



中华人民共和国国家标准

GB/T 38250—2019/ISO 23788:2012

金属材料 疲劳试验机同轴度的检验

Metallic materials—Verification of the alignment of fatigue testing machines

(ISO 23788: 2012, IDT)

2019-10-18 发布

2020-05-01 实施

国家市场监督管理总局 发布
中国国家标准化管理委员会

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准使用翻译法等同采用 ISO 23788:2012《金属材料 疲劳试验机同轴度的检验》。

与本标准中规范性引用的国际文件有一致性对应关系的我国文件如下：

——GB/T 16825.1—2008 静力单轴试验机的检验 第1部分：拉力和(或)压力试验机测力系统的检验与校准(ISO 7500-1:2004, IDT)。

本标准做了下列编辑性修改：

——统一了文中术语“弯曲百分比”的表示符号，将行文中的“ β ”改为“ B ”；

——修正了图 3b)、c)中的符号错误，将“ W ”改为“ w ”，将“ W_g ”改为“ w_g ”。

本标准由中国机械工业联合会提出。

本标准由全国试验机标准化技术委员会(SAC/TC 122)归口。

本标准起草单位：中机试验装备股份有限公司、深圳万测试验设备有限公司、中国航空工业集团公司北京长城计量测试技术研究所、济南鑫光试验机制造有限公司、广州大学、承德市精密试验机有限公司、深圳市华测检测有限公司。

本标准主要起草人：刘继林、安建平、田峰、王建国、徐忠根、王新华、徐维嘉。

引 言

本标准中的试验机同轴度,指的是夹具几何(加载)轴线的一致性。该理想状态的任何偏离将导致加载链的角度和/或侧向偏置(或不同轴)(参见附录 A)。不同轴表现为试样或同轴度测量装置(以下称“同轴度传感器”)上存在一个附加的弯曲应力/应变区。弯曲应力/应变区叠加在所施加的假定均匀的应力/应变场上。在纯扭转试验中,任何不同轴将导致双轴扭转附加弯曲应力/应变状态的产生。

已证明轴向疲劳试验系统中,加载链的不同轴显著影响着疲劳试验结果(参见参考文献[1],[2]和[3])。

由不同轴导致的弯曲,其主要原因无非是以下因素的综合:

- 夹具中心线的一致性差;
- 试样或同轴度传感器自身的固有缺陷。

理想情况下,对所有试样或同轴度传感器,试验机产生的弯曲分量保持不变。试样或同轴度传感器产生的弯曲分量随装置不同而变化。

最近的研究(参见参考文献[4]和[5])已表明,无论试样或传感器多么精细地加工,固有的弯曲误差始终存在。固有缺陷(即偏心 and 倾斜)产生于装置轴向中心线的几何不对称和与所选应变片类型、安装、性能有关的其他测量误差。装置的固有弯曲误差会很显著,有时甚至超过机器不同轴导致的弯曲误差。

本标准通过下述方法消除了同轴度传感器自身固有缺陷导致的误差。将同轴度传感器绕其纵轴旋转 180° ,并从测定的整体最大表面弯曲应变中减去其弯曲分量。因此,具有相同材料和标称尺寸的不同装置,理应给出相同的同轴度测量结果;参见参考文献[2]中图 10 的例子。

金属材料 疲劳试验机同轴度的检验

1 范围

本标准规定了使用应变测量装置的试验机同轴度检验方法。

本标准适用于金属材料动态单轴拉和/或压、纯扭转、复合式拉扭、复合式压扭和复合式拉压扭转疲劳试验机。

本标准中概述的方法是通用的,可以应用到静态试验机和非金属材料测试。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

ISO 7500-1 金属材料 静力单轴试验机的检验 第1部分:拉力和(或)压力试验机 测力系统的检验与校准(Metallic materials—Verification of static uniaxial testing machines—Part 1: Tension/compression testing machines—Verification and calibration of force-measuring system)

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

同轴度 alignment

加载链组件(包括试样)的加力轴线的一致性。

注:不满足这种一致性会导致在试样上产生附加弯矩。

3.2

同轴度传感器 alignment cell

精密加工的试验机同轴度检验用应变式测量装置。

3.3

同轴度规 alignment gauge

由一对分离杆和一个通止规组成的,用于夹具同轴度符合性检验的精密加工的机械装置。

3.4

平均轴向应变 average axial strain

ϵ_a

由分布在同轴度传感器表面处于相同横截面的一组应变片测量的平均纵向轴应变。

注:平均轴向应变表示截面几何中心的应变。

3.5

加载链 load train

包含横梁和驱动器在内的二者间的所有部件。

注:加载链包括试样。

3.6

弯曲应变 bending strain

ϵ_b

应变片测得的局部应变与平均轴向应变之差。

注：弯曲应变是用大小、方向和离散的作用点表征的矢量。它通常随同轴度传感器表面位置点的不同而变化。

3.7

试验机同轴度 machine alignment

用最大弯曲应变分量 $\epsilon_{b,max,mc}$ 表征的夹具轴线的一致性程度。

注：机器不同轴表现为上下夹具的加力轴线存在侧向偏置和/或角度倾斜。

3.8

试验机方位 machine aspect

试验机的前方、后方、左方和右方。

3.9

最大弯曲应变 maximum bending strain

$\epsilon_{b,max}$

在给定的横截面中，具有最大弯曲应变幅值的矢量。

注：最大弯曲应变矢量用大小、方向和离散的作用点表征。

3.10

弯曲百分比 percentage bending

B

最大弯曲应变乘 100 并除以平均轴向应变。

3.11

测量平面 measurement plane

同轴度传感器上一组应变片的横轴所在的截面。

3.12

测量方位 measurement orientation

同轴度传感器相对其纵轴的位置(0°、90°、180°和 270°)。测量方位明确了应变片 1 或同轴度传感器表面的一个永久标记相对于机器前方的位置。

注：机器前方是 R-方位。

3.13

平行长度 parallel length

L_p

同轴度传感器缩颈段的平行部分的长度。

3.14

比例极限 proportional limit

材料能够保持弹性的最大应力，即没有任何应力-应变比例偏差。

3.15

R-方向 R-direction

相对于试验机机架的固定参考方向。

注：通常指试验机前部中心方向。

3.16

应变片轴向间距 strain gauge axial separation

L_g

同轴度传感器上下测量平面间的轴向距离。

3.17

应变片横向间距 strain gauge transverse separation

w_g

薄矩形同轴度传感器宽面上,应变片中心间的横向距离。

4 符号

下列符号适用于本文件。

$A_1 \sim A_n$: 上层应变片组。

$B_1 \sim B_n$: 下层应变片组。

d : 圆柱体同轴度传感器的最小直径;同轴度规的内径。

D : 圆柱体同轴度传感器夹持端的直径。

e : 偏心或侧向偏置。

L_p : 平行长度。

L_g : 应变片轴向间距。

L_x : 同轴度传感器、同轴度规或试样的全长。

r : 同轴度传感器或试样的平行长度与夹持端的圆角半径。

t : 矩形同轴度传感器缩颈段的厚度。

w : 矩形同轴度传感器缩颈段的宽度。

W : 矩形同轴度传感器夹持端的宽度。

w_g : 应变片的横向间距。

B : 弯曲百分比。

B_{oc} : 由同轴度传感器的固有缺陷引起的弯曲百分比。

B_{mc} : 由试验机不同轴引起的弯曲百分比。

ϵ_a : 平均轴向应变。

ϵ_1, ϵ_2 等: 各自应变片的读数(即局部应变)。

ϵ_b : 弯曲应变(合成值)。

$\epsilon_{b,oc}$: 由同轴度传感器的固有缺陷引起的弯曲应变分量。

$\epsilon_{b,mc}$: 由试验机不同轴引起的弯曲应变分量。

$\epsilon_{b,max}$: 最大弯曲应变(合成值)。

$\epsilon_{b,max,oc}$: 由同轴度传感器的固有缺陷引起的最大弯曲应变分量。

$\epsilon_{b,max,mc}$: 由试验机不同轴引起的最大弯曲应变分量。

γ : 倾(斜)角。

θ_{oc} : $\epsilon_{b,max,oc}$ 相对于应变片 1(或同轴度传感器表面的一个永久标记)的位置角(俯视,顺时针方向)。

θ_{mc} : $\epsilon_{b,max,mc}$ 相对于试验机前方(R-方向)的位置角(俯视,顺时针方向)。

5 测量要求

5.1 试验机

试验系统应包含一个由力传感器(负荷传感器)、调理(数据采集)器和指示单元组成的测力系统,该系统应符合 ISO 7500-1 的要求。

注 1: 1 级试验机要求力值验证范围内的示值误差不超过 $\pm 1\%$ 。

重要的是,夹具要能使同轴度传感器绕自身纵轴旋转 180° ,还应充分保证同轴度传感器重复定位

和装夹时不同轴变化最小(见附录 B)。

推荐(非必要)试验机加载链的一部分配有侧向和角度偏置的调整装置。同时建议:

