機械紡織大全

林英華編著

宏業書局印行

目錄

第一章　緒論

質量 (mass)，空間 (space)，及時間爲力學中之基本單位。質量之單位爲磅或公斤；空間之單位爲呎或公尺；時間之單位則爲秒。

速率 (speed) ——一物體對於地球或另一物體位置變化之快慢，稱爲其速率，普通以呎每秒 (feet per second) 表示之。

速度 (velocity) ——一物體在某一方向內之速率，稱爲其速度，其單位亦爲呎每秒。物體之速率雖或維持不變，其速度仍可變化。如一火車可以等速率環繞一彎曲軌道行進，然其方向則時時變更，故其速度亦變化不已。此點甚屬重要，蓋力爲速度變化所必須，固無論其爲速率之變化，抑爲方向之變化也。

角速度(angular velocity)——一動點對於一定點之角速度，爲通過該二點之直線，在一單位時間內旋轉之角度。此角度之單位，通用者爲弧度(radian)，即與半徑等長之弧於其中心所包之角。或等於 360 度 $\div 2\pi$ 或 57.3 度。因之，此角速度之單位爲弧度每秒 (radian per second)，

加速度 (acceleration)——速度變化之快慢程度，謂之加速度。設 t 秒內速度之變化爲 v 呎每秒，則平均加速度 $a=\dfrac{v}{t}$ 呎每秒每秒 (ft. per second per second)。速度減低，亦稱爲減速度 (retardation)。

運動定律 (laws of motion) —— (1) $v=V+at$；(2) $S=Vt+\frac{1}{2}at^2$；(3) $v^2=V^2+2aS$。其中 S = 一物體經行之空間；V = 初速(initial velocity)；

v＝終速(final velocity)；a＝加速度；t＝時間。物體受減速作用時，諸式中加速度之符號爲負。

力 (force) ——使一物體發生運動 (motion) 或運動變化，或使有運動及變化運動之傾向者爲力。某力如能在1秒中，施於1磅之質量而產生1呎每秒之速度變化者，即爲力之絕對單位。此種單位，名爲磅達(poundal)，但工程界用之者殊鮮。代替其位置而被廣泛採用者，則爲力之重力單位——磅。抵抗重力，支持1磅質量所需之力爲1磅。

動量 (momentum) ——力 F 加於一質量 M 之物體所生速度之變化 v，正比於此力之大小，及用此力之時間，而反比於此質量，即 $v\alpha\frac{F\times t}{M}$。設諸量之單位正確，則 $v=\frac{Ft}{M}$。因之，對於一質量 M 於時間 t 中，欲產生速度之變化 v 所需之力 $F=\frac{Mv}{t}$。若質量之單位爲磅，則力之單位必須爲磅達。蓋力1磅達推動1磅質量，在1秒中可生1呎每秒之速度變化。設單位重力1磅作用於1磅之質量凡1秒鐘，例如1磅質量之物體自由落下，則速度之變化爲 g（約等於32.2呎每秒）。由上式得：

$$v=32.2\text{呎每秒}=\frac{(1\text{磅}\times 32.2)\text{磅達}\times 1\text{秒}}{1\text{磅質量}}。$$

通常多不以乘 g 之法化磅力爲磅達，而以 g 除質量之磅以得一較大於磅之質量單位，此較大之單位 $\frac{\text{磅}}{g}$，稱爲工程制質量單位。

質量與速度之積，謂之物體之動量。如

$$\text{力}\,F=\frac{\text{動量}\,Mv}{\text{時間}\,t},$$

而 $$\frac{v}{t}=\text{加速度}\,a,$$

故 $$\text{力}\,F=\text{質量}\,M\times\text{加速度}\,a。$$

牛頓運動定律：——（1）任何物體不受外力時，恒維持於靜止或在一直線上作等速度運動之狀態。

（2）一物體運動之變化，正比例於所受之力，而平行於此力之方向。

（3）對於任何力 (action)，恒有一相等而相反之反動力 (reaction)。換言之，任意二物體間之相互作用力，恒相等而相反。

力平行四邊形——若以引自一點之二直線，代表在同一平面內不平行二力之大小及方向，則以此二直線爲鄰邊，所作成平行四邊形中，通過此點之對角線，

可以代表該二力合力之大小及方向。合速度或合加速度亦可用類此之方法求之。

力多邊形——若在一平面中，某一點上任意數目之諸力，能互相平衡，則該數力之大小及方向，可依次以一多邊形之諸邊表示之。

力矩 (moment)——一力對於一點之旋轉傾向，稱爲該力對於此點之力矩，而以該力與自該點至該力間垂直距離之乘積量度之。力矩之單位爲磅呎。

若一物體被在同一平面內之諸力所平衡，則所有諸力對於此平面內任一點之諸力矩之代數和爲零。

力偶 (couple)——方向相反大小相等，但不在一直線上之二力，組成一力偶，或稱偶力。此力偶之力矩，爲一力與二力間垂直距離之相乘積。

工 (work)——克服阻力 (resistance) 而經若干距離，是爲作工作。如克服1磅之阻力，經過1呎之距離，或克服2磅之阻力經過$\frac{1}{2}$呎之距離，則所成之工，爲工之單位——1呎磅。

