 **T/CECS xxx-20xx**

**中国工程建设标准化协会标准**

金属材料累积极限塑性应变

试验方法标准

Standard for test method for cumulative ultimate plastic strain of metallic materials

（征求意见稿）

（提交反馈意见时，请将有关专利连同支持性文件一并附上）

**中国工程建设标准化协会标准**

金属材料累积极限塑性应变

试验方法标准

Standard for test method for cumulative ultimate plastic strain of metallic materials

**T/CECS xxx-20xx**

主编单位：同济大学

批准单位：中国工程建设标准化协会

施行日期：20XX年X月X日

中国计划出版社

**20XX年 北京**

**前 言**

根据中国工程建设标准化协会《关于印发<2020年第二批协会标准制订、修订计划>的通知》（建标协字〔2020〕023号）的要求，编制组经深入调查研究，认真总结实践经验，参考国内外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，制订本标准。

本标准共分7章，主要内容包括：总则、术语与符号、设备、试件、试验程序、试验结果处理和试验报告等。

本标准的某些内容可能直接或间接涉及专利，本导则的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由中国工程建设标准化协会检测与试验专业委员会归口管理，由同济大学负责具体技术内容的解释。本标准在执行过程中，如有需要修改和补充之处，请将相关资料和建议寄送解释单位（上海市四平路 1239 号，同济大学土木工程学院建筑工程系，邮编：200092），以供修订时参考。

|  |  |
| --- | --- |
| **主编单位：** | 同济大学 |
| **参编单位：** |  |
| **主要起草人：** |  |
| **主要审查人：** |  |

