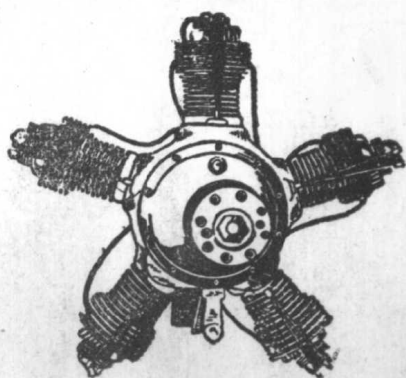


航空發動機

Б. В. 鮑伊柯夫 著

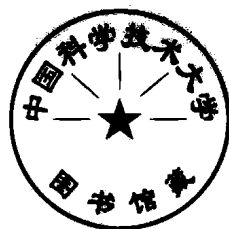


國防工業出版社

航空發動機

Б. Б. 鮑伊柯夫 著

劉樹鑒、周庭秋 譯



國防工業出版社

內容介紹

本書介紹活塞式航空發動機與噴氣式航空發動機的各种基礎知識。它是為廣大航空技術愛好者而寫的。

Б.В.Бойков
АВИАЦИОННЫЕ
ДВИГАТЕЛИ
Издательство
ДОСААФ
Москва-1951

本書系根據全蘇陸海空軍促進協會出版社
一九五四年俄文版譯出

航空發動機

[蘇]鮑伊柯夫 著
劉樹聲、周庭秋 譯

*

國防工業出版社 出版

北京市書刊出版業營業許可証出字第 074 号
北京新中印刷廠印刷 新華書店發行

*

787×1092 毫米 $1/25 \cdot 612/1.5$ 印張 • 138,500 字

一九五五年十二月第一版

一九五七年四月北京第三次印刷

印數:3001—4000冊 定價:1.16元

前 言

從人類掌握了鑽木取火，換句話說，也就是學會將機械能變為熱能，到現在已經有幾千年了。可是製造第一台熱力發動機——蒸汽機——從而操縱化熱能為機械能的過程，却是不久以前的事。

發明蒸汽機的榮譽是屬於巴爾納烏利工廠的礦山技師，伊凡·伊凡諾維奇·波爾祖諾夫的。他在 1765 年創造了世界上第一台蒸汽機。從那時候起，人類就獲得了利用木柴、煤、石油、瓦斯中所潛在的巨大熱量的可能性。第一台蒸汽航空發動機也是俄國發明家——海軍軍官 А. Ф. 莫柴伊斯基在上世紀八十年代初創造的。後來，工程師 П. Д. 庫茲明斯基設計了第一台蒸汽渦輪，並於 1897 年在俄國製造成功；目前，這種渦輪獲得了廣泛的應用。

列入祖國技術發展史冊的有下面這些著名的活塞式航空發動機設計家：B. B. 達大林諾夫、A. T. 烏斐姆采夫、C. B. 葛利卓杜波夫、B. T. 羅茨柯伊等。第一批俄國發明家和設計家所創造的航空發動機，其技術性能遠遠超過了國外的發動機。

烏斐姆采夫在 1909 年製成的發動機很有意思。它的特點是氣缸往一個方向旋轉，而軸却向另一方向旋轉。這種叫做「雙旋轉式」的六缸發動機能發出 90 馬力的功率，使兩個螺旋槳同時往不同的方向旋轉。最突出的一點就是烏斐姆采夫的發動機所產生的功率幾乎比同樣尺寸和重量的普通發動機大了一倍。

世界上第一台氣缸垂直排列的水冷式航空發動機是我國設計家羅茨柯伊在 1913 年創造的。這種發動機能產生 150 馬力。在很長一段時期內，它一直是該型發動機的典型結構。

1916 年，A. A. 米庫林和 B. C. 斯杰契金設計了直接注射式的二行程循環發動機 AMBC-1。在試驗時，它發出 300 馬力的功率，以技術性能而論，遠遠超過了當時各種有名的發動機。

