



火力发电厂锅炉设备

苏州电力技工学校

水利电力出版社

内 容 提 要

本书主要叙述火力发电厂锅炉本体及其辅助设备的构造原理，着重介绍基本概念、结构特性以及一些生产实践中使用与改进设备的经验。介绍的炉型以国产大、中型自然循环煤粉炉为主，对直流炉、燃油炉、旋风炉及沸腾炉等也作了适当说明。

本书适于作为具有初中文化程度的电厂锅炉运行、检修工人的培训读物，也可供电厂锅炉专业技术人员和大专院校热机专业工农兵学员参考。

火力发电厂锅炉设备

苏州电力技工学校

*

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

中国建筑工业出版社印刷厂印刷

*

1975年9月北京第一版

1975年9月北京第一次印刷

印数 00001—19923 册 每册 1.65 元

书号 15143·3159



毛主席语录

思想上政治上的路线正确与否是决定一切的。

鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义。

自力更生为主，争取外援为辅，破除迷信，独立自主地干工业、干农业，干技术革命和文化革命，打倒奴隶思想，埋葬教条主义，认真学习外国的好经验，也一定研究外国的坏经验——引以为戒，这就是我们的路线。

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

前 言

“革命就是解放生产力，革命就是促进生产力的发展”。毛主席亲自发动和领导的无产阶级文化大革命已经取得了伟大的胜利，全国正在继续普及、深入、持久地开展批林批孔运动。当前，在毛主席关于理论问题重要指示的指引下，在党的十届二中全会和四届人大提出的战斗任务鼓舞下，我国工业战线的广大干部和群众，认真学习马克思主义关于无产阶级专政的理论，抓革命促生产的劲头越来越大，“工业学大庆”的群众运动更加广泛深入地开展，整个工业战线形势很好，一个新的更大的社会主义建设高潮正在兴起。

周总理在四届人大所作政府工作报告中指出：“在毛主席为首的党中央领导下，我国人民奋发图强，战胜种种艰难险阻，只用了二十多年的时间，就把一个贫穷落后的国家变成初步繁荣昌盛的社会主义国家。我们再用二十多年的时间，一定能够在本世纪内把我国建设成为社会主义的现代化强国。”

二十多年来，在党的建设社会主义总路线和“独立自主，自力更生”的方针指引下，我国建立了自己的成套发电设备制造工业，电力工业正在迅速发展。目前，国产高参数大容量火力发电机组已经成批投入运行，发电装机容量逐年大幅度增长，新增设备尽量采用先进技术，原有设备也不断通过技术革新得到了改进，一支用毛泽东思想武装起来的电业职工队伍正在壮大成长。为了实现“在本世纪内，全面实现农业、工业、国防和科学技术的现代化，使我国国民经济走在世界的前列”的宏伟目标，电力工业必须当好国民经济“先行官”，这就要求我们坚持毛主席的革命路线，以大庆为榜样，加倍努力，团结战斗，把工作做得更多、更快、更好、更省，去夺取新的更大的胜利。

为了满足火力发电厂锅炉运行和检修工人学习专业知识的需要，我们编写了《火力发电厂锅炉设备》这本书。本书内容以国产高压大、中型自然循环煤粉锅炉为主，结合国内外新型锅炉特点和我国电业技术革新成果，对锅炉本体及其辅助设备的原理、构造和特性作了通俗介绍。本书由庞忠甲、唐维峰同志执笔。

本书编写过程中，曾得到上海锅炉厂及其研究所和工人大学，无锡锅炉厂，上海机械学院，华东电力设计院，华东电业管理局中心试验所，山东省电力工业局中心试验所，黄台发电厂，南定热电厂，青岛发电厂，白杨河发电厂，莱芜发电厂，望亭发电厂，谏壁发电厂，下关发电厂，南京热电厂，华东电业管理局七·二一工人大学和山东电力学校等很多单位的热情帮助，提供了许多宝贵的意见和资料；辛店发电厂还派人协助进行制图；本书稿曾请西安热工研究所锅炉室，西安电力学校，南市发电厂，南京热电厂和山东省电力工业局中心试验所等单位的同志审阅；在此，我们谨向上述各单位的领导和同志们表示衷心的感谢。

