部編大學用書

噴射燃氣輪機導論

國立編譯館主編

程嘉垕著

東華書局印行

噴射燃氣輪機導論

著　　者

程嘉垕

國立編譯館主編

東華書局印行

版權所有・翻印必究

中華民國七十六年九月初版

噴射燃氣輪機導論

定價　新臺幣貳佰元整

（外埠酌加運費滙費）

著　者　程　嘉　垕

著作權所有人　國立編譯館

發行人　卓　鑫　淼

出版者　臺灣東華書局股份有限公司
臺北市博愛路一〇五號
電話：3819470　郵撥：6481

印刷者　合興印刷廠

行政院新聞局登記證　局版臺業字第零柒貳伍號

(76056)

序　言

噴射飛機所用發動機或引擎（ engine ）稱爲噴射燃氣輪機（ Turbojet engine ）、屬內燃機（ Internal combustion engine）的一類。有關中文書籍多在敍述各廠出品的構造、運作，和修護，而少涉及一般性基本原理和有系統的透徹解析說明。本書是求略爲塡補這項空虛，使讀者不經較多外文著作，即能對此種原動機（ prime mover ）的整體和各部分獲得基本認識，而可導入更專門性研究。

本書首先概述基本原理，輪機各部分，和各國發展現勢。其次爲有關熱力學（ Thermodynamics ）和氣體動力學（ Gas dynamics ）概念。次爲和輪機性能相關的因次解析（ dimensional analysis ）進而討論壓縮機（ compressor ），燃燒（ combustion ），和燃氣輪（ gas turbine ）。然後分敍扇式輪機（ Turbofan ），螺槳輪機（ Turboprop ），後燃（ afterburning ）和注水，以及其他設計。最後簡述噴射燃氣輪機各部分的配合（ matching ）。本書不求爲手册（ handbook ）型編著，而重於引介正確觀念。

噴射燃氣輪機的發展已約半個世紀，我國的應用也已卅餘年。由於各種原因，我國製造方面的發展尙在起步階段。本書的寫作在順應需要，特別注意其正確觀念的灌輸，並堅固其發展基礎。編寫中所利用國外出版資料，雖難稱齊全，但儘量求其能提綱挈領，以期對讀者有所助益。本書內容並非單純譯述，而每參入作者推導和闡釋，以及若干計算例題，用於解說原理。深盼多賜匡正，使更臻完善，則至爲感荷。本書承大同工學院機械工程研究所所長黃文雄教授審查，修正意見已逐項納入，並此申謝。

編著者　程嘉璽

噴射燃氣輪機導論

目　次

序　言……ix

第一章　噴射燃氣輪機的發展……1～18

一、基本原理……1

二、航空發動機的特點……1

三、基本構造……2

四、發展史略……12

五、幾種噴射發動機簡介……16

第二章　推力、能量和功……19～39

一、發動機推力……19

二、推進效率……24

三、能量方程式……28

四、噴射燃氣輪機各部分熱能計算……30

五、輪機的功……34

第三章　空氣熱力性質……40～51

一、基本熱力方程式……40

二、焓熵圖……43

三、空氣表……47

第四章　熱力過程分析……52～86

试读结束，需要全本PDF请购买 www.ertongbook.com

一、理想空氣循環分析……52
二、實際循環分析……57
三、噴射燃氣輪機過程整體檢討……64

第五章　氣流概說……87～137

一、馬赫數……87
二、穩常，單次元，等熵可壓縮氣流……92
三、等熵氣流在理想噴嘴的應用……99
四、等熵氣流通式……105
五、等截面管流……110
六、管流壓力降落……128

第六章　震波和進口擴散升壓道……138～160

一、垂直震波……138
二、斜震波……145
三、Prandtl-Meyer 膨脹……149
四、噴射燃氣輪機進口擴散升壓道……152

第七章　噴射燃氣輪機性能……161～175

一、輪機因次解析和性能參數……161
二、噴射燃氣輪機和飛機的組合性能……172

第八章　離心式壓縮機……176～211

一、壓縮機性能及因次解析……176
二、激盪線……178
三、性能預估計算……180

四、壓縮機轉矩和功率……181
五、離心式壓縮機滑動因數……182
六、總溫度比和總壓力比……184
七、運作情況和壓縮比的關係……187
八、葉輪進口處的導葉……189
九、輪葉形狀和能量分佈……194
十、擴散升壓匣內的氣流……198
十一、離心式壓縮機設計例解……201

