



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 12160—2019/ISO 9513:2012  
代替 GB/T 12160—2002

---

## 金属材料 单轴试验用引伸计系统的标定

Metallic materials—Calibration of extensometers systems used in uniaxial testing

(ISO 9513:2012, IDT)

2019-10-18 发布

2020-05-01 实施

国家市场监督管理总局  
中国国家标准化管理委员会 发布



## 目 次

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| 前言 .....              | III |
| 引言 .....              | IV  |
| 1 范围 .....            | 1   |
| 2 术语和定义 .....         | 1   |
| 3 符号和说明 .....         | 1   |
| 4 原理 .....            | 1   |
| 5 标定设备 .....          | 2   |
| 5.1 标定器 .....         | 2   |
| 5.2 标定溯源 .....        | 2   |
| 6 预标定检查 .....         | 2   |
| 6.1 目的 .....          | 2   |
| 6.2 检查记录 .....        | 2   |
| 6.3 引伸计系统单元的标识 .....  | 2   |
| 7 引伸计标距的测量 .....      | 3   |
| 7.1 固定标距引伸计 .....     | 3   |
| 7.2 可变标距引伸计 .....     | 3   |
| 7.3 非接触式引伸计 .....     | 3   |
| 7.4 使用量规确定引伸计标距 ..... | 3   |
| 8 标定过程 .....          | 3   |
| 8.1 环境因素 .....        | 3   |
| 8.2 引伸计的安装 .....      | 4   |
| 8.3 标定增量 .....        | 4   |
| 8.4 标定过程 .....        | 5   |
| 8.5 引伸计系统特性的确定 .....  | 5   |
| 9 引伸计系统的分级 .....      | 6   |
| 9.1 输入数据 .....        | 6   |
| 9.2 数据分析 .....        | 6   |
| 9.3 分级准则 .....        | 6   |
| 9.4 结果评定 .....        | 7   |
| 10 不确定度的评定 .....      | 7   |
| 10.1 不确定度的来源 .....    | 7   |
| 10.2 不确定度的预估 .....    | 7   |
| 11 引伸计系统标定间隔 .....    | 7   |
| 12 标定证书 .....         | 8   |
| 12.1 必备信息 .....       | 8   |

|                                |    |
|--------------------------------|----|
| 12.2 数据报告 .....                | 8  |
| 附录 A (资料性附录) 测量不确定度 .....      | 9  |
| 附录 B (资料性附录) 标定器的标定 .....      | 14 |
| 附录 C (资料性附录) 标定器标定报告的示例 .....  | 16 |
| 附录 D (资料性附录) 引伸计系统类型的示例 .....  | 19 |
| 附录 E (资料性附录) 激光引伸计 .....       | 28 |
| 附录 F (资料性附录) 视频引伸计 .....       | 35 |
| 附录 G (资料性附录) 全场应变测量视频引伸计 ..... | 39 |
| 附录 H (资料性附录) 横梁测量系统的标定 .....   | 41 |
| 参考文献 .....                     | 42 |

## 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 12160—2002《单轴试验用引伸计的标定》。本标准与 GB/T 12160—2002 相比，除编辑性修改外主要技术变化如下：

- 增加了术语和定义(见第 2 章)；
- 增加了引伸计预标定检查(见第 6 章)；
- 增加了不确定度的评定(见第 10 章)；
- 删除了附录 A 引伸计标定范围示例、附录 B 引伸计分级用参数(见 2002 年版的附录 A、附录 B)；
- 增加了资料性附录(见附录 A、附录 B、附录 C、附录 D、附录 E、附录 F、附录 G、附录 H)。

本标准使用翻译法等同采用 ISO 9513:2012《金属材料 单轴试验用引伸计系统的标定》。

本标准做了下列编辑性修改：

- 本标准纳入了 ISO 9513:2012\_Cor 1，改正了图 C.1、图 C.2 部分内容。

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、钢铁研究总院、无锡市计量测试院、深圳万测试验设备有限公司、吉林大学、吉林省计量科学研究院。

本标准主要起草人：杨正旺、陈武、陈超、安建平、张世忠、韩丹丹、赵宏伟。

本标准所代替标准的历次版本发布情况为：

- GB 12160—1990、GB/T 12160—2002。

## 引 言

本标准规定了引伸计系统的标定准则,包括一般原则、要使用的标定器、预标定检查和各种类型引伸计系统标距的测量,讨论了标定过程中的结果评估、不确定度、标定时间间隔和报告信息以及标定器的标定和分级准则,并列出了包括与引伸计系统及其应用有关的重要文献清单参考文献[1]至[10]。在修订本标准过程中,动态引伸计的标定工作正在进行中,尚未达到写入本标准程度。更多信息请参见参考文献[6]。

资料性附录说明了引伸系统标定的不确定度计算(附录 A)、标定器的标定(附录 B)和标定报告的示例(附录 C),其后的附录说明了引伸计系统类型的示例(附录 D)、激光引伸计(附录 E)、视频引伸计(附录 F)、全场应变测量视频引伸计(附录 G)和十字头测量系统的标定(附录 H)。

# 金属材料 单轴试验用引伸计系统的标定

## 1 范围

本标准规定了单轴试验用引伸计系统的静态标定方法,包括接触式和非接触式的轴向和径向引伸计系统。

## 2 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 2.1

**引伸计系统 extensometer system**

在试样表面上测量位移或应变的装置。

注:就本标准而言,术语“引伸计系统”包括指示器。一些引伸计直接显示应变(例如:激光引伸计或数字图像相关技术)。另一些引伸计显示试样标距的变化量,通过除以相应标距转换成应变。

### 2.2

**标距 gauge length**

试样上测量延伸的部分。

## 3 符号和说明

本标准中使用的符号和说明见表1。

表1 符号和说明

| 符号         | 说 明         | 单位            |
|------------|-------------|---------------|
| $L_e$      | 引伸计标距的标称值   | mm            |
| $L'_e$     | 引伸计标距的测量值   | mm            |
| $l_{\max}$ | 标定范围的最大极限   | mm            |
| $l_{\min}$ | 标定范围的最小极限   | mm            |
| $l_i$      | 引伸计指示的位移    | $\mu\text{m}$ |
| $l_s$      | 标定器给出的实际位移  | $\mu\text{m}$ |
| $q_{L_e}$  | 引伸计系统标距相对误差 | %             |
| $q_n$      | 引伸计系统相对误差   | %             |
| $q_b$      | 引伸计系统绝对误差   | $\mu\text{m}$ |
| $r$        | 引伸计系统分辨力    | $\mu\text{m}$ |

## 4 原理

引伸计系统的标定是将引伸计的读数与标定器给定的已知长度的变化量进行比较。

注 1: 用户可以定义进行标定的位移范围,从而优化引伸计系统的性能。例如,对于应变控制的低周疲劳,仅使用引伸计工作范围的一小部分。因此,在这种情况下,用引伸计工作范围的中心部分进行标定是合适的。

标定过程通过标定器已知位移与引伸计系统的输出相比较,此输出值可以用高精度刻度表人工读取也可以通过传感器/电子设备/数据记录系统的位移显示。对于后者,引伸计系统的输出将包括电子设备/数据记录系统的任何数据拟合曲线。

注 2: 对于确定的引伸计系统,其标定和分级也取决于该引伸计系统定义标距的能力。

## 5 标定设备

### 5.1 标定器

标定器可对引伸计施加已知位移  $L$ ,它由刚性支架和在其上可安装引伸计的两根同轴心的轴向分离杆或其他夹具组成;标定器应具有能使至少其中一个轴向分离杆沿轴向移动的机械装置能够准确地测量所产生长度变化。长度的变化量可使用诸如干涉仪、线性编码器、量块和比较仪或测微计进行测量。

注: 标定器的特殊附件用于径向引伸计的标定。

标定器应按照附录 B 进行标定,并应符合表 B.1 中的性能要求。

附录 B 给出一个标定器及其详细性能准则的推荐性标定程序,按照本标准,该标定器可适用于标定引伸计系统。

### 5.2 标定溯源

标定器和配套仪器(如千分尺、卡尺、光学投影显微镜)应采用一种可溯源到国际单位制(SI)的标准进行标定。与配套仪器进行的任何测量相关的测量不确定度不得超过被标定引伸计系统的允许误差的三分之一(见表 2)。温度测量仪器的分辨力为  $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

## 6 预标定检查

### 6.1 目的

引伸计系统在标定之前应进行检查。但不应局限于机械元件的检查,例如移动是否灵活、部件磨损、刀刃磨损和定位销/夹具的标距磨损。对于装有电子传感器的引伸计系统,应检查其电缆和连接器的损坏、磨损等。

应尽量在测定状态下进行引伸计系统的标定,且评估其结果,如有必要,引伸计系统应进行调整和重新标定。在这种情况下,两组数据均应记录。

### 6.2 检查记录

应保存预标定检查记录,包括确定引伸计被检查时的状态、检查的时间和执行者。这些预标定检查记录可以采用书面报告或者预先设计的内容完整的检查表。

### 6.3 引伸计系统单元的标识

引伸计应有唯一性标识。在正常使用引伸计期间,可能被用户改变的影响引伸计标定的部件也应尽量被唯一标识。然而,这一要求并不适用于将引伸计连接到试样的夹持装置。这些唯一的标识构成引伸系统报告的一部分。

## 7 引伸计标距的测量

### 7.1 固定标距引伸计

7.1.1 固定标距引伸计应通过直接和间接方式来确定测量标距  $L_e'$ ，在这两种情况下，用引伸计定位销或夹持装置将引伸计接触点设置到预设定位移。

注：测量标距的变化可能是由于标距设定装置过度使用/磨损造成的。

7.1.1.1 标距  $L_e'$  的直接测，使用已校准的测量仪器，如卡尺或阴影/投影显微镜，测量引伸计接触点之间的距离。

7.1.1.2 标距的间接测量  $L_e'$ ，通过将引伸计装在软的金属试样上，使引伸计刀刃或顶尖在该试样上留下印痕，然后取下引伸计，使用与引伸计所要求准确度一致的测量仪器测量试样上两印痕间的距离。

7.1.2 标距相对误差  $q_{L_e}$  按式(1)计算并满足表 2 的要求。

$$q_{L_e} = \frac{L_e' - L_e}{L_e} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (1)$$

### 7.2 可变标距引伸计

7.2.1 可变标距引伸计的标距可直接测量或间接测量。

7.2.1.1 标距的直接测量是通过引伸计所用夹具、定位销或其他部件设置所需的标距，使用经过校准的测量仪器，如卡尺或阴影/投影显微镜对引伸计接触点之间进行测量。

7.2.1.2 标距的间接测量  $L_e'$ ，通过将引伸计装在软的金属试样，使引伸计刀刃或顶尖在该试样上留下印痕，然后取下引伸计，使用与引伸计的所要求准确度一致的测量设备测量试样上两印痕间的距离。

7.2.2 通常在蠕变、高温拉伸或应力松弛试验中使用的引伸计，其标距通过在试样平行长度上机械加工小的凸脊来确定，其中引伸计加持在凸脊上。这种引伸计的标距应直接从试样来确定，且应与引伸计所要求的准确度一致。

7.2.3 标距相对误差按式(1)计算并满足表 2 的要求。

7.2.4 如采用引伸计设定或测量标距时，应测定标距的相对误差。如果用试样上的特征确定标距，则标距相对误差不需要测定。

7.2.5 自动设定标距的引伸计，应测量所使用的最大和最小标距以及最小和最大标距之间的另外三个标距。若使用少于五个标距时，所有的标距均应测量。

### 7.3 非接触式引伸计

非接触式引伸计的标距按照制造商的说明书来设定。

### 7.4 使用量规确定引伸计标距

如有引伸计标距使用可移动量规来设置，标距的相对误差  $q_{L_e}$  按式(1)计算，且不得超过表 2 中给出的数值。

测量标距的不确定度应低于标距长度允许误差的三分之一。

## 8 标定过程

### 8.1 环境因素

8.1.1 引伸计系统的标定过程中应记录环境温度。

通常,引伸计系统标定的温度范围应为  $18\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,标定时温度的波动应在  $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  之内。在标定过程中温度的变化可能会增加标定的不确定度,有时可能会影响对引伸计的正确标定。

8.1.2 对  $10\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 35\text{ }^{\circ}\text{C}$  温度范围之外的单轴试验用引伸计,如有条件,宜尽可能在试验温度或接近试验温度下进行标定。

8.1.3 标定前应将引伸计放置在标定器附近或安装到标定器上,保证足够长的时间,致使引伸计系统和标定器相互接触部分的温度达到标定温度。

## 8.2 引伸计的安装

在可行的情况下,应将引伸计以单轴试验使用时类似的方向安装到标定器上,以避免因失去平衡或引伸计任一部分的变形而产生误差。

安装引伸计的方法应与单轴试验时使用的方法类似。

## 8.3 标定增量

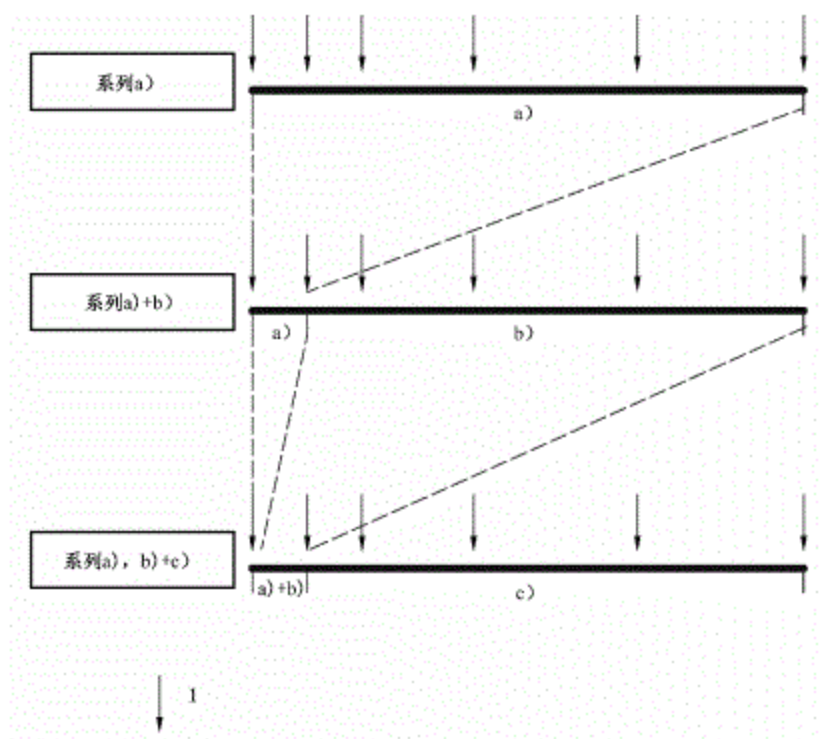
8.3.1 用户应确定引伸计系统标定的位移范围。

8.3.2 标定时,标定点的数量和标定范围的数量,应取决于确定的最大位移  $l_{\max}$  和确定的最小位移  $l_{\min}$  的关系。

8.3.3 如下进行单程测试:

- a) 如果  $l_{\max}/l_{\min}$  小于或等于 10, 1 个范围中至少应记录 5 个增量;
- b) 如果  $l_{\max}/l_{\min}$  大于 10 并小于或等于 100, 选择 ( $l_{\min}$  到  $10l_{\min}$ ,  $10l_{\min}$  到  $l_{\max}$ ) 或者 ( $l_{\min}$  到  $0.1l_{\max}$ ,  $0.1l_{\max}$  到  $l_{\max}$ ) 间的 2 个范围, 每个范围至少应记录 5 个增量;
- c) 如果  $l_{\max}/l_{\min}$  大于 100, 选择 ( $l_{\min}$  到  $10l_{\min}$ ,  $10l_{\min}$  到  $100l_{\min}$ ,  $100l_{\min}$  到  $l_{\max}$ ) 或者 ( $l_{\min}$  到  $0.01l_{\max}$ ,  $0.01l_{\max}$  到  $0.1l_{\max}$ ,  $0.1l_{\max}$  到  $l_{\max}$ ) 间的 3 个范围, 每个范围至少应记录 5 个增量。

对于以上 a), b), c) 三种分类, 任意两个相邻点之间的增幅不得超过该范围的三分之一。这些增量的示例见图 1。



说明:

1——标定点。

图 1 标定点分布示意图

注 1: 若引伸计仅测量模量和规定塑性延伸强度的拉伸试验则属于 a) 类; 测定规定塑性延伸强度和断裂延伸率的拉伸试验或蠕变断裂试验, 则属于 b) 类或 c) 类。

注 2: 疲劳试验时, 使用至少 5 个增量的测量范围 (与任意两个相邻点的增量不超过  $l_{\min}$  和  $l_{\max}$  的范围的三分之一)。

注 3: 从上述计算得出的值可以调整到最接近方便增量, 以匹配标定器。

8.3.4 当确定  $l_{\max}$  和  $l_{\min}$  时, 操作因素如高温试验的热膨胀和附加位移突发事件, 涉及的从测试到测试设置的变化问题, 都应考虑在内。

## 8.4 标定过程

8.4.1 标定应在没有特殊清洁的被测定状态情况下进行。

8.4.2 当温度已经稳定, 标定前宜用标定器对引伸计施加其标定范围的位移二次。如有可能, 待产生一个很小的负位移后再返回到零位, 并相应地将引伸计重新调零。

8.4.3 标定包括两组确定增量的测量见 8.3:

——第一组在测量完成后, 取下引伸计, 再重新装到标定器上。

——然后用与第一组相同的方法进行第二组测量。

根据引伸计用途的不同, 要以长度递增或递减或两种方式同时采用进行上述两组测量。

## 8.5 引伸计系统特性的确定

### 8.5.1 分辨力

8.5.1.1 分辨力  $r$  是从仪器上能读取的最小量值。

8.5.1.2 对于有模拟指示表的引伸计, 应从指针的宽度与两个相邻刻度标记 (刻度值) 中心到中心的距离之比, 再乘以一个刻度增量代表的物理尺寸, 来确定指示器的分辨力。分辨力不得低于一个刻度值代

表物理尺寸的五分之一,除非两个相邻标记之间的距离大于或等于 2.5 mm,在这种情况下,分辨力可以小到一个刻度值的十分之一。

8.5.1.3 对于有电子显示器的引伸计,输出应持续 10 s 并记录最大值和最小值。观测的最大值和最小值的差值的一半为分辨力  $r$  并记录;当最大值和最小值相等时,分辨力应为显示的一个数字。

## 8.5.2 误差

### 8.5.2.1 相对误差

对于某一给定位移  $l_i$ ,其系统相对误差  $q_{rh}$ 按式(2)计算:

$$q_{rh} = \frac{l_i - l_t}{l_i} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (2)$$

### 8.5.2.2 绝对误差

对于某一给定位移  $l_i$ ,其系统绝对误差  $q_b$ 按式(3)计算:

$$q_b = l_i - l_t \quad \dots\dots\dots (3)$$

## 9 引伸计系统的分级

### 9.1 输入数据

引伸计系统的分级所需输入数据有:

- 标距相对误差(见 7.2.5);
- 引伸计系统的(绝对和/或相对)分辨力(见 8.5.1);
- 在每个标定数据点的(绝对和/或相对)误差(见 8.5.2);
- 确认标定器相对每个标定数据点都符合本标准规定。

### 9.2 数据分析

整理数据评估如下:

- 标距的相对误差应与表 2 的规定值进行比较并确定级别;
- 引伸计系统每个标定数据点的分辨力应与表 2 的规定值进行比较并确定级别;
- 每个标定数据点的误差应与表 2 的规定值进行比较并确定级别。

### 9.3 分级准则

表 2 给出了标距相对误差、分辨力和系统误差的最大允许值。

表 2 引伸计的分级

| 引伸计系统<br>级 别 | 标距相对误差<br>$q_{L_e}$<br>% | 分辨力*                                |                             | 系统误差*                 |                                      |
|--------------|--------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------------|--------------------------------------|
|              |                          | 读数的百分数<br>$(r/l_i) \times 100$<br>% | 绝对值<br>$r$<br>$\mu\text{m}$ | 相对误差<br>$q_{rh}$<br>% | 绝对误差<br>$l_i - l_t$<br>$\mu\text{m}$ |
| 0.2          | $\pm 0.2$                | 0.1                                 | 0.2                         | $\pm 0.2$             | $\pm 0.6$                            |
| 0.5          | $\pm 0.5$                | 0.25                                | 0.5                         | $\pm 0.5$             | $\pm 1.5$                            |
| 1            | $\pm 1.0$                | 0.5                                 | 1.0                         | $\pm 1.0$             | $\pm 3.0$                            |

表 2 (续)

| 引伸计系统<br>级 别         | 标距相对误差<br>$q_{Le}$<br>% | 分辨力 <sup>a</sup>                        |                             | 系统误差 <sup>a</sup>     |                                    |
|----------------------|-------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------|-----------------------|------------------------------------|
|                      |                         | 读数的百分数<br>( $r/l_1$ ) $\times 100$<br>% | 绝对值<br>$r$<br>$\mu\text{m}$ | 相对误差<br>$q_{th}$<br>% | 绝对误差<br>$l_1-l_2$<br>$\mu\text{m}$ |
| 2                    | $\pm 2.0$               | 1.0                                     | 2.0                         | $\pm 2.0$             | $\pm 6.0$                          |
| <sup>a</sup> 取其中较大者。 |                         |                                         |                             |                       |                                    |

## 9.4 结果评定

9.4.1 将 9.2 中指定的数据进行整理,确定以下列项中的最大分级值:

- 标距相对误差;
- 引伸计系统每一标定数据点的分辨力;
- 每一标定数据点的误差;
- 标定器每一标定数据点的分级。

这四个参数中的最大值为依据本标准分级的引伸计系统的级别。

9.4.2 当引伸计需要调整以符合其预期用途等级要求时,标定者经实验室批准可以做出相应的调整,以提高引伸计系统的性能。最初的标定记录应予以保留,并作为标定文件的一部分。调整后的结果应在标定证书中记录。

## 10 不确定度的评定

### 10.1 不确定度的来源

许多因素对标定过程不确定度产生影响。下列因素将被评估并纳入不确定度的计算:

- 标定器的校准不确定度;
- 标定过程中环境温度的波动;
- 实验室内不止一人参与标定引起操作人员之间的变化;
- 标距的设置;
- 标距测量仪器。

详细信息参见附录 A。

### 10.2 不确定度的预估

应确定不确定度。附录 A 给出了引伸计系统进行不确定度评估的计算示例。

注:当标定引伸计时本标准的一些要求限制不确定度的主要组成部分。通过遵守这计量准则,某些认证标准明确考虑到不确定度。减少不确定量的允许误差会导致不确定度的重复计算。已标定并确认满足一个特定级别的引伸计分级并不能保证包括不确定度在内的测量准确性小于规定值。例如,一个引伸计满足 0.5 级要求,并不能确保其包含不确定度的测量误差小于 0.5%。

## 11 引伸计系统标定间隔

11.1 两次标定的时间间隔依引伸计系统的型式、维护标准和使用的次数而定。在正常条件下,引伸计系统标定周期大约为 12 个月。除非要求试验持续 18 个月以上,否则标定周期不应超过 18 个月,在此

情况下,试验前、后均应对该引伸计进行标定。若进行长期蠕变试验应参考 ISO 204,基于丰富的实践经验,引伸计系统标定间隔为 3 年;类似的情况还有长期应力松弛试验。这些情况下,试验标准要求应优先于本条所定义的标定时间间隔。

11.2 在每次可能影响测量准确度的元器件修理或调整之后,均应对引伸计进行重新标定。

## 12 标定证书

### 12.1 必要信息

标定报告至少应包含下列内容:

- a) 本标准编号,即 GB/T 12160;
- b) 引伸计系统所有者的名称和地址;
- c) 引伸计标识(型号、标距、标志、编号和安装位置);
- d) 标定器型号和编号;
- e) 标定时的温度;
- f) 标定时,长度变化量的特性,即以递增长度和(或)递减长度变化;
- g) 标定日期;
- h) 标定人员姓名和标定机构的名称或标志;
- i) 来自标定的所有结果(如被测定的条件,如有调整,调整后的测量);
- j) 不确定度的说明;
- k) 引伸计每一范围的分级。

证书上的项目可以在引用的报告中给出。

### 12.2 数据报告

标定的结果应在证书中进行列表,应包括与每个标定点相关的误差值。

标定结果的图形表示可以作为证书的一部分。

附 录 A  
(资料性附录)  
测量不确定度

## A.1 引言

在本附录中提出的这种测量不确定度的方法只考虑长度测量过程中整体性能测量过程相关的不确定度。这些过程的不确定度显示了所有单独的不确定因素的共同作用。

标准仪器(标定器)的不确定度的测量在相应的校准证书中说明。影响这些量的因素包括:

- a) 环境的影响,如温度的偏差;
- b) 位移标准的漂移;
- c) 标准装置的内差误差。

这些变量宜予以考虑。标定器的设计,也需要考虑与试验机的标距轴相关的引伸计的位置。

在与不确定度相关的引伸计测量变量中,宜考虑以下方面:

- 引伸计相对校准装置的同轴度;
- 长度变化指标;
- 校准装置的分辨力相对不确定度;
- 标距误差;
- 标定装置的相对误差;
- 引伸计的指示器的重复性;
- 引伸计分辨力;
- 温度的影响。

在标定时,可以通过规范规定或者掌握的数据计算单轴试验用引伸计系统的不确定度,这些计算方法在后面详细地说明。

准确度误差作为一个已知的偏差,通常不会在标定过程中纠正,如果它属于表2的规定,在其中估计的相对误差  $E$  范围,根据合理地预期依据,应该是  $E = q \pm U$ ,其中  $q$  是在 8.5.2 中定义的相对误差,  $U$  为扩展不确定度。

如果相对标距误差  $q_{L_0}$  (见表 2)在给定的公差范围内,则满足标定的条件。

## A.2 标定器

与标定器相关的标准不确定度,  $u_{std}$ , 由式(A.1)给出:

$$u_{std} = \sqrt{u_{cal}^2 + u_A^2 + u_B^2 + u_D^2} \quad \text{.....( A.1 )}$$

式中:

$u_{cal}$  ——标准不确定度,等于标定器的 0.5 倍的扩展不确定度,用标定证书或其他有关的信息来确定;

$u_A$  ——由于引伸计的标定温度与标定器的标定温度之间的温度偏差产生的相对标准不确定度。

$$u_A = \frac{\alpha \times \Delta t_{temp}}{\sqrt{3}} \quad \text{.....( A.2 )}$$

式中:

$\alpha$  ——根据制造商的说明标定器的温度系数;

$\alpha_{\text{temp}}$  ——引伸计的标定温度与标定器的标定温度之间的温度偏差；

$u_B$  ——由于标定器的长期稳定性(漂移)的相对标准不确定度。

$$u_B = \frac{\alpha_{\text{sensitivity}}}{\sqrt{3}} \quad \dots\dots\dots (\text{A.3})$$

$\alpha_{\text{sensitivity}}$  ——标定装置的长期稳定性(漂移)；

$u_D$  ——取决于线性近似多项式曲线的相对标准不确定度(如果需要)。

$$u_D = \frac{\alpha_{\text{deviation}}}{\sqrt{2}} \quad \dots\dots\dots (\text{A.4})$$

$\alpha_{\text{deviation}}$  ——取决于标定装置的多项式曲线的线性近似的相对误差。

### A.3 分辨力

标准不确定度与相对分辨力有关,  $u_r$  是从矩形分布得出的。

$$u_r = \frac{\alpha_{\text{resolution}}}{2\sqrt{3}} \quad \dots\dots\dots (\text{A.5})$$

式中:

$\alpha_{\text{resolution}}$  ——引伸计的相对分辨力。

### A.4 重复性

标准不确定度与重复性有关,  $u_b$  是预估计的相对平均误差值的相对标准偏差。

$$u_b = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (q_i - \bar{q})^2} \quad \dots\dots\dots (\text{A.6})$$

式中:

$n$  ——读数次数;

$q_i$  ——测量的偏差, %;

$\bar{q}$  ——平均测量的偏差, %。

### A.5 引伸计系统的相对平均误差的不确定度

引伸计系统的相对平均误差的不确定度  $u_q$  由式(A.7)给出:

$$u_q = \sqrt{u_r^2 + u_b^2 + u_{\text{std}}^2} = \sqrt{u_r^2 + u_b^2 + u_{\text{cal}}^2 + u_A^2 + u_B^2 + u_D^2} \quad \dots\dots\dots (\text{A.7})$$

### A.6 扩展不确定度

一旦考虑了所有相关的标准不确定度(包括上面提到的其他贡献), 合成不确定度  $u_q$  乘以一个包含因子  $k$ , 得出扩展不确定度  $U$ 。宜使用  $k=2$  的值, 但是  $k$  也可以从基于在 ISO/IEC Guide 98-3 所规定的原则有效自由度数计算。因此,  $U$  由式(A.8)给出:

$$U = k \cdot u_q \quad \dots\dots\dots (\text{A.8})$$

式中:

$k$  ——包含因子;

$u_q$  ——合成不确定度。

估计的平均相对误差  $E$ , 可以合理地落在期望误差范围内

$$E = q \pm U \quad \dots\dots\dots (A.9)$$

### A.7 不确定度的典型值

在过去, 分级是不考虑测量不确定度。不过, 应该计算不确定度并予以考虑。这可能会影响现有引伸计系统的分级, 因为最大允许值没有被修改。

为了考虑测量不确定度, 实际上使用表 A.1 所示的新定义的不确定度的允许值准则。因此, 最大允许偏移误差的整个范围仍可使用。

表 A.1 引伸计系统典型的不确定度的最大值

| 引伸计级别     | 典型的最大不确定度*      |                             |
|-----------|-----------------|-----------------------------|
|           | 相对值<br>$U$<br>% | 绝对值<br>$U$<br>$\mu\text{m}$ |
| 0.2       | 0.12            | 0.3                         |
| 0.5       | 0.3             | 0.8                         |
| 1         | 0.6             | 1.7                         |
| 2         | 1.2             | 3.3                         |
| * 取误差最大值。 |                 |                             |

