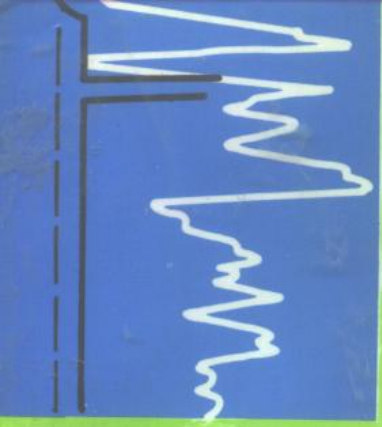
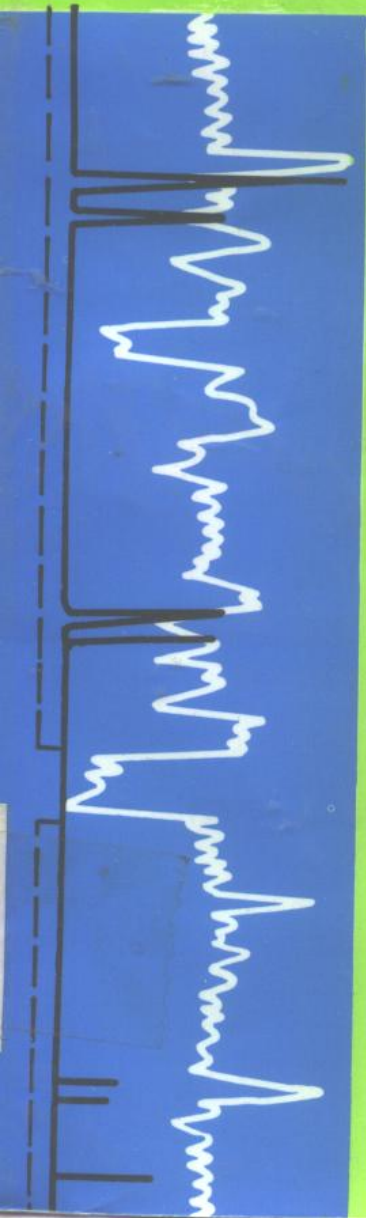




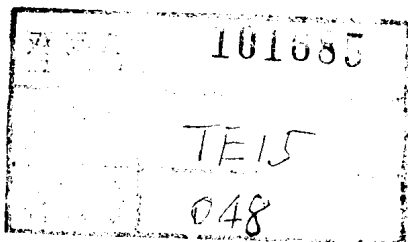
测井资料分析手册

WELL LOG ANALYSIS HANDBOOK

车卓吾 主编

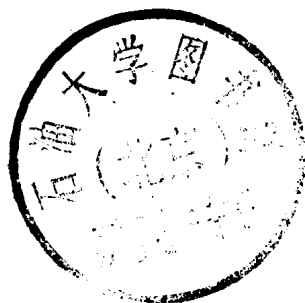


石油工业出版社



测井资料分析手册

车卓吾 主编



石油工业出版社

内 容 提 要

本书是测井资料分析人员必备工具书之一。在编写过程中,全书主要以图、表、公式的形式简明扼要地展开论述,从常规测井到测井新技术资料分析,从套管井到裸眼井测井资料分析,从单井测井资料分析到多井测井资料评价,基本上概括了测井资料分析的各个领域。本书内容丰富、可查阅性强。

本书可供油田勘探、开发测井分析人员及有关大专院校师生参阅。

图书在版编目(CIP)数据

测井资料分析手册/车卓吾主编.

北京:石油工业出版社,1995.12

ISBN 7-5021-1407-6

I.测…

II.车…

III.测井-使用数据-分析手册

IV.TE15-62

石油工业出版社出版

(100011 北京安定门外安华里2区1号楼)

中原油田科技彩印厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092毫米 16开 52.25印张 3插图 1320千字 印1—2000

1995年12月北京第1版 1995年12月河南第1次印刷

定价:58.00元

测井资料分析手册

主 编 车卓吾

副 主 编 李希文 姚家骅 司徒丽丽

编委(按姓氏笔划为序):

牟志正 李明春 李尚鑫 吴孟君

沈道和 贾文玉 徐晓伟

主要编写人员(按姓氏笔划为序):

王凤山 王学贵 王勤华 牛哲成

孔祥忠 申梅英 牟志正 江景合

李 伟 李希文 苏 超 吴孟君

国庆忠 张义生 张庆珍 张强德

姚 伟 姚 宏 姚家骅 姜 海

徐晓伟 贾春华 龚若云 黄春梅

鲍国凤 廖鸿龙

SY42/15

序

经过编委会和参加编写、审核人员的共同努力,《测井资料分析手册》终于出版了,在此致以最热烈的祝贺!

