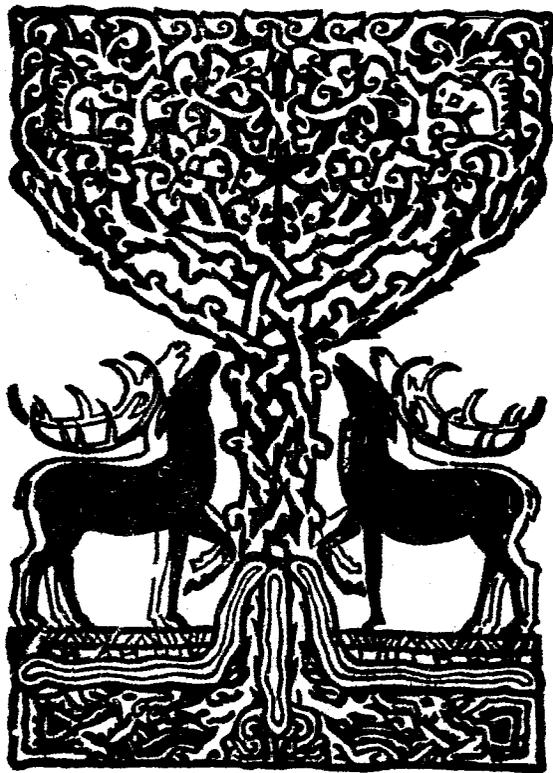


中華百科學叢書

機械學淺說

王濟仁編



上海中華書局印行

中華百科學叢書

王濟仁編

機
械
學
淺
說



中華書局印行

王濟仁

總序

這部叢書發端於十年前，計劃於三年前，中歷徵稿、整理、排校種種程序，至今日方能與讀者相見。在我們，總算是「慎重將事」，趁此發行之始，謹將我們「慎重將事」的微意略告讀者。

這部叢書之發行，雖然是由中華書局負全責，但發端卻由於我個人，所以敘此書，不得不先述我個人計劃此書的動機。

我自民國六年畢業高等師範而後，服務於中等學校者七八年。在此七八年間無日不與男女青年相處，亦無日不為男女青年的求學問題所擾。我對於此問題感到較重要者有兩方面：第一是在校的青年無適當的課外讀物，第二是無力進校的青年無法自修。

現代的中等學校在形式上有種種設備供給學生應用，有種種教師指導

學生作業，學生身處其中似乎可以「不違他求」了。可是在現在的中國，所謂中等學校的設備，除去最少數的特殊情形外，大多數都是不完不備的。而個性不同各如其面的中等學生，正是身體精神急劇發展的時候，其求知慾特別增長，課內的種種絕難使之滿足，於是課外閱讀物便成爲他們一種重要的需要品。不幸這種需要品又不能求之於一般出版物中。這事實，致少在我個人的經驗是足以證明的。

當我在中等學校任職時，有學生來問我課外應讀什麼書，每感到不能爲他開一張適當的書目，而民國十年主持吳淞中國公學中學部的經驗，更使我深切地感到此問題之急待解決。

在那裏我們曾實驗一種新的教學方法——道爾頓制，此制的主要目的在促進學生自動解決學習上的種種問題，以期個性有充分之發展。可是在設備上我們最感困難者是得不着適合於他們程度的書籍，尤其是得不着適合

於他們程度的有系統的書籍。

我們以經費的限制，不能遍購國內的出版品，爲節省學生的時間計，亦不願遍購國內的出版品，可是我們將全國出版家的目錄搜集齊全，並且親去各書店選擇，結果費去我們十餘人數日的精力，竟得不到幾種真正適合他們閱讀的書籍。我們於失望之餘，曾發憤一時擬爲中等學生編輯一部青年叢書。只可惜未及一年，學校發生變動，同志四散，此項叢書至今猶祇無系統地出版數種。此是十年前的往事，然而十餘年來，在我的回憶中卻與當前的新鮮事情無異。

其次，現在中等學生的用費，已不是內地的所謂中產階級的家長所能負擔，而青年的智能與求知慾，卻並不因家境的貧富而有差異，且在職青年之求知慾，更多遠在一般學生之上。卽就我個人的經驗而論，十餘年來，各地青年之來函請求指示自修方法，索開自修書目者，多至不可勝計，我對於他們媿不能

盡指導之責，但對此問題之重要，卻不曾一日忽視。

根據上述的種種原因，所以十餘年來，我常常想到編輯一部可以供青年閱讀的叢書，以爲在校中等學生與失學青年之助。

大概是在民國十四五年之間，我曾擬定兩種計劃：一是少年叢書，一是百科叢書，與中華書局陸費伯鴻先生商量，當時他很贊成立即進行，後以我們忙於他事，無暇及此，遂致擱置。十九年一月我進中華書局，首即再提此事，於是出計劃而徵稿，而排校。至二十年冬，已有數種排出。當付印時，因估量青年需要與平衡科目比率，忽然發現有不甚適合的地方，便又重新支配，已排就者一概拆版改排，遂致遷延至今，始得與讀者相見。

我們發刊此叢書之目的，原爲供中等學生課外閱讀，或失學青年自修研究之用。所以計劃之始，我們即約定專家，分別開示書目，以爲全部叢書各科學量之標準。在編輯通則中，規定了三項要點：（一）日常習見現象之學理的說

明，(二)取材不與教科書雷同而又能與之相發明，(三)行文生動，易於了解，務期能啓發讀者自動研究之興趣。爲要達到上述目的，第一我們不翻譯外籍，以免直接採用不適國情的材料，致虛耗青年精力，第二約請中等學校教師及從事社會事業的人擔任編輯，期得各本其經驗，針對中等學生及一般青年的需要，以爲取材的標準，指導他們進修的方法。在整理排校方面，我們更知非一人之力所能勝任，乃由本所同人就各人之所長，分別擔任。爲謀讀者便利計，全部百冊，組成一大單元，同時可分爲八類，每類有書八冊至廿四冊，而自成爲一小單元，以便讀者依個人之需要及經濟能力，合購或分購。

此叢書費數年之力，始得出版，是否果能有助於中等學生及一般青年之修業進德，殊不敢必所謂「身不能至，心嚮往之」而已。望讀者不吝指示，俾得更謀改進，幸甚幸甚。

舒新城 二十二年三月

自序

機械爲工業之基礎，工業之發達，賴乎機械之改良，人盡知之。任何國家工業之最初發達者爲製造業如紡紗、織布等，以其爲人日常所必須之品，吾國亦如之。然於此製造業之發達道途中，自然感到有缺陷處，謀所以改良者當在機械，於是機械之研究以起，機械製造業從而興矣。吾國情形，現正在此階段。惟一科學術之進步，有藉於羣策羣力者居多，機械之研究，亦莫不然。欲令一國中堅分子多數赴此途者，自以灌輸其常識於中等學生或普通人士，先引起其對斯學之興趣，俾得繼續探求之端倪者，最爲妥捷。舒新城先生有見於此，於中華百科叢書中，定機械學淺說一冊，囑爲編撰，適編者正有此意，遂不忖讓陋，樂於受命。

本書編製，是向機械學之全面，作一簡單巡禮。先自機械構造，機械材料強

弱而至於機械製作法，更附加重要之原動機與普通應用機械，以明其用。敘述內容，不作縱向提高，而爲橫向擴展，中等程度者，只須細讀，自然明瞭。

近年國內坊間所出關於自然或工業書籍，可謂不少，書中或僅揭一公式，命讀者應用，或徒炫耀某機械之奧妙，令讀者感歎。猶之說『金箍棒』與『乾坤圈』，令讀者知其然不知其所以然者多也。編者認此爲有損吾國國民之自信力，故於本書涉及諸方面之原理，可以說明者，力求深入淺出，作簡顯註釋，圖其可以自行運用。

說明事理，與其藉章句之詳盡，不如列表解之簡括，更不如作圖面之易於顯豁。其非圖面材料，始求列表示之，更不能列表者，始借章句註釋之法，編者認爲自然之理，本書爲機械學之淺說，尤應走向此道。是以附圖凡百八十左右，多採自各方著名書籍或自己特別畫繪，讀者細細觀摩，能得其意味於註釋以外者，最所盼幸。

然本書不過導引讀者入機械學之門而已，其較難者，可由此門而入，窮其究竟。有志於斯道而不覓其門以入，固將見其事勞而功微；但讀此而故步自封者，亦終於不能深入而有所貢獻於社會也。甚願與讀者共勉之！

編者，一九三七年二月於廣州。

凡例

- 一、本書在給讀者以關於近代機械學之基本概念，可供中等學生課外閱讀及失學青年自修研究之用，亦可取為高初級工業學校之各該科教材。
- 二、本書取材，以簡要為主，凡旁枝曲節，無關整個認識者，一概從略。
- 三、本書所用術語，除遵照教育部已公布者外，概取最為通用之字面，並多附英文原名，以資對照。
- 四、本書每章之末，皆附有練習問題，以備讀者自修之用，或暗示書中要點所在。
- 五、本書為課餘編輯，罣漏之處，在所不免，編者昔日雖曾擔任普通中學與職業中學教職有年，略有經驗，仍覺是處無多，尚希海內賢達，不吝賜教為幸！

機械學淺說目次

總序

自序

凡例

第一章 緒論

第一節 機械與其種類.....一

第二節 功之原理與機械效率.....四

第三節 機械學之意義.....一二

第二章 機械之構造

第一節 簡單機械.....一四

第二節 活塞曲柄機構與其變態.....二〇

第三節	齒輪組合與其變態	二二三
第四節	帶輪繩輪與鏈輪	三五
第五節	掣動輪間止輪與擒縱輪	四二
第六節	動規	四七
第七節	螺旋彈簧之應用	五一
第八節	摩擦之利用與輕減裝置	五三
第九節	耦合子	五七
第十節	聯動機構	六〇
第三章 機械材料之強弱		
第一節	應力與應變	六五
第二節	梁	八〇
第三節	柱	八七

第四節	軸	九二
第四章	機械製作法	
第一節	設計製圖	九八
第二節	木模與鑄型	一〇四
第三節	鑄造	一一一
第四節	鍛造	一一五
第五節	手工加工法	一二〇
第六節	工作機加工法	一二六
第七節	機械製作工廠之組織	一三〇
第五章	原動機	
第一節	原動機之種類	一三三
第二節	汽鍋	一三五

第三節	蒸汽機	一五三
第四節	蒸汽輪機	一八〇
第五節	內燃機通論	一八九
第六節	氣機	二〇八
第七節	汽油機油機	二一九
第八節	狄賽爾機	二三〇
第九節	水力機	二四〇
第六章 普通應用機械		
第一節	運搬機	二五一
第二節	唧筒	二五六
第三節	交通機	二六一
第四節	製造機	二七〇

第五節 電機……………二七五

參考書目

中文名詞索引

西文名詞索引

機械學淺說

第一章 緒論

第一節 機械與其種類

一、機械 (machine) 吾人兩手能出五十公斤至百公斤之力，不能提更笨重之物。如由輪船卸貨上岸，其重大者，有待於起重機之作用。此起重機，機械也，所以增大吾人之力。以針線縫紉衣服，毋需大力，然欲其快，故裁縫店常以裁縫機行之。此裁縫機，機械也，所以增大吾人之工作速度。取粗鐵桿一條，非不可以藉手工銼為圓桿，但求其表面細滑，截面確為圓形，能以為圓軸轉動者，仍有待於車床之切削。此車床，機械也，所以使吾人之工作精密。

如上述起重機、裁縫機、車床等，均由許多桿、輪等材料，即均由許多物體組



合而成，複雜機械無論矣，他如最簡單之槓桿、滑輪等機械，經過仔細觀察，若槓桿須具支點及棒，滑輪須具圓輪與軸，方有作用。倘只單一物體，必不成其爲機械也。

然當如槓桿者起重物時，若其棒因受重而曲，則不能爲所要工作矣。又如傳動齒輪，若不堪外力之壓迫而折其齒，則亦不得傳動矣。使用機械者，固應料度機械之能力，俾爲適當工作，而機械各部，雖受適量外力，因有變形，然欲同時適應內力，而生運轉上之障礙，則不可也。即機械各部之關係運動須一定，在適當範圍內，無關係於力之大小纔是。

是以機械之本體，爲由二個或二個以上物體所組合，其中一部分作某種運動時，其他部分依規定而運動外，不爲他種自由運動，能增大使用之力，提高工作速度，或精密製造物品者也。

二、機械之種類

世界愈趨文明，吾人所使用之利器，日新月異，愈見精

巧。普通稱爲機械者，範圍至廣。大如蒸汽機 (steam engine)、氣機 (gas engine)、油機 (oil engine)、造紙機 (paper machine)、印刷機 (printing machine)、紡織機 (textile machine)、車床 (lathe)、小如鐘、錶、測量器等皆是。各有獨特構造，獨特作用，不勝枚舉。然依其作用，可大別之爲三類。

〔一〕原動機 (prime mover) 接受自然給予之能 (energy)，如水車 (water wheel)、承高處落水之衝擊，如油機引油爆發於其機筒 (cylinder)，如蒸汽機導汽鍋 (boiler) 內由煤燒成之熱汽於其機筒，而以發動本身，俾傳達於應用機械者，統稱爲原動機。他如風車、氣機等均屬之。

〔二〕應用機 (applied machine) 接受由原動機傳達而來之能，適應其使用目的，作恰當運動，成各種有用工作者，統稱爲應用機。造紙機、起重機等屬之。

〔三〕中介機 (intermediate) 作用於原動機與應用機之中間，傳達原動

機之能於應用機，俾應使用目的而工作者，統稱為中介機。主由齒輪、帶輪等輪類，與其他桿類、軸類等組合而成。

第二節 功之原理與機械效率

一、功與功率 吾人舉石上昇，拉物前進，在物理學上謂之作功 (work) 或作工作。其值以所用之力 F ，乘受力物體在力之方向所運動之距離 S 定之。即：

$$\text{功} = F \times S$$

若舉石不動，或拉物未前進，雖費時而感疲勞，但於上式中之 S 為零，即不得謂有功也。如英國制以磅 (pound) 為力之單位，呎 (foot) 為距離之單位，則以一磅之力，使物體在其方向運動一呎之距離者為功之單位，稱作一呎磅 (foot-pound)。譬之舉重 3 磅之物，昇高 2 呎，其

$$\text{功} = 3 \times 2 = 6 \text{呎磅.}$$

又如德法制以仟克 (kilogram) 即公斤爲力之單位, 米 (meter) 爲距離單位, 則以一仟克之力, 使物體在其方向運動一米之距離者爲功之單位, 稱一米仟克 (meter-kilogram).

$$\text{因} \quad 1 \text{呎} = 0.3048 \text{米,}$$

$$1 \text{磅} = 0.4536 \text{仟克,}$$

$$\text{故} \quad 1 \text{呎磅} = 0.13825 \text{米仟克,}$$

$$1 \text{米仟克} = 7.233 \text{呎磅.}$$

功之單位既定, 吾人常以單位時間內, 某人或某機械所作之功, 爲其人或機械之功率 (power). 功率之單位, 不止一種, 普通供實用者爲英國制之馬力 (horse power), 簡寫爲 H.P. 1 馬力爲每秒間 33000 呎磅之功率, 即每分間 330000 呎磅之功率, 譬如某機械以 5 磅之力, 使物體在力之方向, 每秒運動 300 呎, 則

每秒間所成之

$$\text{功} = 55 \times 200 = 1100 \text{ 呎磅}$$

$$\text{其功率} = \frac{1100}{550} = 2 \text{ 馬力}$$

德法諸國概以每秒間 7.5 米仟克之功，爲一馬力。

然在理論科學上，以達因 (dyne) 爲力之單位，能使質量 1 克之物體，在其方向，每秒間得每秒 1 厘米加速度之力也。質量 1 克物體，自高處自由落下，其所受重力爲 1 克，依實驗結果，可令於每秒間得每秒 980 厘米之加速度。故 1 克約等於 980 達因。以 1 達因之力，使物體在其方向運動距離一厘米之功，爲功之單位者，稱一爾格 (erg)。爾格之量太小，通常用其 10^7 者稱爲焦耳 (joule)。每秒間作功 1 焦耳之功率稱 1 瓦特 (watt)。其 1000 倍爲 1 仟瓦 (kilowatt)。簡寫爲 kW。電工業中多用之。

$$1 \text{ 英馬力} = 1.0139 \text{ 法馬力} = 746 \text{ 瓦特}$$

1呎² = 1.34英馬力 = 1.36法馬力。

二、能與能量不減原理 能爲物體得以作功之能力，得以作功之量大

者，謂其物體之能量大，得以作功之量小者，謂其物體之能量小。鐵鎚自高處落下，可以擊其下之鐵使縮，以其擊鐵之平均力，乘被擊者所受減縮距離，爲鎚所作之功。其具作此功之能，依於其所在位置之高，稱爲位能 (potential energy)。子彈自遠處飛來，衝破牆壁，以其衝牆壁之平均力，乘衝入之深，乃子彈所作之功。其具作此功之能，依於其速度之大，稱爲動能 (kinetic energy)。位能與動能，統稱爲機械能 (mechanical energy)。

能量既依其能作功之量而定，故其單位與功之單位相同，亦爲呎磅，爾格等等。

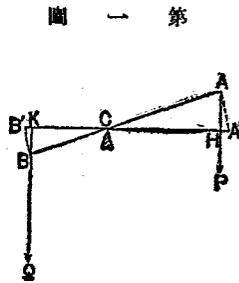
掛擺被提向一邊時，以其位置昇高，故得位能而自由落下。當其至最下位置，即原來靜止位置，已無位能，但其速度加大，持有動能，故能自向他邊上昇。及

至上昇與被提時同高，速度漸減至零，顯示其已無動能，而復只有位能如斯動作，可證物體之位能可變為動能，動能復可變為位能。又用兩手相搓擦，原以機械能作功，而所成者為熱，惟燃料燃燒發熱，倘以熱水發生蒸汽，引入於蒸汽機中，可推動活塞作機械功，是熱亦可作功，稱熱能 (thermal energy)。上述之搓手成熱，示機械能變為熱能，下例之蒸汽機，示熱能變為機械能也。可見兩者亦可互變。然蒸汽之熱能，可令發電機 (dynamo) 發電，送向遠處點電燈，或轉電動機 (motor) 為電能 (electric energy)。故能之種類，於機械能及熱能外，伴音光、磁、電諸現象而現者均有能。自然現象者，要為此等之能，自一態變為他態，或自一物體，移於他物體而已。

英國大物理學家焦耳 (Joule 1818—1898) 氏曾以輪葉在水中轉動，既測轉動輪葉所費之功，並量水之溫度昇高，即示其得熱之量，兩者之間，似有一定關係。雖經多次實驗仍如此。所以熱一克之水，至昇攝氏一度所需熱量，常須

費 $\frac{1}{2}c$ 焦耳之功。不特機械能與熱能間之變化如此，嗣經許多學者慎密測驗，知與其他電能、光能相互間，都有一定變換比率，不增不減。是在任何場合，關於一現象，各物體所有能之狀態雖有變遷，其量之總和，則無少增減也。上說稱能量不滅 (conservation of energy) 原理，為物理學上一最重要之原理也。

三、功之原理與機械效率 如第一圖於槓桿 A B 之一端 A 加力 P，舉起其他端 B 點所懸重量 Q。若令 A B 達於水平 A' B'，則以



$$\triangle CBK \sim \triangle AHG,$$

$$\frac{AH}{BK} = \frac{CA}{CB},$$

$$\therefore AH = \frac{CA}{CB} \times BK,$$

故吾人對於槓桿所作之功為

但槓桿於水平位置平衡時，

$$P \times AH = P \times \frac{CA}{OB} \times BK,$$

$$P \times AC = Q \times BC$$

$$Q = P \times \frac{AC}{BC}$$

$$\therefore P \times AH = Q \times BK.$$

$Q \times BK$ 爲槓桿對重物所成之功。由此可知使用槓桿，雖可由小力變爲大力，其所成之功，常與受自外部之功相等。此事若以能量不滅原理說明之，極易得同樣結果。蓋吾人施於槓桿之功，即施於槓桿之能量也，能量既不滅，槓桿自可出同樣能量，作同樣之功。依據能量不滅原理，實不僅簡單機械如槓桿者如此，即複雜機械如原動機者，何能與此不同。是以

任用何種機械，不拘其構造之繁簡，不關其作用之巧拙，加以若干之功或能時，必能爲同量之功也。

上說謂之功之原理 (the principle of work) 機械之原理無粗無精，其建設之基礎，可謂均在此原理之上。

上舉槓桿一例，說明功之原理，嚴格言之，尚有幾分與事實未合。蓋槓桿作功時，其支點 C 受壓成摩擦生熱，消耗一部份之能，以此消耗功 (wasted work) 加於所成有效功 (useful work)，依據能量不滅原理，始得等於所施之功。機械構造複雜者，此類消耗功，難免不無增加。總之任何機械於作功時必有若干摩擦之阻力，或未克將其所受之能，儘量使用，如蒸汽機之廢汽，仍溫度甚高，含有熱能，然都有消耗功也。其有效功與其所受能量之比，稱為該機械之機械效率 (mechanical efficiency) 即機械之

所受能 = 有效功 + 消耗功

機械效率 = $\frac{\text{有效功}}{\text{所受能}}$

第二節 機械學之意義

機械既爲物體之組合，用以將所受之能，變爲吾人有效之功。然必如何組合，方能達到吾人目的，固自應各目的之不同，由簡單而複雜，千變萬化。惟複雜機械之構造，驟視之雖似深奧，經分析研究之後，可知亦各由簡單機械如槓桿、斜面、輪軸等組合之耳。研究此等基礎簡單機械之構造，稱機械構造學，或簡稱機械學 (mechanism)。

機械構造既定，倘所用材料太硬易折，太軟易曲，或過粗費材，過細不強，均未能恰爲所要運動而經濟合式。研究機械關於此類材料本身與構造強弱者，稱材料強弱學 (strength of materials)。

機械構造與所用材料既經決定，其第三步驟，即須研究如何製造機械，研究所謂機械製造法 (workshop practice) 尙焉。

是以機械學者乃研究機械之構造，所用材料之強弱與其製造法之學科而已。本書即以此意義，與有意於斯學者論其大概，至於如原動機、電機與夫普通應用機械，亦分章述之，俾資實際問題之參考。若夫欲求斯學之高深知識者，亦可以之爲入門之一徑也。

問題

- (一) 何謂機械及機械學？試簡述之。
- (二) 水每立方呎之重量爲 62.5 磅。問以 1 馬力之機器，每秒間可汲引幾立方呎之水，上昇 1 呎？
- (三) 茲有需要電能 5 瓦特之電燈百盞，問須幾仟瓦之發電機發電供給之？並至少須若干馬力之原動機轉此發電機？
- (四) 摩擦在機械，常消耗所受之能，降低機械效率，故恆設法減少之。然亦有利用摩擦之機械否？

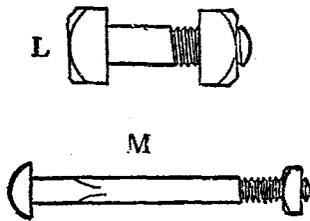
第二章 機械之構造

第一節 簡單機械

一、螺旋與螺旋套 (bolt and nut) 第二圖所示 L 爲機械用螺旋與螺

旋套，以結合兩金屬物體。圖中所示，雖爲四角頭者，然普通以六角頭者爲最多。M 爲結合木材之螺旋與螺旋套。螺旋頭爲半球形，其直下爲四角，餘爲圓棒狀。螺旋套爲四角形。車輛工程，建築工程，造船工程中之木材工用上用之最多。頭部所以爲半球形者，欲其觸手圓滑也。

第 二 圖



二、肘桿 (bell crank) 爲橫桿之變態。如第三圖所示，一端之上下動，可

生 2 端之左右動，能變運動方向。其臂 23 若比 13 長，則 2 端運動之幅，比 1 端者大，因之一方向之往復動，得變為異方向異幅之往復動。兩臂不限在同一平面內，並有裝於長軸之兩端者。

三、曲柄 (CRANK)

如第四圖，1 為軸，2 為栓，3

為臂，全部稱曲柄。上圖可支於左右，下圖為支於一端。變往復動為圓運動，或變圓運動為往復動處用之。

四、絞盤 (WINCH)

本機械為輪軸之變

態。如第五圖，軸 1 為矢之方向轉動時，左側之繩 6 捲於 3 上，右側之繩 6 自 2 下墜。但 3 大而 2 小，卒使動滑輪 4 上昇。即若 3 之半徑為 R ，2 之半徑為 r ，當輪軸同時轉一週時，捲於 3 上之繩

第 三 圖

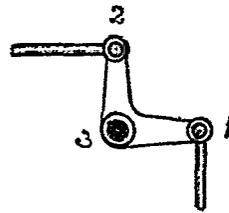


圖 四 第

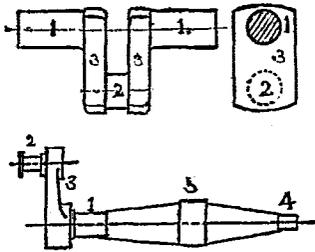
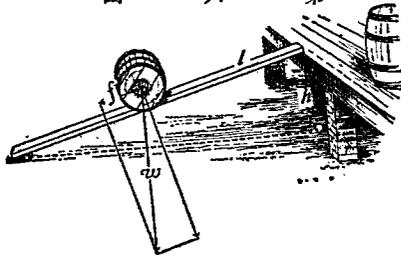


圖 六 第



爲 $2w$, R , 而由 2 落下者爲 w , 相差 w ($R - w$),
 4 之上昇爲繩上昇之二分一, 爲 w ($R - w$). 苟
 R 與 w 相差不遠, 則其上昇實微. 依據功之原理,

雖鉤 5 掛有重物, 所成之

功不大, 儘可以小力轉軸

1 提高之. 即使用本機, 可

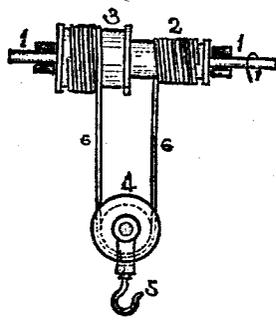
以較小之力, 提上重大貨物.

五、斜面 (inclined plane)

斜面如第六圖所示,

爲不能直接提重物 w 至 h 高時, 借以延長移動距離爲
 l , 而減所用之力爲 f 耳. 於是吾人拉重物之全功爲 $w \cdot l$,
 而斜面所成之功爲 $w \cdot h$. 依功之原理, $w \cdot l = w \cdot h$
 故 $l = h$, h 愈小時, 力比愈大.

圖 五 第



六、球殼接頭 (ball and socket joint) 圖七、管 4、5 之兩端 1、2、互為球面組合，4 對 5 可以自由轉動，恰如吾人兩肩之關節。

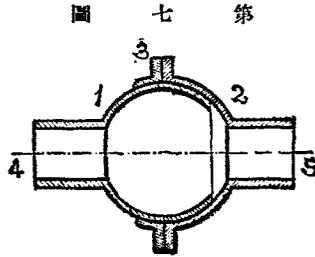
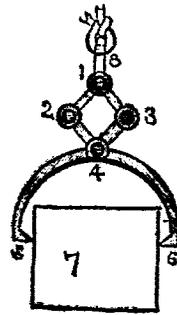


圖 八 第



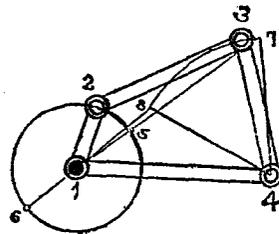
七、提鉤 (tongs) 5 4 3 與 6 4 2 兩鉤，以 1、2、3、4 各釘連結之如圖八。吊繩 8 緩時，5、6 兩鉤開，可以抱挾石材或木材。但曳繩引之向上時，則自能緊抱之使上。到目的地時，祇須放繩，鉤自脫出。廣用於木石材之搬運。

八、四關節鏈 (quadric chain)

如第九圖所

示，由四個轉動對 (turning pair) 組合而成之較爲單純者。轉動對者，兩物體在同一軸上，可以互相轉動者也。圖中四轉動對之軸各平行， 12 最短， 14 最長。 14 固定時， 12 之全轉動，令 34 振動于孤 78 之間。 12 爲曲柄， 34 爲積桿， 23 爲連桿。5 稱第一歸點，6 稱第二歸點，在歸點之位置，曲柄之中心線與連桿之中心線重合於一直線上。

圖 九 第

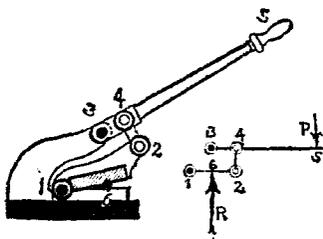


九、臺剪 (shearing machine)

如第十圖所示

剪刀間挾金屬板 6。今以力 P ，押下桿 5，可以打勝板之強大抵抗。蓋此爲二重積桿之作用，其一爲以 3 爲支點之積桿 34 ，其壓 4 之力爲 $\frac{35}{34}P$ ，其二爲以 1

圖 十 第



爲支點之槓桿 $1s_2$ ，因而押 6 之 R 等於 $\frac{12}{16} \times \frac{35}{34} P$

$$\therefore R : P = 12 \times 35 : 16 \times 34$$

十、快歸運動 (quick return motion) 圖十一曲柄 12 轉動時，振桿 43 爲

左右振動，但振桿 34 由 7 歸 6 時，曲柄 2 畫劣弧 (98)，自 6 向左 7 進時，畫優弧 (29)。若曲柄以等速轉動，則振桿歸速而往緩，故名快歸運動，用於工作機等處。

圖 一 十 第

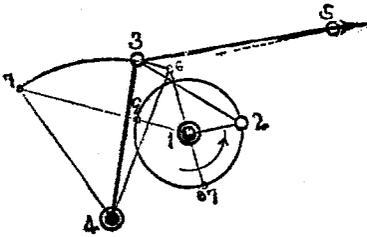
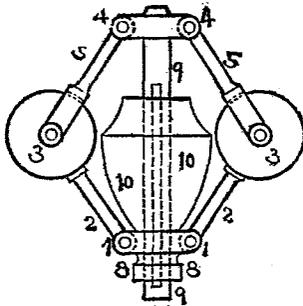


圖 二 十 第



十一、節速器 (governor)

第十二圖中 4、4、3、3、1、1 各爲轉動對，垂

直軸 9 與中心之錘 10，以栓與栓構成滑動對 (sliding pair) 滑動對者，兩物體可以相對爲直線運動者也。軸 9 之轉動速度超過規定時，左右球 3、3，依其遠心力提昇中心錘 10，又轉速遞減時，則球近向軸方，中心之錘下降，其下降與上昇，可以司開合機器燃料門之責，以調燃料而節速度。

第二節 活塞曲柄機構與其變態

活塞曲柄機構 (slider crank chain)

多爲三軸相平行之三個轉動對，

與對三軸爲直角之一個滑動對組合而成之平面機構。機器 (engine) 曲柄軸之構造爲其代表。變圓運動爲往復直線運動，或變往復直綫運動處用之。

一、活塞曲柄機構與其變態

第十三圖 A 中之 1、2、3 各爲轉動對之

軸，當曲柄 12 轉動時，由連桿 23 生 4 之往復動，爲普通機器之活塞曲柄機構。

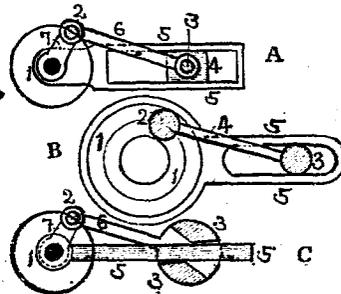
同圖之B，乃於圓板1之面刻環狀凹溝，嵌入桿4之左端2，其右端3則嵌於溝5中。同圖之C，則其3以上下之突出部挾桿5。B、C各部之相對運動與A同，為A之變態。

二、直交複式活塞曲柄 (cross compound slider crank)

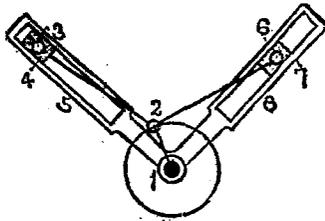
第十四圖中左右兩機筒 (cylinder) 之中心線互為直交，共有一曲柄12。如圖所示，曲柄12轉動時，4、7兩活塞將被引各為往復運動。反之，4、7若真為機器之機筒，可以其中燃料爆發之壓力，推動活塞，使12轉動甚勻。應用於飛機之汽油機機構。

三、肘結壓縮機 (toggle-joint press) 圖

圖三十第



圖四十第



十五中 1、2、3、6、7 各為轉動對之軸，4 與 5 為滑動對， $\perp \parallel \infty$ 以力拉肘桿 6 之端 8 向下，則 2 向右，角 123 漸近於二直角時，積桿 8 上之回轉力，成爲 4 處強大下壓之力，穿孔機、壓榨機、印刷機等處應用之。

圖 五 十 第

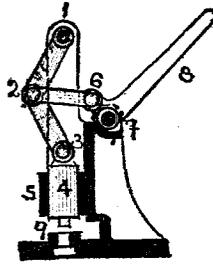
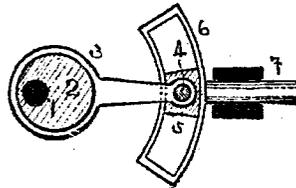


圖 六 十 第



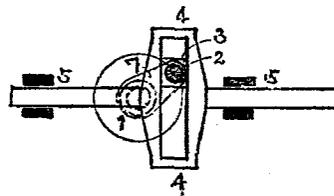
四、活塞曲柄機構之變態 第十六圖中之滑動片 5 可滑動於導框 6 中，2 爲偏心板，可以 1 爲心軸轉動，俾其套圈 3 爲上下左右動，使滑動片之栓 4 拉 6，7 爲左右動，而以 5 在導函正中時，7 之往復距離最大，由正中向上或

下時變小，即以此可調節 7 之左右動，多應用於蒸汽機之蒸汽分配遮斷處。

五、直交活塞曲柄 (cross slider crank) 如下圖。

滑動片 3 爲曲柄栓 2 之襯金，上下滑動於溝 4 中。曲柄 1 之轉動，使桿 5 爲左右振動。曲柄爲等速轉動時，5 爲簡諧運動 (simple harmonic motion)。

圖 七 十 第



第三節 齒輪組合 (gearing) 與其變態

一、正摩擦輪 (friction wheels) 如十八圖於 A、B 二平行軸上，各裝如

固定橡皮輪者一個，若兩輪互相接觸，則 A 爲如矢之方向轉動時，B 輪以接觸處有摩擦作用，將被引爲反向，即如其自身之矢向轉動，此所謂正摩擦輪，於兩平行軸間傳動者也。A 一轉動中，其輪周任何點之運動距離爲 $2\pi r$ ，故每分間

N 轉動中，輪周任何點之運動距離為 $2\pi nR$ 。
 同時 B 若適為 n 轉者，則 B 周任何點之運動距離為 $n \cdot 2\pi r$ 。二者以摩擦接觸傳動，故

$$N \cdot 2\pi R = n \cdot 2\pi r$$

$$N = \frac{r}{R} n$$

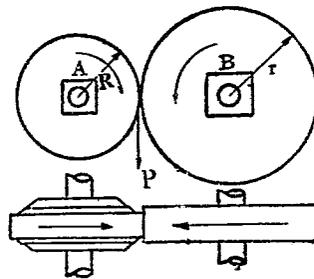
即示 A、B 兩輪之轉數，反比於其半徑。倘所傳之力如圖所示為 P，則其所傳馬力（式中 R 為呎數 P 為磅數）

$$H.P. = \frac{2\pi RNP}{33000}$$

二、正齒輪 (spur wheel) 上述之摩擦輪傳動，係假定兩者之滾動接

觸，無少滑走時，始得謂兩者轉數反比於其半徑。然二者雖各為橡皮製造，實際上亦未免互相滑走，况為其他材料乎。換言之，以摩擦輪傳動之兩軸轉動之速比，難能確實一定。欲其確實一定者，須用齒輪傳動。齒輪者，於如摩擦輪之周，令

圖 八 十 第



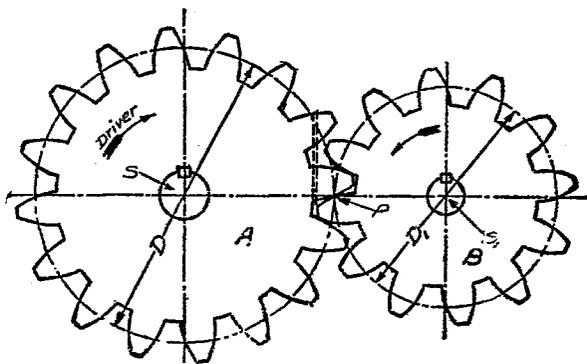
一部凹入，一部突出，製爲齒形，如第十九圖所示之 A、B，互相嚙合以傳動者也。

原摩擦輪之輪周，在齒輪上謂之齒距圓或齒距線，蓋兩齒間之距離，以在此圓上兩齒間圓弧之長度之，如第二十圖之 7。大小兩齒輪組合傳動時，其兩方齒距恆相等。故齒數比例於其齒距圓，即各比例於其齒距圓之半徑，因而反比例於其組合時各轉數。譬之 A 輪齒數爲 T，單位時間內轉數爲 N，而 B 輪者爲 t 及 n，則

$$\frac{N}{n} = \frac{t}{T}$$

今假定 A 輪之 $T = 24$ ，B 輪之 $t = 12$ ，

第 十 九 圖

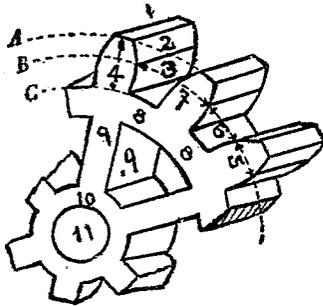


齒數之比為 2 與 1，而以一齒一齒互相嚙合，B 輪轉二次，A 輪始轉一次，其比為 1 與 2 也。

茲照第二十圖所示符號，列舉齒輪各部分名稱如下：

1. 齒頂 (top)
2. 上齒面 (face)
3. 下齒面 (flank)
4. 齒長或高 (length or height)
5. 厚 (thickness)
6. 間隙 (space)
7. 齒距 (pitch)
8. 輪周 (web, rim, crown)
9. 臂 (arm, spoke)

圖 十 二 第



10. 轂 (hub, boss)

11. 軸孔 (eye, bore)

A. 齒頂線 (addendum line)

B. 齒距線 (pitch line)

C. 齒底線 (dedendum line)

2, 3 之橫幅爲齒之幅 (breadth)

齒輪所傳之功率，即其馬力數，仍以在摩擦輪傳動之式計算，爲

$$\text{H.P.} = \frac{2\pi RNP}{33000}$$

式中 R 爲任何一輪齒距圓之半徑，N 爲其一分間之轉數，P 爲輪齒上對半徑爲直角之壓力。

惟輪齒之形狀，恆用特別車床，特別刀具切削成之，其形狀在使組合兩輪齒，無論在上下齒面任何處，均以沿齒幅一線接觸傳動，不使有時間斷，以間斷

後再接觸時，必有撞擊，致傳動不得圓滑也。詳高深機構學中，可自參考。

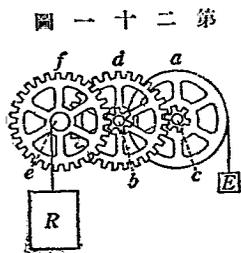
至若齒輪各部尺寸，如齒幅齒厚等，均依傳動二軸之間隔、速度與所傳功率等而定。

三、正齒輪之組合 (train of spur wheel)

合，謂之正齒輪之組合，若 e, d, b, f 之齒數各為 C, D, B, F ，則 c 一轉中， d 之轉數為 C/D ， b 與 d 同軸共回轉，其轉數亦為 C/D 。但 b 與 f 之轉數比為 B/F ，故該時 f 之轉數應為 $C \cdot B/D \cdot F$ 。圖中 c, b 各為動者， d, f 為被動者，最初動者與最後被動者轉數之比，為各動者齒數之乘積，與被動者齒數相乘積之比可知也。

在徑或齒數相差甚大之正齒輪組合中，其最小者特稱小齒輪 (pinion)。

四、齒桿與小齒輪 (rack and pinion) 如二十二圖，小齒輪 1 之轉動，



予齒桿²以直線運動，或由齒桿之往復動，使小齒輪左右轉動，蓋與正齒輪之組合相似，特其一之直徑甚大，變為齒桿耳。

圖 二 十 二 第

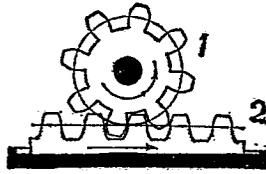
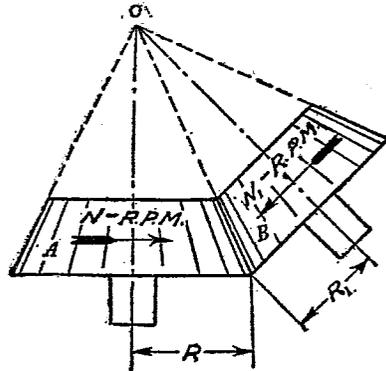


圖 三 十 二 第



五、截錐形摩擦輪
 摩擦輪行之，其轉數比

於相交二軸間傳動，可以如第二十三圖之截錐形

可由前述之理自明，惟此仍為相互間之滑走，難得確實之速比。欲得確實之速比者，仍須於截錐面植齒如下述之傘齒輪方佳。

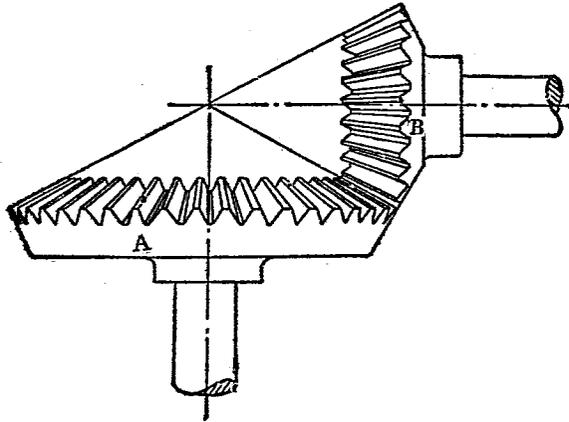
六、傘齒輪 (bevel wheel)

齒輪乃於截錐摩擦輪面製齒，以確實傳達相交二軸間一定速比之輪也。若輪 A 在單位時間內之轉數為 N，齒數為 T，輪 B 者為 N₁ 及 T₁，則以製齒之法與在正齒輪者相似，故

$$\frac{N_1}{N} = \frac{T}{T_1}$$

$$\frac{N_1}{N} = \frac{R}{R_1}$$

第 二 十 四 圖



齒之形狀，亦如正齒輪，以特別車床，特別刀具切削成之。其傳動之相交二軸，雖不必為直交，但以直交者居多。

七、螺桿與螺輪 (worm and worm wheel)

如圖，螺桿 1 回轉中，送與

相啮合之螺輪之齒一枚過去（普通之設計），兩者轉數之比，等於螺輪之齒數，其值甚大，可施小力於 C，能拉起軸 2 上之重物。其互相啮合之齒形，亦由特殊繪圖鑄造，或以特別車床，特別刀具切削成之，使兩者以線接觸而傳動。

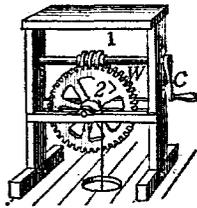
此種機構，普通可由 1 傳動於 2，不能自 2 傳動於 1。1 之軸與 2 之軸不為直角時，亦得作相似之傳動機構。

八、螺線齒輪組合 (screw gearing)

圖二十六為兩軸直交時之螺線

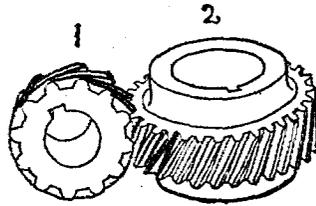
齒形組合。兩齒輪之傍面為柱體，齒為螺線形，相互以點接觸。其二軸為斜交者，

圖 五 十 二 第

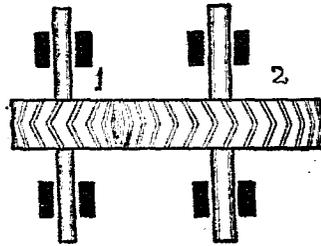


亦得以同樣機構傳動

第 二 十 六 圖



第 二 十 七 圖



九、雙重螺旋齒輪組合 (double helical gearing) 若只有一重之傾斜螺旋齒，則如第二七圖之兩平行軸傳動中，易於軸之方向，生推力，作成雙重之後，即可將推力互相消殺，可以傳強力，其變態有以多重代雙重，成波形者，齒對軸之傾斜，多約為 23° 。

十、傘齒輪之順逆轉組合 (driving stop and reversing with bevels)

二八圖 3、4、5 各為相組合之傘齒輪，3、4 在其位置，得於軸 1 上自由轉動，5 乃固定於軸 2 上，8 則以栓與軸 1 之溝相組合，與軸 1 共回轉，但可在其上自由為左右動，並與 6、7 各為啮合子，軸 1 轉動中，8 倚右，則因 4、5 之組合以轉軸 2、8 倚左，則依 3、5 之

組合，使軸 2 作與以前相反向之轉動，然若置 8 於中央，則以兩方啮合子均無組合，軸 2 停而不轉。

十一、一轉動中一休息之齒輪 (intermittent motion of spur gear)

息之齒輪 (intermittent motion of spur gear)

圖 八 十 二 第

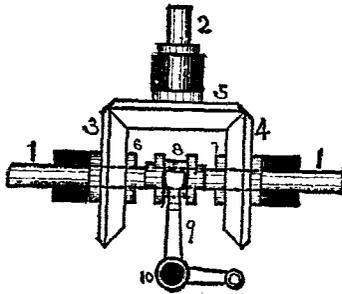
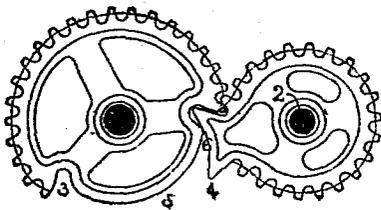