### A.8 引伸计系统不确定度计算实例

在 0.1 mm 至 10 mm 的范围内 10mm 的引伸计系统(表 A.2, 表 A.3 和表 A.4)的标定:

标定器扩展的偏差:  $\leq 2 \text{ mm}$  为  $2 \mu\text{m}$ ;  $> 2 \text{ mm}$  为  $1.0 \mu\text{m}$

标定器的温度系数:  $\alpha = 1 \times 10^{-6} 1/\text{K}$

标定温度:  $25^\circ\text{C}$

标定器的标定温度:  $20^\circ\text{C}$

该标定器的长期稳定性:  $\alpha_{\text{sensitivity}} = 4 \times 10^{-4}$

引伸计系统的分辨力:  $\alpha_{\text{resolution}} = 0.000 1 \text{ mm}$

引伸计标距的名义值:  $L_e = 20 \text{ mm}$

引伸计标距的测量值:  $L'_e = 20.06 \text{ mm}$

标定次数为 2

所以, 下面可以计算:

$$\alpha_{\text{temp}} = 5\text{K}$$

$$\alpha \cdot \alpha_{\text{temp}} = 5 \times 10^{-6}$$

$$\text{标距相对误差 } q_{L_e} = 0.3\%$$

表 A.2 引伸计系统 0.1 mm 到 10 mm 范围的标定结果

| 参考值<br>mm | 第一次测量值<br>mm | 第一次相对误差<br>% | 第二次测量值<br>mm | 第二次相对误差<br>% | 测量平均值<br>mm | 相对误差<br>平均值<br>% | 绝对误差<br>平均值<br>$\mu\text{m}$ | 分辨力的<br>相对标准<br>不确定度<br>% | 重复性的<br>相对标准<br>不确定度<br>% |
|-----------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|------------------|------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 0.1       | 0.099 6      | -0.40        | 0.100 2      | 0.20         | 0.099 9     | -0.10            | -0.10                        | 0.03                      | 0.300                     |
| 0.2       | 0.199 4      | -0.30        | 0.200 4      | 0.20         | 0.199 9     | -0.05            | -0.10                        | 0.01                      | 0.250                     |
| 0.4       | 0.399 6      | -0.10        | 0.401 4      | 0.35         | 0.400 5     | 0.12             | 0.50                         | 0.01                      | 0.225                     |
| 0.7       | 0.698 8      | -0.17        | 0.701 3      | 0.19         | 0.700 1     | 0.01             | 0.05                         | 0.00                      | 0.179                     |
| 1         | 0.997 9      | -0.21        | 1.001 7      | 0.17         | 0.999 8     | -0.02            | -0.20                        | 0.00                      | 0.190                     |
| 2         | 2.001 1      | 0.06         | 2.008 0      | 0.40         | 2.004 6     | 0.23             | 4.55                         | 0.00                      | 0.172                     |
| 4         | 4.008 7      | 0.22         | 4.021 9      | 0.55         | 4.015 3     | 0.38             | 15.30                        | 0.00                      | 0.165                     |
| 7         | 7.042 0      | 0.60         | 7.063 8      | 0.91         | 7.052 9     | 0.76             | 52.90                        | 0.00                      | 0.156                     |
| 10        | 10.064 6     | 0.65         | 10.095 8     | 0.96         | 10.080 2    | 0.80             | 80.20                        | 0.00                      | 0.156                     |

表 A.3 引伸计系统 0.1 mm 位移的不确定度的计算

| 量                 | 不确定度来源 | 不确定度贡献值           | 概率分布 | 因子          | 标准测量<br>不确定度<br>$u$ | 灵敏系数<br>[11]        | 相对不确定度<br>贡献 |
|-------------------|--------|-------------------|------|-------------|---------------------|---------------------|--------------|
| $u_{\text{cal}}$  | 测量     | 0.1 $\mu\text{m}$ | 标准   | 1           | 0.1 $\mu\text{m}$   | 0.01/ $\mu\text{m}$ | 1.00E-03     |
| $u_A$             | 温度     | 5.00E-06          | 矩形   | $\sqrt{3}$  | 2.89E-06            | 1                   | 2.89E-06     |
| $u_B$             | 灵敏度    | 4.00E-04          | 矩形   | $\sqrt{3}$  | 2.31E-04            | 1                   | 2.31E-04     |
| $u_D$             | 曲线拟合   | 0                 | 单点   | 1           | 0                   | 1                   | 0.00E+00     |
| $u_r$             | 分辨力    | 0.1 $\mu\text{m}$ | 矩形   | $\sqrt{12}$ | 0.029 $\mu\text{m}$ | 0.01/ $\mu\text{m}$ | 2.89E-04     |
| $u_b$             | 重复性    | 3E-03             | 标准   | 1           | 3.00E-03            | 1                   | 3.00E-03     |
| 相对合成不确定度          |        |                   |      |             | 3.18E-03            |                     |              |
| 相对扩展不确定度( $k=2$ ) |        |                   |      |             | 6.36E-03            |                     |              |

表 A.4 引伸计系统扩展不确定度的结果

| 标称值<br>mm | 相对误差<br>% | 相对不确定度<br>% | 绝对偏差<br>$\mu\text{m}$ | 绝对不确定度<br>$\mu\text{m}$ |
|-----------|-----------|-------------|-----------------------|-------------------------|
| 0.1       | -0.10     | 0.64        | -0.1                  | 0.6                     |
| 0.2       | -0.05     | 0.51        | -0.1                  | 1.0                     |
| 0.4       | 0.12      | 0.46        | 0.5                   | 1.8                     |
| 0.7       | 0.01      | 0.36        | 0.1                   | 2.5                     |
| 1         | -0.02     | 0.38        | -0.2                  | 3.8                     |

表 A.4 (续)

| 标称值<br>mm | 相对误差<br>% | 相对不确定度<br>% | 绝对偏差<br>$\mu\text{m}$ | 绝对不确定度<br>$\mu\text{m}$ |
|-----------|-----------|-------------|-----------------------|-------------------------|
| 2         | 0.23      | 0.35        | 4.6                   | 7.0                     |
| 4         | 0.38      | 0.33        | 15                    | 13                      |
| 7         | 0.76      | 0.32        | 53                    | 22                      |
| 10        | 0.80      | 0.32        | 80                    | 32                      |

## 附录 B

### (资料性附录)

### 标定器的标定

#### B.1 程序

在标定之前,标定器应在整个标定范围内至少运行两次。然后操作标定器以在所需标定范围内生成一系列名义位移,若在标定范围内,应使一个名义位移接近 0.33 mm(从绝对到相对的性能指标的过渡)。每个生成范围的测量均应该在标定实验室进行,使用可溯源到 SI 的已知不确定度设备。在进行这一系列测量之前,尽量不要对标定器作出调整。后面如果作出任何调整,标定程序应该重新启动。测量过程应至少重复两次,得出至少三组结果。

#### B.2 结果和不确定度计算

在每个序列和每个名义位移中,应计算标定实验室测量的范围值与标定器指示值之间的差,确定每个名义位移的平均差。

计算每个名义位移内的扩展不确定度值。计算步骤如下:

- 1) 确定名义位移内获得的所有测量序列差值的标准偏差。该值是与标定器重复性相关的标准不确定度的估计。
- 2) 确定名义位移内与标定实验室的测量范围相关的标准不确定度。
- 3) 如果标定器的设计无法设定名义位移而是显示作用其上的范围值(例如使用量块),确定该范围内可读到的与分辨力相关的标准不确定度分量。该不确定度分量等于  $\frac{r}{\sqrt{6}}$  (其中  $r$  等于显示值的分辨力)。
- 4) 合并步骤 1) 和 2) 以及(如适用的话)步骤 3) 确定的标准不确定度分量进行求积,(例如,取其平方和的平方根)并用包含因子  $k=2$  乘以该结果。
- 5) 对名义位移的平均差进行最小二乘拟合(按照适当的顺序)。
- 6) 将从步骤 4) 中得到的结果与平均差和由拟合确定的值之间的偏差的绝对值进行相加。这是与拟合优度相关的额外的不确定度贡献,由于其系统性,不能与其他组件进行正交相加。

由此得到的值是与名义位移内用拟合值来估计预期差值有关的扩展不确定度。95% 的测量差异应在拟合值加上或减去该扩展不确定度范围内。

这种方法只有在有足够的测量次数才有效,以避免数据被过度拟合,并使  $k=2$  合理。在测量次数较少,或在名义位移和测量数值之间差异的相关性受限时,应该使用另一种不确定度的测量方法:只遵从上述步骤 1) 到 4),忽略 5) 和 6),但是以有效自由度计算步骤 4) 中所要求的包含因子  $k$  (例如,如果只做 3 组的测量,并且重复性是唯一显著不确定度分量,需要取  $k$  的值等于 4.53。)

#### B.3 分级

在每个名义位移中,估计值和由最小二乘法拟合值差值的绝对值(或者用不确定度的代替方法,由标定器和实验设备测量的差值的平均值的绝对值)会被添加到 B.2 确定的扩展不确定度值中;被称为“扩展偏差”的两个数之和,其数值不应该超过表 B.1 中给定的数值,从而使标定器达到引伸计标定系统

的某一级别。

表 B.1 标定器的扩展偏差标准

| 引伸计级别                                    | 标定器的扩展偏差*  |                      |
|------------------------------------------|------------|----------------------|
|                                          | 相对值<br>%   | 绝对值<br>$\mu\text{m}$ |
| 0.2                                      | $\pm 0.08$ | $\pm 0.27$           |
| 0.5                                      | $\pm 0.20$ | $\pm 0.67$           |
| 1                                        | $\pm 0.40$ | $\pm 1.3$            |
| 2                                        | $\pm 0.80$ | $\pm 2.7$            |
| * 选取最大值,扩展偏差值包含的测量不确定度这一因素,并不同于本标准之前的版本。 |            |                      |

#### B.4 标定时间间隔

标定器的标定间隔不应超过 26 个月。

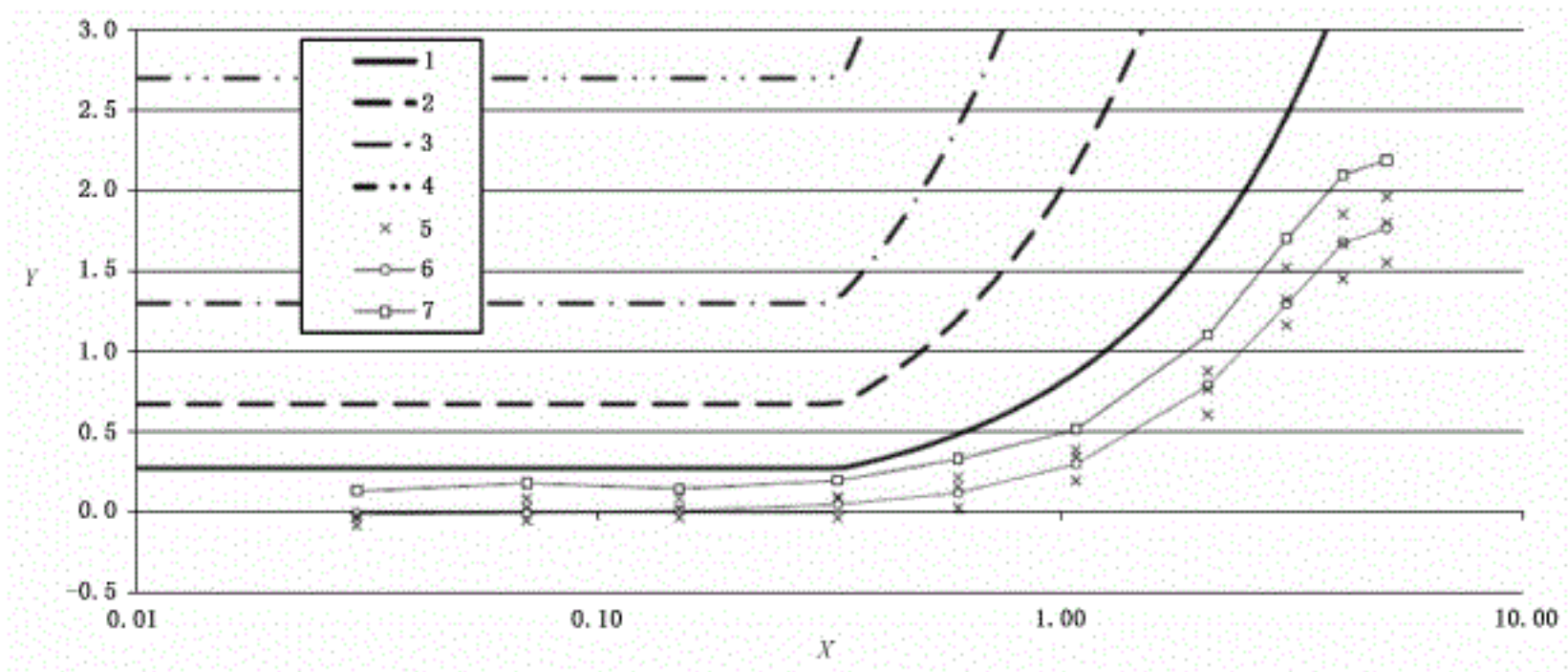
附 录 C  
(资料性附录)  
标定器标定报告的示例

### C.1 一般要求

本附录包含两个标定器校准结果的示例。表 C.1 和图 C.1 给出的是使用标准不确定度的方法得出的示例数据和相关的图表,表 C.2 和图 C.2 给出的是采用另一种不确定度方法得出示例数据和相关图表。

