

感应电机转子断条位置影响分析

马宏忠¹,王惠庆¹,胡虔生²,黄允凯²

(1.河海大学电气工程学院,江苏 南京 210098 ;2.东南大学电气工程系,江苏 南京 210096)

摘要 对感应电机转子断条的位置及其影响进行研究,分析电机转子断条位置与定子电流中转子绕组故障特征量之间的关系,转子断条位置与转子导条电流、转子端环电流之间的关系,并总结出其规律性,揭示了过去人们试图把定子电流中故障特征量的大小作为电机转子断条根数多少的判据的局限性,提出了把断条引起电机的不对称性作为电机故障程度判据的新的理论.

关键词 感应电机;转子;断条位置;不对称性

中图分类号:TM307 文献标识码:A 文章编号:1000-198X(2003)06-0690-04

文献 [1] 介绍了感应电机转子绕组故障的分析方法,并根据这一方法对电机转子断条根数及其影响进行分析,揭示了转子断条后,转子电流分布变化情况以及定子绕组中故障特征量与转子连续断条根数的关系,并进一步分析断条位置对电机运行所产生的影响.

过去人们往往把定子电流中频率为 $(1-2s)f_1$ 的分量作为转子绕组故障的最重要的判据(s 为转差率; f_1 为基波频率),并把这一分量的大小作为转子断条根数多少的判断标准^[2,3],这是很不完善的,甚至可以说以定子电流中频率为 $(1-2s)f_1$ 的分量大小来判断转子断条根数多少是不现实的.实际上,断条位置对电机运行影响很大,过去并没有被人们认识.同一台电机断条根数相同,但当断条位置不相同,对电机各参数的影响不尽相同,特别是对定子电流中的转子断条故障特征频率分量的大小来说,断条位置的影响往往比断条根数的影响更大.对已存在断条故障的电机,某些位置的导条进一步断裂,电机的不对称性增加,对电机运行的影响加大,定子电流中的故障特征量也增大;但在另一些位置的导条进一步断裂,电机的不对称性反而减小,对电机运行的影响减轻,定子电流中的故障特征量也减小.

1 转子断条位置与故障特征电流的关系

1.1 一根断条位置

由于感应电机转子本身是圆周对称的,所谓第几根导条仅是人为任意设定的编号.实际上如果只断一根导条,不论在哪一根应是等价的,即其影响是相同的.对 Y90S—4 异步电机仿真计算表明,在电机不同位置发生一根断条故障时,故障特征量基本不变(在 1.448 6 左右).

1.2 两根断条之间的相对位置与故障特征量的关系

当电机转子两根导条断裂时,其相互位置对电机影响很大,发生第 2 根断条时,有的位置反而会使不对称程度减轻,从而使定子电流中的故障特征量减小.图 1 表示两根断条间的相对位置与故障特征量的关系,其中第一根断条假定恒为第一根转子导条,第 2 根断条在转

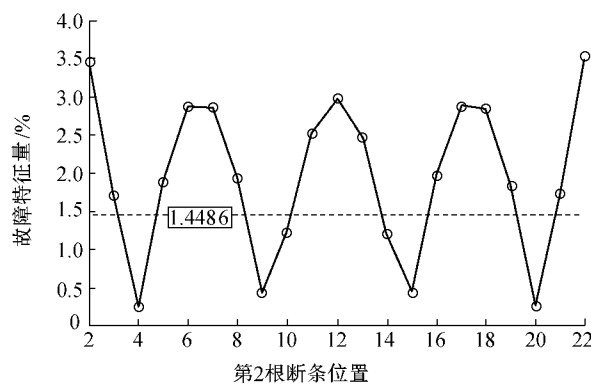


图 1 两根断条间相互位置
与断条故障特征量的关系

Fig.1 Relationship between relative position of two broken-bars and fault characteristic values

子的第 2 根到第 Q_2 根导条之间变化(Q_2 为转子导条数, Y90S—4 电机 Q_2 为 22). 从图可以看出 (a) 第 2 根断条的位置对故障特征量影响相当大, 同样是两根断条, 故障特征量的最大值(3.533%)是最小值(0.2415%)的 14.6 倍. (b) 两根断条相邻时, 故障特征量最大, 随两断条间距离增加, 故障特征量减小, 第 2 根断条在第 4 号导条或第 20 号导条时, 故障特征量最小. 两根断条间距离继续增加, 故障特征量又逐步增大, 且近似呈周期性变化, 周期为每极的转子导条数. (c) 发生第 2 根断条时, 从整体平均值看, 断两根时为 1.9636% (而断 1 根导条时为 1.4486%), 即断两根的故障特征量平均值为断 1 根的 1.355 倍.

