

## 实验 2 低碳钢拉伸实验报告

姓名：邹佳驹

学号：12012127

同组人：刘鸿磊

### 1. 实验目的（5 分）

1. 了解典型金属材料（低碳钢）在拉伸时的力学性能；
2. 了解万能实验机的构造和工作原理，掌握其操作规程和使用注意事项；
3. 测定材料的弹性模量  $E$ ，验证胡克定律，测定材料泊松比；
4. 测定低碳钢拉伸时的比例极限  $\sigma_P$ ，屈服点  $\sigma_S$ 、抗拉强度  $\sigma_b$ 、断后伸长率  $\delta$ 、断面收缩率  $\Psi$ ；
5. 观察材料拉伸实验过程的变形特征，绘制应力-应变曲线。

### 2. 实验标准/原理(如使用了应变片，请说明测点位置和测量桥路，10 分)

对于塑性材料，其应力应变图如下所示，可分为 4 个阶段：

#### 1) 弹性阶段

oa 段：应力与应变在此段成正比关系，直线部分最高点所对应的应力值为材料的比例极限  $\sigma_P$ 。

ab 段：不再是直线，材料已不符合虎克定律，但在 ab 段内卸载，变形也随之消失，因此 ab 段仍发生弹性形变。b 点所对应的应力值为材料的弹性极限  $\sigma_e$ ，弹性极限与比例极限非常接近，工程中近似地用比例极限代替弹性极限。

#### 2) 屈服阶段

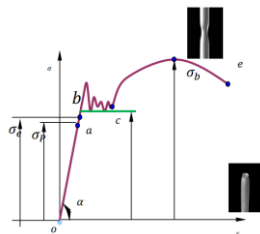
bc 段：一段锯齿形曲线，该阶段应力没有增加，而应变仍在增加，出现屈服现象，bc 段为屈服阶段，在此阶段御载，将出现不能消失的塑性变形。曲线最低点所对应的应力称为屈服极限  $\sigma_S$ 。

#### 3) 强化阶段

ce 段：c 点后，要使应变增加，必须增加应力，材料恢复抵抗变形的能力，ce 段为强化阶段。曲线最高点所对应的应力值为材料的强度极限  $\sigma_b$ 。

#### 4) 局部颈缩阶段

de 段：曲线到达 d 点时，在试件较薄弱的某一局部，变形显著增加，有效横截面急剧减小，出现缩颈现象，试件将很快被拉断，为颈缩阶段。



塑性材料应力应变图

断后伸长率：

$$\delta = \frac{L_1-L}{L} \times 100\%$$

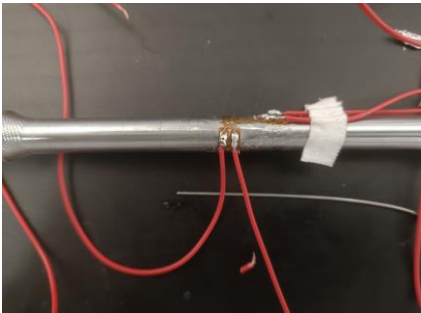
$L_1$ ：试件拉断后的标距     $L$ ：原标距

断面收缩率：

$$\varphi = \frac{A-A_1}{A} \times 100\%$$

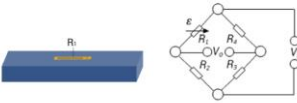
$A_1$ ：试件断口处的最小横截面面积     $A$ ：原横截面面积

将电阻应变片粘贴在被测构件表面，当构件在外力作用下产生变形时电阻应变片的电阻值将发生相应变化，通过电阻应变仪将电阻的变化转化为电压变化，再换算成应变值直接显示或输出给函数记录仪记录下来，也可由计算机进行采集和处理，就可以得到被测量的应变或应力。本实验中使用了 2 个应变片，丝栅长度分别平行和垂直于试件拉伸方向，测点位置位于试件中部。



