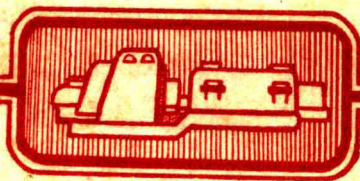


汽轮机 工作原理

吳澤林編著

汽輪機工人叢書第一冊



水利电力出版社

內 容 提 要

本書主要講述汽輪機工作原理及各種汽輪機的構造、特點和用途。最後對汽輪機工作情況改變時的一些內部變化過程作了簡要的說明。

為了便於讀者閱讀，在書的前一部分簡單的介紹了熱工學方面的必要知識，包括發電廠的幾種熱力循環原理。

本書供火力發電廠汽機車間的技術工人作為學習用書。書中較深的理論部分，特用小字刊出，供具有初中文化程度的工人同志參考。

汽輪機工作原理

吳 澤 林 編 著

*

839R222

水利電力出版社出版（北京西郊科學路二號）

北京市書刊出版業營業許可證出字第 105 號

北京市印刷三廠印刷 新華書店發行

*

787×1092 $\frac{1}{2}$ 開本 * 2 倍印張 * 62 千字

1958 年 7 月北京第 1 版

1959 年 3 月北京第 2 次印刷(6,101—11,236冊)

統一書號: T 15143·89 定價(第 9 類)0.50 元

出版者的話

解放以來，由於我國電力工業的迅速發展，廣大電業工人日益迫切要求有系統的學習技術理論知識，以求提高自己的業務水平，改進工作。我社過去雖曾陸續出版了一些工人讀物，但選題比較零星，缺乏有計劃有系統的安排。我們曾多次征求社外有關單位及工人同志的意見，認為有必要按照電業工人不同的專業，分別出版幾套叢書，着重講述有關專業的設備構造原理和安裝檢修、運行的基本理論。文字和內容要求盡量通俗、淺顯，使工人在進一步掌握技術上打好理論基礎，並從叢書中更好地掌握一些基本的操作技術。根據這一出書原則，我社已初步擬定了鍋爐、汽機、電氣、綫路、化學、熱工儀表、水電等七套供電業工人閱讀的工人叢書。此外，我社還決定陸續出版“電業工人學習文選”，專門介紹安裝、檢修、運行中的具體工藝過程和經驗、體會，以及結合現場實際情況進一步闡述叢書中的某些重要問題。

“汽輪機工人叢書”分為六冊：汽輪機工作原理、汽輪機本體、汽輪機的調速系統和油系統、汽輪機的輔助設備、離心水泵、汽輪機運行中的幾個基本問題。這套叢書專供汽輪機運行、檢修及安裝方面的工人同志們閱讀。

我社出版工人叢書是十分缺乏經驗的，希望工人同志們對於書中取材的範圍，內容的深淺等各方面提供意見，使我社出版的工人讀物能更好地適應工人同志的需要。

目 录

出版者的話

第一章 热工學理論基础	3
第一节 气体的主要参数及其量度	3
第二节 功与能	11
第三节 水蒸汽	15
第二章 火力发电厂的热循环	23
第一节 郎肯循环	24
第二节 回热循环	27
第三节 再热循环	30
第四节 热能和电能的联合生产	32
第三章 蒸汽在汽轮机内的工作过程	35
第一节 蒸汽在喷嘴内的膨胀	36
第二节 蒸汽在叶片内的工作	42
第四章 汽轮机的分类	50
第一节 冲动式汽轮机	50
第二节 反动式汽轮机	61
第三节 汽轮机的其他分类	70
第五章 汽轮机的损失和效率	74
第一节 汽轮机的损失	74
第二节 汽轮机的效率	79
第三节 汽轮机的汽耗	83
第六章 工况改变时汽轮机的工作	85
第一节 工况改变时汽轮机的工作	85
第二节 汽轮机在特殊情况下的工作	91

