

# SMC 绝缘端盖在双馈风力发电机中的应用

王 黎 薛 亮

西安辰安电气有限公司 陕西西安 710000

**摘要:** 为了解决双馈异步风力发电机在运行时两轴承端或者转轴与轴承之间产生的轴电流对电机轴承的电腐蚀, 本文详细介绍了一种 SMC 绝缘端盖在双馈风力发电机上的应用。从 SMC 绝缘端盖的结构形式、SMC 材料性能、整体受力分析、试验要求等方面进行详细说明。防止了轴电流对电机轴承的损伤, 保证电机正常运行。

**关键词:** 双馈风力发电机; 轴电流; SMC; 绝缘端盖; 绝缘电阻; 耐压试验

## Application of SMC insulated end cap in doubly-fed wind turbine

Li Wang Liang Xue

Xi 'an Chen 'an Electric Co., LTD., Xi 'an 710000, China

**Abstract:** In order to solve the electrical corrosion of the motor bearing caused by the shaft current between the two bearing ends or the rotating shaft and the bearing during the operation of the doubly-fed asynchronous wind turbine, this paper describes in detail the application of an SMC insulating end cap on the doubly-fed wind turbine. From the structural form of SMC insulation end cover, SMC material performance, overall force analysis, test requirements and other aspects are explained in detail. The shaft current is prevented from damaging the motor bearing to ensure the normal operation of the motor.

**Keywords:** Doubly-fed wind turbine; Shaft current; SMC; Insulation end cap; Insulation resistance; Voltage test

### 引言

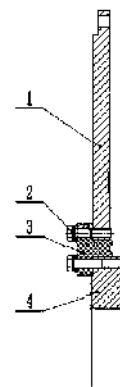
风力发电以其清洁、无污染、建设周期短、运营成本低等优点, 现已成为发展新能源和可再生新能源和可再生绿色能源的重点领域。而采用双馈发电机的风力机组由于具有可以方便地实现变速恒频、灵活地进行有功无功的独立调节、较小的转子励磁容量等优点, 目前在风力发电行业得到广泛应用。但由于双馈异步发电机采用变频器对转子绕组供电, 增加了一种很大的轴电压源, 轴电流会造成电机轴承的严重损坏。严重情况下, 需将发动机下塔, 造成巨大的经济损失。为了解决轴电流对轴承电腐蚀影响, 通常会采用绝缘轴承或者绝缘端盖来隔绝轴电流对电机轴承的损伤。因绝缘轴承更换成本高目前应用的不多, 现在主要采用绝缘端盖的形式来杜绝轴电流。本文分析研究了一种 SMC 绝缘端盖减少轴电流对轴承的影响, 降低危害, 确保双馈风力发电机可靠运行。

### 一、SMC 绝缘端盖的结构形式

发电机轴承是在转轴上热套, 要保证轴电流不会对轴承造成损伤, 需要用绝缘材料将转子上的轴承和其配合的其它零部件进行隔绝同时保证装配关系。为了实现这种功能, 一般可采用绝缘轴承或者绝缘端盖结构, 因绝缘轴承更换成本高, 考虑后期维护成本, 均采用绝缘端盖和普通轴承结构。绝缘端盖有无纺布绝缘端盖和 SMC 绝缘端盖, SMC 绝缘端盖因其加工周期短、性能稳定大量使用。

SMC 绝缘端盖的主要结构为: 在普通的端盖中间增加了一个 SMC 绝缘圈, 将端盖分为外部盖板部分和内部轴承室部分, 再用螺栓将三部分连接起来。具体结构如图 1 所示。

SMC 绝缘圈是用模具将 SMC 材料压铸成型, 尺寸主要靠模具来保证, 可满足大批量生产, 提高了生产效率。外部盖板及里面的轴承室使用 Q235 材料来加工, 保证端盖的整体强度。SMC 装配的绝缘端盖需要满足工频耐压 3000V, 1min 的耐压要求; 盖板和轴承室之间的绝缘电阻要大于 100M $\Omega$ ; 绝缘端盖的电容应小于 2nF。SMC 绝缘端盖与普通的内、外盖、甩油环等零部件和轴承组成轴承装置, 可以防止轴电流对轴承的电腐蚀。



盖板; 2—连接螺栓、垫圈; 3—SMC; 4—轴承室  
图 1 SMC 绝缘端盖结构图

## 二、SMC 材料性能

SMC 材料能够应用在风力发电机的端盖上,主要有以下优点:

1.耐化学腐蚀。纤维加强的聚酯材料具有良好的耐腐蚀特性,例如酸,稀碱,盐,有机溶剂和海水,而金属材料则不耐酸和海水。

2.轻巧高强度。比强度和比模量是权衡资料承载力的指标之一,纤维加强聚酯材料的比模量与钢相当,但其比强度能够达到钢的4倍。

3.良好的电性能。该材料不止具有出色的电绝缘性,而且在高频下有良好的介电性能,不受电磁影响,而且不反射电磁波。这些性能远远超出金属材料所能比较的。

4.缺口敏理性。当组件过载且少量纤维断裂时,负载疾速散布在未损坏的纤维上,从而再次达到机械平衡。这是金属部件无法比较的。

5.良好的抗疲倦性。纤维加强聚酯材料的拉伸强度比钢的拉伸强度稍好。钢材和大多数金属材料的抗疲倦极限是其抗拉强度的40%~50%,而纤维加强复合材料的抗拉强度普遍都高于该值,最高可达到70%~80%。

6.导热系数低,收缩系数小。存在温差时,产生的热应力比金属小的多。

7.阻燃、无烟、无毒。该材料是一种阻燃材料,其阻燃等级为FV0,在高温熄灭下的烟度为15,无毒烟雾,并且ZA1的毒性程度。

8.运用寿命长。已证明其运用寿命至少为20年以上。模仿老化测试表明,其运用寿命超过20年,远远超越了金属等传统材料。

SMC 绝缘材料需要满足下表各项性能要求。

表1 SMC 材料性能

序号	检测性能/项目	单位	要求	检测方法
1	外观	-	无机械杂质、无结块,且颜色一致,纤维与胶等固化物混合均匀	目测
2	弯曲强度(常态)	MPa	≥220	ISO 14125:1998
3	弯曲强度(170℃)	MPa	≥80	
4	弯曲强度(-40℃)	MPa	≥80	
5	弯曲弹性模量	MPa	≥1.0×10 <sup>4</sup>	
6	拉伸强度(常态)	MPa	≥130	ISO 524-4:3023
7	拉伸强度(170℃)	MPa	≥50	
8	拉伸弹性模量	MPa	≥1.0×10 <sup>4</sup>	
9	收缩率	%	≤0.15	
10	热变形温度	℃	≥200	ISO 75-2:2004

11	简支梁冲击强度(无缺口,常态)	kJ/m <sup>2</sup>	≥100	ISO 179-1:2010
12	简支梁冲击强度(无缺口,170℃)	kJ/m <sup>2</sup>	≥30	
13	密度	g/cm <sup>3</sup>	1.70~1.95	ISO 1183:2004
14	吸水性	%	≤0.2	ISO 62:2008
15	相比电痕化指数(CTI)	—	>600	IEC 60112:2009
16	燃烧性	级	V-0	UL 94-2010
17	灼热丝试验(960℃,30s)	—	—	IEC 60707-3:1999
18	表面电阻率	Ω	≥1.0×10 <sup>12</sup>	IEC 60093:1980
19	电气强度(φ20mm/φ20mm球电极)	MV/m	≥20	GB/T 1408.1-2006
20	体积电阻率	Ω.m	≥1.0×10 <sup>12</sup>	GB/T 1410-2006
21	耐电痕化及蚀损	级	不低于1A2.5	GB/T 6553-2003
22	绝缘电阻	常态	Ω	≥1.0×10 <sup>13</sup>
		浸水24h后		≥1.0×10 <sup>12</sup>
23	线性热膨胀系数(35℃~50℃)	10 <sup>-6</sup> /K	≤18	ISO 11359-2:1999

## 三、SMC 绝缘端盖的结构受力分析

SMC 绝缘端盖要安装在风力发电机上,就必须满足各种工况下的强度要求。现在以我公司生产的某型号电机,对 SMC 绝缘端盖进行受力分析。

SMC 绝缘端盖外部止口与机座连接,有一圈螺栓进行固定,端盖轴承室内安装轴承,而轴承承载了整个转子的重量,整个转子的重量都靠前后两端端盖的轴承室来承担,其强度要满足安装转子之后轴承室能够承载转子重量的要求。根据所安装的轴承将其轴承力加载到两端轴承室上,经过受力分析查看 SMC 材料的性能是否满足应力和变形的要求。

### 1.参数输入

轴承载荷: 51450N;

转子总重: 3500Kg;

SMC 抗拉弹性模量: 3.3e<sup>10</sup>Pa;

