

普通高等教育“十一五”规划教材  
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI



GUOLU KECHENG  
SHEJI ZHIDAOSHU

# 锅炉课程 设计指导书

李加护 闫顺林 刘彦丰 编



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

普通高等教育“十一五”规划教材  
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI



GUOLU KECHENG SHEJI  
ZHIDAOSHU

# 锅炉课程 设计指导书

李加护 闫顺林 刘彦丰 编  
任有中 主审



中国电力出版社  
<http://jc.cepp.com.cn>

## 内 容 提 要

本书以国产 220t/h 高压锅炉为对象,对整个热力计算思想过程进行了详细说明;对各受热面的计算过程进行了详细说明,并辅之以方框图,使学生在使用时更加容易理解;对各受热面的计算误差要求进行了说明。书中锅炉各受热面结构图及其标注比较齐全,公式索引十分清楚,能满足学生在规定时间内完成教学任务的要求。

本书可作为高等院校能源动力类及相关专业“锅炉课程设计”的学习指导书,也可供相关科研人员参考使用。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

锅炉课程设计指导书/李加护等编. —北京:中国电力出版社, 2007

普通高等教育“十一五”规划教材

ISBN 978-7-5083-5904-5

I. 锅... II. 李... III. 锅炉—课程设计—高等学校—教材 IV. TK22

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 100966 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

北京市铁成印刷厂印刷

各地新华书店经售

\*

2007 年 8 月第一版 2007 年 8 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 7.75 印张 176 千字

印数 0001—3000 册 定价 12.80 元

## 敬 告 读 者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失  
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

## 前 言

锅炉课程设计是“锅炉原理”课程的重要教学实践性环节。通过课程设计应达到以下目的：巩固、充实和提高锅炉原理课程知识；掌握锅炉机组的热力计算方法，并学会使用热力计算标准；具备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；培养学生对工程技术问题的严肃认真和负责的态度。

本书以国产 220t/h 高压锅炉为对象，对整个热力计算思想过程进行了详细说明；对各受热面的计算过程进行了详细说明，并辅之以方框图，使学生在使用时更加容易理解；对各受热面的计算误差要求进行了说明。本书对锅炉各受热面结构图及其标注比较齐全，公式索引十分清楚，能满足学生在规定时间内完成教学任务的要求。

本书由华北电力大学李加护、闫顺林、刘彦丰共同编写，浙江大学任有中老师主审。编者对于主审老师以及在编写教材过程中给予无私帮助的老师 and 同学表示由衷的谢意。

由于编者水平所限，加之编写时间仓促，书中难免有不妥之处，敬请使用本书的师生及读者批评指正。

编 者

2007 年 6 月

指导教师签字：\_\_\_\_\_

年 月 日

锅炉原理课程设计评定表 (总分 100 分)

|         |                                                                     |              |     |      |    |    |    |
|---------|---------------------------------------------------------------------|--------------|-----|------|----|----|----|
| 学生姓名    |                                                                     | 专业及班级        |     | 指导教师 | 标准 | 实际 | 总分 |
| 设计煤种    |                                                                     | 锅炉负荷         |     |      |    |    |    |
| 设计起止时间: |                                                                     | 年 月 日至 年 月 日 |     |      |    |    |    |
| 设计答辩时间: |                                                                     | 年 月 日        |     |      |    |    |    |
| 答辩成员    | 姓名                                                                  | 职 称          | 单 位 | 签字   |    |    |    |
|         |                                                                     |              |     |      |    |    |    |
|         |                                                                     |              |     |      |    |    |    |
|         |                                                                     |              |     |      |    |    |    |
|         |                                                                     |              |     |      |    |    |    |
|         |                                                                     |              |     |      |    |    |    |
|         |                                                                     |              |     |      |    |    |    |
|         |                                                                     |              |     |      |    |    |    |
| 答辩评语    | 熟悉高温省煤器热力计算流程，完成相应计算                                                |              |     |      | 8  |    |    |
|         | 熟悉高温空气预热器计算流程，完成相应计算                                                |              |     |      | 8  |    |    |
|         | 熟悉低温省煤器计算流程，完成相应计算                                                  |              |     |      | 6  |    |    |
|         | 熟悉低温空气预热器计算流程，完成相应计算                                                |              |     |      | 6  |    |    |
|         | 完成锅炉热力计算误差检查                                                        |              |     |      | 2  |    |    |
|         | 熟悉各部分受热面计算的误差                                                       |              |     |      | 2  |    |    |
|         | 熟悉各部分内容所涉及的相应概念和计算公式                                                |              |     |      |    |    |    |
| 成绩      | 优秀 (100>X≥90); 良好 (90>X≥80); 中等 (80>X≥70); 及格 (70>X≥60); 不及格 (X<60) |              |     |      |    |    |    |

