

电力工程质量监督专业资格考试教材

锅炉 分册

电力工程质量监督总站 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

电力工程质量监督专业资格考试教材



锅炉 分册

电力工程质量监督总站 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

为全面提升电力工程质量,提升电力工程质量监督人员的岗位胜任能力,电力工程质量监督总站组织相关专业技术人员编写了《电力工程质量监督专业资格考试教材》,由十三个分册组成。本套教材全面系统、实用性强。

本书为《锅炉分册》,包括概述、设备及系统安装工程质量监督、系统调试质量监督、主要质量管理资料监督检查、质量监督检查中典型质量问题及分析。

本套教材作为电力工程质量监督专业资格考试教材,也可供锅炉技术相关专业及管理人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

电力工程质量监督专业资格考试教材. 锅炉分册/电力工程质量监督总站主编. —北京:中国电力出版社,2015.5
ISBN 978-7-5123-7396-9

I. ①电… II. ①电… III. ①电力工程—工程质量监督—资格考试—教材②火电厂—锅炉运行—工程质量监督—资格考试—教材 IV. ①TM7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 054091 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2015 年 5 月第一版 2015 年 5 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 11.5 印张 259 千字

印数 0001—3000 册 定价 32.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

本书编委会

主 编 孙玉才

执行主编 张天文

副 主 编 丁瑞明 白洪海

编写人员 宏 峰 李国俊 李春莲 张大利

杜利荣

审 核 张盛勇 贾秋枫 李 真 李仲秋

沙宏明 李 杰 李 俊 李文军



前 言

工程质量监督是工程建设质量管理的基本制度，也是政府主管部门依法维护电力工程规划建设，保障工程质量安全的重要手段。随着我国电力工业的快速发展，电力技术水平不断提高，电力建设主体越来越多元化，为加强和规范电力工程质量监督工作，国家能源局分别于2012年9月和2014年5月印发了《电力工程质量监督管理体系调整方案》（国能电力〔2012〕306号文）和《关于加强电力工程质量监督工作的通知》（国能安全〔2014〕206号文），对于电力工程质量监督机构明确了“总站-中心站-项目站”的三级管理体系，对于电力工程质量监督工作确定了“国家能源局归口管理、派出机构属地监管、质监机构独立监督、电力企业积极支持”的工作机制。目前，在国家能源局的统一领导和大力支持下，电力工程质量监督各项规章制度正在逐步完善，各项工作正在逐渐步入正轨，为有效保证建设工程质量奠定了基础。

要做好电力工程质量监督工作，队伍建设和人才培养是关键。总站在认真总结多年来电力行业和全国各行业工程质量监督专业人员管理经验的基础上，确定了电力工程质量监督专业人员实行“高级专家-质量监督师-质量监督员”三级管理的工作模式，其中：高级专家实行评聘制，由总站主导，以技术委员会平台进行动态管理；质量监督师、质量监督员实行统一认证考试制度。在专业人员的工作职责方面，要求各质监机构在进行现场检查时，检查组组长必须持有高级专家证，检查组中的专业负责人必须是质量监督师，一般检查人员必须持有质量监督员及以上资格证书。企业内部的质量管理体系中，将继续贯彻实施质量检查员持证上岗制度，允许质量检查员考取和持有质量监督师或质量监督员证书。为落实以上管理原则，进一步加强质量监督师、质量监督员的资格认证管理，总站于2014年3月印发了《电力工程质量监督人员资格认证和从业管理办法》，明确了资格认证实行向社会开放和教考分离的工作原则，同时详细划分了考试专业，确定了考试方式和考试科目。为理顺电力工程质量监督专业知识体系，构建针对性强、层次清晰、内容全面的认证考试平台，总站组织编制了本系列《电力工程质量监督专业资格考试教材》。

本系列教材共包括《建筑》、《锅炉》、《汽轮机》、《电气》、《热工控制》、《金属与焊接》、《水处理与制氢》、《核能动力》、《水工结构》、《水力机电》、《金属结构》、《输电线路》和《工程管理》共十三册。本系列教材以专业资格认证考试为立足点，重点强调了专业知识的系列性、完整性和实用性。各专业册在章节划分和内容设置上基本保持一致；在知识点设置上强调了工程质量行为监督、专业基础理论、标准体系、设备材料、施工技术、工程实体质量监督等要点；在知识内容和范围上重点从工程质量监督的角度出发，全面细致地讲解了工程勘

