

第五章 船舶动力装置



德育导学：

船舶动力装置为船舶提供推进力,主要有蒸汽轮机动力装置、柴油机动力装置、燃气轮机动力装置、电力推进装置、氢燃料内燃机等几种。船舶动力装置的发展与人类对自然能源的利用息息相关。在 20 世纪初期石油大规模使用以前,煤是主要燃料。上个世纪 70 年代发生的石油危机与日益严重的环境问题,使得西方发达国家逐步将目光从石油燃料向非石油燃料上转移。在此背景下,生物燃料应运而生,人们甚至制造出了以植物油为燃料的发动机。然而,碳是生物燃料的主要成分之一,使用生物燃料时仍会释放出 CO₂,并不能根除其对大气造成的污染。天然气是一种清洁能源,用作燃料时对环境的污染较小。更理想的能源是氢气,目前已经得到了全世界的广泛重视,并已在汽车发动机领域取得了不少突破,因此其在船舶动力系统中的应用也指日可待。另外,还有核动力装置,主要用于军用舰船。

为了获得更好的可靠性与灵活性,弥补耗油量高的不足,通常将几种动力装置结合在一起,即混合动力装置,如柴—燃交替动力(CODOG)、柴—燃联合动力(CODAG)、柴—电—燃交替动力(COD-LOG)以及柴—电—燃联合动力(CODLAG)等。CODOG 装置在巡航时使用柴油机,在加速时使用燃气轮机,在同一时间只使用一个推进器,传输系统简单,适用于最大速度大大高于巡航速度的场合,常用于海军护卫舰艇。而 CODAG 装置可以使用两个引擎的联合力量,在巡航速度时使用柴油机,在加速时可以并入燃气轮机,适用于大中型水面舰船。在 CODLOG 或 CODLAG 装置中,柴油机与燃气轮机在运行的同时还用于发电,以备在加速等情况下使用,具有更好的运动性。

随着经济的高速增长与社会的日益进步,人们对船舶动力系统的性能提出了更高的要求,而日新月异的科技进步为船舶动力技术的迅猛发展提供了有力的支持与保障。船舶动力装置的性能是影响船舶运行性能与整体功能的决定性因素。混合动力装置可靠性高,经济适用性强,具有良好的应用前景。大功率可调桨、大功率喷水推进等新技术的出现,使得船舶动力装置朝着大功率、系统化、多样化、高安全性以及节能环保等方向发展。

第一节 船舶动力装置的组成与分类

一、船舶动力装置的组成

船舶动力装置的主要任务是为船舶提供各种能量和使用这些能量,以保证船舶的正常航行与安全;人员的正常生活与安全;完成各种作业等。所以船舶动力装置是各种能量的产生、传递及消耗的全部机械、设备与系统的有机组合体,它是船舶的一个重要组成部分。

船舶动力装置中的机械、设备和系统,包括动力机械、工作机械、传动设备、滤清和储存设备、热交换器以及动力管系、全船管系和机舱自动化设备。

根据动力装置中各种能量的形式和特点,船舶动力装置可分以下几个部分。

1、推进动力装置

推进动力装置,也称主动力装置,是产生和提供推进动力的成套动力设备,由主机、主

锅炉、传动装置（离合器、联轴器和减速齿轮箱等）和轴系、推进器以及为这些推进设备服务的辅助设备、管系和仪表所组成。

（1）主机：用于船舶推进的热力发动机，一般有蒸汽机、汽轮机、柴油机、汽油机和燃气轮机等。对于无推进器的工程船舶，用于驱动主发电机、液压油泵或工程机械(如泥浆泵)等的发动机也称为主机。

（2）主锅炉：在蒸汽动力装置中利用燃料燃烧的热量产生蒸汽，主要供给主机做功的蒸汽发生器。现代汽轮机动力装置均采用水管式锅炉。

（3）传动装置：将主机功率传递给轴系和推进器，并根据需要起减速、倒顺车、调速、并车或分车、离合等作用的装置。传动装置主要包括减速齿轮箱、离合器、和联轴器等。

（4）轴系：从主机（或传动装置）输出法兰到螺旋桨之间的传动轴设备。它的作用是将主机的能量传给螺旋桨，螺旋桨产生的推力又传给船体，从而推动船舶运动。

（5）推进器：它将主机的能量（或风力、人力）转换成使船舶运动的能量。推进器有反作用式和主作用式两种。明轮、喷水推进器和螺旋桨等均为反作用式，即利用水给推进器的反作用力推动船舶运动，而风帆则属主作用式。螺旋桨是使用最广泛的一种推进器，可分为普通螺旋桨（即定螺距螺旋桨）和特种螺旋桨（如调距螺旋桨、导管螺旋桨、立桨等）。螺旋桨的转速越低、直径越大，效率就越高。螺旋桨的数目一般为1~4只，由船舶的类型、用途、排水、主机功率及型式等因素决定。运输船舶一般采用单桨，大、中型客船和军舰则采用双桨或多桨。

（6）辅助设备和管系：用以保证主机、主锅炉、传动装置和轴系等主要部件正常工作。包括输送油、水、气体、蒸汽等工质的油泵、水泵、风机和管道；传递热量的各种换热器；储存工作介质的容器、压缩空气瓶和箱柜等；油、水的处理和净化设备，如分油机、过滤器、水处理设备等；海水淡化装置、冷凝蒸汽的设备等。

（7）操纵调节设备和仪表：包括推进动力装置各组成部件的操纵设备、自动控制设备、监控仪表、操纵台和仪表屏等。

2、辅助动力装置

辅助动力装置为船舶的正常运行、作业、生活杂用和其他需要提供各种能量的成套动力设备。一般包括船舶电站、辅助锅炉和废气锅炉装置、供应其他能源的辅助装置和系统等。

（1）船舶电站：它是提供船上电能的动力装置，由发电机组及其辅助机械设备和管系、电缆、操纵控制设备和仪表等组成。电站除提供照明和生活用电外，主要是提供电动辅机、通信、雷达、航海仪器、报警、检测和控制设备所需的电能。电站对船舶的运行和安全至关重要。发电机组的台数和容量选择应考虑安全性和经济性，通常是设置2~3台以上的发电机组，其中包括备用机组。发电机的原动机有蒸汽机、汽轮机、柴油机和燃气轮机。在汽轮机动力装置中一般采用汽轮机，而在柴油机动力装置中则采用柴油机。为了节约能源，柴油机船舶可采用主机轴带动发电机，或利用以主机排气作为能源的小型汽轮机带动发电机，但这时须有备用电源，以便在主机停车或倒车时保证船舶的正常安全航行。此外，客船和较大的货船上还须设有独立的应急电源，如应急发电机组或应急蓄电池组。

（2）辅助锅炉和废气锅炉装置：利用燃料燃烧的热量或主机废气的能量产生蒸汽，以满足汽轮发电机或其他辅机的原动力、燃油和润滑油的加热、空气调节和取暖、生活杂用等需要的蒸汽发生装置。由辅锅炉或废气锅炉及其辅助设备和管系、调节设备和仪表等组成。

（3）供应其他能源的辅助装置和系统：一般包括供应各种液压作业高压液体的液压系统、供应作业压缩空气的压缩空气系统和热水器装置等。在有些船上（如挖泥船、消防船等）还应包括提供作业动力的装置。

3、机舱自动化设备

保证实现动力装置远距离操纵与集中控制，以改善工作条件，提高工作效率，以及减少

维修工作等。主要有自动控制与调节系统，自动操纵系统及集中监测系统。

4、全船系统

保证船舶生命力和安全及船员和旅客正常生活的设备。安全方面有防水、防火、防爆炸、防漏泄、防烫伤及防损坏等系统和设备；生活方面有通风、取暖、空调、照明、供水、卫生、制淡及冷藏等系统和设备。

5、船舶设备

主要指甲板机械，是保证船舶航行和停泊及装卸货物所需的设备，它包括锚及系船设备、舵设备、装卸设备、吊艇设备、特殊设备（如敷设、施放设备等）。

综上所述，船舶动力装置是一个很复杂的能量综合体。然而，根据船舶的用途、形式以及动力装置的复杂程度，上列设备的配备是不相同的。

二、船舶动力装置的分类

船舶动力装置中的主机和辅机都有多种不同型式，不论何种型式，其初始能量都来自燃料的燃烧。燃烧产生的热能通过各种动力装置转换为其他形式的能量，但从燃料的化学能转化来的只有三种能量：推进动力、电能和热能。因此，可以通过三种能量的产生、传递和消耗过程来描述船舶动力装置的含义和组成。

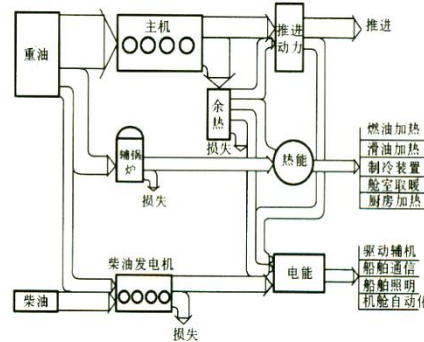


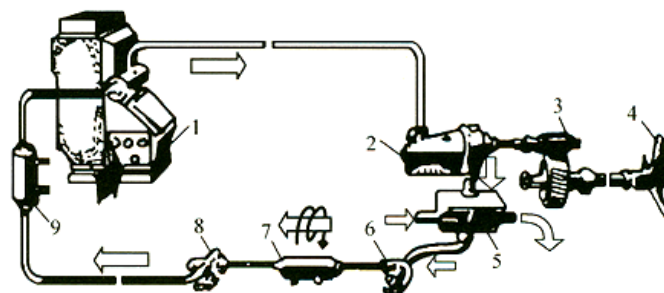
图 5-1 典型动力装置能量转换过程

船舶动力装置一般就以主机的型式来分类和定名。根据主机采用燃料的性质，燃烧的场所（原动机的内部或外部），使用的工质及其工作方式的不同，船舶动力装置可分为蒸汽、内燃和核动力三大类。

1、蒸汽动力装置

蒸汽轮机动力装置在 2000 kW 以上的民用船舶中占据很大的比例。对于军用舰艇，由于蒸汽轮机动力装置体积庞大，启动慢，不能适应所赋予它的战斗使命。目前，这类舰艇正向着以燃气轮机为主的联合动力装置的方向发展。

蒸汽动力装置由锅炉、蒸汽轮机、轴系、管系及冷凝器等设备组成。燃料的燃烧是在发动机的外部即锅炉中完成的，是外燃式动力装置。蒸汽动力装置的基本工作原理如图 5-2 所示。燃料在锅炉 1 中燃烧产生饱和蒸汽，饱和蒸汽在蒸汽过热器 2 中吸热成为过热蒸汽，过热蒸汽经过蒸汽管路 3 进入高压汽轮机 4 和低压汽轮机 5 膨胀做功，推动汽轮机叶轮旋转，再通过减速齿轮 6 带动螺旋桨 7 旋转。做过功的废气在冷凝器 8 中将热量传给冷却水，同时本身凝结成水，然后由凝水泵 10 抽出，并经补给水泵 11，通过给水预热器 12 打入锅炉 1 中的水鼓内，从而形成 k 个工作循环。冷凝器的冷却水循环系统 9 由舷外打入，在冷凝器内吸热后排出舷外。



1-蒸汽锅炉；2-蒸汽轮机；3-减速齿轮；4-螺旋桨；5-冷凝器；
6-凝水泵；7-低压预热器；8-给水泵；9-高压预热器

图 5-2 蒸汽轮机动力装置系统示意图

下面简要介绍蒸汽锅炉和汽轮机的基本结构和工作原理。

(1) 蒸汽锅炉

锅炉是利用燃料在其炉膛燃烧所产生的热量，将水加热并蒸发成具有一定温度和压力的蒸汽的设备。按其结构型式分为烟管锅炉和水管锅炉两大类。

①烟管锅炉

烟管锅炉也称火管锅炉。最早应用到船上的是烟管锅炉，它是燃料在炉膛内燃烧，产生的高温烟气经燃烧室进入烟管，包围在烟管外的水吸收烟管内烟气的热量，被加热而变成蒸汽，经主蒸汽阀进入管道送往蒸汽轮机。

②水管锅炉

水管锅炉结构。水包和汽包之间由密集的炉管束连通，当燃料在燃烧室内燃烧时，高温的火焰和烟气扫过炉管束，使管内的水迅速被加热变为蒸汽，经汽包由主蒸汽阀输出，烟气经烟道烟囱排到大气中。

