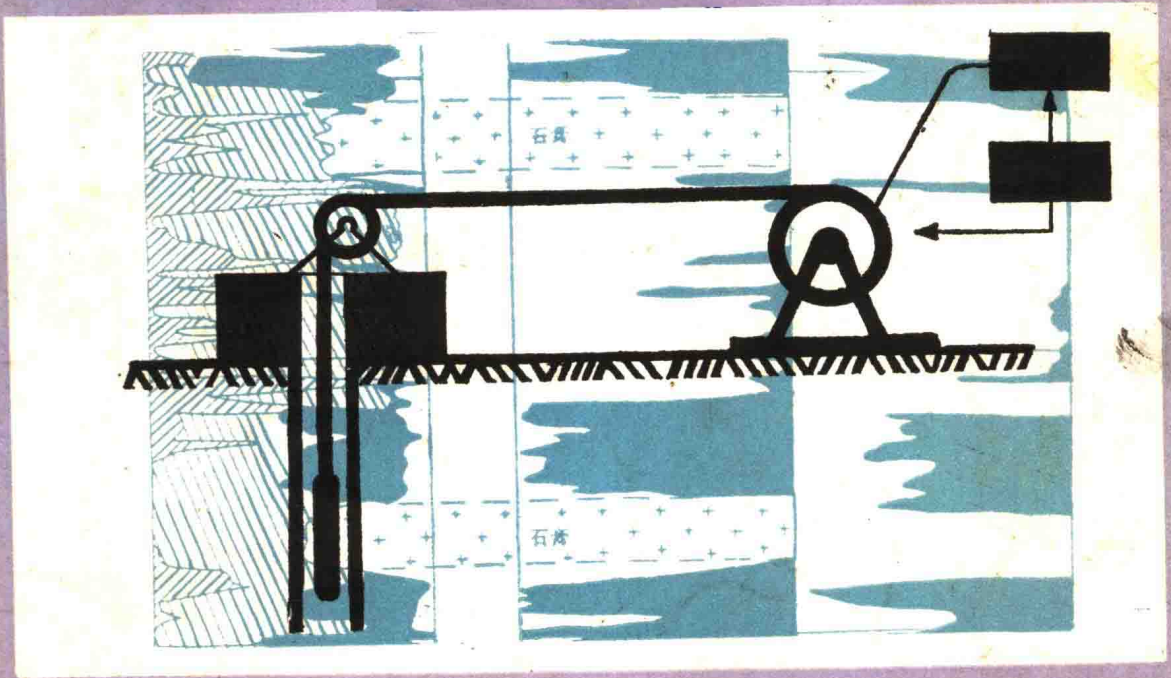


625555

高等学校教材

综合地球物理测井

王惠濂 主编



地质出版社

高等学校教材

综合地球物理测井

王惠濂 主编

地质出版社

本书由佟文琪主审，经地质矿产部钻井地球物理编审委员会于1984年9月召开的第四次教材编审委员会审定，同意作为高等学校教材出版。

高等学校教材
综合地球物理测井

王惠濂主编

*

责任编辑：徐乃和

地质出版社出版

(北京西四)

地质出版社印刷厂印刷

(北京海淀区学院路29号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

开本：787×1092¹/₁₆，印张：13¹/₄，字数：310,000

1987年5月北京第一版·1987年5月北京第一次印刷

印数：1—2,000册 定价：2.10 元

统一书号：13038·教269

前 言

根据1984年9月地质矿产部钻井地球物理教材编审委员会北戴河会议的决定，为了适应各校的不同需要，将地质院校勘查地球物理专业“钻孔地球物理勘探”课程的教材分为测井和井中物探两部分内容分别编写，本书即为其测井分册。本书是在1980年出版的《金属矿钻孔地球物理勘探》的基础上，经过几年教学实践，进一步充实、修改写成。全书共七章，第二到第六章较详细地介绍了当前普遍应用的各种测井方法的基本原理；第七章综合了测井在煤田、水文和工程地质及金属、非金属矿上的应用；第一章仅对测井的装备和仪器作了简介。

本书由武汉地质学院王惠濂（主编）、蔡柏林（第一章、第七章第三、四节）、黄南晖（第四章、第六章）和黄智辉（第二章、第三章、第七章第一节）合编。由长春地质学院佟文琪审校。

参加全书审阅的同志还有地质矿产部北京计算中心吴以仁、长春地质学院徐顺、成都地质学院肖慈珣、河北地质学院周小翠等。编者对他们深表感谢。由于水平所限，书中缺点错误之处，尚祈读者指正。

