

第十五章 起重滑車 學習目標

1. 學生能瞭解各種滑車的原理。
2. 學生能瞭解起重滑車的種類及機械利益。
3. 學生能計算各類起重滑車的機械利益，並選用適當的滑車。

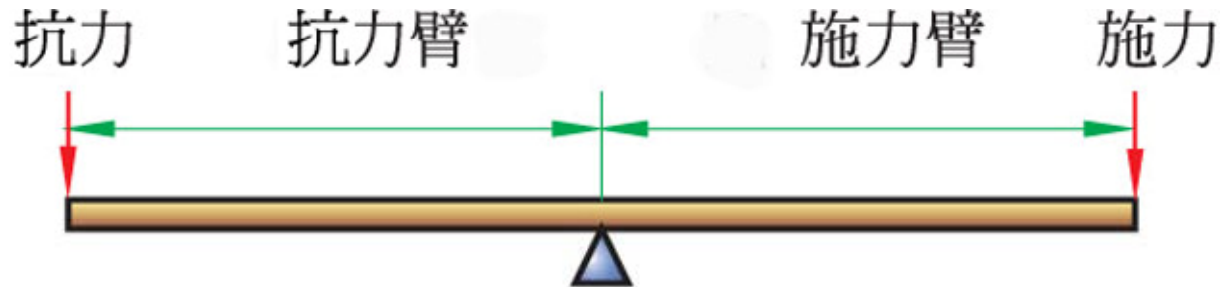
15-1 起重滑車概述

起重工作簡單的說，就是把重物從低處吊往高處或由甲地搬往乙地的搬運過程，許多的工程須應用起重滑車才能完成。起重滑車的應用很早，在古埃及人建造金字塔及中國人建築萬里長城時已發揮了功效。今日工廠中使用起重機的機會很多，例如機械床檯加工前後之搬運或笨重機件之組裝等。在生產過程中，物料搬運直接影響到生產速度與成本。起重滑車的應用是物料搬運不可或缺的設備。

15-2 滑車的原理

滑車是槓桿原理的應用，經由滑車機構可得到省力、省時或改變作用力的方向等效果。

一、槓桿原理：施力 \times 施力臂 $=$ 抗力 \times 抗力臂



二、機械利益

抗力大小與施力大小之比值，稱為機械利益。
亦等於施力臂與抗力臂之比值。

接上頁

設 W ：抗力， F ：施力，則

$$\text{機械利益 } Ma = \frac{\text{抗力}}{\text{施力}} = \frac{W}{F} = \frac{\text{施力臂}}{\text{抗力臂}}$$

當機械利益小於1時，所需施力大於抗力，亦即較費力，但較為省時；當機械利益大於1時，施力小於抗力，較省力，但卻較費時。起重滑車之機械利益可大於1、等於1或小於1。

三、滑車

如圖15-1所示，輪緣刻有凹槽之輪，裝置於輪架上，且可繞固定軸旋轉者，稱為滑輪。若將繩或鏈繞在輪緣凹槽，一端懸以重物 W ，一端施力 F ，即可升降重物。由滑輪、輪軸與支架等合組為滑車(block)。

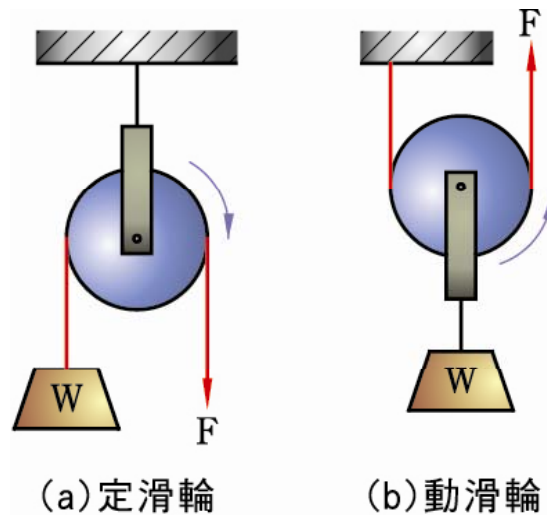


圖15-1 滑車

1.定滑車

滑車相當於槓桿的延伸，依支點的不同，分爲定滑車與動滑車，分述如下。

1.定滑車 (fixed pulley block)

