

力学性能测量

NbTi/Cu复合超导线室温拉伸试验方法

宣讲人：冯 冉

西部超导材料科技股份有限公司

■	前言
■	引言
1	范围
2	规范性引用文件
3	术语和定义
4	原理
5	装置
6	试样制备
7	测试条件
8	结果计算
9	不确定度
10	测试报告

前言



IEC 61788-6

Edition 3.0 2011-07

INTERNATIONAL
STANDARD

NORME
INTERNATIONALE



Superconductivity –
Part 6: Mechanical properties measurement – Room temperature tensile test
of Cu/Nb-Ti composite superconductors

Supraconductivité –
Partie 6: Mesure des propriétés mécaniques – Essai de traction à température
ambiante des supraconducteurs composites de Cu/Nb-Ti

采标

翻译法等同采用 IEC 61788-6:2011

GB/T 31527-2015/IEC 61788-6:2011

IEC: 国际电工委员会 (TC90)

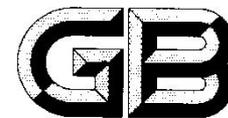
IEC 61788-6 Superconductivity – Part 6: Mechanical properties measurement – Room temperature tensile test of **Cu/Nb-Ti** composite superconductors

IEC 61788-18 Superconductivity – Part 18: Mechanical properties measurement – Room temperature tensile test of Ag- and/or Ag alloy-sheathed **Bi-2223 and Bi-2212** composite superconductors

IEC 61788-19 Superconductivity – Part 19: Mechanical properties measurement – Room temperature tensile test of reacted **Nb₃Sn** composite superconductors

GB/T 228.1 金属材料 拉伸试验 第1
部分: 室温试验方法

前言



ICS 77.040.01
H 21



中华人民共和国国家标准

GB/T 31527—2015/IEC 61788-6,2011

力学性能测量
NbTi/Cu 复合超导线室温拉伸试验方法

Mechanical properties measurement—
Room temperature tensile test of NbTi/Cu composite superconductors

(IEC 61788-6:2011, Superconductivity—Part 6: Mechanical properties
measurement—Room temperature tensile test of
Cu/Nb-Ti composite superconductors, IDT)

2015-05-15 发布

2015-12-01 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

归口

全国超导标准化技术委员会 (SAC/TC 265)

