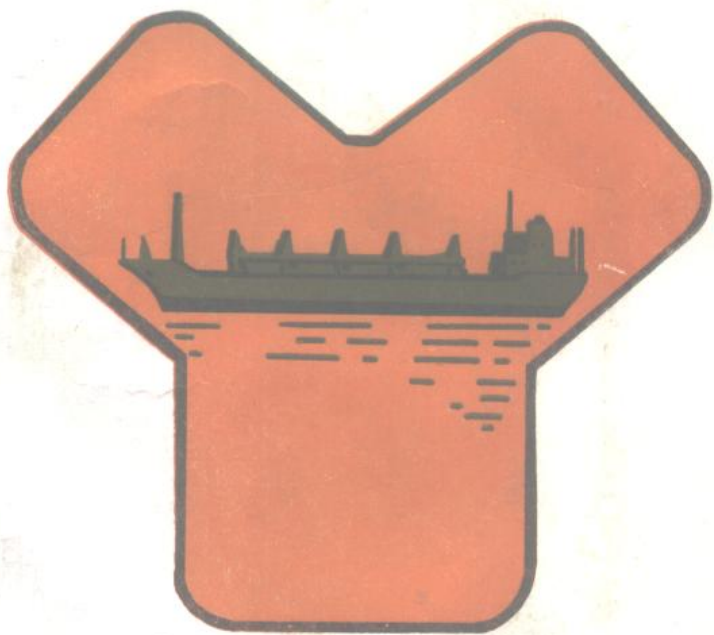


船舶柴油机 燃油应用技术

陈其谔 编



人民交通出版社

船舶柴油机燃油应用技术

Chuanbo Chaiyouji Ranyou
Yingyong Jishu

陈 其 谔 编

人 民 交 通 出 版 社

船舶柴油机燃油应用技术

陈其谔 编

责任编辑：李 潜

封面设计：王 炬

插图设计：王宝红

技术设计：周 圆

责任校对：刘素燕

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：6 插图：1 字数：122千

1987年11月 第1版

1987年11月 第1版 第1次印刷

印数：0001—3,300册 定价：1.45元

前 言

过去在船舶技术管理工作中，船舶柴油机的燃料油，一向未得到应有的重视。通常只是被作为一个供应问题来对待。1973年以后，石油价格迅速上涨，在船舶航运成本中燃料油费用占成本的比重逐步上升至第一位。从而各航运公司（船东）以及船用柴油机制造厂等都不得不将其作为一个重要的问题来看待。

1974年以后，绝大多数航运公司对新造船舶的最高航速，由过去25~30kn左右的要求，逐步减低到16~20kn左右。从讲求快速为主的方针转而为以节约燃油为主。对现存的高速船，也普遍地降低其航速。如一般杂货船，约降为15~18kn左右；矿砂船、油船等降至13~15kn左右。国外航运公司甚至将其原来烧油的蒸汽涡轮船的主机，改装为低速柴油机，以求减少燃油费用。

国际上主要的船用柴油机制造厂也都集中力量对其产品在技术上作重大的改进，以求节省燃油。如Sulzer公司甚至放弃其原有的回流扫气式，改用直流扫气，以满足降低单位耗油量的技术要求。许多柴油机厂商也纷纷对其原有产品提出节油的技术措施，供船东采用，以提高其竞争能力。

总而言之，在当前高油价的形势下，都尽力减少燃油费用，以降低成本。在我们船舶技术管理工作中，由于一向对船舶柴油机燃油应用技术未有足够重视，一时还不易适应。

并且资料不足，有关这方面的材料介绍不够。

从航运企业经济技术综合效益方面看，船用燃油不仅在经济上占运输成本第一位，而且燃油的质量也有很大的降低。

当前国际石油市场上，供求矛盾的重点在轻质油方面。轻质成品油与重质燃料油之间每吨价格一度相差 200 美元左右。目前也在 100 美元左右变化。因而各炼油厂、各大石油公司纷纷采用二次精炼工艺，扩大其轻质成品油的份量，减少剩余渣油（燃料油）的产量。而且，其有害成分也有所增加。这种价格升高，质量趋低的趋势，看来目前很难彻底改变。

当前要作好船舶技术管理工作，对船舶柴油机的燃油应用技术需要特别重视。两年来，作者在这方面搜集了一些资料，以求对这方面的管理工作能有点帮助。但限于个人水平有限，心有余而力不足，不惜抛砖引玉，以求今后在这项工作中引起同行们的注意，共同提高这方面的管理技术。以求既作好柴油机的养护工作，又节约燃油的费用。

