

船舶内燃机

А. Б. КАМЕ 著

刘新华 马涤吾 张永广 译



武汉水运工程学院图书馆

序 言

本书原系苏联 A·B 凯思 (A·B. KANE) 所著, 由苏联 O·K 萨浦诺夫 (O·K. SAPUNOV) 译成英文, 于 1984 年莫斯科 MIR 出版社第一次出版, 向世界发行。

全书共二十三章, 包括内燃机工作原理、构造、增压、动力学、扭转振动、自动化及遥控装置等主要內容; 介绍了内燃机与螺旋桨的配合、内燃机及其辅机的检查维修; 并对现代世界上有名的内燃机制造厂家的主要类型的产品作了介绍。反应了苏联现代内燃机的最新技术以及世界内燃机研究和生产的发展趋势。內容新颖、结构紧凑。

本书可作高等院校内燃机专业的教学参考书, 以及中等、专科学校内燃机专业和大、中专院校的轮机管理专业、船舶机械专业, 船舶动力装置专业以及汽车、拖拉机、机车等专业的教材或教学参考书。也可作为内燃机制造厂、修造船厂、设计院、研究所以及从事使用、管理维护内燃机的工程技术人员的参考用书。

本书经武汉水运工程学院付院长、内燃机专业朱国伟教授的推荐, 由武汉水运工程学院图书馆刘新华、马涤吾、张永广同志翻译, 由刘新华同志校对。董玉珍同志打印, 提供读者试用。由于译者的水平有限, 错误之处敬请读者批评指正。

前 言

依靠压缩热使燃料燃烧的内燃机的诞生应该追溯到大约一个世纪以前。

一八九三年，德国工程师R·狄塞尔(Rudolf Diesel)公布了他的发明——他设计了一种以粉煤作为燃料的热发动机。但是在一八九五年，他制造的第一台样机似乎不能使用。

一八九七年，R·狄塞尔精心地设计，制造了一种燃烧煤油的水冷却发动机，并且用压缩空气将煤油雾化，燃烧在定压情况下发生，这时空气进入气缸的压力为 $294 \times 10^4 \text{ N/m}^2$ (30 Kg/cm^2)。这种新型的发动机功率达到了 14.7 Kw (20 马力)，耗油率是 327 g/Kwh (240 g/hph)。但是，由于煤油的成本高及设计上的明显的缺点，这种发动机没有得到广泛承认。内燃机只有在能够使用各种便宜燃料的情况下，才能在工业中得到广泛地应用。

一八九七年，苏联ST，彼得堡机械厂(即现在的俄罗斯柴油机厂)，发现了R·狄塞尔发明的发动机的原有缺点，不得不对发动机重新进行了设计，并且取得了专利。一种新型的俄罗斯发动机问世了，这种新型发动机是使用原油作为燃料，燃油消耗是 300 g/Kwh (221 g/hph)，尽管是根据 14.7 Kw (20 马力)的动力装置设计的，但它的输出功率仍然提高到了 18.4 Kw (25 马力)。

一九〇三年，Sormovo船厂建造了世界第一艘800吨的内燃机船“Vandal”号，用俄罗斯(Kussk)柴油机厂生产的三台缸发动机作为推进装置，每台发动机的额定功率，在转速为 240 rpm

时为106KW(120马力)，它的螺旋桨轴是由电动机驱动。一九〇四年该船厂建造了一艘1000吨(tdw)的双螺旋桨油船“Sarmat”号，由两台四缸发动机驱动，每台发动机的输出功率在转速为240rpm时为132KW(180马力)。为了节省重量，空间和成本，该船的推进系统是使用电动机作为倒车驱动，使用柴油机作前进驱动。

一九〇七年，第一个将发动机与桨轮连起来的装置在哥罗门斯基(Kolonna)工厂，研制成功，该装置安装在一条使用220KW(300马力)的齿轮减速发动机的内燃机拖轮“Mysl”中，该厂工程师R·A·科赖沃(Korivo)发明的电磁离合器，被用于内燃机拖动装置中的倒车和操纵。

一九〇八年，俄罗斯柴油机厂设计制造的世界第一台四冲程可反转柴油机，用于“Minoga”号潜水艇的推进。起动和倒车装置操作可靠，在10~12秒钟内能完成倒车起动。

一九一〇年，人们看到柴油机被安装在炮艇“Kars”号和“Aragan”号上，并且，哥罗门斯基(Kolonna)机械厂研制了对置活塞发动机。

一九一一年，俄罗斯(Kussk)柴油机厂设计制造了功率为148—KW(200马力)，转速为800rpm的U型发动机。一九一四年生产了37—KW(50马力)，二冲程直流扫气式发动机，扫气是通过进气口和随动阀进行的。

