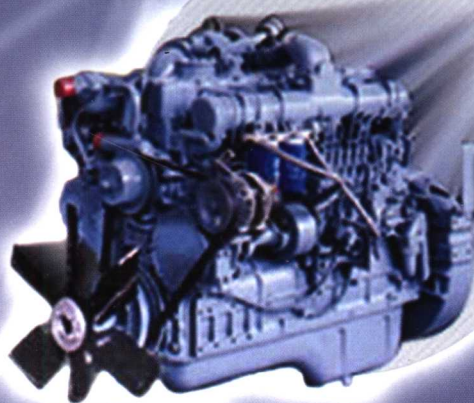


柴油机燃油系统和匹配

高书堂 高国强 编著



 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

柴油机燃油系统和匹配

高书堂 高国强 编著

 北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书从柴油机燃烧过程的输入出发,讲述了燃油性质对燃烧过程的影响;针对不同类型燃烧室的特点,讲述燃烧室对燃烧过程及排放质量的影响;从燃油设备主要元件入手,重点讲述了柴油机燃油系统主要元件如喷油泵、喷油器、调速器的结构、工作原理及匹配特性;介绍了九种规格类别和使用不同场合的博世喷油泵及分配泵;11种系列的单体喷油泵、又针对不同感应元件和使用特点介绍了调速器和喷油器以及电控和电喷系统,以利读者开拓思路,进行优选、优化。对燃油系统辅助设备如提前器、输油泵、手打柴油泵、电动泵、滤清器也列出专章进行介绍,保持燃油系统的完整性。该书图文并茂、内容丰富,既有理论又有实践,是柴油机方面的好教材。

本书适用于内燃机专业的师生阅读,也适用于从事内燃机生产、制造和管理工作者参阅。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

柴油机燃油系统和匹配/高书堂,高国强编著. —北京:北京理工大学出版社,2005.4

ISBN 7-5640-0373-1

I. 柴… II. ①高…②高… III. 柴油机-燃油系统-高等学校-教学参考资料 IV. TK423.38

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 100249 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(办公室) 68944990(发行部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

电子邮箱 / chiefedit@bitpress.com.cn

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京圣瑞伦印刷厂

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 25

字 数 / 588 千字

版 次 / 2005 年 4 月第 1 版 2005 年 4 月第 1 次印刷

印 数 / 1 ~ 2000 册

定 价 / 40.00 元

责任校对 / 张 宏

责任印制 / 李绍英

图书出现印装质量问题,本社负责调换

前 言

由于博世喷油泵的成熟,大大改善了柴油机的性能,又由于柴油机尾气排放质量好于汽油机,使其在保护环境方面备受青睐。

柴油机燃油系统是形成柴油机各项性能指标的关键部件,由元件喷油泵、调速器、喷油器、提前器及输油泵等组成。各元件结构、原理和性能参数的组合匹配,形成喷油特性,影响着柴油机的燃烧过程,从而构成了柴油机的动力性、经济性、启动性和多种燃料的适用性,也决定着柴油机的热负荷、机械负荷和工作效率。

因此,要研究燃油系统的供油、喷油、调节等控制技术,从分析燃油系统元件的结构、原理、工作过程入手,剖析系统元件的组合和性能的匹配对喷油特性、燃烧过程质量以及组成柴油机工作特性的影响,才能提高驾驭柴油机的能力和水平。

本书引用了不少博士公司的喷油器、喷油泵、调速器、输油泵、手打柴油泵、电动泵、滤清器、齿杆限位器等常规和新的供油系统的相关资料;引用了道依茨公司的产品开发资料,在此表示感谢。

本书内容丰富、图文并茂,系统的理论联系实际,多样的实用技术资料可供研究人员、研究生、工程技术人员、本科生、专科生以及职业技术学校的学生、柴油机操作、维修人员参考。

本书由高书堂和高国强主编,周治帮,高国良,刘佳佳,高国庆,温永芳,温永红等参加编写。在出版过程中,得到了北京理工大学常务副校长李志祥的多方支持;得到了动力工程学院院长孙业保的大力帮助;魏春源教授在编写内容和材料的组织上多次提出宝贵意见;在此表示衷心感谢。

由于作者水平所限,书中难免有错误,敬请读者批评指正。

编著者

目 录

第一章 燃烧系统	(1)
第一节 燃料	(1)
一、石油成分类别	(1)
二、柴油的性质和对燃烧过程的影响	(2)
三、柴油的规格和供货规范	(3)
四、燃烧所需燃料量和空气量	(5)
五、燃烧中的有害气体	(6)
六、燃料燃烧的热值	(7)
第二节 可燃混合气的形成	(9)
第三节 燃烧过程	(12)
第四节 异常燃烧	(16)
第五节 燃气混合过程和燃烧过程的分析与控制	(19)
第六节 燃烧室	(23)
一、燃烧室的类别	(23)
二、进气涡流的产生	(32)
三、直喷式燃烧室的特点	(33)
第二章 喷油泵	(37)
第一节 燃油设备的类别和油量计量	(37)
一、燃油设备的类别	(37)
二、油量计量方法	(38)
第二节 油量控制与调节的基本元件——喷油泵	(38)
一、柱塞喷油泵的结构及工作原理	(38)
二、柱塞偶件和工作行程	(40)
三、油量调节和挺柱总成	(44)
四、输油阀总成及其功能	(45)
五、凸轮轴总成及其廓线作用	(48)
六、喷油泵工作能力的评价	(54)
七、喷油泵编号与安装	(60)
八、油泵大小和最大供油量的确定	(65)
第三节 博世柱塞喷油泵	(70)
一、A 型喷油泵	(70)
二、M 型喷油泵	(76)
三、P 型喷油泵	(81)
四、P ₇ 型喷油泵	(88)
五、ZW 型喷油泵	(93)