圖 九 十 二 第



第二十九圖，1 爲動者，2 爲被動者。圓弧之部分 5，接於魚尾狀之部分 6 中，1 雖轉動，2 則靜止。其後則兩者相組合，以 1 轉 2。因之 1 一次轉動，2 必有靜止之時。凹部 3 與凸部 4 爲兩輪齒組合之媒介，5 之圓弧部分稱鎖弧 (Locking arc)，6 之圓弧部分稱鞍弧 (saddle curve)。

十二、以三樣速度轉動

之齒輪 於第三十圖之
左右兩齒輪中，2 與 2'，3 與 3'，4 與 4' 各相組。軸 1 之等速轉動，使軸 1' 爲三樣速度轉動。但齒列 2 與 2' 相組時，兩者之轉動速度相等。

十三、葉形輪 (Lobed)

圖 十 三 第

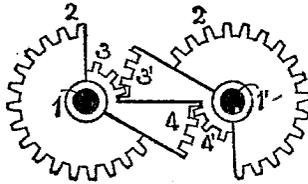
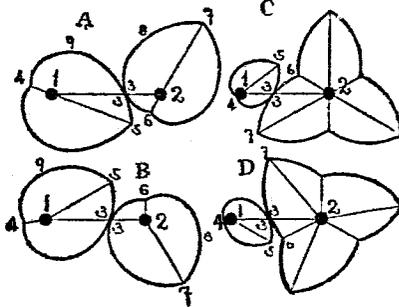


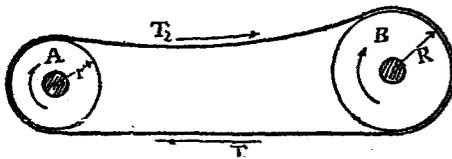
圖 一 十 三 第



(wheels) 如三十一圖，平行軸 1、2 上，有以特種曲線（如對數曲線）為外緣之兩輪相接觸，可無滑走而傳動，與齒輪同作用，使被動者為特殊之變速轉動，亦有沿其曲線，作為齒形者，圖中 A、C 雖為對稱形，而 B、D 則否。

第四節 帶輪繩輪與鏈輪

一、帶輪之傳動 齒輪傳動，只能施行於兩接近軸之間，若兩軸距離稍遠，欲其傳動，則以如第三十二圖所示，於兩軸上各裝一固定輪，掛繞以略為緊張之帶，當 A 輪為動者，轉於如矢之向時，因其輪周與帶間有摩擦作用，遂拽帶之下側向左，上側向右，而被動者之 B 輪同樣，以與帶間有摩擦故，被帶拽向左轉，即成所謂帶輪傳動之機構。帶向 A 輪運動之側緊張，稱緊張側，向 B 輪運動之側弛緩，稱弛緩側。帶掛於水平



時，緊張側在下為佳。此使弛緩側附着於帶輪周較多，可增摩擦，以減少帶與輪間因滑走之摩擦。今假定帶與輪周一致轉動，不少滑走，A輪每分鐘轉 n 次，B輪轉 N 次，則每分間帶之運動距離

$$2\pi r n = 2\pi R N,$$

$$\frac{n}{N} = \frac{R}{r}$$

即兩輪之轉數，應反比於各輪之半徑。惟其利用摩擦，與摩擦輪相似，未免滑走，上述轉數比不能準確。故普通用帶輪處，多以傳達功率，少希望其有一定轉數之比。

帶輪傳達之功率，依下述之法計算之。即假定緊張側帶之張力為 T_1 ，弛緩側帶之張力為 T_2 ，則A輪拽帶之力為 $T_1 - T_2$ ，帶每分間運動距離為 $2\pi r n$ ，故其傳達功率之馬力數

$$\text{H.P.} = \frac{2\pi r n (T_1 - T_2)}{33000} = \frac{V(T_1 - T_2)}{33000}$$

式中V爲帶每分間之運動速率，係視輪與帶間無滑走者。

帶輪之帶，多爲皮帶，然亦有使用木棉製與鋼製者，皮帶有一層、二層重合或三層重合者。一吋寬之單層皮帶，普通許有75磅之張力，即應 $T_1 = 75$ 磅，而 T_2 常爲其 $\frac{3}{7}$ ，即應 $T_2 = 75 \times \frac{3}{7} = 32$ 磅約。可得其傳達之力爲 $75 - 32 = 43$ 磅。由是欲傳若干磅之力，可先以計算其寬度矣。

二、鑄鐵製帶輪 (cast iron belt pulley) 帶輪

多爲鑄鐵製。下圖示其代表之物。圖中1爲軸 (shaft)，2爲轂 (hub)，3爲臂 (arm)，4爲輪周 (rim)。輪周多不爲圓筒面，而爲中凸之圓弧狀。帶掛於帶輪被拽動時，常向緊張處（受力之作用）爬行。今輪周中凸，帶自恆向中間爬行，不至於向左右脫落之機構也。但亦有兩側附緣，防帶之脫落。

圖 三 十 三 第

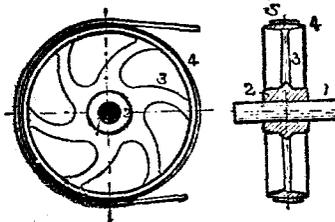


圖 四 十 三 第

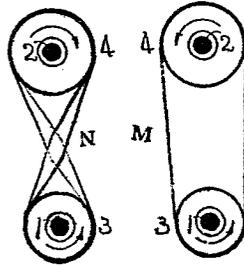
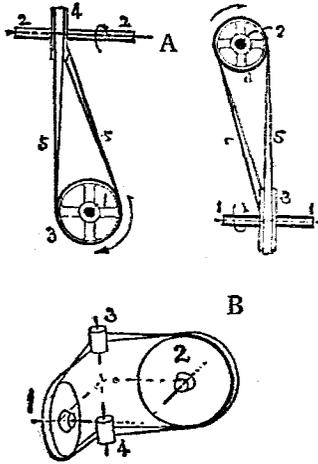


圖 五 十 三 第



之方向回轉時，傳其動於與直交方向之軸 2。普通皮帶離被動輪處之中點，適

1 以矢

A，為軸

五圖之

第三十

動、

帶輪傳

軸間之

非平行

四

三、帶之掛法 圖三四M為開帶式 (open belt) 俾 3、4 兩帶輪作同方向回轉而傳動。N為閉帶式 (closed belt)，俾 3、4 兩帶輪作反向回轉而傳動。

在傳動輪中心平面之內，其離開傳動輪時，帶之中心線與輪之中心面，須在15°角以內，帶始不至於脫落。由上圖之A，亦可知其掛法，合此定則。

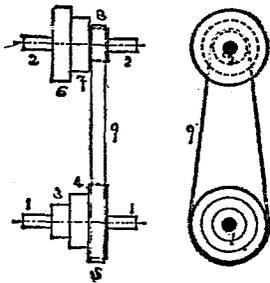
至若同圖之B，斜交軸上二帶輪間掛帶，難合上述定則，特介導輪 (guide pulley) 3、4 傳動，俾各輪與皮帶間都合上述定則也。

五、塔輪或階級輪 (step pulley) 裝於平行軸 1、2 上之帶輪中，3 與 6、4 與 7，或 5 與 8，各可掛同一皮帶以傳動。

如斯軸 1 之轉動，不論皮帶掛於任何一對之輪，均可傳動。若軸 1 之轉速一定，被動軸 2 可有三樣之速轉動。

階級輪之變態爲圓錐帶輪 (cone pulley)，即將兩者各製爲圓錐形，於是依皮帶之左右寄，兩軸之速比，得爲種種變化。

圖 六 十 三 第



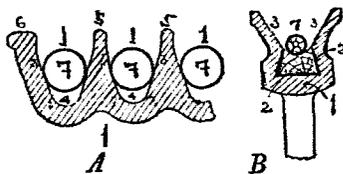
六、繩輪 (rope pulley)

兩軸之距離較遠，所傳之力又大，不能以寬厚有限度之皮帶傳達者，多用繩輪與繩代之。繩輪亦多為鑄鐵製，固裝於軸上，其輪周之橫斷面如下圖。A 為繞纖維繩者，繩 7 支於 V 形溝兩側，不觸於溝底 4。B 為繞鋼絲繩者，繩 7 繞於輪 1 溝內，下所填如軟木或橡皮等彈性體，以免鋼繩與鐵輪接觸，致有損傷也。繩以麻、棉或馬尼刺纖維搓扭製者，稱纖維繩 (Fibrous rope)，以鋼絲或鐵絲搓扭製者，稱鋼絲繩 (wire rope)。繩之彎曲性隨其直徑之增加而減少，故傳達之功率較大時，恆增加繩數而不用過粗之繩。下圖 A 中不止一溝者，即係此意。

七、鏈輪 (chain wheel)

帶輪可用於速率大而力小之兩軸間傳動，繩輪可用於速率小而力大之兩軸間傳動。然都未免滑走之虞，惟鏈輪與鏈，可無滑走，傳大力於遠離兩軸之

第 三 十 七 圖



間，但少有利用於高速處耳。如第三十八圖所示， β 爲鏈，由鏈條與栓結合而成，可適嵌合於鏈輪 1、2 之齒間，其所傳馬力

$$H.P. = \frac{TV}{33000}$$

式中 T 爲緊張側鏈之張力，其弛緩側張力通常爲零，V 爲鏈之速率。

八、易於脫卸之鏈輪

(Detachable chain)

圖中 β 以爪鉤次之 β ， β 爲鏈，有易脫卸之便利。

鏈輪於提拖重物處亦用之。恆應用於紡績機械，製粉機械，浚溝機等處。

圖 八 十 三 第

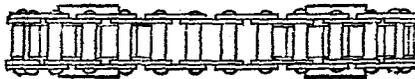
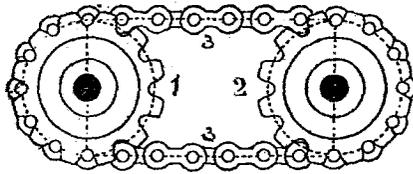
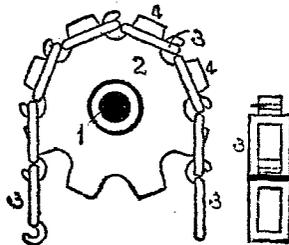


圖 九 十 三 第



第五節 掣動輪間止輪與擒縱輪

一、掣動輪與掣子 (ratchet-wheel and click) 第四十圖之掣動輪 5 與

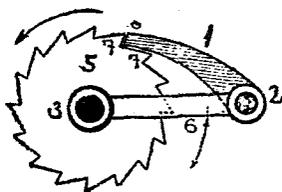
桿 6，爲以 3 爲軸之轉動對，掣子 1 與桿 6，爲以 2 爲軸之轉動對。今 6 在軸 3 上振動，當其下降時，拉下掣子離開掣動輪之一齒，落於其第二齒之前，待 6 向上，即送該齒前進，俾掣動輪轉向左側一齒。如斯由 6

之反覆振動，遂使 5 向左回轉不已。若 6 只在一定範圍內振動，5 受 1 之制止，不能倒轉，其連於 5 之機構，亦不能相從倒動，故稱 5 爲掣動輪，稱 1 爲掣子。

二、雙重作用掣子 (double acting click) 第

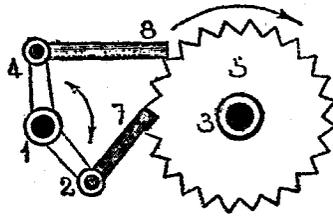
四十一圖中 5 爲肘桿，1 爲支軸，2、4 兩端各具掣子如 7 與 8，以肘桿之向左或右振動，7 或 8 恆送

圖 十 四 第

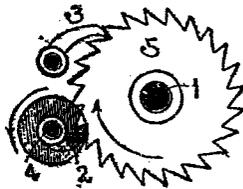


掣動輪之齒一枚向右，即肘桿每一振動，送掣動輪之齒二枚往右。

圖一十四第



圖二十四第



三、轉動掣子 (revolving click)

右下圖，掣子2每於如矢之方向轉動

一次，送掣動輪5之齒一枚向上。

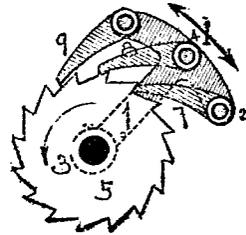
3乃防5逆轉之掣子也。

四、一掣動輪與三掣子

三掣子7、8、9裝於T字形之臂1上，若四三

圖所示，掣子7正與掣動輪5完全組合。然臂1向右轉，退齒距之三分之一時，掣子8正與輪齒組合。更退齒距之三分之一時，則掣子9正與輪齒組合。倘掣子振動之前進，仍只為齒距之三分之一時，則每次振動只送齒距之三分之一前進。因之恰如有相同直徑而齒距為其三分之一，齒數為其三倍之掣動輪，與掣子一個相組同樣，得以緩送。

圖 三 十 四 第

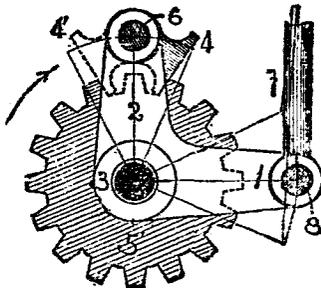


齒之細者強度小，因之欲抗大力而緩送者，用此三掣子裝置為佳。

五、換向掣動輪 (reversible ratchet)

肘桿1、2遊動於軸3上，T字形掣子4掛於如四十四圖所示時，則鏈條7之上下往復動，使齒輪5如矢之方向，即向右轉動。反之，掣子

圖 四 十 四 第



移如點線所示位置時，則齒輪 5 被送於反對方向，應用於工作機之押送裝置。

六、間止輪 (Geneva stop)

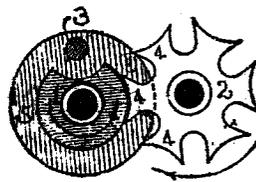
如第四十五圖所示，具突出栓 3 之圓板

5 上，重合一部分欠缺（以 3 為中心之欠缺如圖）之圓板 1，與之共軸回轉。在圖之位置，1 雖轉動，2 初為靜止，待栓 3 入兩 4 間之溝，2 始被送前進一齒，而次齒 4 乃觸於 1 之周。如斯當軸 1 之一轉，2 恆靜止許多時間，始急轉齒一枚。即將一軸之連續轉動，間歇的傳於他軸，故 2 稱間歇輪。初製造於瑞士之日內瓦 (Geneva)，故以冠其名。應用於鐘錶之捲彈簧及電影送底片處。

七、錨形擒縱輪 (anchor escapement) 四六圖之 4 5 稱擒縱爪 (pullets)。

其所附着之錨形 2 以 3 為中心而左右振動。擒縱輪 1，常依被轉彈簧或捲繩與錘之裝置，欲向右回轉，而擒縱爪止之。但 2 一振動，即一放鬆，則 1 之齒，常一

圖 五 十 四 第



枚過去。聞為英國機械學者虎克之考案。

八、筒形擒縱輪 (cylinder escapement)

6 為缺少半圓之筒，以軸 8 為中心，作適當角度之振動，其每一振動，任被其阻止之擒縱輪 5 之齒一枚過去。

此物亦稱格累姆 (Grain) 筒形擒縱輪，應用格累姆製之鐘。

圖 六 十 四 第

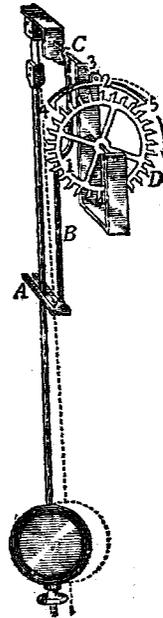
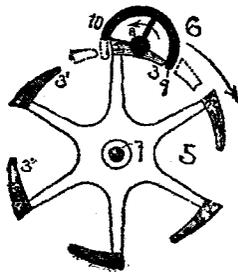


圖 七 十 四 第



第六節 動規

一、動規 (Cam) 動規係動者爲使被動者依其規定之運動而動，所作種種形狀之物也。複雜之機械運動，賴以完成者不少。

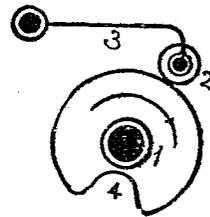
如第四十八圖所示，1 爲動規，其每一轉動中，滾子 2 每落於凹部 4，再復原來位置，即使槓桿 3，於動規一轉動中，急劇振動一次而後靜止之運動也。滾子 2 乃挾於槓桿

3 端之兩股間，而轉動，所以變動規與槓桿間之滑動摩擦爲滾動摩擦耳。

二、動規 (其二) 如圖四十九，動規 2 與軸 1 之轉動，使槓 3 爲上下動，並令槓桿 8 上下振動。4、7 爲 3、5 端之滾子，觸於 2 周而轉動，以減摩擦。

一般於板之周圍予以特種形狀，以動被動者之動規，謂之板動規 (Plate

圖 八 十 四 第



cam)

圖 九 十 四 第

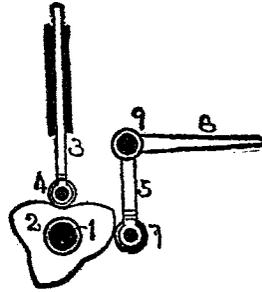
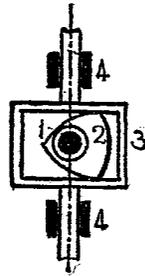


圖 十 五 第



三、三角形動規 (triangular cam)

五十圖中，動規 2 與軸 1 一轉動間，裝於框 3 上之桿作一回上下運動。今離軸 1 較遠三角形之一緣，原為以 1 為中心之圓弧，故當此緣當於框之上邊或下邊時，2 雖轉動，框則靜止。即令框於上下運動之終，作一時之靜止。

四、心形動規 (heart cam)

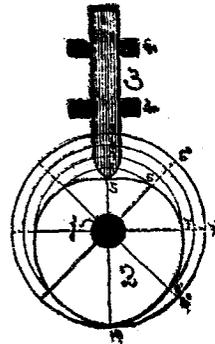
心形動規 2 之等速轉動，令與其軸為直角

相交之直線上作上下動之桿3，作等速往復運動。其所以使桿3為等速者，可於五十一圖中2每轉過 $\frac{\pi}{2}$ 中，其緣周增大各細線所畫等距各圓之一間隔可知也。因其形似心臟故有是名。5 6' 7' 8' 10為阿基米得螺線(Archimedean spiral) 3之尖端，恆附滾子，以減與2之摩擦。

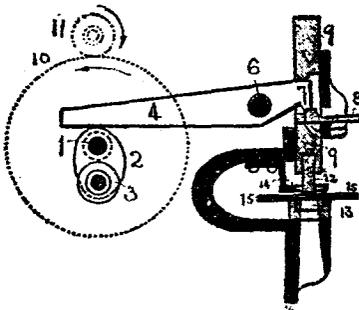
五、衝鑿機(punching machine)

衝鑿機為動規之一種應用。如第五十二圖，附滾子3之動規2與軸1每一轉動，令大槓桿4振動。如圖置8之片於其一端之下，則7可壓8及9，使衝鑿12於鐵板15上穿

圖一十五第



圖二十第五第



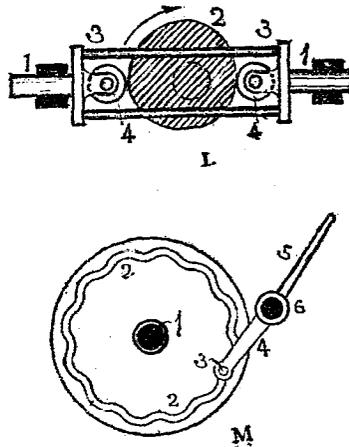
鑿一孔，然取去片8，則7不及壓9，12無作用。故於金屬板15中應穿孔孔之位置，未正移至12之直下以前，8常拔置外方，欲穿孔際，始插入之。

六、正動動規 (Positive motion cam) 如下圖L之動規

2，在轉動中任何位置，依左右之滾子4、4無弛緩的夾靠，予桿1以規定之往復運動外，不能任爲其他運動，故有正動動規之名。

圖M之2爲圓板面上刻波形之溝，俾槓桿4之一端嵌入之。依圓板面之轉動，5爲激烈振動，亦爲正動動規。

圖 三 十 五 第



第七節 螺旋彈簧之應用

一、螺旋耦合器 (screw coupling)

第五十四圖之 1 爲左向螺旋，2 爲右向螺旋，7 之內面爲兩向螺旋套，今把 8 以轉 7，則 3、4 可同時接近或遠離。

本機用於客貨車之聯絡處。

二、操舵機 (steering gear)

3、3 爲左向螺旋與右向螺旋，各與其螺旋套 4、4 相組。今轉動螺旋軸 6 如矢向，4、4 相接近，桿 2、2 與其軸 1 爲右轉，反之爲左轉。於是裝於 1 上之舵，可令偏右或左而受操縱矣。

圖 四 十 五 第

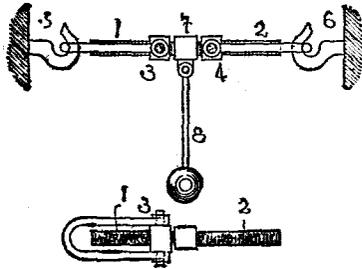
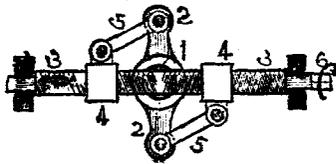


圖 五 十 五 第

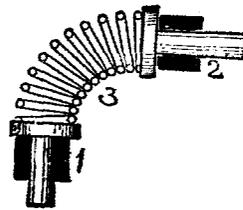


三、螺簧直角耦合器 (flexible angular coupling)
 五十六圖中，以螺簧 3 連絡兩軸 1、2 而傳轉動，
 機構簡單，有時增長螺簧，固定軸 1，使 2 得移動於周
 圍任何位置者有之。

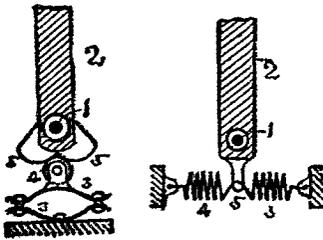
四、自動閉門裝置 (door spring hinge) 第五

十七左右圖中之 1 各為樞，而 2 為
 門。右圖之 3、4 為螺簧，等分張開，常
 持門 2 如圖示位置。左圖則因被壓
 縮板簧 3，於其上具滾子 4，壓翼形
 動規 5，5 之凹部，保圖示位置。門 2
 雖可壓而開之，但一放手，又依彈簧
 之力復原矣。

圖六十五第



圖七十五第

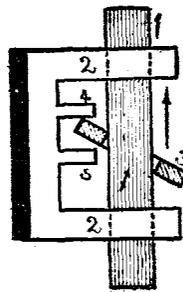


第八節 摩擦之利用與輕減裝置

一、環形自在輪 (ring pawl and rod)

五十八圖中之棒 1，以矢之方向上舉，雖無妨礙，然放之，則環形輪 3 以摩擦支不令下。但以手支 3，則棒 1 上下動均自由，應用於掛燈處。

圖八十五第



二、豪勒特 (Howlett) 摩擦輪

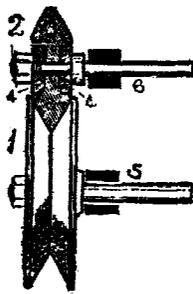
左圖，具 V 字溝之鑄鐵輪 1，與橡皮輪 2 相組，座金 4，4 自左右壓橡皮 3，於是轉緊其螺旋套時，壓緊 3，1，得令藉摩擦以傳動。

2 相組，座金 4，4 自左右壓橡皮 3，於是轉緊其螺旋套時，壓緊 3，1，得令藉摩擦以傳動。

三、圓板與滾子 (disk and roller)

第六

圖九十五第



十圖中裝於肘桿之垂直枝 8 上之鏈條 9，被引向方時，因 7 將軸 5 壓下，遂令軸 5 上圓板 3 與滾子 2 相接。今 2 為動者，3

乃受摩擦而被轉矣。又若引 9 向左，則軸 5 向上，因令 2 與圓板 4 兩者接觸，遂使軸 5 爲前之反對方向轉動。然 2 若居中，則兩不相傳，軸 5 靜止。

圖 十 六 第

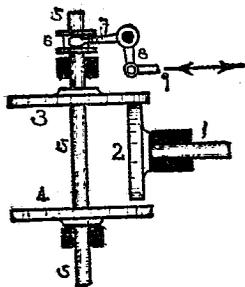
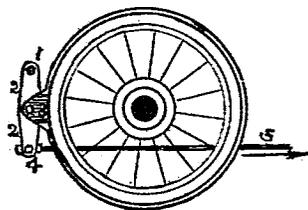


圖 一 十 六 第



四、輪掣 (brake on wheel)

第六十一圖中橫桿 2 以 1 爲支點，3 爲重

點，4 爲力點。今強引桿 5，使輪掣掌 (brake shoe) 3，強壓於轉動之輪周以制

動。此摩擦消耗功，每化熱以熱車輪。

五、膨脹塞 (expanding stopper)

如圖六

十二, 於其右圖扭轉螺旋 4, 因座金 3 壓橡皮輪 5, 使其左右脹開, 以閉管 6.

於其左圖扭緊 4 時, 因橡皮栓 5 被壓而橫脹, 以密閉鑷口 6.

六、減摩輪 (antifriction wheel)

3, 3 與 4,

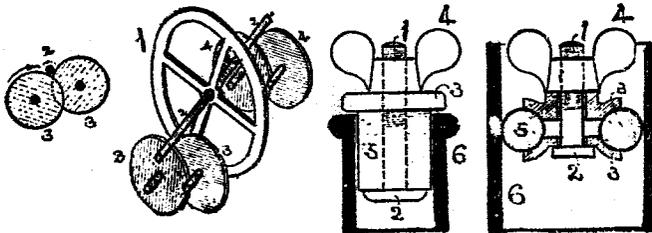
4 各爲有平行軸而同大之小輪, 支大輪 1 之軸 2, 如第六十三略圖.

大輪之軸 2, 因支於二小輪之谷而轉, 小輪 3,

4 互爲轉動, 且 3, 4 之轉動遲緩, 很可輕減摩擦消耗之功. 本機發明於西曆一七八〇年, 應用於阿特

武德機 (Atwood's machine).

圖三十六第 圖二十六第



七、減摩帶輪 (antifriction bearing for pulley) 數多之圓桿，容納

於帶輪 4 與軸 1 之間。於是軸 1 與輪 4 間之滑動摩擦，變為各棒即滾子間之滾動摩擦。摩擦遂大減，其應用於軸承者即滾子軸承 (roller bearing) 也。

圖 四 十 六 第

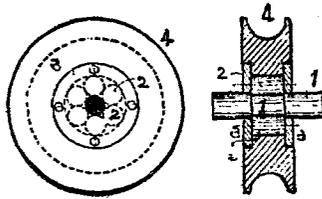
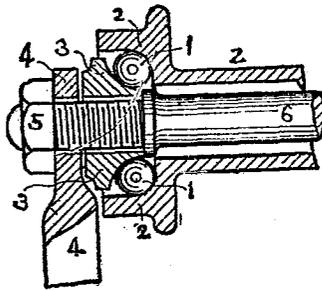


圖 五 十 六 第



八、球軸承 (ball bearing)

第六十五圖之 3、4 依螺旋套 5 之旋轉，乃

確相締合。

2、3 之間，原容數多之球，2 以 1 之滾動，極少摩擦抵抗而轉動。本圖所示，應用於腳踏車之車軸與軸承間。

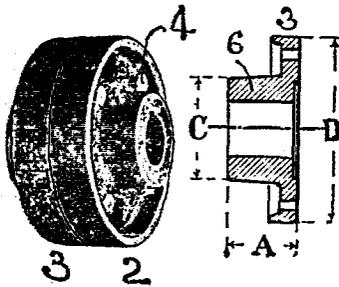
機械之軸或滑動桿等處，起因於受壓而生之摩擦，可以慎選材質，精密製作，與夫充分注油以輕減之。上述減摩，乃於此等法外，在機構上之輕減法也。

第九節 耦合子 (coupling)

一、鑄形耦合子 (Hange coupling) 接續

傳動軸處用之。如第六十六圖所示，兩軸端各裝圓板狀之鑄 2、3 (以栓與軸接合)，而兩者以螺旋 4 接合。於屢屢脫除處用之最便。其輪周附廣緣者，令螺旋及螺旋套不露出外部，防觸他物而纏捲之也。

圖 六 十 六 第



二、筒形耦合子 (box coupling) 六十七

圖 A、C 係兩軸先相衝合，以栓鑲續，而於其外更套圓筒鞘²。

如 B 圖所示，兩軸³、³先相嚙合，續套以筒，似於西婦之暖手套。

三、摩擦圓錐耦合子 (friction cone coupling)

第六十八圖示兩軸 1、4 之端相接，以同一直線為軸線。3、4 因栓與溝之組合，與軸 6 同轉，且可對之為左右動。2 亦以栓與溝，閉住軸 1 與共轉動。9 為鐔，2、3 相接觸之圓錐面也。今壓 7 向左，則因圓錐面之摩擦，可令軸 1 與 6 同時轉動，但 7 向右開時，則 1 與 6 脫離。當開始傳動際，接合部每先略

圖 八 十 六 第

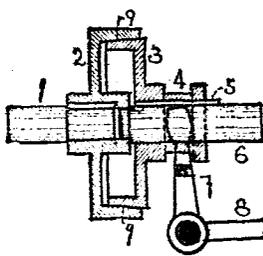
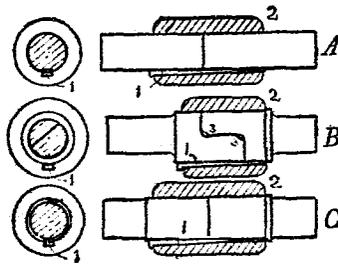
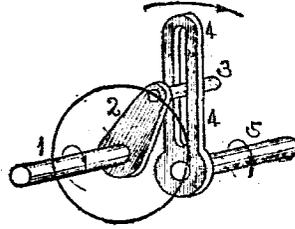


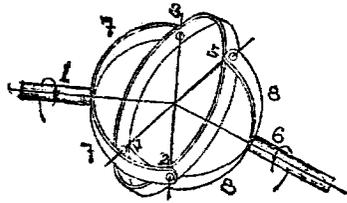
圖 七 十 六 第



圖九十六第



圖十七第



有滑走，激動甚少，便於使用。圖中所示，1 恆為動者，2 為被動者，應用於汽車。
 四、滑動曲柄耦合子 (Slotted crank couplings) 六十九圖中，曲柄 2 轉動時，以曲柄栓 3，轉動曲柄 4，因之可令距離甚少之 1、5 兩平行軸間傳動。但其轉速之比，隨時不同。

動，惟速不定。英國機械學者虎克博士之創意也。

五、虎克式耦合子 (Hook's

er's joint) 第七十圖中半圓狀 7 之兩端 2、3 與環為轉動對，而 23 線與軸 1 為直交。同樣 8 之兩端 4、5，亦與環為轉動對，而 45 線與 6 直交。23、54 復直交。軸 1 與 6 雖斜交，仍可傳

六、枷形組合 (multiple trammel gear) 第七十一圖所示之 5、6 爲在

圓板中心直交之十字溝。軸 2 之兩臂具滾子 3、4，各適嵌於溝 5、6 中運動。1、2 兩平行軸之距離，等於臂

24 或 23。

軸 2 等速轉動時，以其滾子 3、4，滑動於 5、6 兩溝，俾軸 1 被動爲等速轉動。

第十節 聯動機構

一、以二齒桿二倍曲柄動程之裝置 七十二

圖中，齒輪 5 與齒桿 6、7 相啮合。下部之水平齒桿 6 固定，上部之 7，則爲左右往復動。當曲柄 1、2 轉動，拉動齒輪 5 時，5 既以整個向左或右，拉 7 爲二倍曲柄

圖 二十七 第

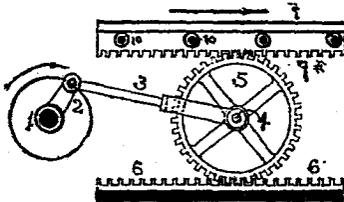
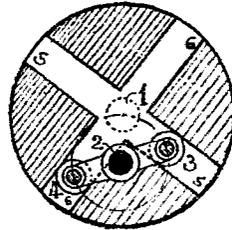


圖 一十七 第



半徑之往復動程；復以其齒被6齒之阻而自轉，即仍以其齒拉7為二倍曲柄半徑之往復動程，其結果令7為四倍曲柄半徑之往復動程。

二、懷特(White)滑輪組 如圖七十三，加於繩6之端之力，因生其餘

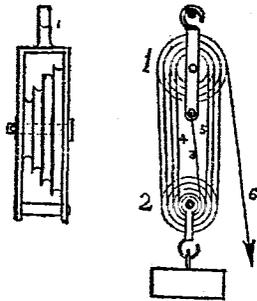
八繩同樣之張力，故可以其餘八繩，支其力八倍之重物。

2為有共軸之四個動滑輪，1為有共軸之四個定滑輪。

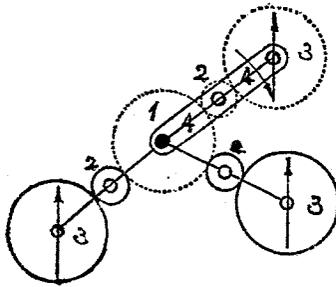
三、輪列 第

七十四圖中相等正齒輪1、3各與中介正齒輪2相組，而其軸各裝於臂4上，成為輪列。假定齒輪1為固定不動，單轉臂

圖三十七第



圖四十七第



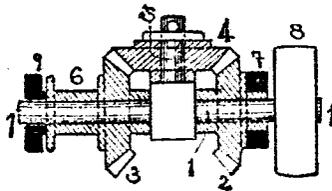
4時，則齒輪3雖在軸1之周圍運動，但只移動而不轉動，即若於齒輪3之面畫上向之矢，可見3在任何位置，矢之方向一定不變也。蓋2因與1組向右轉，復因與3組，使3向左轉，與3之向右轉抵銷而移動。

四、恩特維思泰爾齒連 (Univisler's gearing)

2、3、4為三個相等傘

齒輪。3遊動於軸1上，4遊動於由軸1突起之栓5上，2則套於1上，常固定不同，裝於軸上之帶輪8一次轉動，使軸1與栓5同作一次轉動，5上之4，原與3相組，故3亦隨作一次轉動。但4亦與2組，以2不動，4乃在軸5上，自作一轉，即以轉3，是以當5繞軸1，轉一周時，4與2同齒數，已自轉一周，復隨5公轉一周，卒使3於8轉一周中，特轉兩周。四十二齒之正齒輪，均固定於軸1上，正齒輪28有二十

圖 五 十 七 第



八齒，固定於長針 4 之軸 2 上，正齒輪 64 有六十四齒，與短針同一體，且遊動於軸 2 上。

1 即轉動，以輪 42 轉 28，以輪 8 轉輪 64 於是 1 每一轉動中，2 之轉數，即長針 4 之轉數為 $\frac{42}{28} \times 28$ 。而短針 3 之轉數為 $\frac{8}{64}$ 。其比，即

$$\frac{\text{短針之轉數}}{\text{長針之轉數}} = \frac{8/64}{42/28} = \frac{1}{12}$$

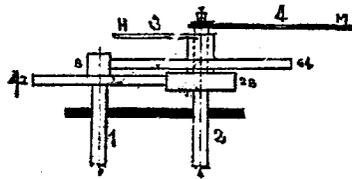
問題

(一) 以複槓桿組成簡單機械如台剪者，為二次增大其力之機構。今就台剪而言，如欲增加其力之比為五十倍者，其要部之尺寸，應作如何比例。

(二) 甲乙兩平行軸相距 18 吋，欲以齒輪為介而傳動。假定甲乙兩軸轉數之比為 5 與 4，試問各軸上齒輪之齒距圓半徑應為幾吋？

(三) 斜交兩軸，以帶輪傳動時，皮帶之掛法，應使合於如何規則，方可不至脫落？

圖 六 十 七 第



(四) 試說明帶輪與繩輪之用途及利害之比較。

(五) 原動帶輪之直徑為 10 吋，每分鐘轉 500 次，傳達 100 馬力。假定其所掛皮帶之緊張側張力為弛緩側者之 2 倍，而皮帶每寬一吋所容許之張力為 100 磅，問皮帶之寬當為若干？

(六) 試設計動者轉一周中，被動者轉過二齒之間止輪。

(七) 試設計一轉軸上之動規，與某槓桿一端之滾子相接觸，俾槓桿他端於轉軸每一轉動中，下降一次，而下降時間為一轉之四分之一。

(八) 於第二章第十節第三項之輪列中，若無中介輪 2，則 4 在軸 1 之周，轉一次時，輪 3 已自轉幾次？

第三章 機械材料之強弱

研究機械學者，必研究機械所用材料之性質及其構造關係，受外來擔負 (load) 時之影響，即須研究所謂機械材料之強弱，既曾於第一章中言之，然論材料之性質，有待於實驗，論構造之影響，宜基乎數理。本章即綜合此兩法，與讀者共研究之。

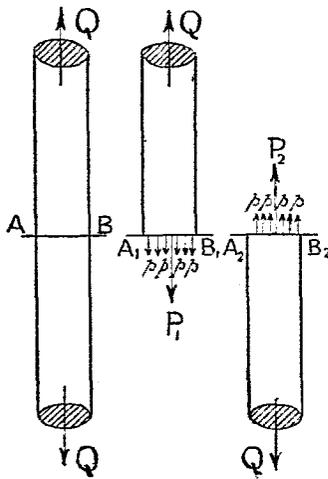
第一節 應力 (stress) 與應變 (strain)

一、材料之均勻與非均勻 同一材料各部分之密度相同，即各部分之物理、化學性質各相同者，謂為均勻 (homogeneous) 材料。同一材料各部分之密度不同，即各部分之物理、化學性質各異者，謂為非均勻 (heterogeneous) 材料。機械用材料多非均勻，譬如鑄造之物，內疏而外密，植物之幹，中鬆而外堅，完

全均勻者，可謂絕無而僅有。然以粗大眼光觀察，在同一材料中，密度大小，不至於懸隔過甚者，即認為均勻，亦無妨礙。是以以下所述材料，均假定其為均勻也。

二、應力 如第七十七圖所示之棒狀體，受其兩端沿軸反向之力 Q 引張而不即斷者，以所組織各分子間具內聚力，即互相吸引之力所致，為吾人素知。今假設一橫截面 $A B$ 於棒狀體中部，而想像在 $A B$ 上之各分子，必欲拉 $A B$ 下之各分子向上，而在 $A B$ 下者必欲拉 $A B$ 上者向下。因其未斷而互保平衡，受向下之總吸引力 P_1 ，必與向上之張力 Q 相等；而受向上之總吸引力 P_2 ，必與向下之張力 Q 相等，但方向各相反耳。此 P_1 或 P_2 為棒狀體內部之總

圖 七 十 七 第



應力。若棒有相當長度，且為均勻材料，可視 P_1 平等分布於 $A_1 B_1$ 面，或 P_2 平等分布於 $A_2 B_2$ 面，故其單位面積所受之力，即應力

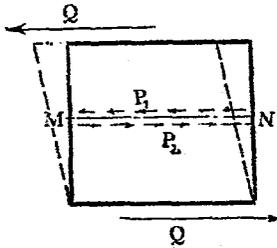
$$P = \frac{P_1}{\text{面積}} = \frac{P_2}{\text{面積}} = \frac{Q}{\text{面積}}$$

若所用力之單位為磅，長之單位為吋，則應力之單位為 $\frac{\text{磅}}{\text{平方吋}}$ ，如每平方吋上之應力為 7 或 8 磅，則記為 7 或 8 $\frac{\text{磅}}{\text{平方吋}}$ 。若力之單位為仟克，長之單位為厘米，則如上理，應力之單位為 $\frac{\text{仟克}}{\text{平方厘米}}$ 。

應力可分為三種，即張應力 (tensile stress)

壓縮應力 (compressive stress) 與切應力 (shearing stress) 是也。上述棒狀體受兩端沿軸之力引張，生成其橫截面上之應力為張應力。若棒狀體受兩端沿軸之力壓縮，而想像其一橫截面 $A B$ 上之分子必受壓向下壓迫， $A B$ 下之分子必反而向上。

圖 八 十 七 第



斯時單位面積所受之力即應力爲壓縮應力。又若第七十八圖所示一矩形六面體之上下面受沿面反向之力 Q 作用時，此體自有傾斜之勢，今假設一水平橫截面 MN 於其中部，而想像 MN 上之分子，以受其在上者分子力之牽，引必以同樣之力 P_1 拉 MN 下之分子向左， MN 下之分子，必以其反作用之力 P_2 拉在其上者向右，並 $P_1 = P_2 = Q$ ，對 Q 爲總應力，其單位面積上之應力

$$q = \frac{P_1}{\text{橫截面積}} = \frac{P_2}{\text{橫截面積}} = \frac{Q}{\text{橫截面積}}$$

惟此應力似將此矩形體沿 MN 面切斷，故稱切應力。

三、應變 應變者因應力而生之形狀變動也。若其應力爲張應力，則其應變爲引張方向之延長，及其直角方向之收縮。若其應力爲壓縮應力，則其應變爲壓縮方向之收縮，與其直角方向之膨脹。又若其應力爲切應力，則其應變爲切應力方向物體層之滑走。

受引張或壓縮之材料之應變，以其原長 l 除伸長或縮短之量 Δl 計之，

稱張應變 (tensile strain) 或壓縮應變 (compressive strain) 故

$$\text{張應變} = \frac{\text{伸長度} \Delta l}{\text{原長} l}$$

$$\text{壓縮應變} = \frac{\text{縮短量} \Delta l}{\text{原長} l}$$

即以原單位長所受伸長或縮短量計之。

受切應力而生之應變，以如第七十八圖上下兩面之距離 h ，除一面對他面之移動 x 計之，稱切應變 (shearing strain) 故

$$\text{切應變} = \frac{\text{兩面相對移動量} x}{\text{兩面距離} h}$$

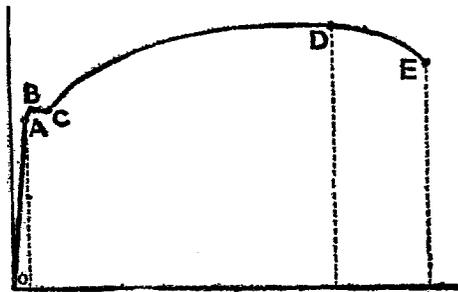
即以弧度法量一側之轉動角 θ 計之。

四、應力與應變之關係 取鋼或鍊鐵之材料一片，加以擔負即外力時，其片當隨所加外力而變形。今於紙面，通過取為原點之 O ，引互相垂直之縱橫二軸，以沿縱軸之標度，示所受擔負之大小，沿橫軸之標度，示其相應之變形，猶

之畫含 x 與 y 所表示方程式之簡圖，可得擔負與變形之關係簡圖 (load deformation diagram)。其對引張者謂之擔負引張簡圖，對壓縮者稱擔負壓縮簡圖。然以所取材料之應力，原比例於其外來擔負，而所生應變，又比例於全體之變形，故上述簡圖，只須於縱橫二軸，改爲應力與應變之標度，即成其應力應變簡圖 (stress strain diagram) 矣。

第七十九圖所示，爲取軟鋼桿實驗所得之擔負引張簡圖，用以爲例也。圖中 O A 部爲直線， A B C D E 部爲曲線。由 O 至 A 之變形，乃伸長與擔負成正比。在 A B 間則其比略大。過 B 稍前，雖擔負未加，而伸長驟增。故此 B 點，常稱爲屈伏點 (yield point)。至於由 C 至 D ，

圖 九 十 七 第



擔負與伸長復相共增加。越 D，則擔負雖減，材料試驗片，終斷於 E 點。

完全彈性體 (perfect elastic body) 者，物體受應力而生之應變全部，在去應力後，完全消失之體也。而許多材料受應力在某限度以內，實用上可視為完全彈性體。此限度稱其材料之彈性限度 (elastic limit)。前例簡圖中之 A 點，實可謂為所試驗材料之彈性限度。因在 O A 內所生應變，於去應力後，普通可視為全消失也。

今舉普通材料之彈性限度如下表。

材料		彈性限度 (磅/平方吋)	
材料	引張	壓縮	引張
鋼	五〇,〇〇〇	五〇,〇〇〇	
鍊鐵	二五,〇〇〇	二五,〇〇〇	
鑄鐵	六,〇〇〇	二,〇〇〇	
木材	三,〇〇〇	三,〇〇〇	

完全受範性體 (perfect plastic body) 者，物體所受應力完全去後，其應變仍不少消失之體也。在受範態時，固體如流體，呈流動現象，雖僅加以一定之擔負，每隨時間之經過而增大其應變。再就前例言之，自 A 至 D，一部分顯為彈性體，一部分顯為受範性體，過 D 之附近，殆表示完全受範性體也。

物體所受之應力去後，尚有殘留不能恢復之應變，謂之永久應變 (Permanent set) 為物體過其彈性限度後所生之變形。

五、虎克定律 (Hooke's law)

對於許多材料，作許多實驗之結果，其應力與應變之關係，與前圖關於軟鋼所示者，大抵相同。均有 O A 部可視為直線，且在此間之應變，極為微小，試驗材料片之橫截面，亦未如因引張而縮，因壓縮而脹，而略為一定。故可得下式

應力 = 定數 × 應變。

此關係稱虎克定律。西曆一六六〇年虎克氏初發見之。

物體之應力爲縱向應力，卽爲張應力或壓縮應力，應變亦相從爲縱向之張應變或壓縮應變時，所生虎克定律中之定數，謂之縱彈性係數 (modulus of direct elasticity)，或楊氏係數 (Young's modulus)。因多由楊氏測定之數也。通常以 E 表之卽

$$\frac{P}{\Delta l} = E \dots \dots \dots (1)$$

又若物體受切應力而生切應變時，所生虎克定律中之定數，稱橫彈性係數 (modulus of transverse elasticity) 或剛性係數 (modulus of rigidity)。通常以 C 表之卽

$$\frac{q}{\theta} = C \dots \dots \dots (2)$$

式中 q 示切應力，θ 示第七十八圖之回轉角。

今以 P 示某材料沿軸所受之擔負，而其橫截面積爲 A，則以

$$p = \frac{P}{A}$$

故 $\frac{P/A}{\Delta l/l} = E$

$$\Delta l = \frac{Pl}{AE} \dots \dots \dots (3)$$

又以 Q 示某材料兩平行面所受外來擔負，而兩面面積各為 A，則以

$$q = \frac{Q}{A}$$

故 $\frac{Q/A}{\theta} = C$

$$\theta = \frac{Q}{Ac} \dots \dots \dots (4)$$

六、材料之極限強度 (ultimate strength) 材料能承受最大應力之強

度謂之極限度，通常以試驗片之原橫斷面積，除所支最大擔負之商表之。今以

W 表每立方吋之重之磅數，

f_t 表對每平方吋之引張極限強度之磅數。

材料	W	f_t	f_c	f_s	E	C
鑄鐵	〇二七一	一六,〇〇〇	九五,〇〇〇	二七,〇〇〇	一七,〇〇〇,〇〇〇	六,三〇〇,〇〇〇
鍊鐵	〇二七八	五〇,〇〇〇	五〇,〇〇〇	四〇,〇〇〇	二九,〇〇〇,〇〇〇	一〇,五〇〇,〇〇〇
軟鋼	〇二八三	七〇,〇〇〇	六五,〇〇〇	五五,〇〇〇	三一,〇〇〇,〇〇〇	一三,〇〇〇,〇〇〇
鑄鋼	〇二八七	七二,〇〇〇			三〇,〇〇〇,〇〇〇	一二,〇〇〇,〇〇〇
鑄銅	〇三一	二〇,〇〇〇	五八,〇〇〇	二四,〇〇〇	一三,〇〇〇,〇〇〇	五,〇〇〇,〇〇〇
砲金	〇三一九	三〇,〇〇〇			一一,五〇〇,〇〇〇	四,一〇〇,〇〇〇
合機砲金	〇三一〇	三五,〇〇〇		二九,〇〇〇	一二,三五〇,〇〇〇	五,二〇〇,〇〇〇

曾有人就各種重要材料實驗結果,得如下表之數.

