

第一章 概述

第一节 现代舰船轮机工程研究的对象和任务

1.1.1 现代舰船轮机工程研究的对象

任何战斗舰艇，尽管它们的使命与任务各不相同，据此而决定的排水量、航速等战术技术指标也千差万别，但是其总体构成，均分为两部分：一部分是直接为完成其战斗使命与任务而设置的作战系统 包括所有的武器装备、弹药、预警系统与电子对抗系统等 另一部分是能使作战系统充分发挥效能的海上平台系统。* 海上平台系统的任务可以归纳成五个方面：首先是能依据作战系统各个组成部分的固有特性，科学地将它们在七维空间内形成一个有机的整体，合理地布置在平台系统中，以达到充分发挥整体效能的目的；第二是为作战系统连续地提供所需要的各种动力源；第三是为充分发挥作战系统的效能提供某些必要的环境条件，例如航空母舰飞行甲板的造型、助推器、拦阻索和相应于当时当地气象的航向航速等，均是确保舰载机顺利起降的必要条件。舰艇自身的噪声场不应影响声纳的使用。所有上层建筑不能影响火炮的射击扇面，不能干扰雷达和无线电天线等；第四是该海上平台自身应当具备的性能 例如排水量、主尺度、航速、续航力、自持力、耐波性、隐蔽性、机动性、抗破损能力、破损后的恢复能力、居住性等 第五是有优良的人机界面 以保证人员能迅速就位、有良好的工作 包括操纵、维修等 环境。

对于某一种特定的军辅船而言，一般地被局限于某一项或几项特殊的非直接的战斗使命与任务。因此，它们的作战系统通常比较简单，属于一定范围内的自卫性质，其海上平台系统则相对比较复杂。例如 大型综合补给船的海上平台系统就是如此 需设有存放各种弹药、燃料、润滑油、淡水 包括机用和饮用等 和食品等物资的舱室 其容积应足够大，需配置能在各种情况下实施海上补给的设备甚至医疗设备和医护人员，其排水量可达数万吨 航速可近 20 节 续航力达一万多海里 自持力达 60 天 能在 12 级海情下安全航行，有更优良的居住性和人机界面等。即使使命任务比较单一的运水船，其海上平台系统也比它的作战系统复杂些。

平台系统又可分成两部分 舰 船 体系统与动力系统。前者是舰船工程的研究对象，动力系统则是轮机工程的研究对象。

1.1.2 现代舰船轮机工程研究的任务

动力系统的任务是提供舰船所需的一切动力 还要满足规定的寿命、可靠性、生命力、

* 一般的水面舰船均包含海上平台系统。但诸如潜艇等以水下活动为主，则包含的是平台系统。因此可统称为平台系统或简称“平台”。

重量、尺寸、隐蔽性、续航力、自持力和优良的人机界面等指标 因此必须由众多的分系统组成, 每个分系统还可能分解成若干个子系统, 有的子系统甚至还有若干层更细的子系统。例如, 一艘现代驱逐舰的动力系统至少包括推进系统、发配电系统、馈电网络、舵系统、损管系统、甲板机械、污水处理系统、空调通风系统、冷藏系统、全舰性辅助系统等。推进系统则包括原动机、为原动机服务的动力管系、后传动装置、轴系、推进器等。为原动机服务的动力管系又包括燃油、润滑、冷却、启动、进排气、自动监控等系统。动力管系中还各自包括各种阀门、过滤器、热交换器、泵、压力容器、联结管系、自动监控系统等。它的自动监控系统又可分解为传感、控制、比较、放大、执行、通讯等更小的系统或单元。因此 从系统工程的角度看, 本学科研究的对象是一个相当庞大而复杂的系统。

概括地说, 本学科研究的任务是探求出在既定的约束条件下整个动力系统达到预定目标的最佳配置和主要机械设备最佳的总体布置, 能依据研究结果建造出预期的舰船。此处“最佳”的内涵是广义的, 可以理解为预定的主要战技术指标被满足的程度、全寿命效费比、可行度 包括风险度 筹多目标综合寻优。

第二节 现代舰船轮机工程研究的任务和过程

整个研究的具体任务和过程可分成三个阶段来描述。

1.2.1 方案论证

第一阶段为方案论证。也称为方案设计或初步设计。包括主动力和各种基本元部件和组件的选型、数量确定、组合方式 总体布置方案 初步确定基本使用方案等。本阶段是三个阶段中的基础阶段 所确定的原则和结论是进行尔后两个阶段工作的主要依据 因此其地位十分重要。本阶段工作结束后应提交的文件资料大体包括:

- (1) 主动力型式与主机选型论证;
- (2) 推进方式 包括主推和辅推——如果有辅推时 选型论证;
- (3) 主动力传动方式与主传动装置选型论证;
- (4) 轴系数数量论证;

以上四项内容中应同时附简图分析。

(5) 主机、主锅炉(含核堆)以及为它们服务的辅助设备(如隔振座、隔音罩等)动力管系中的主要大部件(如消音器、进排气道等)电站(包括原动机-发电机组、配电屏)集控室等在机舱内的布置与安装(即机舱规划论证)同时提供机舱的平面、纵横剖面图和必要的说明;

- (6) 推进器选型及确定其主要参数的论证;
- (7) 轴系初步设计(含平面及纵剖面图);
- (8) 主机动力管系中主要大部件的选型论证;
- (9) 电站选型及其工作制论证;
- (10) 整套动力系统的自动化方案选型论证;
- (11) 其他有关辅助装置(如空压机、空调通风、冰库冷藏、辅助锅炉、减摇鳍、甲板机

械、特辅机械等)的选型论证；

(12)主要全舰系统(如消磁、消防、平衡、压缩空气、液压、燃油等)的选型与布置论证；

(13)整套动力系统的重量重心估算；

(14)航速性、续航力、自持力估算及主动力系统使用方案论证等。

1.2.2 技术设计

第二阶段是技术设计阶段。本阶段的任务是根据初步设计对整个动力系统总体布置方案、主要设备的选型等全局性问题所确定的指导思想、原则和结论，就下面四个方面的问题进一步细化校核、补充完善并在明确技术难点的基础上提出具体的技术措施：

