

1 主题内容与适用范围

本标准规定了无直流励磁绕组同步电动机试验要求及试验方法。

本标准适用于永磁同步、磁滞同步及磁阻同步等无直流励磁绕组同步电动机的测试方法(不包括电磁减速永磁同步电动机)。

2 引用标准

GB 755 旋转电机 基本技术要求
GB 5171 小功率电机通用技术条件
GB 10068 旋转电机 振动测定方法及限值
GB 10069 旋转电机 噪声测定方法及限值
JB/Z 294 交流低压电机散嵌绕组匝间绝缘试验方法

3 试验要求及准备

3.1 试验电源

试验电源的电压波形正弦性畸变率应不超过 5%;在进行温升试验时应不超过 2.5%(三相永磁同步电动机的专用可控硅变频电源除外)。

试验电源的实际平衡的电压系统应符合下述要求:

电压的负序分量及零序分量均不超过正序分量的 1%;在进行温升试验时,负序分量不超过正序分量的 0.5%,零序分量的影响予以消除。

试验电源的频率与额定频率之差应在额定频率的 $\pm 1\%$ 范围内。

3.2 电气测量

3.2.1 测量仪器

型式检验时,采用的电气测量仪表的准确度应不低于 0.5 级(兆欧表除外),电流互感器的准确度应不低于 0.2 级,电量变送器的准确度应不低于 0.5%,转速表的精确度应不低于 1.0 级,测力计的准确度应不低于 1.0 级(悬挂式弹簧秤除外),温度计的误差应不大于 $\pm 1^{\circ}\text{C}$,被试电动机额定转矩测量的准确度:在 $0.5\text{ N}\cdot\text{m}$ 以上时应不低于 1%;在 $0.2\sim 0.5\text{ N}\cdot\text{m}$ 之间时应不低于 1.5%;在 $0.2\text{ N}\cdot\text{m}$ 以下时应不低于 2%。

选择仪表时,应使测量值位于 20%~95%仪表量程范围内。

出厂检验时,测量仪器的准确度应不低于 1%。

3.2.2 测量要求

进行电气测量时,应遵循下列要求:

a. 三相电流用同规格的三电流互感器(或二互感器)法及三电流表进行测量。三相功率应采用两瓦特表法进行测量。对小功率电动机,除堵转试验外,不允许采用电流互感器;

b. 试验时,各仪表读数尽可能同时读取。在测量三相电压或三相电流时,应取三相读数的平均值作为测量的实际值。

3.2.3 测量线路

测量线路适用于小功率电动机。

测量时,单相电动机应采用图 1 的测量线路;三相电动机应采用图 2 的测量线路。当所用电流表及瓦特表电流线圈内阻较大,不能满足测量要求时,单相电动机允许采用图 3 的测量线路;三相电动机允许采用图 4 的测量线路。

为了迅速可靠地换接电压表,图 1 中单极双投开关 HK 可选用旋转式按钮或钮子开关。图 2 中三级双投开关 HK 可选用万能转换开关或组合开关。不允许采用不合要求的波段开关等。为了提高测量准确度,测量线路中的导线压降影响应设法消除。

采用图 1 或图 2 的测量线路进行温升及负载试验时,应遵循下列要求:

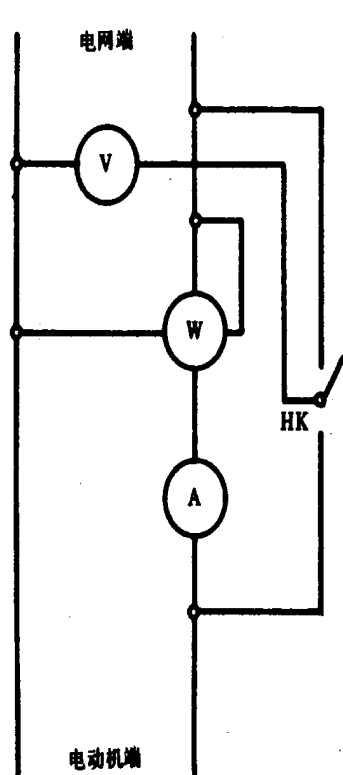


图 1

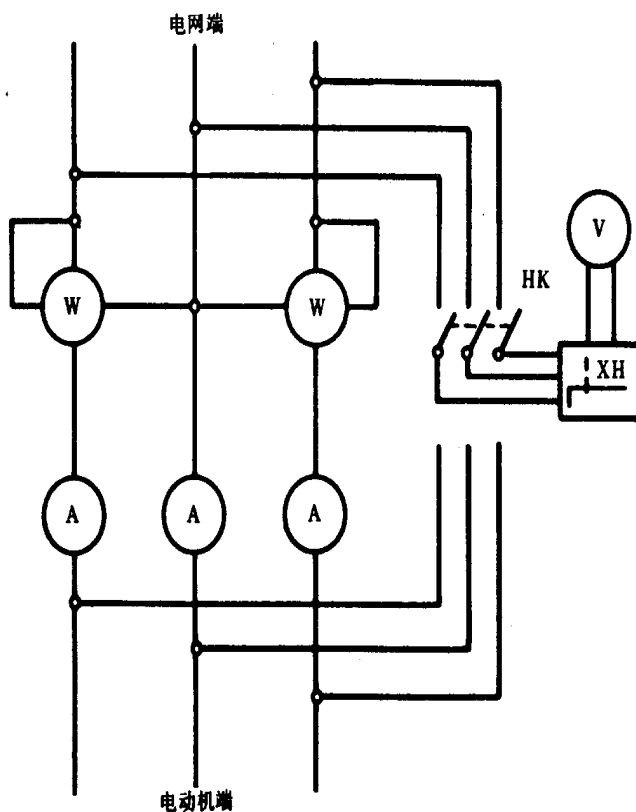


图 2

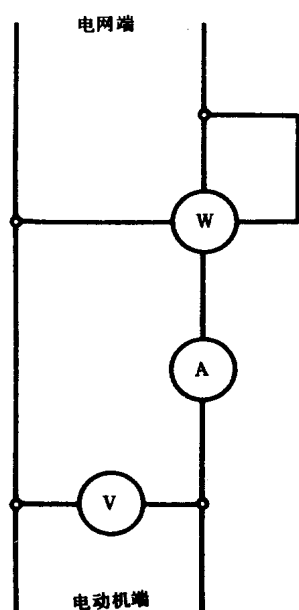


图 3

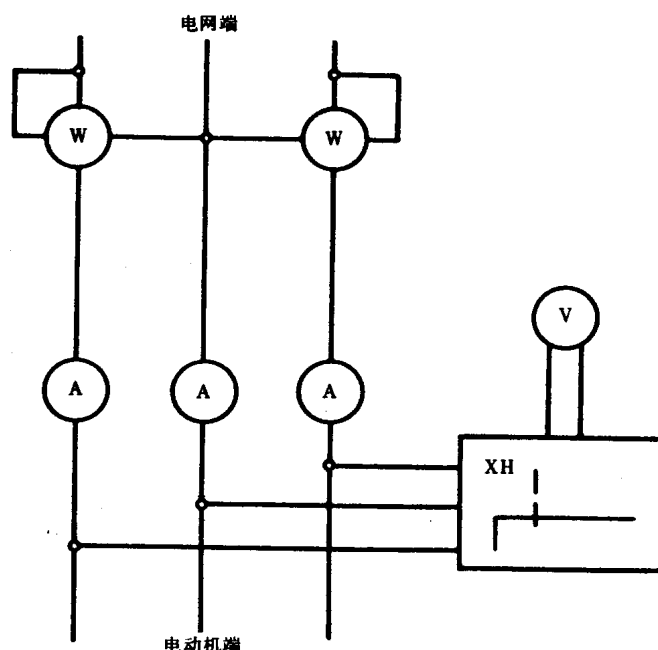


图 4

注：图 2 及图 4 中的 XH 为电压表换相开关。

a. 测量时，先将开关 HK 接在电动机端，调节电压及负载至额定值。读取电压后尽快换接开关 HK 测取电网端电压值及其余的仪表指示值。在保持电网电压及负载不变的情况下（电动机端电压应为额定值）进行温升试验，当温升稳定时所测得的电流及输入功率，即为额定电流及额定输入功率；

b. 被试电动机在额定负载时，电动机端电压应为额定电压。电动机端电压与电网端电压相差不允许大于额定电压的 1.5%，即电网端电压不大于 1.015 倍的电动机端电压；

c. 在额定负载时，如电动机端电压与电网端电压相差大于额定电压的 0.5%，但小于 1.5% 时，则电动机的实际输入功率 P_1 (W) 应按式(1)进行修正：

$$P_1 = P - I^2 R \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中： P ——瓦特表测得的输入功率，W；

I ——电流表测得的电流（三相电动机为三相平均值），A；

R ——测量线路中所有电流表及瓦特表电流线圈的总电阻， Ω 。

d. 选用内阻较小的电流表及瓦特表电流线圈进行测量时，一般可满足本条 b 项的要求。当选用内阻很小的电流表（如 T10 型电流表及 D28-W 型瓦特表等）进行测量时，一般情况下可以高于本条 c 项的要求。即在额定负载时，电动机端电压与电网端电压相差小于额定电压的 0.5%，电动机的输入功率不用进行修正；

e. 电压的测量，应选用内阻较高的电压表，全偏转电流应不大于 15 mA，以免影响测量的准确度。

当所用电流表及瓦特表电流线圈的内阻较大，测量结果不能满足上述要求时，可将图 1 或图 2 中的电压表固定接于电动机端或采用图 3 或图 4 的测量线路。在此线路中通过电压表的电流不允许大于被试电动机额定电流的 1%。测量结果：电动机的实际输入功率 P_1 (W) 按式(2)进行修正：

$$P_1 = P - I^2 R - \frac{U^2}{R_v} \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中： P ——瓦特表测得的输入功率，W；

I ——电流表测得的电流（三相电动机应为三相平均值），A；

R ——测量线路中所有电流表及瓦特表电流线圈的总电阻， Ω ；

U ——电压表读数，V；

R_V ——电压表内阻， Ω 。

当被试电动机额定电流在 0.1 A 以上时，如果具备全偏转电流不大于 1 mA 的 0.5 级高内阻电压表及 T10 电流表，D28-W 型瓦特表或内阻更小的电表等可供使用时，则按图 3 或图 4 的测量线路进行测量时，可得到既准确又简便的测定结果。此时被试电动机的输入功率可不进行修正。同时也减少了图 1 或图 2 的换接操作的麻烦。

4 绕组对机壳及绕组相互间绝缘电阻的测定

4.1 测量时电动机的状态

测量电动机绕组的绝缘电阻应分别在电动机实际冷状态和热状态（或温升试验后）下进行。

磁滞同步电动机可仅在实际冷状态下进行。

出厂检验时，如无其他规定，绝缘电阻仅在实际冷状态下测定。但应保证热状态下绝缘电阻不低于产品标准规定的数值。

4.2 兆欧表的选用

测量绝缘电阻时，根据被试电动机绕组的额定电压规定如下：

绕组的额定电压在 36 V 及以下，选用 250 V 兆欧表；

绕组的额定电压在 36 V 以上至 500 V，选用 500 V 兆欧表。

4.3 测量方法

测量时，在兆欧表的读数值达到稳定后，读取并记录此数值，同时记录绕组的温度。

a. 三相电动机：如各相绕组的始末端均引出时，应分别测量每相绕组对机壳及相互间的绝缘电阻。如三相绕组已在电机内部连接，仅引出三个出线端时，则测量所有绕组对机壳的绝缘电阻；

b. 单相电动机：如主、副绕组的始末端均引出时，应分别测量主、副绕组对机壳及主、副绕组之间的绝缘电阻。如主、副绕组已在电动机内部连接，则测量主、副绕组对机壳的绝缘电阻；

c. 只有一个绕组的单相电动机，只测量绕组对机壳的绝缘电阻。

5 绕组在实际冷状态下直流电阻的测定

5.1 实际冷状态下绕组温度的测定

电动机在室内放置一段时间后，用温度计或热电偶等测量电动机绕组端部或铁芯的温度。当所测温度与该环境空气温度之差不超过 2 K 时，则所测温度即为实际冷状态下绕组的温度。若绕组端部或铁芯的温度无法测量时，允许用机壳的温度代替。

