

丁次乾 主编

矿场地球物理

KUANG
CHANG DI QIU
WU LI



石油大学出版社

高等学校教学用书

矿场地球物理

丁次乾 主编

石油大学出版社

鲁新登字10号

内 容 提 要

本书分三篇二十章。前十章为第一篇，介绍电法、声波、放射性等测井方法的原理和应用，尤其注意了新方法的使用。第十一章至第十五章为第二篇，阐述了测井资料的各种综合的定性和定量解释方法。后五章为第三篇，介绍了其它各种测井方法及资料应用，如气测井、地层倾角测井等。书中叙述深入浅出，图文并茂，内容翔实。不仅是石油高等院校有关专业的教材，而且可作为有关工程技术人员和管理干部的参考书。

矿 场 地 球 物 理

丁次乾 主编

*

石油大学出版社出版

山东省东营市

新华书店发行

石油大学印刷厂印刷

*

开本 787×1092 1/16 24.375 印张 2 插页 622 千字

1992年9月第1版 1992年第1次印刷

印数1—5000册

ISBN 7-5636-0230-5/TE·48

定价：6.45元

编者的话

本书是为石油高等院校石油地质、勘查地球物理、采油、油藏工程、钻井专业，全日制本科、专科及相应的函授班设置的测井课所编写的教材。全书共分三篇二十章约六十万字，可作为100学时的授课内容使用。各专业可根据教学大纲要求加以取舍，适用于各专业的50~80教学时数的安排。

由于上述非矿场地球物理（测井）专业的工程技术人员在生产实践中主要是使用测井资料解决地质、生产、工程等方面问题，因此，本教材在第一篇测井方法原理部分只对电法测井、声波测井、放射性测井中一些基本常用的和近年来新出现且行之有效的测井方法作了深入浅出的阐述，对各种单项测井资料的解释进行了较详细的说明。立足于学生建立起基本概念，为深入理解和正确使用测井曲线奠定必要的理论基础。另外，对于有发展前景，目前在国内使用尚不普遍的测井方法作了简介以开阔视野。这部分的篇幅比以往同类教材有所压缩，而明显地加大了第二篇（测井资料的综合解释部分）占全书的比重。在第二篇中，全面地介绍了利用测井资料评价储集层岩性、确定储集层孔隙度、含油性等的定性、定量解释基础和方法，既介绍了传统的常规方法又介绍了具有先进性和实用性的手段，尽量把当代石油科技新方法介绍给读者以适应科技发展步伐。因此本篇用了相当篇幅把目前测井资料数字处理中常见的几种用于裸眼井测井资料解释的分析程序：现场快速直观解释(CYBERLOOK)、泥质砂岩解释(SARABAND)、复杂岩性解释(CORIBAND)、最优化解释(GLOBAL)等的成果图作了系统的介绍，使学生适应新科技应用，并协助非测井专业工程技术人员了解和使用数字处理成果图，从而提高成果图的使用率。第三篇（其它测井及其资料的应用）编入的内容是供不同专业选用部分，其中“地层倾角测井资料在地质方面的应用”供石油地质和勘查地球物理（物探）专业选用；“生产动态测井”供采油、油藏工程专业选用；“用测井资料确定地层异常压力和岩层机械特性”供钻井专业选用；“测井资料在 seismic 勘探中的应用”供物探专业选用；“气测井”供石油地质、钻井专业选用。

本书内容的编排和侧重点向解释应用方面转移及各专业选用内容的安排都是一种新的尝试，有待在教学实践中检验其适用性。有不妥之处敬请指正。在教材编写过程中，各兄弟院校编写的教材及场矿、科研单位有关论文都为我们提供

了丰富的素材,在此我们表示衷心的感谢!向为本书绘图和出版过程中提供服务的
的工作人员表示谢意!本教材的第一、二、三、四、五,十七、二十章由丁次乾
执笔;第六、七、八、九、十、十六章由张淑梅执笔;第十一、十二、十三、十
四、十五、十八、十九章由陈一鸣执笔。请王曰才教授审稿,其中第十七章(生
产动态测井)由耿全喜审阅,对审稿过程中提出的修改意见和建议,编者都作了
认真的考虑和修改,在此对我们尊敬的导师王曰才教授表示由衷的感谢!

