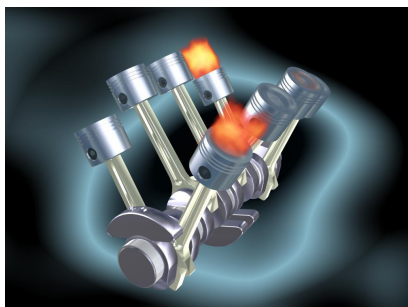




多媒体课件配套教材

内燃机结构教程

(上.初稿)

主编：张文平、张新玉

哈尔滨工程大学



2004年8月

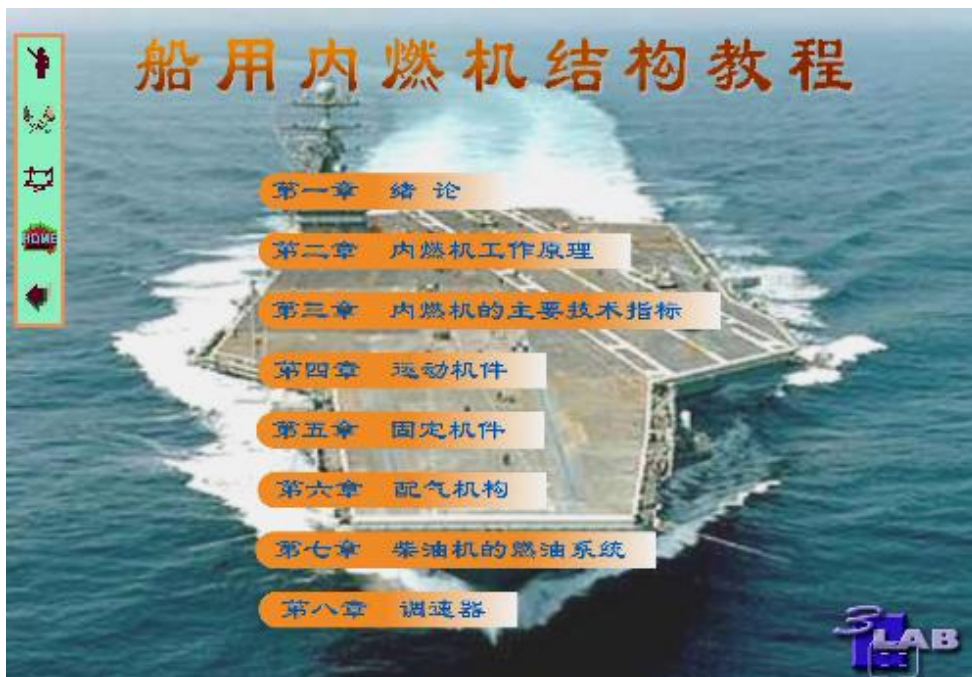
第 1 章 绪论

多媒体教学属于计算机辅助教学的范畴,又叫做 CAI,即 Computed Assisted Instuction。它是伴随着计算机多媒体技术和网络技术的飞速发展而产生的一种新的先进的教学方式,在结合本专业课程«内燃机结构»的前提下,集中了多种媒体的功能。它集文字、图形、图像、视频、动画等多种形态信息的采集、加工、交互、储存、输出于一体。

CAI 的出现使得教学操作对象变得单一、集中,尤其使教学流程可按预设程序进行,大大减轻教师的劳动强度,为教学赢得宝贵的时间。多媒体应用于教学领域,其主要内容是使教学过程更生动、直观、具体。在我们学校也有一些好的教学课件,老师上课就是用这些教学课件上课,达到了很好的效果,我们都特别喜欢上那些老师的课。但是可能由于人力、物力、财力的投入等问题,一般只是采用幻灯片的形式,比较简单,虽然有些实用,但是总感觉不很满意。差的教学课件则几乎全部是文字论述,文字是主体,有的只是一些文字的进入和推出效果,没有一点亮点,学生们学习这门课时肯定要昏昏欲睡,盼望早点下课,教学效果可想而知。CAI 的出现能够向学习者提供一个丰富多彩、生动友好、方便灵活的交互界面,如图 1-1 通过此图我们清楚的了解到内燃结构的每章主要结构,界面丰富多彩生动友好,使学习者的各个感官能够同时接受到教学信息,就能够大大提高教学效率。其中可以点击各章进入每章具体内容。

