

海船锅炉管理

尤敬普 编著



人民交通出版社

217752

U602.17
Y77

海 船 锅 炉 管 理

Haichuan Guolu Guanli

尤 敬 普 编著

人 民 交 通 出 版 社

内 容 提 要

本书就船舶锅炉管理人员日常工作所涉及的问题，较多地总结了锅炉管理经验，并对有关理论问题作了阐述，理论联系实际，内容丰富，实用性强，对锅炉管理人员的工作有指导意义，并可供轮机员和其他锅炉工作者参考。

海船锅炉管理

尤敬普 编著

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：7 插页：1 字数：146 千

1985年5月 第1版

1985年5月 第1版 第1次印刷

印数：0001—2,630册 定价：1.75元

前 言

广大海员夜以继日地工作在辽阔的海洋上，在生产实践中积累了丰富的经验，特别是轮机管理经验。《海船锅炉管理》主要搜集了船舶锅炉管理经验和有关理论知识，力求理论联系实际。本书可供轮机管理人员参考。

在编写过程中，得到许多轮机管理人员和老前辈的热情帮助，在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，难免存在许多缺点和谬误之处，诚恳地希望广大读者批评和指教。

编 者

目 录

第一章 燃油的基本知识	1
1-1 燃油的元素组成	2
1-2 燃油的物理化学特性	4
1-3 石油的炼制和锅炉常用的燃油	10
第二章 燃油的燃烧和锅炉运行的经济性	13
2-1 燃烧的基本条件.....	13
2-2 燃油的燃烧过程.....	16
2-3 锅炉运行的经济性.....	21
第三章 海船锅炉典型结构简介	24
3-1 苏格兰火管锅炉.....	24
3-2 水管锅炉.....	26
3-3 联合式锅炉.....	36
3-4 船用生活辅助锅炉.....	38
3-5 船用废气锅炉.....	40
3-6 船用锅炉主要附件.....	41
3-7 辅助锅炉与废气锅炉的配合.....	48
第四章 船舶锅炉自动调节	52
4-1 锅炉水位自动调节系统(气动).....	52
4-2 锅炉燃烧自动调节系统(气动).....	61
4-3 1.8t/h 燃油锅炉自动调节(电动).....	71
第五章 锅炉水处理	85
5-1 锅炉水处理的目的	85

5-2	水的基础知识	85
5-3	水垢形成的机理	93
5-4	水垢的危害性	97
5-5	锅炉腐蚀及其影响内素	99
5-6	锅炉水质标准	104
5-7	锅炉水质化验方法	105
5-8	给水的炉内处理	111
5-9	给水的炉外处理	127
第六章	燃油锅炉的运行管理	141
6-1	点火升汽	141
6-2	暖管与两炉(并炉)供汽	146
6-3	值班管理及异常情况的处理	147
6-4	过热器的保护	158
6-5	除灰剂的应用	160
第七章	燃油锅炉掺水燃烧	162
7-1	油掺水燃烧原理	164
7-2	机械搅拌乳化法	166
7-3	簧片哨超声乳化装置	167
7-4	挤压式乳化器	172
第八章	洗炉检查与封炉	173
8-1	洗炉检查	173
8-2	洗炉	178
8-3	炉胆测量	188
8-4	洗炉后的进水	189
8-5	锅炉的封存	190
第九章	锅炉的损伤	192
9-1	过热损伤	192

9-2	水垢、油垢、泥渣和烟灰的危害	195
9-3	水循环的破坏	198
9-4	热应力引起的损伤	202
9-5	苛性脆化引起的损伤	203
9-6	腐蚀损伤	204
第十章	锅炉运行中发生异常情况时的紧急处理	205
10-1	水位过高或过低	205
10-2	汽压过高	206
10-3	炉水中大量含油	206
10-4	发生回火	207
10-5	受热面爆裂	207
10-6	炉舱内有爆炸性气体	207
10-7	炉舱发生火警	209
第十一章	值班岗位责任制	212
11-1	交接班制	212
11-2	值班职责	213
11-3	燃油锅炉点火操作注意事项	214

第一章 燃油的基本知识

随着我国石油工业的飞速发展，目前船用锅炉基本上都采用燃油为燃料。锅炉所烧的燃油都取之于石油。目前油船上加温油舱的辅助锅炉和蒸汽机船的主锅炉都先后烧重油，柴油机船的辅助锅炉也开始用重油了。从广义上说，比重较大的油都可以称为重油。重油又可分为燃料重油和渣油。

