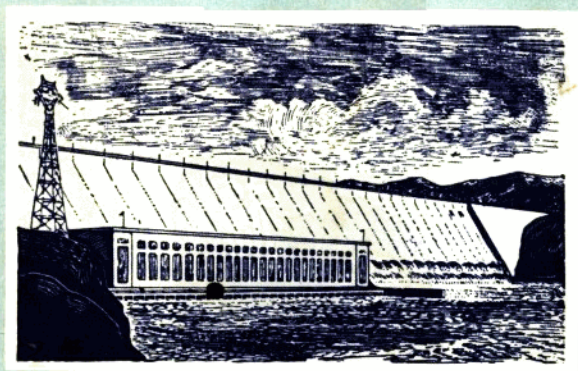


水力發電建設常識

第六分冊 机电設備

邱 福 生編著



電力工業出版社

序 言

人类在很早以前就注意到水力的利用，因此，在数千年以前就有了最简单的水力原动机(水轮机)。因为这种机械的构造非常简单，所以只利用了水能的一小部分。在我国农村所看到的水磨、兰州黄河沿岸用来灌溉的水车等，这些与古代所有的并无多大区别。这也说明了我国劳动人民早有了这些机械的创造；但由于数千年来封建社会制度的束缚，因此使这种创造和其他的科学一样，得不到进一步的发展。直到我国解放后，在这一方面的科学技术才随着一般工业的发展得到了迅速的进展，水力原动机械由最简单的形式发展到复杂而完善的形式；同时，也不像过去仅由简单的水轮机直接带动着水车、水磨等生产设备；而是由强大的水轮机带动着发电机，将电力输送到用电的地方。因此，在现代水电建设事业中，机电设备是水电厂的重要组成部分。

水力发电厂的机电设备是指在机械和电气两方面所必需具备的一些主要设备。在机械方面主要有水轮机，它将水能转换为机械能。其他像控制设备、调整设备、润滑设备、压缩空气设备等，是分别用来控制水的流量、调整水轮机的负荷、润滑及冷却水轮机轴承、检修时顶起发电机转子的；另外还有检修及安装时使用的起重设备等。在电气方面主要有水轮发电机，它将水轮机的机械能转变为电能，由此发出强大的电力，经过开关与控制设备，再通过变压器，将电流沿输电线路送给遥远的用户。

目 录

序 言

第一章 水輪机	3
1. 水輪机的分类	3
2. 水輪机的出力	6
3. 水輪机的簡單構造	7
4. 各种类型的水輪机的比較	11
5. 調速机及其附屬設備	12
第二章 水輪發電机	14
1. 水輪發電机的分类	17
2. 水輪發電机的簡單構造	18
第三章 变压器	19
1. 变压器的簡單原理	20
2. 变压器的分类	21
3. 变压器的簡單構造	24
第四章 配电設備	24
1. 开关器械	25
2. 电气测量仪表	31
3. 仅用互感器	34
4. 繼电保护装置	35
5. 配电盤	37
6. 水力發電厂的控制	39
第五章 輸配电綫路	40
1. 架空綫路	40
2. 电纜	41
3. 过电压保护装置	42
4. 接地裝置	44

第一章 水輪机

水輪机是水力發电厂內主要設備之一，它將水所具有的压力能量及水流的速度能轉变为机械能，并帶动發电机而产生电力。它的構造有着各种不同的式样，但按照使用的原理可以分为兩大类：第一类叫做冲击式水輪机，它主要是將水的压力能通过噴嘴完全变为速度能，噴射到水輪机的动輪上而使动輪轉动；第二类叫做反击式水輪机，当水进入这种水輪机时，仅將水的压力能的一小部分变为速度能来推动水輪机的动輪，而当水經過动輪时，將剩下的压力能逐渐变为速度能，在水离开时动輪受到水的速度能的反作用，向排水的反对方向旋轉，所以叫做反击式水輪机。水輪机主要由两个部分組成：一是水輪机的迴轉部分(由若干輪叶組成)，它的作用是使水能轉換成机械能来做功；另一是固定部分的轉向裝置(噴嘴或导水翼)，它的作用是使水在进入动輪时改变压力能为速度能或得到所需要的方向。

