

萬有文庫

第一集一千種

王雲五主編

水力機

蔡昌年著



商務印書館發行

041229



序

是書爲工學小叢書之一，其目的在將水力機械及水力工程之普通知識，供獻於一般讀者，故取材多求淺要，對於一切高深理論概行省略。其參考書籍，約有下列數種：

Daugherty—Hydraulic Turbines

Mead—Water Power Engineering

Turner & Black—Hydraulic Engineering

Russel—Hydraulics

Rushmore & Lof—Hydro-Electric Power Stations

New International Encyclopedia

是書僅於作者工廠服務及授課餘暇，陸續編纂而成，謬誤之處，尙祈海內明達有以正之。

水
力
機

二

民國十七年六月蔡昌年識於
新都軍事交通技術學校

目錄

第一章 緒言.....一

水力——水力發展略史——水力機——水力發展之壽畫——世界水力之統計

第二章 水輪及水渦輪.....一三

水輪——水輪之分類——重力式水輪——反動式水輪——沖擊式水輪——水渦輪——水渦輪之分類——水
流之作用——水流之方向——軸之位置——輪之裝設——水渦輪與水輪之比較

第三章 衝擊式渦輪.....一四

種類——拍爾吞氏渦輪——吉刺得氏渦輪——速度之調節——沖擊式渦輪之應用

第四章 反動式渦輪.....三一

略史——佛氏渦輪——法氏渦輪——內灣流式渦輪之優點——反動式渦輪之應用——速度之調節——尾水

管

目錄

第五章 水力機之理論……………四三二

- 引言——測量之單位——水之物理的性質——壓力之傳達——水壓力——水流之連續方程式——水流之能
- 力——勢能動能壓能——柏氏定理——水勢頭水速頭水壓頭——柏氏定理之補充——水輪所受之有效水頭——
- 功率及效率——水流施於靜止葉板之力——絕對速度與相對速度——水流施於運動葉板之動壓力——水流施於
- 水輪之力幾——水渦輪之功率——相對運動之能之方程式——沖擊式渦輪工率之計算法——反動式渦輪工率之
- 計算法——尾水管——

第六章 水力工程概況……………七一

- 水頭與流量之漲落——水之貯蓄——水力廠之重要設備——蓄水池——壩——進水設備——導水管——平
- 水槽——渦輪之選擇裝置——尾水溝——動力之輸送——結論

水力機

第一章 緒言

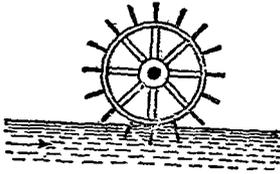
水力 考太陽系中一切之能 (energy) 大之若行星之輪迴，風雨之產生，小之若燃料之發熱，動植物之成長，無一非來自日球者。茲就水力言之，其來自日球，尤爲顯著。地面之水，散處於江、湖、海、洋，受日光之薰蒸，化汽上升，彌散於空際，藉天然之風力，廣播於遠近，終則凝爲雨、雪、冰、雹，復降於地面，散於水陸，山谷。然後或立被蒸發，回至空中；或爲植物所吸收；或滲入土壤，會于地中；或流入江湖，要皆以海洋爲歸宿。於是復受蒸發之作用，而上騰，而下降，而流動，依上述次序，循環不已。故凡高處之水，及流動之水，皆隱蓄日光之能 (energy) 而爲天然之能源。設法以利用之，皆可得相當之功也。

能源之最經濟，最屬自然者，舍風力外，殆推水力。顧水力之發揮，必藉重力之作用，蓋水之所以能蓄能者，必其水面對於另一水面（通常以海面爲標準）有相當之高度，而恆有下流之勢，故其能恆爲勢能（potential energy），當其下流之時，猶之通常物體之下落，其速度漸次增高，其勢能漸化爲動能（kinetic energy），可藉以沖動水力機（hydraulic motor），作有用之功。水之重量，或因其重量而生之壓力，皆可使之直接作用於水力機而推動之，易言之，水之勢能，亦可直接利用，不必先化爲動能，正如一物之重量，可藉滑車之裝置，使其直接作用於另一物體而高舉之也。總之，水之能，恆得自日光，其表現或藉其速度，或藉其重量，或藉其壓力，要皆由於重力之影響，水之本身，不過一傳能之媒介而已。

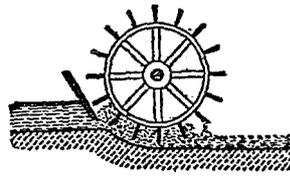
以上所述，乃天然之水力也。茲更有一層，欲附述於此者，水力之產生，亦有用機械方法爲之者：置水於堅固之容器中而擠壓之，則其壓力增高，再用接管導之，使作用於適當之活塞（piston）上，可得重大之壓力。此種方法，不過藉水以傳達或變換機械之能而已。水壓機（hydraulic press）及其相類之機械，率用此法，當於另章述之。

水力發展略史 考天然水力之利用，我國暨亞述（Assyria）、埃及（Egypt）諸邦，實爲先導。蓋三千年前，黃河、尼羅（Nile）河及幼發拉的（Euphrates）河之附近農民，早有水輪（water wheel）之發明矣。當時之水輪，狀如第一圖甲，係以一木輪或竹輪，中置一軸，輪週繫以葉板（vanes），用簡單之裝置，懸架於水上，浸其葉於水中，水流沖動輪葉，輪即迴轉，此爲水輪之最早形式，謂之流輪（current wheel），或稱浮輪（float wheel）。當時或用以引動汲水器，汲取河水，灌溉田疇；或以牽動石磨，春研五穀；故諸河附近之瘠土，往往因之變爲膏腴。其後數百年，羅馬及其隸屬各國，始有水磨（water mill）之製，法略與前同，惟流輪與石磨之間，聯以齒輪，以得適當之速度。此種流輪，雖構造簡陋，効率低微，而當時則用之甚廣，即降至近代，各國鄉間，仍有習用之者，取其簡單而易製也。一五八一年，英人曾置一大流輪於倫敦橋（London Bridge），以之汲取河水，供給倫敦全城居民之用，此爲倫敦裝設自來水之初次，亦流輪應用之最著者也。

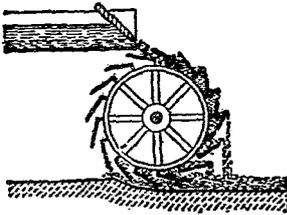
流輪之利用水力，効率極低，蓋當水流遇輪葉時，多分散於葉之四週，故僅能利用水力之一小部分。其第一步改良，即設一溝道，導引水流，使之直沖葉上，不易分散，是爲下沖式水輪（undershot



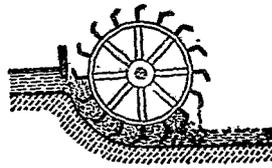
(甲) 流 輪



(乙) 下冲式水輪



(丙) 上冲式水輪



(丁) 中冲式水輪

第 一 圖——水 輪

water wheel) 狀如第一圖乙，効率略高。一六七五年，森(Seine)河上近聖芒芒(Saint Germain)一帶，曾用此種水輪，以汲取河水，分配於附近各地。此時河之兩岸，並築壩以集中水勢。下冲式水輪，約沿用至第十八世紀之中葉。

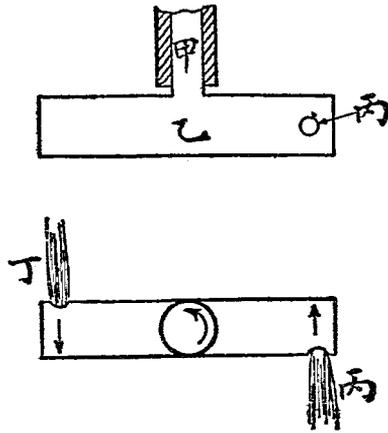
以上兩種水輪，皆利用河流之自然速度以得動力者也。據斯米吞(Smeaton)氏之實驗，以為此種方法，實不宜施於此種水輪，於是上有上冲式水輪 (overshot water wheel) 之發明。

上冲式水輪利用水之重量以得動

力。其狀略如第一圖丙。其效率甚高，故至今仍有用之者。人島 (Isle of Man) 之拉刻賽 (Laxey)，至今尚存一座，其直徑約七十二英尺，功率爲一百五十馬力。紐約 之推來 (Troy) 鎮，數年以前，亦置有一座，其直徑約六十二英尺，寬二十二英尺，功率爲五百五十馬力，重三百噸。

一七八四年，英人非而貝因 (Fairbairn) 氏及梭尼 (Rennie) 氏又有中沖式水輪 (middle-shot water wheel 或 breast wheel) 之製。其狀如第一圖丁。其動力亦藉水重而得。顧其效率轉不及上沖式水輪，故難與後者競爭。

以上兩種水輪，皆直接利用水之重量以得動力者。自其効力言之，已較最初之流輪進步不少。顧於其進展期間，更有一新穎之發明足述者，卽一七四〇年帕刻 (Parker) 氏所發明之水磨是已。帕刻 氏之水磨，恃水之壓力以動，其形略如第二圖。水由甲管流入，至於乙管而充滿之，然後由其兩端之丙丁兩小孔射出。此時水流對於兩孔之背方，各生一反動力，而成一對偶力，如箭頭所示，致令乙管以甲管爲軸而迴轉。此種水磨，實爲今日反動式水渦輪 (reaction turbine) 之鼻祖。今人稱此種水磨爲帕刻 氏水磨 (Parker's mill)，示不忘也。



第二圖

以上所述，皆水力發展之萌芽也。至第十九世紀

之中葉，乃有佛涅綸 (Fourneyron)，法蘭西斯 (Francis)，阿特琴斯 (Atkins)，拍爾吞 (Pelton) 諸氏，作種種實驗，而有各式水渦輪 (hydraulic turbine) 之發明。其後各國乃於水力易得之區，建築水力廠 (water power plant)，裝置渦輪，藉水力以產大量動力，供多種實業之需，於是水力機械，始於工程上佔重要地位。夫由古代最簡陋之流輪，歷三千餘年之久，至於今日，水力發

動，始成爲大規模之事業，爲動力界開一新紀元，雖其進步多在近百餘年間，其基礎則早萌於昔日，先哲創始之功，庸可忽哉！

水力機 (hydraulic motor) 之於今日，一重要之發動機也，凡藉水力以運動而生工作之機械皆屬焉。就構造方面言之，水力機約可分爲三大類：即水輪，水渦輪，與水壓發動機 (hydr-

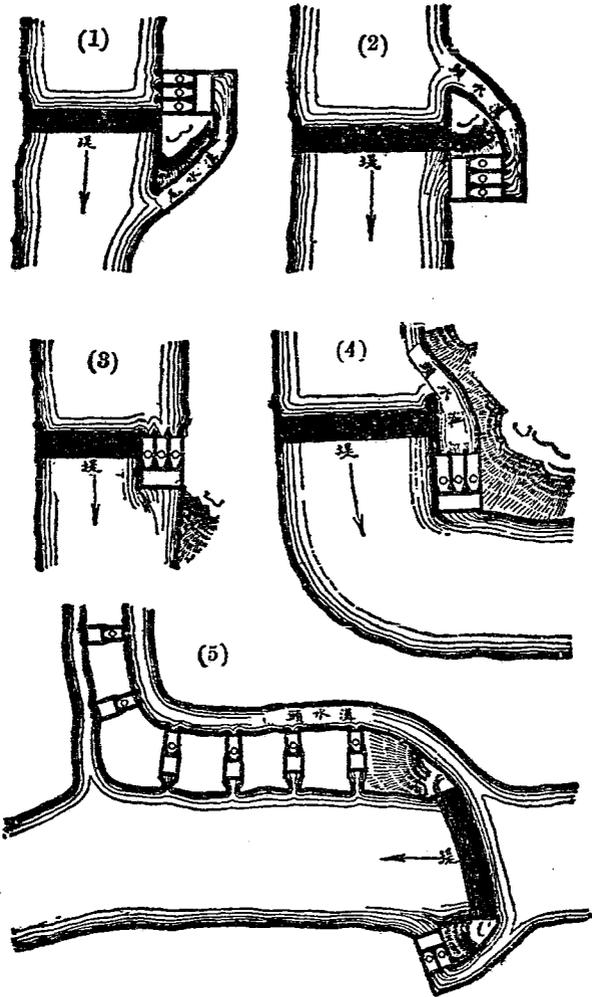
aulic pressure engines) 是也。

廣義言之，凡一切藉水力以轉動之輪，皆稱水輪，故渦輪亦屬焉。本書依照一般習慣，稱前節所述各種簡單之水輪曰水輪，稱近世之各種新式水輪曰水渦輪，以示區別。

渦輪之構造，當詳另章。今所應述者，渦輪乃水輪之變形。當其工作之時，由若干導流靜葉板 (stationary guide vane) 將水流導入一輪，水流經輪葉間時，其速度之大小及方向變更。其變更更乃因受輪葉力之作用。於是水流施等強而反向之力於輪葉，而將後者推動。故渦輪實為水輪之一種，其工作則恃水流在輪中之運動而生。

水壓發動機，乃藉水壓力以作功之機械，其構造與普通汽機 (steam engine) 相若。其應用不及渦輪之廣。本書因限於篇幅，不及備述。

水力發展之籌畫 欲利用水力，必先得相當之水面差，所謂源頭 (head) 是也。尋常河道，其水面多順流漸降，其所蓄勢能，散漫不集。若欲利用一河之水力，必先設法得一集中之源頭，然後可以裝置渦輪，導水入輪，作有用之功。其所得功率之大小，全視其所得源頭之高低，及水流流量之多寡。

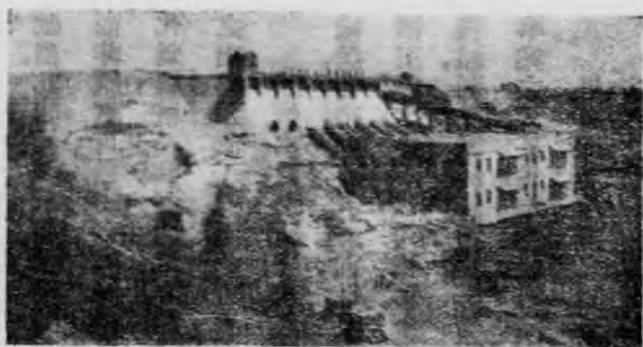


第三圖—水力廠之一般佈置

尋常集中水勢之法，不築壩以截阻水流，使河面與海面間一部分之水面差，集中於一處，然後水勢激烈，其能乃可利用。顧築壩有時須開渠（canal）爲之，以免影響航政，故水力之利用，又必因地制宜，而非隨處可以實行者。既得源頭，其次則爲建設相當溝道，導高面之水，流經機輪，給以大部分之能，化爲機械功。其高面之水，謂之頭水（head water），其由機中排出之水，謂之尾水（tail water）。尾水之出路，爲流于低面一方，展轉入海。水力利用之程序約如此。