C 表橫彈性係數,以對每平方吋之磅數計.

E 表縱彈性係數,以對每平方吋之磅數計.

f_s 表對每平方吋之切變極限強度之磅數,

f_c 表對每平方吋之壓縮極限強度之磅數,

黃銅	○.三〇四	一八,〇〇〇	一〇,五〇〇		九,〇〇〇,〇〇〇	三,四〇〇,〇〇〇
杉	W×123 二四	六,四〇〇	五,七〇〇	八〇〇	一,〇〇〇,〇〇〇	
檜	二九	八,二〇〇	七,四〇〇	一,〇〇〇	一,〇〇〇,〇〇〇	
松	三三	八,二〇〇	七,三〇〇	一,一七〇	一,四〇〇,〇〇〇	
桐	一九	三,四〇〇	五,三〇〇			
花崗岩	一六二	六五〇	一,七〇〇			
磚	一〇〇	一八〇	二,一五〇			
皮帶		四,五〇〇				
木綿帶		七,五〇〇				
麻繩		一二,〇〇〇				

七、本有擔負 (dead load), 突急擔負 (live load) 與其所生應力 靜緩

加於構造物一部之擔負, 謂之本有擔負, 急劇加於構造物, 或在構造物上急劇變化之擔負, 謂之突急擔負, 普通試驗材料之各種性質, 均使靜緩接受擔負, 其

結果可謂受本有擔負而來。若受突急擔負，其誘起應力或應變，均爲前者之二倍。夫材料如棒，兩端急受引張擔負，誘起應力在彈性限度以內時，其棒可視如螺簧作往復振動。其振幅在將靜止處，即靜受擔負時應延長地步之上下相等者也是。以其一時應變，爲受本有擔負之二倍。應力自亦如之。故設計某構造物時，預測其或受突急擔負，則二倍其本有擔負計算之。

八、材料之疲乏 (Fatigue of materials)

材料受某應力一次即破壞，則該應力爲其極限強度，其義已見前項。然實驗家都謂所受應力，雖未達其極限強度，但如反覆多次，亦可令其破壞。或以其每受一次應力，即生一次應變，應力全去，應變常未必全去，以致每受一次應力，即殘留某分量之應變，應變漸積，遂至於不堪再受相當應力而壞也。故稱其現象爲材料之疲乏。弗勒氏 (Wöhler) 曾由實驗證明當鍛鐵桿受每平方吋 52,000 磅之應力經 800 次即壞。至於 1,010,000 次，則只須每平方吋 35,000 磅之應力亦壞。但當使生應力際，須

自零漸達所標之值。

故弗勒及其他工學家謂如實受應力之次數愈多，所須破壞之應力愈小，並謂使材料受由零至彈性限度之應力，須極多次，始克破壞之。

九、**實用應力** (working stress) 與**安全因數** (factor of safety) 吾人

既知材料受應力小時，可認為完全彈性體，即其應力全去時，其應變亦隨而消滅也。至於一過彈性限度，則應變一部分，將永久殘存。工業上使用材料，於去應力後，須能恢復原狀，故須避免材料內生彈性限度以上之應力。並設計者，極難預先推定材料將來所受擔負之極限，有時且出吾人預定之三四倍者。是以在普通狀態，要使所生應力，遠在彈性限度以下，固不但遠在極限強度以下也。如斯之應力，謂之**實用應力**。若以 p 表之，並以 p_b 表材料之極限強度，則常令

$$\frac{p_b}{p} = n, \text{ 即 } p_b = np.$$

稱 n 為**安全因數**。普通等於 5 或 6 左右，即使其所生應力，遠在極限強度之下，

得以安全意也。然在擔負之性質及大小，較易預定處， n 之值爲 3 或 4 可矣。難於預定處，但悉其代表擔負時，則以大者爲妥。例如氣機機筒內氣體爆發際之最大壓力，大抵爲 250 磅/平方吋，而以管理者不熟練故，有使達 350 磅/平方吋者，斯時欲使機械不至破壞， $n = 5 \sim 7$ 左右方可。又加汽鍋鍋板之厚，原可僅由受蒸汽壓力而生應力計算，實則汽鍋受熱，各處不同，因之各處膨脹不均，已生應力，又有因多年使用後，鋼板有以腐朽變薄者，故恆取 $n = 10$ 。

現今機械工業所用安全因數如次表：

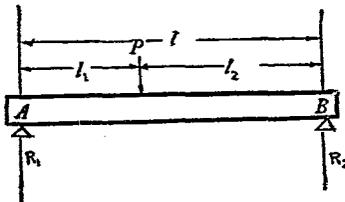
安全因數			
材料	對於一定之應力	對於變動之應力	對於突急擔負
木材	八	一〇	一五
磚或石	一五	二五	三五
鑄鐵	六	一五	二〇

鋼	鍊鐵
四	四
六	六
一〇	一〇

第二節 梁 (beam)

一、梁 對物體之縱軸，有斜向外力作用時，稱其物體為梁。普通之梁所受外力，大抵為其軸之直角方向，所謂彎曲力 (bending force) 也。同時必生彎曲應變 (bending strain)。然如第八十圖所示，擔負 P 漸次增大，至梁不能負擔之程度，必在其中應力最大處所開始破壞。斯時最大應力，果生於梁中何處？又其應力之種類分布如何？或使梁不生危險， P 之值應如何加以制限？其他擔負與梁之尺寸及支點之位置等，對於應力有如何關係？在機械及構造物之設

圖 十 八 第



計上極爲重要，故於次之各項舉其普通公式，在吾人得以運用無誤之程度，述其意義。

二、力之平衡條件 在解決前項問題之先，須明悉下述力學上之法則也。即數多之力，作用於一物體時，若其物體不變位置，或不變原來速度者，則此等力謂之互保平衡，其時各力間有下列關係條件：

1. 在任何方向，諸力之代數和爲零。
2. 關於任意點，諸力之力矩代數和爲零。

三、支點之反動力 (reactions of supports) 第八十圖所示梁各部所蒙彎曲力各不同，要先求支點之反動力而計算之。而此問題以梁爲靜止故，可適用力之平衡條件解決之。

如欲先求支點 A 之反動力 R_1 ，以支點 B 爲力矩之軸心，取與時針同轉向之力矩爲正號，異轉向者爲負號，則力矩之總和

$$M_B = R_1 l - Pl_2 = 0,$$

$$\therefore R_1 = \frac{Pl_2}{l}.$$

故知 A B 間之支點距離 (span) 及 P 之位置, R_1 常以上法求得之, 再以在梁之垂直方向, 諸力之代數和應爲零, 故

$$Y = P - R_1 - R_2 = 0,$$

$$R_2 = P - R_1.$$

例題 於支點距離 30 呎之梁, 距一支點 8 呎處, 懸重 2100 磅之物, 問各支點之反動力如何? 但梁自身之重量不計入之。

解 因 $P = 2100$ 磅, $l = 30$ 呎, $l_1 = 8$ 呎,

$$\text{故 } l_2 = 30 - 8 = 22 \text{ 呎,}$$

$$R_1 = \frac{Pl_2}{l} = \frac{2100 \times 22}{30} = 1540 \text{ 磅,}$$

$$R_2 = P - R_1 = 2100 - 1540 = 560 \text{ 磅.}$$

四、梁橫截面上之彎曲力矩 (bending moment) 及切力 (shearing force) 與切應力 (shearing stress)。

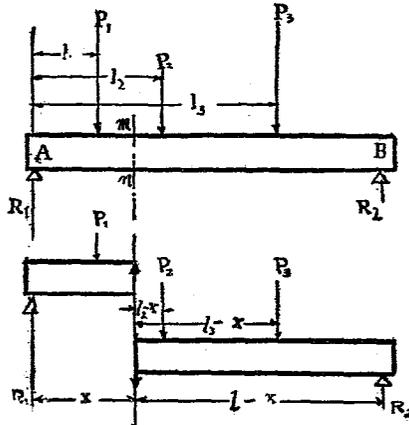
「一」彎曲力矩 於第八十

一圖，求梁中任意垂直橫截面 $m n$ 上之彎曲力矩時，以 $m n$ 距左側支點 A 為 x ，而 $m n$ 左側由全體分離者，則關於截面中心之力矩

$$M = R_1 x - P_1 (x - l_1).$$

今取梁在 $m n$ 之右側者考之，當有同大而反向之力矩。蓋如不同大而反向以相抵銷，則全體之梁，當於該處取軸轉動矣。今與前同樣求對右側截面中心之力矩

圖 一 十 八 第



$$M = P_2(l_2 - x) + P_3(l_3 - x) - R_2(l - x)$$

$$\therefore R_1x - P_1(x - l_1) = -[P_2(l_2 - x) + P_3(l_3 - x) - R_2(l - x)].$$

梁之兩端，雖不蒙若何彎曲力矩，其他截面，則悉具相當之量，若某處達材料之不能抵當程度，即過量時，自於該部先生缺陷。

□□切力與切應力 於第八十一圖取離之梁，若其作用諸力互保平衡者，則在其垂直方向分力之代數和非等於零不可，但欲使等於零，則與垂直外力即切力互保平衡，截面上要有切應力之抵抗，而此切應力，必等於截面左側（或右側）垂直外力之代數和，而反其方向，故其切力或切應力

$$F = R_1 - P_1 = -[R_2 - P_2 - P_3].$$

例題 於兩支點距離30呎之梁，自距左支點8、15、21呎處懸90、120、80磅之重物，求其梁各部之彎曲力矩及切力，但梁自身之重量不計入之。

解 本題所言，與第八十一圖所示相似，故求支點之反動力

自距左端 8 呎處之橫截面彎曲力矩

$$R_2 = \frac{90 \times 8 + 120 \times 15 + 80 \times 21}{30} = 140 \text{ 磅}$$

$$R_1 = 90 + 120 + 80 - 140 = 150 \text{ 磅}$$

$$M_1 = R_1 \times 8 = 150 \times 8 = 1200 \text{ 呎磅}$$

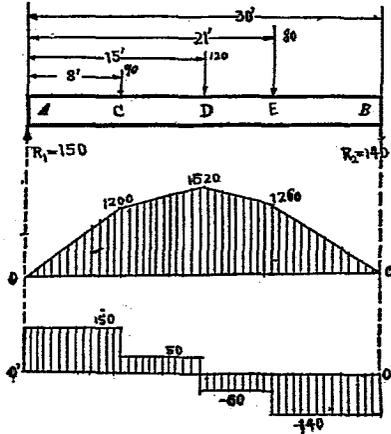
又自距左端 15 呎, 21 呎處之橫截面彎曲力矩, 設爲 M_2 與 M_3 , 則

$$M_2 = R_1 \times 15 - 90(15 - 8) = 1620 \text{ 呎磅}$$

$$M_3 = R_2(30 - 21) = 1260 \text{ 呎磅}$$

其他任於如何位置, 可全然同樣求得其截面之彎曲力矩, 然畫簡圖求之則更明捷, 即於第八十二圖之兩

圖 二十八 第



支點間引水平線 O_0 ，以其上所豎垂直線之長表各截面之彎曲力矩也。其畫法以適宜標度爲單位（圖中以 $\frac{1}{8}$ 吋表 300 呎磅），先樹表示既得之 M_1 、 M_2 及 M_3 之值於其相應各截面處。梁兩端 A 、 B 處之彎曲力矩原爲零，而由 A 至 C ，則以 $M = R_1 x = 150x$ 表示，故 M 比例於 x 而增，其各截面之彎曲力矩，可以 0 與 1200 之連結直線表示之。又在 C 、 D 間之 $M = 150x - 90(x - 8) = 720 + 60x$ ，亦比例於 x 故，可以 1200 與 1620 之連結線表示之。同樣對其他部分亦如此尋求，可得所示之簡圖也。

作用於各截面之切力，亦可以簡圖表之，使一目了然。例如由 A 端右方 8 呎一段， $R_1 = 150$ 磅故，以適宜標度（圖中以 1 吋表 480 磅）於任意水平線上取某高度作其平行線表之。 C 、 D 間切力爲 $150 - 90 = 60$ 磅，同樣以其相應之高畫平行線。而由 D 至 E ，切力爲 $150 - 90 - 120 = -60$ 磅，有負號故，取其值於水平線下方。由 E 至 B 間，切力爲 -120 磅亦然。如斯所得簡圖，前者稱彎曲

力矩簡圖 (bending moment diagram), 後者稱切力簡圖 (shearing diagram).

梁之截面受切力時, 自生切應力, 此切應力如過所用材料之極限強度, 則梁自破壞. 又當任何截面受彎曲力矩而彎曲時, 必其一側伸長, 即受引張之力, 他側縮短, 即受壓縮之力, 倘其張應力或壓縮應力過其極限強度時, 亦將破壞. 至其受彎曲而未至於破壞, 其彎曲情形, 得由較深數學算定之.

第三節 柱 (columns or long struts)

一、柱 沿短棒之軸線, 加以壓縮力時, 短棒各橫截面上所生應力為單純壓縮應力. 若斯時之外力為 P , 短棒之橫截面積為 A , 則其壓縮應力之強

$$p = \frac{P}{A}.$$

然棒之長為其最小厚 (角棒) 或直徑 (圓棒) 之四倍乃至六倍以上時, 不能適用上式. 以如斯之長棒, 非如短者, 各邊常為真直而受壓力. 在壓縮中, 常於

某方向生彎曲，遂使其橫截面上發生壓縮應力之外，添上彎曲應力而至於破壞。如斯受壓縮之長棒，謂之柱。

夫富於延性之金屬短棒受壓縮擔負，超過其彈性限度而達屈伏點時，則漸生缺陷，蓋已生大應變，擔負雖去，縱不至於破壞，亦已開始所謂金屬之流動也。但柱生缺陷，其所取之途徑則異是。柱初為真直，沿軸受壓縮擔負時，柱自身未必有全然齊等之材質也，是以其內部某截面中，對同一擔負，恆生不同大小之應變，此不同無論其為何些小，為柱向一側彎曲之原因也無疑。因之橫截面中遂發生不均等之應力，即在彎曲之內側，受原來之壓縮應力以外，加歸因於彎曲而生之同種應力，於是所受擔負即不甚大，每已達其材料之屈伏點。一旦既成彎曲，雖擔負略增，彎曲之度，則增加極快，遂至擔負不增，彎曲亦漸增而至於破壞也。

且雖同大之柱，因其長短不同，至其生成彎曲時所受擔負亦各不同，即長

者比短者，常少受擔負，先達彎曲限度。

然柱之材質，截面形狀，安置狀態與其破壞擔負之關係，果如何乎？從來學者之研究雖多，惟迄今尙無純粹之理論公式，足以代表各方之情況。

朗金 (Rankine) 曾參酌理論實驗，作成公式

$$P = \frac{f \cdot A}{1 + q \frac{l^2}{r^2}}$$

爲普通於柱之設計時所採用。式中 P 爲柱所受之外來擔負， f 爲所取材料關於壓縮之實用應力（約爲其極限強度之 $\frac{1}{5}$ 乃至 $\frac{1}{10}$ ）， A 爲柱之橫截面積， l 爲柱長， r 爲其橫截面之最小迴轉半徑 (radius of gyration)（截面之迴轉半徑，可以計算得之，茲不詳，譬如對截面爲方形而一邊之長爲 d 者，其迴轉半徑 $r = \sqrt{\frac{d^2}{12}}$ ，對截面爲圓形而直徑爲 d 者，其迴轉半徑 $r = \frac{d}{4}$ 。） q 則依兩端固定，或可自由轉動之狀況而定之常數。

二、柱之設計

「□」須長24呎之木柱，支持100,000磅之擔負，假定其橫截面為中實之四角形時，其一邊之長，應為幾吋？

解 設 x = 一邊之長(吋)

則 $A = x^2$

$$I = 24 \times 12$$

$$r^2 = \frac{x^2}{12}$$

$$f_0 = 800 \text{ 磅/平方吋}$$

取 $q = \frac{1}{3000}$ (視其兩端為固定)

依公式
$$P = \frac{f_0 A}{1 + q \frac{I}{r^2}}$$

$$\text{得 } 100,000 = \frac{800x^2}{1 + \frac{1}{3000} \frac{(24 \times 12)^2}{x^2}}$$

$$800 = \frac{100,000}{x^2} \left(1 + \frac{12(24 \times 12)^2}{3000x^2} \right)$$

$$x^4 - 125x^2 - 41472 = 0$$

$$x^2 = \frac{125 \pm \sqrt{125^2 + 4 \times 41472}}{2} = \frac{125 \pm 408}{2} = 266$$

$$\therefore x = 16.45\text{ft} = 16 \frac{1}{2} \text{ft} (\text{約})$$

□□長10呎，橫截面3呎×4呎之矩形木柱，能支持外來擔負幾磅？

解

$$\text{因 } r^2 = \frac{d}{12} = \frac{3^2}{12} = \frac{3}{4} \text{ft}^2$$

$$A = 3 \times 4 = 12\text{ft}^2$$

$$l = 10 \times 12 = 120\text{ft}^3$$

$$q = \frac{1}{3000}$$

$$f_0 = 800 \text{磅/平方吋}$$

$$\text{得 } P = \frac{800 \times 12}{1 + \frac{1}{3000} \times \frac{120^2}{3}} = 1300 \text{磅(約)}$$

第四節 軸 (shafts)

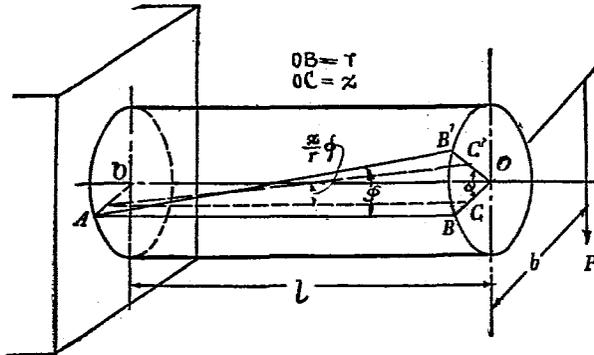
如第八十三圖圓軸之一端固定，他端則於距其心 b 處加 P 之力時，其軸當因被扭轉 (twist) 也。若軸為均勻之材料，在各橫截面上各質點，扭轉後依然留為該截面上質點，在通過軸心，沿軸各截面上亦然，則其表面上預畫之水平直線 $A'B$ ，當移動而為 $A'B'$ ，畫螺線者也。又一端之半徑 $B'O$ ，亦當移動至於 $B'O'$ 。由實驗結果，上之想像，殆與事實符合，並知軸材在彈性限度以內時，則角 BOB' 及 BAB' 比例於力 P ，及其距軸心距離 b ，即比例於 $P \cdot b$ 也；而其外力去時，則 B 復歸於 B 。然若材料受外力作用，過其彈性限度，則前之關係不能成

立，力如再增，即至於斷。

$P \cdot b$ 爲 P 關於軸心 O 之力矩，特稱扭轉力矩 (twisting moment) 實際作用於軸上之扭轉力矩，多非單一，如傳動上有帶輪、齒輪等接合處，在傳動中，均蒙相當扭轉力矩，他如因軸承之摩擦亦莫不然。斯時之全扭轉力矩爲其代數總和。

依據實驗結果，軸蒙扭轉力矩時，於軸外面所畫與軸心平行之直線移動而畫螺旋線，與原位置成 ϕ 角。如斯畫螺旋線，不獨軸之外皮纖維，即內部纖維亦如之。而此際如由 AB 而成 $A'B'$ ，實有幾分伸長。惟軸心 O 、

圖 三 十 八 第



依然無變，可視為一種之中立線。但斯時橫截面上所生應力，因為相接近二截面之前者對後者有轉動傾向而作阻尼者，故為一種之切應力。圖中 ϕ 稱為螺線角 (Helix angle) θ ，稱為扭轉角 (torsional angle)。倘軸長為 l ，半徑為 r ，則以

$$BB' = r\theta = l\phi,$$

$$\therefore \phi = \frac{r\theta}{l}.$$

然內部纖維所畫螺線角皆比 ϕ 為小，因於距軸心為 z 處，其螺線角

$$\phi' = \frac{z\theta}{l} = \frac{z}{r}\phi.$$

而螺線角之大小，乃示扭轉應變之大小，在彈性限度內，依虎克定律，可即視為表示應力之大小也。故各纖維之應力，比例於對軸心距離而變化在最遠方之外皮纖維上呈最大應力。

問題

(一)有鋼桿長50呎，橫截面積為1.5平方呎，受5噸之引張擔負時，求桿中發生之應力、應變及全伸長，但 $E = 29,000,000$ 磅/平方呎。

(二)於直徑 $1\frac{1}{4}$ 吋鍛鐵製栓上，加以切力500磅時，問所生之切應力與切應變各幾何？但 $C = 10,500,000$ 磅/平方吋。

(三)長40呎，寬12吋，厚7吋之木桿，受130噸之力引張時，伸長1.88吋，問該木材之楊氏係數如何？

(四)蒸汽機活塞桿所受之推力為28000磅，設該桿之直徑為 $2\frac{1}{4}$ 吋，桿材之極限強度為70,000磅/平方吋，問其所取之安全因數等於若干？

(五)支點距離16呎之水平梁，其自身每呎重量為30磅，距左支點5呎處載有200磅重物，距右支點8呎處，載有300磅重物，問兩支點之反動力如何？

(六)截面4×6吋之木梁，一端出牆6呎，如所受切力限為每平方吋120磅時，其端之最大擔負應為幾何？

(七) 支點距離 24 呎之水平單梁中點，受 3 噸重之外來擔負。試畫其切力及彎曲力矩簡圖。

(八) 設有木柱長 5 呎，截面為 $8\frac{1}{2} \times 8\frac{1}{2}$ 吋，其最大容用內力為 $20000 \frac{\text{磅}}{\text{吋}^2}$ 時，試計其最大安全載重幾何？

第四章 機械製作法

製作機械時，先須根據事實之需要，依據機構學，定為適當構造，更須研究其各部受力之作用情形，依據材料強弱學，決其用材之粗細，形體既曾於第一章述之，然決定需要機械之形狀大小，即所謂設計 (design) 也。設計之後，繪為圖面，俾工人依以製作者，謂之製圖 (drawing)。其機械須鑄造 (casting) 者，由工人依圖製成木模 (pattern) 與鑄型 (mould) 鑄造之；須鍛造 (forging) 者，取適宜材料鍛造之。經鑄造或鍛造之機械全體或另件，尚須加工 (finishing) 精製，方可合用。加工之法，分為手工加工 (hand finishing) 與機械加工 (machining) 二種。加工之後，始行組合，成為機械。以下依其製作順序，逐節分述其方法。

第一節 設計製圖

一、機械之圖面表示法

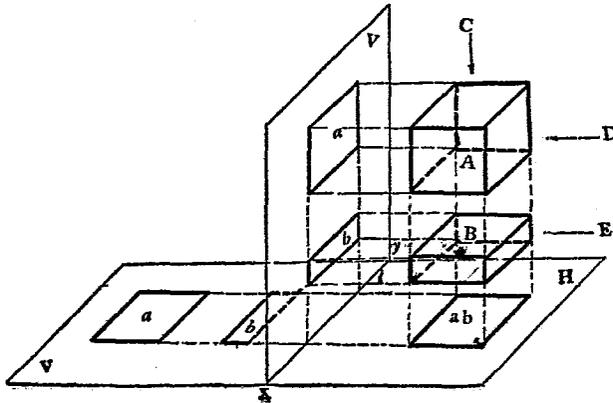
機械爲一立體，機械之圖面表示，卽立體之圖面表示。立體之圖面表示，有所謂立體幾何畫法，卽正投影法畫法，特先簡述之如下。

如第八十四圖中，有在空間之 A、B 二物體，欲令表示於圖面時，先假定視點 (point of sight) 由非常高處，自 C 下視，自成其影於所謂水平投影面 H 上爲 a，爲 b，其畫法乃由 A、B 各角點向 H 面引垂直線與之相交，再連結各交點可矣，謂爲 A、B 之平面圖 (Plan)。然單依據一平面圖，只能知其與水平面平行之截面爲 a 或 b 之形，無從得其高，並占空間之位置也。於是再設所謂直立投影面 V，假定視點在非常遠處，由 D 或 E 而來，視 A 或 B，自在 V 面成影爲 a' 爲 b'，其畫法乃由 A、B 各角點向 V 面引垂直線與之相交，再連結各交點卽得 a'

b' 二影，謂爲 A、B 之立面圖 (elevation)。直立、水平兩投影面之交線，則稱爲基線 (ground line)。立體之投影，雖恆在相垂直二平面上，普通使表示於一平面上，故恆採基線爲軸，向後回轉立面圖，使重合於水平面上，其投影則與在直立時無少變異。下圖之 V，即其例也。

圖八十五爲機械之零件圖，照上述理，知(1)爲其立面圖，(2)爲其平面圖。然由(1)只知 C 穴之大與深，必待(2)而始知其爲圓形，其他若高若大亦如之，必需兩相對照，纔可明瞭，於以見兩圖之效用矣。但

圖 四 十 八 第



A、B兩耳，果爲圓形乎，抑方形乎？無論爲圓形，或方形而一面水平者，在立面圖及平面圖所表示無異。於是需要以同樣理法，畫自左向右投影之右側側面圖 (side elevation) (3) 表示之。故機械之圖面表示，係依據立體幾何畫法，畫其立面圖與平面圖，有時且須畫其側面圖也。

二、設計製圖 機械可依立體幾

何畫法，表示於圖面，既如上述。設計製圖者乃根據所需要條件，設意以定其構造形狀，表示於圖面，使工人得依以製作者也。換言之，即表示自己意志命令之手段，可看亦可讀也。內分設計圖與工作圖二種，又各分裝配圖與分解圖焉。

圖 五 十 八 第

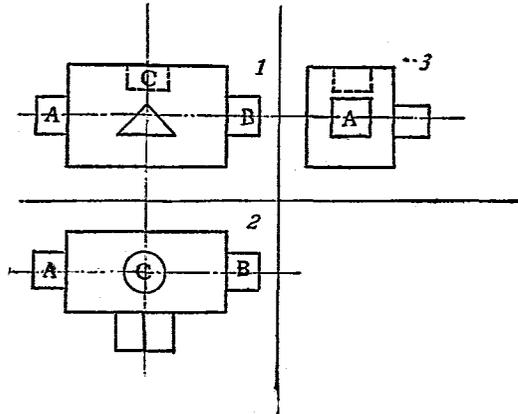
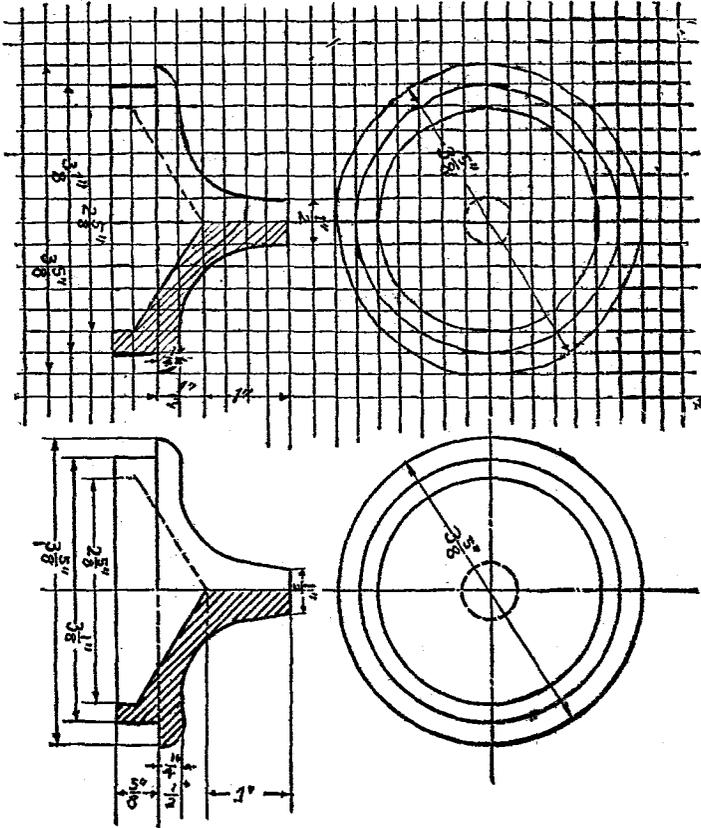


圖 六 十 八 第



〔一〕設計圖與工作圖

當設計某機械時，初就其大體形狀及配置方法，繪略圖表示本設計之方針者，謂之設計圖。普通繪於方格紙上，有不藉定規之助者，設計既定，次依一定標度，將各部形狀、大小、材料等，詳細繪出，使製作者一見，即洞悉設計製圖者之思考中物體者，謂之工作圖。故工作圖須非常精確，註明各處尺寸宜明瞭，決不能稍有誤差及曖昧不注意等事。因有些小之誤差，即能使製作物體，歸於無用故也。普通先以鉛筆打稿，後蓋墨，然或即再蓋鉛筆完成之。惟用筆宜略重，以有切押圖紙程度，防其模糊不明為佳。第八十六圖所示，上為設計圖，下為工作圖。

〔二〕裝配圖與分解圖

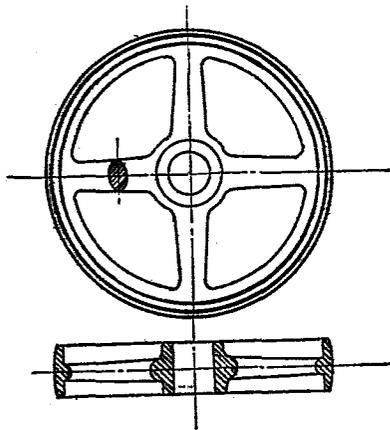
裝配圖乃機械總圖，表示機械各部相對關係之位置形狀，使製作者得睹未成機械之大體，可將機械各部依之裝配而完成工作者也。分解圖者，將機械各部分分解，詳細繪出之，俾製作者依以製作。通常

物體小者，依一定標度擴大，物體大者，則以縮尺縮小而表示之。

〔三〕截面圖 對於稍複雜機械，須表示其內部構造者，宜於立面圖平面圖外，添所謂截面圖也。分縱截面圖，橫截面圖及局部截面圖三種。表示縱切機械之切口，稱縱截面圖，如第八十七圖（帶輪）之平面圖（通常不切輪臂）表示橫切機械之切口，稱橫截面圖。任意表示機械局部構造而切截之切口，稱局部截面圖。如帶輪圖中之輪臂截面即是。

截面線者，截面中所引等距離而平行之線也。然在設計或工作圖中，欲區別所用材料之種類，於圖面塗着特定之顏色外，亦有用特定之截面線表示

第 八 十 七 圖



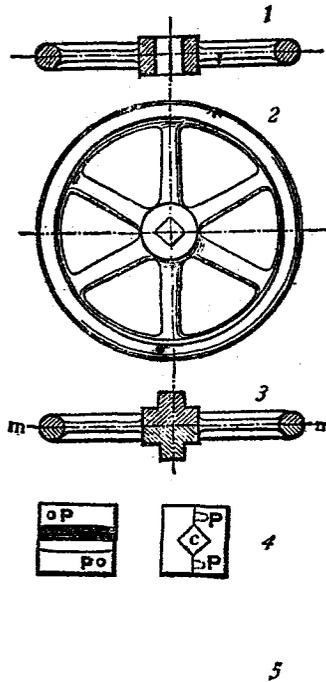
之第八十七圖之截面線，乃表示應以鑄鐵製也。

工作圖既成，通常以模寫紙蓋墨模下，作如照相之底片，晒印於塗感光性液體之原紙，製成藍色圖多張，分發關係各工場，俾依以製造者也。

第二節 木模與鑄型

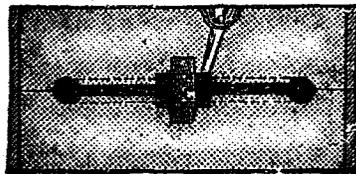
一、木模與鑄型 木模者，普通以木材（亦有用石膏或金屬）照機械工作圖中之尺寸，先製成須鑄造之機械也。鑄型者，以木模埋入砂中而後起出，得殘留之型，可以熔解金屬注入，待其冷凝，而成機械之草胚者也。今就第八十八圖把手輪（hand wheel）之製造為例，說明兩者之作用。圖中 1、2 為把手輪工作圖 3 為其木模，以 m n 線分為上下兩半，4 為心型箱（core box）其兩片以 P、P 聯合之中，具與把手輪之軸孔同大之孔 C，裝砂與其他粘質後，分開兩片，可得心型（core）5 為中插心型 C，已經完成之鑄型，可由注口（pouring

圖八十八第



置於平板上，外圍以適合之鑄型下框，然後將鑄物砂裝入框中，並以撞棒細心
 (Gate) d 注入熔解金屬，鑄成把手輪矣。鑄型之作成順序，係先取木模一半，覆

撞實之，埋沒木模於其下。次連板與下框同時翻轉，放置砂地後去板，於是適纔
 埋沒之木模露出上面，更取其他一半合於其上，圍以鑄型之上框。次薄播分離



砂 (parting sand) 以便將來上下鑄型之分離，即填入鑄物砂，並夾插注口木 (gate plug) 於適當處，隨以撞棒撞實之，更用通氣針刺入各處，便將來注熔解金屬時發生氣體之逸出，通氣針如普通之細長錐也。次於鑄型框外圍，作幾處上下框相符合記號後，提翻上框，靜離下者，該時即起出兩半木模，起出際，鑄型如有損壞處，須修整之。修整之後，於其表面洒石墨粉，或以筆蘸石墨液塗之，次將心型納入鑄型中，依前留之符合記號，重蓋上框，拔去注口木後，即完成之鑄型矣。

二、木模之製作

木模雖應與其製作之目的物同形，然多少有相異之點。第一，如鑄造圓筒形物體之木模，恆一端之尺寸，自他端起逐漸削減，以便自鑄型中由大端拔出，不致損壞之。第二，熔解金屬注入鑄型中凝固時，普通有某分量之收縮，對於長一呎者，如為鑄鐵，有十六分一乃至八分一吋之收縮，如為鋼，則有十六分三乃至十六分五吋之收縮，是以製作木模，宜加入相當之大第

三、鑄成之物體，大抵更須手工加工，或機械加工，即須削去若干分量，尤應最初加以餘裕八分一乃至十六分一吋。第四，木材適應燥濕，有彎曲之虞，初製木模，應選已經乾燥之料。第五，木模分一時用與永久用者兩種，永久用者之選料非常緊要，並用後宜作適當分類保存，以便隨時取用。

木材不但常有收縮，而且常有腐蝕。木材之腐蝕可分二種，一為乾蝕，一為濕蝕。乾蝕起於木材纖維內殘留樹液之醱酵，濕蝕起於熱濕交互之作用。電柱、橋梁接近於水土者之腐蝕多屬之。是以伐木必須在樹液最少之時。其後更有天然乾燥與人工乾燥二法，防其變形。天然乾燥法者，任木材放置若干時乾燥之。人工乾燥法者，有浸水、蒸汽乾燥、熱氣乾燥三種，均以去其樹液為目的。最普通用者為浸水法，即浸木材於水中，逐其汁液後，積疊於空氣流通處一二年乃至十年，漸漸乾燥之。木材之燥濕、腐蝕與木模之製作最有關係，因附述之。

三、鑄型之製作

鑄型既為承受注入金屬冷凝而成形之物，其製作材

料，應具備下列性質：第一，容易製作；第二，承受高熱之熔解金屬，不至於燃燒；第三，與熔解金屬，不起化學變化；第四，有得以抵抗熔解金屬之緻密及強度；第五，具多孔性，令注入熱金屬時所發生氣體，容易逃去；第六，宜使鑄物表面平滑。

具備上列諸性質之材料，惟有砂耳。是以鑄型多為砂型，甚有稱鑄造為翻砂者，職是故也。只有特殊鑄物，用金屬作鑄型耳。

鑄型砂分為生砂 (green sand) 與壤土 (loam) 二種。生砂為細小之山砂，以有大部分之二氧化矽，具多孔性。以混有少量之礬土與苦土，具粘着性。而鑄物場之砂更見黑色者，以混有煤末或木炭粉 $\frac{1}{8}$ 乃至 $\frac{1}{15}$ 故也。用生砂時，常混以濕氣。壤土為粘土混入多量之岩砂，更混入炭粉、焦煤、馬糞、糖、藁等之物。熱金屬注入其鑄型時，此等混入物多燃燒以去，使發鬆與以多孔性。

鑄型砂因其用途，又可分為面砂 (facing sand)、地砂 (floor sand)、分離砂 (parting sand) 及燒砂 (burnt sand) 四種。面砂用於鑄物面接近處，較細。

地砂作為鑄物場之地之砂。分離砂用以分離鑄型之上下框，既於前項述之矣。通常為乾後之燒砂，不混粘着物。燒砂為曾經附着於鑄物表面或其附近被燃燒之砂。令成粉末，可為面砂。

鑄型製作用器具之重

要者，為篩、鑄型框、撞棒、鏝、乾燥室、運搬車等。篩以選別鑄型砂，無待言也。鑄型框用填鑄型砂，以造鑄型，有木製或鑄鐵製者，上者稱上框，下者稱下框，中者稱中框。以木製小者最多。第八十九圖所示為其一種。圖中之b，b為符

圖 九 十 八 第

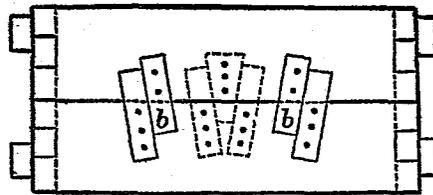


圖 十 九 第

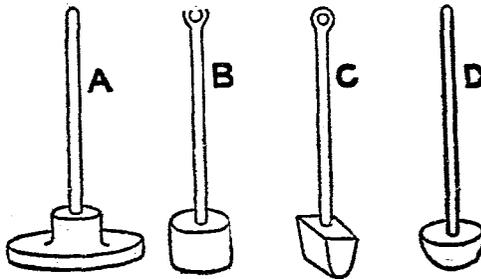
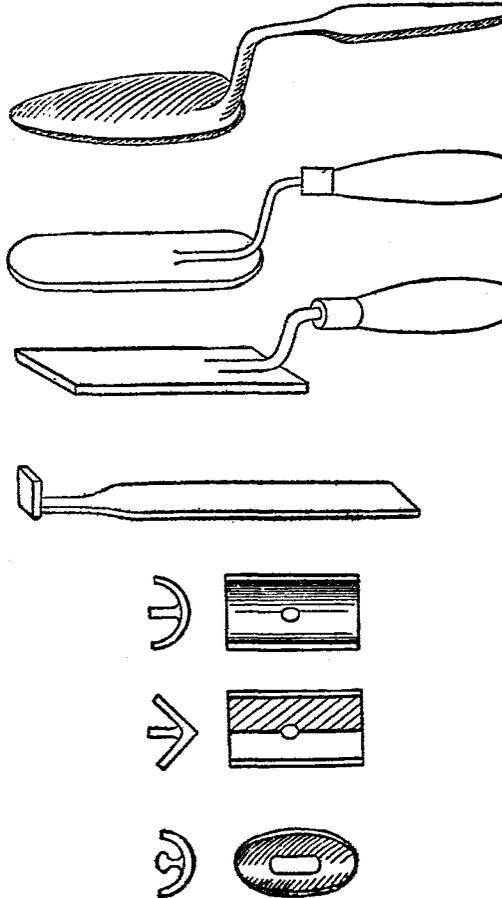


圖 一 十 九 第



合上下框於一定位置而設之附加物。撞棒爲撞實鑄型砂用之棒，有種種形狀如第九十圖所示。鏝爲修繕並平滑鑄型表面之用，爲鐵或黃銅製品，其形狀如

第九十一圖所示。乾燥室爲乾燥鑄型之室。運搬車以運鑄型於乾燥室等處。此外尚有吹管，吹散鑄型底奧不用之砂與塵埃；鏡、蠟燭，照明型中狹隘地方，與夫通氣錐，穿型以通氣體等零星物件。

鑄型非必作於框中，鑄物之大者，常以鑄物場基地中作之，加鑄型砂之蓋而注金屬。注口亦有特別加高，以增加注入金屬之壓力者。

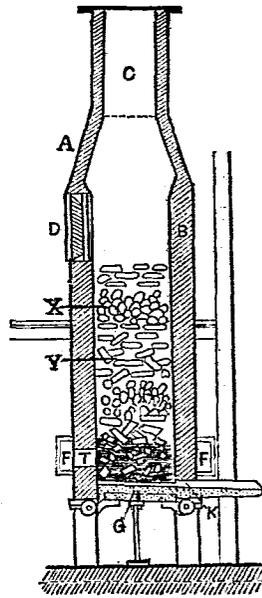
第三節 鑄造

一、熔鐵爐 (cupola) 鑄造爲熔解金屬，注入鑄型，令冷凝成爲所要形

狀之物之作業也。鑄型之製作既如前述，茲就熔解金屬及注入鑄型等作業言之。熔解金屬普通以熔鐵爐行之。熔鐵爐如第九十二圖所示。圖中 A 爲鋼板製之外殼，B 爲其內側耐火磚，並塗耐火粘土者也。K 爲熔解金屬之出口 (tap hole)，不令流出金屬時，常以粘土塞之。G 爲底門，可以兩方之軸開向下方，蓋

於用後，可開以取除殘滓。F 爲圍繞熔鐵爐之風管，由扇風機而來之風，即經此

圖 二 十 九 第



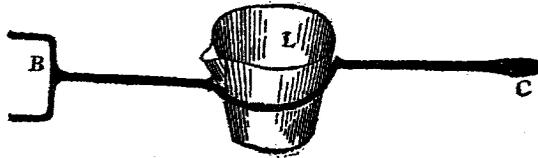
管入數處之風口 T，而壓入爐內，助其中之煤燃燒。以熔鐵爐熔解金屬如銑鐵 (pig iron) 時，先將引火物與焦煤自 D 口放入，次銑鐵，更次復爲焦煤，爲銑鐵，(圖中 X 爲焦煤，Y 爲銑鐵) 如斯層疊，以迄於 D 後，關 D，扇風，並令最下層焦煤引火後即塞 K，讓其漸漸燃燒焦煤，熔解銑鐵。銑鐵之熔解點，約爲 1100°C 。乃至 1200°C 。

所熔解之銑鐵，普通爲鑄物之舊屑與銑鐵混合之物，但所成之鐵，常脆而堅，又經再三度熔解者亦如之。熔鐵中多含不純渣滓，常以熔解劑 (flux) 如石灰石 (lime stone) 者先分布於鐵屑上部，與渣滓以流動性，有自金屬中分離非金屬質之效能。對鐵一噸，約須 30 乃至 100 磅左右，所須焦煤，約爲 200 乃至 350 磅。扇風機扇風壓力，每平方吋須 $\frac{1}{4}$ 乃至 1 磅左右。熔鐵一噸所須空氣量，約爲 30,000 立方呎。

鐵既熔解，下沉爐底，欲取用時，先開孔 K，以如第九十三圖所示之厚 L (ladle) 接受噴出之熔鐵，由兩人持 B，C 二臂，運至鑄型近處，注入型中可矣。厚小者，可以一人持預先套厚外有圈之柄，如持水杓，提注鑄型中。

