

高效三相异步电动机性能测试与数据分析

张 帅, 袁 敏, 孔令波, 王建强

(上海海事大学, 上海 201321)

摘 要: 针对一台 Y 系列高效三相异步电动机进行型式试验, 介绍了高效电机测试过程中的关键技术, 详细阐述了空载特性和负载特性试验的试验目的、试验方法和数据处理过程。根据试验所得数据计算出了电机各项特性参数, 绘制了空载特性曲线和负载特性曲线, 并对试验结果进行了深入分析。采用 Δ 法 (测量输入和输出功率的损耗分析法) 进行高效电机效率的测定, 并对试验数据进行最小二乘拟合后绘制出特性曲线。试验结果表明, 电机的效率、功率因数等各项性能指标均符合高效电机设计的相关要求。

关键词: 高效三相异步电动机; Δ 法; 效率测定; 空载试验; 负载特性试验; 最小二乘法

中图分类号: TM313 文献标识码: A 文章编号: 1004-7027(2014)04-0000-00

1 引言

随着工业生产的不断发展, 三相异步电动机在国民经济中占有举足轻重的地位。为了提高电机的能效, 降低能耗, 我国制定了 GB 18613-2008《高效三相异步电动机能效限定值及能效等级》标准, 对电机的能效提出了更高的要求。

在电机测试过程中, 准确测定电机的效率是关键。传统的测试方法如空载试验、负载试验等, 存在测试精度低、测试周期长等问题。本文采用 Δ 法 (测量输入和输出功率的损耗分析法) 进行高效电机效率的测定, 该方法具有测试精度高、测试周期短等优点。通过对试验数据进行最小二乘拟合, 可以进一步验证测试结果的准确性。

引 言

在现代工业生产中, 三相异步电动机的应用越来越广泛, 了解和掌握三相异步电动机的各项性能参数非常重要^[1]。电机的技术指标主要包括转矩、转速、功率和效率等。当前, 以美国为代表的一些发达国家, 其电机效率水平已达到 Δ 等级 (平均效率约为 85%)^[2], 效率测试采用较为精确的实测负载杂散损耗的 Δ 法^[3]。而我国的电机效率测试大多仍采用输入功率 P_{in} 来假定杂散损耗的传统做法^[4], 效率测试结果具有高不确定度。本文针对 Y 系列交流三相异步电动机进行型式试验, 主要完成了空载、热负荷和负载特性试验, 其中尤以负载试验最为复杂。效率测试时按 Δ 法 (测量输入和输出功率的损耗分析法)^[5] 进行高效电机低不确定度效率测试, 通过最小二乘法对所得数

据进行拟合, 计算出电机的各项性能参数, 并绘制出相关特性曲线, 从而对电机的性能进行有效的测评。

2 高效电机测试关键技术

2.1 高效电机效率测试方法

电机的效率高低实际上取决于其自身运行过程中的损耗, 在电机运行的各种损耗当中, 定子铜耗、铁耗、机械损耗、杂散损耗等都比较容易测得, 唯有杂散损耗的测量较为复杂。传统的做法是将输入功率的 p_{sc} 假定为杂散损耗, 然而实际的比例与功率大小、极数、材料等因素有关, 用固定值来代替会导致一些没有达到高效要求的电机被判定为高效电机^[6]。本文采用 Δ 法进行高效电机效率测试, 符合低不确定度情形下电机效率的测定要求。具体做法是通过相关试验测出电机的输入功率 P_1 和输出功率 P_2 , 同时还应测出风摩耗、铁耗以及电机的定子铜耗; 则电机的总损耗 $P_{\Sigma} = P_1 - P_2$, 而杂散损耗 P_{sc} 则等于总损耗 P_{Σ} 减去各项已知损耗。选取多组不同负载工作点, 分别测出各点的杂散损

收稿日期: 2014-03-15

基金项目: 国家自然科学基金项目 (51276144); 交通部应用基础研究项目 (2013-2014)

耗值并进行线性回归分析,列出线性回归方程,进而求出电机在额定负载工作点的杂散损耗 p_{sc} 。法测出的结果是电机真正的各项附加损耗的总和,测试结果更能准确反映电机的性能。