表 C.1 使用标准不确定度方法标定的结果分析示例

| 标称值<br>mm | 分级的扩展偏差<br>$\mu\text{m}$ |       |       |       | 读数差值<br>$\mu\text{m}$ |          |          |       | 标准<br>偏差<br>nm | 伸长<br>量的<br>标准<br>不确定<br>度<br>nm | 标准<br>不确定<br>度<br>nm | 拟合<br>$\mu\text{m}$ | 拟合<br>误差<br>$\mu\text{m}$ | 扩展<br>不确定<br>度<br>$\mu\text{m}$ | 扩展<br>不确定<br>度<br>偏差<br>$\mu\text{m}$ | 等级    |
|-----------|--------------------------|-------|-------|-------|-----------------------|----------|----------|-------|----------------|----------------------------------|----------------------|---------------------|---------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|-------|
|           | 0.2                      | 0.5   | 1     | 2     | 第 1<br>次              | 第 2<br>次 | 第 3<br>次 | 平均值   |                |                                  |                      |                     |                           |                                 |                                       |       |
| 0.03      | 0.27                     | 0.67  | 1.30  | 2.0   | -0.04                 | -0.09    | -0.03    | -0.05 | 32             | 16                               | 35                   | -0.01               | 0.04                      | 0.11                            | 0.13                                  | 0.2 级 |
| 0.07      | 0.27                     | 0.67  | 1.30  | 2.70  | -0.06                 | 0.02     | 0.08     | 0.01  | 70             | 16                               | 2                    | -0.01               | -0.02                     | 0.17                            | 0.18                                  | 0.2 级 |
| 0.15      | 0.27                     | 0.67  | 1.30  | 2.70  | -0.04                 | 0.08     | 0.01     | 0.02  | 60             | 16                               | 62                   | 0.00                | -0.01                     | 0.14                            | 0.14                                  | 0.2 级 |
| 0.33      | 0.27                     | 0.67  | 1.32  | 2.70  | -0.04                 | 0.08     | 0.09     | 0.04  | 72             | 17                               | 74                   | 0.04                | 0.00                      | 0.15                            | 0.19                                  | 0.2 级 |
| 0.60      | 0.48                     | 1.20  | 2.40  | 4.80  | 0.02                  | 0.21     | 0.15     | 0.13  | 97             | 17                               | 99                   | 0.12                | -0.01                     | 0.21                            | 0.32                                  | 0.2 级 |
| 1.08      | 0.86                     | 2.18  | 4.32  | 8.64  | 0.19                  | 0.38     | 0.34     | 0.30  | 100            | 28                               | 104                  | 0.30                | -0.01                     | 0.22                            | 0.51                                  | 0.2 级 |
| 2.08      | 1.66                     | 4.16  | 8.32  | 16.64 | 0.60                  | 0.87     | 0.76     | 0.74  | 738            | 30                               | 139                  | 0.8                 | 0.04                      | 0.32                            | 1.10                                  | 0.2 级 |
| 3.08      | 2.46                     | 6.16  | 12.32 | 24.64 | 1.16                  | 1.52     | 1.32     | 1.33  | 180            | 31                               | 183                  | 1.29                | -0.04                     | 0.41                            | 1.70                                  | 0.2 级 |
| 4.08      | 3.26                     | 8.18  | 16.32 | 32.64 | 1.45                  | 1.85     | 1.67     | 1.66  | 200            | 33                               | 203                  | 1.67                | 0.02                      | 0.42                            | 2.10                                  | 0.2 级 |
| 5.08      | 4.08                     | 10.16 | 20.32 | 40.64 | 1.55                  | 1.98     | 1.80     | 1.77  | 207            | 35                               | 210                  | 1.77                | 0.00                      | 0.42                            | 2.19                                  | 0.2 级 |

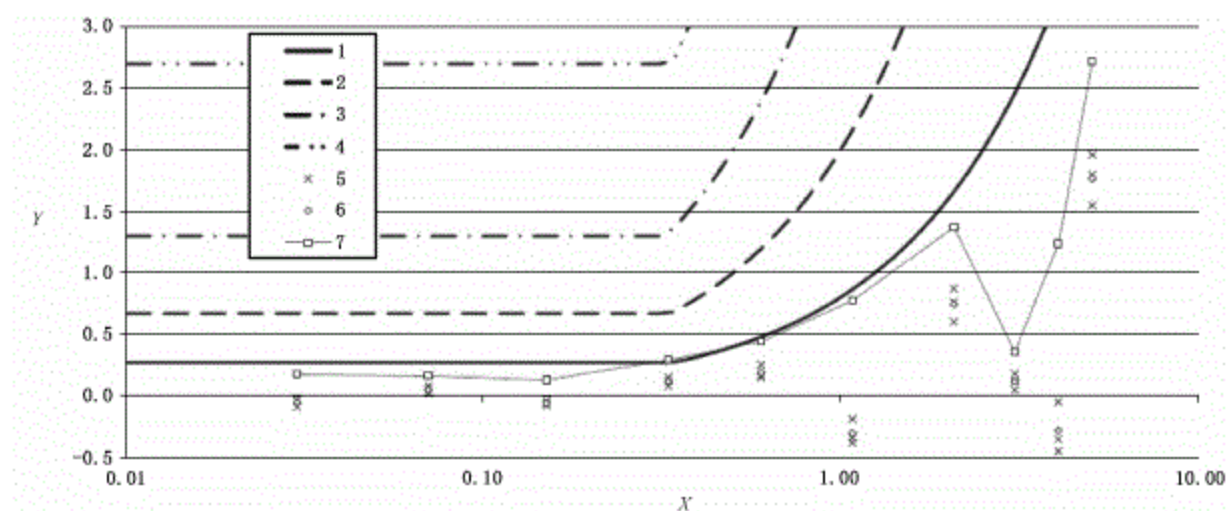


说明：  
X —— 伸长量；  
Y —— 差值；  
1 —— 0.2 级；  
2 —— 0.5 级；  
3 —— 1 级；  
4 —— 2 级；  
5 —— 读数；  
6 —— 拟合；  
7 —— 扩展偏差。

图 C.1 使用标准不确定度方法标定的结果分析示例

表 C.2 使用替代的不确定度方法标定的结果分析示例

| 标称值<br>mm | 分级的扩展偏差<br>$\mu\text{m}$ |       |       |       | 读数差值<br>$\mu\text{m}$ |          |          |       | 标准<br>偏差<br>nm | 伸长<br>量的<br>标准<br>不确定<br>度<br>nm | 标准<br>不确定<br>度<br>nm | $v_{\text{eff}}$ | $k$  | 扩展<br>不确定<br>度<br>$\mu\text{m}$ | 扩展<br>不确定<br>度<br>偏差<br>$\mu\text{m}$ | 等级    |
|-----------|--------------------------|-------|-------|-------|-----------------------|----------|----------|-------|----------------|----------------------------------|----------------------|------------------|------|---------------------------------|---------------------------------------|-------|
|           | 0.2                      | 0.5   | 1     | 2     | 第 1<br>次              | 第 2<br>次 | 第 3<br>次 | 平均值   |                |                                  |                      |                  |      |                                 |                                       |       |
| 0.03      | 0.27                     | 0.67  | 1.30  | 2.70  | -0.04                 | -0.09    | -0.03    | -0.05 | 32             | 16                               | 36                   | 3.1              | 3.31 | 0.12                            | 0.17                                  | 0.2 级 |
| 0.07      | 0.27                     | 0.67  | 1.30  | 2.70  | 0.05                  | 0.02     | 0.08     | 0.05  | 30             | 16                               | 34                   | 3.3              | 3.31 | 0.11                            | 0.16                                  | 0.2 级 |
| 0.15      | 0.27                     | 0.67  | 1.30  | 2.70  | -0.04                 | -0.08    | -0.06    | -0.06 | 20             | 16                               | 26                   | 5.5              | 2.65 | 0.07                            | 0.13                                  | 0.2 级 |
| 0.33      | 0.27                     | 0.67  | 1.32  | 2.70  | 0.12                  | 0.08     | 0.15     | 0.12  | 35             | 17                               | 39                   | 3.0              | 4.53 | 0.18                            | 0.29                                  | 0.5 级 |
| 0.60      | 0.48                     | 1.20  | 2.40  | 4.80  | 0.17                  | 0.25     | 0.15     | 0.19  | 53             | 17                               | 56                   | 2.4              | 4.53 | 0.25                            | 0.44                                  | 0.2 级 |
| 1.08      | 0.86                     | 2.16  | 4.32  | 8.64  | -0.19                 | -0.38    | -0.34    | -0.30 | 100            | 28                               | 104                  | 2.3              | 4.53 | 0.47                            | 0.77                                  | 0.2 级 |
| 2.08      | 1.66                     | 4.16  | 8.32  | 16.64 | 0.60                  | 0.87     | 0.76     | 0.74  | 136            | 30                               | 139                  | 2.2              | 4.53 | 0.63                            | 1.37                                  | 0.2 级 |
| 3.08      | 2.46                     | 6.16  | 12.32 | 24.64 | 0.05                  | 0.12     | 0.18     | 0.12  | 65             | 31                               | 72                   | 3.0              | 3.31 | 0.24                            | 0.36                                  | 0.2 级 |
| 4.08      | 3.26                     | 8.16  | 16.32 | 32.64 | -0.45                 | -0.35    | -0.05    | -0.28 | 208            | 33                               | 211                  | 2.1              | 4.53 | 0.95                            | 1.24                                  | 0.2 级 |
| 5.08      | 4.06                     | 10.16 | 20.32 | 40.54 | 1.55                  | 1.96     | 1.80     | 1.77  | 207            | 35                               | 210                  | 2.1              | 4.53 | 0.95                            | 2.72                                  | 0.2 级 |



说明:

$X$  —— 伸长量;

$Y$  —— 差值;

1 —— 0.2 级;

2 —— 0.5 级;

3 —— 1 级;

4 —— 2 级;

5 —— 读数;

6 —— 平均读数;

7 —— 扩展偏差。

图 C.2 使用替代的不确定度方法标定的结果分析示例

**附 录 D**  
(资料性附录)  
**引伸计系统类型的示例**

### D.1 一般要求

引伸计系统分为以下几种类型：

- A 型：用于标定器上无参考点标定试样的引伸计；
- B 型：用于标定器上有固定参考点标定试样的引伸计；
- C 型：用于标定器上有可移动参考点标定试样的引伸计；
- D 型：组合的引伸计系统；
- E 型：用于测量活塞冲程的横梁行程的引伸计，机器的机架变形未消除；
- F 型：用于测量上下压板间相对位移的引伸计，机器的机架变形被消除。

### D.2 A 型引伸计

#### D.2.1 描述

A 型引伸计通过试样支撑装夹在试样上，标定器的加载架上没有参考点。图 D.1～图 D.3 显示这种类型的各种设计。

无论是单侧或双侧的，引伸计均可定位在测量系统上，既可以读取位移的瞬间值也可读取平均值。图 D.1～图 D.3 只显示了单侧系统。

#### D.2.2 标定程序

引伸计的移动和固定接触点置于校准设备可移动和固定元件上（“分样”为原则）。如果引伸计有两个可动的接触点，则第二接触点被放置在校准设备的固定部分。

由标定器分 10 段设置校准范围，施加和测量的位移通过标定器和引伸计系统的输出记录下来。

#### D.2.3 引伸计标称标距 $L_0$ 的测量

引伸计标称标距  $L_0$  使用标定规进行检验。

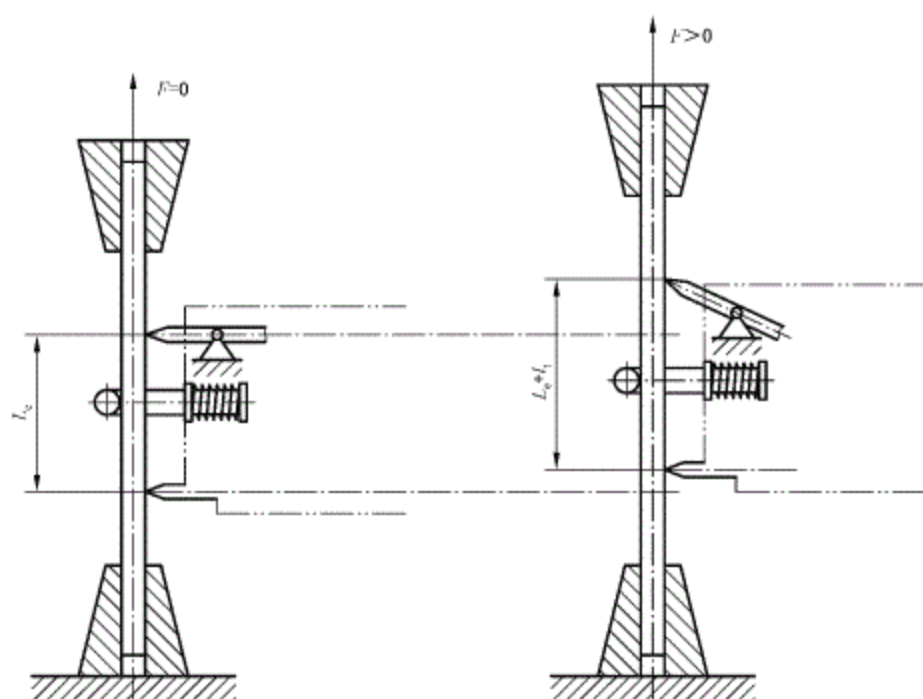


图 D.1 刀刃旋转式的引伸计

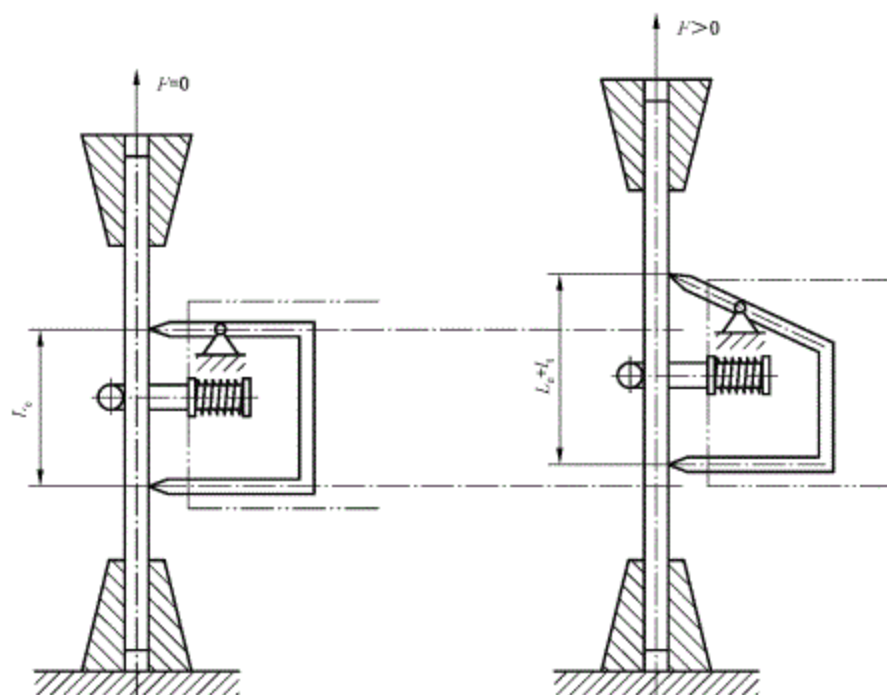


图 D.2 刀刃弯曲式引伸计

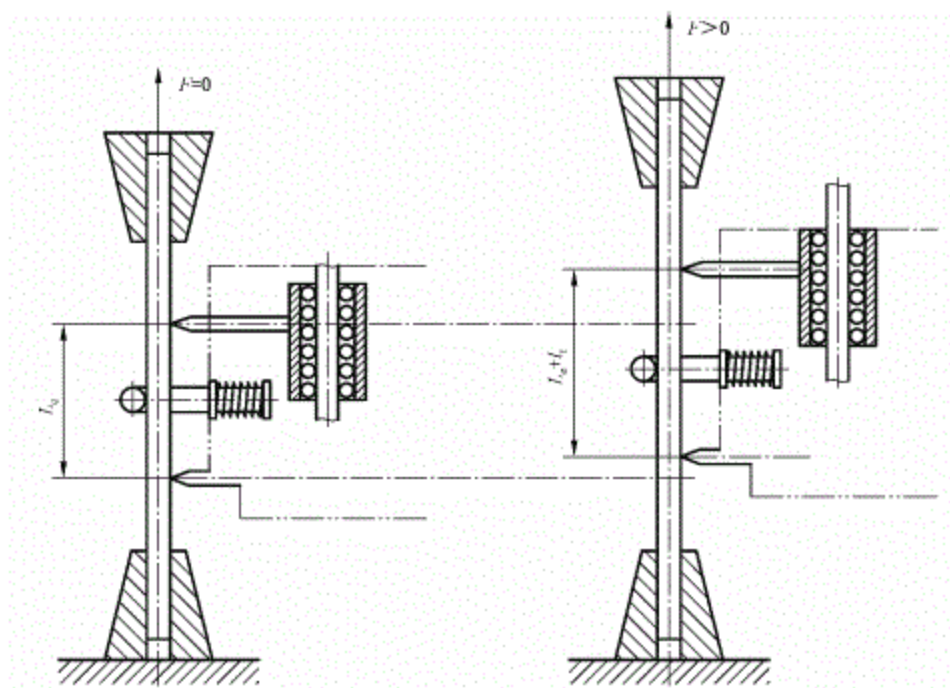


图 D.3 导杆移动式的引伸计

### D.3 B 型引伸计

#### D.3.1 描述

B 型引伸计有两个可移动的接触点或其光传感器安装在试样上,而基准点在所述框架上。该传感器与试样的标线对齐并且随着延伸出现产生移位。

图 D.4~图 D.8 说明了 B 型引伸计的各种设计。

伸长率是试样负载后在接触点 G 和 H 之间的长度差。由于该试样的一端由固定夹夹持,另一端由移动夹夹持,所以伸长量  $l_1$  和  $l_2$  是不相等的。进行两个绝对测量或一个差动测量,  $l_1$  的计算与  $l_2 - l_1$  的差相符。

