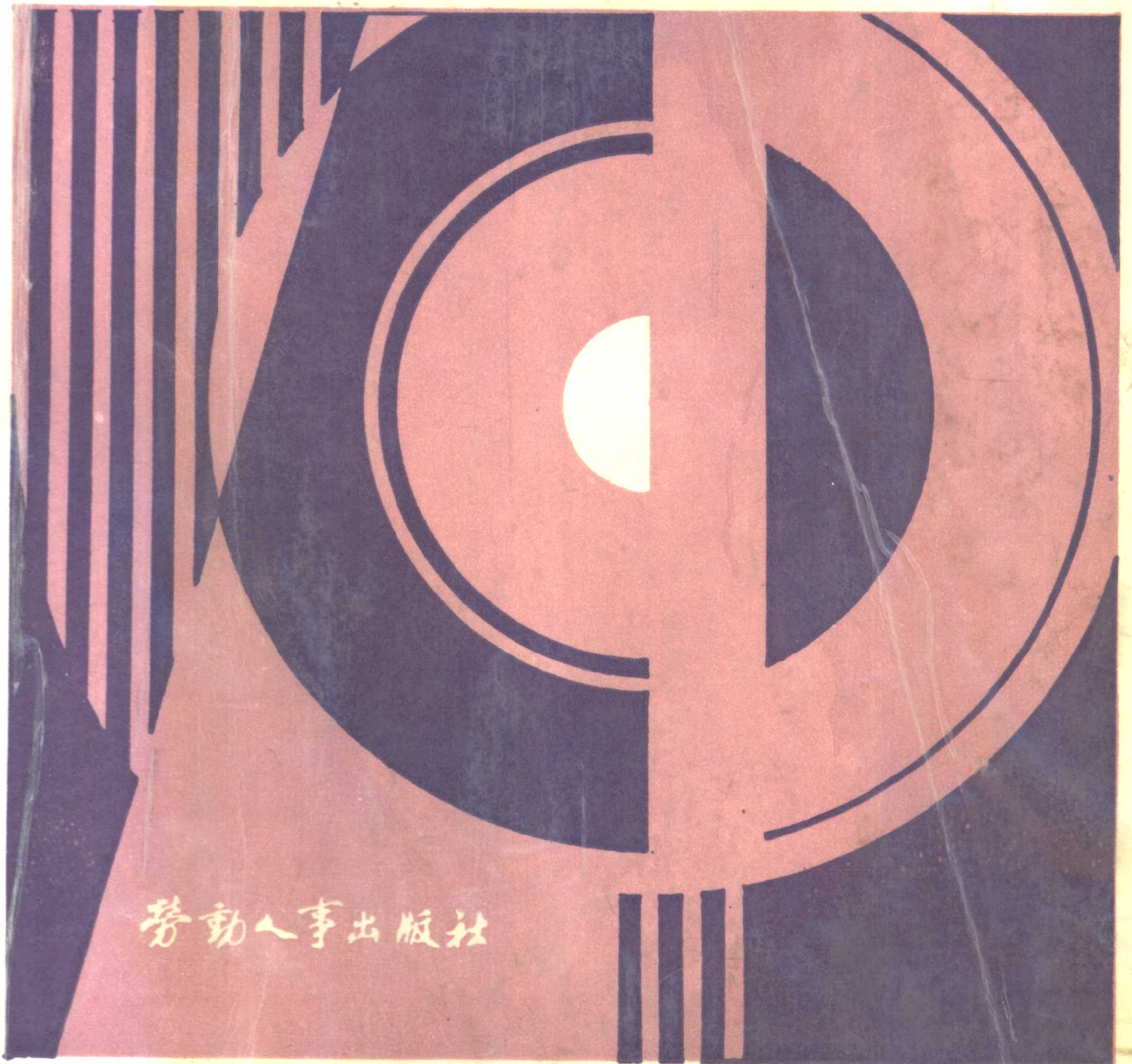




锅炉压力容器安全技术丛书

工业锅炉水处理及水质分析

主编 姚继贤 副主编 许兴炜 李悦英



劳动人事出版社

工业锅炉水处理及水质分析

主 编 姚继贤

副主编 许兴炜 李悦英

劳 动 人 事 出 版 社

工业锅炉水处理及水质分析

主编 姚继贤

副主编 许兴炜 李悦英

责任编辑 张秉淑 任萍 张伟

劳动人事出版社出版

(北京市和平里中街12号)

