

The logo for GEB (Globe Earth Business) features the letters 'GEB' in a large, bold, stylized font. The letters are filled with a complex, pixelated or mosaic-like pattern, giving them a digital or high-tech appearance. The 'G' and 'B' are particularly large and prominent.

GB/T 20140—2006

### 5. 基于主成分分析的子系统组端部动态特性

# 杭州高电



五 四 三 二 一

## 前 言

本标准附录A是规范性附录。

本标准由中国电器工业协会提出。

本标准由全国旋转电机标准化技术委员会发电机分技术委员会(SAC/TC26/21)

本标准负责起草单位：哈尔滨大电机研究所、山东电力研究院、广东电力试验研究所、华北电力科学研究院、上海发电设备成套设计研究所、湖北省电力试验研究所、东方电机股份有限公司、北京北重汽轮电机有限责任公司、济南发电设备厂。

本标准的主要起草人：姚士坤、孙树培、沈崇伟、杨廷辉、白亚民、徐福娣、阮玲、陈昌林、孙秋平、张忠海。

本标准由全国旋转电机标准化技术委员会发电机分技术委员会负责解释。

本标准首次制定。

# 透平型发电机定子绕组端部动态特性 机械振动试验方法及评定

## 1 范围

本标准规定了透平型发电机定子绕组端部模态试验分析方法及评定准则和透平型发电机定子绕组端部振动测量方法及评定准则。

本标准适用于额定功率 200 MW 及以上、额定转速为 3 000 r/min 和 3 600 r/min 的透平型发电机。

透平型发电机在出厂前、新机交接、大修时应做定子绕组端部模态试验和引线的固有频率测试。运行中出现异常情况时(例如,承受突然短路),建议做模态试验及引线固有频率测量。