如圖15-2所示，一個滑輪中心固定於C點，其上繞一條繩，繩一端有作用力F，繩另一端吊有W的重物，此種裝置稱爲定滑車。

設F之線速度爲 V_f ，W之線速度爲 V_w ，因 $V_f = V_w$ ，若不計摩擦時， $F \times V_f = W \times V_w$ (能量守恒原理)，則

$$\text{機械利益 } M_a = \frac{W}{F} = \frac{V_f}{V_w} = 1 \quad (15-1)$$

接上頁

若依槓桿原理 $F \times R = W \times R$ (R 為滑輪的半徑) 則亦即定滑車可改變作用力的方向，而不改變其作用力的大小。

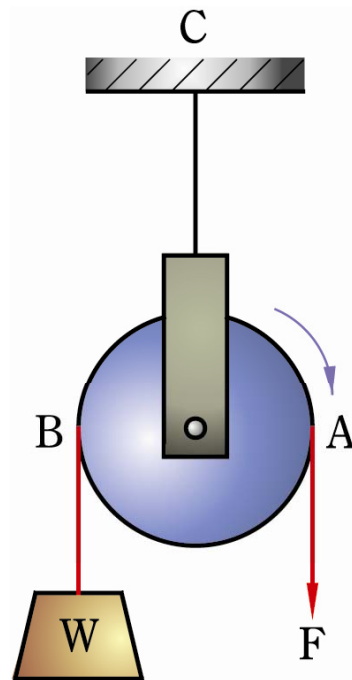


圖15-2 定滑車



動畫15-2

2.動滑車

如圖15-3所示，滑輪中心不固定，稱爲動滑車。

(1)如圖15-3(a)中的重物吊於滑輪中心，因此 $W=2F$ ，亦即施力爲物重之半，其機械利益 $M_a=2$ ，省力但費時。

$$\text{機械利益 } M_a = \frac{W}{F} = \frac{V_f}{V_w} = 2 \quad \cdot \cdot \cdot (15-2)$$

若依槓桿原理 $F \times AC = W \times BC$ 則

$$\text{機械利益 } M_a = \frac{W}{F} = \frac{AC}{BC} = \frac{2R}{R} = 2$$

接上頁

(2)圖15-3(b)中的重物 W 則吊於繩端，因此 $2W = F$ ，亦即施力為物重之兩倍，其機械利 $M_a = \frac{1}{2}$ ，費力但省時。動滑車用於改變作用力的大小，不改變方向。

$$\text{機械利益 } M_a = \frac{W}{F} = \frac{V_f}{V_w} = \frac{1}{2} \quad (15-3)$$

若依槓桿原理 $F \times AC = W \times BC$ 則

$$\text{機械利益 } M_a = \frac{W}{F} = \frac{AC}{BC} = \frac{R}{2R} = \frac{1}{2}$$

接上頁

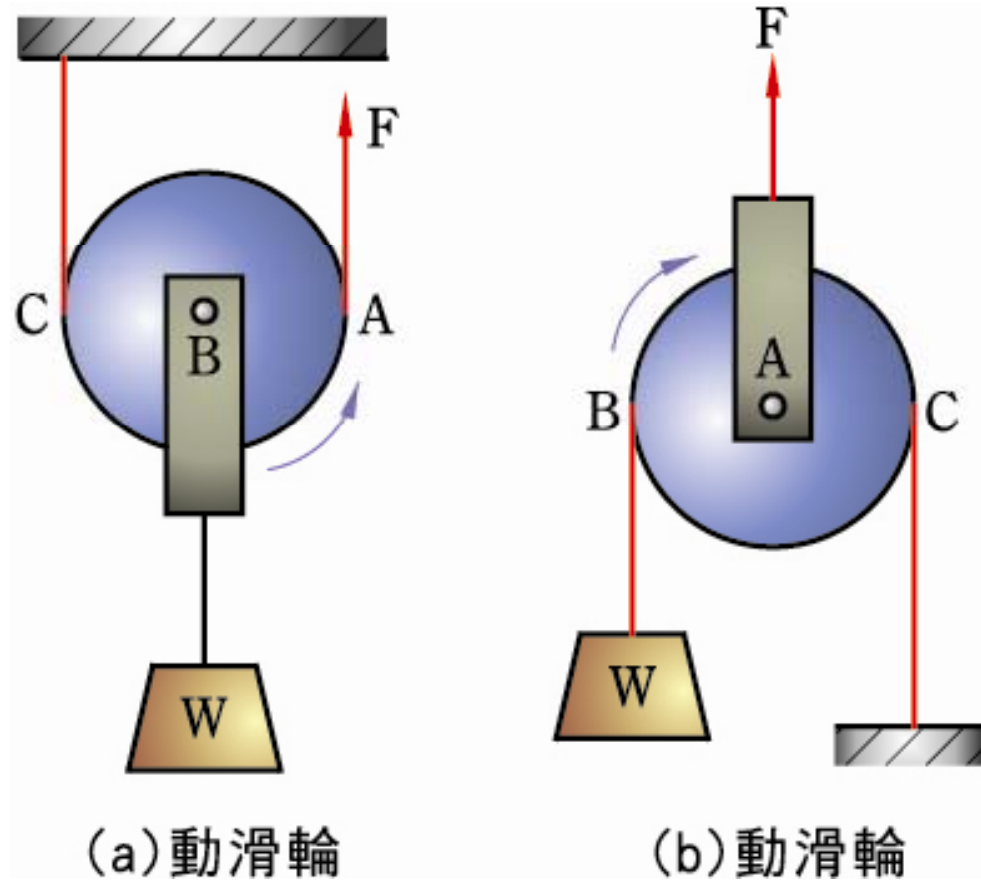
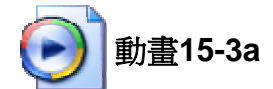


