



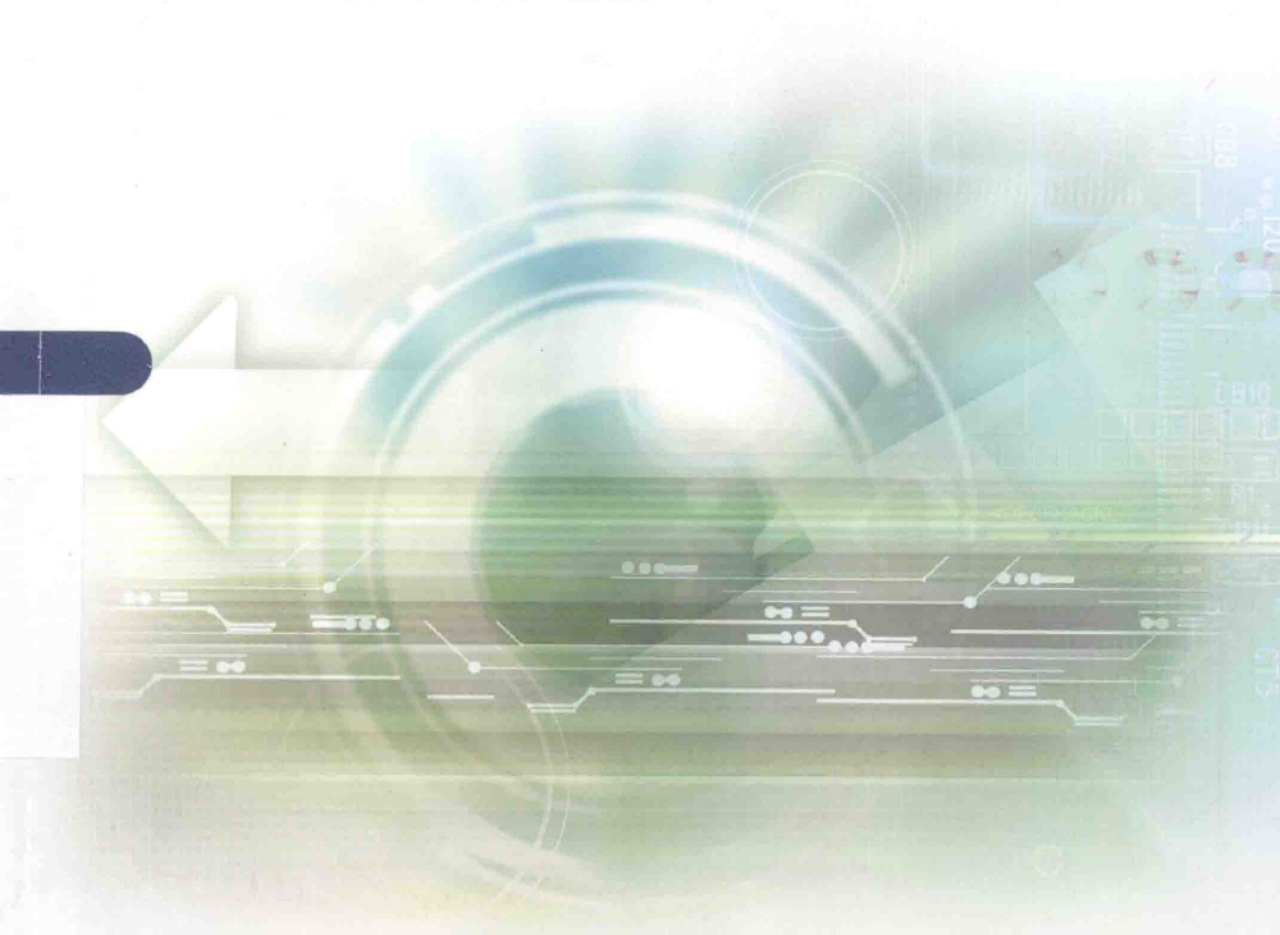
高等教育“十二五”规划教材

电机实践 指导书

Dianji Shijian Zhidaoshu

于子捷 方荣惠 邓先明 编著

中国矿业大学出版社



高等教育“十二五”规划教材

电机实践指导书

于子捷 方荣惠 邓先明 编 著

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

为了满足学生“电机与拖动基础”、“控制电机”课程的基本需求和高层次创新人才的培养,本书在内容上作了较充分的准备,全书共分四大部分。第一部分是电机物理量的测量;第二部分是电机原理及其拖动基础的实验;第三部分是综合创新实验;第四部分是控制电机实验。

本书可作为高等院校相关专业本科生的教材,并可供从事电气工程的技术人员及其他工科院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

电机实践指导书 / 于子捷,方荣惠,邓先明编著.

