

JT150-4型

涡轮风扇喷气发动机
总体结构分析

出版者的话

JT15D-4 型涡轮风扇发动机是加拿大联合飞机公司研制的小型涡轮风扇发动机。

该发动机无论在选型、性能或结构上都吸取了二十世纪七十年代的一些先进技术和指标，因而该发动机在小型涡轮风扇发动机系列中具有它自己的特点，并具有一定的先进性。当然，如果能进一步加强涡轮热端部件的冷却以提高涡轮前的温度，当会使该发动机更先进些。

为了更深入地摸清该发动机的特点，为我国自行设计中、小型发动机提供技术储备，我们组织北京航空学院、南京航空学院、六〇八所、六二四所、一二〇厂共同组成了“*JT15D-4* 型涡轮风扇发动机分析研究小组”对该机的总体和主要部件进行分析和试验研究。

本篇是 *JT15D-4* 型涡轮风扇发动机总体结构分析部分。由于在分析过程中，只对发动机作了大部件的分解，很多细致的结构没有看到，加上原始资料较少，因此本篇报告侧重于结构介绍，同时对主要部件和系统作了初步分析。

参加该机总体分析工作的有北京航空学院、六〇八所、一二〇厂等单位的有关同志。本篇报告的牵头单位是北航 405 教研室，直接参加分析报告编写的有郑光华、陈光、郭学廉、马枚、王富力、李清盛、尹秀琴、黎亮、陈志伟、张辉、吴一黄、张代玉等同志。另外有关 *JT15D-5* 型的资料（即附录四）系由倪行强同志提供。本书的出版工作由苏东泉同志协助完成并作了校对工作。

限于我们的水平，书中如有错误和不妥之处，恳请读者提出批评指正。



448363

目 录

第一章 概述

第一节 JT15D—4型涡轮风扇发动机的发展过程	1
第二节 JT15D—4型发动机的基本结构与主要性能	7

第二章 压气机

第一节 概述	9
第二节 低压压气机	10
第三节 中介机匣	17
第四节 高压压气机	18
第五节 转子的平衡	23
第六节 支承结构	23

第三章 燃烧室

第一节 概述	27
第二节 燃烧室构造	28
第三节 燃烧室特点	38

第四章 涡轮及排气部分

第一节 概述	39
第二节 高压涡轮	40
第三节 低压涡轮	48
第四节 转子的平衡	64
第五节 涡轮部件的冷却	69
第六节 燃油供给切断系统	70
第七节 排气部分	73

第五章 总体结构分析

第一节 转子支承	76
第二节 承力系统	79

第六章 附件传动和系统

第一节 附件传动	
第二节 空气系统	

第三节 燃油调节系统.....	101
第四节 润滑系统.....	111
附录一 JT15D—4 型发动机间隙配合表	118
附录二 JT15D—4 型发动机的润滑系统示意图及参数表的说明	146
附录三 JT15D—4 型发动机总装工序简介	154
附录四 JT15D—5型发动机特点与性能及JT15D—4 型曲线.....	192

第一章 概 述

第一节 JT15D—4型涡轮风扇发动机的发展过程

JT15D—4为加拿大联合飞机公司研制的小型涡轮风扇发动机(图1—1)。它是在JT15D—1的基础上改型而成的。

为了满足小型商业或行政飞机需要小推力、低耗油率的发动机市场要求,加拿大联合飞机公司于1966年开始研制JT15D—1中等流量比、小推力的涡轮风扇发动机。在研制中,采用了普拉特·惠特尼公司研制JT9D风扇的经验,以及联合飞机公司对高增压比离心压气机长期研究的成果。这样,不仅使发动机具有较先进的水平,而且也使研制周期较短。从开始设计到第一次台架试车用了一年三个月,从第一次试车到完成定型试车用了三年半的时间。