1. 燃料重油

它是由裂化重油、减压重油、常压重油或蜡油等按不同比例调和制成的，价格比较便宜。但在沿海船舶上用得比较少。海船锅炉大多数烧渣油，主要是其价格比燃料重油更便宜。

2. 渣油

石油炼制过程中排出的残余物，不经处理，直接供给船舶锅炉做燃料。一般习惯上叫渣油。它是船舶锅炉的主要燃料。

燃料重油和渣油的共同特点：

(1) 价格便宜。燃用渣油的价格是 3 号重柴油的一半，因而可以降低船舶运输的成本。

(2) 沸点和闪点较高，不易挥发。相对于轻质油来说，发生火灾的危险性要小一些。

(3) 密度、粘度和凝固点较高。密度大，脱水较困难。而粘度大，流动性就差。为了保证良好的雾化，必须将油加热到较高的温度，运输过程中保持的温度也较高。

1-1 燃油的元素组成

一种物质的物理性质是化学元素组成的反映。因此，要认识燃油的特性，必须先了解它的化学组成。尽管锅炉烧油种类很多，只要认识了石油的化学元素组成及其性质，那么，各种油的特性也就不难掌握了。

石油的化学元素组成比较复杂。它是由多种元素组成的化合物的混合物。但是，组成石油的元素主要是碳(C)、氢(H)、氧(O)、氮(N)和少量硫(S)五种。在五种元素中最主要的是C和H两种元素。除上述五种元素之外，在石油中还发现有极微量的金属元素和其他非金属元素。金属元素有钒、镍、铁、铝、钙、钠、镁、钴、铜等。非金属元素中主要有氯、硅、磷、硒、砷等。在生产中主要考虑五种元素、灰分和水分。因此，燃油的元素组成表示为：碳(C)、氢(H)、氧(O)、氮(N)、硫(S)、灰分(A)和水分(W)所组成。油的各种元素成分通常用重量百分数来表示。即：

$$C + H + O + N + S + A + W = 100\%$$

例如下面几种油的元素成分见表1-1。

表1-1

油 种	C'	H'	O'	N'	S'	A'	W'	发热量 ^J
大庆原油	86.04	12.14	0.54	0.20	0.15	0.03	0.7	9923
胜利原油	85.31	12.36	1.26	0.24	0.90	0.03	1.4	9964
船用渣油	86.32	12.46	0.45	0.42	0.32	0.03	0.6	
船用渣油	85.80	12.38	0.45	0.42	0.32	0.03	0.6	9948

注：发热量单位为 kcal/kg (1cal=4.1868J)。

在石油中，碳和氢是主要的可燃元素。总含量平均为97~98%。其中碳的含量约为84~87%，氢的含量约为11~14%。碳和氢是以碳氢化合物形式存在着。碳氢化合物完全燃烧后生成二氧化碳和水蒸汽。1kg 碳完全燃烧后能放出热量约34020kJ(8100kcal)；1kg 氢完全燃烧后能放出热量约143556kJ(34180kcal)，约为碳发热量的四倍。从燃烧放热的角度，我们总是希望含氢量愈大愈好。并且，含氢量越大，越容易着火。在燃烧过程中，在条件相同的情况下，产生的炭黑也要少一些，一氧化碳也要少一些。

硫在石油中大部分以有机硫化物的形态存在，可以燃烧。1kg 硫完全燃烧后放出的热量为9072kJ(2160kcal)。硫燃烧的生成物，主要是二氧化硫(SO_2)和少量的三氧化硫(SO_3)。 SO_2 和 SO_3 都是有毒的。遇水还会生成亚硫酸(H_2SO_3)和硫酸(H_2SO_4)。对锅炉烟道有腐蚀作用。所以，我们希望含硫量愈少愈好。

根据含硫量的高低，石油可分为三种：

- ①低硫油：含硫量低于0.5%，如大庆原油。
- ②中硫油：含硫量在0.5~1%之间，如胜利原油。
- ③高硫油：含硫量高于1%，如中东原油。

石油中含的氧和氮一般很少。氧的含量约为0.1~1%。氮的含量一般在0.2%以下，很少超过0.5%。石油中的氧和氮的化合物以胶状沥青状物质存在。所以，渣油含氧和氮就多一些。氧不能燃烧，但能助燃。氮不能燃烧，氮化物的危害虽不如硫化物那样大，但也是一种不希望有的杂质。