《测井资料分析手册》汇集了国内外现用的较为成熟的测井解释方法,介绍了80年代、90年代发展起来的最新测井仪器如地层微扫描仪(FMS)等的解释方法,还有计算机在测井解释中的应用,工作站等最新科技在资料处理中的应用等;本书还阐述了我国各油田近十年来发展起来的对各种岩性的储集层的解释方法等。本手册内容新颖、丰富、实用。书中系统地叙述了油田勘探、开发过程中所获得的各项测井资料、地质录井资料、岩石物理学资料的综合分析方法,并附有大量测井解释实例,以使读者能更好地掌握分析的实际应用。

本手册共分13章,并附有两个附录和专业术语。书中具体内容包括:测井过程简述,测井定量分析、测井资料的编辑和修正,岩石泥质含量计算,岩石孔隙度计算,交会图的构成和应用,定量分析实例,测井资料数据处理与评价,测井解释新技术,生产测井资料等。前十章内容是根据国外资料编译的;后三章内容是我国测井解释人员自行编写的。

本书第1、2章由姚伟编译;第3章由鲍国风、王凤山编译;第4章由贾春华、姜海编译;第5章由吴孟君编译;第6章由国庆忠、张义生编译;第7章由王学贵编译;第8章由张庆珍编译;第9章由张强德编译;第10章由姚宏、龚若云编译;第11章由牟志正、苏超、王勤华、牛哲成、姚家骅、廖鸿龙编写;第12章由姚家骅编写;第13章由江景合编写;“测井资料分析方法回顾”一部分由李伟编译;其中现代(1979~1994年)由姚家骅编写;附录1由孔祥忠、黄春梅、申梅英编译,附录2及专业术语由姚家骅编译。第1章由鲜于德清审校,第11章由牟志正审阅,第2~13章由姚家骅审校。全书由姚家骅统审。

多年来,测井分析家一直希望能见到一本内容翔实,查找方便的工具书。本书的出版,将对我国从事石油勘探、开发的测井人员和各大专院校的广大师生及有关科技人员大有收益。

在本书编写提纲的拟定过程中曾得到我国测井解释专家雍世和教授、潘瑾台教授级高工、洪有密教授等的指导。

在本书的编写和出版过程中,副主编姚家骅同志从内容与提纲的确定,章节编排、组稿到审稿等方面,付出了很多的劳动,起到重要的作用。

在此谨向中原石油勘探局、科技处、测井公司,以及所有关心与支持本书编写、出版、提供资料的有关领导、专家和同志们表示衷心的感谢!

由于编者水平所限、文中不足之处在所难免,请读者指正。

车卓吾
1995年8月

目 录

测井资料分析方法回顾	(1)
1 实际测井过程的概述	(7)
1.1 什么是测井	(7)
1.2 测井的产生	(7)
1.3 测井的种类	(9)
1.4 测井应用的介绍	(10)
1.5 测井分析家可用的测井仪器	(12)
1.6 电阻率测井	(12)
1.7 微电阻率测井	(16)
1.8 孔隙度—岩性测井	(18)
1.9 测井比例尺和网格	(24)
1.10 典型的测井显示格式	(29)
1.11 测井仪器响应	(29)
1.12 应该进行那些测井	(29)
2 定量方法引论	(33)
2.1 定量分析的真正意义是什么	(33)
2.2 实行质量控制的第一步	(33)
2.3 直观解释	(34)
2.4 测井分析作为一个系统	(35)
2.5 分析的模型	(35)
2.6 靠近井眼的环境	(36)
2.7 围绕井眼电阻率的分布	(37)
2.8 地层岩石模型	(37)
2.9 测井响应方程	(39)
2.10 采集测井数值的一般规则	(40)
2.11 分类实例	(43)
2.12 测井解释参数的选择	(55)
2.13 数学算法的编制	(59)
2.14 安排算法到分析程序中	(60)
2.15 缩略语的使用	(60)
2.16 数学算符	(60)
2.17 数学等级	(61)
2.18 数学函数	(61)
2.19 数学符号的注释	(63)
2.20 关系算子的使用	(63)