编 者

1991年2月

目 录

绪论	(1)
----	-----

第一篇 测井方法原理

第一章 自然电位测井	(4)
§1 自然电场的产生	(4)
一、扩散电动势的产生	(4)
二、扩散吸附电动势的产生	(6)
§2 自然电位测井及曲线特征	(6)
§3 影响因素	(9)
一、地层水和泥浆滤液中含盐浓度比值的影响	(9)
二、岩性的影响	(9)
三、温度的影响	(10)
四、地层水和泥浆滤液中含盐性质的影响	(10)
五、地层电阻率的影响	(10)
六、地层厚度的影响	(10)
七、井径扩大和侵入的影响	(10)
§4 自然电位曲线应用	(11)
一、划分渗透性岩层	(11)
二、估计泥质含量	(11)
三、确定地层水电阻率 R_w	(13)
四、判断水淹层	(18)
第二章 普通电阻率测井	(20)
§1 岩石电阻率与岩性、孔隙度、含油饱和度的关系	(20)
一、岩石电阻率与岩性的关系	(20)
二、岩石电阻率与地层水性质的关系	(21)
三、岩石电阻率与孔隙度的关系	(23)
四、岩石电阻率与含油饱和度的关系	(24)
§2 普通电阻率测井原理	(26)
一、均匀介质中的电阻率测井	(26)
二、非均匀介质中的电阻率测井	(28)
三、电极系	(29)
§3 视电阻率曲线特点及影响因素	(31)
一、梯度电极系理论曲线	(31)
二、电位电极系理论曲线	(34)
三、视电阻率实测曲线认识	(34)

四、影响因素.....	(34)
§4 视电阻率曲线的应用.....	(38)
一、岩层的视电阻率读数.....	(38)
二、视电阻率曲线的应用.....	(39)
§5 标准测井.....	(41)
第三章 侧向测井.....	(44)
§1 三电极侧向测井.....	(44)
一、三侧向测井电极系.....	(44)
二、测量原理.....	(45)
三、资料应用.....	(46)
§2 七电极侧向测井.....	(51)
一、七侧向电极系.....	(52)
二、测量原理.....	(52)
§3 双侧向测井.....	(53)
一、双侧向测井电极系及电场分布.....	(53)
二、测量原理.....	(54)
三、双侧向测井资料的应用.....	(55)
第四章 微电阻率测井.....	(59)
§1 微电极系测井.....	(59)
一、微电极系测井原理.....	(59)
二、微电极系测井曲线.....	(60)
三、微电极系测井资料应用.....	(61)
§2 微侧向测井.....	(63)
一、微侧向电极系及电流分布.....	(63)
二、测量原理.....	(63)
三、微侧向测井资料的应用.....	(64)
§3 邻近侧向测井.....	(65)
§4 微球形聚焦测井.....	(66)
一、微球形聚焦电极系.....	(66)
二、测量原理.....	(66)
三、资料应用.....	(67)
第五章 感应测井.....	(69)
§1 感应测井原理.....	(69)
§2 感应线圈系的探测特性.....	(71)
一、双线圈系的探测特性.....	(72)
二、复合线圈系——0.8m六线圈系探测特性.....	(74)
§3 感应测井曲线.....	(76)
一、上、下围岩相同,单一低电导率和高电导率地层的视电导率曲线.....	(76)
二、上、下围岩不同,单一低电导率和高电导率地层的视电导率曲线.....	(77)
§4 感应测井资料应用.....	(79)

