第四章　力系的平衡

§4-1 空间任意力系的平衡

§4-2 平面任意力系的平衡

§4-3 静定与静不定问题

§4-4 物体系统的平衡

§4-1 空间任意力系的平衡

1. 空间任意力系的平衡方程

空间力系平衡

$$\boxed{\boldsymbol{F}_R' = \sum \boldsymbol{F} = 0} \Leftrightarrow \boxed{\begin{aligned} \sum F_x &= 0 \\ \sum F_y &= 0 \\ \sum F_z &= 0 \end{aligned}}$$

$$\boxed{\boldsymbol{M}_O = \sum \boldsymbol{M}_O(\boldsymbol{F}) = 0} \Leftrightarrow \boxed{\begin{aligned} \sum M_x(\boldsymbol{F}) &= 0 \\ \sum M_y(\boldsymbol{F}) &= 0 \\ \sum M_z(\boldsymbol{F}) &= 0 \end{aligned}}$$

1. 空间任意力系的平衡方程

空
间
力
系
平
衡

$$\left.\begin{aligned}
\sum F_x &= 0\\
\sum F_y &= 0\\
\sum F_z &= 0\\
\sum M_x(\boldsymbol{F}) &= 0\\
\sum M_y(\boldsymbol{F}) &= 0\\
\sum M_z(\boldsymbol{F}) &= 0
\end{aligned}\right\}$$

- 一个研究对象可以列6个独立平衡方程.
- 3个投影方程和3个对轴的矩方程.
- 平衡方程的其他形式(至少三矩).
- 方程的求解次序,避免解联立方程.

2. 空间特殊力系的平衡方程

空间汇交力系

解析条件 $$\left.\begin{aligned}\sum F_x &= 0\\ \sum F_y &= 0\\ \sum F_z &= 0\end{aligned}\right\}$$

几何条件 力系的力多边形自行封闭。

空间力偶系

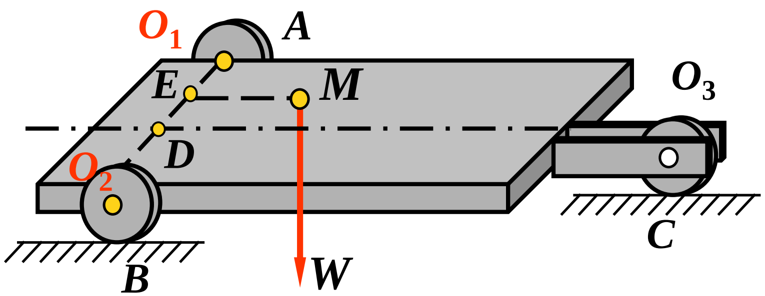
解析条件 $$\left.\begin{aligned}\sum M_{ix} &= 0\\ \sum M_{iy} &= 0\\ \sum M_{iz} &= 0\end{aligned}\right\}$$

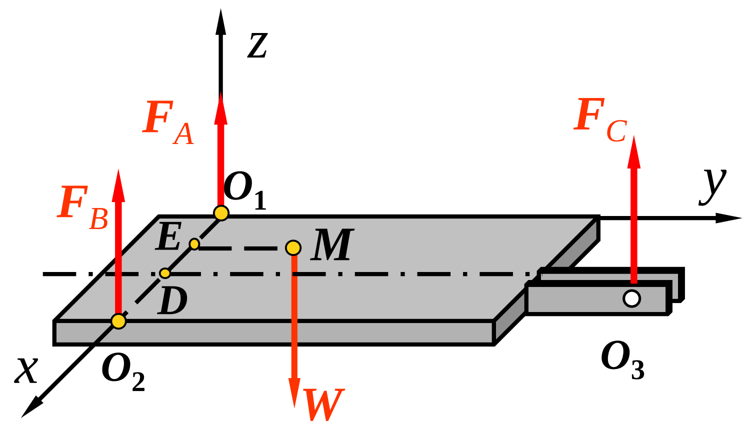
几何条件 力系的力偶矩多边形自行封闭。

空间平行力系

$$\left.\begin{aligned}\Sigma F_z &= 0\\ \Sigma M_x &= 0\\ \Sigma M_y &= 0\end{aligned}\right\}$$ 解析条件

例1 在三轮货车上放着一重W=1000kN的货物，重力$\boldsymbol{W}$的作用线通过矩形底板上的点M。已知O_1O_2=1m，O_3D=1.6m，O_1E=0.4m，EM=0.6m，点D是线段O_1O_2的中点，$EM \perp O_1O_2$。试求A，B，C各处地面的铅直反力。





解: 1. 取货车为研究对象

2. 受力分析如图

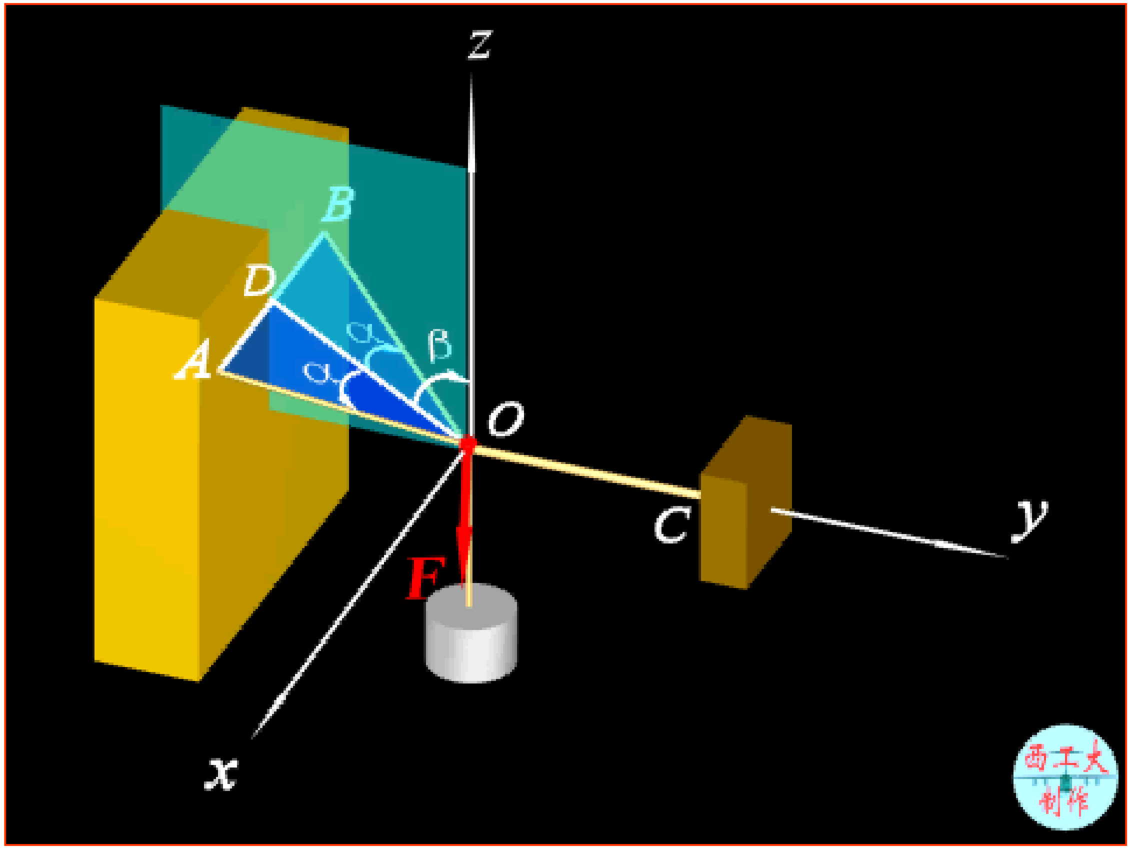
3. 列平衡方程 $\sum M_x = 0$， $F_C \cdot O_3D - W \cdot EM = 0$

$\sum M_y = 0$， $W \cdot O_1E - F_C \cdot O_1D - F_B \cdot O_1O_2 = 0$

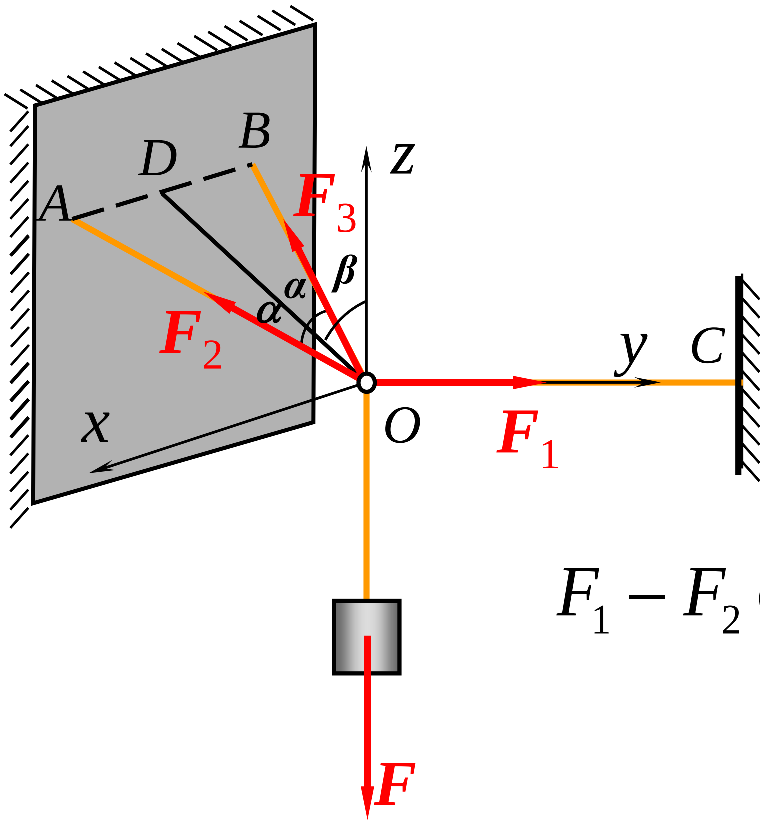
4. 联立求解 $\sum F_z = 0$， $F_A + F_B + F_C - W = 0$

$$F_C = 375\text{kN}, F_B = 213\text{kN}, F_A = 412\text{kN}$$

例2 如图所示为空气动力天平上测定模型所受阻力用的一个悬挂节点O，其上作用有铅直载荷F。钢丝OA和OB所构成的平面与铅直平面Oyz相交于OD，AB平行于x轴，而钢丝OC则沿水平轴y。已知OD与轴z间的夹角为β，又$\angle AOD = \angle BOD = \alpha$，试求各钢丝中的拉力。



解： 取悬挂节点O为研究对象



受力分析如图所示

$$\sum F_x = 0,$$

$$F_2 \sin\alpha - F_3 \sin\alpha = 0$$

$$\sum F_y = 0,$$

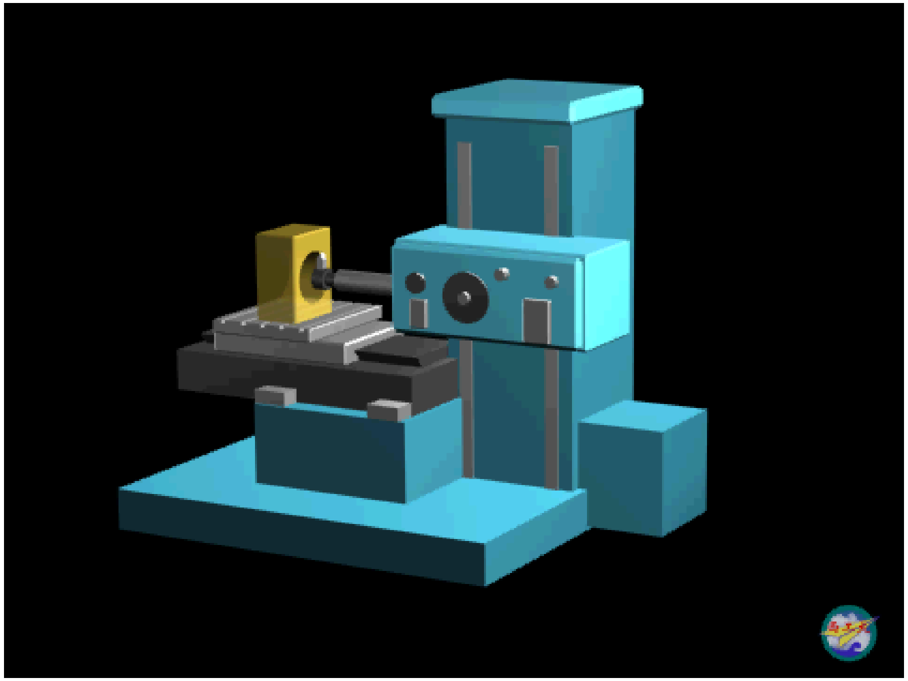
$$F_1 - F_2 \cos\alpha \sin\beta - F_3 \cos\alpha \sin\beta = 0$$

