

資本主义国家航空科学技术專題綜述

渦輪螺旋槳发动机的試驗



1960年8月 北 京

出 版 者 的 話

为了尽快赶上世界先进科学技术水平，各单位都希望充分了解国外的科学技术成就及經驗教訓。根据上級指示和各方面的要求，我們認為立即將資本主义国家近期的航空科学技术成就进行綜合整理是非常必要的，对我国航空科学研究、設計、生产及教学工作均有很大的帮助。从59年起由中国科学技术情报研究所和国际航空杂志社共同負責与有关部門联系，并一起开始动手整理出版“資本主义国家航空科学技术专题綜述”，供大家工作中参攷。“航空科学技术专题綜述”包括：空气动力学、飞行器結構、飞机及导弹附件、各类发动机、超音速进气道、噴管、軸向式压气机和渦輪、燃烧問題和燃烧室設計、高空模拟試驗和飞行試驗、航空电气設備、仪表、导航、航空材料、燃料、油料及航空工艺等若干方面。在整理出版过程中，由于各有关部門發揮了高度共产主义协作风格，使这套資料能早日与讀者見面。在最后整理和編排过程中，由于我們水平和時間所限，誤謬之处在所难免，欢迎批評指正。

前 言

随着航空技术的不断进展，航空发动机在原理和结构方面变得更加复杂，对发动机的要求也越来越高。因此，任何一种航空发动机都涉及到气动力学、热力学和机械等方面的许多问题。为了完成一种发动机的发展工作，除了理论设计和计算之外，还必须进行一系列的研究试验和试验修正工作。

涡轮螺旋桨发动机一方面由于工作原理和结构设计比较复杂，另一方面也由于多半是用于民航和运输等大型飞机上，所以对发动机的工作可靠性、使用经济性、寿命和生产成本等都有更严格的要求。这样，在设计过程中就必须特别仔细考虑和妥善处理所遇到的各种问题。而在完成初步设计后必须进行大量的试验研究，以保证发动机的设计具有可靠的基础。发动机试制出来以后，还必须进行长期的试车调整和飞行试验，以考查发动机是否能满足设计要求，是否安全可靠。而且，只有通过这些工作以后，发动机才能投入正式生产和使用。所以，试验工作如同对于所有发动机一样，对于涡轮螺旋桨发动机的设计、使用、改进和发展有极其重要的意义。

英、美、法等资本主义国家在发展涡轮螺旋桨发动机的过程中，对试验工作十分重视。随着涡轮螺旋桨发动机的发展，他们已积累了一套比较定型的试验方法。为了有助于系统地了解他们在这方面的一般情况，本文根据资本主义国家所公布的资料，对涡轮螺旋桨发动机的试验作了概括的介绍。

目 录

一、 渦輪螺旋桨发动机的試驗工作概况.....	(1)
二、 地面台架試車.....	(3)
(一) 試車的程序.....	(3)
(二) 試車設備.....	(6)
三、 飞行試驗.....	(7)
四、 試驗室研究与試驗.....	(12)

一 渦輪螺旋槳發動機的試驗工作概況

英美渦輪螺旋槳發動機，是按研究試制、地面試驗和飛行試驗的順序進行的。在每一階段中又包括許多特殊項目的試驗。表1列出了英、美、法三國一些渦輪螺旋槳發動機的試驗發展過程。圖1表示英國布列斯托公司普魯鳩斯發動機的發展過程。

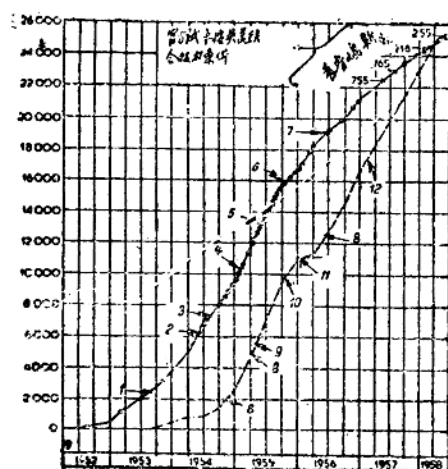


圖1. 普魯鳩斯的发展

由表1和圖1可以看出，在資本主義國家的渦輪螺旋槳發動機試驗中有如下幾個特點。

1. 試驗的工作量很大 每一種渦輪螺旋槳發動機在投入生產和使用之前都經過了成千上萬小時的台架試車和飛行試驗。如英國的達特發動機在小批試用前就進行了約14500小時的地面和飛行試驗。普魯鳩斯發動機在1957年2月正式開航之前總共通過了21000多小時的台架試車和18000小時的飛行試驗。又如，根據美國艾利遜公司的計劃，501-D13型發動機在1960年正式使用之前，準備進行總計50萬小時（還有的說為80萬小時）的地面試車和飛行試驗。當然這些數字不一定可靠，有時它們為了追求市場訂貨，盲目增加試車運轉的時數，以便造成聳人聽聞的印象。但是由此也可以看到，在發展渦輪螺旋槳發動機的过程中，的確存在許多問題，需要花費較多的力量來解決。此外，渦輪螺旋槳發動機的生命，一般地要求較長，因此必須通過長時期的運轉，考驗它在長期工作中的可靠性。這些都使得發動機的試驗和試飛時數增加。按英國慣例，僅是在國家試車（官方定型試車）之前，就要經過4000多小時的運轉。在航線使用前還必須完成一系列的長期試車（總壽命試車）和持久性試驗（500小時），以保證發動機在使用中的安全可靠和性能穩定。

