

第一篇 舰艇柴油机动力装置结构与性能

第一章 概述

舰艇动力装置通常是指为舰艇航行提供推进动力的一套机械、设备与系统。由于是由它来完成动力装置的主要使命，所以又称主动力装置，也称推进装置或推进系统。此外，舰艇还需要提供除推进动力以外的各种动力和能量，包括发电站及电力网路、压缩空气系统、液压系统、压力水系统、通风系统、空调装置、制冷装置、造水装置等等，这些机械、设备与系统，统称之为辅助动力装置。

总之，舰艇动力装置是由数量总多，用途不同的机电设备和系统所构成的统一体，它们之间有着密切联系和相互影响，形成一个复杂而完整的工程系统，其中主动力装置是主体，即为本课程所研究的对象。

从当前各种舰艇的技术装备看，中小型（排水量在3000吨以下）水面舰艇和常规动力潜艇普遍采用柴油机动力装置。图1—1所示为水面舰艇柴油机动力装置布置简图。

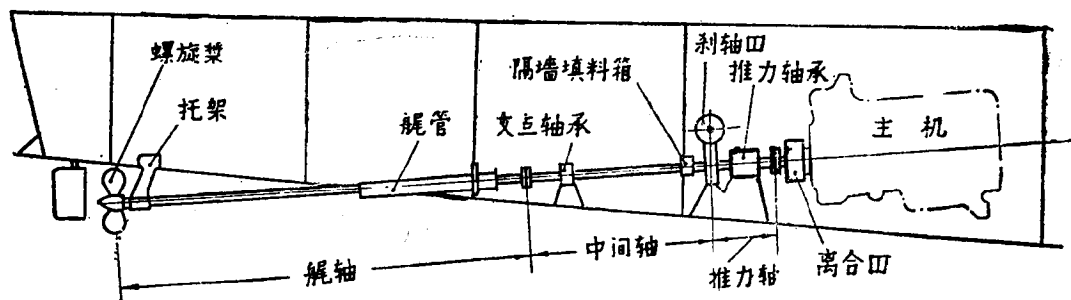


图1—1 水面舰艇柴油机动力装置布置简图

提供舰艇推进用的动力是柴油机又称主柴油机或主机，柴油机通过后传动装置（包括离合器、齿轮箱、弹性联轴节等）和轴系最后和螺旋桨连接。轴系的功用是将柴油机的动力以转矩方式传给螺旋桨，同时又将螺旋桨在水中旋转时产生的轴向力通过推力轴承传给舰体，以推动舰艇运动。为了制造和安装方便，一般将轴系分成若干段，然后用联轴节连接起来。为保证轴系的正常运转，沿着整个轴系布置若干个支点轴承。在轴系从舰体向外伸出处以及轴系在通过隔墙处，都设有防漏装置，以保证水密。

图1—2所示为我国现役的直接传动式潜艇柴油机动力装置的组成和布置。它和一般水面舰艇动力装置的主要不同点在于：柴油机和螺旋桨之间设有主电机，潜艇水下航行当无法使用柴油机工作时，由主电机带动螺旋桨工作。该主电机为直流电机，当带动螺旋桨工作时，它作为电动机使用，当向蓄电池组充电时，它又可作为发电机使用。为适应各种工况需

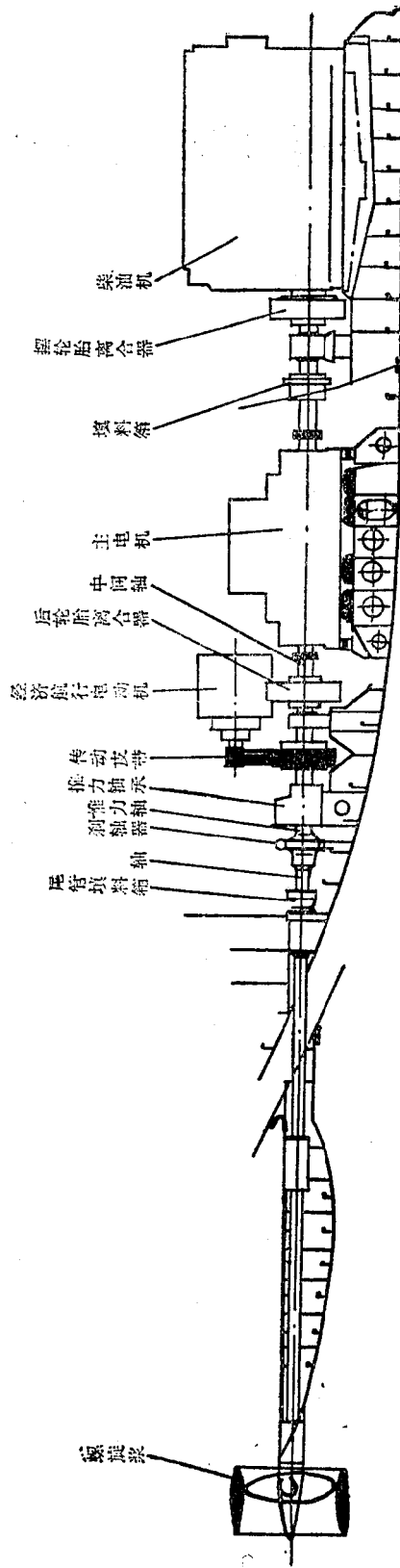


图 1—2 直接传动式潜艇柴油发动机动力装置布置简图

要，主电机的前后端各有轮胎离合器，离合器的结合与脱开，由一套操纵系统控制。因此潜艇动力装置可执行如下四种工况：

(1) 柴油机带螺旋桨旋转以保证潜艇航行，这时前后离合器均结合，主电机空转。

(2) 柴油机带螺旋桨旋转以保证潜艇航行，同时主电机向蓄电池充电，这时前后离合器均结合。

(3) 柴油机带主电机向蓄电池充电，这时前离合器结合，后离合器脱开。

(4) 主电机带动螺旋桨旋转以保证潜艇航行，这时前离合器脱开，后离合器结合。

在上述四种工况中，前三种是潜艇处于水面或通气管状态；第四种主要用于深水或机动。作为潜艇主机的柴油机，除提供动力保证潜艇运动以外，还同时可由它驱动主电机提供电能，以满足蓄电池组充电和潜艇网路用电的需要。

