

# GB/T 22669—2008 标准 三相永磁同步电动机试验方法

本标准参考采用了 GB/T 1029—2005《三相同步电机试验方法》、GB/T 1032—2005《三相异步电动机试验方法》、GB/T 13958—2008《无直流励磁绕组同步电动机试验方法》、IEC 60034-2-1:2007《旋转电机(牵引电机除外)确定损耗和效率的试验方法》和美国标准 IEEE Std 112:2004《多相感应电动机和发电机试验方法》的相关内容。本标准内容是广泛采用的公认的试验方法,适应国际贸易、技术交流和经济发展的需要。为满足特殊研究或应用的需要,可按本标准未作规定的附加方法进行试验。

- 1、三相永磁同步电动机试验方法: 范围
- 2、三相永磁同步电动机试验方法: 规范性引用文件
- 3、三相永磁同步电动机试验方法: 主要符号
- 4、三相永磁同步电动机试验方法: 试验要求
- 5、三相永磁同步电动机试验方法: 试验准备
- 6、三相永磁同步电动机试验方法: 空载试验
- 7、三相永磁同步电动机试验方法: 堵转试验
- 8、三相永磁同步电动机试验方法: 负载试验
- 9、三相永磁同步电动机试验方法: 各项损耗的确定
- 10、三相永磁同步电动机试验方法: 效率的确定
- 11、三相永磁同步电动机试验方法: 热试验
- 12、三相永磁同步电动机试验方法: 失步转矩的测定
- 13、三相永磁同步电动机试验方法: 牵入转矩的测定
- 14、三相永磁同步电动机试验方法: 最小转矩的测定
- 15、三相永磁同步电动机试验方法: 其他试验
- 16、三相永磁同步电动机试验方法: 计算格式
- 17、三相永磁同步电动机试验方法: 附录 A
- 18、三相永磁同步电动机试验方法: 附录 B

## 19、三相永磁同步电动机试验方法：附录 c

### 1、范围

本章节描述三相永磁同步电动机试验方法的范围。

本标准规定了三相永磁同步电动机的试验方法。

本标准适用于自启动三相永磁同步电动机，静止变频电源供电的同步电动机试验可参照使用，不适用于有直流励磁绕组的同步电动机。

### 2、规范性引用文件

本章节描述三相永磁同步电动机标准的规范性引用文件。

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB 755—2008 旋转电机定额和性能（IEC 60034-1:2004,IDT）

GB/T 1029—2005 三相同步电机试验方法

GB/T 1032—2005 三相异步电动机试验方法

GB 10068—2008 轴中心高为 56 mm 及以上电机的机械振动振动的测量、评定及限值（IEC 60034-14:2003,IDT）

GB/T 10069.1-2006 旋转电机噪声测定方法及限值第 1 部分：旋转电机噪声测定方法（ISO 1680: 1999,MOD）

GB/T 13958—2008 无直流励磁绕组同步电动机试验方法

IEC 60034-2-1:2007 旋转电机（牵引电机除外）确定损耗和效率的标准试验方法

### 3、主要符号

本章节描述三相永磁同步电动机的主要符号。

$\cos\phi$ ——功率因数

$f$ ——电源频率（Hz）

$I_i$ ——定子线电流(A)

$I_h$ ——空载线电流(A)

$I_k$ ——堵转线电流(A)

$I_N$ ——额定电流(A)

$I_a$ ——直流电机电枢电流(A)

$K_1$ ——导体材料在 0 °C 时电阻温度系数的倒数 铜  $K_1=235$

铝  $K_1=225$  除非另有规定

$k_d$ ——转矩读数修正值(N·m)

$J$ ——转动惯量（kg·m<sup>2</sup>）

$n$ ——试验时测得的转速（r/min）

$P$ ——电机的极对数

$P_1$ ——输入功率（W）

$P_z$ ——输出功率(W)  
 $P_n$ ——额定(输出)功率(w)  
 $P_{fe}$ ——铁耗(w)  
 $P_{fw}$ ——风摩耗 (w)  
 $P_L$ ——剩余损耗(W)  
 $P_s$ ——杂散损耗(w)  
 $P_{so}$ ——空载杂散损耗 (W)  
 $P_o$ ——空载输入功率(W)  
 $P_k$ ——堵转时的输入功率(w)  
 $P_{cuI}$ ——定子绕组在试验温度下  $P_i$  损耗(W)  
 $P_{0cUI}$ ——空载时在试验温度下定子绕组  $P_i$  损耗 (W)  
 $F_{cu}S$ ——定子绕组在规定温度(良)下尸尺损耗 CW)  
 $R_1$ ——温度为 A 时定子绕组初始端电阻(n)  
 $R_n$ ——额定负载热试验结束时定子绕组端电阻(n)  
 $R_t$ ——试验温度下测得(或求得)的定子绕组端电阻(n>  
 $R_s$ ——换算到规定温度(么 > 时的定子绕组端电阻(a)  
 $R_0$ ——空载试验(每个电压点)定子绕组端电阻(n)  
 $T_d$ ——转矩读数 m)  
 $T_{d0}$ ——空载(与侧力机连接)转矩读数(N·m)  
 $T$ ——修正过的转矩(N·m)  
 $T_k$ ——堵转时转矩(N·m)  
 $T_{po}$ ——在试验电压  $U_t$  下测得的失步转矩(N·m)  
 $T_{pon}$ ——额定电压时的失步转矩(N·m)  
 $T_{min}$ ——最小转矩(N·m)  
 $T_{pi}$ ——在试验电压  $LT_t$  下测得的牵入转矩 CN·m)  
 $T_{piN}$ ——额定电压下的标称牵入转矩(N·m)  
 $T_s$ ——异步转矩(N·m)  
 $T_n$  永磁制动转矩(N·m)  
 $U$ ——端电压(V)  $u_0$ ——空载试验端电压(V)  $u_K$ ——堵转试验端电压(V)  
 $U_n$ ——额定电压<v)  
 $\Theta_1$ ——测量初始(冷)电胆良时的绕组温度 re)  
 $\Theta_N$ ——额定负载热试验期间测取的定子绕组最高温度 (t)  
 $\Theta_t$ ——试验时测得的定子绕组 S 高温度 re)  
 $\Theta_a$ ——热试验结束时冷却介质温度 (C)  
 $\Theta_f$ ——负载试验时冷却介质温度("C)  
 $\Theta_{ref}$ ——标准规定的基准温度 re)  
 $\Theta_s$ ——计算效率时规定的定子绕组温度(\*c)  
 $\Theta_0$ ——空载试验时定子绕组温度 (C)  
 $\Delta\Theta_1$ ——定子绕组温升 (K)  
 $\eta$ ——效率 (%)

#### 4、试验要求

本章节描述三相永磁同步电动机的试验要求。

#### 4.1 试验电源

##### 4.1.1 电压

###### 4.1.1.1 电压波形

试验电源的谐波电压因数 (HVF) 应不超过 0.02; 在进行热试验时应不超过 0.015。

###### 4.1.1.2 电压系统的对称性

三相电压系统的负序分量和零序分量均应不超过正序分量的 1.0%; 在进行热试验时, 电压系统的负序分量应不超过正序分量的 0.5%, 零序分量的影响应予以排除。

##### 4.1.2 频率

###### 4.1.2.1 频率偏差

试验期间, 电源频率与规定频率之差应在规定频率的  $\pm 0.3\%$  范围内。

###### 4.1.2.2 频率的稳定性

试验期间不允许频率发生快速变化, 因为频率快速变化不仅影响被试电机, 也会影响到输出测量装置。测量期间频率变化量应小于 0.1%。

#### 4.2 测置仪器

##### 4.2.1 概述

因为大多数仪器的准确度等级通常以满量程的百分数表示。因此, 应尽量按实际读数的需要, 选择低量程仪表。

影响仪器测量结果准确度的因素:

信号源负载;

引接线校正;

仪器的量程、使用条件和校准。

###### 4.2.2 电量测置仪器

通常, 电量测量仪器的准确度应不低于 0.5 级(满量程, 兆欧表除外) 用 B 法(见 10.2.2) 测定电机效率时, 为保持试验结果的准确性和重复性, 要求仪器的准确度等级不低于 0.2 级(满量程)。

一般来说, 电子仪器是多用途的, 与无源仪器(非电子式)相比, 有非常大的输入阻抗, 无需因仪器自身损耗而修正读数。但高输入阻抗仪器对干扰更为敏感, 应依实践经验, 采取减少干扰的措施。

测量用仪用互感器的准确度等级应不低于 0.2 级(满量程)。

###### 4.2.3 转矩测置仪

一般试验用转矩测量仪(含测功机和传感器)的准确度等级应不低于 0.5 级。

采用 B 法(见 10.2.2) 测定效率时, 转矩测量仪的准确度等级应不低于 0.2 级(满量程)。

###### 4.2.4 转速与频率测置仪

转速表读数误差在  $\pm 1 \text{ r/min}$  以内。频率表的准确度等级应不低于 0.1 级(满量程)。

###### 4.2.5 电阻测量仪

绕组的直流电阻用双臂电桥或单臂电桥, 或数字式微欧计测量, 准确度应不低于 0.2 级。

###### 4.2.6 温度测置仪

温度测量仪的最大允许误差为  $\pm 1^\circ\text{C}$ 。

#### 4.3 测量要求

##### 4.3.1 电压测量

测量端电压的信号线应接到电机端子，如现场不允许这样连接，应计算由此引起的误差并对读数作校正。取三相电压的算术平均值计算电机性能。

三相电压的对称性应符合 4.1.1.2 的要求。

#### 4.3.2 电流测量

应同时测量电动机的每相线电流，用三相线电流的算术平均值计算电动机的性能。

使用电流互感器时，接入二次回路仪器的总阻抗(包括连接导线)应不超过其额定阻抗值。

对  $JN < 5 \text{ A}$  的电动机，除堵转试验外，不应使用电流互感器。

#### 4.3.3 功率测量

应采用两表(2 台单相功率表)法测量三相电动机的输入功率，也可采用 1 台三相功率表或 3 台单相功率表测量输入功率。

如仪器仪表损耗影响试验结果的准确性，可按 GB/T 1032—2005 的附录 A 对仪器仪表损耗及其误差进行修正。

#### 4.3.4 转矩测量

应使用合适规格的转矩测量仪进行负载试验。

除堵转试验、失步转矩、牵入转矩和最小转矩的测量外，转矩测量仪的标称转矩应不超过被试电机额定转矩的 2 倍。

在被试电机为额定转速时，测得的联轴器及测功机(或负载电机)的风摩擦耗应不大于被试电机额定输出的 15%，转矩变化的敏感度应达到额定转矩的 0.1%。应极为仔细地测量机械功率，并按

