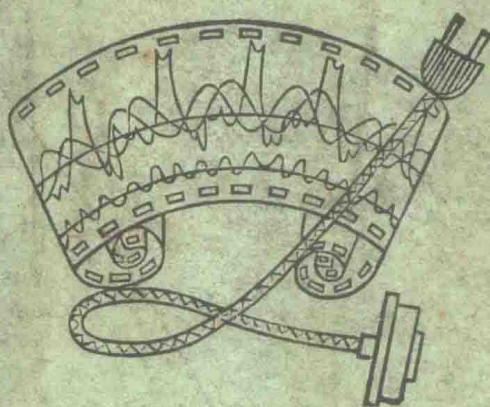


水工實驗技術



大連工學院

水利工程系

1957.5

編 者 序

本讲义原系供1956年初水工实验技术讲习班学习之用。内容共分三部分：

- I. 讲授内容；
- II. 实验讲义；
- III. 参考资料。

现将原稿作一定的删改，再次付印。因水平有限，编写急促，内容疏漏错误之处，在所难免，请阅者指正。通讯处：大连凌水河大连工学院水利实验馆。

本讲义大部分由我院同志在业余时间蒐集材料编译而成，如转载，请徵询编者同意。

大连工学院水利实验馆

1957年5月

水工实验技术讲义目录

I. 讲授内容

第一讲	现代水工实验的特点和电学测量仪器的应用	A. A. 卡斯巴申专家讲	
第二讲	一般电学仪表的原理和应用	王众託	讲
第三讲	电子管示波器、电子管伏特计、音频振荡器的原理和应用	王众託	讲
第四讲	立波运动中电似波的应用	李玉成	讲
第五讲	磁电式示波仪的原理和应用	范怀远	讲
第六讲	水面波动的电学测量系统，特性曲线的绘制和测量方法	李玉成	讲
第七讲	电子扩大器的原理和应用	沈昌明	讲
第八讲	动水压力的测量	宋 初	讲
第九讲	流速的电学测量	陈壁宏	讲
第十讲	水工实验的技术摄影	A. A. 卡斯巴专家	讲

II. 实验讲义

实验(一)	伏特计、安培计和万用表的使用	黄必信	编
实验(二)	A. 电子管伏特计(匈牙利 1311 型)的使用法 B. 音频发生器(匈牙利 1113 型)的使用法 C. 阴极示波器的使用法	黄必信	编
实验(三)	立波运动电似法研究试验	李玉成	编
实验(四)	磁电式示波仪(M770-2 型)的操作	范怀远	编
实验(五)	A. 水位传感器的校正 B. 水面波动的测量	范怀远 李玉成	编
实验(六)	电子扩大器的使用	沈昌明	编
实验(七)	A. 压力传感器的校正 B. 推进液压力的测量	宋 初 宋 初	编
实验(八)	A. 流速传感器的校正	郑芳怀	编

B. 推进波底速的测量
实验(九) 水面波动示波图的分析

郑芳怀 编
李玉成 编

Ⅲ. 参考资料

1. 用电气水动力相似的方法确定直立墙上重复波的压力
B. B. KAPAPETЯH 宋 初 译
2. 实验室内测量动水压力的电应变计式传感器
技术科学候補博士 B. C. ШАЙТОН 宋 初 译
3. 空间模型的波浪测量 A. C. ОФНЦЕРОВ 宋 初 译
4. 实验室内测量波长的仪器 B. C. ШАЙТОН 宋 初 译
5. 在实验室中利用点测流速计测量流速
B. P. ПОЗАНСКИЙ 姜 鎧 译 陳壁宏 校
6. МП0-2 型磁电可携式万能八线示波仪说明书
清华大学电机系 译
7. 950-302 型九线万用示波仪的操作指示与说明
大连工学院水利工程系 译
8. 1531 型阴极射线示波器说明书 吴之治 译
9. KŘIŽIK N 538 指零器说明书 范怀远 译