- a) 减少夹持装置的部件数量,以减少机械接口的数量;
- b) 在涉及交变拉-压载荷的测试中,最大限度地提高疲劳试验机的侧向刚度,以减少任何所谓的交变弯曲对疲劳试验结果的影响(参见参考文献[1])。

注 2: 试验机侧向刚度的测试方法参见附录 C。

5.2 同轴度传感器

测量中使用的同轴度传感器,其刚度对同轴度测量有轻微的影响(参见参考文献[2]的图 13);传感器的刚度越低,试验机同轴度测试的灵敏度越高。一个好的同轴度传感器也宜足够稳定,可以连续使用较长时间(即多年)。宜注意确保充分满足这两方面的要求。

理论上,合适的同轴度传感器材料宜具有:

- a) 足够大的线弹性范围;
- b) 组织稳定性高;
- c) 无明显残余应力以确保尺寸的稳定性;
- d) 良好的抗氧化性能。

完全回火钢(如 $R_{p0.2}$ 约为 1 000 MPa 的合金钢)是同轴度传感器制作的理想选材(参见参考文献[3]和[4])。高强度铝合金(如 7075-T6)也属于合适的备选材料。

5.3 设计和制造

5.3.1 设计

同轴度传感器的总长应与疲劳试样相同(但标距和横截面积不一定相同)。其应采用与疲劳试样相同的方式装入夹具,以避免使用特殊的转接件。对于圆柱体传感器,直径 d 不应超过 10 mm 或疲劳试样的直径,两者取大者。推荐的标准直径为 5 mm、7.5 mm 和 10 mm。

表 1、表 2 和表 3 给出了推荐的标准比例。使用比表中所示尺寸还小的截面,或许受限于合适应变片的获取。图 1 和图 2 给出了同轴度传感器基本形状的同轴度、直线度和平行度的要求(即影响同轴度的表面机械加工公差)。

在遵守本标准主要要求的前提下,其他的几何形状和侧轮廓外形是允许的。然而,显著的尺寸变化,妨碍与推荐的标准传感器的测量进行有意义的比较。推荐的其他几何形状和夹持端设计参见参考文献[4]。

5.3.2 圆形截面同轴度传感器的尺寸

圆形截面同轴度传感器的尺寸见表 1 和图 1。

表 1 圆形横截面同轴度传感器的名义尺寸

| 尺寸 mm | 推荐值 |
|----------|------------|
| d | 5, 7.5, 10 |
| L_p | $2.5d$ |
| r | $\geq 2d$ |

表 1 (续)

| 尺寸 mm | 推荐值 |
|---|------------|
| D | D (试样) |
| L_x | L_x (试样) |
| 缩颈段表面粗糙度 $Ra: 0.8 \mu\text{m} \sim 1.6 \mu\text{m}$ | |

5.3.3 厚矩形截面同轴度传感器的尺寸

厚矩形截面同轴度传感器的尺寸见表 2 和图 2。

表 2 厚矩形截面同轴度传感器的名义尺寸

| 尺寸 mm | 推荐值 |
|---|--------------|
| t | 5, 7.5, 10 |
| w | $\geq t$ |
| L_p | $\geq 2.5t$ |
| r | $2t \sim 8t$ |
| W | W (试样) |
| L_x | L_x (试样) |
| 缩颈段表面粗糙度 $Ra: 0.8 \mu\text{m} \sim 1.6 \mu\text{m}$ | |

5.3.4 薄矩形截面同轴度传感器的尺寸

薄矩形截面同轴度传感器的尺寸见表 3 和图 2。

表 3 薄矩形截面同轴度传感器的名义尺寸

| 尺寸 mm | 推荐值 |
|---|--------------|
| t | 2, 3, 4 |
| w | $\geq 5t$ |
| L_p | $\geq 2.5t$ |
| r | $2t \sim 8t$ |
| W | W (试样) |
| L_x | L_x (试样) |
| 缩颈段表面粗糙度 $Ra: 0.8 \mu\text{m} \sim 1.6 \mu\text{m}$ | |

5.4 机械加工

精加工时应小而减量切割并加注充足的冷却液,使传感器材料的金相组织和性能不受影响,同时不

致引起过度的残余应力。为使应变片有效的粘接,同轴度传感器的最佳表面粗糙度 R_a 应在 $0.8 \mu\text{m} \sim 1.6 \mu\text{m}$ 范围内。

注:疲劳试样的表面粗糙度 R_a 通常在 $0.2 \mu\text{m} \sim 0.4 \mu\text{m}$ 范围内。

5.5 应变片安装前的检验

应变片粘贴前,应仔细检验同轴度传感器(使用的仪器如光学投影仪或比较仪),确认所有的关键尺寸和相关的几何公差,以确保其满足所有的几何要求。应变片粘贴后,则无法用这些方法检验同轴度传感器了。

5.6 应变测量仪

一批 8 个应变片(4 个一组分两组)应如图 3 所示编号和定位(参见参考文献[4]和[5])。对圆柱体同轴度传感器[见图 3 a)],应变片应沿同轴度传感器的圆周相距 90° 等间隔分布。图 3 b)所示分布结构适合于宽厚比 $w/t < 3$ 的矩形同轴度传感器。对具有更大宽厚比(≥ 3)的同轴度传感器,应变片可背靠背成对地安装在与同轴度传感器中心线等距的位置,如图 3 c)所示。应变片应全部匹配,即来自相同制造商的同批次产品。建议有效长度约为 $0.1L_p$ 或更小。

本标准的同轴度测量参数(决定因素),由所测应变的比值确定,因此,它们不宜受到温度变化的影响。建议使用与同轴度传感器材料匹配的带温度自补偿的应变片,尤其是要精确测量绝对轴向平均应变时,如模量测量,同样需要。

按图 3 的要求,表 4 给出了应变片在同轴度传感器表面的安装位置。

表 4 应变片的安装位置

| 尺寸 | 要求 |
|--|-----------|
| L_g | $0.75L_p$ |
| w_g | $0.75w$ |
| 注:距离 $L_g = 0.75L_p$ 表示最大间距,以减少应力集中带来的影响,应力集中与同轴度传感器平行长度末端截面的变化有关。 | |

宜注意根据制造商的建议选择应变片。同时确保应变片按制造商推荐的工序粘贴。应变片应安装在指定位置,偏差不得超过 0.1 mm 或同轴度传感器的直径或宽度的 0.01 倍,取较大者。其测量轴应与同轴度传感器的纵轴对齐,偏差在 2° 以内。安装完毕后,在添加保护层前,应使用合适的仪器,如角光学投影仪或低倍显微镜的环形标线,检查并确认应变片的对齐。

应变测量和数据采集系统(不含同轴度传感器)应进行相应的校准。用于校准应变测量和数据采集系统的并联电阻器和/或任何其他设备,应溯源到相关的国家标准。应变测量和数据采集系统(包括同轴度传感器)的应变测量不确定度应在 $\pm 5 \mu\epsilon$ 或读数的 $\pm 1.0\%$ 以内,取大者。

三应变片型传感器(以下简称“三片型传感器”)参见附录 D。

5.7 系统检查

5.7.1 为确保同轴度测量系统的功能正常,应进行以下检查。

5.7.2 作为同轴度传感器调试过程的一部分,以下检查应至少执行一次。将同轴度传感器连接到试验机上,在其上施加一个小力,使同轴度传感器产生一个相应的标称值 ϵ_s ,该值在 $100 \mu\epsilon \sim 1000 \mu\epsilon$ 范围内,比较上下应变片组的平均轴向应变。如果它们的一致性不在 $5 \mu\epsilon$ 以内,应更换同轴度传感器。

注:同轴度传感器的标称值 ϵ_s 是由所有应变片的平均值确定的。

5.7.3 作为试验机加载链或夹具调试过程的一部分,以下检查应至少执行一次。附录 B 规定了试样重

复夹持的精度评价。

5.7.4 每个同轴度检验程序中应进行以下检查。测定同轴度传感器材料的割线或弹性模量 E (例如, 在所有应变片的平均值 ϵ_0 约等于 $1\,000\ \mu\epsilon$ 时)。在两次测试之间以及同轴度传感器的整个使用周期内, 该值应是稳定的, 偏差在平均值(或已知值)的 $\pm 3\%$ 以内。否则, 应查明原因, 并采取适当的措施。

6 同轴度测量计算

6.1 一般要求

试验机对同轴度传感器的弯曲贡献, 由两个相反方向上测量的弯曲应变分量(在相同作用力下)评价, 如图 4 中的 0° 和 180° (参见参考文献[5])。当试验机的弯曲分量保持不变时, 通过旋转同轴度传感器, 其弯曲分量相对于试验机旋转了。对任一应变片, 弯曲应变在两个截然相反的位置上的差, 即是试验机的弯曲分量。

