第22章 数 显 技 术

孙汉卿

随着生产与科学技术的不断发展，对产品的数量要求愈来愈多，而对产品质量的要求愈来愈高。特别是在机械制造行业中，自动测量、高精度测量愈来愈广泛地应用，对位移和转角的测量应用得非常普遍。

这里要介绍的就是测量位移的一种装置，这种量具是靠传感器实现的，而且用数字来显示位移量，所以人们常常称之为数显。

数显是一种安装简单、使用及维护非常方便的位移测量装置，读出的位移量是数字，所以非常直观。目前，国内的产品基本可靠，价格也比较便宜，用户可自行安装。这种装置安装在镗床及其他一些机床上，有着明显效果，因而在一些重型机床上也有不少的应用。

数显是一种把非电量转化为电量的测量装置，这种将非电量转化成电量的方式在位移测量方面，按采用传感器的方式分类主要有三种：感应同步器、光栅尺及磁栅尺。

感应同步器是利用电磁感应的原理，把两个平面绕组分别做在定尺及滑尺上，两块尺分别安装在机床的不动部分及可动部分上，发生位移时，产生电信号，通过测量电信号就可以准确地测量出两尺的相对位移量，并把这个位移量用数字显示出来，便于操作者来检查尺寸。

光栅尺是利用计量光栅互相交错，产生莫尔条纹，莫尔条纹经光电器件而转化成电信号，对这个电信号再经过加工，使之可以测量很小的位移。

磁栅尺是在一条基带上涂上磁胶，然后进行磁化，得到很多等距的磁波，然后用磁饱和的检测装置（磁头）在拉直的基带上检测磁波的数目来确定位移的多少，通过计数，将这个数字显示出来。

第1节 感应同步器的基本原理

（一）输出电动势与位移的关系

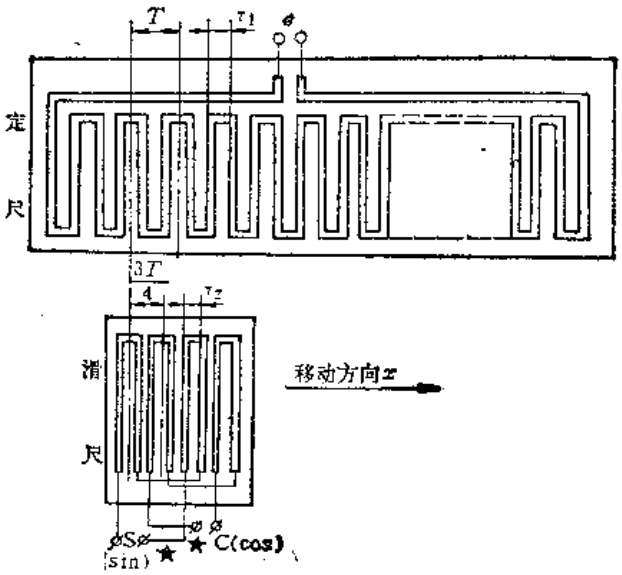


图22-1-1 定尺和滑尺绕组分布示意图

在实际使用中直线感应同步器的定尺安装在机床的固定部位，滑尺安装在运动部位，故机械运动时，滑尺相对定尺移动。

滑尺上放有两套绕组，一套叫正弦绕组，用S表示，另一套叫余弦绕组，用C表示。这两套绕组分别激磁，由于定滑尺之间的互感作用，使得定尺绕组上有感应电动势。

若给S绕组通以频率为 f 的激磁电压

$$u_s = U_{sm}\sin\omega t \qquad \omega = 2\pi f$$

若滑尺移动了 x 位移，那么定尺绕组中的感应电动

势会随着发生变化。如果原始位置时，感应电动势为最大，那么定尺绕组上有感应电动势

$$e_s = k\omega U_{sm}\cos\frac{2\pi x}{T}\cos\omega t$$

式中 k——比例常数，与绕组间的最大互感系数有关。

T——感应同步器的周期（两条同方向导片中心距离，感应同步器采用；$T=2\text{mm}$）。

定尺上产生感应电动势的原因如下：

滑尺上加上了交流电压后，产生了交变的磁通 ϕ，这个磁通又交链上定尺绕组，从而产生感应电动势。$k\cos\frac{2\pi x}{T}$是耦合情况发生变化的因素引起的。

若余弦 C 绕组通以激磁电压

$$u_c = U_{CM}\sin\omega t$$

则定尺绕组上感应电动势为

$$e_c = k\omega U_{CM}\sin\frac{2\pi x}{T}\cos\omega t$$

e_s与e_c两式中有$\cos\frac{2\pi x}{T}$及$\sin\frac{2\pi x}{T}$两项不同，其原因是正弦绕组与余弦绕组在空间上的位差为 $T/4$ 周期。

（二）输出电动势的误差平均效应和细分

绕组制造过程中产生的几何形状误差由于误差的平均效应可以大大地缩小其影响。

若第 i 个节距为T_i，它的误差为ΔT_i，则

$$T_i = T + \Delta T_i$$

式中 T——是绕组名义节距。

由于有 ΔT_i存在，其中感应的电动势必然有附加成分，即

$$e_i = e_o + \Delta e_i$$

式中 e_o——是理想节距的每一匝绕组感应的电动势；

Δe_i——是第 i 匝产生的附加电动势。

绕组总的电动势

$$e = \sum_{i=1}^{n}(e_o - \Delta e_i) = ne_o + \sum_{i=1}^{n}\Delta e_i$$

其中：$\Delta e_i = i\Delta T_i$，i 为一常数，也就是附加电动势正比于节距的误差 ΔT_i。

感应绕组平均节距为 $\bar{T}$

$$\bar{T} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}T_i = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(T + \Delta T_i)$$

$$= T + \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\Delta T_i$$

若$\Delta T = \bar{T} - T = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\Delta T_i$，在制造时总不会多做一根或少做一根导片，所以 $\bar{T} - T = 0$。因此$\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\Delta T_i = 0$，而 $\sum_{i=1}^{n}\Delta e_i = i\sum_{i=1}^{n}\Delta T_i$，所以滑尺复盖 n 匝感应电动势时

$$e = ne_o + \sum_{i=1}^{n}\Delta e_i = ne_o$$

式中 $\sum_{i=1}^{n}\Delta e_i$，当 n 愈大，则愈小。

所以复盖匝数愈多，n 愈大，平均效应愈好，误差也愈小。

由于在一个周期内，正弦函数是一个多值函数，因此位移不可能与一周期内感应电动势值一一对应，如图22-1-2所示：

图中E_{sx}对应两个位移，x_1 和 x_2。为了建立起一一对应的关系，才用正弦绕组的同时还用了余弦绕组。正弦绕组产生的感应电动势在位移为x_1时，

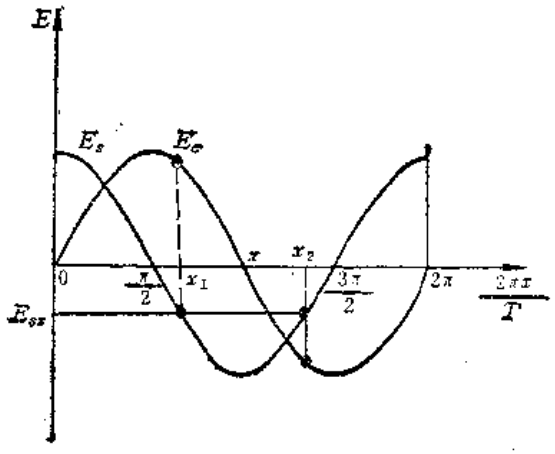


图22-1-2 感应电动势与位移对应关系

余弦绕组产生的感应电动势为正，而对应于x_2位移时，却是负值，这样就解决了一一对应的问题，从而也就可以进一步地细分。

（三）测量输出信号的方法

定滑尺的相对位移可表现在定尺的感应电动势的变化上，测量这个值，有两种方法，一种方法是直读法，就是直接用仪表去测量这个信号的大小与相位。另一种方法是零值法，它是用一个标准电压去抵消信号电压，直到为零时为止，这种方法一般说来比较准确，所以数显表中多半都采用这种方法。

零值法又分为鉴幅型与鉴相型。目前能买到的表多半是鉴幅型的，鉴相型的表也有，但比较少。下面简单介绍一下鉴幅型仪表。

鉴幅型仪表是根据信号电压的振幅变化来鉴别机械位移的大小。

在滑尺的正弦绕组与余弦绕组上分别加上两个频率相同、相位相同但振幅不等的正弦交流电压来励磁：

正弦绕组上加：$u_s = U_m \sin\theta_{电} \sin\omega t$

余弦绕组上加：$u_c = U_m \cos\theta_{电} \sin\omega t$

式中　$\omega = 2\pi f$，f为1～20kHz　则在定尺绕组中感应出两个电动势，分别为：

$$e_s = k\omega U_m \sin\theta_{电} \cos\frac{2\pi x}{T} \cos\omega t$$

$$e_c = -k\omega U_m \cos\theta_{电} \sin\frac{2\pi x}{T} \cos\omega t$$

这两式电动势在同一绕组中，因此绕组总的感应电动势为

$$\begin{aligned} e &= e_s + e_c \\ &= k\omega U_m \cos\omega t \left(\sin\frac{2\pi x}{T} \cos\theta_{电} - \cos\frac{2\pi x}{T} \sin\theta_{电} \right) \\ &= k\omega U_m \cos\omega t \sin\left(\frac{2\pi x}{T} - \theta_{电} \right) \end{aligned}$$

用控制激磁电压幅值的电相角$\theta_{电}$来跟踪位移角$\theta_{机} = \frac{2x\pi}{T}$，当$\theta_{电} \neq \theta_{机}$时，改变激磁电源的电压大小，也就是用一个函数发生器来不断地改变$\theta_{电}$，使$\theta_{机} = \theta_{电}$，达到系统平衡，当$\theta_{机}$增大，$\theta_{电}$就跟着改变。由于很难做到$\theta_{电}$连续变化，因此用函数发生器把180°分成100份，每1.8°做为一个单位，当$\theta_{机}$每变化1.8°时$\theta_{电}$就变化一次去平衡$\theta_{机}$，同时用计数器记录变化次数。

当$\theta_{机}$变化小于1.8°时，则只能测量变化量的大小，而无法去平衡，所以在模拟表上可测出这个变化量；当超过1.8°位移时，也就是达到0.01mm时，就产生新$\theta_{电}$去平衡，也就是计数器最末一位进行加一。

第2节　感应同步器的用途及种类

（一）感应同步器的用途及优点

（1）用途　直线感应同步器用于测量机械位移量，一般均可达到0.01mm的精度。它广泛地用在各种机械设备，特别是机床的位移数字显示、自动定位和数控系统。

（2）感应同步器的优点

1）精度高　由于绕组几何精度可以做得很高，再加上感应电动势的平均效应，对尺的几何误差起到了平均作用，这样就可以大大地提高了测量精度。

目前，精度可达到±0.001mm，灵敏度可达到0.05μm，重复精度可达到0.2μm。

2）受环境温度及湿度变化的影响小　由于直线感应同步器的基板与安装部件的材料的热膨胀系数接近，当环境温度变化时，两者按相同的规律变化，因此，而不影响测量精度；表面涂了绝缘漆，使湿气不致影响尺的测量精度。

3）使用寿命长，维护方便　感应同步器定尺和滑尺之间不接触，没有任何摩擦磨损，不怕油污，灰尘和冲击，不需要经常清扫，并有防护罩防止铁屑进入，因而可永久性使用。

4）可灵活使用　根据需要可接成各种长度来使用，并能保持（或稍大于）单元长度的精度。

5）抗干扰能力强　在任何情况下，都可以给出与位移相对应的电压的单值信号，而不受瞬时作用的偶然干扰信号的影响。感应同步器平面绕组的阻抗很低，受外界电磁场的干扰较小。

