職業教科書委員會審查通過

機械學

劉仙洲編著

商務印書館發行

增訂八版序

是書自民國十年十月出版後,已印至七版,且就銷售之情形察之,知每年有逐漸增加之勢.吾國中等工業教育之日見擴充,可以想見,惟書之內容,每覺有增删之必要.因忙於課務,迄未如願.前接商務印書館來函,知第八版又將付印,遂急加以增訂.計删去者,有「飛輪」及「磨阻」兩章.因「飛輪」一章,對於中等工業學生不甚適宜.「磨阻」一章,又屬於應用力學範圍.本書他章,並未加以應用也.增加者有「螺旋」,「摩擦輪」「輪系」及「直線運動,平行運動與間歇運動」等四章.其餘各章,除「均衡法」一章未加改變外,亦均有增益.全書字數約增原書五分之二.插圖增加九十六幅,用爲中等工業學校各科機械學之課本,似較原版更爲適宜也.

劉仙洲,二十三,十,十,於國立清華大學工學院.

原　序

自歐戰告終,列強爭欲恢復其富力,因之國際間經濟之競爭,益形激烈.吾國人數衆多,天產饒富,尤爲經濟競爭之場.憂國之士,恐利權常此外溢,國將不國,必將聯袂而起,自興實業以爲抵制.故自今而後,吾國自辦之實業將有長足之進步,可無疑也.惟是各種實業,宜推工業爲最先;而工業之興,尤以人才爲最要.是工業教育之宜擴充,不待言矣.察吾國之工業教育,如大學之工科,及各省之工業專門,所授課程概用洋文,而各省之甲乙種工校,及其他關於工業之班次,則多苦於無書可採.當教授時,或由教師臨時繙譯,或使學生勉強筆記,至程度之適與不適,教材之宜與不宜,均無暇計及,其有礙於工業教育前途者甚鉅.鄙人於民國七年暑後,承母校校長王國光先生之招,使教授留法高工預備班,並兼直隸甲種工校課程.所有機械學蒸汽機等科,徧詢坊間,無用中文出版者.若用洋文課本,學生又多感困難.遂搜集各書從事輯譯.凡一年有半而成是編.其蒸汽機內燃機等,則須俟本年暑後方能脫稿.倘梓行以後,能於吾國工業教育前途少有裨益,則固鄙人所深望者也.　　　　九,二,十,於保定育德中學校.

例　言

1. 是書程度,可供中等工業學校各科課本之用.

2. 全書約十萬言,共分十三章,插圖二百一十六幅,如每週教授兩小時,至少可供一學年之用.

3. 書中內容,多與拙編「機械原理」一書(商務印書館出版)互相銜接.教師講授時,如參考該書,必多補益.

4. 書中名詞較原版多有改訂.大體依照拙編「英漢機械工程名詞」一書(清華大學工學院出版).

5. 是書所搜集之材料,多出於下列數書:

(1)	Elements of Mechanism.	Schwamb and Others.
(2)	Mechanism.	R. M. Keown.
(3)	The Theory of Machines.	R. F. Mckay.
(4)	Mechanism.	S. Dunkerley.
(5)	Applied Mechanics.	D. A. Low.
(6)	Applied Mechanics for Engineers.	J. Duncan.
(7)	Practical Mechanics.	S. H. Wells.
(8)	Statics and Dynamics.	S. L. Loney.

編者附識

目 錄

第一章 緒論

第二章 簡單機械

第三章　螺旋

第四章　皮帶與皮帶輪

第五章 繩輪

第六章 鏈輪

第七章 摩擦輪

第八章　齒輪

第九章 輪系

第十章 凸輪

第十一章 調速器

第十二章 均衡法

第十三章 直線運動,平行運動與間歇運動

機 械 學

第 一 章

緒 論

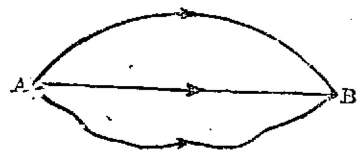
1. 運動 (Motion). 當甲物體對於乙物體有距離或方向之變更時,則稱甲物體對於乙物體發生運動.

2. 動路 (Path of Motion). 當一物體發生運動後連此物體繼續各位置所成之線,謂之此物體之動路.

3. 動向 (Direction of Motion). 如一物體沿一直線之動路運動,則此物體之動向卽係沿其動路之直線.又向此線某一端之運動,若假定爲正向,並用一(+)號表之,則向此線他一端之運動卽應爲負向,並用一(−)號表之.如一物體沿一圓周或一任意之曲線動路運動,則此物體在任一時刻之動向,恆係沿此物體所至之點之切線.

4. 速 (Speed). 一物體沿其動路運動,快慢之程度謂之此物體之速.在相等時間內(各相等時間,無論短至若何程度)所經動路之長短均相等時謂之等速運動 (Uniform Speed). 否則謂之變速運動 (Variable Speed).

5. 變位 (Displacement). 一物體在一定時間內,由 A 點至 B 點.無論沿何動路,則 A, B 兩點間之直線距離,謂之此物體在此時間內之變位.如第1圖設某物體在一定時間內由 A 點移至 B 點.無論其動路為直線為弧線,或為任意之曲線,則 A, B 兩點間之直線距離,謂之此物體之變位.



第 1 圖

變位係一種有向量.不但有大小之關係,且有方向之關係.

6. 速率 (Velocity). 一物體之變位對於時間之變化率,謂之此物體之速率.在相等時間內(無論短至若何程度),其變位之變化皆相等者,謂之等速率 (Uniform Velocity).否則謂之變速率 (Variable Velocity).如係等速率,則速率之大小,可用變位之大小對於發生此變位所用之時間之比表之.設 v 代表速率,s 代表變位,t 代表發生此變位所用之時間,

則 $$v=\frac{s}{t}$$

如係變速率,則各時刻 (Instant) 之速率,均彼此不同,故上式只能表示在 t 時間內之平均速率 (Average Velocity).

即平均速率 $$v_a=\frac{s}{t}$$

但若就任一時刻言,倘所取之一段時間,在此時刻之前後愈短,則所得之平均速率,必愈近於此時刻之速率.故倘使

所取之一段時間小至極限dt,在此時間內之變位爲ds,則在此時刻之速率

$$v=\frac{ds}{dt}$$

又無論等速率或變速率,吾人稱一運動物體在某時刻之速率,均可認爲係表示此物體在此時刻沿其動向運動快慢之程度.亦即在此時刻,變位對於時間之變化率也.例如稱某汽車在某時刻之速率爲每點鐘30哩.非謂過去之一點鐘內,適行30哩,亦非謂將來之一點鐘內,將行30哩.乃謂假設此車在此時刻之運動快慢之程度不變,則一點鐘之時間內,當能行30哩也.

7. **速率之單位 (Unit of Velocity).** 速率包含時間與距離兩種關係.故速率之單位,亦由時間之單位與距離之單位而定.如每秒若干呎,每秒若干糎,每點鐘若干哩,等等.

8. **用直線代表速率.** 因速率係一種有向量.故用圖示法,可用直線代表.以長短代表大小.以方向代表動向.以箭頭表示所向之一端.

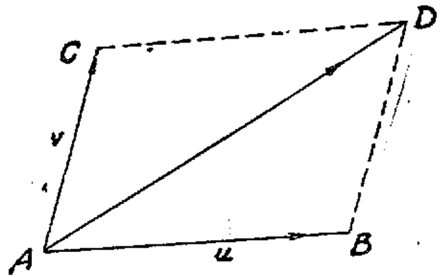
9. **速率之合併與分解 (Composition and Resolution of Velocities).** 如一運動物體,同時有二速率或數速率,有時因研究或計算上之便利,常求得一速率,此一速率對於該物體之效果,與原有之二速率或數速率相同,是謂速率之合併.如一運動物體,有一速率,有時因研究或計算上之便利,常分爲

二速率或數速率,此二速率或數速率對於該物體之效果,與原有之一速率相同,是謂之速率之分解.

10. 速率之平行四邊形律(Parallelogram of Velocities). 如一運動物體,同時有二速率,其大小與方向,可用一平行四邊形之二鄰邊代表之,則其結果速率之大小與方向,必可以此平行四邊形之對角線代表之.其起始點即此二鄰邊之交點.

如第2圖,設一物體同時所有之二速率爲 AB 與 AC 二直線所代表,並設其大小爲 u 與 v.

完成平行四邊形 $BACD$.



第 2 圖

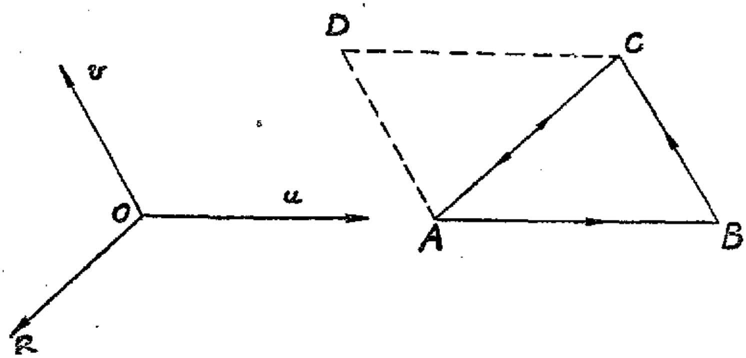
假想物體按速率 u 沿 AB 線運動,同時更假想 AB 線按速率 v 向右上方運動,使其 A 端畫出一 AC 直線.在單位時間以內,物體必沿 AB 線移動一段距離 AB,而 AB 線則同時移動至 CD.故在單位時間以後,物體即由 A 移動至 D.

因物體同時所有之二速率,其大小與方向皆不變.故物體實際上由 A 至 D 之結果速率,其大小與方向亦必不變,即 AD 爲單位時間內物體實際之動路也.

故 AD 直線即代表物體結果速率之大小與方向,對於物體言,與由 AB 及 AC 所代表之二速率相當.

11. 速率之三角形律(Triangle of Velocities). 如一物體同時有二速率,其大小與方向,可順序以一三角形之 AB 與 BC 兩邊代表之,則其結果速率之大小與方向,必可以第三邊 AC 代表之.

如第3圖,倘物體 O 同時有二速率 u 與 v, 其大小與方向,



第3圖

可順序以一三角形之 AB, BC 兩邊代表之,則其結果速率之大小與方向,必可以第三邊 AC 代表之.

完成 $ABCD$ 平行四邊形.

因 AD 與 BC 平行相等,故 BC 所代表之速率 v 亦可為 AD 所代表.

但按速率之平行四邊形律, AB, AD 所代表之二速率,其結果速率為 AC 所代表,故 AB, BC 所代表之二速率,其結果速率亦必為 AC 所代表也.

又由速率之三角形律推之,倘一物體同時有三速率 其

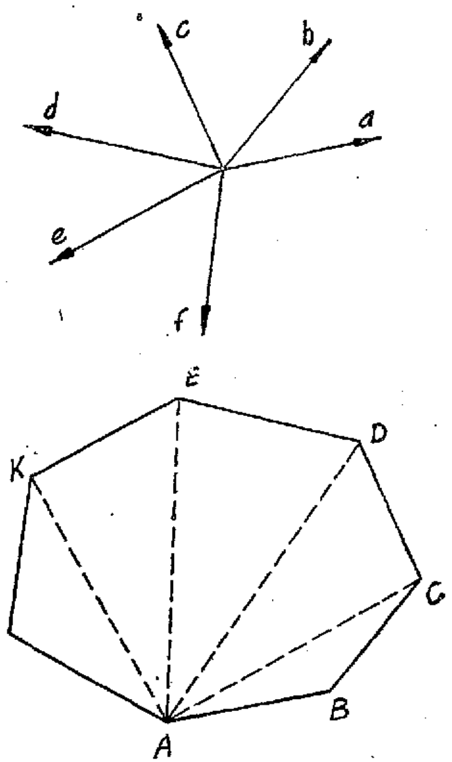
大小與方向,可順序以一三角形之三邊 AB, BC 及 CA 所代表,則此物體必歸於靜止.

12. 速率之多邊形律(Polygon of Velocities). 如一物體同時有三個以上之速率,其大小與方向,可順序以一多邊形之 AB, BC, CD, DE, EK, KL 等邊代表之,則其結果速率之大小與方向,必可以末邊 AL 代表之.

如第 4 圖,設物體 O 同時有六種速率 a, b, c, d, e, f, 其大小與方向可順序以一多邊形之 AB, BC, CD, DE, EK 及 KL 等邊所代表,則其結果速率之大小與方向,即可爲末邊 AL 所代表.

連 AC, AD, AE, AK 等線.

按速率之三角形律, AB, BC 所代表之二速率,可爲 AC 所代表. AC, CD 所代表之二速率,可爲 AD 所代表. AD, DE 所代表之二速率,可爲 AE 所代表.……由此類推, AL 一

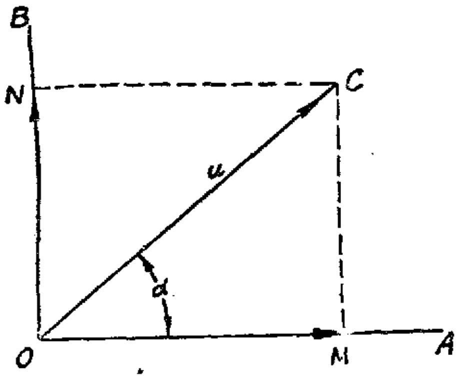


第 4 圖

邊之長短與方向,即可代表六速率結果速率之大小與方向.

如L點與A點合而爲一,即代表各速率之各邊恰完成一多邊形,則結果速率等於零,即物體仍歸靜止.

13. 一速率分解爲互相垂直二方向之二速率. 如第5圖,設OC代表一速率u,今欲將此速率分解爲二.一沿OA之方向,一沿與OA垂直之方向.



第5圖

畫CM與OA垂直,ON與OA平行.據速率之平行四邊形律,OC必代表OM與ON所代表之二速率之結果速率.故OM與ON即代表所欲求之二分速率.

若用算法,設AOC角$=\alpha$,

則 $$OM = OC\cos\alpha = u\cos\alpha.$$

$$ON = OC\sin\alpha = u\sin\alpha.$$

14. 加速率(Acceleration). 一物體之速率對於時間之變化率,謂之此物體之加速率.在相等時間內(無論短至若何程度),其速率之變化皆相等者,謂之等加速率(Uniform Acceleration),否則謂之變加速率(Variable Acceleration).

如係等加速率,則加速率之大小,可用變化之速率之大小對於發生此變化所用之時間之比表之.設v代表變化之速率,t代表發生此變化所用之時間,f代表加速率,

則
$$f=\frac{v}{t}.$$

如係變加速率,上式只能表示在t時間內之平均加速率.

即
$$\text{平均加速率}\ f_a=\frac{v}{t}.$$

但若就任一時刻言,倘所取之一段時間,在此時刻之前後愈短,則所得之平均加速率,必愈近於此時刻之加速率.故倘使所取之一段時間小至極限dt,在此時間內變化之速率為dv,則在此時刻之加速率

$$f=\frac{dv}{dt}$$

又按(3)式,
$$v=\frac{ds}{dt},$$

故
$$f=\frac{dv}{dt}=\frac{d^2s}{dt^2}.$$

15. 等加速率運動公式. 如一等加速率運動物體,其初速率為v_0,等加速率為f,t秒鐘以後之速率為v,t秒鐘內所行之距離為s,則得下列三公式:

(1) $$v=v_0+ft,$$

(2) $$s=v_0t+\tfrac{1}{2}ft^2,$$

(3) $$v^2=v_0{}^2+2fs.$$

證明. (1) 因物體之初速率爲 v_0,等加速率爲 f,

則1秒鐘以後之速率必爲 v_0+f,

2秒鐘以後之速率必爲 v_0+2f,

3秒鐘以後之速率必爲 v_0+3f,

由此類推,則 t 秒鐘以後之速率必爲 v_0+ft.

即 $$v=v_0+ft.$$

(2) 因初速率爲 v_0, t 秒鐘以後之速率爲 v, 又因加速率係等量,故 t 秒鐘以內,每秒鐘之平均速率必爲 $\frac{v_0+v}{2}$, 在 t 秒鐘以內,物體所行之距離,必等於每秒鐘之平均速率乘秒數.

故 所行之距離 $$s=\left(\frac{v_0+v}{2}\right)t=\left(\frac{v_0+v_0+ft}{2}\right)t$$

$$=v_0t+\tfrac{1}{2}ft^2.$$

(3) 將(1)式兩邊自乘,得

$$v^2=(v_0+ft)^2=v_0{}^2+2v_0ft+f^2t^2=v_0{}^2+2f(v_0t+\tfrac{1}{2}ft^2).$$

$$=v_0{}^2+2fs.$$

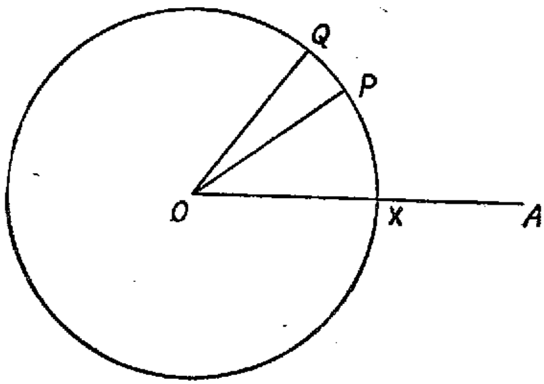
如物體由靜止起始,則初速率 v_0 爲零,故以上三式變爲

(4) $$v=ft,$$

(5) $$s=\tfrac{1}{2}ft^2,$$

(6) $$v^2=2fs,$$

16. **角變位**(**Angular Displacement**).　如第6圖,設 O 為一定點, OA 為一定直線, P 點在包含 OA 線之平面內繞 O 為圓周運動.則在一定時間內, OP 所迴轉之角度,謂之 P 點之角變位.



第6圖

17. **角速率**(**Angular Velocity**).　一迴轉運動物體之角變位對於時間之變化率,謂之此物體之角速率.在相等之時間內(無論短至若何程度),其角變位之大小皆相等者,謂之等角速率(Uniform Angular Velocity).否則謂之變角速率(Variable Angular Velocity).

與速率之性質相同,如係等角速率,則角速率之大小,可用角變位之大小對於發生此角變位所用之時間之比表之.如 θ 代表角變位, t 代表發生此角變位所用之時間, ω 代表角速率,

則
$$\omega=\frac{\theta}{t}.$$

若係變角速率,則在 t 時間內之平均角速率

$$\omega_a=\frac{\theta}{t}$$

若在某時刻之前後所取之一段時間 dt 小至極限,此一段時間內之角變位爲 $d\theta$,

則此時刻之角速率 $\omega=\dfrac{d\theta}{dt}$

18. 角速率之單位. 在研究理論問題時,角速率多以每秒鐘若干半徑角爲單位.在任意之一圓周上,量一段弧線使等於半徑之長,則此段弧線在圓心所對之角,謂之一半徑角 (Radian).

因全圓周之長包含半徑之 2π 倍.故 $360°$ 與 2π 半徑角相當.或一半徑角等於 $360°\div 2\pi=57.29°=57°17'42''$ (約).

如同一之角度用度數表之爲 d,用半徑角數表之爲 θ,

則
$$\frac{\theta}{d}=\frac{2\pi}{360}=\frac{\pi}{180},$$

或
$$\frac{\theta}{\pi}=\frac{d}{180}.$$

在研究工程問題時,一軸或一輪迴轉之角速率,則多以每分鐘迴轉若干次計之. (Mumber of Revolutions Per Minute),簡寫爲 *R. P. M.*

因迴轉一週時,軸上或輪上之任一點,均迴轉 2π 半徑角.故如一軸或一輪每分鐘迴轉 N 次.其角速率爲每分鐘 *N. R. P. M.* 或每秒鐘 $\dfrac{2\pi N}{60}$ 半徑角.

又由上述之結果,可知同一軸上或同一輪上,各點之速率均相等.因在同一時間內,各點所經過之角度皆相等也.

19. 一迴轉運動物體之角速率與其速率之關係. 一迴轉運動物體沿一圓周爲等角速率運動,則此物體之角速率恆等於圓周之半徑除物體之速率,或物體之速率恆等於角速率與半徑之乘積.

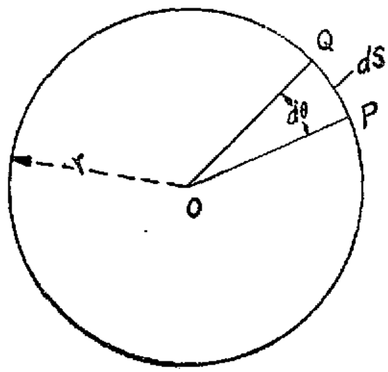
設 $v=$ 物體之速率.

$\omega=$ 物體之角速率.

$r=$ 圓周之半徑.

則 $\omega=\frac{v}{r}$ 或 $v=\omega r$

如第7圖,設 P 代表迴轉運動物體,O 代表迴轉中心.r 代表圓周之半徑.設物體在極短之一段時間 dt 內,由 P 點行至 Q 點,經過之角度爲 $d\theta$,經過之距離爲 ds,均按小至極限論.



第 7 圖

則按半徑角之定義言,

得 $$\frac{ds}{r}=d\theta,$$

或 $$ds=r\,d\theta.$$

兩邊各用 dt 除之,得

$$\frac{ds}{dt}=r\frac{d\theta}{dt},$$

但 $$\frac{ds}{dt}=v,\quad \frac{d\theta}{dt}=\omega,$$

故 $$v=\omega r,\text{ 或 }\omega=\frac{v}{r},$$

20. 同一迴轉物體上各點之速率. 同一迴轉物體上各點之速率與各點距迴轉中心之半徑成正比.

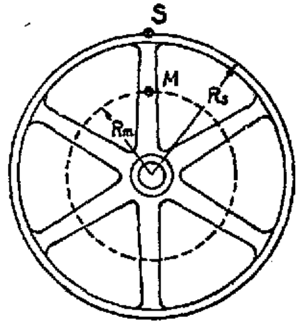
如第8圖,設輪上S點距迴轉中心之半徑為R_s, M點距迴轉中心之半徑為R_m,

輪之角速率為ω,

根據前段之理,得

S點之速率 $v_s=\omega R_s$,

M點之速率 $v_m=\omega R_m$,



第8圖

故 $$\frac{S\text{點之速率}}{M\text{點之速率}}=\frac{v_s}{v_m}=\frac{\omega R_s}{\omega R_m}=\frac{R_s}{R_m}.$$

21. 質量與重量(Mass and Weight). 一物體之質量者,乃該物體內所含物質之數量也.一物體內所含物質之數量,非增之或減之,則其量恆不變.一物體之重量者,乃地球對於該物體之吸力也.據萬有引力定律,兩物體互相吸引之力,與其間距離之自乘成反比.故一物體之重量,常因距地心之遠近而微有差異.如同一物體在兩極權之則較重,在赤道權之則較輕;在地面權之則較重,在高山權之則較輕.不過其差甚微,實際上多不計及耳.

22. 牛敦氏(Newton)運動第一定律 凡物體若不受外力所迫,則靜者恆靜,動者恆沿一直線為等速率運動.此為牛敦氏運動第一定律.

23. 運動量(Momentum). 運動之物體,若欲使之歸於靜止,有須用較大之力者,有只用較小之力者,可知物體運動,其大小之量有不同也.此種運動大小之量,謂之運動量.

又一物體運動量之大小,(*a*)與物體質量之大小有關,(*b*)與物體運動之速率有關,即與物體之質量及速率均成正比.

如 m 代表質量,v 代表速率,

則運動量 $\propto mv = kmv.$ (式中 k 係一常數.)

若規定運動量之單位時,以單位質量(一磅或一克).具有單位速率(每秒一呎或每秒一糎)之運動量,為運動量之單位,即 m 為 1, v 為 1 時,運動量之大小亦命為 1, k 之數值亦變為 1.

故 運動量 $= mv.$

24. 牛敦氏運動第二定律. 因一物體之運動量,等於物體之質量與其速率之乘積.然一定之物體其質量不變.故倘物體之運動量有變更,必由其速率之變更而起.但依運動第一定律,物體倘不受外力,其動靜之態度恆不變.即其速率不能變更.故物體之運動量如有變更,必係曾受有外力之故.

且受外力大者,其運動量之變更必大;受外力小者,其運動量之變更必小.故牛敦氏運動第二定律,規定如下:

物體之運動量對於時間之變化率,恆與所受之外力成正比.其變化發生之方向,恆與所受外力之方向相同.

25. 牛敦氏運動第三定律. 每一原動力必有一大小相等方向相反之反動力.

26. 力之絕對單位(Absolute Unit of Force). 根據運動第二定律,可得一種量力之單位.

設 m 代表一物體之質量,加一外力 P 於其上,發生加速率 f.

按第二定律,

$P\propto$ 運動量對於時間之變化率,

$\propto mv$ 對於時間之變化率,

$\propto m\times v$ 對於時間之變化率,(因 m 係一定)

但 v 對於時間之變化率爲物體之加速率 f.

$$\therefore \qquad P\propto mf=kmf. \qquad \text{(式中 } k \text{ 係一常數.)}$$

若規定力之單位時,以單位質量在外力方向發生單位加速率時所受之外力爲力之單位,則上式 P, m 及 f 均位 1, k 亦等於1.

故得 $$P=mf$$

如以一呎爲長度之單位,一磅爲質量之單位,則加力於

一磅質量之物體上,能使每秒發生每秒一呎之加速率時,則此力之大小,謂之一磅度(Poundal).

如以一糎為長度之單位,一克為質量之單位,則加力於一克質量之物體上,能使每秒發生每秒一糎之加速率時,則此力之大小,謂之一達因(Dyne).

27. 力之重力單位(Gravitation Units of Force). 凡宇宙間之各物體,皆有彼此互相吸引之力.地球與地面上各物體,當然亦包含於此定律之中.惟地球對於地面上各物體之吸引力,普通稱之曰重力.或單稱之曰重.地球對於地面上一磅之質量所生之吸引力,稱之曰一磅之重.地球對於地面上一克之質量所生之吸引力,稱之曰一克之重.故一磅之重與一克之重,亦可用之為量力之單位,謂之重力單位.

28. 重力單位與絕對單位之關係. 按力之絕對單位,加力於一磅之質量,每秒鐘能使發生每秒一呎之加速率時,則此力之大小,謂之一磅度.今地球對於地面上一磅質量之物質所生之吸引力,每秒鐘能使發生每秒32.2呎之加速率,故地球對於地面上一磅質所有之吸引力,其大小等於32.2磅度.但地球對於地面上一磅質量所生之吸引力,稱之曰一磅之重.故一磅之重等於32.2磅度.同理一克之重等於981達因.

如以w代表一物體之重力,或簡稱之曰物體之重(以磅或克為單位)

m 代表此物體之質量(亦以磅或克爲單位)

g 代表地心吸力所生之加速率

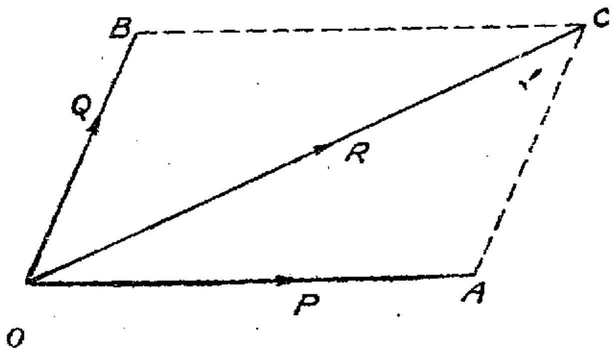
則 $$w\text{(磅或克)}=mg\text{(磅度或達因)}$$

或 $$m=\frac{w}{g}$$

29. 用直線代表力. 力之性質有三.(一)大小,(二)方向,(三)施力點.與速率之性質相同.故用圖示法,亦可用直線代表.以線之長短,代表力之大小.以線之方向,代表力之方向,以線之起始點,代表力之施力點.

30. 力之平行四邊形律(Parallelogram of Forces). 如二力加於物體之一點,其大小與方向,可以一平行四邊形之二鄰邊代表之,則其結果力之大小與方向,必可以此平行四邊形之對角線代表之,且其施力點卽在此二鄰邊之交點.

如第9圖,倘 P, Q 二力加於物體之一點 O, 其大小與方向,可用一平行四邊形之二鄰邊代表之.則其結果力 R 之大小與方向必可用對角線 OC 代表之.其施力點卽在 OA, OB 兩鄰

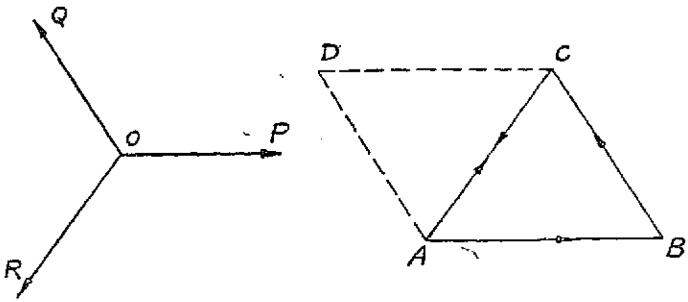


第9圖

邊之交點O.

31. 力之三角形律 (Triangle of Forces). 如三力加於物體之點,其大小與方向,可順序以一三角形之三邊代表之,則此三力必屬平衡.(Equilibrium 卽互相抵消之意).

如第10圖.設PQR三力,加於物體之一點O,倘其大小與



第 10 圖

方向,可順序以一三角形之三邊AB, BC及CA代表之,則三力必屬平衡.

完成$ABCD$平行四邊形.

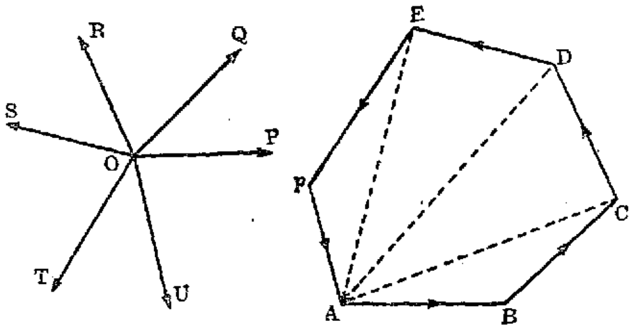
因AD, BC二邊平行相等,故二邊可代表同大之力.據力之平行四邊形律,AB, AD二邊所代表之二力,其結果力必可由AC代表.卽AB, BC二邊所代表之二力之結果力,必可由AC代表.

故AB, BC, CA所代表之三力,可視爲等於AC, CA所代表之二力.但AC, CA所代表之二力大小相等,方向相反.故互相抵消而歸於平衡.卽PQR三力對於物體爲平衡也.

又與速率之三角形律比照觀之,可知如二力加於物體之一點,其大小與方向,可順序以一三角形之 AB, BC 二邊代表之,則其結果力之大小與方向,必可以第三邊 AC 代表之.

32. 力之多邊形律(Polygon of Forces). 如多力加於物體之一點,其大小與方向,可順序以一多邊形之各邊代表之,則此多力必屬平衡.

如第11圖,設 $PQRSTU$ 六力,加於物體之一點 O,其大小



第11圖

與方向,可順序以一多邊形之 AB, BC, CD, DE, EF 及 FA 代表之,則六力必屬平衡.

連 AC, AD, AE 三線.

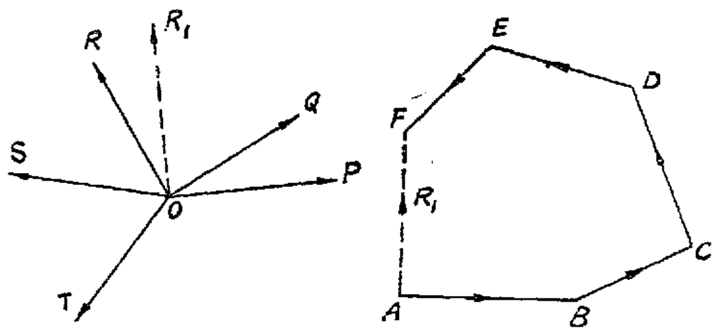
據力之三角形律,AB, BC 所代表之二力,其結果力必為 AC 所代表. AC, CD 所代表之二力,其結果力必為 AD 所代表. AD, DE 所代表之二力,其結果力必為 AE 所代表. AE, EF 二力之結果力,其結果力必為 AF 所代表.

是六力之結果力,變爲 AF, FA 所代表之二力.

但 AF, FA 所代表之二力,大小相等,方向相反.故相消而適得平衡.

33. 用畫法求多力結果力之法 就力之多邊形律,可推得一種用畫法求多力結果力之法,即就多力之大小與方向順序畫一多邊形.若最後一邊之末端與起始合而爲一,則多力必屬平衡,即結果力爲零;若不合而爲一,則最後一邊之末端與起始點間之距離,必代表結果力之大小.連首末兩點直線所沿之方向,即爲結果力之方向.

如第12圖,設 $PQRST$ 五力,加於物體之一點 O,畫一多邊



第 12 圖

形之五邊 AB, BC, CD, DE, EF, 順序代表五力之大小與方向.

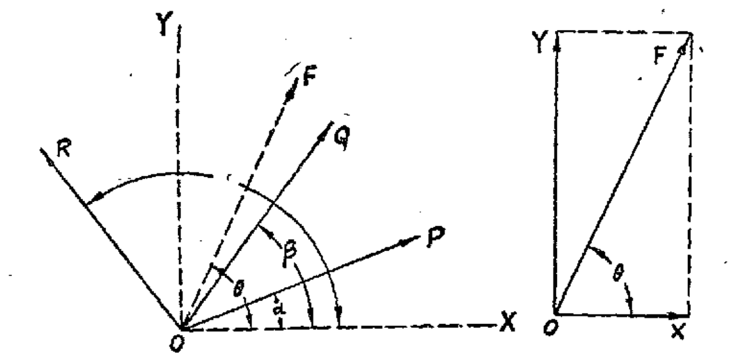
用前段同一證法,可證連首末兩點直線之一邊,可代表五力結果力之大小與方向.

再從 O 點起,畫 OR_1 線,與 AF 線相等平行,則 OR_1 即代表所

求之結果力.

34. 用算法求多力結果力之法. 多力在一平面內加於物體之一點,其結果力之大小與方向,更可用算法求之.

如第13圖,設 P, Q, R 等力,在一平面內,加於物體之一點 O.



第13圖

經過 O 點,畫互成正角之二標準線 OX 與 OY.

設 P, Q, R 等力之方向對於 OX 所成之角度為 α, β, γ, 等等.

則 P 力沿 OX 與 OY 兩方向之分力必為 $P\cos\alpha$ 與 $P\sin\alpha$ (與速率分解同).

Q 力沿 OX 與 OY 兩方向之分力必為 $Q\cos\beta$ 與 $Q\sin\beta$,

R 力沿 OX 與 OY 兩方向之分力必為 $R\cos\gamma$ 與 $R\sin\gamma$,

三力沿 OX 方向之總分力 $X = P\cos\alpha + Q\cos\beta + R\cos\gamma$,

三力沿 OY 方向之總分力 $Y = P\sin\alpha + Q\sin\beta + R\sin\gamma$,

故　　結果力之大小 $F=\sqrt{X^2+Y^2}$,

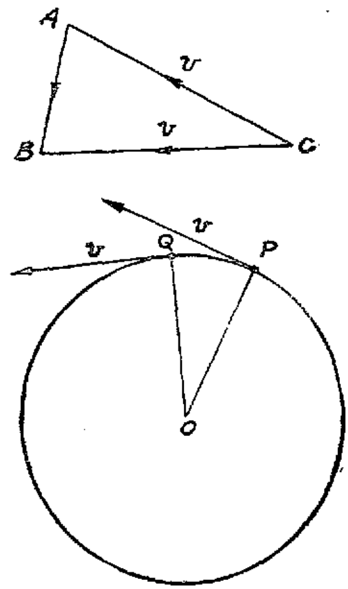
結果力之方向 $\theta=\tan^{-1}\left(\frac{Y}{X}\right)$.

經過 O 點畫一線 OF,使其方向對於 OX 成 θ 度.使其長短代表 F,則 OF 即代表結果力之大小與方向.

如 X 或 Y 等於零,則表示各力沿 OX 或 OY 之總分力爲零.若 X 與 Y 均等於零,則物體必歸於平衡.

反而言之,若多力在一平面內加於物體之一點,適得平衡,則多力沿互相垂直兩方向之總分力必各等於零.

35. 向心加速率. 一物體沿一圓周爲等角速率運動時,則此物體恆有一種向心加速率.其值等於圓之半徑除物體之速率之自乘積.



第 14 圖

設 v 代表物體之速率,r 爲圓之半徑,f_c 爲向心加速率,

則　　$f_c=\frac{v^2}{r}$.

如第 14 圖,設 P 爲物體在某時刻所占之地位.Q 爲物體在 dt 時間後所占之地位.O 爲物體迴轉之中心.

當物體在 P 點時,其速率之方向必沿 P 點之切線.當物體在 Q 點時,其速率之方向必沿

Q 點之切線.

畫 CA 線,使代表 v,並與 OP 之方向垂直.畫 CB 線,使代表 v,並與 OQ 之方向垂直.連 AB 二點,則物體由 P 點行至 Q 點所變之速率,必爲 AB 所代表.(因 CA 與 AB 兩速率之結果速率爲 CB) 設等於 dv.

如 POQ 角小至極限時,則 PQ 弦線與 PQ 弧線,可假設爲相等,卽 POQ 與 ABC 可假設爲相似三角形.

故 $$\frac{AB}{PQ}=\frac{CA}{OP},$$

卽 $\frac{dv}{v\,dx}=\frac{v}{r}$,(凡有等角速率運動之物體,其各時刻速率之大小及速之大小均相等,只方向變更)

或 $$\frac{dv}{dt}=\frac{v^2}{r}.$$

但 $\frac{dv}{dt}$ 爲速率對於時間之變化率,卽等於加速率.

又當 POQ 角小至極限時,則 dv 之方向,可視爲與 v 垂直.卽物體無論在何處,其加速率恆與其速率垂直,或無論在何時刻,恆向圓之中心.

故 向心加速率 $f_c=\frac{v^2}{r}$

又因 $$v=\omega r$$

故 向心加速率 $f_c=\frac{(\omega r)^2}{r}=\omega^2 r$

36. 向心力與離心力 (Centripetal Force and Centrifugal Force). 因力等於質量與加速率之相乘積.如物體之重量爲W,據前段之理,則物體向圓心方向之力必等於$\frac{W}{g}\times\frac{v^2}{r}$或$\frac{W}{g}\omega^2 r$.此力謂之向心力.物體所以不離圓周飛去者以此.又物體所以沿圓周運動而不至中心者,必有與此向心力大小相等方向相反之力焉.此力謂之離心力,其值亦爲

$$\frac{Wv^2}{gr} \text{ 或 } \frac{W}{g}\omega^2 r.$$

37. 工作 (Work). 加力於物體上,如物體因之而移動時,則稱此力在該物體上顯有工作.工作之大小,等於力之大小乘物體在施力線上所行之距離.

如P代表力,S代表物體在施力線上所行之距離,W代表工作,

則 $$W=PS$$

如物體運動之方向與力之方向不同,而成α度之角度.

則 $W=P\cos\alpha S$

$=$ 力 $\times$ 所行距離在力之方向之分解部 (Component).

或 $=$ 力在施力線上之分解部 $\times$ 物體所行之距離.

38. 工作之單位 (Unit of Work). 工作之單位,亦分絕對與重力二種.以一達因之力加於物體上,使該物體在施力線上移動一糎所作之工,謂之一爾格 (Erg).以一磅度之力加於物體上,使該物體在施力線上移動一呎所作之工,謂之一

呎磅度 (Foot Poundal). 此爲工作之絕對單位.工作之重力單位,係以一克之重力加於物體上,使該物體在施力線上移動一糎所作之工,謂之一克糎 (Gram Centimeter). 或以一磅之重力加於物體上,使該物體在施力線上移動一呎所作之工,謂之一呎磅 (Foot Pound). 今再列表如下:

- 工作之單位
  - 絕對單位
    - (1) 愛格
    - (2) 呎磅度
  - 重力單位
    - (1) 克糎
    - (2) 呎磅

在絕對單位中,因愛格爲量太小,實際運算上每多不便.又定朱爾 (Joule) 爲工作之單位.每一朱爾等於 10,000,000 愛格.

39. 工率 (Power). 工作對於時間之變化率,謂之工率.在同一之時間內能成之工作多者,謂之工率大.能成之工作少者,謂之工率小.如物重80磅,升高100呎.無論爲時之久暫,所需之工作,恆爲 $80\times100=8000$ 呎磅.然若一人能於20秒鐘升起之,一人能於10秒鐘升起之,則前者之工率爲每秒鐘 $\frac{8000}{20}=400$ 呎磅.後者之工率爲每秒鐘 $\frac{8000}{10}=800$ 呎磅.故後者之工率爲前者之二倍,即能於同一時間內作二倍之工作也.

40 工率之單位 (Unit of Power). 工率之單位有二.—

曰馬力(Horse Power),卽每秒鐘能成550呎磅或每分鐘能成33000呎磅之工作之謂.二曰瓦特(Watt),卽每秒鐘能成一朱爾之工作.又因瓦特之量有時嫌其太小,用每秒鐘能成1000朱爾之工作爲工率之單位,謂之千瓦特(Kilowatt).

又每745.7瓦特,普通用746瓦特均等於一馬力,卽0.746千瓦特與一馬力相當.

又在法國制普通多以每秒鐘能成75瓩米之工作爲一馬力.其量稍小,約等於英國制一馬力之百分之98.63.

41. 能力(Energy). 凡利用之卽能發生工作者,統謂之能力.普通稱某物體之能力者,卽此物體所蘊蓄能作工之能力也.其重要之種類有二:(一)動能力(Kinetic Energy),(二)位能力(Potential Energy).

42. 能力之單位. 能力之大小,以能發生工作之多少計之.故能力之單位與工作之單位相同.

43. 動能力. 凡物體因運動之故所具之能力,謂之動能力.如瀑布飛彈,倘遇阻力當前,皆能發出一種能力而表現相當之工作.而此種能力卽因其運動之故.故謂之動能力.

如一物體之重量爲W(磅或克),質量爲m(磅或克)每秒鐘之速率爲v(呎或糎).

則物體所含之動能力 $=\frac{1}{2}mv^2$ (呎磅度或爱格).

或 $=\frac{1}{2}\cdot\frac{Wv^2}{g}$ (呎磅或克糎).

證. 設在物體運動反對之方向,加一等量之力 $-P$,(磅度或達因),使此物體生負號之加速率 $-f$.(呎或糎).而漸歸於靜止.

則 $$-P=-mf, \text{或 } P=mf.$$

又設物體靜止以前所行之距離為 S(呎或糎),據等加速率運動第三式,得

$$O=v^2+2(-f)S,$$

或 $$S=\frac{v^2}{2f}.$$

又因物體所蓄之動能力,必等於物體靜止以前所能發出之工作,即等於 PS,

故物體所蓄之動能力 $=PS=P\times\frac{v^2}{2f}=mf\times\frac{v^2}{2f}=\frac{1}{2}mv^2$ (呎磅度或爾格)

又因 $$m=\frac{W}{g},$$

故物體所蓄之動能力 $=\frac{1}{2}\cdot\frac{Wv^2}{g}$.(呎磅或克糎)

44. **位能力.** 凡物體因位置之故所具之能力,謂之位能力.如蓄水於閘,置石於塔,一旦使之下行,皆能發生一種能力.若與阻力相遇,即能表現相當之工作.而此種能力,即因其位置之故.故謂之位能力.

設一物體之重量為 W(磅或克),質量為 m(磅或克),距某標準平面之垂直距離為 h(呎或糎).

則物體對某標準平面所含之位能力 $=mgh$ 呎磅度或爾格.

或 $=Wh$ 呎磅或克糎.

證. 因物體之重量爲 W(磅或克),距某標準平面之垂直距離爲 h(呎或糎),則 h 高之位置降至標準平面所能作之工作,必爲 Wh(呎磅或克糎);即所蓄之位能力爲 Wh(呎磅或克糎)也.

又因 W(磅或克)$=mg$(磅度或達因),

故物體所蓄之位能力又等於 mgh(呎磅度或爾格)

習題

1. 試述下列數名詞之定義:(一)速,(二)變位,(三)速率,(四)加速率,(五)角速率,(六)質量,(七)重量,(八)運動量.

2. 如某運動物體之初速率爲 v_0,等加速率爲 f,t 秒鐘以後之速率爲 v,t 秒鐘內所行之距離爲 s,試證:

(1) $$v=v_0+ft,$$

(2) $$s=v_0t+\frac{1}{2}ft^2,$$

(3) $$v^2=v_0^2+2fs.$$

3. 將每點鐘60哩(英里)之速率變爲每秒鐘若干呎.每分鐘迴轉80次之角速率變爲每秒鐘若干半徑角.

4. 直徑6呎之輪,其圓周上一點之速率爲每分鐘4200呎,問距輪心2呎之一點,其速率爲何?

5. 一皮輪每分鐘迴轉400次,輪輻上某點之速率爲每分鐘4000呎,問此點距輪心之距離爲何?

6. 一發動機每分鐘之迴轉數爲150次,其曲柄軸針之速率爲每分鐘2400呎.問曲柄之長(卽假爲機軸中心至曲柄軸針之中心之距離)爲若干呎?

7. 一賽跑汽車,其車輪之直徑爲36吋,如此車每點跑100哩,問車每分鐘之迴轉數若干?又倘依此速率前進,車輪上距輪心12吋之一點,其速率爲每分鐘若干呎?

8. 力之單位有幾?試詳述之.

9. 今有某力F,加於10克之質量上,每秒鐘發生之等加速率爲每秒5糎,問F力之大小.

10. 今有某力F,加於20磅之質量上,每秒鐘發生之等加速率爲每秒2呎,問F力之大小.

