油田地球物理测井

上　册

华东石油学院勘探系

1976年4月

需要全本请访问 www.ertongbook.com

毛主席語录

教育必须为无产阶级政治服务，必须同生产劳动相结合。劳动人民必须知识化，知识分子必劳动化。

我们不能走世界各国技术发展的老路，跟在别人后面一步一步地爬行。我们必须打破常规，尽量采用先进技术，在一个不太长的历史时期内，把我国迫切成为一个社会主义的现代化的强国。我们所说的大跃进，就是这个意思。

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

一个正确的认识，往往需要经过由物质到精神，由精神到物质，即由实践到认识，由认识到实践这样多次的反复，才能够完成。这就是马克思主义的认识论，就是辩证唯物论的认识论。

前　言

在学习无产阶级专政理论运动的推动下，教育革命沿着毛主席指引的方向有了新的发展。在油田党委的正确领导下，我油田的七·二一工人大学得到了迅猛的发展。为了造就培养油田测井技术人员需要，我们编写了这本教材。

本书从测井的实际工作出发，放眼到测井系列化的需要，参改了有关技术资料及大专院校的教材，吸取了测井短训班的教学经验，比较详细地介绍了油田测井的原理，各种测井仪的线路以及校验和使用方法。因内容较多，编成二册。上册介绍电法测井和声波测井的原理、多线电测仪、测井的干扰、一般下井仪的、多线电测仪的调整与操作的内容。下册介绍感应测井、侧向测井、声波测井和放射性测井的内容。

本书可供测井工人和测井专业工农兵学员使用。学习时，可根据不同的要求，有所选择。本书也可供测井资料验收和解释人员参改。

本教材是在测井总站广大工人师傅和技术人员的大力支持和热情帮助下，编写出来的。但由于我们的政治思想水平不高，又缺少经验，编写仓促，因此，一定有不少缺点和错误，热忱希望工人师傅、工农兵学员和现场技术人员批评指正，以便今后改正和完实。

1976年2月

目　录

第一章　测井的基本原理　1
第一节　自然电位测井　2
一、测量自然电位的原理　2
二、自然电位的成因　3
三、自然电位曲线的应用　6
第二节　普通电阻率测井　7
一、岩石电阻率的测量　8
二、均匀介质电阻率的测量　10
三、视电阻率的测量　15
四、视电阻率曲线的形状及应用　19
第三节　横向测井　23
一、电极系的探测深度　23
二、横向测井的电极系　25
三、横向测井的应用及问题　26
第四节　微电极测井　27
一、微电极测井原理　28
二、微电极曲线的测量　28
三、微电极曲线的应用　31
第五节　侧向测井　33
一、七侧向原理　33
二、三侧向原理　36
三、深浅双侧向原理　38
四、微侧向原理　39
五、邻近侧向原理　42
第六节　感应测井　45
一、感应测井的原理　45
二、感应测井的线圈系　47
三、感应测井理论的介绍　47
四、感应测井的刻度问题　49
五、感应测井的应用　52
第七节　球形聚焦测井　53

一、球形聚焦测井的原理 54
二、微球形聚焦测井的原理 56
第八节 声波测井 57
一、声速测井的一般原理 58
二、井眼补偿声速测井的原理 61
三、声波幅度测井的原理 63
四、声波疏密度测井的原理 66
五、井下声波电视测井的原理 66
六、井壁声波测井的原理 67
七、声波裂缝测井 69
小 结

第二章 多线电测仪
第一节 基本原理 73
一、基本概念 73
二、基本关系 74
三、多线电测仪的基本原理 75
四、校验模向比例 77
第二节 电流及供电线路 80
一、总电流变压回 80
二、硅整流回 81
三、电流控制板 83
第三节 多道模向回 86
一、模向原理 86
二、校验电阻 89
三、模向回马达的起动 95
第四节 测量线路 97
一、自然电位道 97
二、刻度极化补偿回 100
三、自然电位道的校验与测量 102
四、视电阻率道 105
五、视电阻率道的校验与测量 113
第五节 检流计系统 129

