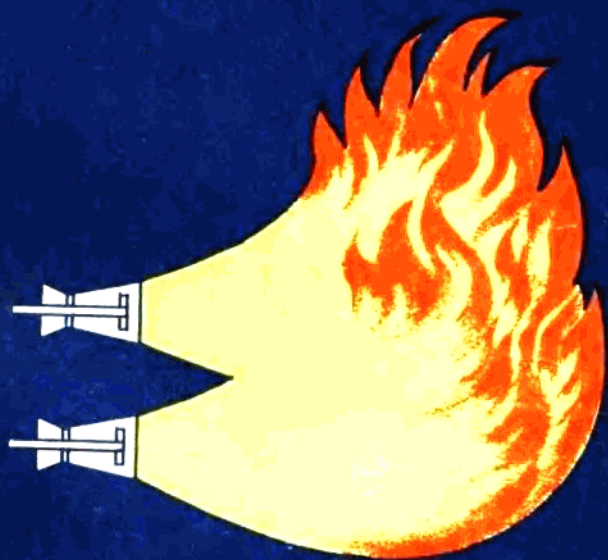


燃油锅炉 燃烧设备及运行

《燃油锅炉燃烧设备及运行》编写组



水利电力出版社

燃油锅炉燃烧设备及运行
《燃油锅炉燃烧设备及运行》编写组

•
水利电力出版社出版
(北京德胜门外六铺炕)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售
水利电力出版社印刷厂印刷

•
1976年10月北京第一版
1976年10月北京第一次印刷
印数 00001—15500 册 每册 1.70 元
书号 15143·3204

内 容 提 要

本书是为提高我国燃油锅炉运行技术水平和满足现场培训工作的需要,由科研、生产和教学人员组成三结合编写组,在进行大量调查研究的基础上编写的。全书共分九章,重点介绍燃料油的特性,油的燃烧过程,油喷嘴和配风器的原理、结构和计算,燃油锅炉的燃烧调整;详细阐述了燃油锅炉的事故及预防措施,过热蒸汽温度特性及调整方法,以及受热面的积灰和腐蚀问题及其处理对策;书中还扼要介绍了燃油锅炉的测试方法。全书的针对性强,有插图 300 余幅,介绍了很多宝贵的经验和数据,理论联系实际,文字通俗,适于锅炉专业技术人员、工人和大、中专院校热机专业师生阅读和参考。

前 言

在毛主席革命路线的指引下，我国的电力工业发展很快。特别是史无前例的无产阶级文化大革命，摧毁了刘少奇、林彪两个资产阶级司令部，狠批了他们推行的反革命修正主义路线，提高了广大干部和群众的阶级斗争和路线斗争觉悟，推动了生产力的发展。国产高参数大容量火力发电机组已经成批投入运行，发电装机容量逐年大幅度增长，用毛泽东思想武装起来的广大电业职工队伍正在成长壮大。

当前，全国人民在毛主席为首的党中央领导下，坚持党的基本路线，认真学习无产阶级专政理论，以阶级斗争为纲，贯彻执行毛主席的一系列重要指示，回击右倾翻案风，抓革命，促生产，大干社会主义，“工业学大庆”、“农业学大寨”的群众运动正在深入开展。广大电业职工决心加快电力工业建设步伐，为“在本世纪内把我国建设成为社会主义的现代化强国”多做贡献。

近年来，随着我国石油工业的发展，我国燃油锅炉的数量逐步增多。为了提高我国的燃油技术水平和满足燃油电厂培训工作的需要，在东北电业管理局和黑龙江省电力局的组织领导下，哈尔滨工业大学锅炉教研室、黑龙江省电力中心试验所、安达发电厂和东北电业管理局技术改进局的工人、技术人员和教师坚持上层建筑领域的社会主义革命，坚持开门办学、开门办科研，组成了三结合编写组，在进行大量调查研究的基础上，立足于我国电厂燃油锅炉的生产实践，编写了《燃油锅炉燃烧设备及运行》一书。

本书共分九章，重点介绍了燃料油的特性，油的燃烧过程，油喷嘴和配风器原理、结构和计算，燃油锅炉的燃烧调整；详细阐述了燃油锅炉事故的预防措施，过热蒸汽温度特性及调整方法，受热面的积灰和腐蚀原因及防止对策；并且扼要介绍了燃油锅炉的测试方法。全书有插图 300 余幅，文字力求通俗。为了适应不同读者的需要，书中对某些问题的探讨、公式的推导和设计计算举例，用小号字排出，以便读者选读参考。

本书编写过程中，曾得到许多制造部门、科研单位和发电厂的热情支持和协助；本书初稿写成后，曾数次邀请东北地区燃油电厂和有关部门的工人、技术人员和教师进行了审查，在此谨致谢意。