中国青年出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

787×1092毫米 16开本 34.5印张 855千字

1987年10月北京第1版 1987年10月北京第1次印刷

ISBN 7-5045-0071-2/TK·003 统一书号: 15238·260

印数: 1—40 600册 定价: 6.40元

内 容 提 要

本书较系统地阐述了工业锅炉水处理技术，内容包括：化学基本理论、水质分析方法、锅外和锅内水处理工艺、水处理系统的设计、金属腐蚀理论及锅炉腐蚀的防止以及化学清洗等。这是一本较为全面的专业书籍。

本书由姚继贤、许兴炜、李悦英编写，姚继贤主编。

本书力求将理论与实际相结合，在每章中都附有习题，可作为本专业人员的培训教材，也可作为有关技术人员及大专院校有关专业师生的参考书。

前 言

工业锅炉水处理是一门重要的学科，但它的重要性又容易被人们忽视。许多人对清澈透明的水是熟悉而又陌生的，对它的认识，常限于生活常识范畴。对于工业用水知识，尤其是锅炉用水须经过各种处理这一点不甚了解，甚至全然无知。而把常识上对水的认识用来理解锅炉的用水，甚至用这种认识去管理锅炉，这种科学知识上的无知很容易造成悲惨的结局。70年代期间，这种水处理技术上的无知曾膨胀到荒诞可笑的地步，给工业生产、人民生活带来了许多不必要的损失。为了改变这种落后的状况，十多年来，劳动部门和有关单位协同一致做了很大努力，相继开展了工业锅炉用水水质的全面普查和分析；制订了《低压锅炉水质标准》；组织制定了有效的化验方法；研制了一些携带轻便的分析仪器；改进、研制了一批适用于工业锅炉水处理设备。特别是，培训了一大批水质化验人员和水处理安全监察管理干部，并建立了水质化验员的考核发证制度。这些工作的开展，使全国工业锅炉水处理技术工作，从人员素质、管理水平、检测技术到设备本体的先进有效性都有很大的提高。目前，全国已有100多家工业锅炉水处理技术服务部（站），并且成立了相应的行业技术情报网来促进水处理技术和管理经验的交流，使其不断发展、进步。工业锅炉因水处理不好而发生堵管、爆管、爆炸等事故在事故总数中所占的比例已经大幅度下降，初步收到了较好的经济效益和社会效益。

我国拥有30多万台锅炉设备，这些锅炉常年安全经济地运行对经济建设和人民生活都具有重要意义。近几年，劳动部门与有关部门一起对锅炉设计、制造、安装采取了严格的审查和监督措施，基本上控制了锅炉设备质量和安装质量方面的问题，但锅炉运行事故所占的比例又有所上升。因此，水处理工作仍不能放松。这些工作，不仅需要培养大批的初级水处理技术人员（如水质化验员等），还要培养相当数量的中级水处理技术人员（具有大专程度的技术人员），才能真正搞好水处理，才能正确的运用水处理技术知识指导好锅炉的安全连续运行。

4402/02

前几年，姚继贤副教授接受锅炉压力容器安全监察局原技术情报处的委托，为培养中级水处理技术人员编写了教材。这本书就是在这些教材的基础上，经修改、补充而编写成的。它是中级水处理技术人员较适用的培训教材，也是一本内容丰富、知识系统、理论结合实际的技术参考书。

王韩挪

一九八七年二月

目 录

| | |
|-------------------------------|----|
| 第一章 绪论 | 1 |
| § 1-1 工业锅炉及锅炉房 | 1 |
| 一、锅炉房设备的组成..... | 1 |
| 二、锅炉的工作过程..... | 3 |
| 三、锅炉的基本特性..... | 4 |
| 四、锅炉的分类及型号..... | 5 |
| 五、主要类型锅炉的结构..... | 7 |
| § 1-2 工业锅炉的水循环及锅炉用水名称 | 10 |
| 一、锅炉的水循环..... | 10 |
| 二、锅炉用水名称..... | 11 |
| 三、锅炉房的汽水系统及其设备..... | 12 |
| § 1-3 水质不良对锅炉的危害 | 14 |
| 一、结垢..... | 14 |
| 二、腐蚀..... | 16 |
| 三、汽水共腾..... | 16 |
| § 1-4 工业锅炉的水质管理 | 17 |
| 一、水处理工作任务..... | 17 |
| 二、工业锅炉的水质管理..... | 18 |
| 第二章 锅炉用水的水质及水质标准 | 21 |
| § 2-1 溶液的基本概念 | 21 |
| 一、溶解和溶解度..... | 21 |
| 二、溶液的浓度..... | 22 |
| 三、溶液的性质..... | 33 |
| § 2-2 天然水中的杂质 | 35 |
| 一、悬浮杂质..... | 35 |
| 二、胶体杂质..... | 36 |
| 三、气体杂质..... | 36 |
| 四、离子杂质..... | 38 |
| § 2-3 锅炉用水水源的特点及管理 | 39 |
| 一、地下水的特点及管理..... | 40 |
| 二、地表水的特点及管理..... | 41 |
| 三、自来水的特点及管理..... | 43 |
| § 2-4 工业锅炉常用的水质指标 | 44 |

