

三相异步电动机试验方法

Test procedure for three-phase induction motors

代替 GB 1032—68

1 适用范围

本标准适用于三相异步电动机。

型式试验及检查试验的项目，应按照 GB 755—81《电机 基本技术要求》及各类型电机标准的规定。

各类型三相异步电动机凡有本标准未规定的试验项目或有特殊试验方法及要求时，应在该类型电机的专业标准中作补充规定。

2 试验要求及准备

2.1 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%。

试验电源的三相电压对称系统应符合下述要求：

电压的负序分量和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。

对频率为 400 Hz 以上的电动机，其试验电源的要求可在该类型电机的标准中规定。

2.2 电气测量

2.2.1 测量仪器

试验时，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），三相瓦特表的准确度应不低于 1.0 级，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%（检查试验时应不低于 1%），数字式转速测量仪（包括十进频率仪）及转差率测量仪的准确度应不低于 $0.1\% \pm 1$ 个字，转矩测量仪及测功机的准确度应不低于 1%（实测效率时应不低于 0.5%），测力计的准确度应不低于 1.0 级，温度计的误差在 $\pm 1^\circ\text{C}$ 以内。

选择仪表时，应使测量值位于 20%~95% 仪表量程范围内。在用两瓦特表法测量三相功率时，应尽量使被测的电压及电流值分别不低于瓦特表的电压量程及电流量程的 20%。

对 60 W 及以下的电机，应选用仪表损耗不足以影响测量准确度的电流表和瓦特表。

2.2.2 测量要求

进行电气测量时，应遵循下列要求：

a. 三相电流用三电流互感器（或二互感器）法、三电流表进行测量。三相功率应采用两瓦特表法或三瓦特表法进行测量。对 750 W 及以下的电机，除堵转试验外，不允许采用电流互感器。

b. 采用电流互感器时，接入副边回路仪表的总阻抗（包括连接导线）应不超过其额定阻抗值。

c. 对 750 W 及以下的电动机，除堵转试验外，测量时应将电压表先接至电动机端。将电压调节到所需数值，读取此时的电压值。然后，将电压表换接至电源端，并保持电源端电压不变，再读取其他仪表的数值。当电源端电压与电动机端电压之差小于电动机端电压的 1% 时，电压表可固定在电源端进行测量。

d. 试验时，各仪表读数同时读取。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。

绘制特性曲线时，各点读数应均匀测取。

e. 如需获得准确的功率测量数值，可按附录 A 对仪器仪表损耗及误差进行修正。对 250 W 及以下的电动机，应按附录 A.1 对功率的测量值进行修正。

2.3 试验前的准备

试验前，应对被试电机的装配及运转情况进行检查，以保证各项试验能顺利进行。试验线路和设备应满足试验的要求。

3 绝缘电阻的测定

3.1 测量时电动机的状态

测量电动机绕组的绝缘电阻时，应分别在实际冷状态下和热状态下进行。

检查试验时，在实际冷状态下进行。

3.2 兆欧表的选用

根据电动机的额定电压，按表 1 选用兆欧表。

表 1

V

电动机额定电压	兆欧表规格
500 以下	500
500 ~ 3000	1000
3000 以上	2500

测量埋置式检温计的绝缘电阻时，应采用不高于 250 V 的兆欧表。

3.3 测量方法

如各相绕组的始末端均引出机壳外，则应分别测量每相绕组对机壳及其相互间的绝缘电阻。如三相绕组已在电动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。对绕线转子电动机，应分别测量定子绕组和转子绕组的绝缘电阻。

测量后，应将绕组对地放电。

4 绕组在实际冷状态下直流电阻的测定

4.1 实际冷状态下绕组温度的测定

将电机在室内放置一段时间，用温度计（或埋置检温计）测量电动机绕组端部或铁心的温度。当所测温度与冷却介质温度之差不超过 2 K 时，则所测温度即为实际冷状态下绕组的温度。若绕组端部或铁心的温度无法测量时，允许用机壳的温度代替。对大、中型电机，温度计的放置时间应不少于 15 min。

4.2 测量方法

4.2.1 绕组的直流电阻用双臂电桥或单臂电桥测量。电阻在 1 Ω 及以下时，必须采用双臂电桥测量。

4.2.2 当采用自动检测装置或数字式微欧计等仪表测量绕组的电阻时，通过被测绕组的试验电流，应不超过其正常运行时电流的 10%，通电时间不应超过 1 min。

4.2.3 测量时，电动机的转子静止不动。定子绕组的电阻应在电机的出线端上测量。对绕线转子电动机，转子绕组的电阻应尽可能在绕组与集电环连接的接线片上测量。

每一电阻测量三次。每次读数与三次读数的平均值之差应在平均值的 $\pm 0.5\%$ 范围内，取其平均值作为电阻的实际值。

检查试验时，每一电阻可仅测量一次。

4.2.4 如果电机的每相绕组有始末端引出时，应测量每相绕组的电阻。若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，则各相电阻值(Ω)按下式计算：

对星形接法的绕组：

$$R_a = R_{med} - R_{bc} \dots\dots\dots (1)$$

$$R_b = R_{med} - R_{ca} \dots\dots\dots (2)$$

$$R_c = R_{med} - R_{ab} \dots\dots\dots (3)$$

对三角形接法的绕组：

$$R_a = \frac{R_{bc} R_{ca}}{R_{med} - R_{ab}} + R_{ab} - R_{med} \dots\dots\dots (4)$$

$$R_b = \frac{R_{ca} R_{ab}}{R_{med} - R_{bc}} + R_{bc} - R_{med} \dots\dots\dots (5)$$

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

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：

$$R = \frac{1}{2} R_{av} \dots\dots\dots (7)$$

对三角形接法的绕组：

$$R = \frac{3}{2} R_{av} \dots\dots\dots (8)$$

式中： R_{av} ——三个线端电阻的平均值， Ω 。

5 转子电压的测定

绕线转子电动机及交流换向器电动机需进行转子电压的测定。

测量时，转子应静止并开路，定子绕组上施以额定电压，在转子集电环间分别测量各线间的电压值。

对转子电压高于600V的电动机，施于定子绕组上的电压可以适当降低。

6 空载试验

6.1 空载电流和空载损耗的测定

绕线转子电动机在空载试验时，应将转子绕组在集电环上短路。

6.1.1 测定前，电动机应在额定电压、额定频率下空载运转，使机械耗达到稳定，即输入功率相隔半小时的两个读数之差应不大于前一个读数的3%，对750W及以下的电动机，应空载运转15~30min。

检查试验时，空载运转的时间可适当缩短。

6.1.2 型式试验时应测取空载特性曲线，即空载电流 I_0 和空载输入功率 P_0 与外施电压 U_0 的标么值(U_0/U_N)的关系曲线(图1)。 U_N 为额定电压。

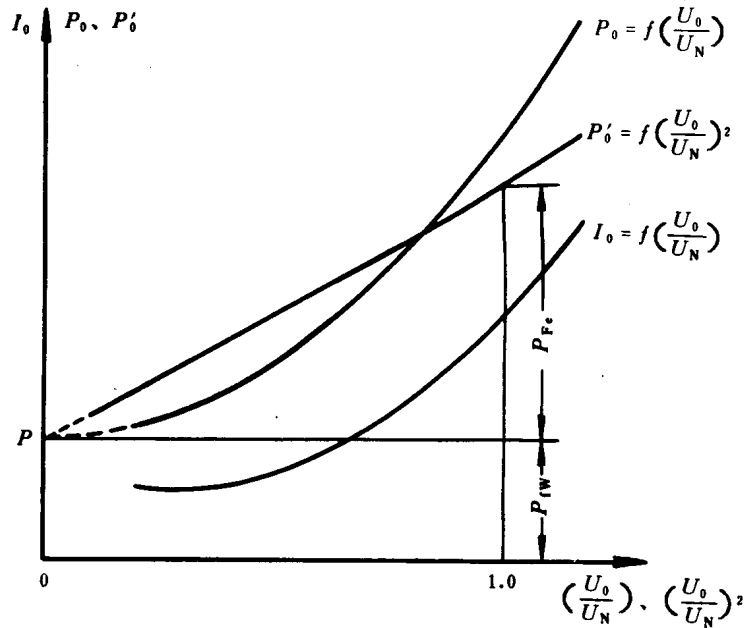


图 1

试验时，施于定子绕组上的电压应从1.1~1.3倍额定电压开始，逐步降低到可能达到的最低电压值即电流开始回升时为止，其间测取7~9点读数。每点应测取下列数值：三相电压、三相电流、输入功率。功率的测量应采用低功率因数瓦特表。

试验结束，应立即在两个出线端间测量定子绕组的电阻。对空载电流大于70%额定电流的电动机，应尽可能在每点读数后测量定子绕组的电阻。

检查试验时，可仅测取额定电压时的空载电流和空载输入功率。

6.2 试验结果的计算

空载时的定子绕组 I^2R 损耗 P_{ocul} (W) 按下式计算：

$$P_{ocul} = 3 I_0^2 R_{10} \dots\dots\dots (9)$$

式中： I_0 ——定子相电流，A；

R_{10} ——定子绕组的相电阻， Ω 。

铁耗 P_{Fe} (W) 与机械耗 P_{fw} (W) 之和 P'_0 (W) 按下式计算：

$$P'_0 = P_{Fe} + P_{fw} = P_0 - P_{ocul} \dots\dots\dots (10)$$

为了分离铁耗和机械耗，作曲线 $P'_0 = f(U_0/U_N)^2$ 。延长曲线的直线部分与纵轴交于P点(图1)，P点的纵坐标即为电动机的机械耗。

7 堵转试验

堵转试验在电机接近实际冷状态下进行。试验时，应将转子堵住。对绕线转子电动机还应将转子绕组在集电环上短路。

7.1 额定频率堵转试验

7.1.1 堵转时的电流、转矩和功率的测定

7.1.1.1 型式试验时应测取堵转性曲线，即堵转时的电流 I_k 、转矩 T_k 与外施电压 U_k 的关系曲线(图2)。

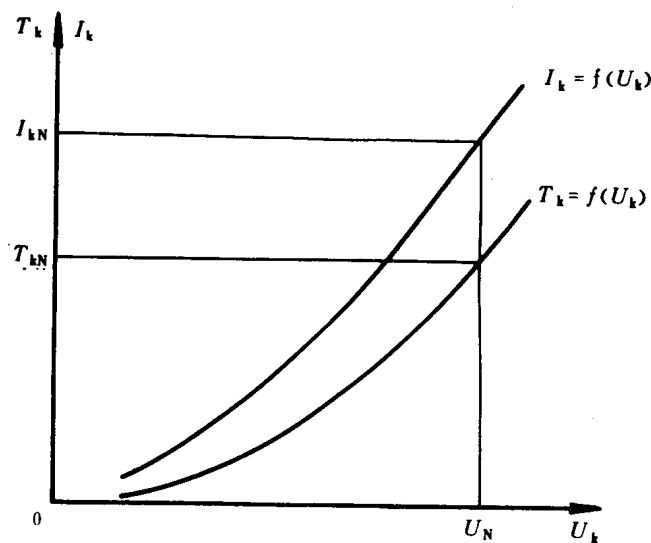


图 2

试验时，施于定子绕组的电压尽可能从不低于0.9倍额定电压开始，然后逐步降低电压至定子电流接近额定电流为止，其间共测取5~7点读数，每点应同时测取下列数值：三相电压、三相电流、转矩或输入功率。每点读数时，通电持续时间应不超过10s，以免绕组过热。

检查试验时，可在额定电流值附近一点测取堵转时的电压、电流和输入功率。

7.1.1.2 如限于设备，对100kW以下的电动机，堵转试验时的最大电流值应不低于4.5倍额定电流；对100~300kW的电动机，应不低于2.5~4.0倍额定电流；对300kW以上的电动机，应不低于1.5~2.0倍额定电流。在最大电流至额定电流范围内，均匀地测取不少于4点读数。

对100kW以上的电动机，如限于设备不能实测转矩时，允许用7.1.2.2中的公式(14)计算转矩。此时应在每点读数后，在两个出线端间测量定子绕组的电阻。

7.1.1.3 对分马力电动机，试验时，定子绕组上施以额定电压，使转子在90°机械角度内的三个等分位置上分别测定。此时，堵转电流取其中的最大值，堵转转矩取其中的最小值。

