



ME311 | 机械设计

2023年秋季

# 第02章

## Quiz 1/3

# 讲解课

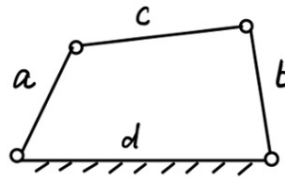
宋超阳

南方科技大学

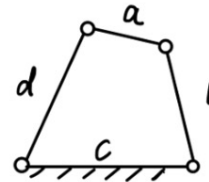
1. (10分) 请选择如下机构简图对应的平面四连杆机构类型 ( $a < b < c < d$ )。

Please determine the type of the planar four bar linkage. ( $a < b < c < d$ )

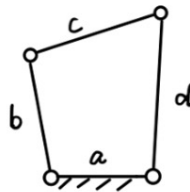
- A. Double crank 双曲柄机构
- B. Double rocker 双摇杆机构
- C. Crank rocker 曲柄摇杆机构
- D. Slider-crank 曲柄滑块机构
- E. Crank and oscillating block mechanism 曲柄摇块机构
- F. Double rotating block mechanism 双转块机构
- G. Double slider mechanism 双滑块机构
- H. Oscillating guide bar slider 摆动导杆滑块机构



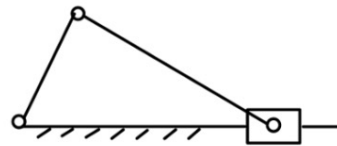
(1) \_\_\_\_\_



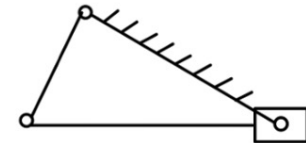
(2) \_\_\_\_\_



(3) \_\_\_\_\_



(4) \_\_\_\_\_



(5) \_\_\_\_\_

# 曲柄摇杆机构

- 在平面四杆机构的两连架杆中
  - 若一个为曲柄，而另一个为摇杆

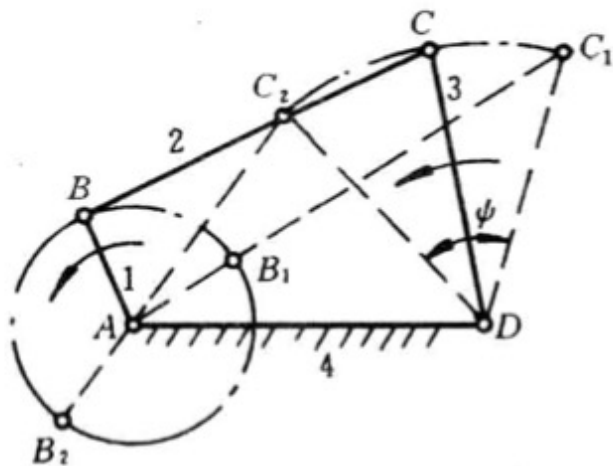
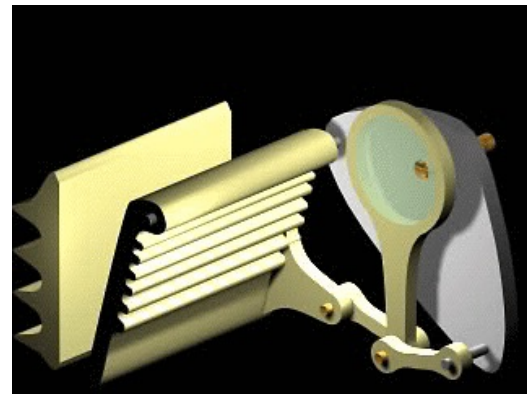
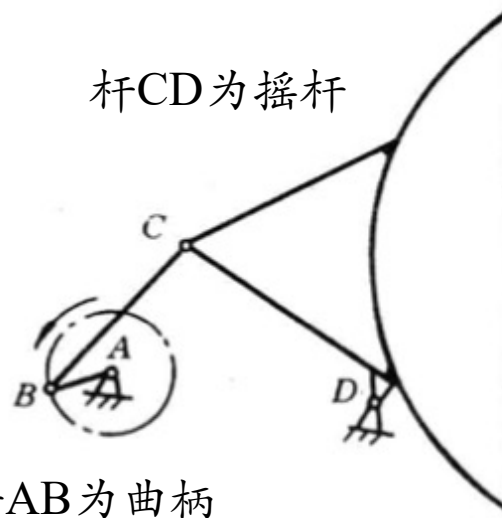


图 2-1 曲柄摇杆机构



杆CD为摇杆

杆AB为曲柄

图 2-2 雷达天线机构

利用了曲柄摇杆机构调节天线的俯仰角

# 取不同构件为机架

## • 机构的倒置

- 低副机构具有运动可逆性
- 无论哪一个构件为机架，机构中各构件间的相对运动不变，但选取不同构件为机架时，可得到不同形式的机构

### 曲柄摇杆机构

双曲柄机构

曲柄摇杆机构

双摇杆机构

### 曲柄滑块机构

曲柄转动导杆机构

曲柄摇块机构

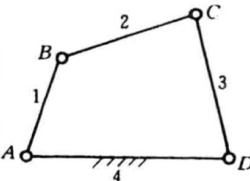
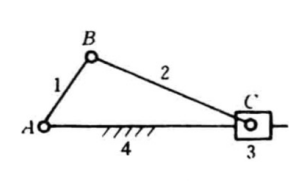
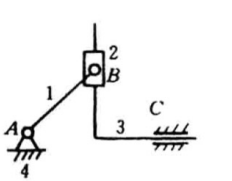
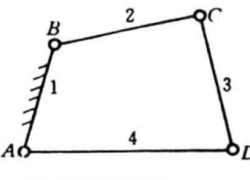
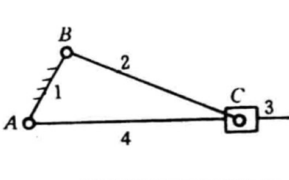
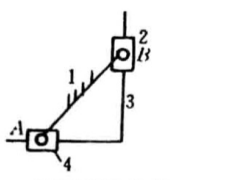
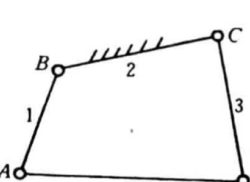
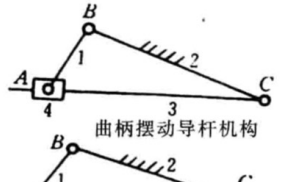
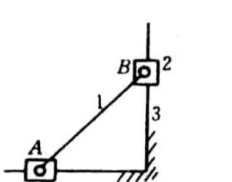
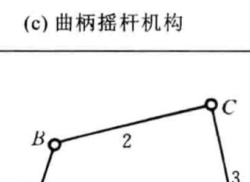
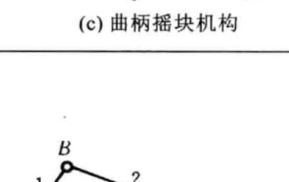
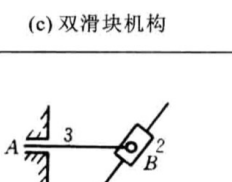
定块机构

### 曲柄移动导杆机构

双转块机构

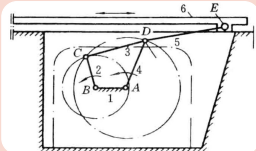
双滑块机构

摆动导杆滑块机构

I. 铰链四杆机构	II. 含有一个移动副的平面四杆机构	III. 含有两个移动副的平面四杆机构
 <p>(a) 曲柄摇杆机构</p>	 <p>(a) 曲柄滑块机构</p>	 <p>(a) 曲柄移动导杆机构</p>
 <p>(b) 双曲柄机构</p>	 <p>(b) 曲柄转动导杆机构</p>	 <p>(b) 双转块机构</p>
 <p>(c) 曲柄摇杆机构</p>	 <p>(c) 曲柄摇块机构</p>	 <p>(c) 双滑块机构</p>
 <p>(d) 双摇杆机构</p>	 <p>(d) 定块机构</p>	 <p>(d) 摆动导杆滑块机构</p>

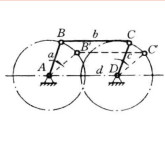
## 双曲柄机构

- 若平面四杆机构的两连架杆均为曲柄



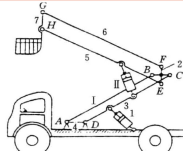
惯性筛双曲柄机构

当曲柄2等速回转时，另一曲柄4作变速回转，使筛子具有所需的加速度，再利用加速度所产生的惯性力，使大小不同的颗粒在筛上作往复运动，从而达到筛选的目的。



平行四边形机构

在双曲柄机构中，若两组对边的构件长度相等，则可得到平行四边形机构，由于这种机构两连架杆的运动完全相同，故连杆始终作平动。

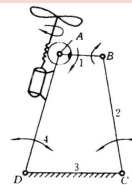


摄影车升降机构

利用平行四边形机构的连杆始终作平动的特点，使与连杆固结在一起的座椅始终保持水平位置，其升降高度的变化也是通过采用两套平行四边形机构来实现的。

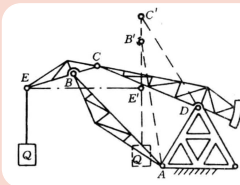
## 双摇杆机构

- 在平面四杆机构的两连架杆中
  - 若两连架杆均为摇杆



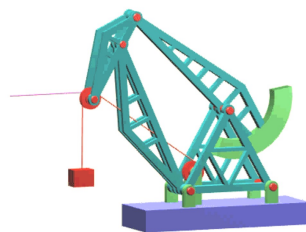
摇头风扇传动机构

电动机安装在摇杆4上，铰链A处装有一个与连杆1固连成一体的蜗轮，并与电动机轴上的蜗杆相啮合；电动机转动时，通过蜗杆和蜗轮迫使连杆1绕点A作整周转动，从而使连架杆2和4往复摆动，实现风扇摇头的目的。



