

综 述

用于大型舰船的联合动力装置和实例分析

陆威崙

(MTU 上海办事处, 上海 200235)

摘 要: 对用于舰船的联合动力装置进行了简述; 并以欧洲主要国家若干现代护卫舰的动力系统作为实例对各种型式的联合动力装置进行了分析; 对影响联合动力装置选择的若干因素进行了讨论; 指出, 最终技术方案的确定不是单纯的技术问题, 而是各种因素的折衷。

关键词: 舰船; 联合动力装置; 实例

中图分类号: U674.7+03 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4357(2010)02-0007-05

Combined Propulsion Systems for Large Vessels & War Ships and Application Analysis

Lu Weilun

(MTU Shanghai Office, Shanghai 200235)

Abstract: Various types of combined propulsion system used for large vessels & war ships are described briefly. An analysis is done based on some propulsion systems of modern frigates owned by major European countries. Then discussions on some factors which influence the selection of combined propulsion system is made. It is pointed out that the determination of final technical solution is not only dependent on technical issues, but the compromise of various factors.

Keywords: vessel and war ship; combined propulsion system; application example

1 引 言

多年来, 柴油机一直是船舶的主要动力。对于豪华渡轮、邮轮以及高速舰艇等船舶, 由于受空间、重量的限制, 再加上船舶高速性的要求, 通常根据其尺度采用高速或中速柴油机作为动力。但柴油机单机功率有限, 在现代大型舰船对总推进功率需求增高的情况下就要寻求其它的解决方案。

燃气轮机具有重量轻、功率大的优点。但其经济性差、燃油消耗率高, 尤其在低工况运行时, 更是如此。

柴油机和燃气轮机的联合使用, 可以相互取长补短, 成为能满足现代大型舰船要求的理想推进装置。

近年来柴电推进在船舶领域得到大的发展。它

具有机组布置灵活, 能充分利用空间、噪声低、振动小等优点。把柴电推进与燃气轮机相结合, 于是又得到了一种新型的联合动力装置。

根据不同的联合情况, 目前采用的主要有以下几种联合动力装置。

2. 不同型式的联合动力装置

2.1 柴油机和柴油机联合装置(CODAD)

在这种装置中, 数台(通常为两台)柴油机通过一台齿轮箱实现并机, 驱动一根轴。图 1 所示为两两并机的四机双轴装置。这种装置通常用于柴油机单机功率不够或柴油机尺寸受限制的情况。每台柴油机通过离合器把功率输入齿轮箱, 因此可以借助离合器的开、合实现柴油机工作的切入或脱开。在低速航行时可以每轴仅一台柴油机工作; 这样在

收稿日期: 2009-06-15

作者简介: 陆威崙(1943-), 男, 高级工程师, 主要研究方向为船用柴油机选型配套技术, E-mail: wl.lu@mtu-online.com。

相同航速下它可以在较高的载荷工况下工作,因而有较低的油耗。而要获得较高乃至最高航速时,则两台机一起投入工作。

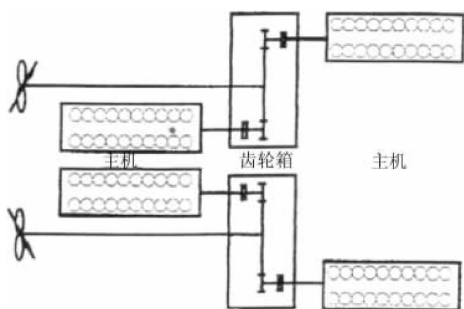


图 1 CODAD 简图

这种动力装置要求两台主机联合运行时承受的负荷平均。在包括起动、停机、增减速、单机或双机运行等各种工作状态下,对离合器及转速的控制能精确协调。因此对调速及控制系统有很高的要求。

