



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 4337—2015  
代替 GB/T 4337—2008

---

## 金属材料 疲劳试验 旋转弯曲方法

**Metallic materials—Fatigue testing—Rotating bar bending method**

(ISO 1143:2010, Metallic materials—Rotating bar bending  
fatigue testing, MOD)

2015-09-11 发布

2016-06-01 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

目 次

前言 ..... III

1 范围 ..... 1

2 规范性引用文件 ..... 1

3 术语和定义 ..... 1

4 符号和说明 ..... 2

5 试验原理 ..... 2

6 试样的形状与尺寸 ..... 2

7 试样制备 ..... 3

8 试验设备的准确度 ..... 4

9 加热装置和温度测量装置 ..... 5

10 试验程序..... 5

11 试验结果的表述..... 7

12 试验报告..... 7

附录 A（规范性附录） 旋转变曲疲劳试验机弯矩的校验 ..... 15

## 前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准代替 GB/T 4337—2008《金属材料 疲劳试验 旋转弯曲方法》。本标准与 GB/T 4337—2008 相比主要变化如下：

- 在第 2 章规范性引用文件中直接将相应的国际标准修改为相对应的国家标准；
- 在第 3 章术语和定义中增加了疲劳寿命、S-N 曲线、弯矩和截面模量的定义和符号；
- 将原标准中的 6.1 和 6.3 合并编写，同时将原标准中 6.1 和 6.2 的注变成正文；
- 将原标准 7.3 的两条注变成了正文；
- 在 10.2 中增加了表 2“不同类型试验机试验应力计算和加荷表”，分别列出了详细的计算公式；
- 增加了 10.3 频率的选取；
- 在 10.5.3 中增加了加热炉在试样工作截面温度梯度的测定方法描述；
- 对正文中的图 1 至图 11 按照国际标准的格式进行了修改，同时更正了图 7；
- 按照国际标准对附录 A 进行了重新编写。

本标准使用重新起草法修改采用 ISO 1143:2010《金属材料 旋转棒弯曲疲劳试验》。

本标准在文本结构和技术内容方面与 ISO 1143:2010 一致，本标准与 ISO 1143:2010 技术性差异及其原因如下：

- 关于规范性引用文件，本标准做了具有技术性差异的调整，以适应我国的技术条件，调整的情况集中反映在第 2 章“规范性引用文件”中，具体调整如下：
  - 用修改采用国际标准的 GB/T 3075 代替了 ISO 1099；
  - 用修改采用国际标准的 GB/T 10623 代替了 ISO 23718；
  - 用等同采用国际标准的 GB/T 13634 代替了 ISO 376；
  - 用等同采用国际标准的 GB/T 24176 代替了 ISO 12107；
  - 用修改采用国际标准的 GB/T 26077 代替了 ISO 12106。
- 在“范围”一章中增加了“其他环境(如腐蚀)下的旋转弯曲疲劳试验也可参照本标准执行”。
- 修改了图 7 中的错误。

本标准做了下列编辑性修改：

- 用“本标准”代替“本国际标准”；
- 用小数点符号“.”代替符号“，”；
- 删除了国际标准前言；
- 对标准名称进行了修改。

本标准由中国钢铁工业协会提出。

本标准由全国钢标准化技术委员会(SAC/TC 183)归口。

本标准起草单位：钢铁研究总院、深圳万测试验设备有限公司、冶金工业信息标准研究院。

本标准主要起草人：高怡斐、安建平、董莉。

本标准所代替标准的历次版本发布情况为：

- GB/T 2107—1980；
- GB/T 4337—1984、GB/T 7733—1984；
- GB/T 4337—2008。

# 金属材料 疲劳试验 旋转弯曲方法

## 1 范围

本标准规定了金属材料旋转弯曲疲劳试验方法。

本标准适用于金属材料在室温和高温空气中试样旋转弯曲的条件下进行的疲劳试验，其他环境（如腐蚀）下的旋转弯曲疲劳试验也可参照本标准执行。

## 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。

GB/T 3075 金属材料 疲劳试验 轴向力控制方法(GB/T 3075—2008,ISO 1099:2006,MOD)

GB/T 10623 金属材料 力学性能试验术语(GB/T 10623—2008,ISO 23718:2007,MOD)

GB/T 13634 试验机检验用测力仪的校准(GB/T 13634—2008,ISO 376:1999,IDT)

GB/T 24176 金属材料 疲劳试验 数据统计方案与分析方法(GB/T 24176—2009,ISO 12107:2003,IDT)

GB/T 26077 金属材料 疲劳试验 轴向应变控制方法(GB/T 26077—2010,ISO 12106:2003,MOD)

## 3 术语和定义

GB/T 3075、GB/T 10623、GB/T 24176 和 GB/T 26077 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**疲劳 fatigue**

金属材料在交变应力或应变作用下产生裂纹或失效，材料性能的变化过程。

### 3.2

**疲劳寿命 fatigue life**

$N_f$

达到疲劳失效判据的实际循环数。

### 3.3

**S-N 曲线 S-N diagram**

应力寿命曲线。

### 3.4

**弯矩 bending moment**

$M$

力和力臂的乘积。

### 3.5

**截面模量 section modulus**

$W$

承受弯曲的梁与梁中性轴最大距离处惯性截面矩的比。

3.6

杠杆比 machine lever ratio

$M_{lr}$

施力杠杆比,对于同类的旋转弯曲疲劳试验机,它是由试验机厂家提供的固定数值。

3.7

力臂 moment arm

$L$

支点与加力点之间的距离,见图 1 到图 7。

注:对于四点弯曲加力  $L_1$  和  $L_2$  应相等。

3.8

耐久极限应力(疲劳极限) endurance limit stress

对应于规定循环周次例如  $10^7$  或  $10^8$ ,施加到试样上而试样没有发生失效的应力范围。

注 1:循环周次的选择,例如  $10^7$  或  $10^8$ ,应该与应力幅一同规定。

注 2:对于一指定的疲劳寿命,耐久极限应力经常被疲劳极限替代。

4 符号和说明

本标准使用的符号和说明见表 1。

表 1 符号和说明

| 符号    | 说明                 | 单位 |
|-------|--------------------|----|
| $D$   | 试样夹持部分的直径          | mm |
| $d$   | 试样应力最大部位的直径        | mm |
| $N_f$ | 疲劳寿命               | 周次 |
| $r$   | 试样夹持部分与试验部分之间过渡弧半径 | mm |

5 试验原理

试样旋转并承受一弯矩。产生弯矩的力恒定不变且不转动。试样可装成悬臂,在一点或两点加力;或装成横梁,在四点加力。试验一直进行到试样失效或超过预定应力循环次数。

6 试样的形状与尺寸

6.1 试验部分的形状

试验部分可以是:

- a) 圆柱形(见图 1、图 4 和图 5);
- b) 圆锥形(见图 2);
- c) 漏斗形(见图 3、图 6 和图 7)。

上述的每种形状,试验部分都应是圆形横截面。

试验部分的形状应根据所用试验机的加力方式设计。对于圆柱形或漏斗形试样可以简支梁或悬臂

梁一点或两点加力,圆锥形试样只能采用悬臂梁单点加力方式。图1~图7为各种方式的原理图,显示了各种情况下的弯矩和名义应力图。

不同类型的试样给出的疲劳试验结果可能不同。推荐试验采用使尽可能多的材料体积承受高应力的方法。

经验表明,试样的夹持部分的横截面积与试验部分的横截面积之比应不低于3:1。

对于某些材料高应力和高速旋转可能会引起试样发热。如果出现这种情况,应减小试样承受高应力的材料体积。如果采用冷却试样的方式,冷却介质不得与试验材料发生反应。应选取与试样发生最小反应的介质,试验介质应在报告中注明。

