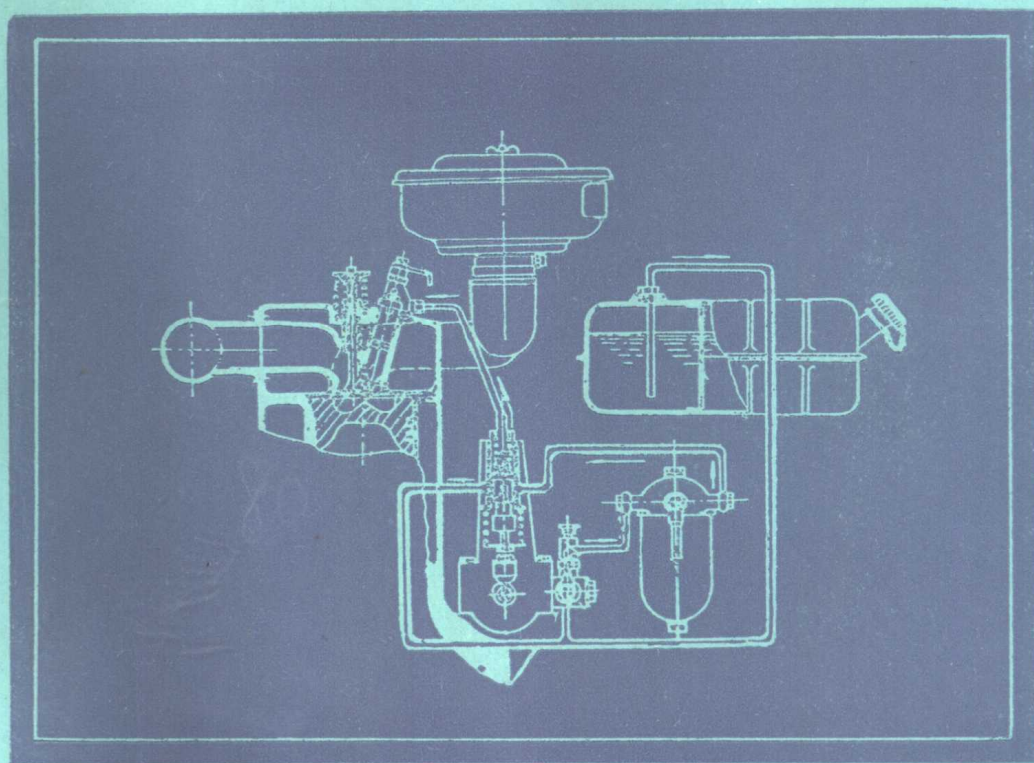


汽车柴油机燃油系

朱国玺 许其春 编
王德丰 王永凯



人 民 交 通 出 版 社

Qiche Chaiyouji ranyouxi

汽车柴油机燃油系

朱国玺 许其春 编
王德丰 王永凯

人民交通出版社

内 容 提 要

本书从使用维修的角度出发,着重阐述了现代汽车柴油机所用的柱塞式喷油泵、泵-喷油器、分配式喷油泵和PT燃油系统的结构、工作原理、调试和维修。同时还阐述了与柴油机燃油系密切相关的柴油机燃料与燃烧理论。

本书可供使用和维修汽车柴油机的汽车驾驶员、修理工以及有关工程技术人员阅读,亦可供大专院校有关专业的师生教学参考。

汽车柴油机燃油系

朱国玺 许其春 编
王德丰 王永凯

人民交通出版社出版
新华书店北京发行所发行
各地新华书店经售
人民交通出版社印刷厂印

开本: 787×1092_{1/32} 印张: 19.25 字数: 470千

1984年4月 第1版

1984年4月 第1版 第1次印刷

印数: 0001—21,500册 定价: 2.95元

前言

近年来,汽车用柴油机发展很快,不仅在大载重量汽车、牵引车、大客车上得到了广泛的应用,而且在中、小载重量汽车、中型客车上应用也日益增多,甚至在小客车上柴油机的应用比例也在增加。这是因为柴油机与汽油机相比,具有燃料经济性好、工作可靠、耐久性好、功率范围广、排气污染小等一系列优点。而柴油机固有的比重量大、工作噪音大、制造成本高等缺点,随着柴油机工业的发展,不断得到克服,柴油机的使用性能也在不断提高。

燃料供给系是柴油机的重要组成部分。燃料供给系的完善程度和技术状况的好坏对柴油机动性、经济性、使用可靠性和排气污染影响极大。因此,研制性能良好的燃料供给系,正确使用、妥善维护,使其经常处于良好的技术状况,是确保发动机使用性能,减少故障发生率、提高汽车使用效率的关键。

在向四个现代化进军的今天,从事柴油机保修工作,特别是直接从事燃料供给系工作的同志,迫切需提高理论水平,为四化建设多做贡献。因此,迫切需要柴油机燃料供给系的理论知识和技术资料。编写本书的目的主要是为满足使用和维修汽车柴油机的驾驶员、修理工以及工程技术人员充实基础理论知识的需要。同时,也可供大专院校的有关专业师生参考。