和烟管锅炉相比，水管锅炉容量量少，循环蒸发率高，从点火到供汽时间短。现代蒸汽船舶动力装置几乎都采用水管锅炉。

(2) 蒸汽轮机

蒸汽轮机又称蒸汽透平，它是将蒸汽的压力能转换成机械能做功的动力机。来自锅炉的高温高压蒸汽，进入汽轮机内若干个固定的喷管并在其中膨胀，在膨胀过程中压力降低而流速增加。蒸汽的势能（高温高压）转变为动能（高流速），汽流从喷管中高速喷出冲到安装于转轮的叶片上，推动转轮高速旋转，如前所述。此时蒸汽的动能又转换为汽轮的动能而对外做功。汽轮机在大型大功率舰船上应用极为广泛。



思考与创造：蒸汽动力装置的优缺点主要有哪些？

2、内燃动力装置

以内燃机作为船舶主机的推进装置，称为内燃动力装置。燃料直接在发动机气缸内或燃烧室中燃烧，将高温高压燃气的热能转化为机械能做功。

根据内燃机的工作方式和特点，可分为往复式柴油机和回转式燃气轮机两种。

(1) 往复式船舶柴油机

往复式柴油机的基本工作原理是使燃油直接在发动机的气缸中燃烧，将燃油的化学能转变成热能，从而生成高温高压的燃气，因燃气膨胀，推动活塞运动，通过曲柄连杆对外做功，将热能转变为机械能。

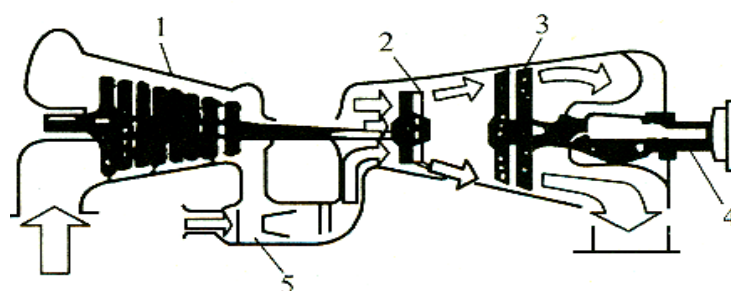
(2) 燃气轮机

目前，燃气轮机装置在军用舰艇和气垫船上应用较为广泛。民用船舶采用燃气轮机也日

见增多。燃气轮机又称燃气透平。它的基本结构和工作原理与蒸汽轮机相似，只是作功的工质不同。蒸汽轮机的工作介质是蒸汽，燃气轮机的工作介质是燃气。燃气轮机是利用燃料在燃烧室内燃烧，所产生的高温燃气进入燃气轮机推动叶轮旋转作功。它主要由以下三部分组成：

- ①压缩机，用来压进入燃烧室 3 的空气；
- ②燃烧室，为燃料燃烧产生燃气的空间；
- ③气轮机，将燃气的热能转变为机械能对外作功。

图 5-3 为燃气轮机动力装置工作原理。供燃烧的空气首先通过进气管进入压气机 1，经压缩后压力及温度升高，然后进入燃烧室 5，与喷入燃烧室中的燃油相混合，并燃烧成高压、高温的燃气。这股高压、高温的燃气流经高压燃气轮机 2 及低压燃气轮机 3 时膨胀做功，推动高压燃气轮机带动压气机 1 一起旋转，同时推动低压燃气轮机经输出轴 4 带动螺旋桨旋转。



1-压气机；2-高压燃气轮机；3-低压燃气轮机；4-输出轴；5-燃烧室

图 5-3 燃气轮机动力装置原理图



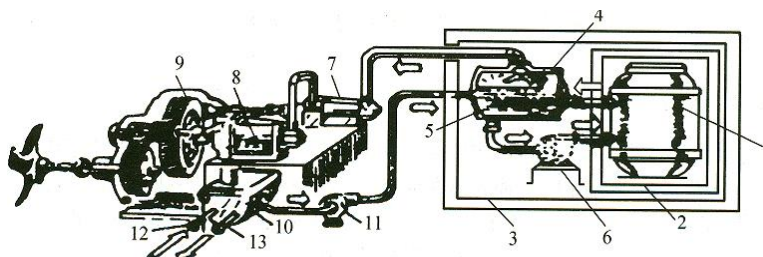
思考与创造：简述为什么燃气轮机无法在现代船舶上得以广泛应用？

3、核动力装置

核动力装置是以原子核的裂变反应所产生的巨大能量通过工质（蒸汽或燃气）推动汽轮机或燃气轮机工作的一种装置。它利用核燃料在反应堆内的核裂变反应，产生的巨大热量用来加热反应堆冷却剂液体（或气体）。冷却剂吸收热能后，再直接或间接地导入推进装置以产生推进动力。核反应堆的作用相当于锅炉的炉膛和燃烧室，所以有人把它叫做“原子锅炉”。不同的是在普通锅炉内，燃料通过燃烧把化学能转变成热能，而在核反应堆内，核燃料是通过核裂变反应把原子能转变为热能。

现有的核动力舰艇或民用船舶，基本上都采用压力水型的反应堆。它是以普通压力水作冷却剂（也称载热剂），以蒸汽作为工作介质，推动汽轮机工作。

图 5-4 为核动力装置示意图。核反应堆有两个回路，核燃料在反应堆中裂变反应时，放出了巨大的热量，被一回路中的载热介质—水所吸收。为了防止吸热后水的汽化，把水加压到 $1.01 \times 10^6 - 2.02 \times 10^6 \text{ Pa}$ ，故称为压水型反应堆。目前，舰艇及民用船舶所采用的几乎全是压水型反应堆。一回路的水被加热后，通过热交换器，使二回路的水加热变成蒸汽，推动高压汽轮机及低压汽轮机运转，并经减速齿轮箱带动螺旋桨转动。



1-反应堆；2-次屏蔽物；3-二次屏蔽物；4-热交换器；5-回路加热蛇形管；6-回路泵；7-高压汽轮机；8-低压汽轮机；9-减速齿轮箱；10-冷凝器；11-二回路泵；12-海水入口；13-海水出口

图 5-4 核动力装置示意图



思考与创造：核动力装置的优缺点主要有哪些？

4、联合动力装置

联合动力装置是由两种不同形式的推进装置组成。通常在低速工况（如巡航工况）下航行时，由一个推进装置单独工作；而高速直至全速工况航行时，由另一推进装置或两个推进装置共同工作。在低速工况下，单独工作的推进装置称为巡航装置。在高速工况下，单独工作或者与巡航装置共同工作的推进装置称为加速装置。

联合动力装置主要用在舰艇上，如大型高速炮艇、猎潜艇、护卫舰、驱逐舰和巡洋舰艇等。目前，以燃气轮机为主导的联合动力装置主要有以下三类。

（1）蒸汽-燃气联合动力装置

它是以小型蒸汽轮机作为巡航装置，燃气轮机作为加速装置的一种联合动力装置。与蒸汽轮机动力装置相比较，无论从轻重尺寸上，还是启动加速性能上，都有了很大的提高。

（2）燃气-燃气联合动力装置

有燃气-燃气联合使用及燃气~燃气交替使用两种形式。

这种装置的巡航机及加速机均为燃气轮机。巡航燃气轮机可以经济地提供巡航所需要的低功率，而在高航速下用加速机组运行。该系统具有操纵灵活、功率大、质量轻的优点，但装置的造价昂贵，而且进排气道占用了甲板很大的宝贵空间。

（3）柴油-燃气联合动力装置

有柴油-燃气联合使用及柴油-燃气交替使用两种形式。

这种装置把柴油机作为巡航机组，燃气轮机作为加速机组。它具有耗油率低、加速性好、可靠性好等优点，目前是比较合理的联合动力装置。



拓展学习：

三种动力装置的综合比较

项目	蒸汽轮机	核动力	燃气轮机
单机功率	大	大	较大
重量、尺寸	大	最大	轻、小
加速性	尚可	尚可	优
操纵性	尚可	尚可	优
续航力	尚可	大	尚可
振动及噪声	小	小	小
维护保养	尚可	较差	优

第二节 船用柴油机

一、柴油机的概述

柴油机是内燃机的一种，而内燃机又是热机的一种。所谓热机是指把热能转换为机械能的动力机械。热机根据燃料燃烧场所的不同，可分为外燃机和内燃机两大类。外燃机中燃料的燃烧发生在气缸的外部，而燃烧产物（工质）膨胀做功是在气缸内部进行的，如蒸汽机、汽轮机等，外燃机存在着工质传递过程的热损失。内燃机燃料的燃烧（化学能转变为热能）发生在机器气缸的内部，它以燃气为工质，直接利用燃烧产生的高温高压燃气在气缸中膨胀做功（热能转换为机械能）。由于内燃机的两次能量转换过程都发生在气缸内部，能量损失小，所以其热效率较高。典型的内燃机有柴油机、汽油机等。

柴油机是以柴油为燃料压缩发火的往复式内燃机。它使用柴油或劣质燃油做燃料，在气缸内与空气混合形成可燃混合气，缸内燃烧采用压缩发火，将燃油的化学能转变为热能，并利用燃气为介质，再将热能转变为机械能，向外输出做功，驱动工作机械。

柴油机热效率高，功率范围宽广，具有启动迅速、维修方便、运行安全、使用寿命长等特点，因而得到广泛应用，在国民经济和国防建设中处于重要地位。柴油机在船舶上除用作主推进发动机（主机）外，还广泛用作发电机的原动机、救生艇发动机、应急发电机原动机和应急消防泵原动机等。

1、柴油机的总体构造

柴油机由主要部件（包括固定部件和运动部件）、配气机构、燃油系统、润滑系统、冷却系统、起动系统与换向系统、调速装置、增压系统等组成，这些机构和系统保证了柴油机连续不断地正常工作。

（1）主要部件

柴油机的主要部件按工作时所处状态不同，可分为固定部件和运动部件两大类。如图 5-5 所示，固定部件包括机座，固定部件主要由气缸盖、气缸套、机体、机座、主轴承等构成柴油机本体和运动件的支承，并和有关运动部件配合构成柴油机的工作空间。

柴油机的主要部件按工作时所处状态不同，可分为固定部件和运动部件两大类。如图 5-5 所示，固定部件包括机座 1、机体 4、气缸套 6、气缸盖 7 和主轴承 3 等，机座 1 支承着柴油机所有部件的质量，并与船体上的基座固定连接，主轴承 3 置于机座上。机体 4 内装气缸套 6，机体外安置各种附件，如喷油泵等。机座、机体、气缸盖由下而上依次相叠并用螺栓紧固，从而组成柴油机的骨架。气缸盖 7、气缸套 6 及气缸套内的活塞组件 8 三者组成燃烧室和工作空间。气缸盖上装有进排气阀 17、18 及其摇臂机构 16、喷油器 2、示功阀、空气启动阀等附件。

运动部件包括活塞 8、活塞销 9、连杆 10、曲轴 13 和飞轮等；活塞 8 套装在气缸套 6 内，并沿气缸套内壁作往复运动；连杆的小端与装在活塞中的活塞销 9 铰接，而其大端与支撑在主轴承上的曲轴 13 铰接。柴油机通过这样的机构（称为曲柄连杆机构）将活塞的往复运动转变成曲轴回转运动，输出动力。

（2）配气机构

配气机构的功用是按工作循环的要求，定时地启闭进、排气阀，排出气缸的废气，吸入新鲜气体，完成换气过程。其组成主要有气阀组件、气阀传动组件、凸轮轴和凸轮轴传动机构等。

（3）燃油系统

柴油机燃油系统的功用是将符合使用要求的燃油输送并以一定的压力，定时、定量地喷入气缸，与缸内的空气形成可燃混合气。它是由油柜（或柴油箱）、柴油滤清器、燃油输送

泵和加热设备等组成的低压系统，进行燃油储存净化输送；由喷油泵、高压油管和喷油器等组成喷射高压系统，将规定量的燃油以规定的雾化质量喷入气缸。

(4) 润滑系统

润滑系统的功用是在柴油机运转时，连续不断地将润滑油输送到各摩擦表面，以减小零件的磨损和摩擦阻力。在柴油机中需要润滑的主要零件有：曲轴的主轴颈和曲柄销，活塞和汽缸，凸轮轴承及凸轮，传动轴轴承及传动齿轮等。润滑系统的组成主要有润滑油泵、滑油滤清器和滑油冷却器等。