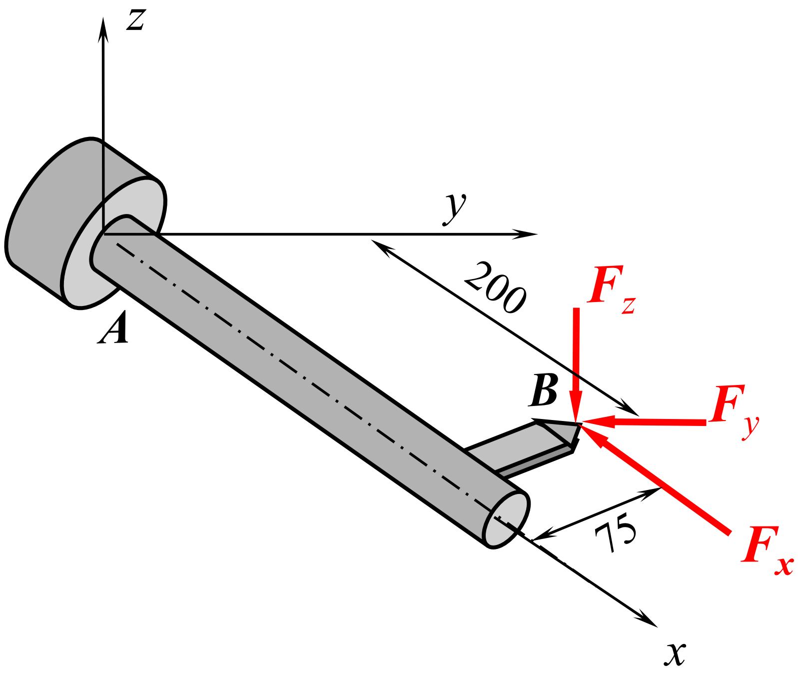
$$\sum F_z = 0,$$

$$F_2 \cos\alpha \cos\beta + F_3 \cos\alpha \cos\beta - F = 0$$

$$F_1 = F \tan\beta \qquad F_2 = F_3 = \frac{F}{2\cos\alpha\cos\beta}$$

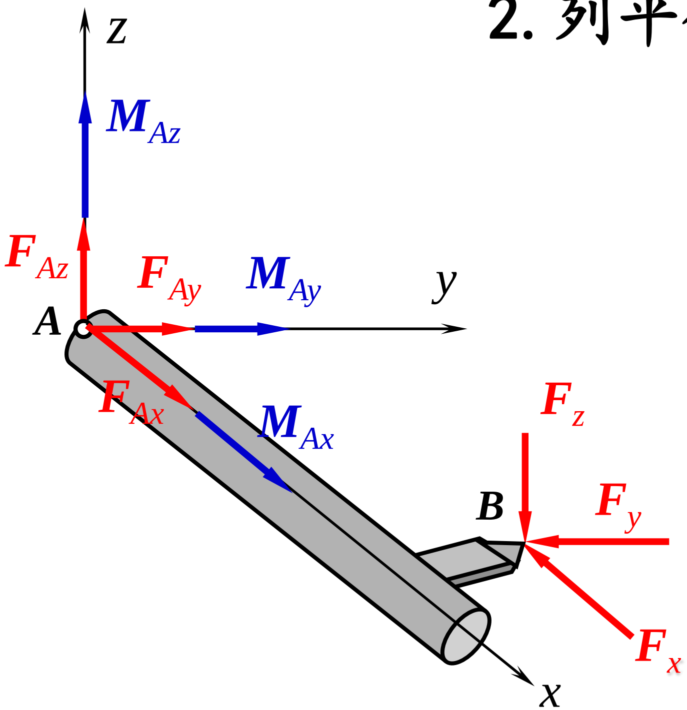
例3 镗刀杆的刀头在镗削工件时受到切向力$\boldsymbol{F_z}$，径向力$\boldsymbol{F_y}$，轴向力$\boldsymbol{F_x}$的作用。各力的大小F_z=5000N，F_y=1500N，F_x=750N，而刀尖B的坐标 x=200mm，y=75mm，z = 0。如果不计刀杆的重量，试求刀杆根部A处的约束反力。





解： 1. 取镗刀杆为研究对象，受力分析如图。

2. 列平衡方程。



$$\sum F_x = 0, \qquad F_{Ax} - F_x = 0$$

$$\sum F_y = 0, \qquad F_{Ay} - F_y = 0$$

$$\sum F_z = 0, \qquad F_{Az} - F_z = 0$$

$$\sum M_x = 0, \qquad M_{Ax} - 0.075F_z = 0$$

$$\sum M_y = 0, \qquad M_{Ay} + 0.2F_z = 0$$

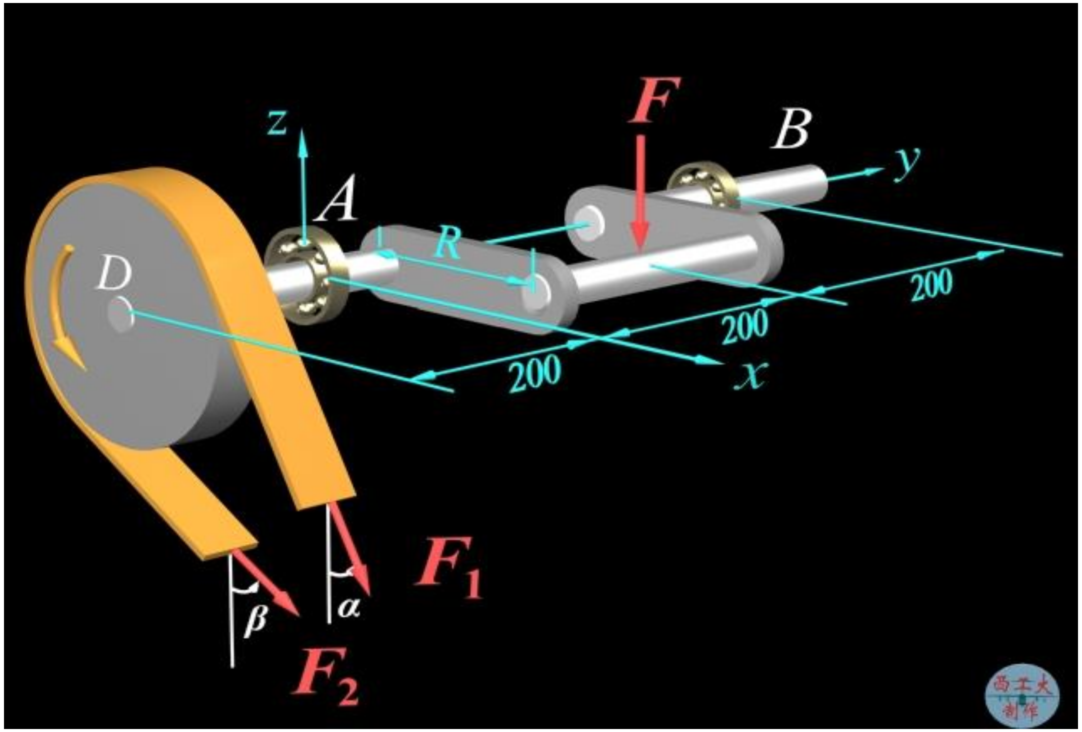
$$\sum M_z = 0,$$

$$M_{Az} + 0.075F_x - 0.2F_y = 0$$

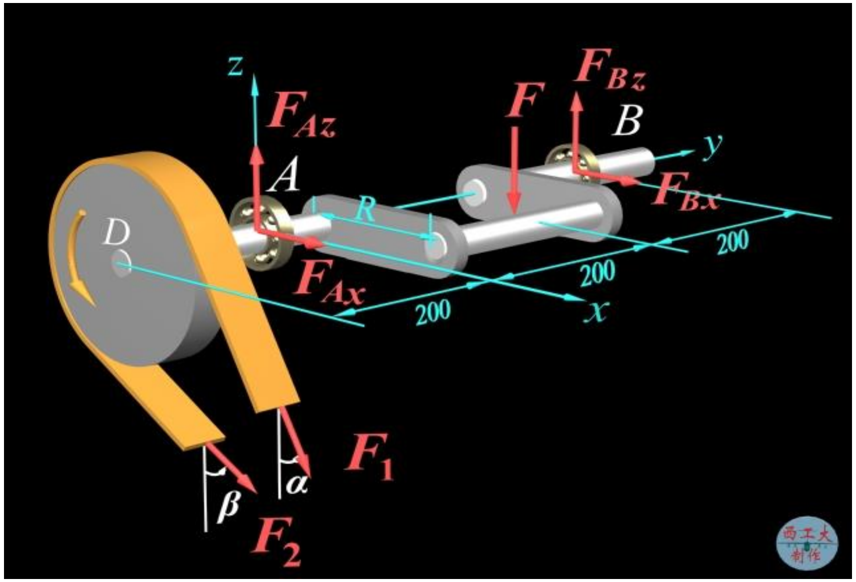
$$F_{Ax} = 750\ \mathrm{N}, \qquad F_{Ay} = 1\,500\ \mathrm{N}, \qquad F_{Az} = 5\,000\ \mathrm{N}$$

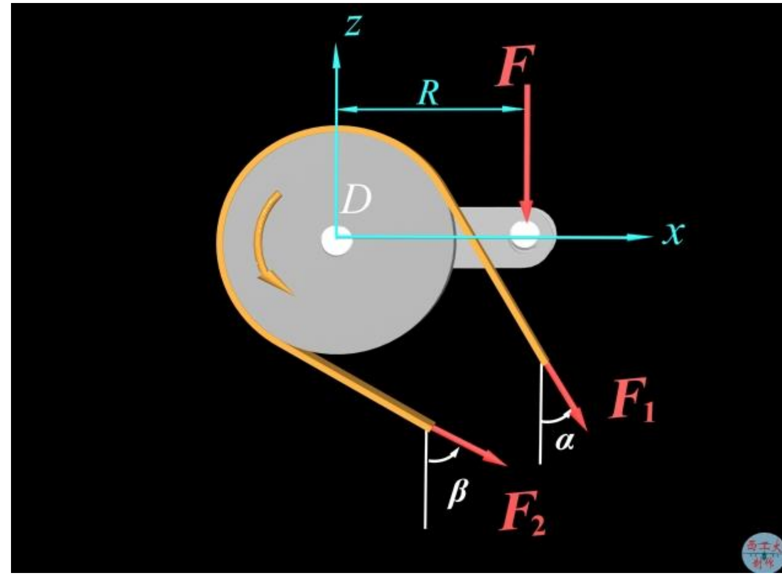
$$M_{Ax} = 375\ \mathrm{N \cdot m}, \qquad M_{Ay} = -1\,000\ \mathrm{N \cdot m}, \qquad M_{Az} = 243.8\ \mathrm{N \cdot m}$$

例4 在图中皮带的拉力$F_2=2F_1$，曲柄上作用有铅垂力$F=2000\text{N}$。已知皮带轮的直径$D=400\text{mm}$，曲柄长$R=300\text{mm}$，皮带1和皮带2与铅垂线间夹角分别为α和β，$\alpha=30^{\circ}$，$\beta=60^{\circ}$，其它尺寸如图所示，求皮带拉力和轴承约束力。