察、设计、施工、验收、运行维护及管理活动的技术要求和所遵守的技术依据和准则，同时还就各专业在工程质量控制方面存在一些通病和重点质量问题进行了总结和分析；各专业知识点丰富，重点突出。本系列教材不仅可以作为专业资格认证培训用书，也可以作为大家日常工作中随时查阅专业知识的工具书。

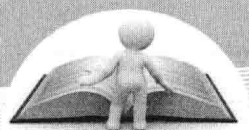
本系列教材由电力工程质量监督总站主编，本册为《锅炉分册》，由内蒙古电力建设工程质量监督中心站编写。

在本系列教材的编写过程中得到了有关省（市、区）电力公司及施工、调试、监理、检测等单位的大力支持和帮助，在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，教材中难免有疏漏和不当之处，恳请广大读者和专家批评指正。

电力工程质量监督总站

2014年8月



目 录

前言

第一章 概述	1
第一节 电站锅炉专业简介	1
第二节 锅炉机组安装概述	21
第三节 锅炉机组安装质量阶段监督检查	23
第二章 设备及系统安装工程质量监督	43
第一节 锅炉本体	43
第二节 除灰渣设备及系统	75
第三节 燃油设备及系统	79
第四节 输煤设备及系统	82
第五节 炉墙砌筑及热力设备和管道的保温、防腐	86
第三章 系统调试质量监督	91
第一节 概述	91
第二节 分系统试运及试验	91
第三节 脱硫分系统试运	105
第四节 脱硝系统启动调试	110
第五节 机组整套启动试运	112
第四章 主要质量管理资料监督检查	116
第一节 施工管理	116
第二节 调试管理	152
第三节 验收管理	156
第四节 强制性条文执行管理	163

第五章	质量监督检查中典型质量问题及分析	166
第一节	锅炉水压试验前监督检查质量问题及分析	166
第二节	机组整套启动试运前监督检查质量问题及分析	169
第三节	机组商业运行前监督检查质量问题及分析	171
参考文献	173



概 述

进入 21 世纪以来, 由于电力工业迅猛发展, 我国发电能源的种类已逐步向多元化发展, 如火力发电、水力发电、核能发电、风力发电、太阳能光伏发电、地热发电、潮汐发电等, 根据我国的能源结构特点, 火力发电仍占主导地位。我国电站锅炉已由过去的小容量、低或中参数锅炉进入到大容量、高参数、高效率 and 洁净发电的超超临界百万主力机组的火电建设时期。

为适应我国火电建设大机组发展的需要, 按照国家、行业的标准、规程、规范, 为提高火电建设的工程质量水平, 规范火电机组建设期间的质量管理及各重要环节的质量控制和监督检查工作, 编制本教材。

第一节 电站锅炉专业简介

一、电站锅炉的分类、参数及型式

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。电站锅炉是火力发电厂中的主要设备之一, 其作用是利用燃料燃烧释放的热能加热给水, 获得高温、高压蒸汽输送至汽轮机做功, 带动发动机转动产生电能。

(一) 电站锅炉的分类

锅炉用途广泛, 分类形式众多, 具体分类见表 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	用于发电, 多为大容量、高参数锅炉, 火室燃烧, 有较高热效率
	工业锅炉	用于工业生产和采暖, 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
	船用锅炉	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, 质量轻
按循环方式分类	自然循环锅炉	由汽包、下降管、联箱和上升管组成锅炉的循环回路, 依靠下降管和上升管工质密度差产生自然循环的动力, 不需消耗任何外力
	强制循环锅炉	在循环回路下降管上安装强制循环泵, 以提高循环动力, 是控制循环锅炉、直流锅炉、复合循环锅炉的统称

