



漁船柴油機及傳動裝置

唐文樸 張家良 編著

廣東科技出版社

渔船柴油机及传动装置

唐文模 张家良 编著

广东科技出版社

渔船柴油机及传动装置

唐文模 张家良 编著

*

广东科技出版社出版

广东省新华书店发行

韶关新华印刷厂印刷

787×1092毫米16开本 28印张 600,000字

1981年8月第1版 1981年8月第1次印刷

印数 1—15,000册

统一书号 15182·31 定价 2.60元

前 言

为适应渔业机械化迅速发展的需要，以利渔船轮机人员提高技术管理水平，广东省水产厅委托我们编写了《渔船柴油机及传动装置》这本书。

本书针对南海渔区机动渔船采用的动力装置的实际情况，比较系统地阐述了渔船柴油机、船用齿轮箱、轴系等的结构原理的基础知识和使用、管理、维修、测量的基本方法，并列出了常用机型的技术数据。

书中总结了南海渔区广大轮机人员的实践经验和我们从事轮机教学工作的体会。内容比较结合生产实际，尤其对高压油泵、电力起动等方面作了较详细的叙述。本书为渔业机械化方面的科普读物，可用作目前渔船技术管理、轮机人员的主要教材，也可供航运部门的轮机、机修人员和有关专业师生参考。

本书是在广东省水产厅的直接指导和湛江水产学院的关怀支持下编写的，主编唐文模，其中第一、二、六、七、十二章由张家良同志编写。书稿写成后，广东省水产厅渔机处对书稿的出版非常关心和支持，梁东顺等同志对全书进行了详细的审核；浙江水产学院讲师林载亮同志对前五章作了详细的审核；湛江水产学院副教授梁汉生同志，对电力起动章节作了较详细的审核；讲师陈秉光、高健中等同志对书稿提出了宝贵意见。

在编写过程中，还得到湛江地区水产局、湛江海洋渔业公司、湛江渔船厂、湛江拖拉机厂和湛江农械厂等兄弟单位的大力支持；梁广明同志为我们提供了有关资料，华南工学院讲师李诚居同志对图稿进行了审核，提出了宝贵意见；郑春源、陈良尧、郭曼君等同志协助修改了图稿。在此，一并表示衷心的感谢。

由于水平有限，经验不足，书中难免有缺点错误，希望续者批评指正。

编 者

于1978年2月

目 录

第一章 渔船柴油机及传动装置概论	1
第一节 概述	1
一、柴油机动力装置	1
二、渔船对推进装置的主要要求	2
三、渔船推进装置的传动型式	2
第二节 柴油机概论	3
一、柴油机的优缺点	3
二、柴油机的组成	4
三、柴油机术语及基本参数	4
第三节 单缸柴油机的工作原理	6
一、四冲程柴油机的工作原理	7
二、二冲程柴油机的工作原理	8
三、二冲程柴油机的换气形式	9
四、柴油机的配气定时	11
五、压缩比	12
六、四冲程与二冲程柴油机的比较	13
第四节 多缸柴油机的工作原理	13
一、二缸四冲程柴油机	14
二、四缸四冲程柴油机	14
三、六缸四冲程柴油机	15
四、12V135型柴油机	17
第五节 柴油机的分类和型号	18
一、柴油机的分类	18
二、柴油机的型号	18
三、内燃机旋转方向和气缸编号	19
第二章 柴油机主要运动机件	21
第一节 活塞连杆组	21
一、活塞	21
二、活塞环	25
三、活塞销	28
四、连杆	30
五、连杆轴瓦	32
六、连杆螺栓	33
七、V型柴油机的连杆	34