6.2 圆柱体同轴度传感器

对于四个一组的应变片, 在给定的轴向作用力下, 相同横截面上的平均轴向应变由式(1)给出:

$$\epsilon_0 = (\epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3 + \epsilon_4) / 4 \quad \dots\dots\dots(1)$$

注 1: 在零轴向力下以及在纯扭转中, 平均轴向应变为零。

局部弯曲应变由式(2)~式(5)给出:

$$\epsilon_{b1} = \epsilon_1 - \epsilon_0 \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$\epsilon_{b2} = \epsilon_2 - \epsilon_0 \quad \dots\dots\dots(3)$$

$$\epsilon_{b3} = \epsilon_3 - \epsilon_0 \quad \dots\dots\dots(4)$$

$$\epsilon_{b4} = \epsilon_4 - \epsilon_0 \quad \dots\dots\dots(5)$$

注意: 应变片的读数以应变为单位, 压缩应变为负值。理论上应有 $\epsilon_1 + \epsilon_3 = \epsilon_2 + \epsilon_4$ 。

试验机的前方, 即应变片 1 的初始位置, 由于试验机不同轴导致的局部弯曲应变分量由式(6)给出:

$$\epsilon_{b1,mc} = \frac{\epsilon_{b1,0^\circ} - \epsilon_{b1,180^\circ}}{2} \quad \dots\dots\dots(6)$$

式中:

$\epsilon_{b1,0^\circ}$ ——应变片 1 位于 0° 方位时测量的局部弯曲应变;

$\epsilon_{b1,180^\circ}$ ——应变片 1 位于 180° 方位时测量的局部弯曲应变。

式(6)适用于其他应变片位置以测定 $\epsilon_{b2,mc}$ 、 $\epsilon_{b3,mc}$ 和 $\epsilon_{b4,mc}$ 。

由于试验机不同轴导致的最大弯曲应变由式(7)给出:

$$\epsilon_{b,max,mc} = \frac{1}{2} \sqrt{(\epsilon_{b1,mc} - \epsilon_{b3,mc})^2 + (\epsilon_{b2,mc} - \epsilon_{b4,mc})^2} \quad \dots\dots\dots(7)$$

图 5 给出了单轴试验机的 $\epsilon_{b,max,mc}$ 随施加的平均轴向应变 ϵ_0 变化的示例。

对于轴向测试, 最大弯曲应变可以用百分数表示。由于试验机不同轴导致的弯曲百分比 B_{mc} 按式(8)计算:

$$B_{mc} = \left| \frac{\epsilon_{b,max,mc}}{\epsilon_0} \right| \times 100 \quad \dots\dots\dots(8)$$

对于 0° 和 180° 方位测量, 最大弯曲应变的角度按式(9)计算:

$$\theta_{mc} = \frac{(\epsilon_{b2,mc} - \epsilon_{b4,mc})}{|\epsilon_{b2,mc} - \epsilon_{b4,mc}|} \times \arccos\left(\frac{\epsilon_{b1,mc} - \epsilon_{b3,mc}}{2\epsilon_{b,max,mc}}\right) \quad \dots\dots\dots(9)$$

式中 θ_{mc} 从 R-方向起测量, 顺时针旋转为正, 逆时针旋转为负。

注 2: 测量过程中, 随着作用力或轴向应变的增加或减少, θ_{mc} 轻微和逐渐变化是正常的。然而, 突然或无规则的变化

化说明加载系统存在间隙和/或其他机械不稳定。

注3：在给定的作用力下， $\epsilon_{b,max,mc}$ 和 θ_{mc} 的值通常与同轴度传感器固有缺陷引起的 $\epsilon_{b,max,dc}$ 和 θ_{dc} 无关。换言之，不同的同轴度传感器（相同的材料和尺寸）要得出相同的标称值 $\epsilon_{b,max,mc}$ 和 θ_{mc} 。

注4：附录 E 介绍了同轴度传感器固有缺陷产生的弯曲分量的计算方法（参见参考文献[5]）。附录 F 给出了一个圆柱体同轴度传感器在轴向试验条件下的算例结果。

6.3 厚矩形同轴度传感器

对在零点或给定轴向作用力下的厚矩形同轴度传感器[见图 3b)]，根据上述圆柱体同轴度传感器公式计算平均轴向应变和局部弯曲应变。试验机的最大弯曲应变用式(10)（参见参考文献[5]）计算：

$$\epsilon_{b,max,mc} = \frac{|\epsilon_{bl,mc} - \epsilon_{br,mc}|}{2} + \frac{|\epsilon_{bt,mc} - \epsilon_{bl,mc}|}{2} \dots\dots\dots(10)$$

弯曲百分比 B_{mc} 用式(8)计算。

最大弯曲应变产生于同轴度传感器的最高读数应变片和次最高读数应变片之间的拐角处。

6.4 薄矩形同轴度传感器

对在零点或给定轴向作用力下的薄矩形同轴度传感器[见图 3c)]，建立一个类似于图 3b)的系统，等效应变位于同轴度传感器四个面的中心。相应的局部弯曲应变值由公式(11)~式(14)计算（参见参考文献[4]、[5]和[6]）：

$$\epsilon_{1c} = \frac{(\epsilon_1 + \epsilon_2)}{2} \dots\dots\dots(11)$$

$$\epsilon_{2c} = \epsilon_0 + \left[\left(\frac{\epsilon_2 + \epsilon_3}{2} \right) - \epsilon_0 \right] \cdot \left(\frac{w}{w_g} \right) \dots\dots\dots(12)$$

$$\epsilon_{3c} = \frac{(\epsilon_3 + \epsilon_4)}{2} \dots\dots\dots(13)$$

$$\epsilon_{4c} = \epsilon_0 + \left[\left(\frac{\epsilon_1 + \epsilon_4}{2} \right) - \epsilon_0 \right] \cdot \left(\frac{w}{w_g} \right) \dots\dots\dots(14)$$

式中：

ϵ_0 ——由式(1)给出的平均轴向应变；

w ——同轴度传感器宽面的宽度；

w_g ——应变片的横向间距。

计算局部弯曲应变、最大弯曲应变和弯曲百分比的公式/方程，与上述厚矩形同轴度传感器相同，但用符号 ϵ_{1c} 、 ϵ_{2c} 、 ϵ_{3c} 和 ϵ_{4c} 代替 ϵ_1 、 ϵ_2 、 ϵ_3 和 ϵ_4 。

注：最大弯曲应变产生于同轴度传感器的最高读数应变片附近的拐角处。

6.5 试验机同轴度的分级

试验机同轴度的级别应按表 5 规定的标准确定，并由图 6（参见参考文献[5]）示出。

表 5 同轴度级别

| 级别 | $ \epsilon_0 < 1\,000 \mu\epsilon$ | $ \epsilon_0 \geq 1\,000 \mu\epsilon$ |
|----|--|--|
| 2 | $\epsilon_{b,max,mc} \leq 20 \mu\epsilon$ | $B_{mc} \leq 2\%$ |
| 5 | $\epsilon_{b,max,mc} \leq 50 \mu\epsilon$ | $B_{mc} \leq 5\%$ |
| 10 | $\epsilon_{b,max,mc} \leq 100 \mu\epsilon$ | $B_{mc} \leq 10\%$ |
| 20 | $\epsilon_{b,max,mc} \leq 200 \mu\epsilon$ | $B_{mc} \leq 20\%$ |

7 试验机同轴度的检验程序

7.1 目的和频率

本程序的目的是检验试验机的同轴度。理想执行时间是力值校准后。每隔 12 个月以及下列情况发生后应执行本程序：

- a) 作为新试验机调试过程的一部分；
- b) 试样意外弯曲变形后，除非能够证明试验机的同轴度未改变；
- c) 加载链的任何调整（包括上部或下部横梁的移动）、改造或更换，除非能够证明试验机的同轴度未改变。

附录 G 介绍了一种简便的机械装置，可相对较快且定性地完成圆柱形试验系统的同轴度检查。使用该装置检查的时间可按客户和（或）疲劳试验程序的要求确定。

系统检查应符合 5.7 的规定。

7.2 程序

同轴度的检验程序如下：

- a) 如果试验机即将投入使用或者被重新启用，执行附录 B 的不确定度评定程序。
 - b) 使用附录 G 介绍的同轴度规装置，对圆柱形几何体测试用夹具进行初步检查。
- 注 1：圆柱形几何体测试用的某些夹具不能使用上述同轴度规。
- c) 应变片的导线连接到信号调理设备上，让系统通电预热，确保其稳定至少 30 min。
 - d) 夹住同轴度传感器夹持面的一端（通常是下端），使应变片 1 面向试验机的前部（即图 4 中的 0° 方位）。
 - e) 将应变置零。
 - f) 夹住同轴度传感器的另一端。试验机在力控制模式下，设目标力值为零（或控制稳定性要求的小值），并记录应变片的读数。对于纯扭转试验系统，随后进行 7.2 h) 步骤。