续表

分类方法	锅炉类型	简要说明
按循环方式分类	控制循环锅炉	在强制循环锅炉的上升管入口加装节流圈,以控制各上升管中的工质流,防止发生循环停滞或倒流等故障
	直流锅炉	没有循环回路的锅炉,工质一次性通过各受热面变为过热蒸汽,适用于高压和超临界压力锅炉
	复合循环锅炉	具有循环回路和再循环泵。同时具有切换阀门,低负荷时按再循环方式运行,高负荷时切换为直流方式运行。也可在全部负荷下以较低的循环倍率进行循环,也称作低倍率循环锅炉
按使用燃料或能源分类	燃煤电站锅炉	以煤为主要燃料的电站锅炉,我国火电站锅炉采用的煤为无烟煤、半烟煤、烟煤、褐煤和低质煤五大类
	燃油电站锅炉	以油为燃料的电站锅炉,主要燃料有重油、柴油和原油。根据我国资源情况,一般不发展燃油电站锅炉
	燃气电站锅炉	使用气体燃料的电站锅炉,主要燃料有天然气、人工煤气和地下气化煤气
	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
	其他能源锅炉	利用地热、太阳能等能源的蒸汽发生器
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。燃烧液体及气体燃料和煤粉的锅炉均属于火室燃烧锅炉,燃料燃烧时,燃料在炉膛空间悬浮燃烧
	旋风炉	有卧式和立式两种,燃用粗煤粉和煤屑。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
	流化床锅炉	送入炉内的空气流速较高,使固体燃料在炉床上呈沸腾状态燃烧。适用于劣质燃料
按蒸汽压力和温度分类	中压锅炉	压力为 3.822MPa (39kgf/cm ²), 温度为 450℃
	高压锅炉	压力为 6~10MPa, 常用压力为 9.8MPa (100kgf/cm ²), 温度为 540℃
	超高压锅炉	压力为 10~14MPa, 常用压力为 13.72MPa (140kgf/cm ²), 温度为 555℃ 或 540℃
	亚临界压力锅炉	压力为 14~22.2MPa, 常用压力为 16.66MPa, (170kgf/cm ²), 温度为 555℃
	超临界压力锅炉	压力大于 22.2MPa (225.65kgf/cm ²), 温度为 550~570℃
	超超临界锅炉	国产化机组基本参数: 1) 600MW, 压力为 25.4~26.15MPa, 温度为 543℃、571℃、605℃; 2) 1000MW, 压力为 27.56MPa、27.65MPa、26.65Mpa, 温度为 605℃。 关于超超临界机组划分,目前世界上尚未有统一的规范,在中国电力行业,蒸汽参数达到 27MPa、温度 580℃/600℃以上的高效超临界机组,属于超超临界机组。(通常认为超超临界是指压力达到 30~35MPa、温度达到 593~600℃或更高参数并且具有二次再热的热力循环)

分类方法	锅炉类型	简要说明
按排渣方式分类	固态排渣炉	燃料燃烧生成的灰渣呈固态排出, 燃煤锅炉的主要排渣方式
	液态排渣炉	燃料燃烧生成灰渣呈液态由渣口流出, 在裂化箱冷却水中裂化成颗粒渣排出
按炉膛烟气压力分类	负压锅炉	炉膛运行压力保持负压, 配置送风机、引风机, 是燃煤锅炉的主要形式
	微正压锅炉	炉膛运行表压力为 2000~5000Pa, 不需引风机, 宜于低氧燃烧
	增压锅炉	炉膛运行表压力大于 0.3MPa, 用于配燃气-蒸汽联合循环电厂
按炉型分类	倒 U (Π) 形、塔式、箱形、T 形、U 形、N 形、L 形、D 形、A 形、倒 L 形	D 形、A 形用于工业锅炉; 其他炉型用于电站锅炉, 电站应用最广的为倒 U (Π) 形、塔式、T 形
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	1) 现代采用自然循环的电站锅炉应用单锅筒型式; 2) 工业锅炉采用单锅筒或双锅筒型式
按锅炉厂房布置型式分类	露天、半露天、室内、地下	1) 电站锅炉主要采用室内或露天布置方式; 2) 工业锅炉一般采用室内布置

(二) 锅炉参数

1. 锅炉的参数

锅炉参数一般指锅炉最大连续蒸发量、蒸汽压力、蒸汽温度、给水温度等。电站锅炉的额定蒸发量是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; 锅炉的蒸汽压力和温度是指过热器安全阀出口处的过热蒸汽压力和温度, 压力的单位为 MPa (kgf/cm^2); 温度的单位为 $^{\circ}\text{C}$ 或 K; 锅炉的给水温度是指省煤器入口的给水温度。

20 世纪 90 年代, 我国通过借鉴引进国外超临界机组的先进技术, 自主设计制造的超临界 (600MW)、超超临界 (1000MW) 燃煤发电机组已大量投入运行。所谓水的临介状态点是指当水的压力和温度处于 22.115MPa、374.15 $^{\circ}\text{C}$ 时, 在饱和水和饱和蒸汽之间不存在汽、水共存二相区, 水由液态直接转变为干蒸汽状态, 水的传热和流动特性将发生变化。故当蒸汽参数数值大于临界状态点的压力和温度值时, 则称为超临界; 超超临界参数是表示发电机组具有更高的压力和温度。根据我国电力发展规划, 将“超超临界燃煤发电技术”的研究范围设定在蒸汽压力大于 25MPa, 或蒸汽温度高于 593 $^{\circ}\text{C}$; 超超临界参数机组各国定义点不同, 我国超超临界定义为蒸汽压力参数高于 27MPa。

