

船用锅炉

太史瑞 王 钧 于守智

编

董经荣 陈庆龙 吴连越

国防工业出版社

PDG

船用锅炉

太史瑞 王 钧 于守智 编
董经荣 陈庆龙 吴连越



国防工业出版社

内 容 简 介

本书共十六章，阐述了船用主锅炉的燃料、燃烧和燃烧设备以及船用主锅炉的工作原理、结构、附件、热工性能和船用锅炉设计等。对船用主锅炉的运行维护、热工试验方法，水处理设备和自动调节等，也做了叙述。

本书可供造船厂、锅炉制造厂、船舶设计单位的工程技术人员、专业工作者及大专院校有关专业的师生参考。

船 用 锅 炉

太史瑞 王 钧 于守智 编
董经荣 陈庆龙 吴连越

国防工业出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

850×1168¹/₃₂ 印张14⁵/₁₆ 375千字

1984年11月第一版 1984年11月第一次印刷 印数：0,001—1,650册

统一书号：15034·2663 定价：2.65元

前 言

近代船用锅炉装置，从基本理论到设计、试验研究、制造工艺、运行管理、维护和材料等方面均不断获得新进展。从第二次世界大战至今，主动力锅炉，在舰船动力装置中广为应用。由于它具有运行可靠，造价低廉，管理简便，维护费用少，功率大等特点，所以到目前为止在大型舰船上仍占有重要位置。近年来，由于燃料费用剧增，故在民用船舶上出现了高度自动化的新型锅炉，从而提高了蒸汽动力装置的总效率。我们从总结推广我国舰船锅炉事业从设计、制造、运行、维修及试验方面的经验出发，又收集了多方面的资料，加以汇编、整理、提高，写出了本书，以供学习参考。但因水平有限，难免有谬误之处，敬希读者提出宝贵意见，批评指正。

本书由太史瑞编写第3、5、6和10章，由王钧编写第8、9、12、13和14章，由于守智编写第1、2、4和15章，由董经荣编写第7章，由陈庆龙编写第11章，由吴连越编写第16章。全书由太史瑞主编。

书中部分插图，由王世英、黄德慈、王希安描校。在编写过程中，蒙许多同志提出宝贵意见，全书经龚三省教授校阅，特致谢意。

目 录

第一章 船用锅炉的燃料	1
1-1 船用锅炉使用的燃料	1
1-2 燃料的元素成分及其换算	2
1-3 液体燃料及其特性	6
第二章 燃料的燃烧和燃烧产物的计算	13
2-1 燃烧所需的空气量	13
2-2 燃烧产物的计算	15
2-3 烟气的焓及“焓温”图的绘制	23
第三章 船用蒸汽锅炉的构造	26
3-1 船用锅炉的分类	26
3-2 对船用主锅炉的要求	27
3-3 船用锅炉的主要特性	28
3-4 自然循环式水管锅炉	30
3-5 强制循环式水管锅炉	77
第四章 船用燃油锅炉的燃烧设备	81
4-1 油的燃烧过程	81
4-2 喷油器	84
4-3 点火装置	130
4-4 调风器	133
4-5 组合式燃烧装置	169
4-6 燃烧器的布置	172
第五章 蒸汽过热器、经济器及空气预热器	176
5-1 蒸汽过热器	176
5-2 过热蒸汽温度的调节	181
5-3 经济器	189
5-4 空气预热器	193
第六章 锅炉构架、护板、炉墙、支座及吹灰器	203
6-1 构架和护板	203