1. 水輪机的分类

一、按水推动动輪的作用力分类。 上面已經講过，水輪机因作用力的不同，可分为下列兩大类，即：

1. 冲击式水輪机。 这种水輪机最簡單的形式就是我們农村里所用的水磨。它是利用水的冲击力量来推动水輪机的动輪的。

2. 反击式水輪机。 这种水輪机因动輪的構造不同又可

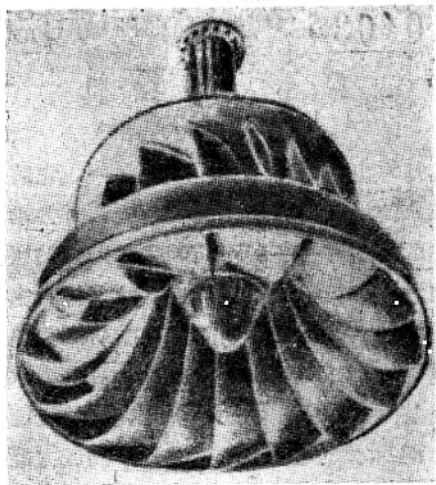


圖 1 輻向軸流式水輪機的動輪

分爲下列三種：

(1) 輻向軸流式(或叫法蘭西斯式)水輪機。在這種水輪機內水流動的方向最初是按輻射方向垂直於主軸，而後變爲與主軸平行的方向流出水輪機(圖 1)。

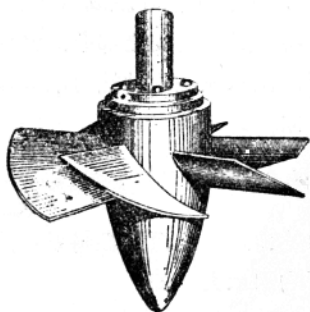


圖 2 旋槳式水輪機的動輪

(2) 旋槳式(推進翼式)水輪機。

在這種水輪機內，水流的方向是與軸平行的(圖 2)。

(3) 迴轉翼式(動葉式)水輪機。

此種水輪機與旋槳式水輪機大致相同，所不同之點是它

的輪轂是中空的，里面裝有調整機構。而裝在輪轂上的叶片可以由此調整機構的控制而轉動，以適應負荷的大小。

二、按水輪機室的結構分類。 因水輪機室的結構不同可分為下列兩大類：

1. 開放型水輪機。 通常用于水頭不大於6至8公尺及動輪不大時(約2公尺)。此時水輪機直接裝在水槽的底部。如圖3所示。

2. 封閉式水輪機。 在水頭較大時，多採用封閉式水輪機，把水輪機的動輪及固定部分均完全封閉起來，通常多做成蝸牛殼的形狀。因材料不同可分為混凝土制、鋼板制及鑄

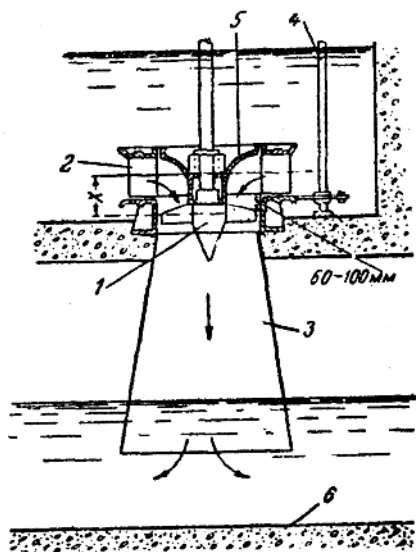


圖3 開放型水輪機

1—動輪；2—導水翼；3—尾水管；4—調速杆；5—上部蓋；6—尾水渠。

鐵制的三種。圖 4 系一鑄鐵制的封閉式水輪機。

三、按水輪機主軸的位置分類。因主軸的位置不同又可分成橫軸水輪機(或叫臥式水輪機,它的主軸與水平面平行)及豎軸水輪機(或叫立式水輪機,它的主軸與水平面垂直)。

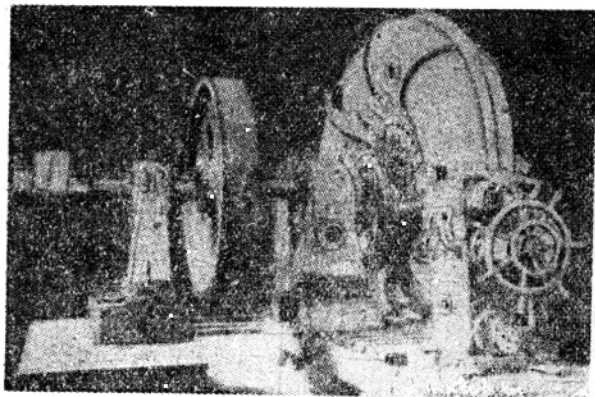


圖 4 封閉式水輪機

四、按水頭(落差)的大小分類。水輪機因所用落差的不同又可分为下列三種:

1. 高水頭水輪機。水頭在 150 公尺以上者;
2. 中水頭水輪機。水頭在 40 至 150 公尺之間;
3. 低水頭水輪機。水頭在 40 公尺以下。

2. 水輪機的出力

水輪機是將水能轉換為機械能,而后再帶動發電機發出電能。總括的說,水輪機是利用水流的水頭及流量來發生機械能的。水頭愈高,亦即水的位置能愈大,則它發出的動能也越多;在單位時間內流到水輪內的水(即流量)越多,則

水輪機所發出的動能也越多。所以水輪機的出力主要依靠水頭及流量。但水經過水輪機的摩擦及其他原因需要損失一定能量，這樣就會影響水輪機的出力，這種關係我們叫做效率，效率高則出力也大。水輪機出力的單位稱作瓩或馬力。我們常用 H 來代表多少公尺高的水頭， Q 代表每秒鐘流經水輪機多少立方公尺的水量，用 η 代表效率，用 N 代表水輪機的出力，則可用下列兩式來表示：

$$N = 13.33QH\eta (\text{馬力})$$

$$N = 9.8QH\eta (\text{瓩})$$

3. 水輪機的簡單構造

一、沖擊式水輪機的構造。在很古的時代，人類就利用了下齒式水車（原始的水輪機）。如圖 5 a 所示，它是利用自由流動的水使輪軸轉動而作功的。這種水車，目前在中國黃河沿岸，像蘭州一帶還利用來引水灌溉。到十八世紀中葉加以改良，成為上齒式水車，它是利用流動的水由上面沖向動輪而作功，如圖 5 b 所示。此時它已利用了 60% 的水能。直到十八世紀末葉，由別爾頓加以改良，才成為今天沖擊式的水

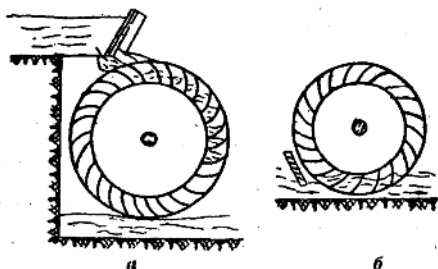


圖 5 原始的水輪機
a—下齒式水車；b—上齒式水車。

輪機。

別爾頓式水輪機構造比較簡單，如圖 6 所示，具有压力的水經過水压管后將水的压力能經過噴嘴及矛头后，轉变为速度能，將水噴射到冲斗上，冲斗接受了水能便迴轉起来發出机械能，帶动發电机而發出电能。

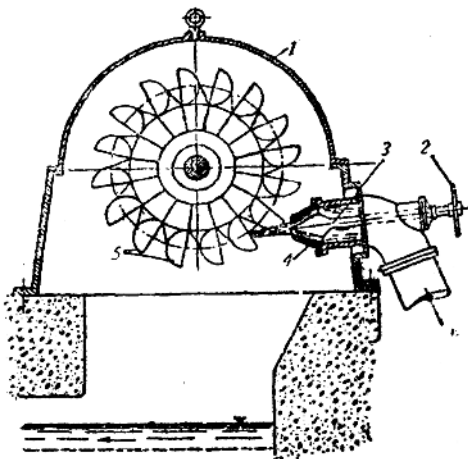


圖 6 別爾頓式水輪機
1—机壳；2—手动調节輪；3—針形閥；4—噴嘴；5—冲斗。

噴嘴是一个逐漸減小直徑的圓錐形管。它的出口的横断面为圓形，管中央有一个圓錐(矛头)狀的針形閥。具有压力能的水經過噴嘴后即轉为具有很大的速度能。針形閥用来控制水流量的大小，可用手輪或其他自动設備来調节使它前进或后退，当它在噴嘴內向水流方向前进时噴嘴出口面积減小，流量亦随之減小；当針形閥在噴嘴內向水流的反方向后退时，噴嘴出口面积加大，因此，流量也加大。因流量的

不同，即可控制水輪机的出力。当水由噴嘴射出时水势很急，同时，也含有很多泥沙，所以噴嘴及針形閥多用特种耐磨合金制造。流量小的水輪机多半只有一个噴嘴，流量大的水輪机噴嘴可多至四个。