由于我们水平所限，书中错误和缺点在所难免，希望读者批评指正。

《燃油锅炉燃烧设备及运行》编写组

一九七六年三月

目 录

前 言

第一章 燃料油	1
1-1 石油的生成	1
1-2 石油的组成	2
一、石油的元素组成；二、石油中的碳氢化合物和胶状沥青状物质	
1-3 燃料油的某些特性	5
一、比重；二、发热量；三、比热；四、凝固点与沸点；五、粘度；六、闪点、燃点；七、静电特性	
1-4 石油的炼制及锅炉常用的燃料油	10
一、重油；二、原油；三、柴油	
第二章 油的燃烧过程	14
2-1 燃烧的基本条件	14
一、燃烧所需要的空气量；二、温度在燃烧过程中的作用	
2-2 油的燃烧	16
一、油燃烧的特点；二、油滴的燃烧；三、重油油滴燃烧的特点	
2-3 着火过程	20
一、自燃；二、点燃	
2-4 火焰的稳定性	25
一、一般的火焰是怎样保持稳定的；二、锅炉内的火焰是怎样保持稳定的；三、影响火焰稳定性的因素	
2-5 混合及其对燃烧的影响	30
一、在炉膛内是怎样进行混合的；二、混合燃烧和扩散燃烧；三、燃油锅炉中的情况	
2-6 燃油锅炉的经济性	33
一、燃油锅炉的热损失；二、未完全燃烧损失；三、排烟损失；四、锅炉效率；五、厂用电	
2-7 炉膛容积热负荷	38
一、燃烧对炉膛容积的要求；二、传热条件对炉膛容积的要求；三、炉膛容积热负荷的选择	
第三章 油喷嘴的原理、结构和计算	43
3-1 油喷嘴的分类	43
一、机械雾化喷嘴；二、转杯式喷嘴；三、蒸汽（或压缩空气）雾化喷嘴；四、低压空气雾化喷嘴	
3-2 简单机械雾化喷嘴	45
一、机械雾化喷嘴的工作原理；二、雾化质量的主要指标；三、简单机械雾化喷嘴的计算；四、简单机械雾化喷嘴的型式；五、几种简单机械雾化喷嘴的试验结果	

3-3 影响简单机械雾化喷嘴雾化质量的因素	54
一、运行参数的影响；二、结构尺寸的影响；三、加工质量的影响	
3-4 简单机械雾化喷嘴的计算原理	62
一、喷雾量的计算；二、雾化角的计算；三、理论计算的修正	
3-5 回油式机械雾化喷嘴	71
一、可调节喷嘴的种类；二、回油喷嘴的工作原理；三、回油喷嘴的参数；四、喷嘴结构尺寸对喷嘴工作的影响；五、切向孔式柱形回油喷嘴；六、回油喷嘴的调节方式；七、回油喷嘴的设计数据	
3-6 回油喷嘴的理论计算参考资料	85
一、最大回油压力的计算；二、集中大孔回油喷嘴的理论计算；三、分散小孔回油喷嘴的理论计算	
3-7 蒸汽雾化喷嘴	94
一、纯蒸汽雾化喷嘴；二、蒸汽机械雾化喷嘴；三、超声波雾化喷嘴；四、Y型喷嘴	
第四章 配风器的原理、结构和计算	107
4-1 配风器的分类	105
一、旋流式配风器；二、直流式配风器	
4-2 配风的基本原则	105
一、必须有根部风；二、早期混合要强烈；三、应当有一个大小和位置适当的回流区；四、后期混合也要强烈	
4-3 气体流动的基本概念	115
一、直流气流；二、旋转气流及旋流强度；三、风口对气流的影响；四、阻力	
4-4 蜗壳式配风器	125
一、蜗壳式配风器的结构和工作原理；二、旋流强度计算；三、阻力计算	
4-5 切向叶片式配风器	130
一、切向叶片式配风器的结构和分类；二、旋流器；三、旋流强度计算；四、阻力计算；五、切向可动叶片配风器的试验研究	
4-6 轴向叶片式配风器	136
一、轴向叶片式配风器的结构和分类；二、旋流器；三、旋流强度计算；四、实际旋流强度；五、阻力计算；六、几种典型结构及其试验研究	
4-7 几种近期设计的配风器	149
4-8 小型油炉的配风器	150
4-9 四角布置的直流式配风器	152
一、四角布置的直流式配风器的结构和特点；二、稳焰器；三、直流式配风器的热力试验研究；四、四角燃烧的空气动力场；五、阻力计算	
4-10 平流式配风器	160
一、平流式配风器的型式；二、平流式配风器的阻力和风量分配；三、稳焰器；四、热态试验情况；五、可调节式配风器	
4-11 燃烧器的计算及布置	173