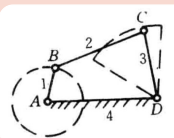
鹤式起重机

当摇杆AB摆动时，另一摇杆CD随之摆动，可使吊在连杆上E处的重物Q能沿近似水平直线移动。

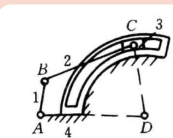


## 平面四杆机构的演变

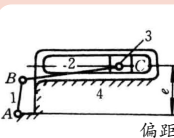
- 转动副转化成移动副
  - 含滑块的平面四杆机构均可看成由铰链四杆机构演变而成



摇杆3上点C的运动轨迹是以点D为圆心，以摇杆长度 $l_{CD}$ 为半径所作的圆弧。

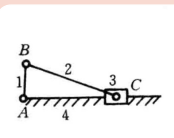


若改为如图所示的形式，则机构运动的特性完全一样。



偏置滑块机构

若此弧形槽的半径增至无穷大（即点D在无穷远处），则弧形槽变成直槽，转动副也就转化成移动副，此时构件3也就由摇杆变成了滑块。

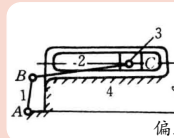


对心滑块机构

若滑块上的转动副中心的移动方位线通过曲柄的回转中心，称这种滑块机构为对心滑块机构。

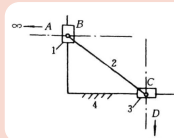
## 平面四杆机构的演变

- 含有两个移动副的四杆机构

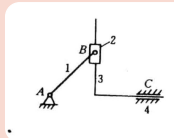


偏置滑块机构

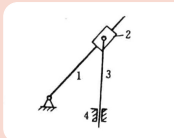
若此弧形槽的半径增至无穷大（即点D在无穷远处），则弧形槽变成直槽，转动副也就转化成移动副，此时构件3也就由摇杆变成了滑块。



如将点A移至无穷远处，则转动副A演变成移动副，得到双滑块机构。



也可将构件2与构件3之间的转动副C变成移动副，得到曲柄移动导杆机构（又称正弦机构）。

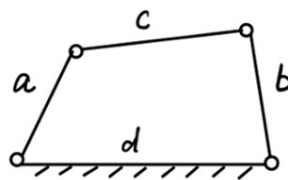


若将转动副B变成移动副，则可得到正切机构。

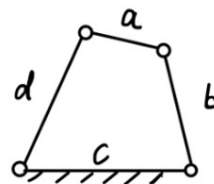
1. (10分) 请选择如下机构简图对应的平面四连杆机构类型 ( $a < b < c < d$ )。

Please determine the type of the planar four bar linkage. ( $a < b < c < d$ )

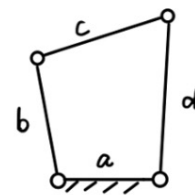
- A. Double crank 双曲柄机构
- B. Double rocker 双摇杆机构
- C. Crank rocker 曲柄摇杆机构
- D. Slider-crank 曲柄滑块机构
- E. Crank and oscillating block mechanism 曲柄摇块机构
- F. Double rotating block mechanism 双转块机构
- G. Double slider mechanism 双滑块机构
- H. Oscillating guide bar slider 摆动导杆滑块机构



(1) \_\_\_\_\_

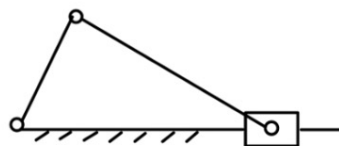


(2) \_\_\_\_\_

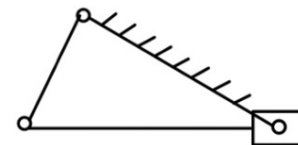


(3) \_\_\_\_\_

(1) C (2) B (3) A (4) D (5) E



(4) \_\_\_\_\_



(5) \_\_\_\_\_

2. (40 分) 机构是由许多构件组成的，每个构件都以一定的方式与某些构件相互连接，能产生相对运动。

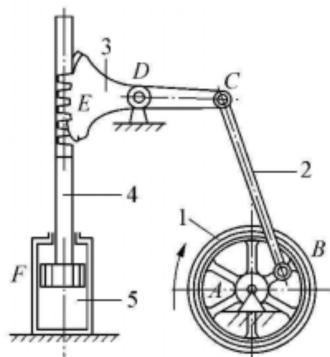
Mechanisms or linkages are made from many parts, and each part is connected to another through some joints, producing relative motion.

(1) (10 分) 请解释什么是机构中的高副和低副，并推导一个由  $K$  个构件组成的一般平面机构的自由度计算公式。

Explain what the higher joint pair and lower joint pair are in a linkage and derive the equation for calculating the degree of freedom of a common planar linkage made with  $K$  links.

(2) (10 分) 请绘制如图所示活塞泵的机构运动简图，并指出机架、主动件分别是哪些，明确主动件是否能进行周转，解释为什么在工程应用中主动件需要进行周转。

Draw the schematic diagram of the following pump, identify the base link and driving link, specify if the driving link can have full-cycle rotation, and explain why the driving link needs to rotate in full-cycle in engineering practice.



(3) (10 分) 请找出该机构中的两个四杆机构，指明哪个可以直接看作四杆机构，哪个可以看作等效四杆机构，两者之间运动的传递是通过什么来实现的。

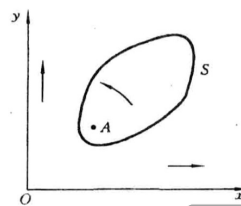
Identify two four-bar linkages based on this pump, identify which one can be viewed as a common planar four-bar linkage and which one can be viewed as an equivalent four-bar linkage, specify how the motion is transmitted between these two linkages.

(3) (10 分) 请计算该机构自由度并给出计算过程，明确低副、高副的数量。

Calculate the degree of freedom of this mechanism with calculation process and identify the number of lower and higher joint pairs in this mechanism.

## 机械的组成及运动副

### 运动副及其分类



这种相对于参考系构件所具有的独立运动称为构件的自由度

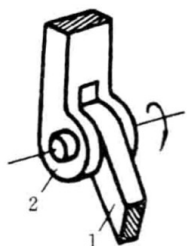
在坐标系中，构件可随其上任一点 A 沿 x 轴、y 轴方向移动和绕点 A 转动

一个作平面运动的自由构件有三个自由度

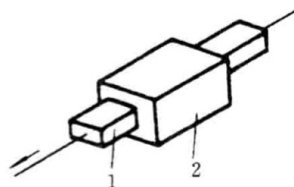
一个作平面运动的自由构件具有三个独立运动

- 机构是由许多构件组成的
  - 每个构件都以一定的方式与某些构件相互连接
  - 能产生相对运动
- 这种使两构件直接接触并能产生一定相对运动的连接称为运动副
  - 例如，轴与轴承的连接、活塞与汽缸的连接、传动齿轮中两个轮齿之间的连接等都构成运动副
- 构件组成运动副后，其独立运动受到约束，自由度便随之减少
  - 两构件组成的运动副，不外乎通过点、线或面的接触来实现
- 按照接触特性，通常把运动副分为低副和高副两类

