

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
编著

石油工业出版社

(北京)

81

3

登录号	127362
分类号	P631.81
种次号	023

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 编著 王曰才 谭廷栋 审校



57.77.57

117/33



石油0121570

石油工业出版社

内 容 提 要

本书分上、下册,系统介绍了地球物理测井方法、测井资料综合解释基础、计算机处理解释技术、油气评价及测井倾角测井应用。上册为上册,内容包括:电阻率测井及岩性-孔隙度测井系统的研究,测井系列选择,测井资料参数确定方法(如用最优化方法计算复杂岩性地层的各项参数),砂岩岩、碳酸盐岩和复杂岩性地层测井处理方法及油气层综合评价。本书可作为地球物理测井专业及相关专业的培训教材,也可作为测井、地质、地质、钻井工程技术人员参考。

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

高文冲 欧朝健 编著 王 明 康延顺 审定

*

石油工业出版社

(北京安贞门内大街甲1号 100029)

地质出版社印刷厂排版

北京顺义县印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092毫米16开本 141/32页1插页345千字 印2,501—4,500

1987年6月北京第1版 1991年8月北京第2次印刷

ISBN 7-5021-0685-5/TE·650

定价:4.75元



前 言

《石油地质勘探技术培训教材》自1982年内部发行后，受到广大读者的欢迎。当时共印一万套，很快就被读者全部订购。石油勘探司和教材编委会陆续收到数百封来函、来电，给予了较高的评价，并迫切希望得到教材。根据读者要求和工作需要，经领导批准，石油工业部石油勘探司决定，适当调整和加强编委会力量；在现有基础上，吸取各方面的有益意见，改进不足之处，补充新内容，删简修订，由石油工业出版社正式出版。

补充修订的原则是：

- 一、反映在石油地质理论上不断开拓新领域的进展情况；
- 二、反映当代石油地质勘探技术的新理论、新工艺、新方法；
- 三、列举国内外石油地质勘探技术的新成果；
- 四、满足现场工作者解决理论和方法问题的实际需要。

教材正式出版的宗旨是：

- 一、补充、更新现有石油地质技术干部的专业技术知识；
- 二、作为石油地质勘探技术干部进修培训的课本，同时也可作为教学、科研人员的参考丛书；
- 三、推动石油地质勘探事业的发展。

教材内容的选取，既照顾该学科的系统性和完整性，又保证它的先进性和实用性。这些书是编委会成员数十年工作、教学、科研经验的积累，也是当前石油地质勘探技术理论的结晶。希望能在发展我国石油地质勘探事业中起到应有的作用。

教材编委会的成员有：

郝石生(主编) 翁文波 陆邦干 胡朝元 李德生 陈发景 吴崇筠 王曰才 王鸿勋
张 恺 钱绍新 黄第藩 裘亦楠 应凤祥 刘和甫 陆克政 谭廷栋 尚作源 张一伟
贾振远 樵汉生 彭振南 沈修志 戴金星 戚厚发 陆基孟 赵徵林 钟国森 曾文冲
欧阳健 何登春 朱恩灵 徐树宝 尚慧芸 李晋超 郭舜玲 陈丽华 缪 昕 成云芯
袁幼庸和王雪吾同志

教材编委会的学术顾问是阎敦实、翟光明、李国玉、查全衡同志

北京石油勘探开发科学研究院、华东石油学院北京研究生部对教材编委会的工作给予了大力支持和帮助，谨致深切谢意。

编委会成员以业余撰写为主，加以时间仓促，水平有限，不足之处，恳请读者批评指正。

石油工业部石油勘探司

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

作者的话

1980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》上、下册出版。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片面性或错误, 尤其是文字欠缺推敲, 我们恳切希望专家和读者批评指正。

本书第一章第二节二和四、第三节二、第四、五、七节, 第二章, 第六章, 第七章第一节, 第八章及第十一章由曾文冲编写; 第一章第一、二、三、六节, 第三章, 第四章, 第五章, 第七章第二节及第十章由欧阳健编写; 第九章由何登春编写。罗大山参加第十一章第四节的部分编写工作。

