

基本噴射引擎

高本引 編譯

新興圖書公司

32

基本噴射引擎

高本引 編譯

新興圖書公司

基本噴射引擎

高本引 編譯

出版：新興圖書公司

發行：時代圖書有限公司

香港九龍彌敦道 500 號一樓

3-308884

印刷：慶年柯式印刷公司

版權所有 * 不准翻印 1979年 4 月版

基本噴射引擎

目 錄

第一章 燃氣渦輪引擎基本觀念

1 · 1	引 言	1
1 · 2	何謂噴射引擎	2
1 · 3	渦輪噴射引擎主要組成件	3
1 · 4	噴射引擎如何工作——壓縮	4
1 · 5	為何講推力，而不講馬力	6
1 · 6	推力之產生	7
1 · 7	渦輪噴射引擎推力公式	12
1 · 8	影響推力的因素	16
1 · 9	量測推力的實用方法	21
	本章複習問題	22

第二章 噴射引擎的術語

2 · 1	標準日的情況	25
2 · 2	標準大氣	26
2 · 3	引擎額定值	29
2 · 4	節（哩／時），空速與馬赫數	30
2 · 5	次音速，音速，超音速之氣流	31
2 · 6	能量，效率，比值	32

2·7	溫度	33
2·8	壓縮性，壓力與壓力比	35
2·9	壓力與溫度之量測	36
2·10	轉速百分比	37
2·11	渦輪旋槳軸馬力當量	38
2·12	燃油消耗率	39
2·13	引擎部位區分	40
2·14	字母，符號，代字	41
2·15	德爾他 (δ) 與齊他 (θ)	42
2·16	引擎性能數據之校正	43
2·17	擴散器與擴散作用	44
	本章複習問題	46

第三章 航空燃氣渦輪引擎之類型

3·1	渦輪噴射引擎	47
3·2	渦輪旋槳引擎	49
3·3	渦輪扇型引擎	50
3·4	備有後燃器之渦輪噴射與渦輪扇型引擎	53
3·5	雜類噴射引擎	54
3·6	衝壓噴射與脈動噴射式引擎	55
3·7	引擎系別與型號	56
	本章複習問題	67

第四章 引擎之主要分件——第一部

4·1	進氣管道	69
4·2	渦輪扇型導扇組	74
4·3	壓縮器	76
4·4	擴散器與分氣孔	85
	本章複習問題	86

第五章 引擎之主要分件——第二部

5 · 1	燃油歧管與噴油嘴	87
5 · 2	燃燒室組	87
5 · 3	渦輪	91
5 · 4	排氣尾管與噴射噴口	95
5 · 5	推力反向器	97
5 · 6	引擎噪音抑制器	100
5 · 7	後燃器	102
	本章複習問題	106

第六章 引擎各系統與分件

6 · 1	燃油系	107
6 · 2	潤滑系	117
6 · 3	點火系	119
6 · 4	自動重燃系	123
6 · 5	注水系	124
6 · 6	進氣防水系	126
6 · 7	燃油除水系	128
6 · 8	引擎起動器	129
6 · 9	引擎冷卻系	131
	本章複習問題	132

第七章 引擎之運轉與維護

7 · 1	噴射引擎儀表	133
7 · 2	引擎控制裝置與指示燈	139
7 · 3	引擎開車前之準備	139
7 · 4	引擎開車	141
7 · 5	起飛	142
7 · 6	起飛考慮事項	143

7·7	爬高與巡航	144
7·8	下滑、進場與降落	144
7·9	引擎關車	146
7·10	緊急情況與故障	148
7·11	引擎情況監理	149
7·12	推力損失與引擎調整	151
7·13	引擎修護	152
7·14	防制噪音措施	155
7·15	噴射引擎燃油	156
7·16	噴射引擎滑油	157
	本章複習問題	158
附錄(一)	換算表	161
附錄(二)	本書名詞術語中英文對照索引	173