型式试验时,定子绕组端部需经受额定电压后,若严重松动,绕组端部存在不合格缺陷时,应对定子绕组端部进行振动测量。

200 MW 以下的透平发电机参照本标准执行。  
进口发电机参照本标准执行。

**振型 mode shape**

\*机械系统某一给定振动模式的振型是指由中性面(或中性轴)上的点偏离其平衡位置的振幅矢径,按值所描述的图形。各点振型值通常要按选定点的偏离值进行归一化。

## 3.6

**椭圆振型 elliptical mode shape**

形状为椭圆形的振型。

## 3.7

**幅值 amplitude**

正弦振动的最大值。

同义词:振幅

## 3.8

**峰值 peak value**

给定区间内振动量的最大值。

## 3.9

**峰-峰值 peak to peak value**

振动量的最大值间的代数差。

**4 试验方法****4.1 固有频率及模态试验****4.1.1 测量参数****4.1.1.1 固有频率**

测量绕组端部引线棒鼻端、引线鼻端及过度引线的固有频率,单位赫兹(Hz)。

**4.1.1.2 椭圆模态**

测量绕组端部整体的椭圆模态。

**4.1.2 试验方法**

按GB 19830.1—2005绕组端部引线棒的试验,用上述绕组端部引线棒鼻端及过度引线的固有频率。

按GB 19830.2—2005绕组端部整体的试验,用上述绕组端部整体的椭圆模态。

按GB 19830.3—2005绕组端部整体的试验,用上述绕组端部整体的椭圆模态。

按GB 19830.4—2005绕组端部整体的试验,用上述绕组端部整体的椭圆模态。

按GB 19830.5—2005绕组端部整体的试验,用上述绕组端部整体的椭圆模态。

按GB 19830.6—2005绕组端部整体的试验,用上述绕组端部整体的椭圆模态。

按GB 19830.7—2005绕组端部整体的试验,用上述绕组端部整体的椭圆模态。

按GB 19830.8—2005绕组端部整体的试验,用上述绕组端部整体的椭圆模态。

按GB 19830.9—2005绕组端部整体的试验,用上述绕组端部整体的椭圆模态。

按GB 19830.10—2005绕组端部整体的试验,用上述绕组端部整体的椭圆模态。

按GB 19830.11—2005绕组端部整体的试验,用上述绕组端部整体的椭圆模态。

按GB 19830.12—2005绕组端部整体的试验,用上述绕组端部整体的椭圆模态。

按GB 19830.13—2005绕组端部整体的试验,用上述绕组端部整体的椭圆模态。

按GB 19830.14—2005绕组端部整体的试验,用上述绕组端部整体的椭圆模态。

按GB 19830.15—2005绕组端部整体的试验,用上述绕组端部整体的椭圆模态。

按GB 19830.16—2005绕组端部整体的试验,用上述绕组端部整体的椭圆模态。

按GB 19830.17—2005绕组端部整体的试验,用上述绕组端部整体的椭圆模态。

按GB 19830.18—2005绕组端部整体的试验,用上述绕组端部整体的椭圆模态。

按GB 19830.19—2005绕组端部整体的试验,用上述绕组端部整体的椭圆模态。

按GB 19830.20—2005绕组端部整体的试验,用上述绕组端部整体的椭圆模态。

按GB 19830.21—2005绕组端部整体的试验,用上述绕组端部整体的椭圆模态。

按GB 19830.22—2005绕组端部整体的试验,用上述绕组端部整体的椭圆模态。

按GB 19830.23—2005绕组端部整体的试验,用上述绕组端部整体的椭圆模态。

按GB 19830.24—2005绕组端部整体的试验,用上述绕组端部整体的椭圆模态。

按GB 19830.25—2005绕组端部整体的试验,用上述绕组端部整体的椭圆模态。

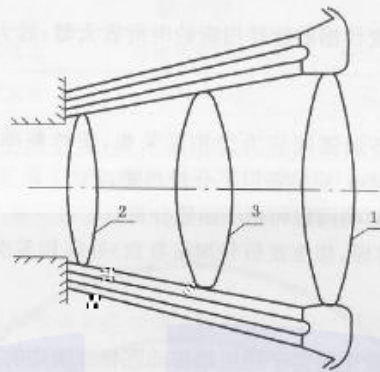
按GB 19830.26—2005绕组端部整体的试验,用上述绕组端部整体的椭圆模态。

按GB 19830.27—2005绕组端部整体的试验,用上述绕组端部整体的椭圆模态。

按GB 19830.28—2005绕组端部整体的试验,用上述绕组端部整体的椭圆模态。

按GB 19830.29—2005绕组端部整体的试验,用上述绕组端部整体的椭圆模态。

按GB 19830.30—2005绕组端部整体的试验,用上述绕组端部整体的椭圆模态。



- 1—定子绕组端部鼻端接头测点组成的圆周；  
2—定子绕组端部槽口测点组成的圆周；  
3—定子绕组端部鼻端中部测点组成的圆周。

图1 定子绕组端部整体模态试验测点布置图

## 4.2 振动测量

### 4.2.1 测量参数

定子绕组端部的倍频振动位移峰-峰值 $\mu\text{m}$ 。

### 4.2.2 测量方法

使用光纤传感器或压电式加速度传感器测量定子绕组端部测点的振动位移。通过分析软件提取绕组端部上各测点的振动响应信号，经分析软件分析处理，得到定子绕组端部测点的倍频振动位移峰值，同时应记录测量时间和发电机的以下参数：定子电压、定子电流、有功功率和无功功率。

### 4.2.3 试验工况和传感器的布置、安装

#### 4.2.3.1 试验工况

- 发电机额定空载；
- 发电机额定短路；
- 发电机额定负载。

#### 4.2.3.2 测点布置

使用光纤振动传感器时，可以在定子绕组鼻端接头、定子绕组引出线和定子绕组端部紧固件的位置布置，或根据需要在线棒的其他位置上布置测点。

使用加速度传感器时，必须采取有效的高压隔离措施，在低电位处布置测点。

应根据定子绕组端部模态试验结果，在振动磨损明显的部位或振动比较大的位置布置测点。传感器和信号线必须安装牢固，不影响发电机的运行和检修。

## 5 试验仪器

### 5.1 固有频率及模态试验设备

#### 5.1.1 力锤

力锤要带有力传感器。锤体应有足够的质量，以便能激励起绕组端部。推荐采用锤左右的力锤，锤头盖选用橡胶或软塑性等材料，以避免损伤绕组端部绝缘材料，在力的认证足够的能量。

