普通高等教育“十五”国家级规划教材

钻井地球物理勘探

李舟波　编

地质出版社

·北　京·

需要全本请访问 www.ertongbook.com

内 容 简 介

钻井地球物理包括三部分内容，即方法的原理、数据采集技术和数据处理与解释。在能源需求的强大动力推动下，石油与天然气钻井地球物理的理论、方法和技术发展极为迅速，内容极大的丰富，已不可能在一本教材或一门课程中把三部分内容全部囊括进来。本书是以叙述钻井地球物理的方法原理为主，对不同方法的测量原理和综合解释理论只作了概略介绍。

图书在版编目（CIP）数据

钻井地球物理勘探/李舟波编. —4 版. —北京：地质出版社，2006.5
普通高等教育“十五”国家级规划教材
ISBN 7-116-04738-7

Ⅰ. 钻… Ⅱ. 李… Ⅲ. 油气钻井 - 地球物理勘探 - 高等学校 - 教材 Ⅳ. P618.130.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2006）第 016674 号

责任编辑：陈 磊
责任校对：郑淑艳
出版发行：地质出版社
社址邮编：北京海淀区学院路 31 号，100083
电 话：（010）82324508（邮购部）；（010）82324565（编辑室）
网 址：http://www.gph.com.cn
电子邮箱：zbs@gph.com.cn
传 真：（010）82310759
印 刷：北京中新伟业印刷厂
开 本：787 mm×1092 mm
印 张：15.75
字 数：390 千字
印 数：1—5000 册
版 次：2006 年 5 月北京第一版·第一次印刷
定 价：20.00 元
ISBN 7-116-04738-7/P·2659

（凡购买地质出版社的图书，如有缺页、倒页、脱页者，本社出版处负责调换）

前　言

本书的第三次修改本是1995年出版的，至今已经过去十年。近十多年来，钻井地球物理又有了新的发展。为了满足教学需要，经教育部审定，作为普通高等教育“十五”国家级规划教材再次修编此书。

钻井地球物理包括三部分内容，即方法的原理、数据采集技术和数据处理与解释。在能源需求的强大动力推动下，石油与天然气钻井地球物理的理论、方法和技术发展极为迅速，内容极大的丰富，已不可能在一本教材或一门课程中把三部分内容全部囊括进来。本书是以叙述钻井地球物理的方法原理为主，对不同方法的测量原理和综合解释理论只作了概略介绍。

钻井地球物理在石油、天然气、煤、地下水和地热、金属与非金属矿产等资源勘探中，以及基础地质研究和许多工程监测中，凡涉及需要取得钻井中资料时，都需要进行钻井地球物理工作。因为石油与天然气工业发展迅速，相应的钻井地球物理方法的发展也是最为完备，所以本书主要以石油与天然气钻井地球物理方法为主进行叙述。其他相关专业选用本教材时，可根据需要适当增减。本书也可供从事钻井地球物理的工程技术人员和希望全面了解钻井地球物理方法的人员参考。

钻井地球物理是地球物理学的一个重要组成部分，同时它也是工业中实用性很强的一门工程技术，工业部门习惯上称它为地球物理测井或简称测井。在国外也存在着类似的两种称呼。在本书中钻井地球物理和地球物理测井这两种称呼的意义是等同的。

此次修编过程中，主要增加了近十年来发展最为迅速的核磁测井一章，另外对成像测井做了一些补充。由于钻井地球物理的数据处理与综合解释已单独编了教材，所以在本书中把上一版的最后一章“测井资料的计算处理与解释方法”删去。由于这是一本针对本科生的教材，因此在内容和分量上做了适当控制。重点讲述方法的物理原理、测量原理和应用领域及其适用条件。

在原地质矿产部地球物理测井课程教学指导委员会主持下，曾编写了一本与本教材和相关教材配套的习题集（王惠濂，地球物理测井习题集，地质出版社，1993）。因此，在本教材中没有重复编入习题和作业。授课老师可以根据需要从该习题集中选用适当的习题和作业。

本教材在校内外使用过程中，许多同志提出了不少宝贵意见，在此表示衷心感谢。同时，对支持和帮助本教材此次修订的学校和学院有关同志表示真诚的谢意。

编者

2005年于长春

1979 年版前言

本书是作为地质院校石油物探专业的“钻井地球物理勘探”课教材而编写的。书中主要介绍了钻井地球物理勘探的方法原理和资料综合解释原理，全书分两大部分，共十四章。本书按 100 学时教学要求安排的，使用时可根据需要作适当增减。本书也可供石油测井技术人员参考。

