



燃油锅炉安全技术

RANYOU GUOLU ANQUAN JISHU

樊利 编写

原子能出版社

TK288
2001008

燃油锅炉安全技术

樊 利 编写

原子能出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

燃油锅炉安全技术/樊利编写. —北京: 原子能出版社, 1999.8
ISBN 7-5022-2063-1

I. 燃… II. 樊… III. 燃油锅炉-安全技术 IV. TK288

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 33888 号

内容提要

全书共分十章, 前四章较详细地介绍了燃料油和油的燃烧及燃油锅炉的基本知识和结构; 第五章着重介绍了燃油锅炉的主要部件——燃烧器; 第六、七两章系统介绍了燃油锅炉的自动控制装置及其附属设备; 最后三章介绍了燃油锅炉的水处理、运行管理与事故处理。

本书针对性强, 理论联系实际, 可作为本专业的管理人员、检验人员、司炉工人学习使用, 亦可作为本专业的工程技术人员学习参考。

原子能出版社出版发行

责任编辑: 刘焕朝

社址: 北京市海淀区阜成路 43 号 邮政编码: 100037

北京龙华印刷厂印刷·新华书店经销

开本: $787 \times 1092 \text{mm}^{1/16}$ 印张 12.25 字数 300 千字

1999 年 8 月北京第 1 版 1999 年 8 月北京第 1 次印刷

印数: 1—4 000

定价: 20 元

前 言

改革开放以来，我国的国民经济迅猛发展，促使了锅炉的大量增加。为了实现可持续发展战略，保护环境，节约能源，全国各大中城市的锅炉都开始采用燃油锅炉，沿海城市的进口燃油锅炉也在增多，加强对燃油锅炉的安全管理，显得非常重要。

过去，司炉人员多是按照燃煤锅炉的教材，经培训上岗的。对燃油锅炉，特别是一些进口全自动燃油锅炉的特性不太了解，造成一些不应出现的事故，企业造成了损失。为此，我们根据燃油锅炉操作人员培训的一些经验和收集的资料，编写了这本《燃油锅炉安全技术》。

在本书编写过程中，得到深圳市锅炉压力容器检验所所长杨维高高级工程师及其同事、中国锅炉压力容器安全杂志社陈泽民高级工程师、锦州市锅炉压力容器检验研究所王朝前高级工程师、深圳福瑞达水处理设备有限公司王桢高级工程师等同志的大力支持。本书经劳动部锅炉压力容器检测研究中心石宗扬高级工程师审稿，并提出大量宝贵意见，在此一并表示衷心感谢。

由于作者对燃油锅炉理论和实践经验不足，资料收集不全，难免有缺点错误，敬请读者给予批评指正。

编 者

1998年12月

目 录

第一章 燃油锅炉的基本知识	(1)
第一节 燃油锅炉工作原理	(1)
第二节 燃油锅炉的基本参数	(1)
第三节 锅炉的传热	(3)
第四节 水与水蒸气	(4)
第二章 燃料油	(8)
第一节 燃料油的来源及组成	(8)
第二节 燃料油的特性	(9)
第三节 锅炉常用的燃料油	(11)
第四节 燃料油的贮存	(12)
第三章 油的燃烧	(18)
第一节 燃烧的基本条件	(18)
第二节 油的燃烧	(19)
第三节 燃烧的影响因素	(22)
第四节 燃油锅炉的热效率	(25)
第四章 燃油锅炉的结构	(28)
第一节 锅炉结构的一般要求	(28)
第二节 卧式内燃锅壳式锅炉	(47)
第三节 立式燃油锅炉	(54)
第四节 锅炉钢材	(57)
第五章 燃烧器	(60)
第一节 机械式雾化喷嘴	(62)
第二节 调风装置	(64)
第三节 威索燃油燃烧器	(69)
第六章 燃油锅炉自动控制装置	(83)
第一节 水位的控制与联锁保护	(85)
第二节 UQK 型浮球式锅炉水位控制器	(88)
第三节 电极式锅炉水位控制报警器	(98)
第四节 压力控制保护装置	(104)
第五节 燃油锅炉的程序控制和联锁保护	(108)
第六节 控制系统典型电路分析	(111)
第七章 燃油锅炉安全附件及附属设备	(116)
第一节 水位表	(116)
第二节 压力表	(121)
第三节 安全阀	(124)
第四节 防爆门	(133)
第五节 锅炉管道	(134)

