

复杂循环燃气轮机装置在舰船中的应用

(哈尔滨七〇三研究所) 魏琳健 吉桂明
(大连海事大学) 付先平 聂焕玲*

[摘要] 叙述了 WR-21 中间冷却回热式 (ICR) 燃气轮机和基于燃气轮机的燃蒸联合循环 (COGAS 和 COGES) 动力装置的研制和应用情况。简要介绍了前苏联、美国和英国在这方面所做的工作。指出, 作为两种高效节能的动力装置, WR-21 和 COGAS 装置具有一系列的优点, 它们是应用于军舰和商船的较为理想的动力装置。

关键词 船舶动力装置 燃蒸联合装置 ICR 燃气轮机 应用

中图分类号 U 664.13

1 前言

过去 10 年燃气轮机技术又取得了长足的进步, 选进的航空技术在舰船燃气轮机中得到了进一步的应用, 并研制设计出许多新一代的高性能燃气轮机, 如 GE 公司新研制的 LM2500+, 乌克兰“机器设计”科学生产联合体研制的 ITI25000、罗尔斯-罗伊斯公司和西屋公司联合研制的 WR-21 型 ICR 船用燃气轮机。

舰船主动力装置当前追求的目标一是费用节省 (降低耗油率), 二是保持 (或增强) 战斗力 (对商船是追求最大经济效益)。正是上述目标促进了高效

节能、综合性能优良的 ICR 燃气轮机和燃蒸联合循环动力装置的研制和应用。

采用中间冷却回热复杂循环、先进的燃蒸联合循环已使舰船燃气轮机的发展和应用进入了一个崭新的时期。WR-21 可望作为下一代大中型战舰的主动力装置。利用燃气轮机排气余热的燃蒸联合循环动力装置——COGAS 和 COGES 的技术在不断发展并得到应用。

经过几十年的开发、研制和应用, 各国海军已公认燃气轮机是大中型水面战舰占主导地位的发动机。

近年来, 随着高性能船 (渡船、旅游船) 的快速发展, 综合性能优良的燃气轮机正在日益进入商船推进的各个领域。

2 WR-21 发动机

考虑到无论是平时还是战时, 大中型战舰的巡航时间要占海上航行时间的 75% 以上, 巡航速度一般在 18 节左右, 所需功率仅为总功率的 20%—25% 以下。通常简单循环燃气轮机在低负荷下的性能明显降低, 耗油率急剧增加。

早在 50 年前, 为使燃气轮

机在整个负荷范围内有低的耗油率, 英国研制了 RM60 型 ICR 船用燃气轮机, 并于 1954 年装用于“灰鹅”号炮艇上。

前苏联早在 60 年代初就研制了 ITY-20 型 ICR 船用燃气轮机。1965 年, 装用 ITY-20 发动机的“巴黎公社”号干货船正式投入航行。

由于当时条件的局限再加上改进的简单循环燃机性能的超越, ICR 船用燃机技术未得到进一步的开发和应用。

当前, 对战舰主动力装置节省燃料消耗方面的要求日益受到重视。由于燃气轮机及热交换器技术的进展, 使复杂循环和联合循环装置在达到最高循环效率, 良好变工况性能的同时仍能使装置结构紧凑、工作可靠。

为此, 美国海军招标, 授权英国 Rolls-Royce 公司和美国 Westinghouse 公司联合研制 WR-21 ICR 船用燃机。

研制该发动机的目标是用于下一代战舰、取代 LM2500 发动机, 使采用 WR-21 发动机的战舰年燃油消耗量较美国海军现役的 LM2500 发动机舰船降低约 30%。

ICR 循环线图示于图 1。中间冷却减少了高压压气机的耗功

收稿日期 1999-01-19 * 鹤岗矿务局

本文联系人 魏琳健 (1955—) 女, 安徽定远人, 翻译, 兼任瑞典容格公司中国代表处代表。通讯地址: 150040 哈尔滨市量具刃具厂新 19 栋三单元 109 号