(5) 冷却系统

冷却系统的功用是将柴油机受热机件的热量散发出去，以保证内燃机正常的工作温度。

柴油机冷却方式分为风冷和水冷两大类，风冷多用于小型柴油机上，船用柴油机多采用水冷却系统。

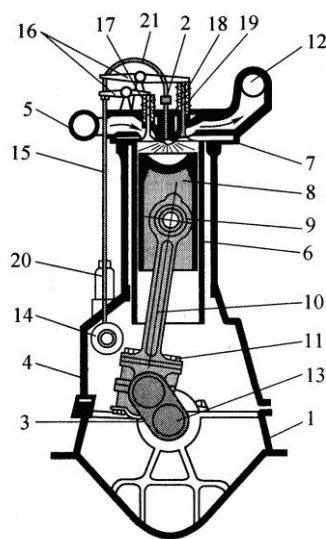
(6) 起动换向调速装置与操纵系统

起动装置的功用是使静止的柴油机起动运转。柴油机最常用的起动方法有三种：手起动、电力起动、压缩空气起动。船用柴油机大多数采用压缩空气起动。换向装置用来改变柴油机的转向。调速装置的作用是在柴油机各种工况运转中，当外界负荷发生变化时能够自动地调节喷油泵的供油量，以保证柴油机在规定的转速下稳定地运转。

操纵系统是对柴油机的起动、换向、调速进行集中控制操纵。

(7) 增压系统

柴油机增压系统的作用是将新鲜空气在内燃机工作气缸外面事先进行压缩，提高进气压力以提高进入气缸内的空气(或可燃混合气)的密度，供更多的燃料进行燃烧，从而提高发动机的功率。



1-机座；2-喷油器；3-主轴承；4-机体；5-进气管；6-气缸套；7-气缸盖；8-活塞；9-活塞销；10-连杆；11-连杆螺栓；12-排气管；13-曲轴；14-凸轮轴；15-推杆；16-摇臂；17-进气阀；18-排气阀；19-气阀弹簧；20-高压喷油泵；21-高压油管

图 5-5 柴油机的基本结构

2、柴油机的基本结构参数

图 5-6 为单缸柴油机简图。表示柴油机工作过程的基本术语有：

- (1) 上止点：活塞在气缸中运动到离曲轴回转中心线最远的位置。
- (2) 下止点：活塞在气缸中运动到离曲轴回转中心线最近的位置。
- (3) 活塞行程 (S)：活塞行程也称为活塞冲程，指上、下止点之间的距离。由图 5-2 可

见，活塞行程与曲柄半径之间的关系为： $S=2R$ 。活塞移动一个行程，相当于曲轴转动 180° CA（曲轴转角）。

（4）曲柄半径（ R ）：曲轴回转中心线与曲柄销中心线之间的距离。

（5）缸径：气缸的内径（ D ）

（6）压缩室容积（ V_c ）：活塞位于上止点时，活塞顶部与缸盖间的容积，又称燃烧室容积。

（7）气缸工作容积（ V_h ）：活塞在气缸中从上止点移动到下止点时，其顶面所扫过的容积。柴油机所有汽缸工作容积的总和，称为柴油机的排量 V_H 。

（8）气缸总容积（ V_a ）：活塞在下止点时，其顶部与缸盖之间的空间容积。它等于燃烧室容积与气缸工作容积之和，即： $V_a=V_h+V_c$

（9）压缩比（ ϵ ）：气缸总容积与压缩室容积之比值。

压缩比是柴油机的一个重要性能参数，它表示气缸内空气被活塞压缩的程度。压缩比越大，压缩终点的压力和温度就越高，燃油就越容易燃烧，柴油机就越容易起动。压缩比对柴油机的燃烧、热效率、起动性能和机械负荷都有一定影响，其大小随柴油机的型式而定，一般柴油机的压缩比在 $13\sim 22$ 之间。

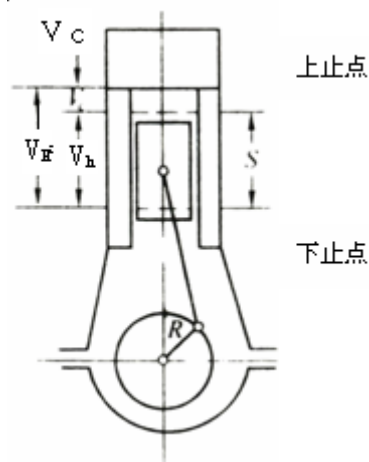


图 5-6 柴油机基本结构参数



思考题：柴油机的主要技术指标有哪些？

3、船舶柴油机的类型

根据柴油机所使用的场合、目的不同，对其要求也不同，因而种类繁多。其主要分类有以下几种。

（1）按气缸排列方式分

船用柴油机通常均为多缸柴油机。其气缸的排列有直列式、V型和W型等。如图 5—7 所示，为直列式柴油机与V型柴油机。

具有两个或两个以上直列缸，并且一列布置的柴油机称为直列式柴油机。具有两个或两个以上气缸，中心线夹角呈V型，并共用一根曲轴输出动力的称为V型柴油机。

直列式柴油机气缸数一般不超过 12 缸，气缸数超过 12 缸通常用V型机，V型机一般用于中、高速柴油机。

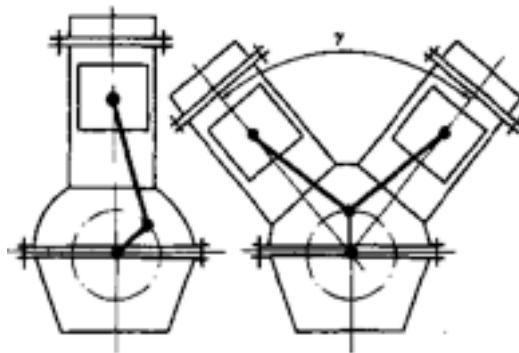


图 5-7 直列式柴油机与V型柴油机

（2）按冲程数分

根据柴油机工作时，完成一个工作循环所需要的冲程数，柴油机可分为四冲程和二冲程

柴油机两类。

(3) 按冷却方式分

根据柴油机气缸的冷却方式，柴油机可分为水冷和风冷两种。

(4) 按转速分

柴油机的转速可以用曲轴转速 n 或活塞平均速度 C_m 来表示。其指标一般为：

低速机	$n \leq 300 \text{ r/min}$	$C_m = 6.0 \sim 7.2 \text{ m/S}$
中速机	$300 < n \leq 1000 \text{ r/min}$	$C_m = 7.0 \sim 9.4 \text{ m/S}$
高速机	$n > 1000 \text{ r/min}$	$C_m = 9.0 \sim 14.2 \text{ m/S}$

中、低速柴油机一般用作船舶的主机。高速机一般用作发电机的原动机、救生艇发动机、应急发电机的原动机和应急消防泵原动机等。

(5) 按进气是否增压分

柴油机根据进气是否增压分：非增压柴油机和增压柴油机。增压柴油机按增压压力大小又可分为：低增压 $P_k < 0.15 \text{ MPa}$ （进气空气被压后达到的压力称为增压压力，一般以 P_k 表示。），中增压 $P_k = 0.15 \sim 0.25 \text{ MPa}$ ，高增压 $P_k = 0.25 \text{ MPa} \sim 0.35 \text{ MPa}$ ，超高增压 $P_k > 0.35 \text{ MPa}$ 。

(6) 按柴油机本身能否逆转分

柴油机根据本身能否逆转分为：可逆转柴油机和不可逆转柴油机。可逆转柴油机可由操纵机构改变自身转向。不可逆转柴油机其曲轴仅能按同一方向转动。

(7) 按柴油机在船舶的布置位置分

从柴油机功率输出端向自由端看，正车时沿顺时针旋转的柴油机称为右旋机，一般布置在右舷。

从柴油机功率输出端向自由端看，正车时沿逆时针旋转的柴油机称为左机，一般布置在左舷。

单机布置的柴油机通常为右机。

(8) 按柴油机的活塞与连杆连接方式分

柴油机根据活塞与连杆连接方式分：筒形活塞式和十字头式柴油机

筒形活塞式柴油机是用活塞销连接活塞与连杆，如图 5-8 所示。十字头式柴油机用沿着导板滑动的十字头连接活塞与连杆，如图 5-8 所示。

4、船舶柴油机的型号

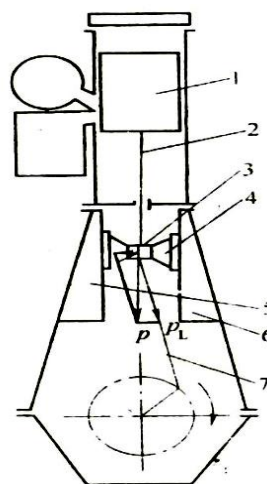
船舶柴油机有很多种类型，它们具有不同的结构和性能。为了便于柴油机的选用和使用，每一柴油机制造厂都将其产品用一组字母或数字组成的字符串来命名柴油机，这就是柴油机的型号。常用柴油机的型号含义介绍如下：

(1) 我国国产船舶柴油机的型号

① 国产大型低速柴油机型号

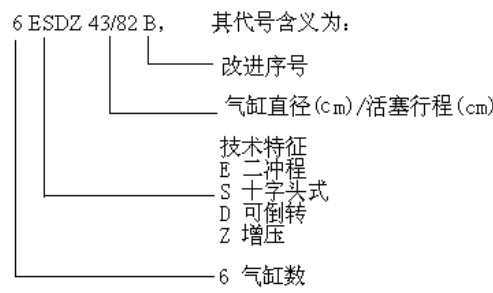
国产大型低速柴油机型号表示方式，主要包括：气缸数、技术特征、气缸直径和活塞行程、改进序号等。

例如：



1-活塞；2-活塞杆；3-十字头；4-滑块；
5-正车导板；6-倒车导板；7-连杆

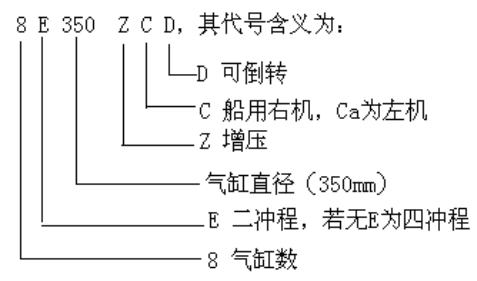
图 5-8 十字头柴油机结构简图



②国产中小型柴油机

国产中、小型柴油机系列品种很多，其型号表示方式，主要包括：气缸数、技术特征、气缸直径和活塞行程、设计变型等。气缸数、气缸直径用数字表示；冲程数用 E 表示二冲程，如无 E 表示四冲程；技术特征：C 表示船用右机，Ca 表示船用左机；Z 表示增压；G 表示高增压；D 表示可倒转或发电；V 表示气缸 V 型排列；

例如：



(2) 常见的国外船用柴油机

国外各柴油机制造厂沿用该厂历史上机型的发展型号，并在机型发展中不断更改型号以资识别，我国对外开放后，引进多种国外名牌船用柴油机专利许可证，这些柴油机一般沿用专利厂的原型号标志，并在机名前附注我国的厂名以示区别。如 HD-B&W、L35MC/MCE 型柴油机，其中 HD 表示上海沪东造船厂，B&W 表示 MAN-B&W 公司。表 5-1 列出了国外典型船用柴油机的型号。

表 5-1 典型国外船用柴油机的型号

国家	公司	机型及型号含义		技术特征
瑞士	Sulzer	6RTA84M	6 — 气缸数 R、T、A 技术特征 84 — 气缸直径 (cm) M — 设计改进代号 (N: 新型, M: 改进型, A: 变型)	R—焊接结构、二冲程、十字头式 T—超长冲程, 直流扫气 A—机型发展序号
德国	MAN	K9Z60/105E	9 — 气缸数 K、Z 技术特征 60 — 气缸直径 (cm) 105— 活塞行程 (cm) E — 设计改进代号	K—十字头式 Z—二冲程、单作用
丹麦	B&w	1284VT2BF-180	12 — 气缸数 84 — 气缸直径 (cm) VT2—二冲程、单作用、十字头式 B — 设计特征 F — 船用	

德国	MAN-B&W 公司	6L60MC/MCE	6 —气缸数 L —冲程形式(L: 长冲程, S: 超长冲程) 60 —气缸直径(cm) MC/MCE —技术特征	MC —船用等压增压 E —经济型
日本	三菱重工 公司	6UEC85/160C	6 —气缸数 UEC —技术特征 85/160 —气缸直径(cm)/ 活塞行程(cm) C —改进型号	U —二冲程、直流扫气 E —废气涡轮增压 C —十字头式