第一章

燃氣渦輪引擎基本觀念

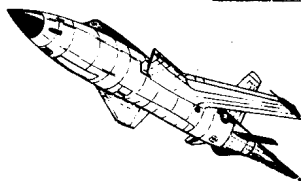
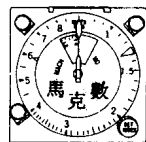
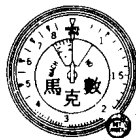
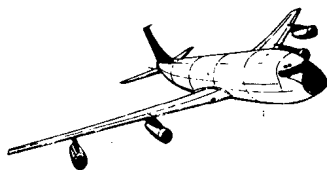
1.1 引言

噴射引擎 (Jet Engine)，簡稱 Jets，本是俚語。我們知道，應該稱之為“燃氣渦輪引擎” (Gas-Turbine Engines) 才比較正當。不過，二者屬同義字，本書以後各章無論冠以何名，都是指同一種東西。

很多人一提起噴射引擎，就認為是飛在頭頂上，高得甚麼也看不見的飛機，只由在長空劃下那長長白帶子似的凝結尾 (condensation

Trails) 可作代表的那東西。人人知道噴射引擎非常喧囂，如果停在地面它的排氣既灼熱，又危險。一般人大概

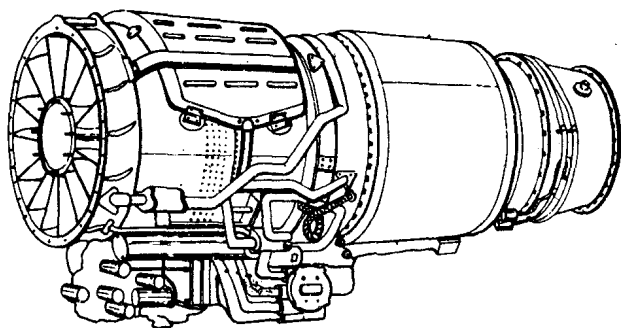
曉得，噴射引擎適於遠走高飛，往往使帶螺旋槳的活塞引擎望塵莫及。如今連小學生也會告訴你，噴射飛機可以飛得有兩倍乃至三倍音速



那樣快，而帶螺旋槳的活塞引擎是再也辦不到的。普通人常想這麼小的東西能發出偌大動力，真是奇事。此外，大家對它就感到神秘莫測了，甚至在航空界任事的人亦不例外。其實，這是不必要的，因噴射引擎的構造與原理很簡單，其運轉理論既古老也不難懂。

1.2 何謂噴射引擎？

燃氣渦輪引擎的英文原文字容易造成誤解。因為 gas 常用以代表汽油 (Gasoline)，也許有人以為這東西多少會以汽油作為燃料。其實，顧名思義，它是指由燃氣而轉動的渦輪引擎，並非由水蒸氣或水帶動的渦輪引擎。當空氣進入引擎與適當之燃油燃燒時即產生帶動渦輪的燃氣。雖然緊急時期也可燒汽油，而最通用的噴射引擎燃油却是相當廉價的低蒸餾品，軍方稱為 JP-4 或 JP-5，民用則為由煤油與其他油料摻和起來的燃料。



我們不宜使噴射引擎與習見用以推進飛機、汽車、汽艇的往復式活塞引擎 (Reciprocating, Piston-type Engine) 混為一談。雖然兩者均藉燃燒空氣與燃油之混合氣產生動力，或推力，但它們之間相同之處甚少。撇開內部構造與運轉不談，兩者最大的差別在於發生推進力量的方式各有千秋。

