

214111

高等学校教材試用本

金屬与非金屬 地球物理測井

北京地質学院編

只限学校內部使用



中国工业出版社

緒 論

§ 1. 地球物理測井及其內容

随着生产的发展和现代科学技术的进步，近年来地球物理勘探应用范围日益扩大，地球物理勘探工作按其工作范围可分：

地球物理勘探 { 航空地球物理勘探；
地面地球物理勘探；
海洋地球物理勘探；
地下地球物理勘探。

地下地球物理勘探又可分为钻探地球物理和坑道地球物理二个分支。

金属与非金属地球物理测井则是钻探地球物理的一部分，它包括研究钻井所钻穿地层和井四周地下空间的全套地球物理方法，以及研究钻井井内技术情况，和井壁取芯、井内爆破等。

测井和某些井内技术操作是以研究岩石和矿石的各种物理性质为基础的，地球物理测井实质上是地质学，它是随着生产的发展从地质和物理的科学体系中发展出来的，随着大量实际资料的积累和地球物理测井各方法理论基础的深入研究，这门科学的各部份可分为：

电法测井：其中包括研究自然电场、人工电场和人工极化场等一系列方法变种。

磁及电磁测井：这种方法是根据岩层导电率、导磁率、介电常数以及岩石吸收和反射电磁能的性质为基础，其中如磁测井法是根据岩石和矿石磁化率、自然磁场和人工磁场的强度来划分岩层寻找矿体。

放射性测井法，即根据岩石和矿石自然放射性及人工放射性来研究岩层的方法，如：

伽玛测井法 (ГК) 这种方法以研究岩层自然放射性 (γ 射线) 为基础。

伽玛伽玛测井法 (ГГК) 应用人工 γ 射线源，测量场源强度及井周围岩层散射 γ 射线强度。

中子伽玛测井法 (ГГК) 即用中子照射岩层时产生的 γ 射线来研究人工放射性的方法。中子中子伽玛测井 (НГГК) 是研究岩层中中子分布特点的方法。

其他测井方法还有：热测井、气测井、超声测井、机械测井。

这里可以看到它将按着它发展道路而分成一系列的单独科学。

另一方面也可以看到它将按其研究对象——地壳的个别方面分为油矿地球物理测井、金属与非金属测井、煤田测井、水文测井等。

前者是分析方向后者是综合方向，没有分析就没有综合。在实际工作中根据研究对象的特点总是各种测井方法综合应用的，当然这并不排斥在解决具体地质问题时个别方法有其独特优越性。

§ 2. 地球物理测井在综合普查勘探中的作用和地位

综合普查勘探是地质事业中贯彻执行社会主义建设总路线的有效途径，是地质科学的

一个发展方向。

这里所指綜合普查勘探：即地质钻探，物探化探，測井結合，大家知道为了普查勘探或开采金属与非金属矿床必須在矿区布置相当数量輕重型山地工程如槽探、坑探、钻探等，其中又以钻探为主要手段，钻探研究地质问题的优点是真实直接，利用钻井过程所取出岩芯可以繪制編录井內地质剖面，进行井間对比；还可了解地区的地质构造、矿体结构等。

但是井內取芯工作会使钻井速度大大降低，同时由于岩石松软程度不一和其他种种破坏因素在最有意义深度上取芯时往往得不到滿意的結果，岩芯采取率相当低，因此依靠取芯工作不可能得到井內地质剖面的完整概念，其次取芯資料不能直接說明井周圍空間和未被钻井所钻透的深部地质情况，为此必須增加勘探网密度，或采用远景钻以弥补不足。所有这些决定钻探工作是当前地质勘探工作中投資比重最大，人力物力消耗最多，所需手段最长的一种手段。

利用各种地球物理測井方法，在井內进行測量研究，根据所得結果可以配合钻探校驗和繪制钻井地质剖面，在一定条件下可以使钻探做到局部或全部不取芯，这样可大大提高钻探效率并可使井內地质剖面得到完整概念，不仅如此，利用某些測井方法还可探寻井周及井深部盲矿体，这样就扩大了探测范围。如我国某煤田在钻探过程配合使用了測井，使钻机組台月效率达万米，与前年同季度比較，人員显著减少，材料消耗及单位成本大大降低。

測井与地面物探的关系也是如此，地面物探工作者应充分利用在钻孔中进行各种地球物理測井的纵向剖面，密切結合地面物探、化探資料，更好研究岩石和矿石的各种物理参数，以及各种物理場及矿量的空間分布，这样便可更合理地布置地面物探工作，更确切地解释物探及化探異常，全面地了解地区地质矿产分布。此外測井結合地面物探可寻找钻孔間和深部盲矿体，从而可补充地面物探勘探深度之不足。

測井还可能不同程度地解决地面物探所不能或难于解决的地质問題，如矿石品位、结构、成分等。

总之，地质科学是一門綜合的科学，在实际工作中应做到各兵种有机結合，才可能促进和加快整个地质勘探的速度，使有关工业部門有可能在較短的时间內进行設計、施工和开采，以滿足工农业建設高速度发展迫切要求，对地球物理測井工作本身來說，当它参加了綜合勘探行列，就可能發揮其更大作用，获得更好的地质效果，从而促进其本身的发展和應用范围的日益扩大。

§ 3. 国内外地球物理測井发展概况

科学的兴起与发展从开始起便是由生产所决定，苏联地球物理測井科学的产生和发展决定于苏联过渡到社会主义工业国和进行共产主义建設对国民經济日益增长的需要。1931年苏联即开始应用地球物理測井于油矿，1934年在煤田开展測井工作，1939年在金属矿区进行測井試驗，金属与非金属測井工作广泛应用还是近10年来的事情，从个别方法說电測井方法应用最早，它是測井工作的基本方法，随着現代科学技术进步和无线电技术发展，近年来放射性測井得到越来越广泛应用，磁及电磁測井也开始試驗应用。

自1939年开始，我国少数地球物理工作者在西北某油矿做了測井工作，但在反动統

治年代里这些工作一直没有得到支持和发展。

解放后在党和政府领导下，目前我国已有相当数量的测井队伍，1954年在苏联专家无私援助下首先在我国某煤田建立了第一个测井队，以进行电法测井为主。当时整个测井工作还处在仪器装备和技术骨干缺乏，技术水平不高阶段。1958年在三面红旗光辉照耀下，在党的一整套两条腿走路的方针指导下，测井工作与其他一切工作一样得到了飞跃发展，仪器队伍和人员队伍成倍增长，地质效果显著提高，应用范围日益扩大，金属与非金属测井，水文测井相继开展（金属与非金属测井自1955年开始试验）。

