

锅炉安全工程学

北京经济学院安全工程系编

锅炉安全工程学

北京经济学院安全工程系

1984. 10.

编 者 的 话

锅炉是在生产和生活中广泛使用而又具有爆炸危险的设备。锅炉爆炸常造成惨重的损失。保证锅炉长期安全运行，具有重要的社会意义和政治意义，是安全工作的重要内容之一，正越来越受到人们的重视。

要保证锅炉安全，需要对锅炉的设计、制造、安装、运行，维修等各个环节进行严格的安全控制。为此，使有关人员特别是安全工程技术人员了解其中基本的知识就显得十分必要。

本书是为适应锅炉安全技术教育的需要而编写的。编写中力求理论联系实际，论述力求深入浅出，取材也力求新颖；书中附有较多图表，可供接触实际问题时选用。

本书由刘清方同志编写。编写中得到劳动人事部锅炉局、东方锅炉厂、清华大学热能工程教研室有关同志的指导及帮助，劳动人事部高级工程师李毅同志在百忙中审阅了书稿，特此致谢。由于编者水平有限，错误在所难免，欢迎批评指正。

1984.10

内 容 提 要

《锅炉安全工程学》是系统地介绍锅炉安全技术的一本教材。书中首先从安全工作的角度出发，简要地介绍了锅炉的基本原理、基本结构及基本计算，然后以主要篇幅介绍了锅炉的工作条件及钢材、应力分析及强度计算、焊接及其质量控制等内容。还包括锅炉安全附件、安全运行管理、水质处理、锅炉缺陷及检验等的基本知识。最后一章，专门介绍了热水锅炉及其安全问题。全书以工业锅炉安全为主，也涉及到电站锅炉主要的安全技术问题。

本书除供安全工程专业教学之用外，可供锅炉安全监察工作者、劳动保护工作者及其他有关人员参阅。

目 录

第一章 概述	(1)
第一节 锅炉及其工作条件	(1)
第二节 锅炉的规格和种类	(3)
第三节 锅炉的主要技术经济指标	(4)
第四节 锅炉受压过程	(4)
第五节 锅炉中蒸汽产生过程	(6)
第二章 锅炉结构	(7)
第一节 锅炉结构形式的发展	(7)
第二节 工业锅炉参数系列和产品型号编制办法	(8)
第三节 锅壳式锅炉	(11)
第四节 小型水管锅炉	(16)
第五节 卧式水火管锅炉	(25)
第六节 中大型锅炉结构简介	(27)
第七节 锅炉结构影响因素简介	(34)
第三章 燃料、燃烧及燃烧设备	(38)
第一节 锅炉燃料及其燃烧	(38)
第二节 燃烧计算	(44)
第三节 燃烧设备	(51)
第四章 锅炉热平衡	(68)
第一节 热平衡方程式	(68)
第二节 锅炉输入热量和有效利用热量	(69)
第三节 锅炉的各项损失	(70)
第四节 锅炉设计计算时的热平衡预算	(72)
第五节 锅炉热平衡试验	(74)
第五章 锅炉中的传热及热力计算	(76)
第一节 炉膛传热基本概念	(76)
第二节 炉膛传热计算中有关数值的确定	(80)
第三节 炉膛传热计算的步骤	(85)
第四节 对流受热面传热的基本概念	(86)
第五节 对流传热中主要数据的计算	(88)
第六节 传热与安全	(103)
第六章 锅炉水循环和汽水分离	(104)
第一节 锅炉水循环	(104)

第二节 汽水分离	(111)
第七章 锅炉通风计算	(116)
第一节 通风的种类	(116)
第二节 通风阻力计算	(118)
第三节 通风设备选择	(126)
第八章 锅炉工作条件与锅炉钢材	(129)
第一节 锅炉钢材工作条件	(129)
第二节 锅炉钢材在使用温度下的强度性能	(130)
第三节 长期高温时的钢材组织变化	(137)
第四节 钢材的脆性与脆化	(140)
第五节 锅炉钢材的腐蚀	(144)
第六节 锅炉钢材	(149)
第九章 锅炉主要受压元件的应力分析	(156)
第一节 回转壳体在内压作用下的应力	(156)
第二节 弯头在内压作用下的应力	(162)
第三节 承受内压圆平板的应力	(164)
第四节 圆筒壳的边界效应	(171)
第五节 厚壁圆筒在内压作用下的应力	(177)
第六节 锅炉元件中的热应力	(181)
第七节 应力分类的概念	(191)
第十章 锅炉受压元件的强度计算	(195)
第一节 一般规定	(195)
第二节 水管锅炉承受内压圆筒形元件的强度计算	(204)
第三节 水管锅炉凸形封头的强度计算	(217)
第四节 水管锅炉平端盖及平堵头的强度计算	(220)
第五节 开孔补强	(223)
第六节 锅壳式锅炉受压元件强度计算	(232)
第七节 锅炉受压元件的疲劳问题	(239)
第十一章 锅炉设计安全性的一些问题	(244)
第一节 锅炉受压元件及蒸发系统安全性	(244)
第二节 强制流动受热面的一些安全问题	(250)
第十二章 焊接及其质量控制	(256)
第一节 锅炉制造中常用的焊接方法	(256)
第二节 焊接材料	(260)
第三节 焊缝结构型式	(267)
第四节 熔化焊加热过程的有关概念	(268)
第五节 焊接接头的组织和性能	(271)
第六节 焊接应力与变形	(274)
第七节 预热和焊后热处理	(279)

