

實用汽輪機學

陳 學 俊 編

龍 門 聯 合 書 局 出 版

實用汽輪機學

【版權所有】

一九五三年三月初版

定價人民幣22.000元

俊

書局

上海南京東路六一號一〇一室

電話 一八八一九

局及各地分局

上海 南京東路157號

北京 安門大街 82 號

重慶分局 山一路368號

漢口分局 漢口一路 3 號

太原 太原街 40 號

天津 新福路308號

西安 局 中山大街217號

序

本書簡明地說明汽輪機的原理和構造，並重點地介紹檢修、安裝和運轉等必需知識。內容共分十二章：第一至四章敘述汽輪機的式樣構造和原理。第五至七章說明汽輪機的壓蓋封；潤滑油的性質、保養及潤滑系統的工作程序；以及汽輪機的調速器與調速方法。第八至十二各章注重實際操作方法、安裝要點及試驗標準，一部份是採取了蘇聯材料。書末並附有蘇聯汽輪機檢修的表格二十種。

在增產節約的原則下，充分利用汽輪機的潛在能力及增進它的經濟運轉是很重要的問題。祖國今年開始大規模的經濟建設，需要建立許多新型動力廠，汽輪機的安裝和檢驗等是很細緻而艱巨的工作。技術尚須與政治相結合，才能提高效果，如第十一章中介紹國內正在推行的快速檢修方法，即是發揮集體力量的成果。

本書可供電廠工作人員的參考及作學校有關動力課程的參考書。惟編者學識有限，經驗缺乏，錯誤難免，懇切希望讀者能予批評和指教。

本書在付印前，承交通大學陸振國教授校閱全稿，特此誌謝。

陳學俊

一九五三年一月於交通大學動力機械製造系

目 錄

第一章 概論	1
第一節 衝動式輪機	1
第二節 反動式輪機	6
第三節 汽輪機構成部份概述	8
第二章 汽輪機的類別	11
第一節 動力用的汽輪機	11
凝結式,不凝結式,抽汽式,兼汽式·抽出與引入式,混壓式,再熱式,高級式,低級式	
第二節 帶動機械設備用的汽輪機	21
第三節 一般用途的汽輪機	26
第三章 汽輪機的構造	28
第一節 噴嘴	28
第二節 定輪盤及輪葉	31
定輪盤及封,輪葉,輪葉蓋條,輪葉的擋飯和封	
第三節 壓蓋封	36
第四節 轉動部	37
轉動部,轉動齒輪,聯軸節,軸承	
第五節 機殼或圓筒	44
第六節 膨脹保溫及絕緣	47
第七節 汽閥	48
停止閥,節汽閥,蒸汽櫃及進汽閥,抽汽壓力控制閥	
第四章 汽機輪的基本原理	55
第一節 噴嘴中的蒸汽流動	55

第二節 衝動輪級	58
輪葉的實際裝置, 速度複合輪級, 壓力複合輪級	
第三節 反動輪級	66
第四節 流量及負荷控制	70
第五章 汽輪機的壓蓋封	77
第一節 內壓蓋	77
第二節 外壓蓋	79
曲折壓蓋, 環環壓蓋, 曲折壓蓋及環環壓蓋與蒸汽封, 水封壓蓋	
第六章 汽輪機的潤滑油及潤滑系統	99
第一節 軸承潤滑的基本原理	99
第二節 潤滑油的種類及性質	103
潤滑油的種類, 潤滑油的性質, 潤滑油的工況特性	
第三節 潤滑油的保養與處理	107
沉澱箱, 離心機, 過濾器, 洗油器	
第四節 輪機潤滑油的保養系統	114
補足法, 間斷放油法, 一次處理, 流動處理或連續支路處理	
第五節 輪機潤滑系統	116
直接帶動式輪機——油環潤滑, 壓力循環潤滑系統; 齒輪連接式輪機——自容灑油系統, 自容循環系統, 輪機主循環系統	
第六節 潤滑系統的副件	125
油冷器, 油泵, 儲油箱或油池	
第七節 工作程序	128
油的選擇, 潤滑系統的維護, 新輪機起動時應注意之點	
第七章 汽輪機的調速器	133
第一節 輪機調速器的一般應用	133
第二節 調速器的式樣及構造	136
飛球離心式調速器, 液體(油壓)操縱式轉速調速器, 主壓力調速器, 調速器放大及控制機構, 調速器的替續器及變壓器, 變速器 其他保險用的輔助調速器, 負荷限制裝置, 抽出及引入式輪機的調速系統, 電氣調速器	