第一章 热工学理论基础

第一节 气体的主要参数及其量度

自然界中存在的物质有固体、液体、气体三种状态。每一种物质随着外界条件的变化，它本身的状态也发生变化。比如，水是液体，当加热时，它的温度升高，可变为气体；反过来，如将水冷却，它的温度下降，又可变为固体——冰。

在热力原动机中，都是用气体来推动机件运动的，所以，了解气体性质是很重要的。气体的变化规律，是通过温度、压力、比容①、焓②等数量来表明的。这些表明气体状态的量，统称为状态参数。

一、温 度

温度是表明物体冷热程度的量，在发电厂里，需要测量温度的地方很多，如进入汽轮机的蒸汽温度，冷却水温度，油温度等等。不知道各处的温度，就不能了解运行的情况。

测量温度的标准有两种：一种是摄氏温度，它取水的冰点为零度，取水的沸点为100度。

用摄氏温度计测量的温度，要在温度数值的旁边附记一个外文字母“C”，如果测得温度是50度，就可写成50°C。

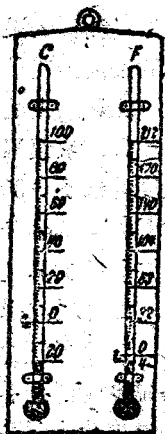


圖 1-1. 摄氏温度与华氏温度的比较

①、② 在本节和第三节中说明。

攝氏溫度為我國、蘇聯及歐洲許多國家所採用。除攝氏溫度外，還有華氏溫度，這種溫度標準為英美等國所採用。用華氏溫度計測得的溫度，書寫時要在溫度數值的旁邊標記一個外文字母“F”，例如測得的溫度是 80 度，就可寫成 80°F。華氏溫度的冰點為 32°F，相當於攝氏溫度的 0°C；沸點為 212°F，相當於攝氏溫度的 100°C。兩種溫度標準的比較，如圖 1-1 所示。兩種溫度的換算，可利用下列公式進行：

$$\left. \begin{aligned} \text{華氏換算為攝氏} \quad & ^\circ\text{C} = \frac{5}{9} (^{\circ}\text{F} - 32) \\ \text{攝氏換算為華氏} \quad & ^{\circ}\text{F} = \frac{9}{5} (^{\circ}\text{C} + 32) \end{aligned} \right\} \quad (1-1)$$

溫度計在 100°C 以上和 0°C 以下，還應劃分度數。當溫度低於 0°C 時，要在溫度數字的前面標記一個“-”號（負號），比如，測得的溫度是零下 20 度，就可寫成 -20°C。零度以上的溫度為正值，習慣上不標記正號。

測量溫度的儀器，叫做溫度計，一般用得較多的是水銀溫度計。水銀溫度計的應用範圍，在 -39°C 到 550°C 之間。溫度若低於 -39°C，水銀液體就要凝固；高於 550°C，就超過了玻璃的容許應力，要測量高於 550°C 的溫度，可用其他種類的溫度計，如熱電偶溫度計等。

氣體受熱溫度升高時，氣體分子運動的速度加快。反之，若降低氣體的溫度，則氣體分子的運動速度就減慢。如果溫度降低到零下 273°C，則分子運動完全停止，我們將這一溫度稱為“絕對零度”。以這絕對零度為起點劃分的溫度，叫做“絕對溫度”。凡是絕對溫度在書寫的時候，要在溫度數字的旁邊，標記一個外文字母“K”。攝氏溫度換算為絕對溫度很簡單，只須加 273 度即可。例如攝氏溫度 0°C，換算為

