

# 湿电流在无刷励磁发电机转子电压回路中的应用

中国机械设备工程股份有限公司 - 马野兵

关键词 无刷励磁 滑环 碳刷 气垫现象 氧化膜 湿电流

## 摘要：

介绍了现今无刷励磁发电机转子电压测量的常用方法和原理，分析多台无刷励磁发电机转子电压测量和接地故障检测不准的原因，判断测量滑环与碳刷之间产生的气垫现象和氧化膜增大了接触电阻，从而导致转子电压回路不通。提出在滑环与碳刷接触面通过连续湿电流，消除气膜和氧化膜的影响，保证滑环与碳刷之间可靠导通。

## APPLICATION OF WETTING CURRENT TO ROTOR VOLTAGE CIRCUIT OF BRUSHLESS GENERATORS

MA Ye-bing

(China Machinery Engineering  
Corporation, Beijing, 100055)

ABSTRACT: This paper introduces the methods of measuring rotor voltage for brushless generators and analyses the reasons for inaccuracy of rotor voltage measurement and rotor insulation resistance monitoring that occurred to several brushless generators. It is concluded that air film and oxidation on the contact surface between slip rings and carbon brushes caused high contact resistance and made rotor voltage circuit failed. This problem can be solved by applying continuous wetting current which flows through the contact of the slip ring and the carbon brushes, breaking through the surface film resistance and ensuring reliable contact for drawing rotor voltage.

KEYWORDS: Brushless Excitation, Slip Ring, Carbon Brush, Air Film, Contact Oxidation, Wetting Current

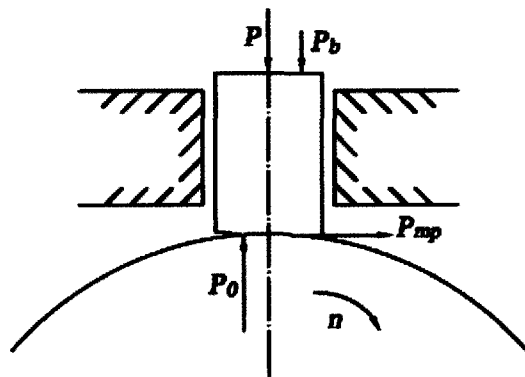
## 引言

无刷励磁系统取消了励磁用的碳刷、滑环、整流子，消除了电弧、碳粉、铜沫对发电机的危害，可长期运行无需维护，运行可靠性大大提高，所以已经成为发电机常用的励磁方式，也是发电机励磁技术的重要发展方向。但它同时也存在一些技术难题，其中之一就是发电机转子电压的测量和转子接地保护问题[1]。某一发电机厂生产的多台无刷励磁发电机出现了转

P——弹簧压力  
 $P_0$ ——空气楔产生的扬力  
 $P_b$ ——空气楔产生的吸力  
 $P_{mp}$ ——接触面的摩擦力

图1 碳刷气垫现象受力图

Fig. 1 Force Sketch of Carbon Brush Affected by Air Film



子电压测量不准并引起转子接地保护异常甚至误动，本文对该问题进行分析，提出施加湿电流的解决办法和对策。

## 1. 转子电压测量的方法和原理

发电机转子的绝缘电阻检测、接地保护和温度测算都需要测量转子的电压，对于无刷励磁系统，因为转子励磁回路随着发电机旋转，所以转子电压的测量比较困难，不能直接从静态的位置获取，现在最常见的方法是在发电机励磁端配置一套与发电机同轴旋转的测量滑环装置，通过碳刷与正、负极滑环接触将转子的电压引出，再接到转子测量和保护装置。由于该回路只供测量转子电压和检测转子接地故障使用，所以电流很小，滑环和碳刷不存在打火问题，并且碳刷数量不多，尺寸也可以做得较小，产生的碳粉也很少。因此，该方法具有简单安全、维护量少的优点。

另外一种方法是在发电机转轴上安装一套随着发电机旋转的红外线转子电压测量装置，将转子电压信号进行编码，经红外线发送到静止的红外线接收装置，再由接收装置解码并转换为其它装置可用的信号。虽然这种装置实现

了不接触式的测量，但发电机转子接地故障检测和保护装置通常采用乒乓式原理，必须采用接触式的接线对转子回路进行检测，所以红外线这类非接触式的转子电压测量装置无法满足转子接地故障检测和保护的要求。[2]