由于我们水平有限，搜集资料不够全面，又缺乏经验，书中不妥之处在所难免，希读者批评指正。

苏州电力技工学校

一九七五年三月

目 录

前 言	
绪 论	1
第一章 燃料和燃烧	8
第一节 概述	8
第二节 燃料的化学成分、分析基础及发热量	9
一、燃料的化学成分；二、燃料成分的分析基础及其换算；三、燃料的发热量和标准燃料	
第三节 煤和油页岩	16
一、煤；二、油页岩	
第四节 液体燃料	20
第五节 气体燃料	22
一、天然气（天然气）；二、高炉煤气；三、焦炉煤气；四、发生炉煤气；五、地下气化煤气	
第六节 燃料的燃烧	24
第七节 燃烧计算基本知识	26
一、理论空气量和过量空气系数；二、烟气的成分	
第二章 锅炉设备整体介绍及热平衡	33
第一节 锅炉设备整体介绍	33
一、锅炉设备在火力发电厂中的地位；二、锅炉设备的整体构造；三、锅炉的整体布置；四、锅炉设备的主要技术经济指标；五、锅炉的分类和型号	
第二节 锅炉的热平衡	46
一、锅炉热平衡的基本概念；二、排烟热损失 $Q_2(q_2)$ ；三、化学不完全燃烧热损失 $Q_3(q_3)$ ；四、机械不完全燃烧热损失 $Q_4(q_4)$ ；五、散热损失 $Q_5(q_5)$ ；六、灰渣物理热损失 $Q_6(q_6)$	
第三章 蒸发设备和水循环	59

第一节 锅炉的水循环	59
一、概述；二、自然循环的基本原理；三、自然循环的故障和防止对策；四、强制循环原理	
第二节 汽鼓及其内部装置	70
一、汽鼓；二、汽鼓内部装置	
第三节 蒸汽的净化	82
一、汽水分离装置；二、给水清洗蒸汽装置	
第四节 水冷壁	95
一、水冷壁管的主要结构型式；二、水冷壁管的布置方式和有关问题	
第五节 直流锅炉蒸发设备概述	110
第四章 过热及再热设备	122
第一节 过热设备	122
一、过热器的分类、构造及其工作特性；二、过热器产生热偏差的原因和减轻热偏差的方法；三、过热蒸汽温度的调节；四、过热器的合理布置；五、过热器系统典型介绍	
第二节 再热设备	165
一、再热器；二、再热蒸汽温度的调节；三、再热设备典型介绍	
第五章 省煤器和空气预热器	186
第一节 省煤器	186
一、省煤器的作用；二、省煤器的分类和构造；三、省煤器的连接系统及启动时的保护；四、省煤器的磨损和防磨措施	
第二节 空气预热器	200
一、空气预热器的作用和分类；二、表面式空气预热器；三、回转式空气预热器	
第三节 尾部受热面的低温腐蚀和积灰	227
一、低温腐蚀和积灰的危害性及其原因；二、防止低温腐蚀和积灰的措施	
第六章 火床式燃烧设备	255

第一节	火床式燃烧的分类	255
第二节	链条炉	258
第三节	抛煤式链条炉	271
第四节	沸腾燃烧锅炉	276
	一、沸腾床燃烧基本原理；二、沸腾床锅炉的构造；	
	三、沸腾炉的优缺点	
第七章	煤粉制备	285
第一节	煤粉的特性	285
第二节	制粉系统	291
	一、直吹式制粉系统；二、储仓式制粉系统	
第三节	磨煤机	297
	一、钢球滚筒式磨煤机；二、中速磨煤机；三、高速磨煤机	
第四节	制粉系统的辅助设备	317
第八章	火炬式燃烧设备	341
第一节	煤粉火炬式燃烧的一般概念	341
第二节	煤粉喷燃器及点火设备	344
	一、概述；二、喷燃器的分类、构造和特性；三、喷燃器的选型和布置问题；四、煤粉喷燃器的点火设备	
第三节	煤粉锅炉的结渣	380
	一、结渣的危害性；二、结渣的过程和原因；三、防止结渣的措施	
第四节	液态排渣燃烧室	397
	一、概述；二、液态排渣燃烧室的构造和特性；三、液态排渣燃烧室的特殊问题	
第五节	燃油锅炉	410
	一、概述；二、油喷嘴的分类、结构和特性；三、调风器和稳流罩；四、燃油锅炉特殊问题	
第九章	旋风燃烧设备	429
第一节	旋风燃烧的一般概念	429
第二节	卧式旋风炉	434