第六节	排污装置	(145)
第七节	给水设备	(147)
第八节	其它设备	(150)
第八章	燃油锅炉的水处理	(152)
第一节	水中的杂质及其对锅炉的危害	(152)
第二节	水质指标与燃油锅炉水质标准	(155)
第三节	锅内水处理方法	(158)
第四节	锅外化学水处理方法	(159)
第五节	水垢的清除	(168)
第九章	燃油锅炉的运行管理	(172)
第一节	新锅炉运行前的调试	(172)
第二节	燃油锅炉的运行	(174)
第三节	锅炉的运行管理	(177)
第四节	锅炉的维护与保养	(180)
第十章	燃油锅炉事故、故障及处理	(182)
第一节	爆炸事故	(182)
第二节	缺水事故	(184)
第三节	爆管事故	(185)
第四节	燃烧事故	(186)
第五节	燃烧器常见故障、原因及其处理	(188)

第一章 燃油锅炉的基本知识

第一节 燃油锅炉工作原理

锅炉是能量转换设备，它是把燃料中的潜在能量，经过燃烧放出热量，经过传热作用传递给水，使水变成蒸汽（热水锅炉是将水加热变成一定温度的热水输出）的一种设备。

根据所用的燃料，锅炉可分类为燃煤锅炉、燃油锅炉和燃气锅炉。所以燃油锅炉只是锅炉设备的一种。

燃油锅炉最基本的部件是“锅”与“炉”两大部分。锅是锅炉设备中的汽水系统，是水变成汽（或热水）的吸热部分；炉是锅炉设备中的燃烧系统，是油与空气发生化学反应产生高温火焰和烟气的放热部分。“锅”与“炉”，一个吸热（油经燃烧放出热能，尽可能最大限度地被吸收），一个放热（使油尽可能最大限度地燃尽，把热能最大地释放出来），它们组成了一套完整的设备。

燃油锅炉的工作包括以下三个过程：油不断剧烈氧化的燃烧过程；火焰和高温烟气不断把热量传递给锅内水的传热过程；水在锅内不断流动循环，吸热升温的汽化（热水锅炉达不到沸腾温度）的水循环过程及汽化过程。这三个过程在锅炉内不断连续进行，是通过包括锅炉附属设备及仪表附件等二个工作系统来实现的。这二个系统是汽－水系统和油－风－烟系统。见图 1-1。

汽－水系统是以受热面的锅炉本体为中心，与水泵、水处理设备等附属设备组成的工作系统，担负着向锅炉供水、吸取热量到输出蒸汽（或热水）的任务。油－风－烟系统是以炉膛及燃烧设备为中心，与风机等附属设备组成。这个系统在炉内形成燃料放热，然后将燃烧产物排出。

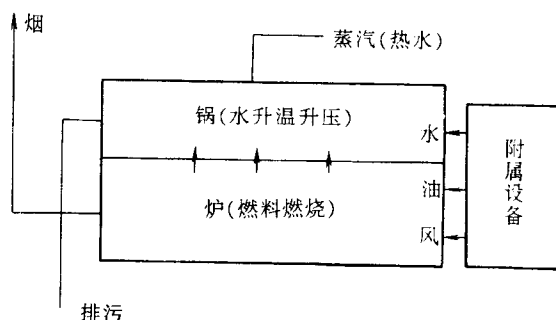


图 1-1 燃油锅炉的工作原理简图

第二节 燃油锅炉的基本参数

反映燃油锅炉工作特性的基本参数，包括锅炉产生蒸汽的数量（蒸发量）和质量（压力、温度）两个方面的指标。

一、蒸发量

锅炉在确保安全的前提下长期连续运行，每小时所产生的蒸汽的数量，称为这台锅炉的蒸发量。蒸发量又称为“出力”或“容量”，常用的单位是“吨/小时”（t/h）。进口锅炉也

