

〔编者按〕原苏联是世界上燃气轮机装舰使用最多的国家。其唯一的船用燃气轮机设计单位——“机器设计”科研生产联合体位于乌克兰的尼古拉耶夫市(Николаев)。近20多年来,我们对原苏联的燃气轮机技术的进展情况了解不多。1992年底,舰船燃气轮机专家、高级工程师闻雪友所长有机会访问了这座城市,并与“机器设计”科研生产联合体总经理等进行了会谈与学术交流,参观了研究设计生产现场。本期发表闻雪友所长的随访,介绍其发展情况和主要的船用燃气轮机装置以及相应的工业用燃气轮机装置。

乌克兰“机器设计”科研生产联合体总经理 Виктор Романов 先生为本刊撰写了一篇“ГТД18000 和 ГТД15000 船用燃气轮机的设计特点”论文,委托闻雪友所长翻译成中文在我刊发表,以飨读者。

原苏联船用燃气轮机的摇篮 ——МАШПРОЕКТ

闻雪友

(哈尔滨船舶锅炉涡轮机研究所)

原苏联作为一个海军大国,是世界上舰船燃气轮机的最大使用者。前不久,有机会随代表团访问了位于乌克兰的舰船城——尼古拉耶夫市。这是一个宁静优美的城市,座落在黑海之滨,长期以来禁止外国人入内,现今也终于撩起了神秘的面纱,对外开放了。

原苏联舰船燃气轮机的历史与“机器设计”科研生产联合体的发展息息相关,因为“机器设计”组织是在1954年为研制舰船燃气轮机之目的而建立的,是原苏联唯一的一个船用燃气轮机的设计、研究单位。与其邻近的“曙光”生产联合体则是一个燃气轮机的批生产厂。

“‘机器设计’加‘曙光’等于从构思到生产的全部工作。”“机器设计”的总经理罗曼诺夫说:“‘机器设计’由设计、试验(部件与整机)、控制及试生产四部分组成,‘曙光’厂在

不同程度上参与了试生产,但归根结蒂,试生产是由‘机器设计’联合体完成的”。

“两个企业原是苏联船用燃气轮机的垄断企业。历史已形成这样的局面:在原苏联及现独联体的疆域内,水面舰艇的60%的动力是由我们生产出来的,并且还提供备件和监督服务。”“曙光”厂的总工程师索洛金介绍说,“两个企业在学术上也很有名望,因为我们总是首先应用新技术,工程师、专家云集。此外,苏联科学院的许多专家为此服务,为企业研制了诸如电子束焊、激光、电化学、电物理等新设备、新工艺”。

“两个企业有不同的分工,但总的来说,很好地满足了海军的要求,也满足了民用工业方面的需要。”罗曼诺夫的话像是补充,又像是总结。

收稿日期 1993-02-10

本文联系人 闻雪友 男 52 教授级高工 150036 哈尔滨市 77 信箱

原苏联最初的船用燃气轮机装置是 M-1 装置, 功率 2.94 kW(4000 马力), 寿命 100 小时, 耗油率 557.8 g/(kW·h)[410 克/(马力·小时)], 它是在航空发动机的基础上研制的。其后的 M-2 燃气轮机装置已是独立研制, 寿命 1 000 小时, 功率 11 MW(15 000 马力), 耗油率 353.7 g/(kW·h)[260 克/(马力·小时)], 在各工况工作时在当时已具有最好的经济性, 是原苏联第一台全工况船用燃气轮机。

在此期间, 已确定了发展舰用燃气轮机的主要方向, 许多方面并保持至今, 即:

- 直流布置。双转子套轴结构, 使尺寸小、重量轻、流阻损失小。
- 采用滚动轴承支承。
- 研制允许有较大不对中的联轴器。
- 发动机机匣与罩壳间用引射冷却空气来隔热。
- 采用双流路燃料空气喷嘴。
- 调节、操纵和保护系统。
- 垂直装配工艺和在专用导轨上发动机水平对接工艺。
- 海洋环境下工作的进、排气装置, 基座、罩壳、电子设备、润滑、起动、燃油和滑油系统。

所积累的经验甚至广泛地用于现时设计的舰船及工业用燃气轮机装置中。

1956 年将组织分为两部分:

试验设计局——今日之“机器设计”科研生产联合体。

批生产厂——今日之“曙光”生产联合体。

1958 年为“乌克兰共青团员”号舰(北大西洋公约组织称之为“卡辛”级)研制了 M-3 主动力装置, 功率为 26.5 MW(36 000 马力), 由两台燃机并车组成, 寿命 10 000 小时, 耗油率 353.7 g/(kW·h)[260 克/(马力·小时)]。该舰的特色是采用全燃推进, 有可

正、倒车的减速器, 当时(1962 年)世界上还没有。英国类似的装置在 1969 年才用于 21 型和 42 型。美国驱逐舰“斯普鲁恩斯”号上的类似装置则是在 1973 年装舰使用。

1965~1966 年起开始研制第二代发动机, 主要任务是提高经济性、寿命, 改善声学特性。研究结果表明, 舰船主动力装置应由不同功率的发动机通过联接系统组成一整体, 使在任何航行工况下都能经济地工作。用这样的概念建成 M-5、M-6、M-7 装置, 其中包括独立的、不同功率的巡航和加速机。

所采用的系统可保证在舰艇全速时全部装置投入工作, 也可仅一台发动机工作, 通过减速器将功率分配在两个螺旋桨上。在这些装置上有世界上第一次采用的倒车动力涡轮, 快速作用的气动离合器等一系列新技术。M-5 装置用于“尼古拉耶夫”号舰(“卡拉”级), M-7 装置用于“列宁格勒共青团员”号舰(“克里瓦克”级)。

1971 年开始研究第三代燃气轮机: ГТД3000, ГТД8000, ГТД15000, 效率(30~35)%。

ГТД3000 功率为 3 000 kW, 套轴燃气轮机, 简单循环, 用作快艇和动力效应船的主动力, 已累计运行 55 000 小时。

ГТД8000 发动机功率为 6 000~8 000 kW, 套轴, 简单循环, 用作快艇的加速机组及军、民用动力效应船, 也是“光荣”号巡洋舰上的巡航发动机, 船用型发动机已累计运行 13 万小时。用于发电和天然气输送时功率为 6 000~6 300 kW。

ГТД15000 功率为 15 000~17 000 kW, 套轴, 简单循环, 用作各种排水型水面舰艇的全工况或加速机组, 也用作发电和天然气输送机组。与第二代燃气轮机相比, 燃气初温提高了 200~250℃, 压比提高了近一倍。而且由于在高、低压涡轮上均采用了高应力单级涡轮代替两级涡轮, 转子采用双支承, 以及高



图1 作者(右)与 Романов 总经理(中)在乌克兰“机器设计”科研生产联合体试验室

性能冷却叶片、新材料、新工艺的应用等使发动机的比质量仍可接近航空发动机水平。基于这些发动机,对气垫船、水翼艇、水面舰艇建立了不同的装置,其中最具有代表性的是排水量 13 000 吨的轻巡洋舰“光荣”号,它以一套燃—蒸联合循环装置(COGAS)作为巡航机,以提高巡航时的经济性,以大功率燃气轮机作为加速机。

从 1986 年起开始研究第四代船用燃气轮机 M80,目前正在研制进程中。

近 40 年来,这个前苏联唯一的船用燃气轮机装置研究单位发展了四代船用燃气轮机,共有 19 型燃气轮机装备了 26 种舰船,原苏联四个舰队的所有舰用燃气轮机均来自该基地。

“机器设计”和“曙光”在舰船燃气轮机方面的顺利进展引起了热能动力专家们的注意,1966 年获得了研制浮动电站的订货,1971 年第一艘自行式浮动电站“北极光”号

(装有功率 12 000 kW 的 ГТГ-1A 机组)开往北冰洋沿岸。同时还建造了“灯塔”型列车电站,装有功率为 4 000 kW 的燃气轮机发电机组。1975 年开始研究 ГПА-10 机组,1979 年开始批量生产。第一套用于雪比林克压缩站,现今已用于 11 条天然气输送主干线上的 35 个压缩站。

