

感应同步器 数显表

广州机床研究所 中山大学数学力学系 编著
上海电表厂 清华大学工业自动化系



机械工业出版社

内容提要 本书主要介绍感应同步器的工作原理、设计方法、制造工艺以及各类感应同步器与数显表的基本组成、线路工作原理。还总结了几年来在重型机床方面推广应用感应同步器数显表的经验,如安装接长技术、使用维护技术等等。对感应同步器数显表应用到数控机床中组成闭环随动系统的原理也作了初步介绍。

本书可供从事自动化工作的广大工人、技术人员以及高等学校有关专业师生参考。

感应同步器与数显表

广州机床研究所 中山大学数学力学系 编著
上海电表厂 清华大学工业自动化系

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092^{1/8}$ · 印张 20 · 插页 3 · 字数 490 千字

1979年1月北京第一版·1979年1月北京第一次印刷

印数 00,001—27,000 · 定价 1.65 元

*

统一书号: 15033·4530

前 言

在毛主席无产阶级革命路线指引下，随着社会主义建设的发展，我国工业生产自动化水平不断提高，新的自动化检测器件不断出现，感应同步器就是其中的一种。

感应同步器及其数显装置能稳定地测量长度和角度，精度较高，在自动测量和自动控制系统中应用很广，特别是在大型及重型机械设备上，对保证产品质量，提高劳动生产率，减轻工人劳动强度等方面已取得显著的效果。

为了普及推广这一新技术的应用，我们编写了“感应同步器与数显表”一书，重点放在目前使用较广的标准式直线感应同步器与鉴幅型六位数显表上，对其他型式的感应同步器与数显表也作了简要的介绍。

参加本书编写工作的共四个单位九位同志：广州机床研究所曾月明、徐荣华、凌仁宏、张椿彬、邓淦源；上海电表厂王子砚；中山大学数学力学系陈云烽和清华大学工业自动化系崔子行、陈伟基等同志。全书由邓淦源和张椿彬两位同志负责整理。

书中有些内容选用了有关工厂、研究所和高等院校所整理和总结的资料，在编写过程中还得到上海电气成套自动化研究所、西安微电机研究所、武汉重型机床厂、汉川机床厂、江门第一机床厂、北京低压电器厂、上海机床电器厂和广东工学院等十多个单位对审稿工作的大力支持，在此我们表示衷心的感谢。

由于我们水平有限，书中难免存在缺点和错误，请读者批评指正。

编 者

1978 年

目 录

前言		(二) 精密翻版	46
第一章 概论	1	四、成品制造	47
一、长度和角度测量	1	(一) 压板工艺	47
二、感应同步器	1	(二) 晒板显影及腐蚀工艺	48
三、数显表	3	五、技术指标	49
四、感应同步器和数显表在工业使用中的优点	4	第六章 精度测试与误差分析	51
第二章 感应同步器的种类	7	一、感应同步器精度	51
一、直线感应同步器	7	(一) 零位误差	51
(一) 标准式	7	(二) 细分误差	52
(二) 窄式	7	(三) 综合误差	53
(三) 带式	7	(四) 精度测试方法	53
(四) 多速式	8	二、直线感应同步器精度测试	55
(五) 组装式	9	(一) 相敏电压表法	56
二、圆感应同步器	10	(二) 数显表测试法	59
三、规格与型号	10	(三) 感应同步器误差自动记录仪进行自动检测	60
第三章 感应同步器的工作原理	12	三、圆感应同步器精度测试	64
一、输出电势与位移的关系	12	(一) 零位误差测试	64
二、输出电势的误差平均效应和细分	18	(二) 细分误差测试	65
三、测量输出信号的方法	20	四、误差分析	67
(一) 鉴幅型系统	20	(一) 零位误差分析	67
(二) 鉴相型系统	21	(二) 细分误差分析	69
(三) 脉冲调宽型系统	23	(三) 环境温度对输出电势的影响	72
第四章 感应同步器的设计	26	(四) 测试误差	73
一、直线感应同步器的设计	26	第七章 数显表的基本原理与单元电路	79
二、圆感应同步器的设计	29	一、感应同步器数显表的基本组成	79
第五章 感应同步器的制造工艺和技术指标	43	(一) 鉴幅型数显表	79
一、材料选择	43	(二) 鉴相型数显表	81
(一) 基板材料	43	二、数字电路的基本知识	84
(二) 平面绕组的材料	44	(一) 数字电路的一些基本知识	85
(三) 绝缘粘合材料	44	(二) 基本逻辑“门”电路	89
(四) 保护屏蔽层	44	(三) 逻辑代数基础	89
二、工艺流程	44	(四) 数字集成电路简介	92
三、模版的制造	45	三、应用于数显表中的数字电路单元	102
(一) 原版制造	45	(一) 触发器	102