—徐州:中国矿业大学出版社,2013.8

ISBN 978 - 7 - 5646 - 1790 - 5

I. ①电… II. ①于… ②方… ③邓… III. ①电机学

—实验—高等学校—教材②电力传动—实验—高等学校—

教材 IV. ①TM3—33②TM921—33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 011098 号

书 名 电机实践指导书

编 著 于子捷 方荣惠 邓先明

责任编辑 仓小金

出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司

(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)

营销热线 (0516)83885307 83884995

出版服务 (0516)83885767 83884920

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司

开 本 787×1092 1/16 印张 11.25 字数 280 千字

版次印次 2013 年 8 月第 1 版 2013 年 8 月第 1 次印刷

定 价 18.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

创新和实践能力的训练是培养高素质人才的重要组成部分,而创新能力则以实践能力为基础,这是因为创新基于实践、源于实践,因此注重实践能力的培养,是创新人才培养的根本。

为了满足学生“电机与拖动基础”、“控制电机”课程的基本需求和高层次创新人才的培养,本书在内容上作了较充分的准备,全书共分四大部分。第一部分是电机物理量的测量,内容有:电机的绝缘、转速、转矩、温升以及噪声等物理量的测量原理及其方法;第二部分是电机原理及其拖动基础的实验,内容有:直流发电机,直流电动机,单、三相变压器,三相异步电动机和三相同步电动机基本特性和参数测定基础实验,共分六章,14个实验;第三部分是综合创新实验,内容包括:电器设备的基础测试、电机测速方法的研究、变速恒频双馈风力发电独立运行模拟实验、变速恒频双馈风力发电并网运行模拟实验、永磁同步电机综合实验、同步电机无传感器转子位置和速度检测实验、直流电机定子温度测试实验等;第四部分是控制电机实验,内容有:步进电机、旋转变压器、伺服电动机、自整角机、开关磁阻电机、无刷直流电机以及三相永磁同步电机等控制电机的实验。第一部分由方荣惠编著,第二部分由于子捷编著,第三部分由于子捷、邓先明编著,第四部分由于子捷编著。

本书可作为高等院校相关专业本科生的教材,并可供从事电气工程的技术人员及其他工科院校师生参考。

由于编著者的水平所限,书中定有缺点和错误,敬请读者批评指正,不吝赐教。

编著者

2013年4月

目 录

第一部分 电机物理量的测量

第一章 电机绝缘的测量	3
第二章 电机转速的测量	6
第三章 电机转矩的测量	14
第四章 电机温度的测量	18
第五章 电机噪声的测量	22

第二部分 电机原理及拖动基础实验

第一章 实验须知	27
第一节 电机及拖动基础实验守则	27
第二节 电机及拖动基础实验基本要求	27
第三节 DDSZ—1 型电机电气技术实验装置交直流电源操作说明	29
第四节 DDSZ—1 型电机电气技术实验装置(DD01 控制屏的使用操作说明)	30
第二章 直流电机实验	33
第一节 认识性实验	33
第二节 直流发电机	35
第三节 直流并励电动机	40
第四节 直流串励电动机	44
第三章 采用传统实验设备的变压器实验	48
第一节 三相变压器空载和短路实验	48
第二节 三相变压器极性测定及联接组别校验	50
第三节 单相变压器的并联运行	53
第四节 三相变压器的谐波	55
第四章 异步电机实验	58
第一节 三相鼠笼式异步电动机的工作特性	58
第二节 三相异步电动机的启动与调速	65

第五章 同步电机实验	69
第一节 三相同步发电机的运行特性	69
第二节 三相同步发电机的并联运行	74
第三节 三相同步电动机	78
第四节 三相同步电机参数的测定	82
第六章 电机机械特性的测定	88
第一节 直流他励电动机在各种运转状态下的机械特性	88
第二节 三相异步电动机在各种运行状态下的机械特性	91

第三部分 综合创新实验

实验一 电器设备的基础测试	99
实验二 电机测速方法的研究	101
实验三 变速恒频双馈风力发电独立运行模拟实验	104
实验四 变速恒频双馈风力发电并网运行模拟实验	109
实验五 永磁同步电机综合实验	112
实验六 同步电机无传感器转子位置和速度检测实验	119
实验七 直流电机定子温度测试实验	122

第四部分 控制电机实验

实验一 步进电动机实验	127
实验二 旋转变压器实验	133
实验三 伺服电动机	138
实验四 自整角机	143
实验五 开关磁阻电机实验	150
实验六 无刷直流电机实验	157
实验七 三相永磁同步电机实验	161
附录一 DDSZ—1 装置可提供的组件目录	166
附录二 标准图形符号	168
附录三 DDSZ—1 型电机及电气技术实验装置电机铭牌数据一览表	171

