

第 71 篇 锅 炉

(试 用 本)

机械工程手册
电机工程手册

编辑委员会



机 械 工 业 出 版 社

机械工程手册

第71篇 锅 炉

(试 用 本)

机械工程手册
电机工程手册 编辑委员会



机械工业出版社

本篇全面介绍锅炉技术的共性问题, 阐明锅炉总体与系统及总体与部件间的内在联系。内容包括设计基本原理、常用公式和数据、主要部件结构、管道系统、自动控制、测试技术、水处理和工业锅炉等。本篇还对锅炉的关键技术、发展趋向和现代化内容作了介绍。

机 械 工 程 手 册

第71篇 锅 炉

(试 用 本)

上海锅炉研究所 主编

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092^{1/16}$ ·印张 $8^{7/8}$ ·字数 244 千字

1979 年 5 月北京第一版·1979 年 5 月北京第一次印刷

印数 00,001—54,000·定价 0.68 元

*

统一书号: 15033·4618

编 辑 说 明

(一) 我国自建国以来, 机械工业在毛主席的革命路线指引下, 贯彻“独立自主、自力更生”和“洋为中用”的方针, 取得了巨大的成就。为了总结广大群众在生产和科学研究方面的经验, 同时采用国外先进技术, 加强机械工业科学技术的基础建设, 适应实现“四个现代化”的需要, 我们组织编写了《机械工程手册》和《电机工程手册》。

(二) 这两部手册主要供广大机电工人、工程技术人员和干部在设计、制造和技术革新中查阅使用, 也可供教学及其他有关人员参考。

(三) 这两部手册是综合性技术工具书, 着重介绍各专业的理论基础, 常用计算公式, 数据、资料, 关键问题以及发展趋向。在编写中, 力求做到立足全局, 勾划概貌, 反映共性, 突出重点。在内容和表达方式上, 力求做到深入浅出, 简明扼要, 直观易懂, 归类便查。读者在综合研究和处理技术问题时, 《手册》可起备查、提示和启发的作用。它与各类专业技术手册相辅相成, 构成一套比较完整的技术工具书。《机械工程手册》包括基础理论、机械工程材料、机械设计、机械制造工艺、机械制造过程的机械化与自动化、机械产品六个部分, 共七十九篇; 《电机工程手册》包括基础理论、电工材料、电力系统与电源、电机、输变电设备、工业电气设备、仪器仪表与自动化七个部分, 共五十篇。

(四) 参加这两部手册编写工作的, 有全国许多地区和部门的工厂、科研单位、大专院校等五百多个单位、两千多人。提供资料和参加审定稿件的单位和人员, 更为广泛。许多地区

的科技交流部门，为审定稿件做了大量的工作。各篇在编写、协调、审查、定稿各个环节中，广泛征求意见，发挥了广大群众的智慧和力量。

（五）为了使手册早日与读者见面，广泛征求意见，先分篇出版试用本。由于我们缺乏编辑出版综合性技术工具书的经验，试用本在内容和形式方面，一定会存在不少遗漏、缺点和错误。我们热忱希望读者在试用中进一步审查、验证，提出批评和建议，以便今后出版合订本时加以修订。

（六）本篇是《机械工程手册》第71篇，由上海锅炉研究所主编，参加编写的有东方锅炉厂、哈尔滨锅炉厂、上海锅炉厂、西安交通大学、上海机械学院、南京工学院、上海工业锅炉研究所、闵行电厂等单位。许多有关单位对编审工作给予大力支持和帮助，在此一并致谢。

机械工程手册
、电机工程手册 编辑委员会编辑组

常用符号表

A^y ——燃料的应用基灰分 %	q_6 ——灰渣物理热损失 %
a_{h2} ——排渣率 %	R ——炉排面积 m^2
a_l ——炉膛黑度	r_1 ——一次风率 %
B ——实际燃料消耗量 kg/h (或 Nm^3/h)	r_2 ——二次风率 %
B_j ——计算燃料消耗量 kg/h (或 Nm^3/h)	r_3 ——三次风率 %
c_p ——定压比热 $kcal/(kg \cdot ^\circ C)$	T ——火焰平均温度 K
D ——额定蒸发量 t/h ; 产汽量 t/h (第5章)	T_b ——辐射受热面的壁面温度 K
D_g ——公称通径 mm	t_{gs} ——给水温度 $^\circ C$
D_{ps} ——排污水流量 t/h	t_{rf} ——热风温度 $^\circ C$
D_1 ——过热蒸汽流量 t/h	t_1 ——过热蒸汽温度 $^\circ C$
D_2 ——再热蒸汽流量 t/h	t'_2 ——再热蒸汽进口温度 $^\circ C$
d_n ——内径 mm	t''_2 ——再热蒸汽出口温度 $^\circ C$
d_u ——外径 mm	U ——炉膛周长 m
F_l ——炉膛辐射受热面积 m^2	V^r ——燃料可燃基挥发分 %
f_x ——下降管截面比 %	V^0 ——理论空气量 Nm^3/kg (或 Nm^3/Nm^3)
f_y ——引出管截面比 %	V_y^0 ——理论烟气量 Nm^3/kg (或 Nm^3/Nm^3)
G ——循环水量 t/h	W^y ——燃料的应用基水分 %
H ——循环回路高度 m	w ——工质流速 m/s
h ——风压 mmH_2O	w_0 ——循环水速 m/s
l ——每 kg (或 Nm^3)燃料燃烧产物的焓 $kcal/kg$ (或 $kcal/Nm^3$)	w_k ——空气速度 m/s
i ——工质的焓 $kcal/kg$	w_y ——烟气速度 m/s
i_{gs} ——给水焓 $kcal/kg$	x_1 ——回转式预热器烟气流通截面比 %
i_{ps} ——排污水焓 $kcal/kg$	x_2 ——回转式预热器空气流通截面比 %
i_1 ——过热蒸汽焓 $kcal/kg$	Y_0 ——工作压力差 kgf/cm^2
i_2 ——再热蒸汽焓 $kcal/kg$	Y_{dl} ——倒流压差 kgf/cm^2
K ——传热系数 $kcal/(m^2 \cdot h \cdot ^\circ C)$ (第3章); 循环倍率 (第5章)	Y_{tz} ——停滞压差 kgf/cm^2
K_j ——界限循环倍率 (第5章)	α ——过量空气系数
K_{SiO_2} ——硅酸携带系数 %	α'_l ——炉膛出口过量空气系数
P ——压力 atg , kgf/cm^2 ; 排污率 % (第5章)	α_{py} ——排烟处过量空气系数
P_g ——公称压力 atg	α_d ——对流放热系数 $kcal/(m^2 \cdot h \cdot ^\circ C)$
Q_r ——每 kg (或 Nm^3)燃料带入锅炉的热量 $kcal/kg$ (或 $kcal/Nm^3$)	α_f ——辐射放热系数 $kcal/(m^2 \cdot h \cdot ^\circ C)$
Q_{dw}^y ——燃料的应用基低位发热量 $kcal/kg$ (或 $kcal/Nm^3$)	γ ——重度 kgf/m^3
Q_1 ——锅炉的有效利用热量 $kcal/h$	ΔP ——阻力 kgf/cm^2
q_F ——炉膛截面热负荷 $kcal/(m^2 \cdot h)$	ΔP_y ——运动压头 kgf/m^2
q_n ——管子内壁热负荷 $kcal/(m^2 \cdot h)$	Δt ——平均温差 $^\circ C$
q_r ——燃烧器区域壁面热负荷 $kcal/(m^2 \cdot h)$	$\Delta \alpha$ ——漏风系数
q_v ——炉膛容积热负荷 $kcal/(m^3 \cdot h)$	$\Delta \beta$ ——漏风率
q_w ——管子外壁热负荷 $kcal/(m^2 \cdot h)$	ε ——积灰系数
q_2 ——排烟热损失 %	η ——锅炉热效率 %
q_3 ——气体 (化学) 未完全燃烧热损失 %	ϑ'_l ——炉膛出口烟温 $^\circ C$
q_4 ——固体 (机械) 未完全燃烧热损失 %	ϑ_{py} ——排烟温度 $^\circ C$
q_5 ——散热损失 %	ξ ——受热面利用系数
	ρw ——质量流速 $kg/(m^2 \cdot s)$
	φ ——保热系数
	ψ ——辐射受热面平均吸热能力