第三节 立式旋风炉	438
第十章 锅炉通风设备	442
第一节 锅炉通风的一般概念	442
第二节 自然通风	445
第三节 机械通风	447
第四节 风机的调节、并联运行、维修和改造	469
一、送、引风机的调节；二、送、引风机的并联运行；	
三、引风机的磨损和积灰；四、风机叶片的切割或接长	
问题	
第五节 降低气体局部流动阻力的措施	478
第十一章 锅炉炉墙和构架	485
第一节 锅炉炉墙	485
一、锅炉炉墙的作用及分类；二、炉墙结构	
第二节 锅炉构架	493
一、支承式构架；二、悬吊式构架	
第三节 锅炉露天布置问题	497
第十二章 锅炉汽水系统附件	504
第一节 安全阀	504
一、杠杆式安全阀；二、脉冲式安全阀；三、弹簧式安	
全阀	
第二节 水位计	515
第十三章 锅炉的除尘、除灰及燃料和燃烧产物的	
综合利用	525
第一节 除尘设备	525
一、干式除尘器；二、湿式除尘器；三、电气式除尘器	
第二节 除灰设备	543
一、人工除灰；二、机械除灰；三、水力除灰；四、气	
力除灰	
第三节 锅炉燃料及燃烧产物的综合利用	556
一、煤的综合利用；二、炉烟的综合利用；三、灰渣的	
综合利用	

附 录

附录一	常用符号字母表	565
附录二	常用计量单位及换算关系	566
附录三	水和水蒸汽的焓及比容	571
附录四	常用材料的物理性质	586
附录五	锅炉用钢	589
附录六	我国蒸汽锅炉参数系列	593

绪 论

锅炉的作用是利用燃料或热源的热能加热工作介质，使一定数量的工作介质达到所要求的状态。

蒸汽锅炉的工作介质是水。水在锅炉里被加热变成一定压力和温度的蒸汽。蒸汽的压力和温度称为蒸汽的参数，表示了蒸汽的状态。

本书主要讨论固定式火力发电厂应用的蒸汽锅炉。这种锅炉发生的蒸汽用以送入汽轮机膨胀作功，以驱动发电机发出电力。

初期的蒸汽锅炉是图 1 所示的简单圆筒型设备。这种锅炉蒸发量很小，每小时产汽仅几十至几百公斤，压力在 10 大气压以下，效率约为 30%，而且金属消耗多，占地面积也大。随着工业生产的发展，要求增加锅炉蒸发量，提高蒸汽压力和温度，提高效率，降低