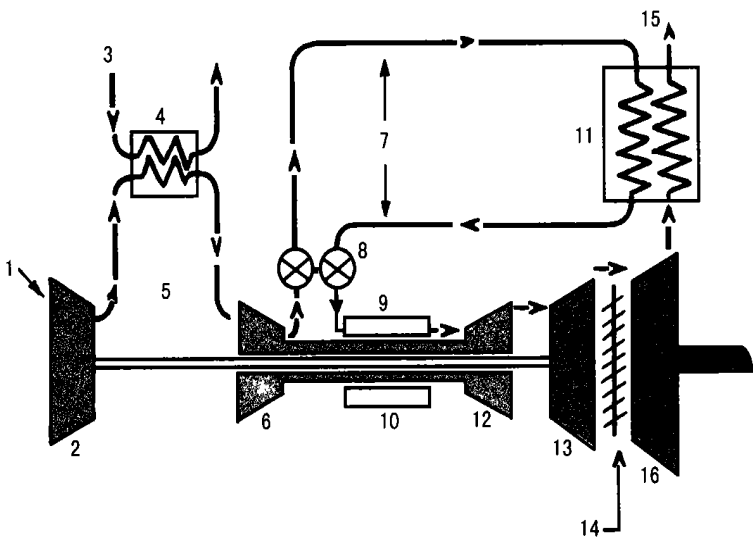
并明显增加了回热器的效率。回热回收了排气的余热，明显增加了装置的效率。中间冷却器、回热器、动力涡轮可变几何导叶是使 WR-21 较 LM2500 简单循环降低耗油率、增大功率的关键。

由于中间冷却、回热再加上可变几何的动力涡轮，WR-21 整个功率范围内的耗油率曲线极为平坦。在 50% 输出功率下，耗油率仅比 100% 输出功率时增加 4.15%。与简单循环比较

(图 2)，WR-21 可明显减少燃料消耗：在最大功率下减少 17%，40% 全功率下减少 25%—30%，在 30% 全功率下减少 30%，10% 全功率下减少 40%—60%。

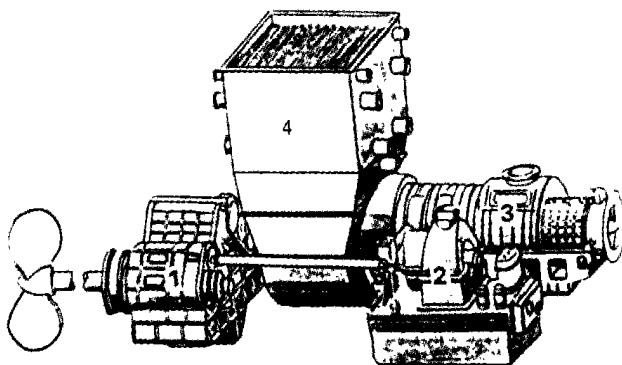
对于目前美国海军的 119 艘由 LM2500 驱动的舰船，预计 1996 年需要燃油 836 万桶，花费约 5 亿美元。就具体战舰而言，对于当前已有 30 艘、最终将拥有 57 艘的 DDG-51 (阿里伯克) 级导弹驱逐舰，用 WR-

21 代替 LM2500 推进系统将使总的燃料



1-进气；2-低压压气机；3-水；4-中间冷却器；5-温降 (106°C)；6-高压压气机；7-温升 (227°C)；8-旁通阀；9-燃烧室；10-燃料；11-回热器；12-高压涡轮；13-低压涡轮；14-可变面积导叶；15-排气 (343°C)；16-动力涡轮

图 1 WR-21 ICR 循环线图



1-PM25 型减速器；2-汽轮机；3-燃气轮机；4-余热锅炉

图 3 M25 型动力装置的全视图

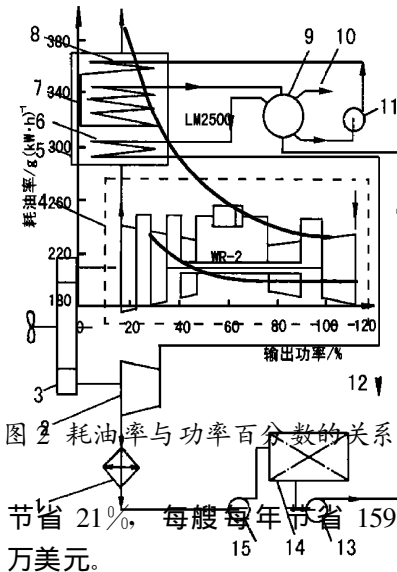


图2 耗油率与功率百分数的关系
节省 21%，每艘每年节省 159 万美元。

优异性能的 WR-21 发动机已引起各国海军的极大注意。考虑装用 WR-21 的战舰有美国海军 DD-21 级驱逐舰、DDG-51 级后续舰，英海军新型航母，英、法、意“地平线计划”中的“前景”级护卫舰。此后，民用市场，诸如旅游船、高速渡船等也有望应用 WR-21 发动机。