第三節 離心式調速器的特性	153
第四節 輪機速率的調整及負荷的分配	155
速率的調整, 負荷的分配	
第八章 汽輪機的安裝	160
第一節 地基	160
第二節 輪機的裝配	161
第三節 機軸的對準	165
第四節 試驗對準的方法和軸對準表	170
第五節 推力軸承及調整方法	172
多環式推力軸承, 密契爾式推力軸承	
第六節 蒸汽管路	176
第九章 汽輪機的故障	181
第一節 軸的振動	181
第二節 圓盤的振動	182
牽式振動, 環繞節圓的振動, 環繞節徑的振動	
第三節 輪葉的振動	186
第四節 材料的內部缺點	187
第五節 圓盤轉動部因加工不正確的結果	188
第六節 定輪盤由於過分偏轉及扭轉的失敗	192
定輪盤的偏轉, 定輪盤的扭轉, 定輪盤的中心校準	
第七節 蒸汽管路的膨脹	197
第八節 輪葉及定輪盤的腐蝕	198
第九節 輪葉的材料問題	200
第十節 輪葉的阻塞問題	202
第十章 汽輪機的運轉	204
第一節 輪機的預熱	204
預熱的需要, 預熱時的情況, 大型輪機預熱及加入負荷所需的時間, 利用熱空氣以保持輪機於工作溫度, 衝動式輪機預熱的差別膨脹, 反動式輪	

機在預熱及工作時的膨脹

第二節 輪機的洩水217

排洩的方法,定輪盤的洩水,船用汽輪機的洩水,反動式輪機無聲活塞的洩水,蒸汽櫃的洩水

第三節 起動與停車224

輪機起動的一般方法,輪機停車的一般工作方法,新的汽輪機第一次起動方法,輪機運轉時的注意點,具有噴嘴控制調速法,輪機的起動與停車方法要點

第十一章 汽輪機的檢修230

第一節 輪機的檢修期限230

第二節 檢修的準備工作230

第三節 輪機各部份的檢修235

機殼,定輪盤,轉動部,壓蓋,軸,汽閥及其他

第四節 輪機的快速檢修239

快速檢修的來源,快速檢修的精神及具體辦法,準備工作計劃,準備工作,施工掌握,總結經驗

第十二章 汽輪機的試驗242

汽耗量,輪機效率,效率表242

附錄247

蘇聯汽輪機檢修證明書,包括檢修表格式樣第1號至第20號247

第一章

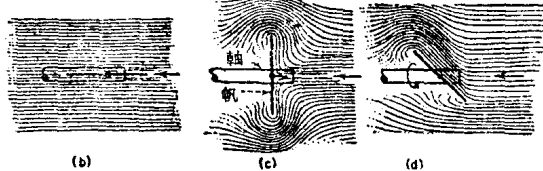
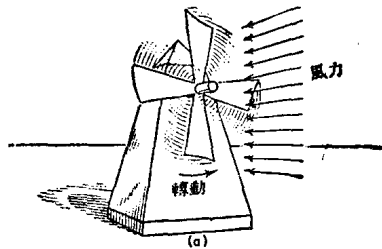
概論

目前正在使用的固定式原動機中，數目最多的當首推汽輪機，任何人只要參觀一下蒸汽動力廠，就會感覺到這種原動機的式樣和種類多不勝舉。舉例來說，容量或額率大小由小於一匹馬力起可達到 200,000 瓩；工作速率範圍由每分鐘幾百轉到 10,000 轉以上；使用蒸汽壓力限度由小於大氣壓力到超過每方公分 170 公斤。輪機可在不同的速率下運轉，同時也可在規定的定速下工作，使速率的變化不超過規定的 0.1%。由於汽輪機能夠為多種工作服務，並且能適應各種工作情況，因之在今日乃成為用燃料生產動力之最通用的一種固定式原動機。