二坩埚爐 (crucible furnace) 銅、錳、黃銅、砲金之

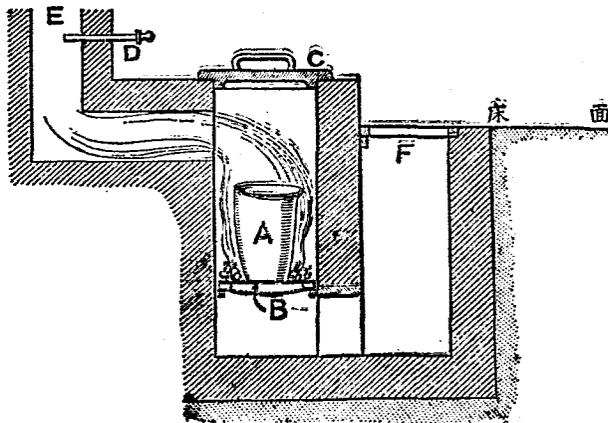
第九十三圖



類，普通裝入坩堝中，自其周圍加熱以熔解之，名其爐為坩堝爐。坩堝以黑鉛製成，第九十四圖所示為坩堝爐之縱斷面圖，A 為坩堝，中裝應熔解之金屬，置於火床 C 上，圍以焦煤，點火熱之。所以用坩堝之理，在便於處理合金。如就銅鋅之合金黃銅言之，銅在 1996°F 。熔解，鋅在 773°F 。熔解，欲製此合金，每先熔銅，迨稍在鑄物品之前，以箸挾小塊之鋅壓入即佳。若壓入後時間過久，鋅將蒸發以去，其成分變矣。

三、冷縮鑄物 (chill casting)

圖 四 十 九 第

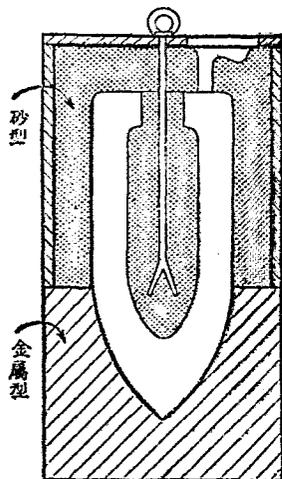


鑄物之一部，須非常硬，且具耐久性之表面時，可僅以其部分為冷縮鑄物，令為冷縮鑄物之法，乃於其部分用金屬鑄型，令熔解金屬接觸之，可迅速冷卻，作成硬脆之白鑄鐵結晶。如第九十五圖所示，彈丸之製造，欲其尖端硬緻，特用鑄鐵製鑄型，其餘則用普通砂型。

第四節 鍛造

一、鍛造 鍛造者，謂將金屬引延，擴展或鍛接 (welding) 之作業也，專對於鍊鐵及鋼行之。延展材料為所要形狀，當不夠大或不够長時，鑲接二片以上成之者謂之鍛接。

圖 五 十 九 第



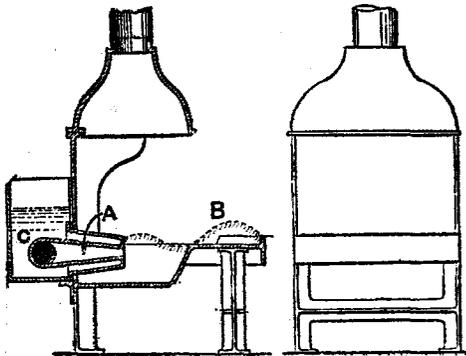
鍊鐵與鋼，在常溫或高熱中，以具有得以引延之延性 (ductility) 擴展之展性 (Malleability) 與受壓力後不再恢復所生應變之受範性 (plasticity) 故可施行鍛造。若鑄鐵者，其性脆，故不適於鍛造。

鍛造品一般較鑄造品為可信賴，多用於應力常有變化之處，如蒸汽機之活塞桿 (piston rod)、連桿 (connecting rod) 或曲柄軸 (crank shaft) 等，均為鍛造。形狀複雜者之鍛造較困難或不可能，然可進行至某程度止，其後以機械加工完成之者頗多。

二、鍛造之工具與機械 鍛造所用主要之工具如下。

〔一〕鍛冶火床 (smith's hearth)

圖 六 十 九 第



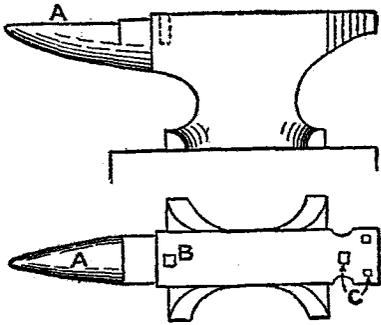
爲將材料熱至所要溫度之爐也。有磚砌與鑄鐵製二種。第九十六圖所示爲鑄鐵製鍛冶火床。圖中A爲風口，由風箱或扇風機而來之風，自此口出，以助爐內燃料燃燒。B爲煤床，煤在其處燃燒，鍛造材料，亦即在其處受熱。C爲水槽，爲冷却風管之用。

□□鐵砧 (anvil)

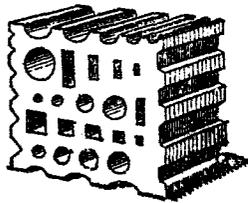
鐵砧由鍊鐵或軟鋼

製造，其表面之局部或全部煨結鑄鋼者爲普通。其形狀如第九十七圖所示，有平面與曲面部，適合於鍛造形狀不同之品物於其上。然亦有爲蜂巢形如

圖七十九第



圖八十九第



第九十八圖者，其周圍有不同形狀之溝，為鍛造各該適合形狀之物。

〔二〕鉗 (tongs) 為挾鍛造

物之工具，形如第九十九圖所示。嘴多平，亦有為圓為角形者。

〔四〕手鎚 (hand hammer)

與替鎚 (set hammer) 手鎚

之重量，小者為 2 乃至 3 磅，大者為 7 乃至 14 磅。用以鎚延或鎚展鍛造材料，無待言也。替鎚者，放置鍛造材料上，替受手鎚之打擊者也。工作時之形狀如第百圖所示，一人左手持鉗挾鍛造材料，右手

圖 九 十 九 第

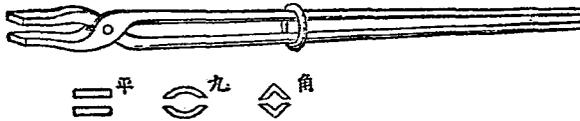
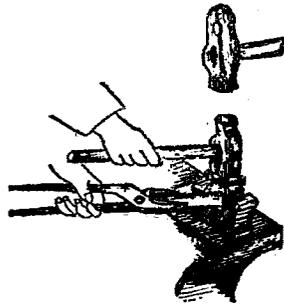


圖 百 一 第



持替鎚，放置材料上應受鎚處，俾持手鎚之他一人打擊之。

〔五〕蒸汽鎚 (Steam hammer) 爲鍛造時最便利之工具，如第百零一

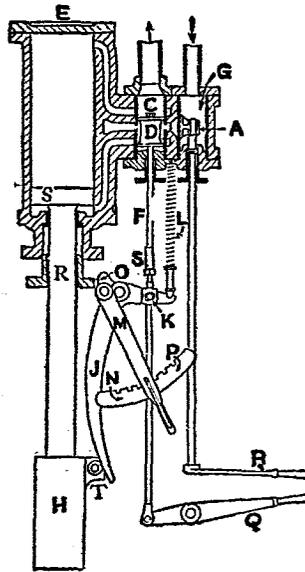
圖所示。小者不過 $\frac{1}{4}$ 乃至 $\frac{1}{2}$ 噸，大者自 3

噸乃至 50 噸。蒸汽鎚之噸數，乃指鎚頭 H，鎚桿

R 與鎚頂受蒸汽壓力而動之活塞 S 等總落

下重量而言。當鎚落下時，如 S 之上更受蒸汽壓力，則其打擊力自有顯著之增加。圖示者，爲蒸汽鎚落下之時。由蒸汽箱 G，經蒸汽活門 A，繞調整活門 D 而入 S 下之蒸汽，正欲壓上 S，卽以提高 H。提高 H 中，S 上之廢汽被逐由 C 而出。然 H 既昇高，其所附滾子 T，向上作用於鑊形肘桿 J 之背，令其他臂連於 F 之 K，

圖一零百一第



雖常被螺簧 L 下壓，亦頂 D 而上，至繞 D 蒸汽，改由機筒上部而入，壓下蒸汽鏈矣。及至蒸汽鏈下降，復由上述之理而昇，反覆不已。然此爲蒸汽鏈之自動裝置。但以肘桿 J 之支點，在肘桿 M 之短腕上，M 可移置於 P N 齒上任何一處。當移 M 向 P 近處，則拉 J 離 T，鏈即不能自動打擊。於是可移置 Q 之一端上下以移 D，令鏈昇高或落下。此爲手動裝置 B 之轉動，所以開閉 A 門。

蒸汽鏈外，尚有壓縮空氣鏈，利用壓縮空氣，以代蒸汽打擊。數每分鐘可自 10 次變至 300 次。

第五節 手工加工法

一、手工加工 自鑄造、鍛造二作業所成之機械主體或一部分，其表面常粗雜，而尺寸不精確。欲令合於工作圖之形狀尺寸，無毫厘之差者，即非加工不可，前已略言之矣。或用一定形狀販賣於市場之材料，製造吾人需要物品

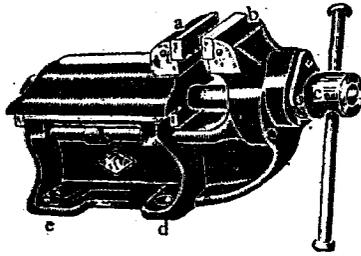
時，亦恆需加工之一步，而加工之主要工作，爲切削、穿孔與研磨。本節所述爲手工加工法。茲就長形六面體之手工加工，先示其大概。

第二百零二圖所示爲虎鉗 (Vice)，可以螺旋貫穿其兩側之 d、e 各孔，堅裝於工作檯上。鉗口在 a、b 之間，用挾工作物，以便加工。a 對 b 爲另一體，以其中心之螺旋套套於 c 之左端螺旋上。今向右轉 c，則 a 對 b 接近，反之，則遠離，所以適應工作物之大小，而加以挾持也。

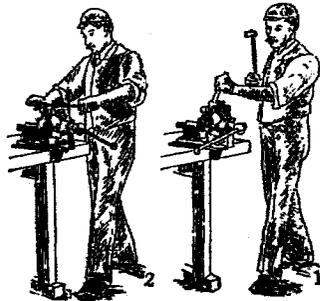
1, 示將工作物如由鑄

第二百零三圖中之

圖二零百一第



圖二零百一第

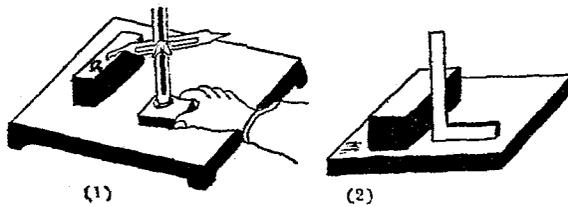


造而來者，挾在虎鉗中，先用鑿 (chisel) 削去其粗皮。次如 2，用銼 (file) 平其面。圖中所示銼法，乃兩手持銼壓在工作物上，向銼身直角方向進行，謂之橫銼法。尙另有直銼法，乃左手持銼端在前，右手持銼柄在後，於壓迫工作物中，推銼前進。

既經銼平一面，隨即於其反對側加銼，令兩面平行。至驗其兩面是否平行，則如第二百零四圖之(1)所示，先置其認爲已平之一面於鋼製定盤上，而以手扶如圖之規，於定盤上沿六面體之一面進行，可以規之先端 a，感知何處爲高，何處爲低而改正之。

兩平行面成後，自應繼續同樣銼其他各面。至相隣面是否互爲直角相交，則如第二百零四圖之(2)所示。

圖 四 零 百 一 第



用直角規於定盤上試測之，不合則再銼，以如斯之手續反覆不已，至於完成目的物爲長形平行六面體爲止可矣。

二、手工加工之工具 對鐵與其他金屬所用工具之大特徵，爲其鋒口

比之木工工具爲厚，即其鋒口常在 30° 乃至 60° 之間，而木工工具之鋒，則鮮有達此最小角度者。工具全身爲鋼製，罕有用木製之柄，其主要者如下：

〔一〕虎鉗

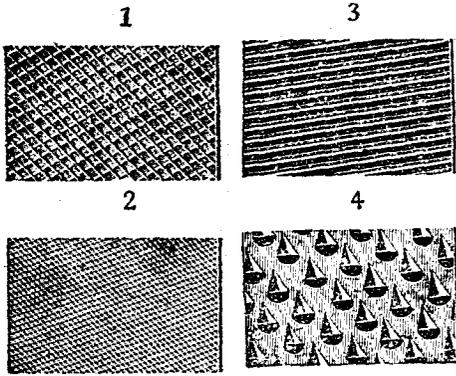
〔二〕鑿

〔三〕手鎚

〔四〕定盤、角尺、其他各種定規

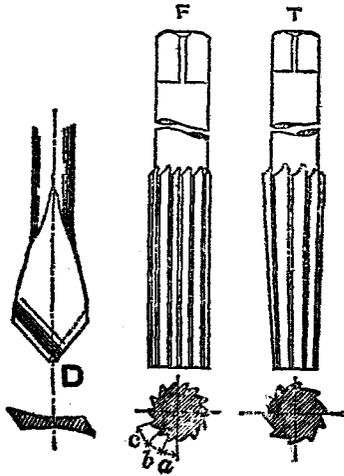
〔五〕銼 銼在手工加工法中，用途極大，依其橫截面形狀，分爲三角形、圓形、半圓形等銼，銼乃故作粗面，用以研磨其他金屬者，故銼面之構成，即銼面之切細目法，宜以研磨上之方便並有利爲準。凡分三種，一爲兩切銼（double-cut

圖 五 零 百 一 第



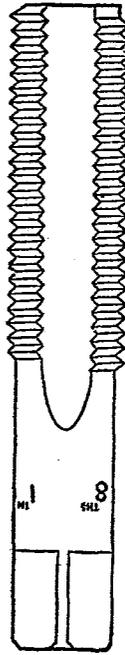
3. 三爲木銼, 切目最粗, 用以銼粗鬆之木材也。
 〔工〕鑽 (drill) 鑽爲將金屬內部穿孔之工具, 分爲鑽孔 (drilling) 與

圖 六 零 百 一 第



洗孔 (boring) 用二種。前者於未有孔之處，鑽成一孔，後者於已鑄成或鍛成之孔，單以鑽削其表面凹凸不規則之處，使爲所要正確直徑之圓孔而已。故前者之形如第百零六圖之D，而後者如F與T。至其轉動，大抵藉機械之力爲普通。〔七〕雌雄螺旋模 (tap and dies) 欲於金屬圓孔，以手工作螺旋套，則以如第百零七圖之雌螺旋模轉入成之。雌螺旋模形似螺絲間斷之螺旋，其間斷螺絲即鋒刃也。

圖七零百一第



欲將圓棒以手工製爲螺旋，則以如第百零八圖之雄螺旋模之孔A套於圓棒上，旋轉成之。A內之間斷雌螺絲，即其鋒刃也。

圖 八 零 百 一 第

第六節 工作機加工法

一、車床 (Lathe)

由手工加工之作業，常不能十分快捷而精確，故凡可藉機械加工者，恆用機械代手工。工作機 (machine tool) 為加工之機械，種類繁多，以下就其主要言之，先自車床始。

車床為切削金屬之用，形如第一百零九圖所示。圖中 A 為主軸台 (head stock)，中具轉軸，依帶輪 e 掛帶之被動而轉動，於其右端 a 處，裝鏡板 (face

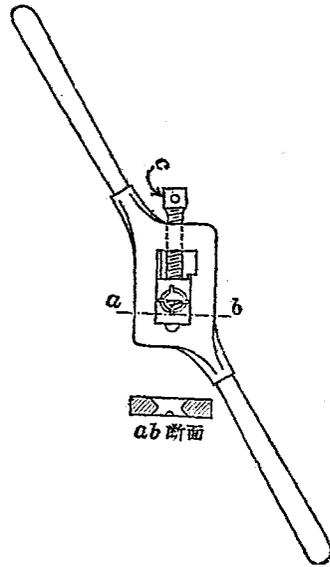
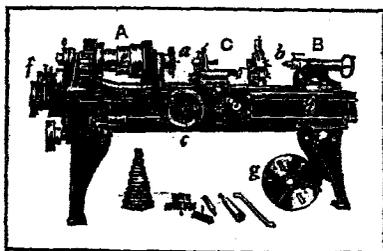


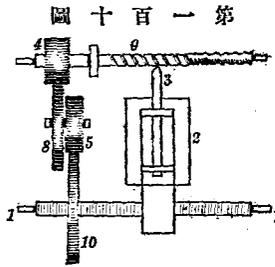
Plate) g, 則可以支持或挾住受切削金屬之一端。B 爲尾軸台 (tail stock), 可沿車床進退, 以其左方心軸 b, 支受切削金屬之他一端。C 爲刀具台 (tool rest) 爲裝放刀具之台, 可以把手輪 c 之轉動, 令沿車床左右移。又以其具螺旋套套於誘導螺旋 (leading screw) d, 於 d 轉動中, 亦沿車床左右移。d 之轉動, 由 A d 間輪列 f, 幾經變速傳來, 故更動輪列各齒輪, 可令 d 對 A 之轉速生變化, 即可變刀具台進退之速。然若絕其輪列關係, 則刀具台只能藉手動進退。今以 A 及 B 兩心軸, 挾持金屬兩端, 在 A 轉動中, 於 C 上裝刀具當其側, 並令向左進, 則金屬受圓形切削矣。

茲再就第一百圖所示螺旋絲之切削法, 說明車床工作之一種。圖中 9 爲被支持於主軸台與尾軸

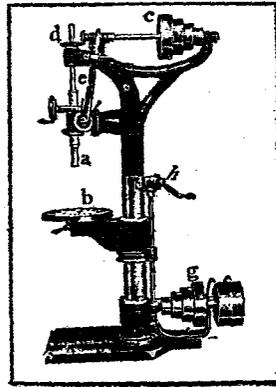
圖 九 零 百 一 第



台之被切材料，3 爲刀具台 2 上之刀具，1 爲誘導螺旋，10、5、8、4 爲輪列，並假定各示其輪之齒數。於是 9 轉一次中，1 之轉數爲 $\frac{10}{9} \times \frac{5}{8} \times \frac{4}{1}$ 次，即 1 轉一次，9 轉四次。假定 1 之螺距爲 1 吋，則 1 轉一次中，可帶刀具左進 1 吋，惟以該時間內，9 已轉動四次，刀具遂在其 1 吋內刻 4 螺絲可知矣。以如斯之種種輪列配合，可將金屬之單位長內，切爲任何螺絲數矣。



圖一十百一第



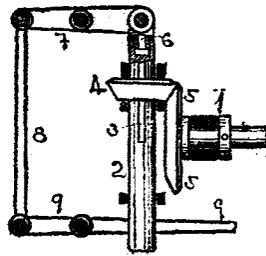
二、鑽床 (drilling machine)

鑽床爲將金屬鑽孔或洗孔之工作機，其器具與在手工鑽孔者同。第一百十一圖示普通鑽床之一種。圖中 b 爲載物台，載

欲鑽孔之金屬於其上，可以把手 *h* 之回轉上下之，以求適合。 *a* 為插鑽處，鑽之轉動，由帶輪 *g*、*c* 之掛帶，自 *g* 傳 *c*，自 *c* 經傘齒輪 *d* 而來，鑽既轉動，置其端於應鑽孔處，拉 *e* 桿壓下之可矣。至其一邊壓下，一邊轉動之機構，觀第一百十二圖更明。其圖中之 *4*、*5* 為組合傘齒輪，藉栓 *3* 與栓溝之嵌合，與下端插鑽之桿 *2* 共轉動，而 *2* 以 *3* 之栓循齒輪之溝上下動，仍無礙也。然 *2* 之頂，嵌如圖之 *6*，*6* 與 *2* 成爲轉動對，故 *2* 在轉動中，*6* 可不動，但壓 *9* 之右端，提 *7* 之左端，即可壓下 *6* 及 *2* 矣。

工作機除車床、鑽床外，尚有重要之鉋床 (planing machine)、削床 (shaping machine)、鑿床 (slotting machine)、用以鉋削品物之平面；礮床 (milling machine)、磨床 (grinding machine)，用以研磨品物如齒輪之齒等。磨床之刀

圖二百一第



具爲金剛砂之砥，與其他以鋼製者不同，其詳可求之於專門書中。

第七節 機械製作工廠之組織

機械種類繁多，因所製作機械之不同，其工廠之組織，自然各異，若就其普通者而言，應含有下列各處：

- 〔一〕設計製圖室 (drawing office)。
- 〔二〕木模廠 (pattern shop)。
- 〔三〕鑄造廠 (moulding and casting shop) 俗名翻砂廠。
- 〔四〕鍛造廠 (forging shop) 俗名打鐵廠。
- 〔五〕手工加工廠 (fitting shop) 俗名虎鉗廠。
- 〔六〕工作機廠 (machine shop) 俗名機械廠。
- 〔七〕裝配廠 (erecting shop)。

〔八〕製鍋廠 (boiler shop)

以上各廠之意義，對於讀過本章以上各節者，自毋庸其解釋。惟第八之製鍋廠，主為製作汽鍋 (steam boiler)、煙囪 (chimney)、鐵箱 (tank) 類之鋼板作業，與其他各廠異其旨趣，故恆另行設立。

然隨着分業制度之發達，在歐美各國，雖相當有名之工廠，實際上僅有手工加工廠與裝配廠者甚多。蓋以鑄物或鍛造物等，每託之專門之鑄造廠或鍛造廠，更送之相當之工作機械，令切削為圖面之尺寸，然後於自己之廠加工裝配，完成一件機械。是以工廠雖小，常能製造販賣相當巨大之機械。

至於具備各廠之廠位配置，常以事務室與設計製圖室為中心，按序環列倉庫、木模廠、鑄造廠、鍛造廠、手工加工廠、工作機械廠、裝配廠，而於另一側附製鍋廠者居多。

問題

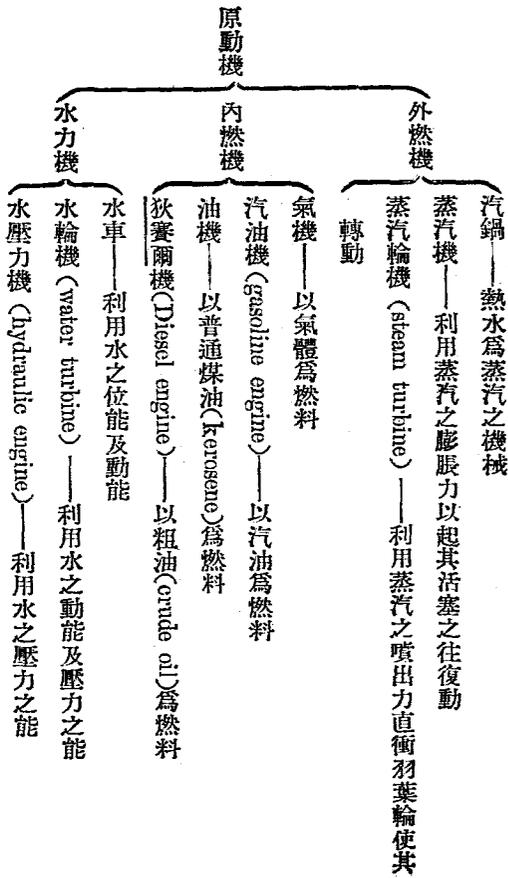
- (一) 試繪一墨水瓶(圓或方)之工作圖。
- (二) 木模之尺寸,如與圖面物品之尺寸相同,則依以鑄成物品,將過大或過小否?
- (三) 鑄型砂如受撞捶,過於堅實,對於鑄物發生何種影響?
- (四) 合金之熔鑄方法與普通之鋼鐵熔鑄,有何不同之點?
- (五) 備有工作機之廠,可省去手工加工廠否?手工加工廠之特別作用在何處?
- (六) 簡述車床切削螺絲之法。

第五章 原動機

第一節 原動機之種類

原動機爲接受自然給予之能，發動其本身，而以傳達於應用機械之物，既如第一章第一節第二項所述矣。但所以接受，發動暨傳達之法甚多。或燃煤於汽鍋，受其熱能，使鍋內之水變爲高壓熱汽，導向機器 (engine)，令機器發動；或引油或煤氣直接入機器之機筒內燃燒，生成高壓氣體，令機器發動；或利用水之位能（若承接高處落下之水），水之動能（若接當急流之水）與水之壓力，令機器發動。前二者各藉熱發動，普通稱爲熱機 (heat engine)；其中以第一之燃燒燃料於機器本身外之汽鍋內者，稱外燃機 (external combustion engine)，以第二之燃燒燃料於機器本身之機筒內者，稱內燃機 (internal combustion engine)。後者利用水力，普通稱爲水力機 (hydraulic motor)。

然在此外燃機、內燃機與水力機三種之中，仍各有不同之變換能量方法，故可更得而分類也。特列表如下，以便記憶。



以下就上列各機械逐項說明之。

第二節 汽鍋

一、汽鍋之分類 汽鍋原爲使燃料燃燒時所發生之熱，傳於水，俾成蒸汽之器具。當其發達之初期，所用者與普通之湯鍋無多差異。置水其中，燃火其下，使生蒸汽。鍋面受熱，僅其下部，其圍牆，其爐底，莫不同時爭取餘熱，耗散四周，且其燃燒熱氣，一度接觸鍋底後，溫度尙高，卽直達煙囪 (chimney)，散於空氣，故其吸收熱能之效率極低。後經幾次改良，始易爲內爐式。內爐式者，納爐於鍋中，俾水繞其周以受熱，並令燃燒熱氣，出爐後再環繞鍋之外面一次，經與含水面接觸，始出煙囪。耗費之熱，遂以大減。此爲增加受熱面 (heating surface)，乃汽鍋之第一次進步。近來由理論及實驗之結果，知提高汽鍋受熱效率，不專在其受熱面之增加，卽鍋水之交流方法，亦有關係。於是設爲多管汽鍋 (tubular

boiler) 卽通水於多數小管，以燃燒熱氣繞之，或通燃燒熱氣於多數小管，以水繞之。前者稱水管 (water tube) 式，後者稱火管 (fire tube) 式。既以增加受熱面，並以催速水之交流，乃汽鍋之第二次進步。

上述之內爐式者，裝爐管於汽鍋之內，亦可謂之火管式。故汽鍋可分火管式與水管式二類。各式中復以構造形狀不同，分爲若干種，每種各有其設計目的。特舉普通使用者，如下列五種。

二、蘭卡郡 (Lancashire) 汽鍋與科尼什 (Cornish) 汽鍋 蘭卡郡汽鍋

如第百十三圖所示，其外觀爲直徑六呎，長二十六呎內外之軟板鋼製圓筒，於其圓筒中，插入二爐管 B 者也。爲火管式。圖中：

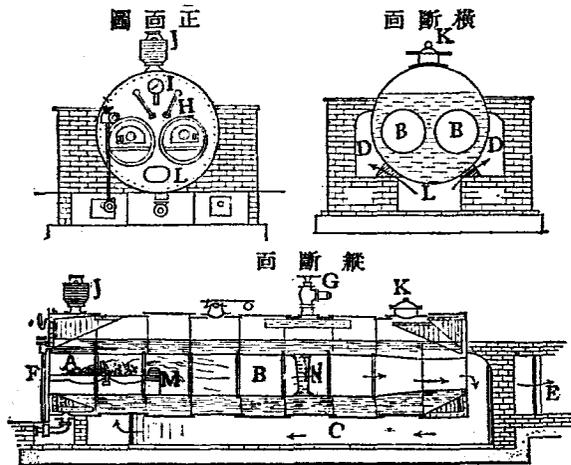
A 爐床 (fire grate) 1

B 爐管 (Furnace tube)

C 底焰道

- D. 側焰道
- E. 煙囪入口
- F. 給水管 (feed pipe)
- G. 開閉活門 (stop valve)
與蒸氣管 (steam pipe)
- H. 水面計 (water level in-
dicator)
- I. 壓力計 (pressure-gauge)
- J. 安全活門 (safety valve)
- K. 人孔 (man hole)
- L. 灰孔 (mud hole)
- M. 火堰 (fire bridge)

鍋汽那卡蘭 圖三十百一第



N. 加羅威管 (Galloway tube)

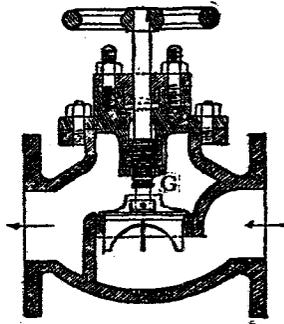
水由給水管 F 而入，常滿至爐管以上，圍繞爐管，於爐管前方設爐床 A，即在其處燃燒燃料，以其火力，熱接觸於爐管外面之水。然其焰，若圖中矢頭所示，先自後方向底焰道 C，至前方折進兩側焰道 D，經煙囪入口 E 而昇出煙囪。欲以其餘熱熱鍋側之水，不使消耗過大，無待言也。較新式者，更有短管 N 三四，橫貫爐管，稱加羅威管。於受熱面之增加及水之交流，均有補助。

由汽鍋發生之蒸汽，經由蒸汽管，即經由關閉活門 G 而達於蒸汽機。關閉活門所以變易蒸汽通路之廣狹者，其構造如第百十四圖所示，於蒸汽經路中，置活門 G，上連螺旋桿，轉動桿上手輪，可令活門上下，定開合之程度。

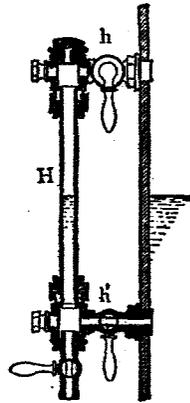
汽鍋內之水，須常保一定之高，過高則熱水易隨熱汽而出，過低則令爐管露出水面，不但不經濟，而且危險，故常設水面計，且於汽鍋端面上部，表示鍋內水面之高低，俾決定給水之量，其數多爲二，其方向有垂直者，有傾斜者，其構造

如第百十五圖所示，於右側鍋之外面，裝玻璃管H，其上橫經h活門，與鍋內

圖四十一第



圖五十一第



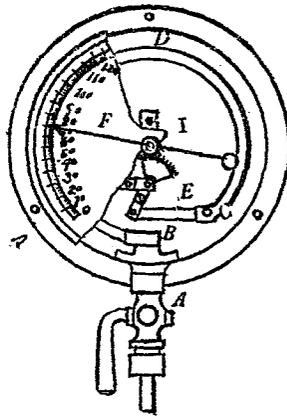
之蒸汽通，下則橫經活門h，與鍋內熱水通，於是H內之水面，常示吾人以鍋內水之面矣。

又鍋內發生蒸汽之壓力，原有限制，如超過某規定程度，則有破裂汽鍋之虞，是以應具時常驗其壓力之壓力計I。I之構造如第百十六圖所示，圖中之BCD為斷面橢圓形之金屬管，B端由管A與汽鍋內部相通，C端閉合，介桿

E 與扇形齒輪相組，扇形齒輪復與中軸上小齒輪相組，指針 F 則固定於中軸上。當汽壓增高，管內容積有變大趨勢，因變其曲度較前為直，C 遂外伸，拉 E，轉扇齒輪及小齒輪，使針向一方轉動，其轉動之程度，原與汽壓之大小成正比，故得表示壓力之高低。但其所表者，多為超出大氣壓力以上之值，稱計示壓力 (gauge pressure)。

然尚易有錯誤，發生過量之蒸汽，致增大其壓力。斯時必須能自動的洩漏過剩之蒸汽，始可以防危險。於是安全活門尚焉。安全活門種類甚多，常見者有槓桿安全活門 (lever safety valve) 與荷重安全活門 (dead weight safety valve)。

第一百六十圖



橫桿安全活門如第十七圖所示，以水平橫置橫桿之左端 O 爲支點，距支點 L 處掛重錘 Q，以其力壓距支點 l 處之活門 G，其力之大小，可由錘之左右移動加減之。

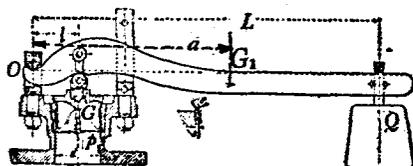
今以 G 爲橫桿之重，橫桿之重心距 O 爲 a；G 爲活門之重，其重心距 O 爲 l，則其以 O 爲軸向下之總力矩爲 $Ql + G_1a + Gl$ ，然若鍋內之計示壓力爲 p，活門之直徑爲 d，則以汽壓向上之力矩爲 $\frac{1}{4}\pi d^2 p l$ ，當互保平衡時，

$$\frac{1}{4}\pi d^2 p l = Ql + G_1a + Gl$$

$$p = \frac{4(Ql + G_1a + Gl)}{\pi d^2 l}$$

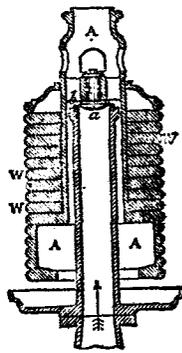
p 值原有規定（約每平方吋爲七、八〇磅），倘比右側之值大，活門必被上壓而自開，放出過多之蒸汽，否則不開，不致令汽壓有過大之虞，以保安全。

圖七十一第



荷重安全活門如第百十八圖所示，圖中 a 爲活門，b 爲活門座，在透汽鍋之長管上部，活門 a 固定於筒狀體 A 上，A 之下部成盤狀，以便加重，w 係多數板狀金屬，即所謂荷重也，其片數可由 A 之上部任意脫卸或增加，當 a 部受蒸汽向上壓力超過總荷重時，活門自啓，故汽壓不至於超過某一定之值。

圖八十一第



人孔所以備掃除或考查汽鍋內部時，人可由之而出入者，用時則開，不用時則閉，灰孔用以掃除爐底灰泥。

科尼什汽鍋之形式，除只有一爐管外，餘悉與蘭卡那汽鍋相似，不再贅述。

三、立式汽鍋 (vertical boiler) 係對如上者之臥式汽鍋 (horizontal boiler) 而言，其種類亦多，普通者如第百十九圖所示之火管式汽鍋，外爲圓筒狀鍋殼，內爲筒狀爐管，火室 (fire box) 在爐管下部，上部 C 縮小，

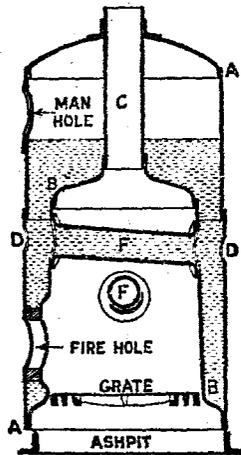
即作煙窗，所插二加羅威管 F，均略斜向，既以廣受熱之面，並便交流及增加爐管之強力。圖中 D 爲手孔 (hand hole) 可以打開掃除加羅威管之不潔。

其給水口、蒸汽活門、水面計、壓力計、安全活門，均設於鍋之上部，圖中未有示出耳。

立式汽鍋多較臥式者爲小，用於小蒸汽機，尤多用於工事，如道路工事中道路滾子之汽鍋，以其所佔面積小，且易裝於架上，惟受熱面積少，水面復狹，煤之消費量大，蒸汽每多含水分耳。

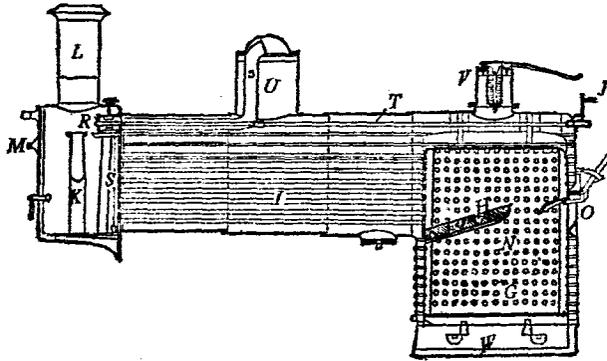
四、機車汽鍋 機車 (locomotive) 上裝汽鍋，下裝蒸汽機，疾駛於鋼軌之上，故其汽鍋須具特別構造，以能重量較輕，迅速發生多量之高壓蒸汽，及可

圖九十百一第



裝於狹長臺上爲必要，即須有特種型式之機車汽鍋 (locomotive boiler)。第一百二十圖所示，爲其一例。外形爲臥式，構造爲多火管式，全部除火管或爲黃銅製外，均爲鋼製。圖示者中部係三段鋼板連綴而成。燃料煤自 O 口送入火箱 (the box) N (四週亦隔鋼板貯水) 中。火床 G 上，燒成之焰，先受耐火磚製斜壁 H 之阻，繞入各火管 I 之右端，而出其左端之煙箱 (smoke box) 中，依多大受熱面積，以熱鍋中之水，發生蒸汽。K 爲附裝蒸汽機之廢汽排出口，其由此疾驅而出之廢汽，帶走煙箱內氣體，向煙囪 L

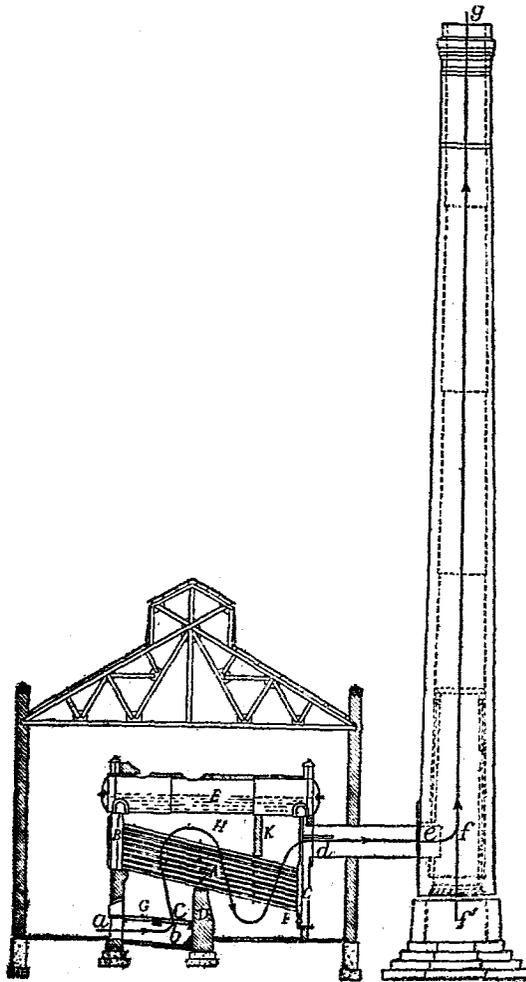
圖 十 二 百 一 第



作強烈排出。此法即以引火管內之焰向煙箱，導外面之空氣入火箱，以佐燃燒，形成通風作用。故其煙窗不必高礙行駛，亦可達到目的。又W爲出灰處，M爲鍋前之扉，可每日一回，開以掃除火管等處之污垢。於中間上部突起之U爲汽室（steam dome），集上昇之乾燥蒸汽，經S管送入蒸汽機。S管中之活門R位於煙箱內，其啓閉由柄J及桿T司之。S管內之蒸汽，有先以管導入特設大水管中之過熱器（super heater），再熱之增其壓力。V爲安全活門。火管之數約爲三百左右，其外徑在 $\frac{7}{8}$ 吋上下。

五、巴布科克與威爾科克斯汽鍋

巴布科克與威爾科克斯汽鍋（Babcock and Wilcox boiler）爲鋼製水管式，英、美、日與吾國用之最多，以其具有對於發生蒸汽，有極合理的構造也。如第百二十一圖所示，圓筒形之汽鍋本體E位於上部，其前後兩端近處直下，接稍爲傾斜而成特種形狀之箱形管頭箱（header）。B及C，其間裝許多水管A。火床G設於前管頭箱直下，燃料如煤等



燒成之磚因阻於D及K之耐火磚砌成隔牆，遂如 $\approx \sim \approx$ 線所示轉繞而出

圖 一 十 二 五 一 號

煙囪給水自汽鍋本體前面給水管而入，由後面管頭箱下降，漸漸受熱，循各水管斜昇，經前管頭箱，進汽鍋本體，成蒸汽貯於上部，當鍋水循環，自後管頭箱落下中，所含不純物恆成垢污，積於沉泥箱之F內，易得掃除之。蒸汽管安全活門，壓力計，水面計，給水管等，均裝於汽鍋本體與蘭卡郡汽鍋無異。然有引蒸汽管先經H處之過熱器，受火焰之熱，再導入蒸汽機者。至其燃料，或以機械送煤機 (mechanical stoker) 送入。

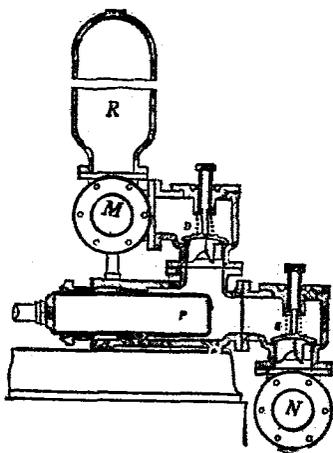
六、汽鍋之附屬品 汽鍋之

附屬品頗多，茲就其主要之給水唧筒 (feed pumps) 及煙囪言之。

普通給水唧筒如第百二十二

圖所示，多由蒸汽機直接或間接帶動其活塞P為往復動，當P向左動，

圖二十二百一第



P前之壓力減少，入水活門S自抗其背之螺旋簧而開，水即由之而入，但其時出水活門D，受其背螺旋簧壓力而閉，當P向右動，P前之壓力增加，遂與前相反，閉S而開D，逐水入給水管，餘者先貯壓縮空氣室R中，迨D閉後，再由壓縮空氣壓入給水管，可以調節給水流，使其繼續不斷。

燃煤於火床上，須供給以不斷之空氣流，煙囪即爲生此空氣流（通風）及將燃燒生成之煤煙與有毒氣體飛散於天空高處，減輕其災害者也是以都市內之煙囪，依法律之限制，高恆在75呎以上。

煙囪內氣體之溫度，約爲 $250^{\circ}\sim 300^{\circ}\text{C}$ ，比外部大氣之溫度，因季節之不同，當在 $0^{\circ}\sim 30^{\circ}\text{C}$ ，間者甚高，從而遠較外部同體積之大氣爲輕，因此熱之膨脹，單位體積重量之減少，逆比例於其絕對溫度T，今假想與自火床至煙囪頂上同高及與煙囪等直徑之圓柱所含外氣相較，煙囪內之熱氣必甚輕，如連結兩者底部，則外氣必壓向熱氣方面，而逐之出煙囪以外，然實際此連結之底

部，原爲燃燒燃料之爐或火床，其壓入之外氣即大氣，因燃燒而化爲高熱之輕氣體，自不斷被追而出煙囪。基此理由，火床上不絕有空氣流動，生成通風。盡燃料燃燒中，繼續不斷。此熱氣與外部大氣重量之差愈大，則其通風愈急，以強力供給通間隙，貫煤層，於燃燒爲必要之空氣量。其力謂之煙囪之通風力（*draught power*）。

通風力之大小，常以水柱之高表示之，普通爲20乃至30毫米。

煙囪既愈高而通風力愈強，似不妨儘量加高矣，特以地盤多軟弱，基礎宜堅牢等關係，其高有一定制限，實際高過60米者甚少。

煙囪頂上之口徑 d ，恆由火床面積，與其每時間內所燃燒煤之多寡算定之。

煙囪以磚、鋼板，或鋼骨混凝土築之，向上縮小。鋼板者雖輕便，但易腐蝕，不能耐久，外周常須加蓋塗料保護之。磚或鋼骨混凝土者，下段內面，亦須耐火磚

砌成，截口多爲圓形。

汽鍋之通風藉煙囪者，謂之自然通風，此外欲令燃料作強烈燃燒之必要，尙有人工通風法，卽以扇風機壓風入火床之下，或扇向煙囪口，吸入空氣，機車汽鍋以奔馳於隧道之故，不能具高煙囪，特以廢汽帶出火室內之焰俾由火箱吸入空氣如前述者，亦人工通風之一也。

七、汽鍋之燃料與熱效率 工業上常用之燃料分固體、液體、氣體三種。

汽鍋之燃料以固體爲多，固體燃料中最重要者爲煤，煤係古代植物埋藏地中，經壓力與溫度之影響，逐漸礦化而成。第一步爲褐色之褐煤 (lignite)，富於揮發性物質及其他雜質。第二步爲煙煤 (bituminous coal)，礦化程度較高，色黑而表面多發光，極富於揮發性物質。第三步爲無煙煤 (anthracite)，礦化之程度尤高，色黑質硬，所含揮發性物質甚少。然煤質中較優者更有半煙煤或半無煙煤，煤之主成分爲碳、氫及氧諸元素，所含揮發性物質多爲碳氫化合物，遇

適宜溫度及適量空氣，易燃燒且易發火焰，惟溫度或空氣不足時，則發煙甚多。無煙煤之燃燒須煤層薄，即須有廣大爐面，且發較短之焰，故不適於鍋爐之用。煙煤火焰甚長，可令環繞汽鍋之受熱面，故最適於汽鍋之用。

液體燃料，在工業上使用較多者為汽油、燈油及粗油，多含碳氫化合物。油之原料乃從礦井取出，以蒸餾法依次提出者為汽油、燈油、機械油等，最後所餘物，再經過一種蒸餾，始得粗油，汽油、燈油多用於油機，粗油則可用於汽鍋以代煤。氣體燃料多用於各種氣機，用於汽鍋者尚少。