6-2	水管锅炉的炉墙	207
6-3	锅炉支座及吹灰器	215
第七章 锅炉附件		219
7-1	阀门	219
7-2	停汽阀	219
7-3	给水阀	221
7-4	安全阀	222
7-5	水位表	230
7-6	锅炉阀门材料	231
第八章 热工计算		234
8-1	锅炉热平衡	234
8-2	锅炉热损失	236
8-3	锅炉效率和燃耗量	238
8-4	炉内传热计算	239
8-5	炉膛黑度 α_{lw}	242
8-6	炉膛简化计算	245
8-7	对流受热面计算	246
8-8	对流管束间的烟气辐射放热系数 α_f	254
8-9	温差的确定	255
8-10	蒸汽过热器的计算	261
8-11	经济器的计算	264
8-12	空气预热器的计算	267
8-13	对流烟道换热计算方法的讨论	269
8-14	受热面几何尺寸的选取	272
第九章 锅炉元件的强度计算		274
9-1	锅炉钢材的选取	274
9-2	受内压圆筒的应力状态	279
9-3	内压圆筒壁厚计算公式	283
9-4	锅筒壁厚的计算	286
9-5	强度系数 φ 的计算	289
9-6	几何形状过渡应力及其控制	293
9-7	温度应力	297
9-8	联箱的计算	300

9-9	封头的强度计算	302
9-10	开孔加强	308
9-11	锅炉零件的连接	311
9-12	人孔盖、手孔盖及管子计算	314
9-13	管壁温度计算	315
9-14	强度计算中几个问题的讨论	316
第十章	锅筒内部设备	319
10-1	概述	319
10-2	蒸汽带水的原因及影响因素	319
10-3	锅筒内部设备	323
第十一章	水质监督及水处理	332
11-1	水质监督及水处理的重要性	332
11-2	锅炉给水及炉水品质的主要指标	333
11-3	水垢的产生和锅内水处理	337
11-4	锅炉的腐蚀	342
11-5	炉外水处理	345
11-6	锅炉排污	350
第十二章	水循环计算	351
12-1	自然循环过程	351
12-2	设计循环回路的基本要求	353
12-3	各排管子热负荷的确定方法	355
12-4	自然循环的计算步骤	358
12-5	上升管的蒸汽含量	360
12-6	上升管含汽高度 H_1 的确定	363
12-7	循环水量及水筒欠热	364
12-8	运动压头和有效压头的计算	366
12-9	回路阻力计算	366
12-10	阻力系数的确定	368
12-11	简单水循环回路图解	373
12-12	自然循环安全性的检查	377
第十三章	锅炉的烟风阻力计算	381
13-1	烟风系统	381

13-2 摩擦阻力计算·····	381
13-3 管排的阻力计算·····	385
13-4 带筋片管排的阻力计算·····	389
13-5 局部阻力计算·····	392
13-6 自抽力和总阻力·····	401
13-7 转弯导向装置的阻力·····	402
第十四章 锅炉的运行及维护 ·····	405
14-1 锅炉的起停·····	405
14-2 运行情况下的管理·····	407
14-3 特殊情况下的操作和处理·····	409
14-4 停炉保养·····	409
第十五章 船用锅炉的试验 ·····	412
15-1 船用锅炉试验的种类和目的·····	412
15-2 船用锅炉试验的进行·····	414
15-3 试验数据的整理·····	416
第十六章 船用锅炉装置的自动调节 ·····	422
16-1 船用锅炉装置对自动调节的要求·····	422
16-2 调节器的结构与调节的内容·····	423
16-3 自动调节的含义·····	426
16-4 船用锅炉自动调节系统·····	432
16-5 船用主锅炉自动调节的发展·····	441
参考文献 ·····	442

第一章 船用锅炉的燃料

1-1 船用锅炉使用的燃料

燃料是指用来燃烧以取得热量的物质。各种燃料都是埋藏于地下的有机物所形成的碳化物和碳氢化合物。燃料按其获得的方法可分为天然燃料、人工燃料和副产品。没有预先进行热的或化学的处理，而以天然状态燃烧的燃料称为天然燃料。人工燃料是由天然燃料加工而成的，加工的目的是为使某些宝贵的产物从燃料中分离出来。副产品是各种生产过程中所存留下来的“废物”，将其收集后供燃烧。燃料按其物态又可分为固体燃料、液体燃料和气体燃料。主要燃料分类列于表 1-1。

