

锅炉手册

GUO LU SHOU CE

西安交通大学 林宗虎 主编
张永照



机械工业出版社

本手册充分利用图表、公式列出各类锅炉有关资料和计算方法，内容充实、取材较新、便于查阅。内容包括工业锅炉、电站用自然循环锅炉和电站用强制循环锅炉的本体结构、部件结构、燃烧设备结构、锅炉设计布置、锅炉的换热计算、水动力计算、强度计算和空气动力计算、锅内装置、炉墙构架、水处理设备、给水通风设备、锅炉钢材、锅炉运行及维护、锅炉事故及环保、锅炉试验、锅炉仪表及附件等。书中还列有特种锅炉资料。

本手册为高等院校锅炉专业毕业设计用教材，也适用于热能动力类其它专业师生和从事锅炉设计、制造、运行、监察及科研等工作的工程技术人员参考。

锅 炉 手 册

西安交通大学 林宗虎 主编
张永照

责任编辑：郝育生 责任校对：宁秀娥
封面设计：姚毅 版式设计：张伟行
责任印制：卢子祥

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南里一号）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第117号）

煤炭工业出版社印刷厂印刷

机械工业出版社发行·新华书店经销

开本 787×1092¹/₁₆·印张 39·插页1·字数964千字

1989年2月北京第一版·1989年2月北京第一次印刷

印数 00,001—16,600·定价：12.70元

ISBN 7-111-00672-0/TK·28

前 言

本书是根据1985年秋召开的高等工业学校锅炉专业教材分编审委员会会议上确定的编写大纲进行编写的。主要供高等院校锅炉(热能工程)专业毕业设计时启迪设计思想、拓宽锅炉技术知识以及查阅资料数据之用。由于取材面广,结合实际,也可供热能动力类其它专业师生和从事锅炉设计、制造、运行、监察及科研等工作的工程技术人员参考。

本书内容充实,计算公式和图表齐全,便于查阅。全书共分十七章,内容包括小型工业锅炉、大型电站用自然循环锅炉和大型电站用直流锅炉的锅炉本体结构、部件结构、燃烧设备结构、锅炉整体的设计布置、锅炉受热面的换热计算、水动力学计算和传热问题、锅筒及其内部装置、锅炉的炉墙与构架、锅炉的给水、通风和水处理设备、锅炉的烟风道阻力计算、锅炉钢及强度计算、锅炉运行及维护、锅炉事故及环保、锅炉试验及锅炉仪表和附件等。书中还列有特种锅炉资料。在取材方面力求反映我国锅炉工业的新成就和国外锅炉的先进技术。

本书由西安交通大学锅炉教研室林宗虎教授(编写第一、二、五、七、八、十、十一章)和张永照教授(编写第四、九、十四、十五、十六、十七章)主编。章燕谋教授(编写第十二、十三章)和温龙副教授(编写第三、六章)参加编写。

本书由上海锅炉厂杨立洲高级工程师和哈尔滨工业大学陈崇枢副教授审阅。

由于编者水平有限,书中可能存在不少缺点和错误,敬请读者批评指正。

作 者

1987年8月

目 录

第一章 锅炉种类及其结构	1	三、锅炉管束和凝渣管束	62
§ 1-1 锅炉的分类和构成	1	§ 2-2 锅炉的过热器结构	63
一、锅炉的分类	1	一、对流式过热器	64
二、锅炉的构成及工作流程	2	二、屏式过热器	69
§ 1-2 锅炉的参数、型号与技术经济		三、辐射式过热器	73
指标	4	四、炉顶过热器和包墙管过热器	75
一、锅炉参数	4	五、过热器的支持结构	75
二、锅炉型号	6	§ 2-3 锅炉的再热器结构	78
三、锅炉技术经济指标	8	一、再热器的结构	78
§ 1-3 工业锅炉的结构	9	二、再热器的支持结构	81
一、火管锅炉	9	§ 2-4 过热器和再热器的汽温调节	82
二、水管锅炉	12	一、蒸汽侧调节汽温的方法	82
三、水火管锅炉	18	二、烟气侧调节汽温的方法	87
四、热水锅炉	20	§ 2-5 锅炉的省煤器结构	90
§ 1-4 自然循环电站锅炉的结构	21	一、省煤器的结构	90
一、中压自然循环电站锅炉	21	二、省煤器的支持结构	96
二、高压自然循环电站锅炉	22	§ 2-6 锅炉的空气预热器结构	96
三、超高压自然循环电站锅炉	23	一、管式空气预热器的结构	97
四、亚临界压力自然循环电站锅炉	26	二、回转式空气预热器的结构	102
§ 1-5 多次强制循环电站锅炉的结构	26	§ 2-7 磨损与腐蚀	112
一、超高压多次强制循环电站锅炉	27	一、对流受热面的磨损与防磨措施	112
二、亚临界压力多次强制循环电站		二、受热面的腐蚀及防止措施	112
锅炉	29	第三章 燃料与燃烧计算	117
§ 1-6 电站用直流锅炉、低倍率循环		§ 3-1 燃料概述	117
锅炉和复合循环锅炉的结构	29	一、燃料分类	117
一、电站用直流锅炉	29	二、燃料成分	117
二、电站用低倍率循环锅炉	37	三、燃料成分分析的基础	119
三、电站用复合循环锅炉	38	四、发热量	120
§ 1-7 特种锅炉的结构	42	§ 3-2 固体燃料	123
一、间接加热锅炉	42	一、固体燃料的分类	123
二、余热锅炉	42	二、各种固体燃料的主要特性	123
三、废料锅炉	43	三、固体燃料的灰分	126
四、特种工质锅炉	45	四、固体燃料的可磨系数	127
五、正压燃烧锅炉	46	五、灰磨损特性系数	128
第二章 锅炉主要受热面的结构	49	§ 3-3 液体燃料	128
§ 2-1 锅炉蒸发受热面的结构	49	一、燃油密度	128
一、自然循环锅炉的水冷壁	49	二、燃油粘度	129
二、强制循环锅炉的水冷壁	54	三、凝固点和沸点	129