全书由王曰才、谭廷栋审订。

本书在编写过程中, 朱孔彰、廖明书、雍世和、肖义越、吴继余, 林祖彬、彭济华以及胜利油田测井公司的许多同志都提供了宝贵资料与帮助。刘振宇、许辛根、金秀珍、田洪、曹素美等同志参加了许多具体工作。在此, 我们对他们的热情支持与帮助表示衷心感谢。

作者

1981年9月

目 录

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.....	4
三、冲洗带电阻率测井.....	7
第二节 地层孔隙度的测井研究.....	10
一、密度测井.....	10
二、岩性-密度测井.....	11
三、中子测井.....	11
四、声波时差测井.....	12
第三节 泥质和粘土的测定与解释.....	15
一、自然伽马测井.....	15
二、自然伽马能谱测井.....	16
三、自然电位测井.....	18
四、其它测井方法.....	18
第四节 含水饱和度的确定.....	19
一、地层因素与孔隙度.....	19
二、地层水电阻率.....	22
三、含水饱和度.....	26
第五节 渗透率的测井研究.....	27
一、基本概念.....	27
二、渗透率与孔隙度.....	28
三、渗透率的计算方法.....	29
第六节 泥浆侵入与测井的探测深度.....	32
一、泥浆侵入.....	32
二、关于各种测井的探测深度.....	33
第七节 各种矿物(岩石)的物理数值表.....	34
第二章 测井系列的选择	38
第一节 电阻率测井系列.....	38
一、浅、中、深探测系统.....	38
二、电阻率测井系列的显示特点.....	40
三、感应测井与侧向测井的响应方式.....	40
四、探测特性的描述.....	42
第二节 岩性、孔隙度测井系列.....	43

一、孔隙度测井系统.....	43
二、岩性测井.....	44
三、探测特性.....	45
第三节 选择测井系列的基本原则.....	46
一、测井系列的确定.....	46
二、充分考虑地质剖面特点.....	46
三、盐水泥浆条件下测井系列的选择.....	47
四、测井系列的相对稳定性和灵活性.....	48
五、完整的测井系列对于老油田的重要性.....	48
六、选择测井系列实例.....	50
第四节 重视测井的环境影响,提高录取资料的质量.....	50
一、井眼条件对测井的影响.....	51
二、减小和克服测井环境影响的途径.....	55
第三章 测井数字处理技术与预解释.....	57
第一节 测井数字处理技术的发展.....	57
一、测井数字装备的进展.....	57
二、数字处理方法与软件的进展.....	58
第二节 测井数字处理工作原理.....	61
一、P-E3230计算机简介.....	61
二、数字测井仪和曲线数字化的工作原理.....	64
三、软件简介.....	67
四、数字处理工作流程.....	68
第三节 测井数字处理成果图介绍.....	70
一、砂岩、泥质砂岩地层成果图.....	70
二、碳酸盐岩地层成果图.....	70
三、特殊岩性地层成果图.....	71
四、其它种类的成果图.....	71
五、原始测井曲线出图格式.....	72
第四节 预解释.....	72
一、交会图技术.....	73
二、曲线编辑与检查.....	73
三、测井质量检查与环境校正.....	73
四、确定解释层段的岩性组合与选择计算参数.....	77
五、初步分析有利层段.....	83
第四章 砂岩、泥质砂岩地层数字处理方法.....	85
第一节 砂岩的测井响应方程.....	85
第二节 泥质砂岩的测井响应方程.....	89
一、泥质砂岩分析.....	89
二、泥质砂岩地层的测井响应方程.....	91

