

# 解读测试设备的精度指标

金惟伟 徐伟专 钱岑

(上海电器科学研究所, 上海, 20063, 国防科学技术大学, 长沙, 410073, 湖南银河电气有限公司, 410073)

## 摘要:

电机试验为电机设计、质量检验等提供必要的支撑,其测试数据的正确性和准确性是验证电机设计及保证电机质量的重要手段。针对部分试验站的测试准确性和可重复性较差的问题,本文从量程、频率、相位、测试方法、现场干扰等不同角度,对测试设备的精度指标进行简要分析,结合电机试验测试技术现状及相关国家标准要求,提出用户选择测试设备尤其是变频测试设备时应该注意的若干事项。

关键词: 电机试验、功率测试、变频测试

## Analysis on Accuracy Performance of Motor Test Equipment

Wei Wei-jin Wei Zhuan-Xu Ceng-Qian

(Shanghai Electrical Apparatus Research Institute Co., Ltd, Shanghai, 20063, National University of Defense Technology, Changsha, 410073, Hunan YinHe Electric Co., Ltd, Changsha, 410073)

**Abstract:** Motor test is an necessary process for motor design and production quality validation. Thus, the correction and accuracy of measurement data are of extremely importance. With the problem of measurement un-accuracy and poor repeatability in some motor test station, the accuracy performance has been briefly analyzed in this paper from different points of view such as measuring scope, frequency, phase, test methods and field interference. Moreover, several suggestions about selection of test equipment, especially the frequency converter test equipment, has been proposed according to currently measuring technique on motor test and relative national standards.

**Keywords:** motor test, power test, frequency converter test

## 引言

您遇到过这样的问题吗?

两个测试设备准确度都满足国家标准要求的试验站,对同一台电机的合格判定出现截然不同的结论?

这个问题在电机试验检测中较为普遍,在分析原因之前,让我们对测试设备的精度指标做一下解读。

### 1. 量程对精度的影响

首先看一下常见的几种关于测试设备精度的表示方法:

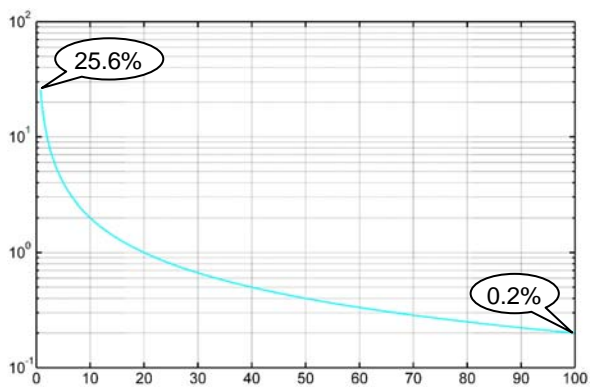
- A. 准确度: 0.2 级
- B. 量程的 0.2%
- C. 读数的 0.1%+量程的 0.2%
- D. 读数的 0.2%+量程的 0.1%

按照电工测量仪表的准确度定义, A 与 B 等效。C 的精度低于 A 或 B, 由于读数一般小于量

程, 故 C 的精度低于 D。

四种表示方法的精度均与量程相关, 也就是说, 对于同一被测信号, 采用相同精度不同的量程仪表, 测试结果精度不同, 举例来说, 同样是 100V 的信号, 采用两款准确度均为 0.2 级, 量程分别为 200V 和 2000V 的仪表进行测试, 测量结果分别为  $100 \pm 0.4V$  和  $100 \pm 4V$ , 两者的绝对误差分别为 0.4V 和 4V, 相对误差分别为 0.4% 和 4%, 即后者的误差是前者的 10 倍。

事实上, 对于采用量程表示精度的仪表而言, 在量程范围内, 被测值(真值)越小, 读数越小, 相对误差越大, 相对误差与真值的关系如下图, 图中, 仪表准确度为 0.2 级, 真值在量程的  $1/128 \sim 1$  (0.78125%~100%) 之间, 为表示方便, Y 轴采用对数刻度, 由图可知, 当真值在量程附近, 最大相对误差接近 0.2%, 真值在量程的  $1/128$  倍时, 最大相对误差为 25.6%。

