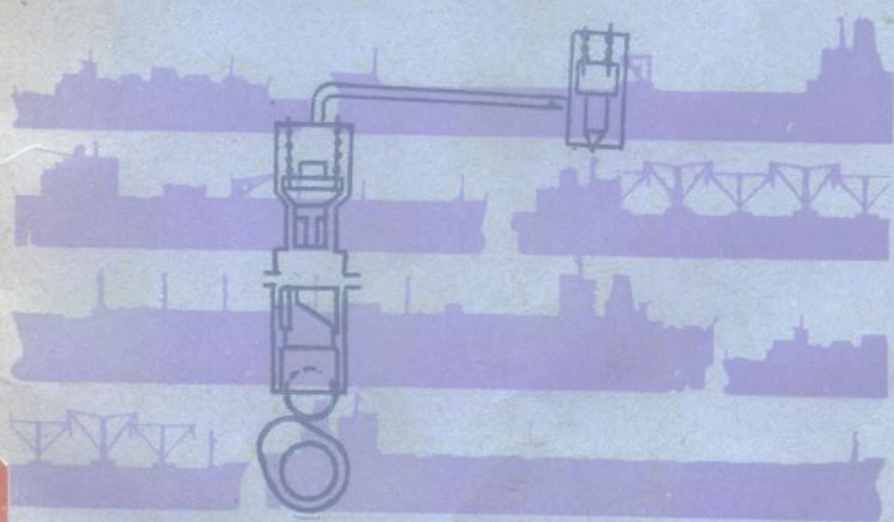


轮机业务知识丛书

低质燃料油在大型 低速柴油机中的应用

鲍毓俊 何锦淑 编



人民交通出版社

轮机业务知识丛书

256358

低质燃料油在大型 低速柴油机中的应用

鲍毓俊 何锦淑编

人民交通出版社

内 容 提 要

本书根据当前国内、外船用大功率低速柴油机使用低质燃料油的情况,分析了国内、外低质燃料油的特性,以及给柴油机船舶在储存、掺混、净化、燃烧等方面带来的问题和解决措施。并且介绍了柴油机冷却、润滑、低负荷运转、进出港换油、清洁检查等操作要求,以及有关安全注意事项。本书适合我国远洋、沿海船舶的轮机管理人员参考使用。对船舶设计、制造人员有一定参考价值。

由于作者的水平有限,书中可能有错误之处,恳望读者批评指正。

轮机业务知识丛书

低质燃料油在大型 低速柴油机中的应用

DiZhi Ranliaoyou Zai Daxing

Disu Chaiyouji Zhong De Yingyong

鲍毓俊 何锦淑编

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 $\frac{1}{16}$ 印张: 3.625 字数: 73千

1986年8月 第1版

1986年8月 第1版 第1次印刷

印数: 0001—1,650册 定价: 0.70元

目 录

§ 1	概况	1
§ 2	船用燃料油质量标准	4
§ 3	低质燃料油特性及在船舶使用中的问题	14
§ 4	装油、驳油与储存	22
§ 5	两种油掺混	26
§ 6	低质燃料油的净化处理	32
§ 7	燃油系统的合理布置	54
§ 8	燃烧与雾化	57
§ 9	气缸润滑	76
§ 10	冷却	86
§ 11	低负荷运行	89
§ 12	进、出港换油	93
§ 13	清洁检查	96
§ 14	安全操作事项	98
附录 1	使用国外低质燃料油的改进对策	101
附录 2	国外分油机效用试验技术研究成果介绍	103
参考文献		110

§1 概 况

一、国内概况

我国最初是用轻柴油作为船用大功率低速柴油机的燃料油。到六十年代初实现了“以重代轻”，即改用重柴油。七十年代采用大庆原油的减压渣油和轻质馏分油调制成燃料油，先后在沿海和远洋船舶上进行了实船试验。试验结果，分油机分离净化效果良好，柴油机运转正常。在此基础上，国内正式生产调制了1000s、1500s船用燃料油（标称），专门供应远洋船舶使用。到了七十年代后期，沿海船舶相继采用大庆原油或胜利原油的减压渣油与20号或30号重柴油，在船上自行掺合成一定比例的船舶燃料油，供主机使用。