本书主要供船员参考，以应用技术为主，文字也力求浅显易懂。

作 者

1986年6月

目 录

第一章 燃油应用技术的重要性	1
一、石油的价格变化.....	1
二、燃油质量的变化.....	5
三、燃油费用对航运成本的影响.....	8
第二章 石油的一般性质	11
一、石油的化学构成.....	11
二、石油的理化性质.....	18
三、燃油的标准及规范.....	40
第三章 燃油在柴油机内的燃烧	51
一、燃烧过程.....	51
二、燃烧后的生成物.....	52
三、燃烧释放出的热量.....	55
四、油粒的大小对燃烧的影响.....	56
五、燃烧不良、预燃及后燃.....	59
六、燃油燃烧后对柴油机带来的主要问题.....	62
第四章 使用重质燃料油应注意的问题	88
一、运行中应注意的问题.....	88
二、重燃油的燃烧性能的估计.....	94
三、燃油的混合.....	99
四、燃油的相容性.....	106
五、化学处理剂的应用.....	112
第五章 燃油的预处理	118

一、燃油的澄清.....	118
二、燃油的分离.....	125
第六章 燃油的贮存、管理	160
一、燃油的级别区分.....	160
二、燃油的取样.....	170
三、船上化验.....	172
四、燃油的贮存.....	173
五、有关注意事项（运行中发生的问题及解决方法 的建议）	177
参考文献	181

第一章 燃油应用技术的重要性

一、石油的价格变化

1. 国际市场石油价格的变化——石油价格的上涨

国际石油市场在1972年以前一直是受七大家石油公司（集团）所操纵和垄断。60年代十三个出产石油的国家联合起来，经过一段时间的酝酿，组成了名叫石油输出国组织（OPEC），与这些垄断集团相对抗。于1973年开始提高原油的价格，从而引起了国际市场上石油及其产品的价格猛烈上涨。

表1 1972年至1983年的原油价格（单位：美元/桶）

1972年	1.4
1973年	2.7
1977年	10.5
1979年	13.5
1983年	27.5

1973年以前，近20年间石油价格基本稳定。1973~1974年开始第一次猛烈上涨，1979~1980年，价格再度上涨。

关于船用柴油、燃料油，50年代以来的价格变化见图1。

OPEC 与国际石油垄断集团之间的抗争，逐步形成了一

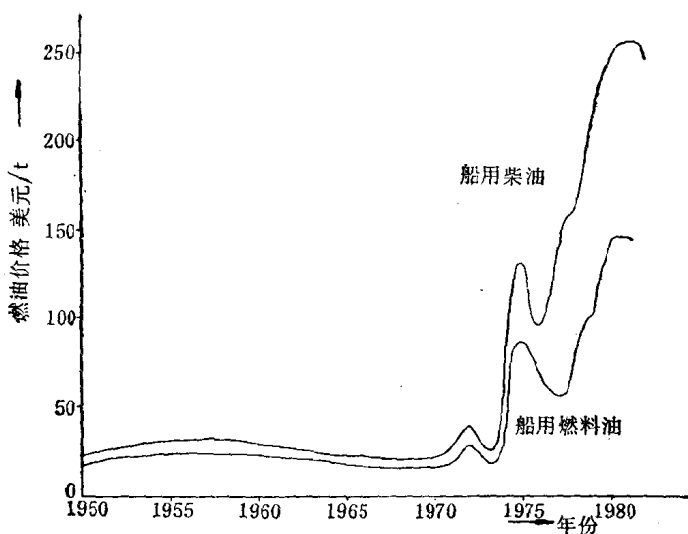


图 1

个不受石油垄断集团控制的、直接从石油生产国出口的原油市场，叫作石油现货市场。当前最大的石油现货市场为荷兰的鹿特丹 (Rotterdam) 港。它的交易约占当前整个国际现货市场流通量的50%。其次为美国的休斯顿 (Houston)、纽约 (New York)，及亚洲的新加坡 (Singapore)。

石油及其产品的价格上涨，既迅速而又持续，造成了世界性能源方面的重大危机。特别是国际航运界，一向以石油为主要能源。从而所受到的影响就更为严重。

2. 燃料油的地区差价

世界主要的国际航运港口，一般也都是船舶加油的站、点。在这些站、点之间，虽是同等级别，甚至质量完全相同的燃料油，其价格也存在相当的差别。造成这种差价的原因

表2 每年7月燃料油(MFO)价格 (单位: 美元/t)