5、柴油机的的主要技术指标

柴油机的的主要技术指标包括：动力性指标、经济性指标、重量和外形尺寸指标等。

(1) 动力性指标

动力性指标是柴油机对外作功能力的指标。主要有：功率，平均有效压力，转速和活塞平均速度。



补充学习：

柴油机功率

柴油机单位时间内所作的功称功率, 它包括：

1、有效功率 N_e

指示功率：柴油机在气缸中单位时间内所作的功。

有效功率：指示功率减去消耗于内部零件的摩擦损失、泵气损失和驱动附件等机械损失后，从柴油机曲轴输出的功率称为有效功率 N_e 。

2、标定功率：柴油机出厂时铭牌上写明厂方标定的有效功率。

①15 分钟功率：柴油机允许连续运转 15 分钟的最大有效功率。适用于需要较大功率储备或瞬时需要发出最大功率的军用车辆和快艇等用途的柴油机。

②1 小时功率：内燃机允许连续运转 1 小时的最大有效功率。适用于需要一定功率储备以克服突增负荷的船舶主机、机车等用途的柴油机。

③12 小时功率：内燃机允许连续运转 12 小时的最大有效功率。适用于需要在 12h 内连续运转而又需要充分发挥功率的拖拉机、移动式发电机组和铁道牵引等用途的柴油机。

④持续功率：内燃机允许长期运转的最大有效功率。适用于需要长期连续运转的固定动力、船舶电站等用的途柴油机。

3、其它有效功率

①升功率 N_L ：每升气缸工作容积发出的有效功率。

②单位活塞面积功率 N_A ：衡量燃烧室组件热负荷的尺度，表征发动机的热负荷特性。

③经济功率：在燃油消耗率较少的功率区运转时的有效功率。

④极限功率：冒黑烟时的功率。



补充学习：

平均有效压力 p_e

作用于活塞顶上的假想的大小不变的压力，它使活塞移动一个行程所作的功，等于每循环所作的有效功。

有效功率也可以用下式表示： $N_e = i V_h p_e n / 30 t \text{ kW}$

式中： i —气缸数；

V_h —气缸工作容积 (L)；

p_e —平均有效压力 (MPa)；

n —柴油机转速 (r/min)；

t —发动机冲程数，对于四冲程柴油机 $t=4$ ，对于二冲程柴油机 $t=2$ 。

于是： $p_e = 30 t N_e / i V_h n$

可见 p_e 代表了单位气缸工作容积所发出的功率。 p_e 是一个很重要的指标，它不仅说明工作循环进行的好坏，而且还包括了机械损失的大小，在其他相同的条件下， p_e 值越高，柴油机输出的有效功率就越多。 p_e 的数值，一般如下：

非增压柴油机：0.5~0.8 MPa；

增压柴油机：0.8~3.2 MPa。



补充学习：

转速和活塞平均速度

1、转速：柴油机曲轴每分钟的转速，用 r/min 表示。转速对柴油机性能和结构影响很大，而且转速范围十分宽广 (86~6000 r/min)，其中两个转速值得注意：

①最高转速 $n_{\max}$ ：受调速控制时，柴油机所能达到的最高转速。

②最低稳定转速 $n_{\min}$ ：柴油机能稳定工作的最低转速。

转速的工作范围： $n_{\min} \leq n \leq n_{\max}$

2、活塞平均速度 C_m ：活塞在气缸中运动的速度是不断变化的，在行程中间较大，在止点附近速度较小，止点处为零。若已知柴油机的转速 n 时，则活塞的平均速度可由下式计算：

$$C_m = 2 \cdot S \cdot n / 60 = S n / 30 \text{ m/s}$$

式中： S —行程 (m)。

活塞平均速度是表征柴油机高速性能的一项主要指标。

(2) 经济性指标

经济性指标一般指柴油机的燃油消耗率和滑油消耗率。

①燃油消耗率

燃油消耗率简称比油耗或耗油率，它是柴油机工作时每千瓦小时所消耗燃油量的克数，单位为 g/kW·h。以指示功率计的每千瓦小时的燃油消耗率称为指示燃油消耗率，以有效功率计的每千瓦小时的燃油消耗率称为有效燃油消耗率。前者表示柴油机的经济性的指示指标，后者表示柴油机经济性的有效指标。在柴油机产品说明书中所指的燃油消耗率都是指有效燃

油消耗率。可以在试验台上测出扭矩 M_e 和转速 n ，同时计算出每小时的燃油消耗量 $B(\text{kg/h})$ 和有效功率 N_e 后，用下式求出有效燃油消耗率 b ：

$$b = (B/N_e) \times 1000 \quad \text{g}/(\text{kW} \cdot \text{h})$$

现代柴油机的 b 值 $[\text{g}/(\text{kW} \cdot \text{h})]$ 范围大致如下：

高速柴油机： $b=212\sim 251$ ；

中速柴油机： $b=197\sim 281$ ；

低速柴油机： $b=160\sim 190$ ；

②滑油消耗率

柴油机在标定工况时，每千瓦小时所消耗滑油量的克数，称为滑油消耗率，单位为 $\text{g}/\text{kW} \cdot \text{h}$ 。

柴油机的滑油是在机内不断循环使用的，其消耗的主要方式有：

I 滑油经活塞环窜入燃烧室或由气阀导管流入缸内烧掉，未烧掉的则随废气排出。

II 有一部分燃油在曲轴箱内雾化或蒸发，而由曲轴箱通风口排出。

一般为 $0.5\sim 4\text{g}/\text{kW} \cdot \text{h}$ 。

(3) 柴油机的重量和外形尺寸

柴油机的重量和外形尺寸是评价柴油机结构紧凑性和金属材料利用率的一项指标。各种类型的柴油机对重量和外形尺寸的要求是不不同的。

①重量指标

柴油机的重量指标通常以比重量来衡量。比重量 (g_w) 又称单位功率重量，是柴油机的净重 (G) 与标定功率 N_e 的比值，即：

$$g_w = G/N_e \quad \text{kg}/\text{kW}$$

净重量不包括滑油，燃油，冷却水及其它未直接装在内燃机本体上的附属设备与辅助系统的重量。

比重量的大小，除了和柴油机的类型、结构、附件的大小有关外，还和所用的材料和制造技术有关。

各种用途的柴油机比重量 (kg/kW) 的一般范围如下：

船用高速机： $1.4\sim 3.7$ ；

船用中速机： $10\sim 19$ ；

船用低速机： $20\sim 35$ 。

②外形尺寸指标

外形尺寸指标又称紧凑性指标，是指柴油机总体布置紧凑程度的指标。通常用柴油机的单位体积功率来衡量。

单位体积功率 N_v 是柴油机的标定功率 N_e 与柴油机外廓体积 V 的比值，即

$$N_v = N_e/V \quad \text{kW}/\text{m}^3$$

式中 $V=L \cdot B \cdot H$ ，其中 L 、 B 、 H 为柴油机的长、宽、高尺寸。

二、柴油机的工作原理

柴油机的基本工作原理是采用压缩发火方式使燃料在气缸内部燃烧，以高温、高压的燃气工质在气缸中膨胀推动活塞作往复运动，再通过活塞—连杆—曲柄机构将活塞往复运动转变为曲轴的回转运动，从而带动工作机械。

根据柴油机的工作特点，燃油在柴油机气缸中燃烧作功必须通过进气、压缩、燃烧、膨胀和排气五个过程。柴油机每完成从进气到排气这五个过程一次称为一个工作循环，然后进入下一个工作循环，从而周而复始的运行下去。

柴油机的一次工作循环完成两次能量的转换有几个热力过程。

- ①进气过程一向汽缸内充入足够的新鲜空气，为燃油的燃烧提供氧气。
- ②压缩过程一升高汽缸内气体的温度和压力，加速喷入汽缸内的油滴的蒸发及其油气与空气混合，为燃油自行燃烧创造良好条件。
- ③燃烧和膨胀过程一将柴油喷散成很细的雾状，使柴油与新鲜空气均匀混合的燃烧。高温高压的燃气膨胀对活塞做功，并借助于曲柄连杆机构，把活塞往复运动转为曲轴的回转运动。
- ④排气过程一把做功后的废气排出汽缸之外，使汽缸能再进行进气、压缩、和排气，以保证柴油机能连续地进行工作。

如果柴油机的一个工作循环分别在四个活塞行程中完成（即曲轴回转 720°CA ），称为四冲程柴油机。若柴油机的一个工作循环分别在二个活塞行程中完成（即曲轴回转 360°CA ），称为二冲程柴油机。

1、四冲程柴油机的工作原理

如图 5-9 所示，四冲程柴油机工作原理示意图。

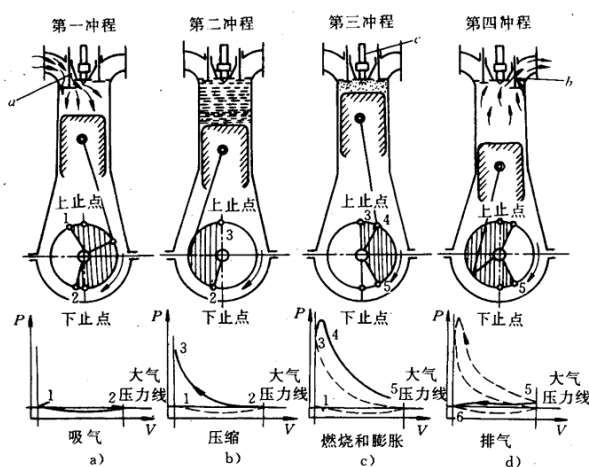


图 5-9 四冲程柴油机工作原理

第一行程：进气冲程

进气冲程活塞从上止点下行，进气阀 a 已打开，由于气缸容积的不断增大，缸内压力下降，依靠缸内气体与大气的压差，新鲜空气经进气阀 a 被吸进气缸。进气阀一般均在活塞到达上止点前即提前打开（曲柄位于点 1），进气阀提前在上止点前开启的曲轴角度称进气阀开启提前角，活塞到下止点后延迟关闭（曲柄位于点 2），进气阀延迟在下止点后关闭的曲轴角度称进气阀关闭延迟角。曲轴转角 ϕ_{1-2} （图中阴影所占的角度表示进气持续角）为进气冲程，约为 $220^{\circ} \sim 250^{\circ}\text{CA}$ ，其作用是使气缸内充满新鲜空气。

第二行程：压缩行程

活塞从下止点向上运动，自进气阀 a 关闭（点 2）开始对气体进行压缩，一直到活塞到达上止点（曲柄到达点 3）为止。第一行程吸入的新鲜空气经压缩后，压力增高到 $3 \sim 6\text{MPa}$ ，温度升至 $600 \sim 700^{\circ}\text{C}$ （燃油的自燃温度为 $210 \sim 270^{\circ}\text{C}$ ）。压缩终点的压力和温度分别用符号 p_c 和 t_c 表示。在压缩过程的后期，喷油器在活塞运行到上止点前某一角度（喷油提前角）将燃油喷入气缸，使高压燃油与高温空气混合，并自行发火燃烧。曲柄转角 ϕ_{2-3} 表示压缩过程持续角，约为 $140 \sim 160^{\circ}\text{CA}$ 。压缩行程的作用是通过活塞的压缩，使气缸内的空气达到一定的压力和温度，从而为燃油的燃烧和工质的膨胀做功创造条件。

第三行程：燃烧和膨胀行程

活塞在上止点附近，由于燃油猛烈燃烧，使气缸内的压力和温度急剧升高，压力约达 $5 \sim 8\text{MPa}$ ，（最高可达到 14MPa 以上），温度约为 $1400 \sim 1800^{\circ}\text{C}$ 或更高些。将燃烧产生的最高压

力称最高爆发压力, 用 P_z 表示, 最高温度用 t_z 表示。高温高压的燃气膨胀推动活塞下行而作功。由于气缸容积逐渐增大, 而压力下降, 在上止点后的某一时刻 (曲柄位于点 4) 燃烧基本结束, 膨胀一直持续到排气阀 b 开启时结束。膨胀终了时缸内气体压力 P_b 约为 $0.25 \sim 0.45 \text{ MPa}$, 温度 t_b 约为 $600 \sim 700^\circ \text{C}$ 。由于排气阀流通截面积在开启过程中只能逐渐地增大, 因此与进气阀相同, 排气阀 b 总是在活塞到达下止点前 (点 5) 提前开启, 实现充分排气。曲柄转角 ϕ_{3-4-5} 表示燃烧和膨胀过程持续角, 约为 $140 \sim 160^\circ \text{ CA}$ 。其作用是将燃油燃烧产生的热能转变成机械能向外输出。

