

航空发动机手册

上 册

M.A. 列芬 Г.В. 謝尼奇金 編



國防工業出版社

航空發動機手冊

(上 冊)

著 者

工程師 M. T. 德爾尼可夫, 工程師 P. D. 伏拉基米羅夫;
工程師 Ю. P. 伏謝尼金, 技術科學碩士 M. I. 加爾彼林;
工程師 B. B. 格拉德夫, 技術科學碩士 H. Г. 都布拉夫斯基;
技術科學碩士 K. K. 耶拉斯托夫, 技術科學博士 P. K. 伊托米爾斯基;
技術科學碩士 A. D. 李伊金, 工程師 A. И. 基舍列夫;
技術科學碩士 A. A. 可米沙內奇克, 工程師 H. C. 克魯奇可夫;
技術科學碩士 M. И. 斯列尼奇金, 技術科學碩士 M. C. 拉皮波特;
技術科學碩士 H. И. 斯利尼諾夫;
技術科學碩士 P. P. 蘇利得曼, 工程師 M. P. 舍非爾;
技術科學碩士 П. Г. 雪列米奇也夫, 技術科學碩士 M. H. 埃欽果夫。

M·A·列 芬、Г·B·謝尼奇金編

王修瑞、周正石、吳瑞玉 譯

孫懷民 校

內 容 介 紹

本書闡明了活塞式航空發動機的工作過程、構造特點以及基本零件與部件的強度計算方法。此外，本書還介紹了多種發動機的特性及其主要參數。對於各種類型的噴氣式航空發動機也作了一般的介紹。

本書適用於航空工廠及空軍工程技術人員、航空學院的學生與其他製造及使用內燃機的有關工業部門中的工作人員參考。

М.А.Левина

Г.В.Сеничкина

АВИАЦИОННЫЕ

ДВИГАТЕЛИ

Государственное научно-техническое
издательство машиностроительной

Литературы Москва 1951

本書係根據蘇聯國立機械製造書籍出版社

一九五一年俄文版譯出

航 空 發 動 機 手 冊

上 冊

〔蘇〕列芬、謝尼奇金 主編

國防工業出版社出版

北京市書刊出版業營業許可證出字第 074 號

北京新中印刷廠印刷 新華書店發行

• 850×1168 1/32 • 73/4 印張 • 201,000 字

一九五六年二月第一版

一九五六年十月北京第二次印刷

印數：1501—2725冊 定價：1.46 元

序 言

蘇聯空軍是爲和平事業服務的。它配合全體蘇聯軍隊在一起保衛着蘇聯邊疆的安全，並且還積極地參加着和平建設事業——在遙遠的距離間輸送着數十萬旅客和數萬噸緊急貨物。此外，航空還有效地利用於從空中消滅田野間的害虫，並用於其他提高農業產量的措施。

航空發動機具有大的功率和高單位參數，因此陸上與水上交通工具用的一些發動機及工業與農業用的發動機，均能以航空發動機作爲藍本。

航空工業和其他工業部門廣大的工作人員，以及使用內燃機的工作人員可以從本書的材料中獲得有關航空發動機的各項基本知識——航空發動機及其基本部件與附件、航空發動機的構造與計算的特點及基本參數等。

書中的主要部分是着重研究活塞式航空發動機。在最後第九章中敘述了噴氣式及渦輪螺旋槳式發動機的一般知識。

書中說明了航空發動機的構造特點，介紹運動學及動力學的概念，以及基本零件與部件的強度計算方法。

此外，書中闡明了航空發動機工作過程的理論基礎，介紹了某些發動機的特性及其基本參數。

航空發動機的試驗、冷卻、潤滑等問題，以及所採用的燃料與滑油，都分別有專章討論。

俄羅斯的科學技術思想，在航空發動機製造業中，正像在其他一切航空技術上一樣，永遠佔着領導的地位。

遠在航空普遍發展以前，在1881年，世界上第一架飛機的創始者 А.Ф. 莫熱依斯基 (Можайский) 就設計了並建成了世界上第一台特種航空發動機，其比重爲 5.3 公斤/馬力，在1889年 И.С. 柯斯