## 2. 测量碳刷装置实际运行中出现的问题

实践表明，无刷励磁发电机转子电压测量碳刷接触弧面经研磨处理后，起初测出的转子电压正常，但经过一段时间（几天或几周）后，从碳刷引出的转子电压出现波动，并逐渐变小，继而导致转子保护装置测量的绝缘电阻变小，甚至发出接地故障信号或转子电压回路断线报警。检查碳刷和刷握装置，均为正常。停机后用万用表进行测量碳刷和滑环的接触电阻，出现不稳定的结果，有时接触电阻不到1欧，有时却上千欧。经过多次处理和观察发现，碳刷接触弧面在运行中变得越光滑，测量的转子电压就越小，停机后测出的接触电阻也越大。

经过反复试验和检查，排除了滑环和碳刷之间接触不良的常见原因：电刷卡涩、电刷牌号或质量不适宜、刷握弹簧压力太小等，最后认为是由于气垫现象和接触面形成了氧化膜两

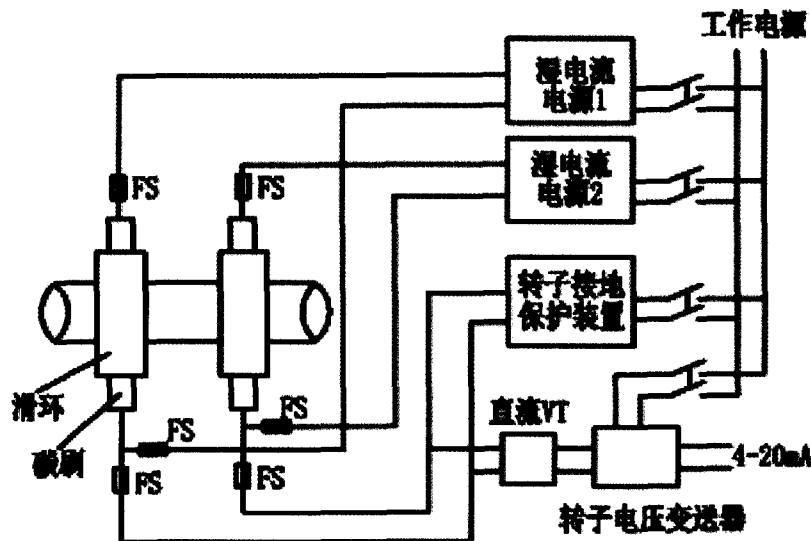


图2 无刷励磁发电机转子电压回路示意图

Fig. 2 Rotor Voltage Circuit of Brushless Generator

个原因造成。

### 3. 气垫现象分析

碳刷接触弧面和滑环之间作高速相对滑动时, 由于碳刷在刷盒内会有轻微晃动, 因而碳刷弧面半径略大于滑环弧面, 在接触面的滑入和滑出两端形成楔形空间。如图1所示, 发电机在高速旋转时, 粘附于滑环表面上且随之高速旋转的空气层进入滑入端楔形空间, 对碳刷产生一个向上的扬力; 而在接触面滑出端的楔形空间, 空气同样会粘附于滑环上被带走, 对碳刷的弧面造成气吸现象, 使碳刷受到一个向下的吸力。[3] (见图1)

由于碳刷两端受到了方向相反的两个力的作用, 且两个力不在一条直线上, 因而对碳刷产生转动的力矩, 使碳刷在刷握里出现歪斜, 导致接触面滑入端的楔形空间变大, 滑出端的楔形空间则变小。这种情况下, 向上的扬力大于向下的吸力, 当差值大到克服弹簧压力和电刷重力时, 碳刷便会被被滑环带入的空气托起, 在碳刷弧面与滑环之间形成一层很薄的气膜, 阻止滑环与碳刷之间的导电。

这种气垫现象会受到接触面光洁度的影响, 表面越光滑, 气膜越容易形成, 所以, 无刷励磁发电机转子电压测量碳刷经过一段时间的运行后, 接触弧面变得非常光滑, 为气垫现象创造了有利的条件。此外, 电击穿会破坏气膜的形成, 气膜存在一个最低导通的电流值, 即湿电流, 当通过的电流大于湿电流值时, 气膜被击穿, 成导电状态; 而如果导通后电流小于湿电流, 气膜便不能被击穿, 处于绝缘状态。对