进行大量試驗需要大量人力和物資的消耗。只是燃油一項就会达到驚人的数字。以普魯鳩斯700型发动机为例，每运转一万小时就消耗燃油約9440吨。

2. 試驗周期長 从英国的达特和曼巴等发动机的发展可以看出，由开始台架試車到开始試用一般都化了五年以上的時間。普魯鳩斯Ⅰ型在1947年就开始試車，而到正式开航前后共化了10年功夫，意兰德和T53都已經台架試車将近7年之久，还未使用。美国T34发动机由1949年初开始試車，直到1958年才开始使用。

在資本主义国家，渦輪螺旋桨发动机的試驗修正周期之所以这样长，除了技术上的原因以外，在很大程度上是和資本主义的社会制度分不开的。首先，如前所說，搞渦輪螺旋桨发动机所需的投資巨大，加之軍事定貨佔首要地位，从事这样发动机的发展工作的公司往往得不到政府的大力支持和定貨。例如，奧利安发动机就是因为得不到預計的定貨而中途停止发展。第二，各公司間为了商业竞争，对于研究試驗成果相互保密。第三，由于市場需要和利潤高低的影响，研究試驗缺乏計劃。

值得注意的是，由于渦輪螺旋桨飞机成功的使用，特別是苏联巨型渦輪螺旋桨旅客运输机和直升机的出現，自1956年以后，資本主义国家渦輪螺旋桨发动机的試驗工作有了加速进行的趋势。如1954年設計的T58发动机在1955—1956年开始运转的一年間就已进行总计2500小时的台架試車，而且目前正在进行1000小时长期試車。但是，达特发动机的同一試驗过程大約花了1年半到2年（1946~1948年）的时间。在飞行試驗方面也是如此，达特发动机由1947—1954年的8年間共計进行了16000小时飞行試驗（平均每年2000小时），而艾利逊501—D13在两年半内飞行試驗時間达12000小时，平均每年4800小时，而1956年以后平均每年的試驗時間达12000小时。

在英、美縮短試驗周期加速进度的措施之一，是增加第一批生产的样机、試驗台和飞行試驗室及試驗机的数目。如首批試驗的T58发动机就达17台之多。艾利逊501—D13只是在艾利逊公司，就有10多台在进行飞行試驗，其中6台安装在超星座式（C—69）和康維爾图波一林勒（Turbo-Liner）飞行試驗室上，另一些安装在C—130A及伊列克特拉原型机等試驗机上。这样就可以加速試驗的进程。这是一种有效的方法。当然这需要在短時間內拿出更多的投資。

加速进度的另一方法，是台架試驗和飞行試驗平行进行，即在定型試車之前就准备飞行試驗。如达特 RDa.10 在1958年10月才通过国家試車，而准备飞行試驗是在1953年7月完成的。其他一些发动机，如T53和T55，也是这样。

3. 十分重視飛行試驗 由表1可看出飞行試驗得到很大重視，而且它的重要性日漸增大。由达特发动机发展的过程可明显地看出这一点：

年 份	台架試車时数 (小时)	飞行試驗时数 (小时)
1949年末	6000	3000
1951年初	9500	5000
1955年初	20000	16000

由图1中更可以明显地看出这一点：代表试飞的点线急剧上升，其总时数在1957年底已与台架试车相等。其他的发动机也有类似的情况。

4. 试验和设计改进工作交错进行 设计改进和试验工作是不可分割的整体，因之它们总是交错进行的。在英国和美国，经常是不等发动机通过国家试车就着手新的改型发展工作。如意兰德发动机在还没有完成1型的国家试车时（只完成了2000多小时的运转）就陆续发展了NEL 2、3、4、5、6、7等几种型别。其主要原因是菲利公司提出了对“罗托达因”直升机动力装置的需要。又如达特发动机由于试验过程中陆续改进了发动机的减速器、燃烧室和涡轮等，结果使功率由1000马力上升到2100马力（生产型），功率最大的RDa.10达到2660马力。T58在试验调整中也对燃烧室和压气机进行了修改，并消除了故障。

二 地面台架试车

地面试车系将发动机安装在试车台上进行运转，以观察其工作情况，测取主要性能参数，并在试车后分解发动机和检查故障。

地面试车主要可分为新产品试车、定型试车、改型试车和移交验收试车。此外，还有飞行准备试车、持久性试车、模拟航线飞行的地面试车和使用过程中的检修后试车等。

新产品试车的对象是新设计出的原型发动机（原型样机）。改型发动机一般不需要进行这种试车。定型试车的目的是为了确定发动机在一定时间内不需经过显著更改即可达到的主要性能。改型试车是为了鉴定发动机通过定型试车后所需进行的主要部件更改的影响。改型试车的发动机运转时间可以比定型试车短些，这要看更改的具体情况而定。移交验收试车是每一台生产型发动机在交付使用前所进行的短时间运转。

（一）试车的程序

下面，简要谈谈各种地面试车的一般程序和某些具体机种进行这些试车的情况及曾经发生的问题。

1. 新产品试车 这种试车是由工厂或设计单位对按照初次设计图纸制造出的原型发动机所进行的各项试验。通过这些试验来检查新设计是否存在原则性问题，以及设计的完善和合理程度。

新产品试车按专门拟定的规范进行。由于是初次运转，试车必须特别仔细和谨慎。例如，研磨运转和小功率运转的时间要长，加速要慢（很少加速到最大功率，或者只在最大功率状态停留极短时间），试车过程中发动机分解次数多，以及逐步加长每次试车的时间等等。