3 COGAS 装置

前苏联一直是舰船燃气轮机的最大使用者，也是利用 COGAS 装置的先驱。它首先把 COGAS 装置用于大型滚装式货船，也首先把它用于大型战舰。

3.1 M25 型 COGAS 装置

早在 70 年代乌克兰尼古拉也夫市的“机器设计”科学生产联合体即研制成功利用 D159 航改型燃气轮机排气余热的 M25 型船用 COGAS 装置（图 3）。其系统图示于图 4。图中可看到燃气轮机 4 的排气进入直流式余热锅炉 5，余热锅炉的蒸汽供入汽轮机 2 做功。燃气轮机和汽轮机的功率通过减速器并车输送给螺旋桨轴。

1-汽轮机冷凝器；2-汽轮机；3-减速器；4-燃气轮机；5-余热锅炉；6-蒸汽过热器；7-受热蒸发面；8-经济器；9-汽水分离器；10-生活用抽汽；11-余热锅炉循环水泵；12-到汽轮发电机的抽汽；13-给水泵；14-热水井；15-冷凝水泵。

图 4 M25 型燃蒸联合动力装置系统图

M25 型 COGAS 装置的性能如下：

- 正车功率：18.4MW
- 其中，燃气轮机功率 14MW，汽轮机功率 4.4MW
- 耗油率：0.204kg/(kW·h)
- 热效率：41.3%
- 倒车最大功率：5MW
- 机组长度：14m
- 重量：150t
- 大修寿命：燃气轮机 25000 小时
汽轮机 50000 小时
余热锅炉 50000 小时
减速器 50000 小时

M25 动力装置于 1979 年装在前苏联排水量为 22691 吨“斯米尔诺夫船长”级大型滚装式货船上。该船装有二套 M25 装置，36.8MW，2 轴。在 1979 年—1982 年期间共建造了 4 艘该级货船。采用 COGAS 装置，通过燃蒸并车，可增加 20% 推进功率，并且也把来自余热锅炉的蒸汽供给汽轮发电机和舰船服务设施用。

至今已有 20 套 M25 动力装置在使用中，累计的总工作时间为 240000 小时。

1997 年 5 月美国海军海上系统指挥部授于合同，采购一艘乌克兰建造的由 M25 装置驱动的斯米尔诺夫船长级滚装船。在加入美国海军运输船队前要对该船进行改装。在保留基本推进系统时，改装工作将包括用新的高性能 GT16000 型燃气轮机（简

单循环热效率超过 36%) 代替老的 D159 型燃气轮机, 推进装置的控制和监视系统将完全更换上新的基于计算机的系统。海上系统指挥部有兴趣购买经类似改装的全部该型船只。

乌克兰“机器设计”科学生产联合体还基于 M37 型燃气轮机(最大功率为 5.88MW)研制利用其排气余热组成小尺寸、高效率的 COGAS 装置, 可用于高速渡船和豪华游艇。据称, 这些装置可以成功地与具有同等功率、性能优良的柴油机相比较。

3.2 基于 ITD8000 型燃机的 COGAS 装置

美国海军在 80 年代曾对 COGAS 装置用于 DDG-51 型(阿里伯克级)导弹驱逐舰进行过可行性论证, 但终因其有燃气和蒸汽二套系统而增加了系统复杂性等原因一直举棋不定, 至今尚未在其战舰中采用。其护卫舰、驱逐舰和巡洋舰(核动力巡洋舰除外)一直是采用 LM2500 单一机型的燃气轮机主动力装置。

相比之下, 前苏联却在战舰上采用 COGAS 装置方面迈出了

可喜的一步。

继 COGAS 装置在商船上得到成功的应用并积累经验以后, 前苏联迅即展开了 COGAS 在军舰上应用的研究工作。

80 年代乌克兰“机器设计”科学生产联合体研制成基于 8M WTTD8000 型船舶燃气轮机的 COGAS 装置。该 COGAS 装置已装用于 1982 年服役的前苏联海军排水量为 12 500 吨先进的“光荣级”大型导弹巡洋舰上。