目 录

编辑说明
常用符号表

第 1 章 概 述

- 1 锅炉类型及蒸汽参数系列.....71-1
- 2 锅炉的可靠性和经济性.....71-3
- 3 发展趋向.....71-3

第 2 章 总体设计

- 1 设计程序.....71-4
- 2 总体设计的主要问题.....71-5
 - 2.1 炉型.....71-5
 - 2.2 循环方式.....71-6
 - 2.3 锅炉热力系统.....71-9
 - 2.4 燃烧方式.....71-12

第 3 章 热力计算

- 1 内容和要求.....71-14
- 2 燃烧产物和燃料消耗量计算.....71-14
 - 2.1 理论空气量和烟气量.....71-14
 - 2.2 热损失.....71-15
 - 2.3 热效率.....71-16
 - 2.4 燃料消耗量.....71-16
- 3 炉膛传热计算.....71-16
 - 3.1 基本方程式.....71-16
 - 3.2 计算方法.....71-17
- 4 对流受热面传热计算.....71-17
 - 4.1 基本方程式.....71-17
 - 4.2 计算方法.....71-20

第 4 章 炉膛和燃烧器

- 1 炉膛(燃烧室).....71-20
 - 1.1 设计基本要求.....71-20
 - 1.2 形状和尺寸.....71-20
 - 1.3 主要热力参数选择.....71-21
 - 1.4 炉壁热负荷(热流)分布.....71-23
- 2 燃烧器.....71-24

- 2.1 分类.....71-24
- 2.2 设计基本要求.....71-27
- 2.3 煤粉燃烧器.....71-27
- 2.4 油燃烧器.....71-31
- 2.5 天然气燃烧器.....71-34
- 2.6 高炉煤气燃烧器.....71-35
- 2.7 燃烧器的自动控制.....71-36
- 2.8 点火器和火焰检测.....71-36
- 3 燃烧器的布置方式.....71-38
 - 3.1 布置方式(火焰形式).....71-38
 - 3.2 直流式燃烧器的布置要求.....71-38
 - 3.3 旋流式燃烧器的布置要求.....71-39
 - 3.4 燃烧器的配置只数和布置.....71-39

第 5 章 锅筒锅炉蒸发系统

- 1 水循环.....71-41
 - 1.1 自然循环工作原理.....71-41
 - 1.2 自然循环的工作可靠性.....71-42
 - 1.3 自然循环回路设计原则.....71-43
 - 1.4 自然循环回路主要设计参数选择.....71-43
 - 1.5 辅助循环.....71-43
- 2 水冷壁.....71-44
 - 2.1 类型.....71-44
 - 2.2 结构设计.....71-44
 - 2.3 刚性梁.....71-45
- 3 锅筒及其内部装置.....71-46
 - 3.1 锅筒.....71-46
 - 3.2 蒸汽净化原理.....71-47
 - 3.3 内部装置设计.....71-48

第 6 章 直流锅炉蒸发受热面

- 1 管屏型式和主要设计参数选择.....71-53
 - 1.1 管屏型式.....71-53
 - 1.2 主要设计参数选择.....71-54
 - 1.3 复合循环锅炉管屏的设计参数选择.....71-54
- 2 水动力特性.....71-55
 - 2.1 脉动.....71-55

2.2 多值性流动	71-56
2.3 停滞和倒流	71-57
2.4 热偏差	71-57
2.5 节流圈计算	71-58
3 膜态沸腾	71-58
3.1 现象和特点	71-58
3.2 计算方法	71-59
3.3 防止措施	71-59
3.4 超临界流体的类膜态沸腾	71-60

第7章 过热器、再热器和省煤器

1 过热器和再热器的结构型式	71-60
1.1 对流过热器	71-60
1.2 屏式过热器	71-61
1.3 辐射式(墙式)过热器	71-62
1.4 包墙管过热器	71-62
1.5 再热器	71-62
2 过热器和再热器的系统及布置	71-62
3 汽温调节	71-64
3.1 汽温变化特性	71-64
3.2 汽温调节方法	71-64
4 热偏差	71-67
4.1 工质侧流量不均匀	71-67
4.2 烟气侧吸热不均匀	71-68
5 高温腐蚀	71-68
5.1 煤粉锅炉的高温腐蚀	71-68
5.2 燃油锅炉的高温腐蚀	71-68
6 省煤器的结构型式	71-69
7 省煤器的磨损和防磨措施	71-69

第8章 空气预热器

1 作用和类型	71-70
2 管式空气预热器	71-70
2.1 主要设计参数选择	71-70
2.2 结构	71-70
3 回转式空气预热器	71-71
3.1 受热面回转式	71-71
3.2 风罩回转式	71-71
3.3 主要设计参数和结构选择	71-72
4 设计和运行中几个问题	71-73
4.1 管式预热器的振动	71-73

4.2 回转式预热器的漏风	71-73
4.3 低温腐蚀和堵灰	71-74

第9章 炉墙和构架

1 炉墙	71-74
1.1 分类和要求	71-74
1.2 材料	71-75
1.3 结构实例	71-77
1.4 计算特性实例	71-78
2 构架	71-79
2.1 分类和要求	71-79
2.2 布置方法	71-80
2.3 设计与计算	71-81
2.4 地震区和露天锅炉构架设计	71-82