检查试验时，可在额定电压下，任一转子位置上测定。

7.1.1.4 若采用圆图计算法求取工作特性，堵转试验应在1.0~1.1倍额定电流范围内的某一电流下进行。若采用圆图计算法求取最大转矩，堵转试验应在2.0~2.5倍额定电流范围内的某一电流下进行。

对绕线转子电动机，由于在同一试验电流下，外施电压随转子位置不同而不同，此时，电动机应在电压为平均值的转子位置上进行堵转试验。

试验时，电源的频率应稳定，功率测量应采用低功率因数瓦特表，其电压回路应接至被试电机的出线端。被试电机通电后，应迅速进行试验，并同时读取三相电压、三相电流和输入功率。试验结束后，立即在两个出线端间测量定子绕组和转子绕组（对绕线转子电动机）的电阻。

7.1.2 试验结果的计算

7.1.2.1 堵转电流*和堵转转矩*的确定

若堵转试验时的最大电压在0.9~1.1倍额定电压范围内，堵转电流 I_{kN} 和堵转转矩 T_{kN} 可由堵转特性曲线查取（图2）；若堵转试验时的最大电压低于0.9倍额定电压时，应作 $\lg I_k = f(\lg U_k)$ 曲线，从最大电流点延长曲线，并查取堵转电流 I_{kN} 。此时，堵转转矩 T_{kN} （N·m）按下式求取：

* 根据GB 2900.25—82《电工名词术语 电机》的规定，堵转电流和堵转转矩均指电动机在额定频率、额定电压下堵转时的电流和转矩。

$$T_{kN} = T_k \left(\frac{I_{kN}}{I_k} \right)^2 \dots\dots\dots (11)$$

式中: T_k ——在最大试验电流 I_k 时测得的或算得的转矩, $N \cdot m$ 。

对750W及以下电动机,若试验电压在0.9~1.1倍额定电压范围内,则堵转电流 I_{kN} 和堵转转矩 T_{kN} 按下式求取:

$$I_{kN} = I_k \frac{U_N}{U_k} \dots\dots\dots (12)$$

$$T_{kN} = T_k \left(\frac{U_N}{U_k} \right)^2 \dots\dots\dots (13)$$

7.1.2.2 转矩计算

堵转时的转矩 T_k ($N \cdot m$) 按下式计算:

$$T_k = 9.55 \frac{P_k - P_{kcul} - P_{ks}}{n_s} \dots\dots\dots (14)$$

式中: P_k ——堵转时的输入功率, kW;

P_{kcul} ——堵转时的定子绕组 $I^2 R$ 损耗, kW;

n_s ——同步转速, r/min;

P_{ks} ——堵转时的杂散损耗(包括铁耗), kW; 对中型低压电机,取 $P_{ks} = 0.05 P_k$; 对大、中型高压电机,取 $P_{ks} = 0.10 P_k$ 。

7.2 低频堵转试验

对采用9.5.6圆图计算法求取工作特性的深槽和双笼型电动机,还应在1/2额定频率下进行堵转试验。对采用9.5.7等值电路法求取工作特性的电动机,应在1/4额定频率下进行堵转试验。

堵转时的电流和试验要求与7.1.1.4相同。

8 温升试验

温升试验可在任一方便的冷却介质温度下进行。

8.1 温度的测量方法

试验时,可用温度计法、电阻法、埋置检温计法测量电机绕组及其他各部分的温度。

8.1.1 温度计法

温度计包括膨胀式温度计(例如水银、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,并用绝热材料覆盖好温度计的测温部分,以免受周围冷却介质的影响。有交变磁场的地方,不能采用水银温度计。

8.1.2 电阻法

用电阻法测取绕组的温度时,冷热态电阻必须在相同的出线端上测量。此时,绕组的平均温升 $\Delta\theta$ (K) 按下式计算:

$$\Delta\theta = \frac{R_f - R_0}{R_0} (K_\alpha + \theta_0) + \theta_0 - \theta_f \dots\dots\dots (15)$$

式中: R_f ——试验结束时的绕组电阻, Ω ;

R_0 ——试验开始时的绕组电阻, Ω ;

θ_f ——试验结束时的冷却介质温度, $^{\circ}C$;

θ_0 ——试验开始时的绕组温度, $^{\circ}C$;

K_α ——常数。对铜绕组,为235;对铝绕组,除另有规定外,应采用225。

8.1.3 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。

8.2 温升试验时冷却介质温度的测定

8.2.1 对采用周围空气冷却的电机，可用几只温度计分布在冷却空气进入电机的途径中进行测量。温度计应安置在距电机约1~2 m处，球部处于电机高度一半的位置，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介质温度。

8.2.2 对采用外接冷却器及管道通风冷却的电机，应在电机的进风口处测量冷却介质的温度。

8.2.3 对采用内冷却器冷却的电机，冷却介质的温度应在冷却器的出口处测量；对有水冷冷却器的电机，水温应在冷却器的入口处测量。

8.2.4 试验结束时冷却介质温度的确定

8.2.4.1 对连续定额和断续周期工作制定额的电机，试验结束时的冷却介质温度，应取在整个试验过程最后的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。

8.2.4.2 对短时定额的电机，试验结束时的冷却介质温度，若定额为30 min及以下，取试验开始与结束时温度计读数的平均值；若定额为30~90 min，取其1/2试验时间温度计的读数与结束时温度计读数的平均值。

8.3 电机绕组及其他各部分温度的测定

8.3.1 绕组温度的测定。

电机绕组的温度用电阻法测量，应优先采用双桥带电测温法。如电机有埋置检温计时，则用检温计测量。

8.3.2 铁芯温度的测定

铁芯温度用检温计或温度计测量。对大、中型电机，温度计应不少于两支，取其最高值作为铁芯温度。

8.3.3 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温孔内或者放在接近轴瓦的表面处，对于滚动轴承，温度计放在最接近轴承外圈处。

8.3.4 集电环温度的测定

电机停机后，立即用温度计测量集电环表面的温度，取测得的最高值作为集电环温度。

8.4 电机停机后测得温度值的修正

如电机各部分的温度或电阻是在切离电源后测得，则所测的温度值或电阻值应采用外推法修正到断电瞬间。

如在切离电源后，电机某些部分的温度继续上升，则应取测得的最高数值作为相应于断电瞬间的温度。

8.4.1 外推法

电机切离电源后，应立即测取电阻或温度与对应的时间，在半对数坐标纸上绘制电阻 R 或温度 θ 对于时间 t 的冷却曲线（图3）。延长曲线与纵轴相交，其交点即为断电瞬间的电阻值或温度值。

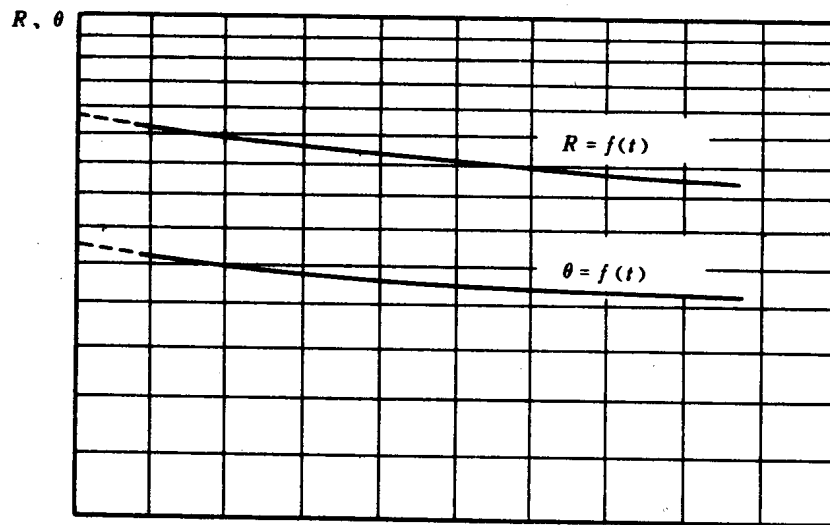


图 3

8.4.2 第一点读数的时间

采用外推法时，从电机脱离电源至测得冷却曲线第一点读数的时间应尽可能短，一般应不超过表 2 所规定的数值。如确因电机的转动惯量过大，不能在表 2 所规定的时间内测得第一点读数，则允许按该类型电机标准所规定的时间进行。

表 2

电机的额定功率 kW	第一点读数的时间 s
<50	30
51~200	90
201~5000	120
>5000	按专门协议

8.5 温升试验方法

温升试验方法有直接负载法和等效负载法。应优先采用直接负载法。

等效负载法包括降低电压负载法和定子叠频法。等效负载法限于 S 1 工作制电动机采用。如限于设备，对 100 kW 以上的电机，允许采用降低电压负载法；对立式或 300 kW 以上的电机，允许采用定子叠频法。

8.5.1 直接负载法

直接负载法的温升试验应在额定频率、额定电压、额定功率或铭牌电流下进行。

8.5.1.1 连续定额 (S 1 工作制) 电动机

试验时，被试电机应保持额定负载，直到电机各部分温升达到热稳定状态为止。试验过程中，每隔半小时记录被试电机的电压、电流和输入功率以及定子铁心、轴承、风道进出口的冷却介质和周围冷却介质的温度。如采用带电测温法时，还应每隔半小时以及试验结束前测量绕组的电阻。

试验期间,应采取措施,尽量减少冷却介质温度的变化。

为了缩短试验时间,在温升试验开始时,可以适当过载。

如采用外推法确定绕组的温升,电机停机后,应立即测量绕组的电阻。对采用外接冷却器及管道通风冷却的电机,在电机切离电源的同时,应停止冷却介质的供给。

对分马力电动机,温升试验用的支架及散热板,应按照附录C的规定。

如以铭牌电流进行温升试验,对应于额定功率时的绕组温升 $\Delta\theta_N$ (K)按下述方法换算:

当 $\frac{I_t - I_N}{I_N}$ 在 $\pm 10\%$ 范围内时:

$$\Delta\theta_N = \Delta\theta \left(\frac{I_N}{I_t}\right)^2 \left[1 + \frac{\Delta\theta \left(\frac{I_N}{I_t}\right)^2 - \Delta\theta}{K_a + \Delta\theta + \theta_F} \right] \dots\dots\dots (16)$$

当 $\frac{I_t - I_N}{I_N}$ 在 $\pm 5\%$ 范围内时:

$$\Delta\theta_N = \Delta\theta \left(\frac{I_N}{I_t}\right)^2 \dots\dots\dots (17)$$

式中: I_N ——满载电流,即额定功率时的电流,A。从工作特性曲线上求得;

I_t ——温升试验时的电流,A。取在整个试验过程最后的1/4时间内,按相等时间间隔测得的几个电流的平均值;

$\Delta\theta$ ——对应于试验电流 I_t 的绕组温升,K。

8.5.1.2 短时定额(S2工作制)电动机

试验应从实际冷状态下开始。试验的持续时间按定额的规定。试验时,按照工作时限长短,每隔5~15min记录一次试验数据。其他试验要求同8.5.1.1。

对应于额定功率时的绕组温升 $\Delta\theta_N$ 按下述方法换算:

当 $\frac{I_t - I_N}{I_N}$ 在 $\pm 5\%$ 范围内时,按公式(17)进行换算。

当 $\frac{I_t - I_N}{I_N}$ 不在 $\pm 5\%$ 范围内时,应重做温升试验。

8.5.1.3 断续周期工作制定额(S3工作制)电动机

如无其他规定,试验时每一个工作周期应为10min,直到电机各部分温升达到热稳定状态为止。温度的测定应在最后一个工作周期中负载时间的一半终止时进行。为了缩短试验时间,在试验开始时,负载可适当地持续一段时间。

对绕线转子电动机,每次启动时,应在转子绕组中串入附加电阻或电抗,将启动电流的平均值限制在2倍额定电流(基准负载持续率时的额定电流值)范围内。每一工作周期的运行结束时,电动机应在3s内停止转动。

其他试验要求同8.5.1.1。

对应于额定功率时的绕组温升 $\Delta\theta_N$ 按8.5.1.2的规定换算。

8.5.2 等效负载法

8.5.2.1 降低电压负载法

采用降低电压负载法时,应进行下列温升试验:

a. 以额定频率和额定电压进行空载温升试验,并确定此时的绕组温升 $\Delta\theta_0$ 、铁心温升 $\Delta\theta_{Fe0}$ 。试验要求同8.5.1.1。

b. 以额定频率、1/2额定电压和满载电流进行温升试验,并确定此时绕组温升 $\Delta\theta_r$ 、铁芯温升 $\Delta\theta_{Fe r}$ 。此时,满载电流按9.5.5的方法确定。试验要求同8.5.1.1。