第四行程: 排气行程

为使下一循环的新鲜空气再次进入, 应先将气缸内的废气排出。在上一行程末, 排气阀 b 开启时活塞尚在下行, 废气靠气缸内外压力差, 经排气阀排出, 当活塞由下止点上行时, 剩余废气可被上行活塞强行推挤出气缸, 此时的排气过程是在略高于大气压力 (约 $1.05 \sim 1.1$ 大气压) 且在压力基本不变的情况下进行的。为使缸内废气排出得更干净, 并减少排气过程的耗功, 排气阀一直延迟到上止点后 (点 6) 才关闭。曲柄转角 ϕ_{5-6} 表示排气过程持续角, 约为 $230 \sim 260^\circ \text{ CA}$ 。其作用是将作功后的废气排出气缸。

进行了上述四个行程后, 柴油机就完成了个工作循环。当活塞继续运动时, 另一个新的工作循环又按同样的顺序重复进行。

四冲程柴油机每完成一个工作循环, 曲轴要回转两转 (凸轮轴回转一圈)。每个工作循环中只有燃烧膨胀行程对外作功, 其它三个行程都是为燃烧膨胀行程服务的, 都需要由外界供给能量。因此柴油机常做成多缸的, 这样, 进气、压缩、排气行程所需的能量可由其它处于作功行程的气缸供给。如果是单缸柴油机, 那就由较大的飞轮储存和提供能量。

图 5-9 下方 $p \sim V$ 图表示一个工作循环内气缸中气体的压力随活塞位移 (或气缸容积) 变化的情况, 称 $p \sim V$ 示功图。可用来研究柴油机工作过程进行的情况。并可用来计算柴油机一个工作循环的指示功。

2、二冲程柴油机工作原理

在二冲程柴油机中, 曲轴每转一转, 即活塞每两个冲程就完成一个工作循环。没有单独的进气和排气过程, 其进气和排气过程几乎重叠在下止点前后 $1200 \sim 1500$ 内同时进行。因此, 二冲程柴油机结构上有别于四冲程柴油机, 这种二冲程柴油机的构造主要有以下特点:

(1) 在气缸套下部设扫气口 (即进气口)、排气口, 进排气口的打开和关闭, 由气缸内运动的活塞来控制; 或气缸套下部设扫气口, 气缸盖上设排气阀的换气机构, 进气口的启闭, 由气缸内运动的活塞来控制, 排气口的启闭由排气阀控制。

(2) 而且还必须设置一个专门的扫气泵 (增压器) 以提高进气压力, 使进气能从扫气口进入气缸并清扫废气出气缸。

现以扫气泵为罗茨式泵的二冲程柴油机为例来说明其工作原理。

如图 5-10 所示, 采用扫气口—排气口换气形式。机带扫气泵 b 设在柴油机一侧, 空气由泵的吸入口 a 吸入, 经压缩后储存在具有较大容积的扫气箱 d 中并保持一定压力 ($105 \sim 140 \text{ kPa}$)。

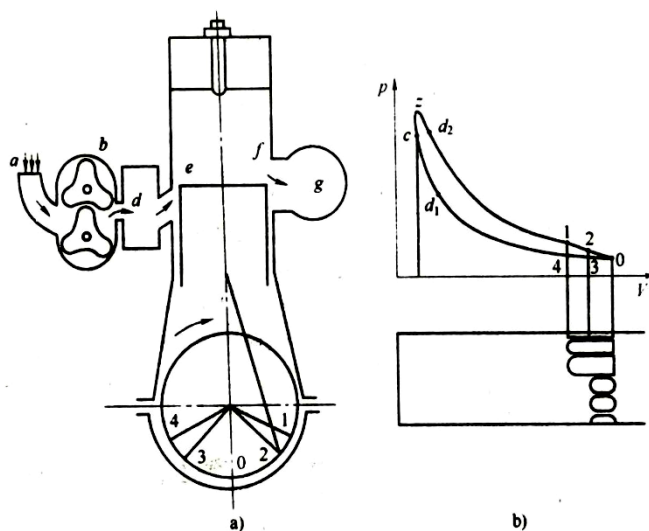


图 5-10 二冲程柴油机工作原理图

第一冲程——活塞从下止点向上止点运动。

当活塞处于下止点时，进气口 e 和排气口 f 早已打开，扫气箱 d 中的压缩空气便进入气缸内，并冲向排气口 f，清除气缸内废气，同时也使气缸内充满新空气。当活塞由下止点向上止点运动时，进气口 e 首先由活塞关闭，然后排气口 f 也关闭；空气在气缸内受到压缩。

第二冲程——活塞从上止点向下止点运动。

活塞行至上止点前，喷油器将燃油喷入燃烧室中，压缩空气所产生的高温，立刻点燃雾化的燃油，燃烧所产生的压力，推动活塞下行，直到排气口再打开时为止。燃烧后的废气在内外压力差的作用下，自行从排气口 f 排出。当进气口 e 被活塞打开后，气缸内又进行扫气过程。曲轴每转一转，活塞走了两个冲程就完成一个循环，因此叫二冲程柴油机。

图 5-10(b)所示的二冲程柴油机的 P-V 示功图，其曲线 1-2-0-3-4 即为它的排气、进气过程（称换气过程）。曲线形状明显不同于四冲程柴油机。二冲程柴油机的 P-V 示功图上，喷油在上止点前 d₁ 开始，在上止点 c 开始燃烧，到点 d₂ 时燃烧结束。



补充学习：

二冲程柴油机与四冲程柴油机的比较

与四冲程柴油机相比，二冲程柴油机有如下优点：

(1) 二冲程柴油机曲轴每转一转作一次功。因此，当气缸数、缸径、活塞行程及转速相同时，理论上二冲程柴油机的功率是四冲程柴油机的两倍。实际上，由于存在气口产生的气缸冲程损失和扫气泵消耗的有效功，二冲程柴油机的功率只是四冲程内燃机的 1.6~1.7 倍。

(2) 当转速相同时，二冲程柴油机做功次数比四冲程柴油机多一倍，因此运转平稳，并可以使用较小的飞轮；

(3) 结构简单，维护、保养方便。

但二冲程柴油机也存在一些缺点，主要有：

(1) 二冲程内柴油机由于新鲜气体与废气掺混严重，换气效果较差，且转速越高越明显，因此燃烧不良，经济性较差；

(2) 二冲程柴油机做功频率高，所以燃烧室部件的热负荷较高。

第三节 动力装置的传动

把主机发出的功率传递给螺旋桨的整套装置称为船舶的传动装置。

船舶主机除低速柴油机外，转速一般都比较低，特别是汽轮机和燃气轮机，其转速可高达每分钟数千转，甚至更高。转速太高会使螺旋桨效率下降（一般船舶螺旋桨转速为每分钟 100~200 转左右）。因此船舶传动装置不仅仅是一个传动问题，而且还存在减速和离合的问题。

目前，船舶传动装置主要有以下几种形式。

一、直接传动

这是一种最常见的传动形式，轴系与主机的曲轴直接相连，螺旋桨和主机具有相同的转速与转向，因此直接传动适合于低速柴油机。图 5-11(a) 是一种单轴系直接传动形式 5-11(b) 为双机双桨直接传动形式，一般用于客船、内河船等，双机双桨可提高推进功率及船

舶机动性。不过，直接传动时螺旋桨的倒转或慢车必须由主机倒转或慢车来调节。

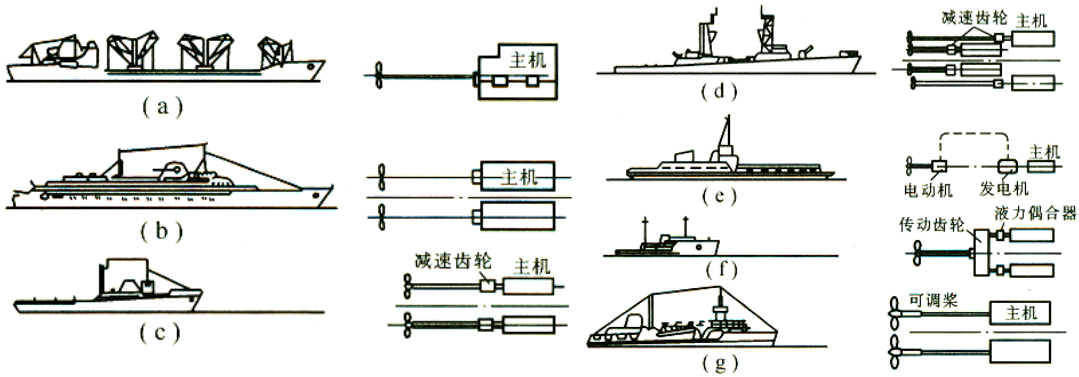


图 5-11 船舶传动装置简图

二、齿轮传动

汽轮机、燃气轮机及高、中速柴油机应用齿轮减速后，主机转速可不受螺旋桨低速的限制，并能保持较高的推进效率。齿轮减速装置较其他类型的减速装置效率高，约为 0.96~0.98，所以使用比较广泛。

但是齿轮减速装置的质量、尺寸随着主机功率的增大而相应增大，约为主机质量的 45% 左右。为了减小齿轮减速装置的质量、尺寸，出现了行星齿轮传动形式，即减速机构中有的齿轮传动具有体积小、质量轻的优点，是同样减速比的普通齿轮传动质量的 1/3 左右。

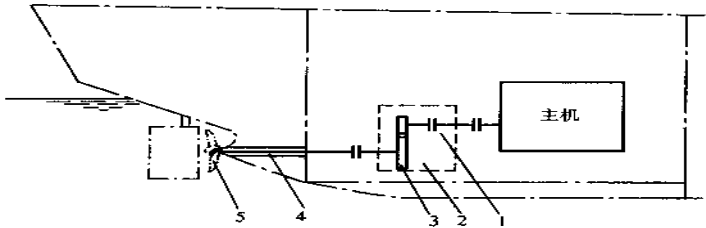
齿轮传动在内河及沿海中小型船舶上广泛使用，而大型远洋货船采用齿轮传动的也日益增多。齿轮传动的布置形式很多，有单机单桨布置、双机双桨布置如图 5-11 (c)、多机多桨布置如图 5-11 (d)，也有双机并车及多机并车布置。在减速齿轮方面有一级减速、多级减速、带倒车离合器减速等。不过，齿轮的制造要求有较高的精度。



补充学习：

齿轮减速器具有降低主机传给螺旋桨转速的作用，以提高螺旋桨的推进效率。离合器主用来脱开或接通主机与轴系的联接，有的还担负着倒车的作用。控制离合器的方式有机械式、液压式、电磁式等。在这种传动装置中，

主机转速与螺旋桨转速有差别或保持一定的速比。



间接传动装置

三、电力传动

电力传动是由主机带动发电机，再由电动机带动螺旋桨的一种传动形式，如 5-11 (e) 所示。采用这种传动形式可不设中间传动轴，主机和螺旋桨的转速分别独立选取，也可实施多机连用。主机和艉轴可以相隔任意距离。不管螺旋桨转速负荷如何，主机始终作恒速转动。当螺旋桨反转时，只需改变电动机的转向，而不需改变主机的转向。在负荷变化时，可以调

整所用的发电机数目，使每一台机器都在良好负荷下工作。由此可见，电力传动的突出优点是操纵性好，因此它适用于拖船、渡船、挖泥船、破冰船等操纵性要求高的船舶。

由于电力传动能量转换过程复杂、损失多、传动效率低，虽然省去了大部分轴，但质量与体积较大，造价和维修费用较高，所以发展不快。

四、液力传动

它是利用液体来传递功率的装置。图 5-11 (f) 为双机并车液力传动装置，这种装置是将离心泵和涡轮机的工作原理结合而创造出来的。图 5-12 为液力传动原理图，