第二节 活塞连杆组的维护保养	35
一、活塞连杆组常见故障	35
二、活塞连杆组的检查	36
三、活塞连杆组的装配步骤及注意事项(以 135 系列机为例)	39
第三节 曲轴飞轮组	41
一、曲轴的结构	41
二、曲轴轴向定位	47
三、曲轴前后端的密封装置	48
四、曲轴常见故障	49
五、曲臂差的测量	51
六、飞轮	53
第三章 柴油机主要固定机件	54
第一节 机体与机座	54
一、机体	54
二、机座	56
三、常见故障分析	56
第二节 主轴承	57
一、主轴承的功用与构造	57
二、主轴承的检查与收紧	60
三、换新轴瓦的步骤	60
四、轴承常见故障分析	64
第三节 气缸套	65
一、气缸套的结构	65
二、气缸套的拆装	69
三、气缸套磨损及其测量	70
四、气缸套穴蚀及防止措施	71
第四节 气缸盖与气缸盖垫片	73
一、气缸盖	73
二、气缸盖垫片	76
三、压缩比的测量与调整	76
四、气缸盖裂纹分析	77
第五节 气缸盖、机体裂纹的修补方法	77
一、镶补法	77
二、栽丝法	79
三、焊补法	79
四、环氧树脂修补法	80
五、粘补法	82
六、加热减应法	82
第四章 进、排气系统及配气机构	86
第一节 进、排气系统	86
一、进、排气系统的作用和要求	86

二、进、排气管	86
三、消音器	86
四、空气滤清器	87
五、扫气泵	87
第二节 配气机构	90
一、配气机构的作用及组成	90
二、气门和气门座	91
三、气门导管	94
四、气门弹簧及其锁紧装置	94
五、挺杆、推杆和摇臂	95
六、凸轮轴	97
七、正时齿轮及其安装	99
八、配气机构常见故障	105
第三节 配气定时与气门间隙的检查及调整	106
一、上死点的确定	106
二、配气定时的检查	107
三、气门间隙及其调整	107
第五章 柴油机的燃油供给系统	111
第一节 柴油机的燃烧与燃烧室	111
一、可燃混合气的形成	111
二、燃烧过程	112
三、燃烧室的型式	114
第二节 喷油器	119
一、喷油器的结构型式和工作原理	119
二、喷油器的试验调整	121
三、喷油器常见故障	122
第三节 喷油泵	125
一、单体泵	125
二、组合式喷油泵	132
三、新系列喷油泵简介	134
四、分配式喷油泵简介	136
五、喷油泵的检查与调整	141
六、喷油泵的常见故障	148
第四节 调速器	148
一、概述	148
二、离心式全制调速器	150
三、离心式两极调速器	151
四、液压调速器	155
五、调速器的工作性能指标	158
六、调速器常见故障	160

第五节 输油泵与柴油滤清器	161
一、输油泵	161
二、柴油滤清器	164
第六节 燃油	164
一、柴油机对燃油质量的要求	165
二、国产柴油牌号	166
三、高速柴油机怎样使用重柴油	168
第六章 润滑系统	170
第一节 概述	170
一、润滑系统的功用	170
二、润滑方法	172
三、柴油机主要零件的润滑	172
第二节 润滑系统	172
一、湿式润滑系统	173
二、干式润滑系统	174
第三节 润滑系统主要附件	176
一、机油泵	176
二、机油滤清器	181
三、机油冷却器	182
第四节 润滑系统的维护与保养	185
第五节 润滑油	189
一、润滑油的牌号	189
二、机油的再生处理	191
第七章 冷却系统	193
第一节 冷却系统的作用及形式	193
一、开式冷却系统	193
二、闭式冷却系统	196
第二节 冷却系统主要附件	197
一、离心水泵	197
二、涡流式水泵	198
三、往复水泵	200
四、恒温器	200
五、热交换器	201
第三节 冷却系统的维护保养	203
第八章 柴油机控制系统	204
第一节 手摇起动及减压机构	204
第二节 压缩空气起动	205
一、压缩空气起动原理	205
二、压缩空气起动装置的形式	207
三、压缩空气起动装置实例	207

