

高等学校教学用书

航空活塞式发动机

第一册

M. M. 馬斯達尼科夫 著
M. C. 拉畢蒲特

高等教育出版社

高等学校教学用书



航空活塞式发动机

第一册

M. M. 馬斯蓮尼科夫 著
M. C. 拉畢蒲特
崔濟亞等譯



王裕泉

五八. 西安

高等教育出版社

本書系根据蘇聯國立國防工業出版社 (Государственное издательство оборонной промышленности) 出版的馬斯蓮尼科夫 (М. М. Масленников) 和拉畢蒲特 (М. С. Рапиорт) 合著“航空活塞式發動機”(Авиационные поршневые двигатели) 1951 年版譯出。原書經蘇聯高等教育部審定為高等航空學校教學參考書。

本書中譯本分四冊出版。第一冊內容為航空活塞式發動機簡史及輕油發動機氣缸內工作過程的理論。

參加本書翻譯工作者為北京航空學院崔濟亞、寧槐、曹傳鈞、王幼純、陳大光、鄭光華、劉方傑等同志，並由崔濟亞整理和校訂。

本書原由商務印書館出版，自 1957 年 1 月起改由本社出版。

航空 活 塞 式 發 動 機

第 一 冊

М. М. 馬斯蓮尼科夫, М. С. 拉畢蒲特著

崔濟亞等譯

高等教育出版社出版

北京琉璃廠一七〇號

(北京市書刊出版業營業許可證出字第〇五四號)

商務印書館上海廠印刷 新華書店總經售

書號 15010-416 開本 850×1168 1/32 印張 76/16 字數 185,000

一九五三年十二月商務初版(共印 4,000)

一九五七年一月新一版

一九五七年一月上海第一次印刷

印數 1—1,000

定價(10) 1.10

序 言

這一本書的使命，是給高等航空學校中發動機製造專業的學生們，介紹航空活塞式發動機的工作過程和構造。

現代強力活塞發動機，是極其複雜的機械，包括活塞發動機本身，廢氣渦輪，壓氣機及附屬裝置和機構。很明顯地，要把全部問題說明得在實用目的上夠完全，難免使書的篇幅過份增多，並使學生在有限的時間內不容易很好地瞭解。

所以著者認定任務，是寫出為懂得發動機工作主要規律、及解決設計和構造中最重要問題所必需的基本知識。在這些知識的基礎上，學生們便可以利用各工廠和科學研究機關的專門工作和資料，進一步詳細地研究個別問題，

著者寫這本書，是根據他們早先出版的“航空發動機”(1946年國防出版社)，而按照著者認定的任務將其加以修改和補充的。書中在工作過程理論方面的問題，因為現有書刊裏說明很少，所以比發動機構造方面的問題敘述得多一些。

講發動機構造各章節所包含的知識，只夠認識各部件及零件的工作情況，對於它們的要求，以及強度計算。更詳細地研習各別發動機構造，應參看工廠記載或其他資料。

為了使全書縮短，關於葉輪機械(增壓器及渦輪)方面材料的篇幅，只限於獲得這些機械基本觀念、以及說明發動機整體工作及構造的最少必需知識。

發動機動力裝置在書中不特別講解。與這相連的問題，只在講解本書主要材料時，為了說明得更完全，在各別情形中順便提到。

若干重要問題，像直昇飛機發動機的特點、發動機操縱機構的構造、點火系統等等，因為不希望書篇幅再增加，沒有能包括在內。

同樣理由使著者不得不限於最少數的例題。

這書第一第二兩篇，及第六篇第二十五章，是馬斯達尼科夫所寫，其餘章節是拉畢蒲特寫，馬斯達尼科夫總校閱。

著者曾就原稿各部份向若干專家商詢，他們提出若干寶貴意見，並經著者採用。

因此著者認為向烏克蘭蘇維埃社會主義共和國科學院院士賽能申(С. В. Серенсен)，教授金那蘇希維爾(Р. С. Кинашвили)、托爾斯托夫(А. И. Толстов)、哈伊洛夫(М. А. Хайлов)，技術科學博士西脫米爾斯基(В. К. Житомирский)，一級科學工作員伏依羅夫(А. Н. Воинов)、庫柴耶夫(С. Н. Куцаев)及黑爾柴弗尼科夫(К. В. Холщевников)等人的關懷和同志幫助表示誠摯感謝，是自己愉快的義務。