1959—1960年间测井工作进一步走向成熟，我国仿制和自制了各种测井仪器。在煤田开展了无岩芯（或局部不取芯）钻探，1960年测井工作在配合小口径快速勘探中取得了很大成绩，在全民性技术革新技术革命运动中实现了仪器装备的机械化、半机械化、自动化、半自动化，并在多种矿种和各种成矿类型上开展了测井工作。

在科研机关与生产紧密结合下，新仪器新方法技术方面的研究也大大开展。

第一章 电测井的主要设备和仪器

井内岩层电学性质的测量，是利用电缆将特制的电极系放入井中进行的。通常都是在

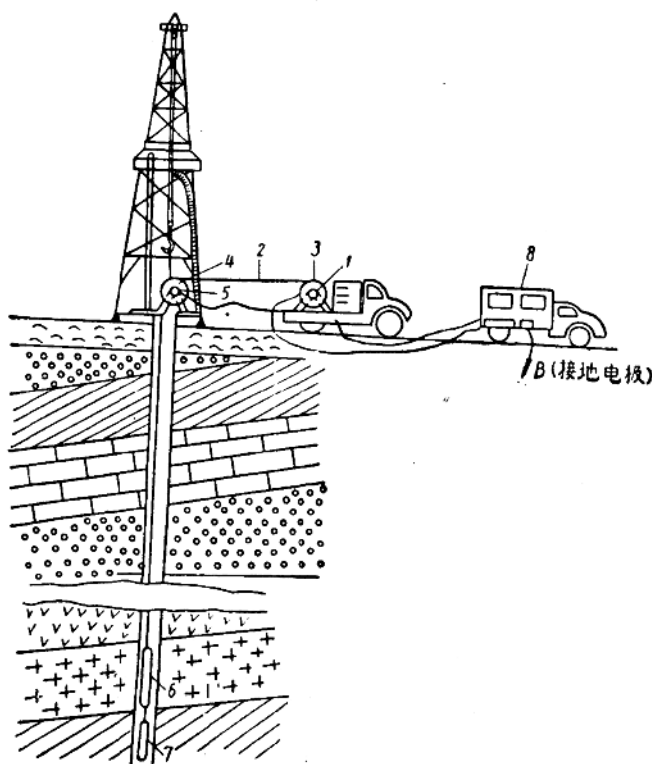


图 1-1 测井工作的现场布置

1—绞车；2—电缆；3—集电环；4—井口滑轮；5—深度传送器；6—井下仪器；7—重锤；8—仪器车

提升电极系时记录出反映井剖面电性变化的曲线。

进行电测井的设备由以下各部分组成：带有传动装置（手摇的或机械的）的绞车，其上绕着电缆，井口滑轮，电极系重锤和电源这些设备，加上地面的测量仪器。它们的现场工作布置如图1。当绞车及仪器不是放在汽车上时（如金属矿区测井的情况），仪器安置于井口滑轮附近。

上面所提到的一些设备，也是进行其他地球物理测井时所必不可少的。

一、电 测 装 备

§ 1. 电 缆

1. 电缆的用途及其选择，其作用为

- (1) 把电极系（井下仪器）放入井内及由井内上提；
- (2) 将地面仪器、电源和电极系（井下仪器）相连接。

对电缆的要求是坚韧、柔软、良好的绝缘，以及低电阻的缆芯。

坚韧的目的是负荷井下仪器和电缆本身重量，而在卡住以后经过处理能拉上来；柔软是为了在经过井口滑轮及绕在绞车上时不会损坏折断；良好的绝缘则保证了不致漏电而产生测量误差；低电阻的缆芯可以减低沿电缆的电压降落，减少了电源功率的损耗。

为此，缆芯由钢丝和铜丝组成，外包以绝缘物，其构造如图1-2所示。

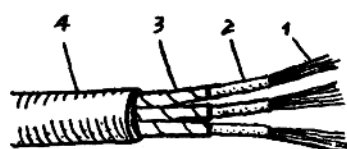


图 1-2 KTH 胶皮软管电缆的构造

- 1—缆芯；铜丝和钢丝；2—橡皮包；
- 3—棉布包；4—硫化橡胶

在金属和煤田勘探中的钻井，一般都在三、四百米以内，最深井不会超过五、六百米，因此在选用电缆时，不需要拉力甚大的电缆。因为拉力愈大，电缆的重量亦愈大，搬运困难。通常选用胶皮软管 KTH—0.6 及 KTH—0.3 的电缆。在交通困难的地区，可以选用 KTH—0.3 或 3×0.25 的电缆。

在油田常使用麻包三芯电缆（KTO 型）以承受巨大拉力。

2. 电缆和电极系的连接

在联接电缆时，必须注意保持高度绝缘和机械强度，并应保持其柔软性。最常使用的一种联接方法为卡鞘法，它能保证连接坚韧且装卸简便。

卡鞘由两个接头 1、2 和一个联接套筒 3 组成，接头里面有锥形的孔，外面有丝扣，联接套筒就在丝扣上旋接。

卡鞘一般有两种型式，它们仅仅是在尺寸大小上有所区别其尺寸示于下表。

用卡鞘接合电缆芯的方法如下所述：从电缆缆芯的一端剥去等于卡鞘长度一倍半的外皮，而把这一股剥出的缆芯穿过接头的锥形孔，在距离缆芯头 12 毫米的位置，放上由细铜导线绕成的箍圈 4（图 1-3 a），然后把缆芯导线散开扭弯，如图 1-3 b 所示。

把导线一端被扭弯的部分，挤入接头的锥形孔（图 1-3 c），并在孔内灌入焊锡，使锥形孔全部都被焊锡填满。

灌焊锡以前，在缆芯的外皮上，缠上一层或者两层绝缘带这样就可以使焊锡不致从卡鞘里面流出来，并且使锥形孔向上，用吹管喷灯把它加热，然后把几块松香和焊锡一同放

煤田測井中所使用的電纜特性簡表

电 纜 牌 号	纜 芯 数	纜 芯 特 性						电纜外径 (毫米)	計 算 的 重 量 公斤/ 公 里	纜芯断 裂的极 限强度 (公斤)	纜芯电阻 欧姆/ 公 里
		銅 絲		鋼 絲		裸纜芯 直 径 (毫米)	橡皮絕緣 层 厚 度 (毫米)				
		根数	直 径 (毫米)	根数	直 径 (毫米)						
KTШ-0.3°	3	7	0.25	12	0.25	1.3	1.0	12.3	190	300	50
KTШ-0.6°	3	12	0.41	7	0.4	2.0		16.1	300	600	12
KTШ-2	3	1	0.25	18	0.5	2.7	1.8	19.4	400	1800	42
KTO-1	3	1	0.41	18	0.4	2.0	1.4	14.8	26.5	1000	65
3×0.25°	3	1	0.25	6	0.25		1.2	7.8		150	
軍用电话綫°	1	3	0.32	4	0.32	—	—	4	18	50	60
野外鋼綫導綫° ПСМ	1	10	0.5	7	0.5			6	70	200	10