编 者

一九八六年五月

目 录

绪言	1
第一章 测井装备和仪器	3
第一节 测井装备	3
一、绞车	3
二、电缆	4
三、井口滑轮	4
四、深度记录系统	4
五、电源设备	6
第二节 记录仪	6
一、模拟记录仪	6
二、美国蒙特Ⅲ系列数字测井系统简介	10
第三节 井场工作方法技术	11
一、电缆深度记号的标记	11
二、记录点及深度计算	12
三、横向比例和深度比例尺的选择和计算	12
四、仪器设备及电缆绝缘检查	13
思考题	13
参考文献	13
第二章 电阻率测井	14
第一节 岩石的电阻率及其影响因素	14
一、岩石和矿物的电阻率	14
二、岩石电阻率的影响因素	15
第二节 视电阻率测井	17
一、视电阻率测井的基本原理	18
二、电极系	19
三、视电阻率测井的理论曲线及主要影响因素	21
四、视电阻率测井曲线的应用	31
第三节 侧向测井	32
一、三电极侧向测井的基本原理	32
二、三电极侧向测井电极系的参数及其选择	35
三、三电极侧向测井曲线	37
四、利用三电极侧向测井曲线确定岩层的电阻率	39
第四节 其它电阻率测井	44
一、单电极电流测井	44

二、滑动接触电流测井	45
三、接地电阻差值测井	47
思考题	49
参考文献	50
第三章 电化活动性测井	52
第一节 自然电位测井	52
一、井内自然电位的形成	52
二、自然电位测井曲线及其影响因素	55
三、自然电位测井曲线的应用	59
第二节 电极电位测井	61
一、电极电位测井的基本原理	61
二、电极电位测井曲线的应用	62
第三节 激发极化测井	64
一、激发极化测井的基本原理	64
二、视极化率测井曲线及其影响因素	66
三、交流激发极化测井	69
四、激发极化测井曲线的应用	70
思考题	72
参考文献	73
第四章 低频电磁法测井	74
第一节 磁化率测井	74
一、方法原理	74
二、JCL-1型磁化率测井仪	79
三、磁化率测井的应用	80
第二节 感应测井	83
一、感应测井仪的原理线路	83
二、感应测井的几何因子理论	84
三、线圈系的探测特性	86
四、解释和应用	89
思考题	91
参考文献	91
第五章 声测井	92
第一节 声测井的物理基础	92
一、岩石的弹性	92
二、均匀无限岩石介质中的声波	93
三、平面声波的反射和折射	97
第二节 声速测井	99
一、声速测井的测量原理	99
二、声速测井的应用	102
第三节 声幅测井	106
一、无套管和套管孔中的声幅测井	107

二、反射声测井	107
第四节 其它声测井方法	108
一、全波列测井	108
二、超声成像测井	109
思考题	110
参考文献	111
第六章 放射性测井	112
第一节 核物理的基本知识	112
一、放射性元素的核衰变	112
二、 γ 射线和X射线的性质	113
三、 γ 射线与物质的作用	114
第二节 放射性测井的原理及工作方法	116
一、 γ 射线探测器	116
二、测量线路	118
三、时间常数和测速的选择	120
第三节 自然伽玛测井	121
一、岩石的放射性	121
二、自然伽玛测井曲线及其影响因素	122
三、自然伽玛测井仪的刻度	126
四、自然伽玛测井的应用	127
五、自然伽玛能谱测井	128
第四节 伽玛-伽玛测井	129
一、地质-物理基础	129
二、基本理论	132
三、伽玛-伽玛测井的应用	134
第五节 X射线荧光测井	136
一、方法原理	136
二、JYX-1型X射线荧光测井仪	138
三、工作方法及实例	139
第六节 中子测井	141
一、中子与物质的作用	141
二、岩石的中子性质	142
三、中子-中子测井和中子-伽玛测井的读数与岩石含氢量的关系	145
四、中子测井的应用	146
第七节 其它核测井	147
一、脉冲中子测井	147
二、活化测井	149
思考题	150
参考文献	150
第七章 地球物理测井的应用	151
第一节 测井在煤田地质勘探中的应用	151

