



石家莊鐵道大學
SHIJIAZHUANG TIEDAO UNIVERSITY

在线开放课程

轴

轴的强度计算（二）

主讲：范晓珂

目录

- 按弯扭合成校核轴的强度



按弯扭合成校核轴的强度

- 一般转轴按弯扭合成校核轴的强度
 - ①建立轴的简化力学模型
 - 按照水平面和垂直面分别分析轴上载荷
 - 在水平面和垂直面分别确定支点反力
 - 单独分析转矩
 - ②弯矩M分析
 - 根据水平面内的受力情况，作出水平面内的弯矩图 M_H
 - 根据垂直面内的受力情况，作出垂直面内的弯矩图 M_V
 - 作出合成弯矩图 $M = \sqrt{M_H^2 + M_V^2}$

按弯扭合成校核轴的强度

- 一般转轴按弯扭合成校核轴的强度

- ③转矩T分析

- ④按照当量弯矩校核轴的强度

- 确定危险截面

- 按照第三强度条件

- 危险截面上的当量弯矩 $M_e = \sqrt{M^2 + (\alpha T)^2}$

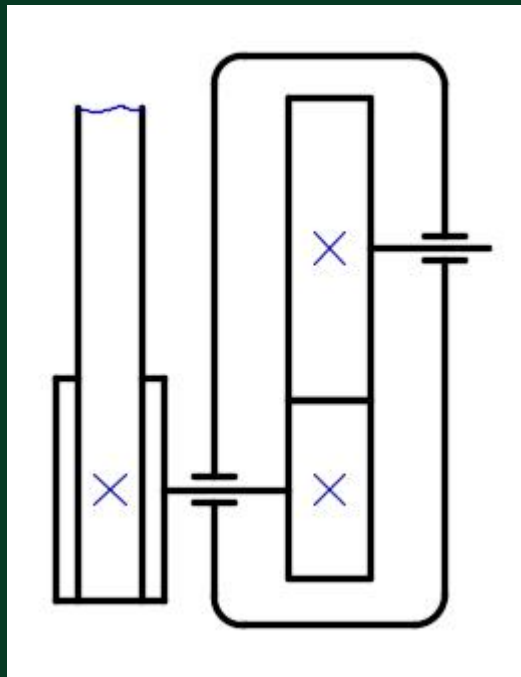
- 危险截面上的当量应力 $\sigma_e = \sqrt{\sigma^2 + 4(\alpha\tau)^2}$

- 折合系数 α : 考虑 σ_b 和 τ 的循环特性不同, $\alpha = \begin{cases} 0.3 & \text{(转矩不变)} \\ 0.6 & \text{(转矩脉动)} \\ 1 & \text{(频繁正反转)} \end{cases}$

- 强度条件 $\sigma_e \leq [\sigma_{-1}]$

例题14-3

- 设计减速器主动轴。
 - 轴端装有带轮
 - 带压轴力 $F_Q=1000\text{N}$
 - 输入功率 $P=5\text{kW}$
 - 输入轴转速 $n=520\text{r/min}$
 - 轴上斜齿圆柱齿轮传动
 - $b=60\text{mm}$
 - $z=40$
 - $m_n=3\text{mm}$
 - $\beta=8^\circ 24'$



例题14-3

- 1、选择轴的材料
 - 选择轴的材料为45号钢，调质处理，硬度217~255HBS。
查表得对称循环弯曲许用应力 $[\sigma_{-1}] = 60\text{MPa}$ 。

- 2、初步计算轴径

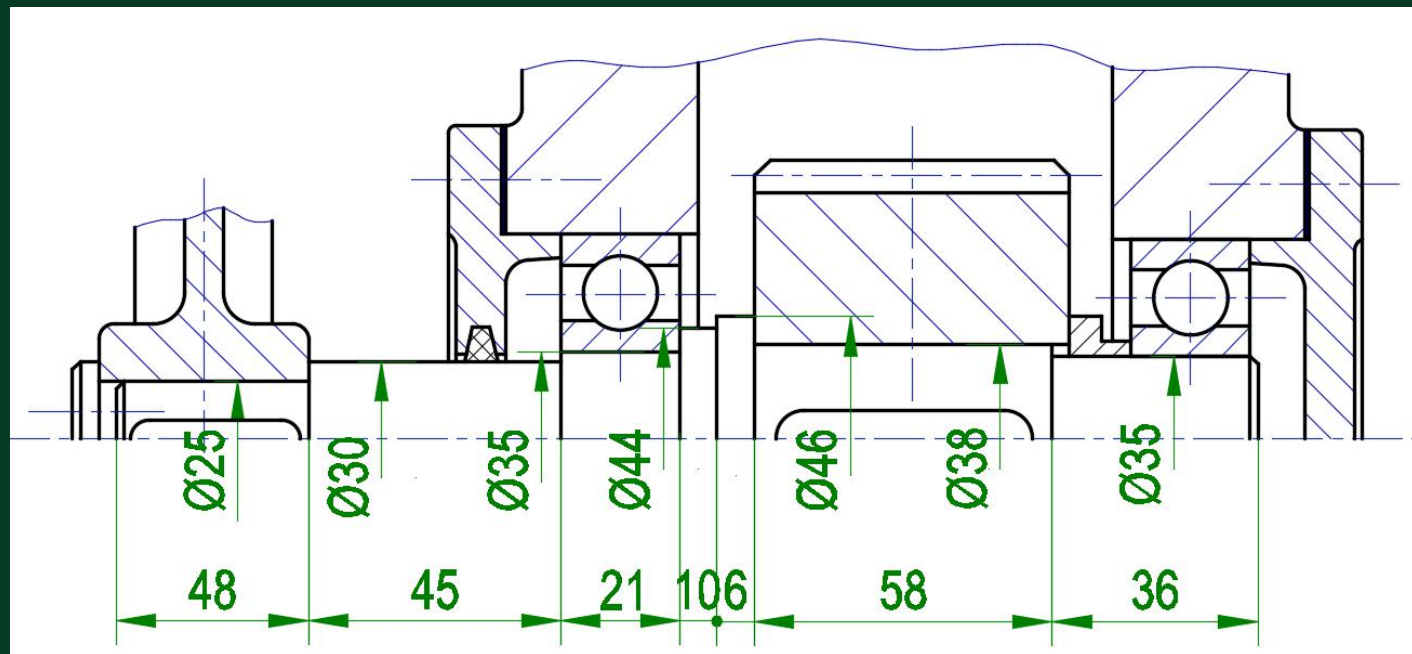
- 选 $A_0 = 105$
- 按传递的扭矩初步估算轴径，**作为最小直径**

$$d_{\min} = A_0 \sqrt[3]{\frac{P}{n}} = 105 \times \sqrt[3]{\frac{5}{520}} = 22.328\text{mm}$$