第一方面 提供详尽的计算书。例如在初步设计轴系时 完全确定其具体的结构尺寸和全部轴系元件的选型及其布置位置所需的已知条件尚未具备，只有在本阶段才能完全确定，因此本阶段除需确定轴系的具体结构尺寸和全部元件的选型及其布置位置之外，还需在此基础上进一步提供整个轴系的静强度校核、回旋振动、扭转振动、纵向振动计算书；在选定刹轴器后，需附以强度校核计算书，当选用摩擦式刹轴器时还需附以热平衡计算书；若选用带有强制冷却结构的轴承，则需提供轴承负荷和热平衡计算书并确定冷却水流量……又如，本阶段将选定所有管路系统元件并确定它们的位置和管路的具体走向，应当在此基础上提供各个管系的液力计算书、泵的排量、压头、管路通径……等；还如 机舱热平衡计算结果也是判定机舱规划是否合理的判据之一，必须提供。总之，这些计算书是选型和布局论证的必要基础之一，尤其在设计非标专用设备时更是不可或缺的内容。它们可以单独成册，也可参插在相应的选型和布局论证中。

第二方面 完成重要非标设备的技术和施工设计。例如有的轴系周围的空间较小 若选择通用型的刹轴器、转轴机构和转速测量装置，则无法将它们布置在给定的空间内，只能单独设计与此空间相适应的机构；又如柴油机采用斜支撑式隔振座时，为了便于安装和对中，一般要设计专门的安装工具并制定安装工艺；如果对一些系列化产品有特殊要求，则要提出详尽的用于订货的技术规格书，例如当齿轮箱系列提供的中心距、中心高、减速比等结构参数不符合初步设计的要求或者未配置拖航泵或传感器的数量、规格不符合要求时，则此项工作是必须的，甚至要审查生产齿轮箱厂方的技术设计。

第三方面 初步设计中必然会遗留一些技术难点 这些难点必须在技术设计阶段研究解决。例如对柴油机排气噪声和红外的抑制，一般都需经过反复地研究试验才能得到满意的结果。这些工作一般列入型号研制。

第四方面，在技术设计过程中由于各种原因可能要对初步设计本身和有些指标作些局部修改。这些原因可能是：初步设计时有的关键数据尚未由试验提供，只能按经验选取，由此而确定的指标与实际结论可能会存在差异，例如在考虑了各个后传动装置的实际效率、螺旋桨的实际效率和船体实际阻力状况后 这些数据只能当设计深入到本阶段时才能获得)虽经最大努力 原航速指标仍偏高 适当降低一些显然是必要的 初步设计时只能就主要设备进行总体规划布置，在逐步细化中对其作些小调整是不可避免的，如经过详细地机舱规划和布置后，考虑到动力系统各主要阀门的位置、人员就位、操作和维修空间

等因素，主机的位置必须作适当移动；按照本阶段最后选定的设备的特性参数进行校核，也可能要求少量更动设备的位置或更改某个设备的部分特性参数，如轴系中最后选定的高弹联轴节的扭转刚度比原来大些引起轴系扭振特性变化超出了“舰规”规定的范围，此时，少量更动主机位置或修改轴干直径等技术措施也是合理的。但是所有这些修改、更动和调整必须附以详尽的说明材料备查，如涉及主要指标或主要设备，则应及时呈文报委托部门或上级领导审批。

本阶段结束时所提供的文件资料十分全面，应完全能据此进行施工设计。仅以较简单的某型护卫艇轮机部分技术设计为例，提供的文件资料有：

- (1) 轮机图纸目录；
- (2) 轮机借用标准图目录；
- (3) 轮机机械设备订货明细表；
- (4) 阀门汇总表；
- (5) 管子材料汇总表；
- (6) 轮机备件及工具明细表；
- (7) 轮机规格书；
- (8) 主推进装置监控系统技术规格书；
- (9) 轴系锻件技术要求；
- (10) 主要锻件清单；
- (11) 轴系计算书；
- (12) 机舱监控系统原理图；
- (13) 系泊及航行试验大纲；
- (14) 前机舱布置图；
- (15) 后机舱布置图；
- (16) 机舱监视室布置图；
- (17) 前主机安装图；
- (18) 后主机安装图；
- (19) 轴系布置图；
- (20) 前主机轴系总装图；
- (21) 后主机轴系总装图；
- (22) 前主机艉轴图；
- (23) 前主机中间轴图；
- (24) 后主机艉轴图；
- (25) 主、副机燃油管系图；
- (26) 主、副机滑油管系图；
- (27) 主、副机淡水冷却管系图；
- (28) 主、副机海水冷却管系图；
- (29) 主、副机排气管系布置图；
- (30) 主机（气动）遥控管系图；

- (31) 压缩空气管系图；
- (32) 轮机安装原则工艺说明书；
- (33) 机舱通风计算书；
- (34) 动力装置减振计算书。

在电气部分技术设计中还包括主要电力电子设备和电缆等的选型，电站的负荷计算、布局、安装方式与工作制、电缆的计算和布置等。

1.2.3 施工设计

第三阶段是施工设计阶段。其总的任务是秉承技术设计的意图，完成全部施工图和施工工艺设计，造船厂能按照这些图纸资料顺利地建造出达到预定战技术指标的舰船。

就非标设备而言，技术设计阶段仅完成了其中的重要部分，还有大量较简单而必要的零部件的施工设计，需要在本阶段根据它们应具备的功能、在舰船上的具体位置和可能提供的空间以及造船厂的生产加工条件来完成设计任务。例如主、副机的日用燃油箱、膨胀水箱、带有冷却水套的排烟管、固定各种管路和电缆的夹箍、管路和电缆通过水密隔墙的水密装置等。

就管路和电缆在机舱内的布置而言，是一件十分复杂又繁琐的综合工程。技术设计阶段只是完成了每个管系主要元器件选型和定位、管材规格选型、管路走向三个方面的设计和电路部分相应三个方面的设计。这些管路和电缆的规格、走向各有异同，纵横交错，要在机舱三维空间内科学地安排妥贴，同时在适当位置予以固定等设计工作均需在施工设计阶段完成。