#### D.3.2 标定程序

##### D.3.2.1 假设

给定夹具间的距离  $S$  和引伸计标称标距  $L_e$ ,并假设引伸计安装在标定器两端夹具的等距离之间,试样的应变量是均匀的,引伸计的上部和下部刀刃的位移之比应按式(D.1)计算:

$$\frac{l_2}{l_1} = \frac{S + L_e}{S - L_e} \quad \dots\dots\dots (D.1)$$

##### D.3.2.2 程序

单独检验刀刃的性能时,将被检刀刃一端放置在标定器可移动部分,另一端放置在固定部分,或者若使用的是光学引伸计,放在其标线上。对于给定的测量范围,每个刀刃均需进行每组 10 个测量值的单独检验。引伸计的相对系统误差可以由每个测量值通过从上部刀刃的位移中减去下部刀刃位移计算得到。

示例:

测量范围=2 mm

夹具间的距离  $S=150$  mm

引伸计标称标距  $L_e=80$  mm

$$\frac{l_2}{l_1} = \frac{150+80}{150-80} = \frac{3.29}{1} \approx \frac{3}{1}$$

$l_2=3$  mm

$l_1=1$  mm

如果标定一个有两个非平均传感器(见图 D.5)的引伸计,应进一步检验两个传感器是否有相同准确度。两个刀刃都应安置在标定器和用于测量离散位移的仪器的可动部件上。如果两个传感器准确度相同,该装置读数应为 0。

通过使用有两个可移动部分且位移比  $l_2/l_1$  已预先设定的标定器可简化标定程序。

### D.3.2.3 引伸计标称标距 $L_e$ 的标定

引伸计标称标距  $L_e$ ,可以通过将引伸计安装在一柔软的试样上(如铜片或纸板)使引伸计的刀刃在试样上留下痕迹的方式进行测量,摘下引伸计测量标记之间的距离。

如果欲测量光学引伸计的标称标距,应使用在试样上做出时间间隔标记的装置。为了测量  $L_e$ ,标记间的距离可以由设备本身测得(例如通过使用测微计)。

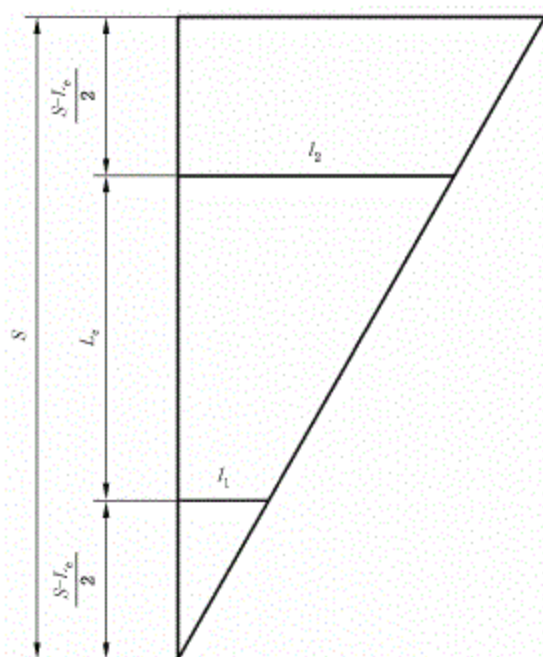


图 D.4  $l_2/l_1$  的比率、夹具间的距离  $S$  和标称标距  $L_e$

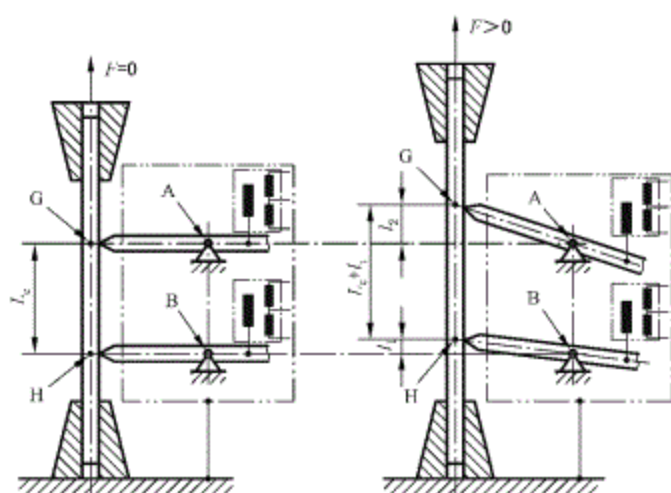


图 D.5 有两片刀刃和两个非平均传感器的引伸计

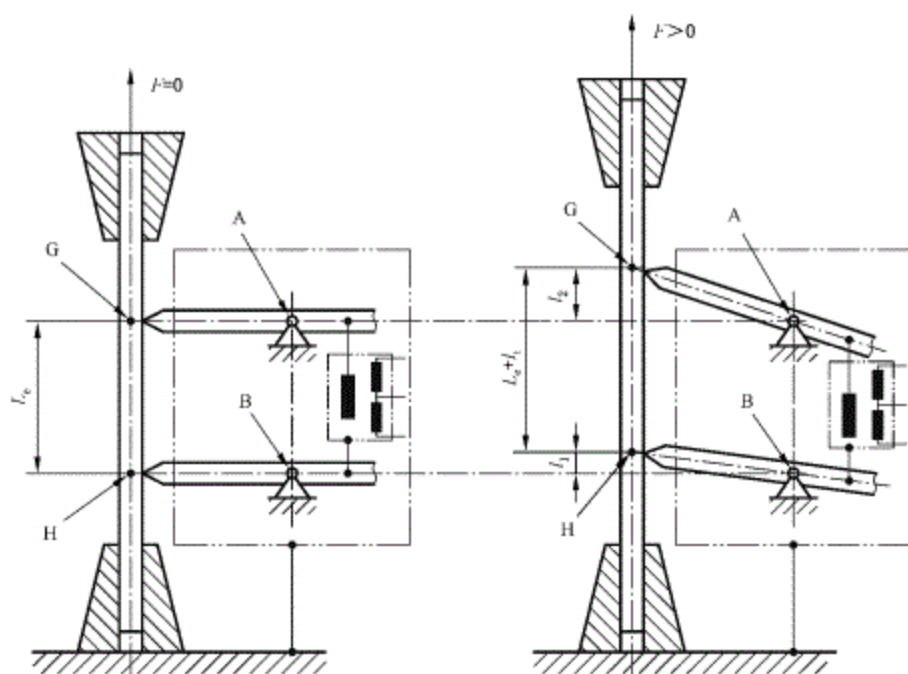


图 D.6 有两片刀刃和一个差分传感器的引伸计

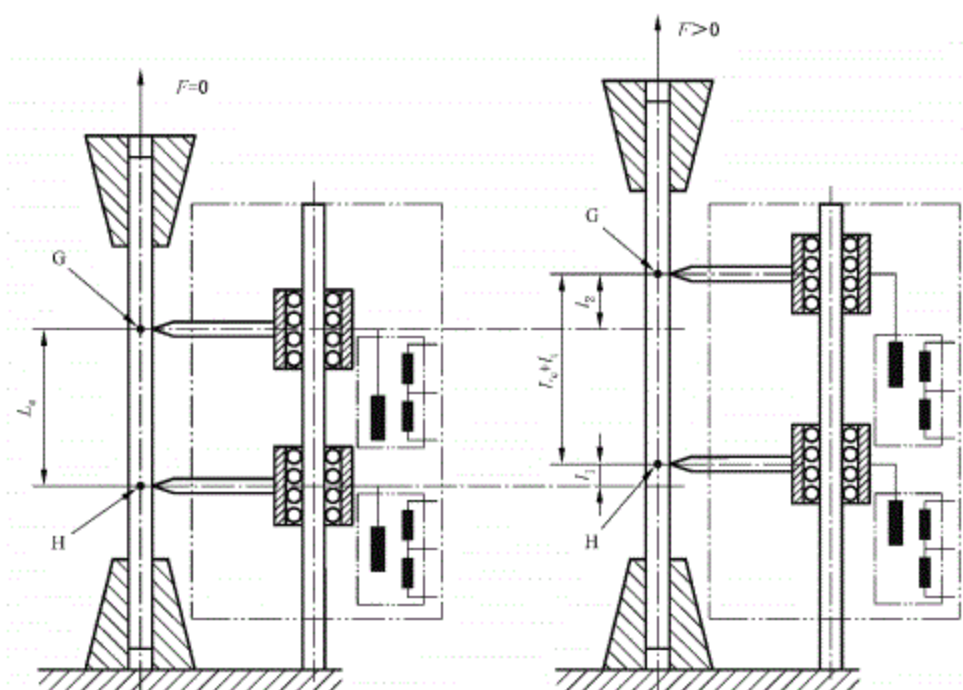


图 D.7 有两个导向刀刃和两个测量传感器的引伸计

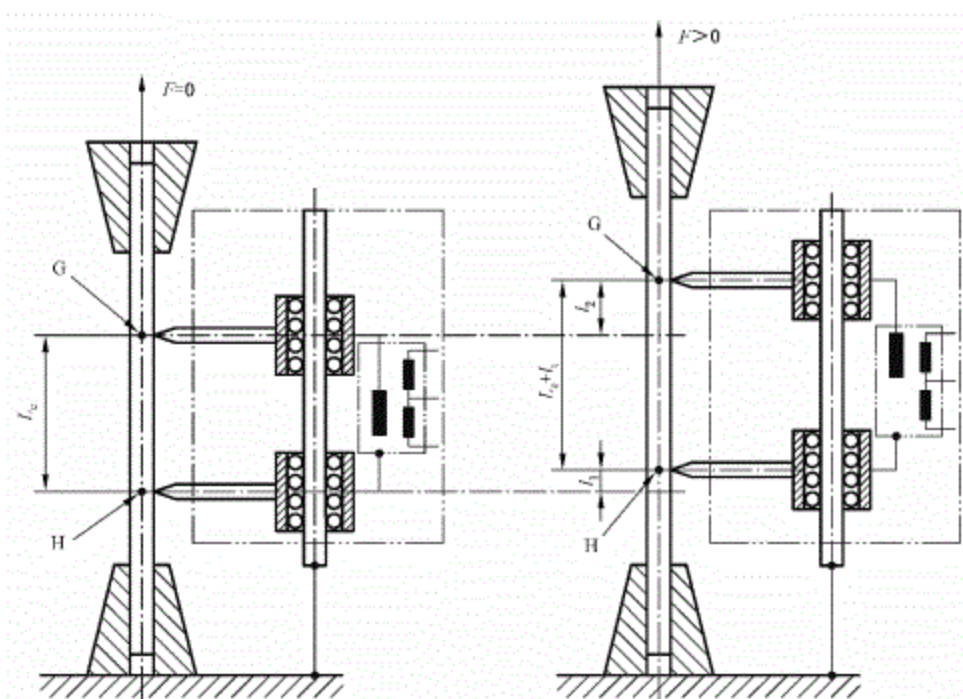


图 D.8 有两片导向刀刃和一个差分传感器的引伸计

#### D.4 C 型引伸计

##### D.4.1 描述

C 型引伸计设置有两个可移动刀刃,并且两刀刃随着试样伸长而分开,伴随拉伸应力的增加,刀刃

分别向两端移动而传感器依然在试件的中心。

刀刃的移动可以通过滚轴或通过由应变控制或移动横梁控制的伺服电机来控制。

#### D.4.2 标定程序

同 B 型引伸计的原理。如果刀刃的移动被连接到滚轴(见图 D.9)且横梁的位移(行程)等于  $S$  时,那么刀刃的位移等于  $S/2$ 。测量基点的位移等于  $S/2$ 。

如果引伸计被装夹在距标定器两夹具距离相等的位置,那么  $l_1$  等于  $l_2$ 。

##### D.4.2.1 引伸计标称标距 $L_e$ 的确定

见 D.2.3。

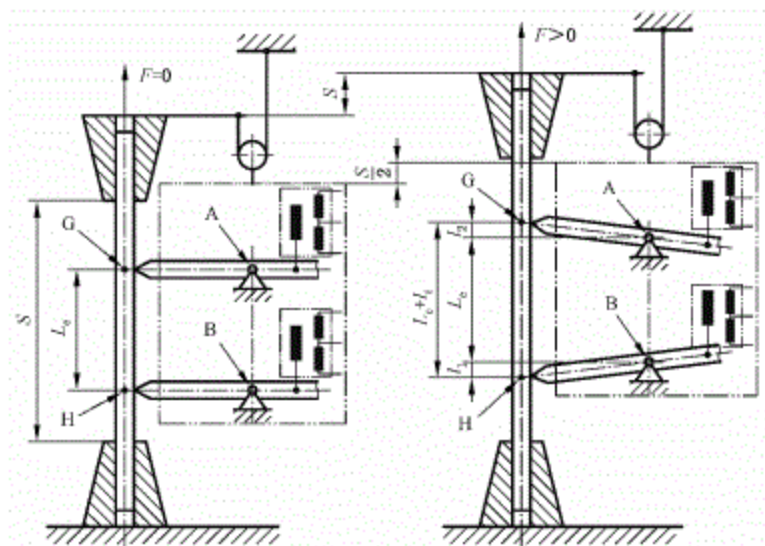


图 D.9 有两刀刃和可移动基准点的引伸计

#### D.5 D 型引伸计

这种类型的引伸计通过组合不同的系统,结合了一系列特点。图 D.10 所示引伸计通过其弹簧片进行微应变测量。超过一定的应变水平时,使用位移传感器进行平均测量。

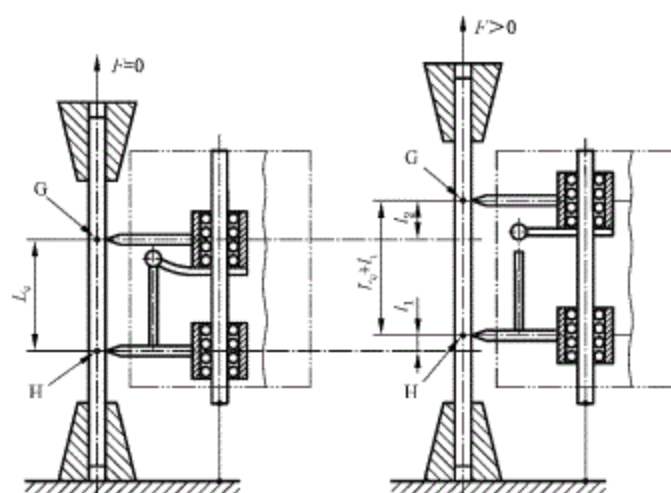


图 D.10 A 型(参见图 D.2)和 B 型引伸计的组合(参见图 D.7 和 D.8)