(二) 用与非门组成的 一些数字电路单元	108	(二) 模-数转换环节	210
(三) 计数器	111	(三) 计数及显示环节	211
(四) 十进制计数器的显示和译码	125	二、鉴相型数显表的基本环节	212
四、在数显表中应用 晶体管的基本电路	129	(一) 位移-相位变换环节	212
(一) 数显表中的放大器	129	(二) 模-数转换环节	220
(二) 振荡器	139	(三) 计数及显示环节	225
(三) 滤波电路	145	三、鉴相型数显表的使用与维修	227
五、应用运算放大器组成的基本电路	152	第十章 脉冲调宽型数显表	229
(一) 运算放大器简介	152	一、基本原理及方框图	229
(二) 应用运算放大器组成的 比例放大器	153	(一) 脉冲调宽型数显表的 基本构思及原理	229
(三) 应用运算放大器 组成加法器、减法器	156	(二) 脉冲调宽型数显表的方框图	232
(四) 应用运算放大器 组成有源滤波器	156	(三) 方框图中主要环节的 各种实施方案比较	233
(五) 应用运算放大器 组成的整形器	160	二、电压-频率变换器	235
第八章 鉴幅型数显表	161	(一) 电压-频率变换器的作用	235
一、系统的工作原理	161	(二) 电路实例	235
二、数显表的基本环节	164	三、数字正、余弦函数发生器	237
(一) 数模转换器	164	(一) 符合比较式函数发生器	237
(二) 脉冲形成电路	173	(二) 对称式数字函数发生器	243
(三) 门电路及粗糙门阈转换	176	(三) 脉冲宽度组合逻辑电路	247
(四) 极距划分和移动 方向判别电路	183	(四) 非对称式数字函数发生器	248
(五) 正、负符号显示和 周期零指示	187	四、驱动电路	250
(六) 显示计数器及其加减控制	188	(一) 驱动电路简介	250
(七) 最低位微米级数值指示	189	(二) 应用实例	252
(八) 预整定电路	194	第十一章 感应同步器的 安装和接长	254
(九) 匹配变压器	196	一、标准式直线感应同步器的安装	254
三、使用与维修	197	(一) 安装要求	254
(一) 数显表的正确使用	197	(二) 定尺尺座、滑尺尺座和防护罩	256
(二) “周期零”点的寻找与 恢复零位的操作	198	(三) 定尺、滑尺在机床上的安装	258
(三) 数显表维护与故障检修	199	二、标准式直线感应同步器 定尺的接长	260
(四) 鉴幅型数显表的派生产品	202	(一) 接长要求	260
第九章 鉴相型数显表	209	(二) 接长设备和接长前的 准备工作	262
一、系统的工作原理	209	(三) 定尺接长方法	263
(一) 位移-相位变换环节	210	三、带式感应同步器的安装	267
		四、圆感应同步器的安装	270
		(一) 电气调心原理	270
		(二) 调心特性分析	272
		(三) 电气调心步骤	275

(四) 电气调整垂直度	276	(四) 积木式点位数控装置	294
第十二章 感应同步器和数显表		三、感应同步器用于位置调节系统	298
在机械加工上的应用	278	(一) 在脉冲相位闭环	
一、数显表的安装	278	系统中的应用	298
二、在立式车床上的应用	278	(二) 在半闭环加补偿脉冲	
三、在卧式车床上的应用	280	相位系统中的应用	301
四、在镗床上的应用	282	(三) 在其它跟踪系统中的应用	303
五、在龙门刨床上的应用	283	附录	307
第十三章 感应同步器应用于		I 圆感应同步器互感公式的推导	307
机床的数字控制系统	285	I 数显表线路总图	插页
一、用感应同步器组成控制		(一) JSX 鉴幅型数显表	插页
系统的结构	285	(二) GXF1 鉴幅型数显表	插页
(一) 点位系统	285	(三) PY4 鉴幅型数显表	插页
(二) 位置调节系统	286	(四) PY2 鉴幅型数显表	插页
二、感应同步器用于点位控制系统	289	(五) GXS1-I 鉴相型数显表	插页
(一) 步进式定位控制装置	289	(六) 鉴相型数显表	插页
(二) 分级减速式定位控制装置	289	(七) PY 脉冲调宽型数显表	插页
(三) 循环控制的定位装置	294		

第一章 概 论

随着我国社会主义革命和社会主义建设事业的迅速发展,为尽快实现我国农业、工业、国防和科学技术现代化这个宏伟目标,目前在国民经济很多部门,日益广泛地采用自动化技术,作为在生产过程中了解工作过程进展情况的重要手段。感应同步器与数显表就是在采用自动化技术时用来自动测量长度和角度的。

一、长度和角度测量

众所周知,要想知道一个物体直线移动了多少距离,首先要具有一个测量基准(有刻度的尺子),其次,用它去量度起点与终点的距离时,需要用眼睛观察,才能读得距离的数据;同样,要确定一个物体转过多少角度时,亦需有一个有分度的圆盘,量度角度时,也要用眼睛观察,才能读取物体转动后相对起点的角度变化量。上述是长度和角度的手动测量方法。如果用自动测量来取代手动测量,不但需要有一个分度尺或分度盘,而且需要有一个自动读数的装置,才能把目标在尺或盘上的位置准确地自动指示出来。本书介绍的感应同步器就是这样的一种尺子或度盘,而数字显示装置就是这种代替人眼睛读数 and 估算的自动显示装置。