目前,CAI 多媒体教学课件在国内尚属刚刚起步的领域,也是一个大有可为的领域,学校的教师可以通过多媒体非常形象、直观的讲述清楚过去很难描述的课程内容,而且学生可以更容易的理解和掌握相应教学内容。教学领域是非常适合用多媒体进行辅助教学的领域。通过多媒体的辅助和参与将使教学领域产生一场质的革命。

课件突破以前的做法,采用 AUTHOWARE 搭建主框架,然后在其中综合运用了 FLASH、AUTOCAD、3DSMAX、CORELDRAW、PHOTOSHOP 等许多软件“并驾齐驱”,还有一些常用的计算机应用软件等。在其中插入文字介绍、声音、图片、动画,实现真正意义上的多媒体。



*图 1-1 课件主界面

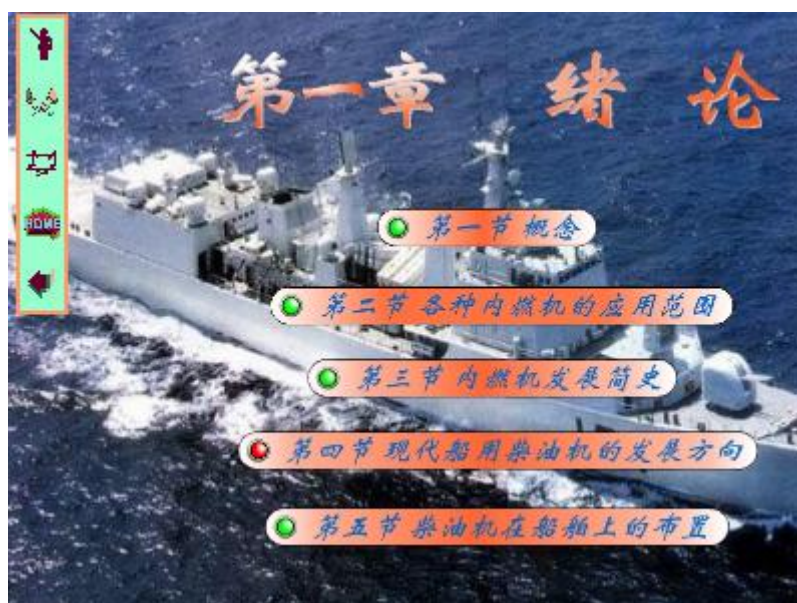
(图片说明: 图中左上角为系统菜单, 菜单上的按钮自上而下分别为“退出”、“帮助”、“音乐选单”、“主页”“返回上一级”, 页面中间的“第一章绪论”至“第八章调速器”均为“热区”, 点击进入相应章节内容)

小说明: 后面图片前面有“*”号的为可继续点击图界面, 原理和上图说明一样

1.1 第一章主界面

主要讲述的是关于内燃机的一些基本概念、应用范围、发展历史和发展方向

等等。由本章主界面就能清晰了解如图 1-2。



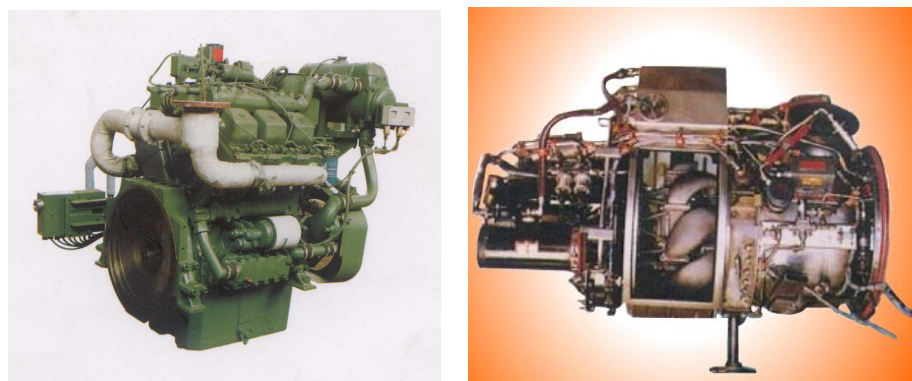
*图 1-2 第一章主界面

1.2 概念

内燃机是将燃料（液体或气体）引入气缸内燃烧，再通过燃气膨胀、推动活塞、曲柄-连杆机构，从而输出机械功的热力发动机。

就目前来说，常见的动力装置有：柴油机、汽油机、燃气轮机、喷气式发动机、蒸汽机、核动力装置等。广义而言，按照燃料的燃烧形式，可分为两大类，一类是内燃机，一类是外燃机。