就安装工艺而言，技术设计仅完成了轮机安装原则工艺，具体细致的、符合造船厂实际情况的所有安装工艺（例如主机安装工艺、轴系校中工艺、管系密封性检验工艺、有关的工夹具等）均需在本阶段完成。

在本阶段进行过程中，可能会遇到技术设计的某些结论或要求不可能实现或不尽合理，必须作些修改。例如，各个管路和电缆经过三维空间的统一规划安排后，发现个别阀门（或手摇泵等）的位置不利于操纵，则应作必要的更动。但所有这些更动也必须履行规定的报批手续并存档备案。在实际施工过程中还可能出现这种情况，需要临时进行局部的修改设计时，同样要履行上述手续。

1.2.4 三个阶段之间的关系

由以上论述可知，凡是一项稍微大而复杂的工程设计都需经过三个阶段。每个阶段的重点不同。第一阶段侧重于总体方案论证和主要设备选型论证；第二阶段侧重于对第一阶段结论的初步细化和具体化，主要是基本上最后确定包括船体阻力在内的各主要设备的总体特性，并在此基础上完成全部的计算和校核，针对第一阶段遗留的所有技术难点提出具体而切实可行的解决途径，完成必要的试验研究和技术攻关，甚至局部修改第一阶段的结论；第三阶段则侧重于结合造船厂的实际情况，在第二阶段成果的基础上使第一阶段的结论进一步细化和具体化，最终成为可据以生产的全套施工图纸、施工工艺和据以确

定产品质量的验收标准。

由此可见，本学科研究的过程是按照逐步深化、逐步具体的原则进行的。但是随着计算机技术的飞速发展及各种应用软件的不开发，可以将三个阶段设计内容同时进行，称为并行设计。可以预料，不用太长的时间，这种技术必将在本研究领域内推广应用。

第三节 推进方式、传动方式与基本组成

舰船的推进方式目前可分五种 不同推进方式采用的传动方式又可能有若干种 因而传动方式较多。每种传动方式的基本组成还可能有多种，故基本组成方案的种类更多。每种组成方案包括相当数量和种类的主要传动部件，因此传动部件的种类也十分繁多，每一种只适用于某个特定的范围。方案论证的任务就是优选出最佳的推进方式、相应的传动方式并确定其基本组成部件。尽管如此，对它们实施标准化、系列化、通用化和模块化仍然十分重要和迫切。

1.3.1 推进方式分类

1.3.1.1 按产生推力的原理分类

按产生推力的最基本原理区分 推进方式分成两类：一类是设法在推进器前后造成压差；另一类是利用喷射（被喷射的物质通常是水或气体）。但一般是结合具体的推进器和被喷射的物质一起进行区分，可分为五种：

1. 明轮推进

依靠明轮上埋在水中的划水板近似直线的向后或向前运动，造成划水板前后的压力差，从而推动船体前进或后退。这种推进方式的推进效率很低，是最早出现的推进方式之一。明轮埋在水中的深度很浅，其转速与划水板面积很有限，因而仅适用于水势平缓而浅、推力要求不大、航速低的早期内河湖泊船上。20 世纪初期以后基本上已完全被其他推进方式取代。

2. 喷水推进

利用冲量等于动量增量原理和牛顿第三定律得：

$$F = Q \cdot \Delta V \quad (1.3.1)$$

式中： F ——推力；

Q ——喷出水的质量流量；

ΔV ——速度增量。

实际上，水流进速绝对值近乎 0 且其方向与出速之夹角通常 $\geq 90^\circ$ （进水方向一般来自两舷或船底 喷出方向是向船后）因此

$$\Delta V = V_0 - V_C \quad (1.3.2)$$

式中： V_0 ——喷出水流相对绝对坐标的速度；

V_C ——相对绝对坐标的船速。

这种推进方式的特点是：推力不可能很大（ Q 与 ΔV 均不可能很大）允许船的吃水很

浅 如果喷出水流的方向可左右变动 可使船体获得几乎是原地回转的操纵性能 但推进效率较低。这种推进方式必然设有把原动机能量转化成水的压能的装置，这种装置若采用多级离心泵组成 串联时用于推进 则并联时可获得低压大流量的水流 可用于灌溉、排涝等。也是“ 一源二用 ”的例证。适用于平原地区内河、湖泊对航速要求不高的小型机动船舶，尤宜于小型船用移动泵站。

3. 喷气推进

其基本原理与喷水推进相同，这种推进方式的出现源于涡轮喷气式发动机已发展到能在船舶上应用。一方面 这种发动机只要有足够大的进气流速 所产生的推力可以比较大 而现代竞速艇在这样大的推力作用下的时速可达数百千米 两者正好匹配 另一方面，如此高的时速 其他推进器实难胜任。高速竞速艇追求的最主要指标就是速度 甚至可靠性指标也处于从属地位 其余指标则更为次要 例如对续航力的要求只要能满足短距离冲刺即可。因此这种推进方式通常被用于竞速艇上。

4. 空气螺旋桨推进

这种推进方式的机理是螺旋桨叶在空气中运动时，桨叶两面的空气将出现压力差。压力差的大小取决于桨叶的截面形状 相对于空气的速度和迎角、空气的密度以及桨叶的面积等因素。正因为如此 在螺旋桨结构尺寸和转速被限定的条件下 能提供的推力比较小。但其螺旋桨在空气中工作，与水完全没有关系，因而与船的吃水根本无关。在使用中 喷水推进方式尚有怕其进水口被水草等水中杂物堵塞之虑 这种推进方式则不必有此担忧。当其螺旋桨的推力方向能在水平面内变动时，船舶也能获得几乎在原地回转的优良操纵性。这些特点使其特别适用于吃水特别浅，尤其如气垫船和长期在有众多水草杂物的沼泽地区航行的小型船只上。

5. 水螺旋桨推进

其推进机理与空气螺旋桨完全相同。但由于水的密度是常温常压下空气的八百余倍 螺旋桨的结构尺寸 主要是直径 D 和螺距比 H/D) 在较深的水中不存在严格的约束条件，因此尽管对其转速的限制较严格，它能提供的推力可以说在五种方式中是最大的，即使在较高航速下 比竞速艇当然低些 也是如此。因而它的应用范围也最广 大到十几万吨的航空母舰、数十万吨的巨轮，小至二十几吨的高速鱼雷艇甚至仅数吨的橡皮舟。