11. 今有某力F,加於250磅之質量上,共歷10秒鐘,此物體之速率由每秒8呎變爲每秒24呎,問F力之大小.

12. 試述工作之定義及其單位.今有一人由地面升至2800呎之山巔,倘此人體重150磅.問所作之工作幾何?

13. 試述工率之定義及其單位.用100馬力之發動機,由150呎之井中向上排水,(卽假定將水提高之垂直距離爲150呎),倘機力完全用於有效工作,問每點鐘能吸水若干磅?

14. 用200馬力之發動機,由140呎之井中向上排水,倘機力十分之二消耗於摩阻力,問每點鐘能排水若干立方呎?(每立方呎水假定重62.3磅.)

15. 今有瀑布一處,上下水位之差爲12呎,每分鐘之流量爲800立方呎.問可利用之能力每分鐘有若干呎磅?又如用一水輪,其機械效率爲百分之八十五(卽消耗於無用者爲百分之十五),問此水輪之馬力數幾何?

16. 如運動物體之重量爲W,速率爲V,地心吸力之加速率爲g,試證此物體之動能力爲$\frac{W}{2g}V^2$.重100磅之礮彈,按每秒鐘200呎之速率由礮門射出,問所含之動能力幾何?

第二章

簡單機械

45. 機械 (Machine). 機械者,兩個以上之物體之組合體,動其一部,則他部因之發生一定之相對運動,吾人得利用之使一種天然能力或機械力發生一定之效果或工作者也.

46. 原動部與從動部 (Driver and Follower). 當一機械發生運動時,其起始運動之一部,謂之原動部.其最後運動之一部,謂之從動部.有時凡互相連結之兩部,當發生運動時,先動者即謂之原動部.後動者即謂之從動部.

47. 機架 (Frame). 一機械上不動之部分,除一二較小之部分如軸承 (Bearing) 導路 (Guide) 等,有時別予以特別名稱外,其餘統稱之曰機架.所以支持並約束運動各部者也.

48. 作力與抵力 (Effort and Resistance). 無論何種機械,當工作時,均須於原動部繼續加以相當之力,其從動部方能發生一定之效果或工作.又從動部所發生之效果或工作,普通多可認為係戰勝一種抵力.在原動部所加之力,謂之作

力.在從動部所戰勝之抵力,有時稱之曰重力(Weight),有時稱之曰載荷(Load).普通則通稱之曰抵力.

49. 力比(Force Ratio). **或機械之利(Mechanical Advantage).** 任一機械,當起始運動以後,其抵力對於作力之比,謂之該機械之力比.如 W 代表抵力,P 代表作力,

則
$$\text{力比}=\frac{\text{抵力}}{\text{作力}}=\frac{W}{P}.$$

普通機械,力比多大於一,即抵力多大於作力.然機械之目的若係增加運動之速率時,則適與之相反.

50. 速比(Velocity Ratio). 任一機械當起始運動以後,在同一時間內,作力施力點所行之距離對於抵力施力點所行之距離之比,謂之速比.如 D_1 代表一定時間內作力施力點所行之距離,D_2 代表在同一時間內抵力施力點所行之距離.

則
$$\text{速比}=\frac{\text{作力施力點所行之距離}}{\text{抵力施力點所行之距離}}=\frac{D_1}{D_2}.$$

51. 工作之定理(Principle of Work). 倘機械本身之重不計,且相對運動各部亦假定爲絕對光滑,無摩阻力以消耗工作時,則其力比恆與其速比相等.

即
$$\frac{\text{抵力}}{\text{作力}}=\frac{\text{作力施力點所行之距離}}{\text{抵力施力點所行之距離}}$$

或
$$\frac{W}{P}=\frac{D_1}{D_2}.$$

即作力×作力施力點所行之距離＝抵力×抵力施力點所行之距離,但作力×作力施力點所行之距離爲作力所作之工作,或稱之曰加入機械之工作.抵力×抵力施力點所行之距離,爲抵力所作之工作,或稱之曰由機械得出之工作.

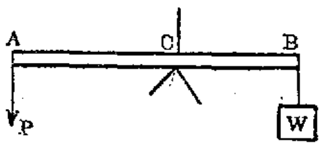
故無論用何種機械,倘其本身之重不計,且相對運動各部亦假定爲無摩阻力時,則加入機械之工作恆等於由機械得出之工作,此謂之工作之定理.

如某機械之力比大於一,是作力小於抵力,然在同一時間內,作力施力點所行之距離必大於抵力施力點所行之距離,且二者恆依同一之比例焉.即無論用何種機械,得之於力者,必失之於速,得之於速者,必失之於力.蓋工作與能力相當,固不能無因而增多也.機械之應用,不過借各部結構之關係,或變更力之大小,或變更速率之高低,或變更運動之種類,以適於吾人之應用而已.

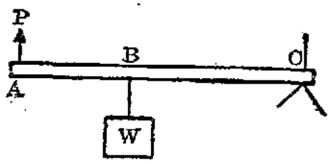
52. 機械效率 (Efficiency of a Machine). 無論何種機械,抵力所作之工作對於作力所作之工作之比,謂之此機械之效率.易言之,即由機械得出之工作對於加入機械之工作之比也.就前段觀之,倘不計機械本身之重與各部之摩阻力,則二者之比恆等於一,即機械效率等於100%.惟實際上摩阻力之消耗決不能免,即由機械得出之工作,恆小於加入機械之工作,機械效率恆小於一,或恆小於100%也.

53. 槓桿(Lever). 凡堅固之桿,具有一定點,其餘各部均可繞此定點而轉動者,皆謂之槓桿,機械中最簡單者也.所具之定點名曰支點(Fulcrum).如用為機械時,加力之點曰作力點.生力之點曰抵力點.又就桿之形狀分為兩種:(甲)直槓桿.(乙)曲槓桿.

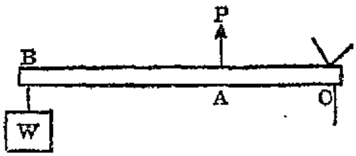
直槓桿. 直槓桿共分三類:支點在作力點抵力點之間者,為第一類槓桿,如第15圖.抵力點在支點作力點之間者,為第二類槓桿,如第16圖.作力點在支點抵力點之間者,為第三類槓桿,如第17圖.



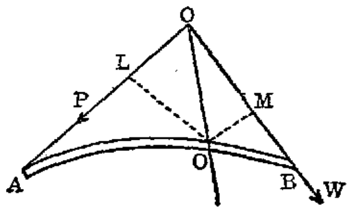
第15圖



第16圖



第17圖



第18圖

在三類槓桿中,如作力為P,抵力為W,作力施力線距支點之垂直距離為AC,抵力施力點距支點之垂直距離為BC,倘槓桿本身之重置之不計,作力與抵力適達平衡,

則 $$P\times AC=W\times BC.$$

曲槓桿 如第18圖，設 AOB 爲一曲槓桿，O 爲支點，A 爲作力施力點，B 爲抵力施力點，OL 爲作力 P 施力線距支點之垂直距離，OM 爲抵力，W 施力線距支點之垂直距離，倘槓桿本身之重置之不計，作力與抵力適達平衡。

則 $$P\times OL=W\times OM$$

54. 滑車(Pulley). 滑車亦簡單機械之一種。具有一金類或木製之輪，中貫以軸，輪可依之迴轉。輪之周圍，有一槽以受繩索，軸之兩端則置於一架。

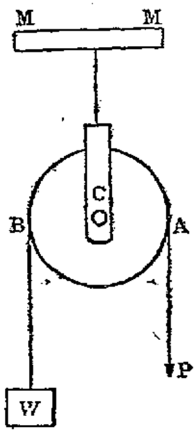
就同時工作之數目論，滑車可分爲兩種：(甲)單體滑車，只有一輪者是；(乙)合併滑車，有兩輪以上合於一處者是。

單體滑車. 單體滑車，又分定滑車與動滑車兩種：繩索移動，軸架不移動者，謂之定滑車，如第19圖。繩索移動，軸架亦隨之移動者，謂之動滑車，如第20圖。

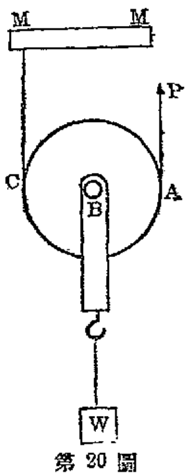
在兩圖之上，P 爲所加之作力，W 爲所起之重，MM 爲固定之橫樑。

定滑車可視爲第一類槓桿之變體，C 相當支點，A 相當作力點，B 相當抵力點。按槓桿之定理計之，倘摩阻力置之不計，

則 $P\times AC=W\times BC$



第 19 圖



第 20 圖

因 AC 與 BC 相等,(均爲滑車之半徑),

故 $$W=P.$$

或 $$力比=\frac{W}{P}=1.$$

即所加之力須與所起之重相等.故用定滑車起重,但可變更運動之方向,不能變更力之大小.

又就第19圖觀之,在同一時間內,作力點所行之距離,必等於抵力點所行之距離,故速比亦等於一.

動滑車可視爲第二類槓桿之變體.C 相當支點,A 相當作力點,B 相當抵力點,按槓桿之理計之,倘摩阻力與滑車本身之重量均置之不計,

則 $$P\times AC=W\times BC$$

但 AC 爲滑車之直徑,BC 爲滑車之半徑,

即 $$AC=2BC,$$

故 $$P=\frac{W}{2}.$$

或 $$力比=\frac{W}{P}=2.$$

如將滑車本身之重計算在內,設其重爲 w,則

$$P\times AC=(W+w)\times BC,$$

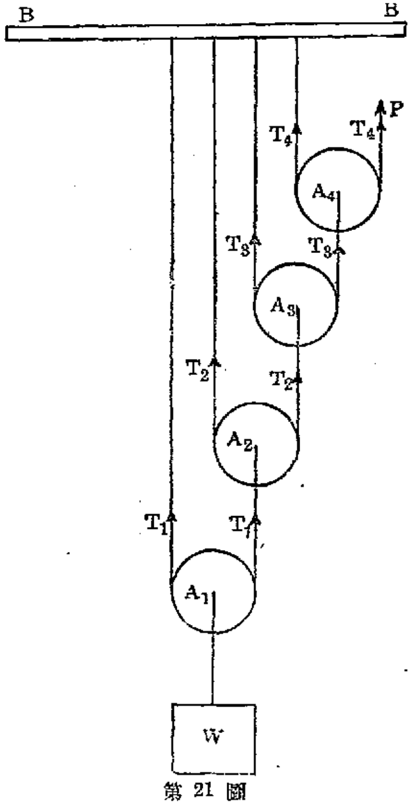
故 $$P=\frac{W+w}{2}.$$

又就第20圖觀之,使 W 上升一呎,則 CM, AP 二部須各縮

短一呎,即 P 點須上升二呎,是在同一時間內,作力點所行之距離等於抵力點所行距離之二倍.故其速比,亦等於二.但理論上作力所作之工作仍等於抵力所作之工作.

合併滑車. 合併滑車共分三類.其分類之標準,原無一定之理由,不過就普通之習慣分之,期與他書一致而已.

第一類合併滑車 如第21圖,BB 爲木製或鋼鐵製之橫樑.A_1, A_2, A_3, A_4 爲四動滑車.每滑車各有一繩通過之.各繩之左端,繫於 BB 樑上,右端則繫於上一滑車之軸上.至最上 A_4 滑車之右端,則施以作力 P.最下 A_1 滑車之軸上,則繫重 W.今假設 T_1, T_2, T_3, T_4 爲各繩上之牽力,滑車與繩之重及摩阻力均略去不計,則其力比可求之如下:



第 21 圖

$$\because \quad 2T_1 = W, \qquad \therefore \quad T_1 = \frac{1}{2}W.$$

$$\because \quad 2T_2 = T_1, \qquad \therefore \quad T_2 = \frac{1}{2}T_1 = \frac{1}{2^2}W.$$

$$\because\quad 2T_3=T_2,\qquad \therefore\quad T_3=\frac{1}{2}T_2=\frac{1}{2^3}W.$$

$$\because\quad 2T_4=T_3,\qquad \therefore\quad T_4=\frac{1}{2}T_3=\frac{1}{2^4}W.$$

但 $T_4=$ 所加之作力 P,

由此類推,假設有 n 個滑車合併一處,

則 $$\text{作力 } P=\frac{1}{2^n}W,$$

故 $$\text{力比}=\frac{\text{抵力}}{\text{作力}}=\frac{W}{P}=2^n.$$

卽用一倍之力可起 2^n 倍之重也.

如將各滑車之重計算在內,設其重爲 w_1, w_2, w_3, w_4, 則 P 與 W 之關係可求之如下:

$$\because\quad 2T_1=W+w_1,\qquad \therefore\quad T_1=\frac{W}{2}+\frac{w_1}{2}.$$

$$\because\quad 2T_2=T_1+w_2,\qquad \therefore\quad T_2=\frac{W}{2^2}+\frac{w_1}{2^2}+\frac{w_2}{2}.$$

$$\because\quad 2T_3=T_2+w_3,\qquad \therefore\quad T_3=\frac{W}{2^3}+\frac{w_1}{2^3}+\frac{w_2}{2^2}+\frac{w_3}{2}.$$

$$\because\quad 2T_4=T_3+w_4,\qquad \therefore\quad T_4=\frac{W}{2^4}+\frac{w_1}{2^4}+\frac{w_2}{2^3}+\frac{w_3}{2^2}+\frac{w_4}{2}.$$

卽 $$P=\frac{W}{2^4}+\frac{w_1}{2^4}+\frac{w_2}{2^3}+\frac{w_3}{2^2}+\frac{w_4}{2}.$$

依此類推,如有 n 個滑車,

則 $$P=\frac{W}{2^n}+\frac{w_1}{2^n}+\frac{w_2}{2^{n-1}}+\frac{w_3}{2^{n-2}}+\cdots\frac{w_n}{2}.$$

如各滑車之重均相等,並以 w 代表每個之重量,

即 $$w_1=w_2=w_3=\cdots=w.$$

則 $$P=\frac{W}{2^n}+\frac{w}{2^n}+\frac{w}{2^{n-1}}+\frac{w}{2^{n-1}}+\cdots\frac{w}{2}.$$

或 $$2^nP=W+w(1+2+2^2+2^3+\cdots 2^{n-1})$$

$$=W+w(2^{n-1})$$ (按等比級數公式).

第一類合併滑車之速比,可求之如下:

在同一時間內,如作力 P 所行之距離為 D_1, 抵力 W 所行之距離為 D_2, 按動滑車定理計之,

則 A_1 滑車所行之距離 $=D_2$,

A_2 滑車所行之距離 $=2D_2$,

A_3 滑車所行之距離 $=2^2D_2$,

A_4 滑車所行之距離 $=2^3D_2$,

作力 P 所行之距離 $=2^4D_2$.

但 作力 P 所行之距離 $=D_1$,

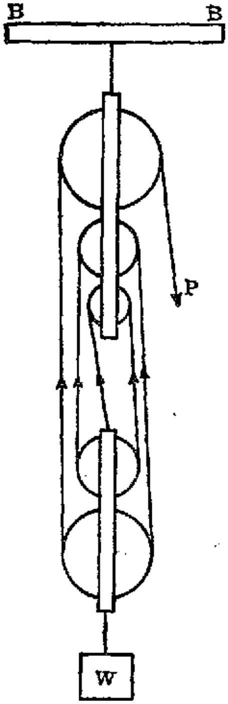
故 $$2^4D_2=D_1$$

由此類推,倘有 n 個滑車合併一處,

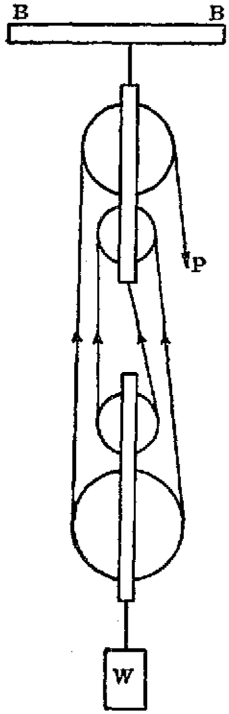
則 $$2^nD_2=D_1.$$

或 $$\text{速比}=\frac{\text{作力所行之距離}}{\text{抵力所行之距離}}=\frac{D_1}{D_2}=2^n.$$

第二類合併滑車. 如第22第23兩圖,BB 為固定之橫樑.將數滑車分置於上下二架上,而以一繩繞之.上面之架,固定於 BB.下面之架,則可上下移動.懸重 W 於下架之底端.加力



第 22 圖



第 23 圖

P 於繩之一端,彼端則固定於架上.如上下兩部滑車數相等,則繩端須繫於上面架上(如第22圖).如上部滑車數多一,則繩端須繫於下面架上(如第23圖).

倘不計滑車之重與摩阻力,其力比可求之如下:

就第22圖觀之,可知抵力 W 爲下面四繩所繫定,故 W 必等於四繩所受牽力之和.又因四繩原係一繩,故每繩之牽力各等於 P,抵力 W 必等於 $4P$.

$$\text{卽力比}=\frac{\text{抵力}}{\text{作力}}=\frac{W}{P}=\frac{4P}{P}=4.$$

由此類推,倘下面架上之繩數爲 n,

$$\text{則力比}=\frac{W}{P}=\frac{nP}{P}=n.$$

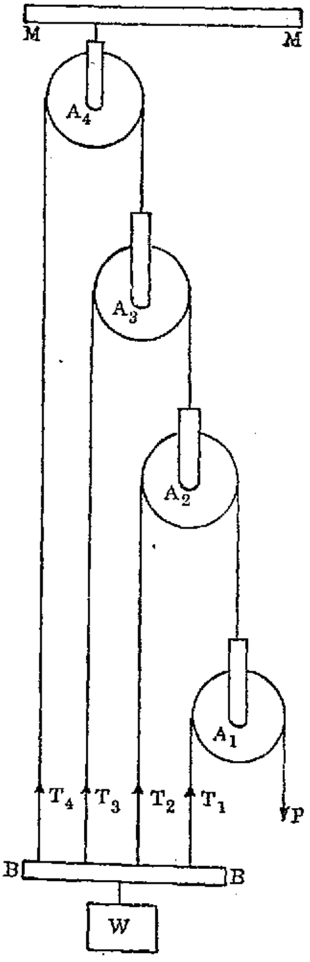
卽用一倍之力,可起 n 倍之重也.

如將下面之架及下面滑車之重計算在內,設其重爲 w,則作力 P 與抵力 W 之關係必爲

$$nP=W+w,\ \text{或}\ P=\frac{W+w}{n}.$$

又就第22圖觀之,倘抵力 W 上升一呎,則四段繩須各縮短一呎,卽作力 W 須下降四呎.由此類推,如下面架上之繩數爲 n,則 W 上升一呎,P 須下降 n 呎,卽速比亦等於 n 也.

第三類合併滑車　如第24圖,BB 爲木製或鋼鐵製之橫樑,可上下移動.A_1, A_2, A_3 爲三動滑車,A_4 爲一定滑車.每滑車各有一繩繞過之.各繩之一端,繫於 BB 樑上,他端



第 24 圖

則繫於下一滑車之軸上.至最下 A_1 滑車繩之他端,則施以作力 P. 最上 A_4 滑車,則連於固定之 MM 樑上, BB 樑下懸重 W. 如各滑車及 BB 橫樑之 W 與摩阻力均不計,其力比可求之如下:

設 T_1, T_2, T_3, T_4 代表各繩上所受之牽力,

則
$$T_1=P.$$
$$T_2=2T_1=2P.$$
$$T_3=2T_2=2^2P.$$
$$T_4=2T_3=2^3P.$$

因 W 為四繩所繫,

故
$$W=T_1+T_2+T_3+T_4$$
$$=P+2P+2^2P+2^3P=P(1+2+2^2+2^3)$$
$$=P\left(\frac{2^4-1}{2-1}\right) \text{(按等比級數定理).}$$

由此類推,設有 n 個滑車合併一處,

則
$$W=P\left(\frac{2^n-1}{2-1}\right)=P(2^n-1).$$

或
$$\text{力比}=\frac{W}{P}=2^n-1.$$

如將動滑車之重量計算在內,設其重為 w_1, w_2, w_3, 則作力 P 與抵力 W 之關係如下:

$$T_1=P,$$
$$T_2=2T_1+w_1=2P+w_1,$$

$$T_3 = 2T_2 + w_2 = 2^2P + 2w_1 + w_2,$$

$$T_4 = 2T_3 + w_3 = 2^3P + 2^2w_1 + 2w_2 + w_3,$$

故 $$W = T_4 + T_3 + T_2 + T_1 = (2^3 + 2^2 + 2 + 1)P + (2^2 + 2 + 1)w_1 + (2+1)w_2 + w_3,$$

$$= \left(\frac{2^4 - 1}{2-1}\right)P + \left(\frac{2^3 - 1}{2-1}\right)w_1 + \left(\frac{2^2 - 1}{2-1}\right)w_2 + w_3,$$

$$= (2^4 - 1)P + (2^3 - 1)w_1 + (2^2 - 1)w_2 + (2-1)w_3,$$

由此類推,如有 n 個滑車,按第三類合併法合併之.

則 $$W = (2^n - 1)P + (2^{n-1} - 1)w_1 + (2^{n-2} - 1)w_2 + (2^{n-3} - 1)w_3 + \cdots (2-1)w_{n-1}.$$

如各滑車之重均相等,並以 w 代表每個之重量,

則 $$W = (2^n - 1)P + w[2^{n-1} + 2^{n-2} + 2^{n-3} + \cdots + 2 - (n-1)]$$

$$= (2^n - 1)P + w[2^{n-1} + 2^{n-2} + 2^{n-3} + \cdots + 2 + 1 - n]$$

$$= (2^n - 1)P + w(2^n - n - 1).$$

第三類合併滑車之速比,可求之如下:

如 W 上升 D_2 呎,則 A_3 滑車下降之距離 $= D_2$ 呎.

$\because$ A_3 滑車下降之距離 $= D_2$ 呎,

BB 橫樑上升之距離 $= D_2$ 呎,

$\therefore$ A_2 滑車下降之距離 $= 2D_2 + D_2 = 3D_2 = (2^2 - 1)D_2$ 呎.

$\because$ A_2 滑車下降之距離 $= 3D_2$ 呎,

BB 橫樑上升之距離 $= D_2$ 呎,

$\therefore$ A_1 滑車下降之距離 $= 2 \times 3D_2 + D_2 = 7D_2 = (2^3 - 1)D_2$ 呎.

$\because$ A_1 滑車下降之距離 $=7D_2$ 呎，

BB 橫樑上升之距離 $=D_2$ 呎.

$\therefore$ 作力 P 下降之距離 $=2\times 7D_2+D_2=15D_2=(2^4-1)D_2$ 呎.

如作力 P 所行之距離為 D_1，

則
$$(2^4-1)D_2=D_1.$$

由此類推，設有 n 個滑車合併一處，

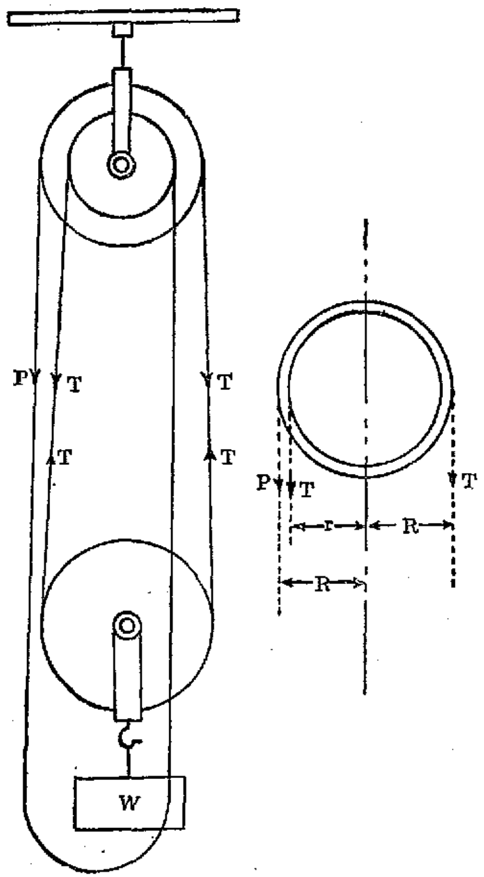
則 $(2^n-1)D_2=D_1$，

故速比

$$=\frac{\text{作力所行之距離}}{\text{抵力所行之距離}}$$

$$=\frac{D_1}{D_2}=2^n-1.$$

55. 差動滑車 (Differencial Pulley Block). 差動滑車由相連同軸直徑不同之二定滑車，及一動滑車而成. 又有連續鍊條一，其經過各滑車之狀況，如第 25 圖所示. 自 P 點起先經過定滑車之大者，次繞動滑車，然後經過定滑車



第 25 圖

中之小者,復下行與 P 點遇.定滑車之周圍,具若干齒狀突起,與鍊條之環相銜接,使鍊條不致滑出.加力 P 於鍊條 P 點,繫重 W 於動滑車之下.如 R 爲大定滑車直徑,r 爲小定滑車之直徑,T 爲經過動滑車二部鍊條上之牽力,則其力比可求之如下:

因 W 爲 TT 二牽力所繫.故 $2T=W$.

又就各力繞定滑車軸之力率計之.

則　$$P\times R+T\times r=T\times R.$$

或　$$P=\frac{T(R-r)}{R}=\frac{W}{2}\times\frac{R-r}{R}=\frac{W(R-r)}{2R}.$$

故　$$力比=\frac{抵力}{作力}=\frac{W}{P}=\frac{2R}{R-r}.$$

就上式觀之,可知 P 與 r 相差愈小,則力比必愈大.

差動滑車之速比,可求之如下:

如定滑車旋轉一週,作力 P 下降距離 $=2\pi R$.

鍊條在大定滑車纏繞之部分 $=2\pi R$.

鍊條從小定滑車撤下之部分 $=2\pi r$.

鍊條經過動滑車之部分,必縮短 $2\pi(R-r)$.

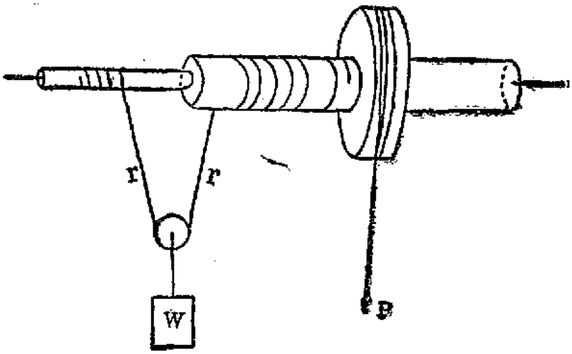
按動滑車定理,如經過動滑車之部縮短 $2\pi(R-r)$,則 W 必上升 $\frac{1}{2}\times 2\pi(R-r)=\pi(R-r)$.

故　$$速比=\frac{P所行之距離}{W所行之距離}=\frac{2\pi P}{\pi(R-r)}=\frac{2R}{R-r}.$$

56. 輪軸 (**Wheel and Axle**). 輪軸共分兩種: (一) 單式輪

軸;(二)複式輪軸.

單式輪軸 單式輪軸,由一輪與一軸構成,如第26圖.AB為軸部,CD為輪部,軸部之兩端,各具樞紐,軸可依之旋轉.又輪部與軸部各有一繩繞之,繩之一端,固定於輪軸,彼端在輪部者,為施力處.在軸部者為繫重處,因二繩纏繞之方向適反,故作力下降,抵力即行上升.單式輪軸之力比,可求之如下:



第26圖

設R為輪部半徑,r為軸部半徑.

據力率定理,作力P繞軸心之力率,必與抵力W繞心之力相等.

即 $$P\times R=W\times r.\ 故力比=\frac{W}{P}=\frac{R}{r}.$$

其速比可求之如下:

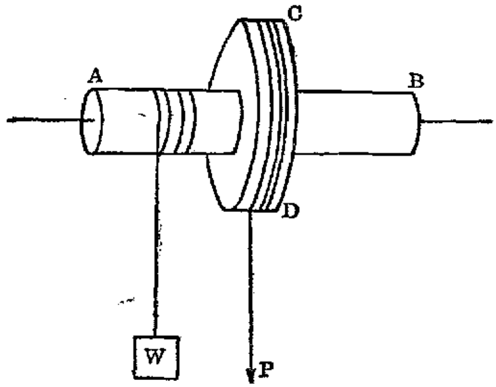
倘輪軸旋轉一週.

則 $$作力P下降之距離=2\pi R.$$

$$抵力W上升之距離=2\pi r.$$

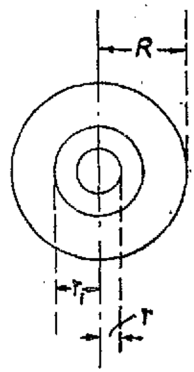
故 $$速比=\frac{作力P下降之距離}{抵力W上升之距離}=\frac{2\pi R}{2\pi r}=\frac{R}{r}.$$

複式輪軸 複式輪軸一名差動輪軸(Differencial Wheel and Axle),其構造如第27圖所示,與單式輪軸無大差異.惟軸部



第 27 圖

分粗細兩段,輪部與軸部各具繩索一,輪部繩索,一端固定於輪上,一端施力.軸部繩索,一端固定於粗軸,纏繞數週,下行經過繫重之動滑車.復上行,纏繞於細軸,其終點遂亦固定於其上.惟繩索在粗細二軸上纏繞之方向適反,故輪部旋轉時懸重之繩索,一部向上纏繞,一部向下撤退,二者差數之半,卽爲懸重上升之距離.



第 28 圖

如 R 爲輪部半徑,r_1 爲粗軸半徑,r_2 爲細軸半徑,P 爲所加之作力,W 爲所懸之重,T 爲軸部繩索之牽力,則力比可求之如下:

就第28圖觀之,倘不計繩索之斜度.

則 $$2T=W.$$

或 $$T=\frac{W}{2}.$$

又據力率定理,

$$P\times R+T\times r_2=T\times r_1,$$

或 $$P=\frac{T(r_1-r_2)}{R}.$$

將 T 之數值代入此式,

得 $$P=\frac{W}{2}+\frac{r_1-r_2}{R}=\frac{W(r_1-r_2)}{2R}.$$

故 $$\text{力比}=\frac{W}{P}=\frac{2R}{r_1-r_2}.$$

複式輪軸之速比,可求之如下:

倘不計繩索之斜度,如輪軸向作力方向旋轉一週.

P 下行之距離 $=2\pi R.$

軸部繩索向粗軸纏繞之部分 $=2\pi r_1.$

軸部繩索從細軸撤下之部分 $=2\pi r_2.$

軸部繩索縮短之部分 $=2\pi(r_1-r_2).$

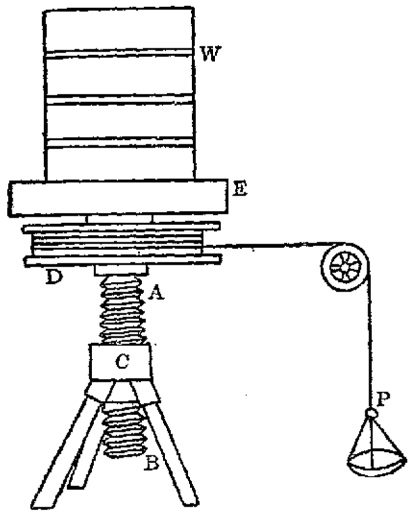
懸重 W 上升之距離 $=\frac{1}{2}\times 2\pi(r_1-r_2).$

$$=\pi(r_1-r_2).$$

故 $$\text{速比}=\frac{P\text{下行之距離}}{W\text{上升之距離}}=\frac{2\pi R}{\pi(r_1-r_2)}=\frac{2R}{r_1-r_2}.$$

57. 螺旋起重機(Screw Jack). 螺旋起重機之構造,如第29圖所示. AB 為垂直之螺旋.其下部通過具有陰螺旋之三

足架C,其上部固定於一輪D.輪之周圍,有小槽以通繩索,繩索之一端,固定於輪上,彼一端爲加力處.又輪上復有木盤E,擬起之重,即置於其上.如輪之半徑爲R,螺旋之螺節爲p,所加之力爲P,所起之重爲W,則速比可求之如下:(螺節者乃沿螺旋之方向,自一螺旋線之任一點,至次一螺旋線相對之點之直線距離.)



第 29 圖

如D輪旋轉一週.

P所行之距離$=2\pi R$.

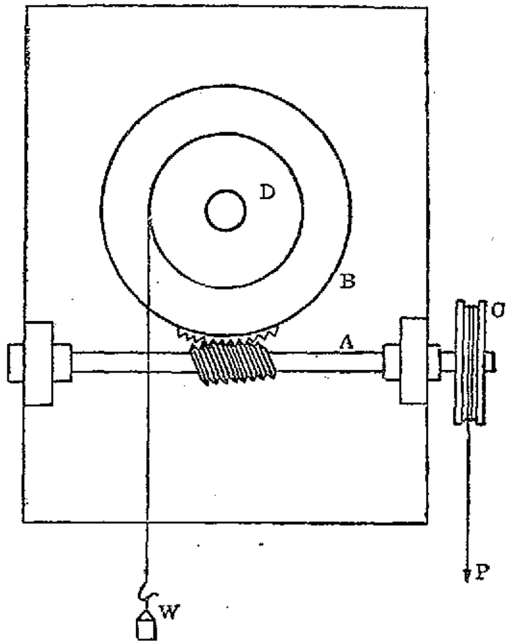
W上升之距離$=p$.

故 $$\text{速比}=\frac{P\text{所行之距離}}{W\text{所行之距離}}=\frac{2\pi R}{p}.$$

據工作之定理,其力比理論上當與其速比相等,即力比亦等於$\dfrac{2\pi R}{p}$也.其直接證明,非明斜面與螺旋定理,不易明瞭.故從略.

58. 螺旋桿與螺旋輪(Worm and Worm Wheel). 此機之構造,如第30圖所示.A爲螺旋桿,B爲螺旋輪,C與D爲二鍊

輪,C輪固定於螺旋桿,其繩索之一端,爲加力處.D輪固定於螺旋輪,其繩索之一端,爲懸重處.如加力於C輪之繩索,C輪旋轉,A, B, C三部皆隨之旋轉,重遂因之升起.



第30圖

如C輪之半徑爲R_1,D輪之半徑爲R_2,螺旋輪之齒數爲n,所加之作力爲P,所起之重爲W,則速比可求之如下:

設 C輪旋轉一週.

則 P下降之距離$=2\pi R$.

A桿旋轉之數$=1$,

B輪前進之齒數$=1$,

B輪旋轉之數$=\frac{1}{n}$.

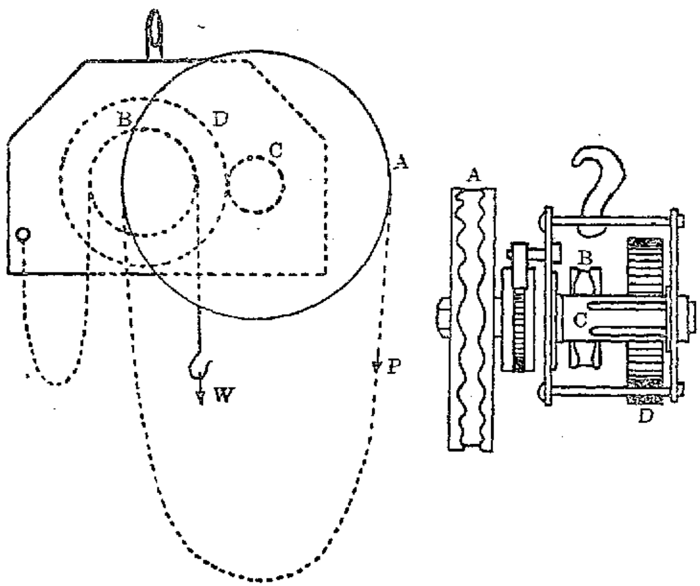
D輪旋轉之數$=\frac{1}{n}$.

$$W\text{上升之距離} = \frac{1}{n} \times 2\pi R_2.$$

故 $$\text{速比} = \frac{P\text{下降之距離}}{W\text{上升之距離}} = \frac{2\pi R_1}{\frac{1}{n}2\pi R_2} = \frac{nR_1}{R_2}.$$

理論上之力比,亦與此相等,然因機械本體之重與各部摩阻力,實際上之力比,較此為低,不過依此為比較之標準而已.

59. Morrie 氏起重機 此機之構造,如第31圖所示. A 為



第 31 圖

作力輪, B 為抵力輪, C 與 D 為互相銜接之二齒輪, C 與 A 在一軸上, D 與 B 在一軸上, 又 A, B 二輪周圍各有齒狀突起,與鍊環相銜,故加力於 A 輪之鍊條, B 輪鍊條上所繫之重,即因

之提起.

如 P 為作力, W 為繫重, R_1 為 A 輪之半徑, R_2 為 B 輪之半徑, n_1 為 C 齒輪之齒數, n_2 為 D 齒輪之齒數,其速比可求之如下:

倘 A 輪旋轉一週,

P 下降之距離 $=2\pi R_1$,

C 齒輪旋轉之數 $=1$,

D 齒輪前進之齒數 $=n_1$,

D 齒輪旋轉之數 $=\frac{n_1}{n_2}$,

B 輪旋轉之數 $=\frac{n_1}{n_2}$,

W 上升之距離 $=\frac{n_1}{n_2}\times 2\pi R_2$.

故
$$\text{速比}=\frac{P\text{下降之距離}}{W\text{上升之距離}}=\frac{2\pi R_1}{\frac{n_1}{n_2}\times 2\pi R_2}=\frac{n_2 R_1}{n_1 R_2}.$$

倘不計各部之重與摩阻力,其力比可求之如下:

設輪齒上所受之推力 $=F$. (施力點經過二輪之節點)

C 齒輪節圓之半徑 $=r_c$,

D 齒輪節圓之半徑 $=r_d$,

按力率或槓桿定理,

$$P\times R_1=F\times r_c \text{ 或 } F=\frac{PR_1}{r_c}\cdots\cdots\cdots\cdots(1)$$

$$W \times R_2 = F \times r_d \text{ 或 } F = \frac{WR_2}{r_d} \cdots\cdots\cdots\cdots(2)$$

從(1),(2)兩式得 $$\frac{PR_1}{r_c} = \frac{WR_2}{r_d}$$

故 $$\text{力比} = \frac{\text{抵力}}{\text{作力}} = \frac{W}{P} = \frac{r_d R_1}{r_c R_2}.$$

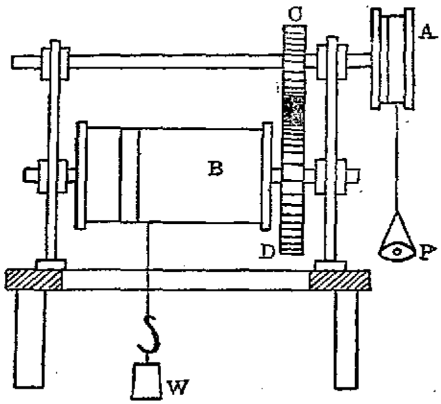
按齒輪定理,相銜接之二輪,其節圓之半徑與其齒數成正比.

即 $$\frac{r_d}{r_c} = \frac{n_2}{n_1}.$$

故 $$\text{力比} = \frac{W}{P} = \frac{n_2 R_1}{n_1 R_2}.$$

60. 絞盤(Windlass). 絞盤分單式複式兩種.

單式絞盤 此機之構造,略如第32圖所示. A 爲作力輪,B 爲轆轤. C 與 D 爲互相銜接之二輪,A 與 C 同軸,B 與 D 同軸,加力於作力輪之繩索,所繫之重,即被升起.



第 32 圖

如作力爲 P,懸重爲 W,作力輪之半徑爲 R_1,轆轤之半徑爲 R_2,C 齒輪之齒數爲 n_1,D 齒輪之齒數爲 n_2,其速比可求之如下:

倘A輪旋轉一週，

作力P下降之距離$=2\pi R$,

C齒輪旋轉之數$=1$,

D齒輪前進之齒數$=n_1$,

D齒輪旋轉之數$=\frac{n_1}{n_2}$,

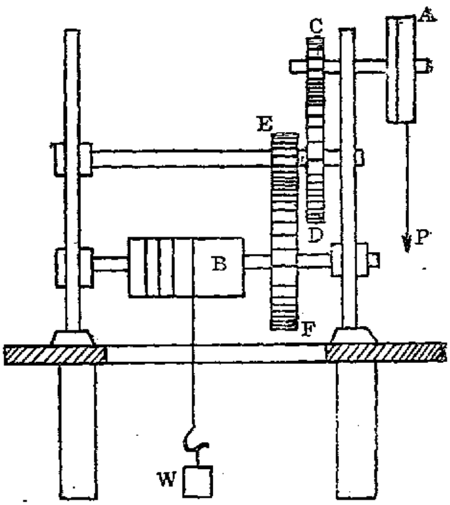
轆轤旋轉之數$=\frac{n_1}{n_2}$,

懸重W上升之距離$=\frac{n_1}{n_2}\times 2\pi R_2$.

$$\text{故速比}=\frac{P\text{下降之距離}}{W\text{上升之距離}}=\frac{2\pi R_1}{\frac{n_1}{n_2}\times 2\pi R_2}=\frac{n_2R_1}{n_1R_2},$$

按前節求力比之法,可求得此機之力比亦等於$\frac{n_2R_1}{n_1R_2}$.

複式絞盤　複式絞盤與單式者同理，惟齒輪之數爲四,乃其異點.如第33圖,A爲作力輪,B爲轆轤,C, D, E, F爲四齒輪,C與A同軸,F與B同軸,DE固定於別一軸,C與D相銜接,E與F相銜接，加力於作力輪之繩索，則轆轤繩索上所繫之重,卽因之升起.



第33圖

如作力爲 P,懸重爲 W,作力輪之半徑爲 R_1,轆轤之半徑爲 R_2, C,D,E,F 四齒輪之齒數爲 n_1, n_2, n_3, n_4,其速比可求之如下:

倘作力輪旋轉一週,

則作力 P 下降之距離 $=2\pi R_1$

C 齒輪旋轉之數 $=1$,

D 齒輪前進之齒數 $=n_1$,

D 齒輪旋轉之數 $=\frac{n_1}{n_2}$,

E 齒輪旋轉之數 $=\frac{n_1}{n_2}$,

F 齒輪前進之齒數 $=\frac{n_1}{n_2}\times n_3$,

F 齒輪旋轉之數 $=\frac{n_1}{n_2}\times\frac{n_3}{n_4}$,

轆轤旋轉之數 $=\frac{n_1n_3}{n_2n_4}$,

懸重 W 上升之距離 $=\frac{n_1n_3}{n_2n_4}\times 2\pi R_2$

$$\text{故速比}=\frac{P\text{下降之距離}}{W\text{上升之距離}}=\frac{2\pi R_1}{\frac{n_1n_3}{n_2n_4}\times 2\pi R_2}=\frac{n_2n_4R_1}{n_1n_3R_2}$$

倘不計各部之重與摩阻力,其力比可求之如下:

設 C, D 二輪,輪齒上所受之推力 $=F_1$,

E, F 二輪,輪齒上所受之推力 $=F_2$,

C, D, E, F 四輪節圓之半徑爲 r_1, r_2, r_3, r_4,

據力率或槓桿定理,

$$P\times R_1=F_1\times r_1 \quad\cdots\cdots(1)$$

$$F_1\times r_2=F_2\times r_3 \quad\cdots\cdots(2)$$

$$F_2\times r_4=W\times R_2 \quad\cdots\cdots(3)$$

從第一式得 $F_1=\frac{PR_1}{r_1}$,

從第三式得 $F_2=\frac{WR_2}{r_4}$,

將 F_1 與 F_2 之值代入第二式,得

$$\frac{PR_1r_2}{r_1}=\frac{WR_2r_3}{r_4}.$$

故

$$\text{力比}=\frac{W}{P}=\frac{r_2r_4R_1}{r_1r_3R_2},$$

按齒輪定理,相銜之二輪,其節圓之半徑,與齒數成正比,即

$$\frac{r_2}{r_1}=\frac{n_2}{n_1} \qquad \frac{r_4}{r_3}=\frac{n_4}{n_3}.$$

故

$$\text{力比}=\frac{n_2n_4R_1}{n_1n_3R_2}.$$

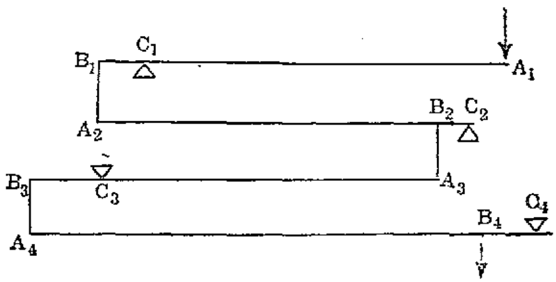
習題

1. 直槓桿共分幾類?試詳述之. 今有一直槓桿,長7呎,一端懸重6磅,一端懸重8磅,倘槓桿之重置之不計,問此桿之支點,當在何處,全體方得平衡?又如平衡以後,兩端各再加重1磅,問此桿將向何方動轉?

2. 今有人擬藉直槓桿之作用,移起千磅之物,倘支點距抵力點之距離爲一呎,此人能加之作力爲50磅,問此桿須長若干呎?(桿重不計.)

3. 長5呎重10磅之桿,支點位於一端,由支點起,1呎之處繫重3磅,3呎之處繫重6磅,如加某力於他端,使此桿平衡靜止,問支點上所受之壓力幾何?