- 轴端安装带轮需开键槽，会削弱轴的强度，将轴径增加5%~7%，取 $d_{\min} = 23\text{mm}$ 。

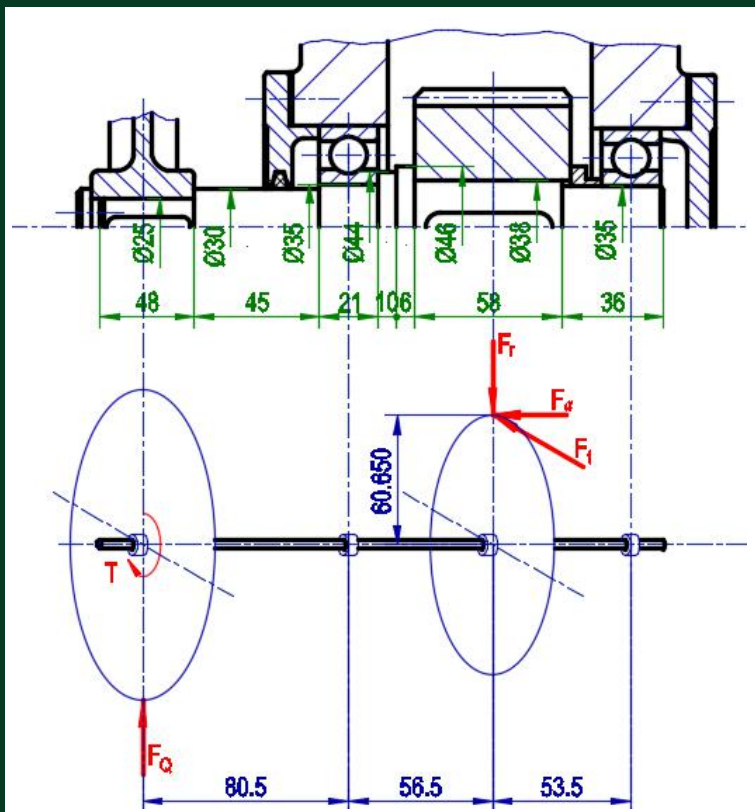
例题14-3

- 3、轴的结构设计



例题14-3

- 4、按弯扭合成校核轴的强度
 - 建立轴的力学模型
 - 将分布力简化为集中力，作用于载荷分布区域中心



例题14-3

- 4、按弯扭合成校核轴的强度

— 建立轴的力学模型

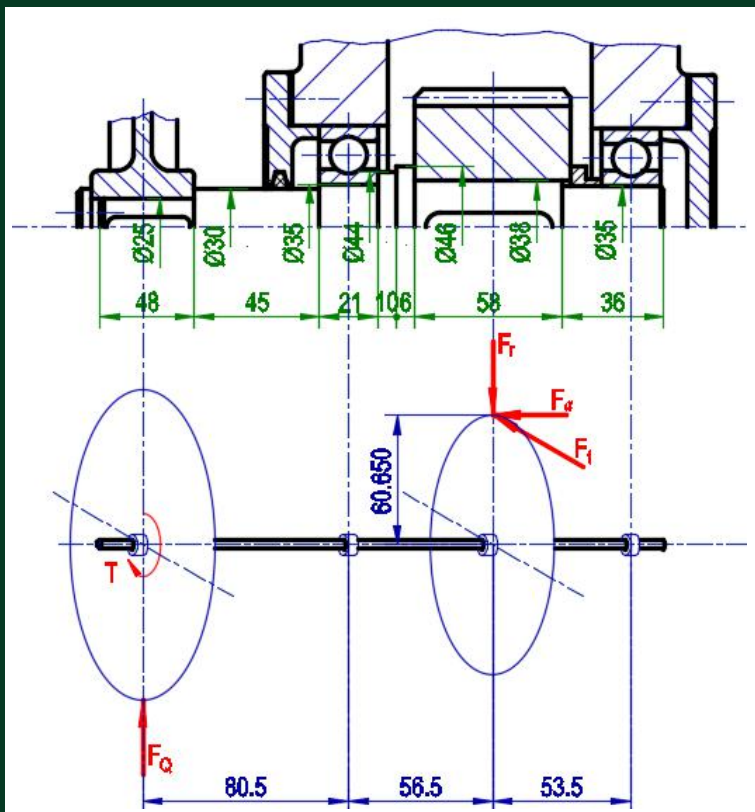
$$T = 9.55 \times 10^6 \frac{P}{n}$$

$$= 9.183 \times 10^4 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$= 91.83 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$F_t = \frac{2T}{d} = \frac{9.183 \times 10^4}{60.650}$$