解： 以整个轴为研究对象，受力分析





$$\sum M_y = 0 \qquad FR + \frac{D}{2}(F_1 - F_2) = 0$$

$$\sum M_x = 0 \qquad F_1\cos30^\circ \cdot 200 + F_2\cos60^\circ \cdot 200 - F \cdot 200 + F_{Bz} \cdot 400 = 0$$

$$\sum M_z = 0 \qquad F_1\sin30^\circ \cdot 200 + F_2\sin60^\circ \cdot 200 - F_{Bx} \cdot 400 = 0$$

$$\sum F_x = 0 \qquad F_1\sin30^\circ + F_2\sin60^\circ + F_{Ax} + F_{Bx} = 0$$

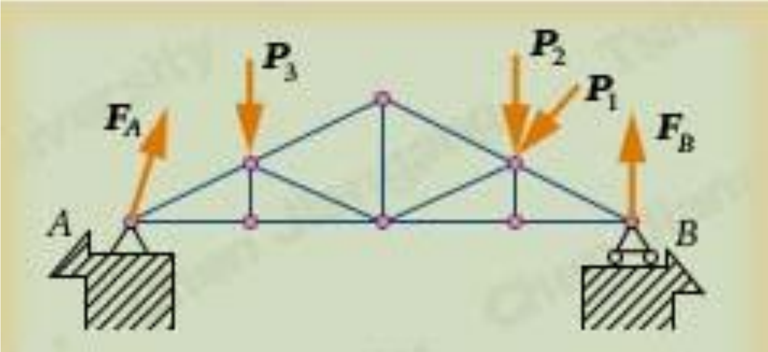
$$\sum F_z = 0 \qquad -F_1\cos30^\circ - F_2\cos60^\circ - F + F_{Az} + F_{Bz} = 0$$

$$F_1 = 3000\text{N}, F_{Ax} = -1004\text{N}, F_{Az} = 9397\text{N}, F_{Bx} = 3348\text{N}, F_{Bz} = -1799\text{N}$$

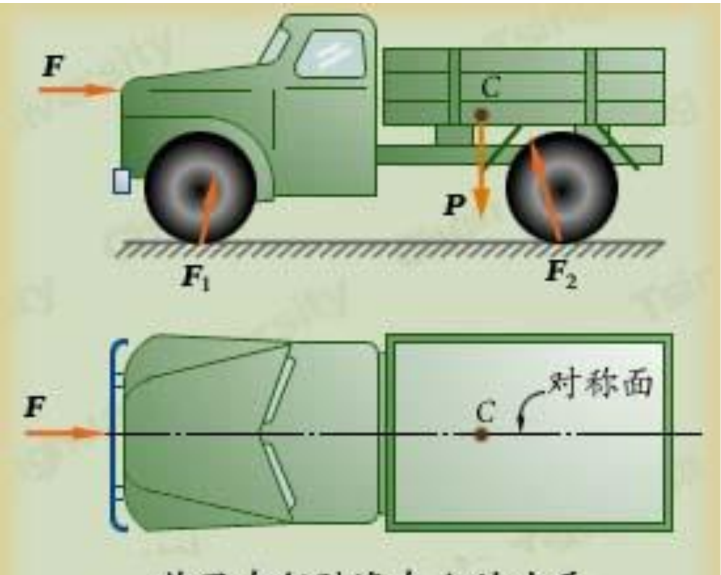
§4-2 平面任意力系的平衡

力作用线在同一平面内，但彼此不汇交一点，且不都平行的力系称为平面力系。

- 力系中各力近似作用在同一平面
- 力系有对称平面



作用在平面屋架上的力系



作用在行驶汽车上的力系

1. 平面任意力系的平衡方程

平面力系可以简化为一个力和一个力偶。

平面力系平衡

$$\boldsymbol{F}_R' = \sum \boldsymbol{F} = 0 \quad \Longleftrightarrow \quad \sum F_x = 0, \quad \sum F_y = 0$$

$$\boldsymbol{M}_O = \sum \boldsymbol{M}_O(\boldsymbol{F}) = 0 \quad \Longleftrightarrow \quad \sum M_O(\boldsymbol{F}) = 0$$

1. 平面任意力系的平衡方程

平衡方程的基本形式

$$\left.\begin{aligned}\sum F_x &= 0\\ \sum F_y &= 0\\ \sum M_O(\boldsymbol{F}) &= 0\end{aligned}\right\}$$

力系中各力在任选的两正交坐标轴上投影的代数和为0，力系中各力对任一点之矩的代数和也等于0。

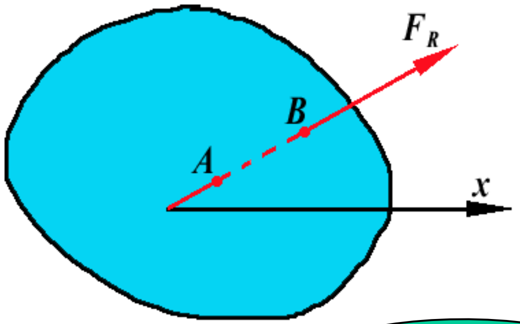
- 对一个研究对象建立的独立方程数为3个.
- 方程中至少有一个矩方程.
- 投影轴及矩心均为任意.

1. 平面任意力系的平衡方程

平衡方程的其它形式

二矩式

$$\left.\begin{aligned}\sum M_A(\boldsymbol{F})&=0\\ \sum M_B(\boldsymbol{F})&=0\\ \sum F_x&=0\end{aligned}\right\}$$

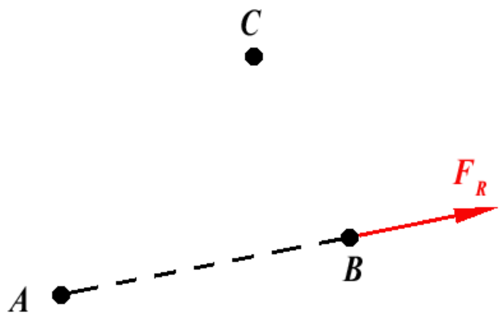


为什么?

附加条件：AB连线不能与x轴垂直

三矩式

$$\left.\begin{aligned}\sum M_A(\boldsymbol{F})&=0\\ \sum M_B(\boldsymbol{F})&=0\\ \sum M_C(\boldsymbol{F})&=0\end{aligned}\right\}$$



附加条件：A、B、C不能共线

2. 平面特殊力系的平衡方程

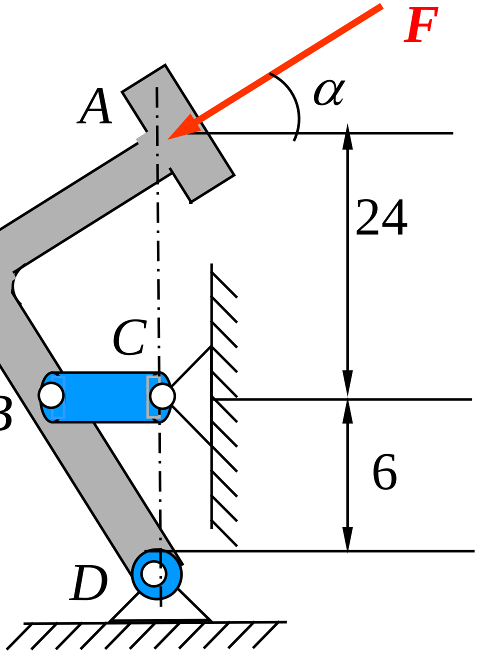
平面汇交力系　解析条件
$$\left.\begin{array}{l}\Sigma F_x = 0 \\ \Sigma F_y = 0\end{array}\right\}$$

几何条件　力系的力多边形自行封闭。

平面力偶系　解析条件
$$\Sigma M_i = 0$$

平面平行力系　解析条件
$$\left.\begin{array}{l}\Sigma F_z = 0 \\ \Sigma M_O = 0\end{array}\right\}$$

例1 如图所示是汽车制动机构的一部分。司机踩到制动蹬上的力F=212N，方向与水平面成α=45°。当平衡时，BC水平，AD铅直，试求拉杆BC所受的力。已知CA=24cm，DC=6cm，又B，C，D都是光滑铰链，机构的自重不计。

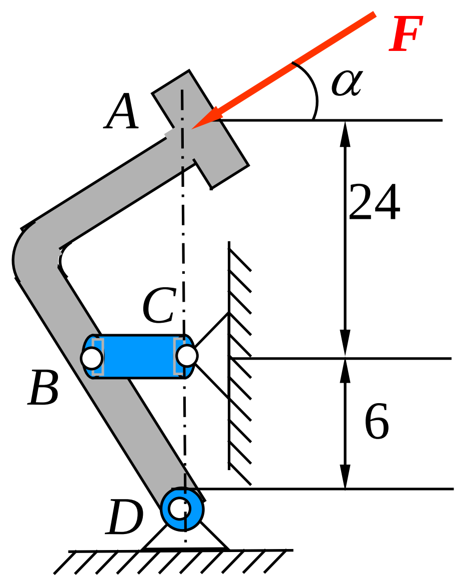


解1　1. 取制动蹬*ABD*作为研究对象。

2. 画出受力图。

3. 应用平衡条件画出$\boldsymbol{F}$，$\boldsymbol{F}_B$和$\boldsymbol{F}_D$的闭合力三角形。

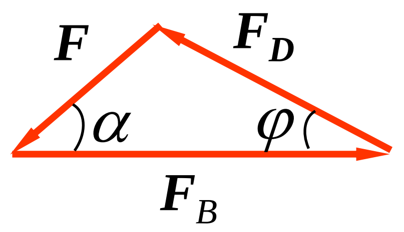
4. 由几何关系得



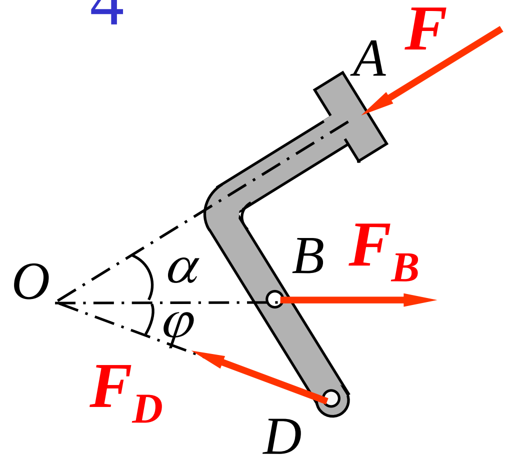
$$OC = CA = 24\ \text{cm}$$

$$\Rightarrow \tan\varphi = \frac{DC}{OC} = \frac{6}{24} = \frac{1}{4} \Rightarrow \varphi = \arctan\frac{1}{4} = 14°2'$$

$$F_B = \frac{\sin(180° - \alpha - \varphi)}{\sin\varphi} F$$



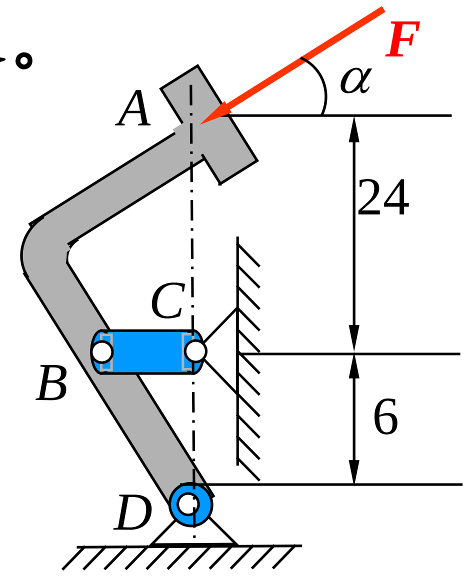
$$F_B = 750\ \text{N}$$



解2　1. 取制动蹬ABD作为研究对象。

2. 画出受力图。

3. 列平衡方程。



$$\sum F_x = 0,$$

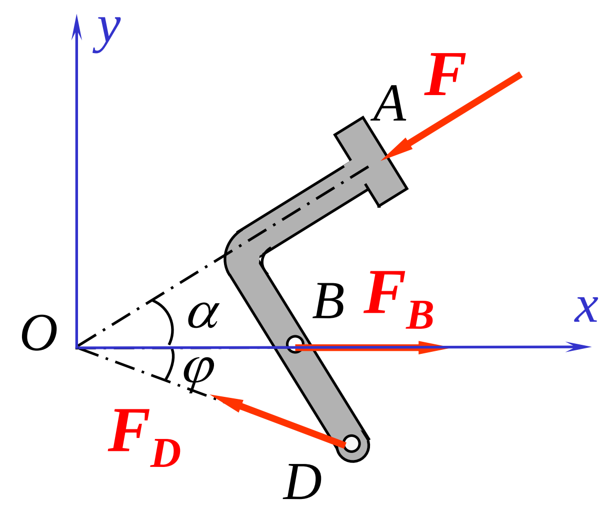
$$F_B - F\cos 45° - F_D\cos\varphi = 0$$