著者並對教授密爾庫莫夫(Т. М. Мелькумов)在工作中的協助，表示深深感謝。

對於教授斯庫巴卻夫斯基(Г. С. Скубачевский)和副教授郝洛寧(Д. В. Хронин)評閱這書後提出的寶貴意見，以及工程師克拉西尼科夫(Н. Т. Калашников)及柯特立爾(Я. М. Котляр)的在短期之內順利把稿件準備好付印，著者也都致以謝意。

馬斯達尼科夫
拉畢蒲特

1951年11月，莫斯科。

第一冊目錄

序言

航空活塞式發動機簡史	1
------------------	---

第一篇 輕油發動機氣缸內工作過程的理論	34
---------------------------	----

第一章 理想循環	34
----------------	----

第一節 小引	34
--------------	----

第二節 定比熱理想循環	35
-------------------	----

1. 循環進行情形。循環效率及得出的功	35
---------------------------	----

2. 循環熱效率及功依據各主要因素的關係	38
----------------------------	----

第三節 變比熱理想循環	41
-------------------	----

1. 循環的工質	41
----------------	----

2. 變比熱循環的進行	46
-------------------	----

3. 循環熱效率及功依據各主要因素的關係	56
----------------------------	----

第四節 變比熱加分解理想循環	63
----------------------	----

第二章 發動機氣缸內工作過程	67
----------------------	----

第一節 工作過程的一般敘述。示功圖	67
-------------------------	----

第二節 充填	72
--------------	----

第三節 壓縮	77
--------------	----

第四節 燃燒	78
--------------	----

1. 燃燒過程正常進行情形	78
---------------------	----

2. 火焰傳播速度	90
-----------------	----

3. 點火提前	95
---------------	----

4. 爆震	98
-------------	----

第五節 膨脹	107
--------------	-----

第六節 排氣	108
--------------	-----

第三章 發動機實際循環。指示效率及指示耗油率	114
------------------------------	-----

第一節 小引	114
--------------	-----

第二節 指示效率依據發動機主要工作情況的關係	116
------------------------------	-----

1. 初步理由	116
2. 採用燃料種類的影響	117
3. 壓縮比的影響	118
4. 點火提前的影響	119
5. 混氣比的影響	119
6. 進氣壓力及排氣壓力的影響	124
7. 進氣溫度及濕度的影響	125
8. 轉速的影響	126
9. 氣缸構造及尺寸的影響	127
第三節 理論循環及理論指示效率	127
第四節 求定指示效率	132
第五節 指示耗油率	134
第四章 指示功率及平均指示壓力	136
第一節 概言	136
第二節 指示功率公式及平均指示壓力公式	136
1. 指示功率的能量公式	136
2. 平均指示壓力	138
3. 指示功率與平均指示壓力間的關係	139
4. 經由指示效率表示平均指示壓力	141
第三節 充填係數	141
1. 充填係數與充填過程進行情況間的關係	141
2. 充填係數依據發動機工作情況的關係	147
3. 求定充填係數的值	165
第四節 指示功率和平均指示壓力與發動機主要工作情況的關係	167
1. 採用燃料種類的影響	168
2. 指示效率及充填係數的影響	168
3. 混氣比的影響	169
4. 進氣壓力及排氣壓力的影響	172
5. 進氣溫度及濕度的影響	173
6. 轉速的影響	175
第五節 用噴水加大增壓來加強發動機	176
第五章 求定實際循環中氣體壓力及溫度。氣缸組零件及活 塞的熱狀況	183
第一節 實際循環計算	183

第二節 求定實際循環溫度	186
第三節 氣缸組零件及活塞的熱狀況	190
1. 理論基礎	190
2. 實驗數據	196
3. 發動機工作情況的影響	202
第六章 摩擦功率	215
第一節 小引	215
第二節 摩擦功率依據發動機主要工作情況的關係	217
1. 轉速的影響	217
2. 壓縮比的影響	218
3. 進氣壓力的影響	219
4. 進氣溫度及排氣壓力的影響	219
5. 滑油溫度的影響	220
6. 冷卻水溫的影響	221
第三節 求定摩擦功率	222

