

中等专业学校交流讲义

鍋炉設備及运行

吉林电力学院鍋炉教研室編

只限学校內部使用



中国工业出版社

中等专业学校交流讲义



鍋炉設備及运行

吉林电力学院鍋炉教研室編

中国工业出版社

本书是中等专业学校电厂热能动力装置专业“锅炉设备及运行”课程的教材。全书共二十二章，分两学期讲授。为配合第一学期末的安装实习和第二学期末的课程设计，前五章着重讲述锅炉设备的构造、性能和工作原理；第十六章以后则主要介绍计算和设计知识。此外，对炉内过程和锅内过程等较抽象的专业理论也作了扼要的介绍。

如将书中煤粉系统计算、热力计算、水循环计算等内容适当精简以后，本书也可作为电厂热力控制等专业的教材。此外，对从事动力锅炉设计和电厂热工方面的工程技术人员也有参考价值。

本书先由王鸿林、邓定剑和孙健同志写成初稿，后经王鸿林、雷三余、汪保春和刘玉铭同志改写而成。

锅炉设备及运行

吉林电力学院锅炉教研室编

水利电力部办公厅图书编辑部编辑（北京阜外月坛南营房）

中国工业出版社出版（北京佟麟阁路丙10号）

北京市书刊出版业营业许可证出字第110号

中国工业出版社第一印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ ·印张 $25\frac{3}{4}$ ·字数564,000

1961年8月北京第一版·1965年2月北京第五次印刷

印数5,919—7,078·定价（科四）2.40元

统一书号：K15165·626（水电-37）

目 录

緒 論	4
第一章 鍋炉設備概述	5
第一节 蒸汽鍋炉的組成及工作概念	5
第二节 蒸汽鍋炉的主要参数和指标	7
第二章 燃料	11
第一节 燃料概述	11
第二节 燃料的成分及性质	12
第三节 燃料分析及灰分的熔点	17
第四节 燃料的发热量	19
第五节 燃料的焦結性及可磨性	23
第六节 燃料的分类及特性	25
第三章 燃燒过程与燃燒方式概述	30
第一节 燃料的燃燒过程	30
第二节 典型燃燒方式	34
第三节 燃燒設備的参数和指标	36
第四章 层燃炉	39
第一节 层燃炉的分类及基本类型	39
第二节 固定炉篦式手燒炉	39
第三节 鏈条炉	43
第四节 播散炉	53
第五节 层燃炉的选择	58
第五章 煤粉制备	60
第一节 煤粉的性质及品质	60
第二节 煤粉制备概述	62
第三节 磨煤机	64
第四节 煤粉制备系統	75
第五节 制粉系統的主要部件	79
第六节 磨煤机的磨碎出力及功率計算	86
第七节 制粉系統的热平衡及干燥出力計算	93
第八节 制粉系統的运行及防煤	98
第六章 室燃炉	101
第一节 室燃炉概述	101
第二节 煤粉炉的燃燒过程	102
第三节 煤粉炉的燃燒裝置	106
第四节 煤粉炉的結渣	118
第五节 煤粉炉的运行	122
第六节 煤粉炉的設計	124

第七节 液态除渣式煤粉炉	128
第八节 重油炉和煤气炉	134
第七章 旋风炉	139
第一节 旋风炉的种类和构造	139
第二节 旋风炉的空气动力特性	144
第三节 旋风炉的设计	147
第八章 蒸汽锅炉的发展及主要类型	150
第一节 原始锅炉	150
第二节 火管锅炉	151
第三节 水管锅炉	156
第九章 锅炉的蒸发设备	164
第一节 蒸发设备概述	164
第二节 水冷壁	166
第三节 锅炉管束和凝渣管	170
第十章 过热器及汽温调整	171
第一节 过热器概述	171
第二节 过热器的分类和工作特性	173
第三节 过热蒸汽温度的调整	176
第四节 汽温过高及热偏差	181
第五节 锅炉升火时过热器的保护	184
第六节 中间过热器	184
第十一章 尾部受热面	186
第一节 省煤器	186
第二节 空气预热器	191
第三节 尾部受热面的布置	196
第十二章 锅炉的布置及通用化	199
第一节 影响受热面分配及其布置的因素	199
第二节 锅炉布置的典型方案	202
第三节 锅炉的通用化	205
第十三章 蒸汽洁净及汽鼓内筒装置	207
第一节 蒸汽洁净概述	207
第二节 饱和蒸汽带水原因的分析	208
第三节 杂质在蒸汽中的溶解	210
第四节 获得清洁蒸汽的方法	211
第五节 锅炉排污和分段蒸发	217
第十四章 构架、炉墙及锅炉附件	220
第一节 锅炉机组的构架	220
第二节 锅炉机组的炉墙	221
第三节 安全门	224
第四节 吹灰器	229
第十五章 现代锅炉及特种锅炉	231
第一节 现代自然循环锅炉	231