四、闪点和燃点	130	二、容量对锅炉受热面布置的影响	220
五、锅炉用燃料油	130	三、燃料对锅炉受热面布置的影响	221
§ 3-4 气体燃料	131	§ 5-2 锅炉整体的典型布置	221
一、气体燃料的种类及其组成	131	§ 5-3 锅炉的热力系统	224
二、气体燃料的燃烧特性	132	一、低压小容量工业锅炉的热力系统	224
§ 3-5 燃烧计算	134	二、中压中容量电站锅炉的热力系统	224
一、燃料完全燃烧所需理论干空气量	134	三、高压大容量电站锅筒锅炉的 热力系统	224
二、燃料完全燃烧时的燃烧产物	135	四、超高压大容量电站锅筒锅炉的 热力系统	225
三、燃烧产物焓	136	五、亚临界压力大容量直流锅炉的 热力系统	226
四、二氧化碳容积的修正	138	六、超临界压力大容量锅炉的热力 系统	226
§ 3-6 锅炉热平衡计算	138	§ 5-4 炉膛设计布置	227
一、热平衡方程	139	一、炉膛容积热强度 q_v	227
二、锅炉输入热量 Q_r	139	二、炉膛断面热强度 q_F	228
三、锅炉有效利用热 Q_1	140	三、燃烧器区域壁面热强度 q_r	228
四、排烟热损失 q_2	140	四、炉膛壁面热强度 $q_{f,i}$	229
五、化学不完全燃烧热损失 q_3	141	五、炉膛出口温度的选择	229
六、机械不完全燃烧热损失 q_4	141	六、水冷壁布置	230
七、锅炉散热损失 q_5	142	§ 5-5 对流受热面的设计布置	233
八、灰渣物理热损失 q_6	142	一、过热器与再热器的设计布置	233
九、锅炉效率和燃料消耗量	143	二、省煤器与空气预热器的设计布置	241
§ 3-7 燃料特性系数、理论 $(RO_2)_{max}$ 和 α	143	第六章 锅炉受热面的换热计算	244
第四章 燃烧方式与燃烧设备	145	§ 6-1 炉膛辐射受热面换热计算	244
§ 4-1 层燃炉及其燃烧设备	145	一、概述	244
一、手烧炉	145	二、火焰辐射	244
二、链条炉	147	三、炉膛受热面的辐射特性	254
三、振动炉排	159	四、炉膛的几何计算	257
四、往复推动炉排	162	五、炉膛换热计算	260
五、配有抛煤机的燃烧方式	165	§ 6-2 半辐射和对流受热面的换热 计算	272
六、各种层状燃烧设备特性比较	168	一、基本方程	272
§ 4-2 沸腾炉及其燃烧设备	170	二、传热系数	276
一、工作原理和优缺点	170	三、扩展表面受热面传热系数	293
二、沸腾炉类型及其结构	173	四、辐射放热系数	298
§ 4-3 煤粉炉及其燃烧设备	182	五、受热面污染系数、热有效系数和 利用系数	302
一、制粉系统及其设备	182	六、温压	306
二、燃烧器	198	七、换热计算的电算	310
三、点火装置	204	第七章 锅炉水动力学及传热问题	319
四、炉膛和燃烧器布置	208	§ 7-1 自然循环锅炉水动力学	319
§ 4-4 油、气炉及其燃烧设备	211		
一、油炉及其燃烧设备	211		
二、气炉及其燃烧设备	215		
第五章 锅炉整体设计布置	219		
§ 5-1 影响锅炉布置的因素	219		
一、参数对锅炉受热面布置的影响	219		