I. 讲授内容

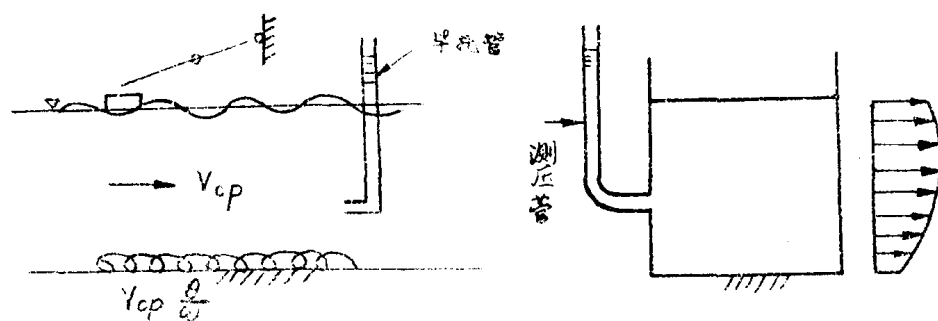
第一讲 现代水工实验技术的特点和电学测量仪器的应用

首先我予贺同志们在新的一年里取得更大的成就。最近一个阶段同志们要接触到实验室的操作技术，组织这个学习是很有意义的。这是因为：第一，近代实验技术对各个工程单位和教育机关来说都是新的。中国共产党已提出要在最近6到10年内把中国科学提高到先进的水平。这个任务一定能很好的并且提前地完成，从我们组织的这次学习也可以看到这方面的工作；第二：1946~1948年在水工实验方面进行了一次重大的改革，普遍的使用了近代实验技术。作为中国的水工试验单位，应该把近代实验技术掌握起来并装备起来。对水工试验来说，掌握这个技术比其他部门更有着重要的意义。

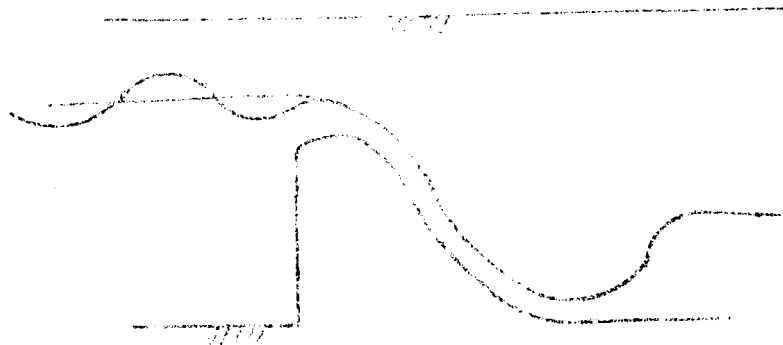
我们在进行工作时所接触的是一些实际问题，但也不要忘记理论。一切工作只有在理论与经验相结合的基础上才能做好。这次讲习班所讲的主要是实验操作技术，这是大连工学院的同志们一年来所学得的经验。这里不包括模型相似律和实验方法方面的内容。关于模型相似律等问题大家可参考过去已有的文献。这次讲习班主要地将由大连工学院的同志把实验技术和测量系统向大家作讲解。同时大家也将进行操作。因此各同志们可把这部技术装备起来以提高技术水平。

现在我谈一谈课程的主要内容。

如何来认识不久以前在实验技术上重大改革的意义呢？我们进行改革的目的是为了深入研究问题或现象的本质。举平面平行流为例来说，18世纪末叶是用平均值的概念来研究问题的($V = \frac{Q}{F}$)。由于这样的研究问题，于是在测量技术上，测压管毕托管等就有了很大的发展。到了十九世纪，问题有了进一步的进展，开始研究断面上的流速分布。但过去所研究的都是恒定流的问题，也就是水流不随时间而改变的问题。在这些问题里，要测量压力可刺出测压管，要测量流速可应用毕托管及差压计。



到二、三十年前，对问题的看法更深入了一步，人们认识到即使象上述这样简单的问题也是很复杂的。根据儒孜夫斯基，凡里加诺夫等学者的研究认为只有在很有限的情况下才能产生稳定流。以前所研究的稳定流，虽然其断面是不变的，但压力和流速等实际上都是时间的函数。特别在水利技术方面，由于过水断面，流速及水力半径等都很大，不可避免的底部边界上将有紊流，水面亦有脉动，流速也有变动。以前所用的平均流速的概念，在理论上和实验方法上都不是完善的。一般水力因素如压力、流速、水位等，都是时间的函数，亦即 $P = F_1(t)$, $V = F_2(t)$, $H = F_3(t)$ 。在某些情况下，当变动甚不显著时，用平均值的概念是可以的。但在大多数情况下，平均值的概念就不适用。例如闸门震动问题，桥型结构问题以及涵洞水流脉动问题等，流速和压力的脉动都是很显著的。这就向我们提出了任何研究随时间发生变动的数值的问题。



