

实验 10 压杆稳定性实验

姓名：邹佳驹

学号：12012127

同组人：刘鸿磊

1. 实验目的

- 1)用电测法测定两端铰支压杆的临界载荷 P_{cr} ，并与理论值进行比较，验证欧拉公式
- 2)观察两端铰支压杆丧失稳定的现象

2. 实验仪器设备和工具

- 1)材料力学组合实验台中压杆稳定实验部件：
- 2)力&应变综合参数测试仪：
- 3)游标卡尺、钢板尺。

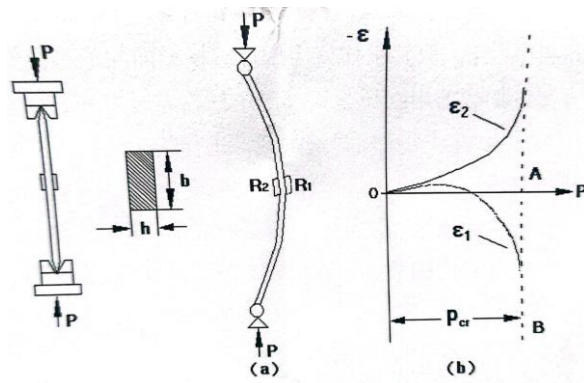
3. 实验原理和方法

对于两端铰支，中心受压的细长杆其临界力可按欧拉公式计算：

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI_{min}}{L^2}$$

$I_{min} = \frac{bh^3}{12}$ ，杠杆横截面的最小惯性矩

L，压杆的计算长度



AB 水平线与 P 轴相交的 P 值，即为依据欧拉公式计算所得的临界力 P_{cr} 的值。

在 A 点之前，当 $P < P_{cr}$ 时压杆式中保持直线形式，处于稳定平衡状态。

在 A 点， $P = P_{cr}$ 时，标志着压杆丧失稳定平衡的开始，压杆可在微弯的状态下维持平衡。

在 A 点之后，当 $P > P_{cr}$ 时压杆将丧失稳定而发生弯曲变形。

因此， P_{cr} 是压杆由稳定平衡过渡到不稳定平衡的临界力。实际实验中的压杆，由于不可避免地在在初曲率，材料不均匀和载荷偏心等因素影响，由于这些影响，在 P 远小于 P_{cr} 时，压杆也会发生微小的弯曲变形，只是当 P 接近 P_{cr} 时弯曲变形会突然增大而丧失稳定。

实验测定 P_{cr} 时,可采用材料力学多功能试验装置中压杆稳定试验部件,该装置上、下支座为V型槽口,将带有圆弧尖端的压杆装入支座中,在外力的作用下,通过能上下活动的上支座对压杆施加载荷,压杆变形时,两端能自由地绕V型口转动,即相当于两端铰支的情况。利用电测法在压杆中央两侧各贴一枚应变片R1和R2,如图(a)所示。

假设压杆受力后如图标向右弯曲情况下,以 ε_1 和 ε_2 分别表示应变片R1和R2左右两点的应变值,此时, ε_1 是由轴向压应变与弯曲产生的拉应变之代数和, ε_2 则是由轴向压应变与弯曲产生的压应变之代数和。

当 $P < P_{cr}$ 时,压杆几乎不发生任何弯曲变形, ε_1 和 ε_2 均为轴向压缩引起的压应变,两者相等;

当载荷P增大时,弯曲应变 ε_1 则逐渐增大, ε_1 和 ε_2 的差值也愈来愈大;

当载荷P接近临界力 P_{cr} 时,二者相差更大,而 ε_1 变成为拉应变。

故无论 ε_1 还是 ε_2 ,当载荷P接近临界力 P_{cr} 时,均急剧增加。如用横坐标代表载荷P,纵坐标代表压应变 ε ,则压杆的P- ε 关系曲线如图b所示。从图中可以看出,当P接近 P_{cr} 时,P- ε_1 和P- ε_2 曲线都接近同一水平渐近线,A点对应的横坐标大小即为实验临界压力值。

4. 实验步骤

1)设计好本实验所需的各类数据表格

2)测量试件尺寸。在试件标距范围内,测量试件三个横截面尺寸,取三处横截面的宽度b和厚度h,取其平均值用于计算横截面的最小惯性矩Imin。

3)拟定加载方案。加载前用欧拉公式求出压杆临界压力 P_{cr} 的理论值,在预估临界力值的80%以内,可采用等级加载,进行载荷控制。

例如可以分成4~5级加载,载荷每增加一个 ΔP ,记录响应的应变值一次,超过此范围后,当接近失稳时,变形量快速增加,此时载荷量应取小些,或者改为变形量控制加载,即变形每增加一定的数量读取响应的载荷,直到 ΔP 的变化很小,渐近线的趋势已经明显为止。