第一節 衝動式輪機

汽輪機如何作功的原理，可用一簡單風車來說明，如第 1-1 a 圖所

示，風車上的臂或帆與風吹來的方向成一相當的角度，而四個帆則裝於一軸上，這軸與風向平行。帆與風向成一角度的原因可由圖上看出。第 1-1 b 圖表示帆與風向平行，則受到的風力極小，不生作用；第 1-1 c 圖表示帆與風向垂直，則產生極大的力量，但不是正確的方向，不能使軸轉動，反使帆向後彎曲甚至折斷。在這二種極端情況之外的另

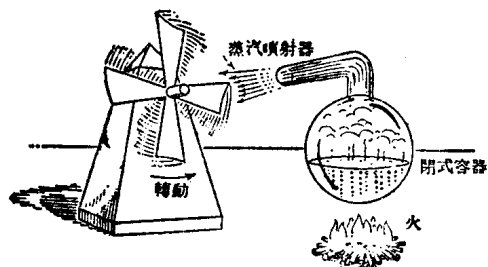


第 1-1 圖

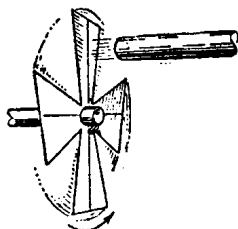
在這二種極端情況之外的另

一種裝置，如 1-1d 圖所示，帆與風向成一約近 45 度的角度，則風將由帆的面上滑過，在帆的前方上部，風力推集而自行壓縮，同時在帆的後部下方，由於風力的比較分散，而壓力較低，因之帆的兩面產生了壓力差，乃使帆軸轉動如 1-1d 圖上所指的方向。並且在轉動時，始終與風力方向保持一定角度，只要風不斷的吹來，則風力將使風車不停的轉動。軸轉動的快慢，視風的速率、帆與風力所成的角度、以及軸上的負荷而定。由此可見風車只要建造設計正確，即可得到有用的功，不過風車要受氣候的影響，不論設計如何優良的風車，在靜止的空氣中，將不發生作用。

汽輪機即利用與風車相同的原理而工作，不過不是用天然的風，而是用人工製造的蒸汽來代替。第 1-2 圖即示出一種假想的風車，利用蒸汽的動力而轉動。鍋爐置於離風車相當的距離處，爐中裝滿足量的水，生火以後，蒸汽壓力漸高，達到相當壓力後，蒸汽乃離開鍋爐，由上方噴管（或噴嘴）而出，噴射到風車的帆上，火愈燒得熱，則蒸汽速率愈高，風車轉動也愈快。這種方式不再受氣候的影響，但却需要燃料，因費用乃是一種經濟問題，不得不在各方面求效率的改進。



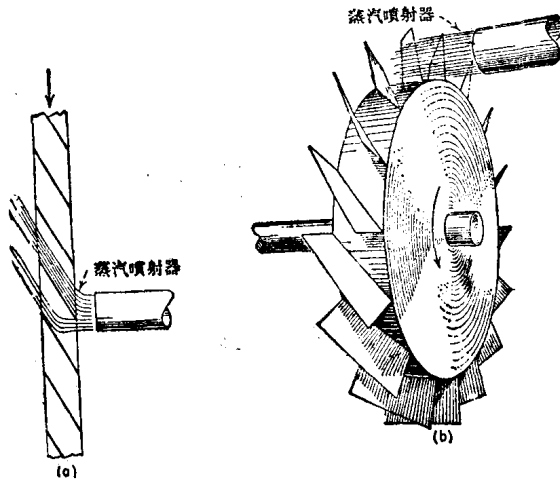
第 1-2 圖



第 1-3 圖

第一點須注意者，蒸汽離開噴射的噴嘴後愈遠，速率與能力即迅速降低，因之若將噴嘴移近帆，效能方面確有改善，如第 1-3 圖。另一點須注意者，蒸汽不能噴射到所有的帆上，各帆中間的空隙太大，蒸汽噴到帆上，每轉只有一半的時間，故需要很多的帆，使噴射出來的蒸汽能量不致浪費；同時須注意到蒸汽只噴射到帆上的一部份，因此整個轉動部須重新設計，裝置許多小的帆於圓盤上，將圓盤固定於軸上，如第 1-4b 圖所示。這許多的帆實際上已不像原來風車上的帆，通常叫做“輪葉”。