雖然，水力之所在，未必卽動力需要之區，故又必設法將所得動力，輸送於需用之地。此種動力之輸送，昔時殊感困難，近世電學昌明，始以電爲輸送之媒介，故自第二世紀以降，水力工程始隨電機工程之後，而日益發達。今之利用水力者，皆於水力豐富之區，建設工廠，裝置渦輪，同時附設發電機，如發電機變壓器等，將天然之水力，先化爲適相之電力，然後由簡單之導線，送至各方，供一切事業之需，是爲水力發電廠（hydro-electric power station）。

更有進者，水勢之漲落靡常，其可得之功率，亦必因之而增減，故欲利用某河之水力，必於其一年中水勢之漲落情形，及流量之消長狀況，加以確切之統計，以預測其可得之平均源頭及流量，而



第四圖——美國威斯康辛公司之水力廠

推算可得之功率。又於水勢之最大最小兩極點，尤當注意。

且水力之利用，有時爲天然地勢所限，不能得充分效率者，例如美國之密執安 (Michigan) 湖，其平均水面，高出海面約五百八十英尺，是此湖中每磅之水，蓄有五百八十英尺磅之勢能。此項水力，在芝加哥 (Chicago)一帶地方，竟限於地勢，不能得相當之源頭而利用之。近甫於芝加哥支河之旁，得有三十餘英尺之源頭，作小規模之發展。經若是知天然水力，又未必皆可儘量發展，要在主其事者之竭力籌畫而已。

世界水力之統計 據一九二四年版新萬國百科全書 (New International Encyclopedia)所載，一九〇五年之調查，全世界所有水力，約如下表。

第 表一九〇五年全世界水力調查表

地名	水力約計(馬力)	已發展之馬力	已經發展之百分數	平均每平方英里所有之馬力
英	九六三,〇〇〇	八〇,〇〇〇	八・二	一・〇〇
德	一,四二五,〇〇〇	四四五,〇〇〇	三一・二	一・一八
瑞士	一,五〇〇,〇〇〇	三八〇,〇〇〇	二五・〇	三・七一
西班牙	五,〇〇〇,〇〇〇	三〇〇,〇〇〇	六・〇	三・八六
意大利	五,五〇〇,〇〇〇	五六五,〇〇〇	一〇・二	四・二二
法	五,八五七,〇〇〇	六五〇,〇〇〇	一一・一	五・八〇
奧	六,四六〇,〇〇〇	五一五,〇〇〇	八・〇	七・三四
瑞典	六,七五〇,〇〇〇	五五〇,〇〇〇	八・二	七・七二

挪 威	七、五〇〇、〇〇〇	九二〇、〇〇〇	一二・三	一四・一二
北 美 合 衆 國	三〇、〇〇〇、〇〇〇	四、一〇〇、〇〇〇	一三・七	八・四〇
坎 拿 大	一七、八六四、〇〇〇	一、二八五、〇〇〇	七・二	六・五五

觀上表，可知世界之水力，約有九千萬馬力之多，東方諸國，尙不在內。今之已發展者，約一千萬馬力，佔全數九分之一。其餘則散在各處，無形消滅，寧非可惜。值此物質文明極盛時代，動力之需要日增，天然之能源，如煤、油等類，其消耗額日大，將來結果，殆有供不應求之勢。目前最經濟，最切實之補救方法，惟有將天然水力，儘量發展。各國水力事業之發達，已如上表據最近調查，日本所有水力，約三、〇〇〇、〇〇〇馬力，其已發展者，約一、五〇〇、〇〇〇馬力。我國所有水力，約有二、〇〇〇、〇〇〇馬力之多，其已發展者，僅及數千馬力。祇以水力工廠，所需資本略大，致迄無大規模之發展，有心實業者，曷起圖之。

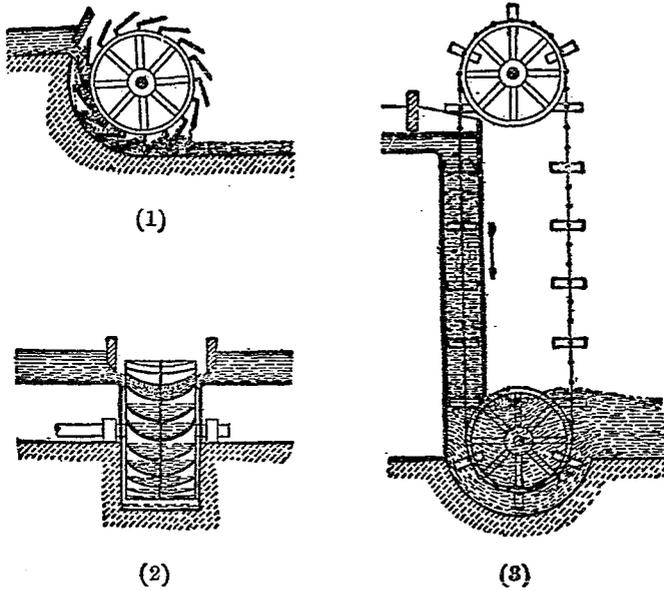
第二章 水輪及水渦輪

水輪 水輪之定義，已詳第一章中，本節及以下四節所述，乃指前代所用之簡單機械，藉水力以得少量動力者而言。此種簡單水輪，今世雖漸見淘汰，然用於鄉間適當地點，藉以代替人力，未始非經濟之辦法，故各國鄉村農民，至今仍有習用之者。茲將水輪之種類，及其簡單構造，約略述之。

水輪之分類 水輪之種類，可視其利用水力之方法，分爲三大類，即重力式水輪 (gravity wheel)，反動式水輪 (reaction wheel)，及衝擊式水輪 (impulse wheel) 是也。

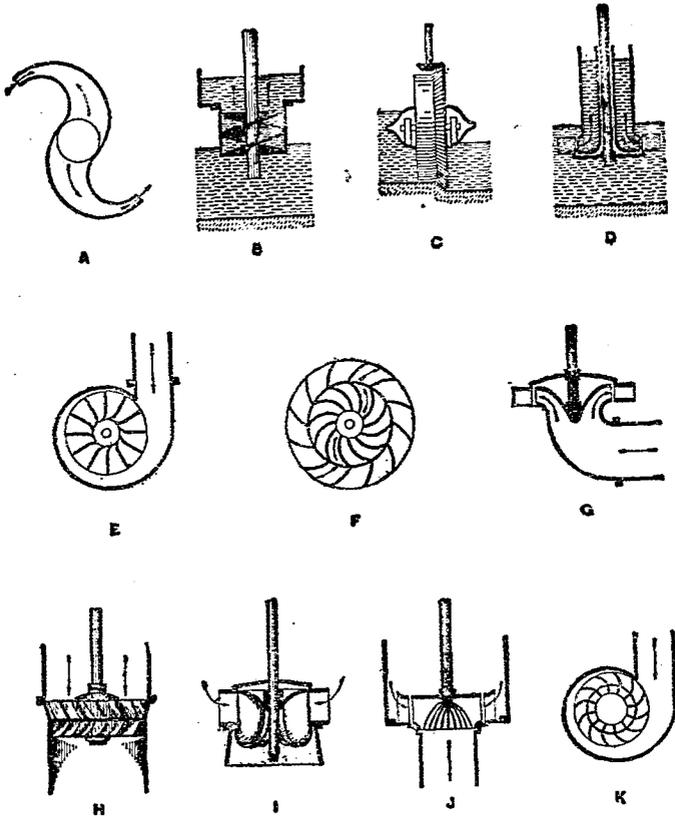
重力式水輪 重力式水輪，藉水流之重量以得動力者也。前所述之上沖式水輪(第一圖丙)及中沖式水輪皆屬之。第五圖爲三種重力式水輪之略圖。圖中(一)爲中沖式水輪，(二)爲側沖式水輪 (side-fed wheel)，(三)爲(一)之變形。

反動式水輪 反動式水輪，利用水流之反壓力以得動力。前述之帕刻氏水磨，實爲此項水輪



第五圖——三種重力式水輪

之鼻祖。第六圖爲各種反動式水輪之略圖。圖中(A)爲帕刻氏水磨之變相。(B)爲螺旋式水輪(screw wheel)，其運動時，水流恆充滿其中。(C)爲吉刺德(Girard)氏之水輪，其軸橫臥水上，輪則半淹水中。(D)爲卡狄阿特(Cattia)氏之水輪。(E)爲湯卜遜(Thompson)氏之水輪，水由四週向內流入，而由兩端沿軸排出。以上五種，當水流入輪葉時，恆一齊灌入，不分支派。(F)爲佛涅倫(Founeyron)氏水輪，水流由中心貫入輪葉間，分向四週排出，與尋常之直立式佛涅倫氏渦輪相似。(G)



第六圖——各種反動式水輪

爲佛涅綸氏水輪之變相，水流由下向上，射入輪葉，而分向四週排出。(H)爲痕塞爾(Henschel)氏之水輪，運動時，水流充滿於輪之上部，由輪上所置之靜葉板(stationary vanes)將水流分開，導之分別流入輪葉。(J)爲法蘭西斯氏水輪之原形。(I)爲其變相而通用於今

日之渦輪中者。(K)爲犀爾 (Schiele) 氏之水輪，水流由蝸形管向心流入輪葉，然後由中心沿軸排出。以上六種，水流入輪之先，均由靜葉板將其分爲支派，而導之使分別流入輪葉間。今日水渦輪之設計，均取此法。

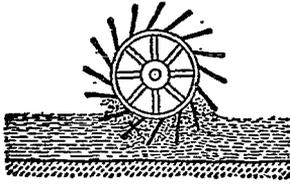
衝擊式水輪 衝擊式水輪利用水流之速度以得動力。前述古代之流輪及下沖式水輪等屬之。衝擊式水輪之各種略圖，如第七圖所示。圖中(一)爲最初之流輪。(二)爲下沖式水輪。(三)爲正切式水輪 (tangent wheel)。葉板成彎曲形，水流由外向內。(四)亦爲正切式水輪，顧水流則由內向外。(五)爲波耳達 (Borda) 氏之水輪。葉板均成螺旋形，輪週有一箍圍繞之。

水渦輪 水渦輪爲水輪之變形，前已言之。水渦輪之組織，約有下列四大部分：

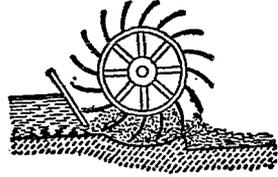
- (一) 軸 (shaft)
- (二) 輪身 (wheel)
- (三) 射水管 (nozzle) 或導流葉板 (guide)
- (四) 機殼 (case)

軸固定於輪之中心，架於適當之枕上，以便轉動。

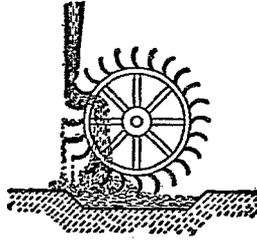
輪之四週，裝有葉板 (bucket)，葉板之功用，在於承受水流，分其大部之能，以得運動，藉以引動



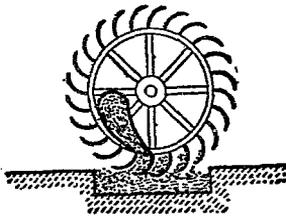
(一)



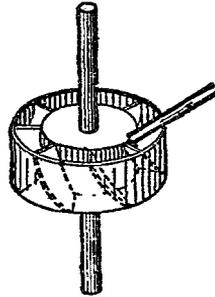
(二)



(三)



(四)



(五)

第七圖—各種沖擊式水輪

輪軸。此項葉板，謂之動葉板 (moving vanes)，或成斗形或成螺形，因渦輪之種類而異。

射水管或導流葉板，則置於殼之內部。射水管僅用於衝擊式渦輪，所以導引水流，使射擊於動葉板上，而給以動能者。導流葉板，多用於反動式渦輪，其位置則固定於機殼之內部，平均排列，圍繞於輪之四週，所以均分水流，導之使流入各葉板間，因分給後者以動能者，此項葉板，通常稱為靜葉板 (stationary vanes)。

機殼之功用，在於掩覆水流，使由適當之溝道排出，不致外溢，同時保護機輪，並為靜葉板等之固定所在。渦輪之重要組織，約略如此，其餘附件甚多，當詳另章。

水渦輪之分類 水渦輪之種類，可按下列三法分之：

(一) 水流之作用 按照此點，水渦輪可分為兩種，即：

(甲) 衝擊式 (impulse type) 或無壓式 (pressureless type)

(乙) 反動式 (reaction type) 或壓力式 (pressure type)

(二) 水流之方向 按水在輪中流動之方向言，水渦輪可分為四種，即：

(甲)沿徑外流式 (radial outward flow type)

(乙)沿徑內流式 (radial inward flow type)

(丙)沿軸流式 (axial flow type) 或平行流式 (parallel flow type)

(丁)混合流式 (mixed flow type) 或沿徑內響流式 (radial inward and axial flow type)

(三)軸之位置 若按軸之位置言，水渦輪可分爲下列二種：

(甲)直立式 (vertical type)

(乙)橫臥式 (horizontal type)

水流之作用 在衝擊式渦輪中，水流僅佔葉板容量之一部分，四週均有空氣，故此時之水壓力，與大氣壓力等。因之此類渦輪又常稱爲無壓式。當水流由靜葉至動葉時，其能全爲動能，及流至輪上，水流之絕對速度降低，而將其動能之大部分，分給輪葉。於是推動輪軸，而作功。通常所用之衝擊式渦輪約有二種，即吉刺得氏渦輪 (Girard turbine) 及拍爾吞氏渦輪 (Pelton wheel) 是也。在反動式渦輪中，水流常充滿於輪葉間，此時之水壓力甚高。故此類渦輪，又常稱爲壓力式。水

由靜葉板入輪時，其能之小部分爲動能，大部分爲壓能。及流入輪中，其壓力及絕對速度均漸降低，將其大部分能力，分給輪葉，以作功。此種渦輪，今之最通用者，當爲佛蘭西斯氏渦輪。