在發動機製造業的發展過程中，俄國科學家研究出來的航空發動機理論起了極其巨大的作用。特別是 1907 年 B. H. 葛利涅維茨基教

授所發表的一篇世界聞名的著作「內燃機工作過程的熱力計算」，直到1919~1920年間，即葛利涅維茨基的著作問世後12~13年，英國才出版了李格爾德、狄柴達和巴伊等人研究高速內燃機工作過程的文章。

我國不僅給噴氣發動機的理論奠定了基礎，而且還研究出了目前獲得實際應用的噴氣式發動機各種型別的原理方案。

儘管在理論研究和各型航空發動機的設計方面，俄國科學家、專家和發明家們曾起了主導的作用，可是由於沙皇政府的反動政策，寧願採用外國技術而阻礙祖國航空工業的發展，致使科學家們的著作在我國沒有得到廣泛的採用。不僅如此，無論是西方的歷史家或者是他們在俄國的追隨者們還都想抹煞俄羅斯思潮在工程技術領域中的主導作用，祇有蘇聯的技術史研究家們才重新恢復了波爾祖諾夫、莫柴伊斯基等人的歷史事實。

祇有在偉大的十月社會主義革命勝利以後，航空發動機的理論研究和優良航空發動機的製造工作才在我國獲得了應有的規模。

十月社會主義革命揭開了人類歷史上的新紀元，把祖國科學從資本主義制度的桎梏中解放出來，並且從根本上改變了技術發明在我國所處的狀況，而給科學技術的發展開闢了無限廣闊的前途。

根據共產黨和政府的決議，從年青蘇維埃共和國的最初年月起，祖國航空發動機的研究工作便集中在航空工廠的設計部門進行。

遠在1918年，就已開始組織M-1和M-2型發動機的生產；1919年，在艱難的內戰時期，業已開始製造功率較大的M-4型航空發動機。

1924年，在A.Д. 什維佐夫的領導下，製成了出色的氣冷式星型發動機M-11，直到目前，它仍然是航空中所用的最安全的一種輕型發動機。

從1925~1932年期間，在A.A. 別斯爽諾夫的領導下設計了一大批航空發動機。在這些發動機中值得特別提出的是功率為610馬力的12缸V型液冷式發動機V-12和功率為550馬力的9缸星型氣冷式發動機M-15。在V-12發動機上自有史以來第一次安裝了傳動離心式增壓器，而M-15則是世界上出現最早的一種氣冷式高空發動機。

1930~1931年間，在A.A. 米庫林的領導下，設計並製造了經濟性特別好的液冷式航空發動機M-34，它的功率為850馬力。

在五年計劃年代裡建立起來的航空工業使我國科學家和設計家們的創造性意願迅速得到實現。在前所未有的短時期內製成了許多頭等的航空發動機。

祖國的航空發動機光榮地經受了戰爭年代的嚴峻考驗。

在偉大衛國戰爭的進程中，我國航空工業在世界上第一個解決了發動機和飛機的傳送帶裝配^①這一課題，製造了無數特種機床和工具，並製訂出先進的生產工藝規程。

傑出的蘇聯設計家 A.A. 米庫林、A.Д. 什維佐夫、B.Я. 克里莫夫等人都是國際知名的。

A.A. 米庫林設計了一批 AM 型發動機 (AM-34、AM-35、AM-38 及其他)。AM 型發動機的功率比國外成批生產的液冷式發動機要大。AM 型發動機的高度安全性保證了一系列歷史性的飛航。譬如，在 1934 年，裝有 AM-34 發動機的 ПД (航程記錄號之意——譯者) 飛機，由 M.M. 葛洛莫夫駕駛完成了 12211 公里的不着陸飛行，超過了環球飛行的世界記錄。在 1936 年，蘇聯飛行員 B.П. 契卡洛夫、Г.Ф. 巴伊杜柯夫和 A.B. 別梁柯夫駕駛同型的飛機完成了從莫斯科到黑龍江上的尼柯來也夫斯克城的 9374 公里的不着陸飛行。