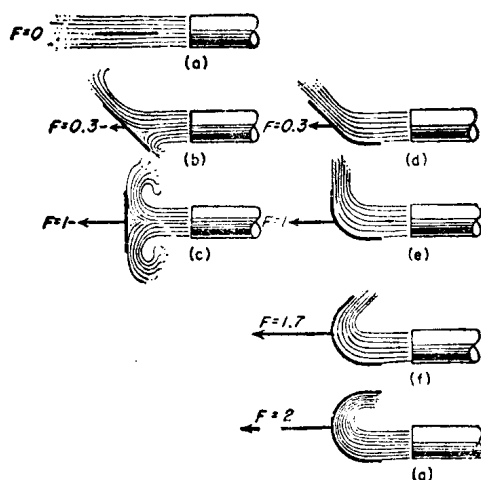
或“葉片”。第 1-4 a 圖爲蒸汽作用到輪葉上的情形。輪葉使得噴射的蒸汽所行的路線彎曲，並使蒸汽作用到輪葉上部的壓力較高。輪葉靜止不動的時候，蒸汽彎曲的方向如圖上所示。輪葉一經轉動（如圖上所示向下轉動），蒸汽彎曲程度減少。當蒸汽所放出的能量與軸上所承受的負荷需要相等時，則輪盤的轉速即趨一定。



第 1-4 圖

以上的輪葉裝置，尚不夠滿意，蒸汽進入輪葉時的方向過於峻直，將有擾動發生，同時離開輪盤或輪葉的時候，仍有相當高的速率，即增加了能量的損失，因之仍須試驗改進。若將一輪葉繞着一直軸旋轉；而量取軸上僅向一方向所受到的作用力如第 1-5 圖所示，由一定大小的蒸汽噴嘴，將蒸汽噴射到輪葉上，並量取所產生的力量。圖中(a)係輪葉與蒸汽流動方向平行，則向左方的作用力等於零，圖中(b)係輪葉與蒸汽流動方向成 45° 角度，則作用力增加到微小於 0.3 公斤。圖中(c)乃將輪葉與蒸汽流動方向垂直，則作用力增加至微小於 1 公斤，這是平面形輪葉產生的最大力量。

若進一步檢查，除(a)情形外，蒸汽衝擊到輪葉上，均產生相當的擾動，致浪費有用的能，必須改進。如將輪葉彎曲有圓角如圖中(d)所示，則蒸汽路線平滑，雖與圖中(b)有相同的離開角度，而作用力因擾動減