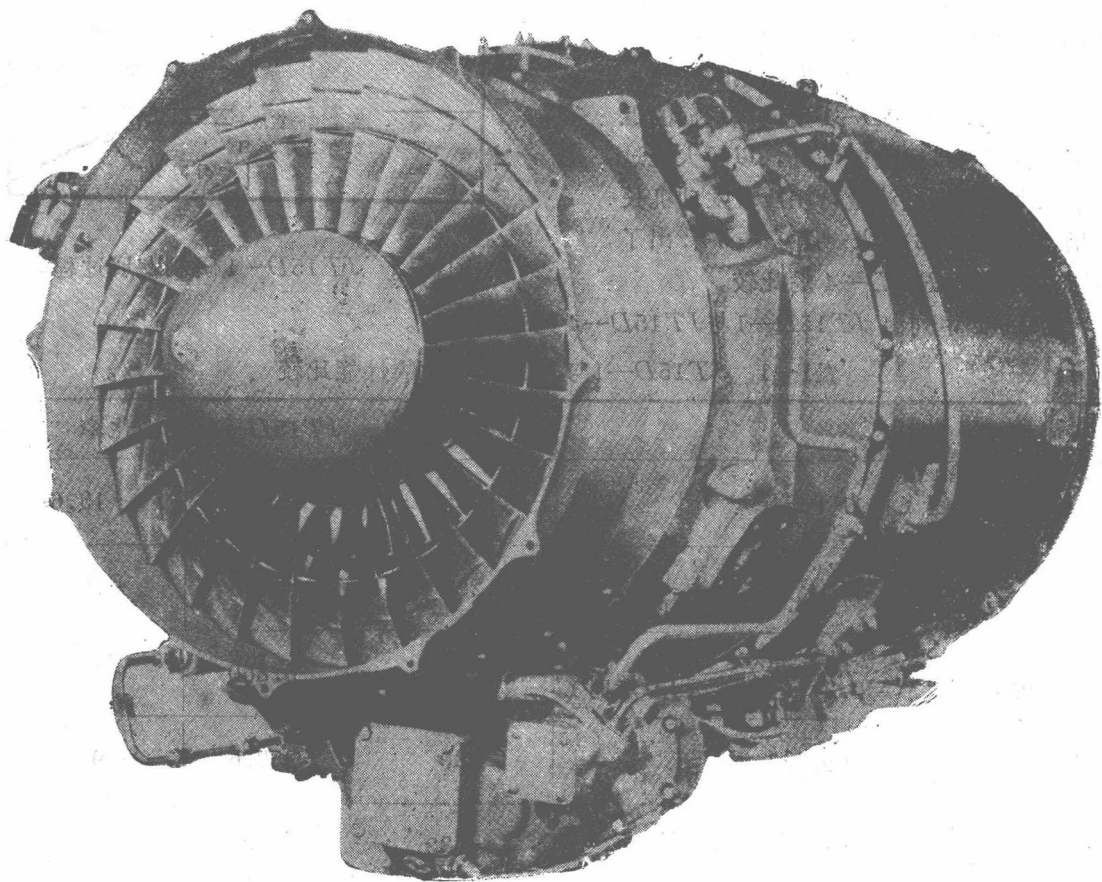


图1—1 JT15D—4型涡轮风扇发动机

加拿大联合飞机公司于1966年6月开始设计JT15D—1,1967年9月23日进行了首次台架试车,1968年8月在CF—100飞机上开始试飞,这时的发动机为双级高压涡轮与单级低

压涡轮，推力为 907 公斤。为了满足美国塞斯纳 (Cessna) 公司的要求，又将发动机的推力提高到 997 公斤，同时将双级高压涡轮改为单级，单级低压涡轮改为双级。这种改型的发动机于 1969 年初开始台架试车，同年 9 月 15 日装于塞斯纳公司的“传讯号”飞机上进行第 1 次飞行试验。70 年 7 月 16 日又装在法国的“帆船式”飞机上进行飞行试验，最后于 1971 年 2 月 28 日完成定型试车。图 1—2 示出了 JT15D—1 的研制发展过程。

加拿大联合飞机公司为了满足飞机用户提出的提高发动机推力 10% 左右的要求，在 JT15D—1 定型之前，于 1970 年底就开始了 JT15D—4 发动机的改型设计。在改型中，既要满足增大推力的要求，又要使原有结构尽量少改，使 D—1 与 D—4 两型发动机通用的零部件尽量多，并可充分利用 D—1 型在试验中所积累的经验。为此，只是在 JT15D—1 型风扇后面的低压轴上加了一级轴流压气机，以增大流过核心发动机的空气流量，相应地发动机长度增大了 10.16 厘米。图 1—3 示出了 JT15D—1 与 JT15D—4 的比较。

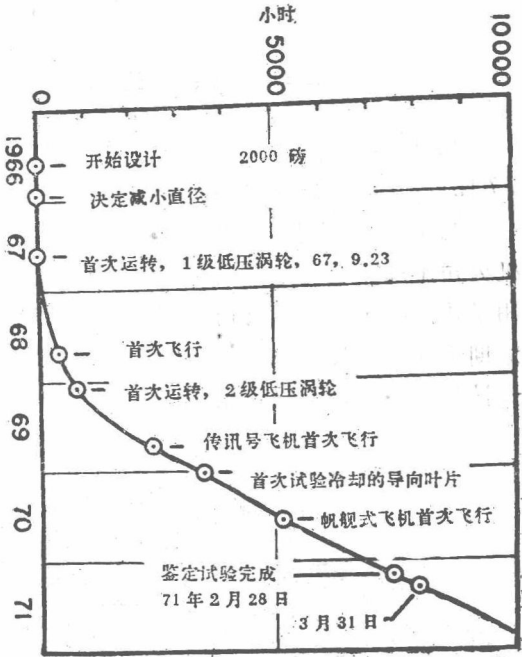


图1—2 JT15D—1 研制发展过程

表 1—1 中列出 JT15D—1 与 JT15D—4 的性能比较。

表1—1 JT15D—1 与 JT15D—4 的性能比较

	JT15D—1	JT15D—4	变化率 %
起飞推力 (公斤)	1000	1134	+13.6
最大巡航推力 (H=9144米, M=0.2) (公斤)	295	350	+19
最大巡航耗油率 (H=9144米, M=0.2) (公斤/公斤·小时)	0.86	0.869	+1
重量 (公斤)	230	252.6	+9.5
推重比 (公斤/公斤)	4.32	4.49	+4
空气流量 (公斤/秒)	34	35.2	+2.5
流量比	3.2	2.67	-23