本书是在我院编写的“钻井地球物理勘探”(试用教材) 基础上，修改补充而成。参加本书编写工作的有：李舟波 (主编)、岳玉华、张存和、尚林阁等。

在编写过程中，得到了许多兄弟院校和野外生产单位的热情支持，特别是对教材大纲提出了许多宝贵意见。在初稿完成之后，武汉地质学院、成都地质学院、河北地质学院、江苏石油物探研究大队，河南石油指挥部数字测井站，江苏第六普查大队测井队参加了对本书的审阅并提出了有益的意见。在修稿过程中，根据大纲的要求，都已尽量吸收到教材中去。最后又蒙武汉地质学院尉中良、王惠濂同志作了全面审编。对上述各单位及个人给予本书编写工作的支持和帮助，我们表示衷心地感谢！此外，还有些单位和个人也给本书编写工作以支持和帮助，我们在此一并表示谢意。

编者

1979

1985 年版前言

本书是根据地质矿产部“井下地球物理”教材编审委员会审定的“钻井地球物理勘探”教学大纲为地球物理勘探专业编写的。书中主要是叙述了钻井地球物理勘探的方法原理，同时对测井资料综合解释的原理作了简要介绍。全书共十二章，按 80 ～100 学时教学要求安排，使用时可根据教学需要作适当增减。本书也可供石油测井技术人员参考。

本书是在长春地质学院 1979 年编写的《钻井地球物理勘探》（高等学校试用教材）基础上，修改补充而成。书中删除了近年来已经逐渐淘汰和应用范围有限的那部分内容。在仪器方面主要叙述和方法原理有关的内容，对电路或结构的细节作了精简，书中补充了一些日益变得重要的新方法，如自然伽马能谱测井、岩性密度测井、长源距声波测井等。本书使用的单位制已按国务院有关实行法定单位的规定采用法定单位制，只在个别地方，如某些进口设备的尺寸，还暂时保留了英尺或英寸。为方便各读者，书后附有法定单位与 CGSM 单位对照表。

参加本书编写工作的有：李舟波（主编）、岳玉华、张存和、尚林阁和梅忠武。

成都地质学院杜奉屏副教授任本书主审。在教学大纲讨论和教材初稿评审过程中，杜奉屏同志、武汉地质学院王惠濂副教授、地矿部南京石油物探研究所刘大恒工程师、西安地质学院周思明和成都地质学院肖慈珣老师等提出了许多宝贵意见。在修改过程中，根据大纲要求，都已尽量作了补充，在此，对上述各位同志表示衷心地感谢！同时，对为本书编辑出版给予支持和帮助的同志，表示谢意！

编者

1985

需要全本请访问 www.ertongbook.com

1994 年版前言

本书的第二次修改本是 1986 年出版的，至今已经过去将近八年。根据教学的需要，以及近年来钻井地球物理方法的发展，地质矿产部地球物理测井课程教学指导委员会认为有必要再次修编此书。这是一本以叙述钻井地球物理勘探方法原理为主的书，最初是为地球物理勘探专业编写的，最近几年我们还把它作为矿场地球物理专业的地球物理测井方法原理课程的教材。目前，高等院校的教学正处于改革时期，考虑到多方面的需要，本书仍保留了原书的结构，前十一章介绍各种地球物理测井方法的原理，后两章对评价石油天然气储集层的测井资料综合解释原理和处理方法作了简要介绍。全书仍按 80 ～100 学时的教学要求安排，使用时可根据需要作适当增减。本书也可供测井技术人员，以及希望全面了解地球物理测井方法的人员参考。

此次修编过程中，删除了一些近年来已经逐渐淘汰和应用范围很有限的那部分内容，对于变得日益重要的一些新方法，以及随着科学技术进步引入的一些新概念，尽量作了补充。除增加了介电测井一章之外，感应测井、声波测井以及其他一些章节，同前一本书相比，也都作了较大变动。本书使用的单位制，已按规定采用法定单位制，只在个别地方，如某些进口设备的尺寸，还暂时保留了英尺或英寸等。为方便读者，书后附有法定计量单位与非国际单位对照表。

参加本次编写工作的是李舟波和张存和，最后由李舟波对全书作了统编。

中国地质大学王惠濂教授、成都理工学院杜奉屏副教授，地质矿产部地球物理测井课程教学指导委员会各位委员，以及地质矿产部教材室林清湲老师，对本书的内容提出了许多宝贵意见。在此，向上述各位同志表示衷心地感谢！同时，向为本书绘制插图和编辑出版给予支持和帮助的同志，表示谢意。

编者

1994

目　　录

第一章　绪　论 …… (1)
一、钻井地球物理勘探的含义 …… (1)
二、发展历史与现状 …… (2)
三、地球物理测井在油气勘探和开发中的作用和地位 …… (3)
四、测井现场 …… (4)
五、测井的井下环境 …… (4)