需要全本请访问 www.ertongbook.com

一、检流计的灵敏度 127
二、多线电测检流计的结构 132
三、检流计的固有频率 137
四、检流计的阻尼 139
五、检流计的频幅特性 145
六、检流计系统的灵敏度和阻尼 152
第六节 照相记录仪 156
一、光学系统 157
二、深度传动系统 160
第七节 辅助装置 168
一、交换接线排 168
二、辅助控制台板 170
三、描点表现理 175
四、自动行车线路 176
小 结 .
第三章 测井的干扰 179
第一节 漏电干扰 180
一、漏电现象 180
二、漏电形成的分析 180
三、消除漏电干扰的措施 183
第二节 交流干扰 184
一、外电势交流干扰的现象 185
二、外电势交流干扰的分析 185
三、消除或减小交流干扰的措施 188
第三节 无极干扰 189
一、无极干扰的特点 189
二、无极干扰的分析 190
三、减小无极干扰的措施 193
第四节 干扰自然电位的因素 195
一、电极电位的干扰 195
二、摩擦电位的干扰 196
三、不规则电流的干扰 196
四、重锤电缆的干扰 198

五、绕车磁化的干扰 197
六、矩形波电流的干扰 200
七、缆皮电位不统的干扰 201
第五节 地面电极的接地干扰 202
一、井口接地干扰 202
二、公共接地干扰 203
小 结
第四章 一般下井仪器
第一节 井径仪 205
一、井径仪工作原理 205
二、JJ701型井径仪的主要技术性能 208
三、井径仪的校验 208
四、井径的测量 210
五、故障判断与维修 210
第二节 井斜仪 211
一、井斜仪工作原理 213
二、JX641型井斜仪的主要技术性能 217
三、井斜仪的校验 217
四、井斜的测量 218
五、使用与维护 219
第三节 井温仪 220
一、电阻式井温仪工作原理 220
二、JW701型井温仪的主要技术性能 222
三、井温仪的校验 223
四、井温的测量 226
五、使用与维护 228
第四节 井内流体仪 229
一、JL582—A型井内流体仪 229
二、主要技术性能 229
三、井内流体仪的校验 230
四、井内流体电阻率的测量 231
五、故障与维修 231
第五节 微电极 232

一、WD 701 型微电极系 232
二、主要技术性能 232
三、微电极的校验 233
四、微电极的测量 233
五、故障与维修 233
第六节 碳定位图 234
一、JC 691 型碳定位图 234
二、主要技术性能 235
三、使用与维修 235
四、胶质点小碳定位图 235
第七节 综合下井仪及野外操作 236
一、ZH 71 型综合下井仪 236
二、换档控制电路 237
三、测斜时的总接线 241
四、微电极的野外操作 243
五、长电极的野外操作 245
六、短电极的野外操作 249
七、标准测井的野外操作 251
八、完井电测的收尾工作 255
小 结
第五章 多线电测仪的调整与操作
第一节 电流网路及供电线路的操作 258
一、电流网路的操作 258
二、供电线路的操作 258
第二节 检流计系统灵敏度和阻尼的调整 259
一、用"刻度极化补偿图"调整的操作 259
二、用"标准电阻法"调整的操作 260
第三节 测量直流的操作 263
一、校验线路电阻的操作 263
二、测量直流电流的操作 263
三、测量直流电位差的操作 264
第四节 测量交流的操作 265
一、换向图的调整与操作 265
二、校验线路电阻的操作 267

