



中国石化销售企业员工培训系列教材

重质燃料油基础知识与应用

中国石油化工股份有限公司油品销售事业部
中国石油化工股份有限公司石油化工科学研究院

编



中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

责任编辑：张国艳 田曦
责任校对：李 伟
封面设计：七星工作室



ISBN 978-7-80229-905-4



9 787802 299054 >

定价：36.00元

中国石化销售企业员工培训系列教材

重质燃料油基础知识与应用

中国石油化工股份有限公司油品销售事业部
中国石油化工股份有限公司石油化工科学研究院 编

中国石化出版社

新华书店
PDG

内 容 提 要

本书重点介绍了重质燃料油的主要用途和国内外市场供需状况;生产工艺流程;调合方法;储存与装卸;产品性能指标;产品分类与主要标准;船用燃料油;炉用燃料油;燃气轮机用燃料油。具有较强的针对性和适用性。

本书可作为重质燃料油从业人员的普及性培训教材,也可供相关人员阅读参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

重质燃料油基础知识与应用 / 中国石油化工股份有限公司油品销售事业部, 中国石油化工股份有限公司石油
化工科学研究院编. —北京: 中国石化出版社, 2009
(中国石化销售企业员工培训系列教材)
ISBN 978 - 7 - 80229 - 905 - 4

I 重... II ①由...②中... III 燃料油 - 技术培

《重质燃料油基础知识与应用》

编委会

主 编 夏世祥

副主任 钟英竹 张 迎 申海平 常京阳

编 委 刘鸿洲 张伟清 黄晓晖 马 力 靳爱民

张秀兰 李 华 左 黎 夏 鹏

主 审 黄伟祈

参 审 肖铁岩 汪 珺

前 言

为了贯彻中国石化集团公司关于进一步改进和加强“三基”工作的指导意见，落实油品销售事业部对教育培训工作提出“努力提高全员素质，加快培训成果转化，加强培训保障体系建设”的目标任务，扎实推进销售企业燃料油岗位培训工作，在中国石化销售有限公司和石油化工科学研究院的共同努力下，完成了《重质燃料油基础知识与应用》培训教材的编写工作，为开展岗位培训，提高员工队伍素质提供了有力的支撑。

重质燃料油是我国石油制品中市场化程度最高的油品之一，其市场消费规模仅次于汽油、柴油，位居第三。重质燃料油主要是作为中低转速船舶内燃机和燃油炉的燃料。正是该产品的特性，决定了市场应用特征，突出表现在产品适用性强，质量指标相对宽泛，可替代产品较多。由于该产品的应用研究人员较少，以至国内尚未出版一本较为完整的重质燃料油应用基础知识方面的书籍。

该书的编写人员通过多年来在石油炼制和燃料油营销岗位上的理论研究及经验积累，针对重质燃料油从业人员的经营需要，经过对重点行业客户进行调研，参阅了国内外大量的文献、书籍，最终由专家评审后，完成了该培训教材的编写。全书共分九章，第一章由张迎、常京阳执笔，重点介绍了重质燃料油的主要用途和国内外

市场供需状况；第二章由马力执笔，重点介绍了生产工艺流程；第三章由钟英竹、常京阳执笔，重点介绍了调合方法；第四章由李华执笔，重点介绍储存与装卸；第五章由靳爱民执笔，重点介绍了产品性能指标；第六章由张伟清执笔，重点介绍了产品分类与主要标准；第七章由刘鸿洲、左黎执笔，重点介绍了船用燃料油；第八章由张秀兰、夏鹏执笔，重点介绍炉用燃料油；第九章由黄晓晖执笔，重点介绍了燃气轮机用燃料油。全书由黄伟祈、申海平校审，肖铁岩、汪琚等参与评审。该书作为重质燃料油从业人员的普及性培训教材，具有较强的针对性和适用性。

感谢中国石化出版社将该书出版发行，能够让广大的读者更系统、完整地掌握重质燃料油特性的理论知识，了解产品在实际生产应用的基础知识。由于重质燃料油的应用涉及专业面较广，尽管编写人员做了很大的努力，难免存在不足之处，敬请读者提出宝贵意见，以便在将来的修订中进一步完善。