托維奇 (Костович) 建造了比重為 3.0^{15} 斤/馬力的發動機。這比起後來 (1903 年) 美國人萊氏兄弟製造的發動機 (比重 6 公斤/馬力) 來要輕 50%，根據這一點就可判斷這是何等巨大的成就了。

在航空發展的初期 (1904~1914 年)，雖然有來自沙皇、官僚方面的阻礙，但是俄國的發明家烏菲姆切夫 (Уфимцев)、列斯切羅夫 (Нестеров)、格利佐杜波夫 (Гризодубов) 及其他等人，根據他們自己的設計，製造成功了許多原始構造的發動機。

在 1909 年，天才的俄國發明家 А. Г. 烏菲姆切夫 (Уфимцев) 建造了第一台星型雙旋轉式發動機，它的兩個螺旋槳是相互同心反向旋轉的。

在 1913 年，設計師 Б. 魯切卡 (Луцка) 建造了世界上第一台液冷式發動機，功率為 150 馬力，氣缸為直立式的，此發動機在相當長的時期中一直是該類型發動機的典範。

在 1916 年，А. А. 米庫林 (Микулин) 與 Б. С. 斯切奇金 (Стечкин) 建造了 АМ-БС-1 發動機，功率為 300 馬力，燃料是直接噴入氣缸內，它是以二行程循環工作的，此種發動機按其特性來說，在當時所有著名的發動機中是最優越的。

在人類歷史上開闢了新紀元的偉大的十月社會主義革命，為蘇聯科學與技術的廣闊自由的發展創造了條件。

蘇聯的航空工業，僅僅在偉大的十月革命以後，才獲得了為製造國產飛機與發動機所必需的真正科學的物質技術基礎。在年青的蘇維埃共和國成立的第一年，依照 В. И. 列寧和 И. В. 斯大林的指示，開始了建立本國航空發動機的工作。遠在 1918 年，雖然蘇聯曾遭受了一切的困難，但仍然組織了氣冷式航空發動機 М-1 與 М-2 的生產。在國內戰爭的緊張時期中，開始建造大馬力液冷式發動機 М-4 的工作，並於 1920 年 7 月製造成功。

1924 年，在 А. Л. 什維佐夫 (Швецов) 領導下，製成了星型發動機 М-11，直到目前為止，此發動機仍然是輕型航空發動機中最可靠的發動機之一。

1925 年至 1932 年間，在 А. А. 別索羅夫 (Бессонов) 的領

IV

導下製造了一批液冷式發動機，其中應特別提到的是功率為 610 馬力的 12 缸 V 型發動機 V-12，這是在直列式發動機的歷史上第一次有了傳動式離心增壓器的裝置，此外，應特別提出的還有功率為 750 馬力的 18 缸發動機 M-18。同一時期中，在 А.А.別索羅夫的領導下還設計並製成了星型 9 缸發動機 M-15，功率為 550 馬力，它是世界上第一台氣冷式高空發動機。

1930~1931 年，在 А.А.米庫林的領導下製造了著名的蘇聯液冷式航空發動機 M-34，功率為 850 馬力，此種發動機具有優越的高空經濟性能。

創立航空發動機先進計算方法的光榮是屬於蘇聯的學院。

蘇聯科學院通訊院士 В.С.斯切奇金是航空發動機現代熱力計算理論的創始者。

我們的國家是噴氣技術的祖國。

早在十七世紀末葉，俄國的火箭生產技術就已是其他國家的典範。外國人都來向俄國技工們學習。

在 1849 年，俄國的軍事工程師 特利切斯基 (Третесский) 建議將空氣或其它氣體壓縮至 6 個大氣壓，利用氣流的反作用使氣球移動。

十九世紀六十年代，К.И.康斯坦丁諾夫 (Константинов) (砲兵) 寫出了“採用火箭使氣球移動”的著作。

1867 年，俄國陸軍參謀大尉 Н.切列曉夫 (Телешов) 發明了一種發動機，發明家稱它為“熱力鼓風機” (Теплородный Духомет)，它包含有噴氣式發動機的基本部件。