2. 定型试车 这是按一定规范进行的试车，由公司进行或由政府委派的专门委员会进行。后者称官方定型试车或国家试车。通过国家试车就意味着该发动机的某些性能（例如功率）得到了国家的承认和批准，并成为发动机投入正式使用的依据。为了准备官方定型试车，通常在它之前各公司自己都要进行一系列的定型试车以检查发动机的工作，保证在国家验收时能通过国家试车。如阿姆斯特朗·霍得利公司对曼巴—1就进行过19次定型试车，对曼巴—3进行过6次。

定型試車的第一步是发动机校驗，也就是說，在与螺旋桨連接之前在制動試車台上測量发动机在不同轉速和燃氣溫度時的功率。在发动机能够在这些状态下工作几分鐘（可能是5分鐘）以后，記下測量的讀数。其次，尽可能使发动机在各个不同功率状态下給出轉速和燃氣溫度数据。功率状态包括地面慢車、飞行慢車、最大連續功率（正常功率）、最大連續功率（軍用功率）和最大起飞功率。然后把螺旋桨连接到軸上，如有必要再校驗帶螺旋桨的发动机和調整控制系統。至此发动机已准备好，可开始进行定型試車。按英美联合民用发动机試車規範，定型車試共150小时，分作25段（每段6小时）进行。在每一段將发动机以不同的轉速及負荷工作。其中，工作時間的30%應該在額定功率（发动机通过國家試車的功率）下工作，并且要開車100次。

在1956年之前英国是按額定功率的96%来接收发动机的。但在1956年以后，根据英美联合試車規範，驗收渦輪螺旋桨发动机系按美国的慣例进行，即只接受能发出全部額定功率的发动机。这里須指出的一点是：某渦輪螺旋桨发动机以功率通过定型試車并不意味着該发动机的最大功率就是这样大。这一功率只意味着可按此功率使用的額定功率。如达特10在1958年12月通过2660当量馬力（2440軸馬力及304公斤噴气推力）的定型試車。在試車中有60小时是在該功率下工作的。但发动机最大功率系使用噴水加力之作战情况，其軸馬力为3200馬力。

3. 准备飞行試車或許可飞行試車 这是在地面按飞行中的情况来检查发动机的工作，以保証发动机試飞的安全。通过这一試車后，发动机才能开始飞行試驗。根据資料，在美国准备飞行試驗一般是50小时，英国則是25小时。在試驗中要通过起動、起飞、額定和最大（作战）等各工作状态。此試車所用的功率是最大的功率，因为該功率在起飞中就要遇到。如达特10是以3200軸馬力通过25小时許可飞行試車的。

对于新設計的发动机，这样的試驗是很重要的。T58曾以17台样机进行5200小时的試車，結果发现了不少問題：如压气机翻修后发生喘振，压气机末級叶片产生裂紋或断裂，燃燒室也有些問題。为此进行了一系列改进，例如更換压气机末級叶片，改进火焰筒头部，重新調整了三級压气机叶片等。在这之后，才进行了150小时定型試驗。

有时特别是在設計經驗不足的时候，由于設計存在重大的問題，使样机試驗失敗，而須从根本上修改发动机，如普魯鳩斯I型在1947年的初次試運轉过程中，发现压气机轉子刚性不够、临界轉数在工作轉数范围内。結果取消了一級离心式压气机，并降低发动机的工作轉数。工作轉数和增压比下降使整台发动机性能发生改变，因而不得不重新設計发动机，这就是普魯鳩斯II型（600系）。

4. 长期試車和持久性試車 这是使发动机工作較长的時間甚至是全部寿命，以检查发动机的长期工作情况。通常，长期試車是指破坏性的总寿命試車，应在國家試車前后和正式使用之前进行。試驗对象一般是新发动机。時間在1000小时以上。如意兰德为1250小时。T58为1000小时（其中包括2000次起動和4000次突然加速）。

持久性試車是非破坏性的长期試車，不是工作到总寿命，而是工作一段較长的時間，以便检查使用中发动机的工作情况。通常，是按訂貨方与規範的要求定期进行試驗，以保証產品質量的穩定。工作時間是500小时，如达特和派路斯特发动机。也有300小时的——如阿都斯特。进行这种試車不一定要用全新的发动机。有时为了进一步检查延长发动机寿命的可

能性，可以用已經工作了一段时间的发动机来进行。如布列斯托公司曾在1951年用一台总寿命（125小时）已完成了的普魯鳩斯发动机进行500小时持久性試車，以验证延长其寿命的可靠性。

5. 模拟航线飞行的地面試車 这是为了检查渦輪螺旋桨发动机在航线上的使用情况而进行的較长期的試車，它必須在航線上正式使用之前完成。如普魯鳩斯205发动机在1955年完成了总工作时间为1000小时的模拟航线使用試車。在这期间发动机每天工作181小时，并在工作400和700小时后分解发动机检查故障。根据艾利逊公司的試驗計劃，501—D13型发动机也将有一台按照伊列克特拉飞机在航線上使用的情況来进行試車：每天有15小时工作，按开车、滑行、起飞、爬升、巡航、降落和反桨停車的顺序反复进行。

6. 移交驗收試車 这是通过国家定型試車后成批生产或小批生产的发动机，由生产单位提交使用部門时进行的試車，也分工厂試車及驗收試車。时间是90分鐘至120分鐘。在驗收試車过程中須使发动机在定型試車时所記載的每一工作状态下运转一定时间。試車可以按标

