

目 录

第一章 概论	1
第一节 测试技术在科研和生产中的重要性	1
第二节 微特电机的分类及基本参数的定义	3
第三节 微特电机测试技术的特点	6
第二章 微特电机几个主要项目的测试	9
第一节 转速(速度)的测量	9
一、几种常用的测速方法	9
二、速度传感器法	11
三、转差率 s 的测量	16
第二节 转矩的测量	17
一、测功机的工作原理	17
二、测功机的种类	18
第三节 工作特性与机械特性	31
一、工作特性曲线	31
二、机械特性的测量	36
三、转矩-转速测量仪	41
第四节 温升的测量	44
一、附加散热板	45
二、温升的测量	49
第五节 噪声和振动的测试	55
一、噪声的测试	55
二、振动的测试	60

第三章 微特电机几个特殊参数的测量	67
第一节 转动惯量的测量	67
一、单钢丝扭转摆动法	68
二、重物自由降落法	70
三、摆动法	71
四、双线悬吊法	72
五、滚摆法	74
第二节 时间常数的测量	75
一、电动机发电机法	78
二、光电法	80
三、频率法	81
第三节 电势脉动和力矩波动的测量	86
一、测速机电势脉动的测试	87
二、力矩电机力矩波动的测试	95
第四节 风压和风量的测量	97
一、螺旋式风机的风量测试	98
二、圆筒式风机的风量测试	100
三、真空室测量风量	103
 第四章 微型控制电机的测试技术	 107
第一节 自整角机精度测试	108
一、基准电气零位的确定	108
二、零位误差	109
三、电气误差	112
四、静态误差	115
五、动态误差	115
第二节 旋转变压器的精度测试	117
一、正余弦函数误差的测量	117
二、零位误差的测量	118

	三、电气误差的测量	120
第三节	自整角机和旋转变压器精度测试设备简介	122
	一、测角分度装置和连接装置	122
	二、模拟电气角装置	127
	三、指零仪	129
	四、测试台	129
第四节	自整角机和旋转变压器精度自动测试	131
	一、标准角度传感器件	132
	二、数字变换部分	133
	三、自动转换电气角模拟装置	133
	四、输入电路	133
	五、比较电路	133
	六、记录显示电路	133
第五节	电感移相器的精度测试	136
	一、相位测量方法简介	137
	二、电感移相器的轴角-相位特性的测试	140
	三、测试设备简介	142
第六节	测速发电机的参数测量	146
	一、交流测速发电机误差的测试	147
	二、直流测速机的输出电压波动和稳定性的 测量	154
第七节	步进电机的参数测试	158
	一、步距精度测量	159
	二、电感测量	162
	三、转矩测量	165
第五章	磁场测量	168
第一节	测量线圈法	169
第二节	观察单相电动机旋转磁场	170

第三节	霍尔效应法	173
第四节	利用磁阻效应测量磁场	175
第五节	磁敏二极管	176
第六章	检查试验和型式试验	178
第一节	检查试验	180
第二节	型式试验	182
一、	装配质量检查	182
二、	接触可靠性检查	183
三、	绝缘电阻检查	184
四、	绝缘介电强度检查	184
五、	低温试验	186
六、	高温试验	187
七、	温度冲击试验	188
八、	低温低气压试验	189
九、	高温低气压试验	189
十、	振动试验	190
十一、	冲击试验	192
十二、	潮湿试验	194
十三、	寿命试验	195
附录		196
附录 I.	精密机床用小型交流异步电动机的总噪声等级 建议	196
附录 II.	精密机床用小型电机的各振动等级适用范围建议	196
附录 III.	电机、电器和变压器的绝缘结构耐热分级的定义	197
附录 IV.	火花等级	199
附录 V.	微控电机使用环境条件分级	200
附录 VI.	外形及安装的基本型式	201
参考文献		201

第一章 概 论

第一节 测试技术在科研 和生产中的重要性

测量是人类认识自然和改造自然不可缺少的手段，从古代起就有简单的测量，说明古人早就认识到测量工作的重要性。但是，那时的测量技术是处于极其低的水平，只用简单的方法，用简单的测试工具，对一些简单的量进行测量，对于这些量的物理意义的了解也是很肤浅的，甚至是一无所知的。例如，对时间这样一个极为重要的物理量，古人也一直用滴漏进行极其粗略的测量。因此，从今天来看，这些测量的结果就谈不上有什么精确性，可靠性。