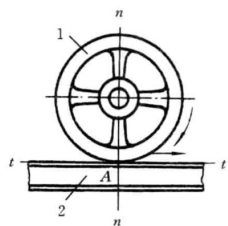
## 低副与高副



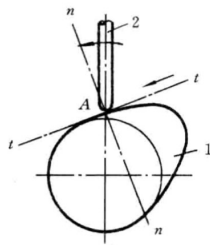
(a) 转动副



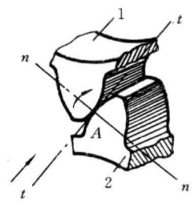
(b) 移动副



(a) 火车轮



(b) 凸轮



(c) 齿轮

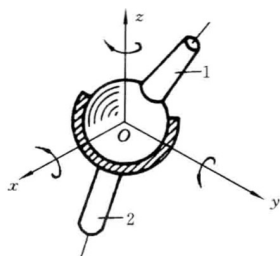
- **低副**：两构件通过面接触组成的运动副

- **转动副**：两构件只能在一个平面内相对转动
- **移动副**：两构件只能沿某一轴线相对移动

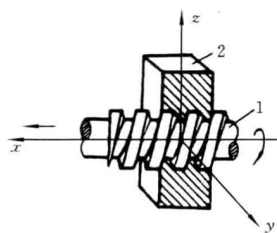
- **高副**：两构件通过点或线接触组成的运动副

- **空间运动副**：两构件间的相对运动是空间运动

- 球面副和螺旋副



(a) 球面副



(b) 螺旋副

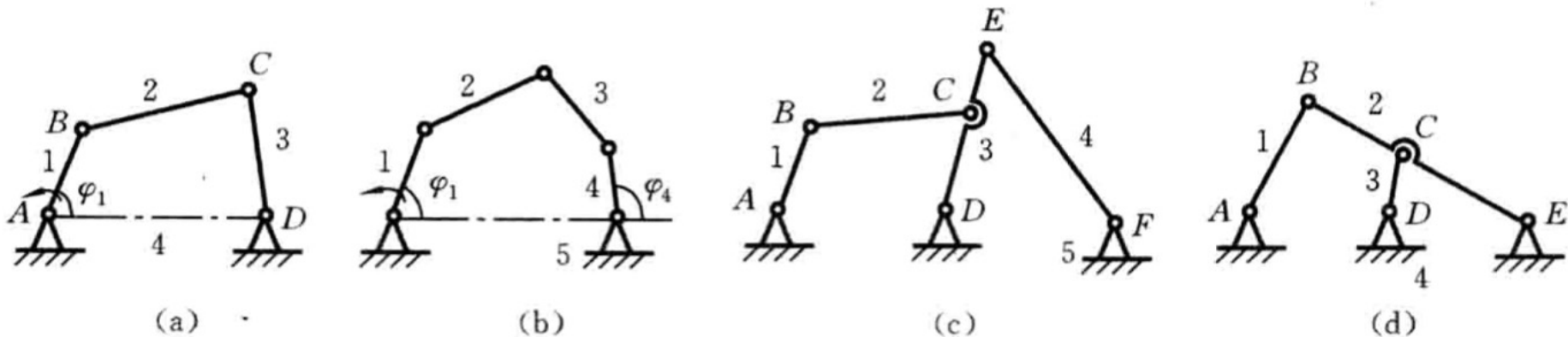


# 平面机构自由度的计算

- 活动构件的自由度总数 - 运动副引入的约束总数 = 该机构自由度

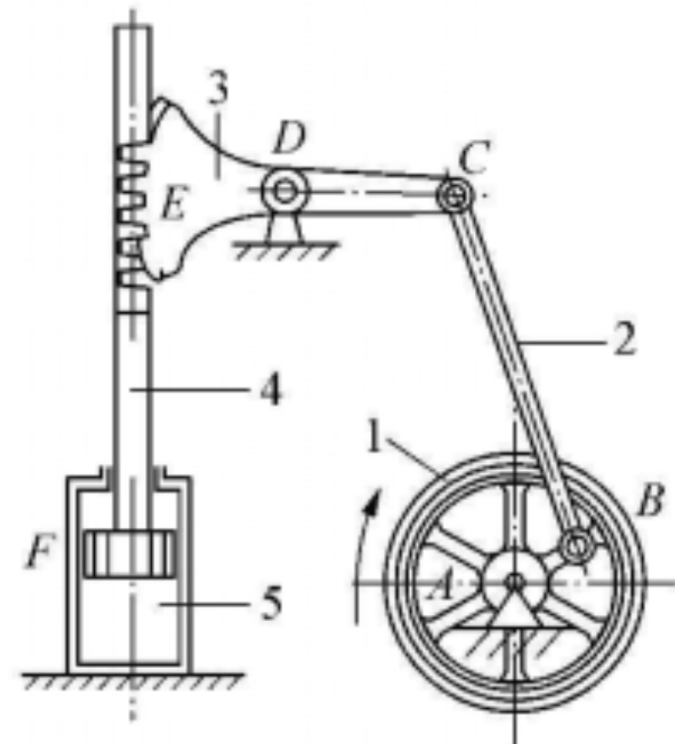
$$F = 3n - (2P_L + P_H) = 3(N - 1) - 2P_L - P_H$$

- 在一个平面机构中，若有  $N$  个构件，**除去机架后**，其余应为活动构件总数，即  $n = N - 1$ 
  - 这些活动构件在未组成运动副之前，其自由度总数为 3，当它们用运动副连接起来组成机构之后，机构中各构件具有的自由度数就减少了
- 若在平面机构中低副的数目为  $P_L$  个，高副的数目为  $P_H$  个，则机构中全部运动副所引入的约束总数为  $2P_L + P_H$



(2) (10 分) 请绘制如图所示活塞泵的机构运动简图，并指出机架、主动件分别是哪些，明确主动件是否能进行周转，解释为什么在工程应用中主动件需要进行周转。

Draw the schematic diagram of the following pump, identify the base link and driving link, specify if the driving link can have full-cycle rotation, and explain why the driving link needs to rotate in full-cycle in engineering practice.



(3) (10 分) 请找出该机构中的两个四杆机构，指明哪个可以直接看作四杆机构，哪个可以看作等效四杆机构，两者之间运动的传递是通过什么来实现的。

Identify two four-bar linkages based on this pump, identify which one can be viewed as a common planar four-bar linkage and which one can be viewed as an equivalent four-bar linkage, specify how the motion is transmitted between these two linkages.

(3) (10 分) 请计算该机构自由度并给出计算过程，明确低副、高副的数量。

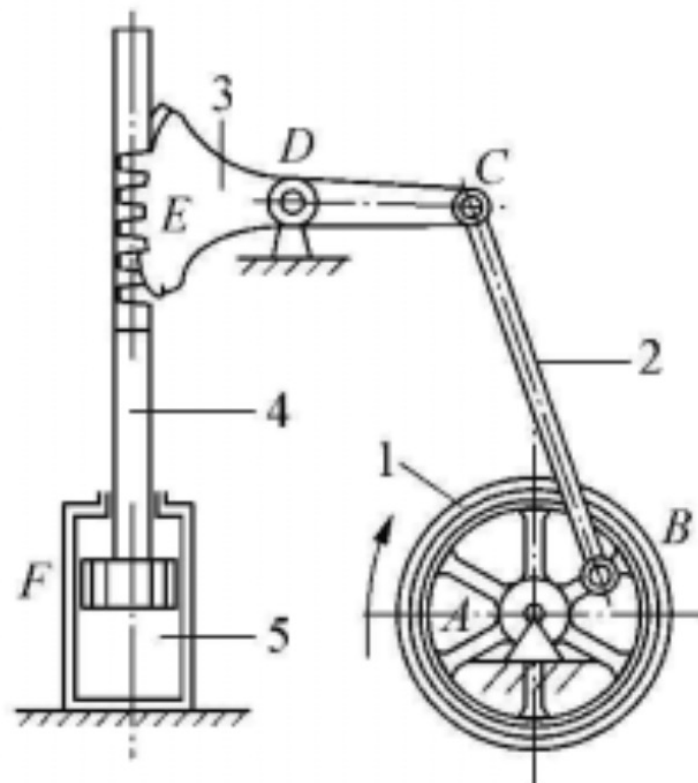
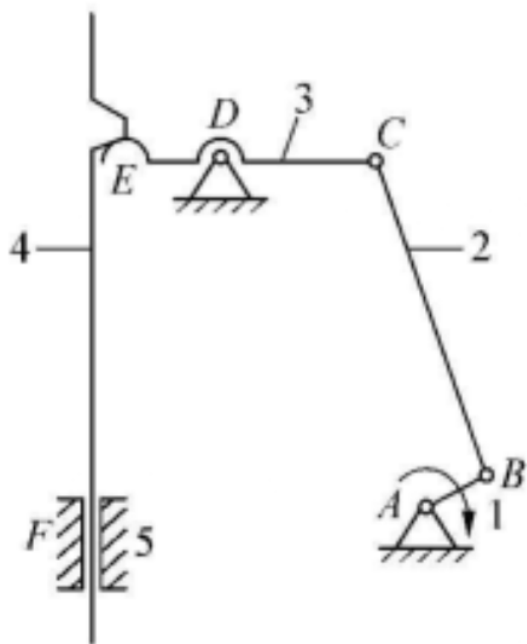
Calculate the degree of freedom of this mechanism with calculation process and identify the number of lower and higher joint pairs in this mechanism.

(4分) 绘制机构运动简图如下

(2分) 机架为标注阴影部分或者能说清, 主动件为连杆 1

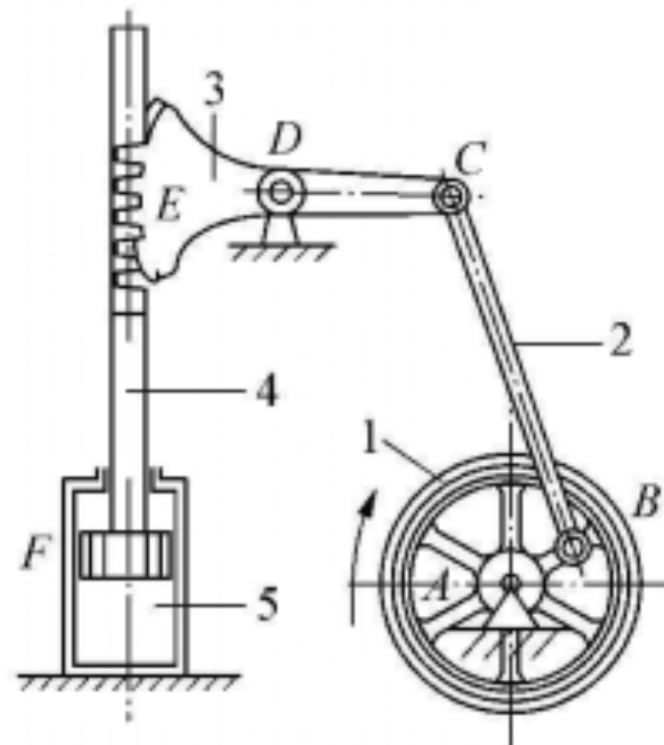
(2分) 主动件可以周转

(2分) 工程机械中因为自动化流水线作业需求, 需要设备可以连续运转, 往往需要主动件通过连续周转实现设备的连续运行, 故需要主动件能够连续周转 (或表达类似意思即可)



(2) (10 分) 请绘制如图所示活塞泵的机构运动简图，并指出机架、主动件分别是哪些，明确主动件是否能进行周转，解释为什么在工程应用中主动件需要进行周转。

Draw the schematic diagram of the following pump, identify the base link and driving link, specify if the driving link can have full-cycle rotation, and explain why the driving link needs to rotate in full-cycle in engineering practice.