$$= 1514.097 \text{ N}$$



例题14-3

- 4、按弯扭合成校核轴的强度

— 建立轴的力学模型

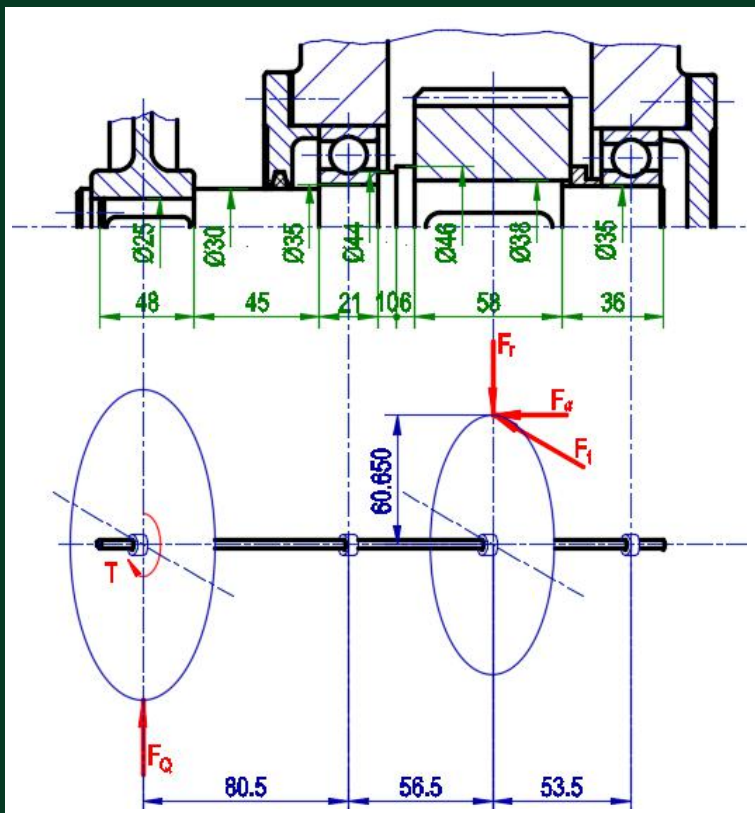
$$T = 91.83 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$F_t = 1514.097 \text{ N}$$

$$F_r = \frac{F_t \tan \alpha_n}{\cos \beta}$$

$$= \frac{1514.097 \times \tan 20^\circ}{\cos 8.4^\circ}$$

$$= 556.749 \text{ N}$$



例题14-3

4、按弯扭合成校核轴的强度

— 建立轴的力学模型

$$T = 91.83 \text{ N} \cdot \text{m}$$

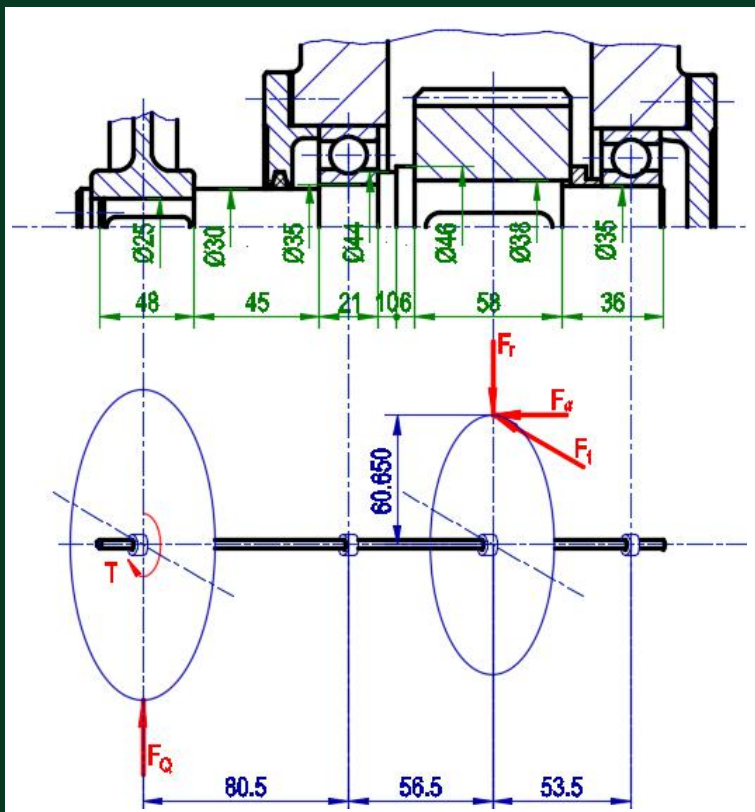
$$F_t = 1514.097 \text{ N}$$

$$F_r = 556.749 \text{ N}$$

$$F_a = F_t \tan \beta$$

$$= 1514.097 \times \tan 8.4^\circ$$

$$= 223.467 \text{ N}$$



例题14-3

4、按弯扭合成校核轴的强度

— 建立轴的力学模型

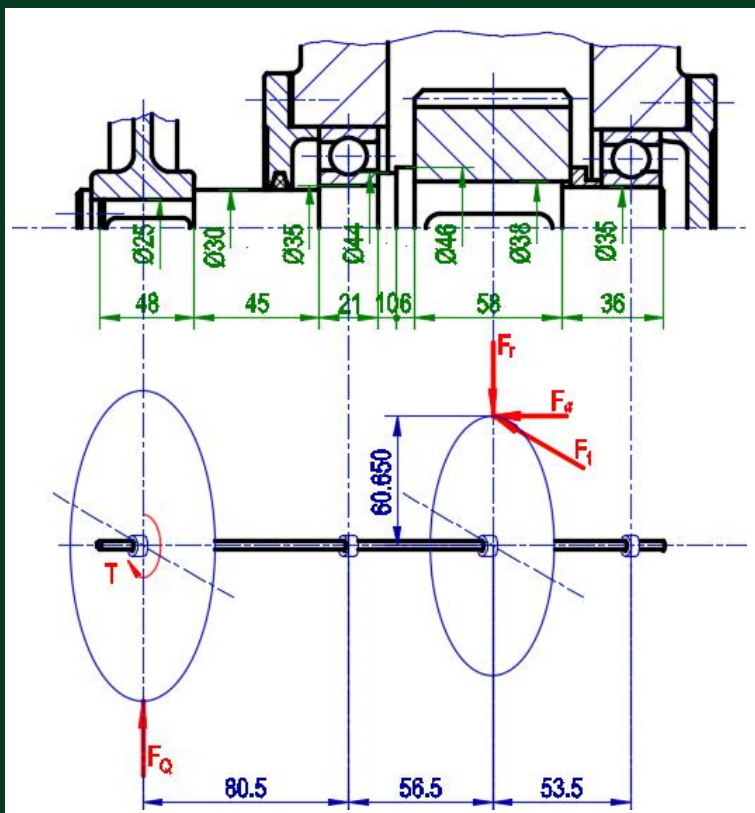
$$T = 91.83 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$F_t = 1514.097 \text{ N}$$