第二章　普通电阻率法测井 …… (6)
第一节　电阻率法测井的基本知识 …… (6)
一、岩石电阻率 …… (6)
二、普通电极系电阻率法测井的测量原理 …… (8)
三、描写电场分布的基本方程与边界条件 …… (8)
四、均匀无限各向同性介质中电场的分布 …… (9)
五、泥浆侵入带 …… (11)
六、视电阻率 …… (12)
七、电极系 …… (13)
第二节　视电阻率理论曲线 …… (14)
一、一个水平界面 …… (16)
二、一个水平层 …… (19)
三、倾斜地层与非理想电极系 …… (20)
四、高阻邻层的屏蔽影响 …… (21)
第三节　视电阻率测井曲线的应用 …… (22)
一、钻井地质剖面的划分 …… (22)
二、岩层真电阻率的估计 …… (23)
第四节　微电极系电阻率法测井 …… (25)
一、微电极系测井的基本概念 …… (26)
二、微电极系测井曲线的应用 …… (26)

第三章　聚流电极系电阻率法测井 …… (29)
第一节　三电极侧向测井 …… (29)
一、基本原理 …… (29)

二、三侧向测井仪工作原理 …… (31)
三、影响视电阻率的因素 …… (32)
第二节　七电极侧向测井 …… (37)
一、基本原理 …… (37)
二、影响七侧向视电阻率的因素 …… (38)
三、七侧向测井视电阻率曲线的形状 …… (39)
四、侧向测井的应用 …… (40)
第三节　微侧向测井和邻近侧向测井 …… (40)
第四节　微球形聚焦测井 …… (42)
第五节　电阻率成像测井 …… (44)
一、井壁微电阻率成像测井 …… (44)
二、方位电阻率成像测井 …… (46)

第四章　感应测井 …… (48)
第一节　感应测井的基本理论 …… (48)
一、基本原理 …… (48)
二、均匀介质双线圈系感应测井的电磁场理论 …… (51)
第二节　感应测井线圈系特性 …… (52)
一、双线圈系的纵向探测特性 …… (53)
二、双线圈系的径向探测特性 …… (54)
三、双线圈系存在的问题 …… (55)
四、多线圈系的特性 …… (55)
第三节　感应测井曲线的形状 …… (57)
第四节　感应测井曲线的解释 …… (58)
一、视电导率曲线的分层和取值 …… (58)
二、井眼校正 …… (59)
三、均匀介质传播效应校正 …… (59)
四、厚度和围岩影响校正 …… (60)
五、确定地层电阻率 …… (61)
第五节　阵列感应测井 …… (62)
第六节　多分量感应测井 …… (63)

第五章　介电测井 …… (65)
第一节　岩石的介电性质 …… (65)
第二节　介电测井的基本理论 …… (66)
第三节　介电测井方法 …… (67)
一、浅探测介电测井仪 …… (67)
二、深探测介电测井仪 …… (69)
第四节　解释方法 …… (70)

一、EPT 测井曲线的解释方法 …… (70)
二、深探测介电测井曲线的解释方法 …… (73)

第六章 自然电位测井 …… (75)
第一节 石油钻井中自然电场产生的原因 …… (75)
第二节 影响自然电位曲线幅度和形状的因素 …… (78)
一、影响自然电动势的因素 …… (78)
二、影响自然电流分布的因素 …… (80)
第三节 自然电位曲线的应用 …… (83)
一、划分渗透性岩层 …… (83)
二、确定地层水电阻率 …… (85)
三、估计泥质含量 …… (87)

第七章 声波测井 …… (88)
第一节 声波测井的物理基础 …… (88)
一、声波物理性质简述 …… (88)
二、钻孔内的声波 …… (91)
第二节 声波速度测井 …… (92)
一、单发双收声波速度测井 …… (92)
二、井眼补偿式声波速度测井 …… (93)
三、长源距声波测井 …… (95)
四、阵列声波测井及分波速度提取 …… (97)
五、偶极声波测井 …… (98)
第三节 声波速度测井的解释与应用 …… (101)
一、影响声波速度测井曲线形状的因素 …… (101)
二、声波速度测井在储集层研究中的应用 …… (102)
三、确定地层弹性参数 …… (105)
四、声波速度测井在地震勘探中的应用 …… (106)
第四节 固井声波幅度测井 …… (108)
第五节 声波井壁成像测井 …… (111)

第八章 自然伽马测井 …… (114)
第一节 原子核的基本知识和天然放射性 …… (114)
一、天然放射性 …… (114)
二、放射性单位 …… (116)
三、岩石的天然放射性 …… (117)
第二节 自然伽马测井的测量原理 …… (118)
一、射线探测器 …… (118)
二、自然伽马测井仪的刻度 …… (120)

第三节　自然伽马测井曲线特征 …… (121)
一、“统计涨落”的影响 …… (122)
二、计数率线路时间常数和测井速度对曲线形状的影响 …… (123)
第四节　井的条件对自然伽马测井曲线的影响 …… (124)
第五节　自然伽马测井曲线的应用 …… (127)
一、判断岩性和划分渗透性岩层 …… (127)
二、确定储集层的泥质含量 …… (127)
三、地层对比 …… (128)
第六节　自然伽马能谱测井 …… (129)
一、物理原理 …… (129)
二、测量原理 …… (129)
三、应　用 …… (131)