四、压缩空气起动装置的维护保养	216
第三节 操纵系统	217
一、换向原理	217
二、换向方法	219
三、操纵系统实例	220
第四节 电力起动	226
一、电起动线路	227
二、蓄电池	229
三、起动电动机	234
四、离合安全装置	236
五、直流发电机	238
六、调节器	244
第五节 硅整流充电发电机及调节器	250
一、单相交流电的产生	250
二、三相交流电	250
三、硅二极管	250
四、硅整流充电机的构造	254
五、硅整流交流充电机与调节器的共同工作	256
第六节 电起动装置的维护保养	260
一、蓄电池的常见故障及排除方法	260
二、起动电动机的保养及故障排除	260
三、充电发电机的常见故障	264
四、交流充电机的使用与保养	267
第九章 柴油机增压装置	268
第一节 概述	268
第二节 废气涡轮增压器	270
一、废气涡轮增压器的工作原理	270
二、废气涡轮增压器的主要性能参数	274
三、废气涡轮增压器的分类及型号编制规则	275
第三节 废气涡轮增压器实例介绍	276
一、12GJ型废气涡轮增压器	276
二、10ZJ型废气涡轮增压器	281
三、TZ25X型增压器	282
第四节 增压柴油机的特点	287
第五节 增压器与柴油机的配合	290
一、压气机的特性曲线	290
二、离心式压气机发生喘振的物理原因	292
第六节 废气涡轮增压器常见故障	292
第十章 柴油机工作参数、特性及试验仪表	295
第一节 柴油机的工作参数	295
一、有效扭矩	295

二、功率	295
三、机械效率 η_m	297
四、耗油量 G 和耗油率 g_o	298
五、柴油机的功率标定及修正	298
第二节 柴油机的特性	299
一、负荷特性	301
二、速度特性	301
三、转矩限制外特性	303
四、推进特性	303
五、停缸试验特性曲线	306
六、万有特性	307
七、调速特性	308
第三节 内燃机试验及测量仪表	308
一、试验的种类	309
二、测量仪表的一般知识	311
三、常用仪表	312
第四节 有效功率的测量	319
一、水力测功器	319
二、电力测功器	322
三、钢弦测功器	323
第十一章 柴油机常见故障分析	326
第一节 发生故障的原因	326
第二节 柴油机常见故障分析	327
一、柴油机不能起动	327
二、马力不足	329
三、排气冒烟	329
四、柴油机运行中自行停车	331
五、柴油机敲缸	331
六、柴油机过热	333
第十二章 渔船轴系	334
第一节 艉轴系统的结构	334
一、尾轴与联轴节	336
二、推力轴与推力轴承	340
三、中间轴与支持轴承	344
四、尾管装置	345
五、尾管密封装置	353
第二节 轴系安装	357
一、轴系中心线的测定	357
二、轴系孔的镗削	360
三、主机与尾轴对中	361
四、激光在轴系安装中的应用	363

第三节 螺旋桨	367
一、螺旋桨术语	367
二、螺旋桨主要参数的分析	371
三、螺旋桨主要参数的确定	373
四、螺距的测量	381
第十三章 船用液压齿轮箱	383
第一节 概述	383
一、船用齿轮箱的作用	383
二、离合器	384
三、船用液压齿轮箱型号	387
四、柴油机与船用齿轮箱的选配条件	388
第二节 ZF40、ZF120型齿轮箱简介	388
一、结构	389
二、工作原理	389
三、液压系统	391
四、主要零部件的拆装	392
第三节 ZF55、ZF80、HC180、HC250齿轮箱简介	393
一、结构	393
二、工作原理	396
三、润滑系统和液压控制系统	397
四、应急措施	399
第四节 ZF240型齿轮箱简介	400
一、工作原理	400
二、结构	401
三、液压系统	405
四、主要部件的拆装	406
第五节 L型船用液压离合器简介	407
第六节 齿轮箱维护保养与常见故障分析	417
主要参考书	419
附表一 四冲程船用柴油机主要规格及技术参数	420
附表二 二冲程船用柴油机主要规格及技术参数	426
附表三 四冲程船用柴油机主要部件的装配间隙	428
附表四 二冲程船用柴油机主要部件的装配间隙	430

