



高等学校教材

锅炉课程设计

浙江大学 赵翔 任有中 合编



内 容 提 要

本书以电站自然循环煤粉锅炉为研究对象,以高参数或超高参数具有中间再热的大容量锅炉为设计重点,主要介绍锅炉课程设计的步骤和方法。其内容包括锅炉课程设计任务书、指导书、示例,以及电子计算机在锅炉热力计算中的应用。

本书为高等学校电厂热能动力类专业《锅炉原理》课程的辅助教材,也为该专业学生作锅炉课程设计用的教材,还可供从事锅炉设计和制造的工程技术人员参考。

高等学校教材

锅 炉 课 程 设 计

浙江大学 赵翔 任有中 合编

水利电力出版社出版

(北京三里河路 6 号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

北京市地矿局印刷厂印刷

787×1092毫米 16开本 13.25印张 299千字

1991年5月第一版 1991年5月北京第一次印刷

印数 0001—6790 册

ISBN 7-120-01237-1/TK·201

定价 3.50 元

前 言

本书是在锅炉课程设计教学实践的基础上编写的。

《锅炉原理》是一门涉及基础理论面较广，而专业实践性又较强的课程。该课程的教学必须有相应的实践教学环节相配合，而课程设计就是让学生全面地运用所学的锅炉原理知识设计一台锅炉。因此，它是《锅炉原理》课程理论联系实际的重要教学环节。它对加强学生的能力培养起着重要的作用。

本书的取材和深度以紧密配合教学为原则。全书共四章，其中第一、二章为课程设计任务书和指导书，对设计原则要求、方法和步骤一一作了具体介绍；第三、四章是课程设计示例和电子计算机在锅炉热力计算中的应用。为突出本书重点，在编写过程中，凡涉及到锅炉原理的一般知识时，该书未加详细论述，请参阅有关的锅炉原理教材和参考书。

本书由浙江大学赵翔副教授（第一、二、三章和附录）和任有中副教授（第四章和附录）编写。全书由赵翔副教授统稿。

本书由山东工业大学张梦珠副教授主审，并提出了很多宝贵意见。

在编写本书第四章的过程中，参考了浙江大学袁镇福副教授编写的400t/h中间再热锅炉热力计算程序，并对程序结构等方面作了部分修改；浙江大学简庆杭和黄镇宇讲师在程序编写中也作了不少工作。在此一并表示感谢。

由于水平有限，书中缺点和错误在所难免，望读者批评指正。

编 者

1999年10月

目 录

前 言

第一章 课程设计任务书	1
第一节 概述	1
第二节 设计要求和方法	1
第二章 课程设计指导书	4
第一节 锅炉的整体布置	4
第二节 锅炉的热力系统	8
第三节 锅炉整体的外形布置	11
第四节 锅炉汽温的调节	12
第五节 锅炉排烟温度和热空气温度的选择	14
第六节 锅炉的炉墙和构架	16
第七节 锅炉热力计算顺序	20
第八节 燃烧产物和锅炉热平衡计算	20
第九节 炉膛设计和热力计算	23
第十节 对流受热面设计和热力计算	36
第十一节 热力计算数据的修正	56
第十二节 减温水量校核和锅炉热平衡计算误差校核	56
第十三节 锅炉总图的绘制	59
第十四节 锅炉设计说明书的编制	60
第三章 课程设计示例——400t/h再热煤粉锅炉	61
第一节 设计任务书	61
第二节 煤的元素分析数据校核和煤种判别	61
第三节 锅炉整体布置的确定	63
第四节 燃烧产物和锅炉热平衡计算	65
第五节 炉膛设计和热力计算	69
第六节 后屏过热器热力计算	79
第七节 对流过热器设计和热力计算	83
第八节 高温再热器设计和热力计算	88
第九节 第一、二、三转向室及低温再热器引出管的热力计算	94
第十节 低温再热器热力计算	102
第十一节 旁路省煤器热力计算	105
第十二节 减温水量校核	109
第十三节 主省煤器设计和热力计算	110
第十四节 空气预热器热力计算	114
第十五节 热力计算数据的修正和计算结果汇总	118
第十六节 锅炉设计说明书	122

第四章 电子计算机在锅炉热力计算中的应用	127
第一节 概述	127
第二节 锅炉热力计算的基本方法	127
第三节 图表处理	131
第四节 400t/h再热煤粉锅炉热力计算程序	146
思考题	167
附录一 法定计量单位与工程单位的换算	169
附录二 锅炉热力计算用表	170
表 I 空气和烟气及灰的平均定压比热	170
表 II 1 Nm ³ 空气和烟气的焓 (kJ/Nm ³) 及 1 kg 灰的焓 (kJ/kg)	171
表 III 火焰最高温度点的位置 x_{max} 或 dx	171
表 IV 水冷壁假想沾污系数 ξ	171
表 V 与燃料种类有关的 B 、 C 系数	172
表 VI 灰污系数的修正系数 de ($m^2 \cdot ^\circ C/W$)	172
表 VII 屏式过热器的灰污系数 e ($m^2 \cdot ^\circ C/W$)	172
表 VIII 顺列布置的过热器、省煤器、大容量锅炉凝渣管、小容量锅炉管束、 锅炉燃用固体燃料时的热有效系数 ψ 值	173
附录三 锅炉热力计算用线图	174
图 I 水冷壁的角度系数 x	174
图 II 三原子气体辐射减弱系数 K	175
图 III 灰粒辐射减弱系数 K_A	176
图 IV 燃烧生成物的黑度 a	176
图 V 表征屏式过热器曝光不均匀性系数	177
图 VI 考虑炉膛与屏式过热器相间换热的系数 β	178
图 VII 沿炉膛高度吸热分布系数 η_A	178
图 VIII 室燃炉炉膛的黑度 a_l	178
图 IX 临界状态以下过热蒸汽作纵向冲刷时的对流放热系数	179
图 X 空气及烟气作纵向冲刷时的对流放热系数	180
图 XI 横向冲刷管束时的对流放热系数 (顺列)	182
图 XII 横向冲刷管束时的对流放热系数 (错列)	184
图 XIII 锅炉燃烧固体燃料时受热面的灰污系数 e	186
图 XIV 屏式过热器的灰污系数 e 和利用系数 ξ	186
图 XV 含粉气流与不含粉气流的烟气辐射放热系数	187
图 XVI 回转式空气预热器烟气侧、空气侧的对流放热系数	188
附录四 锅炉热力计算程序	190
I 锅炉热力计算主程序	190
II 锅炉热力计算第一子程序	196
III 锅炉热力计算第二子程序	199
IV 锅炉后屏过热器热力计算子程序	202
V 锅炉高温过热器热力计算子程序	204
参考文献	206