第九章　軸流式壓縮機……212～260

一、運作原理……212
二、作用於葉片的理想力量……216
三、實際作用於葉片的升力，阻力，以及葉片效率……219
四、壓力的增高……222
五、單一機翼和成排葉片……224
六、功率輸入量……227
七、自由旋流……231
八、反應度……234
九、氣流角沿徑向的變化……237
十、壓力比……243
十一、多變或小級壓縮機效率……249
十二、壓縮機的失速……254
十三、超音速和穿音速壓縮機……258

第十章　燃　　燒……261～282

一、燃燒室設計原則……261

二、燃燒室各部分……268
三、燃氣輪機燃油……277

第十一章　燃 氣 輪……283～336

一、概說……283
二、衝動級和反應級……286
三、反應度……290
四、速度比和焓熵圖……293
五、速度圖……296
六、級效率……297
七、自由旋流級……306
八、常數靜葉噴嘴角設計……309
九、翼葉理論……311
十、氣流角……313
十一、燃氣輪過程能量損耗和設計限制因素……329
十二、燃氣輪的冷却……331
十三、燃氣輪性能曲線……332
十四、多變燃氣輪膨脹效率……334

第十二章　幾種噴射燃氣輪機……337～378

一、扇式燃氣輪機……337
二、螺槳燃氣輪機……350
三、後燃噴射燃氣輪機……362
四、壓縮機和燃燒室進口的水液注射……369
五、高飛行馬赫數吸氣式發動機……373

第十三章　噴射燃氣輪機的配合……379～398

一、配合的內涵……379
二、單段噴射燃氣輪機的配合……380
三、一般配合程序……394
四、暫態運作……397

參考資料……399～400

表一、Keenan，Chao，和Kaye 每磅質量低壓空氣表的節錄·401
表二、等熵壓縮比函數 X_c 表……411
表三、等熵膨脹比函數 X_e 表……414
表四、標準大氣……417
表五、若干公制，英制單位和數值換算……418

附　　錄……401～419

名詞索引……420～429

第一章

噴射燃氣輪機的發展

一、基本原理

航空發動機的作用，在於直接或間接產生和（向前）飛行方向相反的（向後）氣流。根據牛頓第二定律，氣流動量的變化率即表示發動機給與這氣流的力量。再依據牛頓第三定律，可知這向後的氣流，有一相等的反應力，向前方作用於發動機和相連的飛機本體，推動整個飛機，抵抗它所受空氣阻力，向前飛行。

航空發動機也稱飛機引擎（Aircraft engine），可能是活塞式內燃機，或燃氣輪機（Gas Turbine），帶動螺旋槳（Propeller），產生速度不很高，而直徑較大的向後空氣流。另一類發動機是純噴射式燃氣輪機（Turbojet），連續衝壓式（Ramjet，簡稱衝壓式），間歇或脈動衝壓式（Pulsejet），或火箭式（Rocket）發動機。這類發動機都不帶螺旋槳，能在它後部噴嘴處產生速度較高，直徑較小的向後燃氣流。

二、航空發動機的特點

航空發動機是裝在飛機上隨同飛行，因此它的設計要求，和一般地面上應用的發動機相比，不盡相同。最需注意的有下列各點：

(1) 可靠性須很大，以免發生故障，引起失事。

(2) 重量須小，以免浪費飛機的有用負載（Useful Load）。

(3) 尺寸須小，尤其正面積（Frontal Area）或即迎風面積須小，以求減少所受阻力，增加飛行速度。

(4) 燃料消耗量須小，使飛機航程可以增長。

(5) 在高空雖然空氣密度減少，仍有足夠的動力，使飛機能在高空飛行。

三、基本構造

以往飛機上裝用的發動機，全都是四行程奧圖循環（Otto cycle），往復（Reciprocating），活塞（Piston）式的。到公元1939年（民國28年）8月德國首次應用布雷登循環（Brayton Cycle）的噴射燃氣輪機（圖1.1和圖1.2）成功，就開始在飛機動