随着科学技术的不断发展，测试技术作为独立的学科，出现于自然科学里。因此，更促使这门学科的发展，无论是在测量的深度和广度上都获得了巨大的发展，对于物理意义也有了深刻的了解。测试技术的发展（体现在于提高测试精度，新的测试方法，以及新的测试设备）推动科学技术的发展，而科学技术的发展，又促进测试技术更加完善，并相应的产生新的测试方法和新的设备。

微特电机的测试技术的发展，亦同样反映了这个过程。就我国微特电机的发展而言，是从仿制，过渡到自行设计，生产规模亦得到很大地发展，目前年产量已达数千万台。而与它一

起发展起来的测试技术也逐步从低级到高级。另外,由于军事技术和国民经济自动化的要求,微特电机的种类正在不断地发展,新品种不断出现,如特种函数电机、感应同步器等,由于新机种的出现,随之就有许多新的技术指标,要求新的测试技术和设备。测试技术以及设备,是随着生产而产生发展的,但是测试技术也将促进生产的发展和技术水平的提高。如感应同步器的电气精度,已高达几个角秒,若没有相应的高精度的测角系统就无法进一步提高感应同步器的精度。因此,测试技术的发展也将进一步促进科学技术的发展。

在一般的工业生产过程中,电机的测试可以分为检查试验和型式试验两种。检查试验是检查电机的技术指标,而型式试验是检查在不同环境条件下电机能否正常工作。确定电机样机或产品是否符合技术条件的要求,是产品生产过程中的最后一个环节,也是考核产品是否合格和提供用户使用的依据。

在科研生产中,为了知道所研制的电机能否达到预期的设计目的,需要做许多的分析试验。经过分析,如果有些指标不合格,则在下次生产中修改设计,使最后达到使用的要求,从而也可以衡量电机能否投入批量生产。可见,测试在科研、生产中仍然也是一个十分重要的环节。

随着科学技术的不断向前发展,测试技术的研究工作也不会停留在一个水平上,它将以自己的学科向前发展。近年来,由于电子技术的不断发展,给测试技术提供了许多新的测试手段。大量的数字式电子测量仪器的不断出现,给测试工作带来了测量准确度和工作效率高等方面的优点。ZJ型转矩传感器,它配上电路产生脉冲,供计数器以数字方式显示出,更有将转速和转矩二个测量装置合并在一起成为转矩-转

速测量仪,如国产PY-1A型就是这种仪器中的一种。总之,由于电子技术的不断发展,给测试工作增加了不少的新内容,从而使测试的可靠性、精确度以及工作的效率等大大地提高。如用转矩-转速测量仪,就可以同时测量出转矩和转速,可以同时在不同的计数器上读出其数值,这样的测量当然就简便得多。如果配上自动记录装置,则可以将整条转矩-转速曲线迅速地测出来,对于分析电机的性能提供了很大的方便,同时也节省了测量的时间。

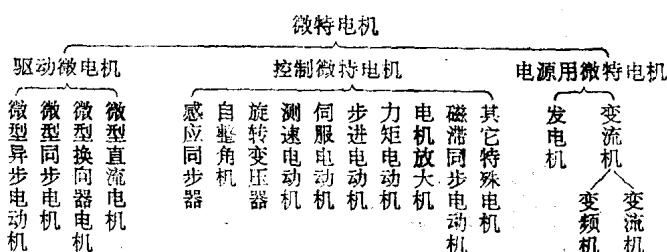
第二节 微特电机的分类及 基本参数的定义

微特电机顾名思义包含两个内容,一是微,二是特。微是指电机的外形尺寸和容量都比较小,特就是指这种微电机有些机种的容量虽不大或者没有容量的概念,但是它的外形尺寸比一般所指的微电机外形尺寸大。或者也是由于电机系列化的原因,不好将这种结构相似、性能指标相同的一系列电机分为微电机和中小型电机。例如,永磁式直流力矩电动机,它的外形尺寸是从外径 $\phi 36 \sim 500$ 毫米,而微电机的外径尺寸是在 $\phi 130$ 毫米以下,现在仍然把它视为微电机,但就外形尺寸来说又不能算微电机,所以称为微特电机。