第二节	直流鍋爐	241
第三节	多次强制循环鍋爐	252
第十六章	燃烧計算	257
第一节	燃燒的化学反应	257
第二节	燃燒需要的空气量	259
第三节	烟气的成分分析及計算	260
第四节	一氧化碳含量及 RO_2 最大值	265
第五节	过剩空气系数	266
第六节	烟气的焓及焓-湿图	270
第十七章	鍋爐机组的热平衡	273
第一节	鍋爐机组热平衡的作用及其构成	273
第二节	机械未完全燃燒損失	275
第三节	化学未完全燃燒損失	278
第四节	排烟損失	278
第五节	鍋爐机组外壁的散熱損失	279
第六节	其他热損失	280
第七节	有效利用热量小鍋爐效率及燃料消耗量	281
第十八章	鍋爐机组的热力計算	284
第一节	热力計算概述	284
第二节	炉子計算	284
第三节	对流受熱面計算	301
第四节	对流受熱面計算順序的規定	333
第十九章	水循环及其計算	337
第一节	水循环概述	337
第二节	自然循环的計算	341
第三节	自然循环的故障及安全性檢查	354
第二十章	鍋爐使用的金屬及主要部件的强度計算	364
第一节	鍋爐使用的金屬	364
第二节	許用应力的選擇和壁溫的确定	366
第三节	鍋爐部件的强度計算	371
第二十一章	鍋爐的通风設備及空气动力計算	377
第一节	鍋爐的通风設備	377
第二节	风机的選擇	379
第三节	空气动力計算	382
第二十二章	鍋爐机组的运行	385
第一节	鍋爐机组的升火	385
第二节	鍋爐机组的正常运行	393
第三节	鍋爐机组在非設計工况下的运行	396
第四节	鍋爐机组的停止	402
第五节	鍋爐机组的事故及对策	405
附 录		408

緒 論

蒸汽鍋爐由于蒸汽的使用范围日益广泛，它在工业建設中的地位也愈显重要。鍋爐产生的蒸汽是蒸汽动力装置的主要工质，所以現代火力发电厂中都装有蒸汽鍋爐。

自1764年波尔宗諾夫制造第一台动力鍋爐以来，经过将近200年的不断发展和改进，現代动力鍋爐已是庞大而复杂的装置。解放前我国动力鍋爐制造工业的基础非常薄弱。电厂用鍋爐，絕大部分由国外进口。

解放以后，由于党的正确领导、全国人民的共同努力，我国的鍋爐制造工业也和国民經济的其他部門一样，得到了飞速发展。首先在設計制造方面，经过解放后3~4年的努力，我們就在異常薄弱的基础上，制造出了40吨/时、40絕對大气压、400°C的中压鍋爐(配6,000瓩汽輪机)，并兴建了新型的鍋爐制造厂和无縫鋼管厂。1958年制成230吨/时、100絕對大气压、510°C的321—230/100型高压大容量鍋爐(配50,000瓩汽輪机)；1959年以后，又相继設計和制造了更大容量和更高参数的鍋爐。

在安装运行方面，解放后我国先后建立了設計、施工的专业队伍和各种技术研究机构，并且迅速地壮大和提高了这些专业机构的技术力量，从而使鍋爐安装的施工定額不断突破，运行技术也不断提高。現在很多电厂的耗煤率已降低到0.5公斤/度以下，而解放前煤耗率达到1~2公斤/度。新建的中型以上鍋爐的机械化和自动化的程度已大为提高，这为提高鍋爐运行的經濟性和安全可靠性的提供了有力保証。此外，解放以来，我們还在燃用当地低质燃料、减少損失和掌握高参数鍋爐运行技术等方面，取得了許多成就。

可以深信，在党的正确领导下，在总路綫、大跃进、人民公社三面紅旗的光輝照耀下，我們群策群力，刻苦钻研，深入开展群众性的技术革命运动，就一定能在不太长的時間內，使我国的鍋爐技术走上世界水平的先进行列。

第一章 鍋炉設備概述

第一节 蒸汽鍋炉的組成及工作概念

蒸汽鍋炉是一种利用其他物质的能量来产生蒸汽的装置。鍋炉設備包括鍋炉机組和輔助装置两部分。今以中等容量的层燃式鍋炉为例(图1-1)說明其工作概况。

一、鍋炉机組的組成

鍋炉机組包括：汽鍋、炉子、过热器、省煤器、空气預热器以及支持它們的金属結構和炉牆等。它們分担着不同的任务：

1. 汽鍋 它是产生饱和蒸汽的一个热交换器，由汽鼓、联箱和升、降水管等組成。管內的水因受管外烟气的加热而蒸发成饱和蒸汽。汽鼓主要起联接管子、貯存热水、汽水分离、安装表計和排污放水等作用。

2. 炉子 它是供燃料燃燒的装置，层燃炉由燃燒室、炉篦、拱碶等組成。燃料在其中燃燒以放出热量。燃燒的全部过程都必須在炉內进行，不允許在炉后的排管或过热器等处还有繼續燃燒的現象。否則，就容易引起管壁过热和結渣，或者使汽温过高。

3. 过热器 它是一个加热蒸汽的热交换器，用以使饱和蒸汽进一步加热成过热蒸汽。即消除饱和蒸汽中可能带有的水份，并使汽温提高到饱和温度以上。这样可以提高电厂的热效率。