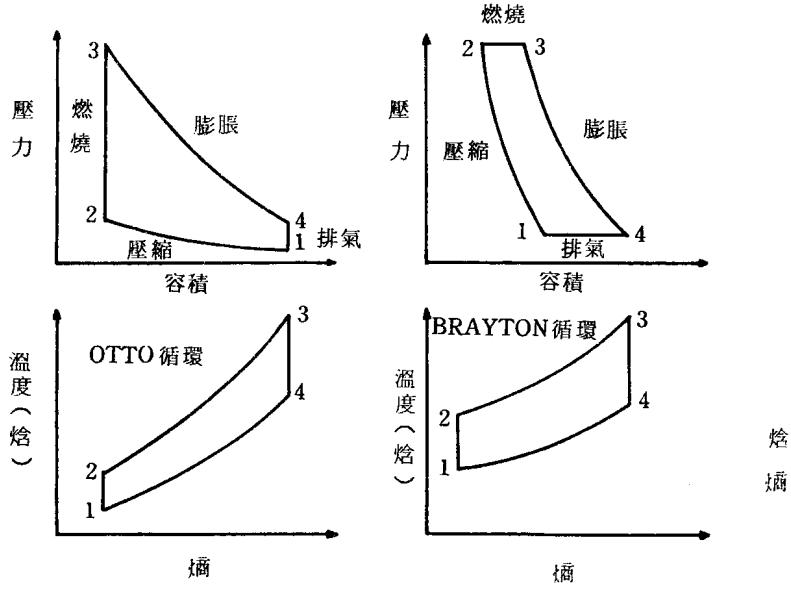

圖1.1 OTTO和BRAYTON空氣標準循環比較

试读结束，需要全本PDF请购买 www.ertongbook.com

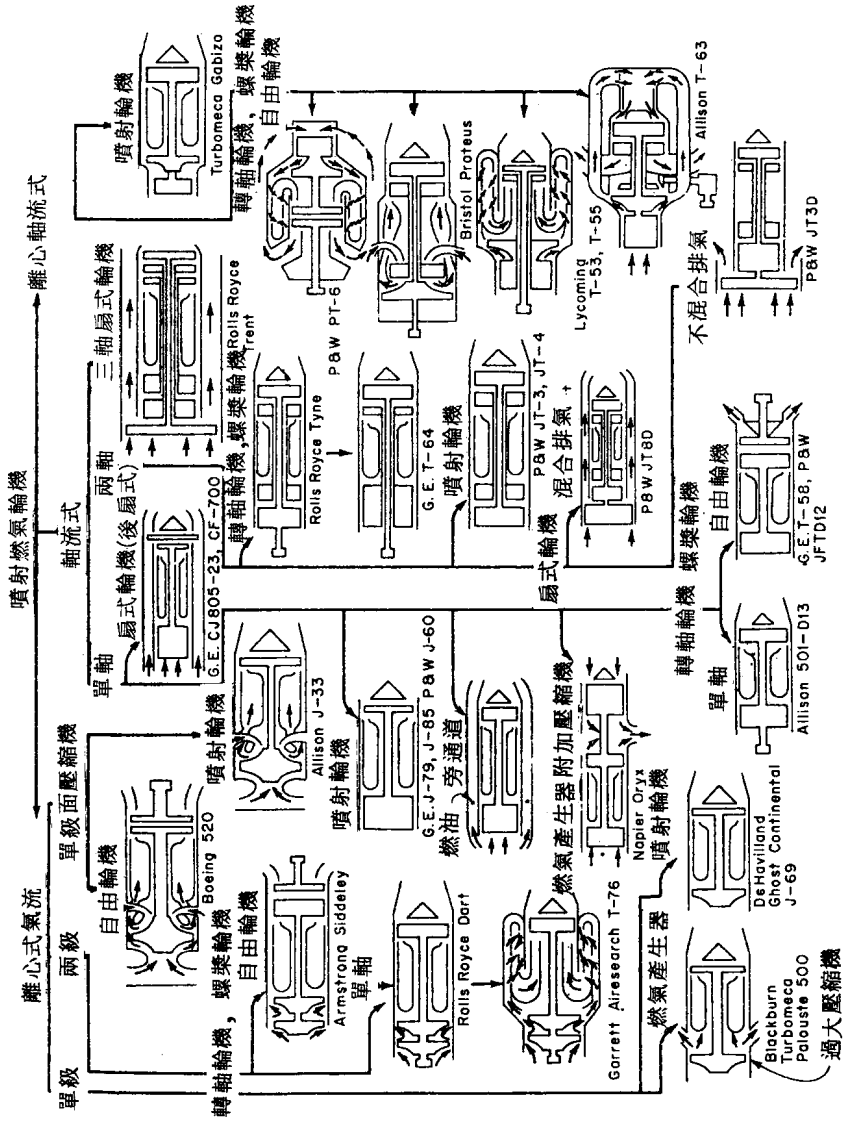

圖 1. 2　各種噴射燃氣輪機

力的發展上突飛猛進。噴射式和活塞式發動機性能的最重要不同處，在於前者可產生很大的動力。動力的學名是功率（power）。功率有一種習用的英制單位是馬力（Horsepower）。如用馬力表示，每具活塞式發動機的功率至多不超過五千馬力。但能有如此馬力的噴射燃氣輪機，在今日已算是較小型的。普通對於噴射燃氣輪機的動力，都用推力（Thrust）表示，而不用馬力。馬力是根據推力和速度的乘積而求得。按英制單位，

設 F = 推力，以磅計，

V = 飛機速度，以（哩／小時）計

HP = 有效馬力，

即得 $$HP=\frac{FV}{550}\times\frac{5280}{3600}=\frac{FV}{375}$$

由此可見當飛機速度是每小時375哩（即約603公里），一磅推力相當於一馬力。在每小時600哩（即約965公里）時，一磅推力（在公制等於4.448N，N表示牛頓即Newton的單位）就相當於600／375或即1.6馬力。推力3,000 磅（等於13,344N 即約13.34 KN）的一具噴射燃氣輪機，在這飛機速度的相當有效馬力已達4,800。現今噴射燃氣輪機推力（一般指在試車台上作靜力試驗，即在飛速爲零的情況所得靜推力Static Thrust）最大的已達60,000磅（266,880N或即266.88KN）左右。

活塞式發動機氣缸和活塞部分的作用包括進氣和壓縮，燃燒和膨脹，以至於排氣。噴射燃氣輪機內和氣缸相當的，是幾個比較獨立部分的組合。首先是進氣擴散升壓道（Inlet Diffuser） 和壓縮機（Compressor），空氣衝壓進入，再受以上兩部分的作用而受壓縮後，