应变片方向与测点位置示意

根据惠斯通电桥电路原理，结合实验目的与应变片安装位置，选用的测量桥路为 1/4 桥路。

Bridge configuration	External impacts measured:	Application	Description	Advantages and disadvantages								
	$\varepsilon = \varepsilon_x + \varepsilon_y = \frac{4}{k} \cdot \frac{V_0}{V_s} - \varepsilon_z$ <table border="1" data-bbox="665 1523 788 1561"><tr><td>T</td><td><math>F_x</math></td><td><math>M_y</math></td><td><math>M_z</math></td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr></table>	T	$F_x$	$M_y$	$M_z$	1	1	1	0	Strain measurement on a tension/ compression bar  Strain measurement on a bending beam	<b>Simple quarter bridge</b>  Simple quarter bridge circuit with one active strain gauge	+ Easy installation  - Normal and bending strain are superimposed  - Temperature effects not automatically compensated
T	$F_x$	$M_y$	$M_z$									
1	1	1	0									

1/4 桥路 （图片来自[惠斯通电桥电路 | HBM](#)）

3. 实验仪器设备与工具(5 分)

- 1. 万能试验机
- 2. 游标卡尺
- 3. 应变片（端子与导线）
- 4. 应变&力综合测试仪
- 5. 焊枪工具包

6. 502 强力胶水

4. 实验步骤（10 分）

1. 测量试件尺寸（直径、长度）；
2. 编辑实验方案；
3. 贴应变片，安装试件，连接应变仪；
4. 开始加载，观察实验过程，记录数据与实验现象；
5. 试件断裂后，取出试件，规整实验仪器。

5. 实验数据记录（包含实验前/后试件尺寸测量、原始实验数据整理，对于数据量较大的数据，比如载荷-位移/时间，可以提取部分数据并加以说明，20 分）

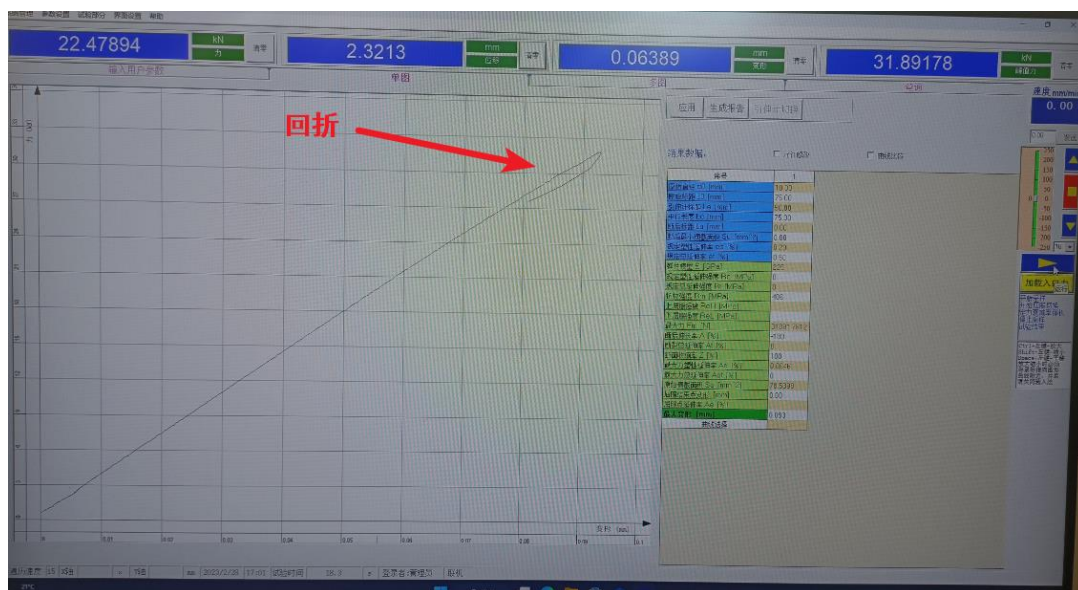
实验前试件尺寸测量：直径  $d=9.99\text{mm}$  长度  $L=100.00\text{mm}$