6）工艺性好、成本低，便于批量生产。

（二）感应同步器的种类

直线感应同步器分五种：

1）标准式　直线感应同步器中精度最高的一种（见图22-2-1），用得也最广泛。定尺连续绕组

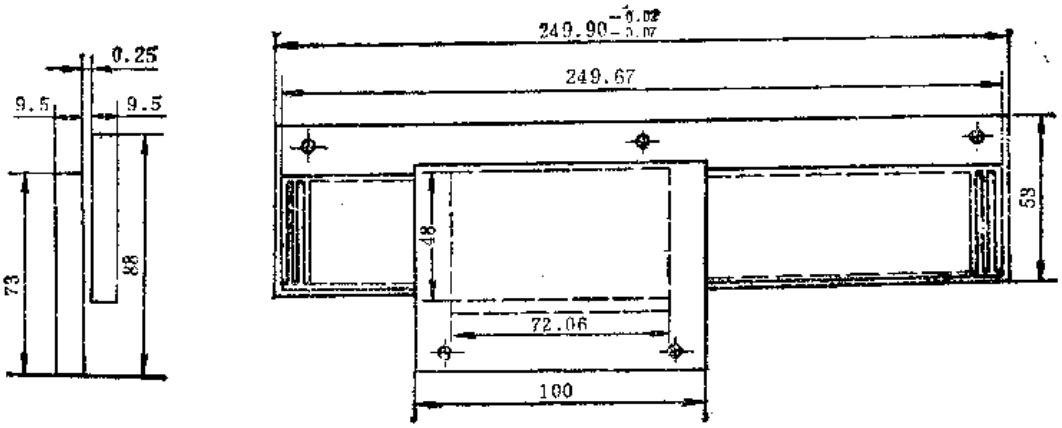


图22-2-1 标准式直线感应同步器的外形尺寸

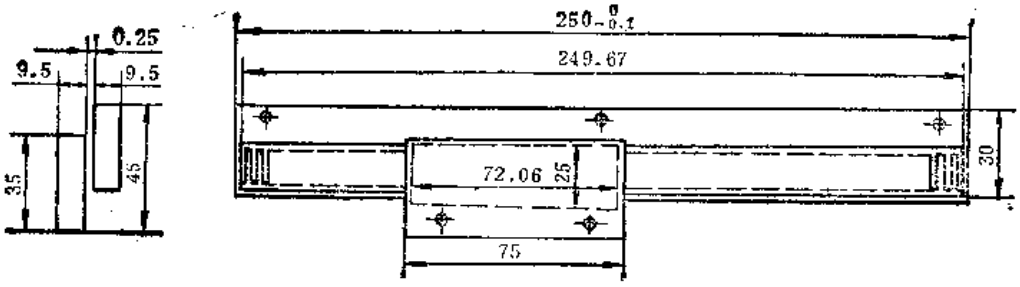


图22-2-2 窄式直线感应同步器的外形尺寸

周期为2mm，安装时必须保证滑尺绕组全部覆盖在定尺绕组上，但不应覆盖定尺的两条引出线，以免影响测量精度，若测量长度超出150mm（定尺长250mm一块，滑尺长100mm一块时），可以将数根定尺接长使用。

2）窄式　窄式直线感应同步器是用在设备安装位置受到限制的场合，其定滑尺的尺寸（图22-2-2），绕组周期及连接方法与标准式的相同。这种窄式尺由于耦合的不好，因此精度较低。

3）带式　带式直线感应同步器的定尺较长，定滑尺绕组周期尺寸及连接方法与标准式相同。由于基板是钢带，定尺又较长，所以钢性较差，机械安装不易保证，精度比标准式直线感应同步器低。

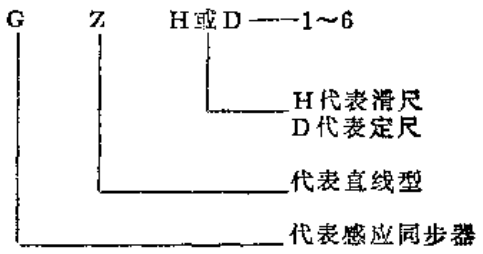
4）多速式　上面介绍的感应同步器的位移测量，只能在2mm内可以准确无误地确定其尺寸，而对于大于2mm的位置都是用累加计数器存储的，为了建立绝对坐标测量，就必须采用多速式直线感应同步器。

三速式感应同步器的定、滑尺上均有粗、中、精三套绕组，它们的周期分别为4000mm，200mm和2mm。如一套2m内使用的三速式直线感应同步器，它可由9块定尺组成，测量范围为0.01～2000mm，可以单值地决定它的绝对坐标系统。

5）组装式　组装式感应同步器是将标准式或窄式直线感应同步器的定、滑尺封装在带有钢基板的盒子里，定尺在钢基板上接长并与滑尺按要求接好，这样可避免现场拼接定尺，而且对机床安装面加工精度要求较低，使安装简便，但其精度略低于直接拼装的感应同步器。

（三）感应同步器的型号

直线感应同步器



1～6——规格编号：

1——标准式；　4——窄式；

2——多速式；　5——带式；

3——多层式；　6——凸极式。

例如：GZD-1　表示标准式直线感应同步器定尺。

GZH-1　表示标准式直线感应同步器滑尺。

1～6规格编号：

1——标准式　2——多速式　3——多层式

4——窄尺式　5——带尺式　6——凸极式

（四）感应同步器的技术指标

（1）产品使用环境要求

1）海拔不超过4000m。

2）周围温度－40～50℃。

3）相对湿度≤90%（空气温度为25℃）。

4）振动：双振幅 1.5mm，振频10次/s；

5）冲击：加速度4g，g＝980cm/s²。

（2）外观质量　外表无锈蚀和机械损伤，基准面无胶、漆等脏物，插座无松动。

（3）定尺和滑尺外形尺寸，安装要求见图22-3-1。

（4）直流电阻　空气温度为20℃时，绕组直流电阻应符合如下规定：

1）定尺绕组电阻误差不大于规定值的±15%。

2）滑尺两绕组电阻的差值不大于0.1Ω。

（5）绝缘电阻　绕组对铁基板及滑尺绕组间的绝缘电阻不低于100kΩ。

（6）精度　分三级，见表22-2-1，定尺为零位误差，滑尺为细分误差。

（7）电压传递系数　定滑尺相距 0.25mm，

表22-2-1　精度等级表

精度等级	0级	Ⅰ级	Ⅱ级
定尺（μm）	±1.5	±2.5	±5
滑尺（μm）	±0.8	±1.5	±2.5

滑尺一相通以1kHz 正弦交流激磁电压，定尺与滑尺处于最大耦合位置时，用毫伏表测滑尺输入电压与定尺输出电压之比，其比值为90～150，即电压传递系数为$\frac{1}{150}$～$\frac{1}{90}$。

第3节　感应同步器的安装和接长技术

感应同步器是高精度检测器件，安装不好将会影响其测量精度，安装的关键是安装位置的选择，其次是定尺安装面与机床导轨面不平行度、定尺滑尺之间的间隙保证等。

（一）阿贝原则及安装位置的选定

所谓阿贝原则，就是要求被测工件和基准尺安放要合理，使被测尺寸方向和基准尺读数方向在同一条延长线上，这样就会获得准确的测量结果，否则就会出现读数误差。

感应同步器在安装与接长过程中，由于位置的限制或工艺上的要求，很难满足阿贝原则的要求。感应同步器安装到机床上时，往往要远离工件加工的部分，这样就会产生较大的阿贝误差，为此，安装时应使感应同步器尽可能的靠近工件的加工部位，否则会引起读数误差。

（二）标准直线感应同步器的安装

1．安装要求

如图22-3-1所示：

1）定尺侧母线与机床导轨基准面A的不平行度允差为0.1mm/全长。定尺安装平面与机床导轨基准面B的不平行度允差为0.04mm/全长。

2）滑尺侧母线与机床导轨基准平面A的不平行度允差为0.02mm/全长。

3）定尺基准侧面与滑尺基准侧面相距为88.26±0.13mm。

4）定尺与滑尺之间的间隙为0.25±0.05mm。

5）定尺与滑尺四角间隙差（见图22-3-2）不

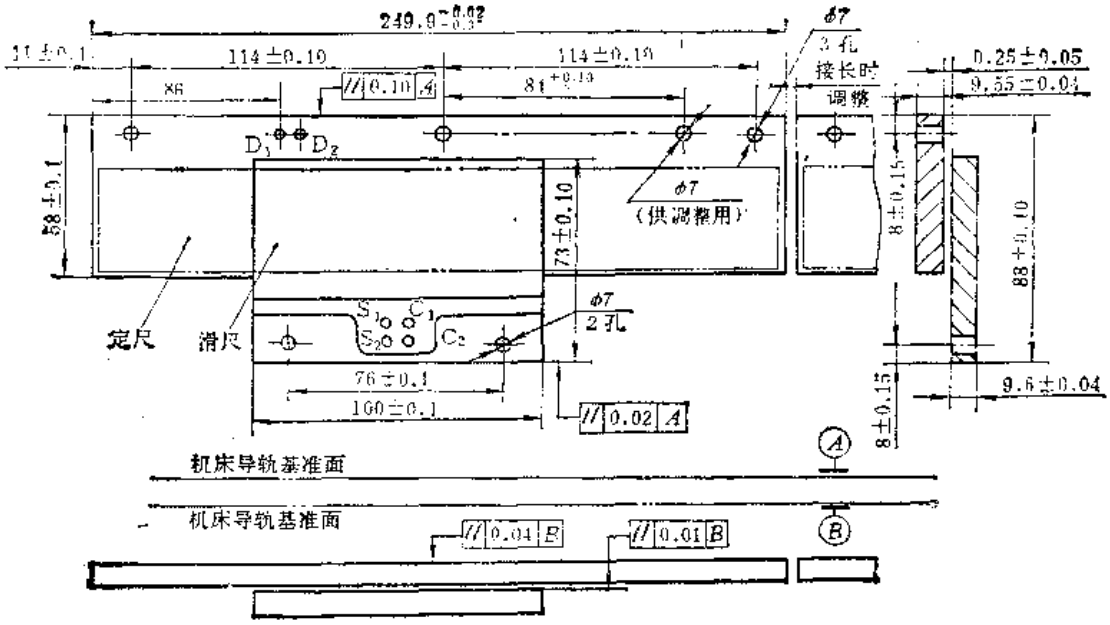


图22-3-1 直线感应同步器外形尺寸，安装尺寸和安装要求

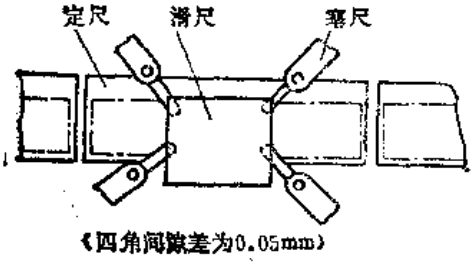


图22-3-2 定尺滑尺四角间隙的测定

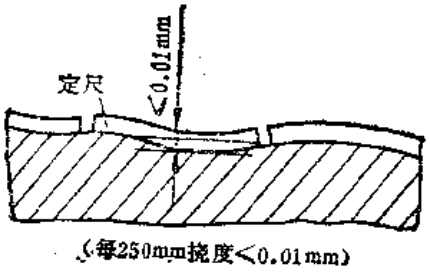


图22-3-3 定尺安装面挠度

大于0.05mm。

6）定尺安装面挠度(见图22-3-3)，每250mm不大于或等于 0.01mm。

7）定尺安装平面与导轨基准面B的不平行度允差为0.04mm/全长。

2. 定尺尺座，滑尺尺座和防护罩

（1）定尺尺座

① 有导轨和定尺的安装面。

② 在每块定尺的安装位置上，除有三个固紧定尺的M6螺栓孔外，还要有一个φ5深5mm的接长调整孔。

③ 定尺装在机床毛面上时，必须有调整安装面和机床导轨面不平行度的调整机构，如：一顶一压的螺丝调整机构。

④ 根据需要设计销钉孔和起吊孔。

⑤ 材料的热膨胀系数尽可能与机床一样。

⑥ 尺座要人工时效，尺座厚度一般为20～50mm。如果安装在加工面上时，厚度也可以薄一些，为20mm 左右。

⑦ 尺座愈长应愈厚，但尺座总长度应控制在1500mm 以内。

（2）滑尺尺座 滑尺尺座要考虑定滑尺之间的间隙调正，采用加调正垫的方法，间隙不合适时，可以通过调整垫的加厚或减薄来调正。安装好之后，打上销钉，防止松动、移动和错位。滑尺座的材料也应选择与机床热膨胀系数一样的材料，进行必要的人工时效。