在水力研究方面，这方面的成就首先是左波浪试验室内取得的。这是因为左波浪运动中水力因素随时间的改变，最为明显。例如在推进波中，水质点的运动随时发生变化于是就需应用新的仪器来测量。与此同时，在其他部门，例如在单宽流量 $q=40 \sim 50$ 秒公方的大堤研究中，各种水力因素量对时间的变化也是很明显的。特别当浪水路上有涌浪时，水流情况反丁游浪水情况，都变得很复杂。这个问题如同老们感到兴趣，可参阅1955年7月水利技术建设上的一篇论文。

在复杂情况下，平均的概念不符合于我们的要求。因此就迫切需要新的测量技术来测量水流的内部特性。过去旧的测量仪器如测压管，毕托管，流速仪等为什么不能适应新的要求呢？其主要的缺点是主于这些测量仪器的惯性太大。例如用测压管测波浪压力时，由于测压管内的水具有质量，当压力变化时引起测压管内水体积（即质量）的变化因此就不能真实地测出压力对时间的变化 $P=f(t)$ ，如水的重量为 m ，压力变化愈快，水的加速度 j 愈大，因而 mj 亦愈大于是测量误差亦愈大。亦即真正压力 $P = \text{压力读数 } P_n \pm mj$ ，而且测量的误差不仅表现在数值方面，其变化频率也将有误差。这是因为我们研究的是水动力学的问题，因而才有这个问题发生。同样，其他仪器也不能符合要求，只要测量系统是用机械传动或水、气传动，例如用浮标标杆式波高仪测波高，就会有误差。除以上所说惯性力的影响而外，还有温度，摩擦力 (t) ，和表面张力 (σ) 的影响，亦即 $P = P_n \pm mj \pm t \pm \sigma$ ，在研究时应把这些误差去掉，因此必须用新的测量系统来代替旧的测量系统。

新的测量技术运用电学测量方法，应用了电子学，光学及其综合利用的知识。这些测量系统没有惯性或者惯性很小，只要能把需要测量的水力数值变为电学数值，就可能加以记录。即使其数值很小，也可用电学方法加以放大到足够大。这种电学数值的变化，可用没有惯性的电学或光学仪器记录之。举例来说，冲击力作用在压电式的传感器上后，就可使小镜发生偏转。又如水滴

变化亦可施测，这种方法称为非电学数值的电学测定。

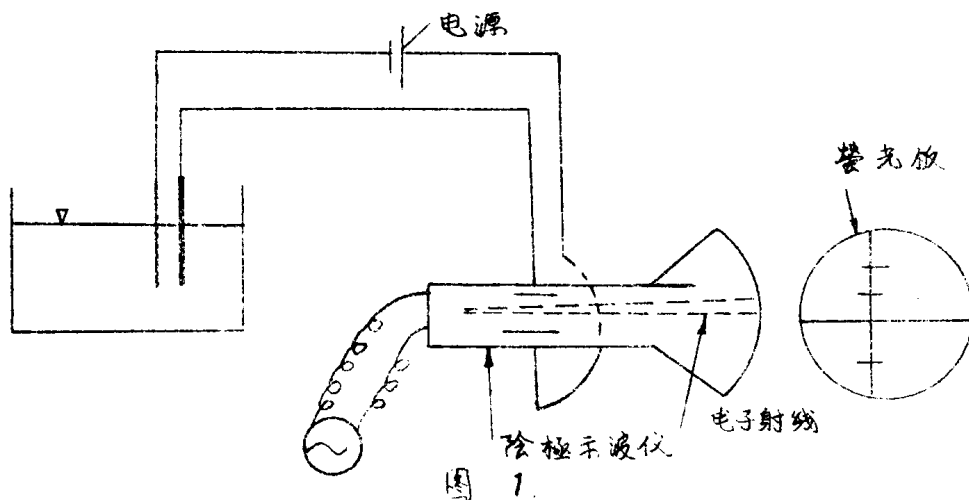


图 1

图 1 係测水位变化的一种装置。当水位变化时，电路的电阻值也发生变化，因电流改变，电子射线移动，表现了水位的变化。在这种测量系统中，任何部份都没有惯性力和摩擦力的影响。并且不受距离限制。记录部份可放在很远的地方，例如测量部份在沈阳，记录部份甚至可在大连，目前这种技术已成为可能。而且即使水位变化很小，电学变化也可放得很大，这就是近代测量技术的一个重要特征，即以电学方法测量非电学数值。