2.21	单位换算	(63)
2.22	结论	(67)
3	测井数据的编辑与修正	(77)
3.1	什么是编辑	(77)
3.2	为什么需要编辑	(77)
3.3	刻度	(78)
3.4	刻度值漂移	(85)
3.5	深度漂移	(85)
3.6	跳跃、噪声和尖峰信号	(87)
3.7	不规则的、大的和盐水井眼的影响	(88)
3.8	岩石的改变	(88)
3.9	校正油气层的测井值	(94)
3.10	定量分析的成形测井曲线	(95)
3.11	对地震模拟的编辑	(98)
3.12	地震编辑校验炮数据的利用	(100)
3.13	真垂直深度的编辑	(101)
3.14	结论	(103)
4	计算岩石的泥质含量	(104)
4.1	泥岩基线	(104)
4.2	以泥质含量为单位标度自然电位和自然伽马测井曲线	(108)
4.3	以泥质含量为单位标度密度和中子测井曲线间的幅度差	(108)
4.4	自然伽马曲线的井眼校正	(108)
4.5	由自然伽马测井法求泥质体积	(111)
4.6	由自然伽马能谱测井法求泥质体积	(113)
4.7	由自然电位测井法求泥质含量	(114)
4.8	从中子—密度交会图求泥质体积	(114)
4.9	求泥质体积方法一览(附工作实例)	(115)
4.10	在骨架偏移的情况下从密度—中子测井得到的泥质含量	(116)
4.11	由声波—密度交会图求泥质含量	(119)
4.12	选择最小的泥质体积	(121)
4.13	泥质含量的物质平衡	(121)
4.14	自然伽马法与自然电位法的非线性关系	(121)
4.15	泥质体积方法的选择	(123)
4.16	求泥质体积的常规	(125)
4.17	其它求泥质体积的方法	(125)
4.18	结论	(125)
5	计算岩石的孔隙度	(128)
5.1	孔隙度的定义	(128)
5.2	孔隙度重叠/孔隙度回放测井	(129)
5.3	用孔隙度单位刻度测井曲线	(129)

5.4	由声速测井求孔隙度	(133)
5.5	由密度测井求孔隙度	(139)
5.6	由带有骨架偏移的密度测井求孔隙度	(140)
5.7	从老式中子测井曲线求孔隙度	(144)
5.8	中子测井曲线的骨架偏移	(145)
5.9	从中子测井求孔隙度	(147)
5.10	单一测井孔隙度方法概要	(147)
5.11	密度—中子交会图计算的快速方法	(149)
5.12	具有骨架偏移的泥质砂岩交会图孔隙度(密度—中子)	(153)
5.13	复杂岩性交会图(密度—中子)	(156)
5.14	体积水交会图(密度—中子)	(160)
5.15	声速—中子交会图	(160)
5.16	声速—密度交会图	(162)
5.17	交会图法的总结	(166)
5.18	气体校正方法	(169)
5.19	从微测井得到孔隙度	(170)
5.20	从浅电阻率测井曲线得到孔隙度	(175)
5.21	从深或中等电阻率测井曲线得到孔隙度	(175)
5.22	从电阻率方法得到孔隙度法的总结	(177)
5.23	非孔隙岩性的触发水平	(178)
5.24	孔隙度(最大孔隙度)的物质平衡	(180)
5.25	孔隙度方法的选择	(180)
5.26	有效孔隙度程序	(181)
5.27	结论	(181)
6	计算岩石的油气含量	(183)
6.1	电阻率和孔隙度曲线直观重叠法	(183)
6.2	密度—中子交互	(183)
6.3	其它的油气指示	(186)
6.4	计算电阻率测井的环境校正	(186)
6.5	计算侵入直径	(194)
6.6	地层水电阻率	(195)
6.7	从孔隙度—含水饱和度产生的含水饱和度	(202)
6.8	从阿尔奇方法求含水饱和度	(204)
6.9	根据 Simandoux 方法求含水饱和度	(207)
6.10	根据 Waxman - Smits(CEC)方法求含水饱和度	(208)
6.11	根据容积水方法求含水饱和度	(211)
6.12	根据比值法求含水饱和度	(213)
6.13	视水电阻率(R_{wa})方法	(213)
6.14	根据脉冲中子测井求含水饱和度	(216)
6.15	含水饱和度的物质平衡及平滑	(222)

6.16	从各种资料来源得到 R_w 的选择	(223)
6.17	A 、 M 和 N 的选择	(223)
6.18	根据电阻率测井曲线求侵入带含水饱和度	(226)
6.19	根据电磁波测井数据求侵入带含水饱和度	(226)
6.20	可动烃饱和度	(228)
6.21	流体体积计算	(228)
6.22	油气密度	(230)
6.23	迭代和误差最小解	(231)
6.24	含水饱和度方法的选择	(235)
6.25	求含水饱和度的程序	(235)
6.26	结论	(238)
7	计算岩石的岩性组成	(243)
7.1	岩性识别的直观方法	(243)
7.2	计算岩石骨架密度	(257)
7.3	计算岩石骨架声波传播时间	(261)
7.4	次生孔隙度	(263)
7.5	通过 M_{lith} — N_{lith} 方法计算岩性	(264)
7.6	通过 A_{lith} — K_{lith} 方法计算岩性	(269)
7.7	声波和密度测井弹性常数	(271)
7.8	通过岩性密度测井读数计算岩性	(272)
7.9	联立方程式求岩性	(275)
7.10	图用岩性编码	(286)
7.11	岩性识别惯例	(286)
7.12	结论	(286)
8	计算渗透率、生产能力、油藏体积和现金流量	(287)
8.1	渗透率的定义	(287)
8.2	测井渗透率的目标指示	(290)
8.3	束缚水饱和度的选择	(291)
8.4	根据 WYLAE—ROSE 方法求渗透率	(293)
8.5	根据地层因数求渗透率	(293)
8.6	根据孔隙度求渗透率	(294)
8.7	用 Dumanoir 和 Coates 方法求渗透率	(296)
8.8	渗透率范例	(296)
8.9	相对渗透率和含水率	(297)
8.10	计算产层有效厚度	(302)
8.11	计算累积与和平均的油藏特性	(304)
8.12	计算油和气的储量	(306)
8.13	高粘重质原油储量分析(重量)	(309)
8.14	天然气水合物储量	(310)
8.15	生产指数	(311)

