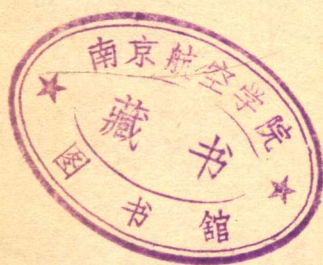


四种涡轮风扇发动机 燃油系统



国外航空编辑部

1972年4月

√235.13
1001-7

四种涡轮风扇发动机 燃油调节系统

(内部资料)



30267393



1972.4

316638

目 录

一、RB-211发动机燃油调节系统.....	(1)
二、JT-9D发动机调节系统.....	(12)
三、CF6发动机燃油调节系统.....	(28)
四、“斯貝”发动机燃油调节系统.....	(40)

RB-211发动机燃油调节系统

罗尔斯·罗伊斯公司的 RB-211 发动机是一台具有比较先进技术的发动机。在发动机设计方面，它继承了过去许多经验，是一台三轴发动机，这样便满足了现代大型亚音速运输机对发动机的要求。当然，采纳这样一个比较先进的发动机设计方案，实际上要有相应的使用合适的调节系统，该调节系统应具备先进的技术，同时，还要求具有使用可靠和较长的使用寿命。这台发动机选用的调节系统与现在民航机已用的调节系统在某些方面是不同的，但是，它的设计采纳了军用和民用飞机的经验，使它成为了调节系统第三代设计，该调节系统已积累了大量的使用经验。

本文将首先简介整个调节系统，然后比较详细地介绍电子控制箱。

发动机要求

对于现代任何飞机发动机而言，都要具有重量轻耗油率低的特点。要满足这一要求，发动机能够在相当高的压力比和高流量比的情况下进行工作，以便获得低的耗油率和满足飞机需要的高推进效率。由于对发动机噪音水平进行限制，需要采用一级风扇，最好也不采用进口导流片。飞机进场时可以降低风扇的转速，以使发动机噪音水平保持在可接受的数值之内。降低风扇的转速是靠改变喷射热燃气的喷口面积而完成的。使用三轴发动机而带来的问题，比较容易解决，同时，增加了优点，即改善了发动机的操纵特性。发动机所有的这些特点，在设计发动机调节系统时都要考虑到，同时，确定飞行员的要求以及发动机设计图则是调节系统的要求依据。

调节系统要求

飞行员在任何时候都必须能够控制发动机的推力，而很容易地获得任何所需要的推力的增加或减少。发动机制造公司的特殊要求是 RB-211 发动机装的调节系统在出现任何故障时，提供适当的自动限制，这样就免除了飞行员所需要的迅速动作，发动机不是直接处于故障状态，故限制器不起作用。要求飞机能够在选定的恒速、高度、爬升率或下降率进行飞行，开始选定推力水平后，不需要重新调整油门杆。同时，重要的是所有发动机的油门都处在同一位置，不产生妨碍多台发动机操纵的推力摆动现象。在所有飞行状态下，发动机的加速和减速都是可能的，都不会出现任何故障，在任何特定时间都不需要参考发动机工作条件。调节系统必须具有发动机突然加速的能力，这种突然加速性虽然一般在民航飞机上不采用，但在应急状态可能采用。调节系统必须设计成能限制发动机的所有主要参数，以便防止发动机机械破坏、超温或超压，以及超转等。

对上述要求的考虑及发动机详细的评价，从理论上选择压力比当成主调节参数。对于这种三轴发动机，要考虑各种压力比，但最终要决定总压力比，即燃烧室压力与进气道压力之

比(P_4/P_1)，这是解决问题的有效方法，采用这种方法的理由是：

1. 对于给定的高度和 M 数，不管外界温度如何，其固定的 P_4/P_1 比与推力的关系是非常一致的， P_4/P_1 比是感受调节推力。

2. 在考虑发动机推力摆动、工作恶化和仪表误差时，调节 P_4/P_1 在推力方面得出很小的误差。

3. 调节固定的 P_4/P_1 ，甚至在改变喷口截面的时候，也能获得几乎不变的推力，这样，飞机在进场着陆时，不需要飞行员调节油门来保持推力不变，就能够减小喷口面积以便降低风扇的转速和减小噪音。

飞机在爬升和巡航时，为了满足驾驶杆固定在某一个位置上，除了驾驶杆角度外，必须用 P_1 来改变所需要的 P_4/P_1 的调定，同时，要考虑飞机的航迹，已经得出了 P_4/P_1 与 P_1 作为油门角的参数的适当要求。

为了保证发动机在各种飞行高度飞行不受天气的温度影响而具有良好的操纵性，需要无因次的加速调节器。同时，需要对压气机最大出口压力(P_4)，低压轴转速(N_L)和涡轮进口温度(T_7)等各种参数进行限制。

設計原理

为了满足上述要求，以民用斯贝发动机燃油系统为基础的RB—211发动机的调节系统是第三代调节系统，结构紧凑，在使用中解除了许多故障，这台发动机用全范围的压力比限制代替了以前的全范围转速调节，从而带来许多特点。

下面介绍这种调节系统的某些主要特点。在设计方面，对可靠性，使用和维护等问题也做了类似考虑。

燃油系統的特点

1. 用一个具有低力矩和作为功率平衡用的零油门摆动的单杆来调节全范围的功率；
2. 用进气道温度的非因次特性来控制全自动加速和全自动减速；
3. 自动限制低压轴转速(N_L)和低压涡轮进口温度(T_7)；
4. 没有附加装置就可自动限制 P_4 ，飞行慢车转速和制动功率控制器；
5. 调节系统可以使用任何燃油进行工作，而不需要调整并且不受燃油污染和杂质的影响；
6. 减少了密封件的数量，没有小的燃油口或局部油滤；
7. 尽量使用了旋转活门大大减少滞后作用。

