

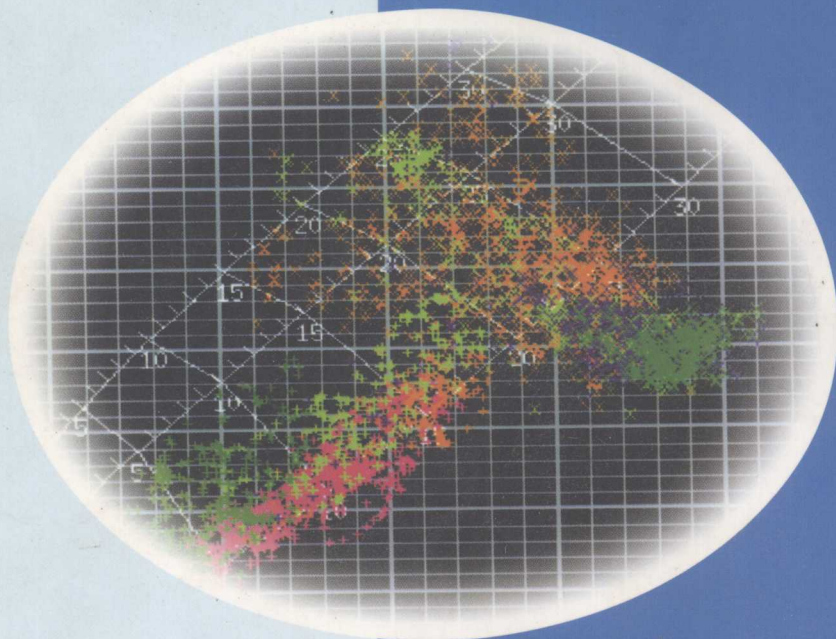


17

大港油田科技丛书编委会编

测井技术

(上)



石油工业出版社
P E T R O L E U M

I N D U S T R Y P R E S S

大港油田科技丛书 17

测 井 技 术

(上)

大港油田科技丛书编委会编

石油工业出版社

内 容 提 要

本书重点介绍了大港油田裸眼井测井技术三十多年来的发展历程,包括仪器设备、工艺技术、资料解释的方法、原理、现场应用和效果评价。可供勘探系统管理人员及地质、物探、录井技术人员阅读,也可供测井现场人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

测井技术(上)/大港油田科技丛书编委会编.
北京:石油工业出版社,1999.9
(大港油田科技丛书;17)
ISBN 7-5021-2777-1

I. 测…

II. 大…

III. ①采油井-测井-技术 ②采油井-射孔-技术

IV. TE15

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 42954 号

石油工业出版社出版
(100011 北京安定门外安华里二区一号楼)
北京林地贸易公司排版
石油工业出版社印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开本 21.5 印张 540 千字 印 1—2300

1999 年 9 月北京第 1 版·1999 年 9 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-2777-1/TE·2177

定价:32.00 元

大港油田精神文明丛书总编委

主 任：王 鹏 姚和清

副 主 任：张德寿（常务）

主任委员：孙希敬 陈玉瑾 高兰成 朱敬成 郭德宝 张大德
俞叔武 于庄敬 薛士荣 刘志谦 王鹤龄 于树方
蒋永佑 华勇魁 于秋云 王兴隆 段新坎 黄建庆
李润寿 张国欣

大港油田科技丛书编委

主 任：孙希敬

副 主 任：张大德 于庄敬（常务） 薛士荣

委 员：吴永平 曲经文 周嘉玺 李文瑞 马世煜 毛立言
宋伯韬 周学仁 李学文 刘鸿斌 牟祥汇 孙宝绪
李 淦 王巧月

序

大港油田三十多年来在勘探、开发和建设方面都取得了长足的进步，物质文明和精神文明建设结出丰硕成果，创造了许多成功经验，这些都是广大职工共同努力，发扬艰苦奋斗、顽强拼搏、无私奉献的创业精神的结果。为了使这些成果和经验系统化、理论化，形成财富，促进油田勘探开发建设进一步发展，经济效益大幅度提高，大港油田领导提出编写大港油田“科技丛书”。这个安排引起油田党委的重视，经过认真研究，决定扩大“丛书”编写范围，于1997年5月油田党、政联合下发文件，决定编撰“大港油田精神文明建设丛书”，成立了精神文明建设丛书编委会，下设七个系列，“科技丛书”是其中之一，并成立了编委会。