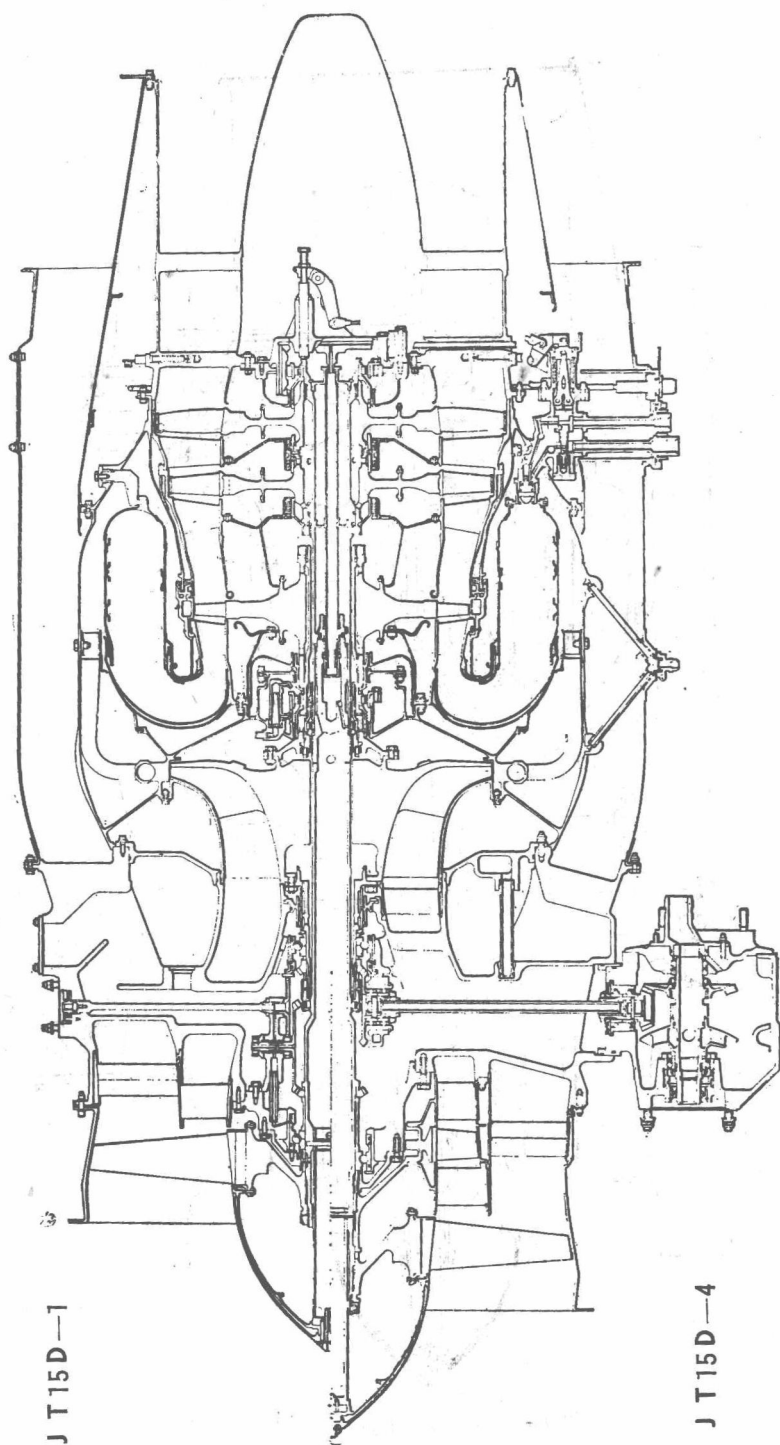


图1—3 JT15D—1与JT15D—4 的比较