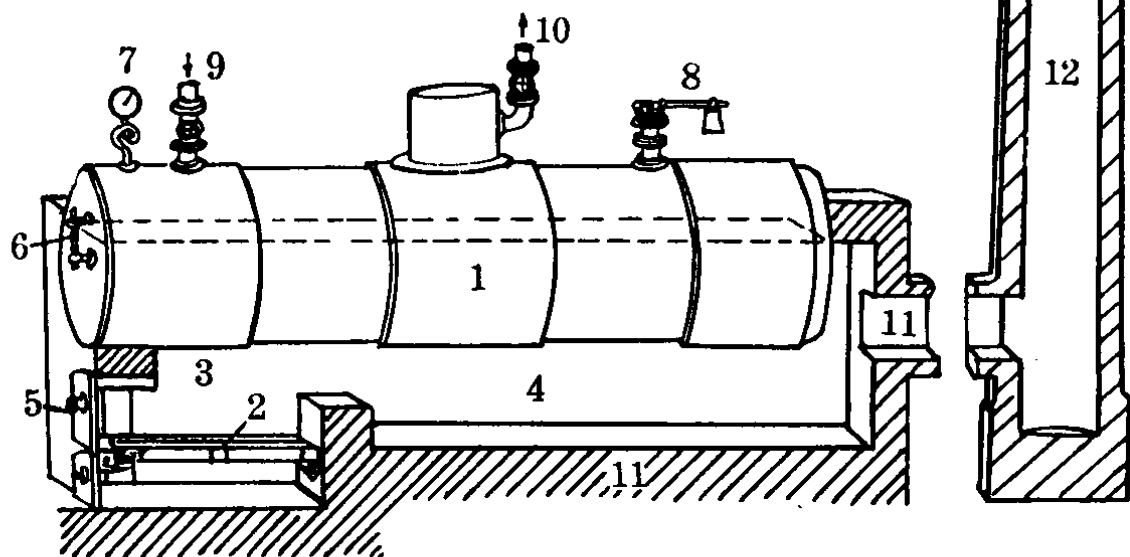


图 1 圆筒锅炉

- 1—锅筒；2—炉篦；3—燃烧室；4—烟气冷却室；5—炉门；6—水位计；
7—压力计；8—安全阀；9—给水管；10—蒸汽引出管；11—烟道；
12—烟囱

金属消耗量，以及尽量缩小锅炉外形尺寸和减少占地面积。

采用加大圆筒的办法以增加受热面、提高蒸发量是有限度的。由于在一定压力下筒壁的应力和直径成正比，圆筒直径越大，它的承压能力就越低，因此过渡到用许多细的管子来增加受热面。增加这些管子是按以下两个方向进行的（见图2）。