从故障特征量产生的原因可知, 故障特征量增大说明电机的不对称严重, 显然两根断裂导条相邻时, 引起转子电流不对称性最大, 所以故障特征量最大, 故障特征量减小是由于第 2 根断条所在的位置使原 1 根断条时电机不对称性减轻所致.

1.3 多根断条间的相对位置与故障特征量的关系

当电机存在多根断条时, 可能性的组合较多, 先以 3 根断条为例, 取两种较典型的情况讨论. 一种情况是两根断条中故障特征量最大的情况. 从图 1 可见, 第 1、2 根断条连续时故障特征量最大(本文称“坏位置”). 仿真计算可见, 这时如果 3 根断条相邻, 故障特征量最大(5.7798%). 第 3 根断条位置变化时, 故障特征量的大小也随之变化, 仍有一定的周期性, 周期仍为每极的转子导条数.

另一种情况是第 1、2 根断条在两根断条中故障特征量最小的位置(本文称“好位置”, 如图 1 中的 4 或 20 根断条位置). 这时电机的不对称性最小, 第 3 根断条, 不论发生在什么位置, 总使电机的不对称性加大, 所以故障特征量一定增大, 而又不会大于两根连续断条的情况.

据此可以分析其它多根断条情况: 如果多根断条之间相邻(但连续断条根数小于每极导条数 Z_p) 或相距每极导条数 Z_p , 则随断条数增加, 电机磁场的不对称越趋于严重, 定子电流中的故障特征量一定增加, 图 2 (a) 为第 4、5、6、10、11、12、16 共 7 根断条时, 故障特征量与断条根数变化关系的仿真值. 如果多根断条之间总是相距“每极导条数的一半”, 则断条数增加, 故障特征量有增有减, 且增减相间. 图 2 (b) 为第 1、4、7、10、13、16、19 共 7 根断条时, 故障特征量随断条根数变化的情况, 可以看出 7 根断条引起的故障特征量比一根断条时还小. 图中第 19 根导条断裂后没有服从增减相间, 是因为“每极导条数的一半”为 2.75, 这里近似取 3 引起的.

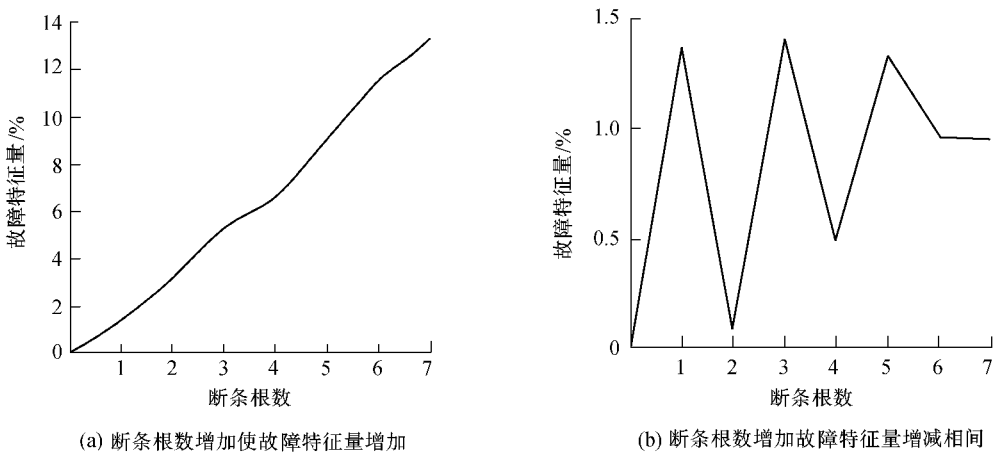


图 2 断条位置与故障特征量的关系
Fig.2 Relationship between position of broken-bar and fault characteristic value