表1-1 主要燃料分类表

种类	天然燃料	人工燃料	副 产 品
固体燃料	木柴、泥煤、褐煤、烟煤、无烟煤、油页岩等。	木炭、半焦炭、焦炭、煤砖、煤粉等。	煤屑、木屑、皮壳(糠)、采煤副产品等。
液体燃料	石 油	汽油、煤油、柴油、酒精等。	重油、渣油、煤焦油。
气体燃料	天 然 气	发生炉煤气、地下煤气等。	高炉煤气、炼焦炉煤气。

鉴于船用锅炉运行使用特点，对船用锅炉使用的燃料有如下要求：

1. 发热量要高：发热量高，可多装燃料，增加舰船续航力，对于民用船舶也可节省船舶的舱位，以增加货物的载运量。
2. 杂质含量要少：燃料含杂质太多会影响锅炉燃烧及其正常运行。
3. 含硫量要少：燃料含硫量多，容易造成低温受热面严重

腐蚀和危害运行人员身体健康。

4. 着火容易，燃烧迅速，以保证锅炉迅速点火启动，提高炉膛容积热负荷，减少船用锅炉体积和重量。

重油在很大程度上能符合上述要求，它的发热量高，含杂质和硫少，很容易点燃，并能迅速燃烧。因此，船用锅炉使用的主要是重油。仅在某些内河航运船舶上还采用煤。

1-2 燃料的元素成分及其换算

锅炉燃烧的各种燃料的元素成分，都是以所含的碳(C)、氢(H)、硫(S)、氧(O)、氮(N)、水份(W)和灰分(A)来表示的。其中碳、氢和挥发性硫是燃料的可燃成分，其余都是不可燃的。燃料中除上述元素成分外，还有极微量的金属元素和其它非金属元素。燃料的元素成分并不是机械的混合物，而是形成复杂的化合物存在于燃料中。

从燃烧和放热的观点来研究元素成分时，各元素成分的基本性质如下：

1. 碳(C)：碳是燃料中最主要的组成部分，它在燃料中不是呈自由状态存在，而是与氧、氢、硫等形成化合物。因为在大多数的燃料中碳的百分比含量最多，所以碳是燃料发热量的主要代表者。燃料油的含碳量为84~87%。

2. 氢(H)：氢是燃料中一种有利的元素，它的发热量比碳大3.5倍左右。燃料含氢愈多，愈容易着火燃烧。燃料油中氢的含量为11~14%，而且燃料油中含氢越多，比重也越小。燃料中碳和氢的含量之比称为碳氢比，燃料油的碳氢比在6~9之间。

3. 硫(S)：硫是燃料中的有害元素，燃烧时只放出少量的热，硫的燃烧产物是二氧化硫(SO_2)和一部分三氧化硫(SO_3)气体，这些气体和烟气中的水蒸汽冷凝的水滴结合形成硫酸(H_2SO_4)或亚硫酸(H_2SO_3)，在锅炉尾部受热面会造成严重腐蚀。 SO_2 和 SO_3 气体随着烟气排出对人体是有害的。

燃料中的硫有三种形态存在：

(1) 有机硫 (S_{YJ})，它与燃料中的碳、氢、氧等元素结合成复杂的化合物，均匀地分布在燃料中。

(2) 黄铁矿硫 (S_{LT})，它是以金属硫化物存在于燃料中，如 FeS_2 、 CaS 、 ZnS 等。

(3) 硫酸盐硫 (S_{LY})，它是以硫酸盐形态存在于燃料中，如 $CaSO_4$ 、 $NaSO_4$ 、 $FeSO_4$ 等。硫酸盐硫不能再进行氧化，不参加燃烧，是灰分的一部分。