冲斗的曲面碗形部分用来承受由噴嘴射出的水使动輪旋轉，尾部的两个小孔用螺釘將它固定在动輪上。冲斗普通用鑄鋼或其他耐磨合金制成。圖 7 为安好冲斗后的动輪。

外壳是用鑄鉄或鋼板制成，用以防止水沫的飞散。

二、反击式水輪机的構造。反击式水輪机的主要部分为导水翼、动輪及尾水管三部分。导水翼用来改变水流方向及調节流量。动輪是反击式水輪机的迴轉部分，水的能量經過动輪后才能变成机械能。尾水管則用来洩放通过水輪机的水并把水輪机到尾水間的剩余水头变为有用的动能。反击式水輪机的安裝如圖 8 所示。

导水翼由鉈形叶片所組成，裝于动輪的外圍，它与导水翼的上部环和下部座环形成若干水路。鉈板形叶片上部与調速环相联，而調速环又与調速机的接力器拉桿相联，是用以調节水路开度的大小来控制流入动輪的水量，以适应負荷。



圖 7 冲击式水輪机的动輪

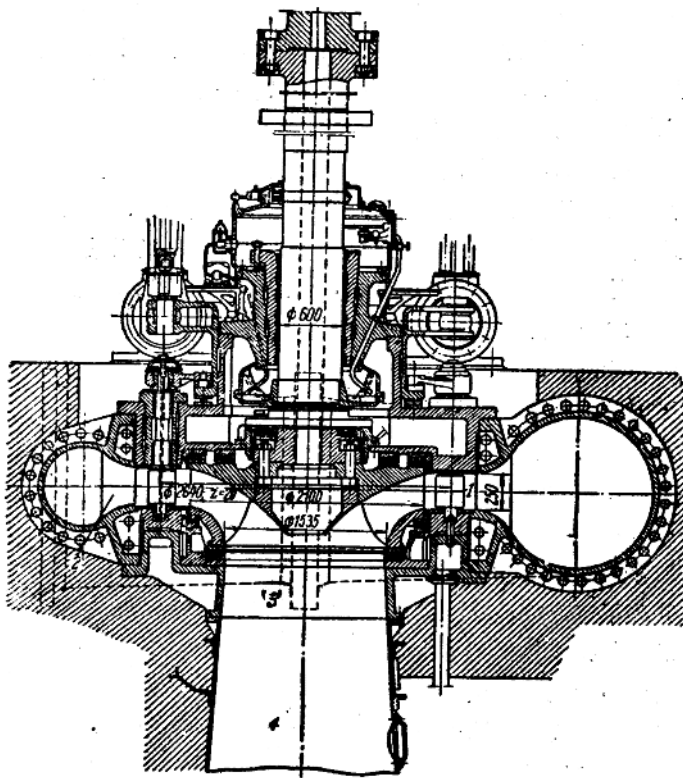


圖 8 反击式水轮机安裝圖
1—导水翼；2—座环；3—动輪；4—尾水管。

水轮机主軸用鋼制成，水輪机的动輪即固定在此軸上。軸的上端用法蘭盤与發电机軸相联，因此动輪迴轉时即帶动發电机同时迴轉。

座环裝在导水翼的外圍，由頂緣、中間支柱及底緣所構

成。它具有把水导入动輪的作用，同时也用来支持水輪發電机的全部軸向重量。

調速环亦叫控制环，此环一端与調速机的接力器拉桿相联，另一端則与每一导水翼相联，用来控制导水翼的开或閉，以适应負荷的变化。

蜗壳系用鑄鉄、鑄鋼或用鋼板焊接而成，也有用混凝土制成的。它是水輪机的最外層，除了防水沫飞散外，还必须承受相当的压力。

尾水管(或叫吸出管)普通为圓錐形或为曲管形，用来使水輪机的动輪安裝在水面某一定的高度，使得动輪与尾水位間的落差可以有效的利用，并减小水輪机的廢水損失。

軸承可分为两种，即导軸承与推力軸承。导軸承用耐磨合金制成(現在苏联采用橡膠軸承，因此可以节省很多有色金屬)，它用来保持水輪机中心位置的固定，推力軸承亦用耐磨合金制成，用来承受軸上的全部荷重。