在第三代发动机的基础上又发展了一系列用于动力工程和天然气增压的工业装置:

ГТГ-2.5 (2 500 kW 效率 28.5%)

ГТГ-6 (6 400 kW 效率 32%)

ГПА-6.3 (6 700 kW 效率 32%)

ГПА-16A (17 000 kW 效率 35.5%)

ГТГ-16 (17 000 kW 效率 35.5%)

ГТГ-22 (23 000 kW 其中燃气轮机功率 17 000 kW 蒸汽轮机功率 6 000 kW 效率 43%)

ГТЭ-25C (25 000 kW 效率 45%)

最新的工作是回注蒸汽的 ГТЭ-25C 装

置试验,ГТД25000(25 000 kW)和 ГТТ-110 (11万千瓦)燃气轮机发电机组的研制。

至今,由“机器设计”和“曙光”两个企业设计、制造的发动机和机组已超过 2500 台,用于舰船、动力和天然气工业等。

“机器设计”科研生产联合体拥有一个强大的试验基地,有涡轮、压气机、燃烧室、轴承、传动、热电偶、应变测量、非标测量手段等六个部件试验室,约 20 个大型试验台架。

气动力学和热物理试验研究中包括大压气机试验台(驱动功率为 26.5 MW)、小压气机试验台(驱动功率为 2 MW),涡轮试验台,

燃烧室试验台(六个),叶片冷却试验台,风洞试验(进、排气装置,叶栅)。气源由四台燃气轮机驱动各自的压缩机通过串联或并联运行组成,最高压力可达 25 kg/cm²,最大流量可达 70 kg/s。

当结束对原苏联船用燃气轮机基地的访问时,对其设计、试验研究能力,生产制造能力及规模,众多的船舶及工业燃气轮机型号,广泛的应用,新技术及高可靠性等方面留下了深刻的印象。但是随着原苏联解体,独联体的舰用燃气轮机是否还能始终是一枝独秀呢?

新技术

FT4000 型湿空气燃机循环

据“Turbomachinery International”1993 年 1—2 月号报道,已经发现与联合循环比较,湿空气燃气轮机(HAT)循环是一种具有高效率、低成本的生产电力方法。带有中间冷却、再热动力循环的湿空气燃机是 STIG(蒸汽回注式燃气轮机)的改进与发展。

通过与多级“饱和器”接触,燃机的燃烧空气被饱和。加到燃烧空气中的水蒸汽(使空气包含了约(20—40)%水蒸汽)使压气机的压缩功消耗从 50%减少到约 30%。省下来的 20%轴输出功率再加给发电机。

与简单循环比较,HAT 循环的中间冷却减少了压缩功,而水蒸汽增加了燃机的功率,其结果是更高的比输出和效率。与联合循环比较,由于它不需要汽轮机、冷凝器或冷却塔,HAT 循环可以节省投资费用。大量的水蒸汽与燃烧空气混合,将使 NO_x 的排放减到很低的数值。

研究表明,高压比对 HAT 循环的高性能是有利的。这意味着,航空改型燃机适合作 HAT 循环的基础,因为要在整个负荷范围内以可接受的喘振裕度达到高压比就需要采取双轴布置。普赖特 & 惠特尼公司的 PW4000 航空发动机是当今世界上宽机身飞机使用的一型大功率、高性能发动机,它构成了 FT4000 HAT 循环的基础。HAT 循环的主要部套是压气机、燃烧室、涡轮、中间冷却器、后冷器、回热器、经济器和饱和器。

FT4000 HAT 循环与典型先进联合循环的性能比较示于下表。

以天然气为燃料,环境温度为 32.2℃下装置的总性能。

输出功率, MW	HAT 循环	联合循环
燃气轮机	158.0	133.0
汽轮机		72.0
电站辅机消耗的功率	0.5	4.0
装置的纯输出功率	157.5	201.0
发电效率		
纯热耗率, kJ/kW·h (低位发热值)	6 493	6 841
装置的纯效率, % (低位发热值)	55.5	52.6

由上表可以看到,与联合循环比较,HAT 循环效率的改进从全负荷下的 5%到 50%负荷下的 20%。

(学奥供稿)