内燃机：燃料直接在机器内部燃烧的发动机，包括往复活塞式柴油机、汽油机、燃气轮机和喷气式发动机等。各种内燃机如：图 1-1



(a) 柴油机



(b) 喷气式发动机



(c) 燃气轮机

(d) 汽油机

**图 1-1 各种内燃机

(图片说明: 该图为一般实物图照片 意在让学生有感官了解加深印象)

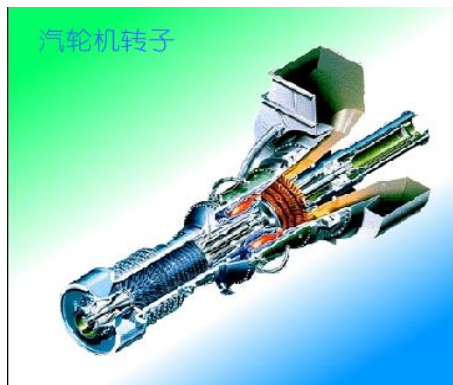
小说明: 后面图片标有 “**” 的为一般实物图

外燃机: 燃料在机器外部燃烧的发动机, 包括蒸汽机、汽轮机、和核动力装置等。下面是早期内燃机车, 汽轮机转子, 内燃机剖面及汽轮机发电系统 如:

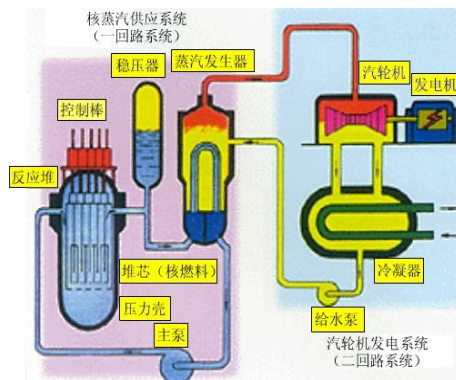
图 1-2



(a) 蒸汽机车



(b) 汽轮机转子



(c) 外燃机结构剖面图

(d) 汽轮机发电系统图

**图 1-2 外燃机

在常规动力装置形式的基础上, 经过不断的演变和改进, 产生了一些新的动力装置类型, 这里主要介绍 *AIP* 系统。

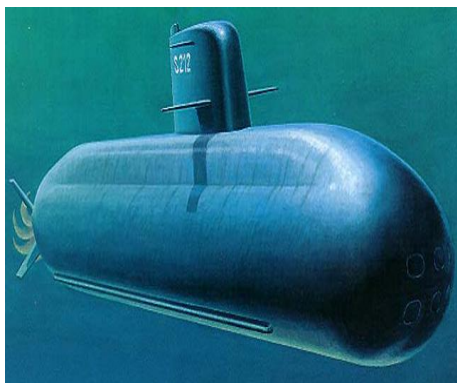
AIP (*Air Independent Propulsion*) 系统, 即 “不依赖空气推进系统”, 根据其工作原理不同, 又可分为: 热气机 (*SE-AIP*)、闭式循环柴油机 (*CCD-AIP*)、燃料电池 (*FC-AIP*) 闭式循环汽轮机 (*MESMA-AIP*) 等。*AIP* 系统的发展是常规潜艇发展史的一次 “动力革命” 经过较长时间发展, *AIP* 系统目前已基本具备了如同核潜艇那样的长时间潜航能力, 使诞生了百余年的常规潜艇又一次焕发了生机。

AIP 系统, 各国根据具体国情各有发展侧重, 其中热气机系统和燃料电池系统已经投入使用。

热气机 *AIP* 系统又称斯特林系统, 主要由斯特林发动机、发电机、液养系统、供油系统、工质系统及控制系统等组成。热气机的技术比较成熟, 工作时噪音低, 振动小,

溶解在海水中的废气可直接排出艇外。

1985 年初, 瑞典发研制的斯特林发动机达到实用阶段, 两年后将其安装在一艘 “水怪” 级潜艇上进行了成功试验, 1995 年, 瑞典海军安装热气机系统的 “哥特兰” 级潜艇服役, 开创了潜艇发展史上的新纪元 (图 1-4)。据报道, 瑞典在研的 2000 型潜艇采用的 “斯特林” 发动机。功率为 100 千瓦, 可支持潜艇联系潜航 14 个昼夜。



