔隙度英尺；⑦深度；⑧水；⑨含水饱和度；⑩油气英尺；⑪编辑的数据；⑫孔隙度和流体体积；⑬油气；⑭残余的；⑮移动的；⑯水；⑰井径；⑱钻头尺寸；⑲地层体积；⑳泥质；㉑其他矿物；㉒孔隙度；㉓泥质体积

随着多井的油田研究工作的开展，有效的储集层描述集中在测井、岩心和其他与储集层有关的资料的综合解释上。主要目标之一是估计各种描述地层的关键参数的空间分布。应用的分析方法包括：

(1) 先进的分析方法广泛应用于单井评价。

(2) 通过合理选择关键井，使资料归一化。关键井要大量取心，有完善的测井系列，而且位于储集层范围内的关键位置。

(3) 关键井要能正确指出油田其他井存在的问题，如测井曲线错误刻度，严重的井眼影响。而且在缺失资料(用合成测井曲线弥补测井系列的不全)或缺少关键的储集层参数(如渗透率)时，所用的数学变换要简便。然而，合成测井曲线不能完全消除限制条件和由于测井

系列不全而可能造成的失误。

(4) 储集层必须分层和分块，用或不用截止值对选择的测井测量值求平均。

(5) 以这些基本数据为基础，以概率概念为依据，估计关键的储集层参数的空间分布，在全油田把计算的每一个储集层参数的偏差(误差)降到最小程度，在井位之间内插岩石物理参数。

(6) 将所得结果显示成等值线图或其他图形。

(7) 所得结果还为储集层模拟模型提供必要的输入参数，该模型主要运用物质平衡的有限偏差分方程，在这里，对于每个方块，由若干个方程确定组成储集层的一个成分。换言之，储集层的非均质性按几何形状、孔隙度、渗透率和流体性质编址。

最终的目的在于为工程师和管理部门提供有关储集层评价、开发、采油和提高原油采收率的最佳经济效益的答案。

四、数字测井数据传输

由于使用者对存取、容量、性能、可靠性和速度等要求的不断提高，测井数据的数字化传输已成为极端重要的问题(图3)。其结果是全面提高工作效率，改善操作和管理者作出决定的灵活性。测井数据传输特别适用于不利环境和边远地区，如远距离的海上，极地、密林和沙漠地带。

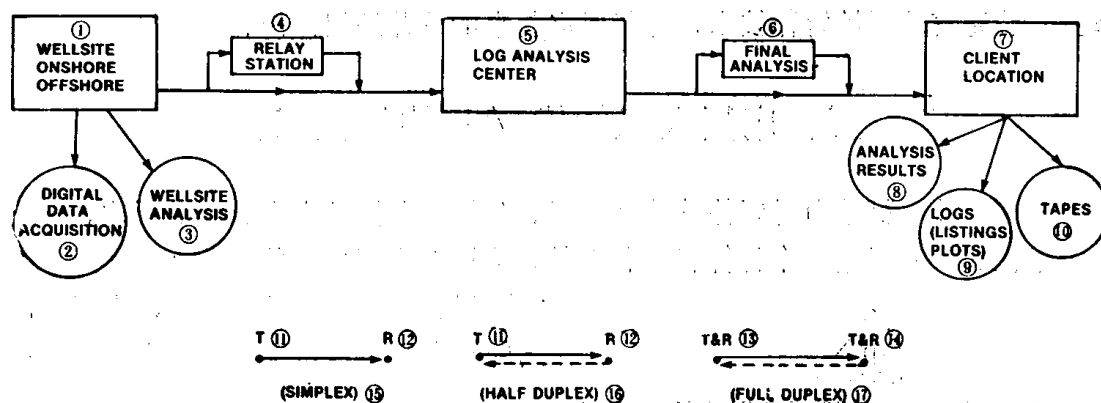


图3 测井数据传输方式(电话、微波、卫星)