由于我国的原油具有含硫、钒等有害成分少，炼制深度不高的特点，当前在国内供应的渣油质量较好。图1为我国

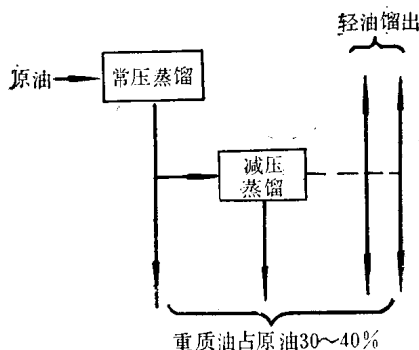


图1 国内传统炼油流程示意图

传统的炼油流程简图。这种来源于减压蒸馏后的渣油，与重柴油掺混，即使掺入的渣油比例高一些，只要采取的措施得当，在特定的机型上使用，仍然可以取得满意的效果。目前沿海船舶根据机型特点，分别掺入渣油50%~90%不等。

二、国外概况

国外船用大功率低速柴油机，由于气缸润滑的科学化，在使用碱性气缸油来防止活塞环和缸套的磨蚀方面实现了技术突破，早在五十年代初就从过去使用低硫分和低杂质的轻质油改用船用燃料油。这种油的质量曾相对稳定了很长时间。直至七十年代初，爆发了世界性能源危机，石油价格猛涨，船用燃料油的供需矛盾变得突出。炼油厂不得不为提高产量，设法加深炼油的深度，使残渣油的质量变得越加低劣和不稳定，与五十年代的船舶燃料油相比，其主要特点是：高密

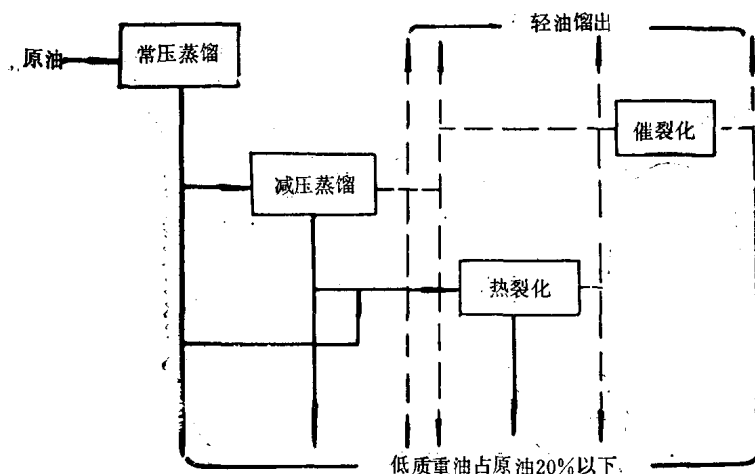


图2 国外现代化炼油流程示意图

度、高硫分、高渣滓以及含有在催化裂化炼制馏程中所包含的未能回收的催化剂微粒。图2是国外现代化炼油流程图。目前就全世界范围来看,1500kW以上的船用柴油机已经普遍使用1500s (Red.No.I, 37.8℃) 燃料油,3000kW以上的船用柴油机已经开始使用3500s的燃料油。一些柴油机制造厂宣称,完全可以发展使用5000~6000s的低质燃料油。

三、发展趋势

由于炼油技术的不断发展,提炼深度的不断提高,渣油的有害成分还会不断增加,特别是较重的碳氢化合物成分的提高。所以燃油质量不断下降的局面,将是炼油技术发展的必然趋势。为什么在燃料油的前面要加上“低质”两字,道理也就在于此。

尽管燃料油质量低劣,但是船舶所有人或用船部门为了解决由于能源危机带来的供需矛盾,为降低日益增加的燃料成本不得不采取各种措施使用它。如沿海一艘16000t货船,一年约需要燃油4000t。若全部烧用重柴油,一年燃料费就需要约100万元。如果使用90%的渣油与重柴油混合,一年仅需要燃料费34万元,降低燃料费66%。可见使用低质燃料油对降低燃料成本、增加企业的经济效益,是相当可观的。