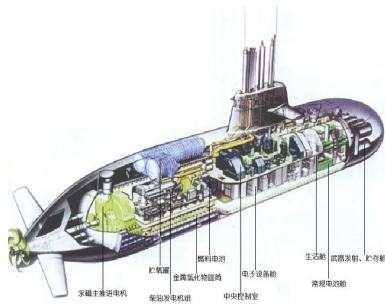
**图 1-3 *German212*



**图 1-4 *Gotland*

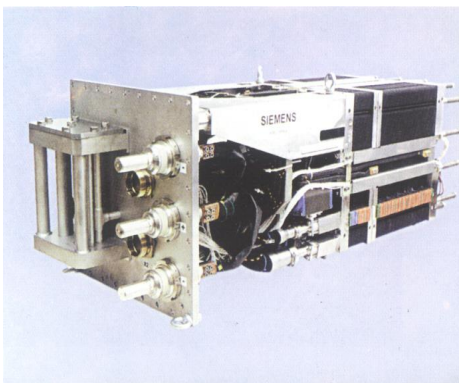
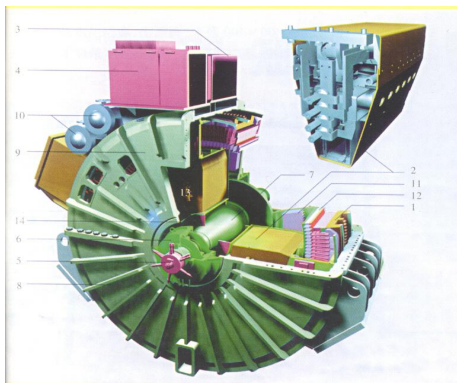
燃料电池系统是另一种发展较为成熟的 *AIP* 系统, 由固态聚合物燃烧装置, 液养系统, 氢系统, 热交换器, 海水冷却器, 淡水冷却泵, 冷却水箱, 催化剂罐,

造水箱等装置和燃料电池组件的电器设备构成。该系统的特点是装置中无转动机械部件，因而没有噪音辐射；无机械能和电能辐射，电能转化效率高达 70%；能量转换温度低，工作环境较安全。德国是最早研究燃料电池的国家之一，水平处于世界领先地位，1980 进入产品研制阶段，1987 采用燃料电池改装了一艘 205 级潜艇并成功进行了海试。在德国新一代 212 级潜艇上将正式采用燃料电池 AIP 系统（图 1-3）。



小资料：德国 AIP 潜艇-212 型关键技术

212 型艇长 55.9 米，最大直径 7 米，水上排水量 1450 吨，水下排水量 1830 吨。柴油发电机组为 MTU16V396SE84 型，4243 马力；推进电机为西门子永久磁电机(图 1-5a)，3875 马力；西门子 PEM 燃料电池，由 9 个模块单元组成每个模块单元输出功率 30-40 千瓦 50-55 伏，不含其他电子控制系统的净重 650 千克(图 1-5b)。输出功率 300 千瓦，电压 300-600V；贮氧罐和氢化物圆筒分别设在耐压壳外的上部和下部。



(a) 永磁主推进电机模型解剖图 (b) PEM 质子交换膜燃料电池模块单元外形

**图 1-5 潜艇-212 重要元件图

内燃机的主要优点如下：内燃机的工质在循环中的平均吸热温度远高于蒸汽发动机中的蒸汽的平均吸热温度，因此内燃机的热效率通常高于蒸汽发动机，一般达到 20-30%，甚至更高；内燃机起动迅速，中、小型内燃机通常在几十秒至几分钟内即能起动，并投入全负荷运转，机动性强；内燃机用水极少或更本不用水，运行维护比较简便。

内燃机的主要缺点是：对燃料要求高，不能直接燃用劣质燃料和固体燃料；

由于间歇换气以及制造上的困难，单机功率的提高受到限制，现代内燃机的最大功率一般小于 4 万千瓦，而燃气轮机的单机功率可以达到数千瓦；内燃机低速运转时输出转矩下降较多，往往不能适应被带负荷的转矩特性；内燃机不能反转，故在许多场合下许设置离合器和变速机构，使系统复杂化，而活塞式蒸汽机的低速与反转性能就显著优于内燃机；此外，一般热力发动机都存在所谓“公害性”，而内燃机的噪声和废气中的有害成分对环境污染尤其突出。

1.3 各种内燃机的应用范围

内燃机特点：热效率高、适应性好、功率范围广，已广泛应用于工农业、交通运输业和国防建设事业等方面。

由于内燃机的使用范围如此的广泛，世界各国的需求量十分巨大并不断增长。在各经济部门和国防工业中，内燃机都占有极其重要的地位。

1.3.1 航空动力方面

燃气轮机和喷气式发动机几乎是唯一的动力装置。优点：重量轻，尺寸小，结构简单，扭矩特性好，振动小及排气中有害气体少。缺点：热效率低，燃料消耗高。图 1-6 为喷气式发动机的原理图和涡扇 9 型飞机发动机。