| | |
|------------------------|------------|
| 一、水质指标及其含义 | 44 |
| 二、水质指标间的关系 | 47 |
| 三、工业锅炉水质标准的制定 | 54 |
| 第三章 水质分析方法及基本操作 | 62 |
| § 3-1 化学基础知识 | 62 |
| 一、化学反应速度和化学平衡 | 62 |
| 二、电解质的电离平衡 | 64 |
| 三、沉淀物的溶解平衡 | 71 |
| 四、络合物及络合平衡 | 73 |
| 五、氧化还原反应及原电池 | 75 |
| § 3-2 水质分析的基本知识 | 79 |
| 一、水样的采集 | 79 |
| 二、实验室纯水制备 | 80 |
| 三、化学试剂的性质及等级标志 | 81 |
| 四、常用的玻璃仪器 | 82 |
| 五、分析天平的构造及操作 | 90 |
| 六、标准溶液的配制及滴定度 | 93 |
| 七、分析数据处理 | 94 |
| 八、水质分析方法介绍 | 97 |
| § 3-3 重量分析方法 | 98 |
| 一、重量分析的基本操作 | 98 |
| 二、悬浮固形物的测定 | 101 |
| 三、溶解固形物的测定 | 103 |
| § 3-4 容量分析方法 | 104 |
| 一、容量分析的基本操作 | 105 |
| 二、酸、碱滴定法（碱度的测定） | 109 |
| 三、沉淀滴定法（氯离子的测定） | 113 |
| 四、络合滴定法（硬度的测定） | 115 |
| 五、氧化还原滴定法（溶解氧的测定） | 118 |
| § 3-5 比色分析法 | 121 |
| 一、比色分析原理 | 121 |
| 二、目视比色法 | 122 |
| 三、光电比色法 | 123 |
| 四、分光光度法 | 124 |
| 五、磷酸盐的测定 | 126 |
| § 3-6 电导分析法及电位分析法 | 128 |
| 一、电导分析法（电导率的测定） | 128 |
| 二、电位分析法（pH的测定） | 131 |
| 第四章 工业锅炉用水的预处理 | 136 |

| | |
|--------------------------------|------------|
| § 4-1 地表水的预处理 | 136 |
| 一、混凝 | 136 |
| 二、沉淀和澄清 | 143 |
| 三、过滤 | 148 |
| 四、地表水预处理系统及设备 | 152 |
| § 4-2 地下水的预处理 | 154 |
| 一、无铁地下水的预处理 | 154 |
| 二、含铁地下水的预处理 | 156 |
| § 4-3 自来水的预处理 | 161 |
| 一、游离性余氯的性质 | 161 |
| 二、除氯方法 | 161 |
| § 4-4 高硬度与高碱度水的预处理 | 163 |
| 一、石灰处理方法 | 163 |
| 二、石灰、纯碱处理 | 167 |
| 三、水质平衡图解法计算加药量 | 171 |
| 第五章 离子交换树脂及离子交换原理 | 177 |
| § 5-1 离子交换树脂的结构及性能 | 177 |
| 一、离子交换树脂的结构 | 177 |
| 二、离子交换树脂的分类 | 178 |
| 三、离子交换树脂的物理性能 | 181 |
| 四、离子交换树脂的化学性能 | 184 |
| § 5-2 离子交换树脂的使用及管理 | 187 |
| 一、离子交换树脂的管理 | 187 |
| 二、离子交换树脂的使用及鉴别 | 188 |
| 三、离子交换树脂的污染和复苏 | 190 |
| 四、离子交换装置能力的下降及调整 | 195 |
| § 5-3 离子交换基本理论 | 195 |
| 一、离子交换平衡 | 195 |
| 二、离子交换速度 | 199 |
| § 5-4 离子交换器的工作过程 | 200 |
| 一、离子交换器的运行过程 | 201 |
| 二、离子交换器的再生过程 | 206 |
| 三、离子交换器中树脂的利用率 | 211 |
| 四、离子交换器计算基本公式 | 213 |
| 第六章 离子交换软化设备及系统 | 219 |
| § 6-1 离子交换器的类型 | 219 |
| 一、顺流再生离子交换器 | 219 |
| 二、逆流再生离子交换器 | 224 |
| 三、浮床离子交换器 | 233 |

