

電力工業生產過程 基本知識

第二分冊

汽 輪 機

電力工業出版社

電力工業生產過程 基本知識

第二分冊
汽 輪 機

電力工業部干部學校編

電力工業出版社

內 容 提 要

本書淺显的介紹了汽輪机的基本知識，有重点的敘述了汽輪机的動作原理和構造；其次，对汽輪机的附屬設備也作了簡要的說明。此外，并叙述了汽輪机設備在运行与檢修中应注意的几項問題。

本書不仅适合电業系統的轉業干部學習，而且对一般技術工作人員也有参考价值。

电力工業生產过程基本知識

第二分册

电力工業部干部学校編

*

254R57

电力工業出版社出版(北京府右街 26 号)

北京市書刊出版業營業許可証出字第082号

北京市印刷一厂排印 新华書店發行

*

787×1092 $\frac{1}{32}$ 开本 • 4 $\frac{1}{2}$ 印張 • 91千字 • 定价(第8类)0.65元

1955年11月北京第1版

1957年1月北京第3次印刷(9,631—17,160册)

序 言

〔電力工業生產過程基本知識〕原是電業管理總局一九五四年局長研究班的教材。局長研究班的教學大綱是在蘇聯專家的幫助下制訂的；而教材的編寫工作，是由電業系統的幾位學術經驗豐富的專業工程師執筆的，他們在編寫過程中，不僅吸取了蘇聯的先進經驗，而且結合了我國現場的具體情況。

由於局長研究班的學員大都是轉業不久的同志，他們都不懂技術，管理業務也不熟悉，因此，在編寫這套教材時，儘量使得內容淺顯，說理簡明，結構嚴密，通俗易懂；並且避免了許多複雜煩瑣的公式。

〔電力工業生產過程基本知識〕不僅適合於電業系統的轉業領導幹部學習，同時也是幫助其他不熟悉電業業務知識的工作同志學習技術知識的一套書籍。此外，對於一般工程技術人員也有參考價值。

這套教材是由下列幾位同志編寫的：第一分冊（鍋爐）——譚肇強同志；第二分冊（汽輪機）——張景泰同志；第三分冊（發電機與電動機）——盛澤民同志；第四分冊（變壓器和配電裝置）——翁恩瀛同志；第五分冊（高壓架空輸電綫路）——徐博文同志；第六分冊（力能系統的調度管理）——陳德裕同志；第七分冊（繼電保護裝置）——劉倫同志；第八分冊（油務管理）——秦金藻同志。

雖然，編寫這套教材的同志，在主觀上已經盡了最大努力；但由於缺乏寫作經驗，尤其多半是在業餘時間整理的，因而不完善的地方，無疑是存在的。我們誠懇的希望讀者提出意見和批評，以後再版時修正。

電力工業部幹部學校

目 錄

序 言

第一章 熱力設備和汽輪機的動作原理	3
第1節 熱力設備概論	3
第2節 發電廠的汽水系統	4
第3節 發電廠的熱平衡與經濟效率	9
第4節 蒸汽的性能	14
第5節 汽輪機的動作原理	28
第6節 汽輪機的損失、效率和出力	50
第二章 汽輪機的構造和機件	54
第1節 汽輪機的分類	54
第2節 汽輪機的基本機件	58
第3節 汽缸	59
第4節 隔板	31
第5節 噴嘴	63
第6節 汽封	64
第7節 軸承	72
第8節 轉子	79
第9節 汽葉	82
第10節 調速系統	87
第11節 油系統	93
第三章 汽輪機的附屬設備	95
第1節 凝汽設備	96
第2節 循環水系統	103
第3節 回熱再生系統	106
第四章 汽輪機設備的運行與檢修	108
第1節 汽輪機設備的運行	108
第2節 汽輪機設備的檢修	117
第五章 運行與檢修中的幾項問題	120