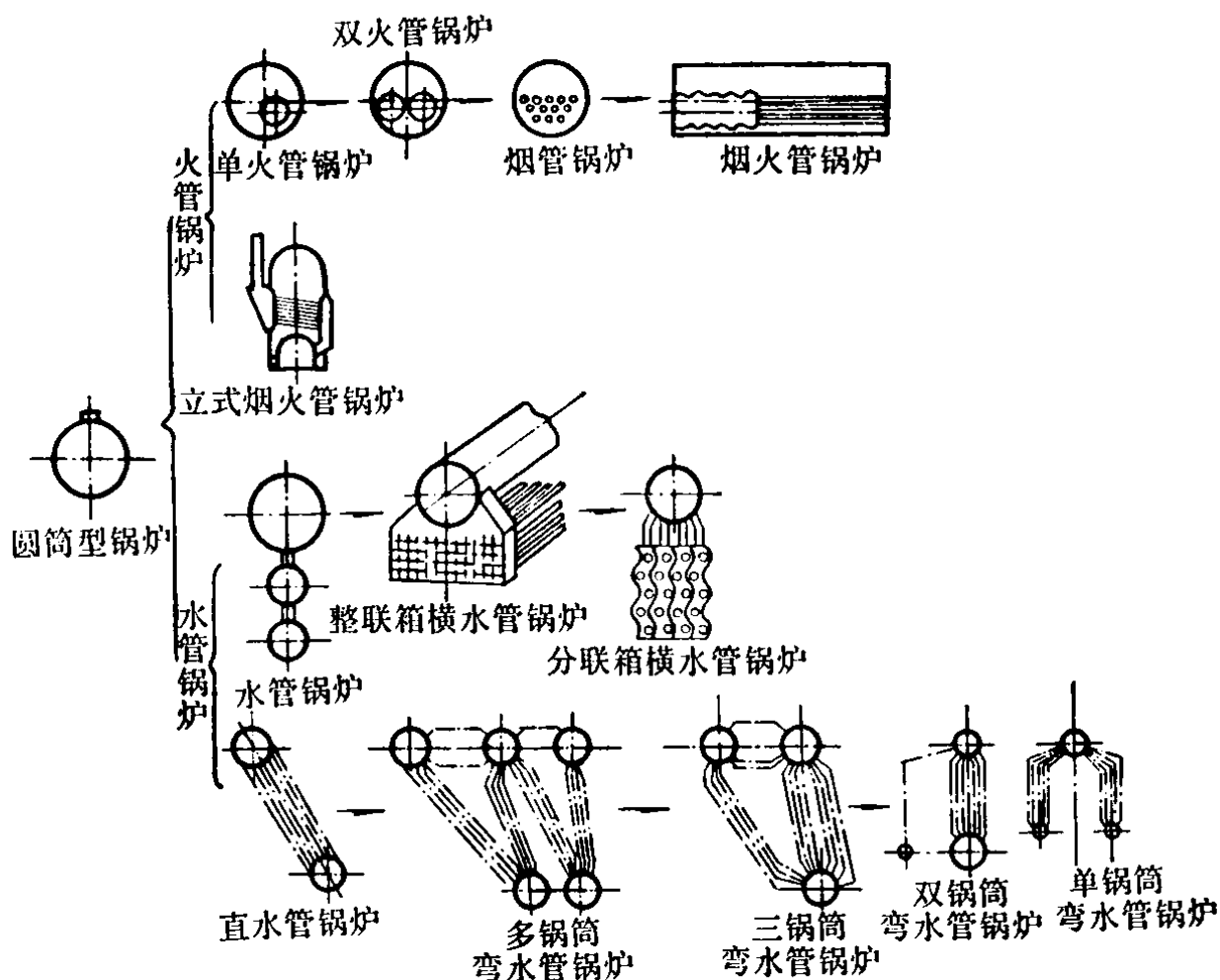


图2 蒸汽锅炉炉型发展示意图

一个方向是发展火管或烟管锅炉。即在圆筒锅炉内装一根或几根大直径的火管（也称炉胆，燃料在其中燃烧），或者在圆筒内装设一些走炉烟的烟管，也有的采取兼有烟、火管的构造。高温烟气在火管或烟管内流过，水在管外吸热和蒸发。这类锅炉的优点是结构紧凑，炉墙较少，甚至可以完全不用炉墙，便于做成快装式锅炉。旧式机车和船舶上多使用这种锅炉。但因燃烧室（炉膛）矮小，水冷程度大，燃料燃烧不易完全，加上传热效果差，排烟温度也很高，热效率只有50%左右；而且燃烧室尺寸限

制了烧煤量，难以增大蒸发量。为了容纳内部的管子，这种锅筒需要有很大的直径，强度较低，所以蒸汽压力也提不高。烟火管锅炉一般蒸发量小于10吨/时，压力小于15大气压，通常不在火力发电厂使用，只用作小容量的低压工业锅炉。

另一个方向是制造水管锅炉，起初是增加圆筒的数目，后来进一步发现减小圆筒直径、增加它的数量对改善传热极为有利，于是出现了各种型式的水管锅炉。这一发展为锅炉制造业带来了一个飞跃，为制造可靠而经济的现代大型锅炉开创了道路。

最初生产的水管锅炉是卧式布置的。稍为倾斜的卧式水管两端与联箱联接。这种锅炉不久就被布置较为方便的立式水管锅炉所代替。立式水管锅炉可用直立水管或弯曲的水管，上下各与锅筒连接。由于弯水管更易布置，本世纪初期火力发电厂中多用多锅筒的弯水管锅炉。

后来人们对于锅炉传热的规律性有了更多的了解，认识到炉内高温区域贴墙敷设水冷壁管除了起到保护炉墙的作用外，还具有比一般水管对流传热强烈得多的辐射传热作用，可以有效地增加锅炉的蒸发量，大大节省锅炉对流受热面，而且这种构造允许使用联箱以代替为数很多的锅筒。所以锅筒的数目得以减少，以至可以只用一个汽鼓，从而节约了钢材，简化了制造工艺。在减少对流传热的水排管的同时，为了充分利用烟气余热，省煤器及空气预热器等尾部受热面也逐渐得到了应用。同时，高温的预热空气也为强化燃烧和增加锅炉蒸发量提供了有利条件。

为了克服炉篦上燃烧层的阻力和空气预热器的阻力，必须加装送风机。另外，为了使燃料燃烧产生的高温烟气加强对受热面的放热作用，就要求提高炉烟速度；又因增加了尾部受热面使烟气流动阻力加大，早期仅仅利用烟囱自身引力通风的方法就不能适用了，需要加装吸风机以克服烟气的流动阻力。

燃烧技术也相应得到了很大发展。从手工往炉篦上添加燃料的简单方法，逐渐发展为一系列结构不同的机械炉排。例如，在链条炉中，燃料由连续运转的炉排送进燃烧室，炉渣由炉排自动

