

### 1.103 土木工程材料实验 (1-2-3)

J.T. Germaine 博士

麻省理工学院  
2004 春季

#### 实验任务 2 拉张应力实验和钢材的应力应变性能 (TENSILE TESTING AND STRESS STRAIN PROPERTIES OF STEEL)

**实验目的:** 你将在本课程中学到:

- (1) 直接张力试验 (direct tension testing) 的测量技术
- (2) 电液伺服试验机 (servo hydraulic testing machine) 的操作
- (3) 普通钢材的张力性能 (Tensile properties)
- (4) 与测量技术和数据阐释有关的错误

**实验安排:**

- 会议 A: 30分钟 小组预习课程
- 会议 B: 60分钟 小组分组 (译者注: 或者称之为次小组, 下同) 试验
- 会议 C: 30分钟 个人观察
- 数据: 次小组会议的时候公布

**阅读材料:**

- 阅读这个材料 (handout), 明白在实验室将要做些什么
- 查阅钢材的弹性模量 (elastic modulus)、比例极限 (proportional limit)、屈服强度 (yield strength) 和抗拉强度 (tensile strength)。
- 阅读 ASTM E8—金属材料抗拉试验标准测试方法 (译者注: 此为美国材料实验协会技术规范)。

**实验概述:**

直接拉力测试 (the direct tension test) 用来量测许多材料的机械性能 (mechanical properties), 如杨氏模量 (Young's modulus)、比例极限 (proportional limit)、屈服强度 (yield strength) 和抗拉强度 (tensile strength)。如果有适当的夹具 (the appropriate grips) 和合适的测量位移设备, 很大范围内的材料特性 (从橡胶到钢材) 都可以测试。在这个试验任务中, 我们将探索钢铁在拉力条件下的行为 (the behavior of steel in tension)、试件几何形状 (specimen geometry) (横截面积和长度) 对其的影响、估算误差 (measurement errors) 和循环加载方式 (cyclic loading)。

我们将使用被制作成标准螺纹杆状 (standard threaded rod) 的钢拉力试件。钢杆的中间部分已经被制作成一个恒定截面 (constant cross section)。钢杆的恒定截面长度就是样本标距 (the specimen gauge length)。正是钢杆的这个部分承担了绝大部

分的拉应力,因此这个部分的形变(the deformation)最大。保持这个截面恒定(constant)非常重要,只有这样才能保证应力应变尽可能地统一均衡(uniform)。

The actual specimen strain is measured by an extensometer that is attached directly to the gauge section of the specimen. 用恒定的位移变化速率(a constant rate of displacement)给试件施加拉力,相应的反力(the reaction force)由“力的换能器”(即测力传感器, load cell)测量。位移将由两种不同技术测量。截面端部位移由安装在促动器(the actuator)内的“线性电压位移传感器”(LVDT, Linear Voltage Displacement Transducer)测量。我们必须假定这个位移和试件标距(the specimen gauge length)的积合应变(the integrated strain)相等。如此计算忽视了加载设施(the load frame)和试件夹具(the specimen grips)的变形。实际的试件应变是直接安装在试件标准截面(the gauge section)上的引伸计(the extensometer)来量测。这个设备测量了引伸计标距的位移(译者注:“引伸计标距, Extensometer gauge length, 用引伸计测量试样延伸时所使用试样平行长度部分的长度”, 参见GB/T 228-2002:《金属材料室温拉伸试验方法》, 4.5节)。你必须通过每次测试的第一个读数和引伸计的标定(the calibration of the extensometer)计算这个尺寸。

在这个试验里,我们将测试4个试件。我们指定这些试件的规格(standard),粗细(thin, thick)和长度(long)。前三个试件将在不同的截面(cross sections)下测试,以对比拉力的作用效果。我们的目的是看钢材的性能是否随着截面变化而变化。第四个试件将比其他三个同样长度的试件长,但截面与前面的相同。这个标准长度(the standard length)的试件将让你对比机械变形的效果。

在会议A中,我们作为一组学习如何使用试验机器和如何建立测量系统(the measurement system)。在会议B中,每个小组再分组(译者注:或称次小组)测试四个试件中的一个。每个测试必须包括至少四个卸载再加载的循环(four unload reload cycles):一个在线弹性范围(the linear elastic range)内,一个刚在比例极限(the proportional limit)后,一个在屈服点(the yield point),最后一个在强化阶段(the large strain)。我们将观察这些试件。最后一组完成试验后,每个人将返回实验室,并检查所有的试件,这是会议C。记有初始测量数据(the initial measurements)和数字数据文件(the digital data files)的数据记录纸将在最后一个部分完成后立刻公布。