当潜艇在水下以经济航速航行时，为提高电机的效率，设置了经济航行电动机。该电动机通过三角皮带来传动轴系，由蓄电池向它供电。当用经济航速航行时，主电机前后离合器均脱开，经济航行电动机的离合器结合。

§1—1 舰艇柴油机动力装置的类型及特点

一、现代战斗舰艇的动力装置分类概况

常用的舰艇动力装置可按原动机的类型分为蒸汽轮机、燃气轮机、柴油机、核动力以及联合动力装置等。

(一) 蒸汽轮机动力装置

蒸汽轮机动力装置至今仍是大型水面舰艇的常用动力装置。它不仅有比较丰富的制造、使用管理经验，而且单机功率大、可靠性高、寿命长、用低质燃油、可倒车等优点。但蒸汽轮机动力装置存在着设备多、容积大、油耗高、机动性差、管理人员多等缺点，所以在中型以下舰艇已逐步被柴油机和燃气轮机所取代。它目前主要作为中、大型水面舰艇或与核反应堆相结合作为核动力潜艇或大型（一万吨以上）水面舰艇的动力装置。

(二) 燃气轮机动力装置

燃气轮机是近三十年来迅速发展起来的舰艇动力装置，已在世界各海军国家引起重视，并得到美、英、苏等主要海军国家在舰艇上的广泛应用和发展。其主要优点是单机功率大、重量轻、尺寸小、起动加速性能好等优点。但其缺点主要是油耗较高，尤其是部分负荷时油耗率高，需用优质燃油，耗气量大，进、排气管道体积庞大，排气温度高，因此有较强的红外辐射；对排气背压的变化和进气温度的升高很敏感；需要使用调距桨来解决倒车问题等。

目前燃气轮机一般作为2000~5000吨级舰艇的动力装置，小型快艇特别是水翼艇也常用它作为主动力装置。

(三) 柴油机动力装置

柴油机是我国海军舰艇的基本动力，其主要优点是在整个功率范围内燃油耗率较低，而且在低转速时有良好的扭矩特性，可用低质燃油，空气耗率低、排气量小、排气红外辐射少，起动、加速、换向性能良好等。其主要缺点是单机的功率较小，噪声振动较大，需消声隔振设备等。由于近几年来技术的进步，柴油机在海军中的应用也取得进展，已由中、小舰

艇向更大功率、更大吨位方面扩展。

(四) 核动力装置

舰用蒸汽轮机动力装置是由锅炉、蒸汽轮机和为它们服务的付机及设备所组成。舰艇核动力装置就是用核反应堆代替燃烧重油的蒸汽锅炉，核动力装置的二回路也是蒸汽轮机动力装置。由于核反应堆完全不同于必须依赖大气并通过燃烧而获得热能的蒸汽锅炉以及燃气轮机和柴油机等热机，而且核反应堆具有极大的能量贮备，能提供轴功率 20000~60000 马力和几十万海里的续航力，因而核动力装置是潜艇极为理想的动力装置，并使潜艇真正成为能长期活动于水下的水下舰艇。

核动力装置自 1955 年在潜艇成功地运用以来，而且还继续有在航空母舰、巡洋舰、导弹驱逐舰等大中型水面战斗舰艇上发展的趋势。

(五) 联合动力装置

每当一种新型动力出现时，在性能上会比现有动力具有明显的优点，但又不是完善到足以完全取代原有动力，往往在一艘舰艇上由两型动力组成联合动力装置。

由航空燃气轮机发展而来的舰用燃气轮机，以其单机功率大，重量尺寸轻小，起动迅速、振动噪声较小等特点，是一种有吸引力的舰艇动力，但燃气轮机还存在耗油较高，尤其是部分工况时耗油率高，不能反转，进排气道尺寸大等缺点。如果将燃气轮机和柴油机或蒸汽轮机加以联合，组成联合动力装置，就可取长补短，充分发挥各自的优点，使舰艇动力装置在总功率，尺寸重量，机动性，经济性和可靠性等方面取得更好的效果。联合动力装置经过十几年来的研制和发展，先后曾出现多种形式的联合，如表 1—1 所示。

表 1—1

序	构 成	名 称	工 作 方 式	
			巡航	全 速
1	蒸汽轮机与燃气轮机	C O S A G	蒸汽轮机	蒸汽轮机+燃气轮机
2	柴油机与燃气轮机	C O D A G	柴 油 机	柴油机+燃气轮机
3	柴油机与燃气轮机	C O D O G	柴 油 机	燃气轮机
4	巡航燃气轮机与加速燃气轮机	C O G A G	巡航燃气轮机	巡航燃气轮机+加速燃气轮机
5	巡航燃气轮机与加速燃气轮机	C O G O G	巡航燃气轮机	加速燃气轮机
6	柴油机与柴油机	C O D A D	柴 油 机	柴油机
7	柴油机、电机与燃气轮机	C O D E A G	电机与柴油机	再加燃气轮机

其中柴燃联合动力装置是目前采用得最广泛的一种。它能发挥柴油机的经济性好和燃气轮机单机功率较大、重量尺寸轻小的优点，在目前条件下成为比较理想的组合。

联合动力装置的缺点主要是装置较复杂，造成了人员培训和后勤保障等方面的复杂化。

上述几种动力装置各有其特点，必须根据每个国家的海军建军方针与路线，经济、技术发展水平及本国的传统等，制订舰艇动力政策和发展规划来进行舰艇动力装置的选型。如目

前超级大国根据它们的需要和可能，在发展导弹核潜艇、航空母舰、导弹巡洋舰、导弹驱逐舰等大中型水面舰艇上的动力装置大都是核动力、燃气轮机及蒸汽轮机。而法国的柴油机工业水平较高，即使在近几年建造的一些对空型护卫舰上仍选用柴油机作动力。

我国海军水面舰艇和潜艇以发展轻型、快速、打击威力大的舰艇为主，在舰艇动力上是以发展柴油机为主要动力。估计在今后相当长的一段时间内，柴油机动力装置还将继续被广泛地使用在我国海军的中小型水面舰艇特别是常规动力潜艇和各种军辅船上。