第九章　伽马 - 伽马测井 …… (132)
第一节　密度测井原理 …… (132)
一、伽马射线和物质的相互作用 …… (132)
二、电子密度与体积密度 …… (134)
三、密度和伽马射线衰减的关系 …… (135)
第二节　影响密度测井的因素 …… (137)
一、源距、γ射线源的能量和强度的影响 …… (137)
二、研究深度 …… (138)
三、泥饼影响和补偿密度测井 …… (139)
第三节　密度测井的应用 …… (142)
第四节　岩性测井 …… (143)
一、基本原理 …… (143)
二、测量原理 …… (145)
三、应　用 …… (145)

第十章　中子测井 …… (147)
第一节　中子测井的物理基础 …… (147)
一、核反应与人工放射性 …… (147)
二、中子源 …… (148)
三、中子与物质的相互作用 …… (149)
第二节　中子 - 中子与中子 - γ测井理论概述 …… (153)
一、热中子空间分布 …… (153)
二、中子 - γ射线的空间分布 …… (157)
第三节　中子测井测量原理及刻度 …… (158)
一、中子测井测量原理 …… (158)
二、中子测井刻度 …… (160)

第四节　中子测井解释与应用 …… (160)
一、影响中子测井的环境因素 …… (160)
二、解释与应用 …… (161)

第十一章　中子寿命测井及其他中子测井 …… (166)
第一节　中子寿命测井 …… (166)
一、基本理论 …… (167)
二、解释方法 …… (169)
三、脉冲中子源的工作原理 …… (172)
第二节　中子 - γ射线能谱测井 …… (173)
第三节　中子活化测井 …… (175)

第十二章　核磁测井 …… (177)
第一节　核磁测井的基本原理 …… (177)
一、原子核的核磁性质 …… (177)
二、原子核系统的磁化强度 …… (178)
三、磁化强度的弛豫过程 …… (179)
四、磁化强度的运动方程与核磁共振 …… (180)
第二节　核磁测井测量原理 …… (182)
一、自由进动法 …… (183)
二、自旋回波法 …… (183)
第三节　岩石和流体的核磁性质 …… (186)
一、自由含氢流体的核磁性质 …… (186)
二、孔隙性岩石的核磁性质 …… (188)
第四节　核磁测井结果的解释与应用 …… (190)
一、反演 T_2 谱 …… (190)
二、孔隙度的确定 …… (191)
三、渗透率的估计 …… (192)
四、综合应用核磁参数判断油气水层 …… (193)

第十三章　井径测量、井斜测量、地层倾角测井和热测井 …… (196)
第一节　井径测量 …… (196)
第二节　井斜测量 …… (197)
第三节　地层倾角测井 …… (199)
一、地层倾角测井原理 …… (199)
二、地层倾角测井数据处理和成果表示 …… (201)
三、地层倾角测井结果的应用 …… (205)
第四节　热测井 …… (208)
一、岩石的热学性质 …… (208)

需要全本请访问 www.ertongbook.com

二、自然热场法 …… (208)
三、人工热场法 …… (211)

第十四章　钻井地球物理资料综合解释原理与方法 …… (212)
第一节　油气储集层的性质 …… (212)
一、储集层的岩性 …… (212)
二、储集层的储集性和含油性 …… (213)
三、储集层的岩性、储集性、含油性与各种物理性质的关系 …… (216)
第二节　确定岩性和孔隙度 …… (221)
一、岩性—孔隙度交会图 …… (221)
二、岩性交会图 …… (222)
三、数值法 …… (224)
第三节　含油饱和度的确定 …… (225)
一、电阻率—孔隙度组合法 …… (226)
二、径向电阻率比值法 …… (229)
三、可动油法 …… (230)
四、含泥质地层饱和度的确定 …… (231)
第四节　渗透率的估计 …… (234)
第五节　钻井地球物理资料综合解释系统的发展概述 …… (235)
主要参考文献 …… (238)
附录　法定计量单位与非国际单位对照表 …… (240)

第一章　绪　　论

一、钻井地球物理勘探的含义

顾名思义，钻井地球物理勘探是在钻孔中进行的各种地球物理勘探方法的统称。工业部门习惯上通常称为地球物理测井，简称测井。它是通过观测钻孔内各种地球物理场的特征，来研究钻孔周围介质的性质和分布状态，从而解决各种地质、工程和有关科学与技术问题的。尽管在原理上井中地球物理方法与地面地球物理方法是相同的，但由于地球物理测井的工作环境、观测方式和需要解决的问题，与地面地球物理勘探方法有较大差别，因而成为应用地球物理学的一个独立分支学科。目前，它在资源勘探与开发、工程与环境监测，以及基础地质研究中都发挥着重要作用，尤其在石油天然气勘探与开发过程中的作用更为突出，成为不可缺少的工作环节，被列为十大石油科学技术之一。

