

石油地质勘探技术培训教材

测井地层分析与油气评价

上册

曾文冲 欧阳健 何登春 编著

王曰才 审校

石油工业部勘探培训中心

前 言

为了提高广大石油地质技术干部的业务水平,石油工业部地质勘探司组织了“教材编写组”,负责编写出版《石油地质勘探技术培训教材》。

随着科学技术的发展,在石油地质勘探技术领域内,存在着补充和更新有关科学知识的问题。本教材就是针对上述问题而编写的。它可作为现场地质技术干部的培训课本,对于从事石油地质勘探的教学、科研人员,也具有一定的参考价值。

本教材共六册。第一册包括油区岩相古地理、构造地质及石油地质学进展;第二册为地震勘探原理及资料解释;第三册为测井方法原理及测井地层分析与油气评价,第四册为试油工艺技术;第五册为石油地质实验新技术;第六册为油层评价技术。教材内容的选择,力求展示新理论、新方法及新工艺,并从基本原理和基本方法入手,照顾学科的系统性,着重于阐述该学科研究发展的近况和前景,以提供读者用新的概念和手段开展油气勘探工作。与其他教材相比,本教材更侧重于现场的地质应用,希望能解决工作中遇到的理论和方法问题。

这套教材曾在石油工业部地质勘探司举办的石油地质勘探进修班试用过,并在广泛征求了各方面意见的基础上,进行了认真的修改和补充。

教材编写组的成员有:郝石生(主编)、胡朝元、李德生、吴崇筠、张恺、张万选、冯石、张一伟、赵激林、陆基孟、钟国森、尚作源、曹文冲、朱恩灵、尚慧云、郭舜玲、及陈丽华等。教材编写组的编辑有:袁幼庸、俞天佑、王雪吾、饶钦祖、王汉生同志。吕志强同志清绘了部份插图。李平山同志在组织编辑出版教材方面做了许多工作。

陆邦干、王曰才、王鸿勋等同志对有关教材进行了审校。北京石油勘探开发科学研究院情报室、绘图室协助了教材的誊写及绘图工作。

海洋石油勘探局、华北石油管理局对教材的印刷出版给予了大力支持。华东石油学院、北京石油勘探开发科学研究院、新疆石油管理局、大港油田指挥部、胜利油田会战指挥部、地球物理勘探局、管道局设计院对教材的编写和出版也给予了大力协助,谨致深切的谢意。

由于教材编写组成员分散各地,且都以业余撰写为主;加以时间仓促,水平有限,不足和谬误之处难免,恳请读者批评指正。

书中作者姓名,按编写顺序排列。

石油工业部地质勘探司 1981年8月

序

经过三十年的发展，我国测井工作出现了崭新的面貌，所取得的成就是大家有目共睹的。随着测井系列的不断发展和计算机技术的应用，我国测井技术在油田勘探和开发的全过程中，解决地质与工程问题的能力进入了一个全面提高的阶段。因此在这种情况下，我们对于《测井地层分析与油气评价》的出版，表示理所当然的欢迎。因为，这本书比较紧密结合油田的实际，针对我国的地质特点，系统阐述运用地球物理测井资料进行定量地质分析的有关理论和解释方法；而且从测井解释角度出发，在颇大程度上反映了我国测井技术近年来的发展水平，并介绍了进一步扩大测井资料地质应用的趋势。

这本书的特点还在于它的实用价值。通过对各油田新测井方法的应用和定量解释经验的总结，将有助于促进油田之间测井解释技术交流和实际解释水平的提高。既然，我们能够在测井系列还不配套，数字处理技术还未广泛应用之前，就能在解释理论和定量分析方法研究方面取得进展。那末有理由相信，随着测井技术的不断发展，我们将会获得更加丰硕的成果。

为了我国测井技术的全面提高，我们衷心希望有更多的论著撰写和出版。

王曰才 1982, 3.

作者的话

去年,我们应约为石油工业部勘探培训中心编写了“测井解释讲义”。根据这一素材,经过充实和改写,现以《测井地层分析与油气评价》出版。目的是试图提供一部针对我国地质特点,反映当前发展水平,比较系统阐述测井解释技术的参考书籍。然而,由于受时间和作者水平的限制,事实上并没有达到上述愿望。

近年来,随着我国测井技术的不断发展,特别是应用了新型的测井方法和电子计算机数字处理技术,不仅提高了测井评价地层的能力,而且丰富和发展了解释理论和分析方法,从而把我国测井的解释水平由定性推向定量阶段。为了反映这一发展过程,进一步扩大测井的地质应用,我们结合岩石矿物学、沉积学和数学等基础学科,翻阅了近年来国内外论述测井解释技术的论文和著作,参考了西方测井公司的有关解释手册和技术资料,力图做到:以我国实践为依据,博采众说,反映各种新型测井方法的应用情况,总结我国定量解释方法,同时也尽量反映国外的水平与新发展。但是,由于作者受现场工作和本身业务水平的限制,而且编写的有效时间毕竟太短。因此,书中所应用的实际资料偏重于我国的东部,阐述的观点与分析方法也可能存在错误,尤其是文字欠缺推敲,我们恳切希望专家和读者批评指正。

本书第一章第二节(2)、第三节(2)、第四、五、七节,第二章,第六章,第七章第一节,第八章,第十一章由曾文冲同志编写;第一章第一、二、三、六、七节,第三章,第四章,第五章,第七章第二节,第十章由欧阳健同志编写;第九章由何登春同志编写;全书由华东石油学院王曰才同志审订。