编者

2009年4月

新华书店
PDG

目 录

第1章 绪论	(1)
1.1 重质燃料油的产品特性与分类	(1)
1.2 重质燃料油的主要用途	(2)
1.3 重质燃料油的燃烧性能	(3)
1.4 重质燃料油市场概况	(4)
第2章 燃料油的生产工艺	(10)
2.1 炼油厂总体工艺流程	(10)
2.2 常减压蒸馏	(12)
2.3 催化裂化	(14)
2.4 减黏裂化	(17)
2.5 焦化工艺	(19)
2.6 溶剂脱沥青	(22)
思考题	(24)
第3章 燃料油的调合	(25)
3.1 燃料油调合方法	(25)
3.2 常见的燃料油添加剂	(31)
3.3 燃料油调合设备	(32)
思考题	(40)
第4章 燃料油的储存与装卸	(42)
4.1 燃料油储存的基本要求	(42)
4.2 燃料油装卸的基本要求	(45)
思考题	(46)

第 5 章 燃料油的性能指标	(47)
5.1 黏度	(47)
5.2 硫含量	(50)
5.3 密度/相对密度/API 度	(51)
5.4 闪点	(53)
5.5 倾点	(54)
5.6 灰分	(55)
5.7 水分	(56)
5.8 沉淀物	(57)
5.9 残炭	(57)
5.10 馏程	(58)
5.11 热值	(59)
5.12 金属和非金属元素	(61)
5.13 储存稳定性	(63)
思考题	(64)
第 6 章 燃料油的分类及主要标准	(66)
6.1 燃料油的分类	(66)
6.2 燃料油的质量标准	(67)
6.3 海洋环境保护法规对燃料油的质量要求	(89)
思考题	(90)
第 7 章 船舶用燃料油	(91)
7.1 船舶的种类	(91)
7.2 船舶动力装置概况	(91)
7.3 柴油机的类型	(91)
7.4 柴油机工作原理	(93)
7.5 船舶燃油系统	(96)
7.6 船用燃油的类型	(99)
7.7 燃料油在柴油机内的燃烧	(102)

7.8 燃油质量对柴油机带来的主要问题	(106)
7.9 重质燃料油在船舶上的应用	(111)
思考题	(115)
第8章 炉用燃料油	(116)
8.1 工业炉的定义和分类	(116)
8.2 管式加热炉	(117)
8.3 窑炉	(120)
8.4 锅炉	(121)
8.5 燃油喷嘴	(122)
8.6 燃料油质量对炉子性能和工艺的影响	(128)
8.7 进口燃料油质量介绍	(132)
思考题	(133)
第9章 燃气轮机用燃料油	(134)
9.1 燃气轮机的类型、结构及应用	(134)
9.2 燃气轮机燃用重质燃料油的发展现状	(137)
9.3 电厂采用的主要燃气轮机型号	(137)
9.4 燃气轮机用燃料油的要求及标准	(137)
9.5 燃料油品质对燃气轮机运行的影响	(139)
9.6 燃气轮机燃用重油产生的主要问题	(141)
9.7 燃气轮机燃用重油应采取的措施	(143)
思考题	(143)
附录	
附录1 各种燃料热值	(144)
附录2 FOB 重质燃料油调合软件 1.0 版	(145)
附录3 油品不同温度下的黏度估计	(146)
附录4 在同样温度下测得的黏度近似换算	(153)
附录5 燃料油的质量与体积换算表	(154)
参考文献	(164)

第1章 绪 论

燃料油(Fuel Oil)的概念有广义和狭义之分,广义上说,所有可用作燃料的油品都可以称为燃料油;狭义上是指从原油中分离出汽油、煤油、柴油等轻组分油之后的重组分油,它主要应用于船舶内燃机和炉子的燃料。

在国际上不同地区对燃料油有不同的解释。欧洲对燃料油的定义一般是指原油经蒸馏而留下的黑色黏稠残余物,或它与较轻组分调合而成的混合物。主要用作蒸汽锅炉及各种加热炉的燃料,或作为大型中、低速柴油机燃料及各种工业燃料。在美国则指任何闪点不低于 37.8°C 的可燃烧的液态或可液化的石油产品。它既可以是重质燃料油(Heavy Fuel Oil,简称HFO)或渣油型燃料油(Residual Fuel Oil,简称RFO),也可是馏分燃料油(Distillate Fuel Oil),后者包括煤油(Kerosine)和民用取暖油(Domestic Heating Oil)。