二、感应同步器

感应同步器是用来测量直线或转角位移的一种器件,分两大类:测量直线位移的称直线感应同步器;测量转角位移的称圆感应同步器。

感应同步器是利用两个平面形绕组的互感随位置而变化的原理制造的。直线感应同步器由定尺和滑尺两部分组成,如图 1-1 所示。圆感应同步器由转子和定子两部分组成,如图 1-2 所示。

这两类感应同步器是采用同样的工艺方法制造的。一般情况下,首先用绝缘粘合剂把铜箔粘牢在金属或玻璃基板上,然后,按设计要求腐蚀成不同曲折形状的平面绕组,这种制造方法和无线电工业印刷电路的工艺相同,所以这种绕组又叫做印刷电路绕组。

定尺和滑尺、转子和定子上的绕组分布是不相同的。在定尺和转子上是连续绕组,在滑尺和定子上则是分段绕组(又称为正余弦绕组)。感应同步器的这两部分绕组相当于变压器的初级和次级线圈,它们都是利用交变电磁场和互感原理工作,使用时,这两部分是缺一不可的。

在实际应用中,与机械设备的固定部件相联的那一部分称定片,而与机械设备的运动部

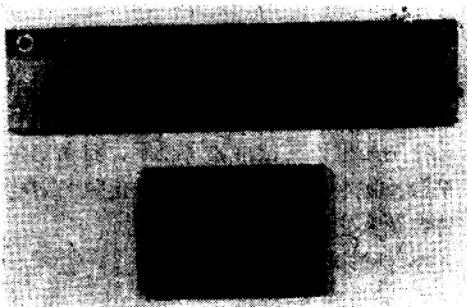


图1-1 直线感应同步器

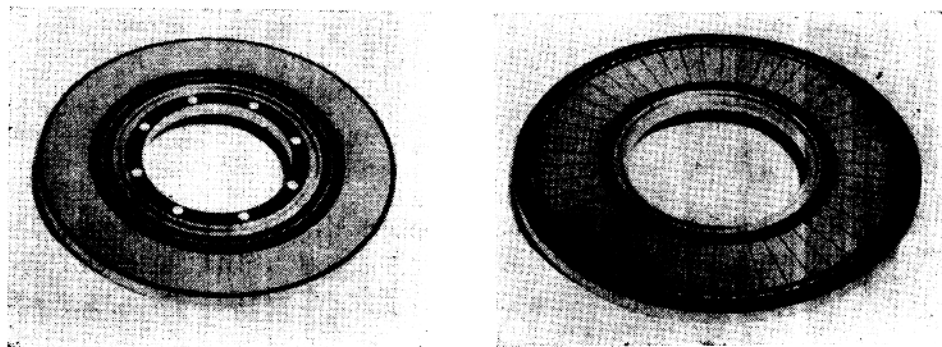


图1-2 圆感应同步器

件相联的那一部分称动片。一般情况是以定尺或定子作为定片，而以滑尺或转子作为动片。安装时，定片上的平面形绕组面对动片上的平面形绕组，两者之间相隔一定空气隙。如果在其中一部分的绕组上通以交流励磁电压，由于电磁耦合，在另一部分的绕组上就产生感应电势，见图1-3，该电势是随定片与动片的相对位置呈正余弦函数变化，再通过对此信号的检测处理能精密地测出直线或转角位移量。这就是感应同步器的简单工作原理。感应同步器构成测量系统时，按幅值及相位两种特征工作。

幅值工作原理是利用感应同步器的输出电势的幅值随着定片与动片之间的相对位移而呈正弦或余弦函数规律变化的原理进行工作的。

相位工作原理是利用感应同步器在一定的励磁条件下，其输出电势与励磁电压之间的相位差，随定片与动片之间的相对位移成线性关系的原理进行工作的。

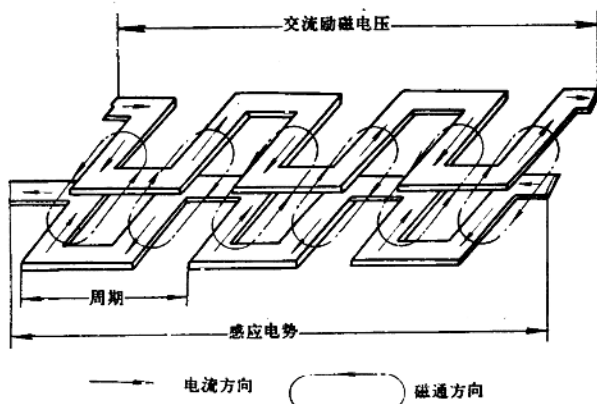


图1-3 感应同步器工作原理示意图

感应同步器目前已广泛地应用于各个工业部门。如直线感应同步器已用在各种机械设备，特别是机床的位移数字显示、自动定位和数控系统；圆感应同步器除用于导弹制导、陀螺平台、射击控制、雷达天线的定位与射电望远镜的跟踪以外，还可用于经纬仪、机床的精密转台及其它回转伺服系统。

感应同步器的优点是：

1. 精度较高

感应同步器的精度，首先决定于定片和动片上的印刷电路绕组的加工精度，用一套专门的工艺方法可以把印刷绕组做得很准确。另外，由于滑尺上感应的电压信号是多周期的平均效应，从而减少了绕组局部尺寸误差的影响，大大提高了测量精度。