第一部分

电机物理量的测量

第一章 电机绝缘的测量

电机停用或备用时间较长时,线圈受潮或有大量积尘,影响电动机的绝缘。长期使用的电机,绝缘有可能老化,端线松弛,失去绝缘性能等,这些都会影响电机的正常使用。为了保证电机的良好使用状态,需要对电机的绝缘性能进行测量。电机绝缘性能的好坏,跟每两相绕组和每相绕组与机壳之间的绝缘电阻值大小有关,绝缘电阻越大绝缘性能就越好。绝缘电阻一般通过兆欧表(摇表)进行测量,兆欧表用于检查电机、电器及线路的绝缘情况和测量高值电阻。

一、兆欧表(摇表)(图 1-1-1)的结构及工作原理

1. 结构

图 1-1-1 为摇表外形,其内部结构为两个线圈固定在同一轴上且相互垂直。一个线圈与电阻 R_2 串联,另一个线圈与电阻 R_1 和被测电阻 R_x 串联,两者并联接于直流电源。



图 1-1-1 兆欧表

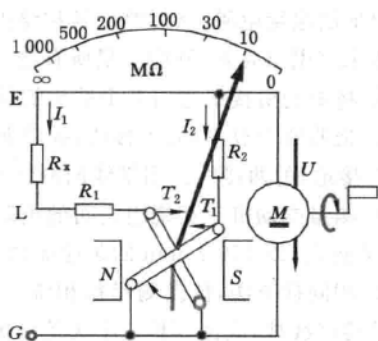


图 1-1-2 兆欧表工作原理

2. 工作原理

兆欧表的工作原理如图 1-1-2 所示。被测电阻 R_x 接于兆欧表测量端子“线端”L 与“地端”E 之间。摇动手柄,直流发电机输出直流电流。线圈 1、电阻 R_1 和被测电阻 R_x 串联,线圈 2 和电阻 R_2 串联,然后两条电路并联后接于发电机电压 U 上。设线圈 1 电阻为 r_1 ,线圈 2 电阻为 r_2 ,则两个线圈上电流分别是:

$$I_1 = \frac{U}{r_1 + R_1 + R_x} \quad I_2 = \frac{U}{r_2 + R_2}$$

则

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{r_2 + R_2}{r_1 + R_1 + R_x}$$

式中, r_1 、 r_2 、 R_1 和 R_2 为定值, R_x 为变量,所以改变 R_x 会引起比值 I_1/I_2 的变化。由于线圈 1 与线圈 2 绕向相反,流入电流 I_1 和 I_2 后在永久磁场作用下,在两个线圈上分别产生两个方向相反的转矩 T_1 和 T_2 。由于气隙磁场不均匀,因此 T_1 和 T_2 既与对应的电流成正比又与其线圈所处的角度有关。当 $T_1 \neq T_2$ 时指针发生偏转,直到 $T_1 = T_2$ 时,指针停止。指针偏转的角度只决定于 I_1 和 I_2 的比值,此时指针所指的是刻度盘上显示的被测设备的绝缘电

阻值。当 E 端与 L 端短接时, I_1 为最大, 指针顺时针方向偏转到最大位置, 即“0”位置; 当 E、L 端未接被测电阻时, R_x 趋于无限大, $I_1 = 0$, 指针逆时针方向转到“ ∞ ”的位置。该仪表结构中没有产生反作用力矩的游丝, 在使用之前, 指针可以停留在刻度盘的任意位置。

一般还规定在测量额定电压在 500 V 以上的电气设备的绝缘电阻时, 必须选用 1 000~2 500 V 兆欧表。测量 500 V 以下电压的电气设备, 则以选用 500 V 摇表为宜。

二、兆欧表(摇表)的使用

1. 选择仪表

使用兆欧表测量绝缘电阻时, 通常对 500 V 以下电压的电动机用 500 V 兆欧表测量; 对 500~1 000 V 电压的电动机用 1 000 V 兆欧表测量。对 1 000 V 以上电压的电动机用 2 500 V 兆欧表测量。

2. 电动机绝缘电阻测量步骤

测量电动机的绝缘电阻, 就是测量电动机绕组对机壳和绕组相互间的绝缘电阻。各相绕组的始末端均引出机壳外, 应断开各相之间的连接线, 分别测量每相绕组的绝缘电阻, 即绕组对地的绝缘电阻; 然后测量各相绕组之间的绝缘电阻, 即相间绝缘电阻。如果绕组只有始端或末端引出壳外, 则应测量所有绕组对机壳的绝缘电阻。