六、P ₉ 型喷油泵	(98)
七、CW 型喷油泵	(103)
第四节 博世单体喷油泵	(108)
一、博世单体喷油泵燃油系统	(108)
二、Q 型单体喷油泵	(118)
三、K 型单体喷油泵	(122)
四、A 型单体喷油泵	(127)
五、B 型单体喷油泵	(134)
六、Z 型单体喷油泵	(139)
七、C 型单体喷油泵	(142)
八、CV 型单体喷油泵	(146)
九、W 型单体喷油泵	(148)
十、D 型单体喷油泵	(151)
十一、E 型单体喷油泵	(154)
第五节 转子式分配泵	(157)
第三章 喷油器总成	(163)
第一节 喷油器的类别和作用	(163)
第二节 喷油器的结构和工作原理	(166)
第三节 喷油器的喷雾特性	(168)
第四节 喷油器的结构工作参数	(170)
第五节 喷油器的液力特性和静态分析	(175)
第六节 博世喷油器的针阀偶件	(178)
第七节 喷油器的安装	(183)
第四章 喷油泵和喷油器的匹配	(190)
第一节 喷油特性和喷油参数的初步选定	(190)
第二节 高压油管对喷油特性的影响	(193)
第三节 供油和喷油的动力学分析	(195)
第四节 柴油机燃油供给系的电子控制	(201)
第五章 调速器	(210)
第一节 安装调速器的必要性和稳定作用	(210)
一、安装调速器的必要性	(210)
二、调速器的稳定作用	(213)
第二节 调速器的工作能力指标和特性	(215)
第三节 调速器的类型和工作原理	(221)
一、调速器的类型	(221)
二、调速器的工作原理	(225)
第四节 各种用途的调速器	(230)
一、RQ、RQU 两极式调速器	(230)
二、RQV 全程调速器	(235)
三、RQV - K 全程调速器	(241)
四、EP/RS 两极调速器	(244)

五、RSV 全程调速器	(251)
六、RQUV 和 RSUV 调速器	(260)
七、气膜 - 机械组合全程调速器	(264)
八、RFD 机械全程、两极两用调速器	(270)
九、国产飞球调速器 T_{7B}	(271)
第五节 齿杆限位器	(274)
第六章 喷油泵总成的调整和试验	(277)
第一节 喷油泵与调速器的匹配	(277)
第二节 喷油泵总成的试验内容	(281)
第三节 喷油泵总成的试验曲线	(287)
第四节 喷油泵总成的调整和试验实例	(290)
一、A 型泵配 RSV 调速器的调整	(290)
二、A 型泵配膜片调速器的调整	(291)
第七章 燃油系统和辅助部件	(298)
第一节 燃油系统及辅助部件的功能作用	(298)
第二节 供油提前器	(309)
第三节 提前器的连接与安装	(316)
第四节 联轴器	(324)
第五节 提前器的调整	(326)
第六节 输油泵	(328)
第七节 博世手打输油泵	(336)
第八节 电动输油泵	(343)
第九节 燃油滤清器	(346)
第八章 柴油机与喷油泵总成的匹配	(348)
第一节 柴油机主要性能指标	(348)
一、柴油机的动力指标	(348)
二、柴油机的经济指标	(351)
三、柴油机可靠性和使用寿命	(353)
第二节 柴油机对燃油系统的基本要求	(353)
第三节 喷油泵总成与柴油机匹配	(358)
第四节 柴油机启动试验	(359)
第五节 柴油机标定工况的调整分析	(360)
第六节 最佳喷油定时的选择和提前角的确定	(364)
第七节 转矩特性的调整分析	(367)
第八节 低速工况的调整分析	(376)
第九节 全程与两极调速器的使用性	(379)
第十节 开发新型水冷柴油机	(379)
一、成功地开发新型水冷柴油机的思路	(379)
二、新型水冷道依茨柴油机——FM1012/1013 的喷射和燃烧系统	(383)
主要参考文献	(389)

第一章 燃烧系统

第一节 燃 料

柴油机使用的燃料是柴油。柴油是液态石油产品,石油是液态矿物质。石油开采后称为原油,是黑色或棕色液体。原油经加工提炼形成各种燃料油、润滑油、石蜡、沥青等石油产品,柴油则是燃料油中的一种。

一、石油成分类别

世界各地所产石油质量不尽相同,但其主要成分都是由碳氢两元素组成的,其总量约为97%~98%,也有的可达99%。此外含有大量的氧、氮、硫及其衍生物。

石油是有机物,它们多以高分子化合物存在,通常称碳氢化合物为“烃”。

烃类有许多种,归结起来有四类:

1. 烷烃是具有链状分子结构的饱和烃。一般化学分子式为 C_nH_{2n+2} 。

在正常情况下,烷烃可以是气态的、液态的或固态的。烷烃的比重和沸点随分子量的增加而上升,分子量大的烷烃蒸发性差。当烷烃分子量增大时,其碳链变长,在高温下处于不稳定状态,故其自燃温度降低,容易氧化燃烧。若采用外源点火,易产生爆燃,适合于压燃式柴油机。