4. 各种类型的水輪机的比較

一、輻向軸流式与迴轉翼式水輪机的比較。这两种类型均屬於反击式水輪机。迴轉翼式适用于低落差与大流量的条件下，当負荷或水头变化时，在动輪上的活动叶片可圍繞它本身的軸而改变角度以适应水量的变化，因此当負荷变动时仍有很高的效率。同时它的叶片数目較少(一般为四个)，容易通过大量的水，在制造上比較簡單。但与輻向軸流式水輪机相比，則在經濟負荷时效率較低。輻向軸流式水輪机因动輪上的叶片是固定的，不能随負荷改变它的角度，所以它只能适用于水头或水量变化不大的情况下使用。

二、輻向軸流式与冲击式水輪机的比較。冲击式水輪机一般适用于高落差，因由噴嘴至放水面間的一段落差不能利用，故在低落差时損失过大不很适用。輻向軸流式水輪机則适用于較低的水头，但当負荷变更范围很大及水內含有大量浮动物时則采用冲击式水輪机較為有利。

三、豎軸与橫軸水輪机的比較。普通冲击式及小容量的輻向軸流式水輪机多半采用橫軸。橫軸式效率比較低，尤其在低落差时。在安裝时基础的开挖量小，但佔地面積則較大。豎軸式則剛好与此相反，而且它适宜于洪水面較高之处（因水輪發电机可以裝在洪水面以上）。在制造价格上則橫軸式較為低廉。在修理时豎軸式則必需將發电机完全拆开，沒有橫軸式在修理时来得簡單，同时在運轉、監視及檢查等方面豎軸式均不如橫軸式便利。

5. 調速机及其附屬設備

一、調速机。因發电机所負担的負荷并不是一定的，而是时常按照用戶的需要在变化着，因此，作为原动力的水輪机出力亦一定要随着变动。此时若导水翼的开度保持一定，則当負荷变动时必定影响水輪机的迴轉数。即当負荷減少时迴轉数上升，相反地当負荷增加时迴轉数下降。然而發電机的电压及周波数不論負荷如何变化均应保持不变。若迴轉数一变动，則發電机的电压及周波均發生变动，这样就要影响用戶用电的安全性。为了使水輪机保持一定的迴轉数，当負荷变化时，在反击式水輪机应当調整导水翼开度的大小以增減水的流量；在冲击式水輪机，則应移动針形閘来調整。这种調整水量以保持水輪机有一定迴轉数的机器就叫作調速

器。

最簡單的調速機系由离心錘、接力器、配壓弁及槓桿等所組成，如圖 9 所示。离心錘的迴轉數與水輪機的迴轉數成比例。當負荷減低迴轉數昇高時，离心錘向外張開把套環向上提，經聯桿把配壓弁內的活塞向上提昇，此時上油門及下油門均打開，壓油槽內的油經過上油門進入接力器內，把接力器內的活塞推向右方，又經槓桿拉動導水翼（或針形閥）的調整軸將導水翼（或針形閥）所形成的進水面積減小以減低速度。負荷增加時，它的動作剛好與此相反，結果使進水面積加大以增加轉數。

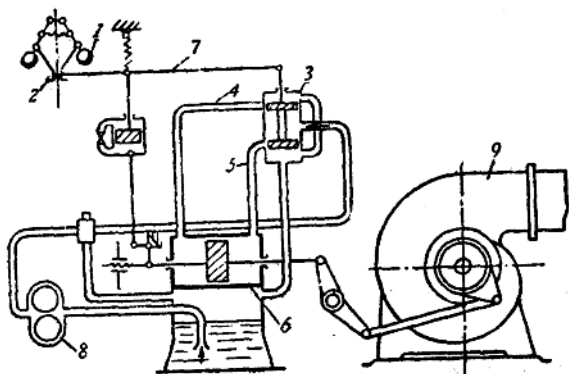


圖 9 調速機構示意圖

1—离心錘；2—套環；3—配壓弁；4—上油門；5—下油門；
6—接力器；7—槓桿；8—油泵；9—水輪機。

二、壓油系統。在水輪機內工作的水，具有相當大的壓力及速度，因之，水輪機的導水翼及針形閥都受到水的很大壓力，也就是說，要移動它們一定要加以很大的力量，同時，這種操作必須十分迅速，需要照負荷變動程度而敏捷地

精密地自动操作。故仅靠调速器离心锤的力量是不够的，得利用具有压力的油来操作，因而就有所谓压油系统。它是由油泵及储藏具有压力油的油槽及管路等所组成。压力油作用于上述调速机接力器中活塞的一面，另一面的油则排入集油槽，油泵再将集油槽中的油打入压力油的油槽，如此，在油系统中循环周轉以达到调速操作的目的。此外，压力油还供给潤滑之用。