在能源需求的强大动力推动下，石油与天然气钻孔中应用的地球物理方法发展最为迅速，因此将作为本书的主要讨论内容。按照所研究的岩石物理性质不同，目前在石油钻孔中已广泛采用的测井方法可分为以下几类。

(1) 研究岩石电学性质为基础的一组方法。其中包括研究岩石导电性的普通电极系电阻率测井、微电极系测井、侧向测井、微侧向测井、球形聚焦测井、感应测井和微电阻率扫描成像测井等；研究岩石介电性质的电磁波传播测井；研究岩石电化学性质的自然电位测井和人工电位测井等。

(2) 研究岩石声学性质为基础的一组测井方法。其中包括纵、横波和斯通利波的速度测井和幅度测井，以及声波成像测井等。

(3) 研究岩石原子物理和核物理性质为基础的一组方法。其中包括自然伽马测井、密度测井、光电吸收指数测井、中子 - 中子测井、中子寿命测井、自然伽马能谱测井、次生伽马能谱测井、活化测井、同位素测井和核磁测井等。

(4) 其他一些测井方法，如热测井、磁测井、泥浆测井，以及检查井内技术状况的各种测井方法。

地球物理测井的主要研究对象是地质体，是研究和解决地质问题的一种手段，应是地学领域中的一部分；同时地球物理测井的基础理论是物理学，所以也可以属于物理学的范畴；地球物理测井的工作方法是数据采集与数据处理，因此在一定意义上说，它属于信息科学；在油气田开发过程中，有大量工程问题需要测井来解决，所以它和油藏工程的关系非常紧密；地球物理测井的数据采集中采用多种传感器及数据传输技术，与电子工程、遥测技术等的关系也十分密切。因此，地球物理测井是地质学、物理学、信息科学等多学科的边缘学科。

广义地说，地球物理测井或钻井地球物理勘探应包括三部分内容，即各种地球物理测井方法的原理、数据采集技术、数据处理与解释方法。本书主要介绍方法原理，对数据采集原理和数据处理与解释只简要地介绍其基本过程。

二、发展历史与现状

一般认为，现代意义的地球物理测井开始于 1927 年，尽管初期只记录视电阻率和自然电位曲线，但已能用于划分岩性和地层对比，展现了很好的应用前景。电阻率测井的理论和方法以及测量技术得到了迅速发展。1942 年阿奇（G. E. Archie）提出著名的阿奇公式，把纯地层条件下的电阻率、孔隙度和含水饱和度之间的关系定量表示出来，使地球物理测井成为储层评价的重要方法。实际上，后来大部分地球物理测井方法的研究都是围绕着评价油气储层的需要进行的。到 20 世纪 50 年代中期，井下地球物理场的研究从电场扩大到弹性波场、核物理场，发展了声波测井、中子测井和密度测井的理论、方法和技术，并在生产中得到广泛应用。同时，电法测井出现了带有聚焦和屏蔽电极的侧向测井、利用电磁感应原理的感应测井和研究井壁附近冲洗带电阻率的各种微电阻率测井。逐渐形成了包括深、中、浅电阻率测井；中子、密度和声波三种孔隙度测井；反映岩性的自然放射性测井、自然电位测井等方法的比较完整的测井系列，使油气储层的测井评价方法开始进入定量阶段。

20 世纪 60 年代后期，计算机技术开始进入地球物理勘探领域，使测井技术产生很大变化，数据采集逐步由模拟方式向数字方式过渡，并以此为依托，70 年代初，出现了较完整的测井解释计算机处理系统，标志着以井下地球物理信息采集和处理为基础的油气储层评价技术进入综合分析阶段。对于地层厚度较大、岩石矿物成分较简单、地层水矿化度较稳定的粒间孔隙储层，一般都能做出准确评价。但是，随着勘探领域的不断扩大，岩性复杂、孔隙分布不均匀（裂缝发育）及薄交互储层和低孔隙、低渗透储层的评价问题，给地球物理测井提出新的研究课题。从 80 年代开始，陆续出现了一些新方法，如伽马能谱测井（包括自然伽马能谱、散射伽马能谱、次生伽马能谱测井）、电磁波传播测井、声波全波列测井、阵列声波测井、井壁声波成像测井、微电阻率扫描测井等。20 世纪 90 年代以来，核磁测井进入比较成熟阶段，在生产中的应用日益广泛。近年来，井周围介质非均匀性的研究以及油气储层动态变化的研究逐渐提到日程上来，传统的沿井身一维观测的测井曲线已不能满足实际研究的需要。为了更好地研究介质的非均匀性，出现了可以反映径向和不同方位地层变化的成像测井方法，如阵列感应测井、方位电阻率测井。为了预测储层开发过程的动态特征，则要求从更大的范围，而不是只从一口井去认识储层，因此出现了既注意储层的微观精细特征又注意宏观分布规律两个方面研究的发展趋向。元素测井、核磁测井和井壁成像的应用，使得储层的矿物成分、孔隙结构、层理结构和流体性质的研究达到一个新的水平。各种井间成像方法，以及与地震勘探数据和实验室分析数据相结合的储层综合描述，成为地球物理测井发展的新生长点。此外，适应特殊钻井环境的测井方法，如随钻测井、水平井测井，以及套管井的声波测井、电阻率测井，在客观需求的推动下，也取得了重要进展。