渦輪分爲衝擊式與反動式兩種者，因前者之動力，全由於水流之衝擊力（Impulse），而後者之動力，多由於水流之反壓力故也。顧於兩種渦輪中，其動力之傳達，實皆由於水流速度之變更，且在反動式渦輪中，水流對於輪葉，亦施相當之衝擊力，故上述分法，似欠確切。今日之渦輪中，大都水流入輪時近衝擊式，出輪時近反動式。前述之無壓式或壓力式之兩名，似較確當也。

水流之方向 於任何渦輪中，若水在輪中流動之路徑，常在垂直於軸之平面上，則稱爲沿徑流（radial flow）。設水由輪週流向中心，則爲沿徑內流；反之，若水流由中心分向輪週，則爲沿徑外流。佛蘭西斯氏渦輪之原形，第六圖（J）乃前者之例；佛涅綸氏之渦輪第六圖（F）乃後者之例。

若水在輪中流動之方向，常與輪軸平行，則稱爲沿軸流或平行流。其例如拍爾吞氏水輪（參閱第三章）。

若水由輪之四週，分向中心流入，然後轉向輪軸之方向排出，則爲混合流。此種流式，美國製造

之水渦輪多採用之，第六圖（I）之法蘭西斯氏渦輪，卽其例也。今日之反動式渦輪，多屬此式。

軸之位置 渦輪之分類，若按其軸之位置爲之，則顯有直立式與橫臥式兩種。二者之優劣，就機械效率方面言，初無異點，顧就水力效率言，則直立式較橫式爲佳。

輪之裝設 渦輪可單獨架於兩軸承間，成一獨立機械，其與被引動之各種機械，如發電機等，或由皮帶 (belt) 相聯，或以聯軸節 (coupling) 相接。然若用橫臥式渦輪引動發電機時，則可將渦輪與發電機裝於同一軸上，軸之兩端與兩機之間，均置軸承，此時軸承之數凡三，而渦輪與發電機聯成一串。最近習慣，於此等水力發電機中，其軸承之數，常減至二，發電機裝於兩軸承間，渦輪之輪，則懸於軸之一端。此因減少軸承數目，則全機所佔之地位較小，且裝軸之時，困難較少，渦輪之輪，較發電機之電樞 (armature) 爲輕，故不妨懸於一端也。此法名單懸式裝置 (single overhung construction)。於直立式渦輪亦可應用，惟渦輪之輪，則懸於發電機之下。若發電機須用兩渦輪引動，則須用橫臥式渦輪二分懸於發電機之兩端，此名雙懸式裝置 (double-overhung construction)。

雙懸式裝置，僅適用於橫臥式渦輪，且須機殼與尾水管 (draft tube) 各兩具。若置兩輪於同

一機殼中，尾水管亦可省去一具。最近習慣，於直立式水力發電機，多用一大輪以代雙輪。於橫式亦然，惟可用雙排式之輪（Double discharge runner），使水流入輪後，由輪之左右兩方平均分出，此時須有尾水管兩具。

水渦輪與水輪之比較 水渦輪與水輪相較，前者之優點甚多，略舉如下：

(一) 渦輪佔據地位較小。

(二) 用渦輪可得較高速度，故可以之直接引動發電機，無須有齒輪或其他變速裝置。

(三) 渦輪可淹沒於水內（僅反動式爲然）。

(四) 渦輪速度調節之範圍較廣。

(五) 渦輪之應用，不限源頭之高低，自數英尺至數百英尺。

(六) 功率鉅大之水渦輪，其體積不至十分笨重，若水輪則功率較大時，其體積銳增，終至不可

製造。

(七) 渦輪之價值較廉。

(八) 渦輪之組織緊湊，易於保護，所受冰凍之影響較少。

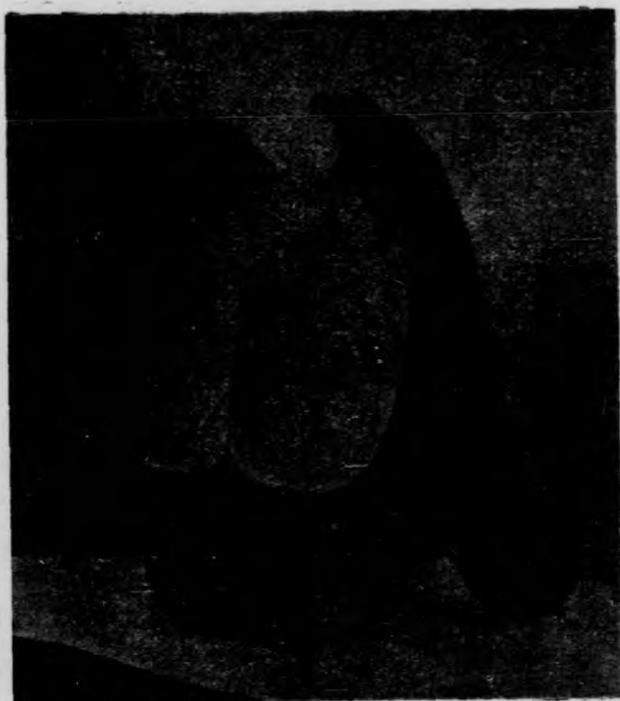
雖然，小功率之渦輪，其設計與製造，均甚簡陋，故其效率及種種情形，或轉不及上沖式水輪。今世小規模之水力發展，仍有習用水輪者，前章所述人島及紐約推來城之上沖式水輪，卽其例也。

第三章 衝擊式渦輪

種類 今世所用之衝擊式渦輪，在美洲多爲拍爾吞氏式，在歐洲多爲吉刺得氏式。二者構造雖殊，原理則一。今將二者之構造略述梗概，讀者當能舉一反三。

拍爾吞氏渦輪 拍爾吞氏渦輪，原名正切式水輪，經拍氏之改良，乃有今日之名。

一八四九年，美人利用水力，採加利福尼亞省（California）之金鑛，當時所用之射水管，其射流（jet）之功率，有達二千馬力者。厥後鑛業既竣，所有水力裝置，均改作動力之用。當時所有之輪，多以木製，其葉均成板形，水流直射其上，將輪推動，其理想的最高效率，不過百分之五十。旋經改良，將葉板改作斗形（即空心半球形），水流射於其內部，效率略增。有拍爾吞氏者，適爲此項水輪之司機，偶見一葉歪斜，水流射於葉之一邊，因葉之彎曲，水流之方向改變，由葉之他邊卸出，此時水輪之速度轉增。彼觀此，遂將葉形改作雙斗式，如第八圖所示，葉之中央作利刃形，水流遇之分爲兩路，

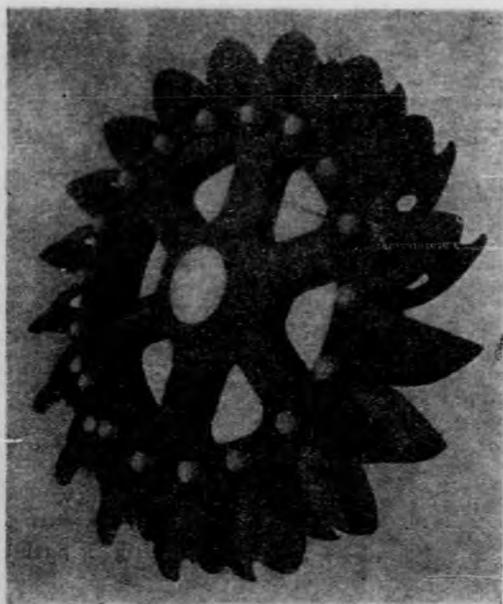


第八圖——拍氏輪葉

由葉之兩邊平均卸下。經此改良，水輪之速度既增，效率亦大，因此此種水輪，即以拍爾吞氏渦輪名。今之拍爾吞氏渦輪，其葉均作雙斗式，其製多以鋼鐵，較大者則用黃銅鑄成。第九圖為輪之形狀，第十圖則為渦輪之全形。

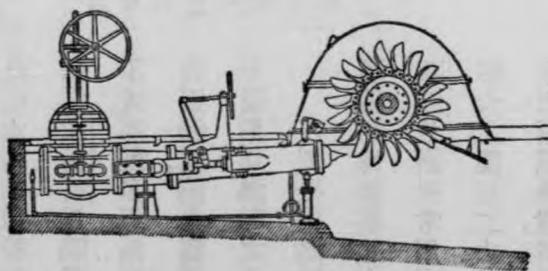
吉刺得氏渦輪 吉刺得氏

渦輪，亦為衝擊式之一種，為今日歐洲各國所常用者。輪之組織，以等大之圓板二，去其中部，使成兩環形兩環疊置，其間置彎曲之葉



第九圖——拍氏輪

板若干，平均分配於環之四週，如此一一固定，中置一軸，則成爲輪，如第十一圖所示。吉刺得氏渦輪之裝置，可於第十二圖中見之。圖中W爲輪，B爲輪葉，g爲導流靜葉板，G爲閘門，可任意開閉，以調



第十圖——拍氏渦輪之全形

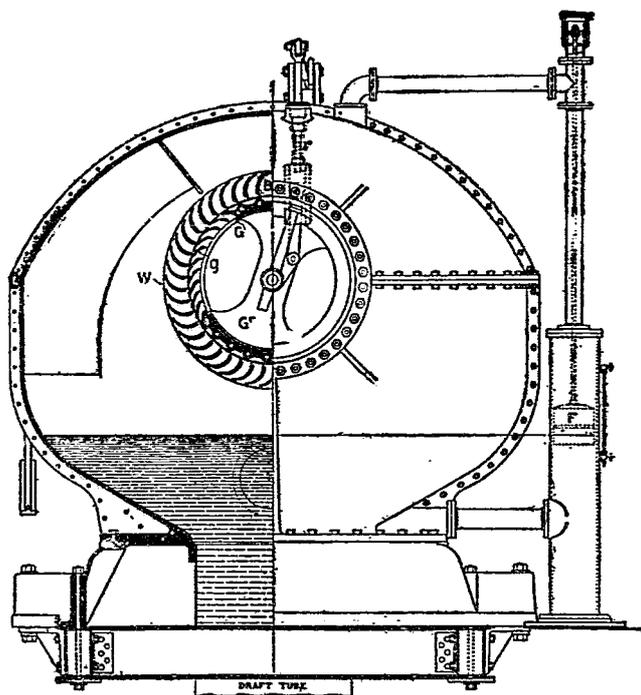
注意圖中之針塞射水管



第十一圖——查氏渦輪之輪

節水流量。G 門由 Gr 連接至 r 而與機上之調速器 (Governor) 相聯。此式渦輪，亦可稱為沿徑外流式。若靜葉板置於輪外之四週，使水流擊於輪之外部，然後流向中心，則為沿徑內流式。

速度之調節 當水渦輪之負荷量 (load) 變動時，其速度必隨之變動，欲保持速度一定，必須調節水流量，使與渦輪之負荷相稱。調節水流之法，不可用普通之節流活門 (throttle valve) 為之，蓋水流經過節流活門時，阻力甚大，源頭必因而損失故也。拍爾吞氏渦輪水流之調節，恆用針塞射水管 (needle nozzle) 為之，如第十圖所示。管中之針塞，可前後移動，以增減射流之水量。



第十二圖——吉氏渦輪

當負荷量驟增時，渦輪之速度欲降，此時由調速器自動將針塞向管內移動，以增加水量，使與負荷量相稱。當負荷量驟減時，渦輪之速度，有升高之傾向，此時管口之針塞，不可驟閉，因水由導管入射水管時，必有相當之速度與慣性，若針塞驟閉，必引起管中水流之衝擊，故當由調速器先將射水管向下方，稍稍傾斜，使一部分水流，不與輪葉相擊，於是速度不致增加，同時將針塞徐徐推出，以減少

水量當水量減少時，射水管復漸漸轉向上方，及至水量與負荷量適相稱時，射水管仍回至原位，而水流之全部仍歸實用。欲免水流之衝擊，除上法外，尚有一法，即於主要射水管之下，另置一射水管，此管平時恆緊閉，負荷量驟減時，則由調速器將其開放，同時將主要射水管略閉，使水量與負荷量相稱，主要射水管之水，一部由下部之射水管流出，不與輪葉接觸，因之速度，不致增高。及負荷量之變動平定後，下部之射水管，仍自動漸漸緊閉。以上兩法，以前者應用較多。

吉刺得氏渦輪速度之調節，可於第十二圖中見之。G門之啓閉，有調速器管理之，其構造與下章反動式渦輪中之箒式門相若，讀者可參閱下章。

衝擊式渦輪之使用情形 衝擊式渦輪工作時之情形，可列舉如次：

- (一) 葉板上水流之出口，不受限制。
- (二) 水流入輪時，或平均分配於輪週，或僅擊於輪週之一部分，因輪之種類而異。
- (三) 葉板間之水流，從不充滿，其壓力恆與大氣壓力等。
- (四) 動力全由水之速度而得。

(五) 水由輪內排出時，恆在尾水面之上。

(六) 尾水管於尋常狀況時，不能應用（參閱第五章。）

衝擊式渦輪，多用於水頭較高之處。因此種渦輪，其排出之水，必在尾水面之上，且不能利用尾水管，源頭高則尾水源頭僅及總源頭之一小部分，故不妨犧牲之。拍爾吞氏渦輪，不宜用於巨大功率之發展，故用於水量較少之處，較爲適當。吉刺得氏渦輪，則多用於歐洲各國源頭在三百英尺以上者恆用之，通常且設法使尾水不與輪接觸，以使用尾水管。

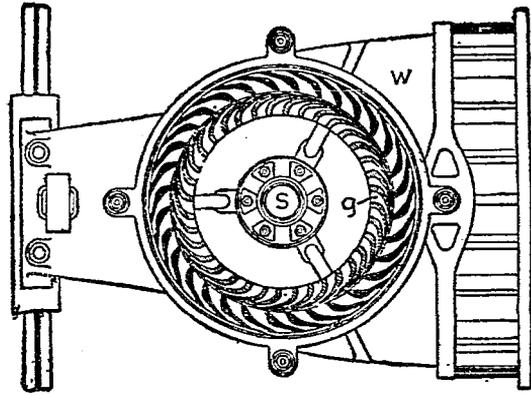
瑞士之某處，設有三千馬力之拍爾吞氏渦輪五座，其所利用之水頭，爲五四一二英尺，射流直徑一英寸有半，輪之直徑十一英尺六英寸，迴轉速度每分鐘五百周。美國所用之拍爾吞氏輪，其水頭常在爲一千英尺至二千英尺之間，二千英尺以上者亦偶有之。用於拍爾吞氏輪之射流，其直徑最大者，約十英寸有奇，其源頭約爲五百英尺。又有一單獨之射流，其直徑僅八英寸，供給一拍爾吞氏輪，其功率爲一萬五千馬力，源頭千七百餘英尺，輪速每分鐘三百七十五周。

