



“十二五”职业教育国家规划教材
经全国职业教育教材审定委员会审定

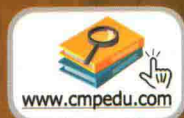
工业锅炉 设备与运行

GONGYE GUOLU SHEBEI YU YUNXING

主 编 白凤臣
副主编 马文姝



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



配电子课件

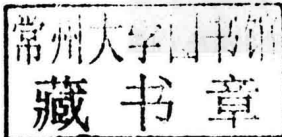


“十二五”职业教育国家规划教材

经全国职业教育教材审定委员会审定

工业锅炉设备与运行

主 编 白凤臣
副主编 马文姝
参 编 居晨红 魏少波
主 审 黄 波



机械工业出版社

本书是“十二五”职业教育国家规划教材，经全国职业教育教材审定委员会审定。

本书以人力资源和社会保障部颁布的“锅炉操作工国家职业标准”为依据，按照高职城市热能应用技术专业人才培养目标的要求，通过校企合作、校校合作编写而成。

本书按照供热企业岗位群的能力要求，以供热企业典型工作任务为载体，以热能动力设备运行操作流程为主线进行编写。全书共有三个学习项目，六个学习任务。主要内容包括：火床锅炉设备选型、火床锅炉设备运行、燃油燃气锅炉设备选型、燃油燃气锅炉设备运行、循环流化床锅炉设备选型、循环流化床锅炉设备运行。

本书在编写过程中广泛吸收了国内外供热企业的最新技术和标准，贴近生产，贴近工程实践。通过学习本书，学生能够初步掌握现代供热企业的最新技术，明确工业锅炉设备运行管理岗位的工作内容与工作职责，熟悉热能动力设备操作规程，为今后走上工作岗位打下良好的基础。

本书主要作为能源类和建筑类高职高专院校城市热能应用技术专业、热能动力设备与应用专业、供热通风与空调工程技术专业教学用书，也可作为供热企业的培训教材和工程技术人员掌握专业知识的自学参考用书。

本书配有电子课件，凡使用本书作为教材的教师可登录机械工业出版社教育服务网 www.cmpedu.com 注册后免费下载。咨询邮箱：cmpgaozhi@sina.com。咨询电话：010-88379375。

图书在版编目（CIP）数据

工业锅炉设备与运行 / 白凤臣主编. —北京：机械工业出版社，2016.12
“十二五”职业教育国家规划教材. 经全国职业教育教材审定委员会审定
ISBN 978-7-111-55267-3

I. ①工… II. ①白… III. ①工业锅炉-锅炉运行-高等职业教育-教材
IV. ①TK229②TK227

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2016）第 257597 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

策划编辑：王海峰 责任编辑：刘良超 张丹丹 责任校对：刘怡丹

封面设计：鞠 杨 责任印制：李 洋

北京振兴源印务有限公司印刷

2017 年 1 月第 1 版·第 1 次印刷

184mm×260mm·25.75 印张·636 千字

标准书号：ISBN 978-7-111-55267-3

定价：55.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

服务咨询热线：010-88379833

读者购书热线：010-88379649

封面无防伪标均为盗版

网络服务

机工官网：www.cmpbook.com

机工官博：weibo.com/cmp1952

教育服务网：www.cmpedu.com

金书网：www.golden-book.com

前言

“工业锅炉设备与运行”课程是城市热能应用技术专业、供热通风与空调工程技术专业的一门核心专业课程。它以培养学生掌握城市集中供热厂供热锅炉机组运行管理的基本知识和机组的启、停、运行调整、事故处理等方面的基本技能，初步形成岗位工作能力为目标，根据教育部制定的高职高专城市热能应用技术专业课程标准的的要求，本着理论够用、应用为主、工学结合、注重实践的教学理念，并结合编者长期讲授该门课程的丰富教学经验编写而成，是一部工学结合的特色教材。

本书对原来学科体系的知识进行了解构和重构，构建了以项目或任务为载体、工作过程系统化为导向的工学结合特色教材。为了突出高等职业教育的特色，体现国家骨干高职院校的建设成果，本书在内容选择上广泛吸收了国内外供热企业的最新技术和标准，贴近生产，贴近工程实践，符合专业教育标准和专业培养目标的要求，具有针对性、实用性、先进性。通过学习本书，学生能够初步掌握现代供热企业的最新技术，明确工业锅炉设备运行管理岗位的工作内容与工作职责，熟悉热能动力设备操作规程，为今后走上工作岗位打下良好的基础。

本书共有三个学习项目，六个学习任务，按照校企合作、校校合作的原则编写而成。学习项目一“火床锅炉设备与运行”由中山职业技术学院马文姝和大庆高新热力有限公司居晨红编写；学习项目二“燃油燃气锅炉设备与运行”由黑龙江职业学院白凤臣和中山职业技术学院马文姝编写；学习项目三“循环流化床锅炉设备与运行”由黑龙江职业学院白凤臣和哈尔滨红光锅炉集团公司魏少波编写。全书由黑龙江职业学院白凤臣任主编并统稿，中山职业技术学院马文姝教授任副主编。哈尔滨理工大学黄波审阅了本书并提供了宝贵修改意见。