| | |
|--------------------------------------|-----|
| 四、移动床离子交换设备 | 238 |
| 五、流动床离子交换设备 | 241 |
| § 6-2 离子交换系统的附属设备 | 244 |
| 一、食盐再生系统及设备 | 244 |
| 二、酸再生系统 | 246 |
| 三、除二氧化碳器 | 248 |
| § 6-3 钠离子交换系统 | 252 |
| 一、单级钠离子交换系统 | 252 |
| 二、双级钠离子交换系统 | 255 |
| 三、部分钠离子交换系统 | 256 |
| 四、钠离子交换系统的选择 | 260 |
| § 6-4 钠离子交换器的调试及故障处理 | 260 |
| 一、钠离子交换器的调整试验 | 260 |
| 二、离子交换器常见故障及处理 | 262 |
| 第七章 软化及降碱联合处理系统 | 267 |
| § 7-1 钠离子交换软化及药剂降碱联合处理系统 | 267 |
| 一、钠离子交换加酸系统 | 267 |
| 二、石灰-钠离子交换系统 | 270 |
| § 7-2 H-Na离子交换系统 | 273 |
| 一、H-Na离子交换原理 | 273 |
| 二、H-Na离子交换系统 | 274 |
| 三、弱酸树脂H-Na串联离子交换系统 | 277 |
| 四、部分H离子交换系统 | 278 |
| § 7-3 NH_4 -Na离子交换系统 | 281 |
| 一、 NH_4 -Na离子交换法原理 | 281 |
| 二、 NH_4 -Na离子交换系统 | 282 |
| 三、 NH_4 -Na离子交换法原水或再生液配比计算 | 283 |
| 四、 NH_4 -Na离子交换法再生液的配制及再生工艺 | 286 |
| 五、 NH_4 -Na离子交换系统运行控制 | 288 |
| 六、 NH_4 -Na离子交换法适用范围 | 289 |
| § 7-4 Cl-Na离子交换系统 | 290 |
| 一、Cl-Na离子交换法原理 | 290 |
| 二、Cl-Na离子交换系统 | 291 |
| 三、Cl-Na离子交换法的优缺点 | 294 |
| § 7-5 各种软化、脱碱联合处理系统的比较 | 294 |
| 第八章 水的除盐处理 | 298 |
| § 8-1 水的化学除盐 | 298 |
| 一、化学除盐原理 | 298 |
| 二、化学除盐系统 | 300 |

| | |
|-----------------------------|------------|
| 三、化学除盐水质 | 301 |
| 四、除盐系统的布置原则及水质要求 | 302 |
| 五、双层床除盐工艺 | 303 |
| § 8-2 电渗析除盐 | 307 |
| 一、电渗析除盐原理及过程 | 307 |
| 二、离子交换膜 | 308 |
| 三、离子交换膜作用机理 | 309 |
| 四、电渗析器的构造与组装 | 310 |
| 五、电流效率 | 313 |
| 六、极限电流密度 | 315 |
| 七、极化和沉淀 | 317 |
| 八、电渗析器适用范围及故障排除 | 318 |
| § 8-3 反渗透 | 322 |
| 一、渗透和反渗透 | 322 |
| 二、反渗透膜 | 325 |
| 三、反渗透膜脱盐机理 | 327 |
| 四、反渗透膜组件 | 329 |
| 五、反渗透除盐系统 | 332 |
| 第九章 离子交换软化系统的设计及工艺计算 | 336 |
| § 9-1 流体力学基本知识 | 336 |
| 一、流体的基本物理量 | 336 |
| 二、水流动过程的物料衡算 | 338 |
| 三、水流动过程能量衡算 | 341 |
| 四、流体流量的测量 | 346 |
| 五、管道阻力计算 | 348 |
| § 9-2 水处理系统的管材、管件及阀门 | 353 |
| 一、管材 | 353 |
| 二、管件 | 354 |
| 三、阀门 | 356 |
| § 9-3 离心泵和喷射器 | 362 |
| 一、离心泵 | 362 |
| 二、喷射器 | 366 |
| § 9-4 工业锅炉水处理方法的选择 | 372 |
| 一、水处理方法的选择 | 372 |
| 二、水的预处理方法的选择 | 373 |
| 三、离子交换方法的选择 | 373 |
| § 9-5 水处理系统设计 | 376 |
| 一、原始资料 | 376 |
| 二、设计内容及步骤 | 379 |