$$F_r = 556.749 \text{ N}$$

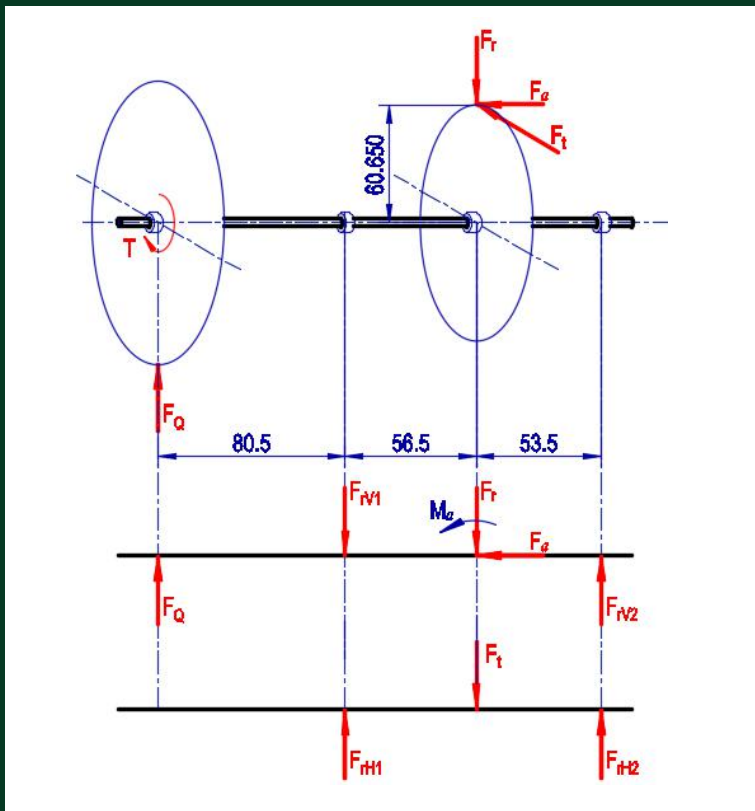
$$F_a = 223.467 \text{ N}$$

$$F_Q = 1000 \text{ N}$$



例题14-3

- 4、按弯扭合成校核轴的强度
 - 建立轴的力学模型
 - 将空间力系分解为轴向力、径向力和圆周力，并将力的作用点转化到轴上。
 - 分别在水平面和垂直面内进行分析。