一、划分渗透层·····	(79)
二、合理地选取感应测井读数·····	(79)
三、确定岩层真电阻率 R_t ·····	(79)
§5 电磁波传播测井简介·····	(83)
第六章 声波测井·····	(87)
§1 岩石的声学特性·····	(87)
一、岩石的弹性·····	(87)
二、声波在岩石中的传播特性·····	(89)
三、声波在介质界面上的传播特性·····	(90)
§2 声波速度测井·····	(91)
一、单发射双接收声速测井仪的测量原理·····	(91)
二、影响时差曲线的主要因素·····	(93)
三、井眼补偿声速测井·····	(95)
四、声波速度测井资料的应用·····	(96)
§3 声波幅度测井·····	(99)
一、岩石的声波幅度·····	(100)
二、声波幅度测井·····	(100)
§4 长源距声波全波列测井·····	(109)
一、裸眼井中声波全波列成分·····	(110)
二、声波全波列测井的记录方式和记录的信息·····	(110)
三、声波全波列测井资料的应用·····	(111)
第七章 自然伽马测井和放射性同位素测井·····	(116)
§1 伽马测井的核物理基础·····	(116)
一、核衰变及其放射性·····	(116)
二、伽马射线和物质的作用·····	(118)
三、伽马射线的探测·····	(120)
§2 自然伽马测井·····	(121)
一、岩石的自然放射性·····	(121)
二、自然伽马测井的测量原理·····	(122)
三、自然伽马测井曲线的特点及影响因素·····	(122)
四、自然伽马测井曲线的应用·····	(126)
§3 自然伽马能谱测井·····	(130)
一、自然伽马能谱测井的地质基础·····	(130)
二、自然伽马能谱测井原理·····	(130)
三、自然伽马能谱测井资料的应用·····	(132)
§4 放射性同位素测井·····	(134)
一、放射性同位素测井找窜槽位置·····	(135)
二、放射性同位素测井检查封堵效果·····	(135)
三、检查压裂效果的放射性同位素测井·····	(136)
四、放射性同位素载体法测定吸水剖面, 计算相对吸水量·····	(136)

第八章 密度测井和岩性密度测井	(138)
§1 密度测井、岩性密度测井的地质物理基础	(138)
一、岩石的体积密度 ρ_b	(138)
二、康普顿散射吸收系数 Σ	(138)
三、岩石的光电吸收截面	(139)
四、伽马射线通过物质时的能谱	(139)
§2 密度测井	(140)
一、密度测井的基本原理	(140)
二、密度测井资料的应用	(141)
§3 岩性密度测井	(143)
一、岩性密度测井的基本原理	(143)
二、岩性密度测井资料的应用	(145)
第九章 中子测井	(147)
§1 中子测井的核物理基础	(147)
一、中子和中子源	(147)
二、中子和物质的作用	(148)
三、中子探测器	(149)
§2 超热中子测井	(150)
一、超热中子测井的基本原理	(150)
二、超热中子测井资料应用	(151)
§3 热中子测井	(154)
一、补偿中子测井的补偿原理	(154)
二、补偿中子测井的应用	(155)
§4 中子伽马测井	(157)
第十章 脉冲中子测井	(159)
§1 中子寿命测井 (NLL)	(159)
一、中子寿命测井的基本原理	(159)
二、中子寿命测井的应用	(160)
§2 非弹性散射伽马能谱测井	(161)
一、非弹性散射伽马能谱测井基本原理	(161)
二、非弹性散射伽马能谱测井的应用	(162)
§3 中子活化测井	(164)
一、中子活化测井的基本原理	(164)
二、中子活化测井的应用	(165)
第二篇 测井资料的综合解释	
第十一章 测井资料综合解释基础	(166)
§1 储集层的分类及需要确定的储集层参数	(166)
一、储集层的分类及特点	(166)
二、储集层的基本参数	(168)
§2 测井系列的选择	(171)