我国目前电站锅炉的不同参数配置汽轮发电机组功率见表 1-2。

表 1-2 电站锅炉的不同参数配置汽轮发电机组功率

锅炉额定蒸发量 (t/h)	额定蒸汽力 (MPa)	额定蒸汽温度 ($^{\circ}\text{C}$)	配置汽轮发电机组功率 (MW)
220, 410	9.9	540	50, 100
420, 670	13.8	540/540	125, 200
1025	16.8	540/540	300

续表

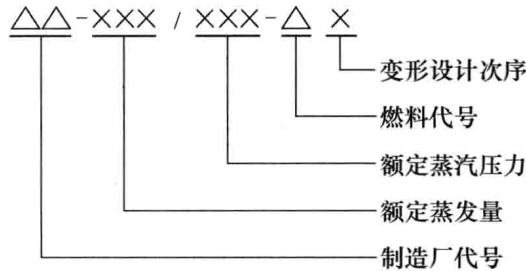
锅炉额定蒸发量 (t/h)	额定蒸汽力 (MPa)	额定蒸汽温度 (°C)	配置汽轮发电机组功率 (MW)
1110	25.4	571	350
300, 600	17.5	540/540	1025, 2008
1928	25.4~26.15	543, 571, 605	600
2953	27.56, 27.65	605	1000

注 机组配置作者根据目前国内机组配置情况所列, 仅供参考。

2. 锅炉的型号

电站锅炉的型号由三部分组成, 分别表示锅炉制造厂代号 (见表 1-3)、锅炉参数和设计燃料代号 (见表 1-4) 及设计次序。

电站锅炉型号表示型式如下:



第一部分用汉语拼音表示锅炉制造厂代号 (见表 1-3), 第二部分表示锅炉参数, 即额定蒸发量和额定蒸汽压力; 第三部分为设计燃料代号 (见表 1-4) 及变形设计次序。例如: HG-670/140-MY6 是表示哈尔滨锅炉厂制造的额定蒸发量 670t/h、过热蒸汽压力 13.7MPa (140kgf/cm²)、设计燃料为烟煤、第六次变形设计的电站锅炉。

表 1-3 国内主要电站锅炉制造厂代号

锅炉制造厂名	代号	锅炉制造厂名	代号
北京巴布科克·威尔科克斯有限公司	B&WBC	武汉锅炉厂	WG
东方锅炉厂	DG	杭州锅炉厂	NG
哈尔滨锅炉厂	HG	无锡锅炉厂	UG
上海锅炉厂	SG	济南锅炉厂	YG

表 1-4 设计燃料的代号

设计燃料	代号	设计燃料	代号
燃煤	M	燃其他燃料	T
燃油	Y	可燃煤和油	MY
燃气	Q	可燃油和气	YQ

表 1-5

燃料种类的代号

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)		

二、电站锅炉整体布置及结构

锅炉整体布置型式按锅炉形体分为 Π 型布置和塔式布置等，按锅炉厂房封闭型式又分为室内、露天、半露天的布置方式。循环流化床锅炉和余热锅炉作为新型锅炉，其布置型式不同于常规锅炉布置型式。锅炉布置型式对锅炉安装有很大影响，它涉及到锅炉的安装方法、起重机械的选择、布置等。

(一) 电站锅炉整体布置

1. Π 型布置锅炉

我国应用较广，同塔式布置相比，锅炉高度较低，厂房构架低，炉膛下方紧缩形成冷灰斗，炉膛上方通过顶棚过热器、水冷壁折焰角形成转弯烟道，后面布置过热器、再热器，锅炉尾部形成对流竖井，布置省煤器、空气预热器等。 Π 型布置优点为钢架布置低，便于安装；逆流型式受热面易于布置，利于尾部清灰。整体布置型式如图 1-1 所示。

2. 塔式布置锅炉

随着超超临界锅炉机组的发展应用，塔式锅炉最早在我国元宝山、神头等电厂引进投产，目前，我国百万锅炉机组也多选用塔式布置的锅炉；在欧洲，根据燃料的特性，也多选用塔式布置锅炉，塔式锅炉见图 1-2。塔式布置型式的锅炉优点为：

(1) 受热面布置紧凑，水冷壁总面积小，受热面积灰、磨损低，膨胀系统简单。

(2) 受热面采用水平布置，利于受热面疏水，且便于对流；受热面烟气侧的速度场、温度场分配均匀，传热均匀，减少高温过热器、再热器超温的可能性；同样参数、材质的塔式锅炉较其他炉型有较高的安全裕度。