一、运动压头、有效压头和上升管的加热水段.....	319	三、腐蚀的形成及分类.....	405
二、循环回路中的阻力计算.....	324	四、锅内腐蚀及其防止.....	405
三、循环回路计算方法.....	327	§ 10-2 锅炉的水质标准	407
四、水循环可靠性校核.....	327	一、水质指标.....	407
§ 7-2 直流锅炉水动力学.....	333	二、工业锅炉的水质标准.....	409
一、水平布置蒸发受热面中的水动力特性.....	333	三、电站锅炉的水质标准.....	409
二、垂直布置蒸发受热面中的水动力特性.....	335	§ 10-3 锅炉水处理和水处理设备	410
三、蒸发受热面中的脉动现象.....	338	一、水的净化.....	410
四、蒸发受热面中的热偏差.....	340	二、水的软化.....	410
§ 7-3 多次强制循环锅炉水动力学.....	342	三、水的除盐.....	414
§ 7-4 传热恶化及其防止措施.....	344	四、水的除氧.....	415
第八章 锅筒及其内部装置.....	348	五、炉内水处理.....	417
§ 8-1 锅筒.....	348	§ 10-4 锅炉给水设备及其选用	418
一、锅筒的作用和结构.....	348	一、蒸汽注水器.....	419
二、锅筒的支持结构.....	348	二、蒸汽活塞泵.....	419
§ 8-2 蒸汽品质及其污染原因.....	351	三、离心泵.....	419
一、蒸汽品质指标.....	351	四、强制循环用的循环泵.....	422
二、蒸汽污染原因及对策.....	351	五、泵的选用.....	422
三、影响蒸汽带水及溶盐的因素.....	352	第十一章 通风及通风设备.....	424
§ 8-3 锅筒内部装置.....	354	§ 11-1 烟道计算	424
一、汽水分离装置.....	354	一、沿程摩擦阻力计算.....	424
二、蒸汽清洗装置.....	360	二、横向冲刷管束阻力计算.....	426
三、分段蒸发.....	360	三、局部阻力计算.....	427
四、给水管、排污管和加药管.....	361	四、烟道总压降计算要点.....	432
§ 8-4 锅筒内部装置的组合.....	363	§ 11-2 风道计算	436
第九章 锅炉辅助设备	366	§ 11-3 风机结构及选择	438
§ 9-1 水位表.....	366	§ 11-4 烟囱计算	443
§ 9-2 水位警报装置和水位调节器.....	368	第十二章 锅炉炉墙与构架	446
一、水位警报装置.....	368	§ 12-1 锅炉炉墙的结构	446
二、水位调节器.....	370	一、对炉墙结构的基本要求.....	446
§ 9-3 管道及其附件.....	374	二、重型炉墙的结构.....	447
一、管道.....	374	三、轻型炉墙.....	449
二、管道附件(阀门)	389	四、敷管炉墙.....	451
§ 9-4 吹灰和排渣装置.....	399	§ 12-2 炉墙材料及其性能	455
一、吹灰装置.....	399	一、炉墙材料的分类和性能.....	455
二、排渣(灰)装置.....	399	二、耐热材料.....	455
第十章 水处理与给水设备.....	404	三、保温绝热材料.....	456
§ 10-1 锅内结垢与腐蚀.....	404	四、密封涂料.....	458
一、锅内水垢的形成及分类.....	404	§ 12-3 炉墙的传热计算	460
二、锅内水垢的危害和防止.....	405	一、炉墙内壁最高温度和平均温度的计算.....	460
		二、炉墙的传热计算.....	463
		§ 12-4 锅炉构架	464

一、锅炉构架的类型	464	及平板的计算	500
二、框架式构架	465	一、平端盖的强度计算	500
三、桁架式构架	466	二、平堵头和平板的强度计算	502
第十三章 锅炉钢材及强度计算	469	§ 13-10 有拉撑件的平板的强度计算	503
§ 13-1 锅炉主要元件对钢材性能的要求	469	一、拉撑平板和烟管区域以外的平板	503
一、用以制造室温及中温承压元件的钢材	469	二、烟管区域内的平板	506
二、用以制造高温承压元件的钢材	469	三、对有拉撑件的平板的结构要求	507
§ 13-2 锅炉用钢的分类	470	§ 13-11 孔的加强计算	507
一、工作温度低于500℃的钢材	470	一、未加强孔的最大允许直径	507
二、工作温度高于500℃的钢材	470	二、孔的加强结构	510
§ 13-3 锅炉钢材的机械性能	470	三、孔的加强计算	511
一、温度对钢材机械性能的影响	470	第十四章 环境保护	514
二、钢材的蠕变现象	471	§ 14-1 环境质量标准	514
三、钢材的蠕变极限和持久强度	472	§ 14-2 大气污染的发生和排放标准	519
四、应力松弛	472	§ 14-3 除尘技术	522
五、长期在高温下钢材组织结构的变化	473	一、粉尘特性	522
六、锅炉钢材的脆性	474	二、除尘器性能	524
七、锅炉钢材的低周疲劳	475	三、各种除尘装置	526
八、锅炉钢材的高温氧化	475	§ 14-4 脱硫技术和大气扩散	536
九、锅炉钢材的应力腐蚀	476	§ 14-5 低NO _x 排放燃烧技术和烟气脱硝	538
§ 13-4 锅炉钢材的选用	477	第十五章 锅炉运行与维护	541
§ 13-5 锅炉受压元件强度计算基本参数的确定	479	§ 15-1 锅炉的启动和停用	541
一、许用应力	479	一、母管系统自然循环锅炉的启动	541
二、计算压力	480	二、母管系统自然循环锅炉的停用	547
三、计算壁温	481	三、自然循环锅炉的滑参数启动	548
§ 13-6 承受内压圆筒形元件的强度计算	482	四、直流锅炉启动特点	551
一、未减弱的圆筒形元件的强度计算	482	五、复合循环锅炉启动特点	555
二、圆筒形元件上孔排和焊缝的减弱	483	§ 15-2 锅炉的运行控制	557
三、对圆筒形元件的结构要求	489	一、负荷分配、汽温汽压的调节	557
§ 13-7 承受外压圆筒形元件的强度计算	492	二、锅炉的非设计工况运行	559
一、临界压力计算	492	§ 15-3 锅炉的变压运行	560
二、平炉胆和直炉胆的强度计算	493	一、变压运行方式	560
三、波形炉胆和组合炉胆的强度计算	493	二、变压运行的优缺点	561
四、对炉胆的结构要求	495	三、变压运行对锅炉的影响	562
§ 13-8 承受内压凸形封头的强度计算	496	§ 15-4 锅炉的维护与保养	563
§ 13-9 承受内压的平端盖、平堵头		一、湿法养护	563
		二、干法和充气法养护	564
		三、热法养护	564
		四、采用除湿机养护	564
		第十六章 锅炉试验	565
		§ 16-1 锅炉热工试验的分类、目的和一般要求	565