三、校验电流和测量电位差的操作 267
四、校验横向比例的操作 268
五、多道并测时的操作 269
六、并测微电极的操作 271
第五节 照相记录仪的调整及操作 272
一、检流计光magnetic灯的调整 272
二、横线灯光的调整 273
三、45°反射镜的调整 274
四、直线灯光筒的调整 275
五、相纸移动摇杆凹的调整 275
六、卷纸机构的调整 276
七、安装检流计的操作 277
八、装照相纸的操作 278
第六章 安全优质测井工作
第一节 测井安全规定 279
一、人身安全 280
二、油气井测井安全 280
三、井口安全 280
四、绞车安全 280
五、仪田车安全 280
六、井下事故的预防 281
第二节 质量标准及成图的整理 281
一、测井成图上的各种线条 281
二、测井成套资料质量标准 284
三、测井成图的整理 286
第三节 自动做深度记号 288
一、自动做记号的原理 289
二、自动做记号的设备简介 290
三、晶体管自动丈量电缆仪的线路 290
四、深度计标定其它 293
第四节 一般维护与检修 297
一、一般维护保养 298
二、一般故障的检修 298
三、电缆故障的检查 303

油田地球物理测井

上　册

胜利油田测井总站七.二一工人大学

华东石油学院　测井专业

1976.2.

第一章 测井的基本原理

石油埋藏在地下，要把石油资源勘测清楚，需要进行多方面的调查研究。在生产实践中，人们已经采用了地震、取芯、条井、测井和试油等多方面来认识油、气藏。油田地球物理测井的特点，是利用各种下井仪器，沿着井筒测量岩石的物理性质或工程情况，为油田的勘探和开发提供资料和参数。

测井的方法很多，在不同的地质条件下，往往需要采用不同的测井系列，才能取得较好的地质效果。

本章介绍电法测井和声波测井中的一些基本原理。学习时，可根据需要有所选择。学习普通电法测井原理后，就可以学习多线电测仪。有关声波测井的原理，可在学习声波测井仪器时一起学。如果对测井的方法原理比较熟悉，也可省略本章的学习。学习本章，要把基本概念搞清楚。

