

自由工厂——罗·罗公司的研发创新基石

曾海霞, 王巍巍

(中国航发四川燃气涡轮研究院, 成都 610500)

摘要: 在航空发动机领域一直处于世界领先地位、保持着强大市场竞争力的罗·罗公司,有一个主要的创新研发团队——自由工厂。该工厂提出过很多创新理念,参与了许多新产品的研发和预研计划,极大地扩展了罗·罗公司在北美地区的影响力。从自由工厂的建立背景、参与的研发项目和取得的创新成就等方面对该研发机构进行了探究,剖析了该机构的工作方法和发展思路等,可为我国航空机构的创新发展提供启示。

关键词: 罗尔斯罗伊斯公司;自由工厂;航空发动机;艾利逊先进技术开发公司;创新;Lamilly;YJ102R

中图分类号: V23 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-2620 (2020) 01-0059-04

LibertyWorks—Innovation foundation for Rolls–Royce

ZENG Hai-xia, WANG Wei-wei

(AECC Sichuan Gas Turbine Establishment, Chengdu 610500, China)

Abstract: As one leading aero-engine company in the world with strong market competitiveness, Rolls–Royce has one research and development team—LibertyWorks. LibertyWorks has proposed a lot of innovative ideas and participated in many development programs for new products and advanced research programs. As a result, the influence of Rolls–Royce has been strengthened in North America. From the aspects of setting background, participated programs and achievements, the working principle and development approach of LibertyWorks were studied to provide reference for innovative development of aero-engines in China.

Key words: Rolls–Royce; LibertyWorks; aero-engine; Allison Advanced Development Company(AADC); innovation; Lamilly; YJ102R

1 引言

罗尔斯罗伊斯公司(简称罗·罗公司)是世界三大航空发动机公司之一,能在众多企业中立于不败之地,主要是因为其拥有强大的创新研发能力。该公司一直致力于技术和产品的创新,并通过广泛参与各项发动机预研计划,如革命性的时敏目标远程打击(RATTLRS)计划、自适应多用途发动机技术(ADVENT)计划、综合高性能涡轮发动机技术(IHPTET)计划等,不断注入创新理念,发展创新技术。罗·罗公司的创新研发能力主要来自于其创新研发中心——自由工厂(LibertyWorks™, 又称自由工作团队),该工厂是罗·罗公司的一个主要创新研发团队,提出

过很多创新理念,参与了许多新产品的研发和预研计划。下文从建立背景、参与的研发项目和取得的创新成就等方面对自由工厂进行探究与剖析。

2 自由工厂

具有敏捷、创新、快速响应能力的自由工厂创建于2005年8月,是罗·罗公司旗下一个研发业绩非常突出的子公司,正式名称为罗尔斯罗伊斯北美技术公司。其与洛克希德马丁公司的“臭鼬”工作组、波音公司的“幻影”工作组业务性质有些相似。

2.1 成立背景

上世纪90年代,罗·罗公司为加强其在世界航

空发动机市场上的竞争力,开始了全球并购活动。1993年罗·罗公司就试图收购美国艾利逊发动机公司,但直到1995年才得以收购成功^[1-4]。这次收购不仅使罗·罗公司巩固了其在世界航空发动机领域的地位,也使其在北美市场上具有了更强的实力。为有效利用这一优势,罗·罗公司在美国成立了罗·罗北美公司^[5],将收购的美国艾利逊发动机公司纳入旗下,并建立了艾利逊先进技术开发公司(AADC)来接手管理美国涉及尖端技术的机密项目。罗·罗北美公司组建后,为了更好地激发公司的创新潜力,孵化出更多的创新技术,决定在其成立的AADC基础上创建自由工厂。图1示出了自由工厂及其母公司罗·罗北美公司在罗·罗公司整个集团组织架构中的定位。

