

汽輪機初級讀本

蘇聯 多爾戈夫斯基著
李 鏘譯

燃料工業出版社

汽輪機初級讀本

蘇聯 多爾戈夫斯基著
李 鎔譯

江苏工业学院图书馆
藏书章

燃料工業出版社

一九五三年八月·北京

汽輪機初級讀本

Руководство для машиниста паровой турбины

* 根據蘇聯國家動力出版社（Госэнергоиздат）1942年莫斯科俄文第一版翻譯 *

Н. М. Долговский 著
李 鏞譯

燃 料 工 業 出 版 社 出 版
（北京東長安街中央燃料工業部）

新華書店發行

編輯：顧維灝 校對：張國楹 趙迦南

書號：109 * 52開本 * 78頁 * 55,000字 * 定價：4,200元

一九五三年八月北京第一版（1—7,000冊）

版權所有★不許翻印

* * *

* *

*

出版者的話

本書原名〔汽輪機司機指南〕（Руководство для машиниста паровой турбины），是蘇聯訓練技術工人用的初級技術教材。一九五〇年李鏘同志將它譯出，名為〔蒸汽透平初級教程〕，由東北人民出版社印行四千五百冊，已經售完。目前因讀者紛紛要求，本社特將此書加以修訂，重新出版。

本書以簡明的文字說明了汽輪機及其輔助機件的構造與動作原理，管理汽輪機的基本方法；如正常的起動，運行及停機，工作程序及一般故障發生的原因、徵象及處理方法等。原書出版較早，但因其內容均係一般原理及基本知識，故目前在我國仍能適用。書後所附的〔各型汽輪機通用起動、運行和停機時汽輪機車間值班工注意事項〕、〔汽輪機運行技術保安規程（值班司機用）〕、〔汽輪機司機處理故障須知〕等三個規程，則因其內容較舊，予以省略。

本書可作為訓練技工的讀本，也適於需要知道汽輪機常識的非專業人員閱讀。

目 錄

第一章 蒸汽的性質和汽輪機中的熱力過程.....	1
第1節 蒸汽的基本特性和它的測量.....	1
第2節 汽輪機中的熱力過程.....	8
第3節 汽輪機中的損失.....	12
第二章 汽輪機的構造	13
第1節 機座.....	13
第2節 汽缸.....	14
第3節 軸承.....	18
第4節 汽輪機的旋轉部分.....	21
轉子.....	21
輪盤.....	22
汽葉.....	23
靠背輪.....	24
第5節 調速裝置	25
離心調速器.....	27
蒸汽分配室.....	31
傳動機件.....	31
危急保安器.....	32
第6節 汽輪機的滑潤裝置.....	34
第7節 凝汽器的構造和工作原理.....	39
第8節 空氣抽出器和水泵.....	46
空氣抽出器.....	46

水泵.....	49
第9節 加熱器.....	50
第10節 表類.....	53
第三章 汽輪機本體和輔助機械的運轉	56
第1節 暖機和起動.....	56
準備動作和暖機.....	56
起動.....	62
第2節 運轉中注意事項.....	64
第3節 停機.....	68
汽輪機的防腐蝕裝置	70
惰走的測量.....	70
第四章 汽輪機的一般故障、事故和汽輪機檢修.....	72
第1節 汽輪機的一般故障和事故.....	72
振動.....	72
水衝擊.....	74
推力軸瓦熔化.....	75
汽葉損傷.....	75
第2節 汽輪機檢修.....	77

第一章 蒸汽的性質和汽輪機中的熱力過程

第 1 節 蒸汽的基本特性和它的測量

將水裝在開口的容器內加熱，水的溫度不斷升高，一直到水沸騰為止。任何人都知道，水沸騰時的溫度是 100°C ，到達 100°C 以後即使再加熱，溫度也不會上昇，所有繼續加於器壁的熱量都用來將水變成蒸汽。蒸汽沸騰時的溫度也是 100°C 。

溫度為 100°C 時，水變成蒸汽的現象只能發生在同周圍空氣連通的閉口或開口的容器內，就是在大氣壓力下。

大氣壓力等於 760 公厘水銀柱高時，水的沸點和沸騰時蒸汽的溫度都等於 100°C 。水變成蒸汽時若是在閉口的容器內及較高的壓力下，那麼水的沸騰溫度將隨壓力的增高而同時上昇。

