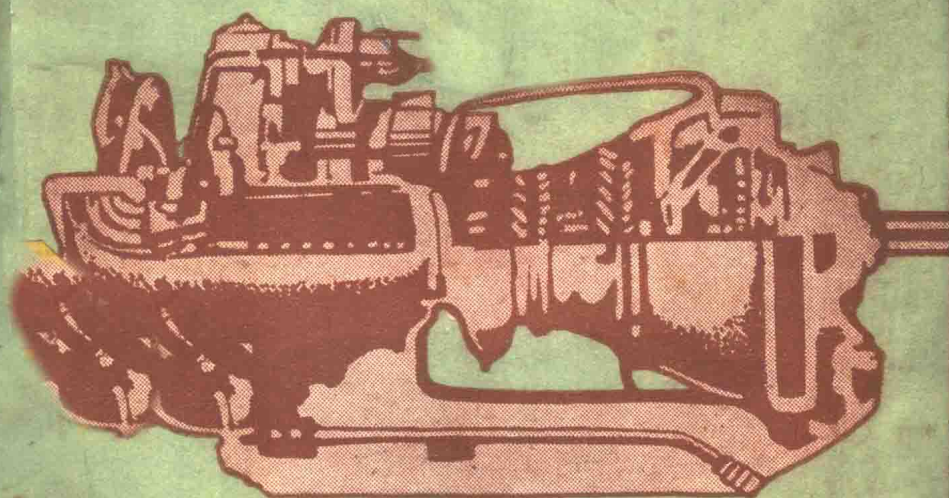


小功率燃气轮机

(30—300 馬力)



小功率燃气轮机

(30—300馬力)

原著：〔法〕H. 兰諾

俄譯：P. И. 圖馬諾夫

中譯：苏秉彝、葛賢康、主述之



机械工业出版社

1959

出版者的話

原書系法國亨利·蘭諾所著，中譯本是根據俄文節譯本譯出的，所刪去的部分都是宜于刪去的内容，所以中譯本也未增補。

本書簡要地敘述了國外一系列小功率燃氣輪機的構造，报导了有關燃氣輪機在運輸的、固定的輔助電力裝置方面的應用。詳細地闡述了燃氣輪機作為試驗性重型載重汽車的主要發動機的使用經驗，及其應用於航空、工業、海船和鐵路運輸方面的有關問題。

本書供對小功率燃氣輪機的構造和應用問題有興趣的廣大工程技術人員參閱。

蘇聯 Р. И. Туманов 譯 'Газовые турбины малой мощности' (30~300 л. с.) (Машгиз 1953 年第一版)

*

*

*

NO. 3092

1959 年 11 月 第一版 1959 年 11 月 第一版 第一次印刷

787×1092 $1/32$ 字數 42 千字 印張 $2\frac{1}{16}$ 0,001—1,550 冊

機械工業出版社(北京阜成門外百萬莊)出版

機械工業出版社印刷廠印刷 新華書店發行

北京市書刊出版業營業許可証出字第 008 號 定價(11) 0.34 元

俄文譯者序

由于燃气輪机在航空部門中占着主要地位，而且它正为各种不同的工业和运输部門所迅速采用，因此近年来国内外出现了許多論述燃气輪机装置的書籍。在我所翻譯的这本亨利·兰諾的作品中，介紹了在国外小功率燃气輪机用作独立的运输动力装置以及輔助的和备用的发动机的情况。在翻譯本書时曾作了很大的删节，删去了一大部分有关燃气輪机發展史的章节。有关燃气輪机的理論和热力計算部分也完全删掉。其余叙述具体的燃气輪机以及燃气輪机在不同經濟部門中的使用特点的章节則都譯了出来。