4-12 配风器计算举例	178
一、四角燃烧平流式配风器计算举例；二、弯曲叶片稳焰器计算举例	
第五章 燃烧调整	185
5-1 燃烧调整的任务	185
5-2 风量调整	186
一、空气过剩系数的监督；二、风量调整；三、引风调整；四、烟气量的计算	
5-3 油喷嘴的调整和维护	194
一、燃油量的调节；二、喷嘴的位置；三、雾化角的选择；四、油喷嘴的维护	
5-4 火焰调整	202
一、火焰中心的调整；二、几种不正常火焰的分析；三、烟色监视	
第六章 几个运行问题	206
6-1 燃油锅炉的几种事故	206
一、锅炉熄火；二、炉膛爆炸；三、尾部再燃烧；四、过热蒸汽超温；五、燃油污染汽水系统	
6-2 关于油中掺水燃烧	210
6-3 煤油混烧	213
一、旋流式煤粉燃烧器的燃油适应性；二、煤油抢风；三、结焦；四、热平衡试验的计算	
第七章 过热蒸汽温度	222
7-1 过热器的传热过程及其对汽温的影响	222
一、对流过热器的传热过程；二、屏式过热器及辐射过热器的传热特点	
7-2 炉膛内部过程对过热器吸热量的影响	226
一、炉内传热过程对过热器吸热量的影响；二、燃烧对过热器吸热量的影响	
7-3 过热汽温的调节方法	229
一、蒸汽侧调温的方法；二、烟气侧调温的方法	
7-4 燃油锅炉过热蒸汽超温现象的讨论	231
一、超负荷；二、给水温度降低；三、炉膛出口空气过剩系数增加；四、燃烧的影响；五、热力计算方面的问题；六、其他解决过热器超温的措施	
7-5 煤粉炉改烧油以后汽温偏低的讨论	237
一、汽温偏低的原因；二、提高汽温的措施	
第八章 受热面的积灰和外部腐蚀	243
8-1 积灰	243
一、高温积灰；二、低温受热面的牢固性积灰；三、粘性积灰；四、疏松积灰	
8-2 高温腐蚀	247
8-3 低温腐蚀的机理	250
一、三氧化硫的生成；二、硫酸蒸汽的凝结和露点；三、腐蚀速度和低温腐蚀的规律	
8-4 影响低温腐蚀的几个因素	257
一、燃料油含硫量的影响；二、空气过剩系数的影响；三、水蒸汽分压力的影响；四、燃烧工况的影响；五、燃烧方式的影响	
8-5 防止低温腐蚀的措施	261

一、低氧燃烧；二、使用附加剂；三、提高受热面的壁温使它超过露点；四、采用耐腐蚀材料或涂料

8-6 钢珠除灰.....272

一、钢珠除灰系统和工作原理；二、钢珠的收集和分离设备；三、输送设备；四、钢珠的分配和播散设备；五、钢珠除灰设备的调整

第九章 燃油锅炉试验方法.....284

9-1 油喷嘴冷态雾化试验.....284

一、喷油量的测定；二、雾化角的测定；三、分散度的测定；四、雾化粒度的测量

9-2 烟气分析.....291

一、色谱法；二、检测管

9-3 碳未完全燃烧损失的测定.....300

一、概述；二、过滤称重法；三、燃烧法

9-4 露点测定.....308

一、光电式露点计；二、导电式露点计

9-5 烟气中三氧化硫浓度的测定.....313

一、异丙醇法；二、冷凝法

9-6 腐蚀速度的测定.....318

一、短期腐蚀速度的测定；二、长期腐蚀速度的测定

9-7 烟色的评定和监视.....320

一、六级烟色评定法（林格尔曼法）；二、光电式烟色计

第一章 燃 料 油

1-1 石 油 的 生 成

锅炉所用的燃料油都是取自石油。

石油深深地埋藏在地下或水底的岩石中。这些岩石的年代都很古老，有的可达几亿年，年代近的也可达几千万年。

石油是怎样生成的呢？在古代的海洋和湖泊里，繁殖了大量的动物和植物，它们不断地生长和死亡。有时气候条件改变了，或者水中的盐度改变了，更会引起大批生物的死亡。同时，每年从陆地上冲到海洋和湖泊里的生物遗体数量也是可观的。所有这些生物遗体和泥砂一起沉到海底或湖底。而在那里水是经常停滞的，不见阳光，也缺乏空气。因此，氧化作用根本不能进行，使生物遗体的有机质没有破坏而被保存下来。沉积继续进行着，泥砂一层又一层地盖了上去，把这些生物遗体埋得越来越深。当上面覆盖了较厚的地层时，产生了一定的压力和温度，并且在细菌的分解作用下，促使生物的有机质发生一系列复杂的物理、化学变化，逐渐形成了石油。

在很长的一个时间内，世界上一般石油地质学家都错误地认为石油只能在海里沉积的岩层中生成，不能在湖泊沉积的岩层中生成。认为海水有相当高的盐分，有利于有机质的保存，并且适合有机质进行转化，变成石油；而湖水一般是淡水或盐度不大的水，不利于形成石油，仅仅能变成煤或炭质物。我国在湖泊中沉积的岩层占很大比重。多少年来，帝国主义一直利用这个错误的理论散布“中国贫油”论，胡说中国不可能贮藏有工业开采价值的石油，妄图要我国乞求他们的“洋油”过日子。