第一章 渔船柴油机及传动装置概论

第一节 概 述

一、柴油机动力装置

渔船动力装置是指渔船上各种机械设备的综合体。按其机械种类可分为：

动力机械——主机、副机、发电机、电动机等。

工作机械——螺旋桨、泵浦、压气机、冷冻机、舵机、锚机、捕捞机械（如起网机）等。

发动机传动装置——轴、轴承、联轴节、离合器、减速箱等。

运输工质的设备——管系和阀件。

存放消耗物品的设备——燃油箱、滑油箱、空气瓶、水箱、冷凝器、冷柜等。

确保船舶生命力和安全的设备——消防、救生设备，以及装在船上基本修理工具的机械等。

目前，中小型渔船普遍是以柴油机为主机作为动力，所以叫柴油机动力装置，它由下列设备组成：

1. 推进设备，用以保证渔船航行和捕捞渔获物的动力；

(1) 主机——柴油机。

(2) 推进器——螺旋桨。

(3) 传动装置——推进设备中，从主机到推进器之间，以传动轴为主的一套设备统称传动装置。包括船用齿轮箱、轴系等。

2. 渔船辅助设备：

(1) 船用电站——柴油发电机组，电动机和船上照明等。

(2) 服务于推进设备的系统——压缩空气系统、电起动系统、控制系统，冷却水、润滑油及燃油等系统。

(3) 保证全船正常生活的设备——生活用水系统、通风及空调系统、消防设备、舱底水系统等。

3. 船舶设备——渔船上除了上述设备外，在舱面上还有很多机械设备。例如：

(1) 操舵设备——舵机及操舵系统。

(2) 锚链设备——起锚机、绞纲机等。

(3) 渔捞设备——起网机、鱿鱼钓机，鱼泵等。

(4) 救生设备——卸放救生艇用的机械设备等。

渔船柴油机动力装置示意图如图1—1所示。

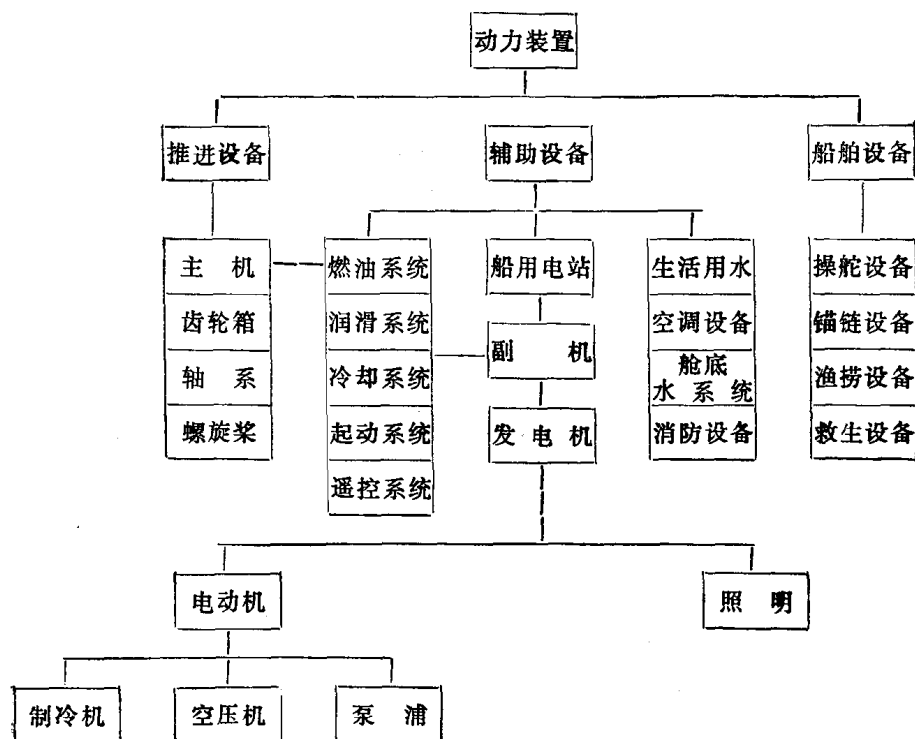


图1-1 渔船柴油机动力装置示意图

二、渔船对推进装置的主要要求

1. 工作可靠，结构简单，容易拆装修理，使用寿命长。
2. 经济性高，柴油机无论在全负荷或部分负荷的情况下，都具有较低的燃油耗油率和机油消耗量。
3. 机动性能好，保证主机可短促连续起动12次以上，每次延续时间不大于12秒，且曲轴处在任何位置时都能起动。因此，对风起动四冲程柴油机不应少于6缸，二冲程柴油机不应少于4缸，否则就要盘车起动。
4. 渔船柴油机的稳定转速应不少于额定转速的30%。
5. 为了便于操作和减轻劳动强度，渔船柴油机的操纵控制机构应尽可能集中，而且简单便于遥控，并具有连锁装置保证安全可靠。
6. 渔船主机应允许有较大的倾斜度。因为拖网渔船需要拖力大，故采用直径较大的螺旋桨，为此安装轴系时采用较大的纵向倾斜度，使尾部吃水加深。
7. 拖网渔船尾部以安装单桨为宜，以防推进器发生绞网事故。加工运输辅助船或电力动可采用双桨或多桨。

