

未来新型燃气轮机的设计思想

[提要]本文提出了许多未来新型军用发动机的设计思想。着重讨论和展望了包括陶瓷和复合材料在内的新材料在发动机上的应用前景。其虽然是针对美国空军的飞机发动机而言,然而对于我们了解未来发动机的发展方向及前景不无裨益。

主题词 燃气轮机 设计

美国空军正在制定一系列的发展计划来提高其载人飞机和导弹系统发动机的性能和可靠性。

近期目标是将现有的飞机发动机进行设计改进作为九十年代飞机的动力装置。同时对于九十年代后的发动机,提出一种更富于革命性的设计思想。具体计划有以下三项:

1. *F-15*和*F-16*战斗机用发动机。对普惠公司的现役发动机*F100-200*作适度的改进,用做*F-15*和*F-16*战斗机的动力。
2. 研制先进的战术战斗机发动机。为九十年代先进的战术战斗机发动机计划所进行的更为根本性但仍是改进性的发动机研制,目前处于初级阶段。
3. 研制高性能发动机。展望未来二十一世纪的发动机,是完全不同于过去所研制的真正具有革命性的发动机。

一个重要的设计改进是对发动机实行完全电调,它与齿轮型的燃油泵相结合将有助于解决七十年代末在*F-100*上所遇到的耐久性问题。

另一个较大的改进是采用燃油电子控制方法。传统上是用飞轮与偏心凸轮进行调节,现在改用一个电子盒就可进行所有可变几何的调节,并监控燃烧室的高效燃烧和涡轮正常运行的燃油合适流量。现有形式的系统还能使一些机上诊断一体化。

在这些计划中也许既影响目前的发动机又影响先进的战术战斗机发动机系统的因素是新的叶片设计方法,先进的叶片冷却方法,以及新材料。低展弦比的叶片越来越显示出其优越性,其中某些叶片可称为“砍肉刀”型的,最终叶片的宽度同其高度大致相等,以提供较高的通流量。此处的重点是改进压气机的级。

随着新的计算机程序的出现,目前已能够设计三维叶片。这些叶片与以往的叶片相比,尽管其形状很奇怪,但其气动性能和涡轮效率要高得多。新的生产工艺已使铸造这些奇形怪状的叶片成为可能。如果沿轴线看的话,这些叶片是弯曲的,与传统的涡轮叶片不同,它在三维方向均有弯曲。

周庆智 摘译自《Gas turbine world》1986, Vol 16, No 5, 陈金宝校。

新的冷却方法目前也在研究之中,以便使气体沿叶片达到层流分布,使之不能干扰边界层。借助于电火花,激光等穿孔方法,可以打斜向和异形孔,这样,就能够按照空气需要的流向来设计孔形。

另外,计算流体力学的最新发展看来将使我们能够对冷却空气流进行合理的分配。通过有效地利用冷却空气,就可减少所需的冷却空气量,从而也就提高了效率。

在设计新一代发动机时,可望在材料上摆脱传统的金属材料的束缚而进行较大的改变。

随着计划用于九十年代的先进的战术战斗机发动机的研制,使用新材料的设计趋势将加快。而且随着高性能涡轮发动机的研制将进入实用阶段。该项计划研制成功的关键之一是使用象碳-碳复合材料、金属互化物及金属基体复合材料等各种形式的先进材料。

考虑用于先进的战术战斗机发动机以及其后的发动机的一些先进技术(其中某些技术将在近期的项目中得到应用)有大通流压气机,整体叶片,分段燃烧室火焰筒以及各种从先进的钛合金和金属互化物到各种形式的复合材料的先进材料。

有人预料,通过快速凝固粉末合金(淬火速率为 $1\sim 10$ 百万度/秒)而获得的材料将得到广泛应用。这一技术提供了更为均质的材料并大大减小了内部裂缝的大小。已用于现有发动机零部件的单晶体材料可望在先进的战术战斗机发动机和高性能涡轮发动机计划中发挥重要作用。

开始时,快速凝固技术被应用于镍基超耐热合金上,现在正在将此技术推广应用于先进的钛和铝合金上,以期获得可在 1800°F 下工作的钛合金和在 900°F 下工作的铝合金。