注 2：7.2 c)~7.2 f) 是由于同轴度传感器的夹紧作用，产生的最大弯曲应变。

- g) 施加一系列按要求递增的轴向力（或平均轴向应变 ϵ_0 ），记录力值和相应的应变片的读数。作用力是以拉和（或）压的方式施加，取决于试验机上进行的力学试验的类型。应注意不超过同轴度传感器比例极限的 0.75 倍，以避免造成设备的永久性损坏。返回零点并记录相应的应变片读数。
- h) 松开夹具，执行下一步骤。

注 3：对于矩形同轴度传感器，有必要将其完全从夹具中拿下来。

- i) 将同轴度传感器绕其纵轴旋转 180°，使应变片 1 此时面向试验机的后面（即图 4 中的 180° 方位），并夹紧同轴度传感器的两端。对于纯扭转试验系统，记录应变片的读数，随后进行 7.2 k) 步骤。
- j) 重复 7.2 g)，使用与 0° 方位施加的标称力（或平均轴向应变值）相同的作用力。
- k) 松开上夹具释放同轴度传感器，并记录应变片的读数。所有应变计的读数宜在 $(0 \pm 3) \mu\epsilon$ 以内，否则，应查找原因并记录。从下夹具中取出同轴度传感器。
- l) 在纯扭转和复合式拉扭试验系统中，驱动端夹具的旋转轴线与同轴度传感器夹持位置的加载轴线，可能不精确一致。在拉扭/压扭疲劳试验中，这种不同轴引起一种类似于螺旋运动的扭绞。考虑到这种不同轴，可进行如下操作：
 - 1) 执行上述程序；
 - 2) 同轴度传感器的一端不夹持，试验机在扭转检测模式下，旋转驱动端夹具 180°（若后者小

于 180° , 为可达到的最大角度);

- 3) 重复步骤 7.2 d) ~ 7.2 k)。
- m) 若 7.2 a) 未完成, 则再执行两遍 7.2 d) ~ 7.2 k) (即总共要求三遍测量)。
- n) 按 5.7.4 的规定, 进行弹性模量系统检测。
- o) 计算 $\epsilon_{b, \max, mc}$ 和除零力值点外的 B_{mc} (见 6.2~6.4 或参见附录 D 中的三应变片型传感器)。
- p) 按 6.5 的规定确定试验机的同轴度级别。

8 报告

8.1 基本信息

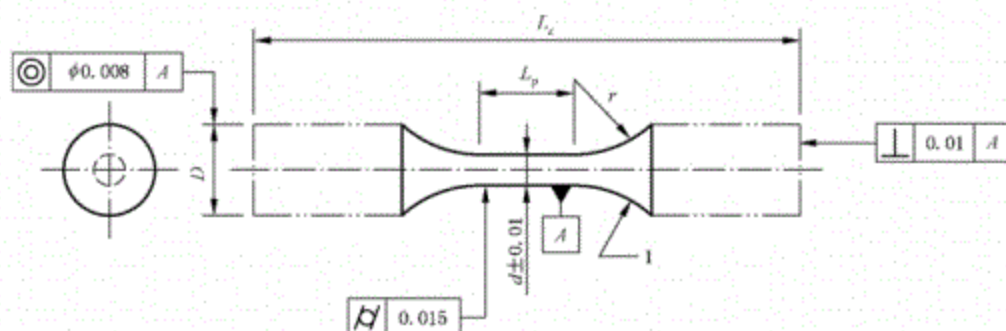
报告应包括以下内容:

- a) 是否遵照本标准的声明, 即 GB/T 38250—2019;
- b) 试验机同轴度级别;
- c) 作用力和相应的应变片读数的列表;
- d) 同轴度检验计算结果;
- e) 测量不确定度 (即 $\pm U$, 见附录 B);
- f) 按照 7.2 n) 确定的同轴度传感器的割线或弹性模量;
- g) $\epsilon_{b, \max, mc}$ 随 ϵ_0 变化的曲线图;
- h) 测试系统型号和相关的设备编号;
- i) 加载链的说明;
- j) 同轴度传感器的编号, 包括材料、主要尺寸、类型和应变片的数量及位置的简要说明;
- k) 应变测量设备的型号和编号、测量不确定度和 (如适用) 上次校准日期;
- l) 如果已知, 试验机侧向刚度值;
- m) 检验员姓名和检验日期。

8.2 试样信息

本标准规定的任何工艺偏差均应注明。

单位为毫米



说明:

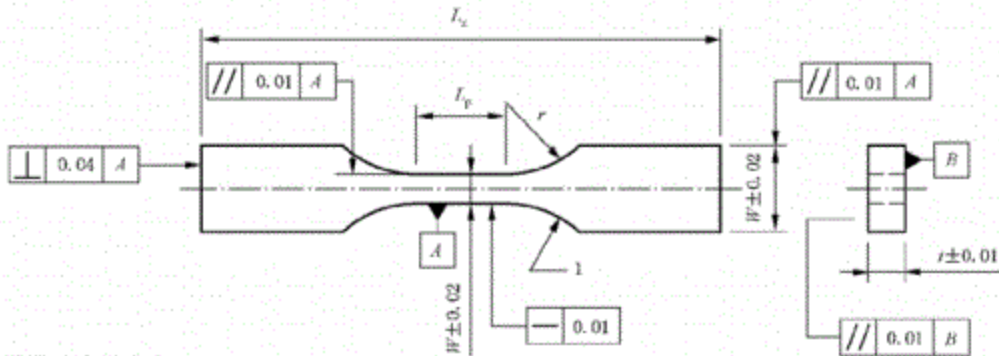
1——平滑过渡无咬边。

注 1: 几何公差符号的定义, 参见 ISO 5459:2011 (参考文献 [9])。

注 2: 垂直度要求适用于对中用的任何夹持部件。

图 1 圆柱体同轴度传感器的推荐外形尺寸
(基于参考文献 [4] 中的图 2)

单位为毫米



说明:

1——平滑过渡无咬边。

注 1: 几何公差符号的定义, 参见 ISO 5459:2011(参考文献[9])。

注 2: 同轴度传感器关于纵轴中心对称。

图 2 矩形同轴度传感器的推荐外形尺寸
(基于参考文献[4]中的图 4)

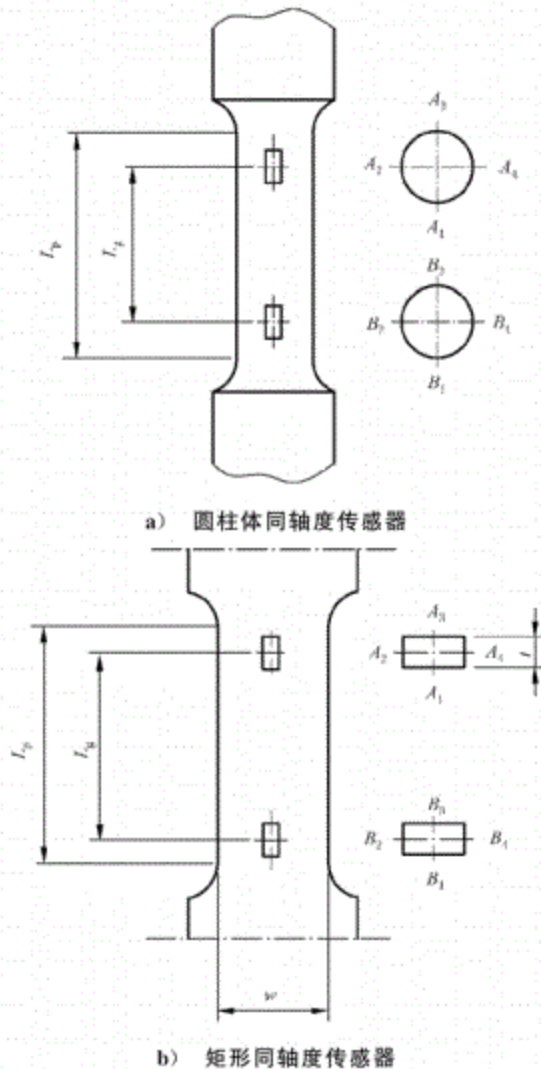
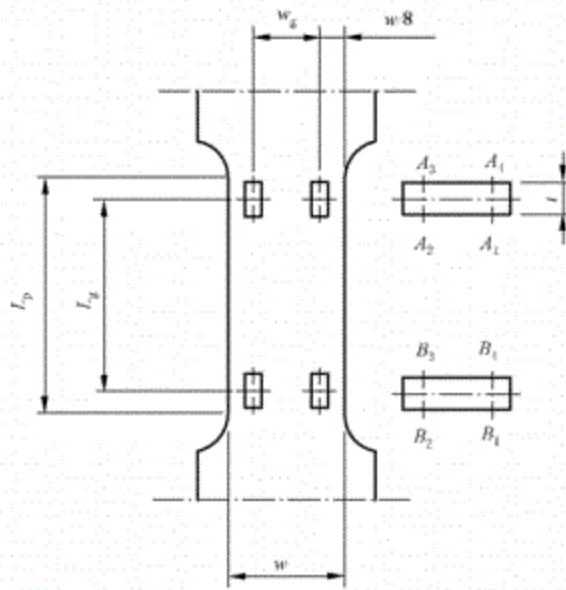