本书中的“燃料油”是指原油加工生产的,广泛应用于炉子燃烧以及较大规模动力装置的重质燃料油。

1.1 重质燃料油的产品特性与分类

一般来说,在原油的加工过程中,较轻的组分总是最先被分离出来,燃料油作为成品油的一种,是石油加工过程中在汽油、煤油、柴油之后从原油中分离出来的较重的剩余产物。燃料油广泛用于船舶柴油机燃料、加热炉燃料、冶金炉和其他工业炉燃料。燃料油主要是由石油的裂化残渣油和直馏残渣油制成的,其特点是黏度大,含非烃化合物、胶质、沥青质多。

燃料油作为炼油工艺过程中的最后一种产品,产品质量控制有着较强的特殊性。最终燃料油产品形成受到原油品种、加工工艺、加工深度等许多因素的制约。

根据不同的标准,燃料油可以进行以下分类:

(1) 根据出厂时是否形成商品量,燃料油可以分为商品燃料油和自用燃料油。商品燃料油指在出厂环节形成商品的燃料油;自用燃料油指用于炼油厂生产的原料或燃料而未在出厂环节形成商品的燃料油。

(2) 根据加工工艺流程,燃料油可以分为常压燃料油、减压燃料油、催化燃料油和混合燃料油。常压燃料油指炼油厂常压装置分馏出的燃料油;减压燃

料油指炼油厂减压装置分馏出的燃料油；催化燃料油指炼油厂催化裂化装置分馏出的燃料油（俗称油浆）；混合燃料油一般指减压燃料油和催化燃料油的混合。

(3) 根据用途，燃料油可以分为船用燃料油、炉用燃料油及其他燃料油。

重质燃料油是由高分子量化合物组成的复杂混合物，沸点分布范围宽且不确定（没有明确的终馏点），组成为饱和烃、芳烃、胶质、沥青质和少量含有硫、氮、氧的杂环化合物，碳数一般为 $C_{20} \sim C_{70}$ 。重质燃料油中残存了来自原油的几乎全部金属元素，包括镍、钒、铁、钾、钠、铝和硅等，这些金属对燃料油质量有不同程度的影响。

重质燃料油大部分是石油生产中残留下来的渣油。过去，燃料油是以常压蒸馏的渣油为主，被认为是直馏燃料。近年来，随着市场对汽油、煤油、柴油等运输燃料需求量的增加，常压渣油作为减压蒸馏及裂化工艺进料的值提高，目前多数重质燃料油是以减压渣油和热裂化、催化裂化渣油为主。这类燃料油的性质与直馏燃料不同，其密度和平均分子量要比直馏燃料油高，密度可达 1000 kg/m^3 以上。另外，在裂化燃料油中含有烯烃，而直馏燃料油没有，这也是直馏和裂化燃料油产品的主要区别。

重质燃料油可用炼油厂生产的不同馏分调合而成，调合组分主要包括：常压渣油、减压渣油、热裂化或减黏裂化渣油、催化裂化油浆（或澄清油）、热裂化或减黏裂化瓦斯油、催化裂化循环油、煤油馏分、常压瓦斯油、减压瓦斯油。

为了便于工业和船用设备的使用和储藏，满足市场对燃料油规格的要求，一般将高黏度渣油组分与低黏度组分调合来生产燃料油，有催化裂化装置的炼油厂，一般将催化裂化循环油作为燃料油的稀释剂，因此，重质燃料油组成的变化范围很宽，主要取决于炼油厂装置配置以及加工的原油品种。

1.2 重质燃料油的主要用途

我国燃料油消费主要集中在电力、石化、交通运输、冶金、轻工等行业。近年来，地方炼油企业将直馏燃料油作为原料油加工，改变了以往重质燃料油的用途，使得国内燃料油市场的消费结构、消费需求都发生了较大的变化。

各行业燃料油的具体用途如下：

(1) 电力行业的燃料油消费主要用于两个方面：一是燃油发电、供热机组；二是燃煤机组的点火，助燃和稳燃用油。虽然整个电力行业中燃油机组装机容量只有 17000 MW ，仅占整个装机容量的 5.7% ，但却消耗了 32% 的燃料油消费量。