4)根据加载方案,调整好实验加载装置。

5)按实验要求接好线,调整好仪器,检查整个系统是否处于正常工作状态。

6)加载分成三个阶段,在达到理论临界载荷 P_{cr} 的80%之前,由载荷控制,均匀缓慢加载,每增加一级载荷,记录两点应变值 ε_1 和 ε_2 ;超过理论临界载荷80%以后,由变形控制每增加一定的应变值读取相应的载荷值。当试件的弯曲变形明显时即可停止加载。卸掉载荷。实验至少重复两次。

7)作完试验后,逐级卸掉载荷,仔细观察试件的变化,直到试件回弹至初始状态。关闭电源,整理好所用仪器设备,清理实验现场,将所用仪器设备复原,实验资料交指导教师检查签字。

5. 实验数据记录与处理

1. 试件测量

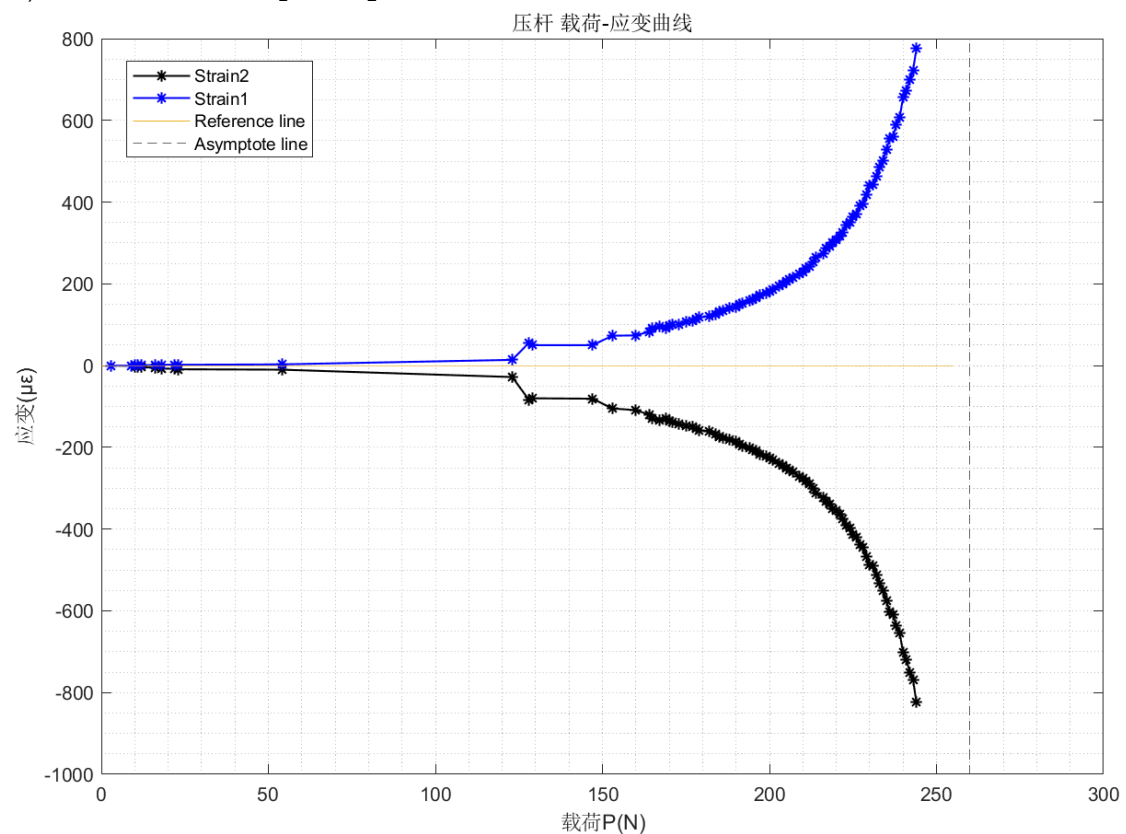
| 试件参数及有关资料 | 截面 I | 截面 II | 截面 III | 平均值 |
|-----------|-----------------------------------|-------|--------|-------|
| 厚度h(mm) | 1.98 | 2.05 | 2.02 | 2.017 |
| 宽度b(mm) | 19.8 | 19.99 | 19.95 | 19.91 |
| 长度L(mm) | 320 | | | |
| 最小惯性矩 | $I_{\min}=1.3614 \times 10^{-11}$ | | | |
| 弹性模量 | $E=210\text{GPa}$ | | | |