例题14-3

4、按弯扭合成校核轴的强度

— 建立轴的力学模型

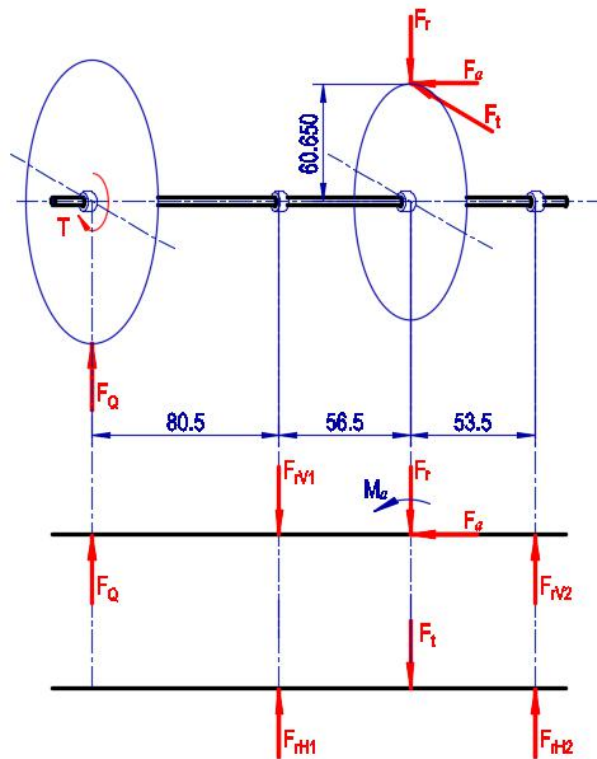
垂直面内

$$-190.5F_Q + 110F_{rV1} + 53.5F_r + M_a = 0$$

$$\text{解得 } F_{rV1} = 1337.854\text{N}$$

$$F_Q - F_{rV1} - F_r + F_{rV2} = 0$$

$$\text{解得 } F_{rV2} = 894.603\text{N}$$



例题14-3

4、按弯扭合成校核轴的强度

— 建立轴的力学模型

垂直面内

$$F_{rV1} = 1337.854\text{N}$$

$$F_{rV2} = 894.603\text{N}$$

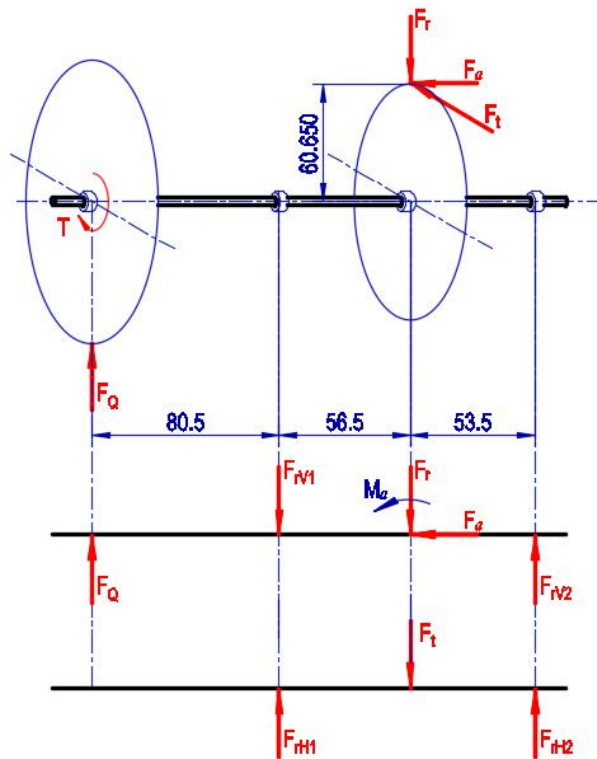
水平面内

$$-110F_{rH1} + 53.5F_t = 0$$

$$\text{解得 } F_{rH1} = 736.402\text{N}$$

$$F_{rH1} - F_t + F_{rH2} = 0$$

