

电力生产基本知识丛书

锅 炉

西安电力学校编

水利电力出版社

电力生产基本知识丛书

锅 炉

西安电力学校编

*

水利电力出版社出版

(北京德胜门外六铺炕)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

850×1168毫米 32开本 5印张 110千字

1980年1月第一版 1980年1月北京第一次印刷

印数 00001—30200册 每册 0.50元

书号 15143·3557

内 容 提 要

全书共分六章，简要、通俗地介绍了发电厂锅炉的结构，常用燃料，燃烧原理和燃烧方式，运行的基本知识及现代锅炉的发展概况等；各章均附有复习思考题，供读者复习和思考。本书供电力工业管理干部阅读，也可供发电厂新工人参考。

出 版 说 明

为了加强干部培训工作，提高电力工业各级干部和管理人员的业务水平，电力工业部开办了局、厂长学习班，组织学习电力生产过程及生产技术管理知识；并委托有关单位和人员，在头几期学习班讲义的基础上，编写了这套《电力生产基本知识丛书》，交我社陆续出版，以满足广大干部学习的需要。

这套丛书共有《电力》、《热工学基础》、《锅炉》、《汽轮机》、《热力过程自动化》和《电厂化学》六个分册。

由于时间较紧，经验不足，书中不妥之处请读者批评指正。

水利电力出版社

一九七九年六月

目 录

出版说明

第一章 锅炉结构	1
1-1 概述	1
1-2 锅炉的蒸发设备	4
1-3 过热器与再热器	10
1-4 省煤器与空气预热器	19
1-5 燃烧设备	27
1-6 400吨/时超高压锅炉简介	31
1-7 离心式风机	33
1-8 轴流式风机	37
1-9 除尘与除灰	38
第一章复习思考题	46
第二章 燃料与燃烧	47
2-1 燃料	47
2-2 制粉系统	54
2-3 燃料的燃烧原理	68
2-4 燃烧方式	74
2-5 劣质煤的燃烧	79
第二章复习思考题	81
第三章 锅炉的运行调节	82
3-1 锅炉运行参数的调节	82
3-2 锅炉的燃烧调节	93
3-3 锅炉的启动与停炉	97
第三章复习思考题	109

第四章 锅炉运行的经济性	110
4-1 锅炉热平衡的概念	110
4-2 锅炉的输入总热量及有效利用热	112
4-3 排烟热损失	113
4-4 化学不完全燃烧热损失	114
4-5 机械不完全燃烧热损失	115
4-6 散热损失与灰渣物理热损失	115
4-7 耗煤量、耗煤率与厂用电率	116
4-8 锅炉经济小指标	118
第四章复习思考题	119
第五章 锅炉运行的安全性	120
5-1 事故概述	120
5-2 锅炉的水位事故	121
5-3 锅炉受热面的爆管事故	123
5-4 锅炉的燃烧事故	125
5-5 锅炉的结渣	127
5-6 锅炉的磨损	130
5-7 锅炉的积灰	133
5-8 锅炉的低温腐蚀	134
第五章复习思考题	137
第六章 现代锅炉发展概况	137
6-1 强制循环锅炉简介	137
6-2 锅炉发展概况	148
第六章复习思考题	150