指导教师签字: \_\_\_\_\_  
年 月 日



## 锅炉原理课程设计评分参考标准 (满分 100 分)

| 序号 | 内 容                       | 标准<br>分数 | 实际<br>得分 | 总分<br>(X) |
|----|---------------------------|----------|----------|-----------|
| 1  | 熟悉锅炉结构                    | 2        |          |           |
| 2  | 熟悉汽水流程                    | 2        |          |           |
| 3  | 熟悉烟气流程                    | 2        |          |           |
| 4  | 熟悉总体计算流程                  | 4        |          |           |
| 5  | 熟悉燃料燃烧计算流程, 完成相应计算        | 4        |          |           |
| 6  | 熟悉锅炉热平衡及燃料消耗量计算流程, 完成相应计算 | 4        |          |           |
| 7  | 熟悉炉膛热力计算流程, 完成相应计算        | 4        |          |           |
| 8  | 熟悉屏的热力计算流程, 完成相应计算        | 10       |          |           |
| 9  | 熟悉高温过热器热力计算流程, 完成相应计算     | 8        |          |           |
| 10 | 熟悉低温过热器热力计算流程, 完成相应计算     | 8        |          |           |
| 11 | 熟悉高温省煤器热力计算流程, 完成相应计算     | 8        |          |           |
| 12 | 熟悉高温空气预热器计算流程, 完成相应计算     | 8        |          |           |
| 13 | 熟悉低温省煤器计算流程, 完成相应计算       | 6        |          |           |
| 14 | 熟悉低温空气预热器计算流程, 完成相应计算     | 6        |          |           |
| 15 | 完成锅炉热力计算误差检查              | 2        |          |           |
| 16 | 熟悉各部分受热面计算的误差             | 2        |          |           |
| 17 | 熟悉各部分内容所涉及的相应概念和计算公式      | 20       |          |           |

优秀 ( $100 > X \geq 90$ ); 良好 ( $90 > X \geq 80$ ); 中等 ( $80 > X \geq 70$ ); 及格 ( $70 > X \geq 60$ ); 不及格 ( $X < 60$ )。

## 《锅炉原理》课程设计

### 任 务 书

#### 一、目的、要求

巩固、充实和提高锅炉原理课程的知识；掌握锅炉机组的热力计算方法，学会使用热力计算标准；培养学生查阅资料、合理选择和分析数据的能力；培养学生对工程技术问题认真负责的态度。

