

电 工 测 量 仪 表

譯 文 选 集

(内部刊物)

第 十 三 集

第一机械工业部电工仪表研究所

哈 尔 濱

1963年3月

目 录

不用軸尖的指示电表.....	H. W. 諾克累 (1)
提高磁电式仪表可靠性的条件.....	M. A. 奥依里尔 (4)
新嘉莫韦斯顿大量生产民用电度表	(13)
高精度三相电度表的校驗.....	A. M. 依留柯維奇 (17)
感应电度表串联磁路的磁分路.....	A. M. 依留柯維奇 (21)
傾斜对单相电度表指示值的影响.....	Д. Т. 果涅里克 Б. Н. 基涅里夫 (25)
张絲仪表緩冲弹簧計算的图解法.....	И. И. 奥布罗索夫 Е. В. 卡瓦列諾夫 (27)
电感計算.....	博士埃里希·布累施米特 (31)
接有并联分压器的数字伏特表的測量綫路.....	В. П. 庫切里尼柯夫 (43)
光补偿放大器的某些动态問題.....	С. Г. 拉宾諾維奇 (50)
永久磁鉄的鑄造合金	(57)
用粉末軋制的軟磁材料的矫頑力与板料厚度的关系.....	О. А. 卡茹斯 (69)
热处理对导磁体磁性的影响.....	Д. Д. 米申 Г. С. 考尔朱林 (71)
苏联电工仪表更新情况簡訊	(73)

不用軸尖的指示电表

H·W·諾 克 累

指示电表中的主要麻煩之一是支持可動部份的軸尖和寶石，現在新發展的張絲結構儀表就增強了結構，而且避免了軸尖和寶石所引起的摩擦作用。

在考羅姆頓 (Crompton) 以後的發明家們曾對指示電表的設計作過不少的改進，需要測量的電量也有不少種如流行的電流和電壓等指示電表。圖 1 是早期的一只指示電表。這是 1883 年製造的，羅盤的指針因線圈磁場作用而轉動，它的控制和反作用力矩由地磁磁場產生，儀表是隨便地刻度的（這時還沒有安培伏特等標準單位）使用時要把儀表放置為當零時指針指北，所以安裝這種儀表的控制板也得和指示磁場的要求相一致。

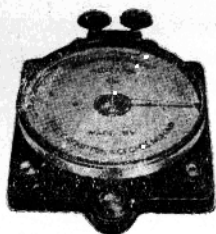


圖 1. 保存在且姆佛得考羅姆頓歷史館的一只早期電表

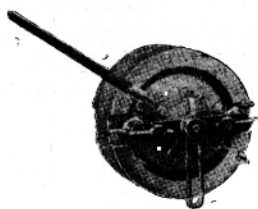


圖 2. 4 吋和 8 吋動圈式（磁電系）電表同軸磁系和可動部分

80 年來在儀表設計方面有不少的發展和進步，其中有很多是因磁性材料的成份和改進處理方法而取得的。例如圖 2 同軸磁鐵（即內磁鐵）就因採用了各向異性磁鐵和以粉末冶金方法製造內磁鐵，即用磁性材料和軟鐵作極靴，兩者都製成粉末，經加壓和熱處理後，成為磁鐵和極靴間的磁阻很小的整體。

很多年來大部份工業用指示儀表結構都有產生誤差的一個根源，這就是沒有滿意的辦法能把可動部份支起來，減少因軸尖寶石和反作用螺旋游絲系統所造成的麻煩。

今日看來某些使用比較可靠的工業用儀表，如果檢查這些儀表的反修記錄，就會發現最普遍的返修原因是軸尖損壞和寶石上雜有塵土，摩擦加大，或者是游絲發亂。

曾想過很多辦法來克服這些缺點，包括用特殊材料作軸尖，給寶石鑲置減震彈簧，想辦法減免搖動條件下游絲產生不希望的擾動，減輕可動部份裝配的重量和增大可動部份的扭轉力矩等。

因為這些措施的原因，儀表抵抗運輸和運行所產生的顛振和震動的能力近年來得到

了提高，虽然如此，事实上没有任何仪表能在颠簸和震动后不产生任何的损坏，这是由于不论可动部份的重量有多轻，它在宝石锥形槽上的工作点总有只能用显微镜才能觉察到的一个很小的点。

張絲式电表

于是若要彻底的避免电表产生这种麻烦，就必需从别的途径来设法，包括取消已习惯的轴尖、宝石和反作用力矩游丝等。比较成功的一个办法是把可动部份张悬起来代替轴尖宝石和游丝，而且已创造出不少经济满意的可动部份结构，这些工作已取得成就在商业上已开始生产这种张丝仪表了。

这种仪表的可动部份线框上有两条用铍铜一类的弹性材料制成的薄张丝，用弹片来张紧，这对张丝的张力应调整到当可动部份水平放置时因挠度所造成的误差，和垂直放置刻度时没有可觉察的变化。

这样用张丝固定的办法就使可动部份活动时不论是新装配好的，还是已使用过相当长时间以后都不会在支持部位上发生摩擦，在保证产生必要的扭转力矩的情况下，动圈式电表的张丝也能向动圈输电。

結構設計

虽然采用张丝结构避免了因灰尘落入轴尖和宝石之间所形成的损坏作用，但不能完全避免因剧烈震动所引起的损坏，为了保证高度的抗震能力，需要把可动部份尽可能地作得轻和结实，避免产生歪曲和变形。为了这个不论是动圈式还是动铁式电表，都把可动部份安在坚硬的小轴上，小轴的两头都有小柄。(图3、4)

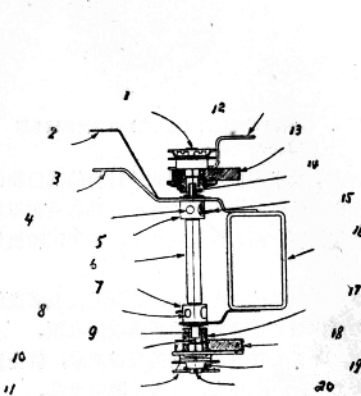


图3. 动圈式250°广角张丝表结构图

1. 张丝定位器 2. 指针 3. 平衡臂 4. 张丝定位器
5. 小柄 6. 小轴 7. 小柄 8. 张丝定位器 9. 栓
10. 张丝 11. 弹片保护器 12. 零位调节器 13. 上机架
14. 栓 15. 止位 16. 动圈及阻尼环 17. 套
18. 下机架 19. 弹片 20. 张丝定位器

