

## 离心式压气机研究工作的展望

离心式压气机在小功率燃气轮机、增压器、工业用透平压缩机等方面已得到广泛的应用。由于它有工艺简单结构紧凑、工作范围宽等突出的优点，因此，在某些方面例如小流量（6公斤/秒以下）范围采用离心压气机比轴流压气机更有利。近几年来，由于研究工作的进展，人们对它的兴趣也越来越大。下面就我们接触到的方面，来说一说开展离心式压气机研究工作的今后动向和要求。

### (一)

离心式压气机在小功率燃气轮机（例如200—1500马力）中早已获得了广泛的应用。但其单级压比均在3左右，一般不超过4。然而，在六十年代末，离心式压气机有了很大的发展。突出的是单级压比有很大提高。例如，加拿大联合航空公司的涡轮风扇发动机JT15D，它的单级离心式压气机的压比已到7，而处于试验阶段的则已达10—12。这样，燃气轮机发动机就可以在不加回热器的简单循环条件下，靠大大提高循环压力，同时提高透平前温来有效地降低机组油耗，因而就能更加突出地发挥燃气轮机结构简单、重量小（即单位重量马力大）等优越性。

近几年来，国外已开始报导高压比离心式压气机的研究成果。例如加拿大联合航空公司单级压比已达到6：1，效率为83%。在此基础上又设计、试验成功级压比10：1，效率为74%的单级离心式压气

机。美国波音公司也公布了级压比为6:1,效率80%和级压比为10:1,效率72%的单级离心式压气机的研究成果。国外普遍认为这是一个很值得注意的动向,展望今后五年(1970—1975年)预计可能达到离心式压气机单级压比10:1,效率84%和双级压比20:1,效率82%的指标。

加拿大联合航空公司在谈到他们在高压比离心式压气机方面所取得的突破时把这一成果归功于:(1)在压气机叶轮设计中更仔细考虑内部流动规律;(2)考虑三元流动特点的新型扩压器设计。综合国外情况可以看出,伴随着离心式压气机在提高单级压比方面所取得的进展,离心式压气机内部气体流动规律的研究工作也明显地活跃起来。

在叶轮设计方面,迄今为止均采用了二元简单设计方法。这种计算方法不能真实反映实际流动规律。因此,计算结果与试验数据相差很大。尤其是在超音速进气条件下,这种设计方法就更不适用了。目前,由于缺少气流脱离,壁面边界层影响等因素造成的各种损失数据,还不能从根本上实现考虑气体粘性的三元设计方法。但是,一些反映内部流动规律的特点已开始在新的设计中出现。例如,导风轮回转面叶型的设计考虑了进口出现激波的条件;从减少叶片负荷出发,工作轮部分也改变了径向叶片的设计方法;除导风轮进口采用长短叶之外,工作轮出口还采用了附加小叶片(如加拿大的一个试验转子导风轮进口叶片数为16片,工作轮出口为64片)。此外,一些与过去不同

的设计准则也正在摸索之中（如工作轮设计中所谓“当量扩张和弯曲”，比转速的数据范围等）。

在扩压器设计方面，一般情况下当级压比超过 $3 \cdot 8$ 时，扩压器进口气流速度已超过音速。同时，叶轮出口流场极不均匀，这些复杂的进气条件都给扩压器的设计带来很大的困难。直到目前，一套行之有效的扩压器设计方法还没有形成。六十年代末出现了新型的管式扩压器。除了加工简便的特点之外，这种扩压器具有较尖的进气边，看来更能适应超音速的进气条件；在子午面上的进气边形状较为接近叶轮出口的不均匀流场；圆管内部的扩压流动条件也较矩形槽道有利。这种扩压器已在加拿大联合航空公司的JT15D涡轮风扇发动机上采用。美国和苏联都报导了这方面的试验研究工作。1968年在美国机械工程学会上第一次报导了管式扩压器的研究成果，在级压比为 $5 \cdot 42$ 时采用管式扩压器效率达到 $81 \cdot 8\%$ ，比采用叶片扩压器效率高 $6 \cdot 8\%$ ，比采用平板式扩压器效率高 $8 \cdot 8\%$ 。但是这种扩压器的工作范围还有待改进，在低压比情况下（亚音速进气条件）的性能还不够满意。除了管式扩压器之外，美国波音公司的高压比离心式压气机中采用了槽道式的三角形扩压器，也得到了较为满意的效果。其他形式的扩压器也有不少改进。例如在叶片扩压器的下游用开缝的办法来控制附面层损失，在叶片扩压器中采用所谓“扇形”进气边来适应叶轮出口流场的不均匀。双列式叶片扩压器也愈加引起人们的注意。例如美国大陆公司在J69涡轮喷气

发动机的改型设计中就采用了双列式叶片扩压器，使离心式压气机的压比和效率都有显著提高。

现在离心式压气机在经历了一段似乎较为停滞的时期后，正以很快的步伐向前发展。例如加拿大的JT15D发动机从1966年开始设计，到1969年6月就完成了1300小时的台架试验和30小时的飞行试验。美国空军装备试验室在1967年提出了一项研制新型1500马力涡轮轴发动机的计划，由美国三家大的航空发动机制造公司（通用电气公司，普拉特——惠特尼公司，莱卡明公司）分别研制，互相竞争，其中普拉特——惠特尼公司研制的ST9涡轮轴发动机采用了高压比双级离心式压气机。据报导双级压比可达20。三家公司所研制的发动机都具有尺寸小，重量轻，油耗低（除了提高压气机压比外，还采用了很高的透平前温，据报导油耗不超过200克/马力·小时），结构简单的特点。他们声称可以取代目前在直升机中应用十分普遍的T53涡轮轴发动机。此外，高压比离心式压气机的研究成果给汽车发动机采用燃气轮机带来更为有利的前景，这方面的研究工作也有所开展。在化工部门广泛应用的离心式压气机中由于某些工质的分子量较大，经常出现超音速的流动条件。高压比离心式压气机的研究成果在这里也有着广泛的应用前途。