1881 年，俄國革命家、民意黨人 Н.И.基巴立契奇 (Кибальчич) 製訂了可操縱式噴氣式飛行器的設計草案。

偉大的俄國學者 Н.Е.儒考夫斯基 (Жуковский) 是噴氣式發動機理論的創始人，早在 1882 年，他在“關於流體流入和流出的反作用”論文中，就得出了液流反作用力的公式。在 1886 年及 1908 年發表的關於對此問題更進一步研究的著作中，Н.Е.儒考夫斯基對流出液體的全部反作用作了詳細的研究，並首先得出

求定氣流效率的公式。

在 1897~1904 年，俄國技術學校傑出的教育家和卓越的學者 И.В. 米謝爾斯基 (Мещерский) 研究出質量變化的物體，當同時發生分子結合與分解時的運動理論，並對之作了詳細的分析。

在噴氣技術的建立與發展上，著名的科學家 К.Э. 喬可夫斯基 (Цюлковский) 佔有特殊的地位，他在 1898~1903 年間創立了噴氣飛行原理並製訂了火箭飛機的方案，在該飛機上的發動機具有現代液體噴射發動機的一切基本部件。

在 1897~1900 年間，俄國工程師 П.Д. 庫茲明斯基 (Кузьминский) 建成了並試驗了世界上第一台連續燃燒的燃氣渦輪式發動機。

1909 年，發明家安託諾維奇 (Антонович) 首先提出脈動式無壓縮機的噴氣發動機的概念、作用原理及機構系統圖，鞏固了蘇聯對此種發動機的優先地位。

在 1910~1911 年間，工程師哥羅何夫 (Горохов) 製訂了原始的壓縮機脈動式噴氣發動機的設計草案。

1909 年，俄國工程師 Н. 格拉希莫夫 (Герасимов) 發明了世界上第一台渦輪噴氣式發動機。

在 1914 年，俄國海軍中尉 М. 尼可立斯基 (Никольский) 研究出世界上第一台渦輪螺旋槳式發動機。

在 1923 年，В. И. 巴查洛夫 (Базаров) 提出了燃氣渦輪式發動機的方案，它與現代渦輪螺旋槳式發動機是極近似的。

在 1929 年，傑出的蘇聯學者、現在蘇聯科學院的通訊院士 В.С. 斯切奇金教授發表了他的著作“噴氣式發動機原理”。這是世界上噴氣式發動機的第一本理論著作。因此認為 В.С. 斯切奇金是現代噴氣式發動機理論的創始者是有根據的。

我們由馬克思—列寧理論武裝起來的學者和設計師們，充滿了蘇維埃愛國主義的精神，在黨和政府的重視下及斯大林同志的關懷下，正不斷地創造出世界上最優秀的活塞式和噴氣式發動機的典範。

目 錄

序 言

第一章 活塞式航空發動機構造的發展及其主要參數

(技術科學碩士 B.И. 菲利德曼著)	1
活塞式航空發動機的基本類型及演變	1
自動裝置	11
發動機裝置	12
活塞式航空發動機的構造	14
活塞式航空發動機的單位參數	19
設計方案与基本尺寸的選擇	22

第二章 活塞式航空發動機的工作過程和特性

(技術科學博士 M.M. 馬斯列尼科夫教授著)	26
工作過程	26
特性	43

第三章 活塞式航空發動機的運動學和動力學

曲拐-聯桿機構運動學 (技術科學碩士 <u>H.K. 斯莫利揚尼諾夫</u> 著) ...	59
正常的曲拐-聯桿機構運動學	59
曲拐-聯桿機構動力學 (技術科學碩士 <u>H.K. 斯莫利揚尼諾夫</u> 著) ...	65
作用於曲拐-聯桿機構的力	65
各種型式的航空發動機慣性力的平衡	74
活塞式航空發動機曲軸系統的扭轉振動 (技術科學博士 B.K. 伊托米爾斯基 著)	79
確定等效系統元件	80
確定自振系統的數目和型式	84
確定系統中強制振動的力矩	92
確定由於系統振動而產生的應力	93