第10章 汽水管道、阀门附件 和除灰排渣装置

1 汽水管道用阀门附件	71-83
2 汽水管道	71-85
2.1 给水操作台	71-85
2.2 减温水管道	71-86
2.3 排污、疏水和放气管道	71-86
2.4 锅筒附件	71-86
2.5 蒸汽出口集箱附件	71-86
3 除灰装置	71-88
4 排渣装置	71-88

第11章 起动系统和旁路系统

1 起动系统	71-89
1.1 作用和型式	71-89
1.2 起动压力及起动流量的选择	71-91
1.3 起动分离器	71-91
2 旁路系统	71-91
2.1 作用和型式	71-91
2.2 系统选择	71-92
2.3 布置方式	71-93
3 汽水膨胀	71-94
3.1 现象和原因	71-94
3.2 影响因素	71-94
3.3 减少膨胀量的措施	71-94
4 振动和噪声	71-94

4.1 起动系统中的振动和噪声	71-94
4.2 节流管束	71-94
4.3 旁路系统中的振动和噪声	71-95
5 对锅炉和辅机设计的要求	71-95
5.1 对锅炉设计的要求	71-95
5.2 对辅机设计的要求	71-95

第12章 自动控制

1 内容和要求	71-95
2 锅筒锅炉自动调节	71-96
2.1 给水自动调节系统	71-96
2.2 汽温自动调节系统	71-97
2.3 燃烧过程自动调节系统	71-98
3 直流锅炉和低倍率循环锅炉 的自动调节	71-99
3.1 直流锅炉的动态特性	71-99
3.2 直流锅炉自动调节系统	71-100
3.3 低倍率循环锅炉自动调节系统	71-101

第13章 水处理

1 水处理内容	71-102
2 水质标准	71-102
3 补给水处理系统	71-103
3.1 软化	71-103
3.2 化学除盐	71-105
4 凝结水处理系统	71-105
5 水处理设备	71-105
5.1 澄清池和过滤池	71-105
5.2 离子交换器	71-105
5.3 覆盖过滤器和电磁过滤器	71-106
5.4 除氧器和除碳器	71-106

第14章 锅炉热工和热 化学试验

1 主要试验项目	71-107
2 锅炉热效率试验	71-107
2.1 正平衡法	71-107
2.2 反平衡法	71-108
2.3 试验时间及负荷要求	71-108

2.4 工业锅炉的试验准确度	71-109
3 锅炉测试技术	71-109
3.1 温度和热流测量	71-109
3.2 速度和流量测量	71-110
3.3 烟气成分分析	71-112
3.4 等速取样	71-113
3.5 汽水品质监测	71-113

第15章 工业锅炉

1 分类、型号及参数系列	71-114
2 总体设计	71-115
2.1 燃烧设备选择	71-115
2.2 锅炉型式确定	71-115
2.3 受热面布置和计算	71-116
3 燃料和燃烧设备	71-117
3.1 燃料	71-117
3.2 手烧炉排	71-117
3.3 链条炉排	71-119
3.4 振动炉排	71-120
3.5 往复炉排	71-120
3.6 抛煤机	71-121
3.7 沸腾炉	71-121
3.8 煤粉炉	71-122
3.9 下饲式炉排	71-122
3.10 其他燃料的燃烧设备	71-122
3.11 燃煤燃烧设备常用设计数据和 特性比较	71-123
4 锅炉型式	71-123
4.1 火管锅炉	71-123
4.2 水管锅炉	71-125
4.3 其他锅炉	71-128
5 辅助设备及管道附件	71-129
5.1 水处理设备	71-129
5.2 自动调节和保护装置	71-130
5.3 给水和通风设备	71-131
5.4 管道附件	71-131
6 消烟除尘	71-131
参考文献	71-133

第1章 概述

锅炉（蒸汽发生器）是利用燃料或其他能源的热能，把工质（一般为净化的水）加热到一定参数（温度、压力）的换热设备。

通常把燃料的燃烧、放热、排渣等称为炉内过

程，把工质的流动、传热、热化学等称为锅内过程。图 71·1-1 为燃烧煤粉的自然循环锅炉及其辅机的工作流程图。

锅炉按用途可分为电站锅炉、工业锅炉和船舶

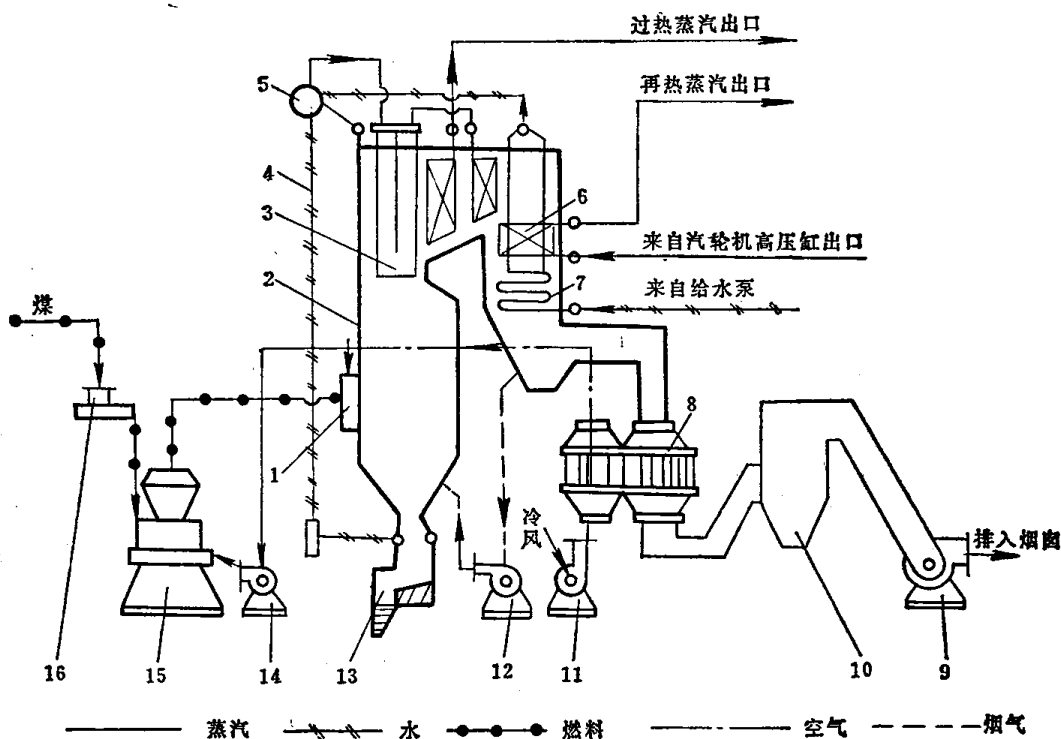


图71·1-1 煤粉锅炉工作流程图

- 1—燃烧器 2—水冷壁 3—过热器 4—下降管 5—锅筒 6—再热器 7—省煤器
8—空气预热器 9—引风机 10—除尘器 11—送风机 12—再循环风机 13—排渣装置 14—一次风机 15—磨煤机 16—给煤机