烷烃又可分成正构烷和异构烷。异构烷结构紧密,在高温下不容易氧化,从而不容易自燃。对汽油机来说,有利于抗爆性能的提高。

2. 烯烃是具有链状结构的不饱和烃。一般分子式为 C_nH_{2n} 。不饱和烃有生成饱和烃的趋势,在常态下化学稳定性差,所以在储存结构为烯烃的燃料时,易于氧化生产胶质。

3. 环烷是具有环状结构的饱和烃,分子式为 C_nH_{2n} ,与烯烃相同,但其结构形式不同,详见图1-1 烃的分子结构。

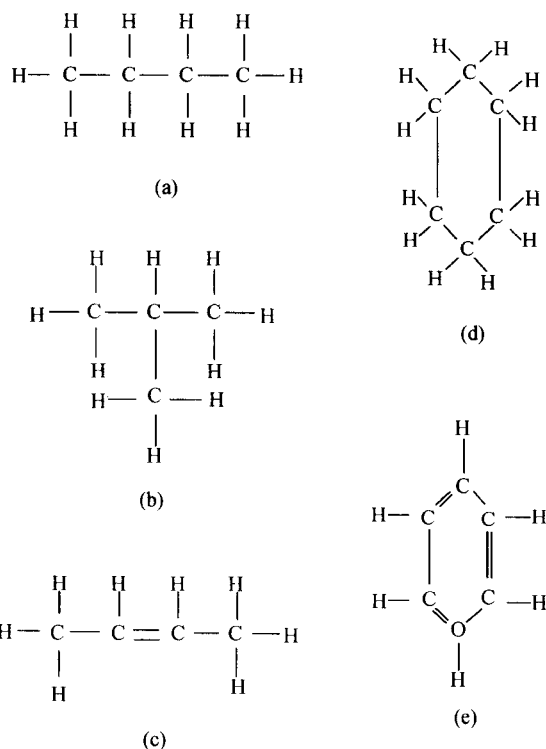


图1-1 烃的分子结构

(a) 丁烷 C_4H_{10} ; (b) 异丁烷 C_4H_{10} ;

(c) 丁烯 C_4H_8 ; (d) 环己烷 C_6H_{12} ; (e) 芳香烃 C_6H_6

4. 芳香烃是以苯环为基础组成的化合物,分子式为 C_nH_{2n-6} 。芳香烃抗爆性能强,但凝固点较高,不易冬季使用。

二、柴油的性质和对燃烧过程的影响

柴油分轻柴油、重柴油及重油。轻柴油用于高速柴油机,重柴油用于中低速柴油机,重油用于大型柴油机。

(一) 高速柴油机燃油的评价指标

1. 凝点和浊点:它是柴油低温流动性的指标,在常温下,轻柴油是透明液体。在低温时,燃料中的石蜡开始结晶,燃油变得略混浊;当温度进一步降低后,便产生石蜡结晶网,燃料失去流动性而凝固。通常称这个温度为凝点。使燃料变浊的温度点为浊点,一般浊点高于凝点 $5^{\circ}\text{C} \sim 10^{\circ}\text{C}$ 。从保证柴油机正常工作而言,浊点比凝点更重要,因为温度低于浊点后,柴油中析出固体石蜡,常会造成滤清器网堵塞,造成燃料供给减少甚至停止,可使柴油机熄火。

在燃料储运中凝点更为重要,因此,我国轻柴油标号是按凝点标定的,例如 -20 号轻柴油,其凝点不高于 -20°C 。

对于精制轻柴油,由于加入 1% 降凝剂,可使燃油凝点降低 $20^{\circ}\text{C} \sim 50^{\circ}\text{C}$,但对浊点影响不大,仅可降 $1^{\circ}\text{C} \sim 5^{\circ}\text{C}$ 。

2. 黏度:黏度是度量燃料流动性的指标,影响柴油的喷雾质量。黏度越高,雾化后油滴平均直径越大,造成燃料和空气混合的不均匀度越差,从而形成燃烧的不完全和不及时,使燃料消耗量增加,排气烟度增大。

柴油在喷油泵内也作为一种润滑柱塞和喷油器针阀的润滑剂,要求具有一定的黏度。一般柴油黏度在 20°C 时,为 $2.5 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s} \sim 8 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ 。

3. 馏程:馏程表示柴油的蒸发性,也称为蒸发度。是将燃油蒸馏时,按馏出某一百分比的温度范围来表示的。

轻馏分的燃料、蒸发快、有利于燃料混合形成;重馏分的燃料,在高速柴油机中来不及蒸发和均匀混合,因此高速柴油机使用轻馏分柴油。但馏分太轻也不好,因为轻质燃料容易蒸发,在着火前易形成大量的可燃气体,一旦着火后,压力猛增,可引起柴油机工作粗暴。

4. 十六烷值:十六烷值是评价柴油着火性能和燃烧特性的指标。十六烷值作为一种燃料添加剂存在柴油中,以调节燃料燃烧特性。并可降低压力升高率,使柴油机工作平稳柔和。

十六烷值是 16 烷($C_{16}H_{34}$)和 α -甲基苯混合制成的液体。其 16 烷最易自燃,规定 16 烷值为 100;而 α -甲基苯最不易自燃,在 16 烷值中规定为 0。当测定柴油的自燃性和配制的混合液的自燃性相同时,则混合液中十六烷体积百分数就定为该种柴油的十六烷值。