起草单位

西部超导材料科技股份有限公司

中国科学院物理研究所

西北有色金属研究院

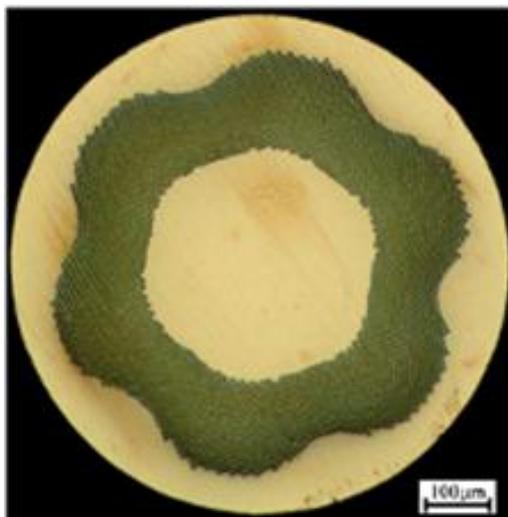
中国科学院电工研究所

中国科学院理化技术研究所

发布实施

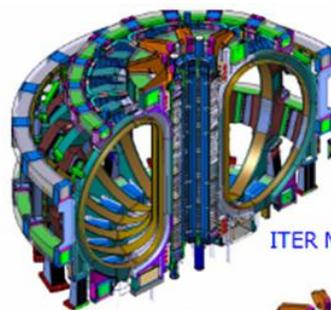
发布：2015.05.15 实施：2015.12.01

引言

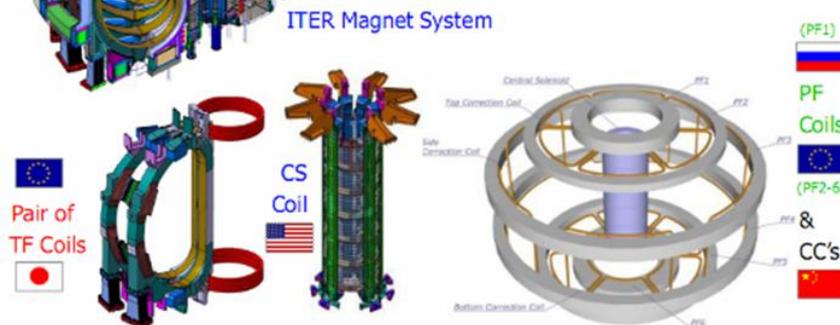


现今实际应用的NbTi/Cu超导导线是将多股细小的超导芯丝嵌入起稳定和支撑作用的基体材料中复合而成的。其中，超导材料为Ti含量在40~50%（质量比）之间的NbTi合金，基体材料为高纯的无氧铜或铝。

复合超导导线主要应用于超导磁体的绕制。磁体绕制时会对超导导线施加复杂的应力，而且在给磁体充电时，超导导线还将承受很大的电磁力。因而，有必要测试绕制线圈用超导导线的力学性能。



- The ITER magnet system is made up of
 - 18 Toroidal Field (TF) Coils,
 - a 6-module Central Solenoid (CS),
 - 6 Poloidal Field (PF) Coils,
 - 9 pairs of Correction Coils (CC's).



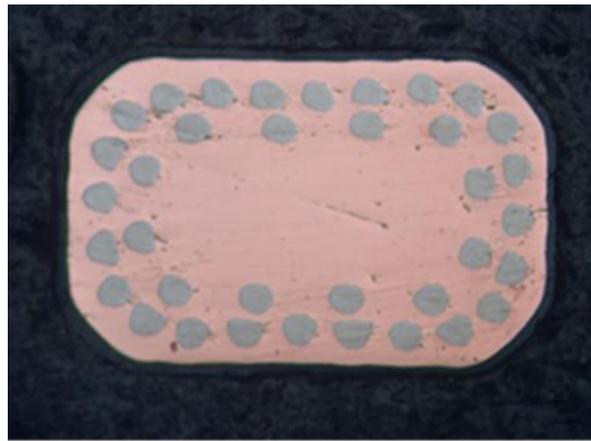
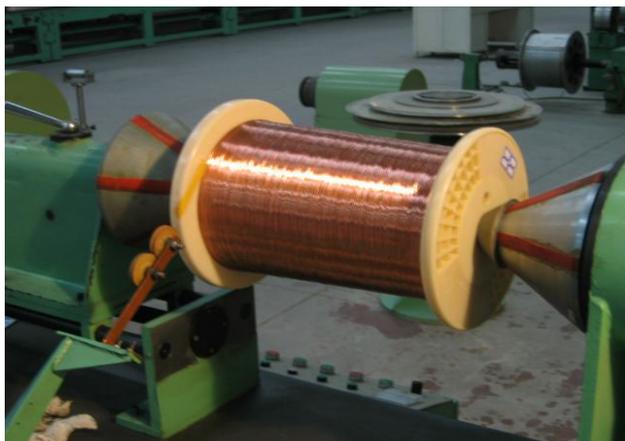
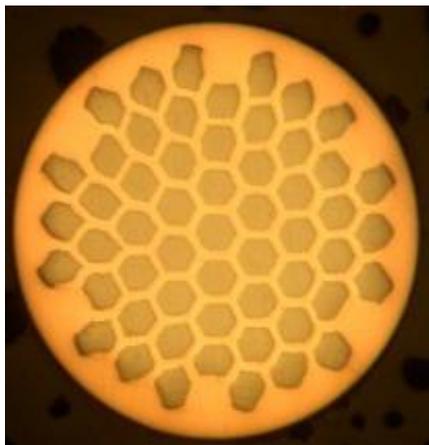
1. 范围