	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980
Los Angeles	16.64	23.68	23.29	21.50	76.50	70.40	63.00	73.75	64.35	115.50	113.90
New York	18.98	22.08	21.69	24.00	70.00	73.60	67.00	79.80	71.50	133.25	134.00
Cape Town	23.06	23.20	22.06	20.50	72.00	76.30	67.00	79.80	78.50	134.00	156.00
Kharg Island	15.53	18.64	18.51	15.00	66.00	72.85	69.00	79.00	79.50	150.00	170.00
Rotterdam	19.43	25.39	23.26	17.50	71.00	78.25	65.00	76.00	75.00	142.00	152.00
Singapore	19.04	20.64	19.45	18.50	71.00	75.40	67.00	81.90	80.66	155.00	176.00
最大差价	7.53	6.75	4.78	9.00	10.50	7.85	6.00	8.15	17.2	39.50	62.1
%	48.5	36.5	25.8	60.00	15.9	11.1	9.5	11.1	24.0	34.4	54.5

很多，如油的运费、当地的税收、季节性及临时的供求情况，原油及成品油的出厂价格、仓储费用等等。

一般地说，较大的港口，其市场大、贸易成交额高、运输方便，如荷兰的鹿特丹港，一向被认为是欧洲的燃油价格较低，油的等级及品种较多，供应量较充足的加油港。如1985年10月， $380\text{mm}^2/\text{s}$ 50°C 的船用燃料油为135美元/t。而同时其他的加油点如日本、新加坡等地，同级别的油价分别为162及152美元/t。

表2为1970年至1980年的7月份6个国际重要加油点的油价变化，及相互间的差价。

表3 1985年9月18日不同地区船用燃油
的价目表（单位：美元/t）

地 区	$380\text{mm}^2/\text{S}50^\circ\text{C}$	$180\text{mm}^2/\text{S}50^\circ\text{C}$	船 用 柴 油
Rotterdam (鹿特丹)	143.5	147.0	229.0
Hamburg (汉堡)	145.0	148.0	232.0
Le Havre (勒阿弗尔)	142.0	150.0	255.0
Jedda (吉达)	—	160.0	282.65
Suez (苏伊士)	158.0	158.0	265.0
Durban (德班)	—	140.0	313.0
Dammam (达曼)	—	160	275.0
Singapore (新加坡)	156.0	159.0	212.0
Tokyo Bay (东京湾)	156.0	160.0	242.0
Los Angeles (洛杉矶)	139.0	141.0	221.0
Houston (休斯顿)	142.0	145.0	273.0
Brazil (巴西)	145.0	148.0	290.0

不同级别的油之间的差价，因地区不同也存在差别。如180mm²/s与380mm²/s的燃料油之间的差价，在勒阿弗尔(Le Havre)为14美元，而同一时间在东京湾则为2美元。

油本身的价格愈高，其地区差价也愈大。如油价普遍下跌后的1985年9月份船用柴油(MDO)的地区价格：美国休士顿为273美元/t，新加坡为212美元/t，差价达61美元/t。

地区性差价，也受季节性的影响。如新加坡、香港等地的夏季，北欧各港口的冬季，都有季节性的油价涨落。

地区差价总的情况参看表3。

二、燃油质量的变化

石油价格的迅速上涨，使轻质成品油与重质燃料油（渣油）之间的价格差逐步增大，一度增加到每吨相差约200美元。目前有所缩小，每吨价差仍在100~120美元左右。更由于市场上对轻成品油的需求量大，在需求数量上与燃料油相比约为3:1左右。因此各大石油公司及炼油厂均把生产重点放在轻质油（所谓“白桶”）方面。近年在炼制工艺上采取二次精炼，以炼取更多的轻质成品油。使剩余渣油（重质燃料油）的份量减少，以及使油中所含的有害成份（硫、钒、残炭等）增加。降低了燃料油的质量。同时因通过催化裂化等强制裂化流程后，油中的芳香族成份、沥青及胶质都明显增加，对油的燃烧性能加大了不利的影响。

采用二次精炼工艺之后，对燃料油质量上所产生的主要变化归纳于下：

- ① 密度超过0.991的一般限制，达到或超过1.00。
- ② 沥青含量由一般的4~5%，上升到8~12%。

- ③ 康氏残炭由10~12%，增至18~22%。
- ④ 硫含量上升至5%，个别油甚至超过5%。
- ⑤ 钒含量达到400~600ppm。
- ⑥ 通过催化裂化工艺后，增加了催化剂微粒。铝硅化合物达200ppm左右或更高。