柴油中的十六烷值高,自燃性好,使用时,柴油低温启动性能就好,工作平稳。若十六烷值过高,其黏度增大,蒸发性变坏,喷雾质量变差,易造成不完全燃烧,冒黑烟,为保证燃烧过程不粗暴,柴油中的十六烷值应在 40% ~ 50% 之间。

5. 闪点:将燃油加热,使其蒸气和空气混合。当接触火焰时,发出闪火的最低温度称为闪点。闪点对使用质量无大影响,但对运输柴油、储存和防火有重要影响。因此,闪点是柴油机安全性的重要指标。

闪点按试验方法分成开口和闭口两种。一般闭口闪点比开口闪点要低 $14^{\circ}\text{C} \sim 17^{\circ}\text{C}$ 。

6. 残炭:柴油在没有空气时,加热生成的炭质残渣称为残炭。

它的性质以残炭值来表示。残炭值实际是燃料中的胶质和不稳定化合物含量的间接指标,这些物质易造成柴油机积炭,因此,在轻柴油中规定其含量不应超过 0.4%,有时用 10%残渣含量为残渣值的指标。

残炭高的柴油,容易使燃烧室及喷油器某些部位积炭,此可造成活塞散热不良而烧结,又可形成拉缸、喷油孔堵塞、气门卡死等燃烧系统故障,因而希望残炭值越少越好。

7. 灰分:灰分是柴油燃烧后的剩余物,它主要是溶解在燃料中的有机酸和无机酸盐类。在燃料中灰分越少越好,燃料中的灰分燃烧后可造成缸套和活塞运动中的磨损,降低柴油机使用寿命。

8. 含硫量:硫是燃料中有害成分。硫和硫化物在燃烧时,生成二氧化硫。二氧化硫不仅刺激人体呼吸道,而且在气缸温度较低时,遇到湿气和水分形成硫酸和亚硫酸,造成缸套和活塞表面腐蚀,加剧柴油机低温磨损速度。硫的氧化物会沉积在积炭中形成坚硬的物质,加剧气缸、活塞的磨损,影响柴油机使用寿命。

9. 机械杂质和水分:机械杂质可使喷油器喷孔堵塞,加速燃油系统精密配件的磨损,降低其使用寿命。

长期停放的柴油机,水分可造成其锈蚀,影响柴油机正常工作,因此柴油机在停留一年时,应重新上台架油封或除锈。

在严冬地区,柴油中水分多,它可使油路和滤清器结冰,堵塞油路。水分过多可使柴油热值降低。

(二) 燃油成分对燃烧过程的影响

十六烷和异辛烷、芳香烃的影响。

在燃油中加入适量的十六烷值和异辛烷、芳香烃可防爆燃。加入十六烷值愈多,滞燃期愈短;而加入异辛烷和芳香烃愈多,则滞燃期愈长。因为十六烷值的化学安定性差而后者较好,烷烃着火温度比芳香烃的着火温度低;重馏分烃的着火温度比轻馏分的低;化学安定性弱的烃比化学安定性强的烃着火温度低,如正常烷的着火温度为 471℃,而异辛烷的着火温度为 732℃。着火温度低者滞燃期短。

三、柴油的规格和供货规范

(一) 柴油的规格

柴油按凝结点分为 10 号、0 号、-10 号、-20 号、-35 号五种规格品牌,它们的凝点分别为 +10℃、0℃、-10℃、-20℃、-35℃。此外,还有凝点为 +20℃的农用柴油。

(二) 柴油机按使用季节和地区不同选用轻柴油

10 号轻柴油适用于全国各地夏季使用;0 号轻柴油适用于全国各地 4—9 月使用,长江以南冬季也可使用;-10 号轻柴油适用于长城以南地区冬季和长江以南严冬地区使用;-20 号轻柴油适用于长城以北冬季和长城以南黄河以北地区严冬使用;-35 号轻柴油适用于东北和西北地区严冬使用。

国产轻柴油规格见表 1-1。军用轻柴油规格见表 1-2。

表 1-1 国产轻柴油规格表

项 目			质 量 指 标				
			+ 10	0	- 10	- 20	- 35
十六烷值							

表 1-2 军用轻柴油规格

项 目		10 号直馏柴油	35 号专用柴油	
十六烷值		不低于	55	40
馏程	10% 馏出温度/℃	不低于	—	200
	50% 馏出温度/℃	不低于	290	275
	90% 馏出温度/℃	不低于	350	335
运动黏度 $\times 10^{-4}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1})$		20 ℃	3.5 ~ 8.0	3.5 ~ 6.0
10% 蒸余物残炭/%		不大于	0.3	0.5
灰 分/%		不大于	0.01	0.02
含硫量/%		不大于	0.2	0.2
机械杂质		无	无	
水 分/%		无	无	
闪 点(闭口)/℃		不低于	60	50
酸度(KOH 含量)/ $[\text{mg} \cdot (100\text{ml})^{-1}]$		3	5	
腐 蚀		合格	合格	
凝 点/℃		不高于	- 10	- 35
浊 点/℃		不高于	- 5	—
水溶性酸和碱		无	无	
主要应用特点		适用于 0 ℃ 以上	适用于冬季	

