

轮机员实用手册

张葆华 卢士勋 主编

下 册



人民交通出版社

轮机员实用手册

Lunjiyuan Shiyong Shouce

下 册

张葆华 卢士勋 主编

人民交通出版社

(京)新登字091号

内容简介

本书是我社1982年出版的《船用柴油机实用手册》的姊妹篇，是轮机员在工作中需要经常查阅的手册。

全书分上、下两册，共11章。前4章为上册，内容包括船用泵、甲板机械、其它辅助机械、船舶制冷和空气调节装置。后7章为下册，内容包括船用燃油、船用润滑剂、液压元件、传动件、通用量具、材料、计量单位。书中叙述了工作原理、各种典型结构、基本计算公式和运行管理问题，用较多的表格给出了各种技术性能参数和规格，并附有大量的插图。

本书主要供船舶轮机管理人员阅读，亦可供水运院校轮机管理专业师生参考。

轮机员实用手册

下 册

张葆华 卢士勋 主编

人民交通出版社出版发行

(北京和平里东街10号)

各地新华书店经销

北京飞龙印刷厂印刷

开本：787×1092 1/16 印张：25.5 字数636元

1990年6月 第1版

1993年10月 第1版 第2次印刷

印数：2111—4110册 定价：20.00元

ZSBN7-114-00821-X

U: 00497

前 言

为轮机管理人员写一套实用的工具书是我们多年的愿望。这套工具书计划出三个分册。1982年已出版了《船用柴油机实用手册》。由于得到读者的偏爱，它于1985年又第二次印刷。本书是其姊妹篇。我们希望广大轮机管理人员能喜欢它。

本书内容涉及面广，它包括船舶上除柴油机以外的所有辅助机械，以及燃油、润滑油、液压元件、传动件、通用量具、材料和计量单位等。

本书侧重于远洋和沿海大型船舶，由于篇幅较大，分上、下两册。

本书的后续篇《船舶测量仪表实用手册》不久也将与读者见面。

关于船舶电气方面，由于社会上已有这方面的工具书出版，我们暂不打算求全再编写出版了。

本书编写人：第一章侯增源、江彦桥，第二章侯增源、郑士君，第三章鲁农安、吴甲斌，第四章卢士勋，第五章章宗麟，第六章阮锦江，第七章侯增源、郑士君，第八、九、十章濮龙根，第十一章孙善秋。全书由张葆华、卢士勋主编定稿。

编 者

志于上海海运学院

1989年1月

目 录

第五章 船用燃油	1
第一节 石油及其产品	1
第二节 船用燃油的性能指标和规格标准	7
第三节 船用燃油的预处理	34
第四节 燃油系统的管理	46
第六章 船用润滑剂	53
第一节 船用柴油机润滑油	54
第二节 船用柴油机润滑油的管理	72
第三节 其它船用润滑油	85
第四节 润滑脂	98
第七章 液压元件	105
第一节 液压泵	105
第二节 低速大扭矩液压马达	148
第三节 油 缸	167
第四节 控制阀	174
第五节 管件和密封件	199
第六节 液压系统图图形符号对照表	213
第八章 传动件	224
第一节 滚动轴承	224
第二节 传动带	271
第九章 通用量具	275
第一节 概述	275
第二节 游标量具	277
第三节 螺旋读数量具	285
第四节 指示表	291
第五节 厚薄规	297
第十章 材 料	299
第一节 常用材料的主要机械性能	299
第二节 金属材料	300
第三节 工程塑料	359
第四节 胶粘剂	383
第十一章 计量单位	386
第一节 计量单位基本知识	386
第二节 法定计量单位	389
第三节 常用单位换算	400

第五章 船用燃油

第一节 石油及其产品

一、概 述

20世纪初以来,石油产品用于锅炉和内燃机作为燃料,成为人类生活中不可缺少的物质。由于工业的发展,石油消耗量逐年大幅度增长。目前石油已是发展国民经济的主要能源之一。随着现代科学技术的发展,石油的用途越来越广,不仅为交通运输、火力发电、国防、机械装备提供燃料和润滑油,还为现代有机化学工业提供大量优质、廉价的原料:如合成橡胶、合成纤维、塑料、合成农药、合成医药制品、洗涤剂和各种染料。石油化工的发展,与人们的生活有更加密切的关系。它将不断为丰富人们的物质生活作出贡献。

解放前,我国的石油工业非常落后,石油几乎全部依靠进口。50年代后期,发现和开发了大庆油田。这是我国石油工业至关重要的胜利。随着一个又一个新油田的发现,同时还建成了许多现代化的油田和炼油厂,掌握了先进的生产工艺、新技术,使我国的石油工业得到蓬勃发展。现在,石油不仅在一定程度上满足了我国国民经济发展和国防建设的需要,而且可以出口一定数量的石油,挣得宝贵的外汇,支援我国的四化建设。

目前已发表的我国主要油田有:

大庆油田
胜利油田
新疆油田
江汉油田
大港油田

辽河油田
扶余油田
四川油田
玉门油田
任丘油田

我国提炼成品油的比例大致如图5-1所示。

天然石油通常是暗绿色、黑色或赤褐色的粘稠液体(少数也有呈黄色和褐色的),具有特殊的气味,比重即相对密度一般小于1。未经提炼加工的石油叫做原油,由原油提炼加工后得到的各种产品有:汽油、煤油、柴油、润滑油、石蜡、沥青、石油焦和化工原料等。

不同产地的原油,其颜色、密度、凝点等及其它性质往往相差十分悬殊。各种石油产品的贮存和使用也有不同的特点和方法。其根本原因是各种石油及其产品的化学成分和相对含量不同。因此,要掌握油料知识,研究油料特性,才能正确做好贮存和管理工作,并在使用中确保机械设备安全运行。

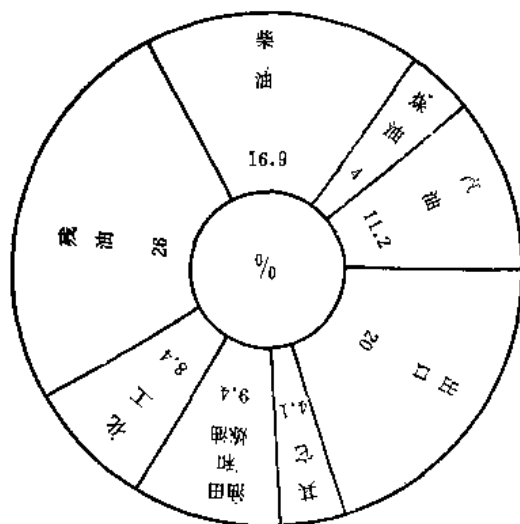


图5-1 我国提炼成品油的比例

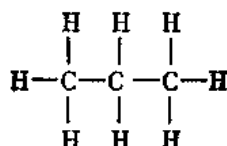
二、石油中的烃类及其特性

石油的主要成分是碳氢化合物，简称烃。各种烃类的总和按重量计算，约占石油总重量的96%~99.5%。根据分子结构的不同，石油中的烃类一般可分为烷烃、环烷烃、芳香烃和不饱和烃四大类。石油产品的性质在很大程度上取决于各种烃类的相对含量。

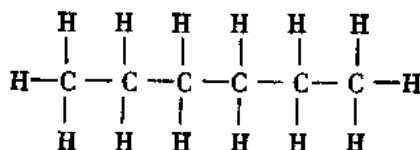
1. 烷烃 (Paraffinic hydrocarbons)

烷烃又名石蜡烃。它是开链式的饱和烃，即碳原子和碳原子成为碳链，碳原子又为氢原子所饱和。其分子结构通式为 C_nH_{2n+2} ，例如：

丙烷 C_3H_8



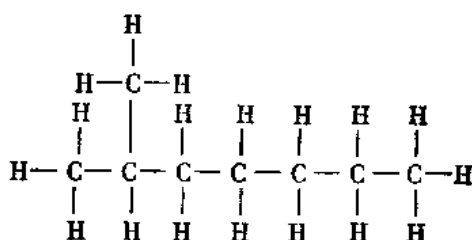
己烷 C_6H_{14}



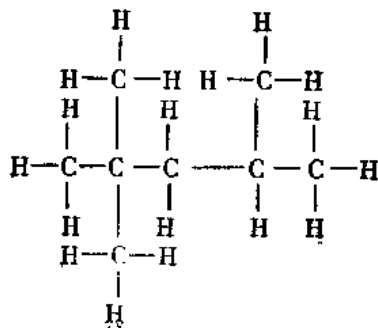
烷烃根据其中碳原子数多少不同，其状态也各异。在常温下，碳原子为 $C_1 \sim C_4$ 的烷烃是气体，是天然气的主要组成部分；碳原子为 $C_5 \sim C_{16}$ 的烷烃是液体，是石油的主要组成部分；碳原子 $> C_{16}$ 的烷烃是固体。随着碳原子数增加，烷烃的沸点和凝点也升高。

烷烃根据结构，又可分为直链烷烃（正构烷烃）和支链烷烃（异构烷烃）——即碳分子结构不完全保持直链式，而有分支结构。有机化合物中普遍存在着同分子异结构的现象。随着碳原子数增加，出现同分子异结构现象可能性就更大。由于结构不同，其性质有所不同。例如：

2-甲基庚烷 iC_8H_{18} (分子式前面的 i 代表异构)



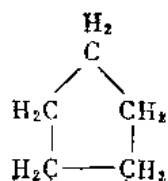
2,2,4—三甲基戊烷 iC_8H_{18}



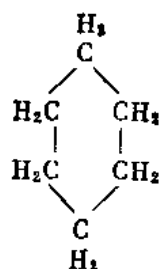
2. 环烷烃 (Naphthenic hydrocarbon)

环烷烃的分子结构是环状形式。它也是饱和烃。其分子结构通式为 C_nH_{2n} 。环状形式主要有五碳环和六碳环两种，还有双环烷烃（有两个五碳环或两个六碳环，也有一个五碳环和一个六碳环相结合）或带有侧链的环烷烃。例如：