如果从电机的性质来区分所有微特电机,它们可以分为驱动微电机、控制微特电机及电源用微特电机等三大类。它们的分类见表1-1。

驱动电机,一般是指电机轴中心高度在80毫米以下或机壳外径不大于 $\phi 160$ 毫米的电动机,功率是在750瓦以下的电动机,一般也称为分马力电动机。它可分为四个大类(见表

表 1-1 微特电机的分类



1-1), 这种电动机广泛应用于小型机床、台钻、电冰箱、洗衣机、鼓风机等等。

控制微特电机, 是指它的机壳不大于 $\phi 130$ 毫米, 它可分为八个大类(见表 1-1)。控制微特电机的用途很广, 种类繁多, 系统对这种电机的要求亦是多种多样的。因此, 控制微电机的种类和品种是微特电机最多的一种。这种电机广泛应用于自动控制系统、自动调节、远距离测量及计算解答装置之中。

电源用微特电机, 一般在自动化装置系统中作为小型电源或变换电流、电压之用。这种电机分为两个大类, 见表 1-1。

根据微电机的运动形式不同, 它们又可分为旋转型(其中包括有高速型、低速型)、直线位移型、有限转角型及步进旋转型等几类。因此, 要用许多的技术指标来分别描述它们的技术性能。但是, 为了使它们的技术指标有一个明确的概念, 不至于在不同的场合有不同的解释, 就有许多的定义来规定这些指标。上面已说过, 这些指标是各种各样的, 以下对一些主要的技术指标的定义, 作一般的介绍。

额定功率: 电动机的额定功率是指额定情况下的输出功率, 它的数值是通过测得转矩和转速的大小, 再由计算而得到

的。额定功率的计算公式为 $P_2 = \frac{1}{97500} M n$ (瓦) (M 是额定转矩, n 是额定转速), 即是输出机械功率。而发电机则是额定情况下输出的电功率。

转速: 是指在单位时间里电机转轴的旋转数或位移, 如果是在空载时的转速则称为空载转速, 在额定输出时的转速就称为额定转速。

转矩: 由于电机内部的电和磁相互作用, 在电机的轴上产生的转矩。对已做好的电机, 其转矩的大小与外加电压有关。如果在额定电压和频率的情况下产生的转矩, 称为额定转矩。而在额定电压和频率情况下, 电机不转时, 所测得的转矩, 称为起动转矩。