8.16	计算递减率和井的经济寿命	(311)
8.17	计算生产剖面和井的现金流量	(312)
8.18	渗透率和生产能力程序	(314)
8.19	结论	(314)
9	交会图的构成和使用	(315)
9.1	交会图的类型	(315)
9.2	普通的交会图	(329)
9.3	实例和交会图用途	(335)
9.4	交会图的统计分析	(345)
9.5	岩性—密度交会图	(346)
9.6	孔隙度—电阻率交会图	(347)
9.7	电阻率—孔隙度交会图	(352)
9.8	累积图	(354)
9.9	结论	(354)
10	定量分析的实例	(355)
10.1	实例的分析顺序	(355)
10.2	结论	(355)
11	测井资料数据处理与评价	(404)
11.1	测井资料卫星传输系统	(404)
11.2	测井资料数字处理过程	(416)
11.3	测井资料数据处理设备及作用	(422)
11.4	常用测井资料数字处理程序	(430)
11.5	单井测井资料的数据处理	(446)
11.6	多井测井资料的数据处理	(461)
11.7	ZYOLDB 测井数据库系统	(465)
11.8	测井解释工作站	(473)
11.9	结论	(476)
12	测井解释新技术	(478)
12.1	地层倾角测井解释技术	(479)
12.2	微电扫描测井解释技术	(512)
12.3	地球化学测井解释技术	(529)
12.4	评价固井质量的测井解释技术	(543)
12.5	油、气、水测试资料解释技术	(558)
12.6	低电阻率油气层的解释技术	(589)
12.7	致密含气砂岩的测井解释技术	(605)
12.8	复杂岩性测井解释技术	(616)
12.9	薄层测井解释技术	(639)
12.10	油藏描述技术	(653)
12.11	结论	(667)
13	生产测井解释	(669)

13.1	生产测井的概念	(669)
13.2	水淹层测井资料解释	(670)
13.3	确定残余油饱和度的分法	(677)
13.4	流体特性与参数换算	(694)
13.5	单相流体流动分析	(704)
13.6	两相流体流动分析	(712)
13.7	三相流动分析	(720)
13.8	水泥胶结测井评价	(725)
13.9	确定油流入井动态的方法	(728)
13.10	套管技术状况监测分析	(729)
13.11	井温测井解释	(737)
13.12	确定套管外窜槽的方法	(738)
13.13	结论	(743)
附录 1	计算岩石参数	(744)
附录 2	岩石和流体的物理性质表	(776)
	专业术语缩略语	(815)

测井资料分析方法回顾

在过去的 50 年中,由于那些过时的但仍被视为传统的定义、缩略语、符号和方法,仍然在测井行业中起主导作用。使刚进入测井界的人都感到吃惊。事实上,分析方法是随着测井设备和计算方法的不断改进而发展的。有些方法在一定时期内都已近于被废弃,直至又出现了合适的新设备。

测井是一门比较年轻的科学,最早的利用现场资料进行处理出现于一百多年前。1869 年,与 Drake 在美国首次发现油气同时, Lorel Kelvin 在英国通过测量地温随深度的变化,对浅井中的热流进行了了解释。

后来, Conrad Schlumberger 对地下岩石的电阻进行了地面测量,并和他的兄弟 Marcel 一起,对井眼进行了大量相似的测量。1927 年, Schlumberger 兄弟说服了 Pechelbronn 石油公司,在法国 Alsace 进行钻采时,试用他们的电测方法来识别岩层。在美国,第一次电测工作是在 1929 年 8 月 17 日,是由壳牌石油公司在加利福利尼亚的 Kern 县进行的。测井技术开始遍布全世界。

早期(1929 ~ 1949 年)

公认的第一份测井解释论文发表于 1934 年,是由 Schlumberger 兄弟和 E. G. Leonard 共同完成的。这篇论文是关于电阻率测井的,那时的测井分析包括测井曲线形状判别,这种方法现在仍然很普遍,用来进行定性解释,测井曲线是由数据记录随井深度变化而形成的,依靠曲线形状,再结合岩石样品和岩心描述数据,就可以得出孔隙度、渗透率较好的产油层与非产层的划分界限。