第一章 熱力設備和汽輪機的動作原理

第1節 熱力設備概論

宇宙間的「能」量是一定的，它不會消失，也不能被創造出來，但可由一種形式變換成為另一種形式。這個定律叫做「能量不減定律」。

宇宙間「能」的形式有：太陽能、水能、風能、熱能、化學能、機械能、光能、電能、原子能等等。

人類為了提高生產和滿足生活上的需要，在很早以前就逐漸在利用自然界的「能」來為自己服務，開始是從自然界中選取一種得來最方便的「能」直接加以利用，或是把它變成最適合應用的一種形式來加以利用，以達到所希望的目的。例如，人需要吃鹽，就利用太陽晒海水以取出鹽來；人要吃熱的食物，就利用木柴或其他燃料把它燒熟來吃；人吃的米和麵需要碾磨，就製造了水車，利用水力來推磨；田裏需要水，就製造了風車，利用風力來車水。

到了近代，人類更進一步地掌握了自然界的規律。自然界的「能」被人利用的種類更多，範圍也更廣。人們並改進了方法和設備，提高了效率。除了更進一步的利用水、風、熱等已經很熟悉的「能」外，還進一步利用了化學能、機械能、光能、電能、原子能等。由於利用了多種多樣的「能」，並且應用了多種多樣的方法和設備，從最簡單和最豐富的「能」變換成最適合和使用上最方便的「能」，因而人類的生產和生活水平都較以前提高了一大步。

偉大的工人階級和科學家、工程界為「能」的變換和能的

設備改進等貢獻了無比的力量，並且發明變換能的新的方法，更創造出新的設備，來為人類謀取更多的幸福。熱力設備就是其中的一種。

熱力設備的任務是把燃料燃燒以後所發出的熱能收集起來，然後以更方便的方式供給使用，或是變換成機械能來代替繁重的或複雜的勞動。在發電廠裏更把機械轉動能用來轉動發電機，發出電能，供給用電部門使用；在熱電廠不僅供電，還通過蒸汽或熱水把一部分熱能供給用熱的用戶。

熱力設備在完成這項任務的時候，總是藉助於一種媒介物體，用燃燒氣體做媒介物體的有內燃機和燃氣輪機，用水蒸汽做媒介物體的是蒸汽機或汽輪機。近代的發電廠熱力設備都是由蒸汽鍋爐和汽輪機組成的。

第2節 發電廠的汽水系統

在火力發電廠裏，水蒸汽佔着相當重要的地位，通過它才把熱能變換成為動能，推動汽輪機轉動起來，帶着發電機發電。水蒸汽在完成這項工作的時候，先是由水吸收熱蒸發成水蒸汽，然後經過它本身的状态變化把吸收的熱能變換成為動能，當熱放出以後又凝結成水。這樣反覆循環地工作着，構成發電廠的汽水系統。在研究火力發電廠熱力設備的時候，應當對汽水系統先有相當的認識。下面簡單的敘述一下火力發電廠的汽水系統以及系統內的各項設備（參看圖1）。

火力發電廠所利用的「能」是煤裏面所含的化學能。煤在燃燒的時候變成熱能，使燃燒所形成的煙氣有很高的溫度（約1000度）。煙氣帶着熱量從鍋爐水管外面穿過去，把大部分的熱量傳給管內的水，使水的溫度升高到相當於鍋爐壓力的沸點（參閱第4節），然後蒸發成水蒸汽。水蒸汽從鍋爐汽包裏流出

來，然後流進過熱器管，再从烟氣裏吸收更多的熱量，成為含熱量很多的高壓力、高溫度的過熱蒸汽（參閱第4節）。通過蒸汽管路，過熱蒸汽流到汽輪機去，經過汽輪機的蒸汽分配裝置（主汽門和調節汽門等）到達蒸汽室。在汽輪機的蒸汽室裏安裝着噴嘴，蒸汽在流過噴嘴的時候壓力和溫度都降低下來，但流速增大，這時候它所含的熱能一部分就變成有衝擊力量的動能，推動汽輪機轉子上的動汽葉，使轉子轉動起來，就產生了機械轉動能，帶動發電機發電。

蒸汽在汽輪機裏就這樣一段一段地把熱能變成動能，壓力和溫度逐漸地降低下來，在離開汽輪機的時候，壓力已經比大氣壓力低了很多，溫度也已接近空氣的溫度了，直接進入凝汽器。在凝汽器裏蒸汽遇到凝汽器銅管，被銅管裏面的冷卻水吸收去大部分的熱，又凝結成水，流到凝汽器下部的小水包裏。用來冷卻蒸汽用的冷卻水，一般是從河裏用大的水泵打進凝汽器的銅管裏去，吸收了蒸汽的熱量以後又流回河裏去，這種冷卻水叫循環水。

