

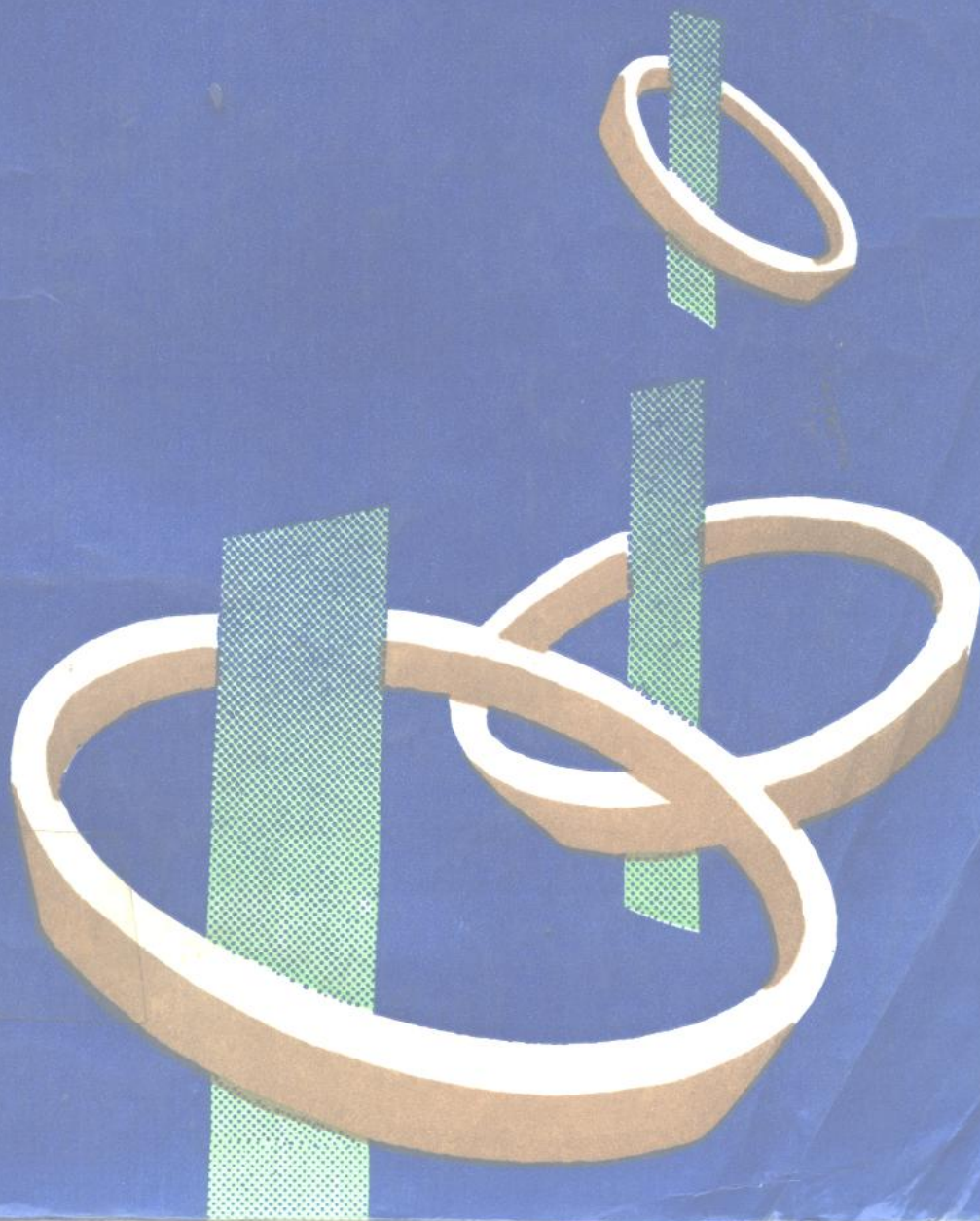
自 • 学 • 教 • 程

测井与解释技术

德莱赛—阿特拉斯 公司

石油工业出版社

LOGGING AND INTERPRETATION TECHNIQUES



071226

测井与解释技术

(自学教程)

德莱赛-阿特拉斯公司

尚作源 黄隆基 洪有密 等译



200313348

石油工业出版社

内 容 提 要

《测井与解释技术》是美国德莱赛-阿特拉斯公司(Dresser Atlas)编写的一部自学教程。全书共分为两篇:第一篇全面而系统地介绍了各种测井方法的原理与应用,其中包括感应、侧向、冲洗带电阻率、自然电位、自然伽马、补偿密度、中子及声波测井的基本原理,仪器设计与操作,测井曲线显示,环境校正及测井曲线应用。同时,还提供了各种测井仪器的技术规范等。第二篇重点讲述测井解释中所涉及到的地质基础知识,介绍了如何运用交会图技术确定各项地质参数,以及计算机处理解释技术。书中还附有实例及大量的思考题,便于读者自学。

本书可作为大专院校有关专业师生、现场测井解释人员及地质技术人员的参考用书或自学用书。

* * *

此中译本在编辑过程中,本着保持原版书的系统性及完整性的精神,对书中出现的部分重复内容以及一些不重要的图幅进行了适当的删减。同时,在章节的前后次序上,也按照一般科技图书的惯例做了重新编排,特此说明。

本书第一篇中的第一至五章由尚作源译,第六、八、九章由黄隆基译,第七章及第十章由李希文译,第二篇全部由洪有密译。

Well Logging and Interpretation Techniques the Course For Home Study

Dresser Atlas

Dresser Industries, INC. Printed in USA 1982

*

测井与解释技术

(自学教程)

德莱赛-阿特拉斯公司

尚作源 黄隆基 洪有密 等译

石油工业出版社出版

(北京安定门外安华里二区一号楼)