对应于额定功率时的绕组温升 $\Delta\theta_N$ (K) 和铁心温升 $\Delta\theta_{FeN}$ (K) 按下式确定:

$$\Delta\theta_N = a\Delta\theta_0 + \Delta\theta_r \dots\dots\dots (18)$$

$$\Delta\theta_{FeN} = a\Delta\theta_{Fe0} + \Delta\theta_{Fer} \dots\dots\dots (19)$$

式中: $a = \frac{P_0 - P_{or}}{P_0}$;

P_0 ——额定电压时的空载输入功率, W。由空载试验求取;

P_{or} ——1/2 额定电压时的空载输入功率, W。由空载试验求取。

8.5.2.2 定子叠频法

试验线路如图 4 所示。主电源和副电源均为发电机。副电源发电机的额定电流应不小于被试电机的额定电流, 电压等级应与被试电机相同。

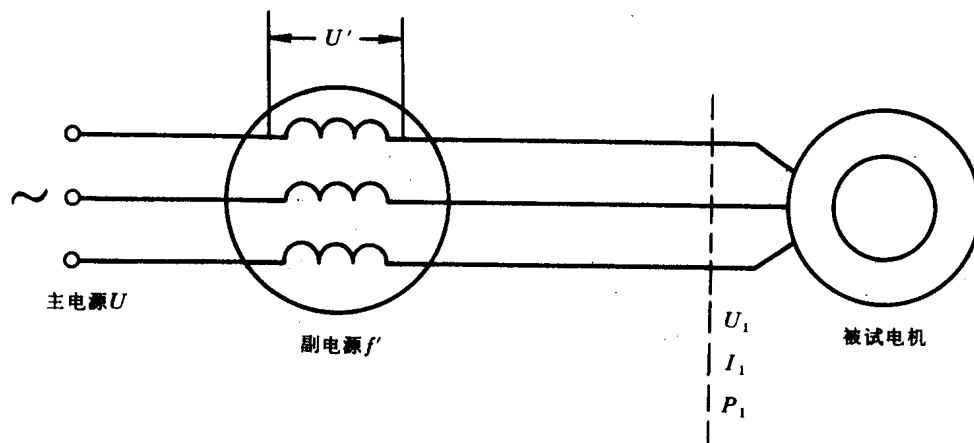


图 4

U —主电源电压; f —主电源频率; U' —副电源电压; f' —副电源频率; U_1 —被试电机端电压; I_1 —被试电机定子电流; P_1 —被试电机输入功率

采用定子叠频法时, 施于被试电机绕组的主、副电源的相序应相同。可在接线前由主、副电源分别起动被试电机, 若转向一致, 即为同相序。

试验时, 首先由主电源起动被试电机, 使其在额定频率、额定电压下空载运行。随后, 起动副电源机组, 将其转速调节到对应于某一频率 f' 的转速值。对额定频率为 50 Hz 的电机, f' 应在 38~42 Hz 范围内选择。然后, 将副电源发电机投入励磁, 调节励磁电流, 使被试电机的定子电流达到满载电流值。在加载过程中, 要随时调节主电源电压, 使被试电机的端电压保持额定值, 并同时保持频率 f' 不变。被试电机在额定电压、满载电流下进行温升试验。

满载电流值可按 9.5.6 或 9.5.7 的方法确定。试验要求同 8.5.1.1。

在调节被试电机的负载时, 如仪表指针摆动较大或被试电机和试验电源设备的振动较大, 应先降低副电源电压, 按另一个频率 f' 的值调整副电源机组的转速, 再行试验。

9 效率、功率因数及转差率的测定

9.1 工作特性曲线的测取

工作特性曲线是电动机在额定电压和额定频率下, 输入功率 P_1 、定子电流 I_1 、效率 η 、功率因数 $\cos\phi$ 及转差率 s 与输出功率 P_2 的关系曲线 (图 5)。

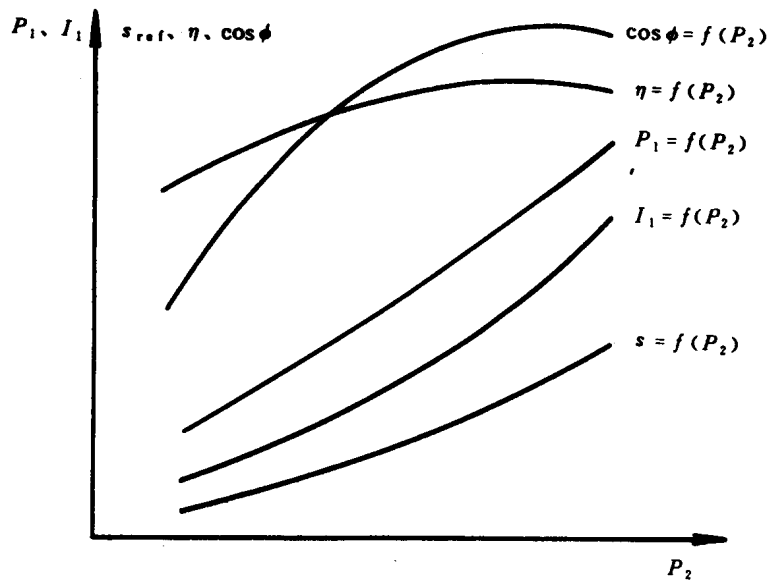


图 5

工作特性曲线应在电动机的温度接近热状态时，在负载试验中测取。此时，在1.25~0.25倍额定功率范围内测取6~8点读数。每点应测取下列数值：三相电压、三相电流、输入功率及转差率。

如限于设备对立式和300 kW以上的电动机或大于8极的200 kW以上的电动机，允许按9.5.6圆图算法或9.5.7等值电路法求取额定功率时的工作特性。

9.2 转差率的测定

电动机转差率（或转速）的测量方法有下列几种：

- a. 转差率测量仪；
- b. 闪光法；
- c. 感应线圈法；
- d. 转速测量仪法；
- e. 十进频率仪法。

9.2.1 转差率测量仪

在被试电机转轴上做一个白色标记或安装一个齿盘，当电动机转动时，由光电传感器将转速变换成电脉冲信号，转差率测量仪将这一信号与电源频率信号进行运算处理后，可直接显示出被试电机的转差率。

9.2.2 闪光法

在电动机转轴的端面上。按极数画出不同数量的扇形片，并用荧光灯或氖灯照明。供给闪光灯具的电源频率必须与被试电机的电源频率相同。试验时，用秒表测定扇形片转动 N 次所需的时间 t (s)，转差率 s 按下式计算：

$$s = \frac{pN}{tf_1} \dots\dots\dots (20)$$

式中： p ——电动机的极对数；

f_1 ——电动机的电源频率，Hz。

为了观察清晰，可将交流电源经半波整流后供给闪光灯具。

9.2.3 感应线圈法

在电动机轴伸附近，放置一只带铁芯的多匝线圈，线圈与磁电式检流计或阴极示波器连接。试验时，用秒表测定检流计指针或示波器波形全摆动 N 次所需的时间 t (s)，转差率 s 按下式计算：

$$s = \frac{N}{t f_1} \dots\dots\dots (21)$$

9.2.4 转速测量仪法

试验时，用转速测量仪测量电动机的转速 n_t (r/min)，并同时测量电源的频率 f_1 。转差率 s 按下式计算：

$$s = \frac{n_s - n_t}{n_s} \dots\dots\dots (22)$$

式中： n_s ——对应于实际电源频率 f_1 时的同步转速，r/min。

9.2.5 十进频率仪法

使用同步电机型测功机时，将十进频率仪接至该测功机的定子绕组出线端上，测量试验时的频率。被试电动机的转速 n_t (r/min)按下式计算：

$$n_t = \frac{60f}{p} \dots\dots\dots (23)$$

式中： P ——同步电机型测功机的极对数；
 f ——十进频率仪测得的频率，Hz。

9.3 功率因数的求取

电动机的功率因数按下式确定：

$$\cos \varphi = \frac{P_1}{\sqrt{3} U_1 I_{1L}} \dots\dots\dots (24)$$

式中： P_1 ——输入功率，W；
 U_1 ——线电压，V；
 I_{1L} ——定子线电流，A。

当采用两瓦特表法测量功率时，可用下式校核由公式(24)求得的功率因数数值：

$$\cos \varphi = \frac{1}{\sqrt{1 + 3 \left(\frac{W_1 - W_2}{W_1 + W_2} \right)^2}} \dots\dots\dots (25)$$

式中： W_1 、 W_2 ——分别为两只瓦特表的读数。如一只瓦特表的读数为负，则应以负值代入。

如果按公式(24)和(25)求得的功率因数相差不大于1%，则表明测量是正确的。

9.4 效率的直接测定法

9.4.1 输入功率和输出功率的测量

直接测定效率时，电动机的输入功率用瓦特表测量。输出的机械功率用测功机或校正过直流电机测量，对滚动轴承的电机，也可用转矩测量仪测量。电动机的转速用转速测量仪或十进频率仪法测量。

测功机或校正过直流电机的功率，在与被试电机同样的转速下应不超过被试电机额定功率的三倍。转矩测量仪的标称转矩，应不超过被试电机额定转矩的三倍。

直流电机应在发电机状态下采用0.5级准确度的测功机进行校正。校正时，在所需的各种转速下，待剩磁稳定后保持励磁电流不变，测取电枢电流 I_a 与轴上转矩 T_d 的校正曲线 $T_d = f(I_a)$ 。

试验时，直流电机的转向和励磁电流应与校正时相同。试验过程中，励磁电流应保持不变。

9.4.2 试验方法

试验时，被试电机应达到热稳定状态。在1.25~0.25倍额定功率范围内，测取负载下降及上升时的工作特性曲线。对750W及以下的电动机，允许仅测取下降曲线。每条曲线测取6~8点读数，每点应测取下列数值：三相电压、三相电流、输入功率、转速、输出转矩及定子绕组的电阻（采用带电测温装置），并记录周围冷却介质温度。如定子绕组的电阻在切离电源后测得，应将所测电阻用外推法修

正到断电瞬间。

9.4.3 试验结果的计算

9.4.3.1 输出转矩的修正

试验时，测得的输出转矩应按下述方法进行修正。

测功机的风摩擦转矩 T_{fw} (N·m) 按下式计算：

$$T_{fw} = \frac{9.55 (P_1 - P_0)}{n_t} - T_d \dots\dots\dots (26)$$

式中： P_1 ——电动机在额定电压下驱动测功机时的输入功率，W，此时，测功机的电枢和励磁回路均应开路；

T_d ——风摩擦转矩试验时测功机的转矩值，N·m；

n_t ——风摩擦转矩试验时电动机的转速，r/min。

电动机修正后的输出转矩 T_c (N·m) 按下式计算：

$$T_c = T_t + T_{fw} \dots\dots\dots (27)$$

式中： T_t ——试验时测得的输出转矩，N·m。

9.4.3.2 输出功率的修正

试验时的冷却介质温度应换算到25℃。此时，电动机的转速按下式换算：

$$n_{ref} = n_s - (n_s - n_t) \frac{K_\alpha + \Delta\theta_2 + 25}{K_\alpha + \Delta\theta_2 + \theta_t} \dots\dots\dots (28)$$

式中： n_{ref} ——换算到冷却介质温度25℃时的转速，r/min；

n_t ——试验时测得的转速，r/min；

$\Delta\theta_2$ ——试验时的转子绕组温升，K。若转子绕组温升无法测取，则允许用试验时的定子绕组温升 $\Delta\theta_1$ 代替；

θ_t ——试验时的冷却介质温度，℃。

定子绕组 I^2R 损耗的修正量 ΔP_{cul} (W) 按下式计算：

$$\Delta P_{cul} = 3 I_t^2 R_t \left(\frac{K_\alpha + \Delta\theta_1 + 25}{K_\alpha + \Delta\theta_1 + \theta_t} - 1 \right) \dots\dots\dots (29)$$

