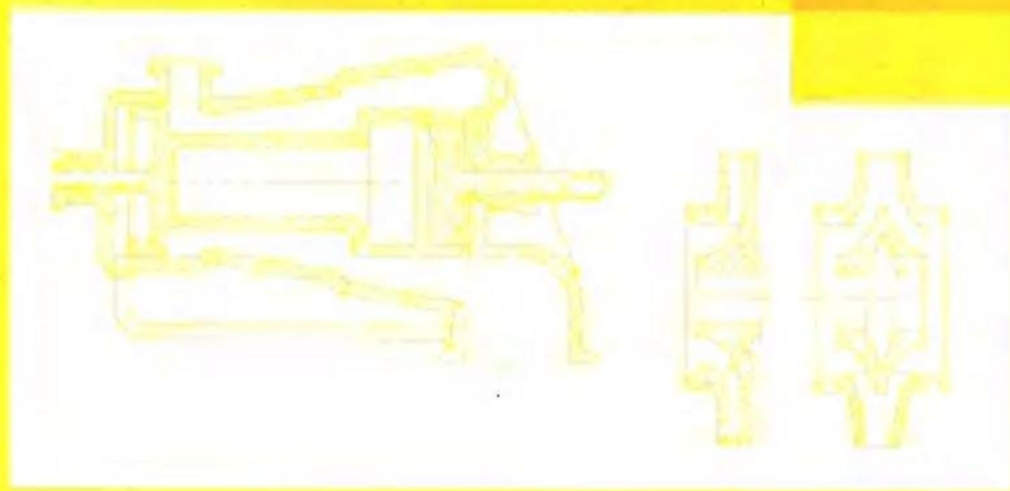


高等学校试用教材

热工设备

李汉炎 主编



天津大学出版社

内 容 简 介

本书从实际应用的要求出发,讲述了锅炉设备、汽轮机装置、内燃机、泵与风机等工业企业常用热工设备的基本原理、基本构造、内部过程、技术性能和使用特性。书中附有常用的计算图表,并介绍了国内的一些产品。

本书可作为高等学校工程热物理专业的必修课教材,亦可供石油、化工、冶金、食品及技术经济管理等专业和有关的职工大学使用。对于工业企业的技术人员和管理人员,本书亦有参考价值。

热 工 设 备

李汉炎 吴胜春 编
刘嘉智 陈 滢

*

天津大学出版社出版
(天津大学内)

河北省永清县印刷厂印刷
新华书店天津发行所发行

开本: 787×1092毫米 1/16 印张: 21 $\frac{1}{2}$ 字数: 540千字

1989年8月第一版 1990年11月第二次印刷

印数2001—4000

ISBN 7-5618-0132-7

TK·1

定价: 4.65元



前 言

本书系根据工程热物理教材委员会第二次会议（1985年）制定的教材规划任务而编写的。

该书主要包括锅炉设备、汽轮机装置、内燃机、泵与风机等常用热工设备；书中讨论了这些设备的基本原理、基本构造、内部过程、技术性能指标和使用性能；并简要介绍了热力计算的基本方法。本书可作为高等工科院校工程热物理专业必修课教材，亦可供其它需要热工设备基础知识的专业的本科生及大专生使用。

本书由李汉炎主编。全书共分四篇，编写分工如下：第一篇锅炉设备由华中理工大学吴胜春编写；第二篇汽轮机装置由天津大学李汉炎编写；第三篇内燃机由天津大学刘嘉智编写；第四篇泵与风机由东南大学陈澄编写。

受工程热物理教材委员会的委托，重庆大学郑体宽同志审订了全书。

在编写过程中，容鑫恩、王世卿、洪河源、王之安、姜玉鸿、郎国生、张担等同志分别审阅了部分原稿，提供了有益的建议和资料，谨此一并致谢。

由于编者水平有限，请读者对不足之处给予指正。

编 者

1988.8.

目 录

绪论	(1)
第一篇 锅炉设备	(3)
第一章 锅炉概述	(3)
§ 1-1 锅炉的基本工作特性	(3)
§ 1-2 锅炉设备的构成及工作流程	(4)
§ 1-3 锅炉的分类和我国锅炉产品型号	(7)
第二章 锅炉的燃料和热平衡计算	(13)
§ 2-1 煤的成分及其对燃烧的影响	(13)
§ 2-2 重油的成分及其主要性能指标	(19)
§ 2-3 燃料燃烧所需的空气量	(20)
§ 2-4 烟气和烟气的焓值	(21)
§ 2-5 锅炉的热平衡	(25)
第三章 锅炉的燃烧及燃烧设备	(30)
§ 3-1 燃烧理论概述	(30)
§ 3-2 大气污染与防止	(35)
§ 3-3 链条炉	(38)
§ 3-4 煤粉炉	(44)
§ 3-5 沸腾炉	(52)
§ 3-6 燃油锅炉	(56)
§ 3-7 废热锅炉	(63)
第四章 锅炉的受热面	(64)
§ 4-1 汽包炉的蒸发设备	(64)
§ 4-2 过热器	(69)
§ 4-3 省煤器	(72)
§ 4-4 空气预热器	(74)
§ 4-5 炉内换热计算概述	(77)
§ 4-6 对流受热面与半辐射受热面的换热计算概述	(86)
第五章 锅炉的运行	(103)
§ 5-1 锅炉的启动与停炉	(103)
§ 5-2 锅炉的运行调节	(107)
§ 5-3 锅炉给水、炉水水质标准与锅炉排污	(110)
§ 5-4 锅炉的结渣和积灰	(114)
第二篇 汽轮机装置	(119)
第六章 汽轮机原理	(119)
§ 6-1 汽轮机的基本概念	(119)
§ 6-2 轮周功和轮周效率	(133)