为更清晰地说明燃料油质量因精炼工艺而产生的影响情况，现将原油的馏制流程及二次精炼的流程简明扼要地介绍如下：

(1) 过去普遍应用的常压蒸馏流程，见图2。原油经油泵输送至加热器 (Heat Exchanger) 加温后，送至常压蒸馏塔 (Atmospheric Distillation Tower)，分馏出油气 (Gas)、汽油 (Gasoline)、煤油 (Kerosene)、柴油 (Diesel oil) 及常压渣油 (Atmospheric Residual oil)。

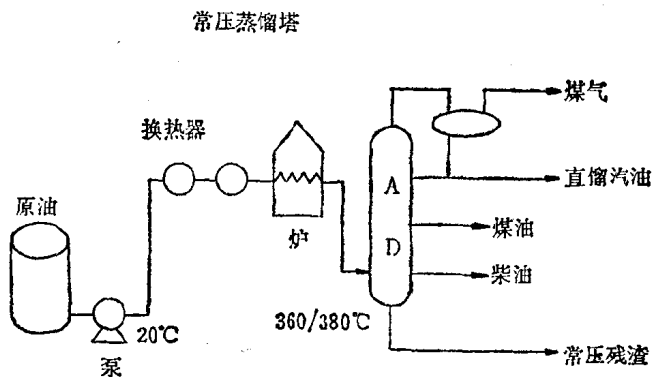


图 2

(2) 常压蒸馏加真空蒸馏流程及生成的成品油份量见图3。流程中采用阿拉伯轻原油100t，粘度为 $400\text{mm}^2/\text{s}$ 50℃，

含硫量为3.1%。经常压蒸馏塔后，生成汽油3t、煤油16t、轻柴油11t、重柴油28t，共产轻质成品油58t，剩余渣油42t。

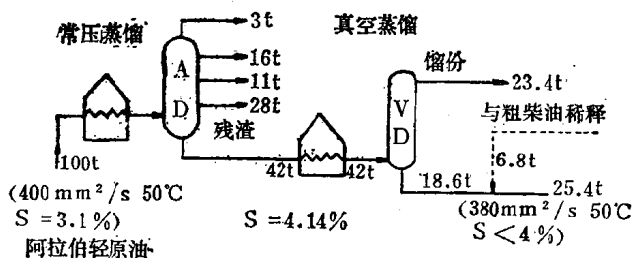


图 3

42t 渣油再经过真空（减压）蒸馏后，再生成馏出油 23.4t。剩余渣油 18.6t，经过用 6.8t 粗柴油稀释后其粘度为 380 mm²/s 50°C，含硫量 s 为 4%，数量为 25.4t（燃料油）。

(3) 采用催化裂化及减粘裂化流程，见图 4。图 3 中经真空蒸馏塔后，生成 23.4t 馏出油，再经过图 4 催化裂化 (FCC) 过程，生产轻汽油 5.1t、重汽油 6.9t，3.7t 轻剩余油中，可分出 2.8t 柴油。余下 0.9t 重油与 1.4t 剩余重油，与减粘裂化后的剩余渣油 15.3t 会合，共为 17.6t 渣油。