第八节	焊接缺陷	(221)
第九节	焊接接头质量检验	(226)
第十三章	锅炉制造中的其他质量控制问题	(295)
第一节	锅筒成形与装配的质量控制	(295)
第二节	管件制造质量控制	(297)
第三节	胀管质量控制	(300)
第十四章	锅炉安全附件及阀门管道	(301)
第一节	安全阀	(301)
第二节	压力表	(310)
第三节	水位表和水位警报器	(312)
第四节	锅炉常用阀门及管道	(316)
第十五章	锅炉安全运行与管理	(322)
第一节	锅炉启动与停炉	(322)
第二节	锅炉正常运行中的监督调整	(327)
第三节	锅炉事故	(331)
第四节	锅炉停炉保养	(342)
第十六章	锅炉水质处理的基本知识	(344)
第一节	水中杂质及其对锅炉的危害	(344)
第二节	水质指标及水质标准	(349)
第三节	溶液中的一些平衡现象	(353)
第四节	炉外水处理	(356)
第五节	炉内水处理	(366)
第六节	给水除氧和除气	(368)
第七节	除垢	(371)
第十七章	锅炉受压元件在运行中的缺陷和破坏	(375)
第一节	运行中损害元件的主要因素	(375)
第二节	运行中锅炉受压元件的常见缺陷	(376)
第三节	锅炉检验的基本知识	(379)
第四节	锅炉元件的破坏形式	(383)
第十八章	热水锅炉及其安全问题	(390)
第一节	热水锅炉的基本知识	(390)
第二节	热水锅炉结构简介	(394)
第三节	热水锅炉的安全问题	(397)
附录 I	本书常用的工程单位与国际单位换算表	(402)
附录 II	水蒸汽性质表	(403)

第一章 概述

第一节 锅炉及其工作条件

锅炉是生产蒸汽的机械设备。我们通常所说的锅炉，是指把燃料的化学能转变为热能、再利用热能产生蒸汽的设备。顾名思义，锅炉包括“锅”和“炉”两部分。

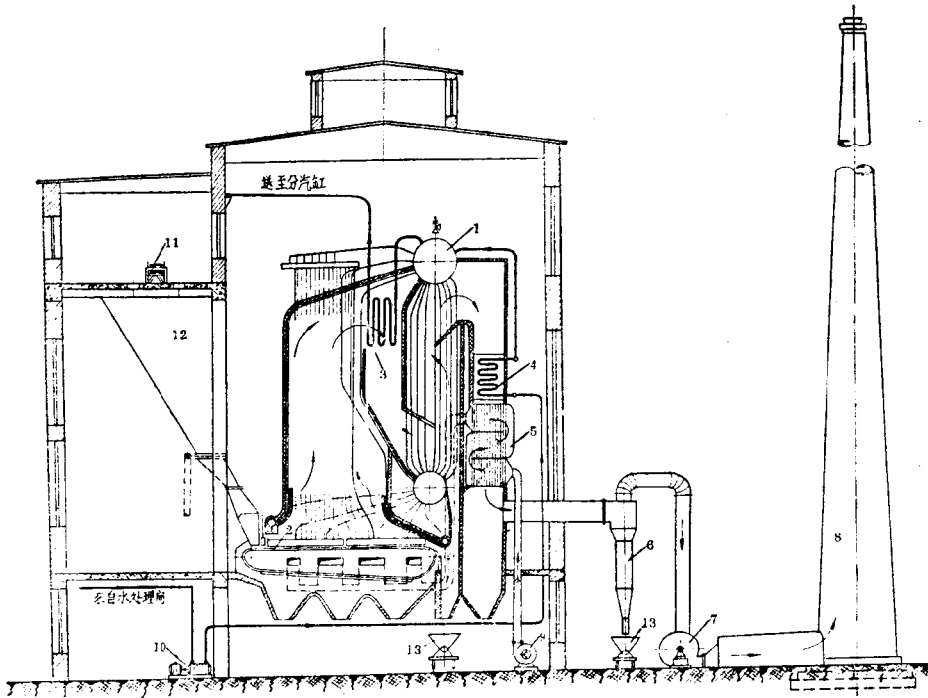
现代工业上使用的锅炉，种类很多，结构复杂。它已不是简单地具备“锅”和“炉”，而是具备复杂的锅内系统和炉内系统。锅内系统是使水受热变成水蒸汽的管道和容器，通常也叫汽水系统。炉内系统是进行燃烧和热交换的场所，通常也叫燃烧系统或风煤烟系统。锅炉就是汽水系统和燃烧系统的统一体。