振動所產生的應力能引起疲勞破壞時計算減震裝置與系統的變更	95
------------------------------------	----

第四章 活塞式航空發動機的部件和零件的構造

曲拐-聯桿機構 (工程師 Ю. Б. 伏爾沃維奇 著)	100
活塞	100
活塞銷	105
聯桿	106
曲軸	117
氣缸 (技術科學碩士 М. С. 拉皮波特講師 著)	125
液冷式發動機的氣缸	125
氣冷式發動機的氣缸	131
氣缸的材料與工藝規程要點	136
分氣機構	137
發動機分氣機構的構造 (技術科學碩士 М. С. 拉皮波特講師 著)	137
分氣機構的運動學及動力學 (技術科學碩士 Н. К. 斯莫利揚尼諾夫 著)	146
強度計算 (技術科學碩士 Н. К. 斯莫利揚尼諾夫 著)	160
機匣 (工程師 Я. П. 舍菲爾 著)	161
機匣的構造	161
主軸承	170
主軸瓦的固定	172
減速器 (工程師 Я. П. 舍菲爾 著)	179
減速器的構造	179
減速器的計算	197
参考文献和來源	199

第一章 活塞式航空發動機構造的 發展及其主要參數

活塞式航空發動機的基本類型及演變

按所採用的燃料種類 可以將航空發動機分成輕油發動機和重油發動機。輕油航空發動機是用汽油及含有特殊混合物（作為抗爆劑）的汽油混合劑工作，重油航空發動機是用重油——煤油，柴油等等工作。

幾乎所有的輕油航空發動機都是四行程的；二行程工作過程在個別情況下用於功率在200匹馬力以下的輔助發動機。

按燃料進入氣缸中的方法 輕油發動機又被區分為汽化器的和直接噴射燃料的發動機。在直接噴射燃料的發動機上，通常都是在吸氣行程用油泵吸入燃料，經過噴咀輸入進氣管或直接輸入發動機的氣缸內。

按冷卻方法 可以將航空發動機分成氣冷式及液冷式發動機。氣冷式航空發動機是利用吹在氣缸散熱片上的迎面氣流直接冷卻，或藉助於特殊通風器冷卻；後者稱為強制氣冷式航空發動機。液冷式航空發動機係利用在水套內循環的液體（通常為水或含有乙二醇的水）冷卻。

按氣缸的配置 可將航空發動機分成直列式（圖1）和星型二種（圖2）。

星型發動機的氣缸配置成輻射形，形成所謂“星”狀，其氣缸間的夾角相等，各氣缸在同一曲拐上工作；當星型排數多於兩排，同時前後氣缸排成一行而不交錯排列時（例如，4~6個氣缸排成一行），就形成了多缸發動機，這種發動機既可劃歸多列式一類，同時也可劃歸多排星型發動機一類。