1937 年，B.П. 契卡洛夫和 M.M. 葛洛莫夫兩人率領的乘務組完成了舉世聞名的從莫斯科橫渡北極到達美國的飛行。他們所乘的就是裝有 AM-34 發動機的 АНТ-25 飛機。

1939 年，A.A. 米庫林設計了高空發動機 AM-35，這種發動機裝在 A.И. 米高揚和 M.И. 古列維奇共同設計的殲擊機上。在偉大衛國戰爭初期，這種飛機從空中保衛了我國首都——莫斯科。

1941 年，米庫林設計了新發動機 AM-38；1942 年，設計了 AM-38Ф。裝有 AM 型發動機的飛機創造了二十多種世界記錄。

B.Я. 克里莫夫給祖國設計了出色的 BK 型液冷式發動機 (M-100、

^① 傳送帶裝配是大量生產中所採用的最完善的流水裝配作業的一種。被裝配的部件和零件沿着傳送帶送到工人的工作地。採用此種方法可以大大縮減裝配時間、提高生產率、促進工作的計劃性、使分工更加專業化因而有助於工人技術水平進一步的提高——譯者。

M-103、BK-105 等)。克里莫夫設計的發動機裝在 A.C. 雅各武列夫的飛機上，此種飛機在與德國侵略者的戰鬪中表現了優良的性能。

A.Д. 什維佐夫設計的發動機 (M-11、M-25、M-62、AIII-82 等) 獲得了一致的好評。在偉大衛國戰爭年代，AIII-82 發動機裝在 C.A. 拉伏契金的殲擊機上經受了嚴峻的考驗，並顯示了自己的優越性。

創造航空發動機的先進計算方法的這一光榮是屬於蘇聯學者大軍的。科學院院士 B.C. 斯杰契金堪稱為航空發動機現代計算法的奠基者。在發展航空發動機理論的事業中，M.M. 馬斯林尼柯夫、H.B. 伊諾捷姆采夫、B.Я. 克里莫夫、B.И. 季米特里也夫斯基、И.И. 庫拉金、T.M. 密爾古莫夫等許多學者也作出了巨大的貢獻。

共產黨對全面培養科學幹部、設計幹部、生產幹部所作的無微不至的關懷鼓舞了蘇聯學者、設計家及航空工業工作人員們為創造、發展和改進祖國的航空發動機而不倦地工作。

目 錄

前 言	VI
-----------	----

第一章 基 本 概 念

幾個物理概念	1
什麼是機器和發動機	5

第二章 活塞式航空發動機理論概述

概 論	7
活塞式發動機的工作原理	7
活塞式航空發動機的主要部件、零件和附件	7
基本概念和定義	10
四行程發動機的工作原理	12
航空發動機的種類	13
航空發動機的實際循環	15
進氣過程	15
壓縮過程	19
燃燒過程	20
膨脹過程	24
排氣過程	25
氣門定時分度圖	27
示功圖	28
發動機的功率和經濟性	34
發動機的功率	34
燃料消耗量	36
影響發動機指示功率的幾個因素	36
反作用噴管	38
增加航空發動機的昇高度及加大功率的方法	39
活塞式航空發動機的特性線	41
對航空發動機的基本要求	45

第三章 材料學概述

金屬的基本性質.....	47
黑色金屬.....	47
鋼的熱處理和化學熱處理.....	49
有色金屬.....	50
金屬及合金的銹蝕.....	51

第四章 活塞式航空發動機的部件、零件、附件 及各主要系統

氣缸.....	52
氣缸的構造.....	53
液冷式發動機氣缸的構造特點.....	54
氣冷式發動機氣缸的構造特點.....	55
保證氣缸頭與氣缸筒間密封的方法.....	57
氣缸的材料.....	58
活塞.....	58
活塞的構造.....	58
活塞的材料.....	63
活塞銷.....	64
聯桿.....	64
聯桿的構造.....	65
聯桿的種類.....	66
聯桿的材料.....	63
曲軸.....	68
曲軸的構造.....	68
排列型發動機曲軸的構造特點.....	70
星型發動機曲軸的構造特點.....	72
曲軸的材料.....	73
機匣.....	73
排列型發動機的機匣.....	73
星型發動機的機匣.....	75
機匣的材料.....	78
分氣機構.....	78
氣門.....	78
氣門導套和氣門座.....	82

