

黄官华 编



# 舰用柴油机结构

JIANYONG CHAIYOUJI JIEGOU 1985

中国人民解放军工程学院



## 编者说明

本教材是《舰用柴油机结构》（海军工程学院1980年版）的修订本，但在内容和体系方面作了较大的调整。为适应教学改革的需要，将原教材中的轴系和变向离合器两章调整到《舰用柴油机动力装置》中讨论。为突出结构中主要和本质问题的阐述以及适应不同专业教学的需要，全教材共分两篇，第一篇着重阐明结构中的主要和本质问题，第二篇系统介绍典型柴油机的结构特点。

本教材是为使用管理专业编写的，同时也可作为其它专业的参考书。

本教材由俞懋旦教授主审，周宗成同志进行了详细的审阅，部分插图由院绘图室同志绘制，特此致谢。

由于编者水平有限，再加上资料不全，本教材一定存在不少缺点，甚或错误，请读者批评指正。

1985年9月

# 目 录

## 绪 论

## 第一篇 柴油机的工作原理和结构

### 第一章 柴油机工作原理

- 第一节 柴油机工作原理..... ( 3 )
- 第二节 曲柄连杆机构的受力简介..... ( 7 )
- 第三节 船用柴油机的类型..... ( 9 )

### 第二章 燃烧室组件

- 第一节 气缸..... ( 11 )
- 第二节 气缸盖..... ( 13 )
- 第三节 活塞组..... ( 15 )

### 第三章 动力传递组件

- 第一节 连杆..... ( 24 )
- 第二节 曲轴..... ( 29 )
- 第三节 机体和主轴承..... ( 35 )

### 第四章 配气机构

- 第一节 气阀机构..... ( 41 )
- 第二节 凸轮轴..... ( 45 )
- 第三节 配气机构的传动装置..... ( 48 )
- 第四节 气阀间隙和液压无隙传动..... ( 49 )

### 第五章 柴油机增压装置

- 第一节 各种增压系统..... ( 53 )
- 第二节 机械增压系统..... ( 54 )
- 第三节 废气涡轮增压器..... ( 58 )
- 第四节 空气冷却器..... ( 64 )

### 第六章 供油装置

- 第一节 燃烧室的各种型式..... ( 65 )

第二节	供油装置	( 67 )
第三节	燃油系统及低压油路附件	( 78 )

## 第七章 调速器

第一节	调速器工作原理和主要性能参数	( 82 )
第二节	直接作用式调速器	( 86 )
第三节	间接作用式调速器	( 88 )
第四节	超速安全装置	( 94 )

## 第八章 起动装置

第一节	电起动	( 97 )
第二节	压缩空气起动	(101)
第三节	保证可靠起动的措施	(105)

## 第九章 换向装置与操纵系统

第一节	换向装置	(107)
第二节	换向装置和操纵系统实例	(112)

## 第十章 润滑系统

第一节	润滑的作用和方法	(124)
第二节	润滑系统的组成	(125)
第三节	润滑系统的主要部件	(126)

## 第十一章 冷却系统

第一节	冷却的意义和方法	(132)
第二节	冷却系统的组成	(132)
第三节	冷却系统的主要部件	(134)

# 第二篇 船用柴油机实例

## 第一章 12E390V型柴油机

第一节	燃烧室组件	(142)
第二节	动力传递组件	(143)
第三节	配气机构	(145)
第四节	废气涡轮增压器	(146)
第五节	供油装置和燃料系统	(148)
第六节	调速器	(149)
第七节	起动装置和空气系统	(150)
第八节	润滑和冷却系统	(151)

第九节	换向装置和操纵系统	(152)
<b>第二章 6—390型柴油机</b>		
第一节	燃烧室组件	(157)
第二节	动力传递组件	(159)
第三节	配气机构和换气系统	(161)
第四节	供油装置和燃油系统	(163)
第五节	调速器	(165)
第六节	起动装置和空气系统	(166)
第七节	润滑和冷却系统	(167)
第八节	操纵机构	(168)
<b>第三章 42—160型柴油机</b>		
第一节	燃烧室组件	(172)
第二节	动力传递组件	(173)
第三节	配气机构	(175)
第四节	废气涡轮增压器	(177)
第五节	供油装置和燃油系统	(179)
第六节	调速器	(183)
第七节	起动装置和空气系统	(185)
第八节	润滑和冷却系统	(186)
<b>第四章 12180Z Ca/Z C型柴油机</b>		
第一节	燃烧室组件	(189)
第二节	动力传递组件	(190)
第三节	配气机构	(192)
第四节	废气涡轮增压器	(192)
第五节	供油装置和燃油系统	(193)
第六节	调速器	(194)
第七节	起动装置和空气系统	(197)
第八节	润滑和冷却系统	(198)
<b>第五章 PC2—5型柴油机</b>		
第一节	燃烧室组件	(202)
第二节	动力传递组件	(203)
第三节	配气机构和增压系统	(205)
第四节	供油装置和燃油系统	(205)
第五节	调速器和安全装置	(208)
第六节	起动装置和换向装置	(209)