1.3.1.2 按推进任务区分

可分为两类：

1. 主推进装置

它提供舰船前进和后退的动力。是推进装置中最主要的组成部分，也是动力装置中最主要的组成部分。

2. 辅助推进装置

在某些舰船上仅靠主推进装置尚不能很好地完成推进装置的使命，还必须加设辅助推进装置以弥补主推进装置功能的不足。例如 蒸汽轮机主推进装置的弱点之一 是其锅炉从熄火的冷状态以及涡轮机从冷态进入能全速运行状态需要相当长的时间，在对快速反应能力要求越来越高的今天，这个弱点显然是不能被允许的。于是有的舰艇增设了一

套由电力拖动组成的辅助推进装置，以弥补其启动准备时间过长的不足。所需电力可由迅速供电的舰船应急电站提供，航速可达 6 节。又如有的船舶如港湾拖轮、小型破冰船、某些火车轮渡的作业特点要求能实施侧航、原地回转等机动航行。在这些情况下增设辅推装置是一种很值得考虑的方案。

1.3.1.3 按螺旋桨在舰船上的位置区分

1. 后置式

一般舰船的主螺旋桨（包括空气螺旋桨和水螺旋桨）均位于舰船的后部，舰船的理论肋骨数均为 20 主螺旋桨在 18~19 理论肋骨之间。如还另设有两个侧推辅助螺旋桨则其中一个的位置在艏部，另一个则通常位于主螺旋桨前面一些。

2. 中置式

上述为弥补主推进装置启动准备时间过长之不足而设置的辅助螺旋桨一般位于舰船中部。为了不增加主螺旋桨推进时的阻力，通常采用收放式，用辅助螺旋桨推进时，先将其伸至水中；用主螺旋桨推进时，则将其收回舰体内。这种辅助螺旋桨通常被称为“吊舱式”辅助螺旋桨。

3. 前置式

如果另设一套用于侧推的辅助螺旋桨，一般将其装于艏部 3~6 理论肋骨处。用顶视和侧视图表示，用于侧推的辅助螺旋桨通常位于与艏艉线垂直的隧道中，如图 1.3.1 所示。

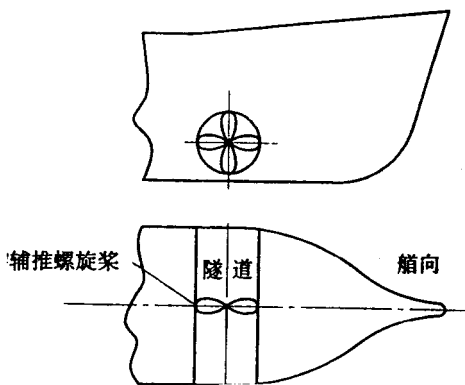


图 1.3.1 用于侧推的辅助螺旋桨布置简图

4. 前后双置式

有的船舶在较窄的航道中用作渡轮，往返于两岸。船舶要在这种情况下调头几乎是不可能的，用作汽车渡轮时，还希望由艏、艉部直接滚装。主螺旋桨采用前后双置形式就非常适用。其主机前后两个输出端能分别驱动对应的螺旋桨，满足前后两个方向推进的需要。

可见，推进的种类由于舰船所处环境及承担的任务各有不同而十分繁多。

1.3.2 传动方式分类

上述五种推进方式中明轮推进已经淘汰；喷气推进方式无非是把涡轮喷气发动机直接固定在甲板上，不需要传动；喷水推进方式的传动也不复杂，其核心在原动机与水泵之间 可能的方案有四种 如图 1.3.2 所示。

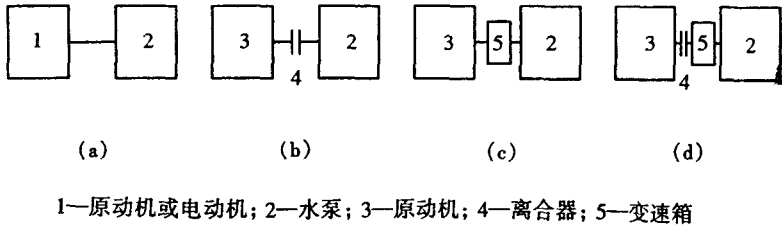


图 1.3.2 原动机-水泵传动方式简图

空气螺旋桨推进方式的传动形式较简单，如图 1.3.3 所示。有的可能稍微复杂些，因为在桨叶根部可能设有调距机构。

当然，喷水推进和空气螺旋桨推进两种方式还可能设有直接改变喷出方向的装置，但它们属于另外的装置。

水螺旋桨推进的传动方式最多，有的很复杂，下面重点介绍。



图 1.3.3 原动机-空气螺旋桨传动方式简图

由前所述“传动”的任务是把原动机发出的能量按照水螺旋桨的要求 主要指转速、转向、转矩 准确地传递 而且传递损失尽量小。由于原动机的转速、转向、转矩以及所在的位置与螺旋桨的要求之间存在差异 有时这些差异相当大)因而出现了很多种传动方式。例如对螺旋桨而言，在吸收同样功率下，直径大、转速低的推进效率要高得多 所需的转矩必然也大 但很多原动机的转速甚高 两者之比值可达 15 ~ 20 以上，而转矩则小很多，必须在它们之间设置减速增扭齿轮箱；又如对定距桨而言，要使舰船快速制航或倒航 必须反转 而很多原动机不能反转 因而还要在齿轮箱中增设反转功能 再如 螺旋桨的位置大都在艉部 而原动机则一般在艏部 两者之间存在一定的距离 甚至达几十米，因此配置若干传动轴、轴承、联轴节等也是必须的……这些原因导致传动方式千变万化，且论证分析的结果往往不是唯一解而是多种解。要优中选优，必须在全方位扫描所有可能被选用的传动方式的基础上进行综合评估，才能得出科学的结论。由此可见全面掌握各种传动方式的重要性。

1.3.2.1 直接传动方式

这是一种最简单的传动方式 如图 1.3.4(a) 所示。当原动机的转速、转矩与定距桨的要求恰好匹配且能直接反转时，采用这种方式最适宜且被广泛应用于军辅船。我国 20 世纪 60 年代设计、现今仍在服役的很多护卫舰也是这种传动方式。