§ 6-3 级和整机的损失、功率与效率	(141)
§ 6-4 多级汽轮机	(149)
§ 6-5 向心式汽轮机	(154)
第七章 汽轮机的构造与设备	(160)
§ 7-1 叶片、喷管	(160)
§ 7-2 转子、轴承	(164)
§ 7-3 汽缸、轴封	(168)
§ 7-4 凝汽设备	(171)
§ 7-5 表面式水冷却凝汽器的基本计算	(175)
§ 7-6 汽轮机的调节机构	(182)
§ 7-7 保护机构及油系统	(187)
第八章 汽轮机的运行和特性	(189)
§ 8-1 汽轮机运行的基本知识	(189)
§ 8-2 汽轮机的工况图	(191)
§ 8-3 驱动用工业汽轮机的内特性	(195)
§ 8-4 工业汽轮机的外特性	(200)
第三篇 内燃机	(205)
第九章 内燃机的组成和性能	(205)
§ 9-1 内燃机的基本概念	(205)
§ 9-2 内燃机的热力循环及性能指标	(212)
§ 9-3 机体、曲柄连杆机构和配气机构	(224)
§ 9-4 燃油供给系统	(234)
§ 9-5 冷却系统、润滑系统、启动系统和点火系统	(242)
第十章 内燃机的工作过程和使用特性	(252)
§ 10-1 内燃机的燃烧过程	(252)
§ 10-2 内燃机的换气过程	(262)
§ 10-3 内燃机的特性	(266)
§ 10-4 内燃机的运行及污染控制	(273)
第四篇 泵与风机	(278)
第十一章 泵与风机概述	(278)
§ 11-1 泵与风机的结构及主要部件	(278)
§ 11-2 泵与风机的分类、基本参数和型号	(283)
第十二章 离心式泵与风机的原理及性能	(290)
§ 12-1 离心式泵与风机的工作原理	(290)
§ 12-2 离心式泵与风机中流体的运动及速度三角形	(291)
§ 12-3 基本能量方程式及其分析	(293)
§ 12-4 真实叶轮对理论压头的影响	(295)
§ 12-5 功率、损失和效率	(298)
§ 12-6 泵与风机的性能曲线	(303)
§ 12-7 比转数及无因次性能参数	(307)
§ 12-8 水泵的汽蚀	(315)
第十三章 离心式泵与风机的运行及调节	(322)

§ 13-1 管路特性曲线及工作点.....	(322)
§ 13-2 泵与风机的工况调节.....	(325)
§ 13-3 泵与风机的串联和并联运行方式.....	(327)
附录.....	(332)
附表1 压力单位换算表	(332)
附表2 能量单位换算表	(332)
参考书目.....	(332)

绪 论

热能直接应用于生产或转换为机械能及电能供应动力，是工农业生产中能量利用的两种基本方式。热工设备泛指应用于上述目的的技术装备，诸如蒸汽发生设备、热力发动机、换热设备、制冷装置以及压气装置等等。本课程讨论其中的锅炉设备、汽轮机装置、内燃机、泵与通风机等。

锅炉设备的作用是使燃料尽可能充分地燃烧放热，并将热量传给水，使之变成具有一定压力和温度的水蒸汽，以供应用。锅炉设备的用途可以分为两大类。一类主要作为各种工业生产过程中工艺需要的加热热源，例如石油、化工、纺织、食品、造纸、医药等等各种生产流程中的加热、蒸煮、蒸馏和烘干等工艺以及工业与民用建筑的采暖所需的水蒸汽。这一类常称为工业锅炉，其中多为中小型设备。有的建筑用热水采暖，锅炉不产生蒸汽而供应一定温度的热水，称为热水锅炉。另一类称为电站锅炉。电站锅炉产生蒸汽供给汽轮机，推动汽轮机旋转，实现热能转换为机械能，再通过发电机转换为电能的电力生产过程。电站锅炉的发展趋势是大容量、高参数。与300MW汽轮发电机组配套的锅炉，其蒸发量为1000t/h，出口蒸汽压力达16.7MPa，温度为555°C。目前我国生产的最大容量火力发电成套设备为600MW。

据估计，锅炉燃烧消耗的煤量占全国产煤量的50%以上。因此，提高锅炉效率以降低锅炉的燃料消耗量，在解决我国社会主义建设对燃料不断增长的需求方面具有重要意义。

汽轮机除了如上所述应用于火力发电站之外，还广泛应用于各种工业企业中提供动力，例如带动鼓风机、压气机、水泵及压榨机等等设备。这一类常称为工业汽轮机。工业汽轮机由工厂装设的锅炉供汽，也可以利用工艺流程中的废汽或余热供汽。当供给工艺设备的蒸汽压力甚高于工艺要求而需要节流使压力降低时，可以选择适当的汽轮发电机组代替节流降压设备而发电，即压力较高的蒸汽先进入汽轮机做功，而汽轮机排汽（维持适当压力）供应工艺使用。这种应用常称为裕压发电。因此，工作汽轮机也广泛应用于工业企业中利用余热和改善能量利用的状况。

汽轮机还应用于船舶作为船舶的发动机。

内燃机是以燃烧气体作为工质的热力发动机。它结构紧凑、便于移动，而且启动快、操作维护方便，广泛应用于汽车、拖拉机、船舶等交通运输工具及工程机械，也便于地质普查、钻探等场合使用。由内燃机和发电机设备组成的固定式内燃机发电装置，一般用在电力网无法达到的山区、城镇及农村等地区，解决当地工农业生产和居民生活用电，也常用于各种基本建筑工地。此外，还应用于一些工业企业和医院作为一级负荷的备用电源。