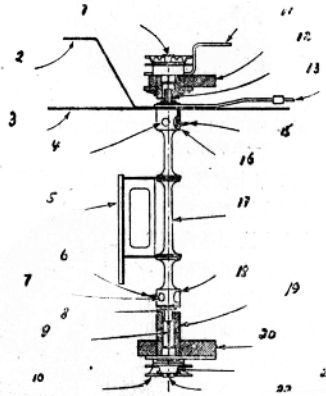


图4. 动铁式250°广角张丝表结构图

1. 张丝定位器 2. 指针 3. 阻尼盘 4. 张丝定位器
5. 动铁 6. 止位 7. 张丝定位器 8. 栓 9. 张丝
10. 弹片保护器 11. 零位调节器 12. 上机架 13. 栓
14. 平衡臂 15. 止位 16. 小柄 17. 小轴 18. 小柄
19. 套 20. 下机架 21. 弹片 22. 张丝定位器

經热处理后的鍍銅拉絲用止位器固定在小柄上。拉絲穿过小柄的中心孔，拉絲的外端連在彈片上，彈片緊靠着套，而套呢又安在用以固定可動部份的機架上，經适当的調節使張絲穿过套的孔的中心連到彈片上，這樣小軸上的拉力就真正地同心了。

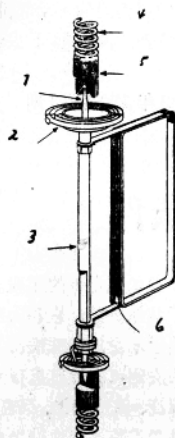


图 5. 軸尖式動圈裝配

1. 軸尖 2. 張絲
3. 小軸 4. 寶石彈簧
5. 寶石 6. 動圈

尖式和沒有軸尖的動圈儀表的結構比較，拉絲表可以借用軸尖式張絲表可動部份的電磁結構。

為了防止因可動部份受某一橫向的震動把拉絲弄壞起見，在小柄的兩頭各有一個栓，當發生橫向震動時栓先碰到套的內壁而不致使拉絲損傷，同樣地若有軸向震動時，栓的頂面就先碰到套上，防止產生足使拉絲損壞的應力。

調節彈片的拉力時是隨可動部份的重量而變的，就是當可動部份水平擺放時在垂直方向上形成的撓度不超過 0.002 至 0.003 吋（合 0.050～0.076 毫米），這樣足以保證隨意擺放時不受重力的影響。彈片應能吸收當張絲因溫度變化所產生的微小的長度變化。

張絲截面均勻度很重要，寬度方面的公差允許 $\pm 0.0001 \sim \pm 0.0002$ 吋（合 0.0025～ ± 0.005 毫米）厚度方面的公差允許 $\pm 0.00001 \sim 0.00002$ 吋（合 $\pm 0.00025 \sim \pm 0.0005$ 毫米）。圖 5 和圖 6 是軸

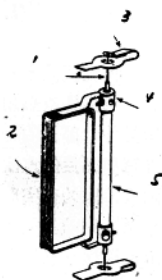


图 6. 沒有軸尖的動圈裝配

1. 張絲 2. 動圈 3. 彈片
4. 小柄 5. 小軸

動圈式表的靈敏度

張絲的動圈式表可以制成一般靈敏度的，也可以制成高靈敏度的，一般靈敏度的表有作通常工業用的毫安表、安培表和伏特表，至於高靈敏度的儀表因為充分地發揮了沒有因軸尖所引起的摩擦的優點，可以制成微安表或每伏 1000 歐的伏特表，可以制成轉角 250° 的 50 微安的电表，相應地也能制成每伏 20000 歐的伏特表，張絲的動鐵式表的電氣性能和軸尖寶石式表大致上相同。

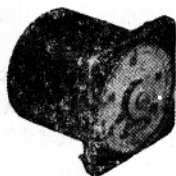


图 7. 考羅姆頓新世界儀表公司無軸尖電表

張絲電表曾放在不列顛海軍艦隻上作過抗震試驗，在軸尖式電表已經損壞的同樣試驗條件下，張絲表曾通過 3 次試驗，還沒有發現能覺查的損壞，也曾使指針自零值偏轉至滿刻度作過 1000 萬次，沒有發現疲勞現象，沒有降低精確度。

商業生產

考羅姆頓公司決定一開始就生產偏轉 240° 的电表，而不自 120° 的开始，這是由於轉角越大就越能考驗這種結構，在新產品設計時又發現可以使轉角達到 250° ，這樣就又

加长了刻度尺。

动铁式安培表和伏特表及初圈式安培表、伏特表、频率表和速度指示器等张丝电表都制成 $3\frac{1}{2}$ 吋开关板用表如图 7。更大的 4、6 和 8 吋的电表都可以采用相同的可动部份，甚至能作成携带式的 11 吋电表，过些时候还要制造张丝的广角瓦特表，再发展下去还可以制造小尺寸的张丝电表。

路維真譯自英电工評論 Electrical Review 1962 年 170 卷 13 期

提高磁电式仪表可靠性的条件

在现代技术水平的条件下，仪表的可靠性是基本特性之一，必須給以足够的重视。

可靠性应该用一些具体的数值来确定，可靠性这个参数不同于其他参数，它和大部份另件，部件的一系列变化因素及特性有关。定量的确定可靠性由于本身的特殊性沒有計算和测量的方法，毫无疑問是一个困难的問題(4)。用实验的方法决定可靠性也有很大困难，因为在实验室里不能建立与实际运用一样的条件。过载、湿度、温度变化、高度、傾斜、震动及一系列其他因素影响的模拟，甚至其中某些因素同时在实验过程中結合起来也远远不能反应实际的作用情况。

根据实验結果，并考虑到諧振現象，能够在很大程度上估計产品的强度特性，毫无疑問，它是可靠性的組成部份，但不能充分說明可靠性。

强度实验通常达到完全破坏仪表或者完全利用了保险儲备，所以一次实验过的仪表不能用于重复实验中，这样就引起了材料的大量消耗和迫使我們按着限定的時間尽可能少进行这样的試驗。

如果不考虑强度問題，可靠性的基本标准就是仪表在整个保险期內适应于技术条件。因此，時間标准具有非常重要的意义，仅仅用实验的方法不可能估計仪表的可靠性。决定可靠性的困难在某种程度上是由于过去对这个問題沒有給予应有的注意而引起的。

