

Impulse turbine --- Pelton wheel
 Reaction turbine { Francis turbine
 Propeller turbine. - Kaplan

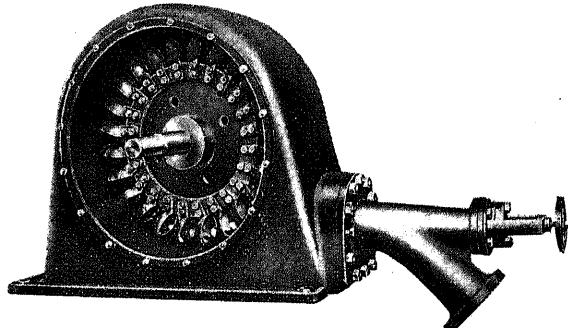
第十二章 水車

1. 水車の種類

水壓鐵管の末端に設けてそれより噴出する水の力或は水の壓力を利用して回轉し發電機を運轉するものである。極めて小規模の發電所で稀に見るの外能率の關係上水車の軸と發電機の軸とは共通にし(直結 direct couple)水車と發電機とは同じ回轉をする様にしてある。

水車は歴史的には種々のものを挙げ得るが、現在實際使用せられて居るものに就て種類を分類すれば水の働く作用により衝動水車 (impulse turbine) と反動水車 (reaction turbine) との二種に分れる。

衝動水車は噴出する水の働く勢を利用するものでペルトン

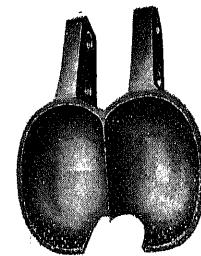


第 93 圖
Pelton wheel

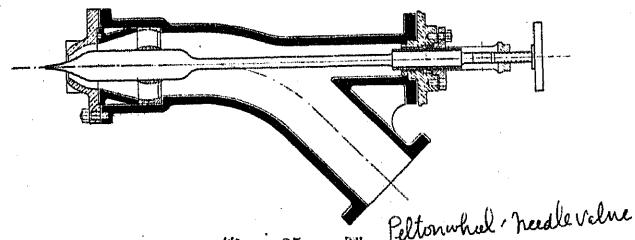
水車 (Pelton wheel) がこれに屬する。反動水車は水の壓力を利用し回轉するものでフランシス水車 (Francis turbine) 及プロペラ水車 (propeller turbine) がこれに屬する。

ペルトン水車は高落差に適し、フランシス水車は普通の落差に、プロペラ水車は低落差に(詳しく述べ後述)適當し、大體に於て使用する分野が分かれて居る。

ペルトン水車は第 93 圖に示す如く車の周邊にバケット (第 94 圖) を附し、それに水を噴射して回轉するもので、回轉の加減はニードルバルブ (第 95 圖) により噴射水を加減する事により行はれる。或は又前記せる如く噴射水の方向を變換せしめる方法も講ぜられる。

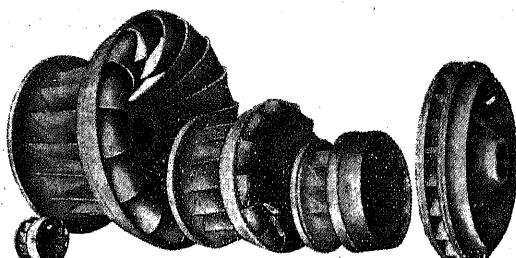


第 94 圖
Pelton wheel, bucket

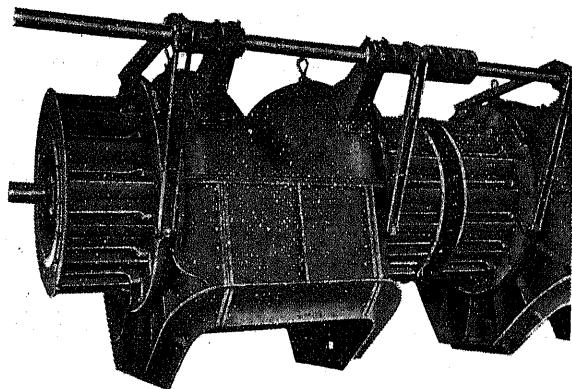


第 95 圖
Pelton wheel, needle valve

フランシス水車の回轉部 (runner) は第 96 圖に示す如く種々なものがあるが、要するに水は回轉軸に直角の方向の



第 96 圖 Francis turbine



第 97 圖 Francis t., guide vane

周囲より流れ込み、水圧により回轉せしめつゝ軸の方向(圖の右方)に流れ出する。速度の調節は第 97 圖に見る如く回轉部の水の流入口に導水板(guide vane)と稱するものがあり、これの回轉により水の入口に廣狭を生ぜしめる様