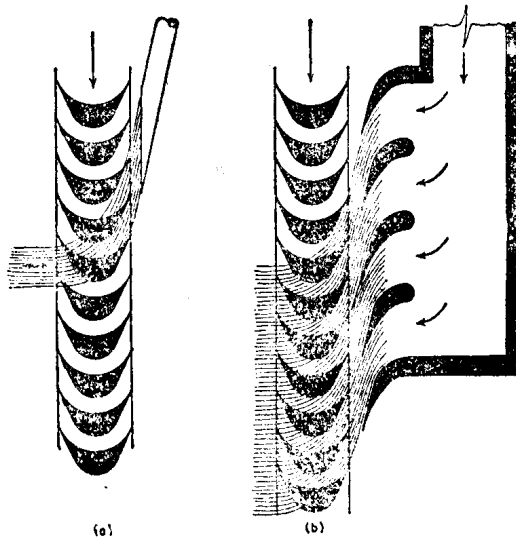


第 1-5 圖 平面及彎曲輪葉受等速度噴射蒸汽作用力的試驗。

少得微有增加。(e)與(c)同使蒸汽彎曲 90° ，而作用力亦較(c)有增加。若將輪葉出口邊再彎轉另一 45° 如圖中(f)所示，則作用力將急增至 1.7 公斤。由原來方向彎轉的角度愈大，產生的作用力也愈大，故如將輪葉彎轉如圖中(g)同，則作用力再增加到 2 公斤。由此明顯可見，如欲產生最大的作用力，則噴射蒸汽須先與輪葉同一方向，然後再轉一個 180° 而離開。以上所述的情形係指輪葉在靜止狀態而言，在作功時，當蒸汽噴射到輪葉上，輪即轉動，所產生的作用力不如上述之大，不過主要一點，即在說明彎曲輪葉可產生的功，較平面輪葉者為大。

上面所說的事實，乃衝動式輪機的基本原理，可根據此原理研究改進，將彎曲輪葉裝於圓盤或輪盤的邊緣上，最後即得到如第 1-6 (a) 圖的裝置。我們不能夠使蒸汽噴進的方向與輪葉轉動方向完全相同，因噴管必須放在一邊，但在機械限度允許下可使進入角度儘量的大，在輪葉出口一邊，須留下相當的空間，以便蒸汽容易離開，因此輪葉的全部曲度是小於理想的半圓形。正如同其他機械一樣，理論須與實際情形相結合。當蒸汽噴進輪葉，軸上承擔了設計的負荷使速率達到一經濟點時，如用一快照將蒸汽經過輪葉情形拍成照片，則將如 1-6(a) 圖所示。看起來蒸汽似乎是直接穿過輪葉，當然事實上並非如此，因輪葉與蒸汽流均

在轉動，不過輪葉速率較蒸汽流動速率為慢，以致使蒸汽流動路線彎曲，這乃由於蒸汽衝到輪葉本身的壓縮。但看起來蒸汽係於直角方向離開輪葉，以代替速率為零。無論如何，蒸汽離開速度遠較進入輪葉時的速



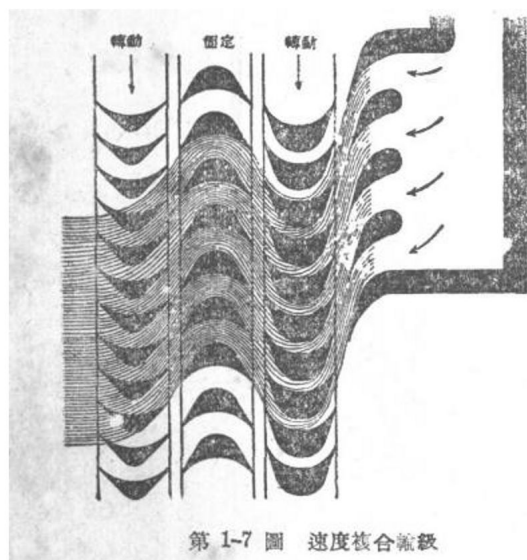
第 1-6 圖

率為低，即表示已放出大部能量。離開輪葉時的速率雖然愈小愈好，但是不能降低為零，因蒸汽須繼續保持運動以離開輪葉，此處再一次說明理論須與實際情形結合的必要。

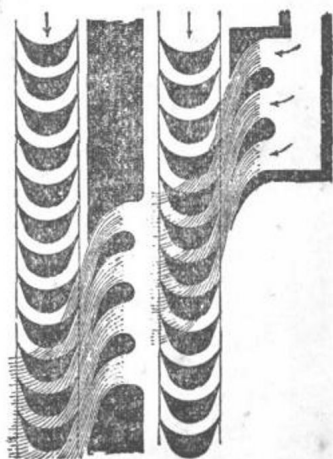
僅一個噴嘴在工作，輪盤轉一週時，輪葉大部份時間是空轉，不發生作用，故如用許多的噴嘴使蒸汽同時噴射到輪葉上，則輪盤將產生大量的功，如第 1-6 b 圖所示的裝置。這種噴嘴的排列使蒸汽成一寬而廣的汽流經過輪葉，這種裝置可以適當的使噴嘴圍繞輪盤全部表面，而使所有的輪葉在轉動一週時，均有連續不斷的蒸汽作用於其上。