$$\sum F_y = 0,\quad F_D\sin\varphi - F\sin 45° = 0$$

$$\varphi = 14°2'$$

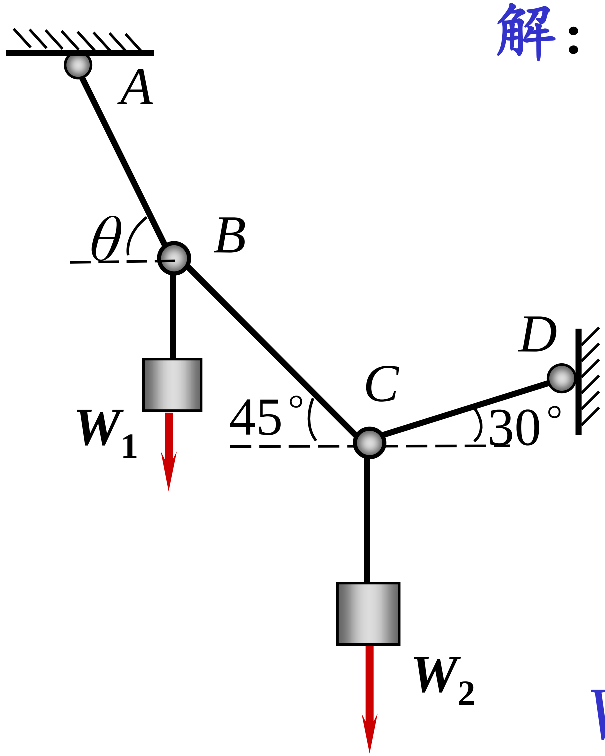
$$\sin\varphi = 0.243\ ,\ \cos\varphi = 0.969$$

$$F_B = 750\ \mathrm{N}$$

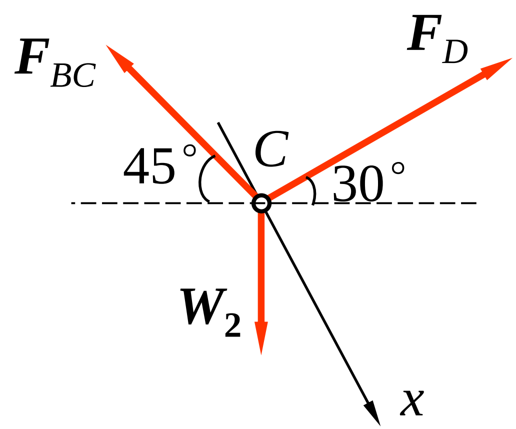


问：若不用三力平衡汇交定理?

例2 如图已知W_1=100kN，W_2=250kN。不计各杆自重，A，B，C，D各点均为光滑铰链。试求平衡状态下杆AB内力及与水平的夹角。



解：1. 取销钉C作为研究对象。

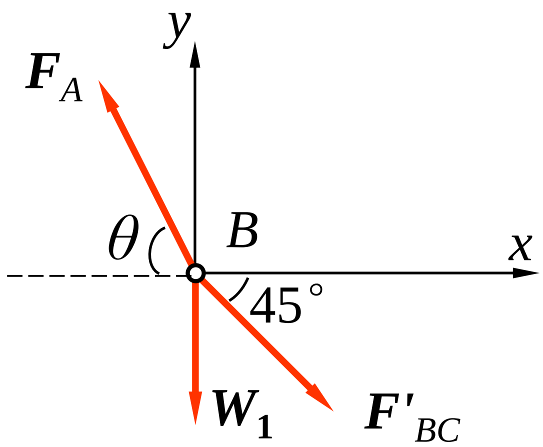


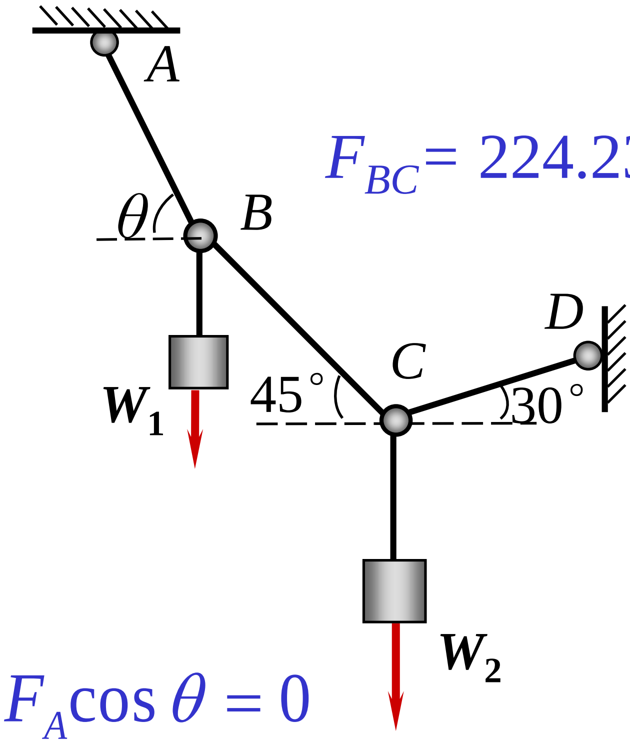
$$\sum F_x = 0$$

$$W_2 \cos 30° - F_{BC} \cos 15° = 0$$

$$F_{BC} = 224.23\text{kN}$$

2. 取销钉B作为研究对象。





F_{BC}= 224.23 kN

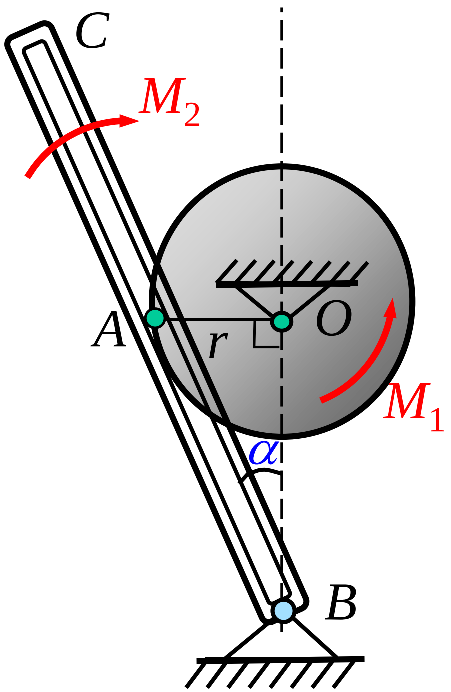
$$\sum F_x = 0 \qquad F_{BC}^{'}\cos 45° - F_A \cos\theta = 0$$

$$\sum F_y = 0 \qquad F_A \sin\theta - W_1 - F_{BC}^{'}\sin 45° = 0$$

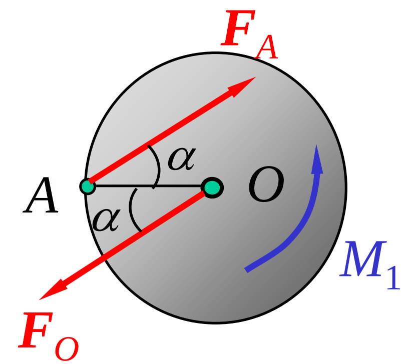
F_A= 303.29 kN

$\tan\theta = 1.631$, $\theta = 58.5°$

例3 如图所示机构的自重不计。圆轮上的销子A放在摇杆BC上的光滑导槽内。圆轮上作用一力偶，其力偶矩为M_1=2kN m，OA=r =0.5m。图示位置时OA与OB垂直，α=30°，且系统平衡。求作用于摇杆BC上的力偶矩M_2及铰链O，B处的约束力。



解： 先取圆轮为研究对象

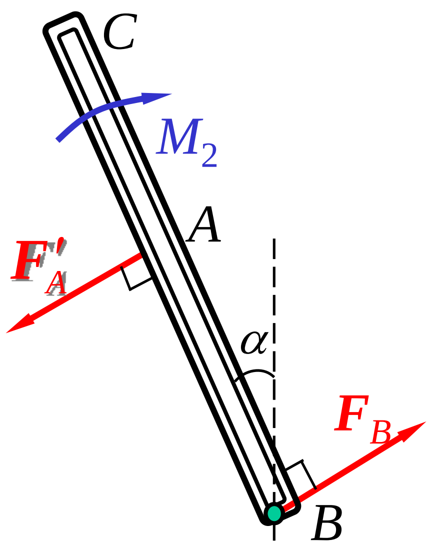


$$F_A = F_O$$

$$\sum M = 0, \quad -M_1 + F_A r \sin\alpha = 0$$

$$F_A = \frac{M_1}{r\sin 30^\circ}$$

取摇杆BC为研究对象



$$\sum M = 0, \quad -M_2 + F_A' \frac{r}{\sin\alpha} = 0$$

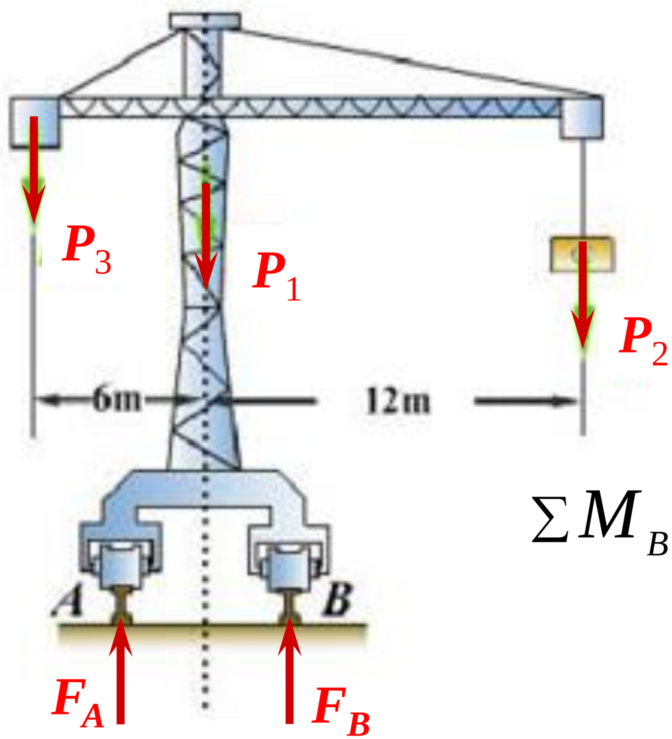
$$M_2 = 4M_1 = 8\text{kN}\cdot\text{m}$$

$$F_O = F_B = F_A = \frac{M_1}{r\sin 30^\circ} = 8\text{kN}$$

例4 已知：P_1=700kN, P_2=200kN, AB=4m.

