异步电动机额定电压点附近铁损耗的曲线拟合

郑首印[1],白连平[1],张巧杰[1],任永祥[2],郑应伟[2]

1. 北京信息科技大学，北京　100192；2. 华北油田管理局节能监测站，河北 任丘　062550

摘要　电压的波动对电动机铁损耗影响较大。国标 GB/T 1032—2005 中给出电动机铁损耗与电压平方比成正比的关系，实验结果表明其误差较大。本文对此做了大量的实验，在额定电压附近利用实测数据对铁损耗与电压的关系进行曲线拟合，得到了一种误差较小的测试铁损耗的方法。

关键词：三相异步电动机；电动机铁损耗；电压波动；铁损耗分析

The Iron Loss of Curve Fitting in the Vicinity of the Rated Voltage of Asynchronous Motor

Zheng Shouyin[1],Bai Lianping[1],Zhang Qiaojie[1],Ren Yongxiang[2],Zheng Yingwei[2]

1. School of Automation, Beijing Information Science and Technology University, Beijing 100192; 2. Administration of north China, Huabei Oilfield Energy-saving Monitoring Station, Renqiu, Hebei　062550

Abstract　Voltage fluctuations impact on motor iron loss is larger. The relationship given in GB/T 1032-2005 is that iron loss is proportional to the square voltage ratio. But the experimental results show that the error is bigger. This paper does a lot of experiments on that. In the vicinity of the rated voltage, use the measured data to do the iron loss and voltage curve fitting, and then getting a kind of method to test the iron loss of smaller error.

Key words：three-phase induction motor; motor iron loss; voltage fluctuation; iron loss analysis

电动机的效率是衡量电动机节能效果的最直观标准。电动机效率越低其能源浪费就越严重。电动机铁损耗作为电机五大损耗之一，铁损耗偏高会造成定子温度升高和电动机效率下降，因此准确测量铁损耗对分析电动机效率有很重要的参考依据。电动机铁损耗对电压波动特别敏感。在测试电动机参数时，电压的波动会对电动机铁损耗造成较大的影响。国标 GB/T 1032—2005 中给出铁损耗与电压平方成正比关系的定义。但经过多组实验数据表明其误差较大，因此在额定电压附近利用实测数据对铁损耗与电压的关系进行曲线拟合很有必要。

1　国标值与实测值的误差

1.1　测试方法

根据文献[1]中铁损耗 P_{Fe} 和风摩耗 P_{fw} 的确定，空载输入功率 P_0 是电动机空载运行时的总损耗。由 P_0 减去测试温度下的定子绕组 I^2R 损耗，得到铁耗 P_{Fe} 和风摩耗 P_{fw} 之和 P'_0。

$$P'_0=P_{Fe}+P_{fw} \quad (1)$$

$$P'_0=P_0-P_{0cu1} \quad (2)$$

$$P_{0cu1}=1.5I_0^2R_0 \quad (3)$$

式中，P_0、I_0、R_0 都是测试数据。P_0 为空载输入功率，单位为瓦特（W）；I_0 为空载电流，电流为安培（A）；R_0 为空载试验温度下端电阻的平均值，单位为欧姆（Ω）。

根据文献[2]中风摩耗（机械损耗）的测试方法，测试出电动机的风摩耗 P_{fw}，然后根据式（1）可求出电动机的铁损耗。

在测试的时候发现电网的电压波动会影响电动机的测试参数值。所以本文测试中，通过三相调压器来使电网与电动机相连，电动机输入电压一直稳定在其额定电压，误差不超过 ±0.5V。本文测试中采用 HIOKI3169-20 电能质量分析仪来测量电动机的 P_0、I_0、U_0 等参数。在测试时要注意，电动机空载试验在负载试验后进行，以确定电动机定子绕组在工作温度下的阻值。空载试验后，立即用双臂直流电桥来测取定子绕组端电阻的平均值，将此电阻作为每个电压点出的电阻值。分别对 3 台相同型号（Y100L2-4）的三相异步电动机进行了上述试验。各组数据在经过重复性测试后的结果都保持不变，

作者简介：郑首印（1989-），男，北京信息科技大学在读硕士研究生，研究方向电机测试技术　。

为后续理论分析提供了很重要的数据支持。

1.2 测试结果（见表 1、表 2、表 3）

表 1 1 号电机（R_0=3.827Ω）

参数电压/V	P_0/W	U_0/V	I_0/A	P_{Fe} 实测值	P_{Fe} 国标值
210	196.0	209.92	2.952	133.48	137.75
215	210.9	215.37	3.116	142.67	144.39
220	225.7	220.22	3.287	151.18	151.18
225	244.0	225.42	3.479	162.03	158.13
230	263.0	229.90	3.670	173.19	165.24

表 2 2 号电机（R_0=3.867 Ω）

参数电压/V	P_0/W	U_0/V	I_0/A	P_{Fe} 实测值	P_{Fe} 国标值
210	203.3	210.19	2.927	135.60	140.68
215	217.3	215.24	3.079	144.32	147.46
220	233.7	220.07	3.251	154.40	154.40
225	249.6	224.98	3.426	163.52	161.50
230	270.0	230.04	3.630	175.57	168.76

表 3 3 号电机（R_0=3.863Ω）

参数电压/V	P_0/W	U_0/V	I_0/A	P_{Fe} 实测值	P_{Fe} 国标值
210	214.3	210.23	2.863	145.60	150.19
215	228.3	215.16	3.011	154.56	157.42
220	244.3	220.21	3.171	164.83	164.83
225	259.9	224.78	3.338	174.13	172.41
230	280.3	229.82	3.539	186.52	180.16