实验后试件尺寸测量：直径  $d_1=6.18\text{mm}$  长度  $L=131.73\text{mm}$

原始实验数据整理

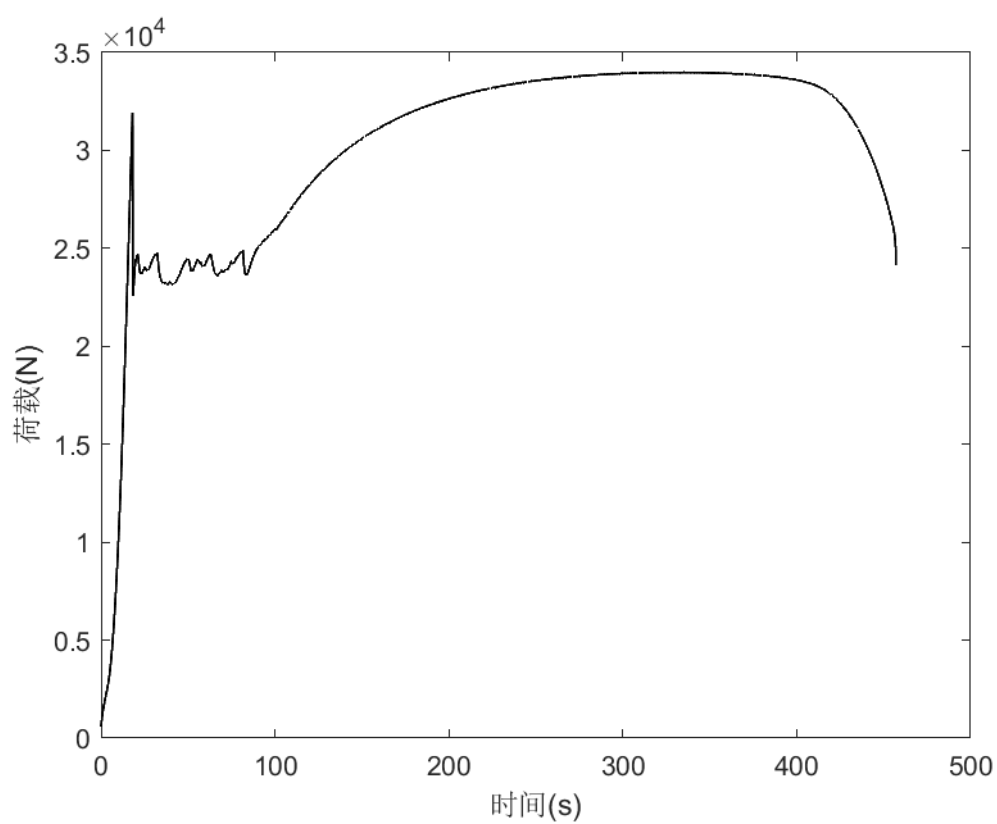
序号	载荷[kN]	应变1[ $\mu\epsilon$ ]	应变2[ $\mu\epsilon$ ]
1	2.29870	22	92
2	5.08964	44	174
3	11.51307	120	447
4	20.66208	279	1014
5	30.70640	433	1536
6	28.07058	453	1572
7	23.31317	440	1530
8	23.04507	436	1512
9	22.87712	432	1503
10	22.74521	429	1493
11	22.63284	427	1487
12	22.55100	425	1481
13	22.47894	420	1475

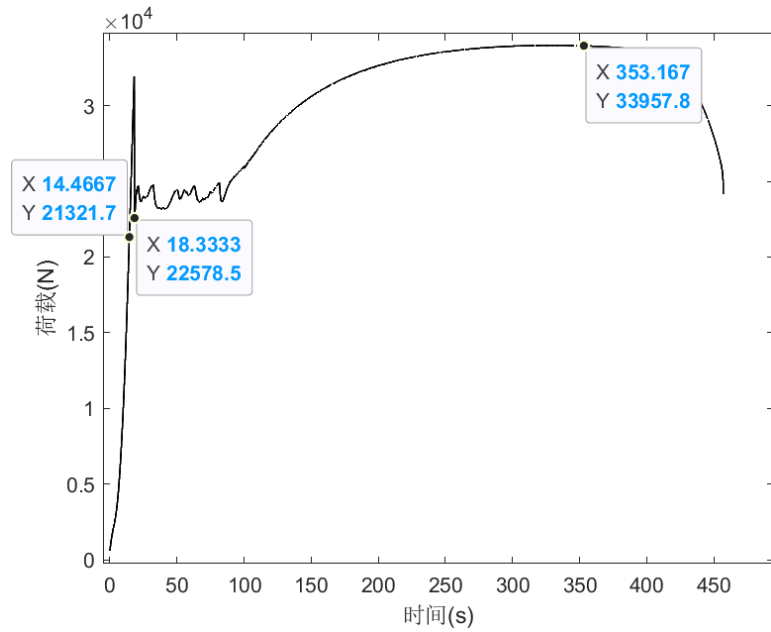
值得注意的是，从第 6 组数据开始，实验机器未正常工作，载荷出现减少现象（如下图），这也证明该阶段为可以复原的弹性形变。所得实验数据的斜率仍可用于计算弹性模量。