#### 二、主要内容

1. 锅炉辅助设计计算；
2. 受热面热力计算；
3. 计算数据的分析。

#### 三、进度计划（共两周 10 个工作日）

1. 锅炉辅助设计计算 2~3 天；
2. 受热面热力计算 6~7 天；
3. 计算数据的分析 1 天。

#### 四、设计成果要求

要求各种误差在规定范围之内，各项计算或选择的内容不得空缺。

#### 五、考核方式

主要以口试方式考核。

指导教师：

日 期：      年   月   日

## 目 录

## 前言

|                       |    |
|-----------------------|----|
| 第一章 锅炉课程设计概述          | 1  |
| 第一节 概述                | 1  |
| 第二节 热力计算方法            | 3  |
| 第三节 基本资料              | 4  |
| 思考题                   | 9  |
| 第二章 辅助计算              | 10 |
| 第一节 燃料数据的分析和整理        | 10 |
| 第二节 锅炉的空气量平衡          | 11 |
| 第三节 燃料燃烧计算            | 11 |
| 第四节 锅炉热效率及燃料消耗量的估算    | 15 |
| 思考题                   | 22 |
| 第三章 炉膛热力计算            | 23 |
| 第一节 炉膛校核热力计算的步骤       | 23 |
| 第二节 炉膛几何特征的计算         | 24 |
| 第三节 炉膛热力计算中的几个问题      | 27 |
| 第四节 炉膛热力计算            | 30 |
| 第五节 炉膛顶部辐射受热面及工质焓增的计算 | 32 |
| 思考题                   | 33 |
| 第四章 对流受热面的热力计算        | 34 |
| 第一节 概述                | 34 |
| 第二节 各种对流受热面热力计算       | 37 |
| 思考题                   | 66 |
| 第五章 锅炉热力计算误差检查        | 68 |
| 思考题                   | 69 |
| 第六章 锅炉热力计算的计算机算法      | 70 |
| 第一节 概述                | 70 |
| 第二节 计算机算法的基本方法和步骤     | 70 |
| 第三节 图表处理              | 72 |
| 第四节 锅炉热力计算软件简介        | 73 |
| 第七章 校核热力计算方框图汇总       | 80 |
| 附录 A 线算图              | 89 |
| 图 A-1 水冷壁的角度系数        | 89 |
| 图 A-2 燃烧生成物的黑度        | 90 |



|                                       |     |
|---------------------------------------|-----|
| 图 A-3 三原子气体的辐射减弱系数的确定 .....           | 90  |
| 图 A-4 灰粒辐射减弱系数的确定 .....               | 91  |
| 图 A-5 室式炉膛的黑度 .....                   | 91  |
| 图 A-6 沿炉膛高度的热负荷分配不均匀系数 $\eta_g$ ..... | 92  |
| 图 A-7 横向冲刷顺列光滑管束时的对流放热系数 .....        | 93  |
| 图 A-8 横向冲刷错列光滑管束时的对流放热系数 .....        | 94  |
| 图 A-9 空气及烟气作纵向冲刷时的对流放热系数 .....        | 95  |
| 图 A-10 临界状态以下过热蒸汽作纵向冲刷时的对流放热系数 .....  | 96  |
| 图 A-11 辐射放热系数 .....                   | 97  |
| 图 A-12 交叉流状况下的温压 .....                | 97  |
| 图 A-13 锅炉燃烧固体燃料时受热面的灰污系数 .....        | 98  |
| 图 A-14 屏式过热器的灰污系数和利用系数 .....          | 99  |
| 图 A-15 炉膛与屏分界面污染系数的修正系数 .....         | 99  |
| <b>附录 B 表格</b> .....                  | 100 |
| 表 B-1 飞灰平均颗粒直径 .....                  | 100 |
| 表 B-2 灰污系数的修正值 .....                  | 100 |
| 表 B-3 与燃料种类有关的系数 $B$ 、 $C$ .....      | 100 |
| 表 B-4 顺列布置的受热面燃用固体燃料时的热有效系数 .....     | 100 |
| 表 B-5 管式空气预热器 (烟气在管内流动时) 的利用系数 .....  | 101 |
| 表 B-6 饱和水和饱和蒸汽性质表 .....               | 101 |
| 表 B-7 未饱和水与过热蒸汽性质表 .....              | 102 |
| <b>参考文献</b> .....                     | 113 |

## 第一章 锅炉课程设计概述

### 第一节 概 述

#### 一、锅炉课程设计的目的

锅炉课程设计是“锅炉原理”课程的重要教学实践性环节。通过课程设计应达到以下目的：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，学会使用《锅炉机组热力计算标准方法》，并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；培养学生对工程技术问题的严肃认真和负责的态度。

#### 二、锅炉课程设计热力计算方法

根据计算任务的不同，可分为设计（结构）热力计算和校核热力计算两种。

设计热力计算：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。设计热力计算的任务是，在锅炉容量和参数、燃料性质以及某些受热面边界处的水、汽、风、烟温度给定的情况下，选定合理的炉子结构和尺寸，并计算出各个受热面积的数值，同时也为锅炉其他一些计算提供必要的原始资料。