此外,罗大山同志参加了第十一章第四节的编写工作。胜利油田朱孔彰以及测井总站的许多同志,北京石油勘探开发科学研究院谭廷栋、廖明书等同志,华东石油学院雍世和老师,中国科学院肖义越同志,四川石油管理局吴继余同志等,都提供了宝贵资料与帮助。在编写过程中,刘振宇、许辛根、金秀珍、田洪、曹淑美等同志也都帮助做了许多具体工作。对他们们的热情支持,我们表示衷心感谢。

作者 1981年9月

目 录

上 册

前言	I
序	1
作者的话	II
第一章 测井解释基础与测井方法	1
第一节 利用岩石电阻率的测井及其解释	1
一、电阻率测井	2
二、感应测井	7
三、冲洗带电阻率测井	8
第二节 地层孔隙度的测井研究	12
一、密度测井	13
二、岩性—密度测井 (LDT)	15
三、中子测井	17
四、声波时差测井	18
第三节 泥质和粘土的测定与解释	21
一、自然伽玛测井	21
二、自然伽玛能谱测井 (NGS)	22
三、自然电位测井	24
四、其它测井方法	24
第四节 含水饱和度的确定	25
一、地层因素与孔隙度	25
二、地层水电阻率	28
三、含水饱和度	31
第五节 渗透率的测井研究	34
一、基本概念	34
二、渗透率与孔隙度	35
三、渗透率的计算方法	35
第六节 泥浆侵入与测井的探测深度	38
一、泥浆侵入	38
二、关于各种测井的探测深度	39
第七节 各种矿物 (岩石) 的物理数值表	41

第二章 测井系列的选择	45
第一节 基本系列之一——电阻率测井系列	45
一、浅、中、深探测系统	45
二、电阻率测井系列的显示特点	47
三、感应测井与侧向测井的响应方式	47
第二节 基本系列之二——岩性、孔隙度测井系列	49
一、孔隙度测井系统	49
二、岩性测井	50
第三节 选择测井系列的基本原则	51
一、最佳测井系列的确定	51
二、充分考虑地质剖面特点	52
三、盐水泥浆条件下测井系列的选择	53
四、测井系列的相对稳定性和灵活性	54
第四节 重视测井的环境影响, 提高录取资料的质量	54
一、井眼条件对测井的影响	55
二、减小和克服测井环境影响的途径	57
第三章 测井数字处理技术与预解释	61
第一节 测井数字处理技术的发展	61
一、测井数字装备的进展	61
二、数字处理方法与软件的进展	62
三、我国测井数字处理技术的发展	65
第二节 测井数字处理工作原理	66
一、80型电子计算机简介	67
二、数字测井仪和曲线数字化的工作原理	68
三、软件简介	72
四、数字处理工作流程	72
第三节 测井数字处理成果图介绍	73
一、砂岩、泥质砂岩地层成果图	73
二、碳酸盐岩地层成果图	74
三、特殊岩性地层成果图	75
四、其它种类的成果图	75
五、原始测井曲线出图格式	76
第四节 预解释	76
一、交会图技术	77
二、曲线编辑与检查	77
三、测井质量检查与环境校正	78
四、确定解释层段的岩性组合与选择计算参数	81
五、初步分析有利层段	88
第四章 砂岩、泥质砂岩地层数字处理方法	90

第一节 砂岩的测井响应方程	90
第二节 泥质砂岩的测井响应方程	95
一、泥质砂岩分析	95
二、泥质砂岩地层的测井响应方程	97
第三节 确定泥质含量的方法	101
一、自然伽玛法	101
二、中子测井指示法	102
三、电阻率指示法	102
四、自然电位指示法	103
五、中子、密度测井交会法	103
第四节 计算油气密度与油气校正	103
第五节 计算机处理	104
一、计算泥质体积的方法	105
二、计算孔隙度	105
三、计算含水饱和度	109
四、进行各种环境校正	109
五、计算渗透率	109
六、计算各种评价地层油气产能的参数	110
七、进行各种自动校正与选择	110
八、几口实例井	113
第六节 计算单井及油田的油气储量	114
一、单井控制的油气储量	114
二、计算单井储量	114
三、计算油田的原油地质储量	115
第五章 碳酸盐岩与复杂岩性地层数字处理方法	122
第一节 碳酸盐岩地层数字处理方法	122
一、双矿物法	122
二、三矿物法	127
三、含泥质地层的计算方法	128
四、碳酸盐岩的孔隙结构以及计算含水饱和度的方法	131
五、气层的处理方法	136
六、估算裂缝率	138
七、实例	142
第二节 复杂岩性地层的数字处理方法	143
一、含泥质的灰质砂岩、含重矿物砂岩	143
二、蒸发环境下沉积的化学岩	154
三、砾岩	157
四、火成岩	158
第六章 评价油气层概论	160
第一节 评价油气层的地质依据	160

一、含油性是评价油气层的重要前提	160
二、不含可动水是判别油气层的另一个重要条件	163
三、储集层的产液性质主要取决于油、气、水在地层孔隙内部相对的流动能力	165
四、评价油气层的基本途径	168
第二节 油气层的电性特征及定性分析	171
一、划分渗透层	171
二、油气层的一般特点	175
三、气层的探测系统	179
第三节 评价含油性的直观显示法	180
一、双孔隙度法	181
二、视地层水电阻率 (R_{wa})	182
三、正态分布法	185
四、电阻率—孔隙度交会图法	186
五、径向电阻率比值法	189
六、可动油显示	190
七、多元线性回归分析法	194
第四节 应用测井数字处理技术综合评价油气层	193
附录一	(1)
附录二	(4)
参考资料	i