对小功率电动机如在室内放置 5 h 以上；记录仪表用电动机放置 2 h 以上，此时室温即为实际冷状态下绕组的温度。

5.2 绕组直流电阻的测定

绕组的直流电阻可用电桥法、微欧计法、电压表电流表法或其他测量方法测定。当采用电桥法时，如绕组的直流电阻在 1 Ω 以下，应采用有效数值不低于 4 位数的双臂电桥测定。如绕组的直流电阻在 1 Ω 以上，应采用有效数值不低于 4 位数的单臂电桥测定。

5.3 测量方法

测量绕组直流电阻时，电动机转子静止不动。定子绕组直流电阻应在出线端上测量。每一绕组直流电阻应测量两次。

出厂检验时,每一绕组直流电阻测量一次。

5.3.1 电桥法

测量时,双臂电桥的电压线和电流线应分别接在电机绕组出线端上。第一次绕组直流电阻测定后,应在电桥被破坏平衡后,再进行第二次绕组直流电阻测定。两次测定的绕组直流电阻值相差应不超过1%。取两次测定的绕组直流电阻平均值作为绕组直流电阻的实际测定值。

5.3.2 电压表电流表法

测量时,将电压稳定、容量足够的直流电源直接连接在绕组出线端上,施加的电流应不超过绕组额定电流的10%,通电的时间不超过1 min。在电表指示稳定后,同时读取并记录电流及电压值,将电流和电压换算为电阻值。每一绕组直流电阻应在两种不同电流值情况下进行测定。两次测定绕组直流电阻值相差应不超过±0.5%。取两次测定的绕组直流电阻平均值作为绕组直流电阻的实际测定值。

5.3.3 自动检测装置法等

当采用自动检测装置,数字式微欧计等仪器测量绕组直流电阻时,通过被测绕组的试验电流应不超过绕组额定电流的10%,通电时间应不超过1 min。

5.3.4 相电阻的计算

三相电动机:如每相绕组始末端均引出时,应分别测量每相绕组的直流电阻。三相电阻的平均值,即为相电阻的直流电阻值。如三相绕组已在电动机内部连接仅引出三个出线端时,可在每两个出线端间测量电阻。每相绕组的直流电阻值(Ω)按下式计算:

对星形接法的绕组:

$$R_a = R_{med} - R_{bc} \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$R_b = R_{med} - R_{ca} \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$R_c = R_{med} - R_{ab} \quad \dots\dots\dots (5)$$

对三角形接法的绕组:

$$R_a = \frac{R_{bc}R_{ca}}{R_{med} - R_{ab}} + R_{ab} - R_{med} \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$R_b = \frac{R_{ca}R_{ab}}{R_{med} - R_{bc}} + R_{bc} - R_{med} \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$R_c = \frac{R_{ab}R_{bc}}{R_{med} - R_{ca}} + R_{ca} - R_{med} \quad \dots\dots\dots (8)$$

式中: R_{ab} 、 R_{bc} 、 R_{ca} ——分别为出线端A与B、B与C、C与A间测得的电阻值, Ω ;

$$R_{med} = \frac{R_{ab} + R_{bc} + R_{ca}}{2}$$

如果各线端间的电阻值与三个线端电阻的平均值之差,对星形接法的绕组,不大于平均值的 2%;对三角形接法的绕组,不大于平均值的 1.5%时,则各相电阻值(Ω)可按下式计算:

对星形接法的绕组:

$$R = \frac{1}{2} R_{av} \quad \dots\dots\dots (9)$$

对三角形接法的绕组:

$$R = \frac{3}{2} R_{av} \quad \dots\dots\dots (10)$$

式中: R_{av} ——三个线端电阻的平均值, Ω 。

6 空载试验

6.1 空载电流和空载损耗的测定

测定前,电动机应在额定电压、额定频率下空载运转,使机械损耗达到稳定,即输入功率相隔半小时的两个读数之差不大于前一个读数的 3%;对小功率电动机测定前应空载运转 15~30 min。

试验时,施加在定子绕组上的电压应为额定电压、额定频率,并在空载运转时测定,读取空载电流和空载损耗。

6.2 感应电压测定

感应电压测定为三相永磁同步电动机的试验项目。测定方法如下:

试验时,用直流电动机、同步电动机或同步测功机作为原动机与被试电动机用联轴器连接。原动机拖动被试电动机在同步转速下作为空载发电机运行。用不低于 0.5 级的高内阻电压表(如 T10 型、D8 型等电压表)分别测量被试电动机的三个出线端的感应电压 U_{ab} 、 U_{bc} 、 U_{ca} 。取其平均值作为空载感应电压值。

7 超速试验

超速试验是在空载状态下进行,转速为 1.2 倍最高额定转速历时 2 min。如有特殊要求,则应按有关标准的规定进行。

超速方法有以下两种:

- a. 提高被试电动机的电源频率在空载运行状态下进行超速试验;
- b. 用原动机拖动被试电动机进行超速试验。

8 振动的测定

振动的测定按 GB 10068 的规定进行。

9 匝间冲击耐电压试验

匝间冲击耐电压试验按 JB/Z 294 进行。

10 短时升高电压试验

短时升高电压试验应在空载时进行。

试验时,被试电动机施加 130% 的额定电压,运行时间为 3 min,但在 130% 的额定电压下空载电流

超过额定电流的电动机,试验时间可缩短至 1 min。

提高试验电压至额定电压的 130% 时,允许同时提高频率,但应不超过 1.15 倍额定频率,单相电容运转电动机除外。

单三相磁滞同步电动机的试验时间为 5 min。试验时允许采用必要的冷却措施。

11 耐电压试验

耐电压试验用电源变压器容量每 1 kV 试验电压应不小于 1 kV · A,频率为 50 Hz,电压波形尽可能为正弦波。

11.1 试验要求

耐电压试验在电动机静止的状态下进行。试验前,应先测量绕组的绝缘电阻。型式试验时,还应在温升试验后,电动机接近热状态时进行耐电压试验。

试验前,应采取切实的安全防护措施。试验中如发现异常情况,应立即断电,并将绕组回路对地放电。

11.2 试验方法

试验时,电压应施加于绕组与机壳之间。具体方法如下:

a. 三相电动机,每相绕组均有始末端引出时,应每相单独对机壳进行耐电压试验,三相共试三次,每次试验时,其余两相不参与试验的绕组均应与机壳连接。如三相绕组已在电动机内部接成 Y 形或 △ 形,只引出三个出线端,则只进行一次三相对机壳之间的耐电压试验。

b. 单相电动机应分别进行主绕组及副绕组对机壳之间的耐电压试验,共试两次,每次试验时,另一不参与试验的绕组应与机壳连接。如主副绕组已在电动机内部连接,则只进行一次主副绕组对机壳之间的耐电压试验。

c. 单相单绕组电动机,只进行一次绕组对机壳之间的耐电压试验。

11.3 试验电压值及时间

试验电压的数值及时间按 GB 755、GB 5171 或该类型电动机标准的规定。

12 温升试验

温升试验可在任一方便的环境空气温度下进行(最好在 10~40℃ 范围内进行)。如有特殊要求,则应按有关标准规定进行。对小功率电动机温升试验用散热板按 GB 5171 及各类型电动机标准的规定。

12.1 温度的测量方法

试验时,可用温度计法、电阻法、埋置检温计法等测量电动机绕组及其他各部位的温度。

12.1.1 温度计法

温度计包括膨胀式温度计(如水银、酒精等温度计)半导体温度计及非埋置的热电偶或电阻温度计。

测量时,温度计应紧贴在被测点表面,并用绝热材料复盖好温度计的测温部分,以免受周围冷却空气的影响。有交变磁场的地方,不能采用水银温度计。

12.1.2 电阻法

测量被试电动机绕组的直流电阻时,冷热状态电阻必须在相同的出线端上测量。并根据直流电阻随温度变化而相应变化的关系来确定绕组的平均温升。

a. 铜绕组的平均温升 Δt (K) 按式(11)计算:

$$\Delta t = \frac{R_t - R_0}{R_0} (235 + t_0) + t_0 - t_t \quad \dots\dots\dots (11)$$

式中: R_t ——试验结束时的绕组电阻, Ω ;

R_0 ——试验开始时的绕组电阻, Ω ;

t_t ——试验结束时的冷却空气温度, $^{\circ}\text{C}$;

t_0 ——试验开始时的绕组温度, $^{\circ}\text{C}$ 。

b. 对铜以外的其他材料,应采用该材料在 0°C 对电阻温度系数的倒数来代替公式(11)中的 235; 对铝绕组除另有规定,应采用 225。

12.1.3 埋置检温计法

测量埋置式电阻温度计的电阻时,应控制测量电流的大小和通电时间,使电阻值不致因测量电流引起的发热而有明显的改变。

12.2 温升试验时冷却空气温度的测定

冷却空气温度可用几支温度计分布在冷却空气进入电动机的途径中进行测量。温度计应放置在距电动机 $1\sim 2\text{ m}$ 处,其球部(测温部)处于电动机轴伸中心高的水平面上,并应防止外来辐射热及气流的影响,取温度计读数的平均值作为冷却空气温度。

温升试验结束时的冷却空气温度,应取在整个温升试验过程中最后的 $1/4$ 时间内按相等时间间隔测得的几个温度计读数的平均值。

12.3 电动机各部位温度的测定

12.3.1 绕组温度的测定

电动机绕组的温度用电阻法测量。如电动机有埋置检温计时,则用检温计测量。

12.3.2 铁芯温度的测定

铁芯温度用检温计、温度计或变色漆、变色笔测量。取其最高值作为铁芯温度。

12.3.3 轴承温度的测定

轴承温度用温度计测量。对于滑动轴承,温度计放入轴承的测量孔内,或者放在接近滑动轴承的表面处。对于滚动轴承,温度计放在最接近轴承外圈处。

12.4 电动机断能停转后所测得读数的修正

用电阻法测量断能停转后的电动机温度时,要求在温升试验结束就立即使电动机停转。电动机断能停转后如能在表 1 所述时间内测得第一点读数,则以读数计算电动机的温升而不需外推至断能瞬间。

表 1

电动机的额定功率 $P(\text{kW})$ 或类型	断能后间隔的时间, s
记录仪表用电动机	10
小功率电动机	15
$P < 50$	30

如在表 1 所述间隔时间内不能测得第一点读数,则应尽快测得它。以后每隔约 $10\sim 15\text{ s}$ 读取一次读数,直至这些读数开始明显地从最高值下降为止。将测得的读数作为时间的函数绘成曲线并根据电动机的额定功率(或类型),将此曲线外推至上述相应的间隔时间,所获得的温度即作为电动机断能瞬间的温度。绘制曲线时,推荐采用半对数坐标,温度标在对数坐标轴上。如停转后测得的温度连续上升,则应取测得的温度最高值作为电动机断能瞬间的温度。

12.5 温升试验方法

电动机的温升试验应在额定电压、额定频率及额定输出功率(或额定转矩)下用直接负载法(记录仪表用永磁同步电动机用空载法)进行。

试验时,被试电动机应保持额定负载(记录仪表用永磁同步电动机应保持额定电压)直到电动机各部位温度达到热稳定状态时为止。试验过程中,每隔半小时记录一次被试电动机的电压、电流、输入功