北京计量印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

787×1092毫米 16开本 25 1/4印张 617千字 印1—2,000

1991年5月北京第1版 1991年5月北京第1次印刷

ISBN 7-5021-0435-6/TE·421

定价: 7.15元

目 录

第一篇 测井方法各论	(1)
第一章 感应测井	(1)
一、引言	(1)
二、基本理论	(1)
三、双感应-聚焦测井	(6)
四、仪器刻度	(7)
五、测井曲线	(9)
六、测井曲线解释	(10)
七、结束语	(31)
文献目录	(31)
参考文献	(32)
附录 A 仪器的技术规范	(33)
附录 B 测井曲线解释实例	(34)
第二章 电测井	(38)
一、引言	(38)
二、电阻率	(38)
三、自然电位测井	(43)
四、电测井的应用	(47)
五、电测井曲线实例	(47)
六、结束语	(49)
参考文献	(49)
第三章 侧向测井和双侧向测井	(50)
一、引言	(50)
二、测量原理	(50)
三、侧向测井系统	(52)
四、仪器的设计和操作	(54)
五、测井曲线的显示	(58)
六、测井响应	(60)
七、测井曲线解释	(70)
八、结束语	(76)
文献目录	(76)
参考文献	(77)
附录 A 仪器的技术规范	(77)
附录 B 仪器的技术规范	(77)
附录 C 测井曲线实例	(78)
第四章 冲洗带电阻率测井	(81)
一、引言和基本原理	(81)

二、微电极测井	(82)
三、微侧向测井	(87)
四、邻近侧向测井	(90)
五、 R_{xo} 测井与其他测井方法的组合应用	(92)
参考文献	(100)
附录 A 仪器的技术规范	(101)
附录 B	(101)
附录 C	(102)
附录 D	(103)
附录 E	(104)
附录 F	(105)
第五章 自然电位测井	(106)
一、引言	(106)
二、自然电位的电化分量	(107)
三、动电(流动)电位	(110)
四、静止自然电位	(112)
五、自然电位响应因素和自然电位异常	(113)
六、自然电位的干扰	(121)
七、自然电位测井曲线的应用	(124)
文献目录	(132)
参考文献	(133)
附录 A	(134)
第六章 自然伽马测井	(140)
一、引言	(140)
二、原子理论回顾	(140)
三、自然伽马测井	(142)
四、测井曲线显示	(148)
五、井眼校正	(148)
六、应用	(151)
七、结束语	(152)
文献目录	(152)
参考文献	(153)
附录 A 仪器的技术规范	(153)
第七章 自然伽马能谱测井	(154)
一、引言	(154)

二、裸眼井和套管井中的应用	(154)	参考文献	(212)
三、碎屑储集层的泥质含量	(154)	附录 A 仪器的技术规范	(213)
四、碳酸盐岩储集层	(155)	附录 B 补偿中子组合	(214)
五、裂缝性泥岩储集层	(155)	附录 C 测井组合系统举例	(214)
六、确定出水的生产层	(156)	第十章 声波测井	(216)
习题	(157)	一、引言	(216)
第八章 补偿密度测井	(159)	二、理论	(216)
一、引言	(159)	三、声波测井声系	(218)
二、原理	(159)	四、测井显示和刻度	(224)
三、仪器设计与操作	(164)	五、确定孔隙度	(225)
四、时间常数和测井速度	(165)	六、确定含水饱和度	(237)
五、补偿	(167)	七、其他应用	(238)
六、曲线显示	(168)	八、结束语	(248)
七、刻度	(169)	习题	(248)
八、补偿密度测井解释	(170)	参考文献	(249)
九、根据补偿密度测井求孔隙度	(171)	附录 A 仪器的技术规范	(251)
十、泥质影响	(172)	附录 B 井眼补偿声波测井组合记 录点	(252)
十一、页岩体积密度	(174)	附录 C 测井曲线图	(253)
十二、剩余油气校正	(175)	第二篇 裸眼井测井解释基础	(255)
十三、结束语	(176)	第一章 岩石性质介绍	(255)
文献目录	(177)	一、引言	(255)
参考文献	(177)	二、沉积岩的性质	(255)
附录 A 补偿密度测井仪器技术 规范	(178)	三、岩石的化学分类	(258)
附录 B 补偿密度测井仪器组合	(179)	四、储集层岩石的特性——孔隙度	(258)
附录 C 组合测井系统示例	(180)	五、圈闭	(259)
第九章 中子测井	(184)	六、渗透率	(259)
一、引言	(184)	七、绝对渗透率、有效渗透率和相对 渗透率	(261)
二、原理	(184)	思考题	(263)
三、中子测井	(191)	文献目录	(264)
四、探测深度	(193)	第二章 基本的电阻率概念	(265)
五、时间常数和测井速度	(194)	一、引言：测井的电阻率概念	(265)
六、刻度	(195)	二、地层流体	(265)
七、曲线显示	(196)	三、阶梯型剖面	(267)
八、中子测井解释	(198)	四、过渡型剖面	(267)
九、环境影响	(201)	五、环带型剖面	(267)
十、泥饼影响（井壁中子）	(201)	思考题	(269)
十一、补偿中子校正	(202)	第三章 地层流体特性	(270)
十二、岩性影响	(207)	一、地层水	(270)
十三、含油气地层	(208)	二、石油和天然气的性质	(272)
十四、泥质影响	(210)	三、井下压力状态	(274)
十五、结束语	(211)		
文献目录	(211)		

四、流体饱和度的分布	(275)
思考题	(276)
文献目录	(276)
第四章 井下温度对地层评价的影响	(277)
一、引言	(277)
二、来自测井的温度	(278)
三、油气分布	(281)
四、油气聚集	(282)
思考题	(284)
文献目录	(284)
第五章 阿尔奇方程	(286)
一、引言	(286)
二、一些术语的定义	(286)
三、应用实例	(290)
思考题	(291)
文献目录	(292)
第六章 岩性	(293)
一、引言	(293)
二、应用	(293)
三、次生孔隙度	(296)
四、自然伽马	(297)
思考题	(297)
文献目录	(298)
第七章 孔隙度测井交会图 (混合 岩性)	(299)
一、引言	(299)
二、双孔隙度解释	(299)
三、密度-中子交会图	(301)
四、中子-声波交会图	(303)
五、密度-声波交会图	(303)
思考题	(303)
第八章 三孔隙度解释	(306)
一、引言	(306)
二、M-N 交会图	(306)
三、K-A 交会图	(309)
思考题	(313)
第九章 复杂岩性地层的泥质含量 评价	(315)
一、引言	(315)
二、自然伽马	(316)
三、自然伽马能谱总计数率	(317)
四、自然伽马能谱的钾含量	(317)
五、自然伽马能谱的钍含量	(317)