环戊烷 C_5H_{10}



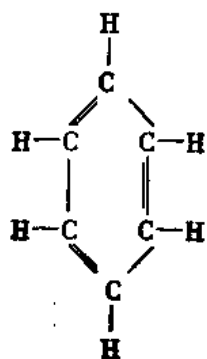
环己烷 C_6H_{12}



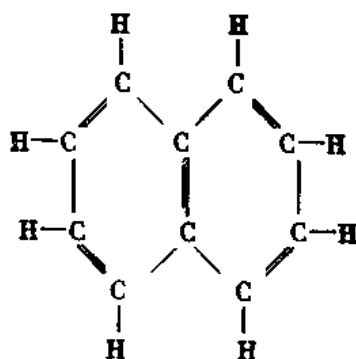
3. 芳香烃 (aromatic hydrocarbon)

芳香烃的分子结构也是环状形式。其环状形式有单环、多环、稠环、侧环及烷烃组成的混合环。芳香烃中最基本的结构形式是苯 (C_6H_6)，有两个苯核并列在一起的是萘 ($C_{10}H_8$)。例如：

苯

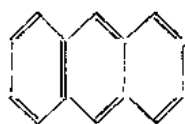


萘

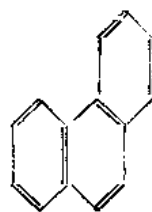


也有三个苯核相结合的元素，称为蒽（三个苯核并列在一起），菲（三个苯核中一个是侧环）……等。

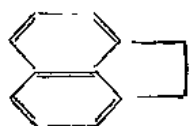
蒽



菲



蒈



4. 不饱和烃

不饱和烃在原油中的含量极少，但在两次炼制过程中会生成一定数量的不饱和烃。不饱和烃主要有烯烃和炔烃。

下面扼要介绍各种烃类的特性：

烷烃——为链状分子结构，最容易分裂。碳氢化合物在燃烧前，首先需要在高温下使分子结构破裂分开，以便让碳、氢与氧等原子进行化学反应。分子链越长，越容易破裂，因此烷烃容易燃烧，自燃温度低。化验分析表明，烷烃是汽油、煤油和柴油的主要成分。烷烃又分直链烷烃和支链烷烃两种。汽油中含直链烷烃多，则抗爆性弱（辛烷值低）；含支链烷烃多，则燃烧性能良好（即十六烷值高），发动机运行平稳。柴油中含直链烷烃过多，则凝点高，低温流动性不好。润滑油中含烷烃多，则粘温特性好，但是含直链烷烃过多，则低温流动性不好。

环烷烃——为环状分子结构，它比链状分子结构要难破裂，所以环烷烃的自燃温度比烷烃要高。环烷烃的燃烧性能较好，稳定性好，不易氧化，凝点低，润滑性好。它在石油蒸馏产品中的含量占第二位，和烷烃组分数量之和约占90%左右。汽油中含环烷烃时，抗爆性能比直链烷烃要好，但比支链烷烃要差。柴油中含环烷烃，其燃烧性能不如直链烷烃，但其凝点很低。润滑油中环烷烃是理想的成分，粘温特性好，而且凝点低。

芳香烃——是苯核的环状分子结构，不容易破裂，所以芳香烃的自燃温度较高。在烃类中芳香烃的密度最大。由于它的结构特殊，在化学性能上也比其它烃类不易氧化，性质最安定。在汽油中，芳香烃是良好成分，含量越多，辛烷值越高，抗爆性越好。在柴油和燃料油中，芳香烃是不良成分。它的十六烷值低，碳氢比大，往往燃烧不完全，燃烧室内容易积炭，所以要求芳香烃含量少。在润滑油中，芳香烃含量过多，会恶化润滑油的使用性能。

不饱和烃——主要是炼制过程中产生的。在热裂化产品中一般都含有一定数量的饱和烃（如烯烃），由于碳链不饱和、双键，其化学性质活跃，容易发生聚合反应和分解反应，在常温下容易氧化成胶质。因此含烯烃较多的燃油不宜长期存放。

三、石油炼制的基本方法

天然石油（原油）是一种含有多种成分、复杂的混合物。它通常不能直接使用，必须先在炼油厂提炼加工。虽然在个别特殊情况下天然石油可以直接作为燃料油在锅炉中燃烧，但是存在着一定的危险性。另外，这样使用石油很不经济。只有通过提炼加工，才能获得符合一定质量指标的石油产品，满足工业、国防、经济的需要。

1. 常压蒸馏（直馏）

常压蒸馏是根据组成石油各类烃分子的沸点不同，在常压（大气压力）下进行加热、蒸

发、冷凝，直接蒸馏制得的汽油、煤油、柴油等馏分的方法。所谓馏分，是指石油在一定温度范围内蒸馏时收集的馏出物。其温度范围称为该油料的馏程。一般来说，35~200℃馏程内的馏分为汽油；175~300℃馏程内的馏分为煤油；200~350℃馏程内的馏分为柴油；350℃以上的馏分为润滑油原料或裂化原料。