譯名對照表

航空活塞式發動機簡史

我們大家都知道，在俄國歷史中曾有一些俄羅斯發明家和學者們，屢次試圖用各種不同器械來完成飛行。傳說保存至今的彼得以前和彼得時期的記載及文件，偉大的羅蒙諾索夫(Ломоносов)的天才創作，及後來很多俄羅斯學者和發明家兼實踐家們的工作，都表明俄國人民早期征服空間的意志，以及俄國從誕生時起，我們國家航空發展事業中的先進地位。但是現代航空史是僅僅從十九世紀的八十年代才開始的，這時在自然科學方面的發現和航空學的成果，以及尤其主要的建立在技術普遍發展基礎上的各種熱機的改進，創造了使飛機——也就是用機械推進的比空氣重的飛行器械——成為事實的現實條件。

創造世界上第一架飛機的光榮，是屬於俄國海軍軍官莫沙依斯基(Александр Федорович Можайский)(1825—1890)，他從上世紀六十年代初起首就研究飛行問題。莫沙依斯基解決這問題，起先是研究鳥的飛行、飛翔及風箏，隨後試驗了一些飛機模型，最後設計並製造了世界上第一架飛機(1882)。

莫沙依斯基怎樣解決產生他的器械推進力的問題，是很有意思的。他試驗風箏起初利用風力，但是因為完全受大氣條件支配，所以在後來試驗時不得不改用馬拖。這發明家製作飛行機的模型時，發現了與地面不生關係的推力來源，他選用了強力時鐘彈簧來轉動空氣螺旋槳。隨後因為彈簧不大可靠，他的機構改用了橡皮繩、以及甚至小蒸汽機。

在着手創造像現在的“飛行機”——也就是飛機(圖1)——時，莫沙依斯基在選擇發動機來轉動螺旋槳上遭到特別困難——那時已有的內燃

- 機極其笨重[朗琴及奧圖(Ланген и Отто)燃氣機,發 8 馬力,重 1,600 多公斤]。所以莫沙依斯基只好選擇當時構造比較完善的蒸汽機。可是蒸汽機重量也很可觀,因而莫沙依斯基自己從事設計適合他所提要求的發動機(圖 2)。1880 年他訂製了自己所設計的兩台複式雙缸蒸汽機。第一台發 20 馬力,每分鐘 300 轉,重 47.6 公斤(鍋爐及冷凝器在外);第二台氣缸尺寸較小,發 10 馬力,每分鐘 450 轉,重 28.5 公斤。兩機共用鍋爐重 64.5 公斤。因此每馬力合全部裝備重(所謂發動機的比重)4.7 公斤/馬力。利用煤油作為燃料。

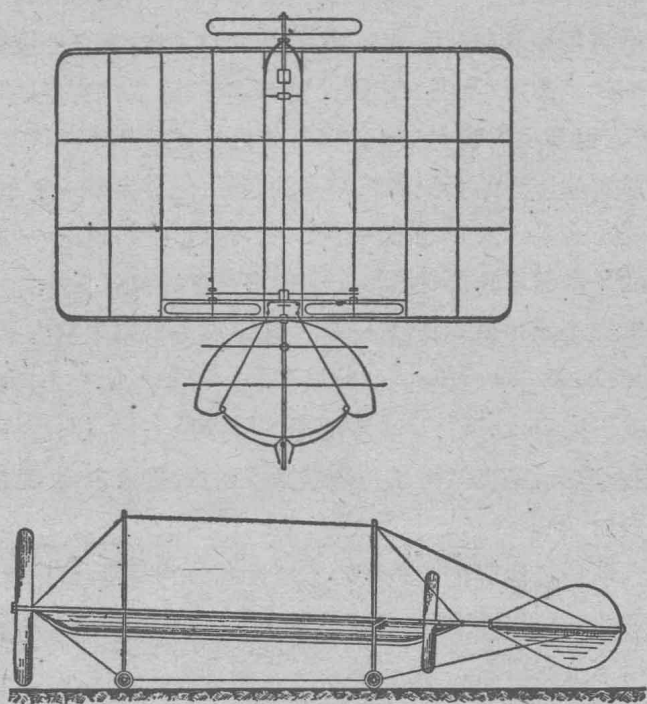


圖 1. 莫沙依斯基飛機圖

馬力較大的蒸汽機供轉動兩隻後螺槳用,馬力較小的一台轉動前曳螺槳(見圖 1)。

莫沙依斯基的工作,幾乎完全沒有得到沙皇政府的任何支持,可是

飛機的設計卻引起前進工程界的注意(例如俄國技術協會第七航空支部),這就便利了飛機的製作和試驗的進行。結果,1882年8月1日在彼得堡附近紅村戰場上各界公眾集會的面前,世界上第一次用熱機推動的比空氣重的器械飛昇空中。

