

柴油机原理及运用性能

〔美〕 S.D.哈达德 编著
〔英〕 N.沃 森

李春泉、孙铮、张世德 等译

人民交通出版社

TK 92
110
352339

CHAIYOUJI YUANLI JI
YUNYONG XINGNENG

柴油机原理及运用性能

〔美〕 S.D.哈达德

〔英〕 N.沃 森 编著

李春泉、孙铮、张世德 等译

人民交通出版社

内 容 提 要

本书对车、船以及工业用柴油机的原理和运用性能作了较全面的阐述。内容包括燃烧和热释放,燃料和调节,增压和废气涡轮增压,废气排放和测定,计算机控制和数据采集,故障诊断和监测等几个主要方面,提供了有关柴油机的许多最新技术。

全书共分八章,内容新颖,对我国汽车和船舶柴油机的研究和发展有一定帮助。

本书可供汽车和船舶制造业、交通运输业的柴油机设计、使用和维修的工程技术人员以及有关大专院校的师生参考。

参加本书翻译的人员有孙铮、刘涵(第一章)、魏谔(第二章)、张世德(第三章)、李春泉(第四章)、杨泽民(第五章)、吕茂昌(第六章)沙桂生(第七章)和孙铮(第八章)。全书由云南省交通厅刘伟审订。

PRINCIPLES AND PERFORMANCE IN DIESEL ENGINEERING

S.D.Haddad N.Watson

Ellis Horwood Limited, 1984

柴油机原理及运用性能

〔美〕 S.D.哈达德 〔英〕 N.沃森

李春泉、孙铮、张世德等译

技术设计:崔凤莲 责任校对:王静红

人民交通出版社出版发行

(100013北京和平里东街10号)

各地新华书店经销

人民交通出版社印刷厂印刷

开本:787×1092 印张:10.25 字数:219千

1991年1月第1版

1991年1月第1版第1次印刷

印数:0001—4000册 定价:7.50元

ISBN 7-114-01020-6

U·00662

序 言

柴油机的效率和可靠性已达到较高水平，因此它在汽车工业和其它工业中应用已十分广泛。

在最近几年，更多的轿车上已装用了柴油机。因而，柴油机技术正在迅速发展成为一门应用工程学科，以适应在设计最佳柴油发动机时对高效率、高功率，低噪声、低污染以及良好的燃料经济性和维修方便性等方面提出的严格要求。

1982年10月，哈达德博士为了培训柴油机和与柴油机工业有关的工程师，开设了一周的精读课程。该课程对柴油机技术各个相关部分作了集中的研讨。其中包括燃烧和热释放；增压和废气涡轮增压；测试设备；计算机控制和数据采集；柴油机设计以及柴油机轿车和汽车用柴油机故障诊断。许多讲师为这次课程编写了内容全面的讲稿。这就促使我们围绕课程内容的重点，把这些讲稿编纂成两本参考书。本书各章都是多年来专业技术知识的积累。因为书中的作者都是各自专业领域中的专家。

《柴油机原理及运用性能》一书，包括燃料，空气、燃料混合，燃烧和调节，废气涡轮增压、废气污染和故障诊断等几个主要部分。《柴油机设计 and 应用》一书，着重于机械设计，应力，噪声、振动以及柴油机在轿车上的应用。因为这些是当今普遍关注的。

我们为本书提供了有独创性的、经修订过的资料，其目的在于为柴油机工程师奉献一本在柴油机技术方面有用的

书，一方面是供参考，另一方面是想让工程师能把学到的最新知识，当作促进这个最吸引人的原动机发展的必备工具。本书不打算对柴油机工程提供完整的和有条不紊的研究，编者只试图将大多数读者最感兴趣的问题详细地编入。

S.D.哈达德

N.沃森

目 录

序言	1
第1章 柴油机的燃烧和热量析出	1
1.1 引言——理想气体循环	1
1.2 柴油机的基本类型	4
1.2.1 四冲程柴油机	4
1.2.2 二冲程柴油机	5
1.2.3 多种燃料柴油机	7
1.2.4 与汽油机比较柴油机的有利因素	7
1.2.5 柴油机的不利因素	7
1.3 柴油机的燃烧	8
1.4 柴油发动机燃烧室的设计	11
1.4.1 直接喷射式(D.I.)发动机燃烧室	11
1.4.2 间接喷射式(I.D.I.)发动机燃烧室	12
1.5 运行条件对柴油机燃烧的影响	14
1.5.1 喷油正时	14
1.5.2 发动机速度	14
1.5.3 燃空比	15
1.5.4 压缩比(C.R.)	15
1.5.5 发火延迟期的计算和控制	16
1.6 柴油机热量析出计算	17
1.6.1 热量析出的基本理论	18
1.6.2 计算热量析出所需要的数据	27