小水包裏的凝結水，由凝結水泵吸出來，經過加熱器，打進熱水箱裏去。從汽輪機裏抽出來的一小部分蒸汽送到加熱器內給凝結水加熱，這部分蒸汽在汽輪機裏已經作了一些工作，壓力降低了一些，溫度還不很低，還含有相當的熱量。這部分蒸汽在加熱器裏把熱量傳給凝結水，在它的溫度與凝結水的溫度平衡了以後它本身也凝結成水，離開加熱器的時候就同凝結水混在一起流進熱水箱。加熱凝結水，是使它在回到鍋爐以前溫度昇高一些，到鍋爐後能少吸收一些熱量就又蒸發成為蒸汽，使鍋爐少燒一些煤。

用鍋爐給水泵把熱水箱裏的熱水打進鍋爐的省煤器去，利用從鍋爐裏出來的溫度還有相當高的烟氣來把這熱水的溫度提

高到接近蒸發的溫度，然後流進鍋爐，重新蒸發。

水和水蒸汽就这样在鍋爐裏吸收煤的熱能，在汽輪機裏把熱能變成動能。蒸汽在汽輪機裏工作之後凝結成水。这样不断的循环着，就組成了發電廠的汽水系統。

水和水蒸汽在这样的循环工作过程中，由於鍋爐需要不断的排污以保持蒸汽的品質，汽輪機在軸封的地方要冒出一點蒸汽以防止空气鑽進去，鍋爐吹灰也要用些蒸汽，以及其他等原因，總會有少量的蒸汽或水被損失掉，就必須不断補充水。補充的水需要先經過水處理設備，去掉水裏的硬度和氧氣，才不致在鍋爐和汽輪機裏結水垢或產生腐蝕。補充水經處理後，再加到熱水箱裏去。

圖 1 是火力發電廠設備佈置的剖面示意圖，祇可以在培養幹部的時候作為教材之用。在實際生產工作中應用的是一種能夠指導和幫助改進工作的熱力系統圖(圖 2)。在這種圖上，所有的設備都是用代表符號來表示，並不把設備的外形畫出來。從圖上可以看出來熱力系統的組織，各項設備的性質和彼此之間的關係。系統的容量註明在主要設備的旁邊，也可以在每一項設備的旁邊註明它的容量。各項設備之間的聯絡管路用綫來表示，粗綫代表主蒸汽管路，細綫代表水管，虛綫代表凝結水管路，其他的綫條代表其他的管路。在管路的綫條上面可以註明汽或水的壓力和溫度，綫旁邊的箭頭表示管內汽或水的流動方向。更詳盡的熱力系統圖還把所有的截門、閘門、安全門以及法蘭联接等都用相當的代表符號畫在相當的地位上。用這樣的系統圖能夠更全面地和更詳細地說明系統的情況，因此，每一個運行人員都應當熟悉這圖，利用它來對系統內自己所掌握的部分進行研究，藉以提高自己的工作，保證運行的安全。