§ 16-2 正平衡热效率试验	568	二、弹性式压力计	592
一、计算公式	568	§ 17-2 锅炉流量测量仪表	598
二、各热工参数的测量	568	一、容积式流量测量仪表	598
§ 16-3 反平衡热效率试验	583	二、速度式流量测量仪表	598
一、计算公式	583	三、差压式流量测量仪表	602
二、各热工参数的测量	583	§ 17-3 锅炉测温仪表	607
§ 16-4 锅炉的水压试验	588	一、高温测量技术	607
第十七章 锅炉测试仪表	590	二、壁温测量技术	611
§ 17-1 锅炉压力测量仪表	590	三、温度数字巡回检测装置	611
一、液柱式压力计	590	参考文献	614

第一章 锅炉种类及其结构

§ 1-1 锅炉的分类和构成

锅炉是利用燃料等能源的热能或工业生产中的余热，将工质加热到一定温度和压力的换热设备，也称为蒸汽发生器。

一、锅炉的分类

锅炉分类方式众多，参见表1-1。

表 1-1 锅炉分类

分类方法	锅 炉 类 型	简 要 说 明
按用途分类	电站锅炉 工业锅炉 船用锅炉 机车锅炉	用于发电，大多为大容量高参数锅炉，火室燃烧，热效率较高 用于工业生产和采暖，大多为低参数，小容量锅炉，火床燃烧，热效率较低。出口工质为蒸汽的称为蒸汽锅炉，出口工质为热水的称为热水锅炉 用作船舶动力，一般采用低、中参数，大多燃油。要求锅炉体积小，重量轻 用作机车动力，一般为小容量低参数，火床燃烧，以燃煤为主，锅炉设计紧凑
按结构分类	火管锅炉 水管锅炉	烟气在火管内流过，一般为小容量低参数锅炉，热效率较低但构造简单，水质要求低，运行维修方便 汽水在管内流过，可以制成小容量、低参数锅炉，也可制成大容量、高参数锅炉。电站锅炉一般均为水管锅炉，热效率较高，但对水质要求和运行水平的要求也较高
按循环方式分类	自然循环锅筒锅炉 多次强制循环锅筒锅炉也称辅助循环锅筒锅炉 低倍率循环锅炉 直流锅炉 复合循环锅炉	具有锅筒，利用下降管和上升管中工质密度差产生工质循环，只能在临界压力以下应用 具有锅筒和循环泵，利用循环回路中的工质密度差和循环泵压头建立工质循环。只能在临界压力以下应用 具有汽水分离器和循环泵。主要靠循环泵建立工质循环，可应用于亚临界压力和超临界压力。循环倍率较低，一般为1.25~2.0 无锅筒，给水靠水泵压头一次通过受热面产生蒸汽，适用于高压和超临界压力锅炉 具有再循环泵。锅炉负荷低时按再循环方式运行，负荷高时按直流方式运行。可应用于亚临界压力和超临界压力
按锅炉出口工质压力分类	低压锅炉 中压锅炉 高压锅炉 超高压锅炉 亚临界压力锅炉 超临界压力锅炉	一般压力小于1.274MPa (13kgf·cm ⁻²) 一般压力为3.822MPa (39kgf·cm ⁻²) 一般压力为9.8MPa (100kgf·cm ⁻²) 一般压力为13.72MPa (140kgf·cm ⁻²) 一般压力为16.66MPa (170kgf·cm ⁻²) 压力大于22.11MPa (225.65kgf·cm ⁻²)

(续)

分类方法	锅 炉 类 型	简 要 说 明
按燃烧方式分类	火床燃烧锅炉	主要用于工业锅炉, 其中包括固定炉排炉、活动手摇炉排炉、倒转炉排抛煤机炉、振动炉排炉、下饲式炉排炉和往复推饲炉排炉等。燃料主要在炉排上燃烧
	火室燃烧锅炉	主要用于电站锅炉, 燃烧液体燃料, 气体燃料和煤粉的锅炉都是火室燃烧锅炉。火室燃烧时, 燃料主要在炉膛空间悬浮燃烧
	旋风炉	有卧式和立式两种, 燃用粗煤粉或煤屑。微粒燃料在旋风筒中央悬浮燃烧, 较大煤粒贴在筒壁燃烧, 液态排渣
	沸腾燃烧锅炉	送入炉排的空气流速较高, 使大粒燃煤在炉排上面的沸腾床中翻腾燃烧, 小粒燃煤随空气上升并燃烧。宜用于燃用劣质燃料, 目前只用于工业锅炉。最近在开发大型循环沸腾燃烧锅炉
按所用燃料或能源分类	固体燃料锅炉	燃用煤等固体燃料
	液体燃料锅炉	燃用重油等液体燃料
	气体燃料锅炉	燃用天然气等气体燃料
	余热锅炉	利用冶金、石油化工等工业的余热作热源
	原子能锅炉	利用核反应堆所释放热能作为热源的蒸汽发生器
	废料锅炉	利用垃圾、树皮、废液等废料作为燃料的锅炉
按排渣方式分类	其它能源锅炉	利用地热、太阳能等能源的蒸汽发生器
	固态排渣锅炉 液态排渣锅炉	燃料燃烧后生成的灰渣呈固态排出, 是燃煤锅炉的主要排渣方式 燃料燃烧后生成的灰渣呈液态从渣口流出, 在裂化箱的冷却水中裂化成小颗粒后排入水沟冲走
按炉膛烟气压力分类	负压锅炉 微正压锅炉 增压锅炉	炉膛压力保持负压, 有送、引风机, 是燃煤锅炉主要型式 炉膛表压力为2000~5000Pa, 不需引风机, 宜于低氧燃烧 炉膛表压力大于0.3MPa, 用于配蒸汽—燃气联合循环
按锅筒布置分类	单锅筒纵置式、单锅筒横置式、双锅筒纵置式等	现代锅筒型电站锅炉都应用单锅筒型式, 工业锅炉采用单锅筒或双锅筒型式
按炉型分类	倒U型、塔型、箱型、T型、U型、N型、L型、D型、A型等	D型、A型用于工业锅炉, 其它炉型一般用于电站锅炉
按锅炉房型式分类	露天、半露天、室内、地下、洞内	工业锅炉一般采用室内布置, 电站锅炉主要采用室内或露天布置
按锅炉出厂型式分类	快装锅炉、组装锅炉, 散装锅炉	小型锅炉可采用快装型式