有*号者国内已有产品。

卡 鞘 規 格

型 式	主 要 尺 寸				
	d	D_1	D_2	H	U
2×2	2.6	5	9	10	22
4×4	4.6	7	12	14	30

入錐形孔中，焊錫熔化而把接头的錐形孔填滿。加热时，应当注意不要使導綫由于过度加热而燒坏，也不要使纜芯的胶皮絕緣損坏变质。

把两个接头用套筒絲扣旋接在一起，如图 1-3 所示，联接工作就算完毕。電纜接合好以后，必須用力拉紧，这时三根纜芯都应受着同样的拉力，为了防止卡鞘的两个接头在套筒内接触不良，在套筒外面用銅導綫把它們連接起来。

3. 電纜接合部位的絕緣

用橡皮胶布使電纜的接合部位絕緣。为此，先要在双方纜芯的裸露部分，把长10—15厘米的橡皮层上的污垢清除掉。

为了增强纜芯裸露部分的絕緣强度在它上面纏上两层或者三层胶布，使它纏到纜芯的橡皮絕緣层上2—3厘米，把絕緣部分塗以薄层橡胶水，再把双方纜芯橡皮层的表面清洗干淨，用橡皮布紧紧地纏在它的上面。纏繞时，要把橡皮布尽量拉紧，使其接近于拉断状态，并且把后一圈胶布压在前一圈胶布上面5毫米的地方，然后，为了防止電纜受到碰撞的損害，再纏上两层絕緣胶布。

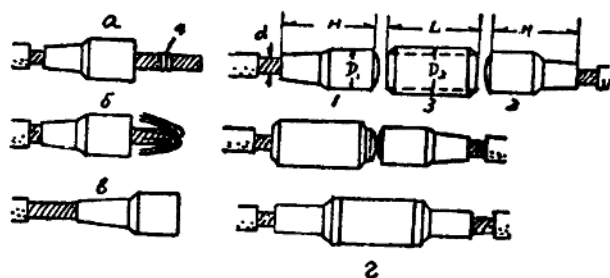


图 1-3 卡鞘的构造及其联接方法
H—接头长度；L—套筒长度；d—錐形孔的最小直径；
D₁—接头外径；D₂—套筒外径

此外，为了不让钻井中的泥浆从缆芯与外层胶布的空隙间浸入（见图 1-4 a, 3），避免电缆的绝缘降低和损坏，无论在电缆的末端或是电极系的上端均需进行绝缘包扎。包扎的方法

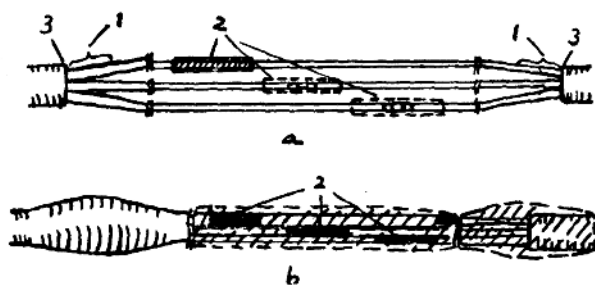


图 1-4 电缆连接部分的绝缘

矿区常采用更简便节省的方法，即将一条旧自行车轮胎或直径较大的胶管套于连接部位两端用细铁丝紧箍于电缆上，这样在更换电极系或井下仪器时，是非常方便的。

4. 使用电缆的各项规则

为了延长电缆使用期限，保证测井质量，在使用时，必须遵守下列几项规则：

(1) 不要使电缆受到碰撞上的伤害（打击、刺穿），急剧弯曲以及绕成套扣和绳结。
(2) 应在电缆绷紧的情况下，把电缆绕在校车滚筒上，并以一圈接一圈地在滚筒上排放，在绷得不够紧的情况下，上一层电缆可能嵌入到下一层电缆里面去，电缆缠绕混乱，会使电缆急剧弯曲，使电缆外皮很快地被磨破，并且胶皮层也因此而受到损伤。

(3) 电缆从井内吊升时，要用一股水流（最好是淡水）把泥浆从电缆上冲洗下来，泥浆内所含的盐和烧碱的浓度愈大，则它对于腐蚀电缆外皮的力量就愈强。

(4) 电缆绝缘破损处干透以后，就要及时地进行修理工作，因为浸入绝缘层里面的潮气，能使电缆缆芯导线锈蚀，使这部分的机械强度减弱，并且会有个别的导线发生折断，可能把绝缘胶皮层刺穿。

(5) 天气严寒的时候，电缆外皮发生冻结，在电缆下放井内以前，要用蒸汽把电缆上所结的冰溶化。

(6) 不许把电缆在井内停放过长，因为过长会使电缆绕成圈结，于吊升时会引起电缆的急剧弯曲，并使绝缘外皮受到损坏。

(7) 因电缆下端磨损较快，所以经过一定时期，要在校车上把电缆重新绕过，把电缆上端磨损较少部分换到下面来。

(8) 电缆在长期保存以前，应当把它冲洗干净，并使之干透。

(9) 不应把电缆从校车上松放过多，以及在准备工作时在井台上把松放的电缆任意抛散，因为在把电缆绕起时，可能构成圈结而使绝缘受到损伤，且在井台上散放着过多的电缆，容易遭到种种意外的损伤，象受各种笨重物体的撞击，被钉子刺穿，纠缠成圈等。

§ 2. 电 极 系

1. 普通电极系

在测量井内岩层的电阻率时，用电缆放下电极系。通常电极系由三个（很少由两个）电极组成，电极接在缆芯的末端，这些电极沿电缆轴线分布在一条直线上，组成一个电

极系。

电极系的制造是电测井中一件很重要的工作，所制的电极系不仅需有良好的绝缘，而且必须经久耐用，电极系的制造方法是这样（见图 1-5）：在距电极 300 毫米处将电缆缆芯切断，将下端 3 绝缘，其方法是将缆芯的胶皮外层先向下拉，剪去一小段钢丝，然后将过长的胶皮外层折叠，用细弦线绑紧，且用绝缘布缠起，用细胶皮导线一根 9 与缆芯上端 4 焊接，包上绝缘胶布。

在电缆剖开部分注满生胶或瀝青，用橡皮胶布缠绕，两端再用弦线紧（图 1-5 67）。为了防止水沿细胶皮导线 9 浸入，最后再以橡皮胶布自电极一端开始缠绕，直到 7 的末端（见图 1-5 68）。电极是由一个橡皮电极座 5 和纯铅线或纯铅皮 6 制成，可以任意按所需位置移动（无橡皮坐时，可用橡皮胶布自行缠成）。电极系最下边的电极是直接和电缆的缆芯连接的，主要是将电缆绕过一个蹄形铁，然后用弦线或细铁丝分段紧（图 1-6 b），其它二根缆芯分别予以

