

# 工业锅炉安全 与节能

薄荫佑 编

## 工业锅炉安全与节能

薄荫佑 编

工人出版社出版（北京安外六铺炕）

新华书店北京发行所发行

北京印刷二厂印刷

开本787×1092毫米 1/32 印张：19 字数：413,000

1986年3月第1版 1986年3月北京第1次印刷

印数：1—13,570册

统一书号：15007·16 定价：3.95元

## 写在前面的话

为了适应在四化建设中各企业、事业工业锅炉安全与节能的需要，编写了这部《工业锅炉安全与节能》。

工业锅炉的安全与节能，仿佛象一个人的两条腿，缺一不可。

本书着重介绍工业锅炉的一些基本知识、设备结构、安全因素、节能途径以及水质、检修、自动化、热工测试、消烟除尘等方面的管理知识，可供工业锅炉技术人员、管理人员、司炉人员以及节能工作人员学习、培训和设计人员参考之用。

本书尽量采用通俗易懂的语言，汇集大量实践经验总结而成，有些节能技术尽量作了理论阐述，但由于本人水平所限未能阐述清楚，希望读者给予批评指正。

本书在收集、编写过程中，承蒙天津市技协节能技术中心组全体同志支持、帮助，特别是郝培嵩、刘万成工程师，曹振江、弓敬之、韩吉忠、刘文学、冯锡庆等老师傅，锅炉技术协会理事长冯家彦工程师及全体同志，供热技术协会陈鹏及全体同志，天津大学讲师赵芝敏、郑长印同志，天津市劳动局工程师蒋梓鲲、石增年同志，天津市科协余热利用研究会理事长高级工程师武瑞恒等同志，他们积极热情提供资料，帮助审核，最后由李天无同志审定。在此表示衷心感谢。

编者

# 目 录

绪 论	1
<b>第一章 工业锅炉基本知识</b>	
第一节 化学基本知识	5
第二节 工业锅炉生产工艺构成	10
第三节 工业锅炉基本特性	16
第四节 水和水蒸汽	30
第五节 燃料	45
第六节 燃烧	72
第七节 锅炉金属材料	90
<b>第二章 工业锅炉设备</b>	
第一节 工业锅炉炉型及结构	101
第二节 工业锅炉的燃烧设备	128
第三节 锅炉的附属设备	176
第四节 锅炉的辅助设备	180
第五节 主要安全附件	204
第六节 一般附件	227
<b>第三章 工业锅炉的安全运行与事故处理</b>	
第一节 概述	240
第二节 锅炉的安全运行	242

第三节	锅炉事故分析和处理	258
-----	-----------	-----

## 第四章 工业锅炉的维修

第一节	检修的管理工作	278
第二节	锅炉修理项目	279
第三节	工业锅炉的除垢	284
第四节	承压部件的检修	297
第五节	水压试验	307
第六节	锅炉的检验	309
第七节	锅炉安装检修投产前的工作	311

## 第五章 锅炉的经济分析及提高锅炉热效率的措施

第一节	锅炉的热平衡	318
第二节	锅炉热效率	321
第三节	锅炉毛效率和净效率	323
第四节	锅炉的煤水比	324
第五节	锅炉的各项热损失	325
第六节	提高热效率的措施	328
第七节	锅炉经济小指标	338

## 第六章 工业锅炉燃烧技术的改进

第一节	概述	340
第二节	层燃炉强化燃烧技术	342
第三节	固定炉排炉上燃式燃烧技术	355
第四节	逆程往复炉排锅炉燃烧技术	369
第五节	沸腾燃烧技术	374
第六节	旋风燃烧技术	394

第七节	小型煤粉燃烧技术·····	397
第八节	燃油锅炉的节能技术·····	399
第九节	燃气锅炉的节能技术·····	407

## 第七章 工业锅炉供热技术的改进

第一节	普通热水锅炉的节能·····	412
第二节	汽水两用锅炉·····	417
第三节	高温水供暖·····	427
第四节	射水式强化换热·····	445