率、转速和转矩以及定子铁芯、轴承、机壳、周围冷却空气温度。当电动机各部位温度达到热稳定状态后，即断能停转并按 12.4 条要求测量绕组电阻。

对多种定额电动机的温升试验，应在能产生最高温升的定额值下进行。如不能事先确定，则应在每种定额下逐一进行。

为了缩短试验时间，在温升试验开始，可适当过载运行一段时间。

试验期间，应采取措施尽量减少冷却空气温度变化。

13 效率和功率因数的测定

13.1 工作特性的测取

工作特性曲线是电动机在额定电压及额定频率下，输入功率 P_1 、定子电流 I_1 、效率 η 、功率因数 $\cos\phi$ 与输出功率 P_2 的关系曲线。

工作特性曲线应在电动机的温度接近热状态时(或温升试验后)在负载试验中测取。此时，在 1.25~0.25 倍额定功率范围内由高至低量取 6~8 点，每点均应量取电压、电流、输入功率及转矩值。

13.2 效率的测定

电动机效率的测定方法采用直接法。

直接测定效率时，电动机输入功率用瓦特表测量，输出转矩可用下面三种方法测量：

- a. 电机测功机法；
- b. 磁滞、磁粉及涡流等测功机法；
- c. 转矩测量仪法。

试验时，测功机用联轴器与被试电动机连接。转矩测量仪按规定的使用要求与被试电动机和负载电机连接。

当电源电压及负载转矩都比较稳定，温升试验能保持额定电压、额定频率及额定输出功率(或转矩)不变的条件下进行时，则被试电动机的额定输出功率及转矩、额定输入功率、额定电流等，应由温升试验中最后 1~2 点读数直接读取。额定负载时的效率由所测得的额定输出功率与额定输入功率之比求得，以式表示如下：

被试电动机的输出功率 P_2 (W)按式(12)计算：

$$P_2 = \frac{T_c n_s}{9.55} \dots\dots\dots (12)$$

式中： T_c ——被试电动机输出转矩，N·m；

n_s ——被试电动机同步转速，r/min。

被试电动机的效率 η (%)按式(13)计算：

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100\% \dots\dots\dots (13)$$

式中： P_1 ——被试电动机实际输入功率，W。

13.3 效率测定时，被试电动机转矩测量误差的修正

效率测定时，被试电动机额定转矩测量的准确度在 0.5 N·m 以上时，应不低于 1%。在 0.2 N·m 以下时，应不低于 2%。如果对转矩测量准确度有更高的要求时，或者所用的测功机准确度偏低对被试电动机额定转矩测量的准确度在 0.5 N·m 以上时，低于 1%，但不低于 1.5%。在 0.2 N·m 以下时，低于 2%，但不低于 3%时，则可按下述要点对测功机进行调整，并对所测转矩值进行修正。

使电机测功机或磁滞、涡流等测功机产生误差的因素,一般有如下几种:

13.3.1 联轴器阻力矩误差

联轴器阻力矩误差,可用良好的联轴器安装及机组安装来消除。

13.3.2 轴承阻力矩误差

摆动部分轴承阻力矩误差,可用良好的测功机装配及调整来消除。

13.3.3 杠杆臂长误差

杠杆臂长误差,可用杠杆臂长的准确加工及测功机的调试来消除(指用杠杆砝码法测转矩时)。

13.3.4 风阻转矩误差

风阻转矩误差因无法消除,试验结果对所测转矩值应按式(14)进行修正。

$$T_c = T_t + T_{fw} \quad \dots\dots\dots(14)$$

式中: T_c ——被试电动机实际输出转矩, $N \cdot m$;

T_t ——试验时测得的输出转矩, $N \cdot m$;

T_{fw} ——测功机风阻转矩, $N \cdot m$ 。

风阻转矩 T_{fw} 的简便测法如下:

a. 选择一台单相电容起动或电阻起动的异步电动机,其容量应为测功机容量的 0.5~1 倍,并用联轴器与测功机连接。安装工作使运转时平稳轻快,以免造成转矩测量误差;

b. 起动异步电动机在额定电压下带动无励磁的测功机空转,用低功率因数瓦特表测出异步电动机的输入功率 $P_{10}(W)$,输入电流 $I_{10}(A)$ 及测功机的转矩指示值 $T_d(N \cdot m)$ 和转速 $n_d(r/min)$;

c. 做完 b 项试验后,尽快将异步电动机拆离测功机并施加额定电压空载运行,用测 P_{10} 、 I_{10} 的仪表及相同量程测出电动机的空载损耗 $P_0(W)$ 及空载电流 $I_0(A)$ 。

在 b、c 两次试验中,如异步电动机电压及频率能完全保持相同,则 I_{10} 与 I_0 实际上应无差别。风阻转矩试验时,电动机的转速 n_d 约等于 n_s , n_s 为同步转速, r/min 。

风阻转矩 T_{fw} 按式(15)计算:

$$T_{fw} = \frac{9.55(P_{10} - P_0)}{n_d} - T_d \quad \dots\dots\dots(15)$$

测功机的 T_{fw} 值应分别在 3 000、1 500、1 000 及 750 r/min 转速下预先测得,不需在每次试验中测定。

如用同步测功机或永磁同步测功机测量被试电动机转矩时,在正确使用情况下,测出的转矩值不必进行修正,因轴上无风叶,所测得的 $T_{fw} \approx 0$ 。

13.4 功率因数的求取

功率因数可由温升或负载试验结果按式(16)、(17)求取:

$$\text{单相电动机功率因数 } \cos\varphi = \frac{P_1}{U_1 I_1} \quad \dots\dots\dots(16)$$

$$\text{三相电动机功率因数 } \cos\varphi = \frac{P_1}{\sqrt{3} U_1 I_1} \quad \dots\dots\dots(17)$$