在有些情況下，可能需要或希望有高的噴汽速率，但同時則需要較高的輪葉速率亦即高的轉速，方能吸收噴汽中能量的最大部份。惟轉速高到超過實用範圍時，則需另有方法減低之，以達到在有用程度而仍

能吸收大量噴汽中的能量。一種方法乃應用“速度複合輪級”，如第1-7圖所示，蒸汽經過兩列轉動輪葉。第一列並不吸收噴汽中全部能量，中間一列固定輪葉，僅用作引導蒸汽在一適宜角度下，進入第二列轉動輪葉，由此處蒸汽在與輪葉轉動垂直的方向低速排出。



第 1-7 圖 速度複合輪級



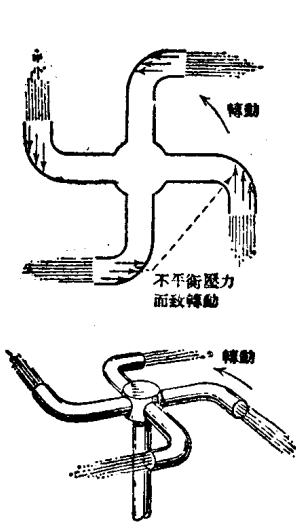
第 1-8 圖 壓力複合輪級

另一種減低輪葉速率的方法為應用“壓力複合輪級”。將兩組噴嘴串式排列如 1-8 圖，每組噴嘴後接着即為一系列輪葉，在轉動輪葉區域內，輪葉進出口邊的壓力均屬相等。當然噴射蒸汽經過轉動輪葉時，有一短暫時間的壓縮產生工作力，但蒸汽一經離開輪葉即行消失。在第一列噴嘴前的蒸汽壓力最高。當經過噴嘴時壓力降低，然後進入第一列輪葉，在經過第二列噴嘴時，再行降低。由於較低的噴汽速率，使輪盤的速率也較低。

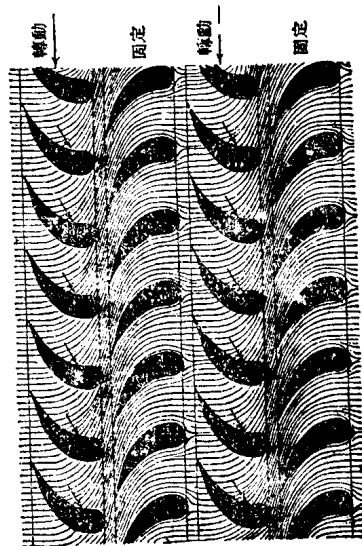
第二節 反動式輪機

以上係衝動式輪葉的各種裝置方法，其工作力乃由於高速蒸汽衝擊到一轉動表面上而產生，但還有其他方法同樣也可以產生這種工作力。

另一種普通轉動輪軸的方法，乃由於所謂“反動”力。這個名詞的意義，嚴格說來，並不能正確代表實際的作用。常見的一種花園草地用的灑水器如第 1-9 圖者，即為利用反動力的一種例子。由於噴射水出口的反面所受到的不平衡的壓力，而使灑水器上的臂繞中間軸而旋轉，這種反動力的作用與推進火箭或噴氣推進飛機的反動力相同。根據種種試驗得到如第 1-10 圖的輪葉與輪盤的排列，轉動及固定兩列的輪葉均形成了管嘴，蒸汽壓力在流經各輪葉時均降低。如將此種輪機用高速照相拍成照片，則得 1-10 圖所給我們的印象，蒸汽似乎是流動穿過轉動輪葉，當蒸汽在管嘴中壓力降低，同時蒸汽速率增高。經過固定輪