有使用“马力”(HP)或“磅/小时”。其关系是:

$$1 \text{ 马力} = 15.65 \text{ 公斤/小时} = 34.5 \text{ 磅/小时}$$

蒸发量有最大蒸发量、经济蒸发量与额定蒸发量之分。

最大蒸发量是指锅炉在连续运行中,不考虑其经济效益,每小时最多能产生的蒸汽量。

经济蒸发量是指锅炉在连续运行中,热效率达到最高时的蒸发量,一般约为最大蒸发量的 75%~80%。

额定蒸发量,是指锅炉采用设计的燃料品种,并在设计参数下运行,也就是在规定的蒸汽质量(压力、温度)和一定的热效率下,长期连续运行时,每小时所产生的蒸汽量。新锅炉出厂时,铭牌上所标示的蒸发量,指的就是这台锅炉的额定蒸发量。

锅炉蒸发量的大小,主要取决于受热面的大小。锅炉受热面,是指锅炉盛水或蒸汽的受压元件,如锅筒、水管、烟管等,受到火焰或烟气加热的表面积。受热面积越大,吸收的热量越多,产生的蒸汽量也就越多。

对热水锅炉反映出力的是供热量。热水锅炉在确保安全的前提下长期连续运行,每小时出水的有效带热量,称为这台锅炉的额定供热量,单位是热功率“兆瓦”。以前用的单位是万千卡/小时,两者的换算关系是,热水锅炉产生 0.7 兆瓦相当于蒸汽锅炉产生 1 吨/小时的蒸汽的热量。

二、压力

垂直均匀作用在物体表面上的力,称为压力,单位是“牛顿(N)”,过去用公斤力(kgf)表示。 $1 \text{ 公斤力} = 9.81 \text{ 牛顿}$ 。垂直均匀作用在物体单位面积上的压力,称为压强,单位是兆帕(MPa)。过去是用公斤力/厘米²表示。 $1 \text{ 公斤力/厘米}^2 = 0.0981 \text{ 兆帕}$ 。在习惯上,常把压强称为压力,因此本书中所提到的压力,实际上应是压强。

在自然界中,空气是具有重量的,因此,空气中的任何物体,在任何方向上都会受到空气的压力,这种压力称为大气压力。在标准状态下,即当温度为 0℃ 时,在海平面(海拔等于零)处,1 大气压等于 76 厘米水银柱高的重量,也等于每平方厘米的面积上承受 10.134 牛顿力,相当 0.101 兆帕。在物理学中,把相当于 0.101 兆帕(1.033 公斤力/厘米²)的压力,叫作 1 标准大气压或 1 物理大气压。

测量压力有两种标准:一种是以零压(压力等于零)作为测量起点,称为“绝对压力”;另一种是以当时当地的大气压力作为测量起点,也就是用弹簧管压力表测出的压力数值,称为“表压力”或“相对压力”。因此,绝对压力等于表压力加上当地大气压力。锅炉上应用的压力都是表压力。

锅炉内为什么会有压力呢?这是因为锅炉内的水吸收热量后,由液体状态变成气体状态,其体积要增大很多(如在 1 绝对大气压下,其体积将增大 1650 倍),但锅炉是密闭的容器,因而限制了水汽的自由膨胀,结果就使锅炉钢板受到了汽水作用的压力。锅炉铭牌上载明的“设计工作压力”,就是指的表压力,表明锅炉内部的水和蒸汽超过大气压力的数值。

锅炉的设计工作压力,是根据所用金属材料的强度和受压元件的几何形状以及受力特点等条件,按照国家颁布的有关强度计算标准,对各个受压元件分别进行计算,然后从中选出一个所能承受压力的最低值,作为这台锅炉的最高允许使用压力。锅炉设计工作压力又可称“额定出口蒸汽压力”。

三、蒸汽温度

表示物体冷热的程度称为“温度”，温度是物体内部拥有能量的一种体现方式，温度越高，能量越大。用来测量温度的仪表叫做温度计，它是根据液体（水银或酒精）热胀冷缩的性质制成的。常用摄氏温度计，是在标准大气压下，把水结冰时的温度（冰点）定为零度，把水沸腾时的温度（沸点）定为 100 度，在两者之间平均分成 100 格，每格即是 1 度，记作 1°C 。