## 6.2 试样尺寸

同一批疲劳试验所使用的试样应具有相同的直径、相同的形状和尺寸公差。

为了准确计算施加的力,每支试样实际最小直径的测量应精确至0.01 mm。试验前应确保测量试样尺寸时不损伤试样表面。

对于承受恒定弯曲的圆柱形试样(见图4和图5)试验部分的平行度应保证在0.025 mm以内。对于其他形状的圆柱形试样(见图1)试验部分的平行度应保证在0.05 mm以内。试样夹持部分与实验部分的过渡圆弧半径不应小于 $3d$ 。对于漏斗形试样,试验部分的圆弧半径不应小于 $5d$ 。

图8为显示了圆柱形试样的形状和尺寸。推荐直径 $d$ 为6 mm、7.5 mm和9.5 mm。直径 $d$ 的偏差应不大于 $0.005d$ 。图9为推荐的高温疲劳试验圆弧形光滑试样(危险截面)。

由于缺口试样的形状和尺寸没有标准化,本标准不覆盖缺口疲劳试验。然而,本标准描述的疲劳试验过程可以适用于缺口疲劳试样。

## 7 试样制备

### 7.1 总则

在测定材料的旋转棒弯曲疲劳特性试验时,应注意以下试样制备的要求。如果试验程序是为了测定与试样制备要求不相符的某一因素(表面处理,氧化等)的影响,就有可能偏离试样制备的要求。各种情况的任何偏离都应在报告中注明。

### 7.2 取样和标记

取样部位、取样方向和试样类型应按有关产品标准或双方协议。

从半成品或零件上取样对试验结果会有影响。因此很有必要在完全了解情况的条件下取样。

取样图应附加到试验报告,应清晰地表明:

- 每支试样的位置;
- 半成品产品加工的特征方向(轧制方向,挤压方向等);
- 每支试样的标识。

试样在加工的每个阶段都应有标识。应采取可靠的方法保证加工过程中标识不会消失或影响试验的结果。每支试样在完成最终机加工的时候,需要在试样两端头刻上唯一性标识,保证在试样疲劳试验断裂后,每一半段试样都能被清晰地识别。

### 7.3 加工过程

#### 7.3.1 试验材料的热处理

如果在粗加工之后进行热处理,建议在热处理之后进行最终的抛光。否则应在真空或惰性气体下

进行热处理以防止试样的氧化。热处理不应改变被研究材料的显微结构特性。热处理的细节和机加工过程应在试验结果中注明。

### 7.3.2 机械加工要求

机械加工可能在试样表面产生残余应力。这些残余应力可能是机加工阶段的热梯度或材料变形或显微结构的变化引起的。残余应力的影响在高温疲劳试验时不需考虑,这是因为残余应力在试样保温过程中已全部或部分释放。然而应该采取合适的机加工方式来减小残余应力,尤其是在最终抛光阶段。对于较硬的材料,选取磨削加工工艺更好。

——磨削:试样磨削前的加工余量为 $\pm 0.1$  mm,以不超过 0.005 mm/r 的磨削速度进行磨削。

——抛光:用颗粒逐渐减小的不同砂纸去除掉最后的 0.025 mm 加工余量。推荐最终的抛光方向应沿着试样轴线。

材料显微结构的改变可能由于机加工过程中温度的升高和应变硬化而引起,它可能产生相变或者更多情况下会发生表面的再结晶。由于试验的材料不再是原始材料而导致试验无效。有些材料由于某些元素或化合物的存在而影响力学性能。典型的例子就是氯离子对钢和钛合金的影响。在切削过程中应避免接触这些元素。建议在试样保存之前清洗和去油。

### 7.3.3 试样的表面状态

试样的表面状态对试验结果有影响。这种影响通常与下列一种或多种因素有关:

——试样表面粗糙度;

——表面残余应力的存在;

——材料显微结构的改变;

——污染物的引入。

下面的建议将使这些因素的影响降到最小。

表面状态用平均粗糙度或当量值来定量化。试样表面状态对试验结果的影响很大程度上依赖于试验条件,这一影响会被试样的表面腐蚀或塑性变形而减轻。

在各种试验条件下试样的平均表面粗糙度  $Ra$  推荐小于  $0.2\ \mu\text{m}$ 。

另外一个因素是局部的加工划痕。试样的最终加工要去除所有车削过程中的环向划痕。特别建议最终的磨削应是纵向机械抛光。用大约 20 倍的光学仪器检查试样表面,不允许有环向划痕。

### 7.3.4 尺寸检查

应在最终完成试样加工后,采取不改变表面状态的方法在试样标距部分测量试样直径,取最小值。

## 7.4 储存与运输

已制备好的试样应妥善保存以避免任何损伤(接触的划痕,氧化等)。推荐使用带封头的独立包装的盒子或试管。某些情况下在真空容器或填满硅胶的干燥器中储存样品是必要的。

尽量避免运输试样。在运输过程中不应接触试样标距和试样截面部分。然而,一旦接触,用酒精清洁试样是允许的。

## 8 试验设备的准确度

可使用不同类型的旋转弯曲疲劳试验机,图 1 至图 7 展示了几种主要类型试验机的原理。图 11 显示了一种旋转弯曲疲劳机的试验原理。试验机的操作应满足如下要求:弯矩误差的最大允许值为 $\pm 1\%$ (见附录 A)。

## 9 加热装置和温度测量装置

9.1 试样用电阻炉等加热装置加热。

9.2 炉温应保持均匀,试样工作部分应在炉膛长度内,温度梯度不大于 15 ℃。

9.3 测量或记录温度所用的热电偶、补偿导线和控温、测温仪表都应定期进行检定。检定周期应符合产品标准、客户要求和良好的计量操作。

9.4 温度指示装置的分辨力至少为 0.5 ℃,温度测量装置的最小分辨力为 0.5 ℃,其最大允许误差为  $\pm 1$  ℃。

## 10 试验程序

### 10.1 安装试样

安装每支试样时要避免试验部分承受施加力以外的应力。

为了避免试验过程中的震动,试样的同轴度和试验机的驱动轴应保持在接近的极限值之内。主轴的径向最大跳动量为  $\pm 0.025$  mm,对于单点或两点加载悬臂试验机自由端的径向最大跳动量为  $\pm 0.013$  mm。对于其他类型的旋转弯曲疲劳试验机,实际工作部分两端的径向跳动量不应大于  $\pm 0.013$  mm。施加力之前应满足所需要的同轴度。

### 10.2 加力

杠杆比应按照本标准的附录 A 进行标定。试验应力按表 2 计算。

表 2 不同类型试验机试验应力计算和加荷表

| 试验机类型 | 加载系统  | $S$                                          | $F$                             | 从 $F$ 到所加砝码的转换 |
|-------|-------|----------------------------------------------|---------------------------------|----------------|
| 单点弯曲  | 直接加载  | $S = \frac{M}{W} = \frac{16F(L-x)}{\pi d^3}$ | $F = S \frac{\pi d^3}{16(L-x)}$ | $\times 1.0$   |
| 单点弯曲  | 固定杠杆比 | $S = \frac{M}{W} = \frac{16F(L-x)}{\pi d^3}$ | $F = S \frac{\pi d^3}{16(L-x)}$ | 除以杠杆比 $M_L$    |
| 单点弯曲  | 杠杆和游码 | $S = \frac{M}{W} = \frac{16F(L-x)}{\pi d^3}$ | $F = S \frac{\pi d^3}{16(L-x)}$ | 在杠杆上设定 $F$ 力值  |
| 两点弯曲  | 直接加载  | $S = \frac{M}{W} = \frac{16FL}{\pi d^3}$     | $F = S \frac{\pi d^3}{16L}$     | $\times 1.0$   |
| 两点弯曲  | 固定杠杆比 | $S = \frac{M}{W} = \frac{16FL}{\pi d^3}$     | $F = S \frac{\pi d^3}{16L}$     | 除以杠杆比 $M_L$    |
| 两点弯曲  | 杠杆和游码 | $S = \frac{M}{W} = \frac{16FL}{\pi d^3}$     | $F = S \frac{\pi d^3}{16L}$     | 在杠杆上设定 $F$ 力值  |
| 四点弯曲  | 直接加载  | $S = \frac{M}{W} = \frac{32FL}{\pi d^3}$     | $F = S \frac{\pi d^3}{32L}$     | $\times 1.0$   |