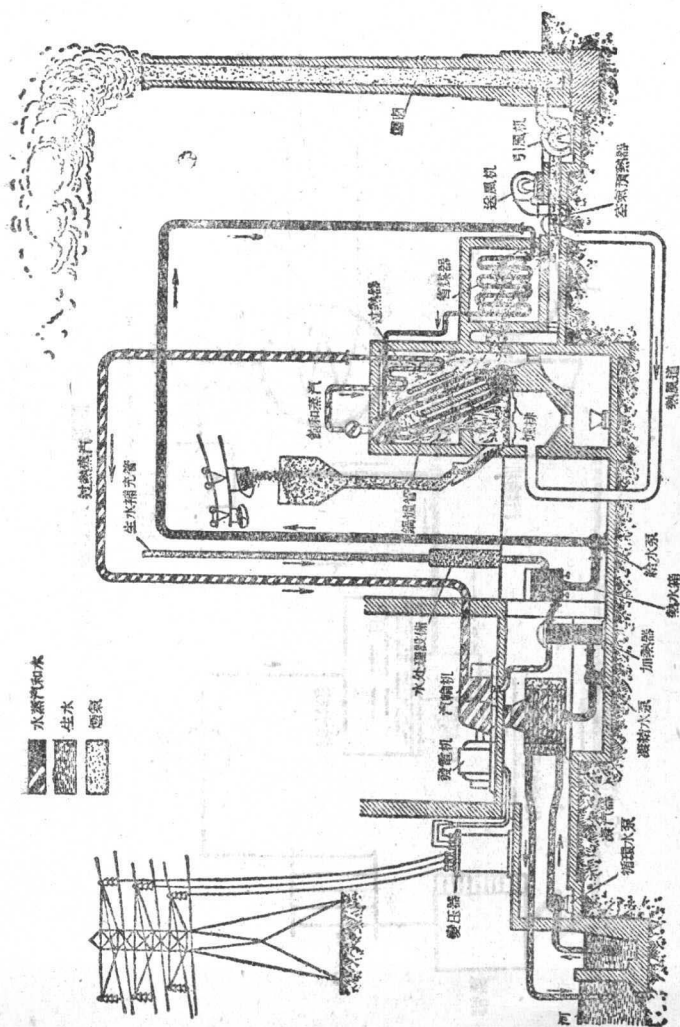


圖 1 火力發電廠設備示意圖

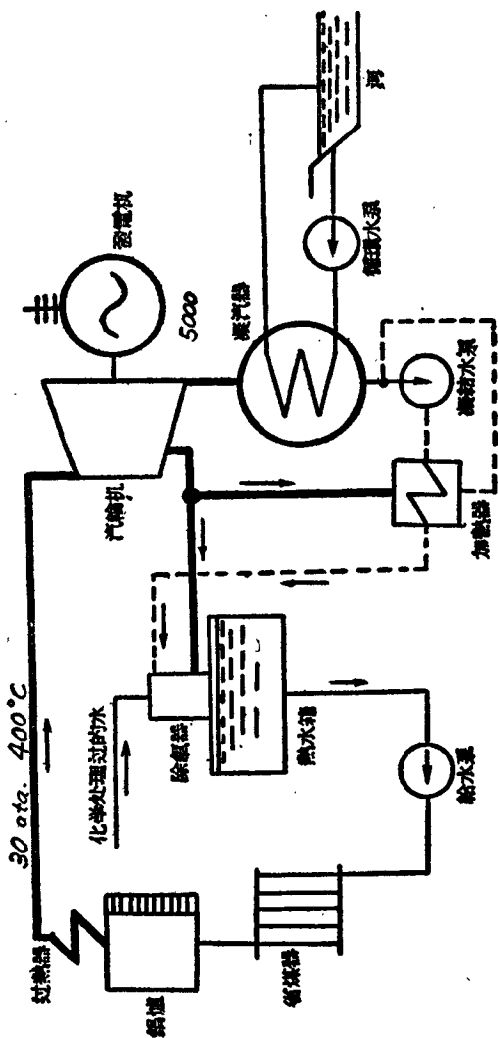


图 2 简单的热力系统图

第3節 發電廠的熱平衡與經濟效率

在火力發電廠裏我們使用多少煤發出多少電來，是我們很希望知道的。也就是說，我們把煤裏面所含熱能變換成爲電能，我們的收穫究竟有多大。熱能的單位是大卡，就是相當於使一公斤的水溫度升高一度所需要的熱量；電能的單位是瓩小時（或叫度）。