| | |
|-------------------------------|------------|
| 三、水处理车间的布置 | 379 |
| 第十章 锅内加药处理 | 385 |
| § 10-1 锅内加药处理概述 | 385 |
| 一、锅内理化过程 | 385 |
| 二、锅水中沉淀物的形态 | 386 |
| 三、锅内加药处理方法的选择 | 387 |
| § 10-2 锅内加药处理方法 | 390 |
| 一、天然碱处理法 | 390 |
| 二、纯碱处理法 | 394 |
| 三、磷酸盐处理法 | 398 |
| 四、聚磷酸盐处理法 | 401 |
| 五、复合防垢剂处理法 | 403 |
| 六、合成有机防垢剂处理法 | 410 |
| § 10-3 锅内水处理的加药方法及装置 | 414 |
| 一、锅内加药处理的加药方法 | 414 |
| 二、加药装置及系统 | 416 |
| 三、锅内处理的注意事项 | 418 |
| § 10-4 锅炉的排污 | 419 |
| 一、锅炉排污的目的 | 419 |
| 二、锅炉排污量的确定 | 419 |
| 三、锅炉的排污方式 | 422 |
| 四、锅炉的排污装置 | 422 |
| 第十一章 锅炉腐蚀及防护 | 426 |
| § 11-1 金属腐蚀类型及腐蚀速度 | 426 |
| 一、金属腐蚀的分类 | 426 |
| 二、金属腐蚀速度 | 427 |
| 三、金属腐蚀速度的测定方法 | 428 |
| § 11-2 电化学腐蚀的基本原理 | 428 |
| 一、原电池及电极反应 | 428 |
| 二、原电池的极化 | 432 |
| 三、去极化作用 | 435 |
| 四、金属的钝化 | 437 |
| § 11-3 电化学腐蚀过程 | 439 |
| 一、腐蚀电池 | 439 |
| 二、腐蚀电池与腐蚀形态 | 440 |
| 三、Fe-H ₂ O体系电位-pH图 | 445 |
| § 11-4 工业锅炉的腐蚀及其防止 | 449 |
| 一、工业锅炉及其系统的腐蚀类型 | 449 |
| 二、锅炉氧腐蚀的防止 | 454 |

| | |
|---------------------|-----|
| 三、锅炉停用时的腐蚀及防止 | 461 |
| § 11 5 耐腐蚀材料及防腐蚀涂料 | 466 |
| 一、耐腐蚀材料 | 466 |
| 二、防腐蚀涂料 | 467 |
| 第十二章 锅炉化学清洗 | 475 |
| § 12-1 水垢的种类及其分析方法 | 475 |
| 一、水垢的分类及组成 | 475 |
| 二、水垢的取样及鉴定方法 | 476 |
| 三、水垢化学成分的测定 | 479 |
| § 12-2 锅炉酸洗除垢 | 483 |
| 一、酸洗除垢机理 | 483 |
| 二、酸洗过程中缓蚀剂的应用 | 483 |
| 三、锅炉酸洗工艺 | 490 |
| § 12-3 碱洗除垢及栲胶除垢 | 503 |
| 一、碱洗除垢 | 503 |
| 二、栲胶除垢 | 504 |
| 附 录 | 507 |
| 一、常见元素的原子量和当量 | 507 |
| 二、常用化合物的分子量和当量 | 507 |
| 三、酸、碱电离常数 | 509 |
| 四、溶度积和溶解度 | 509 |
| 五、常用药剂性能 | 510 |
| 六、常用溶液密度 | 512 |
| 七、有关单位换算 | 516 |
| 八、水分析常用的仪器 | 518 |
| 九、钢管水力计算表 | 520 |
| 十、常用符号字母表 | 534 |
| 十一、生活饮用水水质标准 (1976) | 535 |
| 十二、主要炉型水容积 | 536 |
| 编 后 | 537 |
| 元素周期表 | |

第一章 绪 论

锅炉是生产蒸汽或热水的换热设备。实现换热过程必须用水作为传能的介质。锅炉运行时，燃料在炉膛内燃烧，使炉水温度升高或变为蒸汽。热水和蒸汽的热能供给生产和生活方面使用。锅炉用水的水质好坏对于锅炉的安全运行和能源消耗有很大影响。

为了提高锅炉的热效率和降低制造锅炉的钢材消耗量，设计者和制造厂千方百计地改革锅炉的结构和炉型。但是，如果水质不良，造成锅炉受热面上结垢和金属腐蚀，他们的目标就无法实现。由此可见，锅炉水处理是很重要的。