第七节	润滑和冷却系统	(213)
-----	---------	-------

## 第六章 PA6—280型柴油机

第一节	燃烧室组件	(215)
第二节	动力传递组件	(216)
第三节	配气机构和增压装置	(217)
第四节	供油装置和燃油系统	(218)
第五节	调速器	(220)
第六节	润滑和冷却系统	(221)

## 第七章 MTU956系列柴油机

第一节	燃烧室组件	(224)
第二节	动力传递组件	(225)
第三节	配气机构和涡轮增压器	(226)
第四节	供油装置和燃油系统	(227)
第五节	调速器	(227)
第六节	附属系统	(229)

### 〔附录〕 调速器静态分析

## 绪 论

舰艇在水面和水下航行时会遭受一定的阻力，为使舰艇保持一定的航速航行必须给予它一定的推力，推力是依靠能源并通过螺旋桨或其它方式（如喷水）产生的。产生推力的一套设备和系统通称为舰船动力装置。按原动机型式不同，舰船动力装置分为以下四种类型。

- (1) 蒸汽轮机动力装置
- (2) 柴油机动力装置
- (3) 燃气轮机动力装置
- (4) 核动力装置

从当前各种舰船的技术装备看，中小型（排水量在3000吨以下）水面舰艇和常规潜艇普遍采用柴油机动力装置。中小型水面舰艇包括护卫舰、猎潜艇、导弹艇、扫雷艇、登陆艇以及辅助舰艇等。这是因为柴油机动力装置与其它动力装置比较，具有以下特点：（具体比较数据如下表）当前柴油机单机所能达到的功率尚不够大（由于尺寸和重量的限制，舰用柴油机均为大功率高速机和中速机）；但燃油耗率低，空气耗量较小，单位马力重量也较小，而且起动性能良好。

项 目	柴 油 机	蒸 汽 轮 机	燃 气 轮 机
单 机 功 率 (马力)	低速机 48,000 中速机 32,000 高速机 7000~8000	一般35000~45000 最大120000	大挡 25000~50000 中挡 10000~15000 小挡 5000
燃 油 耗 率 (克/马力一小时)	低速机 130~140 中速机 140~150 高速机 150~160	一般 210~230 少数 180~190 先进 157~161	一般 200~300 少数 170~190 先进 149~157
空 气 耗 量 (公升/马力一小时)	5—9	中 等	一般 14~24 少数 6~10
单 位 马 力 重 量 (公斤/马力)	低速机 22~40 中速机 6.5~15 高速机 1.3~4	10~15	单机重 0.2~0.6 整套装置重 9~11
故 障 率 (件/1000小时)	1.3	0.85	1.20
起 动 性 能	几秒钟	30分钟	1~3分钟
振 动 与 噪 音	差	良 好	中 等

图0—1所示为水面舰船柴油机动力装置布置简图，柴油机和螺旋桨之间通过轴系连接。轴系的功用是将柴油机的转矩传给螺旋桨，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，以推动舰船运动。为了制造和安装的方便，一般将整个轴系分成若干段，然后用联轴节连接起来。沿着整个轴系布置若干个支点轴承，以保证轴系的正常运转。在轴系从艇体内向外伸出处以及轴系在艇体内通过隔墙处都设置有防漏措施，以保证水密性。

图0—2所示为潜艇柴油机动力装置的组成和布置。它和一般水面舰船动力装置的主要不同点在于：柴油机和螺旋桨之间设置有主电机，水下航行时，由主电机带动螺旋桨工作。该电机为直流电机，当向蓄电池充电时，它作为发电机使用，当带动螺旋桨工作时，它作为电动机使用。主电机的前端和后端用轮胎离合器结合，离合器的结合和脱开，由一套操纵系统控制。潜艇柴油机动力装置的任务如下：

- (1) 柴油机带螺旋桨旋转以保证潜艇航行，这时前后离合器结合，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组充电，这时前后离合器结合。
- (3) 柴油机带主电机向蓄电池组充电，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。