燃油系統

图1所示为调节系统的液压部份。本文先简单介绍整个系统，然后介绍燃油系统用于 T_7 和 N_L 控制的放大器，同时，比较详细地介绍在进场时RB—211发动机出现的调节问题。

调节系统一般可分为三个部份：带有主回油调节活门的泵压系统，燃油流量调节器和空气调节器， T_7 和 N_L 电子控制装置和放大器。其次，还有其它小的装置，如停车开关，在此不做介绍。

泵压系統 图2所示为泵压系统，它由一级混流式离心泵组成，其作用是给高压主齿轮

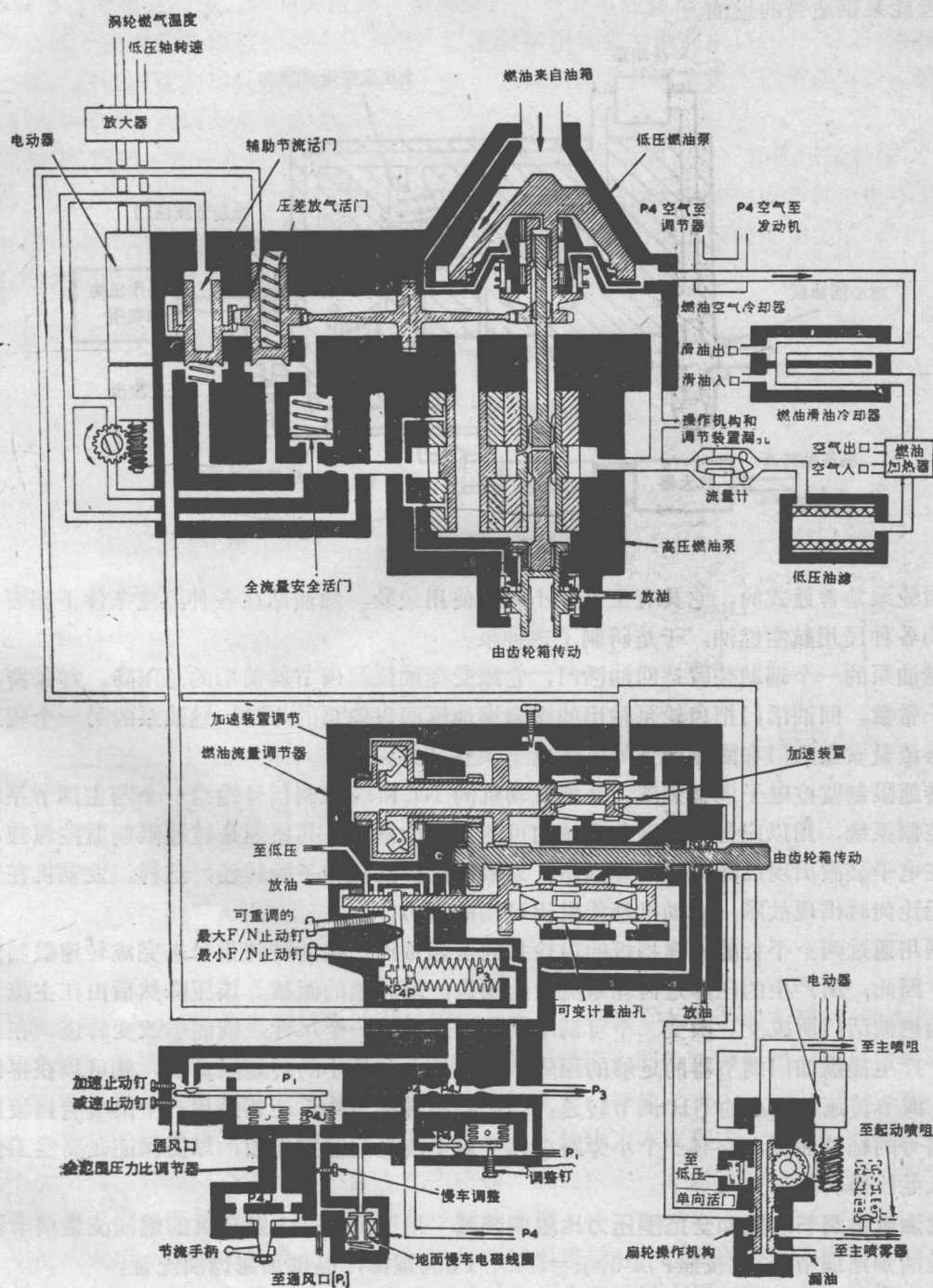


图1 RB-211燃油系统

泵供油。为了满足在燃油进口处具有高气液比的可能性，选用了混流式离心泵，离心泵要始终给齿轮泵供适当的燃油。

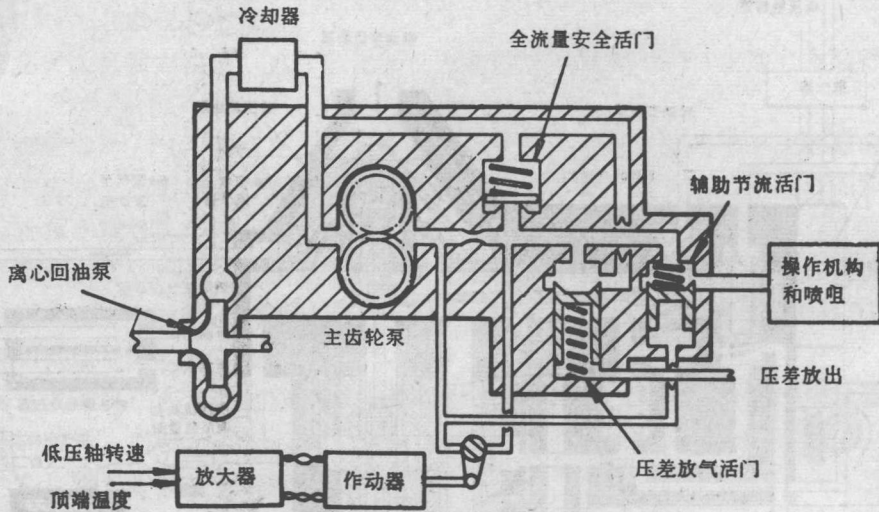


图2 泵压系统

齿轮泵是普通式的，它具有上百万小时的使用经验。加油站在各种温度条件下都要提供高压的各种民用航空燃油，于是研制了这种泵。

燃油泵的一个辅助装置是回油活门，它感受燃油流量调节器前后的总压降，并保持其压降为一常数。回油活门把齿轮泵输出的多余燃油返回回齿轮泵的入口。燃油泵的另一个辅助装置是全流量安全活门和限制转速的监控电子调整装置。

转速限制监控电子调整装置，是把发动机的 N_L 和 T_7 限制信号输给一个与主调节系统无关的控制系统，用以应付在主调节系统内可能产生的故障。其原理是转速限制监控原理，因此，在电子装置出现故障时，断开线路，只限制减少高压转子的转速，这样，发动机在工作时，无论何时出现故障，发动机都能发出可用的推力。

利用通过两个平行的喷嘴挡板的齿轮泵的全容量而产生的转速信号来完成转速限制监控作用，因此，所产生的压降是齿轮泵流量的函数，即转速的函数。该压降然后由在主流量管路上的燃油活门所感受。改变二个可调喷嘴挡板之中的一个尺寸，就能够改变转速，在该转速下，产生操纵油门调节器的足够的压降。依靠最大和最小的转速限动块，就可以获得最大的 N_H 调节转速和最小的 N_H 调节转速。即使限制转速下降，还要采用一个由喷嘴挡板接受压降信号的辅助油门，它有一个小旁路，几乎对全流量起监控作用，以便保证在高空工作的发动机始终运转。