(a) 喷气式发动机工作原理 (b) 涡扇 9 型飞机发动机

**图 1-6 喷气式发动机

1.3.2 陆路交通方面

内燃机的发展，使得人类的陆路交通产生了一个质的飞跃，从此，“以车代

步”对许多人来说都不再是一个不企及迹的愿望如：图 1-7。



(a) 小汽车



(b) 摩托车

**图 1-7 陆路交通工具

1.3.3 内河船舶、工程机械柴油机应用



(a) 客船



(b) 起重机

**图 1-8 内燃机在内和船舶和工程机械上的应用

1.3.4 在远洋方面

在远洋海轮方面柴油机也是主要动力，原因是最经济。



(a) 油船



(b) 大型运输船

**图 1-9 远洋运输海轮上柴油机也是主要动力

1.3.5 在军用舰艇方面

虽然各国均在大力发展核能机燃气轮机动力装置，但在轻型舰艇上，柴油机仍占优势。核潜艇、导弹快艇、鱼雷快艇、巡逻艇、扫雷艇、登陆艇及大部分常规潜艇和军辅船仍以柴油机为主要动力。只有少数水面舰艇则采用柴—燃联合动力动力装置。CODOG，CODOD，Diesel，gas turbine，corporation，如：图 1-10



(a) 军舰



(b) 潜艇

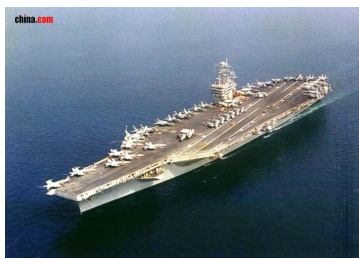
** 图 1-10 在均用舰艇上柴油机仍占优势



小资料：“小鹰”航母

由“福莱斯特”级脱胎换骨而来的“小鹰”级航空母舰，是美国海军建造的最后一级，也是最大的一级常规动力航空母舰。该级航空母舰的性能虽不及核动力航空母舰，但也不失为美海军航空母舰中的骨干力量。

“小鹰”级航空母舰自服役后经反复“手术”之后，4艘“小鹰”空能力和海上补给能力均更上一



过多次较大规模的大修或改装。在该级不仅反潜能力大为提高，而且防层。该级舰标准排水量 60100 吨，米，宽 39.6 米，吃水 11.4 米；动

力装置为 4 台蒸汽轮机，最大功率 28 万马力，最大航速 32 节（一节为 1.852 公里/小时）。舰上共搭载 80 余架各型固定翼飞机和直升机。

“小鹰”级航空母舰是美国海上军事行动的急先锋，在多次海上局部战争或冲突(如 1986 年美利锡德拉湾冲突和 1991 年海湾战争)中都参与了作战行。

1.3.6 备用电站方面

“三遥”自动化柴油机组是能计算机对机组进行遥控、遥测、遥信的新型智能柴油发电机组。它的控制屏采用远程通讯接口，可经 *MODEM* 和电话线与上位机实现“三遥”。机组采用闭式风扇水循环冷却系统，可在各种环境中可靠工作，特别适用于邮电系统和智能大厦作应急电源、部队战备无人值守电源，如：图 1-11。



(a) 柴油

发电机组

(b) 汽油发电机组

**图 1-11 电站内燃机的应用广泛

1.3.7 农用机械方面

内燃机在农业方面的应用是农业走向机械化、集约化的一个重要推动力，是农业现代化必不可少的一个环节如：图 1-12。



(a) 插秧机



(b) 拖拉机

**图 1-12 柴油机在农业方面不可缺少

1.4 内燃机发展简史

内燃机的发展，已有一百多年的历史。通过长期的不断改进和提高，已经发展的比较完善。由于它的热效率高，适应性好，功率范围宽广，已广泛用于工业、农业、交通运输业和国防建设事业。因此，内燃机工业的发展，对于国民工业的发展，对于国民经济和国防建设都具有十分重要的意义。

1824 年，卡诺（法国工程师）发表了热力发动机的经典理论——卡诺原理。



萨迪·卡诺（Nicolas Leonard Sadi Carnot, 1796-1823），法国物理学家、军事工程师，热力学的创始人之一，是第一个把热和动力联系起来的人。他出色地、创造性地用“理想实验”的思维方法，提出了最简单，但有重要理论意义的热机循环—卡诺循环，并假定该循环在准静态条件下是可逆的，与工质无关，创造了一部理想热机（卡诺热机）。卡诺的目标是揭示热产生动力的真正的、独立的过程和普遍的规律。