CODAD 方式在 20 世纪 40 年代以前就开始采用,是最早获得应用的一种舰船联合动力装置。

法国的拉斐特(La Fayette)护卫舰就采用了这种 CODAD 装置^[1]。该型舰是法国于上世纪八十年代设计的,被称为 FL3000 型舰,首舰于 1996 年开使服役。它同时还用于出口,沙特阿拉伯、新加坡、台湾等地都有该型舰在使用。其满载排量为 3 600 t,最高航速 25 节。其推进系统采用了四台 12PA6 V280 STC 发动机,每台功率为 3 880 kW/1 050 r/min,驱动两根五叶调距桨。每两台机通过一台齿轮箱联合,驱动一根调距桨。采用调距桨可使主机在不同航速下始终保持在最佳转速下工作,从而获得低的燃油消耗率和长的使用寿命。

2.2 柴油机和燃气轮机联合装置(CODAG)

20 世纪 50 年代以后燃气轮机开始在舰船上获得应用。燃气轮机重量轻、功率大,有很高的功率-重量比。但经济性差,在部分负荷及低工况时油耗值更高。将其与柴油机相结合,可以得到性能上的互补。

20 世纪 60 年代初,德国首先在其 Koeln 级驱逐舰上采用 CODAG 联合动力装置。该装置包括两台 2.2MW 的 MAN 8V 24/30 柴油机和两台 8.8MW 的 BBC 燃气轮机。在柴油机运行模式下航速可达到 23 节,单用两台燃气轮机航速达到 28 节。而在柴油机和燃气轮机全部使用的情况下,可以达到 34 节的最高航速^[2]。

20 世纪 80 年代,德国开发的 Meko 级军舰也采

用了 CODAG 装置。Meko 级舰主要包括 1 650 t 的 Meko A-100 型轻型护卫舰和 3 500 t 的 Meko A-200 型护卫舰两个等级的系列产品。根据不同用户的要求有多种改型,先后出口到土耳其、阿根廷、南非、马来西亚等国家。截至 2004 年底共建造了 25 艘。图 2 给出了其中一型 A-200 型舰采用的 CODAG 图式。两台 MTU16V1163TB93 柴油机(每台 5 920 kW)驱动两具调距桨,一台 LM 2500 燃气轮机(20 000 kW)驱动一套喷水推进器。通过齿轮箱的联接,任何一台柴油机可以驱动两具调距桨,这时航速最高可以达到 18 节。而两台柴油机共同工作时航速可达到 23 节,联合喷水推进一起工作时航速可达到 28 节。这种配置的功率传递途径比较简单,因此齿轮箱的结构和整个系统的控制都比较简单^[3]。

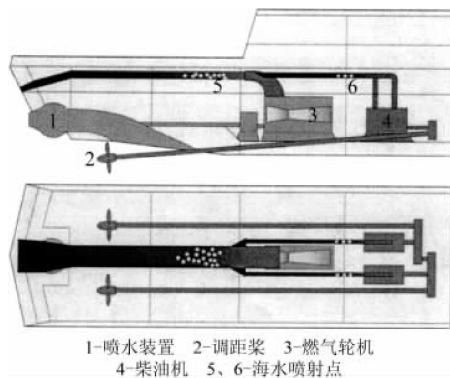


图 2 德国 MEKO A200 型 CODAG 简图

F124 是德国在 20 世纪末开始设计的、满足 21 世纪要求的 Sachsen 级防空护卫舰,是德国的现役舰艇,排量为 5 600 t。经过多方案评比后,采用了图 3 所示的 CODAG 装置^[4]。

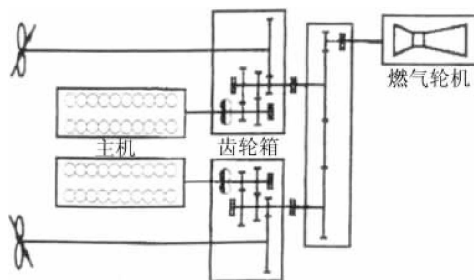


图 3 F124 舰 CODAG 简图

双轴系统采用了一台燃气轮机和两台柴油机。它可以根据负荷和航速的要求,用一台或两台柴油机驱动两根调距桨轴,也可以单独用一台燃气轮机驱动两根轴。在需要更高功率的情况下,可以联合燃气轮机和两台柴油机共同工作。这样,低负荷时用柴油机运行就避免了燃气轮机燃油消耗高的缺

