

## 1 主题内容与适用范围

本标准规定了往复式活塞连杆机构驱动的曲轴轴系扭转振动的测量和评定方法。

本标准适用于每列气缸为三缸及三缸以上内燃机曲轴轴系,对于三缸以下的内燃机和活塞式压气机曲轴轴系亦可参照应用。

## 2 引用标准

- GB 6299 船用柴油机轴系扭转振动测量方法
- GB/T 13436 扭转振动测量仪器技术要求
- GB 3325 船用柴油机轴系扭转振动分级
- ZB J91 005 内燃发电机组轴系扭转振动的限值及测量方法

## 3 术语

### 3.1 曲轴轴系 crankshaft system

指与扭振计算有关的曲柄连杆机构、传动连接件和受功构件的总成。

### 3.2 简谐次数 simple harmonic order

旋转轴每转中的正弦波的波数。

### 3.3 相对振幅 relative amplitude

轴系中某点振幅与参考点振幅的比值。

## 4 扭转振动测量方法

### 4.1 测量参数

以轴系旋转中心为参考,取被测点的角位移幅值为测量参数,计量单位以度( $^{\circ}$ )或弧度(rad)表示。

### 4.2 测量仪器

#### 4.2.1 测量仪器应符合 GB/T 13436 的规定。

4.2.2 仪器测量频率范围应选在仪器幅频特性曲线的平直部分,该频率范围内的允许误差应在指示值的 $\pm 10\%$ 的范围内,如果仪器的低频响应不足,则需按仪器实际频响特性对扭振测量值进行修正。

### 4.3 测点位置

4.3.1 测点应布置在曲轴轴系扭振幅值较大位置,一般选于内燃机或压气机曲轴的自由端。

4.3.2 需进行多点测量的曲轴轴系,应根据事先计算的结果,设置在扭振振幅较大部位及其它需测量的部位。

4.3.3 对于内燃发电机组和电机压气机组,必要时可在电机轴伸端附近增加测点。

4.3.4 对于内燃机台架试验轴系,必要时可在测功器端增设测点。

4.4 测量工况

4.4.1 变速变负荷工作的机组,需由最低稳定转速到最高转速范围分档进行测量;必要时,可在升速和降速转速连续变化下进行扭振测量。

4.4.2 测量转速分档间隔一般为额定转速的5%,在共振区内可加密至按额定转速的2%分档。

4.4.3 内燃机台架试验轴系,一般按外特性或螺旋桨推进特性(对于船用主机)或牵引特性(对于机车柴油机)进行。

4.4.4 内燃发电机组轴系应在额定转速、额定电压和额定负荷下进行扭振测量。

4.4.5 若需在特殊工况下进行扭振测量,则应在技术文件中予以说明。

4.5 测量程序

4.5.1 在选定的测点位置,按GB/T 13436规定要求安装传感器,并正确连接好仪器测试系统。

4.5.2 对于皮带传动的机械式扭振仪,皮带应合理张紧,对于电子扭振仪,导线应良好固定,应尽量排除温度和磁场等环境因素对测量精度的影响,以确保测量工作正常进行。

4.5.3 在所选定的测量工况下待机组转速稳定后进行测量,每一档测量应保证足够的测量记录时间。

4.5.4 测量时允许使用滤波器,但需正确选用并在报告中予以说明。

4.6 测量结果分析

4.6.1 通过曲轴轴系扭振测量波形分析,可以直接获得实际转速、轴系固有频率、临界转速、简谐次数和测点振幅值。

4.6.2 根据测量记录方式、扭振信号特征和分析设备的条件,合理选择扭振波分析方法。

4.6.2.1 用手工分析方法时,应选择三个以上典型周期波形,取其振幅的算术平均值。

4.6.2.2 用模拟分析方法时,其分析仪器系统应满足记录信号频率范围要求,选用合适带宽的滤波器,并保证分析精度。

4.6.2.3 用数字分析方法时,必须综合考虑分辨率、样本长度等以保证分析精度。

4.6.3 将上述测量分析结果绘制成测量点各主要分谐波振幅A<sub>i</sub>随转速n变化的曲线或表格。

5 扭转振动评定方法

5.1 评定参数

5.1.1 曲轴轴系扭转振动的评定参数为扭振应力、振动扭矩和扭振振幅,一般按扭振应力或振动扭矩进行评定。

5.1.2 如果轴系实测固有频率值与理论计算值之间的误差在±5%范围内,则可用测量点的实测振幅按自由振动理论计算的相应固有振型推算共振区转速范围内轴系各处的振幅、应力及振动扭矩,否则应对理论计算作修正后再进行推算。

5.1.3 轴系中轴段振动扭矩按公式(1)求得:

$$M_{i,i+1} = A_i(a_i - a_{i+1})K_{i,i+1} \dots\dots\dots (1)$$

式中: M<sub>i,i+1</sub>——第i,i+1质量间轴段振动扭矩,N·m;