本书在编写过程中，参阅了高等学校有关教材及公开出版的技术参考书，并得到了合作院校、锅炉制造厂和供热企业的热情帮助，在此一并致谢。

尽管编者在探索“工业锅炉设备与运行”课程特色教材方面做了许多努力，但由于高职教育的改革是一个继续探索和不断深化的过程，教材的完善需要一个较长的时间，加之编者水平所限，书中难免存在疏漏和不足之处，恳请各教学单位和广大读者批评指正。

编者

目 录

前言

学习项目一 火床锅炉设备与运行

学习任务一 火床锅炉设备选型	2	四、各种火床锅炉的点火操作	127
单元一 火床锅炉设备构成与工作过程		五、火床锅炉升压操作	128
认知	3	六、火床锅炉并炉操作	130
一、火床锅炉设备构成	3	单元二 火床锅炉运行调整	131
二、锅炉的工作过程	5	一、蒸汽锅炉的运行和调节	131
单元二 工业锅炉性能评价	7	二、热水锅炉的运行与调节	137
一、锅炉输出功率及换算	7	单元三 工业锅炉的经济运行	141
二、工业锅炉的技术经济指标	8	一、工业锅炉经济运行的必要性	142
三、对工业锅炉的基本要求	10	二、锅炉热效率	143
单元三 工业锅炉本体结构分析与应用	11	三、锅炉负荷匹配	147
一、火管锅炉结构	11	四、燃烧调整,合理配风	148
二、水管锅炉结构	16	五、降低排烟热损失	150
三、水管锅炉结构	19	六、燃煤锅炉降低灰渣含碳量	153
四、热水锅炉结构	24	七、炉墙与管网保温	161
单元四 锅炉辅助设备选型	29	八、合理控制排污率	165
一、工业锅炉的燃料供应及除灰渣系统	29	九、锅炉辅机节能改造	168
二、通风设备	35	单元四 锅炉停炉与保养	174
三、烟气净化设备	42	一、锅炉停炉	174
四、工业锅炉的汽水系统	60	二、锅炉设备的维护保养	176
五、锅炉安全附件与自动控制	100	三、锅炉的报废	180
单元五 锅炉房规模确定和设备选型	119	四、锅炉管理	180
一、锅炉房最大热负荷计算	119	单元五 火床锅炉常见事故与处理	185
二、锅炉选型原则	120	一、锅炉事故分类	185
思考题与习题	121	二、蒸汽锅炉常见事故与处理	185
学习任务二 火床锅炉设备运行	123	三、热水锅炉常见事故与处理	189
单元一 火床锅炉点火、升压与并炉	124	单元六 锅炉运行操作规程编制	191
一、锅炉投入运行的必要条件	124	一、安全工作规程	191
二、锅炉运行操作必须注意的事项	125	二、锅炉及附属设备的操作规程	191
三、点火前的检查与准备	126	思考题与习题	194