燃油流量调节装置和全范围压力比限制装置 用于 RB-211 发动机的燃油流量调节器是非线性的加速调节器，它按照 $F/P_3 N_H = f/P_4/P_3$ 的规律，提供加速燃油流量。

用 (KP_4p/P_3-a) 来解释 P_4/P_3 ， KP_4p 压力是由空气口管路中所产生的 P_4 压力的函数。 KP_4p 和 P_4 的关系，在加速时，可以看成是预调关系，在稳定运转和减速时，可以改变这种预调。

用全范围压力比限制器获得稳定运转的调节，这时把预调 P_4/P_1 看成为 P_1 和油门角的函数。

全范围压力比限制器靠可变喷嘴挡板操纵燃油流量调节器，喷嘴挡板改变 P4 压力和由 KP4p 调节器所感受的压力之间的关系，因而获得了所要求的稳定运转的燃油流量。在燃油流量调节器上的调整块调整 F/N 的最大值，以便限制压气机的最高出口压力，它还调整 F/N 的最小值，以便调整发动机高空慢车状态。在不需要任何重新调节稳定运转调节器，调节器的加速和转速预调的调节是可能的。

T7 和 NL 调节 用一个电子调节器来获得低压涡轮进口温度 (T7) 和低压轴转速 (NL) 的调节，电子调节器感受 NL 和 T7 并把它输送给放大器。然后放大器的输出量供给电作动器，电作动器按照在泵压系统所叙述的那样来调节燃油流量。这个调节系统采用了电子调节技术，下面介绍电子放大器的结构和性能。

电子调节系统的工作情况

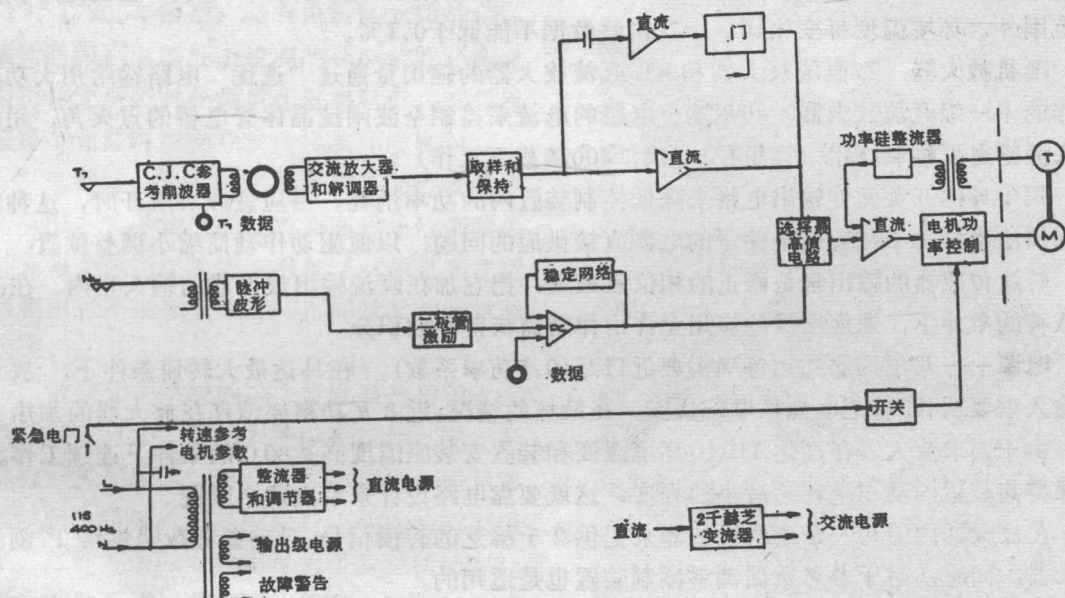


图 3 放大器方块图

T7 放大器——由 T7 热电偶输出的电压输出量通入一补偿和扣除参考数据的 (调整在 950 和 1150 K 之间) 冷接点。由预先调的高稳定的电压电源获得大部份参考数据。用一个外部调整装置来改变附加电压电源就可获得参考数据的变化量为 $\pm 25^\circ\text{C}$ 。