二、锅炉的构成及工作流程

锅炉由主要部件和辅助装置构成。表1-2所列为现代大型自然循环高压锅炉所必备的主要部件和辅助装置。

表 1-2 锅炉主要部件和辅助装置的名称和作用

名 称	主 要 作 用
主 要 部 件	炉 膛 燃烧设备 锅 筒 保证燃料燃尽并使出口烟气温度冷却到对流受热面能安全工作的数值 将燃料和燃烧所需空气送入炉膛并使燃料着火稳定, 燃烧良好 是自然循环锅炉各受热面的闭合件, 将锅炉各受热面联结在一起并和水冷壁, 下降管等组成水循环回路。锅筒储存汽水, 可适应负荷变化, 内部设有汽水分离装置等以保证水汽品质。直流锅炉无锅筒 水 冷 壁 过 热 器 是锅炉的主要辐射受热面、吸收炉膛辐射热加热工质, 并用以保护炉墙。 将饱和蒸汽加热到额定过热蒸汽温度。生产饱和蒸汽的蒸汽锅炉和热水锅炉无过热器 再 热 器 将汽轮机高压缸排汽加热到较高温度, 然后再送到汽轮机中压缸膨胀做功。用于大型电站锅炉以提高电站热效率 省 煤 器 空气预热器 利用锅炉尾部烟气的热量加热给水, 以降低排烟温度, 节约燃料 加热燃烧用的空气, 以加强着火和燃烧, 吸收烟气余热, 降低排烟温度, 提高锅炉效率, 为煤粉锅炉制粉系统提供干燥剂 炉墙构架 是锅炉的保护外壳, 起密封和保温作用。支承和固定锅炉各部件, 并保持其相对位置
辅 助 装 置	燃料供应装置 储存和运输燃料 磨煤装置 将煤磨成煤粉并输入燃用煤粉的锅炉燃烧 送风装置 由送风机将空气送入空气预热器加热后输往炉膛及磨煤装置应用 引风装置 由引风机和烟囱将锅炉排出的烟气送往大气 给水装置 由给水泵将经过水处理设备处理后的给水送入锅炉 除灰除渣装置 从锅炉中除去灰渣并运走 除尘装置 除去锅炉烟气中的飞灰、改善环境卫生 自动控制装置 自动检测、程序控制、自动保护和自动调节

图1-1为燃用煤粉的自然循环锅炉简图, 其工作流程大致如下。燃料煤运到煤场后经煤斗和给煤机入磨煤机磨成煤粉并由一次空气携往燃烧器。燃烧器喷出的煤粉与二次空气混合后在炉膛燃烧并释出大量热量。燃烧产生的高温烟气由炉膛经过热器、再热器、省煤器和空气预热器进入除尘器, 再由引风机送往烟囱排入大气。

给水由给水泵经给水管道送入省煤器。给水在省煤器吸热后进入锅筒, 并沿下降管经下集箱流入水冷壁。水在水冷壁中吸收炉膛辐射热而形成汽水混合物并流入锅筒。汽水混合物在锅筒中经汽水分离装置后, 蒸汽由锅筒上部送入半辐射式过热器和对流过热器等吸热并形成过热蒸汽。随后, 过热蒸汽由过热器出口集箱输往汽轮机。