六、自然电位	(317)
七、电阻率	(317)
八、中子	(318)
九、密度-中子交会图	(318)
十、中子-声波交会图	(318)
十一、密度-声波交会图	(318)
思考题	(318)
文献目录	(319)
第十章 砂、泥岩剖面孔隙度和粘土含 量的确定	(320)
一、引言	(320)
二、密度-中子交会图	(320)
三、中子-声波交会图	(323)
四、密度-声波交会图	(324)
思考题	(325)
第十一章 视地层水电阻率法: 快速 地层评价	(326)
一、引言	(326)
二、美国海湾的海上油井	(328)
三、得克萨斯陆上油井	(329)
四、致密层和煤层	(330)
五、奥斯汀白垩层	(330)
思考题	(331)
文献目录	(332)
第十二章 电导率确定的孔隙度 (CDP)	(333)
一、引言	(333)
二、应用方程	(333)
思考题	(337)
第十三章 地层因数可动油图	(341)
一、引言	(341)
二、原理	(341)
三、使用方法	(342)
思考题	(344)
第十四章 Hingle 交会图 (电阻率-孔 隙度交会图)	(345)
一、引言	(345)
二、油田实例	(348)
三、结论	(350)
思考题	(351)
文献目录	(353)
第十五章 Pickett 交会图	(354)
一、引言	(354)

二、应用举例	(354)	四、估算含水量	(372)
思考题	(355)	五、含水饱和度与孔隙度交会图	(373)
第十六章 砂、泥岩剖面含水饱和度的 计算	(358)	六、油田实例	(374)
一、引言	(358)	思考题	(375)
二、层状泥质模型	(358)	文献目录	(376)
三、分散泥质模型	(358)	第十八章 计算机处理解释	(377)
四、抛物线方程的应用	(359)	一、引言	(377)
五、广义的阿尔奇方程	(360)	二、井场砂岩分析 (Prolog Sand) ..	(377)
六、道尔方法	(360)	三、井场复杂岩性储集层分析 (Prolog CRA)	(379)
七、Patchett 方法	(361)	四、最终砂岩测井分析 (SAND)	(382)
八、Simandoux 方程	(361)	五、最终复杂岩性储集层分析 (CRA)	(384)
九、Fertl 方程	(361)	思考题	(386)
十、结论	(363)	文献目录	(387)
思考题	(366)	第十九章 计算机处理结果的应用	(388)
文献目录	(366)	一、引言	(388)
第十七章 用测井资料预测含水量	(368)	二、确定两个关键参数	(388)
一、引言	(368)	三、石油储量	(390)
二、束缚水饱和度	(368)	思考题	(392)
三、水油比和水气比	(369)		

第一篇 测井方法各论

第一章 感应测井

一、引言

电阻率是测井方法求出的最重要的参数之一，根据电阻率能划剖面的岩性及评价储集岩层的油气产能。

用普通电阻率法测井会遇到很多困难，特别是对于薄层、低电阻率层、侵入带深以及用油基泥浆钻井时，更是如此。为了克服这些困难，采用了一种测量电阻率的方法，这种方法所用的线圈系和地层之间无需导电介质。感应测井就是以线圈系与待研究地层之间的电磁耦合为依据的。在使用空气钻井、淡水泥浆钻井及油基泥浆钻井时，感应测井特别有效，而且这种方法几乎可全部代替使用电极装置的电阻率测井。

Dresser Atlas 所设计的感应测井仪是记录电导率，它具有很好的分层能力，并把井眼影响减小到最低限度。在空气井中或油基泥浆井中能记录自然伽马测井曲线和感应测井曲线；在淡水泥浆井中，感应-电测井能记录自然电位、16英寸电位电极系、感应电导率及感应电阻率曲线。本公司设计的双感应-聚焦测井具有三种不同的探测深度，能记录出三条电阻率曲线和自然电位曲线，这种组合测井方法能为各种侵入剖面提供求解真电阻率的足够数据。为了求出准确的结果，地层电阻率应低于 100 欧姆米，泥浆滤液的电阻率应大于地层水的电阻率。当泥浆滤液电阻率低于地层水电阻率时，只有在地层电阻率为中等，侵入带深度为中等或较浅，井径小于 8 英寸时，才有可能求出可靠的真电阻率值。

利用感应测井能完成测量真电阻率这一重要工作，即测量出井中含有非导电介质的地层电阻率和有泥浆侵入带时原状地层的电阻率，因为感应测井有非常好的水平聚焦特性。由于感应井具有较高的纵向分层能力，所以也能研究较薄的渗透性地层。

二、基本理论

聚焦感应测井是由发射-接收线圈对组成，在发射线圈中通以稳定的 20 000 赫兹的交流电，由于发射线圈的电磁感应的作用，在线圈系周围的地层中就会感生出涡流，地层中感生的涡流会形成磁场，该磁场在接收线圈中会产生感应电压。只要保持发射线圈中的电流恒定，地层中涡流的强度与地层电导率有近似的正比关系，而且与发射电流间有近似于 90° 的相位差。涡流在接收线圈中感生的电压，其相位与发射电流同相。接收线圈的电子线路能检测出接收线圈中的同相电压分量，可以把同相电压分量当作地层的电导率的量度。

导电地层中的感生涡流会发生相位移和衰减，相敏检波器由接收线圈中选取同相信号，

并将此信号送入计算机，通过计算机使受到地层衰减的信号得到增强。

图 1-1-1 是感应测井的原理图。 T_1R_1 是主线圈对， T_2R_2 ， T_3R_3 是聚焦线圈对。

1. 几何因子

几何因子理论是计算感应测井线圈系响应特性的方法，几何因子可描述接收线圈内信号聚集的方式。通常可根据径向积分几何因子 G_r 和纵向积分几何因子 G_v 来评价线圈系的特性。

用径向积分几何因子能预测线圈系在均匀厚地层中侵入带的响应，而纵向积分几何因子能预测线圈系对薄层的响应，几何因子理论可应用于相对线圈系不同地层参数的几何位置处。

可把几何因子定义为“一个均匀的水平圆环对总信号的相对贡献，它是一个无因次的数；圆环的中心与井轴重合，圆环的断面积极小且为一个单位”。几何因子 G 的值与地层相对于发射-接收线圈距中点的位置有关。把水平圆环（或称单元环）的几何因子乘以电导率，就是该单元环对仪器总的电导率响应的贡献。