目 次

俄文譯者序	3
引言	5
現代燃气輪机	7
各种小功率燃气輪机簡述	10
圖尔博苗克(Турбомек)公司的燃气輪机	10
[奧里頓](Оредон)燃气輪机	11
[阿尔圖斯特](Артуст)燃气輪机	14
汽車燃气輪机	15
[波茵502](Боинг502)燃气輪机	18
[盖馬圖尔博](Гематурбо)燃气輪机	25
[艾利蕭尔奇](Эйрисерч)燃气輪机	33
[罗維尔](Ровер) 燃气輪机	33
[索里雅尔](Соляр) 燃气輪机	36
拖动飞机上輔助設備用的[艾利蕭尔奇]燃气輪机	37
用在活塞式航空發动机上的[圖尔博-柯姆巴溫德] (Турбо-компаунд)燃气輪机	39
小功率燃气輪机的应用	41
汽車运输	41
航空	48
艦艇	53
工业設備	54
铁路运输	55
波茵(Боинг)公司关于[坎瓦尔特](Кенворт)自动牽引車 一年半使用經驗的报告	56
小功率燃气輪机的起动	63

引 言

自从 1860 年兰諾發明第一台煤气發动机 (轉速为 100 轉/分) 以及达姆列尔、福列斯特、狄翁等第一批四冲程柴油發动机 (轉速由 700 轉/分到 1400 轉/分) 相繼出現之后, 汽車發动机的轉速一直是在不断地提高着 (見表 1)。

表 1 汽車發动机轉速提高的情况

制造年代	發 动 机 型 式	每分鐘轉速
1860	兰諾煤气發动机	100
1887	达姆列尔發动机 (四冲程等容循环)	700
1891	达姆列尔 (彼若) 双缸發动机	1550
1894	狄翁-菩頓四冲程發动机 (0.5 馬力), 依靠帶断电器的綫圈点火	1400
	气門位置不同的四缸, 六缸和八缸四冲程發动机:	
1914	側置式	2000~3000
1930	側置式和頂置式	3500~4000
1950	頂置式	4500~6000
1952	賽跑汽車用的頂置气門式四冲程單缸和双缸發动机	7000~12000
1952	裝置在 [英国賽跑汽車公司] (Бритиш рэйсинг мотокар), 賽跑汽車上的增压發动机 (16 缸, 四个綫圈, 四个化油器)	12000
1952	[坎瓦尔特] (Кенворт) 載重汽車上的 [波茵-502] (Боинг-502) 燃气輪机①	35000
1953	[格列古阿尔] (Грегюар) 試驗性汽車上的 (100 馬力) [蓋馬各尔博] (Гематурбо) 燃气輪机①	45000

① 高压渦輪。

現代化成批生产的汽車發动机, 一般都具有 4500~5000 轉/分或更高的轉速, 而賽跑汽車上用的增压發动机, 其轉速

則達到 7000~11000 轉/分。目前裝在[英國賽跑汽車公司]賽跑汽車上的十六缸增壓發動機，其最高轉速為 12000 轉/分(相當於大型航空燃氣渦輪發動機的工作情況)。

在現代高速活塞式發動機中，構成工作循環的過程是非常短促的。以裝置在 A. M. C. 摩托車上的頂置氣門式四沖程單缸發動機為例，它可以在 5500~6000 轉/分(最高為 7000 轉/分)下工作，當轉速為 6000 轉/分時，活塞完成一個沖程只須 $\frac{1}{200}$ 秒的時間。

在 $\frac{1}{50}$ 秒的時間內(曲柄旋轉兩圈，完成一個四沖程工作循環)必須完成吸入可燃混合氣、壓縮、點燃、膨脹和排氣。

在 12000 轉/分轉速下工作的賽跑汽車發動機中，氣門在一秒鐘之內要開關 100 次。上述數字說明，現代高速小功率活塞式發動機的轉速已與燃氣輪機相接近。因此燃氣輪機可作為小功率發動機來使用。燃氣輪機中沒有曲柄-連杆機構，也沒有複雜的點火系統和閥門；在裝置燃氣輪機時不會發生冷卻方面和燃料選擇方面的困難。