當容器內還剩有某些數量的水時，在相同的壓力下汽化的溫度始終如一。蒸汽的溫度始終和同一容器內的水的溫度相同。這種蒸汽叫做飽和蒸汽。

一定的溫度始終和飽和蒸汽的一定壓力相適應。相反，一定的壓力始終和飽和蒸汽的一定溫度相適應。

換句話說，用溫度表測知蒸汽的溫度時，可以根據第 1 表查出蒸汽的壓力；相反用壓力表測出壓力，又可以根據第 1 表找出蒸汽的溫度。

第1表 飽和蒸汽的壓力和溫度的關係

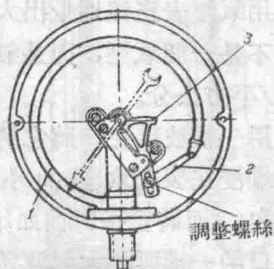
飽和蒸汽的壓力 (絕對大氣壓)	溫 度 (攝氏度)	蒸汽的含熱量 (大卡/公斤)	比 容 (立方公尺/公斤)
0.01	6.7	599.8	131.6
0.02	17.3	604.4	68.27
0.03	25.8	607.3	46.53
0.04	28.6	609.4	35.46
0.05	32.5	611.1	28.73
0.1	45.4	610.8	14.25
0.3	68.7	626.6	5.551
0.5	80.9	631.7	3.304
0.7	89.5	635.1	2.411
0.9	96.2	637.8	1.906
1	99.1	638.9	1.727
3	132.9	651.0	0.6177
5	151.1	656.6	0.3823
7	164.2	660.0	0.2783
9	174.5	662.4	0.2192
10	179.0	663.3	0.1983
20	211.4	667.8	0.1014
30	232.8	668.4	0.06795
40	249.2	667.6	0.05073
50	262.7	666.0	0.04013
75	289.2	659.8	0.02578
100	309.5	651.3	0.01837
150	340.5	625.0	0.01056
200	364.2	581.0	0.00604

水變成蒸汽時體積急劇增脹。

爲了在各種不同的溫度和壓力下比較和測量蒸汽的體積，使用立方公尺/公斤作單位，意思是說1公斤蒸汽佔有多少立方公尺的體積。這個體積叫做蒸汽的比容。從第1表

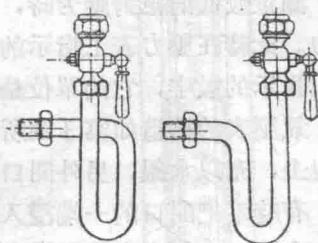
可以很明顯地看出，隨着壓力的增大，蒸汽的比容變小。這是因為蒸汽在壓力作用下，體積被壓縮的結果。

測定蒸汽、水和一般氣體壓力的儀器，叫做壓力表。一般使用的彈簧壓力表的動作原理如下：表的內部裝有空心金屬管1，金屬管的一端封閉，另外一端接在一根管子上，壓力增大時，金屬管逐漸伸直，經過小槓桿和齒牙傳到指針。



第1圖 彈簧壓力表

- 1—空心金屬管；
- 2—小槓桿；
- 3—齒牙。



第2圖 彎曲管

結構如第1圖的壓力表，叫做布爾頓式壓力表。

彈性金屬管受熱時壓力表指示的準確性會受到很大影響，因此需要經常注意不能使蒸汽進入壓力表內，而壓力是通過水來傳導的。爲了防止蒸汽進入壓力表，在壓力表的下面安有一段彎曲管（第2圖），它本身起液體截門的作用。

壓力表所測量的蒸汽或水的壓力是用技術氣壓來表示的，單位是公斤/平方公分。

減掉圍繞我們周圍的大氣壓力以外的壓力叫做表壓力。爲了區別表壓力和全壓力，將表壓力加上周圍大氣壓力的全

壓力，叫做絕對壓力。譬如周圍大氣壓力是 1 公斤/平方公分，壓力表上的讀數是 30 公斤/平方公分，那麼絕對壓力就等於 31 公斤/平方公分。在蘇聯，表壓力的符號是，[ати]，絕對壓力的符號是[ара]。