①井场、岸上、海上；②数字化数据采集；③井场分析；④中继站；⑤测井分析中心；⑥最后分析；⑦用户地址；⑧分析结果；⑨测井图(列表图)；⑩磁带；⑪发；⑫收；⑬发与收；⑭发与收；⑮单联；⑯丰双联；⑰全双联

数字测井的好处在于记录的数据有良好质量和一致性，操作简单以及数据便于传输。数字化数据的传输和复制基本上可以达到100%的精度。

大约在十四年前，在美国墨西哥湾沿岸，首次进行了从海上作业区到陆上计算机中心数字测井记录的传输。按照今天的标准，这种原始的传输系统是很不完善的，因为所有数据在提交给用户使用之前不得不“重新编排”(即标度、深度校正)。

七十年代初期，把现场的数字化数据采集，通过低频无线电、电话线、自动拨码机或专用的卫星通讯线路，与选租的中继站和计算机中心建立联系。

在最近几年内，卫星通讯技术发展极为迅速，并计划提高其利用率^[39-42]。

例如, 1965年发射的第一个民用卫星通讯系统, 超过20%的年增长率, 用它的第五代卫星提供覆盖全球的有效范围。今天, 这个系统共有12颗工作的和辅助的卫星, 通过 800个中继网络, 与六大洲的300个地面站建立联系。

1982年, 共有22个独立的卫星通讯系统在世界范围内工作, 有30个辅助系统正在建立或已列入计划。

这种卫星网络, 是连接全球通讯通道的“纽带”, 也是美国民用事业中有效的投资项目。

今天, 许多石油公司都在利用一个直接的全球性海上卫星通讯网络。这种通讯网络在1.5~1.6千兆赫的频率范围工作, 因此大气条件引起的失真很小。

成功的测井记录传输速率为2400和1200位/秒, 其例行应用包括主要的海上勘探作业区, 如将美国东部沿海勘探活动及北海井场与得克萨斯州陆上测井分析中心建立联系。

此外, 在勘探活动频繁的美国墨西哥湾沿岸地区, 则利用“地区”的传输网络, 就是微波无线电和租用电话线相结合, 以达到地区覆盖。以2400波特的调制解调器为基础, 根据磁带上曲线的数量和英尺数, 测井曲线惯用的传输速率是:

测井曲线的英尺数 (英尺)	单测	组合测量 (分钟)
2000	27	43
5000	68	109
10000	135	216

提供和利用快速、可靠的传输系统, 以建立数据记录、处理和做出决定场所之间的联系, 加上日益完善的现场解释技术, 都将促进将来的单井地层评价。

五、应用人工智能(AI)的知识工程

近几年来, 计算机革命对硬件及数据采集、分析和存储已产生深刻的影响。

八十年代初, 正当第二个计算机时代开始, 亦即为人工智能的应用而特别设计的新的“第五代”计算机问世的时候, 人工智能潜在应用的研究和商用系统也开始出现。

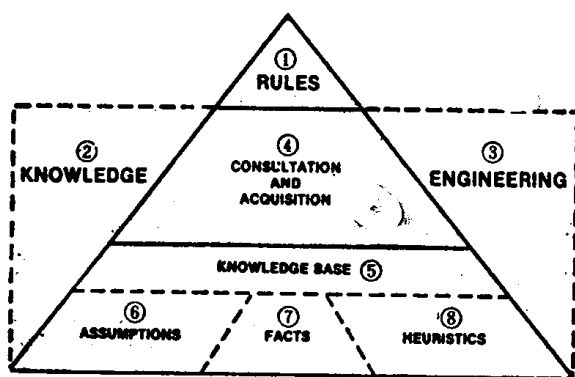


图4 人工智能(AI)的基本概念

①定律; ②知识; ③工程; ④咨询和取得; ⑤基础知识; ⑥假设; ⑦论据; ⑧直观推测

人工智能的应用包括: 基于定律的医学诊断和治疗程序, 帮助地质家从事矿产勘探的咨询系统, 为编制人-机联作程序的系统组合程序组等。当然, 还不只这些。

建立在组合块, 即所谓的“万能”系统基础上的这种知识工程可以应用人工智能。人工智能是以模拟人的智力功能为特点, 可以表征为计算机化的非数字的符号题解(图4)。今天, 人工智能, 由于它与讯息控制论、决策分析、特殊信号处理和计算机科学相结合, 正进入成熟阶段。