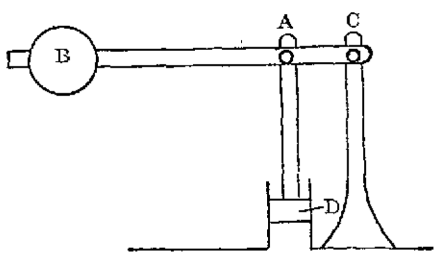
4. A_1B_1, A_2B_2, A_3B_3, A_4B_4 係連同動作之四槓桿. C_1, C_2, C_3, C_4 爲四



第 34 圖

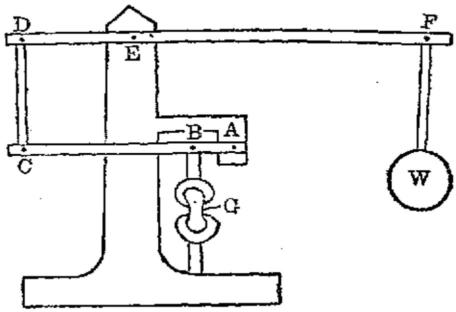
桿之支點,各段之距離如下: A_1C_1 等於10呎, B_1C_1 等於1呎, A_2C_2 等於10呎, B_2C_2 等於1呎, A_3C_3 等於9呎, B_3C_3 等於2呎, A_4C_4 等於14呎, B_4C_4 等於2呎, 倘加100磅之力於 A 點,問 B_4 點所受之壓力若干?(桿重不計.)

5. 第35圖,爲蒸汽鍋爐上所用之保安瓣, AC 等於5吋, BC 等於25吋, D 處之直徑等於1吋,如計畫此保安瓣時,擬使鍋爐內蒸汽壓力超過每方吋150磅時,保安瓣即須自啓,問 B 處所加之重,應爲若干磅?(桿重不計.)



第 35 圖

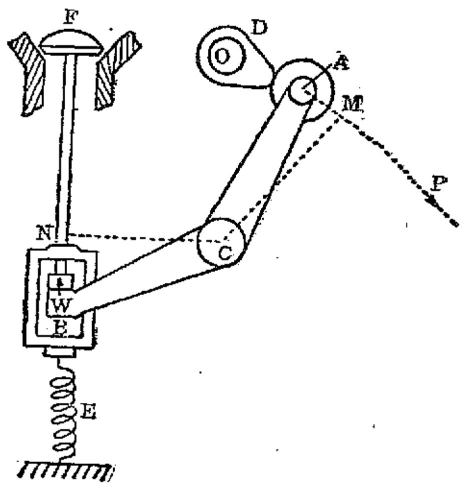
6. 第36圖為試驗洋灰牽力之機械，G 為標本，其橫斷面爲1方吋，H 爲機架，藉 ABC，DEF 二槓桿之作用，加較小之重 W 於 F，可生較大之力於



第36圖

B. 如 AB 等於2吋，BC 等於8吋，DE 等於6吋，EF 等於24吋，倘加40磅之重於 F 點，則標本適被牽斷，問此種洋灰，每方吋能受之最大牽力爲若干磅？

7. 第37圖爲一煤氣機之出氣瓣，ABC 爲作用出氣瓣之曲槓桿，D 爲



第37圖

凸輪(Cam)，O 爲逸軸，E 爲彈簧，F 爲出氣瓣，CM 爲 C 點對於凸輪施力線

AP之垂直線. CN為C點對於抵力W施力線之垂直線.倘CM等於12吋, CN等於10吋, P力等於3磅,問彈簧所受之牽力為若干磅?

8. 單體滑共分幾種?試詳述之.

9. 試求第一類合併滑車之力比(滑車重不計). 設有五個動滑車, 按第一類合併滑車法合併之, 倘加主力100磅, (a)如不計滑車之重, (b)每滑車之重,均為2磅,問各能起重若干磅?

10. 設有重6400磅之物, 今欲以六個滑車按第一類合併滑車法提起之. (a)如不計滑車之重, (b)如每滑車均為1磅, 問各須用力若干磅?

11. 試求第二類合併滑車之力比與速比(滑車重不計). 設有重800磅之物,今欲以下面木架上有八線之第二類合併滑車提起之, (a)如不計下面木架與滑車之重, (b)如下面木架與滑車之重等於80磅, 問各須力若干磅?

12. 如作力為P, 抵力為W, 滑車數為n, 倘不計滑車本體之重, 試證第三類合併滑車之力比等於2^n-1. 今有六個滑車, 照第三類合併滑車合併之. (a)如不計滑車之重, (b)如每滑車之重均為2磅,倘加作力100磅, 問各能起重若干磅?

13. 試述差動滑車之構造,並求其力比, 如大定滑車之半徑等於18吋小定滑車之半徑等於17吋, 倘加作力100磅, 如不計機械本體之重與摩阻力,問能起重若干磅?

14. 詳述複式輪軸之構造,並求其力比,如輪部半徑等於20吋, 粗軸半徑等於8吋, 細軸半徑等於$7\frac{1}{2}$吋,如不計滑車之重與摩阻力,倘加於作力100磅, 問能起重若干磅?

15. 詳述螺旋起重機之構造, 並求其速比. 如螺旋之螺節等於$\frac{1}{4}$吋, 作力輪之半徑等於6吋,如不計機械本體之重, 倘加作力100磅, 問能起重若干磅?

16. 試述螺旋桿與螺旋輪之構造,並求其速比. 如作力輪之半徑等於6吋, 抵力輪之半徑等於10吋, 螺旋輪之齒數為90, 如不計摩阻力與本體

之重,假擬起重6400磅,問當加力若干磅?

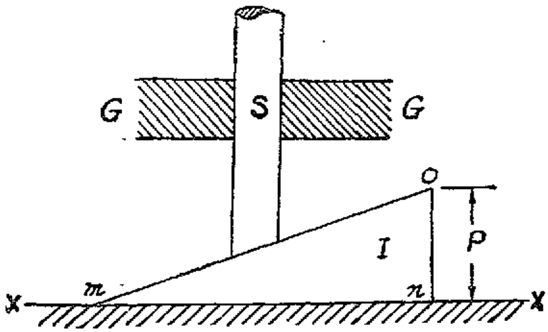
17. 試述Morrie氏起重機之構造,並求其理論上之力比.如作力輪之半徑爲12吋,抵力輪之半徑爲8吋,與作力輪同軸之齒輪,其齒數爲16,與抵力輪同軸之齒輪,其齒數爲80,如不計摩阻力,倘加作力100磅,問能起重若干磅?

18. 試述複式絞盤之構造,並求其理論上之力比.如前第33圖.A輪之半徑爲10吋,轆轤之半徑爲5吋,C, D, E, F四齒輪之齒數爲12, 30, 15, 90.如不計摩阻力,倘加作力100磅,問能起重若干磅?

第三章

螺旋 (Screw).

61. 斜面 (**Inclined Plane**). 如第38圖,設 I 爲一斜面.其下面 mn 係一水平面.置於一水平面 XX 上,並能沿之滑動.其



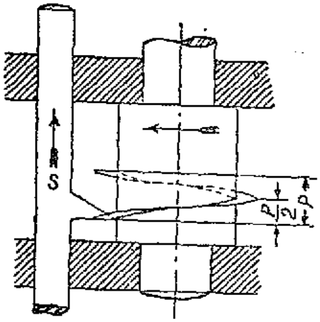
第 38 圖

上面 mo 則與水平面成一定之斜度.其背面 no 與 mn 垂直.

S 爲一滑桿,可沿導路 GG 上下滑動.其下端與 I 之上面有同樣之斜度.

將 S 置於 I 之最左端,設 I 向左一段距離 mn,則 S 必向上移動一段距離 P.

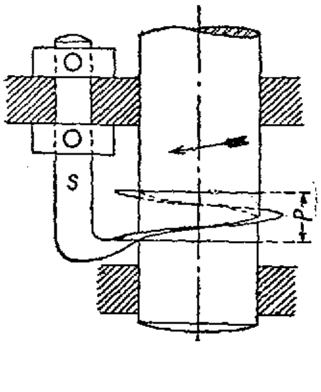
62. 螺旋線(Screw Threads). 在第38圖之斜面 mo 上,如覆以用柔軟物質製成之極薄狹條,並使纏繞於一圓柱上.圓柱之圓周適等於 mn 之長度,則代表原來斜面之狹條必成爲螺旋線形.如第39圖所示.



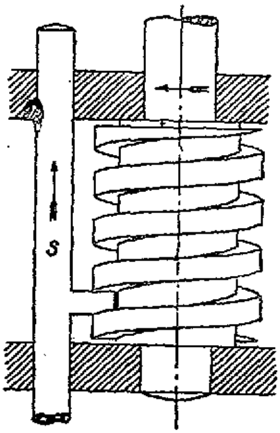
第39圖

設滑桿 S 橫出一尖,止於狹條之面上,則當圓柱按箭頭之方向迴轉時,S 必被升起.蓋此時螺旋線形之面對於 S 之作用,與第38圖上之斜面對於滑桿之作用,完全相同也.當圓柱迴轉一整周時,S 上升之距離亦爲 P.

如第40圖,設滑桿 S 固定不動,其下部亦橫出一尖,圓柱則於迴轉之外,同時更能向一端運動.圓柱之全重,由螺旋線



第40圖



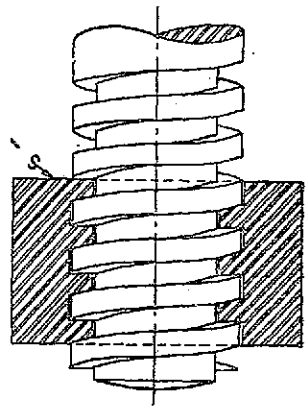
第41圖

狹片之底面傳達於 S 之橫尖上,此時若使圓柱沿箭頭所示之方向迴轉一周,則其本身必下行一段距離 P.

第41圖亦表示一狹條,纏繞於一圓柱之上.纏繞之方法,與前相同,所異者只狹條較厚,纏繞之次數較多耳.

在實際上,係於一定直徑之金屬圓柱上切去一螺旋槽,各槽間所餘之部分,卽相當前述之螺旋狹條.

經過此種工作後之圓柱,卽謂之一螺旋(Screw).其突起之部,卽前所稱之螺旋狹條者,謂之螺旋線(Screw Thread)



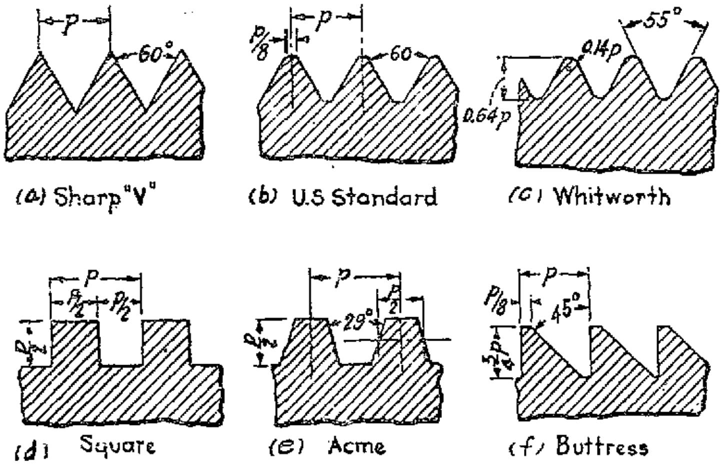
第 42 圖

此種螺旋對於其從動部之作用,與第38第39兩圖所述之情形毫無差異,卽螺旋若在一定之位置迴轉,滑動桿或相當滑動桿之件卽因之上下移動.反之,若滑動桿在一定之位置不動,則螺旋當迴轉時,同時本身必上下移動.

又螺旋線與滑動桿接觸之處,實際上亦非只橫出之一尖,而爲圓形,方形或六角形之機械,其內部切有同一大小,同一斜度,同一式樣之螺旋線孔,使恰與螺旋線相符合.備有此種螺旋線孔之機件,普通謂之螺旋母(Screw Nut).

63. 螺旋線之形狀(Forms of Screw Threads). 螺旋線之形狀,主要者如第 43 圖所示.圖中 (*a*),(*b*),(*c*) 三種均謂之 V 形

線(V-Thread).(*a*)謂之銳V(Sharp"V")線或滿V線(FullV).(*b*)謂



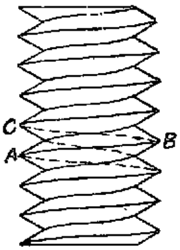
第43圖

之美國標準線(U. S. Standard).(*c*)謂之 Whitworth 線.此三種無論在機械上或構造上用以連結兩件或兩部於一處時多用之彼此間互相不同之點,如圖上所示.(*d*)謂之方線(Square Thread),(*e*)謂之愛克母線(Acme Thread)或改良方線,多用以傳達動力或運動,如前述之螺旋起重機(Screw Jack)及鏇床上之導螺旋(Lead Screw)等愛克母線因兩邊微行傾斜,螺旋線之根部比較堅固,且易使兩半之螺旋母合併於其上,或由之取下,故應用之處更多.(*f*)謂之斜方線(Buttress Thread),所傳達之動力只向一方向時,即使所受之壓力只在垂直面上時用之.

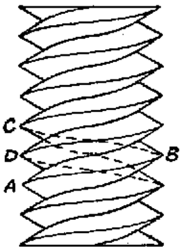
64. 單線與複線(Single and Multiple Threads). 以前所

述各種螺旋線,皆係單線.即螺旋線係圓柱上所切單一連續之螺旋槽中間所留之部分所構成.如同時在圓柱上切彼此平行之兩螺旋線槽,則所留之部分即爲雙線(Double Thread).如同時在圓柱上切彼此平行之三螺旋線槽,則所留之部分即爲三線(Triple Thread).其餘依此類推.

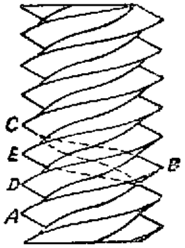
單線雙線及三線螺旋之實在情形,如第44第45及第46三圖所示.



第44圖



第45圖



第46圖

在單線螺旋,如用手指任意按線上之一點,例如按線上之A點,然後沿線迴轉一周,則手指必至一點C.卽沿螺旋線迴轉一周,手指沿螺旋軸之方向前進一段距離AC.在雙線螺旋,迴轉一周後,手指亦至一C點,但此時A,C兩點之間尙隔一D點.D卽爲第二線或平行線上之一點.依同理,如手指沿一三線螺旋迴轉一周,由A至C,A,C兩點之間卽隔D,E兩點.由此觀之,可知同係迴轉一周,在雙線螺旋,手指前進之距離,二倍於前.在三線螺旋,手指前進之距離,三倍於前.故當螺旋

線須細,而螺旋之導程(見下段)須大時,多用複線螺旋.

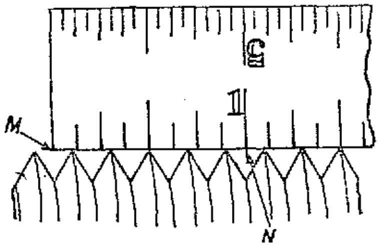
65. 螺旋之導程與螺節 (Lead and Pitch). 當螺旋線纏繞一周,線上一點沿螺旋軸之方向前進之一段距離,即前段所言之A,C,普通多謂之螺節(Pitch 有譯螺距者).但若稱之為導程(Lead),則較為妥善,即無論單線或複線.當螺旋線纏繞一周,線上一點沿螺旋軸之方向前進之一段距離,均謂之導程.螺節則用以表示沿螺旋軸之方向,螺旋線上之任一點至相鄰之別一螺旋線上相當之點之距離(無論單線或複線).

在單線螺旋,導程與螺節相同.在雙線螺旋,導程為螺節之二倍.在三線螺旋,導程為螺節之三倍.

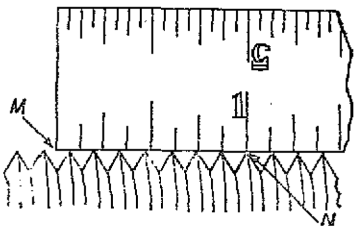
又如螺旋母固定不動,螺旋在其中迴轉一周,則螺旋前進之距離,恆等於導程之長.若螺旋只能迴轉不能向一端移動,同時使螺旋母不能迴轉,只能沿螺旋軸之方向移動,則螺旋迴轉一周,螺旋母向一邊移動之距離,亦恆等於導程之長.

66. 每吋之線數 (Threads Per Inch). 螺旋線之大小,普通多用螺旋上每吋有若干線數表之.第47圖表示一呎與一螺旋之一邊相接觸.尺之一端M點正對一螺線槽之中心,距M點一吋距離之N點,恰與另一螺線槽相對.兩槽之間共有五整線.此螺旋即稱之為每吋五線之螺旋.不計其為單線或複線也.

在第48圖,M點仍正對一螺線槽,N點則恰與一螺旋線



第 47 圖



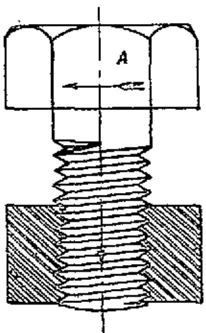
第 48 圖

之頂端相接,且兩點之間有七線,故此螺旋每吋有七個半線即此螺旋應稱之爲每吋七個半數之螺旋

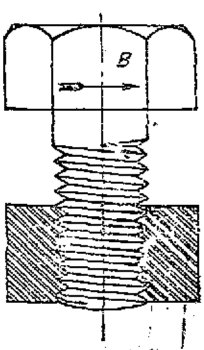
又每吋之線數,恰爲螺節之反數.例如每吋八線之螺旋,其螺節爲 1/8 吋.在單線螺旋,每吋之線數並爲導程之反數.

至實際每吋之線數,係按螺旋之直徑變化,美國標準線及 Whitworth 標準線,按直徑大小每吋應有之線數,可參看拙編機械原理及經驗計畫.茲不贅述.

67. 右螺旋線與左螺旋線 (Right-hand and Left-hand Threads). 如第 49 圖.當一人在螺旋之正面觀察,所有螺旋線,其向下傾斜之度,均係由右向左,此種螺旋線,謂之右螺旋線.如第 50 圖,如所有螺旋線,其向下之傾斜度,均係由左向右,則謂之左螺旋線.



第 49 圖

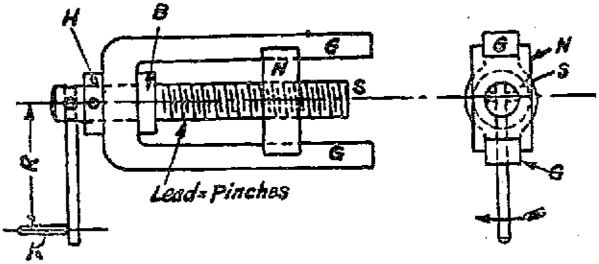


第 50 圖

又有右螺旋線之螺旋,如按箭頭 A 所指之方向迴轉,則必沿固定之螺旋母向下運動.若螺旋只能迴轉,不能上下,則螺旋母將被提升(假定螺旋母不能迴轉,只能上下).有左螺旋線之螺旋,如按箭頭 B 所指之方向迴轉,則向下行,或將螺旋母提升.

又如一人由螺旋之上端觀察,將一右螺旋線之螺旋向右迴轉,或按表針迴轉之方向迴轉,則螺旋將漸漸遠離.若將一左螺旋線之螺旋向左迴轉,則螺旋將漸漸遠離.

68. 螺旋或螺旋母之速率對於迴轉柄上一點之速率之關係. 如第51圖,將螺旋 S 裝置於軸承內,並由軸環限制



第 51 圖

之,使不能左右移動,螺旋之導程為 P 吋.在 S 上更裝置一螺旋母 N.此螺旋母可沿導路 GG 左右移動,惟不能迴轉.

將帶有 K 柄之曲柄,裝置於螺旋之一端.K 柄中心線距螺旋軸之垂直距離為 R 吋.試求 K 柄之速率與螺旋母 N 之速率之關係.

將曲柄迴轉一周,螺旋當然亦迴轉一周.螺旋母沿導路

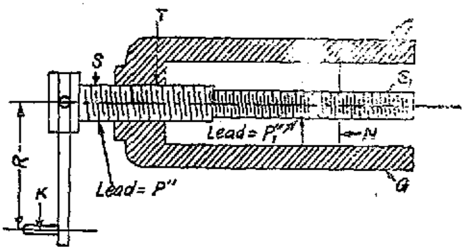
所行之距離必爲P吋.但當曲柄迴轉一周時,K柄之中心線必行半徑爲R之一圓周,即所行之距離必爲$2\pi R$吋.

故
$$速比=\frac{2\pi R}{P}.$$

根據工作之定理,若不計摩阻力之消耗,則力比應與其速比相等.

即
$$力比=\frac{N處所生之力}{K處所加之力}=\frac{2\pi R}{P}.$$

69. 複式螺旋或差動螺旋 (Compound or Differential Screw). 第52圖,表示一種複式螺旋或差動螺旋,由導程相差極微之兩部組合而成.S一部之導程等於P吋,裝置於架上備有螺旋母之一部T.S_1一部則另具一種螺旋線,其導程等於P_1吋.通過螺旋母N,N可沿導路GG移動,惟不能迴轉.



第 52 圖

當螺旋迴轉時,其結果係使S一部沿T移動,而螺旋母N則沿S_1移動.

設$P=\frac{1}{2}$吋,$P_1=\frac{7}{16}$吋,並同爲右螺旋(即具右螺旋線之螺旋,下同).倘K柄向右迴轉一周,全螺旋必經過T部之螺旋母向右移動$\frac{1}{2}$吋.此時如無S_1一部之螺旋線,N亦必向右移動

$\frac{1}{2}$吋.但因S_1亦備有右螺旋線之故,同時N必向左移動$\frac{7}{16}$吋.故結果N向右移動之實在距離爲$P-P_1=\frac{1}{2}-\frac{7}{16}=\frac{1}{16}$吋.不用極細之線,即能得到較大之速比.

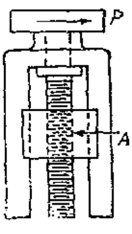
反而言之,若$P=\frac{1}{2}$吋,係右螺旋;$P_1=\frac{7}{16}$,係左螺旋.則當K柄向同一方向迴轉一周時,結果N向右移動之實在距離爲$P+P_1=\frac{1}{2}+\frac{7}{16}=\frac{15}{16}$吋.結果約與複線螺旋同.

習題

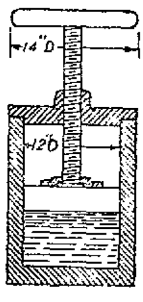
1. 某螺旋起重機之螺旋,係一雙線螺旋.一螺旋線之厚度爲1/4吋.(方線,沿螺旋軸之方向量).如迴轉柄之長度爲20吋,問此機之速比爲何?

2. 如第53圖,設手輪每分鐘沿箭頭所指之方向迴轉40次.螺旋母N則於45秒鐘內被提升$3\frac{3}{4}$吋.問螺旋之導程爲何?又螺旋線係右螺旋線抑係左螺旋線?

3. 如第54圖,設手輪之直徑爲14吋,活塞之直徑爲12吋,螺旋線係雙



第53圖



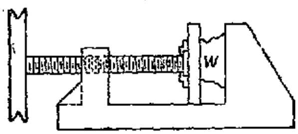
第54圖

線,其導程爲$\frac{1}{4}$吋.作力消耗於摩阻力之部分,假定爲百分之二十.倘加作力

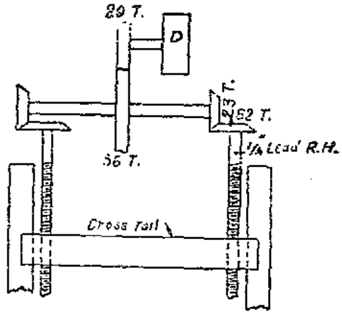
40磅,問活塞下之水每方吋上所受之壓力爲若干磅?

4. 如第55圖,於迴轉輪周緣之槽中,繞繩一條.其中心線距輪心之距離爲$4\frac{1}{2}$呎.倘在繩上所加之力爲75磅,在W處所生之力爲3500磅,作力消耗於摩阻力之部分爲百分之四十五,問螺旋之導程爲何?

5. 如第56圖,設D爲原動輪,C爲從動橫樑.兩螺旋桿之導程均爲1/4吋.且均係右螺旋各齒輪之齒數如圖上所示.倘D輪每分鐘迴轉300次,問C橫樑每分鐘上升之距離爲何?

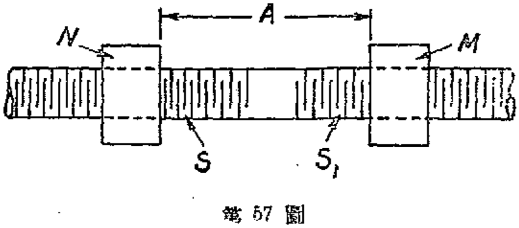


第55圖



第56圖

6. 如第57圖,螺旋桿固定不動.S一部之螺旋線,其導程爲1/11吋,S_1一部之螺旋線,其導程爲$\frac{1}{10}$吋,均係右螺旋.設螺旋母M與N按同一之角速率沿同一之方向迴轉,倘擬使距離A減少一吋,問兩螺旋母各須迴轉若干次?



第57圖

7. 仍參看第57圖，倘螺旋桿能在原地位迴轉．M與N兩螺旋母可向左右移動，但不能迴轉．S一部之螺旋線，其導程爲1/4吋，係左螺旋；S_1一部之螺旋線，其導亦爲$\frac{1}{4}$吋，係右螺旋．倘擬使距離A增加1吋，問螺旋桿須迴轉若干次？

第四章

皮帶與皮帶輪(Belt and Belt Pulley)

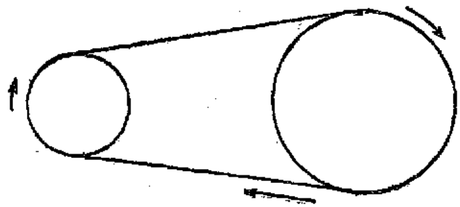
70. 皮帶之應用. 發動機所發之動力,直接用以作工者較少.普通多由種種方法,傳達於其他機械乃發生工作.司此傳達之任者,有皮帶,繩索,鏈條,齒輪及摩擦輪,等等,就中尤以皮帶之應用爲最廣.

動力由一軸傳達於他軸,恆用皮帶套一,皮帶輪二.一輪裝置於原動軸,一輪裝置於從動軸.裝置於原動軸者,曰原動輪;裝置於從動軸者,曰從動輪.

皮帶多由牛革製成,只用一層者,謂之單層帶(Single Belt);連結兩層者,謂之雙層帶(Double Belt);三層者,謂之三層帶(Triple Belt);四層者,謂之四層帶(Quadruple Belt).前兩種應用較爲普通,後兩種應用較少.有用棉線織成一種帶狀而塗以膠質者,在氣候太濕之地帶,亦有橡皮製者.近年以來,在德國與英國更有用鋼製者.

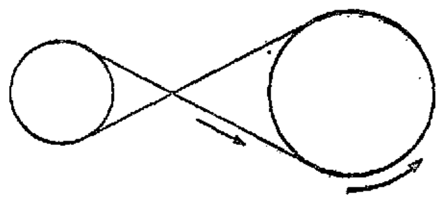
71. 皮帶輪迴轉之方向. 皮帶經過兩皮帶輪之方法有

二：其一如第58圖所示，謂之開帶(Open Belt)，或開口皮帶.其二如第59圖所示，謂之合帶(Crossed Belt)，或交叉皮帶.用開帶時，兩輪迴轉之方向同.用合帶時，兩輪迴轉之方向異.



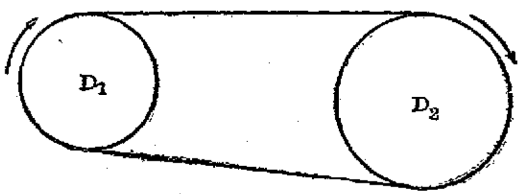
第58圖

又為增加皮帶對於皮帶輪所包之角度起見，兩輪迴轉之方向，就原動輪言，多使皮帶之緊邊在下，鬆邊在上.



第59圖

72. 皮帶輪迴轉之速率與其直徑之關係. 一輪迴轉之運動，由皮帶傳達於他輪，倘不計皮帶之厚度，皮帶之伸縮及皮帶對於皮帶輪接觸面間之滑動，則皮帶上各點之速率與兩輪圓周上各點之速率，必均相等.



第60圖

如第60圖，倘D_1為原動輪之直徑，D_2為從動輪之直徑，N_1

爲原動輪每分鐘之迴轉數，N_2爲從動輪每分鐘之迴轉數，

則　每分鐘原動輪圓周上任一點之速率$=\pi D_1 N_1$

每分鐘從動輪圓周上任一點之速率$=\pi D_2 N_2$

但兩輪圓周上任一點之速率，均等於皮帶上任一點之速率.

故
$$\pi D_1 N_1=\pi D_2 N_2,$$

或
$$\frac{N_2}{N_1}=\frac{D_1}{D_2}.$$

即兩輪迴轉之速率與其直徑成反比也.

例題. 原動輪之直徑爲42吋，每分鐘迴轉100次. 從動輪之直徑爲30吋，問從動輪每分鐘迴轉之次數若干?

因
$$\frac{N_2}{N_1}=\frac{D_1}{D_2},$$

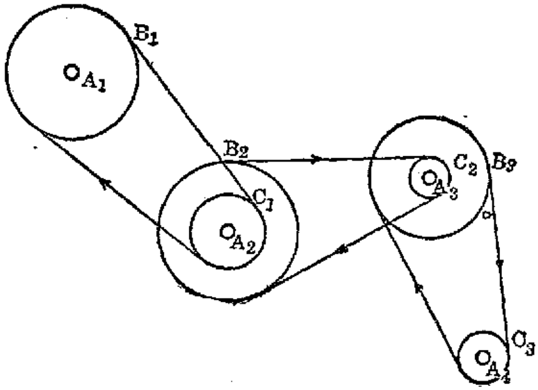
此題 $N_1=100$, $D_1=42$ 吋, $D_2=30$ 吋.

故
$$N_2=N_1\times\frac{D_1}{D_2}=100\times\frac{42}{30}=140 \text{ 次}.$$

如所擬傳達之速比甚大時，或兩軸相距較遠不便直接傳達時，則宜分爲數步傳達.

如分爲數步傳達，則最末從動輪每分鐘之迴轉數，對於第一原動輪每分鐘迴轉數之比，等於各原動輪直徑連乘對於各從動輪直徑連乘之比(或上下均用半徑連乘).

如第61圖，設A_1爲第一原動輪之軸，A_4爲最末從動輪之軸，A_2, A_3爲二中軸. B_1, B_2, B_3爲三皮帶之原動輪，C_1, C_2, C_3爲



第 61 圖

三皮帶之從動輪 D_1, D_2, D_3 爲各原動輪之直徑, d_1, d_2, d_3 爲各從動輪之直徑, N_1, N_2, N_3 爲各原動輪每分鐘之迴轉數, n_1, n_2, n_3 爲各從動輪每分鐘之迴轉數.

則
$$\frac{n_1}{N_1}=\frac{D_1}{d_1}\cdots\cdots(1)$$

$$\frac{n_2}{N_2}=\frac{D_2}{d_2}\cdots\cdots(2)$$

$$\frac{n_3}{N_3}=\frac{D_3}{d_3}\cdots\cdots(3)$$

三式兩邊各連乘,得

$$\frac{n_1\times n_2\times n_3}{N_1\times N_2\times N_3}=\frac{D_1\times D_2\times D_3}{d_1\times d_2\times d_3}$$

但
$$n_1=N_2,\ n_2=N_3,$$

故
$$\frac{n_3}{N_1}=\frac{D_1\times D_2\times D_3}{d_1\times d_2\times d_3}.$$

例題 在第 61 圖,倘 A_1 代表一蒸汽機之機軸, A_4 代表一

機器磨石之機軸.六皮帶輪之直徑,依次爲 20,12,26,8,36,6 吋.蒸汽機每分鐘之迴轉數爲 120 次.如不計皮帶之厚度與滑動等,問磨石之機軸每分鐘迴轉若干次?

用前式
$$\frac{n_3}{N_1}=\frac{D_1\times D_2\times D_3}{d_1\times d_2\times d_3},$$

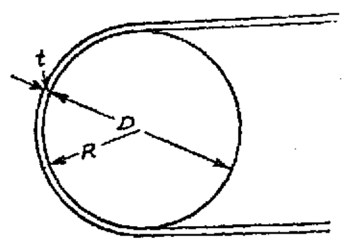
此題 $N_1=120,\ D_1=20,\ D_2=26,\ D_3=36,$

$$d_1=12,\ d_2=8,\quad d_3=6.$$

故
$$n_3=120\times\frac{20\times 26\times 36}{12\times 8\times 6}=3600\text{ 次}.$$

73. 皮帶之厚度與滑動對於皮帶輪迴轉速率之關係. 如將皮帶之厚度計算在內,則兩輪圓周上任一點之速率,實小於皮帶上任一點之速率,因迴轉運動物體上各點之速率,均與其距圓心之半徑成正比,皮帶上各點之平均速率實較皮帶輪圓周上各點之速率爲大也.

如第62圖,設皮帶輪之半徑爲 R,直徑爲 D,皮帶之厚度爲 t,則皮帶在輪上之一部,距輪心之平均距離爲 $R+\frac{t}{2}$.故如以 $R+\frac{t}{2}$ 爲半徑,或以 $D+t$ 爲直徑,作一圓,使代表一理想之皮帶輪,則此輪圓周上任一點之速率,方與皮帶上各點之平均速率相等.



第 62 圖

故前段之公式,若將皮帶之厚度計算在內,應改爲

$$\frac{N_2}{N_1}=\frac{D_1+t}{D_2+t}, \text{及} \frac{n_3}{N_1}=\frac{(D_1+t)\times(D_2+t)\times(D_3+t)}{(d_1+t)\times(d_2+t)\times(d_3+t)}.$$

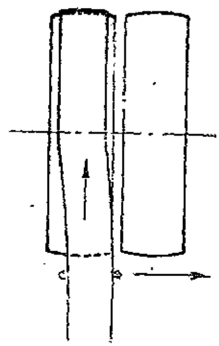
至滑動之影響,頗難得到一種理論上之公式.因滑動之程度,與製造皮帶與皮帶輪之材料,皮帶對於皮帶輪間之摩擦係數及皮帶之鬆緊度等,均有關係也.故普通多由實驗測得.又由皮帶之伸縮(皮帶傳達動力時,在緊邊恆有相當之伸長,在鬆邊恆有相當之縮短,結果使從動輪應有之速率減低).使從動輪之速率減低之影響,普通亦合併於滑動內計算之.故設一從動輪因滑動及皮帶伸縮之故,其迴轉速率減少百分之P,即從動輪應迴轉百次時,只迴轉$(100-P)$次,則前段之公式應改為

$$\frac{N_2}{N_1}=\frac{D_1}{D_2}(100-P) \text{ 及 } \frac{n_3}{N_1}=\frac{D_1\times D_2\times D_3}{d_1\times d_2\times d_3}(100-P)^3.$$

74. 上皮帶與退皮帶. 欲使皮帶恆在皮帶輪上保持其地位,則其進輪之一部之中心線須在包含皮帶輪之中心,且與輪軸垂直之一平面內.因如此則進輪之一部即繼續及於輪上也.此為皮帶運動之基本定理.當兩皮帶輪在平行之兩軸上,裝置於垂直於兩軸之同一平面內,自然合於此定理.若在不平行之兩軸上,倘裝置得法,或用導輪 (Guide Pulley) 引導得宜,使合於此定理,則皮帶亦能保持其地位,繼續運動.

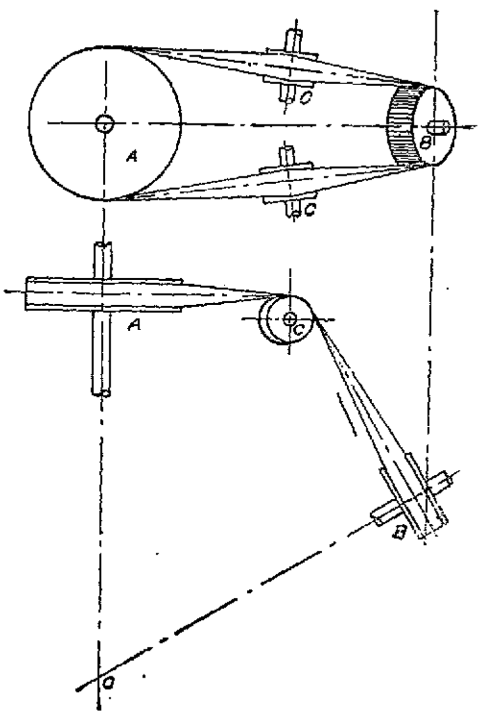
上皮帶及退皮帶之方法,亦係根據此理.如第63圖,倘擬使皮帶由左邊之輪移於右邊之輪上,則沿輪軸之方向,用力

橫推皮帶進輪之一部,使其中心線離開左輪之中心平面,則繼續各部卽離開左輪.故由一輪向下退皮帶時,須如此用力.同理,若將皮帶進輪之一部之中心線移至右輪之中心平面中,則繼續各部卽上於右輪.故上皮帶於一輪時,須如此用力.若用力於由輪退下之一部,則無效果.



第 63 圖

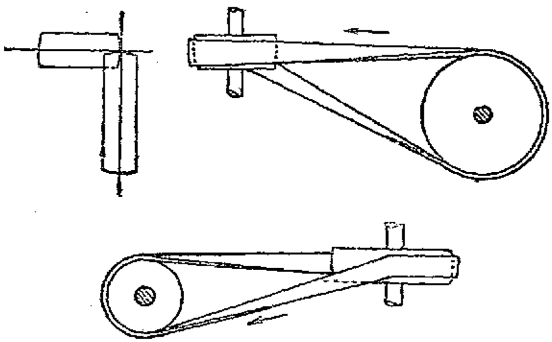
75. 兩個交义軸之皮帶. 當互相交义之兩軸由皮帶連結,則須利用導輪,務使皮帶對於皮帶輪之關係與前段所述之定理完全相合爲準.如第64圖,A,B兩輪係固定互相交义之兩軸上,用兩導輪C,C,第一使兩導輪軸之方向對於A,B兩輪之切線垂直,如右邊上圖所示.第二使導輪輪面之位置與A,B兩輪之中心平面相切,如右邊下圖所示.如此則皮帶無



第 64 圖

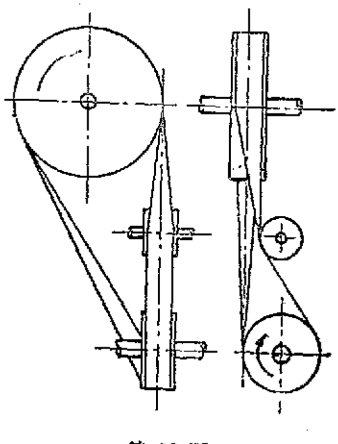
論向何方向運動,均不致脫落.

76. 不平行不交叉之兩軸之皮帶. 在此類中之最普通者,爲兩軸傾斜之角度恰爲90°者.若將兩輪之位置斟酌適宜,使合皮帶運動之定理,並可不用導輪.



第65圖

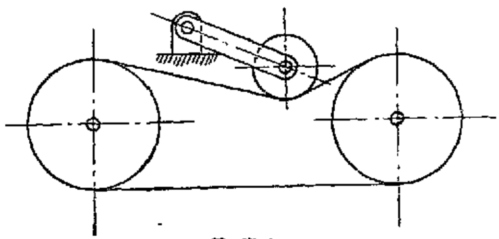
第65圖卽表示此種裝置.最重要之點,卽務使皮帶對於兩輪上輪之一部,其中心線包含於所上之輪之中心平面內,同時更與所下之輪相切.惟如此裝置,只限於在一定之方向運動.若向回運動,皮帶必致脫落.若欲向兩方向均能運動,則須用導輪使對兩方向均合於皮帶運動之定理,如第66圖所示.



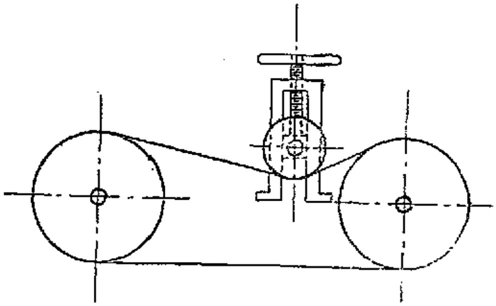
第66圖

77. 惰輪(Idlers)或側輪. 惰

輪與導輪類似,惟作用不同.導輪之作用,係變換皮帶之方向.惰輪則在傳達動力較大之皮帶,用以調整其鬆緊度及增加皮帶對於皮帶輪所包之角度.蓋皮帶當傳達動力時,恆有相當之伸長.傳達之動力增加時,其伸長之程度愈大,不設法調整,則皮帶每致失之過鬆.調整之法,普通恆於皮帶之鬆邊裝置一惰輪.其利益有二:(一)惰輪之遠近,可隨皮帶鬆緊之程度,任意變動,或係自動,或用人力,當皮帶所傳達之動力較大時,即皮帶失之鬆時,可使其距離稍近;反之,可使其距離稍遠.(二)皮帶用久,失之過鬆時,不必另行裝置或改變其接連處.其裝置法如第67第68兩圖所示.



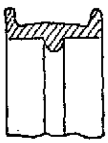
第 67 圖

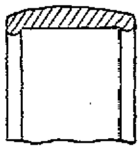


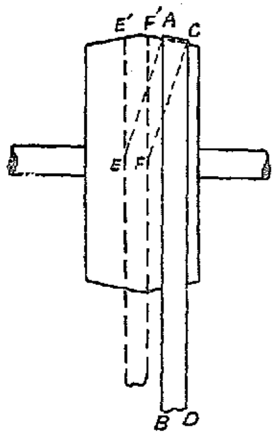
第 68 圖

78. 皮帶輪輪緣之形狀. 當皮帶運動時,速率一高,皮帶各部往往發生躍動.如無阻止方法,則皮帶往往有脫落之虞.阻止之法有三:(一)用突緣皮帶輪以約束之,如第69圖所示.(二)用一叉在皮帶進輪之一部約束之.(三)用周緣隆起之皮帶輪,如第70圖所示.

用突緣皮帶輪,皮帶之上下較難.除長期裝置,不常上下之皮帶,或鏈狀皮帶(Chain Belt)易於裝卸者外,頗少採用.用以約束,又難免被摩擦所傷損.故實際上以採用周緣隆者爲最多.隆起表面,有採用兩截錐面者,有採用一彎曲面者.


第 69 圖

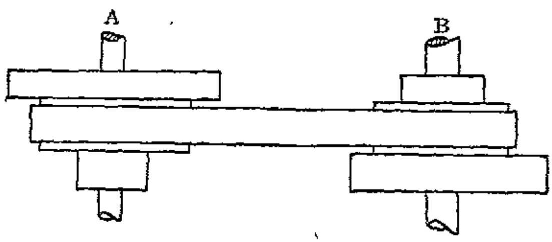

第 70 圖



第 71 圖

至周緣隆起之皮帶輪,所以能阻止皮帶使不致脫落之理,可參看第71圖.將平面皮帶置於一周緣隆起之皮帶輪上.假定無論因何原因,離開中間位置而偏於右方,則 AB 一邊所受之牽力必大於 CD 一邊所受之牽力.因之 AB 一邊伸長,AC 處卽平鋪於輪緣上.但因皮帶非完全能任意伸長之物質,故結果使進輪之一部向左彎曲,如 AE 及 CF 所示之方向.迨 EF 一部與輪接觸,繼續迴轉,則 E 點必至 E',F 點必至 F'.卽皮帶自動的歸於皮帶輪較高之部分.換言之,卽皮帶恆有在皮帶輪中間之趨勢也.

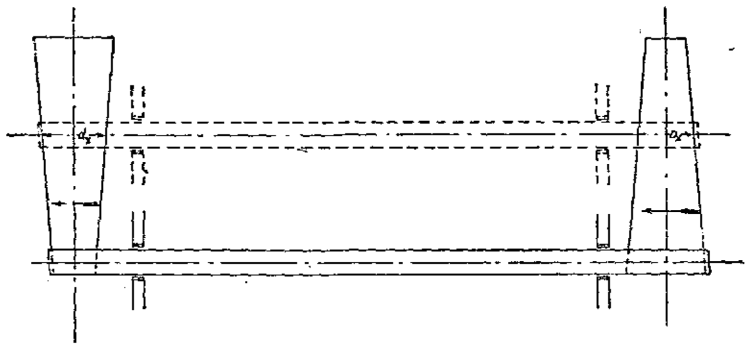
79. 塔輪或階級輪 (Stepped Pulleys). 同一機械,因工作之性質不同,或同一工作,因材料之硬度不同,機械迴轉之速率,即應隨之變動,而發動機或總軸之迴轉速率,則普通皆爲一定(即微有變動,亦往往非隨意者).欲由總軸(Main Shaft)或對軸(Counter Shaft)上一定之速率得到機械上種種不同之速率,最簡單之方法,即用塔輪.如第72圖,設A爲對軸,B爲機



第 72 圖

械軸,在對軸上裝置一數級之塔輪,於機械軸上正相對之地位,亦裝置一同級數之塔輪,惟大小兩端與對軸上者恰相反.如此裝置,若皮帶由一對皮帶輪移於別一對皮帶輪上,則其速比必因之變化.倘對軸之速率,則機械上可得數種不同之速率.

80. 變速圓錐 (Speed Cones). 欲將原動軸上一定之速率,傳達至從動軸使生種種不同之速率,有時不用塔輪,而用兩個截錐體形輪以代之,謂之變速圓錐(亦可認爲係級數多至無限之兩塔輪).如第73圖所示,當皮帶在任何位置,其兩截錐體之工作直徑(Working Diameter,即相當之兩皮帶輪之直



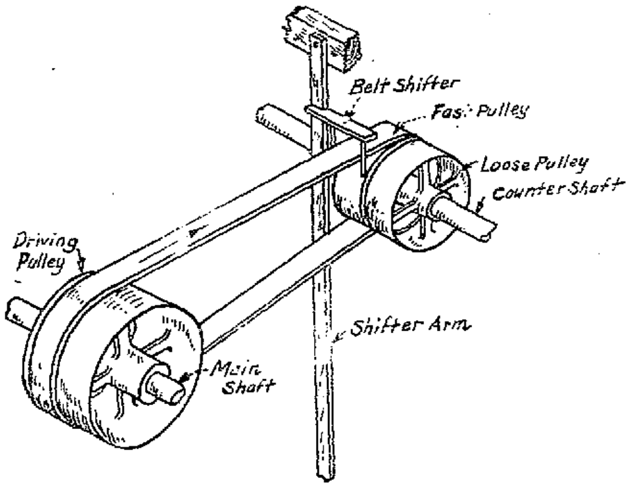
第 73 圖

圈)係沿皮帶之中線量之,如圖中 D_x 與 d_x 是.