在上述四种工作状态中，前三种是潜艇处于水面和通气管状态；第四种状态主要用于深水航行和机动。作为潜艇主机的柴油机除提供动力保证潜艇运动以外，还同时带动电机提供电能，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，推进电机的负荷很小，效率很低。为消除这一缺点，设置有经济航行电动机。该电动机通过三角皮带来传动轴系。当用经济航速航行时，主电机前后离合器脱开，经济航行电动机的离合器结合，蓄电池组向它供电。

本教材介绍的内容是柴油机动力装置的核心部分——柴油机，全教材共分两篇。第一篇主要阐明柴油机由那些构件组成，每个构件中的主要和本质的问题，它们之间的相互关系（包括连接关系和运动关系）。结合国内外舰用柴油机的现状和发展，阐明每一构件当前所采用的主要类型及其特点。针对舰用柴油机的特点以及我海军舰船装备的现实情况，教材内容以高速柴油机和中速柴油机为主要对象，并以12V E230 Z C型柴油机（图0—3）和135型柴油机（图0—4）为典型实例。本篇是组织舰用柴油机结构课教学的基本内容，其任务是培养学员分析舰用柴油机结构的初步能力，为掌握我海军舰船装备奠定必要的基础。第二篇主要系统介绍国内外一些舰用柴油机的结构型式和特点，内容包括6—390、42—160、12V E390 Z C、12180 Z C、PA 6—280、PC 2—5、MA 956等柴油机。其中部分是我海军潜艇、护卫舰、导弹快艇、巡逻艇等舰艇的现实装备；另一部分是已向国外引进的先进机型。本篇的任务是为不同专业的需要提供有关的结构资料，并为扩大学员的知识面了解当前国外水平创造条件。在组织教学过程中，可根据不同培养对象的需要、学员的特点、课内外的时间条件，采取不同的方式有目的地进行选用。通过第一篇内容的分析，为学员独立掌握第二篇内容创造了必要的条件；通过第二篇内容的学习，可加深对第一篇内容的理解。



# 第一篇 柴油机工作原理和结构

## 第一章 柴油机工作原理

### 第一节 柴油机工作原理

柴油机是内燃机的一种类型。工作时柴油喷入燃烧室里燃烧，放出热能，通过燃气的膨胀将热能转变成机械功。

柴油机的基本结构如图 1—1 所示。气缸、气缸盖和活塞共同组成一个密封的空间——燃烧室。新鲜空气进入燃烧室后，通过压缩来提高温度；当把柴油喷入时，则它立即与高温空气混合燃烧。燃烧后产生的高温高压气体作用在活塞顶上，推动活塞在气缸内运动。然后通过连杆把作用力传给曲轴，并把活塞的直线往复运动转变为曲轴的旋转运动。

工作时活塞作直线往复运动，曲轴作旋转运动，活塞与曲轴之间的相对位置保持着一定的关系。运动时，活塞离曲轴中心最远的位置，称为上死点；离曲轴中心最近的位置，称为下死点。由于活塞位于这两个位置时，作用在它顶上的力，都不能推动曲轴旋转，所以称为死点。活塞由一个死点到另一个死点的位移，叫做一个活塞冲程，其长度通常用  $S$  表示。若曲柄半径为  $R$ ，则  $S = 2R$ 。

由柴油机的基本工作特点可以看出：为了保证柴油能在燃烧室内进行燃烧和作功，除了燃烧和气体膨胀作功的过程以外，还必须有一系列其它过程（如进气、压缩、排除废气等）来配合。这些过程可以在四个活塞冲程内完成，也可以在两个活塞冲程内完成。前者称为四冲程柴油机，后者称为二冲程柴油机。

#### 一、四冲程柴油机工作原理(图1—2)

##### (一) 进气冲程(图 a)

进气冲程的任务是保证气缸内充填新鲜空气。该冲程进行时，活塞从上死点向下死点运动，同时进气阀由凸轮顶开。

在活塞向下死点运动过程中，气缸容积逐渐增大，形成一定的真空，使得缸内气体压力低于大气压力。因此外面的空气经进气阀不断地被抽吸而进入气缸。

进气过程中气缸内气体压力的变化情况如图所示。图中横座标表示气缸容积  $V$ ，纵座标表示气缸内气体压力  $P$ 。所以图中的压力曲线表示出工作过程中缸内气体压力的变

化规律。由于进气系统的阻力，所以进气过程中，缸内气体压力比大气压力稍低。一般进气终了时的压力约为 $0.8\sim 0.9$ 公斤/厘米<sup>2</sup>，温度约为 $30\sim 50^{\circ}\text{C}$ ，进气过程中，缸内气体压力大致保持不变。