图 1-1-2 表示双线圈系感应测井系统，该系统由一个发射线圈和一个接收线圈组成，其周围是一个均匀的充满单元环。

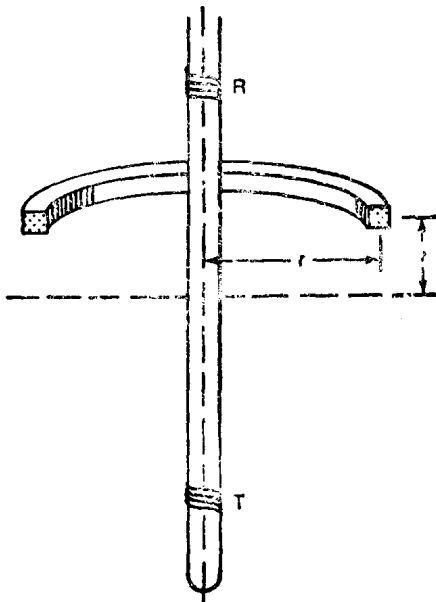


图 1-1-2 双线圈系感应测井系统

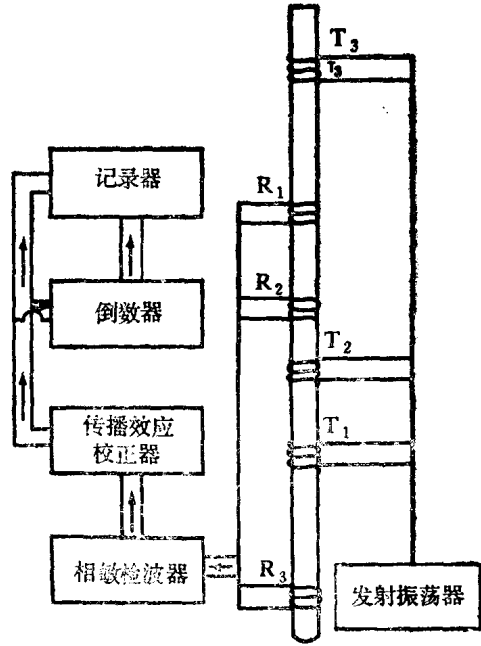


图 1-1-1 感应测井原理图

单元环的半径为 r ，与线圈距中点的距离为 z ，单元环在接收线圈产生的电压值可用下式表示：

$$V_r = KG\sigma \quad (1-1-1)$$

式中 K ——仪器常数，是发射线圈、接收线圈截面积和线圈距的函数，同时也是发射电流强度和频率的函数；

G ——单元环几何因子，与单元环相对于发射线圈和接收线圈的位置有关；

σ ——单元环电导率。

径向几何因子是把地层当作许多与井眼同轴的圆桶状介质的组合。根据上述定义，径向积分几何因子 G_r 是在半径为 r 的圆柱状介质内所有单元环几何因子 G 的总和。这种状况相当于厚地层中有泥浆滤液侵入带，其电导率沿径向发生变化。

图 1-1-3 中画出了在厚地层中的双线圈系感应测井仪器，并表示出各圆柱界面内介质的径向积分几何因子。随着离线圈系距离的增大，径向积分几何因子增大，对全空间的径向积分几何因子一定为 1。

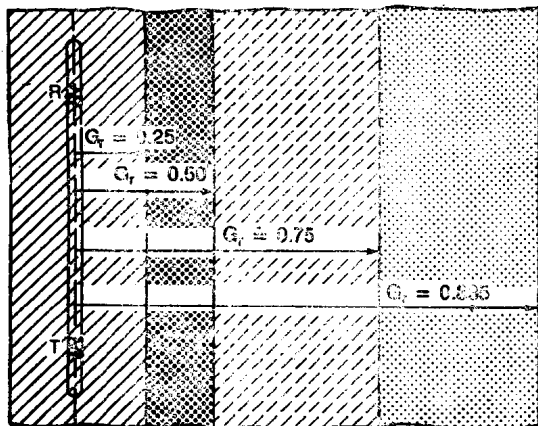


图 1-1-3 具有圆柱界面的径向积分几何因子

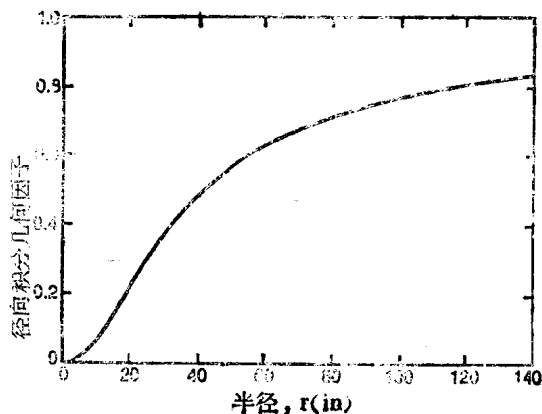


图 1-1-4 线圈距为 40 英寸时，径向积分几何因子 G_r 与半径 r 的关系曲线

图 1-1-4 是径向积分几何因子 G_r 与圆柱半径 r 之间的关系曲线，发射线圈与接收线圈距为 40 英寸。

感应测井仪器正好对着厚地层时，所测信号能反映地层的电导率；但对着薄地层时，所测信号还受邻层电导率的影响。用类似的方法可得出纵向积分几何因子 G_v ， G_v 相当于距线圈距中点为 z 的两个水平面之间所有单元环几何因子 G 的总和。纵向积分几何因子 G_v 随着 z 增加而增大，而且对于全空间 G_v 为 1。