三、渔船推进装置的传动型式

采用柴油机作动力的推进装置的传动型式有如下几种：

1. 直接传动

主机与螺旋桨之间用轴系作刚性联接，二者转速相同，主机本身可以反转，以实现船

船前进或倒退。这种型式结构简单，但使用不太方便，停船必须停机。

2. 离合器传动

主机为低速、可直接逆转的柴油机，通过离合器、推力轴承与轴系联接带动螺旋桨。这种型式为目前400~600马力渔轮所普遍采用。

3. 电力拖动

主机直接带动发电机，供电给推进电动机，推进电动机可以通过减速后拖动螺旋桨。其优点是主机可不变速、不反转，能充分发挥主机功率，轴系也较短，但设备复杂，造价较贵。

4. 可调螺距螺旋桨传动

螺旋桨桨叶做成活动的，用以改变螺距来实现变速使船舶前进、停泊或倒退，主机不必反转和变速。这样可使主机及辅机的装置设备简化、轻便，同时，在任何航速下，可以利用改变螺旋桨螺距的方法来获得最好的匹配效率。

5. 齿轮箱传动

利用减速齿轮箱传动可采用高速柴油机，主机与螺旋桨的转速保持一定的速比。主机的功率经船用减速齿轮箱、轴系传给螺旋桨，螺旋桨在水中旋转推动水往后流，根据作用力与反作用力原理，水必给螺旋桨一大小相等，方向相反的推力，此推力经过轴系、推力轴承，最后传给船体，因此推动船舶航行。依靠螺旋桨的转速、转向的不同就可实现不同的航速和拖力，以及前进、停泊或后退。这种传动型式为目前机动渔船普遍采用。本书主要也就是介绍渔船柴油机和这种传动装置的结构原理及使用维修等方面的知识。

第二节 柴油 机 概 论

燃料直接在气缸内部燃烧的发动机称为内燃机。由于燃料的不同又分为柴油机、汽油机等。柴油机是将柴油直接喷入气缸内燃烧，产生高温高压的燃气膨胀，推动活塞作往复运动，并通过连杆变为曲轴的回转运动对外作功，即由燃料的化学能转变为热能，再由热能转变为机械能。因为它是靠活塞压缩空气而产生一定的压力和温度，保证柴油在气缸内自燃着火的，故柴油机也叫压燃式(活塞式)内燃机。

柴油机在工业、农业、交通运输等方面都得到广泛的应用。船舶方面是应用柴油机极大的领域，俗称柴油机是船舶的心脏。

一、柴油机的优缺点

柴油机所以迅速发展，广泛应用，是因为柴油机与其它热机比较，具有下列突出的优点。

1. 经济性好，这是柴油机最主要的优点。即燃料的热利用率高，每马力小时的耗油率比其它热机低，目前大型低速船用柴油机，实船试验时最低耗油率已达139克/马力小时。

2. 柴油机的功率和转速范围很广，能适应各种用途的需要。据最新资料报导，目前柴油机气缸直径最小为55毫米，最大为1060毫米。单机最小功率为1.5马力，最大功率已达55000马力，每马力的最小净重1公斤。