式中： I_t ——试验时的定子相电流，A；

R_t ——试验时的定子绕组相电阻，Ω。

被试电机修正后的输出功率 P_2 (W) 按下式计算：

$$P_2 = \frac{T_c n_{ref}}{9.55} - \Delta P_{cul} \dots\dots\dots (30)$$

9.4.3.3 效率的求取

电动机在不同负载时的效率 η 按下式计算，并作效率曲线 $\eta = f(P_2)$ ，然后取两条曲线的平均值作为所求的效率曲线。

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \dots\dots\dots (31)$$

9.5 效率的间接测定法

效率的间接测定法有下列四种：

- a. 额定电压负载法（优先采用）；
- b. 降低电压负载法；
- c. 圆图计算法；
- d. 等值电路法。

9.5.1 各种损耗的确定

电动机的各种损耗按下列方法确定：

- a. 额定电压下的铁耗 P_{Fe} (W), 由空载试验求得;
- b. 机械耗 P_{fw} (W), 由空载试验求得;
- c. 定子绕组 I^2R 损耗 P_{cu1} (W), 按下式计算:

$$P_{cu1} = 3 I_1^2 R_{1ref} \dots\dots\dots (32)$$

式中: I_1 ——定子相电流, A;

R_{1ref} ——换算到基准工作温度时定子绕组的相电阻, Ω ; 换算公式如下:

$$R_{1ref} = R_c \frac{K_\alpha + \theta_{ref}}{K_\alpha + \theta_c}$$

式中: R_c ——实际冷状态时绕组的电阻 (三相平均值), Ω ;

θ_{ref} ——基准工作温度, 对于A、E、B级绝缘为75℃; 对于F、H级绝缘为115℃;

θ_c ——实际冷状态时绕组的温度, ℃。

- d. 转子绕组 I^2R 损耗 P_{cu2} (W), 按下式计算:

$$P_{cu2} = (P_1 - P_{cu1} - P_{Fe}) S_{ref} \dots\dots\dots (33)$$

式中: s_{ref} ——换算到基准工作温度时的转差率, 换算公式如下:

$$s_{ref} = s_t \frac{K_\alpha + \theta_{ref}}{K_\alpha + \Delta\theta_2 + \theta_f}$$

式中: s_t ——试验时测得的转差率。

- e. 杂散损耗 P_s (W), 可用9.5.2反转法或9.5.3输入输出法进行测定。

对不实测杂散损耗的电机, 则额定功率时的杂散损耗值取其输入功率的0.5%。对于其他负载点, 杂散损耗值按与定子电流平方成正比确定。

9.5.2 反转法

试验时, 被试电机以及异步机反转法中辅助电机的功率测量, 必须采用低功率因数瓦特表。其电压回路应直接接至电机的出线端。

9.5.2.1 基频杂散损耗的测量

将转子取出, 但端盖等结构件应就位, 定子绕组上施以额定频率的低电压。在1.1~0.5倍额定电流范围内测取5~7点读数, 每点应同时读取三相电流和输入功率。试验结束后, 立即测量定子绕组的电阻。

基频杂散损耗 P_{sf} (W) 按下式求取:

$$P_{sf} = P_1 - 3 I_1^2 R_1 \dots\dots\dots (34)$$

9.5.2.2 高频杂散损耗的测量

高频杂散损耗的测量应在被试电机接近热状态下进行。对于小型铸铝转子异步电机, 也可从冷态开始以额定电流反转预热10min后进行。

高频杂散损耗可用下列方法测量:

- a. 测功机反转法或校正过直流电机反转法 (仅适用于反转预热情况)。

测功机或校正过直流电机的功率, 在与被试电机同样的转速下, 应为被试电机额定功率的15%左右。采用数字式转矩测量仪时, 转矩传感器的标称转矩应为被试电机额定转矩的15%左右。

直流电机的校正, 应在电动机状态下进行, 校正方法及使用时的要求同9.4.1。

将测功机或校正过直流电机用联轴器与被试电机联接, 彼此旋转方向相反, 使被试电机运行在电磁制动状态。将测功机或校正过直流电机开动到被试电机的同步转速, 在试验过程中, 应保持同步转速不变 (如电源不为额定频率, 应为对应于实际频率的同步转速)。待机组机械耗稳定后, 随即在被试电机的定子绕组上施以额定频率的低电压, 使定子电流达到额定值, 预热10min。

接着, 在1.1~0.5倍额定电流范围内测取5~7点读数, 每点应同时读取被试电机的输入功率 P_1 、三相电流 I_1 、测功机的转矩 T_d 或校正过直流电机的电枢电流 I_a 。然后, 断开被试电机的电源, 机组仍应保持同步转速运转, 测取测功机的转矩 T_{d0} 或校正过直流电机的电枢电流 I_{a0} 。测定完毕后, 应立

即停机，迅速测量被试电机定子绕组的电阻。

计算用高频杂散损耗 P'_{sh} (W)，按下式求取：

$$P'_{sh} = P_d - P_{d0} - (P_1 - 3 I_1^2 R_1) \dots\dots\dots (35)$$

式中：测功机的输出功率 P_d (W) 和 P_{d0} (W) 按下式求取：

$$P_d = \frac{T_d n_s}{9.55} \dots\dots\dots (36)$$

$$P_{d0} = \frac{T_{d0} n_s}{9.55} \dots\dots\dots (37)$$

其中： T_d 、 T_{d0} ——测功机的转矩，N·m。

当采用校正过直流电机时，应根据试验时测得的电枢电流 I_a 和 I_{a0} ，从校正曲线 $T_d = f(I_a)$ 上求取其转矩值。

高频杂散损耗 P_{sh} (W) 按下式求取：

$$P_{sh} = P'_{sh} + P_{sf} \dots\dots\dots (38)$$

b. 异步机反转法

选择一台与被试电机功率相等或接近、极数相同的异步电机作辅助电机，将它与被试电机用联轴器联接。辅助电机施以额定频率的额定电压（或接近额定电压），在试验过程中应保持不变。被试电机施以额定频率的低电压，旋转方向应与辅助电机相反，使被试电机运行在电磁制动状态。试验时，首先开动辅助电机，待机组机械耗稳定后，在低电压下接通被试电机的电源。使定子电流达到额定值，预热10 min。

接着，在1.1~0.5倍额定电流范围内测取5~7点读数，每点应同时读取被试电机的输入功率 P_1 、三相电流 I_1 和辅助电机的输入功率 P_{a1} 。然后，断开被试电机的电源，读取辅助电机的输入功率 P_{a0} 。测定完毕后，应立即停机，并迅速测量被试电机定子绕组的电阻。

如果在温升试验后立即进行本试验，则不需进行预热。

计算用高频杂散损耗 P'_{sh} (W)，按下式求取：

$$P'_{sh} = P_{a1} - P_{a0} - (P_1 - 3 I_1^2 R_1) \dots\dots\dots (39)$$

高频杂散损耗 P_{sh} 按公式 (38) 求取。

9.5.2.3 总杂散损耗的求取

分别绘制基频杂散损耗 P_{sf} 及计算用高频杂散损耗 P'_{sh} 对定子电流 I_1 的关系曲线 (图6)。因空载电流所引起的杂散损耗已包括在铁耗中，故被试电机的杂散损耗应按计算电流 I'_1 求取。

计算电流 I'_1 按下式计算：

$$I'_1 = \sqrt{I_1^2 - I_0^2} \dots\dots\dots (40)$$

式中： I_0 ——被试电机在额定电压时的空载电流。

从图6中查出对应于计算电流 I'_1 的基频杂散损耗 P_{sf} 和计算用高频杂散损耗 P'_{sh} 的数值，被试电机的总杂散损耗 P_s (W)，按下式计算：

$$P_s = P_{sh} + P_{sf} = P'_{sh} + 2 P_{sf} \dots\dots\dots (41)$$

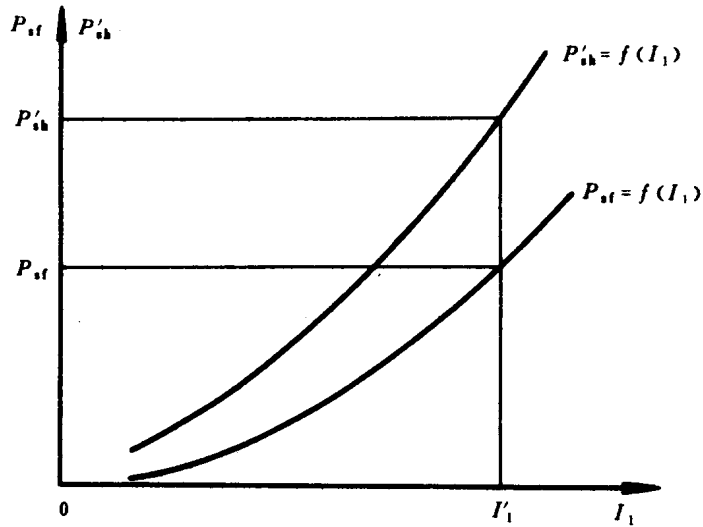


图 6

如不测定基频杂散损耗，则总杂散损耗 P_s 也可按下式求取：

$$P_s = (1 + 2c) P'_{sh} \dots\dots\dots (42)$$

式中：c——各类型电动机的统计系数。

9.5.3 输入输出法

9.5.3.1 测功机输入输出法

用测功机输入输出法求取杂散损耗时，应按9.4.1和9.4.2的规定进行试验，按9.4.3.1对被试电机的输出转矩进行修正，由输入功率减去输出功率求得电动机的总损耗 ΣP 。被试电机的杂散损耗 P_s (W) 按下式求取：

$$P_s = \Sigma P - P_{Fe} - P_{fw} - P_{cu1} - P_{cu2} \dots\dots\dots (43)$$

式中：铁耗 P_{Fe} 、机械耗 P_{fw} 由空载试验求得；定子绕组 I^2R 损耗 P_{cu1} 按试验时测得的电阻值求取；转子绕组 I^2R 损耗 P_{cu2} 按试验时的转差率求取。

绘制负载上升及下降时杂散损耗对定子电流的关系曲线，取两条曲线的平均值。各负载电流下的杂散损耗在平均曲线上查取。

9.5.3.2 回馈法

试验时，将被试电机与同规格的辅助电机用联轴器联接。首先，被试电机以额定电压和额定频率作电动机运行，辅助电机以额定电压和低于额定频率作发电机运行。改变辅助电机的频率将被试电机的负载调节至额定值，运行到被试电机达到热稳定状态，然后在1.25~0.25倍额定功率范围内，测取5~6点读数。每点应测取被试电机的输入功率 P_1 及辅助电机的输出功率 P'_2 ，两者的电流、定子绕组的电阻及转差率。用闪光法测量辅助电机的转差率时，闪光灯应由辅助电机的电源馈电。

被试电机和辅助电机的总杂散损耗 ΣP_s 按下式计算：

$$\Sigma P_s = P_1 - P'_2 - \Sigma P \dots\dots\dots (44)$$

式中： ΣP ——被试电机和辅助电机除杂散损耗外的其他损耗之和。

其中：铁耗、机械耗由空载试验求得；定子绕组 I^2R 损耗按试验时的电阻值求取；转子绕组 I^2R 损耗按电机的运行状态分别求取。

作电动机运行时，转子绕组 I^2R 损耗 P_{cu2} 按下式求取：

$$P_{cu2} = s (P_1 - P_{cu1} - P_{Fe})$$

作发电机运行时，转子绕组 I^2R 损耗 P'_{cu2} 按下式求取：

$$P'_{cu2} = s' (P'_2 + P'_{cu1} + P'_{Fe})$$

被试电机的杂散损耗按下式计算：

$$P_s = \Sigma P_s \frac{P_{cu2}}{P_{cu2} + P'_{cu2}} \dots\dots\dots(45)$$

然后，将辅助电机的电源频率增加，使其在额定电压和高于额定频率下作电动机运行，此时，被试电机仍保持额定电压和额定频率作发电机运行。按上述方法测取各种数据并求取各种损耗。被试电机的杂散损耗按公式(45)计算。此时，式中的 P_{cu2} 应为被试电机运行在发电机状态下的转子绕组 I^2R 损耗； P'_{cu2} 应为辅助电机运行在电动机状态下的转子绕组 I^2R 损耗。