汽水系统通常由给水设备、省煤器、锅筒、对流管束、水冷壁、过热器等组成。

燃烧系统通常由送风机、引风机、烟风管道、给煤装置、空气预热器、燃烧装置、除尘器、烟囱等组成。

图 1—1 是一台小型锅炉系统简图。

为了保证锅炉安全经济地运行，锅炉上还有各种安全附件和测量仪表，如：水位表、安



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—皮带运煤机；12—煤仓；13—灰车

图1—1 小型锅炉系统简图

全阀、压力表、测温装置等。

通常我们讲到锅炉，只是指上述两个系统的主要部分，即锅炉本体和燃烧设备。锅炉本体是指自省煤器进口联箱到过热器出口联箱的汽水系统，燃烧设备是指炉膛和燃烧器。

锅炉本体和燃烧设备合称锅炉设备。

锅炉广泛地应用于电力、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，所需要的锅炉在容量、结构、性能上也各不相同。

电力工业是发展工农业生产的先行工业，火力发电则是目前世界上所采用的各种发电方式中的主要方式。据统计，现在全世界火力发电占总发电量的75%以上。锅炉则是火力发电厂的三大主机之一。发电厂所用的锅炉（电站锅炉）一般是容量较大、蒸汽参数高、机械化自动化程度高、经济性和可靠性要求较高的锅炉，其结构常常比较复杂和完善。

其他工业企业所需要的锅炉，容量相对地小一些，蒸汽参数较低，结构比较简单，但是需要的数量却很大，在国民经济中也占据相当重要的地位。

从安全角度出发，锅炉通常又被叫做“直接火压力容器”，其工作条件是非常恶劣的。

锅炉的汽水系统由密闭的容器和管道组成，其中把汽水与烟气隔开的金属壁面，叫受热面。受热面是汽水系统的主要部分，它的主要作用是把烟气的热量传给汽水。省煤器、水冷壁、对流管束、过热器等都是受热面。空气预热器则是把低温烟气的热量传给空气的辅助受热面。锅壳式锅炉的炉胆、烟管也都是受热面。受热面承受汽水的压力，其温度高于汽水的温度。汽水系统中不直接受热的容器和管道，也都承受着汽水的温度和压力。整个汽水系统中的容器和管道都承受一定温度和压力，有爆炸或爆破的危险性。

无论电站锅炉或是工业锅炉，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，就会造成很大的损失，影响到各个有关方面，如电站锅炉发生事故停炉，就要少发电或造成局部停电，影响生产；如果供暖锅炉在严冬季节停炉，就要严重影响人民的生活。

锅炉内外表面要接触烟火、灰尘、水汽，有腐蚀、磨损、沾污、阻塞的可能，使得锅炉设备比其他机械设备更易损坏。如前所述，一台锅炉是一个复杂的系统。除了包括很多部件外，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。

锅炉受压元件的损坏，特别是锅筒的爆炸，不仅仅是把设备本身毁掉，而且损坏周围的设备建筑，甚至造成人身严重伤亡。例如：81年2月北京市某公社一台容量仅为0.4吨/时的锅炉因超压（工作压力5公斤力/厘米²）爆炸，将锅炉房及相邻的洗澡间、食堂等约150米²的建筑物全部摧毁，2吨重的锅炉上部飞出约500米，死6人，伤多人，整个单位（社办工厂）多日停产，损失之大是很难精确计算的。

因此，我国同世界上其他许多国家一样，把锅炉作为一种特殊的设备，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、改造等都必须依据国家有关部门颁发的规程、标准进行。

研究锅炉涉及到多种技术领域，其中包括：材料力学、金属学、热工学、传热学、流体力学、机械原理、金属工艺学等等，需要了解和综合利用多方面的知识。对安全技术工作者来说，我们研究锅炉，主要是从安全角度着眼的。当然，为了掌握锅炉安全知识，必须首先

了解一些锅炉的基本原理，基本结构和运行管理的一些基本知识，了解的重点是工业锅炉。

第二节 锅炉的规格和种类

一、锅炉规格的表达方法

由于锅炉是提供蒸汽的设备，所以锅炉的规格通常不以锅炉的尺寸或重量表示，而以锅炉所提供蒸汽的数量和参数表示。

锅炉在每小时所产生蒸汽的数量，称为锅炉的蒸发量，也可以称作锅炉的“出力”或“容量”，单位是吨/时。通常所说的蒸发量是指锅炉的“额定蒸发量”，即锅炉在规定的蒸汽参数和给水温度下，连续运行时所必须保证的最大蒸发量，锅炉铭牌上的蒸发量就是额定蒸发量。