由 2 千赫芝操纵的晶体管削波器把温度误差电压转化为方波形式，并靠一个变压器耦合进入主放大器。只要精心设计和平衡这个变压器，就能获得一个对高的一般模式抑制效果，同时也保证了热电偶通地漏电并不能改变控制的温度。

交流放大后，解调削波温度信号以便提供直流误差信号。相敏解调器选择方波的高度并贮存这个值一直到第二个周期为止。然后误差信号作为直流放大器的输入量，直流放大器与稳定的电路相连接，以便保证 T7 闭环控制器的系统稳定性。

这种解调器输出的误差信号具有快速反响时间，但它具有低的脉冲含量。当区分温度时，重要的是要产生一个与温度变化率成正比的电压。适当选通后，当发动机全加速时，用该信号限制温度过调量。

削波器放大器，直流放大器和补偿器线路的組合的稳定性比 $20\sim 100^{\circ}\text{C}$ 的放大器的外界温度范围高 $\pm 2.5^{\circ}\text{C}$ ，同时在这个范围外其稳定性为外界温度每变化 10°C 最多不降低 $1/2^{\circ}\text{C}$ 。

NL 线路——与装在发动机内的可变磁阻拾器产生的轴转速成比例的频率信号通过变压器输入积分放大器。变压器有一个平衡的中心抽头次级线圈，提供高的一般模式(Common mode)抑制系统。放大器把波形转换成方形波，用来激励一个“二极管激励”转速电路。

转速电路产生与频率成比例的非常精确的电流，用此来准确的控制极限电位和开关电位。信号电流与数据电流在积分式运算放大器中相加。转速数据能够调整在 3750 和 4150 转/分之间。

转速误差加法放大器也需要装有必要的稳定线路，以便保证 NL 闭环控制系统的稳定性。用一个附加调整装置改变加法放大器数据信号其范围为 $\pm 3\%$ 。

放大器的环境温度范围为 $20\sim 100^{\circ}\text{C}$ 时，其调整数据在 $\pm 0.25\%$ ，同时，在上述环境温度范围外，环境温度每变化 10°C ，其调整数据不能低于 0.1% 。

电机放大器 T7 直流放大器和 NL 直流放大器的输出量通过“选优”电路输给用大功率工作的下一级直流放大器。利用这个电路的电流来控制全波闸流晶体管电桥的点火角，用电桥来激励电机控制绕组（绕组在 115 伏，400 赫芝下工作）。

用半导体开关元件输出电路来降低控制装置内的功率消耗。当应急开关断开时，这种线路连接法也简化了在应急条件下的电源直接供应的问题，以便驱动作动筒缩小调整位置。

转速传感器的输出量是修正的相位敏感量并把它加在直流输出放大器的输入量内。在改变载荷的条件下，速度反馈的应用允许由作动筒获得一致积分。

电源——双项伺服马达每项需要近 11 瓦 (0.5 功率系数)。在马达最大转速条件下，放大器输入需要从 400 赫芝电源供电 65 伏安。在最坏的情况，近 8 瓦功率要消耗在放大器的加热方面。由于要求放大器在高达 110°C 环境温度和装置安装座温度高达 80°C 的条件下连续工作，要保持其装置内功率消耗达最小的程度，这就要靠电路设计来解决这个问题。

在放大器内采用一个小的换流器来提供 2 千赫芝的转换信号，浮动参考数据供给 T7 削波器放大器。同时，对于参考数据调整控制装置也是适用的。

参考数据调整——在发动机所安装的装置中，不能采用电位计，这是因为在强烈振动状态下，其摩擦接触装置可靠性差之缘故。用小型差接变压器来获得 T7 和 NL 参考数据的外部调整。解调变压器的输出量以便获得 T7 和 NL 两个参考数据的附加电压。对于 T7 可以达到 $\pm 25^{\circ}\text{C}$ 的连续调整，对于 NL 可以达到 $\pm 3\%$ 的连续调整。

电子控制装置的结构

基本原理——选用转速监控装置，稍微降低了液压系统的基本可靠性，但是，燃油调节系统的精确性和通用性极大的满足了发动机最佳性能的要求。

下一步的基本决定是将电子控制装置安装在远离飞机构架的发动机上。电子控制装置安装在发动机上的主要优点是大量地减少了放大器和输入传感器和输出传感器之间外部导线接头的数量，结果增加了可靠性；由于不要很长的电缆和隔框接头，结果减轻了重量。调节系统安装在发动机上的另外的实际优点是，发动机是完整的动力装置，这样在把发动机安装在飞机之前，就能够试验发动机。

因此，需要一种装有可靠性很高的少量安全设备的电子控制装置。故选用了单路系统

(Simplex system) 使元件数量减至最少。这样, 除了电路测量精度以外, 电路的结构要受两个方面的限制。一个是所使用的元件数量要最少, 另一个是装置消耗的能量要最小。调节系统安装在发动机要遇到较高的工作环境温度, 当温度升高时, 其电子元件的可靠性迅速下降, 因此, 必须限制放大器内部温度的上升。

如前所叙, 靠电路的设计可把各种因素限制到某种程度。可靠性的过载控制是选择整个装置的元件和元件的工艺性问题。装在发动机上的放大器要遇到振动、高温和各种大气等情况, 装置的结构无疑是决定可靠性的最佳因素。

过去安装在发动机上的装置——早期发动机 (1965年前后) 装有由散装元件装在环氧树脂印刷电路板上组成的平面装置, 此微型组件完全密封在负载环氧树脂中。这样保证每个元件得到刚性支持以及环境密封。