① 将电动机接线盒内 6 个端头的联片拆开。

② 把兆欧表放平, 先不接线, 摇动兆欧表。表针应指向“ ∞ ”处, 再将表上有“L”(线路)和“E”(接地)的两接线柱用带线的测试夹短接, 慢慢摇动手柄, 表针应指向“0”处。

③ 测量电动机三相绕组之间的电阻。将两测试夹分别接到任意两相绕组的任一端头上, 平放摇表, 以 120 r/min 的匀速摇动兆欧表 1 min 后, 读取表针稳定的指示值。

④ 用同样方法, 依次测量每相绕组与机壳的绝缘电阻值。但应注意, 表上标有“E”或“接地”的接线柱, 应接到机壳上无绝缘的地方。摇表有 3 个接线柱: 接地极(E)、线路(L)和保护环(G)。

a. 测量线路对地的绝缘电阻: E 极接地线, L 极接被测的线路。

b. 测量电机或电气设备外壳的绝缘电阻: E 极接被测设备的外壳, L 极接被测导线或绕组一端。

c. 测量电缆芯线的绝缘电阻: E 极接电缆的外表皮(铅套)上, L 极接芯线, G 极接在最外层的绝缘包扎层上。

3. 测量电动机绝缘电阻注意事项

① 使用兆欧表测量设备绝缘, 应使用相应电压等级的绝缘表。

② 使用前应检查绝缘表完好, 并试验合格。

③ 使用绝缘表测量电动机绝缘, 应佩戴绝缘手套。

④ 测量前, 应在被测设备电源进线处验电, 确认无电压方可测量。

⑤ 验电前, 应在有电部位检查验电器完好。

⑥ 测量时应注意保持与带电部分的安全距离。

⑦ 测量时, 导线不能缠绕, 不能有裸露。

⑧ 电动机在热状态(75 °C)条件下, 一般中小型低压电动机的绝缘电阻值应不小于 0.5 M Ω ; 高压电动机每千伏工作电压定子的绝缘电阻值应不小于 1 M Ω , 例如: 6 kV 电动机绝缘电阻值不低于 6 M Ω 。每千伏工作电压绕线式转子绕组的绝缘电阻值, 最低不得小于 0.5

M Ω ;电动机二次回路绝缘电阻不应小于 1 M Ω 。

4. 摇表使用时应注意以下几点

- ① 摇表应按被测电气设备的电压等级来选择。
- ② 测量前,被测设备应切断电源。对于电容量较大的设备应进行接地放电。
- ③ 测量前先将兆欧表进行一次开路和短路试验。
- ④ 摇测时,摇表必须平放,转速要均匀,每分钟约 120 转,勿使摇表振动。
- ⑤ 摇表的接线必须使用两根独立绝缘导线,不得使用平行线或绞线。
- ⑥ 测量后,应将被测设备充分放电。
- ⑦ 用摇表测量电阻时,要持续 1 min。
- ⑧ 测量时,应清洁被测电气设备表面,以免引起接触电阻大,测量结果不准。
- ⑨ 在测电容器的绝缘电阻时需注意:电容器的耐压必须大于兆欧表的电压值。测完电容后,应先取下摇表线再停止摇动摇把,以防已充电的电容向摇表放电而损坏仪表。测完的电容要用电阻进行放电。

第二章 电机转速的测量

转速是电机运行中的一个重要物理量,如何准确、快速而又方便地测量电机转速,就显得极为重要。目前国内外常用的转速测量方法有离心式转速表测速法、测速发电机测速法、闪光测速法、光电码盘测速法和霍尔元件测速法。不同的测速方法,有着不同的测速原理,下面分别进行介绍。在这五种测速方法中,离心式转速表测速法和测速发电机测速法所用的都是现成的测速仪表,容易得到。但转速表或测速机都要与电机同轴连接,一方面增加了电机机组安装难度,另一方面有些微电机功率很小,转速表或测速机消耗的功率占了微电机大部分,更有甚者微电机甚至拖不动这些仪表,所以对微特电机的测速,这两种方法不适用。霍尔元件测速法和光电码盘测速法的测速方法基本类似,都是在转轴上装一个很轻巧的传感器,将电机的转动信号通过磁(霍尔元件)或光(光电码盘)转换为电脉冲,从而通过计算电脉冲的个数来测速。闪光测速法目前实际应用不广泛,主要是光源的问题。

一、离心式转速表测速法

1. 仪表结构

离心式转速表主要由机心、变速器和指示器三部分组成,离心式转速表结构示意图如图 1-2-1 所示。重锤利用连杆与活动套环及固定套环连接,固定套环装在离心器轴上,离心器通过变速器从输入轴获得转速。另外还有传动扇形齿轮、游丝、指针等装置。离心式转速表的外形如图 1-2-2 所示。为使转速表与被测轴能够可靠接触,转速表都配有不同的接触头。使用时可根据被测对象选择合适的接触头安装在转速表输入轴上。