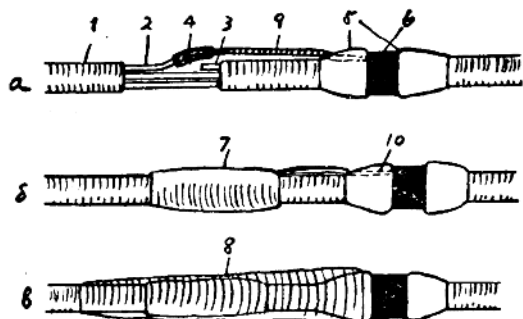


图 1-5

1—电缆；2—缆芯；3—缆芯断头；4—缆芯与胶皮导线的连接点；5—橡皮座；6—纯铅片；7—电缆剖开处的绝缘包裹；8—最后的一层绝缘包裹；9—电极与缆芯间的导线；10—胶皮导线与电极铅皮焊接处

绝缘，与上二个电极无关的一根缆芯直接与电极 3 连接，最后进行绝缘包裹。

电极系下端的圆形环，用以悬挂重锤。

电极系最下边的电极和重锤间的距离不应小于电极距的四分之一。

电极中心与另一电极中心之间的长度，其测量误差不得超过 2%。

电极的长度一般为 3—5 厘米，纯铅皮厚约 1—2 毫米，使用纯铅丝，其直径约为 2—3 毫米。

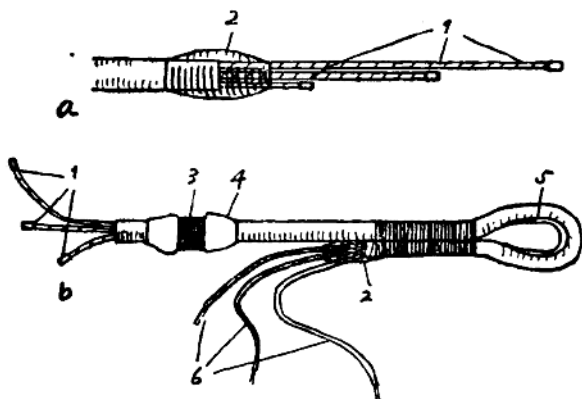


图 1-6 活动电极系

a. 电极系上部 b. 电极系下部

1—电缆芯及其连接器；2—绝缘包裹；3—电极；4—电极座；5—马蹄形铁垫环；6—导线

米，电极直径为 5—6 厘米（约为井径的 0.6—0.8 倍）。

2. 泥浆电阻率计和微电极系

为了估计泥浆对测量结果的影响，或为了比较各井之间和同一井在不同时间内的测量结果，常常需要测定泥浆的电阻率。在井内测量的工具，称为泥浆电阻率计，它的主要部分为一个电极距很小的电极系，因而井孔以外的介质对测量结果的影响就非常小。为了进一步消除井壁对测量结果不同程度的影响，在电极系的外面加了一个绝缘的或导电的屏蔽

圆筒(图1-7)。泥浆电阻率的数值,仍依 $\rho = K \frac{\Delta U}{I}$ 式计算,不过此时的 K 值由于电极距离近,不能视为点状,而屏蔽的影响也无法知道,故只能用实验的办法,把泥浆电阻计浸在电阻率已知的溶液中。将测量的 ΔU 和 I 值代入上式以求出 K 值。

为了划分极薄的岩层以及在油井中划分出储油层,研究地层的渗透性,目前越来越广泛地采用微电极系。这是一种电极距很小的(几个厘米)并且借助于弹簧始终贴在井壁上的点状或环状电极组成的电极系(图1-8)。由于电极靠近井壁,且安装在绝缘橡胶垫上,因此井内泥浆对测量结果的影响很小。但限于电极距,其所测量的仅与井壁附近很小范围内岩层的电阻率有关。



图 1-7 泥浆电阻计的构造
1—外壳; 2—绝缘筒; 3—液体通过的孔;
4—电极接 A、M 和 N 电极

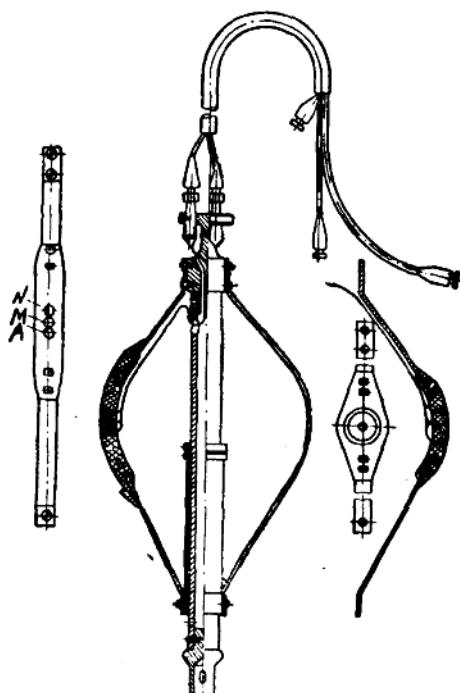


图 1-8 微电极系结构

§ 3. 重 锤

当电极系或井下仪器不够重时,可用重锤将电缆下到有泥浆的井里去。

制造重锤的材料要有大的比重和易于钻碎的特点。比重大可使重锤体积小而重量大,容易钻碎的材料制成的重锤,当它掉在井内后也不会妨碍继续钻进。一般用铅或生铁制重锤。生铁价廉,但由于电位不稳定,能剧烈地歪曲自然电场,且这种重锤长度较大。

生铁和易被钻碎的铅的不同处,在于生铁容易钻碎,它的碎屑可以用磁铁由井内吸出。

照例,重锤都是用圆柱形的,在有台阶的井中可用球形和梨形的重锤,并可用能弯曲的重锤和特制的重锤。

用以下放电缆的所有重锤的一端都有一接头和电极系的圆形环连接,而在另一端装着

悬挂下一个重锤的接头。一般可用金属卡链，链子或铁丝坚固地互相连接着（图1-9b）。在必要的时候，亦可用钻杆代替重锤，如重量不够的话，里面可以装上钢砂。

重锤重量及尺寸的选择，必须同时根据井内泥浆比重的大小，井径的大小，钻井是斜井还是直井，以及电缆的拉力等因素决定。当使用KTIII-0.3电缆时，如钻井最小直径为91毫米，泥浆为普通泥浆，钻井为直井时，可选用10—15公斤的重锤。