燃氣輪機的轉數隨功率的降低而提高。對於大功率的燃氣輪機來說，轉數變化在 9000 到 13000 轉/分之間；對於功率為 150~250 馬力的小型燃氣輪機來說，轉數高到每分鐘 35000 轉。功率較小的燃氣輪機具有 45000 甚至 100000 轉/分的轉數。在燃氣輪機中不會發生[自燃]問題，因為燃燒過程是連續進行的。

燃氣輪機的缺點，是工作時發出嘯聲，和燃料消耗率較高。但前一個缺點現在已基本消除，而燃料消耗率，則由於材料品質的不斷改善(輪機入口處的燃氣工作溫度可以提高

因而提高了热效率),也正在逐日降低。其它各种提高效率(即降低燃料消耗率)的方法亦正在研究中。燃气輪机正在日臻完善。燃气輪机汽車的創制,是具有现实性的。新型的工业、国防和船舶用的燃气輪机装置正在不断出現。不用几年,将会創制出装有这种精良的燃气輪机的執行摩托車、載重汽車、輕便汽車、旅行飞机、直升飞机、摩托快艇,甚至还可能造出摩托車和滑艇。

現代燃气輪机

燃气輪机的發展史是相当長的,因此人們不禁要問:既然許多專家早在本世紀初叶就指出了創制燃气輪机的可能性,为什么燃气輪机只是在最近 15 年来才开始实际应用呢?

圖尔博苗克(Турбомек)公司總經理 M. 席德罗夫斯克对这个問題作了如下的解釋:「我們只要認識一下二十五年以前燃气輪机的發展情况就已經足够了。那时候單級离心或压气机的压縮比不超过 2,而效率只有 65% 左右。多級压气机的效率則更低。燃气輪机的效率約为 72%;而軸流式压气机当时尚未出現。那时候所采用的材料的品質,不允許渦輪前的溫度高于 550° 」(現在有些装置的工作溫度在 850° 以上)。

在这种情况下,燃气輪机即使具有最完善的燃燒室,其有效效率也不过 3% 左右,燃料消耗率則超过 2000 克/馬力小时[●]。

● 原文为 2 公斤/馬力小时,为了与燃料消耗率的常用單位統一起見,改譯如上;以下同。——中譯者

并且，由于沒有能在高轉速下長期工作的軸承和齒輪傳動機構，因此也增加了燃氣輪機製造上的困難。

所以過去是不適于應用燃氣輪機的。

燃氣輪機發展的近況又是怎樣呢？

由于進行了大量的研究工作，改進了離心式壓氣機的性能：提高了它的壓縮比和經濟性。

對氣流中所發生的現象進行了理論和實驗的研究之後，可使渦輪的效率有超過 90% 的可能。空氣消耗量大、壓縮比達到 6（單軸結構）的軸流式壓氣機，其效率已在 85~90% 之間。帶單級離心式壓氣機（壓縮比為 4.5，效率為 82%）和燃氣輪機（效率為 87%，燃氣進口溫度為 800°）的現代燃氣輪機裝置，其有效效率為 19%，燃料消耗率為 333 克/馬力小時。

如果將這種裝置中的離心式壓氣機換成軸流式（效率為 87%），則燃氣輪機的有效效率將增至 21%，此時燃料消耗率為 300 克/馬力小時。

現在已經有了可以使渦輪入口處的溫度達到 800° 的耐熱鋼，而從冶金實驗室中已獲得的成就來看，預料在不久的將來，就有可能將入口處的溫度提高到 900°。

根據席德羅夫斯基的計算，在上述的效率下，當渦輪入口處的燃氣溫度為 875° 時，[未來的燃氣輪機] 的有效效率可以達到 26%，而燃料消耗率則為 243 克/馬力小時（表 2）。