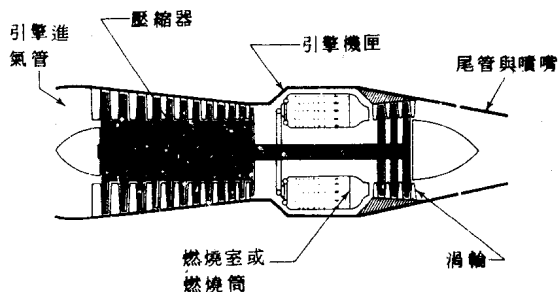
活塞引擎轉動使螺旋槳旋轉的主軸。然後由螺旋槳鼓動空氣，因

而產生使飛機得以昇空飛行的前進力量。雖然亦有少數噴射發動機帶動螺旋槳，特別像渦輪螺旋槳引擎，（ Turbo-prop ），但是絕大多數的純噴射式，如渦輪噴射引擎（ TurboJet ），是直接產生“推力”的。推力逕行推進飛機，比較的直截了當。至於較新的改進型渦輪噴射引擎，稱之為渦輪扇型引擎（ Turbofan ），或扇式噴射（ fan Jet ），也是直接產生推力的。關於扇式噴射，我們留待以後再討論。目前我們暫可當它是渦輪噴射引擎的同族。

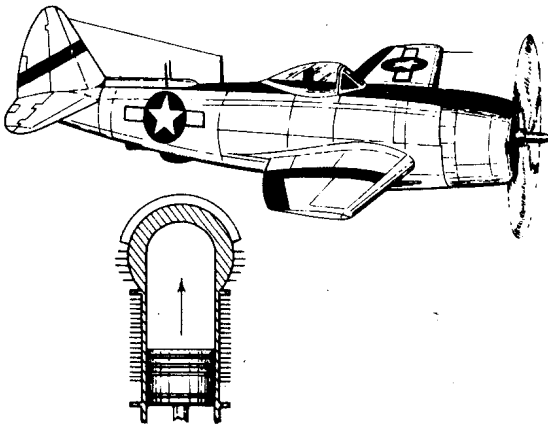
1.3 渦輪噴射引擎之主要組成份

燃氣發生器（ Gas generator ）實為燃氣渦輪引擎之基本組成份。當用做航空動力系（ Aircraft Power plant ）時，當在燃氣發生器之後部加裝了尾管與噴嘴（ Tailpipe & nozzle ），這樣一部渦輪噴射引擎遂告形成。也可將基本燃氣發生器帶動長軸作為直升機（ Helicopter ），船隻或工業用途的動力系統，這些連同渦輪螺旋槳引擎，渦輪扇型引擎都是從基本燃氣發生器複雜化以後的產物。本節中我們只討論最簡單的渦輪噴射引擎。

就外觀而言，渦輪噴射發動機有如一大截兩頭開口的構造反常的煤爐白鐵管。巨量空氣自前端進入引擎，加熱速度大增以後，再由尾



巴處大洞口向後排氣。引擎外殼，亦稱機匣（Engine Case）的前端裝有壓縮器（Compressor），負責擠軋與壓縮入內之空氣，然後使之進入燃燒室（Combustion Chamber），有些引擎製造廠家慣將燃燒室稱為燃燒筒（Combustor）。此際，燃油由噴油嘴噴注於燃燒室前部。燃油與空氣摻合而成的混合氣經點火燃燒產生熾熱而膨脹的燃氣。燃氣急速流經引擎後段，自一稱為引擎尾管（Tailpipe）的短管向機外排氣。排氣尾管的後部洞口，有一專用名詞，稱為噴射噴嘴（Jet nozzle）。



活塞引擎之壓縮。

在燃氣進入尾管前，先經過位於燃燒室後面的渦輪（Turbine）。高速的氣體衝擊渦輪使渦輪團團旋轉。渦輪自燃氣中吸收的部分動力就用以帶動前端的壓縮器。渦輪與壓縮器通常以一根主軸貫連成爲一體。所以如果是一具單壓縮器的渦輪噴射發動機，其中可能僅有一個主要機件是團團運轉的。

