



中华人民共和国人力资源和社会保障部 编

锅炉安全

劳动部职业安全卫生监察局 主编

劳动人事出版社

内 容 简 介

本书为全国劳动保护专业干部和企业安全技术干部培训的教材。其主要内容包括：锅炉基础；锅炉燃烧设备；锅炉结构；锅炉安全附件；锅炉受压与安全；锅炉受热与安全；锅炉水质与安全；锅炉安全运行与管理；锅炉检验；热水锅炉安全等。

本书供劳动保护专业干部、安全技术干部及锅炉安全监察人员使用，也可作为大中专院校有关专业的师生学习、参考。

锅 炉 安 全

劳动部职业安全卫生监察局主编

责任编辑 任萍

劳动人事出版社出版

(北京市和平里中街12号)

华新科技印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

787×1092毫米 32开本 9.625印张 214千字
1990年3月北京第1版 1990年3月北京第1次印刷
印数：10100册

ISBN 7-5045-0478-5/TK·014 定价4.25元

前 言

近十年来,劳动保护事业迅速发展,劳动保护、安全生产成为四化建设的重要组成部分。为了适应劳动保护工作的法制化、科学化和标准化的需要,适应劳动保护监察工作的需要,劳动部职业安全卫生监察局组织有关部门的专家编写了一套劳动保护干部培训教材。

这套教材是以党的劳动保护方针为指导,以国家颁布的劳动安全卫生条例、规程、标准为依据编写的,努力反映国内外劳动保护科学技术的新发展,反映我国劳动保护管理和立法监察工作的新发展,坚持科学性和实用性相结合的原则,力求准确地阐述和介绍劳动保护专业各门学科的基本原理和基础知识。

本书是这套教材中的一种,由刘清方、吴孟娟编写。

这套教材供全国培训劳动保护专业干部和企业安全技术干部使用,同时可作为大中专院校安全工程专业的学习参考书。

劳动部职业安全卫生监察局

目 录

绪言.....	1
第一章 锅炉基础.....	3
第一节 锅炉基本概念和术语.....	3
第二节 水和水蒸气的热力学性质.....	7
第三节 锅炉燃料及其燃烧.....	11
第四节 锅炉通风.....	22
第五节 锅炉中的传热.....	25
第六节 锅炉热平衡.....	30
第七节 锅炉水循环.....	34
第八节 锅炉钢材.....	45
第二章 锅炉燃烧设备.....	48
第一节 锅炉燃烧方式及燃烧特性.....	48
第二节 层燃炉.....	52
第三节 沸腾炉.....	63
第四节 煤粉炉.....	67
第五节 燃油炉.....	74
第三章 锅炉结构.....	81
第一节 锅炉分类及结构概述.....	81
第二节 锅壳式锅炉.....	90
第三节 小型水管锅炉.....	98
第四节 卧式水火管锅炉.....	113
第四章 锅炉安全附件.....	116

第一节	安全阀	116
第二节	压力表	122
第三节	水位表和水位警报器	126
第四节	排污装置	134
第五章	锅炉受压与安全	139
第一节	锅炉中压力的产生	139
第二节	锅炉元件的承压能力	142
第三节	锅炉受压元件的水压试验	169
第六章	锅炉受热与安全	174
第一节	温度对钢材机械性能的影响	174
第二节	高温蠕变	179
第三节	锅炉构件的热膨胀和热应力	183
第七章	锅炉水质与安全	193
第一节	水中杂质及其对锅炉的危害	193
第二节	水质指标及水质标准	198
第三节	炉外水处理	203
第四节	炉内水处理	215
第五节	给水除氧	219
第六节	除垢	224
第八章	锅炉安全运行与管理	228
第一节	锅炉启动与停炉	228
第二节	锅炉运行中的监督调节	237
第三节	锅炉事故	245
第四节	锅炉停炉保养	259
第九章	锅炉检验	262
第一节	运行中锅炉受压元件的常见缺陷	262
第二节	锅炉检验	267

第十章 热水锅炉安全.....	276
第一节 热水锅炉的基本知识.....	276
第二节 热水锅炉的安全问题.....	284
附录 I 本书常用的国际单位与工程单位换算表.....	293
附录 II 饱和水蒸气表.....	295

绪 言

我们可以从下述三个方面了解锅炉安全的重要性。

一、锅炉在工业生产和日常生活中应用十分广泛

作为提供蒸汽或热水介质及提供热能的设备，锅炉广泛应用于电力、机械、化工、轻工、纺织，造纸等工业部门，交通运输部门和日常生活中。由于各种工业企业的生产性质和规模不同，所用蒸汽的数量和参数不同，相应锅炉的容量、结构、性能也各不相同。