在同样条件下，如为斜井时，则可选用20—30公斤，重锤直径一般可不超过60毫米。

§ 4. 井口滑 輪

井口滑轮放在井口，其作用如下：

1. 把电缆顺利地导入井中。
2. 通过转数表，确定电缆下入井内的深度。
3. 传动记录仪上的捲纸筒，使其按电极系或井下仪器的移动作比例的周轉。

4. 确定电缆的张力，以便及时防止电缆受力过甚的状况。图1-10为设备完全的井口滑轮的构造，但在煤田和金属矿区，一般使用的井口滑轮没有颊板、指重表和置转盘方孔中的横板。

当使用不同直径的电缆时，滑轮转动一周，电缆所移动的长度会发生改变。为保持其值一定，可使用校正器改变滑轮的圆周长度。校正器是用螺栓装在滑轮轮缘上的金属楔瓦。在校正器下垫上楔垫，就可以改变滑轮的直径，没有校正器的井口滑轮，可用不同直径或厚度的金属丝或带绕在滑轮槽底，以改变圆周长度。一般滑轮转动一周，相应移动的电长度1米或0.5米。当实际通过的电长度与转数表所示的数字相差超过1.5%时，应该校正滑轮的周围长度。

为了传动记录仪的捲纸筒，用方向接轴或软轴接在井口滑轮上，另一端直接和记录仪的齿輪組相連。这种传动的方法非常简便，无须供电，适用于金属矿区，但这种传动必须把记录仪装在井口滑轮附近。

另一种传动的方法是利用两个作用相同的“同步马达”。一个安装在井口滑轮颊板的槽内，由滑轮带动，另一个安装在记录仪旁边的操作台中，其轴与记录仪的齿輪組连接。两个同步马达可以距离很远，用导线连通。由于马达是同步的，因此可以将滑轮的转动正确地传给记录仪。由于记录仪可远离井口，就大大地改善了工作条件，因此油

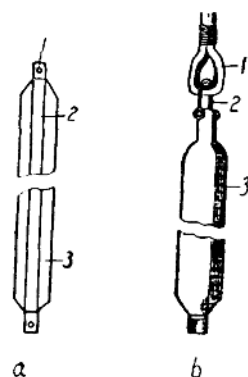


图 1-9 重锤结构

a. 1—连接小孔；2—空心铁管；3—铅或生铁
b. 1—马蹄形铁；2—卡钳；3—重锤

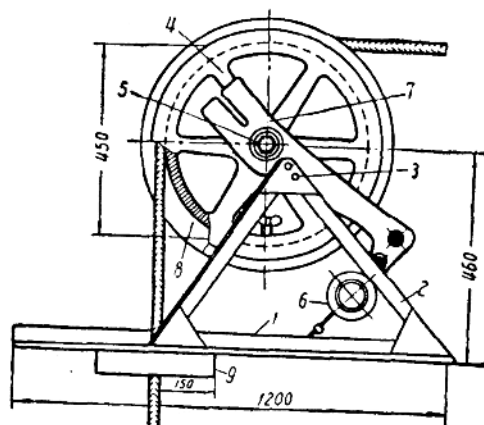


图 1-10 未安装传动器及转数表的井口滑轮

1—底座；2—支架；3—刃口支柱；4—轮盘；5—轮轴；6—滑轮直径校正器；7—安装传动器或转数表的槽口；8—指重表；9—置转盘方孔中的横板

轮的转动正确地传给记录仪。由于记录仪可远离井口，就大大地改善了工作条件，因此油

田都使用这种方法，但马达需供以 110 伏（或 220 伏）的交流电，对于没有交流电流的现场，无法使用。

§ 5. 絞 車

电测井绞车是用来提升和下放电缆的。根据工作情况，如交通条件、钻井深度，一般分手摇和机械传动两种，其主要部分为绞车支架、绳筒、转动装置、传动装置、刹车及集流环（图 1-11）。

电缆一端通过绳筒和绳筒主轴的孔洞与集流环相连接。

用摇把转动转动轴，轴上有一小链齿轮，由传动链传动装在绳筒主轴上的大链齿轮，于是整个绳筒转动，其上的电缆就因此可以提升或下降。

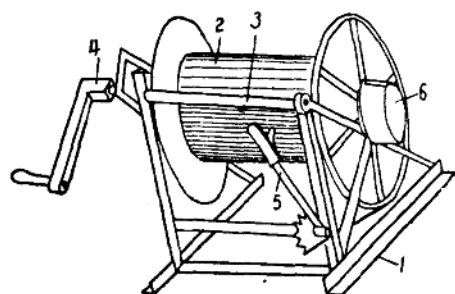


图 1-11 輕型絞車簡貌

1—絞車架；2—繩筒；3—鏈條傳動軸；4—搖柄；
5—刹車；6—集電環

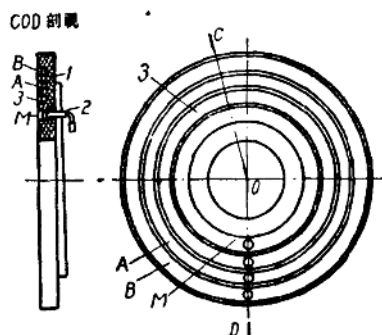


图 1-12 圓盤形集電環

集流环的作用是为了要把绕在绞车上转动着的电缆缆芯和在地面上测量仪器连接起来，其型式有圆盘形和圆筒形两种。

圆盘形集电环（图 1-12）为装于绞车绳筒主轴上的胶木盘。在胶木盘同心槽内，用螺丝钉把四个黄铜环 B、A、3、M 固定住，借助于胶木盘里面的电路端盘 2，把黄铜环和电缆缆芯相连接。

黄铜环 M 与缆芯 M 连接，黄铜环 A 和 B 分别和缆芯 A 与 B 连接，第四个黄铜环 3 和绞车车身连接，用以导引集流环环圈与环圈之间的漏电电流进入地内。把和绞车滚筒一同滚动的胶木圆盘 1，用金属顶盖盖上，金属顶盖固定于绞车架上，并且和胶木圆盘平行，金属顶盖上面有三个孔，其中带有丝扣，用以安装炭刷架子 A、B、M。

集流环必须保持洁净，并检查炭刷和黄铜环间的接触是否良好。检查方法：一般是将万能表两端分别与缆芯和集流环上炭刷相联，观察线路电阻有无变化，这样容易发现不接触或接触不良的情况。

§ 6. 电 源 設 备

进行测井工作时，所用的供电电源有干电池、蓄电池、自备发电机以及外引电力网等。在使用发电机或电力网时，需要备有变压器、稳压器、整流器和滤波设备，常常使用

后一种电源较为方便，因为它不会发生电池容量小，以及另带充电设备的问题，但在工作条件交通条件差的地区，也有其设备多搬运不便的缺点。

二、地面测量仪器

地面测量仪器主要有记录仪和换向器。现分别介绍如下。

§ 1. 记 录 仪

分半自动和全自动两种。当电极系沿井身移动进行测量时，用以将变化的电位差记录成曲线形式。

1. 半自动记录仪

这是一种仍然使用 Θ M-1 型电位计进行曲线记录的仪器，它把电位计旋钮的转动变成记录笔的进退动作。操作人员指动转盘，带动电位计的旋钮，使电位计上的检流计指针随时停在零点。与此同时，记录笔即在记录纸上查出相应的数值(图1-13)。