$$\text{解得 } F_{rH2} = 777.695\text{N}$$



例题14-3

4、按弯扭合成校核轴的强度

— 建立轴的力学模型

垂直面内

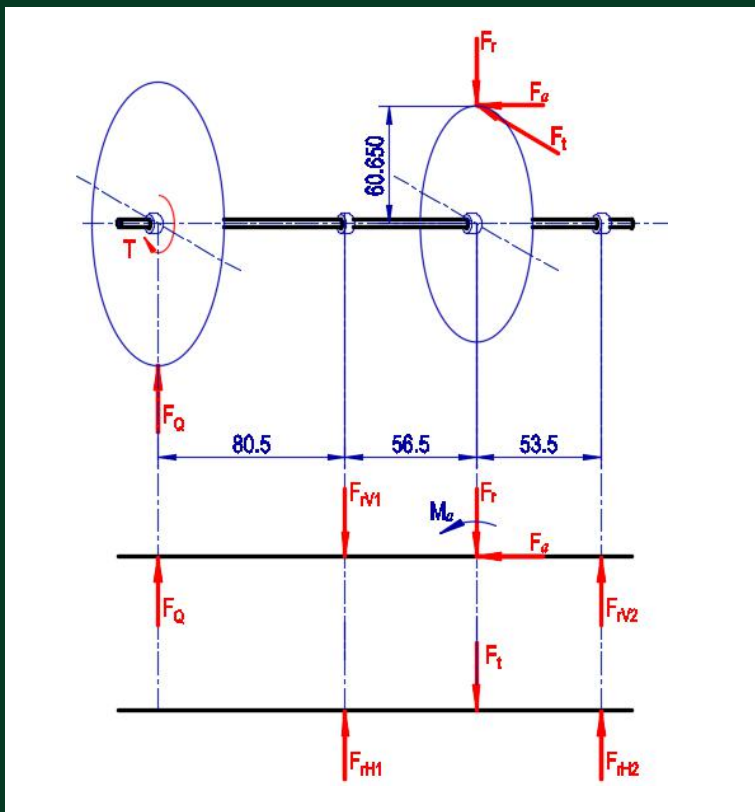
$$F_{rV1} = 1337.854N$$

$$F_{rV2} = 894.603N$$

水平面内

$$F_{rH1} = 736.402N$$

$$F_{rH2} = 777.695N$$



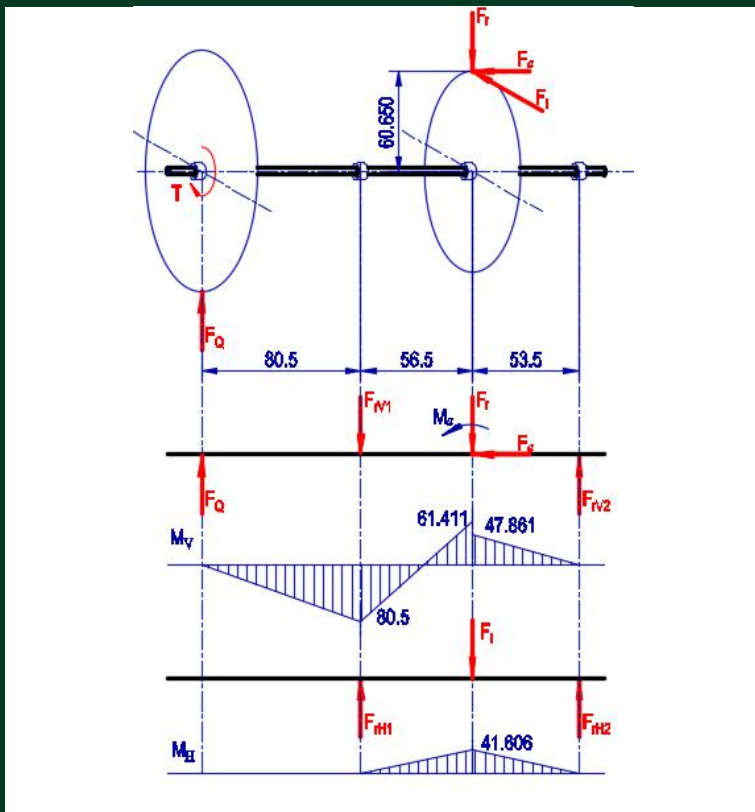
例题14-3

4、按弯扭合成校核轴的强度

— 弯、扭分析

• 弯矩M分析

垂直面内的弯矩 M_V 和水平面内的弯矩 M_H 如图。



例题14-3

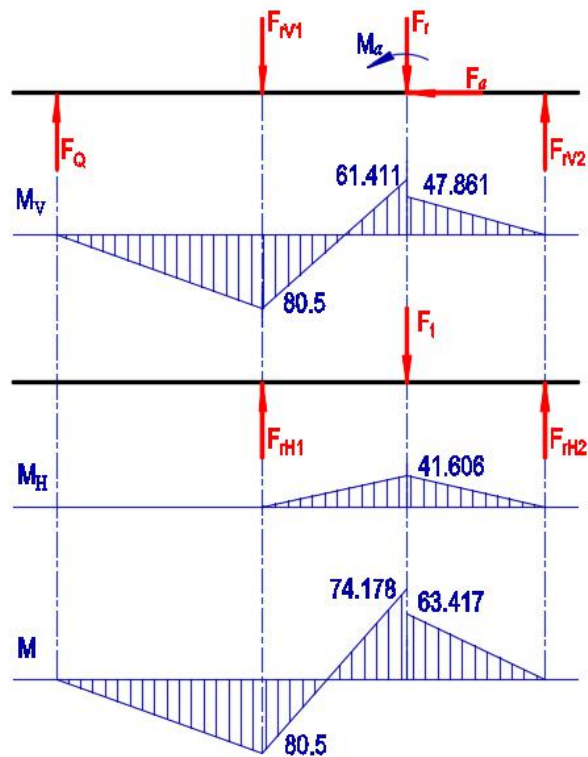
4、按弯扭合成校核轴的强度

— 弯、扭分析

• 弯矩M分析

垂直面内的弯矩 M_V 和水平面内的弯矩 M_H 如图。

合成弯矩 M 如图。



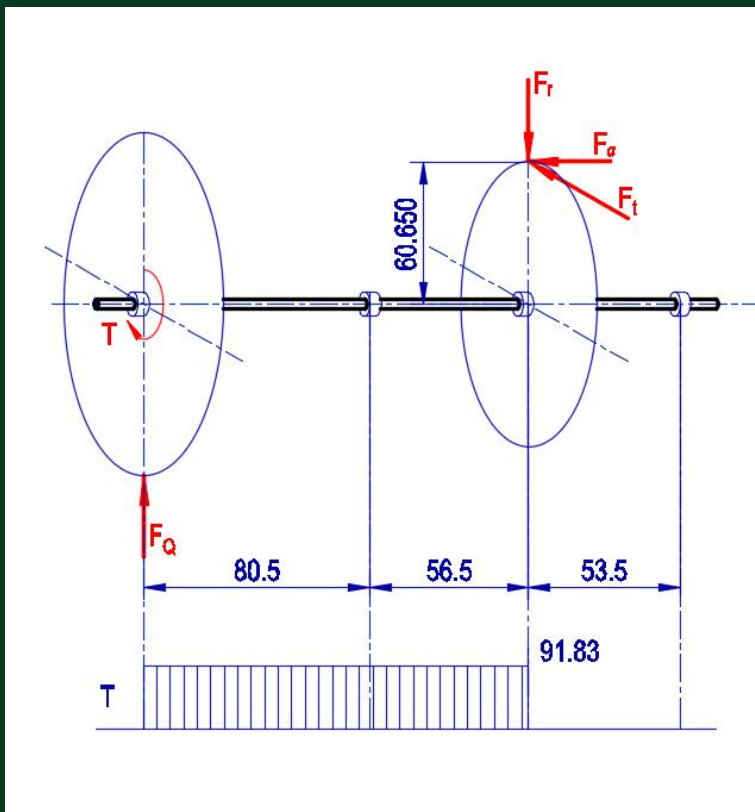