（3）防护罩 防护罩应能防止铁屑、油性粉

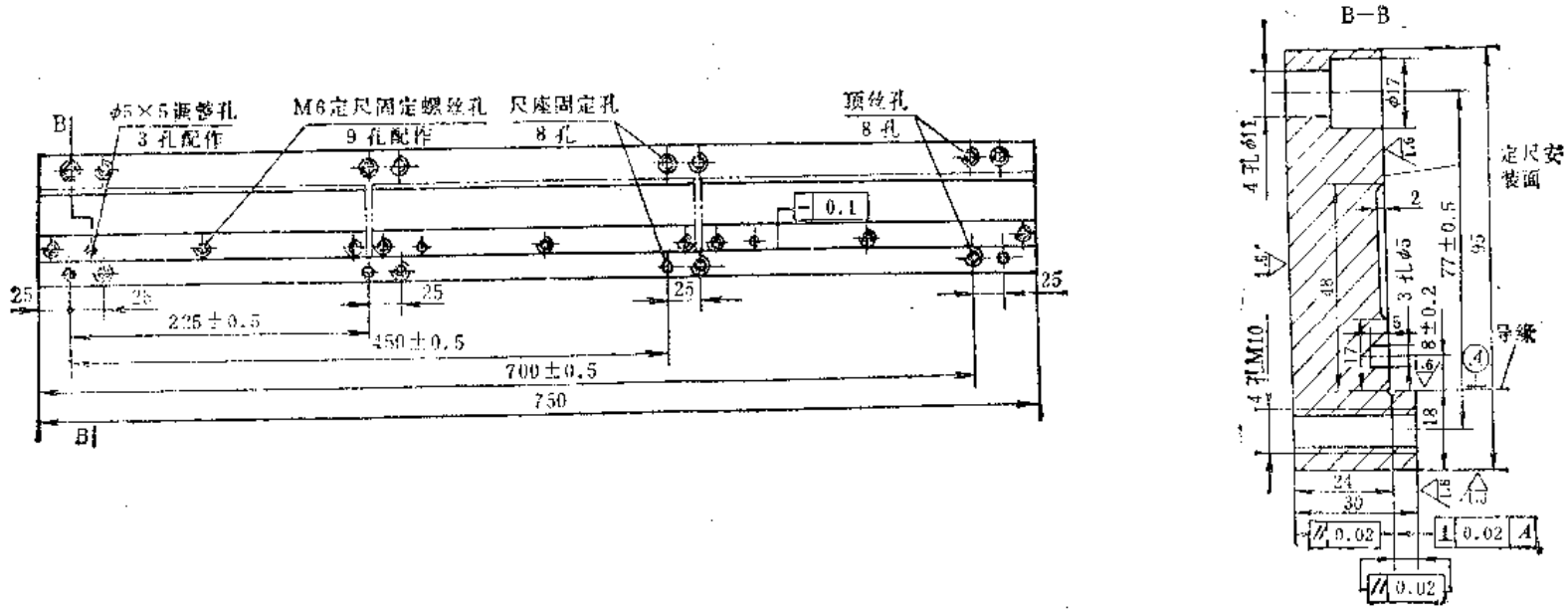


图22-3-4 装在机床毛面上定尺尺座

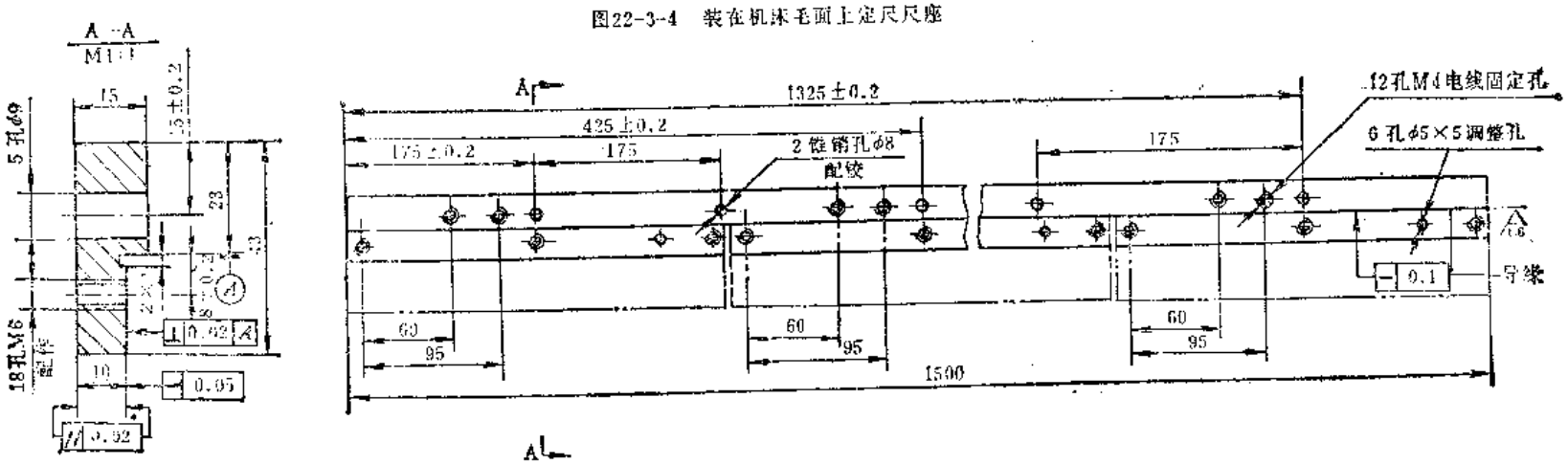


图22-3-5 装在机床加工面上定尺尺座参考图

末和冷却液进入。铁屑进入会损坏绕组导体，造成短路。也怕重物落在尺上碰伤尺面。

安装时要求防护罩能罩住整个定滑尺，端部也应该罩住。防护罩与机床固定面之间应加毛毡，在有大量油性粉尘飞扬的环境中，应考虑加防尘结构。

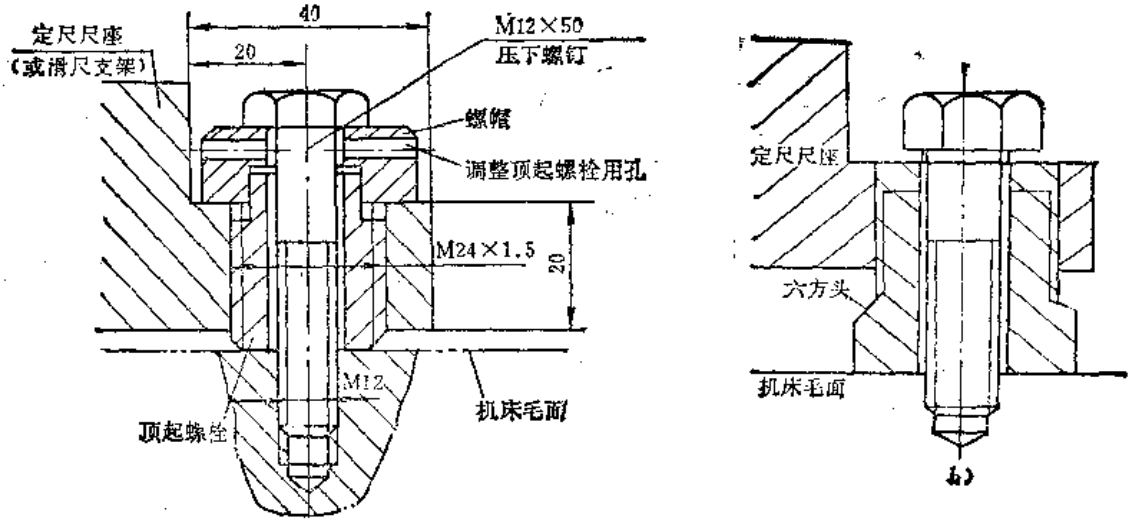
3. 定尺尺座及滑尺尺座的安装

用架空安装法安装在机床毛面上的定尺尺座，见图22-3-4。

用帖切安装法安装在机床加工面上的定尺尺座，见图22-3-5。

安装在机床毛面上的定尺尺座所需顶丝及压紧螺钉结构，可采用两种方案。图22-3-6 a 是上面有调整螺帽结构，图22-3-7是下面带有六角的调整螺帽结构(注意：由于顶压力可能引起尺座变形，从而影响已经接好尺的精度)。

滑尺座结构见图22-3-7。



a)

图22-3-6 顶丝压紧调整机构

a）上面有调整螺帽　b）下面有六角调整螺帽

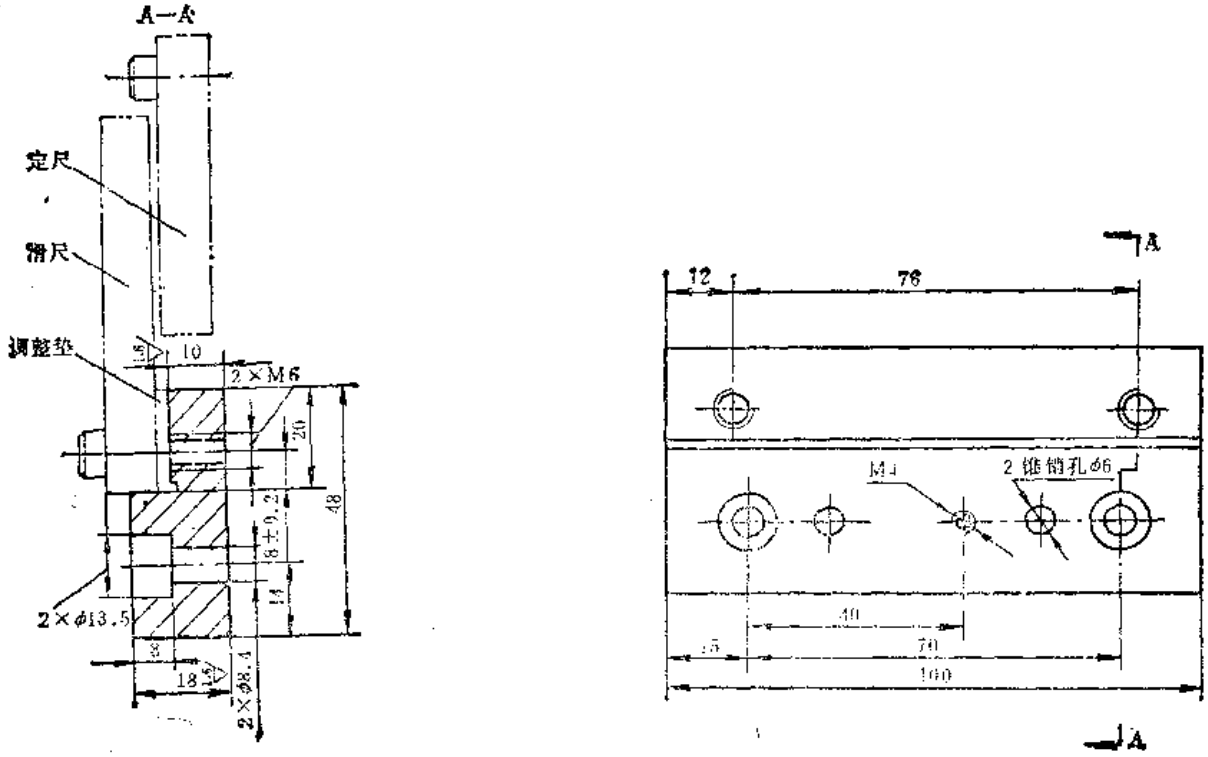


图22-3-7 滑尺座结构

4. 安装工艺要求

1）仔细清除定位面及接缝处的残胶和多余油漆，接线插座孔内的杂物要用细针挖净。

2）用500V摇表测量滑尺两绕组之间以及定滑尺各绕组对铁基板的绝缘电阻，其阻值应大于100kΩ，并检查各绕组通断情况，用万能表测量滑尺绕组电阻约为3Ω左右，定尺绕组电阻约7Ω左右。

3）定尺连续绕组串联接线，引出线要互相扭绞，由于定尺接长后串联电阻增加，使定尺输出信号电压下降，数显表抗干扰能力也同时下降。因此，目前接线方式常采用串联，并联方式，当并联接线时，两支路阻抗尽可能一致。

4）前置放大器要尽量靠近定尺安装，并要可靠接地，匹配变压器要装在滑尺附近。从前置放大器与匹配变压器到数显表要用屏蔽线相连，在滑尺移动时，这些线要跟着移动，所以要注意保护。