当电位计的旋钮从 0 转到 99 时，记录笔相应地直线移动 7.92 厘米，因此，这种记录仪的电压常数

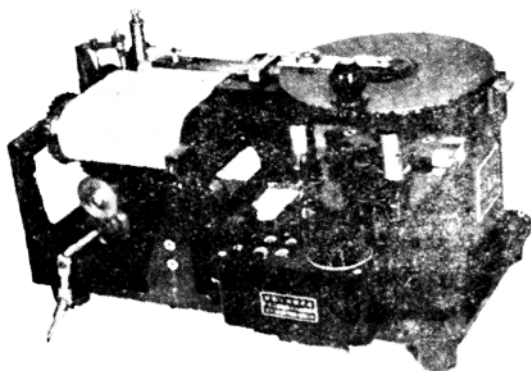


图 1-13 半自动记录仪全貌

$$m = -\frac{99 \times 5}{7.92} = 12.55 \text{ 毫伏/厘米}$$

即记录纸上每厘米代表 12.55 毫伏，式中 S 为电位差计的测程。

记录仪的卷纸机构需由传动器带动，机械和传动器间有齿轮相接，改变齿数比可以使记录得到 1/50, 1/200, 1/500, 1/1000 四种深度比例尺。半自动记录仪的设备简便，其缺点是需要人来操作，测井的效率很低。

2. 全自动电位差计

为避免半自动记录仪的人为误差，应设法使电位差计自动地进行补偿，这样的设计有很多种，这里仅介绍我国 1960 年试制成功的 DG-601 型自动电位差计。

DG-601 型自动电位差计的补偿动作由可逆电动机担任。电动机使电位计上的补偿滑动端 C (图 1-14) 始终自动地保持在补偿的位置。

如图所示，当 MN 端电位差大于或小于补偿电位差时，电位计的平衡即被破坏，于是在 $MabcN$ 电路中即有电流产生。为了使此电流输入电动机，以控制滑动端 C 恢复至补偿位置，并同时带动记录笔，需要把此电流用电子管线路放大。这就要求在放大器输入端有交变的电流。为此，在 ab 回路中接入一极性振动开关 K ，此开关由 50 周交流的电磁继电器控制，不时接向左或右，这样在变压器 TP 的初级线圈中出现交变电流，因而次级线圈也有输出。

可逆电动机是双相感应电动机，它的转子线圈是闭合的。为了使线圈在磁场中处于稳定状态，其法线方向始终与外磁场方向一致，定子系互相垂直的两个绕组——控制绕组和

激励绕组组成。由于控制绕组具有很大的电感量，绕组中电流的位相和输入电压的位相差接近于 90° ，而激励绕组由于串联了电容，组成对50周交流的谐振电路，阻抗为零，因

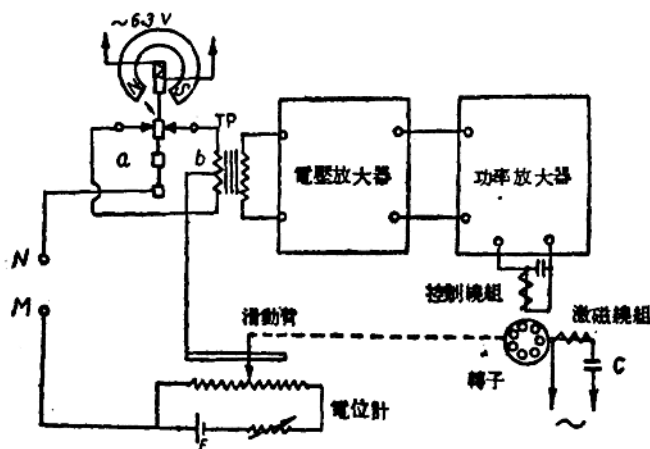


图 1-14 DG-601 型电位计的原理

此其电流的位相和输入电压的位相相同，这样，两个绕组中电流的位相差 90° ，其所产生的合磁场是一幅值不变的旋转磁场。此旋转磁场使转子转动，转子所带动的滑端C及记录笔即改变位置，直至恢复补偿，控制绕组中不再有输出为止。如果补偿线路中电流方向相反，则控制绕组中的电流位相也改变 180° ，电动机转子转动的方向就与前相反了。

在国外类似 DG-601 型电位计有好多种改良的类型。目前苏联已逐渐较多地采用此种电位计于三芯电缆电测站 АЭК (-5) 和单芯电缆电测站 ОКС-52 中。在美国的多芯电缆电测站中也较多地采用类似电位计。

自动电位计在工作中能够随时直接观察并检查所记录的曲线，但由于电动机转子的机械惯性，难于记录变化迅速的电位，因而测速仍然不能很大。

3. 全自动照相记录仪

无论半自动或全自动电位差计，由于操作人员迟钝和电动机转子的惯性，都难于记录急剧变化的电位差，因而使得测井的速度不能太快。为了提高测井速度（这对于油井特别重要），采用非补偿测量原理的照相记录仪。

在这种记录仪中安装了很灵敏的镜式检流计，把所欲测量的电位差和检流计的输入端相连。被检流计小镜所反射的无点，映在感光纸上，使其感光。显影定影后即获得记录的曲线，在测量过程中，操作者从旁边的红玻璃刻度尺上可以观察检流计光点的偏转情况。

苏联 АКС/Л 型照相记录仪的光学系统如图 1-15 所示。示波仪安装有五个检流计，以及一套光学设备和卷纸装置等。

光学设备的组成和作用如图 18 所示，其中包括：

(1) 由光源 J_{16} 射出线状光束，照到检流计 $\Gamma_1, \Gamma_2, \Gamma_3$ 上，经检流计的小镜反射后，通过柱状透镜 4 聚焦成光点，照在感光纸上。记录下 1 条曲线。 J_{16} 的另一小部分光束，以及 J_{15} 的光束，以不同角度射向检流计 Γ_4 。经反射聚焦后，记录下两条不同位置的曲线。