为此,本书从使用维修的角度出发,讲解结构原理,在理论上进行较为深入的分析,对调整、试验和维修也作了适当的阐述。由于柴油机的燃料与燃烧理论和柴油机燃油系的工作有着密切的关系。因此,在本书开头单列了一章。在现代柴油机中,柱塞式喷油泵、分配式喷油泵和泵-喷油器是常用的燃油系型式。近年来,使用PT燃油系统的柴油机在国内也逐渐增多。各种燃油系统都在不断完善和发展。本书力图将国内外有关的新产品、新结构尽量收入,以供不同的读者参考。但是由于目前柱塞式喷油泵燃油系统的应用最为广泛,因此,这部分内容阐述的篇幅较多,分配式喷油泵和PT燃油系统具有各自的优点,所以对其也作了较为深入的介绍。

本书第一、二章由朱国玺执笔;第三、七章由王永凯执笔;第四、五、六章由王德丰执笔;第八章由许其春执笔。由于我们水平有限,书中难免存在缺点和错误,诚恳希望读者批评指正。

目 录

前 言

第一章 柴油机的燃料与燃烧	1
第一节 柴油机的燃料	1
一、燃料的一般知识	1
二、柴油的使用性能	3
三、柴油的选用与使用时的注意事项	7
第二节 柴油机的燃烧过程	8
一、柴油机燃烧的基本知识	8
二、柴油机可燃混合气的形成特点	9
三、柴油机燃烧过程的四个时期	10
四、影响柴油机燃烧过程的主要因素	12
第三节 柴油机的燃烧室及其对燃料喷射的要求	14
一、直接喷射燃烧室	14
二、涡流室燃烧室	16
三、预燃室燃烧室	17
第二章 柴油机燃油系的组成及辅助装置	18
第一节 柴油机燃油系的组成	18
第二节 柴油机燃油系的辅助装置	18
一、柴油滤清器	18
二、输油泵	21
第三章 燃料的喷射与喷油器	23
第一节 燃料的喷雾	23
一、喷雾的形成	23
二、燃料喷注的基本参数及其影响因素	24
第二节 燃料的喷射过程	26
第三节 喷油器	29
一、概述	29
二、喷油器的工作原理和构造	32
三、喷油器的结构参数和精密偶件的技术要求	39
四、喷油器的磨损和腐蚀	44
五、喷油器的检查调试	46
第四章 喷油泵	51
第一节 概述	51
一、对喷油泵的要求	51
二、喷油泵的种类和国产系列泵	51

三、国外喷油泵的发展简况.....	55
四、喷油泵的代号.....	59
第二节 柱塞式喷油泵的工作原理和构造.....	61
一、喷油泵的工作原理.....	61
二、喷油泵的构造.....	62
第三节 喷油泵的驱动与正时.....	91
一、喷油泵的驱动和联轴节.....	91
二、喷油泵的正时和供油提前角自动调节装置.....	92
第四节 喷油泵的特性和校正.....	95
一、喷油泵的特性.....	95
二、喷油泵速度特性的校正.....	96
第五节 泵-喷油器	99
一、泵-喷油器的结构和工作原理	99
二、泵-喷油器的磨损及对工作性能的影响	101
第六节 燃油喷射系统的穴蚀.....	102
一、穴蚀现象和机理.....	102
二、燃油系零件的穴蚀及预防措施.....	102
第五章 调速器	105
第一节 概述.....	105
一、调速器的功用.....	105
二、汽车柴油机调速器的类型和发展概况.....	105
第二节 调速器的构造与工作原理.....	108
一、机械离心式调速器.....	108
二、气力式调速器.....	140
三、复合式调速器.....	145
四、液力式调速器.....	147
第三节 喷油泵和调速器的附件.....	148
一、全负荷供油调节齿杆的止动装置.....	148
二、增压柴油机的自动变位供油齿杆限位装置.....	150
三、随大气压而自动变位的齿杆限位装置.....	151
第四节 调速器的工作指标.....	151
一、调速器的调速率.....	151
二、调速器的不灵敏度.....	152
第六章 柱塞式喷油泵与调速器总成的调试	154
第一节 喷油泵与调速器总成的特性.....	154
一、调速器的调速特性.....	154
二、喷油泵调速器总成的供油特性.....	156
三、柴油机的调速特性.....	157
第二节 喷油泵调速器总成的调试.....	158
一、供油时间的检查和调整.....	158

二、调速器调速特性的校准	161
三、喷油泵调速器总成供油特性的校准和供油均匀度的调整	170
四、喷油泵调速器总成的调试举例	176
第三节 泵-喷油器的调试	184
一、密封性试验	185
二、控制阀开启压力的检查	185
三、雾化质量的检查	185
四、喷油量的检查	186
五、喷油开始时间和供油均匀度的调整	187
第四节 汽车柴油机燃油系的故障与维护	188
一、柴油机燃油系的故障现象、原因及排除方法	188
二、燃油系的维护与保养	189
第五节 燃油系的测试设备	190
一、喷油泵试验台	190
二、喷油规律的测试设备	197
三、其它基本测试设备	199
第七章 分配式喷油泵	202
第一节 概述	202
第二节 分配泵的基本工作原理	203
一、装有分配泵的柴油机燃油系	203
二、分配泵的组成	203
三、分配泵的基本工作原理	204
第三节 分配泵的构造	208
一、二级输油泵及压力控制阀	208
二、高压泵	212
三、调速器	219
四、壳体及传动系统	223
五、供油角自动调节机构	225
六、起动加浓机构	226
七、正时机构	226
第四节 汽车柴油机典型分配泵介绍	227
一、DPA 型 3268F620 分配泵	227
二、VE 型分配泵	230
第五节 分配泵的调整和试验	237
一、试验条件及规范	237
二、调试步骤及方法	238
三、分配泵在发动机上的安装——供油正时的调整及试车	240
四、分配泵的就车检查调试	242
第六节 分配泵的使用和维修	243
一、分配泵的故障	243