绝对温度就是 273°K ，摄氏温度 100°C ，换算为绝对温度就是 373°K 。

二、压 力

在汽轮机运行中，我们要经常监督各处的压力，比如蒸汽的压力，油的压力，水的压力等。通过检查各处压力表的指示，就可以判断汽轮机各部分工作是否正常。

在热力学中，压力的意义就是作用在单位面积上的力。

压力可用下列公式表示：

$$\text{压力} = \frac{\text{力}}{\text{受力的面积}} \quad (1-2)$$

工业上，取 1 平方公分的面积上，作用有 1 公斤的力为压力单位，称为 1 工业大气压。书写时可写成 1 大气压或 1 公斤/公分²。

在锅炉汽鼓或蒸汽管道中均匀地充满蒸汽，汽鼓或管道内壁就受有蒸汽均匀作用的压力。比如蒸汽管内蒸汽压力是 90 大气压，这就是说，在管壁每 1 平方公分的面积上，有 90 公斤的力作用着。

下面介绍在发电厂中常遇到的几种压力的概念。

(1) 大气压力和大气压。地面上的一切物体，因受地球的吸引力，都具有一定的重量；这重量也叫做重力。在地球的周围，环绕着很厚的空气层，地面上的一切物体，都处在空气层的下面。空气也受地球吸引而有重量，在标准状态下① 1 立方公尺空气的重量是 1.293 公斤。因此，地面上所有物体，都承受着空气重力的作用。由空气重力所产生的压力，叫做“大气压力”。

① 温度为 0°C ，压力为 760 公厘水银柱的状态，叫做标准状态。

大气压力的存在，可以用实验的方法来证明。取一端封



圖 1-2 大气压力的测定

閉的，長約 1 公尺的玻璃管，管內充滿水銀(圖 1-2)，用手指堵緊管口，然後將玻璃管倒立在水銀杯中。如果將手指松开，管中水銀即行下降，但下降到一定高度后，就不再下降了。这时在管的上部，就形成了沒有空气的“真空”。因为管子上端沒有空气压力，而管子下端水銀面上受有大气压力，所以管內的水銀面就比管外高出大約 760 公厘。这說明 760 公厘水銀柱所产生的压力正好和大气压力相等。

大气压力是随地面的拔海高度和季节气候而变化的。物理大气压相当于海平面上空气的平均压力，这个大气压力等于 760 公厘水銀柱

高度(此时水銀温度为 0°C)以此为“标准大气压力”。

现在來說明标准大气压力与工業大气压的关系。这里要注意：大气压力与大气压，只有一字之差，但二者的意义完全不同。今取水銀柱高度为 760 公厘，水銀温度为 0°C ，管內断面积为 1 平方公分，那么管中水銀重量就等于 1.033 公斤。如用公斤/公分²單位表示，就是 1.033 公斤/公分²。而 1 工業大气压等于 1 公斤/公分²，可見标准大气压力等于 1 工業大气压的 1.033 倍。反过来，若把 1 工業大气压換算为 0°C 时水銀柱的高度，則得 735.6 公厘水銀柱。

上面所討論的各压力間的关系，可归納如下：

1 标准大气压力 = 760 公厘水銀柱,

1 标准大气压力 = 1.033 工業大气压,

1 工業大气压 = 735.6 公厘水銀柱。

測量大气压力时可用气压表。

(2) 表压力和绝对压力。在鍋爐汽鼓、蒸汽管道及汽輪机汽缸中，蒸汽的压力都是高于大气压力的。汽輪机的后段和凝汽器中，蒸汽的压力是低于大气压力的。現在来研究一下在这两种情况下，压力的量度方法和量度的單位。

設容器內盛有气体(圖 1-3)，在容器的一端連接一个弯管，弯管中注入一些水銀，讓弯管的一端和容器內部連通，另一端开口，与大气接触。这样，管中水銀一端承受气体压力，另一端承受大气压力。若水銀的位置如圖所示，弯管的右边比左边高，就表示容器內气体的压力比大气压力高。弯管兩边液面的高度差 l ，表示容器內气体压力高于大气压力的数值。換句話說，測量液体柱高度 l 的压力，就可得出容器內部压力大于大气压力的数值，这样測得的压力，叫做“剩余压力”。