排入灰斗；以后，又出现了用机械或风力向燃烧室抛煤的装置。这时单纯的火床式燃烧被改进为部分细小燃料颗粒悬浮燃烧。二十世纪初进一步采用了煤粉悬浮燃烧的方法，是锅炉燃烧技术上的一个重要突破，为进一步强化燃烧和发展现代大型锅炉开辟了新的前景。现代燃烧技术除了常用的火炬式燃烧外，还有旋风燃烧、沸腾燃烧等多种方法。

现代锅炉发展总的方向是：增大单炉蒸发量，提高蒸汽压力和温度，扩大燃料适应性；简化结构，节省钢材，降低成本，加速安装；并提高锅炉运行可靠性和经济性。为了实现这些要求，现代锅炉发展的具体特点是：

1. 增大锅炉的单位容量

为了适应生产发展中对动力供应的不断增长的需求，必须提高单炉蒸发量。

增大单炉蒸发量可使锅炉本体设备、构架零件、辅助设备、管道附件、建筑物、安装费用和管理人员等相对的减少，而且调度管理方便。在电厂中增大汽轮发电机设备的单位容量，也可以收到这样的好处。一般说来，火力发电设备容量增加一倍，单位造价可降低12~20%。

锅炉蒸发量的提高并不是单纯从增加受热面数量得到解决的。由于大量利用水冷壁，改进受热面布置方法，以及采用新的燃烧技术等，使得锅炉传热效果逐步加强。例如二十世纪以来，锅炉单位面积受热面的蒸发量增加了十倍左右，锅炉的效率一般提高到90%以上。

近年来虽然采用了不少新的方法来提高燃烧室的容积热强度，但对于一定的燃烧方法而言，随着锅炉容量的增加，燃烧室的容积还是近乎按比例地增大的；燃烧室容积愈大，则周围墙壁面积相对地减小。为了说明这个几何关系，可用简单的正立方体为例：正立方体的容积 V 与边长 L 的三次方成比例，即 $V \propto L^3$ ；而正立方体的周围表面积 F 与其边长的二次方成比例，即 $F \propto L^2$ ；所以，正立方体表面积与其容积的关系为 $F \propto V^{2/3}$ ；如 V 增加一

倍，相应的表面积只增加59%。因此燃烧室容积增大后，周围墙壁的面积会显得太小，即使密布水冷壁也不足以吸收燃烧室中燃料放出的大量辐射热。为了解决这个问题，现代锅炉设计中采取了一些相应措施，例如采用屏式过热器，采用双面吸热的水冷壁，以及研究采用不冷却燃烧室等。

2. 提高过热蒸汽参数，采用再热循环以及发展直流锅炉

根据热力学原理，提高热力循环经济性的主要途径之一，是提高工质的初参数。这时锅炉效率虽不因此发生显著变化，但可使汽轮机的热效率得到提高。目前亚临界压力以至超临界压力锅炉已在世界上广泛采用。

为了提高整个发电厂的热效率和防止汽轮机末级叶片因蒸汽含湿量过大而造成的侵蚀，在超高压或更高压力的锅炉中普遍采用了再热循环。目前使用最多的是对蒸汽进行一次中间再热。

随着锅炉蒸汽压力的提高，汽水重度差减小，在亚临界压力（170大气压以上）下进行自然循环已较困难，所以强制循环和直流锅炉得到了广泛应用；对于超临界压力锅炉，则必须采用直流或复合循环锅炉了。

现代冶金技术的发展是提高锅炉制造工业水平的重要条件。锅炉受热面是在高温下工作的承压部件。现代高参数蒸汽锅炉的受热面要承受很高的压力和温度，需要用具有优异高温强度特性的合金钢制造。此外，锅炉承压部件的连接方法，也必须保证充分强固严密和持久可靠。在早期中、低压锅炉上普遍采用的铆、胀等连接方法，已逐渐被现代焊接技术所代替。

由于采用过高的蒸汽参数时，需要用奥氏体钢制造锅炉部件。这种部件价格昂贵，制造工艺困难，运行可靠性也差。因此，现在各国广泛采用的蒸汽参数是170~240大气压、538~565℃的一次中间再热式锅炉，以便利用价格便宜、加工方便和运行可靠的珠光体钢材制造锅炉部件。