锅炉金属铭牌上载明的蒸汽温度，即是用摄氏温度标出的。对于小型锅炉，使用的蒸汽绝大多数是从锅筒上部的主蒸汽阀直接引出的，其蒸汽温度，是指该锅炉工作压力下的饱和蒸汽温度。

第三节 锅炉的传热

一、热量与比热

热量是物体所含有的热能数量，热量的多少不仅与物体本身的温度有关，还与其重量和性质有关。热量的单位是“焦耳 (J)”，焦耳的 1000 倍称为千焦。过去用的单位是“千卡”，两者的换算关系是：1 千卡 = 4.18 千焦。

单位重量的物质，温度升高 1°C 时所吸收的热量，称为该物质的“比热”，常用的单位是“千焦/公斤度”。例如，水的比热为 4.18 焦耳/公斤度（1 千卡/公斤度），钢的比热为 0.5 千焦/公斤度（0.12 千卡/公斤度）。

二、传热方式

在燃油锅炉中，燃烧是基础，产生蒸汽或热水是目的，这两者是通过传热联系起来的。油在炉内燃烧产生出的热量，由火焰或烟气通过金属壁（受热面）传给水、蒸汽或空气（介质）的过程，称为“传热”。传热总由高温物体向低温物体进行，两个物体的温度差越大，传热速度越快，效果就越好。传热方式有导热、对流和辐射三种。

1. 导热

导热是同一物体内部或两个不同温度的物体相接触时，热量从高温部分传给低温部分的过程。例如：锅炉水管的外壁受烟气加热后，热量很快传导给内壁，然后供炉水吸收。各种物体导热的性能是不相同的。善于导热的物体称为“热的良导体”，如铜、铝、铁等金属；不善于导热的物体称为“热的不良导体”或称“绝热体”，如水垢、空气、石棉等。

2. 对流

对流是液体或气体依靠其本身的流动来达到热量传递的过程。例如，使用热水冲淋浴，当水冲到身上时，身体就会感到热量的传递。在锅炉内，由于热水上升或冷水下降，在循环流动中传热，使全部锅水的温度逐步升高。

3. 辐射

辐射是高温物体不通过接触或流动，直接将热量向四周散发给低温物体的过程。例如，太阳的热量就是通过辐射的方式传给地球的；锅炉炉膛内，火焰温度很高，对炉胆内壁进行辐射传热。辐射传热的效果与热源温度的四次方成正比。

在锅炉实际运行中，传热方式不只是导热、对流、辐射传热中的一种，是几种传热方式都存在的，在炉膛中，存在着火焰对炉的辐射传热，也存在着高温烟气的对流传热，但以辐

射传热方式为主；在烟管中，存在着烟气的对流传热，也存在着烟气的辐射传热，但以对流传热为主。

三、热胀冷缩与热应力

物体受热后体积增大，遇冷后体积收缩的现象称为热胀冷缩。在自然界中，绝大多数物体都有热胀冷缩的性质，例如铜、铁等金属以及水等液体都会热胀冷缩。锅炉是受热后膨胀，遇冷后收缩。所以，锅炉从设计、制造、安装、使用都应注意这个问题。锅炉从冷态到正常运行膨胀是很明显的，如不留伸缩位置，很容易造成锅炉损坏渗漏。例如，有一台锅炉的锅筒长度4m，使用1.3MPa表压力，锅炉运行长度伸长约8mm。为了补偿热胀冷缩的变化，锅筒安装时一端固定，另一端采用活动吊挂或活动滚动支承。如果我们限制锅筒受热后伸长，锅筒在长度方向每平方厘米的金属截面上会产生4200公斤的热应力，这个热应力远远大于材料许用应力，其损失后果是不堪设想的。

第四节 水与水蒸气

一、水的性质

水是由氢和氧两种元素化合而成的，其化学分子式是 H_2O 。纯净的水在常温下是无色无臭透明的液体，具有一定的体积，但没有固定的形状。随着温度的变化，水会呈现液态（水）、气态（水蒸气）和固态（冰、霜、雪）三种形态，它们之间互相转化的关系，如图1-2所示。

水在1个标准大气压下，温度为 $4^{\circ}C$ 时，体积最小，比重最大（1克/厘米³）。从 $4^{\circ}C$ 起，温度上升或下降，其体积均要膨胀，比重减小。所以，北方冬季停用的锅炉和管道内不要存水，以免结冰后体积膨胀，冻坏设备。