早期的内燃机都是空气喷射式，通过专用压气机中的，压力为

$588 \times 10^4 \text{ N/m}^2 (60 \text{ Kg f/cm}^2)$ 的压缩空气，将燃料喷入气缸并且雾化。然而，在一八九七年，苏联工程师G.V. 特里恩科勒 (Trinkler) 研制了一种发动机，并且取得了专利。该发动机省掉了用于燃油雾化的压气机，它使用闭式喷油器和高压燃油喷射泵，以达到燃油的输送和雾化。现在，随着先进的喷油设备的出现，简单可靠的无空气喷射柴油机逐步得到了推广，最终取代了空气喷射式发动机。

一九一七年以后，柴油机发生了巨大的变革，所有的四冲程和二冲程柴油机，输出功率范围达到了 $37 \sim 4400 \text{ kW}$ ，转速为 $125 \sim 600 \text{ rpm}$ 。一九三〇年，这些柴油机为建造“K-ooperatsia”级内燃机货轮和客轮船队，以及“Skumbria”级渔轮船队提供了基础。同时，开始了用于船舶和飞机的大功率和轻型大功率柴油机的计划研究工作。

在苏联，任何研究院，设计中心和柴油机专业制造厂，对于发动机的制造理论和实践都取得了很大的发展。众所周知著名科学工作者V.A. 沃恩斯奇得特 (Warscheidt)，A.S. 奥林 (Orlin)，M.G. 克鲁格洛夫 (Kruglov)，N. N. 伊凡彻恩卡 (Ivanchenko)，他们提出了内燃机理论，探索了柴油机气缸内的喷油，燃烧及换气过程。V. M. 耶科夫利夫 (Yakovlev)，V. A. 科恩斯坦蒂诺夫 (Konstantinov)，I. p. 马特维夫 (Matveev) 及其它设计者，创造了完全能满足现代需要的发动机。当然，并不是国外柴油机的性能和经济性能低劣，只是国产柴油机在某些方面比国外柴油机优越。

现代研究计划的目标是关于改进柴油机的可靠性，耐久性，经济性，

尺寸和重量等指标。

J664.12
G 01

目 录

序言	I
前言	II
第一章 概述	1
1. 原动机的概念	1
2. 内燃机与其它热机的比较	4
3. 内燃机的分类	5
4. 苏联柴油机和其它国家的柴油机牌号说明及柴油机的主要参数	8
5. 低速柴油机的展望	11
6. 中速柴油机的展望	12
思考题	14
第二章：内燃机原理	15
7. 四冲程柴油机的工作循环	15
8. 二冲程柴油机的工作循环	18
9. 四冲程汽化器发动机的工作循环	22
10. 二冲程发动机与四冲程发动机的比较	25
11. 吸气和排气定时，喷油提前	27
12. 内燃机的理想循环	30
13. 内燃机工作循环的特性	34
14. 发动机的做功和功率以及主要经济指标	36
15. 柴油机的热平衡	39
思考题	42

2455/20
第三章，柴油机的空气和燃油的混合与雾化 43

16·无空气喷射式柴油机中的空气和燃油混合 43

17·空气—燃油混合物的形成方法 44

18·空气—燃油混合方法 45

思考题 49

第四章，柴油机的燃油和润滑油 50

19·石油和它的蒸馏产品 50

20 柴油的性质 51

21·船舶柴油机使用的燃油 55

22·燃油和润滑油的 装储 56

23·燃油消耗率和节油实践 57

24·使用重油的技术条件 59

25·内燃机的润滑油 65

26·润滑流体力学理论基础 66

27·润滑油的性质 68

28·内燃机用润滑油 70

29·润滑油的合成 73

30·换油周期 74

思考题 77

第五章：发动机动力学 78

31·单缸发动机中的 作用力和曲轴旋转的不均匀性 . . . 78

32·气缸的发火次序 80

33·发动机的动力平衡 81

34· 曲轴扭转振动和发动机临界转速	83
35· 扭转振动减振器	85
36· 思考题	87
第六章：发动机的主要固定机件	88
36· 机座	88
37· 主轴承	90
38· 曲柄箱	94
39· 气缸体	96
40· 气缸套	97
41· 气缸盖	102
思考题	106
第七章：曲柄连杆机构	107
42· 箱式发动机和十字头发动机的曲柄连杆机构	107
43· 活塞	107
44· 活塞环	111
45· 连杆	114
46· 曲轴	117
47· 气缸套和活塞的故障	123
思考题	124
第八章：阀门机构	125
48· 阀门机构的功用和工作	125
49· 排气阀旋转阀机构	131
50· 扫气和排气系统	132