地球物理测井中所包含的采集系统和解释概念, 都是应用人工智能有前途的领域。把测井分析家或地层评价专家的基础知识、经验和判断编入知识工程系统, 达到数字化硬件系统

对客观世界自动解题的效能——这个过程就是人工智能所集中的目标。换言之，可以从大量有关具体课题的直接推断（即不确定的、试验性的、判断的）和教科书（有事实根据的）知识中得出技术性结论。

一些石油公司和测井公司普遍关心在测井中进行专家论证的问题。他们最感兴趣的领域包括：测井质量保证制度；复杂的多成分岩性的识别和评价；地层倾角测井构造和地层图形的识别和评价；人工智能系统与先进的绘图技术的结合；内部一致性的检查，以减少对数字测井系统操作和数据处理解释高度技能的要求。

在某些应用中，人工智能系统已经起到人的智力助手的作用，并且开始具备可以同新培养的解释人员相比的技术能力。

人工智能系统的继续改进和发展，将着重于改进知识的获得和改善尚不成熟的定律模型。

六、在地层评价方面的协作

最近的经验清楚地证明综合多学科通力协作的好处。包括地质、地震、钻井、取心、测井、试井、油藏工程和储集层模拟这些资料的协同应用，是进行有经济效益的储集层评价和管理的关键（图5）。

提高管理人员和技术人员对协作概念的认识，是成功地履行职责和使之尽可能完善的前提。

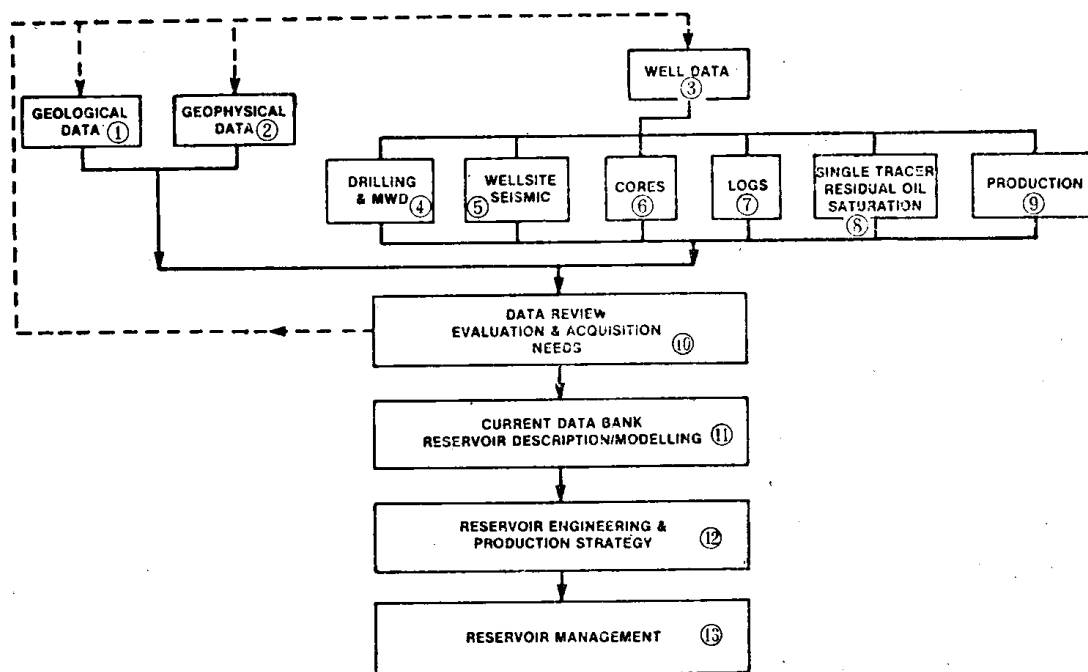


图5 数据的综合利用

①地质数据；②地球物理数据；③测井数据；④钻井和随钻测量；⑤井场地震；⑥岩心；⑦测井；⑧单井示踪剂测的残余油饱和度；⑨生产；⑩数据的再检查，评价和收获，需要；⑪通用数据库，储集层描述/制作模型；⑫油藏工程和生产策略；⑬储集层管理