近世衝擊渦輪之效率，約自百分之七十五至百分之八十五，在功率較小者，有時不及百分之七十五。

第四章 反動式渦輪

略史 反動式渦輪，實以帕刻氏水磨爲鼻祖，前已言之。其第一步改良，乃將第二圖之乙管改作兩曲臂形，如第六圖（A）旋爲塔，高功率起見，乃將曲臂數目，逐漸增加，於是成爲輪形。一八二六年，佛涅綸氏應用此理，發明其沿徑外流式之反動渦輪。同年，逢司勒特（Poncelet）氏亦應用此理，另作一反動渦輪，水流由輪週流向中心，是爲沿徑內流式。顧製造粗陋，應用未能滿意，致當時人多忽視之。一八四九年，法蘭西斯氏依逢司勒特氏之計畫，仿製一輪，其結構雖同，而製作則十分精細。法蘭西斯氏又將此輪試用之結果，詳加解析，公佈於世，然後此沿徑內流式之反動渦輪，始引起工程家之注意。法蘭西斯氏之名，乃隨之而不朽。

今日所有之反動式渦輪，大都爲佛涅綸氏式與法蘭西斯氏式兩種，尤以後式爲最普通。顧今之法蘭西斯氏式渦輪，均改爲沿徑內彎流式，其彎度較原形爲平均，乃歐美所最通用者。

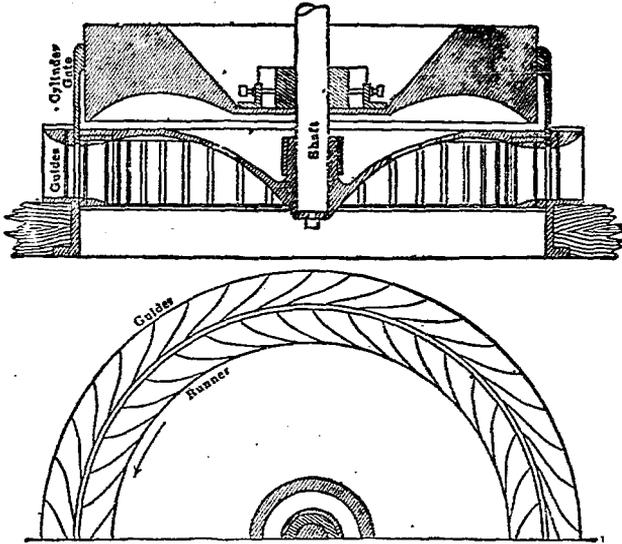


第十三圖——富氏渦輪之橫切面

佛涅綸氏渦輪 佛涅綸氏渦輪之原理，可於第六圖中(F)(G)兩圖見之。兩圖中之輪，均在外圈，水流由中心送入，經各靜葉板，依矢示之方向，平均分向輪週排出。當水流充滿於機中，分向輪週排出時，水流之速度甚低，而壓力則甚大，因動葉板之彎曲，水流之方向改變，因施一反壓力於各動葉上，致令輪依所示之方向迴轉。佛涅綸氏渦輪，又可於第十三圖見之。圖中之機，有上下二輪，曾應用於美國尼亞格拉(Niagara)之動力廠，每輪之功率凡五千馬力，輪速每分鐘二百五十轉。

法蘭西斯氏渦輪 法蘭西斯氏渦輪之原形，見第十

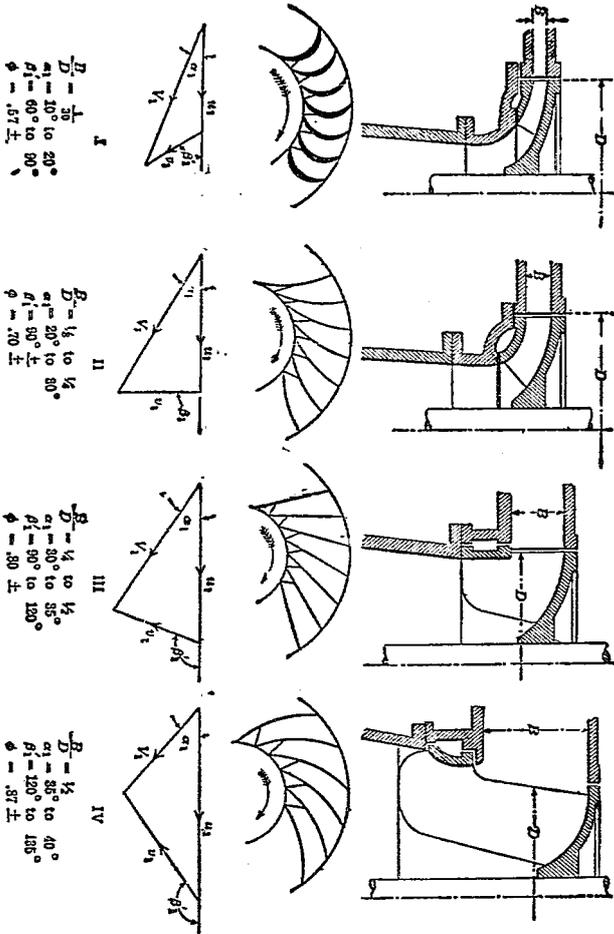
四圖。水流由靜葉入輪後，流向中心，終則轉向軸之方向排出，此為純粹沿徑內流式，今已不用。今之法蘭西斯氏渦輪，其水在輪中時，即漸漸彎向下方，然後由軸之方向排出，是為沿徑內彎流式，可於



第十四圖——法氏渦輪之原形

第十五圖見之，今之反動式渦輪，其輪之形式大都不出此四種。圖中之（一）與法蘭西斯氏原輪最為近似，其餘三種則因欲增加渦輪之功率及速度，遂將水流之入口逐漸放大。圖中之（四）為最新之高速度高功率渦輪之形式，第十六圖則為輪之全形。

法蘭西斯氏反動式渦輪之輪，約可分二大類，即單排式與雙排式，已於第二章中及之。輪之製造多用鑄鐵（Cast Iron）或鑄鋼（Cast Steel）。其在內彎流式，則多全部鑄成，大者可分為數節，製成後再用鉚釘（Rivets）接成一體。



第十五圖——輪之各種形式

內彎流式

渦輪之優點

佛涅輪氏渦輪

為沿徑外流式；

法蘭西斯氏渦

輪，今改用內彎

流式，前已言之。

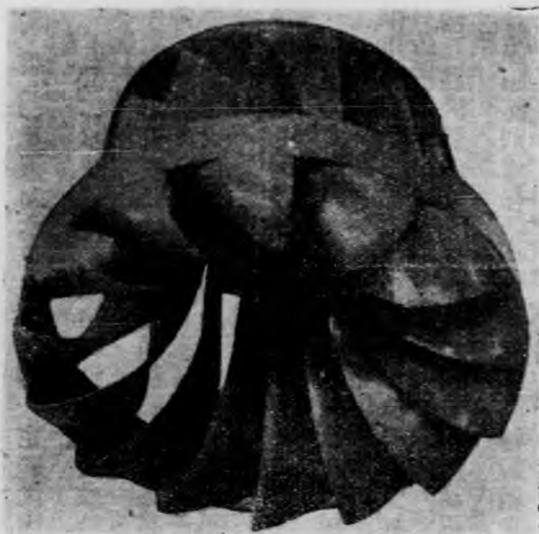
近世所用反動

式渦輪，均作後

式，蓋其優點有

五，茲列舉之如

下：



第十六圖——法氏渦輪之輪

(一)內彎流式之輪，構造較為緊湊，所佔地位較小，且可全體鑄成，機械之強度較大。

(二)輪身既緊湊而縮小，則其價較廉，且迴轉速度可以增高，以便直接引動發電機，而令後者之直徑較小。

(三)水流由外向內，則靜葉板及調節水量之活瓣，均排置於輪之外週，製造易於精緻，可使實用時之損耗較少，且一切裝置，便於時時察看。

(四)水流入輪後，須令其面積漸漸縮小，在沿徑內流式中，此層易於辦到。

(五)尾水管易於裝置，効力較大。

有此五點，故今之反動式渦輪，均取法蘭西斯氏之設計，而改用沿徑內彎流式，至於佛涅輪氏

渦輪則難與競爭矣。

反動式渦輪之使用情形 反動式渦輪之工作情形，約舉如下：

(一) 葉板間水流之路程，受一定範圍，因之生反壓力，以得運動。

(二) 水流入輪時，無論爲沿徑內流或沿徑外流，其全量恆平均分配於輪周。

(三) 葉板間之水流，充滿無隙，壓力甚高。

(四) 大部分之動力，由水之反壓力而得。

(五) 輪中之水，恆排入一尾水管，其排出時，恆在尾水面之下。

反動式渦輪，多應用於源頭較低，水量較大之處。因此種渦輪可淹沒於尾水內，或藉尾水管之作用，以利用全部源頭，不使廢棄故也。水量較大，則功率亦大。反動式渦輪，其功率較大者，較他種渦輪爲易於製造。反之，反動式渦輪若用於高源頭，則輪殼及輪身，必異常堅固，方足耐高大之水壓力。且源頭高則水在輪中之速度亦高，輪殼輪身，均易剝蝕。顧剝蝕之作用，與水流之化學性質，亦有相當之關係。例如某廠造同式之渦輪二，一應用於清潔水流，源頭高二百六十英尺，經六年後，輪尙健

全如初；其另一輪應用於污濁之水流，源頭高僅一百六十英尺，乃比及四年，而全輪剝蝕幾盡。於是改用衝擊式渦輪。於同一源頭之下，若用衝擊式渦輪，則水對輪葉之相對速度較低，故剝蝕亦較遲，且若用拍爾吞氏衝擊式渦輪，則輪葉之修理與掉換，尤為簡易。

今世反動式渦輪所用之源頭，其最低者僅十六英寸，尋常之低者約數英尺。其最高者為八百英尺，輪之功率為二、二五〇〇馬力。

前數年之反動式渦輪，其大者如坎拿大之栖得河水力公司（Cedar Rapids Manufacturing and Power Company）所有之數座，其功率各為一〇、八〇〇馬力，源頭三十英尺，輪速每分鐘五十六周。輪之最大直徑約十七英尺八英寸，輪重一六〇、〇〇〇磅，其所引動之發電機，約重三九〇、〇〇〇磅。水力發電機之總重量為一百六十萬磅。

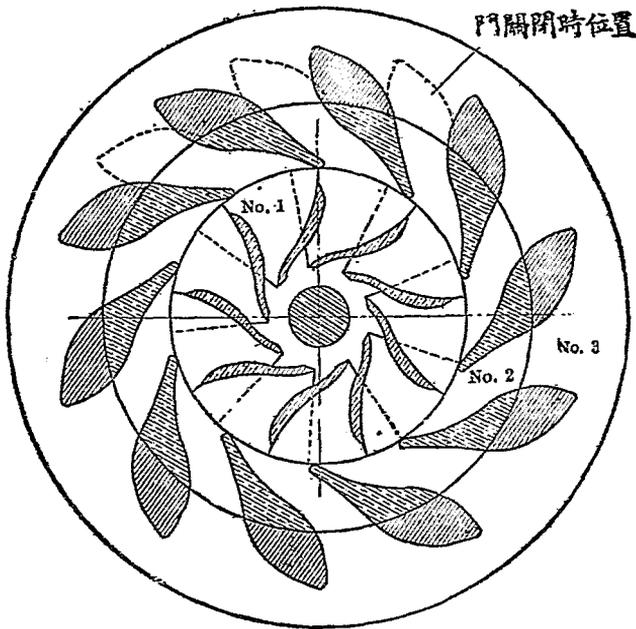
近世所用之反動式渦輪，功率大至兩三萬馬力者甚多。其較大者，如阿力斯察爾麥斯廠（Alsip Schalmers Manufacturing Company）所造之輪，其功率為五、二五〇〇馬力。所用源頭為三百二十英尺。

反動式渦輪之效率，通常約由百分之八十至八十五，其在較大渦輪，可至百分之九十，較小者亦有百分之七十五。

速度之調節 當渦輪之負荷量變動時，欲保持其速度不變，必須調節水流量，使常與負荷量相稱。在反動式渦輪中，調節水流之法約分三種，茲分述之。

(一) 箏式門 箏式門 (cylinder gate) 之形狀，可於第十四圖見之。圖中所示，為完全開放時之情形，若將箏移下，則水流之入口漸小，故水量減。若完全移下，則門緊閉。此種水門，當其半開之時，水流所受之阻力甚大，其最高之效率當在完全開放時，即渦輪負荷量最高時也。當負荷量輕時，水門僅一部分開放，其效率轉低，故今世罕用之。

(二) 旋轉門 旋轉門 (register gate) 之形狀，略如第十七圖。用此種水門時，靜葉板須分為二部製成，其近輪週之一部，係固定於機殼上，其外面一部，則一一固定於另一環上，此環可以旋轉，使靜葉之外部，至點線所示之位置，將水流完全截去。當渦輪負荷增減時，環之位置，可由調速器 (governor) 時時調動，使所入水流適與負荷相稱。此種水門，雖較箏式門略佳，然當其一部分開放