本标准规定了NbTi/Cu复合超导导线室温拉伸试验方法。

本试验方法用以测量弹性模量，规定塑性延伸强度（由复合体中Cu的屈服而产生的）和抗拉强度。

断后伸长率和由组分中NbTi屈服定义的第二类规定塑性延伸强度仅作参考。

本标准适用于测试横截面积在 $0.15 \text{ mm}^2 \sim 2 \text{ mm}^2$ ，铜超比在 $1.0 \sim 8.0$ 之间的圆形或矩形截面的无绝缘覆层试样。



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 376 金属材料 单轴试验机检验用标准测力仪的校准

ISO 6892-1 金属材料 拉伸试验 第1部分：室温试验方法
(GB/T 228.1 金属材料 拉伸试验 第1部分：室温试验方法)

ISO 7500-1 金属材料 静力单轴试验机的检验 第1部分：拉伸和（或）
压力试验机 测力系统的检验与校准

ISO 9513 金属材料 – 单轴试验用引伸计的标定

IEC 60050-815 电工术语 超导电性 (GB/T 2900.100 电工术语 超导电性)

3. 术语和定义



拉伸应力 试验期间任一时刻的拉力除以试样原始横截面积之商。

抗拉强度 R_m 最大测试拉力所对应的拉伸应力。

引伸计标距 用引伸计测量试样延伸时所使用引伸计起始标距长度。

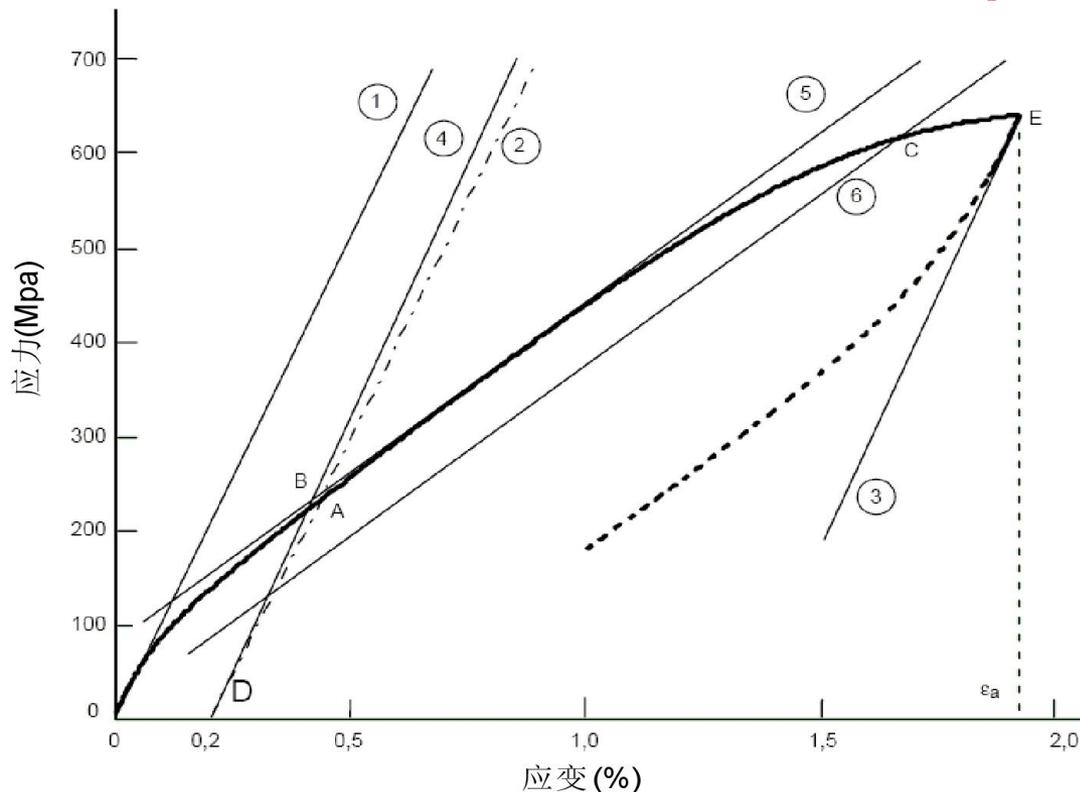
夹头间距 L_g 夹头之间的长度，夹头用于在测试前固定被测试样。

弹性模量 E 弹性形变区内应力—应变曲线线性部分的梯度。

3. 术语和定义

规定塑性延伸强度 $R_{p0.2}$

铜组分塑性延伸率为0.2%时的应力值。（ $R_{p0.2A}$ 和 $R_{p0.2B}$ $R_{p0.2C}$ ）



当总应变达到约2%（E点）时，减少10%拉力，如有需要，移去引伸计。然后再次增加拉力。

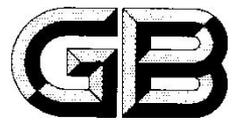
- ① 初始加载线；
- ② 初始加载线平移至0.2%；
- ③ 卸载线；
- ④ 卸载线平移至0.2%；
- ⑤ 加载线的第二线性部分；
- ⑥ 加载线第二线性部分平移0.2%