分氣機構的傳動裝置.....	83
減速器.....	88
增壓器.....	90
離心式增壓器的工作原理.....	90
增壓器的種類.....	91
增壓器主要部件的構造.....	92
渦輪壓縮機.....	95
航空發動機的散熱系統.....	96
概論.....	96
氣冷法.....	97
液冷法.....	99
航空發動機的潤滑系統和潤滑油.....	101
摩擦和潤滑.....	101
潤滑系統.....	103
對潤滑油的要求.....	106
航空滑油.....	109
滑油的稀釋.....	109
燃料系統.....	110
概論.....	110
簡單汽化器的構造和工作原理.....	111
無浮子式汽化器的構造和工作原理.....	112
燃料的直接噴射.....	114
航空燃料的基本性質及對它的要求.....	115
航空汽油.....	116
航空發動機的點火系統.....	117

第五章 噴氣式發動機

從活塞式發動機過渡到噴氣式發動機的必要性.....	122
反作用運動及噴氣式發動機.....	123
蘇聯——噴氣技術的祖國.....	126
兩種主要類型的噴氣式發動機.....	128
A. 火箭發動機.....	128
固體燃料火箭發動機.....	129
液體燃料火箭發動機.....	130
B. 空氣噴氣發動機.....	134
衝壓式空氣噴氣發動機.....	135

脈動式空氣噴氣發動機.....	137
渦輪噴氣式發動機.....	139
渦輪螺旋槳式空氣噴氣發動機.....	146
雙路式渦輪噴氣發動機.....	148
活塞機壓縮機式空氣噴氣發動機.....	149
參考文獻.....	150

第一章

基本概念

幾個物理概念

力 當人們說，力作用在物體上時，這就表示另一物體或一組物體作用在該物體上。由於物體相互作用的結果，它的運動速度加快或減慢了，運動的方向、物體的形狀、尺寸和容積改變了（也就是說，發生了形變）。