当活塞运动到接近下死点时，冲进气缸的气流仍具有很高的速度，惯性很大。为了利用气流的惯性来提高充气量，进气阀在活塞过了下死点以后关闭。这时虽然活塞已向上死点运动，但由于惯性作用，气体仍能进入气缸。为增大气流通道，减小气流通过气阀时的阻力，从而提高进气量；进气阀是在上死点前开启。

### (二) 压缩冲程 (图 b)

压缩冲程进行时，气阀全部关闭，活塞从下死点向上死点运动，其作用有二：一是提高空气的温度，为喷入气缸的柴油自行发火创造条件；二是为气体膨胀推动活塞向下死点运动创造条件。

当活塞从下死点向上死点运动，进气阀关闭以后，气缸内空气受到压缩。随着气缸容积的不断缩小，空气的压力和温度也就不断上升。压缩终点的压力 ( $P_c$ ) 约为 $30\sim 50$ 公斤/厘米<sup>2</sup>，温度约为 $500\sim 700^{\circ}\text{C}$ 。而柴油达到 $270\sim 290^{\circ}\text{C}$ 时，就能自行发火。因此在压缩冲程之末，把柴油喷入气缸以后，不用专门的点火设备，柴油就能迅速地自行发火和燃烧。

压缩终点的压力和温度的大小，与空气的压缩程度有关。空气的压缩程度一般用压缩比  $e$  来表示。

$$e = \frac{\text{气缸总容积}}{\text{燃烧室容积}} = \frac{V_h + V_c}{V_c} = 1 + \frac{V_h}{V_c}$$

压缩比表示活塞从下死点走到上死点时，把空气压缩了多少倍。  $e$  一般为 $12\sim 20$ 。

从压缩比的关系式中可看出：当气缸直径和活塞冲程确定以后，气缸工作容积  $V_h$ ，也随着确定，因此燃烧室容积  $V_c$  的变化，将会引起  $e$  的变化。

### (三) 动力冲程 (图 c)

这是一个对外作功的过程，实际上它包括喷油燃烧和膨胀作功两个阶段。压缩冲程之末，把柴油喷入气缸内，当它遇到温度很高的空气以后，便很快发火和燃烧，放出大量热能，因而缸内气体温度和压力急剧增高。最高燃烧压力 ( $P_m$ ) 达 $45\sim 100$ 公斤/厘米<sup>2</sup>，最高温度达 $1600\sim 2000^{\circ}\text{C}$ 。

在高温高压气体的推动下，活塞向下死点运动，并通过连杆、曲轴带动螺旋桨或发电机转动。随着活塞向下死点运动，气缸容积逐渐增大，缸内气体压力也逐渐降低，动力冲程之末，气体压力约为 $3\sim 6$ 公斤/厘米<sup>2</sup>，温度约为 $800\sim 900^{\circ}\text{C}$ 。

### (四) 排气冲程 (图 d)

排气冲程进行时，活塞从下死点向上死点运动，它的任务是把膨胀作功后的废气排出气缸，为下一个工作循环充填新鲜空气作准备。

当动力冲程进行到下死点附近时，排气阀开始打开。由于这时缸内废气尚有相当高的压力，因而它迅速冲出气缸，实现自由排气过程，使缸内气体压力迅速降低，从而减少了活塞在排气冲程中的阻力。

当活塞在曲轴和连杆的带动下由下死点向上死点运动时，继续把留在缸内的废气推

出缸外，实现强迫排气过程。由于排气系统中存在着阻力，所以缸内气体压力比大气压力高，排气冲程终了时的压力约为 $1.05\sim 1.15$ 公斤/厘米<sup>2</sup>，温度约为 $600\sim 700^{\circ}\text{C}$ 。

为了使排气排得干净，排气阀在活塞过了上死点以后才关闭，这时主要是利用排气管内气流的惯性把缸内的废气抽出，实现惯性排气。

排气冲程结束，下一个进气冲程开始。因此有一段时间进气阀和排气阀同时开启，进气阀和排气阀保持同时开启的曲轴转角称为同开角。

柴油机进气阀和排气阀的正确开启和关闭时间，是保证柴油机获得良好性能的重要条件之一，各种类型柴油机的具体数据也不相同，一般通过试验来确定。气阀开启和关闭的时间通常用曲柄的位置图来表示，该图称为定时图，图1—3为135型柴油机的定时图，从图上可以看到，柴油机进气阀在上死点前开启，在下死点后才关闭，气阀开启的总角度大于 $180^{\circ}$ 曲轴转角。进气阀关闭以后，进行压缩、喷油、燃烧和膨胀等过程。排气阀在下死点前开启，在上死点后关闭，气阀开启的总角度也大于 $180^{\circ}$ 曲轴转角。

