

大中型船用电机轴电压测定方法的研究

游哲锐

(中国船级社上海分社, 上海 200135)

摘要: 轴电压对电机轴承的破坏, 引起了国内外许多电蚀事故, 并造成船舶严重的设备损伤和船东的经济损失。通过研究不同参数类型船用电机的轴电压问题, 介绍了轴电压产生原因、测量方法, 实测装配不同类型轴承电机的轴电压, 并提供了预防轴电压的实用方法。这有利于减少和避免轴电压产生所带来的机损危害。

关键词: 船用电机; 轴电压; 产生原因; 测量方法; 机海损危害

中图分类号: TM 306 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-6540(2018)05-0111-04

Research on Shaft Voltage Measurement Method of Large and Medium-Sized Marine Motor

YOU Zherui

(China Classification Society Shanghai Branch, Shanghai 200135, China)

Abstract: The damage of shaft voltage to motor bearing had caused many electrical erosion accidents at home and abroad, and caused serious equipment damage and economic loss of ship owners. Through the research of shaft voltage problem of marine motor with different parameter types, the causing reason and the method of shaft voltage test were introduced, the shaft voltage of different type bearing motor were measured, a practical method for preventing shaft voltage was given. It could reduce and avoid the navigation damage caused by the shaft voltage.

Key words: marine electric motors; shaft voltage; causing reason; test method; navigation damage

0 引言

处于正常工作状态下的船用电机, 主轴两端所产生的电势差, 即为轴电压。电机在选型设计、制造工艺或者运行中发生故障时, 出现轴电压偏高的概率极高。

美国国标 AGMA (110.04) 和我国国家标准 (GB/T 3481—1997) 引用 ISO (10825—1995), 将该现象概念定义为 Electric Erosion, 俗称电蚀。在国家标准《齿轮轮齿磨损和损伤术语》^[1] 第 2.5 条中指出: 由于齿轮啮合齿面间放射出的电弧或电火花的作用在齿轮齿面上形成的许多边缘光滑的小弧坑。齿面有时出现较大面积灼伤, 其边缘呈现出回火色。如图 1 所示, 表面灼伤处明显, 呈现凹坑和疤状损伤带。图 2 所示为轴瓦边沿附近呈现的回火色。



图 1 疤状损伤

1 轴电压产生的原因

1.1 不平衡磁场分布, 主轴周围存在交叉磁场

三相异步电机在正弦变化的电压下运行时, 转子位于交替变换的正弦磁场中。当电动机的定子铁心圆周方向上的磁阻发生不平衡时, 便产生与轴相交连的交变磁通, 从而产生交变电势, 当电机转动即磁极旋转, 通过各磁极的磁通发生了变

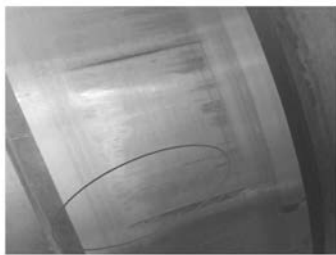


图2 边缘回火色

化,在轴的两端感应出轴电压,产生了与轴相交连的磁通^[2]。周围磁场分布不均匀,有如下原因:

- (1) 个别嵌线槽中线圈数不均或导体数量不对。
- (2) 制造过程中转子同心度不达标,使得定、转子之间气隙排布不均匀。
- (3) 选型和设计制造方面的原因。在选型设计时,扇形片数的选取与电动机极对数关系不准确,或者在制造过程中由于冲装叠片和压片的因素,导致出现磁阻散布不均,在电机主轴的周围出现有反复切割的交变磁场,主轴两端轴电压应运而生。

(4) 原材料方面的问题。铁心材料是关注的重点,有些材料质地较差,有些材料材质不均,都容易导致磁路处在的区域磁通密度分布不均,从而使磁阻不均。

1.2 逆变供电导致

供电方式如采用逆变方式供电,高次谐波分量分布于供电电压中,在定子线圈端部、出线处以及电机主轴之间产生轴电压。

1.3 静电荷及静电感应

在电机运行现场,高压设备强电场的作用,在转轴的两端感应出轴电压;电动机在运行过程中,负载方面的流体与转体运行摩擦而在旋转体上产生静电荷,电荷逐渐积累便产生轴电压^[2]。

1.4 外部介入原因

当设备正常工作时或处于试验阶段时,现场处理接线较为复杂,特别是大中型电机监测报警以及测量控制元件接线繁多,如果有1根或以上通电线缆与转轴直接或间接接触,将导致轴电压的产生。

1.5 转子绕组接地故障

在转子绕组发生接地时,若转轴无绝缘,则构成回路,产生接地电流^[2]。

2 轴电压产生的危害

轴电压主要产生于电机主轴的驱动和非驱动端、轴与轴承对地之间,以及主轴与轴承之间。轴承耐压范围因轴承种类以及材质的不同有较大的差异,如果超过其本身的耐受限度,将产生电蚀,此时轴瓦以及轴承表面会带有点状微孔且出现发黑于底部。如果该现象严重或在产生该情况下未及时处理,将导致主轴和轴承损坏。