大氣壓力並不是固定不變的，但是它的變化數值和工業上所用的高壓比較起來，是無關重要的，因此大氣壓力便認做是一個氣壓。

測量較低的絕對壓力時，需要用氣壓表正確地量出大氣壓力。此時在壓力表上指示的數字不是一個氣壓，而是氣壓表上指示的數字，它的單位是公斤/平方公分。

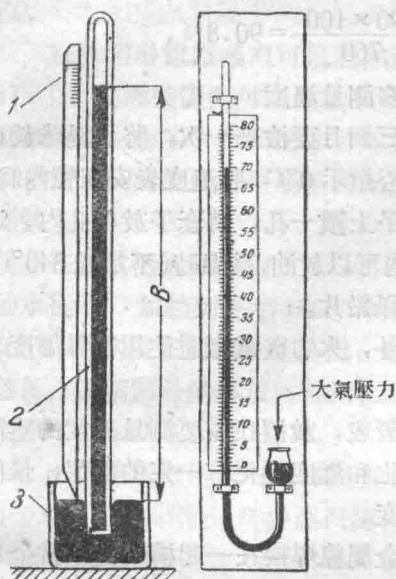
氣壓表的構造如第 3 圖所示，用一根玻璃管，將它的一端封上，充以水銀，另外開口的一端浸在裝有水銀的小碗內，有時不把開口的一端浸入水銀內，而將管子彎曲如第 3 圖的右圖。空氣應從管內排出，開口的一端要和大氣連通。在管子內開口端和閉口端的水銀柱高低的差數表示大氣的壓力，測量的單位用公厘。

水銀氣壓表是最正確的儀器，另外還有一種彈簧氣壓表，它的準確性較差，同時需要定期校驗。

測量比一個氣壓低的壓力，也就是測量某一密閉容器內稀薄氣體的壓力時，使用真空表。真空表指示的壓力，是由零到一個氣壓。

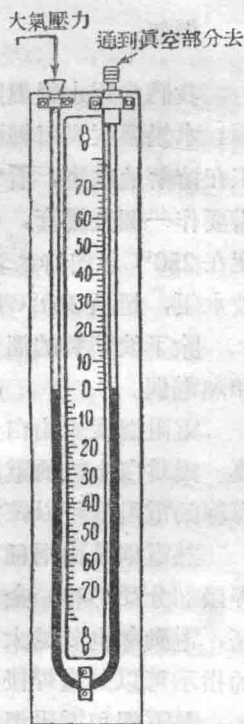
真空表有兩種，一種是彈簧壓力表，它的構造和上述的布爾頓式壓力表完全相同，另外一種是水銀真空表。

水銀真空表的構造如第 4 圖所示，用一兩端開口的 U 形玻璃管，一端用膠皮管和稀薄氣體的空間連接，另外一端和大氣連通。



第3圖 氣壓表

1—刻度； 2—玻璃管； 3—裝水銀的容器。



第4圖 真空表

將水銀注入管子的中央位置，使刻度上的零字正好指在這個位置。以零為中心向上和向下量得的刻度數相同，因此可以讀出真空的數值。假如氣壓表上指示的數字是760公厘，真空表是690公厘，那麼所測量的絕對壓力就等於

$$760 - 690 = 70 \text{ 公厘水銀柱高。}$$

我們經常用真空和大氣壓力的百分比來表示真空度，

例如：
$$\frac{690 \times 100}{760} = 90.8\%$$

我們常用水銀溫度表來測量溫度。

水銀溫度表每經兩、三個月要檢查一次，將水銀球放在正在溶解的冰裏，看它是否指示 0°C 。將溫度表安在管內時，需要作一個金屬套，在管子上鑽一孔，將套子放在孔內。溫度在 250°C 以內時，套管內可以放油，高溫時（不超過 340°C ）放水銀，超過 340°C 時墊以鉛片。

除了玻璃製的溫度表外，火力發電廠還使用電阻溫度表和熱電偶。

電阻溫度表由白金線製成，放置在需要測量溫度的空間裏。因為白金線的電阻變化和溫度變化有一定的關係，量出導線的電阻就可以確定溫度。

熱電偶是由兩種不同金屬線焊接在一起構成的，當金屬焊接部分受熱時，金屬線接頭處產生不大的電動勢，溫度越高，電動勢也就越大。把熱電偶端和電流表連接，根據指針的指示可以知道焊接部分的溫度。

熱電偶和電阻溫度表的優點，就在於它能從遠距離測量溫度，並能集中安置在熱力表盤上，又可以自動記錄表上指示的溫度。

水在蒸發時形成飽和蒸汽，飽和蒸汽從水中帶出一部分水滴，所以也叫做濕蒸汽。

鍋爐中裝有鋼製蛇狀的過熱汽管，飽和蒸汽通過過熱汽管時，所含的水分變成蒸汽，也就是使濕蒸汽變成乾蒸汽，溫度也隨着增高。

蒸汽溫度比同一壓力下水的沸點高的蒸汽，叫做過熱蒸

汽。

在火力發電廠蒸汽可以過熱到 425°C 、 450°C ，甚至到 475°C 。高壓裝置內可以達到 $500—525^{\circ}\text{C}$ 。蒸汽繼續過熱，受到鍋爐、管子、汽輪機零件等材料的限制，因為這些材料耐不住更高的溫度；金屬結構在高溫之下變質，急劇喪失堅固性。