如果选用这种方式 接下来的研究任务是确定轴系布置方案 (含合理分段) 轴径、联

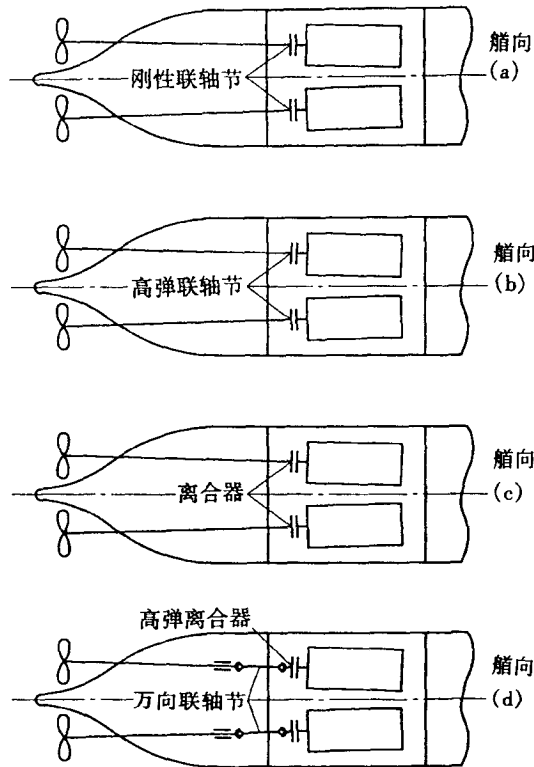


图 1.3.4 直接传动方式简图

轴节、轴承、密封装置等轴系元件的选型或设计 完成所有计算校核。

这种传动方式的一种特例是在主机与轴系之间增设一个具有较大补偿能力的高弹联轴节 (能进行径向和轴向的综合补偿) 如图 1.3.4(b) 所示。因为对舰艇尤其是对负有反潜使命舰艇的隐蔽性的要求日益提高 当采用具有相当振级的原动机 (如柴油机) 时 需为其设置隔振座, 一则可有效地隔离其结构噪声的传播, 二则在遭受水中兵器攻击时能有效地减缓水下冲击波对主机的破坏作用。但是这属于柔性固定 在主机运行或受到水中兵器攻击时 主机相对轴系的位移量将相当大 至少为毫米级 增设高弹联轴节显然十分必要。当相对位移达十毫米级时, 还需增设万向联轴节。

这种传动方式的第二种特例是当主机要求空载启动并暖机时, 则需在主机与轴系之间增设离合器 见图 1.3.4(c)。当上述相对位移依然存在且主机要求空载启动、暖机时, 则此离合器还应兼有相应的补偿功能 高弹离合器 或高弹离合器 + 万向联轴节 见图 1.3.4(d)。这种方式还兼具有一个适应性: 满足了主机修理后空载试车的要求。

这两种方式还同时改变了全轴系的扭振特性 (包括主机输出轴及与它有传动关系的所有轴段)。因此, 当采用刚性直接传动而全轴系的扭振特性不能满足“舰船建造规范” (简称“舰规”) 要求时 可考虑用此法 或增设其他具有改变扭振特性功能的联轴节 满足之。

由以上论述可知, 直接传动方式实际上有四种。

1.3.2.2 间接传动方式

当主机的转速、转矩与螺旋桨不匹配时(通常主机转速高)必须在主机与轴系之间增设减速齿轮箱,如图 1.3.5 所示。

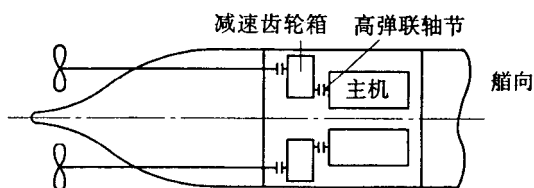


图 1.3.5 间接传动方式简图

这种传动方式还可兼备下列功能：

调节主机输出轴与轴系中心之间的相对位置，使之同时满足两者合理布置的要求。

在齿轮箱中附加离合器、倒顺车装置、推力轴承等部件要比单独地设置它们方便许多。整个传动系统的重量尺寸会明显下降。建造或修理过程中的现场安装和调整工作量要少很多。难度也明显降低。更便于建成后的使用管理。由齿轮箱中的倒顺车装置实施倒顺车较之由原动机实施要快速、准确、可靠得多。原动机也可省去倒顺车机构。

齿轮箱本身除常用的单输入-单输出方式外，还可演化出双输入-单输出、单输入-双输出、双输入-双输出、多输入-单输出等多种方式，分别组成一机(原动机,下同)一轴、双机共轴、一机分轴、双机共双轴、多机共轴等各种推进模块。这些推进模块各自适用于不同场合。同时也成倍地拓宽了某一型原动机的功率覆盖面，十分有利于原动机的“四化”。

以双机共轴为例，按照原动机的类型、投入运行的方式不同，可派生出 CODAD, CODOG, CODAG, COGOG, COGAG, COSAG 等推进模块，当然还需设置相应功能的装置，如 SSS 离合器等。

齿轮箱输出端的方向、所驱动的对象又各不相同，又可由此发展出许多品种。以单输入-双输出为例，若两个输出端分别指向艏艉且均为全功率全转速输出，则恰好满足 1.3.1.3 中 4 的要求，组成一种特定的传动方式。

若其艏向为部分功率输出，则可同时用于驱动发电机或其他辅助机械，这又是一种“一源二用”。当这种传动方式经筛选后被确认是最优方案时，为了解决两个同时被驱动对象对转速要求不同的矛盾(例如不同的航速要求定距桨有不同的转速，而发电机则要求保持定转速)通常对次要的被驱动对象采取一些特殊技术措施。如若驱动小型直流发电机，则设置自动调压器。如若驱动交流发电机，则其“定子”也能转动且自动控制转速，保证与“转子”的相对转速为所需的定值。