有关试验原理的规格和引伸计标称标距准确度见 D.2.2 和 D.2.3。

## D.6 E 型引伸计

### D.6.1 描述

E 型引伸计用来测量液压式试验机的活塞行程或机械式试验机横梁的行程。由于传感器的位置，应变测量可能会被加载框架变形，力的加载或者力测量系统所误导。

### D.6.2 标定程序

用一个传感器进行标定，此时可进行连续性测量(如使用千分表)或阶段性测量(如使用量块)。

## D.7 F 型引伸计

### D.7.1 描述

传感器被夹紧在装载装置的压盘上(参见图 D.11)，用于测量在压盘之间距离发生的变化。虽然加载框架的变形是不可能的，但如果压盘被弯曲则测量可能受到影响。

### D.7.2 标定程序

标定程序见 D.6.2。

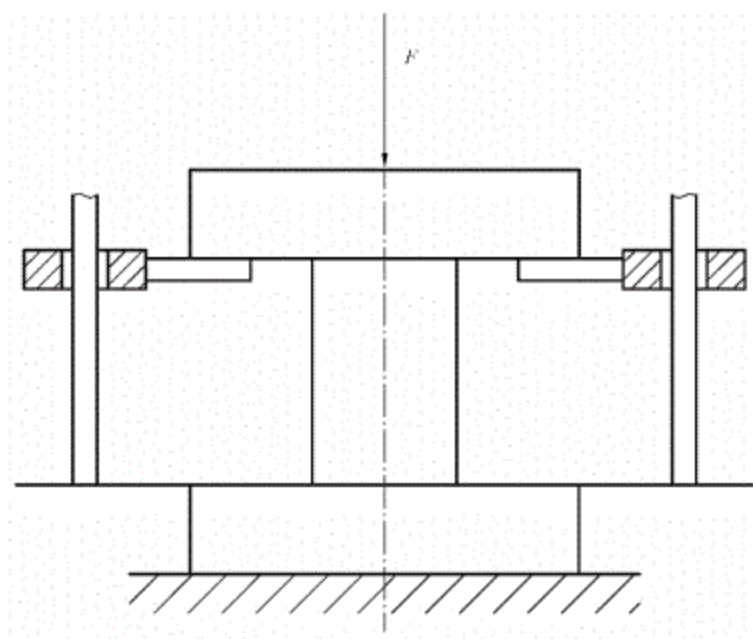
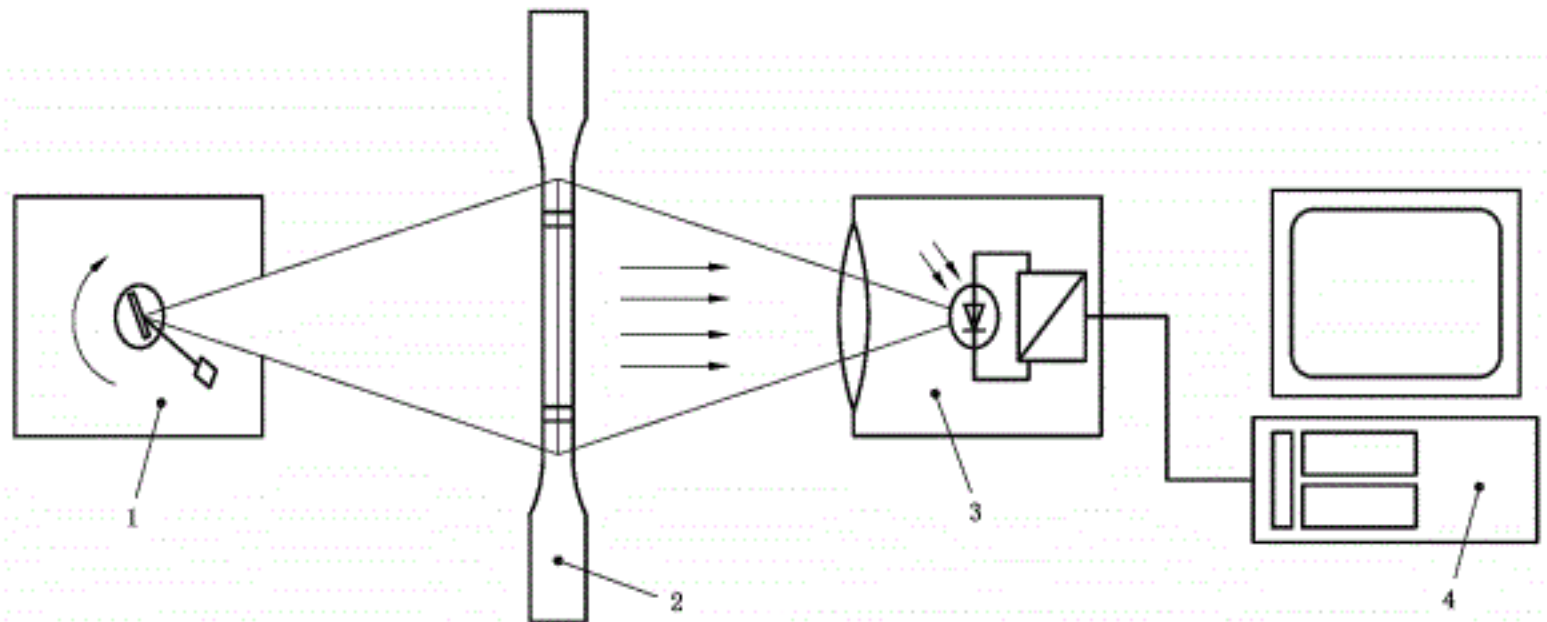


图 D.11 用于压盘之间的应变测量传感器

附录 E  
(资料性附录)  
激光引伸计

E.1 激光引伸计的工作原理

至少由两条条纹组成的一组编码条纹被印在被测试样上。一束由旋转偏转器驱动的激光沿着试样主轴线进行连续扫描。接收器将会检测到经由条纹漫射和反射到的激光信号(参见图 E.1)。



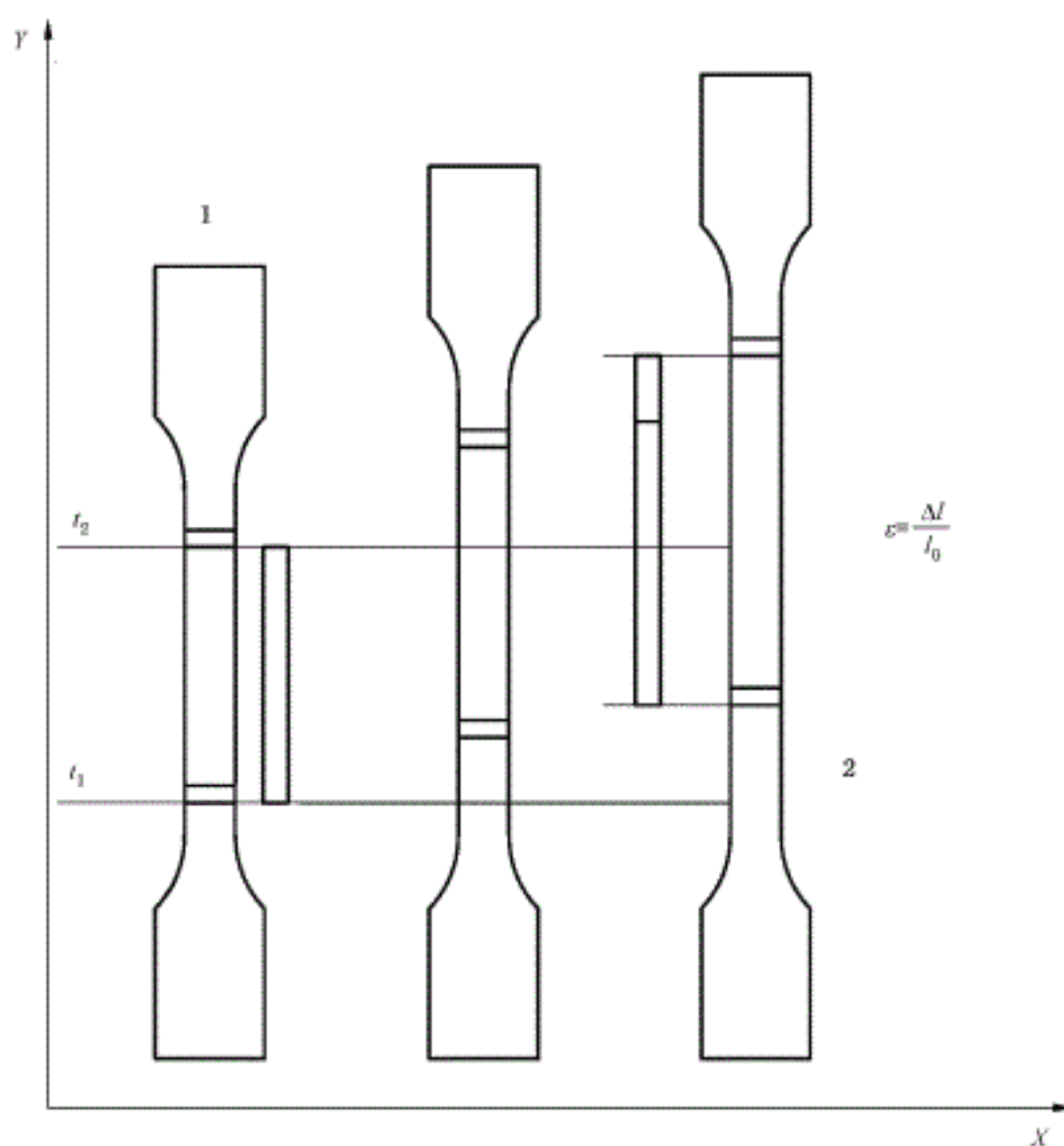
说明:

- 1——扫描器;
- 2——涂有对比条纹的试样;
- 3——接收器;
- 4——具有多功能停止计数器的电脑。

图 E.1 工作原理

首先,需要测量偏转器的旋转速度。利用测量出的速度,结合激光信号穿过两条纹的时间,可以计算出两条纹之间的距离。

在试验开始之前,首先测量各条纹(参见图 E.2)间的基准标距。随着试验过程中应力的变化,测量编码条纹之间的延伸或压缩量的百分比或绝对值。这些测量结果既可以是模拟量,也可以是数字量。



说明:

1 ——未变形的试样;

2 ——变形后的试样;

X ——扫描时间;

Y ——变形测量。

图 E.2 测量原理

若使用可视范围内的激光扫描仪,扫描的范围可以用目视调节。对于编码,用作对比的背景条纹,应通过喷涂或粉末喷洒于指定距离。

## E.2 标定可能性和对激光扫描仪的影响

基本上,和机械位移测量仪器的标定一样,激光引伸计可通过常规方法进行标定(量块、机械和光学测量传感器、干涉测量法)。通过逐渐增加标定装置可调节两端(或一端固定,一端可调节)之间的距离,以实现引伸计的标定。其中,每一个固定端或可调节端至少设置一个编码条纹。测量误差是由扫描区域中的位置的绝对或相对误差确定的。

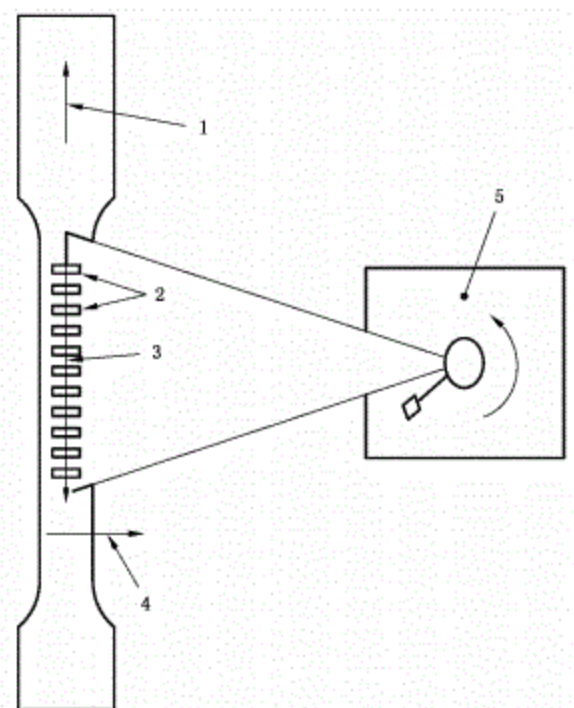
除了这些静态误差,还有一系列由扫描器,接收器及其所处环境之间所产生的进一步影响。包括电子设备的触发行为,编码标记的对比度、光源的稳定性、空气扰动和电磁感应的影。可通过试样处于无应力状态下扫描器所处的状态,对上述影响因素进行测量。在这种情况下,应对条纹位置测量的统计学规律进行分析。整个测量系统的分布偏差宜不大于扫描器计时装置偏差的 $\pm 1$ 个单位。

扫描器的主要参数是其最大扫描速率和激光束通过试样表面的速度。连同定时装置的频率及编码条纹在应变方向的局部运动,共同构成了测量过程的动态误差。这些都可以通过计算确定并借助补偿