3 规范标准对轴电压的要求

目前,IEC 60034-2 和 GB/T 1032—2012 中对轴电压的验证均有试验要求。在船舶领域使用的电机,GB/T 7060《船用旋转电机基本技术要求》^[3]中规定,如有必要,船用电机应采取防止轴与轴承之间产生环流的措施,轴电压限制由具体产品标准规定。中国船级社《钢质海船入级规范》^[4]第4篇第3章第2节,对船用旋转电机的一般要求中规定,电机应有防止轴电压有害影响的措施。

4 轴电压测量

4.1 测量方法

测量轴电压前应检查轴承座的绝缘,以确保轴承座绝缘良好,在电机额定电压、额定频率下空载运行,用高内阻毫伏表检测主轴两端所产生的电压值;再次检测,轴与轴承座均未做绝缘处理,相同的在电机处于额定频率、额定电压的状态下空载运转,将主轴其中一端接地,即可测出轴承座与主轴另一端之间的电压值;第3次测量是在额定电流、额定频率、额定负载下运行,测量轴承座与接地点的电位差(轴承座与接地点有绝缘处理)。

4.2 试验测量

为了找出试验测量轴电压的最佳方案,对部分电机用示波器对轴电压的波形采样,并对采样结果进行分析,找出合适的测量办法。示波器采样速率调至最大1 ms/s,此时采样间隔0.001 ms,以足够反映轴电压的实际波形。为了使示波器中显示的波形图更加直观和精确,在未开启滤波条件下,示波器采用直流耦合模式。检测结果如图3所示。

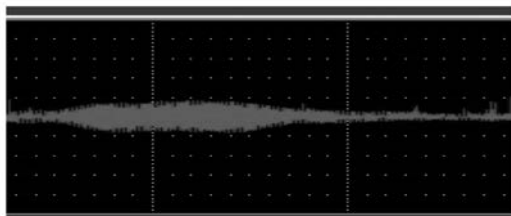


图3 电机 A 轴电压波形

图3中,电机A的波形,电机类型笼型三相异步电动机、定子额定电压6 000 V、频率50 Hz、同步转速1 000 r/min、轴电压波形频率50 Hz、峰值最大1.8 V、有效值0.8 V、轴承形式为端盖式滚动轴承,在轴承与机座间增加绝缘。观察波形,发现波形与标准正弦波相差较大。

选择电机B进行试验,电机类型同样为笼型三相异步电动机、定子额定电压10 000 V、频率50 Hz、同步转速750 r/min、轴承形式为端盖式滑动轴承,轴瓦与轴承座之间进行绝缘处理,测量结果如图4所示。

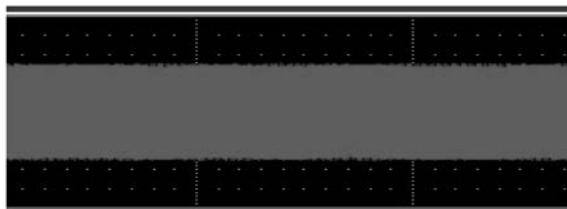


图4 电机 B 轴电压波形

轴电压频率150 Hz、电压峰峰值12 V、有效值4.2 V,观察该电机波形,与标准正弦波相差无几。

按照上文的说明,轴电压产生的原因极其复杂,并且受供电电源影响,3、5次谐波分量大至几十V,并非全数的轴电压都是标准的正弦波,为了准确地测出轴电压的值,应尽可能使用高内阻的示波器对轴电压进行采样测试,分析出试验结果;如不具备试验基础,可采取高内阻的交流电压表测算电机轴电压有效值,如果测量时该值较大,应换成使用高内阻示波器对轴电压数据采样,以得到正确的试验结果。

此外,在轴电压测试过程中需注意:(1)示波器的测量引线应采用低阻抗的屏蔽导线,以减少电磁干扰避免对测量结果产生影响;(2)测量设

备以及被测试对象导线,尽量远离其余处于通电状态中的导线,如励磁机外部输电线;(3)周围应确认没有放置通电设备或可能干扰试验结果的设备;(4)由于共模电压的存在,轴电压的测量是为反映电机本身的问题,所以变频供电的试验站不宜作为电机轴电压测量的试验地点。

5 轴电压的预防措施

预防轴电压的产生,主要可从以下方面采取措施:一是降低轴电压,可以通过改进设计、加强工艺水平同时采用质量较好的硅钢片的办法降低电机本身的磁路不平衡来达到降低轴电压的目的。然而,电机生产制造工业发展至今,在设计制造上的改进空间有限。随着逆变器的广泛应用,交流电机的调速性能大大提升,逆变器本身的高次谐波及共模电压也无法避免,选用性能更佳的逆变器能改善轴电压的产生,但可改善的空间并不大。本文主要从提高回路电阻、降低轴电流的角度提出一些改进措施建议。