二、柴油机动力装置的类型及特点

舰艇柴油机动力装置按主机功率传递给螺旋桨的方式可以分为四种类型：

(一) 直接传动装置：

即主机与螺旋桨之间，除了轴系以外没有其它传递动力的装置，如图 1—3 所示。它具有下述特点：

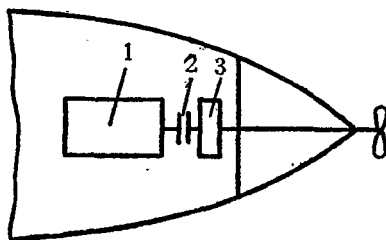
1. 传动效率高；
2. 装置简单，因而可靠性好，寿命长；
3. 考虑到螺旋桨效率，轴系转速较低（一般为300~60. 转/分），因此，柴油机只能选用重量尺寸较大的中速机或低速机，所以不能采用在小型高速艇上，
4. 主机必须能直接回行，因此主机在结构上多了一套直接回行机构。

我国有的护卫舰采用这种装置。

(二) 间接传动装置：

如图 1—4 所示。在柴油机与螺旋桨之间设有减速齿轮箱和回行离合器（它们常被合制成一个部件，但具有两种功用）。它具有下述特点：

1. 可采用高速和中高速主机，但螺旋桨转速却能比较低，因而具有较高的螺旋桨效率；



1—柴油机 2—离合器 3—齿轮箱

图 1—4 间接传动简图

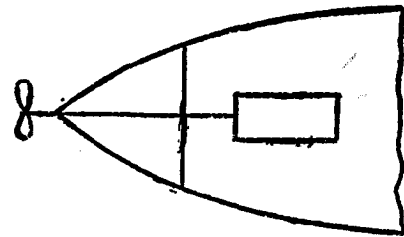


图 1—3 直接传动简图

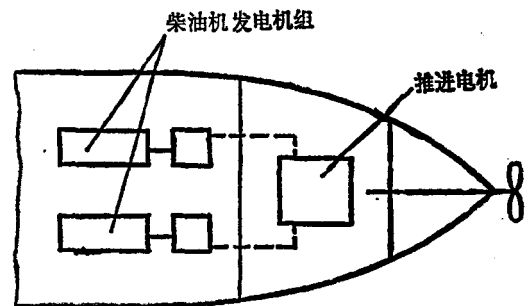


图 1—5 电力传动简图

2. 主机可采用单转向的，免去了直接回行机构；
3. 传动效率较直接传动低些（减速齿轮箱的效率大体在 0.94~0.99 之间），装置较复杂。
4. 在单机功率不能满足要求时可采用多机并车（通常并车的台数在 4 台以下），扩大

了高速和中高速柴油机的适用范围，促进了柴油机产品的系列化；

5. 由于高速和中高速柴油机的单位马力的重量尺寸比较小，因而易于布置，而且主机的功率输出凸缘可以与推进轴不同心，使轴线与舰艇基线的倾斜角减小，从而改善了螺旋桨的工作条件。

这种型式已被广泛采用。像鱼雷艇及导弹艇、高速护卫艇等都采用这种装置，在一些高速艇上，其回行离合器和减速齿轮箱已经与主机合成一体。

(三) 电力传动装置：

图 1—5 是电力传动简图。它是由柴油发电机组提供电能，推进电机带动螺旋桨。这种传动方式有如下特点：

1. 噪声小，可以使舰壳声纳和拖曳声纳获得良好的效果，满足反潜要求；
2. 主机转速不受螺旋桨转速的限制，可采用高速机或中高速机；
3. 可采用二台到六台柴油发电机组，单机功率可以比较小，布置灵活性大，生命力强，可根据航速需要启用相应台数的机组，能合理使用柴油机，使之在其低油耗区工作；
4. 必要时与其它用电设备组成统一的电网，可以只采用一种型号的柴油机；
5. 可以不用回行离合器和减速齿轮箱，利用推进电机进行变速及反转，动作迅速易于遥控；

6. 这种装置增加了推进电机及发电机、供电装置等，设备十分复杂，重量大，成本高，推进电机是低速电机，尺寸重量大，成本也高；

7. 在功率传递过程中存在两次能量转换，因而效率较低，能达到 90% 已经不错了。

目前电力传动装置被广泛应用于常规潜艇及一些专用的工程舰船上，在反潜型护卫舰上，也开始采用它，如英国的“23”型护卫舰采用 CODE AG 装置。

(四) 调距桨传动装置：

调距桨的根本特点是利用桨叶的自转来调整螺距，从而可以在柴油机转速和转向不变的情况下，得到不同的航速及倒车航速。它与柴油主机之间可以是直接传动，也可以是间接传动。

由于调距桨的螺距可以调整，因此它具有以下的特殊性能：

1. 能根据需要，得到一个合适的螺距，在这个螺距下，能发挥主机的全功率，从而得到尽可能高的航速或者在满足航速要求的前提下舰艇有尽可能大的拖曳力，以及在满足航速的前提下获得较高的动力装置经济性；
2. 可以采用不能直接反转的主机；
3. 机动性好且便于遥控；

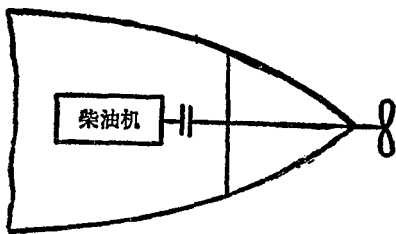


图 1—6 有离合器的直接传动装置简图

4. 螺旋桨及轴系结构比较复杂，可靠性不如定距桨，初建费用较高；

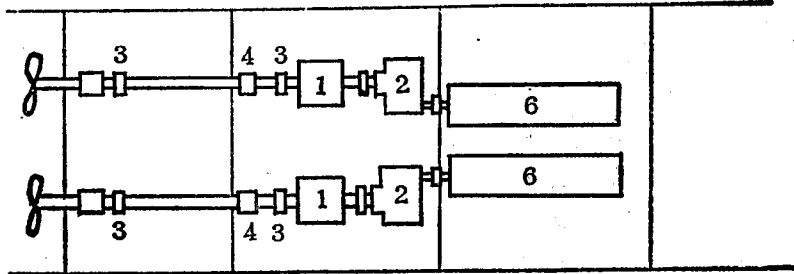
5. 桨毂直径较定距桨大，故其最高效率与同参数的定距桨相比要低 0.5~2%。

在工况多而复杂的舰艇上调距桨装置应用较普遍，如柴燃联合动力装置的舰艇及扫雷舰等。

在直接传动装置中，有时出于某种需要而在主机和轴系之间加设一个离合器，如图 1—6 所示。这种装置

能使主机与轴系在静止或运动状态下结合或脱开。因此主机可以在不带负荷下起动；或使螺旋桨可以自由旋转（如被拖带时），以减少拖桨损失。这种装置在我国的猎潜艇和登陆舰上采用。