圖15-3 動滑車



動畫15-3a



動畫15-3b

15-3起重滑車

起重滑車：定滑車可改變作用力之方向，動滑車可改變作用力之大小，若將兩者組合使用，即可改變施力方向，又可得到所需的機械利益，兩者之功效兼可獲得。組合的方式很多，說明如下。

- 一、數個單槽輪所組成的滑車組
- 二、一單槽輪與一雙槽輪所組成之滑車組
- 三、帆滑車 (luffon luff)
- 四、西班牙滑車 (spanish burton)
- 五、惠斯頓差動滑車 (weston differential pulley block)
- 六、中國式滑車
- 七、三重滑車 (triplex pulley block)
- 八、電動滑車

一、數個單槽輪所組成的滑車組

1. 單槽輪滑車組(A)

如圖15-4所示，為一數個單槽輪所組成的滑車組，其中滑輪4與5在同一固定軸上旋轉，滑輪2、3繞同軸旋轉，且重物 W 吊在滑輪2、3之同軸上，繩或鏈由固定端繞經滑輪2、4、3、5到施力點 F 。滑輪4與5為定滑輪，而滑輪2與3為動滑輪。



圖15-4 單槽輪滑車組(A)



動畫15-4

接上頁

爲方便分析，將圖15-4化簡爲圖15-5 (a)，由於同一條繩索上的每一部位張力完全相同(不考慮摩擦力)，因此由圖16-5(b)之分析圖可知 $4F = W$ ，所以滑車組之機械利益爲：

$$M_a = \frac{W}{F} = \frac{4F}{F} = 4$$

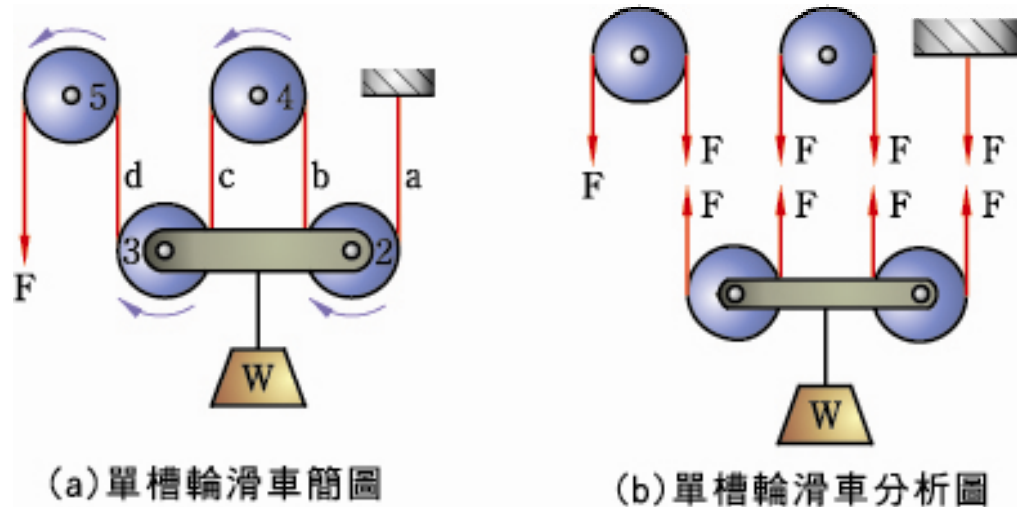


圖15-5 單槽輪滑車之簡圖及其分析圖

2.單槽輪滑車組(B)

如圖15-6所示，在支架H內有一單槽的定滑輪P，繞固定軸S轉動，繩一端固定在支架H上，繞過下端動滑輪B，再經過定滑輪P而接受拉力F。由於同一條繩索上的拉力相同，因此由圖15-6(b)之分析圖中，可得知 $W = 2F$ ，所以此滑車組之機械利益為：

