

# 微型涡喷发动机发展现状与应用技术研究

王春利\*, 戴佳, 王天绥, 高骏冬

航空工业江西洪都航空工业集团有限责任公司 六六零设计研究所, 江西 南昌 330024

**摘 要:** 首先分析了微型涡喷发动机的发展现状, 按推力量级简要地对微型涡喷发动机进行了定义, 对国内外重要微型涡喷发动机进行了介绍, 主要包含发动机结构参数、功能特点、技术指标和应用方向等。另一方面, 探讨了微型涡喷发动机的应用技术, 明确巡航导弹、机载弹药、无人飞行器和靶机是微型涡喷发动机的主要应用方向, 并在此基础上, 进一步提出了将一型多用系列化设计技术、零部件国产化应用技术、飞发一体化设计技术、进发匹配试验技术、空中点火起动技术和高密度燃油应用技术等作为国内微型涡喷发动机发展所需克服的技术难点。

**关键词:** 微型涡喷发动机; 发展现状; 应用技术; 巡航导弹; 无人飞行器; 靶机

中图分类号: V23 文献标识码: A DOI: 10.19452/j.issn1007-5453.2018.S1.001

近年来,我国东南沿海争端问题日趋严峻,周边国家和地区防空体系正在快速发展,我军作战飞机在执行任务时面临的威胁程度也越来越高。随着航空科学技术日新月异的发展,小型和微型飞行器得到了各个国家的高度重视。

飞行器常用的动力装置包括活塞发动机、转子发动机、涡喷发动机、涡扇发动机、涡桨发动机、涡轴发动机以及电池驱动的电动机等<sup>[1]</sup>。但是,活塞发动机速度较低,制约了飞行器的飞行包线,而电推进系统则受制于功率密度而主要应用于微型飞行器。当前真正拥有较广泛应用范围的动力装置就是燃气涡轮发动机特别是微型涡喷发动机。

关于微型涡喷发动机的界定,得到比较广泛认可的一种说法是将推力在 100daN 以下的涡轮喷气发动机定义为微型涡喷发动机<sup>[2,3]</sup>。

本文梳理了国内外微型喷气发动机的发展现状,基于微型涡喷发动机的特点,分析了典型发动机的关键技术,从发动机应用方向的角度出发,对国内涡喷发动机研制面对的技术难点进行了重点研究。

## 1 微型涡喷发动机发展现状

### 1.1 国外发展现状

早在 20 世纪 40 年代,美国即开始了微型涡喷发动机的

研制并将其应用于“天狮星”、“斗牛士”和“蛇鲨”等导弹。现在国外先进的微型涡喷发动机中,美国 Hamilton Standard 公司的 TJ-30、TJ-50、TJ90 涡喷发动机,Accurate Automation 公司的 AT-1500、AT-1700 涡喷发动机体现了较高水平,捷克 PBS 公司的 TJ100 涡喷发动机也是其中的杰出代表。

法国 Microturbo 公司的 TRI60 及 TR40 涡喷发动机由于推力达到 3000N 以上归类为小型涡喷发动机。而推力低于 200N 的 JETCAT 系列、AMT 系列、Sophia 系列发动机多被作为航模用途<sup>[4]</sup>。此外,麻省理工学院燃气轮机实验室一直在美国国防部资助下研制一种微型发动机,目标是产生 13gf ( $\approx 130\text{mN}$ ) 的推力<sup>[5]</sup>。

表 1 列出了国外主要微型涡喷发动机较为详细的性能参数。从表中列举出的 8 台发动机中可以发现,发动机直径在 100~350mm、发动机干质量都在 40kg 以内,而最大转速都在 50000r/min 以上。

图 1 给出了 AT-1500 发动机的外形图片。如同其他同类微型涡喷发动机,该发动机在核心机方面包含了单级离心式压气机、环形燃烧室、单级轴流式涡轮、全电子控制以及压缩空气起动,且无须独立润滑供给,图中发动机结构紧凑,附件明显简化。图 2 则是推力更低、尺寸更小的 TDI-J45 发动机,也展现出紧致的外观。

收稿日期: 2018-08-29; 录用日期: 2018-09-10

\* 通信作者. Tel.: 0791-87669589 E-mail: wangcl586666@163.com

**引用格式:** Wang Chunli, Dai Jia, Wang Tiansui, et al. Current development state and investigation of application technique for micro turbojet engine[J]. Aeronautical Science & Technology, 2018,29(S1): 01-05. 王春利,戴佳,王天绥,等. 微型涡喷发动机发展现状与应用技术研究[J]. 航空科学技术, 2018,29(S1): 01-05.

