

子川 著

发动机维修学

FADONGJI WEIXIU XUE



中国科学技术大学出版社

发 动 机 维 修 学

子川 著

中国科学技术大学出版社

2005·合肥

图书在版编目(CIP)数据

发动机维修学/子川著. —合肥:中国科学技术大学出版社,2005.12
ISBN 7-312-01865-3

I. 发… II. 子… III. 汽车-发动机-车辆修理 IV. U472.43

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 147295 号

中国科学技术大学出版社 出版发行

(安徽省合肥市金寨路 96 号,230026)

合肥现代印务有限公司印刷

全国新华书店经销

开本:787 mm×960mm/16 印张:13.625 字数:300 千

2005 年 12 月第 1 版 2005 年 12 月第 1 次印刷

印数:1—3000 册

定价:28.00 元



序

我为何要写这本书？

写书为了啥？为名、为利、为理想？然而，文章千古事，功名一阵风。我写此书是有感而发的！

20年前，我开始进入内燃机专业，毕业工作十几年也未脱离过本行业。正是依靠本专业，如今我才过上小康生活。在长期的专业实践中，我才慢慢坚定了自己的信心。可是，翻开大学时保留下来的专业课本，如同阅读相对论。其中的理论太深，公式太复杂，而实用性又太差；但平时用的工作手册又缺乏思想理论，只有方法和数据。显然，本专业的理论和实践、教材与社会，已经严重脱节。至少对我如此。

毕业16年的同学聚会也让我感慨。内燃机专业的同学，只有少数人还在搞内燃机，极少人能在本专业找到成就感，多数人已经看不懂当年视为命根的课本了。硕士、博士们改行或出国谋生也不罕见……呜呼！是本专业或本行业不需要人才了吗？显然不像！中国的发动机、中国的汽车业不是正在蓬勃发展吗？我们在现实社会里看到那么多没有专业文凭的人饶有兴致地从事着本行业……可见，我国的专业教育明显是存在问题的！进而，整个高等教育的思想恐怕都要重新确定。如果说中小学的基础教育要强调统一性和通用性的话，那么大学教育就该强调针对性和实用性。以发动机专业为例，本科教育的重点是设计、研究还是维修？只要作一番调查和论证，就可以得出结论：本科的重点在于维修，硕士的重点在于设计，博士的重点在于研发。这种定位不能含糊，而且还要看重个人的天赋和阅历。

从我国的发动机制造业,甚至整个机电专业的发展历史来说,以往的思路是设计→制造→维修。今天理性地评价它,应当承认:这种逻辑错了!因为我国不是工业文明的原创国。“独立自主,自力更生”是不得已的励志口号,发展工业特别是传统工业,正确的思路只能是先学会使用和维修别人的产品。在此基础上,才可能去参与制造与设计,最后才有资格去研发。其中的道理很简单:在市场经济的大环境下,不能超越老产品的新产品是没有销路的。若要超越别人,就必须先了解和学习别人。而维修就是最好的学习。因此,发展传统的机电工业就应遵循维修↔制造↔设计的逻辑,最后形成从使用维修到设计研发的闭合循环。总之,重视维修并把维修作为突破口,是振兴我国机电工业的务实良策!同时大学的工科教育也要作相应的调整。

如果把培养维修专家作为本科教育的方向,那么这个专业教材又该如何编写?其中的理论深度又当如何控制?一切当以日后学生的需要为原则。我就以个人的感觉为裁量标准,编写出一本大学本科的专业书,吹响求实务真的大学教材改革的进行曲!

2004年11月12日

子川于四川蓬溪

前 言

发动机维修学的定位和特点

关于此书的思想定位和谋篇布局,我揣度良久。书名用《发动机维修学》,何不用内燃机或柴油机维修指南?从书名到选材,应当遵守什么原则,出版后当有什么样的社会地位?

写作思想将决定写作的成败。满足学员和从业者的实际需要是本书的写作宗旨,希望本书出版后能成为发动机专业本科的核心教材,同时也成为本行业工作人员的终生案头书。

确切地说,本书应叫内燃机维修学。但是民众都把汽车的引擎、发电机组的引擎和工程机械的引擎叫发动机,而不习惯称内燃机。本书对非内燃发动机不作讲解,所以书名不太严谨。但是它却顺应了民众的习惯,体现了写作为社会服务的现实主义。