1 = 輪 2 = 機殼 3 = 水門

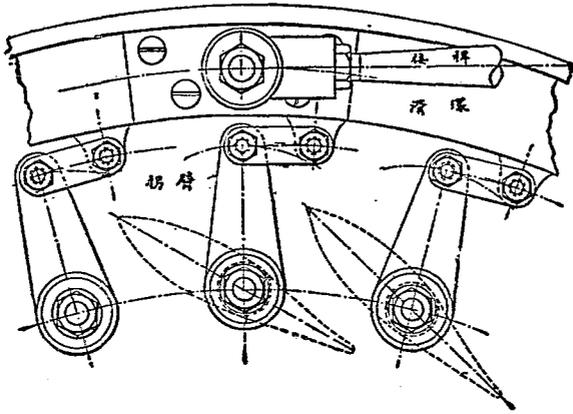
第十七圖——旋轉水門

時，水流所受阻力亦大，故今日亦鮮用之。

(三) 搖動門 搖動門 (Sw-

ing gate 或 wicket gate) 最佳，

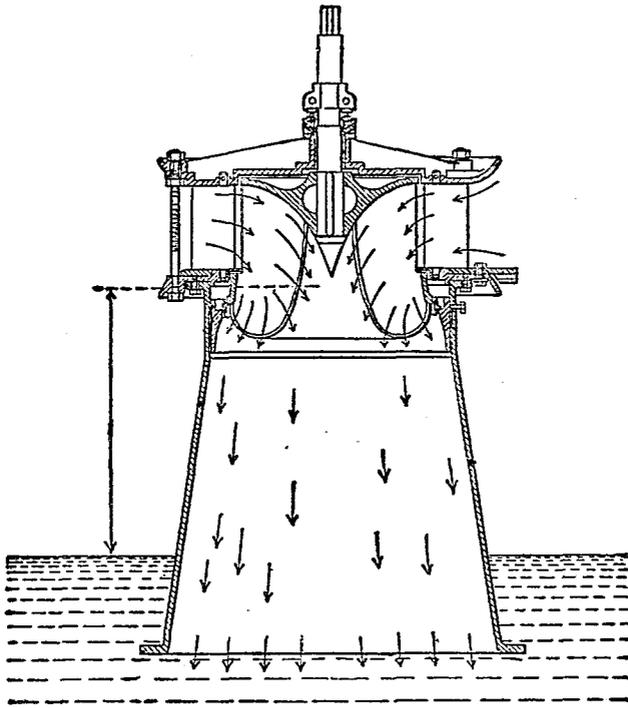
故今多用之，價亦較昂。其構造可由第十八圖見之。其調節水量之法，係將各靜葉板左右搖動，以變更其間之距離，因而變更水流之橫剖面積。故用此種水門時，渦輪之靜葉板須一一用樞釘 (pivot) 繫於機殼之四週，使各靜葉板可依各釘為軸而旋動。但各葉轉動



第十八圖——搖動水門

之程度，必須一致，故各葉均用同式之拐臂 (Gate arm) 接於一滑環 (shifting ring) 上，滑環與調速器之間，聯以聯桿 (connecting Rod)，故環之運動，得由調速器直接管理之。

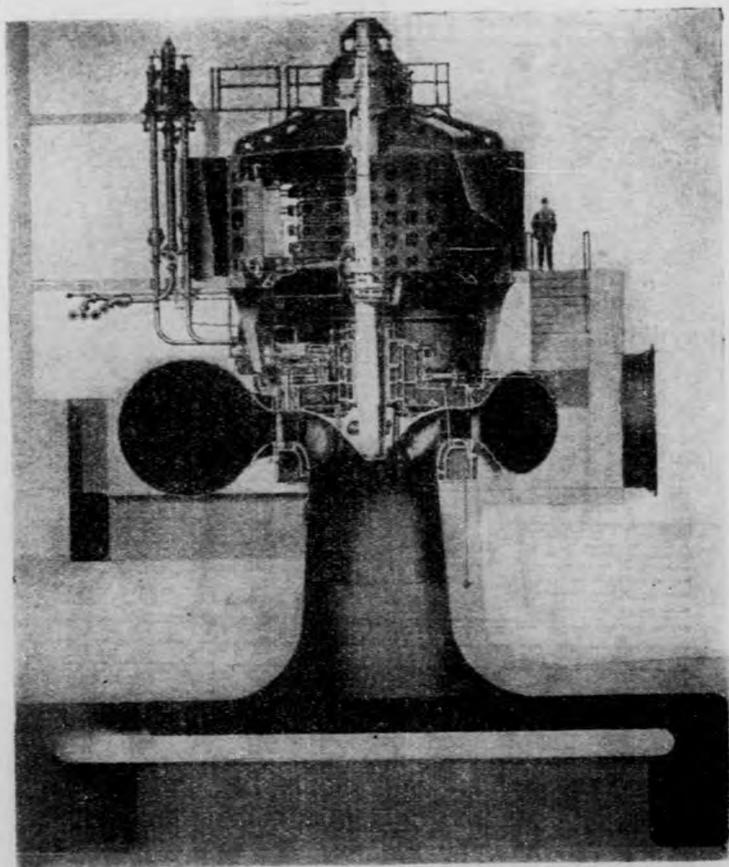
尾水管 反動式渦輪可淹沒於尾水中，以利用全部源頭，前已略言之。願為便於檢驗及修理起見，渦輪恆裝於尾水面之上，是輪中排出之水，距尾水面尚有相當之高度，而此高度所代表之源頭，不會完全損失。欲避免此種損失，不得不利用尾水管。尾水管之構造，略如第十九圖。管之上端密接於機殼，下端浸入尾水。當水由輪中排出時，管中空氣被其帶下，此時輪中既滿盛水，外間空氣無隙可入，故不久管中即滿盛水。若管之高度在三十



第十九圖——尾水管

英尺以下，則管中之水可與輪中之水聯成一氣，如虹吸 (siphon) 然。此時管中之上壓力，較空氣壓力為低，其降低之量滴約等於管中水柱所表示之壓力。是不啻將尾水之源頭，無形利用矣。

尾水管之製造，多用鋼鐵，其形如截頭圓錐體，亦可用水泥築成，與渦輪之基礎作為一體，如第二十圖。



第 二 十 圖

參 柒 伍 〇 〇 馬 力 之 渦 輪 發 電 機

第五章 水力機之理論

引言 水力學之範圍甚廣，非本書所能詳敘。本章僅就水力學之初步與本書有直接關係者，約略述之，以作參考。

測量之單位 水力學上所常用之單位，長度爲英尺，面積爲平方英尺（或簡稱平方英尺），容積爲立方英尺，或加倫（按加倫有兩種，一爲美加倫，一爲英加倫。一美加倫等於二三一立方英寸，等於 $0 \cdot 1331$ 立方英尺，等於 $0 \cdot 8331$ 英加倫。）重量之單位爲磅，功與能之單位爲英尺磅。

水之物理的性質 水雖非一完全流體，然在工程上，常可作如是觀。故水之分子間相互之壓力，恆與接觸面垂直。淹沒於水中之任何物體，其所受之水壓力，亦必與接觸面垂直。

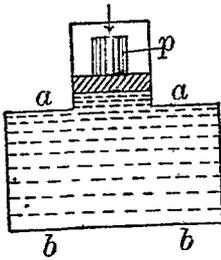
水之重量，常依溫度與所含雜質量而變異。在尋常溫度時，每一立方英尺之蒸餾水約重六二

• 四磅。水力工程上計算時，淡水每立方英尺之重量，可命為六二·五磅，鹹水每一立方英尺，約六四·〇磅。

水受壓束時，其體積微減。據格來西 (Green) 氏之實驗，在冰點時，每一氣壓之壓力，可使水之體積縮小十萬分之五，故在工程上，常認水為不可壓縮之液體。

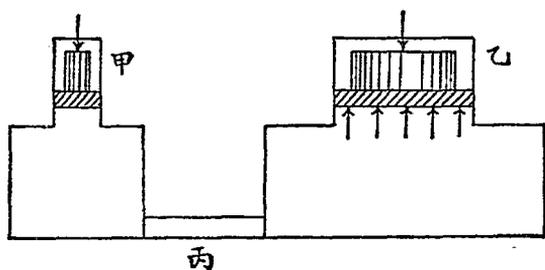
壓力之傳達 凡流體受壓力時，必將其所受之壓力，傳於各方向，而不改其強度。今設於第廿一圖之活塞 P 上，施以每平方英寸十磅之壓力，則容器之各方，亦必受同等之壓力。其在 a 部之壓

力向上，在 b 部之壓力向下，在四週之壓力則分向四週，蓋必與接觸面垂直也。



第 廿 一 圖

再就第廿二圖觀之，甲乙二密封之容器，以導管丙聯之，若以每方英寸 p 磅之壓力，施於甲方之活塞上，則此壓力必能傳至乙方，乙方活塞所受之上壓力，亦為每平方英寸 p 磅。若使乙塞之橫面積，為甲塞之百倍，則乙塞所受之全壓力，亦必為甲塞上所加全



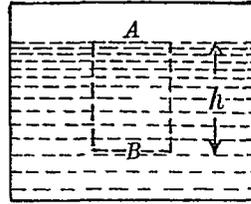
第廿二圖——水壓力之傳達

力之百倍。故於甲塞上置一磅之力，可使乙方生百磅之力，易言之，即以小力可以得大力，水壓機 (Hydraulic press) 即以此理製成。

水壓力 水壓力由水之重量而生，茲就第廿三圖說明之。設水柱 A B 之高度為 h 呎，其橫剖面積為一平方英尺，則其體積為 $1 \times h = h$ 立方英尺。水柱之重量為 $h \times 62.5 = 62.5h$ 磅。此重量全由 B 面負之，故 B 面所受之水壓力，即為每平方英尺 $62.5h$ 磅。依同理，與 B 面同一水平面上之任何一點，其所受之水壓力，亦為 $62.5h$ 磅。又據前節壓力傳達之理，水之壓力，可施於任何方向，故於 h 英尺深處之任何一點，對於任何方向之壓力，皆為 $62.5h$ 磅。

水每立方英尺之重量，既約為常數，吾人可以 w 表之，故水壓力 p 為

$$p = wh, \quad h = \frac{p}{w}$$



第 廿 三 圖

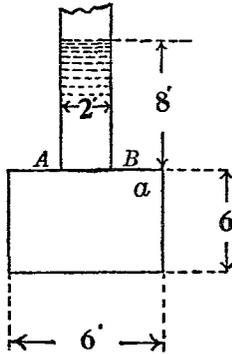
由是可知水之壓力，與深度 h 成正比，即以深度代表水之壓力，因稱 h 為 B 面上任何點之水壓頭 (pressure head) 或簡稱曰水頭 (head)。每英尺之水頭，即代表每平方英尺六二·五磅之水壓力。尋常壓力之強度，多以每平方英寸磅數計，每平方英尺六二·五之壓力，等於每平方英寸 $0 \cdot 434$ 磅。(62.5 ÷ 144 = 0.434)。故每英尺之水頭，即代表每平方英寸 $0 \cdot 434$ 磅之壓力，而每平方英寸一磅之壓力，約需水

頭 $11 \cdot 110$ 四英尺 ($1 \div 0.434 = 2.304$) 也。

{例題} 第廿四圖為一桶狀之容器，其上下兩部之直

徑及高度，均如圖示。試求：(一)距水面十英尺之 a 點處之壓力；(二)容器底部之全壓力；(三) AB 部分之上壓力；(四)容器中水之重量。

解 (一) a 點之水頭為十英尺，故其處之水壓力，為



第 廿 四 圖

每平方英尺 $10 \times 0.434 = 4.34$ 磅。此壓力作用於各方向，與容器之大小及形狀無關係。

(一) 容器底面上之水頭為十四英尺，故其處之水壓力，為每平方英尺 $62.5 \times 14 = 875$ 磅。又容器之底面積為 $\frac{3.14 \times 6^2}{4} = 28.26$ 平方英尺，故其處之全壓力為 $875 \times 28.26 = 24728$ 磅。

(二) A B 部之面積為 $\frac{\pi (6^2 - 2^2)}{4} = \frac{3.14 \times 32}{4} = 25.12$ 平方英尺，其處之水頭為八英尺，其每平方英尺之壓力當為 $8 \times 62.5 = 500$ 磅。A B 部分所受之全壓力為 $500 \times 25.12 = 12560$ 磅，此壓力之方向係向上。

(四) 容器下部之容積為 $\frac{6 \times 6^2 \times 3.14}{4} = 169.56$ 立方英尺，其上部之容積為 $\frac{8 \times 2^2 \times 3.14}{4} = 25.12$ 立方英尺，總容積為 $25.12 + 169.56 = 194.68$ 立方英尺，器中之水重為 $194.68 \times 62.5 = 12167$ 磅。

上列之計算，理甚簡單，惟須注意者，器底所受之全壓力，不等於器中之水重，而器中之水重，適為器底所受之全壓力，與 A B 部分之全上壓力之差也。

水流之連續方程式 平穩之水流，經過導管或任何溝道時，其每單位時間流過此管或溝道

各橫剖面之水量，必一一相等。設命 a_1, a_2, a_3 等為水管各部之橫切面積， v_1, v_2, v_3 等為各部水流之速度，則每單位時間流過各剖面之水量，當為

$$q = a_1 v_1 = a_2 v_2 = a_3 v_3 = \dots \dots \dots$$

此為水流之連續方程式。

水流之能力——勢能，動能，壓能 任何物體，於空中自由墜落時，若無外力阻礙，則其所蓄之能始終為一定量，此物理學之定則也。物體所蓄之能，或藉其位置，是為勢能；或藉其速度，是為動能。當物體自由墜落時，其兩種能力可互相變換，其總量則不增減。例如 W 磅重之物體，靜置於高 H 英尺處，則其所蓄之能為 WH 英尺磅，且全為勢能。今若令其自由下墜，則行至中途，得有每秒 v 英尺之速度時，設其距地面尚有 z 英尺，則此物體此時之勢能為 Wz 英尺磅，其動能為 $\frac{1}{2} M v^2 = \frac{1}{2} \frac{W}{g} v^2$ 英尺磅，而其全能則仍應為 WH 英尺磅。今以 E 表示此物體之全能，則

$$E = WH = Wz + W \frac{v^2}{2g} = W \left(z + \frac{v^2}{2g} \right) = \text{常量}$$

茲就單位質量言，則物體每磅所蓄之能 E ，當為

$$E_1 = \frac{E}{W} = H = z + \frac{V^2}{2g} = \text{常量} \dots \dots \dots (1)$$

由(1)可知物體每磅所蓄之能，可以其靜止時距地之高度表之。迨其下落至任意一點時，其每磅之勢能又可以其此時距地之高度 z 表之，其動能又可以其已經降落之高度 $V^2/2g$ 表之。按物理學， $V^2/2g$ 爲物體自由降落得有速度 V 時所已降之高度。兩者之和，恆爲 H ，是與能不滅之定則，適相吻合。