从上述工作原理可以看出：柴油机工作时，四个冲程中只有动力冲程对外作功，其它三个冲程都是为产生动力服务的，不可避免地要消耗一部分功。

## 二、二冲程柴油机工作原理

二冲程柴油机同样具有进气、压缩、燃烧、膨胀和排气等过程，但与四冲程柴油机不同的是：这些过程是在两个活塞冲程内完成，其中压缩、燃烧和膨胀过程与四冲程柴油机基本相同，而差别较大的是进气和排气两个过程。

目前我军舰艇采用的二冲程柴油机有以下几种类型。

### (一) 气阀直流式(图1—4)

这种二冲程柴油机结构方面有如下特点：在气缸的下部开有进气孔，进气孔的开启和关闭由活塞来控制。采用专门的换气泵把空气压力提高，并贮存在贮气室内，贮气室经进气孔与气缸内部相通。排气阀安装在气缸盖上，由凸轮控制。

工作过程如下：当活塞在高温高压气体的推动下向下死点运动时，在活塞将要让开进气孔以前，排气阀已由凸轮顶开(图b)。由于缸内气体还具有相当高的压力( $4\sim 6$ 公斤/厘米<sup>2</sup>)，因而气体便以很高的速度通过排气阀冲出气缸，使缸内气体压力很快降低，实现前期排气。

当活塞让开进气孔时，缸内的气体压力已低于贮气室内的空气压力，因而新鲜空气通过进气孔进入气缸(图c)，同时把残存在缸内的废气推出缸外的这个过程一直延续到活塞越过下死点盖住进气孔时为止(图d)。

当活塞由下死点向上死点运动时，为了获得良好的换气效果，进气孔关闭的时间通常稍先于排气阀。在排气阀关闭以后，缸内空气受到压缩，压力和温度不断升高。活塞到达上死点附近时，喷油燃烧(图a)。

从上述工作过程可以看出：在二冲程柴油机中，进气和排气是在动力冲程后期和压缩冲程前期一段较短时间内实现的；而在四冲程柴油机中，进气和排气的多于两个活塞冲程。因此二冲程机的换气效果比四冲程机差。(图1—4e为PV图)

图1—5 12VE230ZC柴油机定时图

### (二) 气孔直流式(图1—6)

这种型式在结构上有如下特点：在气缸的两端分别开有进气孔和排气孔，气孔的开启和关闭分别由两个活塞来控制。工作时，两个活塞在气缸中作相对运动，所以这种类型也称为对顶活塞式柴油机。燃烧室位于气缸中部，在图中所示的这种结构中，两个活塞通过连杆分别与上下曲轴连接。上下曲轴一般通过伞形齿轮和直杆连成一体，上曲轴的动力由直杆传至下曲轴，最后汇总起来向外输出。

当两活塞向燃烧室方向运动时，对空气进行压缩。快接近上死点时，喷油燃烧。在高温高压气体的作用下两活塞向相反方向运动。在下死点前下活塞首先将排气孔让开，实现前期排气；然后上活塞才把进气孔让开进行换气。当上下活塞从各自的下死点向燃烧室方向运动，把进排气孔关闭以后，又进行压缩过程。

根据换气的要求，排气孔应比进气孔提前一定角度开启，为此排气孔的高度比进气孔的高度稍大；同时与控制排气活塞连接的曲轴，在安装时比与控制进气活塞连接的曲轴领先一定的角度。该机的定时图以控制排气活塞的曲柄为基准划出， $a$  为排气孔开启时的曲柄位置， $a'$  为排气孔关闭时的曲柄位置； $b$  为进气孔开启时的曲柄位置， $b'$  为进气孔关闭时的曲柄位置。

### (三) 横流式 (图 1—7)

横流式二冲程柴油机结构特点是：进气孔和排气孔分别开在气缸下部的两侧，它们的开关均由同一活塞控制。为了保证在进气孔让开以前先行排气，采取的措施之一就是排气孔的上边缘比进气孔的上边缘高一些。

当活塞从上死点下行时，首先打开排气孔，让一部分废气排出缸外，使缸内气体压力下降，然后打开进气孔进行换气。活塞经下死点向上运动时，先盖住进气孔，然后再关闭排气孔，进行压缩过程。换气时所需的压力新鲜空气一般由专用换气泵来供给。(图  $a$ )

在有的横流式二冲程柴油机中，不用专用换气泵，而活塞下部的曲柄箱作为换气泵的空间，因此这种型式亦称为曲柄箱式换气二冲程柴油机 (图  $b$ )。各缸的曲柄箱均为密封空间，进气口由单向阀控制。活塞上行时，曲柄箱空间的容积增大，形成一定的真空，单向阀开启，因而外界空气经单向阀进入曲柄箱。当活塞下行时，曲柄箱空间的容积减小，空气压力升高，单向阀关闭。当活塞让开进气孔时，曲柄箱内的压力空气经进气道和进气孔进入气缸进行换气。