“科技丛书”怎样写，以哪些读者为对象，写成什么样的书，对这些问题我们花费了较长时间，听取了各方面的意见，进行广泛深入讨论，逐渐形成了明确的指导思想。大家认为这套“丛书”应有独特的品质，它不同于教科书，不同于科普读物，不同于论文集，不同于经验总结（成果汇编），也不同于工具手册。要突出“科技”和“大港”两个特色。“科技”特色是总结大港油田三十多年极其丰富的科学技术实践和创造发明，做到有理论基础、方法原理、实用程序和实践成果，在“科技”特色的基础上，突出“大港”特色，写出大港发明创造的技术，在国内外有影响的技术，使用过的技术，试验过的技术，并有成功和失败的实例分析，还要讨论一些技术的实用性和发展方向，全书不是简单的技术描述和实际案例分析，而是一次再提高再创造，使读者特别是中青年科学技术人员和各级管理干部，还有非本专业的技术人员，有原理可查，有方法可学，有实例可看，有经验可借鉴，起到承上启下的作用。

这套“丛书”为广大读者提供大港油田科技发展的历程。大港油田三十多年的发展建设，经历了风风雨雨，有成功的经验和失败的教训，学会借鉴前人的经验和教训，少走弯路，杜绝重复劳动，对我们事业的兴旺发达和科技人员成长都有一定的好处。“丛书”还展示了大港油田的科技全貌，反映了大港油田的技术状况，为广大青年技术干部、各级管理人员和非本专业技术干部了解油田技术状况修通了高速公路。还应说明，活跃在大港油田勘探开发早、中期各条战线的技术骨干，现在多数已经退休，在工作上完成了交接。有许多退休老专家参加“丛书”的编撰工作，把他们多年积累的宝贵经验留下来，也算老专家们在技术上对大港油田的干部职工有了个好交代。这套“丛书”正式出版适逢大港油田勘探开发建设三十五周年之际，谨以此书献给为大港油田建设做出卓越贡献的人们。

这套“科技丛书”，按照油田的习惯说法，包括十个专业共24册约800万字。即：

- 第一册 勘探历程与经验
- 第二册 第三系石油地质基础
- 第三册 油气藏与分布
- 第四册 新区、新层系、新领域
- 第五册 地质实验技术
- 第六册 地震勘探资料采集技术

- 第七册 地震勘探资料处理和解释技术
- 第八册 大港油田开发实践
- 第九册 枣园高凝高粘中低渗断块油田开发
- 第十册 提高采收率技术
- 第十一册 油气藏探边测试方法与应用
- 第十二册 钻井工程技术 (1)
- 第十三册 钻井工程技术 (2)
- 第十四册 钻井工程技术 (3)
- 第十五册 滩海工程技术
- 第十六册 录井技术
- 第十七册 测井技术 (1)
- 第十八册 测井技术 (2)
- 第十九册 电泵采油与分层注水
- 第二十册 防砂工艺技术
- 第二十一册 压裂与酸化工艺技术
- 第二十二册 试油与油井大修
- 第二十三册 油田地面工程设计与施工
- 第二十四册 石油炼制

为了编撰好“丛书”，确保达到设计要求，使各分册有个好质量，编委会认真研究精心设计各册编写提纲，这是写好“丛书”的基础。安排章节的作者力争由学科带头人执笔，分册负责人全文贯通，提出修改意见、把关，负责完成初稿，这是保证“丛书”质量的重要环节。然后由编委会组织6至7名专家进行审查定稿。尽管这方面我们做了不少工作，由于水平有限，错误在所难免，敬请读者批评指正。

孙希敬

1999年2月4日

前 言

测井是油气田勘探和开发过程中重要的技术手段之一。大港油田地质构造十分复杂，油气藏类型多，含油层系多，储油层类型多，这就给大港油田的测井工作带来了更多的技术难题，提出了更高的技术要求。80年代中期全国测井界曾归纳出十大测井难题，大港油田就占了四个（咸水钻井液、低阻油层、深层、复杂岩性）。

30多年来，在油田领导和有关部门支持下，测井工作得到了很大发展。经历了60~70年代模拟记录阶段；80年代前初期数字测井阶段；80年代中期数控测井阶段和90年代末期开始进入的以引进5700成像测井系统为代表的成像测井阶段。