当初,对于测井曲线形状的成功解释是很偶然的。事实上,第一次所测井中的地层水之所以能够导电,是因为水中含有溶解盐。20 年代初,在西得克萨斯进行测井作业时,淡水

砂岩给解释工作带来了混乱,也使得测井技术的广泛使用受到了限制。

Schlumberger 发表论文 9 年后, G. E. Archie 在地层因素影响的背景下,发展了经验数据,得出了孔隙度、电阻率测井数据和岩石含水饱和度的关系式。这次测井分析的革命,把以前的定性分析发展到了定量水平。诚然,实际进行测量时,井眼影响和不可确定的对孔隙度产生影响的地层因素,妨碍了结果的准确性。

1952 年, W. O. Winsauer 和其他人员一起对 Archie 公式作了轻微的修改,这个修改公式现在已经过时了,但它同 Archie 公式一样闻名世界。

1949 年, Schlumberger 公司的 M. P. Tixier 发表了我们称为“落基山方法”,亦即电阻率系数方法的详细资料,它依据是 Archie 含水饱和度公式,但省略了孔隙度数据,取而代之的是深浅电阻率数据的比值。

这一时期,对侵入带剖面及其导致的水化学反应进行了广泛研究。

从 1929 年最早出现自然电位测井起,它的曲线波形就得到了解释,后来,自然电位测井的电极电压发展到了不仅能穿透页岩,而且也能穿透砂岩,通过 SP 曲线的波形,可以很容易地区分出砂岩和页岩。

中期(1949 ~ 1968 年)

各种测井方法都已确定,除了井径和自然伽马测井,其它方法都需要在井眼中注入专门的传导液。为了克服这个弱点,1949 年诞生了感应测井,它可以在空气或油基泥浆中进行测量,测井仪通过电磁线圈来感应地层中的电流,从而读取岩石电阻率。在此之前,测井仪都是通过电极把电流直接穿入地层。在后来的 10 年里,感应测井在使用淡水泥浆钻探的

井中得到广泛应用。

同较早的电阻率测井相比,由于受井眼的影响不大,含水饱和度的解释变得更可靠了。从某种程度上讲,岩层界面的影响是可以预知的,并能得到补偿。

感应测井在它诞生后的 35 年中,得到了非常大的发展,成为当今应用广泛的测井技术。

1948~1949 年间,出现了侧向测井,这是一种微电阻率测井,应用于咸水泥浆测井中,电阻率测井水平的提高,使我们通过应用 Archie 公式,可以得到更准确的含水饱和度和孔隙度。

微侧向测井,出现于 1952 年并替代了微电阻率测井,用于盐水泥浆测井,曲线波形的解释相当困难,不过,出色的 Archie 方法对测井数据做出了很好的解释。其它近似的方法,如邻近侧向测井和微球形聚焦测井,都是由微侧向测井变化而来的,它们是用于在井眼变化的条件下,提高浅电阻率的探测精度。

中子测井最早出现于 1938 年,但直到 1946 年中子辐射源变得较为可靠,这种方法才得以推广。中子源辐射出的中子,可以被氢原子吸收,而占据岩石孔隙的水和油中,含有大量氢原子,所以通过测量未被吸收而返回探测器的中子数,就可定性地解释岩石孔隙度。这是第一种不依靠 Archie 方法和电阻率测井数据,独立进行测量的方法。每种方法,无论过去还是现在,都会有它的缺陷,但现代中子测井已成为非常有用的定量解释手段,也就是说,探测器的发展提高了测量的分辨率和精确度,现代中子测井技术已可以自动补偿井眼影响和一些环境因素。

微侧向测井,出现于 1952 年并替代了微电阻率测井,用于盐水泥浆测井,曲线波形的解释相当困难,不过,出色的 Archie 方法对测井数据做出了很好的解释。其它近似的方法,如邻近侧向测井和微球形聚焦测井,都是由微侧向测井变化而来的,它们是用于在井眼变化的条件下,提高浅电阻率的探测精度。

中子测井最早出现于 1938 年,但直到 1946 年中子辐射源变得较为可靠,这种方法才得以推广。中子源辐射出的中子,可以被氢原子吸收,而占据岩石孔隙的水和油中,含有大量氢原子,所以通过测量未被吸收而返回探测器的中子数,就可定性地解释岩石孔隙度。这是第一种不依靠 Archie 方法和电阻率测井数据,独立进行测量的方法。每种方法,无论过去还是现在,都会有它的缺陷,但现代中子测井已成为非常有用的定量解释手段,也就是说,探测器的发展提高了测量的分辨率和精确度,现代中子测井技术已可以自动补偿井眼影响和一些环境因素。

地层测试器首次出现在 1957 年,它可以测量地层压力并可以取回流体样品,通常样品取于侵入带中。改进的数字记录设备提高了判断储集层流体含量和储层连续性的水平。由地层测试器制造成的测井仪进行测量时,用压力—时间曲线替代了以前的压力—深度曲线。测试器在不同深度进行测试,可以提高一条地层压力随深度变化的曲线,它可以用来进行压力梯度分析。

有两个接收器的声波测井也出现于 1957 年,实验工作证明,通过校正声波在流体和基质中的传播时间,就可以计算出孔隙度。这样,又一种能够独立确定孔隙度的方法诞生了。