3. 扩大燃料或热源范围

火力发电厂所用燃料，长期以来是以煤为主。近年来，许多

国家燃油和天然气的锅炉比重逐步增大。燃油锅炉的制造和安装的成本较低，运行调节管理方便，随着我国石油工业飞速的发展，我国的燃油锅炉也正日益增多。

由于人类社会对能量的需求迅速增长，以及经济利用能源的需要，火力发电厂锅炉设备的燃料或热源必将扩大到更多的方面。为了有效地利用低值煤和油页岩等劣质燃料，目前正大力进行沸腾燃烧的研究试验工作。另外，核子燃料、地下热能以至太阳能的利用将有加速发展的趋势。

4. 在锅炉及其辅助设备的构造、布置和控制等方面大力发展新技术。

例如为了改进燃烧室的密封性，利于实现正压燃烧，并简化炉墙结构，采用了膜式水冷壁；为了充分利用尾部受热面空间，使受热面布置更加紧凑，在现代大型锅炉上广泛采用了墙式过热器和回转式空气预热器；为了改善汽水品质和便于在很高的蒸汽参数下使用直流锅炉，化学除盐水处理技术得到了迅速发展；为了加快安装速度，节省基建投资，推广了热膨胀性能较好的悬吊结构和露天布置技术；在辅机方面，高效率风机和水泵已得到广泛应用；此外，随着锅炉蒸发量的增大和蒸汽参数的提高，为保证锅炉安全经济运行，测量控制技术也得到了迅速发展，目前在锅炉运行方面采用电子计算机自动控制等新技术正在推广。

5. 采取严格措施，减轻排烟和灰渣对环境的污染，并大力开展综合利用，变废为宝。

6. 锅炉产品的部件尽量采用标准件和通用件，努力实现三化，即标准化、通用化和系列化，以便于配套，降低成本，缩短生产周期，并为电厂解决生产备品配件提供了方便。

从锅炉发展的二百多年历史看来，随着人类生产力水平的提高，蒸汽锅炉锅内过程（水的加热、蒸发和过热）、炉内过程（燃料燃烧）和热交换过程都是互相联系，互相矛盾，而又互相促进地不断相应发展的。同其他事物一样，这是一个实践，认识，再实践，再认识，由简单到复杂，从低级向高级发展的过程。

解放前我国在帝国主义、封建主义、官僚资本主义三座大山的压迫下，处于半封建半殖民地社会，工业很不发达，发电厂用的锅炉设备都从国外进口，而且几乎都是中、低压的小型设备，效率既低，数量又少，水平很落后。解放后，在毛主席和党中央的英明领导下，在毛主席“**独立自主，自力更生**”的方针指引下，我国的社会主义建设事业突飞猛进，电力工业也得到了巨大的发展。尤其是无产阶级文化大革命和批林批孔的伟大胜利，带来了各条战线上的崭新成果。近几年来，我国已生产了同十二万五千千瓦和二十万千瓦汽轮发电机配套的超高压锅炉设备、以及同三十万千瓦汽轮发电机配套的亚临界压力锅炉设备。根据大中小并举、水电火电并举的方针，在发展大型企业的同时，还发展了大量中小型发电厂，以满足城乡电力负荷迅速增长的迫切需要。

在发电厂，广大电业职工对使用中的锅炉设备紧紧围绕着安全经济多发多供这个要求，从运行操作和设备构造上进行了广泛的技术革新，使许多被称为“煤老虎”、“钢老虎”的旧式锅炉得到了改造，各种类型的锅炉普遍提高了出力和效率，改进了效能，保证了安全经济运行。

这是我国工人阶级高举毛主席亲自制定的“**鞍钢宪法**”的光辉旗帜，认真贯彻党的建设社会主义总路线，在经济领域里深入开展两条路线的斗争，所取得的辉煌战果，生动地体现了我国社会主义制度的无比优越性。遵照毛主席“**中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平**”的伟大教导，我国人民在毛泽东思想的光辉照耀下，正沿着党的第十次全国代表大会和第四届全国人民代表大会指引的方向，继续普及、深入、持久地开展批林批孔运动，努力巩固与发展无产阶级文化大革命的伟大成果，“**抓革命，促生产，促工作，促战备**”，满怀信心，为在本世纪内把我国建设成为社会主义的现代化强国而共同奋斗。