式中： P_1 ——额定电压时的输入功率，W；

U_1 ——额定电压，V；

I_1 ——输入电流，A。

14 堵转转矩和堵转电流的测定

堵转试验在电动机接近实际冷状态下进行。试验时，应将转子堵住

14.1 测定要求

a. 堵转转矩和堵转电流应在额定电压、额定频率下测定。如条件有困难，可在 0.9~1.05 倍额定电压范围内测定。测定结果应按 14.3 条换算至额定电压；

b. 为了减少电动机的发热，每点电压、电流及转矩的测量通电时间，单相电动机应不超过 5 s，三相电动机应不超过 8 s，三相电动机还应测量三相电流；

c. 磁阻式及永磁式电动机的堵转转矩应使用可调定转子相对角位置的一般杠杆或转矩测量仪等进行测定；

d. 测定时，所配用的测力计行程越小越好。

14.2 测定方法

a. 磁滞式电动机的堵转转矩应在额定电压下测定。测定可在任何转子位置点进行，只测定一点即可；

b. 磁阻式及永磁式电动机堵转转矩的测定，应按表 2 规定的机械角度范围及每点间隔度数测取 11 点或 6 点，每点电动机的温度应保持相同。堵转转矩取其中最小值，堵转电流取其中最大值（三相电动机应为三相电流平均值）；

表 2

电动机型式	机械角度范围	每点间隔度数	总共测定点数
三相 6 极永磁式	任意 20°内	2°或 4°	11 点或 6 点
三相 4 极永磁式	任意 30°内	3°或 6°	
三相 4 极磁阻式	任意 30°内	3°或 6°	
三相 2 极磁阻式	任意 60°内	6°或 12°	
单相 4 极磁阻式	任意 90°内	9°或 18°	

c. 为了防止电动机发热减少冷却时间。上述试验可在不小于 0.5 倍额定电压下进行，找出堵转转矩最小点后。再在该点测出额定电压下的堵转转矩；

d. 当用转矩测量仪（或最小堵转转矩数字显示仪）测定堵转转矩时，可测取堵转转矩特性曲线（或数字显示），额定电压时的堵转电流 I_{KN} (A) 和堵转转矩 T_{KN} (N·m) 由转矩特性曲线查取或从数字显示中读取。

用转矩测量仪测定堵转特性曲线时，可将二次仪表上输出的转矩模拟量电压接至 XY 函数记录仪的 Y 轴，记录仪的 X 轴做为时间轴，再用固定在负荷电机端转轴上的制动装置，使转轴慢慢匀速转动时，则可在 XY 记录仪的坐标纸上直接画出堵转转矩与转子角位置的关系曲线。此时堵转转矩最小值可由曲线上直接测得。

用最小堵转转矩数字显示仪测定最小堵转转矩时，按最小堵转转矩数字显示仪的要求，将被试电动机用联轴器连接，在接通试验电源情况下，从显示屏中读取堵转转矩最小值。

14.3 测定结果的换算

额定电压 U_N 时的堵转电流 I_{KN} 及堵转转矩 T_{KN} 按式 (18)、(19) 换算：

$$I_{KN} = I_K \frac{U_N}{U_K} \dots\dots\dots (18)$$

$$T_{KN} = T_K \left(\frac{U_N}{U_K} \right)^2 \dots\dots\dots (19)$$

式中: U_N ——额定电压, V;

U_K ——试验时的电压, V;

I_K ——试验电压为 U_K 时测得的堵转电流, A;

T_K ——试验电压为 U_K 时测得的堵转转矩, N·m。

15 牵入转矩的测定

同步电动机的牵入转矩值与负载的转动惯量有关(磁滞同步电动机除外)惯量值越大,测出的牵入转矩值越小。因此,测量被试电动机的牵入转矩时应同时注明负载的转动惯量值,否则无法衡量被试电动机的牵入同步性能。牵入转矩应在额定电压下测定。测定方法有如下三种:

- a. 电机测功机法;
- b. 磁滞、磁粉及涡流等测功机法;
- c. 绳索滑轮法。

注: a、b 两法不适用于无异步运行状态的同步电动机(主要是记录仪表用同步电动机)。

15.1 电机测功机法

用电机测功机法测定牵入转矩时,可用同步测功机、永磁同步测功机或其它类型的电机测功机进行测定。

测定时,被试电动机与测功机之间应用联轴器连接,由接近同步的异步运行状态开始,在保持额定电压情况下逐渐减小被试电动机的负载转矩,并随时读取转矩值。当负载转矩减至最小值时,被试电动机开始牵入同步。读取此同步前的转矩最小值即为所测的牵入转矩。

被试电动机是否由异步运行状态进入同步,一般需用同步闪光灯照射被试电动机转轴上的标记来确定,标记转动时为异步运行,标记不转动时为同步运行。对于磁滞同步电动机必需这样测定。

同步闪光灯需接至与被试电动机相同频率的电源。

磁阻同步及永磁同步电动机在异步状态下运行时,电流大,发热快,测定必须迅速而准确的进行。为使测定结果准确可靠,牵入转矩的测定应不少于两次。在保持被试电动机温度不变时,两次测定结果应相同。