在相同情況下（但是對大功率而言），應用軸流式壓氣機，效率可以達到 28%，燃料消耗率為 225 克/馬力小時。

毫無疑問，在不久的將來一定能夠創制出具有表 2 中所列參數的燃氣輪機。

美國把很大的希望寄托在鈦上，因為它不僅耐熱、質輕

表2 有同热器和无同热器的燃气轮机的性能数据

压缩比	燃气轮机入口处的燃气温度(°C)	压气机效率	轮机效率	无同热器的轮机的效率	无同热器的轮机的燃料消耗率(克/马力小时)	有同热器的轮机的效率	有同热器的轮机的燃料消耗率(克/马力小时)
4.5	800	0.82	0.87	0.18	350	0.31	204
4.5	800	0.87	0.87	0.20	315	0.37	171
6	875	0.84	0.90	0.25	252	0.39	162
6	875	0.89	0.90	0.27	234	0.42	150

表3 钛、钢和铝的特性比较

指 标	钛	不锈钢	铝
每1米 ² (厚25毫米)的重量(公斤)	11.250	19.750	7
密度(克/厘米 ³)	4.5	7.9	2.8
熔点(°C)	1770	1530	660
相对强度	1	0.5	0.16

表4 制造燃气轮机轮盘用的奥氏体和

纯铁体合金的成分

合金元素	奥氏体合金	纯铁体合金A	纯铁体合金B (不锈的)
钴	10	—	—
铬	13	1.5	10~13
锰	0.5~1	—	—
钼	2	0.6	0.6~0.9
镍	13	0.3	—
铜	2.5~3.7	—	0.3~0.6
硅	0.7~1.3	—	—
钨	3	—	—
钒	—	0.4	0.1~0.2

注: [伊斯巴諾-修伊茲] (Испано-Сюз)公司为了节约稀有金属, 用纯铁体钢制造轮机轮盘的内部, 而承受高温作用的外层则采用奥氏体钢制成。

(其比重約为不銹鋼重量的0.57),而且具有良好的抗蝕性●,其熔点为 1727° (表3)。

目前正在采用着含少量鉄素的以鈷、鎳、鉻、鈦、鉬等元素为基的特种耐热合金 (表4)。

在另一方面,美国的索里雅尔(Соляр)公司拟制了一种在高温下工作的不銹鋼零件上塗盖陶瓷防护層的工艺过程。

圖1所示是一种可以冷却輪盘和叶根的结构。圖上可以看到冷却通道2,从压气机来的空气經過这些通道通过。这种结构降低了輪盘和工作叶片的金屬的温度。

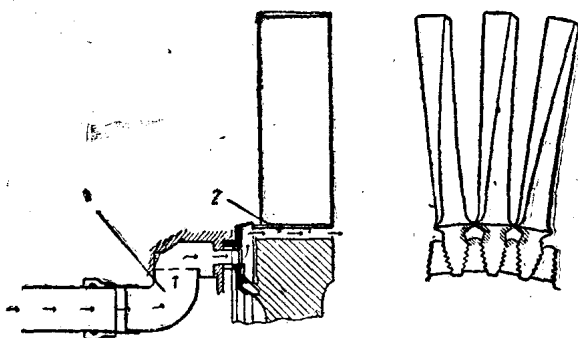


圖1 燃气輪机輪盘和叶根的冷却結構簡圖 (伊斯巴諾-修伊茲公司):

1—空气入口; 2—冷却通道。

各种小功率燃气輪机簡述

圖尔博苗克 (Турбомек) 公司的燃气輪机

由于圖尔博苗克公司工作的結果,使法国在制造小功率

- 鈦基合金的比重 $\gamma \approx 4.5 \text{ 克/厘米}^3$, 可用以制造温度在 $t \approx 400 \sim 450^{\circ}$ 下工作的叶片和压气机輪盘。看来,作者所指的是表面渗鈷、渗鉬或渗鎢的碳化鈦基合金。——原譯者

