

大函道比涡扇发动机试车台气 动力设计的特点

航空工业部第四规划设计研究院 国绍荣

摘 要

本文简要地阐述了大函道比涡扇发动机试车间气动设计的特点;并结合民航7907试车台的建设经验,讨论了保持试车间流场均匀的极端重要性。这些经验对于我们今后设计大函道比涡扇发动机和螺旋桨风扇发动机试车台时,将是十分有用的。

一、引 言

由于大函道比涡扇发动机具有推力大,油耗低的优点,已被成功地应用于大型民航客机上。我国自从引进波音-747飞机后,为适应维修JT9D系列的大函道比涡扇发动机的要求,在北京维修基地新建了7907试车台。

民航7907试车台是一个多机种通用的试车台,除可供JT9D大函道比涡扇发动机试车外,还可供JT3D、Spey512、JT8D等系列的涡扇发动机试车使用。该试车台的主要设备是从美国中央工程公司引进的。台架能力,按推力45~54t设计。试车间的气动轮廓尺寸是根据美国中央工程公司提供的资料,在国内完成施工图设计的。试车间的空气流量约按1600kg/s设计,这就使本试车台具备了足够的发展裕度,可供今后更大的涡扇或螺旋桨风扇发动机试车使用。

二、大函道比涡扇发动机 试车间气动力设计的主要特点

(一)大函道比涡扇发动机同纯涡喷发动机两者试车间的型式有很大的差异。由于大函道比涡扇发动机的风扇直径大,风扇流量也大,对迎面气流的均匀度异常敏感。而纯涡喷发动机由于直径小,流量也不大,保证其进口气流均匀并不太困难。由于这个差别,大函道比涡扇发动机试车间的截面尺寸大而且选取了特殊型式的试车间进气通道,这种进气通道既满足进气干净,避免大颗粒固体物质吸进试车间,打坏叶片,又能兼顾风扇的进气流场均匀的要求。

(二)大函道比涡扇发动机的函道比一般为5:1,甚至更大。函道比越大,风扇的空气流量同核心发动机的空气流量的比值越大。例如, JT9D涡扇发动机总空气流量为

1986年7月10日收到

678kg/s, 其中核心发动机的空气流量仅为 113kg/s。发动机的风扇流量大大超过核心流的流量, 并且同核心流掺混, 导致混合后的气流温度大幅度降低。由于具有这个特点, 试车间引射器的引射系数 n 一般保持在 0.5~1.0 之间。

三、7907试车台气动设计中采取的措施

(一)在试车间进口两侧设置了垂直折流型进气通道, 气流沿着试车间的两个侧面折回合成, 每个进气口分三段, 由混凝土浇筑成垂直的弯曲板, 使气流转为水平后通过可

旋转导流消声叶片进入试车间。可旋转导流消声叶片通过液压装置挂在吊轨上水平滑动。在收回位置时, 发动机可从前方进入试车间, 关闭时, 空气通过进气口和可旋转导流消声叶片进入到试车间内。

采取垂直折流型进气通道最主要的优点是进气不受风向的影响和保持进气干净, 对于消除自进气通道外传的噪声来说, 由于有两个转弯弯头, 增加了声衰减的作用。同采取水平进气通道相比, 对进气流场的均匀度来说, 垂直折流型进气通道要差些, 因此采用可旋转导流消声叶片的措施来改善试车间的进气流场。在两个进气口的塔顶安装了进气格栅, 其作用是整流和防止飞鸟进入(见图1)。