图 1—7 是直接传动和电力传动的混合型装置，它已被采用在反潜型护卫舰上。



1—推进电机 2—齿轮箱（包含离合器） 3—中间轴承 4—推力轴承 6—燃气轮机

图 1—7 直接传动和电力传动的混合型动力装置简图

图中大功率燃气轮机通过包含离合器的减速齿轮箱与尾轴联结，高速航行时由燃气轮机提供动力。

对潜艇进行搜索时的航速要求不高，但要求非常低的振动和噪声，这时可用推进电机推进，电力由另外设置的柴油发电机组供应，该机组采用隔振和隔声措施，保证满足反潜的要求。

从以上二个例子可以看出，在主动动力装置中增减某一个部件，将对整个动力装置的性能产生显著的影响，不同型式装置还可以适当组合起来以满足某些特殊的需要。

图 1—8 为小型护卫舰或护卫舰的典型全柴动力装置布置简图，四机双桨，采用二台并车齿轮箱及二具调距桨传动，其总功率可达 29600 千瓦（40000 马力）。

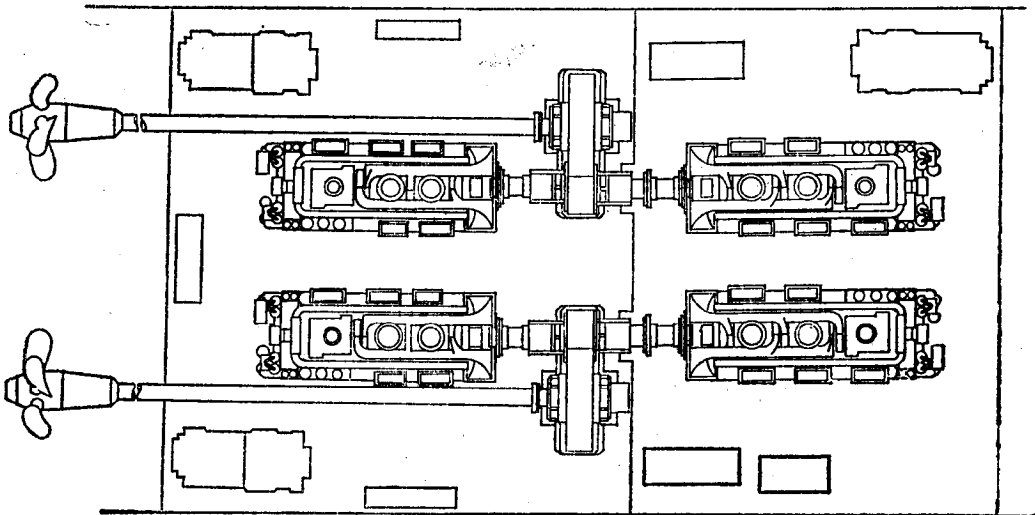


图 1—8 小型护卫舰或护卫舰典型全柴动力装置简图

三、潜艇动力装置的类型与特点

潜艇按推进系统的类型可分为核动力装置和常规动力装置两种。

对大型快速潜艇来说，核动力无疑是一种较为理想的动力源。核动力大型潜艇能以30节以上的潜航航速在水下活动几个月来执行战术和战略任务，其水下续航力高达几十万海里，几乎可以不受任何限制。然而，核动力是复杂的新技术，造价昂贵，只有少数几个工业高度发达国家的海军才装备核动力潜艇。此外，还由于核动力装置只适用于配备排水量在2000吨以上的潜艇。

常规潜艇是指使用普通柴电系统作动力的潜艇。世界上许多国家海军都拥有常规潜艇，其种类繁多，排水量自数百吨至2500吨不等。排水量在1000吨左右的潜艇通常只是在近海海域内活动和执行任务，可以不需要使用核潜艇。对海岸线较长，海域水较深，则应配备速度快、续航力大以及自给力高的远洋型潜艇。采用现代化技术，排水量大于1500吨的常规潜艇也能够满足上述要求。它与相同规模的核潜艇比较并不逊色，但造价却比后者低得多。从第二次世界大战结束以来，常规推进系统的各组成部分已不断得到改进。常规潜艇动力装置性能的改进和对潜艇性能的影响概括起来有以下几方面：

- (1) 由于艇型的改进及主推进电机功率的增大使潜艇水下航速提高约1.5倍；
- (2) 由于铅酸电池容量增大大约 2 倍，使潜艇的水下续航力相应加大；
- (3) 由于蓄电池和柴油机性能的改进，以及充电方法的改进，潜艇的通气管暴露率降低；
- (4) 由于减小噪声及增加减振抗爆措施，使潜艇的隐蔽性提高和防护能力的加强；
- (5) 各部件的可靠性的增大，从而提高了作战能力，并延长了服役寿命；
- (6) 由于自动化程度的提高，减少了艇员人数，改善了潜艇的生活条件。

因此，在发展核动力潜艇的同时，有充分的理由认为，常规动力潜艇在现代化海军中仍将是一支很有效的力量。发展一支具有高度战斗效能的由常规动力和核动力组成的混合潜艇部队，无论在潜艇的作战性能、潜艇数量、投资总额和维修费用等各方面都达到了战略上的最优化。

常规潜艇曾采用过多种推进方式，目前使用最多，而且已经标准化的只有柴油机——蓄电池推进方式。其传动方式一般分为间接传动或称电力传动和直接传动两种。现在美、英、法、西德、瑞典、意大利、日本等国都采用间接传动方式，而且都是从直接传动改为间接传动、都曾有过采用直接传动的历史经验，只有苏联还一直采用直接传动这一传统形式，据说也已开始发展间接传动。这两种传动形式反映了两种不同的设计指导思想，概括起来说，使用电力传动形式的潜艇，其设计思想是以求得最佳水下航行性能为主，而采用直接传动形式，主要考虑水下与水面兼顾，即强调航渡速度和通气管状态航行。这两种不同的出发点，其根源都在于常规潜艇使用铅蓄电池能量仍然非常有限这一点上。