燃气輪机方面并不落后于其它国家。这家公司除了制造小型的渦輪噴气式發动机之外，同时也制造几种小功率燃气輪机。

美国康契年塔耳（Континенталь）公司获得了制造这家公司的燃气輪机的特許証。

[奥廖頓](Оредон)燃气輪机

1948 年开始制造[奥廖頓] 燃气輪机，以后又在它的基础上制成了[皮苗納](Пимена)渦輪噴气式發动机。这种燃气輪机是用来带动装在运输飞机上的交流發电机。在 7000 米高空时燃气輪机的功率为 60 馬力，在海平面上时为 100 馬力。

1949 年 4 月 6 日，燃气輪机按照特定的規程进行了第一次正式連續运转試驗。試驗时功率为 110 馬力，試驗的持續時間是 115 小时。1949 年 10 月 11 日，进行了第二次連續运转試驗，試驗时功率为 140 馬力，持續時間是 150 小时。1950 年 1 月 6 日，进行了第三次同样的試驗，功率为 160 馬力。这次連續运转 24 小时的試驗，表明了燃气輪机工作的稳定。

这类燃气輪机当其輸出軸轉速为 6000 轉/分时与[阿耳斯托姆](Альстом)發电机（400 赫芝）一起工作，当輸出軸轉速为 12000 轉/分时与[薩菲](Сафи)發电机（也是 400 赫芝）一起工作。