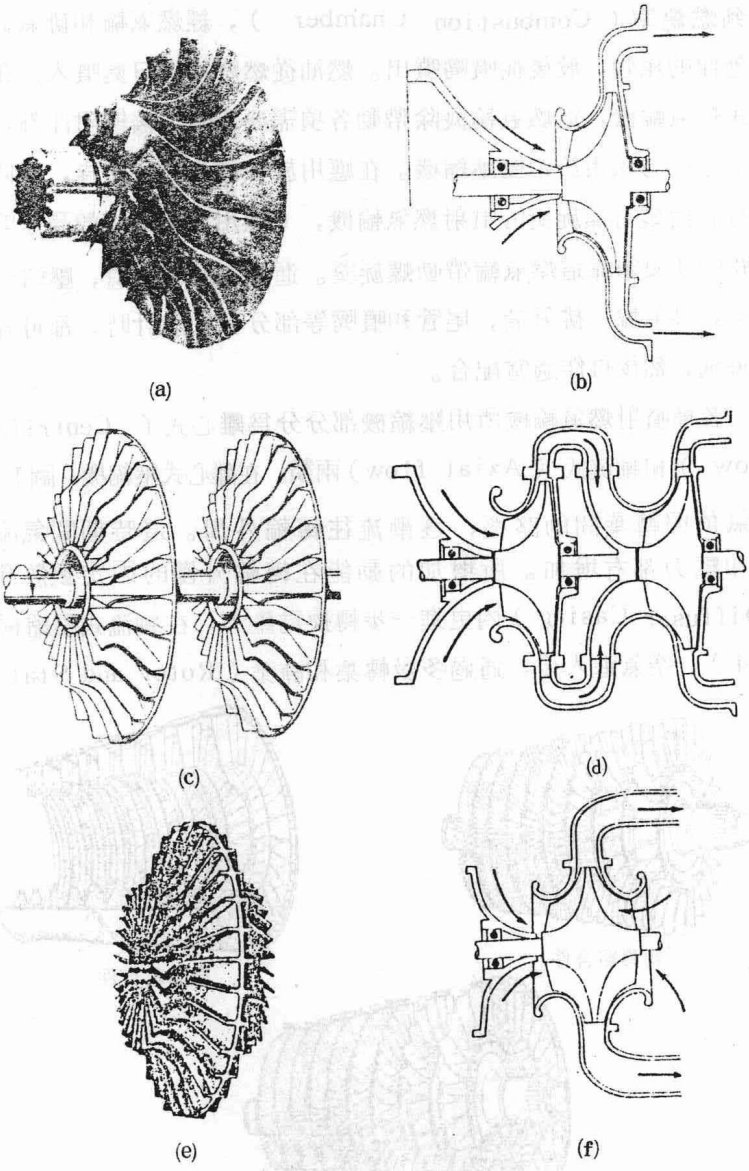

圖 1.3　離心式壓縮機　(a)和(b)單級，(c)和(d)兩級，(e)和(f)兩面進氣

傳到燃燒室（Combustion Chamber），經燃氣輪和排氣筒，以及延伸的尾管，最後從噴嘴噴出。燃油從燃燒室進口處噴入。在純噴射式燃氣輪機，這燃氣輪機除帶動各項需要運轉的輪機附件外，絕對大部分動力係用於帶動壓縮機。在應用於較經濟，較短程，較低速的飛行，而裝有螺旋槳的噴射燃氣輪機，（應用於較長程較高速的也在發展中）更須靠這燃氣輪帶動螺旋槳。進氣擴散升壓道，壓縮機，燃燒室，燃氣輪，排氣筒，尾管和噴嘴等部分，在設計時，都可各別加以研試，然後再作適當配合。

各種噴射燃氣輪機所用壓縮機部分分爲離心式（Centrifugal flow）和軸流式（Axial flow）兩類。在離心式壓縮機（圖1.3），空氣依照轉葉間的路徑，逐漸流往轉輪外周。這時期間氣流的動能和壓力都有增加。所增加的動能在轉輪外圍的固定擴散升壓匣（Diffuser Casing）內更進一步轉換爲壓力。在軸流式壓縮機（圖1.4），空氣進入後，通過多級轉葉和靜葉（Rotor and Stator