1.4 噴射引擎如何工作——壓縮

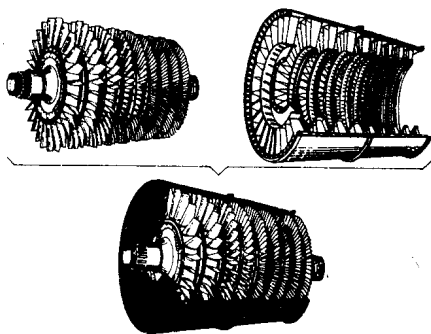
就其特質言，渦輪噴射發動機主要是一部旨在產生高速燃氣的機

器，此高速燃氣隨即自引擎尾管之噴射噴嘴向外排出。開車時使用起動器（Starter）轉動壓縮器，然後利用一具或多具點火器，這機件類似汽車引擎中的電火塞，點燃燃燒室中的燃油與空氣混合氣。引擎順利起動，壓縮器正常運轉以後，即將起動器與點火器同時關斷。以後只要燃油與空氣能以正當比例繼續進入燃燒室，引擎即可無須幫忙照常運轉下去。

渦輪噴射發動機之所以能這樣繼續維持運轉，其秘訣端在壓縮器。如使普通大氣壓力的空氣摻和燃油之混合氣點燃後產生的燃氣膨脹的程度不足做有用的功。空氣經予加壓，然後摻和燃油，點燃後的燃氣才能使活塞引擎或渦輪噴射引擎順利工作。引擎施於空氣的壓縮力愈大，引擎產生的動力或推力也愈大。

活塞引擎中對燃油與空氣混合氣施壓力的是汽缸（Cylinder）中的活塞。當活塞沿密閉不洩氣的汽缸壁上行，如附圖所示，混和氣即受到壓縮。許多活塞引擎另裝有增壓器（Supercharger），用以增加分配至各汽缸的空氣量。

至於渦輪噴射發動機，必須尋求其他壓縮的方法。在渦輪噴射發動機早年發軔時期，設計師面臨的最大障礙就是如何發明一種方法來克服順利完成壓縮空氣這個難題。英國的法朗克·惠陀（Frank Whittle），早在1930年代即曾應用迄今仍沿用



現代渦輪噴射發動機軸流壓縮器之機件與組成。

於航空活塞引擎上的增壓器相類似的離心壓縮器而解決此一問題。惠陀藉着在燃燒室的後面裝置由燃氣帶動的渦輪而獲得旋轉壓縮器所需之動力，此一安排直到今天仍然是使空氣獲致壓縮的辦法。

帶動渦輪噴射引擎壓縮器所需之動力，為數至鉅。假如有人知道

如何建造一部有足夠動力帶動壓縮器的渦輪，同時在排氣中還可以留下獲得向前推力的甚高速度，也許很早以前能夠實用的燃氣渦輪引擎就會發展成功了。較為優秀的壓縮器和渦輪匹配在一起終於研製成功許多名牌好引擎。

爲使讀者對於一具巨型渦輪噴射引擎的壓縮器究竟吸收多大動力，能有所領悟，讓我們假定此處有一具起飛時可產生 10,000 磅推力的引擎。此引擎當其產生起飛推力時，爲帶動壓縮器，大致可以產生 35,000 軸馬力的動力。而且此渦輪所佔體積，並不比普通一部低動力轎車的活塞引擎爲大。一般而言，噴射引擎內部產生的動力大時以其四分之三用以帶動壓縮器。其餘四分之一才用以產生推進飛機的推力。

1.5 爲何講推力，而不講馬力？

當討論渦輪旋槳，渦輪軸（Turbo shaft）或活塞式等引擎時，公認量測作功速率的單位叫做馬力（Horsepower, HP）。能量（Energy）乃指作功的潛能，而動力乃指作功的速率。所以能量被稱爲潛在動力。動力並非以完成之功表示之，而以其成就與時間有關之單位來表示。一馬力是指在一秒鐘內能完成 550 呎磅之功而言，或者說在一分鐘內完成 33,000 呎磅之功。一呎磅指將一磅重量舉高一呎的能力而言。可知計算馬力時，時間與距離均必須加以考慮。

$$P = \frac{F \times D}{T}$$

上式中（各以適當單位表示之）

P = 動力

F = 力

D = 距離

T = 時間

當渦輪旋槳或活塞引擎之主軸旋轉螺旋槳而做功時，可用扭力（Torque）與轉速（r.p.m.）來決定引擎所產生的馬力。此際扭力乃指引擎加緒螺旋槳的扭轉力矩而言，轉速乃指引擎曲軸（crankshaft）每分鐘的實際轉動週數而言。