又如用變速圓錐時,則皮帶進兩圓錐之一部,須各有移帶桿 (Belt Shifter) 以約之;否則皮帶在兩圓錐上均有趨向較粗一端之傾向.又當移動皮帶以變更速率時,兩移帶桿須同時動作.

81. 定輪與遊輪 (Fast and Loose Pulleys). 如兩個以上之機械,同連於一發動機或同連於一總軸時,多於機械軸與總軸之間,復設一對軸 (Counter Shaft).發動機(或用電動機)所發之原動力,先由一皮帶傳於總軸.再由一皮帶傳於對軸,由對軸至機械軸另用一皮帶.如此,則任一機械不欲工作時即可停止之,且無防於其他機械之工作.停止之法,最普通者,即用定輪與遊輪,即在對軸上,並列置兩個皮帶輪,一固定於對軸上,與之同轉,謂之定輪;一僅套於對軸上,由定輪之軸頭及一軸環約束其地位,不與對軸同轉,謂之遊輪或鬆輪.當停止

某機械時,卽將由總軸至對軸之皮帶移於遊輪.當起動某機械時,卽移於定輪.移於遊輪時,對軸不轉,機械自歸停止.



第 74 圖

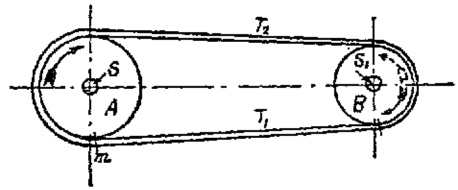
遊輪之直徑應微小,蓋皮帶傳達動力時,恆微行伸長,不傳達動力時,以使恢復原狀爲宜.

第74圖,表示一皮帶連接總軸與對軸之情形.

在總軸上與定輪遊輪相對之皮帶輪,其周緣恆不隆起,完全爲一圓柱形面,以便皮帶之移動,且其寬度至少須爲定輪與遊輪寬度之和.

82. 皮帶上之牽力 (Tension in a Belt). 如第75圖,設皮帶輪 A 固定於 S 軸上,皮帶輪 B 固定於 S_1 軸上.當兩軸靜止時,設將一皮帶用力伸張而套於其上,使皮帶上有相當之牽力,以便皮帶在皮帶輪上有一定之緊度.此種牽力之大小,在皮

帶各部均大致一律,稱之曰初牽力(Initial Tension),由 T_0 代表之.



第 75 圖

設 S 軸受一種外力,擬使之向箭頭所指之方向迴轉,此種擬使 S 軸迴轉之力,必使皮帶在下邊一段之牽力 (mn 之間) 增大,在上邊一段之牽力減小.設在下邊一段之新牽力為 T_1 所代表,在上邊一段之新牽力為 T_2 所代表,T_1 大於 T_0, T_2 則小於 T_0.

如皮帶附着於皮帶輪 B,使彼此之間不致發生滑動,則 T_1 必有使 B 輪沿實線箭頭所指之方向迴轉之勢.如 T_1 超過 T_2 至一定之程度,卽其使 S_1 軸迴轉之力勝過 S_1 軸對於迴轉之抵力時,則 S_1 軸必起始沿實線箭頭所指之方向迴轉.此時使 B 輪迴轉之力,卽為皮帶緊邊牽力 T_1 與鬆邊牽力 T_2 之差此牽力之差,謂之皮帶之有效拽引力 (Effective Pull of the Belt) 如用 E 代表之,則 $E=T_1-T_2$

83. 皮帶所傳達之馬力 (Horse Power of a Belt). 就前段研究之結果,可知有效拽引力為使皮帶傳達動力之力.故有效拽引力與皮帶每分鐘所行之呎數之乘積,必為皮帶每分鐘所傳達之工作 (以呎磅計).再用 33000 除之,卽為皮帶所傳達之馬力數.

設 N 為 S 軸每分鐘之迴轉數,D 為皮帶力之直徑 (以呎計).

則皮帶所傳達之馬力 $H.P.=\dfrac{\text{皮帶每分鐘之速率}\times E}{33000}$,

或 $H.P.=\dfrac{\pi DN(T_1-T_2)}{33000}=\dfrac{V(T_1-T_2)}{33000}$. V 爲皮帶每分鐘之速率.

由上式觀之,可知如皮帶之速率一定,則 T_1 與 T_2 之差愈大時,皮帶所傳達之馬力數必愈多.

玆將普通所假定之 T_1 與 T_2 之關係,及計算皮帶所傳達之馬力之公式列下:

普通 T_1 對於 T_2 之比,即 $\dfrac{T_1}{T_2}$,多不使超過 7/3. 又對於雙層帶,普通每吋寬度其實際所受之牽力,多用140磅;對於單層帶,則每吋寬度,其實際所受之牽力,多用75磅.

根據以上之規定,得在雙層帶,

$$\frac{T_1}{T_2}=\frac{7}{3},$$

$T_1=$ 每吋寬度140磅, $T_2=140\times\dfrac{3}{7}=60$ 磅.

故 $T_1-T_2=140-60=80$ 磅

$=$ 雙層帶每吋寬度許用之最大有效拽引力.

在單層帶,

$$\frac{T_1}{T_2}=\frac{7}{3},$$

$T_1=$ 每吋寬度75磅, $T_2=75\times\dfrac{3}{7}=32$ 磅(約)

故 $T_1-T_2=75-32=43$ 磅.

$=$ 單層帶每吋寬度許用之最大有效拽引力.

將此結果代入前式,得在雙層帶,

$$H.P.=\frac{\text{皮帶速率每分鐘之呎數}\times 80\times\text{皮帶寬度之吋數}}{33000}.$$

在單層帶,

$$H.P.=\frac{\text{皮帶速率每分鐘之呎數}\times 43\times\text{皮帶寬度之吋數}}{33000}$$

例題. 一軸上有一直徑48吋之皮帶輪,每分鐘迴轉180次.將一寬度8吋之雙層帶套於其上,使帶動別一軸.問此皮帶所傳達之馬力數幾何?

$$\text{皮帶之速率}=\frac{\pi\times 48}{12}\times 180=2262\text{呎,每分鐘.}$$

$$\text{所傳達之馬力}=\frac{2262\times 80\times 8}{33000}=43\tfrac{1}{2}.$$

又倘皮帶之寬度爲b吋,厚度爲t吋,橫斷面每方吋實際所受之牽力爲f鎊,$T_2=nT_1$,則

$$T_1-T_2=(1-n)T_1=(1-n)b+f$$

故　　所傳達之馬力 $H.P.=\dfrac{(1-n)b+fV}{33000}.$

例題. 皮帶之速,每分鐘爲2000呎,所傳達之馬力數爲20.問(a)皮帶之有效拽引力,卽T_1-T_2.(b)如$T_2=\frac{1}{2}T_1$,則T_1當爲若干鎊?(c)如皮帶每吋寬度許受牽力90磅,問皮帶之寬度當爲若干磅?

按公式　$H.P.=\dfrac{(T_1-T_2)V}{33000},$

得　$20=\dfrac{(T_1-T_2)\,2000}{33000}$

或 $$T_1-T_2=\frac{20\times 33000}{2000}=330\text{ 磅}.$$

又因 $$T_2=\frac{1}{2}T_1,$$

故 $$T_1-T_2=T_1-\frac{1}{2}T_1=330\text{ 磅, 即}\frac{1}{2}T_1=330\text{ 磅}.$$

故 $$T_1=660\text{ 磅}.$$

又因每吋寬度許受牽力 90 磅,

故 $$\text{皮帶之寬度}=\frac{660}{90}=\underline{\underline{7.33}}\text{ 吋}.$$

84. 鋼帶 (Steel Belt). 近年以來,在德國與英國多有用鋼帶以代替皮帶者,其厚度約由 0.008 吋至 0.04 吋,其寬度則約由 1 吋至 8 吋.其優點甚多:第一傳達同一之動力,鋼帶之寬度約當皮帶之 $\frac{1}{2}$ 至 $\frac{1}{4}$,故輪之寬度可減,因之其所占空間,所有重量及製造之價值,自均隨之減少.第二鋼帶本身之價值較之皮帶及橡皮帶等均低.第三伸縮性較小,滑動之損失較少.第四受氣候溫度及濕度之影響特小,故在氣候太濕之地帶用之尤宜.又在油漆或染色工廠,即有污濺,易於用汽油洗去,亦較他種皮帶爲宜.惟所用之輪,周緣不能隆起,且鋼帶之動作又較爲靈敏.故製造及裝置輪與軸時,須特別精細,否則極易自行脫落.

又用鋼帶之輪,周緣多覆一層粗布軟木或橡皮等,以增加其摩擦力.

85. 皮帶之應力 (Stress of Belt). 皮帶橫斷面每方吋之

最大應牽力(Ultimate Tensile Stress)約爲3000磅.雖有時有至每吋5000磅者,然非通例.其接連處之最大應牽力約當上數三分之一.至實際工作時,皮帶許受之牽力,則自每方吋250磅至350磅不等.

第83段所假定之數,係就普通言之.實際上無論單層帶或雙層帶,其厚度亦微有變化,其所受之牽力亦應隨之微有變化也.茲就皮帶之厚度層數及連接情形對於每吋寬度許受之牽力,列表於下:

皮革之品質	平均厚度		緊邊每吋寬度許受之牽力(磅)			
	單層帶	雙層帶	單層帶 縫合者	雙層帶 縫合者	單層帶 膠固者	雙層帶 膠固者
輕者	1/8 至 5/32	15/64 至 17/64	30	60	50	90
適中者	5/32 至 3/16	19/64 至 21/64	40	75	70	120
重者	3/16 至 7/32	23/64 至 25/64	60	10)	90	150

習題

1. 原動輪之迴轉數爲每分鐘120次.從動輪之迴轉數爲每分鐘90次.兩輪直徑之和爲49吋.問原動輪與從動輪之直徑各爲若干吋?(不計皮帶之厚與滑動.)

2. 原動輪之直徑爲15吋,從動輪之直徑爲60吋,皮帶之厚爲3/8吋.原動輪每分鐘輪迴轉數爲200.(a)不計皮帶之厚與滑動;(b)將皮帶之厚計算在內;(c)將皮帶之厚計算在內,並設滑動爲百分之五.問從動輪之迴轉數各爲若干次?

3. 原動輪每分鐘迴轉500次所傳遞之馬力數爲100.緊邊牽力爲鬆

邊牽力之二倍,皮帶每寬一吋實受之牽力爲100磅,原動輪之直徑爲10吋.問皮帶之寬當爲若干吋?

4. 設原動輪之直徑爲 D、每分鐘之迴轉數爲100次,從動輪之直徑爲6吋.每分鐘之迴轉數爲800次,皮帶厚爲$\frac{1}{4}$吋,滑動爲百分之三.問 D 爲若干吋?

5. 設皮帶緊邊之牽力爲 T_1 磅,鬆邊之牽力爲 T_2 磅,寬爲 b 吋,厚爲 t 吋,横斷面每方吋所受之牽力爲 f 磅.(就緊邊言),皮帶每分鐘之速率爲 V 呎,$T_2=nT_1$, 試證

$$\text{皮帶所傳遞之馬力}=\frac{(1-n)b+fV}{33000}.$$

如 $t=\frac{1}{4}$吋, $f=300$ 磅, $V=2200$ 呎,$T_2=\frac{1}{2}T_1$,所傳達之馬力數等於10,問皮帶之寬當爲若干吋?

6. 有磨石機一架, 其磨石輪之直徑爲 8 吋.其緣邊之直徑爲每分鐘2500呎, 對軸上有皮帶輪二. 其第一輪之直徑爲18吋, 由一皮帶與總軸上直徑36吋之一皮帶輪相連.其第二輪由一皮帶與磨石機上直徑2吋之皮帶輪相連 (與磨石輪同軸). 倘總軸每分鐘迴轉 80次, 不計皮帶之厚與滑動,問對軸上第二皮帶輪之直徑爲若干吋?

7. 某軸每分鐘之迴轉數爲 250 次. 其皮帶輪之直徑爲 18 吋. 如擬用一雙層帶傳達20馬力之動力於另一軸.問皮帶之寬度應爲若干吋?

8. 一五馬力之電動機,由一皮帶連於一總軸.電動機每分鐘迴轉500次.總軸每分鐘迴轉300次.電動機上皮帶輪之直徑爲10吋.設皮帶緊邊牽力對於鬆邊牽力之比爲2比1.皮帶每吋寬度許用之牽力爲100磅,試求出皮帶之寬度.

第五章

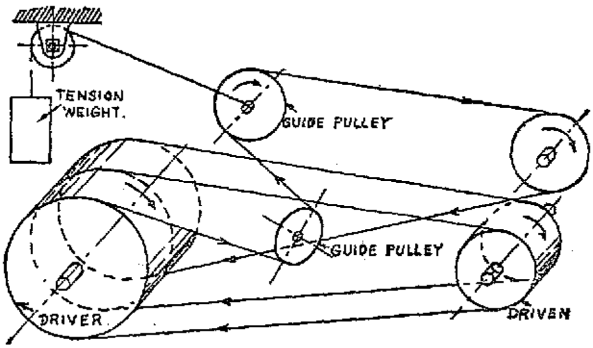
繩輪

86. 繩輪上所用之繩. 將一軸之迴轉運動傳達於他軸，如傳達之動力甚大，且距離亦較遠時，(如全廠之發動機傳其力於一總軸或數軸)，則多用繩以代皮帶，因皮帶之厚度與寬度均有相當之限度，增加繩數，則比較甚易也.

繩輪上所有之繩，可分為兩大類：第一類，用蔴製，用棉製，或用馬尼拉纖維(即菲利賓香蕉樹之纖維)製者，可總稱之曰纖維繩 (Fibrous Ropes). 第二類，用鋼絲或鐵絲製者，可總稱之曰鋼絲繩 (Wire Ropes). 纖維繩多用以傳達動力，鋼絲繩則多以起重拽重.

87. 繩在繩輪上纏繞之方法. 因繩之彎曲性(Flexibility)隨其直徑之增加而減小，故傳達之動力較大時，多增加繩數而不用粗繩. 至增加繩數之方法，則有兩大類：

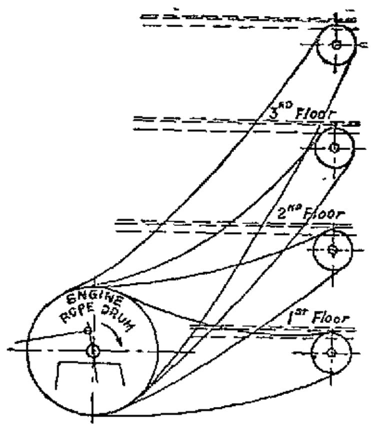
(一)美國制 (American System)，或單繩制 (Single Rope System)，或連續制 (Continuous System). 即用一長繩向兩繩輪或數繩輪往復纏繞，最後再由導輪 (Guide Pulley or Sheave) 引導



第 76 圖

與起始點相連.爲調節各段繩之鬆緊度,或起始工作後全繩之牽力起見,恆設一牽力輪 (Tension Pulley), 如第76圖所示.

(二) 英國制 (English System), 或多繩制 (Multiple System), 或個體制 (Individual System). 卽兩輪上凡相對之槽中,卽有一繩纏繞,與他槽之繩不相連屬.如第77圖所示.



第 77 圖

88. 美國制與英國制利弊之比較 兩制各有利弊,茲列舉如下:

美國制. 利: (a) 各段繩鬆緊之程度極易一致, 卽各段所受之牽力極易相等,無分配不均之弊.

(b) 全繩因所負載荷(Load)之增減而有伸縮時,亦能由牽力輪調節之.

弊: (a) 無論何段,一經破壞,則全體停頓,非待修理全備,不能復工.

英國制. 利: (a) 如有一二繩損壞,仍能繼續工作,至適宜時間,再加修理.

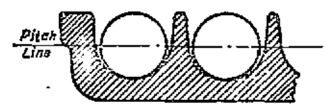
(b) 用一原動輪帶動從動輪,較美國制易於裝置.

弊: (a) 各繩鬆緊之程度,極難一致.故所受之牽力極難分配均勻.因之受牽力特大者,比較易於傷損,且各繩所負之載荷增大時,易失於鬆,因之易生滑動.

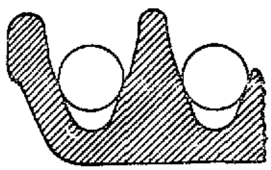
89. 繩輪周緣之形狀. 欲使繩在繩輪上永保持其應處之地位,繩輪之周緣恆備若干平行之小槽以約束之.槽形之斷面,多製成V字形,如第78圖所示.使繩在槽中僅與兩邊接觸,不能與槽底接觸.因之繩與槽之兩邊有較大之壓力,以增加其摩阻力.

繩槽兩邊所成之角度,多用45°,美國制亦有用60°者.導輪與牽力輪繩槽之底部,則用半圓形,使繩完全與底部接觸.槽之兩邊,多用直形,如第79圖所示,亦有使成60°者.

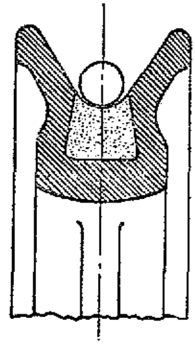
鋼絲繩之繩輪,恐傷損過甚,其輪槽不製成V字形而製爲平圓形,使繩之底部完全與槽底接觸.又爲免避鋼鐵互相



第 78 圖



第 79 圖



第 80 圖

摩擦,以致易於傷損起見,槽之底部,多用樹膠木材或皮革等富於彈性,且摩擦係數較大之物質填充之,如第80圖所示.

90. 鋼絲繩之應用. 在三四十年以前,用鋼絲繩以傳達遠距離之動力,在工程界本極屬重要.後因電工發達,電能力對於長距離之傳達又極爲便利,用鋼絲繩之範圍,遂受相當影響.然有多種工作,仍以鋼絲繩爲要件,如運搬煤石,升降機(Elevator),上山火車(Cable and Inclined Railway),以及礦用與普通用之起重機(Hoisting Machine),拖載機(Haulage Machine)等,皆爲利用鋼絲繩之處,故仍不失爲機械中之要件也.

91. 鋼絲繩之製法. 鋼絲繩普通多爲圓形,在深礦中所用者,有時亦有製成排形者,以其長度太大,比較易於纏繞也.稱之爲圓鋼絲繩(Round Wire Rope)與平鋼絲繩(Flat Wire Rope).

先將多數鐵絲或鋼絲扭轉爲若干股(Strands).在圓鋼絲

繩,則用數股繞一蔴線之中心軸扭轉爲一繩;在平鋼絲繩,則用多股編爲一排.

又在圓鋼絲繩,由每繩所含之股數,及每股所含之絲數,與各繩以特別名稱,以資分別.如 6—7, 6—19, 8—19, 6—37, 6—31, 等等,第一數字係指每繩所含之股數,第二數字係指每股所含之絲數.如云6—7鋼絲繩 (6—7 Wire Rope),即共含六股,且每股含有七絲之鋼絲繩也,如第81及第82圖所示.

第81圖

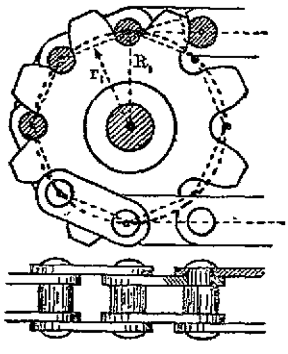
第82圖

第 六 章

鏈 輪

92. 鏈輪之應用與其特點. 用皮帶與繩傳達動力時,其兩軸迴轉數之比,多不能絕對一定,恆視滑動之程度而生變化.若用鏈輪,則迴轉速率之比,雖亦有相當升降,惟其升降係在一迴轉之內,且與外部之情形無關,非似皮帶及繩等當鬆緊之程度有變化時,滑動之程度卽因之變化,而兩軸迴轉數之比亦發生變化者.

第83圖,卽表示鏈輪之一種.就圖上觀之,可知鏈輪之節線(Pitch Line)非係一圓,實係一多邊形,邊之數目與輪齒之數目相同.節線卽非圓形,故當原動輪按等速率迴轉時,鍊條直線部分之速率,絕不能一致.設 R_1 爲多邊形外切圓之半徑,r_1 爲多邊形內切圓之半徑.當 R_1 與鏈條直線部分垂直時,則鏈條之速率高.當 r_1 與鏈條直線部垂直時,



第 83 圖

則鏈條之速率低.故就長時間論,兩軸迴轉數之比雖無變化然在每次迴轉之內,則常微行升降.

在一定直徑之鏈輪上,其升降之程度與鏈輪之齒數成反比若齒數增多,或鏈環減短,升降之程度,即可減輕.

又當傳達動力時,鏈條鬆邊之牽力幾等於零,故多略去不計.所傳之工作,可視爲等於緊邊牽力與所行距離之乘積,

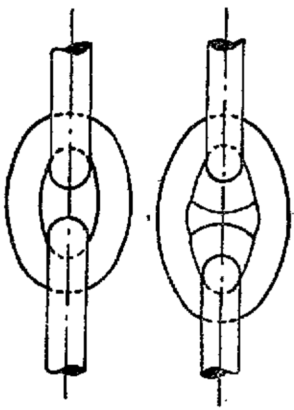
故 所傳達之馬力數 $H.P.=\frac{TV}{33000}$.

式中 T 爲鏈條緊邊之牽力,以磅計. V 爲鏈條之平均速率,以每分鐘若干呎計.

93. 鏈之分類 (Classification of Chains). 鏈可分爲三大類:一爲起重鏈(Hoisting Chains);二爲運搬鏈(Conveyor Chains);三爲傳達動力鏈(Power Transmission Chains). 茲分段述之如下.

94. 起重鏈. 凡各種起重機上所用之鏈及用以拽引重物之鏈,皆屬於起重鏈. 近年來代以鋼絲繩者不少.

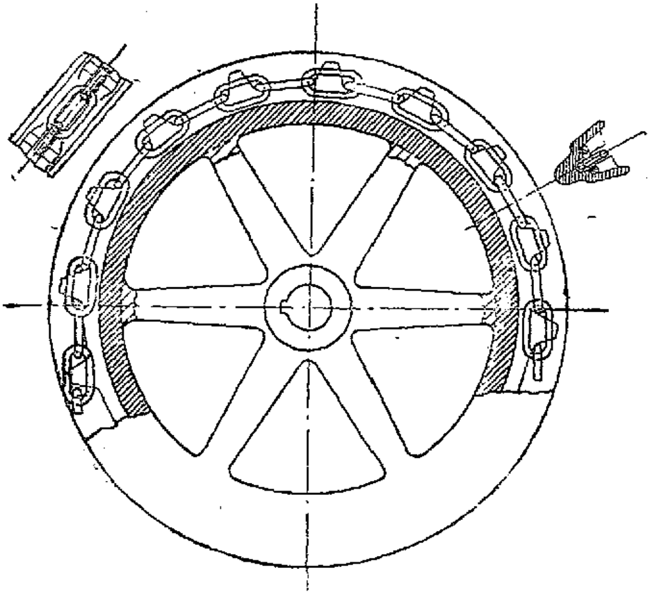
起重鏈多由多數橢圓形之鏈環所組成.如第84圖所示,謂之平環鏈(Plain Link Chain).若所負之重力或拽引力甚大時,則製爲第85圖所示之形狀,謂之柱環鏈(Stud Link Chain)或



第 84 圖 第 85 圖

日字鏈.

又如用於拽引重物時,多將鏈條之一端裝置於一捲筒(Drum)上.筒之周緣,備一種螺線形之平槽卽可.如用於普

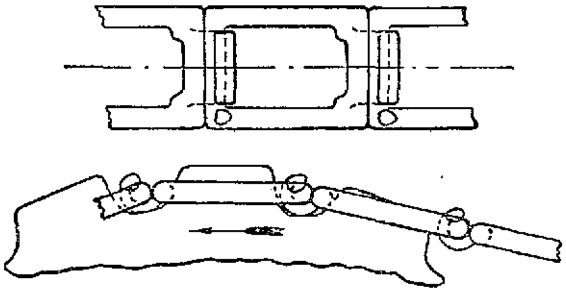


第 86 圖

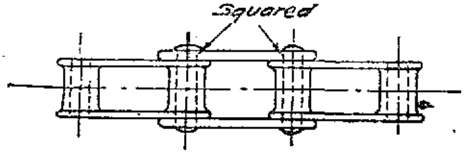
通人力起重機,則鏈條多爲套狀,並無固定之點.鏈輪之周緣,則多具齒狀突起.每間一環,鏈輪上卽有突起一對,鏈條之立環,位於兩突起之間.鍊條之平環,則平置於各對突起之間,其一端爲突起所阻而壓迫於其上,如第 86 圖所示.

95. 運搬鏈. 運搬鏈可分爲鉤連式 (Hook Joint Type) 與合連式 (Closed Joint Type) 兩種,如第 87 及第 88 兩圖所示,多用於各種運搬機械 (Conveying Machinary) 或需用運搬之各種

機械.其速率普通多比較甚低.如運搬煤石,運搬泥水及農具中運搬穀粒等皆是.將多數長方形之斗 (Buckets) 裝置於兩鏈條或一鏈條上,再套於上下兩鏈輪上,鏈輪繼續迴轉,所欲運搬之物即繼續運搬於一定之處所.



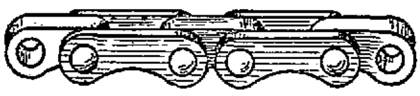
第 87 圖



第 88 圖

96 傳達動力鏈 傳達動力鏈,與皮帶繩輪等之作用相同,即亦傳達兩軸間之運動與動力者.可分為塊狀鏈 (Block Chain),轉子鏈 (Roller Chain) 及無聲鏈 (Silent Chain) 三種.

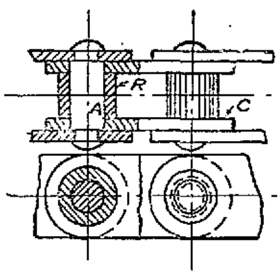
97 塊狀鏈 塊狀鏈由實體鋼製之塊狀環組織而成,各環之形狀如字母 B 或數字 8,再由邊環連結於一處,如第 89 圖所示.若速率不超過每分鐘 800 呎至 900 呎以上時,用之頗為適宜.



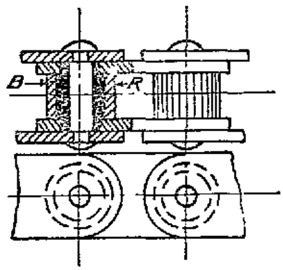
第 89 圖

98. 轉子鏈 第 90 圖,表示轉子鏈中之簡單者,軸針 A 固定於外環,內環可繞之迴轉.內環兩片之間,置一轉筒 R,以減輕軸針對於輪齒之摩阻力與傷損.

在此種鏈上,傷損最甚之處為內環與軸針之間.傳達之力較大時,不甚適宜.



第 90 圖



第 91 圖

第 91 圖所示者,係更加以改良,即多用一軸套 B,壓入內環中,軸針則仍固定於外環,與軸套之內面相接觸,轉筒更套於軸套之外.若軸套用較硬金屬製成,則傷損之程度因之減輕.

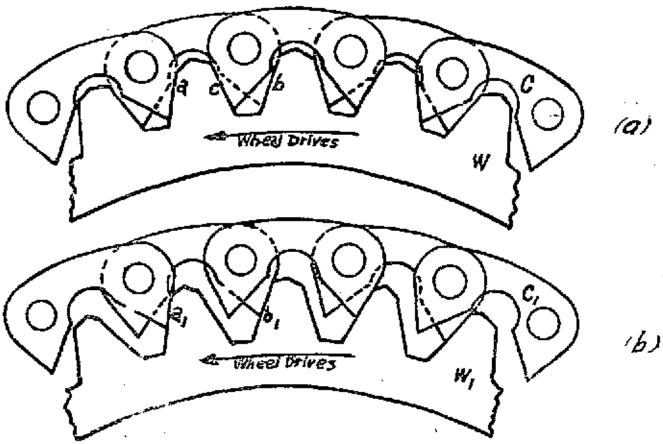
99. 無聲鏈 在塊狀鏈與轉子鏈,當工作時間過久以後,因接連處傷損之故,鏈條伸長.每一鏈節之長度,亦即增加,即鏈條受力牽緊以後,每節之長與鏈輪齒節之長不能相合.結果使所傳達之力全部落於一軸針及一輪齒之上,全鏈之工作必致不勻靜,傷損則較前更重.

在無聲鏈,則鏈條用久伸長之弊,用一種特別構造補正之.即當各鏈節因摩擦傷損之故逐漸伸長,則鏈條在鏈輪上之一段,即自動的逐漸由鏈輪中心遠離.因之使鏈節多邊形

各邊之長度增加,以適合各節延長之度.又自各鏈片起始與鏈輪之齒接觸,直至離開,並無滑動,故幾無聲音.用於高速率之傳動,尤爲相宜.

無聲鏈中應用較廣者,有 Renold 無聲鏈及 Morse 無聲鏈兩種.

Renold 無聲鏈之構造,如第 92 圖所示.其鏈片之形狀,與塊狀鏈及轉子鏈完全不同.兩端各具一直線邊,與鏈輪上具有直線邊之齒相接觸.按所傳達之動力之大小,可任意組成若干層,再由長軸針橫貫之.



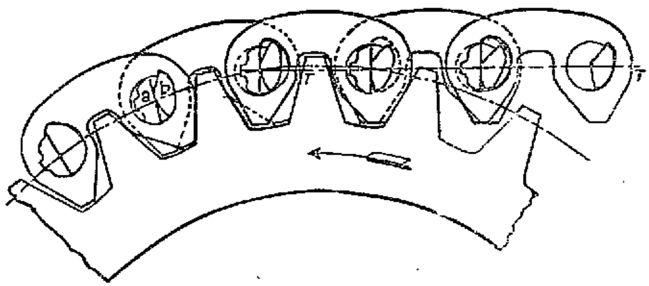
第 92 圖

圖中 (a) 表示一新鏈在鏈輪上之情形,鏈片與鏈輪之齒,僅在直線部分接觸,且其斜度相同.故鏈條在鏈輪上能按其鏈節之長短自行調整其應占之地位,即鏈節短時,鏈條在輪上之一部,比較近於鏈輪之中心.鏈節長時,鏈條在輪上之一

部,比較遠於鏈輪之中心.易言之,即由各鏈片之節線所組成之多邊形,其大小恆依鏈節之長短自行調整也.圖中(b)表示鏈條經用日久,鏈節增長,因之雖在同一之鏈輪上,其鏈條自行由輪心遠離之情形.

在 Morse 無聲鏈,則軸針與鏈片間之滑動,更由一種搖動橫針免去之,其構造如第93圖所示.a 與 b 爲硬鋼所製之兩橫針,a 謂之座針(Seat Pin),b 謂之搖針(Rocker Pin),分別裝置於 c, d 兩鏈片之上.當 c 與 d 有相對迴轉運動時,彼此只沿一定之線棱搖動,並無滑動發生.當在兩鏈輪間之直線部分時,則搖針上之一平面,與座針相接觸.當鏈片進輪或進輪時,則兩橫針沿搖針上之一線棱搖動,故無被摩擦傷損之虞.至鏈片與輪齒之接觸,仍與 Renold 鏈相似.故既無聲音,又減輕傷損之程度至極微之限度.

又此種鏈條,固無摩擦動作,故普通可不用滑油,即使酌用爲量亦極微.此種特點,在傳達高速率時,極爲重要.蓋必需滑油之鏈條,當速率高至一定之程度,離心力每將滑油拋去



第93圖

使失去效力也.在飛塵較多之地,此種無聲鏈,尤爲適宜.

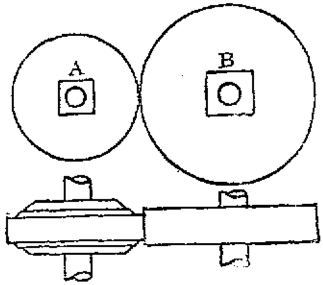
又在無聲鏈,所傳達之載荷,恆分配於所有接觸各齒之上,不僅在一齒.

第七章

摩擦輪 (Friction Wheels)

100. 摩擦輪與其特點. 一軸之迴轉運動,可用兩輪之滾動接觸直接傳達於別一軸,亦使之發生迴轉運動.此種直接由滾動接觸將一軸之迴轉運動傳達於別一軸之兩輪,謂之摩擦輪.因運動之所以能傳達,實賴兩輪間之摩擦力也.

如第94圖.設 A, B 兩輪,分別裝置於平行之二軸上.倘 A 輪迴轉時,兩輪接觸處發生相當之摩擦力,且此摩擦力使 B 輪發生迴轉之力率 (Moment).若勝過其抵力所生之力率時,則 A 輪迴轉,B 輪必隨之迴轉.故一軸之迴轉運動遂直接傳達於 B 軸.



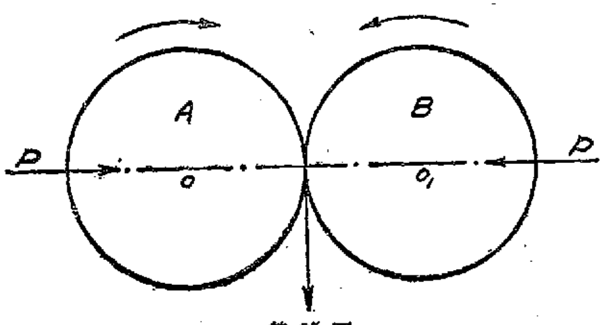
第 94 圖

惟實際上用摩擦輪傳達運動或動力時,恆難得到純粹之滾動接觸.普通總有相當之滑動發生.故兩輪之速比如欲絕對一定時,摩擦輪實不適用.又在一定之兩摩擦輪,從動輪之抵力如超過一定之限度時,則接觸處完全滑動,故用摩擦

輪以傳達運動或動力之機械,其所需之力多係比較輕微者.但摩擦輪最要之優點亦卽在此,蓋絕對不能發生滑動之機件,如齒輪鏈輪等,若所負之載荷驟爾過量,則輪齒往往受傷,在摩擦輪則不致如此也.(皮帶輪亦有此優點).摩擦輪起動時之和緩及運動時之勻靜無聲,亦爲他種傳動機件所不及.在載荷甚輕,速率甚高之運動,有時極爲相宜.

101. 摩擦輪需要之壓力. 因摩擦輪之所以能傳達運動或動力,全賴接觸處之摩擦力,而摩擦力又賴壓力始能發生.故兩輪接觸處,若僅彼此相切毫無壓力,則摩擦力無由發生.因之一輪之運動卽不能傳達於他輪.

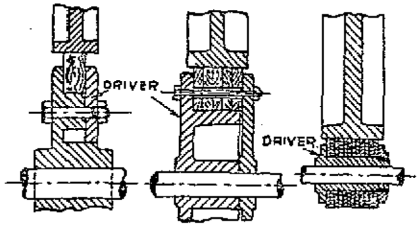
如第95圖,設沿兩輪之中心與接觸處相連之直線,由兩邊各加以相當之壓力 P, 則接觸處當運動時始能發生相當之摩擦力. A 輪之迴轉運動方能傳達於 B 輪.惟原來理想上之接觸線,實際上已變爲接觸面,輪之有效半徑因之縮短耳.



第95圖

又原動輪之周邊,多用一種軟料 (Soft Material) 製成,如草纖維,革纖維(卽用革之斷面),革,木及紙等.從動輪則多用生

鐵等硬料 (Hard Material) 製成,如第 96 圖所示.因載荷增重時,發生部分滑動或發生完全滑動,若原動輪之周邊係用硬料製成,則極易將從動輪上接觸之一部摩一部分平面,若原動輪之周邊用軟料製成,則無此弊也.



第 96 圖

102. 摩擦輪所傳達之馬力. 如摩擦輪之直徑為 D 呎,每分鐘之迴轉數為 N 次,接觸處之壓力為 P 磅,接觸處之摩擦係數為 μ,則此摩擦輪所傳達之馬力數 $H.P.=\frac{\pi DNP\mu}{33000}$,因所生之摩擦力為 $P\mu$ 磅也.

例題. 某摩擦輪之直徑為 16 吋,每分鐘之迴轉數為 300 次,接觸處之壓力為 200 磅,摩擦係數為 0.2, 問所傳達之馬力數若干?

$$H.P.=\frac{\pi DNP\mu}{33000}.$$

此題 $D=16$ 吋 $=\frac{16}{12}$ 呎, $N=300$ 次, $P=200$ 磅, $\mu=0.2$.

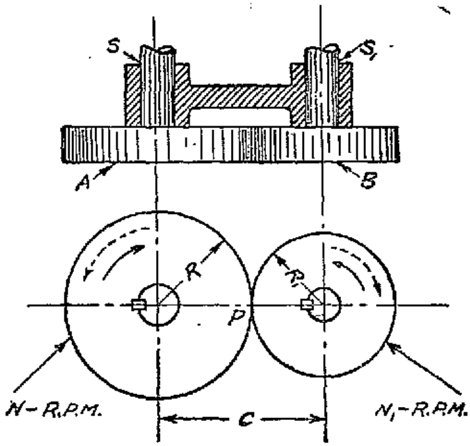
故
$$H.P.=\frac{\pi\times16\times300\times200\times0.2}{12\times33000}=\underline{\underline{1.5.}}$$

103. 兩圓柱形摩擦輪,外面接觸. 如第 97 圖,設 A 為一圓柱摩擦輪,固定於 S 軸上, B 亦為一圓柱形摩擦輪,固定於 S_1 軸上,並設兩軸心相相距之距離 C 恰等於兩輪之半徑 R

與 R_1 之和，兩輪周邊則在 P 點接觸。

又當兩輪各沿其軸迴轉時，設接觸處恆有相當之摩擦力，使不致發生滑動。如此則得兩種結果：

第一，兩輪互相接觸之各點，其運動之方向必相同，即兩輪迴轉之方向必相反。如圖，兩輪無論按實線箭頭所指之方向，或按虛線箭頭所指之方向，其迴轉總係相反。



第 97 圖

第二，A 輪周緣上任一點之線速 (Linear Speed) 恆與 B 輪周緣上任一點之線速相等。

根據第二種結果。

設 A 輪每分鐘之迴轉數爲 N，B 輪每分鐘之迴轉數爲 N_1，

則 A 輪周緣上任一點之線速 $=2\pi RN$，

B 輪周緣上任一點之線速 $=2\pi R_1N_1$，

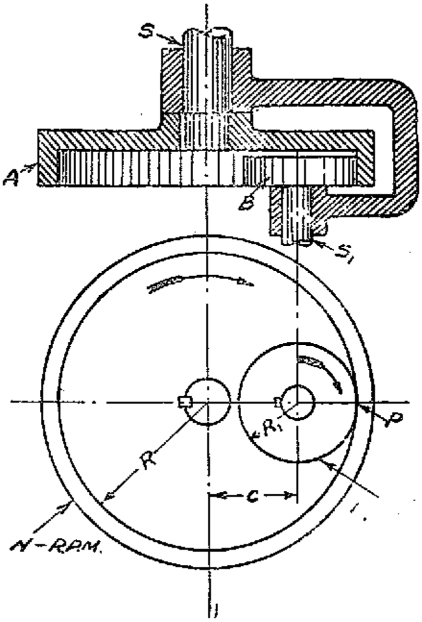
如兩輪周緣上各點之線速恆相等，

得
$$2\pi RN=2\pi R_1N_1$$

或
$$\frac{N_1}{N}=\frac{R}{R_1}.$$

即兩輪每分鐘之迴轉數與其半徑成反比也.

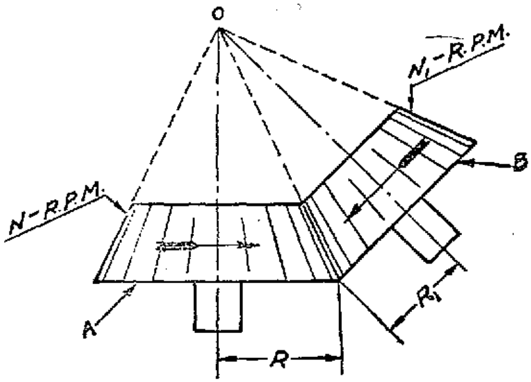
104. 兩圓柱形摩擦輪,內面接觸 如第 98 圖,A 與 B 仍為兩圓柱形摩擦輪,S 與 S_1 仍為兩輪之軸.惟所異者 A 輪係中空,將 B 輪容納於其中,使 A 輪之內緣與 B 輪之外緣相接觸,故稱之為內面接觸兩輪每分鐘之迴轉數仍與其半徑成反比,即前段之公式仍可通用.惟兩輪軸心相距之距離不為兩輪半徑之和,而為兩輪半徑之差,且兩輪迴轉之方向由相反而變為相同耳.



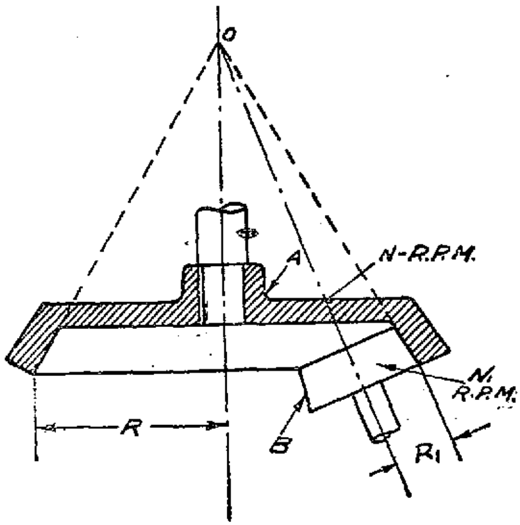
第 98 圖

105. 兩截錐形摩擦輪,外面接觸 前兩段所論,摩擦輪均係圓柱形,故兩軸恆須平行,有時在同一平面互成一定角度之兩軸,亦可由摩擦輪傳達其運動.惟摩擦輪之形狀,須為具有公共頂點之兩截圓錐體,如第 99 圖所示.如以兩圓錐之底圓代表兩圓柱形摩擦輪之圓周,則兩圓錐形摩擦輪底圓之半徑與其迴轉數之關係,仍與前同.即 $\frac{N_1}{N}=\frac{R}{R_1}$.

106. 兩截錐形摩擦輪,內面接觸 兩軸之速率,兩軸所成之角度及兩軸迴轉之方向等種種關係,有時有使兩截錐形摩擦輪內面接觸之必要.其底圓之半徑與其迴轉數之關係亦與前同,其構造如第100圖所示.



第 99 圖

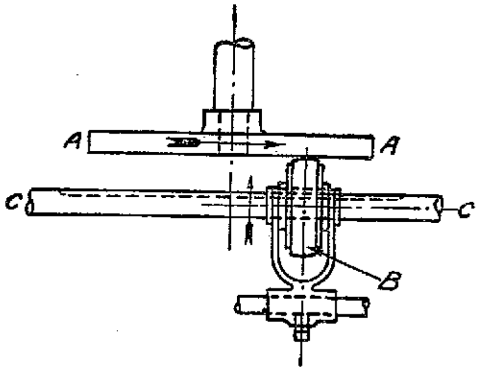


第 100 圖

107. 平盤與轉子 (Disk and Roller). 此為摩擦輪中極普通之一種傳達彼此垂直之兩軸之運動,並能隨意變換傳達

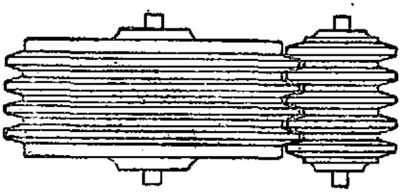
之速比及迴轉之方向.其構造略如第101圖所示.

圖中AA代表平盤,B代表轉子,能沿C軸上之一長鍵左右移動.如C軸按等角速率迴轉,則當B輪沿C軸移動時,A盤之角速率必生變化,即B輪愈近A盤之中心時,其角速率必愈高;反之,其角速率必愈低.若將B輪移於A盤中軸之他一邊,則A盤迴轉之方向與前相反.



第 101 圖

108. 凹槽摩擦輪 (Grooved Friction Gearing). 欲不待增加兩軸間之壓力而使兩輪周緣之摩擦力增加,有時用凹槽摩擦輪,其構造如第102圖所示.於兩圓柱上各製成若干凹槽,兩槽之間則遺留若干同形之凸稜.使兩輪之槽與稜,交相嵌入,如此則摩擦力因之增加.


第 102 圖

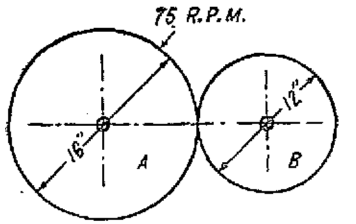
槽兩邊所成之角度,約在30°與10°之間.大於30°,則槽之效果大減;小於10°,則彼此相嵌過緊,迴轉時能力之消耗太大.

又在此種摩擦輪,兩輪多盡用生鐵製成,且接觸之情形,

不能爲純粹之滾動. 在礦廠之起重機及迴轉喞筒 (Ro ary Pumps) 多採用之.

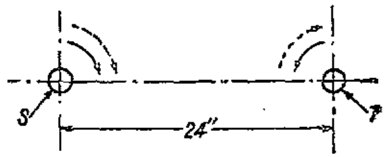
習 題

1. 如第 103 圖, A 與 B 爲兩摩擦輪, A 輪之直徑爲 16″, B 輪之直徑爲 12″. 倘 A 輪每分鐘之迴轉數爲 75 次, 問 B 輪每分鐘之迴轉數?