水的比热为4.18千焦/公斤度，较其它液体大，即一定数量的水温度升高时吸收的热量比其它液体在相同情况下所吸收的热量多。所以，经常利用水作为冷却或吸热的介质。

水在连通器内（图1-3）当水面上压力相等时，各处的水面始终保持相平。锅炉上的水位表，就是利用这个原理，通过观察水位表，知道锅炉里水位的高低。

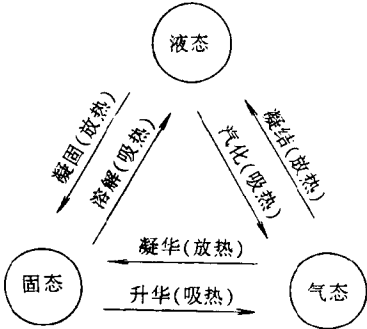


图 1-2 水的三态变化

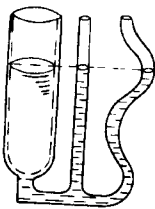


图 1-3 连通器

水在密闭的容器内，受到外加压力时，本身的体积几乎没有缩小，但是能够均匀地对各个方向传递压力。锅炉水压试验就是利用这一原理进行的，以检查锅炉内各部分的强度和严密性。

水在容器内对任何方向都有压力，并且在同一深度时，对各方向的压力都相等；深度增加，压力也增加。所以，在同一锅炉上，如果压力表安装的位置高低不同，指示的压力值也不同；高度相差 1 米，压力就相差 0.01MPa (0.1 公斤力/厘米²)。

二、饱和水与水蒸气的性质

1. 饱和水、饱和蒸汽与过热蒸汽

水由液态转化为气态的过程称为汽化。汽化通过蒸发与沸腾两种方法进行。蒸发是水在自由表面上缓缓地汽化，在任何温度下都持续进行。沸腾是水在表面和内部同时进行剧烈的汽化，只有当温度达到沸点时才会发生。

在一定压力下，对水不断加热，水温相继上升，最后达到饱和温度（简称沸点）。这种具有饱和温度的水称为饱和水。饱和温度与压力有关，随着压力升高，饱和温度也相应升高，也就是一定的压力对应一定的饱和温度。见表 1-1。在表中可以查得：在绝对压力 0.1MPa 时，水的饱和温度是 99.96℃；在绝对压力 1.0MPa 时，水的饱和温度是 179.88℃；在绝对压力 2.0MPa 时，水的饱和温度是 212.37℃。

表 1-1 饱和水、饱和蒸汽表

绝对压力 P MPa (kgf/cm ²)	饱和温度 (℃)	饱和水焓 (kJ/kg)	饱和汽焓 (kJ/kg)	汽化潜热 (kJ/kg)
0.1 (1.02)	99.6	417.4	2675	2258
0.2 (2.04)	120.23	504.8	2707	2208
0.3 (3.06)	133.54	561.4	2726	2164
0.4 (4.08)	148.62	604.7	2738	2133
0.5 (5.10)	151.84	640.1	2749	2109
0.6 (6.12)	158.84	670.5	2757	2086
0.7 (7.14)	164.96	697.2	2764	2067
0.8 (8.16)	170.42	720.9	2769	2048
0.9 (9.18)	175.35	742.8	2774	2031
1.0 (10.20)	179.88	762.7	2778	2015
1.1 (11.22)	184.05	781.1	2781	2000
1.2 (12.24)	187.95	798.3	2785	1987
1.3 (13.27)	191.60	814.5	2787	1973
1.4 (14.29)	195.04	830.0	2790	1960
1.5 (15.31)	198.28	844.6	2792	1947
1.6 (16.33)	201.36	858.3	2793	1935
1.7 (17.35)	204.30	871.6	2795	1923
1.8 (18.37)	207.10	884.4	2796	1912
1.9 (19.39)	209.78	896.6	2798	1901
2.0 (20.41)	212.37	908.5	2799	1891
2.5 (25.51)	223.03	961.8	2802	1840