大通流压气机设计是建立在采用高的叶尖速度和先进的叶型设计的基础之上的。其目的是提高每级的压比,这样可使所需的压缩级数减少一半。美国空军正在研究一些容许采用较高的叶尖速度的先进材料,最新成果是研究出了一种纤维强化钛合金。已经研究过包括硼的一些纤维。但由于硼-钛合金零件难以制造,所以这一研究已暂时放弃。所有强化概念的关键是在生产纤维时使其免于断裂。

在对风扇和压气机的一些研究中,包括寻求将整体叶片盘和整体叶片转子按比例放大以用于大型发动机的方法。用这种方法制造的零部件在小型涡轮上已得到了使用。其重量较小,结构也较简单,但带来了修理和可维护性方面的问题。目前对这一问题的研究还在进行之中,以期在大型发动机中能够有效地应用这种设计技术。

正在考虑将双壁或分段燃烧室火焰筒应用于先进的战术战斗机发动机中。这一设计思想是为了将由温度应力引起的疲劳问题减至最低限度。而且可通过在外壳上使用较轻和较便宜的材料,最终达到减轻重量和降低材料费用的目的。双壁火焰筒的内壁承受热负荷,外壁则承受静载荷,同时将内壁定位。

另外一个方案是采用基于艾利逊燃气轮机运行部研制的材料系统的Lamilloy燃烧室火焰筒,这是一种带有侵蚀冷却段的联结多层结构,已在各种研究和发展计划中进行过试验。

已鉴定了零部件研制的十几个合同,其中包括研制先进概念的压气机系统——具有

很高的级负荷,完美的结构以保证重量减少百分之六十左右。研制在接近化学计量级条件下工作的燃烧室的几个计划也在进行之中。

在先进的结构方面,有赖于对许多相对特殊材料的研究。例如,正在考虑将金属基体复合材料,象碳化硅/钛应用于制造低温区域的零部件,因为它们的比强度很高。与此同时,也在关注着许多非金属材料的应用,如用陶瓷材料制造轴承和其它高温部件,用碳-碳复合材料制造其它零部件等等。总之,高性能涡轮发动机计划的重点基本上放在材料和能够取得显著效果的设计概念上。

某些研究和发展的成果可能在高性能涡轮发动机设计完成前得到应用,特别是对高温材料所进行的研究成果。如果能研究出在 1649°C (3000°F) 以上无冷却条件下的陶瓷复合材料或碳-碳复合材料。那么耗油率将大大下降,结构也将大大简化。

在流体动力学方面,正在研究设计更好的计算机程序以使气动和叶片设计最优化。例如,我们现在还不能完全模拟粘性流体,但可以模拟某些特殊情况,不过必须拥有运算速度更快的计算机或采用更加有效的计算方法来进行综合分析。有时两者都需要。

要想到2000年在涡轮机设计方面有一个飞跃的话,需要一些很有创新性的设计方法,这就要求我们在思想上实现从今天的全金属发动机到明天的大量采用非金属零部件的发动机的转变。即使那些可能使用的金属在概念上也将不同于用于今天的涡轮机上的金属。象快速凝固和离子移植这样的方法将使我们研制出以前不能制造的合金。所有这些问题的关键是解决尽可能地不使用超耐热合金的问题。

高性能涡轮发动机计划很可能引起发动机内部形状的巨大变化。例如,在压气机中,典型级的叶片形状将又短又粗,称之为“叶片环”,而不是叶片盘或燕尾型。

对于这样一种压气机级,考虑使用快速淬火钛合金或铝合金,而在叶环里面嵌入聚酰亚胺石墨。嵌入物使得负荷远离了中心线而部件避免了在非常高的旋转速度下破裂的危险。这种非常高的旋转速度是由于提高气动性能所要求的。

这些设计的特点将非常有助于达到减小重量的目的。推重比从10:1升高至20:1,其中百分之七十是靠减轻发动机的重量,另外,百分之三十是靠减少冷却空气流量和将燃烧室出口温度提高到大大高于目前的水平。为此,要求助于陶瓷和碳-碳复合材料。

普惠公司提出的基于采用结构碳-碳复合材料的一个概念,没想将双联叶型用销子联结到碳-碳复合材料上。大部分叶轮用碳-碳复合材料制造,只有级的中间部分一小段,是用标准的超耐热合金制造的。