1.6.2.1	气缸压力测量	27
1.6.2.2	曲柄角测量	27
1.6.2.3	针阀升程的测量	28
1.6.2.4	用电阻应变仪测量燃油压力	29
1.6.2.5	燃料总喷射量的计算	29
1.6.2.6	进气流速的测量	30
1.6.3	柴油机热量析出计算精度的评定	32
1.6.4	热量析出率图的使用	34
第2章	柴油机燃料	40
2.1	引言	40
2.2	实际热效率	41
2.3	石油基柴油机燃料	42
2.4	煤用作柴油机燃料	46
2.4.1	煤基液体燃料	47
2.4.2	煤基公路运输燃料的代用方法	48
2.4.3	煤粉用作柴油机燃料	50
2.5	从植物中提取柴油机燃料	51
2.5.1	醇类用作柴油机燃料	52
2.5.2	植物油用作柴油机燃料	53
2.6	燃料规格	56
2.7	结论	59
第3章	柴油机的热传导	62
3.1	引言	62
3.2	热传导的基本知识	62
3.3	柴油机热传导问题出现的几种类型	65
3.4	供循环计算用的传热速率	65
3.5	热负荷的计算	65

3.6	特殊零部件的性能	69
3.7	改进发动机的现行设计	71
3.8	关于低热损耗发动机的问题	73
3.9	结论	74
第4章	柴油机的调节	77
4.1	引言	77
4.2	作为一个控制元件的柴油机	79
4.2.1	概述	79
4.2.2	发动机的数学模型	79
4.2.3	点火延迟	82
4.2.4	发动机的加速率	84
4.2.5	发动机模型的典型例子	84
4.3	简单的机械调速器	87
4.3.1	概述	87
4.3.2	分析	87
4.4	液力伺服助推调速器	90
4.4.1	概述	90
4.4.2	基本(标准)伺服调速器	92
4.4.3	实用伺服调速器	93
4.4.4	实用伺服调速器的工作	96
4.4.5	压力反馈调速器的分析	99
4.4.6	典型调速器性能参数	105
4.4.7	实用设计特点	114
4.5	辅助功能	114
4.5.1	速度调定方法	115
4.5.2	燃油控制机构	116
4.5.3	负荷控制	117

4.6	小型柴油机的调整	118
4.7	电子调速器	121
4.7.1	概述	121
4.7.2	电子调速系统	122
第5章	增压与废气涡轮增压	125
5.1	增压简介	125
5.2	进入发动机的空气流量	126
5.2.1	四冲程发动机	126
5.2.2	二冲程发动机	129
5.2.3	增压空气的冷却	131
5.3	提高发动机性能的限制因素	134
5.4	空气流量与发动机功率之间的关系	136
5.5	发动机的输出功率及对增压器的要求	137
5.5.1	载货汽车用四冲程柴油机	138
5.5.2	船用中速四冲程发动机	145
5.5.3	轿车用四冲程柴油机	150
5.6	高原对涡轮增压器的要求	156
5.7	车用柴油机的废气涡轮增压器	157
5.7.1	压气机	157
5.7.2	涡轮	160
5.7.3	轴承和中间壳体	163
5.8	废气涡轮增压器的性能	165
5.8.1	压气机和涡轮特性的无量纲表示法	166
5.8.2	压气机性能	167
5.8.3	涡轮机的特性	169
5.9	废气涡轮增压系统的原理	172
5.9.1	定压式涡轮增压的原理	173

5.9.2	脉冲废气涡轮增压的原理	176
5.10	涡轮增压器的匹配	188
5.10.1	引言	188
5.10.2	发动机与涡轮增压器的气流特性	190
5.10.2.1	四冲程发动机	190
5.10.2.2	二冲程发动机	194
5.10.3	发动机等转速运行时的匹配	196
5.10.4	四冲程车用发动机的匹配	198
5.10.4.1	扭矩曲线	198
5.10.4.2	涡轮的匹配	201
5.10.4.3	供油与发动机转速范围之间的关 系	204
5.10.4.4	压气机的匹配	205
5.11	在各种环境条件下的增压	209
第6章	柴油机的排放物	214
6.1	引言	214
6.2	柴油机的污染物	217
6.3	污染物采样和测量	219
6.4	定容采样系统 (CVS)	220
6.5	污染物的分析设备	222
6.6	分析仪的原理	222
6.7	化学发光分析仪 (CLA)	224
6.8	碳氢化合物分析仪	226
6.9	排放物综合分析台	228
6.10	微粒排放物分析	229
6.11	臭味分析	232
6.12	醛分析	233