6. 实验数据处理（数据处理图表整理、实验数据选取、材料性能参数计算等，30 分）

### 载荷-时间曲线





弹性极限与比例极限非常接近，工程中近似地用比例极限代替弹性极限，此处亦是。

$$\text{比例极限 } \sigma_P = \frac{F_P}{A} = \frac{21321.7N}{7.83828 \times 10^{-5} m^2} = 272.020 MPa$$

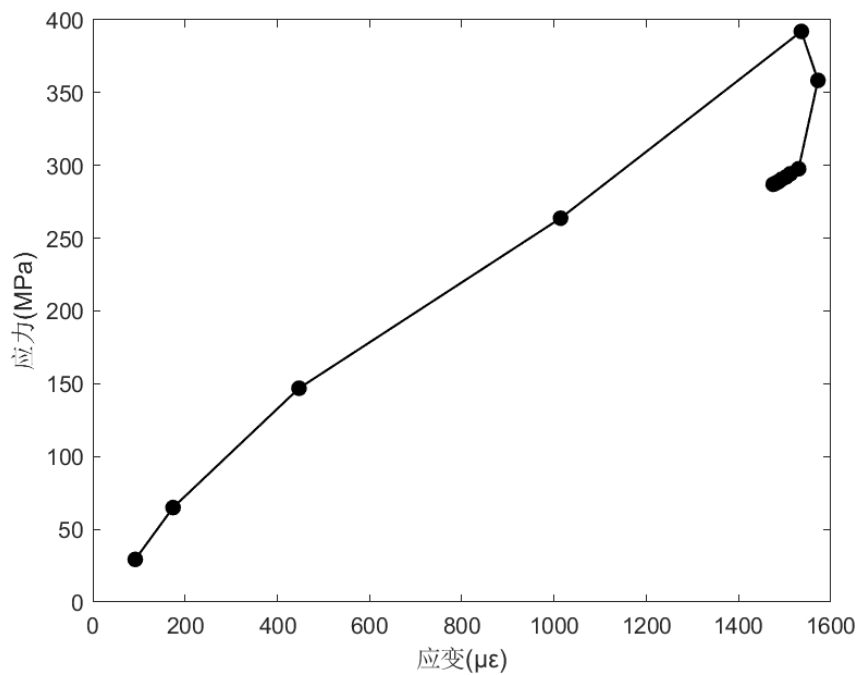
$$\text{屈服点 } \sigma_S = \frac{F_S}{A} = \frac{22578.5N}{7.83828 \times 10^{-5} m^2} = 288.054 MPa$$

$$\text{抗拉强度 } \sigma_b = \frac{F_b}{A} = \frac{33957.8N}{7.83828 \times 10^{-5} m^2} = 433.230 MPa$$