为了更好地解决低质燃料油在驳运、净化、燃烧等方面带来的问题,除了需要柴油机设备的改善外,还要依靠正确的操作方法和科学的管理技术。本书将着重介绍这方面的内容。

表1 所列为1984年国内、外船用燃料油价格参考表。

国内、外船用燃料油价格参考表

表 1

油 价		国内价格(元/t)	国外价格(美元/t)
燃油种类			
轻 柴 油		368	270
重 柴 油		210~270	250
低质燃料油	中间燃料油	500	205
	(s, Red.	1000	190
	No. I,	1500	185
	37.8°C)	3500	180
	渣 油	65	177.5

注：1. 国内重柴油价格中，前一个数指30号重柴油，后一个数指 20 号重柴油。

2. 国内 1000s 燃料油只供应远洋船及外轮使用，是以外汇人民币结算的价格。

3. 国内价格是指上海地区的厂拨价格。

4. 国外燃料油在世界上每一国家的各个港口供应价格不一，浮动频繁，表内数字是指1984年初新加坡地区的牌价。

§2 船用燃料油质量标准

船员掌握国内、外低质燃料油的质量规格，特别是经常在国外港口添加燃油的船舶很有必要。对于造船部门、船用柴油机制造厂及用船单位，掌握燃料油低质化的趋势以及低质燃料油的质量规格与标准，研究适应的方法及对策也是非常重要的。

一、现 状

判断燃料油质量好坏，常用燃料油的规格标准来说明。而燃料油的规格标准是作为燃油生产和销售的依据。现在国内沿海船舶所用的减压渣油（也有少量的催化裂化渣油）与重

柴油掺混的燃料油、远洋船舶使用的1000s、1500s 船用燃料油均无国家标准，远洋船舶使用的燃料油仅有企业自己制定的标准，见表 2 所列为当前国内的燃料油规格。

国内船用燃料油质量规格

表 2

规格 \ 燃油种类	20号重柴油	250号重油 (即渣油) 上炼厂生产	船舶自行掺 混燃料油 (70%渣油、 30%重柴油)	供远洋船舶 使用1000s 燃料油
恩氏粘度(100℃)°E	—	18.9	—	—
雷氏一号粘度 (37.8℃) _s	—	—	1070	1000
运动粘度(50℃) mm ² /s	20.5	—	—	120
残炭%(W)小于	0.5	5.6	—	8
密度g/cm ³	0.84~0.85	0.928	0.9013	0.89~0.93
硫分%(W)小于	0.5	0.22	0.4	2
沉渣%(W)小于	0.1	—	—	0.1
闪点(闭口)℃大于	65	—	215(开口)	80
水分%(V)小于	1	0.6	0.4	0.3
凝固点℃不大于	20	31	22.5	22
灰分%(W)小于	0.06	0.012	0.02	0.1

注：1. 250号重油(即渣油)与船舶自行掺混燃料油(70%渣油、30%重柴油)均系实测数据。

2. W为重量计百分比，V为体积计百分比，下同。

在国外由于历史原因，船用燃料油的质量一直是由卖方控制的。很多石油公司为了争夺市场，一般自行控制所生产的燃料油质量指标，而没有统一产品规格标准。即使各国规定的燃油规格标准，并纳入了国家标准，但对实际燃油质量也起不了约束作用。同时也要看到，世界各石油公司所制订的燃料油规格标准与其在世界各港口实际供应的燃油质量指标之间，也还有较大的差异。因此掌握这些规格标准，只能作为对燃料油质量的最低要求或一般参考标准使用，而不

能完全代表实际燃料油的质量。表3所列为国外六十、七十、和八十年代一般燃料油的质量指标。

国外六十、七十、八十年代一般燃料油质量规格 表3

规格 \ 年代	六十年代	七十年代	八十年代
雷氏一号粘度 (37.8°C) _s	3500	3500	4500
运动粘度(50°C)mm ² /s	380	380	460
密度g/cm ³	0.975	0.98	0.99~1.01
倾点°C	24	24	24
残炭%(W)		13	15
硫分%(W)	4	4	4
灰分%(W)	0.1	0.1	0.1
沉渣%(W)	0.1	0.1	0.1
闪点(闭口)°C	65	65	60
油渣%(W)	—	—	0.15
钒ppm	—	—	150