(一) 潜艇采用电力传动动力装置的特点

图1—9 与典型电力传动潜艇动力装置的布置简图。它具有如下一些特点：

1. 由于柴油机与推进轴之间无机械联系，可以选用高速和中高速柴油机来驱动主发电机，这样就可能使整个柴油发电机组的重量尺寸减小。
2. 可采用功率较大而转速较低的推进电动机，因此螺旋桨设计可完全按水下航行要求与之匹配，一般选用大直径、低转速的5~7叶螺旋桨，以获得较高的推进效率和低噪声
3. 整个动力装置的适应性好，工作可靠，易于实现遥控和降低噪声。

由于柴油机不与推进轴发生机械联系，其单机功率、数量、转速、布置方式等都可按最

表1-2

现代战斗舰艇动力装置分类概况

舰种	航空母舰		中型水面舰艇		高速小型水面舰艇		潜艇		
	大型	小型	驱逐舰	护卫舰	快艇	水翼艇	气垫艇	核动力	
动力装置型式	①核动力装置	①核动力装置 COGAG	①COGAG	①COGAG	①COGAG	①CODOG	①燃气轮机动力装置	①核反应堆+蒸汽轮机 电力推进	①柴油机电力推进 接传动
	②蒸汽轮机动力装置	②蒸汽轮机动力装置	②COGOG	②COGOG	②CODOG	②柴油机动 装置	②航空发动 机动力装 置	②核反应堆+蒸汽机 动力装置	②柴油机电力推进 接传动
动力装置型式		③COSAG	③蒸汽轮机动力装置	③CODOG	③CODAG	③燃气轮机动力装置	③柴油机动 力装置		
		④蒸汽轮机动力装置	④CODAD	④CODAG	④柴油机动 装置				
动力装置型式		⑤CODOG	⑤COSAG	⑥蒸汽轮机动力装置					
			⑦柴油机动 力装置	⑦柴油机动 力装置					

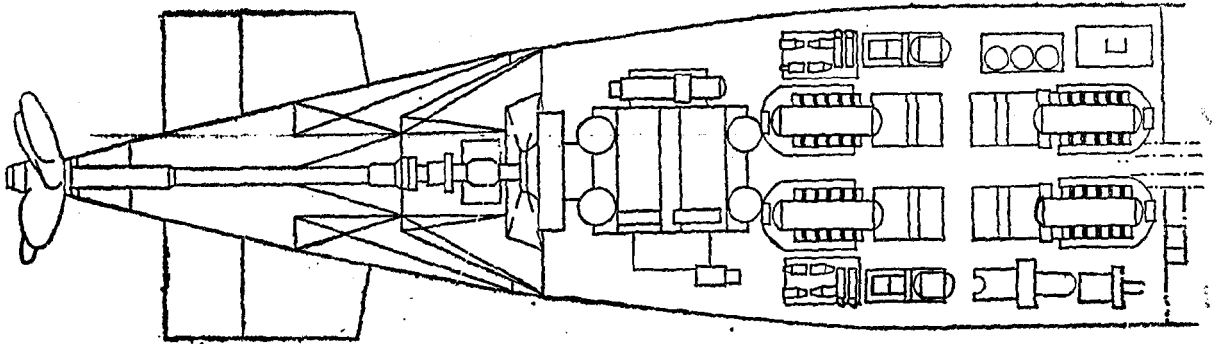


图 1-9 电力传动潜艇动力装置布置简图

佳方案自由选择。由于有多台柴油发电机组工作，其布置与使用较灵活，提高了动力装置的可靠性与经济性；柴油机单向恒速运转，简化了操作；推进电动机不需要作发电机工况运行，减少了电机的运行状态，提高了效率，实现遥控更为方便；柴油发电机组也有利于隔声隔振。

4. 随着大功率高速、中高速柴油机技术的进展，它们的寿命大大提高，可靠性的增加，已基本满足潜艇使用的要求，在电力传动的潜艇上基本上已取代中速柴油机。

图 1-9 中动力装置为采用四台双层隔振的高速柴油发电机组，一台单层隔振低速大功率直流推进电动机，单轴推进，推进轴与推进电机之间装有弹性联轴器可降低噪声和振动，它是目前典型的潜艇电力推进装置。

(二) 潜艇采用直接传动动力装置的特点

图 1-2 为潜艇采用直接传动动力装置简图。

该型动力装置当，潜艇在水面或通气管状态航行时，可由柴油机直接驱动螺旋桨，水下航行时则由蓄电池供电给电机推进。主电机又可为发电机，由主柴油机驱动供蓄电池充电，

在用主柴油机作水面或通气管航行时，也可以边充电、边航行。

由此可见，直接传动动力装置在水面航行与水下航行以及给蓄电池充电三者都统一在一根轴线上。主电机与主柴油机同时存在航行与充电两种特性，两者相互制约，必须协调一致。主电机和主柴油机的转速和功率都受到限制，不能独立发展。中型潜艇通常采用双轴，大型潜艇要求功率更大，就增加轴数，即采用三轴，而不采用单轴大功率方式。这种布置法生命力较强是其独特处。

表 1-2 为现代战斗舰艇动力装置分类概况

表 1-2 舰艇柴油机动力装置的现状与发展动向

舰艇动力装置不仅是现代舰艇的一个重要组成部分，而且它直接影响舰艇的战术技术性能。柴油机由于其技术性能上的某些特点，诸如：在宽转速范围内具有较高的经济性，起动及加速性能好，尺寸重量较小，空气耗量小，可直接反转等优点。此外，它还具有在高背压和较高进气真空度下工作的可靠性，并能采用非磁材料及进行磁补偿等措施使其具有低磁性等。所以，目前柴油机动力装置仍被广泛地采用在护航、猎潜舰艇、快艇、常规潜艇、扫雷

舰艇等战斗舰艇及大量辅助船舶上。由于柴油机技术的进步，它在海军中的应用，已由中、小型舰艇向更大的功率、更大的吨位方向发展。

七十年代以来，国外新建的快艇均向大型化、导弹化方向发展，普遍采用单机功率大、寿命长、工作可靠性好的高速大功率柴油机作为推进动力。国外新建的中、小型水面舰艇的战斗技术性能也有很大的改进，由于武器系统和电子设备系统所占的空间和重量的不断增加，以及为了改善舰员的生活条件，因而要求其动力装置的总功率要加大，而所占的空间和重量却要求减少。所以一般都采用单机功率大、性能良好的高速或中高速柴油机作为主机或柴燃联合动力装置中的巡航机。国外新建的常规潜艇，隐蔽性要求越来越高，大多数国家均采用电力传动推进，其原动机一般均选用性能优良的高速潜艇用柴油机，并加装双层隔振和排气消声冷却器，不再选用重量、尺寸较大的中速柴油机。

