



【日】国井大藏主编

重油燃烧技术

石油化学工业出版社

重 油 燃 烧 技 术

〔日〕 国井大蔵 主编

东方锅炉厂《重油燃烧技术》翻译组译

石油化学工业出版社

内 容 提 要

本书是一本实用技术书。书中的理论论述比较通俗，公式的推导因繁就简，同时，提供了较多的经验公式、实用数据和计算图表。书中简要地介绍了重油的生产、规格和性质，重点全面地阐述了重油的燃烧机理、计算方法、燃烧设备的结构及操作技术。并将辅助设备和燃烧产物的危害等等作了简要介绍。

本书适用于设计人员参考，也可供安装和操作人员参考。

全面改訂・増補 第2版 昭和45年

实用重油燃烧

日本 国井大蔵 監修

日本 東京 安信印刷工業株式会社

重油燃烧技术

〔日〕国井大蔵 主编

东方锅炉厂《重油燃烧技术》翻译组译

*

石油化学工业出版社出版

（北京和平里七区十六号楼）

石油化学工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

*

开本 $787 \times 1092^{1/32}$ 印张 $8^{3/4}$ 插页 1 字数 190 千字印数 1—6,900

1977年5月北京第1版 1977年5月北京第1次印刷

书号 15063·油 107 定价 0.71 元

说 明

为了提高以重油为燃料的工业锅炉、加热炉和窑炉的热效率，尽可能做到合理用油、节约用油，充分发挥重油的热能，我们翻译了《重油燃烧技术》一书，供有关设计、安装和操作人员参考借鉴。

在翻译过程中，遵照伟大领袖毛主席关于“洋为中用”的教导，批判地吸收外国的东西，为我所用，我们对一些经验公式、实用数据和计算图表尽可能保留全译。对资本主义国家的规章制度(如法规)和没有参考价值的液化石油气部分均删掉了。

原书初版于一九六一年发行以来，曾进行了五次修订。我们是根据一九七〇年最后一次全面修订增补第二版翻译的。在翻译时，译者对原书中一般性技术错误做了订正。对技术上的原则性错误不仅做了订正，还加了必要的注释。由于我们水平不高，定有不妥或错误之处，热望读者批评指正。

东方锅炉厂《重油燃烧技术》翻译组

一九七五年十二月

目 录

第一编 重油的燃烧

第一章 重 油	1
第一节 重油的生产	1
第二节 重油的性质及规格	2
1. 反应	3
2. 闪点	4
3. 粘度	5
4. 倾点和凝固点	7
5. 残炭	8
6. 水分及杂质	8
7. 灰分	9
8. 硫分	10
9. 发热量	11
10. 比重	13
11. 安定性	15
12. 重油的规格	15
第三节 重油的计量	18
第四节 重油的燃烧机理	20
1. 燃烧机理	20
2. 雾化及油滴的燃烧	20
3. 火焰热辐射	23
第二章 重油燃烧计算	25
第一节 有关定律	25
1. 质量不灭定律	25

2. 定比定律	25
3. 波义尔定律	25
4. 查理定律	26
5. 波义尔-查理定律	26
6. 阿伏伽德罗定律	27
7. 气体状态方程式	27
8. 多尔顿定律	29
第二节 可燃元素的燃烧反应	31
1. 碳与氧的反应	31
2. 氢与氧的反应	32
3. 硫与氧的反应	32
4. 在空气中的反应	32
第三节 由元素分析进行燃烧计算	33
1. 燃烧计算实例	33
2. 燃烧计算公式	41
第四节 发热量与空气量及烟气量之间的关系	43
第五节 由烟气分析进行燃烧计算	44
1. 由烟气分析进行燃烧计算实例	44
2. 过剩空气量, 求 $(CO_2)_{\text{最大}}$ 的公式	48
3. 漏风量的探讨	50
第六节 奥萨特烟气分析	51
1. 结构及使用方法	51
2. 奥氏烟气分析与水蒸汽的关系	53
3. 吸收液配制法	54
第七节 理论燃烧温度	54
第八节 热和焓	56
1. 比热和显热	56
2. 内能和焓	59
第九节 湿空气	62
1. 湿度	62

2. 湿空气的焓、比热、比容	65
第十节 热平衡	67

第二编 重油燃烧设备

第一章 燃烧室(炉膛)	69
第一节 燃烧室设计的基本原则	69
第二节 燃烧室容积的确定	70
1. 燃烧室容积, 容积热强度	70
2. 由烧煤改烧重油的注意事项	71
第三节 燃烧器火焰与受热面的关系	72
1. 水管式蒸汽锅炉	72
2. 外燃横火管锅炉及其它	72
第四节 燃烧器璇口	73
1. 燃烧器璇口的形状	73
2. 燃烧器璇口直径的计算	73
第五节 砌 炉	75
1. 砌炉材料的选择	76
2. 耐火砖和耐火灰浆	76
3. 燃烧室的温度和通风	76
4. 炉墙, 烟道	77
5. 烟道截面积的确定	78
第二章 油燃烧器	80
第一节 压力雾化燃烧器	81
第二节 回转式雾化燃烧器	85
第三节 低压空气雾化燃烧器	87
第四节 高压空气(蒸汽)雾化燃烧器	90
第五节 枪式雾化燃烧器	95
第六节 重油燃烧器的选择	98
第七节 雾化重油需要的粘度	99
第三章 储油罐	101

第一节 重油罐的容量、结构和设备	101
1. 重油罐容量	101
2. 重油罐的结构	102
3. 重油罐的形状	106
第四章 重油管道	107
第一节 重油管道的大小	107
第二节 管径和流速	108
第三节 送油管道的压力损失和摩擦阻力的计算	110
第四节 燃烧器管道的布置方式	113
第五节 风道布置	116
第六节 管接头和垫片、填料	117
第七节 重油管道保温	118
第五章 给油罐	119
第六章 给油泵	121
第七章 油过滤器	123
第八章 油加热器	125
第九章 测量仪表及其它	131
第一节 测量仪表装置	131
1. 储油罐用测量仪表	131
2. 给油罐用测量仪表	132
3. 重油泵用测量仪表	132
4. 重油预热器用测量仪表	133
5. 燃烧器用测量仪表	134
6. 其它	136
第二节 重油流量计	136
1. 齿轮型容积式流量计	136
2. 罗茨型容积式流量计	137
第三节 温度计	139
1. 金属套管温度计	139
2. 压力表	141

3. 热电偶式温度计与电阻式温度计的比较	141
第四节 氧量分析仪	142
1. 磁性氧量分析仪	144
2. 密度式氧量分析仪	144
 第三编 重油的使用和燃烧技术	
第一章 使用重油的注意事项	145
第二章 燃烧开始前的准备试验	147
第三章 重油燃烧操作注意事项	148
1. 点火时的注意事项	148
2. 再点火时的注意事项	148
3. 燃烧工况的判别	149
4. 灭火时的注意事项	151
5. 重油燃烧操作故障及原因	151
6. 逆火、突然灭火、炉鸣的原因	151
7. 对负荷变动的处理	153
8. 防火和灭火	155
第四章 通风、空气预热和排烟损失	156
第一节 通 风	156
1. 通风强度的确定	158
2. 烟囱的高度和截面积	160
3. 关于烟囱的法规	164
第二节 空气的预热	165
第三节 排烟损失	167
第五章 锅炉实用简易计算	170
1. 锅炉资料	170
2. 简易计算	171
3. 计算公式说明	172
4. 所需的有关公式	173
第六章 锅炉热平衡实例	177

第七章	低温腐蚀和高温腐蚀	184
第八章	低过剩空气燃烧	186
第九章	重油燃烧添加剂	188
第十章	重油燃烧与大气污染	190
第一节	污染物的组成	190
第二节	污染物的危害	192
第三节	污染物的扩散	192
第四节	污染物发生源的污染度	195
第五节	过剩空气系数与污染度的关系	197
第六节	排 烟	199

第四编 重油燃烧器的调整及计算举例

第一章	锅炉容量和重油燃烧器	208
第一节	企业的种类与锅炉及燃烧器的型式	208
第二节	锅炉的受热面和蒸发率	209
第三节	燃烧器容量的确定	210
第四节	燃烧器容量和燃烧室容积	212
第五节	重油燃烧器的火焰长度和宽度	215
第六节	蒸汽雾化喷嘴所需蒸汽量及直径	215
第二章	重油燃烧器的调整	218
第一节	蒸汽(空气)雾化燃烧器	218
第二节	回转式燃烧器	219
第三节	压力雾化燃烧器	221
第三章	烟囱通风计算	224
1.	通风强度和烟速的关系	224
2.	自然通风	224
3.	强制通风	225
4.	烟囱直径的确定	226

第五编 单位换算及有关图表

1. 原子量表	229
2. 单位换算表	230
3. 单位换算图	238
4. 温度换算表	239
5. 粘度换算图	244
6. 重油粘度图	245
7. API 度与比重的关系	246
8. 重油粘温曲线图	插图
9. 重油的比重和发热量的关系	247
10. 重油体积的温度修正系数	248
11. 重油比重温度换算表	250
12. 管内重油流量图	251
13. 固体、液体燃料的助燃风量图	252
14. 重油助燃风量图	253
15. 重油燃烧,干排烟中的显热损失计算图	254
16. 锅炉蒸发率图	255
17. 蒸发率和锅炉效率图(重油)	256
18. 锅炉给水、炉水的标准值(日本工业标准)	257
19. 燃烧重油烟囱的尺寸图表	258
20. 烟囱抽力概算图表	259
21. 管道内饱和蒸汽流量图	260
22. 用干湿球温度计测得的相对湿度	261
23. 塞格熔锥(SK)的软化温度	262
24. 保温材料的传热系数	262
25. 金属及合金的物理性能	263
26. 饱和蒸汽表	265
27. 常用对数表	267

第一编 重油的燃烧

第一章 重 油

当原油蒸馏时，在蒸馏塔内残留的残渣油，总称为重油。商品重油，一般分为 A、B、C 三种。

在英语中，重油的名称较多。从“比重大的油”的含义讲，叫重油；从“蒸馏残渣”的含义讲，叫渣油；此外，作燃料的重油还叫燃料油；作船舶燃料使用时，又叫船用重油等等。

重油的概略计算可取分子式为 $C_{12}H_{23}$ (当 $C \approx 87\%$ ， $H \approx 13\%$ 时)，重油的比重如下：

A 重油 $= 0.850 \sim 0.915$;

B 重油 $= 0.910 \sim 0.930$;

C 重油 $= 0.930 \sim 1.000$ 。

第一节 重油的生产

重油按石油炼制过程的不同，可分为直馏重油、裂化重油和调合重油三种。

当原油在常压蒸馏装置中分馏时，依汽油、煤油、柴油的顺序，从蒸馏塔顶或塔的侧线分馏出来。分子量比轻油大的、重的油，分馏不出，残存在塔底。一般称为重油。这也叫蒸馏残渣油或塔底油。

为了从这种渣油中再制取润滑油，将其在减压蒸馏装置中再次加热蒸馏时，便从塔顶和塔侧线分馏出轻油和轻质润

滑油(粘度低的润滑油)。这时未能分馏出的高分子重质部分留在塔底。这种渣油便是沥青渣油。此后,根据所加工原油的种类,这种沥青渣油,有时加工成沥青,有的再经过脱蜡,进一步加工成粘稠的重质润滑油。此外,在某些情况下,也有将这种以沥青为主的渣油用轻油或B重油加以稀释,加工成C重油。

这样获得的渣油,一般叫做直馏重油。

为进一步增产汽油,将这种直馏重油放在热裂化装置中,在高温下裂化、蒸馏,又能获得重油和焦油。

为生产高辛烷值汽油,将煤油和轻油放到催化裂化装置中,借催化剂的作用使它们裂化;在这一炼制过程中,使裂化气的一部分再次聚合为重质化合物。

这些通常总称为裂化重油。

按原油的种类,常压、减压蒸馏装置生产的渣油,可以优质重油直接出厂;但当渣油中沥青较多时,由于其粘度过高,直接使用比较困难,因而,常常用轻油调合稀释到适当浓度。而裂化重油,则多半不是直接使用。由于重质燃料油高温裂化以后还能聚合,所以其中含有不饱和的烯烃较多,而且在裂化过程中产生的碳分子多呈游离状态,因而还不能说是优质重油。一般与其它油调合,以调整其性状。

调合重油时,在直馏重油、裂化重油中,重油的成分还因原油的种类而有所不同。由于调合后常产生沉淀物或胶状物质,因而,选择调合油的种类是很重要的,往往需要根据多次试验和多年的经验来确定。

第二节 重油的性质及规格

使用重油时,必须选取与其用途相适应的性质。为了选

取最适用的重油，应很好地了解重油的性质，譬如标准中规定的闪点、粘度和硫分等。以这些参数评价重油的质量。

1. 反 应

反应是对重油进行定性分析，以确定它是酸性、碱性还是中性。

重油一般是中性的，但是，因在石油炼制过程中，使用硫酸或苛性钠等，所以有显示酸性或碱性的可能性。在这种情况下，重油储存和使用时，会腐蚀储罐、管道、泵和燃烧器等金属部分；同时，这也是产生水与悬浊物的原因。

由石油炼制的重油绝大多数是中性的，所以在购买由石油生产的重油时，对“反应”不必特别注意；而对煤焦油重油或人造石油重油，因往往大量含有酸或碱，则要特别注意“反

表 1-1 铜板腐蚀分类

变色序号	变色程度	说 明	ASTM 变色	标准板 分 类
1	微小变色	淡橙黄色（与研磨铜板颜色几乎相同）	1	a
		深橙黄色	1	b
2	中等变色	粉红色	2	a
		紫中透淡红色	2	b
		橙色上带深红、青紫等混合状色	2	c
		浅金黄色带银色光泽	2	d
		金黄色光泽	2	e
3	深度变色	金黄色光泽上带粉红色	3	a
		粉红色上带忽绿忽紫的光泽（玉虫色光泽）	3	b
4	腐 蚀	可见青紫色	4	a
		石墨黑	4	b
		有黑色光泽	4	c

应”。

当特别需要检查腐蚀情况时，可将磨光的铜片放在重油中，在 50℃ 加热 3 小时之后，检查铜片是否腐蚀。

腐蚀试验的结果，用表 1-1 中 1~4 的变色序号来表示。

反应的试验方法采用 JIS(日本工业标准)K2252 石油制品的反应试验方法。

2. 闪 点

所谓闪点，就是把火焰接近到加热重油油面上产生的油蒸气和空气的混合物时，引起混合物闪火的最低温度。再继续加热，火焰接近时，不但闪火，而且可继续燃烧。此燃烧时的温度叫燃点。一般，燃点比闪点高 7~10℃。

闪点是表示重油闪火温度的；闪点以下的温度，意味着没有着火的危险。JIS 标准中规定的重油闪点，A、B 重油在 60℃ 以上，C 重油在 70℃ 以上。

闪点过高时，燃烧器点火有很多困难，闪点大于 140℃ 的重油，燃烧器难于点火，不适用。

C 重油的闪点一般在 100℃ 左右，用于锅炉时，加热到接近闪点的温度，就容易着火。不过，预热温度，至少应限制在比闪点低 4℃ 左右。

闪点为 70℃ 时，重油的最大预热温度为 $70^{\circ}\text{C} - 4^{\circ}\text{C} = 66^{\circ}\text{C}$ 。