水之下流，亦猶物體之自由降落也，苟無外力阻礙，則其全能亦爲常量。顧水能之存在，不僅藉水之位置與其速度，而又可藉其壓力，故水流之能力，除勢能與動能外，又有所謂壓能 (Pressure energy)。壓能者，藉壓力以作功之一種能力也。水之壓能，可於簡單之水壓發動機中見之。置水於適當之容器中，器接一水管，導水入發動機，則後者運動而生工作，此壓能之表現也。每磅水之壓能，亦可以一高度表示之，卽其水壓頭 h 是也。今設於第九圖之水流中，任取一點，而考其每磅水之全能，則(1)式亦可應用，第須加壓能一項而已，卽得下列公式。

$$E_1 = H = z + \frac{V^2}{2g} + h = \text{常量} \dots \dots \dots (2)$$

式中之 h 又可用 $\frac{p}{w}$ 代之，(2) 式又變為

$$E_1 = H = z + \frac{V^2}{2g} + \frac{p}{w} = \text{常數} \dots \dots \dots (3)$$

(2)(3) 兩式，表明水流於運動時，三種能之關係。當其運動之時，若無外力阻礙，則其所蓄之能，始終保持定量，此為能不滅定則之推論。今於若干水流中任取 1, 2, 兩點，而考其能，則

$$z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + \frac{p_1}{w} = z + \frac{V^2}{2g} + \frac{p_2}{w} \dots \dots \dots (4)$$

柏努利氏定理——水勢頭，水速頭，水壓頭 前節中之(2)，(3)，(4)，等式不僅代表各項之能，若以另一意義觀之，式中之各項，實均代表高度。z 為所指點對於標準水面之高度，又代表每磅水之勢能，通常稱為水勢頭 (potential head)。 $\frac{V^2}{2g}$ 為此點得有速度 V 時所經降落之高度，又代表每磅水之動能，稱之為水速頭 (velocity head)。 $\frac{p}{w}$ 為此點水壓力所可支持之水柱高度，又代表每磅水之壓能，可稱為水壓頭 (pressure head)。又 H 為所指點最初距標準水面之全高度，又代表水流每磅之全能，是為總水頭 (total head)。故(2)，(3)，(4) 三式之意義，不僅為能不滅之定則，實又為水頭不變之定理。以文字表之：水流運動時，若無外力阻礙，則其總水頭恆不變。柏努利 (Bernoulli)

氏首先以數學證明是理，今人稱之為柏努利氏定理 (Bernoulli's Theorem)。

柏努利氏定理之補充 公式(2)，(3)，(4)中所示，為假定水流運動時不受任何阻力之情形。實際上任何水流，均須受相當之阻力，故(2)，(3)，(4)等式，均應補充。今以 h' 代表每磅水因阻力所損之能，亦即所損之水頭，則以上之式應變為

$$H = z + \frac{V^2}{2g} + h + h' \dots\dots\dots (5)$$

$$H = z + \frac{V^2}{2g} + \frac{P}{w} + h' \dots\dots\dots (6)$$

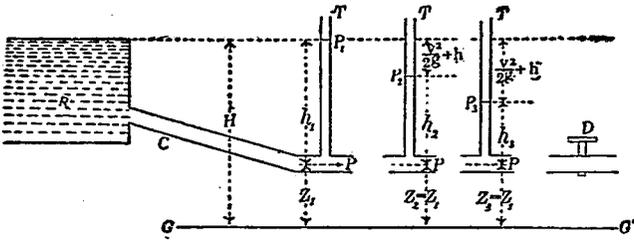
$$\left(z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{w} \right) - \left(z_2 + \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{w} \right) = h' \dots\dots\dots (7)$$

又

每磅水之全能 = $H = z + \frac{V^2}{2g} + \frac{P}{w} + h'$ 英尺磅

總水頭 = $H = z + \frac{V^2}{2g} + \frac{P}{w} + h'$ 英尺

今就第廿五圖考之，圖中 R 為容器，C 為導管，D 為啓閉瓣，G，G' 為標準水面。當 D 瓣緊閉時，T



第 二 五 圖

管中之水，必升至 P_1 點，與 R 中之水面相平，此時導管 C 中 P 點之水頭為 z_1 英尺，水壓頭為 h_1 英尺，其水速頭為零。故

$$\text{總水頭} = H = z_1 + h_1 \text{ 英尺}$$

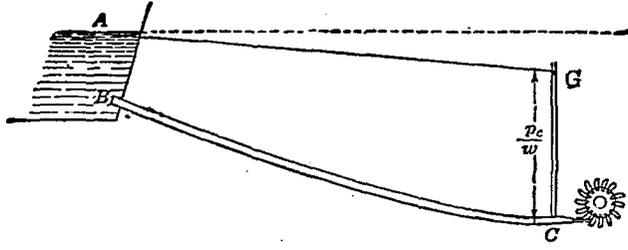
今將 D 瓣半開，水由 C 管流出，設此時 P 點之速度為 V ，則 T 管中之水面，必降至 P_2 ，此時之水勢頭仍為 z_1 英尺，水壓頭為 h_2 英尺，其水速頭為 $\frac{V^2}{2g}$ 英尺，又設水頭之損失為 h' 英尺，則

$$\text{總水頭} = H - h' = z_1 + \frac{V^2}{2g} + h_2 \text{ 英尺}$$

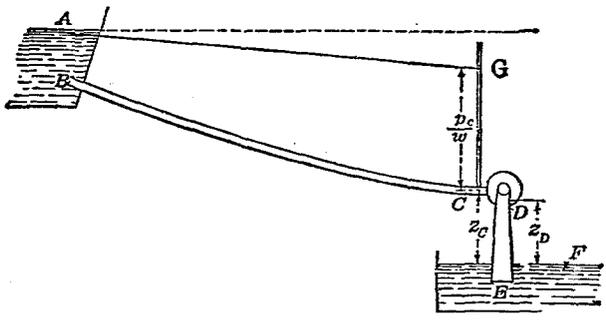
若將 D 瓣完全開放，則水流之速度增至 V' ， T 管之水面亦必更降至 P_3 ，此時之水勢頭仍為 z_1 英尺，水壓頭為 h_3 英尺，水速頭為 $\frac{V'^2}{2g}$ 英尺，再設損失之水頭為 h'' 英尺，則

$$\text{總水頭} = H - h'' = z_1 + \frac{V'^2}{2g} + h_3 \text{ 英尺}$$

觀上三式，可知若無阻力之損失，則 T 管中水面所降低之高度，適



(甲)——沖擊式渦輪之有效水頭



(乙)——反動式渦輪之有效水頭

第廿六圖——渦輪所受之有效水頭

等於P點之水速頭。

水輪所受之有效水頭 水輪

所受之有效水頭 (effective head),

當為頭水之總水頭, 減去導管所耗

之水頭。今命總水頭為 z , 損耗水頭

為 H' , 水輪所受之有效水頭為 h , 則

$$h = z - H' \dots \dots \dots (8)$$

故第廿六圖之沖擊式渦輪所

受之有效水頭當自C點量至G點,

即

$$h = H_c = \frac{P_c}{w} + \frac{V_c^2}{2g} \dots \dots \dots (9)$$

同圖中之反動式渦輪, 裝有真

空排水管，故此輪 C 點所受之有效水頭，可自尾水之面量至 G 點，即

$$h = H_c = z_c + \frac{p_c}{w} + \frac{V_c^2}{2g} \dots\dots\dots (10)$$

但水流由排水管之 E 點排出時，仍不免有相當之速度 V_E ，其水速頭為 $\frac{V_E^2}{2g}$ ，此水頭未經渦輪利用，實為一種損失，故

$$h = H_c - H_E = z_c + \frac{p_c}{w} + \frac{V_c^2}{2g} - \frac{V_E^2}{2g} \dots\dots\dots (11)$$

功率及效率 每秒時所作之功，謂之功率 (power)，其單位為每秒英尺磅，或為馬力。每馬力等於每秒五五〇英尺磅。每磅水流之能，可以其總水頭 H 表之，已如前述。

$$\text{功率 } P = WH \text{ 英尺磅/秒} \dots\dots\dots (11)$$

式中之 H 或為 (3) 式中之 H，或為 (8)，(9)，(10) 等式中之 h，或為 h' (即化為機械功之水頭，視所求功率之性質而異。

功率又可以下列兩式表之：

$$\text{功率} = \text{力} \times \text{速度 (依力之方向)} = Fv \text{ 英尺磅/秒} \dots\dots\dots (12)$$

式中 F 爲水流施於葉板運動方向之力，以磅計； u 爲葉板之速度，以每秒英尺計。

設 T 爲水流施于輪週之力幾， ω 爲輪之角速度， r 爲輪之半徑，則

$$T = F \times r, \omega = \frac{u}{r}$$

$$\text{功率} = Fu = \frac{T}{r} \times ur = T\omega = T\omega \text{ 英尺磅/秒} \dots\dots\dots (13)$$

(11)，(12)，(13) 三式，均可用以求功率，而 (11) 式較爲普通。

水輪實作之功率，與所受全功率之比，謂之總效率 (efficiency)。設水輪之總效率爲 e ，有效

水頭爲 h ，每秒所受水流爲 q ，每立方英尺之水流爲 w ，則

$$\begin{aligned} \text{實作功率} &= e \times WH = eqwh \text{ 英尺磅/秒} \\ &= \frac{eqwh}{550} \text{ 馬力} \dots\dots\dots (14) \end{aligned}$$

式中之 q 可由連續方程式求之，即

$$q = pav = pa\sqrt{2gh}$$

故 (14) 式又可書爲

$$\text{實作功率} = \rho k a \sqrt{2gwh} \frac{1}{2} \dots\dots\dots (14 A)$$

k 爲導水管之橫剖面積， k 爲常數，其值必小於 1。

ρ 之值，通常約爲百分之八十。

總效率 ρ ，爲容量效率 (volumetric efficiency) ρ_v ，水力效率 (hydraulic efficiency) ρ_h ，與機械

率 (Mechanical Efficiency) ρ_m 三者相率之積。即：

$$\rho = \rho_v \times \rho_h \times \rho_m \dots\dots\dots (15)$$

容量效率爲水輪中實受水量與所供給之水量之比。其兩水量之差則爲洩漏之水量。

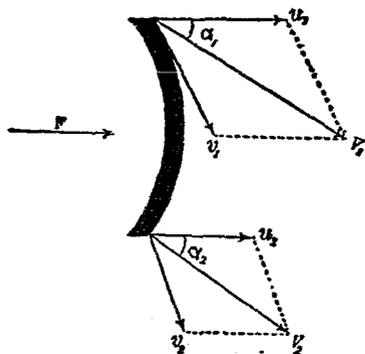
水力效率爲水輪實受功率與實受水量所有功率之比。其兩功率之差，則爲水力之損失。

機械效率爲水輪實作功率與實受功率之比。其兩功率之差，則爲機械各部阻力之損失。

水流施於靜止葉板之力 設有彎曲葉板，受水流衝擊，則其所受之力，當等於水流運動量之

變更。即

$$P = \frac{W}{g} (V_1 \ominus V_2)$$



第廿七圖——輪葉速度之向量圖

力，設以 F 表之，則由第廿七圖，

$$F = \frac{W}{g} (V_1 \cos \alpha_1 - V_2 \cos \alpha_2) \dots\dots\dots (16)$$

此為水流使渦輪作功之力。

絕對速度與相對速度 尋常所謂物體之速度，乃指其對於地球之速度而言，顧地球自身亦時時運動，故一切速度，均屬相對的。尋常習慣，稱物體對於地球之速度為絕對速度 (absolute

式中為水流施於葉板之力；

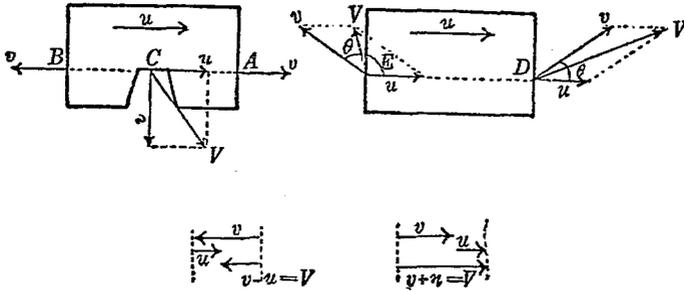
W 為每秒衝擊葉板之水重；

V_1 為水流最初之速度；

V_2 為水流離葉時之速度。

⊖ 符號表明 V_1 與 V_2 之向量差 (vector difference)

V_1 與 V_2 之方向，既非一致， P 之數值須用向量加減法求之。於水力機中，吾人所欲研究者，為 P 沿輪葉運動方向之分



第 廿 八 圖

velocity)。蓋假設地球為靜止也。例如鐵路列車每小時行八十里，是即列車之絕對速度。又稱兩運動物體互相比較之速度為相對速度 (relative velocity)，即假定一物靜止他物對之速度。例如甲車向東每小時行三十里，乙車向東每小時行五十里，則兩車之相對速度為每小時二十里。又若甲乙兩車，背道而馳，每小時各行三十里，則兩車之相對速度為每小時六十里。今設於第廿八圖之水容器上 A. B. C. D. E 諸點各鑽小孔，則水由各孔射出，各點射出之水，對於容器之速度，均當為 $\sqrt{2gh}$ 英尺，若容器以每秒 u 英尺之速度向右運動，則各水流之絕對速度 V ，當如下表所列：

點之位置	水對於容器之相對速度	水之絕對速度(對地球)	θ	$\text{Cos}\theta$
A	$v = \sqrt{2gh}$	$V = v + u$	0°	1
B	$v = \sqrt{2gh}$	$V = v - u$	180°	-1
C	$v = \sqrt{2gh}$	$V = \sqrt{v^2 + u^2}$	90°	0
D	$v = \sqrt{2gh}$	$V = \sqrt{v^2 + u^2 + 2vu\text{cos}\theta}$	θ	$\text{Cos}\theta (+)$
E	$v = \sqrt{2gh}$	$V = \sqrt{v^2 + u^2 + 2vu\text{cos}\theta}$	θ	$\text{Cos}\theta (-)$

水流之相對速度與絕對速度之關係,在水力工程上,甚為重要,蓋常藉以計算水流之動壓力 (dynamic pressure) 及功也。

水流施於運動葉板之動壓力 當葉板運動時,水流施於其上之力,與靜止時略同,惟須注意者,公式(14)中之W略異耳。當葉板靜止時,

$$W = 2W'V, \text{磅/秒}$$

式中 a 爲水流之橫切面積，以平方英尺計；

w 爲每立方英尺之水重，以磅計。

V 爲水流之絕對速度，以每秒英尺計。

當葉板運動時。設其沿水流方向之速度爲 u ，則每秒衝擊葉上之水爲：

$$W' = aw(V - u) \text{ 磅/秒}$$

然若就水輪之全體言，則每秒衝擊輪上之水，仍爲 W 磅。此因輪之週圍，裝有葉板甚多，當輪迴轉時，各葉板相繼受水流之衝擊也。故論水輪全體所受之力時，公式(14)仍可應用，其中之 W 仍爲

$$awV_1$$

水流施於水輪之力幾 設有一論，置有葉板若干，當水流射於輪葉時，輪即轉動。設輪葉上 A 點之半徑爲 r_1 ， B 點之半徑爲 r_2 ，則水流所施之力幾爲

$$T = \frac{W}{g} (r_1 V_1 \cos \alpha_1 - r_2 V_2 \cos \alpha_2) \dots \dots \dots (17)$$

水渦輪之功率 水流施於渦輪之功率，可由(11)，(12)，(13)式計算之。設輪葉之速度在 A 點爲

u_1 在 B 點爲 u_2 , 則因 $u_1 = r_1\omega, u_2 = r_2\omega$,

$$\begin{aligned} \text{功率 } P &= wqh'' = \Gamma\omega = \frac{W}{g}(r_1V_1\text{Cos}\alpha_1 - r_2V_2\text{Cos}\alpha_2)\omega \\ &= \frac{W}{g}(u_1V_1\text{Cos}\alpha_1 - u_2V_2\text{Cos}\alpha_2) \dots\dots\dots (18) \end{aligned}$$

式中爲 h'' 化成機械功之水頭。

(18) 式所得之功率，爲水流給予渦輪之機械功。渦輪實作之功率，尙小於此，蓋須受機械阻力之損失也。由 (18) 式，

$$h'' = \frac{1}{g}(u_1V_1\text{Cos}\alpha_1 - u_2V_2\text{Cos}\alpha_2) \dots\dots\dots (19)$$

相對運動之能之方程式 設想有 1, 2 兩點。1 點爲水流入輪之點，2 點爲出輪之點，則由 (7)

$$\left(z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{w}\right) - \left(z_2 + \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{w}\right) = h'' + h' \dots\dots\dots (20)$$

式中 h' 化成機械功之水頭；

h' 爲輪內損耗之水頭。

將(19)式中 h' 之數值代入(20)式,則得

$$\left(z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{w} \right) - \left(z_2 + \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{w} \right) = \frac{1}{g} (u_1 V_1 \cos \alpha_1 - u_2 V_2 \cos \alpha_2) + h'$$

由第27圖中之向量圖可得

$$V_1^2 = v_1^2 + u_1^2 + 2u_1 v_1 \cos \beta_1$$

$$V_2^2 = v_2^2 + u_2^2 + 2u_2 v_2 \cos \beta_2$$

$$V_1 \cos \alpha_1 = u_1 + v_1 \cos \beta_1$$

$$V_2 \cos \alpha_2 = u_2 + v_2 \cos \beta_2$$

代入上式,則得

$$\left(z_1 + \frac{v_1^2 - u_1^2}{2g} + \frac{P_1}{w} \right) - \left(z_2 + \frac{v_2^2 - u_2^2}{2g} + \frac{P_2}{w} \right) = h' \dots \dots \dots (21)$$

此式表示水流於1, 2兩點間速度與壓力之關係,與公式(7)相似。

衝擊式渦輪功率之計算法 設有衝擊式渦輪（吉刺得氏式）如第廿九圖，其工作情形及輪徑之尺度如下：

h 爲三五〇英尺；迴轉速度 N 爲每分鐘二六〇周； q 爲每秒鐘一〇〇立方英尺；

α_1 爲十八度； β_2 爲一百六十五度； r_1 爲二英尺； r_2 爲二·五英尺。

水流阻力損失（Hydraulic friction loss）爲 $K \frac{V^3}{2g} = h'$ ，此際

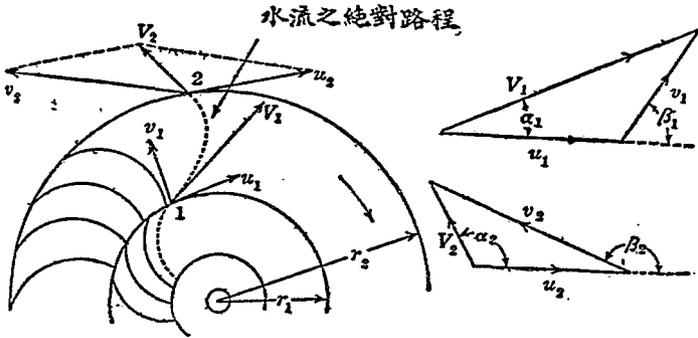
K 之值爲〇·四； e_m 爲〇·九七。

試求下列各項： v_1, v_2 之大小及方向；渦輪所利用之水頭；水力效率（ $e_v = 1.00$ ）；各項損耗；渦輪實受功率；及渦輪實作功率。

解：

水流入輪之絕對速度 $V_1 = \sqrt{2gh} = 8.025 \sqrt{350} = 150$ 英尺/秒

$$u_1 = \frac{2\pi r_1 N}{60} = 54.4 \text{ 英尺/秒}$$



第廿九圖——渦輪速度之向量圖

$$u_2 = \frac{2\pi r_2 N}{60} = 68.0 \text{ 英尺/秒}$$

設水流入輪與出輪時，均在同一水平面上，則 $n_1 = n_2$

又在衝擊式渦輪中，其壓力恆與大氣壓力相等，即 $P_1 = P_2$

∥ Pa

代入(21)式，可得

$$(1 + 0.4)v_2^2 = v_1^2 + u_2^2 - u_1^2$$

$$1.4v_2^2 = 9910 + 4624 - 2960 = 11574$$

$$\therefore v_2 = 90.9 \text{ 英尺/秒}$$

又由三角法可得，

$$V_2 = 30.6 \text{ 英尺/秒}, \alpha_2 = 130^\circ$$

$$V_1 \cos \alpha_1 = 150 \times 0.951 = 143$$

$$V_2 \cos \alpha_2 = 30.6 \times (-0.639) = -19.7$$

$$\therefore h'' = \frac{1}{g} (u_1 V_1 \cos \alpha_1 - u_2 V_2 \cos \alpha_2) = \frac{1}{32.2} (54.4 \times 143 + 68 \times 19.7) = 283 \text{ 英尺}$$

$$\text{水力效率} = \frac{h''}{h} = \frac{283}{350} = 0.81 \text{ (} e_v \text{ 已包括在內, 因 } e_v = 1 \text{ 也)}$$

$$\text{水流阻力損失} = \frac{V^2}{2g} \times 0.4 = 0.4 \times \frac{8270}{64.4} = 51.3 \text{ 英尺}$$

$$\text{尾水損失} = \frac{V_2^2}{2g} = \frac{940}{64.4} = 14.6 \text{ 英尺}$$

$$\text{機械損失} = 0.03 \times 350 = 10.5 \text{ 英尺}$$

$$\text{渦輪實受功率} = \frac{W h''}{550} = \frac{100 \times 6.25 \times 283}{550} = 3220 \text{ 馬力}$$

$$\text{渦輪實作功率} = e_m \times \frac{W h''}{550} = 0.97 \times 3220 = 3123 \text{ 馬力}$$

反動式渦輪功率之計算法 設有反動式渦輪，仍如前圖，其工作之情形與各部分之尺度如

下:

h 爲三五〇英尺; 迴轉速度 N 爲每分鐘五二五周; q 爲每秒鐘一六四·五立方英尺;

α_1 爲十八度; β_2 爲一百六十五度; r_1 爲二英尺; r_2 爲二·五英尺;

輪葉間水流入口之橫剖面積 A_1 爲一·三六平方英尺;

輪葉間水流出口之橫剖面積 a_2 爲一·四二五平方英尺;

水流阻力損失爲 $h_f = K \frac{V^2}{2g}$ 此際 K 之值爲〇·三; η_m 爲〇·九七。

試求下列各項: 渦輪所利用之水頭;

水力效率 (η_p 爲一·〇〇); 各項損失; 水流入輪時之壓力; 渦輪實受功率; 及渦輪實作功率。

解 在反動式渦輪中, 輪葉間常滿盛水流, 今水流入輪及出輪時之橫剖面積 A_1 及 a_2 均已知,

故

$$V_1 = \frac{q}{A_1} = \frac{164.5}{1.36} = 121 \text{ 英尺/秒。}$$

$$V_2 = (A_1/a_2) V_1 = \frac{1.36}{1.425} \times 121 = 115.5 \text{ 英尺/秒}$$

又因爲每分鐘五二五周，故

$$u_1 = 110 \text{ 英尺/秒}, u_2 = 137.5 \text{ 英尺/秒}。$$

$$V_1 \cos \alpha_1 = 121 \times .951 = 115。$$

$$V_2 \cos \alpha_2 = u_2 + v_2 \cos \beta_2 = 137.5 + 115.5 \times (-0.966) = 26.0$$

$$h'' = \frac{1}{g} (u_1 V_1 \cos \alpha_1 - u_2 V_2 \cos \alpha_2) = \frac{1}{32.2} (110 \times 115 - 137.5 \times 26.0) \\ = 282 \text{ 英尺}$$

$$\text{水力效率} = \frac{h''}{h} = \frac{282}{350} = 0.805 \text{ (e 已包括在內, 因 } e_v = 1 \text{ 也)}。$$

$$\text{水流阻力損式} = 0.2 \frac{V_2^2}{2g} = 0.2 \times \frac{13350}{64.4} = 41.5 \text{ 英尺}$$

由三項損 $v_2 = 41$ 英尺/秒

$$\text{尾水損失} = \frac{V_2^2}{2g} = \frac{1680}{64.4} = 26 \text{ 英尺}$$

由(21)式，可以計算水流入輪與出輪時之壓力差。如前節例，命

$Z_1 = Z_2$ ，則由(21)式

$$\frac{P_1}{w} - \frac{P_2}{w} = \frac{(i+K)v_2^2 - u_2^2 - v_1^2 + u_1^2}{2g}$$

$$= 122 \text{英尺}$$

若渦輪排出之水，係流於大氣中，則

$$\frac{P_2}{w} = 0$$

$$\frac{P_1}{w} = 122 \text{英尺}$$

$$\text{渦輪實受功率} = \frac{wh''}{550} = \frac{164.5 \times 62.5 \times 282}{550} = 5270 \text{馬力}$$

$$\text{機械損失} = 0.03 \times 350 = 10.5 \text{英尺}$$

$$\text{渦輪實作功率} = 5270 \times 0.97 = 5110 \text{馬力}$$

尾水管 尾水管之功用，已詳前章，茲更就第十九圖申論之。由(10)式知圖中渦輪所受之總有

效水頭爲

$$h = H_c = z_c + \frac{P_c}{W} + \frac{V_c^2}{2g}$$

水流由輪中排出後，其所餘之水頭爲

$$h' = H_D = z_D + \frac{P_D}{W} + \frac{V_D^2}{2g}$$

故渦輪所利用之水頭爲

$$h'' = h - h' = \left(z_c + \frac{P_c}{W} + \frac{V_c^2}{2g} \right) - \left(z_D + \frac{P_D}{W} + \frac{V_D^2}{2g} \right) \dots\dots\dots (22)$$

就(22)式觀之，設不用尾水管，則式中之 P_D 等於大氣壓力，即 $P_D = P_a$ 。故

$$h'' = \left(z_c + \frac{P_c}{W} + \frac{V_c^2}{2g} \right) - \left(z_D + \frac{P_a}{W} + \frac{V_D^2}{2g} \right) \dots\dots\dots (23)$$

今設利用尾水管，使水流排入管中，以入尾水，如廿六圖所示，則此時之 P_D 較大氣壓力爲低，即

$$P_D = P_a - Wz_D \quad \text{代入(22)式則}$$

$$\begin{aligned}
 h'' &= \left(z_c + \frac{P_c}{w} + \frac{V_c^2}{2g} \right) - \left(z_D + \frac{P_D V_D}{w} + \frac{V_D^2}{2g} \right) \\
 &= \left(z_c + \frac{P_c}{w} + \frac{V_c^2}{2g} \right) - \left(\frac{P_D}{w} + \frac{V_D^2}{2g} \right) \dots\dots\dots (24)
 \end{aligned}$$

就(23)及(24)二式比較之，可知尾水管之功用，在使尾水之勢頭 z_D ，無形利用，不致廢棄。

用尾水管排水時，輪中必滿盛水流，如虹吸然，蓋其所以能利用尾水之勢頭，全藉此種作用。故尾水管僅能用於反動式輪，因其工作時，水恆充滿輪中也。衝擊式渦輪工作時，輪葉間之水流，不可充滿，即尾水不可與輪接觸，故尾水管亦不可利用。然若將尾水管增高至三十英尺左右，則尾水雖因真空而上升，然不能與輪相接觸，因外界空氣壓力，至多祇可使尾水升高二十餘英尺，（通常空氣壓力所可支持之水柱為三十四英尺，此時所以僅有二十餘英尺者，因輪中之真空不能完全也，）故此時亦可應用尾水管，而節省相當之水頭也。

第六章 水力工程概況

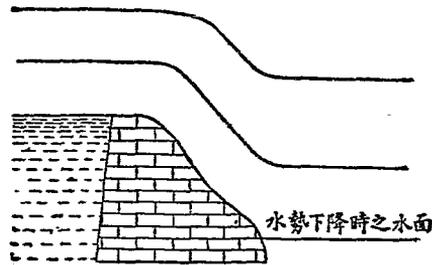
水頭與流量之漲落 水力之大小，恆視水頭之高低，及河水流量（stream flow）之多寡，前第一章已言之。顧水勢漲落靡常，水頭及流量二者時時變動。故欲利用一河之水力，必先於其水頭及流量變更之範圍，考察深切也。

河水流量之增減，原因至繁。約言之，恆視該河附近之雨量與地質而定。地質堅而多石者，附近之雨水，泰半可直接彙集入河，是爲歸河水量（runoff）。地質鬆而多土者，則雨水深入地裏，其何時滲出河中，難以預測。

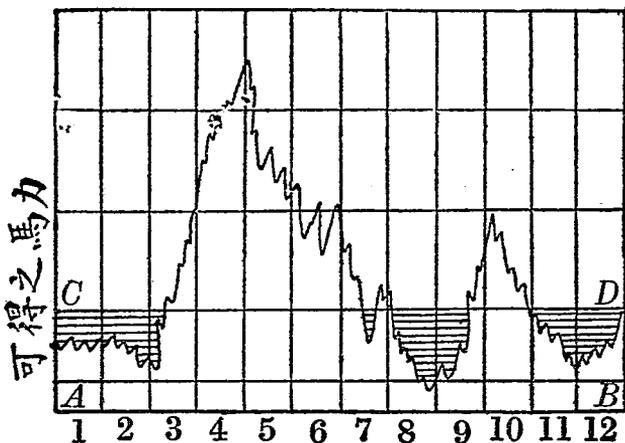
河流時時增減，水面隨之升降，若頭水面與尾水面升降之程度相同，則二者間之水面差仍保持一定，即水頭不致變動。顧尋常尾水面之升降，恆較頭水面爲速，故流量增則水頭常減，流量減則水頭常增，此可於第三十圖見之。水流之功率，既與其水頭及流量之乘積成比例，則流量增加時，水

頭雖因而略減，而水流自身之功率，仍可增加。然由公式^(14A)可知，渦輪之功率，恆與水頭之三分之二乘方成比例，故若水頭降低，則渦輪之功率必減，易言之，河中流量之增加，或轉足以減低渦輪所得之功率也。在水頭較大之區，此種變動之影響猶小，若水頭甚低，則些微之變動，其影響亦大。反之，若流量減少，水頭因之增高，則渦輪之功率亦增，然若流量之減少過度，則水流或不敷應用，是又必影響於渦輪之功率，須設法以補救之。補救之法，不外預積相當之水，供不時之需，是謂儲蓄。

河流之水頭與流量，既時時變更，其水力之功率隨之而變更。欲利用一河之水力，必先將其水頭與流量，經長期測量，然後分別計其功率，畫成曲線，如第三十一圖所示，以供參考。圖中之A B直線，代表水流最低之功率，即無論何時，河流之功率，均可望其有如許馬力，設水力廠以利用之，其功率（capacity）當以此為最高限度。

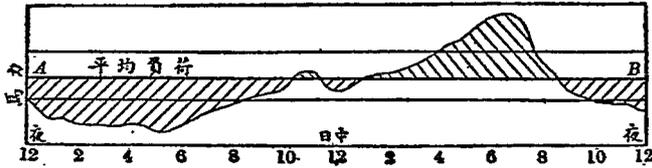


第三十圖——水勢高漲水頭減小之情形



第三十一圖——河流工率曲線

水之儲蓄 水量儲蓄之多寡，視水力廠負荷變動之情形，及水勢變動之情形而異。通常儲蓄分爲二種，一爲少量之儲蓄，於一日間負荷甚輕之時，將水流分入相當之池中，以備負荷加重時之應用，此種貯儲，可稱爲小池儲蓄 (pondage)。若水力廠每日工作僅數小時，且負荷變動甚少，則無需小池儲蓄。反之，若水力廠全日（廿四小時）工作，其負荷之變遷必大，設如第三十二圖曲線所示，則當日間負荷輕時，必須作相當之小池儲蓄，以備夜間負荷增高時之用。如此，截長補短，則水力廠之負荷雖時時變更，如圖中曲線所示，而河流之負荷，可使約略保持恆量，與水力廠之平均負荷約略相等，如圖中直線 A B 線所示。



第三十二圖——水力廠之負荷曲線

河流之功率，一年中變更甚大，如第31圖曲線所示。故若舉辦水力廠，其最高之負荷，不超過水流之最低功率 AB 之上。以免供不應求，則當水流高漲之時，其所蓄之能，將大半廢棄，寧非可惜？補救之法，可建築蓄水池 (storage reservoir)，作大量之儲蓄，於一年中水勢漲大之時，將水流漸分入槽中，以補旱月之不足。如此挹彼注茲，可使河流之最低功率，由 A 增至 CD (第三十一圖)。儲蓄愈多，則 CD 直線愈可升高，直至與水流之平均功率相等。似此分配，則水力廠之功率，亦可由 AB 增至 CD ，庶天然之能，得儘量利用。此種儲蓄，可稱為大池儲蓄 (storage)。

水頭低處，須有容量甚大之蓄水池，以便水頭變更時之用。若水頭甚高，則些許之變動，水力廠所受影響不大，故蓄水池可不甚大。然有時為實際經濟情形所限，於水頭低處，不能建相當之大蓄水池者，此亦舉辦水力廠之一種困難也。

水力廠之重要設備 水力廠之設備，依其由頭水至尾水間排列之次序，摘要舉之，約可分爲下列數種：

- (一) 蓄水池；
- (二) 壩；
- (三) 進水設備 (intake equipment)；
- (四) 導水管 (conduit)；
- (五) 平水槽 (forbay)；
- (六) 渦輪 (turbine)；
- (七) 尾水溝 (tail race)。

以上七種，不過約略列舉。有時因各處情形不同，亦可酌量增減。

蓄水池 蓄水池之容量，當視所需之儲蓄量而定。儲蓄量之大者，可供水力廠數月之用，小者則數日數月不等。有時或以負荷均勻，流量平穩可靠，而不須儲蓄者，則池可省去。

壩之主要功用，在於截阻河流，升高水面，以集中水頭，使便於利用，其對於水力廠之位置，可於第三圖中窺見一斑。在斜度甚大水流甚速之河道，施小規模之水力發展時，壩之長度，僅須及河流闊度之一部分，已可集中一部分之水勢而利用之。此種之壩稱爲翼壩（wing dam）。若在尋常河道，施相當之水力發展，則壩之長度，非將兩岸間水流完全截斷，不能得適當之水頭。

欲將河道之水力充分利用，必用甚高之壩，以得甚高之水頭。顧壩之高度，恆爲各種情形所限，如建築費之浩大，兩岸土地之淹沒，居民之危險，與上游已有之水力事業之阻礙，及與各種公共事業之衝突等。故築壩之先，必預計各項物質損失與所得利益，詳加比較，以決定其適中高度，庶免得不償失。又河水流流量極大時，水力廠若不能全行利用，必將一部分水流由壩之溢水口（Spillway）溢出，以免水面升高過度，發生危害。

壩之建築，多用石，三和土，鋼骨三和土，鋼，木等。視所需之強度而異。其強度必須能耐水勢極大時之壓力，取較高之安全率（Factor of safety），以免一切危險。

進水設備 進水設備，包括淨水器，進水閘門等。淨水器之功用，在於剔去冰塊及一切污穢，通

常分粗細二層，使水流入輪時，不致將雜物混入，傷害輪葉。進水閘門，恆用簡單之機械裝置，如螺旋或齒輪等，以便管理人隨時啟閉。

導水管 水流之行程，由壩之下部，先經進水設備，然後由適當之溝道，或水管，導入渦輪。若用溝道，當取深而狹者，則水頭損失較少，且冰凍之影響亦易免除。

水流在溝道中之速度，約為每秒鐘二英尺，至三英尺。若用導水管，速度可略高，尋常直徑一英尺之水管，其水流速度，至多可至每秒鐘三十英尺，直徑較大者，速度當減低，以免水量變動時，管中發生衝擊。

水管及進水設備與壩身連接處，須十分緊密堅固，以防洩漏。

平水槽 水流由堤口經導水管以達渦輪之前，須經一平水槽，其目的在使各導管流入之水，互相平衡。然後另由導管，將水流分給各渦輪。若水力廠中僅有渦輪一座，則平水槽可以省略。

渦輪之選擇及裝置 選擇渦輪之標準，約有數端。如水力廠功率之大小，所需速度之高低，水頭之高下，流量之豐蓄，及水勢漲落之範圍等。

水力廠之功率恆視水流之可靠功率及所需之功率而定，前已言之。購置渦輪，非惟須使足供現有負荷，且必顧及最近期間負荷之增加。設數座渦輪中，有損壞待修者，必另有渦輪爲代，以免停頓。故水力廠大都多備渦輪一兩座。例如有一水力廠，終能應付三千基羅瓦特 (kilowatt) 之負荷，若以三千基羅瓦特之渦輪一座任之，另設同量功率之預備渦輪一座，則共需六千基羅瓦特。若將此負荷分由五百基羅瓦特之渦輪六座任之，另設同量功率之預備渦輪一兩座，則全功率僅有四千基羅瓦特已足，開辦費較省，而動力之供給，仍屬可靠也。顧渦輪之座數增多，所佔地位加大，需工人較多，經常費用將因之增加。是在選擇之時，主事者通盤籌畫，以期得最經濟之結果也。

衝擊式與反動式兩種渦輪之應用，已詳第三章及第四章。通常在水頭較高，水量較少之處，宜用衝擊式渦輪，以其不用尾水管，故渦輪之位置須與尾水水面有相當之高度差，若水頭甚高則所犧牲之水頭，僅及總水頭之一小部分，無足重輕故也。

在水頭較低流量較豐之處，宜用反動式渦輪。以其可淹沒於水內，或藉尾水管之作用，以利用全部水頭故也。在水頭變動甚大之處，亦宜用之。

在一定水頭之下，衝擊式渦輪之速度，不及反動式渦輪之高，故欲以低水頭得高速度時，宜用反動式渦輪。若水頭甚高，則用衝擊式渦輪，已可得相當之速度，不必用反動式，轉令速度過高也。通常渦輪最經濟之輪周速度 (peripheral speed)，與水流入輪之絕對速度，有一定之比率。在反動式，此比率約自 0.60 至 0.95 ；在衝擊式，約自 0.43 至 0.48 。

在負荷變更甚大時，衝擊式渦輪之平均效率，較反動式為高，此亦二者之異點，可供選擇時之參考。

尾水管之裝置，恆與輪殼底部相密接，其高度在十英尺上下。過高則管中空氣，不易除盡，效率減少。在大功率之衝擊式渦輪，有時亦可用尾水管，顧管之高度必較大，使尾水面與渦輪間生一部分真空，庶尾水不致與輪葉接觸以阻其工作。

尾水溝 尾水之出路，大都均由溝道排至低水面一方。其溝道構造之要點，與頭水溝略同。

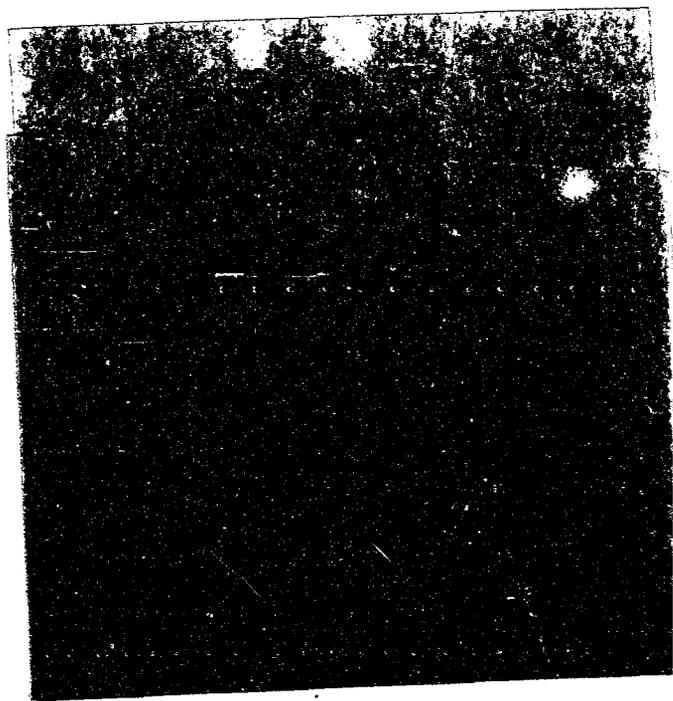
動力之輸送 動力之輸送，不外機械力輸送 (mechanical power transmission) 及電力輸送 (electrical power transmission) 兩種。前者僅用於短距離，用齒輪、引帶、繩索等，將渦輪與其他

被動之機械相聯以傳動力。此種方法若用於數百英尺之距離，已覺不便，且損耗太大，故今日多用電爲輸送動力之媒介。

渦輪與發電機，其軸可直接相聯，將水力先化爲電能。若距離不遠，則可籍簡單之導線，將動力直接輸送於需用地。於遠距離之輸送，則非用高壓電流（high Tension current）不可。尋常發電機之電壓，不過數百弗打（Volt）或數千弗打。若欲輸大量之動力於遠距離，常須用變壓器（transformer）提高電壓至數萬或數十萬弗打，送至需用之區，再用變壓器使電壓降低，至適當之度（通常爲一一〇弗打，二二〇弗打，或五〇〇弗打），以便應用，如此則導線上電之損耗，可減低不少。

結論 綜上以觀，水力雖產自天然，而因地制宜，使儘量歸於實用，則賴人之籌畫。於未設廠之先，對於所欲利用之河道，當有深切之觀察。對於廠址之選擇，尤須悉心研究，以期得最大之水頭，庶以有限之資本，收最大之利益。至於支河之開闢，壩之建築，溝道之規畫，渦輪之選擇，動力之輸送，及一切設施，又需費種種籌畫。既設廠之後，則於動力之支配，水流之節省，及將來之發展，尤須聚精會神，力謀進步。各種動力工程，其創設與管理時最當注意者，實爲效率。效率高則所費約而所得多。効

率低微，則虧歇難免。將天然之水力，一變而為機械之動能，再變而為電能，經導線之輸送，至於各方，復變為種種之能。顧其間所經之變化愈多，則其損耗亦愈大。故水之能，一耗於溝道之阻力，再耗於機械之各部，三耗於尾水之水頭，四耗於發電機，變壓器之內部及導線之電阻，及至應用之地，又復蒙種種損耗。是以主其事者，宜如何深思遠慮，竭智盡能，務使其間不可免之損耗，一一減至極小，庶天然水力得儘量歸諸有用之途。是知天然之能源，其本身之價值猶小；設法以利用之，而不背經濟之原則，則其價值增大矣。



編主五雲王
庫文有葛
種千一集一第

機 力 水

著 年 昌 蔡

路 南 河 海 上
五 雲 王 人 行 發

路 南 河 海 上
館 書 印 務 商 所 刷 印

埠 各 及 海 上
館 書 印 務 商 所 行 發

版 初 月 二 十 年 二 十 二 國 民 華 中

究 必 印 翻 權 作 著 有 書 此

The Complete Library

Edited by

Y. W. WONG

HYDRAULIC MOTOR

BY TS'AI CH'ANG NIEN

PUBLISHED BY Y. W. WONG

THE COMMERCIAL PRESS, LTD.

Shanghai, China

1933

All Rights Reserved

041229



Z121.6