$R_{p0.2A}$ 和 $R_{p0.2B}$ 认为是复合材料塑性延伸率为0.2%时的应力值。

$R_{p0.2C}$ 第二类规定塑性延伸强度定义为NbTi组分塑性延伸率为0.2%时对应的应力

。（仅作为参考,工程角度不做要求）

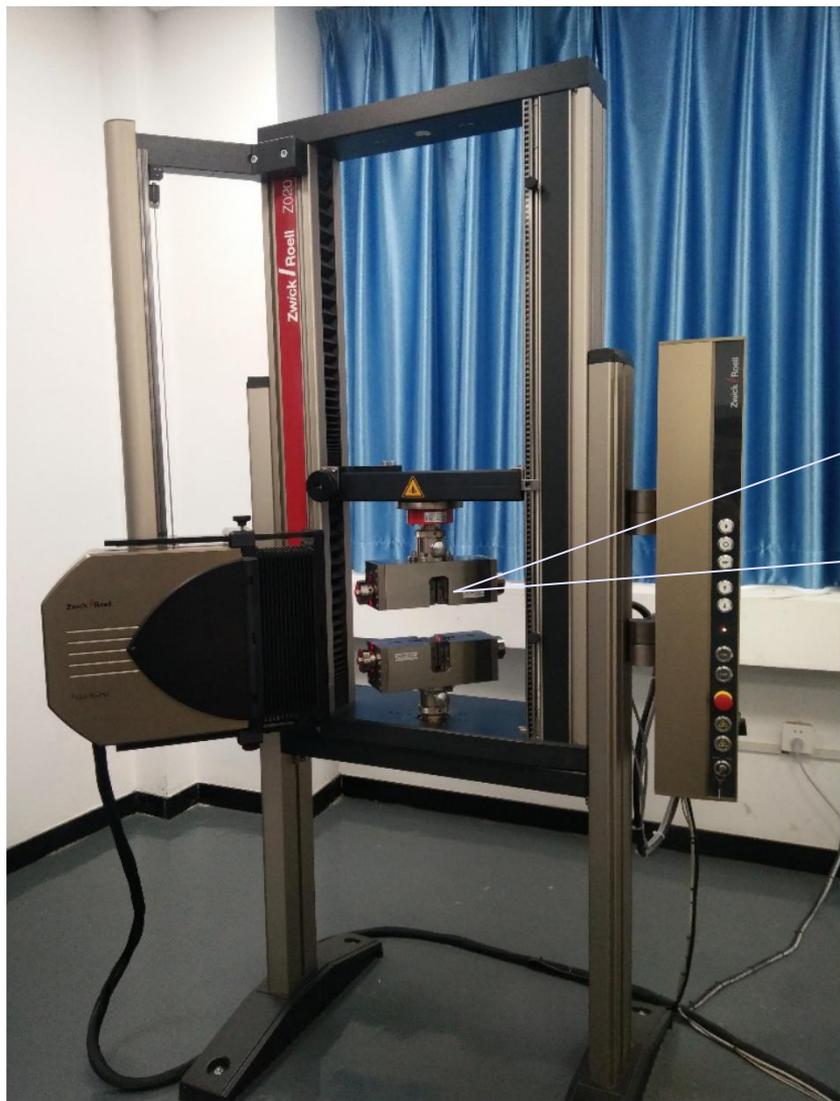
4. 原理



试验是用拉力拉伸试样，一般拉伸至断裂，以确定以下力学性能参数：

- a) 抗拉强度 (R_m)
- b) 规定塑性延伸强度 ($R_{p0.2A}$ 和 $R_{p0.2B}$)
- c) 弹性模量 (E_0 和应变为 ε_a 对应的 E_a)
- d) 第二类规定塑性延伸强度 ($R_{p0.2C}$)
- e) 断后伸长率 (A)

5. 装置



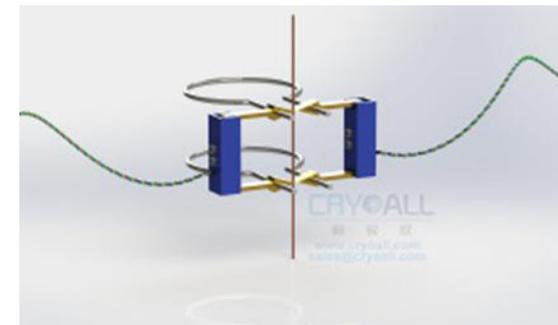
- 可提供恒定横梁位移速率的控制系统。
- 夹头应具有适用于试样的结构和强度。
- 夹头应具有采用挫、滚花或其它方式产生的粗糙表面，保证试样不会滑动