表 2 (续)

| 试验机类型                                                                                                                                                                                                                                                                    | 加载系统  | $S$                                      | $F$                         | 从 $F$ 到所加砝码的转换 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|------------------------------------------|-----------------------------|----------------|
| 四点弯曲                                                                                                                                                                                                                                                                     | 固定杠杆比 | $S = \frac{M}{W} = \frac{32FL}{\pi d^3}$ | $F = S \frac{\pi d^3}{32L}$ | 除以杠杆比 $M_{lr}$ |
| 四点弯曲                                                                                                                                                                                                                                                                     | 杠杆和游码 | $S = \frac{M}{W} = \frac{32FL}{\pi d^3}$ | $F = S \frac{\pi d^3}{32L}$ | 在杠杆上设定 $F$ 力值  |
| <p>其中：<br/><math>S</math> ——要求的试验应力；<br/><math>M</math> ——弯矩；<br/><math>F</math> ——施加的力；<br/><math>L</math> ——力臂（见 A.4.2）；<br/><math>d</math> ——试样直径；<br/><math>W</math> ——截面模量；<br/><math>M_{lr}</math>——试验机的杠杆比（见 A.4.3）；<br/><math>x</math> ——固定的承载面与应力测量平面之间的距离。</p> |       |                                          |                             |                |

每支试样达到全载的总过程应该是相同的。启动试验机,在施力之前使其达到所需要的转速,以递增和连续的方式,平稳而无冲击地将力加到规定值。如果要求特殊的频率,对试验机的转速要做相应调整。

10.3 频率的选取

选择的频率应适合于材料、试样和试验机的组合。对于给定试验系列,试验频率应当相同。试验过程中应避免试样震动。

试验频率通常在 15 Hz~200 Hz 之间(对应的转速为 900 r/min~12 000 r/min)。

高速旋转下的试样可能会发生自热,对疲劳寿命和强度的试验结果可能会产生影响。如果发生此类情况,建议降低试验频率。在室温下的试验,试样的自热应引起注意。试样温度不应超过试验材料熔点的 30%,并应记录温度。

注:如果环境的影响很明显,试验结果可能具有频率依赖性。

10.4 终止试验

试验一直进行到试样失效或达规定循环次数时终止。如失效位置发生在试样标距以外,则试验结果无效。

10.5 高温试验步骤

10.5.1 当试样用辐射炉加热时,需要控制转动时的试样温度,在疲劳试验中不能使用直接温度测量方法。允许用间接温度测量方法在静态下标定试验温度。

10.5.2 测量试样温度有两种方法。

第一种测量方法,也是推荐的方法,间接测量法(即热电偶的热端不直接接触试样工作表面,而与其相距 1 mm~2 mm)。当使用间接测量法时,试验室应建立试样表面温度与热电偶显示温度之间的关系。这种关系用于导出修正因子,用于控制试样温度。

第二种方法使用直接测量法(即热电偶热端直接接触试样工作表面,此测量必须在试验机停止转动

的状态下进行)。

注：试样的自加热在这里不考虑。

10.5.3 试样加热至规定的试验温度，保温半小时。在试验过程中，控制炉温的波动范围见表 3。

表 3 炉温允许的波动范围 单位为摄氏度

| 试验温度                | 温度波动    |
|---------------------|---------|
| $\leq 600$          | $\pm 3$ |
| $> 600 \sim 900$    | $\pm 4$ |
| $> 900 \sim 1\,200$ | $\pm 5$ |

试样工作部分应在炉膛长度内，温度梯度不大于 15℃。

针对典型的样机建立试样标距长度的温度梯度。一种方法是将沿标距长度捆绑 3 支热电偶的试样放进试验机的加热炉内，安装好炉子的测温和控制温热电偶，将炉子加热到试验温度，待炉子在设定温度稳定后，测量温度并导出温度梯度。

10.5.4 温度测量装置在室温发生变化时应稳定在  $\pm 1$ ℃。

在试验过程中，若短时间 ( $< 10\%N_f$ ) 内炉温有降低现象，应将炉温降低期间内的循环次数从总循环数中减去。如果炉温超温时间大于  $10\%N_f$ ，试样断裂或有异常现象，则试验结果无效。

10.6 S-N 曲线的构成

一个试验不连续的预定循环数通常总是依赖于被测材料。对于某些材料的 S-N 曲线在给定的循环数显示明显的斜率变化，例如曲线的后半段平行于水平轴线。也有一些材料 S-N 曲线呈现连续的曲线，最终趋近于水平轴。对于第一种类型的 S-N 曲线，推荐取  $10^7$  耐久寿命，对于第二种类型，推荐取  $10^8$  耐久寿命。疲劳试验的计划见 GB/T 24176。特定的循环数应包括在测定的耐久极限应力范围内。

注：通常耐久性对于结构钢是  $10^7$  耐久寿命，对于其他钢和非铁合金是  $10^8$  耐久寿命。根据最新的研究，金属通常不显示出耐久极限应力或疲劳极限，在一应力下，金属将承受有限的耐久寿命。通常所指的应力-寿命平台是针对传统的疲劳极限或耐久极限，但低于这一应力水平发生的失效也有发生和报道。

11 试验结果的表述

11.1 表格的表达形式

当采用表格的报告格式时，表格内容应包括试样标识，试验顺序，试验应力范围，疲劳寿命或试验结束时的循环数。

11.2 图形表达形式

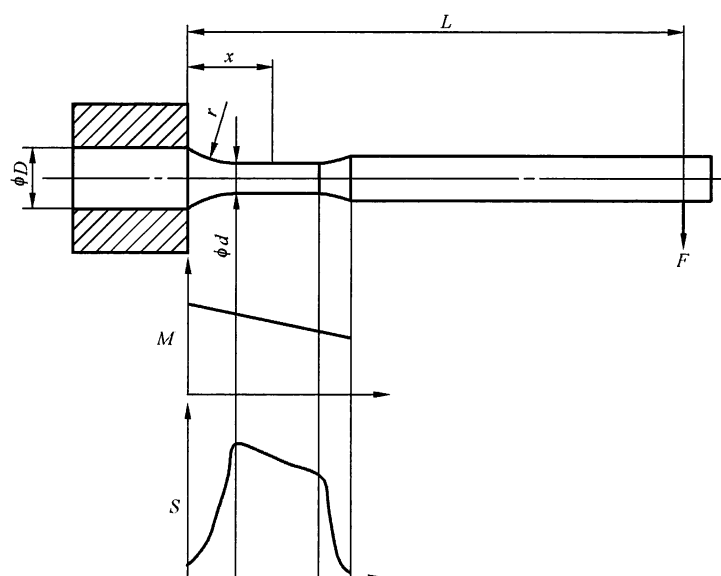
最普遍的疲劳试验数据的图形表达形式是 S-N 曲线，如图 10 所示。以横坐标表示疲劳寿命  $N_f$ ，以纵坐标表示最大应力，应力范围或应力幅，一般使用线性尺度，也可用对数尺度。用直线或曲线拟合各数据点，即得 S-N 曲线图。当对数寿命呈正态分布时上述过程描述的 S-N 图具有 50% 的存活率。然而类似过程也可用于其他存活率的 S-N 曲线图。