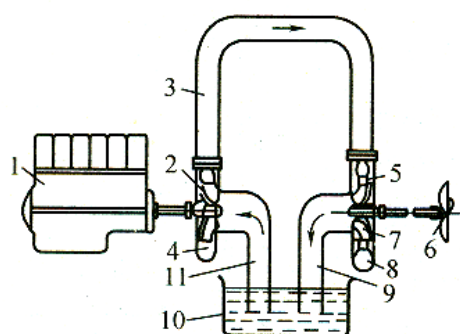


图 5-12 液力传动原理图

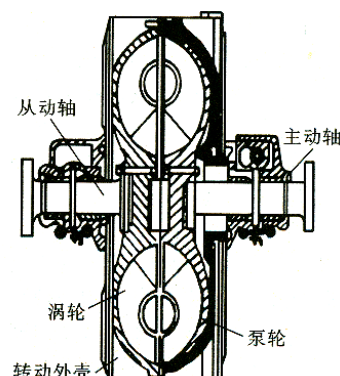


图 5-13 液力耦合器结构简图

从图中可见，发动机 1 带动离心泵，泵的工作叶轮 2 通过进水管 11 从水槽 10 中吸水，经过离心泵而提高压力后的水，由管路 3 输入水轮机去冲动涡轮 7，从而驱动螺旋桨 6，这样离心泵和水轮机组便组成一个传动装置。然而这种装置的传动效率很低，许多能量在传动过程中损失掉了。经过改革，将功率损失较大的涡壳 4、8 和导水轮 5 取消，并将工作叶轮 2、7 尽量靠拢，以便管路缩到最短，这就是实用形式的液力传动装置。

图 5-13 是液力耦合器结构简图，它由两个工作叶轮组成离心泵叶轮和涡轮转轮。与主机相连接的泵轮的功用是将输入的机械功变为工作叶片的功能，而涡轮转轮又将工作液体的功能还原为机械功，并通过输出轴（从动轴）而带动螺旋桨旋转。

液力传动使主机和螺旋桨的连接成为挠性连接，它可以减速和反转，同时还可以使主机和螺旋桨离合。概括起来液力传动有如下优点：可以起离合器作用，并为远距离操纵创造条件；可以改变船舶牵引性能，增加船舶机动性；有缓冲和吸收扭转振动的作用，可以保护主机；当负荷改变时能自动改变转速而实现无级变速。因此，液力传动适合于一些工程船舶。

五、可调螺距螺旋桨传动

它的传动如图 5-11 (g) 所示，又称可变螺距螺旋桨。它与普通螺旋桨在结构上是不同的，普通螺旋桨的桨叶固定在桨毂上，桨叶螺旋面没有相对运动，而可调螺距螺旋桨是将分开制造的桨叶与桨毂通过一套机构组合起来，它们之间有相对运动，以便调节桨的螺距，使螺旋桨适应负荷变化或倒航的需要。船舶可以得到从最大正车速度转换到最大倒车速度时的任意一种航速，如果把螺距调整到零位，即使螺旋桨在转动，船舶仍可原地不动，如图 5-14 空车所示。可调螺距螺旋桨具有下列优点。

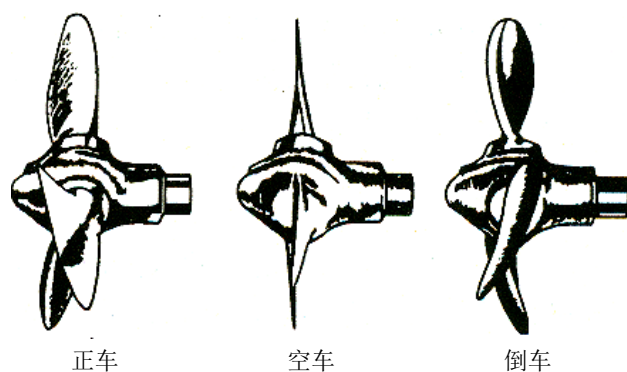


图 5-14 可调桨的三个工作位置

1. 船舶在各种工况下可调螺距螺旋桨均能充分发挥主机的全部功率。普通螺旋桨往往只在某一种工况下使船舶阻力与主机额定功率相适应，而当工况发生变化时（如船舶重载、轻载状态），就会使主机功率不足或过盈而影响效率、航速等。如果采用可调螺距螺旋桨，则可根据船舶不同工况随时调节螺距而不改变主机转速，使船舶阻力与主机额定功率相适应，提高动力装置的经济性。

2. 可调螺距螺旋桨可提高船舶的机动性。因为通过改变螺距，可使船舶得到任意航速，如一些工程船舶、渔船、扫雷艇等常常需要微速前进，但因主机最低稳定转速的限制，往往无法实现，而采用了可调螺距螺旋桨后，问题便得到了解决。

3. 船舶倒航若用可调螺距螺旋桨，则主机不用逆转即可实现，因而延长了主机的使用寿命。也就是说，船舶进退不用改变螺旋桨的转向而只需改变螺距即可，这样可使主机装置简化，而且进退转换时间短，停航滑行距离也短。然而，可调螺距螺旋桨的结构比较复杂，在艉轴及桨毂内设置操纵机构，使轴系及螺旋桨的制造与安装技术要求较高，困难较大，而且造价较贵，但对变工况及操纵性能要求较高的船舶，这种传动方式还是很合适的。

六、挂机

挂机是为了减小尺寸、质量以适应小型快艇的需要而悬挂于舷外的一种装置，即把发动机挂在舷外直接与竖轴相连，如图 5-15 所示。整机和螺旋桨可绕架衬套中线回转，并起到舵的作用。扳起舵柄还能使螺旋桨上翘露出水面，对桨有一定的保护作用。

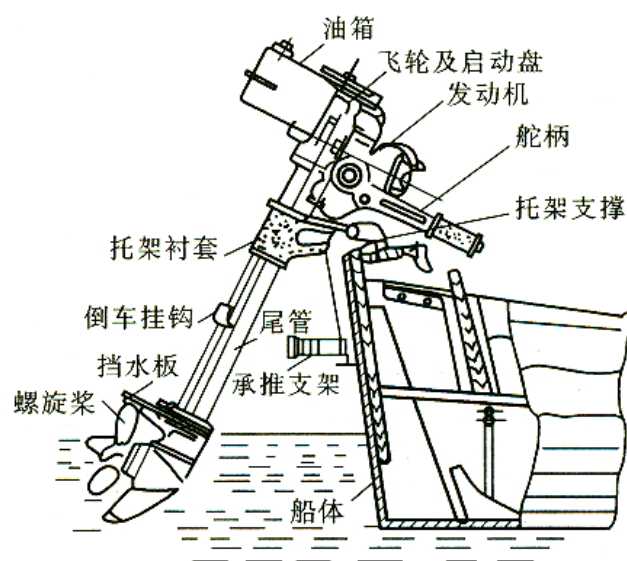


图 5-15 舷外挂桨装置（桨轴）

第四节 船舶轴系

船舶轴系是船舶动力装置中的重要组成部分。船舶轴系的基本任务是：连接主机与螺旋桨，将主机发出的功率传给螺旋桨，同时又将螺旋桨所产生的推力传递给船体，以实现推进船舶的使命。

所谓船舶轴系是指从主机的曲轴输出端法兰(或减速齿轮箱末端)至螺旋桨之间的传动轴、轴承以及轴系附件的总称。

一、船舶轴系的种类和布置

1、船舶轴系的种类

根据船舶类型、用途和动力装置等的不同，船舶轴系的数目、布置和结构也不同。对于民用商船来说，主要有单轴系和双轴系之分；对于军用舰船来说，除单、双轴系外，还有多轴系。

2、轴线的布置

传动轴系通常是由位于同一直线上的轴联接起来的，这种位于同一直线上的轴中心线称为轴线。

商船轴线的数目一般不超过三根。远洋货船往往用一根，一些船速较快、经常进出港口的客船或集装箱船往往用两根。单桨船的轴线布置在纵中剖面上，双桨船的轴线常对称地布置在两舷。由于机舱位置的不同，轴线的长度差别很大，尾部机舱的轴线较短，有的不用中间轴，而使推力轴直接和尾轴相连。船中机舱的中间轴段数较多，轴线往往很长，这时在机舱和尾尖舱间必须围成水密的走廊，以使轴系与货舱分隔开，即轴隧（地轴弄）。轴隧用水密门与机舱相通，轮机人员可通过此门进入轴隧对轴系进行检查和维护管理工作。轴隧高度一般在 2 米以上（便于更换或修理轴线中的任何部件），尾部设逃生孔，轮机人员可由此通道撤离或供上面人员进入机舱实施各种应急措施。

理想的轴线位置最好与船体的龙骨线（基线）平行，而在多轴线时，轴线还应保持与船纵中剖面对称。但这种理想的轴线很难实现，因为它的首尾位置必须服从于主机和螺旋桨的位置。如主机位置比较高而船舶吃水比较浅时，为了保证螺旋桨能浸入水下一定距离，有时不得不使轴线向尾部倾斜一定角度，如图 5-16（a）所示，图中 α 即为倾斜角。有些双桨或多桨船的轴系，为了使螺旋桨桨叶的边缘离开船的外板并留有一定的空隙，允许轴线在水平投影面上离开船舶纵中垂面偏斜一个角度，如图 5-16（b）所示，图中 β 为偏斜角。当轴线出现倾斜和偏斜时，螺旋桨输出的推力将受到损失，这一方面是由于此时螺旋桨推力与船舶运动方向变得不一致，另一方面，轴倾斜使轴系重量产生方向朝后的轴向分力，抵消了一部分桨的推力。为了使桨的推力不致损失太多以及保证主机的工作可靠，一般 α 角不超过 5° ， β 角不超过 3° 。

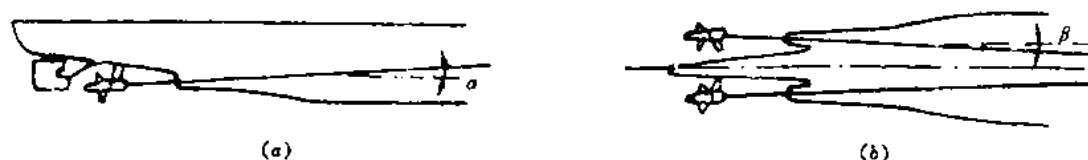


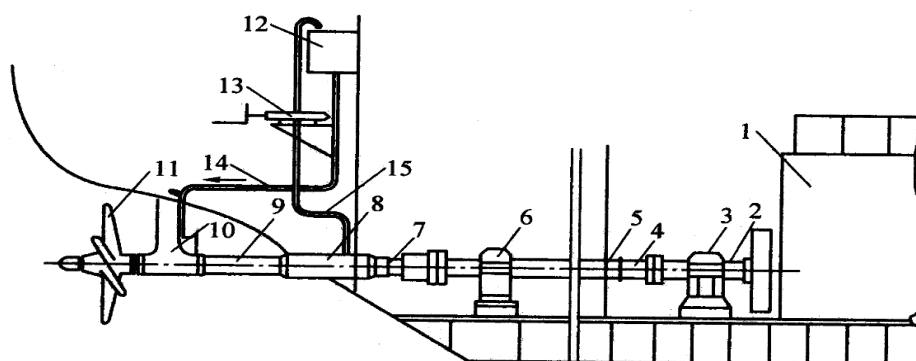
图 5-16 轴系的倾斜角和偏斜角

二、轴系的组成

从主机到螺旋桨之间有一定的距离，其间用传动轴加以联接。为了加工、制造、运输、拆装的方便，往往将传动轴制成许多节，并用联轴器加以联接。各传动轴由相应的轴承支撑。

如图 5-17 所示为单轴直接传动的轴系，其主要组成包括：

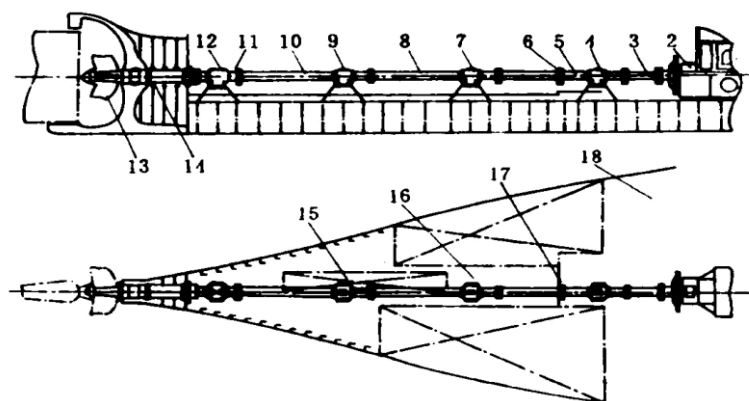
- (1) 传动轴：推力轴、中间轴、尾轴或螺旋桨轴。
- (2) 轴承：推力轴承、中间轴承及尾管轴承。
- (3) 轴系附件：用于连接传动轴的联轴器、制动器、隔舱填料函、尾管密封；还有中间轴承、推力轴承、尾管轴承的润滑与冷却管路等。