日本产的 A、B、C 重油闪点的平均值和波动范围，示于表 1-5。

即使不接近火种也能自然发火的温度叫发火点或着火温度，重油的着火温度为 530~580℃。

如炉内温度，低于着火温度时，将使着火恶化，燃烧不好。

3. 粘 度

重油的粘度，被看作燃烧器燃烧时很重要的特性之一。粘度可看作流体运动时其内部的阻力。

粘度有绝对粘度和相对粘度之分。绝对粘度用泊表示，单位为：克/厘米·秒。泊的 1/100 叫厘泊。相对粘度是绝对粘度与 20℃ 的水的绝对粘度之比。因 20℃ 的水的绝对粘度为 0.01 泊，所以，相对粘度若乘以 0.01，即为以泊为单位的绝对粘度。

一般，表示石油类的粘度，有用运动粘度的，运动粘度和绝对粘度之间存在以下关系：

$$t^{\circ}\text{C 时的运动粘度} = \frac{t^{\circ}\text{C 时的绝对粘度}}{t^{\circ}\text{C 时的密度}} \quad (1-1)$$

运动粘度的单位用沱表示。沱的 1/100 叫厘沱。重油的粘度常用厘沱即 1/100 沱 (cst) 来表示。

重油的粘度，用过去常用的雷德伍德粘度计（以下简称雷氏粘度计）、赛波特粘度计（以下简称赛氏粘度计）以及恩氏粘度计等进行测定。用这些粘度计求得的粘度，只是简单方便的使用单位，没有什么物理意义，可用以下经验公式互相换算。

各种粘度和绝对粘度换算式：

$$\text{恩氏粘度计 } \mu = \left(0.001435 T - \frac{3.22}{T} \right) d \quad (1-2)$$

$$\text{雷氏粘度计 } \mu = \left(0.00260 T - \frac{1.535}{T} \right) d \quad (1-3)$$

$$\text{赛氏粘度计 } \mu = \left(0.00213 T - \frac{1.535}{T} \right) d \quad (1-4)$$

式中 μ ——绝对粘度；

T ——使用各种粘度计的秒数；

d ——比重。

恩氏粘度和相对粘度换算式:

$$Z = S \left(4.072 E - \frac{3.514}{E} \right) \quad (1-5)$$

式中 Z ——相对粘度;

S ——室温时试验材料的比重;

E ——恩氏粘度。

设各种粘度在同一温度下, 三种粘度的相互关系为:

$$\text{雷氏粘度} = 192.2 K \left(1 + \sqrt{1 + \frac{0.01624}{K^2}} \right) \quad (1-6)$$

$$\text{赛氏粘度} = 228.7 K \left(1 + \sqrt{1 + \frac{0.01309}{K^2}} \right) \quad (1-7)$$

$$K = 0.08109 E - 0.07013/E$$

式中 E 为恩氏粘度。

用喷射雾化的方法使重油蒸发燃烧时, 粘度越低, 雾化越容易。因粘度受温度控制, 所以即使在常温下高粘度的重油, 亦可经预热调整到适当的粘度后使用。降低重油粘度的适宜的预热温度示于本书第二编表 8-2、表 8-3 和表 8-5。此外, 用泵送油时, 粘度也是很重要的因素, 必须与流动点同时考虑。一般认为, 用泵送油时合适的粘度范围在雷氏粘度 3,000~4,000 秒之间。

A 重油不必预热; B 重油和 C 重油一般预热后使用。

粘度对燃烧的影响

粘度过高时:

- (1) 从储油罐向燃烧器送油困难, 燃烧不均匀;
- (2) 油往往从燃烧器漏出炉外;
- (3) 燃烧器供油不足, 点火困难;