一、煤田地球物理测井概况	151
二、岩石和煤的物理性质	152
三、煤田测井资料的直观解释	155
四、利用数理统计方法进行煤和岩石的物理分析	157
五、煤田测井资料的数字处理	162
第二节 测井在水文地质和工程地质方面的应用	171
一、水文工程测井的探测对象与物性前提	171
二、水文工程测井技术	173
三、水文工程测井的应用	176
第三节 测井在非金属矿床上的应用	184
一、硫的查明和评价	184
二、蒸发岩矿床的查明和评价	189
三、磷的查明和评价	193
四、其它	194
第四节 测井在金属矿床上的应用	195
一、多金属硫化矿床	196
二、铁矿床	197
三、多金属和稀有金属矿床	201
思考题	203
参考文献	203

绪 言

测井作为地球物理的一门应用技术，已有半个世纪以上的历史。今天，随着计算技术和数字技术的应用，油田测井已经成为油田普查、勘探、开发等各个阶段不可缺少的重要生产环节。综合地球物理测井，是继油田测井之后，逐步在煤田、水文地质及工程地质、金属和非金属矿产等方面迅速兴起的测井技术。在基本的现场工作方法和解释技术基础方面，它们与油田测井十分相似，但又具有其特殊的现场使用方法和解释技术。例如，目前在煤田上，有滑动接触电流法、电极电位法、激发极化法等；在水文及工程地质方面，有各种扩散方法、声幅成象方法等；在金属和非金属矿上，有电流法、电极电位法、激发极化法、磁法、低频电磁法、X射线荧光法等等。

测井技术能用于解决各种地质问题，其基础在于地下各种岩石和探测对象具有不同的物理性质。人们就利用这些性质与对象之间的一定关系，来研究钻孔剖面各种岩性的划分、各类目的层的判定、它们的深度和厚度的确定、以及其它定性和半定量解释结果。

综合地球物理测井方法利用了现有的测井技术成就，同时，又根据不同的对象发展了测井技术。目前，应用效果较好的有以下几方面：

一、煤田方面

1. 划分煤层，确定其深度和厚度。密度测井方法是这方面最有效的方法。采用不同的源距，其划分精度可以从20cm（源距为40~50cm）到5cm（源距为8~15cm）；目前，已有可以达到3cm精度的高分辨率仪器，用于精确划分煤组中的夹矸。

2. 划分岩性。利用多种方法，参考工作地区的地质和钻探资料，可以划分出部分、以至大部分岩性，为实现无岩芯钻进提供条件。

3. 对比地层，进行区域评价。利用测井曲线对比的结果，可以得到各种反映煤层（含矿层）本身厚度变化、煤质变化和构造关系等的成果图，用以进行勘探工区的评价和煤田开发。

4. 煤质和岩性的定量分析。利用数字处理技术，对不甚复杂的煤和岩石，可作出碳质、灰分、水分和“单、双矿物”岩性组分的定量结果。

5. 利用测井曲线鉴定岩层的泥质和砂质（粒度、分选等性质）特性及含量，以了解古地理沉积环境，为探寻煤层赋存形态、预测富煤区域提供依据。

二、水文地质和工程地质方面

1. 划分含水层，包括岩性的（如第四纪的和各类基岩中的水层）和构造的（如裂隙的、溶蚀的）含水层。特别是后者，利用声波测井、超声成象测井、高频电磁波法等，效果显著。

2. 判定岩性，了解裂隙风化程度。利用声波测井可以相当有效地解决后一问题。

3. 通过对比测井资料，了解区域水文地质情况，包括地下水的分布和水力联系情况、岩性变化和构造发育情况。

4. 提供地下水和岩石物理参数的定量数据，以了解水质、计算岩石的工程级别和必要

的水文试井参数。

三、非金属和金属矿产方面

在探查农业、工业、化工原料和建筑原材料方面，应用测井技术越来越多。在黑色金属和各种有色金属的勘查中，测井技术的利用程度和地质效果，也有了较大进展。

第一章 测井装备和仪器

地球物理测井(简称测井)是指沿钻孔把钻穿的地层的各种地质-地球物理特性记录下来的所有作业。它通过绝缘电缆将井下仪器或电极系下放到钻孔中进行各种地球物理测量,并随钻孔深度进行模拟的图形显示或数字记录,最后通过数据处 理和解释(其成果可视为地层岩石物理学的复制品),达到解决各种地质问题的目的。

测井的仪器装备通常用散装或组装形式安置在一辆专用的汽车上,一般分为三个部分:

第一,各种地球物理测井(包括井中地球物理勘探方法)共用的仪器装备,其主要部件如下:

1. 绞车带传动装置,其上绕有电缆;
2. 电缆及电缆头;
3. 吊臂,井口滑轮;
4. 深度、速度、张力记录显示系统;
5. 电源设备。

第二,地面面板,组件和记录仪。记录仪可分模拟记录和数字记录两种,分别由全自动或数控进行点测或连续记录,记录各种地质-地球物理参数。

第三,井下仪器和收录组件是为每一种地球物理测井方法测量参数专门设计的,对电阻率测井来说是各种结构的电极系。其现场布置如图 1-1

本章仅叙述第一和第二部分。第三部分将分别在各种测井方法章节中讨论。

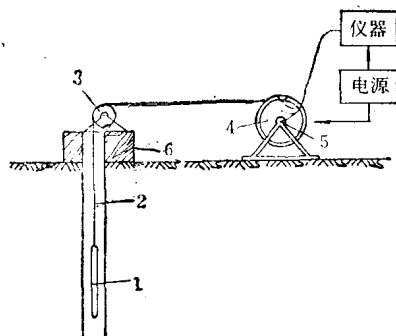


图 1-1

1. 井下仪器或电极系; 2. 电缆; 3. 井口滑轮; 4. 绞车; 5. 绞车滑环; 6. 钻机台木

第一节 测井装备

一、绞车

绞车的作用是用来提升或下放连接在电缆一端的井下仪或电极系。根据井深、交通等条件的不同,绞车的容量(轻型、中型、重型)和传动装置各有区别。绞车一般由机架、变速装置、卷筒、集流环、电机等组成。集流环是用来把绕在绞车上的电缆缆芯末端和地面记录仪相连接。用于非油田中深钻孔的国产绞车主要有以下两种:

1. CJ-1000型绞车,由煤炭工业部渭南煤矿设备专用厂生产,其主要性能如下:

测井深度 1000m

提升速度 50—4100m/h

提升能力 正常400kg, 最大1000kg
 电缆容量 1200m
 重量 450kg
 电源 380V, 50Hz

2.TWJ—700—1000型绞车, 由地质矿产部无锡探矿机械厂生产, 它是一种体积小, 重量较轻, 装卸方便, 便于山区使用的绞车。

测井深度 1000m
 提升速度 217—5000m/h
 提升能力 正常350kg, 最大1000kg
 重量 160kg
 电源 380V, 50Hz

二、电缆

电缆的作用是作为电路连接线, 连接井下仪和地面收录系统, 并承受拉力。对电缆的主要要求是具有高的机械强度、良好的绝缘和低的缆芯电阻。国内固体矿产测井中主要使用的电缆见表 1-1

表 1-1

型号	缆芯数	缆芯数据		绝缘套厚度 (mm)	电缆外径 (mm)	重量 (kg/km)	拉断力 (t)	缆芯电阻 (28°C时) (Ω /km)	每米体积 (cm^3)	安全载流量 (A)	推荐使用最大井深 (m)	最大吊挂重量 (kg)
		铜丝(每根直径) (mm)	钢丝(每根直径) (mm)									
WJH-0.3	3	7/0.25	7/0.35	2	12.7	150	0.3	50	120	2	300	30
WJH-0.6	3	12/0.4	7/0.41	2	14.3	300	0.6	12	170	8	600	50
WJH-1	3	1/0.41	18/0.4	2.5	14.7	340	1	65	180	1.5	1000	75
WJH-2	3	1/0.5	18/0.5	2.5	19.1	480	1.6	42	285	2.5	2000	100

由美国引进的蒙特Ⅲ系列数字测井系统使用的是 4H18RB 铠装四芯电缆, 电缆直径 4.8mm 长 1800m, 重量 90.4kg/km, 拉断强度 1360.8kg, 缆芯电阻 78.7 Ω /km, 额定电流 1A。

为便于电缆和井下仪(或电极系)连接安装, 电缆接头需特殊设计(用镀锡合金制成), 以保证电缆和井下探测器之间的电学和机械连接。

三、井口滑轮

井口滑轮的作用是将电缆顺利导入井中, 并通过机械的或电学的传动装置带动模拟记录仪卷纸筒, 使其按井下仪或电极系的移动作一定比例的周转。国产井口滑轮按其周长有 0.5m 和 1m 两种。目前国外的收录系统中除井口滑轮外, 常在汽车尾部装有吊臂(其上带泥浆刷), 在吊臂上装有导向轮。当汽车能直接到达井口时, 电缆通过导向轮直接下井。吊臂最大伸长为 6 英尺(1.83m)、最大拉力 6000 磅(2724kg), 最大旋转角 90°, 不同类型收录系统吊臂规格各异。