外

1

—

二、分配泵的维护.....	244
三、分配泵的修理.....	245
第八章 PT 燃油系统	248
第一节 概述.....	248
一、PT 燃油系统的基本原理.....	248
二、PT 燃油系统的主要特点	249
第二节 PT 燃油系统的组成	249
第三节 PT 燃油泵	251
一、PT 燃油泵的基本型式	251
二、PT 燃油泵的构造	253
三、PT 燃油泵的驱动和燃油流程	254
四、PTG两速调速器（汽车调速器）	255
五、节流阀.....	259
六、MVS全速调速器.....	260
七、断油阀.....	261
第四节 PT 型喷油器	262
一、燃油计量的原理.....	262
二、PT 型喷油器的构造和工作原理	262
三、喷油器的实际工作过程.....	267
第五节 PT 燃油系统的拆卸和装配	267
一、PT 燃油泵的拆装	267
二、PT 燃油泵调速器柱塞与套筒的选配	269
三、喷油器的拆装.....	270
第六节 PT 燃油系统在发动机上的调整	270
一、PT 燃油泵在发动机上的调整	270
二、喷油器在发动机上的调整.....	273
第七节 PT 燃油系统的调试	277
一、PT 燃油泵在试验台上的试验	277
二、喷油器在试验台上的检查和试验.....	281
第八节 PT 燃油泵的故障检查和消除	285
第九节 PT 燃油系统的评价	287
附录 I 汽车用喷油泵调速器和喷油器调整试验参数表.....	289
附录 II 国外部分分配泵的结构性能参数表	297
附录 III PT 燃油系统调整数据表	298

第一章 柴油机的燃料与燃烧

第一节 柴油机的燃料

一、燃料的一般知识

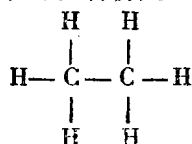
由于我国石油工业的迅速发展,在我国内燃机几乎都使用由石油中提取的液体燃料。这种燃料有许多优点:热值高、灰分少、运输和保管方便,使用时机械化、自动化程度高等。

石油的化学成分比较复杂。它是由各种碳氢化合物组成的混合物。碳、氢元素结合所生成的化合物叫碳氢化合物,简称为“烃”。组成石油的主要化学元素为碳和氢,占96~99.5%,其中碳约占85~87%,氢约占11~14%;此外还有硫、氧、氮及灰分(钾、钠、钙、镁等金属盐类)约占0.5~4%。硫、氧、氮等大都是石油中的不理想成分。

组成石油的烃类按其结构的不同,可分为烷烃、环烷烃、芳香烃和不饱和烃等类别。

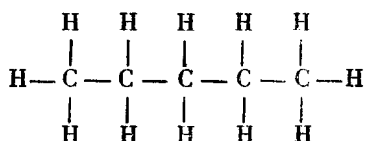
1) 烷烃 C_nH_{2n+2} , 是石油中的重要成分。它们都按碳原子多少,以甲、乙、丙……为序命名,碳原子数超过十的,则以数字为序命名,如甲烷 CH_4 , 乙烷 C_2H_6 , 丙烷 C_3H_8 , 十六烷 $C_{16}H_{34}$ 等。

由于碳原子的化合价是4,氢原子的化合价是1,乙烷 C_2H_6 的结构式是:

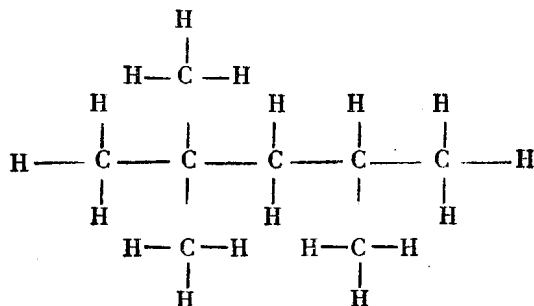


由此可以看出,烷烃分子中的碳原子的化合价都得到了满足,成为饱和烃,其化学性质很稳定,在常温时甚至与硫酸、氢氧化钠也不发生反应。

烷烃按其结构又可分正构烷烃和异构烷烃。凡是烷烃分子中碳原子排成一行者称为正构烷,有侧链分支的称为异构烷。例如:



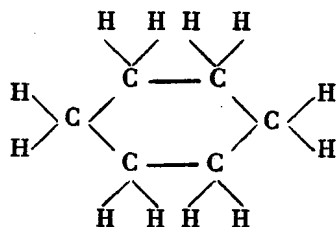
称为(正)戊烷。



称为异辛烷。

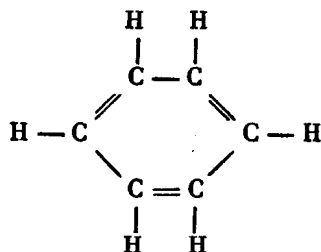
正构烷由于碳原子成直链形状排列，碳链易于破坏（发生化学反应），即容易着火，且碳链越长越易着火，对压燃式发动机很合适，但作为点燃式发动机燃料来说则不很理想，其抗爆性较弱。异构烷正好相反。烷烃由于碳氢原子数的比值 C/H 小，故比重小，热值高，由于是饱和结构，性质安定，不易变质。