二、燃料油的发展趋势

由于世界石油总产量增长速度不大，特别是能源危机以来，石油价格上涨，如果仍然按原有的原油炼化技术，由于所得的轻质油少，利润也越来越少。为了从原油中能获取更多的轻质油，工业发达国家的大石油公司都加速改造炼油设备，对原油进行深度加工，二次裂化装置拔地而起，结果使残渣油产量越来越少，质量也越来越差。很多石油公司也不愿意将船用燃料油的质量规格加以标准化。为了使燃料油质量有继续下降的可能性，1983年世界几个著名石油公司先后发表了本公司燃油料质量规格的有效期，同时也公布了将来更为低劣的燃料油规格标准的生效期，见表4所列。

我国沿海船舶使用的渣油也将随着炼油技术的发展，使

世界著名石油公司发表燃料油质量规格标准有效期、

未来质量规格标准生效期

表 4

规格	石油公司	1985年前有效		1985年后有效		
		ESSO	SHELL	ESSO	LP	SHELL
密度g/cm ³		0.99	0.99	—	0.99	—
运动粘度(50℃)mm ² /s		480~500	460	600	600	600
雷氏一号粘度(37.8℃)s		4800	4500	6000	6000	6000
残炭%(W)		20	16.5	20	22	20
沥青%(W)		10.5	—	14	—	—
硫分%(W)		5	4.5	5.5	5	5
钒ppm		500	—	500~600	—	—
灰分%(W)		0.1	0.1	0.15 ~0.2	0.2	0.15
水分%(V)		1	1	1	1	1
沉渣%(W)		0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
闪点(闭口)℃大于		60	60	60	60	60
凝固点℃不大于		30	24	30	30	60

渣油质量日趋变劣。

三、规格标准极限

国外船用柴油机自五十年代开始使用燃料油，而我国是从七十年代开始使用以残渣油和重柴油的不同比例掺混的燃料油。从那时起使用燃料油能够使机器安全运转，同时降低了燃料费支出，取得很大的经济收益。

随着炼油技术的不断发展，提炼过程的深度加工，燃料油质量变劣，降低了使用的安全性（当前主要指国外的低质燃料油）。日本船舶节能特别研究委员会对船舶燃用低质燃料油引起故障的实际情况作了调查，从1979年1月至1980年7月间发生的故障中有42起与燃料油质量有关。表5(A)和

由于燃油质量引起的柴油机故障及原因 表5(A)

故障位置	故障内容	故障原因
1. 燃烧室	燃烧不良 (雾化不良、发火迟后、冒黑烟、积炭)	- 混合稳定性不良 - 钠过多 - 十六烷值低 - 水分过多 - 残炭过多 - 钒过多 - 沥青质过多
2. 喷油泵系统	卡住	- 沥青过多 - 不溶解分过多(N—庚烷) - 残炭过多 - 水分过多
	异常磨损	- 混入催化剂(铝、硅) - 灰分过多
	汽 塞	水分过多
3. 喷油阀	卡住、磨损、腐蚀	- 沥青过多 - 硫分过多 - FCC催化剂 - 密度大
4. 气缸盖(阀类)	排气阀卡住 排气阀漏气	- 由沥青质等引起燃烧不良 - 钒过多 - 残炭过多 - 钠过多 - 灰分过多 - 水分过多 - 不溶解分过多(N—庚烷)
5. 活塞和活塞环	活塞环磨损	- FCC催化剂 - 硫分过多(低温腐蚀) - 灰分过多 - 水分过多(水分中含有无机盐类) - 低硫(高碱气缸油) - 残炭过多 - 密度大
	积 炭	- 残炭过多 - 混合稳定性不良(造成雾化不良) - 钙分过多 - 十六烷值低 - 沥青质多量
	活塞环卡住	- 残炭 - 未燃烧的炭黑 + 气缸注油过多