## 实验过程:

### 准备:

- 建立数据采集系统(the data acquisition system),并把信道数(the channel numbers)、传感器(the transducers)、校准要素(the calibration factors)记在数据记录纸上。确保一切正常。
- 给试件编号。
- 测量每个试件的直径和试件标距长度(the diameter and specimen gauge length)。标距长度要测量到锥形的底部(the base of the taper)。
- 用测径器(the caliper)测定引伸计标距长度(the gauge length of the extensometer)。标距长度应该用在适当位置的锁紧的销钉(the locking pin)测量。记录伴随(corresponding to)标距长度(the gage length)的输入输出电压(input and output voltages)。

### 每个试件:

- 把测力传感器 (load cell) 归零。
- 把试件 (the specimen) 与夹具 (the grip) 旋紧。
- 把底部夹具 (the bottom grip) 放到接合器 (the crossbar adapter) 里, 在适当的位置锁上荷载销钉 (load pin)。
- 慢慢升高促动器把上部夹具 (the top grip) 插到上面的接合器 (the upper adapter) 里去, 在适当的位置锁上荷载销钉 (load pin)。确保测力传感器读数仍然为零。
- 把引伸计 (the extensometer) 安装到试件上去, 并保证量具 (the gage) 在试件的中央 (the mid-point)。
- 调整引伸计 (the extensometer), 以保证输出 (the output) 接近符合标距长度 (the gauge length) 的值。
- Apply a small seating load by lowering the actuator (20 kN). 降低促动器 (the actuator, 20kN), 以加载一个小的固定载荷 (seating load)。
- 记录测量促动器位移的位移传感器 (displacement transducer) 的起始值。
- 用一秒的读数速度 (1 sec reading rate) 开始运行数据采集系统。确保指定足够大的数据文件。记住, 你可以**绕过 (BYPASS)** 数据保存, 任何时间改变读数速度 (reading rate) 以保持一个可以管理的数据容量 (data size)。
- 让试件保持 0.05 cm/min 的变形速率至 2 英寸的测量长度 (the 2 inch gage length)。调整每个试件的位移变化速率 (the displacement rate) 以获得一个相同的应变速率。
- 一旦试件屈服 (这取决于与荷载-位移曲线, the load versus displacement curve, 的形状), 加大位移变化速率。
- 对于最后一个试件 (第四号), 你需要测量至少三个卸载再加载的循环 (three unload-reload curves)。基于上几次试验试件的观察, 你挑选循环加载的位置 (the locations for the loops)。在每个选择的应变水平 (selected strain level) 上, 用 0.05 cm/min 的加载速率, 并颠倒位移方向 (reverse the displacement direction)。到 50 kN 的时候卸载试件, 再以相同速率加载。你需要在循环 (loops) 之间加大位移变化速率, 以节省时间。
- 仔细观察试件。一旦明显的颈缩 (well defined neck) 出现, 把引伸计卸下, 以避免损坏。
- 试件拉断以后, 测量断裂点的直径和最后的标距长度 (the final gauge length)。

### 术语定义:

拉应力 (Tensile Stress,  $\sigma$ ), 是由初始截面积 (the initial cross sectional area) 定义 (divided by, 译者注: divide 本义是 “To sector into units of measurement; graduate. 刻尺度: 将计量单位标以刻度; 划分度数”, 在此引申为 **标刻**, 定义的意思) 的测力传感器 (the load cell) 所测量的力。要注意到这是公称应力 (the nominal stress)。因为测试中截面积要减小, 则实际应力 (the actual stress) 要大很多。

试件应变 (Specimen Strain,  $\epsilon$ ), 是由引伸计标距长度 (the extensometer gauge length) 定义

(divided by, 解释同上)的引伸计变形 (the extensometer deformation)。这是机械应变的最佳估读值 (best estimate)。

**表观应变 (或名义应变, Apparent Strain,  $\epsilon_a$ )**, 是由试件标距长度 (the specimen gauge length) 定义 (divided by, 解释同上) 的促动器位移 (the actuator displacement)。这个值忽略了仪器变形 (the apparatus deformations), 能导致严重的错误。

**杨氏模量 (Young's Modulus,  $E$ )**, 是数据到达比例极限 (Proportional Limit) 前的线性回归直线 (the linear regression line) 的斜率值 (the slope)。

**比例极限 (Proportional Limit,  $\sigma_p$ )**, 是应力应变关系刚从线性关系 (linearity) 偏离的 (从线性关系偏离的判断, 需要由主观的观察决定) 情况下的应力。

**屈服应力 (Yield Stress,  $\sigma_y$ )**, 是材料开始在应力不变的情况下有明显特征的变形时候的应力 (这取决于应力应变行为的特殊情况, 同样也是相当主观的)。

**抗拉强度 (Tensile Strength;  $\sigma_t$ )**, 是沿着应力应变曲线上最大的抗拉应力。试件承载了最大的力。

**真实抗拉强度 (True Tensile Strength;  $\sigma_t'$ )**, 是钢铁的实际最大抗拉应力。这说明了在加载时横截面积的减少。我们不在加载时测量横截面积, 因此, 我们值通过最后的横截面积测量值计算真抗拉强度。我们假定这个值就是真抗拉强度 (the True Tensile Strength)。