检流计 Γ_5 留作备用，当测量地层倾角时，需要用到。

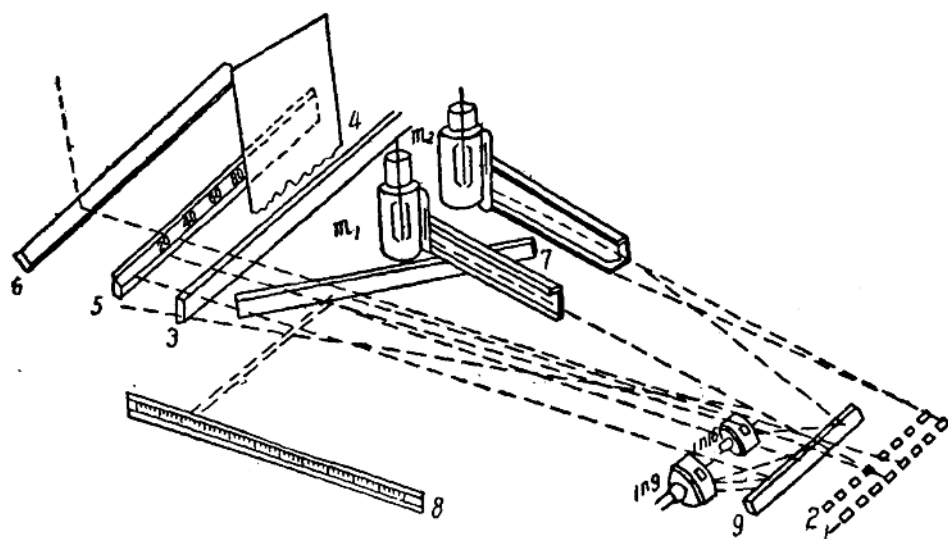


图 1-15 照相记录仪的光学系统

1—检流计的小镜；2—球面透镜；3—柱状透镜；4—照相纸；5、8—玻璃刻度尺；
6、7、9—镜子；1.71 1.72—检流计小镜的光源；1.79—在照相纸上打记号的光灯；
1.716—作水平线的光灯

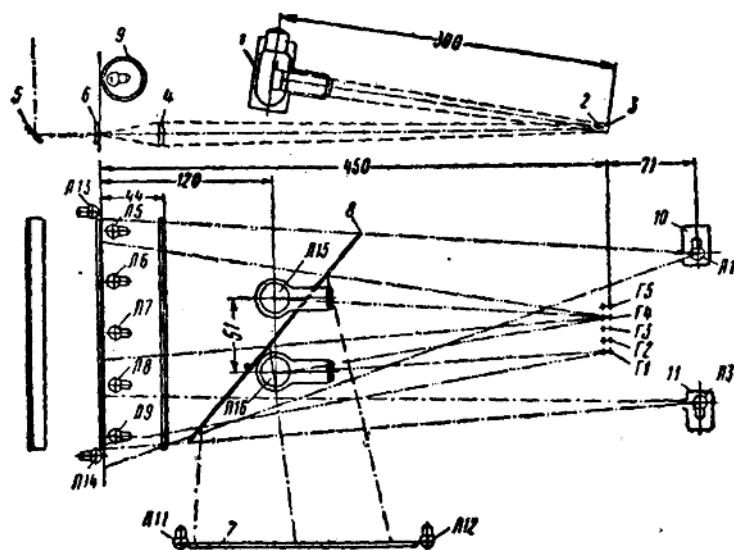


图 1-16 示波仪光程示意图

經这些检流计反射后的光束，还有一部分被斜置的反光鏡 8 所反射，照到紅玻璃尺 7 上，便于随时观察曲线变化情况。

(2) $\mathcal{L}_5 - \mathcal{L}_1$ 系五个纵綫光源装在封閉的圓筒內，其光束通过圓筒上距离一定的小孔，在感光紙上显出許多条纵綫，用以表明曲线变化的幅度（图 1-17）。

(3) $\mathcal{L}_1$ 为横綫光源，每当电缆移动 5 米，瞬地地发出一条极細的光束，在感光紙上每隔一个距离即显出一条水平綫，用以表示測井的深度。

J_1 的时暗由图 1-18 所示的接触片 2 和继电器 P 控制，每当电缆移动 5 米，由卷纸装置带动的偏心轮 1 即旋转一周，使接触开关接通。此时光源 J_1 及指示灯被接入电源而明亮。与此同时，继电器部分发生作用，使接触片 3 断开，光源因而旋亮旋灭偏心轮 4 的作用是每隔 50 米将电阻 R 短路一次，使感光纸上画出一条较粗的横线。

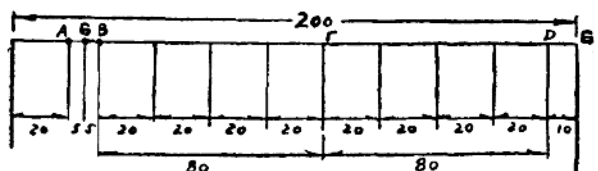


图 1-17 检流计光点的零位及照象纸的纵线
A、B、C—相当于以 1/25, 1/5, 1/1 比例尺记录 KC 的检流计光点的零位；
PD—CH 检流计光点的起始位置；D、E—打时间记号的区域

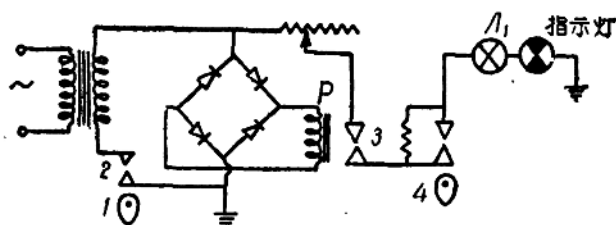


图 1-18 水平光源线路

(4) J_2 为深度记号，光源由装在井口滑轮上的深度记号器控制。当电缆上的记号经过井口的深度记号器时，灯光即照亮一次。

照象纸装在两个隔绝光线的圆筒内（一个贮存感光纸，一个承纳感光纸）。记录时，由同步马达及其附属的齿轮组带动圆筒的轴心转动，使记录纸按 1/200, 1/500 或 1/1000 的深度比例移动。

最后讨论非补偿测量的原理线路。

已知检流计的电流常数 C （指检流计的小镜到感光纸间的光强为 750 毫米时，光点在记录纸上传转 1 厘米所需的电流强度，毫安）及测量线路的总电阻 R 后，可以将检流计光点的偏转值 l （厘米）促成电位差。

$$\Delta U = C R l \text{ 微伏} = 0.001 C R l \text{ 毫伏}$$

由此可知，当 C 为定值时，在测井过程中要根据检流计偏转值 l 计算电位差，必须保持测量线路的总电阻 R （包括电缆，井中仪器的电阻等）为一常值。同时，也可以选择几个不同的 R 值来改变检流计的测程（检流计偏转一厘米相当的毫伏数）。

检流计系统中的电阻 R_x, R_y, R_z 用以调节检流计的临界阻尼线路的电流常数 $C = 0.625$ 微安/厘米，并使检流计系统两端的电阻恒等于 300 欧姆（图 1-19）。