(2) 石油化工行业消耗的燃料油 主要用在自备电厂的发电、油田生活采暖、炼油厂生产工艺用热、化肥厂生产用原料和燃料以及其他化工生产。

(3) 建材行业消耗的燃料油主要用于平板玻璃和陶瓷的生产,随着产品质量的升级,对重质燃料油的品质要求也不断提高。随着油价不断攀升,特别是环保要求的提高,部分企业已逐步改用天然气、水煤浆等替代燃料。

(4) 冶金行业消耗的燃料油主要用于加热炉、自备电厂发电供热和制造耐火材料等方面。

1.3 重质燃料油的燃烧性能

重质燃料油的燃烧性能一般以热值表示。热值也叫“发热量”,是指单位质量(或体积)的燃料完全燃烧后放出的热量,是表示燃料质量的重要指标之一。热值分为低热值和高热值。高热值是指单位质量的燃料完全燃烧,生成的水蒸气全部冷凝成水时所放出的热量;低热值是指单位质量的燃料完全燃烧,生成的水蒸气不冷凝成水时所放出的热量。热值的数值越大,表示能量特性越高,燃烧性能越好。热值也是决定炉膛热强度和燃料消耗的重要因素。

燃料的种类很多,其热值也各不相同。标准煤实际并不存在,只是人为规定以便于对各种燃料的热值相互对比。我国规定凡能产生 29.27MJ(7000 千卡)的热量(低位)的任何数量的燃料折合为 1kg 标准煤;将产生 41.87MJ(10000 千卡)热量(低位)的折合为 1kg 标准油。表 1-1 中列为几种常用的固体、液体和气体燃料的热值及其折合标准煤系数。更多燃料的热值比较见附录 1。

表 1-1 几种燃料的低热值比较

固体燃料名称	平均低热值/(MJ/kg)	平均低热值/(kcal/kg)	折合标准煤系数
[标准煤]	29.31	7000	1.000
烧用石油焦	31.39	7497	1.071
洗精煤	26.38	6300	0.900
无烟煤	25.12	5999	0.857
焦炭	25.12	5999	0.857
原煤	20.93	4998	0.714
电煤	20.08	4795	0.685
褐煤	8.38	2002	0.286
液体燃料名称	平均低热值/(MJ/kg)	平均低热值/(kcal/kg)	折合标准煤系数
[标准油]	41.87	10000	1.429

续表

液体燃料名称	平均低热值/(MJ/kg)	平均低热值/(kcal/kg)	折合标准煤系数
液化石油气(液态)	45.22	10801	1.543
汽油	43.11	10297	1.471
煤油	43.11	10297	1.471
柴油	42.71	10199	1.457
原油	41.03	9800	1.400
重质燃料油	39.36	9401	1.343
沥青	37.69	9002	1.286
水焦浆	23.01	5495	0.785
水煤浆	14.65	3500	0.500
气体燃料名称	平均低热值/(MJ/m ³)	平均低热值/(kcal/m ³)	折合标准煤系数
液化石油气	87.92	21000	3.000
油田伴生气	45.46	10857	1.551
油煤气(热裂)	42.17	10073	1.439
天然气	36.22	8652	1.236
油煤气(催裂)	18.85	4501	0.643
沼气	18.85	4501	0.643
焦炉煤气	16.75	3997	0.571
水煤气	10.05	2401	0.343
电燃料名称	平均低热值/(MJ/kW·h)	平均低热值/(kcal/kW·h)	折合标准煤系数
电能	3.60	861	0.123

注：1kcal = 4186.8J。

折合标准煤系数 = 某种能源实际热值(kcal/kg)/7000(kcal/kg)

热功单位换算公式：1卡(cal) = 4.1868焦耳(J)

1.4 重质燃料油市场概况

重质燃料油市场不是一个独立的市场，与其他石油产品市场密不可分，同样受到地缘政治、原油市场、金融市场及市场供求变化等多方面因素的影响，在国际上较为重要的石油市场中均有相应的燃料油品种。