(3) 锅炉烟风阻力低。

其缺点为：塔式布置锅炉制造耗用钢材比 Π 型锅炉多；由于炉体高度高，给安装带来一定困难。

3. 600MW 级超临界循环流化床锅炉

目前，以煤炭作为主要能源的电站锅炉，其治理粉尘、 SO_2 、 NO_x 、废水、废渣已成为火力发电厂环保工作的重点。循环流化床锅炉以其能高效燃用低值燃料，并具有低污染及良好调峰能力的新型高效燃煤技术而被逐渐推广。随着循环流化床锅炉大型化的发展及 20 世纪 90 年代世界首台 250MW 级亚临界再热循环流化床锅炉的投运，超临界循环流化床锅炉得到研发和推广。超临界循环流化床 (SC 循环流化床) 锅炉兼备了循环流化床燃烧技术和 SC 蒸汽循环的优点，是目前高效洁净煤发电技术。目前国内 600MW 级循环流化床锅炉整体布置结构如图 1-3 所示。

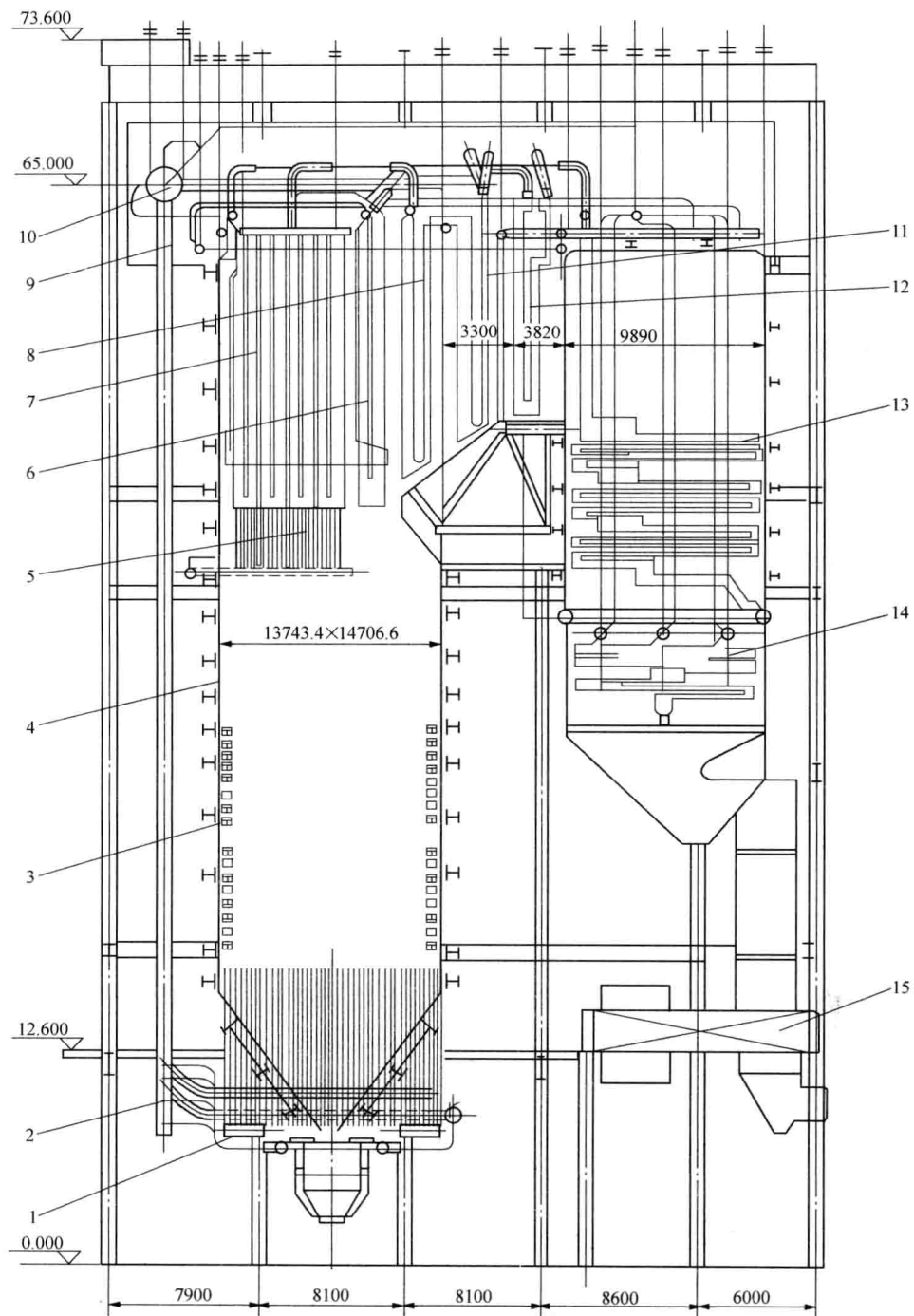


图 1-1 Π 型布置自然循环锅炉

- 1—下联箱；2—分支供水管；3—燃烧器；4—水冷壁；5—壁式再热器；6—后屏过热器；
 7—大屏过热器；8—中温再热器；9—集中下降管；10—汽包；11—高温再热器；
 12—高温过热器；13—低温过热器；14—省煤器；15—回转式空气预热器