连续堵转转矩, 是指直流力矩电动机加以直流电压, 使电机的温升不超过允许温升时的转矩。

峰值堵转转矩, 是指直流力矩电机加以直流电压, 使电机不会产生去磁的最大电流时的转矩。

最大转矩, 交流驱动微电机中, 在额定电压和频率情况下, 它的机械特性有一个最大值, 这个最大值就是最大转矩。

脉动转矩, 直流电动机由于有齿槽和换向器的关系, 它们的转矩曲线上有个脉动的分量, 这个脉动分量就是脉动转矩。

牵入转矩, 是指在额定电压和额定频率下, 电动机带动一定转动惯量的负载牵入同步运行的最大转矩。

起动时间: 是指在一定的条件下, 电动机起动所需要的时间。如果是在额定电压和频率下, 则是额定情况的起动时间。

时间常数: 是指在空载和额定激磁下, 加以阶跃额定控制电压、转速从零升到空载转速 n_0 的 63.2% 所需要的时间。

电磁时间常数, 是指绕组两端加直流电压, 堵转时电流从

零上升到稳态值的 63.2% 所需的时间。

电气误差: 是指实际电气位置与理论电气位置的机械角度之差。

阻尼时间: 是指在力矩式自整角机系统中, 接收机自失调位置稳定到协调位置所需要的时间。

输出斜率: 对于旋转变压器, 在一定的激磁条件下, 每转动单位角度时输出电压的增量称为输出斜率。

对于测速发电机来说, 是指在一定激磁条件下, 单位转速的输出电压称为输出斜率。

线性误差: 对于旋转变压器及线性变压器来说, 是指其在工作转角范围内, 输出电压的实际值与对应的理论值之差对最大理论输出电压之比。

对于测速发电机来说, 是指其在工作转速范围内, 输出电压与理想输出电压之差对最大理想输出电压之比。

剩余电压: 对于自整角机来说, 是指它在一定激磁条件下, 控制式自整角机系统处于协调位置时的输出电压。

对于测速发电机来说, 是指它在一定激磁条件下, 转子不转时的输出电压。

第三节 微特电机测试 技术的特点

由上述可知, 微特电机为了适应于各种不同功能的使用, 在性能、结构与设计上有着许多的特殊要求, 由于其种类和品种繁多, 与此相应它的技术指标也是多种多样的, 要对这些技术指标进行测量, 相应地就要有各种测试的方法和设备。如它有功率、电流、转速方面的测量, 这些项目是与中、小型电动

机大致相同。作为控制系统用的微电机，它们的技术性能指标就有许多的特殊要求。

由于控制电机在系统中的执行任务不同，甚至对同样的电机在不同的使用条件下就有不同的指标，如自整角机，它用在同步传动系统和随动系统中。在两个或两个以上的自整角机，不用机械上相连而得到相同相位的同步旋转，就是用两台完全相同的自整角机，一台作发送机，另一台作接收机，虽然电机是相同，但是指标不同，并要求有一定的传动精度等。

旋转变压器主要是用在计算装置中，它的输出电压与转子的转角之间要求按一定函数的规律变化，如正弦函数，弹道函数等，要求有一定的精度。

伺服电动机用来执行旋转任务，将电信号转换为机械旋转信号。有信号就转，没有信号就应立即停止，动作的响应应该灵敏。因此，要求伺服机的响应动作要快，即时间常数要小，应无自转的要求。

测速发电机是用输出电压来反应旋转信号的，要求输出电压和旋转信号有严格的线性关系，所以要求有线性度是测速发电机的主要性能，线性精度也是很重要的指标。

直流力矩电动机，它是处在低转速下工作的，也常常在堵转下工作，因此电机要承受在堵转下的温升不超过允许值。

总之，微特电机的种类远远超过中、小型电动机种类，它的使用范围、技术指标也远远超过中、小型电机。

上面所举出的一些电机的主要技术指标，为了得到这些技术指标就要有相应的测试技术和设备，如测量测速发电机的线性误差，就应该有一套测试线性误差的设备，如相敏指零仪，变频调速的同步电动机等等，要测感应整步机的精度，没有精确度到1个角秒的分度头，就不能测量精度为几个角秒

的电机。从这里可以看到,微特电机的测试技术的深度和广度要远远超过中、小型电机的测试技术。

除这些技术指标的测试以外,还有对环境条件适应性的检验。由于微特电机的种类多,使用的环境条件又是千差万别,因此要求微特电机不仅要满足技术要求指标,还要满足使用环境条件的指标。此外,还要能满足冲击、振动、高温、低温、高真空和三防的要求以及寿命要求等。由于微特电机目前还是大部分用在国防、自动化方面,所以这些环境要求是异常严格的,如冲击加速度可以达到几十个重力加速度,甚至达到上百个重力加速度。高温可达 $+85^{\circ}\text{C}$ 或者更高达 125°C , 低温也达 -55°C , 真空度也达到 10^{-9} 毫米汞柱,如此的特殊环境要求,就要有这些特殊的测试设备。要得到这些特殊环境条件,当然也不是一件容易的事,如要得到高真空度,需要先进行低温,因此要做这项实验,要投入大量的实验设备和人力。

第二章 微特电机几个 主要项目的测试

第一节 转速(速度)的测量

电动机的转速是以单位时间的转数来表示的,一般都是采用一分钟内旋转多少转,记作转速的单位(转/分)。用角速度表示,则用一秒钟内电机转过的弧度记作角速度的单位(弧度/秒)。对于不用旋转数来表示的步进电动机,则用一秒钟内走过多少步来表示,记作(步/秒)。作直线运动的电动机是以一秒钟内移动多少距离来表示,记作(米/秒)或(厘米/秒)。