内燃机的热效率较高，对负荷变化的适应性也好，但是，燃用的液体燃料价格较高。

泵与风机是用途十分广泛的通用设备。它们的功用是输送各种气体、液体介质和气体-固体、液体-固体介质。根据应用的条件，泵与风机可以用电动机、内燃机或汽轮机带动。随着生产技术的发展，输送介质的种类多样且性质各异（如单相、两相、粘性、挥发性、腐蚀性等等），泵与风机在结构上相应发展，产品的品种和规范繁多。就以通风机的尺寸为例，

直径从只有几厘米（如用于冷却电子仪器）到20米（如用于机力通风冷却塔）。驱动功率也由几瓦到若干兆瓦。据估计，驱动泵与风机消耗的电力约占全国发电量的三分之一。因此，提高泵与风机的效率及合理应用以求节约电力，应当不容忽视。

各种热工设备除了单独应用之外，常常几种设备同时应用于工艺流程中，它们与工艺设备组成一个热力系统。系统中的热工设备配合主要工艺设备完成工艺过程，例如担负供应蒸汽、供应动力、输送介质及利用余热等等。因此，热工设备的型式、结构和性能也直接影响工艺过程的可靠性和能源利用的合理性，影响工艺产品的能量消耗指标和生产成本。

显然，为了保证工艺过程的可靠性和经济性，在系统的设计方面也不能不着重考虑热工设备的配备问题，即根据工艺要求配备型式、结构和性能合适的热工设备；在运行管理中注意调整热工设备的工作状况，使之达到预期的技术性能。但是，许多热工设备不是生产流程中的主要工艺设备，往往因此而被忽视。例如泵与风机，在一些工艺流程中使用的台数不少，却常常配备不当和管理不良，因而额外增大了电力消耗。

综上所述，不论热工设备是单独应用还是作为工艺系统中的一个设备，都要求工程技术人员不仅应掌握它们的作用原理和基本构造，还应具有设备内部过程、热力计算基本方法等知识，以便掌握设备的技术性能和运行特性。学习本课程的任务就是为达到上述要求而打下较坚实的基础。

第一篇 锅 炉 设 备

第一章 锅 炉 概 述

§ 1-1 锅炉的基本工作特性

锅炉的基本工作特性表征锅炉的生产能力、蒸汽质量、经济效果、制造成本及安全性，各项分别用下列适当的指标表示。

一、额定蒸发量或供热量

蒸发量或供热量是表示锅炉生产能力的指标。锅炉铭牌上标出的是额定蒸发量或供热量，即在额定参数下长期运行的最大蒸发量或供热量。动力锅炉在额定工况下每小时的水蒸汽生产量，称为蒸发量，亦称容量或出力，用符号 D 表示，单位是 t/h 。对于供热锅炉，其容量则是用额定工况下，每小时的供热量来表示，使用符号为 Q ，单位为 kJ/h 。

二、额定参数

额定参数是表示工质（蒸汽或水）能量品位的指标。锅炉铭牌上标出的就是额定参数，它是锅炉出口处的水蒸汽或热水的表压力和温度。生产饱和蒸汽或饱和水的锅炉仅标出额定压力。压力用符号 p 表示，单位为 MPa ；温度用符号 t 表示，单位为 $^{\circ}C$ 。

三、锅炉效率

锅炉效率是锅炉最重要的技术经济指标之一。它指一小时内供给锅炉的全部热量中被有效利用的百分数，即

$$\eta_{st} = \frac{\text{有效利用热量}}{\text{供给锅炉总热量}} \times 100\% \quad (1-1)$$

锅炉效率与蒸汽参数、燃料性质、燃烧方式、锅炉型式和运行工况等因素有关。现代大型锅炉的效率均在90%以上，一般工业锅炉约为60~80%。

四、锅炉的可靠性

锅炉的安全性与可靠性指标常用年连续运行小时数、事故率和可用率等几项指标衡量

$$\text{年连续运行小时数} = \text{两次检修之间锅炉运行的小时数} \quad (1-2)$$

$$\text{事故率} = \frac{\text{事故停用小时数}}{\text{运行总小时数} + \text{事故停用小时数}} \times 100\% \quad (1-3)$$

$$\text{可用率} = \frac{\text{运行总时数} + \text{备用总时数}}{\text{统计时间内总时数}} \times 100\% \quad (1-4)$$

事故率和可用率原则上应按一个适当的周期来计算，我国锅炉通常以一年为一个周期。目前，国内电站锅炉比较先进的指标是：事故率常为1%；可用率约为90%；年连续运行小

时数在4000h以上。

五、金属耗率

金属耗率和蒸发率是反映锅炉制造成本的技术经济指标。

金属耗率指制造锅炉所消耗的钢材重量与其额定蒸发量之比。现代锅炉的金属消耗率为 $(2\sim6) \text{ t}/(1 \text{ t/h})$ 。由于锅炉要使用不同品种的钢材，而各种规格和品种的钢材价格又各不相同，所以，即使金属消耗率完全相同的两种锅炉，它们的制造成本也会不等。可见，金属消耗率不是一项严格的技术经济指标。