一、泥质指示测井方法的选择	(171)
二、微电阻率测井方法的选择	(171)
三、电阻率测井方法的选择	(172)
四、孔隙度测井方法的选择	(174)
五、裸眼井测井系列及实例	(175)
§3 纯地层的测井解释基本方程	(177)
第十二章 用测井资料评价储集层岩性和孔隙度的基本方法	(179)
§1 岩性的定性解释	(179)
一、根据测井曲线的综合分析识别岩性	(179)
二、用孔隙度测井曲线重叠法识别岩性	(179)
三、划分渗透层	(182)
§2 储集层岩性和孔隙度的定量解释	(186)
一、确定单矿物岩性储集层的孔隙度	(187)
二、确定双矿物岩性储集层的岩性和孔隙度	(189)
三、确定三矿物岩性储集层的岩性和孔隙度	(190)
§3 储集层岩性和孔隙度的快速直观解释	(190)
一、交会图法识别岩性	(191)
二、双孔隙度交会图法解释岩性和孔隙度	(200)
第十三章 用测井资料评价储集层含油性的基本方法	(206)
§1 储集层含油性的定性解释	(206)
一、油层最小电阻率法	(206)
二、标准水层对比法	(207)
三、径向电阻率法	(207)
四、邻井曲线对比法	(208)
五、不同时间的测井曲线对比法	(208)
§2 储集层含油性的定量解释	(210)
一、确定纯地层的含水饱和度	(210)
二、确定泥质地层的含水饱和度	(214)
§3 储集层含油性的快速直观解释	(217)
一、曲线重叠法	(217)
二、交会图法	(227)
三、快速直观显示含油性的其它方法	(235)
第十四章 用测井资料识别裂缝的方法	(239)
§1 裂缝性储集层的特点	(239)
一、一般概念	(239)
二、裂缝性储集层分类	(240)
三、泥浆侵入特点	(241)
§2 识别储集层裂缝的测井方法	(243)
一、地层倾角测井	(244)
二、地层微电阻扫描测井	(248)

三、电阻率测井.....	(250)
四、长源距声波测井.....	(251)
五、阵列声波测井.....	(254)
六、环行声波测井.....	(256)
七、放射性测井.....	(257)
八、识别裂缝的其它方法.....	(259)
第十五章 测井资料的计算机解释.....	(265)
§1 测井资料的计算机解释简介.....	(265)
一、测井资料计算机解释的任务和特点.....	(265)
二、测井资料计算机解释的基本过程.....	(266)
§2 现场快速直观解释(CYBERLOOK).....	(267)
一、泥质地层的“双水模型”.....	(267)
二、CYBERLOOK解释的基本方程.....	(268)
三、CYBERLOOK解释的输入、输出和 workflow.....	(269)
四、CYBERLOOK解释成果图.....	(269)
§3 泥质砂岩解释(SARABAND).....	(273)
一、泥质砂岩的解释模型.....	(274)
二、泥质砂岩的解释方程.....	(277)
三、解释参数的选择.....	(280)
四、SARABAND解释方法.....	(281)
五、成果显示.....	(284)
§4 复杂岩性解释(CORIBAND).....	(287)
一、预解释.....	(287)
二、选择参数和解释模型(交会图分析).....	(290)
三、逐点解释.....	(292)
四、成果评价与成果显示.....	(294)
§5 最优化解释(GLOBAL).....	(298)
一、最优化解释的一般原理.....	(298)
二、GLOBAL程序流程.....	(300)
三、成果显示和质量控制.....	(301)

第三篇 其它测井及其资料应用

第十六章 地层倾角测井.....	(304)
§1 地层倾角测井的基本原理.....	(304)
§2 测井资料的数字处理和成果显示.....	(307)
一、地层倾角测井资料的数字处理.....	(307)
二、成果显示.....	(307)
§3 地层倾角测井资料的地质应用.....	(310)
一、地层倾角矢量图的模式.....	(310)
二、研究地质构造问题.....	(310)