$$M_a = \frac{W}{F} = \frac{2F}{F} = 2$$

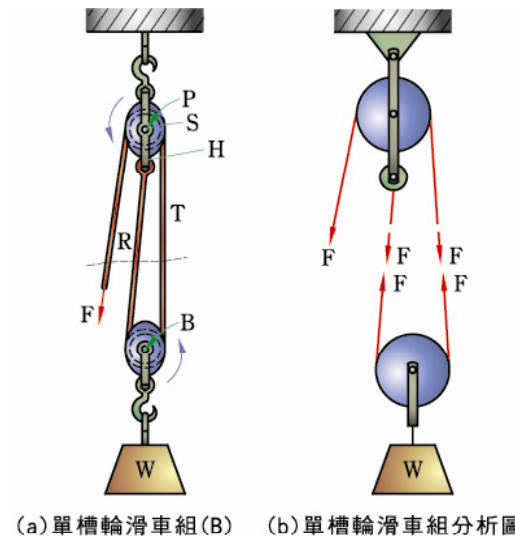


圖15-6單槽輪滑車組

二、一單槽輪與一雙槽輪所組成之滑車組

- 如圖15-7(a)所示，為單槽輪與一雙槽輪所組成之滑車組，滑車上端有一雙槽的定滑輪，下端有一個單槽的動滑輪，繩的T端固定在動滑輪的支架H上，再繞經上端定滑輪，到圖中的R部位；再繞經下端動滑輪，到圖中的P部位；最後，再次繞過上端定滑輪，而於繩端接受拉力F。
- 由於同一條繩索上任意斷面的張力完全一致(不考慮摩擦阻力)，因此，由圖15-7(b)的分析圖，得知 $W = 3F$ ，所以此機構之機械利益為：

$$M_a = \frac{W}{F} = \frac{3F}{F} = 3$$

接上頁

又另解：滑車組中之重物 W ，欲上升1公分時， T 、 R 、 P 須各縮短1公分，機械利益為：

$$M_a = \frac{W}{F} = \frac{V_f}{V_w} = \frac{3}{1} = 3$$

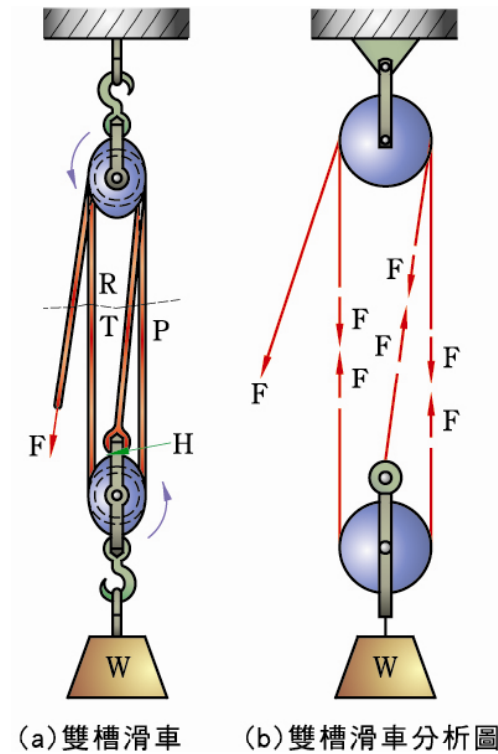
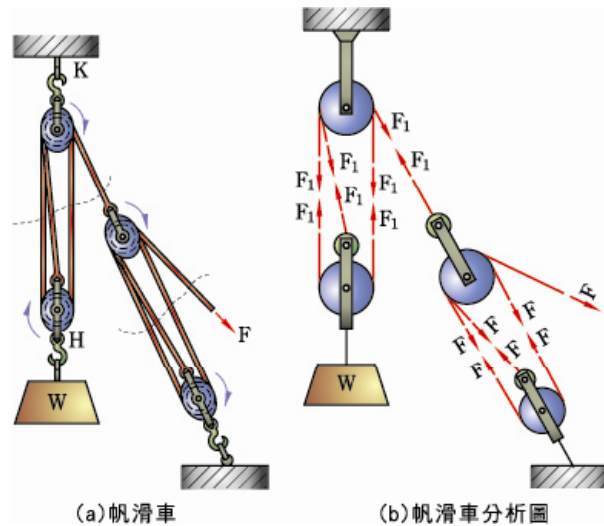


圖15-7 雙槽滑車

三、帆滑車

- 帆滑車如圖15-8(a)所示，又稱雙組滑車，是由兩個滑車組所組成，如要求帆滑車的機械利益，可先分別求出各滑車組之機械利益，然後相乘即得。
- 由於此機構中有兩條繩索，設其張力分別為 F_1 及 F ，由圖15-8(b)中得知 $4F = F_1$ ， $3F_1 = W$ ，故圖中，右邊的滑車組之機械利益為4，左邊滑車組的機械利益為3，機械利益 $Ma = 4 \times 3 = 12$ 。