校核热力计算：校核热力计算的任务是在锅炉容量和参数、燃料性质、锅炉各部结构和尺寸已知的情况下，确定各受热面边界处的水、汽、风、烟温度以及风、烟流经各受热面时的速度和锅炉效率、燃料消耗量等。校核热力计算可帮助人们正确制定出提高锅炉安全经济运行水平和改造锅炉的合理措施，同时也为锅炉的其他计算，如锅炉通风计算、强度计算以及水动力计算等提供有关的基础数据。

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。一般来说，对已有的锅炉进行改造估算时常用校核热力计算，设计制造新锅炉时用设计热力计算。但随着人们对锅炉认识的不断加深，已积累了相当多的成熟经验。因此，在设计制造新锅炉时，也多是先将锅炉结构等初步布置好，然后以校核热力计算方法来进行修正，并不直接采用设计热力计算了。所以，掌握好校核热力计算方法是十分重要的。

#### 三、校核热力计算主要内容

1. 锅炉辅助设计计算：这部分计算的目的是为后面受热面的热力计算提供必要的基本计算数据或图表。
2. 受热面热力计算：其中包含为热力计算提供结构数据的各受热面的结构计算。
3. 计算数据的分析：这部分内容往往是鉴定设计质量、考核学生专业知识水平的主要依据。

#### 四、锅炉课程设计应提供的必备资料

1. 课程设计任务及其要求；
2. 给定的燃料及其特性；
3. 锅炉的主要参数，如锅炉蒸发量、给水的压力和温度、过热蒸汽和再热蒸汽的主要参数等；
4. 锅炉概况，如锅炉结构的基本特点、制粉设备及其系统、燃烧及排渣方式以及连续

排污量等；

5. 锅炉结构简图、烟气和汽水系统流程简图、受热面和烟道的主要尺寸等。

### 五、整体校核热力计算过程的顺序

1. 列出热力计算的主要原始数据，包括锅炉主要参数和燃料特性参数；
2. 根据燃料、燃烧方式及锅炉结构布置特点，进行锅炉通道空气量平衡计算；
3. 理论工况下 ( $\alpha = 1$ ) 的燃烧计算；
4. 计算锅炉通道内烟气的特性参数；
5. 绘制烟气温焓表 (图)；
6. 锅炉热平衡计算和燃料消耗量的估算；
7. 锅炉炉膛热力计算；
8. 按烟气流向对各受热面依次进行热力计算；
9. 锅炉整体计算误差的校验；
10. 编制主要计算误差的校验；
11. 设计分析及结论。