随着生产的发展，锅炉设备日益广泛地应用于现代工业的各个部门，成为发展国民经济的重要热工设备之一。从蒸汽的应用方向来看，可将锅炉分成两大类：一类是用于动力、发电方面的锅炉，称为动力锅炉；另一类是用于工业生产中加热、蒸煮、干燥，或厂房及生活用房的采暖和热水供应方面的锅炉，称为工业锅炉。本书编写的任务，就是介绍工业锅炉用水的处理及水质分析。

§ 1-1 工业锅炉及锅炉房

锅炉水处理的目的，就是保证锅炉的安全和经济运行。因此作为锅炉水处理工作者，首先需要了解锅炉的构造和工作过程。

一、锅炉房设备的组成

锅炉房的设备包括锅炉本体和它的辅助设备。水处理设备就是锅炉辅助设备之一，如图 1-1。

1. 锅炉本体

锅炉本体是锅炉房的主体设备，它主要由以下各部分所组成：

(1) 汽锅 它是由锅筒（又称汽包）和水管管束，以及一些联箱和水冷壁管组成的一个封闭的热交换器，通过与烟气相接触的受热面，其中的水被高温烟气加热而产生饱和蒸汽。所以，过去所谓炉外、炉内水处理应称为锅外、锅内水处理；炉水应称为锅水。

(2) 炉子 是工业锅炉中应用较为普遍的一种燃烧设备，它包括炉排和炉膛。炉子的作用，主要是使燃料能够不断地经济有效地燃烧。

(3) 蒸汽过热器 是一种附加受热面，其作用是使汽锅中产生的饱和蒸汽继续受热而成为过热蒸汽。

(4) 省煤器 是锅炉中常见的尾部受热面。它使给水未进入汽锅前在其中先得以预热，从而也降低了排出烟气的温度，减少排烟带走的热量损失。

(5) 空气预热器 有的炉子由于燃烧的需要，将供给燃料燃烧的空气在空气预热器中加热。空气预热器一般在烟道尾部的最后，也是利用排出烟气废热的一种附加受热面。

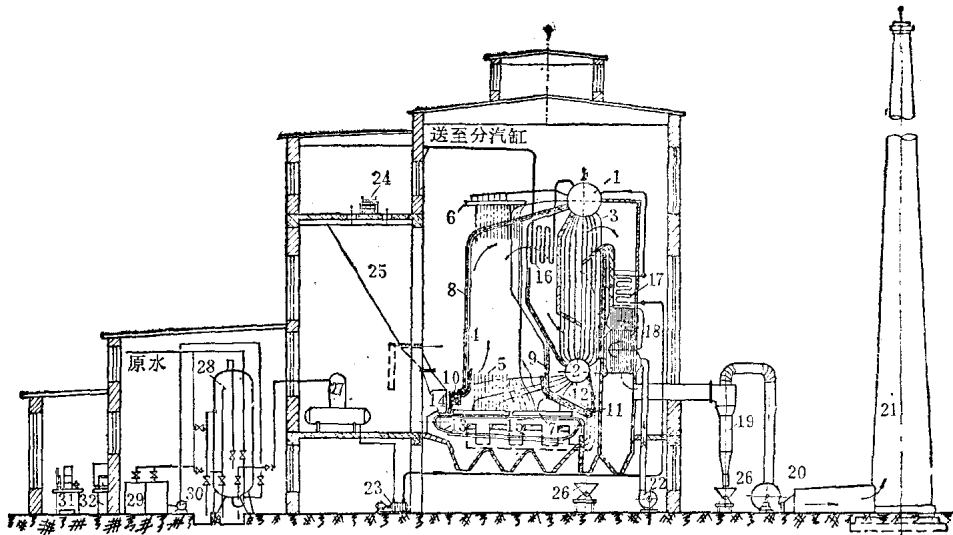


图 1-1 锅炉房设备简图

1—上锅筒；2—下锅筒；3—对流管束；4—炉膛；5—侧墙水冷壁；6—侧墙水冷壁上联箱；7—侧墙水冷壁下联箱；8—前墙水冷壁；9—后墙水冷壁；10—前水冷壁下联箱；11—后水冷壁下联箱；12—下降管；13—链条炉排；14—加煤斗；15—风仓；16—蒸汽过热器；17—省煤器；18—空气预热器；19—除尘器；20—引风机；21—烟囱；22—送风机；23—给水泵；24—运煤皮带运输机；25—煤仓；26—灰车；27—热力除氧器；28—离子交换软化器；29—食盐溶液箱；30—食盐水泵；31—化验台；32—烘箱、天平放置台