随着测井装备、工艺水平的不断提高，为油田地质工程服务的能力也大大加强。一大批适应于大港油田使用的测井专用设备、工艺技术、解释方法和应用软件相继投入生产使用。在油田勘探、开发过程中发挥了重要作用。回顾大港测井技术发展的历程，实际上是在测井方法不断发展的基础上测井工艺、装备不断更新、改造的过程。测井方法和测井仪器的发展是相辅相成的。一项新的测井方法的提出有赖于测井仪器予以实现，促使仪器更新换代。反之，仪器和测量技术的创新和进步会使原来无法实现的测井方法得到应用，或促使老的测井方法得到更新和发展。

本书收集了大量的技术总结、成果报告、科研论文，按裸眼井和套管井测井技术，分两册编写：上册介绍裸眼井测井技术，分为测井设备（仪器、工艺、试验设施）和测井资料解释两篇；下册介绍套管井测井技术，分为生产井测井技术和射孔技术两篇。按照科技丛书编委会的要求，在编写时遵循以下原则：

1) 基本上依照时间顺序按测井技术的发展阶段分专业、按类别介绍在大港油田应用过的各项测井技术，一般包括方法原理、工艺装备、应用效果及资料评价。

2) 由于测井方法多样、仪器品种繁杂，即使同一种方法（或仪器）不同时期型号也不尽相同，为避免重复只在最先出现时作一般原理介绍，在以后的发展阶段只作改进或新功能介绍。

3) 将大港油田自己研制或开发的新技术作为介绍重点，对引进的技术只重点介绍应用（或改进）情况而对其方法、原理只作简单介绍，以求突出大港特色。

4) 60~70年代的测井技术（即模拟记录阶段），目前虽已大部分被淘汰，但因其在测井技术发展的历程中占有重要的一席并起着承上启下的作用，故进行了综述，对其中在当前还有使用价值的技术（如油田现在还保留了大量的60年代的横向测井资料）作了较详细的介绍，以备需要使用时参考。

5) 在大港油田测井技术发展过程中也有不成功的方面，为了从中吸取教训，也力求更客观地反映发展历程，书中也编选了一些有代表性的实例。

全书共两册四篇二十二章，各章节作者为：第一章李根固，第二、四、五章谭甲顺，第三章汪宏波，第六章张承贤，第七章陈幼同，第八、九章袁福文，第十章邵维志，第十一章吕志强，第十二章刘翠云、冯新茶、吕志强，第十三章吕志强、王春阳，第十四章宋秋菊、吕志强，第十五章吕志强、郭俊明，第十六章刘印堂、吕志强，第十七章苑庆岩、吕志强，

第十八至二十二章张承贤、霍付春。书中第一篇由李学文、段德培统编，第二篇由刘德武统编，第三篇由李学文、段德培统编，第四篇由李学文、侯士浚统编。全书由谭甲顺进行了标准化校对。上册经于庄敬、薛士荣、张金昆、李学文、段德培、刘德武、王巧月集体审核定稿，下册经孙希敬、张金昆、陈瑞华、李学文、段德培、侯士浚、刘德武集体审核定稿。在编写过程中得到了测井公司领导和有关人员的大力支持，在此一并表示感谢。

《测井技术》编写组

1999年5月

目 录

第一篇 裸眼井测井装备与工艺

第一章 六七十年代大港测井装备与工艺	(3)
第一节 基本技术状况	(3)
第二节 发展新仪器,更新测井系列	(12)
第二章 测井地面仪器	(27)
第一节 SJD-801 数字测井仪的试验与应用	(27)
第二节 SJD581 微机多线测井仪	(32)
第三节 3700CLS 数控测井系统的应用	(33)
第四节 DSK-91 数控测井系统	(40)
第三章 测井下井仪器	(49)
第一节 国产“SJD83 系列”测井下井仪器的应用	(49)
第二节 引进的 3700CLS 测井下井仪器的应用	(67)
第三节 引进下井仪器部件国产化及改进	(83)
第四章 大斜度井、水平井测井技术	(87)
第一节 概 述	(87)
第二节 水平井测井工艺	(88)
第三节 大斜度定向井测井仪器送入工艺及工具	(92)
第五章 电缆使用工艺及测井基础设施	(96)
第一节 电缆维修工艺	(96)
第二节 电缆标定及电缆安装设备	(103)
第三节 直井电缆通井工艺	(109)
第四节 穿心式电缆解卡工艺	(111)
第五节 核测井仪器的标准刻度井	(116)
第六节 高温高压试验装置	(121)
第六章 井壁取心	(125)
第一节 概 述	(125)
第二节 各类取心器主体的结构及使用效果	(126)
第三节 取心选发器	(130)
第四节 岩心筒及取心药盒	(137)
第五节 钻进式井壁取心器	(139)