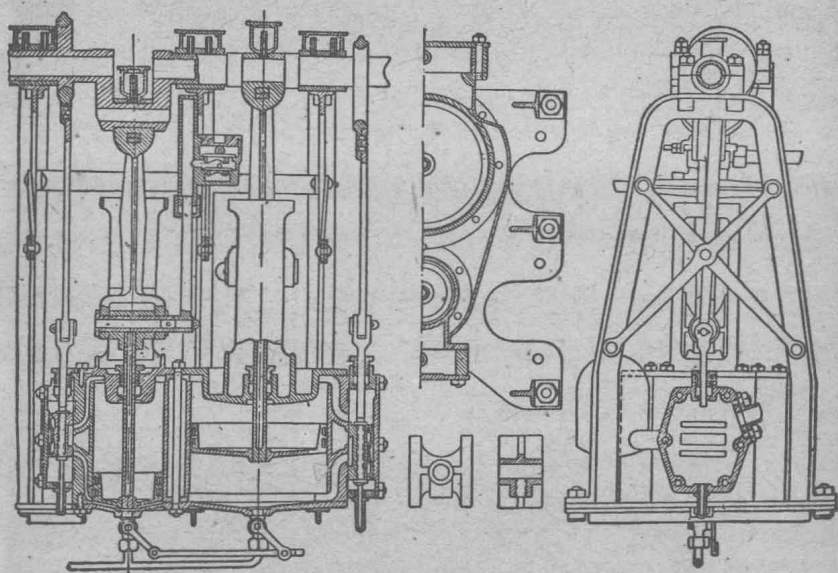


圖 2. 莫沙依斯基蒸汽機構造圖

已得的成功,沒有使莫沙依斯基停頓;他馬上從事進一步改善飛機,尤其注意創造更有力和更完善的發動機。但是由於沙皇政府機關方面不給資金和幫助,工作很快地停頓了。

還是在莫沙依斯基後些年,一些外國的發明家們,才開始研究創造用蒸汽機推動比空氣重的飛行器械的問題。可是這些發明家們擁有的實驗和理論資料,科學價值都不及莫沙依斯基飛行器械所根據的材料。所以,儘管官廳機關給予廣泛物質支持,外國製作蒸汽機推動的飛行器械的人們的成績,是非常有限的。

應該指出,採用蒸汽機做飛機的動力裝備,到 1890 年代中一般

已經不合適了；這時出現了一種輕巧經濟得多的用輕油工作的發動機，叫做內燃機。

這種發動機的發明和改善，主要和汽車製造業的快速發展相連。但是就連汽車發動機較好的類型，也完全滿足不了飛機構造家們：怎樣着實改進構造，主要是增大功率、大量減低比重、而仍然能夠在飛機上安裝，便成為必需。

發明家們在十九世紀末便研究出專門適合在飛行器械上裝置的若干內燃機設計。這裏該提到機械師雅哥德潤斯基(Ягодзинский)的四缸發動機設計，及科斯脫維奇(О. С. Костович)設計和製成在當時是強有力的並且在構造上獨出心裁的發動機(圖3)。科斯脫維奇發動機具有水平排成相對兩列的八個水冷氣缸。這發動機發 80 馬力，並且曾是低比重的紀錄——3 公斤/馬力。