感应同步器的灵敏度或称分辨率，取决于对一个周期进行电气细分的程度。灵敏度进一步的提高受电子细分线路中信号噪声比所限制，但是，通过线路的精心设计和采取严密的抗

干扰措施,可以把电噪声减得很低。

感应同步器的重复精度取决于元件和系统的稳定性,现在已可达到很高的稳定性。

直线感应同步器的精度可达 ± 0.001 毫米,灵敏度为 0.00005 毫米(即 0.05 微米),重复精度为 0.0002 毫米(即 0.2 微米)。直径为 302 毫米(即 12 吋)的圆感应同步器,其精度可达 ± 0.5 角秒,灵敏度为 0.05 角秒,重复精度为 0.1 角秒。

2. 受环境温度、湿度变化的影响小

直线感应同步器的基板与安装部件材料(钢或铸铁)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,而不影响测量精度。圆感应同步器的基板受热后各方向的膨胀量对应于圆心,所以亦不影响测量精度。

因为感应同步器是非接触式的空间电磁耦合元件,可以选择耐温性能良好的非导磁性涂料作为保护层,以加强感应同步器的抗温能力。

3. 使用寿命长,维护简便

感应同步器的定片和动片互不接触,没有任何摩擦、磨损,所以使用寿命很长,可以说是半永久性的。它不怕油污、灰尘和冲击振动的影响,不需要经常清扫。在机械设备上使用,仅需装设防止铁屑进入感应同步器表面的防护罩。此外,由于感应同步器是电磁耦合而感应出信号电压的,不需要任何光源或光电转换元件,所以不存在元件老化和发生故障的来源。

4. 可根据需要拼接成各种测量长度,并能保持(或稍大于)单元长度的精度

直线感应同步器具有组合量具的优点,可以根据测量长度的需要,任意拼接成 250 毫米(标准式定尺的长度)的倍数;另一方面,它没有机械式组合量具的缺点,因为它可通过电气接长的方法,合理选择感应同步器的误差特性,使拼接后总长度的精度保持(或稍大于)单块定尺(单元长度)的精度。目前行程为几米到几十米中大型机床工作台位移的直线测量,大多数都是采用直线感应同步器来实现的。

5. 抗干扰能力强

在感应同步器每一绕组的周期内(例如标准式直线感应同步器的定尺周期为 2 毫米),它是一个绝对式长度测量装置,在任何时间内都可以给出仅与位置量相对应的单值电压信号,而不受瞬时作用的偶然干扰信号的影响。

此外,感应同步器平面绕组的阻抗很低,受外界干扰电场的影响较小。

6. 工艺性好,成本较低,便于复制和成批生产

感应同步器的平面绕组的制造工艺与印刷电路板的工艺方法相同,该方法已较成熟,原材料亦易于取得,而且复制精度高、成本低,便于批量生产。

三、数 显 表

感应同步器的数码显示表(以下简称数显表)是将感应同步器检测的按正、余弦函数变化的电信号(模拟量)转换成数字量,并显示出来的一种数字仪表。

数显表有两种型式:按感应同步器振幅原理工作的数显表称鉴幅型数显表;按感应同步器相位原理工作的数显表称鉴相型数显表。近几年出现的脉冲调宽型数显表也是按鉴幅特征工作的。这几种数显表各有特点,鉴相型数显表的工艺和调试容易掌握,成本亦较低,但

因相位在检测回路中容易产生偏移失真,所以想进一步提高测量精度将受到较大的限制。鉴幅型数显表的工艺和调试较复杂,成本较高,但精度潜力较大;脉冲调宽型数显表的工艺比鉴幅型数显表的简单,可达较高的精度,因此受到较多的注意。

本书介绍的数显表以标准式直线感应同步器作为检测器件,它具有六位十进制数码显示,测量精度为0.01毫米,重复精度为 ± 0.002 毫米,灵敏度为 ± 0.001 毫米(用电表指示),最大测量范围为 ± 9999.99 毫米,允许最大位移速度为50*/分,有“+”“-”符号显示和“复零”操作,并可在任意位置上使显示为零。数显面板上还设有拨码开关,能预置数字,通常有“周期零”指示,可标示周期原点。有些数显表还安排了信息输出端,作为打印记录或数据处理用。

此外,根据具体机械设备的使用要求,设计制造了下列几种有特殊功能的数显表:

1. 高精度数显表 它有七位十进制数码显示,测量精度为0.001毫米。它与高精度感应同步器配合,用于高精度机床或量仪的位移测量,例如,坐标镗床、三坐标测量机等。

2. 角度数显表 它与圆感应同步器配合,用来显示转角的大小,数字显示按60进制,可显示度、分、秒。

3. 三速式数显表 它与三速式感应同步器配合使用,用于全量程的绝对坐标测量。这样,在断电以后重新开机时仍可重显原来的坐标值。

4. 两轴相加数显表 用于大小拖板同时动作,而又须将两拖板的数字累加起来的场合。

5. 两坐标切换数显表 当两个运动坐标均需显示,但又不需要同时显示时,可采用这种数显表。它只有一套数显系统,可同时连接两个坐标的感应同步器,待测坐标的切换可手动或利用电子开关来实现。这样可节省一套数显装置。