工率或動力 (power)——作工之快慢程度，謂之工率或動力，其單位爲馬力 (horse power)，即每分鐘作工 33,000 呎磅。

任一機器中，給出之工，加耗於克服摩擦之工，等於給入之工。給出之工與給入之工之比，即爲該機器之效率。

能量(energy)——作工之能力，謂之能量。能量可以不同形式如位能(potential energy) 動能 (kinetic energy) 等貯積於一物體中。物體之位置爲其具有位能之原因，而其所具位能之量，等於物體之重量與其超出一已知水平 (datum level) 之高度之相乘積。物體運動時具有動能，其值以呎磅表之，等於質量 (工程單位) 之半與速率 (呎每秒) 之平方之相乘積。

能量不滅 (Conservation of Energy) ——能量不滅定律爲：能量可自一形式變化至另一形式，但其量不可損滅。舉例言之，一貯有位能之物體向已知水平自由落下時，則失去其位能，而獲得等量之動能。

惰性或慣性 (inertia)——物體對於速度變化之抵抗性質，謂之惰性。當此物體循一直線路徑前進時，惰性正比例於物體之質量，惰性阻力 (inertia resistance) $F=$質量$M\times$加速度a。

若爲一轉動之物體，如一飛輪或轉動軸，則此阻力不僅隨質量而異，且在乎此質量距離轉動中心之遠近。例如一長 40 呎之 3 吋轉動軸，可具有與一梳棉機錫林相等之質量，而後者對於運動變化之阻力，約爲前者之400倍。一轉動物體中任一質點之阻力矩(resisting moment)，在乎該質點之質量及其與轉動中心間距

離之平方。而此物體之總阻力矩或惰性力矩 (moment of inertia) 為全部質點所生阻力矩之和，可以下式表示之:

$$\text{惰性力矩}\ (I) = \text{物體之質量}\ (M) \times \text{環動半徑}\ (K)^2.$$

若物體之全質量集中於其點時，所生之阻力矩與實際物體所生之阻力矩相等，則自該點至轉動中心之距離，即為上式中之環動半徑(radius of gyration) K。其值可以計算或實驗求得之。

離心力及向心力 (centrifugal and centripetal forces) ——當一物體以等速率循一圓路徑運動時，其速度之方向不絕變化，故在任何時，若許物體以自由，則該物體必將循圓路徑之切線方向作直線運動。如繼續使之作環轉運動，則必須不斷用力以改變此物體之運動方向。此力須指向轉動中心，故名向心力。其值 F，等於物體之質量與加速度之相乘積。而此加速度等於以轉動半徑除線速度 (linear velocity) 平方所得之商，即 $\frac{v^2}{r}$。

因之 $$F\ (\text{磅}) = \frac{M\,\text{磅} \times v^2}{g \times r}。$$

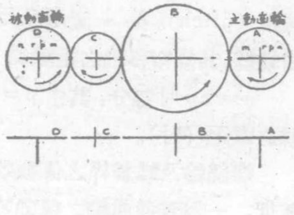
與向心力相等而相反之反動力，是為離心力。

簡諧運動 (simple harmonic motion) ——設一點以等速率 v 循一圓路徑運動，則該點在圓路徑任一直徑上之投影 (projection) 作簡諧運動。作圓運動之點之加速度指向圓心，且等於 $\frac{v^2}{r}$。其平行於簡諧運動方向之分加速度，即為作簡諧運動之點之加速度。故在兩極端時，簡諧運動之加速度最大，其值為 $\frac{v^2}{r}$。在任何其他位置，此加速度正比例於簡諧運動點至圓心之距離。當此點在中心時，加速度為零。

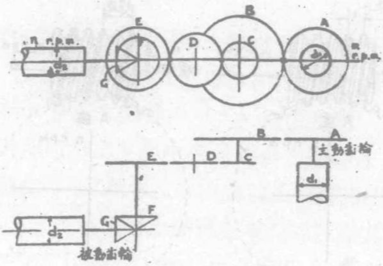
第二章　動之傳遞

齒輪 (wheel gearing)——輪隊(wheel train) 為主動輪 (driver wheel) 被動輪 (driven wheel) 及介輪 (carrier wheel) 所組成。介輪可為單介輪如 B 或 C (第 1 圖) 及 D (第 2 圖)，或雙介輪如 BC (第 2 圖)。

一輪隊中最末被動輪之速率"n"等於第一主動輪之速率"m"乘以各主動輪齒數之相乘積再除以各被動齒輪齒數之相乘積。



第 1 圖



第 2 圖

於第 1 圖中， $n=m\times\dfrac{A}{D}$,而第二圖中，$n=m\times\dfrac{A}{B}\times\dfrac{C}{E}\times\dfrac{F}{G}$。

一單介輪既爲一主動輪亦爲一被動輪，其作用除作前後空間之連繫及改變運動方向外，並無其他作用。是以於計算時可略去不計。傘輪 (bevel wheel) 則於二轉動軸相交而不相平行時用之。