常压蒸馏产品主要由烷烃和环烷烃组成，一般不含不饱和烃。所以直馏产品性质安定，不易氧化变质，宜于长期储存。表5-1列出常压蒸馏主要馏分的一般产率。

常压蒸馏主要馏分的一般产率				表5-1
产 品	汽 油	煤 油	柴 油	裂 化 原 料
占原油（重量）%	9~10	10~11	7	6

2.减压蒸馏（真空蒸馏）

减压蒸馏是利用降低压力来降低油料沸点的原理，将常压蒸馏残留下来的重质油加温至420℃，并使减压塔的塔顶压力保持2.67~10.67kPa（20~80mmHg），制得各种润滑油馏分的方法。这样制得的润滑油含有一些不良成分，需要再精炼。减压塔底的残油叫做减压残油。它由极难挥发的成分和胶质沥青组成，可以直接作为燃油，或与柴油调和成各种粘度等级的燃料油，也可供进一步提炼加工。

不同原油的性质不同，各馏分的产率当然也不同。即使相同的原油，由于各提炼厂的流程和设备不同，产油的性质、分馏物的数量也不一样。表 5-2 列出减压蒸馏主要馏分的一般产率。

减压蒸馏主要馏分的一般产率					表5-2
产 品	变压器油馏分	10号机械油馏分	20号机械油馏分	10号汽油机油馏分	减 压 残 油
占原油（重量）%	4	6	8	9	40

表5-3列出船用燃料油调合比例（以中国大庆油田为例）。

船用燃料油调合比例				表5-3
残 油		燃 料 油		柴 油
减压残油 85% 热裂化残油 15% 丙烷脱沥青残油 15%	40%→	200 s	←60%	轻柴油或重柴油
	50%→	400 s	←60%	
	60%→	600 s	←40%	
	70%→	1000 s	←30%	
	75%→	1500 s	←25%	
	80%→	3500 s	←20%	