第一章 锅 炉 结 构

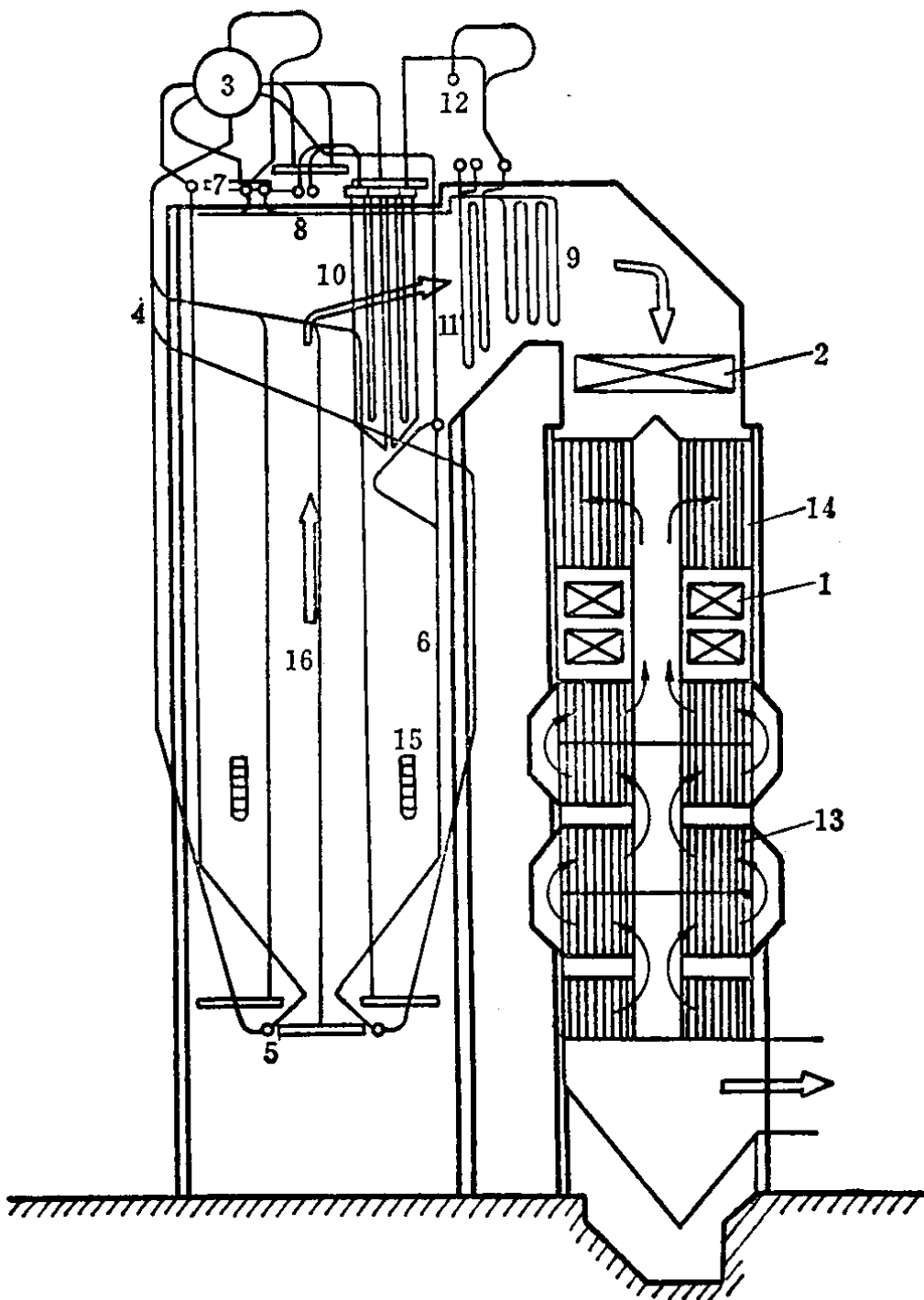
1-1 概 述

锅炉是火力发电厂的主要设备之一。锅炉的任务是根据外界负荷的变化，输送一定质量（汽压、汽温）和相应数量的蒸汽给汽轮机，驱动汽轮机带动发电机发电，以满足用户的用电要求。