不叫维修指南而叫维修学,这恐怕是历史上的一次突破。维修学不是关于维修工作的学科而是关于维修人员所需理论和知识的学科。这样不以事为中心而以人为中心的思想体现了人本主义的哲学,而科技以人为本方可坚守正道。所以,本书的特点将定为:全面系统而又详略得当,思想与细节并重而又深浅有度,既有理论和公式,也有方法和数据。总之,本书力求学术性与实用性相结合,成为本行业本专业的学生、技工和专家都愿阅读和保存的经典教材。



目 录

序	(I)
前言	(III)
第一章 发动机原理	(1)
第一节 燃烧化学	(1)
第二节 内燃机的分类	(3)
第三节 内燃机的工作过程	(3)
第四节 发动机的示功图	(6)
第五节 机械损失和热平衡	(9)
第六节 换气过程和充气效率	(11)
第七节 柴油机混合气的形成和燃烧	(13)
第八节 汽油机混合气的形成和燃烧	(18)
第九节 柴油机的燃烧室	(26)
第十节 汽油机的燃烧室	(32)
第十一节 内燃机的特性和调节	(39)
第十二节 发动机的功率标定及大气修正	(52)
第二章 发动机构造	(54)
第一节 概述	(54)

第二节	曲柄连杆机构	(54)
第三节	机体和气缸盖	(69)
第四节	配气机构	(74)
第五节	进排气系统	(82)
第六节	燃料供给系统	(84)
第七节	润滑系统	(97)
第八节	冷却系统	(109)
第九节	起动系统	(114)
第十节	汽油机点火系	(116)
第三章	发动机设计	(125)
第一节	发动机设计总论	(125)
第二节	活塞组设计	(129)
第三节	连杆组设计	(132)
第四节	曲轴组设计	(135)
第五节	固定零件的设计	(136)
第六节	气门配气机构设计	(143)
第四章	发动机维修实务	(146)
第一节	发动机维修的概念和分类	(146)
第二节	关于螺钉、工具和维修场地	(148)
第三节	发动机的拆检	(149)
第四节	零件的更换、修复和替代	(150)
第五节	发动机装配	(151)
第六节	启动、磨合与运行	(153)

第七节 发动机的检测与监控	(154)
第八节 发动机常见故障分析和处理	(155)
第九节 发动机维修的评价和反馈	(159)
第十节 发动机维修人员的职称评定	(161)
 第五章 发动机维修实例精选	 (163)
 第六章 汽车概论	 (175)
 第七章 发电机组简介	 (181)
 附录	 (188)
附录一 常用单位换算表	(188)
附录二 发动机维修报告书	(190)
 参考文献	 (208)

第一章 发动机原理

第一节 燃烧化学

发动机要不停地运转就要有持续的能量来源,而内燃机的能量都来自石油产品燃烧时释放出的热量。因此,我们要首先学习石油产品的燃烧化学。表 1-1 为石油产品的分类及特性。

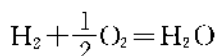
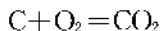
表 1-1 石油产品

燃料	沸点	碳原子数目	元素成份比			分子量 mT	低热值 Hu, kJ/kg (kcal/kg)	应用范围
			C	H	O			
汽油	<200℃	C ₅ —C ₁₁	0.855	0.145		95~120	44171~43961 (10500~10550)	航空, 汽车汽油机
煤油	180~300℃	C ₁₁ —C ₁₇	0.860	0.137	0.003	160~180	43124(10300)	喷气式发动机煤油机
柴油	250~360℃	C ₁₅ —C ₂₃	0.870	0.126	0.004	180~200	42496(10150)	高速柴油机
重油			0.870	0.125	0.005	220~280	41868(10000)	中、低速柴油机
残渣	>360℃	>C ₂₃						

一、燃料的燃烧

当达到一定温度时,燃料中的可燃成份将和空气中的氧发生氧化发热反应,这个过程和现象就是燃料的燃烧。发动机燃料中主要含碳氢氧。碳完全燃烧时,碳与氧气化合,生成二氧化碳,并放出一定的热量;氢燃烧时与氧化合生

成水蒸气,并放热。他们的反应方程式如下:



二、公斤摩尔数的定义

为了计算化学反应中的质量和能量的关系,需要回顾高中化学中摩尔的概念。1 摩尔的物质,分子数目相同;1 摩尔的不同气体,体积相同,在标准状态下均为 22.4 升。1 摩尔的物质质量就是它的分子量(单位是克),而 1 公斤摩尔的物质质量则为其分子量(单位是千克),即是说 1 公斤摩尔等于 1 千摩尔。所以,1 公斤摩尔的气体在标准状态下,体积为 22.4 m³。

