



中华人民共和国国家标准

GB/T 15371—2008
代替 GB/T 15371—1994

曲轴轴系扭转振动的测量与评定方法

Torsional vibration of crankshaft system—
Measurement and evaluation method

2008-06-03 发布

2009-01-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 发布
中国国家标准化管理委员会

前 言

本标准是对 GB/T 15371—1994《曲轴轴系扭转振动的测量与评定方法》的修订。

本标准与 GB/T 15371—1994 相比主要变化如下：

- 修改了“术语和定义”；
- 增加了扭转振动计算；
- 对测量方法作了相应的增删和修改。

本标准自实施之日起代替 GB/T 15371—1994。

本标准由中国机械工业联合会提出。

本标准由全国内燃机标准化技术委员会(SAC/TC 177)归口。

本标准起草单位：上海内燃机研究所、上海汽车集团股份有限公司。

本标准主要起草人：袁卫平、叶怀汉、蔡相儒、曹家骏、王晖、陈伟芳。

本标准所代替标准的历次版本发布情况为：

- GB/T 15371—1994。

曲轴轴系扭转振动的测量与评定方法

1 范围

本标准规定了往复式活塞连杆机构驱动的机组轴系扭转振动的计算测量和评定方法。

本标准适用于每列气缸数为三缸及三缸以上往复式活塞连杆结构驱动的曲轴轴系,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 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。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 13436 扭转振动测量仪器技术要求

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

机组 set

包括一台或数台往复式活塞式连杆机构驱动的机械与从动机的机械装置的总成。

3.2

轴系 shaft system

与一台机组相连的所有可旋转零部件的总成。

注:在计算扭转振动时,所考虑的是整个轴系。

3.3

扭转振动 torsional vibration

旋转轴系的振荡角变形(扭转角)。

3.4

扭振振幅 torsional vibration amplitude

欲考虑的角位置与任意给定基准位置间、在垂直于轴系轴线剖面内所测得的最大角位移。

3.5

相对振幅 relative amplitude

轴系中某点振幅与参考点振幅的比值。

3.6

固有频率 natural frequency

可以由各个无阻尼系统运动方程式求得的参数。

注:通常不必计算阻尼系统的固有频率。

3.7

固有矢量 natural vector

系统在按相应固有频率振动时,其所有剖面对任意选作系统基准剖面(此处振幅定为1)的相对振幅。

3.8

弹性曲线 **elastic line**

各剖面内固有矢量振幅的包络线。

3.9

振动节点 **vibratory node**

弹性曲线在相对固有矢量振幅等于零时的位置点。

3.10

扭转振动固有模态 **natural mode of torsional vibration**

用固有频率及其弹性曲线来表示,以表征各个扭转振动的模态。

3.11

激助力矩 **excitation torque**

由往复式活塞连杆机构驱动的机械或从动机所产生的、激励轴系扭转振动周期性扭转力矩。

3.12

谐波 **harmonic**

由激助力矩分解成一系列正弦项(富里叶级数)中的每一项。

3.13

振动谐次 **vibration**

与各谐波相对应的每转振荡的次数。

3.14

共振转速 **resonance speed**

整个轴系产生共振时的转速(此时一个振动模态的固有频率等于激助力矩的谐波频率)。

3.15

综合扭转应力 **synthesized torsional stress**

在轴系给定剖面上由各激助力矩的谐波所产生的扭转应力的总合,其中计及各谐波所产生应力的幅值和相位。

注:在表达综合扭转应力时,不使用平均力矩。

3.16

附加扭转应力 **additional torsional stress**

在所考虑的轴系给定剖面处,由给定谐波扭转振动所产生的、叠加在平均传递扭矩扭转应力上的应力。

3.17

转速禁区 **barred speed range**

扭转振动应力超过持续运转许用应力值时的转速范围。

注:在此转速范围内禁止持续运转,但允许瞬时通过,只要不使轴系产生危险或招致损坏。

4 扭转振动计算

4.1 概述

已知轴系的动态特征,可以计算:

- a) 固有频率和振型;
- b) 轴系的激励响应。

经协议预先同意,使用经有关各方同意的常规方法进行扭转振动计算,必要时也可以简化计算。

4.2 计算方法

4.2.1 自由振动

计算无阻尼轴系线性方程组的特征值(固有频率)和特征向量(固有矢量)。

4.2.2 强迫振动

求轴系一侧为发动机激励力矩,和必要时还有其他零部件不可忽略的激励力矩时的微分方程解。

4.3 计算资料

轴系扭转振动计算所需计及的资料有:每一零部件的极惯性矩、扭转刚度、零部件的激励力矩、运转转速范围、具体运行参数以及必要时还有扭转振动阻尼等。

应收集往复式活塞连杆机构驱动的机械和从动机的所有相关资料,以便进行扭转振动计算。

4.4 计算结果

利用 4.2.1 和 4.2.2 所述方法求得的结果,连同其他资料可以得到下列数据:

- a) 固有频率,固有矢量和共振转速;
- b) 轴系扭转应力;
- c) 弹性联轴节的振动力矩和这些力矩对其他机件的影响;
- d) 轴线给定点的振幅;
- e) 联轴节和其他阻尼源产生的热能。