第 103 圖

2. 某摩擦輪每分鐘之迴轉數爲 300 次, 接觸處之壓力爲 300 磅. 摩擦係數爲 0.25, 所傳達之馬力數爲 2. 問輪之直徑爲若干吋?



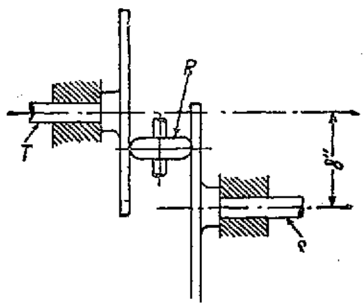
第 104 圖

3. 如第 104 圖, 設 S 軸之角速率爲 T 軸之角速率之三分之一, 試求兩圓柱形摩擦輪之直徑.

(a) 當兩軸按實線箭頭迴轉時.

(b) 當兩軸按虛線箭頭迴轉時.

4. 如第 105 圖, 設 S 軸之角速率爲 T 軸之角速率之三倍. 問轉子 R 之中心位置距 T 軸之距離應爲若干吋?

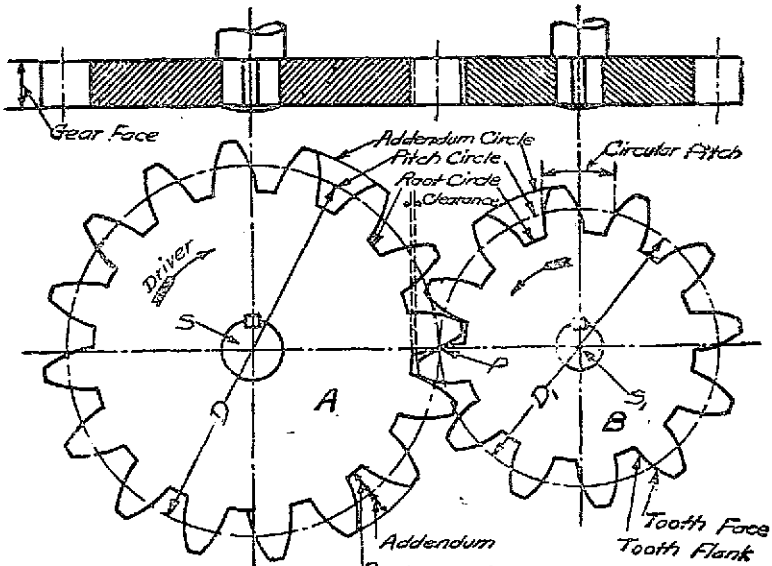


第 105 圖

第八章

齒輪

109. 齒輪之應用. 在前章,知一軸之迴轉運動,可由兩摩擦輪之滾動接觸傳達於別一軸.此種運動,因完全依賴摩力,難免滑動發生.故當兩軸之速比須絕對確定或所擬傳達之力較大時,卽不適用,而別代以齒輪.

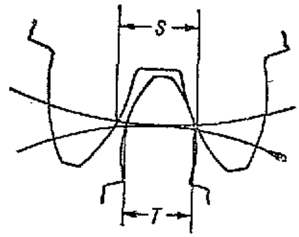


第 106 圖

如第106圖,設用中心線所表示之兩圓,仍相當兩摩擦輪.倘在A輪之周圍,備若干凸起部分,嵌入B輪周緣上之凹下部分.B輪周緣上兩個凹下部分之間,亦備同樣之凸起部分,嵌入A輪周緣之凹下部分,則原來兩摩擦輪遂變為兩齒輪;若計畫與製造適當,不但傳達之動力可以增加,且與原來兩摩擦輪理論上之速比完全一致.

110. 齒輪各部之名稱. 仍參看前圖,與原來兩摩擦輪相當之兩圓,謂之節圓(Pitch Circle).兩節圓相切之點,謂之節點(Pitch Point).包含各齒頂部之圓,謂之頂圓(Addendum Circle).包含各齒根部之圓,謂之根圓(Root Circle).頂圓之半徑減節圓之半徑,謂之齒頂距離(Addendum distance),或簡稱之曰齒頂(Addendum).節圓之半徑減根圓之半徑,謂之齒根距離(Root distance),或簡稱之曰齒根(Root).齒頂與齒根相加之和,謂之齒長(Length of Tooth),或謂之齒高.(Height of Tooth).輪齒曲面在節圓外之一部,謂之齒面(Face of the Tooth or Tooth Face)輪齒曲面在節圓內之一部,謂之齒腹(Flank of the Tooth).齒腹上與別一輪之齒面能實際接觸之一部,謂之作用齒腹(Acting Flank).輪齒自齒輪一面至彼面之寬度,謂之齒寬(Width or Face of Gear).當兩輪互相銜接時,沿兩輪之中心線,自一輪之頂圓至別一輪之根圓之一段距離,謂之餘隙(Clearance).即相一輪之齒根減別一輪之齒頂.一齒沿節圓所有之寬度,謂之齒厚(Thickness of Tooth).兩齒之間沿節圓

所有之寬度,謂之齒間 (Width of Space). 沿節圓,齒間與齒厚之差,謂之齒隙 (Backlash). 如第107圖,沿節圓弧線,S減T之差,卽爲齒隙.精製之齒,多不用齒隙.但粗製者或鑄造者,則須有相當之齒隙.



第107圖

111. 周節(Circular Pitch). 沿節圓自第一齒之中心至第二齒之中心之一段弧線距離,謂之周節.或沿節圓自第一齒上之任一點至相鄰之一齒上相當之一點之弧線距離,且恆等於齒厚與齒間相加之和.

就定義觀之,可知一輪節圓全圓周之長,必等於周節乘齒數,或周節必等於齒數除節圓圓周.

設T代表一齒輪之齒數,

C代表周節(以吋計),

D代表節圓直徑(以吋計),

則
$$C=\frac{\pi D}{T},\quad T=\frac{\pi D}{C}.$$

又互相銜接之齒輪,其周節須完全相同.

112. 徑節與節數 (Diametral Pitch and Pitch Number). 徑節一名詞,有兩種定義:

(a)第一定義爲節圓直徑每吋所有之齒數,卽齒數對於節圓直徑之比.例如某齒輪之齒數爲24,節圓直徑爲8″,則此

齒輪之徑節爲24/8=3.即節圓直徑每吋,其圓周上即有三個齒也.此種齒輪,有時稱之曰三節齒輪(Three Pitch Gear).又徑節有時稱之爲節數(Pitch Number).

(b)第二定義恰爲第一定義之反數.即每一齒節圓直徑所有長度之吋數,或節圓直徑對於齒數之比,仍用前例,則徑節應爲$8/24=\frac{1''}{3}$.

又按第二定義所得之數,有時稱之爲模數(Module).

設P代表節數(Pitch Number),M代表模數(Module),

則
$$P=\frac{T}{D},\qquad M=\frac{D}{T}.$$

$$P=\frac{1}{M},\qquad M=\frac{1}{P}.$$

在英美多用第一種定義,在法德多用第二種定義.

113. 周節與節數之關係.

按111節之公式, $C=\frac{\pi D}{T}$,

按112節之公式, $P=\frac{T}{D}$,

故
$$P\times C=\frac{T}{D}\times\frac{\pi D}{T}=\pi.$$

即周節與節數之乘積等於π也.

114. 周節與模數之關係.

按111節之公式， $C=\frac{\pi D}{T}$,

按112節之公式， $M=\frac{D}{T}$.

故 $$\frac{C}{M}=\frac{\pi D}{T}\div\frac{D}{T}=\frac{\pi D}{T}\times\frac{T}{D}=\pi.$$

或$C=\pi M$，即周節等於π乘模數也.

115. 一對齒輪之速比. 仍參看第106圖，設A為原動輪，裝置於S軸上. B為從動輪，裝置於S_1軸上. N為A輪每分鐘之迴轉數，N_1為B輪每分鐘之迴轉數. D為A輪節圓之直徑，D_1為B輪節圓之直徑. T為A輪之齒數，T_1為B輪之齒數. C為兩輪之周節.

因兩齒輪互相銜接,故兩輪之周節相同. 且A輪節圓上任一點之線速(Linear Speed)必與B輪節圓上任一點之線相等.

但A輪節圓上任一點之線速 $=\pi DN$

B輪節圓上任一點之線速 $=\pi D_1N_1$

故 $$\pi DN=\pi D_1N_1$$

或 $$\frac{N_1}{N}=\frac{D}{D_1}\cdots\cdots(1)$$

即兩輪每分鐘之迴轉數與其節圓之直徑成反比也.

又A輪節圓之圓周 $=\pi D=CT$

B輪節圓之圓周 $=\pi D_1=CT_1$

兩式相除,得
$$\frac{D}{D_1}=\frac{T}{T_1}\cdots\cdots(2)$$

卽兩輪節圓之直徑與其齒數成正比也

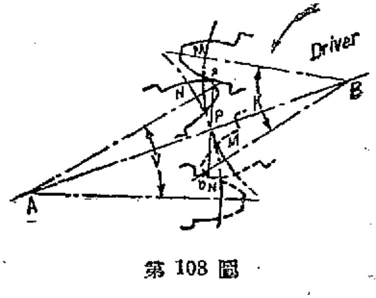
又由(1)與(2)兩式,得

$$\frac{N_1}{N}=\frac{T}{T_1}\cdots\cdots(3)$$

卽兩輪每分鐘之迴轉數與其齒數成反比也.

116. 作用角與作用弧(Angle and Arc of Action). 原動輪上之一齒推動從動輪上相當之一齒所迴轉之總角度,謂之原動輪之作用角.同理,從動輪上之一齒被原動輪上相當之一齒推動所迴輪之總角度,謂之從動輪之作用角.又無論就原動輪言,或就從動輪言,當兩輪上之兩齒起始接觸,直至接觸點至節點時所經過之角度,謂之原動輪或從動輪之進角(Angle of Approach).當兩輪上之兩齒在節點接觸,直至彼此離開所經過之角度,謂之原動輪或從動輪之退角(Angle of Recess).又無論就原動輪言,或就從動輪言,作用角恆等於其進角與其退角相加之和.

如第108圖,用實線所表示之二齒,係原動輪上之一齒M方起始推動從動輪上之一齒N.用虛線所表示之二齒,仍係MN二齒,惟其地位係N齒將起始離開M齒,當M齒推動N齒之



第108圖

時間內,B輪上任一半徑線,例如經過M齒中心之線,必經過一角度K.而A輪上任一半徑線,例如經過N齒中心之線,必經過一角度V.故K即爲B輪之作用角,V即爲A輪之作用角.

在節圓上正對作用角之一段弧線,謂之作用弧(Arc of Action).正對進角之一段弧線,謂之進弧(Arc of Approach).正對退角之一段弧線,謂之退弧(Arc of Recess).

因兩輪旣互相銜接,傳達運動,其作用弧之長度,恆屬相等.故其作用角須與半徑成反比.但就前段所得之結果,知半經與齒數成正比,故得下列公式:

$$\frac{\text{原動輪之作用角}}{\text{從動輪之作用角}}=\frac{\text{從動輪之齒數}}{\text{原動輪之齒數}}.$$

作用弧永不能小於周節.因若使作用弧小於周節,則當第二對齒起始接觸以前,第一對齒早已彼此離開,必不能繼續運動也.

117. 接觸線(Path of Contact). 仍參看前圖,用實線表示之二齒彼此在a點接觸.此接觸點實係二齒之接觸線對於紙面之投射點.接觸線之長度與齒寬相同.爲簡單起見,多就一點加以研究.用虛線表示之二齒,彼此在b點接觸.當此二齒行至任一中間地位,彼此必在別一點接觸.由此類推,在二齒彼此有作用之時間內,每在一不同之地位,即必有一不同之接觸點.連所有各接觸點所成之線(在此圖上即apb線)謂之接觸線.按所成輪齒曲線之性質之不同,此接觸線或爲直

線,或為曲線.但所有製造適宜之齒,兩輪之節點p恆在此接觸線上.

118. **傾斜角或壓力角 (Angle of Obliquity or Pressure Angle).** 經過節點且與中心線垂直之一線,對於由節點至兩齒接觸點所畫之線中間所成之角,謂之傾斜角,或壓力角.在漸開線齒輪,此傾斜角係一定之大小.在擺線齒輪,則隨兩齒接觸之地位而變化.

原動輪齒及於從動輪齒之力,其方向恆沿由節點至兩齒接觸點之直線.故傾斜角或壓力角愈小時,原動輪使從動輪迴轉之分力必愈大;使兩軸彼此遠離之分力必愈小.易言之,卽較大之傾斜角結果使及於軸承(Bearing)之壓大也.

119. **直接傳動角速率之比. (Angular Velocity Ratio in Direct Contact Motions).** 如第109圖,設C與D為兩個迴轉曲線塊之中心,並設兩曲線塊在P點接觸.TT為接觸點之公切線,NN為接觸點之公法線.如C軸上之曲線塊向箭頭所指之方向轉動,則D軸上之曲線塊亦必被迫而轉動.

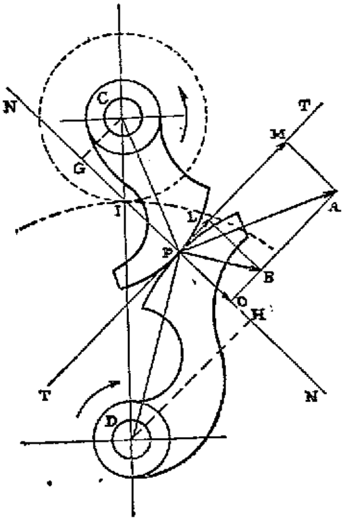
畫接觸點至兩軸中心之半徑線PC與PD.

如假定P點係上面曲線塊上之一點,則P點運動之方向,必沿PC垂直之方向PA.若假定P點係下面曲線塊上之一點,則P點運動之方向必沿PD垂直之方向PB.

設PA直線代表上面曲線塊上P點之線速率.將PA分解為兩部:—PM,沿切線TT;—PO,沿法線NN.PM一部對於下

面曲線塊之運動上不生影響.使下面曲線塊發生運動者,僅 PO 一部.

設 PB 直線代表下面曲線塊上 P 點之線速率,其大小當然以其沿法線方向之分速率恰等於 PO 爲準.蓋若大於 PO,則下面曲線塊將離開上面者,卽不復接觸.若小於 PO,則接觸之處,將互相嵌入,二者皆與設定之情形不符也.



第 109 圖

畫 CG 與 DH 二線,均與 NN 垂直,則 PCG 與 APO 爲相似三角形. PDH 與 BPO 亦爲相似三角形.又連中心線,與 NN 相交於 I,則 ICG 與 IDH 亦爲相似三角形.

並設 ω_a = 上面曲線塊繞 C 之角速率.

ω_b = 下面曲線塊繞 D 之角速率.

得
$$\frac{\omega_a}{\omega_b}=\frac{PA}{PC}\times\frac{PD}{PB}=\frac{PO}{CG}\times\frac{DH}{PO}=\frac{DH}{CG}=\frac{DI}{CI}.$$

卽兩物體由直接接觸傳動,其迴轉之角速率,與接觸點之公法線割分中心線之兩段之長短成反比.

121. 齒輪之基本定律 (Fundamental Law of Gearing). 用齒輪傳達兩軸之運動,其最要之條件,卽應使兩輪齒所具之曲線面,無論接觸點在何處,其兩軸迴轉之速比在任何時

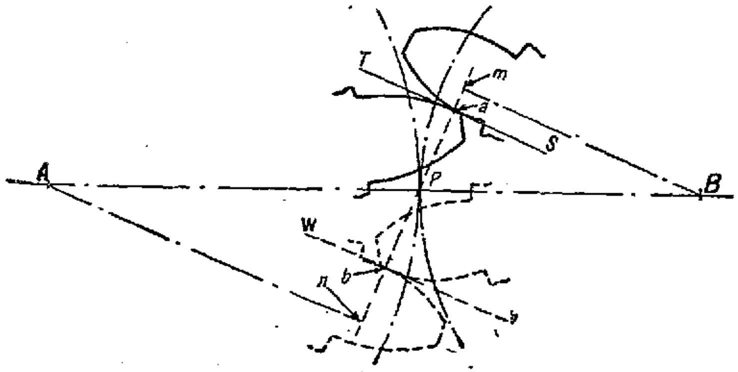
刻 (Instant) 均爲一定,卽應使兩軸迴轉之速比與理想上相當之兩摩擦輪毫無差異也.

能達到此種條件之情形如下:

從兩輪節點至兩齒接觸點之直線須恆與接觸點之公切線垂直,卽兩輪輪齒所具之曲線須使所有接觸點之公法線永經過節點也.其證明如下:

(a) 按前段之理推之,知倘接觸點之公法線劃分中心線兩段之長短恆爲一定,則兩軸迴轉之速比卽恆爲一定.若兩輪輪齒所具之曲線能使所有接觸點之公法線永經過節點,則所分中心線兩段之長短,當然恆爲一定,卽恆爲兩節圓之半徑.其長短旣恆爲一定,故兩軸迴轉之速比亦恆爲一定,且恆等於兩節圓半徑之反比,與理想上相當之兩摩擦輪無異也.

(b) 如第110圖,設用實線所表示之二齒,在 a 點互相接觸.



第110圖

卽兩輪齒之曲線在 a 點相切.畫 ST 線,在 a 點與兩齒曲線相切.此曲線之形狀,必須使此切線與由 a 至 P 之直線垂直.同一方法,用虛線表示之兩齒,其接觸 b 之切線,必須與由 b 至 P 之直線垂直如欲使兩輪之速比恆爲一定,則互相銜接之兩齒,無論在何位置,均須適合於此種條件.

設 An 與 Bm 爲 AB 兩中心至經過接觸點 a 之公法線之垂直線,並設

$$\omega_a = A\text{ 輪之角速率},$$

$$\omega_b = B\text{ 輪之角速率}.$$

則

$$n\text{ 點之線速率} = \omega_a \times An,$$

$$m\text{ 點之線速率} = \omega_b \times Bm.$$

就此時刻言,n 與 m 運動之方向,均係沿 mn 直線,故其線速率相同.

卽

$$\omega_a \times An = \omega_b \times Bm,$$

或

$$\frac{\omega_a}{\omega_b} = \frac{Bm}{An} \quad \cdots\cdots(1)$$

又就 P 點言,(P 點可視爲在 A 輪上之一點,亦可視爲在 B 輪上之一點).有同一線速率之兩點,其角速率恆與其半徑成反比.

卽

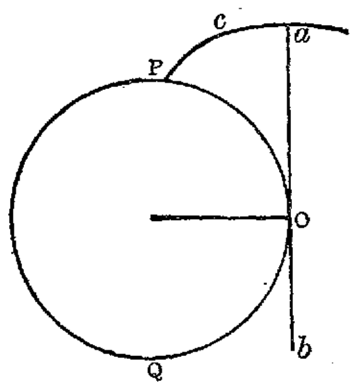
$$\frac{\omega_a}{\omega_b} = \frac{BP}{AP} \quad \cdots\cdots(2)$$

$$\frac{BP}{AP}=\frac{Bm}{An}.$$

故 mn 直線須恆交中心線 AB 於 P 點也.

121.輪齒曲線. 合於前段之定律,且實際應用於輪齒者,普通有兩種曲線:(一)圓之漸開線(Involute),(二)擺線(Cycloid).茲分別述之如下.

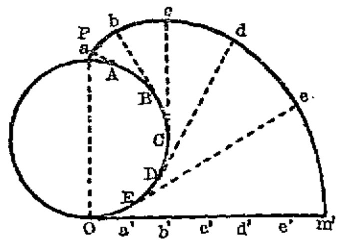
122. 圓之漸開線. 圓之漸開線,其定義有兩種說法:(1)當一直線沿一圓之周線轉動時,此直線上任一點之軌跡(Locus),即謂之此圓之漸開線.所沿之圓,則謂之此漸開線之基圓(Base Circle).如第111圖,設 aob 直線,沿 POQ 圓由左向右轉動,則 a 點之軌跡 Pca 曲線,即圓之漸開線.(2)如將一無伸縮性之繩線,纏繞於一圓上(或一極短之圓柱上),倘由此圓上徐徐將繩線撤下,且撤下之時,務使繩線伸直,則繩線上任一點之軌跡,即圓之漸開線.



第 111 圖

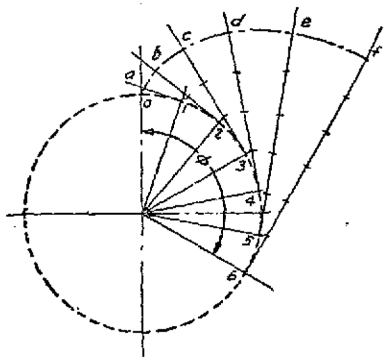
漸開線最重要之性質,即無論在全線之何點畫一法線(Normal)必與其基圓相切.如圖,在 a 點所畫之法線 ab 與 POQ 圓相切於 O 點.

123. 漸開線之畫法. 如第112圖,設 PCO 爲基圓,且所畫之漸開線擬由 P 點起始.



第 112 圖

畫 Om' 線,使其長等於基圓圓周之半.將 PCO 半圓,任意分爲數等分,並將 Om' 分爲同數之等分.在 PCO 半圓之等分點上,各畫一切線,然在各切線上截 Aa, Bb, Cc 等線,使依次等於 Oa', Ob', Oc' 等,連 $Pabcd$ 各點,作一曲線,卽爲所求之漸開線.



第 113 圖

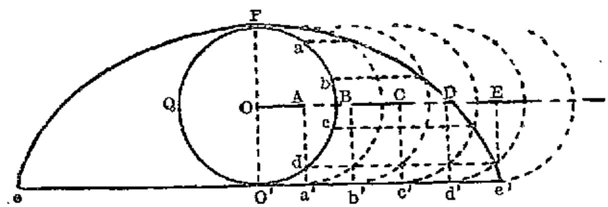
或按第 113 圖之畫法.在基圓上,任意截出一角度 ϕ.將 ϕ 角任意分爲數等分.此處共分爲六等分.由等分線與基圓相交之 1, 2, 3, 4, 5, 6, 等點,畫切線 $1a$, $2b$, $3c$……$6f$ 等,如基圓上各分段不甚長時(如每分段之長度爲直徑長度十分之一,則假定每段之弦線與每段之弧線相等,相差不過千分之一),則每段弦線之長度可假設與每段之弧線相等.

沿 $1a$ 線,截 01 弦線,得 a 點.沿 $2b$ 線,截兩倍 01 弦線,得 b 點.由此類推,得 c, d, e, f 等點.經過 a, b, c, d, e, f 等點,畫一曲線,卽爲所求之漸開線.

124. 擺線(Cycloid),內擺線(Hypocycloid)與外擺線(Epicycloid). 如一圓在一直線上轉動,則圓周上任一點之軌跡,謂

之擺線.如一圓在別一圓之內緣轉動,則轉動之圓其圓周上任一點之軌跡,謂之內擺線.如一圓在別一圓之外緣轉動,則轉動之圓其圓周上任一點之軌跡,謂之外擺線.

125. 擺線之畫法. 如第 114 圖,設 $PO'Q$ 為轉圓 (Rolling Cirde), $eo'e'$ 為直線.畫 $o'e'$ 線,使等於轉圓圓周之半.將 $o'e'$ 分為數等分,並將半圓分為同數之等分.在 $o'e'$ 之等分點上,畫 $a'A$, $b'B$……等垂線,再畫 OE 線與 $o'e'$ 平行,並交各垂線於 A,B,C,D,E 等點,以 A,B,C,D 等點為中心,轉圓之半徑為半徑,各畫一圓.從半圓上之等分點起,各畫一線,與 $o'e'$ 平行,並與相當之圓交於一點.連此諸點畫一曲線,即為所求之擺線.

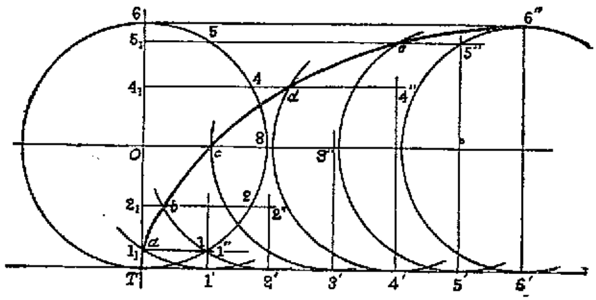


第 114 圖

或按第115圖之畫法,將轉圓之半圓周,任意分為數等分,例如分為六等分.並在直線上從切點 T 起,截 $T1'=T1, 1'2'=12, 2'3'=23, 3'4'=34, 4'5'=45, 5'6'=56$. 經過 $1', 2', 3'$……,等點,各畫一垂線.並經過半圓上之 1, 2, 3,……,等點,畫水平線,使與半圓之直徑相交於 $1_1, 2_1, 0, 4_1$ 與 5_1 等點,並與垂直線相交於 $1'', 2'', 3''$……,等點.

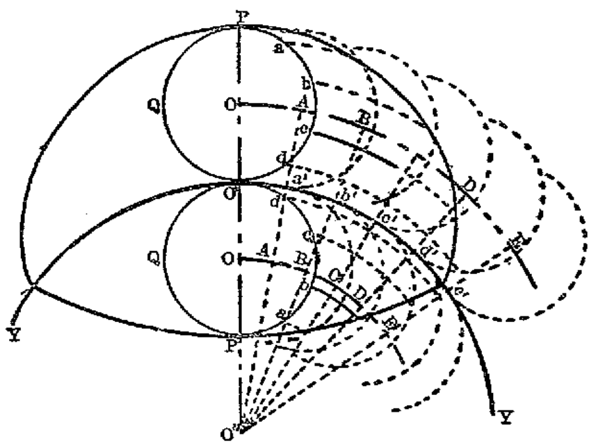
在 $1_1 1''$ 上,從 $1''$ 點起,截 $1''a=11_1$, 在 $2_1 2''$ 上,從 $2''$ 點起,截 $2''b$

$=22_1$,其餘依此類推.再經過 a, b, c, d, e 及 $6''$ 等點畫一曲線,即為所求之擺線.



第 115 圖

126. 內外擺線之畫法.



第 116 圖

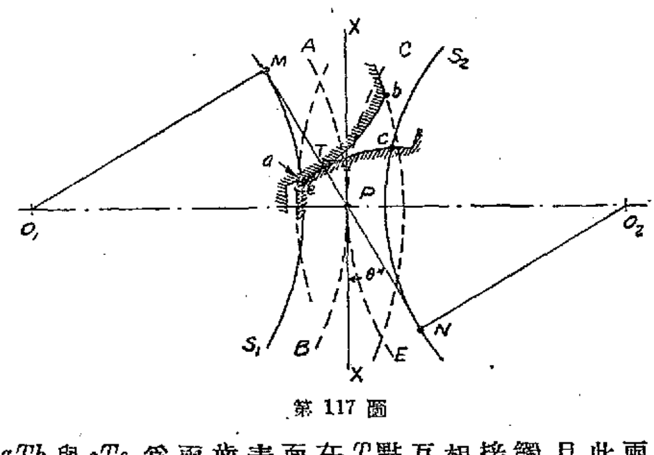
如第116圖,PQO' 為轉圓,$XO'Y$ 為導圓(Directing Circle).截 $o'e'$ 一段弧線,使等於轉圓圓周之半(最好根據轉圓與導圓之直徑,比例截分.例如轉圓之直徑若為導圓直徑之四分之

一,則導圓上與45°相對之一段弧線,即等於轉圓之半周).並分爲數等分.將轉圓之半圓周,亦分爲同數之等分.畫 $o''a'$, $o''b'$……等線,並引長之(若專畫內擺線,即不必引長).再畫OE弧線,使與$o''a'$, $o''b'$……等線相交於 A,B,C,D,E 等點.以各點爲中心,轉圓之半徑爲半徑,各畫一圓.再用$O''a$, $O''b$ 等爲半徑,畫弧線,使各與相當之圓相交,連各交點,即得所求之內外擺線.

因轉圓係沿導圓轉動,則兩圓接觸點必可視爲轉圓上各點瞬時中心 (Instantaneous Center). 故在轉圓圓周上任一點,畫該點內擺線或外擺線之法線,必經過O'點,此爲內外擺線之特性.

又內外擺線,亦可比照第115圖之畫法畫出,茲不贅述.

127 漸開線齒合於齒輪基本定律之證明. 如第117圖,設APB與CPE爲互相銜接,且具有漸開線齒之兩輪之節圓



第117圖

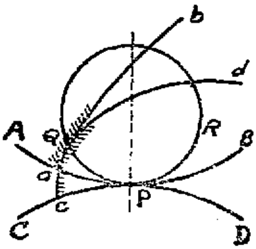
並設 aTb 與cTe 爲兩齒表面在T點互相接觸.且此兩齒表面之曲線,爲S_1與S_2兩基圓之漸開線.

因漸開線之特性,從漸開線上任一點畫一法線,均爲基圓之切線,可知兩漸開線之接觸點T之公法線,必爲兩基圓之公切線MN.

又就O_1PM與O_2PN兩相似三角形比較觀之,可知倘使兩基圓半徑之比與兩節圓半徑之比相同,且恆爲一定.則互相接觸之兩齒,其接觸點之公法線,必永經過節點P,即合於齒輪之基本定律也.

至實際畫漸開線輪齒時,其步驟如下:設O_1與O_2爲兩齒輪之中心,O_1P與O_2P爲兩齒輪節圓之半徑,P爲兩齒輪之節點.經過P點畫一線XX,與O_1O_2垂直.再畫傾斜線MN,與XX成θ度之角度.θ之大小,普通由$14\frac{1}{2}°$至$22\frac{1}{2}°$不等.然後由O_1與O_2各向此傾斜線畫一垂線,得出O_1M與O_2N,此即爲兩基圓之半徑.畫基圓後,再由基圓上各畫一漸開線.用所畫漸開線之一段爲輪齒表面,自然合於齒輪之基本定律.

128. 擺線齒合於齒輪基本定律之證明. 如第118圖,設APB與CPD爲兩齒輪之節圓.並設APB上一齒之齒腹,其表面曲線係轉圓PQR在APB節圓內轉動時所畫出之內擺線aQb之一段.設CPD上一齒之齒面,其表面曲線係轉圓PQR在CPD節圓外轉動時所畫出之外擺線cQd之



第118圖

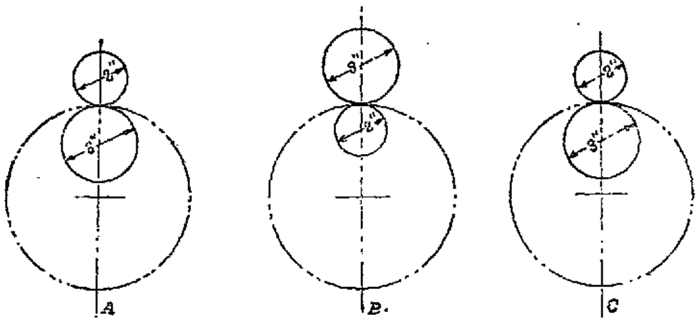
迴轉齒面 cQ 與齒腹 aQ 相接觸.並設 Q 為其接觸點.則當轉圓 PQR 同時與兩節圓之節點相切時,此 Q 點必在轉圓之上.因轉圓畫 Q 點之內擺線時,此內擺線在 Q 點之法線必經過轉圓與 APB 節圓之切點.同一理由,當轉圓畫 Q 點之外擺線時,此外擺線在 Q 點之法線,必經過轉圓與 CPD 節圓之切點.因此兩法線在此點合而為一.即接觸點之公法線必經過轉圓與兩節圓同時相切之節點.因曲線 aQb 與 cQd 在其接觸點 Q 之公法線經過兩輪之節點 P,故倘一輪所有之齒面與別一輪所有之齒腹,係同一轉圓所畫出之外擺線與內擺線,則彼此銜接,傳達運動,必與齒輪之基本定律相合.即所有接觸點之公法線恆經過節點 P 也.

又互相銜接之兩齒輪,其一輪之齒腹與他一輪之齒面,須用同一轉圓畫出.一輪之齒面與他一輪之齒腹,須用同一轉圓畫出.至兩輪之齒腹或兩輪之齒面則無須定出同一之轉圓畫出.因兩輪之齒腹或兩輪之齒面實無彼此接觸之時也.

129. 互換漸開線齒輪 (Interchangeable Involute Gears). 欲使多數大小不同之漸開線齒輪,可以互相交換,即任一齒輪均可與其餘之齒輪互相銜接,互相工作,其最要之條件即齒節(Pitch,無論就周節或就徑節言)與傾斜角須彼此完全相同.蓋齒節不同,則兩輪之齒必互相衝突.傾斜角不同,則兩齒接觸點之法線不能在一直線也.

130. 互換擺線齒輪 (Interchangeable Cycloidal Gears). 若單就互相銜接之兩擺線齒輪言,則 A 輪之齒腹與 B 輪之齒面,可由一轉圓畫出. A 輪之齒面與 B 輪之齒腹,可由另一轉圓畫出.齒節當然須相同.

若在多數之擺線齒輪,欲使其中之任一輪均可與其餘之輪隨意配合,則除各輪之齒節,須完全一律外,其所用轉圓之直徑,更須完全相同,卽各輪之齒面與齒腹,均須由同一之轉圓畫出也.



第 119 圖

如第 119 圖,設 ABC 三輪所有之齒節完全相同,但其齒面與齒腹,則由直徑不同之轉圓所畫出.所用轉圓之直徑,如圖中所示.如此則 B 輪對於 AC 兩輪雖能得適當之銜接,而 A 輪對於 C 輪,則不能得適當之銜接.故欲多數擺線齒輪可以互換,非一律用同一之轉圓不可.

131. 階級輪 (Stepped wheels). 當兩齒輪互相銜接傳達運動時,若同時接觸之齒數愈多,則傳達之情形愈順利,摩阻

力之損失亦愈小.其原因如下:

(a)在擺線齒輪,若同時接觸之齒數愈多,其傾斜角之平均值必愈小.例如同時有兩對齒接觸,當第二對起始接觸時,第一對之接觸點已至節點.其傾斜度爲零度.若假設所傳達之壓力平均分配於各齒之上(實際上傾斜度愈小之齒,所受之壓力愈大),其傾斜度則由零度至最大傾斜度之間.如此則平均對於有效分力必比較增加,而沿兩軸中心線之分力則比較減少(此一部分力只有害而無利).

(b)若只有一對齒接觸,當初接觸及將近離開時,所傳之壓力完全加於一齒面之頂部,齒根部所受之彎曲率較大.

(c)在漸開線齒輪.因傾斜度恆爲一定,故兩部分分力之影響與之無關.惟無論何種曲線之輪齒,其接觸點滑動之速率恆與接觸點至節點法線之長度成正比.若同時有多數齒接觸,其平均長度必因之減小.故因摩阻力消耗之工作亦比較減少.

欲使同時接觸之齒數增多,普通不外兩種方法.

(a)齒節不變,增加齒之高度,惟齒高增加後,第一,傾斜角或最大傾斜角須增大.第二,齒根部所受之彎曲率(Bending Moment)增大.卽相當使齒變弱.

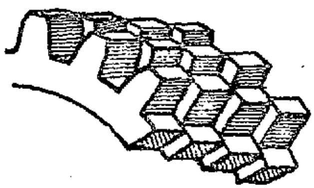
(b)傾斜角不變,減小齒節.惟齒節減小,齒厚自減,齒亦變弱.

故雖有以上兩種方法,實際上漸開線齒輪,其接觸弧約

爲周節之$1\frac{3}{4}$至$2\frac{1}{2}$倍.在擺線齒輪,其接觸弧約爲周節之$1\frac{1}{4}$至2倍.

欲達到同時接觸之齒數多且無他種損失之目的,則可用階級輪.

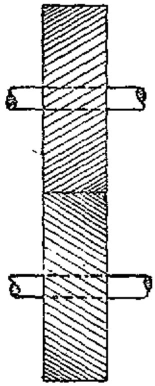
如第120圖,倘將一對正齒輪,沿與垂直之平面橫切爲若干片,並使每片各較其相鄰之一片向前錯動一段.錯動之角度,使等於片數除節角(Pitch Angle),則結果變爲一對階級輪.兩個階級輪互相銜接,能得到同時接觸齒數增多之利益,而無減弱力之弊.每一片與另一輪上相當之一片接觸之情形,與原來兩齒輪接觸之情形相同.若原來兩輪有兩對齒同時接觸,倘每輪各分三片,卽相當同時有六對齒接觸.每片之齒長雖減薄,而數片相合,其長仍舊.然傾斜角之平均值,滑動速率之平均值,以及接觸點距齒根底之情形,均有多數齒同時接觸之優點.



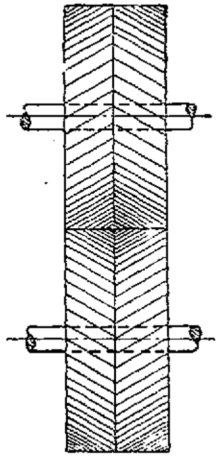
第10圖

又實際上所分片數無過多者,普通以三片或兩片者爲多.

132. 扭轉齒輪 (Twisted Gear). 如橫切之片數想像增至無限,結果成爲扭轉齒輪,如第121圖所示.兩齒之接觸約爲一螺旋線形.惟接觸點愈近節點者,距齒根愈近,故非一眞螺旋線形.對於垂直於輪軸之平面之投影與原來之接觸線相



第 121 圖

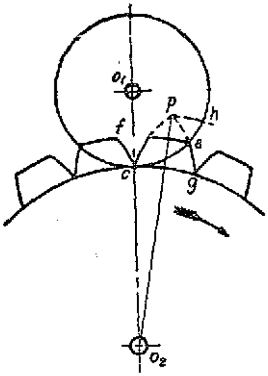


第 122 圖

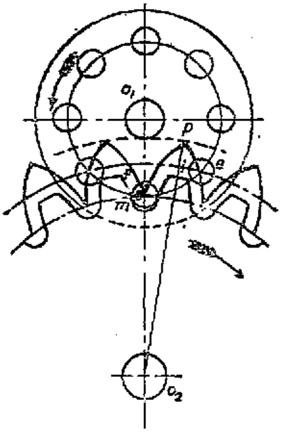
等.又在此種齒輪,當工作時,恆有一部沿軸之方向橫推之力爲其缺點.

133. 人字齒輪或鯡骨輪 (Herring Bone Gears). 如第 142 圖所示相當兩個同樣之扭轉齒輪合併於一處,惟扭轉之方向恰相反.如此,則沿軸之方向橫推之力,可以互相抵消.

134. 針輪 (Pin Gearing). 如第123圖,設 O_1 與 O_2 爲兩輪之中心,並設畫 O_1 輪齒腹與 O_2 輪齒面之轉圓,增至與 O_1 輪之節圓同大,則 O_2 輪之齒面爲 O_1 輪之節圓在 O_2 輪節圓外所畫之外擺線之一部.而 O_1 之輪齒腹則變爲一點.同時設畫 O_2 輪齒腹與 O_1 輪齒面之轉圓減小至一點,則 O_2 輪之齒腹與 O_1 輪之齒面均變爲一點.此種結果,理論上遂變爲針輪.



第 123 圖



第 124 圖

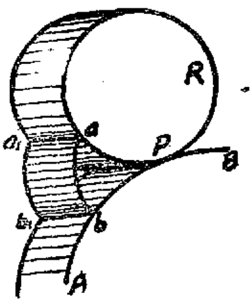
就圖上觀之,設兩輪各繞其軸迴轉,按純粹滾動接觸相接觸於c點,則O_1輪上之一點e必在O_2輪之平面上畫出一外擺線gp,而在O_1輪之平面上則只爲一點e.設cf爲與ge同樣之曲線,並想像O_1輪在c點有一無粗細之針,則當O_2輪向右迴轉時,彼必按一定之速比向前推動O_1輪上之針,與推動相當之齒無異.如曲線之上端僅至f,則作用至e點卽行停止.

以上僅係理論上之硏究,實際上恆用有一定粗細之針以代之.而齒輪之齒,其實際曲線亦須改爲與原來外擺線平行之一曲線.其相距之距離,則恆等於針之半徑.如第124圖所示.沿原來所行之外擺線,取多數點爲中心.以針之直徑爲直徑,畫若干小圓,此多數小圓之內函線卽爲所求之輪齒曲線.若欲使針對於O_2輪兩齒之間有相當之餘隙,則畫齒根處之小圓時,使其中心微在節圓以內.圓心在節圓內之距離,使恰等於餘隙卽可.

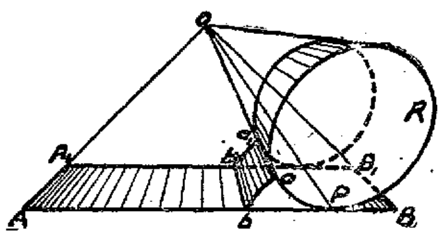
若將各針裝置於平行之兩圓板上,則變爲燈輪(Lantern Wheel).爲減輕摩擦傷損起見,亦有在針上套一轉筒者.

135. 斜齒輪 (Bevel Gears) 理論上之研究. 當研究正齒輪 (Spur Gears) 時,爲簡單起見,曾假設所有之運動皆限於一平面之內.故一切研究,多係以點代線,以線代面.但實際上所稱之點,多係垂直於紙面之線,所稱之線多係垂直於紙面之面也.

在漸開線齒輪,基圓 (Base Circle) 可視爲一基圓柱 (Base Cylinder) 之一端.畫漸開線之線,可視爲有一定寬度之一帶之一邊.畫漸開線之筆,可視爲垂直於紙面之一直線之一端.帶上垂直於紙面之一直線在空間所行之曲線面,實爲輪齒之表面,卽兩齒互相接觸,亦係沿一直線而非只在一點也.



第 125 圖



第 126 圖

在擺線齒輪,節圓與轉圓,實可視爲兩圓柱體之兩端.如第 125 圖所示,可稱之爲節圓柱 (Pitch Cylinder) 與轉圓柱 (Rolling Cylinder).兩圓柱接觸之處,亦係一直線而非一點.當

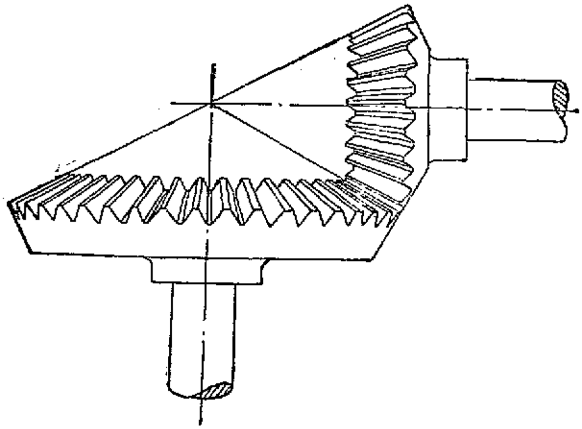
轉圓柱 PR 沿節圓柱 AB 迴轉時,轉圓柱上之一線 aa_1 在空間所畫出之曲線面 aa_1bb_1 實為輪齒之曲線表面.此種觀念,對於研究斜齒輪輪齒之形狀,極有幫助.

如第126圖,相當原來節圓柱者,變為 OAB 圓錐之截錐體 ABB_1A_1.轉圓柱在此亦變為一截錐體 PR.ab 曲線則變為一球體外擺線 (Spherical Epicycloid).輪上一齒之齒面為一轉截錐體沿齒輪節面之外面轉動時,其斜面上之一直線 aa_1 所畫成.其齒腹則為另一轉截錐體沿齒輪節面之內面轉動時,其斜面上之一直線所畫成.

仍參看第126圖,當 $OaPR$ 圓錐沿 OAB 圓錐轉動時,畫 ab 曲線之 a 點,距 O 點之距離恆不變,故 a 點實係沿以 O 點為中心以 OA 為半徑之球面而轉動,其齒腹之畫法亦然.故理論上斜齒輪輪齒之外端,實為球面之一部,惟實際上恆用另一圓錐之表面耳.OAB 圓錐謂之節圓錐 (Pitch Cone),後一圓錐謂之法圓錐 (Normal Cone).

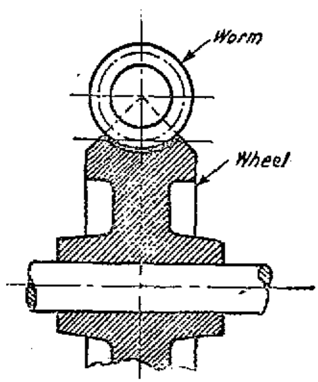
136. 斜齒輪之速比. 斜齒輪可想像係由圓錐形摩擦輪變化而成.如想像於前章第99圖之兩個圓錐形摩擦輪上,各備若干凸起部分與凹下部分,互相嵌入,則原來之兩個圓錐形摩擦輪,遂變為兩個摩擦輪,如第127圖所示.

斜齒輪既可視為由圓錐形摩擦輪變化而成,故其速比之關係,亦與兩圓錐形摩擦輪相同,即亦與其節圓錐底圓之半徑成反比也.



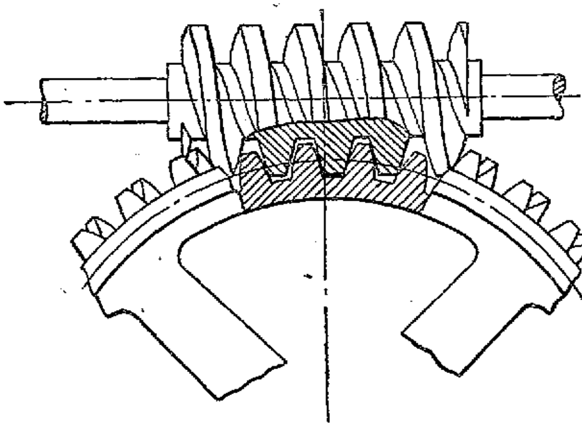
第 127 圖

137. 螺旋桿與螺旋輪(Worm and Worm Wheel). 當一螺旋桿之螺旋線與一齒輪之齒相銜接,且使輪齒之形狀恰與螺旋線間之空間相合,則當螺旋桿迴轉時,齒輪必被推而轉動.此種組合,謂之螺旋桿與螺旋輪,多用以傳達互相垂直而不相交之兩軸之運動.與普通正齒輪不同之點,不但輪齒微行傾斜,且中間向內彎曲,包圍螺旋桿一定之角度,使接觸之面積因之增大,其情形如第128與第129兩圖所示.