图 1—8 所示为横流式二冲程柴油机的定时图。

二冲程柴油机的工作循环数比同样转速的四冲程柴油机大一倍，因此在转速和气缸容积相同条件下，二冲程柴油机的功率较四冲程柴油机大。但在二冲程柴油机中，由于没有专门的进气和排气过程，而是用压力空气来驱除废气，因而换气质量较差，特别是在横流式二冲程柴油机中，这在一定程度上影响燃烧，从而影响经济性。在二冲程柴油机中由于曲轴每转一转完成一个工作循环，所以燃烧室组件的工作温度较高，容易引起各种故障。

目前在我军舰艇上，四冲程和二冲程柴油机都得到应用。在二冲程柴油机方面，以气孔直流式的应用较为普遍。

### 三、增压柴油机的工作特点

增压柴油机和非增压柴油机的主要区别是：

在四冲程柴油机中，进气冲程不是依靠活塞在缸内形成真空，把新鲜空气吸入气缸，而是采用专门的压气机把空气压力提高后送入气缸。

在二冲程柴油机中，不是采用正常压力的空气来进行换气，而是采用较高压力的空气进行换气。有的规定当换气压力大于1.5公斤/厘米<sup>2</sup>时，即属于增压范围。

采用增压的根本目的是为了：在一定气缸容积的条件下，增加气缸的进气量，相应地燃烧更多的柴油，从而提高柴油机的功率。对于气缸容积和转速相同的柴油机，采用增压以后，与非增压相比，其功率一般可提高50~100%以上，而结构方面的变化甚少。下表为135型柴油机增压前后的功率和尺寸重量对比。增压柴油机在舰艇上的应用极为广泛。

机 型	功率Ne (马力)	转速n (转分)	缸数 i	缸径D (毫米)	冲程S (毫米)	重 量		尺 寸 (米)		
						总 重 (公斤)	每马力 重 量	长	宽	高
6135ca-1(非增压)	114	1500	6	135	140	1280	11.23	1429	777	1240
6135zca-1(增压)	181	1500	6	135	140	1310	7.24	1594	777	1247

增压柴油机除了进气冲程采用较高压力以外，其它过程的进行情况与非增压柴油机基本相同。但工作循环的压力和温度较高，压缩终点的压力( $P_c$ )可达50~90公斤/厘米<sup>2</sup>，温度达1000℃；最高燃烧压力( $P_b$ )可达120~150公斤/厘米<sup>2</sup>，最高温度大致为1800~2200℃。增压柴油机进排气阀同开角较非增压柴油机大。其目的是为了利用压力空气来赶走残存在缸内的废气，增加进气量；同时降低燃烧室组件以及其它有关机件的温度，提高工作可靠性。

## 第二节 曲柄连杆机构的受力简介

曲柄连杆机构由活塞、连杆、曲轴、气缸、主轴轴承和机体等部件组成。它将活塞的往复运动改变为曲轴的回转运动；把动力从活塞传给曲轴；并构成整套柴油机的骨架。柴油机运动时，这些机件承受着各种力的作用，柴油机的工作可靠性和平稳性以及使用寿命，与它们的受力情况有着密切的连系。图1—9为曲柄连杆机构受力简图。

### 一、气体压力和惯性力

曲柄连杆机构上的作用力分为两类：气缸内气体压力的作用力；曲柄连杆机构运动质量的惯性力。

#### (一) 气体压力P<sub>g</sub>

气体压力作用在活塞顶上，并以同样大小的力作用于气缸盖，但二者方向相反。活塞在气缸内某一位置时的气体压力值可按下式求得

$$P_g = p_g F$$

式中

向力  $T$  和沿着曲柄轴线方向的径向力  $K$ 。

在曲轴中心加一对大小相等(其值等于  $T$ )但方向相反的力  $T'$  和  $T''$ ，并与切向力  $T$  平行。这样就得到了使曲轴旋转的力偶，其力矩  $M=TR$ ，以及作用在轴中心的力  $T''$ 。

将径向力  $K$ ，与离心惯性力  $P_s$  的合力沿其作用线移到曲轴中心，与力  $T''$  相加得到合力  $Z$ ， $Z$  力作用在主轴承上。

柴油机工作时，在每工作循环中  $P_s$  是不断变化的，因而引起  $T$  的变化，这样也就引起扭矩  $M$  的不均匀。在变扭矩的作用下，曲轴旋转便不均匀。