目前，仪表可靠性的問題具有非常重要的意义，因为現在提出了提高仪表精确度并同时增加寿命和多用性的任务，同一型式的仪表用在水上、水下的船只上，飞机及其他飞行器具，坦克及其他武器装备上，用于原子能发电站和各种具有特殊用途的机器装置中等等。

上述指出，給这个很少被研究过的质量标准《可靠性》建立某一个量的标准的必要性。

根据可靠性的数量标准并用适当的方法，就会使所有的技术文件相协调，首先是使技术条件和仪表、部件、另件及产品的制造工艺相协调。

误差是所有测量仪表的基本特征。只有当测量仪表的误差已知并且不超过允許范围时，仪表才能作为设备的必要組成元件。不正确的仪表示数，不仅不能获得必要的运用特性，而且能成为事故和灾祸的原因。

仪表的运用条件是：由于测量方法、仪表结构和制造工艺不完善而引起的初始误差，应用中不仅不减少、相反地却增加。这是因为外界因素（压力、温度、湿度）在很大范围内变化的结果，在大部份情况下还有振动、过载等的影响。

技术的发展不断地提高对测量参数、各种机器装置在整个过程中工作状态的精确度的要求。这样，不仅要求知道仪表的误差，而且要求深刻地研究其产生原因和消除方法。为了使仪表的误差在全部保险期内不超过规定的容许界限的问题，是设计者、制造者和使用者所难于解决的。

很明显，大部份完全按着技术条件制成的仪表，在保险期的末期具有超过允许值的误差。其原因一方面是每个元件物理性能的不稳定，例如磁铁、游丝、灵敏元件、电阻元件等，另一方面是在运用过程中轴尖、轴、轴承（垂直和水平的）、滑线电阻器，电刷和其他在仪表工作中受到机械作用的元件的磨损。

仪表示数的稳定性没有被充分研究并且在文献中很少记载，然而它对所有的工业部门都表现出无可辩驳的利益。这个问题使仪表制造者焦急，他们不知道为了保证仪表示数在保险期内的稳定性，应该对仪表各个另件和工艺提出怎样的要求，也不知道可以保证用户怎样的应用。示数稳定性问题，在同样程度上使相信仪表指示的用户焦急。他们所关心的是必须经常校正仪表，或者在一系列场合下校正仪表必须停止机器的工作进行复杂的拆卸，并且要花费很大的劳动量和时间的问题。

在成批生产中，制造另件、部件和整个仪表所根据的允许误差值的问题，非常密切地和保险期内仪表示数的稳定度相联系着。

按着实际的标准文件（标准、主管部门的技术条件等）工厂保证仪表在保险期内在该文件所规定的应用条件下不间断工作。这就是说，特别是在保险期末期仪表的误差不应超出允许界限。

然而，在具有某些系统的或固有仪表示数不稳定的情况下，为了保证仪表给定的精确度一直到保险期末，在工厂中生产仪表应考虑到这些不稳定性（他们的值、方向、性质和变化）。根据仪表的用途和运用条件，工厂保证某些仪表不间断工作1~5年（按ГОСТ 1845~52电气测量仪表的保险期不小于18个月）。

同时一系列目前应用的材料还不具有保证仪表保险期的足够的稳定性。从上述得出，除提高元件的稳定性之外（无论是直接在工厂生产的，还是在加工厂中制造的及由国家得到的元件）发现了公差的问题，这些公差应该在存在元件不稳定的情况下保证对仪表提出的保险。这个问题过去没有被这样严格地提出来，只是因为对所生产仪表的精确度没有这样严格的要求，以及在寿命方面也提出较少的要求。现在，在一系列工厂中及时地提高对所运用材料稳定性的要求，及对单独元件的制造和稳定建立附加的要求。这就提高了仪表的质量并增加了仪表的使用期限。

一、电气测量仪表单独元件的不稳定性

1. 永久磁铁的不稳定性

永久磁铁的不稳定性和磁铁的自然老化有关，磁铁的自然老化决定于磁铁所处的去磁场和作用于去磁场的外部影响，其中主要的是温度变化、机械作用、交变磁场和磁路

中磁阻的改变。

P. 皮庫、Я. М. 达伏格列夫斯基、斯吐捷尔斯、Л. М. 李沃娃、А. С. 乍衣莫夫斯基、А. А. 庫茲尼錯夫等学者的研究指出，磁铁随时间老化，在截面一定时，老化程度决定于磁铁的长度、矫顽磁力，预先去磁程度、磁铁的震动及去磁温度等。拉蒙观察磁铁状态 11 年指出，磁铁受季节变化影响。斯吐捷尔斯^[11]认为，影响磁铁质量的一个最经常的因素是温度的变化。在振幅为 1.25 毫米，频率为 10~50 赫兹的实验条件下（即振动过载 0.5~1.25）历时 40 分钟，用不同材料制成的磁铁呈现出下列不稳定性：

表 1

材 料	剩磁损耗 %
含钴 36% 的材料.....	3.21
铝镍钴—5	0.32
铝镍钴—2	0.33

Л. М. 李沃娃研究 23~15~5 合金（23.5%Ni, 15.5%Al, 5%Cu）和 28~11 合金（28%Ni, 11%Al）时制成了一批截面尺寸为 15×15 毫米不同长度（22、45、90、225 毫米）的样品。经过为了保证磁性的热处理后，研究了剩余磁通的变化和矫顽磁力及磁铁的去磁因数（长度和截面的比值）的关系。磁通随老化时间的变化曲线如图 1 所示。

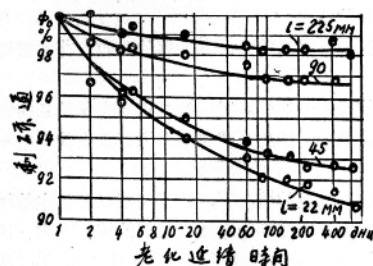


图 1. 磁通对老化时间的变化曲线

由此图中可见，短样品受到较大的老化，甚至具有比值 $\frac{L}{d} = 15$ 的长磁铁经过一年也会失去大于 1.5% 的磁通。

发现当矫顽磁力增加时磁铁对自然老化的稳定性增加，并看到剩磁通更平稳地下降。局部的退磁 10% 或更多能减少老化。雅·木·达伏格列夫斯基指出，老化和磁化时的温度有关。例如，把磁化温度提高到能够把由于循环温度作用而引起的磁通下降减小到 0.2%。帕普利克^[12]根据