第 128 圖

此種輪之優點,第一能傳達甚高之速率.第二,不易倒行.當用於起重機上時,此種性質極為重要.第三,工作時發聲音特小.



第 129 圖

138. 螺旋桿與螺旋輪之速比. 螺旋桿與螺旋輪尙有與普通齒輪不同之點,卽速比與輪之直徑無關.只與螺旋輪上之齒數及螺旋桿之螺旋線係單線或複線有關.若係單線,則螺旋桿每迴轉一週,只使螺旋輪前進一齒;若係雙線,則使螺旋輪前進二齒.其餘依此類推.

例如螺旋桿係單線,而螺旋輪有 48 齒,則欲使螺旋輪迴轉一週,螺旋桿須迴轉48次.若螺旋桿係雙線,則欲使螺旋輪迴轉一週,螺旋桿須迴轉24次.由此可知螺旋桿與螺旋輪節圓之直徑,對於速比並無關係.

習 題

1. 齒輪迴轉之速率,與其直徑及齒數均成反比,試證明之.
2. 甲乙兩軸上各有齒輪一個.甲軸上之齒輪,其齒數爲80.今擬此兩

齒輪之作用,將甲軸之運動傳於乙軸.倘甲軸每分鐘迴轉100次,乙軸每分鐘迴轉20次,問乙軸上之齒輪,其齒數當爲若干?

3. 試述齒輪之基本定律,並證明之.

4. 設 P= 徑節, C= 周節, T= 齒數, D= 節圓直徑.

(a) $P=10$, $D=5$, 求 T.

(b) $D=15$, $C=2$, 求 T.

(c) $T=48$, $D=4\frac{1}{2}$, 求 C.

(d) $C=1\frac{1}{4}$, $T=30$, 求 P.

5. 兩正齒輪互相銜接,當原動輪迴轉5次時,從動輪迴轉3次.周節爲1/8吋,從動輪之齒數爲30.試求兩輪中心之距離及原動輪之齒數.

6. 兩正齒輪互相銜接,其齒數一爲80,一爲50,周節爲$1\frac{1}{2}$吋,問兩輪中心相距之距離.

7. 兩正齒輪互相銜接,原動輪之齒數爲60,周節爲$1\frac{1}{2}$吋,兩輪中心之距離爲20吋,試求從動輪節圓之直徑及齒數.

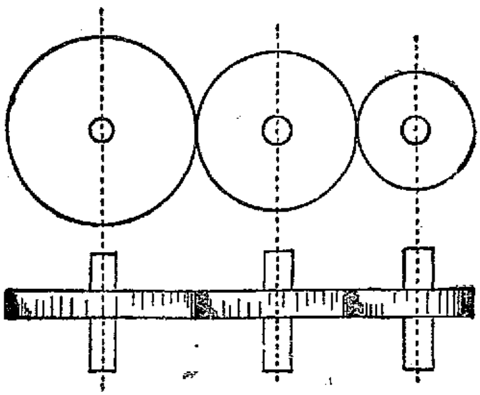
8. 兩正齒輪互相銜接,其中心相距之距離爲20吋,徑節爲4.如一輪每分鐘之迴轉數爲別一輪之三倍.問兩輪之齒數各爲若干?

第九章

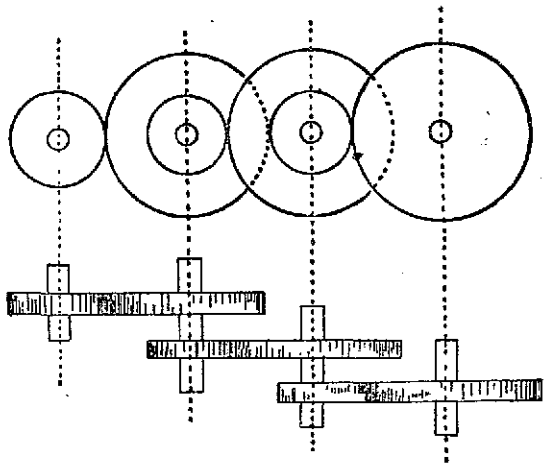
輪系(Gear Trains or Wheels in Train)

139. 輪系之定義. 凡三個或三個以上之齒輪,互相銜接,為聯合運動者,均謂之輪系.首輪謂之原動輪,末輪謂之從動輪.(又有時凡互相銜接之兩輪,先動者即為原動輪,後動者即為從動輪)介乎其間者,統謂之中輪(Intermediate Wheel).

又每軸只有一輪者,謂之單式輪系.如第130圖所示除首末兩輪外,每軸有二輪或有某一軸有二輪者,謂之複式輪系,如第131圖所示.



第130圖



第 131 圖

140. 輪系之值. (Train Value) 或輪系之速比. 在同一時間內,一輪系最末一輪之迴轉數對於最初一輪之迴轉數之比,謂之此輪系之值,或此輪系之速比,多用字母 e 代表之.

141. 單式輪系之值. 如第132圖,設 A 為原動輪, B 為最末之從動輪, C 為中輪. N_A 為 A 輪每分鐘之迴轉數, N_B 為 B 輪每分鐘之迴轉數, N_C 為 C 輪每分鐘之迴轉數. T_A 為 A 輪之齒數, T_B 為 B 輪之齒數, T_C 為 C 輪之齒數,按齒輪定理,得

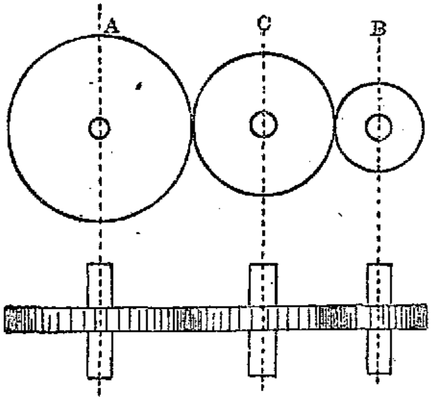
$$\frac{N_C}{N_A}=\frac{T_A}{T_C} \quad\text{(1)}$$

$$\frac{N_B}{N_C}=\frac{T_C}{T_B} \quad\text{(2)}$$

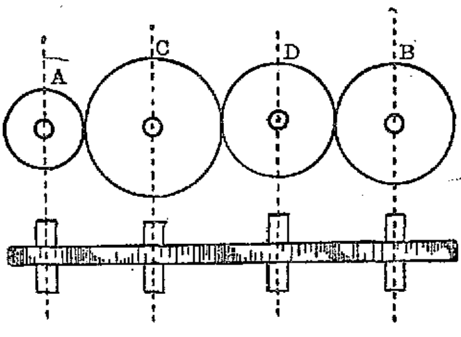
兩式兩邊連乘,得

$$\frac{N_C}{N_A}\times\frac{N_B}{N_C}=\frac{T_A}{T_C}\times\frac{T_C}{B}$$

或輪系之值 $$e=\frac{N_B}{N_A}=\frac{T_A}{T_B} \cdots\cdots\cdots\cdots(\text{甲})$$



第 132 圖



第 133 圖

如第 133 圖,設 A 爲原動輪. B 爲最末之從動輪, C 與 D 爲兩中輪. N_A, N_B, N_C, N_D 爲四輪每分鐘之迴轉數, T_A, T_B, T_C, T_D 爲四輪之齒數. 按齒輪定理,得

$$\frac{N_C}{N_A}=\frac{T_A}{T_C}\cdots\cdots(1)$$

$$\frac{N_D}{N_C}=\frac{T_C}{T_D}\cdots\cdots(2)$$

$$\frac{N_B}{N_D}=\frac{T_D}{T_B}\cdots\cdots(3)$$

三式兩邊連乘,得

$$\frac{N_C}{N_A}\times\frac{N_D}{N_C}\times\frac{N_B}{N_D}=\frac{T_A}{T_C}\times\frac{T_C}{T_D}\times\frac{T_D}{T_B}.$$

或輪系之值 $$e=\frac{N_B}{N_A}=\frac{T_A}{T_B}\cdots\cdots(乙)$$

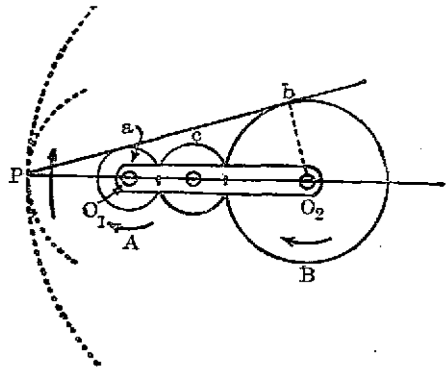
由甲乙兩式觀之,可知在單式輪系,中輪對於首末兩輪之速比或輪系之值之大小無關,與 A, B 兩輪直接聯動者同,故中輪有時稱之曰惰輪 (Idle Wheel or Idler).

142. 單式輪系用中輪之益. 在單式輪系,中輪雖與首末兩輪之速比無關,然於兩輪迴轉之方向及其所占之面積,則大有關係.凡中輪之數爲一,或任何奇數者,則首末兩輪迴轉之方向相同.凡中輪之數爲二或任何偶數者,則首末兩輪迴轉之方向相異.又如有一定之速比,則用中輪時,其首末兩輪較小;若首末兩輪直接聯動,則兩輪較大.

如第134圖,欲使 O_1 軸對於 O_2 軸有一定之速比,且迴轉之方向相同.倘置中輪 C 於 A, B 兩輪之間,但使 $\frac{O_2b}{O_1a}$ 等於所需之速比卽足 (O_2b 爲 B 輪之半徑, O_1a 爲 A 輪之半徑. 如不用中

輪,既欲迴轉同向,則須用內接聯動(卽一輪之齒向內,與另一輪之齒相銜接).至兩輪之大小,可求之如下:

畫 A,B 兩輪之外公切線 ba,並引長之,使交 O_2O_1 引長線於 P 點,則 O_1P 與 O_2P 卽所求內接聯動兩輪之半徑.因

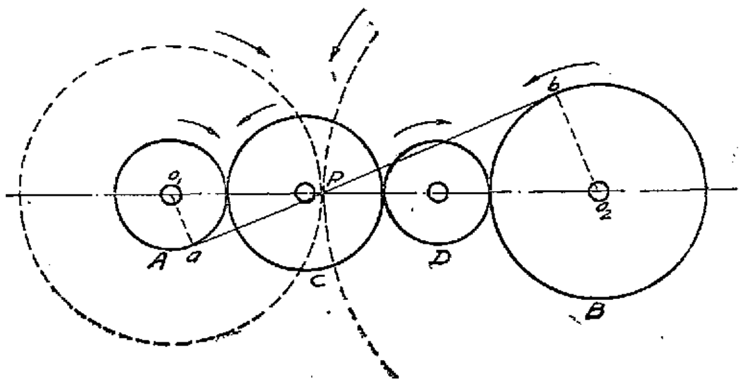


第 134 圖

PaO_1 與 PbO_2 兩三角形爲相似三角形,

$$\frac{O_1P}{O_2P}=\frac{O_1a}{O_2b}=\frac{A\text{輪之半徑}}{B\text{輪之半徑}}\text{故也.}$$

又如第135圖,欲使 O_2 軸對於 O_1 軸之速比爲1:2,且使其迴轉之方向相反,則任意計畫 A,B 兩輪,使 B 輪節圓之半徑 O_2b 爲 A 輪節圓之半徑 O_1a 之二倍,再於中間置兩中輪 C 與 D,使彼此互相銜接卽可.



第 135 圖

若不用中輪,則 B 輪節圓之半徑,須爲 O_1O_2 線之三分之二,A 輪節圓之半徑須爲 O_1O_2 線之三分之一,或與前圖之方法比照求之如下:

畫 A,B 兩輪節圓之公切線 ab,與 O_1O_2 線相交於 P 點,則 O_1P 卽爲 A 輪節圓應有之半徑,O_2P 卽爲 B 輪節圓應有之半徑,因 PaO_1 與 PbO_2 兩三角形爲相似三角形,

$$\frac{O_1P}{O_2P}=\frac{O_1a}{O_2b}=\frac{1}{2}=\text{所求之速比也.}$$

兩圖上用虛線所表示者,爲不用中輪時兩輪節圓應有之大小.比較觀之,可知用中輪時與不用中輪時,輪之大小相差甚鉅.大小旣差,則購置時之價値及所占之面積,均因之增加.

143. 複式輪系之值. 如第136圖,設 A, B, C, D, E, F, 爲相聯之六齒輪.A 爲原動輪,F 爲最末之從動輪.B, C, D, E, 皆爲中輪.又設 $N_A, N_B, N_C, N_D, N_E, N_F$, 爲六輪每分鐘之迴轉數,$T_A, T_B, T_C, T_D, T_E, T_F$, 爲六輪之齒數,按齒輪定理,得

$$\frac{N_B}{N_A}=\frac{T_A}{T_B}\cdots\cdots(1)$$

$$\frac{N_D}{N_C}=\frac{T_C}{T_D}\cdots\cdots(2)$$

$$\frac{N_F}{N_E}=\frac{T_E}{T_F}\cdots\cdots(3)$$

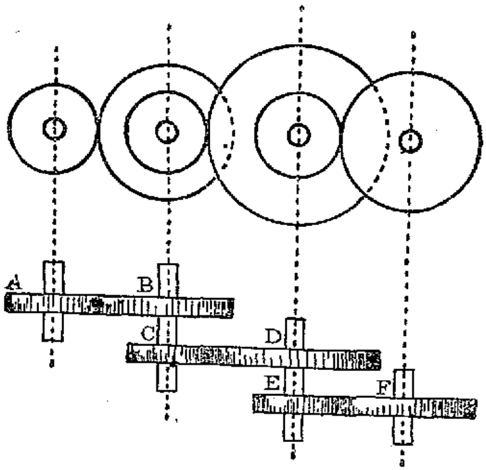
三式兩邊相乘,得

$$\frac{N_B}{N_A}\times\frac{N_D}{N_C}\times\frac{N_F}{N_E}=\frac{T_A}{T_B}\times\frac{T_C}{T_D}\times\frac{T_E}{T_F}.$$

但 B,C 二輪在一軸上,故 $N_B=N_C$,

D,E 二輪在一軸上,故 $N_D=N_E$,

故輪系之值 $e=\dfrac{N_F}{N_A}=\dfrac{T_A\times T_C\times T_E}{T_B\times T_D\times T_F}$.



第 136 圖

又就 A,B 二輪言,A 爲原動輪,B 爲從動輪.就 C,D 二輪言,C 爲原動輪,D 爲從動輪.就 E,F 二輪言,E 爲原動輪,F 爲從動輪.故上式又可用下文表示之:

末輪迴轉數對於首輪迴轉數之比,或輪系之值,等於所有原動輪齒數連乘對於所有從動輪齒數連乘之比.

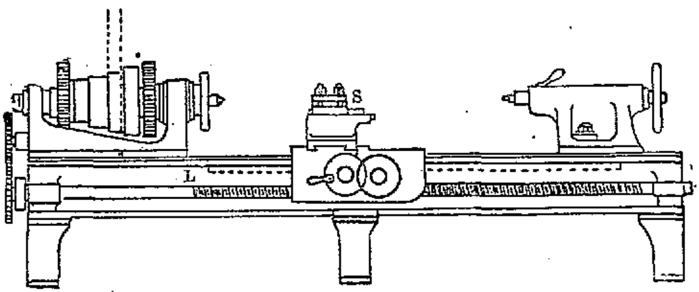
144 用複式輪系之盆. 就前段觀之,可知用複式輪系,不但有變換方向縮小面積之益,且中輪之齒數與首末兩輪

迴轉數之比亦生有關係.倘備多數齒數不同之中輪,則由適宜之配置,輪系之值,亦可任意改變焉.

又在複式輪系中,關於首末兩輪變換方向之定理,可易言之如下:

凡中軸之數爲一,或任何奇數者,則首末兩輪迴轉之方向相同.凡中軸之數爲二,或任何偶數者,則首末兩輪迴轉之方向相異.

145. 鏇床上之輪系. 鏇床上之輪系,爲輪系最普通應用之一.當用以鏇螺旋時,則刀架(卽裝置鏇刀者)在定方向前進一定之距離時,主軸須迴轉一定之次數.例如欲鏇一每吋12線之右螺旋,則當刀架向左移動1吋時,主軸須迴轉12次.如欲鏇一每吋12線之左螺旋,則當刀架向右移動1吋時,主軸須迴轉12次.



第137圖

第137圖表示一普通鏇床之正面.S爲刀架,L爲導螺旋(Leading Screw).導螺旋上普通皆具右螺旋線,經過刀架上之

陰螺旋孔.故導螺旋迴轉時,刀架即因之左右移動.其移動之向左或向右,一視導螺旋迴轉之方向而異.又因主軸迴轉之方向不變,故所鏇螺旋線之或左或右,亦一視導螺旋迴轉之方向而異.由軸與導螺旋之間,由一輪系連接之,其中有數輪可以任意更換.故備若干齒數不同之齒輪,隨意組合,則導螺旋與主軸之速比,可以任意改變.故所鏇螺旋線之或左或右與每吋中之線數,亦可任意而定.

設n=所鏇螺旋每吋之線數,

P=導螺旋之螺節(Pitch),

當鏇刀沿導螺旋移動1吋時.

則導螺旋迴轉之數必為$\frac{1}{P}$.

因所鏇之螺旋,在此時間內須出n線,

故主軸迴轉之數必為n.

即導螺旋與主軸之速比當為$\frac{1}{P}\div n=\frac{1}{nP}$.

設主軸上之齒輪為首輪,導螺旋上之齒輪為末輪,如輪系係單式,則但使

$$\frac{\text{首輪之齒數}}{\text{末輪之齒數}}=\frac{1}{nP},\text{即得所求之線數.}$$

如輪系係複式,則應自首輪起,先察其何為原動輪,何為從動輪,但使

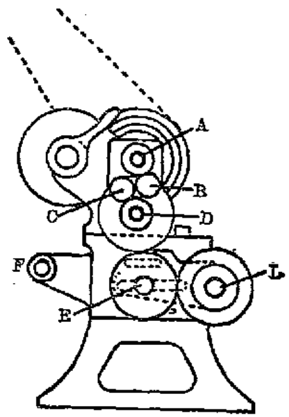
$$\frac{\text{各原動輪齒數連乘}}{\text{各從動輪齒數連乘}}=\frac{1}{nP},\text{即得所求之線數.}$$

如複式輪系中,有數個單輪,則計算時可重複之,一次為

原動輪,一次爲從動輪.或不計之,其結果相同.

至所鏇螺旋線之或左或右,須視主軸與導螺旋間中軸數目之爲奇爲偶而定.如擬鏇一右螺旋,則導螺旋須與主軸迴轉之方向相同,即中軸之數目須爲奇數.如擬鏇一左螺旋,則導螺旋須與主軸迴轉之方向相異,即中軸之數目須爲偶數.

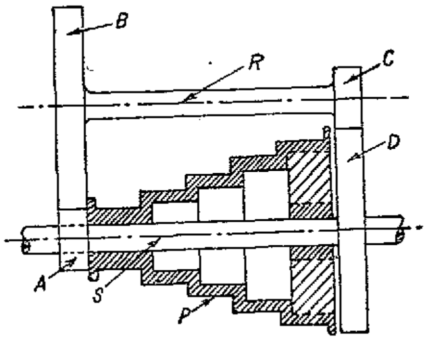
第138圖表示一普通鏇床之側面.A爲主軸.L爲導螺旋.B,C,D,E皆爲中軸.F爲橫臂,中備長孔.E軸可沿之移動,以便E軸上可裝置大小不同之齒輪,與D,L二軸上之齒輪相接.B,C二軸,固定於同一臂上.此臂如向下推轉時,則B軸上之齒輪即與A軸上之齒輪不相銜接.C軸上之齒輪,即介於A,D二軸之間.故中軸之數目減一,因之導螺旋對於主軸迴轉之方向自異.所鏇螺旋線之或左或右,亦遂因此而分.



第138圖

146. 原動輪與從動輪在同心軸上. 如將一輪系之原動輪與最末之從動輪裝置於同心之兩軸上,則全輪系所占之面積尤小.普通鏇床上之背輪(Back Gear)即其一例.如第139圖,P爲鏇床上之塔輪.A,B,C,D爲四齒輪.A輪固定於塔輪上,與一平行軸R上之B輪相銜接.R軸上之C輪,復與主軸

上之D軸相銜接.主軸與塔輪軸同心,但非係一軸.R軸對於S軸之位置,可以任意移動.移近之,則輪系發生作用.D輪對於塔輪亦可由一螺旋夯合之.



續 139 圖

當不用背輪時,將R軸推遠,一面將D輪管於塔輪上,主軸之速率,遂與塔輪之速率相同.如塔輪有四級,卽可直接得到四種不同之速率.

當用背輪時,一面使D輪與塔輪分開,一面將R軸移近,使兩對齒輪均彼此銜接.塔輪之迴轉運動,先由A輪傳於B輪.再由C軸傳於D輪而達於主軸.其速比如下:

$$\frac{\text{主軸之速率}}{\text{塔輪之速率}}=\frac{A\text{輪之齒數}\times C\text{輪之齒數}}{B\text{輪之齒數}\times D\text{輪之齒數}}.$$

如塔輪有四級.又可得四種不同之速率.

147. 時鐘上之輪系.　第140圖,表示一普通時鐘上之輪系.各輪附近之數字,皆係代表輪之齒數.卡子(Verge or Anchor)O隨同擺P擺動,倘此擺每秒鐘擺動一次,則每當擺動兩次或每經過兩秒鐘,卡子下之放力輪(Escape Wheel)卽迴轉一齒.故A軸每分鐘必迴轉一整週,用以帶動秒針S,極爲適宜.

A與C兩輪間輪系之值爲

$$\frac{C\text{軸之迴轉數}}{A\text{軸之迴轉數}}=\frac{8\times 8}{60\times 64}=\frac{1}{60}.$$

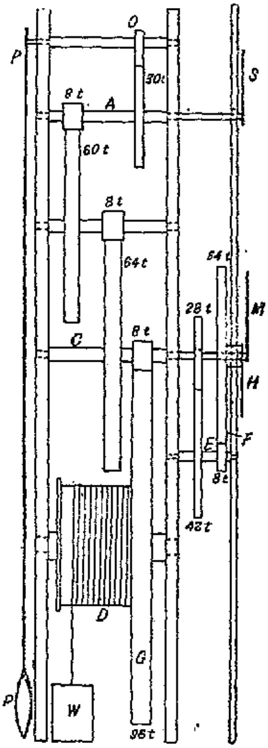
卽 A 軸每當迴轉60週時,C 軸卽迴轉 1 週.故 C 軸宜於帶動分針 M.

時針 H 之迴轉軸與分針 M 之迴轉軸同心.惟係用一空筒軸頭裝置於鬆輪 F 上(F 輪並未固定於 C 軸上).F 輪對於 C 軸係由一輪系及一中軸 E 連接之.此輪系之值為

$$\frac{H\text{針之迴轉數}}{M\text{針之迴轉數}}=\frac{28\times 8}{42\times 64}=\frac{1}{12}.$$

故 F 輪宜於帶動時針 H.

又因 D 捲筒上所連之齒輪 G,其齒數為96,與 C 軸上 8 齒之輪相銜接.故每當分針迴轉12週時,D 筒卽迴轉一週,卽每一晝夜,D 筒卽迴轉兩週.若欲此鐘自行 8 日,方重上一次,則 D 筒上之鏈索至少須纏繞16週.

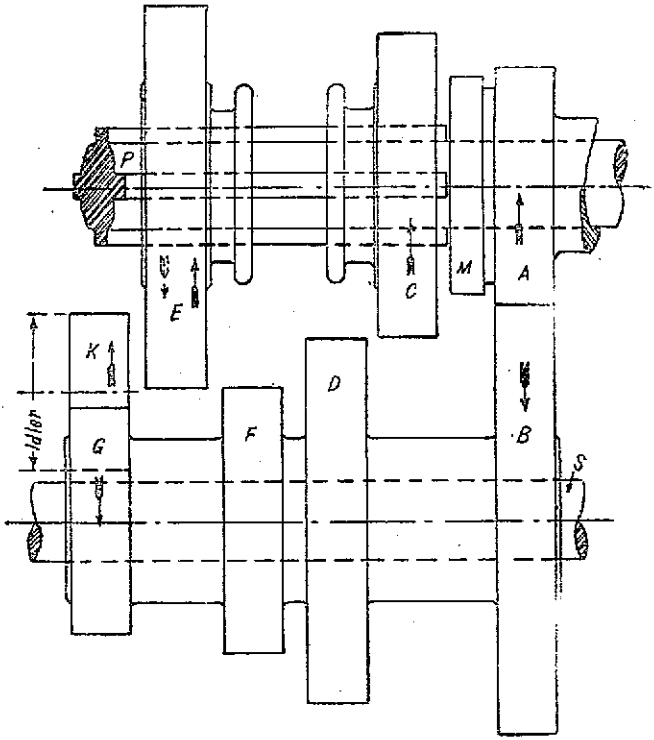


第 140 圖

148. 汽車上之輪系(Automobile Transmission). 第141圖表示普通汽車上變化速率之輪系,能由之得到三種前進之速率及一種後退之速率.

齒輪 A 裝置於直接由發動機帶動之套管之一端.在 P 軸之一端自由迴轉.在對軸 S 上,有 B,D,F,G 四齒輪,彼此固定於一處,恆發生同一之迴轉運動.全組之目的,係使 A 輪按一定

之速率迴轉,而使P軸在同一方向,能得三種大小不同之速率迴轉.在相反之方向,能得一種速率迴轉.



第 141 圖

B輪與A輪互相銜接,故對軸迴轉之方向與A輪相反,且對軸迴轉數對於A輪迴轉數之比等於A輪之齒數對於B輪齒數之比.

C,E兩輪在圖上所示之位置時,對軸之迴轉無甚作用,卽全組位於中立之地位.

A輪左邊之輪轂M,其周圍具有若干突起部,C輪右邊之內部,則具有相當之槽.當C輪向右移動時,能與M上之突起部互相嵌合,結於一處.又因C輪係沿P軸上之長鍵滑向左右,故當C輪隨M迴轉時,P軸卽隨之迴轉.結果使P軸按A輪同一之速率迴轉,得傳動之高速(High Speed).

如將C輪由現在之地位向左移動,使與D輪互相銜接,則

$$\frac{P\text{之速率}}{A\text{之速率}}=\frac{A\text{輪之齒數}\times D\text{輪之齒數}}{B\text{輪之齒數}\times C\text{輪之齒數}},$$

得傳動之中速(Intermediate Speed).

如將C輪置於圖上所示之地位,將E輪向右移動,使與F輪互相銜接,則

$$\frac{P\text{之速率}}{A\text{之速率}}=\frac{A\text{輪之齒數}\times F\text{輪之齒數}}{B\text{輪之齒數}\times E\text{輪之齒數}},$$

得傳動之低速(Low Speed).

如將E輪由其中立之地位向左移動,使與惰輪K互相銜接,K輪則係由G輪帶動,則

$$\frac{P\text{之速率}}{A\text{之速率}}=\frac{A\text{輪之齒數}\times G\text{輪之齒數}}{B\text{輪之齒數}\times E\text{輪之齒數}}.$$

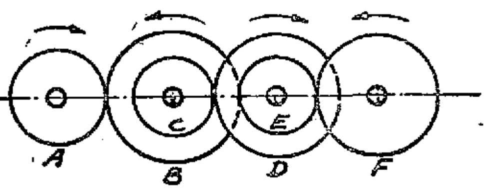
因G,E兩輪中間插入一惰輪,故E輪或P軸迴轉之方向與A輪迴轉之方向相反,卽得到後退之結果.

習 題

1. 何謂輪系?何謂輪系之值?試分別述之.

2. 在單式輪系與複式輪系,中輪各有何益?試分別述之.

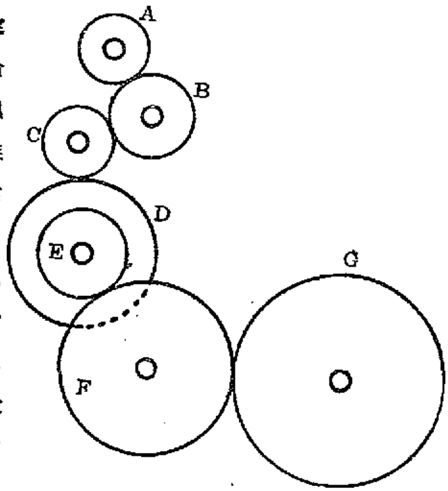
3. A,B,C,D,E,F共組成一複式輪系,其連接法如第142圖所示.倘T_A,T_B,T_C,T_D,T_E,T_F代表六輪之齒數,N_A,N_B,N_C,N_D,N_E,N_F代表六輪每分鐘之迴轉數.試證



第 142 圖

$$\frac{N_F}{N_A}=\frac{T_A\times T_C\times T_E}{T_B\times T_D\times T_F}.$$

4. 第143圖,表示一鏇床上之輪系.A輪固定於主軸上.G輪固定於導螺旋軸上.A,B,C,D,E,F六輪之齒數爲24, 24, 24, 48, 40, 60.導螺旋之螺節爲$\frac{1}{2}$吋.如欲在主軸上鏇每吋8線之螺旋,問G輪之齒數當爲若干?



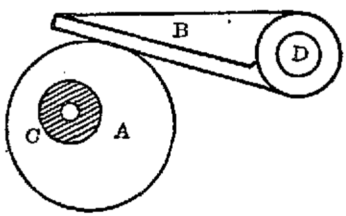
第 143 圖

5. 某鏇床上之塔輪共有四級,各級之直徑爲$3\frac{1}{4}''$, $4\frac{1}{2}''$, $6''$, $7\frac{3}{4}''$.對軸上之塔輪,其各級之直徑爲$8\frac{13}{16}''$, $7\frac{3}{4}''$, $6''$, $4\frac{1}{2}''$.對軸每分鐘之迴轉數爲275次.其背輪輪系上各輪之齒數,計A有28齒,B有84齒,C有28齒,D有84齒(參看第139圖).問此鏇床工作時能得之速率各爲何?

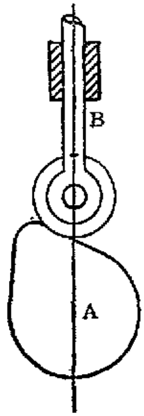
第十章

凸輪 (Cams)

149. 凸輪之定義及其應用. 凸輪一譯偏突輪,係一平板或一圓柱或一任何形狀之固體,具有一曲線之周緣(Curved Outline) 或一曲線之凹槽 (Curved Groove), 當繞一定之軸迴轉時,卽能將機械一部之等速連續運動變爲他一部所預期之不等速或不連續運動之機件也.有時凸輪本身亦有爲上下或往復運動者,惟應用較少.



第 144 圖



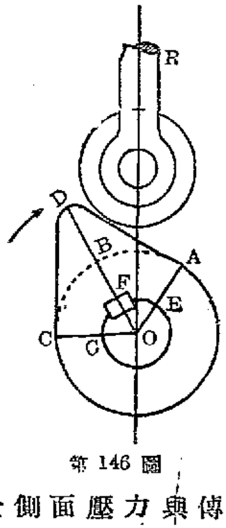
第 145 圖

由圓周運動變爲往復擺動者,如第144圖所示:A為凸輪,

B爲傳動桿. C爲原動軸. D爲從動軸. 當C軸迴轉時, A遂作用於B. D軸即爲往復之擺動.

由圓周運動變爲上下運動者, 如第145圖所示. 因凸輪A之動作, 導路之約束, B桿遂發生上下運動.

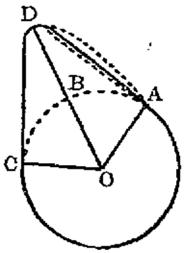
150. 凸輪各部之名稱. 凸輪周緣之形狀不一, 因之其動作之效果斯異. 又原動部普通皆爲等速運動, 而從動部則否. 至凸輪之種類雖有種種不同, 其原理則無甚差異. 今就最簡單之凸輪說明其各部之名稱如下. 如第146圖, ABC爲凸輪, EFG爲凸輪軸, R爲被動之桿. OA爲凸輪之最小半徑, OD爲凸輪之最大半徑. 假設凸輪順鐘表指針迴轉之方向迴轉, 則R桿之上升必始於A而終於D. R桿之下降, 必始於D而終於C. 弧線CA一段, R必止而不動, 故AOC角謂之凸輪之作用角. AOD角謂之升角, DOC角謂之降角. 又最大半徑與最小半徑之差BD一段, 謂之從動部之總升距.



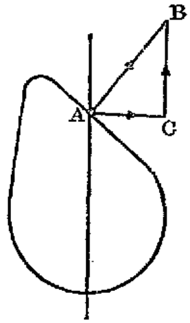
第146圖

151. 凸輪周緣之形狀對於側面壓力與傳動速率之關係. 如第147圖AOC爲作用角, BD爲從動部之總升距. 凸輪上AD一段周緣, 無論爲何形狀, 當凸輪迴轉AOD角度時, 從動部上升之距離必等於BD. 是周緣之形狀, 對於最終之總升距無關, 然對於側面壓力與傳動速率則大有關係.

如第148圖,凸輪施於從動部之力AB,恆沿接觸線法線之方向.此力可分解為AC與CB二部.CB一部為作用於從動部之力.AC一部則為側面壓力.此側面壓力不僅費能力於無用,接觸部分更因之而受損失.



第147圖



第148圖

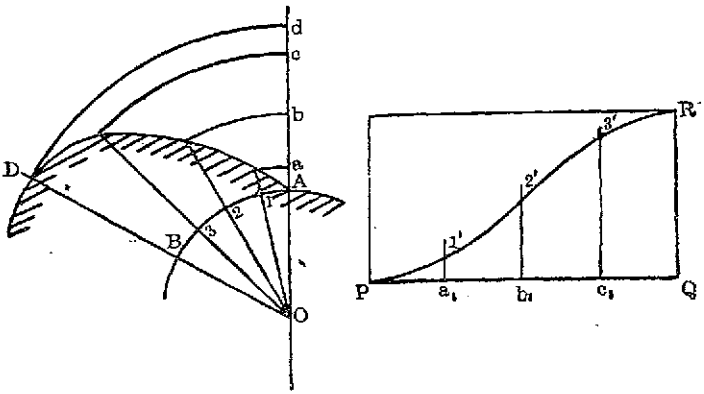
又就圖上觀之,此側面壓力之大小,一視AD一段對於OD傾斜之角度而異.傾斜之角度愈大,側面之側力愈小.傾斜之角度愈小,側面之壓力愈大.是但就側面壓力一方面論之,周緣傾斜之角度,宜於大而不宜於小.然同一之升角,同一之總升距,如周緣傾斜之角度愈小,則傳動之速率愈高,周緣傾斜之角度愈大,則傳動之速率愈低.在各種內燃機,其出入氣瓣之啓閉,恆貴乎速而不取乎緩.是但就傳動速率一方面論之,周緣傾斜之角度,又宜於小而不宜於大.故計畫時須斟酌二者關係之輕重而取決焉.

又同一之總升距,同一之升角,若增大最小半徑,亦可減輕側面壓力.因增大最小半徑等於增大傾斜角也.

152. 凸輪周緣之製定法. 凸輪周緣之製定法,按從動部之性質及與原動部相關之地位,分下列四種述之:

(甲)從動部動作之中心線經過凸輪之中心者. 在此類

之中,又有從動部上有無轉子(Roller)之分.



第 149 圖

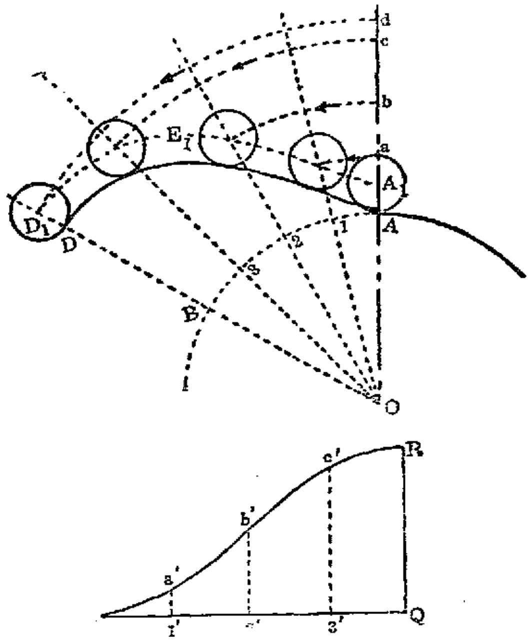
(*a*) 從動部上不帶轉子. 如第 149 圖, *OAd* 爲從動部及凸輪之中心線, *OA* 爲凸輪之最小半徑. *OD* 爲凸輪之最大半徑. *AOD* 爲凸輪之升角. *BD* 爲從動部之總升距. 將 *AOD* 角任意分爲數等分. 畫 *PQ* 平線, 代表 *AOD* 角, 並按 *AOD* 角分爲同數之等分.引長分角線 *O*1, *O*2, *O*3. 在 *PQ* 上之等分點,畫垂直線 $a_1 1'$, $b_1 2'$, $c_1 3'$, *QR* 各代表凸輪迴轉 *AO*1, *AO*2, *AO*3 等角時從動部須升之高沿 *Ad* 線, 量 *Aa*, *Ab*, *Ac*, *Ad*, 使與 $a_1 1'$, $b_1 2'$, $c_1 3'$, 及 *QR* 相等. 然後以 *O* 爲中心, 以 *Oa*, *Ob*, *Oc*, *Od* 等爲半徑, 畫弧線. 使交於 *O*1, *O*2 等之引長線. 連所交各點, 即得凸輪在升角內周緣應具之形狀. 至降角內周緣所應具之形狀,其求法亦與此相同.

(*b*) 從動部帶有轉子. 欲減少凸輪周緣之摩阻力與傷損, 恆於從動部之下部裝置一轉子. 當凸輪迴轉時, 轉子隨

之滾動,故摩阻力與傷損均因之減少.此種凸輪周線之製法,如第150圖所示.

各部之名稱,與前段無異.惟此次量從動部升起之距離時,須自轉子之中心A_1起.蓋轉子中心之動作即足以代表從動部全體之動作也.

沿A_1d線,量A_1a, A_1b, A_1c, A_1d,使各等於下圖上之$1'a'$, $2'b'$, $3'c'$, QR.再畫弧線,求與各分角線之交點.以各交點爲圓心,轉子之半徑爲半徑,各畫一小圓,然後求各小圓之內包絡線(Envelope),即得所求凸輪之周線.

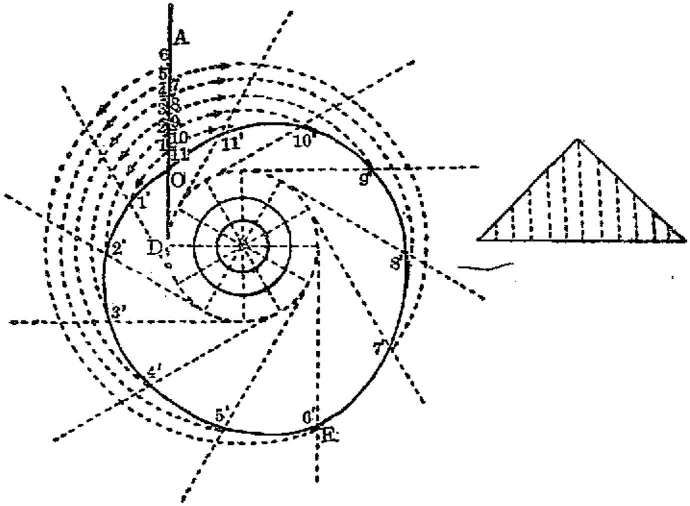


第 150 圖

又轉子中心所連之曲線,謂之凸輪之節線(Pitch Line)即圖中$A_1E_1D_1$曲線也.

(乙) 從動部動作之中心不經過凸輪之中心者. 在此類凸輪中,亦有從動部上有無轉子之分.第151圖所示者,係從動部上無轉子.AOD爲從動部運動之中心線,C爲凸輪之

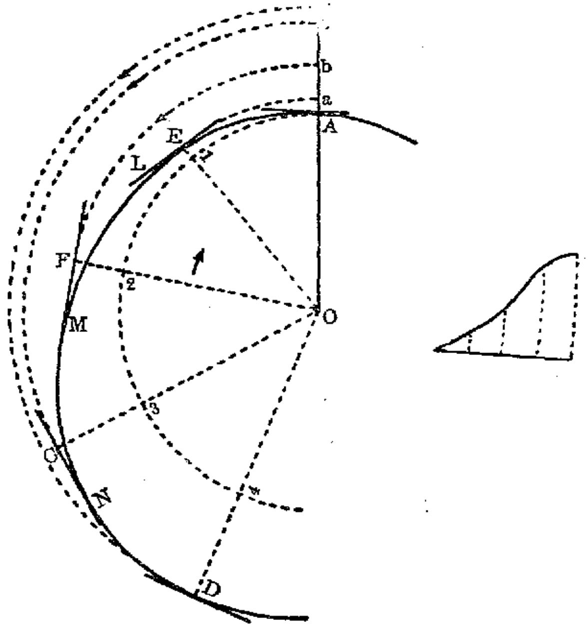
中心，CD為C點距AOD最近之距離，CO為凸輪之最小半徑，CE為凸輪之最大半徑．以CD為半徑，畫一圓，從D點起，將此圓分為若干等分，在等分點上，各畫一切線．沿OA截$O1$，$O2$，等等，使等於從動部在每分角內升高之距離．再以C為中心$C1$，$C2$等為半徑，畫弧．使與相當之切線交於$1'$，$2'$等點．連此各點，卽得所求凸輪之周緣．如從動部上有轉子時，則須先求轉子在各切線上之地位，然後畫其內包絡線，卽得所求凸輪之周緣．至其求法，與前段無異．



第 151 圖

(丙) **從動部轉子之地位係一平板者**．如第152圖，OA為凸輪之最小半徑，OD為凸輪之最大半徑，OAd為從動部運動之中心線，AOD為凸輪之升角．將AOD角任意分為數等分，

沿 Ad 線,截 Aa, Ab, Ac, Ad, 使等於凸輪迴轉至相當之角度時,

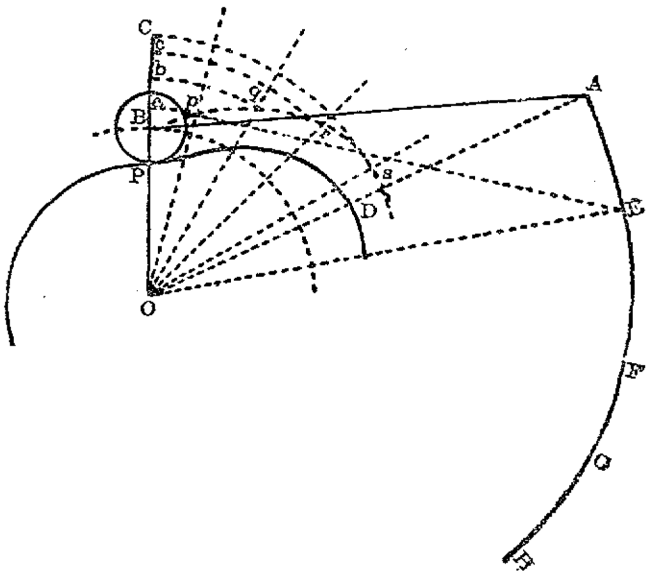


第 152 圖

從動部移動之距離,以 O 爲中心,Oa, Ob 等爲半徑,畫弧.使與 $O1$, $O2$ 等分角線之延長線相交,然後在各交點上各畫一垂直線,再畫此各垂直線之包絡線,即得所求凸輪之周線.惟接觸點未必在從動部運動之中心線上.

(丁) 從動部係一往復之槓桿且帶有轉子者.

如第153圖,O 爲凸輪軸之中心,AB 爲槓桿.當凸輪轉動時,此桿即繞 A 軸往復擺動.B 端備有轉子.POD 爲凸輪之升角,BAC 爲槓桿之往復角.將 POD 角任意分爲數等分.沿 BC



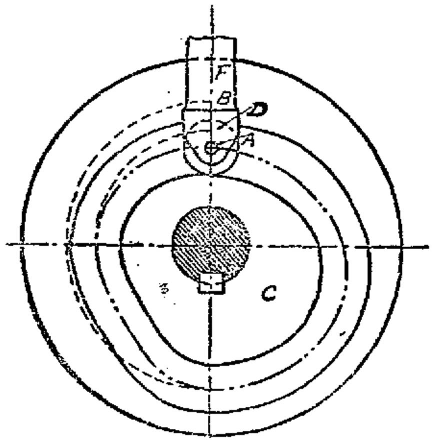
第 153 圖

弧線,截 Ba, Bb, Bc, Bd 等弧,使 BAa, BAb 爲凸輪迴轉至相當之分角時,槓桿 AB 所移動之角度.至求凸輪之節線時,其方法如下:

假設凸輪軸係靜止,而槓桿向反對方向迴轉.以 O 爲中心,OA 爲半徑,畫 $AEFGH$ 弧.畫 AOE 角,使等於 $PO1$ 角,則 OE 必爲 OA 之新地位.再以 O 爲中心,Oa 爲半徑,畫 ap 弧,則當凸輪迴轉 $PO1$ 角度時,轉子之中心必在 ap 弧上.又以 E 爲中心,AB 爲半徑,畫弧,使與 ap 弧相交於 P 點,則 P 點必爲凸輪迴轉 $PO1$ 角度後轉子之中心.蓋 AB 爲一堅固之桿,A 移於 E, B 必不能外以 AB 爲半徑之弧線上也.