1956 年, M. J. Wyllie 提出了在声波测井中运用平均方程计算孔隙度的方法。直到今天,这种方法仍普遍使用。在 1940 到 1965 年间,对声波速度(传播时间)和岩石孔隙度的关系进行了彻底的研究实验。许多研究成果对解决地震解释工作都有帮助。Wyllie 公式在测井解释工作中,成功地应用了 30 年,但无论在理论上,还是实验中,它都是一个错误的物理概念,尤其是对诸如天然气之类的高压流体。

声波—电阻率交会图在声波测井问世不久就出现了,这样,对于孔隙度和含水饱和度的描述就变得很直观。只需几份报告,而不像

以前需要附图,计算图表和计算尺(当时计算机还未发明)。这是一项乏味的工作,60年代制作了成千上万张这样的交会图,一些稍加发展的分析方法现在仍应用这些图。

一些快速直观地分辨油气层和含水层的方法也随着声波测井的出现而出现了,其中之一是 R_{sp} 方法,它至今仍很流行。该方法原理是应用 Archie 含水饱和度公式和声波测井孔隙度值进行计算,含水饱和度达 100% 的含水层往往会在电阻率曲线上有明显显示,如果电阻率曲线含水段出现高于其附近点变化趋势的异常高值,那么油气层就可能存在于异常层中,有关页岩的校正工作尚未进行过,所以对页岩进行分析时,总是不太理想。

另一种快速直观的技术是重叠方法,最简便的处理方法是用电阻率测井曲线和声波测井曲线,由各自水层明显的两条曲线开始,向下重叠,这时,电阻率曲线落于声波曲线右侧的岩层,就可能是产油层或者非储集层。

兼容比例尺的出现发展了重叠方法,它避免了由于比例尺不统一而造成的错误。通过把电阻率曲线和声波曲线变形为视孔隙度和视地层电阻因数,就可以生成兼容比例尺。这些工作可以在井场应用电子设备,通过适当的函数模型来完成,或者回到办公室运用计算机来完成。

当 1962 年双感应测井出现时,用对数坐标来描述电阻率数据的方法也发明出来了,它使得快速直观的重叠技术在井场得了广泛的应用。

很多现代测井技术,都是用来对岩石孔隙度做出直观解释,并能借助诸如兼容比例尺重叠等技术确定油气层,中子—密度组合测井就有广泛的代表性,最新型的数控测井车,曾一度陷于区分兼容比例尺测井和强调可能油气的困惑中。

近期(1969~1979年)

60年代,在砂泥岩含水饱和度解释方面做了许多工作。Archie 公式并没有明确表示,如何解决这个问题。许多计算方法提了出

来,但大部分理论,包括 Simandoux 理论都缺乏严密性。因此他们都没有提出一个令人满意的物理模型。Waxman—Smits 理论,在理论上是接受的。但公式中需要的许多数据(如岩石阳离子交换能力)都不能直接由测井原始资料中获得。

另一种砂泥岩解释方法是自 1968~1971 年由不同作者提出的双水模型。它将地层水分成两个部分:束缚水和孔隙水。该方法无论在室内或野外都被许多公司采用。但在好的含水饱和度和基本含水饱和度公式间的争论日渐明显。

在过去的 60 年中,对含水饱和度的计算和孔隙度的计算的研究已进行了很多。随着许多新的数据来源和测井问题,新的方法的提出,替代了一整套联立方程。利用各种选择的解,使一个或几个计算成果变化降到最低程度。

最初的目的是要校正页岩、轻烃及重矿物的影响,同时能得到孔隙度和岩性。成功的解释很大程度取决于测井数据的质量,以及计算模型与实际的地质模型符合程度。在此方面正在做大量的工作,并且每年都会有一些新的进展。

这些方法需要高能计算机,数字记录(1965 年首次获得)以及巨大的耐心,因为这些成果并不会很快地显示出来,甚至对于一小组相关的井的分析需要数周或一个月才能得到资料。

在 1971 年出现了许多适用于碳酸盐岩地层的并对砂泥岩地层同样有效的程序。这些程序中自动进行含烃校正及矿物鉴定。其中最著名的是 Schlumberger 的 Saraband 和 Coriband 及 Dresser—Atlas 的 Epilog 产品。所有这些程序都是反复精细地利用交会图或联立方程进行计算。

今天,这些理论方法都已被编制在低价的手提计算器中。如果需要数据量很大。就可具有输入,输出设备齐全的计算机平台来处理。

由 D. W. Curwon 于 1977 年研究的被称为 Log/Mate 的无需联接到大型计算机上的小型便携式计算机,已于今天应用到了更广的范围。

在 1965 年,第一次出现了用多个终端对大型机或小型机进行分时的操作系统,并且一直被许多公司使用至今。

测井分析方法随原油成分的复杂程度而变化的。它的分析成果质量与分析家的知识和经验很有关系。输入数据的质量通常是一个关键的问题。很明显,经验丰富的分析者可以得到一个令人满意的结果,更多的复杂的分析程序也是这样,如果你的经验不丰富,就很难控制和使用它们,除非你是一个经验丰富者。