绘制被试电机在电动机运行和发电机运行时杂散损耗与定子电流的关系曲线，取两条曲线的平均值。各负载电流下的杂散损耗在平均曲线上查取。

9.5.4 额定电压负载法

被试电机应按9.1的规定测取工作特性曲线。各种损耗按9.5.1确定。

电动机的输出功率 P_2 (W) 按下式求取：

$$P_2 = P_1 - \Sigma P = P_1 - (P_{Fe} + P_{fw} + P_{cu1} + P_{cu2} + P_s) \dots\dots\dots(46)$$

电动机的效率按公式(31)求取。

9.5.5 降低电压负载法

9.5.5.1 试验方法

首先被试电机在额定频率、1/2额定电压和1/2额定电流下，运行到接近热稳定状态。然后，保持额定频率和1/2额定电压不变，在0.6倍额定电流至空载电流范围内测取5~7点读数。每点应测取下列数值：三相电压 U_r 、三相电流 I_{1r} 、输入功率 P_{1r} 及转差率 s 。测定完毕后，立即停机，并迅速测量定子绕组的电阻。

将测得的转差率按9.5.1d换算到基准工作温度。作 $I_{1r} = f(P_{1r})$ 和 $s_{ref} = f(P_{1r})$ 曲线(图7)。

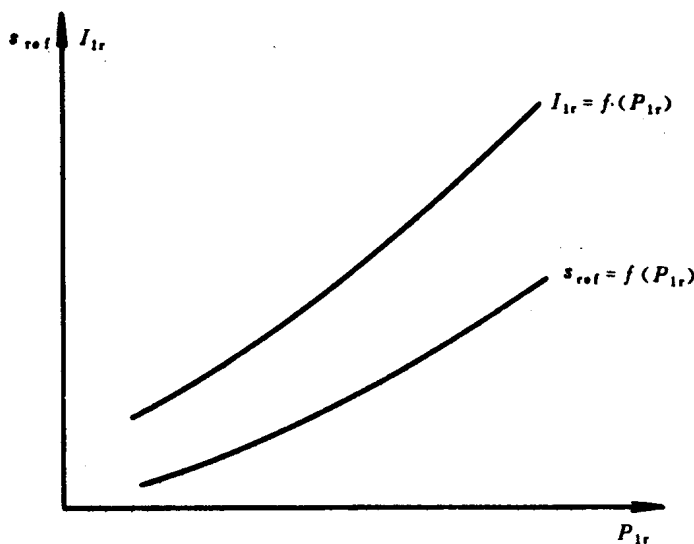


图 7

9.5.5.2 效率的计算

额定功率时的效率按下述方法求取：

a. 假定定子电流 I_{1r} 为1/2额定电流，从图7中查得对应的输入功率 P_{1r} ，则额定电压时的输入功率 P_1 按下式求取：

$$P_1 = P_{1r} \left(\frac{U_N}{U_r} \right)^2 \dots\dots\dots(47)$$

b. 额定功率时的定子电流 I_1 按下式求取:

$$I_1 = \sqrt{(I'_{1r})^2 + \Delta I_0^2 - 2 I'_{1r} \Delta I_0 \cos(90^\circ + \varphi_r)} \dots\dots\dots (48)$$

式中: $I'_{1r} = I_{1r} \frac{U_N}{U_r}$

$$\varphi_r = \cos^{-1} \frac{P_{1r}}{\sqrt{3} U_r I_{1r}}$$

$$\Delta I_0 = I_0 \sin \varphi_0 - I_{0r} \left(\frac{U_N}{U_r} \right) \sin \varphi_{0r}$$

$$\varphi_0 = \cos^{-1} \frac{P_0}{\sqrt{3} U_N I_0}$$

$$\varphi_{0r} = \cos^{-1} \frac{P_{0r}}{\sqrt{3} U_r I_{0r}}$$

式中: I_0 、 P_0 ——分别为电动机在额定电压时的空载电流和空载损耗,从空载特性曲线上求取;

I_{0r} 、 P_{0r} ——分别为电动机在电压 U_r 时的空载电流和空载损耗,从空载特性曲线上求取。

c. 额定功率时的转差率 s_{ref} , 根据定子电流 I_{1r} 从图 7 中求得;

d. 各种损耗按 9.5.1 确定;

e. 电动机的输出功率 P_2 按公式 (46) 计算; 如求得的输出功率 P_2 与额定功率 P_N 之差大于额定功率的 0.1% 时, 则应重新假定定子电流 I_{1r} , 重复 a~e 项的计算;

f. 电动机的效率按公式 (31) 求取。

9.5.6 圆图计算法

圆图计算法就是根据电动机的空载试验和堵转试验数据, 利用圆图求取额定功率时的效率、功率因数及转差率的一种方法。此时, 电动机应按 7.1.1.4 和 7.2 的规定进行堵转试验。

圆图计算法公式中的电压、电流、电阻均为相电压 (V)、相电流 (A)、相电阻 (Ω) 的三相平均值, 功率为三相功率值 (W)。

9.5.6.1 绕线转子电动机和普通笼型电动机*的圆图计算法

圆图计算法所需参数如下:

a. 定子绕组电阻 R_{1ref} : 换算至基准工作温度时的电阻值。

b. 转子绕组电阻 R_{2ref} (对绕线转子电机): 折算到定子侧的电阻值, 折算方法如下:

$$R_{2ref} = R'_{2ref} K_v^2$$

式中: R'_{2ref} ——换算至基准工作温度对转子绕组的电阻;

K_v ——变压比, 按下式求取:

$$K_v = \frac{U_{10}}{U_{20}}$$

式中: U_{10} ——定子绕组的相电压;

U_{20} ——转子绕组的相电压。

c. 由空载试验求得的参数:

空载电流的有功分量:

$$I_{0R} = \frac{P_0}{3 U_N}$$

* 普通笼型电动机是指笼型转子由同样高度的导条组成, 并且其高度对铜导条不大于 10 mm; 对铝导条不大于 16 mm。

空载电流的无功分量:

$$I_{0x} = \sqrt{I_0^2 - I_{0R}^2}$$

d. 由额定频率堵转试验求得的参数:

等值阻抗:

$$Z_k = \frac{U_k}{I_k}$$

等值电阻:

$$R_k = \frac{P_k}{3 I_k^2}$$

等值电抗:

$$X_k = \sqrt{Z_k^2 - R_k^2}$$

再按下述方法求出参数 R 、 X 、 Z 的数值:

对 A、E、B 级绝缘:

$$R = R_k$$

对 F、H 级绝缘:

$$R = 1.13 R_k$$

$$X = X_k$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

e. 堵转电流值:

$$I_{kN} = \frac{U_N}{Z}$$

堵转电流的有功分量:

$$I_{kR} = I_{kN} \frac{R}{Z}$$

堵转电流的无功分量:

$$I_{kx} = I_{kN} \frac{X}{Z}$$

额定功率 P_N 时的效率、功率因数及转差率按下列步骤求取:

$$K = I_{kR} - I_{0R}$$

$$H = I_{kx} - I_{0x}$$

$$I_{2k} = \sqrt{H^2 + K^2}$$

由 $\operatorname{tg} \alpha = \frac{H}{K}$ 求出 α 、 $\cos \alpha$ 、 $\sin \alpha$

$$K_1 = I_{2k}^2 \frac{R_{1ref}}{U_N}$$

$$K_2 = \frac{K_1 R_{2ref}}{R_{1ref}} \quad (\text{对绕线转子电机})$$

$$K_2 = K - K_1 \quad (\text{对普通笼型电机})$$

$$I_R = \frac{P_N + P_s}{3 U_N}$$

$$a = \frac{I_{2k}}{2} - I_R \cos \alpha$$

$$b = a - \sqrt{a^2 - I_R^2}$$

$$b_1 = b \cos \alpha$$

$$b_2 = b \sin \alpha$$

$$c = \frac{b_1 K_2}{K}$$

$$d = c + I_R$$

$$I_{1R} = I_{0R} + b_1 + I_R$$

$$I_{1X} = I_{0X} + b_2$$

定子电流:

$$I_1 = \sqrt{I_{1R}^2 + I_{1X}^2}$$

功率因数:

$$\cos \varphi = \frac{I_{1R}}{I_1}$$

转差率:

$$s = \frac{c}{d}$$

各种损耗: 铁耗 P_{Fe} 、机械耗 P_{fw} 、定子绕组 I^2R 损耗 P_{cu1} 、杂散损耗 P_s 按 9.5.1 的规定求取, 转子绕组 I^2R 损耗 P_{cu2} 按下式求取:

$$P_{cu2} = \frac{s(P_N + P_{fw} + P_s)}{1 - s}$$

总损耗:

$$\Sigma P = P_{Fe} + P_{fw} + P_{cu1} + P_{cu2} + P_s$$

效率:

$$\eta = \frac{P_N}{P_N + \Sigma P}$$

9.5.6.2 深槽和双笼型电动机的圆图计算法

圆图计算法所需参数如下:

a. 定子绕组电阻 R_{1ref} : 换算至基准工作温度时的电阻值。

b. 由空载试验求得的参数:

空载电流的有功分量:

$$I_{0R} = \frac{P_0}{3U_N}$$

空载电流的无功分量:

$$I_{0X} = \sqrt{I_0^2 - I_{0R}^2}$$

c. 由额定频率堵转试验求得的参数:

等值阻抗:

$$Z'_k = \frac{U'_k}{I'_k}$$

等值电阻:

$$R'_k = \frac{P'_k}{3 I_k'^2}$$

等值电抗:

$$X'_k = \sqrt{Z_k'^2 - R_k'^2}$$

d. 由1/2额定频率堵转试验求得的参数:

等值阻抗:

$$Z_k'' = \frac{U_k''}{I_k''}$$

等值电阻:

$$R_k'' = \frac{P_k''}{3 I_k''^2}$$

等值电抗:

$$X_k'' = \sqrt{Z_k''^2 - R_k''^2}$$

e. 按下述方法求出修正后的参数 R 、 X 、 Z 的数值:

$$h = \frac{2 X_k'' - X'_k}{R'_k - R_k''}$$

$$m = \frac{4 + h^2}{3}$$

等值电阻:

对A、E、B级绝缘:

$$R = R'_k - m (R'_k - R_k'')$$

对F、H级绝缘:

$$R = 1.13 [R'_k - m (R'_k - R_k'')]]$$

等值电抗:

$$X = X'_k + m (2 X_k'' - X'_k)$$

等值阻抗:

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

f. 堵转电流值:

$$I_{kN} = \frac{U_N}{Z}$$

堵转电流的有功分量:

$$I_{kR} = I_{kN} \frac{R}{Z}$$

堵转电流的无功分量:

$$I_{kX} = I_{kN} \frac{X}{Z}$$

额定功率 P_N 时的效率、功率因数及转差率按下列步骤求取:

$$K = I_{kR} - I_{0R}$$

$$H = I_{kX} - I_{0X}$$

$$I_{2k} = \sqrt{H^2 + K^2}$$

由 $\operatorname{tg} \alpha = \frac{H}{K}$ 求出 α , $\cos \alpha$, $\sin \alpha$

$$K_1 = \frac{I_{2k}^2 R_{1ref}}{U_N}$$

$$K_2 = K - K_1$$

$$I_R = \frac{P_N + P_s}{3U_N}$$

$$a = \frac{I_{2k}}{2} - I_R \cos \alpha$$

$$b = a - \sqrt{a^2 - I_R^2}$$

$$b_1 = b \cos \alpha$$

$$b_2 = b \sin \alpha$$

$$c = \frac{b_1 K_2}{K}$$

$$d = c + I_R$$

$$I_{1R} = I_{0R} + b_1 + I_R$$

$$I_{1x} = I_{0x} + b_2$$

定子电流:

$$I_1 = \sqrt{I_{1R}^2 + I_{1x}^2}$$

功率因数:

$$\cos \varphi = \frac{I_{1R}}{I_1}$$

转差率:

$$S = \frac{c}{d}$$

各种损耗: 铁耗 P_{Fe} 、机械耗 P_{fw} 、定子绕组 $I^2 R$ 损耗 P_{cu1} 、杂散损耗 P_s 按 9.5.1 的规定求取。
转子绕组 $I^2 R$ 损耗 P_{cu2} 按下式求取:

$$P_{cu2} = \frac{S (P_N + P_{fw} + P_s)}{1 - S}$$

总损耗:

$$\Sigma P = P_{Fe} + P_{fw} + P_{cu1} + P_{cu2} + P_s$$

效率:

$$\eta = \frac{P_N}{P_N + \Sigma P}$$

9.5.7 等值电路法

等值电路法就是根据电动机的空载试验和堵转试验数据利用等值电路求取工作特性的一种方法。此时, 电动机应按 7.2 的规定进行堵转试验。

等值电路参数及工作特性按附录 B 求取。

10 短时过转矩试验

短时过转矩试验应在额定电压、额定频率下进行。

试验时, 电动机在热状态下, 逐渐增加负载, 使其转矩达到 GB 755—81 或各类型电机标准所规

定的过转矩数值，历时15s。

如限于设备，允许在试验时用测量定子电流代替转矩的测量，此时，定子电流值应等于1.1倍的过转矩倍数乘以额定电流值。

11 最大转矩的测定

最大转矩的测量方法有下列几种：

- a. 测功机或校正过直流电机法；
- b. 转矩测量仪法；
- c. 转矩转速仪法；
- d. 圆图计算法。

采用上述a、b、c三种方法时，应在额定频率、额定电压下进行测定，如试验电压不能达到额定电压，最大转矩值应按11.5换算。

11.1 测功机或校正过直流电机法

用测功机或校正过直流电机作被试电机的负载，最大转矩从测功机磅秤上读出，或按试验时的转速和直流电机的电枢电流 I_a ，从直流电机的校正曲线 $T_d = f(I_a)$ 上求得。