### 第三节 舰用柴油机的类型

目前国内外的中小型舰艇中，柴油机的应用极为广泛，而且结构类型很多。为了便于从总体上了解和掌握柴油机的特点，可根据柴油机最基本的特征作如下分类。

#### 一、按完成工作循环的方法分

- (1) 二冲程柴油机。
- (2) 四冲程柴油机。

#### 二、按充填新鲜空气的方法分

- (1) 增压柴油机。
- (2) 非增压柴油机。

#### 三、按曲柄连杆机构的型式分

(1) 箱式柴油机(图 1—10  $a$ 、 $b$ )。活塞的箱部直接起导向作用。工作时由于连杆的倾斜所产生的侧推力，通过活塞箱部作用在气缸壁上。中、高速柴油机均采用这种类型。

(2) 十字头式柴油机(图 1—10  $c$ )。在活塞和连杆之间增设了十字头来起导向作用，十字头通过活塞杆与活塞连接。工作中由于连杆倾斜所产生的侧推力，通过十字头作用在滑轨上，因而可以减轻活塞与气缸间的磨损，延长使用期限。大型低速机一般采用这种结构型式，由于结构高大笨重，舰艇采用甚少。

#### 四、按气缸排列方法分

- (1) 单列式柴油机(图 1—11  $a$ )。
- (2) 多列式柴油机。 $V$ 型(图 1—11  $b$ )、 $W$ 型(图 1—11  $c$ )、 $X$ 型(图 1—11  $d$ )、星型(图 1—11  $e$ )。

#### 五、按曲轴数目分

- (1) 单轴柴油机(图 1—11)。
- (2) 多轴柴油机。双轴(图 1—12  $a$ )、三轴( $\nabla$ 型)(图 1—12  $b$ )、工字型(图 1—12  $c$ )、王字型(图 1—12  $d$ )

## 六、按曲轴转速或活塞平均速度分

当曲轴转一转时，活塞移动两个冲程长度（ $2S$ ）。如果曲轴每秒钟转 $n/60$ 转（转速 $n$ 的单位一般为转/分），则活塞的平均速度 $c_m = 2s(\text{米}) \times n/60 = nS/30$ 米/秒。

按曲轴转速或活塞平均速度分类时，柴油机分为高速、中速和低速三级，关于速度的划分当前尚无统一的标准，但根据统计资料来看，大功率柴油机的速度范围大致如下：

高速柴油机 $C_m = 9-14$ 米/秒， $n = 1000-2200$ 转/分。

中速柴油机 $C_m = 7-9$ 米/秒， $n = 250-1000$ 转/分。

低速柴油机 $C_m = 7$ 米/秒以下， $n = 250$ 转/分以下。

## 七、按柴油机的用途分

- (1) 主机——带动螺旋桨工作。
- (2) 副机——带动发电机或水泵等装置工作。

## 第二章 燃烧室组件

燃烧室组件包括气缸、气缸盖、活塞组三大部分。它们的共同任务是组成燃烧室，并把燃气的作用力通过活塞经连杆传给曲轴。柴油机工作时，柴油在这里燃烧，同时燃气也在这里膨胀，因此它们直接承受着高温高压燃气的作用，在巨大气体压力的作用下，它们都会产生变形，变形结果，每个机件的金属材料内部产生内力，当承受的内力超过金属材料的强度时，就引起机件的破坏。

燃烧室内的燃气瞬时最高温度可达 $1600^{\circ}\text{C}$ 以上，而经常与燃气保持接触的燃烧室组件的温度也就相当高，而且各处的温度分布也极不均匀（如图2—1所示）。在高温条件下金属材料的机械性能下降，气缸壁表面的润滑条件恶化。不均匀的温度分布，引起结构各部分变形的不一致，这样也会出现引起机件破坏的内力。

在活塞高速运动的过程中，由于连杆倾斜所产生的侧推力，使活塞紧紧贴在气缸上；因而两者之间存在着剧烈的摩擦。摩擦不仅带来功率的损失，而且带来机件的磨损，使机件表面形状和尺寸发生变化，如果相互配合的间隙失去保证，将影响机件的正常工作，甚至发生事故。

根据燃烧室组件的任务和工作条件，为了保证该组件正常工作，必须解决好以下几个主要问题。

1. 保证良好的密封性，使漏气量达到最低限度。因为漏气不仅会降低功率，影响柴油机的正常启动，而且可能引起机件故障。
2. 柴油机工作时承受的负荷，不要超出机件强度（指抵抗破坏的能力）和刚度（指抵抗变形的能力）的安全范围。
3. 保证散热良好，让机件各部分温度分布较均匀并处于安全范围。
4. 保证活塞和气缸之间的良好润滑，降低机件的磨损速度，延长使用寿命。