还有一个重要问题，即测量仪器的自振频率 (η_{cos}) 问题。过去所用的机械式测量仪器，自振频率很低，不能把测量对象的起伏情况表现出来。例如图 2 中实线表示被测数值的起伏情况，虚方曲线表示测量仪器的自振情况，则测量结果可如虚线所示，甚至会发生共振。为避免这种现象要求 $\eta_{\text{cos}} \geq 6\%$ 。过去机械的水力的仪器很难达到这个要求，同时又不能远距离控制。而如用电气测量，则频率可任意控制。一般 15500 赫芝的频率，已足够应用。而在电学上，10000 赫芝为属低频，这是近代测量技术的一个优点，即其本身频率可以很高。

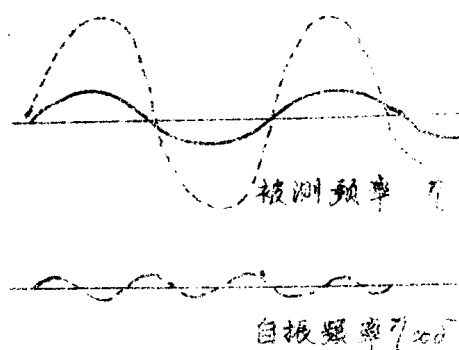


图 2

近代测量技术的另一个优点在于电学部门的科学成就已达到极高的水平。只要被测数值能变为电学数值，就可精确地加以记录。故可用以施测任何水力因素如水位，流速，压力等。近代测量技术的第二个特点是能够进行多点的同时同步记录。它们可以是同一数值的很多点，也可以是很多不同的数值。利用示波仪，可把电学数值记录下来，同时观测记录很多点的变化情况。示波仪（Осциллограф）一字的原意即係“记录波动的仪器”。

例如，在船闸充水过程中要研究不同充水办法对闸内船隻的影响如图3，可用上述办法测定：水位变化，流速分布，及缆绳应力。这些数值均可同时表现在示波图上，如图4，图底表示时间顺序，这样可得到任一时间与数值间的相互关系，如把闸门开启高度联同示波仪，则亦可测得闸门开启高度曲线。此法称为同步的综合记录。

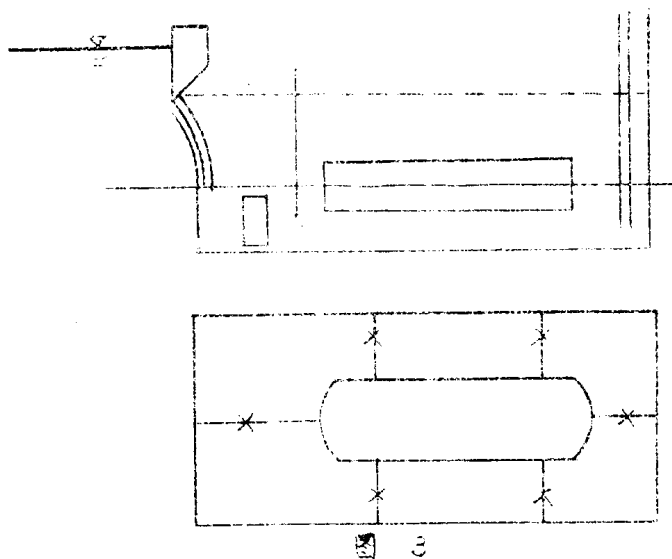
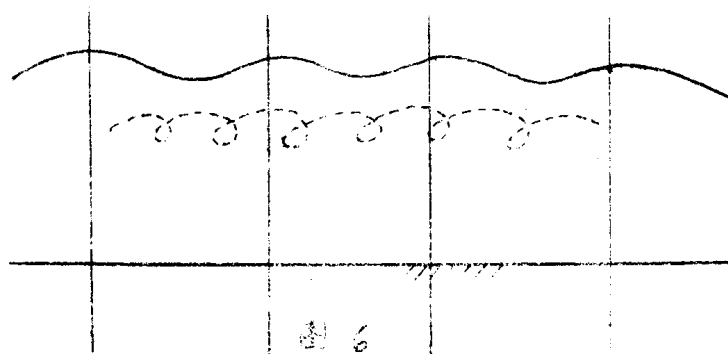
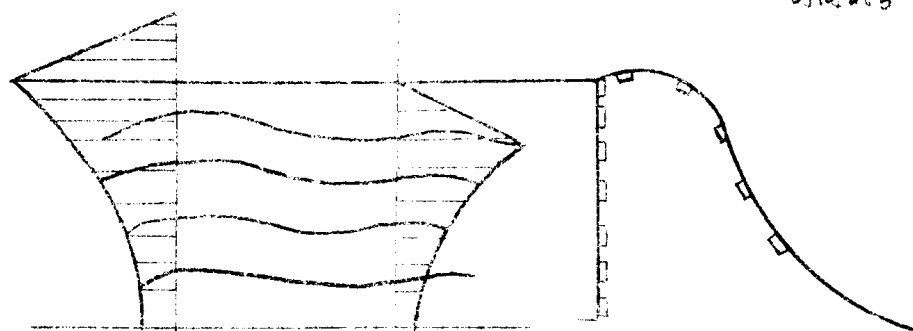
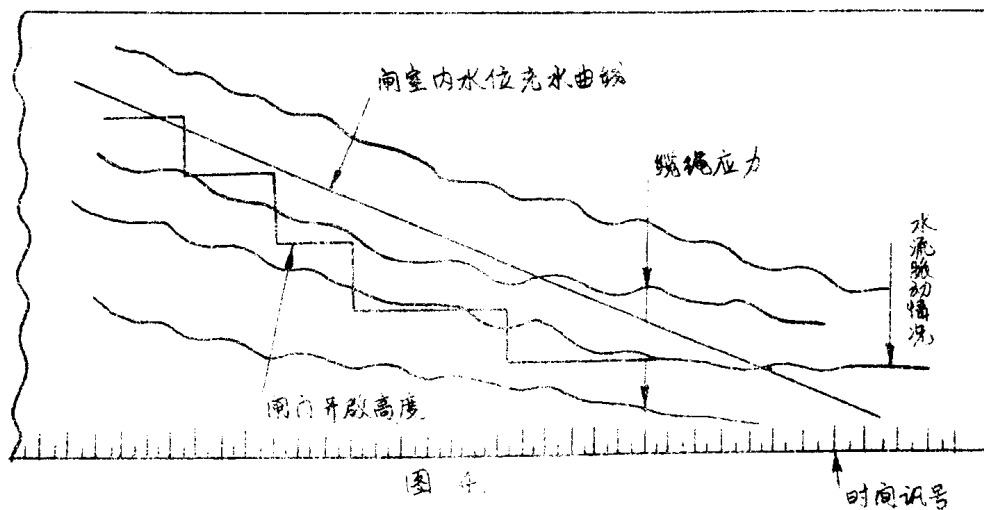