(3) (10 分) 请找出该机构中的两个四杆机构，指明哪个可以直接看作四杆机构，哪个可以看作等效四杆机构，两者之间运动的传递是通过什么来实现的。

Identify two four-bar linkages based on this pump, identify which one can be viewed as a common planar four-bar linkage and which one can be viewed as an equivalent four-bar linkage, specify how the motion is transmitted between these two linkages.

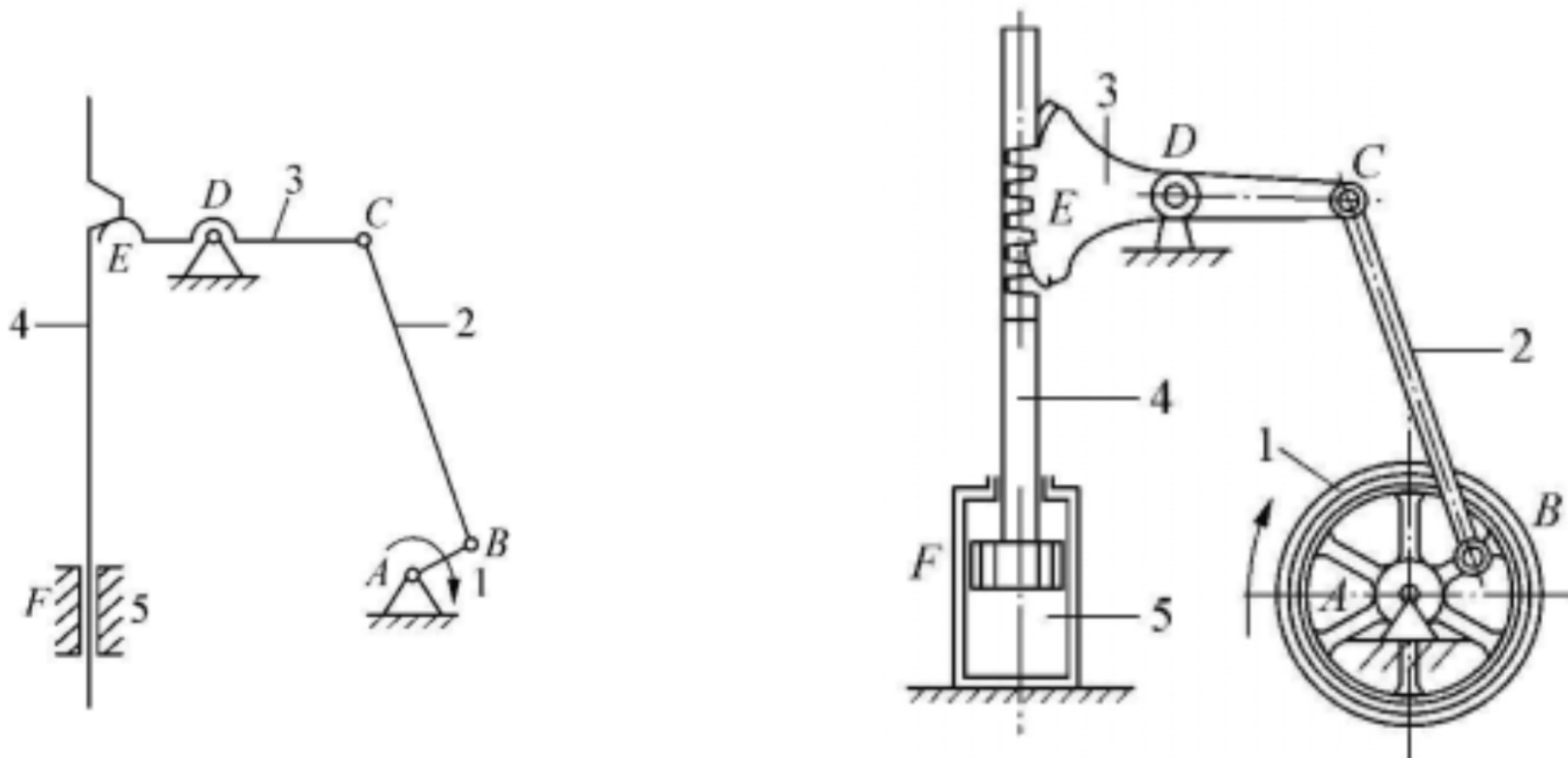
(3) (10 分) 请计算该机构自由度并给出计算过程，明确低副、高副的数量。

Calculate the degree of freedom of this mechanism with calculation process and identify the number of lower and higher joint pairs in this mechanism.

(4分) ABCD 铰链之间、DEF 之间的两个四杆机构

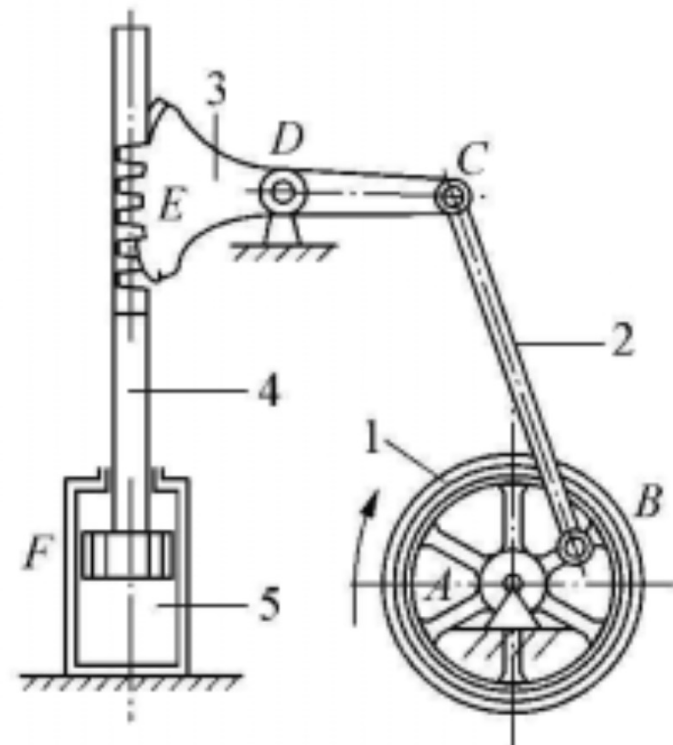
(4分) ABCD 铰链之间的直接看作四杆机构、DEF 之间的看作等效四杆机构

(2分) 两者之间运动的传递是通过连杆 3 (或铰链 D) 的杠杆运动传递的



(2) (10 分) 请绘制如图所示活塞泵的机构运动简图，并指出机架、主动件分别是哪些，明确主动件是否能进行周转，解释为什么在工程应用中主动件需要进行周转。

Draw the schematic diagram of the following pump, identify the base link and driving link, specify if the driving link can have full-cycle rotation, and explain why the driving link needs to rotate in full-cycle in engineering practice.



(3) (10 分) 请找出该机构中的两个四杆机构，指明哪个可以直接看作四杆机构，哪个可以看作等效四杆机构，两者之间运动的传递是通过什么来实现的。

Identify two four-bar linkages based on this pump, identify which one can be viewed as a common planar four-bar linkage and which one can be viewed as an equivalent four-bar linkage, specify how the motion is transmitted between these two linkages.

(3) (10 分) 请计算该机构自由度并给出计算过程，明确低副、高副的数量。

Calculate the degree of freedom of this mechanism with calculation process and identify the number of lower and higher joint pairs in this mechanism.

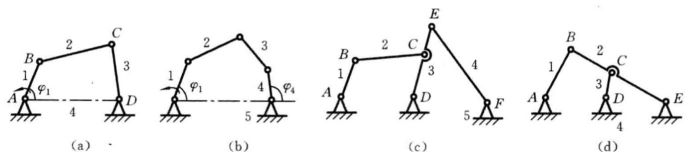
## 平面机构具有确定运动的条件

### 平面机构自由度的计算

- 活动构件的自由度总数 - 运动副引入的约束总数 = 该机构自由度

$$F = 3n - (2P_L + P_H) = 3(N - 1) - 2P_L - P_H$$

- 在一个平面机构中，若有  $N$  个构件，**除去机架后**，其余应为活动构件总数，即  $n = N - 1$ 
  - 这些活动构件在未组成运动副之前，其自由度总数为 3，当它们用运动副连接起来组成机构之后，机构中各构件具有的自由度数目就减少了
- 若在平面机构中低副的数目为  $P_L$  个，高副的数目为  $P_H$  个，则机构中全部运动副所引入的约束总数为  $2P_L + P_H$