学习项目二 燃油燃气锅炉设备与运行

学习任务一 燃油燃气锅炉设备选型 ... 196

单元一 燃油燃气锅炉设备组成与工作

过程认知 197

一、燃油燃气锅炉设备构成 197

二、燃油燃气锅炉的技术优势 197

三、锅炉房燃料供应系统 198

单元二 燃油燃气锅炉炉型结构分析与

应用 203

一、锅壳式（火管式）燃油燃气锅炉 ... 204

二、水管结构燃油燃气锅炉 207

三、燃油燃气锅炉选用原则 209

四、选用国内外燃油燃气锅炉的注意

事项 210

单元三 燃烧器认知 212

一、燃烧器的分类 212

二、燃烧器的结构及工作原理 212

三、对燃烧器的基本要求 217

单元四 燃烧器主要部件及作用 218

一、风机及调风装置 218

二、燃料喷流系统 219

三、带火焰管的混合装置（燃烧头） ... 222

四、点火装置 224

五、火焰检测装置 226

六、燃烧控制器 227

单元五 燃烧器常见故障与处理 229

一、燃油燃烧器常见故障及处理方法 229

二、燃气燃烧器常见故障及处理方法 231

单元六 燃烧器选型 232

一、燃烧器的工作特性 232

二、燃烧器火焰的外形尺寸 234

三、燃烧器的选型原则 235

单元七 燃烧器功率调节 236

一、燃烧器功率调节的方式 236

二、燃油燃烧器和燃气燃烧器的功率

调节 237

单元八 燃料供应系统设备选型 241

一、锅炉房燃油系统设备组成与选型 241

二、锅炉房燃气系统设备组成与选型 247

思考题与习题 265

学习任务二 燃油燃气锅炉设备运行 ... 267

单元一 燃油燃气锅炉点火启动与停炉

操作 268

一、锅炉运行前的检查与准备 268

二、锅炉点火启动 271

三、燃油燃气锅炉的升压与并炉 275

四、燃油燃气锅炉停炉操作 275

单元二 燃油燃气锅炉燃烧调整与自动

控制 276

一、燃油燃气锅炉的燃烧调整 276

二、燃油燃气锅炉的自动控制 280

单元三 燃油燃气锅炉维护保养与事故

处理 287

一、燃烧器和燃料供应设备的维护

保养 287

二、燃油燃气锅炉事故处理 289

单元四 燃油燃气锅炉烟气余热回收

技术 291

一、回收换热器的形式与结构 291

二、回收换热器的应用 292

思考题与习题 293

学习项目三 循环流化床锅炉设备与运行

学习任务一 循环流化床锅炉设备

选型 295

单元一 循环流化床锅炉设备组成和工作

过程认知 296

一、循环流化床燃烧技术及原理 296

二、循环流化床锅炉系统及组成 297

单元二 循环流化床锅炉典型结构分析与

应用 299

一、循环流化床锅炉的特点 299

二、循环流化床锅炉的主要形式 302

三、循环流化床锅炉的发展概况 302

单元三 循环流化床锅炉燃烧系统组成及

设备认知 307

一、燃烧系统概述 307

二、燃烧室 307

三、布风装置 311





四、物料循环系统	315	一、超温结焦的处理及预防	385
五、給料系统	330	二、低温熄火的处理及预防	386
六、烟风系统	337	三、返料器结焦、不返料的处理及 预防	387
七、除渣除灰系统	341	四、分离器结焦、堵灰、分离效果差的 处理及预防	388
八、起动燃烧器	348	五、循环灰浓度过高的处理及预防	389
单元四 循环流化床锅炉运行常见问题 分析	350	六、循环灰浓度过低处理及预防	390
一、出力不足	350	单元四 不同结构、不同燃料特性的 流化床锅炉运行操作方法	391
二、床层结焦	351	一、横埋管结构流化床锅炉运行操作 方法	391
三、循环灰系统故障	352	二、竖埋管流化床锅炉运行操作方法	392
四、布风装置及受热面磨损	354	三、燃用发热量高、颗粒呈粉状燃料 锅炉的运行操作方法	393
思考题与习题	356	四、燃用灰分较高的劣质烟煤锅炉的 运行操作方法	393
学习任务二 循环流化床锅炉设备 运行	357	单元五 循环流化床锅炉运行实例	394
单元一 循环流化床锅炉点火起炉与停炉 操作	358	一、点火升炉实例	394
一、循环流化床锅炉的冷态试验	358	二、运行调试实例	397
二、循环流化床锅炉的点火起炉	362	三、超温结焦实例	399
单元二 循环流化床锅炉运行调整	371	四、磨损爆管实例	401
一、循环流化床锅炉的运行调节与 控制	371	思考题与习题	402
二、锅炉辅助设备的运行与调整	382	参考文献	403
单元三 循环流化床锅炉常见事故处理与 预防	385		





学习项目一

火床锅炉设备与运行

学习任务一

火床锅炉设备选型

知识目标

1. 了解火床锅炉设备的组成与工作过程。
2. 掌握火床锅炉房系统组成设备的分类、特点、工作原理与应用选型知识。
3. 熟知工业锅炉主要的技术经济指标及其对锅炉性能的影响。
4. 熟悉工业锅炉性能特点及应用选型技术。
5. 掌握锅炉房热负荷计算方法。
6. 熟知锅炉设备选型原则。

能力目标

1. 具有借助相关资料进行锅炉房热负荷计算的能力。
2. 能根据具体要求进行锅炉供热系统设备选型。
3. 能够独立编制锅炉设备选型报告。
4. 具备对锅炉设备进行评价的能力。
5. 获取信息资源的能力。

任务导入

华北某量具厂要设计一座蒸汽锅炉房，为生产、生活以及厂房和住宅采暖提供热源。生产、生活为全年性用汽，采暖为季节性用汽。生产用汽设备要求提供的蒸汽压力最高为0.4MPa，用汽量3.7t/h；凝结水受生产过程的污染，不予回收利用；采暖用汽量为7.8t/h，采暖系统的凝结水回收率为65%；生活用汽主要供食堂和洗澡用热需要，用汽量为0.7t/h，无凝结水回收，采用山西烟煤作为燃料。

根据以上的条件，要求学生通过教师讲解、现场参观、网上查阅资料等各种手段，获取知识信息，通过自主学习，编制此火床锅炉房设备选型报告，具体内容包括：

1. 锅炉房最大热负荷计算。
2. 锅炉本体选型方案。
3. 锅炉辅助设备选型方案。
4. 锅炉房工艺流程图绘制。
5. 锅炉运行经济性分析，估算出每平方米供暖面积的成本。
6. 形成任务报告单。





任务分析

要想正确做出火床锅炉房设备选型，首先必须了解火床锅炉设备构成及其工作过程，熟悉设备组成系统内每一设备的类别、工作原理、性能特点及应用条件。本任务将通过火床锅炉设备构成与工作过程认知、工业锅炉性能评价、工业锅炉本体结构分析与应用、锅炉辅助设备选型、锅炉房规模确定和设备选型五个单元的学习，最终完成火床锅炉设备选型报告的编制任务。

教学重点

1. 掌握火床锅炉房系统组成设备的分类、特点、工作原理与应用选型知识。
2. 熟知工业锅炉主要技术经济指标及其对锅炉性能的影响。

教学难点

锅炉设备选型及经济性分析。

相关知识

锅炉是利用燃料（煤炭、生物质、石油、天然气等）燃烧释放的热能或其他热能将工质（水或其他流体）加热到一定参数的设备。由于锅炉广泛地被应用于加热水使之转变为蒸汽，所以有时也称锅炉为蒸汽发生器。