这种结构形式的主要限制是元件安装密度有限, 为了膨胀匹配需要高导热性密封件并且每个微型组件成本增加了 (如果功能适当集中可不要微型组件)。同时尺寸和重量也大。

散装元件系统的进一步发展是用积木式器件装成更小、更精密的微型组件。图 4 所示为一典型装置。整个放大系统由一些用多层印刷电路板做为装配平台, 联成的微型组件。这种方法的安装密度为平面结构的 $2/3$ 。做为辅助系统的微型组件价廉, 同时如果需要, 能够单独散热。印刷电路用以简化可靠装配。

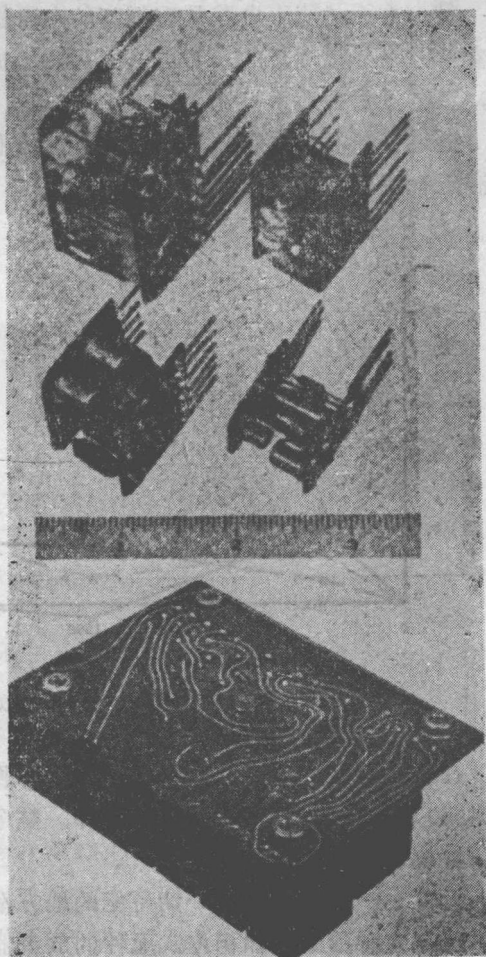


图 4 使用积木式微型组件的温度放大器

如果整个控制都用散装元件, 这种系统的可靠性是有限的。适当降低所用元件的耗电率, 选用完全经过试验和成熟的部件则能获得较高的结构完整性。但是由于以下原因不能得到进一步改进: 制造者和工序数量大, 要求生产许多不同型号的元件; 元件的许多接点需要互相连接以及大型元件在加速和受冲击载荷时机械应力高。同样, 单个元件可靠性的改进也因为为了获得可靠性数字需要进行整套元件的试验而增加了困难。

因此, 需要通过控制制造工序来控制可靠性。为达到这个目的最实际的办法是限制工序数量, 特别是那些受操作者熟练程度影响的工序。同样的道理也适用于元件的装配。

为了可靠性, 主要的是需要使用大量的由较少操作工序制成的元件, 而连接也最少。这就是今日的控制采取混合式系统的客观条件。

混合式结构的一般叙述——达到上述目的最好方法显然是用硅集成电路来构成整个发动

机控制放大器，也就是所有放大器散布在一个硅块之中。但是，这种系统有三个主要不利方面。第一，对于模拟控制来讲，硅集成电路的电阻和电容不令人满意。第二，专门电路价钱很高。最后也是最主要的，最高可靠性只能在大量制成复杂的硅集成电路时才能获得，这在发动机调节领域中（短期内）是不大可能出现的情况。

另一方面是薄膜电路具有很高的电阻稳定性（相当于金属薄膜分散元件），对函数变换和参考电路是很理想的。新电路所需加工成本很小，形成电阻和导体的无源电路的工序有限，工艺过程很适于控制。

通过带标准晶体管片的特殊薄膜电路和有检定可靠性的集成电路组的组合，可以制造基本满足上述要求的放大器。

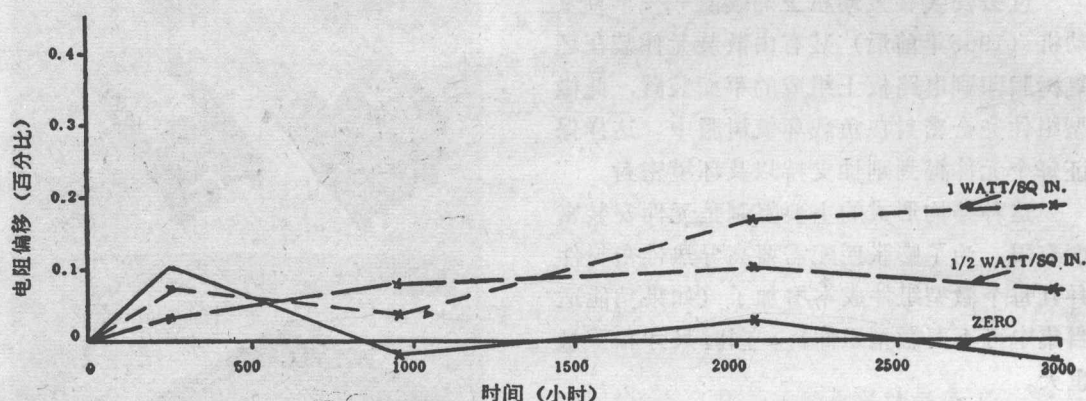


图5 温度循环对薄膜电阻稳定性的影响

在采用混合式电路结构中，特殊的薄膜电路装在一块铝板上的密封容器里，铝板上印有印刷电路以连接硅集成电路和其他元件。整个控制系统用两块铝板形成。它们互相连接，最后衬以海绵装入装置的外盒中。