**目 次**

[1 总 则 （5](#_Toc113975090)）

[2 术语和符号 （6](#_Toc113975091)）

[2.1 术语 （6](#_Toc113975092)）

[2.2 符号 （7](#_Toc113975093)）

[3 设 备 （8](#_Toc113975094)）

[3.1 试验机 （8](#_Toc113975095)）

[3.2 夹具 （8](#_Toc113975096)）

[3.3 引伸计 （8](#_Toc113975097)）

[3.4 数据采集与记录系统 （8](#_Toc113975098)）

[4 试 件 （10](#_Toc113975099)）

[4.1 试件设计 （10](#_Toc113975100)）

[4.2 试件的制备与储存 （11](#_Toc113975101)）

[5 试验程序 （12](#_Toc113975102)）

[5.1 试验环境 （12](#_Toc113975103)）

[5.2 试件尺寸的测量 （12](#_Toc113975104)）

[5.3 试验机的控制 （12](#_Toc113975105)）

[5.4 波形 （13](#_Toc113975106)）

[5.5 循环频率 （13](#_Toc113975107)）

[5.6 记录 （13](#_Toc113975108)）

[5.7. 失效判定 （14](#_Toc113975109)）

[5.8 有效性判定 （15](#_Toc113975110)）

[5.9 试件数量 （15](#_Toc113975111)）

[6 试验结果处理 （16](#_Toc113975112)）

[6.1 累积极限塑性应变计算方法 （16](#_Toc113975113)）

[6.2 循环硬化/软化系数 （17](#_Toc113975114)）

[7 试验报告 （18](#_Toc113975115)）

[7.1 试验基本信息 （18](#_Toc113975116)）

[7.2 试验结果 （18](#_Toc113975117)）

[本标准用词说明 （19](#_Toc113975118)）

[引用标准名录 （20](#_Toc113975119)）

[附：条文说明 （21](#_Toc113975120)）

**Contents**

1 General provisions （5）

[2 Terms and symbols （6](#_Toc100843757)）

[2.1 Terms （6](#_Toc100843758)）

[2.2 Symbols （7](#_Toc100843759)）

[3 Device （8](#_Toc100843760)）

[3.1 Testing machine （8](#_Toc100843761)）

[3.2 Clamp （8](#_Toc100843762)）

[3.3 Extensometer （8](#_Toc100843763)）

[3.4 Data acquisition （8](#_Toc100843764)）

[4 Specimen （10](#_Toc100843765)）

[4.1 Specimen design （10](#_Toc100843766)）

[4.2 Preperation of specimen （11](#_Toc100843767)）

[5 Test procedure （12](#_Toc100843768)）

[5.1 Test enviroment （12](#_Toc100843769)）

[5.2 Measurement of specimen （12](#_Toc100843770)）

[5.3 Test setup （12](#_Toc100843771)）

[5.4 Amplitude （13](#_Toc100843772)）

5[.5 Frequency （13](#_Toc100843773)）

[5.6 Record （13](#_Toc100843774)）

[5.7 Failure criterion （14](#_Toc100843775)）

5.8 Validity judgement （15）

[5.9 Specimen number （15](#_Toc100843777)）

[6 Data processing （16](#_Toc100843778)）

[6.1 Calculation of acumulated ultimate plastic strain （16](#_Toc100843779)）

6.2 Cyclic hardening and softening index （17）

7 Report （18）

7.1 Basic information （18）

7.2 Experimental results （18）

Explanation of wording （19）

List of quoted standards （20）

Addition: Explanation of provisions （21）

# 总则

**1.0.1**为统一金属材料试验方法中对于金属累积塑性变形能力指标的确定方法，制定本标准。

**1.0.2**本标准适用于低屈服点钢、碳素结构钢、低合金钢以及高强钢等各类钢材的累积极限塑性应变的测试。

**1.0.3**金属材料累积极限应变试验方法除应符合本标准规定外，尚应符合国家现行有关标准和现行中国工程建设标准化协会有关标准的规定。

# 术语和符号

## 术语

### 标距 gauge length

引伸计测量点之间的起始长度。

### 循环 cycle

应变-时间函数上周期重复的最小单元。

### 累积极限塑性应变 accumulated ultimate plastic strain

在规定的加载制度下，试件工作段从开始加载至失效时的累积塑性应变。

### 应力-应变滞回曲线 stress-strain hysteresis loop

一次循环中的应力-应变关系曲线。

### 循环硬化 cyclic hardening

在循环加载过程中，当控制应变幅恒定时，其应力随循环数增加而增加，然后渐趋稳定的现象。

### 软化 softening

在循环加载过程中，当控制应变幅恒定时，其应力随循环数增加而降低。

## 符号

本标准使用的符号和中文释义如下：

*E*——弹性模量

*E*NT——拉伸卸载模量

*E*NC——压缩卸载模量

HS——循环硬化/软化系数

*N*f——失效循环数

${∆ε}/{2}$——应变幅

$∆ε\_{t}$——总应变范围

$∆ε\_{e}$——弹性应变范围