工业锅炉广泛应用于国民经济的各个领域，主要为工业生产的工艺过程提供热能，是生产活动得以正常进行的关键动力源，是现代生产不可或缺的重要设备。我国的能源结构特点是煤多油少，由此决定了国内工业锅炉的燃料主要以燃煤为主，而火床锅炉又是燃煤工业锅炉的主要形式，占燃煤工业锅炉的70%以上。因此，带领学生了解燃煤工业锅炉设备的构成、结构、性能特点及应用选型技术，是本任务的主要内容。

单元一 火床锅炉设备构成与工作过程认知

一、火床锅炉设备构成

锅炉设备由锅炉本体和辅助设备两大部分构成。

1. 锅炉本体

锅炉本体是由“锅”（接受高温烟气的热量并将其传给工质的受热面系统）和“炉”（将燃料的化学能转变为热能的燃烧系统）两大部分组合在一起构成的。图1.1-1所示为双锅筒横置式链条炉排锅炉。

“锅”是容纳水和蒸汽并承受内部或外部作用压力的受压部件，包括锅壳、锅筒（也叫汽包）、下降管、集箱（联箱）、水冷壁、凝渣管、锅炉管束、蒸汽过热器、省煤器等，其中进行着水的加热、汽化及汽水分离等过程。

“炉”是燃料燃烧的场所，包括燃烧设备（炉排、挡渣器、受煤斗、煤闸门、风室、空气预热器）和燃烧室（炉膛）。锅和炉是通过受热面的传热过程联系起来的。



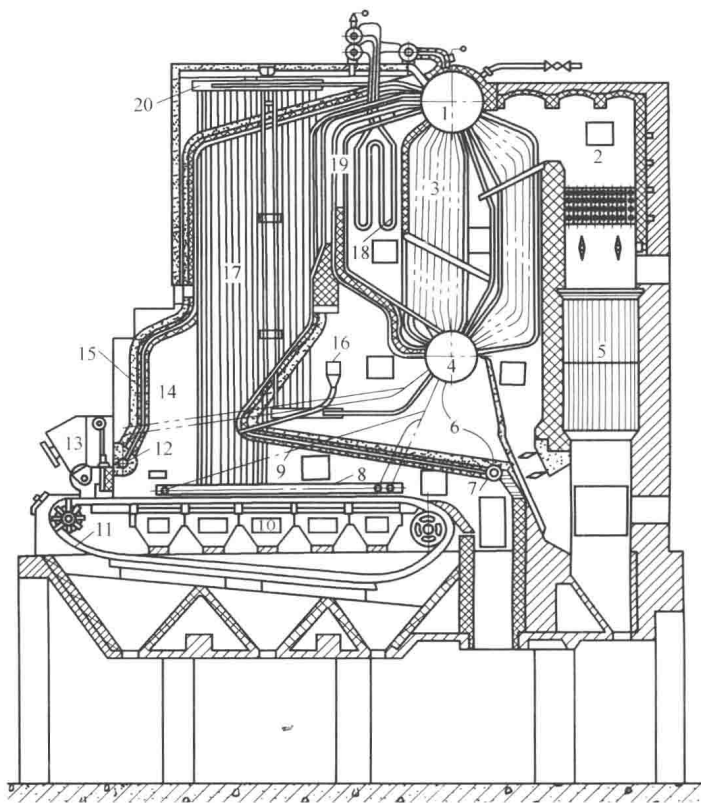


图 1.1-1 双锅筒横置式链条炉排锅炉

- 1—上锅筒 2—省煤器 3—锅炉管束 4—下锅筒 5—空气预热器 6—下降管
7—后墙水冷壁下集箱 8—侧墙水冷壁下集箱 9—后墙水冷壁 10—风仓 11—链条炉排
12—前墙水冷壁下集箱 13—炉前煤斗 14—炉膛 15—前墙水冷壁 16—二次风管道
17—侧墙水冷壁 18—蒸汽过热器 19—凝渣管 20—侧墙水冷壁上集箱

受热面是锅和炉的分界面。凡是一侧有放热介质（火焰、烟气）、另一侧有受热介质（水、蒸汽、空气）、进行着热量传递的壁面均称为受热面。

受热面从放热介质吸收热量并向受热介质放出热量。主要以辐射传热的方式吸收放热介质热量的受热面称为辐射受热面。而主要以对流传热的方式吸收放热介质热量的受热面称为对流受热面。辐射受热面布置在炉膛内，对流受热面布置在炉膛出口以后的烟气温度较低的烟道内。布置对流受热面的烟道称为对流传热烟道。

2. 锅炉辅助设备

(1) 燃料供应系统设备 燃料供应系统设备的作用是保证供应锅炉连续运行所需要的符合质量要求的燃料。其设备包括：

- 1) 燃料储存设备。燃料储存设备包括煤场、原煤仓、受煤斗和煤粉仓等。
- 2) 燃料运输设备。燃料运输设备包括带式输送机、埋刮板输送机、多斗提升机、电动葫芦吊煤罐、单斗提升机、给煤机、给粉机、桥式抓斗起重机和推煤机等。
- 3) 燃料加工设备。燃料加工设备包括破碎机、磨煤机、粗粉分离器、细粉分离器、排粉风机、型煤机等。