6. 直径数显表 它是在普通数显表线路的基础上再加上乘2环节,使显示成直径值,从而免除了操作者的中间运算。

7. 悬挂式数显表 它可以安装在大型机床的吊线盒上,便于工人的操作和观察。为了缩小数显表的体积,最好采用高集成度的电子元件,也可把现有的数码管和电子线路分离安装。

此外,根据生产使用的需要还可制造更多类型的数显表。数显表在生产使用中最主要的是稳定性问题,其次是精度问题。稳定性与线路的设计、制造工艺、元件的质量都有密切关系。不同型号数显表中所使用的元件是不一样的,可使用分立元件,也可使用中小规模集成电路,它们各有特点,但一般说来,使用集成度较高的器件,对缩小体积,简化工艺,提高可靠性、稳定性和降低成本都有优点。

四、感应同步器和数显表在工业使用中的优点

在机械制造工业中,加工零件的长度和角度时进行自动测量的数码显示装置,随自动化控制技术的发展已日益引起人们的重视。目前,按检测元件分类,有光栅数显表、磁栅数显表和感应同步器数显表等。

这里以直线感应同步器为例,扼要介绍感应同步器和数显表是如何进行自动测量的。

如上所述,直线感应同步器由定尺和滑尺构成,定尺相当于计算尺的基尺,滑尺相当于计算尺的游标。如果滑尺绕组加上交流电励磁,当滑尺相对于定尺移动时,通过电磁耦合,

在定尺上所感应的电势幅值就会出现一个最大（峰）值，该电势是按正、余弦三角函数规律变化，感应电势两相邻峰之间的距离叫做一周，每一个峰和谷相当于定尺上一条刻线，两条刻线间的距离（2毫米）相当于其感应电势两峰值间的距离（一周），如图1-4所示。为了精确地决定两峰之间的任意一位置，滑尺上设置相互错开 $\frac{3}{4}$ （或 $\frac{1}{4}$ ）周期的两相绕组，并采用一定形式的励磁和特定的检测方法，使2毫米周期内的任一位置都只对应于滑尺励磁的一种状态（鉴幅型工作状态时），或对应于定尺上感应电势的一种状态（鉴相型工作状态时），这就是所谓周期内测值的单值性。数显表就是以此为基础，对有关的电信号进行检测，并用数字形式把相应的长度显示出来。要完成这一任务，不但要把模拟电压信号变成数字信号显示出来，而且要把经过的每一个峰值都累计起来，峰与峰之间还要根据滑尺两绕组的状态细分成很小的单位，以便能精确地读到0.01毫米或0.001毫米的最小位数，这一切均由数显表通过一系列的相应电子线路来实现，这就是用感应同步器和数显表把位移或转角的手动测量转变为电气的自动测量方法。系统的联接如图1-5所示。