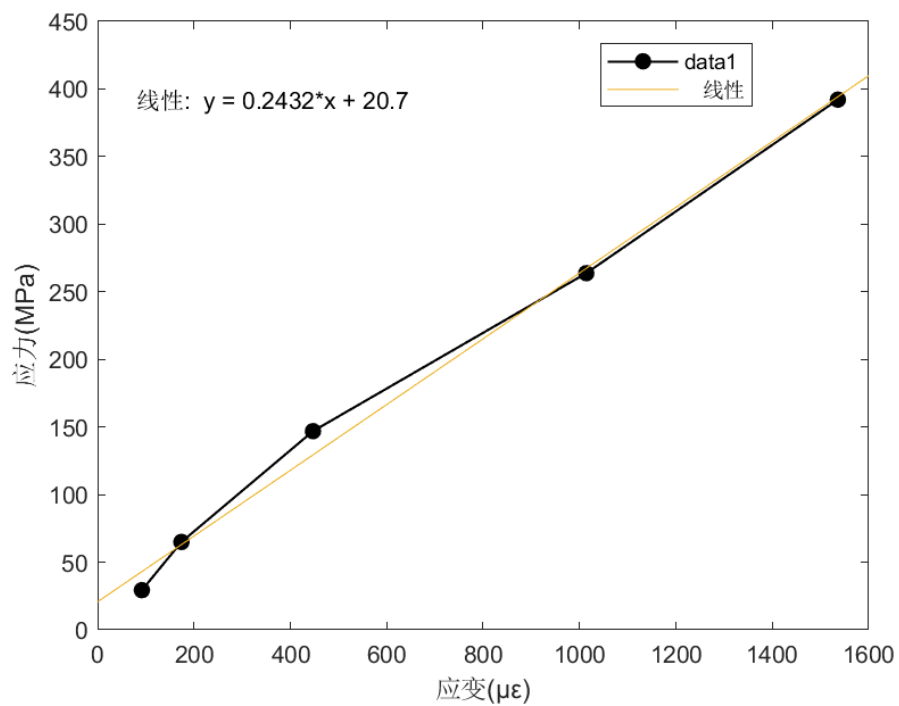
$$\text{断后伸长率 } \delta = \frac{L_1 - L}{L} \times 100\% = \frac{131.73 - 100.00}{100.00} \times 100\% = 31.73\%$$

$$\text{断面收缩率 } \Psi = \frac{A - A_1}{A} \times 100\% = \frac{\pi \times (\frac{9.99}{2})^2 - \pi \times (\frac{6.18}{2})^2}{\pi \times (\frac{9.99}{2})^2} \times 100\% = 61.73\%$$