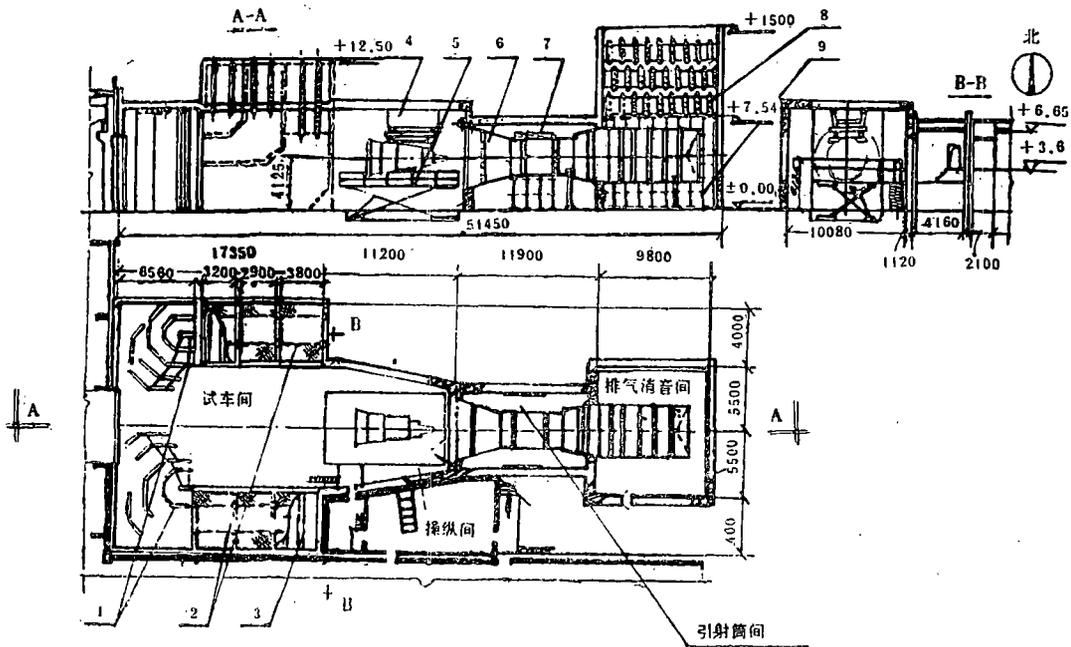


图1 7907号厂房试车台工艺布置图

- 1—可旋转导流叶片消音门; 2—防鸟网; 3—进气消音装置; 4—屋顶悬挂式试车台架; 5—升降工作平台;
- 6—引射筒及开孔扩压器; 7—引射筒间墙面吸音贴面板; 8—排气道消音装置; 9—排气消音塔间吸音贴面板。

(二)7907试车台设计了大截面, 收敛形的试车间。试车间主截面为10.08m(宽)×8.2m(高), 横截面积为82,656m², 是依据试

车间进气部分的最大流速不大于15m/s而定的。在发动机进口前有一大约10m的直线段以稳定气流, 从发动机进口区到引射筒的试

车间的宽度是逐渐收缩的。这样做的目的是减少试车间角落涡旋死区,改善了引射筒的进气条件,同时也减少了为支撑悬挂式台架所需要的受力顶棚的跨度,改善了土建结构受力状况。

JT9D发动机风扇的直径为2,428m,迎风面积为4.63m²。为了防止两侧墙壁、顶棚、地面对风扇气流的干扰,发动机悬挂在4.25m的中心线上,另外试车间采用低流阻的屋顶悬挂型台架,保证了发动机风扇四周来流通畅。试车间地面上采用了升降式安装工作平台,试车时降落在地面上,同地面齐平。

(三)试车间的排气道采用了引射筒-开孔扩压器系统同垂直排气道相结合的类型。引射筒采用了大锥度的倒向进气口和引射长度L同直径D的比值(L/D)为1.74的做法,目的是保持引射筒进气流场通畅,减少对发动机排气口周围的气流干扰,不追求过多的被引射气流量。位于排气道下方的开孔扩压器,在结构处理上同引射筒的出口分开。开孔扩压器的作用是使排气气流进一步扩散均匀,减少反压对发动机排气气流的影响。为了防止开孔扩压器结构自振对声衰减的影响,沿开孔扩压器圆周方向设置了两道防振环,紧固在筒体上。在排气道的四周内墙面和上部设置了金属片式消声器。