氣缸數量為四個至七個的航空發動機用於教學和訓練。

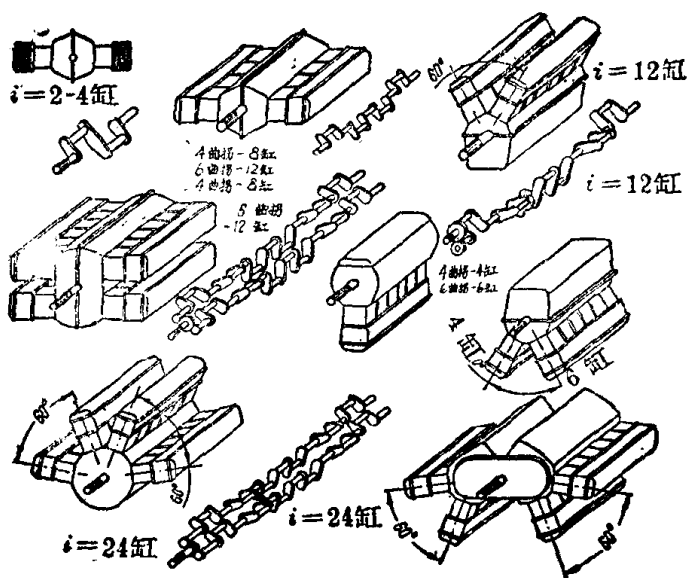


圖 1. 直列式發動機的主要類型簡圖

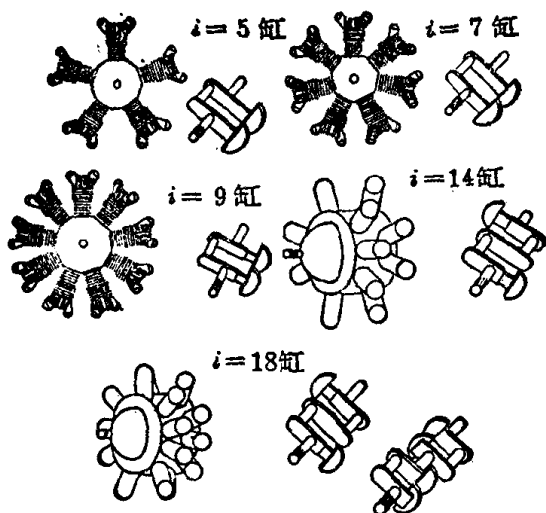


圖 2. 星型發動機的主要類型簡圖

在第二次世界大戰中，9缸至18缸氣冷式星型發動機被採用在轟炸機，殲擊機和運輸機上；12缸V型液冷式發動機（圖4）主要是用在殲擊機和攻擊機上。

多缸發動機主要是用在各種用途（軍用和民用）的重型飛機上。

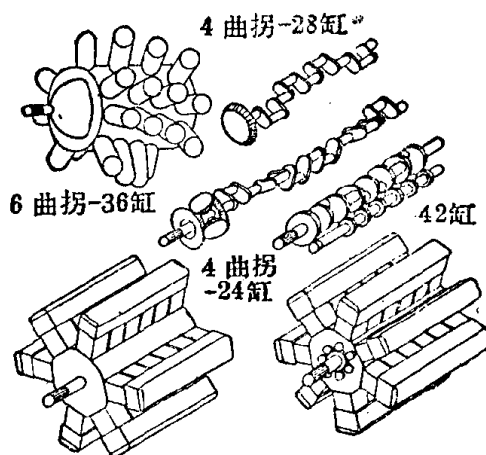


圖 3. 多缸發動機的主要類型圖

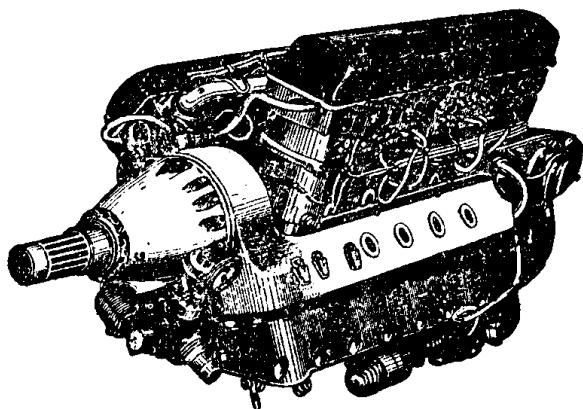


圖 4. 12缸液冷式發動機 AM-38

活塞式航空發動機的普遍型別

在第二次世界大戰中，活塞式輕油航空發動機的生產在各國都得到空前規模的發展。

在第二次世界大戰結束前，輕油四行程活塞式航空發動機是唯一的在教學、驅逐、轟炸和運輸飛行中都獲得普遍採用的發動機類型。

在第二次世界大戰最後的幾個月中，特別是在戰後時期，渦輪噴氣式發動機在殲擊機上佔據了很重要的地位；戰後也出現了渦輪螺旋槳式發動機，這種發動機除用於殲擊機以外還用在其他類型的飛機上（見第九章）。

強力的輕油活塞式航空發動機可用空氣冷卻也可用液體冷卻；小馬力的發動機只用空氣冷卻。

功 率

在1939~1945年間，有些發動機在不改變總活塞行程容積及外廓尺寸的條件下將功率增加了兩倍以上。

增加功率的方法主要是增大活塞功率（即每一平方公寸活塞面積所得的功率），活塞功率的增加大部分是由於提高活塞平均有效壓力，小部分是由於提高活塞平均速度。這種強化方法在增加功率的同時還能大大降低發動機的比重。