表 1 国外主要微型涡喷发动机技术参数  
Table 1 Technical parameters of main micro turbojet engines abroad

发动机	TJ-90	J45	WR24-7	AT-1500	J700-CA-400	FXR100	TRS18	TJ100
国家	美国	美国	美国	美国	美国	英国	法国	捷克
公司	Hamilton Standard	TDI	Williams	Accurate Auto	TCAE	Microjet	Micro-turbo	PBS
直径/mm	152	101	305	218	211	154	306	272
质量/kg	4.80	1.80	20.0	8.40	17.0	4.75	37.0	20.0
转速/(r/min)	102000	—	52000	80000	72000	89000	—	61200
推力/N	480	130	760	670	790	420	1000	1100
耗油率/ kg/(daN·h)	0.69	—	1.36	1.25	1.20	1.50	1.30	1.09

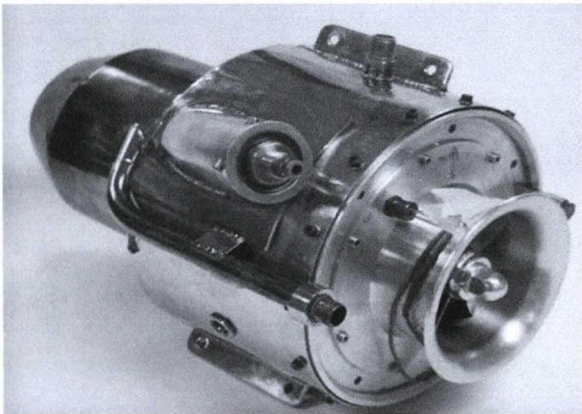


图 1 AT-1500 微型涡喷发动机  
Fig.1 AT-1500 micro turbojet engine

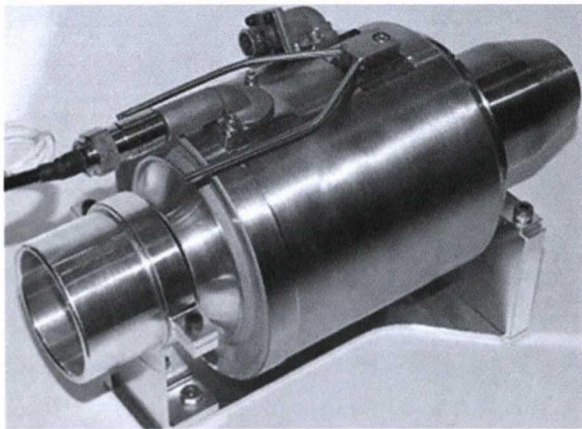


图 2 TDI-J45 微型涡喷发动机  
Fig.2 TDI-J45 micro turbojet engine

1.2 国内发展现状

相对而言,国内微型涡喷发动机的研制工作起步较晚,最初仿制了数型国外发动机,但是,近些年来也取得了长足的进步。值得一提的是,原中国人民解放军总参谋部第六十

研究所(六十所)和中国航天科技集团有限公司七三零四厂(四川达宇特种车辆制造厂,七三零四厂)等单位经过多年积累近来陆续推出了多型微型涡喷发动机。

表 2 列出了六十所和七三零四厂各一型微型涡喷发动机的技术参数。从表中可以看出同样推力量级的情况下,国内微型涡喷发动机在尺寸和质量方面没有明显差别,主要是耗油率数据相较国外发动机还是存在差距,国外发动机耗油率普遍低于 1.50,而国产发动机耗油率则高至 1.40~1.70。

六十所 CYS-40WP 发动机及七三零四厂 784.53N 发动机等与国外发动机相比,共同点是主机都结构简洁没有明显突出的附件,而且国产微型涡喷发动机在低成本小型化设计、多样化点火起动方式以及滑油混合燃油润滑等方面同样获得了较为成熟的技术。

此外,随着航空制造技术日新月异的发展,国内在整体式叶轮铣削加工、增材加工等高端技术方面取得了显著成果。如中国商用发动机公司就完成了某微型涡喷发动机的增材制造,有效地减少了发动机零部件数量并提高了零部件精度,有助于发动机的低成本小型化设计。

表 2 国内部分微型涡喷发动机技术参数  
Table 2 Technical parameters of some micro turbojet engines in China

发动机	CYS-40WP	784.53N 涡喷发动机
公司	六十所	七三零四厂
直径/mm	154	201
质量/kg	7.0	8.8
转速/(r/min)	—	—
推力/N	400	780
耗油率/ kg/(daN·h)	1.70	1.40

1.3 微型涡喷发动机特点

与大中型涡喷 / 涡扇发动机不同,微型涡喷发动机结构紧凑、质量小、成本低,具有以下特点:

- (1) 微型涡喷发动机通常采用单级离心式压气机、短环蒸发管式燃烧室和单机轴流式涡轮。
- (2) 微型涡喷发动机大多采取了滑油混合燃油的紧凑型开式润滑结构,无须独立润滑系统。
- (3) 根据特定的使用场合,微型涡喷发动机可以利用压缩空气、电机或火药起动,可以灵活选择丙烷、燃油、电或火药点火等多种点火方式。
- (4) 微型涡喷发动机设计转速高,发动机转子系统特征尺寸小,需要较高的转速才能达到需要的做功能力,如 TJ-90 可达 102000r/min。因此,国外此类发动机已经选择耐高温陶瓷轴承。
- (5) 微型涡喷发动机主要配套数字式电子控制系统实现小流量高精度自动控制,具备闭环控制功能,保证发动机稳定工作。

2 微型涡喷发动机应用方向

微型涡喷发动机因其飞行包线宽而应用较为广泛,表 3 给出了上述微型涡喷发动机所主要装备的飞行器,展示了该类发动机的典型应用方向。

表 3 微型涡喷发动机及其所装备的飞行器  
Table 3 Micro turbojet engines and aircrafts equipped with

发动机	推力 /N	配用飞行器	类别
TDI-J45	130	LOCAAS	机载巡飞弹药
TJ-90	480	LAM	巡逻攻击导弹
WR24-7	760	MQM-74C	靶机
CYS-40WP	400	II-150	靶机
J700-CA-400	790	ITALD	无人飞行器

目前,微型涡喷发动机是巡航导弹、小型战术导弹、小型无人飞行器、小型靶机以及小型无人作战平台等的理想动力装置。

- (1) 机载弹药  
在反恐等近程战术打击应用中,小型机载弹药由于对点目标的精确打击能力,可以配合重型近地武器而发挥很大作用。美国正在研发的“洛卡斯”(LOCASS)机载弹药能够成为海、陆、空三军通用装备,内埋式挂载于第四代隐身战斗机。
- (2) 巡航导弹  
以美国“拉姆”(LAM)巡航导弹为典型,微型涡喷发动

机也是小型战术导弹的理想动力装置,巡航导弹的优点是成本低且可以多军种联合使用。

- (3) 小型无人飞行器  
小型无人机可能要求完成多次起降执行飞行任务,因此,相比于机载弹药和巡航导弹,要求微型涡喷发动机具有更长的使用寿命。TRS18、TJ-90、WR24-7 和 J700-CA-400 等发动机都适用配装于无人机。
- (4) 小型靶机

靶机也是可以多次使用的无人飞行器,CYS-40WP 微型涡喷发动机即配装了 II-150 型遥控靶机,该靶机可携带曳光管、龙伯球、诱饵弹等多种任务设备,而且能够实现伞降回收。

3 国内微型涡喷发动机应用技术难点

国内微型涡喷发动机发展起步较晚,总体而言技术水平仍然落后于国外微型涡喷发动机。从发动机装备应用的角度,关于国产发动机研制的技术难点有以下几点思考。

- (1) 一型多用系列化设计技术  
巡航导弹和机载弹药基本属于一次性使用的武器,而无人机和靶机或要求多次使用,如此则对配装的微型涡喷发动机寿命要求相差很大,给微型涡喷发动机的设计带来了难度。解决途径就是采取一型多用系列化发展的思路,同型号发动机根据用途不同,其材料和工艺也有所区别,采取最优的成本控制方案。
- (2) 零部件国产化应用技术  
微型涡喷发动机的应用方向多为军事用途,应当坚持零部件国产化的设计理念。对于像全权限数字式电子控制器(FADEC)及耐高温陶瓷轴承这样的关键零部件,国内发动机厂商要加大研发力度,实现国产化替代的能力。
- (3) 飞发一体化设计技术  
由于复杂的使用条件要求,需要高度重视飞发匹配设计,包括飞行器与发动机约束分析、进排气系统选型与结构设计、推进系统安装性能计算等。
- (4) 进发匹配试验技术  
与美国和俄罗斯等航空技术强国相比,国内在试验风洞建设领域还较薄弱。主要体现在两个方面:一是进发匹配试验通常只能在地面无来流马赫数或低来流马赫数条件下进行;另一点是高空台试验仅有发动机而只能模拟进气

条件。这种试验的效果无法与推进风洞试验相比拟,所以国内需要加强进发匹配试验技术研究。

#### (5) 空中点火起动技术

微型涡喷发动机的快速起动本来就是一项关键技术,高空点火起动难度就更大,特别是当采用了埋入式进气道等隐身进气道时,发动机的起动加速特性与采用S形或工艺进气道时会有较大差别,需要根据实际使用条件调整发动机的起动供油规律。

#### (6) 高密度燃油应用技术

国内当前各型航空燃气涡轮发动机仍然使用RP-3普通航空煤油,而美国通过高密度燃油JP-10替代普通航空燃油JP-4后,导弹的射程增加了约15%<sup>[6]</sup>。因此,将高密度燃油应用于微型涡喷发动机是国内发动机发展的难点和方向。