由于这类燃气輪机輕巧，因此可以用来驅动运输飞机上的空气調节系統中的压气机和供其它方面使用。

[奥廖頓]燃气輪机（图 2）的特性 这种燃气輪机装置

带有离心式压气机、环状燃烧室（通过轉盘喷射燃料）、和两个渦輪（燃气發生器渦輪和功率渦輪）以及經常嚙合的減速器。

压气机是單級的，壓縮比为 3.3，空气消耗量为 1.25 公斤/秒。

燃燒室是环形的，燃料通过轉盘喷射。

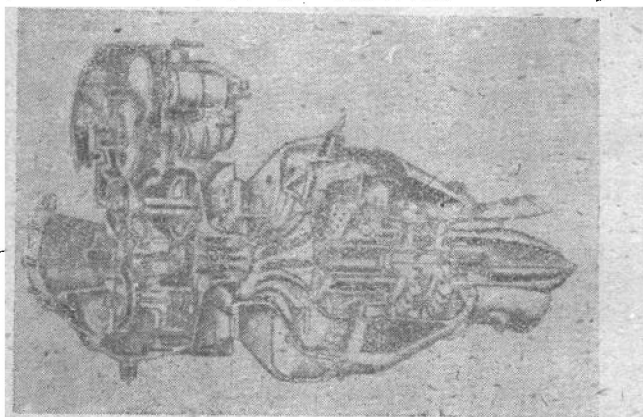


圖 2 [奧廖頓] 燃气輪机的剖面。

燃气發生器渦輪和功率渦輪都是單級的，工作叶片与輪盘系制成一体。第一級燃气發生器渦輪有 20 个叶片，第二級功率渦輪有 27 个叶片。轉速为 35000 轉/分。

調速器系离心式，具有等值裝置，在任何負荷下（当驅動發電機時）其轉速的準確度都能達到 0.4%。

減速器的傳動比根据所驅動的發電機的轉速分別定為 1:5.75 或 1:2.865。

CS24 型 [馬尔建-穆略] (Мартен-Муле) 燃料泵系薄片式，其最大壓力為 4 公斤/厘米²。

[艾尔-爱基波曼](Эйр-Экипман)起动机的电压为 24 伏特，功率 2 馬力，轉速为 10000 轉/分。

燃料采用煤油。潤滑油采用液体滑油。

超载时軸上功率为 160 馬力 ($n = 37000$ 轉/分)；額定工况下为 140 馬力 ($n = 35000$ 轉/分)。

燃料消耗率为 440 克/馬力小时。燃气輪机的重量連輔助裝置在內共計 83 公斤。

渦輪輪盤的最大直徑为 520 毫米，燃气輪机長度为 805 毫米。

[奥廖頓]燃气輪机已通过試驗，并已使用了 900 小时(包括連續运转試驗)。

圖 2 所示的[奥廖頓]燃气輪机，其結構与[波茵 502]和[盖馬圖尔博]燃气輪机有很大的差別。

在試驗过程中，通过轉盘噴射燃料的环状燃燒室突出地显示了它的优点。这种結構具有一系列的优点：簡單、緊湊、輕巧，而且它能和离心式压气机及渦輪配置得很好。

[旋轉式]噴射的优点在于：它能在任何工况下保證很好地噴射燃料，并簡化燃料供給系統和調速裝置；不是靠油泵产生高压来噴射燃料的，而是利用轉盘的离心力[●]。

燃气輪机中燃油的压力为 3.5 大气压。

在部分負荷时，通过旁通調節（改变燃料供給系統的压力），就可以改变燃料的供給量。調速器具有等值裝置以保持額定轉速。

奥廖頓燃气輪机的結構見圖 2 所示。

● B. B. 烏瓦罗夫 (B. B. Уваров) 在 30 年代初就曾經提出过这种噴嘴。——原譯者

[阿尔圖斯特] (Артуст) 燃气輪机

1950年3月6日在[奥廖頓]燃气輪机和[皮苗納]渦輪噴气式發动机試驗研究中所获得的經驗的基础上，又出产了新型的[阿尔圖斯特 I] 燃气輪机。

燃气輪机装配之后，經過了两个周期（各 150 小时）的連續運轉試驗，試驗时的功率为 220 馬力和 275 馬力。

几年来，这种燃气輪机經過改进，已成为較好的燃气輪机之一。其构造与[奥廖頓]燃气輪机类似。

[阿尔圖斯特 I] 燃气輪机的特性：單級离心式压气机当轉速为 35000 轉/分时，其压缩比为 3.8，空气消耗量为 2.15 公斤/秒。

燃燒室系环状直流式，燃料是利用离心力来喷射的。

輪机系双級軸流式；第一級上有 20 个噴管和 25 个工作叶片，第二級上有 27 个噴管和 33 个工作叶片。

排气装置具有不可調整的截面；扩散管出口直径为 275 毫米；出口处的燃气流速为 100 米/秒；出口处的燃气最高温度为 550° 。

燃气輪机的尺寸为：長度 930 毫米，寬度 510 毫米，高度 590 毫米。

燃气輪机的重量为 98 公斤，功率为 230~280 馬力，比重量为 0.390~0.250 公斤/馬力。

正常工作下采用摩托燃料，起动时則采用加有 2% 潤滑油的汽油。

潤滑采用矿物油。潤滑油压力：正常为 1.5 公斤/厘米²，最高为 3 公斤/厘米²，最低为 0.5 公斤/厘米²。进口处的滑油温度

为 $30^{\circ} \sim 60^{\circ}$ ，滑油消耗量为 0.2 公斤/小时。用电动起动机或气动起动机起动的。

表 5 [阿尔图斯特 I] 燃气轮机的主要特性

工作情况	燃气轮机 每分钟转速	燃气轮机 出口温度 ($^{\circ}\text{C}$)	轴功率 (馬力)	燃料消耗 量(公斤/ 小时)	廢气的剩 余拉力 (公斤)
超負荷	35000	520	280	127	21
最大連續負荷	35000	500	250	118	18
額定負荷	35000	480	225	110	15