1-主机；2-推力轴；3-推力轴承；4-中间轴；5-隔舱填料函；6-中间轴承；7-尾轴；8-尾轴管支承；9-尾轴管；10-人字架；11-螺旋桨；12-尾轴油箱；13-油泵；14-进油管；15-回油管

图 5-17 轴系的组成

图 5-18 所示一大型低速柴油机直接传动轴系的组成简图。机舱 18 位于船舶的中后部，柴油机 1 通过推力轴、调整短轴 3 和中间轴 5、8、10 以及尾轴 11 驱动螺旋桨 13。推力轴承 2 给整个轴系轴向定位，推力轴由推力轴承内的径向轴承支承，中间轴由中间轴承 4、7、9 支承。轴承 12 是最后一道位于轴隧内的中间轴承，但其作用是和尾轴管中的尾轴承一起轴，也称尾轴前轴承。尾轴从尾轴管 14 伸出船尾，曲轴、推力轴、中间轴和尾轴之间通过法兰用螺栓连接，螺旋桨用键和螺母固定到尾轴上。



1-柴油机；2-推力轴承；3-短轴；4、7、9、12-中间轴承；5、8、10 中间轴；6-隔舱填料箱 11-尾轴；13-螺旋桨；14-尾轴管；15-窗口；16-轴隧；17-水密门；

图 5-18 轴系组成简图

1、推力轴和推力轴承

在直接传动装置中，推力轴与主机曲轴飞轮直接连接；而间接传动装置中，它与减速器的输出端相连。推力轴的功用是将主机的扭矩传递给中间轴，同时将中间轴传递来的螺旋桨

的推力传递给船体，对轴系进行轴向定位。推力轴承是船舶轴系中重要的组成部分，螺旋桨产生的推力（或拉力）通过尾轴、中间轴和推力轴作用到推力轴承上，并通过推力轴承传给船体。推力轴承的功用传递推（拉）力，并径向支承推力轴的负载和重量。

推力轴和推力轴承组合为一整体部件，推力轴及其轴承的作用有两点：一是承受螺旋桨所产生的轴向推力，并传递给船体，使船舶产生运动；二是防止螺旋桨产生的轴向推力直接推动主机曲轴，使曲轴发生移动及歪斜，而损坏主机的机件。

2. 中间轴和中间轴承

如图所示 5-19 为一中间轴，其主要由两端连接法兰、非工作轴颈、工作轴颈所组成，可整体锻造或分段焊接成一体。工作轴颈的直径较非工作轴颈的直径一般大 5~20mm，以便磨损后有足够的精加工余量。各中间轴法兰用螺栓连接。

中间轴的作用是连接推力轴和尾轴，并进行扭矩及推力的传递。中间轴的长度及轴段的数量取决于主机布置位置与螺旋桨轴之间的距离。中部机舱布置的船舶中间轴较长；尾部机舱布置的船舶中间轴则比较短。一般来说，具有两根或两根以上中间轴的轴系，称为长轴系，中部机型的大型船舶的轴系长度有的达 100m 左右，其中间轴多达十余根；长轴系的柔性比较好，比较容易调整，但调整、安装的工作量大。只有一根中间轴，其长度可短至 7~8m 或者没有中间轴的轴系称为短轴系。短轴系的刚性比较大，安装的要求也就高一些。

每段中间轴的工作轴颈处，均由中间轴承支承，以承受中间轴的重量，保持轴线位置的正确。中间轴承的结构形式很多，按摩擦形式不同可分为滚动式和滑动式两大类，商船上多采用滑动式。

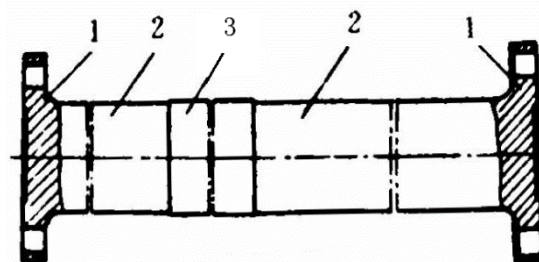


图 5-19 中间轴

1-法兰；2-非工作轴颈；3-工作轴颈

3. 尾轴和尾轴管装置

（1）尾轴

尾轴是轴系中最末一段轴，它穿过尾轴管伸出船尾，首端与中间轴相连，尾端安装螺旋桨，尾轴的结构如图 5-20 所示，由法兰 A、轴干 B 和 D、轴颈 C 和 E 以及安装螺旋桨的锥部 F 和螺柱 G 等部分组成。轴颈 C 由尾轴前轴承支撑，而轴径 E 与尾轴管中的轴封和支持轴承相配合。在用海水润滑的铁梨木尾轴承中，为了防止轴被海水腐蚀和减少轴与轴承的摩擦损失，在尾轴管中的轴段 E 上装有铜套。尾轴轴干裸露在海水中的部分，一般包有玻璃钢保护层。

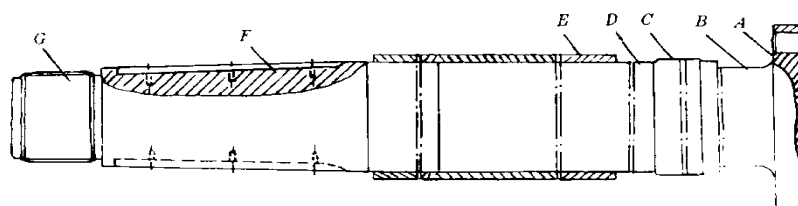


图 5-20 尾轴的结构

螺旋桨与尾轴间采用锥面结合、键连接和螺母紧固，螺柱上螺母的旋紧方向与螺旋桨的正转方向相反，以便螺旋桨在正转时螺母能自动锁紧。至于倒车，因使用的时间短，功率也比正车小，所以采用了止动片防松。螺母外面还装有流线型的导流罩，且为水密，既可减少水力损失，又可防止螺纹锈蚀。近年来，液压无键连接、无键胶接也越来越多地用在螺旋桨和尾轴的连接上。

（2）尾轴管装置

尾轴管装置是用以支承尾轴和螺旋桨，防止海水进入尾轴承、防止润滑油自尾轴承溢出。通常尾轴管装置由尾轴管、尾轴承、密封装置、润滑和冷却系统等组成，如图 5-21 所示。根据尾轴承润滑剂的不同分为水润滑尾轴管装置和油润滑尾轴管装置。

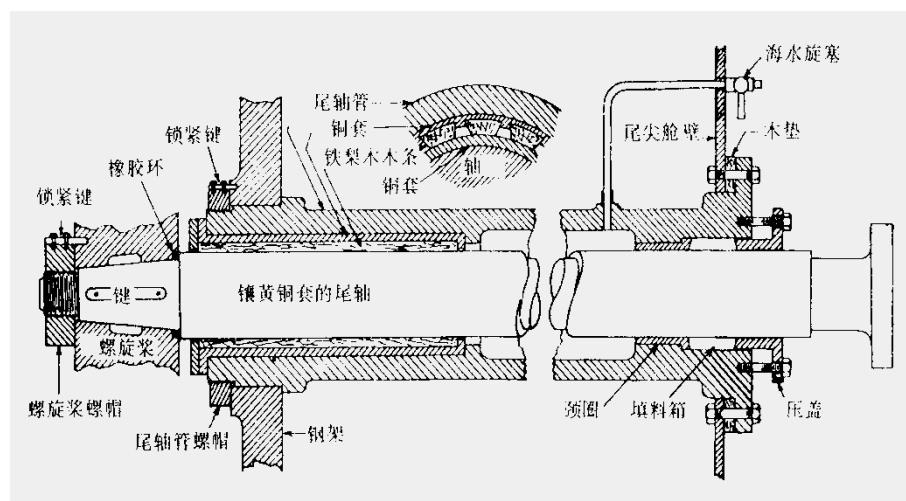


图 5-21 尾轴和尾轴管装置

①尾轴管

尾轴管将船舶的尾尖舱和尾轴分开，内部装设尾轴承以支承尾轴和螺旋桨，还装设尾轴密封装置，为尾轴运转提供必要的条件。尾轴管的结构有整体铸造式和分体焊接式两种。

②尾轴承

尾轴承是尾轴管装置中最重要的部分，它分为水润滑和油润滑两大类型。水润滑的尾轴承有铁梨木、桦木层压板、橡胶、合成材料等。油润滑的尾轴承有白合金滑动轴承和滚动轴承。海船上应用最广泛的是铁梨木轴承和白合金轴承。

铁梨木轴承 铁梨木是一种价格昂贵的木材，组织细密，质地坚硬，抗腐蚀性好，密度大于水（约为水的 1.2 倍），它浸在水中能分泌出一种粘液可作为润滑剂。当铁梨木和青铜组成摩擦副时，经过粘液润滑，摩擦系数约为 0.003~0.007 几乎不伤害青铜。铁梨木轴承结构简单、工作可靠、管理方便、不污染海域，但价格昂贵，不适于在泥沙较多的内河或航区航行。

白合金轴承 白合金轴承抗压强度高，耐磨性好，散热快，摩擦损失少。但结构复杂，管理工作多，若漏油要污染海域，制造与修理要求比较严格。

不论是铁梨木轴承还是白合金轴承，按规范规定轴承数量一般为两个，但当尾轴管较短时，设后轴承者可不设前轴承，此时在尾轴的法兰端，一般要设一道中间轴承。铁梨木轴承的长度应不小于所要求的尾轴直径的四倍，白合金轴承不小于两倍。

③尾轴密封装置

尾轴和尾轴承之间按规定要留有一定的间隙，尾轴又处于水面以下，工作时需要润滑和冷却，因此为了防止舷外水沿尾轴流入船内及润滑油漏泄，在尾轴管中必须设置密封装置。密封装置按所处的位置不同，可分为首密封装置和尾密封装置两种。对于油润滑尾轴承，其

首密封装置是用来阻止滑油漏入机舱内，而尾密封装置既阻油外漏，又阻水内漏。对于水润滑尾轴承，仅设首密封装置，用来防止海水进入机舱。常用的尾轴密封装置的类型有填料函型密封装置（广泛用于水润滑尾轴承作首密封装置）和辛泼莱克司（simplex）型密封装置（皮碗式密封装置）。这两种密封装置结构简单、密封效果良好、维护管理方便、工作安全可靠但填料函型密封装置摩擦损失大，容易损伤尾轴轴承；辛泼莱克司型密封装置因采用耐热好的优质橡胶材料致使整个装置价格较高。

第五节 船舶动力系统

为推进装置服务的管系称为动力管系，以保证推进装置正常工作。包括燃油系统、滑油系统、冷却水系统、压缩空气系统、排气系统等。

一、燃油系统

1、功能

对船舶动力装置的各燃油设备，如柴油主机、柴油发电机、辅锅炉等，供给足够数量和一定品种的燃油，以保证这些设备的正常运行。

2、组成及原理

（1）具体功能：注入、储存、驳运、净化、供给、计量、加热。

①注入

在燃油系统中设置注入管路，以满足从码头、港口或基地及其他燃油运载船舶向该船的储存舱（柜）注入燃油。

②贮藏

将船外装入的燃油存放在容积足够大的油舱内，使储存的燃油能满足最大续航力的要求。油舱容积一般依据各燃油设备的耗油量和船舶续航力等计算而得。大多数船舶的燃油是利用双层底舱和左右舷的深舱来贮藏的。

③调拨及驳运

燃油系统能将各油舱中的燃油互相调拨，也可能因船舶本身平衡而须将前后或左右的油舱中的燃油互相调拨，还能将本船的燃油调拨到其他船舶或码头上。

④净化

将燃油中的水分、杂质分离出去，使燃油能满足柴油机的燃烧条件，再将净化的燃油输送给柴油机，此外还能保持燃油的连续供应。净化的方式有沉淀过滤和离心分离。

⑤供给

将存放于日用油柜经净化后质量合格的燃油源源不断地供给主机、发电机和辅锅炉，并根据不同运行状态下所需油量的不同而设置回油管路和装置。

⑥测量

为保证源源不断地供给发动机用油的需要，对于储存在舱柜中的燃油量须经常测量和指示。一般油舱中的油量可用液位指示器来指示，双层底的油舱用测深尺通过所设置的测量管来测量，也可通过流量计、自动测量装置等来测量油舱中储存量的多少。

⑦加热

不同的船舶，使用不同的燃油，因油的品质不同，其流动性、黏度也不相同，这给油泵的输送、分油机的分离及柴油机的雾化喷射带来极大的困难。为保证燃油具有良好的流动性，在燃油的储存舱（柜）和管路上，以及分油机、过滤器、输送泵、供给泵和发动机的喷油器前，均须加热燃油，并使之保温，通常在油舱（柜）中设置加热器，在输送管路上设置伴行加热