图5-2所示是提炼汽油、煤油、柴油示意图。图5-3所示是提炼润滑油示意图。

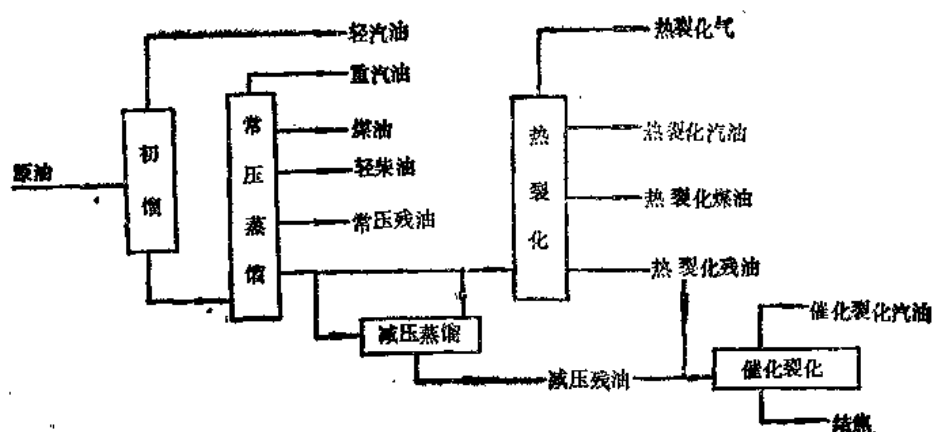


图5-2 提炼汽油、煤油、柴油示意图

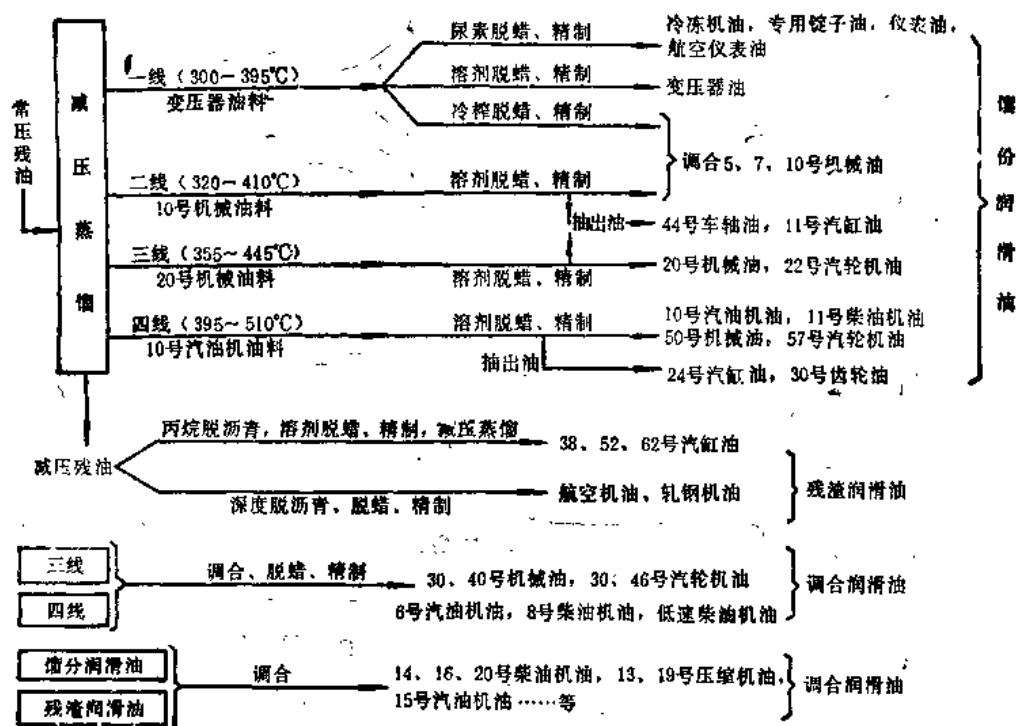


图5-3 提炼润滑油示意图

用常压蒸馏方法从石油中得到轻质成品油（汽油、煤油、柴油）只有30%左右。随着各类动力装置对轻质油需要量的逐年增加，轻质成品油已经不能满足日益增长的客观需要，因此就产生了石油的二次提炼。

3. 热裂化（二次提炼）

其原理是利用高温使重质油类的大分子烃，受热分解裂化成汽油类的小分子烃。使用的

原料是常压残油和减压馏分油。当温度为 $500\sim 600^{\circ}\text{C}$ ，压力为 $4\sim 5\text{MPa}$ ($40\sim 50\text{kgf/cm}^2$) 时，能够提炼出约70%的热裂化成品油。采用这种方法主要可以提高汽油的产油率，而且成本较低。另外这种热裂化汽油抗爆性较强，可用于掺合车用汽油。但是由于热裂化产品中含有较多的不饱和烃，因此性质不安定，在储存中容易氧化变质。

与热裂化相似的还有两个裂化工艺：

减粘裂化——即轻度裂化，是在 $470\sim 500^{\circ}\text{C}$ 的温度下进行裂化。使用的原料是重质油。在轻度裂化过程中，使燃料油的粘度和凝点降低，故称为减粘裂化。一般减粘裂化工艺得到的成品油占40%，减粘残油占60%。

焦化——即深度裂化，是绝热至 600°C 以上的裂化过程。这时分解和聚合两种反应进行得更加深化。使用的原料仍是残油。焦化使残油转变成轻质油和焦炭。焦化工艺得到的成品油占55%，焦炭占15%~20%。

4. 催化裂化

其原理是在催化剂作用下，使烃分子受热裂化。由于催化剂作用，除大分子烃变成小分子烃外，同时改变其分子结构，使不饱和烃大大减少，异构烷烃和芳香烃增加，如表5-4所示。

热裂化和催化裂化获得的烃类比较(%)

表5-4

炼制方法	烷 烃	环 烷 烃	芳 香 烃	不 饱 和 烃
热 裂 化	53	11	3	30
催 化 裂 化	53	19	16	9

催化裂化使用的原料是重质油，工业用的催化剂采用合成的硅酸铝和分子筛。催化裂化工艺所得的成品油接近原料油的100%，剩下的结焦物残留在炼油塔底。从表5-3得知，用催化裂化工艺得到的成品油中，烃类组成比例改变，产率和质量都优于热裂化，烯烃（不饱和烃）量减少，从而提高了产品储存的稳定性。催化裂化工艺所得的汽油性质安定，辛烷值高，故常作为航空汽油高辛烷值汽油的基本组成部分。

5. 加氢裂化

这是60年代发展起来的一种新工艺。其特点是在温度为 400°C 左右和大于 10MPa (100kgf/cm^2) 以上的压力下，在有氢存在和催化剂作用下，进行加氢、裂化、异构化等一系列化学反应，使不饱和烃在加氢后变成饱和烃，从而获得各种高质量的成品油，如高辛烷值汽油、低凝点航空煤油、低凝点柴油、粘温性能良好的润滑油等。这种工艺能使用各种轻重不同的油料为原料，而产品率接近100%。但是这种方法操作条件苛刻，使用合金钢材多，投资大，目前尚未广泛使用。

第二节 船用燃油的性能指标和规格标准

一、船用燃油的性能指标

船用燃油主要是用于柴油机和锅炉，因此油料范围属于柴油类、残油类及两者混合的船用燃料油（又名重油）。由于各个地区原油性质不同，原油加工技术各异，因此各个国家对

油质的要求规定也不同,这样就对燃油提出一些共性的要求,集中反映在燃油的性能指标上,要求既能保证机器安全运行,又利于各国等级标准间相互套换,替代使用。

燃油的物理化学性能指标有二十多个,分别从不同方面反映燃油的品质。根据其柴油机工作的影响,大致可以分成三类:1)与燃烧性能有关的有:十六烷值、馏程、粘度、比重、热值。2)与燃烧产物成分有关的有:硫分、灰分、钒和钠的含量、残碳、沥青质、胶质。3)与管理工作的有关的有:浊点、凝点、倾点、闪点、自燃点、机械杂质、水分等。现分别简要介绍如下:

1.十六烷值 (Cetane number)