1824 年卡诺提出了对热机设计具有普遍指导意义的卡诺定理，指出提高热机效率的有效途径，被后人认为是热力学第二定律的先驱。

1866 年，奥托（德国工程师）提出了四冲程内燃机的“奥托循环”理论。

1879 年，奔驰（德国工程师）首次研制成功火花塞点火内燃机。



奔驰（Benz, Carl Friedrich），德国工程师，出生于一个火车司机家庭，年青时受过技术方面的教育。1878 年开始研究新型内燃机，1879 年首次研制成功火花塞点火内燃机。1882 年开始尝试把发动机安装在三轮车上，1885 年他的三轮车试制成功，并于 1886 年 1 月 29 日获得专利，被公认为汽车的诞生。

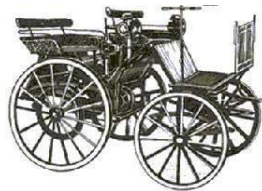
日；1887 年开始把汽车作为商品出售；1894 年生产出著名的“维洛”小客车，后置发动机、双人座、并且首先采用了橡胶充气轮胎。

1883 年，戴姆勒（德国工程师）发明热管点火的立式汽油机。



戴姆勒（Daimler, Gottlieb），（1834-1900），德国工程师，1886 年和他的助手威廉·迈巴赫制造出第一辆 1.1 匹马力的汽油机发动机四轮车，1897 年戴姆勒的公司生产出“凤凰”牌小客车，尤其是以戴姆勒公司驻法国的总进口商埃米尔·耶利内克的女儿“梅塞得斯 Mercedes”命名的小客车投产后，其前置发动机，有前车灯、挡风板、双门 5 座位敞篷车造型更加接近现代轿车的特征，大大提高了戴姆勒公司的商业地位。1926 年 6 月 29 日和奔驰公司合并，成立了在汽车史上举足轻重的戴姆勒·奔驰公司。

小资料：



戴姆勒一号车 本茨制造的三轮车

世界上第一辆汽车由德国工程师卡·本茨和戈特利布·戴姆勒同时于 1886 年宣告制成本茨制成的是三轮汽车，而戴姆勒制成的四轮汽车，其发动机功率为 1.1 匹马力。

1897 年，狄塞尔（德国著名热机工程师）最早制成了柴油机。附：



鲁道夫·狄塞尔（Rudolf Diesel，1858-1913），德国著名热机工程师，柴油机的发明者，也是艺术鉴赏家，语言学家和社会理论家。

狄塞尔出生在巴黎，他是个来自德国奥古斯堡的精细皮革制造商的儿子。在慕尼黑技术大学学习期间，他对被称为“蒸汽机”新机器很感兴趣。法国人约瑟夫·莫勒特（Joseph Mollet）发明的气动打火机激发了他的发明自燃式发动机的欲望。空气被压进一个含有易燃物的玻璃圆筒中直到易燃物燃烧起来，这就是狄塞尔发动机的原理。1892 年，狄塞尔取得了用压缩空气点燃煤粉提供动力的机械装置的专利。一年后，奥古斯堡的 MAN 公司依据他的原理制造了第一台发动机。狄塞尔卒于 1913 年，其他人继承了他的工作。1924 年，在柏林汽车展上展出了 MAN 公司制造的第一台狄塞尔卡车发动机（柴油机）。与此同时在曼海姆，一台带预燃烧室的狄塞尔发动机被装载了奔驰车上。

1903 年，首先装在船上，1907 年，用于潜艇的正反转的柴油机试验成功，1912 年，远洋货轮上的柴油机首次远航试验成功

小资料：第一艘潜艇的雏形



1620 年，荷兰物理学家德雷布尔在英国建成一艘潜艇，用羊皮压载水舱，船身为油脂皮革，能下潜三米，这是人类历史上首次出现的潜水船只，只是潜艇的雏形。1906 年英国 D 级潜艇建成服役，采用双层壳体，用柴油机取代汽油机。

1926 年，有人设计出用排气能量将进气压缩的废气涡轮增压器。涡轮增压器是利用发动机排出的废气能量，经过涡轮变为转子的回转机械能，从而带动压气机高速旋转，将新鲜空气压缩进气缸，从而提高发动机的功率。