第一章 课程设计任务书

第一节 概 述

锅炉课程设计是《锅炉原理》课程的重要教学环节。通过课程设计使学生对锅炉原理课程的知识得以巩固、充实和提高；掌握锅炉机组的热力计算方法，并学会使用热力计算标准和具有综合考虑锅炉机组设计与布置的初步能力；培养学生查阅资料、合理选择和分析数据的能力，提高学生运算、制图等基本技能；培养学生对工程技术问题的严肃认真和负责的态度。

课程设计的任务是根据原始资料设计一台给定规范和形式的锅炉。

课程设计的题目首先应满足教学要求，其次在可能的条件下最好结合生产实际。

锅炉设计计算时应提供下列原始数据：

- (1) 锅炉的蒸发量、给水压力和温度，以及主汽阀前过热蒸汽压力和温度。
- (2) 再热器进口和出口处再热蒸汽的参数和流量。
- (3) 从锅炉汽包抽出的饱和蒸汽流量。
- (4) 连续排污量。
- (5) 燃用的燃料特性，如燃煤应包括：应用基元素成分和低位发热量 Q_{dw} ，可燃基挥发分 V' ，灰的特征温度 $(t_1、t_2、t_3)$ ，可磨度。
- (6) 周围环境温度。
- (7) 有关煤粉制备系统、燃烧设备的型式，以及锅炉整体布置的资料。

在设计计算时，锅炉的排烟温度和热空气温度应预先选定。炉膛出口烟气温度和烟道各部分的烟气温度，以及汽水流程中各受热面进出口处水和蒸汽的温度和焓，应根据技术要求也应在合理的范围内选定。

课程设计内容包括：

- (1) 校核煤的元素分析数据和判别煤种。
- (2) 确定锅炉的整体布置，并绘制锅炉结构简图和汽水系统流程简图。
- (3) 锅炉炉膛及主要受热面的结构设计。
- (4) 额定负荷下锅炉的热力计算（作好一个受热面的结构设计，就完成这个受热面的热力计算）。
- (5) 绘制锅炉的总图。
- (6) 编写课程设计说明书。

第二节 设计要求和 方法

设计工作是产品生产的第一道重要工序，产品设计得好坏对其性能和质量有着决定性

的影响。对设计新锅炉的要求是：确定锅炉型式；决定锅炉各个部件的构造尺寸；在保证安全可靠的基础上，设计锅炉力求技术先进、节省金属材料、制造安装简便、并有高的效率。要达到这些要求，必须进行广泛深入的调查研究，综合运用有关的理论以及制造和运行方面的实践知识，学习国内外先进经验，有时还要经过一定的试验研究，要进行各种技术方案的运算和比较，并进行各种精确的计算。整台锅炉的热力计算是锅炉设计中的一项最主要的计算。在进行设计新锅炉时的热力计算称为设计热力计算，简称设计计算。

设计计算的任务是：在给定的给水温度和燃料特性的前提下，确定保证达到额定蒸发量、选定的经济指标及给定的蒸汽参数所必须的锅炉各个受热面的结构尺寸，并为选择辅助设备和进行空气动力计算、水动力计算、管壁温度计算、强度计算、其他可靠性计算提供原始资料。

设计计算是在锅炉额定负荷下进行的。为了估计锅炉在非额定负荷下的工作特性，往往对新设计的锅炉进行非额定负荷下的热力计算，此时的计算叫做校核热力计算，简称校核计算。

锅炉工作的特点之一是对燃料的适应性差，燃料的通用范围小，锅炉设计是按指定燃料设计的，如果燃用非设计燃料时，将使锅炉的热力特性发生变化，甚至发生故障。为了确定锅炉燃用非设计燃料时的热力特性，所进行的计算亦是校核热力计算。

总之，校核计算的任务是：根据已有的锅炉结构数据，对改变负荷、燃料、运行工况或者改变某些部件结构情况下确定各个受热面进出口处的水温、汽温、空气温度和烟气温度、锅炉效率、燃料消耗量，以及空气、烟气的流量、速度。校核计算的目的是：为了估计锅炉在非设计工况下运行的经济指标，寻求改进锅炉结构的必要途径，以及为选择辅助设备和进行空气动力计算、水动力计算、管壁温度计算、强度计算、其他可靠性计算提供原始资料。在进行校核计算时，必须提供锅炉图纸和有关燃烧设备、受热面、烟道的结构和尺寸的资料，并提出在校核工况下的锅炉参数和燃料特性作为计算的原始数据。

设计计算与校核计算在计算方法上是相同的，计算时所依据的传热原理、公式和图表也都是相同的，仅计算任务和所求数据不同。在锅炉设计时，为计算上的方便，对各部件的计算也往往采用校核计算的方法。有经验的设计人员可以根据他的经验和参考同类型锅炉结构，预先布置好部件的结构尺寸，再进行校核计算，如布置不合适，则修改后再进行计算。