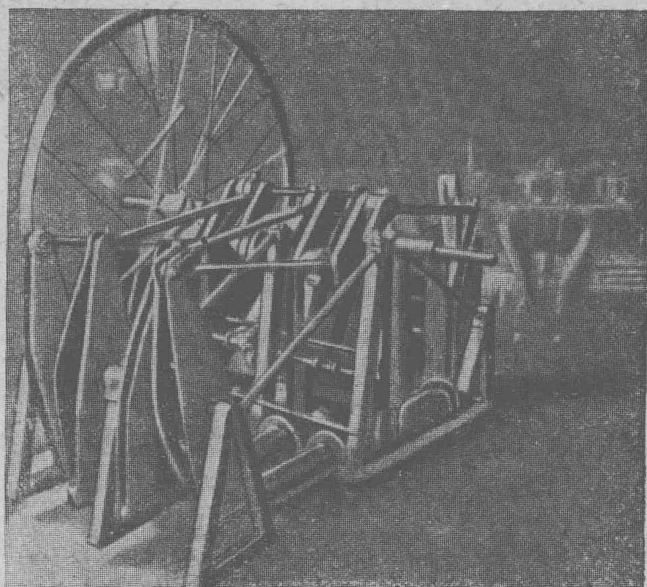


圖 3. 科斯脫維奇構造的內燃機

可是儘管如此，跟多少其他人們一樣，俄國發明家們經常碰着沙皇官吏和大資本家們的冷淡以及甚至敵視，他們不相信任何俄國的發明家，拜倒在外國技術之前，並且往往和外國資本勾結。

在這俄國航空技術先鋒們設法實現自己發明的期間，也是航空科學的發生期。火箭飛行理論的創造家兼飛船新式樣發明家咸爾科夫斯基(К. Э. Циолковский)，最著名的俄羅斯學者——實驗及理論空氣動力學創始人茹科夫斯基(Н. Е. Жуковский)及其他人等，在與創造良好平衡操縱的飛機相連的飛行理論上，解決了若干最重要問題。在這種新科學知識的基礎上，別國的發明家和構造家們才能夠創造出夠完善的飛行器械。

既得的成績，引起軍界對航空的注意，這幫助了航空工業和技術的快速發展。1909 到 1912 年期間飛機和發動機認真改進結果，使續航紀錄的從 4 增到 13 小時，而最大飛行速度自 80 增到 170 公里/時。

便在這航空發展的起始時期，多少俄國的飛行事業熱心者，已經得到傑出成績。1910 年四月全俄航空社舉辦“航空週”時，俄國和外國飛行員們都參加了，這一次俄國飛行員獲得很多優勝，單飛行員勃勃夫(Н. Е. Попов)一人就得了三項錦標。

俄國前進人士對於航空的興趣，表現在若干航空社團組織的創始。1904 年茹科夫斯基組織了直屬自然科學愛好者協會的“航空委員會”。彼得堡全俄航空社也廣泛開展活動。1908 年敖得薩開設了航空社；1909 年組織起莫斯科航空協會；多少城市裏建立起航空小組。基輔工藝學院裏組織起一個力量很強的構造家和飛行員們的工作組。

莫斯科高等技術學校茹科夫斯基教授領導的小組，佔有特別重要的地位，小組成員包括飛行員兼試驗家諾新斯基(Б. И. Россинский)，圖普列夫(А. Н. Туполев)，猶里也夫(Б. Н. Юрьев)，薩彼寧(Г. Х. Сабинин)等。後來蘇維埃政權時，便是在這一個小組的基礎上，組織了舉

世知名的中央空氣動力學院。

儘管缺少足夠的物質基礎和沙皇政府方面的支持，能幹堅決的飛機發明家兼構造家們：彼林金(Былинкин)、格里哥諾維奇(Григорович)、蓋克爾(Гаккель)、普諾荷弗契科夫(Пороховищikov)、斯萊沙列夫(Слесарев)等，甚至便在手工生產條件之下，仍然能夠造出很完善的飛機，其中很多都比同類的外國類型好。

在手工生產條件下，航空發動機的製造不可能，因為生產發動機在技術上比生產飛機複雜得多。這情況使俄國發動機製造發展困難。可是某些熱心家兼發明家們，像武芬則夫(Уфимцев)、列士捷洛夫(Нестеров)、格里索多博夫(Гризодубов)等人，都成功地戰勝重重困難，在前進人士幫助之下，達成按自己的設計製作發動機。

這時期中(1904—1914年)，不論在俄國或外國製作航空發動機，往往是些不適合這一目的的工廠，按照各構造家或發明家們的設計，而且缺少足夠經驗，因此構造的形式種類繁多。由於實際試驗結果，漸漸地選出了發動機及各部件零件構造最合適的式樣。