有机硫和黄铁矿硫可以挥发并参加燃烧，二者统称为挥发硫或可燃硫 (S_R)，即

$$S_R = S_{YJ} + S_{LT} \quad (1-1)$$

燃料中全硫为

$$S = S_{YJ} + S_{LT} + S_{LY} \quad (1-2)$$

燃料油中的硫主要是以有机硫化物存在，如硫醇、硫醚、硫化氢和元素硫等。燃料油中的硫化氢成分是有毒性的，高硫重油在常温下也会析出硫化氢，在清洁油柜时，应保证良好通风，注意人体安全。

燃料油中含硫为 0.1~3.5%，也有的高达 5% 以上。含硫量不超过 0.5% 的称为低硫燃料油；含硫量为 0.6~1.0% 的称为中硫燃料油；含硫量为 1.1~3.5% 的称为高硫燃料油。

4. 氧 (O)：氧是燃料中的不可燃元素，它存在于有机化合物中。燃料中的氧会使可燃元素（碳和氢）发生氧化，从而不再燃烧放热。燃料中氧越多，可燃质含量就相对越少，游离氢也越少，所以氧是降低燃料发热量的有害元素。燃料油中含氧量一般在 1% 左右。

5. 氮 (N)：氮是惰性气体，不参与燃烧，燃料燃烧后，氮游离出来同空气中的氮混合，成为烟气的一部分。氮和氧都是燃料中的不可燃元素，是燃料中的内部杂质。燃料油中含氮量一般为 0.1~0.5。

6. 水分 (W)：水分在燃料燃烧过程中起反作用。燃料中水分在燃料燃烧过程中不能放出热量，相反地，水分的蒸发和加热

到排烟温度需要消耗一部分热量，增加了排烟损失，而且还会与燃料中硫的燃烧产物（ SO_2 及 SO_3 ）化合成硫酸或亚硫酸起腐蚀尾部受热面的作用，因此一般说来水分是燃料中的有害成分。

燃料油中水分约在 2% 以内，燃料油在储存、装卸和运输过程中水分还有可能增加。燃料油中的水分过高会促使管道或设备腐蚀，增加输送动力的消耗等。当混在油中的水分不均匀时，还会出现油水分层。含水量约 3% 时，就有可能使燃烧火焰脉动，含水量为 5% 时，还有可能造成锅炉灭火事故的发生。

7. 灰分（A）：燃料燃烧后，其中不可燃矿物质剩下来形成灰渣，称为燃料的灰分。燃料中灰分含量越多，燃料的发热量越低，燃料燃烧后灰分沉积在受热面上使受热面传热系数降低，排烟温度提高，锅炉效率下降，烟囱中排出大量的细灰，弄脏空气，影响环境卫生。

燃料油的灰分约为 0.1~0.4%。燃料油中灰分的主要成分是钠、镁、钒、铝和铁等。高硫重油中含钒量较高，钒和钠会引起锅炉受热面的高温腐蚀。

为了便于研究燃料的性质，燃料分析时采用各种基的概念。各种基所得出的燃料成分百分数是不同的。

1. 应用基：以未加任何处理的实际燃料为基础进行分析得出的成分百分数，称为燃料的应用基成分。应用基的平衡式如下：

$$\text{C}^y + \text{H}^y + \text{S}_k^y + \text{O}^y + \text{N}^y + \text{A}^y + \text{W}^y = 100\% \quad (1-3)$$

2. 分析基：燃料在化验室分析成分时，通常把燃料进行空气自然风干，使其失去外部水分（ W_w ），以此为基础进行分析得出的成分百分数，称为燃料的分析基。燃料的分析基通常是指固体燃料。分析基的平衡式如下：

$$\text{C}^i + \text{H}^i + \text{S}_k^i + \text{O}^i + \text{N}^i + \text{A}^i + \text{W}_N^i = 100\% \quad (1-4)$$