一、高速与中高速大功率柴油机的现状与发展动向

迄今，高速和中高速柴油机仍保持众多系列，广泛地应用在舰艇上。综合一些工业发达国家的情况，国外舰艇用高速或中高速柴油机发展的技术动向，具有以下一些特点：

(1) 简化机型，重点发展高增压、四冲程、V型结构的通用机型的柴油机。尽可能做到水面通用，水上水下通用，主付动力通用，军民通用。如欧洲的英、法、西德等三国均已形成了各自的高速机系列，如表 1—3 所示。

表 1—3

国别	机 型	缸 径 〔毫米〕	转 速 〔转/分〕	气缸数	增压方式	功 率 范 围 〔马力〕
英	Paxman Valente	197	1600	8~18	废气	1000~5500
法	Pielstick PA4	185	1500	6~20	废气	900~3000
法	Pielstick PA4	200	1500	6~20	复合	1800~6000
法	Pielstick PA6	280	1050	6~20	废气	3000~10000
西德	MTU 396	165	1800~2100	6~16	废气	980~3500
西德	MTU 538	185	1900	12~20	废气	2420~5600
西德	MTU 956/1163	230	1500/1300	12~20(24)	废气	3430~10000 (12000)

由表 1—3 可看出，一般采用二或三档缸径系列，通过改变气缸数（缸数最多为 20~24 缸），可以满足不同功率的要求，又通过变型机来满足不同用途的要求。

(2) 用提高平均有效压力来提高单机功率和增加比功率，目前增压技术发展很快，增压系统形式多样化。

七十年代以来，普遍把提高增压压力，特别是采用两级增压方式作为舰艇用柴油机的主要发展途径。至今已研制出相继增压、高增压和低压缩比（BTC）、补燃增压、可变几何容积予燃室等多种形式的高增压柴油机，如法国的 PA4—200VG·DS、PA6—280BTC 和意大利的 B230DV 等。近年来，西德 MTU 公司的相继增压柴油机在提高比功率、降低

油耗、改进低工况和起动性能等方面取得令人瞩目的进展，其代表机型有 MTU20V1163TB93(单机功率10000马力、1300转/分，比功率1.926公斤/马力)、20V538TB93(单机功率5600马力、1900转/分，比功率1.78公斤/马力)和16V396TB93(单机功率3480马力、2100转/分，比功率1.61公斤/马力)。它们的平均有效压力达到30巴，并已用作舰艇的主机。目前，西德MTU高速柴油机在综合性能方面居世界领先地位，西方大多数水面舰艇柴油机都选用MTU机型。潜艇用柴油机的增压型式也由传统的机械增压发展成复合增压及自由涡轮增压。

(3) 提高可靠性和大幅度提高使用寿命而不追求过低的比重量。

五十年代高速柴油机的大修期一般为300~400小时，目前一般为2000~6000小时，有的超过1万小时，柴油机的比重量一般为2~3公斤/马力。

(4) 降低油耗率，特别是降低占使用期80%以上的部分工况油耗率，已取得明显的效果。目前高速柴油机燃油消耗率已达150~160克/马力·小时，滑油消耗率为1~2克/马力·小时。

长寿命及低油耗，能减少整个动力装置的全寿命费用，可弥补初置费用高的缺点。

(5) 降低振动与噪声。为满足舰艇在消声和隔振方面的要求，除采用常规的进、排气消声器和单层隔振座之外，目前，已使用密封式隔声机罩(可使空气动力噪声降低约30分贝)和双层隔振装置，后者可使传出的结构噪声降低约40~50分贝。在潜艇用柴油机上还使用专用的排气消声冷却器，也能获得较好的消声效果。

(6) 提高柴油机的自动化水平。除常规的机、电、液、气等手段对柴油机进行操纵和监控外，已开始应用电子计算机、光谱、铁谱、振动噪声监察等新技术，应用于柴油机的运行管理和故障诊断等方面，使柴油机的定期维修逐步向“视情”维修方向发展。

我国舰船用柴油机动力工业，历经卅余年的努力，取得了很大的进步，但发展不够平衡。目前，中、低速柴油机近十几年来通过多种机型的技术引进、消化生产，基本上改变了原来的落后面貌；而适合用作舰艇动力的高速大功率柴油机，仍基本上维持在五十年代末六十年代初的水平上，如从苏联引进轻12V—180型1200马力和轻42—160型4000马力柴油机，以及12VE230ZC、6E390、6E390ZC等柴油机；我国自行研制生产的重12V—180型、12V—190型和12V—240型等高速柴油机，和8300、12E390、18E390等中速柴油机，这些产品从现在水平来讲，与国外先进的机型相比差距甚大，主要表现在以下几个方面：

(1) 技术性能指标落后。单机功率小，高速机最大仅4000马力，平均有效压力 $P_e < 15$ 巴，国外已达8000~10000马力， P_e 达30巴。燃油消耗率较国外高5~10%，滑油消耗率高100%。

(2) 用途单一，无法适应舰艇发展的要求。主要战斗舰艇柴油机用途十分单一，没有形成系列，军内很少通用，军民更难通用，使用维修也不方便。原有机型远不能满足海军发展新一代舰艇的需要。

(3) 可靠性差、寿命短。可靠性是国内机型普遍存在的问题，严重影响在航率和正常工作，使用部门反映强烈。我国舰用高速机大修期一般仅300~1000小时。

(4) 操纵控制、运行监测、故障诊断等自动化程度不高。

(5) 结构复杂、使用维修不便。

(6) 振动大、噪声高。国产高速柴油机噪声约120~130分贝。

(7) 缺少低磁机。反潜舰艇，扫雷舰艇的柴油机，应采用低磁材料或能进行磁补偿措

施，以提高生命力。

根据建设具有中国特色的现代化海军的战略思想，开展研制先进的舰用柴油机系列，以装备我国下一代海军舰艇已是海军装备建设急待介决的主要问题之一。为此经过有关部门的调研、论证结果表明，应尽快缩短差距，尽早引进国外先进大功率高速柴油机的制造技术。目前我国中小功率已引进 MW M604B 系列和 M T U 396 系列柴油机，大功率机已引进 P A 6—280 中高速柴油机。同时我们正在积极研制新一代高速大功率柴油机，逐渐形成一个比较完整的科研生产体系，最终达到舰艇用柴油机自立于国内的目的。