自高压缸出口引来的蒸汽在再热器中吸收烟气热量后再送入中压缸做功。

冷空气自送风机吸风管吸入后, 由送风机送往空气预热器。空气在空气预热器中吸收烟气热量后形成热空气, 并分为一次空气和二次空气分别送往磨煤机和燃烧器。

锅炉的灰渣经灰渣斗落入排灰槽道后用水力排渣。

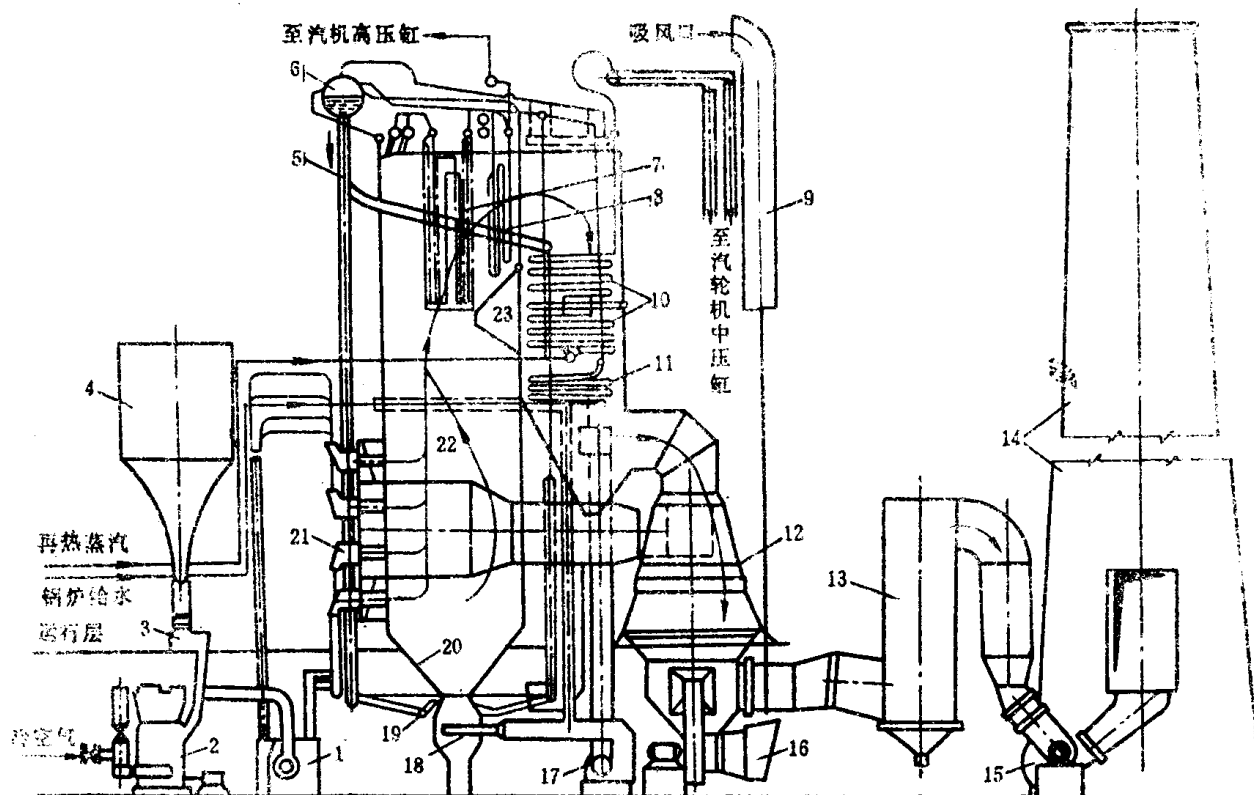


图 1-1 燃用煤粉的自然循环锅炉简图

1—排粉机 2—磨煤机 3—给煤机 4—煤斗 5—下降管 6—锅筒 7—半辐射式过热器 8—对流过热器 9—送风机吸风管 10—再热器 11—省煤器 12—空气预热器 13—除尘器 14—烟囱 15—引风机 16—送风机 17—烟气再循环风机 18—灰渣斗 19—下集箱 20—水冷壁 21—燃烧器 22—炉膛 23—折烟角

§ 1-2 锅炉的参数、型号与技术经济指标

一、锅炉参数

锅炉参数一般指锅炉容量、蒸汽压力、蒸汽温度和给水温度。

工业蒸汽锅炉的容量用额定蒸发量表示。额定蒸发量表明锅炉在额定蒸汽压力、蒸汽温度、规定的锅炉效率和给水温度下，连续运行时所必须保证的最大蒸发量，单位为t/h。工业热水锅炉以供热量为容量单位，其单位为kW(kcal/h)。

电站锅炉的容量也用额定蒸发量表示，单位为t/h。

锅炉蒸汽压力和温度是指过热器主汽阀出口处的过热蒸汽压力和温度，对于无过热器的锅炉，用主汽阀出口处的饱和蒸汽压力和温度表示。压力的单位为MPa(kgf/cm²)，温度的单位为K或℃。

锅炉给水温度是指进省煤器的给水温度，对无省煤器的锅炉即指进锅炉锅筒的水的温度。

我国工业蒸汽锅炉的参数系列见表1-3，工业热水锅炉的参数系列见表1-4，电站锅炉的参数系列见表1-5。

表 1-5 我国电站锅炉参数系列

额定蒸发量/(t·h ⁻¹)	额 定 蒸 汽 压 力/MPa, (kgf·cm ⁻²)				配凝汽式汽轮发电机 组功率/MW
	3.822(39)	9.80(100)	13.72(140)	16.66(170)	
	额 定 蒸 汽 温 度/℃				
	450	540	540/540 ^①		
35	△				6
65	△				12
130	△				25
220		△			50
410		△			100
400			△ ^②		125
670			△		200
1000				△ ^③	300
2050				△	600