该级舰共装用 6 台燃气轮机, 加速机组由 4 台额定功率为 15MW 的 ITD15000 型燃气轮机组成, 巡航机组由 2 套基于 ITD8000 的 COGAS 装置组成。2 轴装机总功率约为 88.2MW, 自 1982 年至今该级舰已建成服役 4 艘。

苏联海军首先把燃气轮机用于大型战舰(1963 年服役的卡辛级导弹驱逐舰), 这一次又是苏联首先把基于燃气轮机的 COGAS 装置应用于先进的导弹巡洋舰。

使用 COGAS 装置减少了耗油率, 从而对于给定的燃油储量

可增加战舰的续航力, 或对于给定的续航力可增加武器弹药的载重量, 使战舰的战术性能指标得到提高。

4 COGES 装置

4.1 GE 公司的可行性研究

当前, 高性能船的快速发展, 为舰船用燃气轮机提供了更为广阔的应用市场。GE 公司利用其在海军舰艇推进装置中良好的信誉和优势, 及时地开展了这方面的预研, 并且卓有成效。

80 年代末, GE 公司对采用 LM2500 燃气轮机加上排气余热回收的 COGES(燃气轮机和汽轮机联合的综合电力驱动系统)进行了可行性研究。

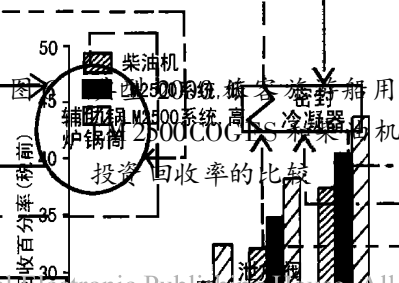
用于旅游船的典型的 LM2500 船用动力系统热平衡和流程图示于图 5。通常, 汽轮发电机组的输出功率约为 LM2500 燃气轮发电机组的输出功率的 30%—40%, 使系统的热效率达到 45—50%。如果考虑使用低压蒸汽, 则整个系统燃料能量的利用率高达 80%。

图 5 LM2500 船舶总能系统热平衡和流程图, 全功率下具有 9027kg/h 服务蒸汽

该系统中燃气轮发电机功率为 21.5MW, 利用燃气轮机排气余热的汽轮发电机功率为 7.65MW, 从而使系统的总功率达 29.15MW, 此外每小时还能提供 9027kg 蒸汽供生活设施使用, 从而使整个装置的燃油能量利用率高达 80%。

GE 针对典型的 2000 客位旅游船装用 COGES 动力装置和柴油机动力装置所进行的投资回收研究表明, 由于 COGES 的能

量利用率高, 运行维护人员少、维护费用少、节省的大量空间可用于增加客舱、航速高等原因, 投资回收期明显高于柴油机(图 6)。



可行性研究结果表明, 对于该大型旅游船装用 COGES 动力装置其性能将明显优于船用柴油机。

4.2 皇家加勒比航运公司旅游船将装用 COGES 动力装置

美国佛罗里达州迈阿密市的皇家加勒比航运公司最近宣告, 他们将建造 6 艘燃气轮机/蒸汽轮机驱动的旅游船, 这些 294m 长、85000 载重吨、载客 2000 人的旅游船将由其两个子公司

——皇家加勒比国际航运公司和皇家加勒比名人航运公司营运。

每艘旅游船的推进装置将包括两台 GELM2500+ 型燃气轮机和一台汽轮机，该 COGES 系统图示于图 7。燃气轮机和蒸汽轮机将组成 COGES 系统，在该系统中涡轮机将驱动发电机，发电机将驱动推进电动机并提供船上电力用于照明、通风等。汽轮机的排汽将用于生产淡水、空调加热、洗衣房和厨房。根据用于船上服务的蒸汽要求，燃蒸联合循环的效率将为 45%—50%。在使用低压蒸汽时，整个系统的能量利用率高达 80%。