内燃机增压的发展起源可追溯到 1885 年。戈-戴姆勒在发明、制造煤气机和汽油机时，已开始考虑利用增压。鲁-狄塞尔在柴油机发明专利中也提出了要安装增压泵以提高功率和热效率的想法。

20 世纪初，艾-比希申请专利，开创了涡轮增压的历史。最初是采用涡轮机、柴油机和压气机同轴连接，后改为涡轮单独驱动压气机的方法。

1923 年，德国客船上安装的涡轮增压四冲程柴油机把柴油机的功率从 1288 kW 提高到 1840 kW。

1925 年，比希获得了脉冲增压专利并在试验中获得了成功，功率可提高 50%-100%。

从 50 年代起，随着涡轮增压器效率的改进，柴油机采用涡轮增压技术后的功率和效率都得到了很大提高，从而被广泛地推广应用。

1936 年，梅塞德斯-奔驰公司制造了第一台装有柴油机的轿车。

1950 年起，开始在柴油机上采用增压方式。

如今，已经几乎无机不增压，增压后，柴油机的功率能提高 1-3 倍。废弃涡轮增压对提高柴油机性能作出了重大的贡献。增压器是用来提高发动机的进气充气密度，以提高平均有效压力来提高功率和改善经济性的器件，主要用于柴油发动机。在汽车发动机中采用比较普遍的就是废气涡轮增压系统。

在采用废气涡轮增压器后，不仅可以大大提高发动机功率，缩小外形尺寸，节约原材料，降低燃油消耗，而且可以使排烟浓度降低，减少废气中的 CO、HC 以及 NO_x 的含量，从而降低汽车排放。另外，由于燃烧压力升高率降低，发动

机工作柔和，噪声也比较少。

1.5 现代船用柴油机的发展动向

1.5.1 今后内燃机的主要发展趋势如下

1. 采取提高转速、增压等强化措施以及改善燃烧过程、提高机械效率等方法，进一步提高动力性和经济性。

2. 改进结构，采用新技术、新材料和新工艺，提高内燃机的耐久性和可靠性，并降低制造成本。

3. 降低噪声、净化废气、减少振动，以控制内燃机对环境的污染，改善劳动条件。

探求燃用重油及固体燃料的途径，以克服不能燃用劣质燃料的缺点。

4. 现代船用柴油机的发展：提高功率，降低油耗，提高可靠性，减少磨损，延长寿命，减少噪音和振动，降低重量和尺寸，实行自动监控等方向

1.5.2 主要方向

1. 广泛采用增压、中冷与多气门技术；

2. 实现高压喷射与电控，优化喷油规律；

3. 排气再循环(EGR)与排气后处理技术(机外净化)实现排气再循环可降低NO_x，但不利于燃油经济性，若能实现 EGR 冷却与电控，这有利于改善综合性能；

4. 优化结构设计，减少摩擦与附件功率损失，提高机械效率及柴油机的有效效率；

5. 船舶导航自动化、船舶机舱自动化、船舶装卸自动化系统及设备技术。]

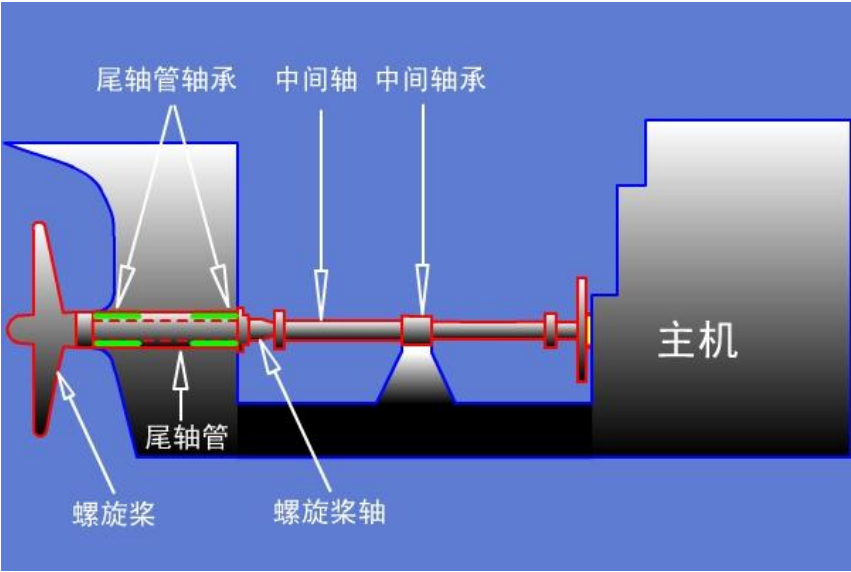
目前内燃机在技术上日臻完善，各项指标达到了相当高的水平，例如柴油机的单机功率为 1-36000 kW(千瓦)，热效率最高达 46%，燃油消耗率降低到 204-252g/(kW.h)[克/(千瓦·时)]；汽油机的最低燃油消耗率达 280-300g/(kW.h)，高速柴油机及车用汽油机的比重量都减少到 1.3-2.7kg/kW(公斤/千瓦)等。