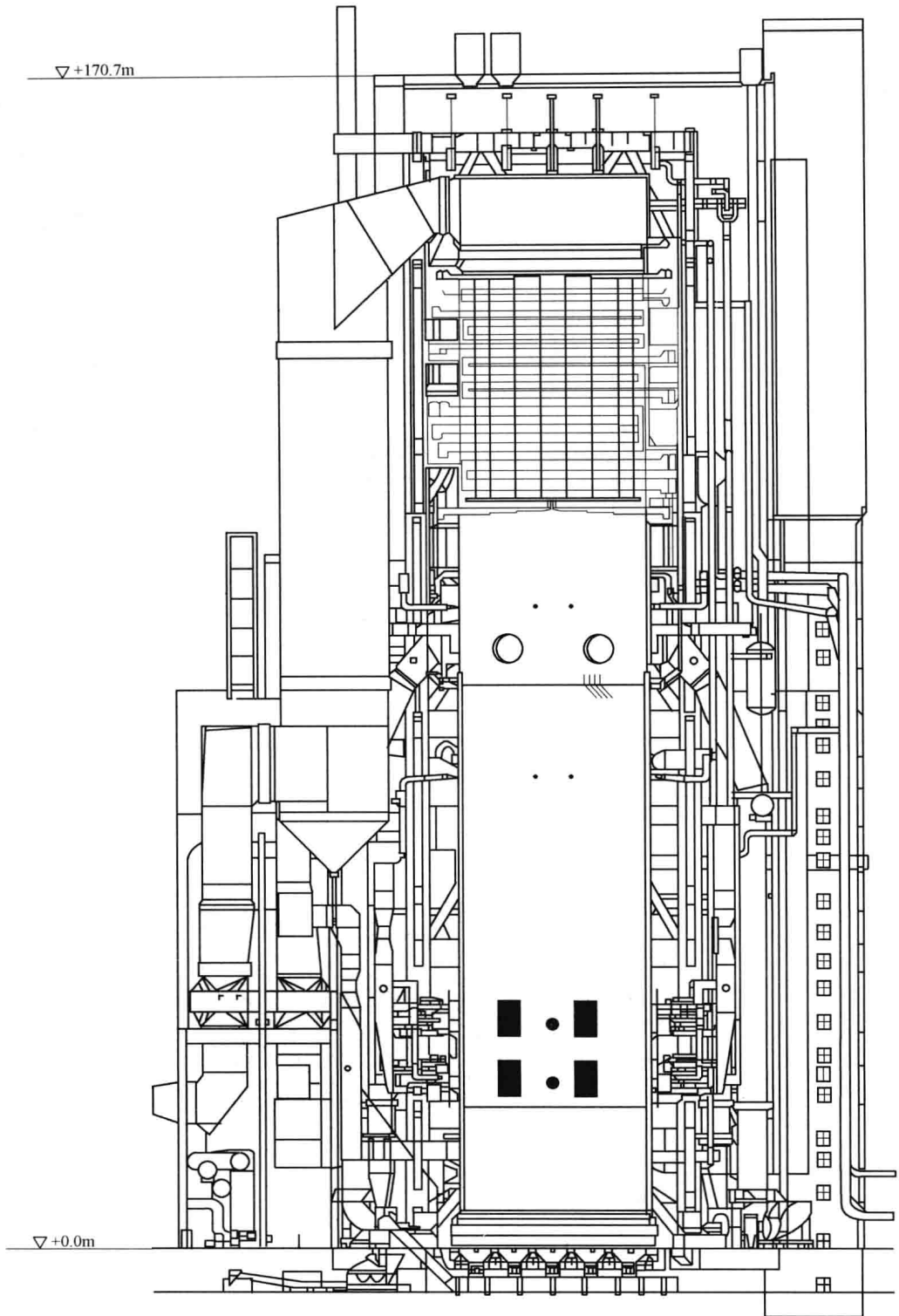


图 1-2 1100MW 级超超临界塔式锅炉

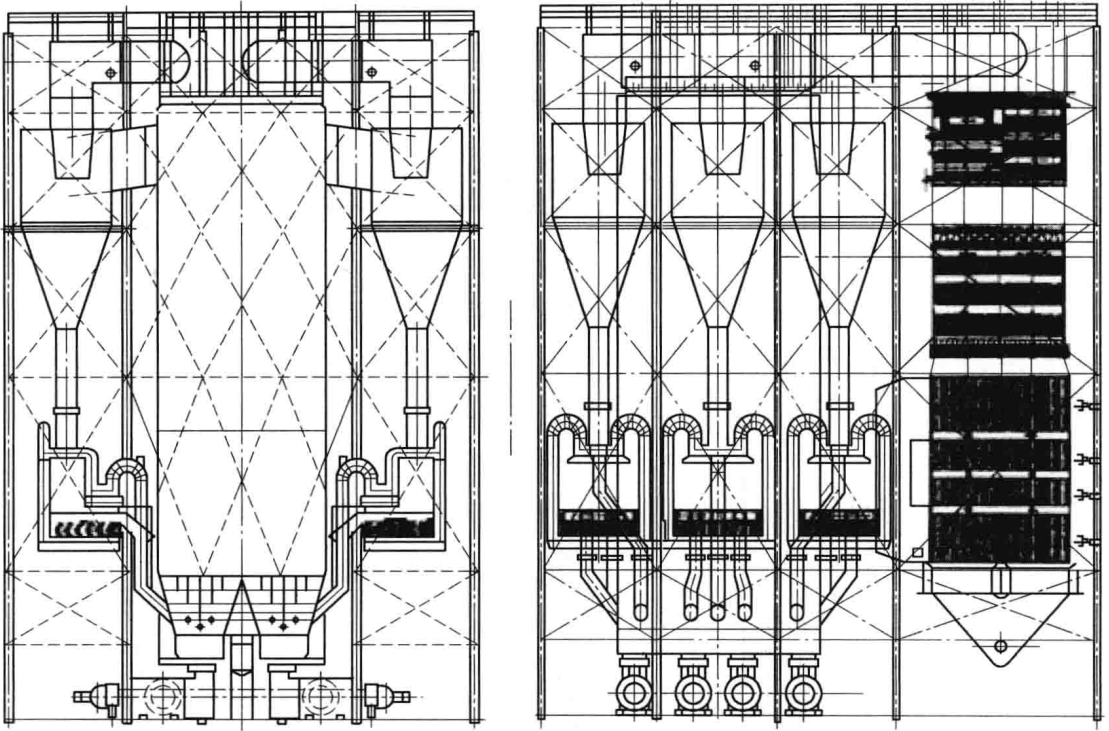


图 1-3 600MW 循环流化床锅炉

4. 联合循环余热锅炉

余热锅炉是燃气-蒸汽联合循环发电机组中的重要换热设备,其作用是回收燃气轮机的排气余热,借以产生蒸汽推动蒸汽轮机做功。