于静态励磁系统, 通过碳刷的励磁电流较大, 碳刷与滑环之间很难形成稳定的气膜, 然而, 在无刷励磁发电机上, 情况则不一样, 因为碳刷的作用只是测量转子电压, 通过的电流很小, 不足以击穿气膜, 所以气垫现象便会发生。[4]

### 4. 氧化膜的形成和导电性能

碳刷在运行一段时间后, 滑环和碳刷接触面上会形成一层氧化膜, 氧化膜会让接触面更光滑, 碳刷的磨损变慢。但接触面上氧化膜同空气薄膜一样存在一个湿电流, 对于静态励磁系统, 碳刷表面形成适当的氧化膜, 励磁电流大于其湿电流, 氧化膜成导电状态, 并对碳刷运行有正面的作用。但对于无刷励磁发电机, 测量滑环及碳刷接触面通过的电流很小, 达不到氧化膜的湿电流数值, 氧化膜阻止导电, 导致接触不良。

### 5. 解决方案

从上面的分析可以看出, 对于无刷励磁系统, 测量滑环与碳刷之间接触不良的原因是转子电压测量回路通过的电流太小, 达不到接触面运行一段时间后形成的气膜和氧化膜的最低导通电流, 也称为接触面湿电流。要克服这个问题, 可以在正、负极测量滑环上分别安装两只测量碳刷, 每极的两只碳刷之间串联一个碳刷湿电流电源装置 [5], 如图2所示。发电机启动过程中, 当转速达到一定数值时, 湿电流电源装置开始在各极两只碳刷之间连续施加一定数值的恒定电流, 该电流大于滑环与碳刷接触面的最小导通值, 消除气膜和氧化膜的绝缘作用, 使碳刷与滑环之间可靠接触。

为了防止施加的湿电流进入其它装置, 每极有一只碳刷空置, 除了与湿电流源装置外, 不与外部其它装置连接。此外, 由于碳刷与滑环接触面的最低导通值一般并不大, 施加的湿电流通常在 10-20A, 所以并不会在滑环处产生危害性的火花。

结语:

无刷励磁发电机滑环与碳刷接触面形成气膜 (气垫现象) 和氧化膜, 导致接触电阻过大, 影响转子电压测量和接地故障检测。为此, 可在每极滑环上设置两只碳刷, 并在两只碳刷之间施加一个持续的湿电流, 使滑环和碳刷一直处于良好的接触状态, 消除气垫现象和氧化膜的影响。该方法简单可靠, 可以很好地解决无刷励磁系统转子电压回路运行中经常出现的接触不良问题, 值得推广。

参考文献:

- [1] 普朝文, 无刷化是发电机励磁技术发展的方向, 云南水力发电, 2006, 22(5): 83-86
  - [2] 郭光荣, 发电机转子励磁绕组接地保护, 电力系统自动化, 2003, 27(20): 73-76.
  - [3] 赵常华, 气垫现象引起励磁机滑环冒火的分析与处理, 天津电力技术, 2002(4): 42-43
  - [4] 唐兴祚, 高电压技术 (第二版), 重庆: 重庆大学出版社, 2003
  - [5] 杨菊元, 伍政国, 无刷励磁系统及励磁控制系统原理分析与应用, 电力系统自动化, 1998, 22(11): 74-78.
  - GUO Guang-rong. The Earth Fault Protection for Generator Rotor Field Coil. Automation of Electric Power Systems. 2003, 27(20): 73-76.
  - ZHAO Chang-hua. Analysis and Solution of Arc on Exciter Slip Ring, Tianjin Electric Power Technology. 2002(4): 42-43.
  - TANG Xing-zuo. High Voltage Technology (Version 2). Chongqing: Chongqing University Press, 2003
  - YANG Ju-yuan, WU Zheng-tuan. Analysis and Application of Brushless Excitation System and Excitation Control System. Automation of Electric Power Systems. 1998, 22(11): 74-78.
- 作者简介:  
马野兵 (1978-, 男, 工程师, 主要研究方向: 发电厂和变配电保护及控制的工程应用。