续上表

故障位置	故障内容	故障原因
6. 气缸衬套	异常磨损 (包括腐蚀)、漏 气、拉缸、裂缝、 吸排气口边缘污损	• FCC催化剂(铝、硅)·灰分过多 • 由残炭、沥青质、十六烷值造成未燃烧的炭黑增加 • 硫分过多 • 钒过多 • 密度大
7. 增压器	涡轮(燃气侧)的污 损、喘振、壳体 (燃气侧)腐蚀	• 水分 • 泥浆 • 粘度高 • 未燃烧的炭黑 + 气缸注油过多 • 硫分过多 • 钠化合物(燃烧后形成的粘附的灰)
8. 活塞杆填料函	刮油环磨损	• FCC催化剂 • 燃烧残渣过多 • 未燃烧的炭黑 + 气缸注油过多
9. 系统油	污损、劣化	• 残炭过多 • 沥青质过多 • 硫分过多 • 水分过多 • 不溶解分增加(N—庚烷) • 粘度过大
10. 气缸油	适应性不良	• 注油量或总碱值不适当

燃料油的性能变化范围和事故发生次数 表 5 (B)

性能变化范围		次数	性能变化范围		次数
密 度 g/cm ³ (15°/ 4°C)	0.99以上(最大 1.0051)	3	残 炭	15以上(最大 17.56)	5
	0.9~0.99	29	% (W)	10~15	14
	不到0.9	5		5~0 不到5	9 6
粘 度 mm ² /s (50°C 时)	300以上(最高380)	4	N—庚烷不溶 解分	15以上	—
	200~300	11		10~15	8
	150~200	14	(沥青质)	5~10	12
	50~150	3		不到5	5
	50以下	5	% (W)		

续上表

性能变化范围		次数	性能变化范围		次数
凝固点℃	10以上(最高17.5)	3	灰 分 %(W)	0.05以上 (最大0.11)	7
	5~10	1			
	0~5	5			
	-5~0	6			
	不到-5	12			
水 分 %(V)	0.1以上(最大0.8)	8	硫 %(W)	3以上(最大4.16)	15
	不到0.1	9			
泥 浆 %(V)	0.5以上(最大0.9)	5	使用FCC催 化剂提炼所得 的燃料油		8
	0.1~0.5	9			
	0.05~0.1	5			
	不到0.05	3			
			两种燃料油混合		4

(B)列出由于燃料油质量引起的故障、原因和燃料油在各种性能变化情况下所发生事故的次数。从表中可以看到主要是

国外名牌柴油机制造厂提出船用主机燃料油质量极限值 表6

制造厂 牌 号	联邦德国 MAN	瑞 士 SULZER	瑞 典 GÖTAVERKEN	日本 UEC	意大利 FIAT
规 格					
雷氏一号粘度s(37.8℃)	3500	3000	1500	3500	3500
密度g/cm ³	0.97	0.99	0.98	0.99	0.98
闪点(闭口)℃	>55	65	65	65	—
残炭%	—	15	14	14	<15
灰分%	0.07	0.06	0.1	0.07	—
水分及沉渣%	<1	2	1	—	—
硫分%	3.7	4	3.5	4	<4.5
沥青质%	<6	—	<8	<8	—

燃料油燃烧性能降低，油中杂质、沥青质等含量升高，尤其是催化剂颗粒硅、铝等有害物质的出现，给柴油机安全运转带来极大危害。在这种情况下，用船部门和柴油机制造厂都十分担心自己的柴油机能否适应质量日趋恶化的燃料油，因此早在七十年后期就纷纷提出了低质燃料油规格标准的极限值，如表 6 所示。从目前来看，虽以生产出能适应低质燃料油的新型柴油机，但这个标准对我国制订和使用规格标准仍有一定参考价值。