(3分) 自由度计算正确

(3分) 给出计算过程

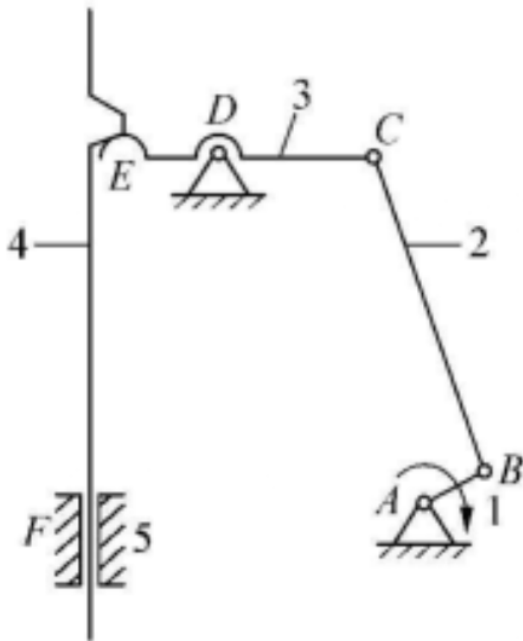
(4分) 给出低副、高副的数量

$$n = 4 \quad (2)$$

$$P_L = 5 \quad (2)$$

$$P_H = 1 \quad (2)$$

$$\begin{aligned} F &= 3n - (2P_L + P_H) \\ &= 3 \times 4 - (2 \times 5 + 1) \\ &= 1 \end{aligned} \quad (4)$$



3. (60 分) 有一热轧合金钢零件受弯曲变应力。已知弯曲变应力的平均应力  $\sigma_m=200\text{MPa}$ , 应力幅  $\sigma_a=100\text{MPa}$ , 材料的抗弯疲劳极限  $\sigma_0=800\text{MPa}$ ,  $\sigma_{-1}=500\text{MPa}$ , 屈服极限  $\sigma_s=750\text{MPa}$ , 零件应力集中系数  $K_\sigma=1.25$ , 尺寸系数  $\varepsilon_\sigma=0.625$ , 表面状态系数  $\beta=1$ , 取安全系数  $[S]=1.55$ 。

The average stress of the bending variable stress  $\sigma_m=200\text{MPa}$  and the stress amplitude  $\sigma_a=100\text{MPa}$ . The bending fatigue limit of the part  $\sigma_0=800\text{MPa}$ ,  $\sigma_{-1}=500\text{MPa}$ , the yield limit  $\sigma_s=750\text{MPa}$ , the stress concentration coefficient of the part  $K_\sigma=1.25$ , the dimensional coefficient  $\varepsilon_\sigma=0.625$ , and the surface condition coefficient  $\beta=1$ .

(1) (9 分) 解释什么是工作载荷、名义载荷、计算载荷, 三者分别有什么特点。

Explain what is working load, nominal load, computing load, and their characteristics.

(2) (10 分) 解释什么是变应力, 什么时候会产生变应力, 变应力有哪些种类, 分别有什么特点。

Explain what variable stress is, when it is generated, what are their types and characteristics.

(3) (10 分) 计算该问题中的变应力循环特征  $r$ , 并绘制其循环变应力示意图, 解释为什么机械设计时使用循环特征来表征运动性能。

Calculate the cyclic characteristic  $r$  of this variable stress, draw its schematic diagram, explain why we use this metric to describe a machine's motion characteristics.

(4) (21 分) 请计算并校核此零件是否安全, 并绘制其零件的极限应力图。

Calculate the safety factor of this part and check if it is safe, draw the part's ultimate stress diagram.

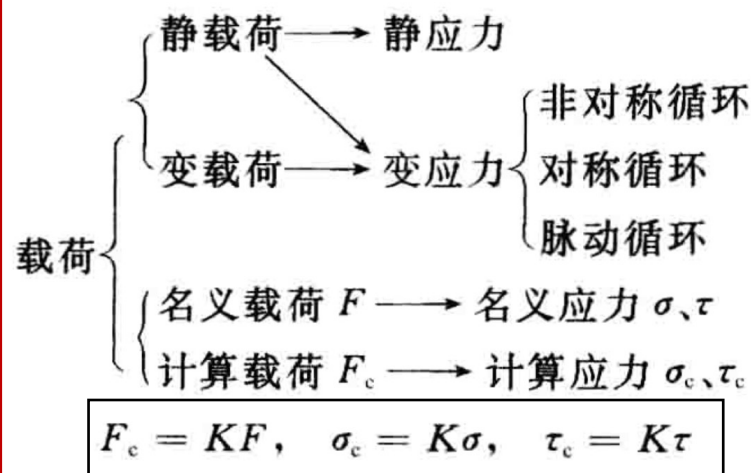
(5) (10 分) 假定此零件换为铸铁(脆性材料), 其他参数不变,  $\sigma_b = 750\text{MPa}$ , 请校核零件是否安全。

Assume that this part is replaced by cast iron (brittle material) with all other parameters unchanged and  $\sigma_b = 750\text{Mpa}$ , calculate the safety factor of this part and check if it is safe.



## 载荷和应力

- 工作载荷：正常工作时的实际载荷（难以测量）
- 名义载荷：理想工作条件下的载荷（查表估算）
- 为可靠起见，计算中的载荷值应计及零部件工作中所受的各种附加载荷，例如由于原动机、工作机或传动系统本身的振动而引起的附加载荷等等。这些附加载荷可通过动力学分析或实测确定
- 计算载荷：考虑附加载荷后的载荷值（便于计算）
  - 缺乏资料，可用一个载荷系数（K）对名义载荷（力F或转矩T）进行修正而得到近似的计算载荷（F）



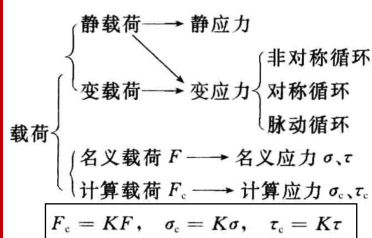
- 应力：在载荷作用下，机械零部件的剖面（或表面）上将产生应力
  - 不随时间而变化的应力为静应力，不断地随时间而变化的应力为变应力
  - 大多数机械零部件都是处于变应力状态下工作的
- 零件所受的载荷是静载荷还是变载荷较易判别，但在分析零件的应力时，容易出错，特别是零件承受静载荷时，不仅产生静应力，有时也能产生变应力。比如，承受静载荷的回转运动或周期运动的零件将产生变应力

(2) (10分) 解释什么是变应力, 什么时候会产生变应力, 变应力有哪些种类, 分别有什么特点。

Explain what variable stress is, when it is generated, what are their types and characteristics.

## 载荷和应力

- **工作载荷:** 正常工作时的实际载荷 (难以测量)
- **名义载荷:** 理想工作条件下的载荷 (查表估算)
- 为可靠起见, 计算中的载荷值应计及零部件工作中所受的各种附加载荷, 例如由于原动机、工作机或传动系统本身的振动而引起的附加载荷等等。这些附加载荷可通过动力学分析或实测确定
- **计算载荷:** 考虑附加载荷后的载荷值 (便于计算)
  - 缺乏资料, 可用一个载荷系数 (K) 对名义载荷 (力F或转矩T) 进行修正而得到近似的计算载荷 (F)

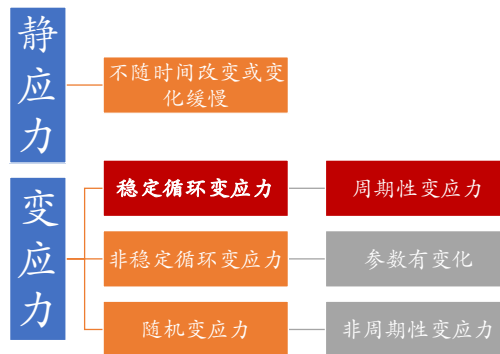
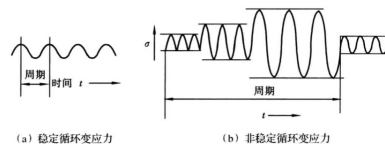


- **应力:** 在载荷作用下, 机械零部件的剖面 (或表面) 上将产生应力
  - 不随时间而变化的应力为静应力, 不断地随时间而变化的应力为变应力
  - 大多数机械零部件都是处于变应力状态下工作的
- 零件所受的载荷是静载荷还是变载荷较易判别, 但在分析零件的应力时, 容易出错, 特别是零件承受静载荷时, 不仅产生静应力, 有时也能产生变应力。比如, 承受静载荷的回转运动或周期运动的零件将产生变应力

## 变应力作用下的强度问题

- 作用在机械零部件上的载荷, 无论是静载荷还是变载荷, 均可能产生变应力
  - 在变应力作用下机械零部件的失效与在静应力下的完全不同, 因而, 其约束强度条件的计算方法也有明显的区别

### 变应力的种类和特点



3. (60 分) 有一热轧合金钢零件受弯曲变应力。已知弯曲变应力的平均应力  $\sigma_m=200\text{MPa}$ ，应力幅  $\sigma_a=100\text{MPa}$ ，材料的抗弯疲劳极限  $\sigma_0=800\text{MPa}$ ， $\sigma_{-1}=500\text{MPa}$ ，屈服极限  $\sigma_s=750\text{MPa}$ ，零件应力集中系数  $K_\sigma=1.25$ ，尺寸系数  $\varepsilon_\sigma=0.625$ ，表面状态系数  $\beta=1$ ，取安全系数  $[S]=1.55$ 。

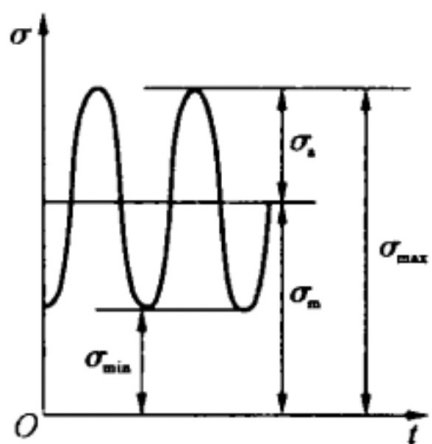
The average stress of the bending variable stress  $\sigma_m=200\text{MPa}$  and the stress amplitude  $\sigma_a=100\text{MPa}$ . The bending fatigue limit of the part  $\sigma_0=800\text{MPa}$ ,  $\sigma_{-1}=500\text{MPa}$ , the yield limit  $\sigma_s=750\text{MPa}$ , the stress concentration coefficient of the part  $K_\sigma=1.25$ , the dimensional coefficient  $\varepsilon_\sigma=0.625$ , and the surface condition coefficient  $\beta=1$ .