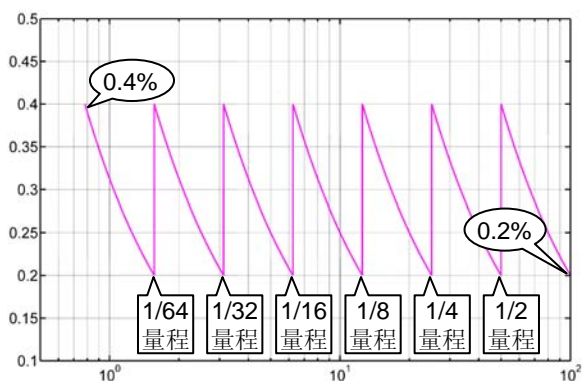


《GB1032-2005 三相异步电动机试验方法》

中指出，“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”。

显然，量程越低，即读数越接近量程，读数误差越小。但是，对于电机试验而言，一个试验站的测试设备即要满足不同电压等级，不同功率等级的电机的测试需要，还要满足每台电机的过载试验，额定负载试验，空载试验，堵转试验等不同试验的测试需要，电压、电流的变化范围教大，为了在宽范围内保证较高的测量精度，我们可以采用不同的量程来测量不同的幅值的信号，通常，采用多传感器，多量程结合量程转换的方式满足实际测量需要。由于传感器的数学模型教复杂，我们还是以采用准确度评价的仪表为例，我们将准确度为 0.2 级的仪表的按量程的 1/2、1/4、1/8、1/16、1/32、1/64 等分为 7 个小量程，其相对误差与真值的关系如下图，图中，X 轴采用对数刻度，由图可知，采取量程划分后，在 0.78125% (1/128) ~ 100% 量程范围内，最大相对误差为 0.4%。则该系统的测量精度可以表述如下：

E: 读数的 0.4% (0.78125%~100%量程范围内)



实际应用中，仪表的量程转换较易实现，传感器的量程转换成本高，体积大，但是，在较宽范围内，仅仅转换仪表的量程并不能确保测试系统的精度。例如，按照互感器鉴定规程，0.2 级的电流互感器，当被测电流小于互感器额定值的 20% 时，比差值为  $\pm 0.35\%$ 。且当互感器的输出信号太小时，电磁干扰的影响不容忽视。最有效的方式是，兼顾互感器与传感器的量程，采用多组电压、电流互感器通过开关换挡以提高测试精度。如每两组邻近档位的互感器的量程比值按 1/2 取值，以电流互感器为例，量程换挡后的二次侧电流均在 2.5A~5A 以内，二次仪表采用准确度等级为 0.2 级，量程为 5A 的电流表，二次侧无需更换量程，其读数误差曲线与上图类似，其读数误差小于 0.6%，其读数的均方根误差小于 0.447%。

## 2. 频率对精度的影响

《变频器供电三相笼型感应电动机试验方法》指出：对常用的指示仪表，其准确度是对标称频率规定的（如对 50 Hz~60 Hz），而在其规定的上限频率，其准确度等级容许有附加误差（如在 1000 Hz 时为 0.4%）。电子式测量仪表通常均给出频率范围，指规定的上限频率，所规定的准确度既适用于 50 Hz 或 60 Hz，也适用于规定的上限频率。

举例说明，下表是某款进口高精度功率分析仪（日本 YOKOGAWA 的 WT3000）的精度指标及对应的条件。表中 rdg 表示读数，f.s 表示量程。由下表可知，该仪器在频率为 45~66Hz 时精度较高，电压、电流最高精度为 0.04%，功率最高精度为 0.06%；在 0.1~30Hz 时精度较低，电压、电流最高精度为 0.3%，功率最高精度为 0.5%；另外，线路滤波器开启时，所有精度都会随之降低。显然，该仪表在 0.1~30Hz 频段的精度已经不能满足 0.2 级的准确度要求。但是，目前国内不少用户却简单的认为，该功率分析仪的功率测量精度是 0.02 级（截取 45Hz~66Hz 频段的误差前半部分 0.02%rdg）。这就有可能在电机试验中对电机合格评定进行误判。

频率 (Hz)	线路滤波器	电压/电流	功率 ( $\lambda = 1$ )
DC		0.1% (0.05%rdg +0.05%f.s)	0.15% (0.05%rdg + 0.1%f.s)
0.1 ~ 30	OFF	0.3% (0.1%rdg + 0.2%f.s)	0.5% (0.2%rdg + 0.3%f.s)
	500Hz	0.8% (滤波器+0.5%)	1.5% (滤波器+1%)
	5.5kHz	0.5% (滤波器+0.2%)	0.8% (滤波器+0.3%)
	50kHz		
30 ~ 45	OFF	0.08% (0.03%rdg +0.05%f.s)	0.1% (0.05rdg + 0.05%f.s)
	500Hz	0.58% (滤波器+0.5%)	1.1% (滤波器+1%)
	5.5kHz	0.28% (滤波器+0.2%)	0.4% (滤波器+0.3%)
	50kHz		
45 ~ 66	OFF	0.04% (0.01%rdg + 0.03%f.s)	0.06% (0.02%rdg +0.04%f.s)
	500Hz	0.24% (滤波器+0.2%)	0.36% (滤波器+0.3%)
	5.5kHz		
	50kHz		
66 ~ 500	OFF	0.08% (0.03%rdg +0.05%f.s)	0.1% (0.05%rdg +0.05%f.s)
	500Hz	未明确	未明确
	5.5kHz	0.58% (滤波器+0.5%)	1.1% (滤波器+1%)
	50kHz	0.28% (滤波器+0.2%)	0.4% (滤波器+0.3%)