最末被動輪速率對於第一主動輪速率之比值，名爲輪隊之速度比率，通常以"e"代表之。

是以 $$e=\frac{n}{m}=\frac{A}{B}\times\frac{C}{E}\times\frac{F}{G}\text{（第 2 圖）}$$

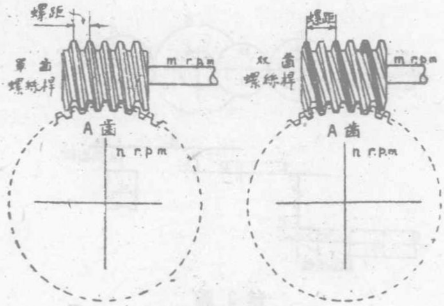
牽伸 (drafts) ——兩輥 (roller) 表面速度 (surface velocity) 之比率，謂之輥間之牽伸。如於第 2 圖中，輥 d_2 與 d_1 間之牽伸，爲以 d_1之表面速度除 d_2 之表面速度之商。

設 d_1 爲輥 d_1 之直徑，於 d_1 轉動 1 周時其表面運動 πd_1 。是以 d_2 之表面運動

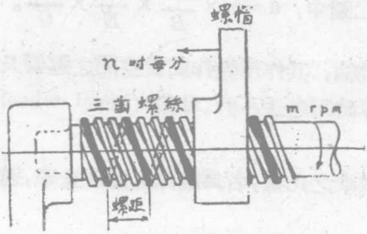
$$1\times\frac{A}{B}\times\frac{C}{E}\times\frac{F}{G}\times\pi d_2。$$

$$d_2\text{ 與 }d_1\text{ 間之牽伸}=\frac{A}{B}\times\frac{C}{E}\times\frac{F}{G}\times\frac{\pi d_2}{\pi d_1}=e\times\frac{d_2}{d_1}。$$

螺絲輪 (worm wheel) 及螺絲桿 (worm) ——螺絲輪及螺絲桿可以使轉速大量低減 (reduction in speed)。螺絲桿可具一，二或三螺齒或螺紋，其作用各相當於一，二或三齒之主動輪。是以如第 3 圖所示用單螺絲桿時，被動輪速率 $n=m\times\dfrac{1}{A}$，如用雙螺絲桿，則 $n=m\times\dfrac{2}{A}$。



第 3 圖



第 4 圖

就螺絲言，當轉一周時，螺帽（nut）移動之距離等於螺絲之螺距（pitch）。第 4 圖所示爲三齒螺絲，其螺帽移動之距離爲

$n=mp$ 吋每分，其中 $p=$ 螺絲之螺距（吋）。

螺絲輪及螺絲桿之傳動效率甚低。一對普通齒輪之傳動效率多超過 90%，而一螺絲輪與一螺絲桿間或一螺絲與其螺帽間之傳動效率，僅約爲30%。此於傳動大量能量時甚爲不利。唯於除去主動力時，可無向後倒轉之弊。如使效率超過 50%，則此弊甚易發生。職是之故，螺絲輪及螺絲桿若用以傳動織機之捲取運動，則普通機構中之制動裝置（retaining mechanism），可省去不用。

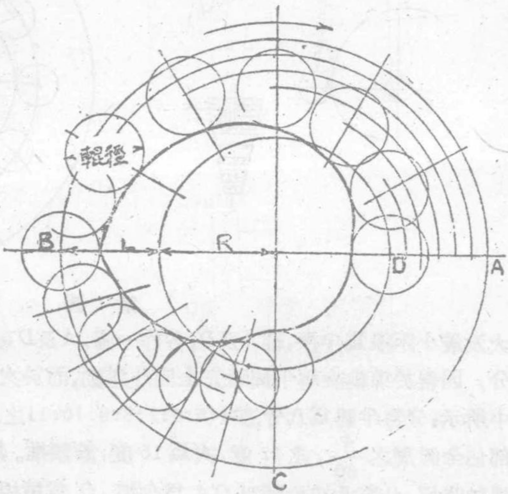
鋸齒輪(ratchet wheels)——鋸齒輪乃用以變往復運動（reciprocating motion）爲轉動運動。通常需備一制動撐手（retaining pawl）以阻止齒輪於撐手退回時隨之反轉。若撐手之動程維持不變，則僅需一推動撐手及一制動撐手可矣（第 5 圖）。設若撐手之動程時有參差，則需用有不同長度之複撐手，以制止齒輪之逆轉。

第 5 圖

導輪或導盤（cam and tappet）——導輪或導盤，用以變轉動爲往復運動。

此運動可爲連續運動亦可爲間歇運動。導輪之形狀大小,可任意設計,以使一機器部分有所需要之運動。導輪與推動之物體間,通常均有一減摩輥(antifriction roller 或 bowl)。輥必須有相當直徑,故所得速度之變化,遂不能太快。

繪一導輪之輪廓時,須知導輪軸至減摩輥之中心距離 R (第 6 圖),輥心移動之距離或動程 (lift) L,輥之直徑及所需運動之性質。第6圖所示導輪輪廓之構造,將產生如下之運動: $\frac{1}{2}$ 轉,等速向外運動; $\frac{1}{4}$ 轉,等速向內運動; $\frac{1}{4}$ 轉,無運動。

