

# 变频电机轴电流分析及对策

高峰<sup>1</sup> 吴亚旗<sup>2</sup>

宝山钢铁有限公司(201900)

上海海鹰机电检测设备厂(200331)

## Analysis on the Shaft-current of Frequency-control Motors and Its Solution

Gao Feng Wu Yaqi

Bao Steel Co. Ltd.

Shanghai Sea Eagle Electromechanical Test Equipment Factory

**摘要:** 阐述变频电机轴电压(流)产生机理及危害,介绍了实际应用中轴电压(流)限值和轴电流导致轴承失效的先期检测分析方法,并从电机本身角度出发介绍了防止变频电动机轴电流危害的措施。

**关键词:** 变频电机 轴电流 轴承 绝缘

**Abstract:** The cause and harmfulness of the shaft-current of the frequency-control motors are described, the maximum value of the shaft-current is introduced in the practice and predicated inspecting and estimating method preventing the bearing from being damaged is presented as well. The means to protect from motors' damages taken place by the shaft-current is demonstrated at last in the paper.

**Keywords:** Frequency-control machine Shaft-current Bearing Insulation

随着交流调速技术发展日新月异,交流变频电机的应用越来越广泛。但与此同时变频电机轴电流导致轴承异常损坏的问题也日益突现。宝钢分公司在实际生产过程中也发生了大量变频电机轴承异常损坏的问题。这些情况的发生,直接导致设备故障,造成巨大损失。

## 1 变频电机轴电流产生原因及危害

电动机运行时,转轴两端之间或轴与轴承之间产生的电位差叫做轴电压,若轴两端通过电机

机座等构成回路,则轴电压形成了轴电流。轴电压是伴随着旋转电机的产生就存在的。一般工频电机轴电压产生的原因主要是磁路不平衡、单极效应、静电感应、电容电流等原因造成,但这些原因归根到底还是磁通脉动造成的。且在正弦波(工频)供电的情况下,如果设计和运行条件正常的电机,转轴两端电位差很小,其危害尚不严重。

目前,广泛应用的变频电机大都采用PWM变频电源供电,这时电机的轴电压主要是由于电源三相输出电压的矢量和不为零的零序分量产生。变频器PWM脉宽调制导致调速驱动系统中高频谐波成份增多,这些谐波分量在转轴、定子绕组和电缆等部分产生电磁感应,电机内分布电容的电压耦合作用构成系统共模回路,这种共模电压以高频振荡并与转子容性耦合,产生转轴对地的脉冲电压,该电压将在系统中产生零序电流,电机轴承则是这零序回路的一部分。变频电机系统零序电流示意图见图1。

轴电流是轴电压通过电机轴、轴承、定子机座或辅助装置构成闭合回路产生的。在正常情况下,电动机的轴电压较低,轴承内的润滑油膜能起到绝缘作用,不会产生轴电流。但当轴电压较高,或电机起动瞬间油膜未稳定形成时,轴电压将使润滑油膜放电击穿形成回路产生轴电流。轴

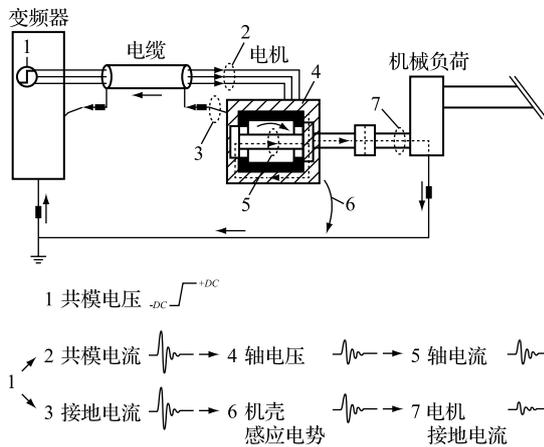


图1 变频电机系统零序电流示意图

电流局部放电能量释放产生的高温,可以融化轴承内圈、外圈或滚珠上许多微小区域,并形成凹槽,从而产生噪声、振动,若不能及时发现处理将导致轴承失效,对生产带来极大影响。变频调速系统中高频轴电流对轴承的电蚀最显著的特征是在电机轴承内外圈、滚珠上产生“搓衣板”式密密的凹槽条纹。

## 2 变频电机轴电压的限值

如前所述,几乎所有的电机运转时或多或少都会产生轴电压,电动机所容许的轴电压或轴电流的大小与轴承状况、油膜厚度、电机运行状态、安装质量、现场运行环境和轴电流流经路径的阻抗等许多因素有关。因此,轴电压的限值难以具体规定。目前,国内或IEC还没有对轴电压或轴电流限值的明确规定。只有个别厂家或研究机构对轴电压等提出一些建议规定:如西门子公司规定电机出厂空载轴电压要限制在350mV以下,如果超过该值,轴承必须绝缘。实践中,对于滚动与滑动轴承,通常可按表1所列范围适当掌握轴电压限值。

表1 轴电压对滚动轴承、滑动轴承的影响

轴电压 $U_1$ (V)	对滚动轴承的影响	对滑动轴承的影响
$U_1 < 0.3$	基本无害	无害
$U_1 > 0.5$	产生有害的轴电流	可能产生有害的轴电流
$U_1 > 1.0$		几天到一年内轴承明显损伤

我们曾对宝钢分公司某厂的一台1200kW变

频电机轴电压进行了测试。该电机轴承采取了轴承绝缘措施,但还是发生了2次因轴电流导致轴承损伤失效的故障。后来我们按国标GB1029试验方法测量该电机的轴电压,结果如表2。通过测试发现了该电机轴电压偏高及电机轴承绝缘不良的情况。

