

航空發動機試車

Б. Е. 普魯夏諾夫 著



· 國防工業出版社

本書在蘇聯經蘇聯航空工業人民委員會高等學校管理處批准為蘇聯中級航校教本。書內敘述了航空發動機試車的作用和種類、試車裝置的構造、試車時所採用的各種儀表的構造及其工作原理，並討論了進行試車的方法以及試車時整理資料的方法；此外，還涉及到一些技術安全和勞動衛生的問題。

本書可供我國中級航空專業學校作教學參考資料之用，並可作為航空發動機設計、製造、驗收方面的工程技術人員的專業讀物。

本書曾由南京航空學院供文教研室等人試譯，後經唐蘭亭同志校對並對若干部分加以重譯，其中尚採用了王洪琦、許光銳、李強聲、施立剛等人譯稿。

Б.Е. Брусянов
ИСПЫТАНИЕ
АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ
Оборонгиз нкап
главная редакция авиационной литературы
1945

本書係根據蘇聯國防工業出版社
一九四五年俄文版譯出

航空發動機試車

[蘇] 普魯夏諾夫 著
唐蘭亭 等譯 唐蘭亭 校

*

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號
北京新中印刷廠印刷 新華書店發行

*

787×1092 1/32 • 515/16 印張 • 122,000字

一九五六年十二月第一版

一九五六年十二月北京第一次印刷

印數：1—4,500冊 定價：(10)0.95元

序 言

航空發動機試車是每個工廠生產發動機的最后一個階段。象航空發動機這樣重要的產品，其質量的最后檢查只有在試車台上才能進行。

航空發動機試車及質量的最后檢查在生產過程所有的工序中具有極其重大的意義。非但我們空軍戰鬥力是決定于航空發動機的質量的，並且乘員或乘客的生命在頗大程度內也決定于發動機能否可靠的工作。

及時地發現故障，調整發動機，使它不停歇地工作，這就是試車台工作人員的任務。

所以，試車台所有的工作人員特別是航空技術人員，必須非常注意地對待自己這種責任重大的工作。

本書的目的是給技術員在航空發動機試車範圍內一些基本知識，作者希望本書不僅能對於技術學校的學生有所裨益，而且對在工廠內初期干實際工作人員也能給予幫助。

從 A. B. 德尚德施，B. M. 索羅可——諾菲斯基等所著發動機試車書籍中，從 B. H. 貝利可夫參加編輯的論文中以及從有作者本人參加編寫的教本中，作者選用了其中部分的圖形，材料，加以改編並重新布局。

為了容易掌握內容，很多結論就簡化了。一般試車書籍中有时包括一些討論發動機一般理論問題和燃料滑油問題的章節，鑒于這些章節與試車沒有直接關係，所以在本書中省略了。因為作者認為可以更適當地介紹讀者去找關於這些問題的專門書籍，而且本書篇幅有限不允許加入其他詳細材料。

作者認為按照試車進行順序來安排內容的次序，讀者也比較容易理解。

目 录

序 言

第一章 試車的功用和种类	1
預先試車和試驗試車	1
驗收試車	4
檢驗試車	4
長期状态試車	4
国家試車	6
特种試車	6
第二章 必須确定的数值	7
發动机功率。扭轉力矩。轉数	7
燃料消耗量	9
空气消耗量	10
空气余气系数	10
滑油消耗量	11
空气压力	11
混合气压力	12
發动机气缸內的压力	12
排气压力	13
滑油压力	13
燃料压力	13
冷却液体压力	13
供給發动机的空气温度	14
混合气温度	14
發动机气缸內的温度	14
排气温度	14
發动机各点的温度	15