動畫15-8

圖15-8 帆滑車

接上頁

將帆滑車左邊的滑車組顛倒使用如圖15-9所示，將H端固定在牆上，重物W放在掛鉤K處，則其機械利益 $Ma = 4 \times 4 = 16$ 。

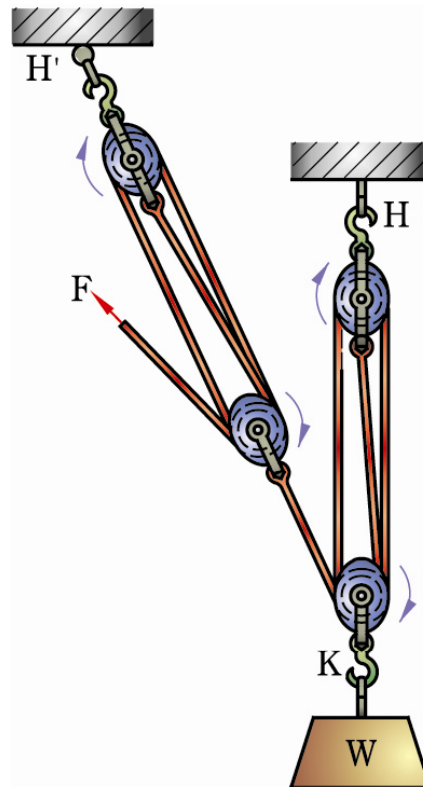


圖15-9帆滑車例

四、西班牙

如圖15-10(a)所示西班牙滑車。西班牙滑車內含有兩條繩索，二者張力分別為 F_1 及 F ，如圖15-10(b)所示，可知 $F_1 = 2F$ ， $W = F_1 + F$ ，所以， $W = 2F + F = 3F$ ，西班牙滑車之機械利益為：

$$M_a = \frac{W}{F} = \frac{2F + F}{F} = 3$$

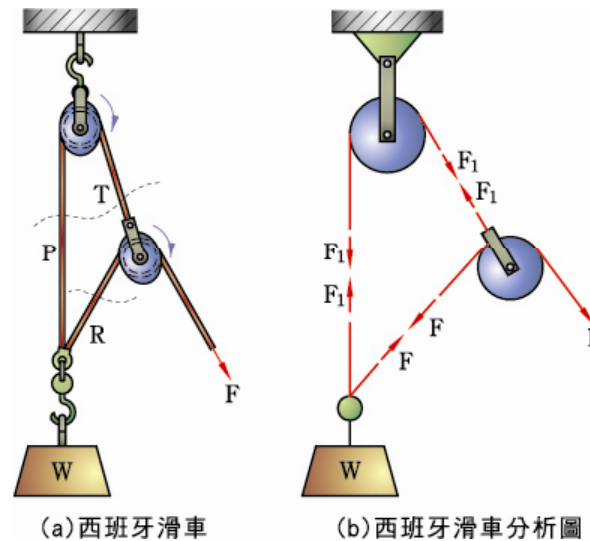


圖15-10 西班牙滑車

五、惠斯頓差動滑車

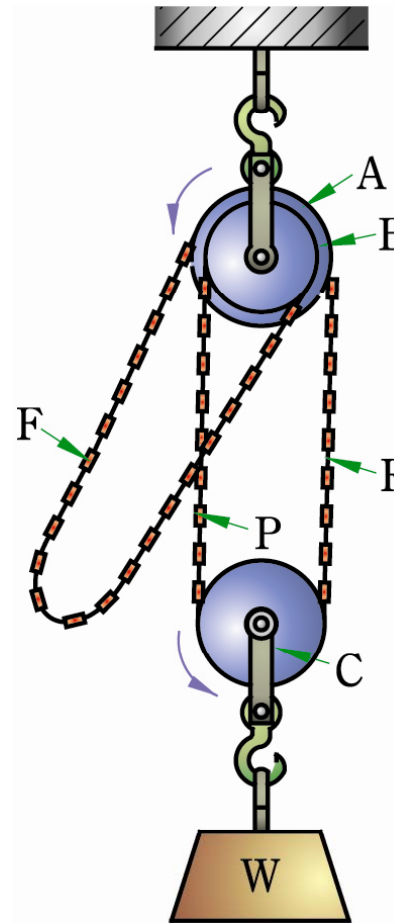
- 如圖15-11所示為惠斯頓差動滑車，是一種鏈式起重機，上方有兩個不同直徑的鏈輪固定在一起，繞同一個軸旋轉，其中A輪直徑 D_A 比B輪直徑 D_B 稍大。下端的鏈輪C直徑為A輪與B輪的平均值。
- 鏈條閉合成為一完整的鏈圈。鏈條依序由F⇒A輪⇒R⇒C輪⇒P⇒B輪⇒F整個循環一圈，當施力F時(向下拉)，W即上升。
- 若將F處往下拉動，使A輪及B輪逆時針方向轉一圈，則R鏈條上升 πD_A ，而P鏈條下降 πD_B ，實際上W上升之距離只有 $(\pi D_A - \pi D_B)$ 的一半，而F拉下之鏈條長為 πD_A ，由能量守恆原理，可得：