表2 某厂1200kW变频电机轴电压测试

电机状态	空载	负载
轴电压 $U_1$	630mV	2.6V
轴电压 $U_2$	154mV	520mV
备注	轴电压偏高,轴承绝缘不良	负载下,轴电压大幅提高

测试中要注意变频电机的轴电压是高频脉冲电压,普通的工频表无法准确测量,需要采用响应频率高的表。一旦发现轴电流,可以通过轴承失效分析,掌握轴承损伤发展的情况。我们对上述电机轴承进行了定期振动检测与失效分析,及时发现了轴承早期损坏迹象。根据宝钢分公司电机运行经验,在轴电流造成的电机轴承损害事例中,电机轴承从早期故障特征频率出现到电机轴承失效一般可以维持1~6个月不等时间。一般工频或直流电机从发生较大轴电流到轴承失效一般1~2月。而在PWM调制技术的交流变频调速系统中,由于轴电流能量相对较小,从轴承故障早期发现到最后损坏可以维持半年甚至更长时间。

## 3 措施和对策

轴电压是伴随设备的设计、制造、安装、运行而产生的,对于用户而言,一般无法避免。但轴电压造成损害必须具备2个条件:一是轴电压存在;二是轴承的绝缘(润滑油膜)破坏,给轴电流提供了通路,二者缺一不可。既然轴电压无法避免,那就应把重点放在轴电流的防治工作中。对于滚动轴承电机,由于油膜或润滑脂膜很薄,对轴电压的作用比较敏感,一般容量在100kW(或机座号在355)左右的电机就有必要采取措施预防轴电流。

当用变频器供电时,系统正确接地、合理选

用平波电抗器、dV/dt滤波器以及考虑变频器与电机间电缆的驻波效应,尽量缩短变频器与电动机间的电缆长度(一般推荐50m~150m,视电机容量、电压、系统设计而定)等措施都能减小轴电流。还有一种最有效最简单的办法就是对电机轴承绝缘。

以一般变频调速电机为例,轴电流是轴电压通过电机轴、轴承、定子机座或辅助装置构成闭合回路产生的电流,如图2所示。

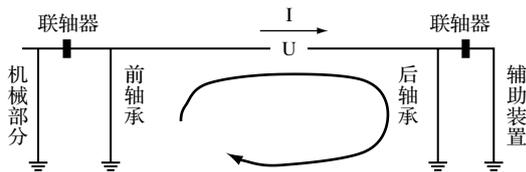


图2

电机系统可能包括4处接地点,其一为电机非负荷侧轴端安装的辅助装置如测速计、编码器;其次是电机两端轴承;再者为电机联轴器到机械设备。在电机运转情况下,当轴电压形成之后,如果轴承绝缘被破坏,在转轴与机座之间形成了通路,即两轴承间或前轴承与辅助装置间通过机座、大地构成轴电流回路,轴电流也就产生了。因此,当轴电压较高时,电机不但要一端轴承绝缘,还应特别注意电机辅助装置一定也要绝缘。

电机轴承绝缘,通常是采取非负荷侧电机轴承绝缘,电机轴承绝缘形式多样,一般有:采用绝缘轴承、电机“轴”绝缘、轴承室绝缘、电机端盖绝缘和电机轴承座绝缘,而采用绝缘轴承是最简单的方法。

目前,各轴承制造厂,绝缘轴承还只是“特需”产品,型号有很大的局限性。内径为150mm

左右的深沟球轴承就要5000~6000元,供货周期要10个月左右,价格昂贵。电机“轴”绝缘其实是电机转子轴肩与轴承内圈配合处喷涂绝缘涂层,同时轴承内圈两侧垫好绝缘纸,使得轴承与轴绝缘。这是一种较新的轴承绝缘设计,但工艺复杂、不易推广。而轴承座绝缘只适用于大型单轴轴承座式电机。因此,目前变频电机最常用的轴承绝缘方式是轴承室绝缘和端盖绝缘。这两种方法是利用轴承室与端盖结合处或端盖与机座结合处绝缘,而最终使得轴承绝缘。这类绝缘设计要特别注意结合处因脏污短路影响绝缘,以及固定螺钉和定位销钉等的套管和垫片的绝缘。

### 4 结论

随着变频调速技术的发展,变频电机轴电流问题已经不容忽视,有关这方面的研究国内外还不很成熟,也没有明确的标准来规范它。但工程中我们必须采取相应的措施来预防轴电流。在根本上无法杜绝轴电流的前提下,电机采取绝缘措施是目前最简单、有效预防轴电流的方法。此外,通过对电机轴承的定期振动检测,结合轴承失效分析,可帮助发现轴电流造成的轴承早期损坏。

### 参 考 文 献

- 1 Don Macdonald, Will Gray. PWM drive related bearing failures[J]. IEEE Industry Application Magazine, July/August 1999, 41-47.1.
- 2 Bearing Currentsin Modern AC Drive Systems. ABB Industry Oy. technical guide No.5.1999.
- 3 陈世坤. 电机设计. 机械工业出版社, 1992年.
- 4 沈标正. 电机故障诊断. 北京: 机械工业出版社, 1996年.

(收稿日期: 2007-04-13)

作者简介: 高峰,男,1974年生,1997年毕业于西安交通大学,宝钢设备部从事电机技术工作,工程师。

### 本 刊 申 明

为适应我国信息化建设的需要,扩大作者学术交流渠道,本刊已加入《中国学术期刊(光盘版)》、《中国期刊网》全文数据库和《万方数据-数字化期刊群》、《中国核心期刊(遴选)数据库》,其作者著作权使用费与本刊稿酬一次性给付。如作者不同意将文章编入上述数据库,请在来稿时声明,本刊将做适当处理。

——编辑部