双线圈系在一导电介质中，在其上部有一平面界面（图 1-1-5）。这样地层的几何因子与线圈距中点到平面界面的距离有关。

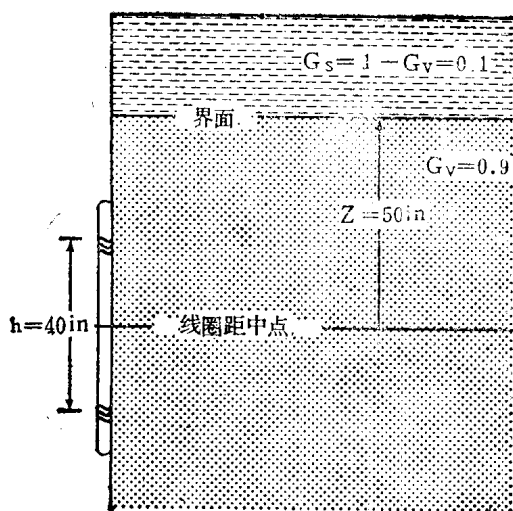


图 1-1-5 具有一个平面界面时的纵向积分几何因子

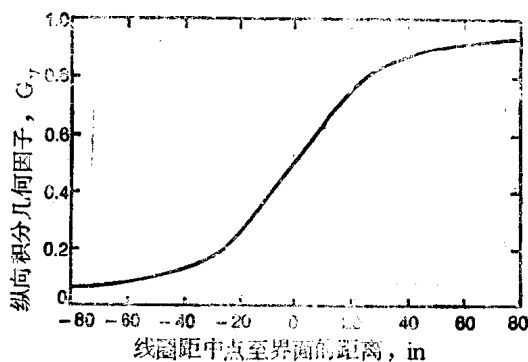


图 1-1-6 线圈距为 40 英寸的纵向积分几何因子

图 1-1-6 给出了纵向积分几何因子 G_v 与 z 的关系曲线, z 为界面到线圈距中点的距离, 线圈距为 40 英寸。

2. 聚焦线圈系

为了改善感应测井系统的径向和纵向探测特性, 研制了多线圈感应测井仪。聚焦感应测井采用适当的附加发射和接收线圈, 聚焦线圈的距离、圈数及线圈的绕制方向决定其对聚焦感应测井总信号的贡献。如果所设计的线圈系能使发射线圈和接收线圈的互感为零, 那么井的影响也会下降到最小。

Dresser Atlas 的深探测聚焦感应测井仪有 6 个线圈, 每一个发射线圈在每一个接收线圈中产生感应电压, 接收线圈中总的同相电压等于每一对发射线圈-接收线圈组合的同相电压的代数和。每一个发射线圈-接收线圈组合的贡献只占接收线圈中总电压的一部分, 其所占的百分数是线圈的圈数、线圈的截面积及线圈间距离的函数。把所有发射线圈-接收线圈组合的几何因子乘以每个线圈对仪器总响应的贡献, 再求其代数和就能得到聚焦感应测井的几何因子。

Dresser Atlas 感应测井的径向积分几何因子如图 1-1-7 所示, 图中画出了纵向积分几何因子与侵入带直径的关系曲线。

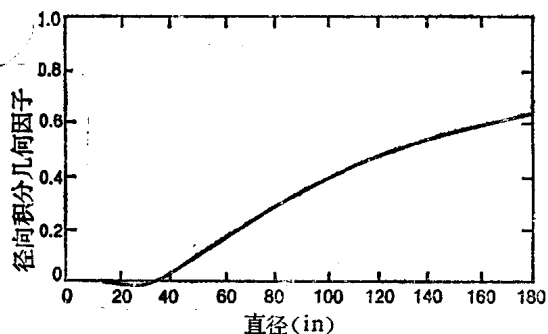


图 1-1-7 Dresser Atlas 感应测井的径向积分特性曲线

在很多情况下能用径向积分特性曲线来预计感应测井对侵入带的探测特性, 下面就是井眼和地层参数与几何因子的关系式:

$$\sigma_a = \sigma_m G_m + \sigma_i G_i + \sigma_u G_u \quad (1-1-2)$$

式中 σ_a ——视电导率;

$\sigma_{m,i,u}$ ——分别为泥浆、侵入带及原状地层的电导率;

$G_{m,i,u}$ ——分别为泥浆、侵入带及原状地层的几何因子。

下面是用上式计算的结果。8 英寸的井眼钻穿地层, 侵入带直径为 40 英寸。

已知:

$$\sigma_m = 1000 \text{ mS/m},$$

$$\sigma_i = 50 \text{ mS/m},$$

$$\sigma_u = 100 \text{ mS/m}.$$

根据图 1-1-7 可得出:

$$G_m = G_{40}'' = -0.001$$

$$G_i = G_{40}'' - G_{80}''$$

$$= 0.025 - (-0.001) = 0.026$$

$$G_u = 1 - G_{40}'' = 1 - 0.025 = 0.975$$

所以视电导率为

$$\begin{aligned} \sigma_a &= \sigma_m G_m + \sigma_i G_i + \sigma_u G_u \\ &= 1000(-0.001) + (50)(0.026) \\ &\quad + (100)(0.975) \end{aligned}$$

$$= 97.8 \text{ mS/m}$$

图 1-1-8 给出了感应测井的纵向积分特性曲线，图中画出了纵向积分几何因子与地层厚度的关系曲线。几何因子理论表明，围岩对测量结果有相当大的贡献。

虽然很少用几何因子概念计算，但下述公式是几何因子与薄层响应的关系：

$$\sigma_a = \sigma_b G_b + \sigma_s G_s \quad (1-1-3)$$

式中 σ_a ——视电导率；
 σ_b ——目的层电导率；
 σ_s ——围岩电导率；
 G_b ——目的层的几何因子；
 G_s ——围岩的几何因子。

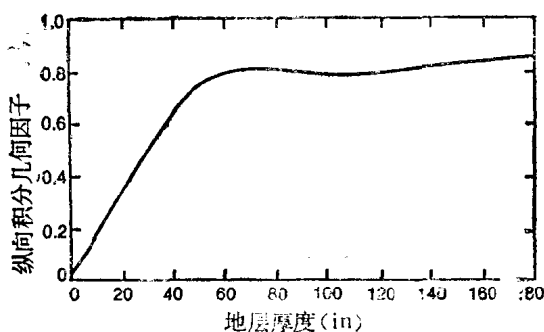


图 1-1-8 Dresser Atlas 感应测井纵向积分特性曲线

在地层响应部分，再对围岩的真正影响进行详细地研究。下面的例子只是用来说明几何因子概念，计算了厚度为 4 英尺的地层对感应测井的响应。

已知：

$$\sigma_b = 100 \text{ mS/m}$$

$$\sigma_s = 1000 \text{ mS/m}$$

根据图 1-1-8 可得出：

$$G_b = 0.728 \text{ (地层厚度为 4 英尺)}$$

$$G_s = 1 - 0.728 = 0.272$$

所以视电导率为

$$\begin{aligned} \sigma_a &= \sigma_b G_b + \sigma_s G_s \\ &= (100)(0.728) + (1000)(0.272) \\ &= 345 \text{ mS/m} \end{aligned}$$