(三) 柴油供货规范

1. 适用范围:柴油可用于活塞式柴油机和其他燃烧机器。

2. 性能:正常的柴油应是浅黄色至棕色。在室温下观看必须清澈,不得含有无机酸和固体杂质;当柴油机工作时,必须易于着火,含水量等于零,凝点必须符合规范,结焦倾向尽可能小,不应包含腐蚀性物质,与其他柴油的混合尽量不受限制。馏程在 $170^{\circ}\text{C} \sim 360^{\circ}\text{C}$ 之间,是含硫低于 0.5% 碳氢化合物。

3. 技术参数:

(1) 15°C 的柴油密度 $0.820 \sim 0.835 \text{ g/cm}^3$ 。

(2) $0^{\circ} \sim 360^{\circ}$ 的能出量最少为 95%。

(3) 20°C 时运动黏度为 $2.7 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s} \sim 6.0 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ 。

(4) 凝点(CFPP 法):正常加油夏天温度最低为 -9°C ,冬天最低为 -16°C 。首次加油冬季最低为 -16°C 。

(5) 含硫量最大不超过 0.5%。

(6) 含水量为 0。

(7) 灰分质量最大不超过 0.01%。

(8) 固体杂质质量为 0。

(9) 着火性十六烷值体积百分含量最小为 45。

(10) 锌腐蚀最大不超过 1%。

每次订货时必须说明使用目的,如 CFPP = -16°C 的柴油或符合某季节的柴油。

四、燃烧所需燃料量和空气量

柴油机作为动力装置,其输入是燃油量和空气量,输出的是转矩和废气。保证柴油机实现完全燃烧是柴油机设计必须考虑的问题。

燃烧过程是混合气在气缸内进行的复杂的物理化学变化过程。燃料燃烧需要空气中氧气助燃。试验表明燃烧 1 kg 柴油,理论上所需空气量为 11.2 m^3 ,约 14.3 kg。实际上,柴油燃烧所供给的空气量往往大于理论上完全燃烧所需量,以保证吸入气缸的柴油能完全燃烧。通常将 1 kg 柴油燃烧所需空气量与理论所需空气量的比值,称为过量空气系数,常用 ϕ_a 表示。 ϕ_a 反映着柴油机混合气形成和燃烧完善程度的整机性能指标。表达为:

$$\phi_a = \frac{L}{L_0}$$

式中 L 为燃烧 1 kg 柴油实际需用空气量(kg); L_0 为燃烧 1 kg 柴油理论所需空气量(kg)。

过量空气系数的大小与发动机类型、混合气形成方法、燃料种类、发动机工况、功率大小、转速高低以及调节方式等因素有关,可用废气分析法求得。非增压四冲程柴油机可用耗油量求得。过量空气系数表达为:

$$\phi_a = \frac{A_a}{BL_0}$$

式中 A_a 为每小时进入气缸的空气流量(kg), B 为每小时耗油量(kg)。

当 $L = L_0$ 时, $\phi_a = 1$ 称为理论混合比。

若 $\phi_a < 1$ 时,柴油机在缺氧状态下工作,称为浓混合比。

若 $\phi_a > 1$ 时,柴油机在实氧状态下工作,称为稀混合比。

柴油机的混合气是非均质混合气。若 ϕ_a 在 1.0~1.3 时,经济性最好;当 ϕ_a 在 0.85~0.9 时,柴油机功率最大。柴油机在低负荷或怠速工作时一般为浓混合。

汽油机为均质混合,因此混合比变化较小。汽油机是靠进气量大小调节负荷;柴油机则不同,它靠燃料量来调节负荷,因此 ϕ_a 的变化范围较大。再加上柴油机是非均质混合,混合气不均匀,因此总是大于 1。各种柴油机在标定工况下的 ϕ_a 值见表 1-3。

表 1-3 各种柴油机在标定工况下的 ϕ_a 值

类 别	过量空气系数 ϕ_a
低速柴油机	1.6~2.0
高速柴油机	1.2~1.5
增压柴油机	1.7~2.2
汽 油 机	0.85~1.1

柴油机过量空气系数,随载荷变化而变化,其变化规律是:柴油机 ϕ_a 随载荷增加而过量空气系数减小较大,而汽油机变化范围较小。

五、燃烧中的有害气体

随着柴油机使用量的增加,柴油机燃烧形成的有害气体也随之增加,造成大气污染。

燃料燃烧形成的有害成分,主要包括:CO、NO_x、C_xH_y、SO₂、SO₃、醛类、铅的氧化物及炭烟微粒等。这些成分,大多数是有害气体,是大气环境污染源之一。这些有害气体的排放,已经对人类健康构成危害。因此必须加以控制。

柴油机有害气体排放有三种来源:首先是从排气管中排放的废气,其主要成分是 CO、HC、NO_x 及其组合,还有 SO₂ 和炭烟等;其次是柴油机窜气,燃气部分进入气缸,造成曲轴箱废气压力增高,然后通过呼吸器排入大气(开式呼吸器),这种情况下,有害气体主要是 HC 和燃油蒸发物;最后是通过油箱、管接头等渗漏蒸发的燃料蒸气,其有害成分主要也是 HC。