有的高速艇的长度较短，为使其轴线与水平面的夹角不至于过大，主机与传动轴之间采用“倒 V 型”布局，又引申出另一品种的齿轮箱，如图 1.3.6 所示。

由上所述，可得到四点结论：第一，实现间接传动的关键是必须具有以齿轮箱为核心的、配套且综合性能均优的后传动装置。第二，由于这些后传动装置的配置灵活、功能齐全，较之其他传动方式有更强的适应性，因而在目前已获最广泛的应用。今后相当长时间

内的应用还将更广阔。第三，由此可见，后传动装置在整个动力系统中的地位是如此重要，可以认为仅稍亚于原动机，有的情况下两者甚至相当。第四，尽管后传动装置的具体结构千差万别，但归结起来其基本元部件也只有联轴节、离合器（含离合动力源）、传动齿轮系、轴与轴承、润滑冷却系统、箱体和控制系统六种。除箱体和少量的轴不能通用外，其余绝大部分零件可以设计成具有较好的通用性，这对进一步拓宽应用范围、提高其总体质量、缩短供货期、降低造价等起决定性作用，是该领域的研究热点之一；新摩擦材料的探索、新型超大功率传动齿轮的设计和精加工（为了降低振动噪声和减少重量尺寸）箱体优化设计（目的同上）诸如 SSS 等新型离合器的研究则是另外的热点。

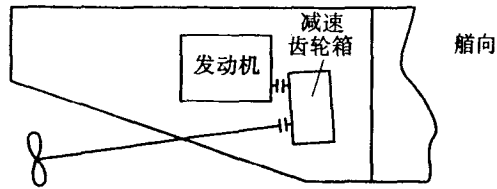


图 1.3.6 倒 V 型传动图

1.3.2.3 “Z”垂直型传动方式

这种传动方式又可细分为四类，各自适用于不同的场合。

1. 普通型

舷外挂机就是采用这种传动方式。在摩托艇、橡皮舟等小型舟艇上应用极广泛。它的特点是功率小，通常把原动机、传动装置、螺旋桨组成一个整体，体积小、质量轻，全部质量在几十千克以内，装卸十分方便。它的螺旋桨除能绕自身轴线自转以提供推力外，还可直接用人力使其绕传动轴线公转相当大的角度以改变推力的方向，从而能操纵航向而不需要舵。

2. 收放型（吊舱式）

它的垂直传动轴和螺旋桨能根据需要伸出或收进船体。功率稍微大些，有些辅推采用这种方式，1.3.1.2 中 2 是其一个应用实例，有的大型核潜艇也将其作为进出港用的辅推或应急辅推。

3. 可公转型

它的基本特点与普通型一样，但功率、质量、尺寸均较大，不能像普通型那样设计成人工直接操纵，而是通过专门的机构操纵其推力方向；也不能像普通型那样可以很容易地整体移位，而是设计成固定式。装有这种推进装置的船舶，具有优越的可操纵性，基本上可实现任何方向的平移或原地转向，特别适用于港湾内的调度拖轮等船舶。它的推进原理如图 1.3.7 所示。这种推

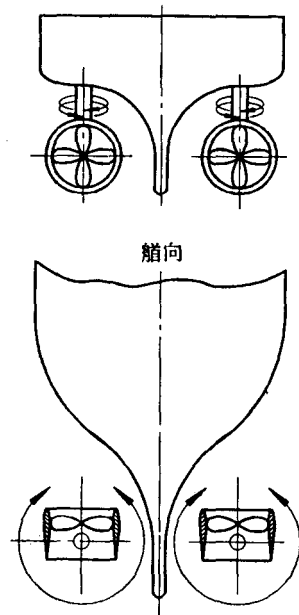


图 1.3.7 导管螺旋桨推进原理图

进方式中的螺旋桨一般都配有导管 称为“导管桨”。

4. 混合型

它兼有上述 2、3 两种方式的特点，用于少数特殊场合。

1.3.2.4 能量二次转换传动方式——电传动

目前以至今后的大部分原动机所提供的是机械能，螺旋桨吸收的也是机械能。从能量形式看，两者并无不同之处，因此上述所有传动方式中均不存在能量形式的转换。但是，有相当多的舰船还需要较大的其他能量形式，“新概念武器”就包括激光武器、等离子武器……它们都需要较大的电功率。目前，试验中的激光武器所需功率已达 10 000W，今后肯定会大幅度增加，再综合考虑到其他电子设备需要的电功率，有可能采用电机驱动螺旋桨 称为“电传动”。这样，从原动机提供到螺旋桨吸收 能量形式经过二次转换 并使推进用的能量形式、各种辅机用的能量形式和武器用的能量形式可以取得完全一致，不必再将原动机区分成“主机”和“副机”，选择若干套发电机组（同型号或不同型号均可）即可满足三个方面的需要，实现了“一源三用”，有效地减少了不必要的重复配置。原动力的这种配置方式还具有便于布局、生命力强（受损后能继续提供动力的百分比增大）、便于隔振降噪等优点。能量转换效率的提高、能量传递过程中损失的降低（如应用超导体）等因素更增强了这种传动方式的竞争力。

目前采用的能量二次转换传动方式是电力传动。主战舰艇中的典型是电力传动常规动力潜艇。深水潜航是这种潜艇的主要航行方式，此时唯一的动力源是蓄电池（极少数常规潜艇采用了近年来研制成功的燃料电池或闭式循环发动机-发电机组）只能采用电传动方式，由此也决定了其他耗能机组必然选用电传动。

在一些军辅船上，当其他设备的用电量较大时，也可考虑采用这种传动方式。最大的好处是能“一源二用”，避免不必要的重复设置。

电磁离合器也是一种特殊的电传动方式。

1.3.2.5 能量二次转换传动方式——液力传动

液力耦合器、联轴节能大幅度改变轴系扭振特性并有效地隔离轴系中扭振能量的传递。高转速时传递转矩能力大且质量轻、尺寸小，因此在有些场合下特别适用。例如柴油机的输出转矩必然存在交变部分，对减速齿轮或 SSS 离合器的威胁很大，液力耦合器在此能充分发挥保护作用。CODOG、CODAG 或 CODAD 的齿轮箱中不乏采用这种传动方式的实例。