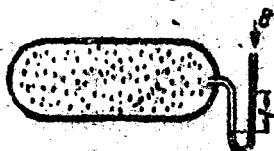


圖 1-3 容器內气体余压的量度

若剩余压力用符号 $P_{\text{剩余}}$ 表示，大气压力用符号 B 表示，那么 $P_{\text{剩余}} + B$ 等于容器內的总压力，这总压力叫做“绝对压力”，用符号 $P_{\text{绝对}}$ 表示。这样一来，绝对压力和剩余压力的关系可由下列公式表示：

$$P_{\text{绝对}} = P_{\text{剩余}} + B \quad (1-3)$$

測量剩余压力的仪器叫做“压力表”。也就是說，用压力表測得的压力，都是剩余压力。因此，我們通常將剩余压力称为“表压力”。

絕對压力和表压力的关系，用圖 1-4 表示。从圖中可以看出，表压力是以大气压力为起点来测量的，絕對压力是以

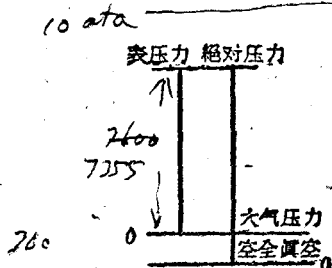


圖 1-4 表压力与絕對压力比較

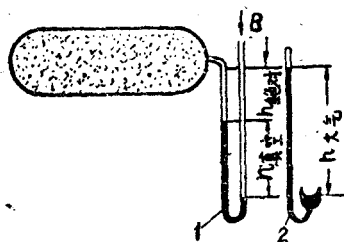


圖 1-5 容器內气体真空的测量

1—测压弯管；2—气压表。

完全真空为起点来测量的。

通常鍋爐或蒸汽管中蒸汽的表压力比大气压力大得多，在这种情况下，大气压力一律可認為等于 1 个大气压（即 1 公斤/公分²）。例如压力表指示的压力为 20 大气压，那么絕對压力就等于 21 絕對大气压。

在研究热工学理論时，都使用絕對压力。書上也常用俄文字母 *ama* 表示絕對大气压，本書对絕對大气压一律簡写成大气压。

(3) 真空。当水銀弯管与盛有气体的容器連通时，弯管中水銀位置如圖 1-5 所示，即左边的液面比右边的高；这表示管中右边液面所受压力（即大气压力）比容器內气体的絕對压力高。容器內压力加上水銀柱高度 h 的压力和，等于大气压力。換句話說，測得水銀柱高度 h ，就能求得容器內的絕對压力低于大气压力的数，我們称此数为“真空”。若真空的水銀柱高度用 $h_{\text{真空}}$ 表示，那么，上述关系可写成：

$$\left. \begin{aligned} h_{\text{真空}} + h_{\text{絕對}} &= h_{\text{大氣}} \\ h_{\text{真空}} &= h_{\text{大氣}} - h_{\text{絕對}} \\ h_{\text{絕對}} &= h_{\text{大氣}} - h_{\text{真空}} \end{aligned} \right\} \quad (1-4)$$

式中 $h_{\text{大氣}}$ ——大气压力的水銀柱高度，公厘；

① $h_{\text{絕對}}$ ——相当于容器內絕對压力的水銀柱高度，公厘。

凡是压力比大气压力低的情况，都称为真空；但真空是有程度上的区别的。当容器內完全没有压力，也就是絕對压力等于零时，叫做完全真空；其余情况都不是完全真空。比如凝汽器內的真空就不是完全真空。②