(2) 送、引风设备 送、引风设备的作用是给炉子送入燃烧所需要的空气或给磨煤系统输送热空气干燥剂,并从炉膛内引出燃烧产物——烟气,以保证燃料的正常燃烧。送、引风设备包括送风机、引风机、冷风道、热风道、烟道和烟囱等。

(3) 汽、水系统设备 汽、水系统包括蒸汽、给水和排污三大系统。

蒸汽系统的作用是将合格的蒸汽送往用户或作为锅炉自用汽。蒸汽系统设备包括蒸汽管道、附件、分汽缸等。

给水系统的作用是将经过水处理后的符合锅炉水质要求的给水送入锅炉,以保证锅炉正常运行。给水设备包括水泵,水箱,给水管,再生液管,水的除硬、除碱、除盐和除气设备等。

排污系统的作用是将锅水中的沉渣和盐分杂质排除掉,使锅水符合锅炉水质标准。排污系统设备包括排污管、附件、连续排污膨胀器、定期排污膨胀器、排污降温池等。

(4) 除灰渣设备 除灰渣设备的作用是将锅炉的燃烧产物——灰渣,连续不断地除去并运送到灰渣场。除灰渣设备包括马丁除渣机、叶轮除渣机、螺旋除渣机、刮板除渣机、重型链条除渣机、水力除灰渣系统、沉灰池、渣场、渣斗、桥式抓斗起重机、推灰渣机等。

(5) 烟气净化系统设备 烟气净化系统包括烟气的除尘、脱硫、脱硝设备,它们的作用是除去锅炉烟气中夹带的固体微粒——飞灰和二氧化硫、氮氧化物等有害物质,改善大气环境。除尘、脱硫、脱硝设备包括机械力式除尘器、湿式除尘器、过滤式除尘器、电除尘器、二氧化硫吸收塔、脱硝装置等。

(6) 仪表及自动控制系统设备 仪表及自动控制系统设备的作用是对运行的锅炉进行自动检测、程序控制、自动保护和自动调节。仪表及自动控制系统设备包括微型计算机和温度计、压力表、水位计、流量计、负压表等仪表,烟气氧量表,自动调节阀以及控制系统等。

二、锅炉的工作过程

在锅炉内进行着能量的转换和转移过程:

- 1) 燃料在炉内燃烧,燃料的化学能以热能的形式释放出来,使火焰和烟气具有高温。
- 2) 高温火焰和烟气的热量通过受热面向被加热介质传递。
- 3) 水被加热至沸腾而汽化,成为饱和蒸汽,再经过加热而成为过热蒸汽。

燃料燃烧、火焰和烟气向工质传热、工质的加热和汽化是三个相互关联而又同时进行的过程,是锅炉工作中的主要过程。

能量转换和转移过程是与物质运动相结合的:

- 1) 给水进入锅炉,最后以饱和蒸汽或过热蒸汽(对于热水锅炉则为热水)形式输出。
- 2) 煤进入炉内燃烧,其可燃部分燃烧后连同原含水分转化为烟气,原含灰分则残存为灰渣。
- 3) 风送入炉内参加燃烧反应,过剩的空气也混入烟气中排出。

汽水系统、煤渣系统、风烟系统是锅炉的主要系统,这三个系统的工作也是同时、连续地进行的。

通常把燃料、烟气侧进行的燃烧、放热、排渣、气体流动等过程总称为炉内过程。把水、汽侧进行的流动、吸热、汽化、汽水分离以及一系列热化学过程总称为锅内过程。工业





锅炉的工作过程，如图 1.1-2 所示。

1. 炉内过程

图 1.1-2 所示的锅炉是以煤为燃料的层燃炉。煤经输煤装置送入锅炉原煤仓 12，原煤仓 12 中的煤直接靠自重经溜煤管进入炉前煤斗，再落到缓缓向前移动的链条炉排 2 上，经过煤闸门进入燃烧室。燃料燃烧所需要的空气经送风机压入空气预热器 5，升温后进入炉排下面的分段送风仓，进而与炉排上面的煤充分接触、混合，进行强烈的燃烧反应，产生的高温烟气以辐射传热的方式，向敷设在燃烧室四周水冷壁内的水或汽水混合物传递热量。继而，高温烟气经烟窗（炉膛出口）掠过凝渣管，冲刷蒸汽过热器，沿着隔火（折烟）墙横向冲刷锅炉管束，以对流传热方式，将热量传递给对流受热面管束内的汽、水、汽水混合物等工质；沿途温度逐渐降低的烟气进入尾部受热面，冲刷省煤器 4，以对流传热方式，将部分热量传递给管内工质——水，随后烟气进入空气预热器 5 管内，以对流传热方式将热量传递给管外流动的工质——空气，被加热后的空气进入炉膛，使炉内燃烧强化、炉温升高，从而提高了锅炉热效率。至此，烟气温度已降到经济排烟温度，离开锅炉本体，经过除尘器 6 除尘、引风机 7、烟道、烟囱 8 排入大气。燃烧生成的灰渣经除灰渣装置送往渣场。图 1.1-3 所示为炉内过程流程图。