第一章 测井解释基础与测井方法

地球物理测井已广泛应用于石油地质勘探和油田开发过程中，不仅可以划分井孔地层剖面，确定岩层厚度和埋藏深度，进行区域地层对比，而且可以探测和研究地层的主要矿物成分、裂缝、孔隙度、渗透率、油气饱和度、倾向、倾角、断层、构造特征和沉积环境与砂岩体的分布等参数，对于评价地层的储集能力，检测油气藏的开采情况，细致分析研究油层等具有重要的意义。随着电子计算机、数字处理和模拟技术的飞速发展，测井资料的解释与应用，将发挥出越来越大的作用。

油气储集在地层的孔隙空间中，为了反映储集层的特性，需要采用岩性测井，例如密度测井、岩性密度测井、中子测井、声波时差测井以及自然伽玛测井等，求解地层的矿物成分、孔隙体积等地质参数。鉴于地层的多种矿物成分和孔隙中的流体对不同的岩性测井影响不同，因此，一般采用两三种岩性测井方法的组合，往往比一种岩性测井方法计算的孔隙度、岩性成分更为准确，甚至可以用组合测井了解复杂岩性地层的孔隙结构。这对于计算地层的渗透率，进一步评价储集层的生产能力，是十分必要的。当然，目前估算渗透率的精度还较差，而应用电缆式地层测试器了解地层中流体性质与计算渗透率已成为测井的一项有效手段。

泥质、粘土的成分与含量的计算，不仅对于评价储集层与求准油气饱和度有重要意义，而且对于研究沉积环境、古地理，以及地层对比等都是一项重要的参数。

地层孔隙中油气相对体积，即油气饱和度参数是建立在准确计算孔隙度、地层电阻率、以及地层水电阻率的基础之上。可以用不同探测深度的电测井直接测量冲洗带（被泥浆滤液冲洗得较厉害的井壁周围的部分）的电阻率、侵入带（被泥浆滤液侵入较差的部分）的电阻率或电导率、以及未被泥浆滤液侵入的地层电阻率或电导率。

应用泥质含量、孔隙度（以及孔隙结构）、油气饱和度、渗透率等地质参数评价地层生产油气的可能程度与生产能力，是测井解释最终要解决的重要任务之一。

我国目前大多数生产油气的地层是砂岩与粉砂岩地层、含泥质砂岩地层、碳酸盐岩地层，此外还有含钙质、渗透率较低的致密砂岩地层，少数是蒸发盐层地层。至于火成岩、花岗岩裂缝、泥灰岩裂缝、泥岩裂缝、巨砾岩等为数很少的地层也可能产油。应用各种测井方法计算上述各种地层的地质参数和进行油气评价，则是我们要讨论的内容。但是，由于实践程度不同，它们各自解决的程度也不同。

第一节 利用岩石电阻率的测井及其解释

一种物质的电阻率 ρ ，是指该物质阻止电流通过的能力。电阻率的单位是欧姆·米²/米，一般写为欧姆·米。当电流从边长为1米的立方体岩石流过时，该立方体岩石的电

阻值（欧姆）即为这种地层的电阻率值（欧姆米）。

电导率 σ 是电阻率 ρ 的倒数， $\sigma = \frac{1}{\rho}$ 。它是指物质对电流传导的能力。电导率的单位是姆欧/米。测井中为了避免使用小数，故采用毫姆欧/米，即1姆欧/米=1000毫姆欧/米。若地层电阻率为100欧姆米，即相应电导率为10毫姆欧/米。若地层电阻率为0.5欧姆米，即相应电导率为2000毫姆欧/米。

常见的地层电阻率变化范围一般为0.2 - 4000欧姆米。渗透性地层的电阻率一般小于500欧姆米。当然，砂岩一般比碳酸盐岩的电阻率低得多。

大部分储集油气的岩石，当不含导电液体时，它是不导电的（如果岩石中含有金属矿或石墨矿等导电的物质，则是例外的情况）。而岩石的孔隙中充满了地层水，这是岩石导电的原因所在。岩石孔隙中的地层水之所以有导电能力，在于水中溶解了盐类。盐在水中电离为正离子（ Na^+ 、 Ca^{++} ……）和负离子（ Cl^- 、 SO_4^{--} 、 HCO_3^- ……），在电场作用下，离子运动，从而传导了电流。显然，当地层水中盐类浓度愈大，地层传导电流的能力也愈大，其电导率愈大、电阻率愈小。

泥质（指粘土矿物及其束缚水和吸附水）也使地层具有导电性。它的导电方式与盐溶液的离子导电不同。泥质的导电过程是一种阳离子交换过程，即在外电场作用下，阳离子在泥质颗粒的表面移动依次交换它们的位置。这种泥质颗粒表面导电性的大小取决于泥质的成分、含量和分布情况，以及地层水的性质和相对含量。