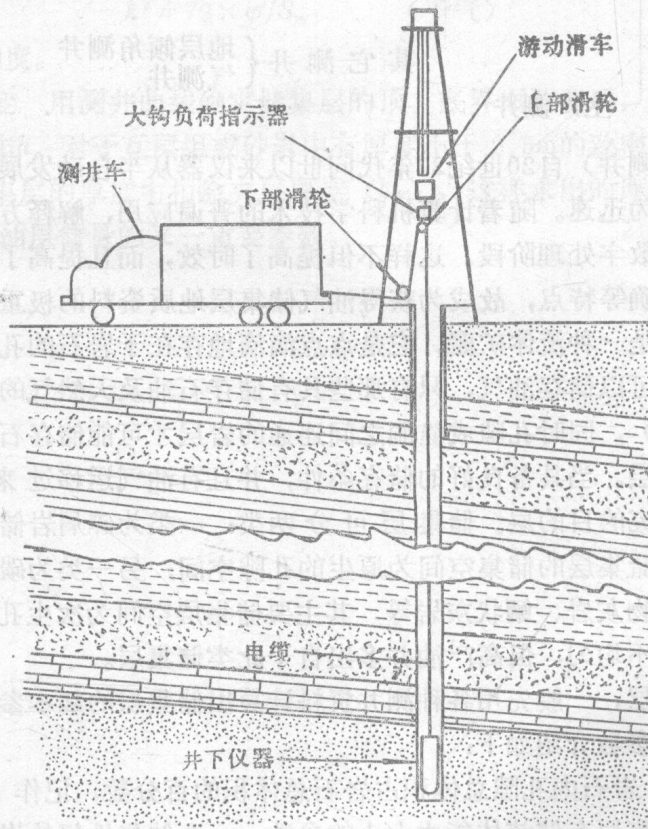
三、地层倾角测井资料的统计法研究预测剖面图和构造图	312
四、在地层学和沉积学中的应用	315
第十七章 生产动态测井	318
§1 流量测井	318
一、涡轮流量计的工作原理	320
二、流量测井曲线认识及使用	320
三、剖面流量分布的估算	322
四、各种流量计的应用范围	323
§2 流体识别测井	324
一、流体密度测井	324
二、含水率测井	329
§3 温度测井	332
一、温度测井的基本原理	333
二、井温曲线的应用	333
§4 压力测井	335
一、石英压力计	335
二、压力测井资料应用	335
§5 生产动态测井的一般常识	337
一、进行生产动态测井时的井身结构	337
二、单相流流态	337
三、两相流流态	338
四、持水率和滑脱速度	339
第十八章 用测井资料估算地层压力和岩石机械特性	341
§1 用测井资料估算地层异常压力	341
一、产生地层异常压力的原因	341
二、利用测井资料估算地层异常压力的原理及方法	342
§2 用测井资料估算岩石机械特性	344
一、用测井资料作岩石强度分析	344
二、用测井资料估算地层破裂压力	348
第十九章 测井资料在地震勘探中的应用	349
§1 用测井资料合成地震记录	349
一、测井资料的校正	349
二、合成地震记录	351
§2 用地震资料导出“测井曲线”	354
一、合成声波测井曲线的一般概念	354
二、利用地震资料合成声波测井曲线	355
第二十章 气测井	358
§1 石油及天然气的成分和性质	358
一、石油及天然气的成分	358
二、天然气的性质	360

§2 色谱气测井工作原理.....	(361)
一、全烃测量道.....	(361)
二、烃类组分道.....	(362)
三、非烃类组分道.....	(362)
§3 色谱气测井资料解释.....	(362)
一、确定油气层的存在.....	(363)
二、定性判断油、气、水层.....	(363)
§4 综合录井仪概述.....	(365)
一、地质参数.....	(365)
二、色谱气测井资料.....	(365)
三、钻井参数.....	(365)
四、泥浆参数.....	(365)
附录一 测井常用符号及意义.....	(366)
附录二 许用单位与非许用单位换算表.....	(375)
参考文献.....	(377)