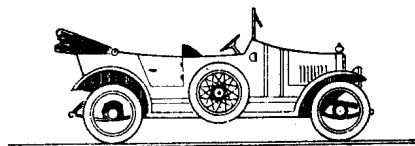
但是如以動力與馬力用在渦輪噴射或渦輪扇型引擎上，就不大合適，因為時間和距離因素有時並未牽涉在內。譬如說，噴射飛機停在地面不動而引擎照常轉運之時，渦輪噴射或渦輪扇引擎並未向前運動，時間與距離因素為零，因為無法測量引擎依時間而運動之情形。雖然引擎內部渦輪產生扭力與轉速，但發出的馬力全部由引擎自行耗用。按照公認的決定馬力公式，並未產生動力。可是我們知道渦輪噴射引擎正向其安裝架用力推動，而且如果鬆掉飛機的剎車，或者移開主輪前面的輪檔，飛機一定向前滑行。因此當量測渦輪噴射與渦輪扇型引擎產生的推進力時，係使用推力磅值而非馬力。

1·6 推力之產生

渦輪噴射引擎的產生推力，可以引用1687年由英國物理學家牛頓爵士親自刊印的運動三定律獲得解釋。渦輪扇型引擎，脈動噴射式，衝壓噴射式，火箭發動機乃至渦輪旋槳引擎的螺旋槳以及航空活塞引擎，它們產生推力的方式大致相同。由於許多人一開始在瞭解噴射發動機之推力究竟由何而來深感困惑，有人甚至誤認推力來自引擎排氣強行推壓後部的空氣，所以我們要利用相當篇幅來澄清此一課題。