6.13	硫酸盐分析	234
6.14	其它少数排放物	234
6.15	柴油机的燃烧和排放物	235
6.16	排放物模型	239
6.17	燃料对排放物的影响	240
6.18	减少排放物	241
6.19	废气回流 (EGR)	242
6.20	喷水或乳化液	243
6.21	催化剂和炭烟过滤器	243
6.22	水洗涤器和调节器	244
6.23	熏蒸	245
6.24	排放物对健康的影响	246
第7章	柴油机的润滑	258
7.1	引言	258
7.2	润滑原理简述	258
7.3	柴油机润滑油的组成	260
7.4	对润滑油性能的要求	260
7.5	清净-分散剂	261
7.6	抗氧化剂	262
7.7	抗磨损添加剂	262
7.8	粘度指数增进剂	263
7.9	降凝添加剂	264
7.10	其它添加剂	264
7.11	柴油机润滑的特殊性	264
7.12	柴油机润滑油的规格	265
7.13	未来的柴油机润滑油	269
第8章	柴油机工况监测与故障诊断	272

8.1	引言	272
8.2	相应于保修工艺的工况监测	272
8.3	工况监测的优越性	274
8.4	影响选择工况监测方法的因素	275
8.5	柴油机工况监测和故障诊断技术	276
8.6	工况检查技术	276
8.6.1	发动机功率的估价	277
8.6.2	气缸功率平衡	278
8.6.3	气缸压缩力平衡	278
8.6.4	气缸单元监测	278
8.6.4.1	热负荷	279
8.6.4.2	缸套表面温度	279
8.6.4.3	活塞环状况	280
8.6.4.4	燃烧监测	280
8.6.4.5	缸套磨损	281
8.6.5	燃油喷射系统	282
8.6.6	充气系统	285
8.6.7	排气系统	286
8.6.8	窜气	287
8.6.9	压力脉冲分析	288
8.6.10	电气系统	289
8.6.11	润滑系统	289
8.6.12	冷却系统	290
8.6.13	轴承	290
8.7	监测技术的发展趋势	291
8.7.1	振动和噪声监测	291
8.7.1.1	第一级——综合振动测量	293

8.7.1.2	第二级——1/3倍频程振动测量分析	293
8.7.1.3	第三级——窄频带振动测量分析	295
8.7.1.4	第四级——标准窄频带振动测量分析	295
8.7.2	发动机循环流体中的有机残渣分析	297
8.7.2.1	图象磁性记录仪（俗称铁谱仪——译注）	298
8.7.3	发动机性能监测的发展趋势	300
8.7.4	一些无损检测技术	300
8.7.5	其它监测方法	301
8.8	工况监测传感器	302
8.9	用于柴油机工况监测的通用传感器	303
8.10	工况监测仪的价格	303

第1章 柴油机的燃烧 和热量析出

1.1 引言——理想气体循环

柴油机的燃烧涉及到很多的复杂过程。在过去甚至是现在，对每一过程的重点，都是运用经验和直观感觉来确定的。不过，最近三十年来已发表的大量理论著作和实验成果，不仅能对这些过程有一个较深入的认识，并且能对柴油机燃烧和性能的多种特性进行计算。

在考虑柴油机燃烧的某些细节之前，有必要对理想气体循环的热力学基本原理，特别是压力、容积和温度对热效率的影响进行修订：

(a) 卡诺循环

图1-1为卡诺循环，其热效率 $\eta_t = (T_2 - T_1)/T_2$ 。

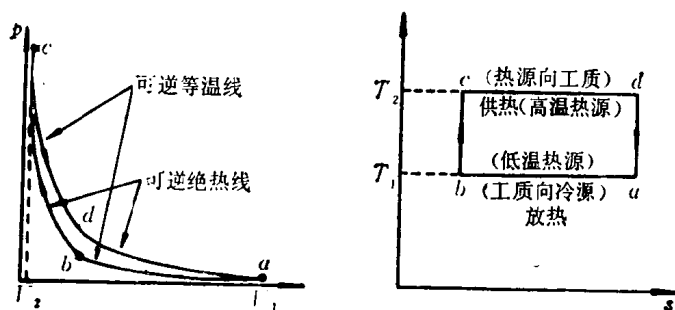


图1-1 卡诺循环

对任何一种循环，其最大热效率产生于当热源温度尽可能最高，而冷源温度尽可能最低时。因此，可以看出，卡诺循环指出了运行在温度 T_1 与 T_2 之间的热机可能达到的最高热效率。