锅炉是由“锅”和“炉”两部分组成的，图 1-1 是国产 220 吨/时高压锅炉的示意图。

所谓“锅”就是锅炉的水汽系统，由省煤器、汽包、下降管、水冷壁、过热器等部件组成。锅炉的给水用给水泵打入低温省煤器 1，再进入高温省煤器 2；在省煤器中，水吸收烟气的热量，使温度升高到本身压力下的沸点，成为饱和水，然后引入汽包 3。汽包中的水经下降管 4 进入锅炉底部的下联箱 5，又经炉膛四周的水冷壁 6 进入上联箱 7，随即又回入汽包。水在水冷壁管中吸收炉内火焰直接辐射的热量，在温度不变的情况下，一部分蒸发成蒸汽，成为汽水混合物。汽水混合物在汽包中分离成水和汽，水和给水一起再进入下降管参加循环，汽则由汽包顶部的管子引往过热器，首先经过炉膛顶部的顶棚管过热器 8 的一部分管子向后引入低温对流过热器 9，然后又经顶棚管过热器的另一部分管子向前引出，再依次经过屏式过热器 10 及高温对流过热器 11，最后引入集汽联箱 12。蒸汽在过热器中吸热、升温，达到规定温度，成为合格蒸汽，最后经集汽联箱送往汽轮机。

所谓“炉”就是锅炉的燃烧系统，由炉膛、烟道、喷燃器、空气预热器等组成。锅炉燃料燃烧所需的空气由送风机送入，顺序通过低温空气预热器 13 和高温空气预热器 14。空气在空气预热器中吸收烟气热量，成为热空气，然后分为两股：一股送给制粉系统作为一次风，携带煤粉通过喷燃器 15 进入炉膛 16；另一股作



 烟气流向
  空气流向

图 1-1 国产220吨/时高压锅炉示意图

1—低温省煤器；2—高温省煤器；3—汽包；4—下降管；5—下联箱；6—水冷壁；7—上联箱；8—顶棚管过热器；9—低温对流过热器；10—屏式过热器；11—高温对流过热器；12—集汽联箱；13—低温空气预热器；14—高温空气预热器；15—喷燃器；16—炉膛

为二次风直接通过喷燃器进入炉膛。煤粉与一、二次风通过喷燃器进入炉膛时，立即着火燃烧，并放出大量热量。灼热的火焰，

用辐射传热方式，将热量传给炉膛四周的水冷壁；而燃烧产生的高温烟气，在水平烟道和垂直烟道中，主要用对流传热的方式，将热量传给过热器中的蒸汽、省煤器中的水以及空气预热器中的空气。在传热的过程中，烟气的温度不断下降，低温烟气，经过除尘器分离细灰粒，最后由吸风机送进烟囱，排入大气。

由此可见，锅炉的工作过程是火焰、烟气将热量不断传递给水 and 蒸汽的能量传递过程。

锅炉设备可分为锅炉本体和锅炉辅助设备两个部分。图 1-1 所表示的是锅炉本体。本体以外的给水泵、送风机、吸风机、烟囱以及除灰设备、除尘设备、制粉设备等都是锅炉辅助设备。

锅炉的类型很多：从容量来看，有大、中、小容量锅炉；从参数来看，有高、中、低压以及超高压、亚临界压力和超临界压力锅炉；从燃用的燃料看，有燃煤、燃油和燃气炉；从循环方式看，有自然循环汽包锅炉、强制循环汽包锅炉、直流锅炉、复合循环锅炉等。

国产锅炉的型号目前是用三组字码（高压以下锅炉）或四组字码（超高压以上再热锅炉）表示。如 HG-410/100-1 型锅炉有三组字码：第一组字码 HG 表示哈尔滨锅炉厂制造；第二组字码 410/100 表示锅炉容量为 410 吨/时，过热蒸汽压力为 100 公斤/厘米²表压力；第三组字码 1 表示第一次设计，即设计序号。又如

表 1-1 我国系列生产的高压以上的锅炉

蒸 发 量 (吨/时)	过 热 蒸 汽 压 力 (表大气压)	过 热 蒸 汽 温 度 (°C)	配 汽 轮 发 电 机 容 量 (千瓦)
220	100(高压)	540	50000
410	100(高压)	540	100000
400	140(超高压)	555/555	125000
670	140(超高压)	540/540	200000
1000	170(亚临界压力)	555/555	300000

SG-400/140-555/555-2型锅炉，有四组字码，第一组SG是上海锅炉厂；第二组400/140表示容量为400吨/时，汽压为140公斤/厘米²表压力；第三组555/555，分子表示过热汽温为555℃，分母表示再热汽温为555℃；第四组2为第二次设计。