锅炉，其工作原理基本相同，但各具特点，见表 71·1-1。其中以电站锅炉最为庞大、复杂，技术成

套性强。本篇第 1~14 章主要内容为锅炉技术中的共性问题，侧重电站锅炉，第 15 章为工业锅炉。

表71·1-1 各类锅炉的主要特点

种 类	主 要 特 点
电站锅炉	用于发电。一般采用高参数，火室燃烧，适用于各种燃料，热效率较高
工业锅炉	蒸汽(或热水)直接用于工业生产和取暖等。一般采用低参数，火床燃烧，热效率较低
船舶锅炉	一般采用低、中参数，对体积、重量都有严格要求。炉膛容积热负荷(q_v)高，水循环回路高度小，以燃油为主

1 锅炉类型及蒸汽参数系列

电站锅炉见表 71·1-2、表 71·1-3，工业锅炉见表 71·15-1、表 71·15-2。

额定蒸发量 D 锅炉在额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。设计时，对定压运行的锅炉应保证在 (70~100)% D 范围内过热和再热蒸汽的参数达到额定值，对滑压运行的锅炉则根据电站要求而定。

表71·1-2 电站锅炉类型

分类方法		名 称	简 要 说 明
锅 炉 过 程	按循环方式	自然循环锅筒锅炉	利用汽水重度差建立工质循环，只能应用在临界压力以下
		辅助循环锅筒锅炉	利用汽水重度差和循环泵的压头建立工质循环，只能应用在临界压力以下
		直流锅炉	水一次通过受热面变成蒸汽，用于高压以上
		复合循环锅炉	带循环泵的直流锅炉，适用于亚临界和超临界压力
	按锅炉出口蒸汽压力	中压锅炉(39atg)	一般采用自然循环，超高压及超高压以上时都带一次再热
		高压锅炉(100atg)	
		超高压锅炉(140atg)	
		亚临界压力锅炉(170atg)	各种循环方式均可适用，由技术经济比较确定。应注意防止膜态沸腾和高温腐蚀
		超临界压力锅炉(>225atg)	采用直流或复合循环。应注意防止类膜态沸腾和高温腐蚀
锅 炉 内 过 程	按所用燃料或能源	固体燃料锅炉	燃料成分和灰渣特性是影响锅炉设计的主要因素，国产锅炉以燃煤为主
		液体燃料锅炉	具有较高的炉膛容积热负荷和烟速。为防止低温腐蚀和堵灰，宜采用低氧燃烧并提高进风温度和排烟温度
		气体燃料锅炉	具有较高的炉膛容积热负荷和烟速。应注意防止燃烧器回火和爆炸
		余热锅炉	利用冶金、石油化学、水泥等工业的余热作热源。为了适应流程、通道形状和布置高度的限制，可采用辅助循环或直流
		原子能锅炉	利用核反应堆所释放热能的蒸汽发生器
		其他能源锅炉	利用地热、太阳能等的蒸汽发生器
	按燃烧方式	火床燃烧锅炉	主要用于工业锅炉
		火室燃烧锅炉	主要用于电站锅炉
		旋风炉(分立式和卧式)	燃料和空气的相对速度大大提高，有利于强化燃烧。液态排渣
		沸腾燃烧锅炉	适用于烧低质煤，目前主要用于工业锅炉
	按排渣方式	固态排渣锅炉	是燃煤锅炉的主要排渣方式
		液态排渣锅炉	应注意防止析铁、炉膛高温腐蚀和产生NO _x
	按炉内烟气压	负压锅炉	有送、引风机，平衡通风，是燃煤锅炉的主要型式
		微正压锅炉(200~500mmH ₂ O)	不需引风机，主要用于液体和气体燃料，适于低氧燃烧，炉墙密封要求高
		增压锅炉(>3atg)	仅用于油、气燃料，配蒸汽-燃气联合循环
布置型式	按炉型	倒U型、塔型、箱型、D型等	倒U型适用于各种燃料，塔型适用于低质烟煤和褐煤，箱型适用于液体和气体燃料，D型适用于低、中参数
	按电站布置	露天、半露天、室内、地下、进洞	以室内或露天布置采用最为广泛

表71·1-3 我国电站锅炉蒸汽参数系列

蒸 发 量 t / h	出 口 蒸 汽 压 力 atg				配凝汽式汽轮 发电机组功率 MW
	39	100	140	170	
	出 口 蒸 汽 温 度 °C				
	450	540	540/540①		
35	○				6
65(75)②	○				12
130	○				25
220		○			50
410		○			100
400③			○③		125
670			○		200
1000④				○○④	300
2050				○	600

① 分子为过热汽温，分母为再热汽温。 ② 新设计采用65 t / h。 ③ 现行产品采用400 t / h，555/555℃。 ④ 现行产品采用1000 t / h，555/555℃。

锅炉最低允许蒸发量 主要取决于循环安全性和燃烧稳定性。汽压 39~140 atg 的自然循环煤粉锅炉,最低允许蒸发量约为 50% D ; 燃油锅炉约为 30% D 。从循环安全性考虑,直流和复合循环锅炉的最低允许蒸发量尚可再低。

2 锅炉的可靠性和经济性

a. 可靠性 与设计、制造、安装质量和运行水平密切相关,对煤粉锅炉,在一定程度上还取决于制粉系统的正确选择及其同燃烧设备的合理配合。

锅炉的可靠性一般用下述指标来衡量:

- 1) 连续运行时数(两次检修之间的运行时数)
- 2) 事故率 $\left(\frac{\text{总事故停用时间}}{\text{总运行时数} + \text{总事故停用时间}} \right) \times 100\%$
- 3) 可用率 $\left(\frac{\text{总运行时数} + \text{总备用时间}}{\text{统计时间总时数}} \right) \times 100\%$

$\times 100\%$)

例如某电厂 410 t/h 锅炉的连续运行时数 4152 小时,事故率 0.79~1.35%,可用率 88~92%。

新型锅炉的投运,一般都有一个“成熟期”,在此期间内,锅炉的可靠性受到一定影响。“成熟期”的长短与采用新技术多少有关,尤其在发展大容量锅炉时,“成熟期”可能较长,一般约 1~4 年。

b. 热效率 送入锅炉的全部热量中被有效利用的百分数(见第 3 章)。设计锅炉时,热效率的选取不仅与燃料性质、燃烧方式、排渣方式等有关,而且还和钢材、燃料的供应和价格有关,应根据具体情况进行技术分析。

c. 钢材耗量 在保证锅炉安全、可靠、经济运行的基础上,应合理降低钢材耗量,尤其是受压部件钢材和昂贵的耐热合金钢材的耗量。影响钢耗率的因素见表 71.1-4。

表 71.1-4 影响锅炉钢耗率的因素

影 响 因 素	蒸汽参数		容 量		循环方式		燃 料		空气预热器		构 架	
	高	低	大	小	自然循环	直流	煤	油、气	管式	回转式	钢柱	钢筋混凝土柱
钢耗率 t/kW	↑	↓	↓	↑	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓

3 发展趋向

电站锅炉的发展趋向同电网容量、电网对机组的负荷要求、燃料资源等有关。我国电站锅炉在燃料上以煤为主,并大力利用低质燃料(褐煤、洗中煤、煤矸石、石煤和油页岩等),同时发展原子能和其他新能源。在参数容量上广泛发展亚临界压力配 300、600MW 机组的锅炉,并进行超临界压力以及更大容量锅炉的研制工作。

电站锅炉向现代化发展的趋向:

a. 电子计算机辅助设计 由于电子计算机的广泛应用和测试技术的进步,可以对锅炉的燃烧、传热、流动、结构和材料强度、自动控制性能等方面进行大量的逻辑运算和综合分析,使锅炉的总体设计采用最佳方案。

b. 适应技术成套的要求 使机组在热力系统、燃料系统、厂房布置、自动控制、运行方式等方面能互相协调,统筹兼顾,体现系统分析的最佳化,取得最大的经济效益。

c. 自动化水平高 采用具有逻辑功能的数字控制计算机,使电站实现全自动化,为此要求锅炉具有良好的自动控制性能(如动态特性等)。

d. 掌握低质燃料燃烧技术 特别是对大容量锅炉,要求着火和燃烧稳定,燃尽程度高,防止结渣、积灰,注意减少磨损。

e. 防止振动、噪声和大气污染 锅炉中的振动和噪声主要为炉膛、受热面和烟风道中由燃烧或气流所激发的声学振动[1]。大气污染主要为烟气中的 SO_x 和 NO_x , 大容量锅炉在燃用高硫燃料或采用低氧燃烧时,对此尤需注意。

f. 努力贯彻产品的标准化、系列化和通用化 三化是扩大燃料适用范围,缩短设计和生产周期,加快电站建设速度,提高运行可靠性的有效措施。锅炉炉型的统一是三化设计的基础。

g. 综合利用 燃用多灰分的低质燃料,应合理解决灰渣的综合利用问题,如利用灰渣生产建筑材料和化肥等。国内某些电站已成功地利用掺烧磷矿石的方法,在液态排渣锅炉上同时获得磷肥。

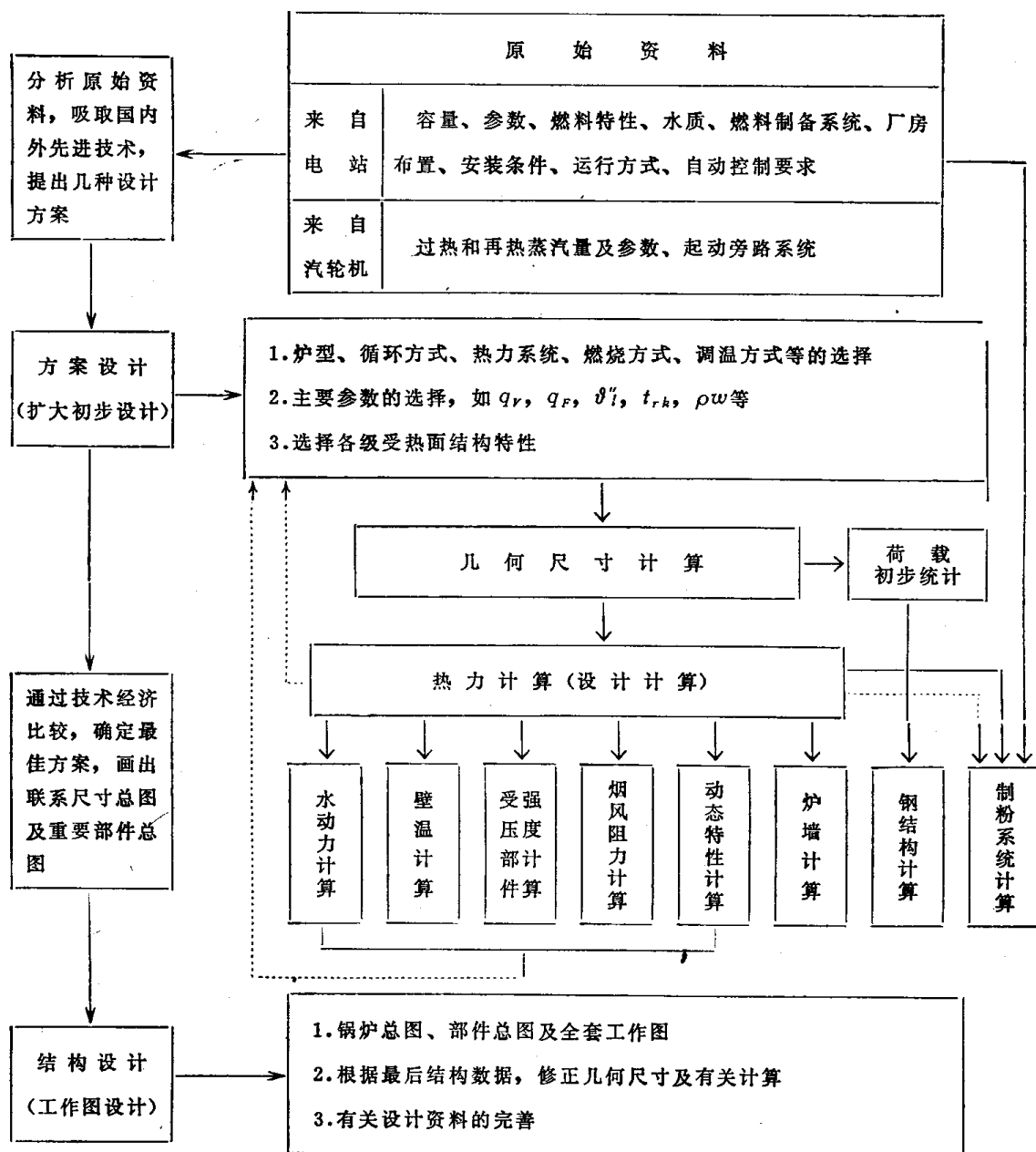
第2章 总体设计

1 设计程序

序和计算项目可按具体情况补充、简化或省略。各项计算可参阅相应的计算标准和方法。

新锅炉的一般设计程序见表 71·2-1，有些程

表71·2-1 锅炉设计程序



注: 表中虚线表示设计程序的相互关联。

2 总体设计的主要问题

2.1 炉型

根据燃料种类、燃烧方式、锅炉容量、循环方式和厂房布置条件等来选择。锅炉的常见炉型见图71-2-1。

各种炉型的锅炉都可作室内或露天（半露天）布置。设计露天锅炉应根据安装地点的气象条件，除考虑防冻、防风、防雨、防滑和防潮等五防外，还应注意风载和低温下钢材可能发生的冷脆现象。