真空也可以用百分比表示，称为“真空度”。完全真空的真空度是 100%，非完全真空都小于此数。

在完全真空的情况下，真空的水銀柱高度 $h_{\text{真空}}$ 等于大气压力的水銀柱高度 $h_{\text{大氣}}$ 。真空度可用大气压力的水銀柱高度去除测得的真空水銀柱高度来求出，計算公式是：

$$\text{真空度} = \frac{h_{\text{空真}}}{h_{\text{大氣}}} \quad (1-5)$$

在凝汽器內絕對压力不变的情况下，真空度可能随着大气压力的变化而改变。所以在理論計算上，使用絕對压力来表示汽輪机凝汽器內的真空較為妥善。在已經测得大气压力和凝汽器內真空的水銀柱高度之后，絕對压力可由下列公式計算：

$$P_{\text{絕對}} = \frac{h_{\text{大氣}} - h_{\text{空真}}}{735.6} \quad (1-6)$$

單位是工業大气压。

例題 今测得汽輪机凝汽器內的真空等于 720 公厘水銀柱，另由气压表测得当时的大气压力是 750 公厘水銀柱，試計算凝汽器內的絕對压力和真空度。

根据公式(1-4)，凝汽器內的绝对压力是：

$$\checkmark \quad h_{\text{绝对}} = h_{\text{大气}} - h_{\text{真空}} = 750 - 720 = 30 \text{ 公厘水銀柱。}$$

化为大气压單位，由公式(1-6)得：

$$\checkmark \quad \frac{30}{735.6} = 0.041 \text{ 大气压。}$$

由公式(1-5)，算出凝汽器內的真空度是：

$$\checkmark \quad \text{真空度} = \frac{h_{\text{真空}}}{h_{\text{大气}}} = \frac{720}{750} = 0.96 = 96\%。$$

測定压力的表計有兩種基本型式：一种为液体压力表，用以測量較小的压力或真空，測量單位为液柱高度(公厘)；另一种为彈簧管式压力表，也叫布尔頓压力表，用它可以測量任意大小的压力，它的測量單位一般是公斤/公分²。

三、比重和比容

比重是物体單位体积所具有的重量。对于气体來說，以1立方公尺体积所具有的公斤数，做为比重的單位，写成公斤/公尺³。空气在标准大气压力下，温度为0°C时的比重是1.293公斤/公尺³。

單位重量物体所佔的体积，称为“比容”。工業上以1公斤气体所佔有的体积立方公尺数，做为比容的單位，写成公尺³/公斤。

比容是比重的倒数。例如空气的比重在标准状态下是1.293公斤/公尺³，那么在同样状态下它的比容应是1/1.293 = 0.7734公尺³/公斤。

气体的比容是和压力、温度有密切关系的。当温度不变，压力提高时，气体的体积收縮，比容变小。如果压力保持不变，只提高温度，则气体的体积膨胀，比容增大。以过热蒸汽为例，当压力为1大气压，温度为200°C时，蒸汽的

比容为 $2.214 \text{ 公尺}^3/\text{公斤}$ 。如温度保持不变，压力提高到10大气压，蒸汽比容就变为 $0.2103 \text{ 公尺}^3/\text{公斤}$ 。另一种情况，如果蒸汽压力不变，而将温度由 200°C 提高到 400°C ，比容就增加为 $3.163 \text{ 公尺}^3/\text{公斤}$ 。总之，压力提高，比容缩小；温度升高，比容增大。

比容是气体的主要状态参数之一，在研究汽轮机理论上，是很重要的。各种气体的比容，都能从现成的表中查出。

第二节 功 与 能

一、热和热容量

工业上采用“大卡”（或叫千卡）做为量度热量的单位。大卡热量是这样规定的：1公斤水，温度升高 1°C 所需要的热量是1大卡。并不是所有物体的温度升高 1°C 都等于1大卡。1公斤钢温度升高 1°C ，只需热量0.11大卡。压力为1大气压（即绝对大气压，以下都简写为大气压），温度为 100°C 的水蒸汽1公斤，温度升高 10°C ，只需要5大卡的热量，平均每升高 1°C 只需要0.5大卡的热量。