（三）标准式感应同步器的接长

标准式直线感应同步器的一块定尺长度为250mm，滑尺为100mm。使用中要求整块滑尺全部覆盖在定尺上，一块定尺仅能测量150mm，如超出150mm就必须把定尺接长。

每块定尺的标准长度为250mm，为了接长时调整接缝需要，定尺基板长度的制造尺寸与公差为：$249^{+0.02}_{-0.07}$mm，每块定尺上共有251条垂直单元导线。由两端横向短线联成一个平面连续绕组，从左起第一根铜条到第250根铜导条间的距离（名义尺寸）为249mm，最后一根铜条和被相接的另一块定尺的第一根铜条之间的距离约为1mm。但是，由于感应同步器是以滑尺和定尺相对位移时，用所感应出来的信号来测量，因此，感应同步器接长时亦应以两尺耦合时输出的电信号去和某一基准长度相比较，才能使接长后的感应同步器工作得准确。

不论采用什么接长方法，所选用的长度基准的精度，其误差应为要求接长坐标误差的$\frac{1}{5}\sim\frac{1}{3}$。对于一般精度的机床，其坐标总误差能保证在±0.01～±0.02mm以内，对于坐标镗床、三坐标测量机，测长仪等高精度机床和仪器，其坐标总误差就往往不允许超过0.01mm。这就要选用高精度长度基准进行接长，有时还要考虑误差修正机构。

接长时，先安装第一块定尺，使数显表模拟指零表头跳0.01mm，也就是表头在±7μ～±3μ之间摆动，调整匹配变压器上的与滑尺两相串联的电阻，使距离（周期0）为0.25mm及0.75mm处细分误差最小，然后在基准长度上找到0位，在基准长度保持“0”位的条件下，微动滑尺，使数显表显示“周期零”全零，并使模拟表头亦指零。

然后，根据基准尺读数使滑尺移动一个偶数尺寸（避免奇偶误差的影响），这时要求滑尺全部与定尺2耦合，由于定尺2是随机安放的，数显表尾数不能恰好为0，这时调整定尺2位置，使数显表模拟表头读数为0，而数字指示与基准尺读数完全一致，这时就接好了，紧固固紧螺钉。

（四）标准式直线感应同步器接长及排尺原则

（1）“误差中点”接长原则　下面用零位误差的概念，以图22-3-8为例，介绍“误差中点”接长原则。零位误差曲线是当产品出厂时与产品同时发出，每块定尺有一张零位误差曲线，它表示出厂时，生产厂家对每一块尺都进行了检查。

图22-3-8中o_1、o_2、o_3是三块欲接在一起的定尺的零位误差曲线的误差中点，若以此误差的中点做为误差的零点，正负偏差相等，若以o_1点为起始接长点，移动至o_2点，接上D_2定尺，再移到o_3点接上定尺3，则三块定尺的总的误差曲线如图22-3-8所示。

由于接长点o_1、o_2、o_3在同一条直线上，即这三点偏差为0，这时被接三块尺总的误差为三块尺接长误差曲线拼成的，接长后的误差不积累。

（2）“等偏差点”排尺原则　由图22-3-8可看出，误差中点接长时，以b_1a_2接缝为例，b_1点的误差曲线是上升的，而a_2点的零位误差是下降的，定尺1对b_1点来说，对o_1的偏差为δ_{b1}；定尺2对a_2点来说，对o_2的偏差为δ_{a2}，它们之差值为：

$$\Delta\delta_{1-2}=\delta_{b1}-\delta_{a2}$$

接长后，D_1与D_2接缝处$b_1\sim a_2$区域相邻误差较大，D_2与D_3接缝处$b_2\sim a_3$两点偏差δ_{b2}和δ_{a3}的差值：

$$\delta_{2-3}=\delta_{b2}-\delta_{a3}$$

比较一下，这个差值较小，则在$b_2\sim a_3$区间曲线过渡平稳。

“等偏差点”排尺原则就是要求任意两定尺接缝处两邻点，对误差中点偏差值应尽量相等，这样

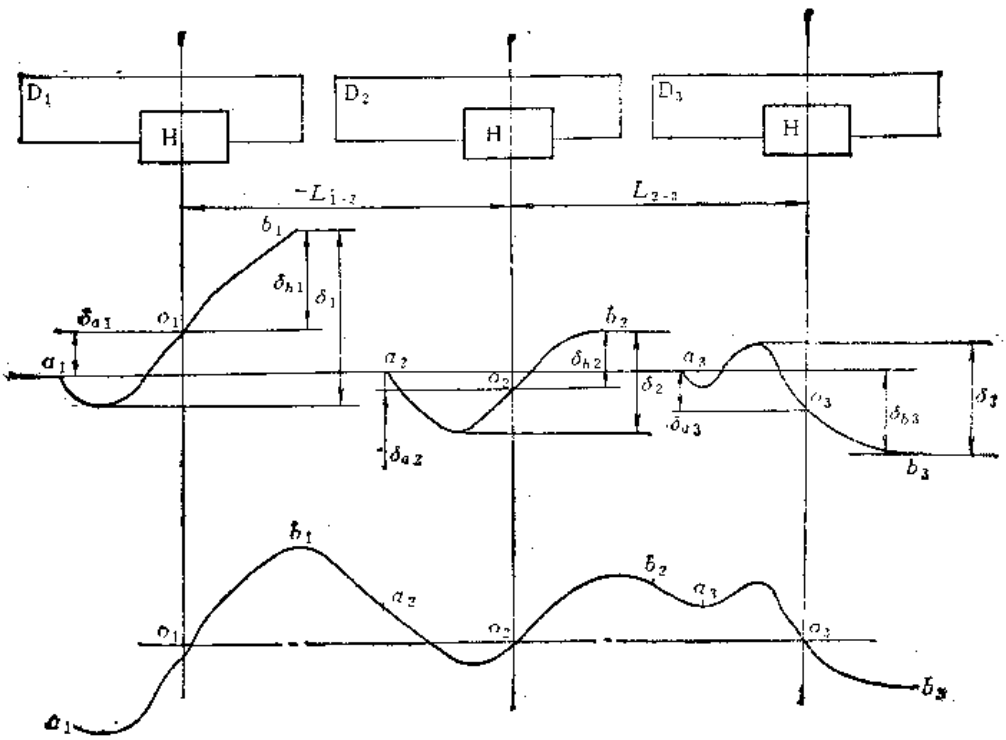


图22-3-8 误差中点接长示意及总误差曲线图

就能减少接缝处的相邻误差。

用等偏差点做为接长点，也能使接长误差不积累。

此外，排尺时应使同一坐标内各定尺零位误差相差不要太大，并可将零位误差较大的定尺放在不经常使用的部位。

（3）"周期0"定位原则 "周期0"时两尺的尺位和输入输出信号如图22-3-9所示。

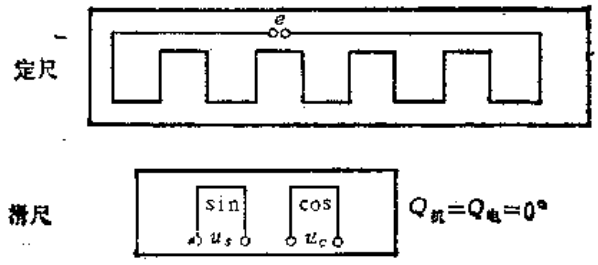


图22-3-9 周期为"0"时两尺尺位及输入输出信号图

输入信号：$u_s = E_m\cos\omega t\sin\theta_{电} = 0$

$u_c = E_m\cos\omega t\cos\theta_{电} = E_m\cos\omega t$

输出信号：$e = kE_m\sin\omega t\sin(\theta_{电} - \theta_{机})$

$\theta_{电} = \theta_{机} = 0°$

$= kE_m\sin\omega t\sin(0° - 0°) = 0$

这时，正弦绕组和定尺绕组处于绕组重叠位置，但由于$\theta_{电} = 0°$，故$u_s = 0$，所以$e_s = 0$，余弦绕组有最大激磁信号$u_c = U_m\cos\omega t$，但由于此绕组跨于定尺两导片之间，而使定尺绕组感应电势相抵消，故此时$e_c = 0$。因此，定尺总的感应电动势e也为0，即$e = 0$，这个尺位称之为"周期0"，但这里要注意与同步跟踪时$\theta_{电} = \theta_{机} = 0$区别开来。

接长时采用"周期0"定位来进行，就能排除数显表函数变压器的误差和滑尺的细分误差的影响。而且数显表在"周期0"位都有周期灯指示，能判断接长时移动奇数值而出现的假"周期0"，这样就能排除奇偶误差对接长的影响。

（五）接长方法

1. 块规接长

块规安放在机床工作台上，对定尺直接在机床上进行接长。块规做为长度的基准，可以把它放在接近于工件加工部位，接长时，对两相接的定尺的尺缝进行调整，这样可以减少加工时阿贝误差的影响，块规的材料的线膨胀系数接近于机床和感应同

步器的线膨胀系数，因此，可以在非恒温车间环境中进行接长工作。

为了使块规在车间现场直接接长而得到好的效果，还必须准备精确的千分表，扭簧表或其他测微头，还要使块规在长度方向上与被测量方向相平行。

2. 金属线纹尺接长

用做接长的基准长度是金属线纹尺，其全长误差不得超过0.01mm，这种精密的金属线纹尺的断面图如图22-3-10。

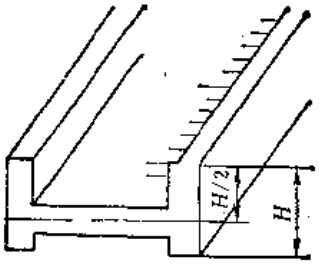


图22-3-10 精密金属线纹尺

线纹尺的断面是H型，每1mm有一条刻线，刻在表面质量很好的中性弯曲的平面上。安放线纹尺时，应使两个支点支持在跟线纹尺两端面的0.22 L ≈2/9 L 处（L 为线纹尺的全长），这样可以减少由于尺自身重而弯曲带来的误差。另外，放置时应使线纹尺刻线方向与测量方向垂直。

与其配用的读数显微镜的格值不大于1μm。如能配用光电读数显微镜，则描准精度可达0.01μm，必要时可用线纹尺的检定值来修正线纹尺的误差。这时线纹尺的极限误差决定于检定线纹尺的最大极限误差，金属线纹尺一般用动态激光干涉仪检定。

3. 双滑尺接长

双滑尺接长就是利用生产厂家生产的双滑尺或自制的双滑尺来接长，把两块滑尺做在一起，事先调整好它们的相对位置，用它来做为长度的基准，相当于一把精密的电气卡尺，来进行接长。

双滑尺接长的方法如下图 22-3-11 所示：

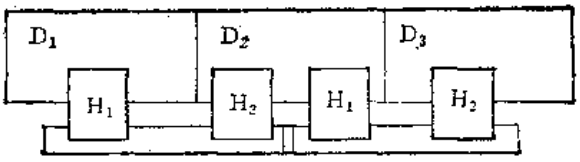


图22-3-11 双滑尺接长示意图

一般双滑尺中的两块滑尺中心距离为100～150mm间的偶数尺寸值，先固定D_1定尺，然后将双滑尺其中一块滑尺合在D_1尺上，另一块合在D_2尺上，它们之间包括定尺D_1及D_2之间的接缝，先调节滑尺使其微动到零位，这时D_1与双滑尺之间相对位置就不要再动了，由于D_2尺是随机安排的，切断滑尺1激磁供电，接通滑尺2激磁供电，此时表不可能也显示的是零位，这时就要调节定尺D_1与D_2接缝，微调定尺D_2，使数字显示也是零，这样就找到了D_2的准确位置，固紧D_2，然后，再去接定尺D_3。

保证双滑尺接长精度的措施是尽量用“周期0”定位。在用双滑尺接长时，如果不用“周期0”定位，就会由于两块滑尺的细分误差不可能完全一致，而产生额外的误差。如果两块滑尺的细分误差差别很大（特别是趋势相反时），而用 θ_i “初态”，进行双滑尺接长时，影响接长精度的两块滑尺的细分误差的差值 $\Delta\delta=\delta_1-(\delta_2)=\delta_1+\delta_2$。如果细分误差趋势相同，这时$\Delta\delta'=\delta_1'-\delta_2'$，由此可知$\Delta\delta$比$\Delta\delta'$大很多（见图22-3-12）。