算法进行最小化修正。更多扫描原理产生的影响会在 E.3 和 E.4 说明。

### E.3 角度扫描类型的激光引伸计

#### E.3.1 角度扫描的工作原理



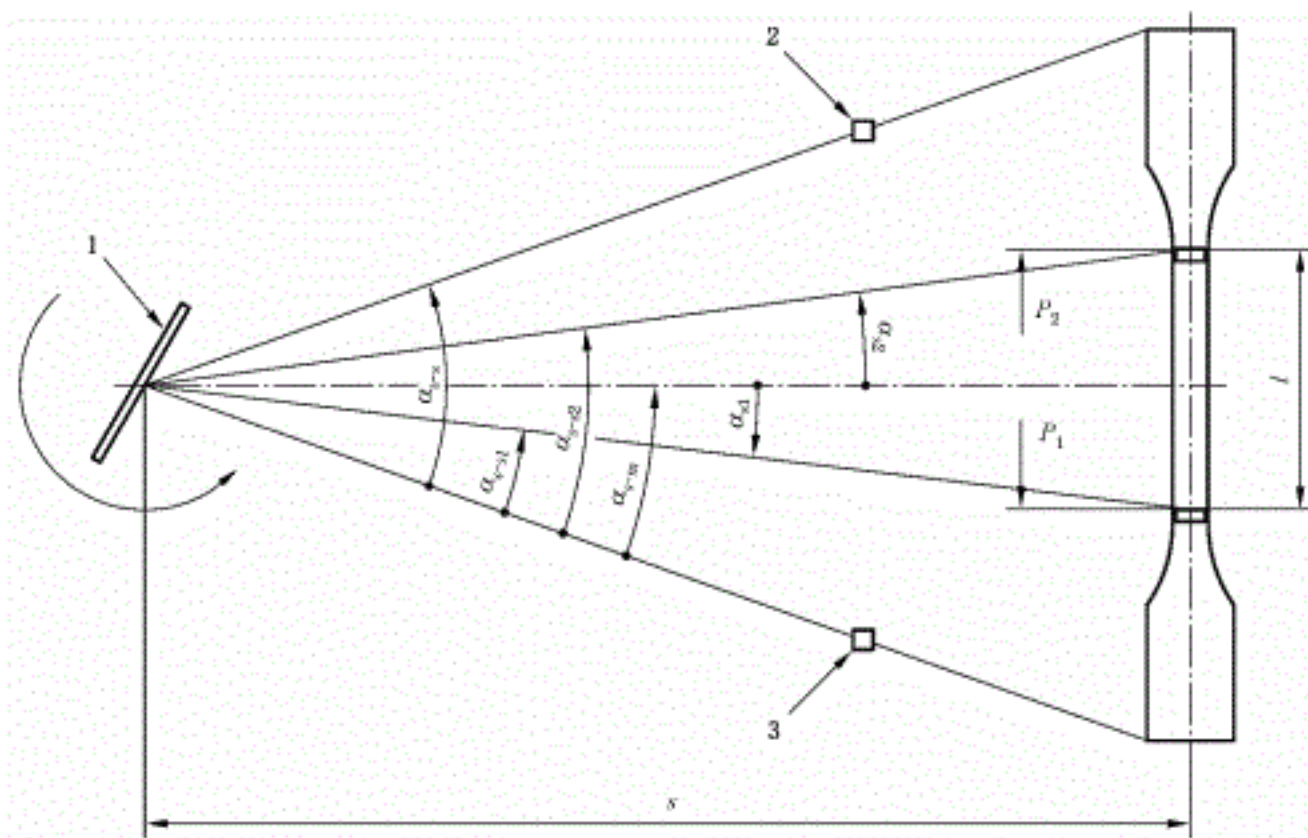
说明:

- 1——应变;
- 2——对比条纹;
- 3——纵向应变;
- 4——侧向应变;
- 5——扫描仪。

图 E.3 角度扫描仪的工作原理

激光引伸计的角度扫描模式操作如下:在未拉伸试样表面标记至少两条(或一整组)的测量条纹。发射的激光束照向(多边形)旋转反射镜的旋转中心,并辐射状地反射到试样表面。对于试样表面的标记条纹,激光会以漫射的形式进行散射或以汇聚的形式进行反射。接收器通过分析得到未拉伸试样的标距基准。随着试验的进行,可以测量得出由应力引起的标距段的长度变化(参见图 E.3)。如果需要的话,可在水平方向额外放置一个扫描设备,用以测量试样尺寸在横向的变化。对于角度扫描,试样应保持水平并且测量时距试件的工作距离应保持不变。

## E.3.2 角度扫描仪,测量值和准确度的影响



说明:

- 1——偏转器装置;
- 2——停止二极管;
- 3——起始二极管。

图 E.4 角度扫描仪的测量值

图 E.4 说明了测量原理和测量过程中关于两条纹之间关系的主要参数。具体参数含义如下:

- $\alpha_{rs}$  启动-停止角度——启动二极管和停止二极管之间的夹角;
- $\alpha_{rs1}$  启动-条纹 1 角度——启动二极管和第一条纹之间的夹角;
- $\alpha_{rs2}$  启动-条纹 2 角度——启动二极管和第二条纹之间的夹角;
- $\alpha_{rm}$  启动-中间角度——启动二极管和该系统的中轴线的夹角(系统中轴线垂直于试样的轴线);
- $\alpha_{s1}$  条纹 1 的角度——中间轴和所述第一条纹之间的角;
- $\alpha_{s2}$  条纹 2 的角度——中间轴和所述第二条纹之间的角;
- $P_1$  条纹 1 的位置——相对于中轴线位置(标记);
- $P_2$  条纹 2 的位置——相对于中轴线位置(标记);
- $s$  偏转中心与试样表面之间的距离;
- $l$  测量长度——被测试样标记条纹间距。

两个条纹的位置  $P_1$ 、 $P_2$  由其角度及距离  $s$  确定。角度值可通过计时器测得,对于任何条纹  $sk$  的位置,有如下关系:

$$p_{sk} = s \cdot \tan[\alpha_{rs} \cdot \frac{t_{sk}}{t_{rs}} - \alpha_{rm}] \quad \dots\dots\dots (E.1)$$

式(E.1)需要下列的数值来计算条纹的位置:

- $t_{rs}$  启动-停止时间;
- $t_{rs1}$  启动-条纹时间;
- $\alpha_{rs}$  启动-停止角度;
- $\alpha_{rm}$  启动-中间角度;

$s$  工作距离。

形变的绝对和相对值可通过两个条纹的位置确定。

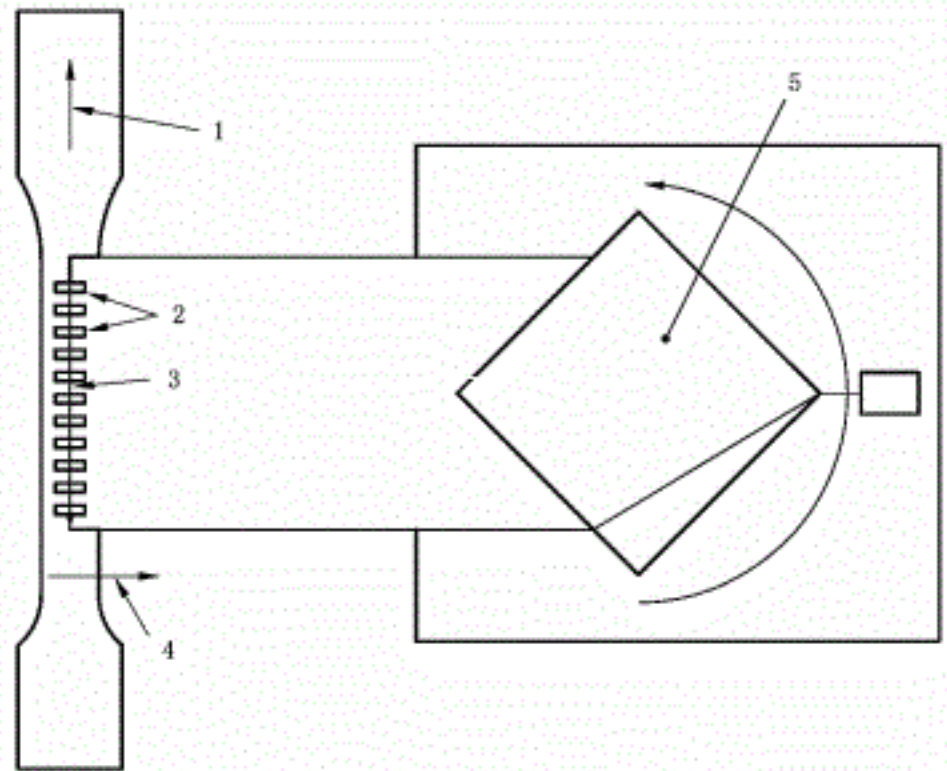
角度扫描型激光引伸计的检测和校准可用于确定特定的设备和引伸计的测试装置连接参数的过程。引伸计角度扫描模式的标定是一个确定装置及其与引伸计之间的具体参数的过程,其相关参数通常由制造商提供:

$\alpha_{\text{on}}$  启动-停止角度;

$\alpha_{\text{on}}$  启动-中间角度;

$s$  从该试样品的前缘到与扫描中心的操作距离。

如果需要的话,试验过程中启动-停止角度调整和测量,可以在现场进行。激光束照向水平旋转镜的旋转中心。在此过程中,激光束在两相对立的光学平面间进行折射,最终各自产生相同的折射角度。通过旋转两光学平面,偏移的激光束形成平行光束并照向试样并在条纹处以漫射的形式进行散射或以汇聚的形式进行反射。接收器通过分析得到未拉伸试样的标距基准。随着试验的进行,可以测量得出由应力引起的标距段的长度变化。如果需要的话,可在水平方向额外放置一个扫描设备,用以测量试样尺寸在横向变化。



说明:

1——应变;

2——对比条纹;

3——纵向应变;

4——横向应变;

5——扫描仪。

图 E.5 多条纹平行扫描

平行扫描类型的激光引伸计的工作原理如下:在未拉伸的试样表面标记至少两条或一整组的测量条纹。发射的激光束照向旋转反射镜的旋转中心。在入口和出口,该激光束在两个相对的光学平面上反射,从而产生了相应的相同折射角度。由于光学平面的旋转,激光束被偏转以平行于自身的角度射向试样。对于试样表面的标记条纹,激光会以漫射的形式进行散射或以汇聚的形式进行反射。接收器分析该光束,确定未拉伸试样的标距基准,在有几个标记点的情况下,确定在应力的影响下各标距段的变化(参见图 E.5)。如果需要的话,可在水平方向额外放置一个扫描设备,用以测量试样尺寸在厚度方向的变化。



$\omega_s$  偏转单元角速度;  
 $d$  光学平面的边缘长度;  
 $\eta$  光学平面的折射率。

下列情况用于计算任何条纹的位置:

$$\alpha_{sk} = \alpha_{ss} \cdot \frac{t_{sk}}{t_{ss}} - \alpha_{sm} \quad \dots\dots\dots (E.2)$$

$$p_{sk} = d \cdot \tan(\alpha_{sk}) \cdot \left[ 1 - \frac{\cos(\alpha_{sk})}{\sqrt{\eta^2 - \sin^2(\alpha_{sk})}} \right] \quad \dots\dots\dots (E.3)$$

用于计算任何条纹的位置,下列参数是必需的:

$t_{ss}$  启动-停止时间;  
 $t_{sks}$  启动-条纹时间;  
 $\alpha_{ss}$  设备参数:启动-停止角度;  
 $\alpha_{sm}$  设备参数:启动-中间角度;  
 $d$  设备参数:光学平面的边缘长度;  
 $\eta$  设备参数:光学平面的折射率。

平行扫描型激光引伸计的检测和标定可用于确定一些设备和与引伸计连接的测试装置的特定参数。在这种情况下,所要观察的参数通常由生产商提供:

$\alpha_{ss}$  启动-停止角度;  
 $\alpha_{sm}$  启动-中间角度;  
 $d$  光学平面的边缘长度;  
 $\eta$  光学平面的折射率。

边缘的长度  $d$  和折射率  $\eta$  根据生产商提供的信息。这里须知,折射率取决于所使用的激光的波长。

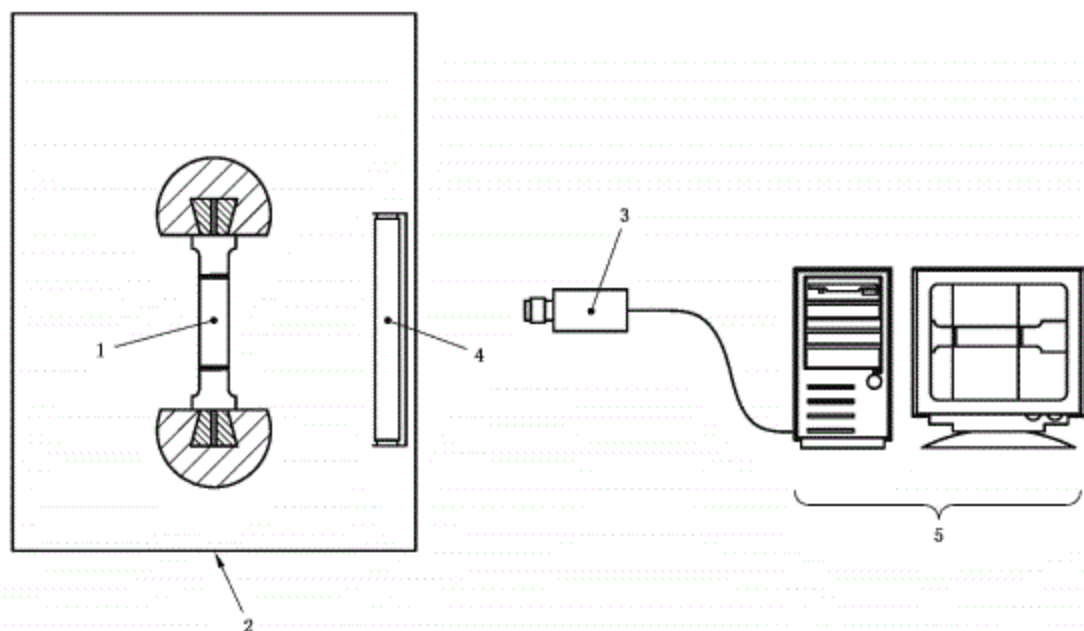
平行扫描仪给出的角位置与激光束位置无关,但是与偏转单元的位置有关,该单元指偏转的激光束执行的相应动作。如果有必要的话,启动-停止角度的调整和测量可以在现场相对容易地进行。

确定实验的启动-中间角度,如果有必要,先调整到扫描中心点的操作距离,其测试遵循以下原则,对已投射有两条明确定义且距离已知的对比条纹的被测试样,其安放应平行于光学平面且垂直于光轴,同时该角度由平行扫描测得。每次测量得到两个条纹位置和确定该两条纹之间的距离。在此基础上,相应的启动-中间角度用统计程序的方式确定并优化。