51· 气阀机构故障 · · · · ·	136
思考题 · · · · ·	136
第九章：燃油系统 · · · · ·	137
52· 燃油系统的主要部件 · · · · ·	137
53· 燃油过滤器和分离器 · · · · ·	139
54· 燃油升压泵 · · · · ·	143
55· 高压喷油泵 · · · · ·	147
56· 喷油器 · · · · ·	154
57 泵喷咀装置 · · · · ·	158
58· 燃油设备的常见故障 · · · · ·	158
思考题 · · · · ·	159
第十章：润滑油 · · · · ·	161
59· 润滑系统的功能 · · · · ·	161
60· 典型的润滑系统布置 · · · · ·	163
61· 油泵 · · · · ·	169
62· 初级和第二级润滑过滤器 · · · · ·	175
63· 润滑油冷却器 · · · · ·	181
64· 离心式分离器 · · · · ·	183
65· 润滑油系统的故障 · · · · ·	186
思考题 · · · · ·	187
第十一章：冷却系统 · · · · ·	188
66· 冷却系统的作用 · · · · ·	188
67· 现代船舶柴油机的冷却系统 · · · · ·	189

68. 水泵	193
69. 水冷却器和水温调节器	197
70. 冷却系统的故障	200
思考题	201
第十二章：压缩空气系统	203
71. 船舶压缩空气源	203
72. 空气瓶	205
73. 起动空气系统的故障	206
思考题	207
第十三章：起动和换向装置	209
74. 发动机起动的条件	209
75. 主空气起动阀	210
76. 发动机气缸起动阀	212
77. 起动空气分配阀	214
78. 电力起动	216
79. 二冲程和四冲程发动机的换向装置	218
80. 起动和换向的联锁装置	222
81. 起动装置的工作故障	225
思考题	227
第十四章：离合器、倒车装置、联轴节	228
82. 倒车离合器及其液压控制方法	228
83. 液力偶合器	231
思考题	233

第十五章：柴油机的遥控系统	234
84·机械遥控系统	234
85·电动机械式和气动机械式遥控系统	235
86·装有可控变螺距螺旋桨的推进装置的遥控	237
思考题	239
第十六章：船舶柴油机的自动化	240
87·自动调速装置	240
88·船舶柴油机的集中自动化控制装置	245
第十七章：仪表和发动机保护装置	248
89·仪表	248
90·报警装置及发动机保护系统	254
思考题	257
第十八章：涡轮增压器与增压	258
91·进气管与排气管	258
92·柴油机增压	261
93·二冲程柴油机的增压	267
94·用于船舶内燃机中的一些增压系统	272
95·增压空气的冷却	276
96·自动增压调节	278
97·TK型和TKP型涡轮增压器	280
思考题	281
第十九章：现代船舶柴油简介	283
98·ЧСП8.5/11和ЧСП9.5/11型柴油机	283

99. Ч15/18 和 ЧН15/18 (3Д—6 和 3Д—12) 型柴油机	284
100. 42ЧНП16/17, 42ЧНСП16/17, 56ЧНСП16/17 型柴油机	287
101. 12ЧН18/20 (M500—2) 型柴油机	288
102. Ч18/22 和 ЧН18/22 型柴油机	290
103. ДН23/30 和 ДРН23/30 型柴油机	291
104. Ч25/34 和 ЧН25/34 型柴油机	293
105. 20·7/2×25·4 (3Д—100) 型柴油机	295
106. ДН23/2×30, ДРН23/2×30 型发动机	297
107. Д 和 ДР30/50 型柴油机	299
108. ЧН30/38 型柴油机	302
109. ЧРН36/45 和 ЧРПН36/45 型柴油机	304
110. КРН 型柴油机	306
111. PC—SEMT Pielstick 柴油机	308
112. MAN 柴油机	309
113. 苏尔寿柴油机	312
114. Burmeister 和 wain 柴油机	315
思考题	319
第二十章: 推进器	320
115. 发动机到螺旋桨推进器的功率传递	320
116. 螺旋桨: 基本原理和设计特点	321
117. 主机与推进器的性能	324
思考题	327