3. 动力装置总的尺寸及重量较其它热机都小，这对于船舶来说具有重要意义。

4. 起动方便，并能很快地达到全功率，起动时间仅需3~5秒，从正车到倒车亦仅需

8~12秒。

5. 安全性好。由于柴油的闪点比汽油高,挥发性比汽油差,因此不易引起火灾和爆炸。

缺点是:

1. 单机功率受到限制。

2. 噪音大, 振动大。

3. 构造较复杂, 对制造加工及管理人员的技术水平要求高。

4. 起动扭矩小。

二、柴油机的组成

一台柴油机究竟是由哪些零部件组成呢? 一般归纳为三大运动机件, 四大固定机件, 五大系统。

三大运动机件: 包括活塞组、连杆组、曲轴飞轮组。输送动力全靠运动机件。

四大固定机件: 包括机座、机体、气缸套、气缸盖等构成柴油机的骨架和外形, 支承和固定柴油机的各种零部件。

五大系统是:

1. 进、排气系统和配气机构。它的作用是保证柴油机按规定的正时关系, 吸进新鲜空气和排出废气, 完成柴油机的换气过程。

2. 供油调速系统。包括供油系统和调速器总成。此系统的任务是按定时、定压、定量、定质地向气缸内输送燃油, 并能在调速器的作用下, 自动地调节和控制柴油机的转速相对稳定。

3. 润滑系统。主要用来供给柴油机相对运动零件的润滑油, 减少摩擦和磨损, 帮助传热, 带走磨屑, 延长机器使用寿命。

4. 冷却系统。供给柴油机冷却水, 冷却受热零件, 保持柴油机的正常工作温度。

5. 控制系统。包括起动系统和换向、操纵机构等。

由于机型大小不同, 还可分为增压、自动调节等系统。

柴油机是比较精密复杂的机器, 它的许多零件是在高温、高压、高速下工作的, 因此, 轮机人员要精心保养与管理。为了保证柴油及时地完全地燃烧, 对进、排气和喷油正时的准确性, 以及对燃油雾化的质量都有非常严格的要求。

要科学地管理好柴油机, 就必须熟悉柴油机的原理、结构、使用和维护保养等知识。这样, 才能更好地发挥机器的马力, 降低油耗, 安全可靠地运转, 延长机器的使用寿命。

柴油机的类型虽然很多, 但它们的工作原理和基本构造是大同小异的。如果能够熟悉掌握目前渔船较普遍使用的几种典型柴油机(如135系列、160系列), 遇到其它机型, 就能在这基础上分析掌握。

三、柴油机术语及基本参数

1. 上死点和下死点

活塞在气缸内上、下运动时, 所到达的最高位置叫做上死点(或上止点), 所到达的最低位置叫做下死点(或下止点)。此时活塞、曲轴、飞轮均分别处于上、下死点的相应位置。

2. 活塞行程 S

上、下死点之间的距离叫活塞行程(冲程)或工作行程,用“ S ”表示,它等于曲柄半径 R 的二倍,即 $S = 2R$ 。一个活塞冲程相当于曲轴旋转半圈(180°)。

3. 气缸数 i

小型柴油机, $i = 1 \sim 6$ 缸; 中型柴油机, $i = 4 \sim 8$ 缸;

大型柴油机, $i = 6 \sim 16$ 缸等。

在渔船中六缸机用得最为广泛。

4. 气缸直径 D

在箱式(筒式)柴油机中, $D = 55 \sim 600$ 毫米;

在十字头式柴油机中, $D = 500 \sim 1060$ 毫米。

5. 活塞排量 V_s

上、下死点之间的气缸容积叫气缸工作容积(V_s), 亦称活塞排量; 多缸机各缸活塞排量之和称为发动机的总排量 $V_{总}$ 。

$$V_s = \frac{\pi D^2 \cdot S}{4 \times 1000} (\text{升}) \quad V_{总} = \frac{\pi D^2 \cdot S \cdot i}{4 \times 1000} (\text{升})$$