我们伟大的祖国地大物博。我国英雄的人民是有志气的。在毛主席“独立自主、自力更生”的方针指引下，我国工人阶级和地质工作者，根据辩证唯物论的认识论，用地质力学方法，深入地研究了我国地质构造的特点，转战南北，在辽阔的国土上作了大量地球物理勘探，展开了大规模的石油普查工作，在与海洋无关的湖泊沉积岩中找到大量石油。这些成就，有力地驳斥了“中国贫油”的谬论。事实证明，不论在海洋或湖泊里的沉积，只要有丰富的有机质，有适合有机质保存和转化的条件，就可以生成石油。从保存有机质的观点上讲，高盐度的咸水并非唯一的决定性条件。在湖泊里，水的盐分虽然比较低，但是当沉积速度极快，而且湖底不断下降，形成了一个稳定的深水环境的时候，已堆积的有机物质就会很快被淹埋起来，免遭氧化分解，同样可以形成石油。

近几年来，继大庆油田建成以后，又先后建成了胜利油田和大港油田等大型油田，使我国石油产量成倍上升。帝国主义、修正主义对我们的封锁、压榨彻底破产了。过去，我国需要的石油要依靠进口；现在，不仅可以自给，而且可以出口。过去，我国发电厂锅炉

基本上不烧油；现在，随着我国石油工业的发展，已陆续建成了一批燃油电厂，并且有一部分燃煤电厂改为烧油或煤、油混烧。这样，在锅炉中如何安全、经济地烧好油，就成为我国当前电力工业发展中的一个重要课题。

1-2 石 油 的 组 成

石油是一种流动或半流动的粘稠性液体，有味，一般是暗色的，有暗黑、暗绿、暗褐色数种，也叫做原油。

一、石油的元素组成

组成石油的元素主要是碳、氢、氧、氮、硫五种。其中主要的是碳和氢两种元素：碳的含量占84~87%，氢的含量占11~14%。除上述五种主要元素外，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。

通常，从实用角度考虑，将燃料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）。

实际应用的油的成分叫应用基成分（习惯上也称为工作基或工作质）。如用符号表示油中各成分的重量百分比，则有

$$C^y + H^y + O^y + N^y + S^y + A^y + W^y = 100\% \quad (1-1)$$

式中各符号分别表示：碳、氢、氧、氮、硫、灰分、水分的应用基重量百分比。

我国某些燃料油的元素组成见表 1-1。表中所列数据是某次化验所得，不代表这一油种的平均成分。

表 1-1 某些燃料油的元素成分

油 种	C ^y	H ^y	O ^y	N ^y	S ^y	A ^y	W ^y	发热量 Q_D^y
大庆原油	86.04	12.14	0.54	0.20	0.15	0.03	0.7	9923
大庆重油	86.47	12.47	0.29	0.28	0.21	0.08	0.2	9533
胜利原油	85.31	12.36	1.26	0.24	0.90	0.03	1.4	9964
胜利重油	85.97	11.97	0.62	0.34	1.06	0.04	1.3	9868

石油从地下开采出来时，一般含水量较高，交付运输前要经过脱水处理，规定含水量应小于 2%。在贮存、装卸和运输过程中，水分有可能增加。在石油炼制过程中，水分又会有变化。所以，油中的水分是不恒定的。

由于油对水的溶解能力很小，并且一般燃料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、块状，或分层地存在油中。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会沉底，或因经过油泵或其它原因的搅动，大团水分被粉碎为细颗粒。

燃料油中的水分一般是有害的。水分过高会促使管道或设备腐蚀，增加排烟损失和输送动力消耗等。当水分不均匀地混在油中，出现油水分层时危害更大。它会使炉内火焰脉动，有些电厂曾因油中带水造成锅炉灭火的重大事故。因此，必须对燃料油进行脱水。但是，如果水分呈乳化状态均匀地混合在燃料油中，不仅不能破坏火焰的连续性，相反地，有时还能提高燃烧的效率，详见第6-2节。

水分变化了，其他成分的重量百分比也就相应地发生变化。为了消除水分不稳定的影响，把水分除去，剩下的就构成油的干燥基成分，用符号表示时可得：

$$C^g + H^g + O^g + N^g + S^g + A^g = 100\% \quad (1-2)$$

灰分有时用干燥基成分表示。干燥基灰分和应用基灰分的换算关系如下：

$$A^g = A^y \times \frac{100}{100 - W^y} \% \quad (1-3)$$

其他成分的换算也和公式(1-3)类同。

石油中的灰分含量很少，通常不到0.05%。它绝大部分是溶解在油中的金属盐类矿物质。原油经过提炼后，绝大部分的金属盐类残留在提炼后的重油中。在运输等过程中，还会混入一些灰分。例如海运过程中海水混入油内，会增加灰分中钠盐的含量。油中的灰分虽然很少，但是对锅炉的影响却很大。燃油锅炉的积灰常常比煤粉炉还要严重，过热器上积灰有时还引起高温腐蚀，积灰对低温腐蚀也有影响。