图 3 圆柱形、厚矩形和薄矩形同轴度传感器的应变片位置



c) 薄矩形同轴度传感器

图 3 (续)

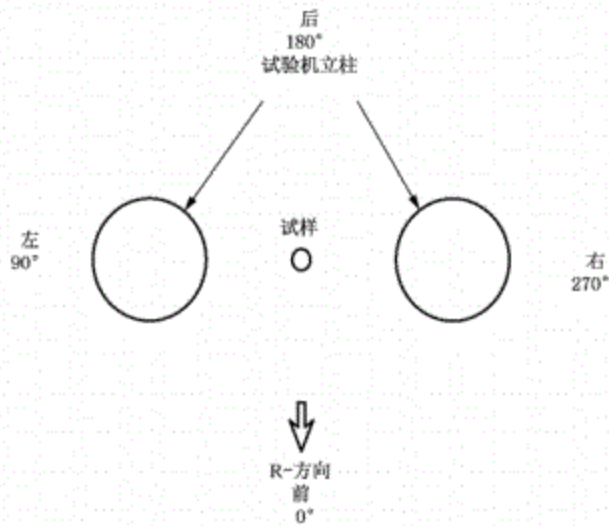
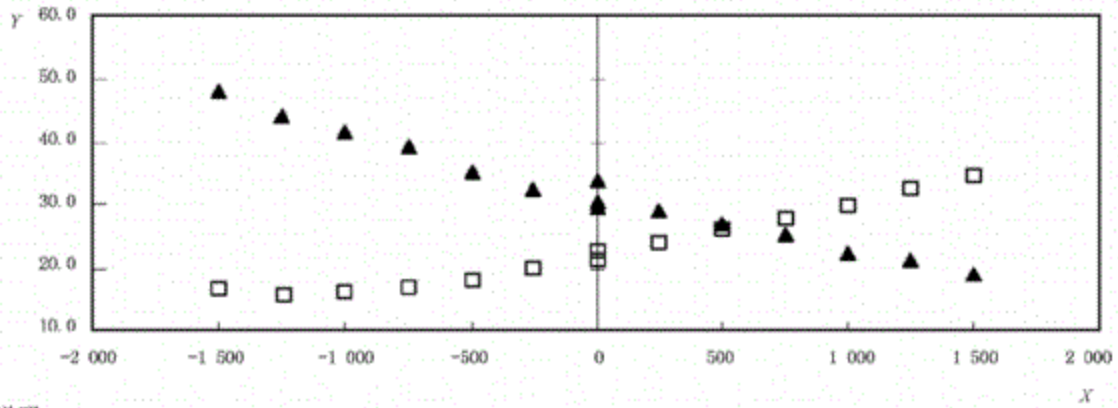


图 4 同轴度检验使用的术语描述——R-方向,试验机方向(前、左、后、右)和测量方位(0°、90°、180°、270°)[俯视]



说明:

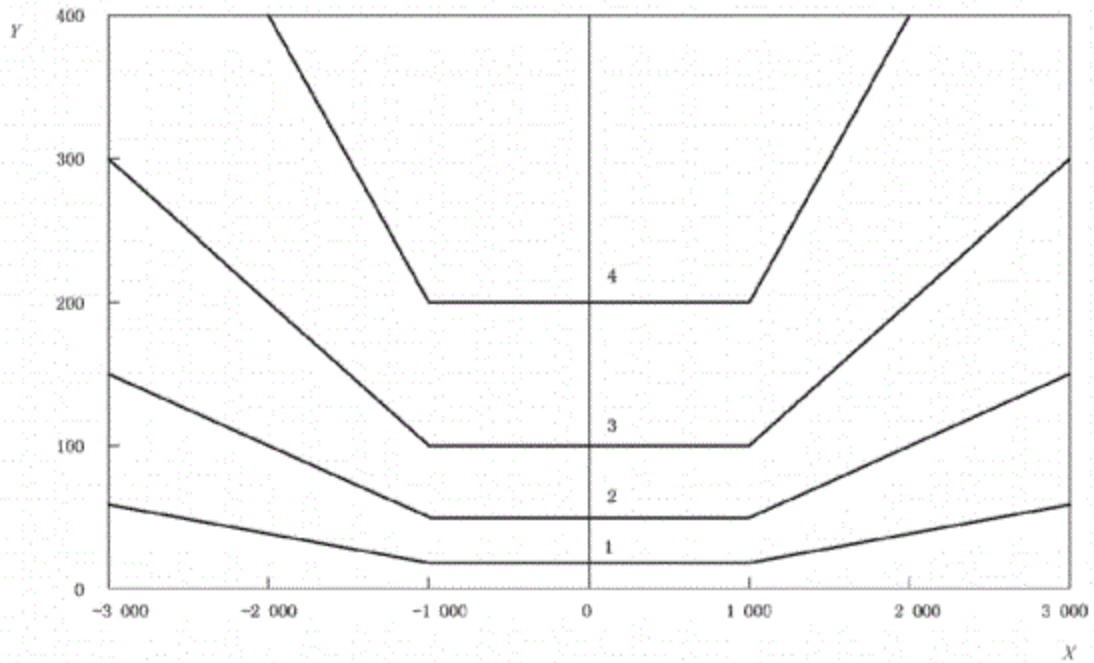
X —— $\epsilon_o + f\epsilon_i$;

Y —— $\epsilon_{b,max,mc} + f\epsilon_i$;

□ —— 上测量平面;

▲ —— 下测量平面。

图5 一轴向测试系统的 $\epsilon_{b,max,mc}$ 随 ϵ_o 变化的例图



说明:

X —— $\epsilon_o + f\epsilon_i$;

Y —— $\epsilon_{b,max,mc} + f\epsilon_i$;

1 —— 2 级;

2 —— 5 级;

3 —— 10 级;

4 —— 20 级。

图6 同轴度分级标准

(参考文献[5])

附录 A

(资料性附录)

疲劳试验机试样弯曲和不同轴的原因

A.1 在理想的同轴情况下,上下夹具的中心线彼此完全一致,且与加载链(包括试样)的所有其他部件的中心线严格共线。此外,试样本身相对其自身中心线绝对对称。不满足这种理想情况是由于:

- a) 上下夹具中心线的一致性较差;
- b) 试样自身的加工不对称。

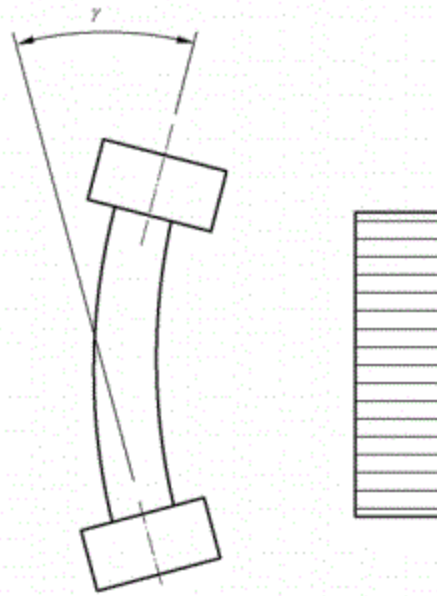
这两种不同轴的原因总是一起作用在拉力或压力和(或)扭转试验中。在疲劳试验中,加载链的任何角度和(或)侧向偏置,会引起循环弯曲应变和平均弯曲应变叠加到所施加的周期应变上。在高温轴向试验中,如果试样的温度不对称(从一侧到另一侧),那么加载链的扭曲变形将产生附加弯曲。

试样的弯曲也与试样侧向刚度和加载链其他部件侧向刚度之比有关。在循环拉-压低周疲劳(LCF)试验中,随着测试材料硬化或软化以及疲劳裂纹在试样内部扩展贯穿整个试验,试样的刚度在疲劳循环过程中连续变化(因为弹性变形演变为塑性变形)。为了将循环拉/压疲劳(高周疲劳 HCF 及低周疲劳 LCF)试验中的所谓“循环弯曲”对疲劳寿命的影响最小化(参见参考文献[1]),宜使加载链部件的侧向刚度最大化。

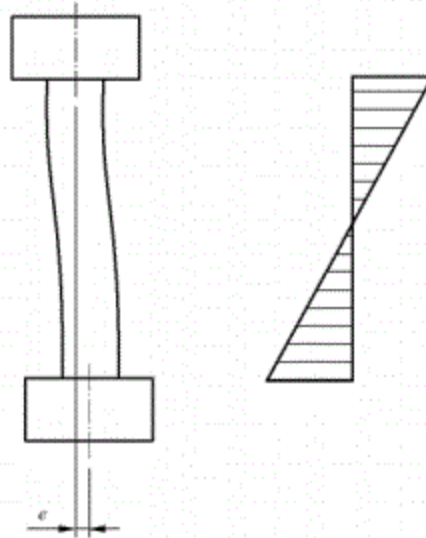
A.2 图 A.1 给出了轴向试验系统遇到的机械不同轴的基本形式(参见参考文献[4])。在角度倾斜[见图 A.1 a)]的简单情况下,夹具中心线共面并以角度 γ 相交于跨距中点。这种情况下,试样的弯曲名义上可沿试样标距均布,试样的一侧受拉另一侧受压。这种机械形式称为“C 形弯曲”。