接上頁

$$F \times \pi D_A = \frac{W}{2} \times (\pi D_A - \pi D_B)$$

$$F \times D_A = \frac{W}{2} \times (D_A - D_B)$$

$$\text{機械利益 } M_a = \frac{W}{F} = \frac{2D_A}{D_A - D_B} \quad (15-4)$$



動畫15-11

圖15-11 惠斯頓差動滑車

六、中國式滑車

如圖15-12所示，為中國式滑車，當手柄端F轉一圈時，重物W左端R繩上升 πD_A ，右端P繩下降 πD_B ，由能量守恒原理，可得：

$$F \times 2\pi R = \frac{W}{2} \times (\pi D_A - \pi D_B)$$

$$\text{機械利益 } M_a = \frac{W}{F}$$

$$= \frac{2\pi R \times 2}{\pi D_A - \pi D_B} = \frac{4R}{D_A - D_B}$$

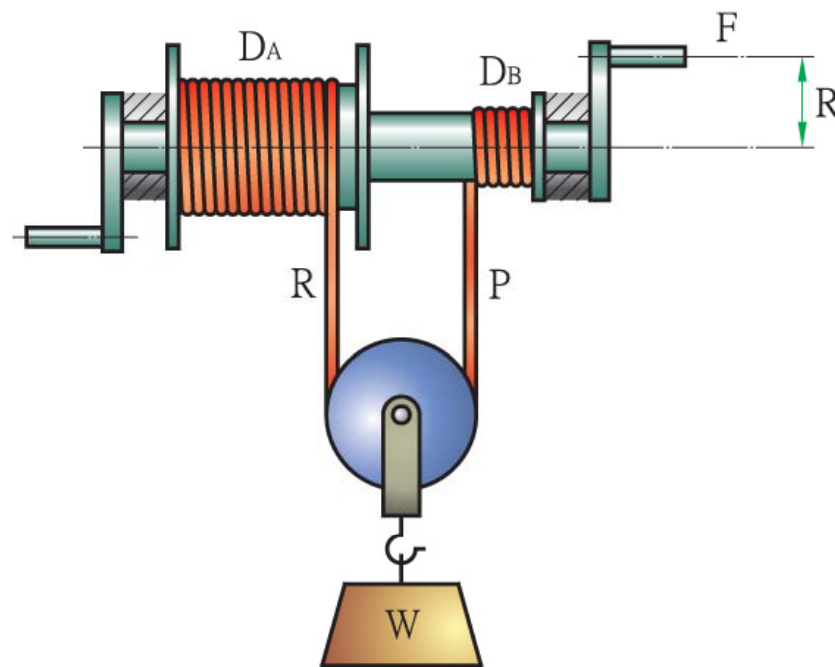


圖15-12 中國式滑車

七、三重滑車

如圖11-18所示，為三重滑車其輪系值。

$$e = -\frac{T_H \times T_C}{T_E \times T_D}$$

$$e = \frac{\text{末輪轉速} - \text{旋臂轉速}}{\text{首輪轉速} - \text{旋臂轉速}}$$

$$= \frac{N_D - N_G}{N_H - N_G}$$

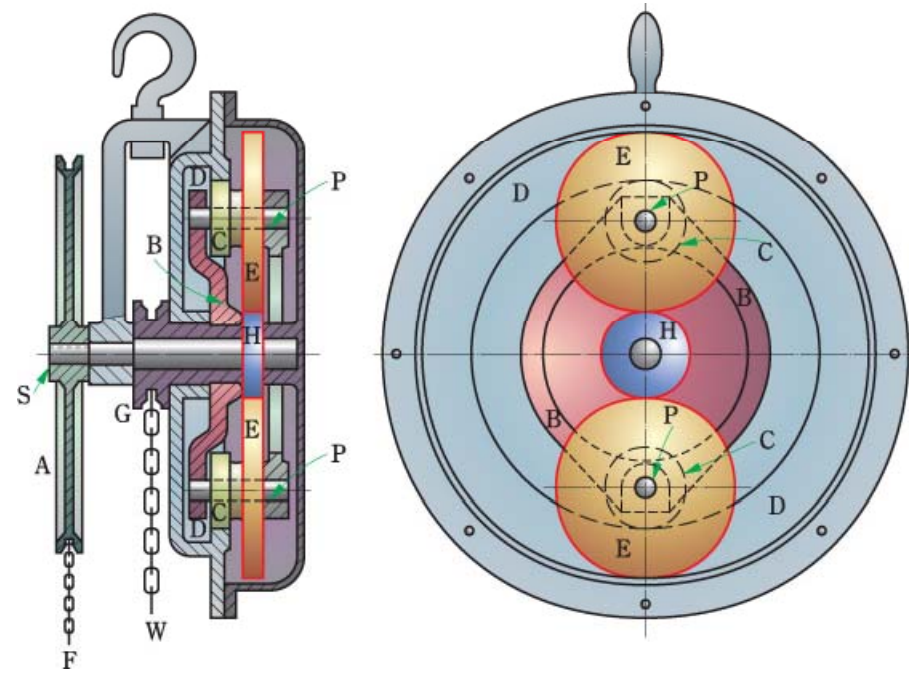


圖11-18 三重滑車

接上頁

內齒輪D為輪系末輪固定不動，故 $N_D=0$ ，
首輪 $N_H=N_A$ 。

$$e = \frac{N_D - N_G}{N_A - N_G} = -\frac{T_H \times T_C}{T_E \times T_D}$$

$$e = \frac{-N_G}{N_A - N_G} \Rightarrow -\frac{1}{e} = \frac{N_A - N_G}{N_G} \Rightarrow \frac{N_A}{N_G} = 1 - \frac{1}{e} = 1 + \frac{T_E \times T_D}{T_H \times T_C}$$