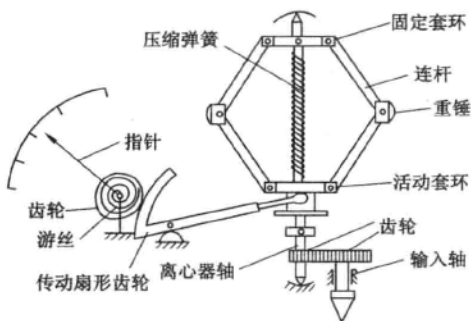


图 1-2-1 离心式转速表结构

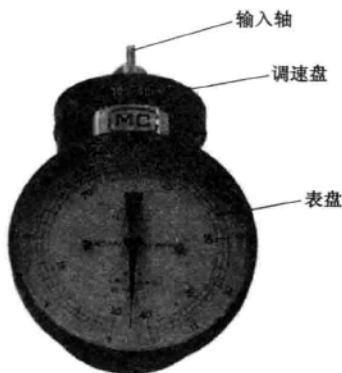


图 1-2-2 离心式转速表

2. 测速原理

当离心器旋转时,重锤随着旋转所产生的离心力通过连杆使活动套环向上移动并压缩弹簧。当转速一定时,活动套环向上的作用力与弹簧的反作用力相平衡,套环将停在相应位置。同时,活动套环的移动通过传动机构的扇形齿轮传递给指针,在表盘上指示出被测转速的大小。显然,转速表指针的偏转与被测轴旋转方向无关。

由于离心力 $F = mr\omega^2$,即离心力与旋转角速度的平方成正比,因而离心式转速表的刻度盘是不等分度的。为减小表盘分度的不均匀性,可恰当选取转速表的各种参量及测量范

围,充分利用其特性的线性部分,达到使表盘分度尽量均匀的目的。

便携式转速表通常利用变速器来改变转速表的量程。如 LZ—30 型离心式转速表就具有下列 5 个量程(r/min): $30\sim 120$, $100\sim 400$, $300\sim 1200$, $1\ 000\sim 4\ 000$, $3\ 000\sim 12\ 000$ 。在这种转速表的表盘上通常标有两列刻度,如分度盘的外围标有 $3\sim 12$,内圈标有 $10\sim 40$,它分别适用于两组量程。

3. 测速方法

① 转速表在使用前应加润滑油(钟表油),可从外壳和调速盘上的油孔注入。
② 为适应不同的旋转轴,离心式转速表都配有不同的触头,使用时可进行选择。
③ 合理选择调速盘的挡位,不能用低速挡去测量高转速。若不知被测转速的大致范围,可先用高速挡测量一个大概数值,然后用相应挡进行测量。

④ 转速表轴与被测转轴接触时,应使两轴心对准,动作要缓慢,以两轴接触时不产生相对滑动为准。同时尽量使两轴保持在一条直线上。

⑤ 若调速盘的位置在 I、Ⅲ、V 挡,测得的转速应为分度盘外圈数值再分别乘以 10、100、1 000;若调速盘的位置在 II、IV 挡,测得的转速应为分度盘内圈数值再分别乘以 10、100。

二、测速发电机测速法

1. 测速发电机结构

测速发电机分为直流测速发电机和交流测速发电机。交流测速发电机又分为:空心杯转子异步测速发电机、笼式转子异步测速发电机和同步测速发电机三种。

直流测速发电机结构原理如图 1-2-3 所示,其工作原理与普通直流发电机一样,即电刷两端的输出电压与电机的转速成正比。

空心杯转子异步测速发电机结构如图 1-2-4 所示,工作原理如图 1-2-5 所示,主要由内定子、外定子及在它们之间的气隙中转动的杯形转子所组成。励磁绕组、输出绕组嵌在定子上,彼此在空间相差 90° 电角度。杯形转子是由非磁性材料制成,当转子不转时,励磁后由杯形转子电流产生的磁场与输出绕组轴线垂直,输出绕组不感应电动势;当转子转动时,由杯形转子产生的磁场与输出绕组轴线重合,在输出绕组中感应的电动势大小正比于杯形转子的转速,而频率和励磁电压频率相同,与转速无关。反转时输出电压相位也相反。杯形转子是传递信号的关键,其质量好坏对性能起很大作用。由于它的技术性能比其他类型交流测速发电机优越,结构不很复杂,同时噪声低,无干扰且体积小,是目前应用最为广泛的一种交流测速发电机。笼式转子异步测速发电机结构与交流伺服电动机相似,因输出的线性度较差,仅用于要求不高的场合。同步测速发电机:以永久磁铁作为转子的交流发电机。由于输出电压和频率随转速同时变化,又不能判别旋转方向,使用不便,在自动控制系统中用得很少,主要供转速的直接测量用。