- ① 分子为过热汽温，分母为再热汽温。
② 现行产品采用400t·h⁻¹，(555/555)℃。
③ 现行产品采用1000t·h⁻¹，(555/555)℃。

电站锅炉的给水温度对中压锅炉一般为150℃或170℃，对高压锅炉为215℃，对亚临界压力锅炉为260℃。

二、锅炉型号

1. 工业锅炉型号编制参见JB1625—75。型号由用短横线相连的三部分组成。第一部分分三段，分别表示锅炉型号（用汉语拼音字母代号，见表1-6）、燃烧方式（用汉语拼音字母代号，见表1-7）和蒸发量（用阿拉伯数字表示，单位为t/h；热水锅炉为供热量，单位为10⁴kcal/h；余热锅炉以受热面表示，单位为m²）。因新的型号编制文件尚未发表，故仍采用JB1625—75编制方法。

表 1-6 锅炉型式代号

锅 炉 型 式	代 号	锅 炉 型 式	代 号
立式水管	LS (立, 水)	单锅筒横置式	DH (单, 横)
立式火管	LH (立, 火)	双锅筒纵置式	SZ (双, 纵)
卧式内燃	WN (卧, 内)	双锅筒横置式	SH (双, 横)
单锅筒立式	DL (单, 立)	纵横锅筒式	ZH (纵, 横)
单锅筒纵置式	DZ (单, 纵)	强制循环式	QX (强, 循)

表 1-7 燃烧方式代号

燃 烧 方 式	代 号	燃 烧 方 式	代 号
固定炉排	G (固)	下饲炉排	A (下)
活动手摇炉排	H (活)	往复式炉排	W (往)
链条炉排	L (链)	沸腾炉	F (沸)
抛煤机	P (抛)	半沸腾炉	B (半)
倒转炉排加抛煤机	D (倒)	室燃炉	S (室)
振动炉排	Z (振)	旋风炉	X (旋)

快装式水管锅炉在型号第一部分用K（快）代替表1-6中的锅筒数量代号。快装纵横锅筒式用KZ（快，纵）代号；快装强制循环式用KQ（快，强）代号。

型号第二部分表示工质参数，分额定蒸汽压力和额定蒸汽温度二段，中间以斜线相隔，惯用单位分别为 kgf/cm^2 和 $^{\circ}\text{C}$ 。蒸汽温度为饱和温度时，型号第二部分无斜线和第二段。

型号第三部分表示燃料种类和设计次序，共两段：第一段表示燃料种类（用汉语拼音字母代号，见表1-8），第二段表示设计次序（用阿拉伯数字表示），原型设计无第二段。

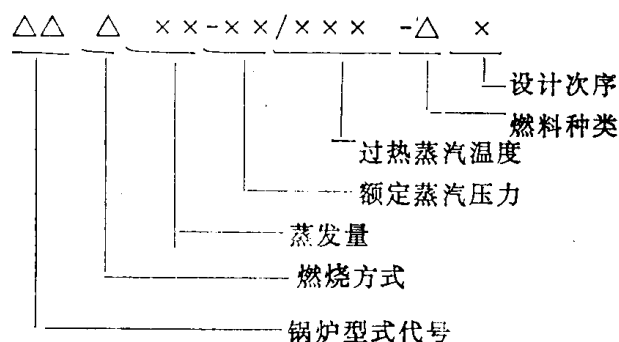
表 1-8 燃料种类代号

燃 料 种 类	代 号	燃 料 种 类	代 号
无 烟 煤	W（无）	气	Q（气）
贫 煤	P（贫）	木 柴	M（木）
烟 煤	A（烟）	稻 壳	D（稻）
劣质烟煤	L（劣）	甘 蔗 渣	G（甘）
褐 煤	H（褐）	煤 矸 石	S（石）
油	Y（油）		

注：1. 如同时使用几种燃料，主要燃料放在前面。

2. 余热锅炉无燃料代号。

工业锅炉型号表示形式如下：



例如：DZL4-13-W表示双锅筒纵置式链条炉排，蒸发量4t/h，压力13 kgf/cm^2 ，饱和温度，燃用无烟煤，原型设计锅炉；SHS10-13/250-A2表示双锅筒横置式室燃，蒸发量10t/h，压力13 kgf/cm^2 ，过热蒸汽温度250 $^{\circ}\text{C}$ ，燃用烟煤，第二次设计的锅炉。

2. 电站锅炉型号也由三部分组成，分别表示锅炉制造厂代号（表1-9）、锅炉参数和设计燃料代号（表1-10）及设计次序。电站锅炉型号编制参见JB1617—75。

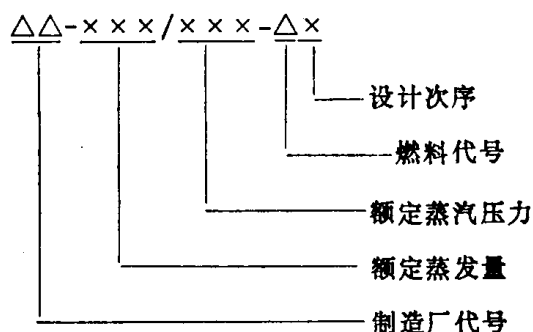
表 1-9 电站锅炉制造厂代号

制 造 厂 名	代 号	制 造 厂 名	代 号
北京锅炉厂	BG	上海锅炉厂	SG
东方锅炉厂	DG	无锡锅炉厂	UG
哈尔滨锅炉厂	HG	武汉锅炉厂	WG
杭州锅炉厂	NG	济南锅炉厂	YG