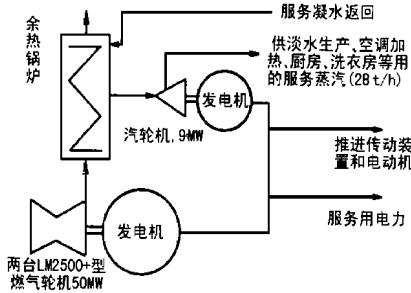


图 7 皇家加勒比旅游船的 COGES 系统

COGES 动力装置的一个主要优点是降低噪声和振动量级。这将改进所有旅客，尤其是在船舶后部客舱内那些旅客的舒适性。此外，涡轮机技术使船舶对环境的不利影响减到最小。与柴油机比较，涡轮机减少了排放物、对大气和环境的污染。氮氧化物 (NO_x) 排放减少 80%，二氧化硫减少 98%，远远低于典型柴油机的排放量。

采用燃气轮机动力装置也不必使用催化还原设备和专门的排气处理系统，而柴油机动力装置却要求使用这些设备和系统。

COGES 系统机械的紧凑性是另一个好处。与船用中速柴油机约 80kW/m³ 功率密度比较，现代航改型燃气轮机的功率密度约为 1500kW/m³。在舰船上，当燃气轮机装上隔热罩壳时，其功率密度减小到约为 400kW/m³。尽管这样，这一功率密度仍然是柴油机的五倍。

通常，旅游船使用 4 或 5 台中速 (500r/min)、8~10MW 功率的柴油发电机组。在使用的 COGES 动力装置的功率与柴油机不相上下时，其更高的功率密度所节省的空间可转换成更多的客舱 (可使载客量增加 50%) 或公用房间和活动区域。

构成上述 COGES 动力装置的 LM2500+ 是美国 GE 公司 1998 年才推出的最新型船舶燃气轮机。在 ISO 条件下，该燃机的额定连续功率为 29.1MW，简单循环热效率高达 39%。该型燃机是由 GELM2500 航改型燃气轮机改进得到的，是 LM2500 的功率加大型。LM2500 是 GE 公司研制的第二代船用燃气轮机，它是由 TF39 型军用航空涡轮风扇发动机 (民用型为 CF6) 改装而成。LM2500 是世界各国海军用得最多、性能最先进的一型燃气轮机。至今，世界 24 国海军战舰装用了近 750 台 LM2500 发动机。LM2500+ 比 LM2500 的功率更大、效率更高并且有低的寿命周期费用。

打算用于皇家加勒比名人航运公司的前两艘 85000 吨“黄金时代”号旅游船将由法国造船厂建造，预定分别在 2000 年 6 月和 2001 年 1 月投入使用。打算用于皇家加勒比国际航运公司的

第一艘“航海者”号旅游船将由德国造船厂建造，计划于 2001 年 2 月竣工。皇家加勒比航运公司计划在 2003 年前再建造另外三艘该级旅游船。这些旅游船将挂挪威旗航行。

5 结束语

复杂循环和燃蒸联合循环的进展使舰船用燃气轮机的技术和应用攀上新的高峰。由于能加大功率、显著节省燃油消耗、低的噪声和红外特征，WR-21ICR 船用燃气轮机将成为推进新一代战舰的理想发动机。

作为高效节能、综合性能优良的动力装置，COGAS 装置已在商船和军舰上得到成功的应用。COGES 装置的上述应用是船用燃气轮机在商船应用领域中的又一个重大突破。在该领域中船用燃气轮机正继续向船用柴油机的地位挑战，现在它又打入了柴油机的世袭领地——旅游船市场。

参 考 文 献

- [1] Fulton K. Marine WR-21 succeeds in 500-hour ICR production engine test program. *Gas Turbine World*. 1997, 27 (6).
- [2] Fulton K. US Navy ICR engine is rated at 26400 hp and 42% efficiency. *Gas Turbine World*. 1992, 22 (6).
- [3] Ashley S. Fuel-Saving warship drive. *Mechanical Engineering*. 1998, 120 (8).
- [4] 金介荣. 燃气轮机的现状与发展趋势. *热能动力工程*, 1996 增刊.
- [5] Valenti M. Luxury liners go green. *Mechanical Engineering*, 1998, 120 (7).
- [6] Gas turbine power for cruisers. *Diesel & Gas Turbine Worldwide*, 1998, 30 (6).
- [7] Plignikov V. Combined-cycle propulsion