例：设检流计内阻为 100 欧姆，临界电阻为 1200 欧姆，其电流常数 C_c 为 0.45 微安/厘米，求电阻 R_x, R_y 和 R_z 的数值；

解：根据上面所说的三个条件，有下列等式

(1) 满足临界电阻 $100 + R_y + R_x = 1200$

(2) 满足检流计系统的内部电阻

$$R_x + \frac{R_x(100 + R_y)}{100 + R_x + R_y} = 300$$

(3) 满足检流计系统的电流常数, 使等于 0.625 微安/厘米, 因为检流计本身的电流常数为 0.45 微安/厘米, 故需要有 $0.625 - 0.45 = 0.175$ 微安的电流, R_x 的分路流过故应有:

$$\frac{R_y + 100}{R_x} = \frac{0.175}{0.45}$$

解上方程, 得 $R_x = 864$ 欧姆, $R_y = 236$ 欧姆, $R_z = 58$ 欧姆仪器出厂时, 调节此三电阻, 使等于上值, 工作时有时也需要重调。

图中 S 为测程电阻, 它的数值如下表:

档数	1	2	3	4	5	6	7
测程电阻 S (欧姆)	0	1200	3200	7200	19200	38700	79200
线路总电阻 R (欧姆)	800	2000	4000	8000	20000	40000	80000
电压常数 (毫伏/厘米)	0.5	1.25	2.5	5	12.5	25	50

图 1-19 自动照相记录仪测量线路

(苏 AKC/I-51 型自动照相记录仪测量线路数据 $C = 0.625$ 微安/厘米)

图中电阻 r , 用以当测程位于第 1 档时调节线路的总电阻 等于线路的最低总电阻值 800 欧姆。

由于这种测量线路利用非补偿原理, 故当进行视电阻率测量时, 电极 MN 接地电阻的改变会使线路总电阻不能保持定值而影响测量结果。当测程放在第 1 档时, 线路电阻最小。这时, 对于沉积岩区假定接地电阻变化范围为 30 欧姆。最大误差可达 4%, 而对于金属矿区, 由于接地电阻变化相当大, 用此测程进行测量时误差必然更大。

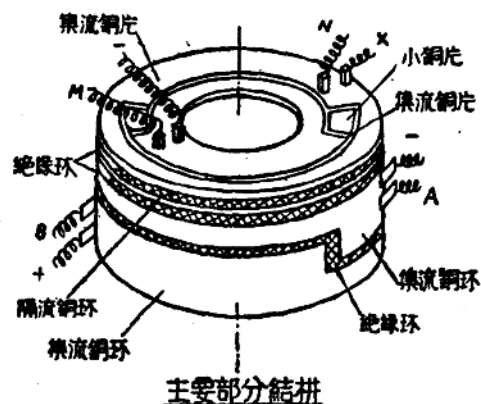
制造出适合于金属矿区的全自动照相记录仪, 关键在于要有惯性小、灵敏度高的检流计。因为金属矿区井剖面的物性差异极大, 必须惯性小方能在提高测井速度的情况下灵敏地反映出变化剧烈的曲线, 而为了使 MN 接地电阻的变化不影响测量结果, 必须增加线路电阻, 这就要求检流计有很高的灵敏度。苏联物探研究所试制的记录仪, 检流计的自然频率为 30 周/秒, 灵敏度为 1.3×10^{-7} 微安/毫米。利用这种记录仪, 连同其他设备, 可以记录进行金属测井的各种综合方法的曲线。

§ 2. 换 向 器

在视电阻率测量中, 为了避免钻井中游散电流和自然电流的干扰, 通过换向器将供电电流 (直流) 换成交变方向的脉冲电流送入井中, 与此同时又通过换向器将井下的交变方向的脉冲、电位差还原为恒定方向电位差, 供电位计进行测量。

換向器之主要構造為一能繞中心軸轉動的鼓形筒(圖 1-20)。鼓面為電位差換流子,而側面部分則為電流換流子,前者由兩個用空隙相互絕緣的銅環及四個固定的緊壓於其上的炭刷 MN 和 $+$ 、 $-$ 組成。炭刷分別連接到測量電極和電位計上,銅環則作成如圖 1-21 的形狀。很容易看出,當筒轉動半周時, MN 和 $+$ 、 $-$ 的連接改變一次。與此相似,電流換流子也是二個用膠木相互絕緣的銅環及四個炭刷 A 、 B 及 $+$ 組成。當測量綫路換向時,電流綫路亦同時換向,鼓形筒用電動機或手搖轉動,轉速可以調節,其範圍為 200~800 周/分。

以上介紹的是立式換向器的構造,還有一種臥式換向器,構造有些差異,多裝置於全自動測井站中。



主要部分結構

圖 1-20 換向器的換流子

1、2—電流銅環；3、4—測量銅環；5—絕緣銅片

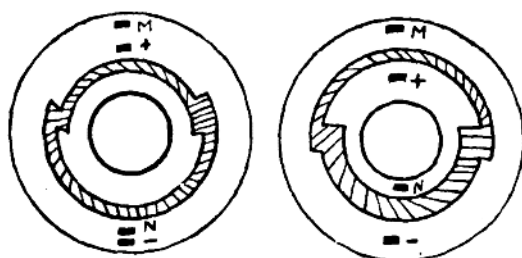


圖 1-21 M 、 N 、 $+$ 、 $-$ 炭刷當換流子轉動半周時之聯通情況

換向器工作情況的好壞,對測量結果有很大影響,因此必須對換向器加以很好的維護,去井場工作之前,必須做到:

1. 將換流子銅環部分擦亮,用酒精把它們洗干淨,然後用吹風機將其吹干,檢驗炭刷與銅環間的接觸是否良好。

2. 檢查一下當換向器轉動時,在測量電路中炭刷和銅環間的接觸處,是否會產生寄生電動勢。為此,應該將電位計接到換向器測盤接綫盤的“+”“-”上,並將“ M ”“ N ”短路,假如換向器轉動時,檢流計指針有偏轉,則必須把銅環拭淨。

3. 檢查換向器供電綫路 AB 間,測量綫路 MN 間,供電 AB 與測量電路 MN 間,各電路與外殼之間的絕緣,絕緣電阻不低於 10 兆歐姆。

4. 應按出廠說明書使用電壓和電流,若過大會使絕緣部份燒燬。

上述裝備和儀器總稱為測井站,採用半自動測量的稱為半自動測井站。採用全自動記錄的稱為全自動測井站,它們可以和絞車裝在兩輛汽車上或一輛汽車上。

目前,在煤田和金屬礦區,因交通不便,多用可拆卸的半自動測井站。如何做到儀器的輕便化、自動化,以提高測井質量和生產效率,是當前一項重要的任務。目前已試製成輕便自動照相記錄儀,以適應生產的需要。