牛頓第一運動律：共有兩部份，第一部份說：物體靜者恆靜，除非它受到外力的作用。

第一律第二部份說：物體，若非受到外力的作用，在運動中者，將依等速度沿一直線繼續運動。在噴射引擎方面對第一律此一部份不



範例

擬引用，吾人可以撇開不表。

牛頓第二運動律：運動的變更與所施之力成正比例。此定律可以改寫如下：每當物體（或質量）受到加速度時，即產生一與速度變更率成正比例之力。

牛頓第二運動律，可以下列算式表示之：

$$F = Ma$$

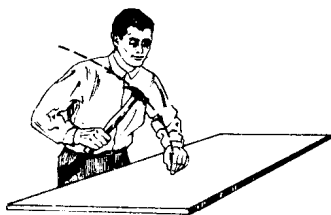
上式中 $F =$ 力

$M =$ 質量（重量）

$a =$ 加速度（以適當單位表示之）

有人以鋤頭向木板上敲釘子，鋤頭打在釘頭上的力與鋤頭的質量（此質量與重量成正比）成正比。此力為鋤頭重量與鋤頭自零至最後

速度間的加速之乘積。譬如說，用小釘錘敲大靴釘非常吃力，因為小釘錘的質量太小。同理，即使用大鋤頭，如果輕輕地敲仍然無法釘好大靴釘。



質量之涵義：質量（

Mass）為物質的一種基本性質。當其位於一個重力場中，如在地球上，即稱為重量。

由於質量是重量與重力加速度， g ，的函數（Function），而加速度乃指速度的變動率，所以 $F = Ma$ ，此一公式應用到噴射引擎，即可重寫如下：

$$F = \frac{W}{g} \times (V_2 - V_1)$$

上式中， $F =$ 力，磅

$W =$ 流量率，指空氣、燃氣、或燃油每秒若干

磅表示之。

V_1 = 空氣、燃氣、或液體之初速，以呎/秒表示之。

V_2 = 空氣、燃氣或液體之末速，以呎/秒表示之。

g = 重力加速度，32.2 呎/秒/秒。

註記： $M = \frac{W}{g}$ ；其中 M = 質量

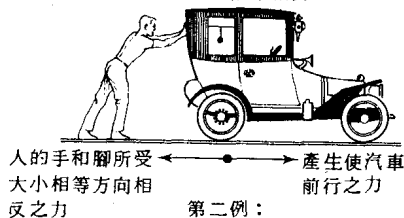
此處應對重力加速度稍加解釋。小寫字母“ g ”為公認代表下墜物體每秒增加速度的符號，雖然 g 的確數依地理位置和離海平面的標高而略有變動，在地面言，通常 g 的數值為每秒每秒 32.2 呎。

就上式言，重力加速度， g ，實際的含義有二：第一個代表一受地心吸力影響之物體自高處下墜時，求其速度之用。第二為重量至質量的換算因素，係用於與重力無關之質量在公式中演算時，上列公式即第二義之應用。

牛頓第三運動律：

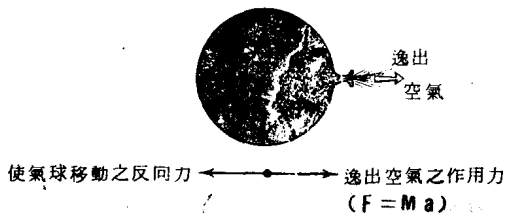
第一例：

有人推一拋錨的汽車，他的腳用力踏地和用手吃力推車相對。



第二例：

射擊時，肩頭後座力與使子彈加速之力大小相等，方向相反。

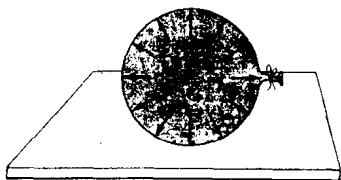


有一作用，必有一大小相等方向相反之反作用。

噴射引擎具體而微的例證：各式燃氣渦輪引擎，連同脈動噴射式，衝壓噴射式與火箭發動機在內，都可以歸納為反作用引擎類（Reaction Engines）。小孩玩具的氣球可用來解釋依照牛頓定律，渦輪噴射引擎（或其他任何反作用引擎）是如何產生推力的。如將氣球在室內溫度打足了空氣，並把氣嘴處用繩繫牢，使空氣無法外洩，這隻氣球就可放在桌上，一動也不動，因為氣球內部空氣壓力向各方施以相等壓力。就沒有足以使氣球移動的力。

倘若把氣嘴的繫繩突然鬆掉，空氣可從氣口自內向外迅速逸出，壓力亦自此氣嘴釋出。就氣球內空氣言，它對氣球並未運動。可是，由於氣球內空氣的高壓使流出氣嘴的空氣向外面低壓處迅速流動，致使流出氣嘴的空氣速度大增。

氣嘴處繫繩突然解開，玩具氣球即不再靜止在桌上。氣球旋即向氣嘴相反方向迅速竄去。這可引用牛頓第二與第三運動律加以解釋。當



氣嘴繫牢，氣球在桌上不動。

氣球內速度原等於零的空氣，經過氣嘴獲得加速時，即產生一股力。（ $F = Ma$ ）我們將 $F = ma$ 公式左右對調或者容易理解。就是說，質量乘加速度等於力。換句話說，質量（重量），例如

空氣或燃氣，予以加速，就產生一股力。以玩具氣球為例，空氣經氣嘴逸出，又因氣嘴而有助於加速度，這氣嘴具有噴射引擎尾端噴射噴嘴相似的作用。

就牛頓第三運動律而言，每一作用均有一大小相等方向相反之反作用。當空氣由氣嘴逸出產生一力， F ，時，同時也就產生與 F 大小相等方向相反之力。此力促使氣球竄動。

在某一瞬間，倘經過氣嘴的空氣重量與速度為已知，那麼該瞬間使氣球竄動的力也可以計算得出。計算時，我們可引用 $F = Ma$ 之噴射引擎化的公式，亦是表示牛頓第二運動律之一法：