1. CO 是一种无色无味有毒气体,它极易与血红素结合,阻止人体血液中的血红素和氧的结合,因而造成 CO 中毒,引起头痛、头晕症状、中毒较深时使人死亡。

CO 是燃烧时供氧不足形成的,也就是在缺氧状态下,燃料不完全燃烧时形成 CO。

柴油机油气混合,多是非均质混合,燃烧时在局部地区也会产生 CO。

2. C_xH_y 是另一种有害气体,它对人眼及呼吸系统有刺激作用。这种气体是在燃烧过程中,供氧不足,火焰与燃烧室的低温壁接触时,受冷生成 C_xH_y。

3. 炭烟是燃油在高温缺氧条件下,裂解生成的。汽油机可燃混合气是均质混合,很少出现炭烟,但柴油机则不同,在缸内局部区域由于混合过浓而容易形成炭烟。炭烟的微小颗粒,排放在空气中,形成黑烟,也污染大气环境。

4. NO_x:是 NO、NO₂ 等氮氧化物的总称。它刺激人眼黏膜,引起结膜炎、角膜炎,严重时,还会引起肺气肿。

NO_x 是燃烧过程中,在高温条件下,原子氧和氮化合的结果。在柴油机工作循环中,最高温度可达 1800~2200 K,汽油机可达 2500~2800 K。氮氧化物中主要是 NO,其中柴油机占 NO_x 的 90%,而汽油机则达 99% 左右。NO_x 排放后,由于温度下降而部分转化形成 NO₂,NO 的数量取决于燃烧物和外界空气之间的扩散条件。NO₂ 是棕色气体,在氮氧化合物中 NO₂ 和

N_2O_4 是有毒有害气体。它们在光化学作用下, NO_2 可分解变回 NO , 并产生活性很强的氧原子, 它和氧气在第三种粒子下生成臭氧和醛类过氧化物, 形成光化学烟雾。臭氧具有独特臭味和很强的毒性; 醛类对眼和呼吸道有刺激作用, 此外, 还妨碍生物的正常生长。

5. 燃油在低温时的氧化反应可生成醛类。启动或低负荷运行时, 气缸内正在进行的氧化反应的燃油和低温壁接触, 会中断反应过程生成醛。另外, 柴油机焰前反应中也会出现醛。

6. 燃料中加入四乙基铅的汽油, 燃烧后形成铅的化合物。铅化合物有毒, 呈粉末状, 吸到人体内时, 会影响造血功能, 对消化系统和神经系统有刺激作用。

柴油机和汽油机相比, 由于燃气混合方式、燃烧方式和过程的差别, 以上几种有害物质排放量也有差别。从表 1-4 柴油机和汽油机排放物成分比较看出: 柴油机 CO 、 HC 、 NO_x 排放量少于汽油机, 而炭烟度比汽油机量大。

表 1-4 柴油机和汽油机的有害气体排放物成分

排放物成分	柴油机	汽油机
$w(CO)/\%$ (容积)	< 0.05	$0.5 \sim 2.5$
$w(HC)/\%$ ($< 300 \times 10^{-6}$)	< 0.01	$0.2 \sim 0.5$
$w(NO_x)/\%$ ($1\,000 \times 10^{-6} \sim 4\,000 \times 10^{-6}$)	< 0.25	$0.25 \sim 0.5$
$w(SO_2)/\%$	< 0.02	0.008
炭烟/ $(g \cdot cm^{-3})$	< 0.25	$0.005 \sim 0.05$
铅	无	有

柴油机主要排放物是微粒, 排出的烟雾主要是高负荷时产生的黑烟, 也有在中低负荷时产生的蓝烟和启动时产生的白烟。蓝烟是 HC 的一部分, 包括含醛类的过氧化碳氢化物; 白烟主要是水蒸气。其他有害成分比汽油机要低。各种型式的燃烧室排放有害成分情况参看图 1-2。

由图 1-3 各种燃烧室的排气烟度看出: 增压柴油机和 M 燃烧过程的柴油机烟度好于非增压机型; 相同条件下, 涡流室烟度好于直喷室, 直喷室好于预燃室。

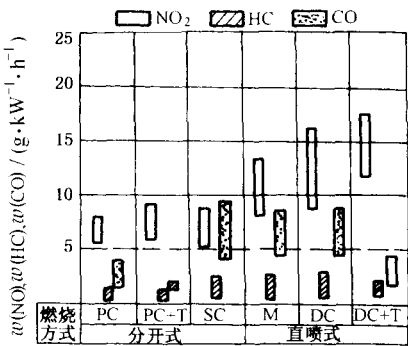


图 1-2 各种燃烧室废气有害成分

PC—预燃室; DC—直喷室; SC—涡流室; T—涡轮增压;
M—M 燃烧过程

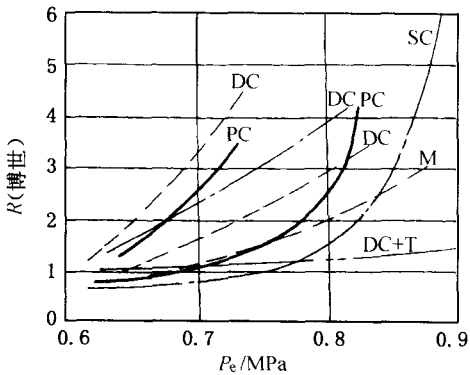


图 1-3 各种燃烧室的排气烟度

DC—直喷式烟度曲线; PC—预燃室烟度曲线; SC—涡流室烟度曲线; T—涡轮增压烟度曲线; M—M 燃烧过程的烟度曲线

六、燃料燃烧的热值

液体燃料的热值是以每千克燃料放热焦耳数表示。完全燃烧放出的热量称为燃料的热

值。对发动机来说,燃料热值越高,燃料消耗量应越少。

热值有两种:高热值和低热值,两者之差为燃烧产物中水气的汽化潜热。

在柴油机使用中,常以低热值来评价燃料热值,因为柴油机气缸内排温高,它远远超过水蒸气凝结温度,故水蒸气的汽化潜能是不能被柴油机所利用的。

石油产品的热值相差不大,平均成分的汽油和柴油的低热值 H_u 为:

$$\text{柴油机 } H_u = 43\,200 \text{ (kJ/kg)}$$

$$\text{汽油机 } H_u \approx 43\,900 \text{ (kJ/kg)}$$

当柴油机气缸工作容积和进气条件一定时,每循环加入的工作介质的热量,取决于单位体积可燃混合气的热值,而不是决定于燃料的热值。

当 $\alpha = 1$ 时,燃料与空气形成的可燃混合气的热值称为理论混合气热值,常用 H_{uo} 表示,具体见表 1-5。

表 1-5 各种燃料的可燃混合气的热值 (当 $\phi_a = 1$ 时)

燃料种类	燃料低热值(H_u) /($\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$)	理论可燃混合气热值(H_{uo}) /($\text{kJ} \cdot \text{m}^{-3}$)
航空汽油	44 141	3 807
车用汽油	43 932	3 807
轻柴油	42 468	3 786.5
重柴油	41 840	3 765.6
酒 清	35 146	3 569.0
煤 气	—	2 322

柴油机燃烧的热能可按下式计算:

$$Q_1 = b_e \cdot H_u \quad [\text{J} \cdot (\text{kW} \cdot \text{h})^{-1}]$$

式中 b_e 为燃油消耗率($\text{g}/\text{kW} \cdot \text{h}$); H_u 为燃料低热值($\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$) 衡量柴油机经济性指标为热效率 η_{et} 和有效燃油消耗率 b_e , 它们与柴油机有效功及有效功消耗的热量的比值表示如下:

$$\eta_{et} = \frac{3.6 \times 10^3 P_e}{B H_u}$$

式中 P_e 为有效功率(kW); B 为每小时耗油量($\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$)。

当测得柴油机有效功率 P_e 和每小时耗油量 B 以后,可利用上式计算 η_{et} 值。

通常柴油机有效燃油消耗率表示为:

$$b_e = \frac{B}{P_e} \times 10^3 = \frac{3.6 \times 10^6}{\eta_{et} H_u}$$

式中 b_e 为燃油消耗率($\text{g}/\text{kW} \cdot \text{h}$)。此式如知其一,可求得另一值。

一般柴油机 b_e 和 η_{et} 大致如下:

低速柴油机 b_e 为 $190 \sim 225 \text{ g} \cdot (\text{kW} \cdot \text{h})^{-1}$ η_{et} 为 $0.38 \sim 0.45$ 。

中速柴油机 b_e 为 $195 \sim 240 \text{ g} \cdot (\text{kW} \cdot \text{h})^{-1}$ η_{et} 为 $0.36 \sim 0.43$ 。

高速柴油机 b_e 为 $215 \sim 285 \text{ g} \cdot (\text{kW} \cdot \text{h})^{-1}$ η_{et} 为 $0.30 \sim 0.40$ 。

第二节 可燃混合气的形成

(一) 可燃混合气的形成过程

柴油机的可燃混合气是在气缸内部形成的,燃油借助于燃油设备的供油、喷油过程,将燃料喷入燃烧室与进气系统进来的空气混合;喷油过程是在压缩行程终点前和膨胀冲程开始时的一个很短的时间内完成的。

燃料进入燃烧室后,经过一系列的物理、化学准备,形成浓度不均匀的混合气。

处于工作状态时的柴油机,在压缩行程上止点前 $15^{\circ} \sim 40^{\circ}$ 曲轴转角位置上,喷油泵将燃油泵出,经过高压油路传递到喷油器,将燃油喷入燃烧室这个密闭空间,即高温高压介质中,完成喷油过程。而被压缩在缸内的介质,随着压缩过程缸内压力的升高和温度升高,为柴油自燃创造了环境条件。柴油从喷油器喷出时,经过喷孔或喷油道喷射,由于压力很高,燃油被撕碎成油束和油粒进入燃烧室,与介质接触摩擦,发生了一系列的物理变化,油束油粒在运动中摩擦破碎并被加热、汽化,向燃烧室周围介质扩散,又在进气涡流作用下,使油气与空气混合。柴油着火后,随着燃烧过程的进行,又加速了这一物理过程的变化,直至完成整个混合过程。

(二) 混合气形成的两个阶段

混合气的形成分成两个过程阶段。

1. 柴油机燃料的喷雾过程。燃料经燃油系统高增压后,以喷雾状态进入燃烧室,形成油束锥,其油雾细化程度和油雾射程锥角长度,受喷油器结构形式、喷孔大小、数量、喷孔方位和分布状态的影响,同时也取决于喷油压力。喷油压力决定着油束横截面上的油粒速度和油束横截面上的燃油分布,详见图 1-4 油束锥体简图。

以闭式喷油器的喷射为例,油雾在初始阶段,喷射的油束锥状体顶端较尖,随后发展成锥状体的油雾矩。在油雾矩的芯部,油料的速度高,惯量大、射程远;而外层与介质接触,油粒细、速度低;在油束最外层和前端由于摩擦作用,几乎呈蒸发状态。当有可能射穿燃烧室空间与燃烧室壁接触碰撞时,又受室壁高温作用而形成气相。