### 六、热力计算整体框图

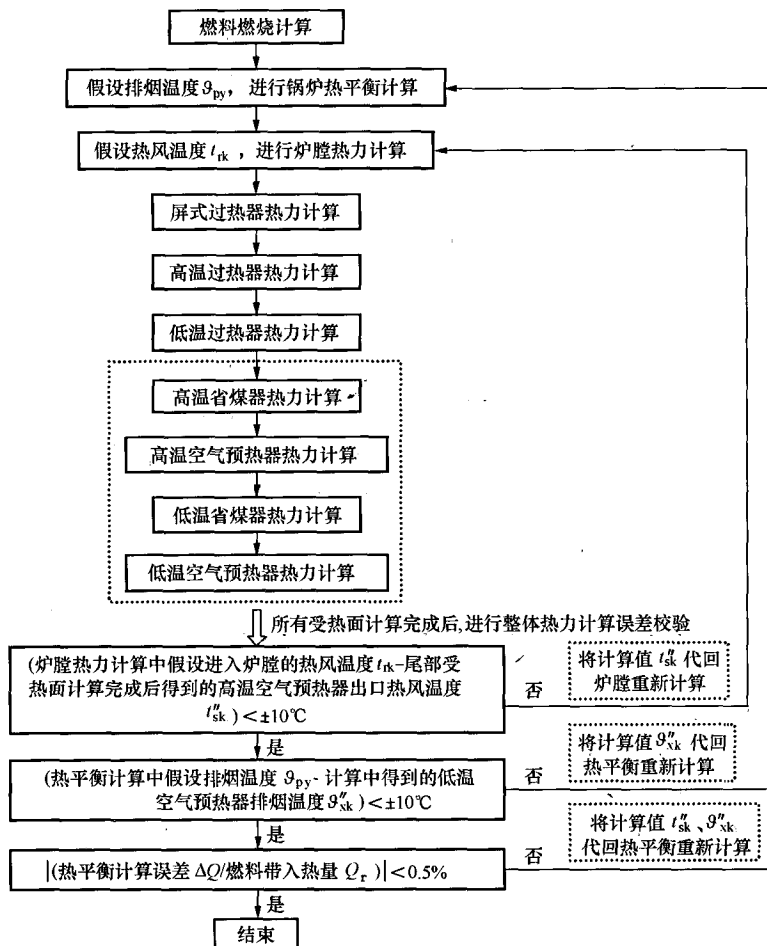


图 1-1 热力计算整体框图

## 第二节 热力计算方法

锅炉热力计算采用渐次逼近法。这是一种试算的方法,计算过程繁琐。在计算中,不仅烟气和工质在锅炉流程中的参数(如压力、温度等)是未知数,而且如排烟温度、热风温度等终端参数也是未知的。在一个具体的计算式中往往会同时出现多个未知量,这就需要先假定一些量,然后通过计算去校准它。由于所求参数与假定参数值之间的相互联系和影响,因此一个参数往往需要多次假定才能最后确定。

锅炉热力计算在确定一些主要参数时,如过热器出口汽温和锅炉排烟温度等,应保证有足够的准确性。但作为计算基础的某些数值,特别是对流传热系数,在确定时由于有较大的误差,希望用渐次逼近法去达到更高准确度的想法是无意义的,这样做的结果只不过是加大计算量而已。

锅炉热力计算允许计算误差如表 1-1 所示。

表 1-1 热力计算允许误差

| 受热面   | 计算项     | 单位 | 误差计算式                                                                       | 允许误差值          |
|-------|---------|----|-----------------------------------------------------------------------------|----------------|
| 炉膛    | 出口烟温    | ℃  | $\vartheta_1'' - \vartheta_1''^*$                                           | $\leq \pm 100$ |
| 后屏    | 对流吸热量   | %  | $\frac{Q_{ph} - Q_{ch}}{Q_{ph}} \times 100$                                 | $\leq \pm 2$   |
| 凝渣管   | 对流吸热量   | %  |                                                                             | $\leq \pm 5$   |
| 过热器   | 对流吸热量   | %  |                                                                             | $\leq \pm 2$   |
| 再热器   | 对流吸热量   | %  |                                                                             | $\leq \pm 2$   |
| 省煤器   | 对流吸热量   | %  |                                                                             | $\leq \pm 2$   |
|       | 两级间接头水温 | ℃  | $t'_{smII} - t''_{smI}$                                                     | $\leq \pm 10$  |
| 空气预热器 | 对流吸热量   | %  | $\frac{Q_{ph} - Q_{ch}}{Q_{ph}} \times 100$                                 | $\leq \pm 2$   |
|       | 两级间接头风温 | ℃  | $t'_{kII} - t''_{kI}$                                                       | $\leq \pm 10$  |
|       | 排烟温度    | ℃  | $\vartheta_{py} - \vartheta_{py}^*$                                         | $\leq \pm 10$  |
|       | 热风温度    | ℃  | $t_{rk} - t_{rk}^*$                                                         | $\leq \pm 40$  |
| 附加受热面 | 对流吸热量   | %  | $\frac{Q_d - Q_{d*}}{Q_d} \times 100$                                       | $\leq \pm 10$  |
| 锅炉    | 总换热量    | %  | $\frac{Q_r \eta - \sum Q \left(1 - \frac{q_4}{100}\right)}{Q_r} \times 100$ | $\leq \pm 0.5$ |