爐內之燃燒溫度約為 1100°C . 左右。

汽鍋之效率為送出蒸汽所需之全熱，對其所要燃料能發生全熱之比也。譬如給水溫度為 240°F .，所生蒸汽對每平方吋之絕對壓力為 175 磅，每磅煤能生 11 磅飽和蒸汽，而每磅煤之熱值 (heat value) 為 15000 B. T. U.，則每磅蒸汽當離汽鍋時所有總熱

$$H = 1082 + 305t^{\circ}F.$$

$$= 1082 + 305 \times 370.5 \quad (\text{因在 } 17.5 \text{ 壓力下, 飽和蒸汽之溫度爲 } 370.5^{\circ}F.)$$

$$= 1195 \text{ B. T. U.}$$

當水入汽鍋時, 原有之熱

$$h = 240 - 32 = 208 \text{ B. T. U.}$$

故每磅蒸汽在汽鍋內所得熱爲 $1195 - 208 = 987 \text{ B. T. U.}$,

今二磅蒸汽在汽鍋內所得全熱爲 $987 \times 11 = 10857 \text{ B. T. U.}$,

對每磅煤之熱值之比爲 $\frac{10857}{15000} = 72.4 = 72.4\%$, 即汽鍋之熱效率也。

B. T. U. 爲英國熱量單位 (British thermal unit) 爲將一磅之水昇高

華氏一度所需之熱量, 熱值爲每單位重之燃料燃燒後所發生之熱量。

第三節 蒸汽機

一、熱量比熱與熱功當量

物體受熱，則溫度升高，散熱則溫度降低。同一物體，受熱多者，其溫度之昇愈高，散熱多者，其溫度之降亦如之。熱量 (quantity of heat) 卽表示此所受散熱能數量之術語也。其單位分兩種，一爲法國制，一爲英國制。法國制以加熱於一克之純水，使其溫度昇高攝氏溫度計一度所需熱量爲熱量單位，稱一卡 (calorie)，或以其千倍爲單位，稱仟卡 (great calorie)。英國制以加熱於一磅之純水，使其溫度昇高華氏溫度計一度所需熱量爲熱量單位，稱爲一英國熱量單位，簡書爲 B. T. U.，既如前述矣。又

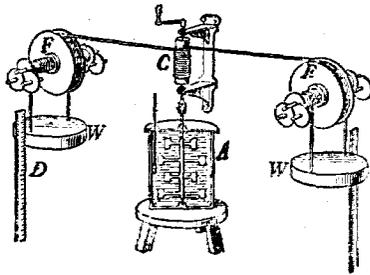
$$252 \text{卡} = 1 \text{B. T. U.}$$

然加熱於單位質量之幾種物質，使其溫度昇高攝氏計或華氏計一度，所需熱量，由實驗結果恆不相同。其所需與加熱於單位質量之純水，使其溫度昇

高攝氏計或華氏計一度所需熱量之比，謂之該物質之比熱 (specific heat)。

依據物理學中分子運動說而言，物體溫度高者其分子運動較快，即其分子之動能較多，故加熱於物體，增加其熱能，結果即以增其分子之動能也。動能可以作功，熱能自亦可以作功。熱蒸汽之能膨脹，推動蒸汽機活塞，吾人早已知之，並將為本節所詳述。又機械廠中以鑽穿孔時，被穿孔材料之發熱，均能證明機械能與熱能可以互換。第兩者數值之關係，即一卡或一英國熱單位，果可變為若干焦耳或呎磅之功，焦耳曾試驗得之。其法如第百二十三圖所示，貯定量之水於器A內，A內復置葉輪，上連C軸，C上有細繩纏繞，繩之兩端纏繞兩F滑輪上，F滑輪依其軸上所懸重錘W之下降而轉，即以拉繩，令C與其相連葉輪轉動，葉輪

圖三十二百一第



原在水中，轉動時受水之摩擦阻抗，遂以其動能，變爲水之熱能，使水之溫度昇高。以各重錘 W 之重量，乘各下降距離之和，可得使葉輪轉動之功，以貯水之重量，乘試驗前後所生溫度之差，可得葉輪轉動中所生熱量，於是可計算須費若干焦耳或呎磅之功，能得若干卡或 B.T.U. 之熱矣。焦耳曾將其他有關之摩擦與散熱等精細加入計算，得

$$778 \text{ 呎磅} = 1 \text{ B.T.U.}$$

$$4.2 \text{ 焦耳} = 1 \text{ 卡}$$

此 778 或 4.2，謂之熱功當量。

二、氣體之性質

氣體者，具有無限膨脹性之物質也，無論置少許氣體

於任何容積之容器內，均能即刻充滿其中，可分爲完全氣體 (Perfect gas) 與蒸發汽體 (vapor) 二種。完全氣體者，非就各氣體降其溫度至某特定之值，而後加以相當壓力，不能成爲液體，即距液化點甚遠者也，氫、氧、氮、空氣等爲其代

表蒸發汽體者，如少增其壓力或少減其溫度，即易液化，反之如少減其壓力或少增其溫度，即易氣化，距液化點甚近者也。水之蒸汽，爲其代表。然於飽和蒸汽，如再加熱，使變爲過熱蒸汽，其性質亦頗近於完全氣體。

量氣體壓力之單位，普通用英國制，以每平方吋上若干磅計，如壓力甚高時，有以每平方吋若干氣壓計（一氣壓即一個大氣壓力，爲每平方吋上 14.7 磅之壓力）者。在法國制，則以每平方厘米若干仟克計。

波義耳經過許多實驗，發見波義耳定律 (Boyle's Law)，謂凡完全氣體之溫度不變，則其壓力與體積之乘積恆一定。即溫度不變中，一定量完全氣體之壓力 P 與體積 V 之關係爲

$$PV = C \text{ (定數).}$$

若 V 大一倍時， P 減爲原來者之二分一，或 P 增爲原來者之三倍，則 V 縮爲原來者之三分一。

查理亦經許多實驗，發見查理定律 (Charles's law)，謂凡完全氣體之壓力如不變，只昇降其溫度，則其體積必隨之膨脹或收縮，且每昇降攝氏一度，其體積增減其零度時體積之 $\frac{1}{273}$ 。

故某定量完全氣體在 0°C . 時之體積爲 V_0 ，壓力爲 P_0 ，溫度上昇 $t^{\circ}\text{C}$. 時之體積爲 V ，壓力仍爲 P_0 ，則

$$V = V_0 \left(1 + \frac{1}{273} t \right)$$

然某定量完全氣體之壓力不變，其體積隨溫度之增減，既各爲在 0°C . 時體積之 $\frac{1}{273}$ ，則其在 0°C . 及 273°C . 即 -273°C . 之體積，可以想像爲

$$V_{-273} = V \left(1 + \frac{1 \times (-273)}{273} \right) = 0.$$

氣體由此低溫度昇高一度，即增 0°C . 時體積之 $\frac{1}{273}$ ，可謂比例於溫度而增加，因定由此低溫開始計算之溫度，實較方便，特稱絕對溫度 (absolute tem-

perature), 以 T 表之, 於是

$$T = t + 273,$$

如在絕對溫度 T_1 時之體積爲 V_1 , T_2 時爲 V_2 者, 得

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

今先取一定量完全氣體, 假定使其溫度不變, 壓力由 P_1 變爲 P_2 , 因而其體積由 V_1 變爲 V , 則依波義耳定律, 得

$$P_1 V_1 = P_2 V$$

$$V = \frac{P_1 V_1}{P_2}$$

再使其壓力不變, 溫度由 T_1 變爲 T_2 , 則依查理定律, 得

$$\frac{V}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

$$V = \frac{V_2 T_1}{T_2}$$

$$\therefore \frac{P_1 V_1}{P_2} = \frac{T_1 V_2}{T_2} \quad \text{或} \quad \frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$
 若 P, V_1 及 T_1 爲某定量氣體在 0°C . 時之壓力, 體積及絕對溫度, 則 $\frac{P_1 V_1}{T_1}$ 爲一定數, 以 R 表之, 則

$$P_1 V_1 = RT_1$$

一般爲

$$PV = RT$$

乃波義耳定律與查理定律之合併, 關於完全氣體性質之重要公式也。

三、蒸汽之性質

水本爲氫氧二元素化合而成, 其物理上狀態約分爲

五：(一) 固體之冰；(二) 液體之水；(三) 濕蒸汽 (wet steam), 即一部份爲蒸汽, 一部份仍爲液體；(四) 飽和蒸汽 (saturated steam), 即在一定溫度下, 最大密度之水蒸汽也；(五) 過熱蒸汽 (superheated steam), 即加熱於飽和蒸汽而成者也。自冰變爲過熱蒸汽, 須照上述順序, 依次加熱, 反之自過熱蒸汽, 依次減熱, 仍可漸變爲冰。

單位質量之冰，變爲同溫度之水，以其只變易物理上狀態，謂其所取之熱，爲水之潛熱 (latent heat) 或融解熱 (heat of fusion)。如 32°F . 之冰一磅，融爲 32°F . 之水，所需融解熱爲 144 B. T. U. 。單位質量之水，昇高溫一度計一度所需熱，謂爲水之顯熱 (sensible heat)。水一磅昇高華氏一度所需顯熱，當爲 1 B. T. U. 。普通於水之顯熱，常自 32°F . 算起，故一磅水在 212°F . 時，其顯熱當爲 $(212 - 32) \times 1 = 180 \text{ B. T. U.}$ 。若水 W 磅，自 $t_1^{\circ}\text{F}$. 昇至 $t_2^{\circ}\text{F}$. 則其增加顯熱爲

$$h = W(t_2 - t_1) \text{ B. T. U.}$$

又自 212°F . 之水，變爲同溫度之蒸汽，亦祇變其物理狀態，所需熱亦稱潛熱，或汽化熱 (heat of vaporization)。水在一氣壓下，每磅之汽化熱爲 967 B. T. U. 。液體如水之沸騰，由於其所生飽和蒸汽之壓力與液面所受壓力相等，故汽泡由內部沸騰而上，不被外壓所崩潰。由是可知外壓增高，水不易沸，即其沸點提高，當其沸時，飽和蒸汽之壓力溫度亦增高矣。飽和蒸汽之溫度，雖因所受

壓力之高低而昇降，但非直接成比例者。累諾 (Regnault) 就多數實驗結果，定一計算公式爲

$$\log_{10} P = 6.1007 - \frac{1518}{\theta} - \frac{122500}{\theta^2}$$

式中之 P 爲飽和蒸汽之壓力，以每平方吋若干磅計。θ 爲飽和蒸汽之絕對溫度，以攝氏溫度計計之。如 200°C 時飽和蒸汽之壓力，可由

$$\log_{10} P = 6.1007 - \frac{1518}{200 + 273} - \frac{122500}{(200 + 273)^2}$$

$$= 6.1007 - 3.204 - 0.5459$$

$$= 2.3508 = \log_{10} 224.3,$$

$$\therefore P = 224.3 \text{ 磅.}$$

飽和蒸汽非完全氣體，故其壓力與體積之關係，亦與波義耳定律所言，略有不同，普通應用之公式有二：

〔一〕朗金 (Rankine) 之公式：

□□作納(Zemmer)之公式

$$PV_{16}^{17} = 479,$$

$$PV_{1.0646} = 479.$$

式中 P 示飽和蒸汽每平方吋上之壓力，以磅計，V 示每磅飽和蒸汽之體積，以立方呎計。

前段所謂蒸汽之汽化潛熱，每磅為 967 B. T. U. 者，係指一氣壓下，溫度在 212°F. 時而言，據實驗結果，倘其汽化溫度昇或降華氏計一度，則其值恆減或增 0.695 B. T. U. 故若 $t^{\circ}\text{F.}$ 為飽和蒸汽之溫度，則其時之潛熱

$$L_t = 967 - 0.695(t^{\circ}\text{F.} - 212)$$

$$= 1114 - 0.695t^{\circ}\text{F.}$$

加熱於一磅之水，自冰點至完全變為飽和蒸汽，所需顯熱與潛熱之和，謂之飽和蒸汽之總熱 (total heat of saturated steam)，其值

$$H = (t^{\circ}F. - 32) + (1114 - 0.695t^{\circ}F.) \\ = 1082 + 0.305t^{\circ}F.$$

至若過熱蒸汽之總熱，但於上值中，再加蒸汽之比熱與其過熱溫度之乘積可矣，即

$$H_s = 1082 + 0.305t^{\circ}F. + 0.48(t_s^{\circ} - t^{\circ}) \\ = 1082 - 0.175t^{\circ} + 0.48t_s^{\circ}.$$

式中 0.48 爲過熱蒸汽之平均比熱。

然水變蒸汽時體積膨脹，其每磅水對外之功，即抗氣壓所成之功果爲若干？今假定取橫斷面積一方呎之機筒一，內置無重量無摩擦之活塞，塞下則有 $212^{\circ}F.$ 之水一磅，因水所占體積只 $\frac{1}{62.5} = 0.016$ 立方呎，機筒橫斷面爲一平方呎，其高僅 0.016 呎，但塞上所受大氣壓力原爲 $14.7 \times 12^2 = 2116.8$ 磅，今令受機筒外之熱，盡變爲 $212^{\circ}F.$ 之蒸汽，依其所占容積約爲原來之 1630 倍，

故活塞將昇高 $26.36 - 0.016 = 26.344$ 呎，所成功爲 $2116.8 \times 26.344 = 55778$ 呎磅 (約) 相當於 $55778/778 = 71.6$ B. T. U. 可謂之外功 (external work done) 惟由前言飽和蒸汽之汽化潛熱爲 967 B. T. U. 其 $967 - 71.6 = 895.4$ B. T. U. 爲戰勝水分子間內聚力，使變爲汽體所費熱量無疑，恆稱爲內能 (internal energy) 故

加入之熱 = 外功 + 內能。

以上關於完全氣體與蒸汽之性質，以其作用於熱機之機筒內，變熱能爲機械能之媒，於下述各熱機內常有提及，特先敘述，作爲預備。

四、蒸汽機

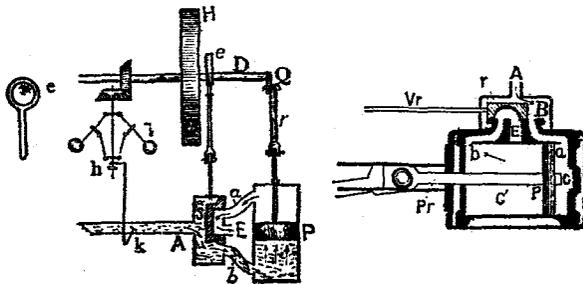
蒸汽機爲將蒸汽熱能，儘量變爲有效之機械能，以之直接或間接利用於所要工作之鋼鐵製機構，其種類雖多，而一般必要上所不可不備之部分則如次：

(1) 容納含有熱能之蒸汽密閉器，即機筒 (cylinder)。

(2) 於此密閉器中，常令出入一精確定量之蒸汽之活門及其裝置。
 (3) 變熱能為機械能之部分，即活塞、活塞桿 (piston rod) 丁頭 (cross head) 連桿 (connecting rod) 及曲柄等。

第二百二十四圖為蒸汽機截面說明圖。由其右圖觀之，高壓蒸汽自汽鍋經蒸汽管 A 入蒸汽室 (steam chest) B，由 a 口進機筒之 C 部，壓活塞 P 向左。及 P 達於左側，滑動活門 S 動向右方，遮斷 a 口，俾蒸汽自其左側已開之 b 口進機筒之 C' 部，壓 P' 向右。斯時 C 部中之蒸汽，自 a 口出滑動活門內側之口 E，被擠向外氣，或另設之冷凝器 (condenser) 中。P 再達於右側後，b 口仍被

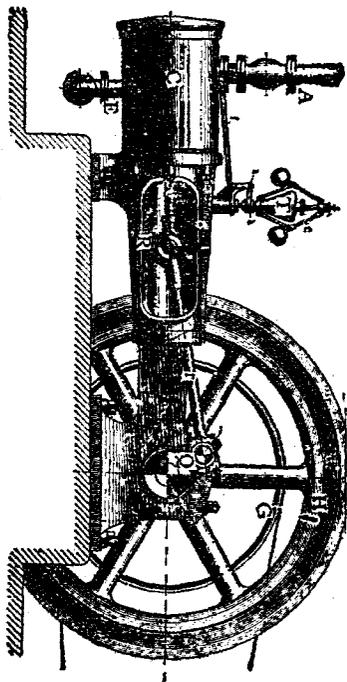
圖四十二百一第



S之回來遮斷，蒸汽復自a口入機筒壓P向左C部之蒸汽，則自滑動活門內側出E如前。似此反覆不已之活塞往復運動，依活塞及連桿r，傳於曲柄Q，轉動主軸（main shaft）D，暨軸上之飛輪（fly wheel）H及偏心板e，如左圖所示。偏心板之轉動，乃給與活塞往復動之反向往復動於滑動活門。惟滑動活門之閉，非待蒸汽由a或b進機筒壓P至於他端，即當P稍為前進或後退時，即停止給汽，其後單依此高壓蒸汽自然膨脹作功，將熱能變為機械能者也。

第二百二十五圖示一蒸汽機之正面圖，其接受自A來之高壓蒸汽，在機筒C內膨脹，推動活塞，介丁頭R及連桿r，曲柄Q，轉動主軸D，即以轉動主軸上之飛輪H，偏心輪e，一如前圖關係。惟偏心輪及蒸汽室之裝置，在本機之他側，圖中無由表示耳。圖中之T為節速器（governor），由傘齒輪之介，令其轉動，亦如前圖所示。G為主軸上之帶輪，與主軸共轉，掛上皮帶，以傳功率於應用機械者也。或為繩輪鏈輪者有之。

節速器所以節制機器主軸轉動之速度也。夫設機器時，機器能供給之功率，與曲柄或主軸應轉動速度，恆有一定關係，各部材料之粗細厚薄均須與之相應決定。既經製造完成，則其轉動速度，自宜均平，至少須令其變化在一定限界以內。節速器即為負此責任而設。節速器之種類雖多，最普通者為上兩圖之



圖五十二 第一節

T 所示離心節速器 (centrifugal governor) 是也。其軸以傘齒輪之介轉動，隨主軸之快慢而快慢。於是隨主軸之擔負 (load) 小而快時，T 之兩球亦變大轉動速度，離心力以增，向兩側遠離。因如第百二十四圖之機構，由套在軸上之凹處 h，挾節汽活門 K 之桿上昇，節汽活門，乃閉 A 管或減縮其通路，節制蒸汽，即減少熱能，令主軸轉速減低。及其隨主軸之擔負忽大而慢時，兩球遂以其重量勝離心力之拉引下降，所挾之桿亦下降，可以開 K，增大蒸汽通路，多放入蒸汽，俾主軸轉速增高。依此減低或增高主軸之轉動，遂令其變化止於相當範圍內矣。

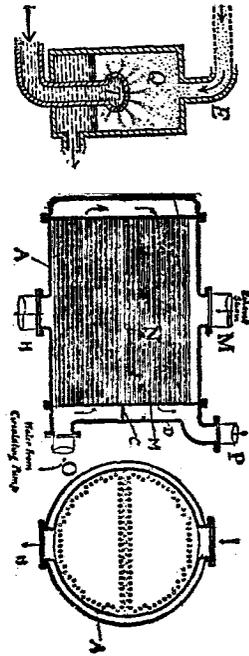
飛輪普通為質量甚大之鋼或鐵製巨輪，裝於主軸上，與共轉動，其轉動慣量 (moment of inertia) 甚大，其轉速不易增加，亦不易減少。然蒸汽初由 a 或 b 口進入機筒，推動活塞向左或右進行若干距離後，即任已入蒸汽膨脹，繼續推之，膨脹中蒸汽壓力漸減，即推力漸減。而外來擔負，常無多急速變化，於是一

轉動中，速度有變化矣，自裝上飛輪之後，主軸與飛輪共轉，今主軸欲速，頗難令飛輪急劇加速，主軸欲慢，亦難令飛輪即慢，互相牽制，止轉速於相當範圍之內，即主軸欲快，先須貯一部分動能於飛輪中，欲慢時引以補充，又當活塞向右或左之極端際，其相連之曲柄亦達向右或左之極端，無轉動主軸之力矩，若無飛輪依其慣性，加以導引，或即止於復點 (dead point)，故飛輪所以調節一轉動中之速度，與節速器之調節常時之速度者，同為蒸汽機上不可缺者也。

又當機筒內活塞受蒸汽壓力向右或左進時，既以應外來擔負，復須將活塞他側之廢汽 (exhaust steam) 逐出 E 外，於是遂受所謂背壓 (back pressure)，耗費有用之熱能，冷凝器原為減此消耗而設，分二種類，一為噴射冷凝器 (jet condenser)，一為冷面冷凝器 (surface condenser)，噴射冷凝器如第一百二十六圖之左圖，冷凝器中設噴射口，噴出冷水，俾廢汽由 E 來者，遇之凝縮，減少壓力，即以減少前述之背壓，冷面冷凝器如第一百二十六圖之右圖，接受自 M 進來

之廢汽，令通過許多冷水管 N 之外面，凝縮而減壓力。冷水管之水，則由 O 入，而

第 一 百 二 十 六 圖



由 P 出。備冷凝器之機器，不但可以減少活塞之背壓，並得將冷凝之水送還汽鍋，於船舶中不易得清淨之汽鍋用水處，最為合式。且其水常較普通水有高溫，借此剩餘熱能以增熱效率，至為得計。

活塞在機筒中，一側為高壓蒸汽，他側為廢汽，為預防高壓蒸汽由活塞周邊向他側漏洩計，特於活塞周邊挖溝二或三道如第百二十七圖之 P 所示，另

嵌如 R 之鋼製活塞環 (piston ring)，介於活塞機筒之間，受熱膨脹，愈能緊靠機筒，隨活塞進退，不洩任何側之蒸汽。

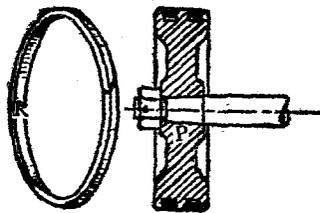
五、蒸汽機之功率與效率

功等於作用於物

體之力，乘在其力之方向，物體被移動距離之積，故若以一矩形之高表作用力之大，其寬表物體被移動距離，則此矩形面積，即表所成之功。今機筒內蒸汽之平均

總壓力為 P ，其一動程 (stroke)，即活塞之一往或復之距離為 D ，同理可以 P 為高， D 為寬之矩形面積表其所作之功。惟蒸汽機機筒內蒸汽之總壓力，在滑動活門開放一側，初雖於活塞自 A 至 B 中，未有變化，及自 B 再前，則蒸汽入口已閉，只任已有蒸汽膨脹，遂於經 C 、 D 、 E 中，逐漸下降。如第二百二十八圖之下圖所示，以 O 為原點，鉛直方向表活塞之總壓力，水平方向表活塞運動距離，其所

圖七十二百一第



成之功當爲 A B C D H O A 面積所表示。至 E 後以蒸汽門開放，將蒸汽作爲廢汽逐出，壓力當驟降至 V。嗣以活塞之回來，始終受有一定背壓，因背壓而消耗之功，同上理，當爲 P V H O 之面積。其結果活塞一往復中，蒸汽在一側所成者，祇爲 A B

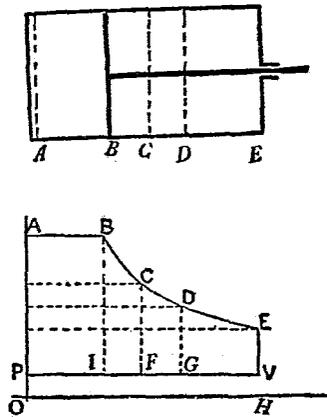
E V P A 面積所示。其單位時間內所成者，稱指示功率 (indicated power)。又以總壓力 P，等於單位面積上之壓力 p，乘總面積 a，於是其在移動距離 l 中，

$$\text{功} = p \times a \times l = p \times v.$$

式中之 v 示活塞一側之容積爲 $a \times l$ ，而

$$\text{功} = \text{壓力} \times \text{容積}.$$

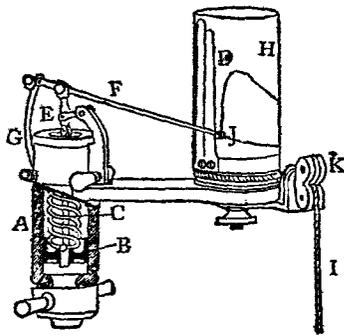
圖八十二百一第



是以上述示功之圖，稱器示壓容圖 (indicator diagram) 此圖將由下述，原依一示功器 (indicator) 畫出，因稱器示。

示功器種類亦多，左圖爲克羅斯俾 (cross) 示功器。圖中畫出截面之一部，以便說明。A 爲汽筒，以其下端插入機筒之一端。A 內有活塞 B，B 之桿直連於 E，桿外套螺簧 C，在汽筒內常壓 B 向下，即引 F 桿之帶鉛筆尖端 J 向下。J 靠向包於圓筒 H 外面之紙，紙由 D 挾住，依附 H，與共轉動。H 既轉動，鉛筆尖對紙作水平移動。今 A 之下端插入機筒內者，受壓力大時，B 必反抗背上螺簧壓力，連 E 上昇，斯時 J 端自隨之向上。B 受壓力小時，J 之向上亦小。故 J 之昇降，可以表示機筒一側壓力之昇降。至於 H 中原有彈簧，常令 H 向左

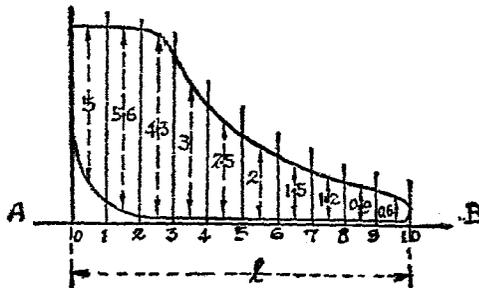
圖九十二百一第



轉，但其下有繩纏繞，經 K, I, 拉在了丁頭一側附設桿上，隨活塞之前進，拉 H 向左轉，令 J 對筒面之紙作水平運動。此水平運動原示活塞之前進，而其上下運動，又示機筒內壓力之變化，故所成者適為器示壓容圖。

實際由示功器畫出之器示壓容圖略如第百三十圖所示。欲求所成之功，可先沿 A, B, 十分 I 於 0, 1, …… 10 等處，即由各區中央引垂直線，表示在各該區內之近似平均壓力。今於某示功器在器示壓容圖上垂直線之標度以一毫米表一仟克之壓力者（此由示功器中螺旋之強度不同而異），則各區壓力應為 5.2, 6, …… 等。其平均壓力

第一百三十三圖



$$P_m = \frac{(5+5.6+4.3+3+2.5+2+1.5+1.2+0.9+0.6)}{10}$$

= 2.664 克/平方厘米。

若其活塞直徑 $D = 21$ 厘米，面積 $A = \frac{\pi D^2}{4} = 0.785 \times 21^2$ 平方厘米，動程 $l = 42$ 厘米，一分間之轉數 $n = 118$ ，則所示之法馬力

$$H_1 = \frac{2p_m l A n}{75 \times 60}$$

$$= \frac{2 \times 2.66 \times 0.42 \times 0.785 \times 21^2 \times 118}{75 \times 60}$$

$$= 20.28 = 20.3 \text{ 馬力。}$$

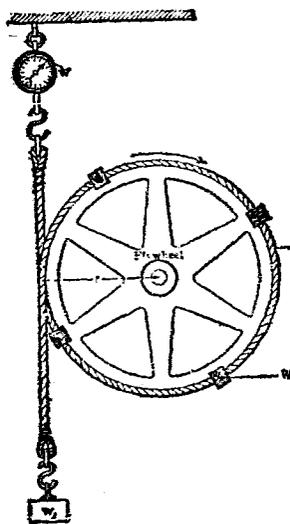
式中以 2 乘者，蓋以活塞一往復，即主軸一轉動中，蒸汽在活塞兩側各曾作功一次故也。惟上述之測量器示壓容圖面積，不甚精確，或以面積計 (Planimeter) 測之，最為精便，以其構造複雜，茲略之。

然由器示壓容圖求出機器之馬力稱指示馬力 (indicated horse power)

簡寫爲 $I. H. P.$ ，乃蒸汽對機器所作之功率，即蒸汽給予機器之能量率也。其經過機器，轉爲機械能，而稱爲輸出 ($out\ put$)，傳之應用機械者常較減少，以機器本身各部逆摩擦而轉動，耗費若干能量也。其輸出之功率稱輪馬力 ($brake\ horse\ power$) 或實際馬力，簡寫爲 $B. H. P.$ 其值可由輪掣功率計 ($brake\ dynamometer$) 測定之。

第三百二十一圖所示，爲繩索輪掣器 ($rope\ brake$)，捲繞二繩於飛輪之周，以其一端介彈簧秤懸於固定處，他端則鈞重錘下垂，繩索上並附木塊數處，約束其在飛輪之地位，所以待飛輪轉動中，給予摩擦，吸收其機械能，變爲熱能，即測其量之大小。譬如機器

第一三十一圖



發動，飛輪回轉，依其周與繩之摩擦，必拉重錘向上，並減少上方彈簧秤之擔負。設斯時彈簧秤所示者為 w_1 仟克，而錘重 w_2 仟克者，則其摩擦為 $w_1 - w_2$ 。矣。如其每分鐘之轉數為 n ，飛輪之半徑為 r ，則其馬力

$$H_B = \frac{2\pi r n (w_1 - w_2)}{60 \times 75}$$

蒸汽機之效率，乃以實際輸出換算為熱能，對同時間內導入機筒中蒸汽所需燃料之熱能之比也。優秀者約 15% 而已。

六、蒸汽機之種類

蒸汽機依使用之目的，作用之方法，蒸汽膨脹利用之段數，構造上之差異，速度之大小等，有種種區別。

〔一〕因冷凝器之有無，分為冷凝機與不冷凝機 (condensing engines and noncondensing engines)

〔二〕因蒸汽作用活塞之一面與兩面，分為單動式機與複動式機 (single acting engines and double acting engines)

〔三〕因蒸汽開入機筒於活塞動程之全部，或中途遮斷，任已入者膨脹，以推動活塞，分爲不膨脹機與膨脹機 (nonexpansion engines and expansion engines)。

〔四〕因膨脹利用之段數，分爲只令蒸汽一次膨脹之單式機 (simple engines)；二次膨脹之複式機 (compound engines)，具高壓，低壓二機筒；三段膨脹之三段膨脹機 (triple expansion engines)，具高壓，中壓，低壓三機筒；及四段膨脹機 (quadruple expansion engines)，具高壓，第一中壓，第二中壓，低壓四機筒。

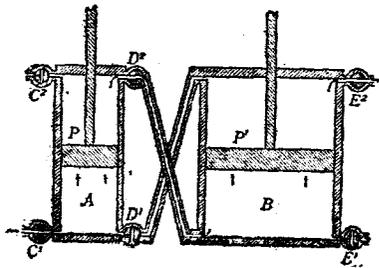
〔五〕因轉動之速度，分爲每分間 100 回以下之低速機，與在其上者之高速機 (low speed engines and high speed engines)。

〔六〕因機筒之位置，分爲豎式機與臥式機 (vertical and horizontal engines)。

〔七〕因使用之目的，分爲工場機 (Factory engines)、發電用機 (dynamo engines)、唧筒機 (pump engines)、空氣壓縮機 (compressed air engines)、船用機 (marine engines)、與機車機 (locomotive engines) 等。其有備逆轉裝置者特稱逆轉機 (reversing engines)。

複式機或三段膨脹機等，乃同一蒸汽機備有二個以上之機筒，令接受蒸汽之膨脹，在較小高壓機筒內先作一次膨脹，經排出際，復入壓力較低，直徑較大之機筒，依次膨脹，最後方排出於冷凝機或外氣之蒸汽機也。於現在之改良汽鍋，蒸汽壓力可以大爲增高之際，複式機遂較單式機爲有效率，應用日廣，船用者尤衆。第百三十二圖示並列式複式機機筒之蒸汽通路。如圖由 C 而入之蒸汽，在 A 壓

圖二十三百一第



活塞 P 之前面中，P 後方已作第一次膨脹之蒸汽，向 B 機筒中活塞 P' 之後方作二次膨脹，推 P' 前進，其更有三段膨脹者，聯 E 門於第三機筒可矣。

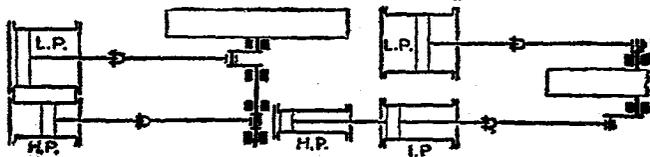
又上者之高壓與低壓機筒並列，稱並列式，如第百二十三圖之右下者，高壓與中壓機筒串聯者稱串聯式。

第四節 蒸汽輪機

一、蒸汽輪機之發達與分類 蒸汽輪機者，乃利用

高壓高熱蒸汽動量之變化，作用於輪葉而轉動之轉動式蒸汽機也。現代作為高速機械之最適當熱原動機，或以大馬力為必要之艦船推進用並大發電機用之熱原動機，且自機車點燈用僅為 $1/2$ K.W. 之小型，至一台足以擔負

第一百三十三圖

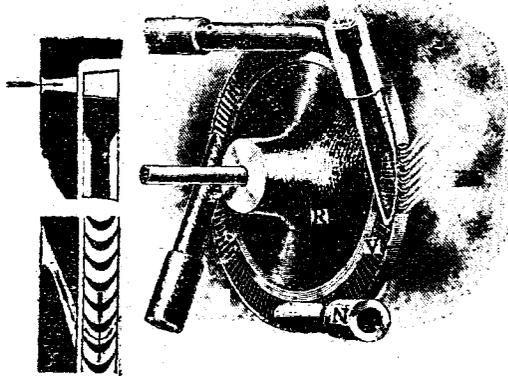


200,000KW. 以上之大型止，持有廣汎之適用範圍，發揮其獨步威力而發達，不許其他原動機追隨者，厥爲蒸汽輪機。蒸汽輪機雖濫觴於紀元前一二〇年希羅(Hero)之創作，徒以歷來製作技術之幼稚，材料之不合式，不能卽至於實用化。迨十八世紀末期瓦特(James Watt)創造蒸汽機，引起世人之注意，興味與改良，蒸汽輪機之研究愈形停頓。蒸汽機在十九世紀中，作爲海陸用之唯一原動機，一台可擔負數千馬力者，亦曾製作矣，其改進殆已達於完全境地。然仍感有不滿之點。於是在十九世紀末葉，一般人再向轉動式蒸汽機，卽蒸汽輪機方面研究矣。先自一八八四年之巴松斯(C.A. Parsons)與一八八八年之得拉發爾(F. De Laval)令爲實用化。二氏當時雖未有若何理論，可以依賴，但以其經驗爲基礎，繼續其不斷不撓之努力，打勝其構造上幾多困難，遂使自今世紀起，開始工業的製作。復經美人刻提斯(Curtis)，法人拉托(Rateau)等之改良，遂益見發達。至於雖專門家亦難通曉其各種構造與形式之狀況矣。

蒸汽輪機所使用之蒸汽壓力，現時以 80—100 氣壓者為最多數，亦有達 120—227 氣壓者，其最高溫度，現時以 400—425°C 者為普通，然有達 450—540°C 者，使用如斯之高溫高壓蒸汽，與設計構造之改良，其熱效率之增進，異常顯著，已得有 33% 之值，即其輸出對使用蒸汽所需燃料之熱能之比也。

蒸汽輪機之最簡單若得拉發爾式者，如第百三十四圖所示，高壓高熱之蒸汽自四管嘴 (nozzle) N，以極大速度，噴射於轉動輪 (rotor) R 之許多輪葉 (blades vanes 或 buckets) V 上，以 V 為凹形，轉換蒸汽之運動方向，即變換其動量，得有轉動力

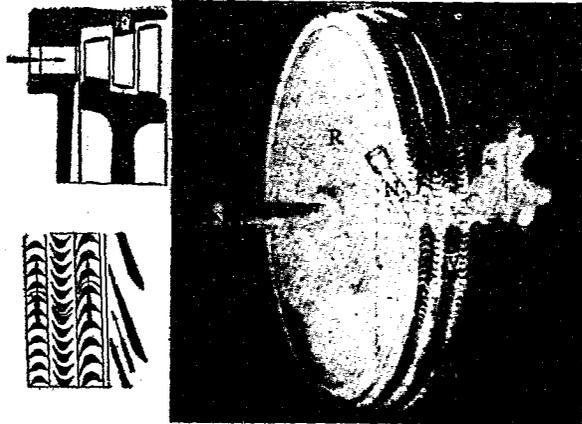
圖 四 十 三 百 一 第



矩而反向轉動之輪也。稱爲單式稍複雜者如第三百二十五圖所示，轉動輪之輪葉不止一列（以十五列爲普通），而各列之間，插入包圍轉動輪外面，一固定輪（stator）內向凸出之幾列固定導葉（guide vanes），俾蒸汽自第一列轉輪葉出後，再經導葉，轉爲適當運動方向，第二次噴射第二列輪葉，並如此繼續至蒸汽速度低落，不能再用爲止，所以充分利用蒸汽之動量，悉以回轉轉動輪也。

然高壓高熱之蒸汽，原以膨脹而得速度，卽以其能變爲動能，作用於蒸汽

圖 五 十 三 百 一 第



輪機，再變為機械能。但其膨脹，有只行於管嘴之內，出管嘴時，以極大速度噴射輪葉；與出管嘴後，在導葉與轉動輪葉間，尚繼續膨脹，以轉動輪者二法。從前法者稱為衝動輪機 (impulse turbine)。從後法者，稱為反動輪機 (reaction turbine)。其兼用二法者，稱組合輪機 (combination turbine)。此為習慣上一般之分類法也。德人以從前法，則蒸汽壓力在轉動輪葉之入口與出口相等，稱等壓輪機，從後法，則以蒸汽隨轉輪之次序而膨脹，壓力漸次變小，稱不等壓輪機。於代表內容之點，德人之分類，較為合理。

左列蒸汽因膨脹而得之流速表，備參考。

蒸汽壓力 (飽和乾燥時以氣壓為單位)	三〇	一〇	五	一	〇.五	〇.一
流速 ft. s.^{-1} (膨脹至與大氣等壓為止之值)	一〇五五	八八〇	七三五	〇	—	—
流速 ft. s.^{-1} (膨脹至等於 〇.〇二氣壓之值)	一四二〇	一三三〇	一二六〇	一〇三〇	九三五	六五〇

二、衝動輪機，反動輪機與組合輪機

衝動輪機甚多，可借刻提斯蒸汽輪

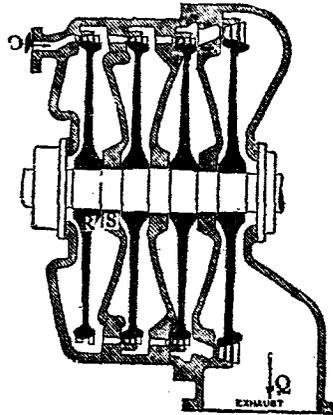
機說明之。刻提斯蒸汽輪機如第百三十六圖所示，O 爲蒸汽入口，Q 爲其出口，R 表各轉動輪之斷面，S 表各固定輪之斷面。高壓蒸汽先在 O 口膨脹，降壓而得動能，以衝動第一級轉動輪。次通過導板 S 中，再降汽壓，將已在第一級轉動輪減低速度之蒸汽，再行加速，即再給予動能，以衝動第二級轉動輪。嗣後仍如前反覆行之，至汽壓非常降低爲止，盡以其動能轉動輪機之軸而爲功。

反動輪機亦甚多，巴松斯蒸汽輪機

圖六十三百一第

爲其一種。巴松斯蒸汽輪機之構造，略如第百三十七圖所示，全體分爲中央之轉

動輪部，與包圍其外面之固定輪部。轉動輪葉裝於轉動輪上，轉動輪直徑向右

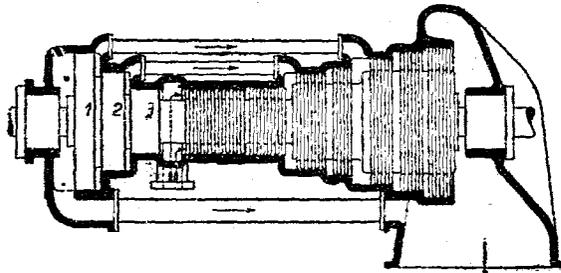


漸次增加，俾便蒸汽之膨脹，導葉適應轉動輪葉間，裝於固定輪內側，固定輪直徑，亦自然依次遞增，且固定輪由上下兩半截構成，將轉動輪置於其中後，用螺旋釘合之，蒸汽自左入，向右行，經過各輪葉，逐漸增加體積，減低壓力，並增加速度，以其能量發生反動力與衝動力，推動轉動輪，因蒸汽壓力，在輪兩端恆不相等，轉動部每被推向右側，導葉與轉輪葉有相互摩擦之虞，特在左端添設所謂平衡活塞如圖中之1、2、3，借蒸汽壓力，壓向左側，以平衡之。

組合輪機係合衝動輪機與反動輪機之長

處而設計，蓋以實驗結果，高壓蒸汽宜於衝動輪機，低壓蒸汽宜於反動輪機，於

圖七十三百一第

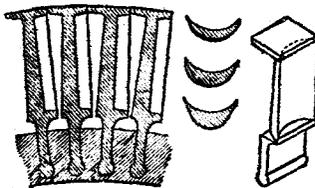


是在一蒸汽輪機內，用汽壓較高之一段，裝衝動輪機，其用汽壓較低之一段，裝反動輪機，成一組合輪機，以提高其熱效率。刻提斯巴松斯蒸汽輪機即其一例。所使用蒸汽先令在管嘴降低壓力至每平方吋60磅左右，以其動能作用於前段之刻提斯輪葉，然後再入後段之巴松斯輪葉，而出冷凝器。由此並可免高壓蒸汽在巴松斯輪葉間之漏洩。

蒸汽輪機輪葉之數，有達數萬以上，其構造如第百三十八圖所示，截面為新月形，外部曲度較內部曲度為大，其下端固定於轉動輪周，上端常另由一環狀體聯之。輪葉之材料須堅固光滑，不易銹蝕，普通以鎳與銅或鎳與銅之合金為多。

依據理論研究，輪葉周緣之速度，適為新汽速度之二分之一者，其效率最大。實際上因各處摩擦故，輪機之速

圖八十三百一第



度略爲放低，譬如 5 馬力，直徑 4 吋之蒸汽輪機，每分鐘轉數爲 30,000 次；300 馬力，直徑 30 吋之蒸汽輪機，每分鐘轉數爲 2,000 次。

問題

(一) 汽鍋進步之程序如何？汽鍋可大別爲幾類？試分別言之。

(二) 機車汽鍋與普通工廠用汽鍋，有何主要不同之點？

(三) 今有一槓桿安全活門，活門之重爲 3 磅，其重心距支點爲 4 吋，其直徑爲 3 吋，槓桿之重爲 10 磅，槓桿重心距支點爲 15 吋；所懸重錘之重爲 90 磅。今欲汽鍋內蒸汽壓力，不超過每平方吋 80 磅時，問重錘之重心，須距支點爲若干吋？

(四) 在某汽鍋，燃燒一磅之煤，能發生 11 磅蒸汽，蒸汽之絕對壓力爲每平方吋 125 磅，給水溫度爲 120°F ，煤之熱值爲每磅 15200 B. T. U. 試問該汽鍋之熱效率如何？

(五) 於某種汽鍋與蒸汽機裝置，驗得每一指示馬力需燃煤 2 磅，煤之熱值爲每磅 15200 B. T. U.