一、电阻率测井

自从1927年法国斯仑贝谢公司开创了电测井工作以来，电阻率测井和自然电位测井始终是十分重要的测井方法。它从初期的普通电阻率测井（也即横向测井）发展为聚焦电阻率测井（三侧向、七侧向等）。由于测井原理与工艺进一步发展，近年来已采用聚焦性能更好的综合下井仪，便于更好地反映冲洗带、侵入带、地层未被侵入部分的电阻率。例如邻近测井-双侧向测井、微球形聚焦-双侧向测井、八侧向-双感应测井、球形聚焦-双感应测井等综合仪。

电阻率测井是由一个供电电极（普通电阻率测井）或多个供电电极（聚焦电阻率测井）供给低频或较低频电流 I ，当电流通过地层时，用另外的测量电极测量电位 U ，利用下述公式得到视电阻率 R_a ：

$$R_a = K \frac{U}{I} \quad K: \text{电极系数} \quad (1-1)$$

其测量方法有的采用固定供电电流 I ，测量变化的电位 U ，从而得到视电阻率曲线 R_a ，例如普通电阻率测井、七侧向测井、八侧向、微侧向、微电极测井等。有的采用固定电极表面电位 U ，测量变化的电流 I ，从而得到视电阻率曲线 R_a 。例如三侧向、邻近侧向等。有的采用测量变化的电流 I 与电位 U ，用上式计算得到视电阻率曲线 R_a ，例如双侧向测井。

近年来在电阻率测井方法的研究方面，已使用电子计算机求解稳定电流场的拉普拉斯方程。无论在两维平面和三维空间应用有限元法都已成功地进行了数值计算。这样，

各种电阻率测井的电极系特性的考查与设计、电极系数、必要的环境校正图版等的计算都可应用电子计算机来完成。

1. 普通电阻率测井

一般采用一对供电电极与一对测量电极，按不同的排列方式与尺寸组成不同的电位电极系（供电与测量的回路电极B与N，理论上应距A与M无限远。A、M电极距离为电位电极的尺寸。）和梯度电极系（供电的回路电极B无限远，测量电极M、N尽量接近，其距离小于供电电极A到M之间的距离，A与MN中点O的距离为梯度电极系尺寸）。

我国常用的电位电极系为0.5米（国外用16英寸即0.406米）电位，属于浅探测电阻率测井。常用的梯度电极系为2.5米、或4米（国外常用18英寸8英寸即5.69米）梯度，属于深探测电阻率测井。图1-1为电位、梯度电极系示意图，图1-2为4米梯度与0.5米电位的井径校正图版。

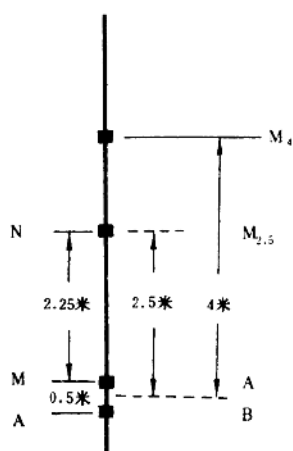


图1-1 电位与梯度电阻率测井电极系示意图

我国生产的七侧向电极系尺寸如下：

深七侧向（屏蔽电极间总长2米）

$$A_0 \quad 0.35M \quad 0.1N \quad 0.55A_1 \\ (0.02) \quad (0.025)$$

浅七侧向

$$A_0 \quad 0.15M \quad 0.1N \quad 0.25A_1 \quad 0.5B_1 \\ (0.02) \quad (0.02) \quad (0.025)$$

电极尺寸一律用“米”做单位，电极下括弧内的尺寸是指电极环的宽度。电极系只标了以 A_0 电极为中心的二分之一电极系。

3. 三电极侧向测井

三电极侧向测井电极系是在主电极 A_0 两边各有一个对称的长1.5米的屏蔽电极 A_1 、 A_1' 。 A_0 、 A_1 、 A_1' 互相短路，从固定电位的主电极 A_0 流出电流 I_0 ，从 A_1 、 A_1' 流出可

虽然普通电阻率测井工艺简单，但是它受井眼、地层非均质、层厚等因素影响大。因此，用一条普通电阻率测井曲线很难直接获得地层某部分的电阻率数值，尤其梯度测井误差有时很大。为此，发展了聚焦电阻率测井方法，目的是尽量减小井眼的影响，提高分层能力，以及更好地求解不同探测深度的电阻率。

2. 七电极侧向测井

七电极侧向测井电极系包括一个主电极 A_0 、以及三对电极： M 和 M' 、 N 和 N' 、 A_1 和 A_1' 。每对电极以 A_0 为对称中心，且相互间短路连接。

电极 A_0 通以恒定电流 I_0 ，另外通过屏蔽电极 A_1 与 A_1' 发出可调整的电流，使两对监督电极 M 和 M' 、 N 和 N' 都保持相同的电位，并使测量电流聚焦成为水平方向的层状电流射入地层。测量出该电位的数值就得到地层的视电阻率（图1-3）。