求(1）起重机满载和空载时不翻倒时的平衡载重P_3；

(2）P_3=180kN，轨道AB给起重机轮子的约束力。



解：研究起重机，受力分析

空载时， $F_B=0$

$$\sum M_A=0 \qquad 4P_{3\max}-2P_1=0$$

$$P_{3\max}=350\text{kN}$$

满载时， $F_A=0$

$$\sum M_B=0 \qquad P_{3\min}\cdot 8+2P_1-10P_2=0$$

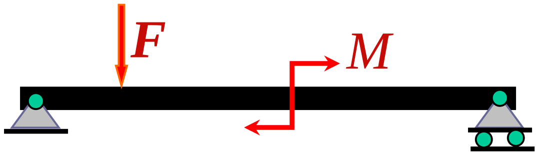
$$P_{3\min}=75\text{kN}$$

$$75\text{kN}\le P_3\le 350\text{kN}$$

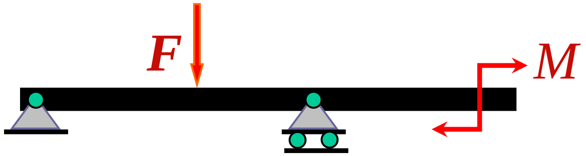
$$\sum M_A=0 \qquad 4P_3-2P_1-14P_2+4F_B=0 \qquad F_A=210\text{kN}$$

$$\sum F_y=0 \qquad F_A+F_B-P_1-P_2-P_3=0 \qquad F_B=870\text{kN}$$

在轴线平面内受横向力或力偶作用的杆件—梁



简支梁

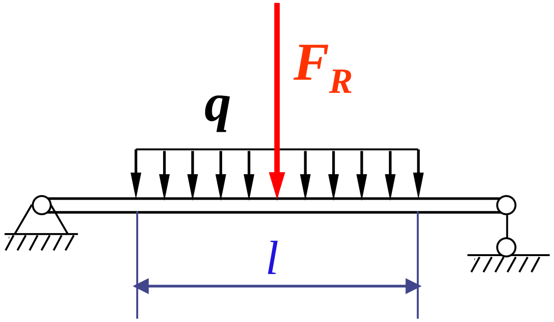


外伸梁

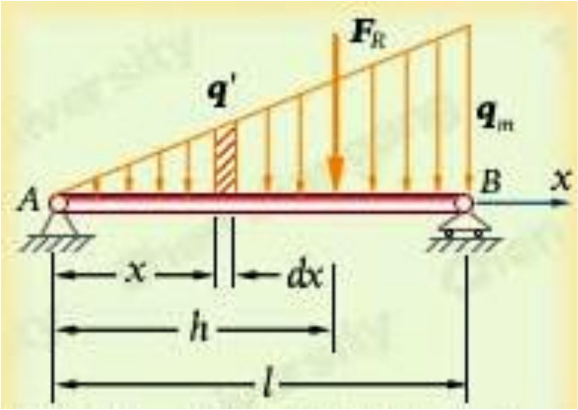
悬臂梁

连续梁

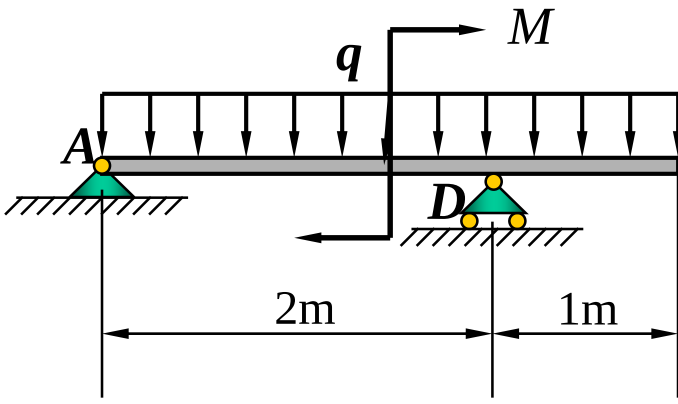
组合梁



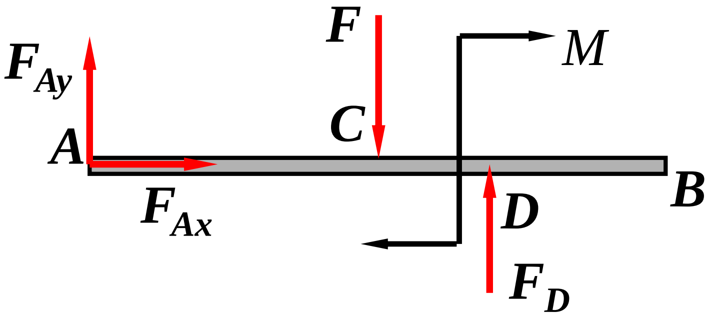
分布载荷的处理



例5 梁AB上受到一个均布载荷和一个力偶作用，已知载荷集度（即梁的每单位长度上所受的力）q=100 N/m，力偶矩大小M =500N·m。长度AB=3m，DB=1m。求支座D和A处的约束力。



解：取AB梁为研究对象，受力如图所示。



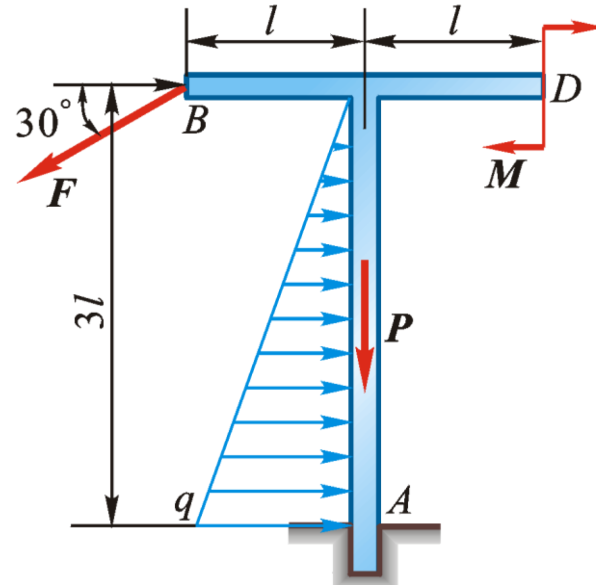
$F = q \times AB = 100 \times 3 = 300$ N

$$\sum F_x = 0 \qquad F_{Ax} = 0$$

$$\sum M_A(F) = 0 \quad -F \times \frac{AB}{2} + F_D \times 2 - M = 0 \qquad F_D = 475 \text{ N}$$

$$\sum F_y = 0 \qquad F_{Ay} - F + F_D = 0 \qquad F_{Ay} = -175 \text{ N}$$

例6 已知：P=100kN，M =20kN·m，q=20kN/m，F=400kN,求固定端A处的约束力.



解：研究T型刚架，画受力图.

$$F_1 = \frac{1}{2} q \times 3l = 30\text{kN}$$

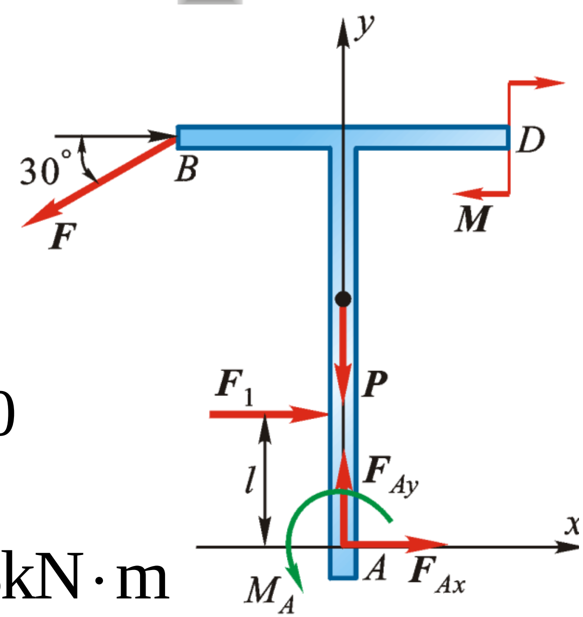
列平衡方程

$$\sum F_x = 0 \quad F_{Ax} + F_1 - F\sin 60^\circ = 0$$

$$\sum F_y = 0 \quad F_{Ay} - P - F\cos 60^\circ = 0$$

$$\sum M_A = 0$$

$$M_A - M - F_1 \cdot l + F\cos 60^\circ \cdot l + F\sin 60^\circ \cdot 3l = 0$$



$$F_{Ax} = 316.4\text{kN} \qquad F_{Ay} = 300\text{kN} \qquad M_A = -1188\text{kN}\cdot\text{m}$$

求解平面力系平衡问题的方法和步骤归纳如下：

1．根据问题条件和要求，选取研究对象。

2．分析研究对象的受力情况，画受力图。画出研究对象所受的全部主动力和约束力。

3．根据力系类型写平衡方程。平面一般力系只有三个独立平衡方程。为计算简捷，应选取适当的坐标系和矩心，以使方程中未知量最少。

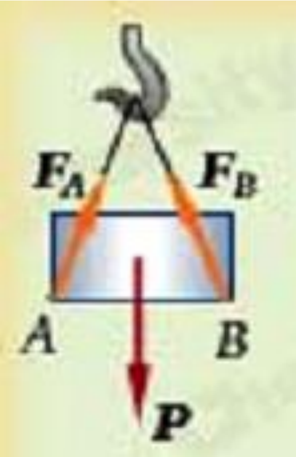
4．求解。校核和讨论计算结果。

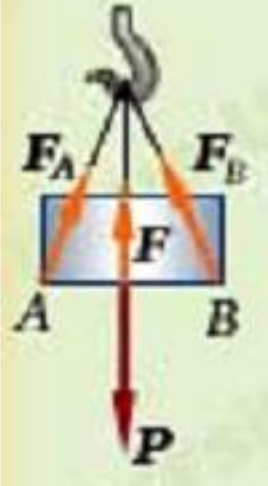
§ 4-3 静定与静不定问题

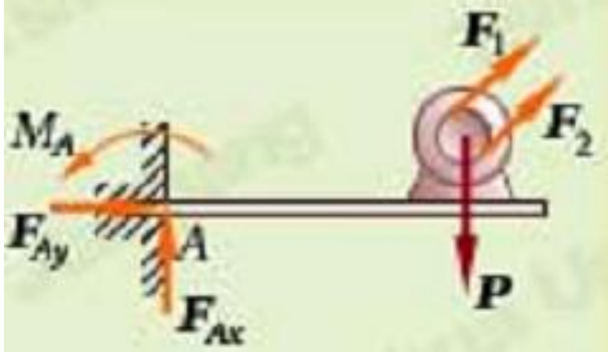
静定与静不定概念

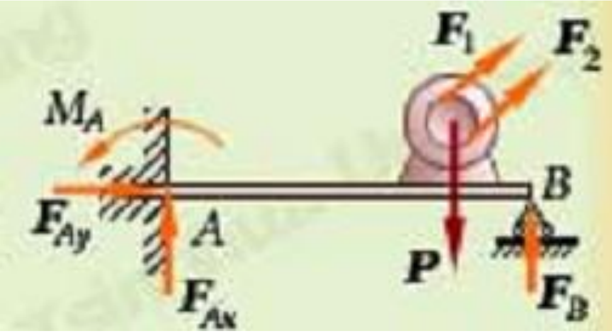
静定问题：未知量个数=独立的平衡方程个数；由平衡条件可求出全部确定的未知量。

静不定问题：未知量个数>独立的平衡方程个数。不能由平衡条件求出全部确定的未知量。





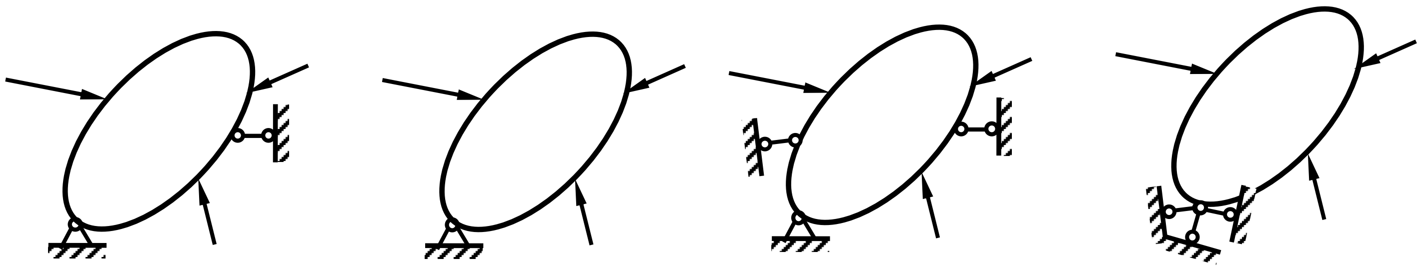




1. 如何判定?