Zwick Z020型电子万能材料试验机

5. 装置



引伸计的重量应小于等于30 g，从而不会影响到超导线的力学性能。注意，**不能在试样上引入弯曲力矩**



激光引伸计：通过激光识别的方式采集应变数据。光学接触完全避免了物理接触时对样品的力学影响。

6. 试样制备



试样矫直

从线轴上取下的试样应矫直，尽量采用对材料影响小的方法。



试样长度

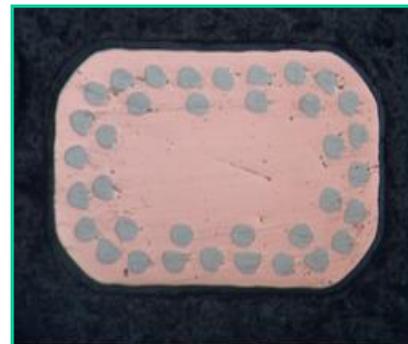
试样总长度应为夹头间距加上两个夹头长度。
夹头间距应大于或等于60 mm，以便安装引伸计。



绝缘层去除

可采用化学方法或机械方法去除绝缘覆层，
要注意不要破坏试样表面。

应使用测微计或其它测量尺寸的装置来确定其面积。
圆导线横截面积应采用两个正交直径的算术平均值计算。矩形导线横截面积由厚度和宽度的乘积获得，截面积圆角部分的修正可以利用制造商提供的数据。对于通过轧制成型或者土耳其头成型的线材，其倒圆半径是不可控的，需要用横截面积的微观照片来修正。