蒸发率是锅炉额定蒸发量与蒸发受热面面积之比。它反应锅炉蒸发受热面的平均工作强度。该值越大，单位面积蒸发受热面的吸热量越多，表示在蒸发量一定时可以减少蒸发受热面面积，从而可减少锅炉的金属消耗率。一般中、小型工业锅炉的蒸发率约为 $(30\sim40) \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。

§ 1-2 锅炉设备的构成及工作流程

一、锅炉设备的构成

锅炉设备是锅炉本体和辅助设备的总称。图1-1是一台现代电站用煤粉炉的简图，图1-2是一台大型工业锅炉的简图。

下面以图1-1为例将锅炉设备的组成和各部分的作用简介如下：

1. 锅炉本体

锅炉本体包括炉膛、汽锅和辅助受热面，这是锅炉的核心部分。

(1) 炉膛 炉膛是组织燃料燃烧的空间，位于锅炉本体的前方，其作用是投放燃料、

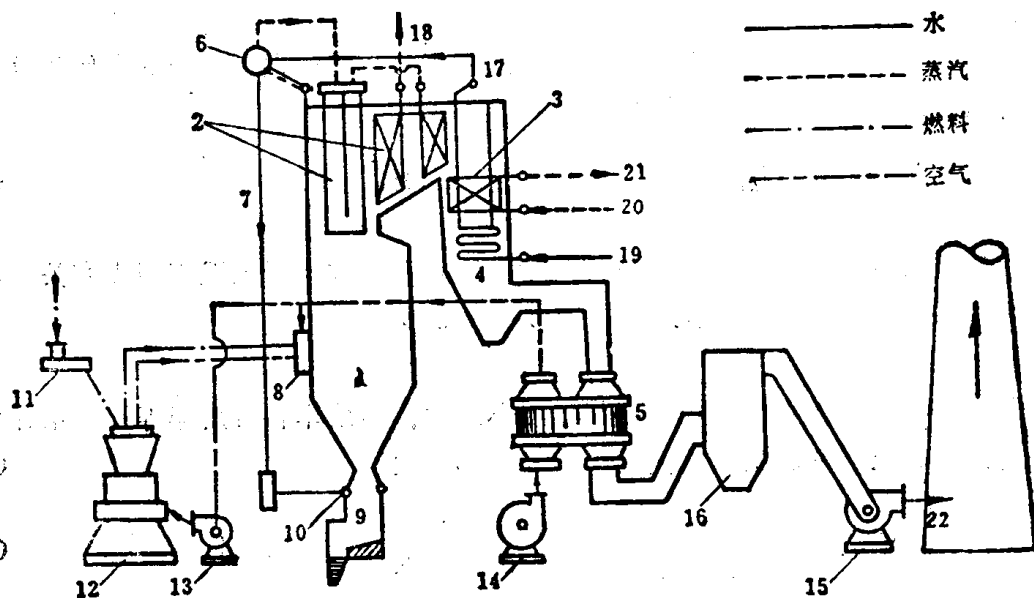


图 1-1 电站煤粉锅炉设备简图

1—炉膛水冷壁；2—过热器；3—再热器；4—省煤器；5—回转式空气预热器；6—汽包；7—下降管；8—燃烧器；9—排渣装置；10—联箱；11—给煤机；12—磨煤机；13—排粉机；14—送风机；15—引风机；16—除尘器；17—省煤器出口联箱；18—过热蒸汽出口；19—给水；20—再热蒸汽进口；21—再热蒸汽出口；

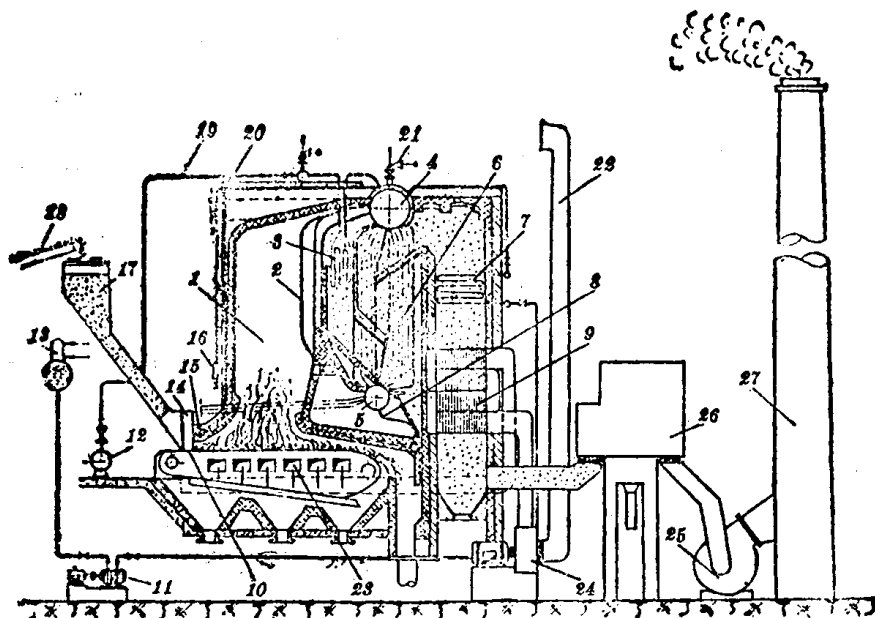


图 1-2 工业锅炉设备简图

1—炉膛；2—水冷壁管；3—蒸汽过热器；4—上汽包；5—下汽包；6—对流管束；7—省煤器；8—下降管
9—空气预热器；10—链条炉排；11—给水泵；12—集汽包；13—除氧器；14—煤斗；15—前联箱；16—压力表；
17—煤仓；18—皮带运煤机；19—主蒸汽管道；20—水位表；21—安全阀；22—进风管；23—送风室；24—送风
机；25—引风机；26—除尘器；27—烟囱