电力工业是为发展工农业生产提供电能的先行工业，火力发电是目前世界上所采用的各种发电方式中的主要方式，锅炉则是火力发电的三大主机之一。火力发电厂所用的锅炉通常称作电站锅炉，一般容量较大，蒸汽参数高，结构比较复杂，性能也比较完善。

其他工业企业利用锅炉产生的蒸汽来加热、干燥其他物料或驱动其他设备，这些工业企业使用的锅炉叫做工业锅炉。工业锅炉的容量相对小些，蒸汽参数较低，结构比较简单，性能常较电站锅炉为差，但数量巨大，在国民经济中占据着重要的地位。

公共设施及日常生活中，也到处涉及到锅炉。城乡居民供暖、服务行业使用蒸汽热水以至公众饮水都离不开锅炉。除供暖锅炉外，生活中使用的锅炉一般是不承压的。值得注意的是，生活使用的不承压锅炉在一定条件下也有爆炸的可能。

二、锅炉的工作条件恶劣，影响因素复杂

（一）承受温度压力

锅炉的汽水系统由密闭的容器、管道组成，在工作中承受一定的温度和压力，属于受火加热的压力容器，比常温下的压力容器更易损坏。

（二）接触腐蚀性的介质

锅炉金属表面一侧要接触烟气、灰尘；另一侧要接触水或蒸汽，有腐蚀、磨损及沾污堵塞的可能，使锅炉设备比其他机械设备更容易损坏。

（三）维持连续运转

无论电站锅炉还是工业锅炉，一旦投入运行，就要维持连续运转，不能任意停炉，如果发生事故被迫停炉，就会影响正常的生产和生活，造成很大的损失。因而锅炉常有带“病”运行并把小“病”拖成大“病”的可能。

（四）复杂系统的协同动作

一台锅炉是一个复杂的系统，锅炉本体一般包括很多部件、零件，此外还有很多辅机、附件，锅炉的运转需要整个系统的协调动作，其中任何环节发生故障，都要影响锅炉的安全运行。

三、锅炉爆炸是灾难性的

锅炉受压元件的损坏，特别是锅炉筒体的爆炸，具有巨大的破坏力，不仅毁坏设备本身，而且损坏周围的设备建筑，并常常造成人身伤亡，后果严重。

综上所述，锅炉用得普遍，容易损坏，损坏后果严重，对锅炉安全绝不能等闲视之。因此，我国同世界上其他国家一样，把锅炉作为一种特殊设备，由各级专门机构对其安全进行监督。锅炉的设计、制造、安装、运行、维修、改造、检验等都必须依据国家有关部门颁发的规范、标准进行。

第一章 锅 炉 基 础

第一节 锅炉基本概念和术语

一、锅炉及锅炉规格

锅炉是一种能量转换设备。在锅炉中通过燃料燃烧，将燃料的化学能转变为燃烧产物的热能；再通过传热将热能传给载热工质——水，并使水的状态发生改变，成为满足工业或生活需要的蒸汽或较高温度的水。简言之，锅炉是生产蒸汽或加热水的设备。生产蒸汽的锅炉叫蒸汽锅炉，加热水而不把水转变成蒸汽的锅炉叫热水锅炉。

锅炉中的工作过程，包括燃料燃烧释放能量的化学过程，燃烧产物通过金属壁向水汽传热的过程及水汽流动中吸热变态的过程，是一个包括物理化学变化的综合过程。

顾名思义，锅炉包括“锅”和“炉”两大部分，工程上的锅炉比起生活中的简单锅灶来，尽管本质上没有什么不同，但从结构形状，尺寸和技术要求来说，二者已有巨大差异。“锅”发展成为锅内系统或水汽系统，由一系列容器和管道组成，盛装水汽并使水汽不断吸热流动。这些容器管道因功用、结构不同而专门命名，分别叫做锅筒、水冷壁、对流管束、省煤器、过热器等。“炉”发展成为炉内系统或风煤烟系统，由送煤送风装置、炉膛、燃烧装置、烟道、排烟除渣装置等组成，是燃料燃烧、烟气流动并向水汽传热的场所。一台锅炉工作时，锅炉本身是固定不动的（机车船舶锅炉例

外), 但锅炉中烧着火加热着水, 锅炉内进行着复杂的 化学反应和物理变化, 锅炉中的煤、渣、风、烟、水、汽都在不停地运动。因而锅炉中还有一系列附件、仪表、辅机以维持锅炉正常运转。

