

# 把握准确严谨，摒弃似是而非

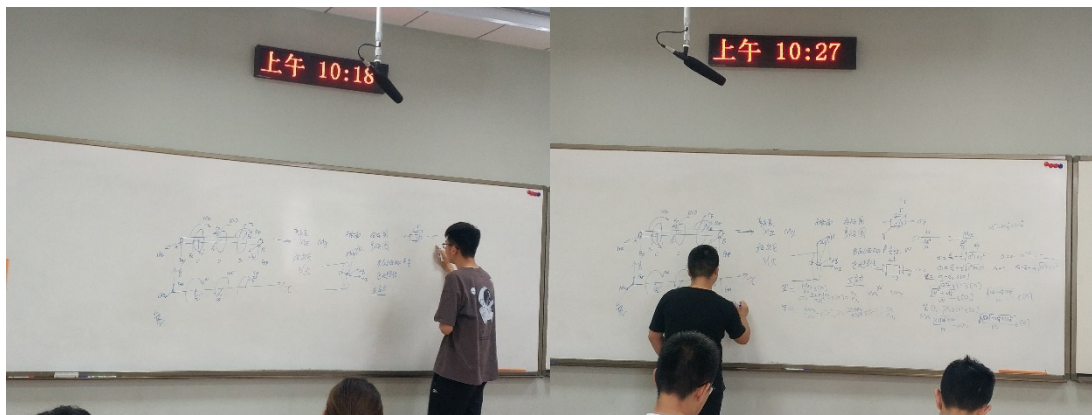
## ——厘清变形与位移的基本概念

5月18日上午第3、4节课，是一般应力状态下强度设计准则的课堂研讨课，也是弹性杆件的位移分析与刚度设计的自主学习启发引导课。

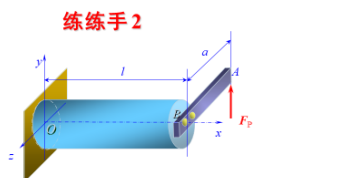
### 一、强度设计准则的工程应用

一般应力状态下的强度设计准则中的难点与化解方法、思路与技术路径等已经在上一堂课讲授完毕，并提前发布了主要由学生来讲的内容：弯曲和扭转载荷共同作用时圆轴的强度设计、薄壁压力容器的强度设计。

这节课开始，李老师先带大家回顾了上一堂课的主要内容，引出了本课堂的学习任务。随后由陈崇源同学和黄健敏同学讲弯曲和扭转载荷共同作用时圆轴的强度设计，由刘祥禹同学讲薄壁压力容器的强度设计。两组同学都准备得非常充分，在没有带讲稿的情况下讲解自如，得到了老师和同学夸赞的掌声。

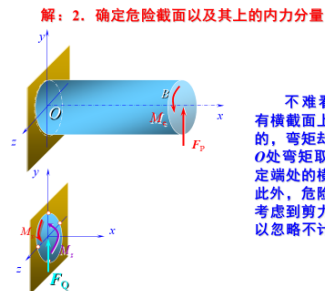


这两部分内容结束后，李老师引导学生讨论了一个练练手的问题后，给出了另外一个练练手的问题，请同学们在课堂上动手分析计算，并请两位同学到讲台上演示。



圆杆BO，左端固定，右端与刚性杆AB固结在一起。刚性杆的A端作用有平行于y坐标轴的力 $F_p$ 。若已知 $F_p=5\text{ kN}$ ， $a=300\text{ mm}$ ， $l=500\text{ mm}$ ，材料为Q235钢，许用应力 $[\sigma]=140\text{ MPa}$ 。

试求：分别用最大剪应力准则和畸变能密度准则设计圆杆BO的直径 $d$ 。



不难看出，BO杆的所有横截面上的扭矩都是相同的，弯矩却不同，在固定端O处弯矩取最大值。因此固定端处的横截面为危险面。此外，危险面上还存在剪力，考虑到剪力的影响较小，可以忽略不计。

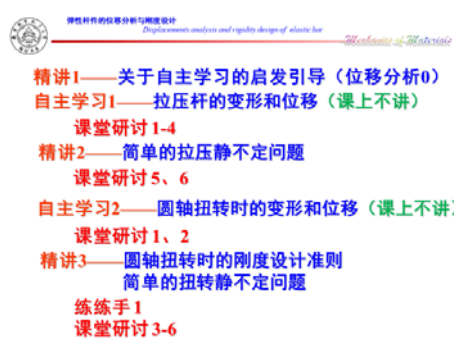
以往讲到这类问题，老师一般会说：对于细长杆件，剪力的影响较小，可以忽略不计。大部分学生会记住这个结论，碰到类似题目的时候忽略剪力进行分析计算，没有深究和研讨。而今天这堂课上，学生做完这道题目后，范老师在此基础上提了3个深度研讨问题：