S-N 曲线图上至少应包括材料牌号，材料的级别及拉伸性能，试样的表面状态，缺口试样的应力集中系数(如有要求)，疲劳试验的类型，试验频率，环境和试验温度。

12 试验报告

在疲劳试验报告中，试验条件应清晰地注明，并应包括以下信息：

- a) 本标准编号；
- b) 被测材料和材料的冶金特性。材料制造时参照的标准；
- c) 加力方式和所用试验机类型；
- d) 试样的类型,尺寸和表面状态,加力的点数；
- e) 应力循环的频率；
- f) 试验温度,如果试样自发热温度超过 35 ℃,应注明试样温度；
- g) 每天室温和湿度的最大和最小值(根据协商)；
- h) 试验结束判据,例如  $2 \times 10^6$  或试样完全失效或其他标准；
- i) 试验过程中与要求条件的任何偏离；
- j) 试验结果。



说明：

$D$  —— 试样夹持部分或试样加载端部直径；

$d$  —— 应力最大处试样直径；

$F$  —— 外加力；

$L$  —— 力臂长度；

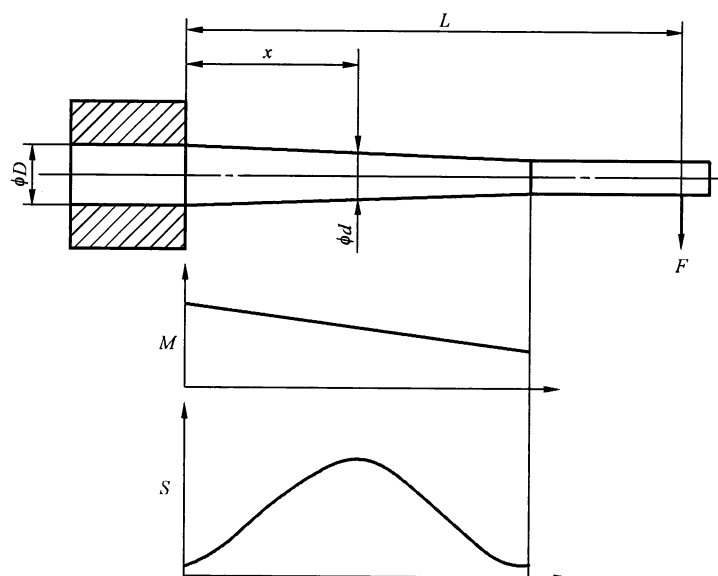
$M$  —— 弯矩；

$r$  —— 半径(见表 1)；

$S$  —— 应力；

$x$  —— 固定的承载面与应力测量平面之间的距离。

图 1 圆柱形试样——单点加力



说明：

$D$  —— 试样夹持部分或试样加载端部直径；

$d$  —— 应力最大处试样直径；

$F$  —— 外加力；

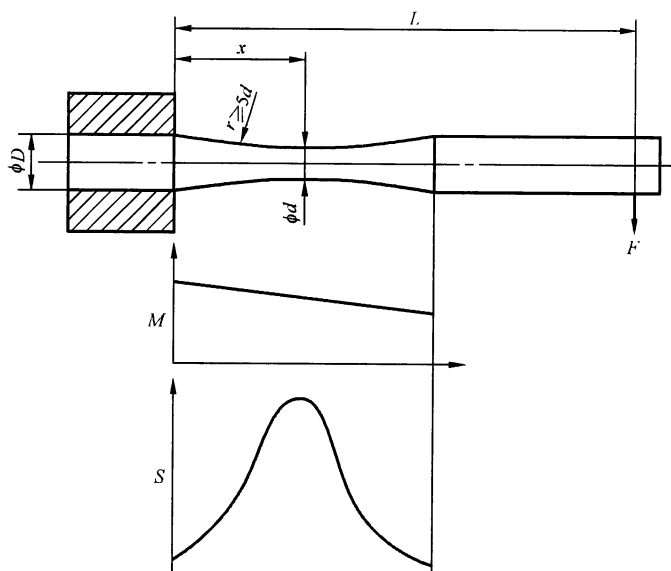
$L$  —— 力臂长度；

$M$  —— 弯矩；

$S$  —— 应力；

$x$  —— 固定的承载面与应力测量平面之间的距离。

图 2 圆锥形试样——单点加力



说明：

$D$  —— 试样夹持部分或试样加载端部直径；

$d$  —— 应力最大处试样直径；

$F$  —— 外加力；

$L$  —— 力臂长度；

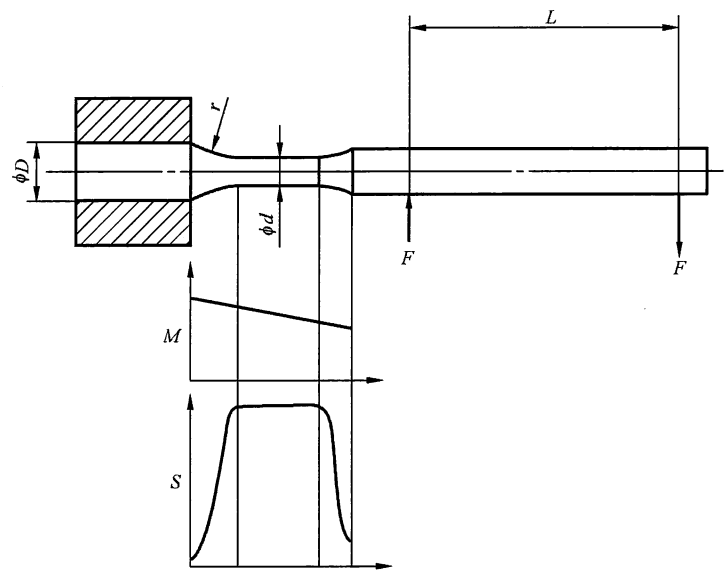