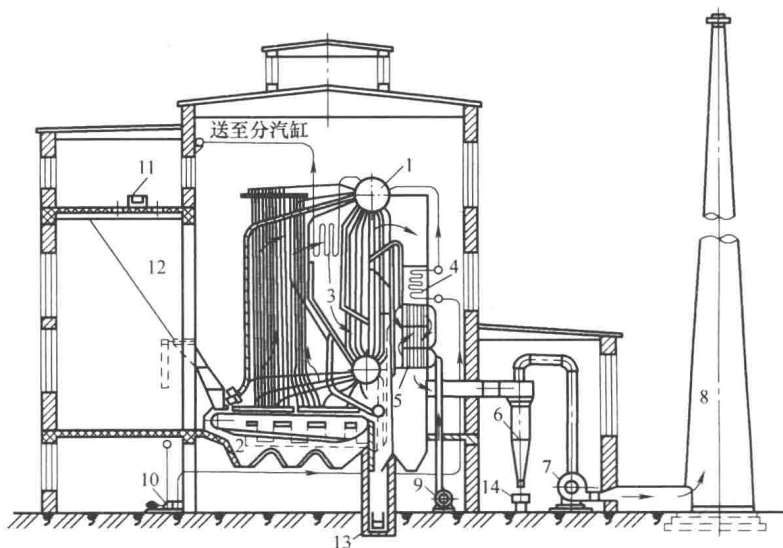


图 1.1-2 工业锅炉的工作过程

- 1—锅筒 2—链条炉排 3—蒸汽过热器 4—省煤器 5—空气预热器 6—除尘器 7—引风机 8—烟囱
9—送风机 10—给水泵 11—带式输送机 12—原煤仓 13—重链除渣机 14—灰车

2. 锅内过程

经水处理系统处理并符合锅炉水质要求的给水，由给水泵经给水管道送入省煤器，水在省煤器中吸收尾部烟道内烟气的热量，预热后的给水进入上锅筒，并由下降管经水冷壁下部集箱流入辐射受热面（水冷壁），水在水冷壁中吸收炉内高温辐射热后形成汽水混合物并流入上锅筒；在锅炉管束中也进行同样的过程。上锅筒内的炉水沿着受热较弱的管束向下流入下锅筒，并由下锅筒经受热较强的管束形成汽水混合物再流回上锅筒。汽水混合物在上锅筒内经过汽水分离装置进行汽水分离，饱和蒸汽由锅筒上部送入蒸汽过热器，蒸汽在蒸汽过热





器内与管外高温烟气进行对流传热，吸收高温烟气的热量后形成过热蒸汽，并经汽温调节装置达到额定过热蒸汽温度，品质合格的蒸汽汇合到过热器出口集箱，经主蒸汽阀进入分汽缸，再分送往各热用户。图 1.1-4 所示为锅内过程流程框图。

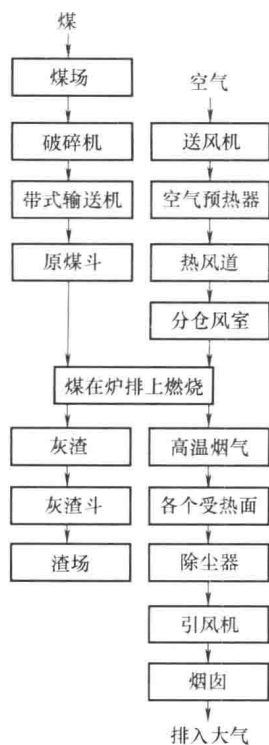


图 1.1-3 炉内过程流程框图

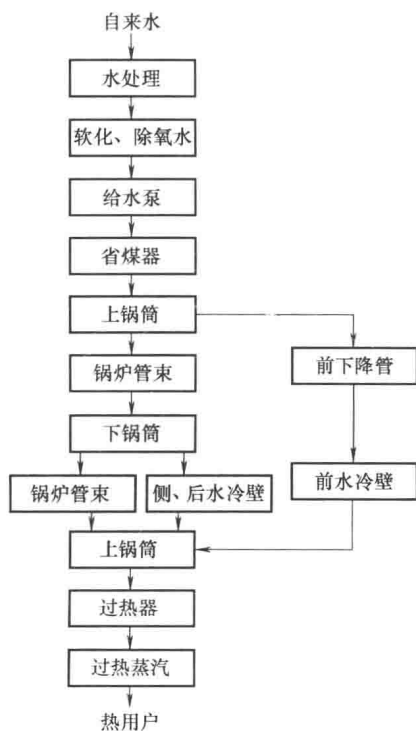


图 1.1-4 锅内过程流程框图

单元二 工业锅炉性能评价

我国工业锅炉量大面广，种类繁多，常用下列锅炉参数和技术经济指标来区别其结构特征、燃烧方式、燃料品种、容量大小、参数高低及其经济性等，以利于设计、制造、选型、运行、维修和管理标准化。

一、锅炉输出功率及换算

锅炉参数是指锅炉容量、工作压力、工质温度。

蒸汽锅炉用额定蒸发量表征其容量的大小。所谓额定蒸发量，是指蒸汽锅炉在额定压力、温度（出口蒸汽温度与进口水温度）、使用设计燃料和保证设计热效率指标的条件下，每小时连续运行所达到的最大蒸汽产量。锅炉铭牌上所标蒸汽产量即为该锅炉的额定蒸发量。蒸发量用符号“ D ”表示，单位为 t/h 。