(3) (10 分) 计算该问题中的变应力循环特征  $r$ ，并绘制其循环变应力示意图，解释为什么机械设计时使用循环特征来表征运动性能。

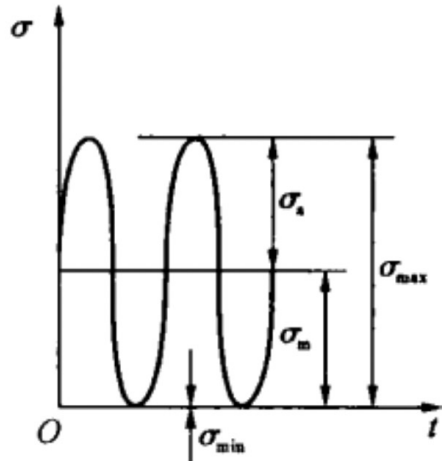
Calculate the cyclic characteristic  $r$  of this variable stress, draw its schematic diagram, explain why we use this metric to describe a machine's motion characteristics.

(2 分) 循环特征将原本不同机器变应力的多个最大最小绝对值转化为这些数值之间的相对关系，方便从变应力变化的角度，对不同机器的工况进行一个横向的比较，使得单一机器的循环特性、设计方法和设计结果可能可以迁移拓展到类似循环特性的设计场合。

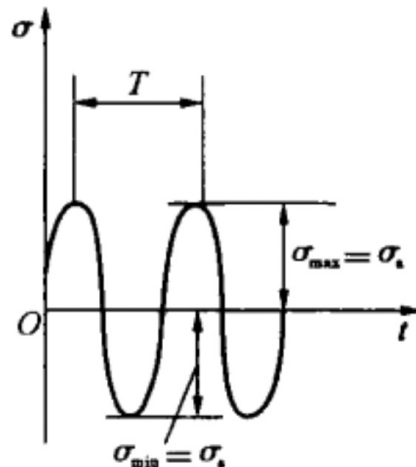
# 稳定循环变应力



非对称循环变应力



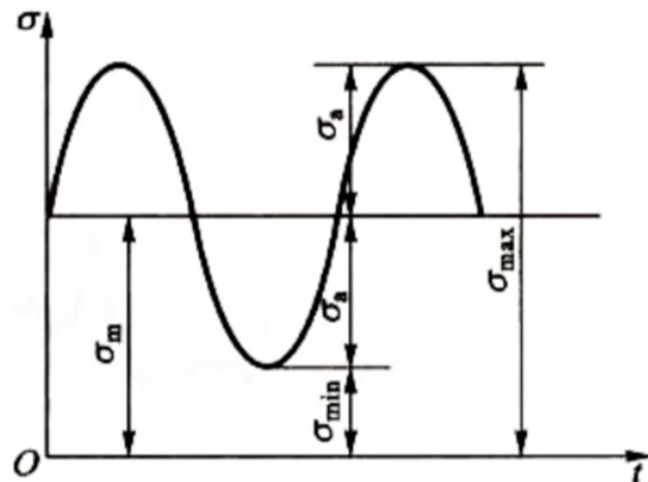
脉动循环变应力



对称循环变应力

- $\sigma_{\max}$ 、 $\sigma_{\min}$  分别为 **绝对值** 最大、最小的应力值
- $\sigma_{\max}$ 、 $\sigma_{\min}$  在横轴同侧时， $r$  取正号；否则取负号
- $\sigma_r$  表示循环特征为  $r$  的变应力

- $\sigma_{\max} = \sigma_m + \sigma_a$  最大应力
- $\sigma_{\min} = \sigma_m - \sigma_a$  最小应力
- $\sigma_a = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2}$  应力幅 (总为正)
- $\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2}$  平均应力
- $r = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}} = \frac{\sigma_m - \sigma_a}{\sigma_m + \sigma_a}$  循环特征:  $[-1, 1]$



3. (60 分) 有一热轧合金钢零件受弯曲变应力。已知弯曲变应力的平均应力  $\sigma_m=200\text{MPa}$ ，应力幅  $\sigma_a=100\text{MPa}$ ，材料的抗弯疲劳极限  $\sigma_0=800\text{MPa}$ ， $\sigma_{-1}=500\text{MPa}$ ，屈服极限  $\sigma_s=750\text{MPa}$ ，零件应力集中系数  $K_\sigma=1.25$ ，尺寸系数  $\varepsilon_\sigma=0.625$ ，表面状态系数  $\beta=1$ ，取安全系数  $[S]=1.55$ 。

The average stress of the bending variable stress  $\sigma_m=200\text{MPa}$  and the stress amplitude  $\sigma_a=100\text{MPa}$ . The bending fatigue limit of the part  $\sigma_0=800\text{MPa}$ ,  $\sigma_{-1}=500\text{MPa}$ , the yield limit  $\sigma_s=750\text{MPa}$ , the stress concentration coefficient of the part  $K_\sigma=1.25$ , the dimensional coefficient  $\varepsilon_\sigma=0.625$ , and the surface condition coefficient  $\beta=1$ .

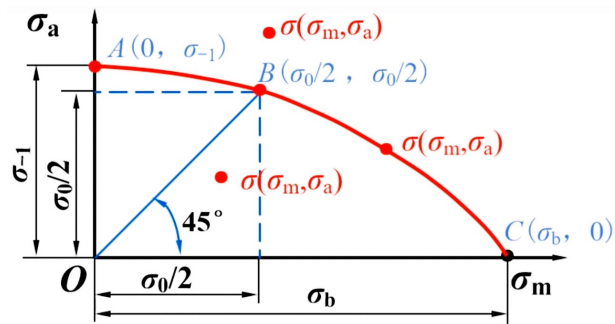
(4) (21 分) 请计算并校核此零件是否安全，并绘制其零件的极限应力图。

Calculate the safety factor of this part and check if it is safe, draw the part's ultimate stress diagram.

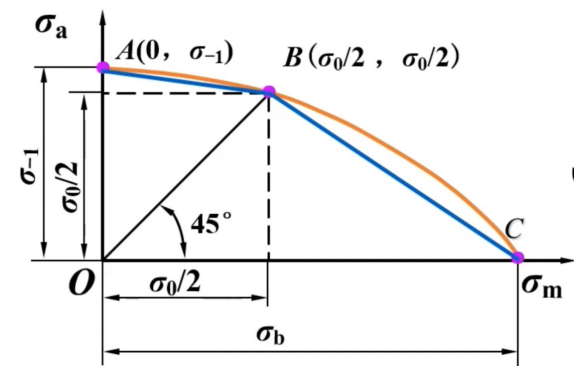
# 机械设计中的强度问题

“零件失效形式→受力分析→强度计算→结构设计”

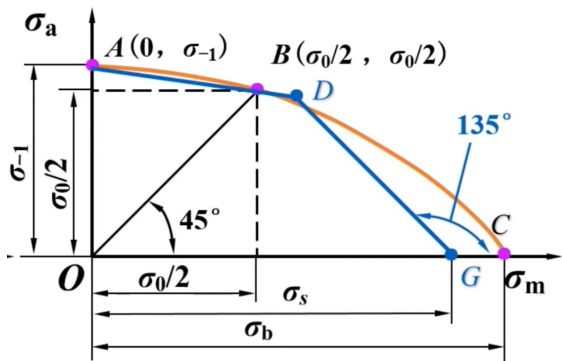
# 极限应力图的演变与应用



真实测量的  
材料极限应力图



简化的  
材料极限应力图



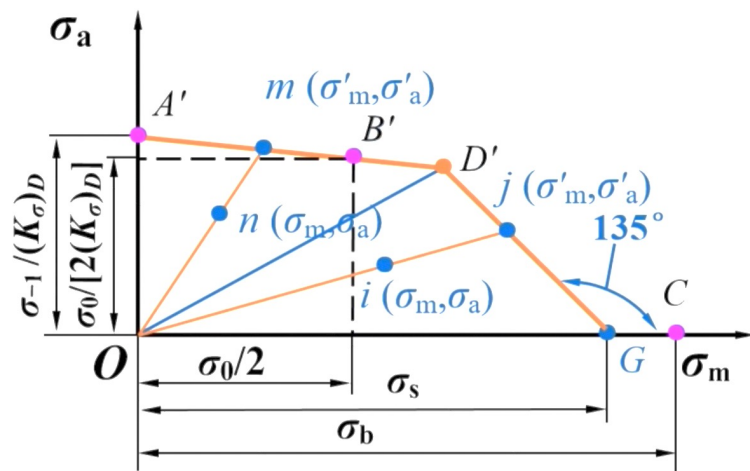
塑性材料简化的  
材料极限应力图

OA'D': 塑性材料零件的疲劳安全区

$$S_\sigma = \frac{\sigma_{\text{lim}}}{\sigma_{\text{max}}} = \frac{\sigma_r}{\sigma_m + \sigma_a} = \frac{\sigma_{-1}}{(K_\sigma)_D \sigma_a + \psi_\sigma \sigma_m} \geq [S]$$