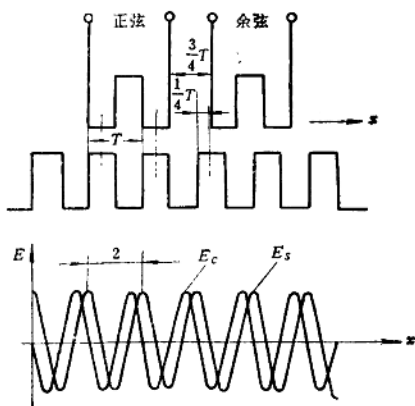


图1-4 感应电势与周期（ T ）的关系

图1-5表示直线感应同步器与鉴幅型数显表系统的联接示意图。图中前置放大器和匹配变压器都是为了提高感应同步器的输出电压和阻抗匹配而设的。

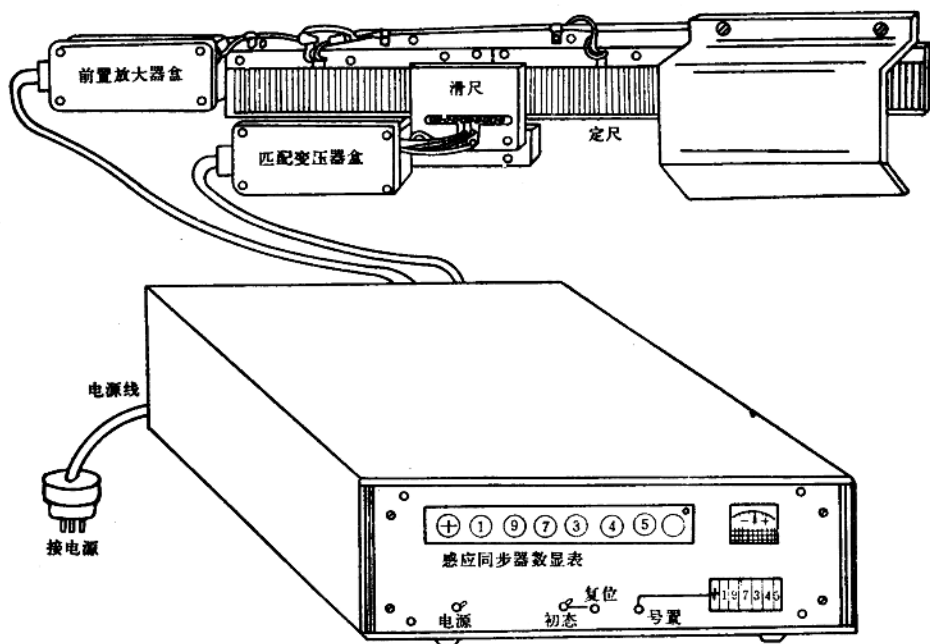


图1-5 感应同步器和数显表系统联接示意图

使用感应同步器和数显表作自动测量时，有下列优点：

1. 提高工效，减轻劳动强度

在机械加工部门采用了感应同步器和数显表，可以直观连续地显示刀具或工件加工过程中的位移量，不停车地随时进行测量，大大地减少测量工作的辅助时间，提高了工效。这一优点在重型和中、大型机床上更为明显。因为这种机床加工的工件大，工人往往要使用笨重的机械量具，这样，不但给工人带来沉重的体力劳动，而且增加了测量过程中的不安全性。例如，在大型卧式车床上加工大型汽轮机主轴时，如果手动测量，则要经常地使用10~20公斤重的大型千分尺。采用感应同步器和数显表自动测量后，不但大大减轻了工人的劳动强度，而且使效率增加约10~30%，一年可以多加工1~2根汽轮机转子的主轴。

2. 改进测量质量

自动测量摆脱了操作者的主观因素带来的各种误差，提高了测量结果的可靠性。

3. 易于测量手动难测部位

某些加工件测量部位的自由空间极少，几乎无法进行手工测量，例如计算机磁盘存取臂的位置测量就是这种情况，只能使用自动测量去完成。

4. 易于与控制系统联合使用

因为用感应同步器测量的直线或转角位移的输出量是电信号，所以可很方便地与相应的电气控制系统组成位置的伺服控制系统（包括自动定位系统及闭环伺服系统），便于整个系统实现自动化和半自动化。

5. 可充分利用电气显示的优点

在电气测量和显示中，能以任意测量位置为原始位置，将显示置“零”，从而直接读出位移或转角增量，这在机械量具中是不易实现的。

第二章 感应同步器的种类

一、直线感应同步器

(一) 标准式

标准式感应同步器是直线感应同步器中精度最高的一种，用得也最广泛，其尺寸见图 2-1 所示。

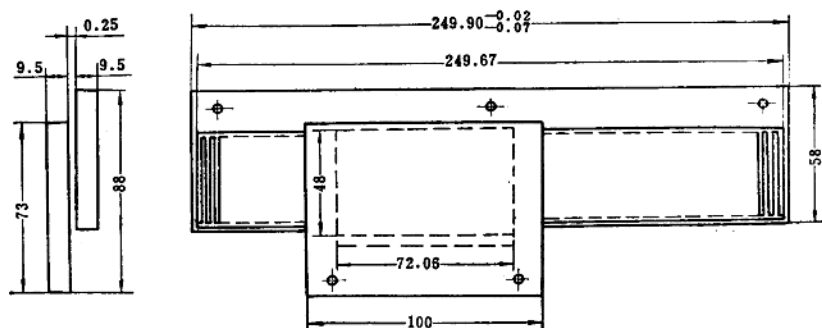


图2-1 标准式直线感应同步器的外形尺寸

这种感应同步器，其定尺的连续绕组周期为 2 毫米，为了减少端部电势的影响，安装时必须保证滑尺绕组全部覆盖在定尺的绕组上，但不能覆盖定尺的两条引出线，以免影响测量精度，若测量长度超过 175 毫米时，可以将数根定尺接长使用。

(二) 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、滑尺的长度、绕组周期尺寸及连接方法与标准式的相同，但其宽度较窄，外形尺寸见图 2-2 所示。窄式直线感应同步器的电磁感应强度比标准式的低，因而精度也较差，安装接长的要求与标准式相同。