在正常的大氣壓力下（760 公厘水銀柱高），將 1 公斤的水從 0°C 加熱到沸點 100°C 需要耗費 100 大卡的熱量。將 100°C 的水變成同溫度的蒸汽，如同上述，還要增加額外的熱量，這個額外的熱量叫做汽化熱，在正常的大氣壓力下汽化熱等於 539.8 大卡/公斤。

1 公斤蒸汽所含有的總熱量等於 $100 + 539.8 = 639.8$ 大卡/公斤，這個熱量叫做蒸汽的含熱量，也就是 1 公斤蒸汽所含有的熱能。

在相同的壓力下，飽和蒸汽的含熱量是固定不變的，從第 1 表可以看出，乾飽和蒸汽含熱量的大小決定於它的壓力。

飽和蒸汽再度加熱時，含熱量就會提高，作功的能力跟着加強。例如乾飽和蒸汽在 30 公斤/平方公分絕對壓力時的含熱量是 668.4 大卡/公斤，而在相同壓力之下飽和溫度從 232.8°C 過熱到 420°C 時，含熱量就提高到 783.9 大卡/公斤。

過熱蒸汽受冷時，含熱量就要下降，當過熱蒸汽的含熱量降落到和同壓力下的乾飽和蒸汽的含熱量相等時，就變成飽和蒸汽。

將過熱蒸汽送入汽輪機，使它逐漸膨脹，在膨脹過程

中，含熱量逐漸下降，過熱蒸汽變成壓力很低的飽和蒸汽。

蒸汽在進入汽輪機以前和排出汽輪機以後，它的含熱量的差叫做熱力消耗，它表示出過熱蒸汽中有多少熱能變成了別種形態的能——機械能和電能。汽輪機中所消耗的熱能越多，得到的電能也就越多。因此在近代技術上盡最大可能來提高過熱蒸汽的溫度和壓力。

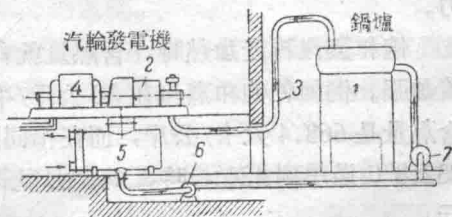
飽和蒸汽的冷卻過程中，部分蒸汽變成水滴，這個過程叫做蒸汽的凝結。

蒸汽在凝汽器內進行全面的凝結，即所有作完功的蒸汽經過循環水的冷卻，全部凝結成凝結水，蒸汽凝結時放出汽化熱。

第2節 汽輪機中的熱力過程

汽輪機的汽水系統如第5圖所示，過熱蒸汽經蒸汽管3進入汽輪機2，蒸汽的熱能首先在汽輪機中變成機械能，以後又在發電機4中變成電能。

作完功的蒸汽由汽輪機排入凝汽器5，以在凝汽器內排汽和冷卻水管接觸凝結成水。離心式凝結水泵6將凝結水從凝汽器中打出，然後經過給水泵7再次送往鍋爐。就這樣凝結水在鍋爐和汽輪機之間進行着閉口循環。用經過化學處理的清水



第5圖 汽水系統圖

- 1—蒸汽鍋爐； 2—汽輪機； 3—蒸汽管；
4—發電機； 5—凝汽器； 6—凝結水泵；
7—給水泵。

鍋爐和汽輪機之間進行着閉口循環。用經過化學處理的清水

來補充在此循環過程中不可避免的凝結水損失。最好的發電廠，這個損失只是發生蒸汽的1.5—3%。

在近代的汽輪機裝置裏凝結水從凝結水泵打出後，經加熱器加熱再送往鍋爐。用作過功的蒸汽來加熱給水的系統叫做再生系統。

熱電中心廠的汽輪機是中間抽汽式的（數段抽汽），它以蒸汽或水供給用戶。這樣的汽輪機叫做抽汽式汽輪機。用抽出蒸汽來加熱水的裝置叫做溫水器。

假如用戶經常需要很多的熱量，汽輪機可以不帶凝汽器。所有作完功的蒸汽或者直接以蒸汽形態送給用戶，或者用蒸汽加熱的熱水送給用戶。

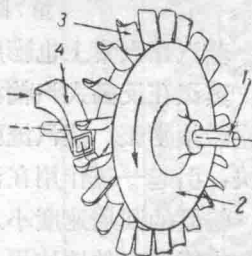
這樣的汽輪機叫做背壓式汽輪機。背壓式汽輪機是最經濟的一種汽輪機，因為排汽的汽化熱被充分利用了的緣故。