在侧向偏置[见图 A.1 b)]的简单情况下,夹具的中心线平行,且彼此轴向偏置一个量值 e 。弯曲幅度沿试样标距变化且改变符号(一侧从拉到压,另一侧从压到拉)。注意试样的中间横截面没有弯曲。有时称“S 形弯曲”。

A.3 在实际的轴向试验中,不太可能遇到一个纯 C 形或 S 形弯曲的情况,而几乎总是两者的组合。在非刚性疲劳试验系统中,作为加载链变形的结果,试验机横梁或作动器关联的夹具,其中心线的侧向偏置更易引起试样的“循环弯曲”(参见参考文献[1]和[4])。



a) 角度倾斜产生的 C 形弯曲



b) 侧向偏置产生的 S 形弯曲

图 A.1 与弯矩分布相关的基本弯曲形式

附录 B

(规范性附录)

同轴度测量不确定度的评定

B.1 一般要求

B.1.1 作为依据本标准的有意义的测量,评定测量不确定度是必要的。作为新试验系统调试的一部分、在新夹具安装后或作为系统同轴度性能检查的一部分,至少上述情况下,推荐要执行下列程序。

下面不确定度的评定程序与参考文献[7]的方法一致,这里使用的不确定度术语可查阅此文献。

B.1.2 被测量(即此试验中被测量的量)是 $\epsilon_{b,max,mc}$ 。

B.1.3 按式(7)和式(10)以及 7.2 给出的步骤操作,影响 $\epsilon_{b,max,mc}$ 的主要不确定度来源如下:

- 同轴度传感器定位和装夹的重复性,以使传感器的纵轴相对于试验机的轴线,始终处于同一准确的位置;
- 同轴度传感器在所需的角度方位(相对于 R-方向)的准确定位;
- 应变片和应变测量单元的相关不确定度。

同轴度测量的经验表明,通常的随机源最重要。分析中会包含系统影响(如果尚未修正),但它们相对不重要,因此在下列计算中予以忽略。

B.2 标准不确定度 u 的评定程序

下列程序规定了如何评定 $\epsilon_{b,max,mc}$ 的标准不确定度,所得的结果宜反映出 B.1.3 中所列全部随机源的综合影响。

与所有重复性试验一样,下列程序应在名义上相同的试验条件下进行。因此,重要的是,所有的测试由同一操作者,使用相同的同轴度传感器,在相同的试验系统上进行,在连续的、尽可能短的时间内,不被试验机同轴度调整或任何其他试验所中断:

- 进行 7.2 c)~7.2 k);
- 尽可能多次地重复 7.2 d)~7.2 k);
- 计算 $\epsilon_{b,max,mc}$ 相应的平均值和标准偏差。

重点要强调的是,同轴度传感器测试后要从夹具中完全取出,以便每次测试尽可能的代表一个新试验。

B.3 扩展不确定度 U 的评定

这是 A 类不确定度。按式(B.1)计算 95%置信水平的测量不确定度。

$$U = k_{95} u \quad \dots\dots\dots (B.1)$$

式中:

U ——估计的平均值的扩展不确定度;

k_{95} ——95%置信水平(假设 t -分布)的包含因子;

u ——标准不确定度(等于标准偏差除以 \sqrt{n});

n ——测量次数(即样本大小)。

k_{95} 的值可从表 B.1(参考文献[8]的表 A.2)中获得。

表 B.1 t -分布表

| | | | | | | | | | | | | |
|----------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------|
| ν | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 12 | 14 |
| k_{95} | 12.71 | 4.30 | 3.18 | 2.78 | 2.57 | 2.45 | 2.37 | 2.31 | 2.26 | 2.23 | 2.18 | 2.15 |
| ν | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 | 26 | 28 | 30 | 40 | 60 | 120 | ∞ |
| k_{95} | 2.12 | 2.10 | 2.09 | 2.07 | 2.06 | 2.06 | 2.05 | 2.04 | 2.02 | 2.00 | 1.98 | 1.96 |

表中 ν 是自由度数目,等于样本大小 n 减 1。

注:正如 ISO/IEC 指南 98-3(参见参考文献[10])和 UNCERT 手册(参见参考文献[7])所建议的,对于常规测试、仪器校准,通行做法是采用 95% 的置信水平计算和报告相关不确定度。对于其他置信水平,如 99%,使用适当的包含因子。

B.4 报告不确定度的评定

含 95% 置信区间的上述同轴度测试结果(所谓“完整的测试结果”)可按式(B.2)表示为:

$$\bar{\epsilon}_{b,\max,mc} \pm U \quad \dots\dots\dots (B.2)$$

式中:

$\bar{\epsilon}_{b,\max,mc}$ —— $\epsilon_{b,\max,mc}$ 的平均值。

通常,扩展不确定度宜以相同的单位和相同的有效数字作为结果报告。评定宜说明置信水平和包含因子以及评定使用的方法。文档要足够全以复现计算。

B.5 测量不确定度的要求

B.5.1 最大允许扩展不确定度 U 应符合表 B.2 规定。

表 B.2 最大允许扩展不确定度 U

| 同轴度级别 | 要求 |
|-------|-------------------------------------|
| 2 级 | 4 $\mu\epsilon$ 或平均轴向应变的 0.4%,取较大者 |
| 5 级 | 10 $\mu\epsilon$ 或平均轴向应变的 1.0%,取较大者 |
| 10 级 | 20 $\mu\epsilon$ 或平均轴向应变的 2.0%,取较大者 |
| 20 级 | 40 $\mu\epsilon$ 或平均轴向应变的 4.0%,取较大者 |

B.5.2 测量不确定度不应用于同轴度分级的确定。

附录 C

(资料性附录)

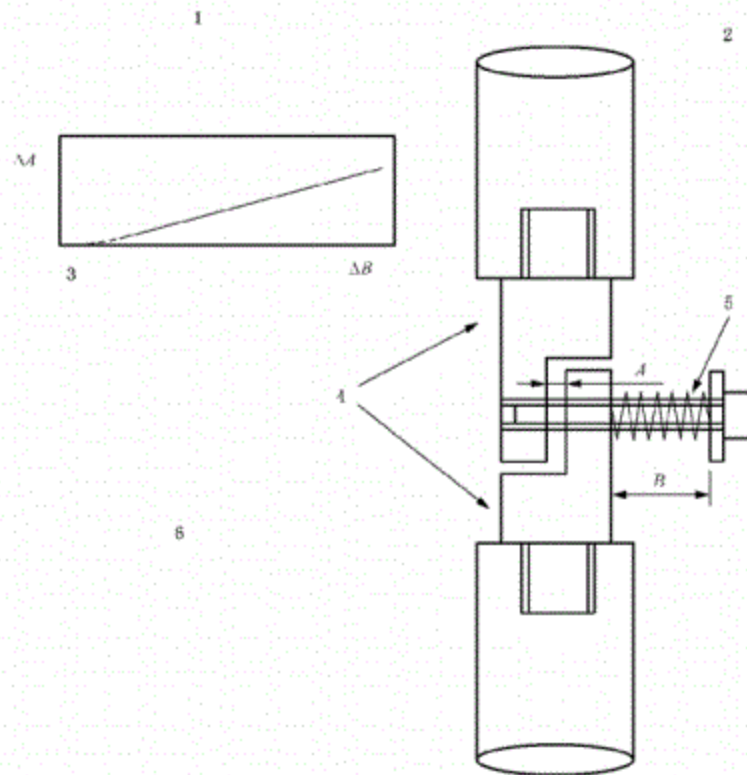
试验机侧向刚度的测量方法

C.1 试验机框架和加载链的轴向与侧向刚度,是试验机的设计和开发参数。疲劳试验机框架和加载链的侧向刚度信息,宜由试验机的制造者/供应商提供。

警示——在下面的方法中,宜注意不要超过试验机传感器和加载链中其他装置,如用于调整试验机轴向和(或)角度偏差的所谓“同轴度调整装置”,的侧向力或扭矩的量程。因此,建议该装置仅由试验机制造者设计并使用。

图 C.1 示意性地描述了评定试验机侧向刚度的一种方法。该方法用两个短的、刚性的、拉杆试样(PREs)代替试样。用于施加侧向力的螺栓自由滑动通过右侧的 PRE,并旋入左侧的 PRE。作用力大小由螺栓头与右侧 PRE 之间的弹簧变形来确定。通过测量 PREs 之间的间距变化,使试验机系统(包括框架、作动器和加载链)的侧向刚度得以测量。