图 3

又如坝面上各点压力的施测为同一数值很多点施测的实例如图5。坝上游面所受波压力亦可测出。由此找出最危险的情况。

近代测量技术的第三个特征，为利用摄影及电影摄影的方法，如用较好的照相机或电影照相机及感光灵敏的软片即可把肉眼所能见的或肉眼所不能觉察的水力现象记录下来。它可用以观测水面波动情况，涡流，水质点运动情况及水中固体质点运动情况等，此时需要使用示踪剂，示踪剂是一种比重与水相同但带有显明色

泽的固体或液体质点。示踪剂随水运动，照相后即可看出水点运动情况如图5。此种测量记录可与示波仪结合研究，应用很广。放射性同位素的应用也是将来发展的方向。



近代测量的第四个特征为水力相似法和电学相似法，同时也可用水力现象来研究电学问题，但对我们意义不大。水电相似法的基础是建立在水力现象和电学现象均符合于同一数学关系式，因此可用电学相似模型来研究水力现象，此法最初系1922年巴甫洛夫斯基院士在研究地下水渗流时提出，目前已被广泛应用，例如可用以研究立波运动和推进器的运动等。

总起来说，近代实验技术有下列四个特点：(1)利用光学，电学和电子学的测量系统来测量电学因素；(2)利用示波仪以进行同步的自动记录；(3)电影摄影；(4)利用水电相似法。

参考文献

1. Ф. Е. Темников:

Автоматических регистрирующие приборы, 1954 г.

2. А. М. Туричин:

Электрические измерения неэлектрических величин
1954 г.

3. К. И. Безухов:

Испытание строительных конструкций и сооружений
1954 г.

4. Справочник, машиностроения Том III 1955 г.

Экспериментальное определение деформаций, напряжений и усилий.