OD'G': 塑性材料零件的塑性安全区

$$S_\sigma = \frac{\sigma_{\text{lim}}}{\sigma_{\text{max}}} = \frac{\sigma_s}{\sigma_m + \sigma_a} \geq [S]$$



考虑应力集中、绝对尺寸表面状态后  
塑性材料零件的  
极限应力图

3. (60 分) 有一热轧合金钢零件受弯曲变应力。已知弯曲变应力的平均应力  $\sigma_m=200\text{MPa}$ ，应力幅  $\sigma_a=100\text{MPa}$ ，材料的抗弯疲劳极限  $\sigma_0=800\text{MPa}$ ， $\sigma_{-1}=500\text{MPa}$ ，屈服极限  $\sigma_s=750\text{MPa}$ ，零件应力集中系数  $K_\sigma=1.25$ ，尺寸系数  $\epsilon_\sigma=0.625$ ，表面状态系数  $\beta=1$ ，取安全系数  $[S]=1.55$ 。

The average stress of the bending variable stress  $\sigma_m=200\text{MPa}$  and the stress amplitude  $\sigma_a=100\text{MPa}$ . The bending fatigue limit of the part  $\sigma_0=800\text{MPa}$ ,  $\sigma_{-1}=500\text{MPa}$ , the yield limit  $\sigma_s=750\text{MPa}$ , the stress concentration coefficient of the part  $K_\sigma=1.25$ , the dimensional coefficient  $\epsilon_\sigma=0.625$ , and the surface condition coefficient  $\beta=1$ .

机械设计中的强度问题

26

### 塑性材料零件的极限应力图

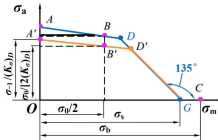
• **应力集中**: 在零件剖面的几何形状突然变化的情况 (如孔、圆角、键槽、螺紋等) 下, 局部应力远大于名义应力的现象

考虑应力集中、绝对尺寸、表面状态时的极限应力, 引入**综合影响系数**

$$(K_\sigma)_D = \frac{K_\sigma}{\epsilon_\sigma \beta}$$

$$(K_\tau)_D = \frac{K_\tau}{\epsilon_\tau \beta}$$

由试验得知, 应力集中、绝对尺寸和表面状态**只对变应力的应力幅部分产生影响**



• **绝对尺寸**: 其他条件相同 (包括剖面上的应力大小) 时, 零件剖面的绝对尺寸越大, 其疲劳极限就越低。这是由于尺寸大时, 材料晶粒粗, 出现缺陷的概率多和机加工后表面冷作硬化层 (对提高疲劳强度相对有利) 相对较薄。

• 引入**绝对尺寸系数**  $\epsilon_\sigma, \epsilon_\tau$

• **表面状态**: 其他条件相同时, 改善零件表面光滑程度或进行强化处理 (如喷丸、表面热处理、表面化学处理等), 都可以提高机械零件的疲劳强度

• 引入**表面状态系数**  $\beta$

机械设计中的强度问题

27

### 塑性材料零件的极限应力图

考虑应力集中、绝对尺寸、表面状态时的极限应力

- OAD': 零件的疲劳安全区
- OD'G': 零件的塑性安全区

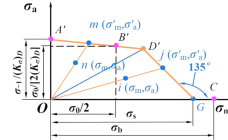
$$(K_\sigma)_D = \frac{K_\sigma}{\epsilon_\sigma \beta}$$

$$(K_\tau)_D = \frac{K_\tau}{\epsilon_\tau \beta}$$

- OD' 对应的循环特征

$$r_{D'} = \frac{[(K_\sigma)_D + \psi_\sigma] \sigma_s - 2\sigma_{-1}}{[(K_\sigma)_D - \psi_\sigma] \sigma_s}$$

由试验得知, 应力集中、绝对尺寸和表面状态**只对变应力的应力幅部分产生影响**



- 对于塑性材料, 零件的极限应力  $\sigma_r$

- 当  $r < r_{D'}$  时,  $\sigma_r = \frac{\sigma_{-1}(\sigma_a + \sigma_m)}{(K_\sigma)_D \sigma_a + \psi_\sigma \sigma_m}$
- 当  $r \geq r_{D'}$  时,  $\sigma_r = \sigma_s$
- $\psi_\sigma = \frac{2\sigma_{-1} - \sigma_0}{\sigma_0}$

机械设计中的强度问题

28

### 塑性材料零件的安全系数及强度条件

- 计算安全系数:  $S_\sigma = \frac{\sigma_{lim}}{\sigma_{max}}$

- OAD': 塑性材料零件的疲劳安全区

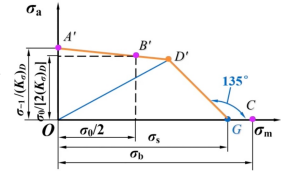
$$S_\sigma = \frac{\sigma_{lim}}{\sigma_{max}} = \frac{\sigma_r}{\sigma_m + \sigma_a} = \frac{\sigma_{-1}}{(K_\sigma)_D \sigma_a + \psi_\sigma \sigma_m} \geq [S]$$

$$\sigma_r = \frac{\sigma_{-1}(\sigma_a + \sigma_m)}{(K_\sigma)_D \sigma_a + \psi_\sigma \sigma_m}$$

- OD'G': 塑性材料零件的塑性安全区

$$S_\sigma = \frac{\sigma_{lim}}{\sigma_{max}} = \frac{\sigma_s}{\sigma_m + \sigma_a} \geq [S]$$

$$\sigma_r = \sigma_s$$



$$(K_\sigma)_D = \frac{K_\sigma}{\epsilon_\sigma \beta} = \frac{1.25}{0.625 \times 1} = 2 \quad (3pts)$$

$$\psi_\sigma = \frac{2\sigma_{-1} - \sigma_0}{\sigma_0} = \frac{2 \times 500 - 800}{800} = 0.25 \quad (3pts)$$

$$\frac{[(K_\sigma)_D + \psi_\sigma] \sigma_s - 2\sigma_{-1}}{[(K_\sigma)_D - \psi_\sigma] \sigma_s} = \frac{(2 + 0.25) \times 750 - 2 \times 500}{(2 - 0.25) \times 750} = 0.53 > r = 0.33 \quad (3pts)$$

3. (60 分) 有一热轧合金钢零件受弯曲变应力。已知弯曲变应力的平均应力  $\sigma_m=200\text{MPa}$ ，应力幅  $\sigma_a=100\text{MPa}$ ，材料的抗弯疲劳极限  $\sigma_0=800\text{MPa}$ ， $\sigma_{-1}=500\text{MPa}$ ，屈服极限  $\sigma_s=750\text{MPa}$ ，零件应力集中系数  $K_\sigma=1.25$ ，尺寸系数  $\varepsilon_\sigma=0.625$ ，表面状态系数  $\beta=1$ ，取安全系数  $[S]=1.55$ 。

The average stress of the bending variable stress  $\sigma_m=200\text{MPa}$  and the stress amplitude  $\sigma_a=100\text{MPa}$ . The bending fatigue limit of the part  $\sigma_0=800\text{MPa}$ ,  $\sigma_{-1}=500\text{MPa}$ , the yield limit  $\sigma_s=750\text{MPa}$ , the stress concentration coefficient of the part  $K_\sigma=1.25$ , the dimensional coefficient  $\varepsilon_\sigma=0.625$ , and the surface condition coefficient  $\beta=1$ .

经校核，设计安全

$$\therefore S_\sigma = \frac{\sigma_{-1}}{(K_\sigma)_D \sigma_a + \psi_\sigma \sigma_m} = \frac{500}{2 \times 100 + 0.25 \times 200} = 2 > 1.55 = [S] \quad (1\text{pts})$$

## 塑性材料零件的安全系数及强度条件

• 计算安全系数:  $S_\sigma = \frac{\sigma_{\text{lim}}}{\sigma_{\text{max}}}$

• OA'D': 塑性材料零件的疲劳安全区

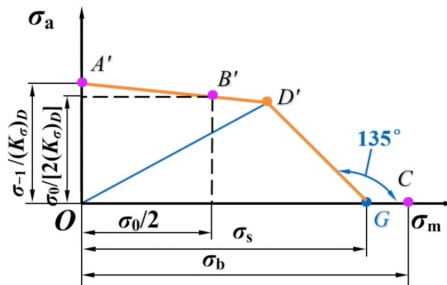
$$S_\sigma = \frac{\sigma_{\text{lim}}}{\sigma_{\text{max}}} = \frac{\sigma_r}{\sigma_m + \sigma_a} = \frac{\sigma_{-1}}{(K_\sigma)_D \sigma_a + \psi_\sigma \sigma_m} \geq [S]$$

$$\sigma_r = \frac{\sigma_{-1}(\sigma_a + \sigma_m)}{(K_\sigma)_D \sigma_a + \psi_\sigma \sigma_m}$$

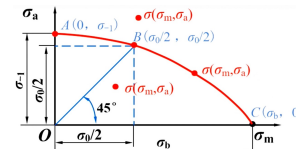
• OD'G': 塑性材料零件的塑性安全区

$$S_\sigma = \frac{\sigma_{\text{lim}}}{\sigma_{\text{max}}} = \frac{\sigma_s}{\sigma_m + \sigma_a} \geq [S]$$