点,而在高航速时由于燃气轮机的介入,又可以满足对高功率的需求。图4简明地表示了这几种工作模式的功率传递途径,为了实现在不同运行模式下功率的传递,需要采用专门的齿轮箱。值得注意的

是单用柴油机工作时齿轮箱的减速比和联合燃气轮机工作时的减速比要求是不同的,因此这种齿轮箱要能提供两个可选择的速比,即必须是所谓的双速齿轮箱。

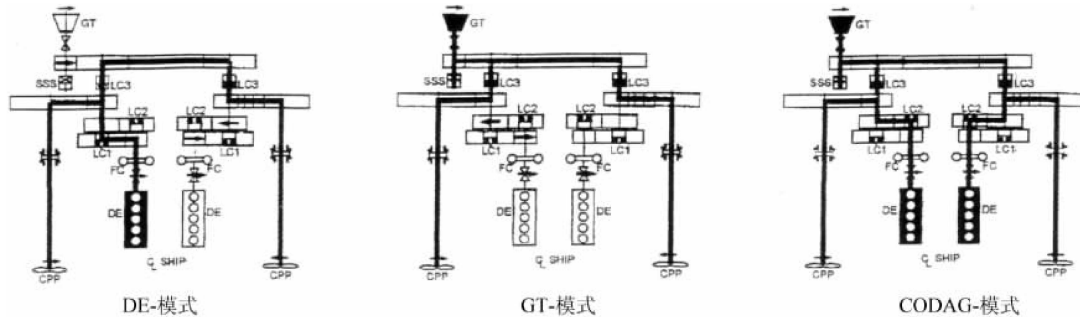


图4 F124CODAG 系统的运行模式

把两台齿轮箱联接起来,使得能用一台柴油机驱动两根轴的任务是由一个跨接齿轮箱完成的。而燃气轮机的功率也是通过这跨接齿轮箱传递到两根轴上的。为了避免扭矩波动产生的扭振影响以及保证运行方式的平稳转换,在柴油机和燃气轮机功率输入途径的适当轴段,都装有挠性联轴器、液力联轴器、多片式离合器等柔性补偿元件。

所用的柴油机是德国 MTU 20V1163TB93, 每台功率为 7.4 MW; 燃气轮机为一台 GE LM2500, 功率达到 23.5 MW; 齿轮箱是德国 Renk 公司的产品; 螺旋桨为五叶的调距桨。在这种配置下, 一台柴油机运行时航速可达到 18 节; 柴燃联合的最大功率下可达到 29 节(有报导称 30 节)的最大航速^[5]。

2.3 柴油机或燃气轮机联合装置(CODOG)

柴油机和燃气轮机交替工作, 在巡航状态由两台柴油机驱动两根轴, 而需要高航速乃至最高航速时则由燃气轮机工作。图5是这种装置的简图。由于不需要柴油机和燃气轮机同时工作, 因此就不再需要复杂的双速齿轮箱, 控制系统也简单得多, 这是 CODOG 系统很大的优点。采用了两台燃气轮机, 也省却了搭接齿轮箱。但当要求最高航速时, 仅燃气轮机工作, 柴油机的功率没有得到利用, 存在着设备能力的浪费。

德国海军 Brandenburg 级 F123 护卫舰就采用了这种 CODOG 装置。F123 舰是上世纪八十年代末开始设计, 1994 ~ 1996 年间进行调试, 采用来代替 Hamburg 级护卫舰的产品。主要任务是用于反潜战, 也可用于防空。4 900 t 排量的舰船装用了两台 MTU 20V956TB92 柴油机, 该机当时的标定功率为 4.07 MW, 但有 20% 的超载能力。同时还装用了两台 GE LM2500 燃气轮机, 每台功率为 19 MW, 装