其按布置方式分为卧式(如图 1-4 所示)和立式(如图 1-5 所示),均为模块结构。

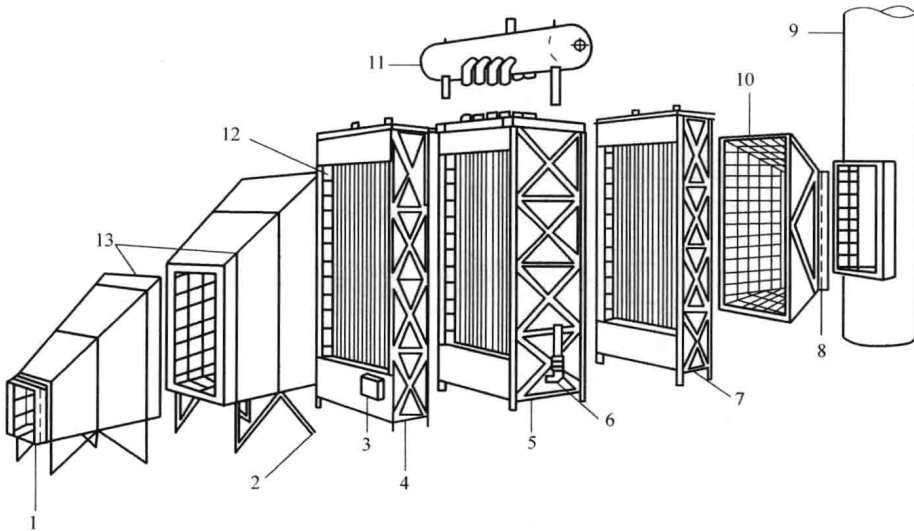


图 1-4 卧式布置的余热锅炉模块结构

1、8—膨胀节; 2—整体结构钢; 3—入孔; 4—过热器段; 5—蒸发器; 6—下降管; 7—省煤器段;
9—烟囱; 10—出口烟道; 11—汽包; 12—内部保温材料; 13—进口烟道