第一节 自然电位测井

一、测量自然电位的原理

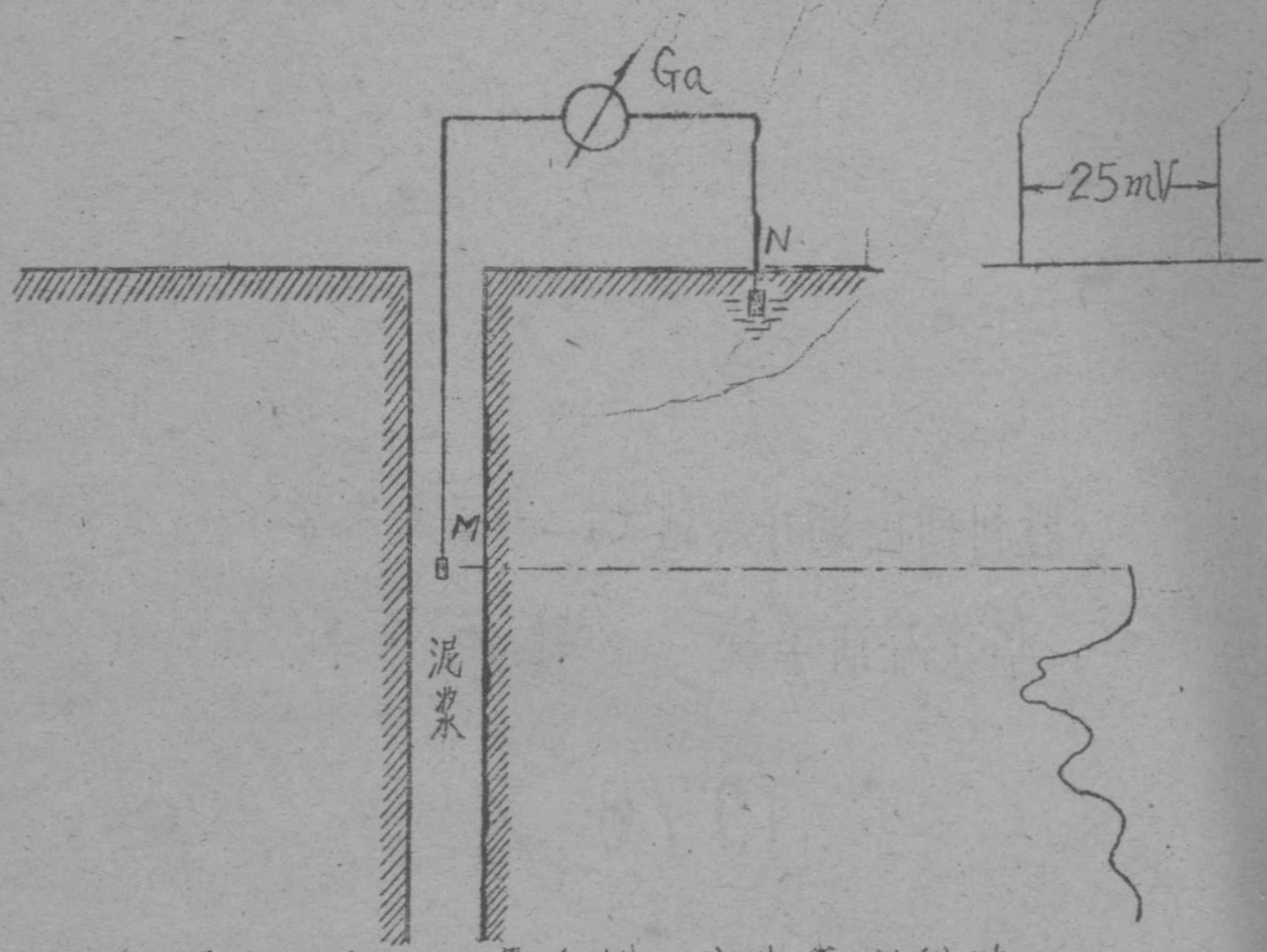


图 1—1 测量自然电位的原理线路

需要全本请访问 www.ertongbook.com

测量自然电位的原理比较简单。它用两个铅制的圆柱状电，一个电极通过测井电缆放到井下，叫M电极；另一个电极通过地面引线放在井场的泥浆池里，或者埋在远离井场几十米的地方，它叫N电极。因为这两个电极之间的电位差，是在自然条件下产生的，所以叫做自然电位。测井时，绞车起电缆，井下的M电极就沿着井筒向上移动，地面记录仪四就自动地记录出M，N电极之间的电位差随着井深变化的曲线。测量自然电位曲线的原理线路电图1—1。

这曲线就是自然电位曲线。在现场，过去简称DC曲线。有的书上用SP表示自然电位曲线。

在测井过程中，N电极放在地面上不动，它的电极电位比较稳定。M电极由于情况不同，它沿着井筒移动，经过不同的地层就可能有不同的自然电位。因此，我们可以认为，自然电位曲线形状的变化，主要反映了井下地层自然电位特性的变化。

为什么不同的地层会有不同的自然电位特性呢？要回答这个问题，需要进一步研究自然电位是怎样产生的。

二. 自然电位的成因

根据科学实验和生产实践，一般认为自然电位是由于地层和泥浆之间发生电化学和物理作用，而产生的一种自然现象。具体分析起来，自然电位的成因有三个。

1. 扩散吸附电位

我们先看两个有趣的实验，在一个容器中，用砂岩片或泥质岩片把容器隔开，接缝处设法密封好，然后在隔板的两边倒上浓度不同的氯化钠（NaCl）溶液。这时用特制的测量电极M，N放到隔板两边的溶液中，就可以测出一定大小的电位差。但是，隔板的岩性不同，所测电位差的大小也不相同，而且电位差的极性也可能不同。例如图1—2的实验中，虽然溶液的浓度差相同，但砂岩隔板和泥质岩隔板所产生的电位差，不仅大小不一样，而且电位差的极性完全相反。