(So) 测量

6. 试样制备



试样矫直

从线轴上取下的试样应矫直，尽量采用对材料影响小的方法。



试样长度

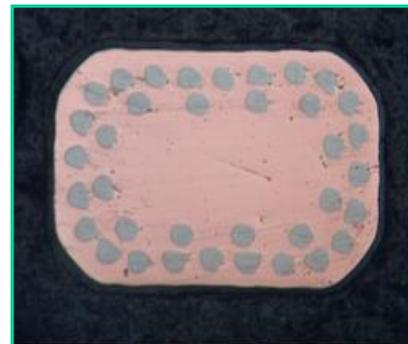
试样总长度应为夹头间距加上两个夹头长度。
夹头间距应大于或等于60 mm，以便安装引伸计。



绝缘层去除

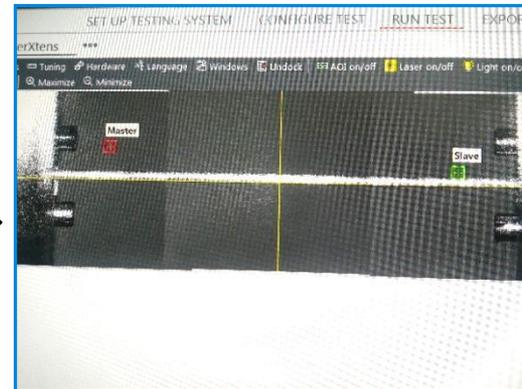
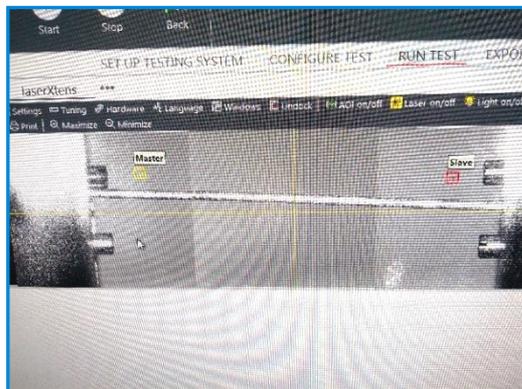
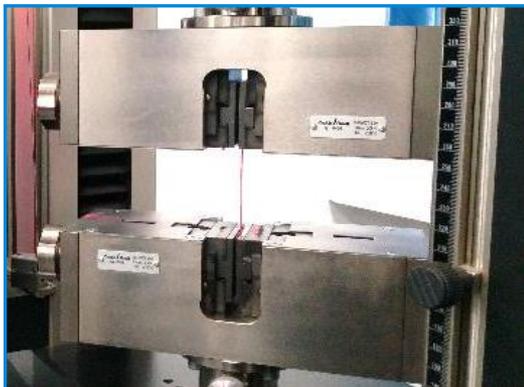
可采用化学方法或机械方法去除绝缘覆层，
要注意不要破坏试样表面。

应使用测微计或其它测量尺寸的装置来确定其面积。
圆导线横截面积应采用两个正交直径的算术平均值计算。矩形导线横截面积由厚度和宽度的乘积获得，截面积圆角部分的修正可以利用制造商提供的数据。对于通过轧制成型或者土耳其头成型的线材，其倒圆半径是不可控的，需要用横截面积的微观照片来修正。