第二篇 测井资料解释

第七章 大港油田早期测井解释技术·····	(143)
第一节 裸眼井测井方法和测井系列·····	(143)
第二节 早期测井解释技术·····	(154)
第八章 测井资料的数字处理·····	(164)
第一节 测井资料的预处理·····	(164)
第二节 测井资料的数字处理程序·····	(169)
第九章 测井资料解释方法和应用·····	(171)
第一节 复杂地层分析程序 (NEWCR) 及应用·····	(171)
第二节 多参数储层综合评价自动分析处理方法与应用·····	(177)
第三节 地层倾角测井解释方法及应用·····	(186)
第四节 重复式电缆地层测试器测井资料的应用·····	(216)
第五节 介电测井资料解释方法·····	(227)
第六节 利用常规测井资料评价薄层方法及应用·····	(239)
第七节 利用测井资料进行地层压力预测和检测方法的应用·····	(245)
第八节 大港油田剩余油饱和度的计算与应用·····	(251)
第九节 水淹层测井解释技术的应用·····	(256)
第十节 岩电试验方法及应用·····	(261)
第十章 利用测井资料进行区块评价·····	(276)
第一节 油、气、水解释综合评价技术应用·····	(276)
第二节 气层测井识别技术应用·····	(303)
第三节 港东东营组低阻油层识别技术·····	(314)
第四节 枣园油田水淹层解释技术应用·····	(320)
第五节 孔南火成岩测井解释技术·····	(323)
第六节 测井油藏描述技术·····	(329)

第一篇 裸眼井测井装备与工艺

第一章 六七十年代大港测井装备与工艺

第一节 基本技术状况

1964 年建厂初期，大港测井技术状况和当时大庆情况相似，基本使用的是从原苏联引进的“横向测井”技术。

一、测井项目和井下仪器

1. 自然电位测井

在生产实践中发现，如图 1-1 在没有人工供电情况下，电极 M 在井下移动时仍然能够产生与地层有关的电位变化，由于这个电位是自然产生的，称作自然电位。

自然电位测井测量的是地面电极 N 与井下电极 M 之间的电位差。

(1) 自然电位的产生

自然电位产生的原因是复杂的，对于以沉积岩为主的石油测井来说，主要是扩散吸附电位、过滤电位。

(2) 自然电位测井曲线的应用

自然电位测井是常规的测井项目之一，直到如今，还广泛使用于各种裸眼井测井。其主要用途有：

- 1) 判断岩性，确定渗透地层；
- 2) 计算地层水电阻率；
- 3) 估计地层的泥质含量。

2. 普通电阻率测井

普通电阻率测井通常是指梯度电极系，电位电极系和微电极系测井。它们是石油地球物理测井中最基本最早使用的方法。根据岩石导电性能的差别来研究钻井地质剖面。它测量的参数是地层电阻率。由于测量要受到井径、钻井液电阻率、上下围岩以及电极距影响，测得的参数不等于地层的真电阻率，通常称为视电阻率。

(1) 横向测井

为了消除各种影响因素，求取地层真电阻率，实际测井时应用不同电极距探测深度不同的原理选择了一套电极系系列，在井中测量不同探测深度的多条电阻率曲线，再根据解释图版求取地层真电阻率、侵入带电阻率以及侵入带直径。这种测井方法叫作横向测井（参见第二篇）。