用同一方法.可得q,r,s,等點為凸輪迴轉至相當角度時轉子之中心,然後以所得各點為中心,轉子之半徑為半徑,各畫一小圓,此數圓之內包絡線卽為所求凸輪之周線.

153. 確定運動凸輪(Positive Motion Cam). 凡不待重力或彈簧之彈力卽能使從動部仍復其原來地位之凸輪,謂之確定運動凸輪.以前所述之數種凸輪對於其從動部只有使之遠離之力.其從動部常能與凸輪之周線保持接觸者,普通多係依賴一種外力,如從動部本身之重力及彈簧之彈力等等.如欲使從動部遠離及接近均不待任何外力,則凸輪之作用均及於從動部轉子之兩邊.最普通者如第154圖所示.

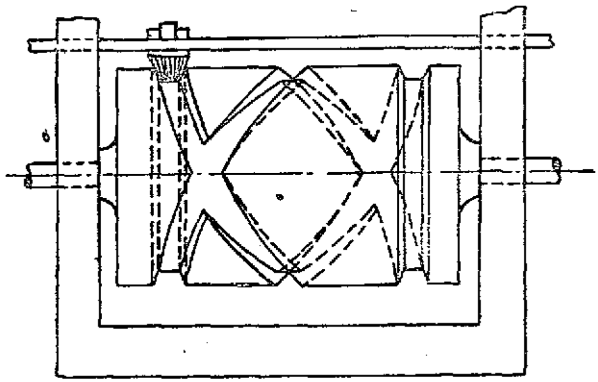


第 154 圖

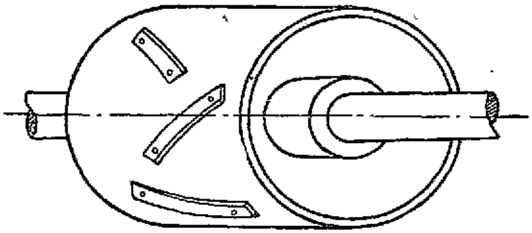
使從動部之轉子嵌入凸輪平面上之一槽中.槽之中心線,相當凸輪之節線,其寬度則處處與轉子之直徑相等.如此,則從動部無論向上或向下,皆有確定之運動矣.

154. 圓柱形凸輪(Cylindrical Cams). 此種凸輪之製法,係依照從動作之情形,或於一圓柱體之表面洗出一定形狀之凹槽,或於一圓柱體之表面裝置若干曲形薄板,使彼此聯

貫成一定之路線如第155及156兩圖所示.



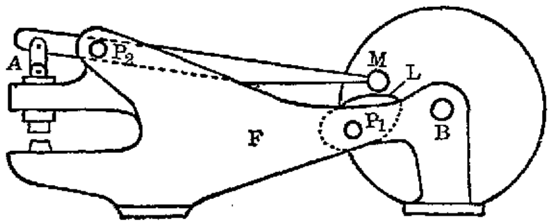
第 155 圖



第 156 圖

又在第二種,普通多於圓柱體上多備若干釘孔以便變更各曲形薄板之位置.因之變更從動部運動之情形.

155. 壓穿機 (Punching Machine) 上之凸輪.



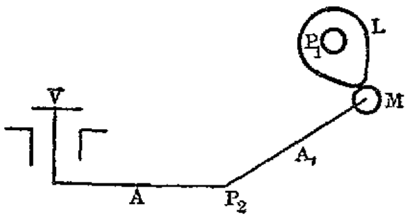
第 156 圖

第156圖表示一簡單壓穿機之重要部分. A 爲連桿,工具卽固定於其下部. B 爲機軸. 上置飛輪, F 爲機架之一部. P_1 爲凸輪軸. P_2 爲槓桿軸. L 爲凸輪. 爲轉子. P_1 之動作,由齒輪之作用,從 B 輪傳來,故機軸迴轉,凸輪卽隨之迴轉. A 端之工具遂下降而發生工作.因槓桿近凸輪之一端較重,故其轉子永與凸輪相接觸. 又壓穿機工具之動作,其必要之條件如下:

(*a*) 當穿孔時,其動作須緩而勻. (*b*) 當提起時,其動作須速,以省時間. (*c*) 每次工作至下次工作之時間內,工具須停止片時,使工人從事布置. (*d*) 工人布置以後,工具須先降至接觸板面處一處,再重行提起,以察位置之是否正確.故計畫凸輪之周緣時,當根據此四者而定.

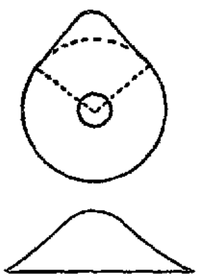
156. 煤氣機與油機上之凸輪. 煤氣機與油機上之各氣門,多由邊軸 (Side Shaft) 上之凸輪與氣辦上之彈簧司其啓閉. 第157圖表示一煤氣機出氣門之裝置. AA 爲曲槓桿之二臂, L 爲邊軸上之凸輪. M 爲轉子, V 爲出氣辦. P_1 爲邊軸 P_2 爲槓桿軸. 邊軸之動作,由螺旋輪從機軸之動作傳來,其速比多爲二比一,卽機軸迴轉兩次,邊軸方迴轉一次. 因普通煤氣機,多於四衝程中始有一排除衝程 (Exhaust Stroke),卽機軸每迴轉二次中,或邊軸每迴轉一次中,其四分之一爲排除衝程所占. 換言之,卽作用出氣辦之凸輪,其作用角須爲 $90°$ 也 (實際上出氣辦每於排除衝程之先卽行微啓. 故作用

角實微大於90°).

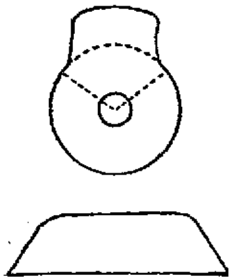


第 157 圖

至出氣瓣啓閉之速度,恆視凸輪周緣之形狀而異.設形狀如第158圖所示時,則啓閉皆緩,且氣瓣全開之時間短.設形狀如第159圖所示時.則啓閉皆速,且氣瓣全開之時間長.



第 158 圖

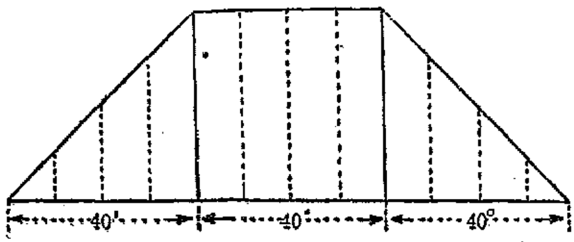


第 159 圖

習題

1、凸輪周緣之形狀,對於側面壓力與傳動速率,各有何種關係?試詳言之.

2. 某凸輪之最小半徑爲$1\frac{1}{2}$吋.從動部之總升距爲1吋.作用角爲120°.從動部運動之中心線經過凸輪之中心.從動部動作之速度,如第160圖所示.

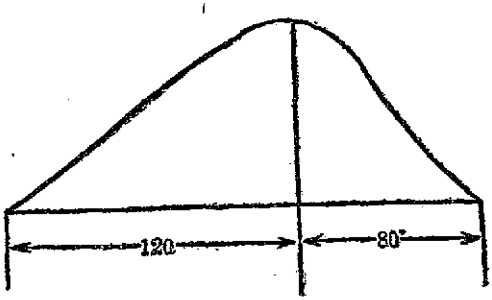


第 160 圖

在前40°,從動部按等速運動上升;在中40°,從動部完全靜止;在後40°,從動部按等速運動下降.倘從動部與凸輪接觸處無轆子.試求出凸輪周線之形狀.

3. 上圖如從動部與凸輪接觸處有一轆子,其半徑爲3/8吋 試求此凸輪周線之形狀.

4. 某凸輪之最小半徑爲3吋.升角爲120°,降角爲80°,從動部之總升距爲3吋.其升降之速度如第161圖所示.倘轆子之半徑爲1吋.從動部動作之中心線經過凸輪之中心.試求此凸輪周線之形狀.



第 161 圖

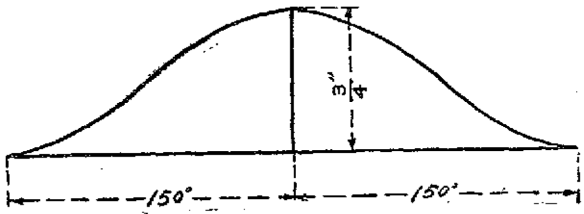
5. 今有一直立之桿,擬借凸輪之作用使之發生上下運動.運動之距離爲4吋.凸輪之升角爲120°,降角爲240°,升降皆係等速運動.最小半徑爲3吋,轆子之半徑爲1/4吋,從動部運動之中心線經過凸輪之中心,試求此凸輪之周線.

6. 第二題,倘從動部運動之中心線與凸輪中心之垂直距離爲1吋

試求其周緣.

7. 第四題,倘從動部運動之中心線與凸輪中心之垂直距離為1吋,試求其周緣.

8. 某凸輪之最小半徑為$1\frac{1}{2}$吋,升角為150°,降角為150°.從動部之總升距為$\frac{3}{4}$吋,其升降之速度如第162圖所示.從動部與凸輪接觸處,係一$\frac{1}{2}$吋長之平板,其運動之中心線經過凸輪之中心.試求此凸輪周緣之狀形



第162圖

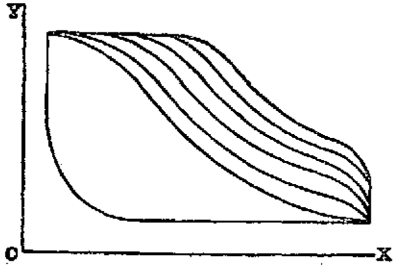
第十一章

調速器 (Governors)

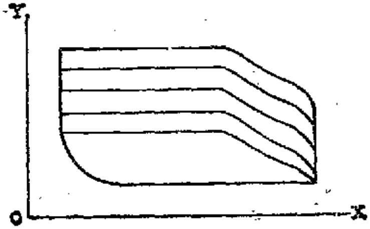
157. 調速器之功用. 一發動機速率上發生變化,普通有下列兩種原因: (a) 在一循環(Cycle)內或一迴轉內,發動機所發之作力有時較多於外部所需之抵力,有時較少於外部所需之抵力,因之速率上發生變化. (b)在較長之時間內,發動機之載荷(Load)增大或減小,因之速率上發生變化.

在第一種,普通多用一飛輪調節之,即在機軸上裝置一飛輪,當發動機所發之作力較多時,儲蓄於飛輪,變爲動能力;當發動機所發之作力不足時,復由飛輪給出以補充之.在第二種,則普通恆用一種調速器,使發動機所發之作力,隨外部之載荷而變化,因之大致保持其計畫時之速率.

158. 調速器約束發動機所發作力之方法. 玆僅就蒸汽機言之,其餘發動機亦可依此類推.在蒸汽機,調速器約束所發作力之方法,可分爲兩大類:(a) 阻瓣調速器 (Throttle Valve Governor), 即變更進入汽缸內蒸汽之壓力者. (b)自動調速器 (Automatic Governer), 即變更蒸汽在汽缸內停汽點 (Point of Out Off) 之早晚者.



第 163 圖



第 164 圖

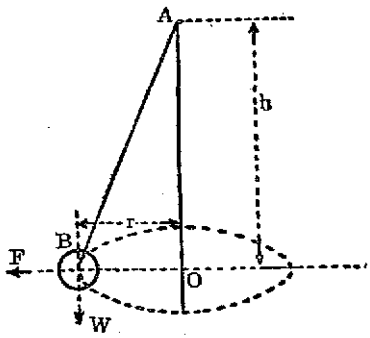
第 163 圖,表示採用阻辦式調速器之蒸汽機之工作圖.在輕載荷時,使蒸汽之壓力較低;在重載荷時,使蒸汽之壓力較高,停汽點則保持不變.第164圖,表示採用自動式調速器之蒸汽機之工作圖,蒸汽之初壓保持不變.載荷變化時,則變更停汽點之早晚.

至各種調速器動作之原理,則大致相同,即當發動機按計畫時之速率迴轉時,調速器上有一定之數力歸於平衡.速率一變,則平衡被攪動,調速器遂自行調節,按一種新地位仍歸於平衡.當由原地位易為新地位時,利用其動作以變更蒸汽之壓力或蒸汽之停汽點,結果仍歸於原來平衡之地位為止.

159. 調速器所利用之力. 調速器變更地位所利用之力,普通不外兩種:一為離心力,一為惰力.故調速器又可按所利用之力分為離心力調速器(Centrifugal Governors)與惰力調速器(Inertia Governors)兩大類.離心力調速器更可分為迴轉擺式(Rotating Pendulum Type)與彈簧約束式(Spring Controlled

Type)兩種.又惰力調速器有時稱之曰軸裝調速器(Shaft Governors).茲擇要分述之如下:

160. 迴轉擺(Rotating Pendulum or Revolving Pendulum) 如第165圖,AB為一迴轉桿,B端懸重球一,A端為活動關節.倘AB桿繞AO中心迴轉時,則重球必生離心力,向外移動,AB桿在空間畫出一尖錐形,故有時稱之為尖錐擺(Conical Pendulum).



第 165 圖

設 W= 球重,以磅計.

F= 離心力,以磅計.

h= 球距A軸之垂直高,以呎計.

r= 球距迴轉中軸之半徑,以呎計.

T= AB桿上所受之牽力,以磅計.

倘重球沿一定之周線而迴轉,則W,F與T三力必屬平衡.取三力繞A點之力率(Moment),得

$$F\times h=W\times r,$$

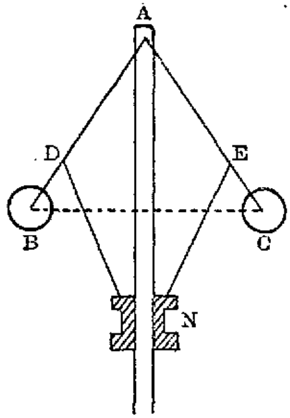
但 $F=\frac{W}{g}\omega^2 r$ (ω代表重球之角速率),

故 $\frac{W}{g}\omega^2 r\times h=Wr$,

或 $h=\frac{g}{\omega^2}$.

由上式觀之,可知重球之高,與其角速率之自乘成反比

161. 瓦特調速器(Watt Governor). 如第166圖,倘於 AB 相對之面,再裝置一 AC 桿.復於 AB, AC 二桿上之 DE 二處,裝置 DN 與 EN 二桿,用活動關節以連於 N 筒,則 N 筒必因重球之升降而升降,且其升降之程度,更因多加此二桿而放大焉.利用此升降之動作,由適宜之機構以達於阻汽瓣,即能變更進入汽缸內蒸汽之壓力.瓦特最初發明之調速器,其構造即如此.故此種裝置,謂之瓦特調速器.就 $h=\frac{g}{\omega^2}$ 式推之,如 N 代表重球每分鐘之迴轉數.



第 166 圖

則
$$\omega=\frac{2\pi N}{60},$$

故
$$h=\frac{60^2\times g}{4\pi^2N^2}=\frac{900g}{\pi^2N^2}\text{呎}=\frac{35235}{N^2}\text{吋}.$$

茲將 h 與 N 相對之數目列表於下:

每分鐘之迴轉數 N	球高之吋數 h
60	9.788
80	5.505
100	3.524
150	1.566
200	0.8[illegible]1
250	0.564
300	0.392

就上表觀之,可知重球之高,不因迴轉數之增加為同比例之減少.迴轉緩時,減少之高度較大.迴轉速時,減少之高度較小.故迴轉速率如超過每分 300 次以上時,則球高之變化幾不能借之得均速之作用焉.

162. 荷重調速器(Loaded Governor). 欲矯正前段所言之缺點,於二重球上加重 W',則遇同一之速率變化,重球高度之變化較大,此種調速器,謂之荷重調速器,其構造如第167圖所示.

設 W = 球重,以磅計.

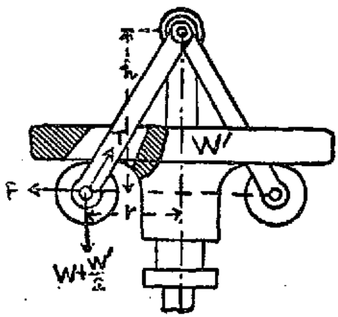
W' = 荷重,以磅計.

F = 球之離心力,以磅計.

h = 球高,以呎計.

r = 球距迴轉中軸之半徑,以呎計.

T = 桿上所受之牽力,以磅計.



第 167 圖

因外加之重,係二桿所支持,故 BC 二處所受之重力各等於 $W+\frac{W'}{2}$.

取各力繞 A 點之力率,得

$$F\times h=\left(W+\frac{W'}{2}\right)\times r,$$

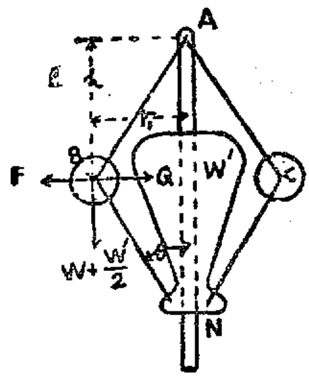
但

$$F=\frac{W}{g}\omega^2r,$$

故
$$\frac{W}{g}\omega^2 r \times h=\left(W+\frac{W'}{2}\right)\times r,$$
$$\frac{2W}{g}\omega^2 h=2W+W',$$
或
$$h=\left(\frac{2W+W'}{2W}\right)\frac{g}{\omega^2}.$$

$2W+W'$ 永大於 $2W'$,故同一之速率,荷重調速器之高,永大於瓦特調速器之高,因之調速器之靈敏度增加焉.

163. Porter 調速器 此調速器,乃就荷重調速器復加以改良者,其構造如第 168 圖所示.於二重球之下部復各置一桿,由活動關節以連於 N 筒. N 筒之上置重 W'. 假設上部二桿與下部二桿之長相等,則重球之高可求之如下:



第 168 圖

設 W= 球重,以磅計.

W'= 外加之重,以磅計.

F= 球之離心力,以磅計.

T= 桿上所受之牽力,以磅計.

Q= T 力水平分解部,以磅計.

h= 球高,以呎計.

r= 球距迴轉中軸之半徑,以呎計.

θ= 桿對迴轉中軸之傾斜角.

因 W' 爲二牽力所支持,且牽力之傾斜角爲 θ.

故
$$2T\cos\theta=W'.$$
或
$$T=\frac{W'}{2\cos\theta}.$$

T 力在 B 點又可分解爲水平與垂直二部.

水平方向者 $= T\times\sin\theta = Q$（假定），

垂直方向者 $= T\cos\theta = \dfrac{W'}{2\cos\theta}\times\cos\theta = \dfrac{W'}{2}$.

故 B 點之力有四：(一)垂直之力 $=\dfrac{W'}{2}+W$. (二)球之離心力 $F=\dfrac{W}{g}\omega^2 r$. (三) T 力水平分解部 $Q=\dfrac{W'}{2}\tan\theta$. (四)沿 AB 之牽力.取各力繞 A 點之力率,則 AB 上之牽力,因其施力線經過 A 點,故其力率等於零.其餘三力,得

$$(F-Q)\times h=\left(\frac{W'}{2}+W\right)\times r,$$

或
$$\left(\frac{W}{g}\omega^2 r-\frac{W'}{2}\tan\theta\right)h=\left(\frac{W'}{2}+W\right)\times r.$$

但
$$\tan\theta=\frac{r}{h},$$

故
$$\left(\frac{W}{g}\omega^2 r-\frac{W'}{2}\times\frac{r}{h}\right)\times h=\left(\frac{W'}{2}+W\right)\times r,$$

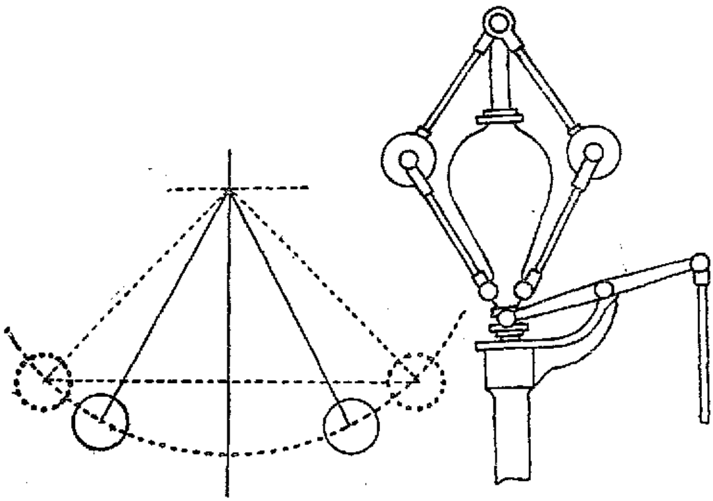
$$\frac{W}{g}\omega^2 h-\frac{W'}{2}=\frac{W'}{2}+W,$$

或
$$h=\left(\frac{W'+W}{W}\right)\frac{g}{\omega^2}.$$

由上式觀之,可知 $\dfrac{g}{\omega^2}$ 之倍數,由 $\dfrac{2W+W'}{2W}$ 變爲 $\dfrac{W'+W}{W}$. 如 W 與 W' 係一定之數值,則後者之值永較前者爲大.且因用下部二桿之故, N 筒上升之距離,更等於重球上升距離之二倍(假設上下四桿等長),故調速器之靈敏度較前尤大也.

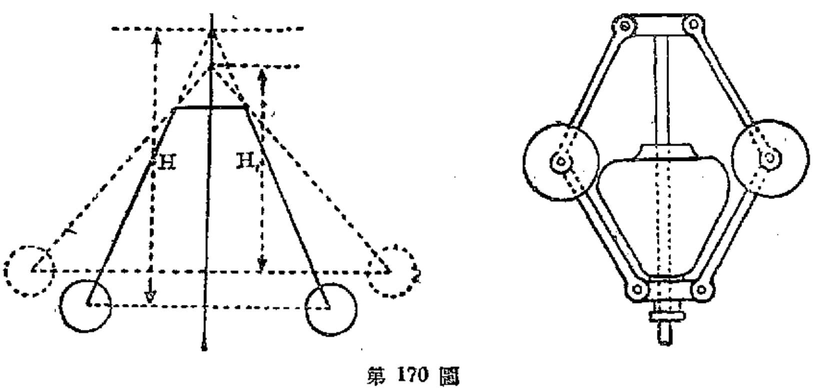
164. 調速器上部兩桿連於中軸之方法. 調速器上部下部兩桿連於中軸之方法有三:

(*a*) 兩桿皆連於中軸之中心線,如第169圖.



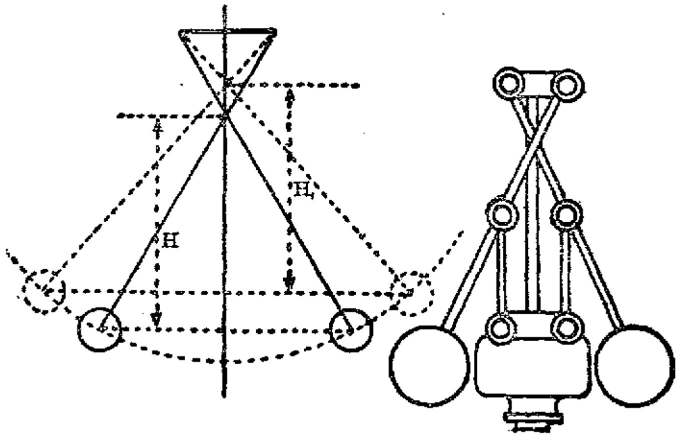
第 169 圖

(*b*) 兩桿上端,距迴轉中軸各有一定之距離,如第 170 圖所示.



第 170 圖

(c) 兩桿上部交叉於中軸,其上端則超過中心,在反對方向距迴轉中軸各有一定之距離,如第171圖.

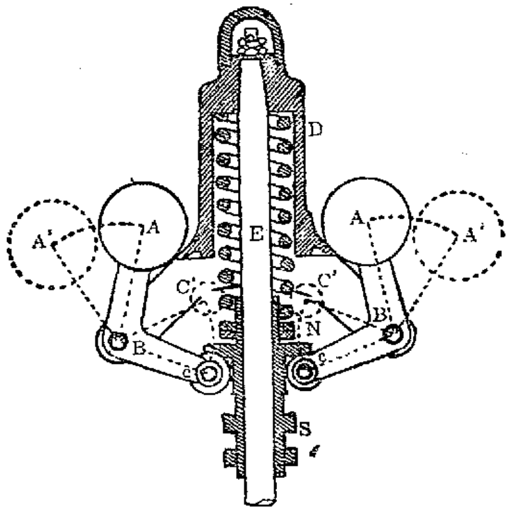


第 171 圖

以上三圖,實線表示速率較低時重球之地位,虛線表示速率較高時重球之地位.如H等於速率較低時重球之高,H^1等於速率較高時重球之高,則第一種連法,重球實升之高,等於$H-H_1$,第二種連法,重球實升之高,小於$H-H_1$.第三種連法,重球實升之高,大於$H-H_1$.故第三種連法,應用上最為靈敏,第一種次之,第二種最下.惟就製造上言之,第二種最為簡易,第一第三兩種較為繁難.

165. 彈簧約束式調速器. 彈簧約束式調速器之種類繁多,茲將 Hartneil 調速器述之如下:

如第172圖,A為重球,ABC為曲槓桿,D為彈簧,E為中軸,N為陰螺旋環,S為上下動作筒.如發動機之速率增高,則



第 172 圖

A 球由離心力之作用,向外移動.槓桿之 C 端遂反抗彈簧之彈力向上推動 S 筒,因之達到調速之目的;若發動機之速率減低,則彈簧又推動 S 筒使之下降.

又螺旋環 N 係用以變更彈簧之初壓 (Initial Tension),以變更調速器之靈敏度者.蓋同一發動機,倘稍減其調速器之靈敏度,可多發原動力也(卽徵超過其所應負之載荷).

166. 自動調速器或軸裝調速器. 此種調速器多用於速率較高工率較大之蒸汽機.因其作用係自動的變更停汽點之早晚,故稱之曰自動調速器.又因此種調速器多直接裝置於飛輪上或機軸上,隨同機軸迴轉,故又稱之曰軸裝調速器.

在所有軸裝調速器,其迴轉之平面恆垂直於機軸之中心,其所在之地位,由迴轉時所發之離心力與惰力 (Inertia force) 反抗固定於輪上之一彈簧或數彈簧之牽力之結果而定.在採用此種調速器之蒸汽機,其偏心輪不固定於機軸上,而連結於調速器上.當調速器因速率變更而改變地位時,偏

心輪之中心亦隨之移動,結果改變停汽點之早晚,以適應外部所需之工作.

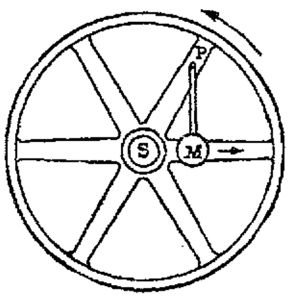
又按使調速器發生地位變更之力之性質,軸裝調速器又可分爲兩種.

(a) 離心力軸裝調速器.

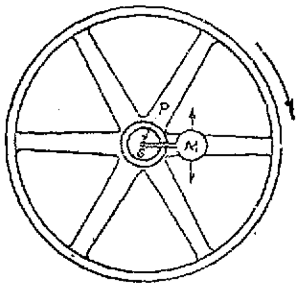
(b) 惰力軸裝調速器.

實際上在離心力軸裝調速器,每有相當之惰力.在惰力軸裝調速器,每有相當之離心力.

離心力軸裝調速器之原理,如第173圖所示.圖中S爲機



第173圖



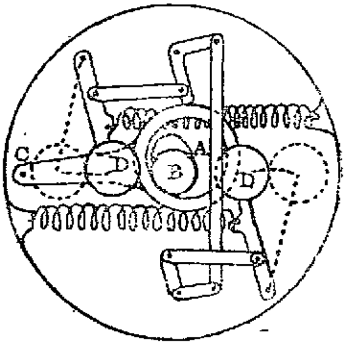
第174圖

軸M爲一重塊,由一彈簧裝置於飛輪上之P點.當飛輪迴轉時,M發生相當之離心力,反對彈簧之彈力由機軸之中心向外移動.速率增高時,向外移動之距離較大.速率降低時,由彈簧之彈力,仍使之向內移動,利用此種內外之移動以變更偏心輪之地位.

惰力軸裝調速器之原理,如第174圖所示.重塊W裝置於

軸上或輪上之點,幾在軸之中心,當迴轉時所生之離心力對於調速器幾無甚影響,只在彈簧上或連桿上發生相當之牽力,但當速率忽而增高或忽而減低時,則發生一種惰力亦反對彈簧之彈力比較落後,或比較趨前.利用此種前後之移動,以變更偏心輪之地位.

167. 離心力軸裝調速器 第 175 圖,表示一種軸心力軸裝調速器之構造.圖中 A 爲偏心輪,B 爲機軸,通過偏心輪之弧形孔.故偏心輪可繞 C 軸爲弧線之運動.DD 爲二重球或二重塊,當速率增高,二重塊由離心力之作用向外移動,再借連桿與槓桿之作用,使偏心輪對於曲柄傾斜之角度,因之增大,蒸汽之停汽點遂

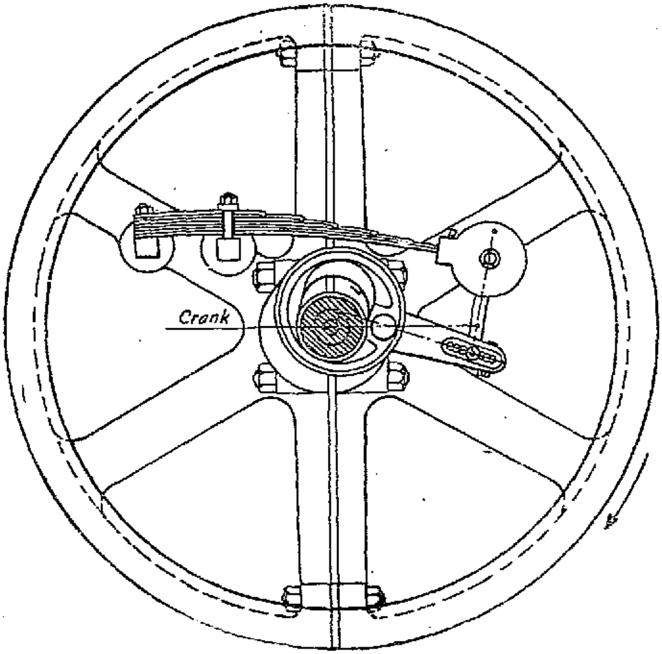


第 175 圖

變早.當速率降低.二重塊又因彈簧之牽力使之向內移動,結果與前適反,卽蒸汽之停汽點遂變晚.

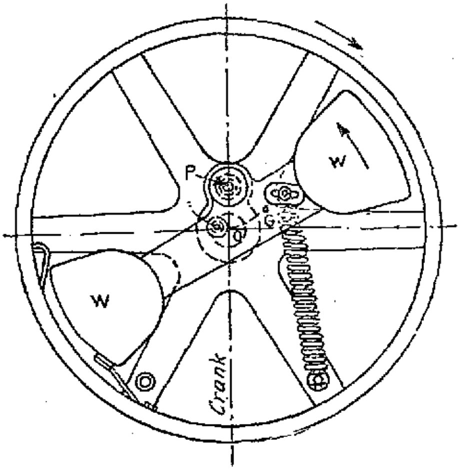
第 176 圖,表示 Robb-Armstrong 調速器之構造,亦係一種離心力軸裝調速器,所利用之力,大部係離心力,但同時亦助以相當之惰力.其作用由圖上觀之,卽可明瞭.無待贅述.

168. 惰力軸裝調速器 第 177 圖表示 Rites 調速器之構造,係惰力軸裝調速器之一種.在高速率蒸汽機上採用最多.重要之部分係一重桿,兩端各懸一重塊 W.裝置於一軸 P 上,



第 176 圖

全部之重心在 G 點,即想像全部之質量聚於 G 點.迴轉時其所生之離心力與彈簧之牽力相合,使調速器位於一定之地位,當載荷增加,速率減低時,重塊與重桿所生之惰力使重桿繞 P 點向右迴轉,移動偏心輪,使停汽點變晚.反之,則使重桿繞 P 點向左迴轉,移動偏心輪,使停汽點變早.



第 177 圖

習　題

1. 瓦特調速器,何以不能用於速率較高之發動機?試舉其理.

2. 在荷重調速器,如 $W=$ 球重,$W'=$ 荷重.$\omega=$ 調速器每秒鐘之角速率,$g=$ 地心吸力之加速率,試證

$$\text{球高}\, h=\left(\frac{2W+W'}{2W}\right)\frac{g}{\omega^2}.$$

如 $W=4$ 磅,$W'=40$ 磅,調速器之速率由每分鐘 200 次變爲每分鐘 210 次.問球所升之高爲若干吋?

3. 在 Porter 調速器,如 $W=$ 球重,$W'=$ 外加之重,$\omega=$ 調速器每秒鐘之角速率,$g=$ 地心吸力之加速率,並設上下四桿等長,試證

$$\text{球高}\, h=\left(\frac{W+W'}{W}\right)\frac{g}{\omega^2}.$$

如 $W=4$ 磅,$W'=40$ 磅,調速器每分鐘之迴轉數由 320 次變爲 330 次.問球所升之高爲若干吋?加重上行之高爲若干吋?

4. Porter 調速器優於荷重調速器之點有幾?試詳述之.

5. 試繪圖略述 Hartnell 調速器之構造與作用.

6. 試繪圖略述一種離心力軸裝調速器之構造與作用.

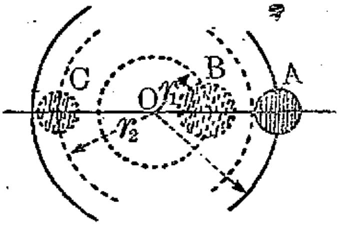
7. 試繪圖略述一種惰力軸裝調速器之構造與作用.

第十二章

均衡法 (Balancing)

169. 均衡之必要. 發動機運動之部分,有爲圓周運動者,有爲直線運動者,圓周運動之部分,皆有一種離心力;直線運動之部分,皆有一種惰力 (Inertia Force). 此離心力與惰力如分配不均,不能自行抵消時,則發動機靜止之部分與周圍接觸之物體,必受其影響.在工廠固定之發動機,其機座與附近地面多生震盪,在汽車汽船飛艇飛機等,則發動機之安危與人之適否係焉.故新式發動機,多設均衡裝置.使離心力與惰力之全體或一部歸於平衡,以消滅或減少其傳於外部之影響.

170. 重量相當量. 如第178圖,設A物體之重量爲W,其迴轉之半徑爲r,迴轉之角速率爲ω,則所生之離心力必爲$\frac{W}{g}\omega^2 r$.若將A移去,設有別一物體B,其重量爲W_1,其迴轉之半徑爲r_1,迴轉之角速率仍爲ω,則所生之離心



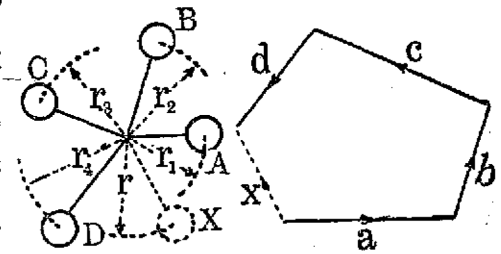
第 178 圖

力必為$\frac{W_1}{g}\omega^2 r_1$.

如A所生之離心力與B所生之離心力相等,則$Wr=W_1r_1$.此時在半徑r_1之重量B與在半徑r之重量A,謂之重量相當量.

171. 用一迴轉物體使與別一迴轉物體均衡. 參看前圖,如O為迴轉之中心,則迴轉物體A所發生之離心力$\frac{W}{g}\omega^2 r$必沿OA之方向,傳達於迴轉中心,且因OA之地位時時變易其方向,軸承及與軸承連接之部分均受其影響.若於OA相反之方向置一物體C,其重量為W_2,其半徑為r_2,且使W_2r_2等於Wr,則C物體所生之離心力必與A物體所生之離心力大小相等,方向相反.故互相抵消而歸於平衡.

172. 用一迴轉物體使與在一平面內之多數迴轉物體均衡. 如第179圖,設A,B,C,D等為在一平面之多數迴轉物體.W_1,W_2,W_3,W_4等為其重量.r_1,r_2,r_3,r_4等為其迴轉半徑.ω為公共之角速率.O為迴轉中心,



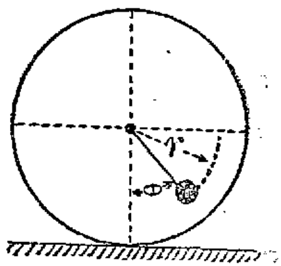
第179圖

則各物體所生之離心力必為$\frac{W_1}{g}\omega^2 r_1$,$\frac{W_2}{g}\omega^2 r_2$,$\frac{W_3}{g}\omega^2 r_3$,$\frac{W_4}{g}\omega^2 r_4$,等等.

如W為所求物體之重量,r為所求物體距中心之半徑,則

W所生之離心力必爲$\frac{W}{g}\omega^2 r$.因各力中$\frac{\omega^2}{g}$一因數彼此相同,故研究均衡問題時,每略去之,但餘W_1r_1, W_2r_2, W_3r_3, W_4r_4, 及Wr,等等.蓋此等數值之關係既定,則離心力之關係自定也.據力之多邊形律,倘畫$abcd$四邊,使依次代表W_1r_1, W_2r_2, W_3r_3, 及W_4r_4,之大小與方向,則所餘之一邊x必代表Wr之大小與方向.故設半徑r已定,則物體之重量W可以求出.設物體之重量W已定,則半徑r可以求出.

170. 不均衡之車輪對於路上之壓力. 如車輪本體之重與所負之重共爲W,車輪上或車軸上不均衡之重爲W'.此不均衡之重對於輪心之半徑爲r.輪之角速率爲ω,則不均衡之部分,必生有心離力,其值爲$\frac{W'}{g}\omega^2 r$.當此部由垂直之方向向上時,則路上所受之壓力爲$W-\frac{W'}{g}\omega^2 r$.當此部由垂直之方向向下時,則路上所受之壓力爲$W+\frac{W'}{g}\omega^2 r$.



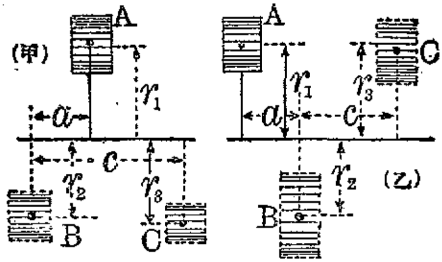
第180圖

如第180圖,當此部與垂直線所成之角度爲θ時,則路上所受之壓力爲$W+\frac{W'}{g}\omega^2 r\cos\theta$.

又就$W-\frac{W'}{g}\omega^2 r$式研究之,倘不均衡之重最所生之離心力等於或超過W時,則車輪每迴轉一週,必躍起一次,下擊一次.已之車之安全與軌道上或橋樑上所受之壓力,均受影響.

174. 用兩個迴轉物體使與一迴轉物體均衡. 如第181

圖,A 爲一迴轉物體,擬使 B, C 二迴轉物體均衡之.設 W_1, W_2, W_3, 爲三物體之重量, r_1, r_2, r_3 爲三物體之重心距迴轉中軸之半徑. a 與 c 爲 A, C 兩物體迴轉之平面距 B 物體迴轉之平面之垂直距離擬使三物體完全均衡,須合於下列兩項條件.



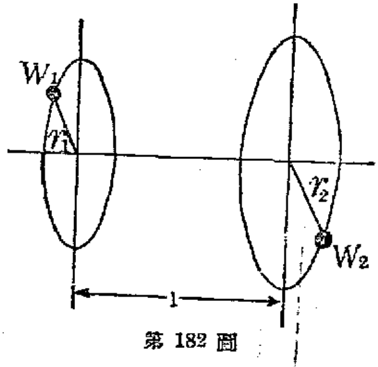
第 181 圖

(a) 三物體所發之離心力須歸於平衡.

(b) 三物體所發之離心力繞迴轉中軸上任一點之力率須歸於平衡.

欲合第一項條件,在第181圖(甲),但使 $W_1r_1 = W_2r_2 + W_3r_3$ 即可.在第181圖(乙),但使 $W_1r_1 + W_3r_3 = W_2r_2$ 即可.欲合第二項條件,但使 $W_1r_1a = W_3r_3c$ 即可.蓋計力率時,倘所取之點爲一物體迴轉之平面與中軸相交之點時,必較簡便也.

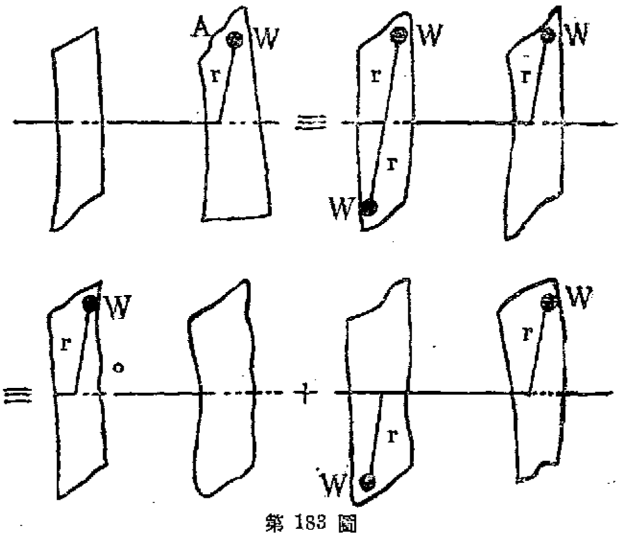
175. 用一迴轉物體不能使在別一平面內之一迴轉物體完全均衡. 如第182圖,設 W_1, W_2 爲二迴轉物體,其方向適反. r_1, r_2 爲二物體之重心距迴迴轉中軸之半徑.惟未在一平面內.但使 $W_1r_1 = W_2r_2$, 則兩物體所生之



第 182 圖

離心力即行均衡,惟同時引出一種偶力,其大小與 $W_1r_2 1$ 或 $W_1r_2 1$ 成正比.其方向在包含兩物體重心與迴轉中軸之平面內此偶力亦發生震盪之結果.又偶力之性質與力之性質相同.故亦可用直線代表.

176. 離心力可由一平面移於別一平面. 如第183圖,A,B 爲二平面,其垂直距離爲 1.在 A 平面內有一迴轉物體.其重爲 W,迴轉之半徑爲 r,則離心力必與 Wr 成正比.倘於 B 平面內引出二力,其施力線均與 A 平面內之力平行,其大小均與 A 平面內之力相等,惟方向彼此適反,則此二力對於全體平衡上不生影響.



第 183 圖

所有三力,可分爲下列二種:

(a) B 平面內與 A 平面內之原力方向相同之一力,但就

離心力言,可視為由原力移來.

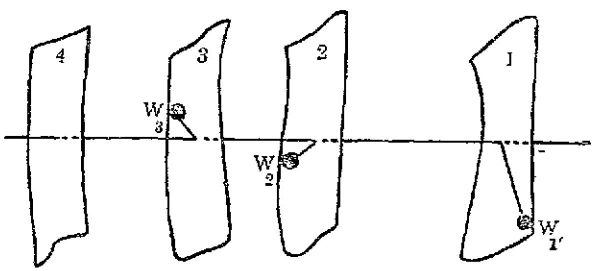
(b) A平面內原有之一力與B平面內所餘之一力組成一偶力,其大小與$Wr1$成正比,其變化可由圖上觀之.

177. 多數迴轉物體不在一平面內之均衡法. 多數迴轉物體,不在一平面內,如擬使之均衡,須合於下列兩項條件:

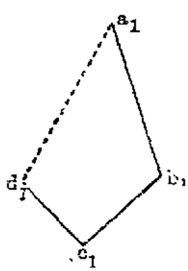
(a) 各物體所生之離心力須互相抵消,卽各離心力之結果力須等於零.

(b) 倘將各離心力均移於一平面內,所生偶力須互相抵消,卽各偶力之結果偶力須等於零也.

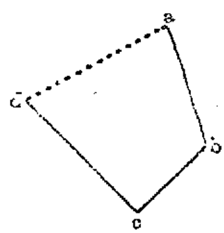
如第184圖,設有三個迴轉物體,在1,2,3三平面之內,其重量為W_1, W_2, W_3,其半徑為r_1, r_2, r_3,所生之離心力必與W_1r_1, W_2r_2, W_3r_3成正比.



第184圖



第185圖



第186圖

又設 4 爲任意選擇之一平面.謂之參考平面 (Reference plane). l_1,l_2,l_3 爲 1,2,3 三平面距 4 平面之垂直距離.如將三個離心力均移於參考平面時,則所生之偶力必與 $W_1r_1l_1$, $W_2r_2l_2$, $W_3r_3l_3$ 成正比.然後畫偶力多邊形,如第185圖所示.畫 a_1b_1 使代表第一偶力 $W_1r_1l_1$ 之大小與方向,畫 b_1c_1 使代表第二偶力 $W_2r_2l_2$ 之大小與方向.畫 c_1d_1 使代表第三偶力 $W_3r_3l_3$ 之大小與方向,則結果偶力之大小與方向,必可由 a_1d_1 代表.