第三节 确定泥质含量的方法	95
一、自然伽马法	95
二、中子测井指示法	96
三、电阻率指示法	96
四、自然电位指示法	96
五、中子-密度测井交会法	97
第四节 计算油气密度与油气校正	97
第五节 计算机处理	98
一、计算泥质含量	98
二、计算孔隙度	100
三、计算含水饱和度	102
四、计算渗透率	102
五、计算各种评价地层油气产能的参数	103
六、进行各种自动校正与选择	103
七、数字处理实例井	104
第六节 计算单井及油田的油气储量	101
一、单井控制的油气储量	105
二、计算单井储量	105
三、计算油田的原油地质储量	107
第五章 碳酸盐岩与复杂岩性地层数字处理方法	112
第一节 碳酸盐岩地层数字处理方法	112
一、双矿物法	112
二、三矿物法	117
三、含泥质地层的计算方法	118
四、碳酸盐岩的孔隙结构以及计算含水饱和度的方法	120
五、气层的处理方法	126
六、估算裂缝孔隙度	128
七、实例	131
第二节 复杂岩性地层的数字处理方法	135
一、含泥质的灰质砂岩、含重矿物砂岩	136
二、蒸发环境下沉积的化学岩	138
三、火成岩	139
四、砾岩	148
第三节 用最优化方法计算复杂岩性地层的各项参数	152
一、最优化方法概述	152
二、一维寻查方法	153
三、最速下降法与共轭斜量法	155
四、单纯形法	158
五、测井解释模型、环境校正与误差分析	161

六、方法与程序实施.....	165
第六章 评价油气层概论	173
第一节 评价油气层的地质依据.....	173
一、含油性是评价油气层的一个重要条件.....	173
二、不含可动水是评价油气层的另一个重要条件.....	177
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.....	178
四、评价油气层的基本途径.....	181
第二节 油气层的电性特征及定性分析.....	184
一、划分渗透层.....	184
二、油气层的一般特点.....	188
三、气层的探测系统.....	190
第三节 评价含油性的直观显示法.....	196
一、双孔隙度法.....	197
二、视地层水电阻率(R_{wa})法.....	198
三、正态分布法.....	199
四、电阻率-孔隙度交会图法.....	202
五、径向电阻率比值法.....	203
六、可动油显示.....	205
七、多元线性回归分析法.....	206
第四节 应用测井数字处理技术综合评价油气层.....	207
附录	214
附录一 常用符号说明.....	214
附录二 常用单位换算.....	217
附录三 书中使用的许用单位与非许用单位换算表.....	218
参考文献	219

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,而且还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亦日益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马测井等,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。至于各类火成岩、泥灰岩裂缝、泥岩裂缝、巨砾岩等复杂的地层也可能产油。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。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。电导率的单位是西门子/米。测井中为了避免使用小数, 故采用毫西门子/米, 即1西门子/米=1000毫西门子/米。若地层电阻率为100 欧姆米, 即相应电导率为10毫西门子/米。若地层电阻率为0.5欧姆米, 即相应电导率为2000毫西门子/米。

常见的地层电阻率变化范围一般为0.2~1000 欧姆米。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, 当不含导电流体时, 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、含量的分布情况, 以及地层水的性质和相对含量。

一、电阻率测井

自从1927年法国斯伦贝谢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, 我国从1939年也开展了电测井工作。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 :

$$R_a = k \frac{U}{I} \quad (1-1)$$

式中: k ——电极系数。

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

我国常用的电位电极为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。常用的梯度电极为2.5米或4米(国外常用18英尺8英寸即5.69米)梯度,属于深探测电阻率测井。

2. 七电极侧向测井

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

我国生产的三侧向电极系尺寸如下:

深三侧向

$$A_1 \quad 0.2A_1 \quad 0.025A_0 \quad 0.025A_1 \quad 0.2A_1 \\ (1.1) \quad (0.4) \quad (0.15) \quad (0.4) \quad (1.1)$$

浅三侧向

$$B_1 \quad 0.2 \quad A_1 \quad 0.025 \quad A_0 \quad 0.025 \quad A_1' \quad 0.2 \quad B_1' \\ (1.1) \quad (0.4) \quad (0.15) \quad (0.4) \quad (1.1)$$

德莱赛公司三侧向

$$A_1 \quad 5/16 \text{英寸} \quad A_0 \quad 5/16 \text{英寸} \quad A_1 \\ (5.2 \text{英尺}) \quad (6 \text{英寸}) \quad (5.2 \text{英尺})$$