因此，力乃是物體相互作用的表現。

力不僅在物體直接接觸時才產生，就是相隔一段距離也是會出現的，譬如地心吸力。

在自然界中，存在着各種形形色色的力的複合。

戰士投擲手榴彈時，將自己兩臂肌肉的力加在它的上面。手榴彈在空氣中運動時，受到空氣的阻力和地心吸力的作用。在這兩種力的作用下，手榴彈在空中畫出弧線，落在地上。

螺旋槳產生的拉力克服了飛機運動時所受到的空氣阻力和機輪與地面的摩擦力，保證飛機以不斷增大的速度起飛滑跑。

壓床的壓力改變了一塊金屬的形狀和尺寸，也就是使它變成所需的形狀。

力是一種物理量，它不僅有數量，並且還有在空間中的方向。在工程上，力一般是以公斤來計量的。

在緯度 45° 的海平面上，於溫度 4°C 時，地球對一公升化學純水的吸力定為一公斤力。

在圖紙和工程畫上，力通常用一種叫做矢量的帶箭頭的線段來表示。按照一定比例畫出的矢量可以表示力的大小、方向和着力點。

壓力 物體表面單位面積上所受的作用力叫做壓力。

根據表面面積計量單位的不同，壓力可以用每平方公分上的公斤數（寫作公斤/公分²），或以每平方公尺上的公斤數（寫作公斤/公尺²）

來表示。

壓力可以用下面的公式來計算：

$$p = \frac{P}{F},$$

式中 p ——壓力；

P ——作用在物體上的力，以公斤計；

F ——物體面積，以平方公分或平方公尺計。

功 物體移動的距離與力在移動方向的投影之乘積叫做功。

飛機克服了空氣的阻力向前飛行，火車頭克服了車輪與路軌的摩擦力向前運動，人克服了地心吸力舉起重物——在上面幾種情況下，都作了機械功。

作用力愈大，作的功也愈大，即功與作用力成正比。

實際上也正是這樣，如果一個人依次將 1 公斤、10 公斤和 20 公斤的重物舉高 1 公尺；很顯然，在第二次和第三次他所作的功比第一次分別要大 10 倍和 20 倍。

物體移動的距離愈長，所作的功也愈大，即功與物體移動的距離成正比。

實際上也正是如此，假使把 1 公斤的重物依次舉高 1 公尺，10 公尺和 20 公尺；那麼，在第二次和第三次所作的功要比第一次大 10 倍和 20 倍。

在工程上，功的計量單位通常採用公斤公尺，即 1 公斤的力移動 1 公尺距離所作的功。

如果力的大小不變，而且其作用方向與物體運動的方向相合，則功就可下面的數學式來表示：

$$L = PS,$$

式中 L ——功，以公斤公尺計；

P ——作用力，以公斤計；

S ——物體移動的距離，以公尺計。

如果力的作用方向與物體移動方向相合，則所作的功為正；如果力的作用方向與物體移動方向相反，則所作的功為負。

功可能消耗在克服物體運動時所受到的阻力或用來使物體作加速

或減速運動，或使其發生形變。

功率 根據所作的功，尚不能比較各種發動機的效率，因為同樣的功，不同的發動機可以在不同的時間內作完，所以，爲了比較發動機的效率，引用了功率這一術語。

任何一種力在單位時間（如，1秒）內所作的功叫做功率。

因此，功完成得愈快，則作功的發動機的功率便愈大。

功率可用下面的數學式表示：

$$N = \frac{L}{t},$$

式中 N ——功率，以公斤公尺/秒計；

L ——功，以公斤公尺計；

t ——作功的時間，以秒計。

從上列公式中可以看出：功率的計量單位，通常用1秒鐘內作功1公斤公尺（寫作1公斤公尺/秒），即每1秒鐘1公斤的力移動1公尺距離所作的功來表示。可是，此種功率單位過小，所以在工程上通常採用比它大75倍的功率單位，即馬力。

用馬力計算功率的公式如下：

$$N = \frac{L}{75t} \text{ 馬力。}$$

能 物體作功的本領叫做能。因此，能乃是物體作功的儲備量。

自然界中存在着各色各樣的能量 機械能、電能、熱能、化學能、光能、原子能等。

在力學中研究下面兩種能量：

位能 或勢能，有時也叫潛能，因為它是處在隱藏狀態的，在未到一定的時刻以前並不呈現，譬如壓縮彈簧、壓縮空氣、舉高的重物都具有此種能量。

動能 或稱運動能，伸張着的彈簧、落下的石塊、飛行的砲彈等都具有此種能量。

能量既不會消滅，也不會創生，祇不過從一種形式變爲另一種形式而已。

能量守恒和轉換定律是这样說的：

在自然界的一切現象中，能量既不能創生，也不會消滅，只不過由一種形式變為另一種形式，或者由某一物體傳遞給另一物體。

早在1760年，天才的俄羅斯學者 M.B. 羅蒙諾索夫就將能量守恒和轉換定律的實質肯定了。他說：“凡宇宙間所發生之一切變化，究其實質，某一物體所失者即為另一物體之所得部分”。他又說：“物體以其力推動另一物體時，其所失者即為受其力之作用而運動者所得之部分。”