锅炉规格指锅炉提供蒸汽或加热水的能力, 以产生蒸汽的数量及参数表示。

锅炉单位时间内产生蒸汽的数量称做锅炉的蒸发量, 也称锅炉的容量或出力, 通常以吨/时表示。

锅炉铭牌上标写的蒸发量是锅炉的额定蒸发量。即在规定的蒸汽参数和给水温度下, 锅炉连续运行所必须保证的最大蒸发量。

热水锅炉的容量以单位时间中水在锅炉内的吸热量表示。

锅炉蒸汽参数, 通常以锅炉主汽阀出口处蒸汽的压力和温度表示。

目前用以表示蒸汽压力的单位是 MPa (表压), 用以表示温度的单位是 $^{\circ}\text{C}$ 。

送入锅炉中水的温度叫给水温度。给水温度也是确定锅炉内工质吸热量的基本参数。我国规定, 工业锅炉的给水温度应分别为 20°C , 60°C 及 105°C 。

锅炉的容量和参数是特定的, 互相匹配的, 而不是任意的。一般是容量越大, 参数也越高。锅炉的容量参数已经系列化, 并已纳入国家标准。

二、常用的锅炉专业术语

(一) 受热面与受压元件

受热面是指把燃烧产物与水汽工质隔开的金属壁面。受热面把燃烧产物的热量传给水汽工质并承受工质的压力, 既

受热又承压，工作条件极其恶劣，是完成锅炉工作职能的基本结构。

受压元件是锅炉中按几何形状划分的基本承压单元。如一个封闭的承压圆筒，就可以分为圆筒形的筒身及凸形封头两大承压元件，圆筒上的接管、人孔及人孔盖则又是另外的受压元件，即一个封闭的承压结构往往包括不止一个受压元件。结构的承压能力与结构的几何形状有很大关系，所以受压元件是以几何形状为基础的。

承压锅炉的受热面包含的都是受压元件，但受压元件不一定都直接受热，所以不都是受热面。

（二）火焰与烟气

燃料在锅炉中燃烧后，主要形成气体燃烧产物。燃料燃烧放出的热量首先加热气体燃烧产物本身，使之升温到很高的温度，然后燃烧产物通过受热面把热量传给水汽，而燃烧产物本身的温度不断降低。

通常把温度高于 900°C 的燃烧产物叫做火焰，也叫高温烟气；把温度小于或等于 900°C 的燃烧产物叫做烟气。

（三）炉膛与烟道

锅炉中用砌砖或金属形成的供燃料燃烧的空间，叫炉膛，也叫燃烧室。现代锅炉炉膛中一般贴墙布置受热面，使火焰与受热面进行辐射换热，所以严格说来，炉膛是燃料燃烧及火焰与受热面进行辐射换热的场所。

燃烧产物离开炉膛后，经过烟道流向烟囱。烟道中通常也布置有受热面，燃烧产物流经烟道时，将热量继续经过受热面传给工质，本身的温度继续不断降低。所以烟道是燃烧产物流动及与受热面进一步换热的通道。一般说来，燃烧产物的温度从炉膛到烟道是逐次降低的，在炉膛内是火焰，出

了炉膛进入烟道就很快降温成烟气了，所以烟道是烟气流通过及换热的通道。

(四) 蒸发与沸腾

二者都是指液体的汽化现象，但基本含义是完全不同的。

蒸发是指在各种温度下液体表面的汽化现象，如晒干或晾干衣服，雨后地面上水的逐步干燥等都属于蒸发现象。

沸腾是指在特定温度下主要发生在液体内部的强烈汽化现象。这个特定温度叫液体的饱和温度，饱和温度随液面上气压的高低而升降，如水在大气压力下的饱和温度大约是 100°C 。

在锅炉技术中，习惯于把蒸发与沸腾混用，并用蒸发代替沸腾。如把布置在炉膛四周的受热面称做蒸发受热面，实质上是沸腾受热面。

(五) 锅炉热效率

锅炉中水汽工质吸收的热量占送入锅炉总热量的百分数，称作锅炉的热效率。热效率是反映锅炉性能的一个主要指标，取决于锅炉的设计结构、制造安装质量及运行管理水平。

(六) 锅炉容水量

锅炉水汽系统在某一瞬间容纳的水量与锅炉蒸发量之比，称做锅炉的容水量或者相对容水量。

锅炉容水量实际上是一个时间概念，与锅炉的安全运行有密切关系。如甲乙两台锅炉都容纳2吨水，但甲炉的蒸发量是10吨/时，乙炉的蒸发量是1吨/时，则对甲炉来讲，如不加水，它容纳的水 $\frac{1}{5}$ 小时即12分钟即能烧干；而对乙炉来