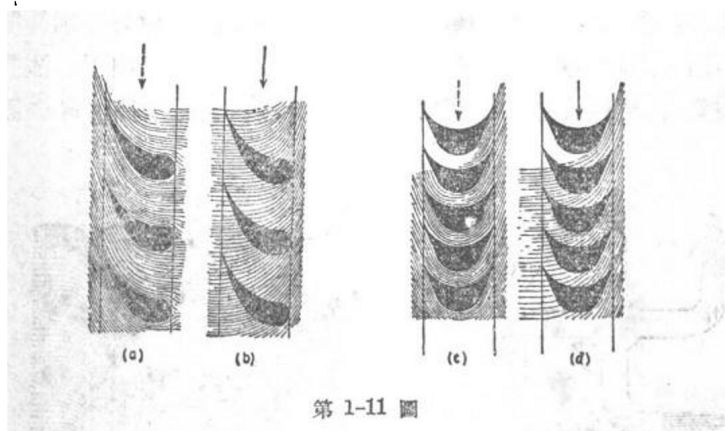
第 1-9 圖
利用反作用原理的灑水器



第 1-10 圖

葉(或噴嘴)時，蒸汽速率增至足夠平滑進入轉動輪葉(或噴嘴)，可能有一相當的衝動壓力協助產生工作力，但主要工作力之產生，乃由於蒸汽離開轉動輪葉時不平衡壓力所產生的反動力。作用力的方向如圖中箭頭所示，輪葉當然只能向下方轉動。由靜止的地面上看起來，似乎有問題，蒸汽流經轉動輪葉的方向為由右向左，而作用力的方向則幾與輪葉

的轉動方向相同，這乃由於人立於何處的觀點所致，第 1-11(b) 圖再一次將在靜止處所看的轉動輪葉中蒸汽流動路線示出。若人坐於輪葉上隨着輪葉轉動，則蒸汽實際流動的情形當如 1-11(a) 圖所示。蒸汽將於中等速率下幾與輪葉平行的方向進入，當經過轉動輪葉中而速率增加，故不平衡壓力方向必與蒸汽離開輪葉的方向相反。由此乃說明第 1-11 圖上作用力的方向因何如箭頭所示的原因。同理一衝動式轉動輪葉上



第 1-11 圖

的蒸汽流動在靜止處來看將如 1-11(d) 圖所示，若人坐於輪葉上隨着轉動，則將如 1-11(c) 圖所示。蒸汽由右方於平行輪葉邊方向進入，在等速等量下流經轉動輪葉，再於左方離開輪葉。

第三節 汽輪機構成部份概述

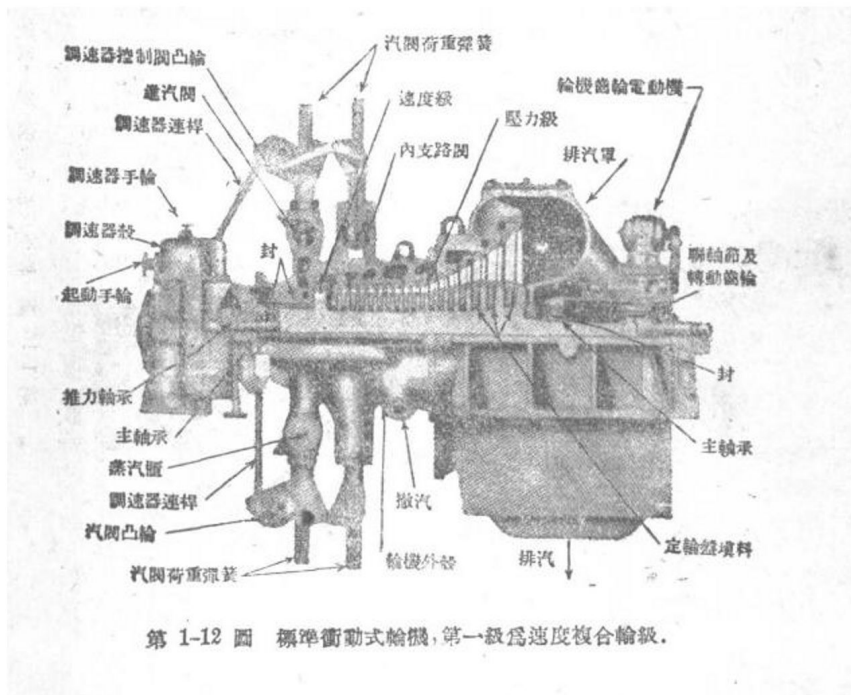
以上係用極簡單的方法討論輪機的心臟部份即轉動部的工作原理，另外尚有許多別的部份與轉動部在一起，方能構成一部實用的汽輪機。第 1-12 圖及 1-13 圖即分別表示衝動式及衝動反動式汽輪機的截面圖。由圖上可見，一部汽輪機必須具有轉動部(轉子)及軸(或指軸)以裝載輪葉(或葉片)；外殼(外罩或圓筒)以包含蒸汽並支撐固定噴嘴(或輪葉)；及機架等各部份。

