

## 真空条件下有刷电机电刷磨损的研究

冯智海, 窦满锋, 师春月

(西北工业大学, 陕西西安 710072)

## Research of DC Motor Brush Abrasion in Vacuum Condition

FENG Zhi - hai, DOU Man - feng, SHI Chun - yue

(Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

**摘要:**针对真空条件下有刷直流电机电刷磨损严重的问题,分析了真空条件下影响电刷磨损的主要因素,提出真空条件下减小电刷磨损,延长电机使用寿命的改进措施。试验结果表明,文章提出的改进措施是正确、有效的。

**关键词:**电刷磨损;真空条件;直流电动机

**中图分类号:** TM33 **文献标识码:** A

**文章编号:** 1004 - 7018(2004)08 - 0017 - 02

**Abstract:** The main factors effected the brush abrasion is analyzed. The improved measure is present to reduce the abrasion and extend the operational life in vacuum and low pressure mainly against the state that the brush abrasion in vacuum and low pressure is much serious. It is tested that the method in the paper is correct and effective.

**Key words:** brush abrasion; vacuum condition; DC motor

## 1 引言

在航空航天机构驱动方面中,有刷直流电机以低成本、输出大转矩、能够频繁开关机及正反转调节方便,而得到广泛应用,特别在一些恶劣的环境中,有刷直流电机结构简单、控制方便的优势更为明显。

电刷作为直接影响电机能否正常运转及电机工作寿命直流电机的关键件<sup>[1]</sup>。其工作状况受环境影响较大,为保证电机使用稳定性及可靠性,必须对电刷的磨损进行分析。影响电刷磨损的因素很多,本文主要针对真空条件下电刷磨损较大的状况进行分析研究,真空条件下延长电刷使用寿命的改进措施;试验结果表明,本文提出的改进措施是正确、有效的。

## 2 正常大气压下影响电刷磨损量的主要因素及解决措施

电刷磨损量一般随时间正比地增大,即使同一台电机和配备的电刷进行试验,电刷的磨损量相差也较大。因此,设计电机时必须考虑影响电刷磨损的因素,才能达到所需的结果。

## 2.1 正常大气压下影响电刷磨损的因素

(1)机械因素:换向器偏心及轴承磨损等机械方面是影响电刷磨损的原因,在相同的条件下,通过试验得出,在轴承磨损及换向器异常时,电刷的磨损量高达10~30倍。偏心及磨损量的关系图(如图1所示),可以看出换向器偏心时电刷磨损较快,同样轴承磨损也将导致换向器偏心使其磨损增大。

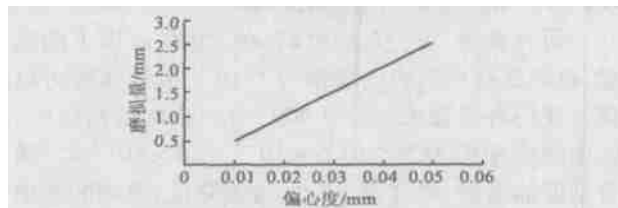


图1 换向器偏心与磨损量的关系

(2)电刷压强:单位面积电刷压力越大,电刷的跳动越小。一般,单位面积电刷压力越大,换向越好。然而,随着摩擦力增大,摩擦扰动引起的换向恶化越明显,磨损增加。对于一般轻载电机,压强小于10000 Pa时,电刷跳动,磨损增加;压力大于40000 Pa时,磨损增加。

(3)温度、湿度:由于空气中存在水分及氧气,在电机工作过程中,在换向器表面会形成一层氧化膜,使电刷与换向器件的接触电阻增大,不宜产生火花,有利于换向。但另一方面,当形成的氧化膜过厚时,一部分氧化膜由于摩擦脱落,使换向器表面变得不均匀,使电刷磨损增加。

当电机工作温度过高时,其表面形成过厚的氧化膜,温度过低时,形成较薄的氧化膜。当电机温度太高或太低时,产生较大的磨损。当电机绝对湿度小于 $0.003 \text{ kg/m}^3$ 时,引起电刷异常磨损,绝对湿度小于 $0.0003 \text{ kg/m}^3$ 时,引起电刷的粉化磨损。