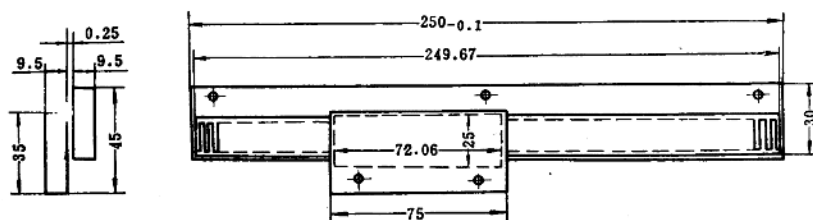


图2-2 窄式直线感应同步器的外形尺寸

(三) 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。外形见图 2-3 所示。

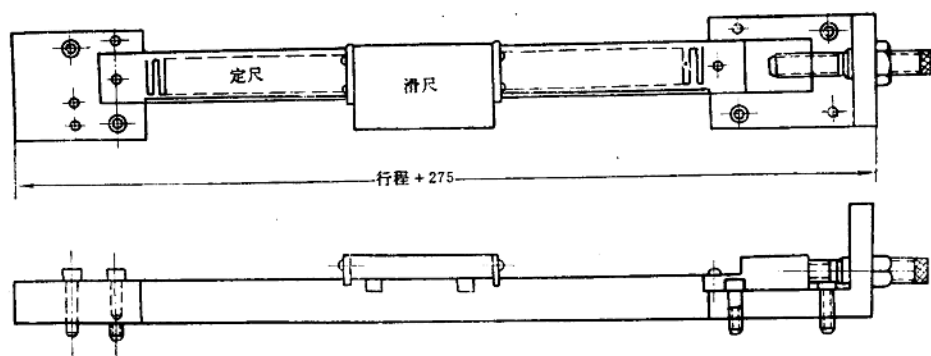


图2-3 带式直线感应同步器外形示意图

定尺绕组可用照相腐蚀法印制在钢带上。滑尺预先安装调整好并封装在一个铁皮(或铝)制的盒子里,通过支架与机体连接。定尺穿过盒子上预先开好的导板槽孔,滑尺绕组必须全部覆盖在定尺绕组上。定、滑尺的气隙间距为 0.25 毫米。由于钢带状定尺的两端安装在设备的固定部分,所以减少了由于机构热变形而产生的测量误差。此外,要求定、滑尺全长各点要保持平行,因此要注意滑尺支架与定尺安装结构的设计制造。

带式感应同步器的定尺可做成各种长度规格,其计算方法如下:

带式感应同步器定尺全长 = 有效行程 + 180 毫米

有效行程 = 机床行程 + 余量

有效行程标准一米以下的为 200、300、400、500、600、700、800、900 毫米;一米以上的为 1100、1300、1500、1700、1900、2100、2300、2500、2700、2900、3100 毫米等等。

由于带式定尺不需拼接,对安装面的精度要求不高,所以在设备上安装方便,特别是对那些安装面不易加工的设备更为适合。但由于带式定尺较长,刚性稍差,机械安装参数不易保证,其总测量精度要比标准式直线感应同步器低。

(四) 多速式

上述三种型式感应同步器是在一周期(2 毫米)内进行电气细分重复检测的。由于每隔 2 毫米具有相同的电磁耦合状态,而对 2 毫米以上的位置则无法进行区别。这样只能用增量式计数器建立一个相对坐标系统进行测量(每次测量结果的坐标都是相对于前一次坐标来定),若由于停电使显示消失,当重新复电时数显表只能确定在 2 毫米内的绝对数值,而整个加工长度数值无法保留。如要在某一特定长度能随时准确无误地决定运动体所在的整个绝对位置,就需要建立一套绝对坐标测量系统。多速式直线感应同步器就是为此目的设计的,图 2-4 表示一种三速式直线感应同步器的滑尺及其中一块定尺的绕组形状。

三速式感应同步器的定、滑尺上均有粗、中、精三套绕组,定尺的粗、中绕组相对于位移垂直方向倾斜不同的角度,滑尺的粗、中两套绕组与位移方向平行,定、滑尺的精绕组与标准式直线感应同步器相同,这样组成了三个独立的电气通道,他们的周期可以分别为 4000 毫米、200 毫米和 2 毫米等。如与绝对坐标的数显表配用,精绕组可达 0.01 毫米的测量精度,中绕组可按精绕组进行细分(即将 200 毫米按 2 毫米为单位分成 100 份),同样粗绕组可按中绕组细分,这样就建立起一套绝对坐标测量系统。

如一套 2 米内使用的三速式直线感应同步器,它可由 7 块定尺拼接组成,其中 6 块长

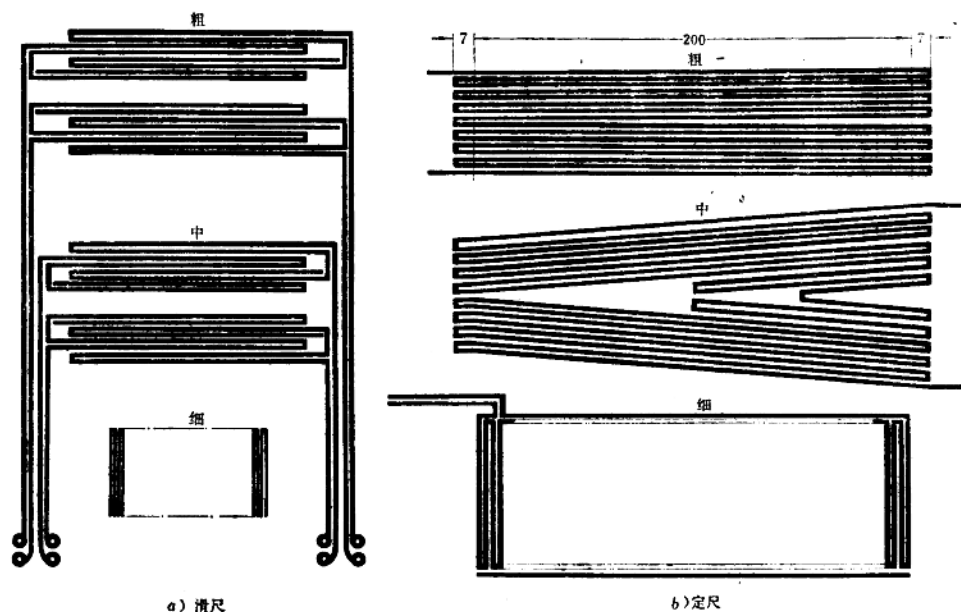


图2-4 三速式直线感应同步器

为 300 毫米, 1 块长为 200 毫米 (图 2-4 中仅画出第一块定尺), 这里只使用了粗绕组的 $\frac{1}{2}$ 周期, 测量范围可从 0.002~2000 毫米。在制造定尺时, 要保证定尺拼装接长后, 精绕组的精度与标准式相同。定尺接长按给定的序号安装, 保证粗、中绕组按既定的角度偏斜, 该系统在全长 2 米的测量范围内可以单值决定其坐标位置。若测量长度为 4 米时, 则由两套相同定尺拼接组成。