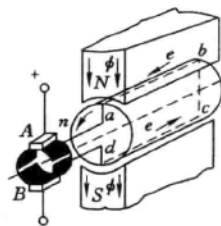


图 1-2-3 直流测速发电机结构原理图

2. 测速原理

无论是直流还是交流测速发电机,其绕组和磁路经精确设计,使其输出电动势 E 和转速 n 呈线性关系,即 $E=Kn$, K 是常数。改变旋转方向时输出电动势的极性也相应改变。在被测机构与测速发电机同轴连接时,只要检测出输出电动势,就能获得被测机构的转速,

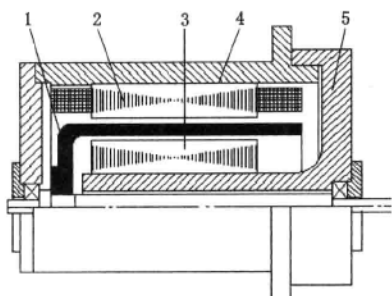


图 1-2-4 空心杯转子异步测速发电机结构

1——杯形转子；2——外定子；3——内定子；
4——机壳；5——端盖

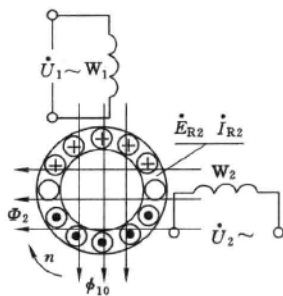


图 1-2-5 空心杯转子异步测速发电机原理

故又称速度传感器。

3. 测速方法

测速发电机连接到被测电机的轴端，将被测电机的机械转速变换为电压信号输出，在输出端接一个刻度以转速为单位的电压表，即可读出转速。

三、闪光测速法

1. 闪光测速仪

闪光测速仪俗称频闪仪、频闪测速仪，是一种非接触式转速测量仪器，同时也能对转动进行动态观测，包括测量旋转物的转速，周期性震动频率，转向判别，也可观察运转机件的磨损变形，广泛应用于机电设备的测量。因为它采用不接触的测量方法，因而不消耗被测物体的动能，所以特别适合于测速，转子、齿轮啮合、振动设备诊断，包装生产线，高速运动物体表面缺损及运行轨迹。

闪光测速法是利用可调脉冲频率的专用电源施加于闪光灯上，将闪光灯的灯光照到电机转动部分（可在电机端轴上粘贴一张标记纸片），当调整脉冲频率使黑色扇形片静止不动时，此时脉冲的频率是与电机转动的转速是同步的。若脉冲频率为 f ，则电机的转速为 $n = 60f(\text{r/min})$ 。

2. 工作原理

闪光测速仪实际提供了一个频率可调，持续时间极短的脉冲光源。假如电风扇以 $1\,300\text{ r/min}$ 的速度旋转，闪光频率也是 $1\,300\text{ r/min}$ ，由于两者速度相等（同步）。显然每次闪光时，电扇叶片必将位于上次闪光时所在的位置上。因此，借助于人的视觉暂留，电扇的叶片似乎根本不动。这就是说，当仪器的闪光频率与被测物的转动频率相等时，转动物体看起来好像静止一样，呈现一个静止的图像。这时，闪光频率就是物体的转速，这就是闪光测速原理。

假定风扇的转速仍旧是 $1\,300\text{ r/min}$ ，而闪光的速度变为 $1\,301\text{ 次/min}$ ，由于闪光速度比电扇转速快，所以每次闪光时，电扇的叶片还没有到达上次闪光照射时所在的位置而略有滞后。这种现象在视觉上会觉得电扇在缓慢地向后转动。反之，当闪光速度是 $1\,299\text{ 次/min}$ 时，人眼就会觉得电扇在缓慢地向前转动。这就是说，当仪器的闪光频率与被测物的转动频率略有不同时，就会出现比实际速度慢得多的频闪图像，而且它恰恰是高速运动的真实翻版。利用这个现象就可以对高速运动进行仔细观察和测量。

3. 测速方法

按照测速仪说明书使用即可。

四、光电编码器测速法

光电脉冲编码器是一种数字式角度传感器,它能将角位移量转换为与之对应的电脉冲进行输出,主要用于机械转角位置和旋转速度的检测与控制。在以光电编码器构成的测速系统中,常用的测速方法有三种,即“M法”、“T法”和“M/T法”。①在规定时间内测量所产生的脉冲个数来获得被测速度,称为M法测速;②测量相邻两个脉冲的时间来测量速度,称为T法测速;③同时测量检测时间和在此时间内脉冲发生器发出的脉冲个数来测量速度,称为M/T法测速。以上三种测速方法中,M法适合于测量较高的速度,能获得较高分辨率;T法适合于测量较低的速度,这时能获得较高的分辨率;而M/T法则无论高速低速都适合测量。