采暖用的热水锅炉，通常用“万大卡/时”表示锅炉的容量。一般60万大卡/时的热水锅炉相当于蒸发量为1吨/时的蒸汽锅炉。

$$1 \text{ 吨/时} = 60 \text{ 万大卡/时}$$

我们从热工学中已经知道，表征水和蒸汽热力性质的参数很多，相互之间有内在的联系，知道了其中两个，就可以求出其余几个。通常用以表示锅炉规格的蒸汽参数是蒸汽的压力和温度。

$$\text{参数: } P, T$$

锅炉中把水加热成蒸汽的过程，是一个定压加热过程，知道了给水的温度和锅炉参数（蒸汽的压力和温度），按定压加热过程可以方便地求得蒸汽在锅炉中获得的热量，了解蒸汽做功或供热的本领。

压力的单位是公斤力/厘米²或工程大气压，通常用以表示锅炉参数的压力是表压力，即绝对压力与大气压力的差值。

温度的单位是℃。

我国锅炉的容量（蒸发量）和参数已经系列化，并已纳入国家标准，我们将在第二章介绍。

二、锅炉的种类

锅炉的种类非常多，分类的方法也各式各样。

锅炉按用途可以分为：电站锅炉，工业锅炉，机车锅炉和船舶锅炉等。

锅炉按容量可以分为：大型锅炉，中型锅炉，小型锅炉。习惯上，把蒸发量大于100吨/时的锅炉称作大型锅炉，把蒸发量为20吨/时至100吨/时的锅炉称为中型锅炉，把蒸发量小于20吨/时的锅炉称为小型锅炉。

锅炉按蒸汽压力可以分为低压锅炉（压力≤16表大气压），中压锅炉（压力为25表大气压和39表大气压），高压锅炉（压力为100表大气压），超高压锅炉（压力为140表大气压），亚临界锅炉（压力为170表大气压）和超临界锅炉（压力超过224表大气压，即高于临界压力）。目前我国还没有生产过中大型超临界锅炉。

按燃料种类和能源来源可以分为燃煤锅炉，燃油锅炉，燃气锅炉，原子能锅炉，废热（余热）锅炉。

按锅炉结构可以分为锅壳式锅炉（火管锅炉），水管锅炉和水火管锅炉（卧式快装锅炉）。

按燃料燃烧方式可以分为层燃炉，沸腾炉，室燃炉。

按工质流动方式可以分为自然循环锅炉，强制循环锅炉，直流锅炉等。

电站锅炉一般是压力较高（中压以上）、容量较大（中型以上），采用室燃方式的水管锅炉，又可以分为许多种。

工业锅炉一般容量较小（65吨/时以下），压力较低（25公斤力/厘米²及以下），大都采用层燃，结构型式和燃烧设备种类繁多，主要用于工业生产用汽及采暖、生活等方面。

工业锅炉的分类见表 1—1。

表 1—1 工业锅炉类型

分类方法	锅 炉 类 型	
按锅炉结构型式	锅壳式	立式横水管、立式弯水管、立式直水管、立式横火管、卧式内燃回火管等
	水管	单锅筒纵置式、单锅筒横置式、双锅筒纵置式、双锅筒横置式、纵横锅筒式、强制循环式等
	水火管	卧式快装
按燃烧设备	固定炉排、活动手摇炉排、链条炉排、抛煤机、倒转炉排抛煤机、振动炉排、下饲式炉排、往复推饲炉排、沸腾炉、半沸腾炉、室燃炉、旋风炉等	
按燃料种类	无烟煤、贫煤、烟煤、劣质烟煤、褐煤、油、气、木柴、甘蔗渣、稻壳、煤矸石、特种燃料、余热等	
按出厂型式	快装、组装、散装	
按供热工质	蒸汽、热水及其他工质	