進一步增加功率的方法，基本上是增加氣缸的數目而將氣缸直徑保持在規定的最適合的數值範圍內（140~160公厘）。這就決定了要建造大功率的多缸發動機，例如：功率為3000~3600馬力的24缸液冷式發動機（由共用一減速器的兩個V型發動機所組成——見圖5）；功率為3500馬力的28缸氣冷式發動機等。

大多數強力發動機的壓縮比為6.5~7.2，小馬力的發動機為5~7。

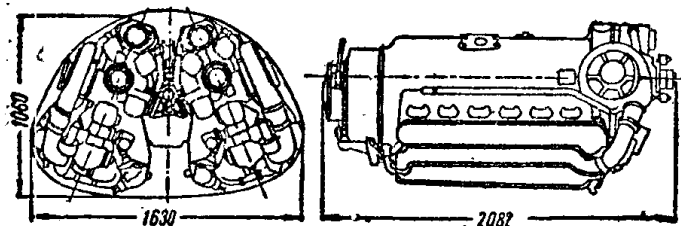


圖 5. 24 缸液冷式發動機由共用一減速器的
兩個 12 缸發動機所組成

在第二次世界大戰時出現了發動機工作特別加強的戰鬥狀態和緊急狀態，這對提高飛機的飛行戰術性能有着極大的意義。戰

斗狀態及緊急狀態比起額定工作狀態來，其不同處是進氣壓力要高（圖 6），並且功率大大的增加（增加到 60% 以上）。

最強力的緊急狀態對發動機壽命有很大的影響，所以這種工作狀態的連續工作時間不得超過 5 分鐘，當處於空戰的非常情況時，由飛行員考慮採用。

次強力的戰鬥狀態是用於大大的改善飛機在戰鬥條件下的飛行性能，其連續工作時間為 5~15 分鐘。

強力工作狀態下的增壓很高（達 2000~2200 公厘水銀柱），因此需要採取防爆的特別措施。往發動機氣缸內噴水或水-酒精的混合劑是為防止爆震所廣泛採用的有效方法。

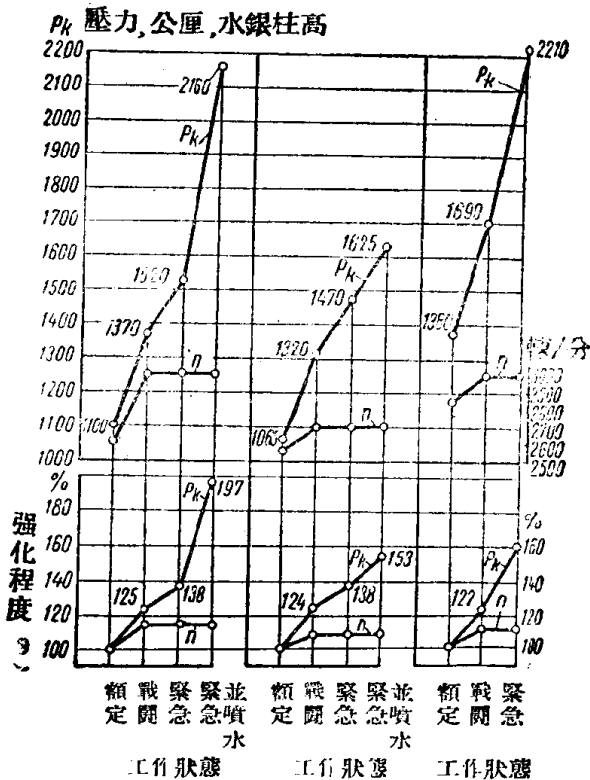


圖6. 航空發動機在最大功率狀態下的強化特性
左圖和右圖是液冷式發動機的特性綫；
中圖是氣冷式發動機的特性綫。

噴射水或水-酒精混合劑，能提高增壓壓力從而使功率大大增

加，同時並不改變燃料的抗爆性，由於燃燒時產生水蒸汽及燃燒室中熱零件（電咀，排氣門等等）因水的蒸發潛熱而急劇冷卻，所以爆震傾向降低。

當噴水並同時增加增壓壓力時，功率增加的程度接近於增壓壓力增加的程度。

用這種方法已能將功率提高到無噴水發動機額定功率的50~70%。

飛機上的噴水（或水-酒精混合劑）系統基本上由六個部分組成：水或水-酒精混合劑的水箱，液體消耗量調節器，增壓壓力補充調節器（其功用是當噴水時提高增壓壓力），電動水泵和汽化器的混合劑貧油活門。