三、压气系统。当水輪發電機組要停止運轉时，因轉動慣性很大，在进水門关闭以后水輪發電機組仍然要迴轉一个相当長的时间，这样非常容易磨損軸承，尤其是推力軸承在低轉速的情况下潤滑油膜不能保持，所以必須很快地把它停下来。压气系统主要就是用来刹住水輪發電機組的。另外，还供给一部分压缩空气到压油槽內，使具有压力的油增加彈性，并且使调速机的作用較為平滑。它由空气压缩机、儲气櫃、管路等组成。

第二章 水輪發電機

水輪發電機是水力發電廠內电气部分的主要設備。它把由水輪機發出的機械能轉換為電能。水輪發電機與火力發電廠所用的汽輪發電機在原理上完全相同，但因原動機（指汽輪機、水輪機或其他原動機）的特性不同，使所帶動的發電機在構造上有点區別，如水輪發電機由于水輪機的迴轉數較低，使得它有較大的直徑（換句話說就是有較大的體積）。水輪發電機是由交流發電機及勵磁機（直流發電機）所組成。

为了易于明白起见，我们先谈一下发电机的简单构造及浅易原理。

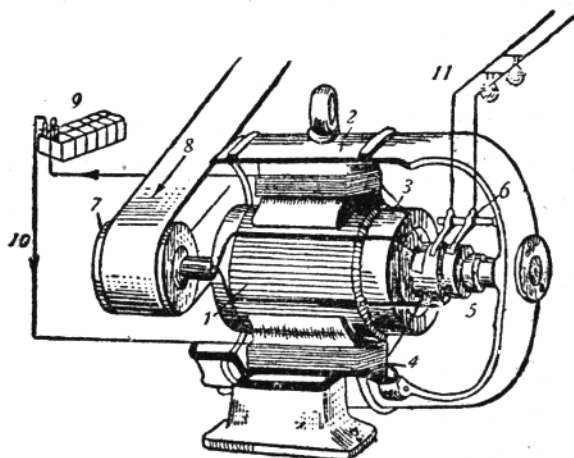


圖 10 交流發電機構造簡圖

1—電樞繞組；2—定子；3—轉子；4—電磁鐵；5—接觸環；
6—電刷；7—滑輪；8—皮帶；9—蓄電池組；10—流入激磁
繞組的恒定電流；11—接用戶。

圖 10 是一個簡單的交流發電機構造圖。在鋼做的轉子上，繞着許多匝導線串聯而成的電樞繞組（圖中只畫出電樞中的一匝）。這轉子直接聯于原動機（例如水輪機或汽輪機等）。原動機使轉子在一只電磁鐵的兩個磁極間轉動，這個電磁鐵的激磁繞組中所通的直流電流，是由另一個電源（蓄電池或直流發電機）供給的。

電樞繞組兩端和固定在轉子軸上的兩只滑環相聯，在發電機的靜止部分（定子）上裝置着一對電刷。這對電刷的一端壓在轉動的滑環上，而另一端則與外界電路（如電燈等）相

接。

在現代的大型發電機中，電樞繞組通常是裝在定子上的，而電磁鐵繞組則裝置在轉動的軸上。因為這樣可以簡化發電機的工作條件。

當發電機的轉子旋轉時，電樞繞組的導線切割了電磁鐵上磁極所產生的磁力綫，這樣就由於電磁感應而產生電壓，此時，若將外電路接通就產生電流。發電機電樞上產生的電壓是與每一磁極所產生的磁力綫數、電樞上相串聯的導線匝數及周波數成比例的，普通用下式表示：

$$U = K f n \phi \times 10^{-8} \text{ 伏}$$

式中 K = 常數

f = 周波數

n = 導線的匝數

ϕ = 磁力綫數

發電機容量的大小，以千伏安表示，即系電流與電壓的乘積。因之，當發電機在同一容量下若電壓較高，則電流可以較小。但因電壓上昇的結果，絕緣一定要增強，因此，增加了發電機的製造費用。一般講來，容量較大的發電機多半採用較高的電壓。水輪發電機的電壓一般均採用 6300 伏、10500 伏、13800 伏及 15750 伏等。

交流發電機的電壓及電流的大小和方向隨時間而變化，它的變化狀況通常是按正弦波形。電流及電壓每秒鐘變化的次數稱為周波數（或周率、頻率），通常以 n 表示發電機的每分鐘迴轉數、 P 表示發電機的磁極數，則發電機的周波數為：

$$f = \frac{nP}{120}$$