## 第八章 余热利用

第一节	锅炉烟道余热的利用·····	457
第二节	废热水的利用·····	460
第三节	工业余热的利用·····	463
第四节	热泵·····	465
第五节	化学除灰·····	467
第六节	多级锅炉给水泵因地制宜抽级改造·····	470
第七节	风机节能改造·····	472
第八节	保温和油漆·····	474

## 第九章 锅炉的自动调节

第一节	锅炉的自动化概念·····	478
第二节	气动及电动单元组合仪表·····	481
第三节	锅炉给水自动调节·····	485
第四节	燃烧调节系统·····	487
第五节	汽温汽压调节系统·····	492
第六节	联锁方法·····	494

## 第十章 锅炉给水处理

第一节	锅炉用水的基本知识	495
第二节	锅炉的炉内水处理	502
第三节	锅炉的炉外水处理	509
第四节	锅炉设备的腐蚀及其防止	525

## 第十一章 工业锅炉的消烟除尘

第一节	概述	536
第二节	烟尘和二氧化硫的产生	537
第三节	消烟	540
第四节	除尘	542
第五节	国外除尘技术	555
第六节	脱硫	559

## 第十二章 工业锅炉热平衡测试

第一节	准备工作	562
第二节	测试用的仪器和设备	563
第三节	测试条件及要求	564
第四节	测试的项目	566
第五节	测试方法	567
第六节	热平衡的有关计算	572
第七节	测试报告	585

## 绪 论

锅炉是工农业生产和人民生活中广泛使用的重要设备。最新的统计数字表明：全国除电站、机车锅炉外还约有二十七万台，其中蒸汽锅炉十九万多台，热水锅炉七万多台。这就是说全国拥有锅炉的单位达十万多个，它直接关系到各行各业的生产和千百万人的生活。

锅炉如果设计、制造不合理或者使用管理不当，会发生爆炸事故，锅炉一旦爆炸后果是十分严重的。上个世纪美国密西西比河上一台船舶锅炉爆炸，炸死和淹死的达一千三百多人。<sup>1</sup>905年波士顿一家制鞋厂的锅炉爆炸，死五十八人，伤一百一十七人，整个街区被炸毁。近半个世纪以来各工业先进国家都注意了锅炉安全和经济运行问题。制订了严格的法规和标准，设立了专门的监督检查机构。从设计、制造、安装、使用、检验、修理直到报废都在加强管理。所以，近年来在这些国家锅炉爆炸事故已经罕见。可以说已基本上消灭了恶性爆炸事故。对锅炉热效率和消烟除尘、保护环境等工作也都要求很严格。例如：法国政府法令规定燃煤的锅炉热效率不能低于74%。对排出烟气中粉尘、氧化氮及氧化硫等污染物质的含量也都有明文加以限制。

1955年我国天津国棉一厂一台10吨/时锅炉爆炸，死伤七十七人。总结国内外经验教训，国务院决定在劳动部门设立锅炉压力容器安全监察机构。1982年国务院又颁发了《锅炉压力容器安全监察暂行条例》，明确指出做好这项工作对经济建设