## 实验报告:

你们的实验报告应包括以下要点:

- 同时基于引伸计和促动器结果的试件应力应变曲线。您可以绘制另外一张没有卸载再加载循环的曲线。
- 表示试件应力应变曲线最初部分 (到1%应变) 的, 同时基于引伸计和促动器结果的曲线。这个曲线应该表明最初的弹性范围 (the initial elastic region), 比例极限和屈服点。
- 两个有不同标距长度的试件, 只基于引伸计结果的综合表格。无需表示卸载再加载循环。
- 三个不同截面试件的, 只基于引伸计结果的综合表格。
- 一张来包含试件的四条加载曲线的, 基于引伸计结果的综合曲线图, 数值是标度的, 可用来比较小应变。
- 一个记录有弹性模量、比例极限、屈服应力、再加载模量 (reload modulus)、抗拉强度、真抗拉强度、延长量 (elongation) 和面积缩减量 (area reduction) 的表格。
- 一张破坏后几何形状的手绘草图, 标注出所有特征观察点 (significant observations)
- 一个你的计算过程样本 (只要一个测量点就可以)

- 数据记录表
- 一张计算机计算结果和原始数据

*回答下列问题:*

机器偏移时如何影响结果的?

弹性模量取决于试件几何尺寸吗?

当试件的应变水平增加的时候, 卸载再加载循环 (the unload reload loop) 是如何变动的?

1.103 土木工程材料实验 (1-2-3)

拉张应力实验和钢材的应力应变性能

TENSILE TESTING AND STRESS STRAIN PROPERTIES OF STEEL

数据记录表

日期DATE \_\_\_\_\_ 计量单位All dimensions in \_\_\_\_\_ 组号Group No. \_\_\_\_\_ 实验序号Lab No. \_\_\_\_\_

=====

装置 Device                      力 Force    促动器位移 Actuator Disp.    引伸计 Extensometer

校准要素 Calibration. Factor    \_\_\_\_\_                      \_\_\_\_\_                      \_\_\_\_\_

DAQ 信道 DAQ Channel            \_\_\_\_\_                      \_\_\_\_\_                      \_\_\_\_\_

输入电压 Input Voltage            \_\_\_\_\_                      \_\_\_\_\_                      \_\_\_\_\_

校准基准点 Calibration Reference Point \_\_\_\_\_

=====

材料类型 Material Type \_\_\_\_\_ 标距长度 Gauge Length \_\_\_\_\_ 文件名 File Name \_\_\_\_\_

直径 Diameter \_\_\_\_\_ , \_\_\_\_\_ , \_\_\_\_\_ , \_\_\_\_\_ = \_\_\_\_\_

零载 Zero Load \_\_\_\_\_ 零促动器位移 Zero Actuator Disp. \_\_\_\_\_ 零引伸计 Zero Extensometer \_\_\_\_\_

颈缩直径 Diameter of Neck \_\_\_\_\_ 最终长度 Final Length \_\_\_\_\_

=====

材料类型 Material Type \_\_\_\_\_ 标距长度 Gauge Length \_\_\_\_\_ 文件名 File Name \_\_\_\_\_

直径 Diameter \_\_\_\_\_ , \_\_\_\_\_ , \_\_\_\_\_ , \_\_\_\_\_ = \_\_\_\_\_

零载 Zero Load \_\_\_\_\_ 零促动器位移 Zero Actuator Disp. \_\_\_\_\_ 零引伸计 Zero Extensometer \_\_\_\_\_

颈缩直径 Diameter of Neck \_\_\_\_\_ 最终长度 Final Length \_\_\_\_\_

=====

材料类型 Material Type \_\_\_\_\_ 标距长度 Gauge Length \_\_\_\_\_ 文件名 File Name \_\_\_\_\_

直径 Diameter \_\_\_\_\_ , \_\_\_\_\_ , \_\_\_\_\_ , \_\_\_\_\_ = \_\_\_\_\_

零载 Zero Load \_\_\_\_\_ 零促动器位移 Zero Actuator Disp. \_\_\_\_\_ 零引伸计 Zero Extensometer \_\_\_\_\_

颈缩直径 Diameter of Neck \_\_\_\_\_ 最终长度 Final Length \_\_\_\_\_

=====

材料类型 Material Type \_\_\_\_\_ 标距长度 Gauge Length \_\_\_\_\_ 文件名 File Name \_\_\_\_\_

直径 Diameter \_\_\_\_\_ , \_\_\_\_\_ , \_\_\_\_\_ , \_\_\_\_\_ = \_\_\_\_\_

零载 Zero Load \_\_\_\_\_ 零促动器位移 Zero Actuator Disp. \_\_\_\_\_ 零引伸计 Zero Extensometer \_\_\_\_\_

颈缩直径 Diameter of Neck \_\_\_\_\_ 最终长度 Final Length \_\_\_\_\_

=====