附录 A 给出的方法，确定转矩读数  $T_d$  的修正值  $\Delta T$ 。

#### 4.3.5 同步转速的确定及转速的测量

##### 4.3.5.1 同步转速的确定

测取电源的频率  $f(\text{Hz})$ ，根据被试电动机的极对数  $P$ ，同步转速  $n(\text{r/min})$ 可按式(1)计算：

$$n = \frac{60f}{p} \dots\dots\dots(1)$$

##### 4.3.5.2 实际转速的测量 4.3.5.2.1 转速测量仪法

用数字式测速仪直接测量转速，也可用以下方法测定电动机的同步转速。

##### 4.3.5.2.2 闪光法

在电动机转轴的端面上，画出与电机极数相同数量的扇形片，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，扇形片不转动时，即可判定电动机转速为同步转速，读取此时的电源频率。

##### 4.3.5.2.3 感应线圈法

在电动机轴伸附近，放置一只带铁心的多匝线圈，线圈与磁电式检流计或阴极示波器连接。试验时，检流计指针或示波器波形不摆动时，即可判定电动机转速为同步转速，读取此时的电源频率。

#### 4.3.6 操作程序

在任何试验中，在读取一系列逐步增加或逐步减少的数据时，应注意，不得改变增加或减少的操作顺序，以避免颠倒试验的进行方向。

#### 4.4 安全

自起动三相永磁同步电动机的起动电流和起动转矩较大，试验时将涉及到危险的电流、电压和机械力，所以应对被试电机的安装及运转情况进行检查，对所有试验应采取安全防护措施，

以保证各项试验 顺利进行.所有试验应由有相关知识和有经验的人员操作,并采取必要的安全防护措施。

## 5、试验准备

本章节描述三相永磁同步电动机的试验准备。

### 5.1 绝缘电阻的测定

#### 5.1.1 测量时电动机的状态

测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,允许在实际冷状态下进行。

#### 5.1.2 兆欧表的选用

根据电动机绕组的额定电压,按表 1 选用兆欧表。

电动机绕组额定电压 U/V	绝缘电阻直流测量电压/V
t/<500	500
500<U<3 300	1 000
U>3 300	>2 500

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。

#### 5.1.3 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 3 个出线端时,则测量所有绕组对机壳的绝缘电阻。测量后,应将绕组对地放电。

### 5.2 绕组在初始(冷)状态下直流端电阻的测定

#### 5.2.1 初始状态下绕组温度的测定

用温度计测定绕组温度。试验前电机应在室内放置一段时间,用温度计(或埋置检温计)测得的绕组温度与冷却介质温度之差应不超过 2 K。对大、中型电机,温度计的放置时间应不少于 15 min。

#### 5.2.2 测置方法

1 绕组的直流电阻用双臂电桥或单臂电桥测量。电阻在  $1\Omega$  及以下时,必须采用双臂电桥或同等准确度并能消除测量用导线和接触电阻影响的仪器测量。

5.2.2.2 当采用自动检测装置或数字式微欧计等仪表测量绕组端电阻时,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 若电阻小于  $0.01\Omega$ ,则通过被测绕组的电流不宜太小。

3 测量时,电动机的转子静止不动。定子绕组端电阻应在电机的出线端上测量。

每一电阻测量 3 次。每次读数与 3 次读数的平均值之差应在平均值的  $\pm 0.5\%$  范围内,取其算术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。

5.2.3 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 3 个出线端时,可在每两个出线端间测量电阻,根据测量的电阻,各相电阻值 ( $\Omega$ )按式 (2)~ 式(7)计算:

对星形接法的绕组：

$$R_a = R_{med} - R_{bc} \dots\dots\dots(2)$$

$$R_b = R_{med} - R_{ca} \dots\dots\dots(3)$$

$$R_c = R_{med} - R_{ab} \dots\dots\dots(4)$$

对三角形接法的绕组：

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

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

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

式中：

$R_{ab}$ 、 $R_{bc}$ 、 $R_{ca}$ ——分别为出线端 A 与 B、B 与 C、C 与 A 间测得的端电阻值，单位为欧姆( $\Omega$ )；

$$R_{med} = \frac{R_{ab} + R_{bc} + R_{ca}}{2} \dots\dots\dots(8)$$

如果各线端间的电阻值与 3 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，则相电阻可按式(9)或式(10)计算：

对星形接法的绕组：

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

对三角形接法的绕组：

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

式中：

$R_{av}$ ——3 个端电阻的平均值，单位为欧姆( $\Omega$ )。

## 6、空载试验

本章节描述三相永磁同步电动机空载试验。

### 6.1 空载电流和空载损耗的测定

6.1.1 建议空载试验在负载试验(如进行)后进行。读取并记录试验数据之前输入功率应稳定，输入功率相隔 30 min 的 2 个读数之差应不大于前一个读数的对水-空冷却电机，负载试验后应立即切断水流。

检查试验时，空载运转的时间可适当缩短。

6.1.2 被试电机施以额定频率的电压，电压的变化范围从 125% 的额定电压开始逐步降低，其中应包括 100% 额定电压的测点。随电压降低，电流逐渐减小。当电流出现拐点后，应继续降低电压，直至电流回升到超过 100% 额定电压时的电流值出现，取 10~12 个电压点(大致均匀分布)。但在电流出现拐点处，测点应适当加密。

在每个电压点，测取  $I_0$ 、 $U_0$ 、 $P_0$ ，并应测取  $\Theta_0$  或  $R_0$ ，根据温度与电阻成比例关系，利用试验开始前测得的绕组初始端电阻  $R_1$ 、初始温度  $\Theta_1$  及测取的每点温度，可确定每个电压点处的端电阻  $R_0$ 。

当按 B 法(见 10.2.2)测定电机效率时，必须测取每点的  $\Theta_0$  或  $R_0$ ；

定子绕组的端电阻也可用本条的 a) 或 b) 确定。

检查试验时，可仅测取  $U_0=U_N$  时的  $I_0$  和  $P_0$ 。

每一电压点处的定子绕组端电阻值可用线性内插法确定,起点是最高电压点读数之前的电阻值,末点是最低电压点读数之后的电阻值。

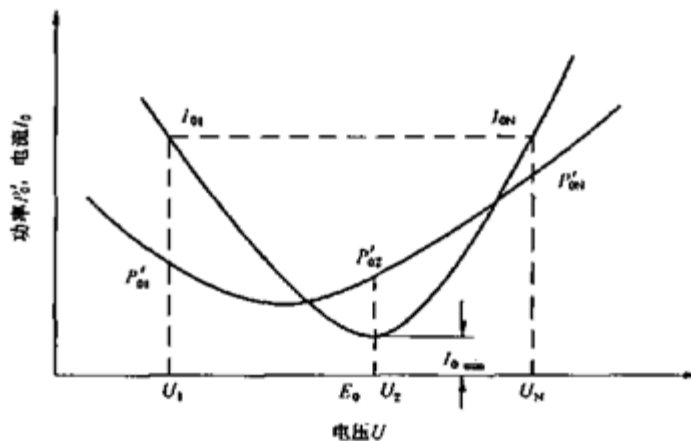
空载试验后,立即测定定子绕组端电阻,将此电阻作为每个电压点处的电阻值。

### 6.2 铁耗 $P_{Fe}$ 与风摩耗 $P_{tw}$ 之和的确定

空载输入功率是电动机空载运行时的总损耗。由  $P_0$  减去试验温度下的定子  $I^2R$  损耗,得到铁耗(其中包括空载杂散损耗)和风摩耗之和  $P_0'$ ,即:

$$P_0' = P_0 - P_{0cu} = P_{Fe} + P_{tw} \dots\dots\dots(11)$$

根据测得的  $I_0$  和  $P_0'$ ,作  $I_0$  和  $P_0'$  与  $U_0$  的关系曲线,如图 1.  $U_N$  时的  $P_0'$  应从空载特性曲线上查取。



注:当要进一步确定铁耗、风摩耗和空载杂散损耗值,可按附录 c 给出的方法进行测定和计算。

图 1 空载电流  $I_0$  和空载损耗  $P_0'$  与空载电压  $U_0$  的关系曲线

### 6.3 空载反电动势测定

空载反电动势测定为永磁同步电动机特有的试验项目。可用反拖法和最小电流法测定,推荐采用反拖法。

#### 6.3.1 反拖法(发电机法)

用原动机与被试电动机机械连接.原动机拖动被试电动机在同步转速下作为发电机空载运行。分别测量被试电动机的出线端电压  $U_{ab}$ ,  $U_{bc}$ ,  $U_{ca}$ , 取其平均值作为空载反电动势线电压值,并记录此时电动机定子铁心的温度和环境温度。

#### 6.3.2 最小电流法

电动机在额定电压、额定频率下空载运转达到稳定,调节电动机的外加端电压,使其空载电流最小,此时的外加端电压可近似认为电动机的空载反电动势。分别测量被试电动机的出线端电压  $U_{ab}$ ,  $U_{bc}$ , 取其平均值作为空载反电动势线电压值的近似值,并记录此时电动机铁心的温度和环境温度。

## 7、堵转试验

本章节描述三相永磁同步电动机的堵转试验。

### 7.1 堵转时的电流、转矩和功率的测定

堵转试验在电机接近实际冷状态下进行。试验前,应尽可能事先用低电压确定对应于最大堵转电流和最小堵转转矩的转子位置。试验时,应将转子堵。



电机在堵转状态下，转子振荡较大，应考虑采取措施减小波动。试验时，可以先将电源电压调整到额定值的 20% 以下，接入被试电机，保持额定频率，尽快升高电源电压，并在电气稳定后，迅速同时读取电压、电流、输入功率和转矩的稳定读数。为避免电机过热，试验必须从速进行。