我国锅炉生产是系列化的，其容量和参数如表1-1。

1-2 锅炉的蒸发设备

一、蒸发设备概述

蒸发设备的任务是吸收燃料燃烧放出的热量，将水蒸发成饱和蒸汽。

锅炉能不断地产生蒸汽，一方面是由于炉内不断加热，一方面是由于有蒸发设备构成锅内的水循环。

锅炉的水循环方式不同，则其蒸发设备也不同。水循环方式有自然循环与强制循环之分：强制循环是依靠机械的力量(水泵)来实现的，自然循环是依靠汽水重度差来实现的。这里，我们只讨论自然循环的原理和蒸发设备，在本书第六章我们再介绍强制循环锅炉。

自然循环锅炉的蒸发设备是由汽包、下降管、水冷壁及其联接管道和联箱组成的。这些部件在锅炉中的位置可参阅图1-1。如图，汽包3装置在锅炉的顶部，它的上半部是汽空间，下半部是水空间。汽包下有下降管4，它将水从汽包送到锅炉下部的下联箱5，下降管装在炉外不受热。图中的6是由上升管组成的水冷壁，水冷壁布置在炉膛16的四周，紧贴炉墙，是单排的管屏结构。从下联箱引入上升管的水，向上流动，同时吸热，并有一部分蒸发，而成为汽水混合物。然后引入上联箱7，再从上联箱通过汽水引出管引入汽包。在汽包中，经汽水分离，汽水混合物中的汽进入蒸汽空间，由导汽管送往过热器，水则进入水空间，并与送入汽包的给水一起再进入下降管。

汽包——下降管——水冷壁——汽包，这样一个循环系统，

叫做自然循环系统。

二、自然循环原理

自然循环是怎么形成的呢？从图 1-2 可以看出自然循环的原理。由于上升管在炉内受热而下降管在炉外不受热，因而上升管内有一部分水蒸发成蒸汽而下降管中仍是水。下降管与上升管是上、下连通的，下降管中是水，而上升管中是汽水混合物。因水的重度（单位容积的重量）大于汽水混合物的重度，所以下降管中的水向下流动，而上升管中的汽水混合物向上流动，形成水循环。这种由于汽水重度差而形成的水循环叫做自然循环。

三、自然循环的特性

汽包——下降管——下联箱——上升管——汽包，这样一个循环路线叫做循环回路。一个循环回路包括一个下联箱、为这个下联箱供水的下降管及与这个下联箱连通的全部上升管（水冷壁的一部分），往往还包括相对应的上联箱，这样的循环回路是一个独立的循环回路。

水在循环回路中流动是否通畅，是否正常，可以用水或汽水混合物在循环回路中的流速来表示。但是由于水在上升管中不断地吸热蒸发，因而在上升管中越往上蒸汽越多，又因为蒸汽的比容（单位重量的容积，重度的倒数）比水的比容大得多，所以越到上升管上部，水汽混合物的速度越快。为了便于对各个循环回路的水循环速度进行比较，一般规定以上升管入口处的水速作为循环流速，并以 w_0 表示之。对一定的循环回路来说，炉膛中传给上升管的热量越多，上升管中的蒸汽量就越多，汽水混合物的重度越小，因而循