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。

德莱赛的八侧向电极系尺寸如下

$$A_0 \quad 6 \text{英寸} \quad M \quad 2 \text{英寸} \quad N \quad 11 \text{英寸} \quad A_1 \quad 13 \text{英寸} \quad B \\ (2 \text{英寸}) \quad (0.5 \text{英寸}) \quad (0.5 \text{英寸}) \quad (2 \text{英寸})$$

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_2 与 M_2' 组成球形聚焦测井,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。

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。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。

德莱赛公司双侧向电极系

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)

斯伦贝谢公司双侧向电极系

深侧向

A_0 5英寸 M_5 英寸 N_8 英寸 A_1 30英寸 A_2

(9英寸) (1英寸) (1英寸) (15英寸) (8.5英尺)

浅侧向

A_0 5英寸 M_5 英寸 N_8 英寸 A_1 30英寸 B_1

(9英寸) (1英寸) (1英寸) (15英寸) (8.5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)

A_0 0.11 M_0 0.095 N_0 0.11 A_1 0.41 A_2
(0.155) (0.03) (0.03) (0.11) (2)

浅侧向

A_0 0.11 M_0 0.095 N_0 0.11 A_1 0.41 B_1
(0.155) (0.03) (0.03) (0.11) (2)

二、感应测井

感应测井是测量地层的电导率，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。

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：

$$\epsilon = k\sigma$$

式中： k ——与线圈系尺寸、发射电流、岩石磁导率等参数有关的系数。

常采用的几种感应测井仪器

1. 深感应测井

国产感应为0.8米六线圈系

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)

R_0 、 T_0 为接收、发射主线圈

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6FF40，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6FF40

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) (246) (-24)

2. 引进的双感应测井

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 14 R_4 15 R_0 6 R_3 4 R_1

(-12) (8) (180) (-20) (-45)