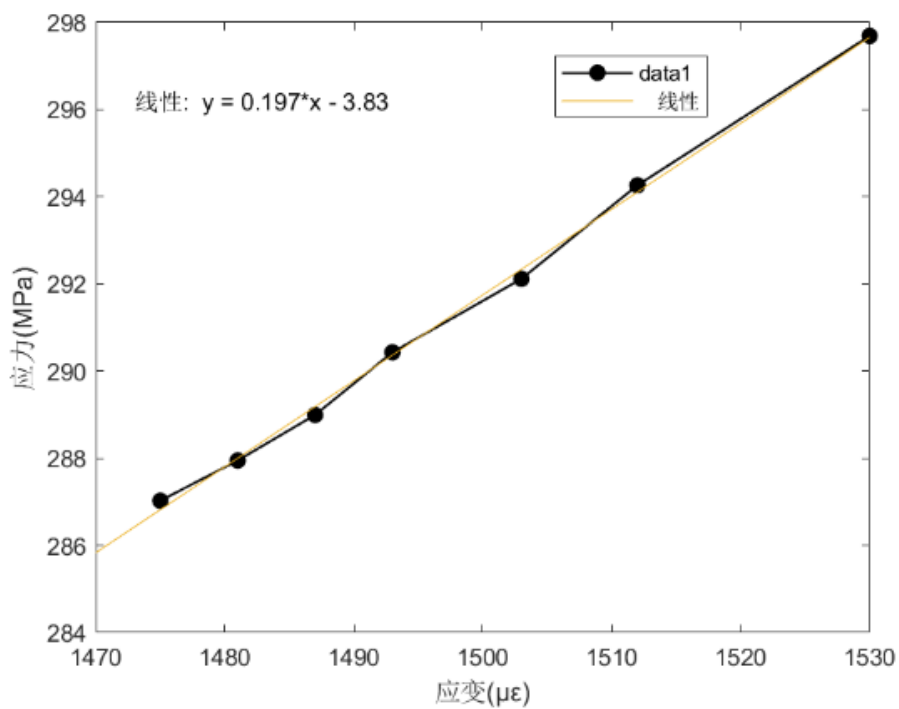
应力-应变图像



应力-应变图像线性拟合

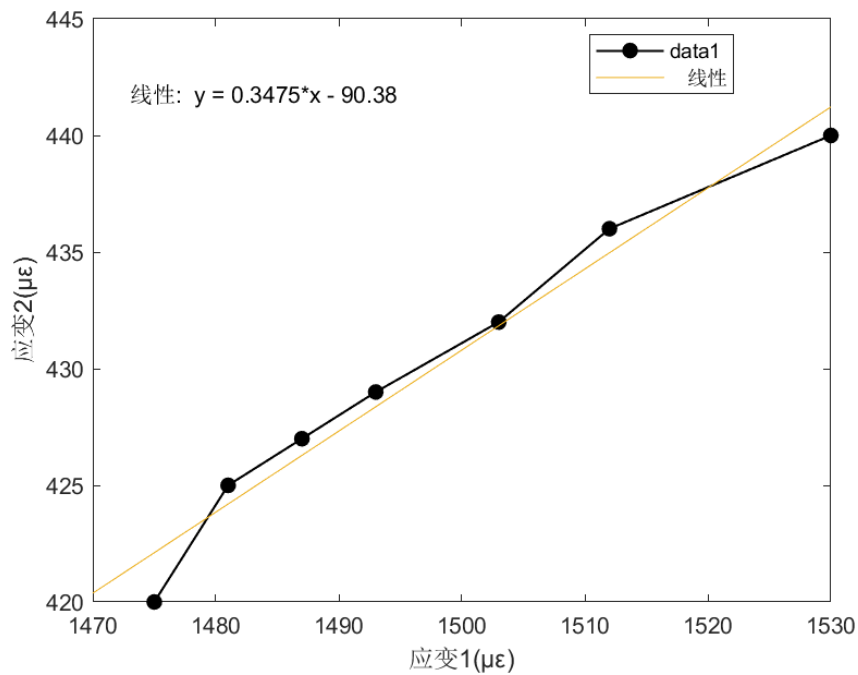


应力-应变图像线性拟合(回折部分)



经线性拟合后，选取点数较多且较为密集的应力应变图像求得低碳钢弹性模量  $E=197\text{GPa}$

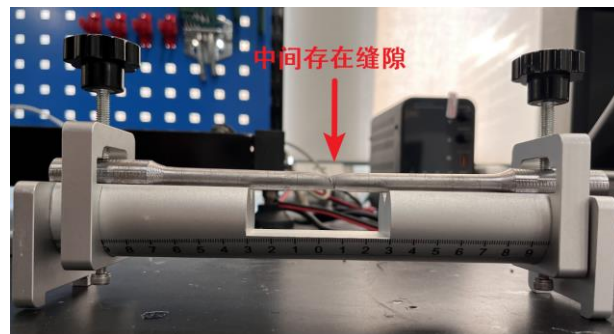
应变-应变图像



对正向应变与径向应变图像进行线性拟合后，得到低碳钢泊松比  $\nu=0.3475$

实验误差分析：

- 1、对于此次实验，主要误差来源应该在于实验进行过程中万能试验机未正常运行，中途出现卸载停止现象，导致由记录数据所得图像出现回折，通过拟合曲线正常部分与回折部分的斜率后，发现两者存在较大偏差(243.2GPa 与 197GPa)，原因在于两次过程记录时应力应变的变化范围不同，变化范围较小且数据点较密集的区域拟合所得数据会更准确。
- 2、对于比例极限的计算，理论上应该选取弹性形变阶段直线最末端点，但实际上无法判断数据是否是一条严格直线，此实验中选取偏下点的位置，所以计算所得比例极限所对应的载荷值偏小。
- 3、测量断后长度时，已经断掉的两部分无法做到完全紧密贴合（如下图），导致测量的断后长度偏大，进而导致计算所得断后伸长率偏大。