(6) 仪表附件 为了锅炉安全运行，蒸汽锅炉必须装置安全阀、水位表及压力表。产生过热蒸汽的锅炉，还要设置温度表。阀门附件还有主汽阀、排污阀及给水逆止阀等。

在锅炉本体中，汽锅和炉子是最主要的部件，其他附加受热面都是按照实际需要而增设的。例如，工业锅炉一般很少设置蒸汽过热器，而省煤器则是广泛增设的尾部受热面。

2. 锅炉房的辅助设备

锅炉房的辅助设备可以分为四个系统：

(1) 运煤除灰系统 为保证燃料的运入和灰渣的排除，锅炉房中专门设置一套运煤除灰设备。如图 1-1 中为皮带运输将煤送入煤斗，煤靠自重从煤斗沿输煤管滑至炉排。除灰用手推车运出。此外，为了改善环境卫生，减少从烟囱飞逸的烟尘的污染，装有烟气除尘器。

(2) 引、送风系统 为保证不断向炉子里供给燃料燃烧所需要的空气，及不断将炉子里产生的烟气排除，锅炉房中设有引、送风设备。空气由送风机经过空气输送道而送入炉内；烟气则经烟气道、引风机以及烟囱向外界排除。

(3) 水、汽系统 包括水处理设备、水箱、水泵、除氧器以及连接管道和管道附件，蒸汽管道及管道附件，分气缸等设备。其作用是保证供给锅炉合乎质量的给水，及将锅炉产生的蒸汽向外输送。

(4) 仪表控制系统 为监督锅炉设备的安全、经济运行，除了锅炉本体上的仪表外，还应设有运行操作盘及各种监督仪表，如低读水位计、蒸汽流量计、烟温计、风压表、氧量表或二氧化碳指示计，以及监督各设备的电流表和电压表等等。

这些系统中的设备并非每个锅炉房都完全相同，而是随着锅炉的容量、型式、燃烧特性、燃烧方式、水质特点、地区特点和用户经济条件等诸因素因地制宜，根据实际需要而进

行配置。

二、锅炉的工作过程

锅炉工作过程包括以下三个同时进行的过程：

1. 燃料燃烧过程

以图 1-1 所示锅炉为例，这是目前应用较为普遍的链条炉排锅炉。锅炉的炉子设置在汽锅前方，燃料在加煤斗中借自重下落到炉排面上，炉排借电动机通过变速齿轮箱减速后，由链轮带动，犹如皮带运输机，将燃料带入炉内。燃料边燃烧边向后移动。燃烧需要的空气，是由风机送入炉排下的风仓，再向上穿过炉排到达燃料层。与燃料进行燃烧反应，形成高温烟气。燃料燃烧后所残留的灰渣，在炉排末端翻过除渣板（俗称老鹰铁）后排出炉外。烟气借助引风机的作用，通过烟道经烟囱排入大气。这个过程称为燃料燃烧过程。

进入炉内的燃料由于种种原因不可能完全燃烧放热。而燃烧放出的热量也不会全部有效地用于生产蒸汽或热水，所以在燃烧过程中必然要损失掉一部分热量。我们把用于生产蒸汽或热水的热量，称为总有效吸热量。锅炉的总有效吸热量与送入锅炉的全部热量（即燃料具有的热量）的百分比称为锅炉的热效率。一般燃煤工业锅炉的热效率只有 60~75%。即送入锅炉的全部热量只有 60~75% 被有效利用，而 25~40% 的热量损失了。如果锅炉受热面上结垢，其热量损失将明显增加。

2. 烟气向水、汽的传热过程

锅炉内燃料燃烧的区域称为炉膛。由于燃料燃烧放热，炉膛内温度很高，可达 1400~1600℃ 以上。在炉膛四周的墙面上，布置有成排的水管，俗称水冷壁。水冷壁管即获得了很大的单位面积吸热量，同时又起到了冷却炉膛而保护炉膛的作用。高温烟气与水冷壁进行强烈的辐射换热，将热传递给管内的水、汽混合物。烟道为烟气流过的通道，为了延长烟气在烟道中流通的时间，使锅炉受热面充分地进行热交换，炉子内设有挡火墙，使烟气呈“S”形迂回前进。烟气在引风机和烟囱的吸引下，流出炉膛后，加热一组垂直放置的蛇形管，称为蒸汽过热器，使汽锅中产生的饱和蒸汽在此得到过热。烟气流经过热器后又掠过接胀在上、下锅筒的管束，由于烟气在此是以对流换热方式传递热量，所以称其为对流管束。