滑油溫度	15
冷却液体溫度	15
第三章 試車裝置	16
空气制動器	17
液力制動器	18
電力制動器	22
測力裝置	24
平衡試車架	24
液力制動器和電力制動器測量扭轉力矩的裝置	31
試車裝置的要求	33
气冷式發動機的試車裝置	37
發動機在高空條件下的試車裝置	39
發動機裝在發動機安裝架上的試車	43
燃料供給系統	46
滑油供給系統	51
空气供給系統	54
發動機冷却水供給系統	54
第四章 試車時使用的儀表	57
測量發動機轉數的儀表	57
測量燃料消耗量的各種儀表	63
測量供給發動機的空气消耗量的各種儀表	68
測量空气速度的各種儀表	70
測量壓力的各種儀表	71
測量溫度的各種儀表	77
分析廢氣的儀表	81
按照時間依次記錄數值變化的各種儀表	83
其他的各種輔助儀表	91
校準儀表	91
第五章 發動機試車前的準備	93
發動機啓箱	93
發動機啓油封	93

发动机的称量及其重心的确定	94
确定发动机的压缩比	95
发动机在试车架上的安装	97
螺旋桨的平衡	100
检查螺旋桨的偏摆度	101
确定螺旋桨的惯性力矩	101
螺旋桨或接合器在轴上的固定	103
校准试车架	104
发动机的起动和加温	106
冬季发动机试车前准备工作的特点	110
第六章 发动机试车	111
试车状态	111
画外部特性曲线	113
画节流特性曲线	115
画高度特性曲线	115
画混合气的特性曲线	117
画确定热平衡的特性曲线	118
燃料试验	118
滑油试验	119
确定摩擦工作的试车	120
确定发动机温度的试车	122
画示功图	122
附件试车	124
试车时装置的维护	124
文件	125
第七章 发动机的停车、	
自试车架卸下及其他工作	127
发动机停车	127
自试架上卸下发动机	130
发动机油管的洗滌	130
发动机的油封	131

第八章 試車材料的整理	133
功率的計算	133
將功率換算至標準狀態	134
將發動機功率換算為高空條件下的功率	136
氣流修正數	139
平均有效壓力的測定	140
燃料消耗量的計算	141
發動機空氣消耗量的計算	142
空氣余氣系數的計算	143
進氣系數的確定	146
滑油消耗量的測定	147
散入水和滑油中的熱量的計算	148
混合氣成分數據的整理	149
將測得的數值換算為已知狀態的數值	149
試車結果的圖表表示法	151
編寫表報	159
第九章 發動機工作的故障及其排除方法	161
發動機起動困難	161
發動機慢車時工作不穩定	163
發動機快車時工作不穩定	164
發動機不能達到最大轉數或增壓不正常	164
發動機工作時發生爆震	165
滑油系統的故障	166
發動機溫度降增大	166
關閉點火後發動機不能停車	167
發動機的加速性不良	168
裝置不準確	168
第十章 試車台	169
試車台的種類	169
試車台在工廠系統中的位置	172
運輸工具和起重設備	172

通風設備和供電	173
起動裝置	174
試車台噪音的消除	174
操縱台	176
試車台的信號	178
安全技術的措施	178
試車台的勞動衛生	180

第一章 試車的功用和种类

按照航空發动机試車的功用，可分为下列几种主要类别：

1. 預先試車和試驗試車。
2. 驗收試車。
3. 檢驗試車。
4. 長期状态試車。
5. 国家試車。
6. 特种試車。

1. 預先試車和試驗試車

这类試車包括發动机的磨合运转，滑油系統和冷却系統的冲洗，以及这些系統的密封檢查等。

这类試車还应该包括決定表示裝置的某些数值（例如气流修正数值），檢查各种附件的工作，檢查發动机特性曲綫的各点等等。

發动机磨合运转是为了使它的相互摩擦的零件磨合。冷磨合与热磨合不同，冷磨合是借外来能源（如电动机）来帶動發动机，而热磨合是靠發动机本身的起动。

冷磨合的目的一方面是节省燃料，另一方面是为了有可能均匀地提高負荷，因为在冷磨合时，摩擦零件的負荷自然比發动机本身工作时要低。提高摩擦零件負荷的漸进性对达到最好的磨合是有利的。