四、深度记录系统

记录和确定深度是井场收录系统的重要任务之一, 可以用人工手动打深度记号, 也可以

用自动传输深度脉冲信号的方法记录深度。在数字测井系统中，是用光码盘和光电转换脉冲发生器组成的深度编码器，对产生的深度脉冲进行记录。

由于是用电缆来丈量钻孔深度，因此，事先应在电缆上每隔一定距离（一般为10m或20m）制作一个深度记号，用这些记号来控制深度。

国内广泛使用的深度记号，有机械记号和磁性记号两种。机械深度记号是在电缆上用胶布缠上凸起的标记，如图1-2 a。当该标记通过井口滑轮时，顶起触点开关，接通电路，触发记录仪将该记号记录在记录纸上。（如果用人工手动，则是当记号到达深度标志点时，用手动打在记录纸上）。

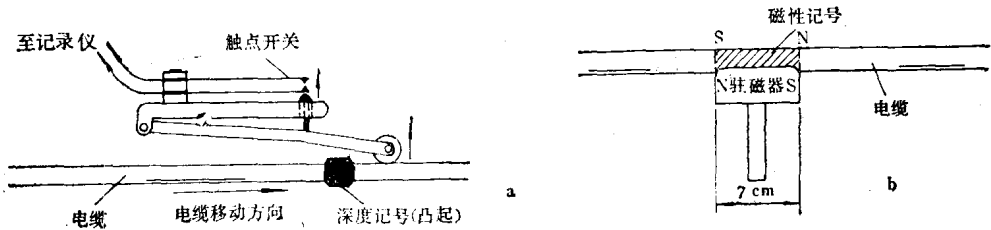


图1-2

磁性记号是使用驻磁器(图1-2 b)在电缆上驻磁。驻磁器实质上是一永久磁铁，它将小段电缆中的钢丝磁化而产生剩磁，使之成为磁性深度记号。若在井口滑轮上专门安装一个磁场检拾器，则该磁性记号在检拾器旁通过时，检拾器中就产生信号，供记录仪记录。

需要重新制作记号时，应将原有记号除去，对于机械记号，拆去胶布标志即可，而磁性记号则应使用退磁器退磁。

由光码盘和光电转换脉冲发生器组成的深度记录装置的原理图见图1-3。在测井操作过程中，光码盘随电缆的移动而转动，光线透过光码盘上两个长方形光导孔间断地照射在脉冲发生器的光敏二极管上，于是电路输出两个相位差为90°的方波信号，这两个方波信号输入

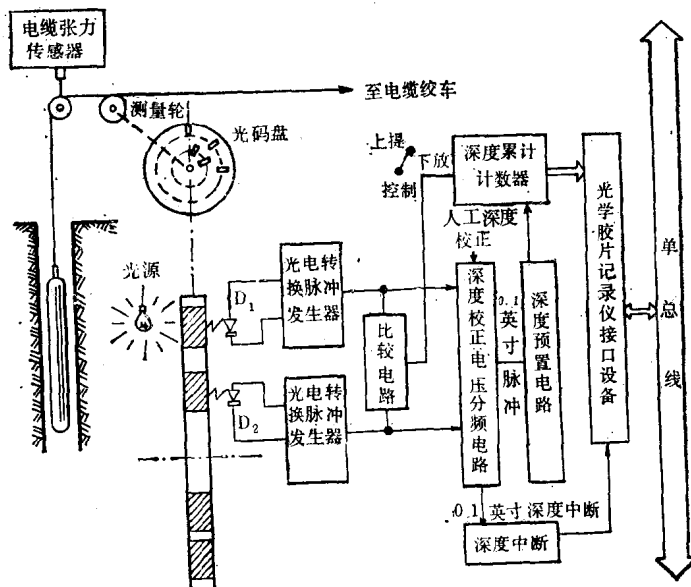


图 1-3

(0.1英寸 = 2.54mm)