第三节 锅炉的主要技术经济指标

锅炉的技术经济指标，主要包括锅炉的热效率、钢耗率及可靠性指标，这些指标能集中地体现一台锅炉经济性、安全性的好坏。

热效率：在锅炉正常运行中，输入锅炉的热量被有效利用的百分数，叫锅炉的热效率，通常用 η 表示。即

$$\eta = \frac{\text{水汽吸收的热量}}{\text{输入锅炉的总热量}} \times 100\% \quad (1-1)$$

钢耗率：制造锅炉时，相应于 1 吨/时蒸发量所耗用的钢材吨数，叫锅炉的钢耗率。单位为吨/吨/时。

可靠性指标：通常用连续运行时数或可用率来表示锅炉的安全可靠性。连续运行时数是指锅炉一次投运所能维持安全连续运转的小时数。

$$\text{可用率} = \frac{\text{总运行时数} + \text{总备用时数}}{\text{统计时间总数}} \times 100\%$$

第四节 锅炉受压过程

通常，压力容器所承受的内压力是通过外部机械（压缩机、泵）作功造成的。常见锅炉

受压与一般压力容器不同，锅炉受压是由锅炉中的燃烧传热过程造成的，或者说，锅炉中的内压力是烧出来的。

锅炉受压过程与日常生活中使用的压力锅相似，见图1—2。

生火前，通常在锅中加约半锅水，水上部的锅内空间充满着湿空气，其压力等于大气压力。生火加热到一定程度，水即开始沸腾变成蒸汽，由于水面上的压力是大气压力，水开始沸腾的温度接近100℃。

如果水面之上是敞口的，锅内产生的蒸汽全部跑到大气中去，则锅内即维持大气压力，不会升压。

如果水面之上的锅内空间完全是封闭的，锅内产生的蒸汽全部聚积起来，由于水变成蒸汽时体积大大增加，而锅内容纳气体的空间有限，锅内水面上的汽压将急剧升高，由于压力的升高，相应的水的饱和温度也提高，水中贮存的热量不断增加，水在更高的温度水平下汽化。如果燃烧和传热过程在继续，这个压力升高的过程也随之继续下去，直至压力超过锅体承载能力，酿成破坏事故。

实际上的锅炉生火升压过程介于上述两种情况之间：

锅内存汽空间接有排汽管，排汽管上有控制阀门。生火升压时，将阀门开到适当开度，使锅内产生的蒸汽只排掉一部分，或者说使锅内产生的蒸汽量大于排出的蒸汽量，则锅内上部的压力即逐步上升，直至所要求的蒸汽压力。此时调整排汽阀门的开度，维持锅内产生的蒸汽量等于排出的蒸汽量，锅内压力即大体维持不变，锅炉即进入正常的运行状态，即定压加热过程。

从能量平衡的观点看，锅炉从升压到正常运行是一个能量不平衡过渡到能量平衡的过程：

如果 Q = 单位时间内锅内蒸发系统从炉内系统吸收的总热量，大卡/时；

D = 单位时间内排出锅内的蒸汽量，公斤/时；

i'' = 排出蒸汽的焓，大卡/公斤；

i' = 给水的焓，大卡/公斤；

则锅炉升压时有：

$$Q > D (i'' - i') \quad (1-2)$$

锅炉正常运行时有：

$$Q = D (i'' - i') \quad (1-3)$$

故锅炉升压过程是锅炉贮积热能的过程。

锅炉正常运行是一个能量动态平衡的过程。如果这个动平衡被破坏，例如燃烧增强或减弱，传热变化，负荷（用户耗汽量）变化，都会引起锅炉压力的变化。

在系统地学习锅炉的各种基本概念之前，想深入分析锅炉压力的变化是困难的。但上述定性的分析已足以给我们引出有益的结论：

1. 一般锅炉承受的内压是自生压，是由锅炉中的燃烧、传热引起的。燃烧和传热，是导致锅炉受压的根源。

2. 一般锅炉承受的内压是可变压，导致压力变动的因素很多，主要有燃烧、传热、负荷

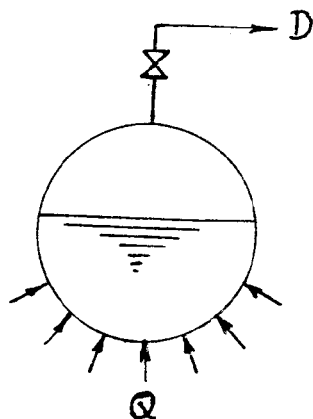


图1—2 锅炉升压过程示意

变化等。

因而，对一般锅炉来说，问题不在于能否产生内压，而在于能否承受和承受多大内压。任意一台锅炉都有产生内压的可能，但不是任意一台锅炉都有承压的能力。近年来，由于排汽管冰冻、结垢、人为堵塞等造成锅内压力升高而导致锅炉事故的不乏其例。这一点，应该引起每一个锅炉安全工作者的重视。

顺便指出，上述升压过程仅指自然循环锅炉而言，由于自然循环锅炉是应用得最为广泛和普遍的锅炉，所以我们说是一般锅炉或常见锅炉。强制循环锅炉的实际升压过程不同于自然循环锅炉，但强制循环锅炉同样有因燃烧和受热而升压的可能。