另外, 利用标准式直线感应同步器加上齿轮驱动两级旋转变压器的组合亦可以达到上述目的。此时, 粗、中级旋转变压器所选择的周期和功能与三速式的粗、中绕组相同。但是, 由旋转变压器的粗、中级来测量直线位移是通过转动轴来实现的, 故其结构复杂, 制造困难。

(五) 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调整好 (前置放大器等亦安装在里面)。使用时用螺钉将安装好的组装感应同步器装在机械的固定部分 (如机床床身), 而把滑尺的引出机构与机械的运动部分相接。使用这种组装式感应同步器不但避免了在现场拼接定尺, 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。

除上述五种以外, 还有多层式和凸极式直线感应同步器。所谓多层式就是在滑尺分段绕组做成双层或多层式, 这样做使器件的平均效应更好, 但制造工艺稍为复杂。所谓凸极式直线感应同步器, 就是在定、滑尺基板上加工出槽来, 并在槽中嵌入绕组 (如直线式电机一样), 这样使输出信号大大地增加, 但嵌线槽加工工艺较复杂。这两种直线感应同步器目前使用较少, 在此不作详细介绍。

二、圆感应同步器

圆感应同步器（见图 2-5）又称旋转式感应同步器，其转子相当于直线感应同步器的定尺，定子相当于直线感应同步器的滑尺。目前按圆感应同步器直径大致可分成 302 毫米、178 毫米、76 毫米和 50 毫米等四种，其径向导体数，也称为极数，有 360 极、720 极、1080 极和 512 极等等。一般说来，在极数相同的情况下，圆感应同步器的直径做得愈大，愈容易做得准确，精度愈高。

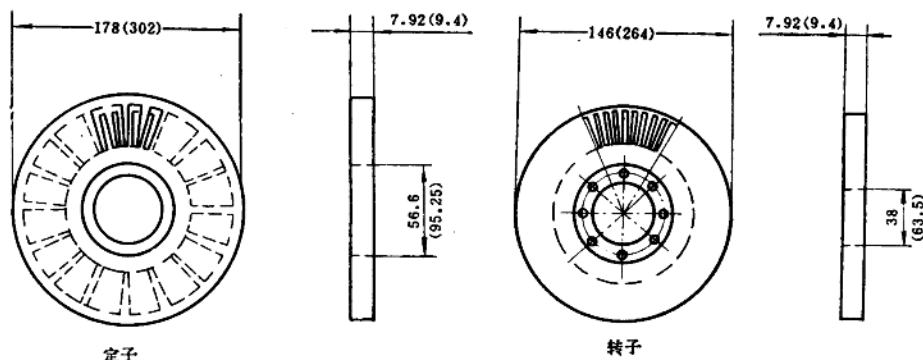


图2-5 圆感应同步器的外形尺寸

从结构形式说，可分为两种：一种是将单个圆盘直接安装在设备上；一种是将定子和转子先组装成一个整体，再通过联轴器与机械运动轴联接起来。不管哪种形式的安装，必须要求定子和转子圆盘同心，才能得到较高的精度。对组装成整体的感应同步器最重要的是要保证它接到旋转轴上时，必须消除由于角度偏差和轴的偏斜所引起的误差，所以需要有刚性的联轴器。一般情况，组装成整体的圆感应同步器的一套轴系比直接安装的精度要低。

按使用要求圆感应同步器可做成多速式，在定、转子圆盘中各配置一套以上的平面绕组，如配置有粗、精绕组的两速式圆感应同步器和配置有粗、中、精绕组的三速式圆感应同步器，主要作为绝对坐标测量。另外亦有做成双层式或多层式圆感应同步器，其定子分段绕组作成双层或多层，此时器件平均效应更好。

圆感应同步器的转子是绕转轴旋转的，因此其引出线需要特别注意，目前普遍采用耦合变压器把转子感应的电信号经空气隙耦合到定子的变压器上输出，如图 2-6 所示。此外，还有滑环和直接耦合等。

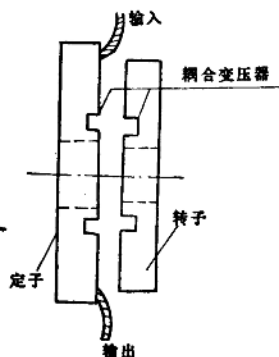


图2-6 带耦合变压器的圆感应同步器

三、规格与型号

直线和圆感应同步器初步制订的型号与规格标准简述如下：