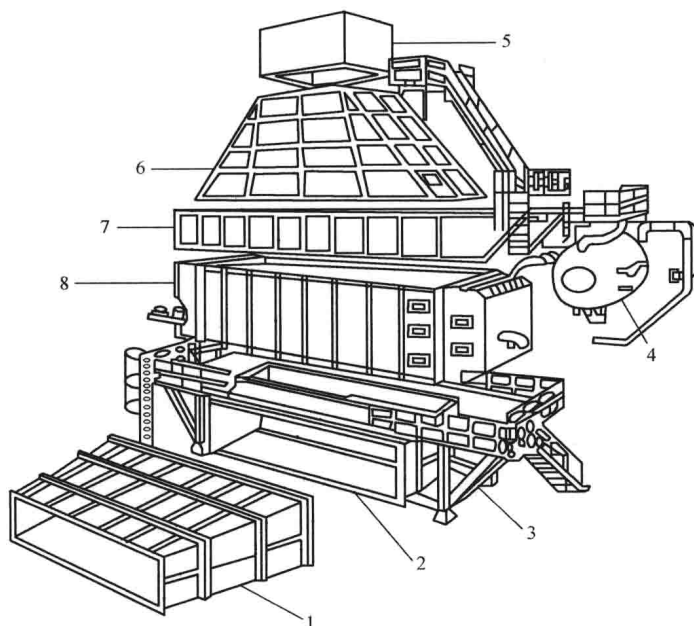


图 1-5 立式布置的余热锅炉模块结构

1—进口段；2—弯烟道（侧向进口）；3—钢架；4—汽包；5—烟囱；
6—上部过渡段；7—省煤器；8—蒸发器过热器

（二）电站锅炉设备结构

对于电站锅炉，其受压元件大体上可分为汽包、水冷壁、集箱、蛇形管及连接管路等五大类，这些受压元件结构各异，制造工艺也不同。但对于各种等级的电站锅炉，如高压、超高压、亚临界及超临界锅炉，同类的受压部件的结构特点基本相似，制造工艺也相近，只是在结构尺寸及材料选用上有所不同。另外，在超临界锅炉、循环流化床锅炉和联合循环余热锅炉中，由于整体结构布置不同，还存在一些特殊结构的受压元件，其制造工艺与常规锅炉不同。

电站锅炉按循环方式可分为自然循环锅炉、控制循环锅炉、直流锅炉、复合循环锅炉，后三者又统称为强制循环锅炉。

1. 自然循环锅炉

配置机组功率等级为 300MW 级和 600MW 级的自然循环电站锅炉，过热蒸汽压力分别为 18.3MPa 和 18.19MPa；过热蒸汽温度分别为 540℃和 540.6℃；再热蒸汽出口温度分别为 540℃和 540.6℃，给水温度分别为 278℃和 276℃。配置 300MW 级机组锅炉一般采用四角布置的四组摆动式直流燃烧器，射流在炉膛中心形成 $\phi 700$ 和 $\phi 1000$ 的两个假想切圆；配置 600MW 级机组锅炉燃烧方式一般采用对冲式的布置方式。由 662 根 $\phi 60 \times 7$ 、 $\phi 60 \times 7.5$ 的光管和内螺纹管组成膜式壁，分 24 组，分别由 6 根集中降水管形成 6 个独立循环回路。

2. 控制循环锅炉

控制循环锅炉的特点是在锅炉下降管和水冷壁入口联箱之间加装炉水循环泵，依靠循环泵的压力提高循环回路中工质流动的推动力。由于其工质是强制流动的，因此可以选择直径较小的汽包、水冷壁和下降管，并且具有蒸发受热面布置灵活、启停炉时间短，适应负荷能力强的特点。目前，我国已引进投运的与 600MW 级机组相匹配的控制循环锅炉，其最大容量为 2950t/h，最高蒸汽压力为 18.34MPa，过热/再热汽温为 538℃/538℃。由于控制循环锅炉