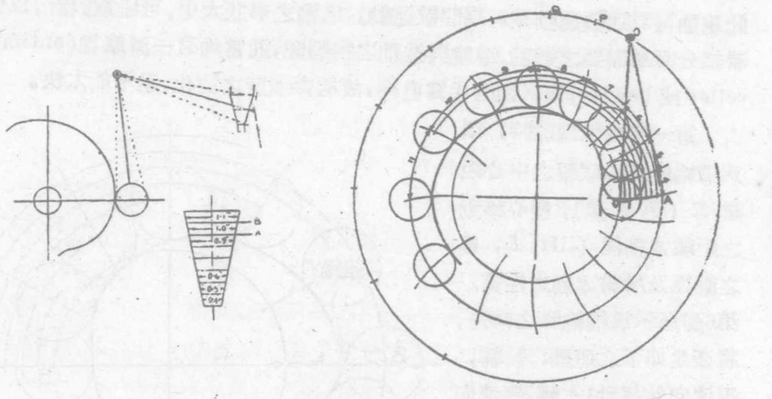


第 6 圖

以R 及 $R+L$ 爲半徑作兩同心圓。依照所生運動之性質,分每一圓之周爲若干分,如於第 6 圖中,外圓須分爲$\frac{1}{2}$轉 AB, $\frac{1}{4}$ 轉 BC 及 $\frac{1}{4}$ 轉CA。將 AB 及 BC,能產生運動之部分,分爲任意之相同等分——等分數愈大愈佳。圖中採用者爲 6 等分。然後自每一分點引一半徑,蓋輥心內外移動時,咸循此等半徑之方向,換言之諸輻射線可代表輥心運動之途徑。有亦連輥於一槓桿,輥心循以輥桿支點爲中心之圓弧路徑而運動者。若曲率頗小,則可略去其影響,用第 6 圖之畫法,所生誤差甚微。如輥之路徑半徑甚小,則必須如第 7 圖之畫法,始無差誤。繪製法之次一步驟爲分所引任一半徑 AD 上二圓間之部分爲若干分,其分數與圓周上內向或外向運動部分所分者相等。圖中所示者爲 6 分。如運動爲等速運動,則 AD 須分爲若干等分;若運動速度可變,而 6 相等時間內運動之距離均爲已知,則 AD 須分成之諸分,須與此諸距離成正比。導輪之或靜止或暫停 (rest 或 dwell) 部分 CA 爲一圓弧。

第 7 圖左半所示爲推動捲緯機 (pirn winding machine) 導紗指(guiding finger) 之機構。如圖,將緯管分爲八個相等之段,導紗指運動經過任何一段如 AB,所需之時間,必須正比例於該段內緯管之平均直徑。換言之導紗指需於 4,5, 6,7,8,9,10, 及 11 單位時間內,向上移動八相等距離。

第 7 圖右半示此導輪之構造法,開始時亦如前,以導輪及輥兩中心間之最



第 7 圖

大及最小距離爲半徑，經A及D，各作一圓。A及D可在同一半徑上。分內圓爲二等分，因輥於導輪旋轉半周時完全向外運動，而於次一半周間完全向內。然後如圖中所示，分每半圓爲八分，按4:5:6:7:8:9:10:11之比例。各部之和爲60，是以第一部佔全圓周之 $\frac{4}{60}$，或 12 度，次爲 15 度，餘類推。然後經每一分點引一輥中心之弧線路徑。此等曲線均須以 OA 爲半徑，O 爲槓桿之支點，因之各弧線之中心均在經過 O 之圓上。

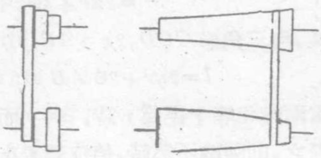
最簡而最佳之畫法則爲不分經 A點之圓，而分經 O 點之圓成爲所需比例之若干分，如 OP，PQ 等。O，P，Q 等乃爲以 OA 爲半徑，割經 A 及 D 二圓之諸弧之中心。然後分 AD 弧爲八等分，或先分 AOD 角爲八等分，則更簡易。構造法之其餘步驟，可自圖中得之。繪成之導輪可生所需運動，亦極易明瞭。

若已知輥心在相等時間內之運動，不論其爲等速或變速，則導輪基圓（cam circle）分爲若干相等部分，如第6圖，輥心之路徑亦須分爲同數之若干段。若爲等速運動，諸段應等長，否則不等。又輥心每經一相等距離所需時間，若爲已知，則可分其全動程爲若干相等部分，而分導輪基圓爲同數之若干分，其長與各已知時間之長短相應，如第 7 圖。

上述之導輪爲消極裝置，是以需一彈簧或類似之機件，以使輥內向運動時不與導輪相離。若於輪上刻以適宜之溝槽（groove），乃成積極導輪。輥動於槽中，無論向內或向外運動，均可完全控制矣。

階級皮帶輪（stepped pulleys）及圓錐輪（cone drums）——通常欲得可變轉速，常用一對階級皮帶輪或圓錐輪爲傳動工具（第 8 圖）。後者於速率漸變