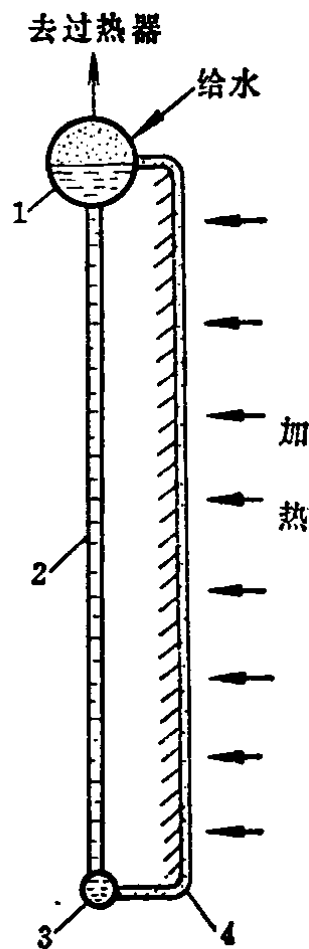


图 1-2 自然循环原理图
1—汽包；2—下降管；
3—下联箱；4—上升管（水冷壁）

环流速就越高。

自然循环锅炉的循环回路有一个很显著特性，就是受热强时，循环流速增加；受热弱时，循环流速降低。这种特性叫做自然循环的自补偿。这个特性有利于水循环的安全。

上升管中蒸汽含量的多少，可以用管子出口处的汽水混合物的干度 x 来表示。干度就是汽水混合物中蒸汽重量占汽水混合物重量的份额。如 $x=0.2$ （或 $x=20\%$ ），说明汽水混合物中有20%是蒸汽。

上升管出口蒸汽干度 x 的倒数叫做循环倍率 K ，即 $K=1/x$ 。循环倍率的意义是每蒸发一公斤蒸汽需要多少公斤循环水量，更具体的说，就是如在上升管出口获得一公斤蒸汽，需要在上升管入口送进多少公斤水。循环倍率是个非常重要的水循环特性参数，自然循环锅炉常用 K 来表示其循环安全性。

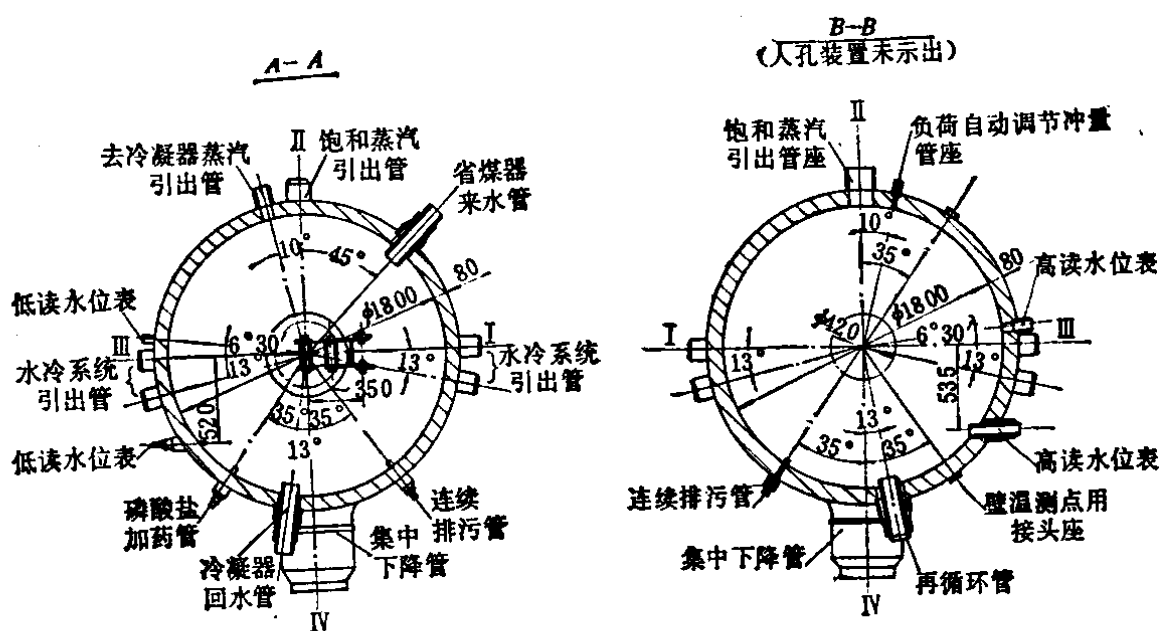
四、蒸发设备结构

蒸发设备的主要部件为汽包、下降管、水冷壁。

1. 汽包

汽包首先是起着连接枢纽的作用，这是因为汽包一方面与下降管、上升管连接，组成蒸发用的循环回路，另一方面又接受省煤器来的给水和向过热器送出饱和蒸汽。因而水在锅炉中蒸发的三个过程（水加热成饱和水、饱和水加热成饱和蒸汽、饱和蒸汽加热成过热蒸汽），是既以汽包为分界面，又以汽包为连接枢纽的。汽包的第二个作用是存有一定的水量，因而就有一定的储热能力，在工况变化时，可以减缓汽压变化的速度。另外，汽包中还装有各种设备，可以保证蒸汽品质。譬如，汽包中装有汽水分离器，可用以将蒸汽中含有的水滴分离出来；蒸汽清洗装置，可用以洗去蒸汽中溶化着的盐类；又如排污、加药等装置，都可用以改善蒸汽品质。