燃烧放热和排除灰渣。它的横截面一般呈矩形。图中炉膛是由炉膛水冷壁管1与其外侧耐火砖墙（图中未示出）围成的空间和排渣装置9的空间所组成。煤粉依靠具有一定压头的热风从燃烧器喷入炉膛进行燃烧。燃烧所需空气除输送煤粉的热风（一次风）外，主要空气（即二次风）是通过配风装置进入炉膛。燃料燃尽以后，在炉膛上方的一部分颗粒较大的灰渣落到炉底，通过排渣装置排出；另一部分细灰随烟气进入本体后部的烟道，在除尘器16中分离出来，余下少量的极细微粒，成为飞灰从尾部烟囱22排到大气中去。

(2) 汽锅 包括炉膛四周的水冷壁管1、汽包6、下降管7和联箱10。水在汽包、下降管、联箱和水冷壁管之间形成自然循环。在水冷壁管内，水接收炉膛燃烧火焰和高温烟气的辐射热量而沸腾，产生饱和蒸汽。工业锅炉的锅炉管束（如图1-2中6），以对流换热为主，也是产生饱和蒸汽的主要受热面，其工作性质属于汽锅部分。

(3) 辅助受热面 辅助受热面包括蒸汽过热器2、再热器3、省煤器4和空气预热器5。过热器是将饱和蒸汽加热成为过热蒸汽的受热面。常布置在靠近炉膛上部和炉膛出口烟气温度比较高的地方，一般为蛇形管结构。再热器是将汽轮机高压缸内做过功的蒸汽引来加热的受热面。蒸汽在这里吸热提高温度，然后再返回汽轮机的中、低压缸去，使之继续膨胀做功。再热器一般也是蛇形管结构，布置在对流过热器后面的烟道转弯处或尾部受热面上部，省煤器是利用烟气的余热加热锅炉给水，降低排烟温度，从而达到省煤目的的受热面。省煤器常为蛇形管结构，布置在锅炉的尾部烟道中。空气预热器是进一步利用烟气的余热加热燃烧所需空气的受热面。提高空气的温度可以提高燃烧效率，减少不完全燃烧损失。它常采用管式或板式结构，图1-1所示为回转式空气预热器大多布置在尾部烟道的末端。

上述四种辅助受热面，可根据锅炉的实际需要设置。大型电站动力锅炉常设置有辐射

(或半辐射) 过热器和对流式过热器受热面以及双级省煤器与双级空气预热器受热面, 而小型工业锅炉, 大多数情况下只布置单级省煤器, 以简化设备。

2. 锅炉的辅助设备

锅炉的辅助设备由下列部分组成:

(1) 燃料的供给系统与除渣设备 包括皮带运煤机、原煤仓、给煤机11、磨煤机12(图1-1中所示为中速磨煤机)、排粉机13、除渣装置9等(运煤机、原煤仓、除渣装置等图中未画出)。它们的作用是输送、制备和贮存燃料及排出灰渣。有的燃料供给系统还包括煤粉分离装置、煤粉仓和给粉机等。

(2) 通风及除尘设备 包括送风机14、引风机15、除尘器16和烟囱22。送风机的作用是克服空气预热器、风道等的流动阻力, 输送燃烧所需的空气进入炉膛并与煤粉混合。引风机的作用则是将烟气从炉体中抽出, 送到除尘器内除掉灰尘后再通过烟囱排入大气。

(3) 给水系统 包括水处理设备、除氧器、给水泵和高压加热器等(图中均未画出。在电站中, 这一部分属于水处理车间和汽轮机车间)。水处理设备是为了除掉锅炉给水中的硬度盐, 防止锅炉受热面结垢。除氧器的作用是除掉给水中溶解的氧气, 防止受热面腐蚀。同时, 除氧器还是一级给水的混合式回热加热器, 也是电站可用工质的收容器。高压加热器是为了提高给水温度, 增进电厂热效率, 同时减少给水与省煤器烟气侧的温度差, 保证省煤器的运行安全。

(4) 汽水管道路 包括给水、蒸汽、排污和疏水管道路及其阀门。其作用是输送蒸汽和给水、在锅炉启动与停炉时疏水、排出炉水中的杂质等。

(5) 安全装置、监测仪表和控制设备 为了保证锅炉的运行安全, 锅炉都装有水位表、安全阀, 监测工质压力、温度和流量的仪表, 监测炉膛工况的风压计、二氧化碳等指示仪表, 运行操纵用的汽水阀门和烟气闸门等。现代锅炉一般都配有电动或气动的自动调节系统乃至计算机控制系统, 以保证锅炉安全、经济地运行。

二、锅炉设备的工作流程

下面以图1-1为例, 介绍锅炉的生产工艺流程。

1. 燃料与烟风系统

我国锅炉所用的燃料主要是煤。煤粉炉燃用煤粉, 为此需要有一套将原煤制成煤粉的设备——制粉系统。如图1-1所示, 原煤仓落下的煤, 经过给煤机11进入磨煤机12磨碎。煤在磨碎的过程中还进行干燥, 常用的干燥介质是热空气。送风机14将冷空气送入空气预热器5中, 在这里吸收烟气的热量而成为热空气。热空气的一部分通过排粉机13提高压头送入磨煤机内对煤加热与干燥, 并把磨碎的煤粉带离磨煤机。可见这部分热空气既是干燥介质, 也起输送煤粉的作用。从磨煤机出来的气粉混合物, 经煤粉管道直接引向燃烧器8, 并由此进入炉膛燃烧。有的制粉系统, 此气粉混合物被引入到煤粉分离器中, 将煤粉从气流中分离出来贮存在煤粉仓中, 然后再根据负荷需要通过给粉机从煤粉仓中适量向燃烧器供给煤粉。从图中还可以看出, 从空气预热器中出来的另一部分热空气, 直接通过燃烧器的配风器进入炉膛与已经着火的气粉混合物混合, 参与燃烧反应。