图1是一个英国工厂在大批生产航空發动机时进行大量冷磨合的总图。

通常所有出产的發动机在冷磨合后还要經過热磨合。

图 2 所示的裝置法可以使冷磨合和热磨合非常机巧地配合起来。这里有一个發动机（图上左面的）用汽油进行热磨合，其螺旋槳所产生的气流轉动另一螺旋槳——裝在另一个發动机右面軸上的風車，該發动机就这样地进行冷

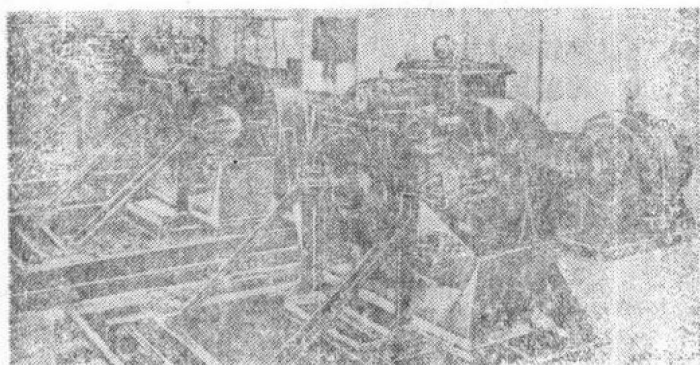


图 1 發动机冷磨合的裝置

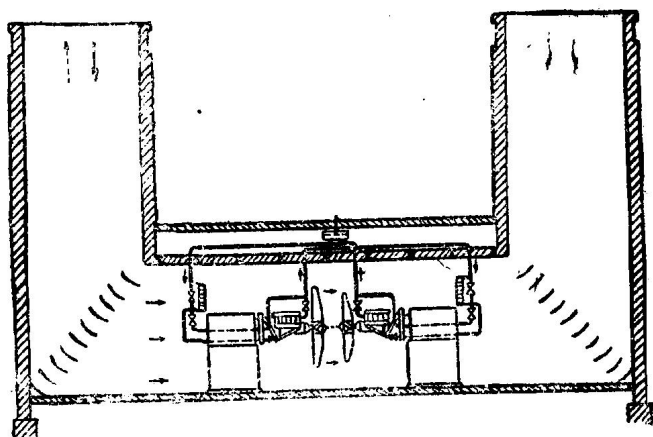


图 2 發动机冷磨合和热磨合相互配合的裝置

磨合。

右面發動機結束冷磨合後，將風車換成螺旋槳，再用汽油開動這台發動機。現在進行熱磨合的右面發動機，又反過來使安裝在左面帶有風車的新發動機轉動。

這樣，兩台發動機的冷磨合和熱磨合可以同時進行，而不需要專門的電動機，並且可以不消耗過多的電能，還能節省汽油。兩個裝置有共同的水系統，對保持兩台發動機熱狀態極為方便。

如試車的發動機是已經經過檢查而且是可靠的，在特殊情況下，只要經過一次冷磨合就可以移交使用；但是通常所有的發動機經過磨合後還要進行檢驗驗收試車。

剛剛裝配好的發動機，在滑油系統的孔道內很可能留下金屬屑，砂子等。冷卻系統在鑄造的內腔里也可能發生留有砂子的情形。當然在冷卻系統里尤其是在滑油系統里，這些無關物體對於油泵、水泵的工作和摩擦表面等會產生極有害的影響。清除水和滑油中所有外來的雜質，也是預先試車的任务。因此，在發動機開始工作時，就要把水和滑油從發動機引導到不同的容器里，只有在証實外來雜質已經從水和滑油中排除出去之後，才能打開正常的各循環系統。在這種試車時同時要檢查水和滑油系統的密封性。