1. 光电编码器简介

光电编码器分为绝对式和增量式两种类型。增量式光电编码器具有结构简单、体积小、价格低、精度高、响应速度快、性能稳定等优点,应用更为广泛。在高分辨率和大量程角速率/位移测量系统中,增量式光电编码器更具优越性。绝对式编码器能直接给出对应于每个转角的数字信息,便于计算机处理,但当进给数大于一转时,须作特别处理,而且必须用减速齿轮将两个以上的编码器连接起来,组成多级检测装置,使其结构复杂、成本高。

增量式编码器是指随转轴旋转的码盘给出一系列脉冲,然后根据旋转方向用计数器对这些脉冲进行加减计数,以此来表示转过的角位移量。增量式光电编码器码盘结构示意图如图1-2-6所示。光电码盘与转轴连在一起。码盘可用玻璃材料制成,表面镀上一层不透光的金属铬,然后在边缘制成向心的透光狭缝。透光狭缝在码盘圆周上等分,数量从几百条到几千条不等。这样,整个码盘圆周上就被等分成 n 个透光的槽。增量式光电码盘也可用不锈钢薄板制成,然后在圆周边缘切割出均匀分布的透光槽。

增量式编码器的工作原理如图1-2-7所示。它由主码盘、鉴向盘、光学系统和光电变换器组成。在图形的主码盘(光电盘)周边上刻有节距相等的辐射状窄缝,形成均匀分布的透明区和不透明区。鉴向盘与主码盘平行,并刻有A、B两组透明检测窄缝,它们彼此错开 $1/4$ 节距,以使A、B两个光电变换器的输出信号在相位上相差 90° ,为了判断码盘旋转的方向,因为AB两相相差 90° ,可以通过判断A相在先还是B相在先,从而判断正转还是反转。工作时,鉴向盘静止不动,主码盘与转轴一起转动,光源发出的光投射到主码盘与鉴向盘上。当主码盘上的不透明区正好与鉴向盘上的透明窄缝对齐时,光线被全部遮住,光电变换器输出电压为最小;当主码盘上的透明区正好与鉴向盘上的透明窄缝对齐时,光线全部通过,光电变换器输出电压为最大。主码盘每转过一个刻线周期,光电变换器将输出一个近似的正弦波电压,且光电变换器A、B的输出电压相位差为 90° 。光电编码器的光源最常用的是自身有聚光效果的发光二极管。当光电码盘随工作轴一起转动时,光线透过光电码盘和光栏板狭缝,形成忽明忽暗的光信号。光敏元件把此光信号转换成电脉冲信号,通过信号处理电路后,向数控系统输出脉冲信号,也可由数码管直接显示位移量。

光电编码器的测量准确度与码盘圆周上的狭缝条纹数 n 有关,能分辨的角度 α 为 $360^\circ/n$,分辨率为 $1/n$ 。例如:码盘边缘的透光槽数为512个,则能分辨的最小角度 $\alpha=360^\circ/512=0.703^\circ$ 。

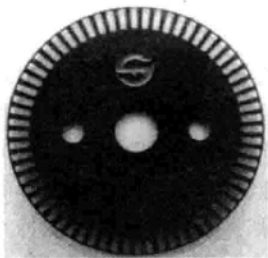


图 1-2-6 增量式光电编码器码盘

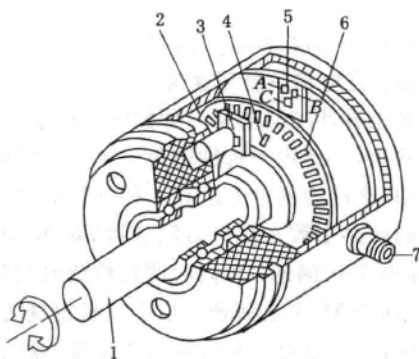


图 1-2-7 增量式光电盘结构示意图

- 1——转轴;2——发光二极管;3——鉴向盘;
4——零标志位光槽;5——光敏元件;6——码盘;
7——电源及信号线连接座

为了得到码盘转动的绝对位置,还须设置一个基准点,如图 1-2-7 中的“零位标志位光槽”。码盘每转一圈,零位标志位光槽对应的光敏元件产生一个脉冲,称为“一转脉冲”。