横向测井从 50 年代起在我国石油测井行业普遍使用，直到 70 年代初才逐渐被替代。在

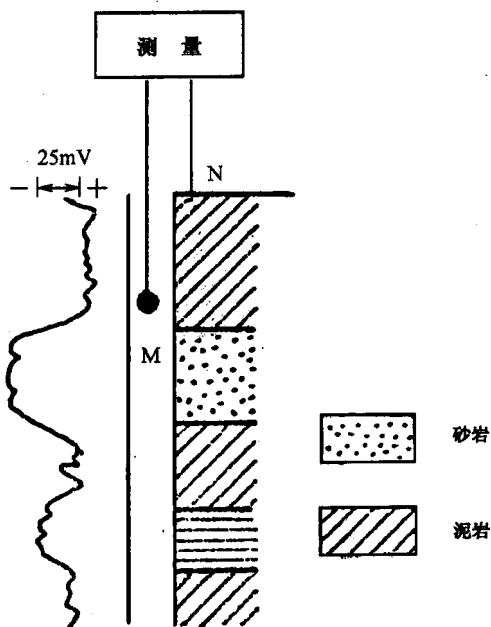


图 1-1 自然电位测量原理图

我国石油测井史上起到过很大的作用。油田现存老资料中还有一大部分是这种资料。

横向测井一般采用 6 种电极距，大港油田使用的电极系为：0.25m、0.45m、1m、2.5m、4m、8m（或 6m）底部梯度电极系。横向测井除了这六种电阻率曲线外还有自然电位曲线。早期还有井径曲线和井内流体电阻率曲线（图 1-2）。

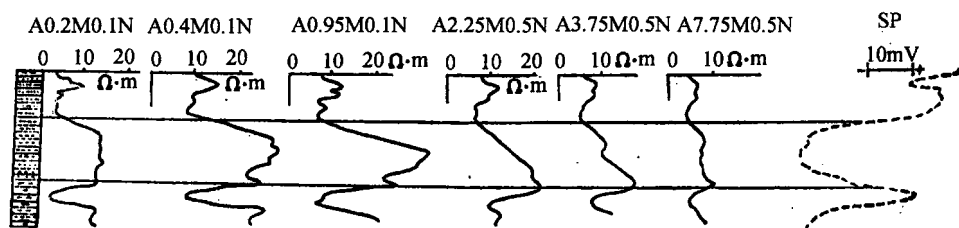


图 1-2 横向测井曲线图

(2) 标准测井一对比测井

在一个油田和一个地区内，为了研究地质剖面，构造形态、岩性和岩相的变化，选择 1~2 个反映地层变化明显的电极系作为标准电极系，与自然电位、井径等组成测井系列。在所有井中用相同深度比例（一般用 1:500）对全井段进行测量，这就是标准测井。又因测井目的是为了进行地层的相关对比所以也叫对比测井。

大港油田的标准测井系列包括：2.5m 底部梯度电极系、自然电位、井径。见图 1-3。

标准测井图的应用：

- 1) 了解钻井地质剖面：确定岩层厚度、埋藏深度，划分岩性，预测含油、气情况。
- 2) 井间（邻井）地层对比。

(3) 微电极测井

为了进一步更仔细地划分地层和了解地层的渗透性，为此设计出电极距很小的电极系以提高纵向分辨率，同时为了使测量不受钻井液影响，电极系安装在绝缘板上并使它紧贴井壁进行测量。微电极测井仪，如图 1-4。

微电极主体有三个均布的弹簧钢板扶正器，在一个弹簧钢板上固定硬橡胶绝缘板（电极板），板上固定 3 个电极，电极距为 $A0.025$ 米 $M_10.025$ 米 M_2 ，测量时可以组成微梯度和微电位两个电极系（图 1-5）。

微梯度：A 供电，测量 M_1M_2 之间电位差。微电位：测量 M_2 及远电极 N_1 的电位差。

由于两种电极距不同，探测深度也不相同。通常情况下，微梯度探测深度约 4~5cm，微电位探测深度约 8~10cm。

微电极系由于电极距小，电极已不能认为是点状电极，同时电场也受到极板形状影响，所以微电极的 K 值即电极系数不能用计算方法取得，只能用实验方法来确定。

通常将两条微电极曲线重叠绘在测井成果图上，二条曲线存在差异，微电位高于微梯度叫正差异，反之叫负差异。通常渗透地层井壁上存在泥饼，探测深度浅的微梯度受泥饼的影响较之微电位更为严重，而泥饼电阻率往往低于地层冲洗带电阻率，这样就出现了“正差异”。在泥岩等不渗透地层则两条曲线基本重合。在砂岩层可以很明显地划分出钙质夹层和泥质夹层。测井曲线如图 1-6。