转速与速度的测量方法有许多的种类。在微特电机中,最常用的方法是采用钟表式转速表、磁性转速表、频闪法测速仪以及光电转速表等。但是,这些测速方法都存在一定不足之处,在要求测试精度较高的场合,就要通过各种不同的传感器,将转速变为电量,然后用数模转化并以数字方式显示出来,或者用自动化测试。

一、几种常用的测速方法

1. 钟表式转速表

这种转速表的工作原理,

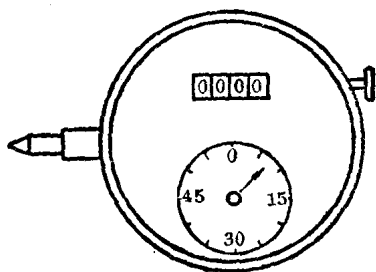


图 2-1 钟表式转速表的外形

就是在一定间隔时间内测到被测轴的转数，所以用钟表式测速表所测到的不是瞬时的转速值，而是测量到一定时间间隔内的平均转速，它的外形如图2-1所表示。

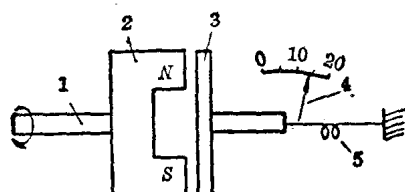


图 2-2 磁性转速表原理图

1—转轴；2—磁钢；3—铝盘；
4—指针；5—游丝

2. 磁性转速表 磁性转速表是利用电磁感应（涡流），把转速变换为转角的转速表。其工作原理如图 2-2 所示。转速表是由旋转磁钢和固定在表针轴

上的铝盘组成磁感应的系统，磁钢与转轴连接到被测转轴上，在铝盘的轴上装着游丝的一端与指针相连，游丝的另一端固定不动。当磁钢旋转时，磁力线和铝盘相切割，在铝盘上感应电势，从而产生电流（涡流），与磁钢的旋转磁场相作用，磁钢和铝盘之间便产生转矩，转动游丝，游丝产生一反力矩，当两个力矩平衡时，便稳定下来，指针也就指出一个读数。涡流产生的转矩，在一定范围内是与转速成比例的，而游丝产生的反力矩是与转角成比例的，所以转角与转速成正比。磁性转速表的结构简单、维护方便、价格便宜，但是随环境温度的变化误差较大。

3. 频闪法测速 频闪法测速是利用人的眼睛在一段时间内仍保持着已从视觉中消失的物体的视觉印象。它的测量原理是把具有闪光频率的光源照射到旋转的被测转轴上，当闪光频率与转轴的转速一致或为它的整数分之一时，使看起来似乎是静止一样。

用频闪法测量转速时，在被测电机轴上需装上一测速圆盘，如图 2-3 所示。如果电机的旋转速度为 n_1 ，灯光闪烁的

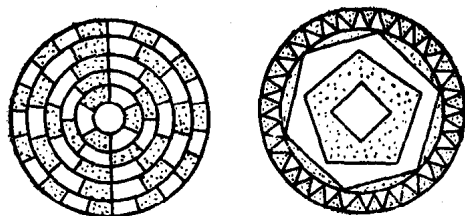


图 2-8 测速圆盘

频率为 f_0 ，在测速圆盘的记号数为 m ，则当 $mn_1 = nf_0$ 时，图形看上去好象静止不动，频率越高这种感觉更加明显。如果 n/m 不是整数比，略有偏差时，就可以看到测速圆盘上的图形也会以相应的转速缓慢转动。若图形转动一周所需的时间为 t ，就能测定电机的转速，这时电机的转速 n_1 可以用下式来表示：

$$n_1 = \frac{n}{m} f_0 \pm \frac{1}{t}$$

如 n_1 的单位为转/分，则上式 $\frac{1}{t}$ 应为 $\frac{60}{t}$ 。当图形上记号的旋转速度和电机旋转相同时，上式中取 + 号，否则取 - 号。这种测量方法的准确性关键在于光源的频率，如光源的频率精度较高，测试精度也随之较高。但在测量时有时会出现相同的图形记号而实际是不相同的转速，所以要在不同点测量，进行比较，确定真正的转速。