将测井解释工作由室内转到野外,以便加快速度,这需要强有力的技术。当然所有的解释工作也必须在现场通过一系列的方法。最后由计算机来完成。在 1963 年,由可动油绘图来计算孔隙度和含水饱和度已进行了尝试。

虽然 1965 年已开始有数字记录,但直到 1972 年才开始有数字处理,从那时起各大公司都完全替代了过去的手工对比解释,采用计算机解释。最著名的例子是 Schlumberger 的 Cyberlook 和 Dresser 的 Prolog。

这些年来,测井数字解释为测井界开辟了一个新里程碑,它使仪器设计者,解释工作者,拥有了比以往质量更高的原始数据。测井的计算机解释也随之发展起来,但要真正达到完成计算机解释,仍需要很多年的努力。

现代(1979~1994 年)

从 1979 年至今的 15 年中,测井技术有了突飞猛进的发展。现代测井技术广泛地应用当代基础科学发展的新技术和新成果,已在油气的勘探和开发中日益发挥重要的作用。

(1) 研制与应用各种新型的下井仪器,测井手段日趋完善。

除了现用的常规测井方法以外,这个阶段广泛地研制与应用各种新型的下井仪器,如地层倾角测井仪、电磁波测井仪、长源距声波测

井仪、重复式地层测试仪等;井下声波电视测井仪、水泥评价测井仪、直接横波测井仪、环形声波测井仪等也有了新的发展。核测井的研究和应用也取得了令人瞩目的进展,出现了自然伽马能谱、补偿密度、岩性密度、超热中子、双源距补偿中子、碳氧比能谱测井等新型测井仪器,尤其是自然伽马能谱测井、岩性密度测井,以及伽马能谱测井等核测井方法,可以直接指示岩性、岩石的化学成分,以及油气的存在,这一点使得它深受人们的重视。这些仪器设计先进,分辨率高,解决复杂地质问题的能力大大增强了。

(2) 跨世纪的测井技术——成像测井技术的出现,测井技术有了一次划时代的飞跃。

① 井下成像技术,具有新产生的大容量数据,和图像处理与解释。这种技术日益依赖于阵列测量,即由单个井下仪器测量相同参数的空间分布,这种测量对地层的非均质成分响应。所设计的成像测井仪。考虑了复杂、非均质地层的特点,用它勘探复杂、非均质地层的石油与天然气,具有较强的适应能力,因此,为替代数控测井仪的跨世纪的找油找气新技术。

② 井下成像测井技术,包括电(如阵列感应成像测井仪[AIT]、地层微扫描成像测井仪[FMS]、全井眼地层微成像仪[FMI])、声(井眼声波电视成像测井仪[BHTV]、环形声波测井仪[CAST、CBIL]、偶极子声源横波成像测井仪[DSI]、阵列声波成像测井仪[DAC、DAT 等]、分段式水泥胶结测井仪[SBT]、组合式地震成像测井仪[CSI]、阵列地震成像仪[ASI]、超声波成像仪[USI])、核(核孔隙度—岩性成像仪[NPL]、过油管双探头碳氧比能谱成像测井仪[RST]、地球化学测井仪[GLT]等)、力(组件式地层动态测试器[MDT])、光成像测井仪等多种门类的井下成像测井仪器。以上每一种仪器所测大量的数据都由自己的智能系统进行测量、刻度、传输和控制。测井成果的质量和精度,远远高于现用的测井仪器所能达到的质量和精度。

③ 现代电子技术和微型计算机的快速发

展,提高了数据采集、传输和处理的能力,有助于井下成像技术的发展。现在已经出现了以 MAXIS 500 为代表的多功能数据采集和成像系统。这个成像系统包括新型的井下成像仪器、高数据传输率(达到 500Kb/s),地面系统和一个交互成像工作站,这个系统的显著特点,就是将先进的成像技术应用于测井。这是斯仑贝谢 90 年代更新换代的产品。西方阿特拉斯也研制了 ECLIPS—2000(即 5700)高级数控测井解释及处理系统,哈里伯顿采用了 VME 结构——可逆模块欧卡结构的 DDL—V 电缆服务系统。

④由于大容量的数据采集、传输、显示和处理;由于新型仪器,尤其是成像技术的应用,使得利用测井技术在油气勘探和开发中的作用大大地增强。不仅定性解释发展到定量解释;而且从宏观到微观,揭示储集层性质内部和深部的奥秘。应用成像技术可以弄清储集层特点,表明储集层动态,对复杂储集层的构成、形态及延伸情况更进一步的了解,用户可以利用这些资料,设计出更经济、更有效的油田勘探、开发和生产方案,以最少的费用,最大限度地发现油气。