西克斯吐斯的资料写到，铝镍合金对振动的灵敏度远小于碳钢，例如，10 次冲击引起剩余磁化强度的降低至多为 0.5%，而 1000 次冲击至多达 2%。从 25°C 到 75°C 加热 100 个循环后，这些合金的剩余磁化强度下降达 3%。保存磁铁一年后，西克斯吐斯看到磁感应强度下降达 2~3%。

A. C. 乍衣莫夫斯基等^[5]使具有矫顽磁力 600 奥斯特、剩余磁感应强度 5600 高斯的样品受到铜锤的猛烈打击，在 2,000,000 次打击下磁铁失去原始磁通的 3.5%。这种合金的样品受到变号温度的作用——加热到 +100°C 冷却到 -20°C 和重新加热到 +100°C，在稳定 3~4 个周期后，在循环温度作用下失去 1% 的磁通。

铝镍钴合金（18%Ni, 10%Al, 12%Co, 6%Cu）按着这个实验，在第一个温度变化周期内剩磁通显著地减小达 7%（在 20°C 温度下磁化后）把磁化温度增加到 100°C 可把磁通的损失减小到 0.72%。

因此一系列因素影响到磁通的稳定性，其中包括：成份、结构尺寸、变号的温度、

磁化溫度、沖擊作用、磁鐵的矯頑磁力，去磁程度和存放時間等。

在实际工作中我們能遇到一些比值 $\frac{I}{a} \approx 3$ ，由鋁鎳鈷-2 和鋁鎳鈷-5 制成的类似圓粒形的磁鐵，如表 1 所示，它們具 0.3% 的不穩定性。在仪表中应用上述材料的磁鐵，当去磁大于 10% 时不穩定性降低。

上述因素对磁鐵穩定性的影响外，还細仔地制定和控制工艺过程的必要性，因为磁通随時間的变化成比例地影响到示数的改变，也即影响到仪表的誤差

2. 非線性电阻（西利特电阻）的不穩定性

在我們所研究的仪表中，利用具有負的电阻溫度系数的西利特电阻作为溫度补偿器。在技术条件中指出在 150 小时内对西利特电阻不穩定值的要求，具有 7.4~9 欧姆的西利特电阻的允許不穩定值达 0.1 欧姆，既占西利特电阻的 1.2%。被研究过的一些仪表由于西利特电阻不穩定而引起的誤差等于 0.5~0.60%，西利特电阻不穩定的一个重要原因是湿度的影响。

3. 錳銅电阻的不穩定性

有关錳銅电阻不穩定性的詳細資料見李沃娃綜合技术学院研究資料⁽¹⁾，在那指出，对于預先在工厂制造中老化的錳銅繞盤，当直径为 0.5 毫米或更細时，老化过程中总电阻的变化达 0.1~0.2%，对直径为 1 毫米时有时达到 1%。不进行老化就应用的錳銅綫（毫无疑问这是存在的）总电阻能够出現非常大的变化，当導綫直径为 0.5 毫米时經常达到 0.8~0.9%。

同一研究闡明，錳銅电阻从不穩定状态向穩定状态的过渡伴随着电阻的减少或增加。有时发现电阻减少，然后增加，注意到当电阻增加时繞圈特別不穩定，它們必須經受細仔的人工老化。大部份仪表制造厂获得錳銅繞綫时不进行任何老化，依靠供应状态的充分穩定性。因为在装配仪表时采用了不十分穩定的錳銅，所以在工作过程中仪表示数可能发生变化。当仪表中应用的錳銅电阻接入串联綫路并且它的值与仪表的总电阻相比很大时，錳銅电阻的变化具有重要的意义。在某些伏特表中总电阻等于 3255 欧姆，錳銅电阻等于 3250 欧姆，伏特表的不穩定性大于类似結構安培表 30%。

由上述可知，必須对工业部門提出有关提高仪表用導綫穩定性的要求，因为現用的对裸錳銅綫的技术要求，和 ГОСТ 6225~52 不能保証供应仪表的導綫的穩定性。与此同时，考虑到繞制錳銅电阻时在導綫内引起的某些降低導綫穩定性的应力，应该在仪表制造厂中直接地安排錳銅繞制电阻的老化工艺。

4. 支承的磨損

由于在軸尖上較大的应力和运用条件下大的振動，軸尖被磨損了。（軸承也部份地磨損）尔·欧·布拉依尼娜⁽²⁾建議利用特殊的潤滑物边界层来减少工作部份的磨損，以增加軸尖——軸承鉸鏈的寿命。

由于軸尖的磨損增大了摩擦和間隙，因而增加了仪表的誤差。

在軸尖激烈磨損的情况下，仪表的摩擦超过允許值，此时变差可能超过仪表的基本誤差值。所研究的仪表在受到 1.5g. 400 小时的振動实验后，由于軸尖的磨損，可动部份間隙增加到 40~50mk，这引起仪表的基本誤差增加 20~25%，在某些情况下增加 40~45%。

5. 游絲的不穩定性

在仪表的工作过程中，在某一个作用力矩下，游絲應該产生同一个反作用力矩。換句話說，对于給定的游絲扭轉角應該对应一个十分恒定的力矩。假如游絲的加载和去载特性曲綫（既扭紧和放松特性——譯者）具有恒定的一致性，那么仪表的工作将是理想的。

游絲在工作中不应有残余变形。游絲的残余变形决定了游絲的不穩定性，因而也决定了仪表的不穩定性。甚至很小的降低不穩定性也具有很大的意义。根据英国文献⁽⁹⁾，在恒定负载下游絲的挠度与時間成对数增加，对于 1000 小时內漂移（偏差）0.025 毫米的游絲，在以后的 10000 小时內漂移（偏差）应为 0.025 毫米，这就意味着，如果被校准仪表的游絲漂移（偏差）在一年的時間內在校准精确度之內，那么降低漂移（偏差）50% 就可增加寿命 10 倍。