为什么隔板的岩性不同，产生电位差的极性会完全不同呢？这是因为岩性不同，电化学和物理作用的特点不同，所以产生的效果也不一样。

浓度大的盐溶液会向浓度小的盐溶液扩散，实验研究表明，

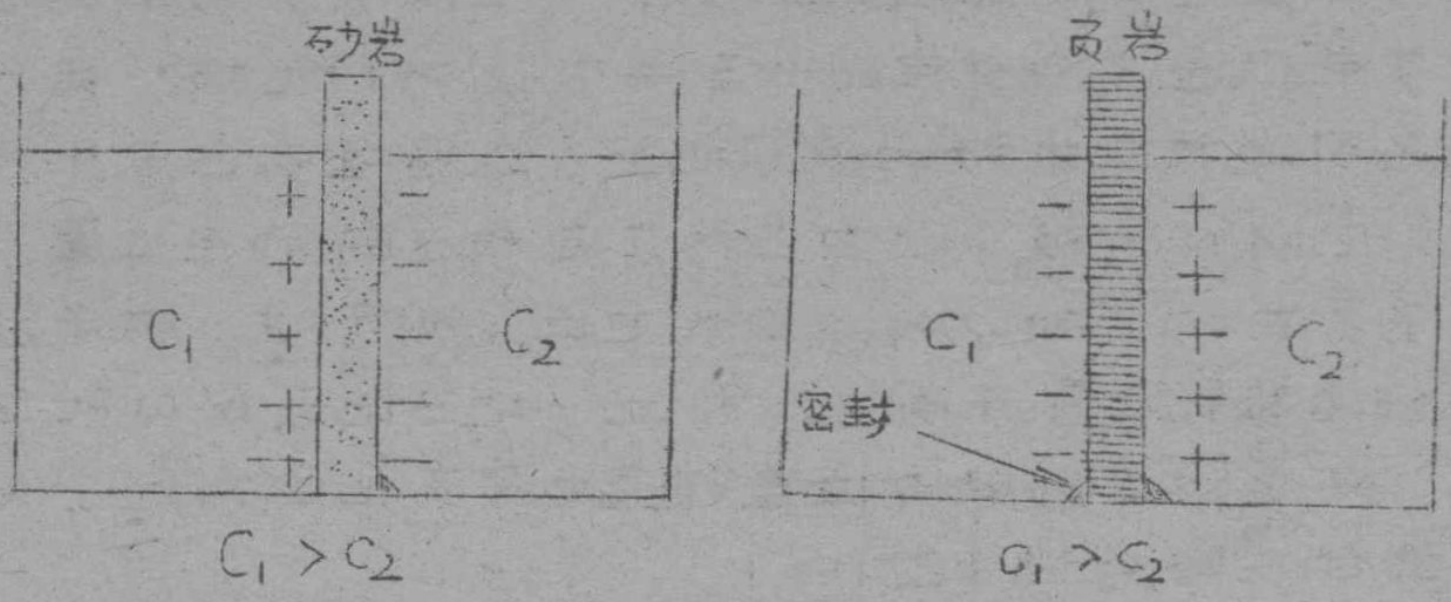


图1-2 扩散吸附电位示意图

氯离子（Cl^-）的平均迁移率比钠离子（Na^+）的平均迁移率为，换句话说，氯离子比钠离子跑得快一些。在砂岩隔板的情况下，随着扩散过动的进行，在浓度小的溶液中，氯离子越来越多，电性越来越负，也就是两边的电位差越来越大。但是，电位差也不会无限地达大，因为随着电位差的达大，电场力也将达大，这种电场力将使氯离子的平均迁移率减小，钠离子的平均迁移率有所达加，当两种离子的平均迁移率相劳时，扩散达到了动平衡状态，溶液之间的电位差也就保持不变。这种电位差是由于扩散所引起的，所以简称为扩散电位。