在一定压力下，对饱和水继续加热，饱和温度保持不变，但水陆续转化为水蒸气，这种具有饱和温度的水蒸气称为饱和蒸汽。对饱和蒸汽继续加热，使其压力不变，只是提高温度，便会产生过热热，这种具有过热热的蒸汽称为过热蒸汽。

2. 湿度与干度

通常在饱和蒸汽中或多或少带有一些水分，故饱和蒸汽实际上是蒸汽和水的混合物，通常称为湿蒸汽。而不含水分的蒸汽，称为干蒸汽。

湿蒸汽中含水量与总重量的比值，称为蒸汽的湿度。湿蒸汽中蒸汽的重量与总重量的比值，称为蒸汽的干度。显然，对于同一湿蒸汽，其湿度与干度之和等于1。例如，若某蒸汽的湿度为3%，则其干度为97%，表明在每公斤的饱和蒸汽中含有0.03公斤的水和0.97公斤的干蒸汽。

表示蒸汽纯洁程度称为蒸汽品质，而湿度是衡量蒸汽品质好坏的一个重要指标。湿度过大不仅会降低蒸汽品质，影响使用效果，而且可能在蒸汽管道内发生水击现象，使管道剧烈震动以至损坏；若流入过热器，还会使过热器管结垢烧坏。在工业锅炉中对蒸汽温度的要求，水管锅炉应控制在3%以下，锅壳式锅炉应控制在5%以下。

3. 液体热、汽化热与焓

在一定的压力下，使1公斤的水从0℃加热到饱和温度所需要的热量，称为液体热或称显热，单位是千焦/公斤。液体热仅用于提高水的温度，不能改变水的形态，它与压力有关，压力越高，液体热就越大。

在一定的压力下，使1公斤的饱和水完全汽化，变为相同温度的干饱和蒸汽所需要的热量，称为汽化热，又称蒸发热或潜热，单位是千焦/公斤。汽化热仅增加汽化量，而不提高蒸汽的温度。它也与压力有关，但压力越高，汽化热则越小。

在一定压力下，使1kg的水从0℃；加热到任一状态下的水或蒸汽，所吸收的总热量称为该状态下水或蒸汽的焓，单位也是千焦/公斤。干饱和蒸汽的焓等于饱和水的焓与汽化潜热之和。例如：在表压力1MPa，由表1-1可以查出饱和水的焓781kJ/kg，汽化潜热2000kJ/kg，它们之和正是相同压力下饱和蒸汽焓值2781kJ/kg。

三、水循环

1. 自然循环的原理

锅炉在运行中，只有在炉膛及高温烟道内的受热面所接受热量不断被锅水再吸收，保证得到可靠的冷却，才能达到安全和经济运行的目的。这就要求锅炉中的水或汽或汽水混合物必须在闭合的回路中持续而有规律地流动，也就是要连续不断进行水循环。低、中压锅炉的水循环，一般都是由于锅炉内各部分吸收的热量不相等，而使炉水产生了重度差形成的，这种循环为自然循环。如图1-4所示。

锅炉的锅筒和下集箱由左右两根炉管连通，其中下降管位于炉墙外不受热，因而管中是温度较低的水，由于重度大而向下流动，上升管位于炉膛内，吸收热量，管中的水有一部分汽化成气泡，形成气水混合物，由于重度减小而向上流动，上升管中的气水混合物进入锅筒后，蒸汽被分离出来，水继续流入下降管进行再循环。在一台锅炉内，水循环的回路至少是一条，也可以有几条。自然循环时，水经过一个循环周期是不可能全部变成蒸汽的，通常汽化的只能是其中的很少部分。进入循环回路的水量，称为“循环流量”，它与该回路产生的蒸汽量的比值，称为“循环倍

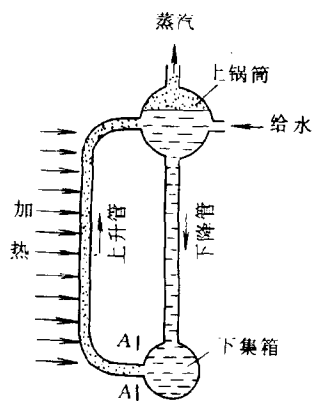


图1-4 单回路水循环示意图

率”。即：

$$\text{循环倍率} = \frac{\text{循环流量}}{\text{回路所产生的蒸汽量}}$$

对于工作压力 1.25MPa，蒸发量 10t/h 以下的小型锅炉，循环倍率约在 150~200 之间。水循环好的锅炉，各受压部件受热均匀，热应力小，锅水的升温和汽化可以加快，从而缩短点火至正常供汽的时间。