噴水系統的工作根據水-酒精混合劑壓力表來控制，並用於油門操縱桿上的開關按鈕（電鈕）操縱。當接通電路時，水泵在系統內造成壓力，因此水或水-酒精混合劑便經過特殊噴咀而噴出，通常是噴入進氣支管內或噴在增壓葉輪上。此時，用減少燃料供給量的方法使混合劑自動貧油，並改變節氣門的位置，以保證最大的增壓壓力。圖7為噴水系統圖。

要保證在增高了的增壓壓力下工作而無爆震，也可以採用含有特殊附加物的、抗爆性高的燃料。

航空發動機的典型工作狀態見表1。

表1

第二次世界大戰中航空發動機工作狀態的種類〔4〕

工 作 狀 態	所容許的連續工作時間 (分鐘)	與額定功率之比 (%)	附 註
緊急.....	5	至—170	噴水或水-酒精混合劑。 不噴水。
緊急.....	5	至—150	
戰鬥.....	5~15	至—135	
起飛.....	5~15	至—135	
額定.....	60	100	
最大巡航.....	無限制	~75	在增高轉數下。
試驗巡航.....	同上	~67	
經濟巡航.....	"	~60	
最小燃料消耗量的狀態	"	35~45	
慢車狀態.....	"	—	
俯衝狀態.....	0.3~0.5	—	

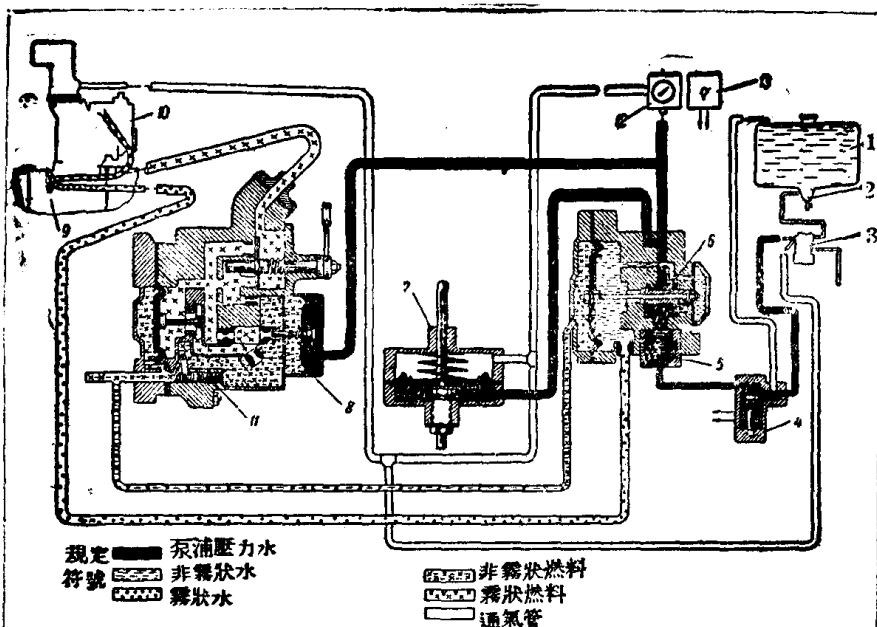


圖 7. 航空發動機噴水系統圖 1—水-酒精混合劑的水箱；2—濾-沉澱器；3—液體供應泵；4—由駕駛座輪操縱的系統接通電磁鐵開關；5—單向活門；6—水-酒精混合劑的壓力調節器；7—增壓補充調節器；8—燃料混合劑貧油活門；9—增壓器上的噴咀；10—發動機的汽化器；11—汽化器的霧化機件；12—水壓表；13—系統接通電鈕（裝在駕駛員座艙內）。