如果“周期0”定位接长，则无此项误差。因此，如果由于接长时拖板不能微动，不能用“周期0”接长时，则必须两块滑尺的细分误差曲线相差很小才行。

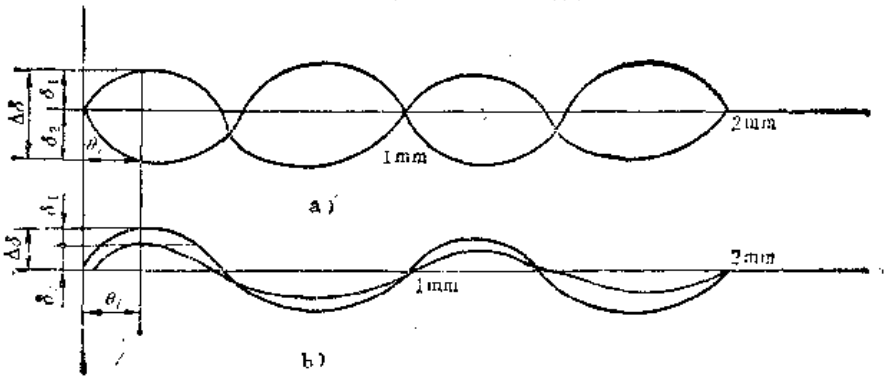


图22-3-12 不用“周期0”定位时的误差
a）滑尺细分误差趋势相反 b）滑尺细分误差趋势一致

第4节 感应同步器数显表基本工作原理

目前，国内主要生产两种数显表，一种是鉴幅型数显表，另一种是脉冲调宽型数显表。

（一）鉴幅型数显表

数显表的原理框图见图22-4-1。

组成如下：

1）放大器 前置放大器，滤波器，误差放大器Ⅰ，误差放大器Ⅱ。

2）门槛电路 精门槛电路，粗门槛电路。

3）数模转换器 电子开关，函数发生器。

4）逻辑控制电路 粗精转换，极距区分，移动方向判别，显示计数器的加减判别，正负符号以及相互之间联系。

5）微米表 模拟表头，表头逻辑及微米表显示。

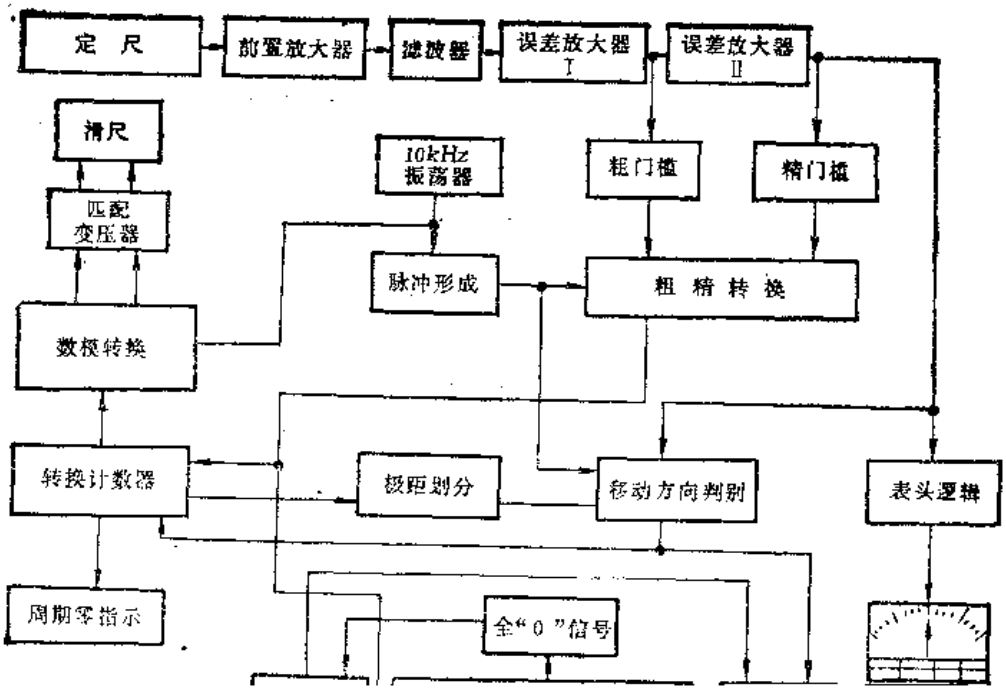
定尺感应电动势为

$$e = KU_m \sin(\theta_{机} - \theta_{电})\cos\omega t$$

当定尺和滑尺处于相对平衡位置时，即 $\theta_{电1} = \theta_{机1}$，定尺感应电动势 $e = 0$。滑尺移动一个距离 $\Delta\theta_{机}$ 时，$\theta_{机2} = \theta_{机1} + \Delta\theta_{机}$，$\theta_{机2} \neq \theta_{电1}$，而感应同步器定尺的感应电动势 e 也不等于0，这个感应电动势的大小与机械位移有关，根据电动势的大小，要求完成两项任务。

1）产生一个新的 $\Delta\theta_{电}$ 去平衡 $\Delta\theta_{机}$，用 $\Delta\theta_{电}$ 来改变激磁电压的振幅，使感应电动势得到新的平衡。

2）数显表把这个位移量记录下来，并由数字显示。如果它够1.8°就在数字表上显示，不够1.8°时，就在模拟表上加以显示。因为一个周期是2mm，也就是360°是2mm，因此1.8°就是0.01mm，每当位移0.01mm时，就相当走了1.8°机械角，就在数字显示部分的末位加1，不够1.8°时，产生的定尺感应电动势不能得到补偿，所以只能在模拟表上有所指示。



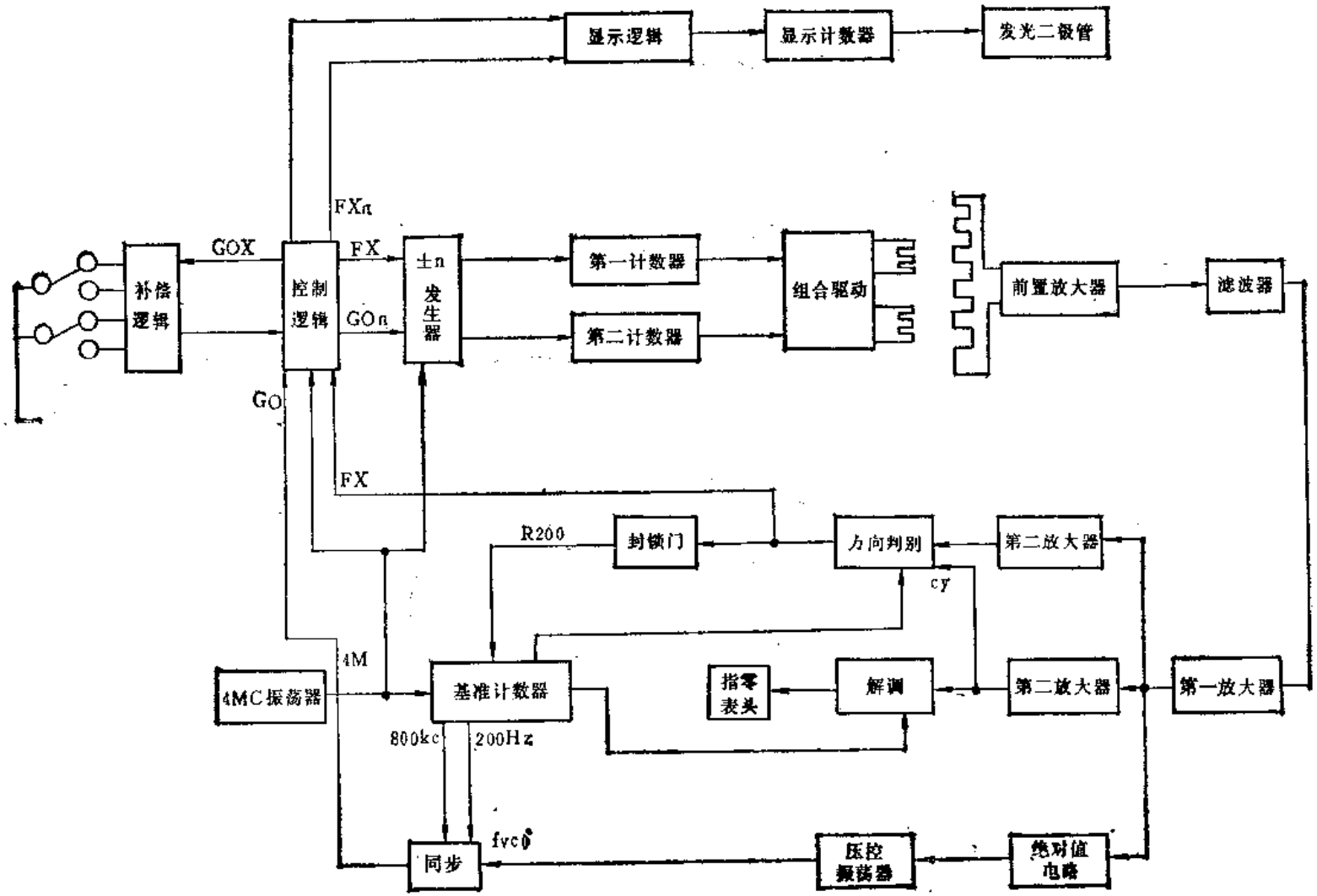


图22-4-2 脉冲调宽式数显表逻辑框图

当产生位移时，由一个门槛电路来衡量这个位移是否超出1.8°。如果超出1.8°就通过转换计数电路、电子开关、函数变压器等产生一个新的$\theta_{电}$来平衡，与此同时进行显示计数。显示计数器的数值就是转换计数的次数，也就是滑尺移动了多少个0.01mm的整数移动距离。

脉冲频率为10kHz，也就是转换计数最高速可在1s中转换计数10000次，即每秒可转换计数100mm的距离，所以机床最高的运动速度只能低于100mm/s×60s/min=6m/min，这个速度对有些机床来说太小，所以又设置了一套粗计数电路，就是18°才进行一次转换计数，脉冲当量为0.1mm。这样，机床的运动速度为60m/s。当信号小于粗门槛电平时，粗门槛关闭，精门槛打开。

（二）脉冲调宽式数显表

这种表的特点是取消了鉴幅型仪表中的电子开关，函数发生器，而采用对脉冲宽度调宽来代替它的功能。

同时分别把U_s和U_c两组方波信号加到滑尺的正弦和余弦绕组上去，则在定尺上感应出的信号e应为U_s和U_c多次谐波的组合的感应电动势，谐波次数愈高，感应电动势的振幅愈小，用性能良好的滤波器，去掉其中的高次谐波，检测出基本谐波成分。

若 $U_s=U$，$-\theta_{电}\leqslant\omega t\leqslant\theta_{电}$，其余区间为0；

$U_c=U$，$-\left(\frac{\pi}{2}-\theta_{电}\right)\leqslant\omega t\leqslant\left(\frac{\pi}{2}-\theta_{电}\right)$，其余区间为0；

则

$$e=\frac{2K\omega U}{\pi}\sin\omega t\sin\left(\frac{2\pi x}{T}-\theta_{电}\right)$$

式中 K——感应同步器的耦合系数；

T——感应同步器的节距；

x——滑尺相对定尺的机械位移。

这样就把定滑尺相对运动的位移角$\theta_{机}=\frac{2\pi x}{T}$与激磁脉冲的宽度之半$\theta_{电}$联系起来。因此，当感应同步器做位移检测时，可用调整激磁电流脉冲宽度的方法来跟踪$\theta_{机}$。

表的逻辑框图如图22-4-2所示。

第5节 数显表的使用与维修

（一）数显表的正确使用

1. 使用条件与系统连接

目前生产的数显表，其使用条件规定为：环境温度为0～40℃，相对湿度85%以下，电源频率50Hz，电压220V，允许波动范围+10%～-15%，空气中不应含有足以引起腐蚀的气体和杂质，安装时尽量远离强干扰源。