#### 5.1.2 加速度传感器

推荐采用压电式加速度传感器测量振动响应。一般情况下，通用型压电式加速度传感器和灵敏度都能满足测量要求。

本质量 1.4 kg  
当铜带内能保

传感器的频率范

## 5.1.3 电荷放大器

根据选用的力传感器和加速度传感器选择相应的电荷放大器,放大器输出信号幅值大于动态信号分析仪量程的一半。

## 5.1.4 动态信号分析仪

至少应具有两个信号通道,各通道间应为无相差采集,采样频率大于 10 kHz,采样点数不少于 1 024 点,频率分辨率不低于 0.5 Hz。应具备以下分析功能:

- 频谱分析、功率谱分析、瞬态函数和相干函数分析;
- 信号的加窗(力信号加力窗、加速度信号加指数窗)处理和多次测量数据的平均处理;
- 应具备数据储存功能。

## 5.1.5 模态分析软件

选用的模态分析软件应满足发电机定子绕组端部动态特性测定的要求。

## 5.2 振动测量

## 5.2.1 光纤振动传感器

推荐采用光纤振动传感器,其幅值测量范围不小于 1 mm 峰-峰值(倍频),在 20℃~90℃ 的温度范围内,由温漂引起的测量误差小于 3%。

## 5.2.2 加速度传感器

压电式加速度传感器的外壳采用非磁性材料,磁灵敏度小于 0.3 g/T,并具有抗静电和电磁干扰的措施。

安装的压电式加速度传感器,必须采取高压隔离措施,对地绝缘大于 500 MΩ,耐压大于发电机的额定电压。

## 5.2.3 电荷放大器

见 5.1.3

## 5.2.4 分析仪

采样频率大于 1 kHz,采样点数不少于 1 024 点,频谱分析分辨率不低于 0.5 Hz。并具备以下分析功能:

- 频谱分析;
- 信号的加窗(力信号加力窗、加速度信号加指数窗)处理和多次测量数据的平均处理;
- 应具备数据储存功能;
- 应具备抗外界电磁干扰的能力。

## 5.2.5 信号线及密封接头

压电式加速度传感器使用的信号线应采用外层绝缘耐油污的双屏蔽低噪声电缆,并采取高压隔离措施。

光纤振动传感器的信号线应具备一定的抗拉强度。

在氢冷发电机上应用时,信号线引出机座,应满足发电机气密性试验的要求。

## 6 评定准则

## 6.1 固有频率及模态试验

线棒、引线固有频率和端部整体的椭圆固有频率应避开范围见表 1。

表 1 透平型发电机定子绕组端部局部及整体椭圆固有频率避开范围

| 固有频率/Hz  | 额定转速/(r/min) | 支撑形式 | 线棒固有频率/Hz | 引线固有频率/Hz | 整体椭圆固有频率/Hz |
|----------|--------------|------|-----------|-----------|-------------|
| 95, ≥110 | 3 000        | 刚性支撑 | ≤95, ≥106 | ≤95, ≥108 | ≤95, ≥110   |
| ≥112     |              | 柔性支撑 | ≤95, ≥106 | ≤95, ≥108 | ≤95, ≥110   |

表 1 (续)

| 额定转速/(r/min) | 支撑形式 | 线棒固有频率/Hz            | 引线固有频率/Hz            | 整体椭圆固有频率/Hz          |
|--------------|------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 3000         | 刚性支撑 | $\leq 114, \geq 127$ | $\leq 114, \geq 130$ | $\leq 114, \geq 132$ |
|              | 柔性支撑 | $\leq 114, \geq 127$ | $\leq 114, \geq 130$ | $\leq 114, \geq 134$ |