除了灰分外，油中还有一些机械杂质。石油产品中不溶于汽油或苯的全部沉淀状态或悬浮状态的物质，称为机械杂质。它是在开采、运输、或贮存过程中混入的。机械杂质磨损设备，堵塞喷嘴，影响锅炉的正常运行。因此，必须用过滤器将它清除掉。

把灰分和水都去掉，就得到油的可燃基成分，即

$$C^r + H^r + O^r + N^r + S^r = 100\% \quad (1-4)$$

对于同一油田产的石油，可燃基成分比较稳定。以碳为例，其可燃基成分和应用基成分的换算关系如下：

$$C^r = C^y \times \frac{100}{100 - (A^y + W^y)} \% \quad (1-5)$$

其他成分的换算关系类同。

和其他燃料（如煤、木柴）一样，燃料油中的主要可燃元素是碳和氢。它们结合成各种碳氢化合物（或称烃）。氢是燃料中一种有利的元素。一公斤氢燃烧放出的热量比一公斤碳多3.5倍。而且燃料中含氢越多，它越容易着火，燃烧性能越好。燃料中碳和氢的含量之比叫做碳氢比，用符号 k_{CH} 表示

$$k_{CH} = \frac{C}{H}$$

燃料油的碳氢比在6~9之间，而无烟煤的碳氢比则可超过20。碳氢比高的燃料油，比重常常大一些，发热量常常低一些，在燃烧过程中，在条件相同的情况下，产生的炭黑量也要多一些。

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%。绝大部分含氧、氮的化合物呈胶状沥青状物质存在。所以，含胶状沥青状物质多的油，例如渣油，含氧、氮就多一些。

石油中的硫一般以化合物形式存在，但大部分都不很稳定，受热易分解。因此，硫经过石油炼制后已经不是本来面目了。石油经过炼制后，80%的硫残留在提炼后的重油中。在燃料油中，硫可以以元素硫、硫化氢、硫醚、噻吩等形式存在。

硫虽然也能燃烧，产生一些热量，但是，硫在燃烧后生成二氧化硫或三氧化硫，这些气体是有毒的，排至大气中会污染环境。并且，其中一部分可与烟气中的水蒸汽反应生成硫酸，对金属有腐蚀作用。此外，油中硫化物大部分具有毒性和腐蚀性，在贮存、输送和炼制过程中，对工人健康和设备寿命都有不良影响。所以硫是一种有害成分，它的含量越少越好。

由于硫对石油的加工、使用有很大影响，所以含硫量常作为石油的一项重要质量指标。根据含硫量的多少，将石油分为低硫油、中硫油和高硫油。一般以含硫量在 0.5% 以下的为低硫油，在 0.5~2% 之间的为中硫油，高于 2% 的为高硫油。也有以 0.5~1% 之间的为中硫油，高于 1% 的为高硫油。我国大庆原油属低硫油、胜利原油属中硫油，而中东原油则属高硫油。

二、石油中的碳氢化合物和胶状沥青状物质

从石油的元素组成可以看出，组成石油的化合物主要是碳氢化合物，在化学上简称烃。虽然组成石油的主要元素不多，可是碳和氢组成的化合物却是种类繁多，有各种各样的烃。烃有一个特点，就是随着分子中碳和氢原子数目的不同，排列方式的不同，可以构成千百种化合物。最小的烃分子如甲烷，只有一个碳原子、四个氢原子，分子量只有十几。而大的烃分子分子量上千，分子结构至今尚未弄清楚。烃的另一个特点是分子量越小，沸点越低。在常温常压下，分子量小的，如甲烷 (CH_4)、乙烷 (C_2H_6) 是气体；中间的，如甲苯 (C_6H_6) 是液体；大的，如石蜡是固体。所以，更确切地说，石油是溶解了一些气体和固体的液体。当温度和压力变化到一定程度时，就会有一部分气体或固体从石油中析出。石油中究竟有多少种烃，至今还不清楚，有人估计约有三千种之多。