汽輪機中的熱力過程可以分為二個階段：

1. 蒸汽以一定的壓力送往汽輪機，首先進入叫做噴嘴的固定導管，蒸汽通過噴嘴逐漸膨脹。當膨脹時蒸汽的壓力降低，容積擴大，運動速度增強，這時蒸汽的含熱量也降低到和壓力降低後相適應的數值。因此熱力過程的第一個階段發生在噴嘴裏，把蒸汽的壓力能變成動能。

2. 在噴嘴中得到高速度的汽流吹向鑲在轉子輪盤上的汽葉。輪盤的簡圖如第6圖所示。

汽葉是彎曲狀的，汽流通過汽



第6圖 單段汽輪機簡圖

1—軸； 2—輪盤；
3—汽葉； 4—噴嘴。

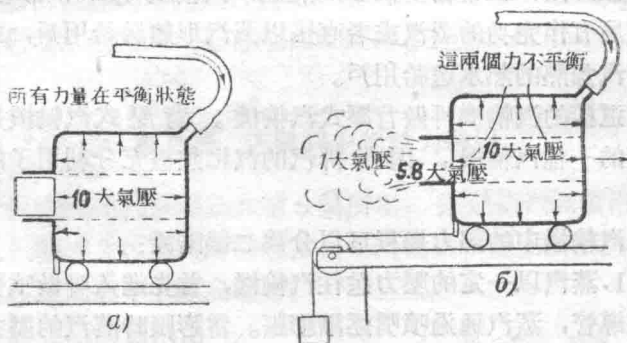
葉之間變更自己的方向，產生離心力，推動汽葉。在汽葉上蒸汽消耗一部分動能，離開汽葉時速度已經降低。

因此熱力過程的第二個階段就是動能（速度能）變成機械能，機械能在發電機中又變成電能。

根據上述原理運轉的汽輪機叫做衝動式汽輪機。

變更噴嘴和汽葉的形狀，可以使蒸汽不僅在噴嘴內膨脹，同時也在汽葉上膨脹。此時汽葉不但因汽流的作用而旋轉，同時受汽流發生的反作用而旋轉。

汽流反作用的實例如第7圖所示。



第7圖 汽流反作用的實例

蒸汽在汽葉上也膨脹的汽輪機叫做反動式汽輪機。

蒸汽在反動式汽輪機的噴嘴內只是部分地膨脹，在汽葉上還繼續膨脹。蒸汽流動方向的變化和蒸汽在汽葉上速度的加快，引起一種作用在汽葉上的反作用。

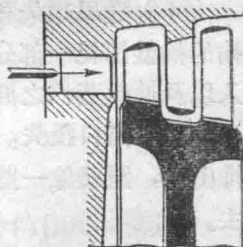
輪盤的圓周速度小於從噴嘴中流出的蒸汽速度的一半時，才能最有效地使用蒸汽的能量。譬如蒸汽的速度是1000公尺/秒，輪盤的圓周速度應當是500公尺/秒。這樣的輪盤速度，只有在提高汽輪機轉數或者增大輪盤直徑的條件下

才能得到，但是這樣會使汽輪機的結構複雜，價格高昂。

有兩種方法可以簡化汽輪機的結構：（1）採取速度段；（2）採取壓力段。

假如將蒸汽導向不動的葉片上，蒸汽會按照葉片的式樣變更運動方向，並不作功，蒸汽離開汽葉的速度差不多和未到葉片以前的速度相等。蒸汽的一部分能量消耗在和葉片表面的摩擦損失上。假如葉片轉動，它的速度也至少比蒸汽速度低一半，也就是說蒸汽經過該葉片以後，還有很大的速度，這個速度在蒸汽變更方向時使用在另外一個同樣的輪盤上。以上就是速度段的大概情形。第8圖是雙段速度段的簡圖。

速度段輪盤也叫做「克蒂斯」輪盤，克蒂斯是發明速度段的一個美國工程師的名字。速度段數可以很多，但是實際上一般限定為兩段或三段（三段的較少）。



第二個方法是利用壓力段來減少轉數。所有的熱力消耗過程——從蒸汽的壓力進入汽輪機前直到在凝汽器內的壓力，不是在一段葉片上進行的，而是發生在數個壓力段輪盤上。

在每一段中壓力都要降低一些，含熱量消耗一些，因此便可能採取較小的圓周速度。



因為蒸汽的容積隨着蒸汽膨脹的程度而增大，噴嘴和葉片也就一段比一段大。近代的汽輪機一般採用10—20個壓力段。

第8圖 雙速度段的輪盤