和保障人民生命财产的重大意义。几年来，由于对制造厂和安装单位进行了整顿，对司炉工、焊工、水处理工等进行了培训、考核，制订了有关制度，锅炉的安全状况有了较大改进。例如：1982年检验了九万多台锅炉，其中报废处理的有六千多台，降压使用的有二千台，存在一定缺陷需要修理后才能使用的有九千多台。从事故分析中也可以看出近几年来锅炉质量方面已开始有好转。三年前由于锅炉设计、制造、安装质量不好而发生爆炸事故的比例在25%以上，特别是不合技术标准，非正规锅炉制造厂造的土锅炉爆炸事故更突出。近两年来这个数字已降到10%以下。这就是说，目前要着重抓锅炉的操作和管理问题，因为90%以上的爆炸和重大事故原因已不是因为锅炉本身有毛病，而是因为没管好、用好。有些很好的锅炉，甚至是新锅炉，由于司炉人员缺乏知识，无证操作或纪律松懈，发生缺水事故，锅炉被烧塌或爆炸了。据统计，这类缺水事故占45%以上。另有一部分锅炉事故约18%是由于水处理未搞好造成的，如锅炉因结生水垢而鼓包、堵管或腐蚀穿孔，甚至烧坏报废。所以，当前需要着重抓锅炉房的管理、司炉人员的技术培训和思想教育；要制订科学的管理制度、正确的奖罚条例，调动管理和操作锅炉人员的积极性，为“四化”建设作出贡献。在保证安全的基础上管好和用好锅炉的另一项重要任务就是节能。全国中小锅炉的耗煤量每年达二亿吨，节约1%就是二百万吨。所以锅炉节煤，提高热效率是当前提高经济效益、缓和能源供应紧张状况的重要措施之一。党的十二大提出，到本世纪末，在提高经济效益的前提下，力争使我国工农业总产值翻两番。而所需能源有一半要靠节约。

大量的实践数据证明：锅炉里结了水垢，热效率就会大

大降低。水垢厚1~5毫米就可能多浪费燃料5~25%。据1977年的调查资料估计，当时由于全国较普遍的忽视锅炉水处理问题，每年要浪费一千多万吨煤，烧坏一千多台锅炉。因此，在组织调查后原国家计委于1977年11月批发了劳动局的报告，提出了要抓好锅炉水处理的具体措施。例如：要制定标准，组织经验交流，培训干部，落实措施以及开展科研等等。

锅炉结不结垢关键在于炉水的品质。所以司炉人员不仅要“看火”，注意“汽压”和“水位”，还要了解水质情况，掌管好进水和排污工作。对中小低压锅炉来说最主要是控制好炉水的碱度，按国家标准把炉水碱度控制在二十毫克·当量/升或稍低一些。这样不仅防垢、防腐效果好，而且排污热损失也小。对司炉工来说这是节能的一条重要诀窍。有些地区水质情况是既有一定的硬度又有相当的碱度，适宜于采用部分给水离子交换法，这样做只要软化一部分给水，可省盐、省电，又可以减少不适当的排污，节省能源。

要想锅炉安全节能必须用科学的方法真正管好、用好、见实际效果、出经济效益，归根到底还要靠锅炉房的广大操作管理人员提高责任心和技术水平，认真细致地做好本职工作。所以我们要进一步组织好锅炉节能竞赛，实行奖励制度，打破“大锅饭”，不仅要把大家动员起来，而且工作要抓深抓细，真正见到实效。

锅炉既是一个能量转换设备，同时又是使水不断变汽在炉内起着化学和物理变化的设备。司炉人员不仅要会烧炉子，还必须懂得炉子里面的变化。要做到：进炉的水杂质应尽量越少越好，进炉以后水不断变汽输出，水中杂质应该让它能通过排污排出炉外，而不要在炉内形成水垢。管锅炉的人必

需管水质、管水处理，组织锅炉节能竞赛时应该把水处理列为重要内容，要组织锅炉水处理人员参加竞赛，司炉人员和水处理人员要密切配合，特别是在检查、评比锅炉房工作时必须检查水质情况和锅炉结垢情况。要按国家标准来衡量，这应该是锅炉节能竞赛的重要指标之一。

目前全国约有司炉工六十五万人（其中经过学习考核，发给操作证的有六十万人），如果加上水处理等有关人员则不亚于八十万人。我们对这个队伍的责任、劳动条件、技术水平、思想工作等情况和特点，应该认真调查研究和体察。针对社会上对司炉工存在的一些偏见和不正确的看法，我们要努力宣传管好用好锅炉的重要性，当一个先进司炉工的光荣和重大责任。我们应该进一步抓好锅炉节能竞赛和奖励，以及其他有关工作，为开创锅炉安全与节能的新局面，为促进“四化”建设而奋斗。