元件——控制系统中一切可能的地方都采用标准硅集成电路。单块元件多数是操作放大器。使用这种形式的如积木式元件的放大器有几个优点。由于制造中工序数较少，原料纯度可以精确控制。一般电路所要求的连接点有80%以上消除了。热膨胀系数失配减少，同时由于固体电路的尺寸和质量都小，它们不易受冲击和振动的损伤。

平板状单块电路在时效和试验之后直接焊在厚膜互连板上。时效器件用于在高温和振动条件下保证最高的可靠性。

用以规定硅集成电路操作放大器功能的电阻网络和没有用硅单块的特别电路都用薄膜系统构成。电阻和导线网络用照像石版法确定（以硼硅酸玻璃为基础沉积镍铬合金和黄金）。精密控制沉积和以后工序保证生产的电阻器有低的温度系数和高的稳定性。用以制造整个互连电路同样的工序数目也是少的。

薄膜电阻从 -40 至 $\pm 150^{\circ}\text{C}$ 温度循环的典型结果见图5。该图表示生产元件在3000小时以内可得0.2%的稳定性。

薄膜电路一般公认限制是连接方法和被试有源器件与电路的结合。在本系统中，器件装在陶瓷基体上，在焊于薄膜的镀金导体路线上之前时效并在温度和电压作用下进行试验。所

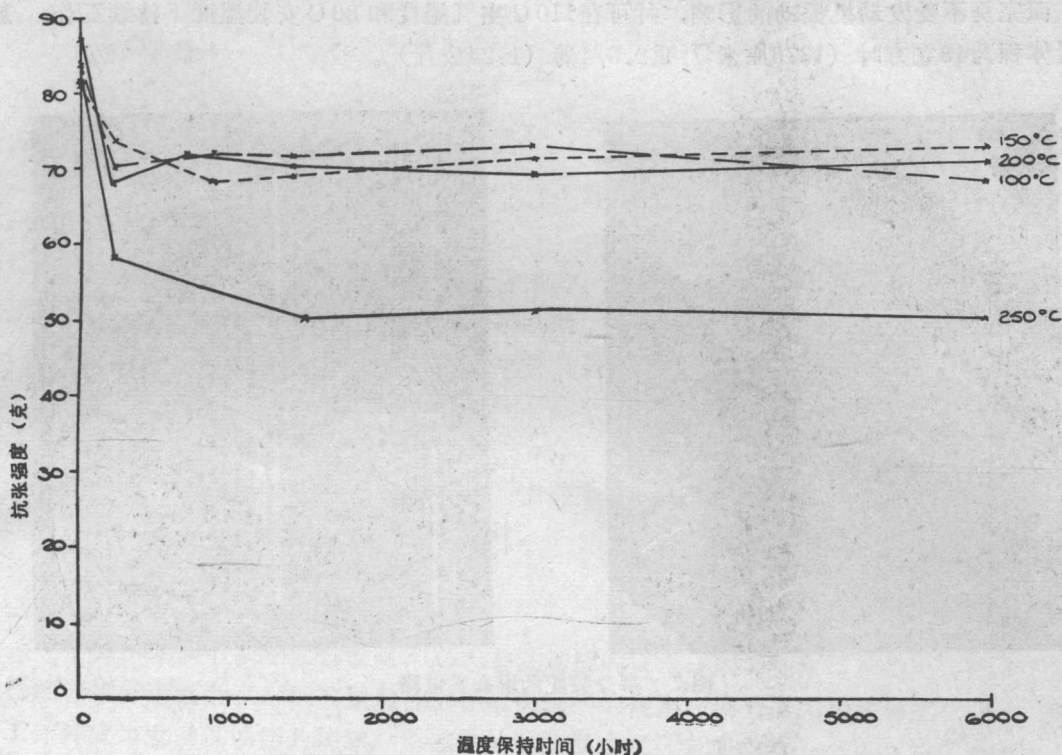


图6 温度保持(时间)对薄膜焊件的影响

有引出接点都要焊接。在高温中使用的薄膜最重要的是焊接。为了减少损伤精密安装的元件, 不仅工序要能更多地加以控制和反复进行, 而且要求热能要少。对在高温度下的薄膜电路的寿命来说钎焊接点的稳定性同样是一个限制因素。图6所示为长时间高温下进行的焊接接点典型强度曲线, 在200°C以下可量强度没有恶化(降低)。用组合法将使薄膜系统的紧凑性进一步提高。氧化铝板用以安装和连接薄膜以及硅集成电路和较大的散装功率元件。使用氧化铝是因为它有高的挠曲强度和较高的热传导性, 同时因为其线性热膨胀与薄膜电路所用玻璃基体相偶合。

氧化铝板制成印刷电路以形成所有导体, 其制做法是用丝网在所需形状的金属预制板上进行印制。然后在高温度下烧制以制成与氧化铝的材料紧凑稳固连接。薄膜和铝板粘接以及从薄膜引出、引入接头焊接之后, 铝板上粘接一个金属盖以形成薄膜电路的气密密封装置。此工序在氩气中进行以保证薄膜处于惰性环境中, 同时用氦检漏仪可以检查其气密密封。试验后硅单块电路装置和散装元件直接装在铝板上成为(最后)放大器的完整辅助(单元)部件。