3. 干燥基：燃料失去全部水分后的各成分百分数，称为燃料的干燥基。干燥基的平衡式如下：

$$\text{C}^g + \text{H}^g + \text{S}_k^g + \text{O}^g + \text{N}^g + \text{A}^g = 100\% \quad (1-5)$$

4. 可燃基：燃料的可燃成分只有碳、氢和可燃硫，但因为氧

和氮总是同这些元素结合在一起的，所以通常把去除水分和灰分的燃料成分称为可燃部分，以此为基础得出的燃料成分百分数，称为燃料的可燃基。可燃基的平衡式如下：

$$C' + H' + S_r' + O' + N' = 100\% \quad (1-6)$$

以上四种基各有一定用途。燃料应用基用于锅炉热力计算和整理试验结果；燃料分析基和干燥基用于燃料试验分析；燃料可燃基用于研究燃料特性。燃料可燃基成分比较稳定，燃料油的可燃基成分为： $C' = 81 \sim 88\%$ ， $H' = 11 \sim 14\%$ ， $O' = 0.1 \sim 1\%$ ， $N' = 0.1 \sim 0.3\%$ 。

在进行热力计算时，常常需要将燃料的成分由某一种基换算到另一种基，根据各种基所包含燃料元素成分就可求出各种基间的换算系数见表 1-2。如已知某一基的数值，乘以表 1-2 所列的换算系数，即可换算为其他基的数值。例如：已知可燃基成分数值，欲换算为应用基，从表内查得换算系数为 $\frac{100 - W^y - A^y}{100}$ ，故：

$$C^y = C' \left(\frac{100 - W^y - A^y}{100} \right) \%$$

$$H^y = H' \left(\frac{100 - W^y - A^y}{100} \right) \%$$

其他元素换算依此类推。

表 1-2 燃料基换算系数

已知燃料基	欲求燃料基			
	应用基	分析基	干燥基	可燃基
应用基	1	$\frac{100 - W^f}{100 - W^y}$	$\frac{100}{100 - W^y}$	$\frac{100}{100 - W^y - A^y}$
分析基	$\frac{100 - W^y}{100 - W^f}$	1	$\frac{100}{100 - W^f}$	$\frac{100}{100 - W^f - A^f}$
干燥基	$\frac{100 - W^y}{100}$	$\frac{100 - W^f}{100}$	1	$\frac{100}{100 - A^g}$
可燃基	$\frac{100 - W^y - A^y}{100}$	$\frac{100 - W^f - A^f}{100}$	$\frac{100 - A^g}{100}$	1

1-3 液体燃料及其特性

液体燃料包括有重油、渣油、柴油、汽油和酒精等。船用锅炉应用的液体燃料主要是重油和渣油，仅在辅锅炉和主锅炉无汽点火时才应用柴油。

液体燃料的主要特性如下：

1. 粘度 粘度是液体相对运动时所引起的内摩擦力，它表征液体燃料输送和雾化的难易程度。粘度大小可以用动力粘度，运动粘度和条件粘度等单位表示。

(1) 动力粘度 μ ：表示 1 厘米² 面积的液体的流体，以 1 厘米/秒的速度相对运动 1 厘米的路程时，产生的内摩擦力为 1 达因。动力粘度的单位是泊，因次是达因·秒/厘米²，工程上的单位常用公斤·秒/米²，二者关系为

$$1 \text{ 泊}(\mu) = 100 \text{ 厘泊}(c\mu) = 1 \text{ 达因} \cdot \text{秒} / \text{厘米}^2 = 0.0102 \text{ 公斤} \cdot \text{秒} / \text{米}^2$$

(2) 运动粘度 ν ：在相同温度下，液体的动力粘度与它的密度之比称为运动粘度。

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (1-7)$$

运动粘度的单位是沱（或沱），因次是厘米²/秒，工程上的单位常用米²/秒，二者关系为

$$1 \text{ 沱}(\nu) = 100 \text{ 厘沱}(c\nu) = 1 \text{ 厘米}^2 / \text{秒} = 10^{-4} \text{ 米}^2 / \text{秒}$$