制造游絲的正确工艺过程是保証游絲稳定性的重要因素。工艺过程根据原材料的成份选择。鍍游絲获得了广泛的应用。

游絲的弹性后效程度取决于材料的成份、制造工艺过程和变形大小，即游絲的扭轉角等。

我們闡明，变号的溫度能稳定游絲的特性。3. A. 契莫菲耶娃^[B]介紹一种机械老化游絲的装置，因为实验証明，热处理后对游絲的机械作用可以大大地提高其弹性质量。根据游絲的截面积和在仪表中的工作条件用試驗的方法决定其扭轉角和周期数。各工厂采用着不同的游絲老化方式。我們下面引出其中几个：（1）游絲在自由状态处于 80°C 历时 5 小时或者 100°C 历时 4 小时。（2）游絲在自由状态处于 120°C 历时 12 小时，然后扭紧 1~1.5 圈并在此扭紧状态下保持 20 小时，此时每经过一小时溫度从 -60°C 到 +70°C 变化一次。（3）某些游絲在扭紧 360° 时处于 90°C 溫度下持續 6 小时进行老化。

游絲（綫料）在正常溫度下放置四个月的老化方法也被实际采用着。在其他工厂里还应用着不同的老化方法。根据法国杂志資料⁽¹⁰⁾，不久前曾发表，在 +100°C 到 -120°C 溫度下連續循环会使金属晶体結構中建立类似经过几年自然老化后所观察到的結構变化。

很明显，不同的游絲老化方式不总是具有充分論証的。

不能认为运用一些老化方式就能同样地和充分地稳定游絲。

綜上所述得出結論：由于一系列因素，游絲制成后的稳定性是不够的，某些工厂运用某种老化方式只能在一定程度上改善它們所生产仪表的稳定度。

为了提高游絲的稳定性，工程师 E. Я. 欧斯特雷和 Ф. Н. 斯切潘諾夫制定了新的游絲制造工艺过程，这种工艺过程能保証提高游絲的稳定性 2~3 倍和减少弹性后效 5~6 倍。这些游絲在振动 1000 小时后性能还是要变化 0.3~0.6%。在他們的工作中沒有提到長期溫度試驗和保存期內稳定性的資料。如果考虑到这些因素，游絲的不穩定性能够增加。导致的不稳定值是我們所研究仪表的基本誤差值的 20~30% 甚至达到 50%。

《振子》工厂中 3. A. 契莫菲耶娃⁽³⁾和 M. 別那尔杜斯⁽³⁾等曾从事过保証最小残余变形的游絲制造問題的研究，在这个工厂中仅应用在專門光学整置检查过的残余变形不超过規定值的游絲，这残余变形允許值是根据仪表等級和用途而規定的。例如，0.2 和

0.5 級儀表的游絲，當轉矩從 10 毫克公分/90° 到 60 毫克·公分/90° 時游絲殘余變形的檢驗是在 Y138 實驗儀器上進行的。光學儀器 Y138 確定游絲的殘余變形值是以角度表示的，像游絲加力矩前的儀表示數（另位）和去掉力矩後的儀表示數之差一樣，儀器的分度值為 0.1° 讀數準確度 0.05°^[3]。對於不同的游絲提出不同的負荷值，負荷時間及允許殘余變形值的要求。

考慮到殘余變形的存在，最好在儀表中應用具有不同盤繞方向的二個游絲，毫無疑問，依靠二個游絲不穩定性的相互補償改善了儀表的穩定性。然而，甚至在此種情況下也能發生儀表示數的不穩定，這是因為有時採用二個不同力矩，不同批次和不同心的游絲。

不能不考慮到焊接游絲時可能產生的某些疏忽：烙鐵使游絲末端過熱，為了和導電片焊接注意展平游絲末端，為了焊接方便剪去游絲多余的部份等等，這一些都惡化了應用在儀表中的游絲的不穩定性。

必須考慮到實際的游絲性能隨時間的不穩定性，並且應考慮到這不穩定性在保險期內改變基本誤差 20~50%。

考慮到儀表元件的不穩定性，某些公司特別是捷克斯洛伐克的莫特拉布拉恩卡電氣測量儀表製造廠，為了提高所生產儀表的質量，預先自然老化部件 2~3 個星期，而制成後的儀表自然老化 2~3 個月。除此之外，為了保險，所生產的 0.2 級儀表像 0.5 級儀表一樣被保障。

綜上所述得出，除了必須提高單獨元件的穩定性之外，有關技術公差的問題也是非常重要的，這個技術公差在現有穩定參數的條件下，應該保證儀表廠所提出的保險。由此可見，為了在整個保險期內保證儀表的精確度，必須在工藝上保證所生產儀表的可靠性。

二、關於工藝誤差允許值

我們現在說明由於在儀表中應用之元件的不穩定性而引起的誤差值。

毫伏表可動部份的偏轉角可寫成下面形式：

$$\varphi = C \frac{B \cdot E}{K \cdot R} \quad (1)$$

B ——空氣隙中的磁感應強度。

E ——電勢。

K ——游絲的常數。

R ——儀表測量電路的總電阻，對於線路元件串聯的毫伏表 R 等於動圈電阻 R_p ，西利特電阻 R_s 、游絲電阻 R_n 、錳銅附加電阻 R_m 及接線電阻 R_r 之和。

式中認為 E 為常數，對 (1) 式兩邊取導數，然後用增量代替之，則得到：

$$\Delta\varphi = \frac{CE}{KR} \Delta B - \frac{CBE}{K^2 R} \Delta K - \frac{CBE}{KR^2} \Delta R。$$

用 $\varphi = C \frac{BE}{KR}$ 除方程式的二邊則得到：

$$\frac{\Delta\varphi}{\varphi} = \frac{\Delta B}{B} - \frac{\Delta K}{K} - \frac{\Delta R}{R}.$$

这里 $\frac{\Delta\varphi}{\varphi}$ —— 随机变量 —— 由于仪表元件不稳定可动部份偏轉角的相对变化。

$\frac{\Delta B}{B}$ —— 随机变量 —— 由于磁系统不稳定性空气隙磁感应强度的相对变化。

$\frac{\Delta K}{K}$ —— 随机变量 —— 游絲常数随时间的相对变化。

$\frac{\Delta R}{R}$ —— 随机变量 —— 由于线路元件的不稳定性仪表线路电阻随时间的相对变化。

很明显, 随机变量 $\frac{\Delta\varphi}{\varphi}$ 是各个独立随机变量 $\frac{\Delta B}{B}$ 、 $\frac{\Delta K}{K}$ 、 $\frac{\Delta R}{R}$ 之代数和。

由概率論可知: 任意随机变量代数和的数学期望(值)等于各分量数学期望(值)的代数和。

$$M. O. \left[\frac{\Delta\varphi}{\varphi} \right] = M. O. \left[\frac{\Delta B}{B} \right] - M. O. \left[\frac{\Delta K}{K} \right] - M. O. \left[\frac{\Delta R}{R} \right] \dots, \quad (2)$$