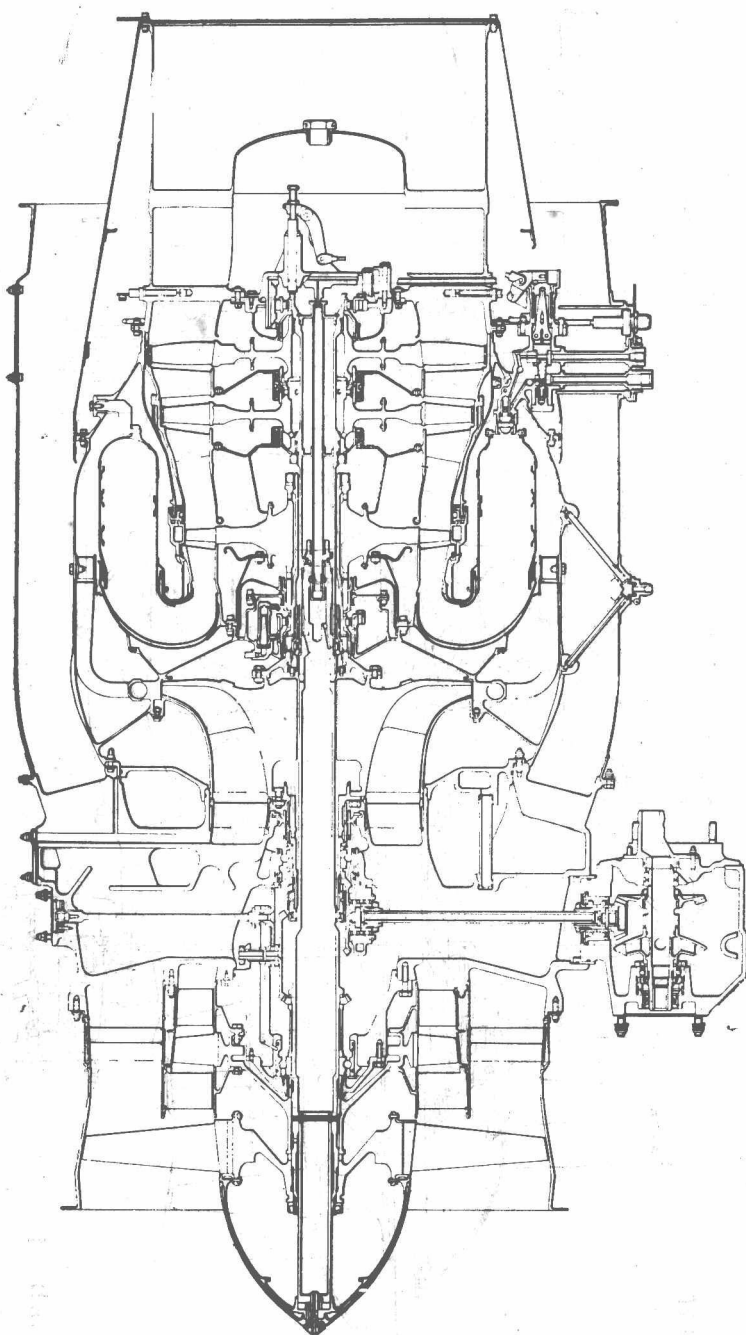
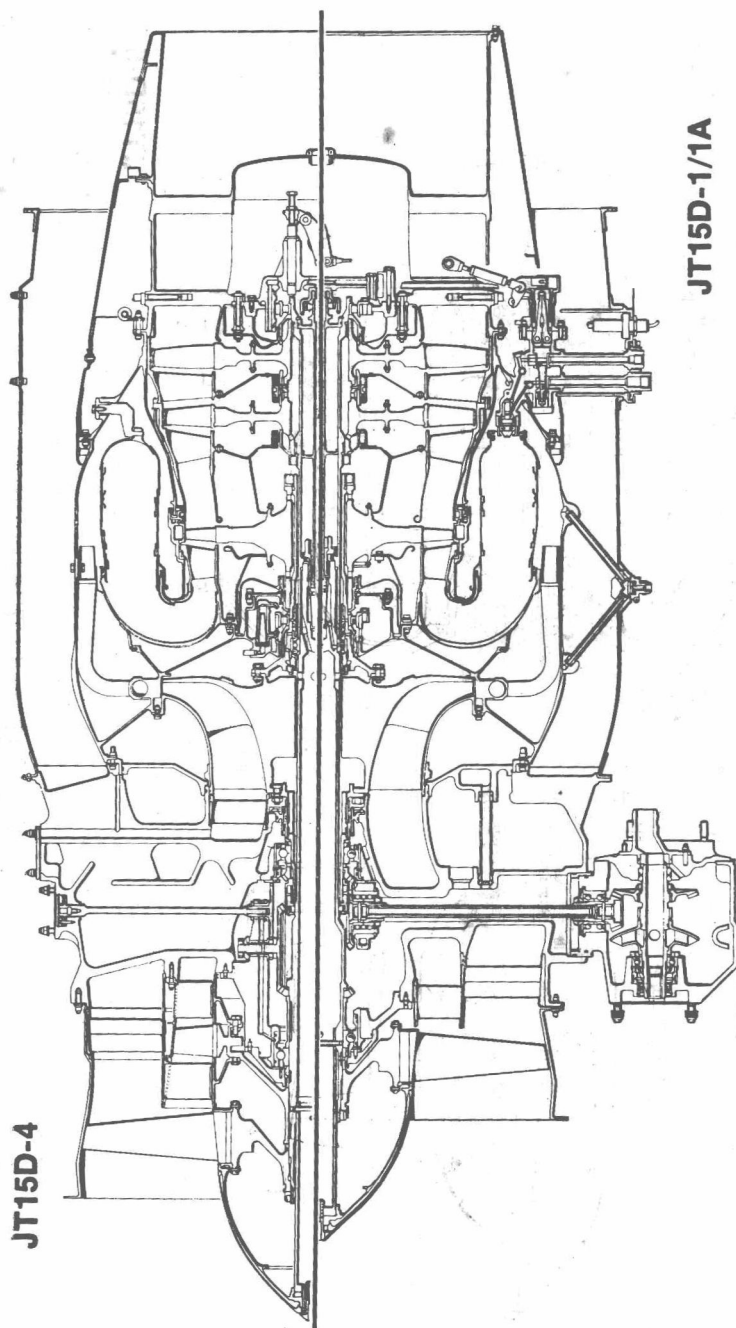