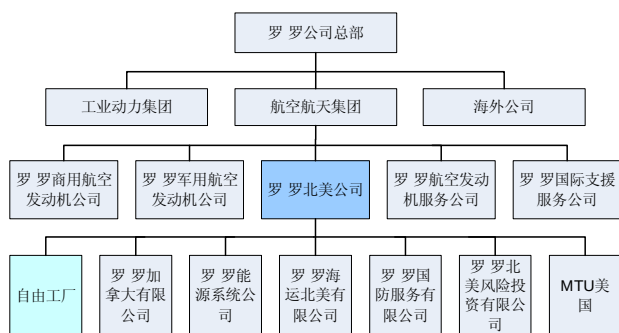


图1 罗·罗公司组织架构图

Fig.1 Organization structure of Rolls-Royce

自由工厂的建立,不但巩固了罗·罗公司在美国航空发动机领域的地位,而且使得罗·罗公司的产品谱系更加全面。因为自由工厂的前身AADC当时正在生产的产品既有功率3 374 kW的AE2100涡桨发动机,也有推力2 890~4 000 daN的AE3007涡扇发动机,还有功率4 520 kW的AE1107涡轴发动机^[4]。此外,AADC还参与了一些先进军用燃气涡轮发动机的研究、验证和开发项目,使得罗·罗公司在美国的业务范围更加广泛。

2.2 发展历程

自由工厂成立后,AADC的研发工作全部转到自由工厂。在罗·罗公司创新理念的驱动下,自由工厂把继承过来的AADC原有项目进一步深度开发。其中比较典型的是升力风扇发动机技术的研发,采用该项技术的发动机已在F-35飞机上完成了短距起飞和垂直降落。

除此之外,自由工厂还把更多的精力放在新技术和新产品的创新研发上。2014年,自由工厂成功

研发出YJ102R涡喷发动机。该发动机性能突出,无需采用加力燃烧室就能实现马赫数3.0以上的超声速飞行,展示了自由工厂在高速涡轮发动机研制方面的创新能力。

鉴于自由工厂强大的创新潜力,罗·罗公司把高马赫数推进系统研发中心定在了自由工厂,研发重点放在马赫数5.0以上的高超声速飞行器用动力装置上,其中包括研发高速涡轮发动机。自由工厂拟从高速涡轮基入手,研发涡轮基组合循环发动机(TBCC)的低速段动力。

3 主要成就

自由工厂借助罗·罗公司的宽广资源,其研发创新范围更加广泛,在军用航空发动机创新技术研发上成绩斐然。在过去十多年中,自由工厂为其参与的多项高性能军用发动机技术研发计划提供了多项创新技术,体现了目前燃气涡轮发动机领域的最高水平。如为RATTLRS计划提供的YJ102R高速涡轮发动机上使用的Lamilloy技术,为ADVENT计划提供的自适应风扇技术等。

3.1 Lamilloy技术^[6]

Lamilloy技术是自由工厂开发的一种新型冷却方案,其冷却结构见图2。它是层板冷却制造技术、精密铸造技术和材料技术相结合的产物,具有强化对流、冲击及气膜冷却的综合效果,是自由工厂的标志性技术。该项技术的研究始于20世纪60年代,在艾利逊公司时期就对Lamilloy的冷却特性、设计和制造工艺以及使用寿命进行了详细的研究^[7]。自由工厂成立后加强了该技术的工程应用探索,并随着不断发展验证,Lamilloy技术不断完善,冷却效果也更加显著,最终在YJ102R发动机(图3)上得到了成功应用。

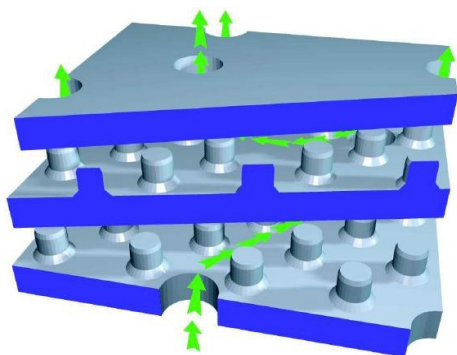


图2 典型的Lamilloy冷却结构^[8]

Fig.2 Typical Lamilloy cooling structure



图3 YJ102R 发动机
Fig.3 YJ102R engine

YJ102R 发动机是自由工厂在美国海军研究办公室资助下,为臭鼬工厂提供的一种全新研制的高性能发动机,它是 RATTLS 计划验证机的动力装置,其单位推力是 J58 发动机的 6 倍。YJ102R 发动机的核心机非常先进,热力循环参数已达到很高水平,是目前单位推力非常高的发动机之一。YJ102R 发动机之所以有如此高的推力,主要原因之一是其采用了 Lamillooy 多孔层状合金,可以吹入来自压气机的高压空气,为燃烧室和涡轮部件提供蒸发式冷却^[9-12]。

3.2 自适应风扇技术

自适应风扇技术是自适应发动机的一项关键技术,它是利用第三涵道来改变发动机的涵道比。三涵道是除传统涡扇发动机的核心机涵道和低压外涵道之外,在外圈增加的可开合的第二外涵(图4)。低马赫数时,第三涵道打开,增大发动机的涵道比,并大幅度提高发动机的推进效率。超声速下需要更高的单位推力时,第三涵道的气流将流过核心机,以提高排气速度。在特殊需求状态下,第三涵道的气流可用于发动机冷却。

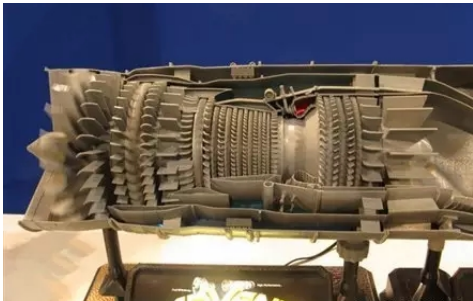


图4 美国空军研究实验室展出的 ADVENT 三涵道设计
Fig.4 Three-stream design in ADVENT program presented by AFRL

自适应风扇技术通过风扇流量的变化来改变涵

道比,从而实现发动机的可变循环特性,该项技术是 ADVENT 计划研究的关键技术之一。在获得 ADVENT 计划合同后,自由工厂就着力进行自适应发动机的初始设计、详细设计与分析、风险降低研究及关键部件试验,包括全环燃烧室试验、陶瓷基复合材料部件研究与试验等,并完成一台核心机的试验验证^[13]。由于其承担的自适应通用发动机技术验证机计划工作达到了主要的里程碑要求,自由工厂再次被美国空军选中进行 ADVENT 计划第二阶段的研究工作。2010 年底,自由工厂开始在美国空军研究实验室(AFRL)的风扇试验台上进行自适应风扇试验,到 2012 年 6 月结束时共完成 250 h 的风扇工作性能试验和其他试验^[14]。截止到 2015 年,自适应风扇技术的试验验证工作基本完成。

3.3 超高压比技术

超高压比技术源自高效嵌入式涡轮发动机(HEETE)计划。该计划是为满足未来中/高空情报、监视和侦察(ISR)平台无人作战飞机和运输机的超长耐久性和航程需求,开发和验证推力为 8 900~15 575 daN 的涡扇发动机。2007 年,自由工厂从 AFRL 获得 HEETE 计划合同并进行了相关研究,其关注重点是超高压比压气机技术及其相关热管理特性,目标是使空军无人机的航程延长 30%或负载和燃油载荷增大 50%,巡航时间延长 90%;使海军作战无人机的航程和巡航时间分别延长 1 倍^[15-16]。

为达到 HEETE 计划中相对基准发动机耗油率降低 25%的目标,自由工厂极大地提高了压气机的级压比,至少比 2000 年技术水平发动机核心机的提高了 230%。2010 年,超高压比压气机完成第一阶段的台架试车;2013 年,超高压比压气机完成了试验验证,成功验证了超高压比的性能和部件温度的管理。图 5 为 HEETE 计划的压气机试验件。



图5 自由工厂参与的 HEETE 压气机试验件
Fig.5 HEETE compressor test rig which LibertyWorks was participated

提高压比也就意味着增加温度。据悉,与2009年技术水平的发动机相比,HEETE计划核心机所承受的温度要高出 163°C ^[15]。为此,自由工厂研发了一款对空气进行冷却、结构紧凑的轻质量热交换器,用以冷却压气机叶片和叶盘。

4 经验与启示

自由工厂尽管只是罗·罗公司庞大组织架构中很小的一个组织,但却是罗·罗公司强大航空发动机技术的重要神经系统,参与了许多重要的航空发动机研发项目,使罗·罗公司在国际航空发动机市场保持着强有力的竞争力,为罗·罗公司的发展做出了突出贡献。

通过对自由工厂的剖析可以发现:一是自由工厂的组建进一步完善了罗·罗公司的发动机产品谱系。除罗·罗公司原本就在大型航空发动机方面具有的突出优势外,自由工厂组建后加强了其在涡轴、涡桨和中小型涡喷/涡扇发动机方面的竞争力。二是自由工厂通过负责或参与罗·罗公司承担的大部分军用发动机预研项目,且大多是先进发动机预研或新技术验证项目,获得了大量的新技术,积累了丰富的工程技术经验,已成为罗·罗公司发动机先进技术的重要试验和研发基地。三是罗·罗公司通过组织架构整合与并购运作,借助自由工厂成功打入美国航空发动机研发领域,深度介入美国开展的各种军用发动机预研项目,并与美国两大航空发动机公司GE和普惠展开发动机业务竞争或合作,融入到了区域行业领域。罗·罗公司通过自由工厂前身AADC在美国本土千丝万缕的关系及自身的技术实力,成功地在美国空军和海军的研发计划中分得一杯羹。目前,我国航空发动机研制在创新力不足、竞争力小、技术封锁等问题上存在的问题,可参考和借鉴罗·罗公司组建自由工厂的成功经验。

参考文献:

- [1] Rolls-Royce holdings[N/OL]. Wikipedia, [2018-9-20]. https://en.m.wikipedia.org/wiki/Rolls-Royce_Holdings.
- [2] Rolls-Royce Allison—Company profile, information, business description, history, background information on Rolls-Royce Allison[N/OL]. Reference for Business, [2018-9-20]. <https://www.referenceforbusiness.com/history/2/14/Rolls-Royce-Allison.html>.
- [3] Rolls-Royce North America[N/OL]. Wikipedia, [2018-5-14]. https://en.m.wikipedia.org/wiki/Rolls-Royce_North_America.
- [4] LibertyWorks chases Pentagon projects[J]. Jane's Defence Weekly, 2005: 1—3.
- [5] 罗·罗公司及其发动机介绍[N/OL]. Docin, (2013-02-22) [2018-9-20]. https://www.docin.com/touch_new/preview_new.do?id=602577458.
- [6] 杨国才. 国外推重比10一级军用发动机综述[J]. 航空制造技术, 2009, (16): 32—37.
- [7] Nealy D A, Reider S B. Evaluation of laminated porous wall material for combustor liner cooling[R]. ASME 80-GT-100, 1980.
- [8] Auyeung T P, Cohn R, Coy E. Experimental and numerical analysis of transpiration cooling of a rocket engine using lamilloy? plates(PREPRINT)[R]. AFRL-PR-ED-TP-2005-450, 2005.
- [9] Warwick G. Hyper activity: hypersonics research in the USA[N/OL]. Flight Global. (2006-8-29) [2018-9-20]. <https://www.flightglobal.com/news/articles/hyper-activity-hypersonics-research-in-the-usa-208680>.
- [10] 单俊杰, 阿 雯. 美国海军 RATTLS 项目的关键技术与进展[J]. 飞航导弹, 2008, (12): 14—19.
- [11] Rolls-Royce completes successful initial test of YJ102R engine[N/OL]. Rolls-Royce Inc., (2009-1-12) [2018-9-20]. <https://www.rolls-royce.com/media/press-releases-archive/yr-2009/120109-successfultest-yj102r.aspx>.
- [12] 丛 敏, 秦春玲. 美国高超声速研究动态[J]. 飞航导弹, 2007, (10): 9—12.
- [13] Rolls-Royce North American Technologies Inc. selected by U.S. Air Force to complete advent research demonstrator program[N/OL]. Rolls-Royce Inc., (2009-10-18) [2018-9-20]. <https://www.rolls-royce.com/media/press-releases-archive/yr-2009/usaf-advent-research-demonstrator.aspx>.
- [14] 胡晓煜. 国外自适应发动机技术研究进展[J]. 国际航空, 2012, (10): 40—43.
- [15] 孙明霞, 梁春华. VAATE 计划下的革新性发动机[J]. 航空科学技术, 2011, (5): 18—21.
- [16] Rolls-Royce completes initial design reviews for HEETE aircraft engine program[N/OL]. Green Car Congress, (2008-5-19) [2018-9-20]. <https://www.greencarcongress.com/2008/05/rolls-royce-com.html>.