煤粉在炉膛内悬浮燃烧, 生成高温火焰(火焰中心温度高达 $1500\sim 1800^{\circ}\text{C}$)与烟气, 不断地以辐射放热的方式向炉膛内侧的水冷壁受热面强烈地放热。尽管如此, 炉膛出口处的烟气温度通常仍在 $1000\sim 1200^{\circ}\text{C}$ 左右。这股高温烟气随后沿着烟道顺序流经过热器、再热器、省煤

器和空气预热器等受热面，并主要以对流换热的方式向这些受热面放热。当它离开空气预热器时，排烟温度通常已降低到 $105\sim 150^{\circ}\text{C}$ 左右。此时烟气已无利用价值，于是进入除尘器中进行分离，把其中携带的绝大部分灰粒除掉，再由引风机引入烟囱，送至高空排入大气。

2. 汽水系统

从蒸汽发生过程来说，工质在锅炉内要经历三个加热阶段，即把锅炉给水加热成为饱和水、饱和蒸汽和具有一定过热温度的过热蒸汽。通常这三个阶段分别在省煤器、水冷壁和过热器受热面中完成。

锅炉工作时，经过水处理和除氧后的给水，用给水泵升压后流经高压加热器而进入省煤器的进口联箱。所谓“联箱”，通常是一根直径较大的无缝钢管，在两端焊接上封头。它连通多根并排的蛇形管，起着分配与汇集工质的作用。给水流经省煤器各根管子时，被烟气加热后汇集到出口联箱。在这里，给水原则上被加热成为饱和水。但在实际上，对于不同类型的锅炉，情况不尽相同：使用铸铁省煤器的低压小型工业锅炉，一般不把给水加热成为饱和水；对于电站锅炉，由于汽化潜热随着额定压力的提高而逐渐减少，为了使水冷壁、过热器、省煤器等受热面的工作负担合理，特别是为了保证在炉膛出口有合理的烟气温度，中压锅炉可能要求省煤器出口联箱处的工质，有高达20%的饱和蒸汽含量；而对亚临界压力以上的锅炉则可能会要求该处的工质为有较大欠热的未饱和水。

工质从省煤器出口联箱17经导管流入锅炉的汽包6。从省煤器进口到汽包这一段路程，工质是在给水泵的强制作用下流动的。工质进入汽包后，沿着下降管7流入水冷壁的下联箱10，再由它分配到各水冷壁管（即上升管）而进入炉膛受热，部分水蒸发成为饱和水蒸汽，形成汽水混合物返回汽包。这一段的流动能量来自下降管（布置在炉墙外部，不受热）中的水与水冷壁管中的汽水混合物密度不同所产生的流动压头。汽水混合物进入汽包后，被汽包中的汽水分离装置分离，蒸汽集中在汽包上部的汽空间，水则落到汽包下半部的水空间中，连同省煤器新补充进来的给水一起又重进入下降管，开始另一次自然循环流动。对于高压锅炉，每循环一次约有10~17%的水蒸发成为饱和蒸汽。

汽包中的饱和蒸汽通过导管引至过热器2中进行过热。当蒸汽被加热到所要求的温度后，便作为锅炉的出口过热蒸汽输往汽轮机做功。从汽包到汽轮机这一段工质的流动阻力，靠汽包与汽轮机进口之间的工质压力差来克服。

在图1-1所示的锅炉中，对流烟道内装有再热器3，这是再热动力循环特需的受热面。来自汽轮机高压缸出口20的蒸汽引至再热器进口联箱进入再热器加热，达到所需要的温度后，作为锅炉出口21的再热蒸汽，重新引入汽轮机的中、低压缸膨胀做功。

§ 1-3 锅炉的分类和我国锅炉产品型号

一、锅炉的分类

锅炉的分类有多种方法。按容量可分为：小型锅炉、中型锅炉和大型锅炉，按用途可分为：工业锅炉、机车用锅炉、船用锅炉和电站锅炉，按锅炉出口工质的压力可分为：低压锅炉、中压锅炉、高压锅炉、超高压锅炉、亚临界压力锅炉和超临界压力锅炉等；按炉膛内烟气压力可分为：负压锅炉、微正压锅炉和增压锅炉；按锅炉所使用的燃料又可分为：燃煤锅炉、燃油锅炉、燃气锅炉和废热锅炉；按锅炉燃烧方式可分为：火床炉（即层燃炉）、旋

风炉，室燃炉（即悬浮燃烧炉）和沸腾炉；按锅炉排渣方式可分为：固态排渣炉和液态排渣炉；按工质在锅炉中的流动情况可分为：自然循环锅炉、强制循环锅炉、复合循环锅炉和直流锅炉。最后一种分类是根据工作原理划分的，概括性较强。图1-1所示为自然循环锅炉，图1-3与图1-4所示分别是直流锅炉和强制循环锅炉简图。