三、燃烧所需空气量的理论计算

根据 $\text{C} + \text{O}_2 = \text{CO}_2$ 可知,燃烧 1 公斤摩尔的碳需要 1 公斤摩尔的氧气;根据 $\text{H}_2 + \frac{1}{2} \text{O}_2 = \text{H}_2\text{O}$ 可知,燃烧 1 公斤摩尔的氢气需要 1/2 公斤摩尔的氧气。我们知道空气主要由氧气(O₂)和氮气(N₂)组成,按重量比,氧气约为 23.2%,氮气约为 76.8%;若按体积比则 O₂ 约占 21%,N₂ 约占 79%。

通过简单的计算过程便可得出下列理论值:

- (1) 空气的平均分子量 $m_a = 28.9$, 空气的一般密度为 1.29 kg/m³。
- (2) 柴油的空燃比 $L_o = 14.3$ (kg/kg), 即 1 公斤柴油完全燃烧所消耗的空气量为 14.3 公斤,或 11.08 立方米。
- (3) 汽油的空燃比 $L_o = 14.8$ (kg/kg), 即 11.47 立方米。

四、过量空气系数

在实际燃烧过程中,空气量不可能恰好等于理论值。为了不浪费燃料,我们自然希望空气过量。实际提供的空气量与理论值的比值就是过量空气系数,用 α 表示。



一般,柴油机的过量空气系数 $\alpha = 1.2 \sim 2.0$,汽油机的 $\alpha = 0.8 \sim 1.2$ 。

第二节 内燃机的分类

本书所讲的发动机,其实专指内燃机。它是利用燃料在燃烧室内燃烧,引起工质(气体)膨胀做功,而将热能转化为动能的动力机械。

内燃机可分为两大类:旋转式内燃机和活塞式内燃机。

旋转式内燃机又称为燃气轮机,常见的有飞机发动机;活塞式内燃机又分为往复活塞式内燃机和旋转活塞式内燃机;旋转活塞式内燃机,常见的是旋转三角活塞式内燃机。

往复活塞式内燃机用途最广,能源、交通、工程机械、农业机械几乎随处可见。因此本书只讲解往复活塞式内燃机,以它作为发动机的典型代表。

发动机按所用燃料来分类,可分成柴油机、汽油机、煤油机、天然气发动机、双料机等。

按冲程数可分为:四冲程发动机和二冲程发动机。

按气缸数分为:单缸机和多缸机。

按冷却方式可分为:水冷式发动机和风冷式发动机。

按进气方式可分为:增压发动机和非增压发动机。

按着火方式可分为:压燃式发动机和点燃式发动机。

另外还可分为:固定式发动机和移动式发动机等等。

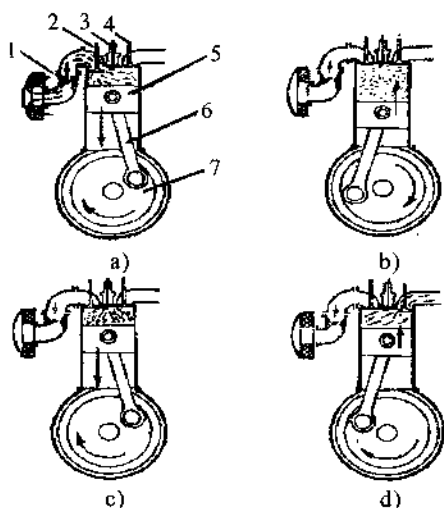
第三节 内燃机的工作过程

不论是二冲程还是四冲程,内燃机的工作过程都可从原则上分为四个阶段:进气、压缩、燃烧做功和排气阶段,四个阶段构成一个循环,周而复始。

一、四冲程发动机的工作循环

四冲程内燃机是最常见的发动机,四个冲程的每一个冲程对应于曲轴转角

180°;四个冲程对应于工作循环的四个阶段。如图 1-1 所示。