这里:

$$M. O. \left[\frac{\Delta B}{B} \right] = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left[\frac{\Delta B_i}{B} \right].$$

对于其他的随机变量也有类似的关系。

公式(2)可以根据随机变量的分量的平均值来求得随机变量 $\frac{\Delta\varphi}{\varphi}$ 的平均值。

众所周知, 各独立随机变量和的离差, 同样各独立随机变量差的离差等于各分量离差之和,

既:

$$\sigma^2 \left(\frac{\Delta\varphi}{\varphi} \right) = \sigma^2 \left(\frac{\Delta B}{B} \right) + \sigma^2 \left(\frac{\Delta K}{K} \right) + \sigma^2 \left(\frac{\Delta R}{R} \right).$$

假设随机变量 $\frac{\Delta\varphi}{\varphi}$ 、 $\frac{\Delta B}{B}$ 、 $\frac{\Delta K}{K}$ 、 $\frac{\Delta R}{R}$ 的极限值等于 3σ 并用 $\delta\varphi$ 、 δB 、 δK 、 δR 对应地表示它们, 得到:

$$\delta\varphi = \sqrt{\delta B^2 + \delta K^2 + \delta R^2} \quad (3)$$

如果取游絲电阻、动圈电阻、外部线路电阻为常数, 那么随机变量 $\frac{\Delta R}{R}$ 是独立的随机变量 $\frac{\Delta R_e}{R}$ 和 $\frac{\Delta R_\mu}{R}$ 之和; 所以极限误差(认为极限偏差等于 3σ) 等于

$$\delta R = \sqrt{\delta R_e^2 + \delta R_\mu^2} \quad (4)$$

把方程式(4)代入(3)得到:

$$\delta\varphi = \sqrt{\delta B^2 + \delta K^2 + \delta R_e^2 + \delta R_\mu^2}. \quad (5)$$

根据这个式子能够按着各分量的极限值计算 $\frac{\Delta\varphi}{\varphi}$ 的极限值。

根据上面的材料对于我们所研究的例子可以取 $\delta B = 0.3\%$, $\delta K = 0.5\%$, $\delta R_e = 0.5\%$, $\delta R_\mu = 0.1\%$ 。

$$\delta\varphi = \sqrt{0.3^2 + 0.5^2 + 0.5^2 + 0.1^2} = 0.8 \quad (6)$$

所以，对于 1.0 級仪表，在保險期內由于它的基本結構元件不穩定性而产生的誤差，能增加到接近基本誤差值。

Ф. Н. 斯切潘諾夫作的 20 台仪表的實驗，二十台仪表中三種型式的安培表 每種 5 台，其余 5 台为伏特表，指出放置 3 个月后安培表的誤差改变 15% 而伏特表改变 30%。

包括 8 小时振动、(1.5g. 50 赫) 加热到 +60°C (保持 2 小时) 和降温到 -55°C (保持 4 小时)、交变磁场的去磁作用 (20 奥斯特) 实验后这些仪表的示数变化，包括三个月放置后所产生的示数变化，安培表达到 50% 而伏特表达到 80% 的基本誤差值。

根据所进行的观察同样地说明了，由于可动部份中应用的胶和漆粒的挥发及其他原因，仪表的平衡在工作过程中随時間变化。軸尖的磨损和可动部份平衡随時間的改变引起由于仪表元件随時間不稳定而产生的誤差与方程 (6) 引用的值相比有些增加，与此对应，在我們所研究的这种場合下总誤差取 0.9%。

根据一系列的实验結果，仪表虽然經受住了实验，但是在很短的实验時間間隔內几乎耗尽了全部的公差。目前在仪表制造厂中认为，生产仪表可以利用在仪表的技术条件中所規定的几乎全部的公差。实际上，基本誤差的允許值在大部份仪表中几乎全部由于仪表指示在工作期內的变化而耗尽。所以，在制造仪表时工艺誤差的允許值只能达到技术条件上規定的誤差的一部份，只有如此，才能保証仪表的誤差在保險期內不超过允許界限。

М. Ф. 馬林科夫研究出，如果某一誤差占总誤差的 0.3~0.4 則可以认为是微小的，并可以忽略。換句話說，仪表基本誤差允許值在最坏的情况下应只达到技术条件所規定的允許值的 40%。

我們來說明仪表的局部工艺誤差允許值，认为它們彼此相等。

如果假設我們所研究的參数偏差属于正态誤差分布曲綫，那么如上所述，极限誤差值可写成：

$$3\sigma_m = \sqrt{3\sigma_1^2 + 3\sigma_2^2 + \dots + 3\sigma_n^2} \quad (7)$$

这里： $3\sigma_m$ ——总工艺誤差允許值的极限。

$3\sigma_1$ 、 $3\sigma_2$ 等——局部工艺誤差的允許值。

假設 $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 = \dots = \sigma_n = \sigma$ ，把 (7) 式換写成下面形式：

$$3\sigma_m = \sqrt{n(3\sigma)^2} = 3\sigma\sqrt{n}$$

这里： n ——局部工艺誤差数。

假設按技术条件的允許誤差也是极限值，并記作 $3\sigma_{Ty}$ ，得到：

$$3\sigma_m = 0.4 \cdot 3\sigma_{Ty}$$

或者

$$3\sigma\sqrt{n} = 0.4 \cdot 3\sigma_{Ty}$$

由此得到

$$3\sigma = \frac{0.4}{\sqrt{n}} \cdot 3\sigma_{Ty} \quad (8)$$

如果 $n=5$

$$3\sigma = \frac{0.4}{2.24} \cdot 3\sigma_{Ty}$$

$$3\sigma = 0.18 \cdot 3\sigma_{Ty}$$

在这种情况下，5个工艺误差中的每一个，能够占技术条件所规定的仪表基本误差允许值的18%左右。

考虑到不稳定误差能够小于基本误差值(例如当允许误差1.2%时，不稳定误差0.9%，而允许误差1%时，不稳定误差0.6%等)，容许工艺误差值与上面指出相比能有某些提高。