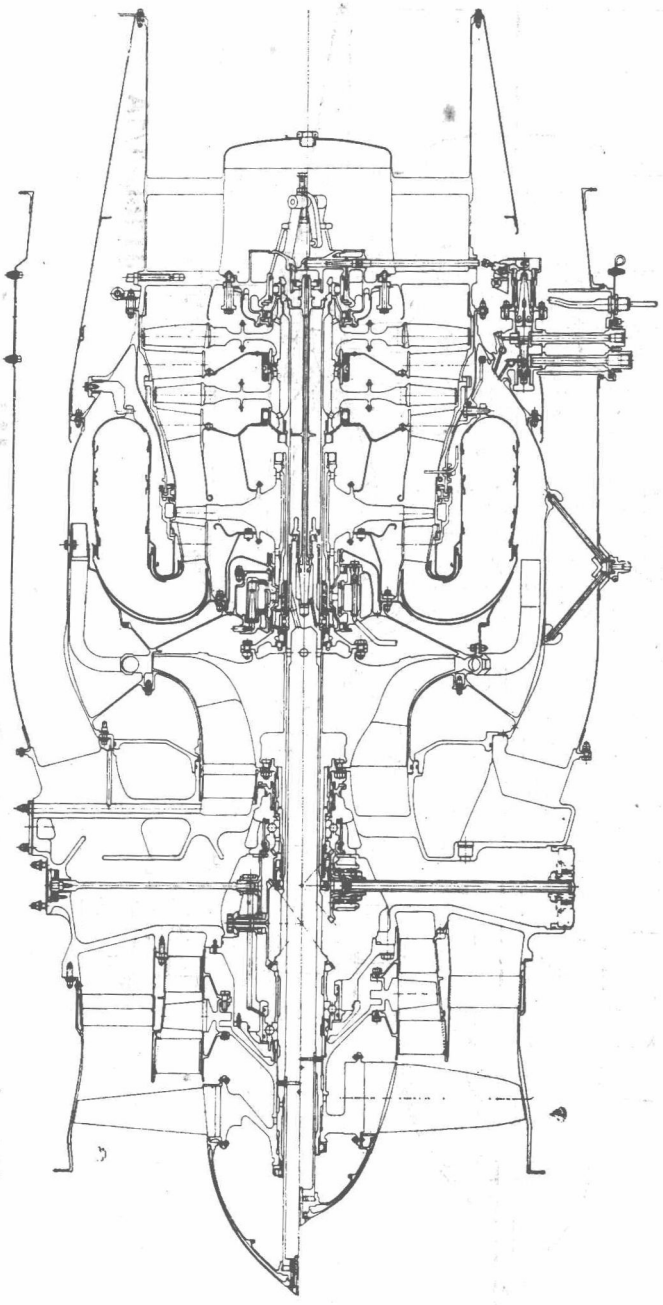
图1-3A JT15D-4纵剖面图



85% Commonality

图1—3B JT15D—4/D—1/1A的比较

JT15D-4



JT15D-5

图1-3C JT15D-4/JT15D-5 比较

第二节 JT15D—4 型发动机的基本结构与主要性能

一、JT15D—4 发动机的基本结构

JT15D—4 为中等流量比, 小型双转子涡轮风扇发动机 (图1—4)。一级风扇和一级轴流压气机 (低压压气机) 由两级低压涡轮驱动; 一级离心式压气机 (高压压气机) 由一级高压涡轮驱动。发动机工作时, 外界空气由风扇吸入发动机后, 分成两股, 一股 (外函气流) 由核心发动机的外壁与发动机外壳间组成的环形通道向后流出; 在内面的一股 (内函气流) 气流通过低压轴流压气机增压后, 流进离心式压气机进一步增压, 然后流经20个管式扩压器, 进入环行迴流式燃烧室中。在燃烧室中高压空气与由12个喷油咀喷进的煤油掺混进行燃烧。燃烧后的高压高温燃气流入高压涡轮、两级低压涡轮, 驱动它们高速转动。最后, 燃气由尾喷管喷出。内函气流流过的部分, 即低压轴流压气机、高压离心压气机、燃烧室、高、低压涡轮、尾喷管等由于是处于外函气流的包围之中, 故又称之为核心发动机。

除低压转子转速传感器外, 所有由发动机带动的飞机和发动机附件, 均安装在位于发动机中间机匣 (低压压气机与高压压气机之间) 下方的附件机匣上, 这些附件是通过高压压气机 (即离心压气机) 轴前的锥形齿轮、传动杆及装在附件机匣中的一系列齿轮所驱动的。低压转子转速传感器 (即转速表) 则由低压压气机后的锥形齿轮所传动。

发动机的滑油储存于位于低压压气机与高压压气机之间的中间机匣内外函气流通道间所形成的三角形空腔中。

二、JT15D—4 发动机的主要数据

起飞推力	1134公斤
起飞耗油率	0.562公斤/公斤·小时
空气流量	35.2公斤/秒
流量比	2.67
总增压比	10.16
风扇增压比	1.55
涡轮前燃气温度	1286°K
低压转子转速 N_1	15900转/分
高压转子转速 N_2	32760转/分
风扇转子转向	顺时针 (朝前看)
发动机净重	252.6公斤
推重比	4.49公斤/公斤
进口直径	533毫米
最大直径	686毫米
总长	1600毫米
滑油消耗量, 最大	0.227公斤/小时

三、JT15D—4 发动机主要性能和各截面参数

表1—2 在标准大气条件下发动机的主要性能

	推力 (公斤)	耗油率 (公斤/公斤小时)	备 注
起 飞	1134	0.562	限制 5 分钟
最大连续和爬升	1077	0.556	
最 大 巡 航	1063	0.555	

表1—3 在标准大气条件下, 发动机各截面的气流参数

截面 \ 参数	流量 (公斤/秒)	压力 (公斤/厘米 ²)	温度 (°K)
风 扇 进 口	35.20	1.033	288
外函 (风扇出口)	25.60	1.602	333
低压压气机出口	9.60	2.010	358
高压压气机出口	9.21 (空气系统用去部分)	10.500	631
高压涡轮进口	9.36	10.290	1286
低压涡轮进口	9.36	3.270	1042
低压涡轮出口	9.75	1.630	874
尾 喷 管 出 口	9.75	1.575	864
外 函 出 口	25.60	1.560	333

第二章 压气机

第一节 概述

JT-15D 压气机是轴流式与离心式组成的混合式压气机，共有三级，分为低压压气机和高压压气机。低压压气机由一级跨音级风扇和一级与风扇同轴的轴流级组成，高压压气机是一级离心式压气机。图 2—1 为 *JT-15D* 的压气机部件。