4. 省煤器 它是一个加热水的热交换器，利用将被排除的烟气加热鍋炉给水，使水

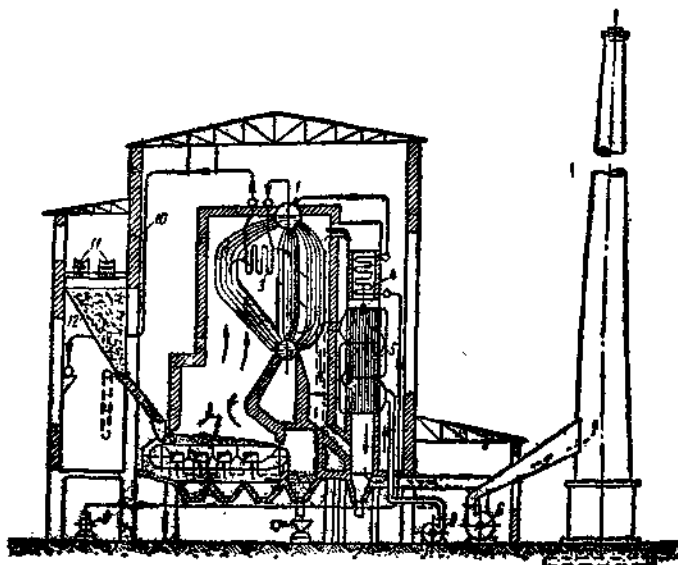


图 1-1 鍋炉設備系統图

1—汽鍋；2—炉子；3—过热器；4—省煤器；5—空气預热器；6—吸风机；7—烟囱；8—送风机；9—給水泵；10—蒸汽管路；11—輸煤皮带；12—原煤倉；13—灰車。

图中尚未表示出除尘、热工仪表、水处理等輔助装置

温升高到饱和温度或接近饱和温度，然后进入汽鼓。这样就可以使排烟温度降得更低，同时将减小汽鼓的热应力。

5. 空气预热器 它是一个加热空气的热交换器，利用排烟余热，加热即将进炉的空气，这样不仅可以进一步降低排烟带走的热损失，还可以提高炉内温度，有助于燃料的干燥和燃烧。

6. 构架、炉墙及其他 用以支持上述各种部件的金属结构称为构架，它所立足的基础以及炉墙、支撑、连接管路、配件、吊架等，也都算锅炉整体的组成部分。

综上所述，可知蒸汽锅炉的工作过程，大致是：给水先送入省煤器预热，然后进入汽鼓与汽鼓里的水（炉子）混合，继而经下降管流入上升管，在这里，一部分水得到蒸发，另一部分仍然为饱和水。汽水混合物上升到汽鼓，将水份分离后，接近于干燥的饱和蒸汽，则由汽鼓上部的蒸汽空间引入过热器，经进一步加热后，则送至用汽地点。分离下来的水，重新流入下降管循环工作。燃料在炉内燃烧产生的高温烟气，则依次流经前部排管、过热器、后部排管、省煤器、空气预热器等，经充分冷却而后排除。为了保证上述过程的顺利进行，还需以下的辅助装置配合工作。

二、锅炉的辅助装置

辅助装置包括：通风设备、给水设备、除灰设备、除尘设备、输煤设备、制粉设备、水处理设备和热工仪表自动装置等。它们也分担着不同的任务：

1. 通风设备 它由送风机、吸风机、风道、烟道和烟囱等组成，用以保证空气的供应和烟气的排除。锅炉负荷或其他工况变动时，可借通风设备之助，任意调节需要的风量和风压。

2. 给水设备 由给水泵、给水管路和阀门等组成，用以保证向锅炉可靠的给水。

3. 除灰设备 用以清除燃烧剩余的灰渣，并将其送往储灰场。图1-2所示者，系用小灰车的干态除灰，近代电厂多用水力和气力除灰，有的还将灰渣熔成液体以后，进行所谓液态除渣。

4. 除尘设备 用以清除随烟气带走的飞灰，使飞灰不从烟囱排出，以免影响附近的农作物和环境卫生。这种设备对于燃烧煤粉的锅炉特别需要。图中表示的是燃烧原煤的层燃炉，飞灰量不大，故不曾带有除尘设备。

5. 输煤设备 用以保证燃料的供应。近代电厂，往往将燃料的输送、储存和管理等工作专设燃料车间独立管理，不再附属于锅炉车间了。但锅炉仍设有储存适量燃料的原煤仓。

6. 制粉设备 它是煤粉炉所必需的辅助装置，用以将原煤磨碎成粉末，以加大燃料与空气的接触面积，加速燃烧。图中所示的不是煤粉炉，故没有制粉设备。

7. 其他设备 如补给水处理设备和热工仪表、自动控制仪器等，也常常是锅炉必不可少的辅助装置。但它们往往是由于性质比较特殊或设备比较庞大，近代电厂都设有单独的化学车间、热工车间（或热工室）等专职管理，不附设在锅炉车间了。

综上所述，可知近代锅炉设备是由许多不同的部件和仪器所组成的。而这些组成部分，又往往随锅炉型式、容量、燃烧方式、燃料性质、给水品质、蒸汽参数等不同而互有差异。例如，图1-2就是现代煤粉锅炉的示意图，它与图1-1的锅炉相比，显然有很大区别。

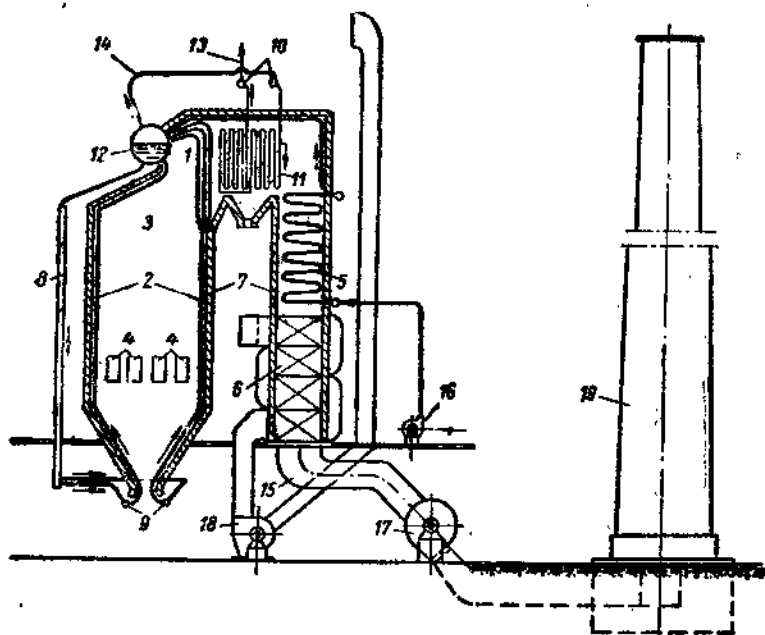


图 1-2 现代锅炉示意图

1—锅炉；2—水冷壁；3—炉子；4—喷燃器；5—省煤器；6—空气预热器；7—炉墙；8—下降管；9—水冷壁下联箱；10—过热器联箱；11—过热器；12—汽鼓；13—蒸汽引出管；14—饱和蒸汽管；15—烟道；16—给水泵；17—吸风机；18—送风机；19—烟囱。

第二节 蒸汽锅炉的主要参数和指标

一、表示锅炉工作特性的参数

用来标志锅炉基本特性的主要参数，是锅炉产生蒸汽的数量、质量和进入锅炉工作的各种物质的品质。

1. 蒸汽产量 锅炉产生蒸汽的能力称为容量。以前认为锅炉容量的大小，可以用受热面的多少来精确估计。例如：旧式锅炉曾用锅炉马来表示容量，具有 0.93 米^2 (10 呎²) 的受热面，就称为一个锅炉马。但近代锅炉，由于型式和参数的不断增加，辐射受热的利用以及一系列尾部受热面的出现，都已使这种表示方法，失去了最起码的准确性。故现在容量的大小，都以每小时产生的蒸汽重量来表示。这个数值称为蒸发量 (D)，也叫出力。它的单位是公斤/时或吨/时。

蒸发量还有正常与最大之分。正常蒸发量是指锅炉效率最高时所产生的蒸汽量，所以又叫经济出力；最大蒸发量是指锅炉连续进行所能产生的最大蒸发量，也叫最大出力。故表示锅炉容量时，常常写成分式，如： $D = 160/200$ 吨/时。分子表示经济出力；分母表示最大出力。

1947年苏联国家标准中，规定了一个更精确的表示方法，称为额定蒸发量 (D_n)。它是指：锅炉在保持规定蒸汽参数和给水品质下长时期运行，不发生工况紊乱现象时，所产生的最大蒸发量。目前我国也采用这种表示方法。

额定蒸发量常被用来作为划分锅炉容量的依据，如表1-1所示。

表1-1 鍋炉容量的划分

鍋 炉 类 型	額 定 蒸 发 量 $D_{\text{額}}$ (吨/时)
小 型 鍋 炉	<20
中 型 鍋 炉	20~100
大 型 鍋 炉	>100

2. 蒸汽质量 鍋炉产生蒸汽的质量, 常用压力和温度来表示。有时还用蒸汽的含盐量和干度来表示。它們的常用单位是: 汽压($p_{\text{汽}}$)绝对大气压(或公斤/厘米²); 汽温($t_{\text{汽}}$)°C; 含盐量($S_{\text{汽}}$)毫克/公斤; 蒸汽干度(x)%。汽温和汽压, 常被用来作为划分鍋炉参数的依据, 如表1-2所示。

表1-2 鍋炉参数的划分

鍋 炉 类 型	汽 压 $p_{\text{汽}}$ (绝对大气压)	汽 温 $t_{\text{汽}}$ (°C)
低 压 鍋 炉	<15	<350
中 压 鍋 炉	15~60	350~450
高 压 鍋 炉	60~180	450~555
超 高 压 鍋 炉	180~225	550~600
超临界压力鍋炉	>225	>600

3. 其他参数 进入鍋炉工作的物质, 有給水、燃料和空气。它們的成分和性质, 如給水的温度、硬度、碱度和其他杂质含量; 燃料的发热量、焦結性、可磨性、灰份熔点和水份、挥发份、灰份等含量; 空气的压力、温度和数量等, 都对鍋炉工作的技术特性和运行情况有重大影响。因此, 这些数据中的某一部分, 也常常用来作为表示鍋炉特性的参数。

当然, 最基本的参数是蒸发量、汽温、汽压, 其次是燃料性质、給水和空气的温度。

二、表示鍋炉經濟性的指标

用来标志鍋炉运行及制造經濟性的主要指标是: 效率、自用能量、标准燃料消耗、单位造价和金属消耗等。

1. 鍋炉效率 鍋炉在工作过程中, 工质(汽和水)吸收的全部热量($Q_{\text{汽}}$)与輸入炉內的总热量($BQ_{\text{低}}$)的比值, 称为鍋炉总效率。即: $\eta_{\text{汽}} = \frac{Q_{\text{汽}}}{BQ_{\text{低}}}$ (1-1)

式中 $\eta_{\text{汽}}$ ——鍋炉总效率;

$Q_{\text{汽}}$ ——工质吸收的全部热量, 大卡/时;

B ——燃料消耗量, 公斤/时;

$Q_{\text{低}}$ ——拥有热量(即对应于单位燃料消耗所輸入炉內的总热), 大卡/公斤。

对应于单位燃料的工质吸热量, 也叫有效热量(Q_1), 即:

$$Q_1 = \frac{Q_{\text{汽}}}{B}, \text{大卡/公斤。} \quad (1-2)$$

故公式(1-1)也可以写成: $\eta_{sp} = \frac{Q_1}{Q_p^p}$ (1-3)

式中 Q_1 ——有效热量大卡/公斤。

鍋炉的总效率, 也可以通过各项损失来计算, 即:

$$\eta_{ka} = \frac{Q_p^p - Q_2 - Q_3 - Q_4 - Q_5 - Q_6}{Q_p^p} = 1 - \frac{Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6}{Q_p^p} \quad (1-4)$$

式中 Q_2 ——排烟带走的热损失 大卡/公斤;

Q_3 ——化学未完全燃烧热损失(即可燃气体的不完全燃烧损失) 大卡/公斤;

Q_4 ——机械未完全燃烧热损失(即固体可燃物的不完全燃烧损失) 大卡/公斤;

Q_5 ——鍋炉机組外壁的散热损失 大卡/公斤;

Q_6 ——其他热损失, 如: 灰渣的物理热量及不属于鍋炉汽水系统的冷却水所带走的热损失等 大卡/公斤。

如設 q_2 、 q_3 、 q_4 、 q_5 、 q_6 等, 分别表示各损失占拥有热量的百分数, 即:

$$q_2 = \frac{Q_2}{Q_p^p} \times 100; \quad q_3 = \frac{Q_3}{Q_p^p} \times 100; \quad q_4 = \frac{Q_4}{Q_p^p} \times 100;$$

$$q_5 = \frac{Q_5}{Q_p^p} \times 100; \quad q_6 = \frac{Q_6}{Q_p^p} \times 100.$$

故公式(1-4)也可写成: $\eta_{sp} = 1 - \left(\frac{q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6}{100} \right)$ (1-5)

由上式可以看出: 任何一项热损失增加时, 都会降低鍋炉的总效率, 故它是最重要的运行经济指标。各项损失的计算方法詳見第十七章。

2. 自用能量 鍋炉的很多輔助装置, 象运煤、制粉、除灰、通风以及照明等, 都需要用电, 如用汽动泵给水或以蒸汽噴重油等, 还要消耗一些蒸汽, 这些为了維持鍋炉設備本身的正常工作而消耗的电能和蒸汽, 称为自用能量(Q_{ca}), 考虑到自用能量的鍋炉效率, 叫淨效率 η_{ne} , 它与总效率的关系是:

$$\eta_{ne} = \eta_{ka} - \frac{Q_{ca}}{BQ_p^p} \quad (1-6)$$

式中 η_{ne} ——鍋炉的淨效率;

Q_{ca} ——鍋炉的自用能量 大卡/时。

自用能量可由消耗的电能及蒸汽、換算成热量以后相加而得[詳見公式(17-43)]。

显然, 淨效率更能完善的表明鍋炉工作的經濟性。图 1-3 为某大型鍋炉在不同負荷下, 各项损失、淨效率和总效率的变化曲线。从图中可以看出: 負荷为155吨/时时, 总效率最高, 而淨效率则在180吨/时时为最高。在这种情况下, 为了得到更高的經濟性, 应该使鍋炉尽可能带180吨/时左右的負荷, 而不是保持在总效率最高的条件下工作。

3. 其他指标 如标准燃料消耗率、金属消耗量或单位造价等, 也都可以說明鍋炉运行和制造的經濟性。所謂标准燃料消耗率是指单位发电量或单位蒸发量所对应的燃料消耗。前者用以表示整个电厂的經濟性(单位是公斤/度或公斤/瓩·时); 后者用以表示鍋炉机組的工作經濟性(单位是公斤/公斤), 它可由下式求得:

$$b_N = \frac{B_N}{D_N} = \frac{BQ_N^p / 7000}{D(\dot{i}_{N_s}^* - \dot{i}_{N_s}) / 640} = 0.0914 BQ_N^p / D(\dot{i}_{N_s}^* - \dot{i}_{N_s}) \text{ 公斤/公斤} \quad (1-7)$$

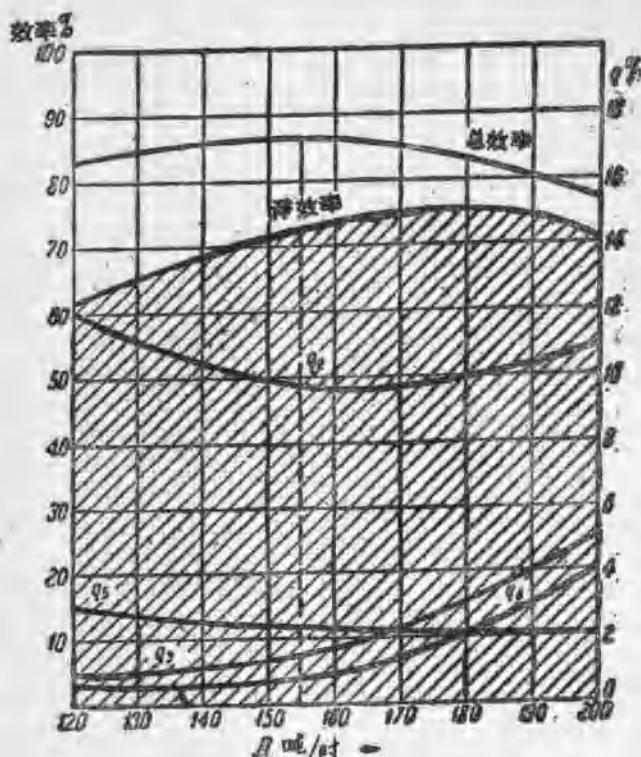


图 1-3 效率、损失与负荷的关系

式中 b_N ——标准燃料消耗率，公斤(标准燃料)/公斤(标准蒸汽)；

7000, 640——标准燃料发热量和标准蒸汽焓增量，大卡/公斤；

$Q_{\text{工}}$ ——工作质燃料的发热量，大卡/公斤；

$i_{\text{工}}$ ——过热蒸汽的焓，大卡/公斤(其他符号同上)。

此外，锅炉在构造上的经济性，可用金属消耗量及对应于单位蒸发量的价格(即单位制造价格)等来表示。一般来讲，锅炉容量越大，单位造价越低。

第一章 复 习 题

1. 什么叫做锅炉？锅炉机组和锅炉设备有何区别？
2. 锅炉机组通常由哪些部件组成？它们的用途是什么？
3. 锅炉的辅助装置有哪些？它们的用途是什么？
4. 表示锅炉工作特性的主要参数有哪些？锅炉容量的大小和参数的高低是怎样划分的？
5. 表示锅炉工作经济性的主要指标有哪些？锅炉总效率和净效率有何不同？锅炉机组工作时的热量损失分为哪几项？
6. 什么叫标准蒸汽、标准燃料和标准燃料消耗率？

第二章 燃 料

第一节 燃 料 概 述

除核子燃料而外，一般所謂燃料，均指：为取得热量而燃烧的可燃物。也即，燃料必須同时具备两个条件：首先，它应该是可燃物；其次，用燃烧它来取得热量，在經濟上应该是合算的。

能够符合以上条件的物质全是有机物，而且絕大部分都起源于植物。

燃料不仅供人們日常生活所需要的大量热能，同时也是化学、医药等很多工业的重要原料。

当然，更重要的还在于它是热动力所必須依賴的能源。

按照物理形态的不同，燃料可以分为：固体、液体、气体三大类。

每一类又可分为：天然燃料、人工燃料、副产燃料等(表2-1)。

表 2-1 燃 料 的 种 类

燃 料 类 别	天 然 燃 料	人 工 燃 料	副 产 燃 料
固 体 燃 料	褐煤、烟煤、无烟煤、頁岩、木材等	木炭、焦炭、煤粉、煤球、煤砖等	锯末、木屑、甘蔗渣、种子外壳等
液 体 燃 料	石 油	汽油、柴油、煤油等	重油、炼焦厂和煤气厂的煤焦油
气 体 燃 料	天然煤气	发生炉煤气等	高炉煤气、炼焦炉煤气等

由此可見，燃料的种类繁多，性质、用途也不一。合理地使用燃料，对发展国民經济有其极重要的意义。

我国是使用矿产燃料最早的国家。早在公元前 200 多年，已懂得了使用天然煤气、煤和石油。同时，我国也是燃料資源极为丰富的国家，就以煤來說，不但蘊藏量丰富，而且煤质优良，大部分是烟煤。煤矿分布遍及全国各省，其中尤以山西省为最丰富。石油和天然煤气，目前还没有可靠的統計数字，有待进一步普查和勘测。但从近来不断发现的新資源来看，可以肯定这类矿产燃料我国也决不会貧乏。

尽管資源极为丰富，发电厂鍋炉焚烧的燃料，还必须选用多灰、多水、发热量低的泥煤、褐煤、洗煤残渣、焦炭末以及其他工业废料。以便将优质燃料，用于冶金、化学、医药等工业。这也正是社会主义国家全国一盘棋的特点。国民經济各部門分別掌握在不同金融寡头手里的資本主义国家，就不可能做到如此优越的全面安排。

我国解放初期就明确了：发电厂使用劣质燃料；大力发展地方燃料，就地取煤以节省运输；提高燃料效率，降低煤耗；研究并推广燃料的綜合利用等燃料政策。几年来在党的正确领导下，这些方面都已取得了很大的成績。今后发电厂还将进一步推广燃料綜

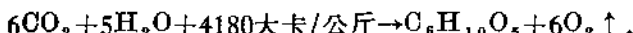
合利用和燃烧动力燃料的经验。

所谓动力燃料，是指国民经济的其他部门，一般难以应用，也不宜作远距离输送的劣质燃料。如泥煤、褐煤、頁岩、洗煤残渣、焦炭末、高炉煤气等。动力燃料的水分常达40~60%，灰分約30~60%，发热量仅1500~2300大卡/公斤。我国目前发电厂燃烧的燃料，发热量一般都超过3000大卡/公斤。