从计算方法来说，对锅炉各个部件进行设计计算时，可根据指定的烟气温度及受热工质的温度确定各部件的吸热量，然后计算温差及传热系数，并由传热方程式求出受热面的数值。

整台锅炉的校核计算较复杂，往往要经过多次计算才能完成。计算前要假定锅炉的排烟温度及热空气温度，以此确定锅炉热损失、效率以及燃料消耗量。然后按逐次逼近法求得排烟温度及热空气温度。如果计算求得的排烟温度与原假定值相差不超过 $\pm 10^{\circ}\text{C}$ ，热空气温度相差不超过 $\pm 40^{\circ}\text{C}$ ，则计算即认为合格，否则应重新假定后再作计算。如果重新假定的排烟温度使计算燃料消耗量变动值不超过 2%，则各对流受热面的传热系数可不重算，仅须校正各受热面的温度、温差及吸热量。

在校核计算对流受热面时，先假定其中一种介质的终温和焓，并按热平衡方程式求出受热面的吸热量及计算出另一种介质终温，接着计算传热系数和温差，并按传热方程式计算受热面吸热量。如按传热方程式得到的吸热量 Q_{cr} 与按热平衡方程式求出的吸热量 Q_r 之差，不超过2%（在个别情况下可大于2%），则计算即告完成。温度及吸热量的最终数值以热平衡方程式为准。如果 Q_{cr} 与 Q_r 之差超过规定，则须重新假定终温后再行计算。第二次计算时所选取的终温如与第一次采用的终温之差不大于50℃，则传热系数不必重算。

整台锅炉热力计算完成后，可根据已求得的排烟温度之值，去校正排烟热损失、锅炉效率和燃料消耗量，然后再根据热空气温度的计算值和在炉膛传热计算中业已确定的炉膛出口处的烟气温度，去校正炉膛辐射受热面的吸热量。最后，可按下式确定锅炉机组热平衡的计算误差：

$$\text{绝对误差} \quad \Delta Q = \frac{Q_r \eta_{gl}}{100} - \Sigma Q \left(1 - \frac{q_4}{100} \right) \quad \text{kJ/kg} \quad (1-1)$$

$$\text{相对误差} \quad \delta Q = \frac{|\Delta Q|}{Q_r} \times 100\% \quad (1-2)$$

式中 Q_r —— 输入锅炉的热量，kJ/kg，

η_{gl} —— 锅炉机组的效率；

ΣQ —— 汽水系统各受热面由热平衡方程式求得的吸热量之和，kJ/kg；

q_4 —— 机械未完全燃烧热损失，%。

运算正确时，计算误差不应超过 Q_r 的0.5%。

第二章 课程设计指导书

第一节 锅炉的整体布置

锅炉的整体布置是锅炉设计中一个重要的环节，必须全面地考虑这个问题。锅炉的整体布置也就是指锅炉炉膛和其中的辐射受热面、对流烟道和其中的各种对流受热面的布置。在确定布置方案时，应尽可能设法满足以下的要求：

- (1) 运行安全、经济。
- (2) 节省投资（主要是减少金属消耗量）。
- (3) 管理和检修方便。
- (4) 制造简单、运输方便和安装迅速。
- (5) 对于燃料具有一定的通用性，即锅炉的通用化。

以上各要求可能相互矛盾，故在考虑整体布置方案时务必结合国内燃料资源，经济情况，生产水平，以及锅炉蒸汽参数、容量和燃烧方式等具体条件，设法协调矛盾，以选定最经济合理的方案。

锅炉整体布置不仅受蒸汽参数、容量、燃料性质的影响，而且要考虑到整个电厂布置的合理性，各种汽水管道的和烟风煤粉管道的合理布局。

一、蒸汽参数对受热面布置的影响

蒸汽参数的变化对于锅炉本体各个受热面间吸热量分配有很大影响，吸热分配比例的不同，将直接影响受热面布置。工质在各受热面吸收的总热量，按热力学可分为加热吸热量、蒸发吸热量和过热吸热量三部分。不同参数下工质吸热量的分配如表2-1所示。

表 2 1 锅炉工质吸热量的分配比例

蒸汽参数及给水温度			总 焓 增 (kJ/kg)	吸热量比例 (%)		
汽 压 p (MPa)	汽 温 t (°C)	给水温度 t_{gs} (°C)		加 热 Q_{jh}	蒸 发 Q_{zf}	过 热 Q_{gh}
3.82(39)	450	150	2680	17.9	62.4	19.7
9.81(100)	540	215	2750	20.4	49.5	30.1
13.72(140)	540/540	240	2820/430	21.2	33.8	29.8/15.2
16.69(170)	540/540	270	2650/434	23.5	23.7	36.4/16.4