石油中除烃外，还有非烃化合物。胶状沥青状物质（也称胶状物质）就是石油非烃化合物中含量最大的一类。在胶状沥青状物质多的石油中，它们的含量有时可达 40~50%，一般石油中也有百分之几。在胶状沥青状物质的化学组成上，除了碳、氢之外，还含有氧、氮、硫等元素。它们是石油中结构最复杂、分子量最大的一部分物质。由于其结构及组成复杂，至今对它们仍未研究清楚。所以一般就根据其外形特性——胶状粘稠，统称为胶状沥青状物质。这种物质实际上是一种混合物，现只能根据它们在各种有机溶剂中溶解度的不同，分成若干族。燃料油中较多的有中性胶质和沥青质。中性胶质是一种稠粘的液体或固体，具有很深的颜色。它具有很强的着色能力，各种油的颜色主要是中性胶质所致。沥青质是一种脆性固体，它的颜色比中性胶质更深更黑，是石油中分子量最大的物质。这些物质极难挥发，大部分都集中在石油炼制后的残渣中，所以在重油、渣油中它们的含量要大一些。

中性胶质的化学稳定性及热稳定性都较差, 受热易分解或聚合, 如在230~360°C时就聚合成沥青质(350°C时开始急剧聚合)。沥青质加热不溶解, 但被加热到300°C以上时, 开始分解, 产生焦炭(70%)和气体。这种特性对锅炉来说是不利的。如果油中含胶状沥青状物质较多, 在热油输送过程中就容易产生析碳, 以致沉淀, 使过滤网, 甚至较细的油管, 发生堵塞; 在燃烧时, 油喷嘴处易产生结焦。

1-3 燃料油的某些特性

一、比 重

单位体积内物质的重量称为物质的重度, 单位为吨/米³。 $t^{\circ}\text{C}$ 时油的重度和4°C时纯水的重度之比称为该油的比重, 用符号 γ_t^4 表示, 没有单位。因为4°C时纯水的重度为1吨/米³, 所以比重在数值上等于其重度值。在习惯上, 有时将重度也叫做比重, 但这是不确切的。

油的比重与温度有关。石油工业中规定, 以20°C时的比重作为油的标准比重, 用符号 γ_{20}^4 表示。当温度不是20°C时, 其比重 γ_t^4 可用下式进行换算。

$$\gamma_t^4 = \gamma_{20}^4 - \alpha(t - 20) \quad (1-6)$$

式中 α ——温度修正系数, 单位为1/°C, 其数值见表1-2。

油的比重可用比重计测定。燃料油的比重一般在0.8~0.98之间。

表 1-2 油的温度修正系数 α

比 重 γ_{20}^4	α (1/°C)	比 重 γ_{20}^4	α (1/°C)
0.9300~0.9399	0.000594	0.9800~0.9899	0.000528
0.9400~0.9499	0.000581	0.9900~0.9999	0.000515
0.9500~0.9599	0.000567	1.0000~1.0099	0.000502
0.9600~0.9699	0.000554	1.0100~1.0199	0.000489
0.9700~0.9799	0.000541	1.0200~1.0299	0.000476

二、发 热 量

一公斤油完全燃烧所析出的热量叫发热量, 单位是大卡/公斤。可分为高发热量和低发热量。油燃烧后烟气中有一部分水蒸汽, 它是由于氢燃烧和水分蒸发所产生的。如果烟气中的水蒸汽完全凝结, 将水蒸汽的凝结潜热(约为600大卡/公斤)释放出来, 这时发出的热量叫高发热量, 用符号 Q_G 表示。如果水蒸汽没有凝结, 则叫低发热量, 用符号 Q_D 表示。实际上, 烟气离开锅炉时的温度还相当高, 水蒸汽基本上没有凝结, 所以锅炉中实际上可以利用的是低发热量。

发热量也可以用应用基或可燃基表示。实际上应用的油的发热量是应用基低发热量 $Q_{\%}$ 。油中的水分、灰分变化, 应用基低发热量也发生变化。而可燃基低发热量 Q_D^f 则不随

水分、灰分而变，它完全决定于油的可燃基成分，是比较稳定的。它们之间的关系如下：

$$Q_b^y = Q_b^x \times \frac{100 - W^y - A^y}{100} - 6W^y \quad \text{大卡/公斤} \quad (1-7)$$

油的应用基低发热量由于水分变化而发生的变化，可按式计算：

$$Q_{b_2} = (Q_{b_1} + 6W_1^y) \times \frac{100 - W_2^y}{100 - W_1^y} - 6W_2^y \quad (1-8)$$

式中下标 1 和 2，表示两种水分不同的油。如已知 Q_{b_1} 、 W_1^y 时，则可根据 W_2^y 的数值利用上式求出 Q_{b_2} 。

油的高发热量与低发热量可按式换算：

$$\text{应用基：} Q_b^y = Q_b^x - 54H^y - 6W^y \quad \text{大卡/公斤} \quad (1-9)$$

$$\text{可燃基：} Q_b = Q_b^x - 54H^r \quad \text{大卡/公斤} \quad (1-10)$$

燃料油的发热量应以测热计实测值为准，也可以按元素成分近似估算，公式如下：

$$Q_b^r = 81C^r + 246H^r - 26(O^r - S^r) \quad \text{大卡/公斤} \quad (1-11)$$

按测热计测得的 Q_b 和按上式计算得到的 Q_b 误差应不大于 150 大卡/公斤。

由于油中的碳、氢含量（尤其是氢）远较煤中为多，因此油的发热量也远较煤高。燃料油的发热量 Q_b 一般在 9200~10500 大卡/公斤左右，约为煤的 1.5~3 倍。