外殼支撐主軸承及推力軸承，軸承使軸能保持於軸向位置。反動式輪機因汽流經過轉動輪葉的壓力差具有較大的末端推力，用無聲活

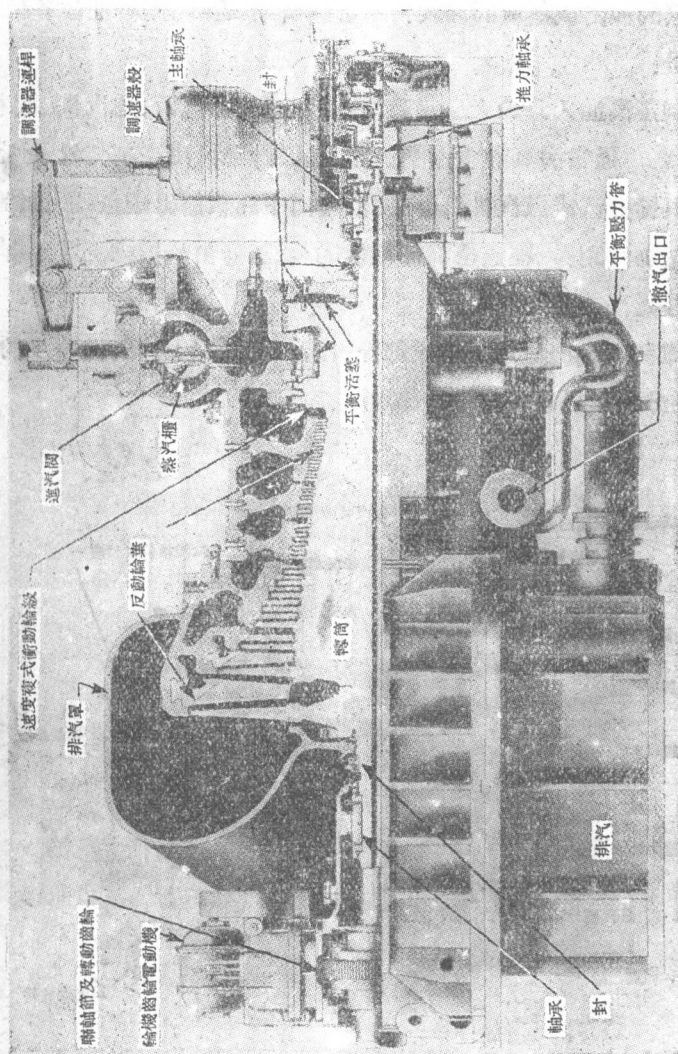
塞(或平衡活塞)以平衡此推力的大部份。軸經過外殼處用封及壓蓋以減少蒸汽的洩出或空氣的漏入。另有潤滑系統供給潤滑油往各軸承及其他部份。

控制蒸汽進入量的大小用節汽或停止閥、蒸汽櫃、進汽閥、閥機關及調速器。通常另具有超速調速器及跳動機構,使控制裝置更完備。輪機須具備抽汽或撤汽排口,以便由輪機中間級抽出蒸汽,而供給水預熱或工業加熱用。經過全部膨脹後的蒸汽,乃由輪機排汽罩或排汽口離開而往凝汽器或大氣中。

本章對汽輪機原理及構成部份,僅作極簡單的介紹,進一步的討論分析,將分別於以後各章中詳細說明。



第 1-12 圖 標準衝動式輪機,第一級為速度複合輪級。



第 1-13 圖 標準反動式輪機，第一級為速度複合式衝動輪紋。