1.6 柴油机在船舶上的布置

柴油机在船舶上的布置

1.6.1 低速大型柴油机的布置

低速大型柴油机作为船舶主机是和推进轴系直接连接而带动螺旋桨的，如图 1-13 所示。



@图 1-13 低速机的布置机轴系

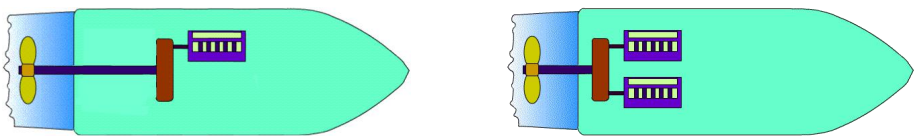
(图片说明：此图为抽象示意图，可示意结构，能让同学有清晰的思路,应用,该图用 coreldraw 制作) 小说明：后图带有 “@” 为抽象示意图

柴油机发出的功率通过中间轴和螺旋桨轴传给螺旋桨，使螺旋桨旋转产生推力通过推力轴承使船舶前进或后退。它的布置比较简单，一般每艘船上只装一台主机。

1.6.2 中，高速柴油机的布置

中、高速柴油机由于转速较高，一般不能与推进轴直接连接使用，而必须通过减速齿轮箱于推进轴连接。使用中、高速柴油机作为主机时，应选择最佳螺旋桨的转速，而使推进效率达到最大。下面图 1-14、图 1-15 是柴油机与桨的配合

(一) 多机单桨



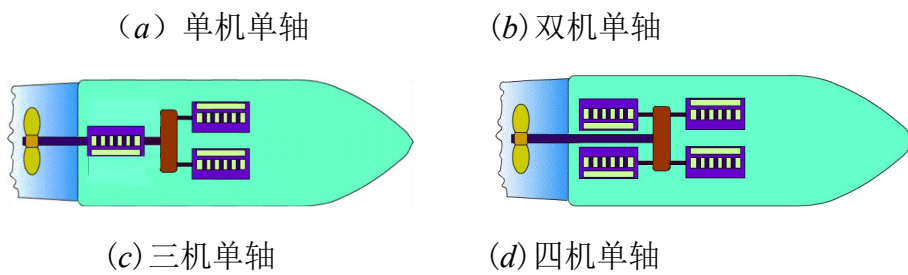


图 1-14 单轴单机和多机的布置

(二) 多机多桨

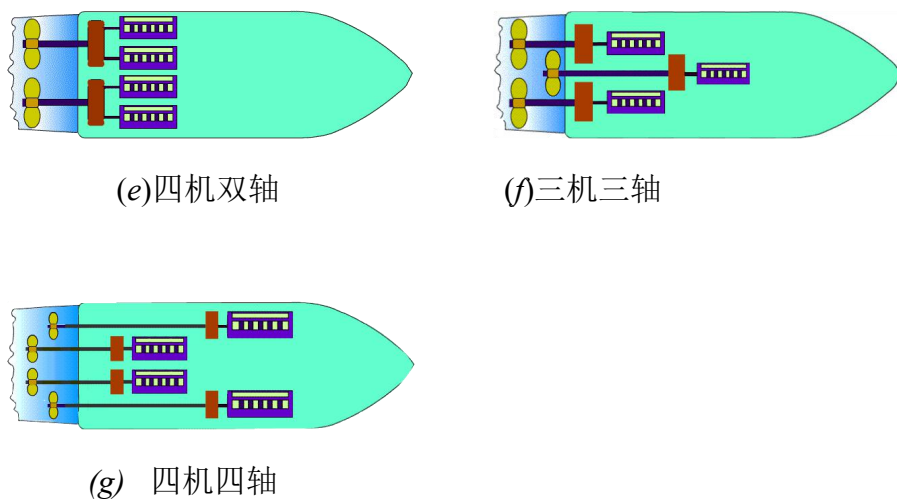


图 1-15 多轴多机的布置