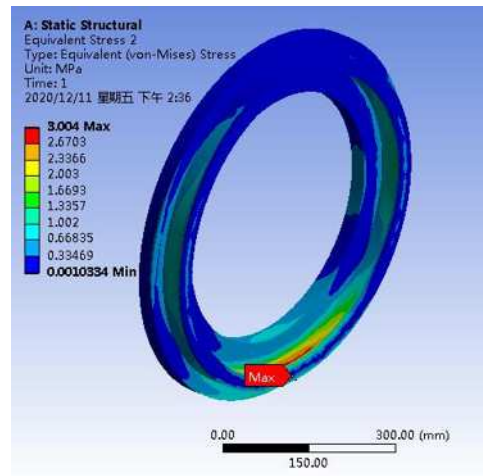
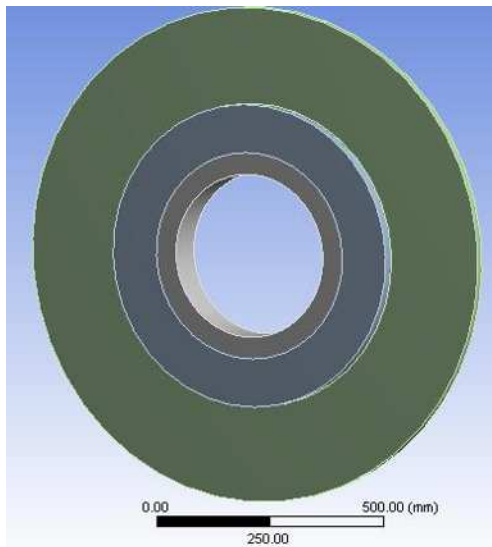
SMC170℃下的抗拉强度: 59.9MPa;

SMC 密度: 1840kg/m<sup>3</sup>;

厚度≤30mm的盖板屈服强度: 240MPa。

### 2.仿真计算模型

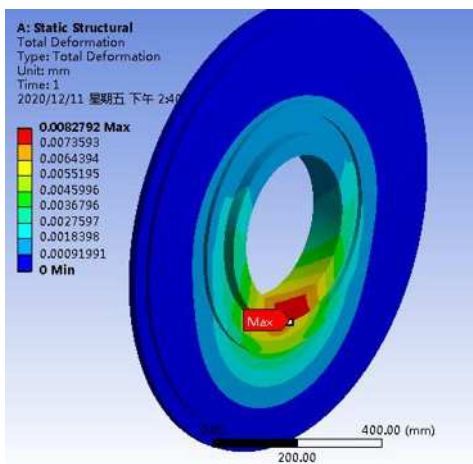
将 SMC 绝缘端盖简化为三部分,外部是盖板,材料为 Q235-B,中间部分为 SMC 材料,里面轴承室的材料是 Q235-B。按不同材料赋予其材料特性,如密度、弹性模量、泊松比等。划分网格后进行仿真计算。



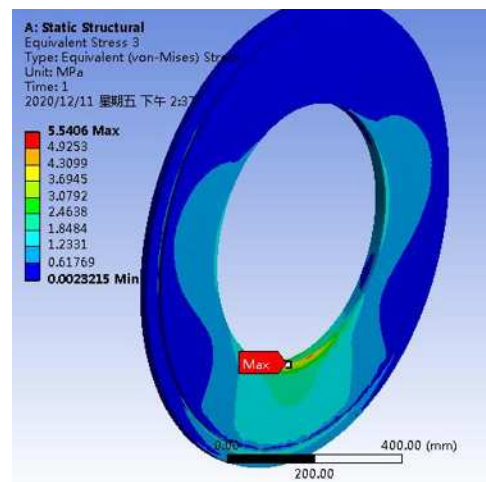
SMC 的等效应力云图

该 SMC 端盖，主要用于连接端盖盖板和轴承室，其主要承受拉伸，因此，在考虑 3500Kg 重转子产生 1.5G 重力方向加速度的工况下，对该端盖进行强度仿真。

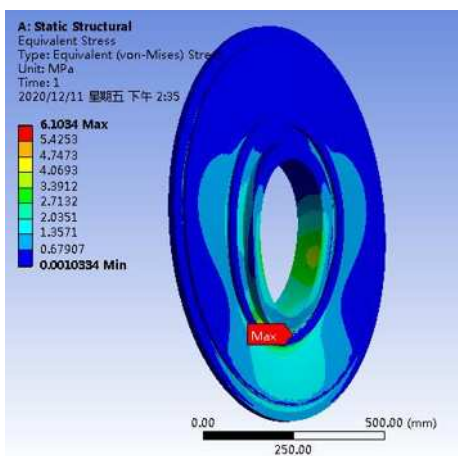
### 3. 仿真计算结果



端盖总变形云图



盖板等效应力云图



端盖等效应力云图

### 4. 分析结果

该 SMC 端盖在 3500Kg 转子产生的 1.5 倍重力加速度的工况下，最大变形为 0.0083mm，由 SMC 和盖板的等效应力云图可以看出，SMC 最大等效应力为 3MPa，为受压，盖板最大等效应力为 5.5MPa，也为受压侧，SMC 与盖板的强度均远小于各自的强度极限，可以满足该工况使用要求。

### 四、SMC 绝缘端盖装配后的试验要求

试验中用到的检验仪器如表 2 所示。

表 2 检验主要仪器仪表明细

名称	型号
高低温试验箱	F-40-CHMV-15-15
数字式电动振动试验系统	DS642-919-16M-HV
数字式兆欧表	FLUKE 1508
电机工频耐电压试验仪	PVT-15
温湿度表	TESTO 608-H1