船总功率达到 46.14 MW。两台燃气轮机运行时(总功率为 38 MW), 可达到 29 节的最高航速^[6]。

F124 舰与 F123 相比, 其装船总功率仅为 38.3 MW, 尽管排水量达到 5 600 t, 仍能达到甚至超过后者的航速。F124 的 CODAG 装置尽管采用了两台较大的柴油机, 增加了搭接齿轮箱, 控制系统也较复杂, 但由于它节省了一台燃气轮机, 使得总的设备费用还是降低了。另一方面 F124 的单台柴油机运行模式使其可以经常在 85% 左右负载的经济运行区运行, 从而提高了船舶的使用经济性。

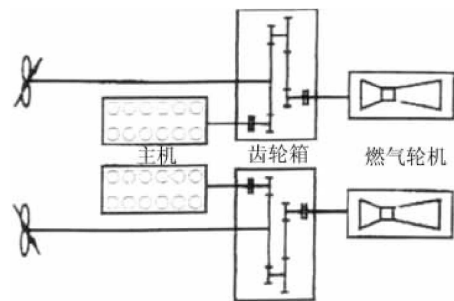


图5 CODOG 简图

2.4 柴电和(或)燃气轮机联合装置(CODELAG/ CODELOG)

随着电气-电子技术的发展, 近年来船舶电力推进获得了越来越多的应用, 这已经成为中、大型船舶推进系统发展的趋势, 这是由其若干突出的优点所决定的。电力推进对原动机的要求很灵活, 原动机的台数、布置都可以灵活地考虑, 从而可以充分利用空间。在采用推进电机直接带动螺旋桨的情况下, 由于不与原动机及齿轮机构直接联接, 降低了传递噪声, 可以做到静默传动。如有特殊要求, 还可将原动机置于隔声罩内, 降低整体的噪声和振动。电力推进还具有优良的控制和调节性能, 能得

到良好的转矩特性^[7]。电力推进同样也可以与其它推进动力相结合,构成联合动力装置。

CODELAG(也写作 CODLAG)是其中的一种,在这种装置中柴油机带动发电机向推进电机供电,驱动可调桨;而一台燃气轮机也可通过搭接齿轮箱驱动齿轮箱。因此它可以有三种运行模式:柴电驱动、燃气轮机单独驱动及柴电和燃联合驱动。通常在巡航时由柴电驱动,而联合驱动则达到最高航速。

德国最新设计的 F125 舰采用的就是 CODELAG 联合装置。该舰于 2006 年签定建造合同,计划于 2010 年交船。图 6 为其推进装置简图。采用了四台 MTU 20V4000M53 驱动的发电机组,每台机组发出 2.9 MW 的电功率,向两台 4.7 MW 的推进马达供电。马达通过多片式离合器(图中未画出)与齿轮箱输入轴接合,不经减速直接驱动调距桨轴^[8]。一台 20 MW 的 GE LM2500 燃气轮机通过 SSS 型 140T 离合器(图中未画出),借搭接齿轮箱与两台主齿轮箱相联,把功率平均地分配给两根调距桨轴。这些齿轮箱和离合器都是 Renk 公司的产品。先进的控制系统保证了在各运行模式之间可以进行平稳的切换^[9]。

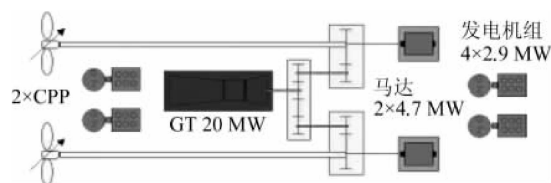


图 6 F125 舰的 CODELAG 系统

在总装机功率为 31.6 MW 的情况下,5 600 t 的船舶达到了 29 节的最高航速。

2004 年法国和意大利国防部长签署了共同设计、建造‘欧洲多任务护卫舰’的意向书,这就是所谓 FREMM 护卫舰项目。共包括 27 艘舰的建造,其中法国 17 艘,意大利 10 艘,分别在两国的船厂建造。第一批舰的合同于 2005 年签署,目前项目正在进行中^[10]。