(So) 测量

7. 测试条件



未在同一条直线上

在同一条直线上

试样夹持

试样安装在拉伸机的夹头上，安装时应使试样和拉力加载轴在同一条直线上。可插入砂纸作为衬垫材料以防止试样被夹的表面滑脱或破裂。

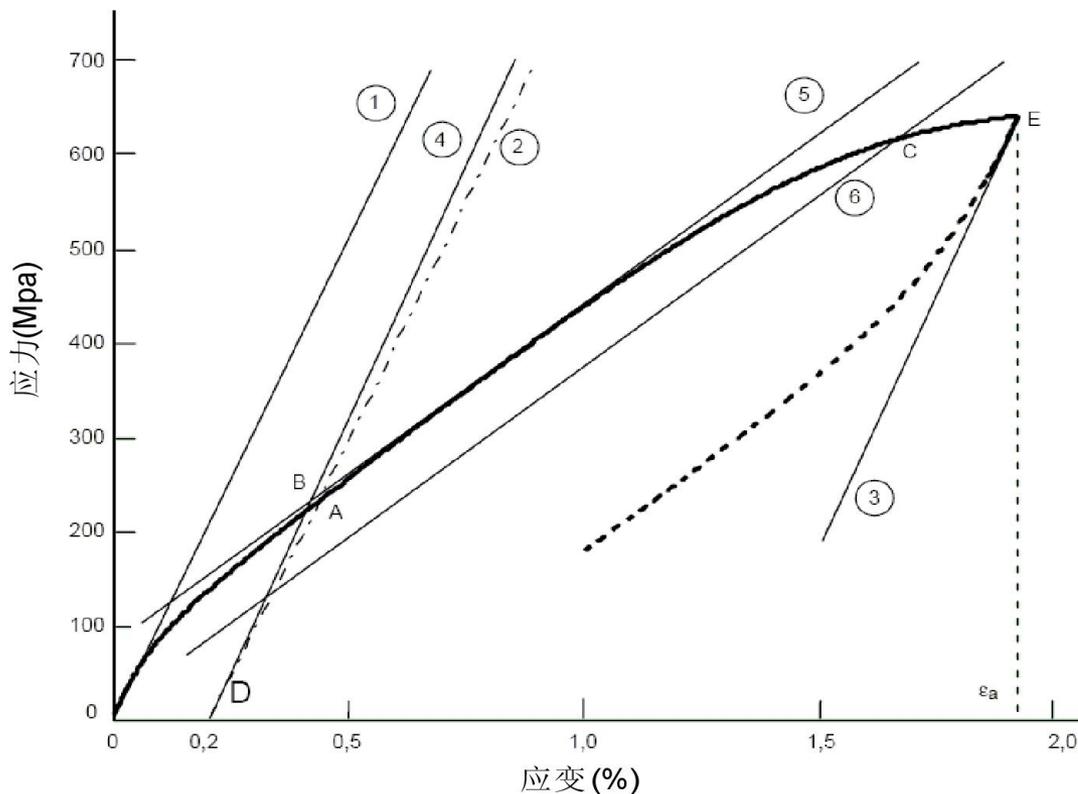
预载和引伸计安装

如果在安装过程中，试样有松弛现象，则应在安装引伸计前施加一个不超过复合材料 $R_{p0.2}$ 的 $1/10$ 的力以消除松弛。安装引伸计时，应注意防止试样变形。引伸计应安装在两个夹头中心位置，调节测量方向与试样轴向一致。装好后，**加载应归零**。

测试速度

使用引伸计测试过程中应变速率应在 $10^{-4}/s$ 到 $10^{-3}/s$ 之间。移去引伸计后，应变速率最大可增至 $10^{-3}/s$ 。

7.测试条件



横梁位移速率设定为规定值后，启动拉伸机。将来自引伸计和载荷传感器的数据分别绘制在坐标纸的横、纵坐标上，如图1所示。当总应变达到大约2%时，减小约10%拉力并去掉引伸计。如果引伸计具有足够的量程且不至于被试样断裂震动损坏时，可以略去这一步骤。在操作中，注意不要向试样引入不必要的力。然后再增加拉力至先前水平并继续测试直到试样断裂。如果试样滑动或断裂未发生在标距之内，则应重新测量。

测试

8. 结果计算



抗拉强度 R_m 抗拉强度 R_m 为最大测试拉力除以加载前试样的原始横截面积之商。

$$R_m = F_m / S_0$$

规定塑性延伸强度 ($R_{p0.2A}$ 和 $R_{p0.2B}$)