$∆ε\_{p}$——塑性应变范围

$ε\_{u}^{p}$——累积极限塑性应变

${∆σ}/{2}$——应力幅

# 设备

## 试验机

### 试验测试应采用能控制荷载和应变的低周疲劳试验机。

### 试验机应定期检定，计量特性应符合国家现行规程《轴向加力疲劳试验机》JJG 556的有关规定。

### 应力或应变控制的稳定性，应满足相继两循环的重复性在试验测试范围的1%以内，或平均范围的0.5%以内，且整个试验过程应稳定在2%以内。

## 夹具

### 连接试件的夹头和试验机的连接应固紧，荷载换向时试件与夹头不应出现松动或造成间隙，并进行对中检查。

### 高温试验应对夹具进行冷却，以防止载荷链中的其他元件受损。

## 引伸计

### 应变测量系统中的引伸计应适用于长时间动态测量和控制，在标距长度内的测量精度应不低于±1%。

### 引伸计的安装不应防损伤试件表面，以免出现试件过早断裂。

### 引伸计应符合国家现行规程《引伸计检定规程》JJG 762的有关规定。

## 数据采集与记录系统

### 数据记录的准确度应保持在满量程的1%以内。

### 数据采集系统应满足对荷载、变形及循环次数等试验数据的采集和储存需求。

### 数据采集的频率应满足清楚记录应力-应变滞回曲线的需要。

# 试件

## 试件设计

### 试件设计应避免受载时发生失稳，且应使断裂面产生于试件有效工作段。

### 对于圆形截面试件，推荐采用图4.1.2所示的试件。圆形截面试件的有效工作段直径不宜小于5mm。



图4.1.2推荐的低周滞回圆形截面试件

### 对于板材试件，推荐采用图4.1.3所示的试件。



图4.1.3 推荐的低周滞回板材试件

### 试件的夹持段长度应根据所用夹具和试件材料确定。

### 试件的平均表面粗糙度不宜大于0.2$μ$m。在约20倍放大镜下用肉眼检查时，在试样圆周表面上不应有明显机加工痕迹。

## 试件的制备与储存

### 试件应从均质的原材料或毛坯上切取。当材料条件允许时，应根据试验目的按要求轧制方向切取试件。

### 试件需热处理时，应先经热处理再加工成试件。为便于机加工，热处理前可先进行粗加工，热处理后再进行精加工。

### 同批试件制备宜采用一致的机械加工工艺，制作过程中宜采用使表层金属畸变最小的机加工或抛光工艺作为最后工序，不应使金属受冷作硬化或过热作用。

### 当试验目的在于测定特定表面条件对材料累积极限塑性应变的影响时，应按照试验目的进行表面处理。

### 试件精加工清洗后做好防护，妥善保管以防试件变形、表面损伤和腐蚀。

# 试验程序

## 试验环境

### 室温试验时，应对室温进行检测和记录。在超出10℃~35℃范围进行试验应在报告中说明。

### 高温或低温试验时，试件工作部分的温度波动应不大于±5℃，标距长度内的温度梯度应在±5℃或试验温度的1%（两者取较大值）以内，否则应在报告中说明。

### 为使试件温度均匀，应有足够的保温时间。

### 在空气中进行试验时，应对湿度进行检测和记录。

## 试件尺寸的测量

### 为准确计算试件的横截面积，应采用读数精度不低于0.01mm的测量仪器来测量试件尺寸。

### 对于等截面试件应在标距长度内至少两个不同位置进行测量，取平均值作为试样的横截面积。

## 试验机的控制

### 根据试验目的，试验时可以控制一个或几个变量，并应同时监测其他变量随循环的变化。

### 低周滞回试验宜采用等应变幅加载，应变幅宜取相同标距断后伸长率1/5的百分比取整值与4%两者中较小值。

### 低周滞回试验宜采用闭环控制疲劳试验机。当使用非连续可控的试验机时，应严格控制所用变量的极限。

### 试验应以相同的拉伸半循环开始。当试验目的是研究起始加载效应时，可按照试验目的确定开始半循环的拉伸或压缩状态。

## 波形

### 试验过程中，应变或应力对时间波形应保持一致。当无特定要求或设备受限制时，宜采用三角波。

### 带保持时间的高温低周滞回试验宜采用梯形波，试验符合国家现行标准《金属材料轴向等幅低循环疲劳试验方法》GB/T 15248-2008中附录D的规定。

## 循环频率

### 试验的循环频率应保持不变。

### 加载制度采用的波形应在试验过程中保持不变（试验目的是研究循环波形对材料滞回性能影响的试验除外）。

### 循环频率范围宜在0.01~1Hz之间。

### 若由于设备的限制不能进行恒定应变速率试验，应在试验报告中说明。

## 记录

### 计算机数据采集系统应按适当的间隔，连续记录循环应力-应变数据。

### 条件许可时还应记录随时间而变化的其他相关变量。

## 失效判定

### 根据试验目的和所测试材料特性确定失效标准。可选择的判定标准如下：

1. 试件断裂；
2. 最大载荷或应力或拉伸卸载弹性模量*E*NT降低一定百分数；
3. 试件表面出现可检测裂纹时，当此裂纹增长到符合试验目的要求的某一预定尺寸；
4. 拉伸卸载弹性模量*E*NT与压缩卸载弹性模量*E*NC的比值降低至首个半循环的50%时；
5. 滞回曲线的压缩部分出现拐点，拐点应力相对峰值点压应力的差值，达到峰值压应力的某一规定百分数，如图5.7.1所示。



图5.7.1失效拐点的定义

### 当试验条件允许时，试验除按预定的失效外，可一直进行到试件断裂。

## 有效性判定

### 等截面试件断在标距长度内方为有效。若断在其他位置，则结果无效。

### 若试件断口上发现有杂质、孔洞或机加工缺陷等情况，则结果无效。

## 试件数量

### 测定累计极限塑性应变时，相同试件数量不宜少于3个。

### 若需进行统计分析，则应按试验目的确定试件数量。

# 试验结果处理

## 累积极限塑性应变计算方法

### 根据试验测试结果，试件发生失效破坏时的累积极限塑性应变应按下式计算：

|  |  |
| --- | --- |
| $$ε\_{u}^{p}=\sum\_{i=1}^{N}∆ε\_{i}^{p}$$ | (.) |
| 式中： | $$∆ε\_{i}^{p}$$ | —— | 第*i*次拉伸或压缩累积塑性应变增量； |
|  | *N* | —— | 拉压循环累积的次数。 |

### 第i次拉伸或压缩累积塑性应变增量应按下式计算：

|  |  |
| --- | --- |
| $$∆ε\_{i}^{p}=∆ε\_{t}-\frac{σ\_{max,i}-σ\_{min,i}}{E}$$ | (.) |
| 式中： | $$σ\_{max,i}$$ | —— | 第*i*圈的峰值拉应力，见图6.1.2； |
|  | $$σ\_{min,i}$$ | —— | 第*i*圈的峰值压应力，见图6.1.2； |
|  | *E* | —— | 金属材料在单调拉伸下的弹性模量。 |