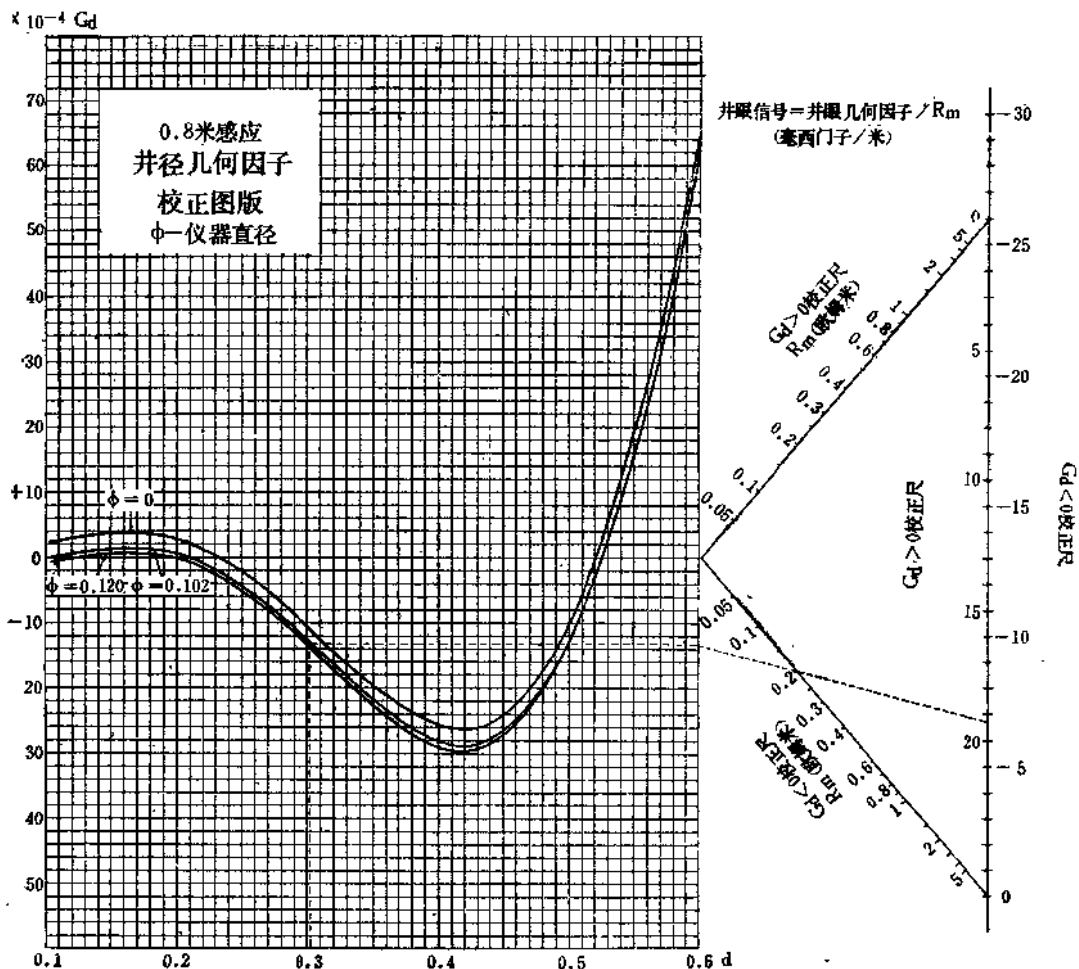


图 1-1 0.8米感应测井井径几何因子校正图版 (ϕ —仪器直径)

$$\begin{array}{cccccc} 20T_1 & 10T_0 & 19r_1 & 10R_2 & 5\frac{1}{2}r_1 & 15\frac{1}{2}r_1 \\ (-45) & (180) & (-22) & (-12) & (160) & (-30) \end{array}$$

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米感应测井井径校正图版(依据几何因子理论),如图1-1所示。图1-2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1-3(高侵)和图1-4(低侵)。