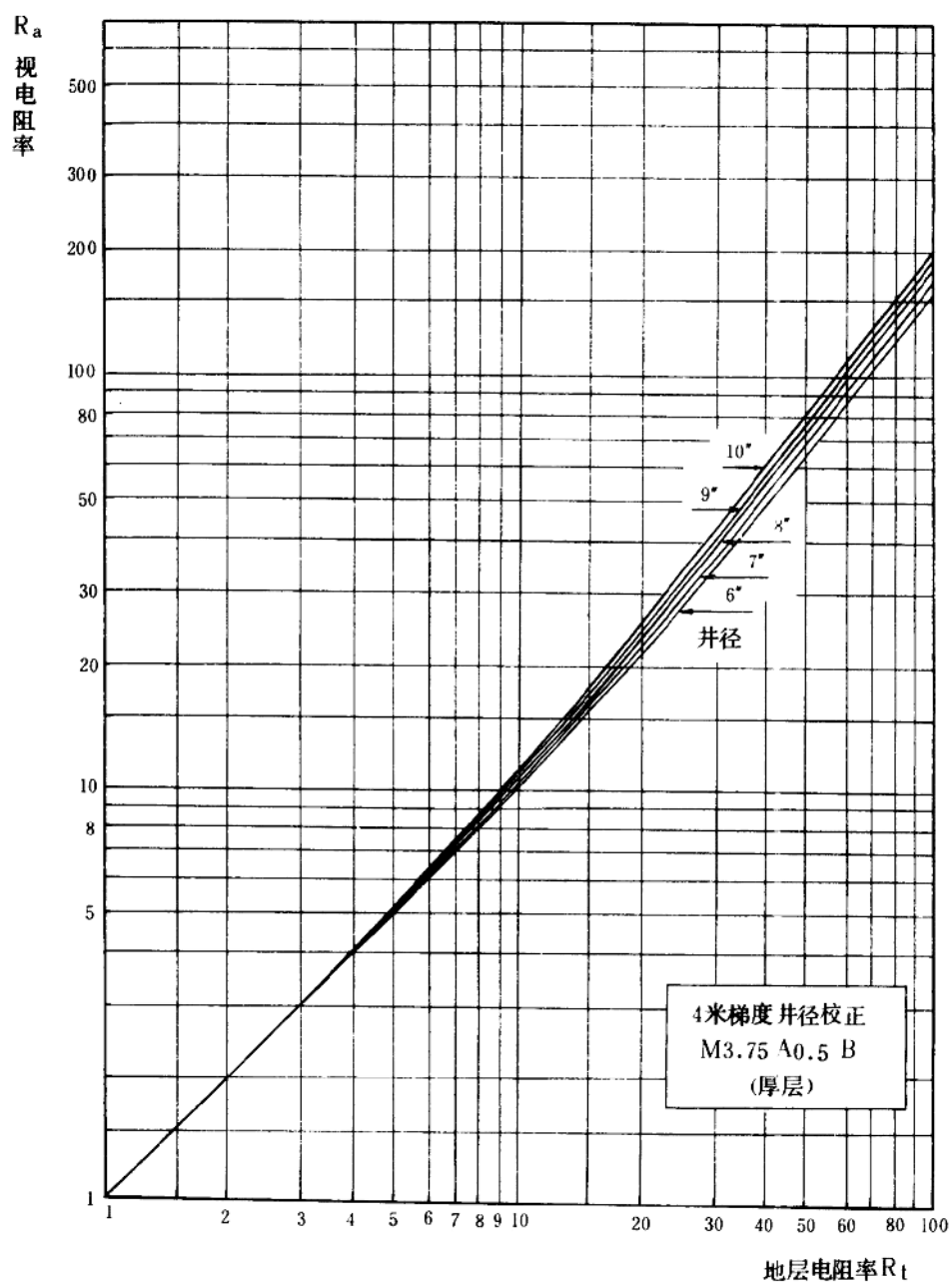


图 1—2 A 4 米梯度井径校正图版

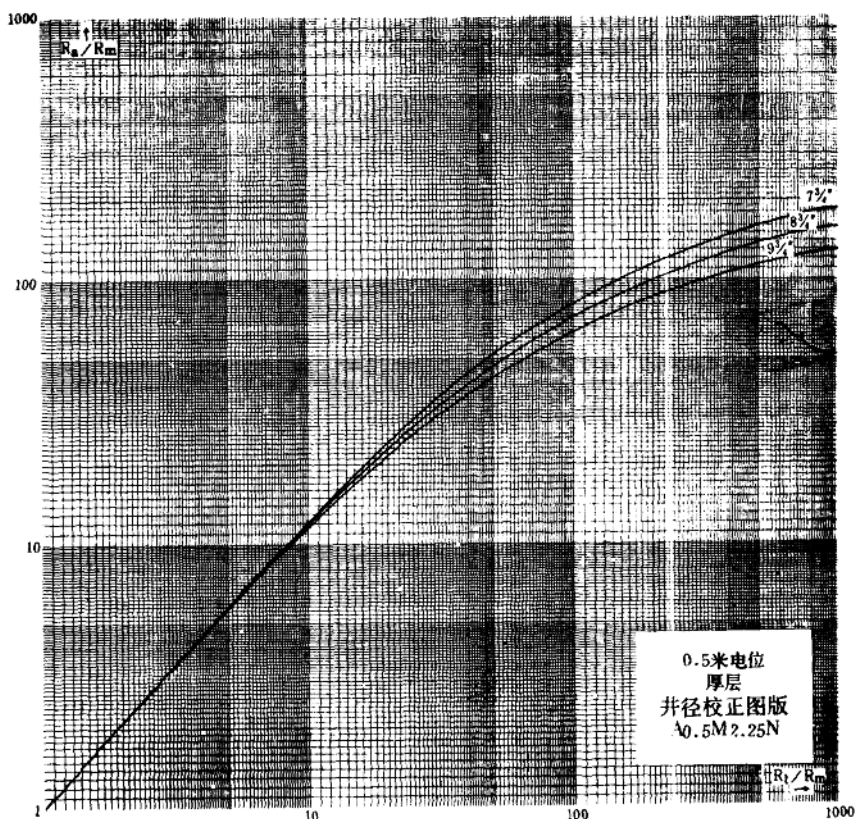


图 1-2B 0.5米电位井径校正图版

调整的屏蔽电流，使得 A_0 、 A_1 、 A_1' 电极都保持相同的恒定电位。测量主电流 I_0 的数值则可得到地层的视电阻率（图 1-4）。

我国生产的三侧向电极系尺寸如下：

深三侧向

A_1 0.2 A_1 0.025 A_0 0.025 A_1' 0.2 A_1'
(1.1) (0.4) (0.15) (0.4) (1.1)

浅三侧向

B_1 0.2 A_1 0.025 A_0 0.025 A_1' 0.2 B_1'
(1.1) (0.4) (0.15) (0.4) (1.1)

引进三侧向

A_1 5/16英寸 A_0 5/16英寸 A_1
(5.2 英尺) (6 英尺) (5.2 英尺)

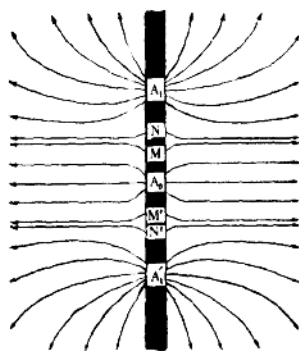


图 1-3 七侧向测井电极系示意图

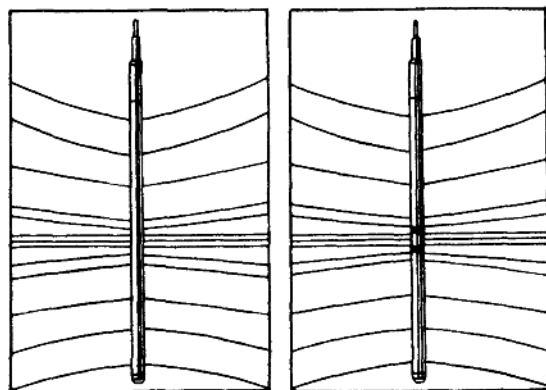


图 1-4 三电极侧向测井仪器示意图

5. 球形聚焦测井

由主电极 A_0 和四对电极 M_0 与 M_0' 、 A_1 与 A_1' 、 M_1 与 M_1' 、 M_2 与 M_2' 组成球形聚焦测井（图 1-5），并作为浅探测测井与深感应测井组成综合下井仪。性能优于短电位或八侧向测井。球形聚焦测井利用聚焦电流迫使等位面在井径变化较大的条件下仍大致保持成球形，在井径小于 10 英寸时，井眼影响实际已被消除。测井读数主要贡献来自侵入带部分。