实测结果表明,这样型式的排气道能满足大涵道比涡扇发动机的试车要求。7907试车台在试JT9D-7J发动机时,实测的引射系数 $n=0.66$,满足了设计的要求。

四、从7907试车台的运行经验来看进气流场的重要性

该台在调试Spey512-5W, JT3D两型发

动机过程中,利用在试车间内发动机进、排气口前后两处悬挂的飘带,检查了气流流场,证明流场通畅,没有发生意外的故障。

但对JT9D-7J发动机,在 $EPR = \frac{P_{t2}}{P_{t7}} = 1.7$

~1.4时,发动机压气机却产生了轰鸣,随即出现了喘振,发动机喘振的诱因来自哪儿?在检查了全部仪表指示正常无误,又对发动机经过探伤、深望镜以及可能出现故障的薄弱环节进行了检查后,一切正常良好,排除了误操纵和发动机本身的原因。通过分析,排除了其他因素的影响,把注意力集中在可旋转导流叶片上找原因(见图2a)。

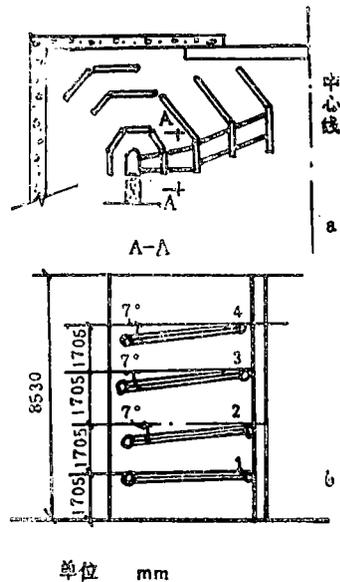


图2 7907试车台活动导流叶片加隔板位置图

可旋转导流叶片的每片门扇从高到低在高度方向无隔板,上下气流相通。是否由于这种结构上的原因使各种局部的干扰使整个通道内气流不均匀,甚至产生涡旋,从而引起发动机的进气畸变,导致JT9D-7J发动机的压气机叶片局部气流分离,很快影响全部失速喘振呢?

为了验证这种分析,在可旋转导流叶片

每扇门之间加了四道隔板。隔板为 $\delta=6\text{mm}$ 钢板，通过角钢与导流门扇连接；在钢板前缘还焊接了 $\phi 10 \times 1$ 的圆管以防扰流，所加隔板除第一块外都往下倾斜 7° 角（见图2b）。这个角度是通过试验得来的。英国咯里多尼亚航空公司修建的试车台与民航7907试车台完全一样，也是采用上述办法解决喘振的。

加了隔板之后，JT9-D7J, JT9D-7R4 试验时都未出现喘振现象。

为了研究进气流场对发动机的影响，加隔板前后都对同一机种在相同位置，相同仪表下进行了气动测试，在此仅举 $EPR=1.5$ 这组数据进行分析比较。

时间：1984年4月3日						时间：1985年6月8日				
测点	总静压差 mmH ₂ O	空气流速 m/s	截面积 m ²	空气流量 kg/s	引射系数 "	总静压差 mmH ₂ O	空气流速 m/s	截面积 m ²	空气流量 kg/s	引射系数 n
1	5.08	8.95	82.656	918.81	0.86	5.08	9.24	82.656	890.52	0.66
2	9.144	12.01		1232.95		7.62	11.32		1090.99	
3	10.16	12.66		1299.68		7.62	11.32		1090.99	
4	11.684	13.58		1394.12		8.89	12.22		1177.73	
5	9.144	12.01		1232.95		7.62	11.32		1090.99	
6	9.144	12.01		1232.95		7.62	11.32		1090.99	
7	13.716	14.71		1510.13		11.43	13.86		1335.78	
8	13.716	14.71		1510.13		11.938	14.17		1365.66	
9	10.16	12.66		1299.68		10.16	13.07		1259.65	
平均		12.59		1292.49		11.98		1154.6		