注 (1) 总焓增值已考虑对再热蒸汽流量的折算。

(2) 括弧中汽压数值的单位为表大气压。

当汽压升高，工质加热吸热量与过热吸热量（包括再热蒸汽的吸热量）增加，蒸发吸热量则减少。在锅炉的各受热面中，工质加热吸热主要靠省煤器完成，蒸发吸热主要靠水

冷壁完成，而过热吸热则由过热器和再热器完成。对于不同参数的锅炉，其受热面布置考虑的问题也不尽相同。

对于中参数锅炉，工质蒸发吸热量与炉内辐射受热面的吸热量大致相近，除炉内布置水冷壁及炉膛出口有几排凝渣管束外，勿须再象低压锅炉那样，布置大量的对流锅炉管束。因此，中压锅炉大都是采用单汽包结构，工质加热吸热量由省煤器完成，当炉内辐射受热面的吸热量不能满足蒸发吸热量的要求时，可使省煤器部分沸腾。根据热空气温度的要求，空气预热器布置成单级或双级。过热器多采用对流式过热器，应尽量布置在凝渣管后的高烟温区，以节约耐热钢材。中参数锅炉受热面的布置如图2-1所示的型式。对高参数锅炉，工质加热和过热吸热量比例增大，蒸发吸热量比例减小。由于蒸发需要热量减少，同时由于蒸汽温度提高，为了得到足够温差，有可能也有必要将一部分过热器受热面移入炉膛，因此除对流过热器外，往往需要顶棚过热器和炉膛出口布置代替凝渣管束的屏式过热器。后两种过热器可在锅炉负荷变动时保持汽温平稳，并且作为降低炉膛出口烟温的一种措施。对蒸发及加热受热面的布置，采用的热力系统仍类似中压锅炉。图2-2即是一种高参数锅炉受热面的布置型式。对超高参数带有中间再热的锅炉，由于工质蒸发所需热量进一步减少，过热（包括中间再过热）进一步增加，有必要把过热器更多一些的受热面放入炉膛中。在炉膛中除了其出口屏式过热器及顶棚过热器之外，又在炉膛上部装设了前屏过热器，在

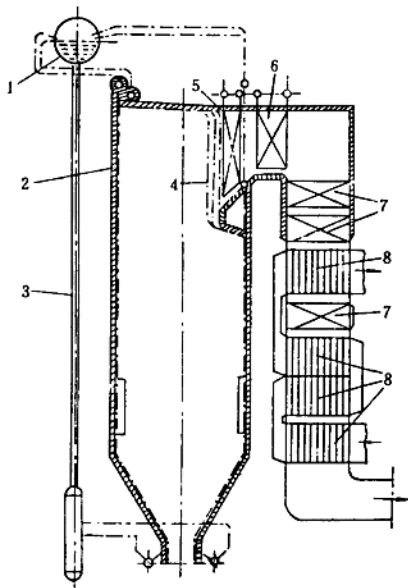


图 2-1 中参数锅炉受热面的布置

1—汽包；2—水冷壁；3—集中下降管；4—凝渣管束；
5—高温对流过热器；6—低温对流过热器；7—省煤器；
8—空气预热器

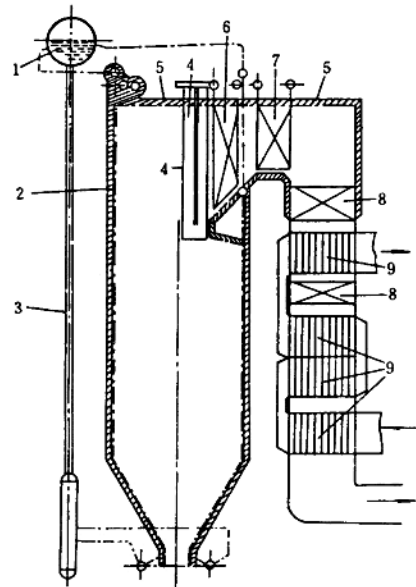


图 2-2 高参数锅炉受热面的布置

1—汽包；2—水冷壁；3—集中下降管；4—屏式过热器；5—顶棚过热器；6—高温对流过热器；7—低温对流过热器；8—省煤器；9—空气预热器

水平烟道的后面和垂直烟道的最上面布置了再热器，如图 2-3 所示，即是超高参数带有中间再热锅炉的典型布置型式。

此外，随着蒸汽参数的提高，工质加热吸热量的增加和蒸发吸热量的减少，一部分加热的吸热量可以由水冷壁负担，所以在高参数以上锅炉中省煤器常是非沸腾式，则水冷壁的一部分实际上起了省煤器的作用。

二、锅炉容量对受热面布置的影响

当蒸汽参数提高时，伴随着锅炉容量的增加，炉膛容积也正比的增加。但是，炉膛壁面积并非与其容积成正比地增加。所以，随着锅炉容量的增加，能布置水冷壁的炉内表面积相对减小。容量增大，炉壁面积增加慢的矛盾更为显著。而炉膛高度又有一定的限制，为了使炉膛出口烟温不致过高而引起严重结渣，不仅在炉膛内需要布置更多的辐射式、半辐射式过热器，而且常需在炉膛中装设双面水冷壁，使烟气在炉膛中得到足够的冷却。

同样理由，随着锅炉容量的增大，炉膛宽度（尾部烟道宽度）也相对减小，这就会影响到尾部受热面的布置。为使尾部受热面的工质流速不因尾部烟道宽度的相对减小而增大，在设计高参数锅炉时尾部省煤器和空气预热器均采用双级双流布置。对于超高参数以上的锅炉，有时尾部受热面即使采用了双级双流布置还难解决问题，同时还会有尾部受热面尺寸太大而使烟气难于分布均匀，因此有时就将空气预热器移至炉外，且采用比较紧凑的回转式空气预热器，而省煤器则采用单级的非沸腾式结构布置在尾部烟道内。

三、燃料性质对受热面布置的影响

由于燃料性质对锅炉热力工况的影响，所以燃料的多样性导致了锅炉受热面采用多种布置方式。就固体燃料而言，煤的发热量、挥发分、水分、灰分、硫分及着火点等性质，对受热面的布置均有影响。可以从燃料消耗量的多少、着火难易、烟气量的改变、结渣、积灰、磨损、腐蚀的轻重等方面逐一进行分析，来考虑受热面的布置应采取的措施。