目前，高压比离心式压气机的研究工作基本上还处于开始阶段。高压比所带来的一些问题，将更加突出地反映离心式压气机的特点。而高

压比离心式压气机的得以应用正有赖于这些问题的突破。因而这将促进和推动对离心式压气机内部流动规律的认识。列在下面的几个方面的工作可能是比较迫切的：

1. 通过对叶轮内部各种损失现象的研究来进一步掌握离心式压气机叶轮内部的气体流动规律〔例如在离心力场作用下三元边界层的影响，实际流动状况的设计方法和数据，引起气流脱离的条件等〕。

2. 超音速进气条件下的叶型设计，到目前为止还没有确定流道内部激波形状的可靠方法。边界层和激波的干涉问题也迫切需要解决。

3. 叶轮和扩压器的配合问题，特别是对叶轮出口流场的分析研究愈加引起人们注意。

4. 压气机内部气体流动的非定常现象。

## ( 二 )

离心式压气机在内燃机增压器上应用的历史已经有几十年了。到目前为止从100马力的货车、拖拉机用高速柴油机到单缸功率达4000马力的所谓超大缸径的低速柴油机，都普遍采用增压器。国外增压器的发展，已基本上形成完整的系列，以适应各种发动机的需要。近年来的发展趋向是增加小流量高压比和大流量的机种，以充实现有的系列。如瑞士BBC的涡轮增压器。在原来VTR系列的9个机种的基础上，又增加了VTR900大型涡轮增压器，用在大型低速柴油机上，并新设计了RR系列，以适应200到900马力柴油机的需要。随着柴油机平均有效压力的提高，增压器压比逐渐提高，

如RR系列增压器的增压比已达3.5。增压比提高以后，与以前所采用的低压比离心式压气机相比，出现了一些新的问题：

1.对压气机的效率要求较高。在低压比时，压气机的耗功小，压气机的效率稍低对整个柴油机的油耗、排气温度等影响不大。而在高压比时，压气机的耗功增大，因此对压气机的效率便不得不给予更多的重视。

2.低压比的压气机工作范围宽广。对于这种压气机，工作范围一般不成问题。在压气机的压比提高后，压气机的工作范围变窄了，这就给增压器和柴油机的配合带来了困难，特别在变工况较大的柴油机上（例如交通运输机械上）更是如此。当在同一台柴油机上装有多个增压器，而压气机出口后具有公共扫气箱时，压气机的流量范围太窄对柴油机的运行更为不利。因此在设计高增压比的离心压气机时，必需力求获得较大的工作范围，以免运行时出现喘振或使工作点处于低效率区。

3.对某些用途的单级增压柴油机（例如供船舶、机车或其他车辆用的）来说，不仅要求压气机在高速（设计工况）运行时具有高效率，而且希望在低速运行时的效率也较高，这样才能使柴油机具有较低的稳定运行转速，并使发动机有较高的经济性指标。

可见在现阶段对增压器所用离心压气机的要求比过去高了，用以往设计低压比增压器的离心压气机的方法已不能满足上述要求。目前对离心压气机的内部流动情况还了解得很少。最近几年虽然在这方面有了一些进展，但在气动计算、参数选择以及结构形式等方面尚缺少可靠的数据和实用的设计方法。国内沿用的计算方法基本上还处于五十年代的水

平。国外虽然近来做了一些工作，但发表的资料也很少，有一些仍处于保密阶段。文献介绍的某些参数的选择也有很大的差异，使设计人员无所适从。在结构上，特别是在扩压器的结构形式上更是五花八门，各不相同，这也说明了在这方面还缺乏深入的研究，尚未掌握客观规律。

我国柴油机的试制和生产，近年来发展很快。但由于底子较薄，从交通运输到农用机械的动力都还处于比较落后的状态，无论在数量和质量上都满足不了工农业生产的要求。经过无产阶级文化大革命后，在毛主席革命路线指引下，在动力方面预计不久将有一个大的发展。从高原汽车、拖拉机、渔轮到内燃机车、内河船舶、万吨巨轮、舰艇等等，增压器是所有这些以柴油机为动力的运输机械上提高功率的不可缺少的一个关键部件。目前我国自行设计的增压器还较少，满足不了品种繁多的柴油机要求，这样就往往出现增压器与柴油机不配套的现象。从我国具体情况出发，在各个应用系统中考虑增压器型号规格系列化已经提到日程上来，这给离心式压气机的研究工作带来了新的课题，它的要求是通过大量的试验研究摸索出一套切实可行的办法，使得改动少量的部件就可以较大地改变离心式压气机的工作范围，以适应增压器配不同柴油机种的需要。

### ( 三 )

综上所述，一方面，由于高压比离心压气机的研究带有方向性又带有赶超世界先进水平的性质，我们在这方面应该不失时机迎头赶上，突

破适合高压比特点的叶轮、扩压器设计方法并掌握内在规律。另一方面，作为增压器上应用的离心式压气机，是我国国民经济中迫切需要的、属于量大面宽的项目。因此提供可靠的设计及调整方法，满足系列化的要求，也是研究工作不可少的内容，其意义也是不可低估的。

总之，离心式压气机的应用有着广阔的前途，但目前人们对它内部规律的了解还很少，有大量的工作要做。随着全国各产业部门及科研单位对这方面的研究工作普遍引起重视，可望在这几年内我国有关离心压气机工作会有较大的进展。