各种物体重1公斤，温度升高 1°C 所需要的热量大卡数，叫做该物体的“热容量”。热容量的单位是大卡/公斤 $^\circ\text{C}$ （每公斤每度大卡）。

如已知物体的热容量，就容易算出任意重量的物体，升高到任意温度所需要的热量。比如汽轮机在起动以前进行暖管，假如要加热的这段蒸汽管的总重量是2,000公斤，管子未通蒸汽以前的温度是 30°C ，暖管后使它的温度达到 430°C ，那么暖管所需要的热量，可这样计算：从工程手册中查出钢的热容量是 $0.11 \text{ 大卡/公斤}^\circ\text{C}$ ，那么暖管所需热量是：

$$2,000 \times 0.11 \times (430 - 30) = 88,000 \text{ 大卡。}$$

根据这个热量，还可以算出暖管所需要的蒸汽量和产生的疏水量。假如在暖管过程中，每公斤蒸汽放出的热量是 500 大卡，那么暖管所用蒸汽量是： $88,000 \div 500 = 176$ 公斤。产生的疏水量也是 176 公斤。

二、功 和 功 率

功和功率的概念，对发电厂热力工作者来说，是很重要的。

在发电厂的汽机车间内，桥型起重机将汽轮机大盖由原位置吊起来，我们说起重机对汽轮机大盖做了功。很明显，大盖越重，吊起的越高，起重机做的功越大。

起重机在半空中，将大盖由这一位置吊移到另外一个位置，也要消耗一些功。显然，大盖越重，水平移动的距离越长，起重机完成的功就越大。

所以，功的大小要根据作用力的大小和物体在力的作用方向上所通过的距离来决定。

为了量度功的大小，必须规定出功的单位。我们采用以 1 公斤的力将重物移动 1 公尺，定为功的单位。这个单位叫做“公斤-公尺”。例如以 10 公斤的力，使物体移动 2 公尺，那么力所完成的功就是： $10 \times 2 = 20$ 公斤-公尺。

但是，功的数值还不能说明完成功的强度。比如人们将同样重量的车子由甲地推到乙地，一种办法是用很短的时间很快的速度，另一种办法是用较长时间很慢的速度，那么两种办法所完成功的强度显然是不同的，前者完成功的强度一定大于后者。因此，要知道完成功的强度，必须知道在单位时间内(例如 1 秒)所完成的功。单位时间内完成的功，称为

“功率”。

功率的單位有三種。一種是在1秒鐘內完成1公斤-公尺的功，用公斤-公尺/秒來表示；這個單位很小，在工業上使用不便。另一種功率的單位是1公斤公尺/秒的75倍，這個單位叫做“馬力”。

$$1 \text{ 馬力} = 75 \text{ 公斤-公尺/秒} = 0.746 \text{ kW}$$

馬力的意思是一匹馬所具有的做功強度，實際上一匹馬的做功強度是小于1馬力的。

電業部門最常用的功率單位是“瓩”。瓩單位較公斤公尺/秒單位大102倍，比馬力單位大1.36倍，即：

$$1 \text{ 瓩} = 102 \text{ 公斤-公尺/秒},$$

$$1 \text{ 瓩} = 1.36 \text{ 馬力}.$$

例題 將7,200公斤的重物，在1小時內，舉起100公尺高，試計算舉重的功率。

$$\text{舉重完成的功為：} 7,200 \times 100 = 720,000 \text{ 公斤-公尺}.$$

$$\because 1 \text{ 小時} = 3600 \text{ 秒},$$

$\therefore$ 1秒鐘內完成的功，或舉重的功率是：

$$720,000 \div 3600 = 200 \text{ 公斤-公尺/秒}.$$

化成馬力就是： $200 \div 75 = 2.67 \text{ 馬力}.$

化成瓩就是：

$$200 \div 102 = 1.96 \text{ 瓩}, \text{ 或 } 2.67 \div 1.36 = 1.96 \text{ 瓩}.$$

三、能量的種類和能量互換

(1) 動能和勢能。如果一個物體能做功，我們說這個物體具有能量。例如流動着的水，它能推動水輪機的水輪做功；又如高速噴射的汽流，能推動汽輪機的葉輪做功。這種運動着的物體所具有的能量，稱為“動能”。