对于相同容量、参数的锅炉，如使用的燃料：

发热量较低，则燃料消耗量较多，理论燃烧温度降低，炉膛出口烟温可能变化。因此，影响了炉内传热与对流换热的分配比例，锅炉各部分的受热面积也随之改变。

煤水分较大，将引起炉内燃烧温度下降、烟气量增加，炉内吸热量减少，对流受热面吸热量增加。同时，水分多的煤需要较高的热空气温度，亦即需要布置更多的空气预热器受热面。

挥发分较低，不易着火和燃尽，炉内火炬长度应保证大一些，即炉膛较高一些。挥发分较低的煤也要求热空气温度高一些，即空气预热器受热面多些。为保证燃料燃尽，低挥发分的煤还要求较大的过量空气系数，这同样会使炉内燃烧温度降低和烟气量增加，从而改变辐射换热与对流换热的分配比例。

灰分多，会引起对流受热面的强烈磨损，当灰的变形及软化温度不高时，还容易引起炉膛内或其出口处密集对流受热面的结渣。前者影响对流受热面的烟速选择，后者影响炉膛出口温度的选择，使辐射换热与对流换热的比例改变，受热面的结构和大小都要相应改变。

硫分比其他的成分少得多，对燃料燃烧后烟气容积的影响不是太大，主要影响是烟气

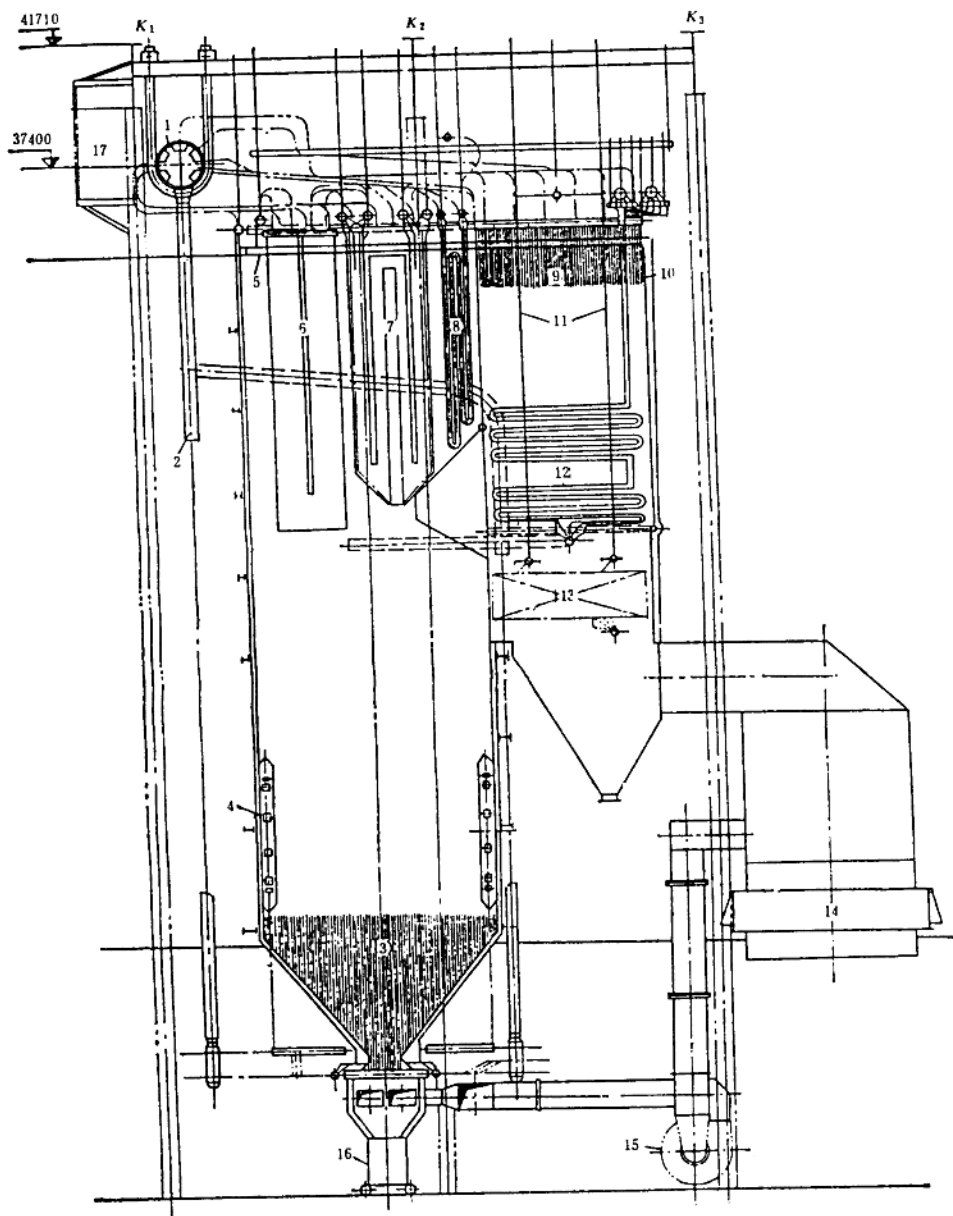


图 2-3 SG-400/140型锅炉受热面的布置

- 1—汽包；2—下降管；3—水冷壁；4—燃烧器；5—顶棚过热器；6—前屏过热器；
7—后屏过热器；8—对流过热器；9、10—包覆管；11—悬吊管；12—再热器；13—省煤
器；14—空气预热器；15—再循环风机；16—出渣设备；17—司水小室

露点。因此，硫分不同，应选取不同的排烟温度和低温受热面结构。但是，实际上对多硫燃料，用提高排烟温度来解决低温腐蚀问题是不合算的。因此，排烟温度的选择必要时亦可不考虑这个因素，而采取其他措施来减轻低温腐蚀。这样对受热面布置影响就较小，或仅使它影响最末级受热面的结构。