扩散电位的大小，不仅和溶液的浓度差有关，而且和溶液的温度以及离子的种类有关。对于砂岩隔板来说，温度为18°C时，氯化钠溶液所产生的扩散电位是：

$$U_{扩散} = -11.6 \lg \frac{C_1(浓)}{C_2(淡)} \qquad (1-1)$$

在一定的浓度范围内，可用溶液电的阻率 ρ_1，ρ_2 来代表溶液的浓度 C_1 和 C_2。不过溶液的电阻率与溶液的浓度是反比关系，所以扩散电位用电阻率表示，应为：

$$U_{扩散} = -11.6 \lg \frac{\rho_2(淡)}{\rho_1(浓)} \qquad (1-2)$$

用泥页岩做隔板时，情况就不同了。我们知道，泥岩很细，泥质颗粒的表面具有吸附负离子的特性，加上泥岩的孔隙很小，因此泥质颗粒吸附负离子后，负离子就很难穿过这些孔道向低浓度的溶液中迁移，只有正离子未被泥质颗粒吸附，才能自由地向低浓度的溶液中迁移。随着钠离子的增多，低浓度溶液的电位就比高浓度溶液的电位要高一些，同样这个电场的存在，就使钠离子的平均迁移率减小，逐渐达到动平衡状态。这样产生的电位差，主要是吸附作用引起的，所以简称吸附电位，电化学上也叫薄膜电位。其大小可用下式估算。

$$U_{吸附} = 58 \lg \frac{C_1}{C_2} \qquad (1-3)$$

$$= 58 \lg \frac{P_2}{P_1} \qquad (1-4)$$

比较公式（1-1）和（1-3），可以看出虽然浓度差相同，但是砂岩隔板和泥岩隔板所得到电位差，不仅大小不同，而且极性完全相反。

这两个实验对我们的分析井下的电化学物理作用很有启发。钻井时，泥浆的含盐量和地层水的含盐量不同，因此浓度大的溶液就会向浓度小的溶液扩散。如果地层水的含盐浓度是C_1，泥浆的含盐浓度是C_2，那么用类似的分析方法，可以肯定渗透性砂岩的井段氯离子会多一些；泥岩井段的钠离子会多一些。这反映在自然电位曲线上，就是泥岩井段的电位高于砂岩井段的电位，或者说砂岩井段有负异常。如果地层水的含盐浓度比[illegible]泥浆的含盐浓度低，也就是泥浆的电阻率比地层水的电阻率低，那么砂岩井段应该出现正异常，泥岩井段的自然电位比砂岩段的要低得多。

2. 过滤电位

在钻井过程中，为了防止井喷之故，通常要求泥浆柱的压力大于地层的压力。这样就有一个压力差，在这个压力差的作用下，泥浆滤液就会向渗透性好的地层中渗滤。渗滤过程中，

泥饼和泥质颗粒要吸附负离子，这样，负离子被束缚，正离子被压向压力低的一端，因此压力高的一端比压力低的一端要负一些。这个电位差是由过滤作用形成的，简称为过滤电位。过滤电位的大小与压力差成正比，与流体的电阻率和粘度等因素有关。钻井时，如果泥浆柱的压力略高于地层压力，那么压力差不大，所产生的过滤电位也不大，就可以忽略。

3. 氧化还原电位

有的地层碰到泥浆，发生氧化还原的化学反应。例如煤层被钻穿时，碳就容易被氧化。被氧化的碳，因失去电子而带正电；被还原的氧，因获得电子而带负电。由氧化还原作用所产生的电位差，叫氧化还原电位。

产生自然电位的几个因素中，那个是主要的呢？这要根据具体情况，作具体的分析。例如在一般砂泥岩剖面的油井中，扩散吸附电位是主要的。过滤电位一般很小，应用中可以忽略。在金属矿的钻井中，氧化还原作用强烈，是产生自然电位的主要因素。在煤田测井中，在泥浆中加氧化剂，则可使自然电位异常更明显些。

三，自然电位曲线的应用

在泥浆含盐量与地层水含盐量有显著浓度差的条件下，可以用自然电位曲线来确定渗透层，判断油水层。例如在地层水矿化度（含盐量）大于泥浆矿化度时，自然电位的负异常，一般是砂泥岩剖面中的渗透性砂岩层。泥浆和地层水矿化度差别越大，渗透性砂岩中含泥量越低岩层越厚，则自然电位的异常幅度越大。在地层水含盐量变化不大的情况下，一般含油的渗透层和同样渗透性的水层相比，油层的自然电位异常幅度要小一些。