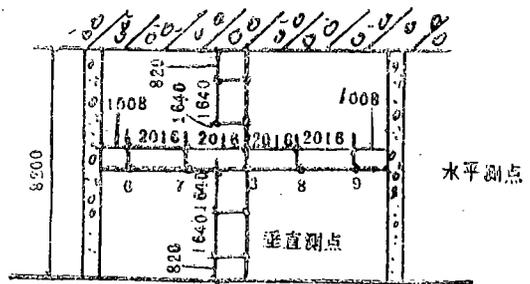
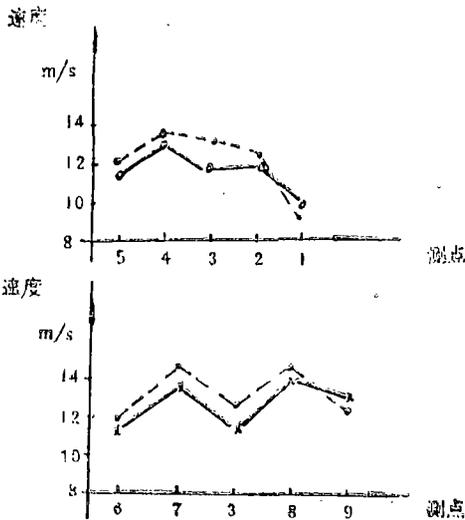


图3 7907试车台进气流场测点布置及加隔板前后速度分布(从前向后看)

图中虚线为1984年, $EPR=1.5$, 没有加隔板时的速度分布; — 直线为1985年

$EPR=1.5$ 加隔板后的速度分布。

从图3看出没加隔流板之前最大速度在7点和8点位置上为14.71m/s,最小速度在1点位置上为8.95m/s,两点速度差为5.76m/s。在等环面的对应点最大速度之差为3.06m/s,平均速度为12.59m/s。加隔流板之后最大速度在8点位置为14.17m/s,最小速度在1点位置为9.24m/s,两点速度差为4.93m/s,在等环面的各对应点最大速度之差2.08m/s,平均速度为11.98m/s。从实测结果看,加隔流板之后确实改善了流场均匀度。

在标定试车台架,调试Spey 512-5W, JT3D两型发动机过程中,利用在试车间内发动机进排气口前后两处悬挂飘带,检查气流流场,证明流场通畅。从气动力实测结果来看符合原设计指标;满足了气动力的要求。只要进气部份的结构形式不变,气流的流场就不会改变,如有变动,再做气动性能的测试以及挂布条观察流场的均匀性,直到把试车台调到符合要求为止。

本试车台的气动轮廓尺寸,是在美国中央工程公司经过缩尺模型吹风试验后选定的。从7907试车台的建设经验来看,模型吹风合格后,实际工程中仍然会出现原来料想不到的问题,特别是流场均匀度问题。这只能按照实际经验来处理。

五、7907试车台设计上存在的一些缺陷

7907试车台在调整过程中的实践证明,本试车台的设计尚存一些不足之处。例如,排气道的高度比进气塔高出2.5m,本来是考虑防止出现排气倒流现象的,但实际运行经验证明,这个高度还太小,当刮东风时,曾出现过少部分排气随进气被吸入的现象。另外,进、排气道没有防雨雪的顶棚,装在进、排气道垂直通道中的金属消声器的使用寿命将受到影响。

AERODYNAMIC DESIGN CHARACTERISTIC OF TEST CELL FOR HIGH BY-PASS RATIO TURBOFAN ENGINE

Guo Shaorong

(China Aeronautical Project and Design Institute)

Abstract

This article briefly introduced the aerodynamic design characteristic of test cell for high by-pass ratio turbofan engine and discussed the extreme importance of keeping an uniform flow distribution in the test cell with the consideration of the construction experience of 7907 test cell for CAAC. This experience will be very helpful in the design of test for high by-pass ratio turbofan engine and propeller-fan engine.