我国测井学的发展，大体上与国外经历了相同的发展阶段。1939 年翁文波在四川石

油沟一号井进行了我国第一次测井，成功地划分了气层。1947 年在玉门油矿建立了第一个专门从事测井工作的电测站。尽管当时记录的只有电阻率和自然电位测井曲线，在进行地层对比、划分玉门老君庙油田的 K，L，M 油层和确定断层位置等都取得了明显效果，显示了我国早期测井工作者的作用和能力。我国测井事业的大发展是在 1949 年之后。在高等院校培养了大批专门人才，在北京、上海和西安等地相继建立了仪器制造厂，在借鉴国外技术的同时，很快形成了自己的设计制造能力。我国目前已能生产技术先进的数控测井仪以及相应的井下仪器，如双感应测井仪、双侧向测井仪、微球形聚焦测井仪、自然伽马测井仪、自然伽马能谱测井仪、岩性 - 密度测井仪、补偿中子测井仪、长源距声波测井仪、高分辨率地层倾角仪、碳氧比测井仪和中子寿命测井仪等。根据我国油气田的地质特点，在解释方法、解释模型和数据处理软件研究方面，也取得了许多有实用价值的成果。我国是世界上能够主要依靠本国技术力量和本国制造的仪器设备进行常规油气田测井、煤田测井、金属矿测井和水文工程测井的少数国家之一。

在过去的 70 多年中，随着电子技术和计算机技术的发展，测井仪器也在不断更新，从最早的半自动模拟记录，经过自动模拟记录，20 世纪 60 年代中期进入了数字记录阶段。到 70 年代中期，电子计算机被引入野外测井仪后，测井仪器的发展进入了一个新阶段——程控数字测井记录阶段。井下仪器也在向综合化方向发展，多数都采用“积木”式结构，便于按照测井系列的需要进行组合。为了减小井径、泥浆、泥饼和邻层的影响，井下仪器都采用聚焦、井眼补偿或贴井壁等方式。近 10 年来，数据采集方法又有许多新的进展，例如阵列接收、多频和多极发射等。于是，对测井信号传输设备提出了新的挑战。光纤电缆、高速多路传输技术和大容量的微型计算机已进入现场测井设备中，使得所获得的地质信息进一步丰富，大大提高了解决问题的能力。

现代测井技术的发展特征，可以概括为：方法系列化、仪器综合化、记录数字化、操作程控化、解释自动化和成果显示图形化。但是，也应该看到，现有的方法多数还是间接的，从观测数据到做出地质结论，要经过许多中间解释环节，在这些环节中往往或多或少地加入某些理想化了的条件，因而使解释的精度降低，有时难免发生某些错误。随着勘探领域的不断扩大，对测井方法不断提出新的任务。这些都将推动人们一方面努力改进现有方法，一方面探寻新的方法。

三、地球物理测井在油气勘探和开发中的作用和地位

地球物理测井是目前能以极高的分辨率定量提供岩层纵向变化特征的惟一手段。随着科学技术的进步，地球物理测井解决问题的范围也在逐步扩大，不仅能应用于勘探，也能解决开发中的问题，不但能直接解决和含油气有关的问题，而且在研究地质构造、地层压力、岩石强度和沉积环境等一系列地质问题上也有了新的进展；不仅能解决资源评价问题，也能解决一些工程问题。目前，地球物理测井在石油和天然气勘探与开发中可以解决的任务，可以概括如下：

(1) 划分钻孔的岩性剖面，找出油气储集层，并确定出厚度和深度；

(2) 定量或半定量估计岩层的储集性能——孔隙度和渗透率；

(3) 确定岩层的含油性——含油气饱和度和油气的可动性；

(4) 研究岩层的产状，进行剖面对比以及进行岩性、沉积环境和地质构造研究;

(5) 在油田开发过程中提供油层动态资料;

(6) 研究井的技术情况，如井径、井斜、井温和固井质量等;

(7) 研究地层压力、岩石强度、压裂效果等;

(8) 为地面地球物理勘探资料解释提供必要的参数;

(9) 与地质、地面地球物理勘探、钻井、测试和实验室分析数据相结合，进行储层空间描述和进行盆地分析;