1. 化油器喉管 2. 进气门 3. 火花塞
4. 排气门 5. 活塞 6. 连杆 7. 曲轴

图 1-1 四冲程汽油机工作过程示意图

1. 进气冲程

活塞从上止点移动到下止点,曲轴转角 $0^{\circ} \sim 180^{\circ}$,进气门开启,新鲜空气进入气缸。

2. 压缩冲程

活塞从下止点移动到上止点,曲轴转角 $180^{\circ} \sim 360^{\circ}$,进气门排气门都关闭,气体被压缩。

3. 做功冲程

活塞从上止点被推动至下止点,曲轴转角 $360^{\circ} \sim 540^{\circ}$,所有气门关闭,活塞被膨胀的气体推动做功,并把动力传给曲轴。

4. 排气冲程

活塞从下止点移动到上止点,曲轴转角 $540^{\circ} \sim 720^{\circ}$,进气门关闭,排气门打

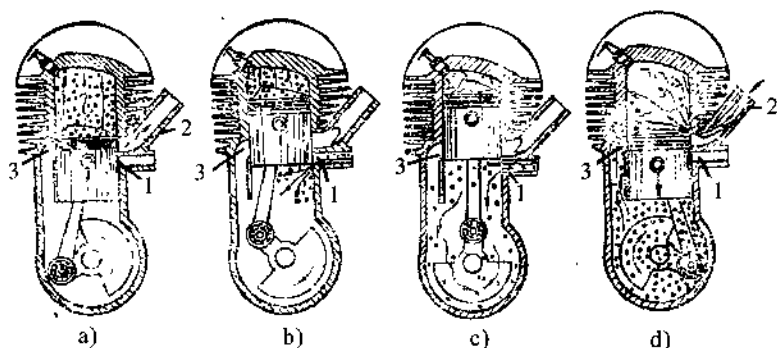
开,废气从排气门排出气缸。

二、柴油机与汽油机工作过程的区别

- (1) 进气时柴油机进的是纯空气;而汽油机进的是燃料与空气的混合气。
- (2) 柴油机是在压缩上止点附近喷射柴油,并“压燃”混合气;而汽油机是在压缩上止点附近用火花塞“点燃”混合气。
- (3) 柴油机要特别控制喷油提前角,而汽油机要控制的是点火提前角。

三、二冲程发动机的工作循环

二冲程的柴油机已经很少见,但二冲程的汽油机却常用作摩托车的发动机。二冲程汽油机的工作循环如图 1-2 所示。



1. 进气孔 2. 排气孔 3. 扫气孔

图 1-2 二冲程汽油机工作原理示意图

在第一冲程中,活塞上行,曲轴箱内形成真空,当活塞底部打开进气孔时,可燃混合气进入曲轴箱。

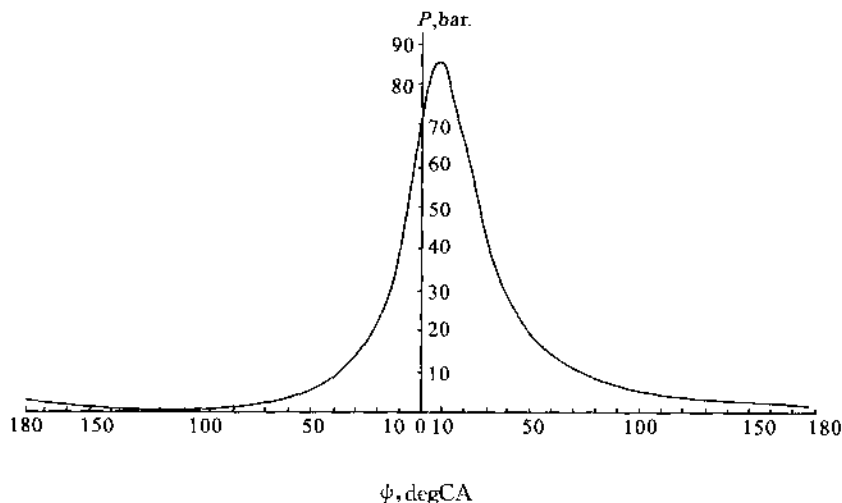
在第二冲程中,活塞下行,活塞底部将进气孔关闭。随着活塞下移,曲轴箱内的可燃混合气被压缩,缸内压力下降,活塞继续下移,活塞扫气孔打开,混合气进入气缸。当活塞移到下止点时,大量的混合气充入气缸,并将废气从排气孔驱出,即进行换气过程。

通过合理的设计,在第一冲程中,活塞上行,活塞顶部先将扫气孔关闭,再关闭进排气孔。二冲程汽油机开始进行压缩、燃烧和做功过程,与四冲程机相似。

第四节 发动机的示功图

一、示功图的概念

以气缸压力 P 为纵坐标,气缸容积 V 为横坐标,将发动机的工作循环用曲线图表示出来,这就称为发动机的 $P-V$ 示功图。以 P 为纵坐标,曲轴转角 ϕ 为横坐标,则为 $P-\phi$ 示功图。示功图是研究发动机重要实验依据,如图 1-3、1-4、1-5 所示。



$P_0 = 765 \text{ mmHg}$ $t_0 = 20^\circ\text{C}$ $N_e = 17.21 \text{ kW}$ $P_e = 6.5 \text{ bar}$ $n = 2010 \text{ rpm}$