A<sub>i</sub>——测量点(一般为第1质量)最大分谐波振幅值,rad;

a<sub>i</sub>——相应固有振型第i质量相对振幅;

a<sub>i+1</sub>——相应固有振型第i+1质量相对振幅;

K<sub>i,i+1</sub>——第i,i+1质量间轴段扭转刚度,N·m/rad。

5.1.4 轴系中轴段扭振应力按公式(2)求得:

$$\tau_{i,i+1} = \frac{M_{i,i+1}}{W_{i,i+1}} \dots\dots\dots (2)$$

式中: τ<sub>i,i+1</sub>——第i,i+1质量间轴段扭振应力,Pa;

W<sub>i,i+1</sub>——第i,i+1质量间轴段抗扭截面模量,对于曲轴以曲柄销直径为准,对于传动轴以轴的最

小直径为准, mm<sup>3</sup>。

5.1.5 按 5.1.3, 5.1.4 求得的轴段振动扭矩和扭振应力与相应的许用值进行比较, 评定轴系工作的可靠性。

## 5.2 许用值

### 5.2.1 扭振许用应力

5.2.1.1 对于变速运转的曲轴轴系, 轴段扭振应力应不超过扭振许用应力值:

$$\left. \begin{array}{lll} \text{持续运转} & 0 < \gamma \leq 1 & \tau_c \leq [\tau_c] \\ \text{瞬时运转} & 0 < \gamma < 0.8 & \tau_i \leq [\tau_i] \\ \text{超速运转} & 1 < \gamma \leq 1.15 & \tau_g \leq [\tau_g] \end{array} \right\} \dots\dots\dots (3)$$

5.2.1.2 对于恒速运转的曲轴轴系, 如内燃发电机组等, 轴段扭振应力应不超过扭振许用应力值:

$$\left. \begin{array}{lll} \text{持续运转} & 0.95 \leq \gamma \leq 1.1 & \tau_c \leq [\tau_c] \\ \text{瞬时运转} & 0 < \gamma < 0.95 & \tau_i \leq [\tau_i] \end{array} \right\} \dots\dots\dots (4)$$

式(3)、(4)中:

$\gamma$ ——共振转速与额定转速之比;

$\tau_c$ ——持续运转轴段扭振应力, Pa;

$[\tau_c]$ ——持续运转扭振许用应力, Pa;

$\tau_i$ ——瞬时运转轴段扭振应力, Pa;

$[\tau_i]$ ——瞬时运转扭振许用应力, Pa;

$\tau_g$ ——超速运转轴段扭振应力, Pa;

$[\tau_g]$ ——超速运转扭振许用应力, Pa。

5.2.1.3 扭振许用应力视机组的用途(如船舶、汽车、拖拉机等)、轴系中轴的类别(如曲轴、传动轴等)和所选用的材料而定。

### 5.2.2 振动许用扭矩

5.2.2.1 轴系内如设有齿轮传动装置时, 则齿轮啮合处的振动扭矩, 应不超过相应齿轮对间的传递力矩, 齿轮传动装置传递的最大扭矩不能超过其许用扭矩。

5.2.2.2 轴系内如设有弹性联轴器时, 则其弹性元件在持续运转时所传递的振动扭矩应不超过弹性联轴器制造厂所规定的持续运转的许用交变扭矩值; 在瞬时运转时应不超过瞬时运转的许用交变扭矩值。

### 5.2.3 扭振许用振幅

5.2.3.1 当资料不足, 无法获得轴段扭振应力、振动扭矩时, 可用扭振振幅值予以评定。

5.2.3.2 对于内燃机、压气机曲轴轴系以曲轴自由端测量最大分谐波振幅为评定值, 对于无法在曲轴自由端进行测量的轴系, 则以相对振幅较大位置测得的最大分谐波振幅为评定值。

5.2.3.3 扭振许用振幅值视机组的用途和轴系所选用的材料而定。

5.2.3.4 内燃发电机组交流发电机转子的扭振振幅(包括脉动振幅)应不大于  $\pm 2.5^\circ/P$ , 其中  $P$  为发电机磁极对数。

## 6 扭振转速禁区

6.1 如果曲轴轴系的扭振应力或振动扭矩或扭振振幅超过相应标准规定的持续运转的许用值时, 则在该共振转速  $n_c$  附近应设“转速禁区”, 在此禁区内, 机组不应持续运转。

6.2 应避免的转速范围如下:

$$\frac{16n_c}{18-\gamma} \sim \frac{(18-\gamma)n_c}{16}$$

6.3 转速禁区也可取为超出持续运转许用值的转速范围, 该范围由测量决定, 并计入  $\pm 2\%$  的转速测量误差。

# GB/T 15371—94

---

## 附加说明:

本标准由中华人民共和国机械工业部提出。

本标准由全国内燃机标准化技术委员会归口。

本标准由机械工业部上海内燃机研究所负责起草。

本标准主要起草人吴炎庭、吴奇、周岳康。