在油田勘探中，往往需要参许多井的资料进行对比，找出相同油气层的变化规律。自然电位曲线也是进行地层对比的一种资料。

在含泥量很低，厚度很大，渗透性很高的纯水砂岩层中，扩散吸附电位占着绝对优势，过滤电位常可以忽略。因此，根据这种纯水层的自然电位异常幅度，经过理论计算或图解，可以求出地层水电阻率的大小。当然在实际生产中，这种理想

的足够厚的纯水层是罕见的。在实际生产中，地层厚薄不一，泥浆滤液侵入地层的程度也不一样，影响自然电位幅度的因素很多，因此只有经过各种校正之后，才能比较准确地求出地层水电阻率。

在自然电位曲线上，对应着泥岩井段的下分，曲线变化很小，基本上是一条直线，测井生产中常把它叫做基线。自然电位的异常幅度，就是以这种泥岩基线作为起标基准线的。

在油田测井中，浓度差是产生自然电位的必要条件。如果泥浆滤液的含盐量和地层水的含盐量差不多，也就是说两者的浓度差很小，那么测出的自然电位曲线就比较平直，没有明显的异常。如果用油基泥浆打井，因为这种泥浆不导电，形不成测量回路，所以无法测量。浓度差是影响自然电位幅度的重要因素，用自然电位求地层水电阻率时，尤其要强调泥浆性能应该稳定。如果泥浆性能变化剧烈，特别是泥浆的矿化度忽高忽低，就会直接影响到所测自然电位的异常幅度，给计算带来误差。现场经验表明，要使不同泥浆和地层水作用到新的平衡，需要较长的时间。为了保证测井质量，最好使泥浆性能保持稳定。

总起来说，在淡水泥浆井中，自然电位曲线可以用来划分渗透层，对比地层和求地层水电阻率。在盐水泥浆井中，由于井筒中泥浆柱的电阻很低，因此自然电位在泥浆柱上产生的电压降很小，测出的自然电位曲线几乎没有什么变化。自然电位曲线主要用于淡水泥浆井的分层和对比。

第二节　普通电阻率测井

在油田勘探和开发中，人们发现，不仅不同的岩石具有不同的电阻率；即使相同的岩石，由于孔隙中所含流体的性质不同，电阻率也有很大的差别。例如，同样的渗透性砂岩，当孔隙中充满石油时，电阻率就比充满水时的大很多。普通电阻率测井，就是用普通的电极系放到井下，测量电阻率随着深度变化的曲线。利用这种曲线，可以研究井所穿过的地质剖面，在一定条件下还可以判断油，气，水层。

普通电阻率测井，方法简单，但使用很普遍，是油田测井

中最早采用的一种方法。目前我国各油田都要求测电阻率曲线。

一、岩石电阻率的测量

岩石的电阻率，就是岩石阻止电流通过它的一种能力。当然，这种能力只有在电流通过岩石时，才能表现出来。所以一般都用通电的方法来测量岩石的电阻率。常用的是"四极法"，测量原理见图1—3a。