直流电机可用准确度为1%的测功机校正或用损耗分析法校正。校正方法及使用时的要求同9.4.1。

试验时，将被试电机与测功机或校正过直流电机用联轴器联接，使两者的旋转方向一致。逐渐增加被试电机的负载至测功机磅秤读数或校正过直流电机的电枢电流出现最大值，读取此数值和被试电机的端电压。采用校正过直流电机时，需同时读取转速值。

试验过程中，应防止被试电机过热而影响测量的准确性。被试电机的端电压应在其出线端上测量。

11.2 转矩测量仪法

用转矩测量仪法测定最大转矩时，必须测取被试电机的转矩转速特性曲线，最大转矩从曲线上求取。

转矩转速特性曲线可逐点测定后由人工描绘，也可用自动记录仪直接描绘。对分马力和小型电机，这两种方法均可采用。对滚动轴承的中型电机应采用前者。逐点测定转矩转速特性曲线时，测取的点数应满足正确求取各种转矩（最大转矩、最小转矩、同步转矩堵转转矩）的需要。在这些转矩附近。测量点应尽可能密一些。

试验过程中，应防止被试电机过热而影响测量的准确性，必要时，转矩转速特性曲线可分段测量。

11.2.1 以直流电机作负载时，被试电机与传感器、直流电机用联轴器联轴。直流电机他励，其电枢由可调电压和可变极性的电源供电。被试电机与直流电机的转向应一致。调节直流电机的电源电压，逐渐增加被试电机的负载，并同时读取转矩、转速和电压值。或用自动记录仪描绘转矩转速特性曲线和被试电机端电压与转速的关系曲线。

用自动记录仪描绘曲线时，建议在被试电机转速上升和下降的情况下测取两条转矩转速特性曲线，取其平均值。每条曲线的描绘时间应不少于15s。

11.3 转矩转速仪法

转矩转速仪是应用电动机在空载起动过程中，其加速度正比于电机转矩的原理而制成的摄取转矩转速特性曲线的仪器。

本方法限于大、中型电机采用。

为了提高测量的准确性，试验时，应按被试电机的起动时间，正确选取微分参数和滤波参数；显示图形的线条要细，干扰纹波要小；转矩定标要尽量准确。并应同时摄取被试电机端电压与转速的关系曲线。

11.4 圆图算法

如限于设备，对立式电机和100kW以上的电机，允许采用圆图算法求取最大转矩。此时，电动机应按7.1.1.4的规定进行堵转试验。

圆图算法公式中的电压、电流和电阻为相电压 (V)、相电流 (A) 和相电阻 (Ω) 的三相平均值；功率为三相功率值 (W)。

11.4.1 圆图算法所需参数

a. 定子绕组电阻 R_{1ref} ：换算至基准工作温度时的电阻值；

b. 由空载试验求得的参数：

空载电流的有功分量：

$$I_{0R} = \frac{P_0 - P_{fw}}{3U_N}$$

空载电流的无功分量：

$$I_{0x} = \sqrt{I_0^2 - I_{0R}^2}$$

c. 由堵转试验求得的参数：

堵转电流：

$$I_{kN} = I_k \frac{U_N}{U_k}$$

堵转功率：

$$P_{kN} = P_k \left(\frac{U_N}{U_k} \right)^2$$

堵转电流的有功分量：

$$I_{kR} = \frac{P_{kN}}{3U_N}$$

堵转电流的无功分量：

$$I_{kx} = \sqrt{I_{kN}^2 - I_{kR}^2}$$

11.4.2 最大转矩的求取：

$$K = I_{kR} - I_{0R}$$

$$H = I_{kx} - I_{0x}$$

$$r = \frac{1}{2} \left(H + \frac{K^2}{H} \right)$$

$$I_{2k} = \sqrt{K^2 + H^2}$$

$$K_1 = \frac{I_{2k}^2 R_{1ref}}{U_N}$$

由 $\text{tg } \beta = \frac{H}{K_1}$ 求出 β 、 $\text{tg } \frac{\beta}{2}$

$$T = 3rU_N \text{tg } \frac{\beta}{2}$$

$$P_m = \frac{P_N + P_{fw} + P_s}{1 - S}$$

最大转矩倍数：

$$K_T = \frac{c_T}{P_m}$$

式中： c ——对10kW及以上的笼型电机，取 $c = 0.9$ ；对绕线转子电机和小于10kW的笼型电机，取 $c = 1.0$ 。

最大转矩：

$$T_{\max} = K_T T_N$$

式中： T_N ——额定转矩， $N \cdot m$ 。

11.5 最大转矩值的换算

当试验电压在0.9~1.1倍额定电压范围内时，最大转矩 T_{\max} 按下式求取：

$$T_{\max} = T_{\max t} \left(\frac{U_N}{U_t} \right)^2 \dots\dots\dots (49)$$

式中： $T_{\max t}$ ——在试验电压 U_t 下测得的最大转矩， $N \cdot m$ 。

当试验电压低于0.9倍额定电压时，应在 $\frac{1}{3} \sim \frac{2}{3}$ 额定电压范围内，均匀测取三个不同电压下的最大转矩值。作 $\lg T_{\max t} = f(\lg U_t)$ 曲线，延长曲线，求出对应于额定电压时的最大转矩 T_{\max} 。

12 最小转矩的测定

笼型电机在起动过程中最小转矩的测量方法有下列几种：

- 测功机或校正过直流电机法；
- 转矩测量仪法；
- 转矩转速仪法。

测定时，被试电机应接近实际冷状态，在额定频率和额定电压下进行。如试验电压不能达到额定电压，最小转矩值应按12.4换算。

12.1 测功机或校正过直流电机法

用测功机或校正过直流电机作被试电机的负载，最小转矩从测功机磅秤上读出，或按试验时的转速和校正过直流电机的电枢电流，从直流电机的校正曲线 $T_d = f(I_a)$ 上求得。

直流电机的校正和使用时的要求同11.1。

试验时，将被试电机与测功机或校正过直流电机用联轴器联接，先在低电压下确定被试电机出现最小转矩的中间转速（即同步转速的 $\frac{1}{13} \sim \frac{1}{7}$ 范围内的某一转速，机组在该转速下能稳定运行而不升速）。断开被试电机的电源，调节测功机或校正过直流电机的电源电压，使其转速约为中间转速的 $\frac{1}{3}$ 。然后，合上被试电机的电源，迅速调节测功机的电源电压（或励磁电流）或校正过直流电机的电源电压，直至测功机的磅秤读数或校正过直流电机的电枢电流出现最小值，读取此数值和被试电机的端电压。采用校正过直流电机时，需同时读取转速值。

用测功机作负载时，当测功机与被试电机的转向相同，而不能测得最小转矩时，可改变测功机电源电压的极性再行测试。

试验过程中，应防止被试电机过热。

12.2 转矩测量仪法

用转矩测量仪法测定最小转矩时，必须测取被试电机的转矩转速特性曲线，最小转矩从曲线上求取。

试验方法及要求同11.2。转矩转速曲线应从堵转状态开始使转速逐渐升高进行测取。

12.3 转矩转速仪法

用转矩转速仪法测定最小转矩的方法同11.3。

12.4 最小转矩值的换算

当试验电压在0.95~1.05倍额定电压范围内时,最小转矩 T_{\min} 按下式求取:

$$T_{\min} = T_{\min t} \left(\frac{U_N}{U_t} \right)^2 \dots\dots\dots (50)$$

式中: $T_{\min t}$ ——在试验电压 U_t 下测得的最小转矩, N·m。

当试验电压低于0.95倍额定电压时,应在 $\frac{1}{3} \sim \frac{2}{3}$ 额定电压范围内,均匀测取三个不同电压下的最小转矩值,作 $\lg T_{\min t} = f(\lg U_t)$ 曲线,延长曲线,求出对应于额定电压时的最小转矩 T_{\min} 。

13 超速试验

如各类型电机标准中无规定时,超速试验允许在冷态下进行。对大型电机,允许对转子单独进行超速。

试验时,将电动机的转速提高到1.2倍最高额定转速或各类型电机标准中规定的转速,历时2 min。

超速的方法有下列两种:

- a. 提高被试电机的电源频率;
- b. 用原动机直接驱动或通过变速驱动被试电机。

超速试验时,应采取安全防护措施,尽可能远距离测量转速。

14 噪声的测定

噪声的测定按GB 2806—81《电机噪声测定方法》进行。

15 振动的测定

振动的测定按GB 2807—81《电机振动测定方法》进行。

16 短时升高电压试验

短时升高电压试验应在电动机空载运转状态下进行。对绕线转子电机(大型2、4极电机除外)及交流换向器电动机,应在转子静止及开路状态下进行试验。型式试验时,该项试验应在超速试验之后进行。

试验时,将电动机的电压升高到GB 755—81所规定的数值,试验时间为3 min。对在130%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。

升高试验电压时,允许同时提高被试电机的电源频率,但不应超过1.15倍额定频率值或超速试验中所规定的转速值。

17 耐电压试验

试验电源的频率为50 Hz,电压波形应尽可能为正弦波形。

17.1 试验要求

a. 耐电压试验在电机静止的状态下进行。试验前,应先测量绕组的绝缘电阻。如需要进行超速和短时过转矩试验时,该项试验应在这些试验之后进行型式试验时,该项试验还应在温升试验后电动机接近热状态下进行。

b. 试验时,电压应施于绕组与机壳之间,此时其他不参与试验的绕组均应和铁芯及机壳连接。对额定电压在1 kV以上的电机,若每相的两端均单独引出时,则应每相逐一进行试验。

c. 试验变压器应有足够的容量,可按下列方法选择:

对低压电动机,每1 kV试验电压,试验变压器的容量应不小于1 kVA;

对高压电动机,当其电容量较大时,试验变压器的容量应大于下式求得的计算容量 S_T (kVA):

$$S_T = 2\pi f C U_t U_{TN} \times 10^{-3} \dots\dots\dots (51)$$

式中：C——被试电机的电容量，F；

U_t ——试验电压，V；

U_{TN} ——试验变压器高压侧的额定电压，V。

对分马力电动机，每1kV试验电压，试验变压器的容量应不小于0.5kVA。

d. 额定电压在3000V及以上的电动机进行耐电压试验时，建议在试验变压器接线柱与被试绕组之间并联接入一放电铜球。试验电压应在试验变压器的高压侧进行测量。

e. 试验前，应采取切实安全防护措施，试验中发现异常情况，应立即切断试验电源，并将绕组对地放电。

17.2 试验电压和时间

试验电压的数值按GB 755—81及各类型电机标准的规定。

试验时，施加的电压应从不超过试验电压全值的一半开始，然后稳步地或分段地以每段不超过全值的5%增加至全值。电压自半值增加至全值的时间应不少于10s。全值电压试验时间应维持1min。