在主要試車之前，常常有必要檢查某些數值，例如，因受來自螺旋槳的氣流影響而引起的扭轉力矩數值的偏差。這類數值是應在預先試車時決定的。

如果必須畫出發動機特性曲線的各個別點子，或者要檢查個別附件的工作，那麼，所有這些工作都應該在預先試車或檢驗試車過程中進行。

2. 驗收試車

工厂生产的每一台發動机,照例,都要进行驗收試車。

驗收試車时,必須檢查發動机装配的正确性,檢查發動机所有的工作状态,詳細地檢查所有附件的工作情况,并且确定它是否符合所提出的各种要求。

驗收試車以后,將發動机解体,这是为了要証明所有内部零件都很可靠。

重新装配后的每一台發動机,还要进行所謂檢驗試車的試車。

3. 檢驗試車

檢驗試車的名称本身就意味着:这是發動机安装在飞机上在使用以前的最后装配檢驗。檢驗試車通常与驗收試車合并进行,凡是这类与發動机再分解一同进行的試車就叫做檢驗-驗收試車。

4. 長期状态試車

这类試車一般的任务是檢查發動机的可靠性,檢查它在長时期过程中工作性能是否稳定。發動机服务期限的任务和發動机的正式移交由国家專門委员会决定。

在这大批試車中,必須区分这类試車的几种型式:

a. 工厂定期試車; б. 状态試車; в. 直到發動机毀坏时为止的長期試車。

а) 大批生产的工厂每月进行一次延續時間达50小时的工厂定期試車。

在这些試車过程中,承制厂代表和甲方代表都証实工

厂的产品在一个时期中没有改变自己的质量，并且这些质量都是符合于对发动机提出的要求的。

这种试车的发动机是从经过检验—验收试车的大批产品中挑选出来的。

定期性的试车如进行成功了，工厂便有权在下个月内制造同类型的发动机。

6) 状态试车工厂中除了定期试车外，有时还根据需要进行 50~150 小时的长期工厂状态试车。

这种试车不是定期的，而是根据需要来决定的。状态试车是用来检查发动机结构中或使用中的各种革新措施的。

在生产过程中，发动机会经常得到改善，功率提高了，采用了新的零件和附件以及改变了工作条件。以实验来证明所有这些革新措施是质地良好的，这一点对工厂代表来说，是极其重要的。

进行状态试车时，甲方代表有时也出席参加，这时，试车就具有更正式的性质了。

Б) 直到发动机破坏时为止的长期试车，在每一个成批生产的工厂里一年至少进行二次。为了进行这种试车，应挑选已经经过保证使用期试车的发动机。

进行这种试车有几个目的。首先确定发动机在第一次翻修前和各次翻修间的保证使用期。

因为在这些试车过程中，必须调换个别零件，所以同时就可以检查修理的间隙和公差，确定修理的施工程序和修理工具，决定个别零件的使用期限，确定在发动机正常使用时必须的全套后备零件。

5. 国 家 試 車

工厂經過精細的内部檢查以后，把产品提交給国家專門委员会試車。

試車的对象，可能是整个發动机，或者是某些組合件和改善后的零件，或者是發动机某些新的工作状态。

国家委员会有效的进行了国家試車后，通常就开始大批生产新产品。

国家試車的持續時間，通常是100~150小时。应將受国家試車的發动机当作在飞机上正常使用的發动机来进行試車；在試車时对于發动机的操縱范围应与在飞机上的操縱范围相同。

6. 特 种 試 車

这一大批試車以后，还要进行許多次的試車，其目的是研究在各种使用情况下發动机的性能，研究整个發动机个别附件的工作，試驗新的燃料和新的滑油等等。

首先，發动机或其附件的磨合运轉工作，就屬於这类試車。当这类附件經過實驗室試驗阶段后，就应当直接裝在發动机上进行特种試車。

高空試車是特种試車的典型例子，它研究了在相当于高空工作情况下的發动机的性能。

燃料和滑油試驗也屬於这类。燃料和滑油虽然經過了實驗室的实验，还應該在整个發动机上作最后試驗，这类試驗也包括發动机各种附件試驗（螺旋槳，增压器，汽化器，直接注射器，点火仪器和各种自动調節器）等等。