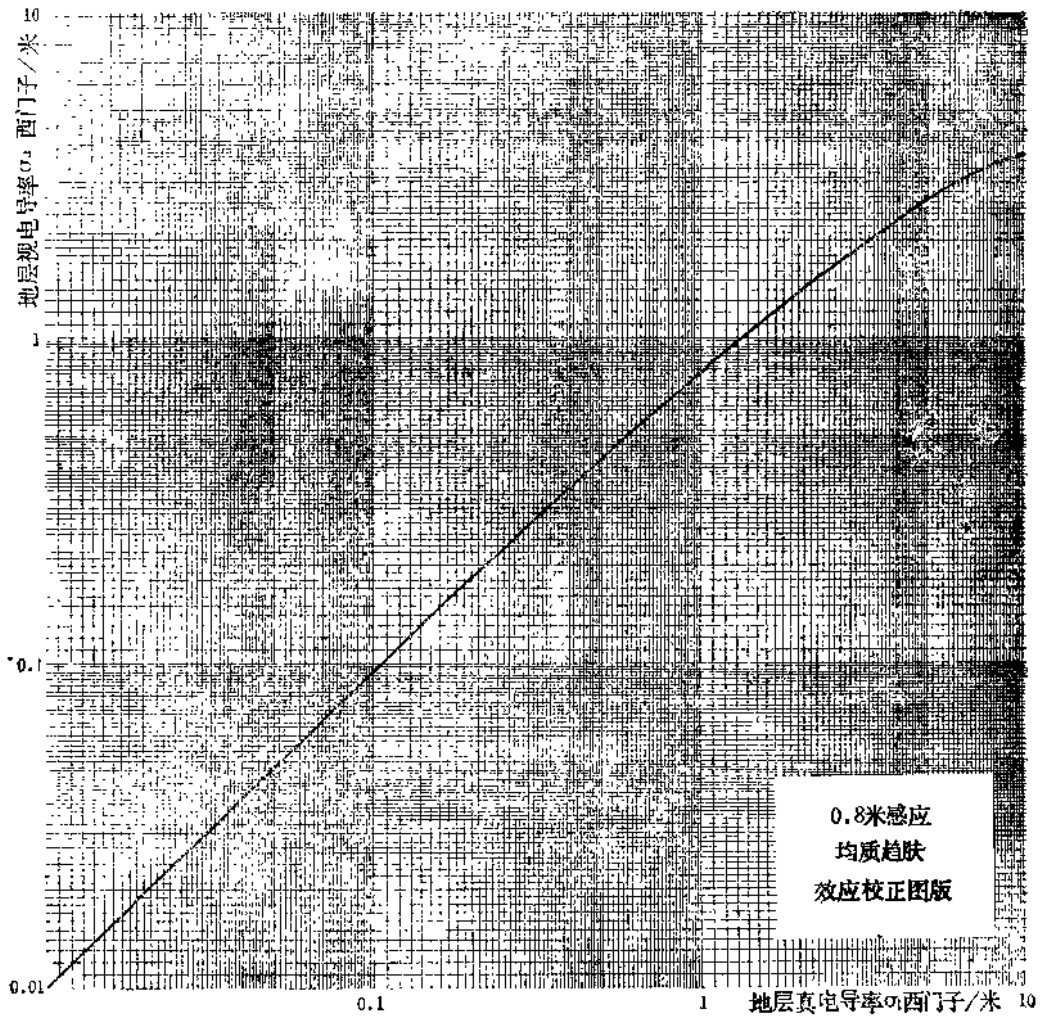


图 1-2 0.8米感应测井趋肤效应校正图版 (在均匀介质中)

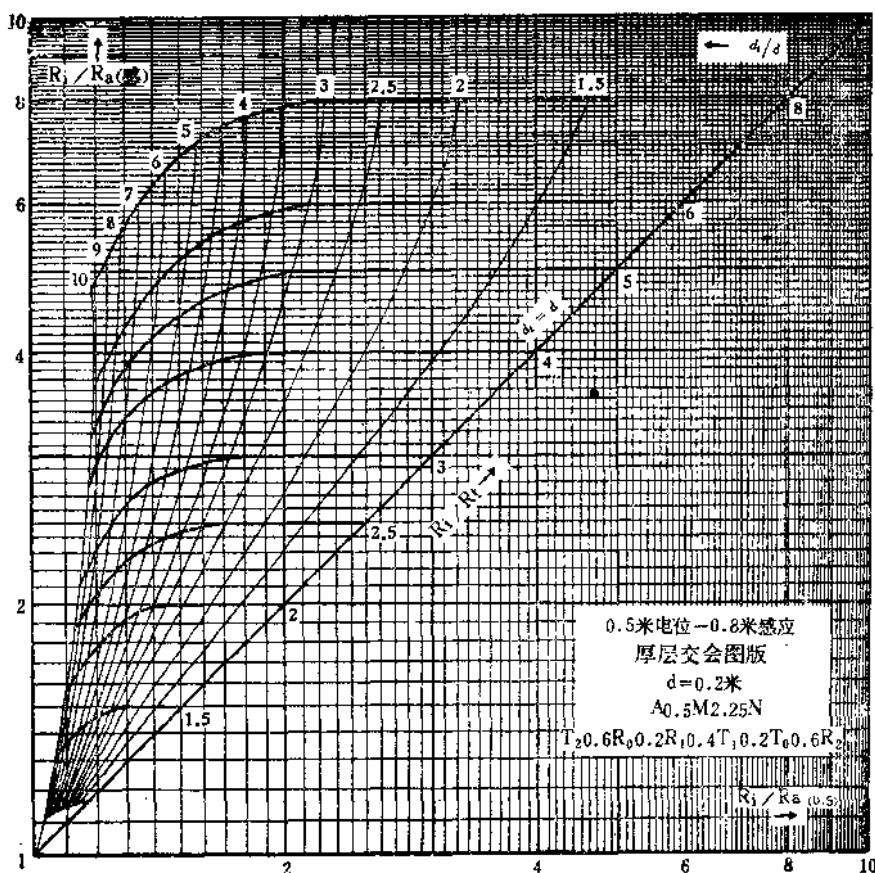


图 1-3 0.5米电位与0.8米感应交会图版（高侵、厚层）

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} 所计算的冲洗带残余油饱和度来搜索有利层段，还可用 R_{xo}/R_i 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及密度测井的影响。

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 $A0.025M_1, 0.025M_2$ 与一个微电位 $A0.05M$ 电极系，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