绝对式编码器是把被测转角通过读取码盘上的图案信息直接转换成相应代码的检测元件。在透明材料的圆盘上精确地印制上二进制编码。图 1-2-8 所示为四位二进制的码盘,码盘上各圈圆环分别代表一位二进制的数字码道,在同一个码道上印制黑白等间隔图案,形成一套编码。黑色不透光区和白色透光区分别代表二进制的“0”和“1”。在一个四位光电码盘上,有四圈数字码道,每一个码道表示二进制的一位,里侧是高位,外侧是低位,在 360° 范围内可编数码数为 16 个。工作时,码盘的一侧放置电源,另一边放置光电接受装置,每个码道都对应有一个光电管及放大、整形电路。码盘转到不同位置,光电元件接受光信号,并转换成相应的电信号,经放大整形后,成为相应数码电信号。但由于制造和安装精度的影响,当码盘回转在两码段交替过程中,会产生读数误差。例如,当码盘顺时针方向旋转,由位置“0111”变为“1000”时,这四位数字要同时都变化,可能将数码误读成 16 种代码中的任意一种,如读成 1111、1011、1101、…、0001 等,产生了无法估计的很大的数值误差,这种误差称非单值性误差。

为了消除非单值性误差,可采用以下循环码的方法。循环码习惯上又称格雷码,它也是一种二进制编码,只有“0”和“1”两个数。图 1-2-9 所示为四位二进制循环码。这种编码的特点是任意相邻的两个代码间只有一位代码有变化,即“0”变为“1”或“1”变为“0”。因此,在两数变换过程中,所产生的读数误差最多不超过“1”,只可能读成相邻两个数中的一个数。所以,它是消除非单值性误差的一种有效方法。另外,带判位光电装置的二进制循环码盘,也是消除非单值性误差的一种有效方法。这种码盘是在四位二进制循环码盘的最外圈再增加一圈信号位。该码盘最外圈上的信号位的位置正好与状态交线错开,只有当信号位处的光电元件有信号时才读数,这样就不会产生非单值性误差。

2. 光电编码器测速原理

M 法又称之为测频法,其测速原理是在规定的检测时间 T_0 内,对光电编码器输出的脉



图 1-2-8 标准二进制码盘



图 1-2-9 循环码盘(或称格雷码盘)

冲信号计数的测速方法,假定时钟频率为 f_0 ,光电编码器每转脉冲数为 P 。设在固定时间 T_0 内测得的编码器脉冲数为 M_1 ,

则转速为:

$$n = \frac{60M_1}{PT_0} \text{ (r/min)}$$

其相对误差为:

$$\left| \frac{\Delta n}{n} \right| = \frac{\Delta M_1}{M_1}$$

在实际的测量中,时间 T_0 内的脉冲个数不一定正好是整数,而且存在最大半个脉冲的误差。如果要求测量的误差小于规定的范围,在一定的转速下要增大检测脉冲数 M_1 以减小误差,可以增大检测时间 T_0 。但考虑到实际的应用检测时间很短,例如伺服系统中的测量速度用于反馈控制,一般应在 0.01 s 以下。由此可见,减小测量误差的方法是采用高线数的光电编码器。 M 法测速适用于测量高转速,因为对于给定的光电编码器线数、测量时间 T_0 条件下,转速越高,计数脉冲 M_1 越大,误差也就越小,如图 1-2-10 所示。

T 法也称之为测周法,该测速方法是在一个脉冲周期内对时钟信号脉冲进行计数的方法,通过测量编码器两个相邻脉冲的时间间隔来计算转速,适用于速度比较低的场合,当转速较高时其准确性较差。在 T 法测速中,准确的测速时间 T_0 是用所得的高频时钟脉冲个数 M_2 计算出来的(图 1-2-11),即 $T_0 = \frac{M_2}{f_0}$,

$$n = \frac{60f_0}{PM_2} \text{ (r/min)}$$

其相对误差为:

$$\left| \frac{\Delta n}{n} \right| = \left| \frac{\Delta M_2}{M_2 + \Delta M_2} \right| \approx \frac{\Delta M_2}{M_2}$$

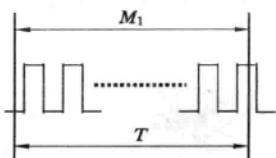


图 1-2-10 M 法测速

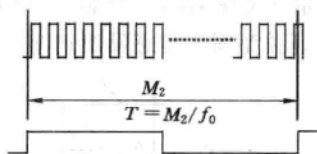


图 1-2-11 T 法测速

为了减小误差,希望尽可能记录较多的脉冲数,因此 T 法测速适用于低速运行的场合。但转速太低,一个编码器输出脉冲的时间太长,时钟脉冲数会超过计数器最大计数值而产生溢出;另外,时间太长也会影响控制的快速性。与 M 法测速一样,选用线数较多的光电编码