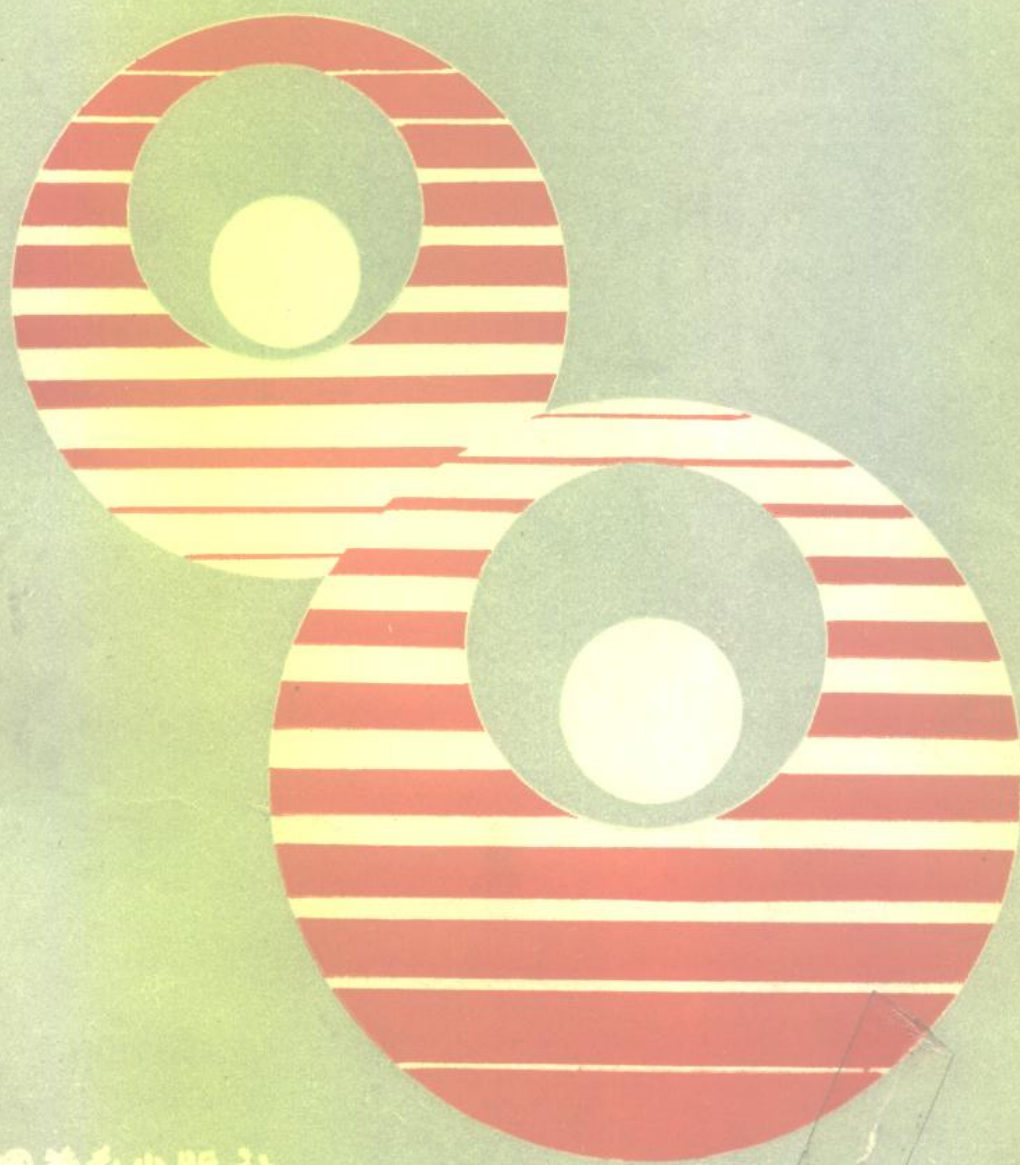


热水锅炉 运行管理与操作

主编 毕加耕 冯兆一



中国劳动出版社

TK227
B64

352555

热水锅炉运行管理与操作

主编 毕加耕 冯兆一

主审 张梦珠 蒋梓鲲



中国劳动出版社

内 容 提 要

本书围绕热水锅炉运行管理的三项主要任务,即:安全运行、稳定供热和节约能源,所必须掌握的基本原理、管理方法、操作技术、事故预防和故障处理等,从理论与实践结合上作了详尽、系统的论述,几乎概括了与此相关的各项内容。

本书的读者对象为广大热水锅炉及供热系统的管理人员、操作人员以及安全技术干部,亦可供相关专业的技术人员参考。

本书由刘清方同志审稿。

218/51



热水锅炉运行管理与操作

主编 毕加耕 冯兆一

主审 张梦珠 蒋梓鲲

责任编辑:张秉淑

中国劳动出版社出版

(北京市和平里中街12号)

北京市怀柔县东茶坞印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行

787×1092毫米 16开本 15.25印张 381千字

1991年5月北京第1版 1991年8月北京第1次印刷

印数:5000册

ISBN 7-5045-0748-2/TK·023 定价:7.20元

序言

以热水锅炉为热源的供热系统在安全性能、节约能源、改善供热效果等方面较之蒸汽供热系统有着较显著的优势。为使热水锅炉的这些优势在实际应用中得到充分发挥,则必须加强及改善运行管理,并不断提高操作人员、管理人员的专业技术水平。《热水锅炉运行管理与操作》一书的可取之处在于从理论与实践的结合上论述了这个问题,而且系统性、实用性较强,这是目前国内此类书籍中所不多见的。

本书可作为热水锅炉及供热系统运行管理人员、操作人员、安全技术干部的培训教材,亦可供相关专业的技术人员参考。

李毅

1990年12月22日

编者的话

据有关部统计，我国现有热水锅炉7万余台。随着国民经济建设的发展及人民生活水平的提高，其应用量还在逐年增加。与蒸汽锅炉相比较，我国热水锅炉的安全监察与技术管理工作起步较晚，从事热水锅炉技术管理及运行操作人员的技术水平亟待提高。但目前国内尚无较完整的论述热水锅炉运行管理与操作方面的专业技术书籍。为此，我们编写了此书。

本书对搞好热水锅炉运行管理工作所必须掌握的有关基础知识、结构原理、安全附件、运行操作要点、事故预防与故障处理等诸方面做了尽可能详尽的论述。并针对运行过程中热水锅炉与供热系统不可分割这一特点，在将热水锅炉与供热系统做为整体加以分析论述方面做了新的尝试与探讨。

本书编写过程中得到了天津市劳动局锅炉处、天津市锅炉压力容器学会有关同志的大力支持。李毅高级工程师（劳动部锅炉、压力容器检测研究中心高级技术顾问）在本书编写过程中自始至终给予热情关怀与指导，在此一并表示感谢。

本书1~4章由天津市经济技术开发区总公司冯兆一同志编写，第5章由化工部第一设计院李威同志编写，6~13章由天津市劳动保护学校毕加耕同志编写。

由于编者水平所限，书中缺点、错误在所难免，敬请广大读者批评指正。

编者

一九九〇年十二月

目 录

第一章 基 础 知 识

第一节	表征热水锅炉特性的三个物理量	1
第二节	水的物理化学性质	2
第三节	燃料及燃烧	5
第四节	热量的传递	7
第五节	金属材料及焊接	9

第二章 热水锅炉的基本概念

第一节	热水锅炉的特点与发展	15
第二节	热水锅炉的工作原理	16
第三节	热水锅炉的介质循环方式	17
第四节	热水锅炉的分类与规格型号	19
第五节	热水锅炉的热效率	21

第三章 热水锅炉的燃烧设备

第一节	手烧炉	24
第二节	双层炉排	27
第三节	抽板顶升反烧炉	28
第四节	链条炉排炉	29
第五节	往复推饲炉排	37
第六节	其它燃烧设备	40

第四章 热水锅炉结构与特征

第一节	小容量热水锅炉	45
第二节	直流管架式热水锅炉	48
第三节	有锅筒自然循环热水锅炉	50
第四节	蒸气锅炉改装热水锅炉及汽水两用炉	54

第五节	省煤器与空气预热器	59
-----	-----------	----

第五章 热水采暖系统

第一节	热水采暖系统特点	61
第二节	常用散热器及采暖系统主要设备	61
第三节	热水采暖系统工作原理	67
第四节	热水采暖系统管路布置	69
第五节	热水采暖系统水压图及压力分布	73

第六章 热水采暖系统的定压

第一节	系统定压的意义	75
第二节	开式膨胀水箱定压	76
第三节	补给水泵定压	76
第四节	氮气加压罐定压	78
第五节	蒸气定压	79
第六节	空气定压	80

第七章 安全附件和仪表

第一节	安全阀	81
第二节	压力表	86
第三节	温度测量仪表	88
第四节	超温报警器	93
第五节	水位计	94
第六节	排污装置	95

第八章 热水锅炉及采暖系统的运行

第一节	系统的冲洗与充水	97
第二节	热水锅炉的烘炉与煮炉	98
第三节	点火与升温	101
第四节	锅炉正常运行	104
第五节	供热调节	111
第六节	燃烧设备的运行	116
第七节	汽水两用炉的运行管理	130
第八节	常压采暖热水锅炉的运行	134

第九节	热水锅炉及采暖系统停运期间的保养	139
第十节	热水锅炉安全管理的有关内容	140

第九章 热水锅炉的事故与处理

第一节	锅炉事故	145
第二节	热水锅炉的爆炸事故	147
第三节	循环中断事故	149
第四节	汽化事故	150
第五节	超压事故	152
第六节	水击事故	152
第七节	热水锅炉的爆管事故	154
第八节	省煤器及空气预热器损坏事故	155
第九节	烟气爆燃与烟道尾部二次燃烧事故	156
第十节	炉墙损坏事故	157

第十章 热水锅炉的水质管理

第一节	水中杂质与水质指标	158
第二节	热水锅炉的腐蚀机理	160
第三节	热水锅炉的防腐措施	161
第四节	热水锅炉的防垢	164
第五节	水垢的清除	169

第十一章 热水锅炉的附属设备

第一节	循环水泵及补给水泵	174
第二节	通风设备	178
第三节	运煤机械设备	181
第四节	除渣设备	183
第五节	阀门与管道	184

第十二章 消烟除尘及设备

第一节	烟尘危害及排放标准	192
第二节	降低烟气黑度的措施	193
第三节	热水锅炉除尘	194

第十三章 热水采暖系统的供热故障

第一节	供热故障分析.....	200
第二节	锅炉房系统缺陷引起的供热故障.....	201
第三节	系统设计不当引起的供热故障.....	204
第四节	室外管网缺陷引起的供热故障.....	206
第五节	室内管网缺陷引起的供热故障.....	207

第一章 基础知识

锅炉是一个复杂的热能转换设备。水（汽）以及燃料在锅炉设备中的变化过程，涉及到物理学、化学、热力学、传热学、流体力学、燃烧学等多种学科的知识；锅炉设备本身更与机械、金属、焊接等学科密切相关。熟悉有关基础知识，对于了解锅炉的工作原理和结构特性，掌握运行规程和操作要领，则是十分必要的。

第一节 表征热水锅炉特性的三个物理量

反映锅炉工作特性的物理量，通常叫做特性参数。热水锅炉的基本特性参数是压力、温度和容量或叫做供热量。

一、压力

通常所说的压力，是指垂直作用于单位面积上的力，用符号 P 表示（物理学中称为压强）。在国际单位制中，压力的单位为“帕斯卡”，简称为“帕”，记做 Pa 。因“帕”的单位较小，所以在工程中常用“兆帕” MPa 作单位：

$$1\text{MPa}=10^6\text{Pa}$$

在工程单位制中，压力的单位用公斤力/厘米²表示，记作 kgf/cm^2 。工程上有时还用米水柱（ mH_2O ）、毫米汞柱（ mmHg ）表示较小压力的单位。它们之间的换算关系如下：

$$1\text{kgf/cm}^2=10\text{mH}_2\text{O}=10000\text{mmH}_2\text{O}=735.6\text{mmHg}=9.8066\times 10^4\text{Pa}$$

因为空气是具有重量的，所以空气中的任何物体，在任何方向上都要受到空气的压力。这个压力称为大气压力。在标准状态下，即海拔为零米，温度为 0°C 时，大气压力为 101325Pa 。工程上为了计算方便，大气压力近似计为 $10\times 10^4\text{Pa}$ ，或 0.1MPa 。

压力表指示的压力称为表压力。表压力不是实际压力，因为当压力表指针为零时，实际上已受到周围大气压力的作用，所以压力表指示的压力数值，是指超过大气压力的部分。实际压力，又称为绝对压力，其数值就是表压力加上大气压力。当实际压力低于大气压力时的表压力，称为负压（或称为真空）。绝对压力、表压力和大气压力之间的关系可以写成

$$\text{绝对压力}=\text{表压力}+\text{大气压力}(\text{MPa})$$

或

$$\text{表压力}=\text{绝对压力}-\text{大气压力}(\text{MPa})$$

二、温度

温度是指物体冷热的程度，用符号 t 表示。温度是物体内部拥有能量的一种表现方式，温度越高，能量越大。工程上一般用摄氏温度计来测量温度，单位为摄氏度，记做 $^\circ\text{C}$ 。摄氏温度计是以水在标准状态下开始沸腾时的温度（即沸点）为 100°C ，水结冰时的温度（即冰点）为 0°C ，中间分成100格，每格为摄氏1度，记作 1°C 。

三、热水锅炉的容量

热水锅炉的容量是指锅炉每小时送入系统的热量，因此又称为供热量，用符号 Q 表示。热量是表示物体吸热或放热多少的物理量。热量的单位为焦耳，称为“焦”，记做 J 。工程中常用千焦 kJ 作单位

$$1kJ=10^3J$$

工程单位制中，热量的单位用千卡（又称大卡）表示，记做 $kcal$ 。1kg 纯水温度升高 $1^{\circ}C$ 所吸收的热量为 $1kcal$ 。且 $1kcal=4186.8J=4.1868kJ$ 。

由于热水锅炉的容量表示锅炉单位时间的供热量，则容量的单位应为千焦/小时，在国际单位制中采用千瓦或兆瓦，记做 kW 或 MW 。则

$$1kW=3600kJ/h=859.845kcal/h$$

$$1MW=8.59845\times 10^5kcal/h$$

第二节 水的物理化学性质

热水锅炉使用的热媒介质是水。它具有廉价易得，使用方便，污染少等优点。水是由氢和氧两种元素构成的化合物，化学分子式为 H_2O 。纯净的水在常温下是无色无味透明的液体，具有一定的体积，但没有固定的形状。其物理、化学性质受温度影响很大，在热水锅炉及采暖系统的设计和运行中，必须给予足够的注意。

一、水的比热

水的比热是指单位重量的水温度升高或降低 $1^{\circ}C$ 所吸收或放出的热量，用符号 C 表示。比热的单位记做 $kJ/(kg\cdot^{\circ}C)$ 。水的比热随温度升高而加大。水在 $70^{\circ}C$ 时的比热约为 $4.187kJ/(kg\cdot^{\circ}C)$ （在工程单位制中水的比热是 $1.0kcal/(kg\cdot^{\circ}C)$ ）。(表1-1给出在 $0.098MPa(1kgf/cm^2)$ 压力下不同温度水的比热值。

表 1-1 常压下水在不同温度时的比热

温 度 ($^{\circ}C$)		70	80	110	130	150	180
比热 ($kJ/kg\cdot^{\circ}C$) ($kcal/kg\cdot^{\circ}C$)	水	4.187(1.000)	4.208(1.005)	4.233(1.011)	4.267(1.019)	4.313(1.030)	4.417(1.055)
	水 蒸 气			2.18 (0.521)	2.26 (0.539)	2.39 (0.571)	2.71 (0.647)

由表1-1可以看出，水的比热比蒸汽的比热大很多，所以热水系统具有很大的蓄热量，可以用较小的管径输送较大的热量。

实际工程计算中，水的比热可近似取为 $4.187kJ/(kg\cdot^{\circ}C)$ ，由此可以算出热水锅炉的供热量。

$$\text{供热量}(Q)=\text{供水量}(G)\times\text{比热}(C)\times\text{温升}(\Delta t)$$

例如，供水温度为 $95^{\circ}C$ ，回水温度为 $70^{\circ}C$ ，额定供热量为 $1.4MW$ ($120\times 10^4kcal/h$) 热水锅炉的供出热水量为

$$G=\frac{Q}{C\cdot\Delta t}=\frac{1.4\times 10^3\times 3600}{4.187\times (95-70)}=48.2\times 10^3kg/h=48.2t/h$$

二、饱和压力与饱和温度及露点温度

在一定压力下对水加热，当水沸腾汽化时的状态称为饱和状态。在这个状态下的压力称为饱和压力，这时的温度称为饱和温度。在饱和状态下，水和蒸汽的压力与温度均相等，并且在整个汽化过程中压力与温度均不变。

水和蒸汽的一个重要性质就是饱和压力与饱和温度是一一对应的。表1-2给出水的压力与饱和温度的关系。

表 1-2 水的饱和温度与压力的关系

压 力 MPa (kgf/cm ²)	0.002 (0.0204)	0.01 (0.102)	0.05 (0.51)	0.1 (1.02)	0.5 (5.098)	0.8 (8.158)	1.1 (11.22)	1.4 (14.28)	1.7 (17.34)	2.6 (26.51)
饱和温度 (°C)	17.511	45.83	81.35	99.63	151.85	170.42	184.06	195.04	204.30	226.03

由表 1-2 可以看出，压力越大，饱和温度也越高，为保证一定温度的水在锅炉及系统中不发生汽化，必须维持一定的压力。

同样，当水蒸气的压力降至它温度所对应的饱和压力时，则水蒸气将凝结成水。例如，烟气中水蒸气的分压力很低，一般只有0.045MPa左右，当排烟温度过低时，将在锅炉的尾部受热面上凝结成水珠，出现结露现象。气体中蒸汽结露的温度称为露点温度。为防止在尾部受热面上结露而造成金属的锈蚀，尾部受热面的壁面温度必须高于露点温度。

三、粘性和阻力

水的粘性是指水在流动时出现的粘滞力。由于粘性的存在，水在流动时与管壁之间产生摩擦力，阻碍水的流动，形成阻力。不同的流体其粘性的大小不同，一般温度越低粘性越大。

水在管内流动，由于摩擦而产生的阻力称为沿程阻力；由于流动方向和截面的突然改变而造成冲击、涡流所产生的阻力称为局部阻力(见图1—1)。沿程阻力和局部阻力的总和就是水在管内流动的总阻力损失。

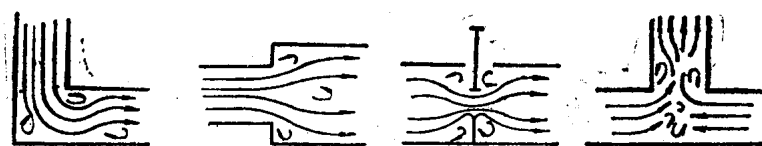


图 1—1

管道阻力的大小，与管内水的流速有关，流速越大阻力越大；与管径的大小、管道的形状、截面的变化和管壁的粗糙度有关，管径越大，形状越简单，截面变化越小，管壁越光滑，阻力越小。因此，在热水锅炉的设计时，应选择适当的水流速和管径，系统布置尽量简单，以减小管道的阻力损失。

四、密度与膨胀性

水的密度是指单位体积水的质量，用符号 ρ 表示。密度的单位记做kg/m³。水的密度随温度的升高而下降，随压力的增加而增大(但压力影响很小，可忽略不计)。表 1-3 给出在大气压力下不同温度时水的密度。

表 1-3

常压下水在不同温度时的密度

温 度 (°C)	0	4	20	40	60	70	80	90
密 度 (kg/m³)	999.9	1000.0	998.2	992.2	983.2	978.1	972.1	965.6
温 度 (°C)	100	110	120	130	140	150	160	180
密 度 (kg/m³)	958.6	951.2	943.3	935.0	926.3	917.1	907.5	887.0

表 1-4 给出水在不同压力下的膨胀系数值。

表 1-4

水在不同压力下的膨胀系数

压 力 MPa (kgf/cm²)	温 度 (°C)				
	1~10	10~20	40~50	60~70	90~100
0.1 (1.02)	0.14×10^{-4}	1.50×10^{-4}	4.22×10^{-4}	5.56×10^{-4}	7.19×10^{-4}
10.0 (102.0)	0.43×10^{-4}	1.65×10^{-4}	4.22×10^{-4}	5.48×10^{-4}	7.04×10^{-4}

水的体积随温度的变化而胀缩，这一性质关系到热水锅炉和系统中膨胀水箱的设计和布置，使系统中的水升温后能够自由地膨胀。水的体积增加量可由下式标出：

体积增加量(ΔV)=体积(V)×膨胀系数(β_t)×温升(Δt)

例如，加热100m³的水，当温度由20℃升至95℃时，水的体积增加量为

$$\Delta V = V \times \beta_t \times \Delta t = 100 \times 5.56 \times 10^{-4} \times (95 - 20) = 4.17 \text{ m}^3$$

5. 溶解度

溶解度是指物质在液体中溶解的能力。水中往往含有溶解度较小的钙、镁盐类物质和氧、氮、二氧化碳等气体。随着水温的升高，溶解度下降，钙、镁盐类沉淀产生水垢和沉渣；气体逸出，造成锅炉传热性能下降，金属腐蚀。

对于热水锅炉，水中溶解氧所造成的腐蚀特别严重。氧气在水中的溶解度，决定于水的温度及水面上氧气的分压力。水的温度越高，水面上氧气的分压力越小，则氧气的溶解度越小。表1-5给出水在不同温度、压力下的最大含氧量 (mg/l)。

表 1-5

水中含氧量与其温度、压力的关系

压 力 MPa (kgf/cm²)	温 度 °C										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0.1 (1.02)	14.0	10.8	8.8	7.5	6.2	5.4	4.7	3.6	2.6	1.6	0
0.08 (0.82)	11.0	8.5	7.0	5.7	5.0	4.2	3.4	2.6	1.6	0.5	0
0.06 (0.61)	8.3	6.4	5.3	4.3	3.7	3.0	2.3	1.7	0.8	0	0
0.04 (0.41)	5.7	4.2	3.5	2.7	2.2	1.7	1.1	0.4	0	0	0
0.02 (0.20)	2.8	2.0	1.6	1.4	1.2	1.0	0.4	0	0	0	0
0.01 (0.10)	1.2	0.9	0.8	0.5	0.2	0	0	0	0	0	0

为保证热水锅炉和系统的安全可靠的运行,延长使用寿命,必须采取切实可行的措施进行锅炉给水的除氧。

第三节 燃料及燃烧

锅炉的热量主要来自于燃料的化学能,燃料的燃烧是锅炉运行的主要环节。适当选用和处理燃料,合理使用燃烧设备,正确掌握燃烧规律等,不但可以节约燃料,保护环境,还可以延长设备使用寿命,对保证锅炉安全,经济运行极为重要。

一、燃料

燃料是能够燃烧并放出大量的热和光的物质。锅炉所用的燃料有固体、液体、气体三种,热水锅炉多以燃用固体燃料的煤为主。煤主要由以下七种成分组成:

(1) 碳,用符号C表示,是煤的主要成分,燃烧时与空气中的氧化合生成二氧化碳(CO_2),燃烧1kg碳能发出33700kJ(8050kcal)的热量,煤的含碳量越多,发热量越高。不过碳要在比较高的温度下才能燃烧,因此含碳量高的煤较难着火。一般碳占燃料成分的50~90%。

(2) 氢,用符号H表示,是煤中最活泼的成分,燃烧时与氧化合生成水蒸气(H_2O),并能放出大量热量。燃烧1kg氢能放出143200kJ(34200kcal)热量。煤的含氢量越多,燃料越容易着火。煤中含氢量约2~5%。

(3) 硫,用符号S表示,是煤中的一种有害元素。燃烧1kg硫能放出9040kJ(2160kcal)的热量,同时生成二氧化硫(SO_2)或三氧化硫(SO_3)的气体,污染大气,对人体有害。这些气体又与烟气中水蒸气凝结在受热面上的水珠结合,生成亚硫酸(H_2SO_3)或硫酸(H_2SO_4),腐蚀金属。含硫量多的煤容易自燃。我国煤的含硫量在0.5~5%之间。

(4) 氧,用符号O表示,是不可燃成分,煤中氧含量的变化很大,可从1%到40%。

(5) 氮,用符号N表示,不能燃烧,煤里含氮量多,就会降低煤的发热量。煤中氮的含量一般很小,约为1~2%,但氧与氮在高温下会生成少量氧化氮,对人和植物都十分有害。

(6) 灰分,用符号A表示,是煤中不能燃烧的固体灰渣,由多种化合物组成。由于灰的成分不同,在高温下灰的熔化温度也不一样。熔化温度低的灰,在高温燃烧室中易软化粘结于管壁造成结焦,影响正常燃烧,所以灰分多,煤质差。煤的灰分一般在5~35%之间。

(7) 水分,用符号W表示,是煤在蕴藏、采掘、运输、储存过程中,吸附或凝聚在煤炭内部一些小毛细孔中及表面存留的水分。煤中的水分变化极大,从2%直到50~60%。燃烧时它不放出热量,相反还要吸收煤燃烧时所发出的热量而汽化。所以煤里的水分过多会直接降低煤燃烧时所发生的热量,使燃烧温度降低。

当煤加热时,首先放出水分,升到一定温度时,有碳、氢、氧的化合物,如一氧化碳(CO),甲烷(CH_4)等可燃性气体分解出来,这种可燃性气体叫挥发分,用符号V表示。煤含的挥发分越多,越容易着火。

煤一般分为褐煤、烟煤、无烟煤等。

褐煤的水分较多,挥发分含量大,因而发热量不高。

烟煤的挥发分含量较大,有的容易结焦。

无烟煤的挥发分含量较少，含碳量高，发热量较大，但着火困难。

二、燃烧

燃烧是燃料在适当温度下与空气中的氧气进行化学反应而发出光和热的现象。燃烧过程实质上就是氧化过程。煤在加入锅炉炉膛后一般经过如下四个过程。

1. 预燃阶段

在炉膛高温作用下，煤经预热、干燥，水分逐渐被蒸发，加热到 $300\sim 400^{\circ}\text{C}$ 时，煤开始分解，煤中的挥发分即以一氧化碳（CO）、碳氢化合物（ C_mH_n ）和氢气（ H_2 ）的形式析出（干馏过程）。

2. 点燃阶段

当温度到达煤的着火点，空气供应充分并与挥发分混合良好时，开始点燃。一般烟煤的着火点为 $350\sim 400^{\circ}\text{C}$ ，无烟煤为 700°C 左右。

3. 燃烧阶段

挥发物和焦炭燃烧，产生大量高温烟气。焦炭是较难燃烧的，通常要在 800°C 以上才开始强烈燃烧。焦炭的燃烧是从表面向内部逐渐深入的，需要一定的时间，并要求不断地供给燃烧所需要的空气。

4. 燃尽阶段

焦炭全部燃完，形成灰渣。

在燃烧过程中，可燃物全部燃尽，并将所有的热量全部释放出来，称为完全燃烧。相反，可燃物未能全部燃尽，热量未能全部释放出来，称为不完全燃烧。煤完全燃烧需要具备三个条件，或称为燃烧三要素。

（1）足够高的温度，是良好燃烧的首要条件。炉温高低对于煤的干燥、干馏、着火、燃烧和烧尽有直接影响。炉温高，干燥与干馏顺利，达到着火温度的时间也快，着火容易燃烧迅速。炉温越高对着火燃烧越有利。

（2）适量的空气与可燃物的充分混合，是燃烧必不可少的条件。一定量的煤完全燃烧需要一定量的空气，并使之与可燃物及时接触和良好混合。为此，供给锅炉的空气量总要适当多一些，但不可过大。空气量过大，进入炉膛冷空气多，炉温降低，对燃烧不利；空气量多，烟气量也增多，排烟损失增大。保证一定的风速，使空气供应及时，混合充分，是促进燃烧的关键。

（3）一定的燃烧时间和空间。煤在炉膛中燃烧，需要一定时间，煤中的可燃气体（挥发分）和被空气吹起的细小煤末的燃烧需要一定空间，为此炉膛应具有足够大的空间，以保证煤在炉内停留足够的时间使之燃尽，并将燃烧后产生的烟气热量充分释放出来。

三、煤的发热量

燃烧产生热量的大小，取决于煤的发热量。 1kg 煤完全燃烧所放出的全部热量，称为煤的发热量或称为热值，单位记作 kJ/kg 。发热量分为高位发热量（ Q_{cw} ）和低位发热量（ Q_{dw} ）。

高位发热量是指煤的最大可能发热量。即煤燃烧后所放出的全部热量，包括烟气中的水蒸气全部凝结为水后所放出的凝结热（等于汽化热的数值）。

低位发热量是指煤在正常燃烧条件下的实际发热量。由于锅炉排烟温度都在 100°C 以上，所以煤燃烧时所产生的水蒸气一般是不能凝结的。煤燃烧后放出热量的一部分消耗于煤中水

分的汽化，使煤的实际发热量减少。煤在燃烧时，扣除消耗于其本身水分汽化热后所放出的热量，即为低位发热量。锅炉设计和运行中一般用低位发热量计算煤的用量和锅炉热效率。并以低位发热量为 29300kJ/kg (7000kcal/kg) 的煤定为标准煤。

四、通风

煤燃烧后生成的烟气，经过传热之后，排出炉外，同时将燃烧所需的空气送入炉内，这个过程称为通风。锅炉通风分为自然通风和机械通风。

(1) 自然通风是利用烟囱抽升力进行的。烟囱内部是高温烟气，烟囱外面是低温空气，两者重度不同，高温烟气比低温空气重度小，烟气不断上升送入大气使炉膛形成负压，则炉排下面的空气被吸入炉膛，供煤燃烧。烟囱抽升力取决于烟囱的高度和烟气温度，烟囱越高，烟气温度越高，烟囱抽力越大。

(2) 机械通风是利用送、引风机进行的。燃烧需要的空气用送风机送入炉膛，燃烧生成的烟气，经传热之后，用引风机吸出。机械通风力的大小，取决于送、引风机的功率、风量和风压。

通风适当与否将会影响燃烧效率和锅炉出力，与燃料消耗量关系很大，所以通风装置中应装挡板调节开启大小，合理分配送风量及排出烟气量，控制燃烧，以达到经济运行的目的。

五、热水锅炉的主要燃烧方式

煤在锅炉中的燃烧方式分为层燃式燃烧、悬浮式燃烧、沸腾式燃烧等。热水锅炉的燃烧方式大多为层燃式燃烧。

层燃式燃烧是指煤在炉排上呈层状燃烧状态，煤在燃烧过程中相对固定，燃烧后的灰渣仍存留在炉排上。热水锅炉常用的层燃设备有固定炉排、双层炉排、抽板顶升燃煤机、往复炉排和链条炉排等。

采用层燃炉，煤无需特别破碎加工，对经常开停间断运行尤为适用。层燃炉的锅炉房布置简单，耗电少。但燃料与空气混合不良，燃烧反应较慢，燃烧效率不高。除手烧炉外，其他层燃炉在加煤、除渣和拨火操作上，部分或全部实现了机械化，改善了劳动条件，也提高了锅炉运行的经济性。

第四节 热量的传递

燃料在炉膛中燃烧产生高温烟气（火焰），烟气的热量则通过锅炉的金属壁面传递给介质。烟气中的热量传给介质的过程称为传热过程。传递热量的金属壁面称为受热面。了解传热过程对锅炉的设计和运行十分必要。锅炉的传热过程，是由导热、对流换热和辐射换热三种热量传递的基本形式组成，从高温向低温进行的。

一、导热

热量从物体的一部分传递到另一部分，或从一物体传递到与它接触的另一物体的过程称为导热。例如，热量由受热面金属外壁传向内壁的过程。

物体导热的能力与材料的性质和温度有关，用材料的导热系数 (λ) 表示，单位记做 $\text{W/m}\cdot^\circ\text{C}$ 。表 1-6 给出锅炉上几种常用材料在常温下的导热系数。

由表 1-6 可以看出，水垢的导热能力很差，约为钢材导热能力的几十分之一。锅炉结垢

表 1-6

不同物质的导热系数

材料名称	导热系数, W/m·℃(kcal/m·h·℃)	材料名称	导热系数, W/m·℃(kcal/m·h·℃)
铸铁、钢	35.6~50.6 (30.6~43.5)	矿渣棉	0.047~0.053 (0.04~0.05)
耐火砖	0.93~1.4 (0.80~1.20)	砾石砖	0.093~1.16 (0.08~1.00)
红 砖	0.58~0.81 (0.50~0.70)	水 垢	1.28~3.14 (1.10~2.70)
混 凝 土	0.77~1.28 (0.66~1.10)	烟 灰 层	0.07~0.12 (0.06~0.10)
石 灰 泥	0.7~1.16 (0.60~1.00)	空 气	0.024~0.086 (0.02~0.07)
石 棉	0.093~0.116 (0.08~0.10)	水	0.555~0.686 (0.48~0.59)
玻璃纤维	0.035~0.047 (0.03~0.04)		

不仅会使锅炉出力和效率降低（结垢 1mm 约使锅炉效率降低 3~5%），造成燃料损失，影响经济性，而且更主要的是影响锅炉的安全性。水垢结在受热面水侧，由于水垢导热不良，热量不易传递给水，但水垢层外的金属壁却处于高温状态，易发生过热甚至爆管。此外，锅炉结垢后，常会引起所谓垢下腐蚀，加速受热面的损坏，垢层太厚还会影响管内水的正常流动，破坏水循环引起事故。因此，加强锅炉水质监督定期清除水垢和运行中坚持排污制度，对强化传热和保证锅炉安全运行是很重要的。

由表1-6还可以看出，烟灰层的导热能力比水垢还差，仅为钢材导热能力的几百分之一。受热面积灰是使烟气热量不能充分传递给水的主要原因之一。因此，运行中要经常清除受热面上的积灰，否则会使锅炉出力降低、排烟温度升高，热效率下降。积灰严重会导致受热面堵灰，影响烟气流通，而不能维持锅炉正常运行。

表1-6给出的其他几种非金属材料导热性能均较差，大多做为热水锅炉和系统中常用的隔热、保温材料，以减少散热损失。

二、对流换热

流动的流体（水或烟气）与固体壁面直接接触而传递热量的方式称为对流换热。锅炉受热面外侧由于受到流动的高温烟气冲刷，使热量由烟气传递到外壁，其内侧由于水（或蒸汽）的流动，使热量从内壁传递给水（或蒸汽）的过程都属于对流换热。

对流换热的强弱，主要与流体的性质，流动速度和固体壁面的表面状况，形状等有关。流体的种类不同，影响换热的物性，如比热、导热系数、密度、粘性等均不同。因此，在相同条件下，水的换热能力大于蒸汽，而蒸汽的换热能力又大于空气和烟气。流体的速度越大，冲刷固体壁面越强烈，对流换热的能力越大。所以，锅炉中机械通风的对流换热的能力大于自然通风。锅炉中受热面结构及布置也影响对流换热的能力的大小。管径小的换热能力大于管径大的；管子叉排布置（图 1-2 (a)）大于顺排布置（图 1-2 (b)）；烟气横向冲刷（图 1-3(a)）大于纵向冲刷（图 1-3 (b)）。

表1-7给出在不同烟气速度下，烟气和水的温度差为1℃时，每小时通过 1m²受热面面积的对流换热的热量。

三、辐射换热

由热物体表面对外发射的热射线而传递的热量称为辐射换热。辐射换热与导热、对流换热不同，它不依靠物质的接触而进行热量传递。例如，炉内从高温烟气（火焰）传递到受热面外壁的过程。

辐射换热量与物体的绝对温度（等于摄氏温度加上273）的四次方成正比，火焰温度越