绪 论

为适应勘探开发事业的发展，矿场地球物理测井方法研究领域的不断拓宽，仪器设备逐渐完善和计算技术的应用日趋普及，使测井资料得到了广泛的应用。对于用测井资料进行剖面对比解释构造问题目前已较普遍，近年来在研究沉积相、油藏描述工程中进行地层分析与油气评价也主要依靠测井资料；目前形成的测井新分支——生产动态测井则为采油工作者提供快速、廉价的监视与诊断井内情况的手段；在钻井工程中利用测井资料控制钻进、找窜、确定吸水剖面、检查固井质量、检查增产措施效果等方面亦越来越普遍。为此，目前培养的勘探、开发方面的工程技术人材应具有复合型知识结构，测井学科是必备的知识。

矿场地球物理测井是用各种专门仪器放入井内、沿井身测量剖面上岩层的各种物理参数



图绪-1 井场施工图

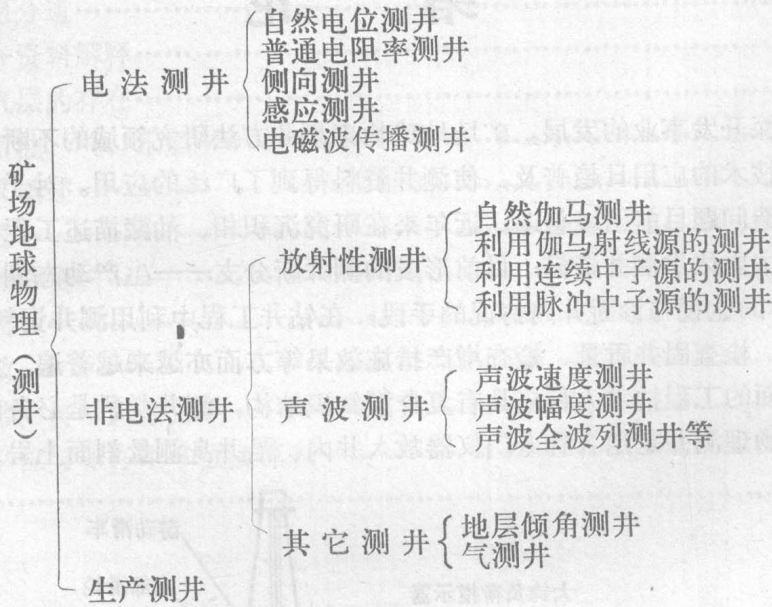
随井深的变化曲线，并根据测量结果进行综合解释（人工或数字处理）来判断岩性，确定油气层及其它矿藏的一种间接手段。测井工作可以分为两个阶段：

一为取资料阶段。将装在汽车中的测井仪器设备运至井场，如图绪-1所示安装好。用绞车提升井下仪器，同时进行参数测量，得到各种测井曲线。经验收后，将获得的测井曲线（或用车载计算机数字测井仪得到的数字量测井资料）带回室内；

一为资料解释阶段。经过资料的人工综合解释（或数字处理）得到岩层各种地质参数，

对储集层进行综合评价，确定出油气储集层。

为能可靠地确定出油气储集层需要多种物理参数，因此对应的测井方法也十分丰富，其分类如下：



矿场地球物理(测井)自20世纪20年代问世以来仪器从半自动发展到全自动，目前正向数字化过渡，发展较为迅速。随着计算机科学技术的普遍应用，解释方式也从繁重的人工解释逐步进入资料解释数字处理阶段。这样不但提高了时效，而且提高了精度。由于测井具有效率高、成本低、准确等特点，故成为获得油气储集层地质资料的极重要的手段之一。