第二讲 一般电学仪表的原理和应用

根据仪表所利用之物理原理不同而分类：

一、永磁铁仪表（磁电式测量仪表），

构造：

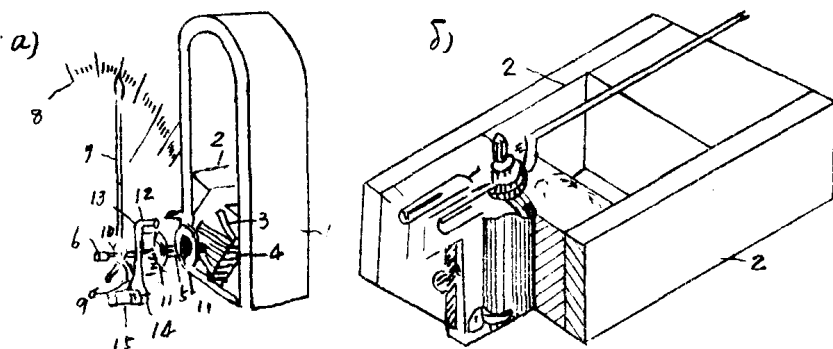


图1 磁电式测量机构
a—用钴钢或铬钢制成的磁轭，b—用镍铝钢制成的磁轭。

其构造包括永久磁铁，磁轭，及方框形线圈。

作用原理：利用弹簧之反作用，当无电流通过时处在平衡位置，当有电流通过时，弹簧中有应力产生因而产生了连接指针之偏转。

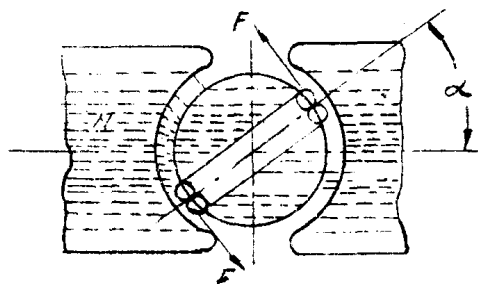


图2 活动线圈在辐射磁场内。

$$M \propto I$$

$$M_{\pi} = K\alpha \quad (\text{弹簧反力矩})$$

$$\text{当 } M = M_{\pi} \text{ 时}$$

$$I \propto \alpha \quad \text{故此种仪表刻度是均匀的。}$$

机械调零：当无读数时指针应指零，如不为零，应进行调零步骤。

仪表特点：

优点：(1) 因磁场为永久磁铁，磁场可很强，故仪表之灵敏度很

高能量至几十微安培。

(2) 刻度均匀

(3) 不怕外界磁场影响。

缺点：不能直接测量交流（不能量瞬时变化）

用途：(1) 直流安培计

(2) 直流伏特计

(3) 镜式检流计

(4) 复合仪表的指示器。

1. 直流安培计——测直流电流

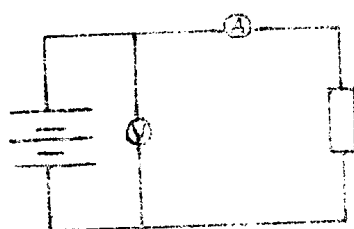


图3

(1) 在测量电路中与被测串联

(2) 要求电表内阻很低

(3) 在测量机构中并联电阻使量程扩大。

2. 直流伏特计——测量直流电压。

(1) 串联在电路里电表要跨测的两点之

间。

(2) 要求电表之内阻愈高愈好。

(3) 在测量机构中串联附加电阻使量程扩大。

上面二种仪表使用时要注意问题

(1) 安培计串联在电路中，将量纲又搞，将仪表烧坏。

伏特计并联在电路中间题不大。