2) 环烷烃 C_nH_{2n} ，是一种碳原子环状结合的饱和烃。例如环己烷的结构式为：

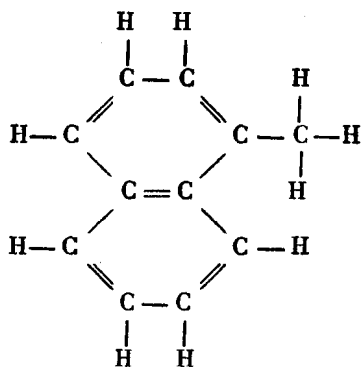


石油中的环烷烃以碳原子为 6 个的最多，5、7 个的次之。它们的性质比较安定，不易氧化变质，着火性介于正构烷与异构烷之间。

3) 芳香烃 C_nH_{2n-6} ， C_nH_{2n-12} ， C_nH_{2n-18} 等，是一种碳原子环状结合、单双键交替的不饱和烃。芳香烃中最简单的化合物是苯 C_6H_6 ，其结构式是：



α -甲基萘 $C_{11}H_{10}$ 的结构式是：



这种烃的性质最安定，不易着火。它的抗爆性强，是汽油的良好组成成分。但它能使柴油的燃烧性能变坏，是柴油的不良成分。

4) 不饱和烃 C_nH_{2n-2} ，是一种碳原子直链连接的结构式。由于氢原子少，不能满足碳的四价需要，所以分子中碳和碳原子之间有双键或三键互相连接着，一有机会它们就会和别的元素化合，性能不安定，很容易氧化和生成大分子的胶质，热值低，发火性能较差，是柴油的不良成分。不饱和烃在原油中含量极少，石油产品中所含的不饱和烃成分，主要是在裂化加工过程中，由一些烷烃、环烷烃分解而成的，经过精制可以把它除去。

此外，石油中还有少量氧化物、硫化物、氮化物、胶状物等，这些都是油料中的不良成

分，在精制过程中要设法将其除去。

在石油中，上述这些烃的沸点相差较大，所以可以用蒸馏（蒸发和冷凝）这样的物理方法，把由各种烃混合而成的石油，分成不同馏出温度的组分（称为馏分），生成汽油、煤油、柴油、重油等各种石油燃料产品。一般35~205℃的馏分为汽油；175~300℃的馏分为煤油；200~350℃馏分为柴油；350℃以上的馏分为润滑油原料或裂化原料。天然石油经过分馏而得的直馏产品中，汽油、煤油和柴油不足 $\frac{1}{3}$ ，其余 $\frac{2}{3}$ 以上是重油。为了提高轻馏分的产量，可把重的石油组分加热（一般到400℃以上），使它们分裂成轻分子，这种方法叫做热裂化。因为大分子的重烃含氢相对比较少，分裂后产生的轻烃分子中必然含有不饱和和烃，所以热裂汽油中常含较多烯烃。

二、柴油的使用性能

（一）柴油的牌号和规格

柴油分为轻柴油和重柴油。轻柴油是各种高、中速柴油机的燃料。重柴油则是中、低速柴油机的燃料。

国产轻柴油规格（GB252-81）

表1-1

项 目	质 量 标 准					试 验 方 法
	10号	0号	-10号	-20号	-35号	
十六烷值 不小于	50	50	50	45	43	GB386-64
馏程：						GB255-77
50%馏出温度，℃ 不高于	300	300	300	300	300	
90%馏出温度，℃ 不高于	355	355	350	350	—	
95%馏出温度，℃ 不高于	365	365	—	—	350	
运动粘度，厘沲(20℃)	3.0~8.0	3.0~8.0	3.0~8.0	2.5~8.0	2.5~7.0	GB265-75
10%蒸余物残炭，% 不大于	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	GB263-77
灰分，% 不大于	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	GB508-65
硫含量，% 不大于	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	GB380-77
机械杂质	无	无	无	无	无	GB511-77
水分，% 不大于	痕迹	痕迹	痕迹	痕迹	痕迹	GB260-77
闪点（闭口），℃ 不低于	60	60	60	60	50	GB261-77
腐蚀（铜片，50℃，3小时）	合格	合格	合格	合格	合格	GB378-64
酸度，毫克KOH/100毫升 不大于	10	10	10	10	10	GB258-77
凝点，℃ 不高于	10	0	-10	-20	-35	GB510-77
水溶性酸或碱	无	无	无	无	无	GB259-77
实际胶质，毫克/100毫升 不大于	70	70	70	70	70	GB509-77

注：①由含硫0.3%以上的原油制得的轻柴油，硫含量许可不大于0.5%；由含硫0.5%以上的原油制得的轻柴油，其硫含量许可不大于1%。由高含蜡原油生产的-35号轻柴油，粘度允许为1.8~3.0厘沲，闪点允许不低于45℃。