$M$  —— 弯矩；

$r$  —— 半径（见表 1）；

$S$  —— 应力；

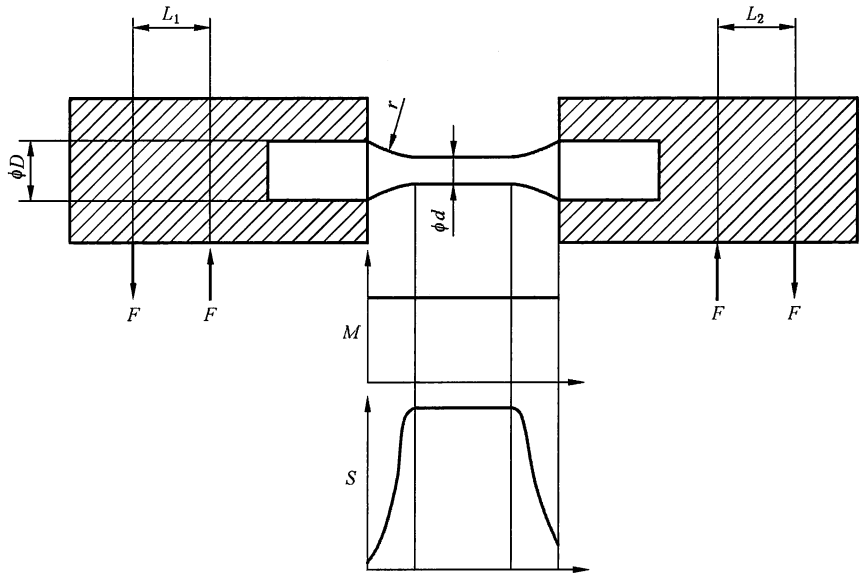
$x$  —— 固定的承载面与应力测量平面之间的距离。

图 3 漏斗形试样——单点加力



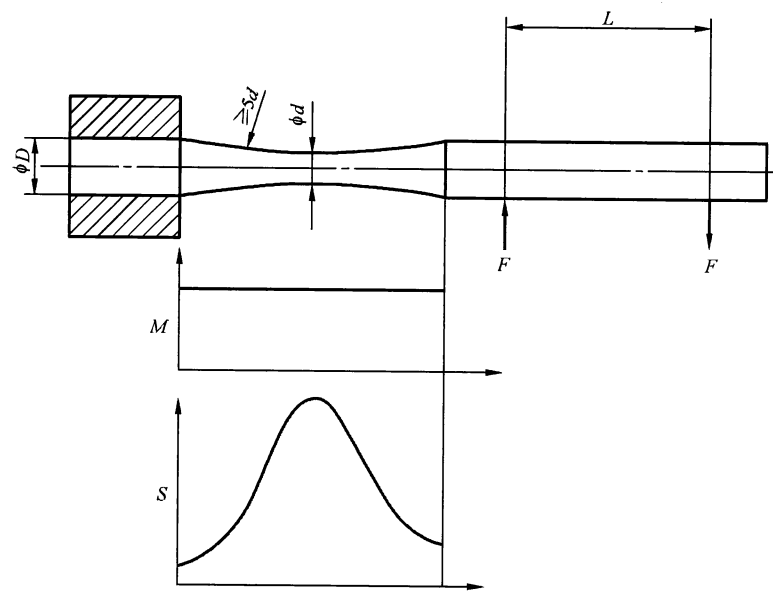
说明：  
 $D$  —— 试样夹持部分或试样加载端部直径；  
 $d$  —— 应力最大处试样直径；  
 $F$  —— 外加力；  
 $L$  —— 力臂长度；  
 $M$  —— 弯矩；  
 $r$  —— 半径（见表 1）；  
 $S$  —— 应力。

图 4 圆柱形试样——两点加力



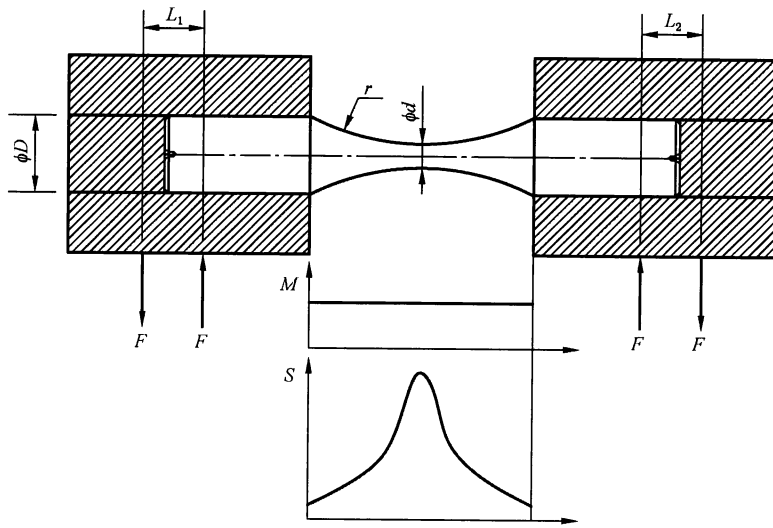
说明：  
 $D$  —— 试样夹持部分或试样加载端部直径；  
 $d$  —— 应力最大处试样直径；  
 $F$  —— 外加力；  
 $L_1, L_2$  —— 力臂长度；  
 $M$  —— 弯矩；  
 $r$  —— 半径（见表 1）；  
 $S$  —— 应力。

图 5 圆柱形试样——四点加力



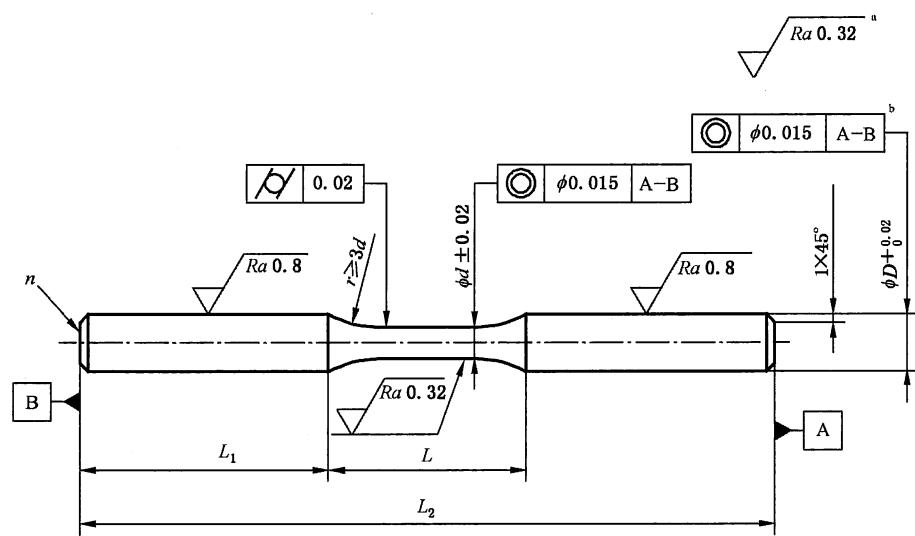
说明：  
 $D$  —— 试样夹持部分或试样加载端部直径；  
 $d$  —— 应力最大处试样直径；  
 $L$  —— 力臂长度；  
 $M$  —— 弯矩；  
 $F$  —— 外加力；  
 $S$  —— 应力。

图 6 漏斗形试样——两点加力



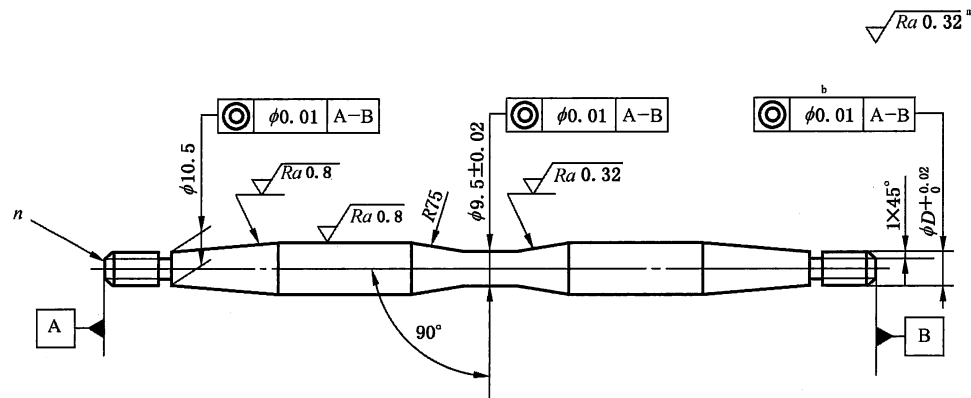
说明：  
 $D$  —— 试样夹持部分或试样加载端部直径；  
 $d$  —— 应力最大处试样直径；  
 $F$  —— 外加力；  
 $L_1, L_2$  —— 力臂长度；  
 $M$  —— 弯矩；  
 $r$  —— 半径（见表 1）；  
 $S$  —— 应力。