(3) 条件粘度：我国通常应用的条件粘度是恩氏粘度，它表示从恩氏粘度计中，在某温度下流出 200 毫升待试液体所需的时间与流出 200 毫升 20°C 蒸馏水所需时间的比值。恩氏粘度用符号 °E 表示。恩氏粘度与运动粘度的关系为

$$\nu = 0.0731^\circ E - \frac{0.0631}{^\circ E} \text{ 沱} \quad (1-8)$$

恩氏粘度与动力粘度的关系为

$$\mu = \gamma \left(0.00074^\circ E - \frac{0.00064}{^\circ E} \right) \text{ 公斤} \cdot \text{秒} / \text{米}^2 \quad (1-9)$$

式中 γ ——比重，吨/米³。

用其他不同粘度计所求得的条件粘度还有赛氏粘度、雷氏粘度和巴氏粘度。赛氏粘度又可分为通用赛氏和赛氏-福氏两种粘度；雷氏粘度又可分为商用雷氏和海军雷氏（也称为雷氏1号和雷氏2号）两种粘度。各种条件粘度的换算见表1-3。

表1-3 各种条件粘度换算表

名 称	符 号	应用国家	测量液体体积 (厘米 ³)	换 算 公 式
恩氏粘度	°E	中国、苏联、德国、法国、意大利	200	$v = 0.0731^{\circ}E - \frac{0.0631}{^{\circ}E}$
巴氏粘度	B	法国	流出 厘米 ³ /时	$v = \frac{48.5}{B}$
通用赛氏粘度	SU	美国	60	$v = 0.0022SU - \frac{1.8}{SU}$
赛氏-福氏粘度	SF	美国	60	$v = 0.022 SF - \frac{2.03}{SF}$
雷氏1号粘度	R1	英国	50	$v = 0.0026R1 - \frac{1.71}{R1}$
雷氏2号粘度	R2	英国、美国		$v = 0.0239R2 - \frac{0.403}{R2}$

粘度是液体燃料的主要指标。液体燃料的粘度随着温度变化而变化，高温时粘度变化较小，而在低温时粘度随温度的变化就显著。为了保证液体燃料在装卸、运输时有良好的流动性和喷油器的良好雾化，要求液体燃料具有一定的粘度。由于粘度有重要的实用意义，所以粘度是重油分类的基本指标。

压力较低时（10~20公斤/厘米²），压力对粘度的影响可忽略不计，压力较高时，粘度随着压力升高而增大。

2. 比重 比重是指时液体燃料与4℃时水在同体积下重量之比，用 $\gamma_4^{t_0}$ 表示。其他温度下液体燃料的比重 γ_4^t 可按式确定：

$$\gamma_4^t = \frac{\gamma_4^{20}}{1 + \beta(t - 20)} \quad (1-10)$$

式中 β ——体积膨胀系数，因次为1/℃，

t ——液体燃料的温度。

液体燃料的体积膨胀系数取决于液体燃料的比重，对于重油的体积膨胀系数可用下式计算：

$$\beta = 0.0025 - 0.002\gamma_4^{20} \quad (1-11)$$

液体燃料的比重还可以用 $\gamma_{15.6}^{15.6}$ 表示，即同体积液体燃料与水在15.6°C时的重量之比。比重 $\gamma_{15.6}^{15.6}$ 与比重 γ_4^{20} 的换算关系如下：

$$\gamma_{15.6}^{15.6} = a + \gamma_4^{20}$$

$$\text{或} \quad \gamma_4^{20} = \gamma_{15.6}^{15.6} - a \quad (1-12)$$

式中 a ——校正值，由表 1-4 查得。

液体燃料的比重可用比重计测定。20°C水的比重为1吨/米³，燃料油的比重一般为0.8~0.98吨/米³。

3. 凝固点 液体燃料丧失流动状态时的温度称为凝固点。这是因为燃料油中石蜡成分结晶出来，阻碍燃油流动的缘故，因此，含石蜡成分多的燃油凝固点高。但是燃油的凝固与水的凝固不同，它没有明显地由液体转变为固体的温度。