第五节 锅炉中蒸汽产生过程

在锅炉正常运行中，蒸汽产生的过程近似于一个定压加热过程。

由热力学可知，一定温度的水被加热成过热蒸汽，需要经历三个阶段：

预热阶段：送入锅炉的水（给水）吸收热量，温度不断升高，直至相应压力下的饱和温度。水在预热阶段吸收的热量叫预热带。

蒸发（沸腾）阶段：达到饱和温度的水继续吸热，其温度不再升高，但集态要发生改变，不断由水变成蒸汽，直至全部水变成蒸汽。此时蒸汽的温度和水的温度一样，是饱和温度。因而这样的蒸汽叫饱和蒸汽。

饱和温度与压力有关。一定压力对应一定的饱和温度，压力越高，饱和温度也越高，直到临界状态。

在饱和温度下，一公斤水全部变成蒸汽所吸收的热量叫汽化潜热。汽化潜热也是压力的函数，压力越高，汽化潜热的数值越小。

过热阶段：饱和蒸汽继续被加热，其温度继续上升，比容继续增加，直至所要求的温度。对于一定压力，高于饱和温度的蒸汽叫过热蒸汽，过热蒸汽吸收的热量叫过热带。

上述三个阶段在水蒸汽的状态图上，由线abcd表示（图1—3）。在PV图上，abcd为一条直线（定压线），在TS图上，bc段为一条直线，ab和cd段为两条曲线，b、c两点是折点。

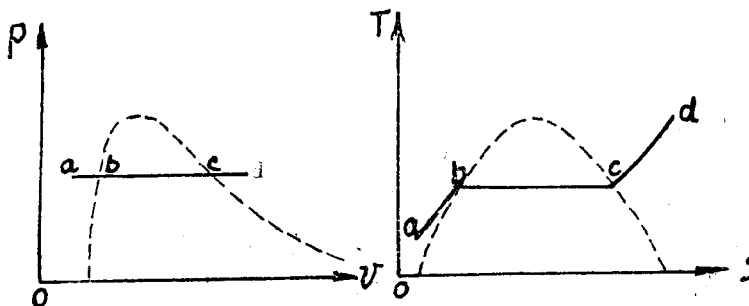


图1-3 锅炉蒸汽产生过程在状态图上的表示

锅炉中的水是在不断运动中被加热成蒸汽的。由于水汽的不断吸热运动，锅炉受热的金属壁面才不断被冷却，金属壁面的温度才不至上升到不允许的程度。

第二章 锅炉结构

第一节 锅炉结构型式的发展

锅炉结构型式的发展是与工业生产的需要及科学技术的进步紧密联系的。早期的工业锅炉出现于18世纪后期的英国，由于产业革命，蒸汽开始在工业上得到应用，因而出现了生产蒸汽的锅炉设备。这种锅炉是圆筒形的，结构简单，却十分笨重，蒸发量很小，蒸汽参数和锅炉效率都很低。随着工业生产的发展，要求增大锅炉蒸发量，提高蒸汽压力和温度，提高锅炉效率，降低金属消耗量，锅炉的结构型式也相应不断发展。