2 转子断条位置与转子电流的关系

图 3 (a)(b) 分别表示第 1、4、7、10、13、16、19 根导条断裂和第 4、5、6、10、11、12、16 根导条断裂时的转子导条电流的大小, 图 4 (a)(b) 分别表示第 1、4、7、10、13、16、19 根导条断裂和第 4、5、6、10、11、12、16 根导条断裂时的转子端环电流的大小. 可以看出, 图 3 (a) 和图 4 (a) 中, 虽然转子导条有 7 根断裂, 但转子电流仍基本对称, 这样转子绕组磁动势基本对称, 而定子绕组磁动势和转子磁动势相平衡, 定子磁动势中 $(1-2s)f_1$ 分量很小, 从而, 定子电流中故障特征量很小. 图 3 (b) 和图 4 (b) 中, 也是 7 根断条, 但转子导条电流与端环电流均严

重不对称,导致定子磁动势中 $(1-2s)f_1$ 分量较大,从而,定子电流中故障特征量较大.

在图 3(a)中,除断裂的导条中电流为零外,非断裂导条中的电流相差不大,且很有规律(对称);而图 3(b)中,非断裂导条中的电流明显相差很大,各导条电流很不对称.同样,在图 4(a)中可以看出,各段端环的电流基本对称,而图 4(b)中,各段端环的电流相差很大,特别是与断裂导条不直接相连的端环,其电流相差更大.

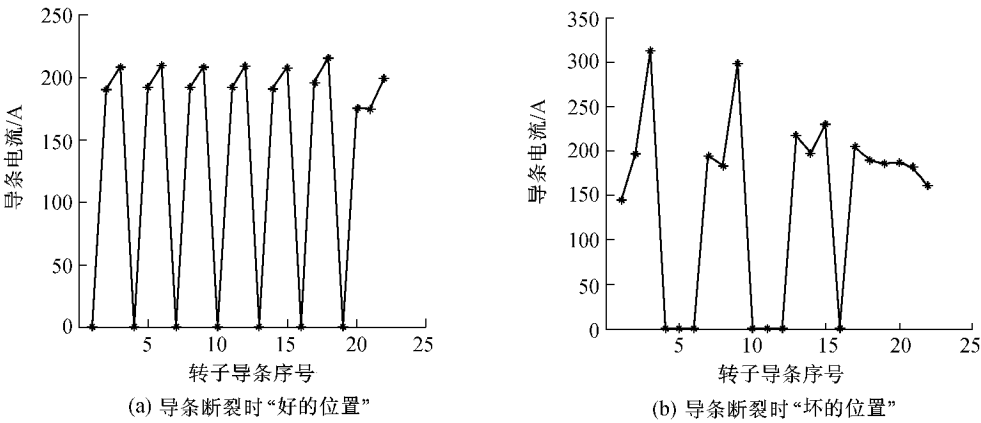


图 3 断条位置与转子导条电流的关系

Fig.3 Relationship between position of broken-bar and current through rotor bar

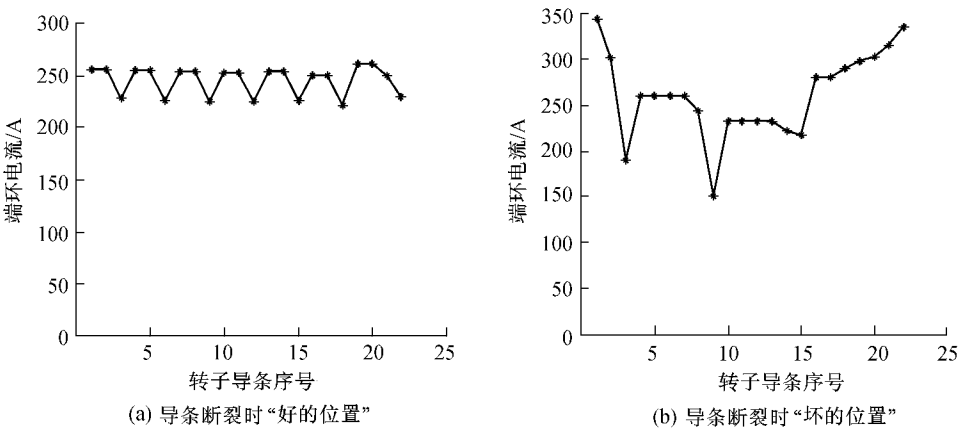


图 4 断条位置与转子端环电流的关系

Fig.4 Relationship between position of broken-bar and current through end ring

3 实测数据分析

在东南大学电机实验室对 Y90S-4 小型感应电机进行实测.测试过程中电压为额定电压(380 V),以磁滞测功机给电机作负载,调节负载的大小,使电机电流在额定电流附近,以光电转速表测电机的转速以供检验.测试分 1 根转子导条断裂、相邻 2 根导条断裂、3 根导条断裂几种情况.其中 3 根断条是在 2 根断条(连续)电机上再钻断 1 根导条而成.如果原来 2 根断条分别记为转子的第 1、2 根导条,则第 3 根断条钻在转子的第 10 根导条上.转子断条是用电钻人为钻断的.