利用微电极曲线纵向分辨率高和上面讲到的特点，通常用它来：1) 确定地层界面；2) 划分岩性和渗透地层；3) 确定储层的有效厚度。

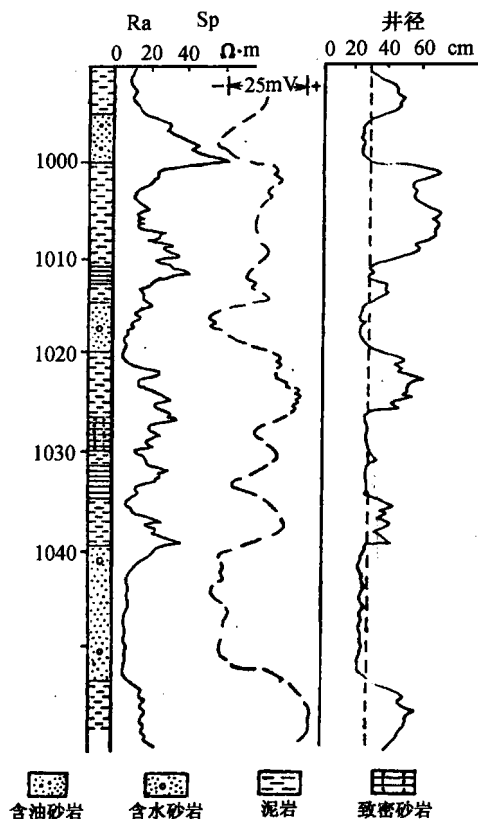


图 1-3 标准测井曲线图

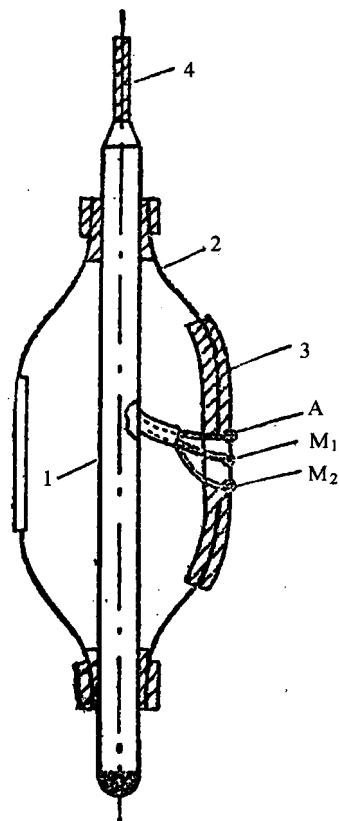


图 1-4 微电极测井仪

1—仪器主体；2—弹簧片；3—绝缘极板；4—电缆

3. 放射性测井

放射性测井是早期测井方法之一，早期的放射性测井使用的是自然伽马测井和中子伽马测井。

(1) 自然伽马测井

自然伽马测井是测量岩层中天然放射性物质含量的测井方法。自然界中一种元素的原子含有一种以上的不同质量的品种，但因它们外层电子的数量一样，化学性质相同而处在元素周期表中同一位置。所以人们通常将它们叫做同位素。各种同位素虽有有的是稳定的，有的时刻发生蜕变而成为新的元素。在蜕变过程中释放出 α , β , γ 三种放射线（粒子）。所以人们称这种元素为放射性同位素。岩石中天然放射性铀 ($^{235}\text{U}_{92}$)，钍 ($^{227}\text{Ac}_{89}$)，钍 ($^{232}\text{Th}_{90}$)，钾 ($^{40}\text{K}_{19}$) 较多。由于射线 α , β 穿透能力都很差，我们通常能探测到的仅是 γ 射线。

在沉积岩中由于沉积环境不一样，所以不同岩石中的自然伽马放射性强度也不一样，通常在粘土和泥岩中含量较高，纯砂岩、灰岩含量较低。自然伽马测井就是研究地层剖面中自然放射性能的测井方法。

(2) 中子伽马测井

中子伽马测井是测量地层次生伽马射线的一种方法。

由钋—铍 ($^{210}\text{Po}_{84} - ^9\text{Be}_4$) 中子源或镅—铍中子源 ($^{241}\text{Am}_{95} - ^9\text{Be}_4$) 发射的快中子（能量约 4MeV），进入地层后不断与原子核相碰撞而损失能量，减速成为超热中子，最后为热中子（能量达到平衡为 0.025eV），热中子被地层中原子所俘获并释放出伽马射线。因中子