二、速度传感器法

转速(速度)的测量，除了上述的测量方法之外，大都是采用非电量变换为电量，然后再进行电测量。这一变换通常是有一种称为传感器的装置来实现的，它能够取得与转轴的转速成正比的脉冲信号，将脉冲信号进行计数或变为电压、电流信号就能够测量到转速。这种测试方法具有结构简单、

可靠、测量精度高的优点,所以目前广泛被采用。

为了使速度的测量达到一定的精度,因此对速度传感器提出如下的质量要求:

- (1) 灵敏度高,即输出的电量与输入的非电量之比要大;
- (2) 输出和输入量保持好的线性关系;
- (3) 传感器所能测量的非电量要小;
- (4) 传感器具有惯性小,即输入量和输出量的时间差要小;
- (5) 适应性强,运行可靠。

传感器的种类很多,下面介绍几种常用的速度传感器。

1. 投射式光电传感器 投射式是指光源直接照射到接

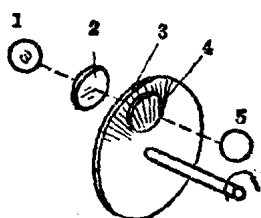


图 2-4 投射式光电转速
传感器原理图

1—光源; 2—透镜; 3—测量盘;
4—读数盘; 5—光敏元件

收信号的光电管上,在光源和光电管之间插入一个开有均匀分布的小孔的圆盘(称为测量盘,见图 2-4),盘上的小孔数目一般是取 60 个或是 60 的倍数个。从图 2-4 中可看到,光电管接到的光的脉冲是和电动机的转速成正比。用这种方法测量时,需将测量盘装在电动机的轴上,增加了

测量时的工作量,同时由于转轴上加一个盘会给测试带来一点误差,因此往往是采用反射式光电传感器。

2. 反射式光电传感器 用这种传感器测量时,先要在电机轴上贴反光材料。从图 2-5 可见,由光源发出的光线通过透镜 2,将光线变成平行光线,经过半透明膜,将反射的部分光线穿过透镜 3,聚焦在电动机轴上,在电动机轴上反射到透镜 3 的光线,变为平行光线,穿过半透明膜,到透镜 5,经聚

焦到光敏管上，在光敏二极管就产生脉冲信号。光敏二极管上的脉冲频率正比于电动机的转速。脉冲信号经过放大处理，最后由显示部分读出电机的转速。

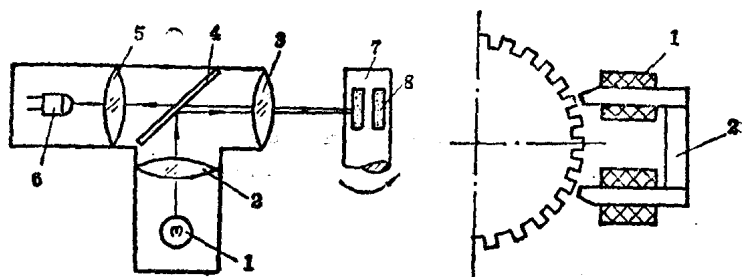


图 2-5 反射式光电转速传感器原理图 图 2-6 磁电式传感器原理图

1—光源；2、3、5—透镜；4—半透膜； 1—测量线圈；2—永久磁铁
6—光敏元件；7—转轴；8—反射点

光电式传感器的惯性小，输出量和输入量的时间差极小，运行可靠，是一种非接触式的测量，在转速测量中广泛地被采用，尤其是反射式光电传感器，只需在电机轴上贴上反光材料，比较简单，对被测电机也没有多大的影响。

3. 磁电式传感器 由图 2-6 可见，它是利用磁导变化的原理做成的。带齿导磁轮是用导磁材料做成的，它的齿与马蹄形的磁铁形成磁导最大（与 2 个齿相对）或最小（与 2 个槽相对），由于磁导的变化在测量线圈中将感应出与磁导变化相对应的频率电势，此电势的频率与电动机的转速成正比。

4. 模拟式电子转速表 从转速传感器得到的脉冲信号经过放大和整形后，转换为具有一定幅度和宽度的脉冲信号，对这一脉冲信号积分后输出与脉冲频率成比例的直流电压信号，由直读式电表直接读出转速的数值（见图 2-7）。这种转速表的输入信号是与转速严格成正比的频率信号，能够输出