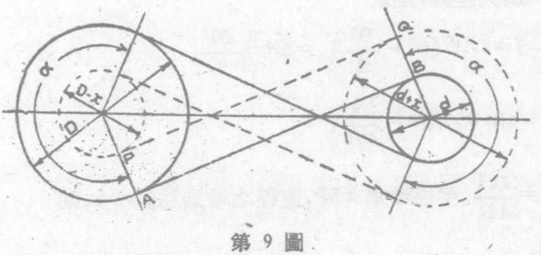
時用之。自皮帶輪之一級，移皮帶至他級，普通多用手推。但圓錐輪上皮帶之推移，多由機器自動調節，如粗紡機或開棉機或淸花機等之圓錐輪，即其例也。以手移皮帶以調節轉速時，輪之尖縮(taper)可爲直線，如漿紗機之圓錐輪。否則如粗紗機及開棉機，圓錐輪之尖縮，必須爲曲線以產生正確之轉速變化（參考第五，六兩章）。



第 8 圖

通常均假定二圓錐輪直徑之和爲常數，以維持一均恒之皮帶張力。實際上此說僅在用交叉皮帶(crossed belt)時，方爲正確，在用平行皮帶 (open belt) 時，所生差誤亦不多，通常均略去不計。交叉皮帶對於皮帶輪之夾持 (grip) 雖較佳於平行皮帶，然以扭絞及摩擦，運動時易生障礙，且易於磨損故不常用。

如有第 9 圖之交叉皮帶，設主動皮帶輪及被動皮帶輪之直徑爲 D 及 d。二輪之皮帶包圍弧 α，弧度相等頗爲明顯。是以皮帶之長爲：



第 9 圖

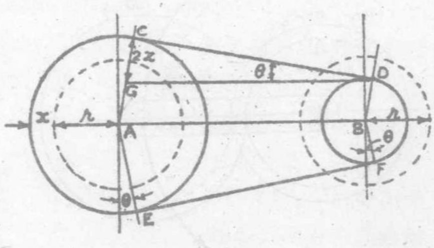
$$l=\frac{\alpha D}{2}+\frac{\alpha d}{2}+2AB$$

$$=\frac{\alpha}{2}(D+d)+2AB.$$

今設 D 減至 $(D-x)$ 而 d 增至 $(d+x)$，皮帶將仍平行於 AB，且 $PQ=AB$。皮帶之長將爲：

$$l=\frac{\alpha(D-x)}{2}+\frac{\alpha(d-x)}{2}+2PQ=\frac{\alpha}{2}(D+d)+\ 2AB，$$ 與前長同。

設有一平行皮帶(第 10 圖)，直徑之和爲常數。又 $r=\frac{1}{2}$ 半徑之和。則 $AC=(r+x)$ 及 $BD=(r-x)$，其中 x 爲皮帶輪半徑之增減之數量。



第 10 圖

因 AC 及 BD 均與 CD 成直角，故 AC 與 BD 互相平行，而皮帶所包之角各爲$(\pi+2\Theta)$及$(\pi-2\Theta)$弧度。又若 GD 平行於AB，則角 $GDC=\Theta$，且 $CD=GD\cos\Theta=AB\cos\Theta$。

$\because$ 皮帶之長 $l=(\pi+2\Theta)\,AC+(\pi-2\Theta)BD+2AB\cos\Theta$

$$=(\pi+2\Theta)(r+x)+(\pi-2\Theta)(r-x)+2AB\cos\Theta$$

$$=2\pi r+4\Theta x+2AB\cos\Theta$$

又,自三角形 GCD, $2x=AB\sin\Theta$

$$l=2\pi r+2\Theta\,AB\sin\Theta+2AB\cos\Theta$$

當兩輪相等半徑爲 r 時, $\Theta=0$ 而 $l=2\pi r+2AB$。此爲皮帶之最小長度。若以 l_1 表之,則兩輪不等時,値皮帶長度之增加可求得如次:

$$l-l_1=(2\pi r+2\Theta AB\sin\Theta+2AB\cos\Theta)-(2\pi r+2AB)$$

$$=2AB(\Theta\sin\Theta+\cos\Theta-1)$$

今 $$\cos\Theta=1-2\sin^2\frac{\Theta}{2}$$

$$l-l_1=2AB\left(\Theta\sin\Theta-2\sin^2\frac{\Theta}{2}\right)$$

又,角 Θ 恒甚小,且與 $\sin\Theta$ 無大差異,是以

$$l-l_1=2AB\left(\Theta^2-2\frac{\Theta^2}{4}\right)=2AB\left(\Theta^2-\frac{\Theta^2}{2}\right)=2AB\frac{\Theta^2}{2}$$

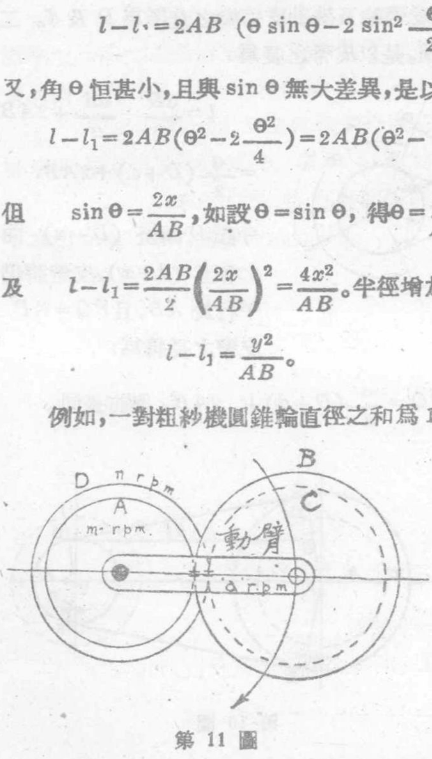
但 $\sin\Theta=\dfrac{2x}{AB}$,如設 $\Theta=\sin\Theta$, 得 $\Theta=\dfrac{2x}{AB}$,