如有必要还可以利用该结果,求得齿轮的振动加速度。

4.5 计算报告

如协议要求有扭转振动计算报告,则该报告内容应包括往复式活塞连杆机构驱动的机械的主要数据、轴系布置和按 4.4 规定的必要计算结果。

5 扭转振动的测量

5.1 概述

如协议规定,为验证计算,应进行轴系扭转振动测量,则协议中应规定测量仪器、测量位置和测量工况的选择,以评价该位置的振幅。

5.2 测量仪器

测量仪器应符合 GB/T 13436 的规定。

可使用以下设备作为扭振拾振器:

- a) 电涡流探头(非接触式);
- b) 应变式传感器;
- c) 光学传感器。

如经客户与供应商同意,亦可采用其他设备测量。

5.3 测量参数

根据测量方法,应测取下列参数,并将其记录在测试报告中。

- a) 轴系转速;
- b) 发动机功率;
- c) 扭转振动振幅;
- d) 测试现场的环境温度;
- e) 固有频率和临界转速范围;
- f) 可能影响扭转振动的附加参数;
- g) 往复式内燃机气缸的发火次序。

如需要,还可测量其他参数(如:应变)。

5.4 测量位置

5.4.1 测点应布置在曲轴轴系扭振幅值较大位置处,一般选于往复式活塞连杆机构驱动机械的曲轴自由端。

5.4.2 需进行多点测量的曲轴轴系,应根据事先计算的结果,布置在扭振振幅较大位置处及其他需测量的位置。

5.4.3 对于机组,如内燃发电机组和电机压气机组,必要时可在从动机轴伸端附近增加测点。

5.4.4 对于台架试验轴系,如内燃机台架试验轴系,必要时可在测功器端增设测点。

5.5 测量工况

5.5.1 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内分档进行测量;必要时,可在升速和降速转速连续变化下进行扭振测量。

5.5.2 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额定转速的2%分档。

5.5.3 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。

5.5.4 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。

如客户和供应商同意,亦可以进行其他工况的测量。

5.6 测试报告

如协议要求有扭转振动测试报告,则该报告应包括往复式活塞连杆机构驱动的机械的主要数据、轴系布置、按5.3规定(根据需要)的测量参数和测试现场。此外还应记录测量设备的型式、准确度和校验方法以及拾振器的位置等。

当测量条件与协议规定等条件不符时,应对不同条件所产生的影响和对结果的修正达成一致意见后方可开始测量。

6 扭转振动评定方法

6.1 评定参数

6.1.1 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。

6.1.2 如果轴系实测固有频率值与理论计数值之间的误差在±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、应力及振型扭矩,否则应对理论计算作修正后再进行推算。

6.1.3 轴系中轴段振动扭矩按公式(1)求得:

$$M_{i,i+1} = A_1(a_i - a_{i+1})K_{i,i+1} \dots\dots\dots (1)$$

式中:

$M_{i,i+1}$ ——第*i,i+1*质量间轴段振动扭矩,单位为牛顿米(N·m);

A_1 ——测量点(一般为第1质量)最大分谐波振幅,单位为弧度(rad);

a_i ——相应固有振型第*i*质量相对振幅;

a_{i+1} ——相应固有振型第*i+1*质量相对振幅;

$K_{i,i+1}$ ——第*i,i+1*质量间轴段扭转刚度,单位为牛顿米每弧度(N·m/rad)。

6.1.4 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:

$\tau_{i,i+1}$ ——第*i,i+1*质量间轴段扭振应力,单位为帕斯卡(Pa);

$W_{i,i+1}$ ——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,单位为立方毫米(mm³)。

6.1.5 按6.1.3、6.1.4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。

6.2 许用值

6.2.1 扭振许用应力

6.2.1.1 对于变速运动的曲轴轴系,轴段扭振应力值应不超过扭振许用应力值:

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

式中:

γ ——共振转速与额定转速之比;

τ_c ——持续运转轴段扭振应力,单位为帕斯卡(Pa);

$[\tau_c]$ ——持续运转扭振许用应力,单位为帕斯卡(Pa);

τ_t ——瞬时运转轴段扭振应力,单位为帕斯卡(Pa);

$[\tau_t]$ ——瞬时运转扭振许用应力,单位为帕斯卡(Pa);

τ_g ——超速运转轴段扭振应力,单位为帕斯卡(Pa);

$[\tau_g]$ ——超速运转扭振许用应力,单位为帕斯卡(Pa)。

6.2.1.2 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:

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

6.2.1.3 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。许用应力由供应商选定,经客户确认后方可进行评定。

6.2.2 振动许用扭矩

6.2.2.1 轴系内如设有齿轮传动装置,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。

6.2.2.2 轴系内如设有弹性联轴器,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商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。

6.2.3 扭振许用振幅

6.2.3.1 对资料不足,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。

6.2.3.2 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。

6.2.3.3 扭振许用振幅值视机组的用途和轴系所选用的材料而定。许用应力由供应商选定,经客户确认后方可进行评定。

6.2.3.4 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 为发动机磁极对数。

7 扭振转速禁区

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

7.2 应避开的转速范围如下:

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

7.3 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 $\pm 2\%$ 的转速测量偏差。

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准
曲轴轴系扭转振动的测量与评定方法
GB/T 15371—2008

*

中国标准出版社出版发行
北京复兴门外三里河北街16号
邮政编码:100045

网址 www.spc.net.cn

电话:68523946 68517548

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
各地新华书店经销

*

开本 880×1230 1/16 印张 0.75 字数 11 千字
2008年8月第一版 2008年8月第一次印刷

*

书号: 155066·1-32580 定价 14.00 元



GB/T 15371—2008

如有印装差错 由本社发行中心调换
版权专有 侵权必究
举报电话:(010)68533533