表 1-10 设计燃料代号

设计燃料	代 号	设计燃料	代 号
燃 煤	M	燃其它燃料	T
燃 油	Y	可燃煤和油	MY
燃 气	Q	可燃油和气	YQ

使用联合设计图样制造的电站锅炉型号，可在型号第一部分工厂代号后再加L表示。
电站锅炉型号表示型式如下：



例如：HG-670/140-M表示哈尔滨锅炉厂制造的670t/h、140kgf/cm²电站锅炉，设计燃料为重油，原型设计；SG-1000/170-YM2表示上海锅炉厂制造的1000t/h、170kgf/cm²电站锅炉，设计燃料为油煤两用，第二次变型设计。

三、锅炉技术经济指标

锅炉技术经济指标一般用锅炉热效率、成本及可靠性三项来表示。优质锅炉应保证热效率高、成本低和运行可靠。

锅炉热效率 是指送入锅炉的全部热量中被有效利用的百分数，现代电站锅炉的热效率一般都在90%以上，我国工业锅炉的热效率应不低于表1-11所列的规定值。

表 1-11 我国工业锅炉应保证的最低热效率

燃料种类		发热量/ (kJ·kg ⁻¹), (kcal·kg ⁻¹)	蒸发量/(t·h ⁻¹)			
			<1	2	4~6	≥10
石煤, 煤矸石	I	<5443, (1300)	44	50	53	52
	II	5443~8374, (1300~2000)	46	52	56	52
	III	>8374~11305, (2000~2700)	50	56	62	64
无烟煤	I	<20935, (5000), 挥发分V _r 为5~10%	52	58	62	66
	II	>20935, (5000), 挥发分V _r <5%	50	54	57	60
	III	>20935, (5000), 挥发分V _r 为5~10%	58	60	68	73
褐煤		8374~14655, (2000~3500)	60	66	71	75
贫煤		≥18842, (4500)	62	68	72	75
烟煤	I	>11305~15492, (2700~3700)	56	62	65	63
	II	>15492~19679, (3700~4700)	62	70	72	74
	III	>19679, (4700)	64	72	74	78
油, 天然气			80	80	84	85

锅炉成本 一般用锅炉成本的一个重要经济指标钢材消耗率来表示。钢材消耗率的定义为锅炉单位蒸发量所用的钢材重量，单位为 $t \cdot h/t$ 。锅炉参数、循环方式、燃料种类及锅炉部件结构对钢材消耗率均有影响。锅炉蒸汽参数高、容量小、燃煤、采用自然循环、采用管式空气预热器及钢柱构架可使钢材消耗率增大，蒸汽参数低、容量大、采用直流锅炉、燃油或燃气、采用回转式空气预热器及钢筋混凝土柱构架可使钢材消耗率减小。

工业锅炉的钢材消耗率在 $5 \sim 6 t \cdot h/t$ 左右；电站锅炉的钢材消耗率一般在 $2.5 \sim 5 t \cdot h/t$ 范围内。在保证锅炉安全、可靠、经济运行的基础上应合理降低钢材消耗率，尤其是耐热合金钢材的消耗量。

锅炉可靠性 常用下列三种指标来衡量：

1. 连续运行时数 = 两次检修之间的运行时数；

2. 事故率 = $\frac{\text{事故停用小时数}}{\text{运行总时数} + \text{事故停用小时数}} \times 100\%$ ；

3. 可用率 = $\frac{\text{运行总时数} + \text{备用总时数}}{\text{统计时间总时数}} \times 100\%$ 。

目前国内电站锅炉的较好指标是：连续运行时数在 4000h 以上；事故率约为 1%；可用率约为 90%。我国水利电力部要求电站锅炉的年运行时间 $\geq 6000h$ 。

§ 1-3 工业锅炉的结构

工业锅炉就其本体结构而言可分为火管锅炉和水管锅炉两种。火管锅炉具有结构简单、运行水平和给水品质要求较低等优点。但是，由于结构上的限制，只能制成低参数、小容量的锅炉，热效率较低，因而钢材消耗率较大。水管锅炉受热面布置方便，传热性能好，热效率也较高，因而钢材消耗率较低，在结构上可用于大容量和高参数的工况，但对水质和运行水平要求较高。水火管锅炉是在火管锅炉和水管锅炉基础上设计制成的，具有两者的优点，对水质要求与水管锅炉相近。火管锅炉由于容量小、结构简单，一般制成快装式锅炉；水管锅炉也有制成快装式锅炉的，水火管锅炉一般也制成快装式锅炉。

一、火管锅炉

在火管锅炉中，高温烟气在火管（也称炉胆或火筒）和烟管中流动，以辐射传热和对流传热方式加热工质产生蒸汽。

火管锅炉根据布置方式可分为卧式和立式两种。卧式布置的火管锅炉可分为单火管锅炉（也称康尼许锅炉），双火管锅炉（ π 形锅炉）、烟管锅炉（外燃锅炉）和烟火管锅炉（内燃锅炉）。立式布置的火管锅炉有立式小横水管锅炉、立式横烟管锅炉、立式直水管锅炉和立式弯水管锅炉。立式横烟管锅炉已不再生产。

（一）外燃烟管锅炉

外燃烟管锅炉没有火管，烟气由炉膛流至前烟箱，再由烟箱上部的烟管流至后烟箱，再由后烟箱下部的烟管流至炉膛。其优点为：结构紧凑，燃用燃料较广；缺点是

在炉排上燃烧后，烟气折入炉膛，炉膛容积可视燃烧需要适当增减，易使锅筒底部积水垢而过热变形。