及 $l-l_1=\dfrac{2AB}{2}\left(\dfrac{2x}{AB}\right)^2=\dfrac{4x^2}{AB}$。半徑增加 x 時,直徑之增加爲 $y=2x$,則

$$l-l_1=\frac{y^2}{AB}。$$

例如,一對粗紗機圓錐輪直徑之和爲 10 吋,中心距離爲 3 呎。當直徑各爲 7 吋及 3 吋時, y 之值爲 2 吋,皮帶長度較兩輪相等時增加

$$\frac{y^2}{AB}=\frac{2^2}{36}=\frac{1}{9}\text{吋。}$$



第 11 圖

外擺輪隊 (epicyclic wheel train) ——在一外擺輪隊中,某數輪之中心並非固定而連於一動臂,通常循一圓弧路徑而運動。如第 11 圖中 A 及 D 可繞其中心作獨立運

轉。BC 爲一雙介輪，其中心連於動臂，可繞 A 及 D 之中心旋轉。設已知 A 及動臂之轉速，試求 D 之轉速。D 之旋轉，半由於 A 之轉動，半由於動臂之轉動。無論 A 及動臂之運動爲同時舉行或先後發生，D 之轉動結果仍然相同。

設全機構轉動如一體，繞 A 之中心作 a 轉。則輪 A,D 及動臂各作 a 轉。動臂已完成其運動，但輪 A 仍須作 $(m-a)$ 轉，D亦須再作 $(n-a)$ 轉。

使動臂靜止，予 A 以所需之 $(m-a)$ 轉以完成其運動。D 將作 $(m-a)\times\frac{A}{B}\times\frac{C}{D}$轉，其中 A,B,C 及 D 各代表齒輪之齒數。

但$\frac{A}{B}\times\frac{C}{D}=e$，即動臂靜止時此輪隊之速度比率，

$$(n-a)=(m-a)\times e \text{ 或 } e=\frac{n-a}{m-a}。$$

此方程式可應用於一切外擺輪隊。假使動臂靜止，求得輪隊之速度比率爲 e。決定此速度比率之正確符號時，切須謹愼。如於動臂靜止時，輪組之末輪與首輪以同向轉動，則速度比率爲正。若末輪與首輪轉向相反，則比率爲負。

例：$A=40$ 齒，$B=60$齒，$C=55$ 齒，$D=45$ 齒。A 以 108 轉每分之速率順鐘向轉動，而動臂以 54 轉每分之速率同方向轉動。求 D 之速率。

令動臂保持靜止，A 順鐘向轉動，則 D 亦將順鐘向轉動。是以速度比率 e 爲正。

$$e=\frac{40}{60}\times\frac{55}{45}=\frac{22}{27}=\frac{n-a}{m-a}$$

$$27n-27a=22m-22a$$

$$n=\frac{22}{27}m+\frac{5}{27}a$$

$$m=108 \text{ 而 } a=54$$

$$n=\left(\frac{22}{27}\times108\right)+\left(\frac{5}{27}\times54\right)=98 \text{ 轉每分。}$$

答案爲正，表示 D 輪與 A 同爲順鐘向轉動。

若 A 順鐘向轉動而動臂反鐘向轉動，則 a 之值必須具負號，如前式，

$$n=\frac{22}{27}m+\frac{5}{27}a,\ \text{但今 } m=+108,\ a=-54,$$

$$\therefore \quad n=\left(\frac{22}{27}\times 108\right)+\left(\frac{5}{27}\times -54\right)=88-10=78$$ 轉每分,(順鐘向)。

自以上諸式中,可知速率 n 由二部合成,其一部爲一常數乘 m, 此代表因 A 輪轉動,所得之速率;另一部爲一常數乘 a, 即因動臂之運動, D 獲得之速率。

同樣結果,可自另一稍異之途徑得之。於第7,36圖中,設動臂維持靜止,予 A 以 m 轉,則 D 將作 $m\times e$ 轉。然後使 A 靜止,予動臂以 a 轉,則 D 將作 $a\ (1-e)$ 轉。如 A 與 B 間無連繫,則於動臂作一轉時, D 將以相同方向被追轉動一周。但因 A 與 B 間有齒相連繫,當動臂作一轉時,輪 B 將於其軸上作 $\frac{A}{B}$ 轉,而 D 將作 $\frac{A}{B}\times\frac{C}{D}=e$ 轉。此轉動將與臂動異向,是以動臂作一轉時 D 作 $(1-e)$ 轉,而動臂作 a 轉時, D 作 $a\ (1-e)$ 轉。