- 1、如果考虑剪力，那么在分析的过程中，哪些地方有变化，哪些地方没有变化？
- 2、考虑剪力后，之前的设计公式中，哪些仍然可以用，哪些不能用？
- 3、剪力对于强度设计的影响到底有多大？

至此，一般应力状态下的强度设计准则这一单元的内容已讲授完毕，李老师发布了这一单元的4个深度研讨问题。

## 二、弹性杆件的位移分析

首先，公布了“位移分析与刚度设计”部分的“自主学习+精讲+深度研讨”的分阶段实施安排，其中有3部分自主学习的内容，涉及的主要概念、方法之前已经讲过，由学生课后自主学习，课上不再讲授。



弹性杆件的位移分析与刚度设计  
Displacement analysis and rigidity design of elastic bar

- 精讲1——关于自主学习的启发引导（位移分析0）
- 自主学习1——拉压杆的变形和位移（课上不讲）
- 课堂研讨 1-4
- 精讲2——简单的拉压静不定问题
- 课堂研讨 5、6
- 自主学习2——圆轴扭转时的变形和位移（课上不讲）
- 课堂研讨 1、2
- 精讲3——圆轴扭转时的刚度设计准则
- 简单的扭转静不定问题
- 练练手 1
- 课堂研讨 3-6



弹性杆件的位移分析与刚度设计  
Displacement analysis and rigidity design of elastic bar

- 自主学习3——梁的变形与梁的位移（课上不讲）
- 精讲4——弯曲时的变形和位移（重点是叠加法和逐段刚化法）
- 练练手 1-6
- 课堂研讨 1-3

“弹性杆件位移分析与刚度设计”的第一堂精讲课主要是厘清变形和位移的基本概念。



弹性杆件的位移分析与刚度设计  
Displacement analysis and rigidity design of elastic bar

### 开篇之说

- ★ **变形** (deformation) ——杆件受力后其形状发生的变化。变形是杆件受力后的整体行为。
- ★ **位移** (displacement) ——受力前后杆件横截面位置发生改变。位移是杆件受力后的局部行为。



弹性杆件的位移分析与刚度设计  
Displacement analysis and rigidity design of elastic bar

**变形与位移有关，但不是同一个概念。没有变形也可能有位移。**

下面一起来思考两个简单的情形。

变形是杆件受力后形状发生的改变，它是杆件受力后的整体行为。

位移则是杆件由于变形横截面位置的改变，它是杆件受力后的局部行为。

虽然说变形与位移有关，但两者不是同一个概念。

传统材料力学教材（包括我们早年编写的材料力学教材）中，对“变形”和“位移”的概念存在混淆、或者似是而非的嫌疑。例如几乎所有教材都安排有独立的一章——弯曲变形，其内容是讲梁的挠度和转角，这不是梁的变形。梁的变形在正应力分析中已经涉及，而且有了结果，这就是梁轴线弯曲变形后的曲率：

$$\frac{1}{\rho_y} = \frac{M_y}{EI_y}, \quad \frac{1}{\rho_z} = \frac{M_z}{EI_z}$$

而挠度和转角是弯曲变形后横截面的线位移和角位移。圆轴扭转部分也有类似的问题。

变形与杆件的受力和刚度有关；位移不仅与受力和刚度有关，而且与约束条件密切相关。约束相当于参照系，没有约束，无从论位移。

单元：弹性杆件的位移分析与刚度设计  
Displacements analysis and rigidity design of elastic bar

(a)

(b)

两根相同的梁，承受相同的载荷，变形后的曲线具有相同的形状（曲率），但是由于约束不同，同一位置的截面位移各不相同。

13

单元：弹性杆件的位移分析与刚度设计  
Displacements analysis and rigidity design of elastic bar

变形与杆件的受力和刚度有关；位移不仅与受力和刚度有关，而且与约束条件密切相关。约束相当于参照系，没有约束，无从论位移。

14

同时，给出两个案例，通过课堂讨论 帮助学生深化对于变形和位移这两个基本概念的理解和认知。

弹性杆件的位移分析与刚度设计  
Displacements analysis and rigidity design of elastic bar

根据曲率与弯矩的关系，A、B截面处有没有曲率？  
B截面处将产生什么位移？  
A截面处有没有类似位移？A截面处有没有变形？

13

弹性杆件的位移分析与刚度设计  
Displacements analysis and rigidity design of elastic bar

梁的轴线变形后的曲线有什么特点？  
变形后的曲线曲率处处相等，位移处处相等吗？

14