$$R_{p0.2i} = F_i / S_0 \quad (i=A \text{ 和 } B)$$

弹性模量 E (E_0 和 E_a) 应采用下式和初始加载线或卸载线的线性部分计算

$$E = \Delta F(1 + \varepsilon_0) / (S_0 \Delta \varepsilon)$$

8. 结果计算

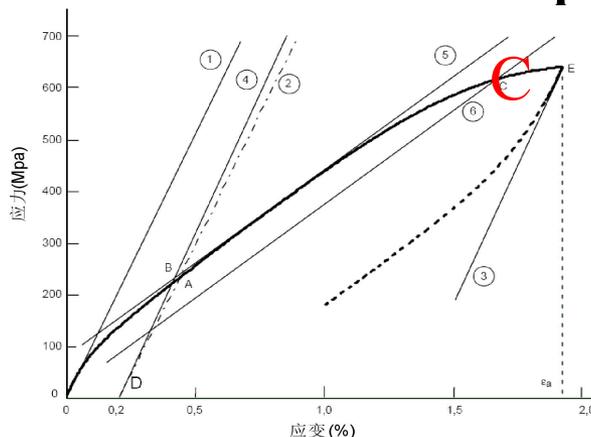


断后伸长率 (A)

NbTi/Cu超导线中，Cu和NbTi在强度上会有一些的差别，并且线在断裂后会弯曲变形，在这种情况下，用对接方法很难精确地确定断裂后的伸长量。因此，断后伸长率的测量仅作参考。横梁移动距离可用作估算断裂后的伸长量，通常用这种方法替代对接法。

$$A = 100(L_u - L_c) / L_c$$

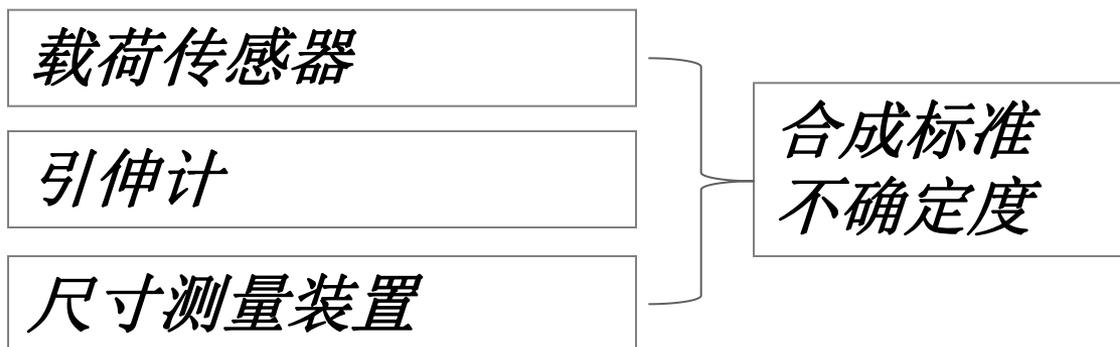
第二类规定塑性延伸强度 ($R_{p0.2C}$)



9. 不确定度



除非另有规定，测量应在280 K~310 K的温度范围内进行。应使用合成标准不确定度不大于0.5%的载荷传感器。应使用合成标准不确定度不超过0.5%的引伸计。尺寸测量装置的合成标准不确定度应不大于0.1%。



10. 测试报告



试样

- a) 试样制造商
 - b) 分类和/或标识
 - c) 批号
- 以下信息如有必要应报告：
- d) 原材料和化学成分
 - e) 线材横截面形状和尺寸
 - f) 芯丝直径
 - g) 芯丝数量
 - h) 芯丝扭矩
 - i) 铜超比

结果

- a) 抗拉强度 (R_m)
 - b) 规定塑性延伸强度 ($R_{p0.2A}$ 和 $R_{p0.2B}$)
 - c) 弹性模量 (E_0 和应变为 ϵ_a 对应的 E_a)
- 以下信息如有必要应报告：
- d) 第二类规定塑性延伸强度 ($R_{p0.2C}$)
 - e) 断后伸长率 (A)

测试条件

- a) 横梁位移速率
 - b) 夹头间距
 - c) 温度
- 以下信息如有需要应报告：
- d) 试验机制造商和型号
 - e) 引伸计制造商和型号
 - f) 夹持方式



谢谢!