目前我國火力發電廠的平均煤耗率大約是 0.6 公斤標準煤發一度電。標準煤就是每一公斤含有熱量 7000 大卡的煤。我們實際用的煤，譬如是一般的每一公斤含有熱量 5500 大卡的煤，那就是說，要發一度電平均需要這種煤的量是

$$\frac{0.6 \times 7000}{5500} = 0.764 \text{ 公斤.}$$

換句話說，用一噸這種煤可發出電

$$\frac{1000}{0.764} = 1310 \text{ 度.}$$

能量不滅定律告訴我們，各種能是可以互相變換的。同時，科學試驗証實了「一度電等於八百六十大卡的熱」

$$1 \text{ 度電} = 860 \text{ 大卡.}$$

如果把我們從利用一噸含熱量為 5500 大卡的煤所獲得的電量，用熱量的單位來表示的話，就是

$$1310 \times 860 = 1\,127\,000 \text{ 大卡.}$$

但是，一噸含熱量為每公斤 5500 大卡的煤在燃燒的時候所放出來的熱量是

$$1000 \times 5500 = 5\,500\,000 \text{ 大卡.}$$

收穫的電能相當於煤放出來的熱能的

$$\frac{1\,127\,000}{5\,500\,000} \times 100 = 20.5\%.$$

从這裏看出來，祇有百分之二十點五的熱能被變換成為電能，其餘百分之七十九點五的熱能好像是沒有遵守能量不滅定律而消失了。實際上與能量不滅定律並沒有任何矛盾，因為在這個「能」的變換過程中，有很大一部分的熱能沒有能夠被利用，而消耗在周圍的空氣、循環水、透平油等裏面，使它們的溫度升高起來了，又把熱能帶回了自然界。

這些沒有被利用的熱能對熱力設備來說是損失，但是這種損失是不能避免的。我們應當努力的是使這些損失儘可能的減少。

能量不滅定律在這裏應當用下面的公式來表示：

$$\text{投入的能量} = \text{收穫的能量} + \text{損失。}$$

如果把它應用在火力發電廠的熱力設備上，並且更具体地把公式的各項寫出來，就成為

$$\text{耗用的煤所含的熱量} = \text{發出的電度} \times 860 + \text{各項損失。}$$

這就是火力發電廠的熱平衡公式。

這個公式裏的各項損失是在火力發電廠的生產過程中，在鍋爐、汽輪機、發電機以及其他各種設備上都或多或少地要遭受到。下面說明一下各項損失的情況，並且為了解釋得更清楚，用火力發電廠熱平衡示意圖（圖3）來幫助說明。

把投入的能量（即是使用的燃料所含的熱量）看做百分之一百。燃料在燃燒的時候需要空氣，燃燒以後放出它所含的熱量，作為燃料的煤的一部分與空氣合起來成為煙氣。煙氣帶着大部分的熱量跑到鍋爐管和過熱器管，這時它的溫度還比空氣和煤進入鍋爐時候的溫度高很多，這就是說它還有相當多的從煤裏吸收來的熱量（大約等於投入的燃料熱量的18%）。煙氣在流過省煤器和空氣預熱器的時候，有一部分熱量被水和蒸汽吸收了去，最後從煙囪冒出去的時候，還帶着大約12%的熱量

跑到周圍的空氣裏去了，這一項損失就是煙氣損失①。

空氣預熱器從煙氣裏吸收的熱量大約等於3%，這3%的熱對燃燒所需要的空氣進行預先加熱，使空氣帶着熱量進入爐膛去幫助燃燒。這一部分熱量沒有損失，在鍋爐設備裏不斷地循環着。

省煤器從煙氣裏吸收的熱量大約等於3%，這熱量是用來給進入鍋爐準備蒸發的水加熱，這部分熱量也沒有損失，而是包含在蒸汽裏被帶到汽輪機內去工作。

煤在燃燒以後，除了一部分與空氣合成煙氣外，其餘的部分成為灰和焦渣，它們的溫度比煤進入鍋爐的時候要高得多，因此灰焦出爐的時候帶去一部分熱量而損失了。這就是灰焦損失。此外，一小部分煤由於沒有與空氣混合好而沒有完全燃燒，或是根本沒有燃燒就漏掉了，也是一種損失，這就是不完全燃燒損失。以上兩種損失合起來大約等於3%，在圖3裏是用②來表示的。