高速大功率柴油机目前在舰艇上的主要用途如下：

(1) 作为导弹快艇和巡逻型导弹护卫舰动力装置的主机。快艇的发展方向是导弹化、大型化，今后主要发展排水量在 400~500 吨级的导弹护卫舰，对航速要求较高，动力装置总功率要求在 20000 马力左右。

(2) 作为中、小型水面舰艇的主推进装置或柴燃联合动力装置的巡航主机。

图 1—10 表示海军舰艇所需要的功率。

对于排水量为 1200 吨级航速大于 30 节的轻型护卫舰，可以采用四台单机功率在 8000~10000 马力的高速大功率柴油机组成的全柴方案。

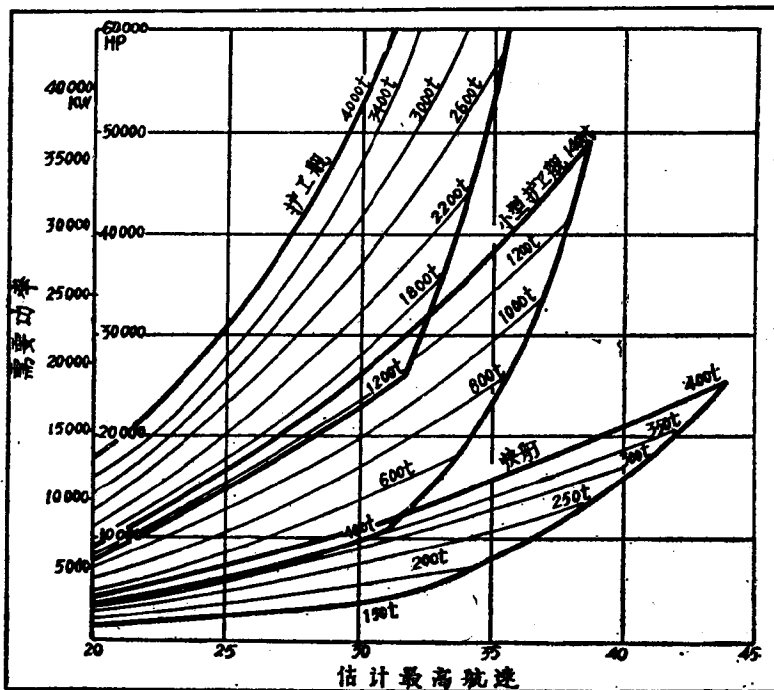


图 1—10 海军舰艇所需要的功率

对于排水量为 2500 吨级航速超过 30 节的中型护卫舰，不论采用全柴动力方案还是柴燃联合动力装置方案，均可选用单机功率在 8000~10000 马力的高速柴油机作为主机或巡航机，该档功率的高速柴油机还可作为 3000 吨级驱逐舰的柴燃联合动力装置的巡航机。

(3) 作为常规动力潜艇主机。大功率高速柴油机系列，已有能满足潜艇特殊要求的潜艇用变型机。目前，潜艇用柴油机已发展复合增压及自由涡轮增压式的新一代机型。如西德

MTU公司的396 S B型柴油机即为采用单级废气涡轮增压式潜艇用柴油机。

(4) 作为猎、扫雷舰艇用主机。这种柴油机要求低磁性，为此采用非磁性材料或对柴油机进行磁补偿。西德MTU公司对396系列柴油机进行了可控磁补偿(MRK)，将柴油机变化的磁状态视为地球磁场的函数而进行自动的补偿。这样就使由铁磁材料组成的柴油机基本不作改变，而保持其原有的机械性能和运转可靠性，这对后勤保障、维修及人员培训都带来极大的方便。

二、柴燃联合动力装置的现状与特点

自从六十年代初期开始在水面舰艇上逐步采用燃气轮机推进以来，在多年的实践使用中证明燃气轮机具有单机功率大、重量轻、体积小，起动、加速性能好，振动小、噪声低，可以整体吊装等比较突出的优点，它适用于作中、小型水面舰艇的主机。但是，目前现有的和近期发展的燃气轮机在技术性能上仍有不足，主要是：

(1) 燃油消耗率高，尤其是在部分负荷下的燃油消耗率仍比柴油机约高50%。

(2) 燃气轮机的耗气量比柴油机要大得多，大功率四冲程柴油机的耗气量为5~6.5公斤/马力·小时，而LM2500燃气轮机为8.21公斤/马力·小时。它需要独立的进排气系统，在进出口处要安装消声器和其他除盐、清洗等设备，要占用不小的舱室和甲板面积，如LM2500燃气轮机，需要的进气道入口面积为 $1.98 \times 1.98 \text{米}^2$ 。

(3) 燃气轮的动力涡轮输出轴转速较高（一般大于3000转/分），为了保证螺旋桨的效率，必须设置减速器，所以在4~5千马力以下的小功率燃气轮机动力装置其转速更高，加上减速器重量后的比重量指标并不一定优于高速机。

此外，由于燃气轮机排气温度达500℃左右，柴油机的排气温度一般低于350~400℃，所以它的红外幅射比柴油机大；当环境温度升高时，燃气轮机的功率下降比柴油机更大；当排气背压增大时，柴油机具有较好的适应性等。

由此可见，燃气轮机作为舰艇动力装置，在性能上虽然具有突出的优点，但也不是完美无缺的，目前它还不能十分完善地取代其他动力装置。

根据现有舰艇战斗任务而提出对动力装置的战技术要求来看，选用单一类型的发动机作为主动力装置，往往还不能满足要求的，而采用两种机型组成的联合动力装置就能改变这种状况。

下面我们再从舰艇使用工况方面来进行分析：

据资料统计，舰艇使用全功率作全速航行的时间是很少的，约占整个航行时间的2%左右，而约占全部在航时间的70~90%时间是采用巡航速度航行，巡航速度一般为全速的50~75%，相应的推进功率仅为总功率的12.5~56%。若以巡航速度为全速的60%计算，则巡航功率仅为总功率的21.6%左右，约有80%的装置功率处于“待用”状态。故提高巡航速度时动力装置的经济性，就成为增加舰艇续航力的主要因素。若选用全燃动力，则在低负荷工作时，燃气轮机的耗油率将大幅度地升高；如果选用一台小功率燃气轮机作巡航用主机，组成COGOG动力装置，是可以使整个动力装置的经济性得到改善，但是仍不能彻底解决燃气轮机耗油率高和在部分负荷下耗油率更高的问题，所以当巡航航速要求不高的条件下，选用经济性好，寿命长的柴油机作为巡航用主机是行之有效的方案，它可以弥补柴油机在重量尺寸上的缺点。巡航柴油机与加速用的燃气轮机所组成的动力装置，称为柴油机——燃气轮机