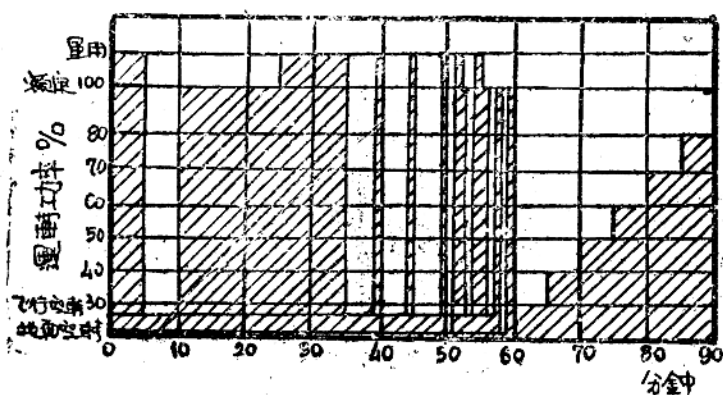


图2. 对T53試車的功率要求

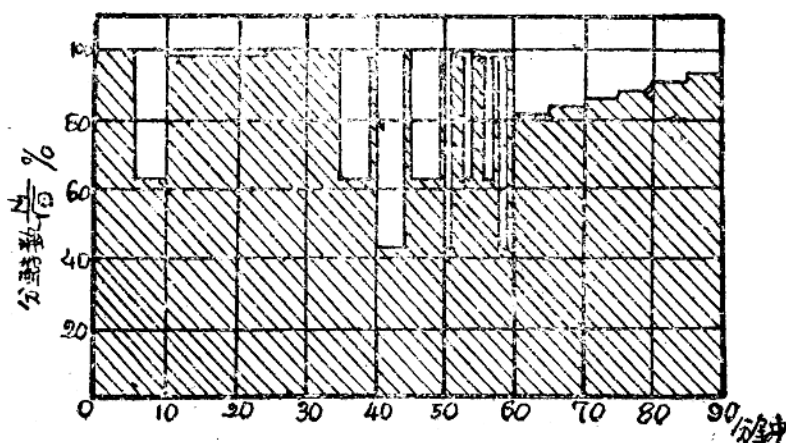


图3. 对T53試車的轉数要求。

准规范进行，也可以根据订货方的要求进行。例如对T53发动机的验收试车，是按军事部门提出了如图2和图3所示的要求进行的。验收试车之后，卸下发动机进行检查，然后再安装到台架上进行同样性质的最后运转。如果任何一台发动机不符合规范，则须更换有故障的发动机构件，也可能需要进行补充试车。

7. 检修后试车 这是在使用过程中发动机经检修分解后所进行的试车。由于涡轮螺旋桨发动机在航线上的使用量日益增多，因此这种试车一般是由使用部门来进行，而不再返回生产工厂。如英国欧洲民航公司由于在航线上使用之达特发动机日益增多，在1958—1959年用了将近30万英镑的投资在伦敦机场修建了检修车间和两个试车台以便进行试车。

(二) 试车设备

英美试验涡轮螺旋桨发动机一般用两种方法：使用水力测功机或使用平衡床及标准螺旋桨（或空气制动器）来进行。

1. 使用测功机的试车台 英国欧洲民航公司在伦敦机场建立了用以试验检修后的达特发动机的试车台。该试车台为节省面积及安全起见，建在地下。发动机安装在试验车上。由检修车间推送至试车台上的试车位置时，试验车就被一锁链自动锁紧。然后用一带平衡环的管状轴和—MK6CA型水力测功机的轴相连接，该测功机可吸收和测量的最大制动马力为2500马力。

值得注意的是，为了能迅速地进行试车，试车台采取了一系列的措施，例如：

——发动机试验车就是装配车，这样检修车间可直接将安装在装配车上的发动机推送至台架上进行试车，而不须重新拆装；

——发动机的滑油、燃油、水醇等管路系统可以和试验车预先装配联结好。而试验车上的管路和台架上的管路，都是用自动闭合接头，在试验车被推至试车位置时自动联结，而不须任何人工操作；

——每一试车台都有两台试验车，一台在试车，另一台即可装配。

2. 使用平衡床——摇架和标准螺旋桨（或空气制动器）的试车台 在这种试车台上，发动机安装在平衡床的摇架上。然后装上标准螺旋桨或空气制动器。摇架是浮动的支持在平衡床上，可以摇动。试车时靠测量平衡床的反扭矩来测出发动机的力矩。

若因发动机在进行此种试车时，发动机安装在摇架上，采用若干个以弹簧钢片造成的X形铰链和平衡床联结，这些弹簧片使摇架可以摇动。采用一静液压作动筒来限制摇架的摇动，而籍一根小管子将此作动筒和操纵间仪表板上的压力表相联结。根据表上的读数可以按下列公式求出发动机的制动马力：

$$\text{制动马力} = \frac{WN}{K}$$

W…由压力表所得读数，公斤；

N…发动机之转速，转/分；

K…台架换算系数。选择适当的横杆中心可使K=1000。

平衡床和一钢架联结。在发动机前方有一用钢绳繫住的强力鼓风机，用以对发动机进行

特殊的試驗——結冰試驗，冷卻試驗等。

試驗達特發動機的 T.MK.2 型試車台可用以試驗功率不大於 7000 馬力的渦輪螺旋槳發動機。在此台架中也有一 V 型安裝架和一水平搖架。反扭矩籍一長約 1.6 米之傳力杠杆傳給測量裝置。

由於渦輪螺旋槳發動機還有一附加的噴氣推力（佔總推力之 10~15%）需要測量，以求得發動機的當量功率，所以在被試驗的發動機的尾噴管上安裝有測力計，可直接通過彈簧秤或壓力表讀出發動機的噴氣推力，然後折算為馬力。