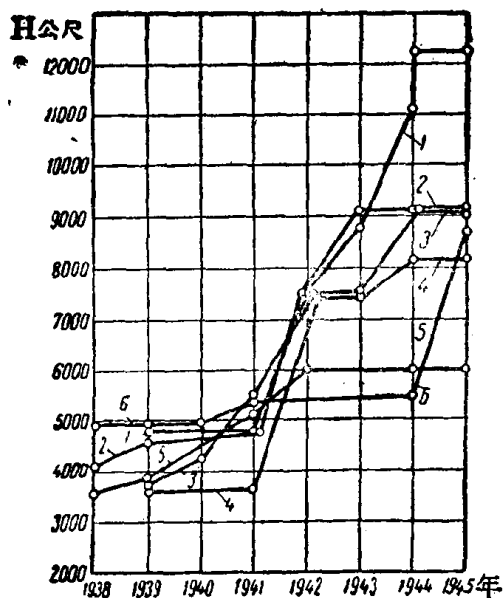


圖 8. 成批發動機逐年增加的高度：
 1和3—氣冷式發動機；
 2、4、5、6—液冷式發動機。

昇 高 度

在世界大戰中，航空發動機的昇高度有顯著的增加（圖8）。

由於增壓壓力大為增高的結果，近代航空發動機的昇高度從5000公尺起，基本上要靠兩級增壓（兩個串連的增壓器葉輪）來保證。兩個葉輪或者是位於同一軸上，或者是分別有獨立傳動機構——主級葉輪是非連結式傳動機構，而另一級葉輪是二速傳動機構。有時第一級製成附加增壓器的形式（圖9），由曲軸通過傳動機構中帶渦輪離合器的方向接頭來傳動；第二級是成批傳動離心式增壓器，位於發動機的後面。這種發動機構造的特點是輪廓尺寸大，僅適合於裝置在飛機機身內，由中接軸經過減速器將功率傳至螺旋槳，如圖10所示。

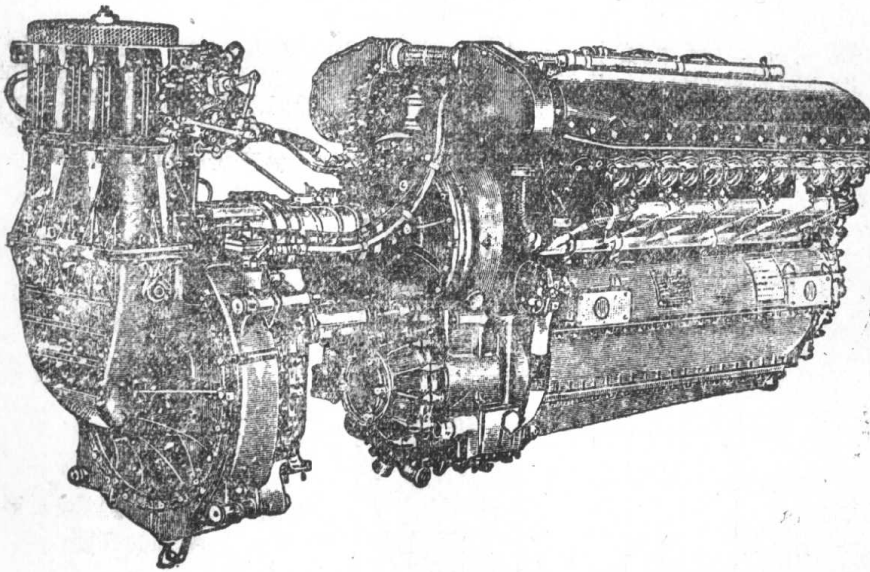


圖 9. 裝有附加的離心式增壓器的發動機

最常採用的雙級增壓器是製成這樣的：一級是渦輪壓縮機，另一級是單速傳動離心式增壓器。

功率大約為2000馬力的發動機，其渦輪壓縮機的重量是110~120公斤，管系的重量不包括在內。