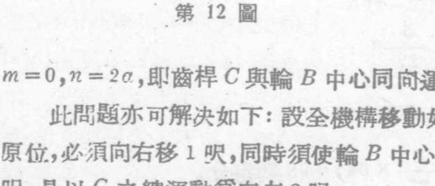
因之, D 之總轉數 $=n$ 將爲由於 A 轉之 $(m\times e)$ 轉加由於臂動之 $a\ (1-e)$ 轉。

$$n=me+a-ae$$

$$n-a=e\ (m-a)$$

$$e=\frac{n-a}{m-a},$$ 結果如前。

外擺齒輪隊之另一種類如第 12 圖。一齒輪 B 沿一固定水平齒桿 (rack) A 滾動,同時推動另一齒桿 C。令 $m=$ 齒桿 A 之動程, $n=C$ 之動程,而 $a=$ 輪 B 中心之動程,此中心相當於外擺運動中之動臂。



第 12 圖

如 B 之中心保持靜止而使 A 運動,則 C 將作與 A 相同速率而相反之運動。故自公式得 $\frac{n-a}{m-a}=-1$, $n-a=a-m$, 而 $n=2a-m$。其中 $m=0, n=2a$, 即齒桿 C 與輪 B 中心同向運動,但速率則二倍之。

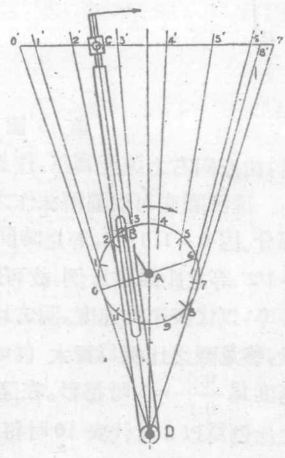
此問題亦可解決如下:設全機構移動如一體,向左移動 1 呎。如使 A 返至其原位,必須向右移 1 呎,同時須使輪 B 中心維持靜止。則齒桿 C 必將再向左移 1 呎,是以 C 之總運動爲向左 2 呎。

另一解法頗有討論價值。B 與 A 之接觸點 x 爲一定點,全輪 B 以此點爲樞軸 (pivot),故亦爲輪 B 之瞬間中心 (instantaneous centre)。輪 B 上任意一點之速率,正比例於該點至 x 點之距離。z 點距 x 二倍於 y, 其速率亦二倍於 y 點。齒桿 C 與 z 點相接,與之等速運動。是以其速率爲 y 速率之二倍。

第三章　移量圖速度圖與加速圖

研究機械部分之動作，宜先從研究移量(displacement)，速度及加速圖著手。普通之方法爲先作一移量圖，由此可求得速度圖。最後，再從速度圖尋得加速圖。

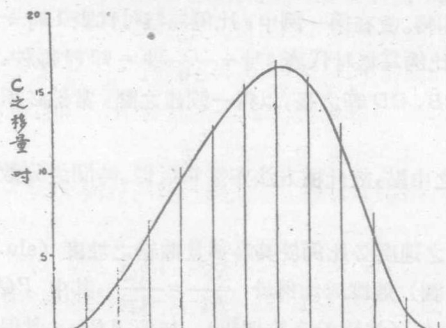
移量圖——第 13 圖示 Moscrop 驗線器 (thread testing machine)之傳動機構。曲柄 AB 以等速旋轉搖動一有溝槽之槓桿 CD。C 爲一滑塊 (slider)，傳動一遊架 (carriage)，且爲此遊架所限制而在一平線上移動。



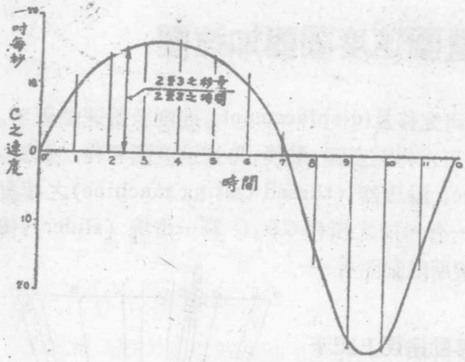
第 13 圖

作銷 C 之移量圖，先在 C 之移動途徑上記下當曲柄在不同位置時 C 之位置。因 B 以等速率移動，故如 0,1,2 等點在曲柄圓上爲等距離。則 $0'$, $1'$, $2'$, 等點爲 C 在每經過相等時間後所處之位置。次將 C 至其起點（取極左之點）之距離，立於表示曲柄一轉時間之基線上(第 14 圖)。以 $0'-1'$ 立於曲柄 1 之位置，$0'-2$ 立於曲柄 2 之位置，依次繪之。連各距離之頂點成一圓滑曲線。此曲線表示曲柄在任何位置時，C 離其起點向右之移量。

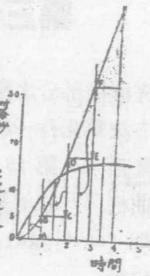
速度圖——利用移量圖可以另製一圖以表示任何時 C 之速度。移動體在任何時間內之平均速度，爲所移動之距離以所經過時間除之。故在 0－1 時間內 C 之平均速度爲 $0'1'$ 除以曲柄銷(crank pin)由 0 至 1 所需之時間。如已知曲軸之速率及曲柄圓之直徑，即不難求得。此平均速度亦可作爲當曲柄銷在 0 與 1 之中間時 C 之速度。在 0－1, 1－2，之間等之速度，皆可如此算出。將算得之結果，依比例在一表示時間之基線上，如前作移位圖之法，繪爲曲線，即成 C 之速度圖（第 15 圖）。爲表明清楚起