灰分也就是杂质。它是各种矿物质的混合物。石油灰分中组成各种化合物的元素主要有硅(Si)、钙(Ca)、铁(Fe)、铝(Al)、镁(Mg)、镍(Ni)以及钒(V)等。石油中灰分的含

量远较煤炭中的灰分少，通常不到0.05%。

由于油对水的溶解能力很小，并且一般燃油的比重和水相差不多，所以水分在油中的状态或呈极小的颗粒悬浮在油中，或呈片状，或以分层状态存在于油中。而且水分的状态是变化的。或因油静止的时间较长，大团的水分因比重稍大于油而会沉底，或因经过油泵或其它原因的搅动。例如日用油柜在70℃时油就能上下翻滚而自动搅动，大团水分被粉碎为细小颗粒。燃油中存在水分一般是有害的。水分过高会促使管道腐蚀，增加排烟损失。当水分不均匀地混在油中，出现油水分层时危害更大。它会使炉内火焰发生脉动。水分过多有时会造成自动熄火事故。但是，象锅炉燃油中掺水，经过一整套装置，使水呈乳化状态均匀地混合在燃油中，形成油包水，不仅不会破坏火焰的连续性，相反地还能使燃烧效率有所提高。

此外，石油产品中，还含有少量不溶于汽油或苯的呈沉淀状态或悬浮状态的物质，称为机械杂质。机械杂质会磨损设备、堵塞喷嘴、影响锅炉正常运行，因此须经过过滤净化。

由此可以看出，组成石油化合物的主要是碳氢化合物，化学上称为烃。石油中究竟有多少种烃，至今尚未探清，估计约有三千种之多。

1-2 燃油的物理化学特性

燃油的物理特性可用各个性能参数来反映。现从以下几方面加以说明。

1. 密度

单位体积内物质的质量称为物质的密度，单位为 t/m^3 。
 $t^\circ\text{C}$ 时油的密度和 4°C 时纯水的密度之比称为该油的相对密度，用符号 d_4^t 表示。没有单位。因为 4°C 时纯水的密度为 1t/m^3 ，所以相对密度在数值上等于其密度值。

油的密度与它的温度有直接关系。石油工业中规定，以 20°C 时的密度作为油的标准密度，用符号 d_4^{20} 表示。当温度不在 20°C 时，它的相对密度可用下式来估算。

$$d_4^{20} = d_4^t + 0.00067(t - 20)$$

例如：1978年10月5日化验的渣油比重 $d_4^{20} = 0.9275$ 。
日用油柜温度是 60°C 时，它的相对密度应该是多少？

$$\begin{aligned} d_4^{20} &= d_4^t - 0.00067 \times (60 - 20) = 0.9275 - 0.0268 \\ &= 0.9007 \end{aligned}$$

2. 发热量

发热量是表征燃油热工特性的主要参数之一。在锅炉热平衡和柴油机热平衡计算时，都要用到燃油的发热量。

燃油所以能燃烧放热，就是因为它含有可以燃烧的碳、氢和硫。放热能力的大小，用发热量来衡量。一般用符号“ Q ”表示。单位为 kJ/kg (或 kcal/kg)。

根据燃烧生成物中水的汽化热的利用情况，发热量分为高位发热量和低位发热量两种。

(1) 高位发热量 ($Q_{\text{高}}$)

高位发热量为燃料燃烧时所放出的全部热量，即在燃烧生成物中，水的汽化热已放出被利用。

(2) 低位发热量 ($Q_{\text{低}}$)

从高位发热量中扣除燃油中所含水分以及氢燃烧时生成的水分汽化所消耗的热量即为燃油的低位发热量。由于锅炉的排烟温度在 200°C 以上，高于水蒸汽的凝结温度，因此，

锅炉在燃烧过程中能够利用的发热量为低发热量。渣油的低发热量约 $41790 \sim 42000 \text{ kJ/kg}$ ($9950 \sim 10000 \text{ kcal/kg}$) 左右。燃油比重愈大, 相对含氢愈少, 其发热量愈低。反之, 比重愈小, 则发热量愈高。汽油比重最小, 其发热量最高。