②由中间基原油生产或混有催化馏分的各号轻柴油十六烷值允许不小于40。

③军用10、0、-10、-20号柴油，闪点不低于65℃。

我国当前大量生产的轻柴油牌号有10号、0号、-10号、-20号、-35号和直馏轻柴油RC30-10。此外还有正20号农用柴油。其规格见表1-1。

轻柴油的牌号是按其凝点的高低来区分的。例如10号轻柴油表示凝点不高于10℃；-35号轻柴油表示凝点不高于-35℃；正20号农用柴油表示凝点不高于+20℃。

重柴油有10、20和30三个牌号。其规格见表1-2。

国产重柴油规格 (GB445-77)

表1-2

项 目	质 量 指 标			试验方法
	10	20	30	
运动粘度(50℃), 厘沱	不大于 13.5	20.5	36.2	GB265-75
残炭, %	不大于 0.5	0.5	1.5	GB268-77
灰分, %	不大于 0.04	0.06	0.08	GB508-65
硫含量, %	不大于 0.5	0.5	1.5	GB387-64
机械杂质, %	不大于 0.1	0.1	0.5	GB511-77
水分, %	不大于 0.5	1.0	1.5	GB260-77
闪点(闭口), °C	不低于 65	65	65	GB261-77
凝点, °C	不高于 10	20	30	GB510-77
水溶性酸或碱	无	无	—	GB259-77

注：①由含硫0.5%以上的原油炼制的重柴油，出厂时硫含量许可不大于2.0%，残炭许可不大于3.0%。

②海运和河运时水分许可不大于2.0%，但须由总量中扣除水分全部重量。

③使用重柴油的柴油机必须有完善的过滤设备和预热设备。

为了保证柴油在柴油发动机中能正常燃烧，要求柴油具有良好的燃烧性能，适宜的低温流动性和适宜的粘度，较好的蒸发性和安定性，以及不腐蚀机件等。

(二)柴油的燃烧性能

柴油机在压缩终了时，气缸温度达500~600℃，压力达30~40公斤/厘米²。这时柴油以高压喷成细雾进入燃烧室，由于燃烧室的温度已超过柴油的自燃点，故柴油喷入后即可自行着火燃烧。从柴油喷入燃烧室到自燃的一段时间，称为着火落后期。着火落后期长，燃烧的压力升高率大，引起柴油机工作粗暴，加速机件的磨损。所以柴油机要求燃烧性能良好的燃料，即着火落后期短的燃料。

柴油的燃烧性能，是以十六烷值来表示的。亦即选用两种燃烧性能截然不同的烃类作为标准燃料。一种是十六烷，它的燃烧性能良好，自燃点低，把它的十六烷值定为100；另一种是 α -甲基萘，它的燃烧性能很差，自燃点高，把它的十六烷值定为0。将这两种烃类按不同的体积混合，就可获得十六烷值从0~100的各种标准燃料。将标准燃料与所试燃料分别放入专门的单缸试验机中进行试验，令其在特定的工作条件下，比较两者的发火性质。当所试燃料的发火性质与所配制的标准燃料发火性质相同时，这一标准燃料中所含十六烷容积的百分数即是所试燃料的十六烷值。

柴油的十六烷值也可以根据柴油的苯胺点来计算。苯胺点按国家标准 GB262-77 石油产品苯胺点测定法进行测定，即把苯胺与同体积的被试燃料在一定的条件下混合加热，使它们完全溶合，然后慢慢冷却。当被试燃料与苯胺从完全溶合（燃料与苯胺呈澄清透明）到开始出现混浊时的温度，称为苯胺点。根据苯胺点和被试燃料在15℃时的密度，按下列公式可以计算出柴油指数。

$$\text{柴油指数} = \frac{(\text{苯胺点}^{\circ}\text{C} \times 1.8 + 32)(141.5 - 131.5 \times \text{柴油 } 15^{\circ}\text{C} \text{ 密度})}{100 \times \text{柴油 } 15^{\circ}\text{C} \text{ 密度}}$$

根据柴油指数，可以从表 1-3 中查出柴油的十六烷值。

对一般轻柴油的十六烷值和柴油苯胺点之间的关系，也可用下式直接计算：

$$\text{十六烷值} = 0.744 \times \text{苯胺点} (^{\circ}\text{C}) + 11.6$$

柴油十六烷值和柴油指数的关系

表 1-3

柴油指数	20	30	40	50	60	70	80
十六烷值	30	35	40	45	55	65	80

柴油的十六烷值与其化学组成有密切关系。烷烃十六烷值最高，环烷次之，芳香烃最低。烷烃中正构物又较异构物高，烷烃同系物的十六烷值与碳原子数成正比。

试验表明，柴油的十六烷值超过一定数值后，继续增加十六烷值对降低燃烧的压力升高率并不显著，反而会加大燃料消耗率。同时，十六烷值高的柴油，一般凝点较高，馏分较重，蒸发性差，易裂化以致排气冒烟。一般高速柴油机可使用十六烷值为 40~50 的柴油。

往柴油中加入一些添加剂可以提高其十六烷值。常用的添加剂有丙酮过氧化物、四氢萘过氧化物等。在柴油中加入这些添加剂可提高十六烷值 16~24 个单位，但加入到一定程度后，提高十六烷值的能力会逐渐减弱。