這一點與活塞式發動機試車台不同。

3. 選用設備的比較 這兩種台架在英美都得到了採用，它們的優缺點可分析如下：

① 使用測功機試車由於不受螺旋槳工作的影響，讀數較穩定準確。而使用螺旋槳工作時由於氣流不均勻進入螺旋槳會引起誤差，其溫度和壓力經修正後的不準確度為 3—4%。

② 同樣，由於採用測功機不受螺旋槳工作影響，試車結果能比較真實的反映發動機本身的工作情況，因之對於新設計的發動機比較有利。而第二種試車台架就必須考慮到和螺旋槳系統協調工作的問題。如苔茵發動機正是以兩個安裝測功機和一個使用螺旋槳的試車台來進行試車調整工作的。

③ 使用測功機的台架由於沒有螺旋槳，試驗台空間比較小。比如說，在前面所說的 T.MK.2 試車台上，發動機的軸線離地高達 3.5 米，台架面積為 6.7×7.4 米，比英國歐洲民航公司帶測功機的達特發動機試車台大得多。也由於它佔據空間大，需要大量空氣流過螺旋槳，所以實際上，在封閉的高空試驗室中採用這種設備來進行試驗是十分困難的。但是，帶測功機的台架可以比較容易地安放到高空試驗室中去。此外，渦輪螺旋槳發動機的空氣流量較小，不要求高空試驗裝置有強大的功率。

④ 測功機設備比較複雜，價格昂貴，還有一套水的控制系統，致使檢修、維護困難。特別是由於單台的測功機吸收功率有限，在試驗大功率發動機時，須要採用許多測功機串聯工作，結果使設備更複雜，費用增加。苔茵發動機之測功機試車台，由於功率將近 5000 馬力，採用了三台測功機串聯工作來吸收功率。其中用了兩台 M. VIA 型和一台 Mark VI 型，測功機用套齒聯軸器將它們的軸聯結起來。

測功機的壳体也是用一活動接頭聯為一體，並經一單獨的拉杆—槓杆系統將扭矩傳到一遙控室內之彈簧秤上，以便直接測得讀數。

而後使用的第二測功機試車台中以兩台軸和轉子加大的測功機 Mark VIB 來代替原来的三台。

4. 直升機用渦輪螺旋槳發動機的試車裝置 和普通渦輪螺旋槳發動機一樣，它也有兩種試車裝置。所不同的是：第一，由於發動機在直升機上的安裝位置要與水平綫成一定角度（ $65 \sim 70^\circ$ ），使用測功機的試車台的台架是傾斜的；第二，用旋翼工作的試車台多半是露天的，因為旋翼直徑很大，在室內很難進行試驗。

三 飛 行 試 驗

渦輪螺旋槳發動機進行飛行試驗的目的是：檢查發動機的高空性能和飛行性能；檢查在各種飛行條件下發動機—螺旋槳（旋翼）系統能否有效協調的工作；此外還要確定在各種氣

候条件下发动机工作是否可靠。通过飞行試驗才能最終判断做为一整套动力装置，渦輪螺旋桨发动机是否适用于这种飞机或直升机。因此，飞行試驗同样是由設計到使用不可缺少的一环。

近年来飞行試驗之所以得到更大的重視，是因为随着渦輪螺旋桨发动机的使用范围日渐扩大，对它的飞行性能有了更高的要求。因此更需要将发动机和螺旋桨；将动力装置和整个飞行器做为一个整体来考虑，而这些問題也要依靠飞行試驗才能解决。

从另一个角度来看，和渦輪噴气发动机相比較，渦輪螺旋桨发动机的高度或速度都不算太大。因此，利用現有的飞机来进行渦輪螺旋桨发动机的飞行試驗，即可满足它的要求。而新型的渦輪噴气发动机由于它的設計飞行速度和高度目前都尚未达到，因而很难利用現有的飞机来满足其飞行試驗的要求。这迫使人們不得不去建造价值昂貴、設備复杂的高空試驗室来进行試驗。与此比較，渦輪螺旋桨发动机的飞行試驗要节省得多，方便得多。这也是近年来渦輪螺旋桨发动机飞行試驗得以迅速发展的另一原因。

飞行試驗大致可分为飞行試驗室飞行試驗、試驗机飞行試驗及样机試飞。

1. 渦輪螺旋桨发动机的飞行試驗室 飞行試驗室是專門改装的飞机，上面設有試驗发动机的专用设备，在它上面进行某发动机的飞行試驗时，該飞机原有的动力装置仍然全部或部分保留。

英美使用的一些渦輪螺旋桨发动机飞行試驗室列于表 2，

由此表可以看到，使用中的飞行試驗室大多是由比較近期的巨型活塞式飞机改装来的。如兰卡斯特、林格里、威灵頓和B—17等均系二次世界大战末期使用之重型轟炸机，其中林格里一直使用到1951~1952年間。C—47和大使式飞机也是在1950~1952年間还在使用的机种，而超星座式巨型旅客机目前仍在广泛的使用。由于用活塞式飞机改装成飞行試驗室，加之这种飞机的經濟性好、寿命长，所以对节省試驗費用非常有利。采用巨型飞机是为了便于安装各种观察仪表和被試驗的发动机。也有一些較小的飞机用作飞行試驗室，但至少也是双发动机的。

但是，装超音速螺旋桨的或者是在高亚音速下工作的大馬力渦輪螺旋桨发动机，如果还是利用老式的活塞飞机来进行試驗，就不能满足要求了。在这种情况下，必須采用噴气式飞机来作它的飞行試驗机。