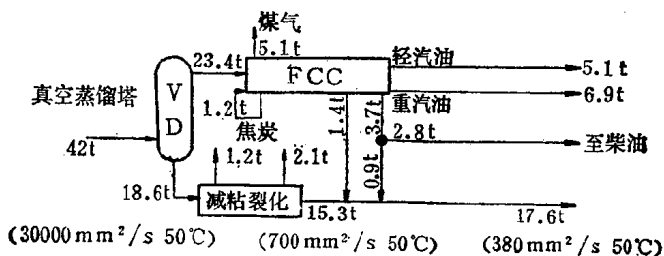


图 4

真空蒸馏后的18.6t 剩余渣油，经减粘裂化以后，产生1.2t 油气（Gas）、2.1t汽油。渣油15.3t。

通过对原油二次精炼的结果，可以说明如下：

① 经过二次精炼，剩余渣油即船用重质燃料油的数量，由常压蒸馏的42t，减少到17.6t。而且所用的原油为轻原油，如采用重原油，渣油数量还会减少。

② 渣油的粘度和密度有很大的增加。

③ 由图3，经真空蒸馏后的渣油，其含硫量由原油的3.1%增长至4~4.14%，说明有害成分的集中，见图5。

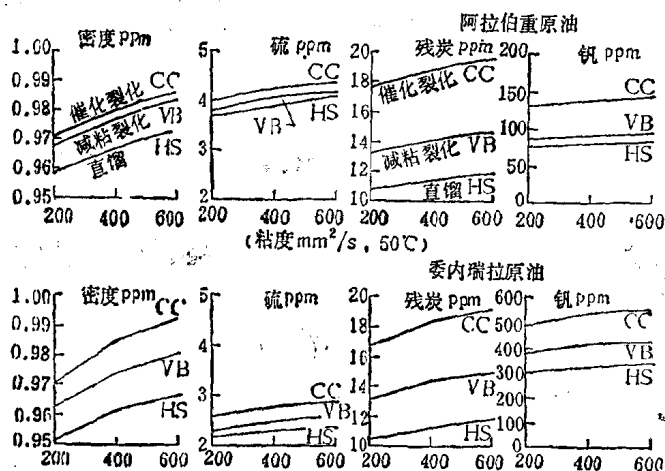


图 5

三、燃油费用对航运成本的影响

1973年以前，油价低而稳定，在船舶运行成本中，燃料油费用所占的比例不大。一般航运公司所支出的燃料油费用（包括润滑油在内），也只占其成本的10~15%左右。1973

至1980年石油市场上两次大的价格上涨。到1982年，燃油费用在各航运公司的成本中，所占比例上升到占50~60%左右。国际上较大的航运公司，特别是以班船、滚装船、集装箱船为主，或这类快速船的比例较大的公司，所受到的影响最大。据国外有关资料分析，这类公司的成本，大致约为：

- 人员工资——14%
- 维修保养费——7%
- 行政管理费——4%
- 港口费用——7%
- 燃料油费——60%
- 物料费——3%
- 保险费——5%

图6为班船（快速船）、油船（低速船）两种具代表性船舶在1973~1980年间，其燃油费用在航运成本中所占比例的变化。

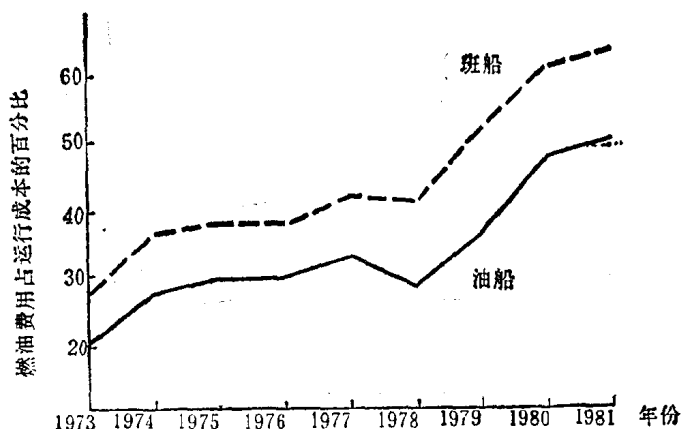


图 6

由于燃油费用在航运成本中的迅速增长，各航运公司（船东）不得不考虑采取措施，降低燃油费用，提高公司在经济不景气时期的竞争力。他们放弃了过去竞相建造高速船舶的方针，纷纷降低了其新建造船舶的航速。同时对现存的高速船，也采取了降低运行速度的方式，以节省燃油费用，降低成本。

另一项引入注目的是几家大型船用柴油机制造厂商为适应当前高油价的形势，迎合船东的需要，大力降低其柴油机的单位耗油量（由过去的 $204\text{g/kW}\cdot\text{h}$ ，降为 $163\text{g/kW}\cdot\text{h}$ 左右）。著名的苏尔寿（Sulzer）公司，为达到降低其单位油耗量，不惜将其使用多年的回流扫气方式改用直流扫气。

此外，各船用柴油机制造厂，为配合航运公司改用价格较低的、更重的燃料油，都放宽了对燃油使用范围的限制。如 SEMT Pielstick 公司，经过台架试验后，宣布将其 PC 型机的燃油规范修改为：

- ① 最高粘度改为 $600\text{mm}^2/\text{s}$ 于 50°C ；
- ② 康氏残炭的限制，改为最高可达 22% ；
- ③ 沥青可达 12% ；
- ④ 硫含量可达到 5% 。

主要的航运国家及国际性航运组织都纷纷为缓和因油价高涨所造成的严重不景气形势而作出努力。放宽了船舶燃油的规范要求，迁就现实，以求航运事业的生存、发展。