汽包本身的结构如图1-3所示，它是一个长的圆筒，两端连接半球形或长椭球形封头，圆筒周围布满了管头，用以连接各种管道，如：给水管、汽水混合物引入管、下降管、蒸汽导出管



1—汽包筒身；2—汽包封头；3—人孔门

7

2. 下降管

下降管的作用是把汽包中的水连续不断地供给水冷壁。下降管有小直径下降管（即分散下降管）和大直径下降管（即集中下降管）两种。小直径下降管的管径小（如 $\phi 108$ 、 $\phi 133$ 、 $\phi 159$ 等），根数多；大直径下降管直径大，根数少。由于大直径下降管有阻力小、节约钢材、简化布置等优点，目前生产的高压、超高压锅炉多采用大直径下降管。大直径下降管的下端有若干根分配支管与水冷壁下联箱相连。

3. 水冷壁

水冷壁是辐射蒸发受热面。水冷壁的作用一方面是吸收炉膛辐射热量，使管中一部分水蒸发成蒸汽；另一方面是保护炉墙，使炉墙不被烧坏或被侵蚀。

水冷壁有光管水冷壁、膜式水冷壁和刺管水冷壁等几种。图1-4是这几种水冷壁的示意图。

光管水冷壁的结构很简单，如图1-4（a）所示。水冷壁由很多光管组成，这些光管紧密地排成一排，将炉墙遮盖住，比如国产220吨/时锅炉，水冷壁管外径为60毫米，管子之间的间隙只有4毫米。这样，大部分热量被管子吸收，炉墙吸热少，不会烧坏。

膜式水冷壁是由鳍片管组成的，如图1-4（c）所示。将各管的鳍片焊接起来，整个水冷壁就连成一体，把炉膛严密地包围起来，所以叫做膜式壁。膜式水冷壁能用全部面积来吸收炉膛辐射热量，故很彻底地保护了炉墙。此外，膜式水冷壁使炉膛漏风大为减少，水冷壁的刚性也比较好。膜式水冷壁在高压、超高压锅炉中得到广泛的应用。

刺管水冷壁是用来敷设卫燃带的。刺管水冷壁是在光管水冷壁管子上焊上许多长20~25毫米、直径6~12毫米的销钉而构成的，如图1-4（b）所示。刺管水冷壁上敷盖铬矿砂耐火塑料就组成卫燃带。敷设卫燃带的区域，由于水冷壁吸热少，炉内温度就比较高。因此，卫燃带常用于液态排渣炉的熔渣段，燃用无烟

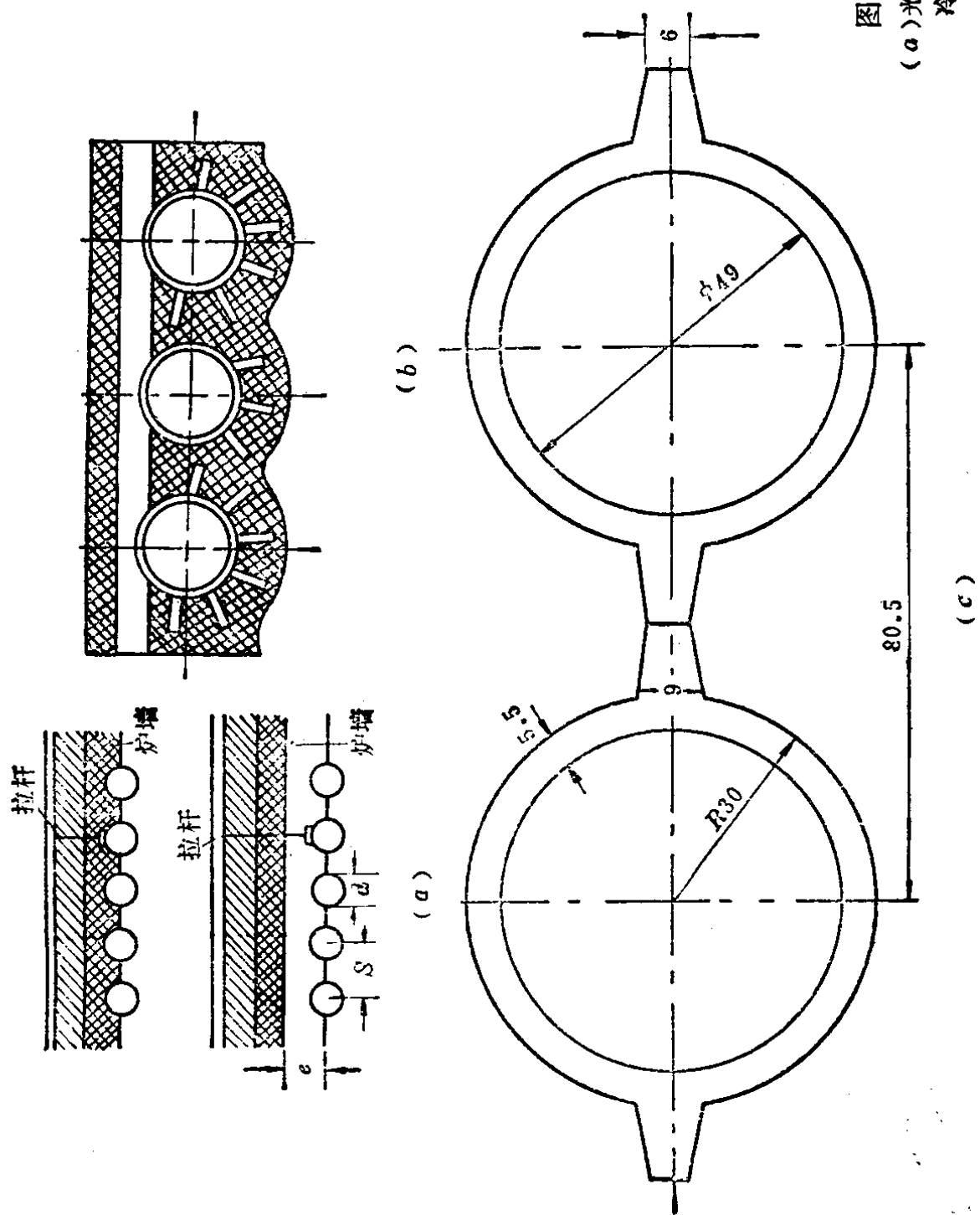


图 1-4 水冷壁示意图
(a)光管水冷壁; (b)刺管水冷壁; (c)膜式水冷壁

煤炉子的喷燃器区，旋风炉的旋风筒内等等需要提高温度的部位。

1-3 过热器与再热器

一、过热器与再热器概述

过热器的作用是将饱和蒸汽加热成一定过热度的过热蒸汽，然后送往汽轮机做功。

再热器的作用是将汽轮机高压缸排出的低温蒸汽经过再加热成为一定温度的再热蒸汽，然后送往汽轮机中、低压缸做功。

提高过热蒸汽和再热蒸汽的温度可以提高发电厂热效率，并可减少汽轮机最后几级的蒸汽湿度，从而减轻了对汽轮机叶片的冲蚀。

经过过热器的蒸汽温度很高，而蒸汽的传热性能又较差，加上过热器外是高温烟气，这就决定了过热器管的壁温比较高。但是钢材的耐高温性能是有限度的，如果运行时的实际壁温超过钢材的允许温度，就可能使管子爆裂。我国生产的各种耐热合金钢，其允许温度见表1-2。