第一種航空發動機類型，是比照氣缸是水冷的汽車發動機製作的。但是用空氣吹冷氣缸的合理性，使氣冷氣缸發動機很快出現，並且迅速發展。

下列式樣的水冷發動機都製造出來：四缸及六缸垂直單列式，雙缸及四缸對列式，以及主要是八缸的V型(圖4)。氣冷發動機種類也很多：兩缸對列式(圖5)，三缸(圖6)，五缸或七缸扇型，和五缸或七缸以及甚至八缸星型。這以外，氣冷轉缸式發動機，即氣缸旋轉曲軸固定的發動機，也得到很大推廣。這類發動機的出現，是由企圖改善氣冷氣缸吹風而引起的，因為以飛機當時的低飛行速度(40—60公里/時)，還不足以用迎面空氣氣流可靠地冷卻氣缸。

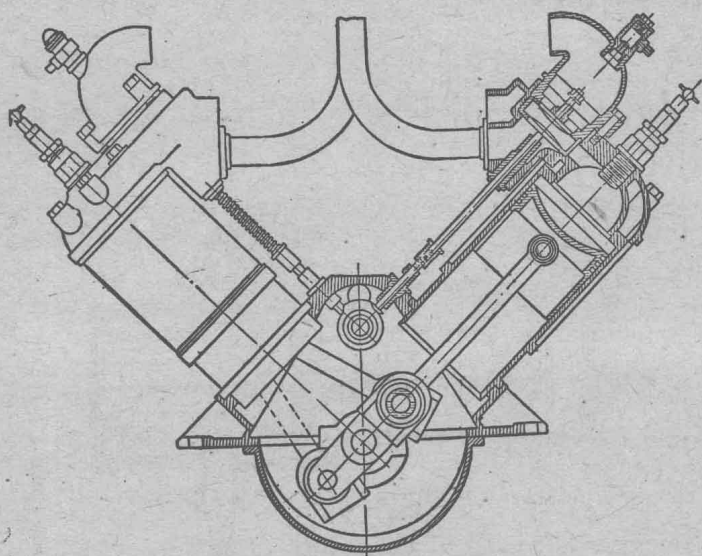


圖 4. 八缸 V 型發動機(1905 年)

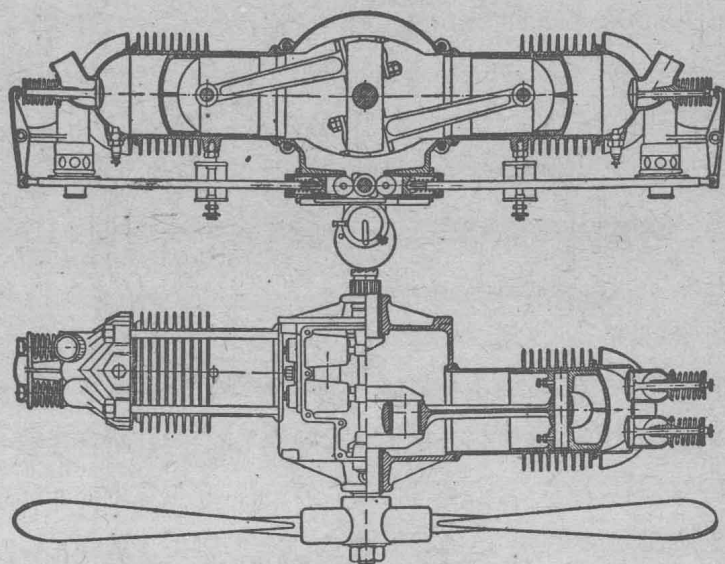


圖 5. 雙缸氣缸對列式發動機(1909 年)