表1-4

国外柴燃联合动力装置高速艇主要性能表

国别	艇级	建造年代 (年)	排水量 (吨) 标准/满载	航速 (节) 最大/巡航	续航力 海里/节	主尺度 (米) 艇长×型宽×吃水
美	阿希维尔炮艇	1966~71	225/245	40/16	1700/16	50×7.2×6.9
美	高点水翼猎潜艇	1962	100/120	48	610/翼航 1800排水航行	35×9.4×1.8
美	普朗维尤猎潜艇	1965	314/320	45		64.6×13.7×3.05
美	旗竿水翼炮艇	1968	/56.8	50/15.8		22.7×6.5×4.1
苏	波蒂级猎潜艇	1961~68	350/380	30		61×8.5×2.4
英	坚韧导弹艇	1970	165/220	40/15	2500/15	44×8.1×2.4
意	箭多用途艇	1965	192/205	40/26	900/26	46.1×7.3×1.5
丹麦	索洛文鱼雷艇	1964~67	95/114	54/	400/46	30×7.8×2.1
印尼	PSK猎艇潜	1978	/290	45/17		53.6×7.9×1.52
沙特	萨迪克导弹艇	1980~81	320/380	38/18		56.2×7.6×2.4
沙特	雅穆克	1979~81	780/815	30/20		71.5×8.55×4.5
加	勃拉斯·特·奥尔 水翼猎潜艇	1966	180/235	62		46×6.6×2.3

传动形式	桨数及形式	动 力 装 置				编 制 (人)
		柴 油 机	功 率	燃 气 轮 机	功 率	
CODAG	双轴变距桨	12V—142	2 × 725	LM1500	13500	27
CODOG	三轴、双反转桨	派克特1D—1700	600	海神1270	2 × 4250	13
CODOG	双轴	拉埃脱	2 × 600	LM1500	2 × 14000	
CODOG	双轴	6 V 53	2 × 160	太因631	4500	13
CODOG	四轴		2 × 3000	M—2	2 × 15000	50
CODOG	三轴	帕克斯曼 6YJCM	2 × 750	海神1270	3 × 4250	27
CODAG	三轴	菲亚特 × 1832	2 × 4000	海神1270	1 × 4250	37
CODOG	三轴	6 V 53	2 × 160	海神1270	3 × 4250	20
CODOG	双轴变距桨	MTU 12V 331 TC 81	2 × 1200	LM2500	1 × 23000	32
CODOG	双轴变距桨	MTU	2 × 1550	LM2500	1 × 23000	38
CODOG	双轴	MTU	2 × 1550	LM2500	1 × 23000	58
CODOG	四轴排水航行双 变距桨	6YJCM	1 × 2000	ET4A—2	1 × 22000	美国设计建造

联合动力装置或简称柴燃联合动力装置。它是一种柴油机和燃气轮机联合使用的动力装置，它与单纯的柴油机或燃气轮机动力装置相比，有着独特的优点。它既能保证舰艇在巡航工况下，具有柴油机动力装置良好的经济性，以获得最大的巡航续航力，而又能在高航速工况下，具有燃气轮机动力装置功率大、重量尺寸轻小、起动加速性好等一系列优点，使舰艇具有航速高、续航力大、机动加速性好等突出的优点。

以上这些性能特点我们可以从柴燃联合动力装置与全燃和全柴动力装置作些比较进一步来加以说明。柴燃联合动力装置与全燃动力装置相比，装置重量约增加20~30%，但续航力可增加1/3以上。例如西德F122型护卫舰，因采用柴油机做巡航主机，每吨燃油可航行14~15海里，而吨位相近似的美国“FFG-7”级护卫舰，因采用燃气轮机作巡航主机，每吨燃油的航程只有6~7海里。又如法国“C70”级与英国“22”型均为3800吨级的驱逐舰，前者用柴油机作巡航主机而后者用燃气轮机作巡航主机，巡航速度为18节时其续航力分别为9000和4500海里。

从以上分析可知，对中、小型水面舰艇来说，柴燃联合动力装置是目前发动机性能水平条件下的一种较好型式的动力装置，装用柴燃联合动力装置的舰艇，具有动力装置总功率大、航速高，巡航经济性好、续航力大，动力装置的重量、尺寸适中比较突出的优点。因此自1958年柴燃联合动力装置护卫舰问世以来，已在各国海军中获得广泛的应用，据不完全统计，已有二十多国的300余艘柴燃联合动力装置的中、小型舰艇。

表1—4为国外柴燃联合动力装置高速艇主要性能表。

表1—5为国外柴燃联合动力装置护卫舰、驱逐舰主要性能表。（见最后附页）

1. 柴燃联合动力装置的两种基本类型

为了满足不同类型舰艇对动力装置的战斗技术要求，目前柴燃联合动力装置有两种组合形式。

(1) CODAG装置即共同运转方式组合

特点是巡航时由柴油机单独驱动螺旋桨工作，在高速时由柴油机与燃气轮机共同驱动螺旋桨工作。

(2) CODOG装置即交替运转方式组合

特点是巡航时由柴油机单独驱动螺旋桨工作，在高速时仅由加速用燃气轮机单独驱动同一个螺旋桨工作。

下面分析比较这两种组合形式的优缺点。

(1) CODAG装置

其优点是在高航速时，可发挥动力装置全部主机的功率，使舰艇获得较高的航速；又可选用功率较大的柴油机作巡航主机，使舰艇有较高的巡航速度；全速时，由于柴油机与燃气轮机同时工作，因此对经济性也有些改善。六十年代国外设计、建造的中、小水面舰艇采用此种形式。

这个方案从理论上说来比较好，但实际上使用并不多，这是由于当两种主机同时工作时，为保证柴油机和燃气轮机在减速后转速要相等，必须采用结构比较复杂有两种不同减速比的并车齿轮箱。此外，还要解决主机功率的分配及调速同步等问题，主机控制系统有柴油机、燃气轮机分别和联合控制系统等，其机构相当复杂，不利于维护使用。

CODAG装置对于吨位较大、最高航速较高的舰艇，即使把巡航柴油机的功率全部加