1）前置放大器与定尺及匹配变压器与滑尺之间应使用屏蔽线联接，后者的屏蔽端不允许与地或机壳相联接，两者的联线长度应小于300mm。

2）前置放大器和匹配变压器公用屏蔽电缆及圆型插头座与数显表相联接。一般仪表出厂时，供应5m联接线，如安装要求超过上述长度，用户可以用普通电线绞接起来，制成双绞线（外面套上蛇皮软管保护），联接线长度至20m左右仍不影响整机使用。

2. 使用程序及有关问题

（1）使用程序

1）按要求把系统联接好，接上电源，打开开关，数码管亮（显示数字是随机的）。

2）任何位置都可以做为零点，只要把“零”键按下去，即为零。

3）把所需的数字和正负号拨在拨码开关上，再按下“置数”按钮，即显示出所需的数字和正负号，此点亦可作为位移的起始点。

（2）运动方向 数字“加”或“减”及显示符号。

1）运动方向按习惯定出 如横坐标由左到右为正向，纵坐标由下到上为正向等。此时要求数显的数字应逐渐增加（即计数器作加法），若在实际使用时，开动机床后，数字是减小的（即计数器作减法），则可将匹配变压器到滑尺的两根联线中的任一根的两个头对调（即把sin或cos插头中的两个头对调），即可改变其计数方向。

2）正负号只在过零时改变 符号、方向及计数器加减之间的关系是：当选好原点以后离开原点运动时，计数器作加法，趋向原点运动时，计数器作减法，并一直减到零，经过原点时，“+”、“-”

符号改变。

3）"增益"的调整　随着气温变化较大，放大器的增益有较大的变化，可以由微米表头的摆动范围观察出来，正常时应由＋7格⟶＋3格，若大于此值，例如由±7格⟶0格变化，此时应调节"增益"电位器。

4）"电源"的接入　仪表接上电源时，应有良好的接地，大部分数显表的电源进线回路中均接有低通滤波器，若没有良好的接地，将会使机壳带电。另外，如电源电压波动范围超过有关说明书规定时，建议采用稳压器供电，这样，对仪表的抗干扰是有利的。

3. 正确读数

（1）粗读数　六位鉴幅型数显表精度为0.01mm，这是指可能出现的最大误差，它只要把数码管显示的数值直接读出来就可以了。

（2）精读数　把数码管显示的数值与微米表指示的读数结合起来，可以得到较精确的读数。

具体方法为：微米表指针向右摆时，总位移量等于数码管读数的绝对值与微米表读数之和，而当微米表指针向左摆时，总位移量等于数码管读数的绝对值与微米表之差，而总的位移量符号就是符号管所显示的符号。举例见表22-5-1。

表22-5-1　精读数方法举例

数码管符号	数码管读数	微米表摆动值	总位移量应读数值（mm）
＋	0058.76	右摆2格	＋0058.762
＋	0058.76	左摆2格	＋0058.758
－	0158.76	右摆2格	－0058.762
－	0158.76	左摆2格	－0058.758

（二）数显表的故障排除

感应同步器数显表是具有一定复杂程度的精密电子测量仪表，要保证它长期稳定可靠地工作，除了在仪表线路逻辑设计、器件筛选以及结构与安装工艺问题上采取措施外，维修是一个很重要的环节。加强维修可避免某些故障，一些小毛病能得到及时的修复，使仪表可以保持稳定可靠的运行。

对已安装好的感应同步器及数显表要经常保持清洁，检查一下接线插头是否松动，不要使用工具或工件撞击数显表及感应同步器。

修理前，首先要熟悉电路工作原理，仪表线路图以及各部分电路之间的联系，才能正确分析故障的部位和原因，加以排除。其次，要熟悉仪表各元器件的位置，印制电路板的接线等。修理时，一般使用万用表及电子示波器即可。

1. 故障检查方法　常用的故障检查方法有：

（1）判断问题出在机内还是机外　数显表的使用与其他电子仪器不同，一般电子仪器如示波器、数字频率计等，都是自成系统与外界关系不大，而数显表与感应同步器尺子相联接才能工作，所以安装方面以及联线的接触等问题对数显表的正常工作影响较大。因此出现故障首先判断是机内还是机外，最好的办法是将两台数显表调换联接来判断是机内还是机外故障，不要急于打开数显表，以免引起其他故障。

机外的故障一般比较好查，较常见的故障是插头松动，联线断了，尺子碰坏或前置放大器没有输出信号等，只要耐心检查，比较容易发现。

（2）机内的问题判断是内环还是外环　机内问题比较复杂，因为数显表是一个闭环系统，在闭环内的问题，往往影响各点波形，很可能找不到根源。所以要对故障现象进行初步分析，在闭环内还是在闭环外。

（3）逻辑电路问题可调换插件板　如显示计数器或预置、译码有问题，往往只影响局部。如果一位显示不计数，某一位数字重叠，或置不进数，有针对性地调换插件板，就能很快地排除故障。

（4）环内问题用开环方法检查　若是闭环内的部件有问题，如数模转换部分开关管损坏，转换计数器或极距划分、方向判别、粗精转换等部分出问题，现象就比较复杂，最好用开环的办法来检查。

先不考虑门槛电路、粗精转换"＋"、"－"符号、方向判别等逻辑电路是否有问题，将脉冲直接送入转换计数器，可以检查转换计数器及译码输出，数模转换器中的变压器及其晶体管开关以及10kHz振荡器的工作是否正常。若在开环情况下，这几部分的波形均正常，则闭环以后即使波形不对也不要怀疑这部分电路，而一定是闭环后逻辑电路或其他因素影响这部分电路工作，应从其他方面着手解决。开环检查后，整个数显表的问题已缩小到几个逻辑电路上，可以用调换插件板的方法，确定是哪块逻辑电路插件板的问题。在机外进行单块测试，这样问题就好解决了。

2. 常见故障的排除

（1）不计数　如果已经判断是机内的问题，而使移动滑尺数显表不计数，首先要看微米表指针摆不摆。若微米表根本不动，应从励磁信号有没有查起。先查振荡器起振不起振、测量脉冲有没有，若没有以上两种信号，应将sin、cos函数变压器拔掉，或断开振荡器到函数变压器的联线，断开后仍然没有振荡信号，则确定是振荡器坏了，应深入到插件内部去找问题。如果断开后有振荡信号，并且输出波形很正常，一般就不怀疑它了。所以振不起来的原因是函数变压器短路，影响到振荡器使其不能工作。所谓短路是指两个以上开关管同时导通，其原因无非有两种可能：其一是开关管本身击穿了，CE极导通了；其二是译码器输出不对，对与非门来说有两个以上译码器的输出同时为“0”等等。只要通过静态电压测量，问题所在处就很容易找到。同样性质的问题也可能在tg函数变压器那一级，而不在sin、cos函数变压器那一级，可用同样方法解决。

若有振荡信号，但无励磁信号输出，问题一般在转换计数器，转换计数器也可能正好在死码区，译码器无输出造成无励磁信号，所以不计数。

若有振荡信号，也有励磁信号，仍然不计数，说明供电线路没有问题，问题一定在滤波器，或误差放大器上。应查一查滤波器，输出电位器的位置应放在最小值，用示波器查哪一级定尺的感应信号消失了，问题就找出来了。有时换一块插件（肯定是好的插件），仍然无信号，仍然不计数，这时就要怀疑到表头逻辑线路上，可能误差信号被短路。

若滑尺移动时，微米表能摆动，并且摆幅还很大，但仍然不计数。原因大致有三方面：其一，有10kHz正弦信号，励磁系统也均无问题，误差信号也存在，但无测量脉冲，门槛电路也打不开，没有计数脉冲，所以不计数。其二，有测量脉冲，但精门槛触发器有问题，不能打开，因此无计数脉冲。其三，脉冲形成电路有问题，即使精门打开，也无计数脉冲产生，用示波器及万用表就能查出问题所在。

根据以上推理分析，列成简表如表22-5-2。

（2）计数不正常　移动滑尺能计数，但计数不正常，明显地计得不准确，可以慢慢移动滑尺，记满2mm或4mm，再反向减计数来判断就能发现存在的问题，现将分析各种不正常现象。

表22-5-2　不计数故障查询表

故障现象	原因	
1.不计数微米表也不动	（1）振荡器不起振	1）振荡器本身有问题，3DK4B输出管是常烧坏 2）sin、cos或tg函数变压器开关管有两个以上同时导通，造成短路 3）译码器同时有两路输出
	（2）振荡器能起振但无励磁信号	1）转换计数器不工作，在死码区 2）译码器无输出
	（3）振荡器能振有励磁信号	1）放大器无输出 2）滤波器无输出 3）微米表逻辑电路有短路，使误差信号短路
2.不计数时，微米表能摆动		1）无测量脉冲 2）精门槛打不开 3）脉冲形成电路无计数脉冲输出

1）移动滑尺，1/100位显示不计数，但1/10位能计数，并且微米表摆幅很大。问题在门槛电路，或粗精转换电路。一般说来，精门槛工作是正常的，否则就产生不了计数脉冲。如果1/10位计数时，数字变得很清楚，问题在粗精转换电路中，1/100位脉冲输出电路有故障，如果1/10位计数时，数字变化有叠字现象，问题在粗门槛电路输出为恒“1”状态。

2）移动滑尺，显示计数器计一段停一段，一般只计1mm以内的数，停计1mm，再计时，往往将漏计的数全部补上。可以将误差放大器输出到表头逻辑一路先断开，暂时不看微米表，则显示计数全部正常了，原因在表头逻辑中的两只晶体管，这两只晶体管应该是轮流导通的。若其中任一晶体管无论在什么极距时均导通，即轮到它导通时工作正常，不该它导通时也导通，或基极控制回路有问题，即极距划分触发器坏了，JF只有一个状态，可以检查JF触发器。

3）数显表只能计小于2mm的数，移动滑尺，计数器开始累加，加到某一位数（小于2mm）时，即停止计数，再移动滑尺均不计数，按动一下复位按钮，又能计一段数，但仍然记不到2mm。原因是

转换计数器译码输出有问题。若计到某数时，译码输出不良，致使函数变压器开关打不开，就无励磁信号输出，整个系统停止工作，引起不计数，若移开这一点，又按了复位按钮，使闭环系统脱离这一点，所以又能记数，但计到这点时又使系统停止了工作。

4）无论正移或反移滑尺，数显表只做加法，并且符号来回变化。问题产生在控制符号触发器的前级及符号电路，全“0”信号对符号门失去控制，不在全“0”状态，移动方向判别FX改变状态，对符号应无影响，但全“0”信号失控后，“+”、“-”符号跟随移动方向而变化，致使计数器只能做加法计数，应从符号电路着手解决。

计数不正常原因，列成简表如22-5-3。

（3）计数时有闪烁字或叠字现象　该故障的现象及原因见表22-5-4。

表22-5-3　计数不正常故障查询表

故障现象	原　　因
1.1/100位不计数，1/10位计数	（1）1/10位计数时有叠字现象是由于粗门槛未打开 （2）1/10位计数不叠字，原因在精粗转换
2.数显表计一段停一段	极距划分触发器坏了
3.只能计小于2mm的数	原因在于转换计数器输出有问题
4.滑尺正，反移，显示计数器上只能加计数	原因在于符号电路

表22-5-4　闪字与叠字故障查询表

故　障	原　　因
1.闪字	（1）地线未接好，或外壳带电 （2）滑尺或定尺绕组有接地点 （3）振荡器的稳幅部分不在线性区，或有虚焊点
2.叠字	（1）误差放大器倍数过大，调节面板上的增益（由可调电位器控制） （2）误差信号与测量脉冲相位配合不好 （3）前置放大器输出波形失真，滤波器通频带过窄

第6节　光　　栅

光栅也是一种位移检测装置，其种类繁多，工作原理大致相同，这里介绍一下莫尔条纹式光栅装置。

（一）计量光栅的原理

光栅分为物理光栅和计量光栅。检测位移或在自动控制中采用的光栅称之为计量光栅，计量光栅通常制作在玻璃基体或抛光的金属基体上，这就形成了透射型光栅和反射型光栅。透射型光栅是透光与不透光条纹相间；反射型光栅是反射与不反射条纹相间。条与条之间距离称之为栅距。计量光栅的栅距一般在8～40μm之间，这种栅距的光栅称为细光栅。有些特殊用途的光栅的栅距在100～200μm之间，称之为粗光栅。