3.2 数据拟合技术

在三相异步电动机型式试验的数据处理过程中,曲线拟合是关键问题之一。拟合出的曲线的精度高低,将直接影响到被测电机性能指标的精确程度。试验所得数据都是离散的数据点,需通过拟合技术将这些离散点拟合成一条完整、连续的特性曲线,进而直接从拟合曲线上求出电机的性能参数值。对曲线进行拟合处理时选用最小二乘法,因电机通常具有惯性特性,特性曲线较为平滑,因而可选用三次多项式作为基函数来进行数据拟合,即:

$$i_p = i_0 + i_1 \omega + i_2 \omega^2 + i_3 \omega^3$$

设一组测试数据为 (ω_i, i_i) ($i = 1, 2, \dots, n$), 其线性方程组:

$$\begin{cases} i_{p1} = i_0 + i_1 \omega_1 + i_2 \omega_1^2 + i_3 \omega_1^3 \\ i_{p2} = i_0 + i_1 \omega_2 + i_2 \omega_2^2 + i_3 \omega_2^3 \\ \vdots \\ i_{pn} = i_0 + i_1 \omega_n + i_2 \omega_n^2 + i_3 \omega_n^3 \end{cases}$$

解此线性方程组即可求出回归系数 i_0, i_1, i_2, i_3 , 即得曲线方程,从而精确地绘制出电机的相关特性曲线。

4 试验设备及试验对象

对三相异步电动机的各项性能进行测试时,其测试结果不仅与供电电源的电压及频率的数值有关,而且还跟电压的波形、频率的稳定性以及电压系统的对称性等因素相关。只有符合试验要求的电源和测试仪器才能得到准确的试验数据。

4.1 试验设备

采用数字变频电源作为试验电源和负载电源,形成被试电机与陪试电机对拖的负载模式。该变频电源可以实现 V/f 控制和矢量控制;特点:任意频率点恒定时能实现电压可调,任意电压点恒定时能实现频率可调。其技术参数:在 $50 \sim 400$ Hz 范围内的输出电压波形畸变率 $\leq 1\%$,三相电压系统负序分量 $\leq 1\%$,电压控制精度 $\pm 0.1\%$,频率控制精度 $\pm 0.1\%$,数据测量设备精度不低于 0.5 级。

电机测试所使用的主要测量仪器、仪表如下:主回路选用日本横河 μ TEP 型智能电参数分析仪,数据采集精度 0.5 级,自带电机测量模块,可同步测

量被试电机转矩、转速、输出功率等实时参数;负载回路测量仪表采用上海宝准 μ TEP 型智能电参数分析仪,数据采集精度 0.5 级;电压电流传感器采集精度 0.5 级;转矩转速传感器配用德国 μ TEP 系列产品,测量精度 0.5 级,转矩测量范围 $0 \sim 100$ N·m,转速测量范围 $0 \sim 3000$ r/min。

以上试验电源及试验仪器符合 GB/T 1032—2013 和 GB/T 1032—2013 标准的规定,能较好地完成高效、超高效电机的性能测试。

4.2 试验对象

被试电机为 Y 系列高效三相异步电动机,其定子绕组采用三角形接法,定子绝缘等级为 F 级,其具体参数见表 1。陪试电机相关参数与被试电机基本一致。

表 1 试验用电机铭牌参数

参数/单位	值	参数/单位	值
电机型号	Y-280L4	防护等级	IP54
额定电压 U_N /V	380	工作制	S1
额定电流 I_N /A	55	极数	4
额定功率 P_N /kW	30	接线方式	三角形
额定频率 f_N /Hz	50	绝缘等级	F
额定转速 n_N (r/min)	1450	生产单位	—

5 测试内容和测试结果

采用 μ 法做电机能效测试分析时,需完成的试验项目有空载、热负荷和负载试验。本文详细介绍了空载特性和负载特性试验,对热负荷试验只做简要概述。试验前需先完成绝缘电阻的测定和绕组在初始冷状态下直流端电阻和相电阻的测定。各项试验步骤参照 GB/T 1032—2013 中的相关规定进行。

5.1 热负荷试验

热负荷试验,又称为温升试验,其试验目的是测定电机在额定负载情形下运作时电机定子绕组及其它相关部分的温升值。热负荷试验时选用直接负载法,电压、频率和功率均满足额定状态。待热平衡后应立即测出电机的热态电阻,并通过冷态端电阻、冷态测试温度、热态电阻、热态环境温度以及热负荷试验过程中的电流来折算出电机的温升值。

试验测得冷态环境温度 θ_a ,冷态绕组端电阻 R_{a1} ,热态绕组温度 θ_{a2} ,热态绕组电阻 R_{a2} 。测试结果:定子绕组温升 $\theta_{a2} - \theta_{a1}$,绕组最高温度 θ_{a2} ,定子铁心温度 θ_{fe} ,前轴承温度 θ_{be1} 。

5.2 空载试验

5.2.1 试验目的

空载试验主要完成以下任务:检查电机在运转过程中有无异常振动和噪声;绘制空载特性曲线,进

而反映出电机磁路工作情况;测定三相空载电流的平衡度;测定额定频率额定电压情形下的空载电流和空载损耗值,以及相应的铁心损耗和机械损耗

试验时频率为 50 Hz,实际所测数据如表 5 所示,其中 I_p 为空载时的输入功率, I_p 为空载线电流, U_p 为空载端电压, U_p 为空载时定子绕组的温度