(3)计算机技术广泛地应用于数据的采集和处理,提高了测井资料的精度,采集到大量的数据,能够用以建立地质模型和数学模型,正确地进行地层评价。

4)测井资料与地质资料、地球物理资料、岩石物理学资料、测试资料正加强综合研究,诸学科的综合利用,互相渗透,改变了单项资料解决问题能力不够的被动局面。

随着测井新仪器的研制,测井资料数字处理水平的提高,各学科综合利用的加强,预计测井技术将会在勘探与开发中发挥越来越重要的作用。

(5)我国测井界通过引进、消化、吸收国外测井新技术,大力促进测井技术的进步。研制了一大批新型的测井地面系统和下井仪器,并且已经应用地层倾角技术、地层微扫描测井技术、自然伽马能谱测井技术和油藏描述技术来

解决构造、裂缝、沉积相、储集层预测、储集层参数研究、油藏综合地质评价与描述等方面的问题,取得了令人瞩目的进展。

测井的艺术

在过去的几年中,许多旧的方法被新的方法所代替,许多计算机数据处理也有了重要发展。这些新的技术很快被现场工作人员所使用。

岩石密度曲线通过减少统计误差从而改进了密度测量中的密度曲线。这条新的曲线是由光电接收器在不同地层中得到的,它的值与岩石岩性及孔隙度、孔隙流体有关,它用于确定岩性。

自然伽马是一种很早使用的方法,并且在岩性问题上被广泛使用的曲线,它可以有效反应出白云岩放射性、花岗石的地层及泥质含量。它还能得到地层中的铀、钍、钾、三条曲线。自然伽马、钾、钍、铀、 Pe ,及三孔隙测井(声波、密度、中子)。这 8 条曲线,可用于确定岩石岩性。

三条常用的电阻率曲线,井径曲线及电磁波数据加上前面的 8 条曲线共 12 条或更多,可用来确定地层的含水饱和度,很明显,解释工作需要地质知识及计算机能力。在过去的几年中,大多数的程序都是针对一些组合测井及岩石模型来设计的。比如, Dresser 列出了 8 个不同的裸眼井和 5 个套管井的程序。

当一个观察者在一年中多次测量,井的数据发生了变化。

Schlumberger 的 Facilog 是一个新的方法,它尝试着最小限度内减少重新调用数据。它通过刻度岩样或岩心得到一个电性曲线,通过此曲线,可进行井间对比,获得井的环境的资料。这个电性曲线通常用于地震时间刻度,以便确定与地震数据间的关系,及一口井中的地震剖面。它对于地质家绘制地质图是很有用的。

单井分析研究用于描述油田,盆地、地震模型等等,并且相同的一些题目通常是与测井分析有关的。当测井数据被正确地用到测井

分析中的时候,这种研究变得十分成功和通用。

Schlumberger 另一个的突破,是建立一个可由用户改变岩石模型,响应方程的可见的解释程序。以替代过去的硬编码程序。这种方法,我们称之为 Global 程序,它具有叠加性,例如:它可以在原始数据与解释模型间加上一个复杂的环境校正。这种不确定的是由程序决定的。这种方法独立于测井解释模型。

另一个领域的发展是倾角解释。很多经验丰富的计算机工作人员,提供了关于地层学和渗透方向的相关数据,这是一个组合 Faciolog 的特例。

核磁测井是用于预测渗透率,流体粘度,束缚水饱和度很有效的方法。

如果正确运用测井工具及测井解释过程,可明显提高油气产量,为了减少原油进口,在美国、加拿大,都必须仔细评价每一口井。如果粗略评价,可以不考虑成本消耗。但取而代之的是潜在资源的损失。

测井解释的艺术性在于它既有优点又有缺点,大量数据如果不去分析,其结果比没有数据更糟,特别注意作好数据处理及全面准确的数据方法,会避免大量数据的堆积。

展望未来

将来,是一个人工智能的高科技世界,专家系统从经验丰富的分析者那里学到经验和知识,并用这些来指导初学者。随着专家系统的不断完善,专家系统的分析能力会超过一部分分析者。因此各个大的油公司、服务公司及咨询公司都会用这样的系统去发现油田,并进行测井分析。

一个成功的分析家,总希望对某一区域的未来有一个展望。然而,许多分析家和管理者并不知他们的结论是对还是错。而人工智能有很好的记忆系统,它会公平正确地提出或回答每一个问题。我们可以利用它来帮助我们研究分析过去的成功与失败。纠正错误的思想,最终得到一个满意的结果。

将来的目标是找到一个适用于各种环境,自动的、万能的解释分析程序。

总 结

由计算机程序利用多条测井曲线,评估未知的信息就称为测井的艺术。好的分析者需要很多关于数据输入、评价及编程的技术。为了减少对于用户经验的依赖,许多公司开始研制用人工智能(专家系统)来指导那些经验少的人来完成测井分析评估。