四、燃料油标准化

综合前述，由于燃料油质量的不断恶化，对航运部门越发不利。由于燃油质量问题造成主机故障的发生屡见不鲜，另外给柴油机设计制造带来的困难，也难以改进柴油机自身的设计来消除，只能对船用燃料油的质量加强控制。因此来自有关各方面的强烈呼吁，要求船用燃料油质量规格标准化，并以此作为买卖双方统一的质量指标。目前国际标准化组织正在为此建立船用燃料油标准而努力。

1982年国际内燃机协会（CIMAC）提出了一个过渡性船用燃料油推荐规格标准，见表 7 所列。这个标准是根据历次国际性会议就船用燃料油规格标准和试验方法所达成的协议而提出的。它立足于新、老柴油机性能的不同和燃料的经济性而确立的。它与当前国外各石油公司所生产的燃料油规格标准十分接近。这个推荐规格标准只能做为柴油机安全运行和制订国际船用燃料油规格标准的基础。因为它仅具有建议性，一旦国际标准化组织正式颁布“国际船用燃料油规格标准”，它即失去意义。尽管如此，这些规格标准对我们来说，还是具有一定参考价值。

表 7

国际内燃机协会船用燃料油推荐规格标准

项 目	相应 品 级					
	IF40	IF40	IF80	IF180	IF180	IF500
密度g/cm ³ (15°C)不高于	0.991	0.991	0.991	0.991	0.991	0.991
雷氏一号粘度s(37.8°C)不高于	300	300	600	1500	1500	5000
闪点°C(闭口)不低于	60	60	60	60	60	60
倾点°C12月1日~8月31日	24	0	30	30	30	30
4月1日~11月30日 不高于	24	6	30	30	30	30
残炭%(W)不高于	10	10	14	15	20	22
灰分%(W)不高于	0.1	0.1	0.1	0.1	0.15	0.2
水分%(V)不高于	0.5	0.5	0.8	1.0	1.0	1.0
硫分%(W)不高于	3.5	3.5	3.5	4	5	5
钒ppm不高于	150	150	350	400	500	600
铝ppm不高于	30	30	30	30	30	30

英国标准化协会船用燃料油规格(BS.MA100: 1982) 表 8

检 验 项 目	英国BS级1982年船用燃料油等级							
	M ₃	M ₄	M ₅	M ₆	M ₇	M ₈	M ₉	M _{10~12}
粘度mm ² /s(50℃) 最大	—	15	25	45	75	100	130	75~130
闪点(闭口)℃ 最小	60	60	60	60	60	60	60	60
水分和沉渣% 最大	—	—	—	—	—	—	—	—
水分% 最大	0.3	0.5	0.8	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
沉渣% 最大	—	—	—	—	—	—	—	—
灰分% 最大	0.05	0.1	0.1	0.15	0.2	0.2	0.2	0.2
硫分% 最大	2	3.5	4	5	5	5	5	5
十六烷值 最小	—	—	—	—	—	—	—	—
残炭(康氏)% 最大	—	12	14	20	22	22	22	—
12月1日~3月31日	0	24	30	30	30	30	30	30
倾点℃ 4月1日~11月30日 不高于	6	24	30	30	30	30	30	30
钒 ppm 最大	100	250	350	500	600	600	600	600

英国标准化协会船用燃料油规格试验发展项目标准 表 9

检 验 项 目	等 级	M ₃	M ₄	M ₅	M ₆	M ₇	M ₈	M ₉	M _{10~12}
1.最低着火起爆质量	最 低	*	*	*	*	*	*	*	—
2.最大含渣量	最 高	+	+	+	+	+	+	+	+
3.最大含铝量	最 高 (≥)	30	30	30	30	30	30	30	—

注: 1. “*” 这项标准衡量价值较高, 必须有一个极限值, 但尚未作出合适的试验方法, 待定。

2. “+” 已同意列入发展项目的标准, 待经过正式签定修正后再纳入项目标准。

3. “≥” 作为建议值。

1982年英国标准化协会颁布了一个供船用柴油机和锅炉使用的船用燃料油标准。它把船用燃料油分为12个等级, 其中3~9级是受到粘度的控制, 而10~12级不受其限制, 见表8所列。这也说明了对于船用燃料油的质量标准充分估计