

ICS 29.160.01
K 20



中华人民共和国国家标准

GB/T 20140—2006

透平型发电机定子绕组端部动态特性 和振动试验方法及评定

Dynamic characteristic and vibration measurement method of
turbo-generators on stator windings and evaluation criteria

杭州高电

专业高试铸典范

Professional high voltage test

高压测量仪器智造 | 电力试验工程服务

2006-03-06 发布

2006-08-01 实施



中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会

发布

前 言

本标准的附录 A 是资料性附录。

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/TC 26 归口。

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、广东省电力试验研究所、华北电力科学研究院、上海汽轮发电机有限公司、湖北省电力试验研究院、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：姚大坤、孙树敏、沈梁伟、杨楚明、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和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量。运行中出现异常情况时(例如,承受突然短路、线圈匝损或者松动等),建议做模态试验及引线固有频率测量。

型式试验时,定子绕组端部受到短路冲击后出现严重松动、绕组端部存在不合格椭圆振型的模态时,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此标准执行。

进口机组亦按此标准执行。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而构成本标准的条款。凡是注日期的引用文件,其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本标准,然而,鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件,其最新版本适用于本标准。

GB/T 2298 机械振动与冲击 术语

3 术语

按 GB/T 2298 确定的术语和下列术语。

3.1

固有频率 natural frequency

线性系统自由振动的频率。

3.2

频率响应函数(频响函数) frequency response function

a) 简谐激励时,稳态输出向量与输入向量之比。

b) 瞬态激励时,输出的傅立叶变换与输入的傅立叶变换之比。

c) 平稳随机激励时,输出和输入的互谱与输入的自谱之比。

3.3

模态试验分析 modal test analysis

为确定系统模态参数所作的振动试验分析。通常,先由激励和响应关系得出频率响应矩阵,再由曲线拟合等方法识别出模态参数。

3.4

模态参数 model parameter

模态的特征参数,即振动系统的各阶固有频率、振型、模态质量、模态刚度和模态阻尼。

3.5

振型 mode shape

机械系统的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最大位移值所描述的图形。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

在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

推荐采用锤击法来得到测点的频响函数。用力锤激励绕组端部,用加速度传感器测量其加速度响应。力信号和加速度信号经电荷放大器或电压放大器放大后,送到动态信号分析仪进行分析,就可得到结构的频响函数。

由频响函数可得到它们的固有频率。用适当的模态分析软件对得到的频响函数做进一步分析、拟合,可得到模态参数,也就是得到绕组的固有频率、振型和阻尼比等。

4.1.3 环境、测点位置、数量和要求

4.1.3.1 环境要求

绕组端部模态试验分析和固有频率测量在冷态情况下进行。

4.1.3.2 固有频率测量的测点位置和要求

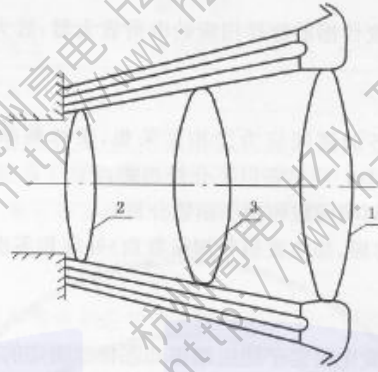
测量汽端和励端绕组端部线棒鼻端径向(可加测轴向和切向)及励端引线鼻端轴向和切向的固有频率。

在电厂做过渡引线的固有频率测量。

加速度传感器用粘性材料或其他方法临时固定在相应的测点位置上。

4.1.3.3 模态试验的测点位置和要求

在汽侧和励侧绕组端部锥体内截面上,各取如图1所示的三个圆周,每个圆周上的测点应沿圆周均匀布置至少12个测点。推荐按圆周1至圆周3(见图1所示)的顺序测量。通常测量圆周1的模态,可根据分析的需要,加测圆周2和圆周3的数据。



- 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—定子绕组端部渐开线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。单位为微米(μm)。

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幅值。动态信号分析仪拾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适当位置布置,或根据需要在绕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

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。推荐采用锤体质量1.4 kg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,在力的适当频带内能保证足够的能量。

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的频率范围和灵敏度都能满足测量要求。

GB/T 20140—2006

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、频响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;
- 信号的数字滤波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,应达到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

6.1.1 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

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
3 000	刚性支撑	≤95, ≥106	≤95, ≥108	≤95, ≥110
	柔性支撑	≤95, ≥106	≤95, ≥108	≤95, ≥112

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
3 600	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,对于新机应尽量采取措施进行处理,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 $400 \mu\text{m}$,应发报警信号。一般来说,机组在这种情况下,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 $400 \mu\text{m}$,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(如降低负荷)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 $100 \mu\text{m}$,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查明变化的原因。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,或者某些其他异常。

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 $\gamma^2(f)$ 。

$$H(f) = \frac{G_x(f)}{G_f(f)}$$

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

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”,或者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分析。模态参数识别方法大体上可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;频域法则是在测量频响函数的基础上,利用最小二乘法估计获取模态参数的方法。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,就可得到系统的模态参数,即振动系统的固有频率、主振型和阻尼比等。