在運行着的鍋爐的周圍，空氣是熱的，人在鍋爐的旁邊也會感覺到熱射到身上來，這是因為有一部分熱量穿過鍋爐的磚牆傳導或放射出來，這就是鍋爐散熱損失③，大約等於3%。

以上①②③三項損失屬於鍋爐設備的損失。

鍋爐蒸發出來的蒸汽在流過蒸汽管路的時候，雖有保溫層，但仍會有一部分熱量被散射出來而損失掉，這就是管路散熱損失④，大約等於1%。

除了以上四項損失掉的熱量外，其餘全被蒸汽帶進了汽輪機，其中一部分的熱能變換成為動能，用來轉動汽輪機，帶動發電機發電。蒸汽從汽輪機出來以後流進凝汽器，受到冷卻後又凝結成水。作為冷卻用的循環水在進入凝汽器以前溫度較低，從凝汽器出來時溫度升高好幾度，這表明它吸收了熱量。循環

水的量很大，吸收的熱量也很多，這部分熱量是沒有被利用的，形成一種損失，這就是凝汽損失⑤。是用凝汽式汽輪機的热力設備的最大一項損失，大約相當於投入的燃料熱量的58%。換句話說，就是投入熱量的一半以上損失在循環水裏面了。

凝結水裏還含有少量的熱量，在它被送回鍋爐的時候又帶進了鍋爐。這部分熱量也沒有損失掉，而是在熱力系統內循環着。

汽輪機在運行的時候，機體的溫度比周圍環境的溫度高，也有一部分熱散到空氣裏去，這就是汽輪機散熱損失⑥，大約等於0.5%。

熱能在汽輪機裏變換成的機械動能並沒有全部用來帶動發電機，有一部分還消耗在軸承的摩擦和通過蝸母輪帶動調速器和油泵等方面，這都是屬於汽輪機的機械損失⑦，大約等於1.5%。

以上⑤⑥⑦三項損失屬於汽輪機設備的損失。

發電機從汽輪機得到的機械動能也沒有全部變成電能，而有一部分同樣地消耗在軸承的摩擦上。又因為繞圈要發熱，需要用冷卻空氣把繞圈的熱量帶走，這都是屬於發電機的損失⑧，大約等於2%。

從發電廠發電機發出來的電要先經過變壓器，把電壓變成適合於用戶應用的電壓以後再送出去，因此有變壓器的損失⑨，大約等於1%。

在火力發電廠的生產過程中，本身需要一些電能來開動水泵和風機等，這部分電能是不能向用戶供應的，因此也相當於損失，這就是廠用电量⑩，大約等於3%。

綜合以上①到⑨九項和廠用电量⑩的損失，在投入的熱能中，沒有變換成可供使用的電能的熱共為85%。收穫的電能

⑪僅為 15%。

收穫電能佔投入熱能的百分數就是火力發電廠的經濟效率

$$\text{經濟效率} = \frac{\text{收穫的電能}}{\text{投入的熱能}} \times 100$$

$$= \frac{\text{實際供出的電度} \times 860}{\text{消耗燃料的公斤數} \times \text{每公斤燃料的含熱量}} \times 100.$$

在上面說明中所用的數字是小容量的、不帶回熱再生設備的發電廠用的。如使用優良的熱力系統組織，使用較高的蒸汽壓力和溫度，蒸汽離開汽輪機以後在凝汽器裏凝結成水的時候使用低的真空壓力（見第 4 節），以及使用質量好的設備，都能夠提高經濟效率。完善的大容量的凝汽式發電設備，可達到 27—32% 的經濟效率。發電廠的工作人員的任務是要熟悉生產過程和設備構造，並且掌握技術，對運行、維護、檢修等方面，應進行研究，提出和採用合理化建議，以便在現有的設備條件下，使熱效率能夠達到可能達到的最高效率。

第 4 節 蒸汽的性能

蒸汽盛在一個容器裏，總要佔據整個容器內部而不留任何空隙，並且還要向外膨脹，因此，蒸汽在各個方向都有一種向外推的力量。容器內每單位面積上所受到的力量就是蒸汽的壓力。如果在每一平方公分面積上的力量是一公斤，蒸汽的壓力就是一個大氣壓。這個壓力和我們周圍大氣裏的空氣壓力是很接近的，叫一個技術大氣壓。

如果用水銀柱來測量一個技術大氣壓（每平方公分一公斤的壓力），由於水銀的重量是每立方公分 13.595 克，水銀柱的高度就會是

$$\frac{1000}{13.595} = 73.56 \text{ 公分} = 735.6 \text{ 公厘}.$$