### 第一节 气 缸

#### 一、气缸的结构

气缸通常由衬筒和气缸体两部分组成。在一般结构中，气缸体是机体的一部分。

按照水套结构型式不同，一般气缸分为干式和湿式两种（图2—2）。干式衬筒的主要结构特点是：衬筒的外表面不和水直接接触，而是紧紧地贴合在气缸体的圆柱形搪孔中，冷却水套设置在气缸体内，燃气传给衬筒的热量，通过气缸体传给冷却水（如GM6—71、海格里斯等柴油机）。湿式衬筒的主要结构特点是：衬筒的外表面和水直接接触。采用干式衬筒时，虽然可以保证整个气缸体得到较好的刚度和强度，以及冷却水腔中没有防漏问题；但在传热效果和制造工艺、装配和维修方面不如湿式衬筒优越和简便，因此目前在船用柴油机中，湿式衬筒得到广泛的应用。



135型柴油机气缸如图2—3所示。衬筒利用上凸肩支承在气缸体的环形台阶上，由气缸盖压紧，并依靠上下配合带来定心，同时衬筒的横向支承也依靠配合带来保证，作用在气缸上的侧推力也通过配合带传给机体。为了使衬筒保持适当的温度，整个衬筒的外壁被循环冷却水所包围。工作时虽然衬筒与机体两部分的温度不一致，但由于它们是分制的，因而衬筒可以相对于气缸体向下自由延伸，从而消除了衬筒的内力和变形。

图2—4为12VE230ZC柴油机气缸。由于该机为二冲程，衬筒中部开有气孔，因而气孔与水套之间也有防漏问题。

在某些柴油机中，气缸的冷却水套与衬筒铸成一体（图2—5）然后安放在机体的圆孔中。这种型式主要用在二冲程柴油机中（如GM12—567、GM16—278等）。整个气缸用长螺栓与气缸盖连成一体，然后依靠气缸盖上的凸肩支承在机体上。冷却水由气缸下部的环形水道进入，通过气孔之间的水孔进入上部水腔。气缸下面有两个环形支撑部，它们分别由机体来支承。采用这种气缸结构时，气孔部分不存在防漏问题。

衬筒装进气缸体时，通常没有固定的位置，但有些柴油机要求衬筒和气缸体保持严格相对位置。如：

1. 8—300柴油机中，为了保证气阀的顺利开启，衬筒上部开有凹槽。因此安装时要与气缸体保持一定的相对位置。

2. 12VE230ZC柴油机中，为了避免连杆与衬筒下部相碰，在衬筒下部连杆摆动平面方向的两侧各开一个缺口，所以安装时要注意它们的相对位置。

3. 有的柴油机（如海格里斯）为保证辅助燃烧室与主燃烧室相通，也要求衬筒与气缸体保持正确的相对位置。

衬筒外面的冷却水不断地循环流动，带走燃气传给它的热量，使衬筒保持正常的工作温度，使用的冷却水有海水和淡水两种。冷却水从气缸下部进入冷却水腔，自下而上流动，然后进入气缸盖。

为了保证冷却水腔的密封性，一般采用如下措施：

1. 衬筒上部凸肩处：凸肩和台阶接触面处的防漏方法主要有以下几种。

(1) 接触面研磨配合。

(2) 在配合面处加紫铜垫圈，如8—300、135。

(3) 在支承台阶处装耐热橡皮圈，如12VE230ZC。

2. 衬筒下部配合带处：

这里的防漏措施主要是在配合带处设置橡皮圈，安装时将橡皮圈挤压在配合带内面。根据橡皮圈安装方法的不同，具体结构有下列几种类型。（图2—6）

(1) 在衬筒下部配合带处开有2—5道环形槽（槽的断面为圆弧形或者方形）每个槽内装一个橡皮圈（图a，b），这种类型应用比较普遍。有的柴油机（如轻12—180）在气缸体上开有检查孔（图b）用来检查橡皮圈的工作情况。如发现检查孔漏水，说明上面四道橡皮圈已损坏，如发现漏滑油说明第五道橡皮圈已损坏。

(2) 衬筒下部配合带处作成台阶状，一定数量的橡皮圈都装在台阶上，当把气缸排装进曲柄箱上时，利用曲柄箱的支承面把橡皮圈挤紧（图c，d）。这种类型应用在某些轻型高速机上。图c为12V—150柴油机的结构。图d用于42—160型柴油机，台阶上共装四个橡皮圈，每两橡皮圈之间放一个隔离环，最下一道橡皮圈用支撑托住，然后连同