卡诺循环主要有两种不利的情况：

(i) 峰值压力高——其结果增加了机械摩擦，同时，也需要增强（加重）发动机的结构。

(ii) 比输出功率低——因此需要采用大的气缸排量（大的发动机尺寸和重量）以达到合用的功率值。

(b) 奥托（定容）循环

实际使用中的低速汽油机十分接近于奥托循环（见图 1-2）。

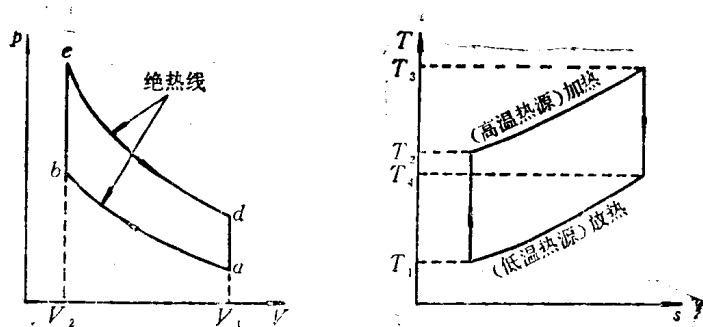


图1-2 奥托循环

$$\eta_T = \frac{T_3 - T_4}{T_3} = 1 - \left(\frac{1}{r} \right)^{\gamma-1}$$

式中： r ——压缩比；

γ ——气体定压比热与定容比热之比。

当压缩比 r 增加时，则热效率 η_T 上升。

(c) 狄塞尔循环

低速柴油机运转近似于这种循环（见图1-3）。

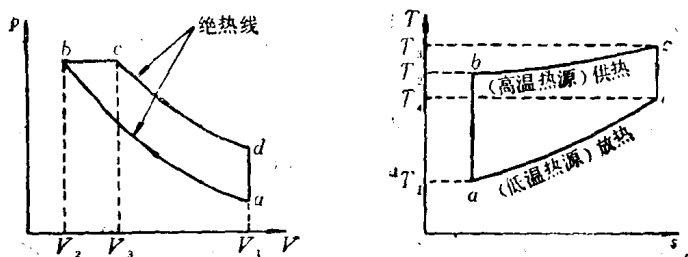


图1-3 狄塞尔循环

$$\eta_T = 1 - \frac{T_1(r_c^\gamma - 1)}{T_2(r_e - 1)^\gamma} = 1 - \left(\frac{1}{r}\right)^{\gamma-1} \times \left\{ \frac{(r_c^\gamma - 1)}{r(r_e - 1)} \right\}$$

式中： $r_e = V_3/V_{20}$ 。

其中因式 $(r_c^\gamma - 1)/\gamma(r_e - 1)$ 通常大于 1 并随 r_e 的增加而增大。因此， η_T 随受热周期的增加而减少并随 r 的增加而上升。

(d) 混合循环

高速汽油机和柴油机接近这种循环（见图1-4）。

$$\eta_T = 1 - \left(\frac{1}{r}\right)^{\gamma-1} \frac{(p \cdot r_e^{\gamma-1})}{(p-1) + p\gamma(r_e - 1)}$$

式中： $p = p_3/p_2 = T_3/T_{20}$ 。

上述(b)(c)(d)三种循环的热效率，在相同压缩比的条件下按以下递减秩序；

① 定容（奥托）循环；

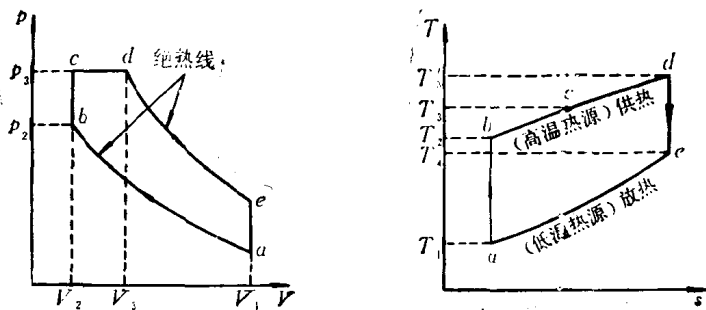


图1-4 混合循环

②混合循环；

③狄塞尔循环。

在实际应用中，由于汽油机燃料有形成‘爆震’或‘爆燃’的倾向，故压缩比受到限制。柴油机却很少受到这种限制，因而，可以使用较高的压缩比。因此，柴油机比汽油机通常有较高的效率。

1.2 柴油机的基本类型

对通用柴油机基本类型的工作过程重新分类，看来是有必要的：对于单缸或多缸发动机，按活塞行程分为四或二冲程，按活塞作功方式分为单动式和双动式（指活塞的两头都作功——译注）。在汽车界，最常用的是直列式，四缸或六缸四冲程发动机。

1.2.1 四冲程柴油机

图1-5为四冲程柴油机运转程序，当活塞下行使气缸容积增大时，进气阀开启，空气被吸入气缸中。

进、排气阀关闭后，活塞压缩空气，空气温度升高。当