(2) 仪表有极性问题，不能正负接错，如不知道正负，可轻点接触看指针偏向何方决定之。

3. 镜式检流计，与上述仪表不全无类。

(1) 因为该仪表线圈之轴有摩擦，要提离线圈放在平衡位置且很细的丝，电流通入时这丝起抖动作用，线圈细触这时要小心，不要碰断。

有些仪表当接入用时用卡子夹住，以免仪表损坏。

(2) 没有刻度，而是用小镜。

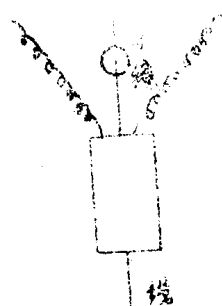


图4

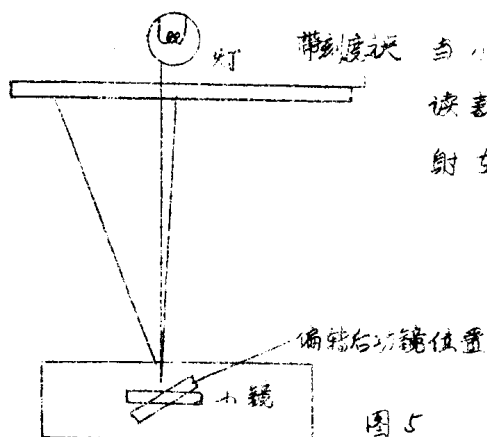


图 5

此种仪器很灵敏，常用来测量微小之电流。

用法：

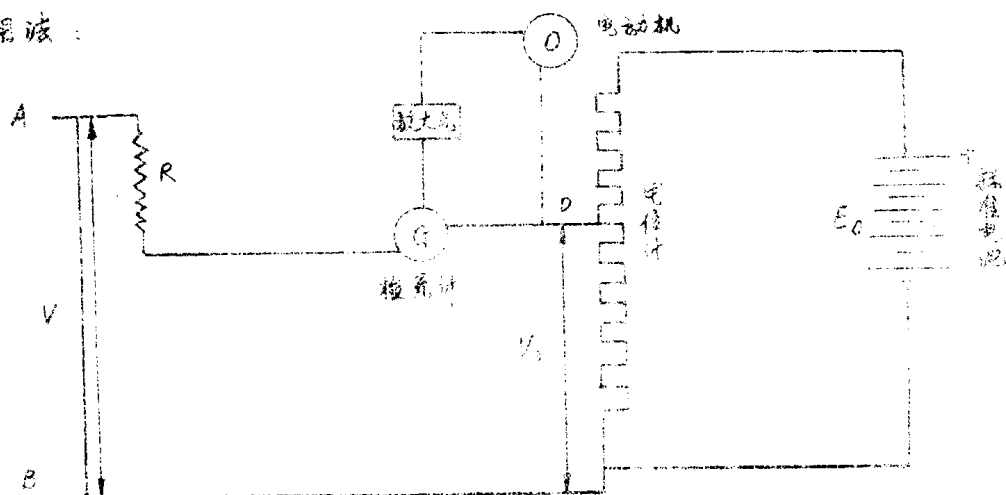


图 6

测量技术中提出之问题，欲测 A, B 两点之电压，但不使电流通过仪表，故不能用电阻计，（即要无限大电阻， $\rightarrow \infty$ ）普通电表是不满足这个要求的。

解决的办法， V 为待测之电压接重 D 点使仪表 G （或称检流计）读数为零于是 $V = E_0$ 。此方法很麻烦，但若能调整，此时仪表称比较式。

使用这种仪器在开始时需串联一个电阻以防通过大电流通过此时称预调，调至一定程度后然后去掉电阻此种为预调。

测量技术改进的方向：自动电位计，当检流计中有微小电流时经放大，使电动机带动 D 点向减小电流的方向滑动。

5. 使用水磁型仪表的注意事项:

(2) 注意仪表之用途及种类，注意仪表之内电阻及允许通过之电流。並在使用前据内阻按欧姆定律计算可能产生之电流，看是否可以通过仪表及有“无”烧坏仪表之危险。当欲测负载时的情形，可串联一电阻 R ，而进行计算之。

二、仪表之误差：仪表读数之误差是仪表之主要特性。

2. 相对误差 $\frac{\Delta A}{A_{\text{真}}} \cdot 100\%$

(相对额定误差) (最大量程, 额定级数)

故仪表开始一段不准确

6 7 级:

0.1, 0.2, 被用作精密测量用

三、电磁型仪表 (排斥式电磁仪表)