汽車燃气輪机

这种燃气輪机 (圖 3) 系由[圖尔博苗克]公司設計制造的，用于[Ж. П. 維冰耳](Ж. П. Вимиль)賽跑汽車上。

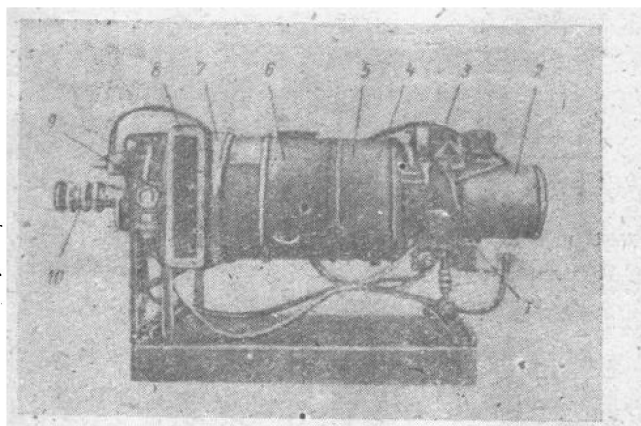


圖 3 賽跑汽車用的[圖尔博苗克]燃气輪机的外形
(剖面參見圖 4)：

- 1—輔助裝置(泵，調速器等)；2—進氣管；3—電動起动机；
4—离心式压气机机壳；5—燃燒室的壳子；6—驅動压气机的渦
輪机壳；7—功率渦輪的机壳；8—排氣管；9—減速器；10—驅動軸。

这种燃气轮机的最大功率为 300 馬力，其驱动軸轉速經過減速器之后降低到 2500 轉/分（最高轉速为 4000 轉/分）。

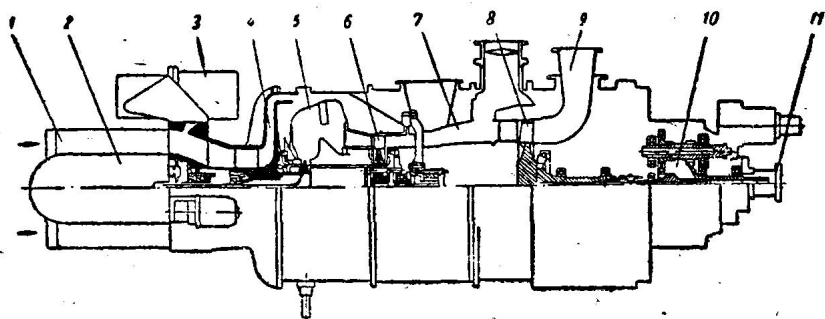


圖4 [圖爾博苗克] 燃气輪机的縱剖面簡圖:

1—進氣管；2—輔助机构；3—電動起动机；4—離心式壓氣机；5—燃燒室；6—驅動壓氣机的渦輪；7—擴散管；8—連接減速器的功率渦輪；9—排氣管；10—減速器；11—驅動軸。

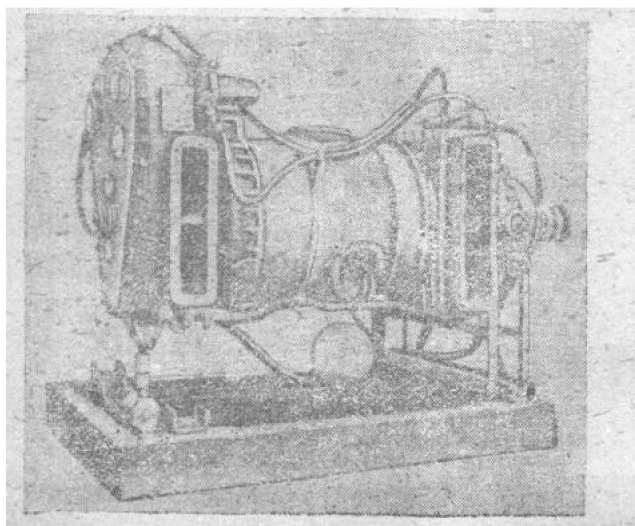


圖5 [圖爾莫] 燃气輪机（1952年）。