6.1.2 整体椭圆固有频率不满足表 1 规定的发电机,应测量运行时定子绕组端部的振动(评定准则见 6.2)。局部固有频率不满足表 1 规定的发电机,对于新机应采取措施进行处理,已运行的发电机应结合历史情况综合分析处理。

## 6.2 振幅

6.2.1 型式试验时,发电机额定空载或额定短路工况倍频振动位移峰-峰值小于  $100\ \mu\text{m}$ 。

6.2.2 型式试验时,发电机稳态、突然短路前后,绕组端部部件在空载、短路工况下倍频振动位移峰-峰值不应有明显的变化。

6.2.3 发电机正常运行时,定子端部倍频振动位移峰-峰值小于  $250\ \mu\text{m}$ 。一般认为,适合无限制地长期运行。

6.2.4 发电机正常运行时,定子端部倍频振动位移峰-峰值大于  $250\ \mu\text{m}$  小于  $400\ \mu\text{m}$  时,应发报警信号。

一般来说,机组在这种状态,可以继续运行一段时间,在此期间进行研究以找出振动的原因,看振动是否能够稳定在某个范围。

6.2.5 发电机正常运行时,定子端部倍频振动位移峰-峰值大于  $400\ \mu\text{m}$  时,应发停机信号。一般来说,机组在这种情况下,不宜继续运行,应尽快停机检查、处理,或者根据实际情况采取相应的措施(如减轻负荷,使振动降低到限值以下)。

6.2.6 发电机正常运行时,定子端部倍频振动位移峰-峰值的变化大于  $100\ \mu\text{m}$  时,应发报警信号,并加强监视。一般来说,振动幅值变化某个明显的数量,不管振动幅值是增大或者减小都应在变化的范围内。这种变化可以是瞬时的或者随时间而发展的,它可能表明已产生损坏,或者故障即将来临,或者某些他异常。

## 附录 A

(资料性附录)

## 固有频率测量和模态试验分析的基本原理

## A.1 固有频率测量

当信号  $f(t)$  和  $x(t)$  分别为某系统的输入(激励)和输出(响应)信号时,动态信号分析仪通常按下列关系求得系统的频响函数  $H(f)$  和相干函数  $\gamma^2(f)$ 。

$$H(f) = \frac{G_{xf}(f)}{G_f(f)}$$

$$\gamma^2(f) = \frac{|G_{fx}(f)|^2}{G_f(f) \times G_x(f)}$$

式中:

$G_f(f)$ ——输入(激励)信号  $f(t)$  的自功率谱;

$G_x(f)$ ——输出(响应)信号  $x(t)$  的自功率谱;

$G_{fx}(f)$ ——输入(激励)信号  $f(t)$  和输出(响应)信号  $x(t)$  的互功率谱。

相干函数的值总是在 0~1 之间。当它接近 1 时,说明  $f(t)$  和  $x(t)$  间有良好的因果关系;当它明显小于 1 时,说明信号受到干扰噪声的“污染”,或系统具有非线性特性。

通常频响函数幅频曲线的峰值或其虚频曲线的极值(在  $\gamma^2(f)$  接近 1 时)就是系统的固有频率。

判定系统的固有频率应结合频响函数幅频曲线、相频曲线、实部和虚部曲线以及相干函数曲线综合确定。

## A.2 模态试验分析

所谓模态试验分析就是为确定系统模态参数所做的振动试验技术,模态参数提取方法按其原理分为时域法和频域法两种。时域法是一种从时域响应数据中直接识别模态参数的方法;频域法则是在频响函数的基础上,利用最小二乘法估计提取模态参数的方法。频域法是目前公认的比较成熟和有效的方法,大多数模态分析软件采用此法。

通过模态试验分析软件对采集到的时域响应数据或频响函数数据进行分析、拟合,就可得到系统模态参数,即振动系统的固有频率、主振型和阻尼比等。