再畫離心力多邊形.如第186圖所示.畫 ab 使代表第一離心力 W_1r_1 之大小與方向.畫 bc 使代表第二離心力 W_2r_2 之大小與方向.畫 cd 使代表第三離心力 W_3r_3 之大小與方向,則結果離心力之大小與方向,必可由 ad 代表.結果偶力既爲 a_1d_1 所代表,如欲所有偶力均互相抵消,則所加之物體必發生一偶力,其大小與方向適爲 d_1a_1 所代表不可.結果離心力既爲 ad 所代表.如欲所有離心力均互相抵消,則所加之物體,必發生一離心力,其大小與方向適爲 da 所代表不可.然除二多邊形上 a_1d_1 與 ad 二邊適爲平行時,則用一物體,決不能使偶力與離心力均互相抵消.能使偶力互相抵消時,必不能使離心力互相抵消.能使離心力互相抵消時,必不能使偶力互相抵消.故欲使全體歸於均衡,有時必用兩個物體.蓋用兩個迴轉物體,其結果離心力可在一方向,其結果偶力可在別一方向也.

178 應加物體之重量或位置之求法. 應加物體之重量或位置,普通多依下列數項求之.

(1) 畫各迴轉物體之正面圖與側面圖,表明各物體距中軸之距離,各物體互成之角度,與各物體相距之遠近.

(2) 擇定一參考平面,最好擇一擬求之重量所在之平面.因如此則偶力之數目減一,求結果偶力時較爲簡便也.

(3) 將所有 Wr 與 Wrl 之數值,表列如下,愈詳愈好.

平 面	重量 W	半徑 r	離心力 Wr	距 離	偶 力 Wrl
1	W_1	r_1	W_1r_1	0	0
2	W_2	r_2	W_2r_2	l_2	$W_2r_2l_2$
3	W_3	r_3	W_3r_3	l_3	$W_3r_3l_3$
4	W_4	r_4	W_4r_4	l_4	$W_4r_4l_4$

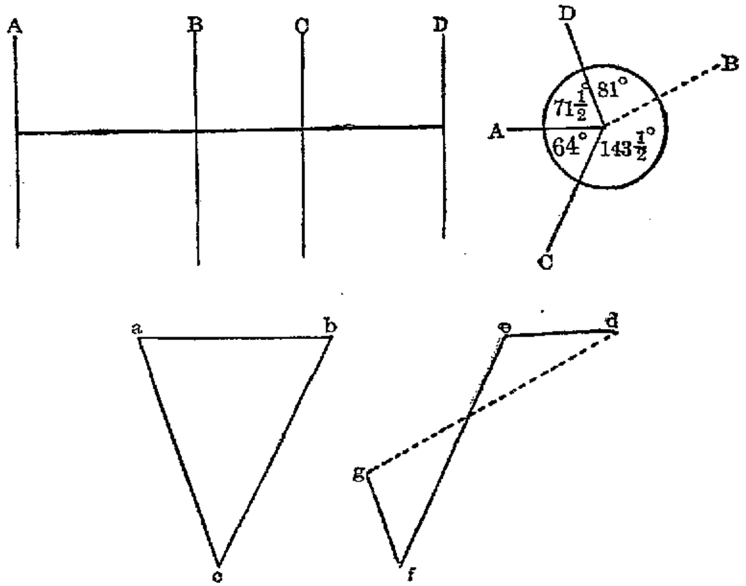
$r_1r_2r_3$ 等半徑彼此互成之角度,在此表內不能表示. l 之距離係從參考平面量起,故 l 之數值有一個等於零,因之偶力之數值亦有一個等於零也.

(4) 畫偶力多邊形.如重量之數爲四,且所擇之平面適當一重量之迴轉平面,則偶力之多邊形只有三邊.如所擇之參考平面在他平面之中間,則偶力須分爲正負兩種,卽在參考平面右邊之偶力,如謂爲正偶力,則左邊之偶力,卽謂之負偶力.又畫正偶力時,其方向係由迴轉中軸向外;畫負偶力時,其方向係由外部向迴轉中軸.

(5) 畫離心力多邊形

例題. 今有一軸,共帶有A, B, C, D四重量.四重量之重心距迴轉中軸之距離為10,12,15,12吋.又B,C,D三重量之平面距A平面之距離為$2\frac{1}{2}$, 4, 6呎. A重40磅, B重100磅, C重60磅, D重30磅.如擬使此軸完全均衡,問B重量須如何改變?

(1) 先畫正面圖與側面圖,將已知各項分別表出,其未知者暫缺,如第187圖所示.



第187圖

(2) 因B重量須受改變,故擇定包含B重量之平面為參考平面.求B重量應有之重X.

(3) 將已知各項,列表如下,1之值,凡在參考平面之右者為正,凡在參考平面之左者為負.

平面	W	r	Wr	l	Wrl
A	40	10	400	$-2\frac{1}{2}$	-1000
B	X	12	$12X$	0	0
C	60	15	900	$1\frac{1}{2}$	1350
D	30	12	360	$3\frac{1}{2}$	1260

(4) 畫偶力圖 abc. 畫 ab 代表 1000, bc 代表 1350, cd 代表 1260. 從此圖卽可得出 A,C,D 三重量互成之角度

又重量 A 必在 ab 反對之方向(因 ab 爲負), C 在 bc 之方向, D 在 cd 之方向, 如圖.

(5) 畫離心力圖 $defg$, 畫 de 代表 400, ef 代表 900, fg 代表 360. 最後之一邊 gd 必代表 $12X$ 之大小與方向. 用量法, 得 gd 之長適代表 1026, 故 $X=\frac{1026}{12}=85\frac{1}{2}$ 磅, 卽 B 之重量 100 磅中須減去 $\left(100-85\frac{1}{2}\right)$ 或 $14\frac{1}{2}$ 磅, 方能使全體歸於均衡也. 至 B 重量應在之位置, 亦由 gd 之方向定出.

179. 直線運動各部之均衡法. 欲研究直線運動各部之均衡法, 須先知直線運動各部所發生之惰力.

設 W=直線運動各部之重量(在蒸汽機包括活塞,活塞桿丁頭及連桿之一部).

ω=機軸迴轉之角速率.

r=曲柄之長.

l=連桿之長.

θ=曲柄對於衝程線 (Line of Stroke) 所成之角度. 則

所生惰力之近似式爲$\frac{W}{g}\omega^2 r\left(\cos\theta+\frac{r}{l}\cos 2\theta\right)$.(證明從略.)

爲研究上便利起見,將上式分爲兩項:第一項$\frac{W}{g}\omega^2 r\cos\theta$稱爲第一部震盪力或正震盪力(Primary Disturbing Effect).第二項$\frac{W}{g}\omega^2 r\left(\frac{r}{l}\cos 2\theta\right)$,稱爲第二部震盪力或副震盪力(Secondary Disturbing Effect).在普通均衡問題中,對於副震盪力多置而不計.然如發動機之速率甚高時,其影響亦甚鉅也.

180. 發動機完全均衡必要之條件. 由圓周運動物體所發生之離心力,其大小不變,然方向常變.由直線運動物體所發生之惰力,其方向不變,然大小常變(因與角度θ有關).故圓周運動物體,決不能用直線運動物體均衡之;直線運動物體,決不能用圓周運動物體均衡之.且直線運動物體所發生之兩部震盪力,其大小及變化之遲速亦各有不同,故亦不能互相抵消.故欲發動完全均衡,須合於下列三種條件:

(1) 各圓周運動物體所生之離心力,與由此離心力所生之偶力,須互相抵消.

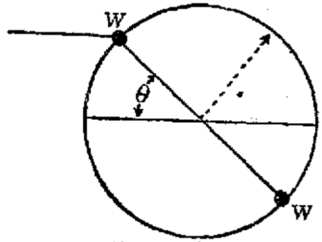
(2) 各直線運動物體所發生之第一部震盪力,與由此震盪力所生之偶力,須互相抵消.

(3) 各直線運動物體所發生之第二部震盪力,與由此震盪力所生之偶力,須互相抵消.

181. 用圓周運動物體使直線運動物體所生之震盪力變換方向.

就前段之理觀之,如欲使直線運動物體所生之震盪力全完均衡,非別用一直線運動物體不可.此種裝置較難(參看拙編機械原理),故實際上用之者甚少.普通多用一圓周運動物體,使變換直線運動物體所生震盪力之方向.其理如下.

如第188圖,設直線運動各部之總重爲W,發動機迴轉之角速率爲ω,曲柄之長爲r.



第188圖

假設此種全聚於曲柄軸針,則當迴轉時,所發之離心力必爲$\frac{W}{g}\omega^2 r$.如曲柄對於衝程線所成之角度爲θ,則此離心力沿衝程線方向之分力必爲$\frac{W}{g}\omega^2 r\cos\theta$,與此方向垂直方向之分力必爲$\frac{W}{g}\omega^2 r\sin\theta$.

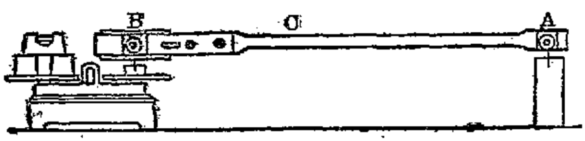
但就第179段之公式觀之,如不計第二部震盪力,則直線運動各部所生之震盪力,亦等於$\frac{W}{g}\omega^2 r\cos\theta$.故如在曲柄反對之方向置一重量$W$,必可使沿衝程線方向之震盪力(但計第一部)完全消滅,惟在垂直之方向別引出$\frac{W}{g}\omega^2 r\sin\theta$之一力.其大小由$-\frac{W}{g}\omega^2 r$變至$+\frac{W}{g}\omega^2 r$.與直線運動各部所發之力相同.所異者只變換其方向耳.

若是在曲柄反對之方向所加之重小於直線運動各部之總重W而爲w時,則沿衝程線之方向所餘之震盪力必爲$\frac{(W-w)}{g}\omega^2 r\cos\theta$.在垂直方向引出之震盪力,則爲$\frac{w}{g}\omega^2 r\sin\theta$

倘不計連桿之斜度,則二力之變化,如下表所示:

曲柄頸針之角度 θ	在衝程線之震盪力	在垂直方向之震盪力
θ (任意角度)	$\frac{(W-w)}{g}\omega^2 r\cos\theta$	$\frac{w}{g}\omega^2 r\sin\theta$
$0°$	$\frac{(W-w)}{g}\omega^2 r$	0
$90°$	0	$\frac{W}{g}\omega^2 r$
$180°$	$-\frac{(W-w)}{g}\omega^2 r$	0
$270°$	0	$-\frac{w}{g}\omega^2 r$

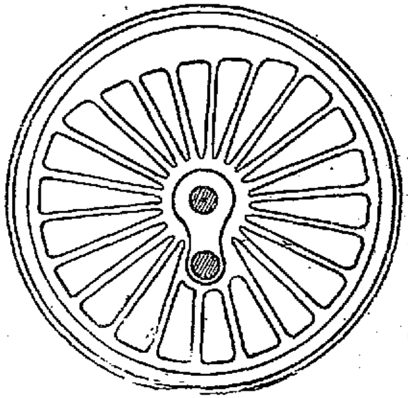
182. 連桿重量之分配法　前言發動機運動之部分,有爲圓周運動者,如曲柄,曲柄軸針,飛輪等是.有爲直線運動者,如活塞,活塞桿等是.惟連桿之爲物,實兼二者而並有之.蓋連桿係由直線運動變爲圓周運動之媒介.其在丁頭軸針之一端,完全爲直線運動.其在曲柄軸針之一端,完全爲圓周運動,其中間各點皆爲橢圓運動.橢圓運動之大半徑各處相同.惟愈近曲柄軸針,則橢圓之小半徑愈長,愈近丁頭軸針,則橢圓之小半徑愈短耳.普通多將其重量分爲兩部,其分配法如下:



第 189 圖

如第189圖,設 AB 爲一連桿, A 爲丁頭軸針之中心, B 爲曲柄軸針之中心, C 爲連桿之重心, W 爲連桿之重.置 B 端於天

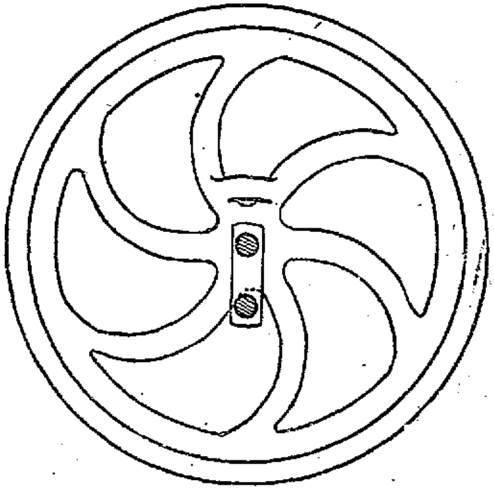
秤上,得重 R_B,則 R_B 必等於 $W\frac{AC}{AB}$,此部屬於圓周運動部分內.置 A 端於天秤,得重 R_A,則 R_A,必等於 $W\frac{BC}{AB}$,此部屬於直線運動部分內.蓋假設連桿全體之重分聚於 A,B 二點,一等於 R_A,為直線運動,一等於 R_B,為圓周運動也.



第 190 圖

183. 均衡實例 均衡裝置,在新式發動機隨在可得其實例,而尤以速率較高之內燃機為決不可缺.

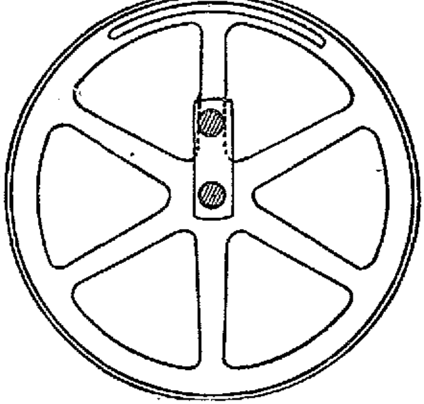
第 190 圖表示一機車之原動輪.曲柄反對方向所加之重,卽為一種均衡裝置.第 191 圖,係 Crossley 煤氣機之飛輪,亦在曲柄反對方向之輪輻上附加一重.



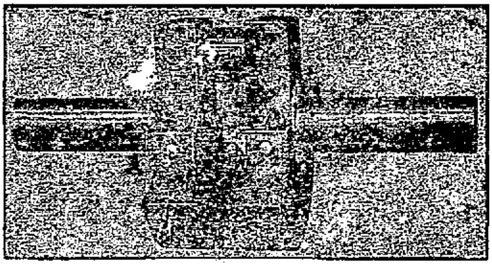
第 191 圖

第 192 圖係 Sattley 煤油機之飛輪.此機之均衡裝置,乃在飛輪之周緣與曲柄同方向之處,減少其重,故備一

槽.第 193 圖係 Hornsby 煤氣機之機軸與曲柄.其均衡裝置係在曲柄反對方向附加重量.現在內燃機之曲柄,普通多有此種裝置.以上數種,構造雖微有不同,原理無少異也.



第 192 圖



第 193 圖

習題

1. 各種發動機,除純粹係圓周運動者外,何以多備均衡裝置?試述其理.

2. 今有兩物體,一等於10磅,一等於20磅,同連於一軸上,所成之角度等於90°.在同一之迴轉平面內,距軸心之半徑,一等於2呎,一等於3呎.如此軸每分鐘迴轉200次,問兩物體旋於軸上之結果力爲何?又如擬用一迴轉物體使之完全均衡,其迴轉之半徑等於$2\frac{1}{2}$呎.問此物體之重量與位置各如何?

3. 今有A,B,C,D四物體,其重量爲80, 100, 120, W磅,同連於一軸上.其重心距軸心之半徑爲15, 12, 14, 13吋,各物體排列之距離均相等.如擬使全體完全均衡,試求(a) W之數值, (b) B,C,D三物體對於A物體所成之角度.

4. 今有A,B,C,D四物體,同連於一軸上,其重心距軸心之距離均相等. B,C,D三物體各等於10磅. A距B 3呎, A距C 4呎. A距D 5呎.如擬使全體完全均衡.試求(a) A物體之重量, (b)各物體互成之角度.

5. 今有機車一輛,車重與所載物重共爲10噸.如車輪上有不均衡之重量100磅,其半徑等於$1\frac{1}{2}$呎.倘車輪每分鐘迴轉200次,問車軌上所受最大與最小之壓力各爲若干?

第 十 三 章

直線運動,平行運動與間歇運動(Straight-line Motion, Parallel Motion and Intermittent Motion)

184. 直線運動機構(Straight-line Motion Mechanism). 凡一機構上有往復運動之一點,不賴直線導路之約束,即能自發生一直線運動者,即謂之直線運動機構,所發之直線運動,有絕對在一直線上者,有在一極近似之直線上者.凡在一極近似之直線上時,多使運動範圍之兩極點及中點絕對在一直點上,其餘各點亦相差極微.

185. Peaucellier's 直線運動機構. 此種機構之構造,如第 194 圖所示,包含七個運動桿與一個固定桿.各桿大小之比例,則 $AO=BO$, $AC=BC=BT=AT$, $CD=DO$. 如此裝置,倘發生運動時,T 點恆沿一直線運動,可證明之如下.

因 $$BE^2=OB^2-OE^2=BT^2-TE^2,$$

或 $$OB^2-BT^2=OE^2-TE^2$$
$$=(OE+TE)(OE-TE)$$
$$=OT\times OC$$

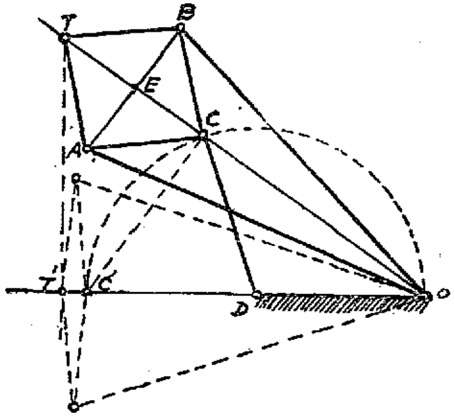
但 OB^2-BT^2 係一常數,

故 $OT\times OC$ 亦係一常數.

使能運動之各桿向下運動,直至 C 點落於 C' 點.並設 T' 點為 T 點之新地位,則得

$$OT'\times OC'=OT\times OC$$

或 $$\frac{OC'}{OC}=\frac{OT}{OT'}.$$



第 194 圖

又因 $$OD=DC=DC',$$

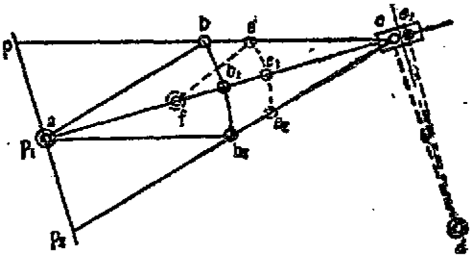
故 O, C, C' 三點位於一半圓周上,且 OCC' 角為一正角.

在 $C'CO$, TOT' 兩三角形,因 TOT' 角係公用,其相當之邊又互成比例,故為相似三角形.

因 OCC' 角係一正角,故 $TT'O$ 角亦為一正角,即 TT' 線與 OT' 線垂直.

用同一方法,可證明當運動各桿在其他地位時, TT' 線仍垂直於 OT' 線,故 T 點恆沿一直線運動也.

186. Scott Russell's 直線運動機構. 此種機構之構造,如第 195 圖所示. ab 與 pc 為兩桿, c 為一滑塊. ab 桿繞 a 處一固定軸擺動.滑塊 c 則約束於導路,只能沿 ac 方向左右移動.滑塊與 ab 桿對於 pc 桿則各由一軸針連接之.如圖上所示,且 $ab=bc=pb$.



第 195 圖

又因p點上下運動之範圍多不甚大,故滑塊左右移動之距離多屬甚微.

以b點爲中心,以bc或bp爲半徑,畫半圓周,則此半圓周亦必經過a點.且pac角係一正角.當pc桿在其他地位時,亦可得到同一之結果,即p點恆沿經過a點且與ac線垂直之一直線pp_1p_2運動也.

a點須位於p點動路之中.又如ap代表p點由其動路之中點向上或向下移動之距離,則滑塊移動之距離

$$cc_1=cp-\sqrt{cp^2-ap^2}.$$

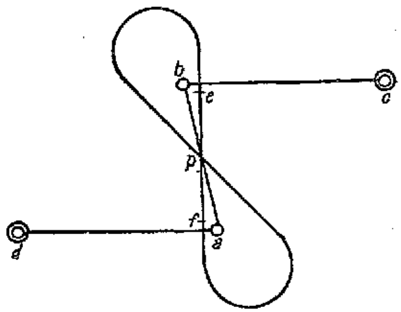
如不用滑塊與導路,完全由搖桿帶動pc桿,可得兩種近似之直線運動機構,與前述者極爲相似.

(a) 仍參看前圖,在cp桿上,選擇一適宜之點e.當pc桿運動至中間之地位時,此點之地位爲e_1,當pc桿運動至兩極端之地位時,此點之地位爲e與e_2.經過此三點畫一圓弧ee_1e_2,其中心f必在ac線上.由一桿ef,連ef二點,並使能繞f處一固定軸擺動,則ab與ef兩桿即能帶動pc桿,使其上之p點在其動路之中點及兩極端皆在pp_2直線之上.

(b) 仍參看前圖,倘於c點動路之中點,畫一垂直線,並於此垂直線上擇一適宜之點d,如不用滑塊導路,而代以cd搖

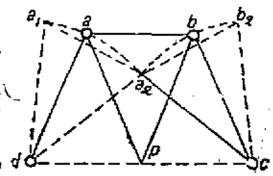
桿,使其上端由一軸針連於 pc 桿,下端能繞 d 處一固定軸擺動.因在此種機構,c 點之動路恆屬甚短,故極近於直線.即 P 點之動路亦極近於直線,且 cd 搖桿愈長時,所得之結果愈佳.

187. Watt's 直線運動機構. 此種機構只能得到一種極近似之直線運動.其構造略如第 196 圖所示.c 與 d 爲兩固定軸.ad 桿能繞 d 軸擺動.bc 桿能繞 c 軸擺動,ab 兩端復由一 ab 桿連接之.當 ad 與 bc 擺動時,ab 桿上之一點 p 畫一雙環曲綫 (Double-looped Curve).其中有兩段爲極近似之直線.當計畫此種機構時,普通只用其近似直線之一段.如圖中 ef.



第 196 圖

188. Robert's 近似直線運動機構. 此種機構亦謂 W 形直線運動機構,其構造略如第 197 圖所示,apb 爲一兩等邊三角形架,即 $ap=bp$.在 a 與 b 兩點,由軸針裝置於 ad 與 bc 兩搖桿上,可繞 d 與 c 兩處之固定軸擺動,且 $ad=bc=ap=bp$.

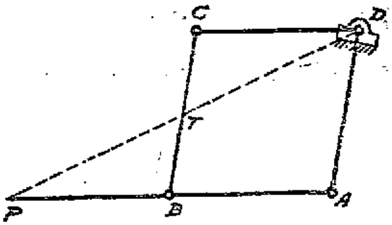


第 197 圖

如此則當兩搖桿擺動時,p 點即極似的沿 dc 直線運動.

189. 由平行四邊形所得之平行運動. 平行運動多由一種平行四邊形之機構得出,有時雖外部形狀微有變化,其

原理則無甚差異.



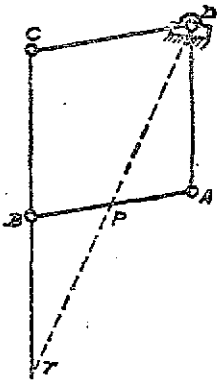
第 198 圖

如第 198 圖, 設 $ABCD$ 爲四桿組成之平行四邊形架, 並設 AD 與 CD 兩桿之軸針係固定者. 在 AB 桿延長之一段上, 取一點 P, 並畫 PD 線與 BC 桿相交於 T 點, 則在 PBT 與 PAD 兩三角形, 得

$$\frac{BT}{AD}=\frac{PB}{PA}.$$

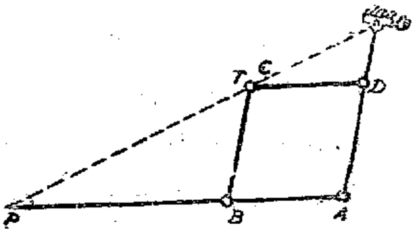
或 $BT=\frac{PB}{PA}\times AD=$ 一常數.

即 P 點若在 AB 桿上之位置一定, 則 T 點恆爲 BC 桿上之一定點, 且無論四桿之位置如何, $\frac{DP}{DT}$ 恆等於 $\frac{AP}{AB}$, 恆等於一常數.



第 199 圖

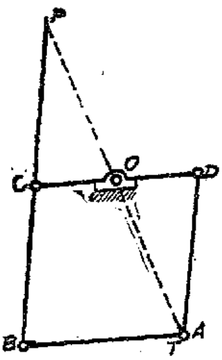
故倘 T 點沿任意之一線運動, P 點必隨之沿一同樣之線運動. 其運動之方向恆與 T 點運動之方向平行, 惟較 T 點運動之範圍擴大.



第 200 圖

又如第 199 圖, 設將 CB

桿沿長，並於延長之一段上取T點，則在AB桿上之P點遂落於D與T之間。此時若T點沿一任意之線運動，P點亦必隨之沿一同樣之線運動，運動之方向仍係平行，惟P點運動之範圍較T點縮小。



第201圖

又T二點恆須與固定之軸在一直線上，此爲此種機構必要之條件。

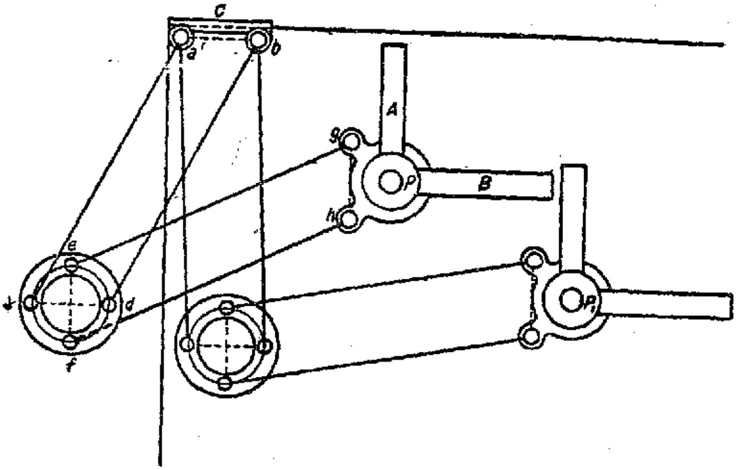
第200圖，係使固定點O位於一桿延長之一段上。第201圖，係使固定點O位於一桿之中點，理論上仍與前兩圖所表示者相同。

又在第201圖，倘CP與CB同長，則$OP/OT=1$，卽P點與T點運動之範圍相同，惟因在固定軸之兩邊，其方向適反耳。

此種機構，可用於放大及縮小一定之圖形及雕刻等工作，常用之放圖器，卽其一例。

190. 通用畫圖機(Universal Drafting-machine).

第202圖，表示一通用畫圖機之構造。由兩個平行四邊形組織而成，在畫圖室中爲用甚廣，可代替丁字尺與三角板之功用。c爲一螺旋夾，固定於畫圖板之左上角，用以支持第一平行四邊形$abcd$。$cedf$爲一環，帶動第二平行四邊形$efhg$。籍



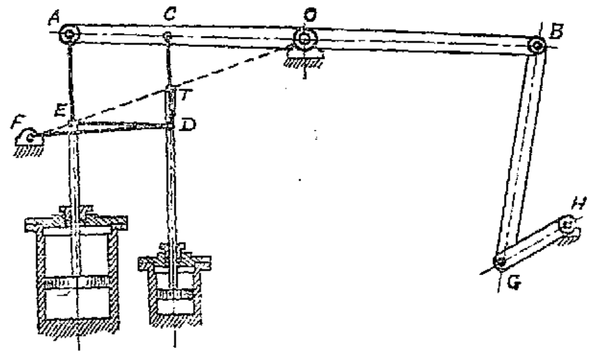
第 202 圖

二平行四邊行之右端,則連於 P. A 與 B 爲互成正角之兩直尺,可繞 P 軸轉動.由 P 軸周圍之圓尺及鬆緊螺旋,可使 A, B 兩尺迴轉任意之角度,以便畫傾斜任何角度之傾斜線,卽同時具有分度器 (Protractor) 之功用.

因 ab 與 cd 永爲平行, ef 與 gh 永爲平行,而 ef 與 cd 垂直.倘 ab 之方向不變,其他部分無論如何移動, cd 之方向必不變.因之 ef 與 gh 之方向亦不變,卽 A,B 兩尺之方向必不變,故將 A,B 兩尺固定於一定之方向,無論如何變更地位,其方向恆不變,卽可畫多數之平行線也.圖上僅表示兩個不同之地位.

191. Watts 直線運動機構與一平行四邊形機構之合併

第 203 圖,表示一 Watt 直線運動機構與一平行四邊形機構合併用於天秤機(Beam Engine)之情形, O 爲橫梁之中軸, F



第 203 圖

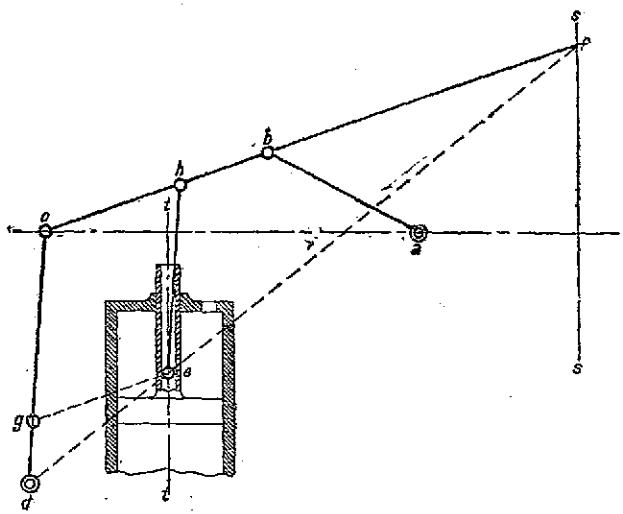
爲機架上之一軸. H 爲機軸. OC, CD 與 DF 三桿組成 Watt 直線運動機構,結果使 T 點在一垂直之直線上運動.

OA, AE, ED 與 DC 四桿組成平行四邊形機構. T 點之地位使與 O,E 兩點在同一直線之上.活塞桿之上端連於 E 點.喞子桿之上端連於 T 點.當活塞上下運動時,喞子亦發生同樣之上下運動,僅按 OC/OA 之比例縮小耳.

192. Thompson 工作指示器 (Thompson Indicator) 上之直線運動.

此種工作指示器上所採用之機構,如第204圖所示. ss 爲捲紙筒之中軸, tt 爲汽筒之中軸, f 爲置筆處.畫圖時應沿捲紙筒之外周發生對於其中軸平行之直線運動,且其運動之距離,對於活塞在汽筒內沿 tt 所運動之距離恆有一定之比例.

圖中 $abcd$ 組成一 Scott-Russel 直線運動機構. be 一桿係用

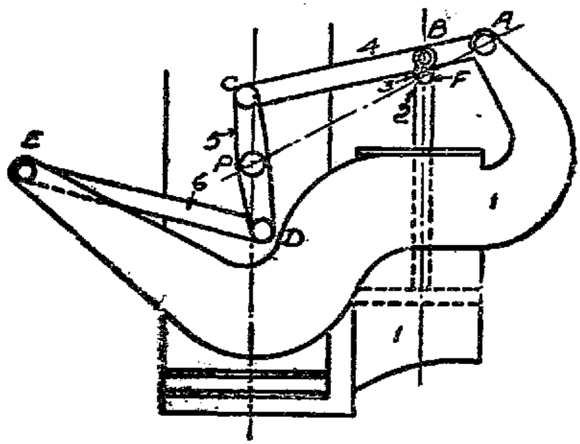


第 204 圖

以傳達活塞之運動於 cb 桿者. e 點之位置係連 fd 線與 tt 線之交點.

假定不用 ab 桿而能裝置一 eg 桿,與 bc 平行,則 dc, ch, eg 與 cf 四桿卽組成一平行四邊形機構. 倘 e 點隨活塞發生直線運動,則 f 點必發生絕對之直線運動,且 f 點運動之距離對於 e 點運動之距離之比,恆等於 $cf : ch$ 或 $df : de$. 但實際裝置生 eg 一桿爲不可能. 故採用 ab 一桿變爲 Scott-Russel 直線運動機構.且因 cd 係一擺動桿, ab 與 cf 等部之長度微有變更之故, f 點不能發生絕對之直線運動,但所差極微.

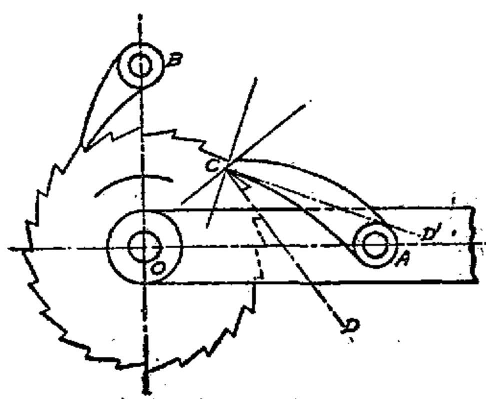
193. Richard's 工作指示器上之直線運動機構. 此種工作指示器上採用之機構,略如第 205 圖所示. 亦由一 Watt



第 205 圖

直線運動機構與一平行四邊形機構合併而成. AC, CD 與 DE 三桿組成 Watt 直線運動機構,倘 F 點有直線之上下運動,則 P 點亦隨之發生直線之上下運動,且 P 點運動之距離比 F 點運動之距離等於 AC 比 AB 或 AP 比 AF.

194. 鬧輪 (Ratchet Wheel). 鬧輪為間歇運動機構中之最普通者,共含兩個主要部分:一為鬧輪,二為鬧 (Pawl).



第 206 圖

第 206 圖為鬧輪中之最簡單者. O 為鬧輪之中心, OA 為一直桿,能繞鬧輪之軸自由轉動. A 與 B 兩軸上各裝

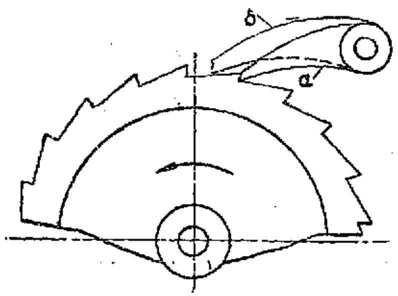
置一閘,A軸上者謂之起動閘,B軸上者謂之止動閘,各由其自身之重力或另一彈簧之彈力,使恆與閘輪之齒相接觸.

如此裝置,當OA桿向上擺動時,起動閘必按擺動之範圍推動閘輪,使向箭頭所示之方向迴轉一定之角度.止動閘之尖端,則沿閘輪之齒滑動,不生若何阻力當OA桿向回擺動時,起動閘之尖端,則沿閘輪之齒滑動.止動閘之尖端,則阻止閘輪,使不向回轉動.故由OA桿之連續往復擺動,得出閘輪軸之間歇迴轉運動.

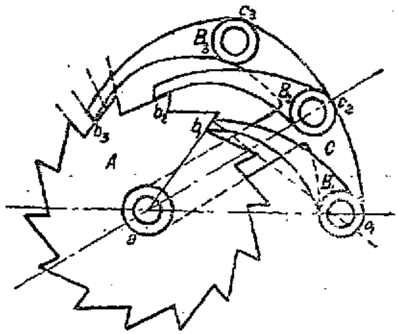
195. 多閘輪(**Multiple Pawl Ratchet**). 如前段所述,倘只用一個止動閘,以阻止閘輪向回轉動,則有時閘輪須向回轉動一定之角度,至閘端之前面與齒面相接觸,方行停止.此種向回轉動之限度,最輕時可為零,即閘輪停止前進時,恰遇閘端與輪齒立面相接觸之時,最重時為閘輪輪齒之一周節(Pitch).即閘輪停止前進之時,恰遇閘端由一齒之斜面將落下未落下之時.減輕此種向回轉動之方法,第一為減小周節但用此法,輪齒之力必隨之減弱.如所負之載荷較大時,實屬不宜.第二即在同一軸上或同一桿上裝置數個長短不同之閘.若使各閘在輪齒上繼續相差之長度等於閘數除閘輪之周節,則閘輪向回轉動之限度,亦必按同一之比例減輕.

如第207圖,倘a與b兩閘之長度,在輪齒上相差閘輪周節二分之一,則向回轉動之限度即減至原來二分之一.

若起動閘亦用數個,使其在輪齒上繼續相差之長度,亦



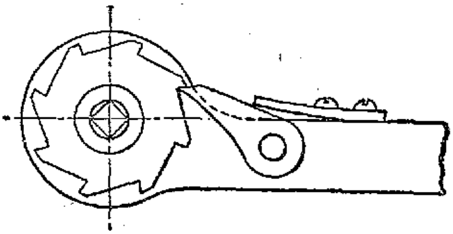
第 207 圖



第 208 圖

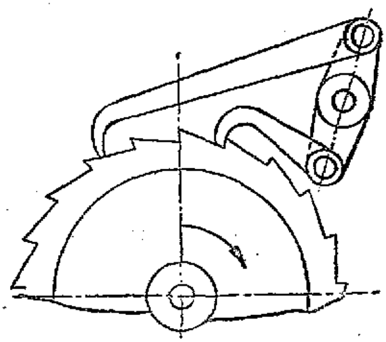
等於鬩數除鬩輪之周節,則前進之運動,不待減小齒節,卽可變爲細密.若只用一起動鬩,則前進之運動,每次至少須退一周節.第 208 圖表示一三鬩輪.A 爲鬩輪.B_1,B_2,B_3 爲三個起動鬩,裝置於 C 桿之 c_1,c_2,c_3 三軸上.在輪齒上長度之差,各爲周節之三分之一.如此裝置,則當 A 輪向前轉動一齒之三分之一時,或 C 桿向回轉動一齒之三分之一時,B_2 鬩卽與 b_2 齒之立面接觸.再轉動一齒之三分之一,則 B_3 鬩卽與 b_3 齒之立面接觸.再轉動其餘之三分之一,則 B_1 鬩卽與 b_1 齒之立面接觸.故運動可變爲細密.且搖桿每次退回再向前運動時,無效力之運動,亦按同比例減輕.若將三鬩裝置於一軸上,則鬩輪須增寬.當所負之載荷甚大,而迴轉之運動須細密者,用此裝置最爲相宜,蓋輪齒之力不因之減弱也.

196. Weston 鬩輪. 第 209 圖表示一種應用於 Scotch 鑽上之鬩輪,只有起動鬩.因鑽在鑽孔所受之摩阻力,卽能阻止鬩輪使不向回轉動也.

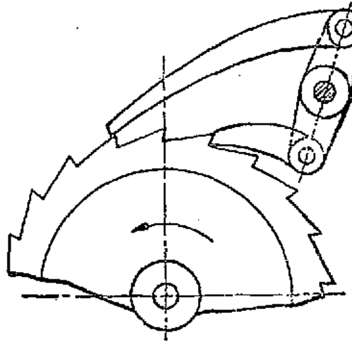


第 209 圖

197. 雙動閘輪 (Double Acting Ratchet). 以前所述各種閘輪,只搖桿向一方向轉動時,閘輪發生運動.迨向回轉動,閘輪卽歸靜止.若欲使搖桿無論向前或向後轉動時,閘輪均向同一方向運動,則可用第210及第211兩圖之裝置.



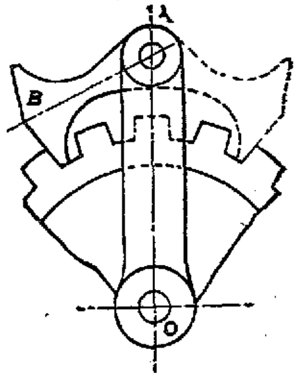
第 210 圖



第 211 圖

在一兩臂長度相等之直槓桿或曲槓桿之兩端,各裝置一閘,一長一短,均使與輪齒相接觸.如此則槓桿無論向何方向轉動,閘輪均沿一定之方向迴轉.此種閘輪,謂之雙動閘輪.

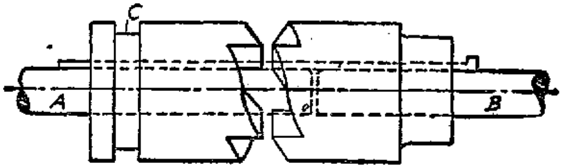
198. 可逆閘 (Reversing Pawl). 閘輪迴輪之方向,有時須於一定時間以後改變一次.如刨床上管理給工 (Feer) 之



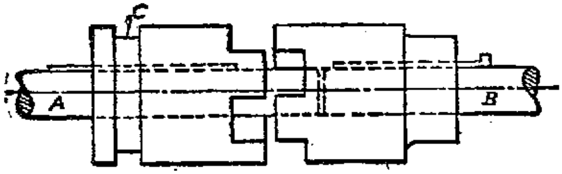
第 212 圖

閘輪,即其一例.此時須用一種可逆閘,如第 212 圖所示.閘之形狀與閘輪之齒均與前稍異,閘之形狀須兩邊均能應用,輪齒表面亦須兩邊均能受力.如閘在實線所表示之地位,則當搖桿擺動時,閘輪即向左迴轉.如閘在虛線所表示之地位,則當搖桿擺動時,閘輪即向右迴轉.

199. 確定運動接合器 (Positive Clutches). 一軸之迴轉運動欲傳達於同一直線上之別一軸,使有時隨同運動,有時停止運動,則用一種接合器.接合器有能發生確定運動者,有係利用摩阻力,難免微有滑動者.



第 213 圖



第 214 圖

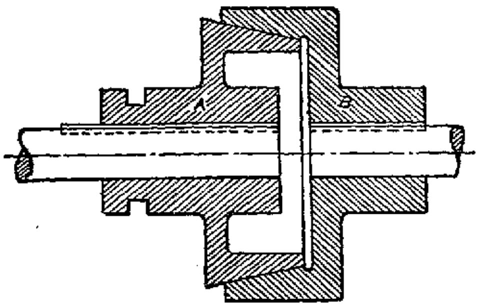
第213表示只能向一方向傳達確定運動之接合器,B 軸

上由一鍵固定接合器之一半. A 軸上之一半,則只由一長鍵約束之,使不能繞軸迴轉,但可沿軸左右滑動. 當 B 軸由下向上轉動時(就前面看),如於 C 處沿軸之方向,用一搖桿由左向右推動 A 軸上之一半,則兩半接合, A 軸卽隨 B 軸迴轉.

如欲使兩軸恆由上向下迴轉,則各突出部之形狀須與前適反. 如欲使之任意向上或向下迴轉,則兩半之突出部可製成方形,如第214圖所示.

200. 摩阻力接合器(Friction Clutches). 摩阻力接合器,其一軸之運動傳達於他軸,係利用兩部接觸表面之摩阻力

第215圖所示者,係摩阻力接合器中之最普通者,謂之圓錐形接合器(Cone Clutch). B 軸上之一部,仍係由一鍵固定於軸上,中備一截圓錐形之槽. A 軸上之



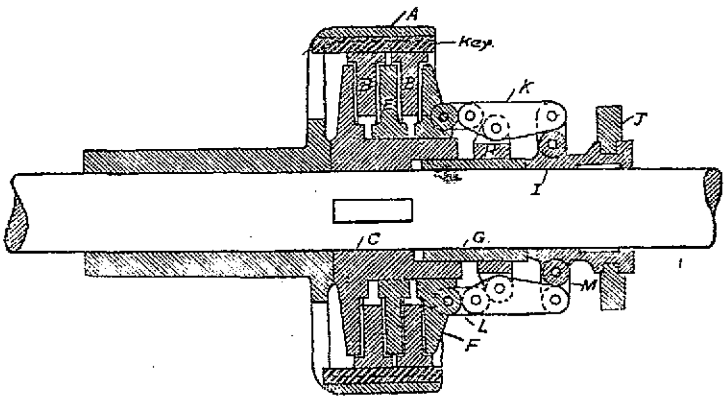
第 215 圖

一部,則仍沿長鍵左右滑動,其表面亦係一截圓錐形. 如使 A 軸上之一部插入 B 軸上之一部,則兩部接觸表面之摩阻力,卽可使 B 軸之迴轉運動傳達於 A 軸.

若所欲傳達之力甚大時,則只此簡單之接觸面,其摩阻力往往失之過小. 故多用一種多板式之接合器(Multi-plate Clutches). 當接合時由一種肘形節(Toggle Joint)之作用. 使各

組板同時接合.於壓力之分配上亦較單一者爲優,如第216圖所示圖中S爲一長軸筒,可繞軸自由迴轉.右端帶一環狀部A. A之內部裝置數層向內伸張之環狀板BB. C爲一圓形盤,由一鍵固定於軸上,其向右伸張之軸筒上,裝置摩阻環板EF.此環板亦能沿軸筒左右移動.F板則連於由K, L及M三部組成之肘形節上.又S筒上固定一皮帶輪.欲使S軸筒與軸同時迴轉時,則向左推動J部,使肘形節發生作用.BE各環狀板即互相接觸,由B及於A,再及於S,則S上之皮帶輪即同時迴轉.

又B, E等環狀板有時全用生鐵製成,有時BB等環板用木製成.



第216圖

習題

1. 試述Peaucellier直線運動機構之構造,並證明此機構能發生一絕

對直線運動.

2. 試繪圖略述兩種絕對直線運動機構及兩種近似直線運動機構.

3. 試述放圖器之原理.

4. 試繪圖略述通用畫圖機之構造及原理.

5. Thompson 工作指示器係利用何種機構組成? 試述之.

6. 多掣輪較單掣輪之優點爲何? 試述之.

7. 何謂雙動掣輪?

8. 可逆掣宜於何種工作? 試述之.

9. 試述接合器之應用及其普通種類.

中華民國十年九月初版
中華民國二十四年六月增訂第三版
　　　　三十七年八月增訂第一五版

職業學校教科書　機械學　一冊　⊕(64473.5)
定價國幣伍元
印刷地點外另加運費

編著者　劉仙洲
發行兼印刷者　商務印書館
發行所　商務印書館　各地

(本書校對者胡達聰)　啓