十六烷值是表示燃油发火性能的指标。燃油的自燃性越好,它在燃烧前需要的物理、化学准备时间(滞燃期)越短。以烷烃组成的燃油,发火快,燃烧压力升高速度相对比较平稳。以芳香烃组成的燃油,着火延迟期长,由于滞燃期内积累已分裂和汽化的燃料较多,一旦燃烧起来,压力急剧升高,且最大爆发压力也高,柴油机运行时相对比较粗暴。柴油的十六烷值与化学组成的关系,见表5-5。

柴油十六烷值与化学组成的关系

表5-5

油样号	化 学 组 成, %			十 六 烷 值
	烷 烃	环 烷 烃	芳 香 烃	
1	85	9	6	66
2	80	10	10	63
3	75	12	13	57
4	73	12	15	51
5	69	14	17	47
6	45	22	33	32

高速柴油机使用燃油的十六烷值应在40~60间。十六烷值过低,会使柴油机工作粗暴;十六烷值过高,会发生热分裂,产生游离碳,造成排气冒黑烟。中速柴油机和低速柴油机使用燃油的十六烷值应分别在35~45间和25~35间。中速和低速柴油机燃烧时间比高速柴油机燃烧时间要相对长得多,例如转速为1500r/min时,燃烧时间为0.003s;转速为120r/min时,燃烧时间为0.04s。在实践中,一般燃油都能满足中速、低速柴油机燃烧速度的需要,特别是低速柴油机,在直接使用残油燃烧过程中,不会发生特殊困难。所以世界各国船用燃料油规格中都不列十六烷值这一指标。十六烷值只是高速柴油机(指直接喷射式、且不带预燃室式)使用轻柴油的一个性能指标。

2.馏程 (Boiling process)

物质在一定压力下具有固定的沸点。石油加热后,挥发性较高的低沸点轻质馏分首先蒸发,并和空气较快混合,燃烧也进行较快。随后在温度升高时,重质馏分才逐步蒸发。馏程是表示馏分蒸发的温度范围,可用来判断石油产品的沸点范围。燃油的质量并不是轻质馏分越多越好,而是根据动力装置的性能需要来决定的。例如:燃油中250℃以下的轻质馏分超过15%,或350℃以上的重质馏分超过40%,对某种速度下运行的柴油机燃烧是不利的。品质好的柴油应在250~350℃间蒸发的馏分最多,而其它轻重馏分较少。石油馏分及其沸点范围见表5-6。

3.粘度 (Viscosity)

粘度是表示燃油自身流动时的内阻力,作为评定油料流动性的指标。它是石油和石油产

石油馏分及其沸点范围

表5-6

馏 分	沸 点 范 围 °C	馏 分	沸 点 范 围 °C
车 用 汽 油	<200	蜡 油	320~520
航 空 煤 油	150~250	轻 质 润 滑 油	300~400
灯 用 煤 油	200~300	中 质 润 滑 油	400~470
轻 柴 油	200~350	重 质 润 滑 油	>470
重 柴 油	300~350	残 油 (蒸 馏 残 油)	>550

品最重要的性能指标。目前世界上燃油尽管其结构成分都不同，但价格基本上是根据粘度确定的。

燃油的粘度对雾化、燃烧、净化、驳运等都有很大影响。粘度在很大程度上决定雾花的形状和颗粒大小。雾花形状和分布是与燃烧室相配合的。雾化后的燃油经加热蒸发与燃烧室中的空气混合，形成可燃的混合气。因此燃烧不仅取决于雾化质量（越细越好）和雾花形状，还取决于燃烧室中油雾与空气互相扰动状态。当粘度增加时，由于燃油的流动性变差，分散较困难，燃油形成的油雾颗粒变大，雾化锥体瘦而长，与空气混合不均匀，导致燃烧不完全。当粘度过低时，雾化锥体粗而短，向四周扩散，没有到达设计规定的距离，造成局部混合浓度不良，同样不利于燃烧，同时会使高压油泵的柱塞和套筒副及喷油嘴的针阀偶件因润滑不良而过度磨损。

因此，燃油燃烧时，一般要求油雾粒的直径均匀，平均直径要小，雾化锥体形状要符合柴油机燃烧室设计的要求，使油雾与空气能较均匀混合。

根据实践得知，燃油粘度的上限值为

高速柴油机	0.8mm ² /s (8cSt)
中速柴油机	1.8mm ² /s (18cSt)
低速柴油机	2.6mm ² /s (26cSt)

船用大型低速柴油机燃油喷射入口的最佳粘度见表5-7。

船用大型低速柴油机燃油喷射入口的最佳粘度

表5-7

主 机 名 称	机 型	最 佳 粘 度
		运 动 粘 度 cSt
MAN	KZ	18.1 以下
Suizer	RND	13 ~ 17
Götaverken	DM	17 ~ 22.5
B&W	KFF	10 ~ 15
三 菱 重 工	UEC	12.3 ~ 18.1

锅炉喷油器喷油的适宜粘度，见表5-8。

由于各国对燃油粘度采用不同的测量方法，因此就有不同的粘度单位：如苏联使用恩氏粘度 (Engler)，计量单位是°E；美国采用赛氏通用粘度 (Saybolt Universal)，计量单