对功率为5kW及以下，额定电压为660V及以下大批连续生产的电机，进行检查试验时，允许用规定的试验电压数值的120%、历时1s进行试验。

18 转动惯量的测定

18.1 悬挂转子摆动法

18.1.1 单钢丝法

试验要求及步骤按JB 949—67《小型电机转子转动惯量的测定方法》。

假转子的转动惯量 J' ($\text{kg} \cdot \text{m}^2$) 由下式计算：

$$J' = \frac{mD^2}{8} \dots\dots\dots (52)$$

式中： D ——圆柱体直径，m；

m ——直径 D 部分的圆柱体质量，kg。

被试电机转子的转动惯量 J ($\text{kg} \cdot \text{m}^2$) 按下式计算：

$$J = J' \frac{T^2}{T'^2} \dots\dots\dots (53)$$

式中： T ——被试电机转子的摆动周期平均值，s；

T' ——假转子的摆动周期平均值，s。

18.1.2 双钢丝法

用两根平行的钢丝将被试电机转子悬挂起来，使其转轴中心线与地面垂直。扭转转子使其产生以轴线为中心的摆动。距转轴中心线的扭角应不大于 10° 。仔细测取若干次摆动所需的时间，求出摆动周期的平均值 T 。转动惯量 J ($\text{kg} \cdot \text{m}^2$) 按下式求取：

$$J = \frac{T^2 a^2}{l} \cdot \frac{mg}{(4\pi)^2} \dots\dots\dots (54)$$

式中： g ——重力加速度， m/s^2 ；

a ——两钢丝之间的距离，m；

l ——钢丝的长度，m；

m ——被试电机转子的质量，kg。

18.2 空载减速法

此法用于测定功率为100kW以上电机的转动惯量。

试验时，使被试电机的转速提高并超过同步转速，然后，切断电源或脱开驱动机械，在1.1~0.9倍同步转速范围内，测定转速变化 Δn (r/min) 所需的时间 Δt (s)。转动惯量 J ($\text{kg} \cdot \text{m}^2$) 按下式

计算:

$$J = \frac{3600 P_{fw} \Delta t}{4 \pi^2 n_s \Delta n} \dots\dots\dots(55)$$

18.3 辅助摆锤法

此法用于测定具有滚动轴承电机的转动惯量。

将一个质量已知的辅助摆锤用质量尽可能小的臂杆固定于被试电机转轴端面中心上, 摆锤臂杆应与轴线成直角。当转轴上带有皮带轮或半个联轴器时, 也可用它们来固定摆锤。

试验时, 摆锤的初始位置与静止位置的偏移应不大于 15° , 在开始摆动后, 测量2~3次摆动所需的时间, 求出摆动周期的平均值。以摆锤通过静止位置的瞬间作为测量摆动周期的起始点。转动惯量 J ($\text{kg} \cdot \text{m}^2$) 按下式计算:

$$J = m \cdot r \left(\frac{T^2 g}{4 \pi^2} - r \right) \dots\dots\dots (56)$$

式中: m ——辅助摆锤的质量, kg ;

r ——辅助摆锤的重心到转轴中心线的距离, m ;

T ——辅助摆锤摆动周期的平均值, s 。

对功率为10~1000kW的电机, 选用辅助摆锤时, 应使摆动周期为3~8s。为了校核, 建议在摆锤质量略有不同的情况下重复进行测定。

对绕线转子电动机和交流换向器电动机, 试验必须在电刷全部提起时进行。

19 轴电压的测定

轴电压的测定按GB 1029—80《三相同步电机试验方法》的规定进行。

附录 A
仪器仪表损耗及误差的修正方法
(补充件)

A.1 仪表损耗的修正

当电压表、电流表和瓦特表按照图 A 1 或图 A 2 接线时, 其仪表损耗的修正按下列方法进行。

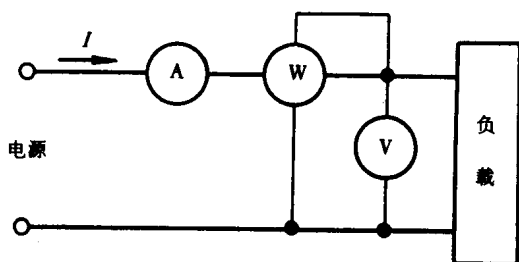


图 A 1

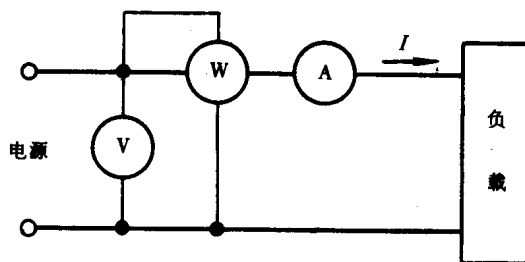


图 A 2

A.1.1 按图 A 1 接线时, 仪表损耗的修正

此时, 电压表的损耗 P_v 和无补偿的功率表电压线圈回路的损耗 P_w 按下式计算。并将它们从测得的功率中减去。

$$P_v = \frac{U^2}{R_v} \dots\dots\dots (A1)$$

$$P_w = \frac{U^2}{R_{wv}} \dots\dots\dots (A2)$$

式中: U ——电压表的读数, V;

R_v ——电压表回路的总电阻, Ω ;

R_{wv} ——瓦特表电压线圈回路的总电阻 (包括外接附加电阻), Ω 。

A.1.2 按图 A 2 接法时, 仪表损耗的修正

此时, 电流表和瓦特表电流线圈 (包括瓦特表至负载端的连接导线) 的损耗 P_A 按下式计算, 并将它从测得的功率中减去。

$$P_A = I^2 (R_A + R_{wA} + r) \dots\dots\dots (A3)$$

式中: I ——电流表的读数, A;

R_A ——电流表的内阻, Ω ;

R_{wA} ——瓦特表电流线圈回路的内阻, Ω ;

r ——瓦特表至负载端连接导线 (包括开关等) 的电阻, Ω 。

A.2 仪表刻度误差的修正

根据电流表、电压表、瓦特表指示的数值 I_A 、 U_v 、 P_w 按下式进行刻度误差的修正。

$$I' = I_A + \Delta I \dots\dots\dots (A4)$$

$$U' = U_v + \Delta U \dots\dots\dots (A5)$$

$$P'_w = P_w + \Delta P_w \dots\dots\dots (A6)$$

式中: ΔI 、 ΔU 、 ΔP_w ——分别为电流表、电压表和瓦特表的刻度修正值, 可从仪表的校验报告中获得。

A.3 互感器变比误差的修正

电流互感器和电压互感器的变比误差，可以从互感器校验报告中获得。当互感器副边的实际负载与校验中的负载不同时，其变化误差可以由互感器不同负载时的变比特性曲线来估算。

A.3.1 互感器的实际变比：

电流互感器的实际变比：

$$K_I = K_{I_n} (1 - r_I) \dots\dots\dots (A 7)$$

电压互感器的实际变比：

$$K_U = K_{U_n} (1 - r_U) \dots\dots\dots (A 8)$$

式中： K_{I_n} 、 K_{U_n} ——分别为电流互感器和电压互感器的标称变比。

r_I 、 r_U ——分别为电流互感器和电压互感器的变比误差。

A.3.2 对测量值的修正

电流互感器原边的实际电流：

$$I = K_I I' \dots\dots\dots (A 9)$$

电压互感器原边的实际电压：

$$U = K_U U' \dots\dots\dots (A 10)$$

修正后的功率：

$$P = K_U K_I P'_w \dots\dots\dots (A 11)$$

A.4 互感器相角误差的修正

功率测量中的相角误差包括：

- a. 瓦特表电压线圈回路中的相角误差；
- b. 电流互感器的相角误差；
- c. 电压互感器的相角误差。

A.4.1 瓦特表电压线圈回路中的相角误差 α

相角误差 α 按下式求取：

$$\alpha = \text{tg}^{-1} \frac{X_w}{R_w} \dots\dots\dots (A 12)$$

式中： R_w ——瓦特表电压线圈回路的总电阻（包括外接附加电阻）， Ω ；

X_w ——瓦特表电压线圈的感抗， Ω 。按下式求取：

$$X_w = 2 \pi f_1 L$$

式中： L ——瓦特表电压线圈的电感，H。可从瓦特表的刻度盘上获得。

相角误差 α 符号的决定：当 X_w 为容抗时，取“+”号；当 X_w 为感抗时，取“-”号。对无补偿的瓦特表，其电压线圈为感抗。

A.4.2 电流互感器的相角误差 β_I

电流互感器的相角误差 β_I 可以从互感器校验报告中获得。当互感器副边的实际负载与校验中的负载不同时，其相角误差 β_I 可以由互感器不同负载时的相角特性曲线来估算。

相角误差 β_I 符号的决定：当副边电流超前原边电流时，取“+”号；滞后时，取“-”号。对无补偿的电流互感器，副边电流超前原边电流。

A.4.3 电压互感器的相角误差 β_U

电压互感器相角误差 β_U 的确定方法与电流互感器相同。

相角误差 β_U 符号的决定：当副边电压超前原边电压时，取“+”号，滞后时，取“-”号，对无补偿的电压互感器，副边电压滞后原边电压。

A.4.4 功率测量值的修正

修正前的表观功率 S 及功率因数 $\cos\varphi'$ 按下式决定:

$$S = UI \dots\dots\dots (A13)$$

$$\cos\varphi' = \frac{P}{S} \dots\dots\dots (A14)$$

$$\varphi' = \cos^{-1} \left(\frac{P}{S} \right) \dots\dots\dots (A15)$$

实际的功率因数 $\cos\varphi$ 按下式求取:

$$\cos\varphi = \cos(\varphi' - \alpha + \beta_I - \beta_U) \dots\dots\dots (A16)$$

相角修正系数 K_φ 按下式求取:

$$K_\varphi = \frac{\cos\varphi}{\cos\varphi'} \dots\dots\dots (A17)$$

经相角误差修正后, 实际的功率值按下式求取:

$$P_c = PK_\varphi \dots\dots\dots (A18)$$

附录 B
等值电路计算方法
(补充件)

B.1 所需数据

下列数据中的电压、电流和电阻均为相电压 (V)、相电流 (A)、相电阻 (Ω) 的三相平均值, 功率为三相功率值 (W)。

a. 额定数据: U_N —— 额定电压; I_r —— 额定电流; P_N —— 额定功率; f_N —— 额定频率, Hz; n_s —— 同步转速, r/min。**b. 定子电阻 R_{1ref} : 换算至基准工作温度时的电阻值。****c. 对应额定电压时的空载数据:** I_0 —— 空载电流; P_0 —— 空载输入功率; P_{Fe} —— 铁耗; P_{fw} —— 机械耗; R_{10} —— 空载试验结束时的定子电阻。**d. 低频堵转试验数据:** f_k —— 堵转试验时的频率, Hz; I_{1k} —— 堵转试验时的电流; U_{1k} —— 堵转时的电压; P_{1k} —— 堵转时的输入功率; R_{1k} —— 堵转试验结束时的定子电阻。**e. 杂散损耗 P'_s**

取对应于电流 $I'_r = \sqrt{I_r^2 - I_0^2}$ 时的杂散损耗值, 或取输入功率的 0.5%。

f. 定子和转子电流的设计值:

定子和转子电抗的设计值按下式求取:

$$[X_1] = X_1^* \left(\frac{3U_N^2}{P_N} \right) \dots\dots\dots (B 1)$$

$$[X_2] = X_2^* \left(\frac{3U_N^2}{P_N} \right) \dots\dots\dots (B 2)$$

式中: X_1^* 、 X_2^* —— 定子和转子电抗的标么值。

定子电抗与转子电抗的比值:

$$\left[\frac{X_1}{X_2} \right] = \frac{[X_1]}{[X_2]} \dots\dots\dots (B 3)$$

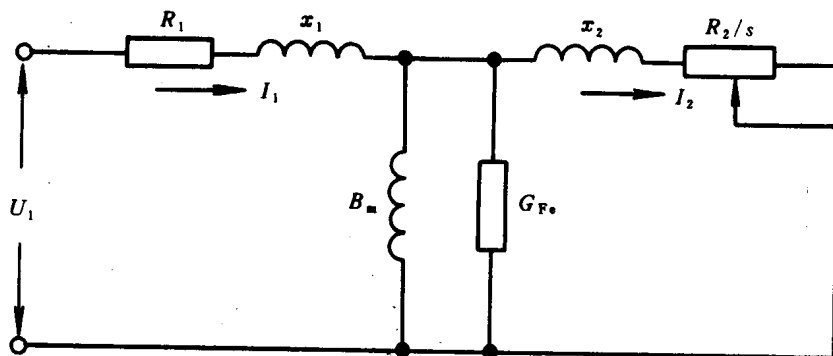
g. 励磁电抗的估算值:

$$[X_m] \approx \frac{U_N}{I_0} - [X_1] \dots\dots\dots (B 4)$$

并求出：
$$\left[\frac{X_1}{X_m} \right] = \left[\frac{X_1}{X_m} \right] \dots\dots\dots (B 5)$$