所有这些附件，都是預先在專門試驗裝置上受過多次

試驗的，但最后确定它們是否有用，只有在整個發動機上試驗以后才能得出結論。

最后，为了画出特性曲綫以表明發動機在一切可能工作条件下的各种参数的各种試車，也屬於这类試車的範圍。

第二章 必須确定的数值

試車时，技術員會遇到一系列必須确定的数值。

發動機功率。扭轉力矩。轉數

在大批試車时，首先我們要知道發動機的功率。能够在試車时直接測量功率的儀器現在還沒有，所以必須用公式計算來求得这个功率：

$$N_e = \frac{Mni}{716.2},$$

式中 M ——發動機扭轉力矩（公斤公尺）；

N_e ——發動機有效功率（馬力）；

n ——曲軸每分鐘轉數；

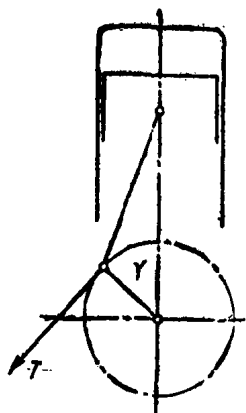
i ——減速器減速比；

716.2——系数。

利用基本概念得出这个公式是非常簡單的。

假設發動機曲軸每分鐘旋轉 n 轉（圖 3）。切綫力 T 作用到曲軸半徑 r 上。大家都知道，这个力本是随時間而改变的，但我們所指的 T 力是發動機轉動一轉时的平均值，因此可以作为常数。

大家都知道，力所作的功是力与距离的乘积。因此，



在这种情况下，曲軸轉动一次所作的功表示为

$$A = T 2\pi r。$$

曲軸旋轉 n 次时

$$A_n = T 2\pi r n。$$

每秒钟轉动

$$N = \frac{2\pi T r n}{60}。$$

每秒钟所作的功是功率。为了

图 3 确定扭轉力矩 以馬力表示，就把上式用 75 来除，因为一馬力等于每秒钟 75 公斤公尺（公斤公尺/秒）的功。

这样，终于得出功率公式如下：

$$N_{\text{л.с.}} = \frac{2\pi T r n}{60 \times 75}。$$

$T r$ 的乘积是螺旋槳軸上的扭轉力矩，所以用 M 代替。

常数 2π 、 $\frac{1}{60}$ 和 $\frac{1}{75}$ 的乘积，計算結果是 $\frac{1}{716.2}$ 。

由此可从公式得出 i —— 减速器的减速比。因为轉数是属于曲軸的，而扭轉力矩是从螺旋槳軸上測量的。

把 i 代入上面公式內就得到計算功率的公式，即：

$$N_{\text{e.л.с.}} = \frac{M n i}{716.2}。$$

应区别各种功率：額定功率、起飞功率、使用功率和巡航功率。某些国家还有战斗的或軍事的功率。

額定功率是發动机在一小时內能够充分安全地不断产生的功率。制造厂应将額定功率作为每台發动机功率性能

的基本指标。

起飞功率是發動机在飞机起飞和爬高时产生的最大功率。以最大功率作功，通常只允許在很短的時間內使用，多半不超过五分鐘。

使用功率是發動机在总的服役期限內經常應該产生的功率。使用功率通常等于 0.9 額定功率。

巡航功率通常等于額定功率的 0.8~0.6。

战斗功率与**軍事功率**的概念通用于德国和美国空軍，其含义为：在空战条件下所允許使用的最大功率。

功率不能直接測量，而要借已測量的扭轉力矩和轉數來計算。扭轉力矩是借專門試車架的帮助直接測量的，該試車架是在試車時安裝發動机用的。工理上測量扭轉力矩的單位是公斤公尺。

轉數則用專門儀器——轉速表（指示轉數）或測度表（記載數字）來測量。

試車時以每分鐘的轉數來確定轉數（轉/分）。

燃 料 消 耗 量

大多数的試車所要測量的第二个重要數值是燃料消耗量。整个發動机的燃料消耗量以每小时公斤表示，或者以每馬力小时所消耗的克數来表示。后一种燃油消耗數值是用来比較各种發動机耗油經濟性能的。

測量燃料消耗量的主要方法有兩種：容积法，即將測量結果以單位時間公升數表示；重量法，即將測量結果直接以重量為單位表示出來。

在第一种測量情況下，測量結果必須換算成重量單位。