它的运行外特性又十分特殊，在结构参数既定的情况下，其最大传扭能力与主动件转速的平方成正比，因而当负载突然大幅度增加（例如螺旋桨被拖缆缠绕、挖泥船的挖斗突然遇到大石块、拔桩机在桩柱尚未被拔动前）原动机被迫降速时，可以保护其后的传动装置和原动机并且不会因此而憋停。相反，还能持续地保持输出扭矩直至这种负载被迫减小（大石块被挖动、桩柱已松动）转速又自动回升。它的最大传扭能力还取决于其工作腔中工质的充满度，可藉以适应不同负载的需要，当然在这种工况下需要妥善解决由于工质充满度 < 1 而引起的输出振荡问题。

有的液力偶合器还可制成变扭形式，可改变其输出扭矩的大小、转速的高低，甚至转向，其功能与倒顺车减速齿轮箱加离合器再加高弹联轴节的功能几乎相当，在吸收扭振能量的性能方面还可能超过高弹联轴节，其减速比连续可调，能实现无级减速，因而也称为液力变扭器。但突出的弱点是传动效率低，其数量级有时仅为 60%。这些特征使它仅在某些特殊场合适用。

有的军辅船需要大功率的液力驱动辅助机械如液压马达、伺服油缸等，用以驱动大型绞车、吊臂……等。它们不属于推进装置，却是这些军辅船只的主要作业装置，可能由“主机-液压泵”提供液压源。在主动装置选型时可考虑这种方案。

1.3.2.6 无螺旋桨的电磁力推进方式

以上各种推进方式中均有推进器——明轮、空气螺旋桨、水螺旋桨、喷水推进中的水泵叶轮等。近来，一些先进国家已经实现了直接利用电磁力推进方式在小型实验艇上的验证 航速达到 8 节。其基本原理是这样的：

利用超导技术或强磁材料在水管的外围形成与水管中水流方向垂直的强大的固定磁场，再在同时与该磁场方向和水管中水流方向垂直的方向上造成强大的固定电场，由左手定则可知，在该磁场中的水就会受到强大的电磁力的作用而沿水管高速流动，从而推动舰船运动。

这种推进方式不需要推进器 直接将电能转换成推进能 因而不存在由于推进器与水相互作用而产生的噪声和推进器本身发出的噪声。因而被称为“安静推进”。

当然 要具体实现大功率推进还有许多实际工程问题需要解决 例如 怎样经济地产生可靠的强磁场和强电场；该设备的质量和所占用的空间能够被认可；对机舱乃至全舰的电磁兼容性是否能满足要求等等。

1.3.2.7 水螺旋桨分类

水螺旋桨分类的着眼点很多，此处仅就其桨叶与毂部的结合方式进行分类。

1. 固定式

桨叶和毂部制成一体，因此它的螺距是固定的。尽管其在不同半径处的螺距可能不同 但这些螺距是固定不变的。从这个角度看 也可称为“定距桨”。它的一切特性也就由此派生。主要是结构简单 在设计工况时效率高 可靠 质量轻 制造成本低廉 为目前大部分舰船所采用。但对工况变化幅度大的适应性差且此时的效率低，离设计工况越远，效率越低。

目前单个定距桨的功率达 70 000kW 并被较广泛地采用。

2. 调距桨

桨叶与毂部之间可相对转动(当然所有桨叶应当同步)意味着螺距可以调节 故称作调距桨。它的一切特性也是由此派生的。主要是结构相当复杂，尤其要增设调距机构，初建费用高，可靠性较差，在设计点的效率低于定距桨。但对大幅度工况变化的适应性强，在很大的工作区域内都可获得较之定距桨为高的效率，且离设计点越远，其效率比同样情况下定距桨的高得越多。有资料表明，从全寿命经济性角度比较，两艘完全相同的远洋货

轮 航线、航次也相同 运营三年 由于采用调距桨而超出的初建费用即可由其节省的燃料费用弥补。

调距桨的第二个特点是在任何工况下允许主机开全转速。因而在部分航速时，主机的剩余功率比定距桨大，若加以充分利用，则动力系统总效率将显著提高（例如用剩余功率发电）也为“ 一源多用 ”提供了更大的可能（例如消防船等）。

特点之三是在任何海况下（当然是在舰船允许的条件下）可以获得很低的航速 这对于承担海测等科研考察任务的船舶十分重要，用以在不稳定海流中完成“ 定点测量 ”等任务。

特点之四是轴系不改变转向也能迅速改变推力方向（向前、向后）实际上取代了齿轮箱的倒顺车功能并在某种意义上增添了实际上的无级减速功能，提高了舰船的可操纵性。也可满足某些主机关于空载启动、暖机和修后空载试车的要求。在使用中若仅是桨叶受损 则通过水下更换作业即可修复 不必进坞或上排 既缩短了修理周期 提高了舰船的在航率，又减少了修理费用。

目前单个调距桨的功率达 30 000kW。我海军的导弹驱逐舰、扫雷舰艇、侦察船等均有采用。

由于调距桨具有众多突出的优点，可以认为随着新材料、新工艺的出现和推进理论、设计手段的发展，目前存在的主要薄弱环节—— 可靠性较差将不复存在 单桨功率也不会再受限制，定将被越来越广泛地采用。

1.3.3 基本组成

由 1.1.1 论述可知 舰船动力系统囊括的范畴极广 大体上可概括为：

(1) 推进系统（含主推、辅推、为它们服务的动力管系及其自动监控系统）也称动力系统或主动力装置；

(2) 电站 按功能分为主电站、停泊电站和应急电站 每个电站均由发电机组、馈电电缆、配电屏及其自动化系统组成；

(3) 全舰性馈电网络；

(4) 全舰性管系。包括消防系统（由消防泵、管路、水龙带、水枪、太平斧、泡沫灭火系统、CO₂ 灭火系统、其他灭火系统、喷淋系统、火灾报警及其自动化系统等组成）、平衡、吸干系统（包括平衡泵、吸干泵、管路、浸水报警及其自动化系统等）、三防洗消系统、压缩空气系统（包括空压机、气瓶、管路及其自动化系统等）、压力油系统、燃油系统、滑油系统、淡水系统（包括淡水舱、压力水柜、水泵、造水机、管路及其自动化系统等）、卫生系统（包括卫生泵、压力海水柜、生活污水处理装置或焚烧炉、管路等）、油污水处理系统等；