飞行試驗室的飞行，可以完全不依靠或者只部份地依靠被試驗的渦輪螺旋桨发动机。前一情况多半适用于新設計的渦輪螺旋桨发动机的初次飞行試驗。例如达特和荅茵发动机在发展初期都是安装在飞行試驗室一飞机的头部，原有的4台活塞发动机全部保留在飞机上。又如专用于試驗渦輪螺旋桨发动机和超音速螺旋桨的麦克唐納XF—88B試驗机，在試驗XF—38渦輪螺旋桨发动机时，它的两台J4发动机仍旧工作，这样可以获得較高的飞行速度，以满足超音速螺旋桨的試驗要求。第二种情况是，在飞行試驗室上被試驗的渦輪螺旋桨发动机同时作为飞行試驗室的部份动力装置使用。如XB—47D試驗T49发动机时，在原来的6台J47发动机中有4台（靠近机身）被T49所代替。意兰德发动机在瓦塞提飞机上試驗的情况也是这样：飞机右侧装一台意兰德—1，而另一側是原来的发动机。曾經进行过飞行試驗的艾利逊501—D13型发动机在超星座式飞机上的試驗也是这样，两台被試驗的发动机安装在机翼外側，而內側仍保留原来的发动机。

某些試驗渦輪螺旋槳發動機用的飛行試驗室

表2.

國別	飛行試驗室性能			被試驗的發動機			裝用被試驗發動機的飛機			備註				
	飛機型別	原用途	速度 (公里/小時)	高度(米)	動力裝置型號	台數× 軸馬力	型別	功率 (軸馬力或 公量馬力)	試驗年份		型別	用途	速度 (公里/小時)	高度(米)
英	大使式	旅客機	523	7620	聖他路661 (活塞式)	2×2320	普魯鳩斯 750	3700	54-55	不列顛 100	旅客機	531	6100	
	蘭卡斯特 10-MR	重轟炸機	455	3355	(活塞式) 梅林124 梅林224	4×1760 4×1620	曼巴-3	1270	49-50	阿波羅 AW55	旅客機	444	7600	
	威靈頓	重轟炸機	348	4650	皮加修斯 XVII(活塞式)	2×930	達特502 RDa.1	1000	52-53	瓦紋 MK4	艦載政 擊機			
	達可他 (C-47)	中型運輸機	296	3050	(活塞式) R-1830-92	2×1050	曼巴-8	2075	46-47	子爵式 600	旅客機	446	6100	
	林格里 BMK-2	重轟炸機	370	6100	(活塞式) 梅林68A	4×1760	提修斯 502	2320	49-50	希爾密斯 TMK.5	反潛機			組成雙 組曼巴-8
美							奈得	1500	50	子爵式 700	客旅機	518	6100	
							普魯鳩斯 600	3300	50-51	塘鵝 TMK.5	旅客機	555	8840	
							苔茵	4795	57-60	先鋒式 951	旅客機	640		
	瓦塞提	旅客機	266		(活塞式)赫克 力斯264,265	2×1950	意蘭德 NEL.1	2690	54	康維爾 340	軍用 運輸機	500		
	B-17	中型轟炸機	262	9150	(活塞式) R-1820-97	4×1200	T-34-P-3	5700	50	C-133A	旅客機	525	5490	
國	超星座式 (C-69)	旅客機	528		(活塞式) R-3351-DA	4×3250	501-D13	3750	57-60	伊列克特 列	旅客機	652	6700	
	B-47	戰略轟炸機	960		(噴氣式) J-47GE11	6×2390 公斤推力	T49	10380	54-55	XB-47D	試驗機			
	XF88B	試驗機			(噴氣式) J34	2×1530 公斤推力	XT-38	2925	53					

为試驗渦輪螺旋桨发动机而改装之試驗机

表3.

国 别	生 产 公 司	原 机		改 装 的 试 验 机					备 注	
		型 别	用 途	发 动 机 型 别	台 数 × 轴 马 力	型 别	换 装 之 发 动 机	台 数 × 功 率		最 初 飞 行 年 代
英 国	惠 斯 兰	瓦 纹	轻 载 攻击机	活塞式 EA2LE-22	1 × 3500	瓦 纹	皮 顿-3	1 × 4110	52	
	惠 斯 兰	S-58	直升机	活塞式 R-1820	1 × 1200	威 赛 克 斯	盖 兹 尔-3	1 × 1200	56.12	在美国改装 T58
	洛 斯·露 意 斯	达 可 他	运输机	R-1830-92	2 × 1050	达 可 他	达 特-504	2 × 1400	52-53	改装了 3 架
美 国	波 音	C-97	运输机	R4360	4 × 3250	YC-97J	T34	4 × 5700	55.4	改装了 2 架
	貝 尔	H-13G	直升机	活塞式 VO-435	1 × 200	XH-13F	阿 都 斯 特	1 × 230		专用试验机
	色 斯 纳	L-19	轻 型 旅客机	活塞式 0-470	1 × 213	XL-19B	XT-50	1 × 210	52.12	只改装了 12架
		L-19	轻 型 旅客机	活塞式 0-470	1 × 213	XL-19C	XT-51	1 × 286	53.12	只改装了 2架
	康 维 尔	C-131A	运输机	活塞式 R-2800-99w	2 × 2500	YC-131	YT-56	2 × 3750	54.7	改装了 2 架
	北 美	AJ-2p	轰 炸 攻击机	R-2800-44w T33-A-10	2 × 2400 1 × 2090	XA2J-1	T40	2 × 5850	52.1	改装了 1 架
	卡 曼	HOK-1	直升机	活塞式 R-1340-48	公斤推力 1 × 600	HOK-3	XT-53	1 × 835	56.9	
国	洛 克 希 德	R7V-1	运输机	活塞式 R-3350-34w	4 × 3250	R7V-2	T34	4 × 5700	54.9	改装了 2 架
		C-121C	运输机	R-3350	4 × 3250	YC-121F	T34-P-6	4 × 5700	55.4	改装了 2 架
	共 和	RF-84F	歼 击 机	喷 气 式 J65-W-3	1 × 3270 公斤推力	XF-84H	XT40-A-1	1 × 5850	55.7	试验超音 螺旋桨
	道 格 拉 斯	C-124A	运输机	活塞式 R-4360-20w	4 × 3500	YC-124B	YT34-P-1	4 × 5500	54.2	改装了 1 架
	西 柯 斯 基	HSS (S-58)	直升机	活塞式 R-1820-84	1 × 1525	HSS	T58-GE-6	2 × 1050	57.1	改装了 1 架