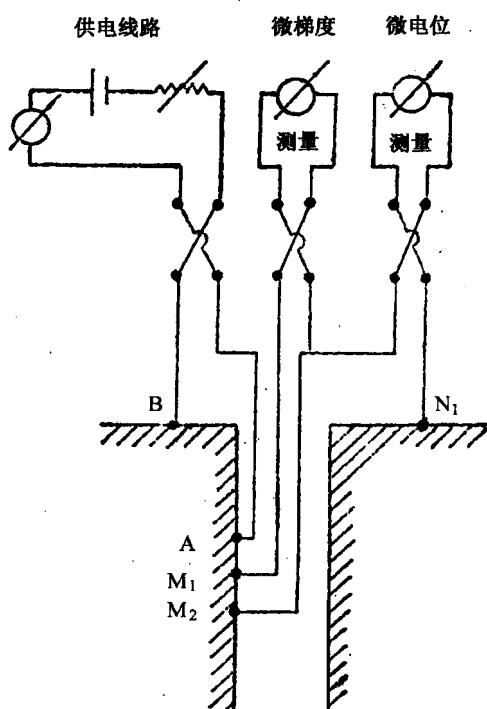


图 1-5 微电极测量原理图

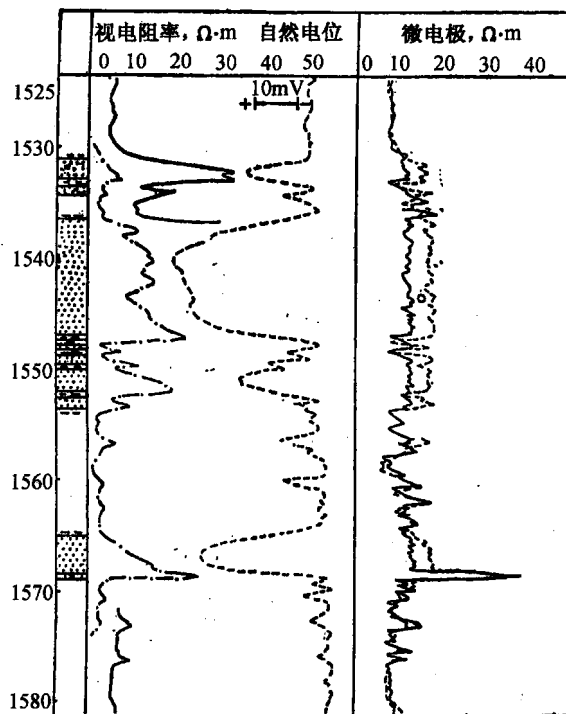


图 1-6 微电极测井曲线实例

被俘获之前首先是慢化，而慢化的快慢和地层中氢元素的多少有着密切关系。在仪器源距大于一定值时，地层含氢量与中子伽马射线的强度成反比。所以早期放射性测井中，用中子伽马来探测地层中的含氢量。

(3) 仪器结构

60 年代中期，使用的仪器是仿苏 HTK-55 型，仪器为电子管线路，探测器是 BC-9 盖革管。这种计数管效率特别低仅为 1%~2%。为了提高仪器的计数率，中子伽马用 3 只计数管并联，自然伽马用 6 只计数管并联，探测器长度的增加造成纵向分辨率差，尽管如此仪器探测效率还是很低，统计涨落很大，为了取得较好的记录，测量时只好增大时间常数，因而测井速度仅为 300m/h。

4. 辅助测井

(1) 井斜

井斜测量有两个参数：倾角和方位。倾角是井轴与垂线的夹角，方位是指井轴的水平投影与磁北方位之间按顺时针方向的夹角。井斜测井仪的测量原理如图 1-7。

框架上装有带环形电位器的罗盘和一个弧形电位器及重锤，用来进行方位角和倾角的测量。罗盘支承在框架上，框架能以仪器轴心自由转动，所以电位器的缺口始终是井轴倾斜方向，当仪器停稳，进行测量时，继电器将罗盘磁针系统吸下，这时方位角与电位器的数值成正比。同时，继电器也将与重锤相联的指针吸合在弧形电位器上，弧形电位器的数值与倾角成正比关系。利用电桥平衡原理分别测出两个电位器的数值，也就分别测出了井轴在该深度的倾角和方位。