2. 水循环故障

改善锅炉水循环，是保证锅炉安全、经济运行的关键之一。当锅炉结构不合理或运行不当时，容易出现下列水循环故障：

(1) 汽水分层。当锅炉的水冷壁管水平设置时，管中流动的汽水混合物因蒸汽比水轻，气泡就要上浮集聚，使蒸汽和水在管子内分层流动。由于蒸汽的导热性能差，管子上部容易过热烧坏。因此，水冷壁管经过炉膛顶部时的倾斜角，一般不应小于 15°。

(2) 汽水停滞。由于结构原因造成锅炉局部受热面管子供水不足，或者在同一个水循环回路的上升管群中，如果各水管之间受热情况相差太大，就会使受热弱的管内水流缓慢，循环动力不足，甚至由于受其他管子对循环水的争夺影响，使管内介质停止流动，出现汽水停滞，造成过热爆管事故。因此，对锅炉的结构和运行，应保持供水充足并尽量使每排管子均衡吸热，保证水循环畅通。

(3) 下降管带汽。为了保证锅炉的水循环稳定可靠，下降管中是不允许有带蒸汽的。否则，水要向上浮，两者互相顶撞，既增加了阻力，又减少了循环水量，可能造成缺水事故，将管子烧坏。因此，下降管口与锅炉最低水位间的高度一般不宜小于下降管直径的 4 倍，最好将下降管接在上锅筒的底部，以免由于锅水进入下降管时产生的抽力，把蒸汽带进管内，或者由于锅水在下降管入口处的流速加快后压力降低，而自行汽化。

3. 强制水循环

有些锅炉中水在受热面管子里的流动，是靠出入口之间的压力差，造成强制流动的。这种水循环方式称为强制循环，这种锅炉称为强制循环锅炉。如日本产三浦小型锅炉、美国克莱顿锅炉和常见的一些热水锅炉等。靠循环水泵，将水沿固定的流通过程，在锅炉内流动受热升温，通常采用“下进上出”水的流向，有些也用上下交替的流程，但都要求在各受热面内有一定的流动速度，以防止出现汽化、积垢和腐蚀。

第二章 燃 料 油

第一节 燃料油的来源及组成

锅炉所用的燃料，多是重油或轻柴油，这些都是取自石油。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，也叫原油。

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%。碳氢元素组成的化合物在化学上简称烃。除上述五种元素外，在石油中还发现有极微量的金属元素和其它非金属元素。

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。如用符号表示油中各成分的重量百分比，则有：

$$C^y + H^y + O^y + N^y + S^y + A^y + W^y = 100\%$$

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。

燃料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，造成锅炉灭火。

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。在运输过程，还会混入一些灰分。油中的灰分虽然很少，但是对锅炉的影响却很大。燃油锅炉的积灰有时会引起高温腐蚀，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。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。

燃料油中的主要可燃成分是碳和氢。它们结合成各种碳氢化合物。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，它容易着火，燃烧性能越好。

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%。绝大多数含氧、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气反应生成硫

酸，对金属有腐蚀作用。

第二节 燃料油的特性

一、比重

单位体积物质的重量称为物质的重度，单位为吨/米³ (t/m³)。t℃时油重度和4℃时纯水的重度之比称为该油的比重，比重没有单位。因为4℃时水的重度为1t/m³，所以比重在数值上等于其重度值，在习惯上，有时也将重度叫比重，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℃时的比重作为油的标准比重，油比重可用比重计测定。燃料油的比重一般在0.8~0.98之间。

二、发热量

一千克油完全燃烧所析出的热量叫发热量，单位是千焦/千克 (kJ/kg)。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气，它是由于氢燃烧和水分蒸发所产生的。如果烟气中的水蒸气完全凝结，将水蒸气的凝结潜热释放出来，这时发出的热量叫高位发热量。如果水蒸气没有凝结，则叫低位发热量。实际上，烟气离开锅炉时的温度还相当高，水蒸气基本上没有凝结，所以锅炉中实际上可以利用的是低位发热量。