在飞行試驗室上須裝有專門的觀察仪表以檢查試驗发动机的工作情况，一般約有30种測量檢查仪表在飞行試驗室的视界內。此外还須安裝各种自动記錄仪表來記錄发动机的工作情况。有时，由于需要进行一些特定的試驗，而飞行試驗室的空間和載重有限，也可以采用一种地面測量发动机在空中工作情况的工作。如洛斯·露意斯公司曾用此方法研究飞行中渦輪叶片的振动，由滑环上获得关于叶片振动的信号后，藉助于无线电設備发送至地面的接收台。接收台用导线和几个地面試驗台內的示波仪相連結。在示波仪上即可获得关于振动的情况，并可以用高速照相机將它們拍摄下来，以便分析研究。

2. 渦輪螺旋桨发动机的試驗机 試驗机也是用来試驗发动机的飞行性能。与飞行試驗室的不同点是，在試驗机上只裝有被試驗的发动机，而没有其他动力裝置。所以，对于新設計的发动机而言，应该在飞行試驗室上完成飞行試驗后，再进行此种試驗机的飞行試驗。但是，拟用作单发动机飞机或直升机的发动机，一般不經過飞行試驗室試驗，而改型的发动机就没有必要再进行飞行試驗室試驗了。

在这些情况下可以直接进行試驗机飞行試驗。通常，試驗机不是專門制造的，而是以原有的活塞式飞机改装成的。如达特发动机經過在兰卡斯特和威灵頓等飞机—飞行試驗室上試驗后，用达特发动机改装了三架C—47交給英国欧洲民航公司試用。艾利逊501—D13除了在超星座式飞机—飞行試驗室上試驗外，該公司还准备改装一架完全裝用501—D13型发动机的試驗机进行試驗。

某些改装的試驗机列于表3

3. 样机試飛 这是將发动机裝到准备使用此发动机的原型飞机上进行的飞行試驗。这一工作是飞行試驗的最后阶段。所有的飞机和发动机在正式使用以前进行这种試驗。

4. 飞行試驗的内容 大致可分为以下几方面：

(1) 使用性能試驗 試驗渦輪螺旋桨发动机在飞行器上工作时的性能，也就是飞行器的性能。其中包括飞行高度試驗（如T53在S—58直升机上，盖兹尔在WADC上），长期飞行試驗（如达特和普魯鳩斯），飞行速度試驗（如XT51在S—59上）等。試驗時間可以是25小时，也可以按一定规范进行。如达特发动机在1951年曾按下列程序重复的进行了由伦敦到羅馬的航行試驗。

表4.

試驗状态	試驗時間(分)	轉数(轉/分)
1 起 飞 滑 行	6	6000
2 起 飞	1	14500
3 爬 高	42	13300
4 巡 航 飞 行	131	13300
5 下 降	125	10000
6 降 落 下 滑	5	10750
7 降 落 滑 行	6	6000

(2) 不同气候条件下的飞行試驗 检查发动机在热带、寒带、降雪和高湿度等不同气候条件下的工作情况。如达特发动机曾装在子爵式旅客机上，在非洲进行了約70小时的热带飞行試驗，然后又飞到加拿大进行了寒带气候試驗。普鲁鳩斯也曾安装在大使式飞机——飞行試驗室上，于1954—1955年冬天，在加拿大零下28°C的气温条件下进行飞行試驗，以检查发动机的起动和操縱性。

在結冰的条件下进行試驗，是飞行試驗的重要内容之一。几乎所有的渦輪螺旋桨发动机都在飞行中进行过結冰試驗，如早期的奈得发动机 (Na. Naiad) 在林格里飞行試驗室上，曼巴发动机在兰卡斯特飞机上进行过这项試驗，达特在子爵式飞机上在 1500~3000 米高度上进行过10小时的結冰試驗。艾利逊501—D13也曾 在图波—林勒飞行試驗室上进行这种試驗。曼巴发动机曾在飞行試驗室“兰卡斯特”上进行此种試驗：安装在头部的曼巴发动机被一圈管子圍繞，飞行时管内噴出細小的水点以模拟結冰的情况。

普鲁鳩斯发动机曾由于进气口結冰后冰块进入发动机内造成灭火，以致采用此发动机的不列顛式旅客机几乎延迟了11个月才正式使用。为了解决此問題，布列斯托公司化了許多時間来进行試驗和修改发动机。为了試驗这些改进措施的效果，在1956年5月在一架不列顛式 G—ANBH飞机上进行过飞行試驗。在飞机上安装了三台改进的发动机和一台原来的发动机，以資比較。此外在发动机的进口安装有电视設備，以便观察飞行中的結冰情况。