图7所示为带一个薄膜电路的部分装配的铝板(没有加盖)。

装置结构——装置有两块铝板以安装所有元件, 较大的变压器是装在盖上的, 座板如图8所示。首先, 完整的辅助装置或铝板装于聚氨脂中以形成一个容易装配的部件。

铝板的散热靠适宜的安装管头和与座板连接的软带得到安排。整体装配和试验之后, 装置放入泡沫聚氨脂中。此泡沫保证防湿以及减少冲击载荷。装置的外壳适于直接装上发动

机，而完全不受发动机振动的影响，并可在110℃空气温度和80℃安装温度下持续工作。放大器体积为48立方吋（1376厘米³）重2.3/4磅（1.24公斤）。

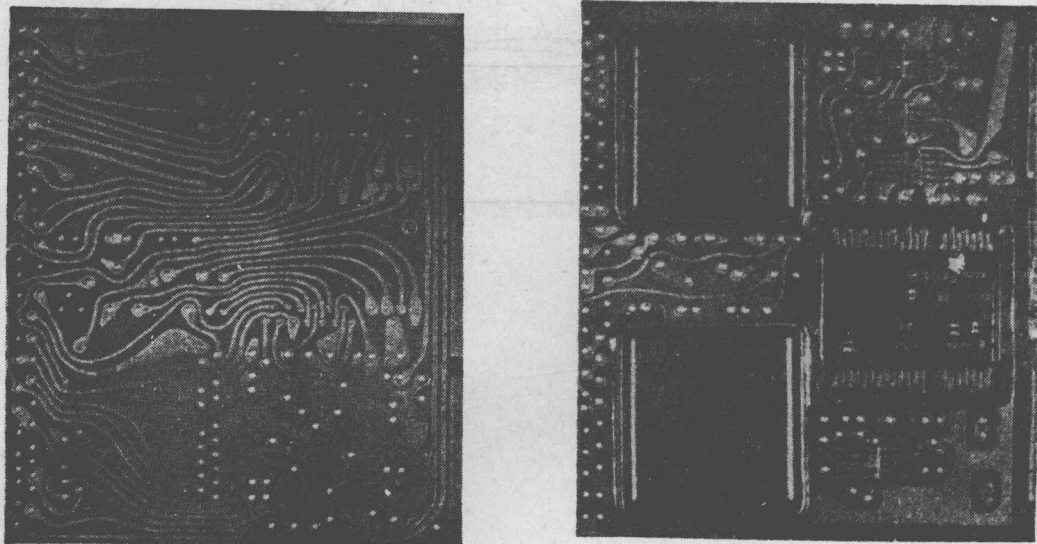


图7 部分装配的混合式电路

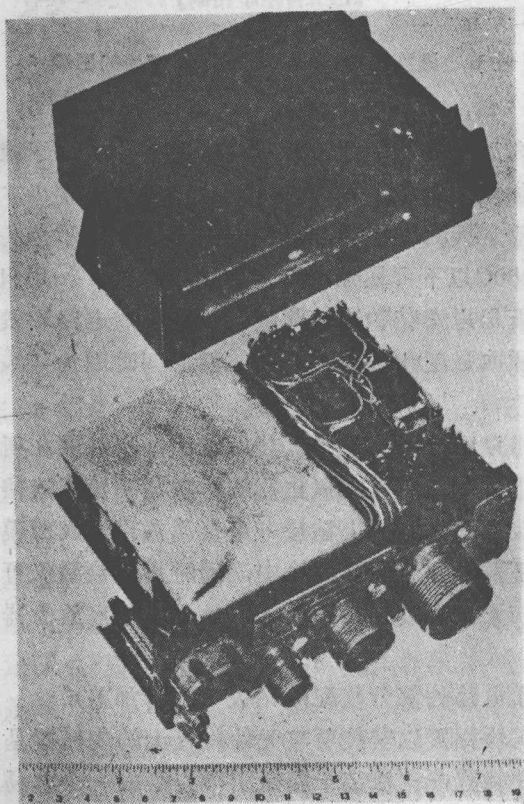


图8 温度和速度放大器

可靠性特点小結

1. 硅集成电路用于一切可能的地方，因为它在可靠性方面最好，好在制造和装配的元件最多而连接和工序最少。
2. 薄膜电路用于不用或不合适用硅集成电路的地方，其制造工序也接近最好情况，成形和装配的元件数量大而工序数目小。
3. 焊接用于混合电路装配的一切可能地方。它与微型装配中的钎焊相比更需控制，并且使金与金的连接能用于所有薄膜电路接触部位，从而使高温时不致形成金属间的薄弱部份。
4. 时效元件用在薄膜、厚膜和集成电路的装配上，以消除元件制造的大量早期损坏。
5. 如果机械应力或原有接点出现破坏，整个装配件和装置要求在大的温度范围内循环试验。
6. 工序、装配和元件的很精确的控制由整个放大器的环境试验为保证。环境试验将（再现）模仿振动、温度、压力和湿度等条件。

結 論

本文所述调节系统使驾驶员不必担心发动机的安全，因为他可以放心，可能遇到的困难已经仔细考虑到并且对所有偶然性都已做出适当的规定。调节器采用的参数减轻了驾驶员的工作并成为发动机性能的基础。所述电控制的混合式技术使它有一个很高的可靠性以及稳定性能，并且可以装在所装发动机上又适应其环境条件。因此减少了飞机和发动机之间的连接。整个设计提供一个高性能调节器，其错杂最少、可靠性最高，同时寿命长。

资料来源：SAE690404

JT9D 发 动 机 調 节 系 統

普拉特·惠特尼公司的JT9D发动机(波音747和道格拉斯DC-10/20飞机用的动力装置)的调节系统主要设计 requirements 是可靠性, 维护性, 寿命和发展潜力, 此外如重量、成本和性能等更是显而易见的设计参数。

JT9D是一种高增压高流量比的双轴轴流式涡轮风扇发动机, 是新近为美国民航飞机研制的。它的长度大约3米, 风扇直径2.44米。JT9D-3是一系列将要发展的发动机的第一种, 起飞推力的额定值为19,728公斤(图1)。风扇提供两股分离的气流: 第一股气流经过发动机燃气发生器并通过一个固定的喷管提供推力; 第二股气流在进入发动机的同时被风扇压缩并用导管导至发动机外边, 以帮助主发动机获得高的静态和起飞推力。高压压气机装有可调静子, 这些静子由调节系统自动定位, 以获得发动机最佳性能。该压气机有放气活门, 以便在发动机启动时放掉空气。扩散器壳体有两个喷口, 通过一个外面的支管从主控制装置接收燃油。辅助齿轮箱起燃油泵阻尼器的作用, 燃油调节装置装在燃油泵上。图1是已安装好调节系统的JT9D发动机。