油越重，相对含氢越少，发热量也越低。所以，如果水分相同，一般汽油的发热量要高一些，而重油的发热量则要低一些。

三、比 热

一公斤油温度升高 1°C 所需要的热量称为油的比热，用符号 c 表示，单位是大卡/公斤·°C。燃料油的比热一般为 0.5 大卡/公斤·°C 左右。

油的比热与油温有关，燃料油在 t °C 时的比热 c_t ，可用下式计算：

$$c_t = 0.415 + 0.0006t \quad \text{大卡/公斤·°C} \quad (1-12)$$

四、凝固点与沸点

物质存在的状态一般有三种，即固态、液态和气（汽）态。随着压力、温度的不同，物质状态会发生改变。物质由液态变为固态的现象叫凝固，发生凝固时的温度叫凝固点。物质由液态变为汽态的现象叫汽化。液体的汽化可以分为蒸发和沸腾两种。液体表面发生汽化的现象叫蒸发。如果不仅从液体表面，而且在液体内部也产生汽泡的汽化现象叫沸腾。沸腾时液体的温度叫沸点。

1. 凝固点

燃料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，而是变得越来越粘，直到完全丧失流动性为止。在石油工业中规定：将试样油放在一定的试管中冷却，并将它倾斜 45 度角，如试管中的油面经过一分钟时间保持不变，这时油的温度即是该油的凝固点。

油的凝固点与它的化学组成有关。一般的说，油中含蜡量越高，凝固点越高。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。

油的凝固点对油在低温下的流动性能有影响。在低温下输送凝固点高的油时应给予加热或采取必要的防冻措施。

不同产地不同种类的石油其凝固点也不同，有的甚至差别很大。大庆石油的凝固点很高，在 $24\sim 32^{\circ}\text{C}$ ，而克拉玛依石油的凝固点则低到 -50°C 。

2. 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，没有一个恒定的值，而只有一个温度范围。所以，它的沸腾从某一温度开始，随着温度上升是在连续进行的。

石油炼制的一个基本过程——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份。其中低于 200°C 的为汽油馏份， $200\sim 300^{\circ}\text{C}$ 为煤油馏份， $270\sim 350^{\circ}\text{C}$ 为柴油馏份，高于 350°C 为润滑油及重油馏份。馏份的沸点范围是按照产品使用要求来划定的，相互间没有严格的界限。

分子量低的馏份，沸点低，也就容易挥发。汽油就容易挥发，而重油挥发性就差。

五、粘 度

粘度表示液体流动性能的好坏。粘度越大，液体的流动性越差。表示粘度的方法一般有三种：

1. 动力粘度

在液体中，当两个面积为1厘米²，相距1厘米的两层液面，以1厘米/秒的相对速度运动时，液面间产生的内摩擦力叫动力粘度。当内摩擦力等于1达因时，粘度为1泊。动力粘度以符号 μ 表示。

$$1\text{ 泊} = 100\text{ 厘泊} = 1\text{ 达因}\cdot\text{秒}/\text{厘米}^2$$

2. 运动粘度

液体的动力粘度 μ 与其同样温度时的密度 ρ 之比，称为液体的运动粘度，用符号 ν 表示，即：

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

式中，如密度 ρ 的单位为克/厘米³，动力粘度 μ 的单位为泊，则运动粘度的单位为沱。

$$1\text{ 沱} = 100\text{ 厘沱} = 1\text{ 厘米}^2/\text{秒}$$

3. 恩氏粘度

恩氏粘度是一种条件粘度。所谓条件粘度，通俗地说，就是用某种粘度计，在规定的条件下测得的粘度。恩氏粘度是用恩氏粘度计测得的。恩氏粘度计的主要部件是底部带一个小孔的容器。200毫米³ $t^{\circ}\text{C}$ 的试样油从恩氏粘度计小孔流出的时间和同体积 20°C 的蒸馏

水流出的时间之比,就叫做该油在 $t^{\circ}\text{C}$ 时的恩氏粘度。用符号 $^{\circ}\text{E}_t$ 表示, 无单位。

运动粘度与恩氏粘度之间,可用下列经验公式换算:

$$\nu_t = 7.31^{\circ}\text{E}_t - \frac{6.31}{^{\circ}\text{E}_t} \quad \text{厘沱} \quad (1-13)$$