第二节 燃料的成分及性质

一、燃料的组成

燃料是地球上太阳能的貯藏室。因为大部分燃料都来自植物，而植物的叶绿素能吸收太阳能，并把它貯藏在植物本身的纖維素中(即所謂光合作用)。叶绿素在太阳光的作用下，能使二氧化碳和水結合成纖維，其反应可写成下式：



故每公斤纖維中，約含有4180大卡的热量。

組成纖維的碳(C)、氢(H)、氧(O)就是燃料的主要成分。还有少量氮(N)和有机硫(S_{op})，也往往与C、H、O結合成复杂的有机物共同存在。此外，作为主要杂质的灰分(A)和水分(W)，也是燃料的組成部分。

綜上所述，可知燃料的主要成分是C、H、O、N、S、A、W。它們以复杂的有机物、矿物质或湿分等状态，存在于燃料中。

当燃料被加热时，首先是水分(W)蒸发，继之，当温度达到100°C以上，有机物开始分解，这种分解作用是異常复杂的，它需要吸收热量。燃料分解后，揮发出大量气体，同时剩下固体状态的碳和灰。剩下的碳称为固定碳，它和灰分一起合成焦炭。揮发

出来的气体，总称为揮发分(V)。其中大部分是可以燃烧的，如 CO 、 H_2 、 CH_4 、 C_2H_4 、 C_2H_2 、 H_2S 以及其他重碳氢化合物 C_nH_m ；少数是不能燃烧的，如 O_2 、 CO_2 、 H_2O 、 N_2 等。

必須注意揮发分中，也会有水蒸汽，然而，它不包括在燃料的水分(W)中。因为它是在燃料分解过程中才产生的。在燃料未經加热时，它还不是自由水，而是某些矿物质(如： $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)的結晶水，或甚至以其他碳水化合物的状态存在于燃料中。

燃料的水分蒸发和有机物分解，都是吸热过程。必須进一步加热燃料，使揮发分和焦炭燃烧，才能放出热量。

图2-1表示出一般燃料和組成。对燃料中最有代表性的煤来讲，各种成分的大致比例和互相关系，也可由图中看出。下面进一步說明一下各种成分的性质。

二、燃料中各种成分的性质

1. 碳(C) 元素分析得到的碳，是燃料的总碳量。

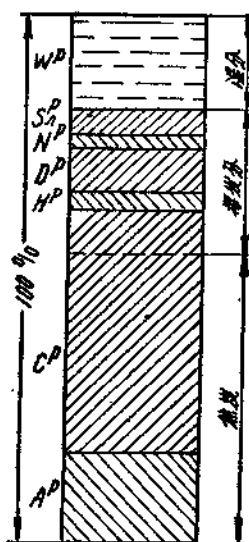


图 2-1 燃料的成分及組成

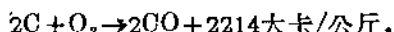
它包括固定碳和挥发分 (CH_4 、 C_2H_4 、 CO 等)中的碳。

碳是燃料的最基本成分。按重量计, 煤中的总碳量约占50~85%。

碳是可燃元素, 一公斤纯碳完全燃烧后, 能发生7854大卡的热量, 同时生成二氧化碳。

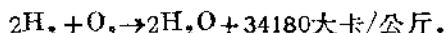
即: $\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 7854 \text{ 大卡/公斤}$ 。

不完全燃烧时, 生成一氧化碳, 也产生少许热量(约2214大卡/公斤)。即:



固定碳的燃烧性质是: 不易着火、燃烧缓慢、火苗短、生成烟量不多。随燃料年龄的增长, 其他成分(H、O、N等)逐渐分解、氧化和挥发, 固定碳含量百分数相对增加, 故含碳量的高低, 可以用来鉴别燃料的年龄。

2. 氢(H) 氢是燃料中最有利的元素。发热量很高, 但含量不多, 约1~8%。氢气燃烧以后生成水, 发热量为34180大卡/公斤。即:



由于燃烧时温度很高故生成的水、最初是以蒸汽状态存在的。这部分蒸汽冷凝后, 还能放出一些汽化潜热。故氢的发热量有高位与低位之分: 不包括这部分汽化, 潜热的称为低位发热量(28900大卡/公斤); 包括汽化潜热在内的, 称为高位发热量(约34,180大卡/公斤)。

能够为锅炉利用的, 通常是低位发热量部分, 因为最后离开锅炉机组的燃烧产物中, 蒸汽并没有凝结成水, 亦即汽化潜热仍然没有释放出来。

氢的燃烧性质与固定碳相反, 而与挥发分中各种气体可燃物相似。它比较容易引燃, 燃烧速度也快。燃料中挥发出来的氢气, 几乎都在空间燃烧, 故火苗较长。

3. 氧(O) 氧是燃料的内杂质, 不能发生热量, 含量变化范围较广, 约1.6~13%。因为它是有机物的组成部分, 随燃料年龄增长而不断分解逸出, 故含氧量越低, 表示燃料年龄越大, 一般说来, 发热量也越高。

严格讲起来, 燃料中的氧有两部分: 一部分是游离氧(自由氧), 它能够助燃; 另一部分以化合物的状态存在, 不能助燃。并且这种氧多时, 表示已和它化合而不能燃烧的碳或氢也多, 则燃料的发热量降低。通常燃料元素分析得到的氧, 是这两种氧的总和。因为很难把它们分开。