(三) 柴油的低温流动性

柴油的低温流动性是以凝点来表示的。

当温度降低时，燃料中含有的石蜡（高分子烷烃）和水分开始析出结晶颗粒，使燃料变成混浊状。这时虽然燃料尚没有失去流动性，但晶粒易堵塞滤清器和油管等，中止供油。燃料开始析出固态结晶的温度称为浊点。温度更低时，燃料失去流动性，达到凝固，这时的温度称为凝点。我国的柴油规格就是根据凝点编号的。

选用柴油时，一般要求凝点比最低工作温度低 3~5℃ 以上，而且要求浊点与凝点的温度间隔小。十六烷值高的柴油，凝点通常也较高，这就使生产高十六烷值、低凝点的柴油受到一定的限制。同时生产低凝点柴油需要复杂的脱蜡设备，要通过深度脱蜡制取低凝点柴油，又影响柴油的生产效率。为了合理利用石油资源，生产了不同凝点的柴油，供在不同温度条件下工作的柴油机使用。用户也应尽量延长高凝点柴油的使用时间，力求合理利用国家石油资源，且能降低生产成本。

为了降低柴油的凝点，改善其低温流动性，除了采用脱蜡方法将轻柴油中的蜡分脱出来外，还可以使用掺兑裂化煤油的方法。我国高含蜡原油在裂化加工过程中所得到的裂化煤油有较高的十六烷值，一般都在 50 左右，并有较低的凝点，一般可达 -25℃ 以下。往轻柴油中掺裂化煤油，能获得低凝点柴油。通常 0 号轻柴油中掺入 40% 裂化煤油，可得凝点为 -10℃ 的轻柴油，10 号轻柴油中掺入 40% 裂化煤油，可得凝点为 -20℃ 的轻柴油。

此外，还可采用加降凝剂的办法来降低轻柴油的凝点。常用的降凝剂有烷基萘和乙烯酯酸乙酯共聚物等。前者用量 0.5%，约可降低凝点 6~10℃；后者用量 0.1~0.3%，约可降低凝点 20~40℃（均指凝点 0℃ 左右的轻柴油）。

(四) 柴油的粘度

粘度是表示燃油稀稠度的一项指标。柴油的粘度是随温度的变化而改变的。温度升高时，其粘度变小。反之，温度升高时，其粘度增大。轻柴油的粘度是指20℃时的粘度，它的单位有两种，一种是恩氏粘度，单位是“恩氏度（°E）”，一种是运动粘度，单位是厘沲。一些馏分较重的轻柴油，如正20号农用柴油的粘度则是控制50℃的粘度。

柴油的粘度与流动性、雾化性、燃烧性和润滑性有很大的关系。柴油的粘度过大，雾化性就不好，燃烧不完全，排气冒黑烟，使耗油量增大。但柴油的粘度也不宜过小。粘度过小会造成喷油设备中精密偶件润滑不足，漏油增加，以及燃油喷注在燃烧室中的贯穿深度下降，从而降低发动机的功率。故柴油粘度应适当，一般轻柴油恩氏粘度在 $E_{20} = 1 \sim 2^\circ E$ 之间。

（五）柴油的蒸发性

柴油的蒸发性是用馏程和闪点来控制的。

1) 馏程

一般是用300℃的馏出量来评定柴油的蒸发性。300℃馏出量的百分数越大，说明轻质馏分越多，蒸发性好。

喷入柴油机燃烧室中的燃油是在汽化以后着火燃烧的。从燃油喷入燃烧室到开始燃烧这段着火落后期，燃油的蒸发速度和蒸发量，与燃油的蒸发性有很大的关系，而蒸发速度对柴油机混合气形成速度影响很大。高速柴油机混合气形成时间极短，对燃油的蒸发性要求较高。馏分组成过重的燃油不易蒸发完全，不能及时形成均匀的工作混合气，补燃增多，而且蒸发部分燃油在高温下发生热分解，形成难于燃烧的碳粒。结果，发动机排气温度提高，热损失增加，积炭严重，排气带烟，加剧机械磨损，降低发动机的燃料经济性和工作可靠性。但馏分过轻，发火性差，着火落后期蒸发量大，当火焰出现的时候，所有已喷出的馏分都几乎瞬时参加燃烧，结果压力升高率增大，柴油机工作粗暴。所以，柴油过轻过重都是不适宜的。此外，不同型式的燃烧室，对燃油蒸发性的要求也不同。预燃室和涡流室柴油机可用较宽、较重馏分组成的柴油，馏程由150~400℃。直接喷射式柴油机则必须使用较窄、较轻馏分组成的柴油，馏程由200~360℃。某些多种燃料发动机，对燃油馏分没有特别要求。

2) 闪点

闪点是石油产品在一定试验条件下加热，燃油蒸汽与周围空气形成的混合气，当接近火焰时，开始发出闪火的最低温度。根据测定仪器的不同，分为开口式闪点和闭口式闪点。目前国际规定的闪点测定法是闭口式闪点。在同样情况下，闭口式闪点较开口式闪点约低10~20℃。

闪点是表示柴油蒸发性和安全性的指标。闪点低的柴油，蒸发性好。柴油规定控制其闪点不能过低，以防止轻质馏分过多，会造成柴油机工作粗暴。

柴油的闪点又是贮运和使用中的安全指标，对柴油闪点的要求随发动机的工作条件和油箱的位置而不同。汽车拖拉机发动机在露天工作和加油，对闪点要求不十分严格。某些固定式柴油机，船舶柴油机的油箱多在室内，对闪点的要求较严格，不能过低，以确保安全。柴油在使用前如需预热，其加热温度应低于闪点10~20℃。