表 5 空载特性试验数据

U_p / V	I_p / A	P_{in} / W	$T_p / ^\circ C$
380	1.2	100	40
380	1.2	100	40
380	1.2	100	40
380	1.2	100	40
380	1.2	100	40
380	1.2	100	40
380	1.2	100	40
380	1.2	100	40
380	1.2	100	40
380	1.2	100	40
380	1.2	100	40
380	1.2	100	40
380	1.2	100	40
380	1.2	100	40
380	1.2	100	40
380	1.2	100	40
380	1.2	100	40
380	1.2	100	40
380	1.2	100	40
380	1.2	100	40
380	1.2	100	40

对空载试验数据进行如下计算和处理:

1) 计算空载电压 U_p 为 U_c 时三相电流不平衡度:

$$\gamma_{\Delta} = \frac{I_{p\max} - I_{p\min}}{I_{p\max} + I_{p\min}} \times 100\% \quad (5)$$

式中: $I_{p\max}$, $I_{p\min}$ 分别为三相空载电流实测值中的最大值和最小值

2) 用 Δ 法确定效率时,应确定每一电压点的端电阻 r_p 而实际测取的是每个电压点的定子绕组温度 T_p ,所以需要根据以下公式进行转换:

$$r_p = r_y \frac{1}{1 + \alpha_y (T_p - T_y)} \quad (6)$$

式中: r_y 为定子绕组冷态端电阻, T_y 为测量 r_y 时定子绕组温度

3) 计算空载定子铜耗:

$$P_{cu} = 3 I_p^2 r_p$$

式中: I_p 为空载电流; r_p 为空载试验温度下端电阻的平均值

4) 恒定损耗等于风摩耗与铁耗之和,计算如下:

$$\tilde{P}_{00} = P_{00} - P_{cu} = I_p \tilde{P}_{00} \quad (7)$$

式中: I_p 为空载输入功率; P_{00} 为风摩耗; \tilde{P}_{00} 为铁耗

表 6 负载特性试验数据

U / V	I_p / A	I_y / A	$\cos \phi$	$\eta / \%$	P_{in} / W	P_{out} / W	$T_p / ^\circ C$
380	1.2	0.8	0.85	85	100	85	40
380	1.2	0.8	0.85	85	100	85	40
380	1.2	0.8	0.85	85	100	85	40
380	1.2	0.8	0.85	85	100	85	40
380	1.2	0.8	0.85	85	100	85	40
380	1.2	0.8	0.85	85	100	85	40
380	1.2	0.8	0.85	85	100	85	40
380	1.2	0.8	0.85	85	100	85	40
380	1.2	0.8	0.85	85	100	85	40
380	1.2	0.8	0.85	85	100	85	40
380	1.2	0.8	0.85	85	100	85	40
380	1.2	0.8	0.85	85	100	85	40
380	1.2	0.8	0.85	85	100	85	40
380	1.2	0.8	0.85	85	100	85	40
380	1.2	0.8	0.85	85	100	85	40
380	1.2	0.8	0.85	85	100	85	40
380	1.2	0.8	0.85	85	100	85	40
380	1.2	0.8	0.85	85	100	85	40
380	1.2	0.8	0.85	85	100	85	40
380	1.2	0.8	0.85	85	100	85	40

5) 由上面的计算结果,即可绘制出空载特性曲线 $I_p = f(U_p)$, $I_p = f(U_p)$, $\tilde{P}_{00} = f(U_p)$ 同时也可采用电压平方分离法来求取风摩耗 \tilde{P}_{00} 和铁耗 \tilde{P}_{00} :将曲线 $\tilde{P}_{00} = f(U_p)$ 下端的直线部分延长至与纵轴相交,截距即为该电机的风摩耗 \tilde{P}_{00} ,铁耗 $\tilde{P}_{00} = \tilde{P}_{00} - \tilde{P}_{00}$ 将相应的特性曲线绘制在同一坐标轴下,如图 6 所示

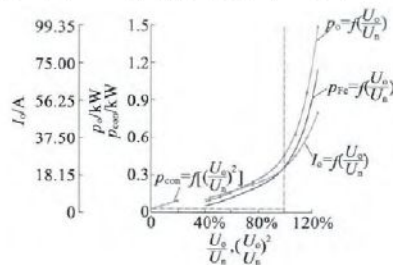


图 6 空载试验特性曲线

6) 空载试验结果分析

由绘制的曲线便可得到空载试验的重要参数,当 $U_p = U_c$ 时,求得空载电流 I_p ;空载功率 P_{in} ;三相电流不平衡度 γ_{Δ} ;空载定子铜耗 P_{cu} ;铁耗 \tilde{P}_{00} ;风摩耗 \tilde{P}_{00} ;各项性能均符合国家标准中的相关规定

7) 负载试验

8) 试验目的

负载试验通常紧接着热负荷试验之后按相应的试验步骤进行,其试验目的是为了确定电机的效率、转速、输入功率、定子线电流等性能参数跟输出功率之间的关系。试验采用直接负载法,负载电机为三相异步电动机,其基本参数与被试电机大致相同

9) 试验数据采集和数据处理

试验时在 0.2~1.0 额定负载间均匀地选择 5 个点进行测量,在 1.0~1.2 额定负载间适当地选择 2 个点进行测量。在 5 个负载点处均需测出如下参数:输入功率 P_{in} ;定子绕组两端电压 U_y ;输出功率 P_{out} ;输出转速 n ;功率因数 $\cos \phi$ 以及输出效率 η 。另外, T_p 为绕组试验时的温度。试验频率为 50 Hz,实际所测数据如表 7 所示

负载试验前需要测量的辅助数据:冷态环境温度 \bar{u}_y $\bar{E}_y \bar{\alpha}^3$,冷态绕组电阻 \bar{a}_y $\bar{E}_p \bar{\alpha} \bar{u}_y \bar{E} \bar{E} \bar{u}$,热态绕组温度 \bar{u}_b $\bar{E}_y \bar{p} \bar{u}^3$,热态绕组电阻 \bar{a}_b $\bar{E}_p \bar{u} \bar{p} \bar{E} \bar{E} \bar{u}$,铁耗 \bar{Q}_{o0} $\bar{E} \bar{N} \bar{E} \bar{o} \bar{u} \bar{p} \bar{E} \bar{O}$,风摩耗 \bar{Q}_{ab} $\bar{E}_y \bar{E} \bar{u} \bar{y} \bar{y} \bar{O}$ \bar{p}

对负载试验数据进行如下的运算和处理:

y)轴转矩 \bar{e} 的确定 \bar{p} 轴转矩 \bar{e} $\bar{E} \bar{e}_i \frac{1}{2} \bar{e}_i$,式中 \bar{e}_i 为转矩读数, \bar{e}_i 为转矩读数修正值,单位均为 \bar{C} \bar{u} \bar{a} \bar{p} 其中 \bar{e}_i 的计算公式如下:

$$\bar{e}_i = \bar{a} \bar{E} \bar{O} \bar{u} \bar{E} \bar{A} \frac{(\bar{Q}_{ab} - \bar{a} \bar{O}_{iaab} - \bar{a} \bar{O}_{o0}) (\bar{y} - \bar{a} \bar{A}_{ab})}{\bar{O}_{ab}} \bar{a} (\bar{i}_p - \bar{a} \bar{O}_{iap} - \bar{a} \bar{O}_{o0}) \bar{a} \bar{e}_{ap} \quad (o)$$

式中: \bar{Q}_{ab} , \bar{O}_{iaab} , \bar{A}_{ab} , \bar{O}_{ab} , \bar{e}_{ap} 为被试电机经转矩测量仪与负载电耦接测试过程中所测数据,即分别为输入功率 \bar{y} 定子绕组铜耗 \bar{y} 转差率 \bar{y} 转速 \bar{y} 转矩 \bar{p} \bar{i}_p , \bar{O}_{iap} 为负载试验中电机空载测试所得数据,分别为空载输入功率 \bar{y} 空载定子绕组铜耗, \bar{Q}_{o0} 为空载额定电压铁耗 \bar{p} 经计算可得 \bar{e}_i $\bar{E}_p \bar{\alpha} \bar{u} \bar{E} \bar{u} \bar{C}$ \bar{u} \bar{a} \bar{p}

y)轴功率 \bar{i}_{aoii} ,视在损耗 \bar{Q}_{bu} 和剩余损耗 \bar{Q} 的确定 \bar{p} \bar{i}_{aoii} , \bar{Q}_{bu} 和 \bar{Q} 可通过如下公式求出:

$$\left. \begin{aligned} \bar{i}_{aoii} &= (\bar{e} \bar{A} \bar{O} \bar{U}) \bar{E} \bar{O} \bar{u} \bar{E} \\ \bar{Q}_{bu} &= \bar{i}_y \bar{a} \bar{i}_{aoii} \\ \bar{Q} &= \bar{Q}_{bu} - \bar{a} (\bar{Q}_{ab} - \bar{a} \bar{O}_{iaab} - \bar{a} \bar{O}_{o0}) \end{aligned} \right\} \quad (E)$$

式中: \bar{i}_y 为输入功率; \bar{Q}_{bu} 为风摩耗; \bar{Q}_{o0} 为铁耗; \bar{Q}_{ay} 和 \bar{Q}_{iy} 分别为试验温度 (\bar{u}_i) 下定子铜耗和转子铜耗 \bar{p}

一般认为,剩余损耗 \bar{Q} 与电机输出转矩的平方成正比例关系,即:

$$\bar{Q} = \bar{y} \bar{e}^2 \bar{a} \bar{c} \quad (u)$$

\bar{Q} 对 \bar{e}^2 进行线性回归分析,求出斜率 \bar{y} 截距 \bar{c} 和相关系数 \bar{B} 经计算可得 \bar{y} $\bar{E}_p \bar{\alpha} \bar{y} \bar{y} \bar{N} \bar{y} \bar{N}$, \bar{c} $\bar{E} \bar{E} \bar{N} \bar{E} \bar{E} \bar{O}$, \bar{B} $\bar{E}_p \bar{\alpha} \bar{E} \bar{u} \bar{p} \bar{E} \bar{E} \bar{p}$

相关系数 \bar{B} 反映了所采集数据各点与回归曲线的离散性, \bar{B} 值越高,说明各点采集数据与回归后的直线越接近,也就是说数据采集的稳定性越高;标准规定 $\bar{B} \geq 0.9$,由计算结果 \bar{B} $\bar{E}_p \bar{\alpha} \bar{E} \bar{u} \bar{p} \bar{E} \bar{E} \bar{p}$ 可以看出,采集到的数据各点稳定性良好,符合国家标准的规定 \bar{p}

N) 计算杂散损耗 \bar{Q} 和总损耗 \bar{Q}_p \bar{Q} 和 \bar{Q}_b 的计算公式如下:

$$\bar{Q} = \bar{y} \bar{A} \bar{e}^2 \quad (E)$$

$$\bar{Q}_p = \bar{Q}_{ab} - \bar{a} \bar{O}_{o0} - \bar{a} \bar{O}_{ay} - \bar{a} \bar{O}_{iy} \quad (E)$$

式中: \bar{O}_{ay} 和 \bar{O}_{iy} 分别为规定温度 (\bar{u}_e) 下的定子铜耗和转子铜耗 \bar{p}

u) 计算效率 $\bar{\delta}$ 和功率因数 $\bar{i} \bar{o} \bar{e} \bar{u}$ \bar{p} 效率 $\bar{\delta}$ 和功率因数 $\bar{i} \bar{o} \bar{e} \bar{u}$ 的计算公式如下:

$$\left. \begin{aligned} \bar{\delta} &= \frac{\bar{i}_y}{\bar{i}_o} \bar{A} \bar{y} \bar{p} \bar{A} \\ \bar{i} \bar{o} \bar{e} \bar{u} &= \frac{\bar{i}_y}{\bar{y} \bar{N} \bar{u} \bar{\delta}_y} \end{aligned} \right\} \quad (E)$$

式中: \bar{i}_y 为输入功率;输出功率 \bar{i}_y $\bar{E} \bar{i}_y$ \bar{u} \bar{Q}_b ; \bar{u} 为端电压; $\bar{\delta}_y$ 为定子线电流 \bar{p}

o) 根据以上所得数据绘制出负载特性曲线 $\bar{\delta}$ \bar{E} $\bar{\delta}(\bar{i}_y)$, \bar{i}_y \bar{E} $\bar{\delta}(\bar{i}_y)$, \bar{e} \bar{E} $\bar{\delta}(\bar{i}_y)$, \bar{A} \bar{E} $\bar{\delta}(\bar{i}_y)$, $\bar{i} \bar{o} \bar{e} \bar{u}$ \bar{E} $\bar{\delta}(\bar{i}_y)$ 和 $\bar{\delta}$ \bar{E} $\bar{\delta}(\bar{i}_y)$, 在同一坐标轴上显示情况如图 \bar{y} 所示 \bar{p}