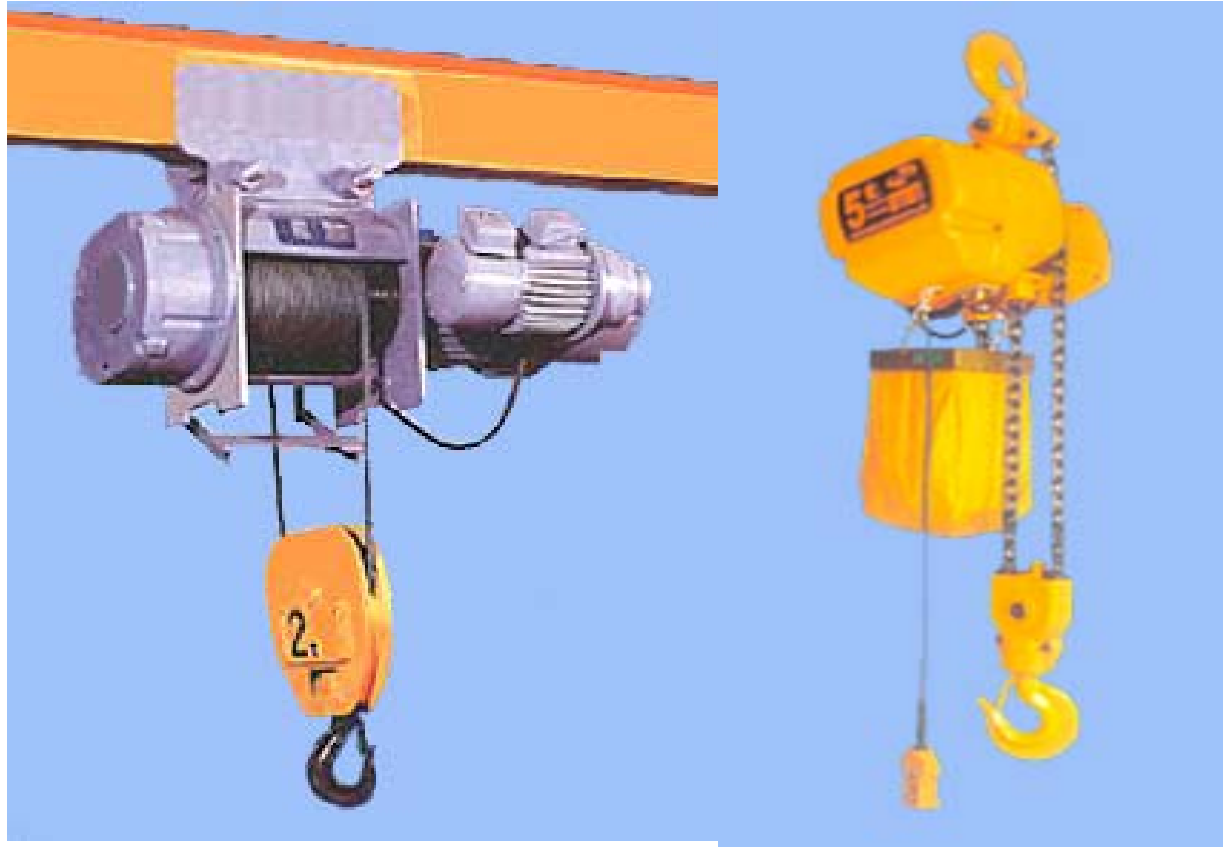
$$\text{機械利益 } M_a = \frac{W}{F} = \frac{V_A}{V_G} = \frac{\pi D_A N_A}{\pi D_G N_G} = \frac{D_A}{D_G} \left(1 + \frac{T_E \times T_D}{T_H \times T_C} \right) \quad (15-5)$$

D_A 為A鏈輪之直徑， D_G 為G鏈輪之直徑。

八、電動滑車

- 一般大型機械廠、電機廠、鋼鐵廠、造船廠、鑄造廠、汽車廠及修護廠等，爲了獲得適用之吊重及安全性，其起重設備大都使用電動滑車，如圖15-13所示。
- 電動滑車依吊繩之不同可分爲：**(a)**鋼索式電動吊車，如圖15-13**(a)**所示**(b)**鏈條式電動吊車，如圖15-13**(b)**所示。
- 如依裝置之不同可分爲：**(a)**軌道型電動吊車，如圖15-13**(a)**所示。**(b)**掛鉤型電動吊車，如圖15-13**(b)**所示。以上各類型電動吊車規格很多，可供不同之場合選用。

接上頁



(a)鋼索式電動吊車

(b)鏈條式電動吊車

圖15-13 電動吊車(橋蕙機械廠有限公司提供)

接上頁

電動滑(天)車依場所之不同可分為：

(a) 架空雙軌移動吊車。

(b) 橋(門)型電動吊車。

兩者均適用於吊起重大物件。

九、其他起重滑車

1. 複式齒輪系起重滑車：如圖15-14所示，為複式齒輪系起重滑車，其機械利益為：

$$M_a = \frac{W}{F} = \frac{V_F}{V_D} = \frac{2\pi RN_A}{\pi DN_B} = \frac{2R}{D \times e}$$