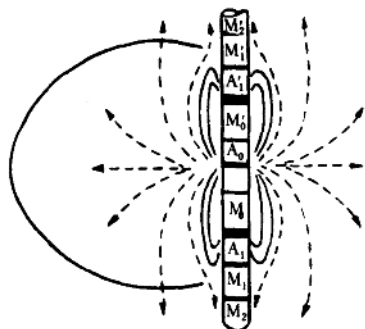


图 1-5 球形聚焦测井电极系图

引进双侧向电极系

深侧向（屏蔽电极间总长约 9.5 米）

A_0 6 英寸 M 4 英寸 N 8 英寸 A_1 35 英寸 A_2
(6 英寸) (1 英寸) (1 英寸) (8 英寸) (10 英尺)

浅侧向

A_0 6 英寸 M 4 英寸 N 8 英寸 A_1 35 英寸 B_1
(6 英寸) (1 英寸) (1 英寸) (8 英寸) (10 英尺)

胜利油田制造 79 型双侧向电极系（尺寸以米为单位）

深侧向（屏蔽电极间总长为 6 米）

4. 八电极侧向测井

浅探测的八电极侧向测井经常与双感应组合，测量原理和七侧向相似，包括主电极 A_0 与电极 M 和 M' 、 N 和 N' 、 A_1 和 A_1' 以及一个 B 电极。

引进的八侧向电极系尺寸如下：

A_0 6 英寸 M 2 英寸
(2 英寸) (0.5 英寸)
 N 11 英寸 A_1
(0.5 英寸) (2 英寸)

13 英尺 B

6. 双侧向测井

为了增加深侧向的探测深度，并使浅侧向能更好地反映侵入带的特性，故设计了双侧向测井（图 1-6）。由于采用了同时调整主电流与屏蔽电流的方法，用两对屏蔽电极： A_1 与 A_1' 、 A_2 与 A_2' 实行双层屏蔽，增加电极长度与电极距，并采用脉冲编码数字传输等新技术。因此，可以同时进行深侧向与浅侧向测井。其深侧向比七侧向探测深，浅侧向探测深度比八侧向深，还可应用邻近侧向或微球形聚焦测井来补充侵入带电阻率的信息。