◆比较独立平衡方程个数与未知量个数。

◆约束类型(完全约束、不完全约束、多余约束)



2. 静不定次数

静不定次数=未知量个数-独立方程个数

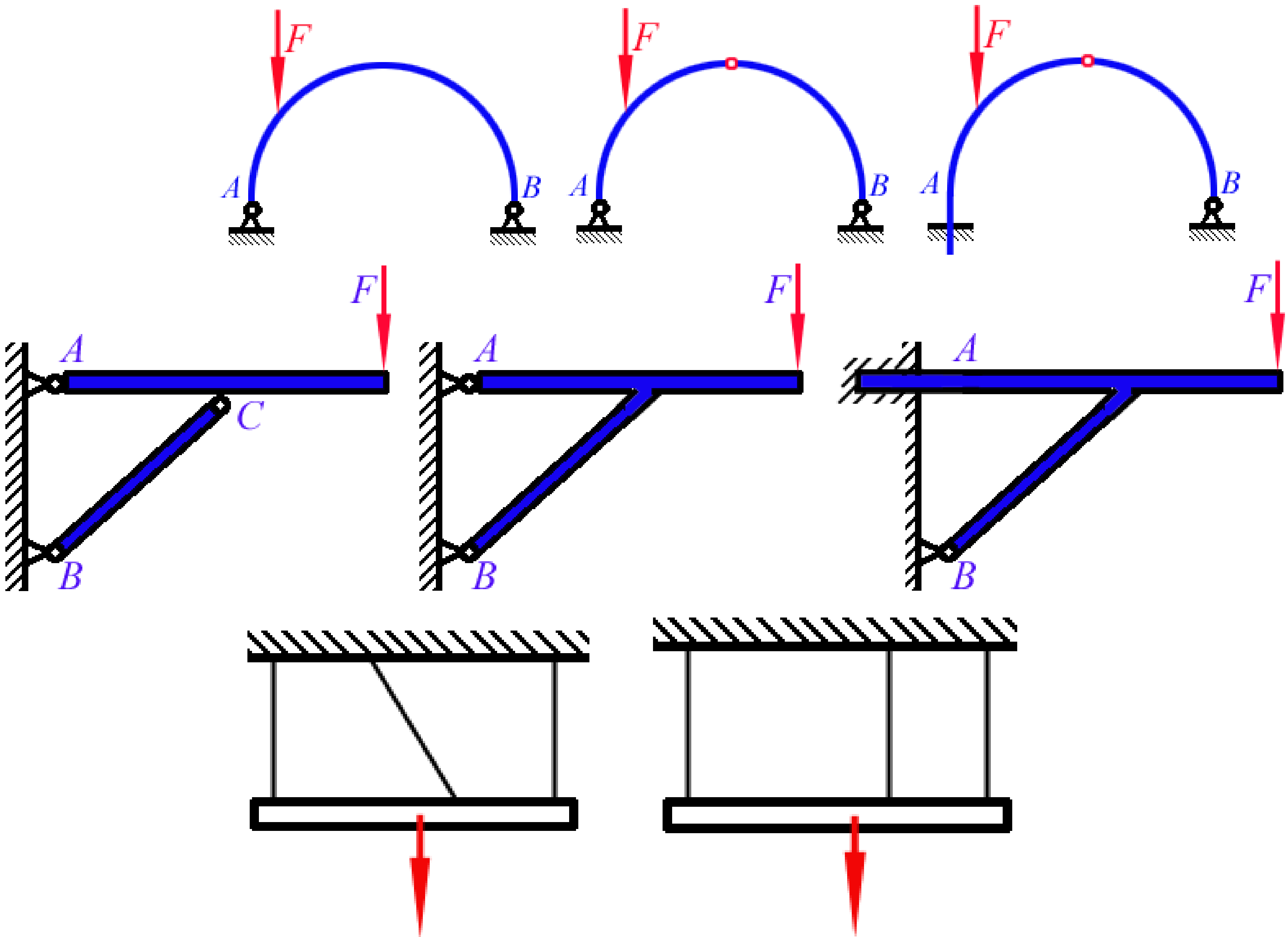
3. 静不定问题的求解

在刚体已无自由度的基础上，增加“多余”约束.

“多余”约束，力“多余”，刚度不多余.

约束反力与变形有关，需补充变形协调方程(材力)

判断下面结构是否静定？静不定次数?

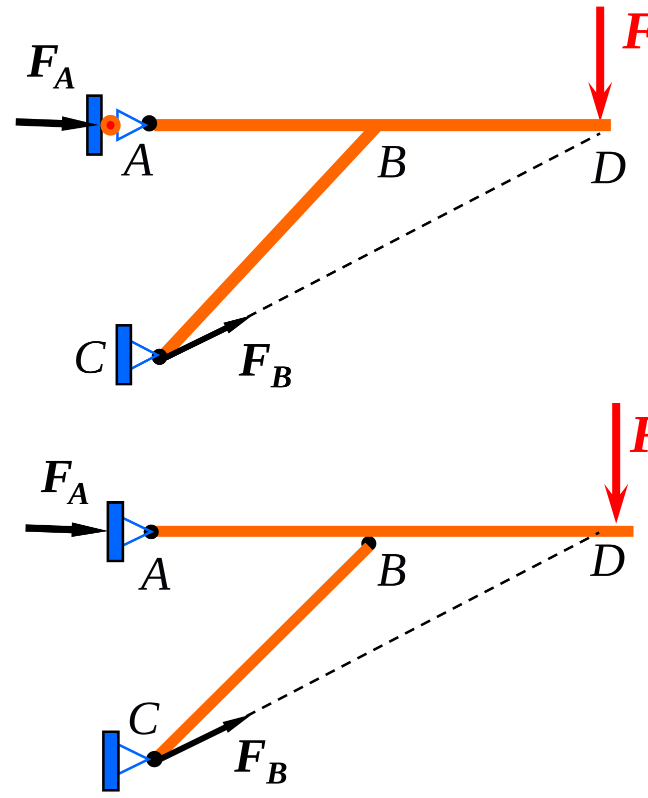


拓展思考

1. 静定问题代表的是所有未知量都可以由平衡方程唯一确定。

2. 物体系统力系的主矢与主矩为零只是平衡的必要条件而非充分条件。

3. 如何判定物体系统是否平衡或静定，需讨论每个刚体的受力，所有的平衡方程是否均满足。



4. 具体问题中并不需要求出所有未知力，无需列出全部方程。恰当的选取研究对象，并用最少的方程求解是问题的关键。

§4-4 物体系统的平衡

物体系统是指由几个物体通过约束组成的系统。

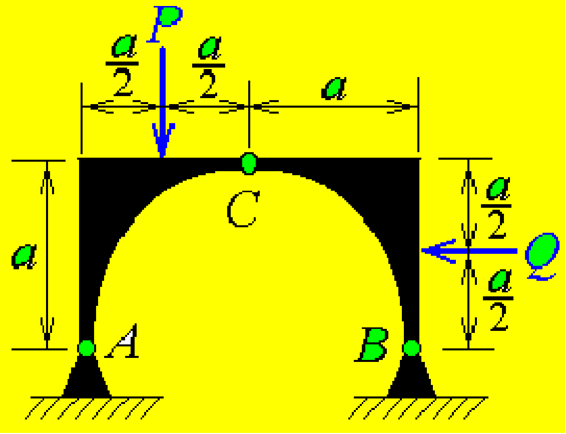
(1)整体系统平衡，每个物体也平衡。因此，可取整体或部分系统(有关联的若干物体)或单个物体为研究对象。

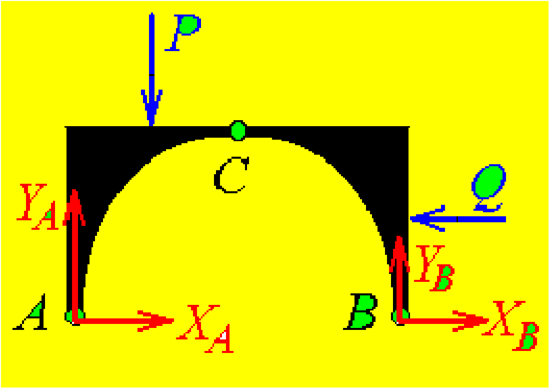
(2)分清系统内力和外力。

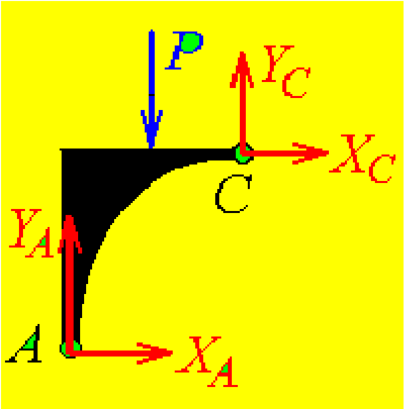
(3)如系统由n个物体组成，而每个物体在平面力系作用下平衡，则有$3n$个独立的平衡方程，可解$3n$个未知量。

(4) 灵活选取研究对象和列写平衡方程。

分析例 已知：a、P、Q。求A、B 的约束反力。







解：(1) 考虑整体，受力如图

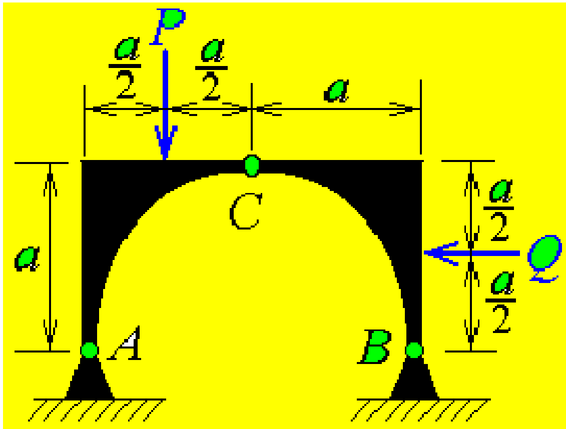
$$\sum M_A = 0 \rightarrow Y_B \cdot 2a + Q \cdot \frac{1}{2}a - P \cdot \frac{1}{2}a = 0$$

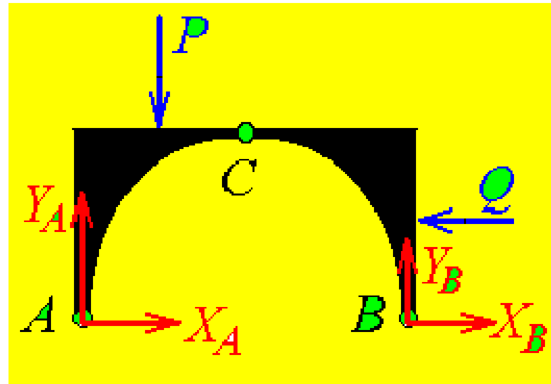
$$\sum M_B = 0 \rightarrow Y_A \cdot 2a - P \cdot \frac{3}{2}a - Q \cdot \frac{a}{2} = 0$$

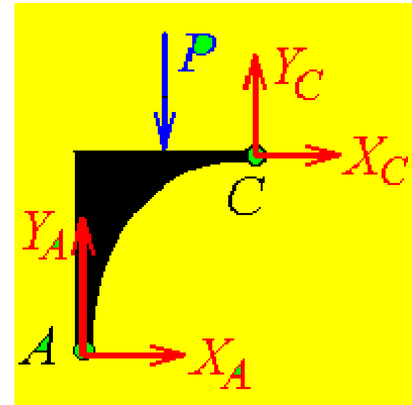
$$\sum F_x = 0 \rightarrow X_A + X_B - Q = 0$$

(2) 考虑左半部，受力如图所示

$$\sum M_C = 0 \rightarrow X_A = \frac{1}{4}(P+Q)$$







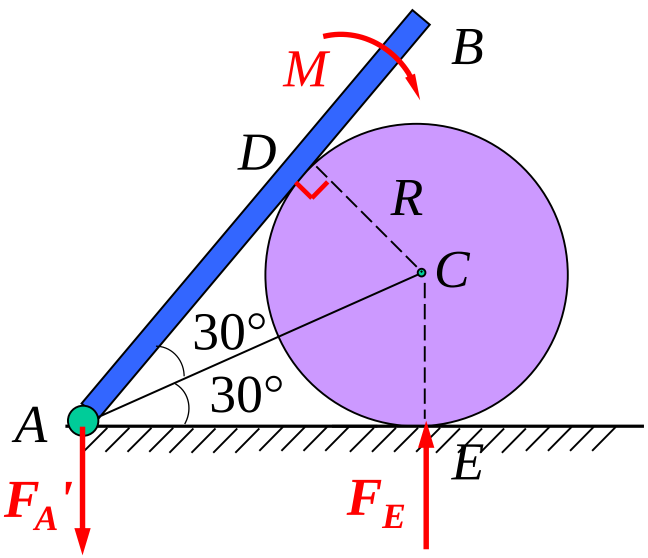
讨论

1. 分别研究左、右部分列6个方程也可求解。

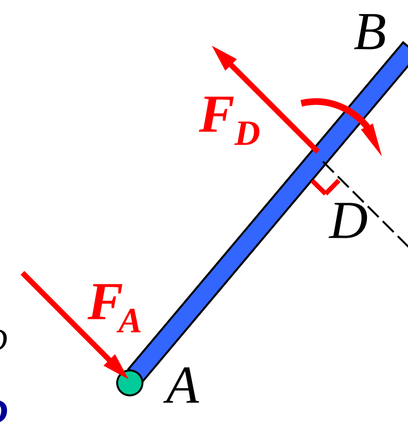
2. 若以整体为研究对象列4个方程求解，是否可行？

3. 若以整体、左、右部分分别为研究对象列9个方程求解，是否可行？

例1 刚杆AB，轮C和绳子AC组成的物体系统. 已知：杆上受到一主动力偶M的作用，$AC=2R$,轮半径R, 各杆自重不计，接触面光滑. 试确定绳子的拉力及铰链A对AB杆的约束反力及地面对轮C的反力。