讲，它容纳的水2小时才能烧干。一旦供水出现故障，两炉产生缺水事故的危險是显著不同的，从这个角度讲，容水量大的锅炉似乎好些。但容水量大时，锅炉的筒体体积必然大，需要耗费更多的钢材；调节压力要慢一些，一旦破裂造成的损害也更严重。

第二节 水和水蒸气的 热力学性质

一、水的基本性质和热力参数

水是无色、无味、无臭的液体，化学性质稳定，在自然界含量丰富，价格低廉，易于获得。水具有良好的载热性能，在受热或失热过程中，随温度和压力的变化而分别呈现液态、固态及气态三种形态。在大气压力下，水降温至 0°C 时就结成冰，呈固态，其中在 -4°C 时的冰体积最大；而升温至 100°C 时沸腾汽化，变成水蒸气。水和水蒸气是锅炉及其他动力设备中的基本载热质，在热力学中通常将它们合称为工质。反映水和水蒸气热力学性质的基本参数是温度、压力、比容、比热、焓等。

压力严格讲指的是压强，即单位承载面积上受到的液体或气体的压力。液体内部某一点的压力 P ，取决于液面上气（汽）体的压力及所在点距液面的高度，即液体内部某一点的压力等于液面气压与液柱压力之和。值得注意的是，在液体内部某一点，对各个方向的压力都是相等的。

比容是单位质量的水或水蒸气所占据的体积，即 $\text{米}^3/\text{千克}$ ，通常以 v 表示。水在不同温度和压力下的体积变化很小，因而水的比容随温度和压力的变化幅度不大；但水变化

成水蒸气时,体积要增大几百倍甚至上千倍,比容变化十分显著;水蒸气的比容因温度及压力的不同也要发生显著变化。

比热是单位质量或体积的物质温度升高 1°C 所需要的热量,即千焦/千克 $\cdot^{\circ}\text{C}$ 或千焦/米 $^3\cdot^{\circ}\text{C}$ 。比热通常以 C 表示。不同物质的比热不同;同一物质在不同状态,不同温度下的比热也不同。平常说到比热,往往是某种物质在某一温度范围内平均比热的概念。另外,比热的大小通常与加热过程的特点有关,同一种物质在定压情况下加热或定容情况下加热,比热是不相同的,前者叫定压比热,以 C_p 表示,后者叫定容比热,以 C_v 表示。

焓又称热焓,是单位质量的工质在加热过程中吸收的总能量,单位是千焦/千克,通常以 i 或 h 表示。工质在受热过程中,温度、压力、比容都可能变化,工质温度的变化体现了工质内能 u 的增加,工质压力、比容的变化体现了工质压力能 pv 的增加。工质的焓是其内能与压力能的总和。可记作 $i = u + pv$ 。

二、工质的定压加热过程

在锅炉正常运行中,锅炉内工质受热汽化的过程近似于一个定压加热过程,即工质的压力基本不变(实际上因存在流动阻力工质边流动边降压)而温度、比容及状态不断变化的过程。这个过程可以分为三个阶段:

(一) 水的预热阶段

如前所述,水的沸腾是在特定温度下进行的,这个温度叫水的饱和温度,水的饱和温度随水面上的汽压而改变。水承受的压力越高,相应的饱和温度也越高。加入锅炉中水的温度一般低于所受压力之下的饱和温度,这样的水叫未饱和水,未饱和水在锅炉中逐步受热升温,直至升到饱和温度。

水在这个阶段吸收的热量叫预热热。水的初始温度距饱和温度越远，水的过冷度越大，则水达到饱和需要吸收的预热热就越多。

（二）饱和水的沸腾汽化阶段

水升温至一定压力下的饱和温度以后，即不再继续升温。此时的水如继续吸热，则部分转变为蒸汽，这部分蒸汽的温度与水的温度相同，是饱和温度下的蒸汽，叫饱和蒸汽。水吸热越多，转变成蒸汽的份额就越多。在水全部转变成蒸汽之前，不管蒸汽的份额多少，都是饱和蒸汽与饱和水共存的状态，此时的饱和蒸汽叫湿饱和蒸汽。换言之，湿饱和蒸汽是饱和蒸汽与饱和水的混合物。湿饱和蒸汽中蒸汽部分重量占汽水混合物总重量的比例，叫湿蒸汽的干度，以 x 表示。