透射光栅是用两块光栅面对面重合，互相错开一定角度，透过光部分形成莫尔条纹。反射光栅通过光学系统，使光栅的条纹反射到指示光栅上形成莫尔条纹。

根据光栅制造和使用的具体情况可以形成横向莫尔条纹、纵向莫尔条纹、斜向莫尔条纹和光闸莫尔条纹。使用最广泛的是横向莫尔条纹和光闸莫尔条纹。

根据光栅的精度来刻制，每毫米可以是25，50，100，200条线。二条光栅一是长的，管它叫标尺光栅，图22-6-1中G_1就是标尺光栅，它安装在机床移动部件上，长度相当于工作台移动的全行程，另一条是短的称为指示光栅，指示光栅G_2安装在机床的固定部件上，两块光栅要互相平行，并保持一定间隙（间隙一般为0.05mm或0.1mm），两块光栅的刻线密度相等。

如果将指示光栅绕其自身所在平面中心转过一个很小的角度θ，使得两个光栅的刻线相交，则在相交处出现明暗相间的条纹，这条纹称为莫尔条纹。其条纹的方向与刻线的方向相垂直，所以又称为横向莫尔条纹，光强分布近似于正弦波。

明暗相间的莫尔条纹有如下特点：

1）有光学放大作用　当两块光栅做横向位移时，莫尔条纹沿着垂直运动方向移动，移过的条纹数与移过的栅距数一一对应，也就是二块光栅相对移过一个栅距，莫尔条纹也移过一个条纹，光栅距

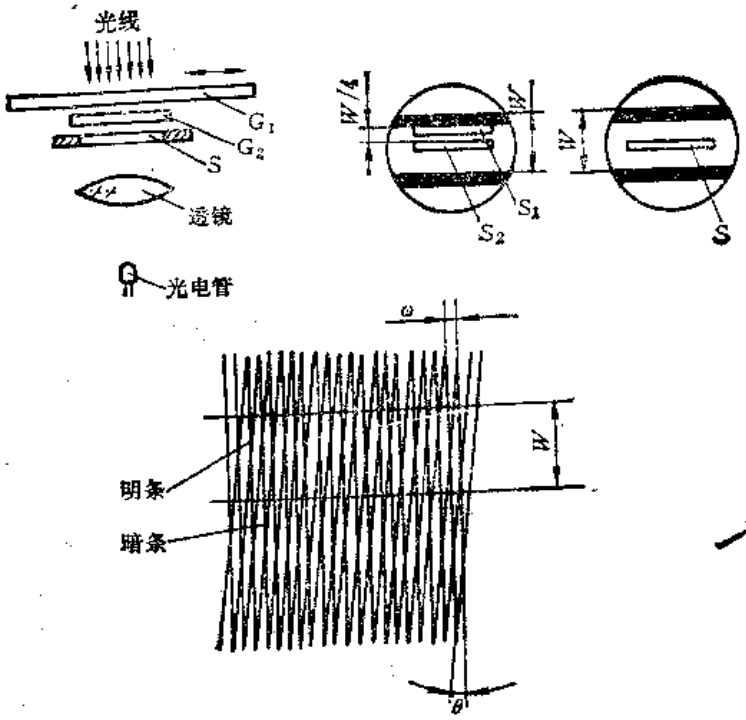


图22-6-1 光栅工作基本原理

很小，而莫尔条纹的宽度很大（一般为10mm），可以在10mm 内放置接收元件进行计数，应用莫尔条纹测量位移量，实际上是把位移变化量通过光学系统放大了。

若以W表示条纹的宽度，ω表示栅距，θ表示两光栅线纹之间的夹角，则它们之间的关系为

$$W=\frac{\omega}{\sin\theta}$$

由于θ很小，所以$\sin\theta\approx\theta$，则上式可写成

$$W\approx\frac{\omega}{\theta}$$

若$\omega=0.01$mm，通过改变θ，可使莫尔条纹的宽度调到10mm，其放大倍数相当于1000倍，即栅距0.01mm，人们用肉眼无法分辨，但莫尔条纹清晰可辨。

2）平均误差效应　莫尔条纹是由若干条光栅刻线相交组成，若光电元件接收长度为10mm，在$\omega=0.01$mm时，光电元件接收的莫尔条纹信号是由两光栅各1000条刻线所形成的，在制造光栅时，局部出现缺陷，刻线不均匀，只会引起莫尔条纹不甚直，所引起的光电效果不会有多大差别，这就是平均误差效应，使得计量光栅具有高精度的特殊优点。

（二）光栅测量装置

（1）读数头　在实际应用中，把光源，指示光栅和光电元件组合在一起，称之为读数头。读数头的结构形式很多，可分为以下几种：

1）分光读数头　分光读数头光路见图22-6-2、图22-6-3。

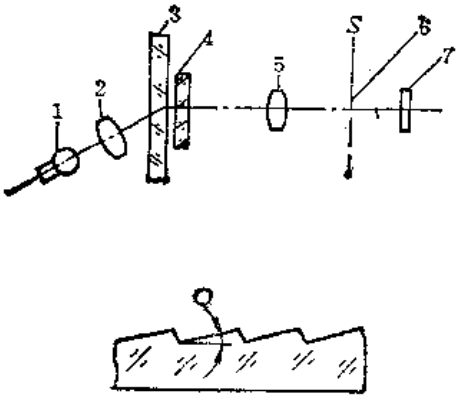


图22-6-2　分光读数头光路

1—光源　2、5—透镜　3—标尺光栅
4—指示光栅　6—狭缝　7—光电器件

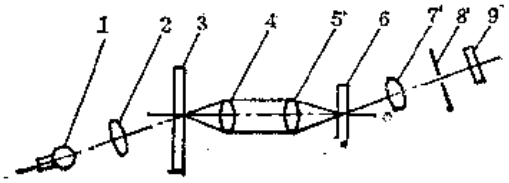


图22-6-3　等倍投影系统光路图

1—光源　2、4、5、7—透镜　3—标尺光栅
6—指示光栅　8—狭缝　9—光电器件

2）垂直入射读数头　垂直入射读数头的光路及结构见图22-6-4、图22-6-5。

3）反射式读数头　反射式读数头光路见图22-6-6。

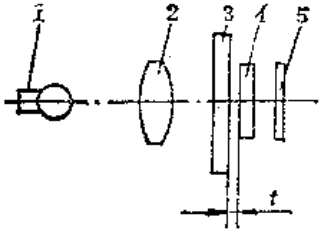


图22-6-4　垂直入射读数头光路

1—光源　2—透镜　3—标尺光栅
4—指示光栅　5—光电器件

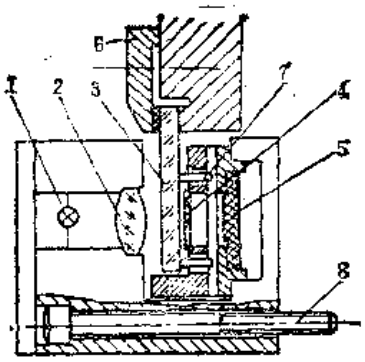


图22-6-5 垂直入射读数头结构示意图
1—光源 2—透镜 3—标尺光栅 4—指示光栅
5—光电池 6—压板 7—球轴承 8—固定螺钉

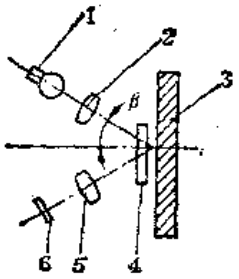


图22-6-6 反射式读数头光路
1—光源 2—准直透镜 3—标尺光栅
4—指示光栅 5—透镜 6—光电器件

（2）光栅表 光栅数显表是同光栅尺配套使用的位移测量装置，将光栅信息通过变换和处理，转换成用数字显示的位移量。国内光栅用的数显表型号繁多，工作原理差别也较大，下面仅以FSB-1为例，介绍一下这种装置。

1）结构及原理 图22-6-7是FSB-1数显表原理方框图。FSB-1型数显表由干扰抑止与信号复原、四倍频电路、方向识别与控制、七位半（BCD)可预置可逆计数器、预置定位拨码（BCD）器，BCD译码显示、归零逻辑、功能设置、定位到逻辑和高抗干扰电源等10个基本单元组成。

数显表与光栅尺配套使用。光栅尺是基于光学原理的位移传感器，向数显表直接输出一对正交（相位差90°）的电信号（A和B两路方波）和一个（列）绝对零——ABB。数显表接收这些信息进行处理直接显示位移量。

由于机床的启动停止，急刹车和急速换向运行均将产生强烈的电网电流冲击和电火花干扰，为了保证数显装置能在这种恶劣条件下稳定可靠地工作，要求电源有较强的抗干扰能力，并且在光栅尺与数显表的联接处采用RCπ型滤波及整形等方法，从而得到干扰抑止和信号复原。

四倍频电路是为了把光栅距为20μm（对于每毫米60线的光栅而言）的信号进行四等分，从而获得5μm的分辨力。四倍频的实现是对A（正弦方波）和B（余弦方波）两路方波的前后沿进行微分完成的。

为了适应机床的正，反向运行或工件切削进刀或退刀的实际操作，数显表必须对直观显示的位移量数据进行加或减计数和过零自动变换符号的功能，这就是方向识别与控制部分的功能。

数字过“0”自动交换符号由归零逻辑与方向控制单元将正向运行和反向运行双计数脉冲自动换向传送完成。

表示位移量的计数与译码显示采用BCD码。

定位到逻辑单元由七组四位数字比较器和一个定位继电器组成，其功能是一种半数控工作方式，

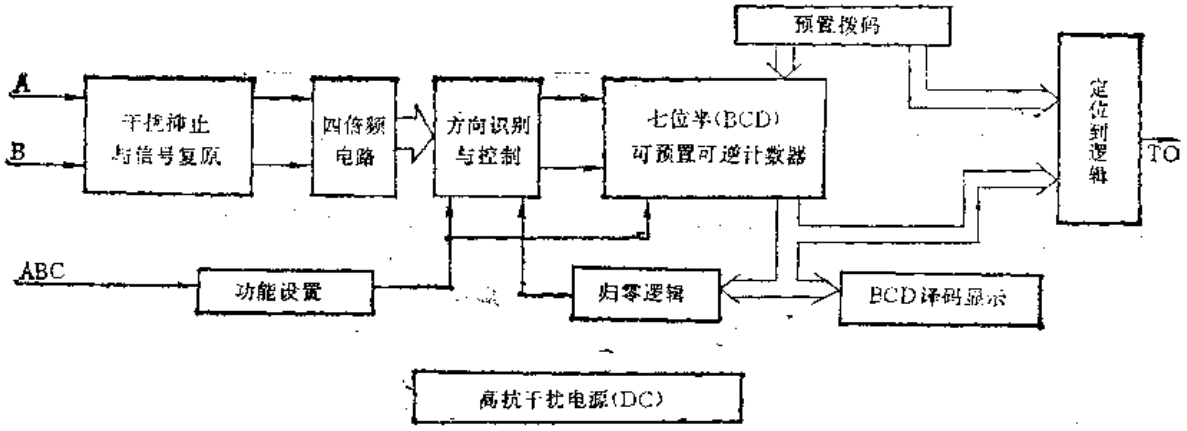


图22-6-7 FSB-1数显表原理方框图

表22-6-1 FSB型数显表常见故障与排除

故障现象	故障原因	排除方法
1.数码管和功能指示灯都不亮	（1）电源插头接触不良或插的不紧 （2）电源熔断丝断了	（1）插接好 （2）更换之
2.计数一显示不正常	（1）光栅尺与数显表对接头松动 （2）A、B两路方波中可能少一路 （3）表内4芯引线可能断线或与其联接的插头松动；插点接触不牢 （4）对应的计数器与显示面板插接不牢 （5）显示数字闪烁或跳码，必是机床与数显表没有共地相接 （6）数码管辉光异常发亮，是扫描显示电路有故障	（1）插到底并拧紧 （2）查后并恢复两路信号 （3）接通断线，拧紧插头 （4）插牢 （5）将数显表与机床共地连接 （6）查看CM4022和74S14两块IC片子，更换合格IC片子
3.预置不正常	（1）拨码器“对字”接触不良 （2）拨码器“对字”连接有断线 （3）预置不起作用，如终显示“0”，则是预置拨码器的+5V供电线已断 （4）个别位数预置不正常。是转接插头松动，接触不良，或是对应数位预置信号线断	（1）清洗或更换 （2）查后连通 （3）接通断线 （4）查清后紧固插头或接通断线
4.L/D或+/-选择功能不正常	（1）按动L/D或+/-两键，“L”和“D”或“+”与“-”指示更换不利落，说明计数板上的74LS107IC片子工作性能不良；若键入信号带有干扰，必须清除 （2）按动L/D或+/-两键，“L”和“D”或“+”与“-”指示无任何反映，说明键已坏	（1）换IC片子；清除干扰 （2）更换上合格键
5.ABS设置功能不正常	（1）尺与表对接插头接触不良，使ABS信号线悬空，或表内4芯引线有断线及插头不牢 （2）若ABS键按下，指示灯不亮，则是键的触点损坏	（1）插头插牢后仍有不正常现象，则换4芯引线 （2）更换新键