可利用来直接量空流（因同时被磁化与反磁化）。

测量出数值为电流之平方平均值（有效值）。

此种仪表刻度是不均匀的。

交流伏特计，毫培计，只能测一般工频电源（50 周波）高频不能测。

四、万用表：实际上是三用表用以量电流，电压，电阻，其量测的范围很大，各种量都能量，但都量的不太准。实际上就是电磁式仪表。

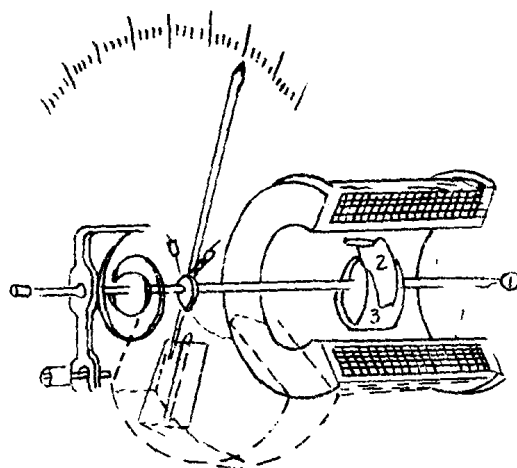


图 7 具有圆线圈和推拒铁片的电磁式测量机构

(1) 量电压：串联不同电阻可得不同量程，利用转换开关进行操纵之。此测为直流电压。

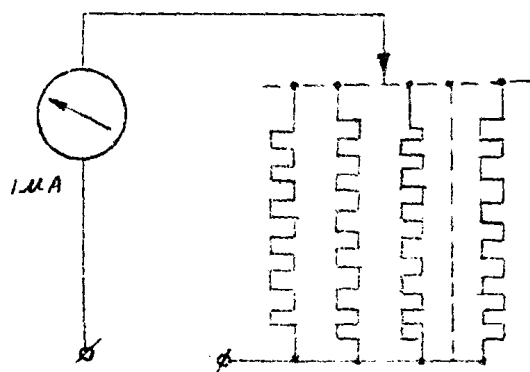


图 8

(3) 如量交流，需接一整流桥路。

一般用氧化铜整流器，因氧化铜有单向导电作用，此用符号

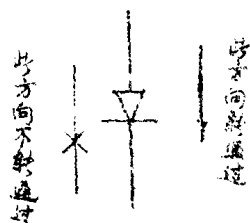


图 10 (元)

如仪表为 1mA 指针最大读数，电压为 1000 伏则电阻需 1 百万欧姆。

(2) 量电流：有很多并联电阻（直流电流）

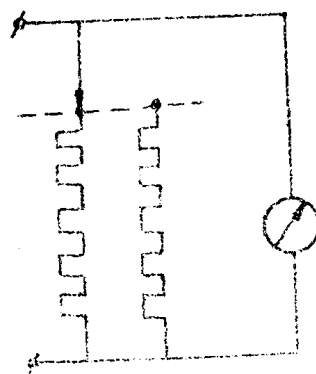


图 9

整流桥路——全波整流

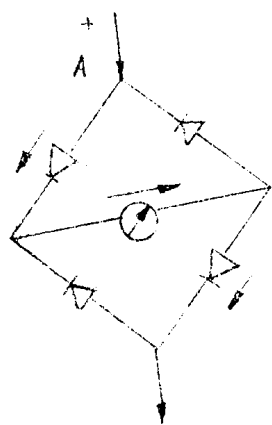


图 10 (1)

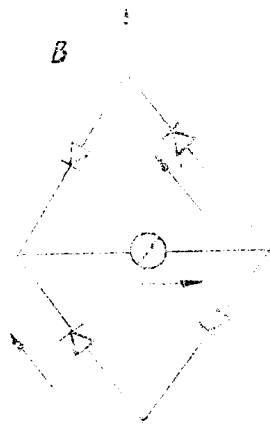


图 10 (2)

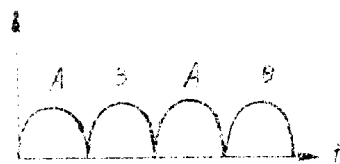


图 10 (2)

半流刻度与直流刻度不同，半流刻度为有效值。

整流一般接测量电压，接入量电压。

此外还有磁整流器，但在测量线路中不用磁，因为磁的特性不稳定。

(四) 量电阻

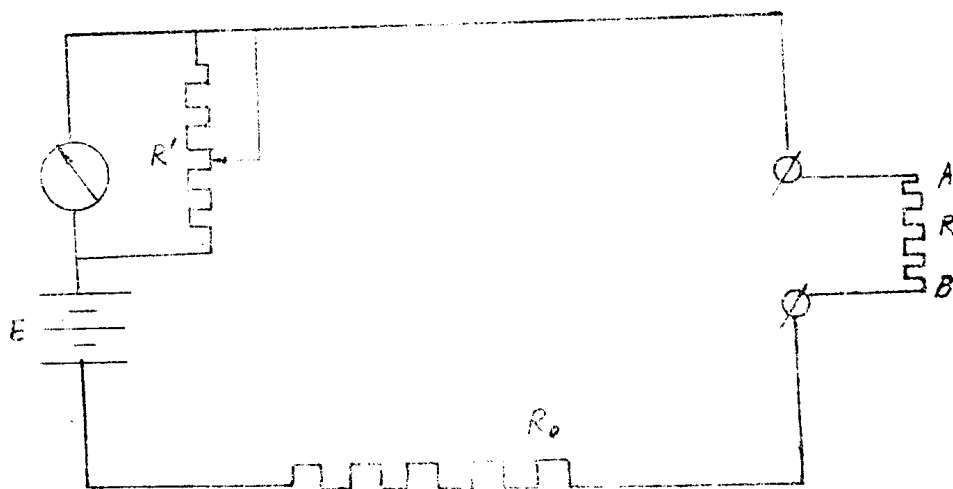


图 11

刻度：使电阻 R_0 端定当 A B 短路时，仪表指满读数，此时之电阻读数为 0。

当电路断时其读数为 ∞ 。