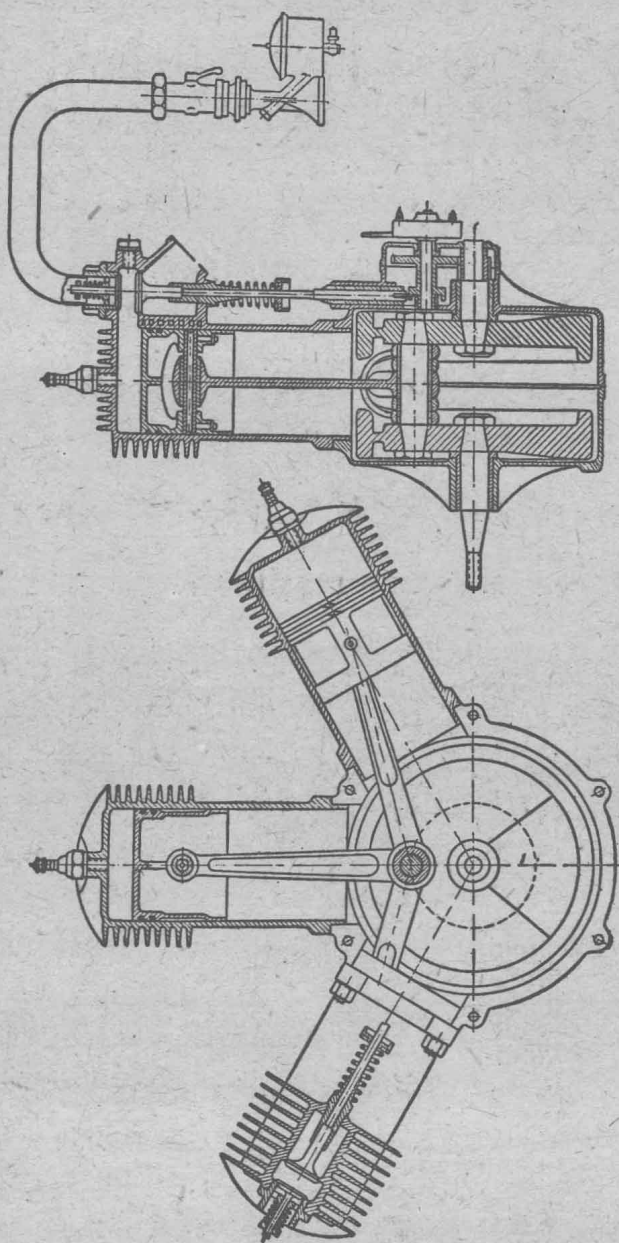


圖 6. 三缸扇型氣冷發動機

1910 年時航空發動機的發展情況，見表 1。

表 1. 按照 1910 年情況的航空發動機主要數據

[依據巴爾金(С. Балдин)教授的資料]

發 動 機 數 據	發 動 機		備 註
	氣 球 用	飛 機 用	
功率,馬力	100	25—50	1910 年飛機開始採用 100 馬力發動機
比重,公斤/馬力	2.8—5.0	2.0—4.0	轉缸式發動機比重 ~1.5 公斤/馬力
氣缸直徑,毫米	85—180	85—120	個別發動機中氣缸直徑及活塞衝程有大得多的(到 200 毫米)
活塞衝程,毫米	100—180	95—140	
轉速,轉/分	800—1,200	1100—1,800	
平均活塞速度,米/秒	4.9—6.4		
平均指示壓力,公斤/方厘米	5.7—8.5		
平均有效壓力,公斤/方厘米	4.3—6.5		
有效耗油率,公斤/馬力時	0.25—0.35		
保證工作延續時間,小時	10—15	4—5	

可是發動機在構造和施工上還很不完善;曲軸箱、活塞、以及有時氣缸還用鑄鐵製造,曲柄機構主要零件還採用合金成份很少的鋼,往往還裝自動(即沒有強制傳動的)氣門等等。在當時的一些前進趨勢之中,應該指出的是:某些構造已經採用以機械操縱氣門運動的配氣機構(這機構改善氣缸內換氣過程),開始利用鋁合金和鎳鉻合金鋼等。

到 1914 年時,航空發動機的製造已經達到相當的發展,比較好的航空發動機的性能,已經大大地超過原來是它們發展基礎的汽車發動機。

俄國的發明家和構造家們,在航空發動機發展第一階段中的發動機改進上佔有突出的地位。1909 年武芬則夫製出雙旋轉式(也就是氣缸與曲軸反向旋轉的)星型發動機(第 7 圖)。這發動機是設計了以 1,200 轉/分發出 90 馬力的;獨出心裁的構造,特別是機匣的省略,使發動機的重量比較小。

1913 年構造家盧茲克伊(Б. Луцкий)創造了氣缸垂直排列的水冷