根据上式可制成两种粘度的换算表。

有些国家还用赛氏粘度或雷氏粘度。它们是用一定体积的油在标准仪器中流出的秒数来表示。它们与恩氏粘度、运动粘度的换算,可在一般石油手册上查到。

油的粘度和油的成份、压力、温度有关。

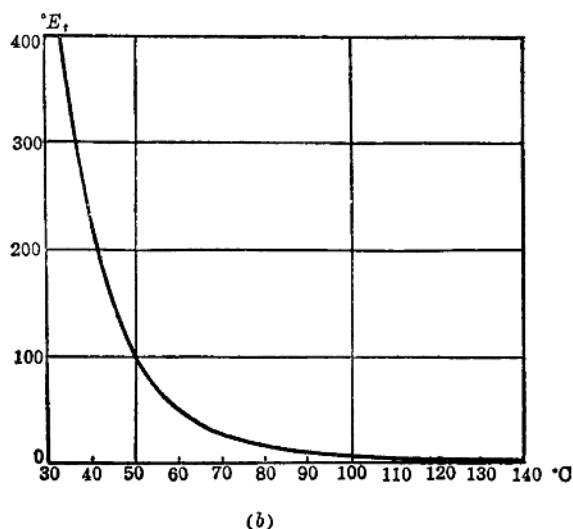
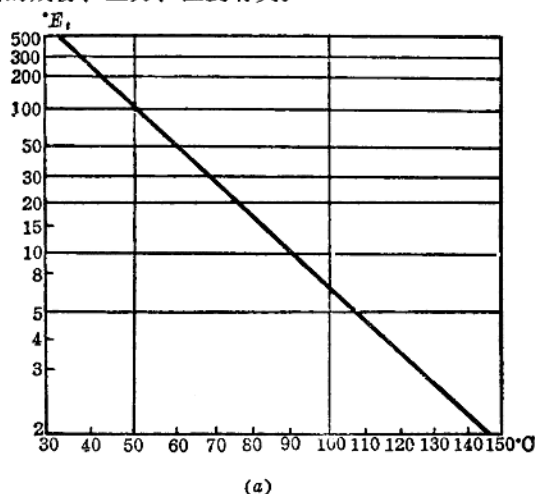


图 1-1 某100号重油的粘温曲线

(a) 用对数坐标表示;

(b) 用普通坐标表示

油中含胶状沥青状物质多，粘度就大；油的组成成份的分子量越大，粘度越大。

压力较低时（10~20表压力），压力对粘度的影响可忽略不计，但当压力较高时，粘度随压力升高而变大。

温度升高，油的粘度降低。但是油温对粘度的影响不是均衡的。一般说来，油温在50℃以下变化，对油的粘度影响很大。温度在50~100℃变化时，对油的粘度影响相对就较小，尤其是粘度小的油更是这样。而温度在100℃以上变化时，对油的粘度影响就更小，但对某些高粘度油则除外。图1-1是某100号重油的粘温曲线，可以看出，如粘度用对数坐标表示，它是一根直线。因此，只要测出两个以上不同温度下的粘度，就可以在对数坐标纸上划出类似直线，从而可以查出任意温度下的粘度。

六、闪点、燃点

油的闪点和燃点与油贮运的安全性有很大关系，它们反映油的着火性能。

1. 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，发生短暂的闪光（一闪即灭），这时的油温称为闪点。

油的闪点与其组成有密切关系。油中只要含有少量分子量小的成分，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。

测定闪点的仪器和方法不同，所测出的闪点也不相同。测定闪点的方法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。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，一般用于测定闪点较低的油，如汽油等。同一油种，测定闪点的方法不同，其闪点值也不同。开口杯法测定的闪点要比闭口杯法高，差值多半在15~25℃之间。

闪点是防止油发生火灾的一项重要指标。敞口容器中油温接近或超过闪点，就会增加着火的危险性。在敞口容器中加热油，加热温度应低于闪点10℃。而在压力容器中则无此限制。某些燃料油的闪点见表1-3、1-4、1-5和1-6。

表 1-3 几种燃料油的特性

油 种	比 γ_{4}^{20}	粘 度 *E	凝 固 点 (°C)	闪点(开口) (°C)	水 分 (%)	灰 分 (%)	硫 分 (%)
大庆原油	0.85~0.86	*E ₃₀ = 3.4~4	24~32	28~39	0~6	0.01~0.02	0.11~0.17
大庆重油	0.88~0.90	*E ₁₀₀ = 6~12	33~48	>200	0~5	0.01~0.03	0.3~0.7
胜利原油	0.9 ~0.91	*E ₈₀ = 4.8~7.3	15~25	30~50	0.7~1.75	0.03~0.09	0.7~1.1
胜利重油	0.94~0.96	*E ₈₀ = 8~10	25~35	140~200	0.5~2.0	0.02~0.07	1.0~1.6
克拉玛依原油	0.86~0.87	*E ₃₀ = 2.78	-50	36	0.005		0.04

2. 燃点

测定燃点时所用的设备和测定闪点时相同，当油温达到闪点时，遇到明火即可闪燃，但要使油连续燃烧下去，必须使油温更高一些。当油面上的油气与空气的混合物遇明火能