例题14-3

4、按弯扭合成校核轴的强度

— 弯、扭分析

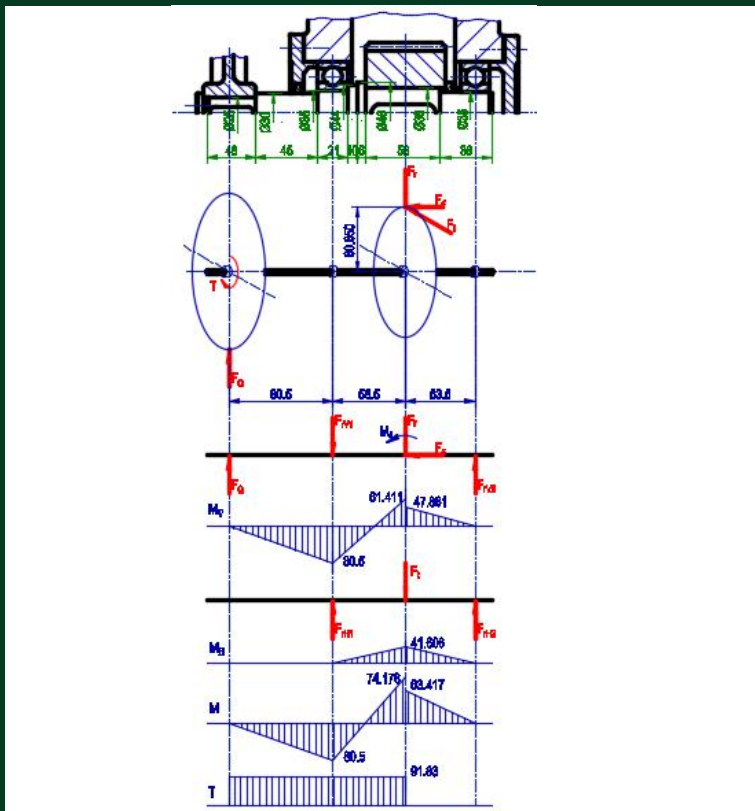
- 弯矩M分析
- 扭矩T分析

— 扭矩如图



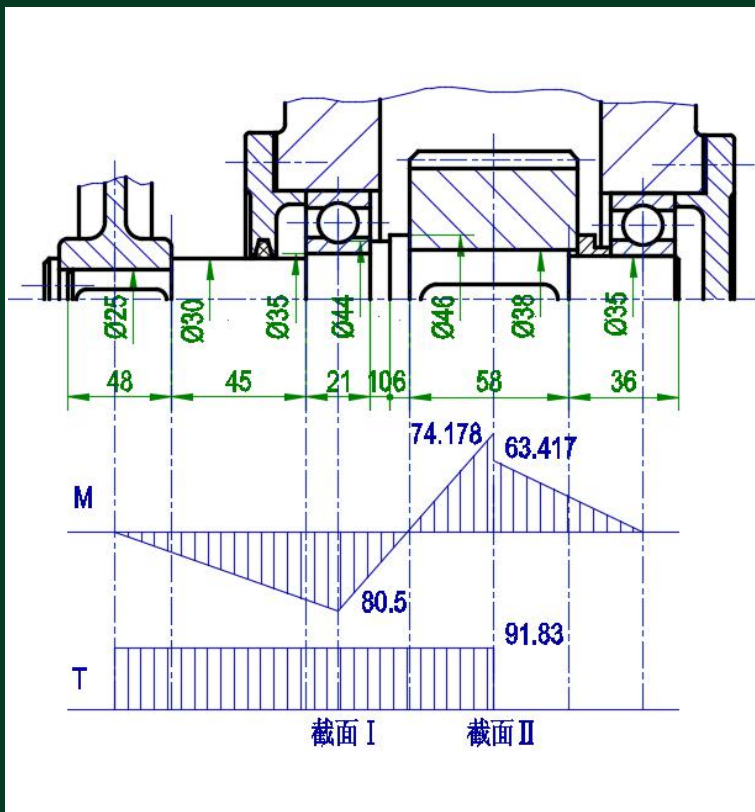
例题14-3

- 4、按弯扭合成校核轴的强度
 - 弯、扭分析
 - 结果如图



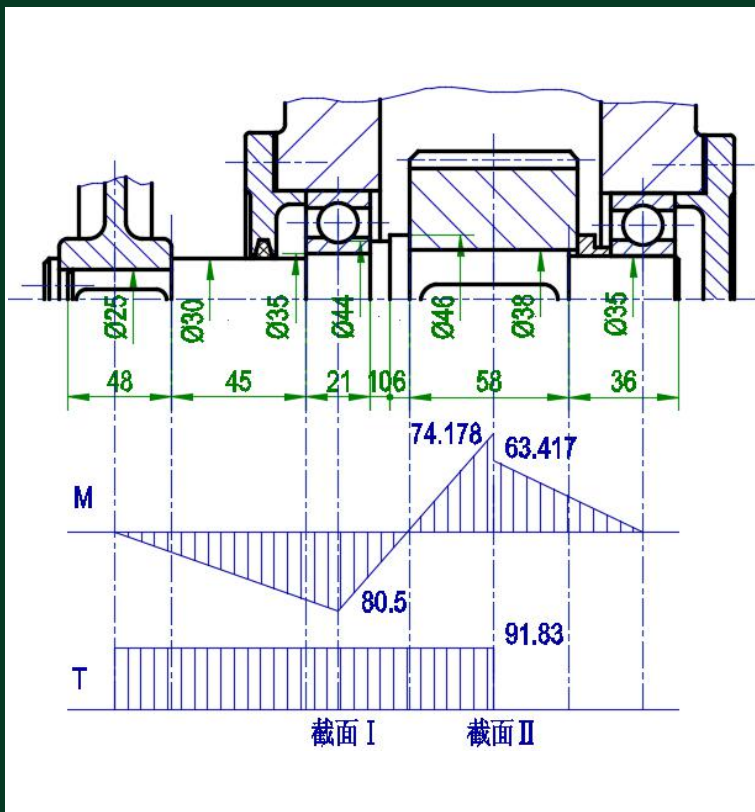
例题14-3

- 4、按弯扭合成校核轴的强度
 - 确定危险截面
 - 综合分析各截面处影响轴的强度的结构以及弯矩、扭矩情况
 - 确定图示截面 I、II 为危险截面



例题14-3

- 4、按弯扭合成校核轴的强度
 - 校核轴的强度
 - 轴单向转动，扭矩按脉动循环变化，取 $\alpha=0.6$



例题14-3

4、按弯扭合成校核轴的强度

— 校核轴的强度

• 截面 I

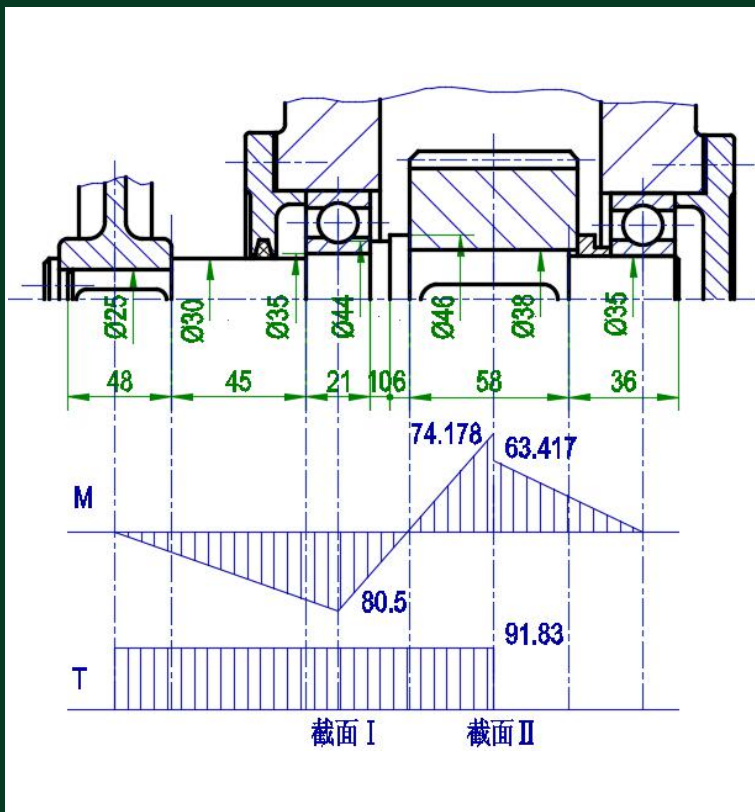
$$\sigma_e = \sqrt{\sigma^2 + 4(\alpha\tau)^2}$$