問其熱能變爲機械能之百分數如何？

(六) 某機筒內原有空氣 5 立方呎，絕對壓力每平方呎 15 磅，溫度 15°C 。倘由活塞壓縮為 2.2 立方呎，使其絕對壓力變至每平方呎 100 磅，問其時空氣之溫度為攝氏幾度？

(七) 試簡繪單式蒸汽機之機構。

(八) 飛輪與節速器之作用如何？亦有不同之點否？

(九) 以繩索輪掣計，試驗某蒸汽之實際馬力，求得其主軸每分鐘之轉數為 80 次，彈簧秤上所指之數等於 15 磅，繩索下部所懸重量等於 18 磅，飛輪中心距繩索中心為 3 呎，問該蒸汽機之實際馬力幾何？

(十) 蒸汽輪機較蒸汽機之優點與劣點各何在？

第五節 內燃機通論

一、內燃機之循環 在蒸汽機，燃料因燃燒而生之熱，通過鍋板或鐵管，使汽鍋內之水蒸發，由蒸汽管導入蒸汽機之機筒內，以生機械運動。然燃燒產物

之氣體，尙含多量之熱，由煙囪逃去，並其組合上，需要蒸汽機，汽鍋，煙囪等，形骸甚大。

至若以適量空氣，混合液體或氣體燃料，令在機筒內適當時期燃燒，得高壓氣體膨脹以作功之氣機，油機等內燃機，無須巨大之汽鍋，煙囪等，能以較小形骸，發生同樣之功，且效率亦高，對於每一馬力之諸消費遂低，復以作業簡便，現已長足發展矣。

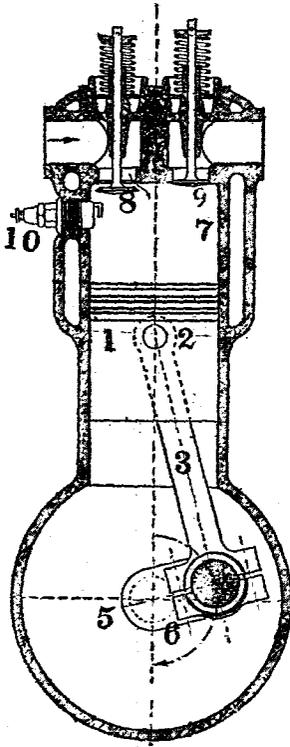
在內燃機，伴曲柄軸 (crank shaft) 之連續轉動，各部分雖各自爲特種運動，但週期的反覆行之。此週期的反覆運動稱爲循環 (cycle)。故知一循環之運動，則內燃機各部之運動，自然明白。

內燃機之循環，可別爲二種，第一種爲鄂圖循環 (Otto cycle)，以曲柄軸之二轉爲一循環，乃西紀一八七六年德人尼科拉斯鄂圖所發明；第二種爲克拉克循環 (Clerk cycle)，以曲柄軸之一轉爲一循環，乃一八八〇年英人達格

爾克拉克 (Dugald Clerk) 所發明。

「一」第百二十九圖爲說明鄂圖循環，特示豎式氣機必要部分之縱截面。連桿 3 之兩端，握活塞與曲柄之栓 2 及 4，各爲轉動對，故曲柄軸轉動中，活塞

- | | | | |
|-------------------------|---------------------|-------|-----------------------|
| 1. 活塞 | 2. 活塞栓 (piston pin) | 3. 連桿 | 4. 曲柄 |
| 5. 曲柄栓 (crank pin) | 6. 曲柄臂 (crank arm) | 7. 機筒 | 8. 吸入活門 (inlet valve) |
| 9. 排氣活門 (exhaust valve) | 10. 蓄火器 (ignitor) | | |



圖九十三百一第

往復於機筒內，作上下運動。

活塞最深入機筒之位置，謂之第一復點，最拔出之位置，謂之第二復點，即活塞在第一復點與第二復點間作往復運動，兩復點間之距離，謂之動程。

說明鄂圖循環時，恆假定有重大之飛輪，依其動能，預先轉動此機。

第三百二十九圖示曲柄軸如矢之方向，轉動於右半圓，即由第一復點向第二復點前進，此前進中吸入活門正開，燃料與空氣適當混合後，稱爲給氣者，由之吸入機筒內，稱吸入動程 (intake stroke)。但活塞將達第二復點時，吸入活門已閉。

曲柄軸既轉至第二復點，乃繼續轉於左半圓，從而活塞向第一復點前進。此動程中，吸入排氣兩活門均閉，以前吸入之給氣，遂次第被壓縮於機筒內，稱壓縮動程 (compression stroke)。

給氣在被壓縮終點，由着火器令其着火，於是給氣急劇燃燒，即爆發，生高

壓氣體，由此高壓氣體之膨脹，壓迫活塞，推令曲柄軸，續向右半圓轉動。此際爲有效之功，謂之工作動程 (working stroke)。其有效之功，雖有幾成費於運動部分之摩擦消耗及其他，而又幾成則直接由曲柄軸作機械功率傳於他處，所餘者主增飛輪之速度，作爲動能之形而蓄藏，預爲其次動程中各處速度減少時，吐爲機械功率。然而工作動程之終，排氣活門開後，其氣體壓力，恆尙高於大氣壓力。

排氣活門既開，曲柄軸依飛輪之惰性，自爲如矢之方向，續作左半圓轉動，使活塞排出機筒內廢氣於大氣中；到達第一復點，排氣活門即閉，謂之排氣動程 (exhaust stroke)。次仍以飛輪預貯之動能，使活塞再自第一復點向第二復點進行，重移於吸入動程。如斯之作用反覆無已，內燃機遂週而復始，轉動不已矣。

以上情形，可簡括言之如下，即鄂圖循環以四動程，由曲柄軸之二轉完結。

第一動程：吸入將在機筒內爆發之燃料與空氣，稱吸入動程。第二動程：依飛輪之惰性，壓縮吸入給氣，稱壓縮動程。第三動程：給氣由着火器着火，爆發爲高壓氣體，膨脹中作有效之功，稱工作動程。第四動程：爲作功既遂，自機筒內排出廢氣，稱排氣動程。

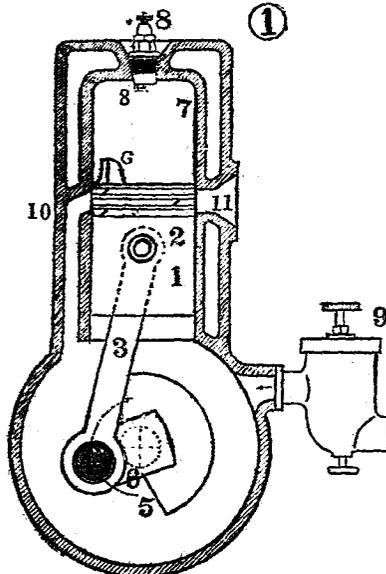
鄂圖循環依上述意味，或謂之四循環 (four cycle) 而四動程中，僅工作動程爲有效之功，其餘三動程，均依飛輪之動能，繼續轉動，傳功率於他處，並由以上說明，當循環開始時，須預先將原動機轉動，至某速度，謂之始動作業 (starting)。

又以上乃解說所謂標準之鄂圖循環，實際由種種實驗上與學理上之見地，吸入、着火、排氣、燃料供給等各時期，均較以上者略有遲速，以增進效率。

□□第百四十圖爲說明克拉克循環，所示豎式汽油機必要部分之縱截面，曲柄軸之轉動室，稱曲柄室 (crank case) 6 爲汽化器 (carburettor) 略圖，其

內部具活門，空氣經此被吸入於曲柄室之際，令汽油亦有汽化同被吸入之裝置，而且曲柄室之給氣，不能經汽化器而逆流者也。依裝於曲柄軸重大飛輪之轉動，假定原動機在轉動中，說明其循環狀態如下。

圖十四百一第



- 1. 活塞
 - 2. 活塞栓
 - 3. 連桿
 - 4. 曲柄栓
 - 5. 曲柄軸
 - 6. 曲柄臂
 - 7. 機筒
 - 8. 着火器
 - 9. 汽化器兼給氣活門
 - 10. 給氣口
 - 11. 廢氣口
- } 曲臂

圖示活塞自第二復點向第一復點進行中，將機筒內給氣壓縮，及至第一

復點，給氣受甚大壓力，隨着活塞上昇，曲柄室以之擴大，故同時吸入經過汽化器之給氣。

活塞既近於第一復點，着火器發火花（電花），令被壓縮之給氣點火爆發，以所生高壓氣體，壓下活塞，俾曲柄軸自右側轉下，於膨脹中作有用之功。隨着活塞之下降，曲柄室之壓力，略達於一氣壓際，汽化器之活門閉，給氣之流止，但在曲柄室內次第增其壓縮。

然當活塞下降，曲柄栓自右側轉下途中，機筒傍面之廢氣口11開，膨脹中尙比大氣壓力略高之廢氣，由之逃入大氣中，於是隨着活塞之下降，機筒內之壓力，急速下降，而曲柄室內之給氣，殆被壓縮至甚高壓力。

又當活塞再行下降，機筒左側之給氣口10開，曲柄室內之壓縮給氣，遂急劇經活塞頭部導子G，導入機筒中，並以迫出廢氣。

迫活塞下降，達於第二復點，自再開始上昇，先閉給氣口，次閉排氣口，遂密

閉機筒，移於開始說明時之狀態，再反前述作用，循環無已。

依以上說明，吾人可知完結一克拉克循環，須附裝適當重大飛輪之轉動，與在鄂圖循環無異。

克拉克循環，以二動程完結，或稱二循環 (Two cycle)。以上示二循環機之一例而已，其構造原有種種變化，譬如點火不用電花，而用燒紅之鐵球面，或缺汽化器，或作空氣活門於曲柄室，燃料另由噴射口噴射等多種形式。

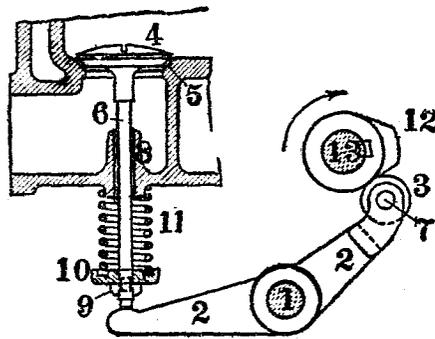
鄂圖循環之原動機，在動作階段劃分清楚，構造完備與堅實之點較優，為一般所採用。然克拉克循環之原動機，在一轉動中，各爆發一次，發生動力，可以形骸較小得多數馬力。尤其在小型機中，構造頗簡單，對於每一馬力之價，從而低廉，故實際有多採用之傾向。

至若兩循環中，各活門之適時開閉，都由主軸即曲柄軸之轉動，經齒輪動規等之介，行之。第百四十一圖示其一例。圖中動規12在側軸13上，與同轉動，當

其凸部接套於軸1之肘桿2一端7上之滾子3中，3被下壓以擎起2之他端，反對螺簧11之力，開活門4。凸緣長，則開活門時間久。如於鄂圖循環原動機，則側軸可以齒輪裝置，令在主軸轉二次中，轉動一次，即開活門一次。於克拉克循環者，與主軸同轉數，即主軸轉一次中，開一次活門可矣。又依動規凸部對軸13之位置變動，則開活門之時間亦變，從可定其開閉之適當時間。

二、內燃機之功率與效率 內燃機機筒內氣體之壓容狀況，可由示功器測定，顯為器示壓容圖，與在蒸汽機者相同。今將鄂圖循環原動機在理論上之器示壓容圖說明如下。

圖一十四百一第

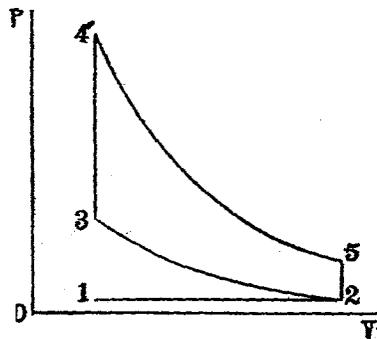


取直角座標之第一象限,沿 X 軸取示

機筒內氣體容積,沿 Y 軸取示其壓力之昇降,則當吸入動程中,給氣被吸入,壓力如故,容積漸增,自如由 1 至 2,次為壓縮動程,機筒內給氣被壓縮,容積縮小,壓力自增,如由 2 至 3,次為氣體爆發,壓力當驟昇,如 3 向 4,嗣為爆發動程,氣體爆發後膨脹,由 4 向 5,更次即排氣活門開,廢氣逃去,壓力遂自 5 降 2,續經活塞之推排,即由 2 而返於 1,在吸入與排氣動程,均以打開活門與大氣相通,故機筒內壓力均與大氣壓相等。

此雖為理論上之器示壓容圖,實與示功器所實測者無多差異,其所成之功為 2 3 4 5 之面積,與其功率,均與在蒸汽機者同法,測算為每一循環,每一

圖二十四百一第



機筒所成之功，及其整個之指示馬力。

內燃機實際馬力之測法，亦與在蒸汽機者相同，可以繩索輪掣功率計測定之。

內燃機受有指示馬力之功率，既以作有效之功，並以轉動自身各部，有摩擦消耗，於是輸出之實際馬力，較指示馬力小。同一原動機之實際馬力，對指示馬力之比，為原動機自身之機械效率 (mechanical efficiency)。其實際馬力，換為熱能之值，對所需燃料能發生總熱值之比，為普通所謂原動機之熱效率。

內燃機本身之機械效率常在 50—80% 左右，其熱效率在優秀之油機，氣機為 25% 左右，狄賽爾機可達 33%。

三、主要部分與補助部分

內燃機與蒸汽機相同，依機筒內之氣體膨脹，其壓力經活塞、連桿，傳於曲柄軸，一部分即傳於被動機械，大部分以增飛輪之轉速，貯蓄其中，再放出於其他動程，故活塞曲柄機構為主要運動部分，而支

持之者，謂之機架 (frame)。

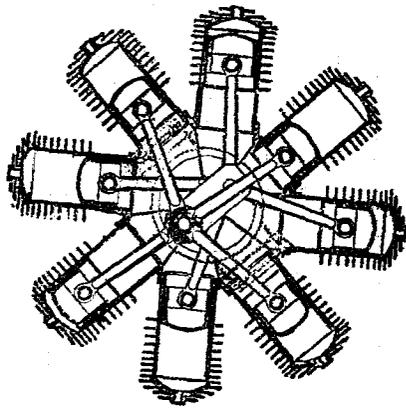
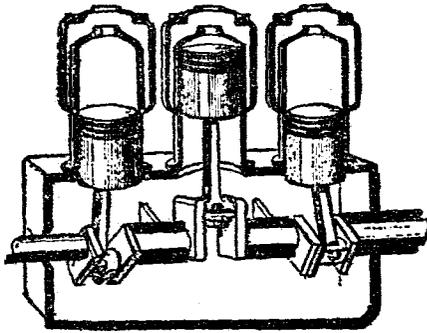
組成給氣之汽化器或蒸發器，與夫給氣之適量適時供給於機筒，及排除廢氣等，常以活門及其開閉機構行之，亦為主要部分。

內燃機普通不問擔負之多少，要求其轉速為一定之處極多。此自動遂行之機構，謂之節速器，而輕減各運動部分之摩擦，且令連續作圓滑轉動，原須注油器注油，又若冷卻裝置，着火裝置，消聲裝置，始動裝置等補助部分，亦有種種形式。

內燃機之活塞，為有底之筒形，開一方，裝連桿，底部稱頭，以受壓力。外嵌活塞環，所以防高壓氣體之漏洩，如蒸汽機之活塞，活塞，活塞環與機筒內部，一般為鑄鐵製，連桿為由一塊軟鋼鍛造之。

曲柄軸通常以一塊軟鋼材製之，其受摩擦部，都先受金剛砂，砥石之研磨。曲柄軸之形式，因機筒之多少而異。機筒於一機器中，有一個，二個，三個以上至

圖三十四百一第



十二個，連於一條曲柄軸上。第百四十三圖上示豎式三聯筒型，其曲柄軸上之曲柄臂互為 120° 角；下示星式八聯筒型，數多機筒，配列於曲柄軸一周。活塞在鄂圖循環機器中，只四分之一為工作動程，在克拉克循環機器者，只二分之一為工

作動程於工作動程中，曲柄軸轉動必較快，於是曲柄軸轉動有快慢，受其動力諸機械之運動部份，亦從而快慢矣。且在第一、第二復點，筒中氣體，只能壓活塞連桿直進，不能以力矩轉動曲柄軸，此等弊病，雖均可由飛輪之惰性作用，減其大部分，但若上述機筒之聯裝，可以各機筒內給氣更互繼續爲工作動程，一活塞正在復點，他一活塞可正在工作動程，於是輸出可連續略爲一定，並無復點之存在。汽車、飛機機器希爲多聯筒型，防振動者，卽是此意。而如星式裝於飛機之機器，有令曲柄軸靜止，各機筒反轉動於其周圍。

節速器用於內燃機者，可分三式。當曲柄軸轉動過快時，一爲遮斷燃料之供給式，一爲減少給氣式，一爲減少燃料式。所用節速器形式種類頗多，如在蒸汽機節所說明之離心節速器者，最爲普通。

給氣在機筒內爆發，溫度甚高，非蒸汽機機筒內之蒸汽溫度可比，須設法冷却之，免致傷損機筒內面及活門等，謂之冷却（cooling）裝置，分爲二種，一

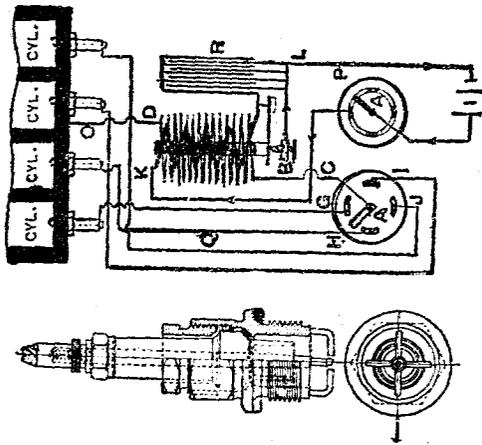
爲水冷式，一爲氣冷式。水冷式乃將機筒加一外套，環水套內冷之。陸用 100 馬力以下者，以虹吸水冷式爲普通。卽置大水槽於室外，自其下部導冷卻用水於機筒，已受機筒之熱之水，令由其上部水管回於水槽。冷卻水供給或攜帶不便，如飛機機器之冷卻，有用氣冷式者，其裝置如第四百四十三圖之下圖所示。機筒上附多數鏢片卽是，蓋以增加冷卻面，由冷氣流動其間冷卻之。小型機器腳踏車之冷卻，亦多用之。

着火裝置，可先分爲兩種，一爲用赤熱金屬面，令給氣於適當時期爆發之熱面着火，一爲用電花，令爆發之電着火。熱面着火法之一種將見後述之半狄賽爾機中，只於機筒後部一部分，不用水冷却，並赤熱之，稱爲燒球 (ignition

ring)。當壓縮空氣進入時，噴射燃料油，令其着火。電着火乃以完全與機筒絕緣，具二導線二端之着火栓 (ignition plug)，插入機筒內部，外通高壓電流，卽可以爲感應圈之第二圈，於適當時間斷其第一圈，令在第二圈兩極發電花，俾給

氣着火，第百四十四圖左示着火栓，右示以一個感應圈 K、D，一蓄電器 R，着火於四機筒之式，着火調時器 (Igniter) 之電絕緣板中所嵌金屬 G、H、I、J，各接續於第一、第二、第三、第四機筒着火栓之絕緣極，感應圈中第二圈之一端 D，在 O 點與機筒短絡，他端 C，則接續於調時器轉軸之刷 A，第一圈之一端經振動子 B 及蓄電器一側 L，接於電池 E 之一極，其他端 K，以導線接續於電流遮斷器 P 內所嵌金屬之任何一個，P 之轉動刷 A，接於所嵌金屬物時，則電路閉，否則電路開，此乃

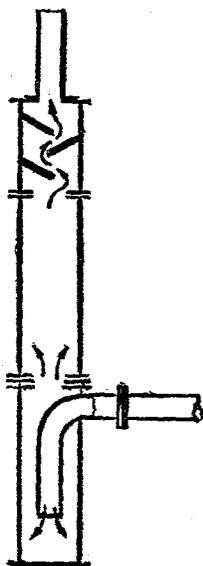
圖四十四百一第



節約電流，僅於着火時刻通電流也。即調時器之刷 A 與電流遮斷器之刷 A 同時以等速轉動（兩者裝於一軸），兩者之刷同時觸於所嵌金屬時，在第一圈既通電池之電流，故於第二圈生高壓電流，而調時器之刷，每觸於 G, H, J, I 各於第一、第二、第三、第四各機筒內順次放電，令其給氣着火。

自內燃機之排氣活門逃出之廢氣，倘有在大氣壓以上，每平方厘米 2 仟瓦乃 3 仟瓦之計示壓力，如斯高壓氣體吐出大氣中，其不意之膨脹，常生激烈之爆聲，消滅此爆聲之裝置，謂之消音器 (silencer)。消音器得大別為兩種，一為在排氣活門至吐出大氣中途，令廢氣先作一度膨脹之廢氣膨脹式；一為由排氣管吐出大氣之前，冷却廢氣，使

圖五十四百一第



其壓力降下之廢氣冷却式。前者在廢氣通路，作種種橫斷面不同之管，令廢氣通過之次第膨脹，至吐出大氣際，壓力既降下，爆音亦顯著消失矣。第四百十五圖所示，爲原動機排氣管之端，曲向鑄鐵製細長直立圓筒之底部，廢氣由之排出，逆向上進，過狹道二所，通交錯板三個，逃出於大氣中。實驗結果，成績甚佳。廢氣冷却式多於廢氣管周圍，繞以冷水者也。

令內燃機工作，須預先轉動之，令其吸入，壓縮而爆發排氣，以開始動作。在小馬力者，可先以把手轉動曲柄軸，或以手轉動飛輪，同時供給燃料於機筒內，則機筒內經幾次繼續爆發後，即開始自動矣。至於大馬力機器，則以上之作業爲不可能，故多另設始動裝置。其裝置可分爲壓縮空氣之始動與電動機之始動二種。前者先以給氣管連絡壓縮空氣箱，欲令機器始動時，預將活塞移於工作動程第一復點之後，乃開始動活門，放入壓縮空氣，壓動活塞，待活塞前進將終時閉之，而於次之同動程中再開，如斯數回壓動活塞，至曲柄軸轉動漸速，即

閉始動活門，同時供給燃料可矣。後者乃以電動機軸上之齒輪與機器飛輪一側之齒相嚙合，開動電動機，即以轉動飛輪，漸令機筒中給氣受壓爆發，而開始轉動。迨飛輪既能自轉，恆反以轉電動機軸上之齒輪，然通常該齒輪受逆轉時，即與電動機之軸脫離而自轉，得由其他機構解除其組合。

第六節 氣機

一、發生煤氣裝置

氣機乃使用煤氣爲燃料之內燃機也。現在用於內燃機之煤氣，普通分爲四種。

〔一〕煙煤煤氣 (coal gas) 或稱城鎮煤氣 (town gas)，多係煤氣工廠用煙煤 (bituminous coal) 製造，供給城市自來火之用，可借以轉動原動機耳。但只限於大市鎮處有之，價值較貴，不適於大馬力機器。若欲以此運轉數百馬力以上者，則須裝置蒙特 (Mond) 煤氣發生爐，自己製造之。

〔一〕副產煤氣 (by product gas) 係以製造別項品物爲目的而生之副產煤氣，可用以轉動原動機者也。有焦煤窯煤氣 (coke oven gas)，將普通之煤置於焦煤窯，燻燒以製造焦煤之際，所發生之廢煤氣也。有鼓風爐煤氣 (blast furnace gas)，乃鍊鐵用熔礦爐中發生之廢煤氣也。以此類廢煤氣爲燃料之氣機，常有大大至數千馬力，然限於有可利用之處。

〔二〕發生爐煤氣 (producer gas) 或稱混合煤氣，因係空氣、煤氣與水煤氣相混合而成。以木炭、焦煤、無煙煤爲燃料製造之。其製造器即煤氣發生爐之構造頗簡單，可直接聯絡於氣機而使用之。在二百馬力以下之氣機，最爲適宜。

〔四〕天然煤氣 (natural gas) 係礦中自然產生之煤氣，用作燃料，當然有利，多產於美國加拿大產油區域之附近。

最近多以木炭製造煤氣，用於小型農業用煤油機，以代煤油，或用於汽車以代汽油。既經濟，又便利，信將來有相當發展之勢。

茲將發生爐煤氣之發生煤氣裝置述之如下。

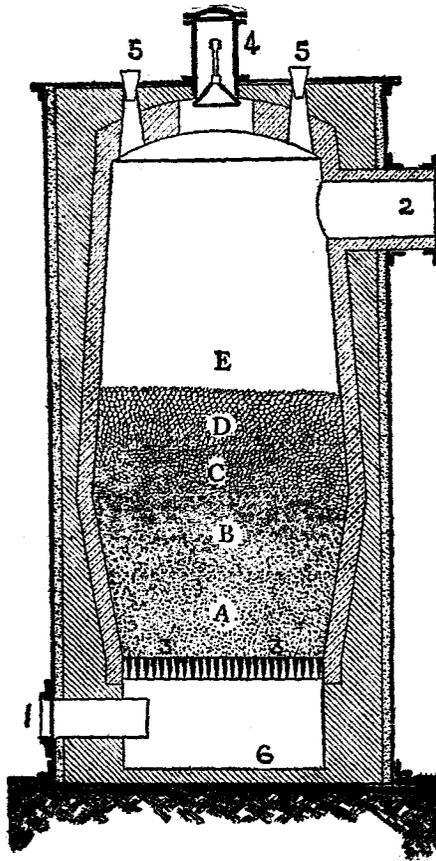
煤氣發生爐 (Gas generator) 者，在其直立爐內，使固體燃料爲不完全燃燒，生一氧化碳，又同時於此赤熱之燃料層，通以適量之水蒸汽，使分解爲氫與氧，其氧與碳化合，復成一氧化碳而遊離氫，故發生爐煤氣之主成分爲一氧化碳與氫，且因爐內既通空氣，當然相隨而來者有氮，占全容積之約半分。本爐特徵是爐內固體燃料，悉化氣體，爐底僅餘灰燼，氣體化之效力大，依爐之構造與設計，及其燃燒之質料，所發生煤氣，雖有種種名目，而其成分各大同小異。

第四百四十六圖示煤氣發生爐之略圖，以之說明其構造與作用。

圖爲直立煤氣發生爐之縱截面，爐內面爲緩緩傾斜之圓錐體，以便燃料之自然落下，內壁鋪耐火磚，自送風口 1 送入空氣與水蒸汽，通過 A 之灰層時，受其過熱，一達其上 B 之燃燒層，空氣中之氧與碳化合，一部分不能完全燃燒，生一氧化碳 (CO)，餘多爲二氧化碳 (CO_2)。水蒸汽至燃燒層，再受過熱，一

部分分解,及其達C之分解層,則完全分解,其氧與碳化合成 CO 。而自B來之

圖六十四 五—第



- 1. 送風口
- 2. 煤氣出口
- 3. 火床
- 4. 固體燃料供給口
- 5. 窺視口
- A. 灰層(1100°C. 內外)
- B. 燃燒層(1000°C. 內外)
- C. 分解層(1000°C. 內外)
- D. 乾餾層(370°-700°C. 內外)

○○。到C層亦分解爲氧與○○，氧再與碳化合成○○，其結果在分解層所生成者爲○○與H₂。在燃燒層，燃料因燃燒發生之熱，爲分解層中○○之變爲○○及水蒸汽之分解所吸收，每令分解層C之溫度下降，妨害上述之分解作用，宜常加減送入水蒸汽之分量，保持於1000°C。內外，上層D爲乾餾層，承受自上口4落下之燃料，常因以降下溫度，但忽以由其下而來之煤氣之熱，發生揮發分。若溫度高，則碳化氫分解離氫，而生之煤焦油、煤等雖屬少量，溫度低時即增。

灰層薄則徒熱爐床下部，且使供給之空氣與水蒸汽未受充分之熱，即進燃燒層，有降下其溫度之虞。反之過厚，則減燃燒層之厚，易令生成之煤氣中多○○。然燃燒層與分解層若薄，則徒有通過化學作用不充分煤氣之傾向，即爲增加空氣或○○。乾餾層若薄或低溫，則增加焦煤油或煤。因之發生爐之容積大小，對發生之煤氣性質無關係，惟各層必須設計爲必要適當之厚。實際上燃

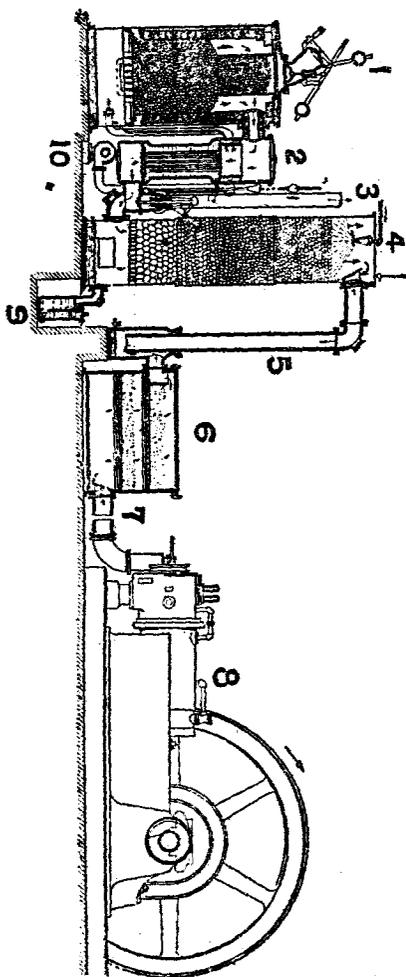
燒層及分解層之總高以 1.8 米爲限度。蓋過厚即再高亦不可，以燃燒層內部易生溶灰而成空虛，或內壁因高熱而熔解，妨礙煤之落下，不但常須自窺視口用鐵棒衝落等不便，且令通過空虛之空氣及水蒸汽，以少阻抗故，愈加多量通過，其一部分將不生化學變化，僅僅通過，有發生不良煤氣之虞。供給爐內之空氣，通例以爐之輻射或由爐口出來之煤氣，預先熱之。

供給水蒸汽於煤氣發生爐之理由，是吸收空氣入煤氣爐燃煤變爲煤氣時發生之熱，而自己亦變煤氣供燃燒也。即令發生可燃性氫氣，以增加每公斤燃料所生煤氣之全熱量，提高爐之效率，且防爐內壁溫度之過高，致因爐灰生成空虛，或熔解內壁，更可低減由爐口而出之煤氣溫度，以減少洗滌用水之量。然供給空氣與水蒸汽於煤氣發生爐，須有相當之量，可以上述各項推得之。依理論與實驗結果，對煤一仟克，所要空氣之最小量爲 3.3 仟克，水之最大量爲 0.65 仟克。

發生爐煤氣乃由煤氣發生爐及其他洗滌器等製出，其製法有用壓入發生爐 (pressure producer) 與吸入發生爐 (suction producer) 二種。前者利用蒸汽壓力或扇風機壓送空氣與蒸汽入爐，後者則以其前頭煤氣管連於氣機，在其吸入動程，由活塞吸入煤氣，隨令爐下空氣與蒸汽入爐。裝置較簡單，對於一實際馬力一時間工作，只要無烟煤約 0.1 仟克，而於壓入發生爐，則須 0.5 至 0.57 仟克。如斯效率高而規模小之煤氣發生裝置既得發明，故與氣機廣供普通之用。

然如吾國木炭低廉，如用木炭作吸入煤氣，則更便利。斯時特稱木炭煤氣。
二、氣機 第四百十七圖示德國製大型吸入煤氣發生裝置。1 爲煤氣

發生爐，外部以鐵板製成，內部鋪耐火磚，近於底處有鑄鐵製火床，在爐之外筒與耐火磚間隙，夾入細沙，作爲耐火磚受熱膨脹時之緩和材料。煤氣發生爐中之無煙煤或焦煤，初約半分燃爲赤熱，蒸汽發生器 2 中之水，受通過其中多數



圖七十四百一第

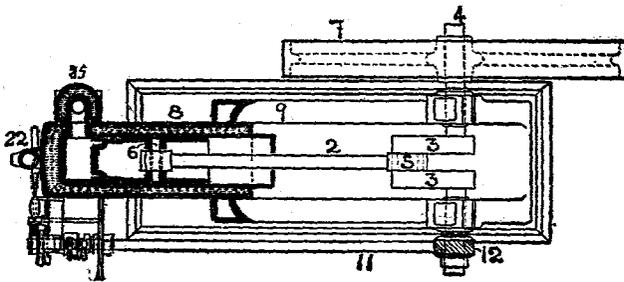
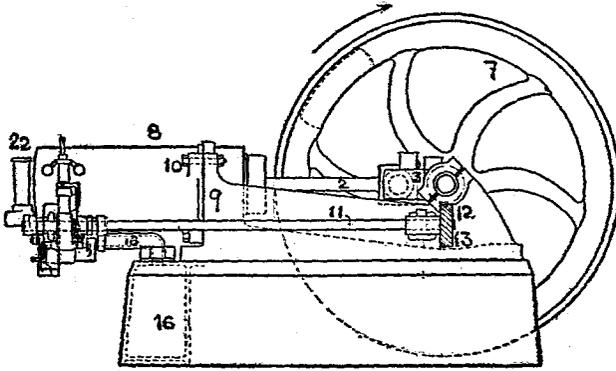
1. 煤氣發生爐 2. 蒸汽發生器 3. 放氣管 4. 煤氣池蒸餾器 5. 轉氣管
 6. 煤氣淨化器 7. 導氣管 8. 氣機 9. 排水器 10. 手齒送風機

管內高熱煤氣之熱而蒸發，與經水面上部之空氣混合，被吸入於爐內，分解化合，成一氧化碳，氫，與空氣中之氮混合為主成分之吸入煤氣，經蒸汽發生器內

冷却之煤氣，入煤氣洗滌器 (scrubber) 4，通過焦煤塊之間隙，被吸向上部際，受噴射水之洗滌，既再冷却，同時相隨而來之煤焦油、鹵精、硫化氫、水蒸汽、塵埃等，被其除去。洗滌後之污水，則由排水器 9 流去。而此精製之煤氣，遂通導氣管 5，入清淨器 (purifier) 6，所含濕氣與微量煤焦油更被去淨，於是作為燃料被吸入機筒內，爆發膨脹以推動活塞。用此煤氣比之使用其他煤氣，在完全燃燒時所要之空氣少，氣機之空氣吸入管，可以略小，反之供給煤氣活門則須較大。壓縮比為 $5-6$ 左右。壓縮比者，活塞在第二復點時，機筒內給氣體積，對活塞在第一復點時者之比也。其值大時，效率較佳。

第四百四十八圖示英國克羅斯雷 (Crosby) 公司製小型煤氣機之立面圖 (上) 與切截機筒活塞部分之平面圖 (下)。如下圖所示，活塞 1 為有底長圓筒狀，兼蒸汽機中丁頭之作用，運動於機筒內，為防氣體漏出於機筒活塞之間，活塞上裝有活塞環數個。機筒 8 之外筒，與前頭壓縮室 (活塞在第一復

圖八十四百一第



點時，機筒內之空間，爲同一鑄物，於厚鏢10 (Hanger)，用強螺旋與機架9結合，內筒爲一筒形，插入其中，而內外兩筒間，暨壓縮室與活門之周圍，均充以冷却水，防其過熱。因爲鄂圖循環，在工作動程，活塞面所受壓力以連桿2傳於曲柄軸5、3、4，其能之一部分，直接傳於曲柄軸，所餘者以增飛輪速度，將吐出於他三動程中，繼續其轉動。

側軸11，依螺旋齒輪12、13之傳達，爲曲柄軸二分一之轉數，以傳達於開各活門之動規及節速器。

22爲燒管着火裝置，中有燒管，受噴燈之火，燒爲赤熱，俟壓縮動程終時，開其活門，納給氣一部分於其中，使着火，引起爆發。

吸入活門14及煤氣活門15（圖中未有畫出，在管16之左首）在吸入動程中均開放，空氣自機架通管16而來，煤氣則通煤氣活門15，由吸入活門下數多之孔噴出，與由16而來之空氣相混，從吸入活門14，被吸入機筒之內。

故其循環，先由被動於飛輪之活塞，吸入煤氣與空氣，次壓縮吸入之給氣，次依燒管令壓縮給氣着火而爆發，生高壓氣體，膨脹壓活塞向前方而作功，其用後賸餘之功，則以增飛輪速度，而變能貯於其中，末被動於飛輪之活塞，進入機筒，排出廢氣於排氣活門²⁵。

第七節 汽油機油機

一、汽化器與蒸發器 (evaporator)

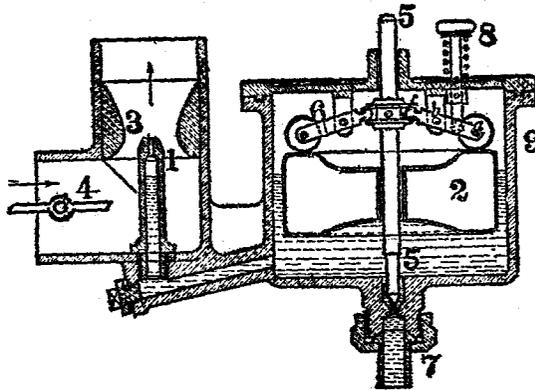
內燃機中供給燃料於機筒之法，因燃料之種類而異，如爲氣體，只於吸入活門與空氣入口之間，設燃料氣體活門，伴吸入活門之開閉而開閉，燃料氣體遂以適度之比，被混合於空氣，吸入機筒，前曾於氣機中言之，構造簡單，至若燃料爲液體者，普通有汽油、油精 (kerosine)、火酒、燈油、輕油、重油等，照以上之順序，減少其揮發性，即汽油最易揮發，重油最難揮發，若汽油、油精易揮發者，用汽化器容易令其揮發，與空氣混合 (大

部分不爲汽體而爲微粒混入，被吸入於機筒中。又若輕油、重油等不易揮發者，須用蒸發器。現在最多用之法，乃於機筒蓋之一部分，既不用水冷却，反覆以外板，防熱之發散，對被熱內面，每注一回之油，令其蒸發，以之與空氣混合，被吸入於機筒內，或令混入壓縮於機筒內之空氣中。其他先僅極力壓縮空氣於機筒內，當其因受壓縮而溫度升高時，令由一噴射口 (nozzle) 噴出重油之霧，所謂狄賽爾機之形式者亦有之。

第四百十九圖示簡單吹霧汽化器之構造。圖中 2 爲浮子，係鋼或黃銅製之中空扁平圓柱體，浮於汽油中。6 爲槓桿，以 b 爲支點，a 處附重錘，載浮子上，c 處則以其端支針尖活門 (needle valve) 5。浮子室 9 中油面達規定之高時，浮子上浮，載 a 上昇，俾 c 壓針尖活門下降，塞住由給油管接頭 7 而來之油口，使油不能再入。迨油既消費，油面下降，浮子自亦下降，因重錘 a 之隨降，可以 6 之他端提 5，而開其下之油口。如斯再待油面達規定高時復閉，以此作用反

覆行之，遂常保浮子室內油面至一定高度。其高度以汽化器內無空氣流通時，在噴射口1下，無汽油自然流出者為準。噴射口周圍縮小部分3稱通風管。通風管上通機筒之吸入活門，當活塞於吸入動程中，被吸入之空氣，以經此狹隘通風管而加速，於是於其處減低壓力，噴射口內之汽油因被吸出揮發，而與空氣混合，組成給氣，進入機筒。4為遮斷空氣

圖九十四百一第



- 1. 噴射口
- 2. 浮子
- 3. 通風管
- 4. 遮斷空氣活門
- 5. 針尖活門
- 6. 橫桿
- 7. 給油管接頭
- 8. 溢油柱
- 9. 浮子室

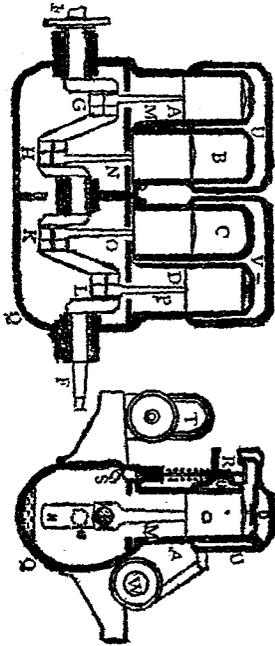
覆行之，遂常保浮子室內油面至一定高度。其高度以汽化器內無空氣流通時，

活門，始動之際，可少開而多吸油，組成富厚給氣，然初壓溢油栓，強令c提針尖活門，任油自入，亦可增高油面，易自噴射口汽化。

汽化器種類甚多，以上所述，為其一種，蒸發器式樣亦不少，將於以下之油機中連帶說明。

二、汽油機 第一百五十圖示普通汽車之汽油機。A、B、C、D為平列之四

圖 十 五 第 一 第



個機筒，兩個爲一組，上部與水套同時鑄成，裝置於同一曲柄箱 Q 中，Q 之底部，常貯潤滑油少許，每一活塞桿下，均附一勺狀物，當下向沉入油中而後上行時，即將定量之油帶上，潑於曲柄軸各處以減摩擦，而貯油部分，恆用隔壁分爲兩半，以防車行傾斜時，潤滑油流貯一邊。

各機筒之吸氣活門與排氣活門，皆由一側軸 (side shaft) S 上之動規司啓閉，側軸對於曲柄軸之速比，亦爲二分之一。

U 與 V 爲水套，僅圍繞各機筒之上半，以其爲受熱最強烈之部分，冷水由離心唧筒 W 壓入水套，於冷卻機筒後，再由別一管流入裝置於車前如窗之輻射器 (radiator) 中，放射其熱於空氣，再注入離心唧筒，以進水套。

着火法恆係利用電花，由 T 之小磁電機供給之。

又 E、F 爲曲柄軸，M、N、O、P 爲四連桿，下端與 G、H、K、L 四曲柄栓相組，四曲柄臂互成之角度，如圖所示，每組者均互爲 180° 角，因係採用鄂圖循環，故令

各機筒內給氣，順次爆發，爲工作動程，即曲柄軸每轉動 180° 中，均令有一工作動程，使曲柄軸轉動均勻。

汽油以易揮發，易爆發故，汽油機多用於航空機，汽車，因而汽油遂爲寶貴軍用品，每由國家統制銷售，民間不能隨便使用，價格以之提高，故普通於汽車之汽油機，亦多改用木炭煤氣代燃料矣。

三、油機 油機種類甚多，茲特借依據克拉克循環，普通使用之菩林達 (Bolender) 油機爲例言之。

菩林達油機爲瑞典菩林達機器廠出品，克拉克循環式，以輕油或以重油（粗油）爲燃料，消費量少，構造簡單，管理容易，價格亦廉，故各處多用之。臥式者雖只限於小馬力之陸用原動機，豎式者，則於陸用，船用都有之。

單機筒者自5馬力至80馬力，雙機筒者自80馬力至160馬力，四機筒者自80馬力至320馬力之物常有製作，多機筒者曾製造至600馬力之品矣。

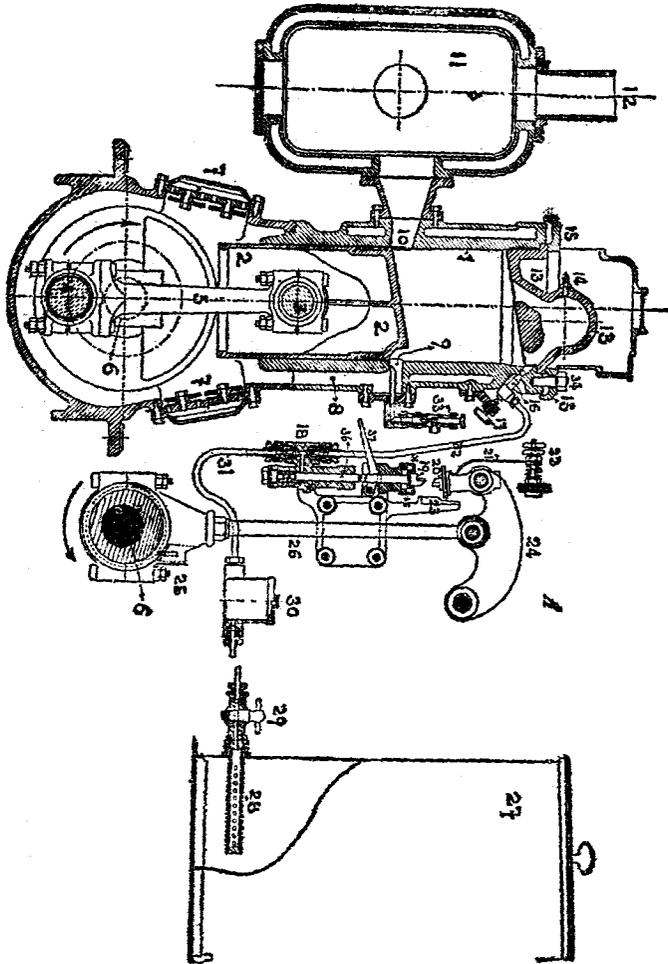


圖 一 十 五 百 一 第

- | | | | | | | |
|---------------|----------|------------|----------|----------|---------|---------|
| 1. 機符 | 2. 活塞 | 3. 活塞栓 | 4. 曲柄栓 | 5. 連桿 | 6. 曲柄軸 | 7. 吸氣活門 |
| 8. 咽道 | 9. 吸氣口 | 10. 排氣口 | 11. 清霧器 | 12. 排氣管 | 13. 燒球 | 14. 燃管 |
| 15. 裝殼球之圓環 | 16. 噴射口 | 17. 螺旋 | 18. 燃料唧筒 | 19. 喉片 | 20. 喉片 | 21. 彈簧 |
| 22. 螺旋套 | 23. 有階旁子 | 24. 有階 | 25. 偏心輪 | 26. 偏心桿 | 27. 燃油箱 | 28. 壓濾器 |
| 29. 活門 | 30. 貯油箱 | 31. 吸氣管 | 32. 送油管 | 33. 抽水活門 | 34. 螺旋 | |
| 35. 燃料唧筒行程加減子 | | 36. 燃料唧筒汽塞 | | 37. 手柄 | 38. 之把手 | |

第五百十一圖爲說明本原動機之構造及作用，特示其要部之切截面，或特意取出之一部分。△部本在左側者之裏面，特切截後令爲半轉表出之，故其軸之轉動，與其左圖所示者反向。

本機因爲二循環式，依活塞之上昇，機筒內之空氣被壓縮，同時曲柄室內，自活門7吸入空氣，在壓縮之極，即將近於第一復點處，偏心輪25拉下槓桿之臂24，裝於24一端之啄片20，衝向小桿19，壓其下端之唧筒桿36，使燃料油經送油管32，自噴射口16噴出。此燃料觸於燒球13內之壓縮空氣而爆發。（燒球13

即前所謂蒸發器也。在始動之前，須以噴焰燈熱之。凡數分鐘，俟其赤熱，可令噴入之燃料油即時蒸發，始行始動。以後雖不繼續使用噴焰燈，但其部分不用水冷却，僅以覆板覆之，故轉動中仍可保持赤熱。但自第一復點前進曲柄角約20度內外之點，偏心輪之下降運動既終，燃料油之噴射亦止。其後即以爆發氣體之膨脹，壓活塞下降，以轉曲柄。在活塞下降運動之始，空氣活門7被閉，密閉於曲柄室之空氣，漸受壓縮，而近於該動程之終，排氣口10先開，機筒內廢氣，由消聲器逃出，即在器內膨脹，經排氣管12以出大氣。因排氣口之開，機筒內壓力，顯然減少，待活塞再稍降，吸氣口9開時，曲柄室內壓縮空氣，遂通咽道8而入機筒，觸活塞頭部之導子，被導向上而進，驅出廢氣，於是空氣與廢氣交換矣。本圖示吸氣口，排氣口各大開之位置也。然當活塞再上昇時，先塞吸氣口9，次塞排氣口10，壓縮機筒內空氣。同時因活塞之上昇，曲柄室內空氣變稀薄，故空氣活門7自開，吸入外氣於曲柄室。如斯再反覆前次之運動，遂令其機，週轉不息。