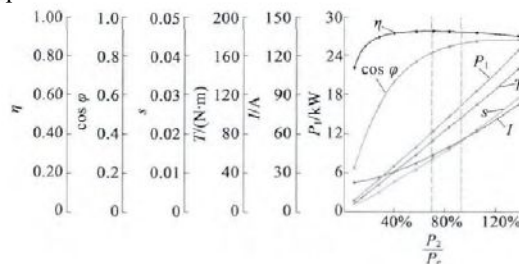


图 \bar{y} 负载试验特性曲线

N) 负载试验结果分析

从绘制的负载特性曲线上可求取 $\bar{y} \bar{p} \bar{A}$ 和 $\bar{u} \bar{o} \bar{A}$ 额定负载时的线电流 $\bar{\delta}_y$, 输入功率 \bar{i}_y , 输出转矩 \bar{e} , 转差率 \bar{A} \bar{y} 功率因数 $\bar{i} \bar{o} \bar{e} \bar{u}$ 和电机效率 $\bar{\delta} \bar{A}$, 相应的试验结果如表 \bar{u} 所示 \bar{p} 试验中所得相关系数 \bar{B} \bar{E} $\bar{p} \bar{O} \bar{E} \bar{u} \bar{p} \bar{E} \bar{E}$, 大于 $\bar{p} \bar{O} \bar{E} \bar{O}$, 符合国家标准的规定 \bar{p} 电机效率 $\bar{\delta}$ 和功率因数 $\bar{i} \bar{o} \bar{e} \bar{u}$ 等参数均符合合同类型标准电机的国家基本数据 \bar{p}

表 \bar{u} $\bar{y} \bar{p} \bar{A}$ 和 $\bar{u} \bar{o} \bar{A}$ 额定负载试验结果

$\frac{\bar{i}_y}{\bar{i}_o}$	\bar{i}_y \bar{O}	$\bar{\delta} \bar{A}$	\bar{e} $\bar{A}(\bar{C} \bar{u} \bar{a})$	$\bar{A} \bar{U} \bar{A}$	$\bar{i} \bar{o} \bar{e} \bar{u}$	$\bar{\delta}$
$\bar{y} \bar{p} \bar{A}$ 负载	$\bar{y} \bar{E} \bar{y} \bar{E} \bar{u}$ \bar{O}	$\bar{o} \bar{u} \bar{O} \bar{E} \bar{p}$	$\bar{E} \bar{E} \bar{O} \bar{N} \bar{E}$	$\bar{y} \bar{O} \bar{E} \bar{p} \bar{E} \bar{E} \bar{p}$	$\bar{A} \bar{E} \bar{o} \bar{E} \bar{u} \bar{E} \bar{y}$	$\bar{O} \bar{p} \bar{E} \bar{E} \bar{p}$
$\bar{u} \bar{o} \bar{A}$ 负载	$\bar{y} \bar{y} \bar{y} \bar{E} \bar{N}$ $\bar{O} \bar{u}$	$\bar{u} \bar{N} \bar{O} \bar{N} \bar{N}$	$\bar{u} \bar{y} \bar{O} \bar{y} \bar{p}$	$\bar{y} \bar{O} \bar{N} \bar{u} \bar{y} \bar{p}$	$\bar{O} \bar{E} \bar{y} \bar{p} \bar{u} \bar{E} \bar{y}$	$\bar{O} \bar{u} \bar{E} \bar{p} \bar{E}$

u) 电机性能数据汇总分析

根据上述试验, 可得该三相异步电动机的各项性能参数, 其部分性能数据如表 \bar{o} 所示 \bar{p}

表 \bar{u} $\bar{y} \bar{o} \bar{O}$ 三相异步电动机性能数据汇总(部分)