锅炉喷嘴器喷油的适宜粘度

表5-8

喷 油 的 种 类	适 宜 的 喷 油 粘 度	
	运 动 粘 度	cSt
油压式 (大型)	23.7 ~ 28.8	
油压式 (小型)	12.6 ~ 15.5	
蒸汽喷雾式 (外部混合式)	48.7 ~ 73	
蒸汽喷雾式 (内部混合式)	73 ~ 97	
低压空气喷雾式	23.7 ~ 36.4	
中压空气喷雾式	36.4 ~ 48.7	

位是 SSU, s; 英国采用雷氏粘度 (Redwood), 计量单位是 RI, s (I 表示 №.1); 国际标准化组织 (ISO) 决定以运动粘度 (Kinematic) 作为世界各国通用的标准粘度单位, 国际单位制的计量单位是 m^2/s 。以往较通用的单位是 cSt。

各种粘度单位可以在同一温度下进行换算, 见表5-9 (见12、13页)。

不同温度下各种粘度单位的换算, 可以利用粘温曲线图 (见图5-4)。以50℃的运动粘度和100°F 的雷氏一号粘度相换算为例来说明。利用粘温曲线图上的50℃和100°F 两个温度点, 向上作两根垂直线。用已知的运动粘度或雷氏一号粘度, 在各自的温度垂直线上找出粘度坐标点。然后在这个坐标点上, 作一根粘温斜线 (与表上所有粘温斜线平行), 斜线延伸到另一根温度直线上, 那个点的坐标值就是正在推导的对应粘度。

例: 已知某燃料油的雷氏一号粘度 (100°F) 为600s, 求该油料的运动粘度 (50℃) 值是多少 cSt?

- 1) 先在纵坐标上的雷氏一号粘度刻度上, 找出600s 的刻度。
- 2) 在600s 的刻度上作一根水平线, 平行于横坐标轴。然后从横坐标的温度刻度上, 找出100°F 的垂直线, 在两线相交处作一点, 暂称为第一点。
- 3) 通过第一点, 作一根与其它粘温线平行的斜线, 这根新作的斜线就是这种燃油的近似粘温线。
- 4) 这根新作的斜线与横坐标上50℃的垂直线相交, 产生第二点。
- 5) 通过第二点, 作一根与横坐标轴平行的水平线。此水平线通过纵坐标上的运动粘度刻度, 就是要求的运动粘度值。现在指在72cSt 的刻度上。

因此, 该油料的运动粘度 (50℃) 是72cSt。

燃油的粘温曲线只适用于特定的油种。如果采用另一种油, 要换算粘度时, 则会产生数值上的差异。例如中东石油、美洲石油和我国大庆石油的三种粘温曲线完全不同。通常航运单位使用这些曲线, 只要求得到一个近似值, 以供参考。

4. 相对密度 (习惯上称比重 Specific gravity)

燃油的相对密度是20℃时的密度与40℃时纯水的密度之比, 用符号 d_{40}^{20} 表示, 是个无因次数。有的国家规定标准温度为15℃, 用符号 d_{15}^{15} 表示。如果测定相对密度时温度不是20℃, 可以用下列公式进行换算:

$$d_{40}^{20} \approx d_{15}^{15} + 0.000672(t - 20)$$

式中: d_{15}^{15} —— 温度为 t ℃时的相对密度;

t —— 测定相对密度时温度, °C。

英美等国习惯上用 $d_{15.6}^{15.6}$ 表示油料的相对密度, 即油料在15.6℃(60°F)时的密度与同温度下

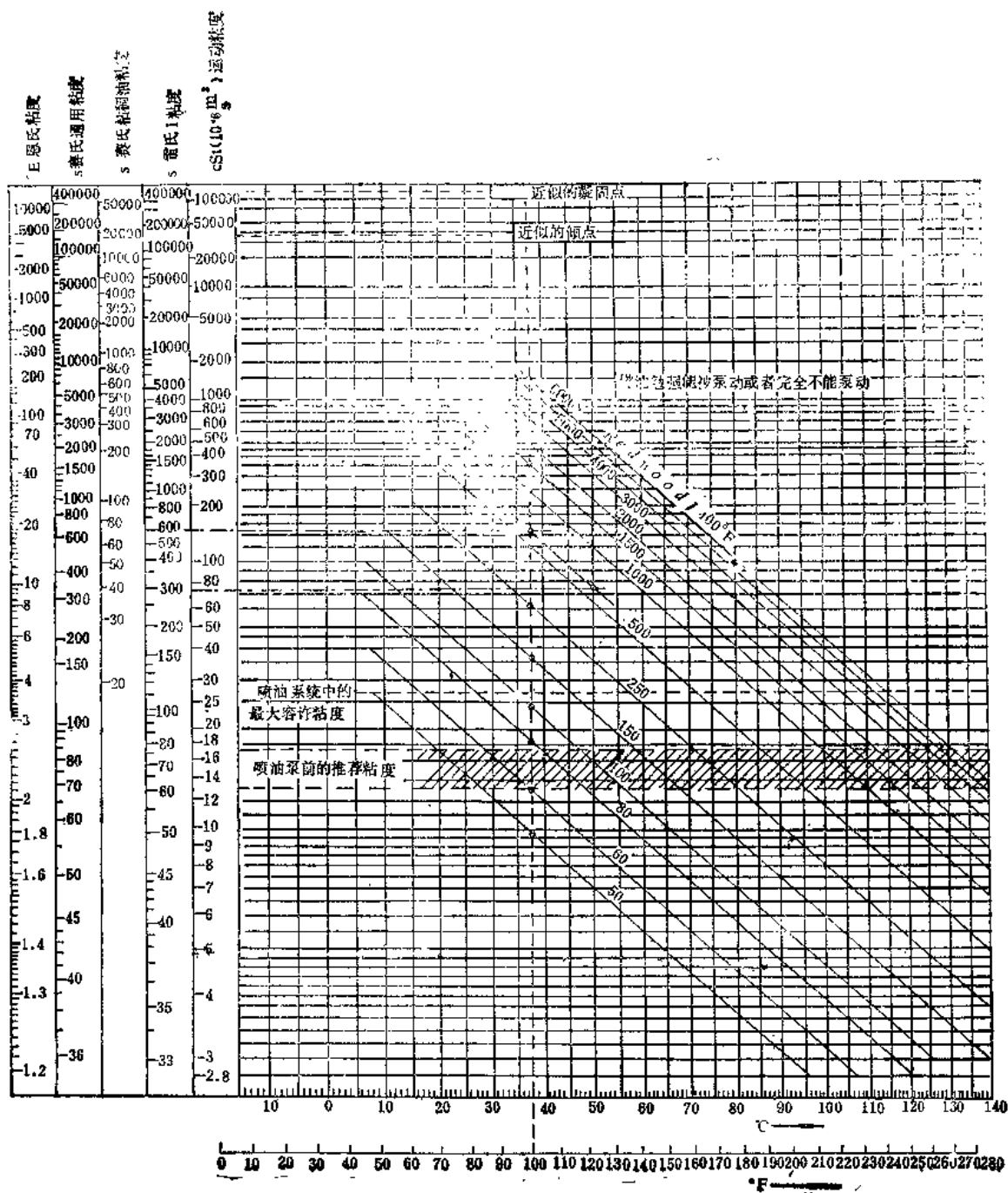


图5-4 燃油粘温曲线图

同温度下各种粘度单位换算表

表5-9

雷氏一号粘度 s	雷氏二号粘度 s	赛氏通用粘度 s	赛氏粘桐油粘度 s	恩氏粘度 °E	运 动 粘 度	
					cSt	$\text{cm}^2/\text{s} \times 10^{-6}$
30	—	—	—	1.05*	1.5*	1.5*
32	—	35	—	1.17*	2.5*	2.5*
34	—	37	—	1.25*	3.3*	3.3*
36	—	39	—	1.3*	4.0*	4.0*
38	—	42	—	1.4*	4.8*	4.8*
40	—	44	—	1.5*	5.6	5.6
45	—	51	—	1.6*	7.6	7.6
50	—	57	—	1.8*	9.4	9.4
55	—	62	—	1.9	11.0	11.0
60	—	68	—	2.1	12.6	12.6
65	—	74	—	2.2	14.1	14.1
70	—	80	—	2.4	15.6	15.6
75	—	85	—	2.5	17.0	17.0
80	—	91	—	2.7	18.5	18.5
85	—	97	—	2.9	19.9	19.9
90	—	103	—	3.0	21.2	21.2
95	—	108	—	3.2	22.5	22.5
100	—	114	—	3.3	23.8	23.8
110	—	125	—	3.6	26.4	26.4
120	—	137	—	4.0	29.0	29.0
130	—	148	—	4.3	31.5	31.5
140	—	159	—	4.6	34.0	34.0
150	—	170	—	4.9	36.5	36.5
160	—	182	—	5.2	39.0	39.0
180	—	204	—	5.9	43.9	43.9
200	—	227	26	6.5	48.9	48.9
220	—	250	28	7.1	53.8	53.8
240	—	273	30	7.8	58.8	58.8
260	—	295	32	8.4	63.7	63.7
280	—	318	34	9.1	68.6	68.6
300	—	340	37	9.7	73.5	73.5
320	32	363	39	10.3	78.5	78.5
340	34	386	41	11.0	83.5	83.5
360	36	409	43	11.6	88.5	88.5
380	38	432	46	12.3	93.5	93.5
400	40	455	48	13.0	98.5	98.5
450	45	512	53	14.6	110.5	110.5
500	50	569	59	16.2	123.0	123.0
550	55	626	65	17.8	135	135
600	60	683	71	19.4	147	147
650	65	739	76	21.0	160	160
700	70	796	82	22.7	172	172
750	75	853	88	24.3	184	184
800	80	910	93	25.9	197	197
850	85	967	99	27.5	209	209
900	90	1024	105	29.2	221	221
950	95	1081	110	30.9	233	233