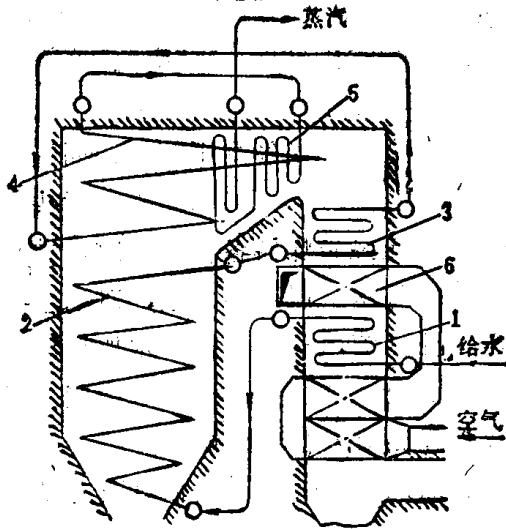


图 1-3 直流锅炉简图

- 1—省煤器；2—炉膛蒸发受热面（下辐射）；
3—过渡区；4—炉膛过热受热面（上辐射）；
5—对流过热器；6—空气预热器

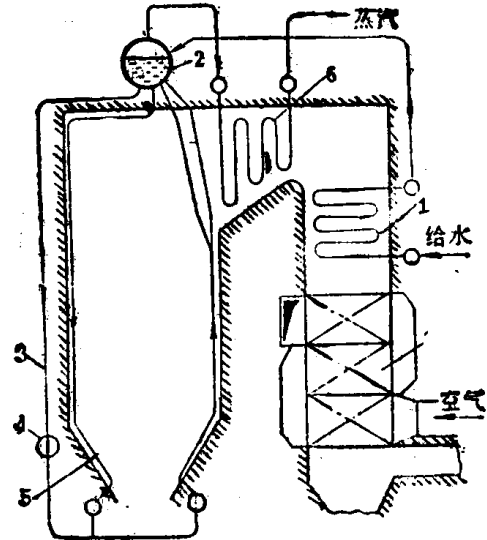


图 1-4 强制循环锅炉简图

- 1—省煤器；2—汽包；3—下降管；4—循环泵；5—炉膛蒸发受热面；6—过热器；
7—空气预热器

直流锅炉依靠给水泵压头使工质一次流经全部受热面。强制循环锅炉另设循环泵4（图1-4）维持工质沿汽包2、下降管3和水冷壁管5循环流动。

表 1-1 我国锅炉的容量、参数系列

压力类别	汽压, MPa(at)	汽温, °C	给水温度, °C	容量, t/h	配套汽轮机, kW
低 压	0.49(5)	饱 和	20	0.05, 0.1, 0.2	
	0.78(8)	饱 和	20	0.4, 0.1, 1.0, 1.5, 2, 4	
	1.27(13)	饱 和 250 300 350	20, 60, 105	1, 2, 4, 6, (6.5), 10, 20	
	2.45(25)	饱 和 400	20, 60, 105	1, 2, 4, 6, (6.5), 10, 20, 35	
中 压	3.8(39)	450	150, 170	35, 65, 75, (120), 130	6000, 12000
高 压	9.8(100) ①	510 540	215	220, (230), 410	50000, 100000
超高压	13.7(140)	540/540 555/555	240	400, 670	(125000) 过渡产品 280000
亚临界	16.7(170)	570/570 540/540	260	1000	300000

表1-1为我国锅炉的容量与参数系列。应当指出,目前我国锅炉产品型号中还暂时沿用工程单位,容量单位为t/h,压力单位为at。我国已经开始推行的国际单位制中,工业锅炉容量用kg/s表示,电站锅炉则用与之配套的汽轮发电机组的功率MW表示;压力单位为MPa。

二、我国锅炉的产品型号

1. 电站锅炉产品型号

我国电站锅炉产品的型号由三部分组成,各部分之间用短横线相连。第一部分为锅炉制造厂代号,用两位汉语拼音字母表示:HG——哈尔滨锅炉厂;SG——上海锅炉厂;WG——武汉锅炉厂;DG——东方锅炉厂。第二部分用分数形式表示锅炉基本参数。分子表示锅炉额定蒸发量,t/h;分母表示介质出口压力,at。第三部分为锅炉设计燃料代号和变型设计顺序号。燃煤炉——M,燃油炉——Y,燃气炉——Q,其它燃料——T。变型设计顺序号用阿拉伯数字表示,第一次原型设计无变型设计顺序号。对于联合设计图样制造的锅炉型号,可在型号的第一部分工厂代号后再加“L”表示。

例1 HG—670/140—M型锅炉,表示哈尔滨锅炉厂制造,额定蒸发量670t/h,额定蒸汽压力为140at (13.7MPa),设计燃料为烟煤,原型设计。

例2 WG—65/39—Y型锅炉,表示武汉锅炉厂制造,额定蒸发量为65t/h,额定蒸汽压力是39at (3.8MPa),设计燃料为重油,原型设计。

例3 SG—1000/170—YM2型锅炉,是上海锅炉厂制造,额定蒸发量为1000t/h,额定蒸汽压力是170at (16.8MPa),设计燃料为油、煤两用,第二次变型设计。

例4 UGL—130/39—M型锅炉,是无锡锅炉厂采用联合设计图样制造,额定蒸发量为130t/h,额定蒸汽压力为39at (3.8MPa),原型设计的燃煤锅炉。

2. 工业锅炉产品的型号

工业锅炉产品的型号也由三部分组成,各部分之间用短横线相连。

型号的第一部分表示锅炉的型式、燃烧方式和额定蒸发量或额定供热量。共分三段:第一段用两个汉语拼音字母代表锅炉总体型式(见表1-2);第二段用一个汉语拼音字母代表燃烧方式(见表1-3);第三段用阿拉伯数字表示蒸汽锅炉额定蒸发量,t/h或热水锅炉额定供热量,10⁴kcal/h。各段连续书写,互相衔接。