1.3 误差分析

在电动机的设计中是根据磁化曲线来设计电机，在饱和点附近发现铁耗近似地与磁密平方成正比变化。

铁心磁滞损耗 $P_h \propto B_m^{\alpha}$

式中，B_m 为磁感应强度的最大值；α为指数。

当 $0.1<B_m<1$T 时，$\alpha=1.6$；

当 $1<B_m<1.6$T 时，$\alpha\approx2$。

铁心涡流损耗 $P_e \propto B_m^2$ 因而可以近似认为铁损 $P_{Fe} \propto B_m^2$。磁感应强度 B_m 又近似正比于外施电压 U_0。因而 P_{Fe} 近似与 U_0^2 成正比。但是实际空载时电机的基波、谐波杂散耗包括在铁损耗中。所以理论值与实际测量值有误差。

2 曲线拟合

所谓曲线拟合是指设法找出某条光滑的曲线，它能最佳地拟合数据。在曲线拟合时，并不要求拟合曲线一定要经过每一个数据点。其思想是使它能反映这些离散数据的变化趋势，使数据点的误差平方和最小。

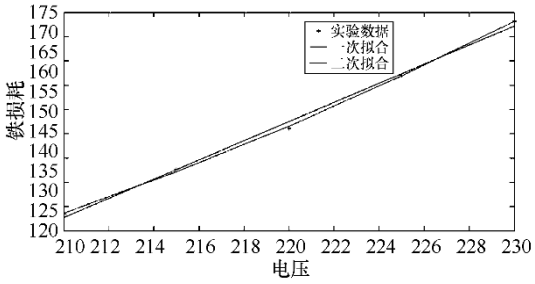


图 1 1 号电机一次和二次拟合曲线

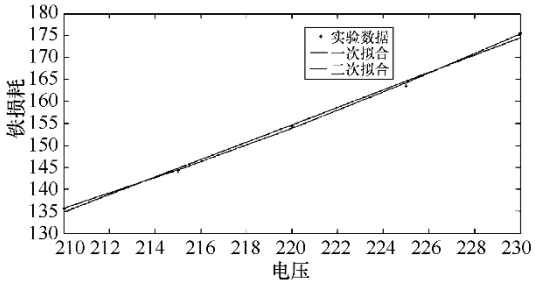


图 2 2 号电机一次和二次拟合曲线

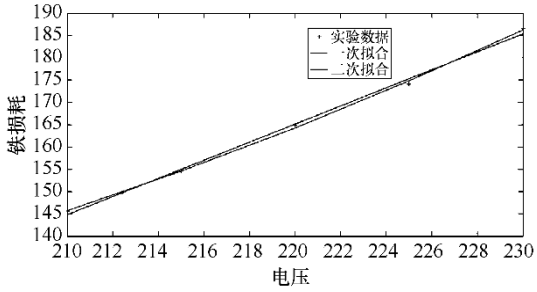


图 3 3 号电机一次和二次拟合曲线

3 结果验证

通过曲线拟合的方法能得到每个电机的曲线方程，重复本文 1.1 节中所列测试方法，在电动机额定电压附近任意选取电压，记录测试的铁损耗实际值。然后用该电压值带入拟合曲线方程和国标中给出的铁损耗与电压比成正比的计算结果分别与测试的实际值做比较，可以得出由曲线拟合方程求出的铁损耗误差较小。

1）1 号电机

二次曲线方程 $y=0.0179X^2-5.9193X+585.4151$

2）2 号电机

二次曲线方程 $y=0.0163X^2-5.2085X+508.7331$

3）3 号电机

二次曲线方程 $y=0.0168X^2-5.3764X+532.5854$

限于篇幅列举出 1 号电机各个电压下的参数来

分别比较曲线拟合与实测值、国标值与实测值的误差，见表 4。

表 4

电压/V	铁损耗测试值/W	铁损耗国标值/W	曲线计算值/W	国标误差/%	曲线误差/%
190.31	107.78	112.91	107.21	4.76	–0.52
194.6	112.41	118.05	111.38	5.02	–0.92
198.21	116.59	122.47	115.39	5.04	–1.03
202.34	121.60	127.63	120.56	4.96	–0.86
208.5	129.31	135.52	129.39	4.80	0.07
209.92	133.48	137.75	131.62	3.20	–1.39
212.92	136.80	141.33	136.57	3.31	–0.16
215.37	142.67	144.39	140.85	1.21	–1.27
220.22	151.18	150.9	149.53	–0.19	–1.09
222.94	154.95	154.94	155.44	–0.005	0.315
225.42	162.03	158.13	160.66	–2.40	–0.84
228.3	167.20	162.48	167.00	–2.82	–0.12
230.36	172.51	165.43	171.72	–4.10	–0.45
234.53	184.13	171.47	181.74	–6.87	–1.30
237.84	193.91	176.34	190.13	-9.06	–1.95

4 结论

本文通过大量实际测试得出的铁损耗值出发，提出了曲线拟合的思路，并对曲线拟合得出的方程进行验证。结果表明拟合曲线方程计算误差远小于文献[1]提出的铁损耗与电压平方比成正比的关系。本文的拟合曲线方程只能对一种类型的电动机来使用，有一定的局限性。但在分析电动机运行状态下要准确测试电动机铁损耗情况下有一定的实用依据。

参考文献

[1] GB/T 1032—2005. 三相异步电动机试验方法 [S]. 2005.

[2] 白连平，朱涛，王林，等. 电机机械损耗的对拖试验方法研究 [J]. 电机技术, 2008(5): 53-55.

[3] 李晓竹，矫树人. 异步电动机损耗的确定 [J]. 中小型电机, 1997, 24(6): 40-41.

[4] 应崇实. 电机及拖动基础 [M]. 北京：机械工业出版社, 31989.