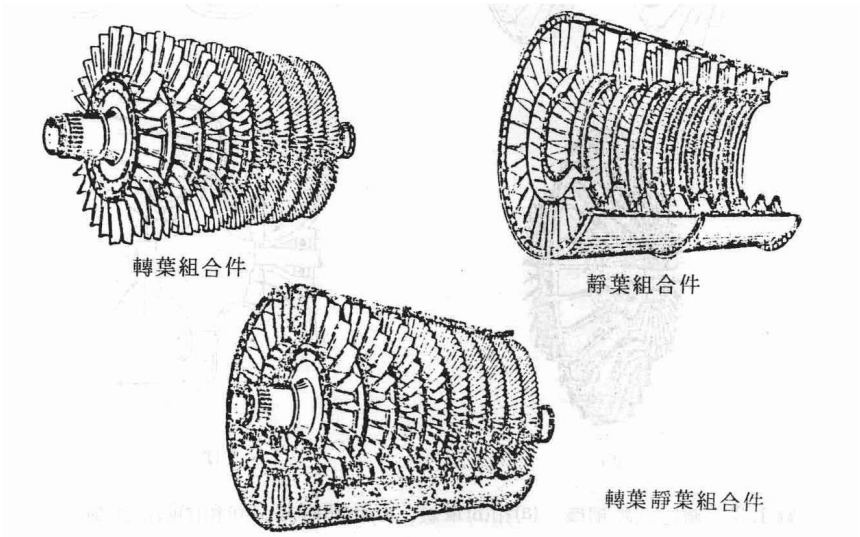

圖 1.4　軸流式壓縮機

Blades ），大致沿轉軸方向繞軸作螺旋狀向後流動。轉葉增加氣流動能和若干壓力。靜葉更進一步將這動能轉換爲壓力，作用和上述離心式的擴散升壓匣相當。

就同樣推力的發動機而言，軸流式壓縮機的正面積較小，因此整個發動機的正面積也較小，減少飛機飛行時所受阻力。

空氣受壓縮後，依照規定通路進入燃燒室（圖 1.5 ）。燃燒室的形式分爲多筒式（ can type ），環圈式（ annular type ）和圈筒式（ cannular type ）三種。後者外表像環圈式，內裏却是多筒式，可算是前面兩式的組合。離心式壓縮機使於和多筒式燃燒室相聯，它的擴散升壓匣外周每個出口分別和一個筒狀燃燒室相聯。燃燒室分爲內外兩層。內筒前端裝有噴油嘴，並有壓縮空氣的進口。前端進入的空氣量，祇應恰使噴進的燃油，能獲得穩常的燃燒。這部分空氣佔進入發動機空氣總量的四分之一。內筒壁上更有很多的進氣孔，使其餘四分之三的壓縮空氣自前至後逐步流進。這來自內外筒夾層間的壓縮

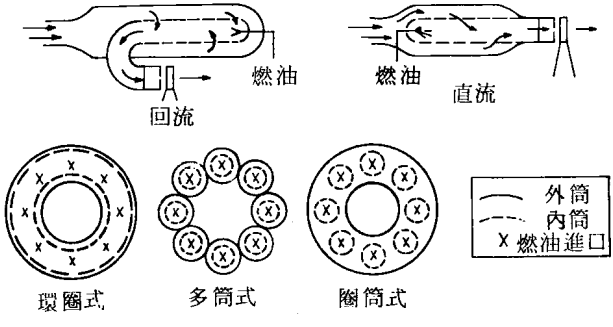

圖 1.5　各式燃燒室（縱截面和橫截面）

空氣有三種作用：其一是幫助內筒壁的冷却。其二是均勻稀釋燃燒氣體，降低它的溫度，使燃燒筒本身和後方燃氣輪不易因燃氣溫度太高或是不均勻而損壞。送進過量空氣的另一個終極目的，是在使發動機產生較大推力。普通活塞式發動機在正常情況下所用的燃油 - 空氣重量（或質量）比數（W_f / W_a）在一比十五左右。在噴射燃氣輪機裏，由於上述各項原因，這個比數却爲一比六十，甚至更低。輪機起動的時候，燃燒筒裏也靠特種的火星塞（稱點火器 igniter）來點火。但一經燃着，即可以無需再用火星塞，火焰可以繼續維持。各個燃燒筒因爲皆有短管相通，燃燒的情形可以很快的趨於一致。

在環圈式燃燒室，壓縮空氣首先流入環狀的進口而到達環狀的燃燒筒。燃燒筒也分內外兩層。最外圈和最內圈是外層。中間另外兩圈是內層。在圈筒式燃燒室，外層和環圈式的相同，內層却是許多圓筒，環繞着燃氣輪機的主軸均勻安置。這兩式的使用情形和多筒式的相類，不再多述。

高熱的燃燒氣體，衝出了燃燒筒，以後就噴向燃氣輪。燃氣輪各個轉葉受着衝擊而連續轉動，因此也轉動前部的壓氣輪。轉動壓縮機壓氣輪所需要的馬力很大。譬如在一具推力爲 5,000 磅（22.24 KN）的噴射燃氣輪機，這項馬力就可能達到 10,000 的數值。燃氣輪機一般用單級或多級軸流（axial flow）式。在推力較高，具有兩段串聯（Twin spool）軸流式壓縮機的燃氣輪機內，燃氣輪也需兩段，燃氣輪和壓氣輪的高壓和低壓段各相聯結，同心而異軸（參見圖 13.10）。如燃氣輪機帶有螺槳，在兩段串聯情況，螺槳就和前部的低壓段壓氣輪用減速齒輪聯結。單級燃氣輪在構造上比較簡單，但應用於高推力燃氣輪機，設計中須將通過燃氣輪的氣體轉折角度加得很大，燃氣輪葉負載過高，容易使氣流飛離轉葉所規定的路徑，而影響燃氣輪機的效率。

试读结束，需要全本PDF请购买 www.ertongbook.com