利用车床加工螺纹管技术

(黑龙江省古城内燃机配件厂锅炉分厂) 姜波 王喜林 王录生 陆林
(九三农垦管理局) 魏迅

[摘要] 介绍了利用 C630 车床加工螺纹管的工装结构、工艺及检验方法。

关键词 车床 加工 螺纹管

中图分类号 TG 506 TG62

1 前言

螺纹管是一种新型高效传热元件, 用做锅炉烟

管, 其结构见图 1, 因螺纹管内螺纹的存在, 在烟气流通过程中有效地破坏了烟气的“边界层”, 使得烟管的传热系数有了很大的提高, 一根螺纹管用在锅炉上可以代替 1.8—2.2 根光管烟管, 因而可以节省大量的钢材。但螺纹管的加工比较难, 一般的厂家都采取专机轧制, 本文介绍的是利用 C630 车床, 加一套简单的工装便可以加工出合格的螺纹管。

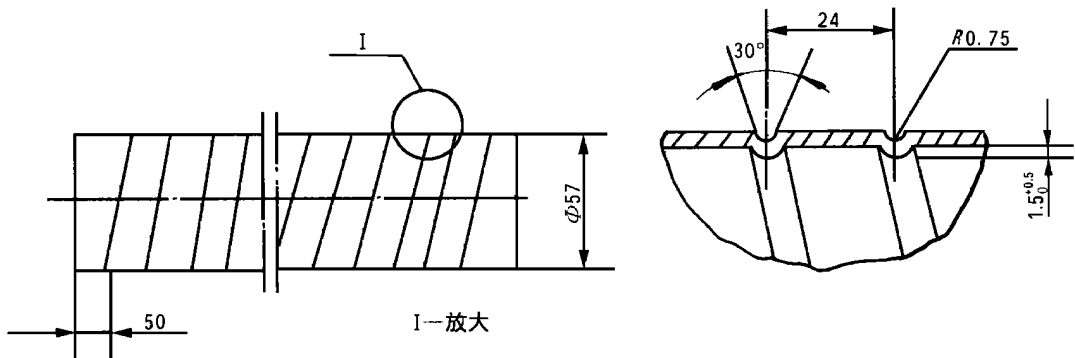
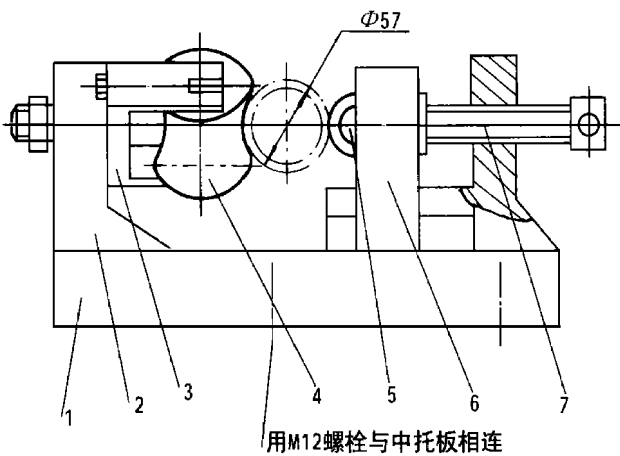


图 1 Φ57 t=24 螺纹管



用 M12 螺栓与中托板相连

1—底板 2—胎体 3—支承轮架 4—摩擦支承轮

5—压轮 6—压轮架 7—进刀丝杠

图 2 螺纹管加工工装示意图

2 工装简介

下面以加工 Φ57 管, 螺距为 24mm 的螺纹管工装为例, 介绍工装结构。

螺纹管加工工装结构见图 2, 此套工装的底板安装在中车床的中托板上, 底板与胎体间用燕尾槽相连, 工作时胎体可以横向滑动。其压轮结构见图 3, 用 T10 钢制造, 表面淬火 HRC60~65, 其刃部与螺旋线外表剖面尺寸一致, 支承轮结构见图 4, 其表面为单叶双曲面结构, 工作时支承在管子上, 以消除压轮工作时的压力。该曲面与管子接触为一条线, 这条线在图 5(b) 中为圆弧 B'C'。

因: 工作时支承轮的中心线在图中的 A—A'