燃油凝固点的测定是将燃油放在一定规格的试管内冷却到试管倾斜45度时，经一分钟燃油仍不流动的温度。

重油的凝固点为11~25°C，个别的甚至高达36°C，低到-50°C。

燃料油的凝固点对油在低温下的流动性能有影响。在低温下输送凝固点高的燃料油时应加热或采取必要的防冻措施。

4. 闪点、燃点和自燃点 液体燃料受热要挥发出部分油蒸汽来，当油蒸汽与空气混合接近明火时，发生短暂的闪光，并立即熄灭的最低温度称为闪点。

测定闪点的方法有开口杯法和闭口杯法两种。开口杯法是将液体燃料放在敞口的容器中加热进行测定，一般用于测定闪点较高的油种，如重油和润滑油等。闭口杯法是将液体燃料放在有盖的容器中加热测定，一般用于测定闪点较低的油，如汽油和煤油等。同一种液体燃料由于采用测定方法不同，其闪点数值也不相同。一般闭口杯法测定的闪点比开口杯法测定的闪点要低15~30°C。

油蒸汽与空气的混合物接触火焰，立即闪燃并继续燃烧，且

表1-4 比重 γ_4^{20} 与 $\gamma_{15.6}^{15.6}$ 的换算表

比重 $\gamma_{15.6}^{15.6}$ 或 γ_4^{40}	α	比重 $\gamma_{15.6}^{15.6}$ 或 γ_4^{20}	α
0.700~0.710	0.0051	0.850~0.860	0.0042
0.710~0.720	0.0050	0.860~0.870	0.0042
0.720~0.730	0.0050	0.870~0.880	0.0041
0.730~0.740	0.0049	0.880~0.890	0.0041
0.740~0.750	0.0049	0.890~0.900	0.0040
0.750~0.760	0.0048	0.900~0.910	0.0040
0.760~0.770	0.0048	0.910~0.920	0.0039
0.770~0.780	0.0047	0.920~0.930	0.0038
0.780~0.790	0.0046	0.930~0.940	0.0038
0.790~0.800	0.0046	0.940~0.950	0.0037
0.800~0.810	0.0045	0.950~0.960	0.0037
0.810~0.820	0.0045	0.960~0.970	0.0036
0.820~0.830	0.0044	0.970~0.980	0.0036
0.830~0.840	0.0044	0.980~0.990	0.0035
0.840~0.850	0.0043	0.990~1.00	0.0034

燃烧时间不少于5秒钟，此时液体燃料的最低温度称为燃点。燃点通常要高于闪点 $15\sim 20^{\circ}\text{C}$ 。

自燃点是指液体燃料缓慢氧化而自行着火燃烧的温度。

自燃点的高低主要决定于燃油的化学成分。自燃点随压力变化而改变，压力越高，油质越重，自燃点也越低。例如：汽油在空气中的自燃点为 $510\sim 530^{\circ}\text{C}$ ，而减压渣油的自燃点为 $230\sim 240^{\circ}\text{C}$ 。

闪点、燃点和自燃点表征液体燃料的易燃程度，可用来判断发生火灾的可能性和确定防火等级。

5. 发热量、比热和传热系数 1公斤油完全燃烧所放出的热量称为油的发热量。

燃料油的发热量可分为高位发热量和低位发热量两种。当烟气中的水蒸汽凝结为水时的发热量称为高位发热量；烟气中的水蒸汽未凝结成水时的发热量称为低位发热量。两者的差别在于水的汽化潜热，每公斤水蒸汽的汽化潜热约为600大卡。烟气中的