7.1.1 测取堵转特性曲线，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，如图 2 所示。

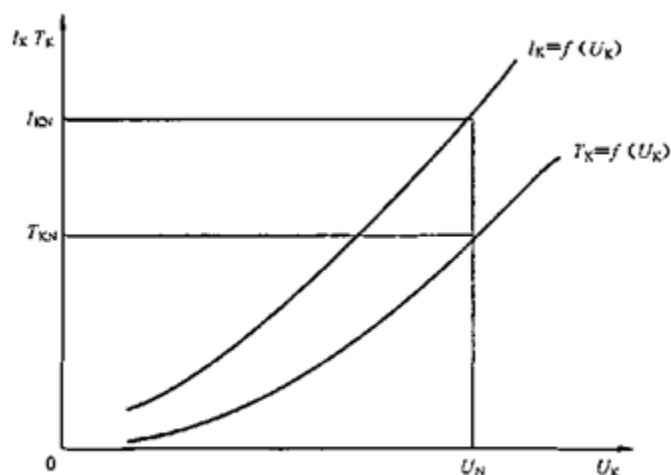


图 2 堵转特性曲线(I)

试验时，施于定子绕组的最高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，其间共测取 5~7 点读数，每点应同时测取下列数值： $U_K$ 、 $I_K$ 、 $T_K$  或  $P_K$ 。每点读数时，通电持续时间应不超过 10 s，以免绕组过热。

7.1.2 如限于设备，对 100 kW 以下的电动机，堵转试验时的最大  $I_K$  应不低于 4.5 倍；对 100 kW~300 kW 的电动机，应不低于  $2.5I_N \sim 4.0I_N$ ；对 300 kW~500 kW 的电动机，应不低于  $1.5I_N \sim 2.0I_N$ ；对 300 kW~500 kW 以上的电动机，应不低于  $1.0I_N \sim 1.5I_N$ 。在最大电流至额定电流范围内，均匀地测取不少于 5 点读数。

根据试验数据，绘制三相线电流平均值对三相线电压平均值的关系曲线如图 3 所示，并将电压-电流曲线上的最高试验电压处顺曲线的直线部分延长，与横轴交于  $U'$  点。

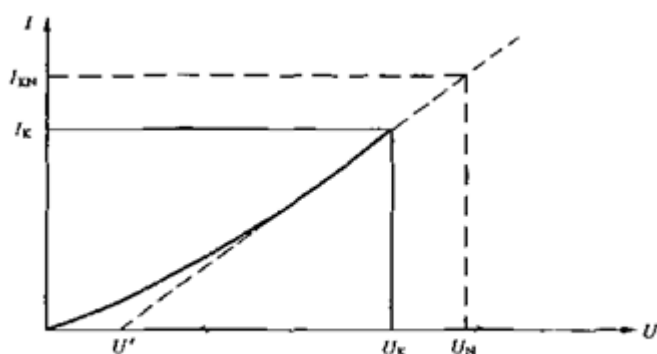


图 3 堵转特性曲线(II)

7.1.3 对 100 kW 以上的电扇机，如限于设备不能实测转矩时，允许用式 (14) 计算转矩。此时应在每点读数后，测量定子绕组端电阻。

试验时，电源的频率应稳定，功率测量应按要求采用低功率因数功率表，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  $U_K$ 、 $I_K$  和  $P_K$ 。试验结束后，立即测量定子绕组的端电阻。

## 7.2 试验结果计算

### 7.2.1 堵转电流和堵转转矩的确定

若堵转试验时的最大电压在  $0.9U_N \sim 1.1U_N$  范围内, 堵转电流  $I_{KN}$  和堵转转矩  $T_{KN}$  可由图 2 堵转特性曲线查取;若堵转试验时的最大电压低于  $0.9U_N$ , 则可由图 3 堵转特性曲线查取  $U_K$ 、 $I_K$  和  $U'$  值, 则额定电压下被试电机的堵转电流  $I_{KN}$  和堵转转矩  $T_{KN}(N \cdot m)$ 按式 (12) 和式 (13)求取:

$$I_{KN} = I_K \cdot \frac{U_N - U'}{U_K - U'} \quad \dots\dots\dots(12)$$

$$T_{KN} = T_K \cdot \left( \frac{U_N - U'}{U_K - U'} \right)^2 \quad \dots\dots\dots(13)$$

式中:

$U_N$ ——额定电压值, 单位为伏(V) ;

$U_K$ ——堵转时最高试验电压值, 单位为伏 (v);

$U'$ ——电压-电流曲线上最高试验电压处顺曲线的直线部分延长, 与横轴交点的电压值, 单位为伏 (V),

$I_K$ ——试验电压为  $U_K$  时测得的堵转电流值, 单位为安培(A);

$T_K$ ——试验电压为  $U_K$  时测得的堵转转矩值, 单位为牛米(N·m)。

### 7.2.2 转矩计算

如堵转时不实测堵转转矩, 则堵转转矩  $T_K$  可按式(14)计算:

$$T_K = 9.549 \cdot \frac{P_K - P_{Kcu1} - P_{Ks}}{n_s} \quad \dots\dots\dots(14)$$

式中:

$P_K$ ——堵转时的输入功率, 单位为瓦(W);

$P_{Kcu1}$ ——堵转时的定子绕组  $P_i$  损耗, 单位为瓦(W);

$n_s$ ——同步转速, 单位为转每分钟 (r/min);

$P_{Ks}$ ——堵转时的杂散损耗(包括铁耗), 单位为瓦(W);对低压电机, 取  $P_{Ks} = 0.05P_K$  ;对高压电机, 取  $P_{Ks} = 0.10P_K$ 。

## 8、负载试验

本章节描述三相永磁同步电动机的负载试验。

### 8.1 概述

进行负载试验的目的是确定电机的效率、功率因数、转速和电流。其他试验中, 有的项目也是带负载进行的。负载机械与电机轴线应对中并保证安全。读取读数的过程是先读取最大负载时的读数, 然后读取较低负载时的读数。

### 8.2 额定电压负载试验

试验应在额定电压和额定频率下进行。开始读取试验数据之前, 定子绕组温度与额定负载热试验时测得的温度之差应不超过  $5^{\circ}\text{C}$ 。

用合适的设备(如测功机, 陪试电机等)给电动机加负载。用符合 4.2.3 要求的转矩测量仪器测量转矩。

在 6 个负载点处给电机加负载。4 个负载点大致均匀分布在不小于 25%~100%额定负载之间(包括 100%额定负载), 在大于 100%但不超过 150%额定负载之间适当选取 2 个负载点。

电机加负载的过程是从最大负载开始,逐步按顺序降低到最小负载。试验应尽可能快地进行,以减少试验过程中电机的温度变化。

在每个负载点处,测取 U、I<sub>l</sub>、P<sub>1</sub>、T<sub>d</sub>、f(或 n)、Θ<sub>t</sub>(或 R<sub>t</sub>) 及 Θ<sub>l</sub>。

推荐使用温度传感器(埋置于定子线圈端部)测量绕组的温度。

当按 B 法测定电机效率时,必须测取每点的 A 或

每个负载点处定子绕组的电阻值也可用下述 a)或 b)规定的方法确定电阻值。

100%额定负载及以上各负载点的电阻值是最大负载点读数之前的电阻值。小于 100%额定负载各点的电阻值按与负载成线性关系确定,起点是 100%额定负载时的电阻值,末点是最小负载读数之后的电阻值。

负载试验之后,立即测取定子绕组端电阻,将此电阻作为各负载点的电阻值。

## 9、各项损耗的确定

本章节描述三相永磁同步电动机各项损耗的确定。

### 9.1 规定温度下定子绕组 I<sup>2</sup>R 损耗[见式 (15)]

$$P_{cuS} = 1.5I_1^2 R_s \dots\dots\dots(15)$$

式中:

I<sub>1</sub>——规定负载状态下测得的线电流有效值或计算值,单位为安培(A);

R<sub>s</sub>——换算到规定温度时的绕组端电阻,单位为欧姆(Ω) 根据相关标准或协议,按 9.1.1 或 9.1.2 规定,确定 Θ<sub>s</sub> 值。

#### 9.1.1 规定温度氏为换算到基准冷却介质温度为 25 ℃ 时的绕组温度[见式 (16)]。

$$\theta_s = \theta_N - \theta_a + 25 \dots\dots\dots(16)$$

式中:

Θ<sub>N</sub>——额定负载热试验结束前测得的定子绕组最高温度 (℃);

Θ<sub>a</sub>——额定负载热试验结束时冷却介质温度(℃)。

注:重复生产的复制电机 (duplicate machine),可不作热试验,用已有的 Θ<sub>s</sub> 值。

#### 9.1.2 规定温度%为按绝缘结构热分级规定的基准温度 Θ<sub>ref</sub>[见表 2 和式 (17)]。

$$\theta_s = \theta_{ref} \dots\dots\dots(17)$$

表 2	绝缘结构热分级的基准温度
绝缘结构热分级	基准温度 1/℃
130 (B)	95
155 (F)	115
180 (H)	130

如按照低于结构使用的热分级规定温升或温度限值,则应按该较低的热分级规定其基准温度。

### 9.2 铁耗 P<sub>Fe</sub> 见 6.2

### 9.3 风摩耗

见 6.2。

### 9.4 负载杂散损耗

#### 9.4.1 概述

负载杂散损耗是指总损耗中未计入定子损耗、铁耗及风摩耗之和的那一部分损耗。

9.4.2 输入-输出法间接测量负载杂散损耗

9.4.2.1 试验方法

间接测量法需做额定负载热试验(见 II.A1h 负载试验 (见 8.2)和空载试验(见 6.1)。测出总损耗,从中减去定子 I<sup>2</sup>R 损耗、铁耗及风摩耗之和,可确定负载杂散损耗。B 法确定电机效率时,采用本方法。

9.4.2.2 剩余损耗 P<sub>L</sub>

9.4.2.2.1 定子绕组损耗

按式(18)计算各个负载点:

$$P_{cu1} = 1.5 I_1^2 R_t \quad \dots\dots\dots(18)$$

式中 R<sub>t</sub> 为试验温度下的端电阻,如测量 θ<sub>t</sub>,则 R<sub>t</sub> 为:

$$R_t = R_1 \cdot \frac{K_1 + \theta_t}{K_1 + \theta_1} \quad \dots\dots\dots(19)$$

式中:

I<sub>1</sub>——见 8.2 ;

R<sub>1</sub>——见 5.2;

θ<sub>t</sub>——见 8.2;

θ<sub>1</sub>——见 5.2;

K<sub>1</sub>——铜: K<sub>1</sub>=235;铝: K<sub>1</sub>=225。

9.4.2.2.2 输出功率 P<sub>2</sub>

按式(20)计算各负载点 P<sub>2</sub>:

$$P_2 = \frac{T \cdot \pi}{9.549} \quad \dots\dots\dots(20)$$

式中:

T=T<sub>d</sub>+k<sub>d</sub>,k<sub>d</sub> 求取方法见附录 A;

T<sub>d</sub> 和 n——见 8.2。

9.4.2.2.3 剩余损耗

各个负载点的输入功率减去输出功率,再减去试验温度 T 的定子损耗、铁耗、风摩耗之和,即为剩余损耗[见式(21)]。

$$P_L = P_1 - P_2 - (P_{cu1} + P_{Fe} + P_{fw}) \quad \dots\dots\dots(21)$$

式中:

P<sub>1</sub>——见 8.2;

P<sub>2</sub>——见式 (20);

P<sub>cu1</sub>——见式 (18);

P<sub>fc</sub>——见 6.2;

P<sub>fw</sub>——见 6.2。

9.4.2.2.4 剩余损耗 P<sub>L</sub> 试验数据的回归分析

由于 P<sub>L</sub> 与 T<sub>2</sub> 呈线性关系,对其进行线性回归分析(见附录 b)得到回归方程:

$$P_L = A \cdot T^2 + B \quad \dots\dots\dots(22)$$

式中:

T——见 9.4.2.2.2,A 和 B 按附录 B 求取。

相关系数  $r$ , 对于 B 法,  $r \geq 0.90$ 。

若相关系数  $r$  (见附录 B) 小于上述规定值, 删除最差的点, 重新回归分析, 如果规定值, 则用第二次回归分析结果。如果  $r$  仍小于上述规定值, 说明测量仪表(包括转矩测量仪)或试验读数, 或两者均有较大误差。应分析产生误差的根源并校正再重复做试验。

#### 9.4.2.3 负载杂散损耗 $P_s$

求得斜率  $A$  之后, 每个负载点的  $P_s$  由式(23)计算:

$$P_s = A \cdot T^2 \quad \dots\dots\dots(23)$$

式中:

$T$ ——见 9.4.2.2.2;

$A$ ——见 9.4.2.2.1 9.5 总损耗及输出功率的确定 9.5.1 修正过的总损耗  $\Sigma P$  见式 (24):

$$\Sigma P = P_{\text{cuis}} + P_{\text{Fe}} + P_{\text{fw}} + P_s \quad \dots\dots\dots(24)$$

式中:

$P_{\text{cuis}}$ ——见 9.1;

$P_{\text{Fe}}$ ——见 6.2;

$P_{\text{fw}}$ ——见 6.2;

$P_s$ ——见 9.4.2.3。

#### 9.5.2 输出功率 $P_2$ 见式 (25):

$$P_2 = P_1 - \Sigma P \quad \dots\dots\dots(25)$$

式中:

$P_1$  见 8.2;

$\Sigma P$ ——见 9.5.1。

## 10、效率的确定

本章节描述三相永磁同步电动机效率的确定。

### 10.1 概述

效率是以同一单位表示的输出功率与输入功率之比, 通常以百分数表示。输出功率等于输入功率减去总损耗, 若已知三个变量(输入, 总损耗或输出)中的两个, 就可用式(26)和式(27)求取效率:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(26)$$

$$\eta = \left(1 - \frac{\Sigma P}{P_1}\right) \times 100\% \quad \dots\dots\dots(27)$$

式中:

$P_2$ ——见 9.5.2;

$P_1$ ——见 8.2;

$\Sigma P$ ——见 9.5.1。

除非另有规定, 应在额定电压和额定频率状态下确定效率, 若电压没有显著偏离额定值且电压对称性符合 4.1.1.2 的要求, 则由此试验数据求得的效率值是准确的。

### 10.2 效率试验方法

可用以下试验方法确定电动机的损耗和效率。按相关标准或协议的规定，选择其中的一种方法确定电机的效率。推荐采用 B 法。

A 法——输入-输出法；

B 法——损耗分析及输入-输出法间接测量杂散损耗。

A 法——输入-输出法

此法是用测得的输出功率与输入功率之比计算效率。

### 10.2.1 试验过程

试验时，被试电机在额定负载下应达到热稳定状态。按 8.2 规定的方法进行负载试验。

### 10.2.2 计算格式

按 16.1 给出的 A 格式计算电机性能。

B 法——测量输入-输出功率的损耗分析法

测量电功率（含仪用互感器），转矩和转速所用仪表的准确度等级应符合 4.2.2、4.2.3、4.2.4 和 4.2.5 的要求。这对采用 B 法测定电机效率尤为重要。

#### 10.2.2.1 试验程序

B 法试验主要由额定负载热试验(见 11.7.1)、负载试验(见 8.2)和空载试验（见 6.1）三部分组成。推荐先进行热试验，这样有利于电机摩擦损耗稳定，紧接其后进行负载试验，最后进行空载试验。如不能按上述顺序连续进行试验，在进行负载试验之前，电机必须达到额定负载热试验时的热稳定状态。

##### 10.2.2.1.1 负载试验

试验应按 8.2 的要求进行并测取有关数据。开始记录试验数据之前，定子绕组温度与额定负载热试验记录的最高温度之差应不超过 5℃。试验应尽可能快进行，以减少试验过程中电机的温度变化。

按附录 A 提出的方法,求取转矩读数修正值 kd，测功机或转矩传感器应按与负载试验相同转向进行校正。

##### 10.2.2.1.2 空载试验

空载试验见 6.1。开始记录试验数据之前，电机应空载运行，直至输入功率稳定(见 6.1)。

#### 10.2.2.2 各项损耗的确定

10.2.2.2.1 定子绕组在规定温度下 I<sup>2</sup>R 损耗见式(28):

$$P_{cu1s} = 1.5 I_1^2 R_N \cdot \frac{K_1 + \theta_N - \theta_1 + 25}{K_1 + \theta_N} \dots\dots\dots(28)$$

式中:

I<sub>1</sub>——见 10.2.2.1;

R<sub>N</sub>——见 11.7.1;

θ<sub>a</sub>——见 11.7.1;

θ<sub>N</sub>——见 11.7.1。

铁耗 P<sub>fe</sub>

按 6.2 确定。

##### 2.2.2.3 风摩耗 P<sub>fw</sub>

按 6.2 确定。

##### 10.2.2.2.4 负载杂散损耗

按 9.4.2 确定。

### 10.2.2.3 计算格式

按 16.2 给出的 B 格式计算电机的性能。

## 11、热试验

本章节描述三相永磁同步电动机的热试验。

### 11.1 目的

热试验的目的是确定在规定负载状态下运行时的电机某些部分高于冷却介质温度的温升，以下各条是试验方法及数据处理的导则。

#### —般性说明

应对被试电机予以防护以阻挡皮带轮、皮带以及其他机械产生的气流对被试电机的影响，一般非常轻微的气流足以使热试验结果产生很大的偏差。引起周围空气温度快速变化的环境条件对温升试验是不适宜的，电机之间应有足够的空间，容许空气自由流通。

### 11.3 温度测量方法

有以下 3 种测温温度的方法：

温度计法；

电阻法；

埋置检温计法。

#### 11.3.1 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。

#### 电阻法

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

按 式(29)计算：

$$\Delta\theta = \frac{R_n - R_1}{R_1}(K_1 + \theta_1) + \theta_1 - \theta_0 \quad \dots\dots\dots(29)$$

式中：

$R_n$ ——额定负载热试验结束时的绕组端电阻，单位为欧姆(n)(见 11.7.5)；

$R_1$ ——温度为 A 时的绕组初始端电阻，单位为欧姆(n)；

$\theta_n$ ——热试验结束时的冷却介质温度，单位为摄氏度 (D)；

$\theta_1$ ——测量初始端电阻时的绕组温度，单位为摄氏度 (t)；

$K_1$ ——常数。对铜绕组，为 235；对铝绕组，为 225，除非另有规定。

由于测量电阻的微小误差在确定温度时会造成较大误差，所以应使用 4.2.5 要求的仪表测量绕组电阻，若可能，可用第 2 台仪表作检验，初始电阻与试验结束时的电阻应使用同一仪器测量。

#### 11.3.3 埋置检温计法

本方法是用装在电机内的热电偶或电阻式温度计测量温度。

专门设计的仪表应与电阻式温度计一起使用，以防止在测量时因电阻式温度计的发热而引入显著的误差或损伤仪表。许多普通的电阻式测量器件可能不适用，因为在测量时可能有相当大的电流要流过电阻元件。

### 11.4 温度读数

#### 11.4.1 一般说明

下面的条款介绍了3种温度测量方法,用以测定电机的绕组、定子铁心、进入冷却介质以及受热后排出的冷却介质的温度,每种测量方法都有其特点,适用于测量电机特定部件的温度。

#### 11.4.2 温度计法

热试验期间可用温度计法(见11.3.1)测量以下部件的温度。如有规定,可在停机后测量;

定子线圈,至少在2个部位;

定子铁心,对大、中型电机,至少在2个部位;

环境温度;

从机座或排气通风道排出的空气或者是带循环冷却系统的电机排到冷却器入口处的内部冷却介质;

e)机座;

f)轴承(如属于电机部件)。

应将温度敏感元件放置于能测得最高温度的部位,对于进、出气流的空气或其他冷却介质的温度,敏感元件应放置于测得平均温度的部位。

#### 11.4.3 埋置检温计法

绕组装有埋置检温计的电机热试验时,应用埋置检温计法(见11.3.3)测定绕组温度并写入报告,通常,不要求停机后再取读数。

#### 11.4.4 电阻法

可在停机后用电阻法(见11.3.2)测量定子绕组的温度。应在电机出线端处直接测量任意二线端间的电阻,此电阻已测量了初始值和初始温度。

#### 11.5 热试验时冷却介质温度的测定 11.5.1 空气冷却电机

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1m~2m处,球部处于电机高度的一半的位置,并应防止外来辐射热及气流的影响。取温度计读数的算术平均值作为冷却介质温度。

#### 11.5.2 外冷却器电机

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

#### 11.5.3 内冷却器电机

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。

#### 11.5.4 试验结束时冷却介质温度的确定

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,按相同时间间隔测得的几个温度计读数的平均值。

#### 11.6 电机绕组及其他各部分温度的测定 11.6.1 绕组温度的测定

电机绕组的温度用电阻法测量。如电机有埋置检温计,则用检温计测量。

#### 11.6.2 铁心温度的测定

铁心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2支,取最高值作为铁心温度。

#### 11.6.3 轴承温度的测定

轴承温度用检温计测量。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。

#### 11.7 热试验方法

热试验方法应采用直接负载法。



### 11.7.1 直接负载法

直接负载法的热试验应在额定频率、额定电压、额定功率或铭牌电流下进行。

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 30 min 记录被试电机的电压 U、电流 I<sub>1</sub>、输入功率 P<sub>1</sub>、频率 f, 转速 n, 转矩 T<sub>d</sub>, 绕组温度知以及定子铁心、轴承、风道进出口冷却介质和周围冷却介质的温度 Θ<sub>a</sub>。

试验期间, 应采取措施, 尽量减少冷却介质温度的变化。

如采用外推法确定绕组的温升, 电机在断电停机后, 应立即测量绕组的电阻, 并按 11.7.5 确定额定 负载热试验后电阻 R<sub>N</sub>。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。

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 ΔΘ<sub>N</sub>(K)按下述方法[见式 (30) 和

式(31)]换算:

当  $\frac{I_1 - I_N}{I_N}$  在 ±10% 范围内时:

$$\Delta\theta_N = \Delta\theta \cdot \left(\frac{I_N}{I_1}\right)^2 \cdot \left[1 + \frac{\Delta\theta \left(\frac{I_N}{I_1}\right)^2 - \Delta\theta}{K_1 + \Delta\theta + \theta_a}\right] \dots\dots\dots(30)$$

当  $\frac{I_1 - I_N}{I_N}$  在 ±5% 范围内时:

$$\Delta\theta_N = \Delta\theta \cdot \left(\frac{I_N}{I_1}\right)^2 \dots\dots\dots(31)$$

式中:

I<sub>N</sub>——额定电流, 即额定功率时的电流, 单位为安培(A),从工作特性曲线上求得 I<sub>1</sub>——热试验时的电流单位为安培 (A)。取在整个试验过程最后的 1/4 时间内, 按相等时间间隔 测得的电速平均值。

ΔΘ——对应于试验电流 I<sub>1</sub> 的绕组温升, 单位为开尔文(K) (见 11.3.2)。

### 11.7.2 初始状态

试验应在规定碑筒内连续进行, 直到温度稳定为止。

### 11.7.3 容许过载

电动机的发热试验, 温度的稳定需要较长时间, 在发热试验的起始阶段, 为了缩短试验时间, 电机在预热阶段容许适当过载(2S% ~ 50%)。

### 11.7.4 试验结束

发热试验过程中, 读数的时间间隔应在 30 min 或以下。电机热试验应进行到相隔 30 min 两个相续读数之间温升变化在 1 K 以内为止。但对温升不易稳定的电机, 热试验应进行到相隔 60 min 两个读数之间温升变化在 2 K 以内为止。

### 11.7.5 断电时的电阻

热试验结束应迅速断电停机。要仔细地安排试验程序和适当数量的试验人员, 尽快地读取读数以获得可靠的数据。

从断电瞬间算起, 如在表 3 规定的时间间隔内读到了最初电阻读数, 则用此读数按式(29)计算绕组温升。

表 3	时间间隔
额定输出 5/kW 或 KVA	切断电源后的时间间隔/s

$P_n \leq 50$	30
$50 < P_n \leq 200$	90
$200 < C P_n \leq 5\ 000$	120
$5\ 000 < P_n$	按协议

如不能在表 3 规定的延滞时间读到最初电阻读数,应尽快地以 20 s~60 s 的时间间隔读取附加的电阻读数。至少要读取 5~10 个读数,把这些读数作为时间函数绘制成曲线,外推到表 3 按电机定额规定的延滞时间。建议用半对数坐标纸绘制曲线,电阻绘制在对数的标尺上,如是,可以认为得到的电阻值就是停机的电阻。如果停机后测得结果显示温度继续上升,则应取其最高值,如不能在表 3 列出的 2 倍时间内读到第一个读数,则应协议确定最大延滞时间。

### 11.7.6 电阻测量

测量工作要特别注意,确保测得准确的电阻值。因为测量电阻时的很小误差在确定温度时会引起较大的误差。

### 11.8 温升

当电机用周围空气冷却时,温升是被试电机的绕组温度减去环境温度。如电机是用远处或冷却器来的空气通风冷却,温升是被试电机的绕组温度减去进入电机的空气温度。如在海拔不超过 1000m 处,冷却空气温度在 10 °C~40 °C 之间进行试验,温升不作校正。

如试验地点海拔超过 1000m,或冷却空气温度超过 40 °C,或这两种情况同时存在,温升限值按 GB 755—2008 中的规定修正。

## 12、失步转矩的测定

本章节描述三相永磁同步电动机失步转矩的测定。

### 12.1 概述

失步转矩用直接负载法测定 D 试验时宜用负载均匀可调的转矩测量仪、制动器、测功机或校正过的直流发电机作负载。被试电动机应接到额定频率、额定电压实际平衡的电源上,将被试电动机调到额定负载状态下运行,然后逐渐增加被试电动机的负载使之失步,在失步瞬间从转矩测量仪、制动器或测功机上测量得的转矩数值,即为被试电动机的失步转矩。

#### 转矩测量仪法 5

制动器、测功机或校正过直流电机法。

采用上述试验方法时,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,失步转矩值应按 12.4 换算。

### 12.2 转矩测置仪法

用转矩测量仪法测定失步转矩时,可用自动记录仪直接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,失步转矩从曲线上求取。

试验过程中,应防止被试电机过热而影响测量的准确性。

以直流电机作负载时,被试电动机与传感器、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,被试电动机应接到额定频率、额定电压实际平衡的电源上,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,逐渐增加被试电动机的负载使之失步,在失步瞬间的转矩值即为失步转矩  $T_{po}$ 。

### 12.3 制动器、测功机或校正过直流电机法

如果被试电动机的负载为制动器、测功机,则失步转矩可在失步瞬间在制动器或测功机上读取。如果被试电动机的负载为校正过的直流发电机时,则被试电动机的失步转矩可由失步瞬

间测得的直流发电机的输出功率，并根据效率曲线求出其输入功率，即为被试电动机的输出功率 P，按式 (32) 计算电动机的失步转矩  $T_{po}$ (N.m):

$$T_{po} = 9549 \cdot \frac{P + P_{fw}}{n_N} \quad \dots\dots\dots(32)$$

式中:

$P_{fw}$ ——被试电动机的风摩耗，单位为千瓦(kW)。

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置。

#### 12.4 失步转矩的换算

当试验电压不低于 0.9 倍额定电压时，则额定电压时的失步转矩按式(33)计算:

$$T_{poN} = T_{po} \cdot \left(\frac{U_N}{U_t}\right)^2 \quad \dots\dots\dots(33)$$

式中:

$T_{po}$ ——在试验电压  $U_t$  时测得的失步转矩值。

当试验电压  $U_t$  低于 0.9 倍额定电压时，应尽可能在 1/2~3/4 额定电压范围内，均匀测取至少 3 个不同电压下的失步转矩值。作  $\lg T_{po} = f(\lg U_t)$  曲线，延长曲线，求出对应于额定电压时的失步转矩  $T_{poN}$ 。

### 13、牵入转矩的测定

本章节描述三相永磁同步电动机牵入转矩的测定。

#### 13.1 标称牵入转矩的测定

标称牵入转矩( $s=0.05$  时的转矩)可用直接负载法、加速法或转矩转速测量仪法测定。

测定时，被试电动机应接近实际冷状态。

##### 13.1.1 直接负载法

被试电机应接到额定频率，电压可调实际平衡电源上作异步电动机运转，试验应在冷态下进行，被试电机的试验电压应尽可能提高，一般应在额定值的 50% 以上，调节被试电机的负载，使其转差率为 0.05,同时读取被试电机的电枢电压、电枢电流、转速或转差率、输入功率若负载为测功机还应读取转矩。如果采用分析过的直流电机作为负载时，应同时量取分析过直流电机的端电压、电枢电流和励磁电流。被试电机在转差率为  $\sigma$  时的电磁转矩  $T_M$  (N·m)，按式 (34) 计算:

$$T_M = 9549 \frac{P + P_{fw}}{(1-s)n_N} \quad \dots\dots\dots(34)$$

式中:

P——被试电机的输出功率，即负载电机的输入功率，单位为千瓦(kW);

$P_{fw}$ ——被试电机在转差率为  $s$  时的机械损耗，单位为千瓦 (kW)，如无数据时，可近似取值 (见附录 C)。

被试电机在额定电压时的标称牵入转矩  $T_{pIN}$ (N.m)按式(35)计算:

$$T_{pIN} = \left(\frac{U_N - U'}{U - U'}\right)^2 \cdot T_M \quad \dots\dots\dots(35)$$

式中:

U——求得  $T_M$  时的试验电压，单位为伏(V);

$U'$ ——由图 3 确定的电压值，单位为伏 (V)；

$T_m$ ——转差率 0.05 时求得的电磁转矩，单位为牛米(N·m)。标称牵入转矩的标么值  $t_{pin}$  按式 (36) 计算：

$$t_{pin} = \left( \frac{U_N - U'}{U - U'} \right)^2 \cdot \frac{P + P_{t_m}}{(1-s)P_N} \quad \dots\dots\dots(36)$$

试验中如果转差率为 0.05 的点不易准确建立时，则可调节被试电机的负载，使转差率为 0.05 左右取 4~5 点，按上述方法计算转矩，然后作出转矩对转差的曲线。从曲线上确定转差率为 0.05 时的转矩值。

用转矩测量仪法求取转矩转速特性曲线，从曲线上  $s=0.05$  处求乘标称牵入转矩值。

### 13.1.2 加速法

被试电机接到额定频率，电压可调实际平衡的稳定电源上，使电机作空载电动机起动，电源电压应调节到能使电动机由 30% $n_N$  到  $n_N$  的时间约在 1.5 min 左右。在加速过程中，电源电压、频率保持不变，如果电机能从静止状态起动的最低电压尚不能满足上述要求，则应进一步降低电源电压，直到上述要求满足为止。但此时电机应采用其他方法帮助起动（例如用吊车帮助起动或先用较高电压起动，然后切断电源使电机降速，待电机转速降到 30% $n_N$  以下时，再加所需电压进行试验等）。在转速为 30% $n_N$ ~80% $n_N$  范围内，每间隔 5 s~10 s 测量一次转速并记录时间。在转速为 80% $n_N$ ~100% $n_N$  范围内宜每隔 3 s~5 s 记录一次，在试验过程中应注意电机是否过热。

当使用快速记录仪试验时，加速到全值的时间可以比上述规定快些。

由试验数据作转速对时间的曲线，如图 4 所示，并求取 95% $n_N$  处的曲线斜率  $dn/dt$ ，该斜率可用下述方法确定，以曲线上 95% $n_N$  处 a 点为中心，取曲线上离 a 等距离的 b、c 两点（b 点的纵坐标不应超过  $n_N$ ），这两点的纵坐标之差为  $\Delta n$ ，横坐标之差为  $\Delta t$ ，所求的曲线斜率为  $\Delta n/\Delta t$ 。

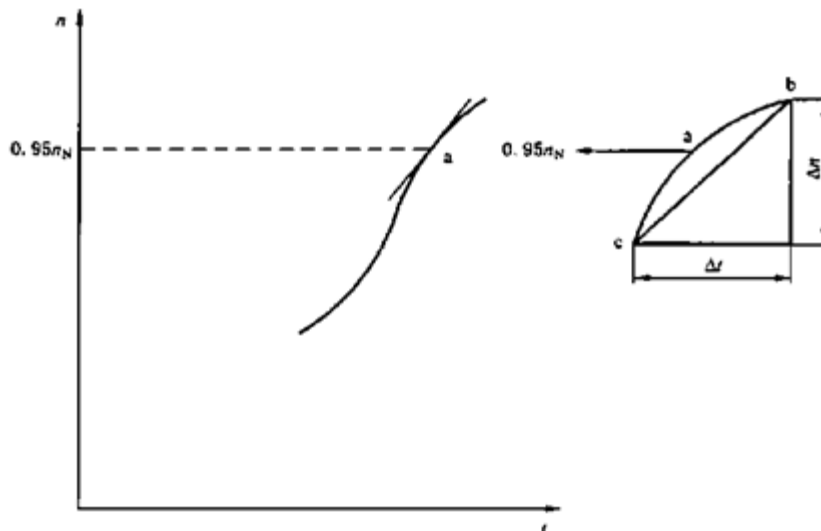


图 4 电动机空载起动时转速与时间的关系曲线

电机的试验电压下转矩  $T_P(N \cdot m)$  按式 (37) 计算：

$$T_{pi} = \frac{J}{9.55} \cdot \frac{\Delta n}{\Delta t} \dots\dots\dots(37)$$

式中:

$J$ ——被试电机的转动惯量,单位为千克平方米( $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ ),

如用标么值计算,则:

$$t_{pi} = \frac{J_{nN} \frac{\Delta n}{\Delta t}}{91.2 \times 10^3 P_N} \dots\dots\dots(38)$$

额定电压时的标称牵入转矩  $T_{piN}$  ( $\text{N} \cdot \text{m}$ )为:

$$T_{piN} = \left( \frac{U_N - U'}{U - U'} \right)^2 \cdot T_{pi} \dots\dots\dots(39)$$

如用标么值计算,则:

$$t_{piN} = \left( \frac{U_N - U'}{U - U'} \right)^2 \cdot t_{pi} \dots\dots\dots(40)$$

式中:

$U'$ ——由图 3 确定。

### 13.1.3 转矩转速测量仪法

被试电机与转矩转速传感器以及负载可调的负载机机械对接.被试电机接到额定频率,电压可调 实际平衡电源上。试验开始时,使被试电机处于空载或轻载运行,被试电机的试验电压应尽可能提高,一般应在额定值的 50%以上。逐步调节被试电机的负载,使其转差率从 0.1 至 0,并记录这个变化过程的和 T-n 和 U-n 曲线,至少均匀测取 3 个不同电压下的 T-n 和变化曲线,分别从曲线上查得转差为 0.05 的牵入转矩  $T_{pi}$ 和试验电压  $U_1$ 。作曲线,延长曲线,求出对应于额定电压时的牵入转矩  $T_{piN}$ 。

### 13.2 特定转动惯量时牵入转矩的测定

永磁同步电动机的牵入转矩值与负载的转动惯量有关,转动惯量越大,则同一电动机所能牵入同步 的转矩越小.因此,测位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。有的电机对所能牵入同步的负载转动惯量有明确的要求,这就要求在测试系统中被试电动机与负载之间增加飞轮,以满足所要求的转动惯量值。

测定牵入转矩时,可用同步测功机,涡流测功机或校正过的直流电机进行测定,牵入转矩应在额定电压下测定。

测定时,被试电动机、飞轮与负载之间应用联轴器连接。先使电机在同步状态下,再增加负载使电动机牵出同步,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 矩减至某个值时,被试电动机刚好牵入同步。读取牵入同步前的转矩最小值即为被试电动机在规定转动惯量时的牵入转矩。

被试电动机是否由异步运行进入同步,一般需用同步闪光灯照射被试电动机轴上的标记来确定.标记转动时为异步运行,标记不转动时为同步运行。同步闪光灯需接至与被试电动机相同频率的电源上。永磁同步电动机在异步状态下运转时,电流很大,发热很快,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 2 次。在保持被试电动机温度不变时,两次测定结果应相同。

当试验时的电压不是额定电压时,应在 0.5~0.9 倍的额定电压范围内,均匀测取至少 3 个不同电压下的牵入转矩值,作  $\lg T_{pi} = f(\lg U_t)$  曲线,延长曲线,求出对应于额定电压时的牵入转矩  $T_{piN}$ 。

## 14、最小转矩的测定

本章节描述三相永磁同步电动机最小转矩的测定。

### 14.1 概述

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。

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 14.4 换算。

### 14.2 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，最小转矩从测功机测力计上读出，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 $T=f(I_a)$ 上求得。

直流电机的校正和使用时的要求同 12.3。

试验时，将被试电机与测功机或校正过直流电机用联轴器连接，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  $1/13 \sim 1/7$  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  $1/3$ 。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。直至测功机的测力计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。

### 14.3 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。

转矩转速特性曲线可逐点测定后人工描绘，也可用自动记录仪直接描绘。逐点测定转矩转速曲线时，测定的点数应满足正确求取各种转矩（堵转转矩、最小转矩、牵入转矩、失步转矩）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置的准确性，必要时，转矩转速特性曲线可分段测量。以直流电机作负载时，被试电机与传感器、直流电机用联轴器连接，直流电机他励，其电枢由可调电压和可变极性的电源供电。被试电动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的端电压与转速的关系曲线，见图 5。

永磁同步电动机在接近堵转时转子振荡尤其剧烈，所以配接的负载惯量应至少为被试电机惯量的 3 倍以上，以尽可能减小转矩值振荡对准确读数的影响。需要测取从反转到正转起动过程中的转矩-转速特性曲线  $T=f(n)$ 。在测定过程中，电动机的端电压如有变化，必须进行电压修正，因此应同时测取电机端电压变化曲线。

用自动记录仪描绘转矩-转速特性曲线时，建议在被试电动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。

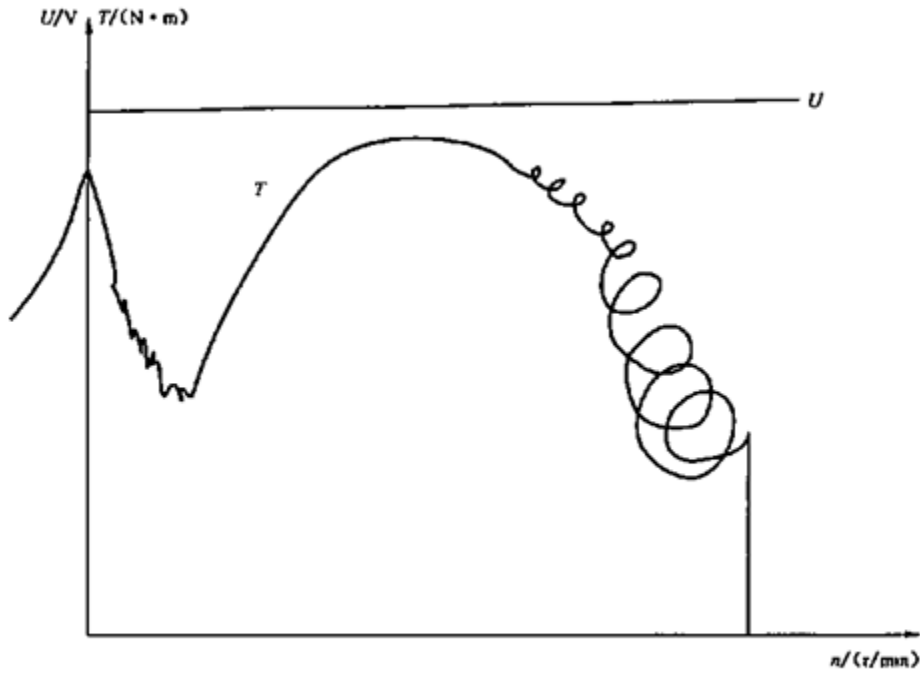


图 5 转矩-转速特性曲线  $T=f(n)$

#### 14.4 最小转矩的换算

永磁同步电动机起动过程中的转矩是由异步转矩  $t_a$  与永磁制动转矩:  $T_h$ (通常为负值) 相叠加而得,前者与外施电压平方成正比, 后者与外施电压值无关。因此, 由于外施电压不是额定值而需换算时, 至少应测取两条不同电压下的转矩-转速特性曲线, 取最小转矩附近多个同一转速下测得的转矩值  $T_1$  和  $T_2$ , 然后按式(41)和式(42)求得  $T_a$ 、 $T_h$ 。

$$T_a = \frac{T_1 - T_2}{\left(\frac{U_1}{U_N}\right)^2 - \left(\frac{U_2}{U_N}\right)^2} \quad \dots\dots\dots(41)$$

$$T_h = \frac{\left(\frac{U_2}{U_N}\right)^2 \cdot T_1 - \left(\frac{U_1}{U_N}\right)^2 \cdot T_2}{\left(\frac{U_1}{U_N}\right)^2 - \left(\frac{U_2}{U_N}\right)^2} \quad \dots\dots\dots(42)$$

则额定电压  $U_N$  时的最小转矩  $T_{min}(N \cdot m)$  见式(43):

$$T_{min} = T_a + T_h \quad \dots\dots\dots(43)$$

式中:

$U_N$ ——额定电压, 单位为伏 (V);

$U_1$ 、 $U_2$ ——试验时的实际电压, 单位为伏 (V);

$T_1$ 、 $T_2$ ——电压为  $U_1$ 、 $U_2$  时测得的最小转矩, 单位为牛米(N.m)。

在最小转矩附近多个转速下的  $T$  值画成曲线取最小值, 即为所求的最小转矩  $T_{min}(N \cdot m)$

## 15、其他试验

本章节描述三相永磁同步电动机的其他试验。

### 15.1 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或为 1.2 倍最高额定转速或各类型电机标准中规定的转速，或规定的最高转速，历时 2min，

超速的方法有下列 2 种：

提高被试电机的电源频率；

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。

## 15.2 噪声的测定

噪声的测定按 GB/T 10069.1 —2006。

## 15.3 振动的测定

振动的测定按 GB 10068 —2008。

## 15.4 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—2008 或各类型电机标准所规定的过转矩数值，历时 15 s。

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。

## 15.5 耐电压试验

试验电源的频率为工频，电压波形应尽可能为正弦波形。

### 15.5.1 试验要求

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，该项试验还应在热试验后电动机接近热状态下进行。

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心及机壳连接。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。

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式 (44) 求得的计算容量  $S_T$  (kVA)。

$$S_T = 2\pi fCU_t U_{TN} \times 10^{-3} \dots\dots\dots(44)$$

式中：

C——被试电机的电容量，单位为法(F)；

$U_t$ ——试验电压，单位为伏(V)；

$U_{TN}$ ——试验变压器高压侧的额定电压，单位为伏 (V)。

对分马力电动机，每 1 kV 试验电压，试验变压器的容量应不小于 0.5 kVA。

额定电压在 3kV 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。

### 15.5.2 试验电压和时间



试验电压的数值按 GB 755—2008 表 16 或各类电机标准的规定。

试验应从不超过试验电压全值的一半开始，然后均匀地或以每步不超过全值 5% 逐步增至全值，电压从半值增至全值的时间应不少于 10 s。全值试验电压值应符合 GB 755—2008 表 16 的规定，并维持 1 min。

当对批量生产的 200 kW(或 kVA)及以下电机进行常规试验时，1 min 试验可用约 5 s 的试验代替，试验电压按 GB 755—2008 表 16 规定的正常值。也可用 1 s 试验来代替，但试验电压值应为 GB 755—2008 表 16 规定值的 120%，试验电压均用试棒施加。

### 15.6 转动惯量的测定

#### 15.6.1 悬挂转子摆动法

##### 15.6.1.1 单钢丝法

采用单钢丝扭转摆动比较法测定电机转子的转动惯量。

选择密度均匀的金属制成假转子，假转子形状应为简单的圆柱体，以便能用式 (45) 较精确地计算出假转子的转动惯量。假转子的质量应能将所选用的钢丝拉直且钢丝不变形。把假转子可靠地悬挂在长度 5 m 的钢丝一端，钢丝的另一端固定在支架上，钢丝轴线应与假转子轴线同心且垂直地面，将假转子绕心轴扭转一个适当角度，仔细测量往复摆动次数 N 及所需时间 f(s)，求得摆动周期平均值被试电机转子在相同的条件下，重复上述试验，按上方法求得其摆动周期的平均值了，按式(46)计算被试电机的转动惯量

假转子的转动惯量 J'(kg · m<sup>2</sup>)由式(45)计算：

$$J' = \frac{mD^2}{8} \dots\dots\dots(45)$$

式中：

D——圆柱体直径，单位为米(m)；

m——直径 D 部分的圆柱体质量，单位为千克 (kg) ；

被试电机转子的转动惯量 J(kg · m<sup>2</sup>)按式(46)计算：

$$J = J' \frac{T^2}{T'^2} \dots\dots\dots(46)$$

式中：

g——重力加速度，单位为米每二次方秒(m/s<sup>2</sup>)；

a——两钢丝之间的距离，单位为米 (m)；

l——钢丝的长度，单位为米(m)；

m——被试电机转子的质量，单位为千克 (kg)。

### 15.7 轴电压的测定

轴电压的测定按 GB/T 1029—2005 的规定进行。

## 16、计算格式

本章节描述三相永磁同步电动机试验方法中的计算格式。

### 16 计算格式

#### 16.1 A 格式——A 法

型号	设计	机座号	hp/kW	相数
频率	电压	同步转速	产品编号	温升限值
时间定额				

序号	内容	1	2	3	4	5	6
1	定子绕组初始端电阻( $\Omega$ )						
2	测量初始电阻时绕组温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )						
3	额定负载热试验结束时定子绕组端电阻( $\Omega$ )						
4	额定负载热试验定字赛堪最裔温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )						
5	热试验结束时冷却介斑-度 ( $^{\circ}\text{C}$ )						
6	负载试验冷却介质温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )						
7	负载试验定子绕缉最高温度( $\Theta t$ ) ( $^{\circ}\text{C}$ )						
8	频率 (Hz)						
9	同步转速 (r/min)						
10	线电压 (V)						
11	线电流 (A)						
12	定子输入功率 (w)						
13	试验温度 $^{\circ}\text{C}$ >时定子损耗 (W)						
14	转矩读数 $T_d$ (N-m)						
15	转矩读数修正值 $k_d$ (N-m)						
16	修正后转矩 (N-m)						
17	输出功率 (w)						
18	在规定温度( $\Theta s$ ) 时的定子 $I^2R$ 损耗 (W)						
19	修正后的定子输入功率 (W)						
20	效率 (%)						
21	功率因数						
注: $\Theta s$ 和 $\Theta t$ 采用相同的测温方法。							
性能参数汇总表							
负载(额定值的百分数)	25	50	75	100	125	150	
功率因数							
效率 (%)							
转速 (r/min)							
线电流 (A)							

### A 格式计算说明

[ ] 连同其中的数字表示 A 格式中该序号项的试验数据或计算结果。

[1] 见 5.2

[2] 见 5.2

[3] 见 11.7.1

[4] 见 11.7.1

[5] 见 11.7.1

[6] 见 10.2.1

[7] 见 10.2.1

[8] 见 10.2.1

[9] = 120 · [8] / 极数

[10] 见 10.2.1

[11] 见 10.2.1

[12] 见 10.2.1

$$[13] = 1.5 [11]^2 [1] \frac{K_1 + [7]}{K_1 + [2]}$$

[14] 见 10.2.1

[15] 按附录 A 求得  $k_d$

[16] = [14] + [15]

[17] = [16] · [9] / 9.549

$$[18] = 1.5 [11]^2 \cdot [3] \cdot \frac{K_1 + [4] - [5] + 25}{K_1 + [4]}$$

[19] = [12] + [18] - [13]

$$[20] = \frac{[17]}{[19]} \cdot 100$$

$$[21] = \frac{[19]}{\sqrt{3} \cdot [10] \cdot [11]}$$

### 16.2 B 格式——B 法

型号 \_\_\_\_\_ 设计 \_\_\_\_\_ 机座号 \_\_\_\_\_ hp/kW \_\_\_\_\_ 相数 \_\_\_\_\_

频率 \_\_\_\_\_ 电压 \_\_\_\_\_ 同步转速 \_\_\_\_\_ 产品编号 \_\_\_\_\_ 温升限值 \_\_\_\_\_

时间定额 \_\_\_\_\_

序号	内容	1	2	3	4	5	6
1	定子绕组初始端电阻 (Ω)						
2	测量初始电阻时绕组温度 (°C)						
3	额定负载热试验结束时定子绕组端电阻 (Ω)						
4	额定负载热试验定子绕组最高温度 (°C)						
5	热试验结束时冷却介质温度 (°C)						
6	负载试验冷却介质温度 (°C)						
7	负载试验定子绕组最高温度钎 (°C)						
8	频率 (Hz)						
9	同步转速 (r/min)						
10	线电压 (V)						
序号	内容	1	2	3	4	5	6

11	线电流 (A)						
12	定子输入功率 (W)						
13	在久时的定子绕组/2 只损耗 (W)						
14	铁耗 (w)						
15	风摩耗 (w)						
16	总常规损耗 (W)						
17	转矩读数 Td						
18	转矩读数修正值 h (N . m)*						
19	修正后的转矩 (N . m)*						
20	轴输出功率 (W)						
21	表观总损耗 (W)						
22	剩余损耗 (w)						
22A	截距 B----- 斜率 A -----相关系数 r----- 删除点						
23	在规定 a 度(&)时定子绕组 r 损耗 (w)						
24	负载杂散损耗 (W)						
25	修正后总抵耗 (W)						
26	修正后轴输出功率 (W)						
27	修正后轴输出功率 (hP)						
23	效率 (%)						
29	功率因数						
注: $\Theta_s$ 和 $\Theta_t$ 采用相同的测温方法.							
* 1 磅. 英尺=1.355 8 N . m							
性能参数汇总表							
负载 (额定值的百分数)	25	50	75	100	125	150	
功率因数							
效率 (%)							
转速 (r/min)							
线电流 (A)							

#### B 格式计算说明

□连同其中的数字表示 B 格式中该序号项的试验数据或计算结果。

见 5.2

见 5.2

见 11.7.1

见 11.7.1

见 11.7.1

见 10.2.2

[7]见 10.2.2  
 [8]见 10.2.2  
 [9]=120·[8]/极数  
 [10]见 10.2.2  
 [11]见 10.2.2  
 [12]见 10.2.2  
 [13]=1.5[11]<sup>2</sup>[1] $\frac{K_1+[7]}{K_1+[2]}$   
 [14]见 10.2.2.2.2  
 [15]见 10.2.2.2.3  
 注:铁耗、风摩擦不需要分离时,[14]+[15]作为一项。  
 [16]=[13]+[14]+[15]  
 [17]=见 10.2.2  
 [18]按附录 A 求取  $k_d$   
 [19]=[17]+[18]  
 [20]=[19]·[9]/9.549  
 [21]=[12]-[20]  
 [22]=[21]-[16]  
 [22A]按附录 B 求取 A、B、r  
 [23]=1.5·[11]<sup>2</sup>·[3]· $\frac{K_1+[4]-[5]+25}{K_1+[4]}$   
 [24]=A·[19]<sup>2</sup>  
 [25]=[13]+[14]+[15]+[24]  
 [26]=[12]-[25]  
 [27]=[26]/745.7  
 [28]=100·[26]/[12]  
 [29]= $\frac{[12]}{\sqrt{3} \cdot [10] \cdot [11]}$

通过绘制线电流[11]，效率〔28〕对输出功率[26]或输出马力[27]的关系曲线，求取性能参数 8 从曲 线上根据预定的负载点查出有关数据填入性能汇总表中。功率因数由各预定负载点处的线电流、电压 和由下式求得的输入功率计算求得：

$$\text{输入功率}(W) = \frac{\text{预定负载点功率}(W) \times 100}{\text{预定负载点效率}(\%)}$$

## 17、附录 A

(规范性附录) 测功机转矩读数的修正

本修正方法也适用转矩测量仪与被试电机之间有轴承的情况。

A.1 根据被试电机空载试验数据进行修正 A.1.1 联结测功机

被试电机在额定电压和额定频率下空载运行，测功机与被试电机联结但不加励磁，测量并记录：P<sub>do</sub>，I，T<sub>do</sub> 及 R<sub>td</sub> 或温度 Θ<sub>td</sub>(R<sub>td</sub> 为测量值或根据 Θ<sub>td</sub> 求得)，

$$\text{则: } (I^2 R)_d = 1.5 I^2 R_d$$

A.1.2 不联结测功机

被试电机在额定电压和额定频率下空载运行，但不联结测功机。测量并记录  $P_0$ 、 $I_0$  和  $R_{t0}$  或温度为测量值或根据  $\Theta_{t0}$  求得），则

$$(I^2R)_0 = 1.5I_0^2R_{t0} \quad \dots\dots\dots (A.1)$$

A.1.3 测功机转矩修正值  $d$

$$k_d = \frac{9.549}{\pi} \cdot \{ [P_{do} - (I^2R)_d] - [P_0 - (I^2R)_0] \} - T_{do} \quad \dots\dots\dots (A.2)$$

式中：

$P_{do}$ 、 $(I^2R)_d$  和  $T_{do}$  见 A.1.1；

$P_0$ 、 $(I^2R)_0$ ——见 A.1.2。

注：实际上，通过校正测功机，在轴转矩为 0 时，

A.2 测功机自身修正

测功机不与被试电机联结，但是联轴器必须仍与测功机联结。测功机作为电动机运行，使测功机的转速  $n$  与负载试验时的转速相同，则测功机测得的转矩即为  $k_d$ 。

a.3 修正后的转矩  $T$

$$T = T_d + k_d \quad \dots\dots\dots (A.3)$$

## 18、附录 B

(资料性附录) 线性回归分析

### B.1 概述

回归分析的目的是找出两组变量之间的数学关系，以使用一组变量求出另一组变量。线性回归分析认为如果这两组变量呈线性关系，即用两组变量的一对值( $x_i$ ,  $y_i$ )画图，则这些点几乎为一直线。这些点与直线的吻合程度由相关系数  $r$  表示。

### B.2 方法

#### B.2.1 数据准备

计算表 B.1。

表 B.1 线性回归数据表					
序号	T2	PL	(T2) 2	(PL)S	PLXT2
1					
2					
3					
4					
5					
6					
	$\Sigma$	$\Sigma$	$\Sigma$	$\Sigma$	$\Sigma$

表 B.1 中：T 根据 9.4.2.2 确定输出转矩 ( $N \cdot m$ )；  
PL 根据 9.4.2.3 确定的剩余杂散损耗 ( $W$ )。

**B.2.2 斜率 A 的确定**

用式(B.1)计算 A:

$$A = \frac{i \sum (P_L T^2) - \sum P_L \sum T^2}{i \sum (T^2)^2 - (\sum T^2)^2} \dots\dots\dots (B.1)$$

式中:

i 是负载试验的点数。

**B.2.3 截距 B 的确定**

由式(B.2)计算 B:

$$B = \frac{\sum P_L}{i} - A \frac{\sum T^2}{i} \dots\dots\dots (B.2)$$

**B.2.4 相关系数 r 的确定**

由式(B.3)计算 r:

$$r = \frac{i \sum (P_L T^2) - (\sum P_L)(\sum T^2)}{\sqrt{[i \sum (T^2)^2 - (\sum T^2)^2][i \sum P_L^2 - (\sum P_L)^2]}} \dots\dots\dots (B.3)$$

**19、附录 c**

(资料性附录) 铁耗和风摩耗的测定及分离计算方法

**C.1 假转子空载运转法测定风摩耗 C.1.1 试验方法**

用一个与被试电机转子的结构形状、几何尺寸以及质量完全相同但没有充磁的假转子装入被试电机, 该假转子也可卸掉已经充磁的磁钢后换以同质量的普通铁心的办法制作, 装入假转子的电机与转矩转速传感器以及另一台拖动电机用联轴器机械对接 4 用拖动电机拖动被试电机在被试电机的同步转速下运转。读取并记录试验数据之前输入转矩应稳定, 即: 输入转矩相隔 30 min 的两个读数之差应不大于前一个读数的 3%。待转矩值稳定后读取转矩 Tdo(N.m)、转速 n(r/min)。

**C.1.2 试验结果计算**

被试电机的风摩耗可按式(C.1)计算:

$$P_{fw} = T_{d0} \cdot \pi / 9.549 \quad (W) \quad \dots\dots\dots (C.1)$$

测得风摩耗后, 则可以根据第 6 章空载试验测得的铁耗与风摩耗之和确定该被试电机的铁耗。

**C.2 空载特性测定法**

按 6.1 的要求进行空载试验。空载输入功率 p。是电动机空载运行时的总损耗。由 po 减去试验温度下的定子损耗, 得到铁耗、风摩耗和空载杂散损耗之和 po'。

$$P_o' = P_o - P_{\sigma s1} = P_{Fe} + P_{fw} + P_{s0} \quad \dots\dots\dots (C.2)$$

**C.2.1 铁耗风摩耗 P<sub>Fe</sub> 和空载杂散损耗 P<sub>s0</sub> 的确定**

**C.2.1.1 铁耗 P<sub>Fe</sub> 的确定**

从图 1 上分别找出与 UN 相应的 P'oN 及 Ion, 在 I<sub>0</sub>=f(U) 曲线上找出与 Ion 相等的另一点 Io1, 找出与 Io1 相对应的空载电压 U1 及相应的 P'. 1, 则得:

$$P'_{01} = (U_1/U_N)^2 \cdot P_{FeN} + P_{fw} + P_{S0N} \dots\dots\dots(C.3)$$

$$P'_{0N} = P_{FeN} + P_{fw} + P_{S0N} \dots\dots\dots(C.4)$$

式中:

$P_{FeN}$ ——额定电压时的铁耗;

$P_{S0N}$ ——对应  $I_{0N}$ (或  $I_{01}$ )时的空载杂散损耗。

将式(C.4)减式(C.3),可求出额定电压时的铁损耗:

$$P_{FeN} = (P'_{0N} - P'_{01})/[1 - (U_1/U_N)^2] \dots\dots\dots(C.5)$$

### C.2.1.2 风摩耗 $P_{fw}$ 的确定

从  $I_0 = f(U)$  曲线上找出电流最小点  $I_{0min}$  所对应的电压  $U_2$ , 及其相对应的  $P'_{02}$ ,

$$P'_{02} = (U_2/U_N)^2 \cdot P_{FeN} + P_{fw} + P_{S02} \dots\dots\dots(C.6)$$

式中:

$P_{S02}$ ——对应  $I_{0min}$  时的空载杂散损耗。

由于同步电动机不失步时转速始终恒定,故  $P_{fw}$  在任何电压下为常数,又因此点的电流很小,相应的杂散损耗可近似认为  $P_{S02} \approx 0$ ,则可求得风摩耗:

$$P_{fw} = P'_{02} - (U_2/U_N)^2 \cdot P_{FeN} \dots\dots\dots(C.7)$$

### C.2.1.3 空载杂散损耗的确定

当  $P_{FeN}$  和  $P_{fw}$  已知后,可求得任意电压下的空载杂散损耗:

$$P_{S0} = P'_0 - (U/U_N)^2 \cdot P_{FeN} - P_{fw} \dots\dots\dots(C.8)$$