# 第一章 工业锅炉基本知识

## 第一节 化学基本知识

为了研究工业锅炉的安全与节能的问题，必须对一些化学基本知识进行了解。

### 一、物 质

我们平常所说的物质是指实物，实物是占有空间和具有质量的任何东西。在宇宙中所有的物体都占有空间和具有质量，所以它们都是由物质组成的。实际物质占有空间这个性质，通常很容易通过我们的视觉和触觉而能感觉到它。

一种纯净的物质可以定义为任何一种物质（实物），它的所有样品都具有相同的化学性质、物理性质和组成。比如纯水，不管是深井水、河水，它们都有2.0158份重的氢对15.9994份重的氧，并都有相同的熔点、沸点和其他性质。再比如，糖和盐可以通过它们的味道而区分。铁和金子可以通过颜色区分。

物质，有三种不同状态，即固体、液体和气体。

处于固体状态的物质是坚实的，具有确定的形状并具有一定的体积，它的体积几乎完全与温度和压力的变化无

关。

液体能够流动，因而它以容器的形状为自己的形状，所不同的液体要取得水平的表面。液体几乎不能被压缩（仅有微压缩），有实际工作的体态。

气体状态（蒸汽）的物质，它的形状和体积因容器形状而定。气体容易被压缩，也能无限地膨胀。

## 二、混 合 物

一种混合物是由两种或多种实物（物质）所组成，每种组成物质都保持自己的同一性质和特有性质。混合物的组成可以有连续性的变化。如炮竹的火药是炭、硫磺和硝酸钾的固体混合物；食盐水溶液和白糖水就是液体混合物；空气是由氮气、氧气、二氧化碳、水蒸汽和其他气体组成的气体混合物。

由于混合物中的每一种组元保持它自己的特性，各个组元可以用物理方法加以分离。

## 三、元 素

实物分成两类：元素和化合物。元素是不能通过化学变化加以分解的纯净物质。

现在已经知道有106种元素。在自然界中发现的元素有88种，其他18种元素是人工合成的，在88种中有11种组成地壳和大气的99%（见表1-1），其中氧几乎占一半，硅占四分之一，还有四分之一的元素以单质存在自然界，其他都以同别的元素相化合而存在。

表1-1

元素的符号及原子量

元素名称	元素符号	原子量	在大气和地壳中的 百分含量%
氧	O	16.00	49.2
硅	Si	28.09	25.67
铝	Al	26.98	7.50
铁	Fe	55.85	4.71
钙	Ca	40.08	3.39
钠	Na	22.99	2.63
钾	Ka	39.10	2.40
镁	Mg	24.31	1.93
氢	H	1.008	0.87
钛	Ti	47.90	0.58
氯	Cl	35.45	0.19
磷	P	30.97	0.11
锰	Mn	54.94	0.09
碳	C	12.01	0.08
硫	S	32.06	0.06
钡	Ba	137.34	0.04
氮	N	14.007	0.03
氟	F	19.00	0.03
锶	Sr	87.63	0.02
其他		0.47	0.47

#### 四、化 合 物

化合物是含有两种或多种元素的、并能被化学反应所分解的物质。化合状态的元素不同于自由状态或未化合态的元素。如白糖是由元素碳组成的，而自由状态的碳是黑色的固体。另外，糖中还含有氧与氢，但未化合前它们都是无色的。

如果把糖在没有空气的容器中加热，就分解成碳和水。水是一种化合物，被电解以后就分解成氢与氧。世界上的物质大多数都是以化合物状态存在。

表1-2 常用物质比热表 (c)