为了充分地利用烟气的余热，将烟气再与设置在锅炉尾部的省煤器和空气预热器进行热交换，从而降低排烟温度，提高锅炉的热效率。所以，烟气在烟道里流动的过程，是一个温度不断下降的过程。

3. 水的汽化过程

经处理后的水，由给水系统送入省煤器，在省煤器中的水，边流动边受热，而使水温不断升高。然后，水由省煤器流入汽锅。水在汽锅中不断循环流动，而成为汽水混合物。借助上锅筒内装设的汽水分离设备，以及在锅筒本身空间中的重力分离作用，使汽水混合物得到了分离。饱和蒸汽从锅筒顶部引出后流经蒸汽过热器，继续受热而成为过热蒸汽；而分离下来的水仍回落到锅筒下半部的空间，并仍在汽锅内进行循环，再受热继续产生蒸汽。这个过程称为水的汽化过程。

虽然锅筒内设有汽水分离装置，但从锅筒引出的饱和蒸汽，多少总会带出部分水分。特别是在汽水分离装置的分离效果不好时，蒸汽带水就更为严重。当炉水含盐量高时，会使蒸汽品质变坏。如果锅炉装有蒸汽过热器，所带水滴会在过热器中蒸发，其中的盐分便沉积于

过热器的内壁上，导致过热器管的阻力增加和传热变差，所以容易使过热器烧坏。即使没有装设过热器的锅炉，由于蒸汽携带水分和盐类过多，也难以满足生产上的要求。并且还会引起供热管网的水击和腐蚀。因此，在水的汽化过程中，对汽水进行有效地分离和降低炉水的含盐量，是保证蒸汽品质的重要措施。

三、锅炉的基本特性

锅炉的特性，就是说明锅炉容量、蒸汽参数及经济性的指标，通常采用下列几项来表示：

1. 蒸发量

指蒸汽锅炉每小时所生产的额定蒸汽量，用以表征锅炉容量的大小。单位是“吨/时”或“千克/时”。工业锅炉一般从0.2~20吨/时。热水锅炉则用产生的热量来表征锅炉容量的大小。旧式单位为“大卡/时”。如管架式热水锅炉有60万、120万及200万大卡/时等。国际制单位为“瓦特”

$$1 \text{ 大卡/时} = 1.163 \text{ 瓦特}$$

2. 蒸汽（或热水）参数

锅炉产生蒸汽的参数，是指锅炉出口处蒸汽的额定压力（表压力）和温度（℃）。对生产饱和蒸汽的锅炉而言，一般只标明蒸汽压力，对生产过热蒸汽（或热水）的锅炉，则需标明蒸汽（或热水）的压力和温度。工业锅炉最常见的参数为5、8、13千克力/厘米²的饱和蒸汽。国际制单位为“帕斯卡”简称帕。用符号Pa表示。

$$1 \text{ 千克力/厘米}^2 = 98066.5 \text{ 帕斯卡} \\ \approx 0.1 \text{ 兆帕}$$

3. 受热面蒸发率或发热率

受热面是指汽锅、蒸汽过热器及省煤器等与烟气接触的金属总表面积。也就是烟气与水或蒸汽进行热交换的表面。单位为“米²”。

每平方米受热面每小时所产生的蒸汽量，就称为锅炉受热面的蒸发率，用千克/米²·时表示。但各受热面所处的烟气温度水平不同，它们的受热面蒸发率也有很大差异。例如，炉内辐射受热面的蒸发率会达80千克/米²·时左右；又如对流管受热的蒸发率只有20~30千克/米²·时。因此，对整台锅炉的总受热面来说，这个指标只反映蒸发率的一个平均值。

热水锅炉则采用受热面发热率这个指标，即每平方米受热面每小时能生产的热量，单位为千卡/米²·时。热量的国际制单位为焦耳，简称焦。

$$1 \text{ 卡} = 4.1868 \text{ 焦}$$

一般蒸汽工业锅炉的受热面蒸发率小于30~40千克/米²·时；热水锅炉的受热面发热率小于20000千卡/米²·时（83736千焦/米²·时）。

受热面蒸发率或发热率愈高，则表示传热好，锅炉所耗金属量少，锅炉结构也紧凑。这一指标常用来表示锅炉的工作强度，但不能真实反映锅炉运行的经济性。如果锅炉排出的烟气温度很高，受热面蒸发率虽大，但未必经济。

值得注意的是，锅炉受热面蒸发率大的部位，炉水浓缩迅速，在受热面上就有结成水垢的危险。

4. 锅炉的热效率