性能参数 \bar{A} 单位	试验值	性能参数 \bar{A} 单位	试验值
额定空载电流 $\bar{\delta}_o$ $\bar{A} \bar{a}$	$\bar{y} \bar{y} \bar{u} \bar{u}$	定子铜耗 \bar{Q}_{ay} $\bar{A} \bar{O}$	$\bar{u} \bar{N} \bar{y} \bar{u} \bar{E}$
额定空载功率 \bar{i}_o $\bar{A} \bar{O}$	$\bar{u} \bar{o} \bar{E} \bar{u} \bar{y}$	转子铜耗 \bar{Q}_{iy} $\bar{A} \bar{O}$	$\bar{y} \bar{E} \bar{p} \bar{u} \bar{E} \bar{y}$
杂散损耗 \bar{Q}_e $\bar{A} \bar{O}$	$\bar{y} \bar{p} \bar{u} \bar{E} \bar{E}$	三相空载电流不平衡度	$\bar{p} \bar{u} \bar{E} \bar{y}$
机械损耗 \bar{Q}_{aoii} $\bar{A} \bar{O}$	$\bar{y} \bar{E} \bar{u} \bar{y} \bar{y}$	效率 ($\bar{y} \bar{p} \bar{A}$ 负载)	$\bar{E} \bar{y} \bar{u} \bar{p} \bar{E} \bar{E}$
铁耗 \bar{Q}_{o0} $\bar{A} \bar{O}$	$\bar{N} \bar{N} \bar{E} \bar{u} \bar{o} \bar{y}$	效率 ($\bar{u} \bar{o} \bar{A}$ 负载)	$\bar{E} \bar{y} \bar{u} \bar{u} \bar{E} \bar{p} \bar{E}$
满载转矩 \bar{e}_A $\bar{A}(\bar{C} \bar{u} \bar{a})$	$\bar{E} \bar{E} \bar{u} \bar{N} \bar{E}$	定子绕组温升 \bar{e}_e $\bar{A} \bar{I}$	$\bar{o} \bar{y} \bar{u} \bar{E} \bar{N}$
满载输入功率 \bar{Q}_A $\bar{A} \bar{O}$	$\bar{y} \bar{E} \bar{y} \bar{E} \bar{u}$	定子绕组相电阻 ($\bar{E} \bar{o} \bar{A}$) \bar{a}_y $\bar{A} \bar{u}$	$\bar{p} \bar{u} \bar{y} \bar{u} \bar{E} \bar{u}$
满载电流 $\bar{\delta}_A$ $\bar{A} \bar{a}$	$\bar{o} \bar{u} \bar{u} \bar{E}$	热试验后冷却介质温度 $\bar{u}_{y/2}$ $\bar{A} \bar{E}^3$	$\bar{y} \bar{p} \bar{u} \bar{u}$
满载功率因数	$\bar{p} \bar{u} \bar{E} \bar{o} \bar{E} \bar{u}$	轴承温度 \bar{u}_A $\bar{A} \bar{E}^3$	$\bar{N} \bar{N} \bar{u} \bar{N}$
满载转差率	$\bar{y} \bar{u} \bar{E} \bar{p} \bar{E} \bar{E}$	铁心温度 \bar{u}_{o0} $\bar{A} \bar{E}^3$	$\bar{u} \bar{E}$

针对表 \bar{o} 中的数据, 对电机主要性能参数的分析如下: (\bar{y}) $\bar{y} \bar{p} \bar{A}$ 负载时, 功率因数测试结果为 $\bar{p} \bar{E} \bar{o} \bar{E} \bar{u}$ \bar{p} 根据电机的国家制造标准, 该型号被试电

机的功率因数设计保证值应为 $\cos \varphi$, 国标容差是保证值的 $\pm 5\%$, 因而功率因数的测试结果在国标容差范围内 $\pm 5\%$ 负载时, 效率 η 的测试结果为 $\eta \pm 1\%$ 标准中规定该型号被试电机的效率设计保证值应为 $\eta \pm 1\%$, 国标容差是 $\pm 1\%$ ($\pm 1\%$), 可见效率的试验结果在国标容差范围内, 符合设计要求。

结 语

电机效率的精确测定已成为发展高效电机的关键。本文针对一台容量为 100 W 的高效三相异步电动机进行性能测试, 详细阐述了空载特性和负载特性试验中数据的处理过程。在绘制空载特性和负载特性曲线时, 选用了最小二乘法对数据进行拟合处理。电机效率得以精确测量, 关键在于杂散损耗的测定, 为此本文采用测量输入和输出功率的损耗

分析法, 确定负载的杂散损耗, 完成高效电机效率的测定。测试结果表明, 电机的效率、功率因数等性能指标均符合高效电机的设计要求。

参考文献

- [1] 栾松, 刘巧珍. 异步电机试验系统分析与数据处理方法 [J]. 机械与电子, 2005(1): 1-4.
- [2] 金惟伟, 王传军, 陈恒等. 高效和超高效电机低不确定度效率测试系统的研究与设计 [J]. 电机与控制应用, 2006(1): 1-4.
- [3] 0.5 级三相异步电动机试验方法 [J]. 电机与控制应用, 2006(1): 1-4.
- [4] 李巧莲, 韩宝江. 高效电机检测技术 [J]. 电机与控制应用, 2006(1): 1-4.
- [5] 0.5 级三相异步电动机试验方法 [J]. 电机与控制应用, 2006(1): 1-4.
- [6] 杨会鹏, 毕林. 普通三相异步电动机试验方法 [J]. 电机与控制应用, 2006(1): 1-4.
- [7] 张昊, 殷强, 马冬梅. 电机效率测试技术的研究 [J]. 电机与控制应用, 2006(1): 1-4.

