

●以旋轉缸負重作動時，物體會產生慣性力(運動能量)。為了將運動中的物體停止，必須以擋板及油壓緩衝器等吸收物體具有的運動能量。

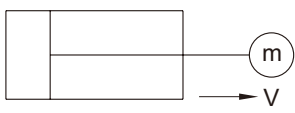
氣缸負重作動時，可區分：

1. 直線運動(空氣氣缸)，如(圖1)

2. 搖動運動(旋轉缸)，如(圖2)

以圖中所列式子，計算其運動能量。

### 直線作動氣缸

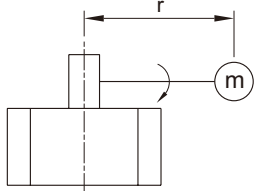


E: 運動能量  
m: 負重之質量  
V: 速度

$$E = \frac{1}{2} \cdot m \cdot V^2 \dots (1) \text{式}$$

(圖1) 直線運動

### 旋轉缸



E: 運動能量  
I: 慣性力矩(=m·r<sup>2</sup>)  
ω: 轉速  
m: 負重之質量  
r: 旋轉半徑

$$E = \frac{1}{2} \cdot I \cdot \omega^2 = \frac{1}{2} \cdot m \cdot r^2 \cdot \omega^2 \dots (2) \text{式}$$

(圖2) 旋轉運動

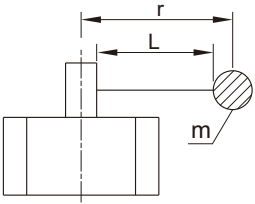
●直線運動時若(1)式之速度 V 一定，其運動能量 E 與質量 m 成正比；而搖動運動時，由(2)式清楚可知運動能量 E 即使在角速度 ω 與質量 m 一定時，也會與 r<sup>2</sup> 成正比。因此即使質量小但其旋轉半徑 r 大，因當慣性力矩 I=m·r<sup>2</sup> 大時，運動能量 E 變大，會造成軸承損壞等事故。故在旋轉運動時，乘積選擇上以慣性力矩為準，而不是質量。

## 慣性力矩

●慣性力矩表示了，欲使靜止之物體旋轉不易；反推回來表示了，旋轉中的物體不易停止。

●旋轉缸中容許的運動能量有限限制，故可由求出慣性力矩來求出搖動時間的臨界值。以下說明慣性力矩之求法。

### 慣性力矩之基本式如下式所示



$I = m \cdot r^2$

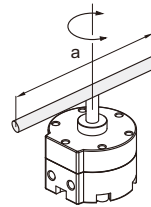
m: 質量 kg  
r: 旋轉半徑

(但是是忽略掉 L 部份的質量時)

上圖表示質量 m 之物體，距離旋轉軸 r 處的慣性力矩。物體形狀不同，慣性力矩之計算公式亦不相同。以下以具體之計算例為基礎，表示慣性力矩的求法。

### 1. 粗棒

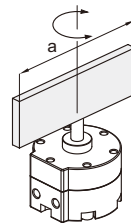
旋轉軸之位置:貫通軸重心



$$I = m \cdot \frac{a^2}{12}$$

### 2. 薄長方形板(長方體)

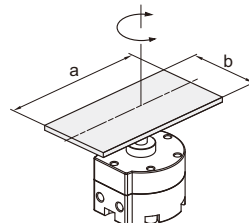
旋轉軸之位置:貫通板重心



$$I = m \cdot \frac{a^2}{12}$$

### 3. 薄長方形板(長方體)

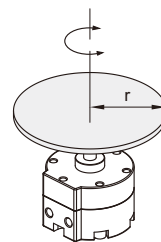
旋轉軸之位置:貫通板重心，與板垂直(厚長方體板亦同)



$$I = m \cdot \frac{a^2 + b^2}{12}$$

### 4. 圓柱(含有薄圓板)

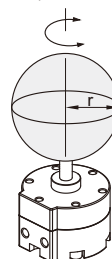
旋轉軸之位置:中心軸



$$I = m \cdot \frac{r^2}{2}$$

### 5. 實心球

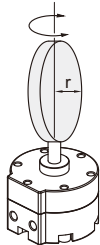
旋轉軸之位置:直徑



$$I = m \cdot \frac{2r^2}{5}$$

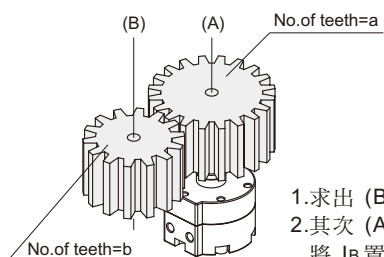
### 6. 薄圓板

旋轉軸之位置:直徑



$$I = m \cdot \frac{r^2}{4}$$

### 7. 以齒輪傳動



1. 求出 (B) 軸旋轉之慣性力矩  $I_B$
2. 其次 (A) 軸旋轉之慣性力矩上將  $I_B$  置換為  $I_A$ ,  $I_A = (\frac{a}{b})^2 \cdot I_B$

旋轉缸搖動時間如下列式求出。

$$t \geq \sqrt{\frac{2 \cdot I \cdot \theta^2}{E}}$$

$E$ : 容許運動能量 (J)  
 $I$ : 慣性力矩 ( $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ )  
 $\theta$ : 旋轉角度 (rad)

此式意義為「不造成旋轉缸損壞，而能使用之臨界搖動時間，故搖動時間必須設定在上式求出時間  $t$  秒以上」

由負重形狀計算出慣性力矩後，帶入下列式，即可求出旋轉缸上加諸負重時的運動能量。

$$E = 1/2 \cdot I \cdot \omega^2$$

$E$ : 容許運動能量 (J)  
 $I$ : 慣性力矩 ( $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ )  
 $\omega$ : 角速度 (rad/s)

此角速度  $\omega$  以下列 (1) 式求出

$$\omega = 2\theta / t \dots (1) \text{式}$$

$$\omega = \theta / t \dots (2) \text{式}$$

$I$ : 慣性力矩 ( $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ )  
 $\theta$ : 旋轉角度 (rad)  
 $t$ : 旋轉時間 (s)

(180度為  $\pi=3.14$  rad、90度為  $\pi/2=1.57$  rad)  
 在搖動時間極端慢時使用 (2) 式 (比  $2\text{s}/90^\circ$  慢時)。

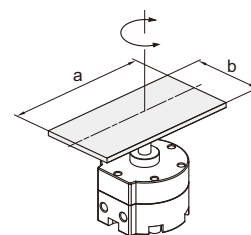
### 計算例

負重之形狀: 長方體

搖動角度  $\theta$ :  $180^\circ$   
 搖動時間  $t$ :  $1 \text{ s}/180^\circ$

a 長度 :  $0.12 \text{ m}$   
 b 長度 :  $0.06 \text{ m}$   
 m 質量 :  $0.1 \text{ kg}$

$$I = m \cdot \frac{a^2 + b^2}{12}$$



(順序1) 求出角速度  $\omega$

$$\omega = \frac{2\theta}{t} = \frac{2}{1} \times \pi = 6.28 \text{ rad/s}$$

(順序2) 計算慣性力矩  $I$

$$I = m \cdot \frac{a^2 + b^2}{12}$$

$$= 0.1 \times \frac{144 \times 10^{-4} + 36 \times 10^{-4}}{12}$$

$$= 1.5 \times 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

(順序3) 計算運動能量  $E$

$$E = \frac{1}{2} \cdot I \cdot \omega^2 = \frac{1}{2} \times 1.5 \times 10^{-4} \times 6.28^2$$

$$= 0.002958 \text{ J}$$