到比较电路。当电缆上提时,比较电路输出高电平信号,下放时,则输出低电平信号。高、低电平信号作为深度脉冲计数器的加、减控制信号,其中一个方波信号经分频后,每0.1英寸(2.54mm)产生一个深度脉冲,对深度计数器累计计数,在深度计数器的输出端获得二进制深度数据。0.1英寸(2.54mm)的深度脉冲通过通用外围设备接口中的中断请求电路,向计算机发出中断信号,计算机立即响应中断并转入深度处理程序。在程序设计的深度间隔点上,计算机向接口装置发出采样命令,采样结束后,计算机取走该深度的测井数据,并把它连同深度数据一併存储起来。这样,每次采集的测井数据与其采样时的深度一一对应,并借助于深度校正电路校正由于井下仪器自重等因素引起的深度测量误差。

此外,还有电缆运行速度和张力指示器,以及为保证安全,井下仪到达预定深度前或上升至离井口数米前绞车自动停车的装置。

五、电源设备

测井所需电源由电网供给。在无电网地区,可使用发电机自行发电。发电机可由钻机的柴油机带动,也可采用自备的汽油发电机,自行发电时应经常监视发电机的输出电压与频率是否正常。

第二节 记 录 仪

一、模拟记录仪

目前国内尚未广泛采用数字记录。野外广泛应用的仍是点测或连续记录的模拟记录仪。各种电测井方法以及其它绝大部分测井方法(包括井中物探方法),都是将测量的物理参数转换成电位差,并用电缆传输至地面进行模拟记录。

国产的模拟记录仪,从原理上讲有两种类型:一种是利用非补偿原理以照相记录方式进行电位差的连续记录,JBC型轻便电子自动测井仪即属这一类。另一种是利用补偿原理进行电位差的直接显示连续记录,JDC型轻便电子自动测井仪即属该类。

1. JBC型轻便自动测井仪

JBC轻便自动测井仪采用非补偿测量原理进行自动照相记录,这种记录仪中安装有高灵敏度的镜式检流计、把欲测量的电位差送至检流计输入端,使检流计偏转;被检流计上小镜所反射的光束,射到感光记录纸上,使其感光,经显影定影后即获沿井深记录的曲线。

设光线从镜式检流计悬丝上的小镜至照相记录纸的行程(或称光臂)为 L , MN 电极间电位差为零时,经检流计小镜反射的光线落于记录纸某一位置(零位)。当 MN 电极间有待测电位差 ΔV 时,在检流计线圈中产生电流 i ,使检流计线圈发生偏转,因而小镜反射的光线在记录纸上也相对零位移动一定距离 l 。如果检流计电路中的电阻一定,那么光点在记录纸上的位移 l 就与待测电位差 ΔV 成正比,其关系如下

$$\begin{aligned} \because \Delta V &= iR \quad \text{而 } i = K_1 l \\ \therefore \Delta V &= K_1 R l \end{aligned} \quad (1.1)$$

式中, K_1 称为检流计线路的电流常数(在光臂一定的情况下,为使光点在记录纸上移动1cm所需的电流值); R 为检流计线路总电阻。 K_1 与 R 的乘积又称为检流计测量线路的电压常数,通常用 m 表示,因而

$$\Delta V = ml \quad (1.2)$$

因此，只要根据仪器上给出的电压常数值，读出记录纸上光点移动的距离，就可由式(1.2)求出电位差值。

图1-4是JBC型轻便自动测井仪的测量原理线路。它由供电和测量线路组成。供电线路包括直流电源 E_1 ，供电电流调节电阻 R_1 ，换向器的供电部分，标准电阻（校验电阻） R_0 以及供电电极 A 和 B 。测量线路由三个测量道组成，第I道和第II道用来记录视电阻率曲线，第III道用以记录自然电位曲线。仪器可单独记录视电阻率或自然电位曲线，也可同时记录这两种曲线。