由此可见，对于同一容量和参数的锅炉，不同的燃料就要求有不同的受热面布置型式。这对锅炉的制造和大量生产不利，所以要提出锅炉的通用化，即对燃料性质相近的，锅炉结构可以完全相同，燃料性质相差大时，结构上仅作局部改变即可，这就大大地简化了锅炉制造工艺。如在设计通用化锅炉时，炉膛的容积热强度 q_v 值应选取低些，以满足通用燃料中 q_v 的最低需要值；过热器可按通用燃料中烟气容积 V ，最小和对流换热比例最小的燃料设计；省煤器可按需要最大的传热面积的燃料来设计布置；对流受热面的烟气流速按最大灰分的燃料来选取等。当然，搞通用化设计会使金属耗量增加，原因在于通用化锅炉按在条件最不利时仍保证运行的安全与经济而设计，致使设备投资增加。因此，锅炉的通用化尚受上述原因的限制。

第二节 锅炉的热力系统

锅炉的热力系统是指锅炉各受热面沿烟气流程布置的位置和相互间热量分配的关系。

对锅炉热力系统提出的最基本要求是锅炉的可靠性和经济性，亦即锅炉应在达到安全可靠的基础上力求技术先进、金属节约、制造安装简便、热效率高。当锅炉蒸汽参数、容量和燃用的燃料不同时，达到上述要求所采取的具体措施也是不同的，这使锅炉的热力系统有所不同。

一、中参数中容量锅炉的热力系统

图 2-4 以国产 130t/h 中压锅炉为例，示出了中参数中容量锅炉的热力系统。

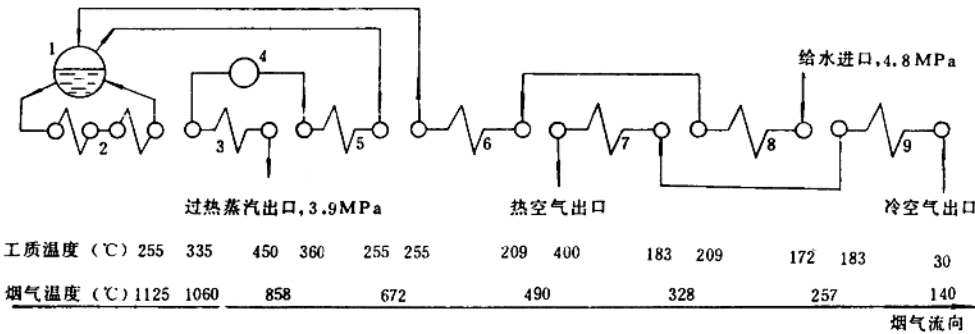


图 2-4 130t/h 中压锅炉的热力系统

1—汽包；2—水冷壁凝渣管；3—高温过热器；4—减温器；5—低温过热器；6—二级省煤器；7—二级空气预热器；8—一级省煤器；9—一级空气预热器

中参数中容量锅炉（3.9MPa、450℃、35~130t/h）是由过热器、省煤器及空气预热器组成的一个整体。炉膛中布置辐射蒸发受热面。对流过热器前布置有由后墙水冷壁延伸

拉稀而成的凝渣管束，作为炉膛出口烟气通道并起着防止过热器结渣的作用。对流过热器分为两级，第一级（低温级）布置在较低烟温区，第二级（高温级）布置在高烟温区。第一级与烟气成逆流布置，可提高工质平均温差，节约受热面金属。第二级与烟气成顺流布置，使蒸汽出口处于较低烟温处，管壁金属工作安全可靠。过热器以后依次布置省煤器和空气预热器，并为逆流布置。从整个热力系统来看，过热器（高温部件）布置在高温对流的烟道，空气预热器（最低温部件）布置在最低烟温区，这样工质与烟气形成逆流，从热工角度看这样布置是正确的。但是，从安全角度考虑，在炉膛中一般不布置过热器。

由于中参数锅炉过热蒸汽温度较高（ 450°C ），过热器尽量布置在高烟温对流区是适宜的。这样可以提高工质温差，节约耐热钢材。但烟温亦不能太高，以免过热器结渣和管壁金属温度过高。因此，过热器一般布置在凝渣管以后，使其进口烟温在 1000°C 左右。

这类锅炉的热空气温度要求在 200°C 以上，因此必须用空气预热器，将其布置在烟气流程的最后部分。冷空气温度大约为 30°C ，因此可有效地降低烟气温度，提高锅炉效率。如果热空气温度要求在 300°C 以上，则可采用省煤器与空气预热器双级交错布置的系统。但如用回转式空气预热器，仍可用单级空气预热器而使空气加热到 $330\sim 350^{\circ}\text{C}$ 。

对于 10MPa 、 $180\sim 220\text{t/h}$ 的锅炉，如汽温为 510°C ，仍可采用上述热力系统。

二、高参数大容量锅炉的热力系统

高参数大容量锅炉（ 10MPa ， 540°C ， $>220\text{t/h}$ ）由于工质过热吸热量份额增多，完全用对流过热器将使过热器的金属消耗量过多，布置的地位也发生困难，因此可采用部分辐射式及半辐射式（屏式）过热器。布置在炉顶及炉膛出口处，蒸汽先经过这些部件后再进入对流过热器。应当指出，当容量大于 410t/h 的锅炉中，装置屏式过热器，还可降低炉膛出口的烟气温度，因为大容量锅炉，炉膛壁面积相对较少，仅布置辐射受热面，还不能降低炉膛出口烟气温度到允许值以下。至于辐射及半辐射式过热器应占全部过热吸热量的多少份额，从过热汽温特性平稳的要求来看，辐射吸热份额约占 $50\%\sim 60\%$ 最好。但实际上是达不到这个数值的，因为在高压下，蒸发吸热量份额还很大，如果炉膛内布置过多的过热器受热面，将使省煤器内沸腾度过大，如改增加锅炉管束受热面则更是不合理的。所以，一般采用的辐射部分吸热份额约占 20% 左右。至于此类锅炉热力系统的其他部分则和一般中高压参数是类似的。图 2-5 所示为国产 220t/h 高压锅炉的热力系统。