图6.1.2应力、应变指标示意图

## 循环硬化/软化系数

### 采用等幅滞回试验结果计算循环硬化/软化系数。第*i*个循环的循环硬化/软化系数定义为：

|  |  |
| --- | --- |
| $$HS\_{i}=\frac{σ\_{max,i}}{σ\_{max,1}}$$ | (.) |

### 试件失效后的循环硬化/软化系数不作为表征材料真实的硬化/软化表现，失效判定方法依据5.7节。

# 试验报告

## 试验基本信息

### 材料的牌号和标准号、生产厂、炉批、规格、化学成分、热处理工艺及常规力学性能；

### 取样部位、试件形状、尺寸和表面状态；

### 试验设备和型号；

### 试验条件，包括试验温度及控制方法、环境介质、循环频率或循环应变速率、波形、应力比或应变比、控制方式；

### 试验过程中不符合本标准的任何情况。

## 试验结果

### 应力范围、应变范围（弹性应变范围$∆ε\_{e}$和塑性应变范围$∆ε\_{p}$）的起始值或稳定值；

### 循环弹性模量及其测定方法说明；

### 到达失效的循环数*N*f以及确定失效的标准；

### 循环硬化/软化系数$HS\_{i}$与循环次数*i*关系曲线；

### 累积极限塑性应变；

### 试验日期、试验者和校对者。

# 本标准用词说明

为便于在执行本标准条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1）表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

2）表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

3）表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

4）表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

# 引用标准名录

《金属材料轴向等幅低循环疲劳试验方法》 GB/T 15248

《轴向加力疲劳试验机》 JJG 556

《引伸计检定规程》 JJG 762

**中国工程建设标准化协会标准**

金属材料累积极限塑性应变

试验方法标准

Standard for test method for cumulative ultimate plastic strain of metallic materials

**T/CECS xxx-20xx**

**条 文 说 明**

# 制定说明

为便于广大技术和管理人员在使用本标准时能正确理解和执行条款规定，《金属材料累积极限塑性应变试验方法标准》编制组按章、节、条顺序编制了本标准的条文说明，对条款规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项等进行了说明。本条文说明不具备与标准正文及附录同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。

**目 次**

2 术语和符号 （24）

2.2 符号. （24）

[3 设备 （25](#_Toc100843760)）

3.2 夹具. （25）

3.3 引伸计. （25）

3.4 数据采集与记录系统. （25）

[4 试件 （26](#_Toc100843765)）

4.2 试件的制备与储存. （26）

[5 试验程序 （27](#_Toc100843768)）

5.7 失效判定. （27）

[7 试验报告 （28](#_Toc100843768)）

7.2 试验结果. （28）

**2 术语和符号**

## 2.2 符号和名称

本标准使用的各符号名称的说明如下：

总应变范围（单位：mm/mm）指在一次循环中，最大和最小应变的代数差。

应变幅（单位：mm/mm）指应变范围的一半。

应力幅（单位：MPa）指应力范围的一半。

弹性应变范围（单位：mm/mm）指等于应力范围除以弹性模量。

塑性应变范围（单位：mm/mm）指取总应变范围与弹性应变范围之差。

累积极限塑性应变（单位：mm/mm）指到达失效时塑性应变总和。

失效循环数（单位：周）指到达失效时循环次数。

弹性模量（单位：MPa）指在弹性范围内应力与应变的比值。

拉伸卸载模量（单位：MPa）指第N次循环中，从峰值拉应力卸载时测得的弹性模量。

压缩卸载模量（单位：MPa）指第N次循环中，从谷值压应力卸载时测得的弹性模量。

循环硬化/软化系数指滞回曲线中峰值应变对应的应力-累积塑性应变曲线的斜率。

**3 设备**

## 3.2 夹具

**3.2.1**夹具出现不对中的原因通常为：夹具的角度偏差；夹具的侧向偏差；作动器在轴承间的侧向间隙。至少每半年对试验系统进行对中检查一次。

## 3.3 引伸计

**3.3.1**应变测量设备包括引伸计及附属电子元件。

## 3.4 数据采集与记录系统

**3.4.2**记录试验数据的最低要求应包括：X-Y记录仪用于记录应力-应变滞回曲线；能够记录随时间变化的参量如力、应变及温度的记录器；峰谷值监测器。

**4 试件**

## 4.2 试件的制备与储存

**4.2.3**试验机械加工方法实例可参考现行国家标准《金属材料轴向等幅低循环疲劳试验方法》GB/T 15248。

**5 试验程序**

## 5.7 失效判定

**5.7.1**该节罗列的任意一种条件均可作为失效的判定依据。对于一组试验所使用的失效判据应在报告中注明。

在任何情况下，应记录失效区域相对于原始标距的位置关系并在试验报告中注明。

为了确认试验的有效性应对试样进行预试验检查。这意味着一方面检查试样发生失效或出现主裂纹的位置，另一方面确认是否存在可能导致初始失效或过早失效（如表面缺陷、孔洞、夹杂、引伸计留下的过大的卡痕或者由于对中问题引起的试样弯曲）的缺陷或异常。

**7 试验报告**

## 7.2 试验结果

**7.2.2**弹性模量的测定推荐采用材料在稳定循环或半循环时的循环弹性模量。