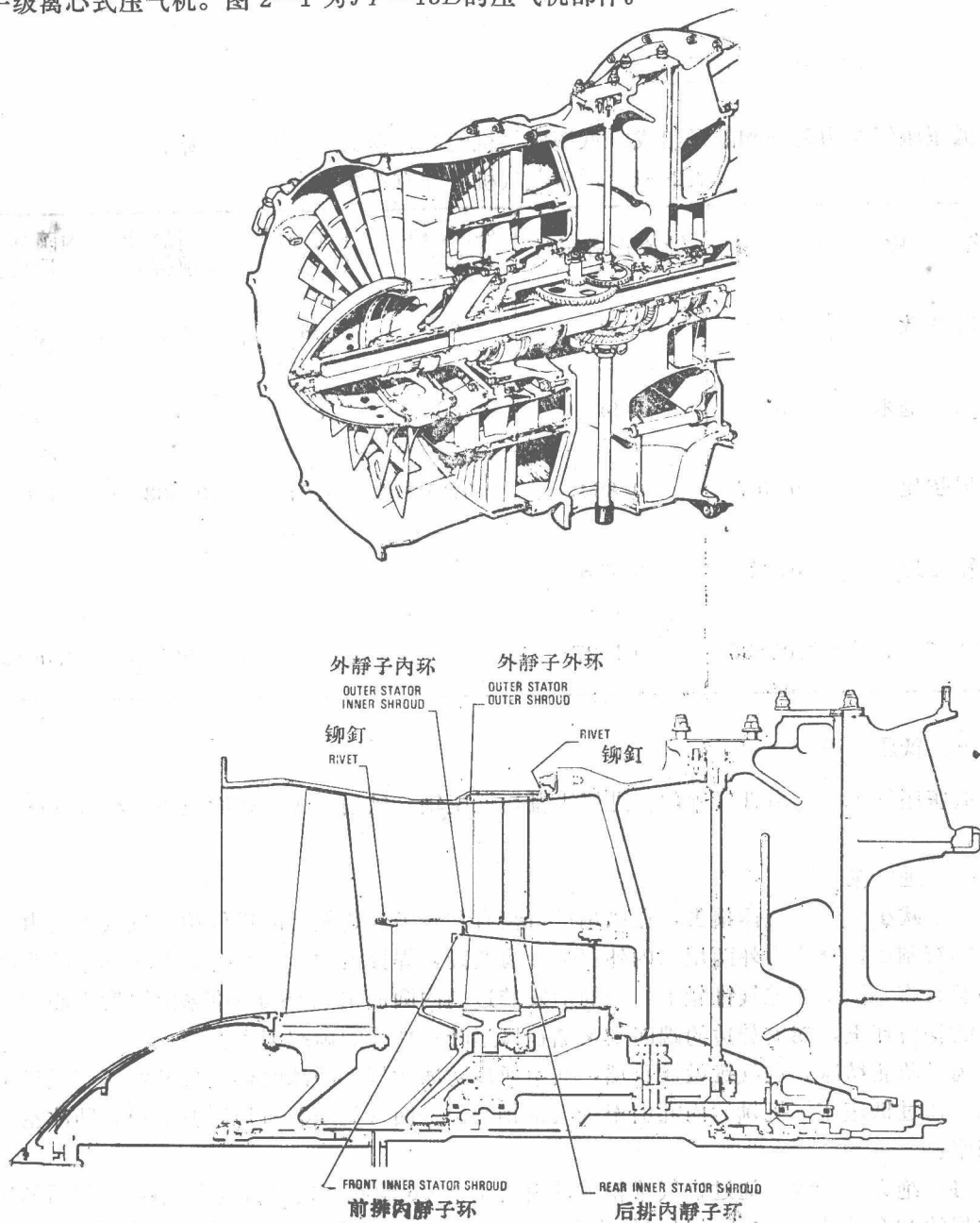


图2—1 压气机部件

风扇的增压比为1.55，轴流式增压级的增压比为1.22，离心式压气机的增压比为5.22。压气机的总增压比为 10.16。

在低压压气机和高压压气机之间有中介机匣，将它们联接成一体，在中介机匣中间装有低压转子轴的前轴承（1号轴承）和高压转子轴的前轴承（2号轴承），以及传动附件的锥齿轮传动系统。高压压气机转子的后支点（3号轴承）安装在燃气发生器组合件上，低压压气机后支点为中介轴承（ $3\frac{1}{2}$ 号轴承），安装在高压轴中间。

第二节 低压压气机

低压压气机由转子和静子组成。低压压气机的叶片参数如表 2 — 1 所示。

表2—1 低压压气机叶片有关参数表

名 称	风 扇	轴流式增压级	外函静叶 (前排)	外函静叶 (后排)	内函静叶 (前排)	内函静叶 (后排)
叶片数	28	43	66	66	38	37
叶高 L (毫米)	153	44	86	86	51	40
展弦比	0.467	0.864	0.21	0.21	0.863	1.05
轮毂比	0.42	0.728				
相对间隙 Δ/L	0.00685	0.01327			0.00159	0.00191

一、低压转子

低压压气机转子由进气锥体，进气锥轴，低压轴，风扇，轴流式增压级等组成（图 2 — 2）。

1. 进气锥

为了减少空气的流体损失，在风扇进口装有和转子一起旋转的进气锥。进气锥是由薄的合金钢钹制成，分为内外两层。内外层都分为几段，焊接而成。装配时，在进气锥的头部用空心螺钉将它固定在进气锥轴上，它的后安装边的内圆面则以0~0.1毫米的紧度定心在风扇叶片的保持环上，而安装边的端面则紧贴在风扇叶片榫头的前端面上。

为了防止结冰，进气锥做成双层，其中通以防冰空气。防冰的热空气从高压压气机出口引出，通过低压压气机轴的内孔引至进气锥轴的前端面（见图6—11）。在这里，防冰空气分为两路：

(1) 绝大部分空气通过进气锥轴前端面的 4 个 $\phi 6$ 的孔流进气锥的夹层中， 然后从进气锥内层的40个孔流出,再通过风扇的内孔和增压级盘的内孔流到1号轴承前封油莧齿处起封油