能与表外联成半闭环操作。加工定位尺寸（数据）事先由预置定位拨码器给定。当机床驱动光栅尺读数头位移到给定的“定位”值时，表将实时地发出定位到外控信号，即定位继电器触点闭合1s，触点电气参数为2A/24V。与此同时，前面板上的“红灯-TO”相应亮一s。

2）故障与维修　使用FSB型数显表应注意：表应用台式，平放安装；表与机床一定要共地连接，防止干扰。数显表常见故障与排除见表22-6-1。

第7节　磁　尺

磁尺（磁栅）是用电磁方法来检测磁波数目的位置检测元件。磁尺利用录音的原理，在一条涂有磁性薄膜的带子上，将一定波长的矩形波或正弦波的信号用录磁磁头记录上磁波。检测时用拾磁磁头把记录在带子上的磁波信号读出，并用数字显示出来。

磁尺测量装置由磁性标尺、读取磁头和检测电路组成。

（一）磁性标尺

磁性标尺是在非导磁材料如玻璃，不锈钢，铜等的基体上，采用涂敷、化学沉积或电镀方法，镀上一层10～20μm厚的磁性材料，形成一层均匀的硬性膜。然后，用录磁方法均匀地将磁层磁化出相等节距周期变化的磁记录信号，这样就制成了磁性标尺。

磁信号节距一般取0.05、0.10、0.20、1mm等

几种。

在实际应用时，为了防止磁头对磁性薄膜的磨损，一般在磁性膜上均匀地涂上一层1～2μm厚的耐磨塑料作为保护层，以提高磁性标尺的寿命。

对磁尺基体的要求首先是不导磁，其次要求温度对测量精度影响小，希望热膨胀系数与普通钢材和铸铁相接近，按基体形状的不同又可以分为用于直线位移测量用的实体型磁尺、带状磁尺、棒状磁尺和用于角度测量的有回转型磁尺。

（二）磁头

磁头能把反映空间位置的磁化信号检测出来，并转换成电信号送给检测电路。

为了在低速运动和静止时也能进行位置检测必须采用磁通响应型磁头（又称磁调制式磁头），它是利用带可饱和铁心的磁性调制器原理制成的。

当激磁电流线圈通以高频激磁电流后，读取线圈上就输出载波频率为高频激磁电流频率两倍的调制信号。它是由磁性标尺上进入读取线圈铁心的漏磁通所调制的信号，其输出电压 e 为

$$e = E_0 \sin\frac{2\pi x}{\lambda}\sin\omega_0$$

式中 x——磁头在磁标尺上的位移量；

E_0——常数；

λ——磁化信号的节距；

ω_0——激磁电流频率的倍频。

感应电动势 e 和磁头与磁性标尺的相对速度无关。

（三）磁尺数显表

磁尺数显表与感应同步器数显表、光栅数显表大致相同，现介绍一下日本索尼公司的LF20、LH10、LA10系列的数显表的功能。

1）数字显示7位数字及“－”自动浮动，现行工作方式或状态的表示符号采用绿色荧光显示。

2）复位系统　任何时候按下复位键，可完成复零功能，并具有外接复位，当输入复位信号时，自动复零。

3）预置系统　可为任一坐标设置初始值。

4）误差补偿　有15级误差补偿量，可对机床的误差进行补偿校正。

5）接触探测功能　与接触传感器配合使用的情况，可具有如下功能：

① 可以随意建立基准点。

② HOLD(保持)功能，保持所记录的数据。

③ LOAD（寄存）功能，可从某点开始计数。

6）分辨力　有四个分辨力可供选择：0.001mm，0.002mm，0.005mm，0.01mm。

7）最大响应速度　60m/min（绝对零点测

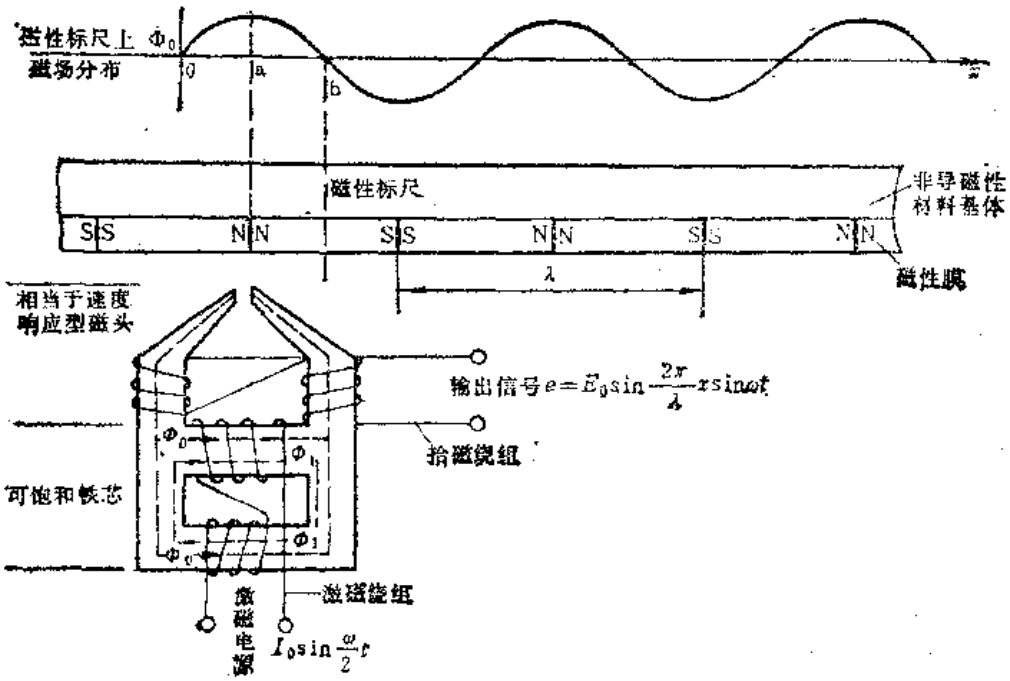


图22-7-1　磁通响应型磁头

定时为1.8m/min)。

（四）磁尺的安装

磁尺安装包括存储槽的安装、刻度尺带的安装、磁头组件的安装以及防尘罩的安装等。

（1）存储槽的安装　存储槽的作用是存储刻度尺带；把外部磁干扰隔离开，也就是把刻度尺屏蔽起来；保证刻度尺带的伸长系数。

存储槽是由软钢制成的，用基板安装在机器上。存储槽的两端都有一个钩子，把刻度尺带固定在钩子上，用拉紧螺栓向外拉钩子，以增加刻度尺带的张力。

由于刻度尺带是靠存储槽平整的表面支承的，因此必须使存储槽的每一个安装面与机床的导轨面相平行。其安装基准面的平行度要小于0.3mm。为了保证平行度的要求最好把机床安装存储槽的水平表面加工一下，要保证上下及前后的平行度及平整度。

当然也可以借助底座板把存储槽安装在机床的铸造面上，这时底座板必须用支承螺钉进行调整，保证每个底座板的斜度均在0.03mm 以内，这种结构可参看感应同步器的安装。

在机床的垂直面上安装存储槽可以借助于托架。但公差也应满足上述要求。垂直面是铸铁毛坯面时，就得使用支承螺栓结构，因为如果铸造表面对于导轨是弯曲的，此时可以调节支承螺栓，不但保证上下方向的平整，还要保证水平方向的平行度。

（2）刻度尺带的安装　从包装箱中拿出刻度尺带，在存储槽内小心的舒展开来，不要交叉，更不要让其表面粘在一起，也不可把它放在其他磁性材料的附近。

把刻度尺带标有记录信号零点的位置放在存储槽边标有标识符前面，在挂钩和压板之间插入尺带，然后固紧一头螺栓，正确的调整刻度尺带与存储槽的平行度。然后固定好挂钩。拉紧刻度尺带时，注意使其总伸长度约为全长的0.1%，也就是5m长的拉出量为5mm，旋紧张力螺栓，张力螺栓的螺距一般是0.1mm。

当刻度尺带给以适当的张力后，就可以永久固定挂钩了。

测量刻度尺带与机床导轨的平直度，把电测微米仪的检测头放在刻度尺带中央，它始终保持在0.1mm之内，就可以紧固底板螺栓，否则要用垫片进行调整，直到满足上述要求才可以固紧。

（3）磁头组件的安装　磁头组件是由磁头、磁头支架、偏心轴、中心销等组成的。

磁头固定在磁头支架上，磁头支架与溜板用螺钉固定，松开螺钉可以用螺钉旋具转动偏心轴来使磁头支架转动，可以调整磁头的角度。磁头离开刻度尺时就读不出数，拧得过紧也会擦伤磁头及刻度尺带。因此要保证刻度尺带的表面水平，磁头又要以适当的压力压在刻度尺带上。磁头凹进刻度尺带表面最多不得大于0.3mm，磁头不得接触到存储槽壁，否则将损坏磁头。磁头组件必须保证在存储槽宽度的中央，所以要用放在存储槽边上的调整块来固定磁头。为了防止杂物进入存储槽而使磁头脱开刻度尺带，要把刮板固定在磁头支架的前部和后部。这些刮板与机床上使用的刮板是一样的。

磁头支架组件安装完之后，用沾有不含有机溶剂的高质量仪表油的纱布来涂刻度尺带的整个表面。

（4）防尘罩的安装　首先在溜板的下面安装防尘密封垫，然后安装存储槽盖板。当盖板有接缝时，用鱼尾板盖住接缝。

（五）磁尺数显表的安装与调整

磁尺数显表就是一个数字计数器，把它放在机床上后，接好线，把计数器接到磁头上，打开计数器，然后用同步示波器检查磁头的输出，调整通道1和通道2，使其输出信号之间差$\lambda/4$相位差；靠调节偏心轴对$\lambda/4$进行粗调，用计数器进行细调。调整方法及调整细节各种磁尺不尽相同，请参照说明书进行。调正好之后，把磁头支架固定在溜板上，在刻度尺带的有效长度内来回移动磁头，检查$\lambda/4$的相位差输出是否有变化。

调整数字计数器时，当电源接通，但没有很好接地时，不要插上或断开插接头，否则磁头将被磁化。

调整时尽可能把量块放在刻度尺带附近，这样可以减少偏移与游隙的影响。从测量起点到终点进行测量时是沿一个方向进行，则侧隙影响可以消除。量块应与机床导轨平行放置。

如果数字计数器的显示值大于量块的实际长度，那么意味着磁头读出的刻度尺信号多于所需要的。换句话说，刻度尺信号的节距被缩小了，因此用

张力螺钉把刻度尺带向外拉出一点。如果显示值小，就意味着刻度尺带向外拉的太多了，这时就要放松张力螺钉，重复几次这种操作，就完成了精度的调整。调整后要拧紧每一个螺钉。

（六）磁尺的维护

定期检查其精度是非常重要的，以使刻度尺保持较高的精度。

拆除存储槽上的盖板，检查刻度尺带表面是否有刮伤。如果有刮伤，就要拆除整个防尘罩及其密封垫，仔细的检查是什么原因造成的。如没有刮伤，就用仪表油轻轻地涂在刻度尺带的表面上，然后再把存储槽的盖板盖好。

定期清理存储槽的内部，虽然有防护罩，但也有灰尘进入存储槽中去，因此要定期的清洗一下，但要注意不可损伤刻度尺带。

磁尺数显表是一个比较简单的仪表，其主要部分就是一个计数器，为此，维修时可参考一些计数器的原理图进行。特别是与感应同步器的数显表中的一部分相似，可参照它们来维修。