3. 传播效应

在很多情况下，所谓传播效应就指的是趋肤效应，将用传播效应来描述信号在导电层中传播时会产生相位移和衰减，由此引起信号的损耗。

当电磁波在地层中传播时，地层会吸收电磁能量，因此电磁波会发生衰减。

除了由衰减引起信号的损耗外，信号的相位变化也会引起信号的损耗。例如：20 000 赫兹的电磁波穿行在电导率为 1000 毫西门子/米的地层中，其波长为 73 英尺，波穿行 1 英尺时其相位变化近似为 5 度 (5°/英尺)。由于在感应测井仪器中只测量与发射电流同相位的信号，在计算地层的接收信号时，应把由于相位变化引起的衰减加到衰减项中。

对于任何的发射线圈-接收线圈对，由于传播效应的影响往往使接收线圈中的信号减小，因此接收线圈中测出的电导率总是小于地层的真电导率，并且随着发射线圈与接收线圈间距离的增大其电导率降低。因此，对于感应测井仪器应依据信号的损耗来调节接收线圈中的电压值。

采用适当的刻度设备时，把接收线圈中与发射电流同相的电压乘以刻度常数，就得出地层的视电导率。对视电导率作传播效应的校正，以便使测量出的电导率曲线接近于地层的电

导率。根据无限均匀介质的公式计算出或记录出电导率值，其公式如下：

$$\sigma_a = C_o V_a \quad (1-1-4)$$

$$G_o = \sigma_a / \sigma_t = 1 - \frac{2L}{3\delta} + \frac{2}{15} \frac{L^2}{\delta^2} \quad (1-1-5)$$

$$\sigma_r \cong \sigma_t = \sigma_a \times \frac{1}{G_o} \quad (1-1-6)$$

式中 V_a ——接收线圈中与发射电流同相的电压；

C_o ——刻度常数；

σ_a ——接收线圈得出的视电导率；

G_o ——对传播损耗的校正因子；

σ_t ——地层的真电导率；

σ_r ——应记录的电导率；

L ——发射线圈与接收线圈间的距离；

δ ——信号的趋肤深度， $\delta = \left(\frac{2}{\mu \omega \sigma_t} \right)^{1/2}$ ；

μ ——磁导率；

ω ——圆频率， $\omega = 2\pi \times \text{频率}$ 。

公式 (1-1-4) 中只给出了与发射电流同相的信号部分，因为在接收电路中有相敏检波器，把异相信号给检掉。对多线圈感应测井应用上述公式时，要用前面所介绍的方法，对每一个发射线圈-接收线圈对的响应求代数。

图1-1-9 给出了 Dresser Atlas 感应测井记录出的视电导率与真电导率的关系，并反映出为了记录出地层真电导率必须提高灵敏度。

已经研究了淡水泥浆滤液侵入高电导率地层时的感应测井响应，因其侵入带的电导率低于原状地层的电导率，因此传播损耗将低于上述方程给出的结果。

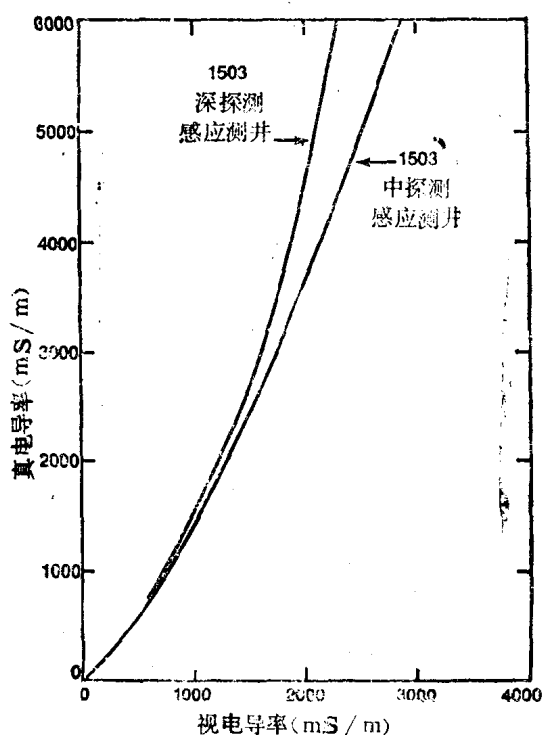


图 1-1-9 Dresser Atlas 感应测井的传播效应

三、双感应-聚焦测井

双感应-聚焦测井是一种组合仪器，它能同时给出四种测量结果，电阻率包括有三条曲线：深探测感应测井曲线，中探测感应测井曲线，浅探测的侧向测井曲线。为了划分岩性，也可记录自然电位或自然伽马测井曲线。

浅探测聚焦测井是一种侧向测井仪器。为了在淡水泥浆条件下作为感应测井的一种辅助装置，把该仪器设计成一种恒压测量系统，采用短的上、下屏蔽电极，迫使由主电极流出的电流沿水平方向进入地层，但进入地层后电流线很快就散开，因此其测量结果主要反映井眼

附近的地层部分。主电流经周围的地层回到回路电极，提供了确定视电阻率的信号。浅侧向测井仪器位于组合仪器的底部。

包括有两种感应测井的仪器部分，有三个发射线圈，一系列接收线圈，通过发射线圈-接收线圈的适当组合，就能给出一组具有深探测的感应测井线圈系和一组具有中探测的感应测井线圈系。只测量与发射电流同相的信号，并送到地面仪器。由地层得出的聚焦测井和感应测井信号进入计算机，然后存入存储器中，进行深度匹配，以便使记录出的所有曲线都在相应的深度上。对深探测感应测井进行预定的计算，以提高其对薄层的响应；然后把这个信号送入计算机，进行传播损耗的校正，以增大感应测井的信号。作过校正的电导率信号进入对数放大器，然后在对数比例尺上记录出电阻率值，因而使用时不必进行电导率与电阻率的换算。图1-1-10是双感应——聚焦测井的原理框图。