物质名称	比 热	物质名称	比 热
铅	0.2122	钢筋及素混凝土	0.20
铁	0.1138	地沥青混凝土	0.40
钢	0.1225(1.25%碳)	干木板	0.60
黄铜	0.0917	软木板	0.50
铜	0.0928(40%锌)	橡 胶	0.36
镍	0.1084	沥 青	0.40
锡	0.0556	玻 璃	0.199
铂	0.0320	瓷 器	0.22
铸铁	0.1300	酒 精	0.58
银	0.0309	汽 油	0.50
水银	0.033	煤 油	0.50
石棉	0.195—0.20	机 油	0.40
青红砖	0.22	石 灰	0.14
耐火生粘土	0.26	耐火砖	0.20—0.27

## 五、分 子

组成物质的最小极限微粒，但这微粒仍保持原物质的特性，这种具有原来物质特性又不能再分下去的稳定的极限微粒叫分子。比如水，不管怎么分只要不分解成氢、氧还是水粒，如果把一滴水看成地球那么大，水分子可大约如乒乓球大小。一亿个水分子排起来，约一英寸长。

## 六、原 子

我们把原子定义为，一种元素能够参加化学反应的最小微粒。如碳的一个原子可以同两个氧原子化合而成为  $\text{CO}_2$  分子。当一种元素的分子仅含有一个原子时，叫单质。

## 七、腐蚀及侵蚀

金属表面在周围介质的作用下，由于化学或由化学作用的结果而产生的破坏现象称腐蚀，锅炉设备发生的化学腐蚀最典型的是在高温情况下钢材的水蒸汽腐蚀，亚硝酸盐的分解而引起的锅炉金属腐蚀，以及锅炉金属在周围介质作用下所发生的酸性和碱性腐蚀。

金属表面在机械因素作用下所受到的破坏现象称侵蚀。如锅炉的加热面受飞灰的磨损，输送灰浆的泥浆泵叶轮及管道的磨损。

## 八、溶 液

一种物质能够在另一种物质中溶解，并能够形成稳定、均匀的液态体系，这个过程为溶解过程，这个液态体系称为溶液。能够溶解其他物质的液体叫溶剂；能够被溶剂溶解的物质叫做溶质。

在一定温度下，溶质在 100 克溶剂里制成饱和溶液时所溶解的克数，叫做这种物质在该溶剂里的溶解度。例如在  $20^\circ\text{C}$  时，100 克水中制成饱和溶液时最多能够溶解氯化钠 35.9 克，那么就是说，在  $20^\circ\text{C}$  时，氯化钠的溶解度是 35.9 克。



## 九、电 解 质

构成导电性溶液的物质叫做电解质。能够导电的熔融物质也是电解质。电流通过溶液或通过熔融物质使电解质或溶剂分解的过程为电解。大多数电解质是酸、碱或盐。不导电的溶液物质叫做非电解质。

## 第二节 工业锅炉生产工艺构成

### 一、概 述

锅炉是生产蒸汽或高温热水的密闭压力容器。是锅和炉的合体。锅是容水产汽（或热水）的部分，也就是汽、水系统。炉是燃料燃烧放热的部分，也就是煤、风、烟、灰系统。锅炉就是汽水系统和煤、风、烟、灰系统的统一体（如图1-1）。

汽水系统由省煤器、汽包、对流管束、水冷壁、过热器等组成（如图1-2）。

煤、风、烟、灰系统由给煤斗、炉排、空气预热器、风室、烟道、烟囱、灰斗、除灰车等组成（如图1-3）。

为了满足锅和炉工作的需要，还要与之建立相应的附属系统：上煤系统、通风系统、除灰系统、给水系统、供汽系统、仪表自动化系统等。

上煤系统由储煤场将煤混配好，由运送机械送至煤仓，进入煤斗，然后随炉排送入炉内燃烧。

通风系统由鼓风机将空气送入空气预热器，使进入炉膛的风温提高，很快与燃料在高温状态下进行剧烈的氧化燃烧反应，产生很多的热燃气，将热传给汽水系统，燃气温度下