实际上，仪表的允许误差由三个基本部份组成：工艺误差、不稳定误差和由于测量方法不完善而产生的误差。后者在我们所研究的情况下很小，可以忽略，则能够写出：

$$3\sigma_m = \sqrt{(3\sigma_{ry})^2 - (3\sigma_{sp})^2}, \quad (9)$$

这里 $3\sigma_{sp}$ ——仪表元件对时间不稳定性的极限误差。对于我们研究过的第一个例子：

$$3\sigma_m = \sqrt{1.2^2 - 0.9^2} = 0.8 \quad (10)$$

占仪表基本误差值的 $\frac{2}{3}$ 。

在普通的情况下我们来建立 $3\sigma_{ry}$, $3\sigma_m$, $3\sigma_{sp}$ 之间的关系。令仪表允许误差极限值和仪表元件不稳定误差的比值

$$\frac{3\sigma_{sp}}{3\sigma_{ry}} = Z \quad (11)$$

这里 Z ——对于给定仪表的某个常数， $Z < 1$ 。

把 (11) 式代入 (9) 式，变换之后得到：

$$\Omega = \frac{3\sigma_m}{3\sigma_{ry}} = \sqrt{1 - Z^2} \quad (12)$$

图2表示出 (12) 式所决定的关系曲线。

知道 $3\sigma_{sp}$ 占 $3\sigma_{ry}$ 多少即 Z 值(按图2曲线)后，能够建立允许工艺误差和技术条件的允许误差之间的关系。应该看到，在 $Z = 0.9$ 时，工艺误差的极限值，如图2所示，接近仪表总允许误差的40%。这符合于上面我们引出的微小误差标准(按 M. Ф. 馬林科夫的)这个标准应用在按技术条件规定的误差几乎全部地耗限于工作期内仪表示数变化的情况下。

在进行提高仪表元件稳定性工作的条件下，根据图2和由于仪表中元件不稳定而产生的误差的允许值，能够确定仪表的工艺误差值。这个误差应该反映在制造厂中该仪表的技术文件中，以便按着确定的公差值制造和验收仪表。

综上所述得出：为了保证仪表的可靠性，必须提高基本另件和组件的性能稳定性，为了保证仪表的精确度的可靠性，除了考虑强度特

性以外，还应考虑结构和工艺过程引起的各种不稳定性。

引用的例子表明：工艺误差允许值在很大程度上决定可靠性标准，可以定量地估计

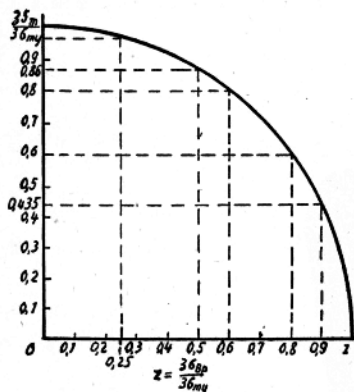


图2. 根据不稳定性决定工艺误差极限值

这一允許值，此外，从本质上說它是保証所生产的仪表在准确度方面可靠性的一个必須考虑的因素。

这个問題需要新的研究。不过为了提高产品精确度和运用可靠性，已經做了不少工作。

参考文献見原文。

雷云山譯自苏联《仪表制造和測量技术論文集》

王立正 校对
白英夫

新嘉莫韦斯頓大量生产民用电度表

恩費德 (英 Enfield) 的新嘉莫韦斯頓 (Sangamo Weston) 公司的工厂專門制造单相和三相民用电度表，在本文里介紹他們的生產方法，其中有些是他們所創造的。

成立于 1920 年專門生产电表和仪器的新嘉莫韦斯登公司在恩費德的工厂生产 S200 型的电度表，工厂建筑面积 65000 平方呎，用流水方法生产这种仪表，工厂是两层窗，用压力通风法除去灰尘，并控制大气温度，工厂的设备有些是仪表生产新技术的机器，其中有包綫圈，鋤鉄芯，齒輪系校驗和自动記錄的仪表試驗设备等，新嘉莫韦斯登工厂还生产時間开关，實驗室測量仪器，飞机仪表，溫度測量仪器，热电偶，电阻溫度計及曝光計等。

最近我們參觀了这个工厂单相电度表的生產。电表的量限符合适用不列顛标准所規定的电流标准和国外市場所需的特殊量限。

部 件 制 造

除了磁铁和轉动軸承的宝石以外所有的主要部件都在本厂制造。所有的原材料在送去制造之前都根据有关的不列顛标准进行檢驗，对特定的部件还作更严格的检查。这些检查包括电气、磁性、机械特性及成分等。在保証一定的范围时也允許适当地超过标准，允許的这些变化在仪表内因补偿部件而得到保証。

全部机构最重要的是在里斯特 (Lester) 的机器上用双动工具造出的鋁合金压铸基架。机器每装一次料可压出两个基架，大約每小时能压 30 次。所用的材料是 13% 的鋁硅合金。当从模子上取下时两个基架仍用小棒相連在一起，用冲床切去毛刺和水口，剩下的材料送回去再用。基架經噴砂后再塗上两层保护漆。保护漆里含有少量的二鋁化硫这些东西进到軸承孔里可以得到乾潤滑。

虽然基架的形状很复杂，可是用不着什么机械加工就作好了。以后装配使用的是自攻螺釘，軸承就用弹簧夹子固定。上軸承插进机架的 V 形槽里用一个調整螺絲刀使其一面压缩弹簧，这样就把上軸承固定了。下軸承也是同样的结构，只是用个带鑄造螺紋的半圓槽来代替 V 形槽。軸承的一端有个槽可以調節軸承高度。

再一个鑄型的工艺是胶木底座的生产。一次压成两个底座，同时也压进其他一些另件。其中包括接綫柱和試驗时隔絕电流和电压的电压环，盖子和固定基架的嵌件等。

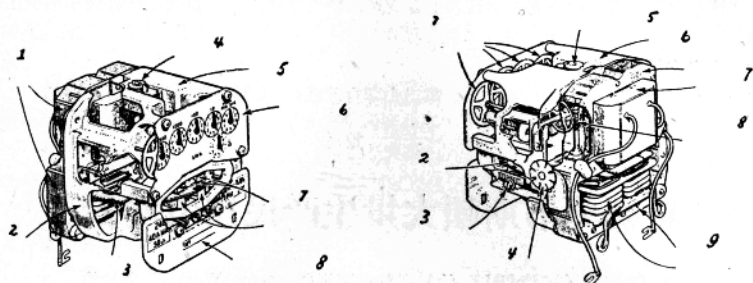


图1. 单相电度表的断面图表明各主要元件

1. 电表驱动元件 2. 基架 3. 轉盘 4. 上軸承
5. 基架 6. 讀数盘 7. 帶調节速度的阻尼磁铁
8. 标准盘

1. 讀数輪 2. 轉盘 3. 功率因数調節器 4. 輕負荷調節器
5. 上軸承 6. 基架 7. 电压元件及綫圈
8. 轉动蜗杆及蜗輪 9. 电流元件及綫圈

作电压元件叠片用的热压硅鋼片在原材料仓库切成要求的宽度，在冲床上落料。叠片再送到赫頓 (Hiton) 装配水压压机那儿，这时依铁芯的要求分好堆。要使每个铁芯都有足够的厚度用来导磁。电流铁芯的叠片也在工厂里用板料冲压。只是电流铁芯的厚度要求比較严格。电流铁芯用鉚釘鉚好噴以鋁粉漆。