3. 凝固点

众所周知, 物质存在的状态有固态、液态和气态三种。随着压力、温度的不同, 物质的状态会发生改变。物质由液态变为固态的现象称为凝固。发生凝固时的温度叫凝固点。

燃油是各种烃的复杂混合物, 它从液态变为固态的过程是逐渐的进行的, 不象纯净的单一物质那样具有一定的凝固点。当温度逐渐降低时, 它并不立即凝固, 而是越来越粘, 一直到完全丧失流动为止。石油工业规定, 测定油的凝固点时, 将试样油放在一定的试管中冷却, 并把它倾斜45度角, 如试管油面经过1分钟的时间保持不变, 这时所维持的温度即为油的凝固点。油的凝固点与它的化学组成有关。一般随油中含蜡量的增加而升高。我国大庆原油由于含蜡量高, 所以凝固点也较高。此外, 油中胶状沥青状物质含量对凝固点也有影响, 因为胶状沥青状物质具有阻滞析蜡的性能。所以, 油经过脱蜡后, 凝固点就降低。反之, 除去胶状沥青状物质后, 会使油的凝固点升高。

油的凝固点的高低, 表明了油在低温下流动性的好坏, 关系到燃油在输送及使用时的温度条件。凝固点高的油在管理和使用上极为不方便, 特别在低温地区、低温季节或在季节变更时更需注意, 应给予必要的加温, 采取适当的防冻措施。

用胜利原油炼制的渣油的凝固点在 $25 \sim 35^{\circ}\text{C}$, 用大庆原油炼制的渣油的凝固点在 $31 \sim 33^{\circ}\text{C}$ 。

4. 沸点

组成石油的各种烃具有不同的沸点，所以石油的沸点与其凝固点一样，没有一个恒定值，而只有一个温度范围。所以，它的沸点从某一温度开始，随着温度的上升是在连续进行的。

石油炼制的基本过程——蒸馏。就是根据沸点不同，将一定沸点范围的馏出物分别收集的过程。在蒸馏时，所收集的不同沸点范围的馏出物称为馏分。其中低于 200°C 的为汽油馏分； $200\sim 300^{\circ}\text{C}$ 为煤油馏分； $270\sim 350^{\circ}\text{C}$ 为柴油馏分；高于 350°C 为润滑油及重油馏分。馏分的沸点范围是按照产品的使用要求来划定的，相互间没有严格界限。

分子量低的馏分，沸点低，也就容易挥发。汽油最容易挥发，而重油挥发性就差。

5. 粘度

液体(如油)流动的速度，不仅决定于使液体产生运动的外力(如油泵产生的压力)，而且也决定于液体层间在受外力作用作相对运动的内部阻力，这个内部阻力即称为粘度。

(1) 恩氏粘度

重油的粘度一般采用恩氏粘度，用符号 $^{\circ}\text{E}$ 表示。即在一定的油温 $t^{\circ}\text{C}$ (如 80°C)下，200ml的试样油自恩氏粘度计中流出的时间与在 20°C 下200ml的蒸馏水流出的时间之比。

(2) 雷氏1号粘度

雷氏1号粘度是在 100°F 时，测得的燃油粘度，以 sec (秒)表示。

(3) 运动粘度

最近几年，国际标准化组织(即ISD)规定，燃料油在

50℃时测得的运动粘度为标准粘度，以 cSt (厘斯) 表示。目前国际上都用运动粘度表示。三者有一定的换算关系。如图1-1。

重油牌号的编制，一般是根据该重油在某一温度下的粘度来命名的。例如 200 号重油是在 50℃ 时的运动粘度为 200；2000 sec 重油是在 100°F 时，油的粘度是 2000sec。

油的粘度随油温度的升高而降低。但是油温对粘度的影响不是均衡的。一般说来，油的温度在 50℃ 以下变化时对油的粘度影响很大；油温在 50~100℃ 时，对油的粘度影响相对就较小（尤其粘度较小的油品更是这样）；当油的温度在 100℃ 以上变化时，对粘度影响就更小了。这种粘度随温度的变化的关系值叫做粘度比。