設：

R為搖柄之半徑，

D為起重圓筒之直徑，

e為複式齒輪之輪系值。

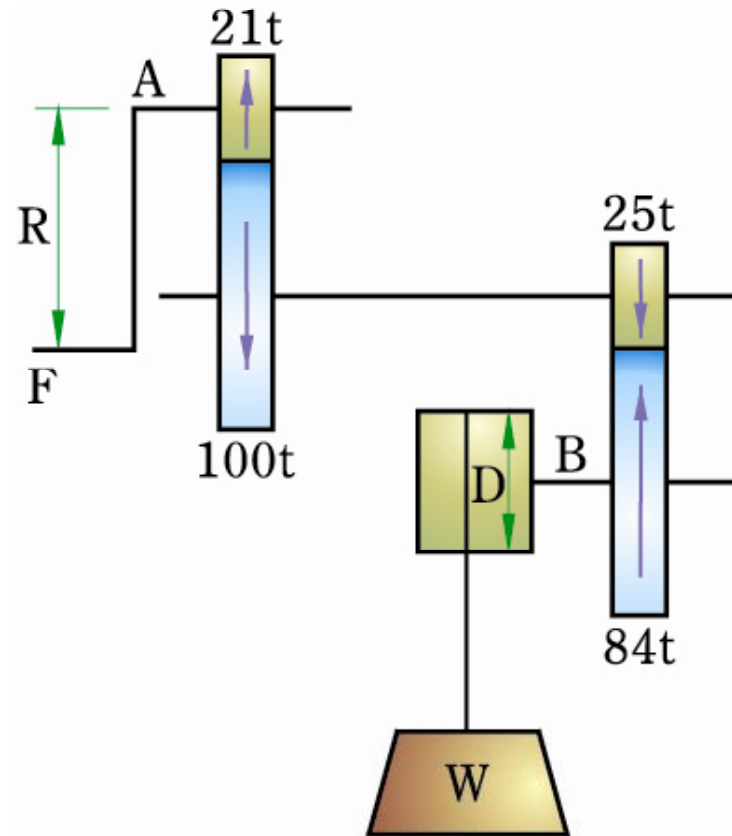


圖15-14複式齒輪系起重滑車



動畫15-14

接上頁

2. 蝸桿與蝸輪起重滑車：如圖15-15所示，為蝸桿與蝸輪起重滑車，其機械利益為：

$$M_a = \frac{W}{F} = \frac{2R}{D \times e}$$

e 為蝸桿與蝸輪之輪系

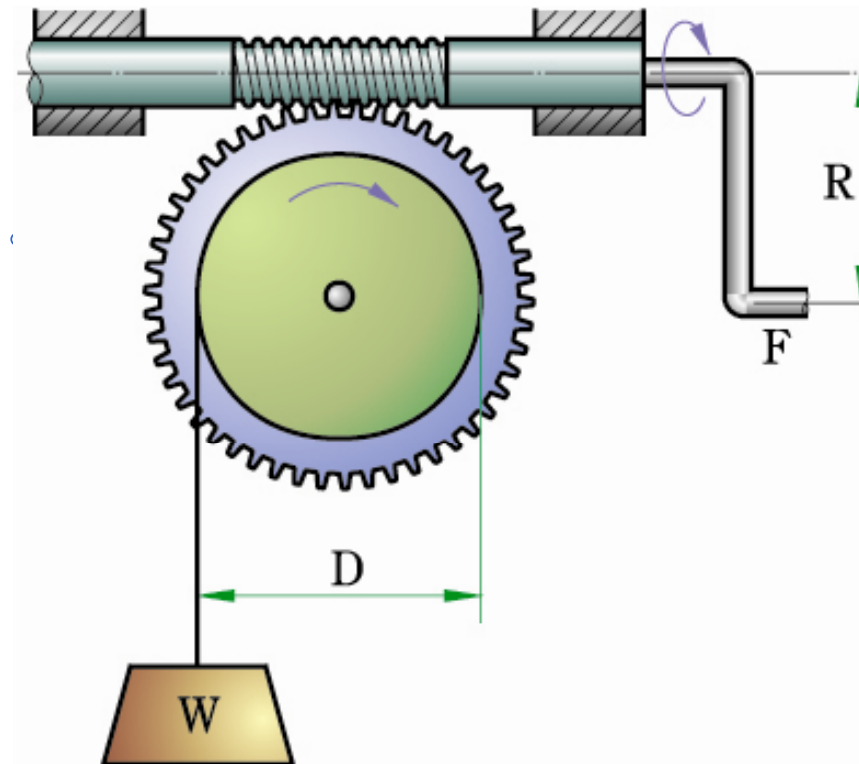


圖15-15蝸桿與蝸輪起重滑車