管，喷油前设置雾化加热器。

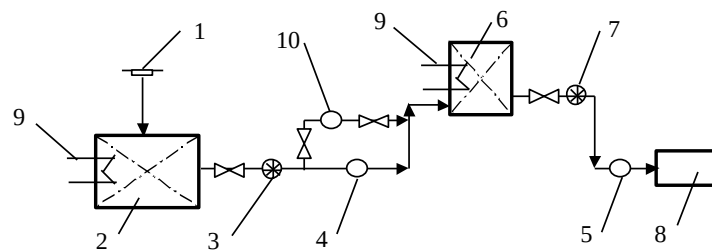
(2) 组成

燃油管系主要由燃油泵、储存舱（柜）、日用油舱（柜）滤器离心分油机和加热器、管子及其配件（阀门仪表）等组成。

(3) 工作原理

燃油走向：注入管—吸排管—燃油舱—驳运泵—沉淀柜—分油机—备用油柜—滤器—加热器—输油低压输送泵—高压油泵—喷油器

图 5-22 为燃油管系的工作原理示意图。如果燃用轻质柴油，则可减少加热管和分油机，在原分油机处设置手摇泵。如果燃用燃料油，则在日用油柜前增设离心分油机台数及沉淀柜等。



1-注入头；2-储油舱；3-过滤器；4-驳运泵；5-输油泵；6-日用油柜；
7-过滤器；8-主机；9-加热管；10-分油机

图 5-22 燃油系统原理图

二、滑油系统

1、功能

滑油系统是用以保证主、辅机运动部件的润滑和冷却。滑油系统由柴油机内部润滑系统和外部润滑系统组成，柴油机内部润滑系统是指滑油进行润滑柴油机内部所有运动部件及直接装在发动机上的机械装置和滑油管路。外部润滑系统是指机舱内布置在柴油机外部的所有机械装置和滑油管路，并与内部润滑系统组成完整的滑油系统。

2、分类

滑油系统可分为湿底壳式系统和干底壳式系统。

湿底壳式系统为滑油经柴油机内部润滑后，储存于柴油机壳底，柴油机本身自成独立润滑系统。正常运转时，不另添置设备。这种型式一般适用于小型柴油机，如国产 135 型系列柴油机。

干底壳式系统的润滑油经柴油机内部润滑后，存放于另外设立的循环油箱中，此外柴油机外部还配置有必要的设备和管路，中低速柴油机多属于此型。

3、组成及工作原理

(1) 滑油系统的组成

滑油系统设备由滑油泵、滑油冷却器、滑油离心分油机、分油加热器、污油泵、手摇泵、滑油储存舱（箱）、循环油箱、污油箱、粗细滤器、管路及附件、仪表等组成。

(2) 工作原理

①滑油的注入与储存。一般滑油储存柜和沉淀柜均设置在机舱上部空间，依靠重力作用，流入滑油循环舱。滑油循环舱的容量，应能容纳循环于管系中的全部滑油。

②滑油的驳运。滑油的驳运是将污油泵至污滑油舱，经沉淀后，通过分油机分离净化后重新使用或排岸。

③滑油的净化。滑油的净化是将滑油进行沉淀、过滤和离心分油。可设置双联磁性滤器、细滤器进行过滤、沉淀和离心分油。

④滑油的供油。滑油的供油过程为：滑油循环舱→滑油滤器→滑油泵→滑油冷却器→柴油机主管→滑油循环舱。

三、冷却水系统

1、功能

船舶柴油机动力装置工作时，有许多机械设备在正常工作中要散发出大量的热量，有摩擦热、做功燃烧热、压缩热等。例如在柴油机中，燃油燃烧时所放出的热量约有 25%—35%要从汽缸、活塞等部件散出。为保证热部件温度不致过高而影响正常工作，或者不致因热负荷过大而损坏，必须及时而有效地散发这些热量。通常是用一定量的液体连续流经受热部件进行冷却，把这些热量携带至被冷却的机械设备以外。

船舶柴油机动力装置中需要散热冷却的机械设备有：主、辅柴油机，包括汽缸活塞、喷油器、增压器等；主、辅机的滑油冷却器、淡水冷却器等热交换器；轴系中的齿轮箱、轴承、尾轴管等；空气压缩机、冷凝器等设备。

冷却管系的功用是对上述需要散热的设备供以足够的淡水、江水、海水或冷却油进行冷却，以保证其在一定温度范围内可靠的工作。

2、组成

淡水膨胀水箱、淡水冷却器、滑油冷却器、冷却水泵、温度控制阀及管路、阀附件等组成。

3、形式

根据冷却管路的工作特点，可分为开式冷却系统和闭式冷却系统两种形式。

(1) 开式冷却

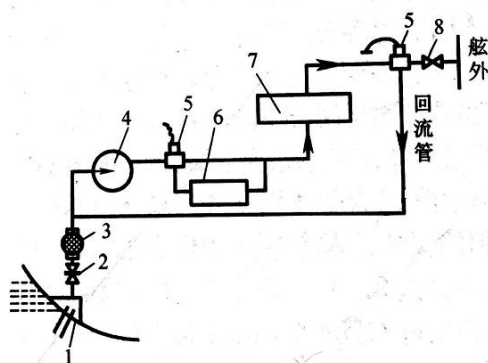
开式冷却也称单循环冷却系统，是用冷却泵

输送舷外水作为冷却工质，直接对主、辅机进行

冷却（直接利用舷外水冷却），也称直接冷却。开式冷却方式仅能用于小型柴油机和对冷却水要求不高的冷却系统中。

① 工作原理

如图 5-23 所示海水冷却泵 4 将海水自海底门 1，经通海阀 2 和滤器 3 送至温度调节器 5，再进入滑油冷却器和主机，冷却有关部位后汇集于总管，从单向阀排至舷外。温度调节器的作用是自动调节冷却水的流量，使滑油温度和进入柴油机的水温保持在允许的范围内。



1-海底门；2-通海阀；3 滤器；4 海水冷却泵；
5-温度调节器；6-滑油冷却器；7-主机；8-单向阀

图 5-23 开式冷却管路原理图

②特点

开式冷却管路设备少，管路简单，维护操作管理方便，水源丰富。不过，有几个问题也很突出。一是冷却水水质差，江、河水中的各种杂质和水面浮油进入冷却空间后，会造成堵塞或附着在冷却表面；海水对金属壁起腐蚀作用并能在冷却空间沉积水垢，以使传热条件变坏，使金属壁过热受损。二是舷外水温度变化大，直接受季节、区域的影响，变化幅度大，不利于进入柴油机冷却。因此，开式冷却只能用于小型柴油机和对冷却水要求不十分严格的各种热交换器、空气压缩机、排气管、尾轴管等的冷却。

(2) 闭式冷却

闭式冷却系统利用淡水泵吸入淡水对主辅机进行冷却，舷外水则通过淡水冷却器带走淡水的多余热量，间接冷却柴油机，又称间接冷却（舷外水冷却淡水，淡水直接冷却机器和设备）。广泛应用于大中型船舶。

① 工作原理

图 5-24 中实线所示为淡水管路，虚线所示为舷外水管路。淡水冷却泵 1 自淡水冷却器 8 吸入淡水，进入主机 3 冷却高温部件后，又回到淡水冷却器 8，进行闭式循环。

②特点

淡水水质好，不会产生堵塞流道和析盐现象，积垢少，便于控制柴油机进、出水温度，其经济性较好，可延长机器部件的寿命。但这种管路设备多、管路复杂、维修管理不便。闭式冷却系统广泛用于大、中型船舶中。

③布置形式

闭式冷却管路中的淡水冷却管路常见的两种形式：

I 柴油机—淡水冷却器—淡水泵—柴油机，使进入气缸冷却水套的淡水保持较高压力和一定流量。

II 柴油机—淡水泵—冷却器—柴油机，能保证进入冷却器的压力较高，有泄漏时可使海水不会进入淡水管路中去，从而减少海水对淡水的污染和对设备腐蚀。

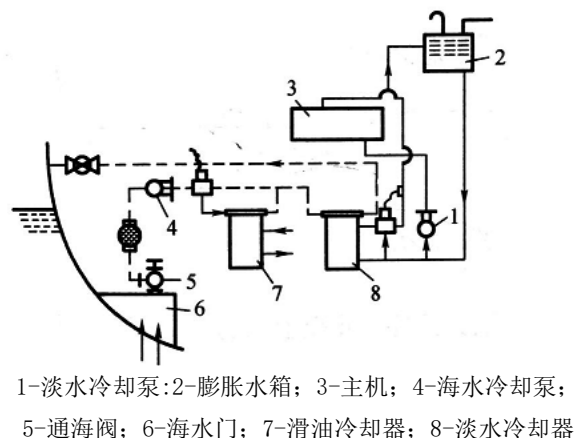


图 5-24 闭式冷却管路原理图

四、压缩空气系统

1、功能

压缩空气系统利用空气压缩机将大气压缩至一定压力，并储存在空气瓶内，作为一些机械设备的能源及工质。被压缩的空气具有一定的压力，可成为一种具有作功能力的工质。由于压缩空气有其独特的技术性能，安全可靠，具有良好的可压缩性，便于储藏和输送，没有起火危险，且空气来源方便，取之不尽，所以在船舶上得到广泛使用。压缩空气在船舶上有以下用途：主、辅柴油机的启动；主、辅柴油机的换向；气胎离合器的操纵；海底门、粪便柜、烟囱、空气冷却器、增压器等的吹洗；压力柜的充气压力源；气动仪表和阀件的操纵使用；灭火剂的驱动喷射；在军用舰艇上用于吹除冲洗鱼雷发射管，驱动鱼雷发射；潜艇的上浮下潜操作；其他杂用，如作为汽笛吹鸣、气动脱钩装置、风动工具等动力源和工质。

压缩空气系统，根据用途的不同，分为高压启动系统及低压杂用系统。高压启动系统的气压一般在 3.0MPa 以上，低压杂用系统的气压一般在 1.0MPa 以下。

2、组成

压缩空气系统包括空气压缩机、主辅空气瓶、减压阀、气水分离器各种阀件、管系和仪

表等。

五、排气系统

1、功能

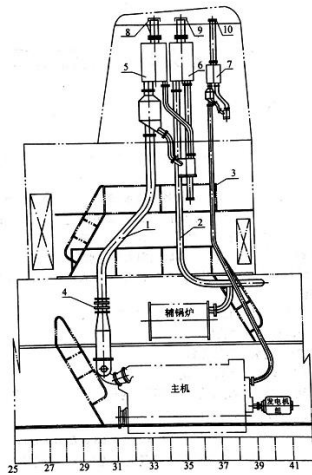
排气系统的作用是将主、辅柴油机废气排至机舱外的大气中；此外，还可以其降低排气噪声的作用；对于装运和托运易燃、易爆等危险货物的船舶，还要担负熄灭废气中火星的任务；对于军舰，考虑到隐蔽性，也同样需要熄灭废气中的火星，以减少废气的能见度。该系统布置是否适当，对柴油机的正常工作和主、辅机功率发挥以及安全都有较大的影响。

2、组成

排气系统由排气管、膨胀接头、消声器、防漏水设备等组成。其基本类型有以下几种形式：

- (1)柴油机的废气直接由排气管经消声器排至大气。这种形式用于没有废气锅炉的中、小型柴油机。
- (2)在消声器和柴油机集气管之间装设热膨胀补偿器，补偿排气管路因受热而引起的管子变形。
- (3)管路上装有废气锅炉，柴油机的废气经膨胀接头和废气锅炉排至大气。锅炉设置旁通管路，由换向阀控制废气的流向，以便在清洗锅炉或不需要蒸汽时将废气导入大气。旁通管路上装有消声器。
- (4)对上述3的形式，旁通管路不装消声器。这种形式广泛用于大中型船舶主柴油机。
- (5)对上述3的形式，用废气燃油混合式锅炉替代废气锅炉，利用废气调节阀控制锅炉的蒸汽产量。

以上各种形式的排气管路均通过烟囱向上排出废气。对某些不设机舱棚的船舶，也可沿船尾或朝左、右舷排气。



1-主机排气管；2-辅锅炉排气管；3-发电机组排气管；4-膨胀接头；
5, 6, 7-火星熄灭器；8, 10-防雨盖；9-防雨罩

图 5-25 某柴油机动力装置排气系统图