图 1-3 120B 型四冲程单缸试验机的 $P-\phi$ 图

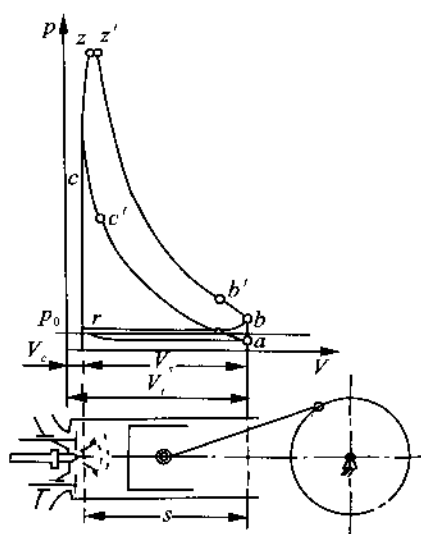


图 1-4 四冲程柴油机示功图

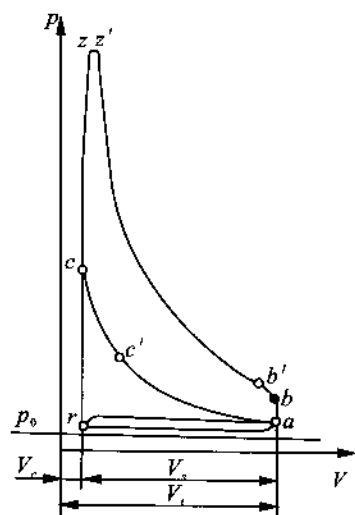


图 1-5 四冲程增压柴油机示功图

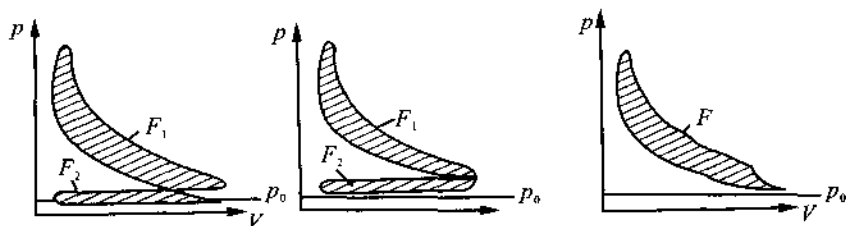
表 1-2 四冲程内燃机示功图特征点的热力参数

示功图特征点		进气冲程 终点 a	压缩冲程 终点 e	最高压力 点 z	膨胀冲程 终点 b	排气冲程 终点 r
柴油机	压力 P MPa	0.08~0.095	3~5	6~9	0.3~0.4	0.105~0.12
	温度 T K	300~340	750~950	1800~2200	1000~1200	700~900
汽油机	压力 P MPa	0.075~0.09	0.8~1.4	3~5	0.4~0.5	0.105~0.12
	温度 T K	370~400	600~700	2200~2700	1200~1500	800~1100
增压柴油 油机	压力 P MPa	0.13~0.25	5~9	9~16	0.5~0.8	0.12~0.13
	温度 T K	320~450	1200~1400	2300~2600	1300~1500	1000~1100

二、示功图的意义

1. 指示功的定义

指示功是指气缸内完成一个循环所得到的有用功,用 W_i 表示。而 W_i 的大小就等于 $P-V$ 图中闭合曲线的面积 F_i ,即 $W_i = F_i$ 。如图1-6所示:



a) 四冲程非增压发动机

b) 四冲程增压发动机

c) 二冲程发动机

图1-6 发动机的 $P-V$ 图

对于非增压发动机 $F_i = F_1 - F_2$,增压发动机 $F_i = F_1 + F_2$

2. 平均指示压力

发动机单位气缸容积所作的指示功就称为平均指示压力,用 P_i 表示,

$$P_i = \frac{W_i}{V_h}。$$

3. 热效率分析

示功图的形状也反映了发动机工作过程的优化程度。热力学已经证明,相同的压缩比下,等容加热循环的热效率最高,混合加热次之,等压加热最差。所以燃烧加热过程要尽可能集中在上止点附近。

4. 指示热效率

发动机实际循环指示功与消耗的燃料热量的比值,就称为指示热效率,用

$$\eta_i \text{ 表示, } \eta_i = \frac{W_i}{Q_i}。$$

统计结果表明,四冲程柴油机的 $\eta_i = 0.43 \sim 0.50$,其它发动机更低。

5. 指示比耗油

是指单位指示功的耗油量,通常以千瓦小时的耗油量来表示: