

柴油机船发动机与机械装置

Chaiyoujichuan Fadongji yu Jixie Zhuangzhi

(另 附 图 册)

〔丹麦〕Christen Knak 著

郝尔铎 朱大业 盛 昕 等译

张万崑 钱耀鹏 等校

人 民 交 通 出 版 社

译 者 的 话

近几年来，随着国民经济的发展，我国航运事业、船舶工业和水运教育事业都有了较大的发展。为适应水运现代化建设的需要，广大群众迫切需要学习这方面的知识。偶得此书原版，觉得内容新颖而丰富，有一定深度，理论密切联系实际，很适合我们的需要。虽然我们自知力不从心，但还是以拼搏精神，完成了书稿的翻译，以献读者。

参加本书翻译工作的有郝尔铨（第一～八章）、朱大业（第十～十三章）、盛昕（第十四～十六章及第九章一部分）、王艳华（第九章一部分）。全书经张万崑初校，大连海运学院钱耀鹏教授审阅，郝尔铨统稿整理。在翻译过程中曾得到陈其谔高级工程师的指导，并校阅了部分译稿，谨此致谢。

由于我们水平有限，缺点和错误在所难免，恳请广大读者批评指正。

Diesel Motor Ships Engines and Machinery

〔丹麦〕 Christen Knak

丹麦哥本哈根G·E·C GAD出版公司1979年英文本译出

柴油机船发动机与机械装置

（另附图册）

〔丹麦〕Christen Knak 著

郝尔铎 朱大业 盛昕 等译

张万崑 钱耀鹏 等校

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

人民交通出版社印刷厂印刷

开本：787×1092 $\frac{1}{16}$ 印张：20.25 字数：497千

1988年6月 第1版

1988年6月 第1版 第1次印刷

印数：0001—1,500册 定价：18.20元

02-169-171-2

ISBN 7-114-00072-3

U·00059

统一书号：15044·6555

内 容 提 要

本书著者以极为渊博的设计、制造知识和丰富的运行管理经验,从柴油机基础理论、测试方法到目前世界上各主要名牌船用柴油机发展的最新成果,向读者作了较详细的介绍。尤其对B&W、Sulzer、MAN三大船用柴油机新机型的结构特点、运行管理注意事项和遥控系统等讲解更为详尽。除主机外,还对螺旋桨、舵机、甲板机械、机舱各种泵类、阀、填料和绝缘材料等几乎囊括了柴油机船全部动力装置和船舶服务系统。本书内容新,讲解通俗,理论联系实际。尤其突出的是,本书收录了大量实物照片和近似于工程图的插图,清晰真实,一目了然,更是同类书中所少见的。

本书适于船舶轮机员、修造船工程技术人员、科研人员、船舶检验人员以及有关院校轮机专业师生使用。

本书另附8开本图册一本。

序 言

世界上第一艘柴油机船是由 B&W 公司于 1912 年建造的。此后，人们将在运转管理和维修方面所取得的千万条经验，融汇于柴油机的设计之中。因此，这本书也必须定期地改写和修订，以便使其紧紧跟随船用柴油机迅速发展的步伐。

在燃料油短缺的这些日子里，人们常常忘掉了柴油机依然是将天然燃料油转换成有用的最有效方法。船用柴油机的近期发展，已能够适应能源保护所要求的速度；事实上，各种迹象表明，柴油机将很快成为民用船舶推进的唯一原动机。

不仅对于具有多年柴油机工作经验的人，而且对那些刚建立新的商船队，并且实际上柴油机将成为其全部推进动力国家的人们，这些近期的技术发展又一次使现代教科书和参考书的供应，成为紧迫的需要。

这本书，迄今仅在丹麦出版过，并限于斯塔的纳维亚的读者使用。但满足更广大读者的需要已是我们长期的愿望，并且在 B&W 公司，实现这个愿望的任务完全由我们来承担。我们已给予这一最新英文版的出版以全心全意的支持。至于读者是否能取得船舶轮机工程师证书或在船用柴油机领域内作更详尽的研究，事实都将证明，这本书是不可缺少的。所以，我们希望《柴油机船发动机与机械装置》将以它为国内外所提供的更为广博的船用柴油机知识而获得它受之无愧的认可，我们将为此而努力。

读者特别幸运的是本书著者 Christen Knak，他不仅作为柴油机设计者和制造者与我们密切接触，而且他还与世界上主要的轮机工程师以及航海国家最有经验的柴油机设计者长期联系。

我们不仅祝贺从事这一新事业的著者，而且希望本书不仅为更广泛地了解柴油机的工程原理、运转管理和维修作出贡献，而且也快速、经济和无故障地横跨七大洋服务。

丹麦 B&W 工程股份有限公司工程部总经理 J. 朱哥斯 著

目 录

第一章 燃油和滑油

第一节 原油的产生和分馏	1
第二节 燃油的规格数据	2
第三节 燃油的分类	10
第四节 滑油	11
第五节 滑油分析	13
第六节 添加剂	18
第七节 滑油的种类	20
第八节 选取油样	20
第九节 比热容, 热传导和压缩性	21
第十节 润滑脂	21

第二章 气(汽)态

第三章 内 燃 机

第一节 示功图	31
第二节 空气耗量	33
第三节 发动机性能的计算	35
第四节 示功器	37
第五节 示功图	39
第六节 燃烧过程中的故障	43
第七节 由示功机构引起的示功图异常	44
第八节 软弹簧示功图	44
第九节 发动机的冷却	45
第十节 废热	47
第十一节 活塞式发动机中的力	50
第十二节 惯性力的平衡	52
第十三节 扭转振动	53
第十四节 设计和运行状态的热膨胀和热应力	54
第十五节 燃油喷射	57
第十六节 预燃室发动机	58
第十七节 发动机制动功率的确定	59

第四章 试 验 方 法

第一节 热效率和经济效率	62
--------------	----

第二节	燃油消耗量的测定	52
第三节	船用柴油机的陆上试验	63
第四节	油耗试验	63
第五节	起动和换向试验	64
第六节	倒车试验	64
第七节	超负荷试验	64
第八节	柴油主机的试航	64
第九节	其它消耗量试验	65

第五章 推 进

第一节	推进效率	67
第二节	推进阻力	68
第三节	螺旋桨	70
第四节	滑失	71
第五节	空泡	72
第六节	螺旋桨谐鸣	72
第七节	船模试验	72
第八节	可调螺距螺旋桨	73

第六章 泵和压气机

第一节	离心泵	76
第二节	泵的总压头	76
第三节	泵的特性	78
第四节	不稳定工作的范围	79
第五节	控制	80
第六节	轴向推力	81
第七节	空泡	81
第八节	水环泵	82
第九节	叶片泵	82
第十节	齿轮泵	82
第十一节	轴流泵	83
第十二节	单螺杆泵	83
第十三节	离心压气机	83
第十四节	起动等用空气的压缩	84
第十五节	往复泵	86

第七章 阀、旋塞、仪表等

第一节	调节和关闭装置	87
第二节	流量的测定	89

第八章 填料和绝缘材料

第一节 填料	91
第二节 绝缘材料	94

第九章 船用柴油机

第一节 几点说明	96
第二节 B&W K-EF 型柴油机	97
第三节 B&W K-GF 型柴油机	125
第四节 定压涡轮增压的B&W 型柴油机	135
第五节 苏尔寿 RND-M 型柴油机	136
第六节 MAN KZ90/120型柴油机	147
第七节 MAN Ksz-B/BL 型柴油机	155
第八节 B&W S50L和U50L 型柴油机	156
第九节 B&W U28L和S28L 型柴油机	159
第十节 B&W T23L和V23L 型柴油机	160
第十一节 S.E.M.T.皮尔斯蒂克PC3型柴油机	165
第十二节 B&W 阿尔法406-26VO 型柴油机	166
第十三节 Mak M582 型柴油机	170
第十四节 Mak M551型柴油机	174
第十五节 道依兹 RV6M546型柴油机	176
第十六节 梅贝奇 MD655型柴油机	178
第十七节 布克 4K105型柴油机	181

第十章 管路系统等

第一节 燃油系统	182
第二节 滑油系统	193
第三节 冷却水系统	196
第四节 压缩空气系统	206
第五节 排气系统	208
第六节 压载和舱底水系统	209
第七节 货油装卸系统	213
第八节 空气调节装置	214
第九节 淡水和海水卫生系统	214
第十节 机舱通风系统	215
第十一节 货舱通风系统	216
第十二节 废水清污装置	216
第十三节 机器布置等	217

第十一章 轴系和尾轴管

第一节	引言	220
第二节	推力轴和推力轴承	220
第三节	中间轴和中间轴承	221
第四节	尾轴和尾轴管	221
第五节	软填料的尾轴管填料函	222
第六节	雪特伏型尾轴管填料函	222
第七节	辛普莱克斯尾轴管填料函	222
第八节	超级油船的汉恩型尾轴管填料函	223
第九节	尾轴管内的轴承	224
第十节	卡米瓦型可调螺距螺旋桨	224

第十二章 间接推进运行等

第一节	间接推进运行	227
第二节	自由活塞燃气发生器和燃气轮机装置	228

第十三章 操舵装置和绞车

第一节	操舵装置	231
第二节	绞车	236

第十四章 发动机及其装置的管理和维护

第一节	引言	239
第二节	柴油机动力装置的管理和维护	239
第三节	运行管理	243
第四节	故障分析	248
第五节	检验	261

第十五章 柴油机装置的遥控、自动化和合理化

第一节	引言	269
第二节	控制系统	269
第三节	集中检测装置	279
第四节	驾驶室操纵系统	281
第五节	伍德沃德调速器	282
第六节	粘度调节器	284
第七节	废气锅炉中蒸汽压力的自动控制	287
第八节	辅机中蒸汽压力的自动控制	288
第九节	遥控阀	289
第十节	阀研磨机	292

第十六章 燃气轮机

第一节	引言	293
第二节	历史综述	293
第三节	燃气轮机的主要零部件	294
第四节	理想比较过程	295
第五节	康斯堡燃气轮机	297
第六节	船舶推进用燃气轮机	297
第七节	GE 500Z 型燃气轮机	298
第八节	滑油系统	303
第九节	冷却水系统和冷却空气系统	303
第十节	进气和排气管	304
第十一节	燃油规格	305
第十二节	燃油系统	305
第十三节	减速齿轮	307
第十四节	调节系统	307
第十五节	SPEEDTRONIC 控制和保护系统	308
第十六节	燃气轮机和蒸汽轮机联合装置	310

第一章 燃油和滑油

第一节 原油的产生和分馏

内燃机利用蕴藏于天然燃料中的能量，这种能量于燃烧过程中被释放出来，产生高温，增加气体的焔；这些气体或者不起作用地聚集在燃烧室中，或是积极地参加燃烧过程。这种传递给气体的能量，由内燃机的活塞、曲轴机构转换为机械功。

与蒸汽机一样，内燃机是一种热动力机。两种机型的主要不同点是，蒸汽机利用介质将锅炉内燃烧过程所释放的一部分能量传递至气缸；内燃机则是直接利用气缸中燃烧产物的焔。

用于燃烧过程的燃料，主要是从原油——也就是通常说的天然油中提炼而成。

原油存在于地壳中，但全世界仅在某些地区才发现贮藏有原油。关于原油的来源，有各种不同的理论，但最为普遍的看法认为，原油是史前海域中动物机体的残骸，这些有机沉积物被埋藏于地壳中，经过数万年甚至数百万年在地质压力的作用下，转化而成的。

自从1859年德雷克（Drake）上校在宾夕法尼亚钻了第一眼油井后，才开始了原油的新纪元。若干年后，洛克菲勒组织了这一新兴工业，并于1870年创建了“标准石油公司”。起初，仅着重考虑从原油中分馏主要用作照明的煤油。然而，内燃机的发展，使得原油具有了目前这样的重要性，并导致整个石油工业的迅速发展。

从化学角度看，原油主要由烃类组成。在宾夕法尼亚所发现的油，主要是化学分子式为 C_nH_{2n+2} 的烷烃类和异构化合物组成。这种原油在其它地区如中东也有发现，称为烷烃基油。另一些原油，主要成分是分于式为 C_nH_{2n} 的环烃类，这种原油称为环烷基油，例如高加索便出产这种原油。原油常含有大量的沥青，例如得克萨斯产的油，称为沥青基油。印度尼西亚产的油，则含有特别多的挥发成分（30~40%）。

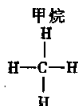
下列一组烷烃，在大气压和室温条件下为气态：

甲烷 CH_4

乙烷 C_2H_6

丙烷 C_3H_8

丁烷 C_4H_{10}



下列一组烷烃包括 $C_{17}H_{36}$ ，在大气压和室温条件下为液态，但其熔点和沸点随碳原子数的增加而增高：

戊烷 C_5H_{12}

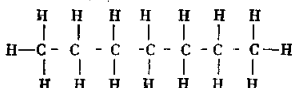
己烷 C_6H_{14}

庚烷 C_7H_{16}

辛烷 C_8H_{18}

壬烷 C_9H_{20}

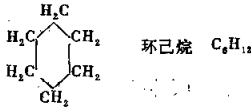
庚烷（正常链）



这些烷烃有些可为标准烷烃，其碳原子结构是直链，或作为异构物，其碳原子构成带侧

链的链结构，这样就使原油中可能含有几百种不同的烷烃。

对于环烷基油中的环己烷 C_6H_{12} ，是高加索油的重要成分。在这些化合物中，碳结构具有封闭环链的形式。



从上述可知，原油远不是一种均一的产品，而是在化学和物理特性上有很大差异的多品种产品。

为了获得有用的燃油、滑油和其它产品，必须将原油裂解为具有更为均一的化学和物理性能的组分。原油通常是从深度6~16 000ft^①的地下开采后泵入大沉淀柜A见图1-1。在那里水和其它较重的杂质沉淀并被排出。从沉淀柜将油泵至热交换器B，并加热至350℃左右，使大部分油蒸发。然后液体和蒸汽的混合物输入实际上是一个蒸馏塔的所谓分馏塔C，蒸馏塔构造详见图1-2。最高温度为125℃的汽油气，从塔顶引出并在热交换器D中凝为粗制汽油，再泵经清洗装置E。在这里用硫酸、氢氧化钠等进行处理，洗去各种有害杂质，如硫化氢。最后，用水洗汽油，除去所用的化学剂，然后泵至汽油贮存柜F。

沿蒸馏塔往下，在温度大约175℃的地方，由排出管引出的油在热交换器G中凝为粗制煤油。然后再将粗制煤油泵经与汽油所用的相同清洗装置H，之后再泵至贮存柜J。

沿蒸馏塔再往下，在温度大约250℃处，设置了另一个排出管。从这里引出的油气或者直接凝为轻柴油，泵至贮存柜；或者如图1-1所示，泵至热交换器K，在那里将轻柴油加热至大约450℃，之后，引至有70bar^②压力的反应室L。这里有各种不同用途的催化剂，重质烷烃(C_nH_{2n+2})被分解成“裂变”为富集于轻(C_nH_{2n})中的轻烃。换句话说，这些可以通过水合作用转变为轻烷烃。从反应室出来的油气，继而进入蒸馏塔M。油气在大约125℃时离开塔顶，而残余物则凝结并泵至贮存柜N，用作柴油。

分馏塔C中的蒸馏残渣，可排至热交换器Q，并由此至第二级分馏塔P。在真空条件下的油气再从这里引出，至裂变装置或至轻柴油贮存柜Q，而轻质滑油或中质滑油分别被导入清洗装置R和S以及贮存柜T和U。剩下的挥发性小的组分，从分馏塔P的底部导入清洗装置V和贮存柜X。这些组分可以与烷烃基原油一起用于生产气缸油。如果原油是沥青基的，可以分离出沥青。然而，这种所谓渣油，通常被用作燃料油。

上述程序仅是某些原油的精炼原理的简例。此外还有许多种处置的方法可资利用，这都取决于原油的质量和对产品的要求。

第二节 燃油的规格数据

燃油用分析得来的规格数据进行表征，这些数据确定油的下列性质：

- a——相对密度
- b——颜色
- c——粘度

① 1ft = 0.3048m

② 1bar = 10⁵Pa

d——浊度和倾点
e——闪点
f——燃点
g——自然温度
h——蒸馏特性
i——燃烧热值（卡路里值）
j——硫和钒的含量
k——水分
l——灰分
m——十六烷值

a. 相对密度

相对密度或比重, 可用 g/cm^3 、 kg/m^3 或 t/m^3 表示[●]。通常是在 15°C 条件下用比重计测量。加热或冷却的油, 置于杯中不停地搅拌, 并根据外界条件放在温水或冷水中, 直至温度达到约 15°C 。然后倒入量杯, 直到距量杯顶部约 10cm 时止。把比重计和温度计插入其中, 并尽量准确地测出两计读数, 因为油的温度对其相对密度影响很大, 所用的比重计一般都是刻度非常细的, 例如可测量程仅为 $0.8 \sim 1.0\text{g/cm}^3$ 。

如因周围条件所限, 油温难以达到要求温度时, 则 15°C 时的相对密度可用下列公式求得:

$$\rho_{15} = \rho_t + \rho_t(t - 15) \cdot \alpha$$

式中 ρ_t 是测量温度为 $t^\circ\text{C}$ 时的相对密度; α 是膨胀系数, 对矿物油可按每摄氏度 0.00075 计。如果相对密度约为 0.9g/cm^3 时, 那么所求得的密度要以每摄氏度 $\alpha \cdot \rho = 0.0007\text{g/cm}^3$ 来修正。

1922年美国石油协会采用了在 60°F 条件下 API 度的密度单位制, 使用了下列的公式, 式中 n 表示比重计的读数:

$$\text{在 } 60^\circ\text{F}/60^\circ\text{F} \text{ 时的相对密度} = \frac{141.5}{131.5 + n} \quad (\text{见表 } 1)$$

对应于 API 度的相对密度转换为 $60^\circ\text{F}(15^\circ\text{C})$ 的每美加仑磅数换算表 表 1

API 度	$60^\circ\text{F}/60^\circ\text{F}$ 时的相对密度	磅/美加仑 (60°F)	API 度	$60^\circ\text{F}/60^\circ\text{F}$ 时的相对密度	磅/美加仑 (60°F)	API 度	$60^\circ\text{F}/60^\circ\text{F}$ 时的相对密度	磅/美加仑 (60°F)
0	1.0760	8.962	21	0.9279	7.727	42	0.8155	6.790
1	1.0679	8.895	22	0.9218	7.676	43	0.8109	6.752
2	1.0599	8.828	23	0.9159	7.627	44	0.8063	6.713
3	1.0520	8.762	24	0.9100	7.578	45	0.8017	6.675
4	1.0443	8.698	25	0.9042	7.529	46	0.7972	6.637
5	1.0366	8.634	26	0.8984	7.481	47	0.7927	6.600
6	1.0291	8.571	27	0.8927	7.434	48	0.7883	6.563
7	1.0217	8.509	28	0.8871	7.387	49	0.7839	6.526
8	1.0143	8.448	29	0.8816	7.341	50	0.7796	6.490
9	1.0071	8.388	30	0.8762	7.296	51	0.7753	6.455
10	1.0000	8.328	31	0.8708	7.251	52	0.7711	6.420
11	0.9930	8.270	32	0.8654	7.206	53	0.7669	6.385
12	0.9861	8.212	33	0.8602	7.163	54	0.7628	6.350
13	0.9792	8.155	34	0.8550	7.119	55	0.7587	6.316
14	0.9725	8.099	35	0.8498	7.076	56	0.7547	6.283
15	0.9659	8.044	36	0.8448	7.034	57	0.7507	6.249
16	0.9593	7.989	37	0.8398	6.993	58	0.7467	6.216
17	0.9529	7.935	38	0.8348	6.951	59	0.7428	6.184
18	0.9465	7.882	39	0.8299	6.910	60	0.7389	6.151
19	0.9402	7.830	40	0.8251	6.870			
20	0.9340	7.778	41	0.8203	6.830			

API 为美国石油协会的缩写。比重计的刻度类似于波美度。用于美国比水轻的油。

1 美加仑 = 3.7853L

1 英加仑 = 4.546L

● 根据计量单位看, 相当于国际单位制的密度, 本书仍保持原来词义。——编注

如果燃料油的密度很高，致使比重计不能以足够的深度浸入油中时，要用比重瓶称重法确定其密度。

相对密度通常作为测示油品同一性的一个指标。但是因为混合物的密度取决于各组分的密度，而且混合物密度可由密度差别很大的各组分所组成，所以必须用蒸发试验（见后面）的方法来研究其混合比例。

b. 颜色

通常，油的颜色并不能作为判定其成分的依据。例如，有些轻柴油呈淡黄色，而其它的则呈暗棕色，但其质量则丝毫没有降低。柴油的色调必然是棕色到黑色。燃料油通常呈黑色。

c. 粘质

粘度，也可以叫作流动阻力。它是移动一单位质量所作的功的一种衡量方法。浓稠的液体粘度高，例如沥青，而稀薄流动的液体其粘度必然较小。对于燃料油，因为其粘度在很大程度上依赖于温度，也就是说，除非说明了测定粘度时的温度，否则规定油的粘度便没有实际意义。

过去一段时期中，在美国测量粘度习惯用赛波特（Saybolt）秒（通用或弗氏重油粘度，以下简称赛氏），而英国则用雷德伍德（Redwood，以下简称雷氏）秒；德国用恩格勒（Engler，以下简称恩氏）度。而上所说的粘度数值，是指一定数量的油，在一定的温度条件下流经标准设备的时间。图2-7是恩氏粘度计的简图。出口管A是精确校验过的并用穿过绝热盖的水塞堵住。仪器装有温度计和带搅拌器的水浴盘，水温可通过电加热器调节。流出油的数量，用置于出口管A下面的烧瓶来测量。在50℃下粘度为恩氏8°的油，是表示该种油在50℃时流经出口管所需要的时间，相当于20℃条件下同样体积的水流经时所需的8倍。用恩氏粘度计，通常在20℃、50℃和100℃下测量，而雷氏粘度计则在100°F、140°F和200°F下测量。赛氏通用粘度计在100°F、130°F和210°F时测量，而赛氏-弗氏重油粘度计则在122°F条件下测量。

从上述可知，恩氏度是一种相对读数，赛氏秒和雷氏秒作为粘度数值，则提供了流经时间的直接读数。赛氏粘度计测量60mL液体流经的时间，而雷氏是采用50mL。

因为有关这些粘度的规定十分杂乱并容易混淆，所以已有一种摒弃它们而改用其它表示方法的趋势^①，例如采用运动摩擦系数或运动粘度。这种粘度的定义规定如下（图1-5）：

如果表面积为A的一块平板，以u的速度相对于另一块固定平板而平行移动，两板间的距离为a，并在两板之间注以摩擦系数为η的液体。很显然，与板A接触的油将以u的速度移动，而粘附在固定板上的油，其速度则为零。层流的速度分布如图所示，用以维持板

A匀速运动所需要的力，与摩擦力相等，但方向相反，摩擦阻力 $F = \eta \cdot A \cdot \frac{u}{a}$ 。

动力粘度η或由动力粘度除以液体相对密度而获得的运动粘度 $\nu = \frac{\eta}{\rho}$ 是用图2-1所示的拉希伍（Raaschou）粘度计来测定的。动力粘度是以 $N \cdot s/m^2 = Pa \cdot s = J \cdot s/m^2$ 来计量，而运动粘度则以 $m^2/s = Pa \cdot s = m^2/kg = J \cdot s/kg$ 。

粘度计的构造，要能使由于液体对毛细管作用的差异所引起的测量误差减少到最低限度。

① 采用国际单位制表示法。——编注

粘度计由一个U形玻璃管构成，其一端支管内径较大。另一端支管由毛细管组成，在毛细管中部有小室A将其分为上下两部，大管的底部作有红色环状标记a，其下以mm刻度。一只温度计放入玻璃管内，温度计与软木塞间可相对滑动。温度计用以测量液体温度和在开始之前调节液面高度。

下部毛细管上，标有白色标记I和两个蓝色标记II和III。上部毛细管上，作有红色标记V。就在小室A下面，标有红色标记IV。根据所要测量液体的厚薄程度，粘度计有两种使用方法。

各种不同粘度规定的相互换算关系列于表2中。

使用图4中的图表，便可将一种粘度换算成另一种粘度。图表中的竖线代表各种不同的粘度，这些线在图线的顶部和底部与水平线相交，其相交位置的水平坐标，分别表示该粘度的常用测量温度。在同一竖线上（相同温度），可以直接读出从一种粘度变为另一种粘度的换算值。

如果发生温度的差异，则必须知道两种标准温度下的粘度。被标出来的各粘度，用一根水平线相连，此线与竖线的交点即表示在相应温度下的粘度。

d. 浊点和倾点

油的浊点是指当油冷却至这一温度时，油中便开始能看到有石蜡结晶或其它固体成分析出，这时的温度即称为浊点。

油的倾点是指油能保持液态时的最低温度。它是将油放在直径约为30mm的试管内冷却面测定的。将试管水平放置5秒钟，油面没有任何可见移动痕迹时的温度，再加3℃，即为这种油的倾点。

倾点难以用简单的试验来确定。有时使用凝固点以代替倾点，它是油能保持固态的最高温度，此温度大约低于倾点3℃。

e. 闪点

油的闪点是指油能逸出可燃油气时的最低温度，也就是空气/油气混合气的浓度刚能用火焰或火星点燃的最低温度。

油的闪点可用两类不同型式的仪器来测定。第一种，是将油封闭在杯中，第二种杯是散开的。通常由于仪器的不同，一般地说用开杯测定的闪点总是稍高于用闭杯测得的闪点。所以提及闪点时，必须说明使用的是何种仪器。

闪点的确定，通常用阿布尔-彭斯基（Abel-Pensky）闪点仪，或彭斯基-马顿（Pensky-Marten）闪点仪，或克利夫兰（Cleveland）闪点仪。

其中前两种用闭杯，而克利夫兰是用开杯测定。后者常用于滑油闪点的测定。

克利夫兰仪见图2-2，将具有一定尺度的量杯A置于金属板B上，并用石棉板盖住。测定闪点时，将油温入杯内至标记处，用喷灯加热并读出温度计T的读数。当温度接近预定的闪点时，用一小火苗掠过油面试图点燃油气。这样当温度每升高3℃时，重复一次。直至油气产生类似劈啪声响的微弱爆炸时便测得了闪点。

阿布尔-彭斯基仪主要用于25℃至65℃之间的闪点测定。图2-3所示的便是这种仪器。测定时，量杯A内灌入油，使油面达到M点。然后将量杯置于被水浴槽B₂包围的空气浴槽B₁中，在它们下面放置喷灯L。量杯用盖D封闭，盖子上装有温度计T₁和自动开启及点火装置。水槽的温度可从温度计T₂读出。

点燃喷灯后，水槽B₂中的水被加热，从而将空气槽B₁中的空气加热。结果使量杯A中

同一温度下不同粘度换算表

表 2

运动粘度 cSt	恩氏度	雷氏秒	赛氏通 用秒	赛氏弗氏 重油秒	运动粘度 cSt	恩氏度	雷氏秒	赛氏通 用秒	赛氏弗氏 重油秒
	1.0				87.5	11.5	351.0	408.0	44
	1.1				91.0	12.0	367.0	426.0	46
3.0	1.2	33.3	35.6		95.0	12.5	381.0	444.0	48
4.0	1.3	35.7	39.4		99.0	13.0	396.0	462.0	49
5.0	1.4	38.5	42.8		102.5	13.5	412.0	480.0	51
6.1	1.5	41.9	47.0		106.5	14.0	427.0	500.0	53
7.2	1.6	45.0	50.5		110.0	14.5	443.0	515.0	55
8.4	1.7	47.8	53.8		114.0	15.0	459.0	530.0	56
9.8	1.8	50.8	57.5		118.0	15.5	473.0	545.0	57
10.8	1.9	54.0	61.0		121.5	16.0	489.0	560.0	59
12.0	2.0	57.5	65.0	13	125.5	16.5	504.0	578.0	61
14.0	2.2	64.2	73.0	13	129.0	17.0	520.0	595.0	62
16.0	2.4	70.3	80.5	14	133.0	17.5	534.0	612.0	64
18.0	2.6	77.0	88.0	15	137.0	18.0	549.0	630.0	66
19.5	2.8	83.8	95.5	15	140.5	18.5	565.0	648.0	68
21.0	3.0	90.3	103.0	16	144.0	19.0	580.0	665.0	70
23.0	3.2	96.7	110.0	17	148.0	19.5	595.0	682.0	72
24.5	3.4	103.0	118.0	17	152.0	20.0	610.0	700.0	73
26.0	3.6	110.0	125.0	18	156.0	20.5	625.0	718.0	75
28.0	3.8	116.0	132.0	18	160.0	21.0	641.0	735.0	77
29.5	4.0	122.0	140.0	19	163.5	21.5	655.0	752.0	79
33.5	4.5	138.0	158.0	21	167.0	22.0	670.0	770.0	81
37.5	5.0	153.0	176.0	22	171.0	22.5	686.0	788.0	83
41.0	5.5	169.0	193.0	24	175.0	23.0	700.0	805.0	84
45.0	6.0	185.0	211.0	26	178.5	23.5	716.0	822.0	86
49.0	6.5	201.0	229.0	27	182.0	24.0	731.0	840.0	88
53.0	7.0	217.0	247.0	29	186.0	24.5	747.0	858.0	90
57.0	7.5	233.0	266.0	30	190.0	25.0	772.0	876.0	92
61.0	8.0	248.0	283.0	32	197.5	26.0	800.0	912.0	96
65.0	8.5	264.0	301.0	34	205.0	27.0	828.0	950.0	100
69.0	9.0	280.0	318.0	35	213.0	28.0	856.0	988.0	104
73.0	9.5	295.0	336.0	37	220.0	29.0	886.0	1026.0	108
76.0	10.0	305.0	354.0	39	228.0	30.0	915.0	1065.0	112
80.0	10.5	320.0	372.0	41	236.0	31.0	940.0	1100.0	115
83.5	11.0	336.0	390.0	42	243.0	32.0	965.0	1135.0	118

$$cSt = 10^{-6} m^2/s$$

的油也被加热，当油的温度接近于预计的闪点时，自动开启机构开始工作，并使点火苗向下移动至杯内，这样便能准确地核定点燃油气发出劈啪声时的温度。点燃时的最低温度，即为该油的闪点。

对闪点在65℃以上的油，用图2-4所示的彭斯基-马顿仪。它包括一个带内槽的量杯A。量杯置于用本生（Bunsen）灯加热的空气槽B中。量杯的盖D上装有温度计、搅拌器和手工操作的开启装置。

灌油至量杯的内槽并盖上盖D，将点火苗点燃并调节火苗至约4mm长。边搅拌边以每分钟5℃左右的速度将油加热。当油温接近预期的闪点时，用杯中的点火苗试点油气1秒钟，此

时搅拌停止，温度计上温度每升高 $1\sim 2^{\circ}\text{C}$ 时，试点一次。

f. 燃点

油的燃点是指油气挥发率能足以维持燃烧至少5秒钟的最低油温。测定油燃点所用的仪器与测闪点的相同。

g. 自燃温度

油的自燃温度是指在该温度下所产生的油气无须任何外部火源点燃即能自行燃烧时的最低油温。

h. 蒸馏参数

油的蒸馏试验是为了获得油的蒸发率特性所需要的参数，并以此提供估价其应用范围的资料。

蒸馏参数是：

1. 开始蒸馏时的温度。
2. 在温度为 10°C 的整数倍时，蒸馏的百分容积。
3. 蒸馏的总容积百分比。
4. 蒸馏残渣的容积百分比。
5. 蒸馏损失的容积百分比。
6. 蒸馏完毕时的温度。

所需要的设备如图2-5所示。由恩氏蒸馏长颈瓶（图2-6）、冷却器、罩子、石棉板、温度计和量杯组成。

i. 燃烧热值

燃油的高热值 h_s （ s = 高值）是指在下列条件下单位质量燃油完全燃烧时所释放出的热量。

1. 燃烧前的油和燃烧后燃烧产物的温度均为 20°C 。
2. 燃油在燃烧前所含的水及燃烧过程中所生成的水，在燃烧产物中为液态。
3. 由碳和硫形成的燃烧产物仅有气态的二氧化碳和二氧化硫，而没有氧化氮生成。

燃油的净热值或低热值 h_l （ i = 低值）是指单位质量燃油在下列条件下完全燃烧时所释放出的热量：

1. 燃烧前的油和燃烧后的燃烧产物的温度均为 20°C 。
2. 燃烧前油中含的水和燃烧过程中所生成的水，在燃烧产物中均为 20°C 的气态。
3. 碳和硫形成的燃烧产物只有气态的二氧化碳和二氧化硫，而没有氧化氮生成。

通常，发热值用 kJ/kg 表示。

高热值可以用伯塞尔特-马勒（Berthelot-Mahler）量热计测定，如图3-1、3-2所示。

如果已知高热值 h_s ，则可以计算出低热值 h_l 。

假如燃油中平均含水重量百分比为 f ，油中氢燃烧生成水的百分重量为 w ，则其低热值为：

$$h_l = h_s - 25(f + w) \quad \text{kJ/kg}$$

如果化学分析表明油的重量百分比为碳 $c\%$ ，氢 $h\%$ ，氧 $o\%$ 和硫 $s\%$ ，且若不希望对其热值作热量测定，则可用计算法算出其低热值的近似值。

计算的前提是，假定油中含有的是自由碳，自由氢和自由硫，并且所有的氧都是与形成二氧化碳所必须数量的碳相结合。