作者简介: 张帅 (1985-), 男, 硕士研究生, 研究方向为工业控制。

(上接第 10 页)

参考文献

- [1] 0.5 级三相异步电动机试验方法 [J]. 电机与控制应用, 2006(1): 1-4.
- [2] 0.5 级三相异步电动机试验方法 [J]. 电机与控制应用, 2006(1): 1-4.
- [3] 0.5 级三相异步电动机试验方法 [J]. 电机与控制应用, 2006(1): 1-4.
- [4] 0.5 级三相异步电动机试验方法 [J]. 电机与控制应用, 2006(1): 1-4.
- [5] 0.5 级三相异步电动机试验方法 [J]. 电机与控制应用, 2006(1): 1-4.
- [6] 曹鑫, 邓智泉, 庄铮, 等. 三相异步电动机无轴承载全周期发电机电感 [J]. 电机与控制应用, 2006(1): 1-4.
- [7] 庄铮. 无轴承载全周期发电机的优化控制 [J]. 电机与控制应用, 2006(1): 1-4.

(上接第 11 页)

- [1] 0.5 级三相异步电动机试验方法 [J]. 电机与控制应用, 2006(1): 1-4.
- [2] 0.5 级三相异步电动机试验方法 [J]. 电机与控制应用, 2006(1): 1-4.
- [3] 0.5 级三相异步电动机试验方法 [J]. 电机与控制应用, 2006(1): 1-4.
- [4] 0.5 级三相异步电动机试验方法 [J]. 电机与控制应用, 2006(1): 1-4.
- [5] 0.5 级三相异步电动机试验方法 [J]. 电机与控制应用, 2006(1): 1-4.
- [6] 0.5 级三相异步电动机试验方法 [J]. 电机与控制应用, 2006(1): 1-4.
- [7] 0.5 级三相异步电动机试验方法 [J]. 电机与控制应用, 2006(1): 1-4.
- [8] 0.5 级三相异步电动机试验方法 [J]. 电机与控制应用, 2006(1): 1-4.
- [9] 0.5 级三相异步电动机试验方法 [J]. 电机与控制应用, 2006(1): 1-4.
- [10] 0.5 级三相异步电动机试验方法 [J]. 电机与控制应用, 2006(1): 1-4.

空航天大学, 2006.

- [1] 庄铮, 邓智泉, 曹鑫, 等. 三相异步电动机无轴承载全周期发电机电感 [J]. 电机与控制应用, 2006(1): 1-4.
- [2] 0.5 级三相异步电动机试验方法 [J]. 电机与控制应用, 2006(1): 1-4.
- [3] 0.5 级三相异步电动机试验方法 [J]. 电机与控制应用, 2006(1): 1-4.
- [4] 0.5 级三相异步电动机试验方法 [J]. 电机与控制应用, 2006(1): 1-4.
- [5] 0.5 级三相异步电动机试验方法 [J]. 电机与控制应用, 2006(1): 1-4.
- [6] 0.5 级三相异步电动机试验方法 [J]. 电机与控制应用, 2006(1): 1-4.
- [7] 0.5 级三相异步电动机试验方法 [J]. 电机与控制应用, 2006(1): 1-4.
- [8] 0.5 级三相异步电动机试验方法 [J]. 电机与控制应用, 2006(1): 1-4.
- [9] 0.5 级三相异步电动机试验方法 [J]. 电机与控制应用, 2006(1): 1-4.
- [10] 0.5 级三相异步电动机试验方法 [J]. 电机与控制应用, 2006(1): 1-4.

作者简介: 刘泽远 (1985-), 男, 博士, 讲师, 从事电机设计、电机磁场数值分析及无轴承载全周期发电机电感等方面的研究。

式异步电机损耗影响的时步有限元分析 [J]. 中国科学, 2006(1): 1-4.

- [1] 0.5 级三相异步电动机试验方法 [J]. 电机与控制应用, 2006(1): 1-4.
- [2] 0.5 级三相异步电动机试验方法 [J]. 电机与控制应用, 2006(1): 1-4.
- [3] 0.5 级三相异步电动机试验方法 [J]. 电机与控制应用, 2006(1): 1-4.
- [4] 0.5 级三相异步电动机试验方法 [J]. 电机与控制应用, 2006(1): 1-4.
- [5] 0.5 级三相异步电动机试验方法 [J]. 电机与控制应用, 2006(1): 1-4.
- [6] 0.5 级三相异步电动机试验方法 [J]. 电机与控制应用, 2006(1): 1-4.
- [7] 0.5 级三相异步电动机试验方法 [J]. 电机与控制应用, 2006(1): 1-4.
- [8] 0.5 级三相异步电动机试验方法 [J]. 电机与控制应用, 2006(1): 1-4.
- [9] 0.5 级三相异步电动机试验方法 [J]. 电机与控制应用, 2006(1): 1-4.
- [10] 0.5 级三相异步电动机试验方法 [J]. 电机与控制应用, 2006(1): 1-4.

作者简介: 张琦 (1985-), 女, 硕士研究生, 研究方向为电机内电磁场数值计算及能耗分析。