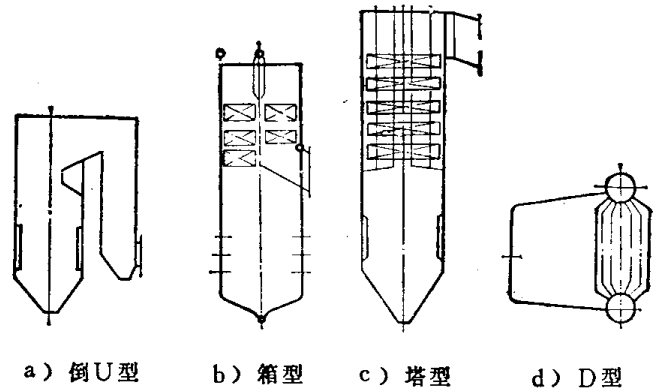


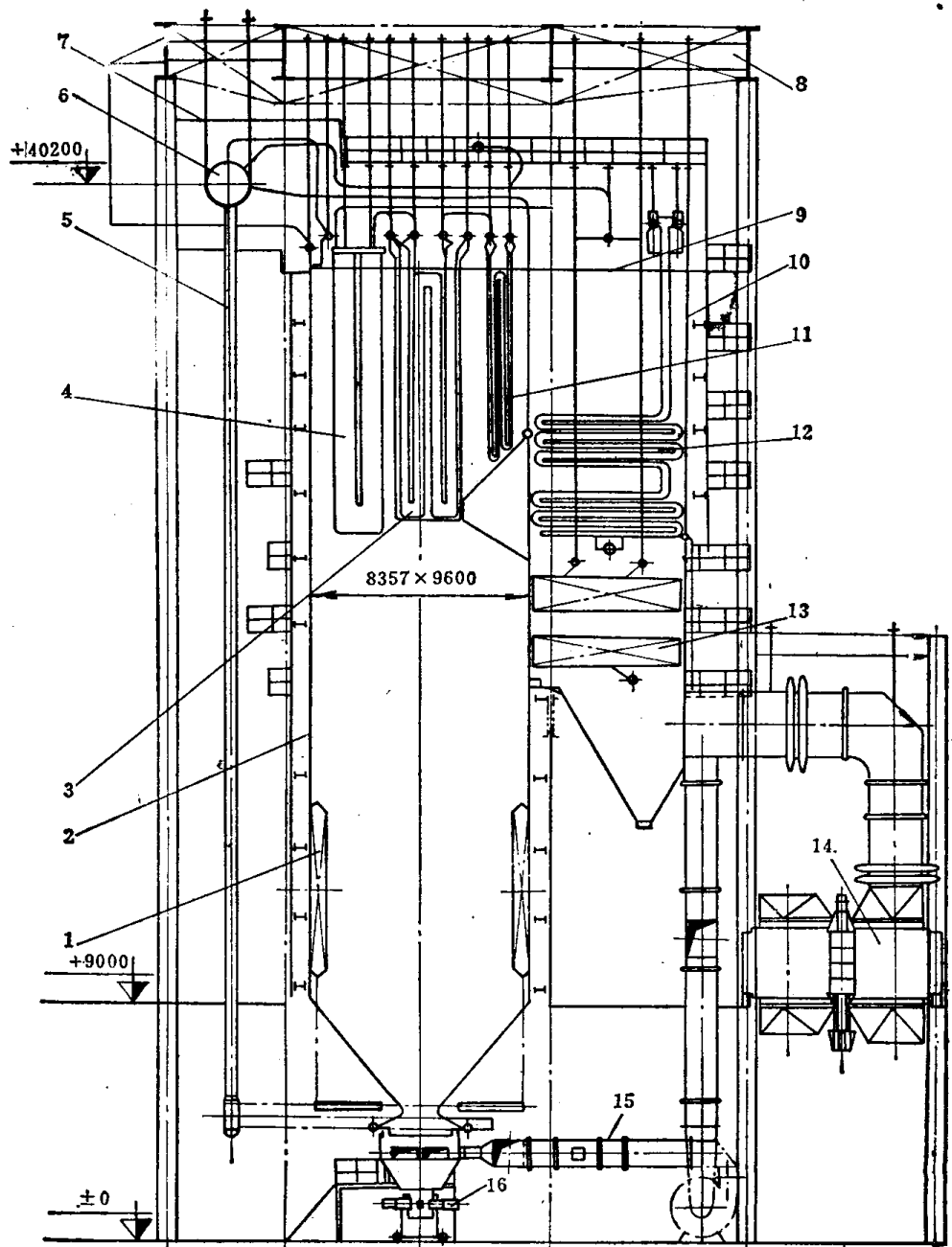
图71-2-1 锅炉常见炉型

图71-2-2 400 t/h

固态排渣锅炉

(140atg, 555/555°C)

- 1—燃烧器 2—膜式水冷壁 3—后屏过热器
- 4—前屏过热器 5—下降管 6—锅筒 7—炉顶罩壳
- 8—构架 9—顶棚过热器 10—包墙管
- 11—对流过热器 12—再热器 13—省煤器
- 14—回转式空气预热器 15—烟气再循环设备
- 16—排渣装置



a. 倒U型 广泛应用于电站锅炉, 对不同容量和各种燃料均可采用。锅炉高度较小, 安装起吊方便, 对流受热面易于逆流布置, 尾部烟道气流向下利于除灰, 送、引风机及除尘器低位布置。缺点是占地面积较大, 烟道转弯易引起飞灰的局部磨损, 当采用管式空气预热器 (尤其是双级布置) 时, 结构 (如包墙管处) 复杂, 烟道密封性差。大容量锅炉采用切向燃烧时, 炉膛和尾部烟道在截面和高度上应恰当配合。

无中间走廊的倒U型布置 (图 71·2-2), 结构紧凑、密封性好, 膨胀系统和包墙管系统简单, 锅炉支吊方便, 有利于采用全悬吊式结构, 但空气预热器宜作单级布置, 已在与 $\leq 200\text{MW}$ 机组配套的燃用烟煤、贫煤和燃油锅炉上广泛采用。

b. 箱型 广泛应用于容量较大的燃油、燃气锅炉。布置紧凑, 占地面积小, 燃烧器常作前、后墙对冲布置, 水冷壁受热均匀, 适宜于快速起停, 受热面水平布置利于疏水, 与汽轮机联接的过热蒸汽和再热蒸汽管道较短。缺点是炉体较高, 炉膛与对流烟道截面须配合恰当, 受热面的支承和悬吊较复杂, 制造工艺要求较高。

c. 塔型 适于燃用褐煤、多灰分低质烟煤和燃油、燃气锅炉。分全塔型和半塔型两种, 后者是将空气预热器及送、引风机布置在下面, 大容量锅炉常采用半塔型。塔型的特点是燃烧器可沿炉膛四周放射状布置, 水冷壁受热均匀, 常用全悬吊式结构, 飞灰磨损均匀, 但炉体高, 安装、检修难度大, 炉膛和对流烟道截面必须配合恰当, 并应考虑水平受热面的除灰问题。这种布置已用于与 300、600MW 机组配套的锅炉。

d. D型 适用于燃油、燃气且容量不大的锅炉, 通常采用双锅筒。其特点是利用管系本身承重, 不必专设构架, 钢材耗量较少。

2.2 循环方式

按工质在蒸发受热面中的流动, 基本有四种。

2.2.1 自然循环锅筒锅炉

主要特点: 1) 蒸发受热面 (水冷壁) 依靠水和汽水混合物重度差产生的工质流动 (水循环) 来冷却; 2) 锅筒成为蒸发受热面与过热器之间的固定分界点; 3) 锅筒有较大的蓄热和蓄水能力, 可

允许在给水、燃料和蒸发量之间有短时的不协调, 自动调节要求较低; 4) 给水带入的盐分可在蒸发系统中浓缩, 以排污方式除掉; 5) 由于厚壁锅筒的加热与冷却不易均匀, 筒壁温差限制了锅炉的起停速度。

自然循环适用于超高压和超高压以下锅炉 (图 71·2-3), 亚临界压力大容量锅炉也较多采用此种循环方式, 但由于汽水重度差减小, 使自然循环运动压头渐趋减弱, 对汽水分离和蒸汽净化的要求提高; 容量的增大使炉膛单位周界长度的蒸发量提高, 循环倍率下降; 另外, 锅筒的制造、安装和运输较为复杂。但亚临界压力的自然循环锅炉仍具有一定的自补偿能力, 在结构和运行方面亦较其他循环方式要简单方便。

目前使用的自然循环锅筒锅炉最高出口汽压为 176 atg (锅筒压力 206 atg), 容量 2350 t/h (配 720MW 机组)。

2.2.2 辅助循环锅筒锅炉

是在自然循环锅筒锅炉基础上发展起来的。主要特点是在蒸发受热面的下降管和上升管之间装有循环泵 (压头一般为 $2.5 \sim 3.5 \text{ kgf/cm}^2$), 用来提高循环回路的流动压头, 因此可以采用直径较小的锅筒和上升管、下降管, 且蒸发受热面的布置比较自由, 锅炉起停时间缩短, 负荷调节范围大, 已可靠地应用于亚临界压力的大容量锅炉。目前使用的辅助循环锅炉最高出口汽压为 176 atg, 容量 2950 t/h (配 1000MW 机组)。

该类锅炉蒸发受热面的循环倍率较小 ($K = 3 \sim 4$), 为了保证可靠冷却, 对循环回路各管系, 要按吸热大小和阻力差异加装节流圈, 进行流量精确分配。容量增大时, 锅筒仍然受到制造、安装和运输上的限制, 同时循环泵的工作可靠性是锅炉安全运行的关键。

2.2.3 直流锅炉

广泛用于超临界压力大容量锅炉。靠给水泵的压头, 使给水顺序通过各级受热面并全部变成过热蒸汽。由于没有锅筒, 在蒸发和过热受热面之间无固定分界点, 在蒸发受热面中, 可认为循环倍率为 1。与自然循环锅筒锅炉比较, 其主要优点是蒸发受热面布置较为自由, 加工制造较为方便 (无锅

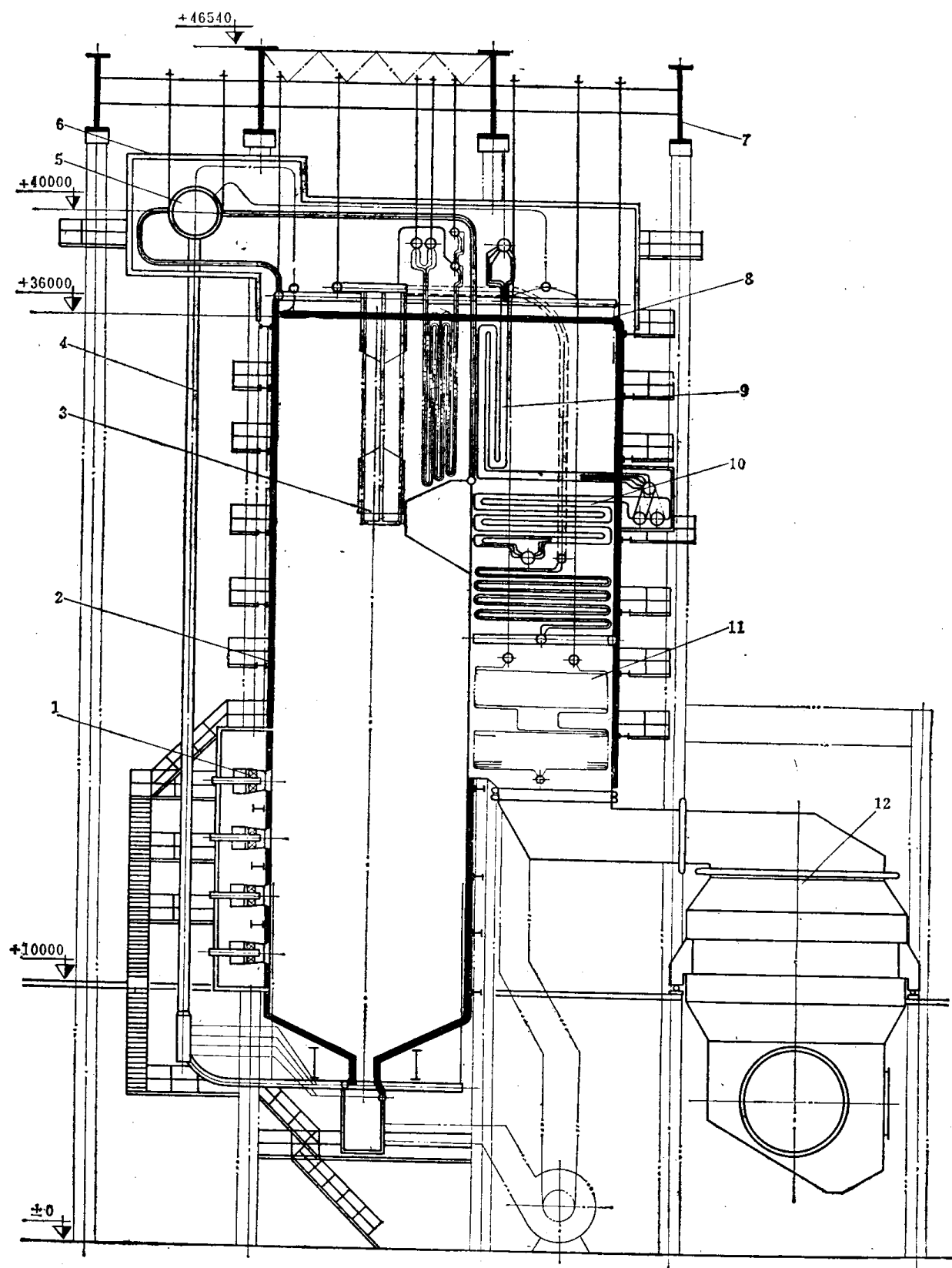


图71-2-3 670 t/h 自然循环锅筒锅炉(140atg, 540/540℃)