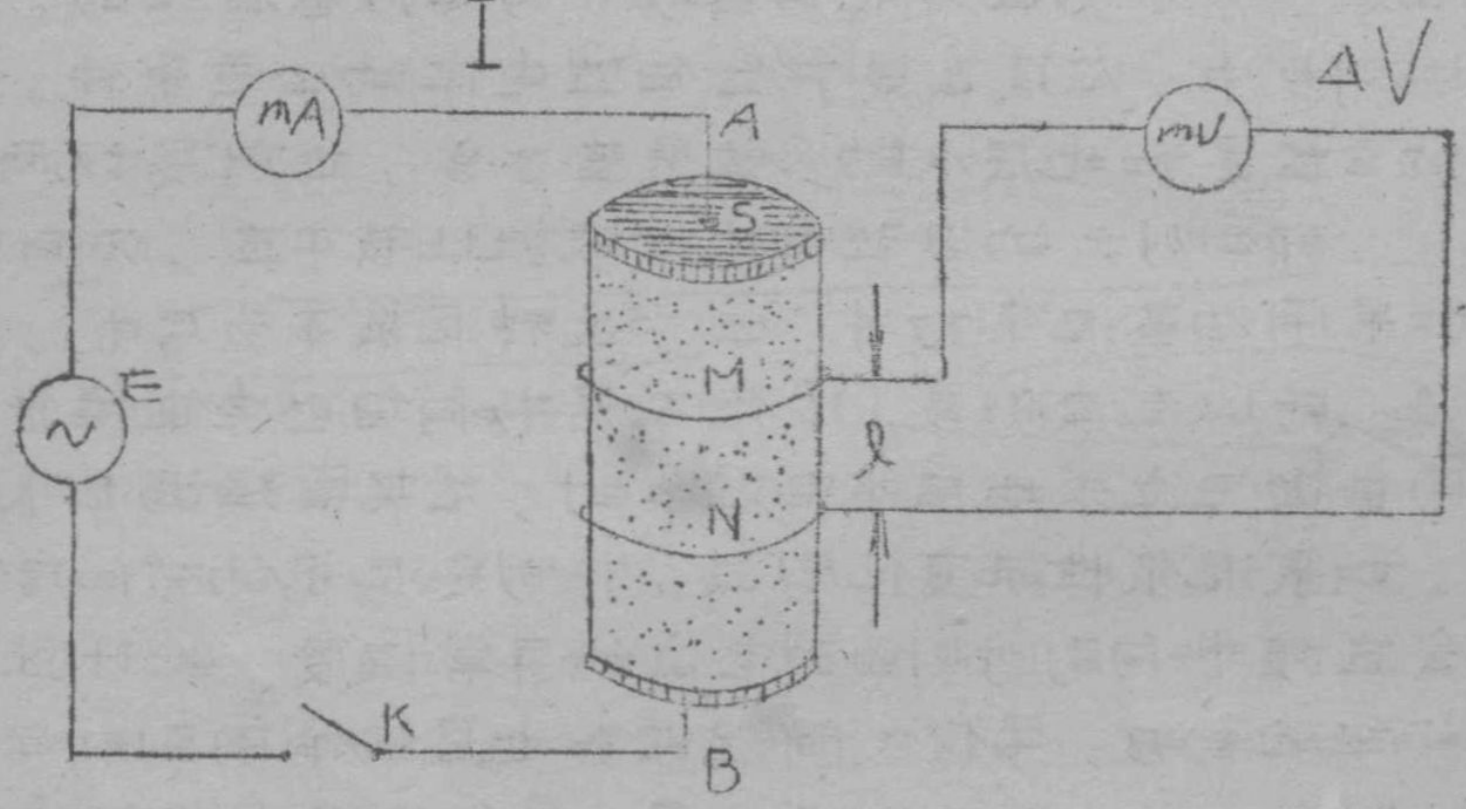


图1—3a 测量岩样电阻率的原理

为了便于计算和减小测量误差，通常把岩石磨制成截面积为S的圆柱状岩样。在岩样的两个端面上夹上金属电极A，B。在岩样的中间，相上两根金属丝，做测量电极MN。这些电极与岩样表面应有良好的接触。测得电极M，N之间的距离，假定是l。

当经过AB供电电极，向岩样通一电流强度为I的电流时，岩石本身阻止电流通过它的能力就顽强地表现出来了。电流每经过一小段岩样，都产生一定的电压降。根据欧姆定律，在测量电极MN之间的那段岩样上，产生的电压降ΔV，可以用下式计算。

即 $$\Delta V = I \times R \qquad (1-5)$$

其中R代表MN电极之间的那段岩样所具有的电阻。

需要全本请访问 www.ertongbook.com