测井时一般每 50m 测一点，特殊要求另定。

井斜测量的结果可以绘制井轴水平投影图(图1-8)。能够清楚地表示井底偏离井位的距离和偏离的方位。利用井斜资料可确定地层真实厚度。

(2) 井径

在钻井过程中,实际井眼直径和钻头直径(名义井径)并不相同。扩径和缩径可以反映地层的岩性,井径数值对横向测井解释和计算固井水泥用量是非常重要的参数。井径仪有四条“腿”,测量时“腿”的末端依靠弹簧的弹力紧靠在井壁上并随着井眼的大小张开或收拢。井径腿的张合引起仪器内部电位器阻值的改变,特殊的机械结构使电位器的阻值与井径成正比。测量电位器两端电位差 ΔU ,即可得到井径的大小:

$$d = d_0 + KR = d_0 + K \frac{\Delta U}{I} \quad (1-1)$$

式中 d ——测得井径, cm;

d_0 —— ΔU 为零时井径, cm;

I ——井径仪工作电流, mA;

K ——仪器比例常数, 由校验仪器得到;

R ——电位器阻值。

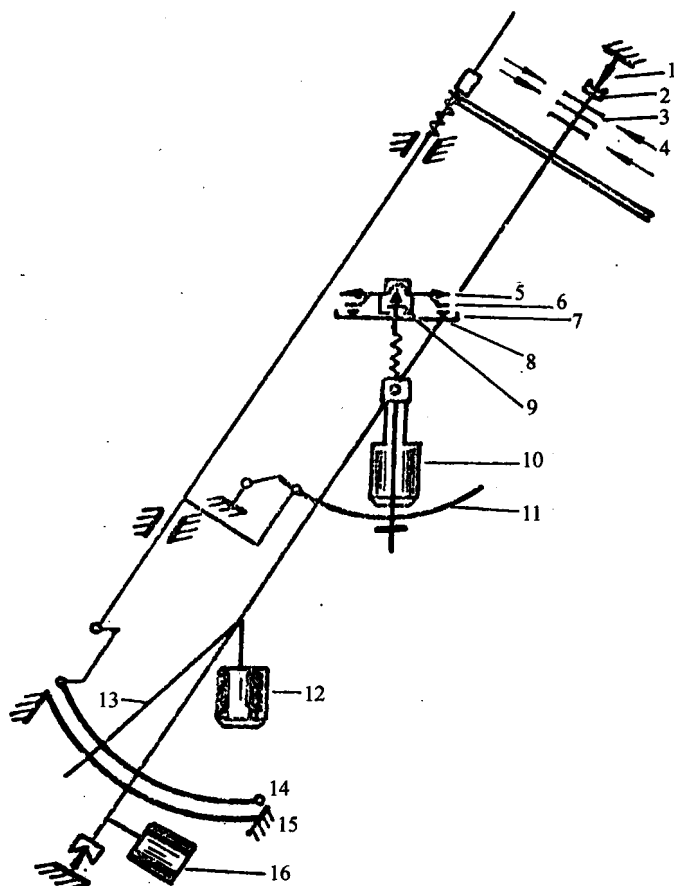


图1-7 井斜测井仪的测量原理图

1—轴尖; 2—轴承; 3—集电环; 4—集电刷; 5—磁针; 6—金属的接触片; 7—方位电阻环; 8—方位导流环; 9—磁罗盘的刀口; 10—罗盘平衡锤; 11—圆弧形方位角制动杆; 12—倾角悬锤; 13—倾角导电指针; 14—倾角制动及导电环; 15—倾角电阻环; 16—框架的偏心重块

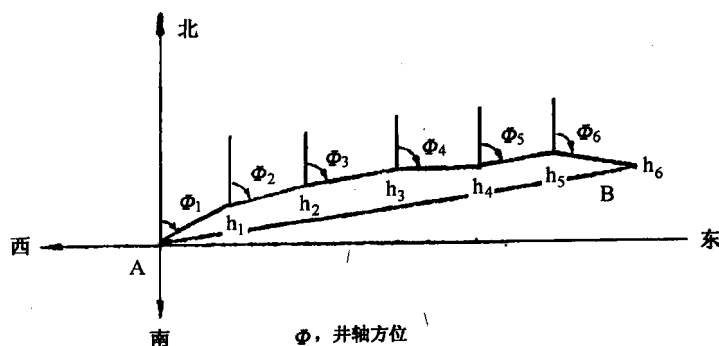


图1-8 井轴水平投影图