三、超高参数大容量锅炉的热力系统

对于超高参数大容量并有中间再热锅炉（ 14MPa ， $>540/540^{\circ}\text{C}$ ， $>400\sim 670\text{t/h}$ ）的热力系统，主要特点也是表现在过热系统上。此时更应注意过热器及再热器的安全可靠。如过热器应多分几级；末级的工质焓增不要太大（一般不超过 170kJ/kg ）；每级之间应有混合及交流；末级过热器蛇形管组不宜沿整个烟道宽度布置，以减少热偏差；各级布置的烟温区域则应考虑到最高金属壁温不超过该级材料的允许值；金属耗量不要过多；过热器热力特性平稳等。

过热器如采用对流-辐射-半辐射（屏式）-对流的系统，可使第一级即对流过热器布置在低烟温区域，以吸取较多热量，因接近饱和温度的工质比热很大，而工质温度增加不多，这样过热器有可能应用碳钢管制造。但这种系统的缺点是，由于第二级即辐射过热器中工

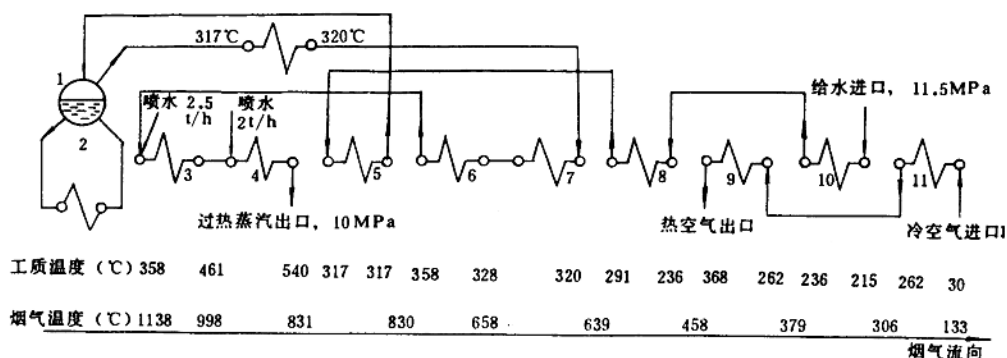


图 2-5 220t/h 高压锅炉的热力系统

1—汽包；2—水冷壁；3—屏式过热器；4—高温过热器；5—省煤器引出管；6—低温过热器；7—烟井
包壁管；8—第二级省煤器；9—第二级空气预热器；10—第一级省煤器；11—第一级空气预热器

质温度已较高，受热面热负荷不能过高，焓增也就不能过大，这样使过热吸热中的辐射吸热份额较少，汽温特性也不平稳。

如采用辐射-半辐射-低烟温对流-高烟温对流系统，可克服上述缺点。辐射式过热器可沿炉膛全高度布置，过热吸热中的辐射吸热份额值较大，从而使汽温特性平稳。

目前考虑到过热器的安全和汽温特性，常采用上述后一种系统。如图 2-6 所示的国产 400t/h 超高压具有一次中间再热锅炉的热力系统，即采用的是此种过热器系统。辐射式过热器采用了炉顶布置，可比较安全可靠。

再热器一般布置在过热器的两对流级之间，亦可分两级与过热器的对流级交错布置，有时为了使再热器内工质的压降不过大，亦采用半辐射-对流的再热器系统。

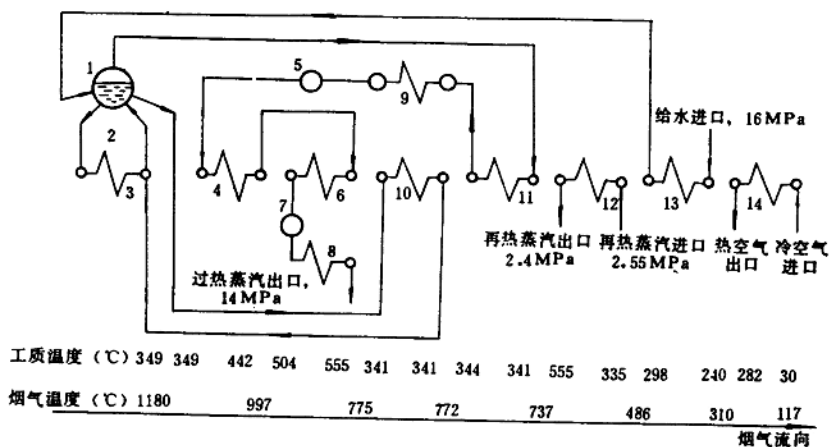


图 2-6 400t/h 超高压锅炉的热力系统

1—汽包；2—炉膛；3—水冷壁；4—屏式过热器；5—第一级喷水(5t/h)；6—低温过热器；7—第二级喷水(4.9t/h)；8—高温过热器；9—顶棚过热器；10—后墙引出管；11—转弯烟室；12—再热器；13—省煤器；14—空气预热器

第三节 锅炉整体的外形布置

随着锅炉容量和参数的提高, 锅炉部件和受热面级数的增加, 使用燃料的不同, 锅炉整体的外形有多种多样的布置。

锅炉整体外形的选择应当考虑到: 工作可靠; 锅炉本身以及厂房建筑和连接烟风管道等金属材料消耗少, 成本低; 检修及运行操作方便。因此, 锅炉外形的选择不仅与本身各部件的构造和布置有关, 而且也涉及到整个电站布置, 特别是与汽机的配合问题。