宜注意,由于装置自身偏差 ΔA 的影响,使得由此产生的试验机刚度 k_L 比实际值偏低。



说明:

- 1——在螺栓位置的几个增量处,用数显卡尺测量间隙 A 和 B ,标绘 ΔA 与 ΔB 之比图;
 - 2——最好从前后分别测量 A 和 B ,然后取读数的平均值,以便标注在位移轴上的是平均测量值;
 - 3——初始关系可能是非线性的。
 - 4——试验机侧向刚度等于 k_L ;
 - 5——螺旋弹簧刚度等于 k_s ;
 - 6——平衡力:
- $$k_s \times \Delta B = k_L \times \Delta A$$
- 因此, $k_L = k_s \times \Delta B / \Delta A$
- 由于 k_s 已知, ΔA 和 ΔB 已测出,侧向刚度 k_L 容易确定。

图 C.1 疲劳试验机侧向刚度测量方法的示意图

附录 D
(资料性附录)
三应变片型传感器

D.1 一般要求

三应变片型传感器,即用三个一组的应变片代替四个一组的,工业上用于测量由于圆柱形试样(参见参考文献[6])不同轴引起的弯曲。该方法就组成元件[应变片和(或)相关的调节与指示系统的成本]而言明显比四应变片法更经济。该型式也适合于横截面直径小于5 mm的圆柱体同轴度传感器使用。缺点是如果其中一个应变片出现故障,三应变片型传感器比四应变片型更难甚至不可能识别这种故障。错误的读数可能被误认为同轴度传感器的附加弯曲。此外,从四应变片型传感器测得的平均轴向应变理应从三应变型得到的更准确,其原因仅是在确定该值时使用了更多的应变片。正是出于这些原因,本标准采用了四应变片型为标准配置。

在三和四应变片型传感器中,一个或多个应变片的明显故障,可通过执行5.7中的系统检查来消除。

D.2 应变片的编号和位置

5.6不适用于一批六个应变片(分两组每组三个)的情况,应变片应有编号并围绕同轴度传感器圆周等间隔即120°分布(参见图D.1)。

D.3 同轴度测量计算

每组应变片的平均轴向应变按式(D.1)计算:

$$\epsilon_0 = (\epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3) / 3 \quad \text{..... (D.1)}$$

局部弯曲应变按式(D.2)~式(D.4)计算:

$$\epsilon_{b1} = \epsilon_1 - \epsilon_0 \quad \text{..... (D.2)}$$

$$\epsilon_{b2} = \epsilon_2 - \epsilon_0 \quad \text{..... (D.3)}$$

$$\epsilon_{b3} = \epsilon_3 - \epsilon_0 \quad \text{..... (D.4)}$$

同轴度传感器表面的最大弯曲应变按式(D.5)和式(D.6)计算:

$$\epsilon_{b,max} = \epsilon_{b1} / \cos\alpha \quad \text{..... (D.5)}$$

$$\alpha = \arctan \left[\left(\frac{2}{\sqrt{3}} \right) \right] \cdot \left(\frac{\epsilon_{b2}}{\epsilon_{b1}} + \frac{1}{2} \right) \quad \text{..... (D.6)}$$

式中:

ϵ_{b1} ——与最高应变读数相关的局部弯曲应变;

ϵ_{b2} ——与次最高应变读数相关的局部弯曲应变;

α ——定义同轴度传感器表面最大弯曲应变位置的角度。

在试验机的前面,应变片1的初始位置,由于试验机不同轴导致的局部弯曲应变分量按式(D.7)计算:

$$\epsilon_{b1,mc} = \frac{\epsilon_{b1,0^\circ} - \epsilon_{b1,180^\circ}}{2} \quad \text{..... (D.7)}$$

式中：

$\epsilon_{b1,0^\circ}$ ——由应变片 1 在 0° 方位测得的局部弯曲应变；

$\epsilon_{b1,180^\circ}$ ——由应变片 1 在 180° 方位测得的局部弯曲应变。

式(D.7)适用于其他应变片位置以确定 $\epsilon_{b2,mc}$ 和 $\epsilon_{b3,mc}$ 。

试验机不同轴产生的最大弯曲应变按式(D.8)和式(D.9)计算：

$$\epsilon_{b,max,mc} = \epsilon_{bh,mc} / \cos\alpha \quad \dots\dots\dots (D.8)$$

$$\alpha = \arctan \left[\left(\frac{2}{\sqrt{3}} \right) \cdot \left(\frac{\epsilon_{ln,mc}}{\epsilon_{lh,mc}} + \frac{1}{2} \right) \right] \quad \dots\dots\dots (D.9)$$

式中：

$\epsilon_{lh,mc}$ —— $\epsilon_{b1,mc}$ 、 $\epsilon_{b2,mc}$ 和 $\epsilon_{b3,mc}$ 的最高值；

$\epsilon_{ln,mc}$ —— $\epsilon_{b1,mc}$ 、 $\epsilon_{b2,mc}$ 和 $\epsilon_{b3,mc}$ 的次最高值；

α ——定义 $\epsilon_{b,max,mc}$ 方向的角度。

α 从最高读数应变片到次最高读数应变片测量。然后，角 θ 由已知角 α 和最高读数应变片的位置确定。

由试验机不同轴产生的弯曲百分比 B_{mc} 按式(8)计算。

D.4 测量程序

测量程序见第 7 章。

D.5 报告

报告要求见第 8 章。

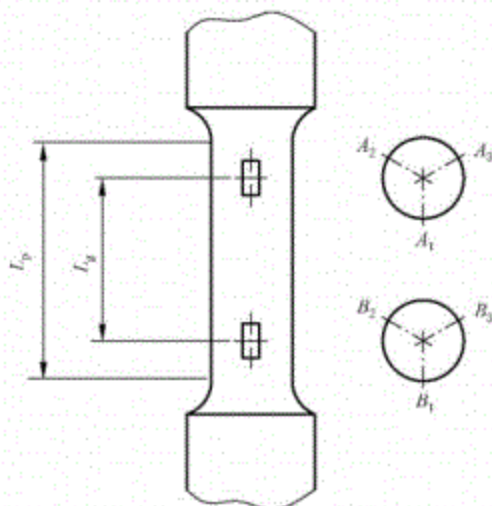


图 D.1 圆柱体同轴度传感器应变片的位置——三应变型

附录 E
(资料性附录)

圆柱体同轴度传感器装置固有缺陷产生的弯曲分量的测定

本附录描述了一个测定圆柱体同轴度传感器装置固有缺陷产生的弯曲分量的程序,该程序可用于由圆柱体同轴度传感器装置缺陷引起的弯曲分量的测定。该误差来自下列原因的组合作:

- a) 由于制造工艺的限制,装置本身几何形状的缺陷;
- b) 应变片的安装不完善。

本附录使用的符号及其含义见表 E.1。

表 E.1 符号和含义

| 符号 | 含义 |
|-----------------------|---|
| B_{ac} | 同轴度传感器固有的几何不对称产生的弯曲百分比 |
| $\epsilon_{b,ac}$ | 同轴度传感器固有缺陷产生的弯曲应变 |
| $\epsilon_{b,max,ac}$ | 同轴度传感器固有缺陷产生的最大弯曲应变;其代表了装置的弯曲误差 |
| θ_{ac} | $\epsilon_{b,max,ac}$ 相对于应变片 1 的位置的角度(俯视,顺时针方向) |

在应变片 1 的位置,同轴度传感器固有缺陷产生的局部弯曲应变分量按式(E.1)计算:

$$\epsilon_{b1,ac} = \frac{\epsilon_{b1,0^\circ} + \epsilon_{b1,180^\circ}}{2} \dots\dots\dots (E.1)$$

式中:

$\epsilon_{b1,0^\circ}$ ——由应变片 1 在 0° 方位测得的局部弯曲应变;

$\epsilon_{b1,180^\circ}$ ——由应变片 1 在 180° 方位测得的局部弯曲应变。

类似的公式/方程可用于其他应变片,若需要的话,可用于 90° 和 270° 方位的测量。

同轴度传感器装置的固有弯曲误差按式(E.2)计算:

$$\epsilon_{b,max,ac} = \frac{1}{2} \sqrt{(\epsilon_{b1,ac} - \epsilon_{b3,ac})^2 + (\epsilon_{b2,ac} - \epsilon_{b4,ac})^2} \dots\dots\dots (E.2)$$

同轴度传感器固有缺陷产生的相关弯曲百分比 B_{ac} 按式(E.3)计算:

$$B_{ac} = \left| \frac{\epsilon_{b,max,ac}}{\epsilon_o} \right| \times 100 \dots\dots\dots (E.3)$$

对于 0° 和 180° 方位的测量,最大弯曲应变 $\epsilon_{b,max,ac}$ 的角位置由参考文献[5]给出,按式(E.4)计算:

$$\theta_{ac} = \frac{(\epsilon_{b2,ac} - \epsilon_{b1,ac})}{|\epsilon_{b2,ac} - \epsilon_{b1,ac}|} \times \arccos\left(\frac{\epsilon_{b1,ac} - \epsilon_{b3,ac}}{2\epsilon_{b,max,ac}}\right) \dots\dots\dots (E.4)$$