(5) 堵漏器材；

(6) 减摇鳍；

(7) 甲板机械（如舵机、锚机、绞车、吊放小艇机等）；

(8) 特辅机械（如潜水机械、大型吊车、海上补给装置等）；

(9) 空调通风系统；

(10) 冷库；

- (11) 辅助锅炉及其管路；
- (12) 修理设备；
- (13) 其他生活设施。

这些装置系统之间有着千丝万缕的联系，在“一源多用”时尤为如此。因而必须掌握它们之间的内在关系，始终把握全局和主线，不受次要和枝节矛盾干扰，才能研究出总体最佳的成果。

例如，各电站之间必定构成一个统一的网络，能实现并网或解列。通过全舰性馈电网络向所有用电设备供电，其中重要用电设备的馈线至少是复设。对指挥舱、机舱、舵机的供电就是如此，它们还配置了蓄电池应急照明。在电力传动推进方式中更可能要把前三项统盘规划。

再以全舰性的压缩空气系统为例，主要用于发射鱼雷和检修火炮时的开炮栓，需要中压或高压，其次是用于汽笛、吹洗海底门、伙房的柴油炉灶等杂用，需要低压，每次使用时间不长，量不大；而较大功率的柴油主机和副机通常用压缩空气启动，因而其动力管系中必定配有压缩空气系统，包括空压机、气瓶等。启动压力可能是中压或低压，少数用高压，使用方式属间歇型，每次用量较大（舰规要求冷态下能连续启动不少于6次），还可能有一些靠压缩空气驱动的气动元件也需要供应气源。应当将它们综合考虑、统一规划。在空压机选型时，其排压应略高于最高用气压力，其他压力可利用减压阀获得。空压机的总排量可这样确定：先算出主、副机启动空气瓶的总容量（由上述冷态启动次数的要求和启动一次所需的空气量确定），再依次算出其他用途气瓶的总容量，最后按“舰规”中关于充满全部气瓶时间的要求，算出空压机的总排量。在此基础上进行六项工作：按生命力要求确定空压机的最少台数，则每台的排量已知，据此可在舰船用空压机产品目录中选择适用的型号；按气压高低将气瓶合理地分成2~3档，再按用气压力、流量的要求在舰船用减压阀的产品目录中选用合适的减压阀；按生命力要求确定各档压缩空气瓶的最少量，于是每个气瓶的容量也已知，再结合舰船用的产品目录选取气瓶，按生命力、使用维护方便、利于机组和管路的布置安装等要求进行包括气路元件（如其他各种阀门、管路型材等）选型、数量与位置、管路走向、气瓶定位在内的设计工作并算出该系统的质量。如果在上述设计中发现确实布置困难，则可能重选空压机、重新划分气压档次、重选气瓶，甚至重新调整机舱规划，最后拟订安装工艺、验收方法和标准、使用方案。

虽然动力系统包含了上述13项内容，但其中最主要的是推进系统，也是重点研究对象。下面简要介绍其基本组成。

不同推进方式和传动方式的基本组成有很大的差别，从形式上看甚至迥然不同。但对于采用最多的水螺旋桨推进方式而言，其基本组成概括起来就是三大件：原动机（主机）、传动装置和螺旋桨。

原动机由其本身和为其服务的动力管系组成。

传动装置则由后传动装置和轴系组成，轴系中有一个容易被忽视然而却是必需的组成部分——传动轴通过船体（包括水密隔墙）处的水密装置。

定距桨的结构很简单，而调距桨则复杂得多，因为还包括调距动力源及其传递机构、调距机构、监控装置等。

一般舰船推进系统的基本组成如图 1.3.8 所示，这也是研究的主要对象。

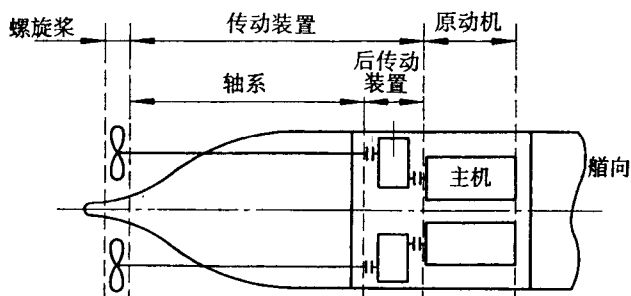


图 1.3.8 一般舰船推进系统基本组成简图

第四节 研究舰船推进系统的思路和方法

研究舰船推进系统的思路和方法也适用于现代舰船轮机工程的其他内容。

1.4.1 注重研究所需的基础

根据本学科研究的对象和任务，必须具备两方面的基础。

1.4.1.1 理论基础

本学科研究的对象和任务决定了要获得高水平的研究成果，必须具备与本学科直接有关的坚实的理论基础并能熟练地运用于研究的全过程，用以协调本系统内部以及与外部的关系。它们是系统工程、优化、决策、人-机工程等理论。这些理论基础是统领研究过程全局的。

从本学科涉及的领域看 除了必须对组成动力系统的基本元部件和组件的结构、性能特点了如指掌外 还需要现代振动理论、振声控制理论、红外抑制理论、现代控制理论、高等传热学等相关理论的支持，才能在对动力系统中某个零部件进行深入研究时获得最佳的成果。例如，目前隔离大质量机械低频振动的有效措施是主动隔振，但可能伴生混沌现象，需要运用混沌理论分析其产生的原因和避免的方法；由于机械的激振力频率会随转速而变化，必然要运用自适应控制理论以确保主动隔振装置在机械的全转速范围内均有优良的隔振效果。又如，在闭式循环柴油机系统（详见第二章第一节）中必须设置二氧化碳吸收器，为了使其具有最高的吸收效率且可付诸实施，必须熟知吸收二氧化碳的机理、影响因素；在此系统中还设有水处理系统，用于高低压和已吸收与尚未吸收二氧化碳的海水间压能的传递，其中的隔离装置很可能涉及选用现代非金属材料，因而又拓宽到化学、材料科学等领域。

可见 在研究过程中针对具体的研究对象 学习并掌握相关学科的理论 用以指导实践也同等重要。