解：1. 研究AB杆

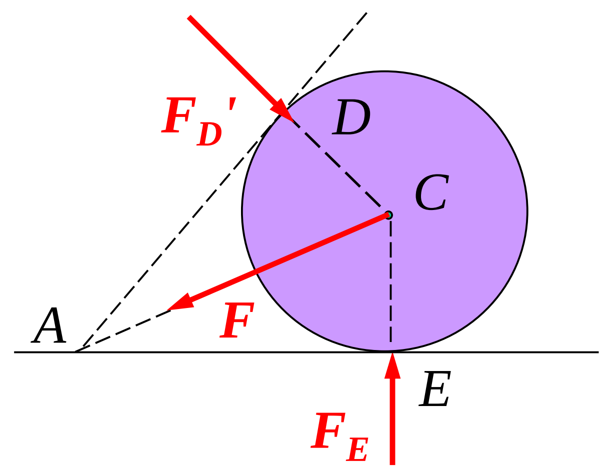


$$\sum M = 0$$

$$M = F_D \cdot AD = \sqrt{3}R \cdot F_D$$

$$F_A = F_D = \sqrt{3}M / 3R$$

2. 研究轮C



$$\Sigma F_x = 0 \qquad F_D' \cos 30^\circ - F \cos 30^\circ = 0$$

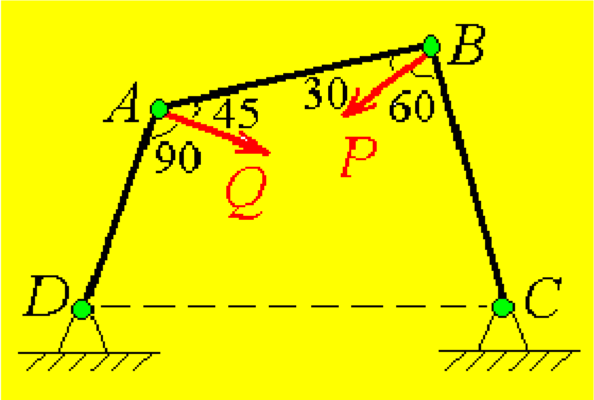
$$\Sigma F_y = 0 \qquad F_E - F_D' \cos 60^\circ - F \sin 30^\circ = 0$$

$$F = F_E = \sqrt{3}M / 3R$$

若以整体为研究对象？

例2 已知：四连杆机构$ABCD$受力P、Q作用。

求：机构平衡时P、Q的关系。



解：考虑整体$DABC$的平衡：

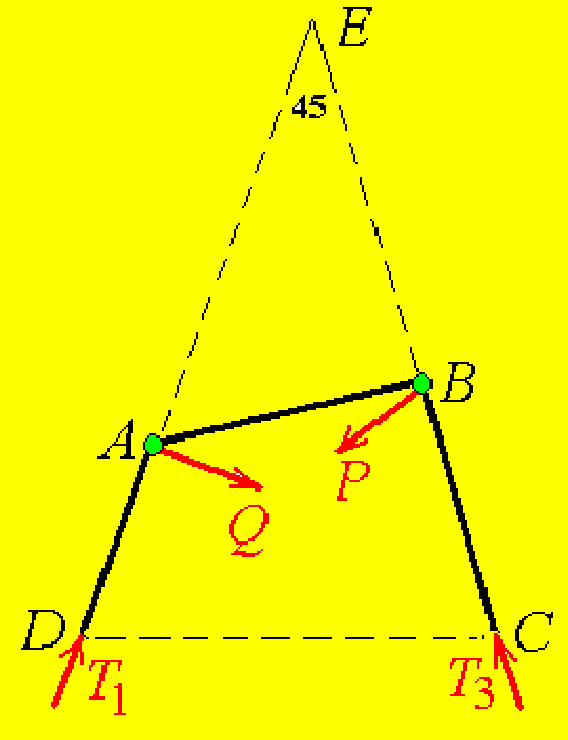
$$\sum M_E = 0$$

$$P\cos 30^o \cdot BE = Q \cdot AE$$

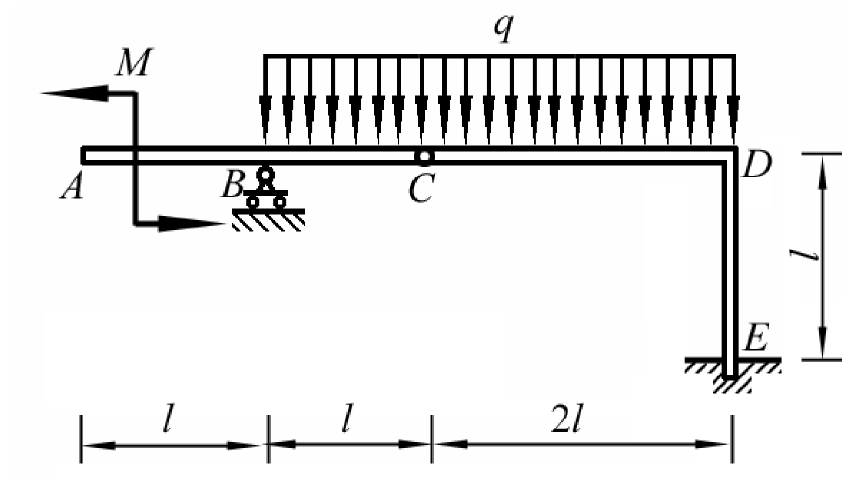
$$\because AE = \sqrt{2}BE$$

$$\therefore \sqrt{2}Q = \frac{\sqrt{3}}{2}P$$

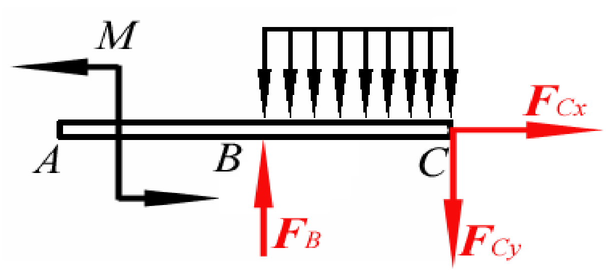
$$\frac{P}{Q} = \frac{2\sqrt{2}}{\sqrt{3}} = 0.61$$