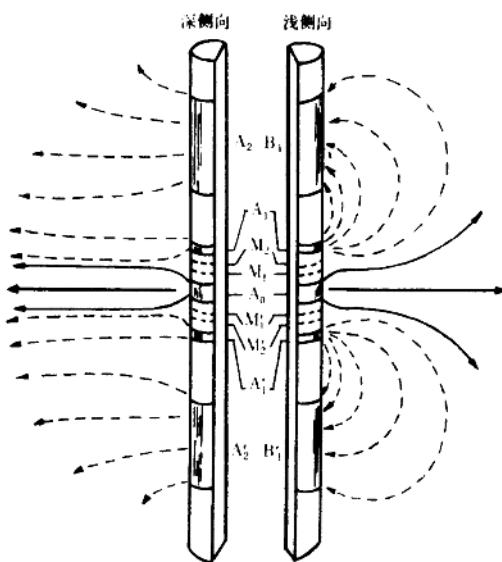


图 1-6 双侧向测井

当发射线圈发出恒定强度频率为20000周的高频交变电流时，由此产生的交变磁场则在地层中感应出次生电流。而次生电流在与发射线圈同轴的环形地层回路中流动，又形成了次生磁场，这样便在接收线圈中感应出电动势。显然，接收线圈感应电动势 ε 的大小与地层的电导率 σ 成正比：

$$\varepsilon = k\sigma \quad (1-2)$$

k ：与线圈系尺寸、发射电流、岩石磁导率等参数有关的系数。

为了尽量减小井孔与围岩的影响，同时也考虑深探测的要求，一般采用聚焦的方法，设计了多线圈的复合线圈系。

感应测井的刻度方法是采用几何因子理论，用串有电阻的导电铜环模拟地层单元环的信号进行刻度。对于电导率高的地层，被感应的次生电流很大，它们的磁场往往不能忽略，并由于单元环间的互相作用减弱了感应测井记录的电导率信号。当信号通过地层时，由于信号的衰减和相位偏移而造成的信号损失称为“趋肤效应”。因此，对高电导率地层必须进行“趋肤效应”校正。

对于几何因子理论与电磁场麦克斯威尔方程导出的严格公式，都已用电子计算机进行了成功的求解，从而为设计线圈系、仪器刻度以及建立必要的环境校正图版等创造了必要的条件。同时应用数字技术，并根据数字滤波的原理设计了褶积器，以提高感应测井的纵向分辨能力。

常采用的几种仪器：

1. 深感应测井 (图 1-7)

国产感应为0.8米六线圈系

$$\begin{array}{cccccc} T_2 & 0.6 & R_0 & 0.2 & R_1 & 0.4 & T_1 & 0.2 & T_0 & 0.6 & R_2 \\ (-7) & (100) & (-25) & (-25) & (100) & (-7) \end{array}$$

R_0 、 T_0 为接收、发射主线圈

$$\begin{array}{ccc} A_0 & 0.11 & M & 0.095 & N & 0.11 \\ (0.155) & (0.03) & (0.03) \\ A_1 & 0.41 & A_2 \\ (0.11) & (2) \end{array}$$

$$\begin{array}{ccc} \text{浅侧向} \\ A_0 & 0.11 & M & 0.095 & N & 0.11 \\ (0.155) & (0.03) & (0.03) \\ A_1 & 0.41 & B_1 \\ (0.11) & (2) \end{array}$$

二、感应测井

感应测井测量地层的电导率，它是由若干个同轴线圈组成的一组发射线圈和一组接收线圈的复合线圈系。

R_1 、 T_1 为接收、发射辅助线圈

R_2 、 T_2 为接收、发射聚焦线圈

线圈尺寸的单位为米，括弧内为线圈匝数，负号为线圈反绕。

引进的深感应-电测井综合仪，深感应测井为 6FF 40，电测井为 16 英寸电位，还有一条自然电位曲线。

引进的 40 英寸六线圈深感应 6FF 40

T_2 25 英寸 R_0 15 英寸 R_1 10 英寸 T_1 15 英寸 T_0 25 英寸 R_2
(-24) (246) (-22) (-22) (216) (-24)

2. 引进的双感应测井 (图 1-8)

深感应仍为主线圈距 40 英寸的六线圈系，但聚焦线圈 T_2 与 R_2 之间总长为 98 英寸。中感应的三个发射线圈 T_0 、 T_1 、 T_2 与深感应公用，其接收线圈为 5 个 r_0 、 r_1 、 r_2 、 r_3 、 r_4 ，成不对称排列，其探测深度约为深感应的一半，受井孔影响也较大。 T_2 11 r_4 15 R_0 6 r_3 4 R_1

(-12) (8) (180) (-20) (-15)

20 T_1 10 T_0 19 r_2 10 R_2 5 $\frac{1}{2}$ r_0 25 $\frac{1}{2}$ r_1
(-45) (180) (-22) (-12) (160) (-80)

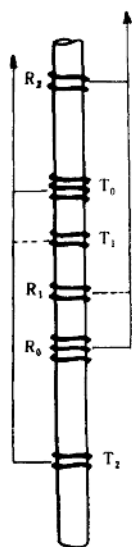


图 1-7 深感应测井

线圈之间距离以英寸为单位，括弧表示线圈匝数，负号表示反绕。

一般是双感应-八侧向组合进行测井，同时还可带测自然电位曲线。

应用电子计算机计算与制作的 0.8 米感应测井并径校正图版 (依据几何因子理论)，如图 1-9 所示。图 1-10 为感应测井趋肤校正图版。0.5 米电位与感应测井的交会图版示于图 1-11 (高侵) 和图 1-12 (低侵)。