再热蒸汽的温度也很高，一般等于过热蒸汽温度。但再热蒸

表 1-2 锅炉常用钢材的允许温度

钢 材 种 类	受 热 面 壁 温	联箱、导管工质温度
20g(20号碳钢)	≤480°C	≤450°C
12CrMo(12铬钼)	≤540°C	≤510°C
15CrMo(15铬钼)	≤560°C	≤550°C
12CrMoV(12铬钼钒)	≤560°C	≤550°C
12Cr1MoV(12铬1钼钒)	≤580°C	≤570°C
12Cr3MoVSiTiB(Ⅱ11)	≤600~620°C	—
12Cr2MoWVTiB(钢研102)		

汽的压力较低，大约为过热蒸汽压力的五分之一。蒸汽压力低，则比容大，蒸汽的传热性能就差。再热蒸汽经过再热器时压降不能太大，以免降低蒸汽在汽轮机中、低压缸中的做功能力，因此，再热蒸汽在再热器中的流速不能高。综合以上各点可知，再热器管壁的冷却条件较差，壁温容易超过允许值，故一般放在过热器后面烟温较低的区域。

按传热方式，过热器可分为对流过热器、辐射过热器和半辐射过热器。顾名思义，对流过热器布置在烟道中，主要吸收烟气经过时传递的对流热量；辐射过热器布置在炉膛上部或炉膛四壁，吸收火焰的辐射热量；半辐射过热器布置在炉膛与烟道的交界处，即炉膛的出口处，一方面吸收炉膛火焰的辐射热量，另一方面也吸收烟气的对流热量。

二、对流过热器

对流过热器是由进口联箱、出口联箱和许多并列的蛇形管所构成。按烟气与蒸汽的相对流向，可将对流过热器分成顺流、逆流、混流和双逆流四种，如图 1-5 所示。

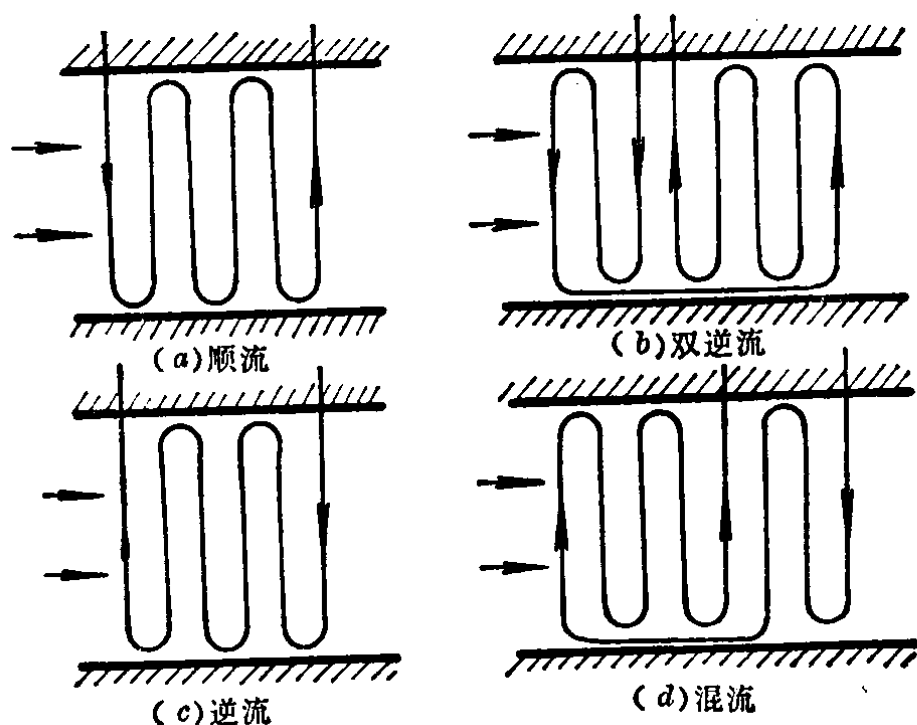


图 1-5 烟气与蒸汽的相对流向