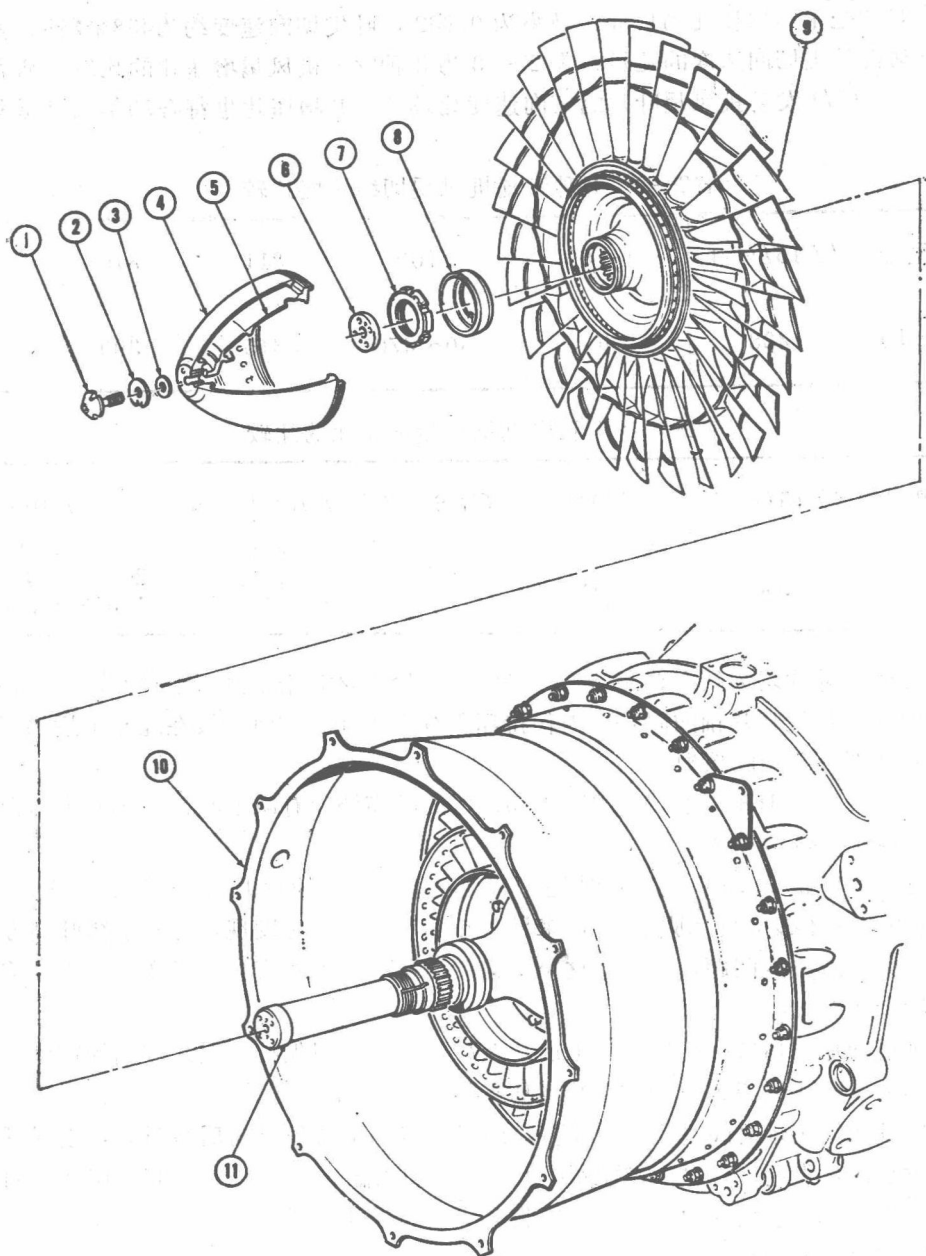


图2—2 进气锥和低压压气机转子

1—螺钉；2—锁片；3—垫片；4—进气锥；5—内锥；6—垫片；7—螺母；
8—杯形垫圈；9—低压转子；10—低压压气机机匣；11—进气锥轴。

作用。

(2) 小部分防冰空气通过空心螺钉中 $\phi 2$ 的内孔流出，防止进气锥的头部结冰。

2. 风扇转子

图 2—3 为风扇转子的结构图。它由轮盘、28 片转子叶片及前、后保持环组成。风扇的

外径约为 530 毫米，增压比为 1.55，效率为 0.862，叶尖切向速度约为 438 米/秒。表 2—2 为几种发动机叶尖切向速度的比较；表 2—3 为几种发动机风扇增压比的比较。从表中可以看出，JT—15D 发动机风扇叶片的切向速度比较高，其增压比也符合 70 年代风扇发动机的水平。

表2—2 几种发动机风扇切线速度比较

发动机型号	JT15D—4	J—69	F100	811	815	M53
U (米/秒)	438	408	460~470	315	390	420

表2—3 几种发动机风扇增压比的比较

发动机型号	JT15D—4	JT9D	CF6—50	RB211—56	F100
π_K	1.55	1.51	1.69	1.59	2.6 (2 级) 1.612 (平均每级)

轮盘和转子叶片均为钛合金锻造。转子叶片和轮盘之间采用燕尾形榫头联接，前后采用两个 L 形的保持环使叶片轴向固定，而保持环则分别用 40 个铆钉铆接在轮盘前后供平衡用的凸缘上。叶片榫头采用间隙配合。

风扇叶片长度达 158 毫米，在距叶根 55.6% 的叶高处作有减振凸台，每两个凸台之间冷间隙为 0.254~0.2032 毫米。

在叶片上距叶根 76.5% 的叶高处还作有象飞机机翼上的翼刀一样的加强肋。早期的 JT—15D 发动机上没有此加强肋，后来通过小鸟吞咽试验时发现，叶片前缘叶高方向发生过度弯曲，为了解决这问题，增加了这个加强肋，防止了叶片产生严重变形，但是使发动机的耗油率增大了 1.2%。