## 2.2 解决措施

(1)对机械因素引起的电刷磨损可通过加工换向器表面,保证换向器的表面粗糙度,使电刷同换向器间光滑接触。根据电机转速对转子校动平衡,保证偏心度不大于 $10^{-5} \text{ m}$ 。严格控制与轴承配合有关部件的尺寸公差及形位公差,保证轴承正常运转不

收稿日期:2004 - 04 - 28

改稿日期:2004 - 10 - 09

受损伤。也可采用分瓣电刷,这样每个刷瓣可独立工作且每个刷瓣体积小,能够很好地追从换向器表面的凹凸面,使电刷的滑动接触特性得以改善。

(2)对于不同材质的电刷,适合工作的最佳电流密度不同,根据试验测试,当电流密度在 $(12 \sim 15) \times 10^6 \text{ A/m}^2$ 时,对于电化石墨电刷较合适。

温度引起的电刷磨损可在设计时与电机电流密度一起考虑,保证电机在环境温度下正常工作。

而对湿度,在常温下,电机工作时空气中适宜的湿度范围 $5 \sim 25 \text{ kg/m}^3$ ,可以采用浸渍电刷,或在电机的内部设计加水部件,以防止湿度降低。

(3)一般地,对于轻载电机,电刷压强取 $15\ 000 \sim 20\ 000 \text{ Pa}$ ;对于牵引电机,电刷压强取 $40\ 000 \text{ Pa}$ 。

### 3 真空条件下影响磨损的因素及解决措施

#### 3.1 真空条件对电刷磨损的影响

研究表明,对于普通电刷,在 $3\ 000 \text{ m}$ 以下的高度,电刷在每小时内的磨损约为 $10^{-5} \text{ m}$ ,工作时可以满足使用寿命要求。在 $6\ 000 \sim 8\ 000 \text{ m}$ 的高空中,电刷的磨损率为每小时 $5 \times 10^{-3} \sim 10 \times 10^{-3} \text{ m}$ 。随着高度的增加,氧气及水分的含量降低,电刷的磨损率增加。

在真空条件下,电刷磨损与高空状况下相比相差更大。在真空中,易产生换向火花及引起电刷粉化磨损。电刷与换向器摩擦产生的热量不易散失,电机温升高,磨损加剧。

#### 3.2 真空条件引起电刷磨损严重的原因分析

电机正常工作时,空气中的氧气和水分同换向器中的铜结合,在换向器表面形成一层金属氧化膜,使换向回路电阻增大,有利于换向。电刷磨擦作用有可能使这层氧化膜破坏,但当电流流过时,由于滑动接触面的温度高,接触面中有氧气和潮气,所以新的氧化膜又重新形成。而在真空环境中,由于缺氧及水气,氧化膜破坏后,不能再形成,使得换向变差,电刷磨损增加。图2、图3为电刷磨损率随氧气压

及水气压的关系图<sup>[2]</sup>。

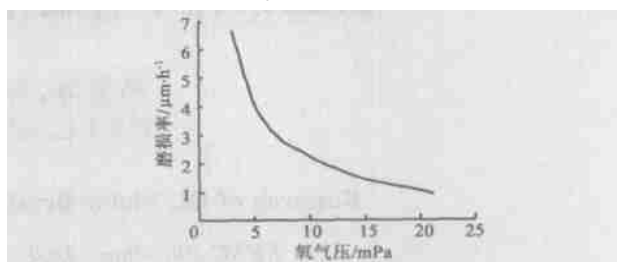


图2 磨损率随氧气压的变化曲线

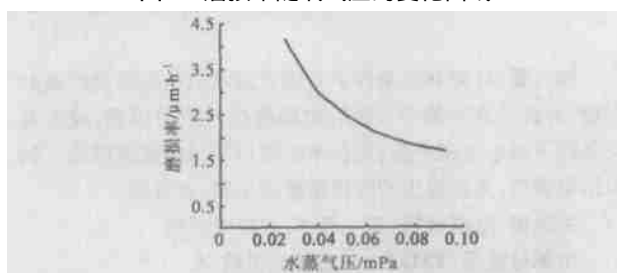


图3 磨损率随水蒸气压的变化曲线

表明空气稀薄时,电刷磨损严重,在真空中电刷有可能发生粉化磨损。真空状况下影响电刷磨损的主要因素为真空条件。

#### 3.3 解决措施

(1)电机设计时充分考虑真空条件下换向器表面的光洁度、温度湿度、电刷压力等因素对电刷磨损的影响;