4. 氮(N) 也是燃料的内杂质, 它既不能燃烧、也不能助燃。但对锅炉工作, 并没有其他影响、虽是有机质的一部分, 含量也很少, 仅0.5~1.5%, 故无关紧要。

5. 硫(S) 硫是可燃元素。每公斤硫燃烧以后, 能产生2160大卡的热量。同时生成二氧化硫(或三氧化硫)。

即: $\text{S} + \text{O}_2 \rightarrow \text{SO}_2 + 2160 \text{ 大卡/公斤}$ 。

燃料含硫约为0~8%。不过其中只有一部分是可以燃烧的, 这部分又可称为挥发硫(S_v)。它包括有机硫(S_p) (它与C、H、O等结合成复杂的有机物存在) 和黄铁矿(FeS_2)中的硫(S_k)。另一部分是已经成为高价氧化物的硫(如硫酸盐 FeSO_4 、 CaSO_4 等中的硫)不能燃烧, 叫硫酸根中的硫(S_{cm}), 这部分往往列入灰分, 不包括在燃料的元素成分中。故全硫量 $\text{S}_{ts} = \text{S}_p + \text{S}_k + \text{S}_{cm} = \text{S}_v + \text{S}_{cm}$ 。挥发硫 $\text{S}_v = \text{S}_p + \text{S}_k$ 。

挥发硫虽然也能发生一点热量, 但燃烧生成物溶于水, 则产生亚硫酸或硫酸(SO_2 、

+H₂O→H₂SO₄或SO₂+H₂O→H₂SO₄), 对金属有腐蚀作用。故锅炉用燃料含挥发硫量一般不宜超过2%, 同时锅炉运行中还必须保持排烟温度在烟气中水蒸气开始结露的温度(露点)以上, 以防止尾部受热面的腐蚀。

6.灰(A) 灰是燃料的主要杂质。而且含量范围很广, 约0.6~60%。就其来源而言, 可分为三种:

第一种是植物体本身的矿物质(来自肥料等), 它在燃料中分布均匀, 且含量极少, 不超过0.5~0.6%, 主要成分是钾盐、钠盐等。

第二种是燃料(例如煤)在形成时期, 由外界带入的矿物性杂质。它也相当均匀的分布在燃料中。如由地层渗入的沙土(SiO₂、Al₂O₃、Fe₂O₃...等)。

第三种是在燃料开采、运输或贮存中混入的杂质, 分布极不均匀, 可以在某种程度上, 用简单的物理方法予以消除。其成分则与第二种相似。

第一种灰分也叫内部灰分, 含量稳定。第二、三种灰分叫外部灰分, 含量变化很大。

燃料的灰分通常指: 燃烧后剩余的矿质残渣而言。它与燃烧前燃料所含的矿物质, 无论在成分上或在数量上都有很大区别, 不能混为一谈。因为燃烧时燃料中的矿物质, 可发生如下的变化:

1. 结晶水蒸发 如 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} \uparrow$;

2. 无机盐分解 如: $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2 \uparrow$; $\text{MgCO}_3 \rightarrow \text{MgO} + \text{CO}_2 \uparrow$;
 $\text{CaSO}_4 \rightarrow \text{CaO} + \text{SO}_2 \uparrow$等。

3. 矿物质氧化 如: $4\text{FeS}_2 + 11\text{O}_2 \rightarrow 2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 8\text{SO}_2 \uparrow$; $4\text{FeO} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{Fe}_2\text{O}_3$ 等。

由此可见, 矿物质在燃烧过程中, 除个别情况之外(如FeO氧化成Fe₂O₃), 几乎全都使重量减轻、成分也发生变化。故灰分不仅在质量上不同于燃料中的矿物质, 数量上也少得多。尤其是含碳酸盐较多的燃料(如页岩等)更是如此。

燃料含灰量高, 使发热量降低, 开采、运输等费用相对增加, 同时还增大制粉系统的耗电。灰分容易隔绝可燃质与氧化剂的接触, 因而多灰燃料不易完全燃尽, 有时还将使操作复杂化。熔化的灰分凝结在受热面上, 不易清除并影响传热(即锅炉结渣)。固态灰分随烟气流动部分, 也常使受热面遭受磨损与堵灰。最后自烟囱抛出的飞灰, 又会弄脏空气、影响卫生。为清除各部位的熔渣或细灰, 需要有专门的清除装置, 如除尘器、打渣枪、吹灰器等, 使设备复杂而成本增高。运行操作上, 也增加了很多麻烦。故总起来说: 燃料的灰分是不希望有的成分。但是, 科学技术的发展, 已经使灰分不再是完全没用的东西了。

7.水(W) 也是燃料中的杂质, 并且和灰一样, 含量变化范围也很广, 少的仅百分之几, 多的可达50~60%(如泥煤)。燃料中的水分可分为: 结晶水和工作水两部分。

结晶水: 存在于某些矿物质的结晶体中(以硅酸盐和硫酸盐为主)含量很少, 只有在燃烧过程中, 温度约达800°C而结晶体破坏时才放出来, 故它被包括在挥发分里, 不算燃料工作水分的组成部分。

通常所谓燃料的湿分都指工作水(W), 它由表面水分和固有水分所组成。

表面水也叫外部水分(W_外), 它往往因雨露、冰雪等影响或燃烧前的人工润湿而进入燃料。故以液体状态存在, 并且含量变化很大。