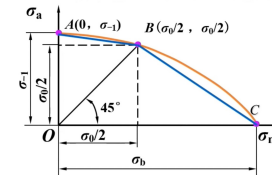
$$\sigma_r = \sigma_s$$



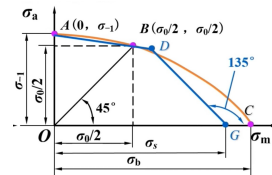
## 极限应力图的演变与应用



真实测量的材料极限应力图



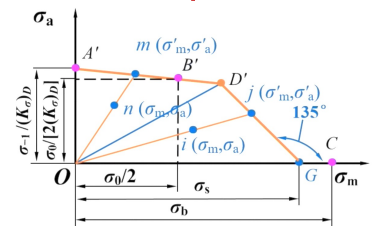
简化的材料极限应力图



塑性材料简化的材料极限应力图

OA'D': 塑性材料零件的疲劳安全区  
 $S_\sigma = \frac{\sigma_{\text{lim}}}{\sigma_{\text{max}}} = \frac{\sigma_r}{\sigma_m + \sigma_a} = \frac{\sigma_{-1}}{(K_\sigma)_D \sigma_a + \psi_\sigma \sigma_m} \geq [S]$

OD'G': 塑性材料零件的塑性安全区  
 $S_\sigma = \frac{\sigma_{\text{lim}}}{\sigma_{\text{max}}} = \frac{\sigma_s}{\sigma_m + \sigma_a} \geq [S]$



考虑应力集中、绝对尺寸表面状态后塑性材料零件的极限应力图



3. (60 分) 有一热轧合金钢零件受弯曲变应力。已知弯曲变应力的平均应力  $\sigma_m=200\text{MPa}$ ，应力幅  $\sigma_a=100\text{MPa}$ ，材料的抗弯疲劳极限  $\sigma_0=800\text{MPa}$ ， $\sigma_{-1}=500\text{MPa}$ ，屈服极限  $\sigma_s=750\text{MPa}$ ，零件应力集中系数  $K_\sigma=1.25$ ，尺寸系数  $\varepsilon_\sigma=0.625$ ，表面状态系数  $\beta=1$ ，取安全系数  $[S]=1.55$ 。

The average stress of the bending variable stress  $\sigma_m=200\text{MPa}$  and the stress amplitude  $\sigma_a=100\text{MPa}$ . The bending fatigue limit of the part  $\sigma_0=800\text{MPa}$ ,  $\sigma_{-1}=500\text{MPa}$ , the yield limit  $\sigma_s=750\text{MPa}$ , the stress concentration coefficient of the part  $K_\sigma=1.25$ , the dimensional coefficient  $\varepsilon_\sigma=0.625$ , and the surface condition coefficient  $\beta=1$ .

(5) (10 分) 假定此零件换为铸铁（脆性材料），其他参数不变， $\sigma_b = 750\text{MPa}$ ，请校核零件是否安全。

Assume that this part is replaced by cast iron (brittle material) with all other parameters unchanged and  $\sigma_b = 750 \text{ Mpa}$ , calculate the safety factor of this part and check if it is safe.

# 脆性材料的极限应力图

- 对于塑性很低的脆性材料，例如高强度钢和铸铁，其极限应力常用极限应力图中的AC直线来描述，可得这种材料的极限应力为

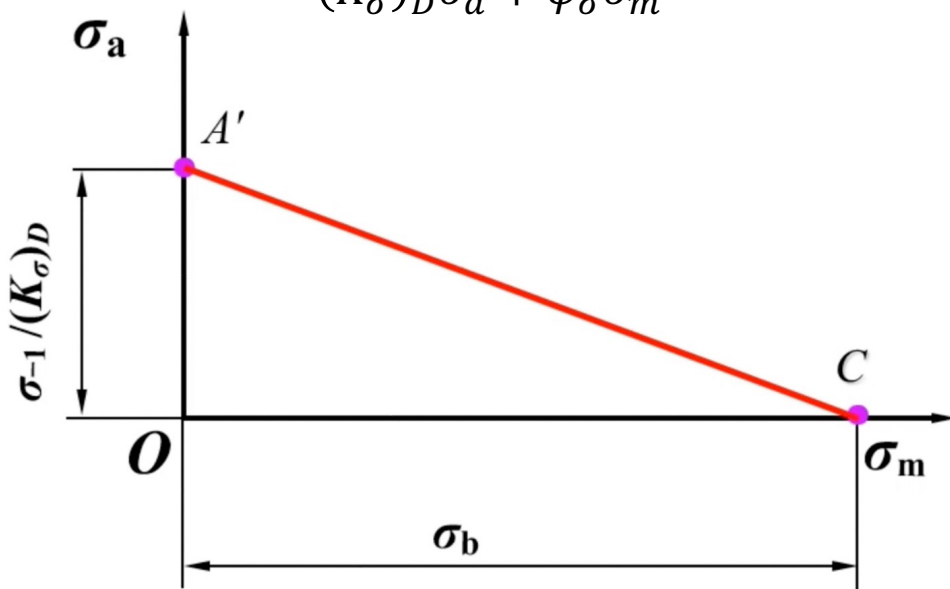
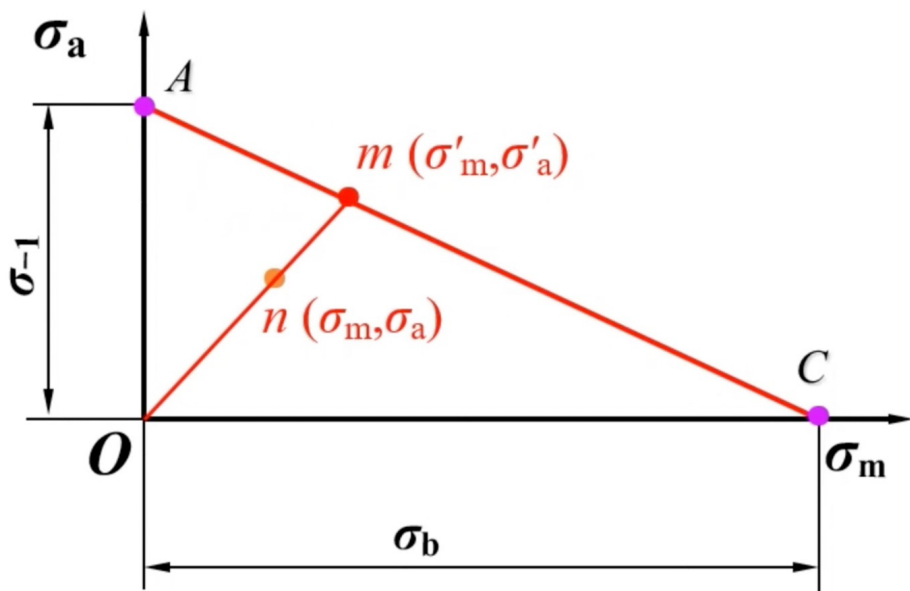
$$\sigma_r = \frac{\sigma_{-1}(\sigma_a + \sigma_m)}{\sigma_a + \psi_\sigma \sigma_m}, \text{ 等效系数 } \psi_\sigma = \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_b}$$

对于脆性材料零件，引入综合影响系数

$$\sigma_r = \frac{\sigma_{-1}(\sigma_a + \sigma_m)}{(K_\sigma)_D \sigma_a + \psi_\sigma \sigma_m}$$

脆性材料零件的安全系数及强度条件

$$S_\sigma = \frac{\sigma_{-1}}{(K_\sigma)_D \sigma_a + \psi_\sigma \sigma_m} \geq [S]$$



3. (60 分) 有一热轧合金钢零件受弯曲变应力。已知弯曲变应力的平均应力  $\sigma_m=200\text{MPa}$ ，应力幅  $\sigma_a=100\text{MPa}$ ，材料的抗弯疲劳极限  $\sigma_0=800\text{MPa}$ ， $\sigma_{-1}=500\text{MPa}$ ，屈服极限  $\sigma_s=750\text{MPa}$ ，零件应力集中系数  $K_\sigma=1.25$ ，尺寸系数  $\varepsilon_\sigma=0.625$ ，表面状态系数  $\beta=1$ ，取安全系数  $[S]=1.55$ 。

The average stress of the bending variable stress  $\sigma_m=200\text{MPa}$  and the stress amplitude  $\sigma_a=100\text{MPa}$ . The bending fatigue limit of the part  $\sigma_0=800\text{MPa}$ ,  $\sigma_{-1}=500\text{MPa}$ , the yield limit  $\sigma_s=750\text{MPa}$ , the stress concentration coefficient of the part  $K_\sigma=1.25$ , the dimensional coefficient  $\varepsilon_\sigma=0.625$ , and the surface condition coefficient  $\beta=1$ .

(5) (10 分) 假定此零件换为铸铁（脆性材料），其他参数不变， $\sigma_b = 750\text{MPa}$ ，请校核零件是否安全。

Assume that this part is replaced by cast iron (brittle material) with all other parameters unchanged and  $\sigma_b = 750 \text{ Mpa}$ , calculate the safety factor of this part and check if it is safe.

$$S_\sigma = \frac{\sigma_{-1}}{(K_\sigma)_D \sigma_a + \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_b} \sigma_m} \text{ (8pts)} = \frac{500}{2 \times 100 + \frac{500}{750} \times 200} = 1.5 < 1.55 = [S] \text{ (2pts)}$$



# ME311: 机械设计

## 2023年秋季

谢谢~

宋超阳  
南方科技大学