$$= \sqrt{\frac{M^2 + (\alpha T)^2}{W}}$$

$$= \sqrt{\frac{80.5^2 + (0.6 \times 91.83)^2 \times 10^3}{0.1 \times 35^3}}$$

$$= 22.752 \text{MPa}$$

$$\sigma_e < [\sigma_{-1}]$$



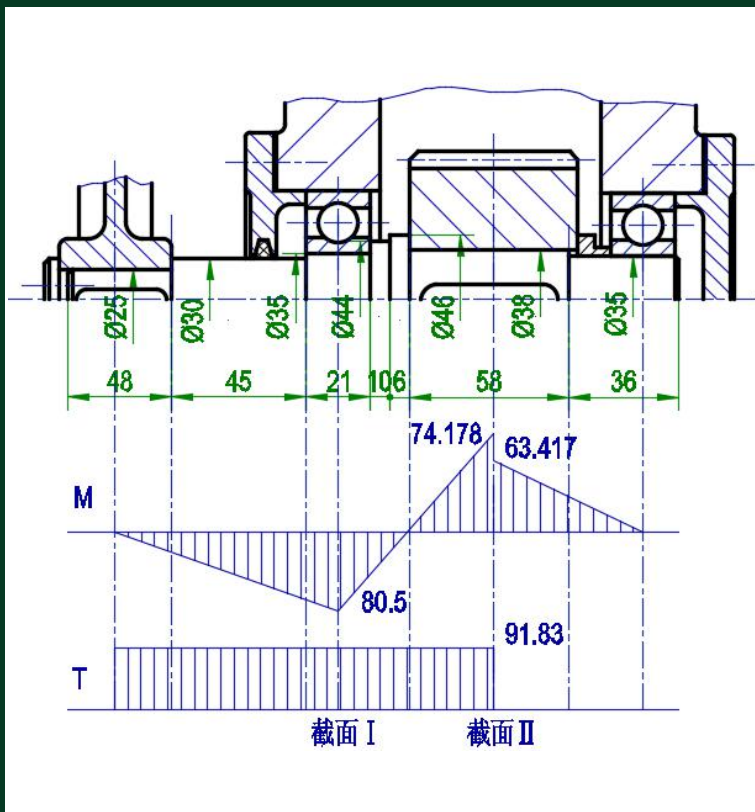
例题14-3

4、按弯扭合成校核轴的强度

— 校核轴的强度

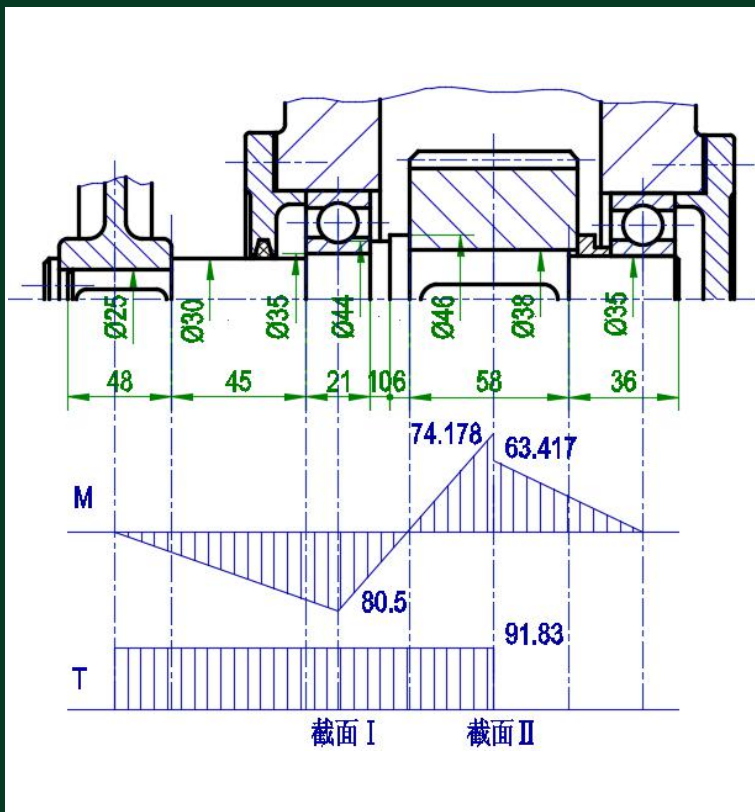
• 截面 II

$$\begin{aligned} \sigma_e &= \sqrt{\sigma^2 + 4(\alpha\tau)^2} \\ &= \sqrt{\frac{M^2 + (\alpha T)^2}{W}} \\ &= \sqrt{\frac{74.178^2 + (0.6 \times 91.83)^2 \times 10^3}{0.1 \times 38^3}} \\ &= 16.840 \text{MPa} \\ \sigma_e &< [\sigma_{-1}] \end{aligned}$$



例题14-3

- 4、按弯扭合成校核轴的强度
 - 结论：轴弯扭合成强度校核合格



小结

- 一般转轴按弯扭合成校核轴的强度
 - ①建立轴的简化力学模型
 - 按照水平面和垂直面分别分析轴上载荷
 - 在水平面和垂直面分别确定支点反力
 - 单独分析转矩
 - ②弯矩M分析
 - 根据水平面内的受力情况，作出水平面内的弯矩图 M_H
 - 根据垂直面内的受力情况，作出垂直面内的弯矩图 M_V
 - 作出合成弯矩图 $M = \sqrt{M_H^2 + M_V^2}$

小结

- ③转矩T分析
- ④按照当量弯矩校核轴的强度
 - 确定危险截面
 - 按照第三强度条件
 - 危险截面上的当量弯矩 $M_e = \sqrt{M^2 + (\alpha T)^2}$
 - 危险截面上的当量应力 $\sigma_e = \sqrt{\sigma^2 + 4(\alpha\tau)^2}$
 - 折合系数 α : 考虑 σ_b 和 τ 的循环特性不同, $\alpha = \begin{cases} 0.3 & \text{(转矩不变)} \\ 0.6 & \text{(转矩脉动)} \\ 1 & \text{(频繁正反转)} \end{cases}$
 - 强度条件 $\sigma_e \leq [\sigma_{-1}]$