电流綫圈用包以聚合物漆用醋酸乙酯为基底的圓銅絲繞成。这个綫圈在中点有抽头，这样就成了相邻的两个綫圈。綫圈的引入綫用自动的风动工具弯环。

电压元件装配的各工序里，首先是在兰苏 (Leesona) 繞綫机上同时繞 7 个电压綫圈。每当繞好一层以后每个綫圈都自动地垫进一层絕緣紙。当一組綫圈繞好时，在繞綫机上分別地除去每个綫圈的絕緣。然后給綫圈包上聚乙烯薄膜，在同时繞阻两端也接上引入綫。然后检查每个綫圈的絕緣和圈数等。

用专用设备把电压铁芯叠片压进綫圈。把一堆和綫圈厚度适应的叠片和綫圈同时装进设备里。每个叠片用气动拾检工具从堆里拿起，用一个轉动臂插进綫圈里。叠片沿导轨移动所以能很方便地和綫圈装在一起。叠片装配通过斜槽进到包繞设备里，給綫圈包上一层聚乙烯。装配件再送到赫頓装配水压压机那儿作鉚接。把叠片和夹板都鉚接在一起。第二次鉚上低負荷調整片和定位片，再噴上鋁粉漆。最后調整磁路相位的相位片和調整仪表品质的磁分路同鉚在主铁芯上。再給电压元件装上低負荷調整片調整螺絲等。这些片在最后用螺絲刀調节，使在冲击負荷下保持稳定并防止总調整后意外的运动。

制动磁铁是在大冲床上制成的軟鉄极靴用雷底 (Radyne) 感应鉚机鉚上 4 个各向异性 Alcomax 磁铁。磁铁和极靴間塗上鉚剂放到轉动头上。轉动头同时把两个装配件送进感应圈里。移出轉动头时装配件冷了而且自动地掉下来。在送到油漆間噴鋁粉之前用錘子修整，极靴和整个装配部件都校正机械强度和間隙。噴过以后装上磁分路，这是用銅螺釘固定的一个鉄片在一对磁极上移向或离开轉盘，来改变阻尼。另一对磁铁間是

用对温度敏感的材料所制成的温度补偿。

轉 动 部 份

轉盘用除过铁的鋁板制成。从除铁以后的所有工序都小心地防止再受铁粉的沾染。轉盘要经过消除材料内应力的处理,这是把轉盘在夹具里榨紧在不高的温度下加热。为了使轉盘的边正确用一个压力工具来倒棱,这样的加工方法可以使轉盘很平滑明亮而不带斑点。然后把轉盘送到装配車間去,在轉盘的下面塗上些黑漆,这样便于使用光电池记录計来进行快速調整。

在費馳 (Fisher) 压鑄机上把轉盘和軸連在一起,这就是在轉軸和轉盘之間鑄入一小块压鑄合金。轉軸用杜拉鋁棒在彼德曼 (Petermann) 自动車床上用无心磨的方法制造。下一步就是在一端钻孔,再用米柯茹 (Mikron) 螺紋磨床在轉軸上制成一段蝸杆。

齒輪系的全部轉軸都在彼德曼自动車床上制造。除了 100 齒的齒輪是在冲床上用复合冲模連齒一起冲出来以外,所有的齒輪都在米柯茹 (Mikron) 自动滾齒机上制造。所有的齒輪都得到所需要的齒數。

上軸承用杜拉鋁在自动螺絲機床上制成,有一个小孔来限制轉盘的一端。小軸用含鉍鋁料鑄在上面。小軸用含銘不銹鋼制成。下軸承也用杜拉鋁在自动螺絲機床上制成,里面所鑲的鋼玉宝石都經显微鏡检查和蒸汽清洗。(即有机溶剂清洗——譯者注)

近来制造了一种磁悬軸承的轉盘,这样就把双宝石和滾珠軸承改成在上面和下面都有一个固定在压鑄件上的小軸,这种小軸在轉盘的上边和下边所附的石墨环中轉行。轉盘的悬力是因为轉盘的下边和下軸承的地方各有一小块鋁鉄氧磁鋼因而产生了相互排斥的力量。用轉动固定下軸承磁鋼的螺絲来調整轉盘的位置。因为这种結構沒有了一般軸承的很强的集中应力所以可以长期地運轉而不必检修。使用了不銹的小軸在石墨环里用不着什么液体潤滑剂。

总 裝 配

另部件都送到传送帶上总装配,在传送帶两旁进行各种装配。一边是往基架上裝計度器、軸承和轉动系統等。用一个投影器检查轉盘主軸和蝸輪的嚙合度。在齒輪系和轉

盘装配之前检查一次齒輪系的記數比是否正确。把齒輪主軸上套一个小針,用一个小板一比使其代表一个固定的轉数,再把整个装配件放在比数檢定裝置上,用自动开关控制使其旋轉固定的圈数。如果比数正确所有的指針都是指零。轉盘上的小軸插进装配在基架上

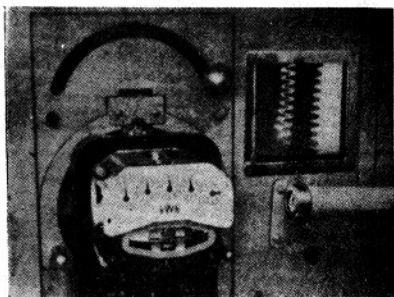


图 2. 作过零功率因数和电压潜动的調整以后,再作滯角和輕負荷調整,調整磁系統,然后在工作台上作滿負荷調整。在工作台的右面显示出蝸杆和蝸輪嚙合情况的放大投影可以依之作調整。