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

一千克油温度升高1度所需要的热量称为油的比热，单位是千焦/千克度 (kJ/kg℃)。燃料油的比热一般为2.14千焦/千克度左右。

四、凝固点与沸点

物质存在的状态一般有三种，即固态、液态、气态。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，而且在液体内部产生气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，如果试管中的油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。

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—个基本过程——蒸馏，就是根据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馏份。其中低于 200℃ 的为汽油馏份，200～300℃ 为煤油馏份，270～350℃ 为柴油馏份，高于 350℃ 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，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以下几种。

1. 动力粘度

在液体中，当两个面积为 1 平方厘米，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 10^{-5} 牛顿时，粘度为 0.1 牛顿·秒/米² ($\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$) = 0.1 帕·秒 ($\text{Pa}\cdot\text{s}$)。

2. 运动粘度

液体的动力粘度与其同样温度时的密度之比，称为液体的运动粘度。运动粘度的单位是米²/秒 (m^2/s)。

3. 恩氏粘度

恩氏粘度是一种条件粘度。所谓条件粘度，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有一个小孔的容器。200 毫米 $t^\circ\text{C}$ 的试样油从恩氏粘度计小孔流出的时间和同体积 20℃ 的蒸馏水流出的时间之比，就叫该油的在 $t^\circ\text{C}$ 的恩氏粘度。恩氏粘度是无量纲单位。油的组成成分的分子量越大，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，但压力较高时，粘度随压力升高而升高。

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。一般来说，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。

六、闪点和燃点

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。

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℃。而在压力容器中则不受此限制。

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到明火能着火连续燃烧 (持续时间不少于 5 秒钟)，这时油的最低温度称为该油的燃点。显然，燃点高

于闪点。例如，试验测得某原油的闪点为 39℃，其燃点为 54℃；某种重油的闪点为 222℃，其燃点为 282℃。

七、静电特性

油是不良导体，它与空气、钢铁、布等摩擦，很容易产生静电。电荷在油面上积聚，能产生很高的电压。如一旦放电，就会产生火花。因此，静电是使油发生燃烧和爆炸的原因之一。

产生静电的强弱与油的流动速度、管道的材料和粗糙度、空气湿度以及油中杂质含量有关。油速大、湿度低、管道粗糙度大都会使产生的静电电压高，所以输油、贮油的管线和设备都必须良好接地。一般接地电阻在 5Ω 以下，此外，应控制油品流速小于 4m/s，以减小产生静电。

第三节 锅炉常用的燃料油

一、重油

从广义上说，比重比较大的油都可以称为重油。重油又可以分燃料重油和渣油。

根据国家标准，重油按 80℃ 时的运动粘度分为 20、60、100、200 等四个牌号。牌号的数目约等于该油在 50℃ 时的恩氏粘度，其质量指标见表 2-1。

表 2-1 重油技术指标

质量指标	20 号	60 号	100 号	200 号
恩氏粘度 (80℃ 时)	5.0	11.0	15.5	—
恩氏粘度 (100℃ 时)	—	—	—	5.5~9.5
闪点 (开口) 不低于 (℃)	80	100	120	130
凝固点不高于 (℃)	15	20	25	36
灰分不大于 (%)	0.3	0.3	0.3	0.3
水分不大于 (%)	1.0	1.5	2.0	2.0
含硫量不大于 (%)	1.0	1.5	2.0	3.0
机械杂质不大于 (%)	1.5	2.0	2.5	2.5

其适用范围：20 号重油用在较小喷嘴 (30kg/h 以下) 的燃油炉上；60 号重油用在中等喷嘴的船用锅炉或工业炉上，100 号重油用在大型喷嘴陆用炉或具有预热设备的炉上；200 号重油用在与炼油有直接管线送油的具大型喷嘴的炉上。

二、柴油

1. 轻柴油

轻柴油按凝固点分为 10、0、-10、-20、-35 等五个牌号。它们的主要质量指标见表 2-2。

表 2-2 轻柴油质量指标

质量指标	10	0	-10	-20	-35
十六烷值	不小于 50	50	50	45	43
馏程：					