运行中的蒸汽锅炉，可以直接通过蒸汽流量计、压力表、温度计等测量仪表来检测其参数。

热水锅炉则用额定热功率表征其容量的大小。所谓额定热功率，是指热水锅炉在额定压



力、温度（出口水温度与进口水温度）、燃烧设计燃料和保证设计热效率指标的条件下，每小时连续运行所达到的最大产热量，锅炉铭牌上所标热功率即为额定热功率。热功率用符号 Q 表示，单位为 MW。

运行中的热水锅炉，通过各种仪表可以分别测量出锅炉的热水流量、出水温度、出水压力、进水温度、进水压力等参数，用下式计算热水锅炉的热功率：

$$Q = 0.000278q_m(h_{cs} - h_{js}) \quad (1.1-1)$$

式中 Q ——热功率（MW）；

q_m ——热水锅炉每小时供给用户的热水量（t/h）；

h_{cs} ——热水锅炉出水阀门出口处的出水质量比焓（kJ/kg）；

h_{js} ——热水锅炉进水阀门进口处的进水质量比焓（kJ/kg）。

由上述可见，蒸汽锅炉和热水锅炉热容量的表示方法不同，但在工程上经常需要比较这两种锅炉的容量。可用下式将蒸汽锅炉的蒸发量换算成热功率：

$$Q = 0.000278D(h_q - h_{gs}) \quad (1.1-2)$$

式中 Q ——热功率（MW）；

D ——蒸汽锅炉的蒸发量（t/h）；

h_q ——蒸汽的质量比焓（kJ/kg）；

h_{gs} ——锅炉给水的质量比焓（kJ/kg）。

1. 蒸汽锅炉参数

生产饱和蒸汽锅炉的参数是指上锅筒主蒸汽阀门出口处的额定饱和蒸汽流量、饱和蒸汽压力（表压力）。

生产过热蒸汽锅炉的参数是指过热器出口集箱主蒸汽阀门出口处的额定蒸汽流量、蒸汽压力（表压力）和过热蒸汽温度。

蒸汽锅炉设计时的给水温度分为 20℃、60℃、105℃，由制造厂在设计时结合具体情况确定。锅炉给水温度是指进省煤器的给水温度，对于无省煤器的锅炉是指进锅筒的给水温度。

2. 热水锅炉参数

热水锅炉参数是指热水供水阀门出口处的额定热功率、压力（表压力）、热水温度及回水阀门进口处的回水温度。

3. 常压热水锅炉参数

常压热水锅炉是以水为介质、表压力为零的固定式锅炉。锅炉本体开孔与大气相通，以此来保证在任何情况下，锅筒水位线处表压力始终保持为零。常压热水锅炉参数是指热水供水阀门出口处的额定热功率、热水温度及回水阀门进口处的回水温度。

二、工业锅炉的技术经济指标

1. 受热面蒸发率

锅炉受热面是指“锅”与烟气接触的金属表面积，即烟气与工质进行热交换的金属表面积。受热面的大小，工程上一般以烟气侧的放热面积计算，用符号 A 表示，单位为 m^2 。

蒸汽锅炉每平方米受热面每小时产生的蒸汽量称为受热面蒸发率，用符号 D/A 表示，单位为 $kg/(m^2 \cdot h)$ 。





由于烟气在流动过程中不断放热，烟气温度逐渐降低，致使各受热面处的烟气温度水平各不相同，其受热面蒸发率有很大差异。如炉内辐射受热面蒸发率可达 $800\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ，而对流受热面蒸发率只有 $20 \sim 30\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。因此，对整台锅炉而言，受热面蒸发率只是一个平均指标，一般蒸汽锅炉的受热面蒸发率 $D/A = 30 \sim 40\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。

鉴于各种型号工业锅炉的工质参数不尽相同，为便于比较，引入标准蒸汽的概念。标准蒸汽是指压力（绝对大气压力）为 101325Pa 的干饱和蒸汽，其焓值为 $2676\text{kJ}/\text{kg}$ 。将锅炉的实际蒸发量 D 换算为标准蒸发量 D_{bz} ，这样，受热面蒸发率就以 D_{bz}/A 表示，其换算公式为：

$$D_{\text{bz}}/A = \frac{10^3 D (h_{\text{q}} - h_{\text{gs}})}{2676A} \quad (1.1-3)$$

式中 D_{bz}/A ——受热面蒸发率 [$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$]；

A ——受热面面积 (m^2)。

2. 受热面热功率

热水锅炉每平方米受热面面积每小时产生的热量，称为受热面热功率，用符号 Q/A 表示，单位为 MW/m^2 或 $\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。与蒸汽锅炉一样，热水锅炉受热面发热率也是一个平均值概念，一般热水锅炉受热面发热率 $Q/A < 0.02325\text{MW}/\text{m}^2$ 或 $Q/A < 83700\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。

3. 锅炉热效率

锅炉热效率是指锅炉在额定负荷运行时，锅炉有效利用热量占锅炉输入热量的百分比，即每小时送进锅炉的燃料完全燃烧所放出的热量中有百分之几用来产生蒸汽或加热水，用符号 η_{gl} 表示。