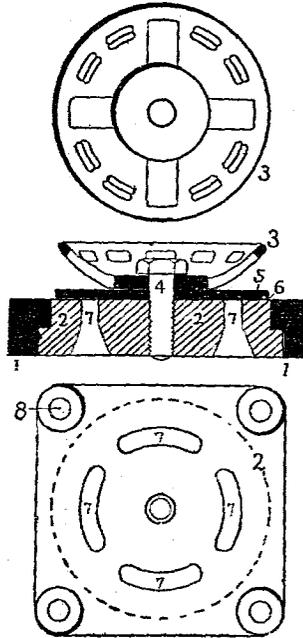
又A圖示啄片20爲下降運動，將越有階導片23之階之位置，以後即衝19之頭，壓唧筒桿36以噴油，彈簧21乃壓20越過導片之階，勿跳躍而離開導片之用。然轉速增至通常速度以上時，20將急激越過23之階，其跳力打勝所壓彈簧之壓力而跳起，以至與19不頂衝而嚙合，令唧筒18無作用，故噴射口16不噴油，待因燃料油不足，轉速減低，復與平常相同際，始再返前此之作用，以節速度。煤油箱27，經塵濾器28，送燃料油於唧筒18。塵濾器28爲周圍多孔之銅管或黃銅管，外捲毛巾或金屬細網，防塵埃之被吸入，裝於油箱之底上約70毫米外，雖箱內有塵埃，於其作用無礙。清水栓33者，由以滴下適當量清水於機筒內，防燒球之過熱，且減少燃料之消費。

水套用唧筒，被動於軸上偏心輪，常於船用者，自舷側水面下開口之給水管吸水，由機筒之水套下部而入，冷卻機筒作用完成後，經上部曲管，冷卻消聲器而出船外。曲柄軸之軸承 (bearing) 內面都鋪減磨合金，並以系芯滲油壺

之機械油以滑潤之。

吸氣活門如百五十二圖所示。圖中6爲支於中央之革製活門，以金屬板

圖二十五百一第



簧5壓於其上，堵塞吸入口7。於壓縮動程，活塞向機筒上部進行時，曲柄室內氣體變爲稀薄，故外部空氣，易打勝板簧5之彈力，開6而入曲柄室。至活塞上昇之極，繼續其同樣狀態，及活塞下降，6反受內部壓力而密閉曲柄室，於是其中空氣，漸受壓縮。

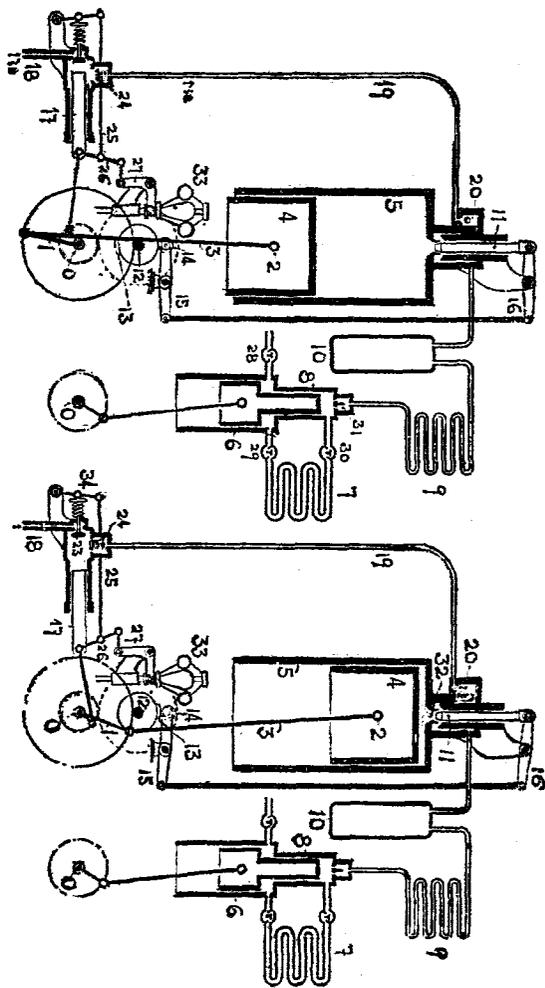
第八節 狄賽爾機

一、狄賽爾機之原理及機構

試想像一活塞曲柄型之內燃機，第一當機筒內吸入空氣，由活塞壓縮時，隨着壓縮程度之增加，空氣之溫度既可上昇，若受高度壓縮，自可得達使液體燃料容易發火燃燒之溫度。第二似此達於壓縮之極，以壓力更高之壓縮空氣噴射液體燃料於其中，必將直即燃燒。第三噴射燃料之條件，假定爲活塞前進中，俾機筒內之壓力，一定不變。第四在活塞之前進途中，忽遮斷燃料之噴射，其後任機筒中氣體之膨脹爲有效之功，而繼續爲排氣、換氣及吸氣等，與普通型之氣機、油機有同樣作用者，即狄賽爾循環之原理也。

由以上之說明，可知狄賽爾機亦有四循環及二循環二種。

並得分空氣噴射式狄賽爾機之主要部爲下述四者。



圖三十五 第一第

- | | | | |
|-------------------|-----------|-------------|-----------------------|
| 0. 曲柄軸 | 7. 中間冷卻器 | 15, 16. 橫桿 | 27. 肘桿 |
| 1. 曲柄臂 | 8. 高壓汽筒 | 17. 燃料噴筒之活塞 | 28, 29, 30, 31. 空氣壓縮機 |
| 2. 活塞栓 | 9. 最終冷卻器 | 18. 同吸入管 | 之活門 |
| 3. 進桿 | 10. 高壓氣筒 | 19. 同送油管 | 32. 噴射口 |
| 4. 活塞 | 11. 燃料噴射器 | 20. 同進止活門 | 33. 節速器 |
| 5. 橫筒 | 12. 動規之軸 | 23. 燃料噴筒之活塞 | 34. 橫桿 |
| 6, 7, 8, 9. 空氣壓縮機 | 13. 動規 | 24. 同送油活門 | |
| 6. 低壓橫筒 | 14. 滾子 | 25, 26. 鏈條 | |

1. 活塞曲柄機構。

2. 空氣壓縮機。

3. 燃料噴射器及燃料唧筒。

4. 節速器。

第百五十三圖爲簡單表示四循環式狄賽爾機以上四大部分之說明圖。

1. 曲柄軸 0 與曲柄 1 如矢向之轉動，由連桿 3 之介，生活塞 4 在機筒 5

內之上下運動。此與普通型之氣機，油機無異。圖中省去吸氣，排氣活門及其開

閉機構與大飛輪，水套等裝置。

2. 作為被動於曲柄軸之空氣壓縮機之一例，本圖示其二段式之物，即被吸入之空氣，先令在低壓機筒6受壓縮而熱，通過中間冷却器7時，受其冷却，再進高壓機筒8，再被壓縮，過冷却器9，貯於高壓氣槽10。

3. 燃料噴射器11之開閉，由於為曲柄軸1之半分轉動之動規13與槓桿14、15、16等作用。被動於曲柄軸1或動規軸12之燃料唧筒中活塞17之往復動，將液體燃料，由吸入管18吸入，送向送出管19，經逆止活門20，入噴射器內部。但其送油時期，在噴射器閉時，機筒內壓縮吸入空氣，殆達其極時，動規13始觸滾子14，開噴射器之針尖活門，俾高壓氣槽10內之空氣，由噴射口32噴出，此際噴射器11內之燃料油，被作霧狀射出。此噴油在活塞前進動程之初，繼續不斷，迨動規13與滾子14接觸之點既盡，針尖活門乃閉，而噴油止。

如圖所示，被動於曲柄軸0之燃料唧筒之活塞17，當向左進行，其動程之

初，積桿34，鏈條26、25等，尙打開吸入活門23，故如右圖唧筒胴內之油，逆流於油槽，然近於其動程之終（左圖），吸入活門23既閉，燃料油遂打開送出活門24，送向噴射器內之空隙。

4. 適應擔負馬力之多少，以轉速略爲一定之條件，加減液體燃料分量之方法，已成功爲狄賽爾機之節速法，最多使用。即擔負馬力乍減，先起轉速之僅小增加，節速器33以其肘桿27之下端及鏈條26之上端移於右方，積桿34，開吸入活門23之時間變長，即其關閉時間變短，故減少送油之量，而節速器33自然自動減少給油量，至必要且充分之分量爲止。反之，擔負馬力增時，因速度之略爲減少，節速器爲前述之反對作用。

以上係就狄賽爾機主要部分之作用，作簡單說明耳，其實際則情形複雜，有種種之考案及設計。

二、狄賽爾機之循環與壓縮比

四循環狄賽爾機以二轉四動程完成

循環。

第一吸氣動程。原於此動程之初，開吸氣活門，在活塞前進間，吸入空氣於機筒內，至其動程之終閉之。而實際吸氣活門在曲柄栓達第一復點前 10° 內外時即開，以通排氣活門而出之廢氣運動惰性，引空氣進來，以代滯留於壓縮室（活塞在第一復點時，機筒內之空間）之餘剩廢氣，即爲掃除作用也。吸氣活門既開，至活塞通過第二復點後，曲柄臂約有 20° 時，始閉。蓋以活塞之運動既速，雖吸氣至第二復點，其所吸入氣體之壓力，恆尙未達大氣壓力，故稍待再讓空氣自行進入。惟以上所言吸入活門之開閉時間，爲普通低速機之標準，在高速機，常於第一復點前 15° 開，第二復點後 40° 始閉。

第二壓縮動程。依活塞之後退運動，壓縮機筒內空氣。此壓縮時間，極爲短小，可視爲絕熱壓縮。絕熱壓縮者，其壓縮中既無外熱由外傳入，亦無傳出之意也。普通壓縮室之容積，約爲活塞工作動程中所經過空間（以活塞面積，乘其

動程之積)之 88% ，故於壓縮之極，其計示壓力爲每平方厘米35 仟克，溫度達 550°C 。內外，但此溫度，關於外氣溫度之高低有多少不同，實際上雖非常寒冷空氣，易令達於燃料油發火點 400°C — 600°C 。以上之溫度。

第三工作動程，壓縮行程將次終止，噴射器即開，以其壓縮空氣，噴出液體燃料，此壓縮空氣約以計示壓力每平方厘米42 乃至70 仟克，噴出燃料如霧於機筒內，噴油之時期，在低速機，以第一復點前曲柄角 3° ，在高速機，以 14° 爲準，噴油之時期，約以曲柄角 48° 爲準，因擔負之多少，可略爲變更，噴射燃料，不在噴射終止時即燃盡，想在氣體膨脹之某期間內，繼續燃燒，稱爲後燃。

第四排氣動程，近於工作動程之終，即第二復點前，曲柄角 40° 內外開排氣活門，即經膨脹完成工作之氣體由以開始逃去，斯時廢氣壓力，每平方厘米，約爲計示壓力 2.8 仟克內外，溫度爲 870°C 。內外，然廢氣逸出之速甚大，當活塞達於第二復點時，殆已近於大氣壓力，不過活塞速度甚大，當其自第二復點再

後退中，即排氣動程中，雖排氣活門已開，仍以廢氣不能急逸，致被壓縮而高其壓力，稱爲背壓。平均背壓約爲器示壓力每平方厘米 0.07 仟克以下。

普通設計四循環機筒內之平均有效壓力，在全擔負時每平方厘米爲 7 仟克（絕對壓力）內外，而其值從擔負之減而低，然於過量裝入式之設計，有達 12 仟克者。

壓縮空氣之第一目的，在空氣之急被壓縮，殆爲絕熱變化，用增其溫度至噴出其中液體燃料之自然發火點以上。基於此理由之壓縮空氣限度，以計示壓力每平方厘米 29 仟克足矣。第二目的乃基於壓縮程度愈高，熱效率愈增之熱力學理論。若單就此點考慮，固欲壓縮程度之高，惟以噴射液體燃料之更爲高壓空氣製造之困難與不經濟，實際上不令極端增高。在四循環者，計示壓力爲每平方厘米 35 乃至 39 仟克，在二循環者以 42 仟克爲限度。

茲就機筒內吸入一氣壓， 0.0 之空氣，作絕熱壓縮，至終壓每平方厘米爲

絕對壓力35 仟克之必要壓縮比 r ，依空氣絕熱膨脹公式 $P_1 V_1^{1.41} = P_2 V_2^{1.41}$ 計算之，式中 K 爲常數，一氣壓爲每平方厘米 1.03 仟克之壓力。

$$\text{因 } r^{1.41} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{1.41} = \frac{P_2}{P_1} = \frac{36.03}{1.03} = 35$$

$$\log r = \log 35 \div 1.41$$

$$\text{得 } r = 12.5$$

實際上因活塞與機筒之間隙，活門之漏氣，且以噴射燃料空氣之膨脹冷卻，欲達上述壓力，非再增壓縮比不可，普通爲 13 乃至 15 之值。

三、狄賽爾機之型式 狄賽爾機因使用之目的與經濟關係，設計爲種種型式，大別之如下：第一，陸用與船用；第二，四循環與二循環；第三，低速與高速。

第四，豎式與橫式；第五，單作用與複作用。

(一) 陸用與船用 陸用機如工場之原動機或唧筒，發電機之原動機等，雖裝於堅固地基上轉動，而船用機則被裝於限定容積之狹隘室內，基台亦

不如陸上者堅固。陸用機之爲一機筒、二機筒者，可用大飛輪節制其轉速，而軸用者，以不能隨意裝大飛輪故，至少用四機筒、六機筒，或八機筒，平均其轉速。現在陸船用無別，實以四機筒至八機筒者居多。以上二大別外，狄賽爾機車已經製作無論矣，即爲汽車，飛機用之原動機，亦曾成功，正在擴張途中。

□□四循環與二循環 就機器設計製作之容易，與作用確實之點，四循環者較優。又以二循環者每分間爆發數多，爲避過熱之虞，其有效平均壓力須較小，是以其燃料消費量較四循環者多 15% 左右。然以二循環者一轉動中一次爆發，在同馬力機中，其形骸可較四循環者爲小而得廉價，尤其在船用狹隘室中，更爲適宜。現在 500 馬力以下之二循環狄賽爾機，已廣於使用，脫離試驗時代，且以其吸氣口、排氣口構造簡單，不易因高熱而生障礙，如普通之活門爲便利。

□□低速與高速 每分鐘 200 轉以下之機器，普通稱爲低速，其以上

者爲高速。一般低速者具堅固重大之機架及大飛輪，能耐長歲月之使用。高速者對同樣馬力，得以小型製作故，價廉而販路廣。

〔四〕豎式與橫式 狄賽爾機之船用者普通爲豎式多機筒者，陸用者同，以其噴油較易，而橫式者，於架構易堅固，修繕亦便利。

〔五〕單作用與複作用 內燃機多令給氣於機筒內，活塞一側爆發，謂爲單作用機，而於活塞他側亦有爆發者爲複作用機。現在狄賽爾機有如蒸汽機，於活塞桿，連桿間設了頭，令如蒸汽機爲複作用，適於大馬力者之設計。

狄賽爾機以廉價之重油爲燃料，且消費量較少，即以壓縮比大，增加熱效率故，近來已漸流行於各方面之原動機矣。

第九節 水力機

水力機係利用水力爲原動力之機器。大別爲水車、水輪機與水壓力機三

種。水車利用水之位能及動能，水輪機利用水之動能及壓力能 (pressure-energy)，水壓力機則專利用水之壓力能。

一、水車 水車可分為普通水車

與拍爾東水車 (pelton wheel) 二種。

〔一〕普通水車如第五百一十四圖所

示，水自導入水路 (head race) A，在水

車頂上入車周所設許多厚斗 (bucket)

B，轉動具水平軸之水車中，降至下半，乃

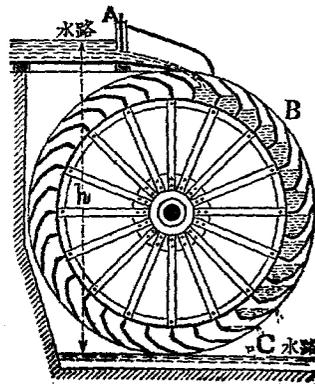
由厚斗吐向吐出水路 (tail race) C。為欲加減入車水量，特於導入水路口設

水閘 (sluice valve) 以手動或另設節速器節制之。自水閘出來之水，原以某種

速度前進之故，對於厚斗，不但以其位能，且以其動能令轉動也。

自導入水路至吐出水路之鉛直距離 h ，謂之落差 (fall) 或水頭 (head)。

圖四十五百一第



在此水車， h 有由 10 呎乃至 70 呎者。今假定其每秒落水之量為 Q 立方呎，水之密度為 w 磅立方呎，則其馬力自應如下式計算，即

$$\text{H.P.} = \frac{wQh}{550} = \frac{62.4 \times Qh}{550} = \frac{Qh}{8.8} \text{ (約)}$$

若以 \odot 示水車之效率，則其實際馬力

$$\text{H.P.} = \frac{\odot Qh}{8.8} \text{ (約)}$$

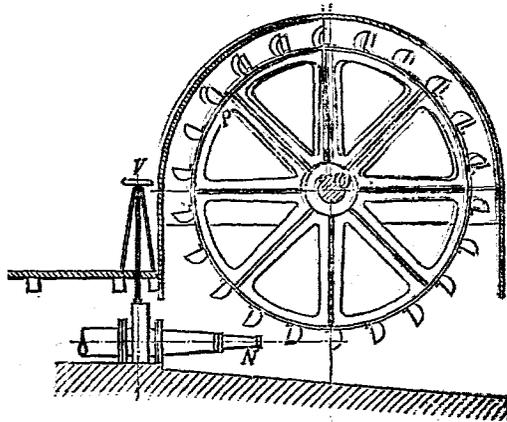
此類水車之效率 \odot 約為 60—75% 左右。車周之速，多為每秒 3 呎乃至 6 呎，為進入水速之一半時為佳。戽斗之最高位置，應在導入水路水面下 1.5 乃至 2 呎下方。

□ □ 拍爾東水車之普通形式如第百五十五圖所示，於車周配置多數等距離之杯狀戽斗，以由水管導來之水，噴射於此戽斗，以其動能轉動車軸 O 者也。依水量之多少，噴射口 N 有增至二、三個，而順次排列者，或於一軸並裝幾個拍爾東水車者。

拍爾東水車用於落差大，而水量不多之處，最爲適當。落差在30呎以下者少用之。通常爲自100呎至3000呎之物。現有一萬馬力以上之拍爾東水車，效率約爲75—90%左右。

拍爾東水車之戽斗如第一百五十六圖所示，爲中空半橢圓體二個並列之形，中央下端有缺口，以便後來戽斗之轉動。以其柄上之孔，裝於車周，射水衝擊戽斗後，返還方向，如同圖之右側者所示，幾與來時平行而反向。噴射口先端之口徑約爲戽斗中心圓直徑之 $\frac{1}{10}$ 乃至 $\frac{1}{15}$ 者爲普通。戽斗中心圓者，由戽斗中心線至車軸中心爲半徑之

圖五十五百一第



圓也。並此圓周速度，常為射水之速之半分者，可得最大效率。

二、水輪機

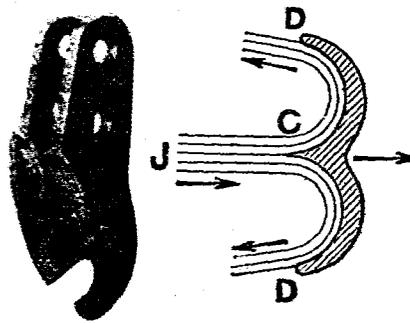
水輪機與蒸汽輪機相似，

由具許多輪葉之轉動輪 (runner) 與具許多導葉之固定輪二主要部分而成。水經導葉流向轉動輪葉，令轉動輪之軸轉動。

水輪機亦以水作用於轉動輪葉之狀態，分為衝動水輪機 (impulse water turbine) 與

反動水輪機 (reaction water turbine) 二種。前者之特徵，在水不充滿於轉動輪葉，水之能量，入輪時全部變為動能，其速即為依其落差應有之速，吐出於吐出水路上面大氣中，不備吸出管 (suction tube)。後者之特徵，在水充滿於導葉與轉動輪葉之間，水之能量，入輪時一部為壓力能，一部為動能，吐出於吐出

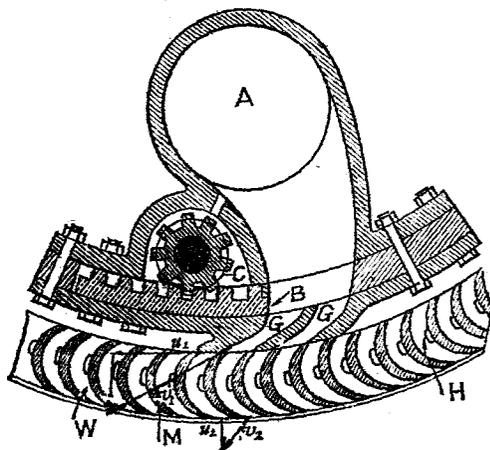
圖六十五百一第



水路水面以下，或以吸出管吸出之，其輪全浸於水中。

「一」第百五十七圖示衝動水輪機截面之一部，轉動輪裝於水平軸上，自下部內方承受水之噴射，水由管 A 入，經數導路 G, G, 彎曲而來，轉以噴射輪葉 M, 以轉外側動輪，為適應需要功率之多少，特於 G 前設水閘板 B, B 之背部設齒，與小齒輪 C 嚙合，小齒輪 C 以節速器之運動節制之。輪葉 M 之間有孔 H, 以備空氣之進出，又以動輪葉作顯著彎曲，外方出口距離，變為狹小，是以輪之橫幅，恆自內向外增加，以資補救。

圖七十五百一第



今以 Q 示每秒射水之量， w 爲其單位體積之重量，進輪葉之速度爲 V_1 ，出時爲 V_2 ，則其每秒所成之功，由其能量之減少計之，應爲

$$\frac{1}{2} \frac{w}{g} Q V_1^2 - \frac{1}{2} \frac{w}{g} Q V_2^2 = \frac{1}{2} \frac{w}{g} Q (V_1^2 - V_2^2).$$

上式以重力單位計算，故以 $\frac{w}{g}$ 爲水單位體積之質量，其動能原爲 $\frac{1}{2} m V^2$ ，此處之 m ，即單位體積之質量乘全流量 Q ，即 $\frac{w}{g} Q$ 也。故其功率之馬力數

$$\text{H.P.} = \frac{1}{2} \frac{w}{g} Q (V_1^2 - V_2^2) / 550.$$

但其入輪之初所具能量原爲 $\frac{1}{2} \frac{w}{g} Q V_1^2$ ，故其效率

$$e = \frac{1}{2} \frac{w}{g} Q (V_1^2 - V_2^2) / \frac{1}{2} \frac{w}{g} Q V_1^2 = \frac{V_1^2 - V_2^2}{V_1^2}.$$

實際 e 值約爲 80% 內外。

□□ 反動水輪機以如第百五十八圖所示之骨組而成者有之。輪 A 裝於軸 B，水自 C 流下，至導葉 D，循其面而曲，殆變以切線方向，進入動輪輪葉中。動輪輪葉迎合進入之流水，殆令爲輻射狀吐出，並令出水有極小之絕對速度。爲

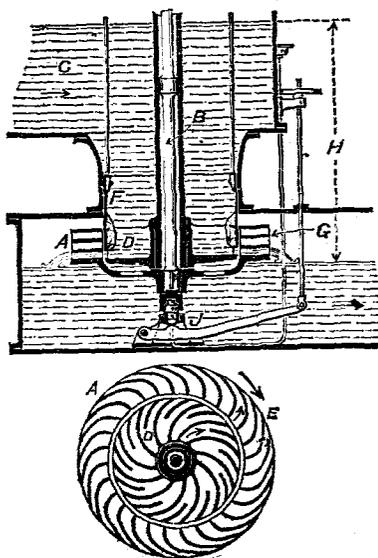
適應功率之大小，絞變水量，常為減退效率之因。故本圖之水輪機，以水平板G劃為三段，猶如三個各別設備之水輪機，將中空圓筒F裝如水閘，依其上下運動，使三段中一段、二段或三段工作。導葉及動輪輪葉如平面圖所示均彎曲，輪A向矢E之方向轉動。樞軸承J，頗難裝置，而

於沈澱物沙等存在處尤甚，常以堅硬木材製之，可以水為潤滑料也。

三、水壓力機

水壓力機謂依水之壓力作用，起往復動，更變為轉動之水力原動機也。可視為往復蒸汽機之變形，第改蒸汽而用有壓力之水耳。故需

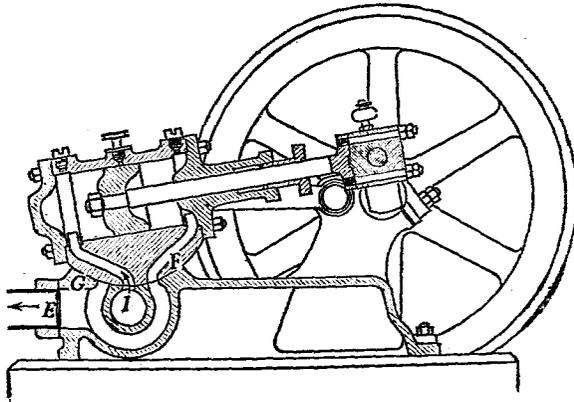
圖八十五百一第



要壓力原管 (Pressure main) 或水唧筒，俾可接受有壓力之水。

下圖示什密特 (Schmid) 水壓機之截面。此機為滾筒式 (oscillating cylinder type) 機筒下之凸圓筒面 F，安放在凹圓筒面之臺 G 上滾動。其處具一水口，依凸圓筒面在其上之左右滾動，將此二水口，適時開向進水管 I 或出水管 E，並關閉之。恰如蒸汽機中滑動活門導引蒸汽之作用，以接受有壓力之水推動活塞，並用後排出之。圖示之位置，乃由中央之進水管進水，推活塞向前，而其在右側之水，循 E 而去之時也。其機筒兩側設軸，

圖 九 十 五 百 一 第



爲其滾動中心支之。而機筒之所以能滾動，由於其中活塞之往復動，令曲柄栓在曲柄軸周圍轉動使然，無待言也。

問題

- (一) 內燃機之熱效率，常優於外燃機者，其主要原因何在？
- (二) 鐵路機車如改裝內燃機，則較用蒸汽機者之利害何如？
- (三) 內燃機亦有劣於外燃機之點否？試言之。
- (四) 煤氣發生爐，何以須有一定高度？
- (五) 現在使用汽油爲燃料之汽車，多改用木炭煤氣代汽油，其煤氣管應接於何處？而機筒內常致不潔者何故？
- (六) 試略述狄賽爾機主要部分之構造。
- (七) 某內燃機以克拉克循環轉動，試以意想繪示其機筒中之器示壓容圖。
- (八) 普林達油機或稱半狄賽爾機 (semi-Diesel engine) 何意？

(九) 水力機較熱機之優點與劣點何如?

(十) 某水車之實際馬力為 28, 效率為 $\frac{1}{3}$, 若水之總計落差為 20 呎時, 問其所要水量, 每分間應為幾立方呎?

(十一) 有直徑 2 呎之拍爾東水車, 其噴射口閉時之壓力, 在每平方吋為 200 磅, 噴射口開時之流量, 每分間為 100 立方呎, 今以令水車每分鐘轉 600 回, 問該水車之最大馬力如何?

第六章 普通應用機械

第一節 運搬機

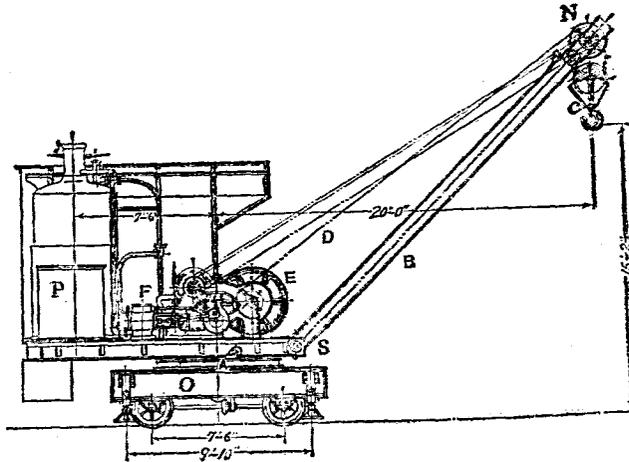
一、起重機 搬運重物於短距離之上下與左右之機械，統稱為起重機 (crane)。起重機由垂直引上貨物之捲昇裝置，懸垂其所引貨物之擎腕，與能將其腕作水平轉動之轉軸而成。其捲昇貨物及轉動腕軸之力，多藉機器之作用也。

第一百六十圖示移動式起重機。圖中 A 為轉軸，起重機由以裝於可移動之車台 O 上。B 為擎腕，能以 S 為軸，上下轉動，置其他端於適當之高。C 為引掛重物之懸鉤，D 為拉引懸鉤之繩，跨過擎腕上端所裝繩輪 N 上。E 為捲昇裝置，即將懸鉤之繩捲於其一側軸上。捲則引貨物上昇，解則下降。而捲解均藉蒸汽

機 F 之曲柄軸之順轉或逆轉 P 爲汽鍋，供給蒸汽於蒸汽機。如欲起卸貨物，先由車台 O 載至適當地方，轉 A 軸使擎腕向貨物一側，放下拉繩及鉤，吊貨物後由蒸汽機捲昇之，再轉轉軸，至應卸放處，卸下可矣。

汽船所載貨物，由碼頭裝置之起重機，或由汽船自身附裝之起重機裝卸，固爲讀者所習見。以其裝於一定位置，常與上述者區別，稱固定式起重機。

圖 十 六 百 一 第



有於工廠屋內之高處兩側設軌條，中架鐵橋，可以電動力令進退於軌條上，而於鐵橋上，更設可自一端移向他端之移動捲昇器，由捲昇器以上下貨物，令循鐵橋左右移，更由鐵橋循兩側軌條前後移，遂使貨物可運至工廠內任何場所，謂之工廠移動式起重機。造船廠常裝此式者於戶外用之。

起重機擎腕一端之繩輪，如製為輪軸式，以汽機捲其輪上之繩，而以其軸上者吊重物，則其所能捲昇之重量更大。

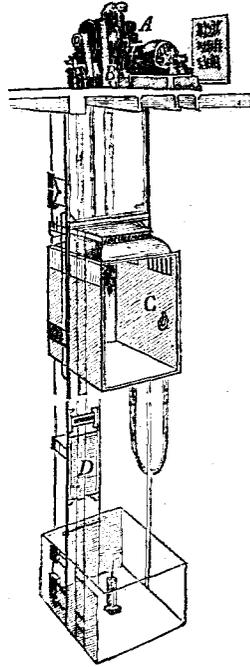
起重機之大者，可以起重二百噸以上。

二、昇降機 縱貫高層建築，設直線通路，於其通路中，設一種依動力可以上下之運搬機，謂之昇降機 (elevator)。其動力源為外燃機、內燃機、水壓力機、電機等，而以電機為最多。

第百六十一圖示以電動機牽引昇降機之構造大體。電動機 A 設於建築物之最上層，具直結於機軸之捲胴，胴上纏捲鋼繩 B，繩端吊昇降室 C (cab)。

依電動機之轉動，此鋼繩或捲或解。捲時引昇降室上昇，解時令其下降。電動機與昇降室常為電的連絡，昇降室中備電開關，可以斷續電流。普通於昇降室之

圖一十六百一第



閉時，始通電流，開時即斷，不能昇降，以防危險。

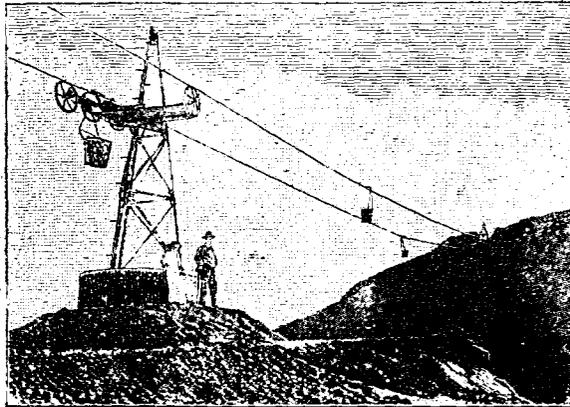
隨着工業之發達，人口漸於集中都市。於是都市以地區狹隘，不能橫向水
平發展，只好縱向為高層建築。既為高層建築，自不能以人力上下，非藉昇降機
除此困難不可。高層建築之發達，實賴有此昇降機也。美國多高層建築，美人稱
高層與平地同高，最足形容昇降機之效用。

鑛山用昇降機與此同理，主爲運搬鑛物耳。其操縱不在昇降室，而在原動機處。今日之鑛山，往往掘穿地下數百呎乃至千尺左右，欲其採掘之鑛物，運至地表，到底非人力所可能，猶之運大量貨物於遠距離之地，故鑛山之昇降機，恰與地表汽車、汽船之作用相似。

三、索道 於嶮山幽谷之境，欲

多次運搬貨物於兩地，而其通徑間障礙物多時，非用索道不可。索道或稱索道運搬機，其形如第百六十二圖所示，於出貨，受貨兩地點間，繞以架空鐵索如環，依機器旋轉之。若圖中者二鐵索

第一百六十二圖



二鐵索，其操縱不在昇降室，而在原動

互爲反向繼續其進行，兩地點距離過大處，則於適當間隔，置支柱擊出繩輪支之，自出貨所裝貨入運搬器中，掛向受貨所之索，受貨所於受貨後，復將空運搬器掛另一側向出貨所之索，送反原處。

索道之長普通爲三哩乃至五哩，在長距離處，聯結幾條索道如鎖鏈行之，支柱多設爲百呎乃至三百呎之間隔，其高依地形而定，其材料爲木材或鐵塔。然索道不僅用於嶮山幽谷之間，即港灣，工場，河川等處，常於不絕運搬貨物處用之。

第二節 唧筒

逆流體（氣體或液體）之重力與其他抵抗力而使流動之機械，統稱爲唧筒（pump），可謂流體之運搬機，其運搬空氣者稱空氣唧筒（air pump），運搬水者，稱水唧筒（water pump），下列各種爲普通使用之物，其作用對氣體，

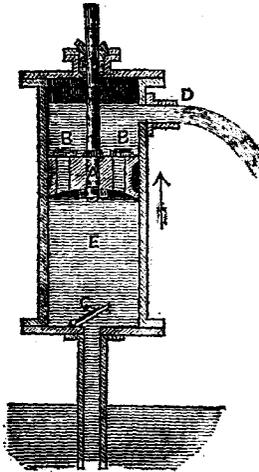
液體極少不同之處，故綜合言之。

一、往復運動唧筒

往復運動唧筒 (reciprocating pump) 如第百六

十三圖所示之抽水機爲其最普通型式。圖中活塞 A，假定自圓筒最下端向上引提，以圓筒中 E 部生真空故，唧筒外之水，受大氣壓力，自向上壓開吸入活門 (suction valve) C 而入。迨活塞下降，C 受壓而閉，E 中之水，未有出處，只得打開其上向之吐出活門 (discharge valve) B，出於活塞上方，排向 D 口。如斯以活塞上下反覆行之，水自源源向 D 流出矣。但以其入 C 之水，由於大氣壓力，而大氣壓力只能壓水至 32 呎左右之高，故 C 下之管高離水面在上數以上者，即不能用。一般都用以汲離地面深至 20 呎

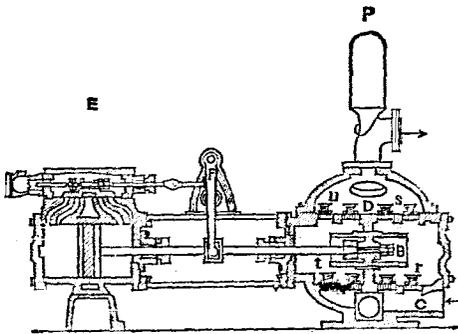
圖三十六百一第



左右之井水，其活塞之運動，多以人力行之。

第百六十四圖所示，為著名華盛頓唧筒 (Washington pump) 之構造，乃以壓力加於液體使其移動之唧筒也。左方之裝置 E 為蒸汽機，其活塞與右方唧筒之活塞 B 同桿。左者藉蒸汽之力為往復運動，即令右者為同樣運動，而唧筒以 D 為隔壁，別為左右二區，當其活塞向右進時，右區之空間縮小，吸入活門 r 被壓而閉，吐出活門 s 被壓而開，液體遂由以進入送出管矣。斯時左區以空間變大，吐出活門 u 受其背之水壓而閉，吸入活門 t 遂開，吸入由 c 而來之水。然當其活塞向左進時，則其動作可由上理推得為前者之反，即由右區吸

圖四十六百一第



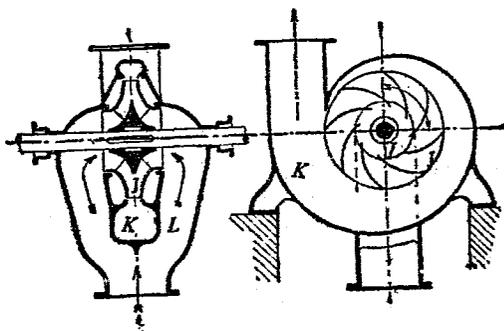
水。左區出水。既藉蒸汽機之力，故其出水量可以增加。常用以壓透汽鍋中之給水。

P 爲中空之空氣壓縮室，原貯空氣於其中，當由 s 或 u 進水之時被壓縮，然在不進水或進水少時，此壓縮空氣仍將水壓出管中，是以具此壓縮室之唧筒，出水繼續不絕，否則未免間斷，或時有多少也。

三、離心蝸轉唧筒 離心蝸卷唧筒

(centrifugal pump) 大體之構造如第百六十五圖所示，於高速度轉動軸上裝葉輪 (impeller) J，自其中心周圍吸入口 L 吸入之水，在輪葉內轉動中，以其離心力向外方飛躍，又被

圖五十六百一第



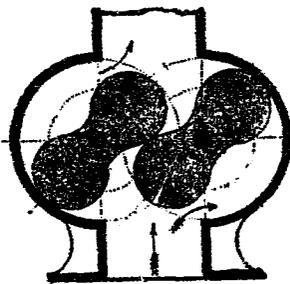
周圍渦形室 K 所制限，於是只得向左側水管上昇而排出於高處，以其外爲渦卷形，又以水於其中作蝸卷形流動，故稱離心蝸卷唧筒。

現在供實用之離心蝸卷唧筒，分爲二種。一爲轉動葉輪之外，單爲螺旋狀室者，如上圖所示之物。一爲由上述輪葉之外再加一周導葉，導水之流向，前者用於汲程低處，後者用於汲程高處。

四、旋轉唧筒 旋轉唧筒 (rotary pump) 由以轉動體爲主要部，移動

流體之機械也。如第百六十六圖所示，是其一種。圖中示二個瓢形活塞 A 、 B ，如矢之向，由其他原動機，令以同一角速度相向轉動。因 C 處之一線接觸，分唧筒內部爲二區，下區如圖所示，正以活塞轉動變大，故能吸入液體，而上區因以縮小，故能壓出流體。如斯反覆行之，即成唧筒之作用矣。

圖六十六百一第



三四兩者，用作空氣唧筒時即爲扇風機，用作水唧筒時即爲抽水機。唧筒之爲用，不特普通汲水扇風而已，火災之預防撲滅，亦其小焉者也。工業上如大礦山之底，直下數百尺，坑內各處，無不湧水，若無抽水機晝夜不斷之活動，則坑內險爲湖水所淹，若無扇風機之通風，工人亦曷能須臾工作也。

第三節 交通機

一、機車 昔日陸地交通機，不過牛車、馬車、人力車等，日行七八十里或百里而已，方之今日之火車、汽車、電車，既可容巨量之人數，復能日行千里，誠非昔人所能想像也。茲特說明陸地交通機之一種機車 (Locomotive) 如下。

第百六十七圖所示機車中，B爲火管式汽鍋，自燃燒室J內燃料生成之焰，通過此火管，經煙囪E而排出大氣，於是將B中管外之水燒熱，化爲高壓蒸汽，由E側之管F，入蒸汽機，推動活塞C爲往復動，藉連桿I，轉動後輪M及K，俾

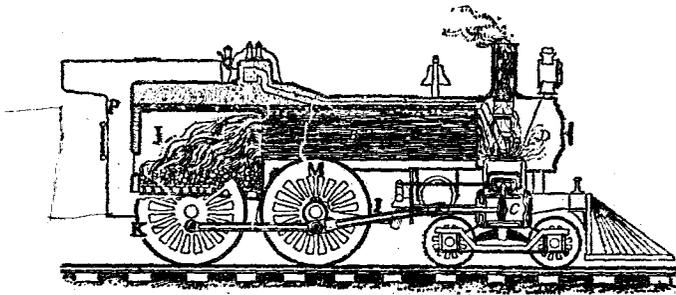
其本身前進於鐵軌上，P則爲司機室。

接連若干輛客車於機車，以行駛鐵軌上者，謂之列車。列車之速度，主由於機車牽引之力量。普通者牽引 300 噸內外，可以一時間行駛 20 英里。快車有時牽引力爲 300 噸內外，每時間行駛 50 英里。美國有以同樣牽引力，每時間行駛至 75 英里之多。

車路鐵軌之間隔，在 4 呎 8 吋半以上者稱闊軌鐵道，其以下者稱狹軌鐵道。吾國鐵道多爲闊軌，惟正太鐵路狹軌而已。輕便鐵道軌條之間隔，概爲 2 呎 9 吋或 2 呎 6 吋也。

軌條之大，以其長一碼之重表之。歐美諸國

第一六七圖



者爲80磅乃至100磅，日本者爲60磅，輕便鐵道用者爲10磅乃至20磅。

然蒸汽機車之外，尙有電機車，卽於鐵道之上架空線作爲電導設備，以駕駛電機車，所謂電化鐵道也。

二、汽船 海面之交通機，昔爲帆船，今爲汽船（Steamer）帆船藉風力

作用於帆，或人力之搖櫓，拉船前進，汽船則藉

所謂推進器（propeller）轉動於水中，受水之

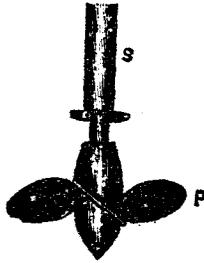
反作用而前進，轉動推進器者爲各種原動機

之力無待言也，推進器之形狀如第百六十八

圖所示，爲青銅或鋼製，具二枚，三枚或四枚之

葉P，其葉面，原各爲普通螺旋面之一部，卽將普通螺旋面，削去一部分，特留此輪葉耳，其在水中轉動，猶之普通螺旋在木材或金屬中轉動，螺旋在固體中每一轉動，卽進入一螺距，推進器在水中亦如之，每一轉動，自亦劈水前進，不過以

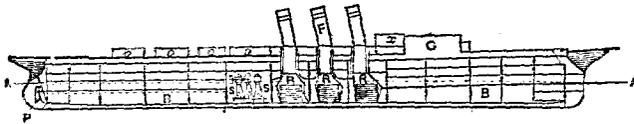
第一百六十八圖



水爲流體，不得準確前進一螺距，並須藉原動機之力急速轉動，方見效果耳。

汽船之構造略如第百六十九圖所示，其下底具龍骨，自舳至艫，貫通船底中央，於龍骨上植許多橫梁架構，以成船之骨格，骨格之材料概爲鋼，普通於其外側包鋼板，中立船桅，船尾裝舵與推進器，舵以與船身之垂直線爲軸，可以如扉左右動，舵向左，則船後逝水衝之向右，俾船首向左，故舵向右時，船首亦向右，卽以決定船體之進行方向，而司此動作者，在船頭甲板上之操舵機，操舵機與舵，以長軸與齒輪組合相連結。

圖 九 十 六 百 一 第



- | | | |
|---------|--------|--------|
| AA. 吃水線 | X. 船長室 | S. 原動機 |
| B. 船殼 | F. 煙囪 | R. 汽缸 |
| C. 舵機 | O. 船室 | P. 推進器 |

原動機，S 裝於中央船底近處，依以轉動者爲長大之推進軸，貫船尾出水，在其先端裝推進器 P。小汽船雖只推進器一個，大汽船則有於左右備二個或四個者。

汽船最必要之能力在搭載量、航續力及速力三者。搭載量、航續力二者，大體由船體之大而定。速力則依船之形狀、大小、重量及原動機之功率等關係而定。

量船舶之大，以噸爲單位。量其速，以海里爲單位。噸表容積，在英美以 100 立方英尺爲一噸，歐洲大陸諸國以 1000 立方米爲一噸。軍艦之排水噸，則與此異，謂其重量也。

近來增大船體，加快速率爲海運界一般之傾向。重疊數層至十層以上之甲板中，具有船客船員等之起臥必要設備，無論矣。更有設大規模之運動場、游泳池、植物園、俱樂部、圖書館、音樂堂、市場等，爲慰安資料，雖凌碧海萬里之波，令

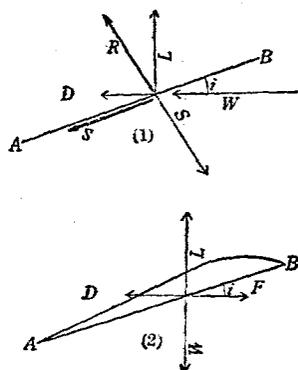
有逍遙市內之感。

三、飛機

見飛鳥之回翔，而興凌空御風之想，幾為人類共同之欲望。德人鄂圖李利恩達爾(Otto Lilienthal)於一八七四年，始以四分一馬力之蒸汽機裝於其鼓翼機上，試行飛翔。當時雖未見成功，而近四十年來經科學家及製造廠之努力，遂蔚然具今日飛機(aeroplane)之大觀矣。

飛機所以能飛昇之理，可惜紙鳶之例說明之。第百七十圖之上圖示紙鳶飛昇之理。當風力 W 作用於紙鳶 A B 時，其力可分解為沿紙鳶面之 S ，及與之垂直之 R 二力。沿鳶面者，於鳶無作用，而 R 可再分為水平之曳力 D 與昇力 L 。 S 乃示曳引鳶繩之力，此力自亦可分為向右之水平力與向下之沿直力。今向下者如

圖十七百一第



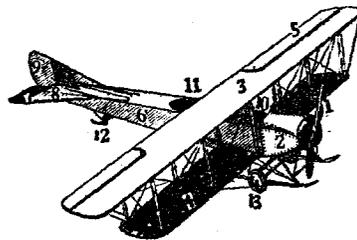
飛機所以能飛昇之理，可惜紙鳶之例說明之。第百七十圖之上圖示紙鳶

比 L 小，則爲上昇，否則不動或下降，又向右水平力比 D 小，則爲後退，否則不動或前進，其理甚明。飛機亦如之。惟飛機不藉自然之風飛行，因自然之風無定向，並時有強弱，而飛機須向一定目的，以一定速度飛行也。飛機以其所裝原動機之功率，急速轉動其前首之推進器，其推進器如長翅爲木製，仍如用於船舶者爲普通螺旋之一部，當其轉動於空氣中，即向空中前進，亦即拉飛機前進，於是以前對空氣運動之故，自有迎面之風，作用於相當 $A B$ 之機翼，（第七十圖之下圖）分解爲上昇力 L 及後向曳力 D 。倘其曳向前面之力 F 比 D 大，則飛機前進，又若上昇力 L 比其重量 W 大時，飛機遂上昇矣。欲 F 之大，自然須增加原動機之功率，同時上昇力亦可增加。

第七十一圖示飛機之大體構造。圖中 1 爲推進器，2 爲裝原動機處，3 爲上翼，4 爲下翼，5 爲補助翼，以與主翼相接處爲軸，可以轉動，若令下向，則阻迎面之風，遂使風將機首昂起向上，6 爲機胸，7 爲昇降舵，靠水平安定板 8 之

邊結軸轉動。當7下向，則當前面之風，令機尾向上而下降；反之，7上向，則當上面之風，令機尾向下而上昇矣。9爲方向舵，裝軸於與其前面之垂直安定板14上，可左右動，如船舶之舵，令飛機左右向。10爲飛機師席，開動原動機後，以拉線司各舵及補助翼等處之動作。11爲客座，12爲尾橈，爲避免着陸之衝擊，用以緩和降下之惰性也。13爲滑走用車輪，在飛機初欲上昇，推進未得充分轉動時，依以爲地上滑走用之車輪也。

圖 一 十 七 百 一 第



飛機之原動機，多爲汽油機。經近代研究金屬材料之結果，可以極輕之原動機，發生巨大之功率，實爲飛機發達之原因也。

飛機之爲空中交通機者，早已脫却舊時之一人乘，二人乘，乃至於十人乘之小型機，而變爲巨型機矣。現在以德國多爾納爾 (Dornier) 廠製之 D. 5. Y.