七、技术趋向的远景预测

测井工业既不会放松，更不会中止继续进行基础研究，致力于提高技术，以便更好、更

快地记录更多新的资料;无论是井下还是离开井场,都以更高的技术水平处理和分析资料;将大量讯息传递到总部的决定中心。尽管油价暂时下跌,但决不会放慢寻找和勘探足够的油气资源。

把注意力继续集中在这些活动范围:在地质上不利和地理上边远的地区;边缘的和复杂的储集层;监视生产和枯竭情况;提高老油田的生产潜力等。

展望未来,我们看到井场计算机和与之连结的计算中心的计算机,其容量更大、利用率更高,它们受工艺进步的制约比起现实经济的制约要小。

在数字计算机问世的早期,硬件与软件的价格比率约为4:1,而目前则已接近1:4。事实上,软件价格仍将继续上涨,这是因为:(1)当前和预料今后对记录和处理的数据在数量、质量和精度上的要求将引起讯息激增;(2)它们用于更加复杂的模型;(3)人工智能的实施。目前、人工智能在测井的实际应用才崭露头角。

最后,地质、地球物理、钻井、测井和岩石物理性质等这些“独立”学科资料的协作,是最佳储集层评价和有经济效益的能源管理的公认前提。

参 考 文 献

1. Fertl, W. H. *Trans. 6th Eur. SPWLA Formation Eval. Symp.*, 1979.
2. Stromwold, D. C. and Kosanke, K. L. Paper D, *Trans. SPWLA*, 1979.
3. Wilson, R. D., Stromwold, D. C., Evans, M. L., Jain, M. and Close, D. A. Paper EE, *Trans. SPWLA*, 1979, also Paper FF, *Trans. SPWLA*, 1979.
4. Serra, O., Baldwin, J. and Quirein, J. Paper Q, *Trans. SPWLA*, 1980.
5. Fertl, W. H. and Frost, E. SPE Paper 11145, 57th SPE Fall Mtg., New Orleans, Louisiana, September 26-29, 1982.
6. Neuman, Ch. H. and Brown, R. J. SPE Paper 10108, 56th SPE Fall Mtg., San Antonio, Texas, October 5-7, 1981.
7. Ingram, J. D., Morris, C. F., Macknight, E. E. and Parks, T. W. SEG Conf., Los Angeles, California, 1981.
8. Leslie, H. D. and Mons, F. Paper GG, *Trans. SPWLA*, 1982.
9. Vogel, C. B. and Herol, R. A. *J. Pet. Tech.*, 33(10), 1975-1977, 1981.
10. Botter, J. Paper S, *Trans. SPWLA*, 1982.
11. Broding, R. S. Paper B, *Trans. SPWLA*, 1981.
12. Froelich, B. SPE Paper 10207, 56th SPE Fall Mtg., San Antonio, Texas, October 5-7, 1981.
13. Havira, R. M. Paper N, *Trans. SPWLA*, 1982.
14. Wharton, R. P., Hazen, G. A., Ray, R. N. and Best, D. L. SPE Paper 9267, 55th SPE Fall Mtg., Dallas, Texas, September 21-24, 1980.
15. Huchital, G. S., Hutin, R., Thoraval, Y. and Clark, B. SPE Paper 10988, 56th SPE Fall Mtg., San Antonio, Texas, October 5-7, 1981.
16. *Dresser Atlas Dielectric Log*, Tech. Brochure #9424, August 1981, 9pp.
17. Dake, L. P. EUR 270, SPE Eur. Pet. Conf., London, England, October 25-28, 1982.