(2)对于真空条件引起电刷磨损严重状况,可采用在电刷中浸渍无机物的方法来减小,在电刷中浸渍 $2\% \sim 6\%$ 的卤化物;

(3)采取在电刷中混入二硫化钼以增加润滑性及耐磨性<sup>[3]</sup>;

(4)模拟真空环境进行电刷磨损试验,选用适合在真空条件下工作的电刷。

### 4 实验研究

D7电刷是常用的航空低气压电刷,但在真空条件下使用时火花大,磨损严重。针对D7电刷存在的问题设计了一种新型的真空电刷,对两种电刷在同等条件下作磨损对比试验,结果如表1所示。

表1 两种电刷在不同状况下的磨损试验结果比较

电刷牌号	压强/Pa	常压			真空条件(真空度 $1.3 \times 10^{-3} \text{ Pa}$ )		
		磨损率/ $\text{m} \cdot \text{h}^{-1}$	寿命/h	现象	磨损率/ $\text{m} \cdot \text{h}^{-1}$	寿命/h	现象
D7 新电刷	40 000 ~	$5 \times 10^{-6}$	500	电刷磨损小,无火花	$1.4 \times 10^{-3}$	1.7	电刷磨损大,无火花
	45 000	$5.2 \times 10^{-6}$	500	电刷磨损小,无火花	$4.3 \times 10^{-5}$	50	电刷磨损小,无火花
D7 新电刷	25 000 ~	$5 \times 10^{-6}$	500	电刷磨损小,无火花	$1.2 \times 10^{-3}$	2.1	电刷磨损大,无火花
	30 000	$5.2 \times 10^{-6}$	500	电刷磨损小,无火花	$3.5 \times 10^{-5}$	70	电刷磨损小,无火花

试验中,电刷电流密度为 $10^6 \text{ A/m}^2$ ,换向器的线速度为 $0.8 \text{ m/s}$ ;试验结果表明:

(1)大气压对电刷的磨损影响显著,两种电刷在常压下使用,磨损率接近,寿命相同,但在真空条件

下的使用寿命相差显著;

(2)在真空中,无论是D7电刷还是新电刷,压强对电刷的磨损都有明显的影响,且电刷压强对两种电刷的影响效果接近。(下转第20页)

时间间隔分开。该时间间隔由 DB 控制器中的位决定。DB 控制寄存器如图 2 所示,假定死区周期 DB [15:8]的值为  $m$ ,并且死区预定标系数 DB [4:2]对应的预定标因子为  $1/p$ ,那么死区的值是  $(p * m)$  CPU 周期。

### 3.2 可编程死区电路的结构设计

死区电路的结构设计如图 3 所示。分析如下:

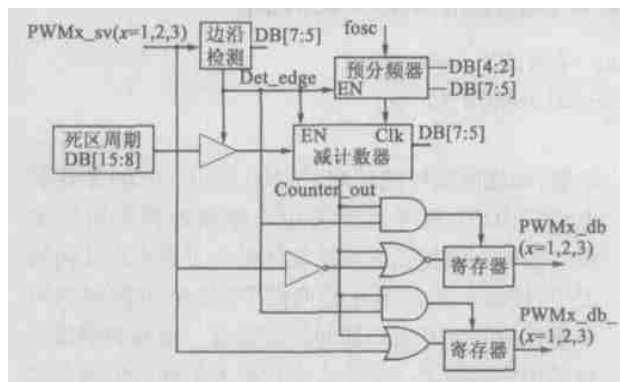


图 3 死区电路的结构设计逻辑电路

1) 如果死区使能 (DB [7:5] 控制), 输入信号 PWMx-in ( $x = 1, 2, 3$ ) 经边沿检测电路检测到输入波形的跳变 (高电平变为低电平或低电平变为高电平), 便产生一个脉冲宽度的低电平, 以此来启动死区: 把死区周期 (DB [15:8]) 打入减计数器, 同时激活减计数器和预分频电路; 此时寄存器瞬间开启, 送出死区开启时的波形。