在高性能涡轮发动机计划中,要尽可能摆脱传统材料的束缚,这就需要用新的设计方法。不能用制造钢制涡轮叶片的方法来制造碳-碳复合材料叶片。对于碳-碳复合材料零部件,不仅要用不同的制造和装配方法,而且还必须研制出适宜的涂层。火箭喷嘴上使用的碳-碳复合材料部分基本上是一次性使用,而我们所设计的涡轮零部件需要从低温到 1371°C (2500°F) 以上的高温再到低温如此循环多次。所以需要新的涂层。

通过研究,提出了军用型涡轮新的循环定义,一简单循环基本上包括从零度到最大燃烧温度和其间的三个中间阶段,最近所进行的致力于提高可靠性和增加工作寿命的一项工作是解决低循环疲劳问题,低循环疲劳(1000次以下)能导致产生裂纹。正确的设

计有助于避免这种情况。其着重点放在容许损坏的设计上,它是利用具有裂纹限制器的成形材料来限制所产生的裂纹进一步发展。同时再加上新的检测技术,检测计划表,以及对裂纹发展速率的洞察,检测时放过叶片或轮盘上一个0.7951毫米(1/32英寸)的裂纹,而检测计划表规定检测间隙定在该裂纹扩展到12.7毫米(1/2英寸)(临界长度)之前进行第二次检测,这样就有二次机会来发现这裂纹。

采用这种方法,可仅仅更换裂纹发展到临界长度的零部件,而不是在某些叶片的裂缝显示其已达到了估计寿命的预定百分率时就将其更换。

这种方法保证了只有裂纹长度接近临界长度的叶片和轮盘才需更换。由于存在误差范围,某些叶片可能稍早点更换,不过不会更换还有百分之九十八剩余估计寿命的零件,因为我们不知道那一个将发生裂纹。

普惠公司做轮盘试验和预测裂纹发生在何处,发生裂纹还要进行多少次循环时,即是用容许设计零件来做的。利用孔探仪检查发动机运转至首次发现裂纹,其后继续运行一段时间就会得到更多的数据,这些结果显示出预测较为准确,日后实践中可资利用。

最后提一下,高性能涡轮发动机计划及其先进的战术战斗机发动机计划不仅是为航空和航天制订的,它还包括一系列能应用于各类军用甚至商用的技术。

新技术新产品信息

R 88—24 新型立式热风炉 能连续提供清洁、新鲜的热空气,风温:常温~600℃,可供各种经济作物和轻工产品烘干用,亦可用于房屋、塑料大棚取暖。该炉特点是结构先进、紧凑、热效率高、安全可靠、操作方便、价格便宜,可燃烧劣质煤和杂料,亦可手烧和机烧。目前已安全运行的有0.42~2.52GJ/h(10~60万大卡/时)等多种型号产品。服务方式:提供产品、技术转让和技术咨询,也可为用户专门设计。

R 88—25 发电机定子水冷却器 采用特殊的浮动管板结构和先进的胀焊密封式研制成功了大功率发电机全不锈钢直管式定子水冷却器,并已通过技术鉴定,具有际同种产品的性能。该产品配备于平圩厂600兆瓦(60万千瓦)发电机组。根据冷却水质的差异,还研制了采用黄铜电管、铜镍管、钛管的定子水冷却器,配置于200~300兆瓦(20~30万千瓦)发电机,

冷却面积25—65m²。服务方式:总承研制产品,产品设计和技术咨询。

R 88—26 船用动力设备的转速控制 该转速控制系统由三部分组成:1.用双CPU专用控制机对转速和功率进行自动调节;2.对转速和功率实行电动遥控;3.以机械手轮对转速和功率实行就地控制。三部分间设有切换设备,可互相切换使用,调节精度高,安全可靠。该系统已在舰船上中标采用。

R 88—27 舰船动力装置热工参数自动检测 该检测系统采用国内最先进的测试设备,可通过计算机实现CRT自动显示和打印机自动打印。性能先进,安全可靠,使用方便。

R 88—28 舰船动力设备的自动监测与保护 该系统可实现动力机械的超建、滑油压力降低、轴向位移、盘车联锁等项目的自动保护、监测报警与显示。性能先进、安全可靠,已在舰船上中标采用。

(如需以上技术请与本编辑部联系)