2. 实验数据

| 载荷P/N | 应变2/ $\mu\epsilon$ | 应变1/ $\mu\epsilon$ | 载荷P/N | 应变2/ $\mu\epsilon$ | 应变1/ $\mu\epsilon$ | 载荷P/N | 应变2/ $\mu\epsilon$ | 应变1/ $\mu\epsilon$ |
|-------|--------------------|--------------------|-------|--------------------|--------------------|-------|--------------------|--------------------|
| 12 | -4 | 1 | 185 | -175 | 131 | 217 | -333 | 287 |
| 16 | -5 | 1 | 186 | -177 | 134 | 218 | -338 | 291 |
| 18 | -7 | 2 | 188 | -182 | 140 | 219 | -350 | 302 |
| 22 | -8 | 2 | 190 | -185 | 143 | 225 | -414 | 365 |
| 23 | -9 | 2 | 191 | -193 | 150 | 226 | -420 | 371 |
| 54 | -10 | 3 | 192 | -196 | 152 | 227 | -438 | 390 |
| 123 | -28 | 14 | 194 | -202 | 159 | 228 | -445 | 395 |
| 128 | -84 | 56 | 195 | -206 | 162 | 229 | -467 | 419 |
| 129 | -80 | 50 | 196 | -209 | 165 | 230 | -488 | 441 |
| 147 | -81 | 50 | 197 | -217 | 172 | 231 | -490 | 443 |
| 153 | -105 | 73 | 199 | -221 | 177 | 232 | -512 | 464 |
| 160 | -109 | 74 | 200 | -226 | 182 | 233 | -532 | 485 |
| 164 | -120 | 83 | 201 | -231 | 186 | 234 | -550 | 502 |
| 165 | -129 | 91 | 203 | -239 | 195 | 235 | -576 | 528 |
| 169 | -129 | 91 | 204 | -245 | 200 | 236 | -602 | 555 |
| 167 | -133 | 95 | 205 | -251 | 206 | 237 | -609 | 561 |
| 170 | -136 | 98 | 206 | -256 | 211 | 238 | -637 | 589 |
| 171 | -139 | 100 | 207 | -261 | 215 | 239 | -655 | 608 |
| 173 | -142 | 101 | 209 | -271 | 224 | 240 | -702 | 656 |
| 175 | -148 | 107 | 210 | -276 | 230 | 241 | -719 | 672 |
| 177 | -150 | 110 | 211 | -283 | 238 | 242 | -750 | 700 |
| 178 | -155 | 114 | 212 | -289 | 243 | 243 | -770 | 723 |
| 179 | -159 | 118 | 213 | -301 | 254 | 244 | -824 | 776 |
| 182 | -160 | 121 | 214 | -311 | 264 | | | |
| 184 | -168 | 125 | 216 | -322 | 275 | | | |

3. 实验数据处理

1) 用方格纸绘出 $P-\varepsilon_1$ 和 $P-\varepsilon_2$ 曲线，以确定实测临界力 P_{cr}



值得注意的是，在载荷小于 120N 时，转动仪器进行加载时，轻微转动加载杆都将引起载荷的较大变化，图像中载荷约为 130N 时曲线的“凸起”就是因此产生。

2) 理论临界力计算 $P_{cr理}$

$$P_{cr理} = \frac{\pi^2 EI_{min}}{L^2} = \frac{\pi^2 \times 210 \times 10^9 \times \frac{0.01991 \times 0.002017^3}{12}}{0.32^2} = 275.57N$$

3) 实验值与理论值比较，误差百分率 (%)

$$Error = \frac{|P_{cr理} - P_{cr实}|}{P_{cr实}} = \frac{|275.57 - 260|}{260} \times 100\% = 5.988\%$$

与理论值相比，实验测量值偏小。

如果实验中继续增大载荷，所得到的载荷-应变曲线将更加向右偏移，即更加靠近理论计算值，但实际实验中，最大载荷仅增加到 244N，所以所得实验值小于理论值。