位于高处蓄水池中的水和鍋爐中的蒸汽，都有作功的能力，把它们导入水輪机或汽輪机中就可以作功。这种处于高位置或高压中的物体所具有的能量，称为“势能”或“位能”。

动能和势能是可以互相轉換的。例如把一个橡皮球从水泥地面上举起，球在这个位置上就有了一定的势能，球离地越高，势能越大。当橡皮球由高处落下，它的势能逐渐减少，而球的速度，也就是球的动能越来越增加。当球將着地时，势能变为零，而动能达到最大。如果没有空气阻力，并且球是完全彈性的，那么，球着地后仍可反跳到原来举起的高度，这说明动能又轉变为势能。势能和动能不只是可以互相轉換，并且在轉換过程中，它的总能量是不变的。这种总能量既不会消灭，也不会增加，只能保持总量不变的規律，称为能量守恒定律。

动能和势能，一般統称为“机械能”。机械能可通过原动机而作功。

(2) 功和热能。机械能与热能，也能互相轉換。例如飞抛的石塊和靜止的石塊撞击时，运动的石塊的动能消失，变为撞击时产生的热能。热和功也可以互相轉換，如汽輪机的軸在軸承內轉动，要消耗一部分有用的功轉变为热；另一方面，热能通过热力原动机就可以变为功。

研究热能及其轉換为功的科学，叫做热力学。热力学中有两个基本定律，本节先介紹热力学第一定律。

热力学第一定律是說明功与热能互相轉換的数量关系的。究竟多少公斤-公尺的功，可以轉換为1大卡的热能呢？根据科学家焦耳，經過多次实验得出的結果是：427 公斤-公尺的功，可以轉換为1大卡的热。所以427称为“热的功当

量”。意思是說，每1大卡的热，相当于427公斤-公尺的功。

反过来说，1公斤-公尺的功，相当于1/427大卡的热。
1/427称为“功的热当量”，用符号 A 表示。

綜合以上所說，热力学第一定律可簡述如下：在能量互換中，一定数量消耗的热能，与一定数量的功相当，反过来也同样。

(3) 热能和电能。发电厂的主要任务是生产电能。电能以每小时产生1瓩的能力为單位，称为“瓩小时”或“电度”。例如6000瓩功率的发电机，工作2小时生产的电能是：
 $6000 \times 2 = 12000$ 瓩小时。

电能和热能也是可以互相轉換的，并且也符合能量守恒定律。一瓩小时的电能，相当于860大卡的热量，即

$$1 \text{ 瓩小时} = 860 \text{ 大卡}$$

第三节 水 蒸 汽

一、水蒸汽的性質和蒸汽表

推动原动机工作的物質，叫做“工質”。火力发电厂主要采用水蒸汽为工質，利用水蒸汽来推动汽輪机的叶輪旋轉而作功。为了学习汽輪机的工作原理和掌握它的运行，首先应对水蒸汽的性質有所了解。

水蒸汽發生的过程是怎样的呢？我們拿一个帶有活塞的容器作为例子来加以說明（圖1-6）。先向容器內注入1公斤的水，然后将具有一定重量的可以上下移动的活塞，压在水的上面，活塞作用在水面上的压力是 P 大气压。現在向容器的底部加热，水的温度就逐渐上升；当水的温度上升到一定程度时，便开始沸腾。这时再繼續加热就可以發現：水的温度不再升高，却从水中不断湧出汽泡，这說明水化汽的过程