在饱和温度下，如果饱和水全部转变成了蒸汽，其干度 $x=1$ ，则这样的饱和蒸汽叫干饱和蒸汽。

一千克饱和水全部转变为饱和蒸汽需要吸收的热量，叫汽化潜热。汽化潜热随压力的升高而减小，即在低压下把一千克饱和水完全汽化比着在高压下将一千克饱和水完全汽化需要加入更多热量。

（三）饱和蒸汽的过热阶段

很多工业锅炉是向外界用户提供饱和蒸汽的，对这些工业锅炉而言，不存在饱和蒸汽的过热阶段。但饱和蒸汽遇冷就要液化成水，使其在工业生产中的应用受到限制，所以一些工业锅炉及绝大多数电站锅炉都要生产过热蒸汽，即对饱和蒸汽继续加热，使其温度高出相应蒸汽压力下的饱和温度。高出饱和温度的多少叫蒸汽的过热度，过热度因工程需要而异，可以以几十度到数百度。具有一定过热度的蒸汽叫

过热蒸汽，在锅炉中工质由饱和蒸汽转变为过热蒸汽吸收的热量，叫过热热。

三、水蒸气爆炸

如前所述，锅炉爆炸具有巨大的破坏力，但这种爆炸和炸药的爆炸不同，不是化学能的释放，而是热能的释放，与工质的热力学特性密切相关。

经验证明，锅炉中容纳水及水蒸气较多的大型部件、元件，如锅筒、封头、管板、炉胆、集箱等，破裂时才会导致爆炸。正常工作时，这些容器中或者是水汽两相共存的饱和状态，或者是充满了饱和水，容器内的压力则等于或接近锅炉的工作压力，水的温度则是该压力对应的饱和温度。一旦该容器破裂，器内液面上的压力瞬即下降为大气压力，大气压力相对应的饱和温度是 100°C ，原工作压力下高于 100°C 的饱和水此时成了极不稳定、在大气压力下难于存在的“过饱和水”，其中的一部分即瞬时汽化，体积骤然膨胀许多倍。在容器周围空间形成爆炸。计算表明这样的爆炸主要是由水的瞬时汽化形成的，原来水面之上水蒸气的膨胀仅是次要因素，所以通常称作“水蒸气爆炸”，属于物理型爆炸的范围。

换言之，水的饱和温度取决于水面上的气压，对敞口的盛水器皿加热，水在 100°C 就汽化逸出，水的温度不会超过 100°C ，承受一定压力的水受热，水的温度才会超过 100°C 。承压且温度超过 100°C 的水，不论是否达到饱和状态，在突然卸压至大气压力时都会造成瞬时汽化，引起水蒸气爆炸。也就是说，热水锅炉虽然不生产蒸汽，但只要热水锅炉是承压的，水温又超过 100°C ，就有爆炸的危险，值得注意。

第三节 锅炉燃料及其燃烧

一、锅炉燃料

燃料是能够燃烧并释放出热量的物质。燃料在锅炉中燃烧并放出热量，是锅炉工作的首要环节。燃料性能的好坏对锅炉结构及工作性能，对锅炉的安全经济运行有直接的影响。要真正了解锅炉，首先必须了解锅炉燃料及其燃烧的基本性能及特点。

锅炉燃料按其物理形态可分为固态燃料、液态燃料、气态燃料等三大类。

固态燃料包括煤、页岩、木柴、甘蔗渣及可燃垃圾等。

液态燃料包括重油、渣油等。

气态燃料包括天然气、煤气及其他工业可燃废气等。

锅炉是燃料消耗量非常巨大的设备。锅炉可以燃用何种燃料或不宜燃用何种燃料，因国家和地区的资源情况及其他条件而异，不同国家往往有不同的燃料及能源使用方针，但有一点是相同的，即尽量不让锅炉直接燃用优质燃料，所以汽油煤油等轻质油不属于锅炉燃料之列。

我国锅炉以煤为主要燃料，且一般燃用劣质或中等质量的煤，而优先保证冶金、化工等行业使用优质煤，这对我国锅炉设备的设计、制造及运行技术提出了更高的要求。

二、煤的成份和煤质分析

（一）煤的成份

煤是古代森林长期深埋于地下形成的矿石燃料，其成份非常复杂，通常可分为碳、氢、氧、氮、硫、水分、灰分七大部分。其中碳、氢、硫是可燃成份，氧、氮是参与燃烧的