熱能 熱能是一種叫做分子的物質微粒所作的混亂運動的能量。

熱能之實質乃是物質運動的一種形式——這是 M.B. 羅蒙諾索夫首先創立的學說。1744年，他在“冷熱起源之探討”這篇論文中提出了論證：“熱是物質的內部運動……”這一論證直到目前仍為眾所公認。

運動愈激烈，它的作用愈顯著。因此，熱力運動加快時，熱量一定增加；而當運動減慢時，則熱量降低。熱物體與冷物體接觸時就會冷卻，因為後者使前者分子的熱力運動緩慢下來；另一方面，冷物體則由於分子運動的加速而溫度升高。

分子運動速度愈大，溫度就愈高，即物體的熱能（內能）也愈大。在工程上，溫度以度來表示。零度相當於冰的融點，而一百度相當於水的沸點（指攝氏）（壓力為一個大氣壓時）。

熱能（熱量）跟其他各種能量是一樣是可以測量的。在工程上，通常用大卡來計量熱能。

將1公斤的化學純水加熱1度（從14.5到15.5°C）所需的熱量稱為1大卡（或仟卡）。

熱能和機械能，正如其他能量一樣，可以相互變換。譬如，在航空發動機中，最初是燃料的化學能變為熱能，然後熱能再變為機械能，推動活塞。機械能与熱能相互間是按照一定的比值來轉換的，這種比值叫做功熱當量和熱的機械當量。

功熱當量等於1/427大卡，即1公斤公尺的機械能完全轉變為熱能時，可以得到1/427大卡的熱量。

因此，1公斤公尺的功相當於1/427大卡的熱能。

熱的機械當量相當於 427 公斤公尺的功，即 1 大卡的熱量完全轉變為機械能（無損失）時，可以得到 427 公斤公尺的功。

因此，1 大卡的熱相當於 427 公斤公尺的機械能。

燃料的發熱量（或熱值） 燃料的質量是以熱能的儲藏量，即它在完全燃燒時所能分解出的熱量來評定的。為了比較燃料，特引用發熱量這一術語。

1 公斤燃料在完全燃燒時所能分解出的熱量（以大卡計）叫做發熱量或卡路里值。

舉例來說，汽油的發熱量等於 10400~10600 大卡，煤油為 10000~10400 大卡，苯為 9600 大卡，乙基酒精為 6400 大卡，煤為 5000~8000 大卡。

比熱 1 公斤物體溫度升高 1 度所需的熱量叫做該物體的比熱。

什麼是機器和發動機

用來將能量經濟合算地轉換並利用這種轉換而作一定有效功的機械總合叫做機器。

任何機器的功用都是從所消耗的能量中獲得最大的有效功。

用來將任何一種形式的能量轉變為機械能的機器稱為發動機。

將熱能轉變為機械能的發動機叫做熱力發動機。

凡是不利用燃料的燃燒產物，而是利用由燃燒產物在發動機外部（如鍋爐中）加熱的某種工質（如蒸汽）而作機械功的熱力發動機叫做外燃機。

固定式工業動力裝置、鐵路以及內河航運所用的蒸汽機與蒸汽渦輪都屬於外燃熱力發動機。

凡是燃料的燃燒、熱量的分解、部分熱能轉變為機械功都直接在發動機氣缸內進行的熱力發動機叫做內燃機。

所有現代航空發動機都是內燃機。它們可以分為兩個主要類別：活塞式發動機和噴氣式發動機。

活塞式航空發動機的功用是旋轉螺旋槳——推進器——以產生飛機前進運動所需的拉力。

噴氣式發動機毋需螺旋槳而能產生推力^①。它既是發動機，又是

推進器。

本書的目的就是專門介紹活塞式航空發動機與噴氣式航空發動機的工作原理及其構造特點。

① 這裡的拉力和推力實質上都是反作用力，螺旋槳往後排擠空氣而產生的反作用力，用來牽引飛機前進，一般叫做拉力。噴氣式發動機是靠尾噴管內以高速噴出的燃氣的直接反作用力推動飛機前進，一般把這種反作用力叫作推力——譯者。