装配好后的 SMC 绝缘端盖需要进行以下的性能测试, 满足相应的要求。

#### 1. 绝缘电阻测试

根据 GB/T 20160-2006 标准, 使用 1000V 电压检测轴承室和端盖之间的绝缘电阻, 阻值  $\geq 100\text{M}\Omega$ 。

##### 检测数据

	绝缘阻值	温度	湿度
绝缘端盖装配	11000 M $\Omega$	20.9 $^{\circ}\text{C}$	44.7%

#### 2. 耐压试验

根据 JB/T 6204-2002 标准, 绝缘端盖装配的轴承室和端盖之间应能承受 3000V 的工频试验电压 1min, 无击穿和闪络现象。

##### 检测数据

	电压	频率	时间
绝缘端盖装配	3000V	50Hz	1min

#### 3. 恒定湿热试验

将绝缘端盖装配置于 40 $^{\circ}\text{C}$ , 湿度为 95% 的环境试验箱内 24h。使用 1000V 电压检测轴承室和端盖之间的绝缘电阻, 阻值  $\geq 50\text{M}\Omega$ 。待绝缘端盖装配恢复到环境条件后, 使用 1000V 电压检测轴承室和端盖之间的绝缘电阻, 阻值  $\geq 1000\text{M}\Omega$ 。

##### 检测数据

	绝缘阻值	温度	湿度
绝缘端盖装配	220 M $\Omega$	40 $^{\circ}\text{C}$	95%
	1330 M $\Omega$	24.1 $^{\circ}\text{C}$	51.1%

#### 4. 低温试验

将绝缘端盖装配置于温度为 -40 $^{\circ}\text{C}$  的环境试验箱内 24h, 温度减低速率为 1K/min。待试验完成后, 使用 1000V 电压检测轴承室和端盖之间的绝缘电阻  $\geq 1000\text{M}\Omega$ 。

##### 检测数据

	绝缘阻值	温度	湿度
绝缘端盖装配	11000 M $\Omega$	-40 $^{\circ}\text{C}$	/

#### 5. 振动试验

根据 GB/T2423.10-1995 标准, 将绝缘端盖装配置于振动试验台上, 进行垂直、轴向、径向三个方向的振动。振动条件 10-150Hz, 振动加速度为: 20m/s<sup>2</sup>, 振动时间为

10min, 循环次数为 10 次。试验期间绝缘端盖装配不发生轴向、径向位移; 待试验完成后, 使用 1000V 电压检测轴承室和端盖之间的绝缘电阻, 阻值  $\geq 1000\text{M}\Omega$ 。

##### 检测数据

	绝缘阻值	温度	湿度
绝缘端盖装配	11000 M $\Omega$	20.9 $^{\circ}\text{C}$	44.7%

#### 6. 绝缘电阻测试 (100 $^{\circ}\text{C}$ )

根据 GB/T 20160-2006 标准, 将绝缘端盖装配置于温度为 100 $^{\circ}\text{C}$  的环境试验箱内 6h, 使用 1000V 电压检测轴承室和端盖之间的绝缘电阻, 阻值  $\geq 1000\text{M}\Omega$ 。

##### 检测数据

	绝缘阻值	温度	湿度
绝缘端盖装配	11000 M $\Omega$	100 $^{\circ}\text{C}$	/

#### 7. 耐压试验 (100 $^{\circ}\text{C}$ )

根据 JB/T 6204-2002 标准, 将绝缘端盖装配置于温度为 100 $^{\circ}\text{C}$  的环境试验箱内 6h, 绝缘端盖装配的轴承室和端盖之间应能承受 3000V 的工频试验电压 1min, 无击穿和闪络现象。

##### 检测数据

	电压	频率	时间
绝缘端盖装配	3000V	50Hz	1min

## 五、结束语

SMC 绝缘端盖因其良好的绝缘性能、电性能, 同时可以满足使用时强度的要求, 特别是电容值比无纬带绝缘端盖小很多, 大大降低了轴电流对轴承的电腐蚀, 在双馈风力发电机中得到了广泛应用。

该 SMC 绝缘端盖结构不仅可以满足风力发电机运行时对强度方面的要求, 而且绝缘性能非常优越, 尤其是电容值比无纬带绝缘端盖小很多, 大大降低了轴电流对轴承的电腐蚀。新材料 SMC 与传统的端盖相结合,

### 参考文献:

- [1] 姚兴佳, 宋俊. 《风力发电机组原理与应用》[M]—北京机械工业出版社, 2009.6
- [2] 孙旭东, 王善铭. 《电机学》[M]—清华大学出版社, 2006.9