由于风扇叶片采用钛合金制成，强度比较好，因此可以保持它在比较高的切向速度下工作 ($u=438$ 米/秒)。风扇为跨音级，叶尖马赫数 $M_{w1}=1.28$ 。

风扇轮盘和低压轴之间采用花键联接。轮盘的剖面形状作成向后倾斜的，这样可以使风扇转子的重心尽量靠近 1 号轴承，减少作用在转子悬臂端的弯矩，以及提高低压转子的临界转速。但是对轮盘本身来说它的离心力弯矩将会使盘的强度降低。

3. 轴流式增压级转子

在风扇后方装有轴流式增压级转子。它由 43 个叶片，轮盘，两个转动环所组成(图 2—4)。

增压级的外径约为 316 毫米，叶片高度为 44 毫米，增压比为 1.22。

转子叶片与轮盘采用钛合金制成。叶片与轮盘采用燕尾形榫头联接，榫头与榫槽之间也是采用间隙配合。

为了改善喘振边界，在增压级转子前后的两排静子叶片上采用悬臂式的无内环结构，而在轮盘的前后装了两个转动环以构成气流通道的内壁。看来这种结构可能会降低了静子叶片经受外物打伤的能力，但试验证明，当采用小鸟或中等大小的鸟以及 2 英寸的冰块射入核心发动机进口时，这种悬臂式的静子叶片不曾破坏。这种结构可提高压气机的效率。

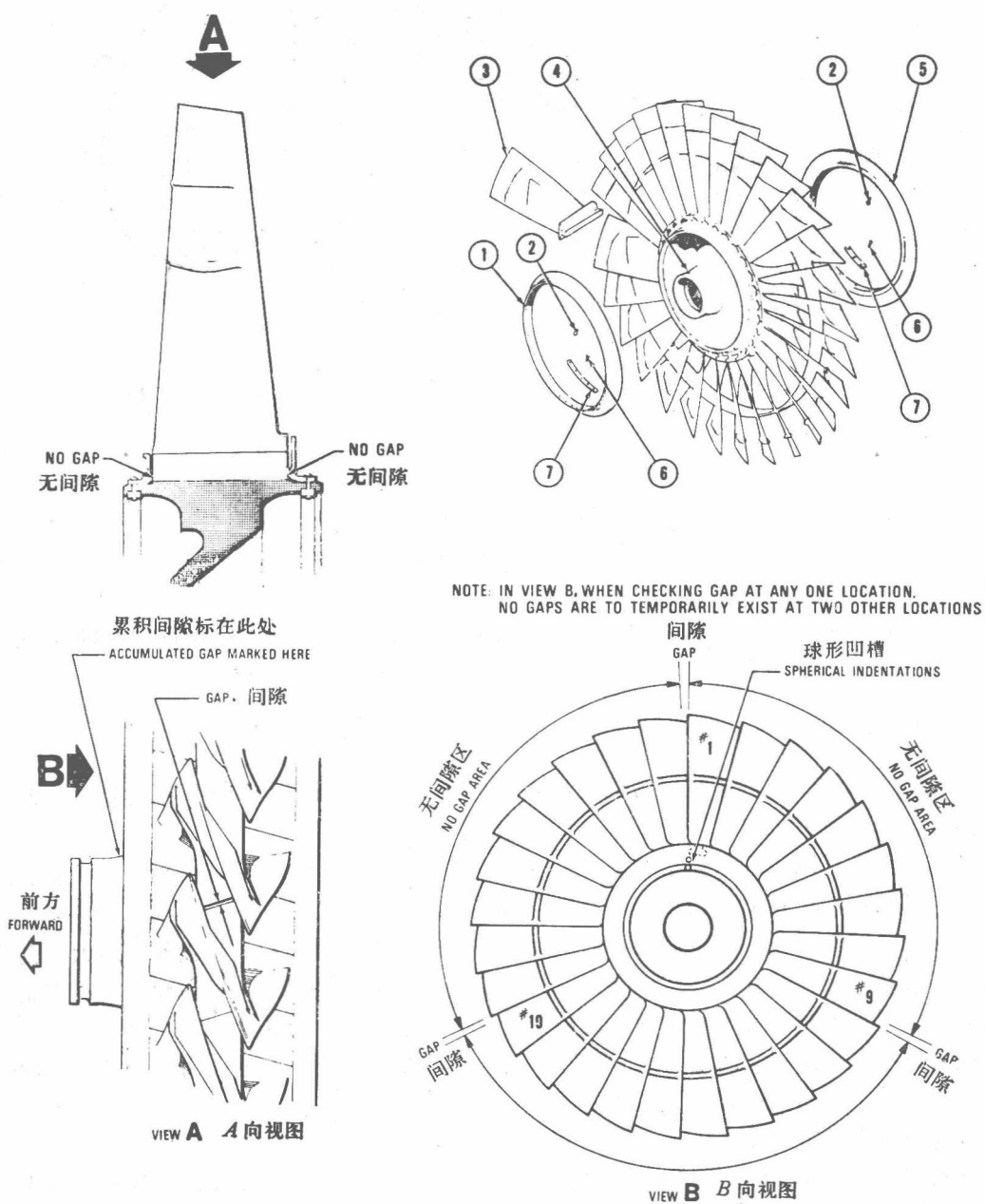


图2—3 风扇转子

- 1—前保持环；2—铆钉；3—风扇叶片；4—轮盘；
5—后保持环；6—铆钉；7—配重。