例3 图示结构，各杆自重不计。已知：l,q,M。试确定固定端E处约束反力。



解：首先以AC杆为研究对象，受力如图所示。

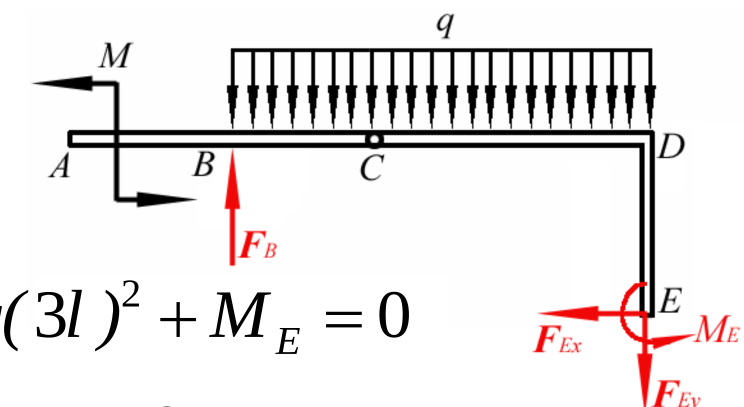


$$\sum M_C(\boldsymbol{F})=0$$

$$M-F_Bl+\frac{1}{2}ql^2=0$$

$$F_B=\frac{M}{l}+\frac{1}{2}ql$$

以整体为研究对象，受力如图



$$\sum M_E(\boldsymbol{F})=0$$

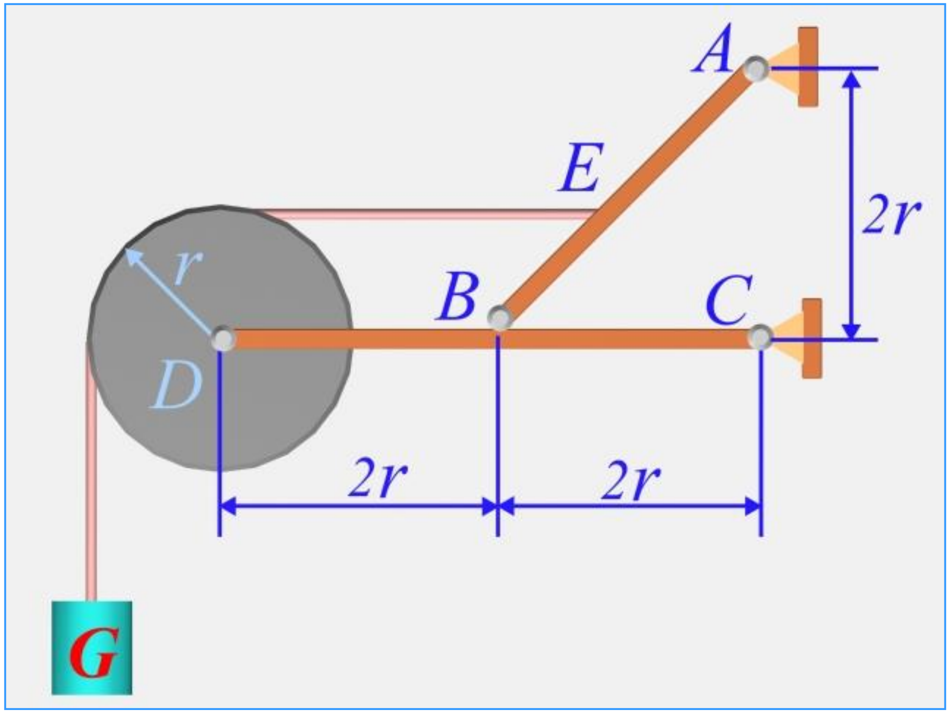
$$M-F_B3l+\frac{1}{2}q(3l)^2+M_E=0$$

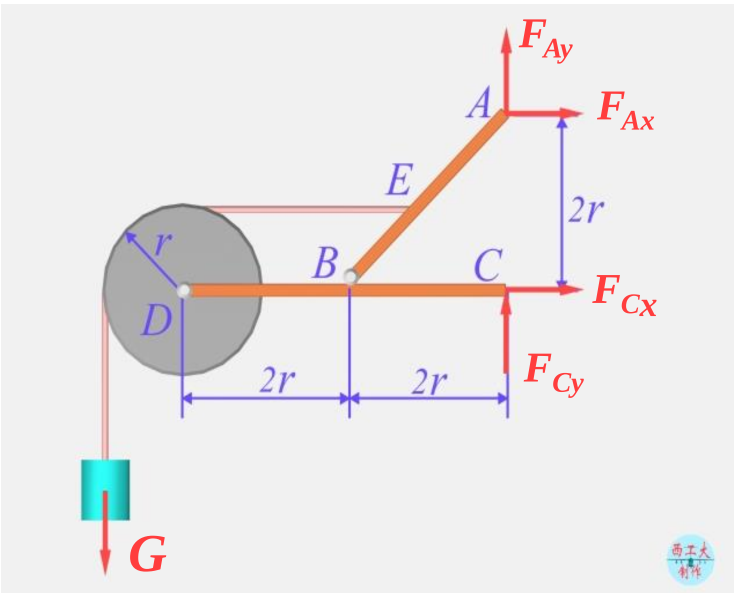
$$M_E=2M-3ql^2$$

$$\sum F_x=0 \qquad F_{Ex}=0$$

$$\sum F_y=0 \qquad F_B-3ql-F_{Ey}=0 \qquad F_{Ey}=\frac{M}{l}-2.5ql$$

练习1 A，B，C，D处均为光滑铰链，物块重为G，通过绳子绕过滑轮水平地连接于杆AB的E点，各构件自重不计，试求B处的约束力。





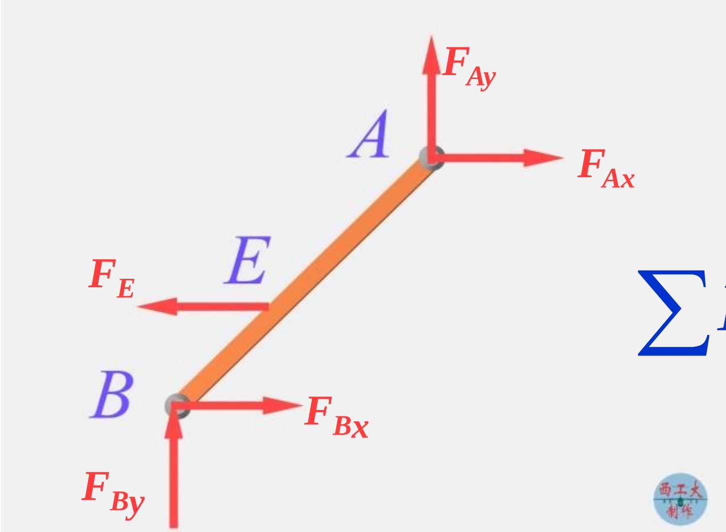
解：1. 取整体为研究对象。

2. 受力分析如图。

3. 列平衡方程。

$$\sum M_C(\boldsymbol{F})=0,\quad 5r\times G-2r\times F_{Ax}=0$$

$$F_{Ax}=2.5G$$



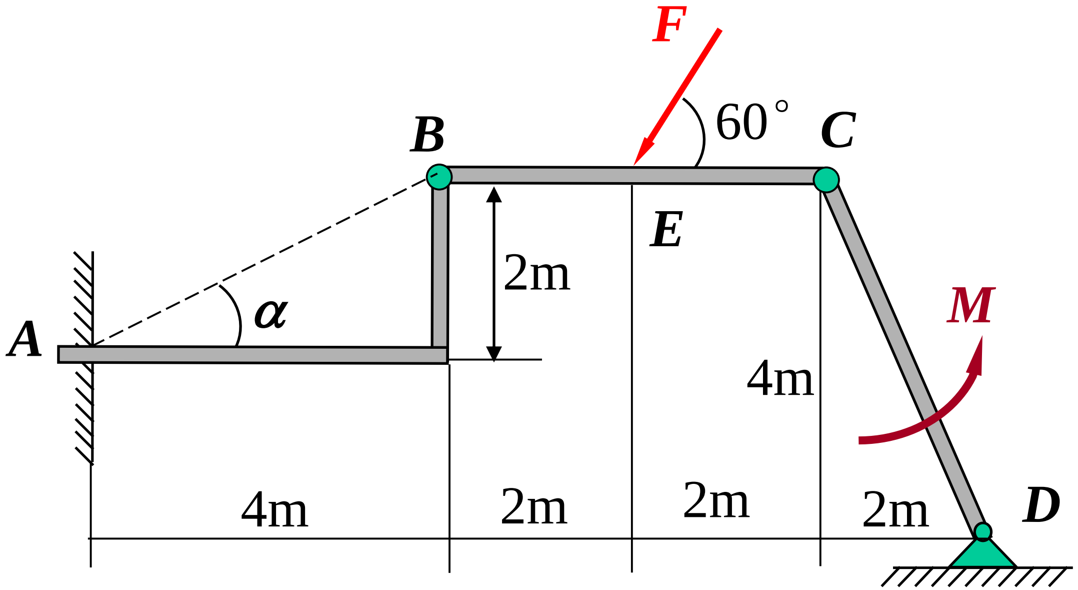
4. 取杆AB为研究对象，受力分析如图。

$$\sum F_x=0,\quad F_{Ax}-F_{Bx}-F_E=0$$

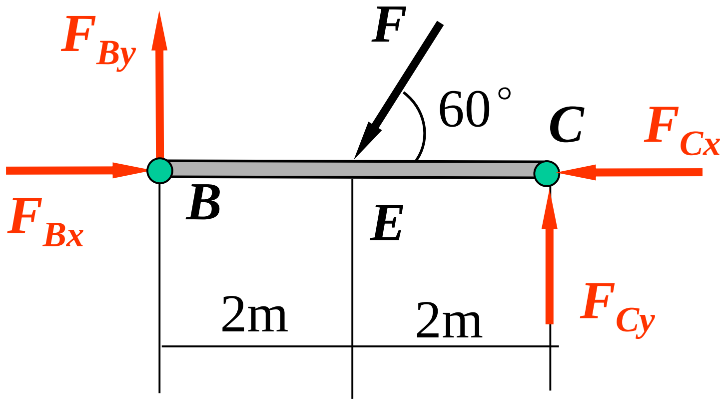
$$\sum M_A(\boldsymbol{F})=0,\ 2r\times F_{Bx}-2r\times F_{By}-rF_E=0$$

$$F_{Bx}=-1.5G,\quad F_{By}=-2G$$

练习2 如图已知 F=15 kN，M =40 kN·m。各杆件自重不计，试求D和B处的支座约束力。



解：1. 先取BC为研究对象，受力分析如图。

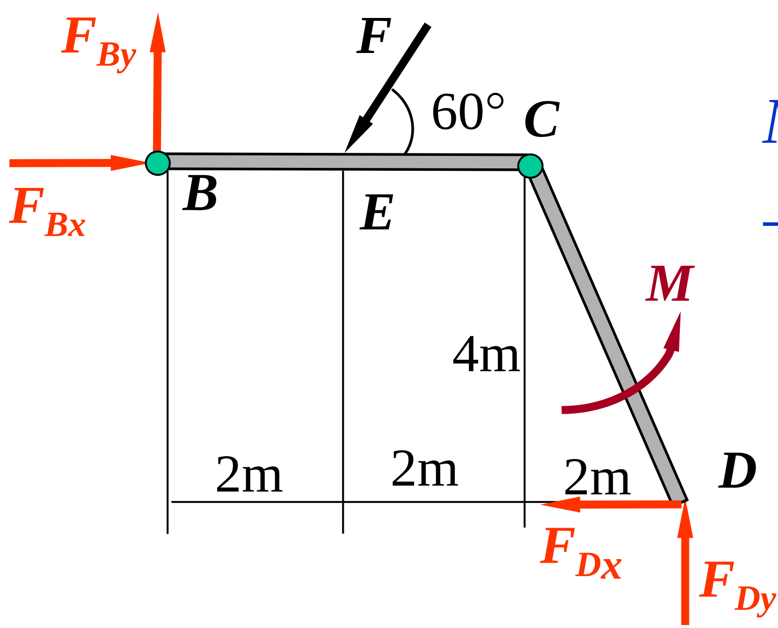


$$\sum M_C(F)=0,$$

$$F\sin 60°\times 2-F_{By}\times 4=0$$

$$F_{By}=6.5\text{kN}$$

2. 再取BCD为研究对象，



$$\sum M_D(F)=0$$

$$M+F\sin 60°\times 4+F\cos 60°\times 4$$

$$-F_{By}\times 6-F_{Bx}\times 4=0$$

$$\sum F_x=0,$$

$$F_{Bx}-F\cos 60°-F_{Dx}=0$$

$$\sum F_y=0,$$

$$F_{By}-F\sin 60°+F_{Dy}=0$$

$F_{Bx}=20.75\text{kN}$ $F_{Dx}=13.25\text{kN}$ $F_{Dy}=6.5\text{kN}$

求解策略

- 研究对象的选取，尤其是第一个研究对象.

  —— 问题的突破.

- 平衡方程的选取，尤其是第一个方程.

  —— 矩式（矩心）和投影式（投影轴）

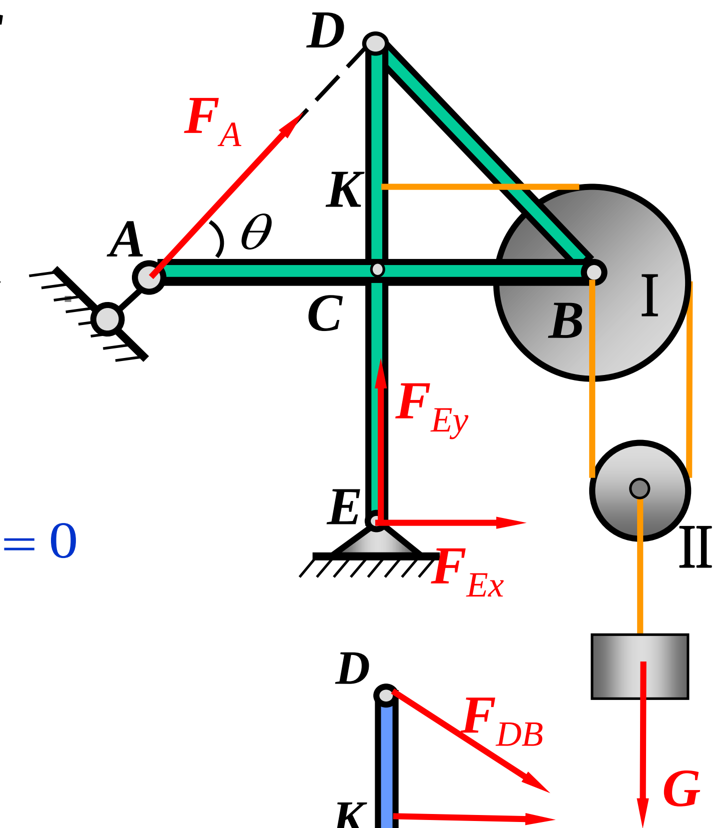
- 求解的次序，先解含一个未知量的方程.

  —— 避免解联立方程.

注意：1. 销钉处的力如何处理

2. 中间结果为负值时，代入为代数值，受力图遵守作用力反作用力不变.

例4 如图所示，已知重力**G**，$DC=CE=AC=CB=2l$；定滑轮半径为R，动滑轮半径为r，且$R=2r=l$，$\theta=45°$。试求：A，E支座的约束力及BD杆所受的力。



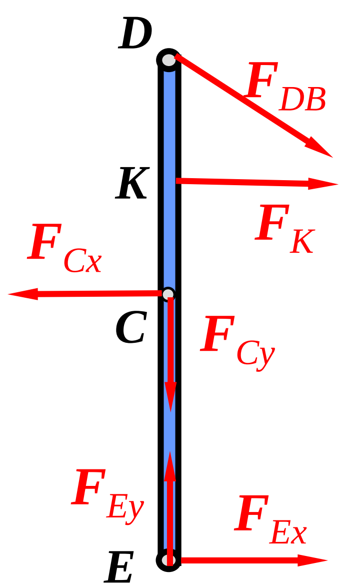
解： 1. 选取整体研究对象，

$$\sum M_E(F)=0,\quad F_A\times\sqrt{2}\times 2l+G\times\frac{5}{2}l=0$$

$$\sum F_x=0,\quad F_A\cos 45^\circ+F_{Ex}=0$$

$$\sum F_y=0,\quad F_A\sin 45^\circ+F_{Ey}-G=0$$

2. 研究对象DCE，



$$\sum M_C(F)=0,$$

$$F_{DB}\cos 45^\circ\times 2l+F_K\times l-F_{Ex}\times 2l=0$$

若求销钉B给AB杆的力，如何？

本章小结

1. 空间任意力系平衡的必要与充分条件

$$\left.\begin{aligned}\sum F_x &= 0\\ \sum F_y &= 0\\ \sum F_z &= 0\\ \sum M_x(\boldsymbol{F}) &= 0\\ \sum M_y(\boldsymbol{F}) &= 0\\ \sum M_z(\boldsymbol{F}) &= 0\end{aligned}\right\}\text{空间力系平衡方程}$$

2. 平面任意力系平衡的必要与充分条件

$$\left.\begin{aligned}\sum F_x &= 0\\ \sum F_y &= 0\\ \sum M_O(\boldsymbol{F}) &= 0\end{aligned}\right\}\text{平面力系平衡方程}$$

3．静定与静不定问题

4．物体系统的平衡问题：

注意研究对象的选取，

正确的受力分析，

合适的投影和矩方程。

5．静力学的任务：

分析受力→平衡条件→约束反力