总之, 无论选择何种外形布置, 都应使锅炉在安全、经济的条件下, 尽可能具有最小的体积, 这是一个必须考虑的原则。

各种型式的布置主要区别在于炉膛与对流烟道的相对位置不同, 对流烟道的数量不等, 归纳起来大致可以分成以下几种, 如图 2-7 所示。

其中 Π 形和塔形布置在世界各国采用最多, 这里就简单介绍这两种布置型式。

一、 Π 形布置

这是所有直流锅炉与煤粉汽包锅炉的典型炉型, 它是国内外大中容量锅炉用得最广泛的一种布置型式。这种型式的锅炉整体由垂直的柱体炉膛、转向室及下行对流烟道三部分组成。

它有以下优缺点:

(1) 优点 布置受热面方便,

工质适应向上流动, 受热面易于布置成逆流形式, 加强对流传热; 检修尾部受热面方便; 排烟口在下部, 送引风机、除尘器等辅机可安装在地面上; 锅炉构架和厂房较低; 尾部对流传烟道烟气流向下, 易于吹灰, 并有自吹灰作用; 锅炉本身以及机炉之间连接管道不太长。

(2) 缺点 占地面积大; 有水平烟道时锅炉构架复杂, 也不能充分利用其空间来布置受热面, 在炉膛和对流烟道的上方由于烟气转弯而形成转向室, 转向室内烟气的速度场和温度场分布不均匀, 换热效能很低; 由于这种布置烟道高度较低, 又要求炉膛高度与对流竖井的烟道高度近似相等, 因此尾部受热面布置较困难; 尾部烟道飞灰浓度不均匀, 容易引起受热面的局部磨损。为了减小 Π 形锅炉在深度方向的占地尺寸, 取消中间水平过渡烟道部分, 成了无中间走廊的 Π 形布置, 如 SG-400/140 型锅炉, 不仅缩小了锅炉占地面积, 而且还有利于减少漏风, 使过热器和再热器尽量靠近高烟温区。这种炉型在我国采用较多, 在国外多用于大型燃油或燃气锅炉。

二、塔形布置

这是一种单烟道或单流程布置的锅炉, 采用的国家也越来越多, 适用于燃烧油、气或

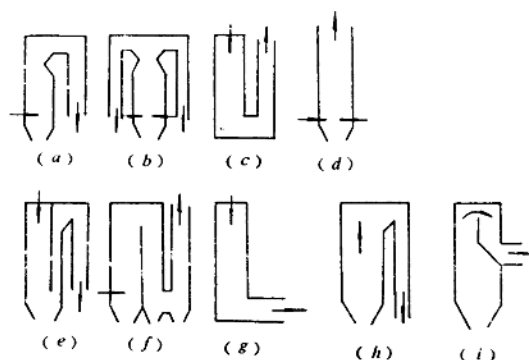


图 2-7 锅炉整体外形布置

(a) Π 形; (b) T 形; (c) U 形; (d) 塔形; (e) H 形;
(f) N 形; (g) L 形; (h) 半塔形; (i) 箱形

低灰分固体燃料。它的烟道径直向上发展，对流受热面全部布置在炉膛上方的烟道里。

这种布置的优点是：取消了不易布置受热面的转弯烟室，锅炉的表面积较小；对流受热面的冲刷均匀，金属及炉墙消耗量减少；占地面积较小；炉体有自生通风作用，烟气阻力减少；烟风煤粉管道布置紧凑；受热面全部水平布置，易于疏水。其主要缺点是：过热器、再热器布置得很高，蒸汽管道较长；送引风机及除尘设备位于顶部，增加了厂房构架和锅炉构架的负载，使造价提高，设备的安装与检修较复杂。

由于塔形布置避免了烟气转弯，减轻了受热面的局部磨损；又由于烟气上行，飞灰的自重影响灰粒速度，也减轻了磨损。因此，当燃用高灰分的褐煤时，也可采用这种布置。

有时，将塔形布置少许变动，把空气预热器、除尘器、引风机等布置在地面，用垂直布置的空烟道连通上部的省煤器和下部的空气预热器，构成半塔形布置。

第四节 锅炉汽温的调节

维持稳定的过热汽温和再热汽温是保证锅炉机组运行安全和经济所必须的。对电厂锅炉来说，要求在运行中维持过热汽温的变动不超过 $\pm 5 \sim 10^{\circ}\text{C}$ 。另外，从保护过热器受热面来说，除了汽温应维持正常以外，还要保持某一级过热器的管壁温度不超过这一级过热器所采用的钢材的许用温度，因此锅炉汽温的调节除了满足汽轮机的要求之外，还有保护过热器本身的作用。一般情况是锅炉负荷在70%~100%内能维持额定蒸汽温度。由于许多因素影响到汽温，因而就需要采取适当的调温方法。调节汽温的方法很多，而适用条件和优点又各不相同。为使调温灵活，也可同时采用两种不同的调温方式。总之，应根据具体情况通过技术经济比较合理地选择调温方法。表 2-2 列出我国电厂锅炉常用的各种调温方法。

表 2-2 我国电厂锅炉常用的调节汽温方法

调 温 方 式	非中间再 热机组	中 间 再 热 机 组				
		过热汽温调节	再 热 汽 温 调 节			
			无烟煤、多灰煤	烟 煤	褐 煤	油 气
1.面式减温器	1					
2.喷水	2	2	2		2	
3.烟气挡板			3	3		3
4.烟气再循环				4		4
5.摆动式燃烧器	5	5				
6.汽-汽换热器			6		6	

对汽温调节方法的基本要求是：调节惯性或延迟时间要小；调节范围要大，结构简单