锅炉热效率是锅炉的重要技术指标。NB/T 47034—2013《工业锅炉技术条件》中，规定了在工业锅炉通用技术要求下，试验、检验和验收以及新产品鉴定的热效率。

在锅炉运行中，常用“煤汽比”来表示锅炉运行的经济性，其含义为每 1kg 煤燃烧后产生多少 kg 蒸汽。

4. 锅炉金属耗率及电耗率

锅炉金属耗率是指锅炉单位额定蒸发量所用金属材料的质量，单位为 $\text{t} \cdot \text{h}/\text{t}$ 。

工业锅炉金属耗率指标一般为 $2 \sim 6\text{t} \cdot \text{h}/\text{t}$ 。

锅炉电耗率是指生产 1t 蒸汽耗用电的度数，单位为 $\text{kW} \cdot \text{h}/\text{t}$ 。计算锅炉电耗率时，除了锅炉本体外，还应计算所有的辅助设备，包括煤的破碎及制粉设备的电耗量，工业锅炉电耗率指标一般为 $10\text{kW} \cdot \text{h}/\text{t}$ 左右。

衡量锅炉总的经济性，不仅要求热效率高，而且要求金属耗量低，电耗量少；但这三者之间是互相制约的。如果要提高锅炉热效率，则要增加受热面的面积，这样金属耗率就增加了；又如要想提高煤粉炉的热效率，煤粉越细，燃烧越完全，热效率也就越高，但这样一来，金属耗率和电耗率均要增加。因此，为了提高锅炉运行的经济性，应综合考虑这三个方面的因素，取其最佳值。

5. 煤汽比

蒸汽锅炉在统计期内（如一班、一个月或一年），根据实际耗煤量与实际产汽量的累计统计值，来计算煤汽比，求得生产每吨蒸汽的实际耗煤量。既可反映锅炉的实际燃料消耗指标，是能源统计报表与成本核算的主要数据，又可依燃煤发热量和蒸汽压力等相关参数换算





成锅炉平均运行效率，可用于班组与厂际之间的评比考核。

6. 锅炉运行负荷率

锅炉负荷率就是考核期内锅炉的实际运行出力与额定出力之比。它是总体反映锅炉容量设置是否合理的主要指标，可用下式计算：

$$\varphi_{PJ} = \left(\frac{D_z}{D_{ed}h} \right) \times 100\% \quad (1.1-4)$$

式中 φ_{PJ} ——考核期内锅炉的平均负荷率（%）；

D_z ——考核期内锅炉实际产生的蒸汽量（t）；

D_{ed} ——锅炉额定出力（t/h）；

h ——考核期间锅炉实际运行时间（h）。

锅炉实际运行效率与众多因素有关，如锅炉型号、结构与容量、使用年限、燃料品种、燃烧方式、自动化控制程度、运行操作和负荷率等。当锅炉已经选定且运行后，运行效率与其负荷率有密切关系。就一般总的趋势来讲，锅炉最高运行效率多是在负荷率75%~100%时获得的。如果负荷率太低，锅炉运行效率必然降低；超负荷运行，锅炉运行效率也会降低，如图1.1-5所示。因此，要提高锅炉运行效率，应首先合理提高锅炉的负荷率，才能获得经济运行效果。

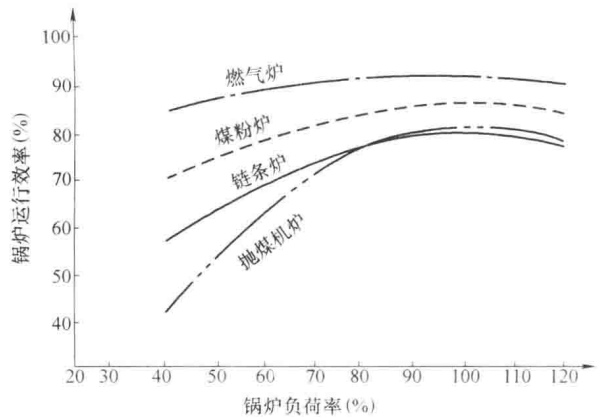


图 1.1-5 锅炉负荷率与运行效率的关系示意图

三、对工业锅炉的基本要求

在我国一次能源的构成中，化石燃料占95%以上。锅炉是一种能源转换装置——将一次能源（化石燃料）转换成二次能源（蒸汽或热水）的装置。通过工业锅炉转换的一次能源占能源总消耗量的30%以上，工业锅炉是消费能源最多的装置，工业锅炉排放的烟尘是我国大气污染的主要污染源。

对工业锅炉的基本要求是：

1. 保产保暖

按质（压力、温度、净度）按量（蒸发量、供热量）地供出蒸汽或热水，满足生产和采暖需要。

2. 安全耐用

正确选用钢材，确保材质合格；正确进行受压元件的强度计算，保证足够的厚度；正确设计结构和选择工艺，保证制造、安装施工质量；正确进行热工、水力设计，保证工质对受热面的良好冷却；采取合理的结构和措施，防止零、部件受到腐蚀、磨损，以及由于热应力、机械振动等原因而产生材料的疲劳；选用适当的水处理装置，满足水质要求。

3. 节能省材

完善燃烧过程和传热过程，提高效率，节约燃料和电力，节约金属材料和建筑材料。