3.1 实测数据

电机 1 根断条时测试数据见表 1.

3.2 稳态实测数据分析

从实际测量数据可以看出 (a)连续 2 根断条时,故障特征量比 1 根断条时有显著增加,2 根断条时故障特征量是 1 根断条的 1.7145 倍.(b)当第 3 根断条发生在第 10 根导条时,电机的不对称性反而减小,所以故障特征量比连续 2 根断条时小,这与图 2 及文献 [1]中的图 4 相一致.(c)实测数据与仿真计算结果在变化规律上基本一致,说明仿真计算正确,从而说明本文分析的相关理论是正确的.

表 1 电机断条时实测数据

Table 1 Data measured at breaking of motor bars

断条根数	测量序号	转矩/(N·m)	电流/A	转速/(r·min ⁻¹)	故障特征量 <i>K</i>	<i>K</i> 平均值
1	1	6.566	2.80	1417	2.286	2.193
	2	6.370	2.70	1421	2.137	
	3	6.174	2.65	1425	2.156	
2	1	6.076	2.70	1423	3.800	3.760
	2	6.076	2.70	1422	4.005	
	3	5.733	2.40	1436	3.478	
3	1	6.468	2.70	1422	1.891	1.941
	2	6.517	2.70	1422	1.935	
	3	6.223	2.67	1424	1.990	

4 小 结

- a. 转子导条断裂的位置对电机运行影响很大. 同一台电机断条根数相同但当断条位置不相同, 对电机各参数的影响不尽相同. 特别是对定子电流中的转子断条故障特征频率分量的大小来说, 断条位置的影响往往比断条根数的影响更大.
- b. 明确提出在哪些位置断条对电机影响最大. 在哪些位置进一步断条, 有可能使电机的不对称性减小, 对电机运行反而有利(当断条数太多会引起电机其它运行性能下降).
- c. 通过分析断条后转子导条电流和端环电流的变化规律, 可以预测哪些位置的导条(端环)进一步断裂的可能性较大.
- d. 定子电流中的故障特征量的大小不能准确地判断电机转子断条多少, 但可以用于判断电机转子绕组故障引起电机不对称的程度. 转子不对称的程度反映电机转子绕组故障严重性.

参考文献：

[1] 马宏忠, 胡虔生, 黄允凯 等. 感应电机转子断条根数影响分析[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2003 (5) : 573—576.

[2] KLIMAN G B. Methods of motor current signature analysis[J]. Electric Machine & Power Systems , 1992 20(5) : 463—474.

[3] FILIPPETTI F, FRANCESCHINI G, TASSONI C. Neural networks aided on-line diagnostics of induction motor rotor fault[J]. IEEE Trans on Ind Appl , 1995 31(4) : 892—899.

[4] 马宏忠. 大型交流电机故障分析与诊断系统的研究[D]. 南京 : 东南大学 , 2001.

Influences of position of broken rotor bars of induction motors

MA Hong-zhong¹ , WANG Hui-qing¹ , HU Yu-sheng² , HUANG Yun-kai²

(1. College of Electrical Engineering , Hohai Univ. , Nanjing 210098 , China ;
2. Department of Electrical Engineering , Southeast Univ. , Nanjing 210096 , China)

Abstract : A study is made on the position of broken rotor bars of induction motors and its influences. By analysis of the relationships between the position of broken rotor bars , fault characteristic value of rotor winding in stator current , and currents through rotor bars and end rings , the limitations are revealed for determination of the number of broken bars only based on the fault characteristic value of stator current. Finally , a new theory is proposed , in which the asymmetry of the motor induced by broken bars is taken as the criterion for determination of the degree of motor faults.

Key words : induction motor ; rotor ; position of broken bars ; asymmetry