15.2 磁滞、磁粉及涡流等测功机法

牵入转矩可用具有制动转矩可平滑调节,并随时均可读出转矩值的磁滞测功机、磁粉测功机或涡流测功机等进行测定。

测定时,被试电动机与测功机之间应用联轴器连接。

测定方法及要求与 15.1 条相同。

15.3 绳索滑轮法

绳索滑轮法适用于 30 W 以下的同步电动机及记录仪表用同步电动机。

15.3.1 异步运行状态牵入同步的电动机

由异步运行状态牵入同步的被试电动机牵入转矩的测定,按图 5 进行。

测定方法及要求与 15.1 条相同。

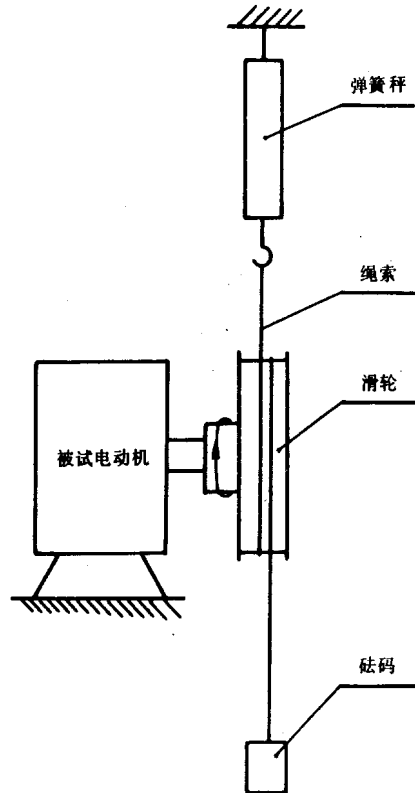


图 5

15.3.2 静止状态跃入同步的电动机

由静止状态跃入同步无异步运行状态的被试电动机(主要为记录仪表用同步电动机及类似记录仪表用同步电动机)的牵入转矩的测定,亦按图 5 进行。测定方法有如下两种:

a. 按图 5 将固定在弹簧秤上的绳索端改为固定在滑轮上,其他要求不变。测试方法如下:

被试电动机静止不动时,按牵入转矩值算出应挂的砝码重量挂在滑轮绳索的下端。被试电动机施加额定电压起动,看能否牵入同步。如能牵入同步,应将被试电动机断能停转,增加滑轮绳索上的砝码重量后,再次施加额定电压起动。如此这样逐渐增加绳索上的砝码重量和多次施加额定电压起动,直至被试电动机不能牵入同步时为止。此时前面一点的砝码重量与滑轮半径乘积即为所测得的牵入转矩值 T_{pin} ($N \cdot m$),以式(20)表示如下:

$$T_{pin} = G \cdot R \quad \dots\dots\dots(20)$$

式中: G ——砝码重力, N ;

R ——滑轮半径, m 。

b. 按图 5 将绳索在滑轮上多绕几圈,使弹簧秤读数减至最小。

对有齿轮减速的同步电动机,应使 F 小于 $0.1G$ (被试电动机静止时及进入同步运行后均应满足此要求)。

对无齿轮减速的同步电动机,应使 F 小于 $0.2G$ (被试电动机静止时及进入同步运行后均应满足此要求)。

上述的 F 为弹簧秤读数, G 为砝码重力。

牵入转矩的测定方法与本条 a 款基本相同。

牵入转矩值 T_{pin} ($N \cdot m$)按下式计算:

$$T_{\text{pin}} = (G - F)R \quad \dots\dots\dots(21)$$

式中: G ——砝码重力, N;
 F ——弹簧秤读数, N;
 R ——滑轮半径, m。

16 额定电压失步转矩的测定

额定电压失步转矩应在额定电压下测定, 测定方法有以下几种:

- a. 电机测功机法;
- b. 磁滞、磁粉及涡流等测功机法;
- c. 绳索滑轮法;
- d. 转矩测量仪法。

16.1 电机测功机法

用电机测功机测定额定电压失步转矩时, 可用同步测功机、永磁同步测功机或其它类型的电机测功机进行, 一般 90~750 W 的电动机用 600 W 同步测功机测定; 20~90 W 的电动机用永磁测功机测定; 大于 750 W 的电动机可用 1.5 kW 或 3.5 kW 同步测功机或容量合适的直流测功机测定。

测定时, 被试电动机与测功机之间应用联轴器连接。被试电动机起动后, 在保持额定电压情况下, 逐渐增加负载转矩, 并随时读取转矩值。当负载转矩增至最大值时, 被试电动机开始失步, 读取此失步前的转矩最大值。此值即为所测得的额定电压失步转矩。

测定磁滞同步电动机的额定电压失步转矩时, 电动机是否失步, 必需用同步闪光灯照射被试电动机轴上的标记来确定: 标记不转动时为同步运行, 标记转动时为异步运行。测定时, 应取被试电动机在第一次失步后, 减小负载转矩使其刚刚返回同步转速时, 再增大负载转矩, 使之第二次失步时的失步转矩值。此值为额定电压失步转矩值中的最小值。它与牵入转矩值接近。

16.2 磁滞、磁粉及涡流等测功机法

用磁滞、磁粉及涡流测功机测定额定电压失步转矩时, 被试电动机与测功机之间应用联轴器连接。测定方法及要求与 16.1 条相同。

16.3 绳索滑轮法

绳索滑轮法适用于 30 W 以下的同步电动机及记录仪表用同步电动机。

试验时, 滑轮直接固定在被试电动机轴伸端, 如图 5 所示。

绳索上端固定于弹簧秤上, 绳索绕滑轮一圈或数圈后下端挂砝码。绳索在滑轮上不应重叠。弹簧秤与滑轮之间的一段绳索应垂直向下, 砝码产生的转矩应与被试电动机转矩方向相反。失步转矩测定方法及要求与 16.1 条相同。

额定电压失步转矩值 T_{max} (N·m) 按式(22)、(23)计算:

$$T_{\text{max}} = (G - F)R \quad \dots\dots\dots(22)$$

$$\text{或 } T_{\text{max}} = (G - F)(R + r) \quad \dots\dots\dots(23)$$

式中: G ——砝码重力, N;
 F ——弹簧秤读数, N;
 R ——滑轮半径, m;

r ——绳索半径, m。

当 r 大于 $0.01 R$ 时, 应按式(23)计算。

为了使测量准确, 在可能的情况下, 绳索在滑轮上应尽量多绕几圈, 使 F 值减至最小。对于齿轮减速电动机来说, 显得特别重要。

16.4 转矩测量仪法

转矩测量仪法适用于 100 W 以上的同步电动机。

测量时, 转矩传感器的两个轴伸端应用联轴器分别与被试电动机及负荷电机连接。测定方法及要求与 16.1 条相同。额定电压失步转矩值应由数字表上直接读取。当需要用自动记录仪画出被试电动机的转矩转速特性曲线时, 则额定电压失步转矩亦可在该曲线上求得。