(10) 油井工程事故监测等。

可以看出，对于一口油井从开钻到投入生产，一直到报废为止，整个过程的各个环节都有测井任务。

四、测井现场

测井工作所使用的仪器设备，包括放入井中测量地层物理性质的下井仪器或电极系、电缆、电缆绞车、滑轮以及深度和张力传感器、控制与记录仪器等。测井仪器在井场的布置情况如图 1.1 所示。电缆的作用是用来下放和提升下井仪器，另一个作用是通过电缆的缆心向井下供电、发送控制信号和把记录信号由井下送到地面记录仪。电缆的缆心一般为七心和三心，也有单心电缆。电缆的外皮有钢丝铠装、麻包和橡皮等形式。电缆绕在绞车滚筒上，缆心通过绞车上的集电环与仪器相连接。装在汽车上的绞车一般用汽车的动力提升和下放电缆。在海上钻井平台测井时，绞车是装在拖撬上。电缆上每隔一定距离（一般为 25m）做有磁性深度记号，由深度传感器把与测井数据对应的深度信息送到记录仪。当下井仪器在井下遇到不同阻力时，电缆张力会发生变化，并且由于电缆拉伸情况不同会造成深度误差。电缆张力传感器把张力变化信息送到记录仪记录下来，以便进行深度校正时使用。测井时，井口滑轮有的安装在井口钻台上，有的吊在井架上，绞车与井口对正，停在距离井口大约 30m 的地方。

五、测井的井下环境

测井时，下井仪器是在钻孔的特殊环境下工作。大多数钻孔是由安装在长钻杆头上的旋转钻头完成的。在钻进过程中，流体泥浆从钻杆中间泵入，并从钻头上的孔流出，由钻杆外侧返回地面。泥浆的作用除了润滑、使钻头降温和把岩屑带到地面之外，并通过泥浆柱提供一个可调节的流体静压力，使其超过地层孔隙流体压力，以免发生井喷。这后一个作用，会改变井壁附近地球物理测井研究范围内岩石的性质，因此对测井有重要影响。为了调节泥浆密度，泥浆中含有一些加重的物质，一般为粘土，有时加入重晶石粉。泥浆密度通常在 1.1 ～2.0g/cm^3 之间。由于井壁内外存在一个压力差，泥浆的流体部分将渗入渗透性地层。泥浆滤液将把孔隙中原始的流体推向离井壁更远的地方，在井壁附近形成一个泥浆侵入带（图 1.2）。在泥浆侵入过程中，泥浆中被滤出的固体颗粒在井壁上形成泥饼。随着泥饼的形成，使流体的渗透速率迅速降低，最后达到平衡状态，低渗透的泥饼支撑泥浆柱和孔隙流体之间的压力差。泥饼厚度一般在几个毫米到 2 ～3cm。在侵入带靠近井壁