1.4.1 世界燃料油市场概况

1.4.1.1 资源状况

从全球范围内的燃料油资源来看，主要来自欧洲、中东和南美地区的大炼

油厂，此外远东和北美地区的炼油厂也有少量燃料油出口资源。

(1) 欧洲地区。北海、波罗的海、黑海、地中海沿岸各大炼油厂都出产燃料油，规格各异，各生产商一般采取现货出厂离岸销售，贸易商集中各炼油厂资源进行调合销售或直接销售，其中高硫、高黏度的产品多作为主要调合组分销往远东，低硫产品市场以美国为主。鹿特丹为西欧主要调合油基地，集中欧洲各地沿海出产的燃料油资源，针对不同的目标市场规模进行调合后，采用大型油轮运输实现跨地区贸易。还有很多贸易商针对市场需求和地区间差价情况，使用大型油轮采取沿途采购组分油，在船上进行调合的方式，尽量接近目标市场的品种规格，实现整船燃料油跨地区贸易。

欧洲北海、波罗的海地区资源可以用超大型油轮(VLCC 船型)运往远东地区，能否实现跨区交易，主要看地区差价和运费水平。

(2) 中东地区。中东地区的燃料油出产国家主要有伊朗、沙特、科威特等，燃料油消费市场主要是迪拜。迪拜依靠其优越的地理位置，已经发展成为世界上最大的船舶燃料油消费集散地，以致中东和欧洲部分地区的燃料油大量流向迪拜，此外还销往远东市场。

(3) 南美地区。巴西、委内瑞拉国家石油公司是南美最大的燃料油出口商，出口产品多为高黏度、高密度燃料油。委内瑞拉燃料油多以超大型油轮销往远东市场。巴西燃料油含硫量较低(1.5%以下)，适合作船舶燃料油调合组分。

(4) 远东地区。俄罗斯主要从纳霍特卡 and 海参崴两港出口低硫直馏燃料油(M100)，由于 M100 燃料油含硫较低，受到日本、中国市场的欢迎。另外中国一些地方炼油厂将 M100 燃料油作为原料油，其需求量不稳定，视炼油效益和开工率的变化而变化。

(5) 亚洲地区。韩国以现代和 SK 两家石油公司生产的燃料油为主。近两年随着炼油厂加工深度的提高，直馏燃料油的产量和出口量大幅度减少。另外，日本、中国台湾、泰国、菲律宾等国家和地区的炼油厂也有少量的燃料油出口。

1.4.1.2 消费趋势

从世界燃料油消费变化趋势来看，由于重质燃料油是原油炼制过程中的最后一道产品，其价值含量相对较低。当原油价格低廉时，重质燃料油在电力、热力、冶金、化工、船运、建材等行业得到广泛应用。在 20 世纪 70 年代初期，一些发达国家的年燃料油消费量占石油消费总量的 40% ~ 55%，一度成为发达国家消费量最大的油品。在两次全球性石油危机(1973 ~ 1974 年、1979 ~ 1980 年)中，发达国家遭受了巨大的经济损失，促使其调整经济政策，改善能源结构，努力降低石油消耗。由于重质燃料油的可替代性较强，成为能源结构调整

的主要目标。到 21 世纪初期,一些发达国家的重质燃料油年消费规模与 20 世纪 70 年代相比降幅达到 50% ~ 70%。由此看来,各国重质燃料油的消费水平受其国家的经济政策、环保要求和能源结构的影响较大。相比之下,目前一些发展中国家对燃料油的需求较高,特别是对廉价的高硫燃料油,这其中包括中国在内。长期来看,随着水上船运市场的发展,船用燃料油的市场需求在不断增长;随着节能、环保意识的不断提高,陆上炉用燃料油的市场需求呈现萎缩趋势。从世界重质燃料油供需情况看,总体呈现供过于求的局面;从地区供需平衡来看,亚太地区和北美地区的重质燃料油资源缺口较大,需要从其他地区进口补充。