17 电源电压下降后失步转矩的测定

试验时, 电源电压下降值按各类电动机标准的规定值。失步转矩的测定方法及要求与第 16 章相同。

18 噪声的测定

噪声的测定按 GB 10069 的规定进行。

19 起动过程中最小转矩的测定

电动机在起动过程中最小转矩的测定方法如下:

- a. 用电机测功机法测定;
- b. 用磁滞或磁粉测功机法测定;
- c. 用转矩测量仪法测定。

测定时, 被试电动机应接近实际冷状态, 在额定频率和额定电压下进行测定。

19.1 电机测功机法

用同步测功机、直流测功机、永磁同步测功机或其它类型电机测功机作被试电动机的负载。最小转矩从测功机测力计上读取。

试验时, 被试电动机与测功机用联轴器连接。测定应由堵转状态开始, 使转速逐步升高。测定过程中应尽可能减少被试电动机的温度变化。测定方法简述如下。

19.1.1 连续测定法

磁滞同步电动机及起动电流较小不易发热的电动机, 可用同步或永磁同步测功机以连续测定方法测定最小转矩。

测定时, 先将同步测功机的励磁电流调至一定值并保持不变。再将同步或永磁同步测功机的三相负载电阻调到零(短路)。然后在额定电压下起动被试电动机, 并保持额定电压不变的情况下逐步增加测功机的负载电阻。被试电动机的转速便由接近零值起逐渐升高, 若随着转速的不断升高, 转矩值由大变小, 然后再变大时, 则其中的最小值即为所测得的最小转矩。如果没有出现上述现象, 则说明被试电动机不存在最小转矩。

测定时, 测功机的负载电阻调节应尽可能均匀而迅速。每起动一次的连续测定时间, 应以被试电动机温度无明显变化为限。若温度变化较大, 最小转矩难以准确测定时, 则按 19.1.2 条进行测定。

19.1.2 点测定法

对单相、三相磁阻同步及三相永磁同步电动机, 因起动电流大、发热快, 用上述连续法测定最小转矩一般较难进行, 此时, 可用点测法测定最小转矩。测定方法简述如下:

先将同步测功机的励磁电流调至一定值, 并保持不变。再将同步或永磁同步测功机的负载电阻由接近零(短路)值起逐点增大。在每点阻值上均在额定电压下起动一次被试电动机, 当转速稳定后即可测得

一对应的转矩与转速值。在不小于 $\frac{1}{13}$ 至 $\frac{1}{7}$ 同步转速范围内均匀测取不少于5点的转矩与转速值,并绘制成转矩转速曲线。最小转矩即由曲线上求得。

为减少被试电动机因发热而影响测定值的准确性,每点测定时间应不大于5~7 s,各测定点的被试电动机温度设法保持相同。

单相电容起动磁阻同步电动机的最小转矩,有时发生在离心开关断开转速点上,此时应用点测法或连续法测出被试电动机的整条转矩转速特性曲线。最小转矩由曲线上求得。

19.2 磁滞或磁粉测功机法

磁滞或磁粉测功机法主要适用于20 W以下的被试电动机(其中主要是磁滞同步电动机)。用磁滞或磁粉测功机测定方法如下:

起动被试电动机,在额定电压下调节负载转矩,使它约等于最小转矩值。然后在保持测功机励磁电流不变的情况下,使被试电动机断电停转。停转后再重新起动被试电动机,视其能否起动并加速至接近同步转速。如能,则应稍微加大负载转矩,然后再断电停转,停转后进行第二次起动。如仍能起动并加速至接近同步转速,则应逐渐地加大负载转矩、断电停转、停转后再起动被试电动机,直至被试电动机稳定在低速运行而不能加速至接近同步转速(或不能转动)为止。此时前一点测得的负载转矩即为最小转矩(当被试电动机不能转动时,则堵转转矩即为最小转矩,单相磁滞同步电动机有时如此)。

19.3 转矩测量仪法

用转矩测量仪测定最小转矩时,应使用自动记录仪画出被试电动机整条转矩转速特性曲线。最小转矩从曲线上求得。

试验时,转矩传感器两端轴伸应用联轴器分别连接被试电动机及可调负载的电机(如同步测功机、三相同步发电机及直流电机等)。转矩转速特性曲线的测定应从堵转(或接近堵转)状态开始,使转速逐渐升高,直至同步转速为止。用同步测功机做负载电机测定时,应保持励磁电流不变,负载电阻由零起逐渐增加来测定特性曲线,在测定过程中,应保持被试电动机的电压为额定值。转速的调节应平滑均匀。整条曲线的测定时间应在10~15 s左右。如被试电动机不易发热,可适当延长时间,如被试电动机发热较快,则整条曲线应分为两段测定,每段测定时间为5~8 s左右。为减少惯性力矩的影响,负载电机的容量或体积不宜选得太大,在最小转矩附近处的角加速度应适当减小。

20 输入功率和输入电流的测定

输入功率和输入电流的测定为磁滞同步电动机的试验项目。

试验时,被试电动机的输出转矩可用电机测功机、磁滞测功机、磁粉测功机及涡流测功机进行测定。30 W以下的同步电动机也可用绳索滑轮法进行测定。

被试电动机的额定输入功率和输入电流应由温升试验中最后1~2点读数直接测得。

出厂检验时,输入功率及输入电流可在冷状态下进行测定。

附加说明:

本标准由中华人民共和国机械电子工业部提出。

本标准由机械电子工业部广州电器科学研究所归口。

本标准由机械电子工业部广州电器科学研究所负责起草。

本标准主要起草人侯廷祥、高国材。

本标准自实施之日起,ZB K21 001—88《小功率同步电动机 试验方法》作废。