重油在常温下粘度很大，即不能在油管中输送，更不能去雾化燃烧。因此，

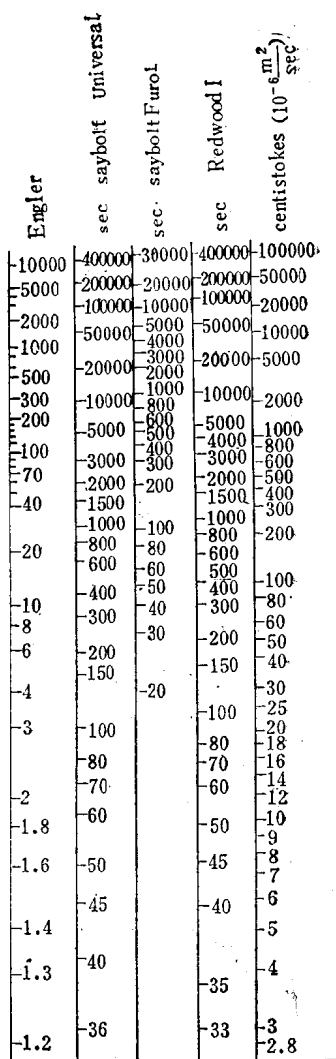


图1-1 粘度单位换算图

在泵送时和燃烧前必须将重油加温预热，促使粘度降低。泵送的粘度应在 30°E 以下。而燃烧前的粘度要求 $4\sim 5^{\circ}\text{E}$ 以下。因此，粘度大的油预热温度相对要提高一些。我们海船锅炉燃油泵油压一般在 $10\sim 20\text{bar}^{\circ}$ 左右，压力对粘度的影响可以忽略不计。但在压力更高时，粘度随压力的升高基本上呈直线性增加。

6. 闪点

随着油温的升高，油面蒸发的油气增多，当油气和空气的混合物与明火接触时，油的表面会出现短暂的闪光，一闪即灭。这时的油的温度称为闪点。

闪点的高低与其组成有密切关系。油中只要含有少量的分子量小的成分，就会使其闪点显著降低。油的沸点越低，其闪点也越低。压力升高，其闪点也升高。测定闪点有开口杯法和闭口杯法两种。开口杯法是将油样放在敞口的容器中加热进行测定。此法一般用于测定闪点较高的油，如重油、润滑油等。闭口杯法是将油样放在有盖的容器中加热测定，一般测定闪点较低的油，如汽油等。同一油种，测定闪点的方法不同，其值也不同。开口杯法测定的闪点要比闭口杯法高，差值一般在 $15\sim 25^{\circ}\text{C}$ 之间。

闪点表示油品的着火和爆炸的危险性。是防止油发生火灾的一项重要指标。它关系到油品的贮存、运输和使用的安全。敞口容器中油温接近或超过闪点，就会增加着火的可能性。在敞口容器中加热油品，加热温度应低于闪点 10°C 。而在封闭的压力容器中则无此限制。

7. 燃点

测定燃点所用的设备和方法与测定闪点时相同。当油品

• $1\text{bar} = 10^5\text{Pa}$

蒸气与空气的混合物遇明火能着火连续燃烧不少于 5 秒钟时的最低温度称为燃点或着火点。燃点比闪点一般高 $20\sim 30^{\circ}\text{C}$ 。

8. 静电特性

关于静电特性，目前说法不一。但大体是这样的。油是不良导体，它与空气、钢铁、布摩擦时，很容易产生静电。电荷在油面上积聚，能产生很高的电压。如一旦放电就会产生火花。因此，静电是使油发生燃烧和爆炸的原因之一。产生静电的强弱与油的流动速度、管道的材料和粗糙度、空气湿度以及油中杂质含量有关。油的流速大，空气湿度低，管道粗糙度大则产生的静电电压就高。油轮在装卸油时，油管外面拖一根导线就是为了避免因静电反应起火爆炸而采取的一个预防措施。

1-3 石油的炼制和锅炉常用的燃油

为了更好地了解锅炉燃油的性质，将石油的炼制过程简要介绍一下。

从原理上讲，石油的炼制主要可以分为两类：一类是利用石油中各种成分的物理特性不同，主要是利用沸点不同，采用蒸馏的方法加以分离；另一类是用各种方法将烃的分子进行改造。

蒸馏的方法有常压蒸馏和减压蒸馏两种。

常压蒸馏是在接近大气压力下用蒸馏的方法分离石油。如图 1-2 就是一种常压蒸馏系统示意图。

原油经管式炉被加热到 $360\sim 370^{\circ}\text{C}$ 左右，然后进入常压分馏塔。在分馏塔不同部位开有 3~4 条侧线，侧线越高，馏出温度越低。从侧线中可以分别得到煤油、轻柴油和重柴