B.2 等值电路参数的求取

等值电路如下图。下列所有的转子参数，均为折算至定子侧的值。



a. X_m 、 X_1 近似值的求取：

假定： $X_1 = [X_1]$ ； $\frac{X_1}{X_m} = \left[\frac{X_1}{X_m} \right]$ ； $\frac{X_1}{X_2} = \left[\frac{X_1}{X_2} \right]$ ，

按下式求取 X_m 、 X_{1k} 和 X_1 ：

$$X_m = \frac{3U_N^2}{Q_0 - 3I_0^2 X_1} \left(\frac{1}{1 + \frac{X_1}{X_m}} \right)^2 \dots\dots\dots (B 6)$$

式中： Q_0 ——空载时的无功功率，var。按下式求取：

$$Q_0 = \sqrt{(3U_N I_0)^2 - P_0^2}$$

$$X_{1k} = \frac{Q_k}{3I_{1k}^2 \left(1 + \frac{X_1}{X_2} + \frac{X_1}{X_m} \right)} \left(\frac{X_1}{X_2} + \frac{X_1}{X_m} \right) \dots\dots\dots (B 7)$$

式中： Q_k ——堵转时的无功功率，var。按下式求取：

$$Q_k = \sqrt{(3U_{1k} I_{1k})^2 - P_{1k}^2}$$

$$X_1 = \frac{f_N}{f_k} X_{1k} \dots\dots\dots (B 8)$$

b. 用迭代法精确求取 X_m 、 X_1 的值：

利用上述求得的 X_m 、 X_1 的近似值，重新算出 $\frac{X_1}{X_m}$ ，仍取 $\frac{X_1}{X_2} = \left[\frac{X_1}{X_2} \right]$ ，代入公式(B6)、(B7)、(B8)，再求出 X_m 、 X_{1k} 和 X_1 。不断重复上述过程，直到相邻两次求得的 X_m 和 X_1 相差小于0.1%为止。

c. 转子电抗 X_2 和励磁电纳 B_m 的求取：

$$X_2 = \frac{X_1}{\left[\frac{X_1}{X_2} \right]} \dots\dots\dots (B 9)$$

$$B_m = \frac{1}{X_m} \dots\dots\dots (B 10)$$

d. 铁芯电导 G_{Fe} 的求取:

$$G_{Fe} = \frac{P_{Fe}}{3U_N^2} \left(1 + \frac{X_1}{X_m} \right)^2 \dots\dots\dots (B 11)$$

e. 转子电阻 R_2 的求取:

$$R_2 = \frac{\frac{P_{1k}}{3I_{1k}^2} - R_{1k}}{\left(1 + \frac{X_2}{X_1} \cdot \frac{X_1}{X_m} \right)^2} - \left(\frac{X_2}{X_1} \right)^2 (X_{1k}^2 G_{Fe}) \dots\dots\dots (B 12)$$

对绕线转子电机, 用下式求取转子电阻 R_2 :

$$R_2 = R'_{2ref} K_U^2 \dots\dots\dots (B 13)$$

式中: R'_{2ref} ——换算至基准工作温度时的转子电阻;

K_U ——变压比。

B.3 工作特性的求取

B.3.1 计算步骤

(1) 首先假定转差率 S 的数值为其设计值

$$(2) \frac{R_2}{S} =$$

$$(3) X_2 =$$

$$(4) Z_2^2 = \left(\frac{R_2}{S} \right)^2 + X_2^2, Z_2 = \sqrt{\left(\frac{R_2}{S} \right)^2 + X_2^2}$$

$$(5) G_2 = \frac{R_2}{S Z_2^2}$$

$$(6) G_{Fe} =$$

$$(7) G = G_2 + G_{Fe}$$

$$(8) B_2 = \frac{X_2}{Z_2^2}$$

$$(9) B_m =$$

$$(10) B = B_2 + B_m$$

$$(11) Y_2 = G^2 + B^2, Y = \sqrt{G^2 + B^2}$$

$$(12) R_g = \frac{G}{Y^2}$$

$$(13) R_{1ref} =$$

$$(14) R = R_g + R_{1ref}$$

$$(15) X_g = \frac{B}{Y^2}$$

$$(16) X_1 =$$

$$(17) X = X_g + X_1$$

$$(18) Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

$$(19) I_1 = \frac{U_N}{Z}$$

$$(20) I_2 = \frac{I_1}{Z_2 Y}$$

$$(21) P_1 = 3 I_1^2 R$$

$$(22) P_{cu1} = 3 I_1^2 R_{1ref}$$

$$(23) P_{Fe} = 3 I_1^2 \frac{G_{Fe}}{Y^2}$$

$$(24) P_M = 3 I_2^2 \frac{R_2}{S}$$

$$(25) P_{cu2} = S P_M$$

$$(26) P_{fw} =$$

$$(27) P_s = P'_s \left(\frac{I_2}{I'_r} \right)^2$$

$$(28) \Sigma P = P_{cu1} + P_{cu2} + P_{Fe} + P_{fw} + P_s$$

$$(29) P_2 = P_1 - \Sigma P$$

$$(30) \eta = \left(1 - \frac{\Sigma P}{P_1} \right)$$

$$(31) \cos \varphi = \frac{R}{Z}$$

$$(32) n_N = (1 - S) n_s$$

$$(33) T_N = 9.55 \frac{P_2}{n_N}$$

B.3.2 额定功率时的性能数据的求取

由第一次假定的转差率 $s_{(1)}$ 算出的输出功率 P_2 ，如果不等于电动机的额定功率 P_N ，则需重新假定一个转差率 $s_{(2)}$ ，再按上述步骤进行计算，直至算出的输出功率 P_2 与额定功率 P_N 之差小于额定功率的0.1%为止。 $s_{(2)}$ 可按下列式估算：

$$s_{(2)} = s_{(1)} \left[1 + \frac{P_N - P_2 \text{ (第一次算得的值)}}{P_N} \right] \dots\dots\dots (B 14)$$

也可将多次计算所得的数据，绘制转差率 s 、定子电流 I_1 、输入功率 P_1 、效率 η 、功率因数 $\cos \varphi$ 与输出功率 P_2 的特性曲线，从曲线上查取额定功率 P_N 所对应的性能数据。

附录 C
分马力电动机温升试验用支架及散热板的规定
 (补充件)

C.1 对以轴中心高表示机座号的电动机, 试验支架及散热板应符合如下规定:

温升试验时, 电动机安装在铁底板上。铁底板尺寸为 $250 \times 480 \times 20$ mm。铁底板与支撑它的金属支架的接触面积不大于 5400 mm^2 。

对于自冷凸缘安装的电动机, 应安装在金属板上。金属板垂直固定于绝热板上。金属板的尺寸按表C 1的规定。

表 C1

机 座 号	金属板的尺寸 (长×宽×厚) mm
63及以上	$350 \times 350 \times 10$
56	$300 \times 300 \times 10$
50	$270 \times 270 \times 10$
45及以下	$240 \times 240 \times 10$

C.2 对以机壳外径表示机座号的电动机, 温升试验时, 电动机安装在金属板上, 金属板垂直固定于绝热板上。金属板的尺寸按表C 2的规定。

表 C2

机 座 号	金属板的尺寸 (长×宽×厚) mm
12~24	$48 \times 48 \times 3$
28~45	$108 \times 108 \times 5$
55~90	$210 \times 210 \times 5$
110~160	$270 \times 270 \times 7$

附 录 D
物理量的符号及单位
(参考件)

- B ——电纳, S (西门子); $1 \text{ S} = \Omega^{-1}$
- f ——频率, Hz (赫兹)
- G ——电导, S (西门子)
- g ——重力加速度, m/s^2 (米每平方秒)
- I ——电流, A (安培)
- J ——转动惯量, $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ (千克平方米)
- L ——自感, H (亨利)
- n ——转速, r/min (转每分)
- P ——有功功率, W (瓦特) 或 kW (千瓦)
- Q ——无功功率, var (乏)
- R ——电阻, Ω (欧姆)
- S ——表观功率, VA (伏安) 或 kVA (千伏安)
- s ——转差率, 1
- T ——转矩, $\text{N} \cdot \text{m}$ (牛顿米); $\text{kgf} \cdot \text{m}$ (千克力米)
= $9.80665 \text{ N} \cdot \text{m}$ (牛顿米)
- T ——周期, s (秒)
- t ——时间, s (秒)
- U ——电压, V (伏特) 或 kV (千伏)
- X ——电抗, Ω (欧姆)
- Y ——导纳, S (西门子)
- Z ——阻抗, Ω (欧姆)
- θ ——温度, $^{\circ}\text{C}$ (摄氏度)
- $\Delta\theta$ ——温升, K (开尔文)
- η ——效率, 1
- f_1 ——电动机的电源频率
- I_0 ——空载电流
- I_1 ——定子相电流
- I_{1L} ——定子线电流
- I_N ——满载电流。即额定功率时的电流
- I_k ——堵转时的电流
- I_{kN} ——堵转电流
- I_a ——校正过直流电机的电枢电流
- n_t ——试验时测得的转速
- n_s ——同步转速
- n_N ——额定转速
- p ——电机的极对数
- P_0 ——空载输入功率
- P_1 ——输入功率
- P_2 ——输出功率

- P_k ——堵转时的输入功率
 P_N ——额定功率
 P_s ——杂散损耗
 P_{sf} ——基频杂散损耗
 P_{sh} ——高频杂散损耗
 P_{ks} ——堵转时的杂散损耗（包括铁耗）
 P_{Fe} ——铁耗
 P_{fw} ——机械耗
 P_{cu1} ——定子绕组 I^2R 损耗
 P_{cu2} ——转子绕组 I^2R 损耗
 P_{0cu1} ——空载时的定子绕组 I^2R 损耗
 P_{kcu1} ——堵转时的定子绕组 I^2R 损耗
 R_1 ——定子绕组的相电阻
 R_c ——实际冷状态时绕组的电阻
 R_0 ——温升试验开始时的绕组电阻
 R_f ——温升试验结束时的绕组电阻
 R_{ref} ——换算到基准工作温度时的定子绕组相电阻
 s_t ——试验时测得的转差率
 s_{ref} ——换算到基准工作温度时的转差率
 T_d ——测功机的转矩
 T_k ——堵转时的转矩
 T_{kN} ——堵转转矩
 T_{max} ——最大转矩
 T_{max_t} ——在试验电压 U_t 下测得的最大转矩
 T_{mir} ——最小转矩
 T_{min_t} ——在试验电压 U_t 下测得的最小转矩
 U_0 ——空载试验时的端电压
 U_k ——堵转时的端电压
 U_N ——额定电压
 θ_0 ——温升试验开始时的绕组温度
 θ_f ——温升试验结束时的绕组温度
 θ_t ——试验时的冷却介质温度
 θ_c ——实际冷状态时的绕组温度
 θ_{ref} ——基准工作温度
 $\Delta\theta_1$ ——定子绕组的温升
 $\Delta\theta_2$ ——转子绕组的温升
 $\Delta\theta_N$ ——额定功率时的绕组温升

GB 1032—85

附加说明:

本标准由全国旋转电机标准化技术委员会提出。

本标准由机械工业部上海电器科学研究所归口。

本标准由上海电器科学研究所、哈尔滨大电机研究所、广州电器科学研究所和上海电机厂负责起草。

本标准主要起草人郭同仁、刘继道、陈道莹、侯廷祥、华膺钜。

本标准实施后GB 1032—68《中小型三相异步电动机试验方法》全部废除; JB 909—66《驱动微型异步电动机试验方法》部分废除,即三相分马力异步电动机的试验方法应执行本标准,单相分马力异步电动机的试验方法仍执行JB 909—66。