油束从喷孔口起,沿油束锥体外廓母线形成的最大夹角称为油束锥角,用 α_f 表示。

喷射时,燃料颗粒向前推进,在油束增长时,先喷出的油粒被挤向外围,油束锥角随射程增大而变小。当油粒贯穿高温高压介质时,消耗其动能,且运动速度衰减,速度下降,内外分层,形成复杂的运动状态,当能量耗尽时,贯穿行程结束。通常称喷孔口至贯穿结束的距离为射程,用 L_f 表示。油束最大宽度,用 B 表示。

2. 可燃混合气形成过程。燃料喷射后,形成的油雾矩,在前进中扩散形成气体射流,它们

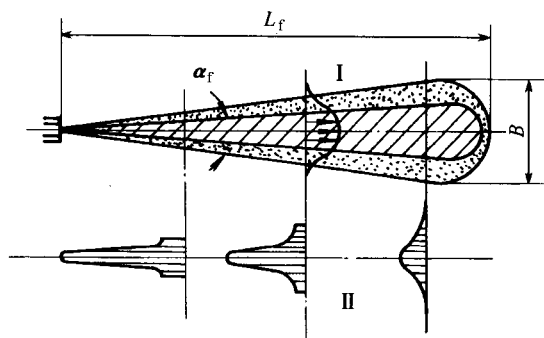


图 1-4 油束锥状体简图

I—油束横截面上油粒速度; II—油束横截面上燃油分布

不断的与燃烧室内的空气进行混合,油气混合是在密闭空间内进行的。

混合气形成过程从喷射开始到燃烧结束,始终都在进行中,只是着火后的混合更加迅猛,这是由于燃烧室内温度、压力的骤增,火焰传播速度的加快,从而加速了气体的混合过程。到燃烧后期,由于空间介质中含氧量的减少,混合率下降。

(三) 油束在介质中的运动方式和混合方式

油气在介质中的运动方式和混合方式,可归纳为三种情况。

1. 射流混合:当介质中没有涡流时,其油束运动主要靠射流推动并与空气混合,我们称这种混合为射流混合。当燃油射入气缸内的高温高压介质后,油束、油粒在前进中受到介质阻力作用而使运动减速,此时介质被油束、油粒卷入,并迅速混合,这种混合伴随着传热传质现象,造成部分油粒的汽化。射流混合方式简单,在大中型低速柴油机中应用普遍。

2. 附壁卷流混合:当燃油射流碰到燃烧室壁后,油膜附着在壁面上,油遇壁面的高温,可使油粒迅速汽化,此时,气缸内若有空气涡流存在,汽化的油粒,在涡流作用下,产生强烈的旋转,它们可将蒸发的油气带走,并进行混合,而新一层油膜汽化又形成新的混合,我们称这种混合现象为附壁卷流混合。采用 M 燃烧过程的柴油机,燃烧室内的混合就属于这种情况。这种混合随着柴油机转速的升高,气流流速和旋度的提高,可使更多的油粒实现附壁卷流混合。

使用这种混合的柴油机工作平稳,具有使用多种燃料的特征和高负荷时烟度小的特点。但易造成启动困难、冷启动时排烟大、活塞热负荷高的缺陷。为此,一些高速车用柴油机采用斜筒式燃烧室和使用两孔喷油器,形成以空间混合为主的混合方式,以解决在低速时,单纯油膜混合形成的启动困难问题。

为了与 M 燃烧过程区别,称后者为空间混合为主的油膜混合过程为 AD 过程。

3. 热混合:若燃烧室内的介质有强烈的空气涡流作用,油粒和汽化的燃油,可能被空气涡流包围,形成热束缚效应,在涡流势的作用下,燃烧生成物向气缸中心转移,而新鲜空气则被挤向燃烧室外围与未燃烧的油气混合,并促进新的可燃混合气不断生成并参与燃烧。我们称这种由热束缚效应的油气混合为热混合。

在实际的柴油机中,小缸径柴油机存在油膜混合和热混合,有的以空间混合为主,有的则以油膜混合为主。在空间混合为主时,也有可能发生油束前端撞壁,使部分油粒反弹,而后再进行空间混合。

喷射方向决定着油束在空间的长度和着壁角的大小,并且影响着燃料壁面分布和空间分布的比例,因而对喷油特性和燃烧放热规律产生影响。由图 1-5 可以看出:当油束锥体中心与着壁切面着壁角为 53° 时,燃料壁面分布比例低,以空间分布为主。在喷油规律大体相近时,燃烧放热峰值在上止点前形成;当着壁角为 40° 时,燃料壁面分布比例增大,致使燃烧放热峰值出现在上止点附近,并使膨胀行程的放热比例增大;当着壁角为 28° 时,燃烧放热峰值位于上止点后,且膨胀过程的放热比例过大,热效率变差。

进气涡流强度对油膜蒸发混合及燃烧过程有决定性影响。为了降低油耗和烟度,需要强烈的涡流和足够的充气效率。而涡流的形成,除螺旋气道外,还与油束数目、喷油方向、油膜厚度等因素的影响。为了提高涡流强度和充气效率,除了仔细设计螺旋气道外,还要注意进气系统的改进,例如增大进气门升程、加大进气管长度、合理布置进气门位置和组织好相位配合、利用进气脉冲效应等。