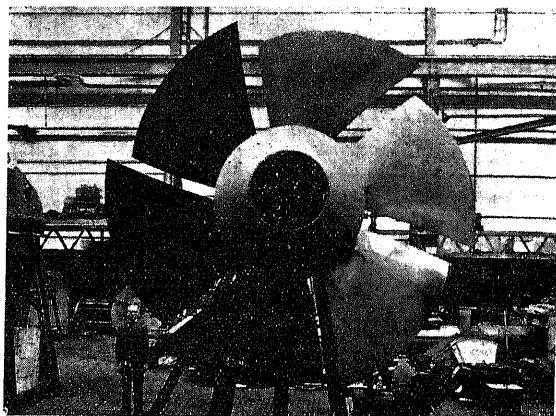
になつて居る。

プロペラ水車の回轉部は第 98 圖及第 99 圖に示した様にプロペラ型をなす、水は大體回轉軸の方向より流入し又流出する。速度の調節は矢張導水板によるが、第 99 圖に示すものはカプラン水車(Kaplan 水車)と稱し、現今最も用ゐられて居るものであるがこれはプロペラの翼の方向を變へ得る様になつて居る。

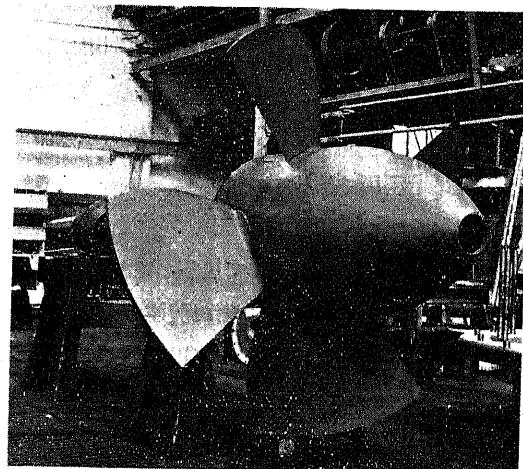
ベルトン水車は水の衝擊に依つて回轉するものであるから、水車は水中に没する事が出來ないから、其の位置を洪水面の上に置かなければならぬ。加之衝擊後の水は其の儘落し、他の水車の様に吸出管(draft tube)を利用する事が出來ぬから、水車と水面との間の落差は利用する事が出來ない。然し能率が良いのと堅固である點、並に回轉數の關係から高落差には専ら使用せられ、尚使用水量の極めて小なる場合にも利用される。

フランシス水車は利用範囲は甚廣く、落差は 1 米位より 250 米に達するもの迄利用されて居る。吸水高(draft head)を利用し得る關係からと製造技術の發達からとによりベルトン水車の領域を侵して高落差に使用されつゝある。

水車は軸の方向に依つて之を區別すると横軸水車(horizontal turbine)と堅軸水車(vertical turbine)との二種に分け得る。

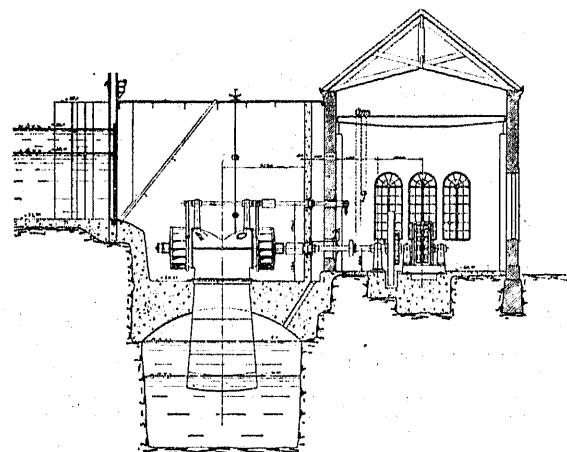


第 98 圖 Kaplan



第 99 圖 Kaplan

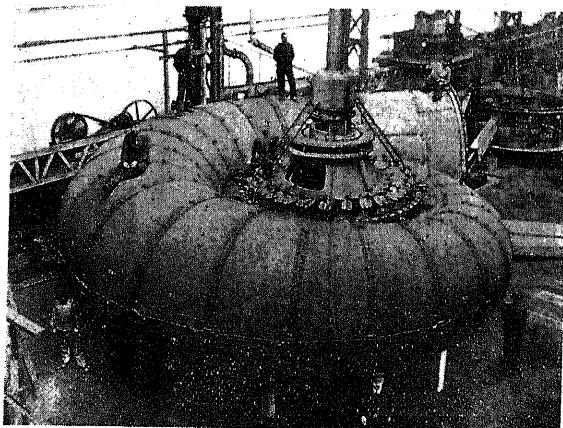
横軸水車は回転軸の方向が水平なもので、従つて水車と発電機とは同じ床にある。ペルトン水車は全部横軸で、プロペラ水車は縦軸である。ランシス水車は兩種のものがある。横軸は縦軸に對しベアリングの構造が楽である。従つて從來専ら横軸が用ひられたものであるが、我國の如く洪水位の甚高い河川の利用に於ては発電機は是非洪水面上の床上に置かねばならぬ關係上縦軸となして水車は長い軸に依り遙か下方に在らしめる(吸水高には制限があるから)場合によると軸の長さが 20 米にも達するものがある(桂川谷村發電所、飛驒川麻生發電所等)、近來はベアリングの



第 100 圖

構造の進歩と共に多く堅軸水車を用ゐる傾向がある

低落差發電所に於てフランシス水車を用ゐる時は水壓鐵管を用ひず水槽の中に回轉部と導水板とを設ける(第100圖),これを開放式(open flume)と云ふ. 水壓鐵管を用ひる



第 101 圖

時は終端に函を設けてその内に回轉部を設ける。鐵管の方向と水車軸の方向と平行なるを frontal type と稱し、直角なるを cross type と稱し、落差が尙高くなると函がポンプの如く渦巻状となり spiral easing type となる(第 101 圖)。水量の多い場合は一軸に二個又は數個の回轉部を附する。

2. 水車の回転

我國電氣供給事業の電氣のサイクル數は 50 又は 60 となつて居る(一秒時 50 又は 60 回の交流) 東京方面に 50 が多く、關西方面に 60 が多い。これが統一されると都合が良いが、歴史が中々それを困難ならしめて居る。而して此のサイクル數は可なり嚴重に保たれて居る。若しこれが狂ふと發電所の發電機と合はせて回轉して居るモーターの回轉が狂ひ紡績事業の如き製品に狂ひが生ずるのである。特に近來漸やく流行しつゝある電氣時計が益々普及さればサイクルは嚴重に保たれなければならない。これが爲めには水車の回轉は一定に保たれるわけであるが、これは後に記する調速機の効らきに依る。

ペルトン水車のノッヅルより噴出する水の速度は誰れも知る如く

$c=0.97$ H =有效落差

此の水がバケットに衝撃を與へる場合、水車に最大の動力を傳へるのはバケットの速度が水の速度の二分の一の時である（説明略），従つて水車の周邊速度は

$$u = \frac{c}{2} \sqrt{2gH} = c' \sqrt{2gH} \quad \dots \dots \dots \quad (37)$$

で落差により一定であることを示す。 c' を速度比 (speed ratio) と云ふ水車の直徑 (パケットの中心間) を D (米), 一

分時間の回転數を n , u が周邊速度(米/每秒)とすれば

$$D = \frac{60u}{\pi n} \quad \dots \dots \dots \quad (38)$$

n とサイクル数との関係は次式の通りである。即發電機の磁極の數を N , サイクルを c (一秒時), 水車及發電機の回轉數を n とすれば

$$n = \frac{2 \times 60 \times c}{N} \quad \dots \dots \dots \quad (39)$$

水車の徑を D とし噴射する水の直徑を d とし、此の兩者の比は 15 位が最適當なる値とし此の値の附近に選ぶ。而して今水車に噴射する水量を ϱ とすれば當然

$$Q = v \left(\frac{\pi}{4} d^2 \right) \dots \dots \dots \quad (40)$$

である。

以上の式より有效落差 H , 使用水量 Q を與へれば, c は一定とし N を適當の數に選び, D/d を 15 に近き數を選び水車の直徑, 回轉數を決定する. Q が相當大となるとノッヅルを二個以上使用する必要が起るわけである.

次にフランシス水車の回転數に於て見るに、ペルトン水車では u の値は落差により一定して居るが (37) 式) フランシス水車に於ては翼の構造の變化により甚廣い範圍に定められ $u = 0.5\sqrt{2gH}$ 乃至 $0.95\sqrt{2gH}$ に選び得る。而してこれにより水車を次の三種に分類する。

- (a) 低速車 (low speed runner)

$$u = 0.5\sqrt{2gH} \text{ 乃至 } 0.55\sqrt{2gH}$$

- (b) 中速車 (medium speed runner)

$$u = 0.55\sqrt{2gH} \text{ 乃至 } 0.75\sqrt{2gH}$$

- (c) 高速車 (high speed runner)

$$u = 0.75\sqrt{2gH} \text{ 至 } 0.95\sqrt{2gH}$$

即高速車とは低落差

に於て成る可く速く

回転せられる様に設

計された水車で第

96 圖の左方に示す

形となる。右方の方

が低速車で高落差に

The diagram illustrates a curved beam element with a radius of curvature R . The beam has a thickness t and a width b . Internal forces F_x and F_y are shown acting at a section. Boundary conditions include a fixed support at one end and a roller support at the other. A coordinate system is established at the free end, with the horizontal axis x and vertical axis y .

· 第 102 圖 ·

こゝまゝの形より云々ば第 102 圖に於て

- (c) 低速率 $\alpha=15^\circ \approx 20^\circ$, $\beta=00^\circ \approx 90^\circ$

- $$(3) \quad \text{当 } \frac{\pi}{2} < \theta < \pi, \quad \alpha = 20^\circ \text{ to } 30^\circ, \quad \beta = 90^\circ$$

- (c) 時速 $v = 30^\circ \sim 50^\circ$, $\beta = 90^\circ \approx 150^\circ$

低速車に於て特に水量が小となれば形が餘りに薄くなり、ペルトン水車が適當とせらるゝに至り高速車に於てあまり落差小となれば、水車の形大となりプロペラ水車を選ぶ必要が生ずる。

之等の関係を研究するに特有速度 (specific speed) なるものが考へられる。これは水車の性質を表はす重要な要素である。

今或水車があるとしそれと全く同じ形で只大きさを小にして有效落差1米に於て出力が1kWであり、然かも其の時が最高能率であつたとすれば、此の小水車の回轉數を此の水車の特有速度と云ふ。今或水車の回轉數を n とし、特有速度を n_s とすれば兩者の間には次の関係がある。

$$n_s = n \frac{\sqrt{\text{水車出力(キロワット)}}}{H^{\frac{1}{4}}} \quad \dots \dots \dots (41)$$

高落差の場合には低特有速度が適し、低落差の場合には高特有速度が適する。即

ペルトン水車…… 13~20

フランシス水車…… 80~700

プロペラ水車…… 550~850

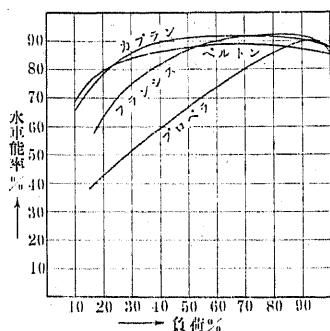
水車の設計を爲す場合には第96圖左方に示す如く、小水車を造りそれを實驗して種々の特性を調べるのである。

第103圖は種々の特有速度の水車の部分負荷に對する能率を示す。

此の圖にて見る如くペルトン水車は低負荷で高能率を示し、プロペラ水車では著しく低下する事を示す、但しカプラン水車では羽根の向を變へ特有速度を變化するから能率低

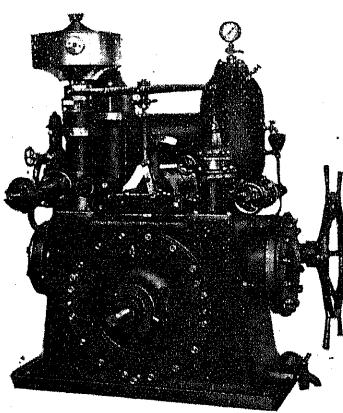
下の程度は少ないのである。

一般に大水車程能率が良好である。然し河川の流量が變化するから渦水時に低負荷で低能率で運轉する様にならぬ様適當に臺數を選ばなければならない。



第 103 圖

水車は通常ガイドベーンの開き四分の三の時最大出力を出す様にしてある。斯くせば高負荷の時に餘裕があり、且



第 104 圖

洪水時放水口の水位が昇り、落差を減少した時に水量を多く使用して所定の出力を出す事が出来るわけである。低負荷になればガイドベーンが閉ぢ水車流入水量を少なくし水車の速度を常に一定に保つ。これが爲めには第104圖に示した様な

調速機を使用する。これはガバナーを備へ其の働きを油圧ピストンに傳へ、其の力でガイドベーンを開閉するのである(第104圖参照)。

3. 吸出管(draft tube)

前にも記する如く反動水車に於ては吸出管を設けて水車から放水面迄の落差を利用し得る(第100圖参照)。尙圖に於て見る如く吸出管は漸次太さを増大して水車より放出する水の速度水頭を利用化する。吸出管の構造如何により水車の能率に影響する所が多いから注意して設計しなければならない。吸出管は鐵管の場合もあるが發電所基礎コンクリートに中空を設けて吸出管としたものもある。第100圖のものは普通の喇叭型管であるが管を擴げる程度は中心線と6度位が普通とされる。

水車出口の管の太さは水量と水速とによって適當に取るが、水速は高落差の場合 $0.15\sqrt{2gH}$ から低落差の場合 $0.4\sqrt{2gH}$ 位である。又吸出管出口では $0.02\sqrt{2gH}$ から $0.1\sqrt{2gH}$ 位迄に落す。出口は發電所床下の室の放水槽(pit)の水中に30度位突込ませる。放水槽は相當大にして水車に水を通せぬ時も出口は表はさぬ様にする。尙又出口と放水槽の底との間隔は管の徑の一倍半以上保たしめる必要がある。

吸出高は水車中心(豎軸水車では管の入口)から放水面迄

の高さの差であるが2米乃至6米に止め8米以上にはせぬ様にする。

有效吸出高は

$$h = H + \frac{v_1^2}{2g} - h_f - \frac{v_2^2}{2g} \dots \dots \dots (42)$$

H =吸出高 v_1 =入口の流速

v_2 =出口の流速 h_f =摩擦損失水頭

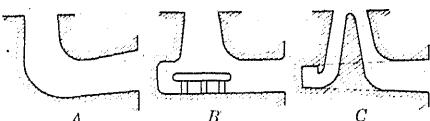
v_2 を出来る丈小にし、且渦流による損失水頭を無き様に種々の吸出管が工風されて居る。吸出管は水車製造者が大抵特許を持つて居るから豫め相談する方が良い。第105圖Aに示したのがelbow型、Bが米國 Allis Chalmer 會社の hydrocone 型、Cが moody 型又は spreading 型である。我國水車製造專業の電業社にも spreading 型に大體似て居る natural flow 型と稱するものがある。

我國の水車製

造技術も大いに

進歩し外國に劣

る事は無い。寧



第 105 圖

砂の多い我國の河川の事情に適する様設計せられて居るから成る可く國產品を選ぶが良からう。プロペラ水車に關しても研究が大分進んで居るがカプラン水車は未だ我國では製造されるに至らない。