式中 θ_{ac} 从应变片 1 的方向起测量,顺时针旋转为正,逆时针旋转为负。

附录 F
(资料性附录)
数例

F.1 表 F.1 是按照 7.2 的规定使用圆柱体同轴度传感器在压向力下测得的检测值。

表 F.1 加载同轴度检测值

| 测量方位 | 应变片读数/ $\mu\epsilon$ | | | | 平均应变/ $\mu\epsilon$ | 局部弯曲应变/ $\mu\epsilon$ | | | |
|--------|----------------------|--------------|--------------|--------------|---------------------|-----------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | ϵ_1 | ϵ_2 | ϵ_3 | ϵ_4 | | ϵ_{b1} | ϵ_{b2} | ϵ_{b3} | ϵ_{b4} |
| 0°方位 | -1 026.8 | -924.2 | -1 001.8 | -1 060.2 | -1 003.3 | -23.6 | 79.1 | 1.5 | -57.0 |
| 180°方位 | -998.8 | -1 014.2 | -1 017.1 | -963.5 | -998.4 | -0.4 | -15.8 | -18.7 | 34.9 |

表 F.2 给出了加载同轴度的检测结果。

表 F.2 加载同轴度检测结果

| $\epsilon_{b,me}/\mu\epsilon$ | | | | $\epsilon_{b,max,me}/\mu\epsilon$ | $B_{me}/\%$ | $\theta_{me}/(^{\circ})$ |
|-------------------------------|------|------|-------|-----------------------------------|-------------|--------------------------|
| 前 | 左 | 后 | 右 | | | |
| -11.6 | 47.4 | 10.1 | -45.9 | 47.9 | 4.8 | 103.1 |

F.2 表 F.3 给出了同轴度传感器的固有弯曲的结果(参见附录 E)。

表 F.3 同轴度传感器的固有弯曲结果

| $\epsilon_{b,sc}/\mu\epsilon$ | | | | $\epsilon_{b,max,sc}/\mu\epsilon$ | $B_{sc}/\%$ | $\theta_{sc}/(^{\circ})$ |
|-------------------------------|--------------|--------------|--------------|-----------------------------------|-------------|--------------------------|
| ϵ_1 | ϵ_2 | ϵ_3 | ϵ_4 | | | |
| -12.0 | 31.6 | -8.6 | -11.0 | 21.4 | 2.1 | 94.5 |

附录 G
(规范性附录)

同轴度规——圆柱试样测试系统的同轴度的定性评价方法

G.1 图 G.1 示意出了一个非应变片的合格/不合格(通/止)装置,该装置适用于圆形试样测试系统的快速定性检验(参见参考文献[2])。装置由一对分离杆和一个通止规组成,两者由同种材料制成并有严格的尺寸允差。材料宜足够硬以避免由于重复使用而划伤和磨损。

能令人满意地评定同轴度,其装置的精度主要取决于机加工的精度和通止规与分离杆之间的间隙量。测试时,总长度 L_z 应尽可能地接近试样的总长。以下是该装置的建议比例和公差,以便能检查中等的不同轴度(即 5 级~10 级)。作为指南,直径 d 可以是 8 mm~12 mm:

$$L = 1.5d \sim 2.5d$$

$$\delta d \leq 0.002d$$

$$\delta L = 0.025L \sim 0.05L$$

在将杆一分为二前,应使用合适的设备(如光学投影仪或比较仪)仔细检查,适当确认和验证其关键尺寸和相关的几何公差。

同轴度检验时,分离杆的两部分宜相隔约 0.5 mm~1.0 mm,通止规能自由地从杆的一端滑动到另一端。

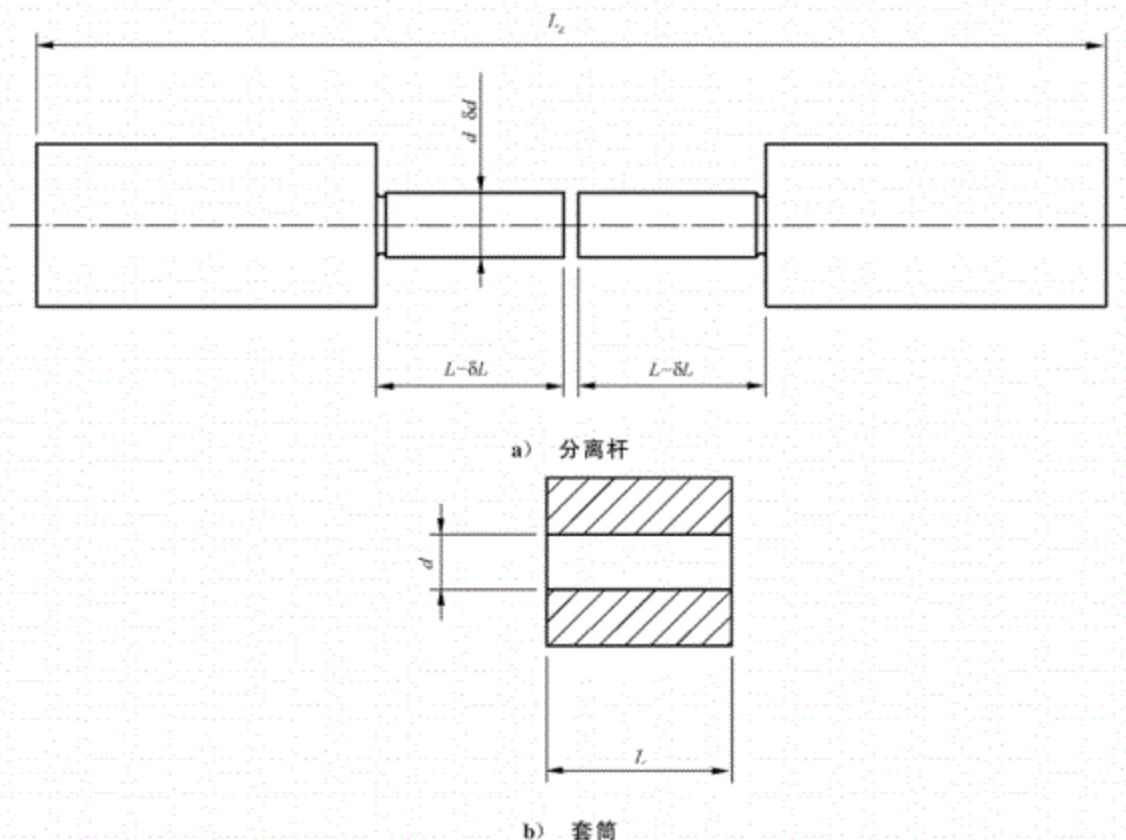


图 G.1 圆柱同轴度规举例
(参考文献[2])

参 考 文 献

- [1] Kandil, F.a. and dyson, B.F. The influence of load misalignment during uniaxial low-cycle fatigue testing. *Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures* 16(5), 1993, pp. 509-537
- [2] Kandil, F.a. Recent inter comparisons on low cycle fatigue and alignment measurements. VAMAS Report No. 41, ISSN 1016-2186, National Physical Laboratory, February 2003
- [3] Scholz, A. Influence of bending on low cycle fatigue life of cylindrical test pieces at elevated temperature. *Materials at High Temperatures* 27(2), 2010, pp. 127-134
- [4] Kandil, F.a. Code of practice for the measurement of bending in uniaxial low cycle fatigue testing. Best Practice in Measurement Series, NPL MMS 001;1995, ISBN 0-946754-10-0, National Physical Laboratory, May 1995
- [5] Kandil, F.a. A procedure for the measurement of machine alignment in axial testing. VAMAS Report No. 42, ISSN 1016-2186, National Physical Laboratory, February 2003
- [6] ASTM E1012-05, Standard practice for verification of test frame and specimen alignment under tensile and compressive axial force application
- [7] Kandil, F.a. et al (eds.) The UNCERT manual of codes of practice for the determination of uncertainties in mechanical tests on metallic materials, ISBN 0-946754-41-1, Issue 1, National Physical Laboratory, September 2000. Available online (URL at the time of publication of this International Standard) at: [http://www.npl.co.uk/science-technology/engineered-materials/research/mechanical/uncertainties-in-mechanical-testing-\(uncert\)](http://www.npl.co.uk/science-technology/engineered-materials/research/mechanical/uncertainties-in-mechanical-testing-(uncert))
- [8] Neter, J. and Wasserman, W. Applied linear statistical models. ISBN 0-256-01498-1 Published by Richard D. Irwin Inc., 1974
- [9] ISO 5459:2011, Geometrical product specifications (GPS) — Geometrical tolerancing — Datums and datum systems
- [10] ISO/IEC Guide 98-3, Uncertainty of measurement — Part 3; Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM;1995)
-