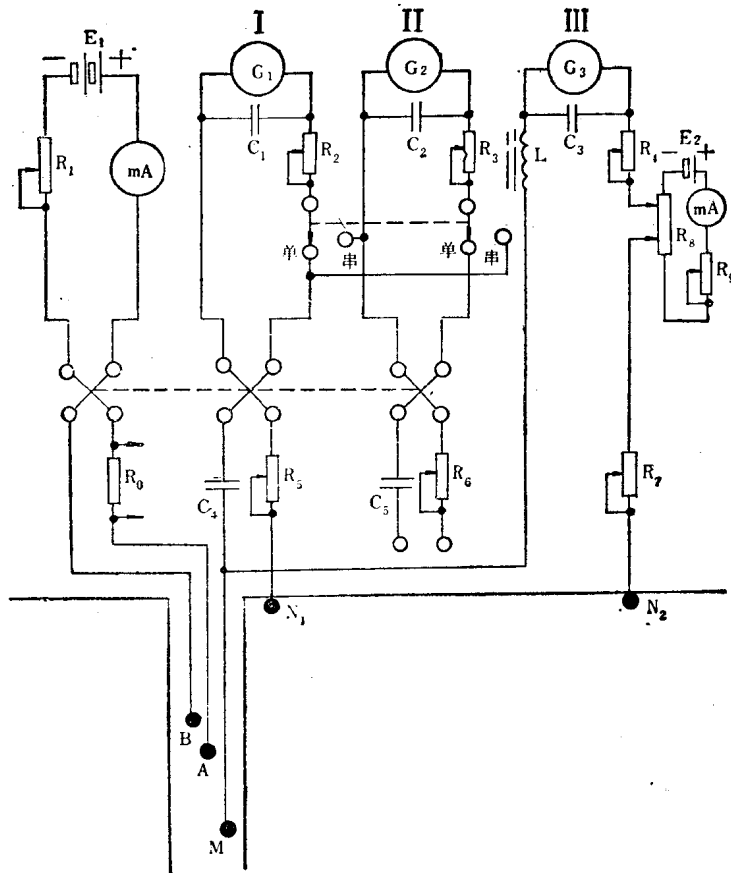


图 1-4

为了消除自然电位对视电阻率测量的干扰，通过换向器的供电部分将电源的直流电变成矩形交流电。因此 A 、 B 电极在地下介质中建立的电场是矩形交流电场，在测量线路中也形成相应的矩形交流电流，换向器的测量部分则将它整流成直流电，由I道检流计 G_1 （或II道 G_2 ）所记录。在测量电极 M 和 N 间接收到的直流自然电位差则由III道检流计 G_3 记录。

JBC型轻便自动测井仪采用并联电路同时记录视电阻率和自然电位曲线。为了避免并联电路的分流作用使测量结果造成误差，在线路中接入电容 C_4 （或 C_5 ）与扼流圈 L ，串接在视电阻率线路中的电容 C_4 （或 C_5 ）只允许与电阻率有关的矩形交流电通过，而不让与自然电位差有关的直流电通过。串接在自然电位线路中的扼流圈 L 则只让与自然电位差有关的直流电通过，不让与视电阻率有关的矩形交流电通过。

如果把“单-串”开关置于“单”的位置，Ⅰ道和Ⅱ道可分别记录不同电极距的视电阻率曲线（或只用其中的一道记录一条视电阻率曲线）。当把开关置于“串”的位置时，Ⅰ道和Ⅱ道检流计即被串联使用。这时两个检流计 G_1 、 G_2 可用不同的横向比例尺记录同一种电极距的视电阻率曲线。这样可避免因曲线超出记录范围而不得不改变横向比例尺进行重新测量。第Ⅲ道检流计 G_3 用于记录自然电位曲线时，由于使用了一个辅助光源，使它可同时记录两条相隔一定距离但比例尺相同的自然电位曲线。其目的也在于避免因超格而重新测量。

图1-4中其它部分的作用是：

R_2 、 R_3 、 R_4 为测程电阻，它们各有七档，相应于不同的电压常数。第Ⅰ、Ⅱ道单独测量及第Ⅲ道的各档电压常数如表1-2，

表 1-2

档 数	1	2	3	4	5	6	7
各档测程电阻值(kΩ)	99	49	19	9	4	1	0
总线路电阻(kΩ)	100	50	20	10	5	2	1
电流常数(μA/cm)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
电压常数(mV/cm)	50	25	10	5	2.5	1.0	0.5

R_5 、 R_6 、及 R_7 为线路电阻，由与线路的电压常数 m 与线路总电阻 R 有关，如果线路的总电阻与表1-2中规定的数值不符，则必然使测量结果产生误差。为了补偿因电极接地电阻、电缆缆芯电阻变化而引起的线路电阻变化，在测量前，各道使用相应的电阻 R_5 、 R_6 、及 R_7 来调节线路电阻，使其符合设计值。