7. 实验结论（参照实验目的，给出实验结论，比如断后伸长率、断面收缩率、弹性模量、泊松比、极限强度等，10 分）

通过万能实验机拉伸低碳钢试件，利用所得结果计算得到此低碳钢材料的应力-应变曲线、弹性模量、泊松比、比例极限、屈服点、抗拉强度、断后伸长率和断面收缩率。

实验结果表明，此低碳钢试件的弹性模量  $E$  为  $197\text{GPa}$ ，应力-应变曲线在  $oa$  段满足胡克定律，泊松比  $\nu$  为  $0.3475$ 。比例极限  $\sigma_p$  为  $272.020\text{MPa}$ ，屈服点  $\sigma_s$  为  $288.054\text{MPa}$ ，抗拉强度  $\sigma_b$  为  $433.230\text{MPa}$ ，断后伸长率  $\delta$  为  $31.73\%$ ，断面收缩率  $\Psi$  为  $61.73\%$ 。

## 8. 思考题（10 分）

1) 铸铁、低碳钢拉伸断面对比，并分析其原因。

铸铁断面



低碳钢断面



铸铁断面：

铸铁在拉伸时断口平齐，断口处横截面积几乎没有变化，原因在于铸铁是脆性材料，其破坏遵守最大拉应力强度准则，沿着最大拉应力方向发生拉伸破坏。当铸铁受到轴向拉伸时，最大拉应力方向为轴向，因此其破坏表现为沿与轴向垂直的截面发生断裂。

低碳钢断面：

低碳钢断面具有明显倾斜表面，断口处横截面积缩小，断口边缘存在剪切“唇口”，原因在于低碳钢是塑性材料，具有较好的延展性、塑性、韧性，拉伸过程中出现颈缩现象。

附：

Matlab 读取 txt 文件代码

```
Data_Read.m  x  +
1  %读取导出的txt文件
2  %将数字之前的内容全部删除后进行读取
3  filename='D:\Study\Junior year\Aircraft Structure Experiment\Experiment2\第二次拉伸.txt';
4  delimiterIn = ','; %列分隔符
5  headerlinesIn = 0; %读取从第 headerlinesIn+1 行开始的数值数据
6  present02=importdata(filename,delimiterIn,headerlinesIn);
```



数据处理记录表

E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
序号	载荷[kN]	应变1[ $\mu\epsilon$ ]	应变2[ $\mu\epsilon$ ]		直径[mm]	瞬时直径[mm]	A[ $\text{mm}^2$ ]	瞬时A[ $\text{mm}^2$ ]	应力[MPa]	瞬时应力[Pa]	误差[%]
1	2.29870	22	92		9.99	9.98978022	7.83828E-05	7.83794E-05	29.32658	29.32787166	0.004399952
2	5.08964	44	174		9.99	9.98956044	7.83828E-05	7.83759E-05	64.93311	64.93882494	0.008799806
3	11.51307	120	447		9.99	9.9888012	7.83828E-05	7.8364E-05	146.8826	146.9178365	0.02399856
4	20.66208	279	1014		9.99	9.98721279	7.83828E-05	7.83391E-05	263.6047	263.7518722	0.055792216
5	30.70640	433	1536		9.99	9.98567433	7.83828E-05	7.8315E-05	391.7491	392.0886093	0.086581251
6	28.07058	453	1572		9.99	9.98547453	7.83828E-05	7.83118E-05	358.1216	358.4462889	0.090579479
7	23.31317	440	1530		9.99	9.9856044	7.83828E-05	7.83139E-05	297.4271	297.6889649	0.08798064
8	23.04507	436	1512		9.99	9.98564436	7.83828E-05	7.83145E-05	294.0067	294.2632052	0.08718099
9	22.87712	432	1503		9.99	9.98568432	7.83828E-05	7.83151E-05	291.864	292.1163086	0.086381338
10	22.74521	429	1493		9.99	9.98571429	7.83828E-05	7.83156E-05	290.1811	290.4302159	0.085781596
11	22.63284	427	1487		9.99	9.98573427	7.83828E-05	7.83159E-05	288.7475	288.9942236	0.085381767
12	22.55100	425	1481		9.99	9.98575425	7.83828E-05	7.83162E-05	287.7034	287.9480726	0.084981937
13	22.47894	420	1475		9.99	9.9858042	7.83828E-05	7.8317E-05	286.784	287.025085	0.08398236

颈缩现象