众所周知，油气是一种流体矿藏，它是点点滴滴地存在于岩石的孔隙、缝洞之中的，因此并非所有的岩层都可以储存油气，只有那些具有储存石油及天然气的空间(包括岩石粒间孔隙、裂缝、溶洞等)，同时孔隙或缝洞之间连通的岩层才可能储存石油及天然气，这种岩层叫储集层或称渗透层。当具备良好的储存条件，并且有油气运移过来，储集层才能含油气，这就成了测井研究的目的层。储集层可分两类：一类为碎屑岩储集层，包括砾岩、砂岩、粉砂岩等，这类储集层的储集空间为原生的孔隙空间；另一类为碳酸盐岩储集层，包括石灰岩、白云岩、生物灰岩、鲕状灰岩等，其主要储集层空间为次生孔隙，如缝洞洞洞，空间形状不规则且分布不均匀，但高产油井多出自于此类储集层。

为客观评价储集层，一般先用各种测井资料计算出储集层的基本参数，然后进行综合评价。现将储集层基本参数介绍如下：

1. 岩石孔隙度 岩石内孔隙总体积占岩石总体积的百分数，记作 φ 。

孔隙度是说明储集层存储流体能力大小的参数。一个储集性好的岩层不但孔隙度要高，同时孔隙直径应大于0.0002mm且连通性好。为了确切地评价储集层的储集特性，一般把孔隙分成与外界不连通的死孔隙和有效孔隙两类。一般用有效孔隙度(岩石内有效孔隙总体积占岩石总体积的百分数)来评价岩层的储集性而不用总孔隙度。应当指出，碳酸盐岩比较致密，原生孔隙很小，只有次生缝洞发育时才具有储集性，所以用缝洞孔隙度(又叫次生孔隙度)说明碳酸盐岩储集特性。所谓缝洞孔隙度即岩石中缝洞总体积占岩石总体积的百分数。

2. 含油气饱和度 含油气体积占孔隙体积的百分数，记作 S_h ，它是估算油层储量的重要参数之一。一般岩石孔隙中不是含油气就是含水，干孔隙是极少的，所以岩层的含油气饱和

度 S_h 和含水饱和度 S_w 之和为1, 即 $S_h + S_w = 1$ 。含水饱和度, 表示岩石中含水体积占孔隙体积的百分数。

3. 渗透率 在压力差作用下, 岩石允许流体通过的性质为岩石的渗透性。描述岩石渗透性优劣的参数是渗透率 (k), 其单位是 μm^2 , $1\mu\text{m}^2$ 表示长、宽、高为 1cm 的岩样, 两端压力差为 1atm , 允许粘度为 $1 \times 10^{-3}\text{Pa}\cdot\text{s}$ 的 1cm^3 液体在 1s 内通过该岩样的能力。一般实用单位为 $10^{-3}\mu\text{m}^2$ 。

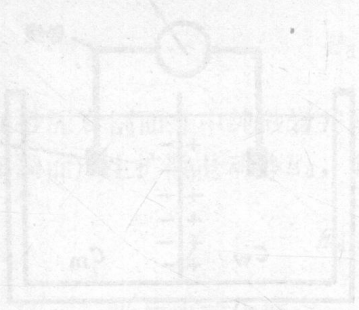
岩石渗透率受多种因素影响, 且不同岩石影响因素不同。例如纯砂岩的渗透率主要决定于岩石颗粒粗细和孔隙度, 而泥质砂岩的渗透率则主要决定于泥质含量; 碳酸盐岩则视其储油空间特点而定, 如果是裂缝性的碳酸盐岩则其渗透率决定于裂缝发育程度及裂缝开口宽度等因素。测井资料很难同时反映多种因素, 所以多数地区采用分层组编制渗透率图版的方法来确定该层组的渗透率。另外, 目前还常用一些经验公式计算出岩石的渗透率 k 值, 其中 Wyllie 和 Rose 公式为:

$$k^{\frac{1}{2}} = 250 + \varphi^3 / S_{wi} \quad (\text{石油})$$

$$k^{\frac{1}{2}} = 79 \times \varphi / S_{wi} \quad (\text{干气})$$

式中 S_{wi} 为束缚水饱和度。

4. 储集层有效厚度 用测井曲线确定储集层的顶、底界面深度后, 两个界面的深度差就是储集层的厚度, 记作 h 。对于互层组或砂岩中有厚度小于 0.5m 的致密夹层的储集层, 则应从层组厚度或砂岩储集层的厚度中扣除夹层厚度 (h_*), 这样求出的厚度叫有效厚度。记作 $h_e = h - h_*$ 。它是估算油层储量的又一重要参数。



第一篇 测井方法原理

第一章 自然电位测井

在最早进行视电阻率测井时，在下放电极系未供电的情况下，发现沿井身有电位变化，经过反复验证这种电位普遍存在。研究表明，它是在钻开岩层时井壁附近产生的电化学活动而造成的电场，该场的分布决定于井孔剖面的岩层性质，把这个场叫自然电场。沿井轴测量记录自然电位变化曲线，用以区别岩性，这种测井方法叫自然电位测井。由于自然电位曲线在渗透层处有明显的异常显示，因此它是划分和研究储集层的重要方法之一。

§ 1 自然电场的产生

由于泥浆和地层水的矿化度不同，在钻开岩层后，在井壁附近两种不同矿化度的溶液接触产生电化学过程，结果产生电动势造成自然电场。在石油井中自然电场主要是由扩散电动势和扩散吸附电动势组成的。下面分述产生的过程。

一、扩散电动势的产生

首先做一个电化实验，其设备见图1-1。用一个渗透性隔膜把玻璃缸分成两部分，其中分别装入浓度不同的NaCl溶液，溶液浓度分别为 C_w 和 C_m 且 $C_w > C_m$ ，溶液中各放入一个电极，并以导线与表头连接。我们会观察到表头指针偏转，说明在接触面附近有电位差存在。这是因为两种不同浓度的NaCl溶液接触时，存在着使浓度达到平衡的自然趋势，即高浓度溶液中的离子受渗透压的作用要穿过渗透性隔膜迁移到低浓度溶液中去，这叫离子扩散。在扩散过程中，各种离子的迁移率不同（参阅表1-1）。从表中看出氯离子迁移率大于钠离子迁移率，因此，扩散使低浓度溶液中氯离子相对增多，形成负电荷富集，而高浓度一方钠离子相对增多形成正电荷富集。此时氯离子受接触面附近电荷富集带的负电荷的排斥其迁移速度减慢；相反钠离子的迁移速度加快，这就使电荷的富集速度减慢，当接触面附近的电荷富集带使正、负离子迁移速度相同时，电荷富集停止，但离子还在扩散，这叫动平衡。此时接触面附近的电动势保持一定值，这个电动势叫扩散电动势，记作 E_d 。

扩散电动势可由Nernst方程求得：

$$E_d = 2.3 \frac{RT}{F} \cdot \frac{n_+ u - n_- v}{Z_+ n_+ u + Z_- n_- v} \lg \frac{C_w}{C_m}$$

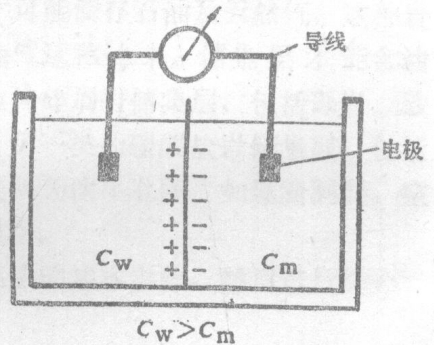


图1-1 扩散电动势产生示意图