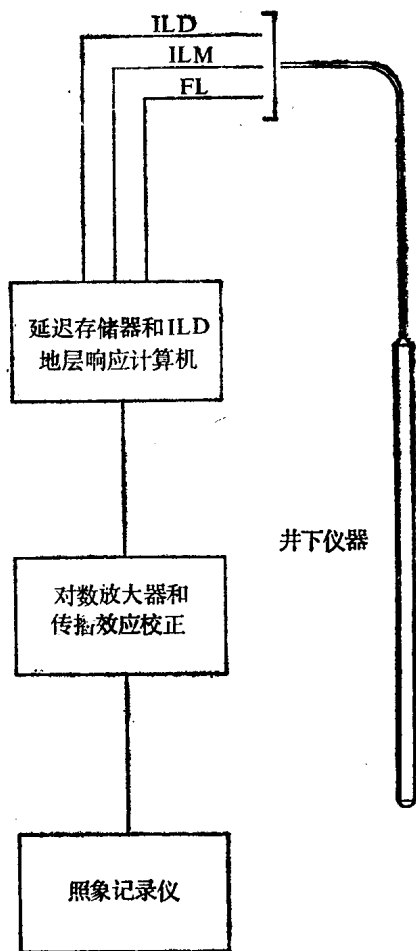


图 1-1-10 双感应-聚焦测井原理框图

四、仪器刻度

用数控测井仪（CLS）对感应测井仪进行刻度，使用车间刻度和井场校验的方法。在车间内预先确定的刻度范围进行刻度，能得出更为准确的刻度结果。在这个车间内要有一致的刻度环境，而且要在没有时间的压力下来完成刻度。在车间内要定期对仪器作刻度，每次工作时要检查漂移情况。

由例行的刻度导出刻度常数，刻度常数实际上是转换系数，把物理单位（如毫伏）转换为工程单位（西门子/米和欧姆米）。当测井系统在车间刻度时，例行检验能给出读数，并能把用工程单位表示的标准值和刻度常数保存在磁盘上。

为了确定仪器的稳定性，要用例行的检验方法在测井前和测井后对刻度标准进行检查。这种检验与在车间所进行的一样。

在车间对感应测井仪进行刻度时，使用两种辅助装置，一个是刻度环，另一个是校验盒。感应测井刻度环是用铜管作成的圆环，装在一个玻璃钢圆板上，圆板上还装有几个电阻，通过某个电阻可把圆环断开和闭合，玻璃钢圆板中间有个孔。为了测量发射线圈通过刻度环在接收线圈中的感应电压，可把刻度环套在感应测井仪上。

校验盒的玻璃钢板上装有几个接线柱，它们与一定的电阻相接。接线柱之间的距离等于短电位电极系电极之间的距离，或者等于聚焦测井电极间的距离。进行刻度检验时，把校验盒与电极相接，就能测出电阻网络的电阻率值。该电阻网络模拟所测地层、泥浆的电阻率值。

下面简要介绍车间刻度和校验。

1. 感应测井仪器

感应测井仪器放在 6 英尺（1.8 米）高的支架上，周围的导电材料或结构物与仪器的距离应超过 30 英尺（10 米）。

对每种感应测井仪和短电位电极系都作两次基本测量，即低值和高值，用毫伏表示。在仪器不加信号时测量低值（感应测井不加刻度环，短电位电极系不接校验盒）。把刻度环套在感应测井仪上，并将其对准感应测井仪的记录点，在刻度环中产生参考信号，记录出刻度高值。

在空气中的传播信号没有传播效应损耗。为了使地层的信号也能得出正确的幅度，应把地层的信号送入计算机，对传播效应影响进行校正，提高记录信号的数值。然后把短电位电极系的校验盒接入仪器，得出高刻度电压并把它记录下来。

为了把毫伏转换为毫西门子/米和欧姆米，要确定刻度加法因子和刻度乘法因子，以便使感应测井的低值读数和高值读数分别为 0.0 和 500 毫西门子/米。对短电位电极系的低值和高值读数分别为 0.0 和 10 欧姆米。把这些转换因子保留下来，在以后测井前和测井后的校验中作为原始数据用。

对于原始校验，是通过内部电阻把电压加到感应测井的接收线圈和短电位电极系的测量电极，以便记录出与刻度值近似的低电压值和高电压值。然后根据原始刻度得出的转换因子，把电压值转换为毫西门子/米或欧姆米。在井场对测井仪器进行测井前或测井后的校验时，记录出的高值读数和低值读数应与车间原始校验值近似相等。图 1-1-11 给出了Dresser

测井名称 IEL ^①		日期: 10/26/81	时间: 17:40:06	设备号 No.56789		地面仪器 No.D 系统	
原始刻度日期、时间: 10/25/81, 10:40:24							
曲线	mV		刻度因子		工程值		单位
	低	高	加法因子	乘法因子	低	高	
日期: 10/25/81 刻 度 时间: 10:40:24							
COND ^②	2.0	504.8	-1.583	1.9412	0.000	500.000	mS/m
SN ^③	0.4	104.1	-0.036	0.2353	0.000	10.000	Ω·m
日期: 10/25/81 原始校验 时间: 10:44:57							
COND	0.1	499.6	-1.583	1.9412	-1.489	493.781	mS/m
SN	0.3	103.7	-0.036	0.2353	-0.002	9.963	Ω·m
日期: 10/26/81 测井前校验 时间: 13:32:20							
COND	0.6	502.6	-1.583	1.9412	-1.106	498.300	mS/m
SN	0.5	104.5	-0.036	0.2353	0.010	10.041	Ω·m
日期: 10/26/81 测井后校验 时间: 17:35:30							
COND	0.3	500.5	-1.583	1.9412	-0.787	499.400	mS/m
SN	0.4	103.9	-0.036	0.2353	0.000	9.984	Ω·m

图1-1-11 Dresser Atlas 感应测井仪：刻度/校验一览表
 ①感应测井仪器；②感应测井；③短电位电极系

Atlas 感应测井仪器刻度/校验一览表。

2. 双感应-聚焦测井仪

除在车间刻度时刻度环要对准深感应和中感应的记录点外，双感应-聚焦测井仪的刻度和校验方法与感应测井仪一样。聚焦测井仪的电压值相应于 500 毫西门子/米。图 1-1-12 给出 Dresser Atlas 双感应-聚焦测井的刻度/校验一览表。