第二十一章：船舶柴油机的修理 · · · · ·	328
118 · 修理实践基础 · · · · ·	328
119 · 气缸与活塞磨损的测量技术 · · · · ·	328
120 · 发动机部件缺陷的检测 · · · · ·	330
121 · 机身、气缸、活塞的修理 · · · · ·	331
122 · 燃油设备的修理 · · · · ·	333
思考题 · · · · ·	334
第二十二章：船舶蒸汽锅炉 · · · · ·	335
123 · 船舶蒸汽锅炉的用途和结构 · · · · ·	335
124 · 蒸汽锅炉的附件和自动控制 · · · · ·	338
125 · 使用 and 检测要点 · · · · ·	339
思考题 · · · · ·	340
第二十三章：船舶辅机 · · · · ·	342
126 · 船用泵 · · · · ·	342
127 · 船用通风机，轴驱动发电机和船用压气机 · · · · ·	344
思考题 · · · · ·	346

第一章 概 述

1. 原动机的概念

将热能、电能和水力能转变为机械功的机器称谓原动机。属于热原动机类的有蒸汽机、蒸汽轮机、燃气轮机、内燃机。蒸汽动力装置的工作介质是在蒸汽锅炉内产生的蒸汽，这种蒸汽并且要在过热器中进行额外加热（图1）。为了获得机械功，将蒸汽送到蒸汽机汽缸中或蒸汽机的叶轮中作功。

图1. 燃油的热能转变为机械功的示意图

(1) 蒸汽锅炉；(2) 过热器；(3) 蒸汽机汽缸；(4) 冷却水泵（舷外）；(5) 冷凝器；(6) 冷凝水泵；(7) 给水加热器；(8) 给水泵。

在燃气轮机中，工质是燃气——在专门设计的燃烧室中燃烧液体燃料所生成的产物。所以，蒸汽轮机、燃气轮机以及蒸汽机中的工质是由外源供给的，热损失是不可避免的。相反，内燃机中的工质是在它的气缸内直接燃烧燃料而产生的，这意味着热损失较低。因此，内燃机在经济性方面比其它的原动机有利。而且设计较简单，结构紧凑是内燃机的

特点。

内燃机气缸中作功是借助于气体产物（工质），使活塞进行往复运动。这种往复运动靠曲柄连杆机构转换为曲轴的回转运动。

图2所示，曲柄连杆机构包括活塞10，连杆9和曲轴的曲柄7。

曲柄连杆机构安装在发动机机架

内，机架的主要零件是机座6。

油底壳5安装在机座下边。而气

缸11和气缸盖12安装在机座

之上。在每一个工作循环后，以

新鲜空气将废工质换掉。柴油机

设有气阀机构，其包括：凸轮轴

4，凸轮轴定时齿轮3和8，进

气阀1，排气阀14以及摇臂2、13。燃油经过喷油器15进行雾化。

图2：内燃机示意图。

在将工质的能量转变为机械功的过程中，工作进行的先后顺序称为发动机的工作循环。

图 3. 活塞死点: (a) 上死点; (b) 下死点。

在发动机运转中, 活塞在气缸中移动, 从气缸的一个极点 to 另一个极点, 见图 3。在上极点, 活塞速度为零, 活塞由上运动改变为向下运动, 此点称谓上死点 (TDC); 下极点称谓下死点 (BDC), 在下死点活塞速度也为零, 活塞由向下运动变为上运动。活塞从上死点到下死点之间走过的距离叫做冲程, 并用字母 S 表示。

活塞冲程和曲柄半径的关系, $S = 2R$, 式中, R —— 曲柄半径。每一个活塞冲程使曲轴转过 180° 角度。

气缸容积 V_a , 当活塞位于下死点位置时活塞顶以上的空间。 V_a 等于压缩室容积 V_c 与活塞扫过的容积 V_s 的总和。

$$V_a = V_c + V_s$$

活塞扫过的容积 V_s 是活塞运动中从上死点到下死点所扫过的空间。

$$V_s = \frac{\pi D^2}{4} S$$

式中, D —— 气缸直径, 厘米;

S —— 活塞冲程, 厘米。

压缩比, 是气缸容积与压缩室容积之比, 它表示了气缸容积 V_a 与压缩室容积 V_c 的倍数的大小。

$$\varepsilon = \frac{V_a}{V_c} = \frac{V_c + V_s}{V_c} = 1 + \frac{V_s}{V_c}$$

平均活塞速度, 米/秒, 为:

$$C_m = \frac{2S}{60} = \frac{Sn}{30}$$

3