調 节 系 統 要 求

过去十年中, 涡轮喷气和涡轮风扇发动机的调节技术已经大量地应用到了民航部门。从可靠性和寿命来看, 这种调节设备的性能已经超过了最初研制计划所规定的目标。

现代的汉密尔顿标准的民用喷气飞机燃油调节装置一次检修寿命已经达到了12000小时, 很快就会使两次故障间的平均时间达到25000小时, 并正在向两次故障的平均时间为400000小时的可靠性目标努力。为了使飞机安全而有效的飞行, 民航飞行员已经提出了这种等级的燃油调节系统可靠性和寿命的要求。因此, 毫不奇怪, 下一代生产的飞机(例如波音747)将把采用最新工业成就作为能接受的最低限度的要求。

就先进的涡轮风扇发动机JT9D来说, 由于对调节的有效性和发动机工作的适应性的要求提高了, 造成调节参数增加。因而要求比以往的发动机有更复杂的调节系统。为这种发动机研制的调节系统有些原来没有规定的辅助机能, 而飞机制造者和民航发现这些机能可提高其工作效能。这些机能包括在高海拔地面启动时燃油浓度的增加以及下降和滑行的两个慢车调节。这种新的调节系统必须达到目前调节系统所要求的性能极限并提供辅助机能。而且组装重量和所占空间都不超过以往的调节系统。为JT9D发动机研制的JFC68主燃油调节装置和EVC3发动机叶片调节装置达到了这些目标。这是利用行之有效的液压机械式调节技术来实现的, 但是却以一种新的方法来完成。整个再装配和零部件设计采用了过去的成功经验并引进了其它新的装配概念。

系 統 的 工 作

JT9D发动机燃油调节和叶片调节系统由三个独立部分组成。JFC-68液压机械式主燃油

调节装置（见图 2）调节稳态选择速度并调节发动机的加速和减速。在主燃油调节装置上有两个起调节作用的机械输入：用油门操纵杆在整个正向推力和反向推力运转过程中调节发动机速度和用状态选择器轴来调节发动机起动，慢车选择和停车。用来控制各调节参数的风扇进口温度（ T_{12} ）是用安装在发动机舱内的远距温度传感器来测量的（图 3）。发动机高压压气机的可变定子叶片用图 4 所示的 EVC-3 发动机叶片调节装置进行调节。这个调节装置调节作为压气机进口气流马赫数的函数的定子叶片位置。

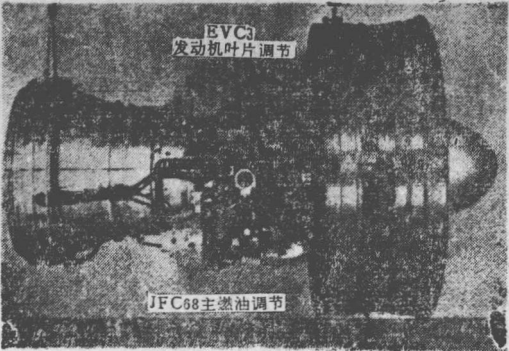


图 1 普拉特·惠特尼公司
JT9D 涡轮风扇发动机

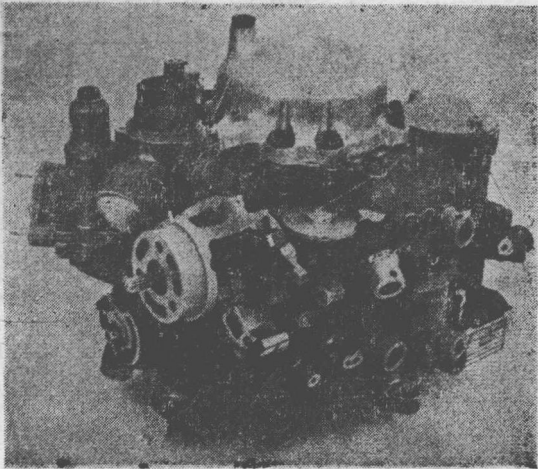


图 2 JFC68 主燃油调节装置



图 3 JFC68 远距温度传感器

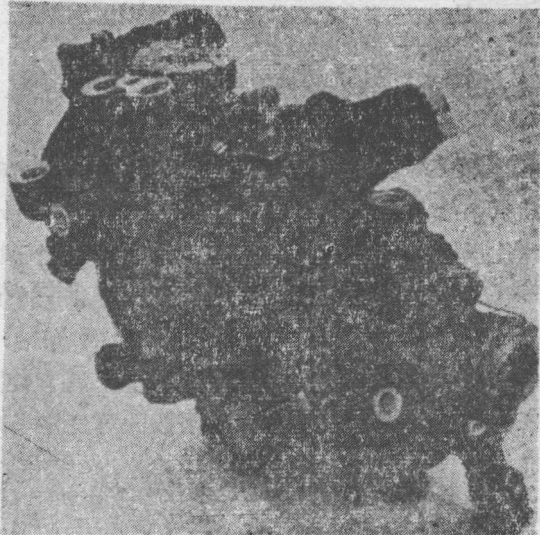


图 4 EVC3 发动机叶片调节装置

图 5 是调节系统流路图和有关主燃油调节装置，发动机叶片调节装置和温度传感器的各参数。全部液压信号和液压管路都利用由发动机主燃油泵供给的燃油作为流体工质。在流路图中使用的术语和符号在整个报告中都将通用。