型号的第二部分表示介质参数。分子用阿拉伯数字表示介质出口压力,at;分母用阿拉伯数字表示过热蒸汽温度,°C或出水温度/回水温度,°C/°C。当蒸汽为饱和参数时,这部分就只有分子。

型号的第三部分是燃料种类和设计序号。分为二段,第一段以汉语拼音字母代表燃料种类,并用罗马数字代表燃料分类(见表1-4),如同时使用几种燃料,主要燃料放在前面;第

表 1-2 锅炉型式代号

锅炉总体型式		代 号	锅炉总体型式		代 号
锅壳锅炉	立式水管	LS	水管锅炉	单锅筒立式	DL
	立式火管	LH		单锅筒纵置式	DZ
	卧式外燃	WW		单锅筒横置式	DH
	卧式内燃	WN		双锅筒纵置式	SZ
水管锅炉	纵横锅筒式	ZH		双锅筒横置式	SH
	强制循环式	QX			

表 1-3 锅炉燃烧方式代号

燃 烧 方 式	代 号	燃 烧 方 式	代 号
固定炉排	G	振动炉排	Z
活动手摇炉排	H	下饲式炉排	A
链条炉排	L	沸腾炉	F
往复推饲式炉排	W	半沸腾炉	B
抛煤机	P	室燃炉	S
倒转炉排加抛煤机	D	旋风炉	X

表 1-4 锅炉燃料品种代号

燃 料 品 种	代 号	燃 料 品 种	代 号
I 类无烟煤	W I	木 柴	M
II 类无烟煤	W II	I 类石煤煤矸石	S I
III 类无烟煤	W III	II 类石煤煤矸石	S II
贫 煤	P	III 类石煤煤矸石	S III
I 类烟煤	A I	油 页 岩	Y M
II 类烟煤	A II	油	Y
III 类烟煤	A III	气	Q
褐 煤	H	甘 蔗 渣	G

二段以阿拉伯数字表示设计次序，与第一段连续书写，原型设计无第二段。

例 5 DZL 4—13—W II 型锅炉，表示单汽包纵置式链条炉排锅炉，额定蒸发量为 4t/h，蒸汽压力为 13at (1.27MPa) 蒸汽温度为饱和温度，燃用 II 类无烟煤，原型设计蒸汽锅炉。

例 6 SZS 10—16/350—YQ2 型锅炉，表示双汽包纵置式室燃炉，额定蒸发量为 10t/h，蒸汽压力为 16at (1.57MPa)，过热蒸汽温度为 350℃，燃油、燃气并用，以燃油为主，第二次变型设计的蒸汽锅炉。

例 7 QXS 120—7/130/70—Y 型锅炉，表示强制循环室燃，额定供热量为 $120 \times 10^4 \text{ kcal/h}$ ，供水压力为 7at (0.686MPa) 供水温度为 130℃，回水温度为 70℃，燃油，原型设计的热热水锅炉。

我国部分锅炉产品型号见表 1-5 和表 1-6。

表 1-5 电站锅炉部分产品

型 号	蒸发量 t/h	蒸汽压力 at(MPa)	蒸汽温度 ℃	给水温度 ℃	燃料类别	生 产 厂	备 注
DG 130/39—1	130	39(3.8)	450	170	天 然 气	东方锅炉厂	
HG 75/39—5	75	39(3.8)	450	170	重 油	哈尔滨锅炉厂	高 硫 炉
HG 120/39—12	120	39(3.8)	450	170	残 渣 油	哈尔滨锅炉厂	膜式壁、联合结构
HG 670/140—3	670/579	140/25.5(13.7/2.5)	540/540	240	原油、重油	哈尔滨锅炉厂	微 正 压
SG—1000/170/555	1000/830	170/33(16.7/3.2)	555/555	265	烟 煤	上海锅炉厂	四角喷燃直流
WQZ 35/39—6	35	39(3.8)	450	150	烟 煤	武汉锅炉厂	
XS 35/39—Y	35	39(3.8)	450	150	烟 煤	济南锅炉厂	抛 煤 机
SH F20/25/400	20	25(2.45)	400	105		杭州锅炉厂	双汽包横置式
F—65/39—Y/1	65	39(3.8)	450	150	烟 煤	北京锅炉厂	露天、水力除渣
SG 130/39/450	130	39(3.8)	450	170	劣质煤	上海锅炉厂	沸腾燃烧新产品
DG 220/100—1	220	100(9.8)	540	220	煤 粉	东方锅炉厂	液态排渣
HG 670/140—1	670/579	140/25.5(13.7/2.5)	540/540	240	褐 煤	哈尔滨锅炉厂	联合结构、半悬吊
WQZ 410/100—1	410	100(9.8)	540	222	贫 煤	武汉锅炉厂	
WQZ 400/140	400/539.5	140/29.9(13.7/2.9)	555/555	235	开滦洗中煤	武汉锅炉厂	
HG 220/100—2	220	100(9.8)	540	220	无烟煤	哈尔滨锅炉厂	液态出渣
SG—220/100/540	220	100(9.8)	540	220	无烟煤、劣烟煤	上海锅炉厂	四角喷燃
F 220/100—P/1	220	100(9.8)	540	215	贫 煤	北京锅炉厂	水力除渣
DC 410/100—2	410	100(9.8)	540	220	贫 煤	东方锅炉厂	抗八级地震