如图2—1所示，锅炉结构型式的发展是沿着两个方向进行的。

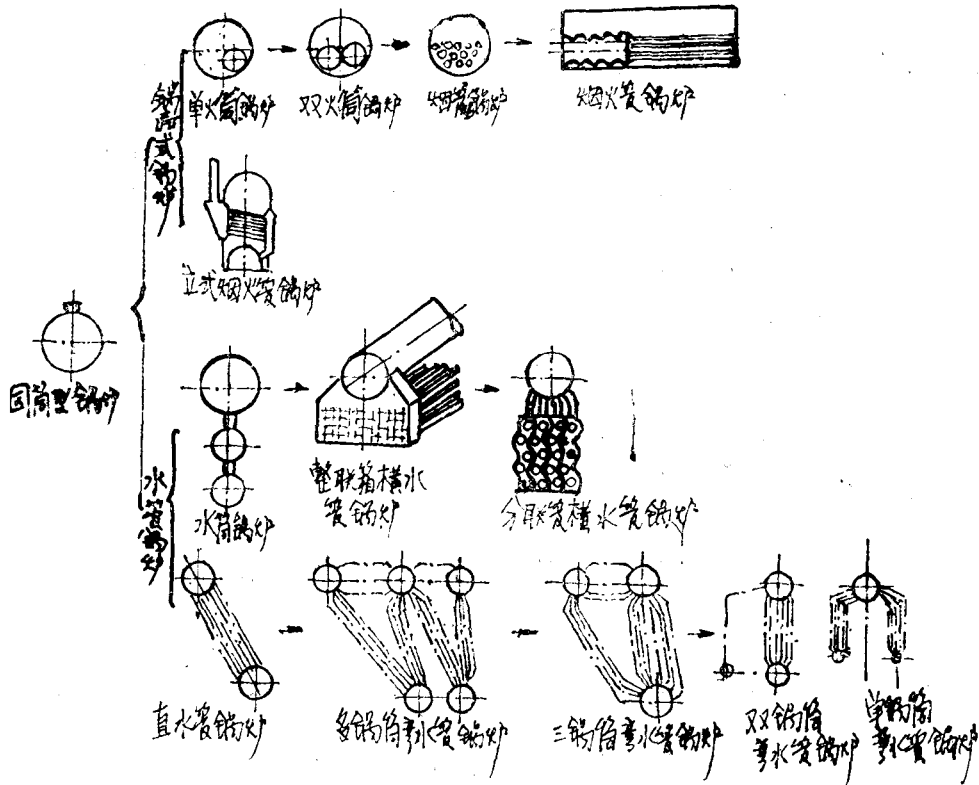


图2-1 锅炉结构型式的发展

一个方向是在圆筒形锅炉的基础上，在圆筒内部增加受热面，先后出现了单火筒锅炉（柯尼希锅炉）、双火筒锅炉（兰开夏锅炉）及各种烟管锅炉。根据圆筒体放置位置的不同，这类锅炉又有立式和卧式之分。我国目前把这类火管锅炉称作**锅壳式锅炉**。其基本特点是在大圆筒（锅壳）之内装设小圆筒、管子或其他形状的壳体，并把大圆筒与小圆筒、管子

等之间完全隔绝，形成夹套，夹套之中容水，而小圆筒、管子等充作燃烧室和烟道容纳火焰或烟气。

由于燃烧系统和汽水系统都被限制在一个锅壳内，因而这种锅炉的蒸发量、蒸汽参数都受到限制，燃烧效果和传热效果差，锅炉效率很低。从安全角度看，燃烧系统布置在锅壳内，使锅壳及内部构件直接受热，工作条件变差；锅壳的承载能力被各种开孔严重减弱，形状和结构趋于复杂。加上这类锅炉水容量较大，储热较多，一旦破坏释放能量大，因而，这类锅炉安全性能较差，事故的破坏性较大。

但这类锅炉对负荷变动的适应能力较好，对水质的要求较低，维护检修较方便，烟风阻力较小，一般采用自然通风。因而在一些小型工业部门、交通运输及生活采暖部门中，目前还广泛使用这种锅炉。当然，现代锅壳锅炉的具体结构、材料、制造质量、工作性能等，都远非原始锅壳锅炉所能比较的了。

另一个方向是在圆筒外部增加受热面积。即突破锅壳筒体的限制，在锅筒之外设置燃烧室和受热面，形成并发展“水管锅炉”。沿着这个方向，人们先后造出了水筒锅炉、直水管锅炉、弯水管锅炉。连接水管的锅筒则经历了一个由少变多，又由多变少的过程，目前常见的是双锅筒弯水管锅炉及单锅筒弯水管锅炉。

水管锅炉，特别是弯水管锅炉的出现，是锅炉发展史上的一次飞跃。它在结构上为增大锅炉蒸发量、提高蒸汽参数提供了可能，因为在锅筒外边可以设置足够大的炉膛，布置足够的受热面。而管式受热面直径较小，可以承受更高的压力，弯水管弹性较好，可以承受热胀冷缩。燃烧技术、传热技术、冶金技术、制造工艺、水处理技术及热工控制技术的进步，使提高锅炉容量、参数的可能迅速变为现实，并使锅炉的经济性、安全可靠相应提高。

水管锅炉的汽水系统由管子、联箱和锅筒组成，其系统远比锅壳式锅炉复杂，但其元件结构却很简单。其锅筒不直接受热，工作条件较锅壳式锅炉的筒体优越。直接受热的管子即使爆炸，其危害性也远较筒体爆炸为小。

现代的高参数大容量锅炉全部是水管锅炉。

在六十年代中期，我国出现了同时具备水管锅炉及锅壳式锅炉结构特点的水火管锅炉——卧式快装锅炉。二十多年来，这种锅炉在我国发展很快，目前成为国内数量最大的一种锅炉，但其结构性能有待进一步完善。

第二节 工业锅炉参数系列和产品型号编制办法

在具体介绍锅炉结构和工作原理之前，有必要介绍一下锅炉参数系列和产品型号。

锅炉参数和容量不是随意的，而是特定的，这一方面体现了锅炉参数与容量相互间的适应性，即一定的参数与一定的容量相对应，参数的提高与容量的增大相一致；另一方面也体现了锅炉附属设备对锅炉的适应性及锅炉对用汽设备的适应性。我国锅炉的参数容量已形成系列并纳入国家标准。工业蒸汽锅炉的参数系列如表 2-1 所示。