（六）柴油的腐蚀性及其他

柴油成分中的各种烃类，都是没有腐蚀性的，引起腐蚀的物质是硫及硫化物、有机酸及水溶性酸和碱。控制柴油腐蚀性的指标有：

1) 硫分

它是指柴油中含硫量所占的百分率。柴油中的硫分经过燃烧后会生成二氧化硫。它在气

缸或排气管中遇到冷凝水或水汽时，会形成亚硫酸，能强烈地腐蚀金属。此外，由于含硫燃油燃烧后，会生成硬质积炭，增加机械磨损。同时，含硫的废气进入曲轴箱，会大大增加润滑油的沉淀物和促使润滑油老化变质。所以国家标准规定轻柴油中的硫分不得超过 0.2%。

2) 酸度

酸度是用以表示柴油中有机酸总含量的。试验时，用沸腾的酒精抽出试油中的有机酸，然后用氢氧化钾溶液进行中和滴定，然后计算出中和 100 毫升试油所需的氢氧化钾的毫克数，其单位以毫克 KOH/100 毫升表示。轻柴油中酸度的含量规定不大于 10 毫克 KOH/100 毫升。

3) 水溶性酸或碱

水溶性酸或碱是判断燃油中是否有能溶于水的酸或碱，通常是无机酸或碱，如硫酸、盐酸、氢氧化钠（火碱）等，低分子有机酸也会溶于水而呈现出水溶性酸。由于水溶性酸或碱对金属有强烈的腐蚀作用，因此柴油中不允许有水溶性酸或碱。对于含有水溶性酸或碱的柴油，可用水洗的办法将其除去。

4) 铜片腐蚀试验

它是用以检查柴油中是否有游离硫和活性硫化物的。试验时，将用细砂纸打磨光的，有一定尺寸的 3 号铜片（含铜量为不低于 99.95%）浸在试油内，温度保持 50℃，经过三小时后，如铜片上出现黑色或深褐色的薄膜或斑点时，即说明有腐蚀，为不合格；如铜片的颜色不起变化，则认为腐蚀试验合格。

此外，还要求柴油有较好的安定性。柴油安定性的好坏，决定于化学组成，如燃油中含有不饱和烃就容易氧化结胶，安定性不好。柴油的安定性是以实际胶质来控制的。使用实际胶质大的柴油，会在燃烧室内生成积炭，胶状沉淀物等，附在活塞顶和气门上，使气门关闭不严。为了保证柴油具有合乎要求的安定性，在柴油中二次加工产品（即热裂化煤油或柴油）的掺入量要适当控制。页岩轻柴油的安定性较差，胶质增长快，故不要与普通轻柴油混存，也不要长期存放。页岩轻柴油不宜用于多孔喷油咀的柴油机和直接喷射燃烧室的柴油机上。而在其他柴油机上使用时，也应加强柴油细滤器的清洗。

柴油的灰分、机械杂质、水分、10% 蒸余物残炭等的含量也不能超过规定。

柴油的选用与使用时的注意事项

1) 柴油的选用，首先应从不同地区和季节的气温条件出发。气温低的地区，选用凝点较低的柴油；反之，气温较高的地区，选用凝点较高的柴油。因为凝点低的柴油产量较凝点高的柴油少，价格也较高。所以在气温条件允许的情况下，尽量延长高凝点柴油的使用时间，既能充分利用国家资源，又能降低生产成本。一般选用柴油凝点应较最低气温低 3~5℃，以保证在最低气温时不致凝固，影响使用。

不同牌号的柴油，可以掺兑使用，并可根据气温情况酌情适当调配，以充分利用资源。例如，在最低气温为 -13℃ 的情况下，不能使用 -10 号柴油，但使用 -20 号柴油又有些浪费。这时可将 -10 号柴油与 -20 号柴油按适当比例掺兑，便可充分发挥低凝点柴油的作用。但应注意，凝点的掺兑不是呈加成关系的，即凝点为 -10℃ 的柴油与凝点为 -20℃ 的柴油各 50% 掺兑，其凝点不是 -15℃，而是在 -13~-14℃ 之间。掺兑时要注意搅拌均匀。

2) 在低温条件下，缺乏低凝点柴油时，也可以在利用废气或循环水将油箱、输油管进行保温预热的前提下，使用高凝点柴油。使用时，先用低凝点柴油起动，到被预热的高凝点柴

油遇热融化后,再换用。并须在停车前10~20分钟换用低凝点柴油,以便把供油系统内的高凝点柴油冲净,以免停车后遇冷凝固堵塞油路。

3)柴油加入油箱前,一定要充分沉淀(不少于48小时)。然后用鹿皮、绸布或细布仔细过滤,以除去杂质。因为高速柴油机的喷油泵和喷油器都是十分精密的部件,稍有机机械杂质进入,就会遭到严重磨损。

4)不同牌号的柴油机,由于它的质量指标除凝点外基本相同,所以当容器或资源不足时,可以在适合季节用油的情况下混用。

第二节 柴油机的燃烧过程

一、柴油机燃烧的基本知识

(一)简明燃烧化学

柴油主要由碳(C)和氢(H)元素组成。柴油机的燃烧就是柴油中的C和H同进入气缸的空气中的氧化合。当燃料完全燃烧时,产生下列燃烧反应:

化学方程式: $C + O_2 = CO_2$; $2H_2 + O_2 = 2H_2O$

用分子量表示 $12 + 32 = 44$; $4 + 32 = 36$

即完全燃烧1公斤碳需要 $\frac{8}{3}$ 公斤氧,1公斤氢需要8公斤氧。空气主要由氧 O_2 和氮 N_2 及其他惰性气体组成。其中氧按重量计约占23.2%。那么完全燃烧1公斤碳需要 $8 / (3 \times 0.232)$ 或11.52公斤空气,1公斤氢需要 $8 / 0.232$ 或34.56公斤空气。

1公斤平均成分为1份氢和7份碳的柴油完全燃烧时,所需要的理论空气量为

$$L_0 = \frac{34.56 + (7 \times 11.52)}{8} = 14.4 \text{ 公斤}$$

在实际发动机中燃烧1公斤燃料所耗费的实际空气量 L 不一定等于理论空气量 L_0 ,它与发动机的构造和工作情况有关, L 可以大于、小于或等于 L_0 。

实际空气量与燃料的混合物称为可燃混合气。实际空气量 L 对理论空气量 L_0 的比值,称为过量空气系数,用 α 表示,即

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

α 表示可燃混合气成分的稀浓程度。

当 $\alpha = 1$ 时,为标准混合气;

当 $\alpha < 1$ 时,为浓混合气;

当 $\alpha > 1$ 时,为稀混合气。

有时用混合比或空燃比 m 表示混合气成分

$$m = \frac{\text{空气量}}{\text{燃料量}} = \frac{\text{燃料量} \times \alpha L_0}{\text{燃料量}} = \alpha L_0$$

理论混合比($\alpha = 1$) $m_0 = L_0$

实际空气量 $L = \alpha L_0$

柴油机的过量空气系数总是大于1。

(二)排气污染与净化

柴油机排出有害气体来源于：

1) 发动机排气管的排气，主要成分包括：

一氧化碳 (CO)，它是燃料在缺氧的情况下进行不完全燃烧的产物；

碳氢化合物 (CH)，是燃料中未燃烧就随废气排出的部分；

氮氧化物 (NO_x)。在燃烧室中形成的是 NO 是空气中的氮和氧在燃烧过程中高温、高压条件下合成的。温度对 NO 形成的影响很大，燃烧温度在 2000°C 以上时，NO 急剧增多，一部分 NO 在从排气管排入大气的过程中以及在大气中氧化而变为 NO_2 ；

煤烟和二氧化硫 SO_2 等。煤烟主要是未蒸发的燃油在高温作用下形成的碳粒，而 SO_2 则是燃油中含有的杂质在燃烧中形成的。

2) 曲轴箱的窜气，主要成分是 CH。

3) 燃油箱内燃油的蒸发气体，主要成分是 CH。

CO 是一种无色无味的有毒气体。人吸入过多的 CO 后，由于 CO 与血液中的血红蛋白结合，阻碍血液吸收和输送氧而中毒。

NO 和血液中血红蛋白的结合力比 CO 还要强。 NO_2 是一种褐色有毒的气体，且有特殊刺激性臭味，能损害人的眼睛及肺部。

排气中的 CH 及 NO_x 在太阳光能的作用下，进行光化学反应，其过氧化物形成的烟雾称为光化学烟雾。光化学反应的主要产物有臭氧 (O_3)、醛类 (如甲醛) 等。臭氧具有独特的臭味和很强的毒性。醛类对眼睛及呼吸道有刺激作用。

煤烟主要由直径 $0.1\sim 10$ 微米的多孔性炭粒构成。它们粘附有 SO_2 及苯芘等，有臭味，对人和动物的呼吸道极为有害。

目前，柴油机排出废气净化的途径主要有以下几个方面：

1) 促使燃烧完全。具体措施很多，如改进结构设计，保持柴油机良好状态等；

2) 采用燃烧废气排出气缸后再燃烧的方法净化排气，将空气引入排气管，使 CH 和 CO 再次进行燃烧，从而减少 CH 和 CO 的排出量；

3) 采用闭式曲轴箱通风系统，使窜入曲轴箱的废气经流量调节阀回输到进气系统，使其在燃烧室内进行再燃烧；

4) 用降低燃烧最高压力与温度的方法抑制 NO_x 的产生；增大气门叠开时间，使一部分废气在进气冲程吸入气缸，可达到抑制 NO_x 产生的目的；此外，减小喷油提前角可以使燃烧迟后，降低燃烧过程的最高温度和压力，因而减少 NO_x 的生成量；在柴油中掺水，或向气缸内喷水可以减少 NO_x 的生成量；

5) 用催化剂将有害气体氧化为无害气体；

6) 用专门的煤烟净化装置过滤煤烟。

二、柴油机可燃混合气的形成特点

在内燃机的工作过程中，燃烧过程是影响内燃机性能的主要过程。它是将燃料的化学能转变为热能的过程。

燃料燃烧是否完全，要影响热量放出的多少，因而影响工质作功的能力；而燃烧进行是否及时，要影响工质在气缸中作功的时机，也就是影响所放热量的利用。燃烧越接近于上死点完成，工质的温度与压力就越高，因而发动机的功率与热效率提高。所以，燃烧完全与及时是燃烧过程的两个基本要求。