这种 FREMM 护卫舰也采用了 CODELAG 推进系统,图 7 为其布置简图。一台 32 MW 的 GE LM2500 燃气轮机通过搭接齿轮箱和主齿轮箱把功率分配到两根定距桨上,而两台 2.1 MW 的电动机则直接装在螺旋桨轴上。每台电动机轴上装有一个推进离合器,借以与齿轮箱接通或断开。当离合器脱开时,两根定距桨仅由可以调速的电动机驱动,从而隔断了齿轮噪声通过螺旋桨轴向船外的传递,实现静默传动。这种布置方法是与其加强反潜能力的要求相适应的。在这种模式下最高可以达到 15

节的航速。而离合器接合,燃气轮机一起参加工作时,最高可以达到 28 节的航速^{[2][10]}。

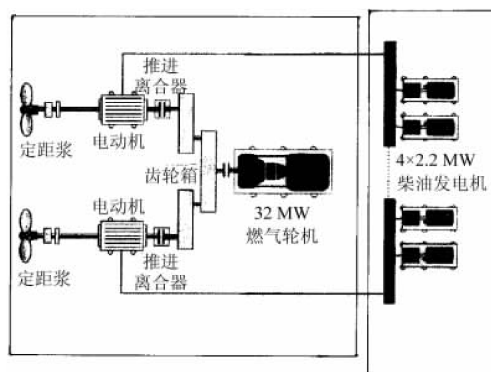


图 7 FREMM 舰的 CODELAG 系统

两台电动机由 4 套 2.2 MW 的 MTU 16V4000 系列柴油发电机组提供电源。柴油发电机组的功率要比电动机大得多,这是因为发出的电还要提供给其它设备。

与 CODOG 相类似,如果燃气轮机不与电动机联合工作,那末,这种装置就称为 CODELOG 系统,在此就不再累述。

2.5 柴电和燃电联合装置(CODEG)

近年来在大型豪华邮轮上出现了一种柴油机发电机组和燃气轮机发电机组联合,向推进电动机供电的装置,称为 CODEG(Combined diesel and Gas Turbine Electric Drive System)系统。这种系统通常包括一台或两台燃气轮机发电机组以及两台或四台柴油机发电机组。每台机组发出的电除供推进电动机使用外,还可供船上其它设备使用。同时,引进热电联产概念,利用燃气轮机废气通过余热锅炉加热产生蒸气,供船上客房使用。图 8 为该系统的一种配置型式^[11]。

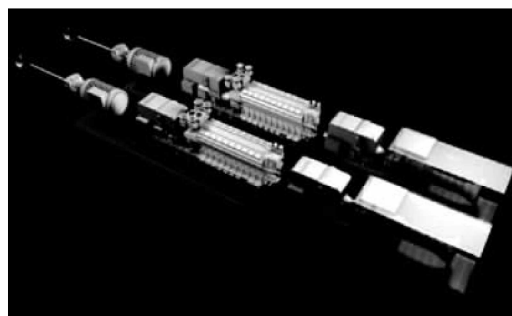


图 8 CODEG 系统布置图

与传统的推进系统相比, CODEG 系统具有布置灵活的特点。两种发电机组可以布置在船上任何地方,特别对燃气轮机,由于其重量很轻,甚至可以放置在上甲板上,从而缩短并简化了进排气道的设计。因此可以充分利用船上的空间,使得客舱等

有酬空间得以增大。燃气轮机和柴油机在不同功率段有不同的经济性,合理安排各机组运行的功率段,可以获得较低的整体燃油消耗值。而燃气轮机废气余热的回收又进一步提高了经济性。燃气轮机本身有较小的振动,采用弹性安装后可使振动降低到最小。进排气噪声则可以采用消声器来降低。因此与其它的推进系统相比,CODEG 系统可以有更低的振动、噪声水平,这对舒适度要求极高的邮轮来讲是很重要的。

3 方案选择因素分析

联合动力装置除了上述几种外,还有许多其它的种类。由于每种装置都有其优缺点,在具体推进系统的设计中究竟如何来选取是一个十分复杂的问题,需要对多因素进行多方案的评比,对具体问题作出具体分析。除了总体布置和总推进功率的要求外,以下几个方面是经常需要考虑的。