测井名称 DIFL ^①		日期: 06/16/82		时间: 20:37:34		设备号 №40123		地面仪器 №HL6080	
原始刻度日期时间: 06/14/82, 07:01:50									
曲线	mV		刻度因子		工程值		单位		
	低	高	加法因子	乘法因子	低	高			
	日期: 06/14/82		刻 度		时间: 07:01:50				
CILD ^②	0.2	486.8	0.791	2.0010	1.000	500.000	mS/m		
CILM ^③	0.0	546.5	0.971	2.0611	1.000	500.600	mS/m		
CFOC ^④	0.2	477.3	0.765	2.5523	1.000	500.000	mS/m		
	日期: 06/14/82		原始校验		时间: 07:09:41				
CILD	4.9	480.8	0.791	2.0010	4.839	492.735	mS/m		
CILM	4.5	537.5	0.971	2.0611	4.888	491.588	mS/m		
CFOC	1.6	469.0	0.765	2.5523	2.408	491.386	mS/m		
	日期: 06/16/82		测井前校验		时间: 15:10:43				
CILD	3.5	488.9	0.791	2.0010	3.780	501.880	mS/m		
CILM	5.5	542.9	0.971	2.0611	5.778	496.646	mS/m		
CFOC	3.7	485.6	0.765	2.5523	4.605	508.742	mS/m		
	日期: 06/16/82		测井后校验		时间: 20:31:12				
CILD	5.0	487.9	0.791	2.0010	4.988	500.601	mS/m		
CILM	3.6	554.7	0.971	2.0611	4.089	508.021	mS/m		
CFOC	2.9	489.2	0.765	2.5523	3.847	512.506	mS/m		

图 1-1-12 Dresser Atlas 双感应-聚焦测井刻度/校验一览表

①双感应聚焦测井；②深感应；③中感应；④聚焦测井

五、测 井 曲 线

Dresser Atlas 感应-电测井组合仪器能在胶片上同时记录三种测井曲线，它们是自然电位曲线，短电位电极系（16 英寸）曲线，感应测井的电导率曲线和电阻率曲线。该仪器能测出距井底 4 英尺以内的地层。

对电导率的信号作了损耗衰减校正，并以毫西门子/米为单位记录在测井图最右边的道，采用与地层电导率相适应的横向比例，同时在测井图的中间道（第二道）记录出感应电阻率（1000 ÷ 电导率，毫西门子/米）曲线，单位是欧姆米。这样就能很方便的与短电位电极系的曲线进行对比，这两条电阻率曲线的横向比例相同。

图 1-1-13 是感应-电测井与自然伽马测井组合记录出的测井曲线，在第二道记录出的感应和短电位的电阻率曲线采用对数比例尺，其范围为 0.2~20 欧姆米。

双感应-聚焦测井的电阻率曲线采用四阶对数横向比例，其范围是 0.2~2000 欧姆米（图 1-1-14）。选择这样的横向比例是为了能适应大多数的测井条件，这就消除了改变比例尺，测井读数出格等毛病，同时在低电阻率范围内给出准确的读数，能对三种不同探测深度的电阻率

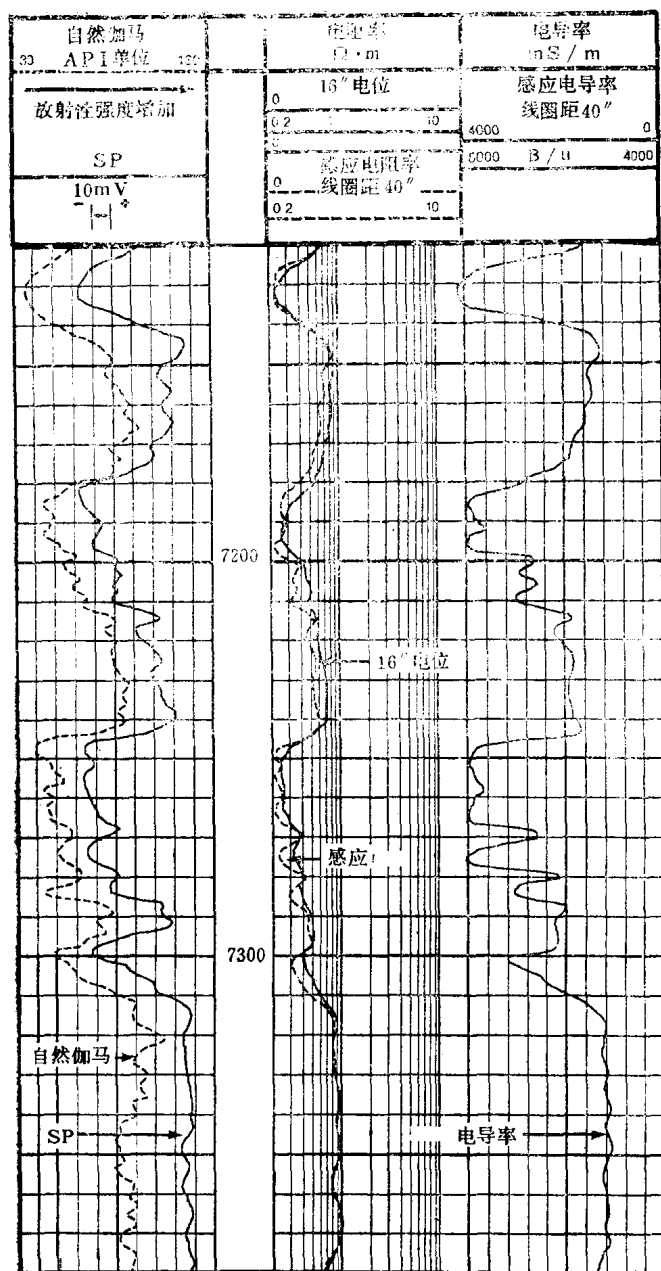


图 1-1-13 感应-电测井曲线

曲线进行对比，作出快速直观解释。在选定的区域内，可使用线性横向比例及 2 英寸的深度比例尺，以便与周围的井进行对比。但在使用对数横向比例记录的详细的测井图中使用 5 英寸深度比例尺。

六、测井曲线解释

测井曲线定量解释的最终目的是估价从孔隙性渗透性地层中能产出多少流体，即油、气及