## 4 结论

微型涡喷发动机因其低成本、高性能、小尺寸、轻质量、宽包线工作范围、易于维护与存贮等优点而受到青睐成为小型战术导弹、小型巡航子导弹、小型无人机和小型靶机的常用动力装置。国外在微型涡喷发动机领域的技术发展相对成熟,已经开发了多款产品,而国内则由于起步较晚,发动机在技术成熟度、可靠性和零部件国产化率等方面存在不足,需要更加努力加快追赶的步伐,争取早日达到世界一流水平。

AST

## 参考文献

- [1] 尹泽勇,李上福,李概奇. 无人机动力装置的现状与发展[J]. 航空发动机, 2007,33(1): 10-15.  
Yin Zeyong, Li Shangfu, Li Gaiqi. Current state and development of the unmanned aerial vehicle powerplant[J]. Aeroengine, 2007, 33(1): 10-15. (in Chinese)
- [2] 郭渊,刘科辉,郑严. 微型涡喷发动机设计难点与顶层系统分析[J]. 飞航导弹, 2010(12): 86-90.  
Guo Yuan, Liu Kehui, Zheng Yan. The difficulty of design and analysis of top system for micro turbojet engine[J]. Aerodynamic Missile Journal, 2010(12): 86-90. (in Chinese)
- [3] 谭汉清. 国外微型涡喷发动机应用现状及未来发展趋势[J]. 飞航导弹, 2013(3): 76-80.  
Tan Hanqing. Current application state and future development trend of the foreign micro turbojet engine[J]. Aerodynamic Missile Journal, 2013(3): 76-80. (in Chinese)
- [4] 苏三买,张蕾,蔡元虎,等. 弹用喷气发动机发展及关键技术分析[J]. 航空动力学报, 2009, 24(11): 2410-2414.  
Su Sanmai, Zhang Lei, Cai Yuanhu, et al. Development and analysis of key techniques of turbojet engine for missile[J]. Journal of Aerospace Power, 2009, 24(11): 2410-2414. (in Chinese)
- [5] 战培国,毛京明. 微型飞行器气动布局及关键技术研究[J]. 装备指挥技术学院学报, 2010, 21(1): 97-100.  
Zhan Peiguo, Mao Jingming. Research on key techniques and aerodynamic configurations for micro aerial vehicles[J]. Journal of the Academy of Equipment Command & Technology, 2010, 21(1): 97-100. (in Chinese)
- [6] 史朝龙. 弹用微小型涡轮发动机的发展及关键技术分析[J]. 战术导弹技术, 2015(4): 46-52.  
Shi Chaolong. Development and key techniques analysis of micro turbojet engine for missile[J]. Tactical Missile Technology, 2015(4): 46-52. (in Chinese)

## 作者简介

王春利(1982-)男,硕士,高级工程师。主要研究方向:飞行器动力系统设计与研究。

Tel: 0791-87669589

E-mail: wangcl586666@163.com

戴佳(1976-)男,学士,高级工程师。主要研究方向:飞行器动力系统设计与研究。

Tel: 0791-87667691

E-mail: dai\_jia\_660@163.com

王天綏(1989-)男,硕士,工程师。主要研究方向:飞行器吸气式发动机系统设计与研究。

Tel: 0791-87667691

E-mail: 954150979@qq.com

高骏冬(1990-)男,硕士,工程师。主要研究方向:飞行器吸气式发动机系统设计与研究。

Tel: 0791-87669589

E-mail: 719495952@qq.com

## Current Development State and Investigation of Application Technique for Micro Turbojet Engine

Wang Chunli\*, Dai Jia, Wang Tiansui, Gao Jundong

660 Design and Research Institute, AVIC Jiangxi Hongdu Aviation Industry Group Co.Ltd., Nanchang 330024, China

**Abstract:** Firstly analyzed the current development state of micro turbojet engine. Briefly defined the micro turbojet engine according to the level of thrust, and summarized both the important inland and oversea micro turbojet engine, primarily including engine configuration parameters, function characteristics, technique index and application aspect. On the other hand, investigated micro turbojet engine application technique, and has confirmed that cruise missile, aircraft carried ammunition, unmanned air vehicle, target drone are the major application aspect of micro turbojet engine. Furthermore, has proposed that multipurpose serialization design technique, domestic parts application technique, air vehicle and aeroengine integration technique, air launch and ignition technique, inlet and aeroengine matching technique as well as high density fuel application technique are the difficulties for the development of micro turbojet engine in our country.

**Key Words:** micro turbojet engine; current development state; application technique; cruise missile; unmanned air vehicle; target drone

---

**Received:** 2018-08-29,      **Accepted:** 2018-09-10

**\*Corresponding author.Tel.:** 0791-87669589    **E-mail:** wangcl586666@163.com