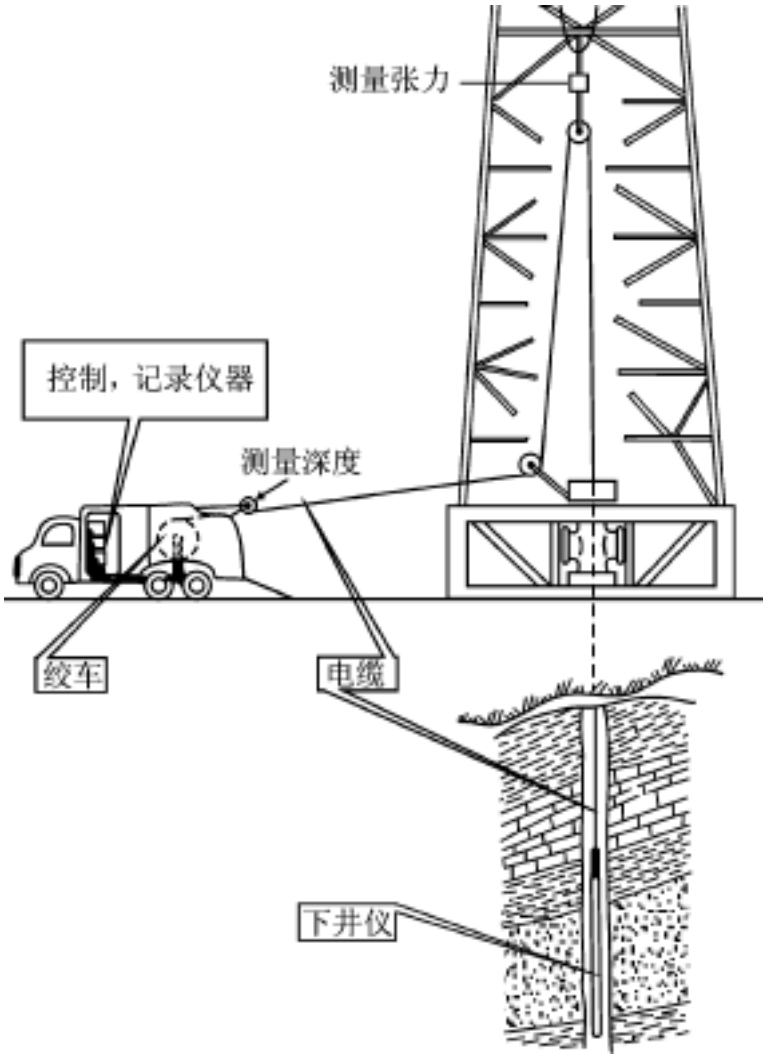

图 1.1　测井现场工作示意图

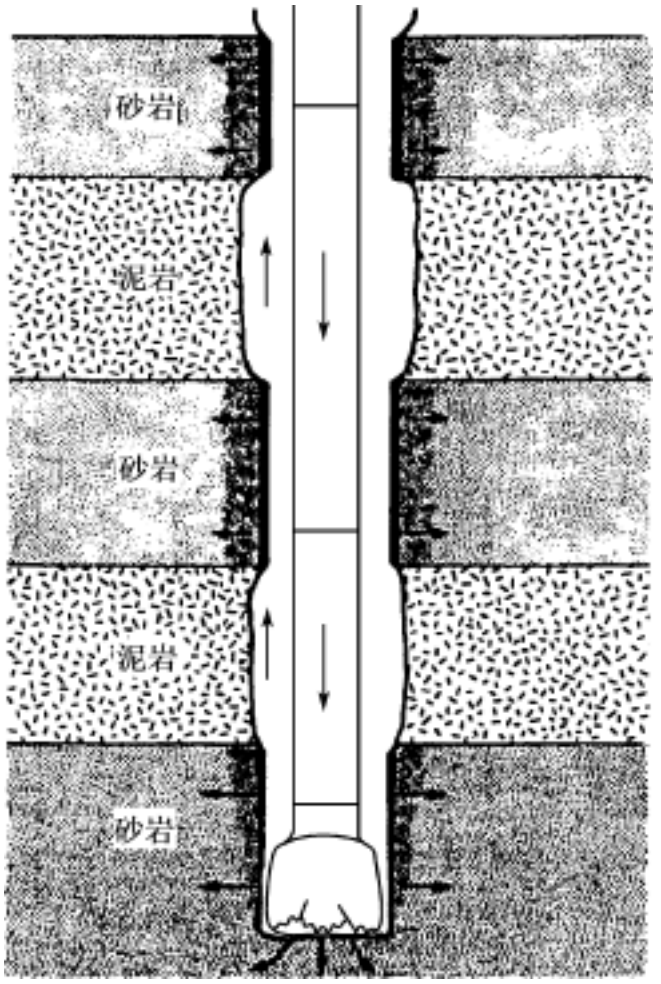

图 1.2　钻井及泥浆侵入示意图

部分，原始孔隙中的可动流体完全被泥浆滤液取代，这部分称为冲洗带。泥浆滤液和孔隙中原始可动流体混合存在部分称为过渡带。

在油田有少数井为取得油气层的原始参数，采用油基泥浆钻井，这时由于油 - 水 - 岩石表面张力的影响，侵入很浅并且几乎没有泥饼存在。油气勘探的钻孔比较深，而且将来可能成为生产油气的井和需要下套管，所以井径比较大，一般在 15 ～25cm 之间。金属矿和煤田勘探的钻孔的直径要小得多，在 2.5 ～10cm 之间。

测井下井仪器绝大多数情况下是在泥浆中工作，所以泥浆和泥饼明显地影响测井仪对地层参数的测量。例如，仪器周围的低电阻率泥浆对高电阻率地层的电阻率测量造成明显短路效应；含有气泡的泥浆将对声波测井的声波幅度产生明显的衰减作用等等。由于贴井壁测量的仪器探测深度比较浅，泥饼性质和厚度的影响也是不能忽视的。

钻孔的直径和横截面形状也是测井的一个重要井下环境因素。当地应力存在方向差异或有网状裂缝时，井眼的截面会偏离圆形而成为椭圆形。在钻机钻进过程中，由于钻杆的机械碰撞和泥浆冲刷，一些软地层和胶结不紧密的地层会坍塌，造成井径扩大。

侵入带是测井必然面对的另一个环境因素。侵入带的深度随地层和泥浆性质不同而不同，可以从若干厘米到几米。不同测井方法受侵入带的影响也不一样，在以后介绍各个方法时将详细介绍。

钻孔中的温度随不同地区地温梯度不同而有些差别，一般地温梯度在每百米 3℃左右。井下压力由井深和泥浆密度决定。温度和压力是设计测井井下仪器时必须考虑的。

需要全本请访问 www.ertongbook.com