式中: S ——活塞冲程, 单位厘米;

D ——气缸直径, 单位厘米;

i ——气缸数。

6. 压缩室容积 V_c

活塞在气缸中处于上死点时, 活塞顶与气缸盖之间的容积叫压缩室容积, 亦称燃烧室容积, 用“ V_c ”表示。

7. 气缸总容积 V_a

活塞在气缸中处于下死点时, 活塞顶至气缸盖之间的容积叫气缸总容积。它等于压缩室容积与气缸工作容积之和。

即: $V_a = V_c + V_s$

8. 工作循环

柴油机的工作循环是由进气、压缩、燃烧膨胀和排气四个过程所组成, 每完成这四个过程, 称为一个工作循环。四冲程柴油机是曲轴旋转两圈(720°), 活塞上、下运动四次, 完成一个工作循环; 二冲程柴油机是曲轴旋转一圈(360°), 活塞上、下运动两次, 完成一个工作循环。

9. 冲程数 τ

四冲程发动机的冲程数 $\tau = 4$

二冲程发动机的冲程数 $\tau = 2$

10. 额定转速 n

柴油机额定转速 n 转/分即指铭牌标定的使用转速。

11. 额定功率 N

对于船用柴油机来说, 额定功率 N 就是铭牌上标定的持久功率; 而对于陆用机来说, 则是指在额定转速下连续运转12小时的功率。

12. 平均有效压力 P_e 。

这是表示发动机工作过程强化程度的参数。其定义是：假定有一个不变的压力作用在活塞上，使活塞在工作行程内所作的功与整个工作循环所作的有效功相等，这个假定的压力称为平均有效压力 P_e 。公斤/厘米²。

船用非增压四冲程柴油机 $P_e = 5.2 \sim 6.5$ 公斤/厘米²

船用增压四冲程柴油机 $P_e = 8 \sim 20$ 公斤/厘米²

二冲程增压柴油机 $P_e = 6.5 \sim 14$ 公斤/厘米²

13. 爆发压力 P_z 。

活塞处于上死点后某一位置约 $5 \sim 10^\circ$ 曲轴转角时，气缸中燃料燃烧所产生燃气压力的最高数值，称为最大爆发压力 P_z 。公斤/厘米²。

14. 耗油量 G 与耗油率 g_e 。

耗油量 G 是指单机在单位时间的燃油消耗量，单位是公斤/小时或公斤/日。

耗油率 g_e 是指单机每一有效马力小时所消耗的燃油量，单位是克/马力小时。

15. 发动机的使用期

它通常用大修前柴油机工作的连续运转时间(小时)来表示。一般为4000~40000小时。高速机使用期较短，低速机使用期较长。如135系列柴油机大修期为6000小时；160系列柴油机大修期为8000小时。

16. 发动机的单位重量

这是指每单位有效马力发动机的净重(不带燃油、机油和水)，其单位为 公斤/马力。

中型柴油机单位有效马力的净重为14~32公斤/马力；

强化柴油机单位有效马力的净重为6~14公斤/马力；

高强化柴油机单位有效马力的净重为3~6公斤/马力。

目前世界水平已达1公斤/马力。

17. 强化系数 $K\phi$

$$\text{柴油机强化系数 } K\phi = \frac{C_m \cdot P_e}{\tau}$$

式中： $C_m = \frac{S \cdot n}{30}$ 米/秒——活塞平均速度；

τ ——冲程数；

$C_m \cdot P_e$ ——强化指标，即活塞平均速度 C_m 与平均有效压力 P_e 之乘积。

当 $K\phi < 22.5$ 时，属于非强化发动机；

$K\phi > 22.5$ 时，属于强化发动机；

$K\phi > 37.5$ 时，属于高强化发动机。

第三节 单缸柴油机的工作原理

为使柴油在气缸内自行着火燃烧，必须具备下列三个条件：

1. 有足够的新鲜空气；