第 14 圖



第 15 圖



第 16 圖

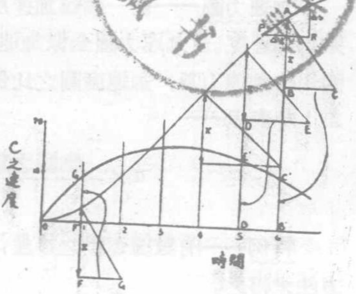
見，由左向右之速度為正，作於基線之上，由右向左之速度為負，作於基線之下。

速度圖亦可以圖解法作之，如第 16 圖。圖中以較大之比例，重畫移量圖之一部分。因 $0-1$，$1-2$，等之時間皆相等，各時間內之平均速度，必與 $AB=0'1'$，$CD=1'2'$ 等之距離成比例。故可將 AB 立於 $0-1$ 之中點上，CD 立於 $1-2$ 之中點上等等，以代表平均速度。圖之比例可如下求之：——設時間 $0-1$，$1-2$ 等各為 0.1 秒，移量圖之比例為實大 (full size)，故如 AB 量得為 .05 吋，則 $0-1$ 間之平均速度為 $\frac{0.5}{0.1}=5$ 吋每秒。在速度圖中，則此速度以 AB 之高 0.5 吋表示之。故圖中之比例為以 1 吋代表 10 吋每秒。又如移量圖為 $\frac{1}{4}$ 比例，則 AB 量得為 $\frac{1}{8}$ 吋，以此高度表示 5 吋每秒之速度，即相當於 $\frac{1}{40}$ 之比例。由上述速度之比例，可知為在移量圖中 1 吋所代表之移量除以時間即得。故在第一例中，比例為每吋代表 1 吋 $\div \frac{1}{10}$ 秒 $=10$ 吋每秒。在第二例中，其比例為每吋代表 4吋 $\div \frac{1}{10}$ 秒 $=40$ 吋每秒。作速度圖時，普通多以加倍或改變 AB，CD 等之長，以得一較佳之圖，當然必須依照一定之比例而改變之。

因平均速度未必適在某段時間之中點，故此種方法亦僅為近似。時間之分數愈小，則速度圖之正確程度愈大。

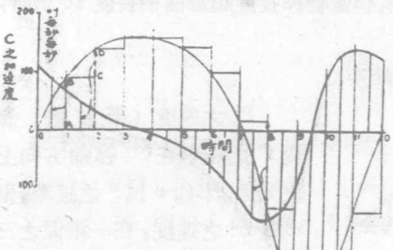
速度圖亦可以他法求之。任何時之速度必比例於其時移量曲線之坡度 (slope)。故如曲柄在第 6 位置上（第 17 圖）速度成比例於 $\frac{\Delta S}{\Delta t}=\frac{BC}{AB}$，其中 PQ 為移量曲線在 A 點之切線，AC 為法線（法線垂直於切線）。如使 $AB=x$ 常保持一定，則諸水平距離 BC，DE 等即代表在 6,5 等時之速度，即可用為速度圖之縱坐標。又如 1″ 在移量圖中代表 S 吋，t 為 AB 所表示之時間（與時間基線成比例），則速度圖之比例，為每吋代表 $\frac{S}{t}$ 吋每秒。

加速圖——加速圖可從速度圖中求之。其方法與由移量圖求速圖相同，上述之諸法皆能適用。任何時間內之平均加速度爲此時間內改變之速度除以時間。平均加速度與時間中點時之加速度相近似，故可作爲在時間中點時加速圖之縱坐標。

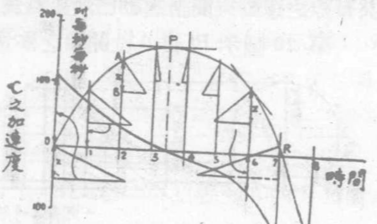


第 17 圖

第 18 圖示第二法之應用。速度之改變，如AB，CD等，立於時間$0-1$，$1-2$等之中點，作爲其時之加速度。速度增加之處，則加速度爲正，而繪於基線之上。速度減低之處，則加速度爲負，而繪於基線之下。速度方向改變時，如速度圖基線以下之速度增加之處，加速度爲負，速度減低之處，加速度爲正。其理由亦甚易明瞭。蓋使一物體加速所需要之力，與其加速度成正比。力之方向，即加速度之方向。顯見使一物體漸趨靜止之力，與自反方向使物體開始運動之力，其方向相同。



第 18 圖



第 19 圖

在速度圖中，每一吋高度所代表之速度除以時間，爲在加速圖中一吋高度所代表之加速度。

第 19 圖示用切線法求加速圖，其比例爲一吋高度所代表之速度除以AB所表示之時間，此時間須與基線所表之時間同一比率。

當速度曲線上之切線與基線平行時，如在P點，則其時加速度爲零。但在R點時，雖速度爲零，仍有加速度存在。其時物體雖靜止，而將改變其移動方向。因在達到R以前極短時間內，物體向某方向移動，而越過R之極短時間後，物體向反方向移動，其間必須有負加速度存在，以不斷施加速力於物體使其停止並開始反方向運動。