图 7 漏斗形试样——四点加力



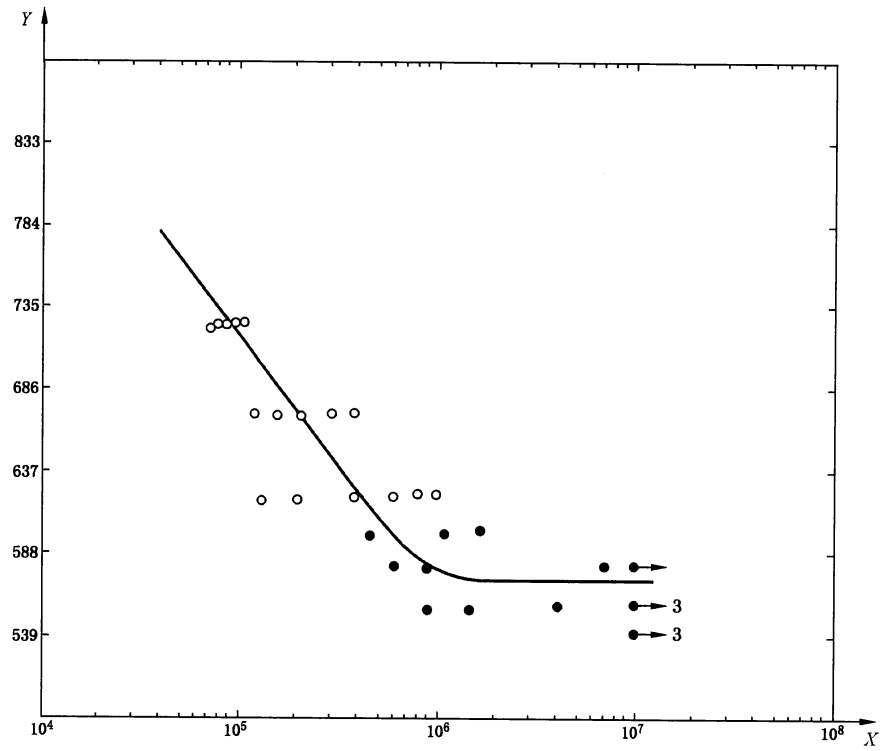
说明：  
 $n$ ——试样编号。  
<sup>a</sup> 其他。  
<sup>b</sup> 两端。

图 8 圆柱形光滑试样



说明：  
 $n$ ——试样编号。  
<sup>a</sup> 其他。  
<sup>b</sup> 两端。

图 9 圆弧形光滑试样



**说明：**

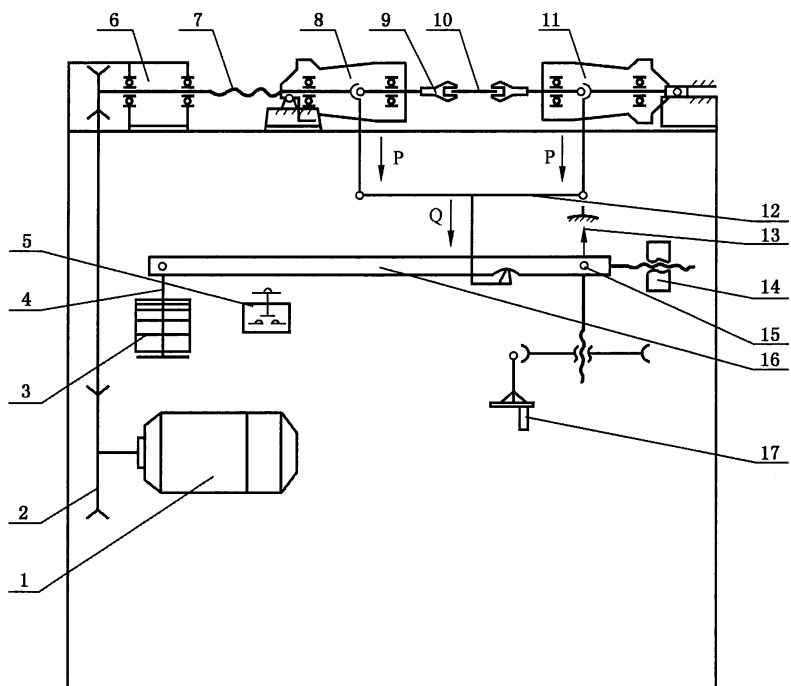
$X$  —— 疲劳寿命,  $N_f$ ;

$Y$  ——最大应力,  $S_{\max}$ , 单位为兆帕(MPa)。

单独的圆圈(○)代表在成组法试验中破坏。

单独的黑点 (●) 代表在升降法试验中破坏; 带箭头的黑点 (●→) 代表在升降法试验中通过。

图 10  $S-N$  曲线图



说明：

- 1 ——电动机；
- 2 ——三角皮带；
- 3 ——砝码；
- 4 ——吊杆；
- 5 ——按钮；
- 6 ——计数减速器；
- 7 ——软轴；
- 8 ——左主轴箱；
- 9 ——弹簧夹头；

- 10 ——试样；
- 11 ——右主轴箱；
- 12 ——吊钩；
- 13 ——指针；
- 14 ——平衡锤；
- 15 ——计数器；
- 16 ——杠杆；
- 17 ——手轮。

图 11 旋转弯曲疲劳试验机的原理图

## 附录 A (规范性附录)

### 旋转弯曲疲劳试验机弯矩的校验

#### A.1 总则

旋转弯曲疲劳试验机的校验方法有两种,这两种方法都可以用,并且能给出可比结果。第一种方法是尺寸测量和后续的计算方法;第二种方法是应变片试样法。这两种方法都可以用,并且能给出可比结果。

本附录列出了校验设备,校验前的检查,校验步骤(尺寸测量或应变片试样法),校验数据的评估和接受标准。

#### A.2 需校验设备

##### A.2.1 总则

一系列设备用于旋转弯曲疲劳试验机的校验。通过标定合格的砝码或力传感器保证可以溯源的力值。如果试验机包含杠杆和游码,在校验机器时需要同时使用标定合格的砝码和力传感器。力臂的长度测量需要使用标定过的千分尺或卡尺。

##### A.2.2 砝码质量

在校验过程中加力的砝码质量的精度应优于或等于 $\pm 0.1\%$ ,并且至少每5年要溯源到国家基准。

##### A.2.3 力传感器

用于校验力值的测力仪或加力单元应该按照 GB/T 13634 进行标定。测力仪的等级应等于或优于1级。

##### A.2.4 尺寸测量

用于旋转弯曲疲劳试验机尺寸测量的测微仪或卡尺的分辨力至少为0.01 mm,测量误差应在 $\pm 0.03$  mm 以内。

#### A.3 校验前试验机的检查

在校验前应检查试验机各零部件的磨损情况,如有必要,应更换相应部件。任何零部件的更换都应在设备维护记录上注明。

#### A.4 尺寸测量的校验步骤

旋转弯曲疲劳试验机可以通过尺寸测量和力值测量组合进行校验。各种杠杆臂将力转换成施加给试样的弯矩,需要非常精确地测量力臂的长度(见 A.4.2)。加力系统的校验方法依赖于具体使用的力值系统的来源——来源于一系列砝码,杠杆和游标系统或使用载荷单元的加力系统。在校验时使用诸

如图 A.1 的专门装置校验施加的力。

#### A.4.1 温度稳定化

将校验装置在校验环境下放置足够长的时间以达到温度的平衡与稳定。记录校验开始和结束时的温度。

#### A.4.2 平均力臂的测量

利用测微尺或卡尺在力臂的两侧,测量弯距力臂长度  $L$  (对于四点弯曲试验机为  $L_1$  和  $L_2$ ),重复测量三次(见图 1~图 7 和 A.2)。计算各次测量的平均值,并记为平均弯距力臂长度  $\bar{L}$ ,每次测量之间的差异不应大于 5%。对于四点弯曲试验机, $L_1$  和  $L_2$  的测量平均值之差应在 1% 以内。

平均力臂用于表 2 公式计算产生所需试验应力的力值。

#### A.4.3 加载杠杆比的测量

包含杠杆装置的机器设计之初是放大有效载荷或将倒置的力值转化为正置力值。杠杆系统是试验机的一部分,所以要求测量杠杆比。通过准确地测量杠杆臂和支点间的距离,或利用载荷传感器和标定合格砝码对机器进行校准。应记录杠杆放大比并用于试验载荷的计算。

注:参考 ISO 7500-2 标准中利用力传感器进行杠杆比的测量。

#### A.4.4 校验参数的计算——试验机力值的相对误差 $q$

##### A.4.4.1 包含力传感器和加力单元的试验机力值的相对误差

相对误差  $q$  用力真值平均值的百分数表示,给出式(A.1):

$$q = \frac{F_i - \bar{F}}{\bar{F}} \times 100 \quad \dots\dots\dots (A.1)$$

式中:

$F_i$ ——被校验试验机施加的力值。

##### A.4.4.2 通过砝码加力的试验机力值的相对误差

对于通过砝码加力的试验机的相对误差  $q$  是砝码标定证书中的百分比误差。

当机器包含加载杠杆时,试验机的相对误差  $q$  是砝码标定证书中的百分比误差与杠杆比的乘积。

##### A.4.4.3 吊称和游码加力试验机力值的相对误差

吊称和游码加力试验机的相对力值精度由两部分组成。一部分是产生吊杆重量的砝码质量的精度( $c$ ),这部分可以通过砝码的标定证书得到。第二部分是游码的分辨力( $d$ ),通过观察可以得到。

吊称和游码加力试验机的最小可分辨的质量  $m$ 。通过在刻度上朝向力增加的方向移动 2 mm 来获得。

当载荷的游码与吊秤的重量组合成一体时, $m$ 。等于游标载荷的增量。

最小的可分辨的质量  $m$ 。被试验机最低工作载荷除得的百分比作为力值相对误差  $d$  的输入。

通过式(A.2)组合  $c$  和  $d$  得到:

$$q = \sqrt{(c^2 + d^2)} \quad \dots\dots\dots (A.2)$$

#### A.4.5 校验参数的计算——试验机力值相对重复性误差 $b$

##### A.4.5.1 包含力传感器和加力单元的试验机力值的相对重复性误差

重复性误差  $b$  指每一待测力值的最大与最小值的差相对于力真值平均值的百分数,给出式(A.3):

$$b = \frac{F_{\max} - F_{\min}}{\bar{F}} \times 100 \quad \dots\dots\dots (A.3)$$

##### A.4.5.2 通过砝码加力的试验机力值的相对重复性误差

重复性误差  $b$  指每一待测力值的最大与最小值的差相对于力真值平均值的百分数,可以从试验砝码的标定证书得到。

##### A.4.5.3 吊称和游码加力试验机力值的相对重复性误差

力值的相对重复性误差通过试验可以得到。操作员将吊称的重量固定在杠杆的一预先定义位置。重复测量五次。按照 GB/T 13634 标定的一级测力仪用于测量施加的试验力。重复性误差  $b$  指每一待测力值的最大值与最小值的差相对于力真值平均值的百分数,方程 A.3 给出。

#### A.4.6 校验参数的计算——力臂相对误差 $q'$

相对误差  $q'$  用力臂平均值的百分数表示,给出式(A.4):

$$q' = \frac{L_s - \bar{L}}{\bar{L}} \times 100 \quad \dots\dots\dots (A.4)$$

式中:

$L_s$  ——力臂的名义值;

$\bar{L}$  ——测量力臂的平均值。

#### A.4.7 校验参数的计算——力矩的相对误差 $q''$

力矩的相对误差  $q''$  用方程 A.5 表示:

$$q'' = q + q' = \left( \frac{F_i - \bar{F}}{\bar{F}} + \frac{L_s - \bar{L}}{\bar{L}} \right) \times 100 \quad \dots\dots\dots (A.5)$$

#### A.4.8 校验参数所需特性

各校验参数最大允许误差值如下:

- a) 力值的相对误差( $q$ ): 最大 $\pm 1\%$ ;
- b) 力值的相对重复性误差( $b$ ): 最大 $1\%$ ;
- c) 力臂相对误差( $q'$ ): 最大 $\pm 0.3\%$ ;
- d) 力矩的相对误差( $q''$ ): 最大 $\pm 1.3\%$ 。

### A.5 应变片试样的校验步骤

#### A.5.1 总则

校验旋转弯曲疲劳试验机的第二种方法是利用与试验设计相近的应变片试样。准备应变片校验试样时,应在粘应变片之前测量最大应力位置处的尺寸。非常典型校验试样是在沿着试样轴线在标距长度的最小横截面处粘贴两个应变片(应变片 1 和应变片 2),两应变片相距为  $180^\circ$ 。也可使用沿着试样

轴线在标距长度的最小横截面处粘贴一个应变片(应变片 1)的试样。根据应变片的弹性模量、试样材料、粘贴应变片处试样直径  $d$ , 通过表 2 中的相关公式将应变片的输出信号转化为施加的外力。通过这一关系可以得到后续试验所施加的力。

#### A.5.2 温度稳定化

校验仪器时要保证足够的时间使温度达到平衡并稳定。记录每一测力过程开始和结束时的温度。必要时利用 GB/T 13634 中的公式对力值系统进行温度修正。

#### A.5.3 系统调整

为了保证试验机处于良好的工作状态,有必要对疲劳试验机和力测量系统在测量的起始力和最大力之间反复测量 3 次。对于第 3 次施加的力回到零点后,如果必要,将测力仪置零。

#### A.5.4 试验力的选择

力值的校验点数一般不少于 5 点,尽量均匀分布,通常从最大力的 20%(或所用最小力)的较小者开始到试验机的最大力。

#### A.5.5 悬臂梁试验机

A.5.5.1 应变片试样安装在试验机马达一侧,不与弯距力臂侧相连。应变片与应变片调节箱相连,并检查信号的连续性。应变片试样,试验机各部件和电子仪器应在试验环境下稳定 30 min。稳定后将各个电子信号调零。

A.5.5.2 对应变片试样施加弯曲力臂,并与加力系统相连。然后转动应变片试样,直到得到应变 1 输出信号的最大值;并记录该值。在整个力值范围,重复该过程,在每一次转动应变片试样时,要保证得到最大弯曲应变。

A.5.5.3 通过增加已知质量的砝码来增加力值;对于吊称和游码的加力系统,通过增加吊杆上的游码重量来增加力值。

A.5.5.4 当整个加力过程完成后,去除掉试验力(但弯曲力臂仍保留),将应变片试样转动 180°度。启动第二个加力过程,取应变 2 的最大输出值;对于单个应变片试样,取压缩应变的最大输出值。

A.5.5.5 上述过程完成后,去除掉加力系统和弯曲力臂;记录应变片最终输出值。然后根据应变片的弹性模量、试样材料、粘贴应变片处试样直径  $d$ , 通过表 2 中此类试验机的相关公式将应变片的输出信号转化为施加的外力。

#### A.5.6 四点弯曲试验机

A.5.6.1 对于四点弯曲试验机,校验过程与 A.5.5 相同,唯一的不同是试样的初始装夹。将应变片试样靠近试验机马达一段先安装,保持远离马达一端处于自由状态。将应变片与应变片调节箱相连,检查信号的连续性;随后,讲试样、试验机各部件和电气元件热稳定 30 min。之后,按照 A.5.5.1 调节电气信号零点。

A.5.6.2 将试样的非马达端与试验机连接,将轴承支座与加力系统相连。然后按照校验步骤,按照 A.5.5.2 到 A.5.5.4 读取每一级加载力对应得最大弯曲应变输出。一旦 3 次重复性加载条件下的所有数据都记录下来后,根据应变片的弹性模量、试样材料、粘贴应变片处试样直径  $d$ , 通过表 2 中此类试验机的相关公式按照 A.5.5 将应变片的输出信号转化为施加的外力。

#### A.5.7 利用应变片试样校验机器

当试验机处于零外加重量的时候,利用应变片试样校验过程获得的数据建立试验机初始载荷(对试

样施加的最小力),建立施加力和试样力之间的关系。这一关系随后用于建立特定试验应力,并按照 A.5.8 和 A.5.9 的分类测定相关输入。

#### A.5.8 校验参数的计算——试验机力值的相对误差 $q$

##### A.5.8.1 包含力传感器和加力单元的试验机力值的相对误差

相对误差  $q$  用力真值平均值的百分数表示,给出式(A.6):

$$q = \frac{F_i - \bar{F}}{\bar{F}} \times 100 \quad \dots\dots\dots (A.6)$$

式中:

$F_i$ ——被校验试验机施加的力值。

##### A.5.8.2 通过砝码加力的试验机力值的相对误差

对于通过砝码加力的试验机的相对误差  $q$  是砝码标定证书中的百分比误差。

当机器包含加载杠杆时,试验机的相对误差  $q$  是砝码标定证书中的百分比误差与杠杆比的乘积。

##### A.5.8.3 吊称和游码加力试验机力值的相对误差

吊称和游码加力试验机的相对力值精度由两部分组成。一部分是产生吊杆重量的砝码质量的精度( $c$ ),这部分可以通过砝码的标定证书得到。第二部分是游码的分辨力( $d$ ),通过观察可以得到。

吊称和游码加力试验机的最小可分辨的质量  $m$ 。通过在刻度上朝向力增加的方向移动 2 mm 来获得。

当载荷的游码与吊秤的重量组合成一体时, $m$ 。等于游标载荷的增量。

最小的可分辨的质量  $m$ 。被试验机最低工作载荷除得的百分比作为力值相对误差  $d$  的输入。

通过式(A.7)组合  $c$  和  $d$  得到:

$$q = \sqrt{(c^2 + d^2)} \quad \dots\dots\dots (A.7)$$

#### A.5.9 校验参数的计算——试验机力值相对重复性误差 $b$

##### A.5.9.1 包含力传感器和加力单元的试验机力值的相对重复性误差

重复性误差  $b$  指每一待测力值的最大与最小值的差相对于力真值平均值的百分数,给出式(A.8):

$$b = \frac{F_{\max} - F_{\min}}{\bar{F}} \times 100 \quad \dots\dots\dots (A.8)$$

##### A.5.9.2 通过砝码加力的试验机力值的相对重复性误差

重复性误差  $b$  指每一待测力值的最大与最小值的差相对于力真值平均值的百分数,可以从试验砝码的标定证书得到。

##### A.5.9.3 吊称和游码加力试验机力值的相对重复性误差

力值的相对重复性误差通过试验可以得到。操作员将吊称的重量固定在杠杆的一预先定义位置。重复测量五次。按照 GB/T 13634 标定的一级测力仪用于测量施加的试验力。重复性误差  $b$  指每一待测力值的最大值与最小值的差相对于力真值平均值的百分数,方程 A.3 给出。

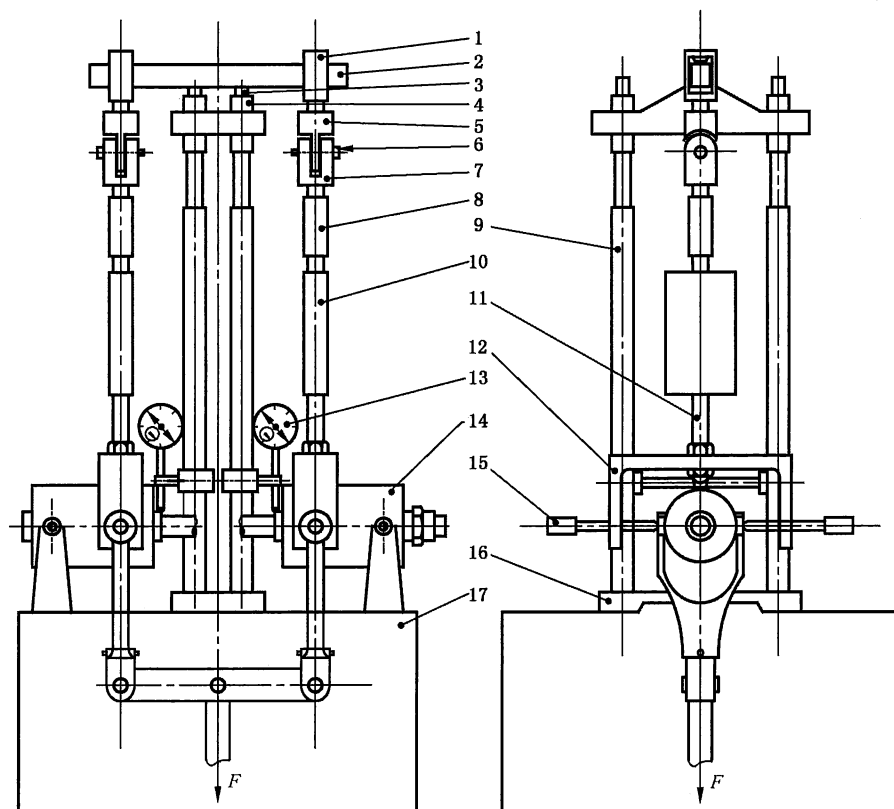
#### A.5.10 校验参数所需特性

各校验参数最大允许误差值如下:

- a) 力值的相对误差( $q$ ): 最大 $\pm 1\%$ ;
- b) 力值的相对重复性误差( $b$ ): 最大 $1\%$ 。

#### A.6 校验周期

应保证每年或按照要求更频繁地校验试验机。校验时间间隔应不超过 13 个月,除非试验机正在进行的试验超过了这个时间。这种情况下,试验完成后应立即校准试验机。

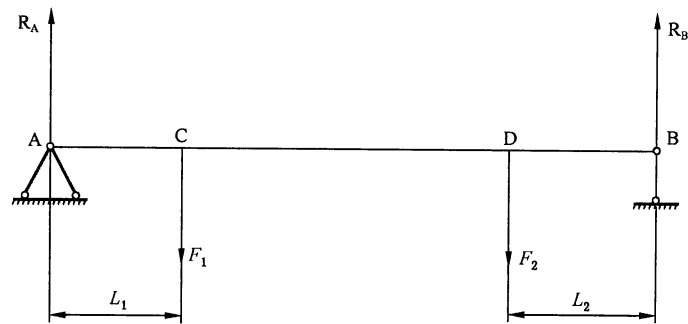


说明:

- 1 —— 框;
- 2 —— 臂;
- 3 —— 前支杆;
- 4 —— 滚花螺母;
- 5 —— 上铰链;
- 6 —— 销轴;
- 7 —— 下铰链;
- 8 —— 上连杆;
- 9 —— 后支杆;

- 10 —— 测力仪;
- 11 —— 下连杆;
- 12 —— 架;
- 13 —— 百分表;
- 14 —— 主轴筒;
- 15 —— 滚花螺钉;
- 16 —— 下座;
- 17 —— 箱体。

图 A.1 四点弯曲试验机分力测量装置的示意图



说明：

- A ——左端支点；
- B ——右端支点；
- C ——左加载支点；
- D ——右加载支点；
- $R_A$  ——支撑点；
- $R_B$  ——支撑点；
- $F_1, F_2$  ——施加的力 1, 2；
- $L_1, L_2$  ——力臂长度。

图 A.2 力臂测量的原理图

中 华 人 民 共 和 国  
国 家 标 准  
金属材料 疲劳试验 旋转弯曲方法  
GB/T 4337—2015

\*

中国标准出版社出版发行  
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)  
北京市西城区三里河北街16号(100045)  
网址 [www.spc.net.cn](http://www.spc.net.cn)  
总编室:(010)68533533 发行中心:(010)51780238  
读者服务部:(010)68523946  
中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷  
各地新华书店经销

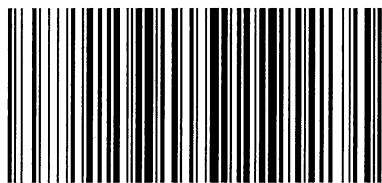
\*

开本 880×1230 1/16 印张 1.75 字数 44 千字  
2015 年 11 月第一版 2015 年 11 月第一次印刷

\*

书号: 155066 • 1-52478 定价 27.00 元

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)68510107



GB/T 4337-2015