- 1—燃烧器 2—膜式水冷壁 3—屏式过热器 4—下降管 5—锅筒
6—炉顶罩壳 7—构架 8—顶棚过热器 9—对流过热器 10—再
热器 11—省煤器 12—回转式空气预热器

筒), 金属耗量较少, 由于热容量小, 所以调节反应快, 适应负荷变化灵活, 起停迅速, 最低负荷通常低于锅筒锅炉。但给水品质和自动调节要求较高, 汽水系统阻力大, 给水泵电耗较大。

设计直流锅炉时应注意: 1) 对亚临界及超临界压力, 应避免在水冷壁内发生膜态沸腾或类膜态沸腾; 2) 防止水动力特性不稳定及热偏差过大; 3) 提高给水品质和自动调节性能的要求; 4) 设置专门的起动旁路系统, 减少工质损失和热损失。

随着锅炉技术的发展, 各种类型直流锅炉在设计措施上渐趋一致, 如: 1) 广泛采用膜式水冷壁、全悬吊结构; 2) 为避免膜态沸腾, 除合理选用质量流速外, 在高热负荷区还采用内螺纹管或扰流子; 3) 大型锅炉的水冷壁布置, 大都采用一次(或多次)垂直上升, 及水平围绕型式或者是它们的组合。

2.2.4 复合循环锅炉

是在直流锅炉和辅助循环锅筒锅炉基础上发展起来的, 适用于亚临界和超临界压力。特点是在省煤器与水冷壁之间加一循环泵, 在水冷壁出口与循环泵入口之间装有再循环管, 锅炉蒸发系统中除直流流量外, 还有循环泵提供的循环流量。

与直流锅炉相比, 其主要优点是: 1) 水冷壁质量流速可按循环泵切除时的负荷选用较低的数值, 以减少流动阻力; 2) 起动流量低, 锅炉的最低负荷可降到约 10% 额定负荷, 简化起动旁路系统, 便于滑压运行; 3) 水冷壁工况改善, 由于工质流量及温度变化小, 温度应力相应减小, 低负荷下水冷壁冷却条件较好; 4) 质量流速用循环泵来保证, 可避免采用过小直径的水冷壁管(一般用 $\geq \phi 32\text{mm}$ 管子)。

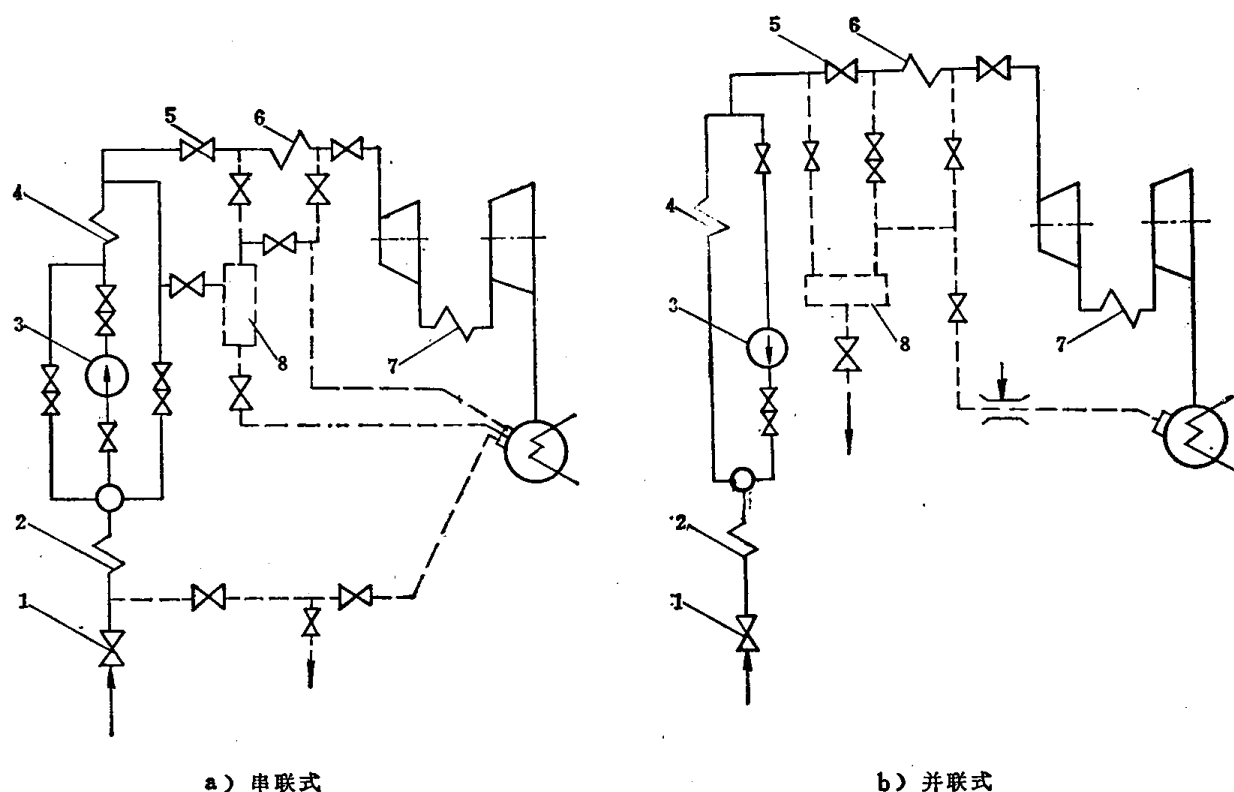


图 71.2-4 超临界压力复合循环

1—给水调节阀 2—省煤器 3—循环泵 4—水冷壁(蒸发受热面)
5—截止阀 6—过热器 7—再热器 8—起动分离器
---- 表示起动用

超临界压力复合循环锅炉, 按循环泵与给水泵的联接位置分串联式和并联式两种(图 71.2-4)。在串联系统中, 循环泵的工作持续到 75~80% 额

定负荷, 负荷更大时按直流锅炉运行。并联系统中, 循环泵的工作一直持续到约 90% 额定负荷。按再循环负荷大小划分, 这两种均属于部分负荷复合