號水上飛機即飛行艇爲最大。其高9米，長40米，寬48米，翼面積420平方米，500馬力之原動機12台，合計爲6000馬力，分上甲板、中甲板、下甲板三層，下甲板裝燃料、貨物、預備品等，中甲板爲主甲板，設交際室、居室等，上甲板供乘組員之用，最前方爲飛機師，次爲航空士，次爲機器室，司機者居以統御十二台之原動機，其他無線電室、補助機等均有設備。

飛機航程之最高紀錄，約爲8000公里，爲赤道周圍之五分之一，可以一蹴而既。飛機航續時間之最高紀錄爲3:33時間，即繼續航行23日以上，其間空中補給用飛機，常與之設法聯結，供給所需要燃料及其他物品，飛機師自然亦交換休養，惟原動機作不斷轉動耳。其無燃料補給之航續時間記錄，最近爲65時間，又1¹/₂高度之記錄爲12740米，其處氣溫約爲-57°C，氣壓僅爲地上者之1¹/₅。獲得此記錄者之飛機師先以電爲充分保溫，自5000米高起，開始吸入氧氣，正彷徨於不省人事之境，成功此記錄者也。速度之記錄最近爲每時間576

公里，爲聲波速度半分以上，惟此不過在三公里短航程中得之，若爲長距離航行，普通爲其 $\frac{1}{3}$ ，即每時間300公里左右耳。

飛機依其使用目的，分爲競技機、商用機、軍用機等，又以翼之數，分爲單翼、複翼等。

然近來有於飛機胴體上方裝如推進器之翼之自轉翼飛機 (autogyro)，可於狹隘處上下，無須廣大飛行場，將來當發展至如公共汽車，可爲近距離間之交通機。

第四節 製造機

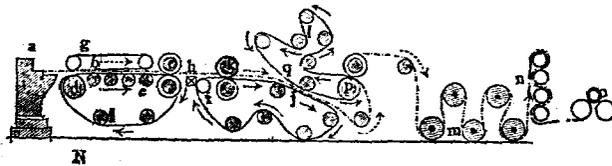
一、造紙機

紙以破布、蘆竹、木材、蘆葦、桑皮、廢紙等爲原料，初經適當方法碎爲細纖維，次加洗滌漂白，後作成紙漿 (pulp)。紙漿再經碎解，與諸黏料、填料、色料等調合，乃移送於漿桶 (stitcher) 攪和之，使調合物不致分離沉降，並

令有一定濃度。於是始送向造紙機製造之。茲爲易於領悟計，先就第百七十二圖之造紙機說明圖說明之。

第百七十二圖所示爲長網式造紙機 (Fourdrinier paper machine) 圖中鎖線與其附近之矢，示紙層之進行方向，分爲濕部與乾燥部，而濕部更分爲澆網部與壓搾部。精選後之全紙料，自流送箱 a，經胸圍 (apron) 成液層流於向右循環無端之銅絲網即澆網 b 上，以構成紙層。b 由胸滾子 d，越案滾子 e，並經伏滾子 c，滾子 f，藉伏滾子之轉動而循環。紙層中水分，於向右方

圖 二 十 七 百 一 第



- | | | | |
|--------|----------|------------|---------|
| a. 流送箱 | e. 案滾子 | i. 修面滾子 | m. 乾燥圓筒 |
| b. 澆網 | f. 銅絲網滾子 | j. q. 毛氈 | n. 研光機 |
| c. 伏滾子 | g. 定邊橡條 | k. p. 壓搾滾子 | o. 捲取機 |
| d. 胸滾子 | h. 吸水匣 | l. 滾子 | |

進行中，通過網眼而漏下不少。g 爲定邊橡條，以定紙邊。胸滾子下有架，以特殊機構，使向左右振動，以助紙料中纖維之交纏。h 爲吸水匣 (suction)，內與抽氣機相聯，預吸匣中空氣，俾水漏入，令紙減少水分。然尙含 80—85% 之水分。i 爲修面滾子，乃一中空圓筒，周圍張銅絲網，輕壓於紙層之上，其目的在使紙面勻整，或施水印於紙上時用之。以上爲漉網部。

紙層離漉網部後，移於毛氈 j、q 之間，經一對 k、p 壓榨滾子之轉動壓榨，失其一部分水分，約 30%，同時紙面變爲平滑。毛氈在各滾子 l 上緊張轉動，卽以吸取水分。以上爲壓榨部。

出壓榨部之紙層，水分尙多，使入更右之乾燥部蒸發之。乾燥部由多數之乾燥圓筒 m 而成，m 內部通蒸汽，其周圍掛毛氈，夾紙層於 m 與毛氈間使緊接於圓筒上乾燥之，其時紙只含水量 7% 左右矣。以上爲乾燥部。

由乾燥圓筒之紙，普通再經研光而捲取之。圖中之 n 卽研光機 (calender)。

也。研光機係冷鋼鑄成之重疊多數滾子，由最下層滾子之轉動，令在其上者由摩擦隨之而轉。紙自頂上之滾子，順次移行下方，其間受滾子之壓力，表面變為平滑而發亮。其有在乾燥部過於乾燥，先用潤濕機潤其紙面，然後上研光機者有之。斯時宜通蒸汽於研光機內部加熱，則紙面所研成之光特強。

經研光之紙，或先以縱斷機 (slitter knife) 縱斷之，後導至捲取機 (reel)，將紙捲緊，或研光後即捲取之。至此造紙之工完矣。

二、造冰機 利用液體之氣化熱，以得低溫，俾人力造冰之裝置，謂之造冰機。其所利用之液體，有氮與二氧化硫二種，而以利用氮者為多。

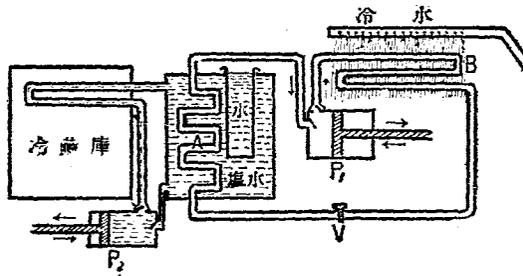
第百七三圖示普通造冰機之要部。圖中 P_1 為壓縮唧筒，壓氮進入 B 管，在 B 以冷水冷却之，使液化，以其既受高壓，並遇溫度之降低也。既經液化之氮，集於 V 之活門附近。但以 P_1 之吸入動程中，管 A 內之氣體（即氮）原被吸去，降為低壓，今一開 V 門，其右側氮之液體，遂急激向其中蒸發。蒸發中吸取周圍之熱，

氮自身之溫度，因以降低，而所通過管 A 部之溫度，亦自相從而低。A 管周圍，貯有食鹽水，當 P₁ 唧筒之動作，反覆不已，氮常被壓縮於 B，被蒸發於 A，其受壓縮所得之熱，由冷水接受以去，而蒸發需要之熱，由 A 管周圍食鹽水取來，食鹽水因此常降至 1-10°C 左右，茲於此鹽水中放置貯淨水之鐵函，此淨水即自降低溫度，普通約二晝夜，可完全結冰矣。使用之氮，由 A 經 P₁ 入 B，復自 B 經 V 入 A，循環無已，可觀圖自明。

由以上所得低溫之食鹽水，依唧筒 P₂ 導向圖中左側冷藏庫上部時，其室內空氣常被冷卻至 0°C 以下，適於貯藏魚、肉類與蠶種等。

欲人造冰之整潔透明，常對淨水有攪拌裝置，冰之所以不透明者，以其分

圖 三 十 七 百 一 第



子間介有多量空氣或不純物也。是以雖經濾過之淨水，仍須搖動，俾易排出介在之空氣。

冰函之大，以貯 300 乃至 400 磅之水者爲普通。凍結之冰，由移動起重機之提冰機，先連函提出，運至融冰槽中暫浸之後，接近於函之冰，即冰塊之周圍一層，自先受熱融解，於是與函脫離，另以脫冰器脫出，送向市場。

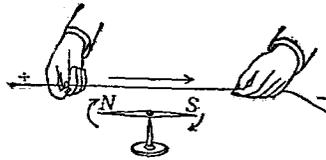
人造冰之利用，不特冷藏而已，釀造工業、藥品工業、醫療上、油類之分離精製等處多用之。

第五節 電機

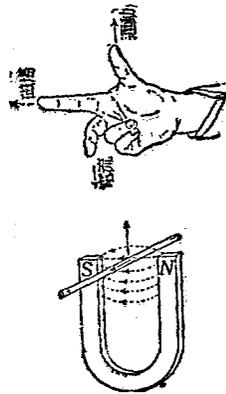
一、原理 自一八二〇年丹麥物理學家奧斯特(Oersted)初發見導線中電流及於磁針之磁效，如第一百七十四圖所示，引起世人之驚異，爲第一次尋出電磁間之關係。電流既止，磁效亦失，謂爲電磁感應。關於電磁感應，英國物理

學者佛來銘 (Fleming) 經研究實驗結果, 定出右手定則與左手定則如下:

圖四十七百一第



圖五十七百一第



「一」右手定則謂將右手之拇指、中指、食指互為直角方向伸開, 如食指指磁場之方向, 拇指指導線之運動方向, 則應電流 (induced current) 生於中指所指之方向。

磁場者, 兩異性磁極 N 與 S 所及於其周圍之磁效區域也, 常以磁力線示

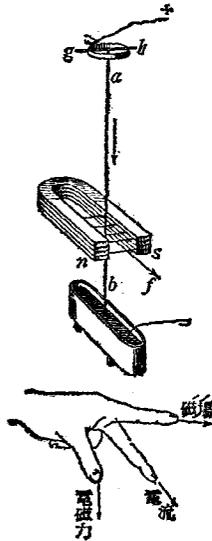
之，磁場強者磁力線密，弱者則疏。上述電流之發生，可謂之導線切截磁力線之效果。電流之所以發生，由於導線上兩點間電動勢 (electromotive force) 或稱 $E.M.F.$ 之相差，故當導線切截磁力線時，導線中生有 $E.M.F.$ 之相差。其電流或 $E.M.F.$ 之大小，比例於單位時間內切截磁力線之多少，亦由實驗證明矣。

□□左手定則謂將左手之食指、中指、與拇指互為直角張開，以食指指磁場之方向，中指指電流之方向，則導線動向拇指所指之方向。

其使導線運動之力，

比例於磁場與電流之強度，亦曾由實驗得之。

第一百七十六圖



電機 (electric machine) 分為發電機 (dynamo) 與電動機 (motor) 二

種發電機乃根據佛來銘右手定則，以原動機令導線在磁場內運動，於其中發生電流之機械也。電動機乃根據佛來銘左手定則，通電流於磁場內之導線中，俾導線運動者也。分述之如下。

一、發電機 發電機更分爲直流發電機 (direct current dynamo) 與

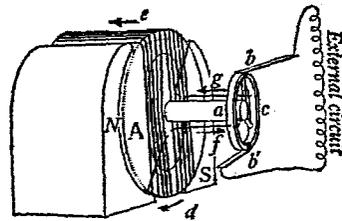
交流發電機 (alternating current dynamo) 二種。直流者所生電流方向，在一定方向流動，交流者所生電流方向，交互而變者也。

〔一〕直流發電機 如第百七十七圖所示，N、S 爲場磁鐵 (field magnet) 之兩極，A 爲電樞 (armature)，導線捲於其上，a、c 爲整流器 (commutator)，b、b' 爲刷 (brush)。當電樞依原動機作如矢 d 之方向轉動時，照佛來銘之右手定則，所捲導線中發生電流必如矢 e 所示方向流動，即將由捲線之一端 f 出，由其他端 g 入。而 a、c 原爲金屬兩半環，中間不通電流之絕緣體。刷 b 如圖所示，正附着於 a，而 b' 正附着於 c，故向外線之電流，先自 f 所接着之 a，

經 b 而出，再返由 b' 經 c 與其接着之 g 而入。然當電樞與整流器續轉過 180° 時， f 換入 g 之位置， g 已轉於 f 之位置，其結果電流將由 f 入而 g 出，即電樞上捲線中之電流適反其方向矣，但 b 該時在其位置正附着於與 g 接着之半環 c 上，而 b' 附於與 f 接着之半環 a 上，故電流仍由 b 出，由 b' 入，即於外線中電流未嘗變其方向，因以所發生電流稱為直流，其電機稱為直流發電機。

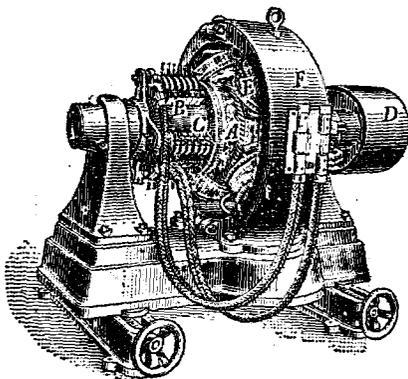
電機之電樞如上所述為鼓形者，稱鼓形電樞 (drum armature)，亦有為環形者，稱環形電樞 (ring armature)。又上述之場磁鐵僅有 N, S 二極，亦有 N, S 相間為多極者，其發電之理相同，第七十八圖所示，即為四極直流發電機之外形。圖中 E 為場磁鐵， A 為電樞， B 為刷， C 為整流器， D 為帶輪，以掛皮帶與原動

第一七十七圖

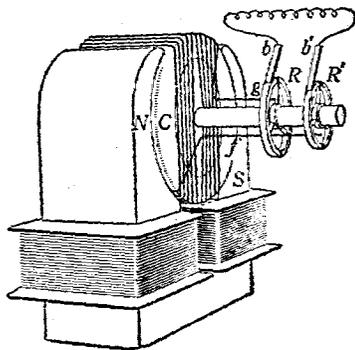


機相聯，所以令電樞轉動者也。F 爲支持場磁鐵之座耳。

圖八十七百一第



圖九十七百一第



□ □ 交流發電機 交流發電機如百七十九圖所示，一切構造幾盡與直流發電機相同，惟無整流器，而代以 R、R' 二環，當電樞與二環共轉動中，刷 b 始終附着於與 g 端相接者之 R，而 b' 始終附着於與 f 端相接者之 R'，是以外

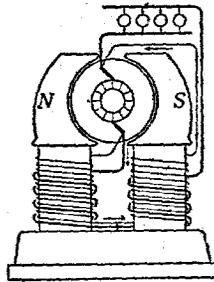
線中之電流，始終與電樞上捲線中者相同而變向。其只具 N, S 兩極者，於每轉 180° 中換向一次。場磁鐵為多極者，則於每轉過一極，換向一次。故以交流電點電燈，當其轉向之際，電燈自有忽明忽滅之理。然用多極交流發電機，電樞之轉動非常快時，換向之次數，可達每秒鐘數百回以上。電燈以如此數之明滅變化，結果為吾人之眼所不能感覺也。又若電樞上之捲線即繞組 (winding) 為二組者，自生二組之電流，三組者自生三組之電流，多組之電流相間流向外線，可以令外線之電流強弱均等。其以一組發生之電流，稱單相電流 (single phase current)，以二組或三組發生之電流，稱雙相電流 (two phase current) 或三相電流 (three phase current)。就中以三相電流最為多用，即三相交流發電機最多被採用也。交流電可藉變壓器 (transformer) 提高其電動勢或降下之，以便輸送，故較直流電流尤為多用。

電樞為與其軸成直角之薄鐵片重疊而成，於其周圍切溝，容納繞組，蓋以

電樞如爲一塊之鐵，則當其轉動於磁場中，此鐵內部亦將生成應電流，變熱而消耗電能，今作爲成層鐵心，各片間加絕緣塗料或銹，互相絕緣，決不能生成沿軸之內部電流矣。刷多爲碳製磁極，N、S原爲電磁鐵（electromagnet），即將線圈捲爲軟鐵心外，線圈中通電流時，線圈既自以發生磁性變爲磁棒，復以其中鐵心受磁化，益增強其磁力矣。第百八十圖所示之N、S即是由其線圈之所自來，分爲他激式與自激式二種。前者由其他發電機引來電線繞場磁鐵之鐵心，以激發磁性，後者則引自己發電機之外線繞鐵心成之。至於自激式復分爲分繞法（shunt winding）、串繞法（series winding）及複繞法（compound winding）

三種；自外線兩端另加分路，以激發場磁鐵者稱分繞法；即以外線一部捲繞場磁鐵以激發者稱串繞法，以外線及另加分路各繞場磁鐵以激發場磁者稱複

圖十八百一第



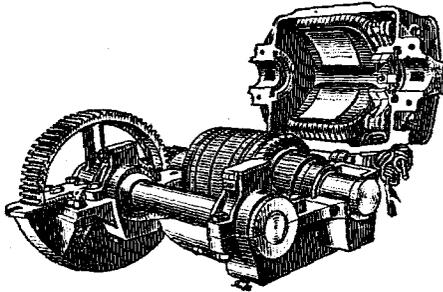
繞法。上圖所示爲復繞法。自激式發電機之場磁鐵，必須先帶磁性，方能發生電流。反覆激發以增強度。初無磁性之場磁鐵，可以其他電流預爲激發，其後雖經停止，亦可以殘留之磁，漸漸起電。

三、電動機

電動機爲接受外來電流而

轉，俾電能變爲機械能者。既如前述。依其使用直
流或交流電流，分爲直流電動機 (direct current
motor) 及交流電動機 (alternating current mo-
tor) 二種。其構造與發電機相似，今就直流發電
機圖說明之。設外來電流由圖中之 *b*，經 *g* 入電
樞繞組，依佛來銘之左手定則，電樞繞組必如時
針之反向，連同電樞轉動。而該時在電樞下方者，
以導線中電流與在上相反，必向右轉動，與在上

第一八十一圖



者相洽。電樞既經轉動，過 180° 後，關係仍如前，遂繼續轉動不止矣。倘外來之電流為交流者，同理可逆交流發電機之動作說明之。電動機場磁鐵之激發，分為分繞、串繞及複繞法三種，與在發電機條所說明者無異。電車下之電動機，大抵為直流串繞電動機，如第百八十一圖所示。

交流電動機之種類雖多，其主要者為同步電動

機 (synchronous motor) 及感應電動機 (induction

motor) 二種。其與交流發電機同構造如上所說明者

為同步電動機。感應電動機如第百八十二圖之左圖

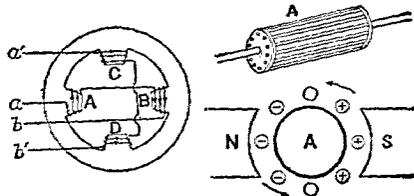
所示，譬如具四極之場磁鐵，接受外來之二相交流。

初使 A 為 N 極，B 為 S 極甚強，C 為 N 極，D 為 S 極較弱。

次使 C 為 N 極，D 為 S 極甚強，B 為 N 極，A 為 S 極較

弱。再次使 B 為 N 極，A 為 S 極甚強，D 為 N 極，C 為 S

圖二十八百一第



極較弱，如斯將，甚強之N極，自A而C，而B，而D，逐漸轉移，猶之場磁之為轉動，謂之轉動磁場 (rotating magnetic field)。今以直線之多數導線，平行於轉動軸，排為圓筒形如上圖右圖中之A，放置於場磁鐵間，當場磁轉動時，即為導線在磁場內轉動，自於其中受感生應電流，其應電流依據楞次定律，係在反對此互為關係運動之方向，於是A遂隨之轉動，成為感應電動機矣。A特稱為轉動子 (rotor)。

問題

(一) 普通應用機械甚多，本書為篇幅所限，不能多述，讀者能就自己所見，如裁縫機、紡織機等簡述其構造與作用否？

(二) 試畫一電動機簡圖而說明之。

(三) 氣球與飛船之飛昇，與飛機之航行同原理否？

(四) 書機械學淺說之後。

參考書目

中文

1. 劉仙洲：機械學（商務）
2. 王濟仁：實用力學（中華）
3. 鈕因梁：機械工程概論（商務）
4. 陳其文：機械學大意（商務）
5. 劉振華：蒸汽機 內燃機（學藝叢書）
6. 馬味仲：最新化學工業大全第十一冊（商務）
7. 王濟仁：平面立體幾何畫法（正中）

日文

1. A.R.S.：機械工學大講座
2. 淺川權八：機械之素 內燃機關

3. 田中不二：應用力學 機械製作法

4. 諸文中一：實修機械工作法

5. 中村康之助：工業讀本

英文

1. Millikan & Gale: Elements of physics.

2. Loney: Elements of statics and dynamics.

3. Low: Machine drawing and design.

4. Dunkerley: Mechanism.

5. Merriman: Strength of materials.

6. Raymond: Modern shop practice.

7. Duncan: Steam and other engines.

8. Church: Steam turbine.

9. Lind: Internal combustion engines.

中文名詞索引

一 畫

一掣動輪與三掣子

四一四

三相電流

三六 不膨脹蒸汽機

一七九

二 畫

丁頭

一五、一六

三角形動規

四

三段膨脹機

三六

二循環

一七

三速轉動齒輪

一七六、一七九

齒

一四

二循環油機

一七

上齒面

二六

內能

一四

二循環狄賽爾機

一七

小齒輪

二六

內聚力

一四

二齒桿二倍曲柄動程之裝置

一六

工作圖

一〇〇、一〇一

內爐式汽鍋

一三三、一三四、一三五、一三六

人孔

一七、一四

工場機

一七

分解圖

一〇〇、一〇一、一〇二

刀具台

一七

工作機廠

一三〇、一三三

分糲法

一三三、一三四

力矩

一六、一七

工廠用標煤

一〇六

分離砂

一〇五、一〇六、一〇七、一〇八

力之平衡

一六

不等壓輪機

一七

分子運動說

一五四

三 畫

下齒面

一六

不冷凝蒸汽機

一七

切應力

一三六、一三七、一三八、一三九

四 畫

不等壓輪機

一七

切力

一三六、一三七

切應變	充, 三	手工加工廠	一三〇	水輪機	一三〇, 一四〇, 一四一, 一四七
切力簡圖	六七	手動送風機	一三五	水壓力機	一三〇, 一四〇, 一四七, 一五〇, 一五九
切變極限強度	七	支點距離	一三	水管式蒸汽機	一三〇
反動輪機	一四一, 一五一, 一五六	支點反動力	一六	火室(箱)	一四一, 一四二, 一五〇
反動水輪機	一四四, 一四六, 一四七	日內瓦	一四	火栓	一四〇
天然煤氣	一〇九	木模	九七, 一〇四, 一〇七	火堰	一三〇
巴松斯	一八	木鏈	一四	火管式蒸汽機	一三〇, 一四〇, 一六一
巴布科克汽鍋	一四一, 一四七	木炭版	一三〇	五 畫	一六, 一七
巴松斯蒸汽輪機	一五一	木炭煤氣	一四	主軸	一六, 一七
引張極限強度	七	比熱	一四	主軸合	一三
心型	一〇四, 一〇六	水車	三, 三四, 三四, 一三四	仔瓦	六
心型箱	一〇四	水閘	一四一	仔卡	一五
心形動規	四六, 四九	水頭	一四一	仔克	五
手鉗	一八, 一九, 三三	水方機	一三三, 一四〇, 一四九	乍納公式	一四
手工加工	九七, 一〇七, 一〇八, 一三三	水面計	一七, 一四三, 一四七	他激式線圈	一四
手工加工法	一三〇, 一三六	水唧筒	一三	功	四, 六一, 六二, 一五, 二九

灰孔	一三〇、一三二	冷却裝置	三〇四、三〇五	完全彈性體	五、六
米(公尺)	五	冷縮錫物	二四、二五	完全受範性體	三
米什克	五	冷面冷凝器	一六	局部截面屬	一〇三
羽葉輪	一四	冷濃蒸汽機	一七	尾軸台	一〇六
自激式樣陶	二六	吹管	二二	希臘	一八一
自轉翼飛機	二七	吸水匣	二七	延性	二五
串總法	二八、二九	吸出管	三四	快歸運動	一
低速蒸汽機	一六	吸入活門	一五、一七	扭轉	二
低速狄賽爾機	二九	吸入動程	一五、一六、三一	扭轉角	二
位能	七、三三	吸氣活門	三三、三六、三九	扭轉力矩	二
克拉克循環	一五、一六、一七、二〇、二一	吸氣動程	三五	扭轉應變	九四
克拉克、達格爾	一五、一六	吸入發生爐	二四	把手輪	一〇四、一〇七
克羅斯佛示功器	一三	呎	四	材料之疲乏	五、六
克羅斯雷公司製小型煤汽機	二六	呎磅	四	材料強弱學	一、七
均勻	二六	完全氣體	二五	沉泥箱	一四
汽機	二五、二六	完全氣體	二五	汽車	五、三三

波義耳定律	二六、二五	非平行軸間之帶輪傳動	二〇、二七、二六、二九、三六、三三、 三四、三五、三〇
板動規	二〇	九 畫	
直流發電機	二六、二六	佛來銘	二七
直流電動機	二六	削床	二九
直交活塞曲柄	三三	厚	二六
直交複式活塞曲柄機構	二	城鎮煤氣	二六
空氣唧筒	三五、二六	威爾科克斯汽鍋	二四
空氣壓縮機	一九、三三	指示功率	一七
空氣絕熱膨脹公式	三三	指示馬力	一五、三〇
臥式汽鍋	一四	查理	一五
臥式蒸汽機	一七	查理定律	一五、一六、一五
虎克	四、五、七	柱	一七、一八
虎克定律	三、三、四	柳形組合	六
虎克式耦合子	五	洗孔鑽	一五
長網式造紙機	二七	活塞	二、二九、四、三、三、六、 一三、一五、二〇、二九、一五、二〇、 一〇、一〇
非均勻	三	飛輪	一六、一七、一七、一〇、 一〇、一〇、一〇

飛機	三、三六—三六	消音器	三〇六、三六
十 畫		消耗功	二、四
剛性係數	三	浸漆機	四
原動機	三、三三—三三九、三三三、三三	紙漿	三〇
展性	二六	紡織機	三、四
座金	三	索道	三三—三五
恩特維恩泰爾齒連	三	胸圍	三七
扇風機	二、二二、三三、三〇、二四、二六	船	三、七、九、三三
振桿	一九	能量不滅原理	七、九
格果姆製之鐘	三	起重機	二、三二—三三
格果姆筒形擒縱輪	三	迴轉半徑	九
樁	二五、三〇、三三、四一、四三、五七、六二、六九	逆轉機	一九
氣機	三、九、二四、二〇、二〇、三〇	針灸活門	三〇
浮子	二四—二九	馬力	五
氣體	一五—一九	馬尼刺織雅	四
	三〇	高速蒸汽機	一六
		高速狄賽爾機	三〇六、三六
		十一 畫	
		乾煤室	三〇九、二一
		偏心板	三、三
		偏心輪	二六、三六
		側軸	三三
		副產煤氣	三〇九
		動船	六、三三、四四、六六、一五
		動規	四—五、一〇、三三
		動程	一七、二〇、二〇〇
		動滑輪	一五、六
		喉片	三六、三六
		基線	九
		密度	三
		帶輪	一五、二五、三六、三六、三六、三六
			二六、二六

張壓力	球軸承	閉帶式	三
張應變	球殼接頭	陸用狄賽爾機	三三
得拉發爾	累諾公式	階級輪	元
得拉發爾式蒸汽輪機	粗油	十二畫	
捲取機	組合輪機	傘齒輪	三〇、三三、三六、三六、三六
排水器	船用蒸汽機	傘齒輪之順逆轉組合	三
排氣活門	船用狄賽爾機	啮合子	三三
排氣動程	荷重安全活門	單切鏈	二三
推進機	設計圖	單相電流	三六一
斜面	通風力	單式蒸汽機	一六、一六
旋轉唧筒	通氣針	單式狄賽爾機	三四〇
朗金	通氣錐	單動式蒸汽機	一七
朗金公式	造冰機	唧筒	二五、二六一
梁	造紙機	唧筒用蒸汽機	一五
清水栓	連桿	場磁鐵	二七、二五
液體燃料		復點	一六、三〇

循環	一六、三三	發生煤氣裝置	三〇八—三〇四	軸	一五、一六、三〇、三三、三九、三三、三三、三三、
犁子	四、四、四	發電機用蒸汽機	一七	軸孔	九、一九
犁掌	四	着火器	一九、一五	軸承	五、五、三、三
犁動輪	四	着火裝置	三〇四—三〇六、二六	鄧圖循環	一九—一九、一九、三〇、
換向犁動輪	四—四	着火調時器	一七	鄧圖、尼科拉斯	一六
提鈎	一七	視點	一七	鄧圖、李利恩達爾	二六
普通水車	二四—二四	等壓輪機	一九、一九	開帶式	三六
替鏈	二六、二九	筒形耦合子	一四	關閉活門	三六
減摩輪	五	筒形攪縱輪	一四	間隙	三六
減摩帶輪	五	給水管	一七、一七	間隙	三六
焦耳	六	給水唧筒	一四七—一四	間止輪	四、四
焦耳	六	絞盤	一五—一六	間歇齒輪	三、三
焦煤煤氣	六、一四、一五	絕對溫度	一五	雜螺旋機	二五—二六
無煙煤	一〇	華盛頓唧筒	二五	十三畫	
發電機	二七、二六、二五	普林達油機	三四	傳動軸	三
發生爐煤氣	二九、二四	裁縫機	一	傳動輪	三

圓錐帶輪	一五	煤氣洗滌器	三五、三六
圓板與滾子	一三、一四	煙囪	一三、一四、一四、一四
塔輪	一五	煙煤	一五
奧斯特	一五	煙箱	一四
感應電動機	二四、二五	煙煤煤氣	二四
極限強度	一四、一六	落差	二四
楊氏係數	一三	葉輪	二五
撈次定律	二五	葉形輪	一四、一五
滑輪	二、二四	裝配圖	一四、一五
滑動片	三、三	裝配廠	一四、一五
滑動對	三〇、三一	費用應方	一六、一七
滑動摩擦	一四、一五	運搬車	一六、一七
滑動曲柄耦合子	一五	運搬機	一五、一六、一六
煤油	一四	過熱器	一四、一五
煤氣清淨器	二五、二六	過熱蒸汽	一五、一五、一五
煤氣發生爐	二二、二四、二五	達因	一六

十四畫

鉤床	一三
鉗	一六
飽和蒸汽	一五、一五、一四
鼓形電樞	一五
鼓風爐煤氣	二四
塵濾器	二五
實際馬力	一六、一六、一四、一四
對數曲線	一四、一五
截面圖	一四、一五
截錐形摩擦輪	一六、一七
槓桿	一六、一七、一七、一七、一七、一七、一七、一七
槓桿安全活門	一四、一四
滾子	一四、一五、一五、一五、一五、一五、一五、一五

滾子軸承	三五	蒸氣機	一〇、一三、二六	整式蒸氣機	一七
滾動摩擦	四七、五	蒸氣鍋	一九—三〇	整式狄賽爾機	二四〇
滾動式水壓機	三四六	蒸發器	二九、三三、三五	豪勒特摩擦輪	三
熔解劑	二二三	蒸氣活門	一四三	銑鐵	一三
熔鐵爐	二二、二三	蒸氣輪機	一三、一〇—一六	電能	八
爾格	六七	蒸發氣體	二五	電樞	二七六、二七九、二八一—二八二
磁場	二七、二五	蒙特煤氣發生爐	二〇六	電機	八、二二、三五—二六五
磁力線	三五	製粉機	四	電動勢	二七、二八
管嘴	一六、一四	製造機	二〇—二五	電動機	八、一〇、一七、二七、二八—二八五
管頭箱	一四、一四七	製鋼廠	一三	電磁鐵	二六
臺剪	一八—一九	複繞法	二二、二四	電磁感應	二五
蒸汽室	二五	複式蒸汽機	一七	十五畫	
蒸汽管	三三、一四七	複式狄賽爾機	二四〇		
蒸汽機	三、八、四、三三、二六、三三、三六、 一四、一四七、一五—一六、一六、	複動式蒸汽機	一七	廢氣	一六
		楊煤	一五	彈簧	五、五、一五、二六
		誘導螺旋	一七	彈性體	七
				彈簧秤	一七

導入水路	二四	二六、二八、三三、三三、四六	磨床	三九、三〇
擒縱爪	四〇	三〇、三三	飾	一九
擒縱輪	四一、四二	一九	膨脹塞	五
擔負三、六、七、八、九、一〇、一七	吉	七、二四、二四、二六、二八	膨脹蒸汽機	一六
擔負引張簡圖	吉	二、六、七	融解熱	一六
擔負壓縮簡圖	吉	一四、一四、一五	輸出	一六
擔負變形關係簡圖	吉	九、一〇、七	輻射器	三三
操舵機	五	九、一〇、〇	錶	三三
橫截面圖	一〇三	一四七	銅絲繩	四〇
橫彈性係數	三、五	二七、三〇	十七畫	
廣式狄賽爾機	二四	一五	壓力計	二、三、三、三、四、四、四、四
機車	一四、三三、三三	一五、一五	壓排機	三
機架	三〇、三六	三六、三三	壓力原管	二四
機械	一、二	三三	壓縮動程	一、二、九、三三、三三
機筒	三、三、七、三、三、三、六、六、七	一〇六	壓縮壓力	七、七、七
燒球	一六、二五、二五、二九、三〇、三〇、三〇、三〇	二四、三六	壓縮應變	九、七

壓縮空氣箱	二〇七	螺桿	三	十八畫	
壓縮空氣鏈	二〇〇	螺輪	三	擴展	二二五
壓縮極限強度	五	螺簧	三, 二〇, 四六, 一九	歸點	一六
應力	三六, 七, 六, 六, 齒	螺旋套	一四, 五, 美, 三, 二七, 三六	簡諧運動	三三
應變	五, 六, 六, 七, 九	螺絲角	齒	繞組	二六一
應用機	三	螺絲切削法	三三—三六	翼形動規	三三
應電流	二六, 二八	螺旋耦合器	五	轉動子	二六五
應力應變簡圖	七	螺線齒輪組合	三	轉動對	一八, 三, 四, 五, 九
環形電樞	二九	螺簧直角耦合器	五	轉動輪	一三, 二四
環形自在鎖	五	鋪形擒縱輪	五	轉動掣子	四
縱斷機	二五	鍛接	二五	轉動磁場	二五五
縱截面圖	一〇	鍛造	九, 二五, 三〇	轉動慣量	一六六
縱彈性係數	七, 五	鍛造廠	一〇	鎖弧	三
總熱	一三	鍛治火床	一六	雙相電流	二六一
臂	一五, 二六, 三〇, 三	鈔	二六	雙重作用掣子	四
螺旋	一四, 五, 五, 三, 三六	鈔形耦合子	五	雙重螺線齒輪組合	五

離心唧筒

離心節速器

離心編轉唧筒

十九畫

懷特滑輪組

爆發動程

繩輪

繩索輪擊功率計

鏈

鏈輪

鏡板

鏡

二〇畫

填土

爐床

爐管

鐘

鐘之長短針

蘭卡那汽鍋

二十一畫

鐵箱

鑄造廠

鑄鐵製帶輪

織維繩

二十三畫

變壓器

顯熱

鑽

鑽床

鑽孔鑽

鑿

鑿床

鑿床

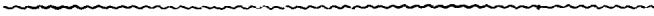
鑿床

鑿床

鑿床

鑿床

三〇



tool rest	127	water level indicator.....	137
torsional angle	94	water pump.....	256
total heat of saturated steam.....	162	water tube	136
town gas	208	water turbine	134
train of spur wheel.....	28	water wheel.....	3
transformer	281	watt	6
triangular cam	48	Welcox boiler	145
triple expansion engines ...	178	welding	115
tubular boiler	135-6	wet steam.....	159
turning pair.....	18	White tackle	61
twisting moment.....	93	winding.....	281
twist	92	windlass	15
two phase current	281	wire rope	40
U		Wöhler	77
ultimate strength	74	work	4
useful work	11	working stress.....	78
V		working stroke	193
vapor.....	155	workshop practice.....	12
vertical boiler.....	142	worm and worm wheel.....	31
vice	121	Y	
W		yield point	70
Washington pump.....	258	Young's modulus	73
wasted work	11	Z	
		Zeuner	162

L

ladle113
 Lancashire boiler136
 latent heat160
 lathe3,126
 leading screw127
 length 26
 lever safety valve140
 lignite150
 lime stone.....113
 load65,168
 load deformation diagram.. 70
 loam108
 lobed wheels..... 34-5
 locking arc 34
 locomotive.....143,261
 locomotive boiler144
 locomotive engines.....179
 long struts 87
 low speed engines178

M

machine 1
 machine shop130
 machine tool126
 machining 97
 main shaft166
 malleability.....116
 man hole137
 marine engine.....179
 mechanical efficiency ...11,200
 mechanical energy..... 7
 mechanical stoker147
 mechanism 12
 meter..... 5
 meter kilogram 5

milling machine129
 modulus of direct elasticity 73
 modulus of rigidity 73
 modulus of transverse elasticity 73
 moment of inertia168
 Mond gas generator208
 motor8,277
 mould 97
 moulding and casting shop 130
 mud hole137
 multiple trammel gear..... 60

N

natural gas209
 nave 37
 needle valve220
 noncondensing engine177
 nonexpansion engine.....178
 nozzle.....182,220
 nut..... 14

O

Oersted.....275
 oil engine 3
 open belt 38
 Otto cycle190
 Otto Lilienthal266
 oscillating cylinder type ..248
 out put176

P

paper machine 3
 parting sand.....106,108
 pattern 97
 pattern shop130

- | | | | |
|-----------------------------|--------|---|-------|
| gasline | 134 | hub..... | 27 |
| gate plug | 106 | hydraulic engine | 134 |
| gauge pressure..... | 140 | | |
| gearing | 23 | I | |
| Geneva | 45 | ignitor | 191 |
| Geneva stop..... | 45 | ignition ball..... | 204 |
| governor | 20,166 | ignition plug | 204 |
| ground line | 99 | impeller..... | 259 |
| Graham..... | 46 | impulse turbine | 184 |
| great calorie..... | 153 | impulse water turbine | 244 |
| green sand | 108 | inclined plane | 16 |
| grinding machine | 129 | indicated horse power (I.
H. P.) | 176-7 |
| guide vanes | 183 | indicated power | 172 |
| | | indicator | 173 |
| H | | indicator diagram | 173 |
| hand finishing..... | 97 | induced current | 276 |
| hand hammer | 118 | induction motor | 286 |
| hand hole | 143 | inlet valve..... | 191 |
| hand wheel | 104 | intermediate | 3 |
| head stock | 126 | intermittent motion of spur
gear | 33 |
| header | 145 | internal energy | 164 |
| heat engine | 133 | internal combustion engine | 133 |
| heat of fusion | 160 | | |
| heat of vaporization | 160 | J | |
| heat value..... | 151 | James Watt..... | 181 |
| heating surface | 135 | jelcondenser..... | 169 |
| heart cam..... | 48 | Joule | 8 |
| height | 26 | joule | 6 |
| Helix angle | 94 | | |
| Hero | 181 | K | |
| high speed engines..... | 178 | kerosene | 134 |
| homogeneous..... | 65 | kilogram | 5 |
| Hooke's joint | 59 | kilowatt | 6 |
| Hooke's law..... | 72 | kinetic energy | 7 |
| horizontal engines..... | 178 | | |
| Howlett frictional wheel... | 53 | | |

- drilling machine.....128
driving stop and reversing
 with bevels..... 33
drum armature279
ductility116
Dugald Clerk191
dynamo8,277
dyne 6
- E**
- elastic limit 71
electric energy..... 8
electric machine277
electromagnet.....282
electromotive force (E.M.F)277
elevation 99
elevator.....253
energy 3
engine..... 20,133
Entwistle's gearing 62
erecting shop130
erg 6
evaporator219
exhaust steam169
exhaust stroke.....193
exhaust valve191
expanding stopper..... 55
expansion engine178
external combustion engine133
external work done164
eye 27
- F**
- face plate126-7
facing sand108
factor of safety 78
factory engines179
fatigue of materials 77
feed pipe137
feed pumps147
fibrous rope 40
field magnet.....278
file122
finishing 97
fire box142,144
fire bridge.....137
fire grate.....136
fire tube.....136
fitting shop130
flange coupling 57
flank 26
Fleming.....276
flexible angular coupling... 52
floor sand108
flux.....113
fly wheel166
foot, 4
foot pound 4
forging, 97
forging shop.....130
four cycle194
fourdrinier paper machine 271
frame.....201
friction cone coupling 58
friction wheels..... 23
furnace tube136
- G**
- G. De Laval.....181
Galloway tube.....138
gas engine..... 3
gas generator210

casting	97	crank pin	191
centrifugal governor	168	crank shaft	116,190
Centrifugal pump	259	Crosby indicator.....	173
chain wheel	40	cross head.....	165
Charles's law	157	cross compound slider crank	21
chill casting	114	cross slider crank	23
chimney.....	131,135	Crossley.....	216
chisel	122	crucible furnace	113
Clerk cycle	190	crude oil	134
click	42	cupola	111
closed belt	38	Curtis.....	181
coal gas.....	208	cylinder.....	3,21,164
coke oven gas	209	cylinder escapement	46
columns.....	87		
combination turbine	184	D	
commutator.....	278	dead point	169
compound engines	178	dead weight safety valve ...	140
compound winding.....	282	dedendum line.....	27
compressed air engine	179	design	97
compression stroke	192	detachable chian.....	41
compressive strain	69	dies.....	125
compressive stress	67	direct current, dynamo ...	278
condenser	165	direct current motor.....	233
condensing engines	177	disk and roller.....	53
cone pulley	39	Diesel engine	134
connecting rod.....	116,165	door spring hinge	52
conservation of energy.....	9	Dornier	268
cooling	203	double acting click.....	42
core	104	double acting engine.....	177
core box	104	double cut file	123-4
Cornish boiler	136	double helical gearing	32
coupling	57	draught power	149
crane	251	drawing,	97
crank,	15	drawng office	130
crank arm.....	191	drill	124
crank case.....	194	drilling drill.....	124

西 文 名 詞 索 引

頁數	頁數
A	
absolute temperature.....157-8	bending strain..... 80
addendum line..... 27	bengine.....219
aeroplane.....266	bevel wheel..... 30
air pump.....256	bituminous coal.....150,208
alternating current dy- name.....278	blades vanes.....181
alternating current motor..283	blast furnace gas.....209
anchor escapement.....45	boiler..... 3
anthracite.....150	boiler shop.....131
antifriction bearing for pulley..... 56	bore..... 27
antifriction wheel..... 55	boring drill.....125
anvil.....117	boss..... 27
applied machine..... 3	box coupling..... 58
apron.....271	Boyle's law.....156
Archimedian spiral..... 49	brake dynamometer.....176
arm.....26,37	brake horse power (B.H.P.)176
armature.....278	brake on wheel..... 54
Atwood's machine..... 55	brake shoe..... 54
autogyro.....270	breadth..... 27
	British thermal unit (B. T. U.....152
	brush.....278
	buckets.....182
	burnt sand.....108
	byproduct gas.....209
B	C
Babcock boiler.....145	C. A. Parsons.....181
back.....169	cage.....253
ball and socket joint..... 17	calender.....272
ball bearing..... 56	calorie.....153
beam..... 80	cam..... 47
bearing.....228	carburettor.....194
bell crank..... 14	cast iron belt pulley..... 37
bending force..... 80	
bending moment..... 83	
bending moment diagram.. 87	

民國廿八年四月發行
民國三十年二月三版



編者

王濟仁

發行者

中華書局有限公司
代表人 路錫三

印刷者

美商永寧有限公司
上海澳門路

總發行處 昆明

中華書局發行所

分發行處 各埠

中華書局

◎ 中華叢書百機學淺說 (全一册)
實價國幣一元六角

(郵運匯費另加)



421

標商冊註



(29)

(12255)

1.20