附 录 F  
(资料性附录)  
视频引伸计

### F.1 视频引伸计的工作原理

一个视频引伸计系统包括至少一个光学系统摄像头和一个相应的图像处理系统(参见图 F.1)。

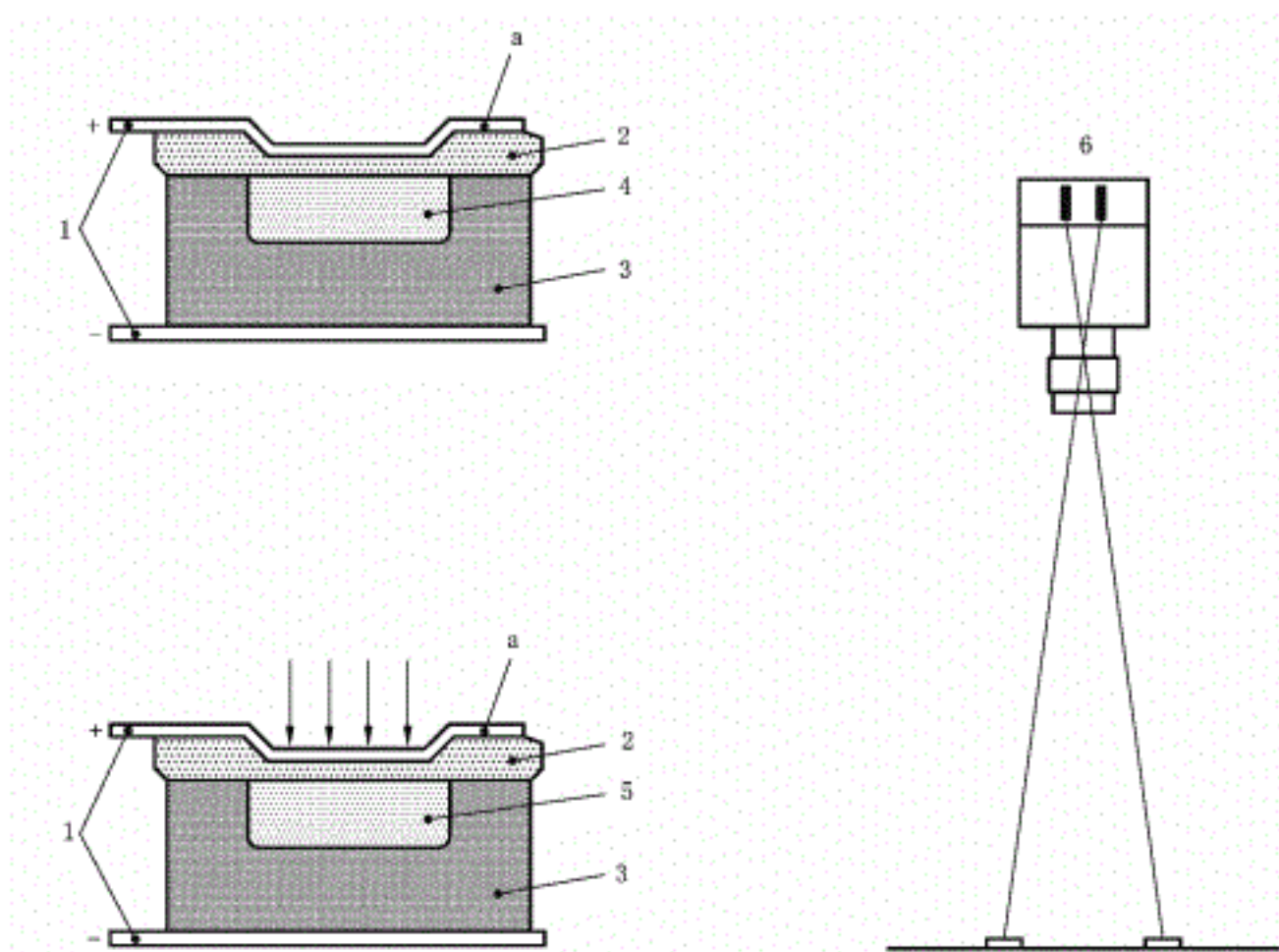


说明:

- 1——有参考标记的试样;
- 2——试验机;
- 3——视频摄像头;
- 4——光源;
- 5——视频处理器。

图 F.1 工作原理

试件表面沿加载轴线标记,有时也垂直地做两个参考标记(见图 F.2)。这些标记可用彩色标记,或者这些与背景对比强烈的标记,可以用彩色标记或者自粘胶标记。这些标记之间的对比参考边缘的距离表示了初始长度,会受到拉伸或者挤压的影响而改变。在视频引伸计中,这种变化由一个或多个摄像头监控,并通过快速处理的视频信号转换成拉伸或压缩数据,然后保存并作为实验设置的目标数据。



说明:

- 1——连接;
- 2——二氧化硅;
- 3——含磷硅;
- 4——耗尽的磷涂层(CCD单元没曝光的部分);
- 5——光照产生的自由电子(CCD单元曝光的部分);
- 6——摄像机;
- a——可透光。

图 F.3 工作原理

因为基本上只有几行或列的芯片包含边缘的位置的模式信息,一旦输入开始位置,就可以把读数限制在芯片上边界移动的区域。除了测量沿纵轴的边界位移,交叉的收缩可以在相同的时间帧测量。

利用高速信号处理器,可以测量两个边界之间以及整个观测网格的主轴线上的变形。

## F.2 校准选项和视频引伸计的外界影响

出于标定的目的,可以使用常用的机械标定方法(量块、机械和光学传感器、干涉测量技术),从而设置和测量离散位置的测量带。另外,可以使用机械性定义的作用于已知网格见举得试样上的点的“网格元”。

用户应了解并控制影响测试精度的一系列影响因素。

第一个影响是摄像机的视野,其由镜头焦距和 CCD 芯片和试样之间的距离产生的。假设视场和芯片平面垂直于光轴,如果相机可以解析在焦平面上  $n$  个位置,则其同样适用于测量范围,其中视场很小,考虑图像的衍射极限并保持在其极限范围内很重要。

第二个影响和映射原理有关,由于试样在光轴方向的移动和图像到试样平面可能的倾斜。很难通过试验检验,后者可能导致绝对长度或长度变化的测量错误,所以这可能与标准要求矛盾,但是原则上允许正确的相对测量。

第三个影响可能来自相机或镜头的振动,其中因为映射比率,可能在焦平面上有非常大的影响,同时试样的运动会减少影响。

在测量像素光照振幅强度的时候,测量过程中使用所谓的像素间插值,基于定义的参考边缘的单个像素之间的光强产生。由于这个原因,测试件应采用人工光照,不随光源与时间变化。对于始终随时间变化的附加光线,应排除在试样和相机之外。试样应被直流或者高频交流供电的光源照射,且只有散射光漫射而没有直接反射。

操作员不应该穿浅色衣服并且在实验过程中尽量少行动来避免对相机光学系统的干扰。还应须注意,在试验期间要保持相机组件的温度恒定,否则 CCD 芯片的特性曲线将由于 CCD 芯片的量子效率的变化而改变。

有些外部影响因素,可以通过控制试样的所有操作元素只改变一个变量观察测量信号的漂移来定量检测。

除了考虑上述的环境影响,注意记录系统的动态行为和试样的变形也很重要。应保证变形的速度和光积分时间成比例,保证对试样的变形运动不随时间在焦平面变得模糊。

通过视线观察如果已知确定的双条纹中的一条穿过被测区域是特别有效的。

## 附录 G

(资料性附录)

## 全场应变测量视频引伸计

## G.1 引言

全视场应变测量是对试样受到应力作用的表面上的“平面内”应变场的测量。

## G.2 一般要求

传统的引伸计测量延伸长度(标距)的总位移,全场应变测量方法测量表面上多个点的正交和剪切应变分量的值。

常用的技术是非接触式光学,一些技术能够被扩展到同时测量“平面内”应变和“平面外”位移和形状。

计算一个应变场所需的处理量以及产生的数据量意味着这些系统不产生“实时”的结果;通常一个试验期间多个图像被捕获,而这些都是通过“后处理”产生应变场数据。

当测量全场应变时,总是在“空间分辨率”,即在所确定应变值处点的密度和应变值的分辨率之间作出折中,通过对多个相邻点应变值取平均降低了空间分辨率将提高应变值的分辨率。

## G.3 技术

## G.3.1 数字图像相关(DIC)

数字图像相关是一种依靠存在于试样表面对比鲜明的随机图形的图像处理技术。图像捕获设备通常需要一个 CCD 相机,如原子力显微镜和扫描电镜等图像捕捉设备也可以使用。

该技术比较不同时间获得的试样的两个图像。例如,一张变形前,一张变形后,为了产生表面的位移图,从图像中选出子图像并使用互相关算法进行比较,再进一步处理得到 2D 应变场的数据。

数字图像的相关性采用不相干(白光)照明。随机图案可以多种方式投影到表面。一些材料具有自然的纹理,可以直接使用,或通过使用对比鲜明的介质应用于随机图形。

如果使用多台摄像机在记录,则有可能生成 3D 形状和进行变形测量。

## G.3.2 电子散斑干涉法(ESPI)

电子散斑干涉法从两个方向使用相干激光照射试样以便在试样表面产生包含有干涉条纹的散斑图样,图形利用 CCD 相机拍摄。图像分析提供了关于位移矢量全场的信息。根据使用 ESPI 系统的具体光学系统可以独立地检测出在平面内和平面外的位移。位移场可以被处理以获得完整的场应变图。

## G.3.3 光弹法

光弹性应力分析通过由透明材料暂时双折射效应表征应变,当这种材料在偏振光下观察到的条纹,与应变的方向和大小有关。该技术对处在投射状态下的透明材料可以直接应用。可以更广泛地采用反射光弹性技术。使用透明聚合物涂层粘接到一个不透明的对象上,并作为应变的证明。

光弹性条纹可以用偏光镜来观察并用数码相机记录,使用数字处理的方法进行分析。

#### G.3.4 几何条纹

几何条纹是白光技术(即它不要求相干照明),其依赖于比较载荷作用下附着在试样上的栅格和未变形的参考来确定全场应变。由光栅产生的莫尔条纹,通常情况下使用 CDD 相机记录。条纹的移动提供了试样表面垂直于条纹方向的平面内位移信息。之后对位移场进行数值化区分,以获取 2D 应变图。

#### G.3.5 光栅(条纹)干涉

光栅干涉在原理上与几何条纹类似,但由于光栅在尺度上要小得多,是一个更敏感的技术。光栅干涉法采用相干激光照射表面连同一个高频光栅图形的试样。形成莫尔条纹并用 CDD 记录。条纹的移动提供了试样表面垂直于条纹方向的平面内位移信息。当从不同方向对试样进行照射时,可以得到关于平面内位移矢量的全场信息。对位移场进行数值化区分以得到应变。

#### G.4 全场应变测量系统的标定

全场应变测量系统的复杂性和产生的大量数据意味着这些系统的各个方面不能用常规的引伸计验证的方法来验证。但是,可以通过处理全场应变得到试样上两点之间的总的轴向应变。这个值可以与通过常规引伸计产生的值进行对比,可以应用常规的引伸计标定方法。

对不同类型全场应变测量系统的标定方法在参考文献[13]至[20]概述。

**附 录 H**  
**(资料性附录)**  
**横梁测量系统的标定**

横梁测量系统的标定主要可根据在本标准中描述的相同步骤进行。

标距的测量可以省略。

其起始点应记录在标定证书中。

试验机的刚度是力和试验系统变形之比。包括试验机的框架、应变施加机构、测力装置以及试样的夹持和固定装置。对于“软”的试验机,驱动速率不一定与夹具分离速率相同。因此,未经标定的横梁移动距离不应用作试样伸长的测量值。因此,应优先选择高刚度试验机以使夹具的分离速度和测量的准确度(有需要的话)都能符合 ISO 5893 和 ASTM E2309 的要求。

# 参 考 文 献

- [1] ASTM E83-06, Standard Practice for Verification and Classification of Extensometer Systems
- [2] LOVEDAY, Malcolm S. and GIBBONS, Thomas B, Measurement of Creep Strain; a) The influence of Order-Disorder Transformations in Ni-Cr-base alloys and b) A Code of Practice for the Use of Ni-base alloy Extensometers. *Materials at High temperatures*, 24(2), 2007, pp.113—118
- [3] LOVEDAY, Malcolm S. and GIBBONS, Calibration and Traceability of notch Creep Strain Measurements. *Materials at High temperatures*, 21(3), 2004, pp. 161—167
- [4] LOVEDAY, Malcolm S. Considerations on the Measurement of Creep Strain in Bridgman Notches. *Materials at High temperatures*, 21(3), 2004, pp.169—174
- [5] WALTERS, D.J. and LOVEDAY, M.S. Strain Measurements by contact methods and extensometry, Chapter 5. In: *Materials Metrology and Standards for Structural Performance* (Eds. Dyson, B.F., M.S. Loveday and M.G. Gee), Pub. Chapman & Hall, London, 1995, ISBN 0 412 58270 8, pp 81—113
- [6] ALBRIGHT, J. Dynamic Strain Measurements, Chapter 6. In: *Materials Metrology and standards for Structural Performance* (Eds. Dyson, B.F., M.S. Loveday and M.G. Gee), Pub. Chapman & Hall, London, 1995, ISBN 0 412 58270 8, pp. 114—133
- [7] ASTM E2309-05, Standard Practices for Verification of Displacement Measuring Systems and Devices used in Material Testing Machines
- [8] NPL report CANA 45, The performance of portable extensometer calibration rigs. October 1999, ISSN 1369—6785
- [9] LOVEDAY, Malcolm S. and RODGER, Gordon. Calibration and Traceability of Notch Creep Strain MEASUREMENTS. *Materials at high Temperatures*, 21(3), 2004, pp. 169—174
- [10] LOVEDAY, Malcolm S. High temperature axial extensometers; standards, calibration and usage, In: *High Temperature Strain Measurement*, (Hurst R.C. et al., eds.), Elsevier Applied Science, 1986, pp.31—47
- [11] ISO/IEC Guide 98-3, Uncertainty of measurement—Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM;1995)
- [12] ISO 7500-1, Metallic materials—Verification of static uniaxial testing machines—Part 1: Tension/compression testing machines—verification and calibration of the force-measuring system
- [13] VAMAS TWA26, Draft proposed pre-standard part 1 reference Material for Optical Methods of strain Measurement (January 2007)
- [14] VAMAS TWA26, Draft proposed pre-standard part 2 Standardised Test Materials for Optical Methods of Strain Measurement (January 2007)
- [15] *Standardised Project for Optical Techniques of Strain measurement (SPOTS)*, EU contract no. G6RD-CT-2002-00856, see [www.opticaistrain.org](http://www.opticaistrain.org)
- [16] SHARPE, William N., Jr.(ed.) *Springer Handbook of Experimental Solid Mechanics*. Springer ISBN:978-0-387-26883-5(2000)
- [17] ASTM E2208-02, Standard Guide for evaluating non-contacting optical strain measurement systems
- [18] DIN 54180-1 (Jan. 1997), Zerstörungsfreie Prüfung—Shearografie—Teil 1: Allgemeine

Grundlagen (Document “DIN 54180 - Teil 1.pdf”)

[19] DIN 54180-2 (Jan. 1997), Zerstorungsfreie Prufung—Shearografie—Teil 2: Gerate (Document “DIN 54180-Teil 2.pdf”)

[20] DIN V 54180-3 (Marz 1997), Zerstorungsfreie Prufung—Shearografie—Teil 3: Prufungen von Rohrleitungen (Document “DIN 54180-Teil 3.pdf”)

[21] ISO 5893:2002, Rubber and plastics test equipment—tensile, flexure and compression types (constant rate of traverse)—Specification

[22] ISO 204, Metallic materials—Uniaxial creep testing in tension—Method of test

---





中 华 人 民 共 和 国  
国 家 标 准  
金属材料 单轴试验用引伸计系统的标定  
GB/T 12160—2019/ISO 9513:2012

\*

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.org.cn](http://www.spc.org.cn)

服务热线: 400-168-0010

2019年10月第一版

\*

书号: 155066 • 1-63717

版权专有 侵权必究



GB/T 12160-2019