表中所列额定出力系指锅炉燃用设计燃料时，在设计参数下的铭牌蒸发量。

在额定出力及额定出口蒸汽压力之下，锅炉出口过热蒸汽温度的偏差应不大于 $\pm 20^{\circ}\text{C}$ 。

锅炉的给水温度分 20°C 、 60°C 、 105°C 三档，由制造厂在设计时酌情取定。

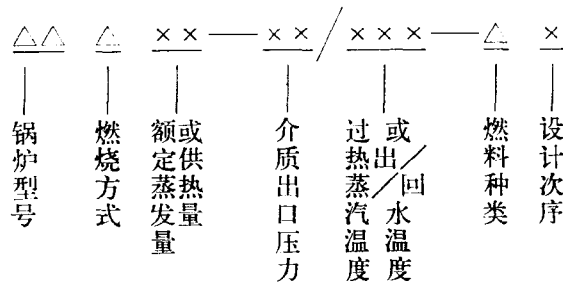
工业锅炉的产品型号，必须按照标准规定的方法编制。产品型号由三部分组成，中间用

表 2—1

我国工业蒸汽锅炉的参数系列 (GB1921—80)

额定出力 (吨/时)	额定出口蒸汽压力 (表大气压)											
	4		7		10		13		16		25	
	额定出口蒸汽温度 (°C)											
	饱和	饱和	饱和	饱和	饱和	350	饱和	350	饱和	饱和	400	
0.1	△											
0.2	△											
0.5	△	△										
1	△	△	△									
2	△	△	△	△			△					
4		△	△	△			△		△			
6		△	△	△		△	△	△	△	△		
10		△	△	△		△	△	△	△	△	△	
15			△	△			△	△	△	△	△	
20			△	△		△	△	△	△	△	△	
35				△			△	△	△	△	△	
65				△			△					

短线相连。其形式如下:



型号第一部分表示锅炉型式、燃烧方式、额定蒸发量或额定供热量。共分三段: 前两个“△”是两个汉语拼音字母, 表示锅炉总体型式, 各字母所表示具体意义见表 2—2 及表 2—3; 后一个“△”是一个汉语拼音字母, 表示不同的燃烧方式, 见表 2—4; 最后的两个“××”是两个阿拉伯数字, 表示锅炉额定蒸发量或额定供热量。

型号的第二部分表示介质参数, 共分两段, 中间以斜线相隔开。第一段用阿拉伯数字表示介质出口压力 (表大气压或公斤力/厘米²); 第二段用阿拉伯数字表示过热蒸汽温度或出水温度/回水温度, 蒸汽温度为饱和温度时, 型号的第二部分无斜线和第二段。因饱和温度取决于压力, 型号中的介质压力即间接表示了饱和温度。

型号第三部分表示燃料种类和设计次序。共分两段, 前面一个“△”是一个汉语拼音

表 2—2 锅壳式锅炉总体型式代号

锅炉总体型式	代 号
立 式 水 管	L S (立水)
立 式 火 管	L H (立火)
卧 式 外 燃	W W (卧外)
卧 式 内 燃	W N (卧内)

表 2—3 水管锅炉总体型式代号

锅炉总体型式	代 号
单 锅 筒 立 式	D L (单立)
单 锅 筒 纵 置 式	D Z (单纵)
单 锅 筒 横 置 式	D H (单横)
双 锅 筒 纵 置 式	S Z (双纵)
双 锅 筒 横 置 式	S H (双横)
纵 横 锅 筒 式	Z H (纵横)
强 制 循 环 式	Q X (强循)

表 2—4 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 (固)	振 动 炉 排	Z (振)
活 动 手 摇 炉 排	H (活)	下 饲 炉 排	A (下)
链 条 炉 排	L (链)	沸 腾 炉	F (沸)
往 复 推 动 炉 排	W (往)	半 沸 腾 炉	B (半)
抛 煤 机	P (抛)	室 燃 炉	S (室)
倒 转 炉 排 加 抛 煤 机	D (倒)	旋 风 炉	X (旋)

字母及相应的罗马数字，表示燃料种类，见表 2—5；第二段以阿拉伯数字表示设计次序，如锅炉系原型设计则无第二段。

为便于理解和掌握，对上述锅炉型号表示方法举例说明如下：

WNG1—7—A II

表示卧式内燃固定炉排锅壳式锅炉，额定蒸发量为 1 吨/时，蒸汽压力为 7 公斤力/厘米²，蒸汽温度为饱和温度，燃用 II 类烟煤，原型设计。

SZS10—16/350—YQ2

表示双锅筒纵置式室燃水管锅炉，额定蒸发量 10 吨/时，蒸汽压力为 16 公斤力/厘米²，过热蒸汽温度为 350℃，燃油燃气并用，以油为主，系第二次设计的产品。

QXW360—7/95/70—A II

表示强制循环往复炉排热水锅炉，额定供热量为 360 万大卡/时，出水压力为 7 公斤力/厘米²，