(3) 飞行中发动机各操縱系統的試驗 如双曼巴发动机进行过空中开车和停車試驗（因为双曼巴在巡航时是以一台发动机工作的），以检查起动系統的工作情况。为了检查負扭矩自动順桨系統的工作情况，YT56—A—3发动机曾进行多次地面滑行試驗。进行时，駕駛員把一台发动机的油門关掉，使飞机在地面滑行，螺旋桨由于风車效应产生一負扭矩信号。这一信号經負扭矩传感器操縱变矩系統使螺旋桨順桨，同时使另一台发动机之油門自动换到起飞功率的位置，以保证既无风車阻力，又有足够的功率来安全的起飞。該发动机也曾 在1325和3050米高度上試驗过这一系統。以保证当有一台发动机在飞行中损坏时能自动順桨，而其他的发动机功率可自动的增加。

(4) 发动机在飞机上的地面运轉試驗 直升机多半要进行此种运轉試驗，其目的是检查发动机传动系統的可靠性以及与旋翼的协调工作。如T53共进行此种运轉近700小时，阿都斯特也进行了此种运轉試驗。

直升机发动机的另一种机上运轉是悬停試驗。这是将直升机悬挂在一特制架上，开动发动机进行試驗。T53进行过350小时的悬停試驗，几乎和飞行試驗的时间相等

四 試驗室研究与試驗

試驗室研究試驗的对象可以是新設計出的零件、部件或整台发动机，也可以是已經試驗或使用的发动机或其另件和部件。前者主要是在初次台架試車前进行，其目的是为了保証各个另件和部件工作可靠和性能良好。后者主要是研究发动机在試运轉和或使用中发现的故障，以找出改进措施。为了成功的設計新发动机或不断改进现有发动机的性能，都必须进行大量的研究試驗，而这些研究試驗所累积的資料，就是良好性能的保証和新型設計的基础。也正是由于这种原因，資本主义国家关于这方面的資料极为保密。发表过的极少数情况

也大都都是为了广告宣传的目的，所以資料很少。特别是关于渦輪螺旋桨发动机存在的一些关键性問題。如螺旋桨和发动机的协调工作；双轉子及自由渦輪的协调工作；变矩及測扭系統；減速器齿輪强度和磨損；燃燒室及渦輪的工作寿命；調節系統等等，每个制造和設計渦輪螺旋桨发动机的公司都进行了大量的試驗，但很少公开发表。

下面，根据十分有限的資料談談研究試驗的一般概况。

1. 原理方面的試驗研究 这是对各部件的試驗，可以用試件（真实的部件）也可以根据相似律采用模拟方法（用縮小的試件）来进行。根据部件試驗結果可以相当准确的分析出整台发动机的性能，为設計打下良好的基础。

在原理方面，首先是对叶片的研究。在这一点上正如其他燃气輪机一样，也要进行叶柵吹风和单級試驗等等。

在渦輪螺旋桨发动机的研究中，压气机經常是一个关键性的問題。这不但因为渦輪螺旋桨发动机要求增压比大和效率高以保証低的耗油率，以及要求良好的稳定性保証工作安全可靠，也因为它具有渦輪噴气发动机所沒有的压气机和螺旋桨协调工作問題。对于单軸式軸流压气机的发动机这个問題尤其显得重要。意兰得发动机由于压气机存在的問題經過了几年時間的試驗調整。奧利安发动机的与螺旋桨联結的低压压气机上在試飞前差不多試驗了2000小时。不只是这样，即使是不和螺旋桨联結的軸流压气机，也要进行大量試驗。如T58（自由渦輪带动旋翼）的軸流压气机在試車前后共用了12台进行2500小时的試驗。此外，还进行了10150米高度的高空試驗。普魯鳩斯的压气机也进行了大量的試驗。

对渦輪螺旋桨发动机燃燒室的試驗，主要是为了改善火焰及冷却空气的組織，以提高火焰筒的寿命。如达特发动机的火焰筒結構經過多次試驗，共修改了三次，才克服积炭及裂紋的故障和通过使用条件的試車，这些工作总计差不多花了四年時間。公司为解决此問題还进行过在火焰筒內壁涂陶瓷的試驗，但后来并没有被采用在发动机上。又如奈皮尔公司曾在意大利用上用逆流喷射火焰筒进行了173小时的运转試驗。

对渦輪进行研究試驗的目的是提高渦輪的寿命，改进渦輪的效率。在改进效率方面，如普魯鳩斯曾試驗帶冠叶片，証明它可以提高效率2%。在盖茲尔发动机設計之前奈皮尔公司曾用意大利的渦輪进行了試驗，以便确定在沒有叶冠时，工作叶片尖端和渦輪外环間最有利的径向間隙的数值。渦輪的进口温度 T_3^* 是綜合影响經濟性和寿命的最重要的因素，这一指标对渦輪螺旋桨发动机具有特別重要的意义。在保証可靠性及寿命的条件下 T_3^* 越高越好。所以不少的機種都进行过提高 T_3^* 的試驗。达特发动机曾在提高了 T_3^* 的情况下进行試驗：試驗結果是导向器叶片报废了，不过在 T_3^* 不高于 856°C 时有的叶片可以工作到900小时。

奧利安也用了比正常巡航温度高 75°C 的 T_3^* 进行1230小时的持久性試驗。

工 作 状 态	正 常 的 T_3^*	試 驗 的 T_3^*
起 飞	856°C	896°C
巡 航	777°C	856°C