5.1 主轴的一端设置接地电刷

确保主轴中的电位处于零状态,使轴上的静电荷流向接地端,增加电刷以实现接地,且保证其可靠性,另一端与主轴良好接触,以达到轴电压消除的目的。选用的接地线,其截面积应尽可能大,避免出现电流过大而烧坏接地线。

5.2 增加绝缘良好的支架、轴承座等附件

(1)轴承处进行绝缘处理。在轴承与轴承座间粘附良好的绝缘层,所选材料电气性能与机械性能应俱佳,机械强度高、摩擦系数低,具备一定程度的抵抗压缩变形能力,且具有有效的抗腐蚀、耐高温、耐热油。如果选用的绝缘材料不适用,则容易造成电机运行损伤以及带来振动、机械老化等问题。

(2)增加轴承支架或轴承外盖与基底之间的绝缘。采用轴承外盖外套绝缘的措施使轴承外盖与基底绝缘;更换为绝缘材料制作的密封环(油封环);用带有绝缘的螺栓替换现有的固定螺栓;电机所选用的轴承温度传感器应增加绝缘保护材料,或另行增加绝缘防护措施,从而使主轴与电机之间绝缘性能良好。

5.3 电机设备保养维护时的绝缘检查

对船用电机运行保养和设备维护时,要经常

检查轴承座和轴的绝缘强度,用绝缘电阻表测量,绝缘电阻值应满足标准要求。轴承座及其附属的金属部件必须确认对地绝缘性能良好,轴承座与温度测量元件之间的绝缘也应确认其可靠有效。

5.4 保证润滑绝缘油纯度可靠

主轴与轴瓦之间,如发现润滑油中含水或附着具有导电性能的杂质,必须及时有效地处理,以确保油膜产生的绝缘强度符合要求,防止绝缘降低导致形成轴电压。

6 结 语

大中型船用电机运行时产生的轴电压有各种频率与成分的叠加,谐波分量异常复杂,不同的原因所导致引起的轴电压,其数值都不相同。电机

(上接第 98 页)

5 试验数据及结果

该电动机于 2017 年 7 月试制完毕,参数如

表 5 电动机参数

参数名称	设计值	试验值	参数名称	设计值	试验值
额定功率/kW	7 200	7 200	铁耗/kW	61.6	57.350
额定电压/kV	10	10	定子铜耗/kW	26.53	24.957
定子绕组电阻/ Ω	0.035 95(75 $^{\circ}\text{C}$)	0.037 122(95 $^{\circ}\text{C}$)	转子铜耗/kW	29.84	30.417
转子绕组电阻/ Ω	0.009 68(75 $^{\circ}\text{C}$)	0.009 309(95 $^{\circ}\text{C}$)	杂散损耗/kW	36	42.273
空载电流/A	160.7	133.33	效率/%	97.31	97.14
转子电流/A	1 806	—	转差率/%	0.41	0.415
转子电压/V	2 402	2 440	功率因数	0.861	0.894
定子绕组温升/K	—	70.2	最大转矩/倍	2.39	2.8
转子绕组温升/K	—	81.6	振动位移/ μm	—	23.3
前轴承温度/ $^{\circ}\text{C}$	—	69.2	振动加速度/ $(\text{m}\cdot\text{s}^{-2})$	—	1.8
后轴承温度/ $^{\circ}\text{C}$	—	61	振动速度/ $(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$	—	2.0
集电环温升/K	—	71	噪声/dB	—	101.9
机械损耗/kW	45.01	56.644			

6 结 语

任何疏忽都将影响电机安全稳定运行。根据实际工厂的试验数据结果及规程规范的要求进行了设计制造,最终满足工程的实际需要,保证了电动机的安全稳定运行。

该电动机的试制成功,将为兰州电机股份有限公司大功率空空冷绕线型异步电动机的制造和设计积累经验,使该公司绕线型异步电动机制造设计、水平上一个新台阶。

轴电压在处于非正常状态下,幅值可能达到几百 V 或更高,每种情况所对应的预防和治理措施也不尽相同。在实际运行使用中,应及时对轴电压进行监测,做好预防工作,避免产生损失。

【参考文献】

- [1] 齿轮轮齿磨损和损伤术语:GB/T 3481—1997[S].
- [2] 张业鹏.大型异步电动机轴电流的分析及防范[J].大氮肥,2008,31(5): 357.
- [3] 船用旋转电机基本技术要求:GB/T 7060—2008[S].
- [4] 中国船级社.钢质海船入级规范[M].北京:人民交通出版社,2015.

收稿日期:2017-09-27

表 5 所示。通过试验,电动机的主要指标满足技术条件和用户的要求。

【参考文献】

- [1] 汤蕴珍,史乃.电机学[M].北京:机械工业出版社,2011.
- [2] 陈世坤.电机设计[M].北京:机械工业出版社,2000.
- [3] 纳霍德金.牵引电机设计[M].李忠武,译.北京:中国铁道出版社,1983.
- [4] 钱伟长.电机设计强度计算的理论基础[M].合肥:安徽科学技术出版社,1992.

收稿日期:2017-12-12