2) 预分频器依照设定的预定标系数 (DB [4:2]) 对输入系统频率分频, 计数器则依照预分频器过来的预定标分频时钟减计数, 直到计数器的值为 1 时 (复位时, 计数器的值为 0, 故取 1 为匹配信号), 产

(上接第 18 页)

(3) 普通电刷压强一般小于 25 000 Pa, 低气压与真空电刷一般用于航空航天电机, 真空电刷一般用于航天电机, 受振动冲击等因素影响, 电刷压强一般较高。真空条件下, 在压强为 40 000 ~ 45 000 Pa 时, D7 电刷同新电刷磨损率之比为 33.7, 在压强为 25 000 ~ 30 000 Pa 时, D7 电刷同新电刷磨损率之比为 34.3;

(4) 真空条件下, 在压强为 40 000 ~ 45 000 Pa 时, 新电刷使用寿命是 D7 电刷的 29.4 倍。在压强为 25 000 ~ 30 000 Pa 时, 新电刷使用寿命是 D7 电刷的 33.3 倍。

## 5 结 论

采用改进措施研制的新电刷, 极大改善真空条件下电刷的磨损状况, 降低电刷的磨损率, 延长了电刷使用寿命。表明: 在真空状况下, 影响电刷磨损的

生相应一个时钟周期的复位脉冲 (为低电平), 以此来结束死区: 此时寄存器第二次瞬间开启, 恢复输入波形。

这种逻辑电路设计其实就是在死区开始的时候强制输出需要的脉冲, 在死区结束的时候恢复其输入脉冲, 其死区的宽度很容易通过控制寄存器 DB 编程控制, 而且简单高效, 整个电路仅仅用到了一个控制寄存器, 三个减计数器和一个预分频器, 其输出的脉冲如图 4 所示。

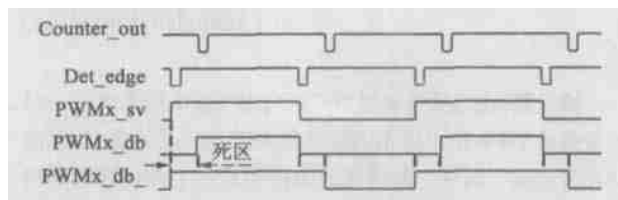


图 4 经可编程死区电路的 PWM 波形

## 参考文献

[1] 陈国呈. PWM 变频调速及软开关电力变换技术 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2001  
 [2] 胡崇岳. 现代交流调速技术 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1998  
 [3] Siemens Semiconductor Group. C504 8-bit CMOS Microcomputer [M]. User's Manual, 1997, 11

作者简介: 陈海兵 (1974 - ), 男, 硕士研究生, 研究方向为电机控制器的设计。

杨松华 (1971 - ), 男, 博士后, 研究方向为 dsp 控制器。

吴耿峰, 男, 博士生导师。

为进一步提高本刊的编辑质量, 请您对此文在读者服务卡上圈上数字代码:

有价值, 请圈 11; 没有价值, 请圈 12。

主要因素为真空条件, 必须采用适宜工作在真空条件下的电刷。

## 参考文献

[1] Emanuel L Brancato. Life expectancy of motors [J]. IEEE electrical insulation magazine. 1991, 7(6): 14 ~ 22  
 [2] 碳素材料学会. 电机用电刷及其使用方法 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1976  
 [3] 刘先交. 宇航用太阳能电池中固体自润滑电刷研究. 湖南冶金, 1996, (4): 47 ~ 58  
 [4] 窦满锋. REPM 同步电机电枢反应折合系数. 西北工业大学学报, 2000, 18(2): 268 ~ 291

作者简介: 冯智海 (1973 - ), 男, 硕士研究生, 主要从事电机设计、运动控制的研究。

窦满锋 (1967 - ), 男, 副教授, 主要从事稀土电机设计及运动控制的研究。

为进一步提高本刊的编辑质量, 请您对此文在读者服务卡上圈上数字代码:

有价值, 请圈 9; 没有价值, 请圈 10。