C_1 、 C_2 及 C_3 为检流计并联电容，其作用是削弱因各种干扰而进入检流计的交流电，从而减小检流计光点的抖动。

由电源 E_2 及电阻 R_8 、 R_9 等组成刻度极化补偿器，它由电阻 R_8 的两个滑动端输出已知电位差，用来调节自然电位曲线的基线位置。

R_0 为标准电阻，用以校验供电电流强度 I 。

非补偿照相记录的优点是，镜式检流计的惯性小，可以很好地记录下急剧变化的电位差（如电极电位测井中的电位差），又因光臂大，仪器的测量精度较高。这类仪器实际上就是一个直读式的毫伏计，它的读数与被测电动势的内阻有关。由于岩层的电阻率变化往往相当大，（特别是在金属矿区），因而电极的接地电阻可以在几百、几千甚至上万欧姆的大范围内变化。由这种变化所造成的测量误差可作如下估算：

设测量过程中， MN 电极的接地电阻改变为 ΔR ，则实际电压常数

$$m' = K_1 (R - \Delta R)$$

电压常数的相对误差

$$\delta = \frac{m - m'}{m} = \frac{\Delta R}{R} \quad (1.3)$$

按金属矿测井中最常见的情况，取 $\Delta R = 1 \text{ k}\Omega$ ，根据JBC型仪器设计的线路电阻值，由(1.3)式可得表1-3的计算结果

表 1-3

档 数	m(mV/cm)	R(kΩ)	$\Delta R(k\Omega)$	$\delta(\%)$
6	1	2	1	50
4	5	10	1	10
2	2.5	50	1	2

显然，用第六或第四档是不能允许的。由此可见，使用JBC型这样的非补偿法记录仪进行金属矿测井时，为了减小电极接地电阻变化造成的测量误差，必须用线路电阻大的测程。但这样势必降低测量精度。从测量方法原理说，在金属矿测井中，采用具有较高输入阻抗的补偿法记录仪，如JDC型轻便电子自动测井仪更合适一些。

2. JDC型电子自动测井仪

JDC型记录仪采用补偿测量原理，进行电子自动平衡显示记录。其主要测量部件是一个电子自动电位差计，原理线路如图1-5

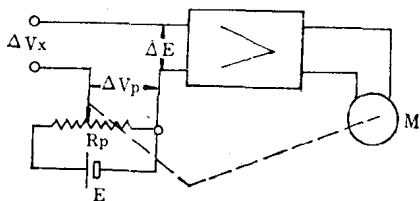


图 1-5

当被测量的电位差 ΔV_x 接入后，它与仪器内部一已知电位差 ΔV_p 相比较，它们之间的差值 ΔE 被放大后驱动可逆电动机 M 转动。可逆电动机又带动滑线电阻 R_p 的滑动臂移动，直到 $\Delta V_x = \Delta V_p$ 为止。这时放大器输入端的输入讯号 ΔE 等于零，可逆电机不再转动，整个测量回路达到平衡状态。仪器内部的已知电位差 ΔV_p 就是待测

电位差 ΔV_x 。

图1-6是JDC型记录仪工作方框图。仪器采用方波发生器和交直流变换器(极化继电器)来代替换向器。仪器电源由220V工业电供给，经整流稳压后送至方波发生器。方波发生器将约150V的直流电转换成矩形交流电再送至AB电极。当不用方波发生器时，也可将稳定的直流电送至AB电极。

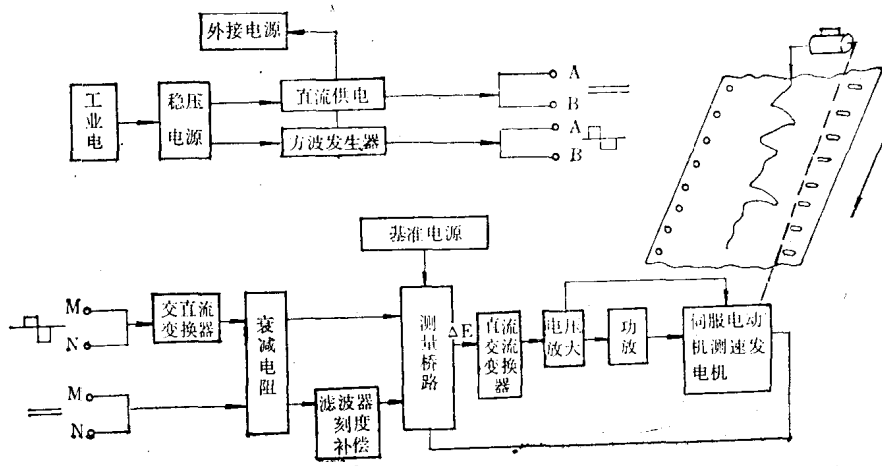


图 1-6