(1) 总推进功率对总装船功率的比例

这两种功率能够一致是最为理想的,但有时是不相同的。例如对 CODOG 系统,当燃气轮机工作时,柴油机是不工作的,总装船功率要比获得最高航速的功率大得多,存在设备能力浪费的缺陷。因此,适当确定柴油机功率是很重要的。在许多情况下,CODOG 系统中柴油机功率都是选得比较低的,当然,这又受制于巡航速度的要求。

在与柴电联合的系统中,从柴油机功率到发电机乃至电动机输出功率之间存在着效率的损失,因此总装船功率也会比推进功率高。

(2) 设备获得的难易程度

如果没有制造商能够提供所需要的设备,那末再完美的技术设计也是无法实现的。联合动力装置所需要的柴油机往往结构紧凑、转速较高,这类柴油机的单机功率受到限制。目前世界上这类柴油机单机功率在 7 000 kW 以上的生产商也只有屈指可数的几家。同样,适用的燃气轮机制造商也为数不多。更为关键的是联合动力装置中往往要采用要求极高的齿轮箱,这些齿轮要传递重载荷,还要有最小的噪声和振动,因此通常要求采用双螺旋齿轮,以获得大的重迭系数,消除齿轮传动产生的轴向力;并且要经过磨削加工,获得高精度,达到平稳传动。而对于有些动力装置,还需要采用双速齿轮箱,提高了产品的复杂程度。由于传动模式的复杂,有些动力装置对齿轮传动的控制也提出了复杂的要求。这些高而复杂的要求使得齿轮箱的供货成为一个关键,在世界范围内也只有少数几个公司能

提供这类产品。因此,技术设计必须保证选型的供货能够落实。

(3) 维修性和可靠性

由于联合动力装置的某些设备不易获得,所以对其维修性和可靠性要特别加以注意。切不可由于其不易得而放松了这些方面的要求。对于维修性和可靠性要仔细研究供货商的相关文件和承诺,还要注意市场信息的收集。设计的复杂性对选用设备的维修性和可靠性有重要的影响。例如,在双轴的 CODAG 装置中,有一台柴油机或燃气轮机单独、或柴燃联合驱动双轴的要求。这就使得齿轮箱和控制系统变得相当复杂,因此其维修性能和可靠性就变得极其重要。

(4) 经济性

经济性包括初始成本和使用成本,即全寿命成本。初始成本通常预算先行给定,往往是多方案比较的一个前题性因素。而使用成本则通过比较确定高低,是一个相对性因素。使用成本与使用状态有关,而使用状态往往又是难以正确确定的。如果能对现有类似舰船的使用情况包括使用海域、航速、功率、各种状况的使用时间等作一统计,建立数据库,再结合对所设计舰船的任务要求,可以对使用状态作出大致确定,从而比较正确地计算出使用成本。

最终技术解决方案是对各因素进行全面权衡后确定的。这绝对不是单纯技术性的问题,往往牵涉到商业、政策甚至政治方面的因素,是各种因素的折衷。

参考文献

- [1] <http://en.wikipedia.org/wiki/La-Fayette-class-frigate>.
- [2] 现代海军齿轮装置的设计日趋复杂[J]. 船舶推进与辅助机械,2008(8/9)(中文版).
- [3] <http://www.people.com.cn/GB/junshi>.
- [4] CODOG Propulsion Plants for Class F124 Frigate[R]. MTU VMTW 6/98.
- [5] <http://www.naval-technology.com/projects/fl124>.
- [6] <http://en.wikipedia.org/wiki/Brandenburg-class-frigate>.
- [7] 孙诗南. 舰船电力系统的研究与设计[M]. 北京:国防工业出版社,1990.
- [8] Status and Future of Maritime Propulsion Solution[R]. Dipl. Ing. Hubert Ohmayer 2008.
- [9] Renk gearsets for latest German frigates[J]. Marine Propulsion & Auxiliary Machinery, February/March 2009.
- [10] FREMM 护卫舰的 CODLAG 齿轮组[J]. 船舶推进与辅助机械,2007(8/9)(中文版).
- [11] Diesel & Gas Turbine Electric Propulsion System for Cruise Ships[R]. MTU MIM 23 234 (S2 1E) 1/08.