### 3. 相位对精度的影响

相位是影响功率测量的重要指标，同样的相位误差，功率因数越低，功率测量误差越大。相位误差主要包括：

- 1) 仪器仪表相位误差
- 2) 电压传感器相位误差
- 3) 电流传感器相位误差。

仪器仪表的相位误差因不同厂家不同设计而异，目前数字式高精度功率计可以做到较高的精度。电压、电流传感器造成的相位误差与传感器类型及原理有关。对于互感器而言，通常用于 50Hz 测量，测量用互感器检定规程对相位指标（角差）作了明确规定，如，0.2 级互感器的角差不大于 10'，准确度等级越高的互感器，其比差和角差越小。目前，除互感器外，霍尔传感器等一般的电压、电流传感器不将相位列入考核指标。

对于采用互感器的工频电机试验，由于互感器检定规程已对相位进行严格规定，用户即便不考虑相位指标，在功率因数较高的境况下，相位的影响可以忽略，当功率因数较低时，可采用低功率因数表提高仪表的相位精度，并采用更高准确度等级的互感器，提高传感器相位精度。

《GB/T 1032-2005 三相异步电动机试验方法》附录 A 中明确指出，功率测量的相角误差包括：

- 1) 功率表电压线圈回路的相角误差；
- 2) 电流互感器的相角误差；
- 3) 电压互感器的相角误差。

附录 A 还对相角误差的提出了有效的修正方法。

对于变频测试而言，互感器不再适用，选用其它传感器时，必须考虑相位误差对功率测试的影响。以霍尔电压传感器为例，其相位误差一般不在技术文档中出现，但是，可以由上升时间  $t_r$  或上限频率  $f_H$  通过时域或频域分析进行粗略估算。

$$\varphi = -\arctan \frac{f}{f_H} \quad t_r \approx \frac{0.35}{f_H}$$

以 LEM 公司的 LV200-AW 2 6400 霍尔电压传感器为例，其技术资料中标称的上升时间  $t_r$  为 500 $\mu$ s，由上述公式可知，其上限频率约为 700Hz，50Hz 时，相位误差约为 245'（4.08°）。简单运算可知，在功率因数为 0.1 和 0.02 时，由于相位误差带来的附加功率误差可达  $\pm 70\%$  和  $\pm 355\%$  左右；反之，若要求附加功率误差小于 0.5%，其功率因数的绝对值必须大于 0.985，也就是说，若无任何补偿措施，该传感器只适合纯电阻负载的功率测试。

### 4. 测试方法对精度的影响

通常，我们用真有效值（RMS）来表征电压、电流信号的大小。

变频器的输出的 PWM 电压波形含有大量的高次谐波，而电动机转矩主要依赖于基波电压有效值（H01，即一次谐波）。因此，电机试验需要测量的电压值，以及变频器上指示的电压值都是指基波电压有效值。目前，关于变频器供电的电机试验的标准较少，报批稿《电力牵引轨道机车

车辆和公路车辆用旋转电机-第 2 部分：电子变流器供电的交流电动机》中已明确指出：电压测量采用基波有效值。

由于校准平均值（MEAN）在理论上等于正弦波的真有效值，且等于正弦调制 PWM 波形的基波有效值，且实现简单；因此，MEAN 在许多仪器仪表中用于替代正谐波的真正有效值（RMS）或 PWM 的基波有效值（H01）的测量。

但是，近年来，变频调速技术日新月异，非正弦调制 PWM 的应用越来越多，而且，变频器用户通常并不了解自己的变频器采用何种调制模式，MEAN 值在 PWM 测量中局限性越来越大。

#### 5. 现场干扰对精度的影响

电磁干扰对测量结果的影响程度是相对于信号而言的。同样的干扰，对高电压、大电流信号影响较小，而低电压、小电流信号影响较大。

变频器供电的电机试验现场，开关器件的频繁开、合，对周边线路及设备产生较强的电磁干

扰。

传统机组供电试验时，干扰较小，而所用的互感器输出电压较高（一般为 100V）、电流较大（一般为 5A），抗干扰能力较强。

变频器供电试验时，干扰较大，而所用的有源传感器如霍尔传感器等输出电压较低（一般在 ±15V 以内）、电流较小（一般小于 500mA），在电机试验现场的长距离传输中，抗干扰能力较差，现场干扰对测试精度的影响不容忽视。

#### 6. 结语

测试设备标称的精度指标，往往只在特定条件下成立，当量程、频率、相位等条件变化后，其精度指标也会随之变化。变频调速技术进入电机试验后，对电机试验测试提出了更高的要求，只有正确、深入的理解国家标准的要求，根据电机试验的测试要求，选择正确的测试设备和测试方法，并合理配置量程，才能保证试验结果的准确性和可重复性。

#### 【参考文献】

金惟伟，严伟灿、王荷芬等.《变频器供电三相笼型感应电动机试验方法》.中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.2008

金惟伟，李宝金，陈伟华等《GB1032-2005 三相异步电动机试验方法》中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.2005

李益丰、钟幼康、成熹《电力牵引轨道机车车辆和公路车辆用旋转电机-第 2 部分：电子变流器供电的交流电动机》中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.2008