1.4.1.3 新加坡燃料油市场概况

新加坡燃料油市场是一个比较特殊的市场,其本身燃料油产量很低,由于新加坡依靠其优越的地理位置和注重石油交易市场的长期发展,吸引了几乎所有跨国石油公司和全球性石油贸易公司参与新加坡燃料油市场经营,全球其他地区的低品质燃料油资源流向新加坡,经过油品调合后再进行分销。目前新加坡燃料油市场仓储能力超过 300 万立方米,市场规模在(3000 ~ 4000)万吨,已经发展成为亚太地区最大的燃料油调合基地和石油交易集散地,其中船舶燃料油年销量超过 2000 万吨,成为新加坡普氏油品交易中最活跃的品种之一,也是新加坡纸货交易量最大的品种之一,在世界燃料油市场中有着举足轻重的作用。亚太地区燃料油交易价格大都以新加坡普氏市场 MOPS 价格作为基准价。

新加坡燃料油市场主要由三个部分组成,一是现货市场,二是普氏(PLATTS)市场,三是纸货市场。

(1) 现货市场。现货市场是指传统的燃料油现货交易市场。现货市场交易是指在世界范围内的石油现货的买卖,即在任何时间、任何地点,买卖双方通过面洽、电话、电传等任何方式而达成的石油现货买卖。

(2) 普氏(PLATTS)公开市场。普氏公开市场是指新加坡每天 16:00 ~ 16:30 在普氏公开报价系统(PAGE 190)上进行公开报价的市场。普氏市场根据当日在报价系统上成交的数量和价格,按照交易规则和一定的估价方法进行估算后,形成当日的燃料油市场闭市价格;如当日该系统上没有成交纪录,普氏市场对当日买卖双方的报价意向进行估算,公布出一个当日价格,起到发现价格的作用。

(3) 纸货市场(Paper Market)。新加坡纸货市场也属于衍生品市场,它是场外交易市场,简称 OTC 市场(over the counter),不是交易所场内市场。OTC 市场和交易所市场完全不同,OTC 没有固定的场所,没有规定的成员资格,没有

严格可控的规则制度,没有硬性的交易品种的限制,主要是交易对手通过私下协商进行的一对一的交易。

由于纸货市场是一种信用交易市场,履约担保完全依赖于成交双方的信誉,这要求参与纸货市场交易的公司都是国际知名、信誉良好的大型公司,如投资银行和商业银行、跨国石油公司、大型石油贸易商等,绝大多数企业只能采取二级代理(委托)的方式进行纸货交易。新加坡纸货市场的交易品种主要有石脑油、汽油、柴油、航煤和燃料油,其主要作用是提供一个避险的场所,它的交易对象是标准合约,合约的期限最长可达三年,每手合约的数量为5000吨,合约到期后不进行实物交割,而是进行现金结算,结算价采用普氏公开市场最近一个月的加权平均价。

1.4.2 中国燃料油市场概况

1.4.2.1 行业发展回顾

1998年以前我国对燃料油资源采取计划经济管理的模式。1998年国家取消对燃料油的生产计划安排和定价,转为制定指导性生产计划和指导性价格,生产企业开始自主经营。为保持国内燃料油市场的供需平衡,国家通过对燃料油进口实行配额管理的方式,对市场供需进行宏观调控。2001年10月国家公布正式放开燃料油的价格,使燃料油的流通和价格完全由市场调节。2001年12月11日中国正式成为世贸组织成员后,国家为推进燃料油市场化的步伐,不断批准新增具有燃料油进口贸易资质企业的数量,燃料油进口配额也逐年递增,直到2004年1月1日,国家对燃料油国营贸易进口取消配额管理,改为自动登记许可管理,使国内燃料油市场与国际市场完全接轨,表明我国燃料油市场已全面开放。2004年8月25日上海期货交易所正式挂牌燃料油期货合约,标志着我国进一步完善燃料油市场定价机制,燃料油已成为我国石油产品中市场化程度最高的品种之一。

1.4.2.2 市场供需变化

随着我国国民经济的不断发展,燃料油市场消费呈现缓慢增长的特征。自1990~2008年期间,我国原油加工总量从1.15亿吨增长到3.42亿吨,年均增幅11%;相比之下,我国燃料油表观消费量从1990年的3238万吨增长到2005年的4999万吨,年均增幅仅为3.6%,远远低于原油加工量的增长速度。随着国家“十五”节约替代燃油规划和“十一五”十大重点节能工程实施意见的进一步落实,特别是国家制定了“节能减排”发展目标,加快对能源结构的调整,不断提高环保要求,从2006年开始国内燃料油表观消费量呈现快速下降的趋势,到