三、冲洗带电阻率测井

为了测量冲洗带电阻率 R_{xo} ，采用极板贴井壁的微电阻率测井方法， R_{xo} 是解释过程中的一项十分重要的参数，对于泥浆侵入较深的地层，对测井结果进行侵入校正就要有准确的 R_{xo} 值。在预解释中经常用 R_{xo} 来计算冲洗带残余油饱和度搜索有利层段，还可用 R_{xo}/R_1 比值计算含水饱和度 S_w ，以及在计算机处理资料中用于全面评价油气对中子与密度测井的影响。

冲洗带测井采用贴井壁极板电极系减少了泥浆的影响，由于电极距很小而具有浅探测特性，其主要影响来自冲洗带。

1. 微电极测井

极板面上嵌入三个直线排列的小电极，电极间相距 0.025 米。这三个电极组成一个微梯度 A 0.025 M_1 0.025 M_2 与一个微电位

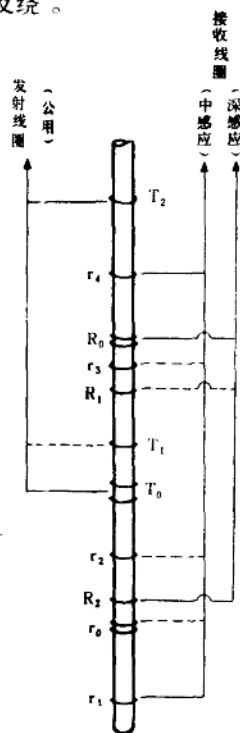


图 1-8 引进的双感应测井

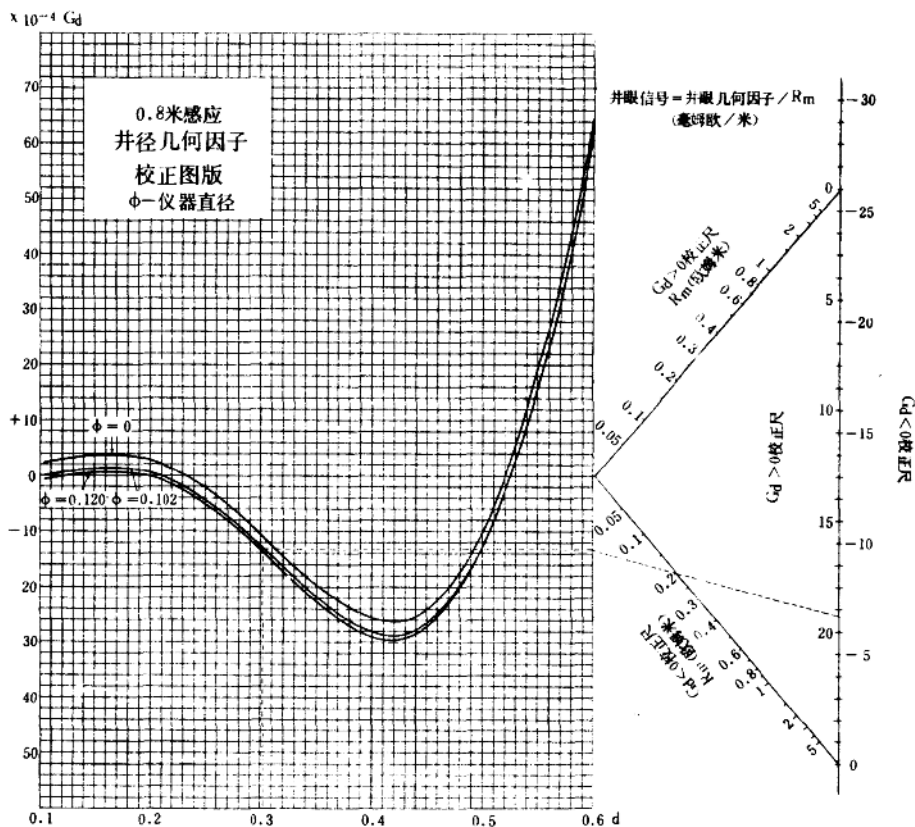


图 1-9 0.8 米感应井径几何因子校正图版

(ϕ - 仪器直径)

A 0.05M 电极系 (图 1-13), 同时进行测量。

由于钻井时泥浆滤液渗入渗透性地层中, 并在井壁上形成泥饼。泥饼电阻率约等于或稍高于泥浆电阻率, 但比冲洗带电阻率要小得多。由于微电位比微梯度探测深度大, 故它受泥饼的影响较小。因此在渗透性砂岩处, 微电位数值大于微梯度, 出现正差异。而且二者交会还可用网格图版确定冲洗带电阻率 R_x 与泥饼厚度。由于微电极探测深度较浅, 约为 1 ~ 2 英寸, 因而受泥饼影响大, 用于定量解释精度较差。

2. 微侧向测井

在极板上嵌入一个主电极 A_0 和三个同心圆环状电极。和七侧向测井原理相同, A_0 电极发出恒定的主电流, 最外圈的屏蔽电极 A_1 发出可调整的屏蔽电流, 使得里面两个电极 M_1 、 M_2 的电位相等 (图 1-14)。此时, 主电流被聚焦成束电流射入地层中, 目的是为了增加探测深度、减小泥饼的影响。其探测深度约为 3 ~ 4 英寸。

当泥饼厚度小于 3/8 英寸时, 可以忽略泥饼的影响, 获得准确的 R_x 值。但当泥