注 表中带“\*”者为假定值;  $Q_{ph}$  和  $Q_{ch}$  分别表示按热平衡方程式和传热方程式求取的吸热量。

应用渐次逼近法进行对流受热面的热力计算,若计算误差超过表中的允许值,需重新估计烟温值。当  $Q_{ph}$  小于  $Q_{ch}$  值时,第二次估计烟温时,应使该级受热面进出口处烟温差大于第一次计算时的烟温差;反之,则须小于第一次计算时的温差值。

第二次估计的烟温值,与第一次估计的数值之差最好不要超过  $50^\circ\text{C}$ ,此时对流传热系数可直接取用第一次计算值,而不必重算。重算的仅是传热温差、辐射吸热量,以及重新解热平衡式方程式和传热方程式。

两次应用渐次逼近法后,如果计算误差仍超过允许误差时,则可用线性内插法直接确定烟温值,不必再次用估计法去求解。线性内插法有图解法和解析法两种。图解内插法如图 1-2 所示。

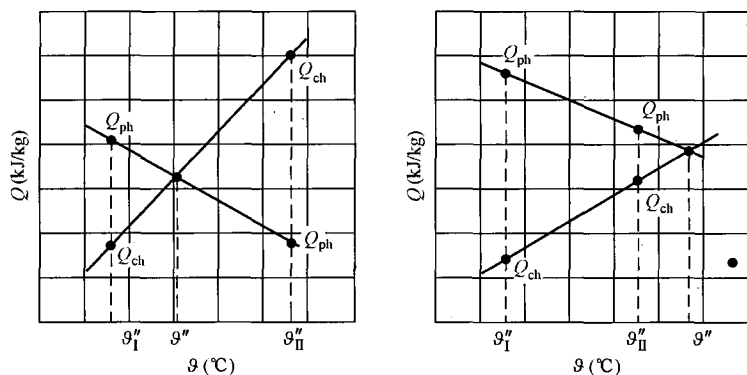


图 1-2 确定烟气终温  $\theta''$  的图解内插法

解析内插法可用下式确定烟气终温  $\theta''$  值:

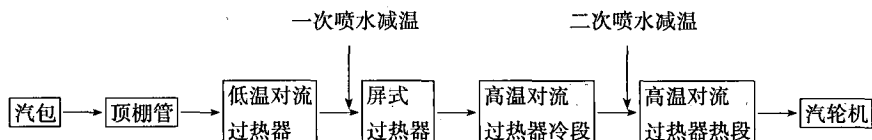
$$\theta'' = \theta_{II}'' + (\theta_{II}'' - \theta_I'') \frac{(Q_{ph} - Q_{ch})_I}{(Q_{ph} - Q_{ch})_I - (Q_{ph} - Q_{ch})_{II}} \text{ } ^\circ\text{C}$$

应用内插法求解的烟气终温值,若与计算传热系数时所采用的终温值之差未超过  $50^\circ\text{C}$ ,则仅需按内插法确定的终温值重新校准受热面的对流吸热量,以及用热平衡方程式去校准吸热工质的未知参数,即可结束该级受热面的计算。若内插法确定的烟气终温值与据以计算传热系数的终温值之差大于  $50^\circ\text{C}$ ,则必须按内插法确定的终温值重新进行全部计算,包括传热系数及传热温差的计算。

### 第三节 基本资料

#### 一、锅炉规范

1. 锅炉额定蒸发量:  $D_e = 220\text{t/h} = 220 \times 10^3 \text{kg/h}$
2. 给水温度:  $t_{gs} = 215^\circ\text{C}$
3. 过热蒸汽温度:  $t_{gr} = 540^\circ\text{C}$
4. 过热蒸汽压力(表压):  $p_{gr} = 9.8\text{MPa}$
5. 制粉系统: 中间储仓式(热空气作干燥剂、钢球筒式磨煤机)
6. 燃烧方式: 四角切圆燃烧
7. 排渣方式: 固态
8. 环境温度:  $20^\circ\text{C}$
9. 蒸汽流程:



## 10. 烟气流程:

炉膛→屏式过热器→高温对流过热器→低温对流过热器→高温省煤器→高温空气预热器→  
低温省煤器→低温空气预热器

锅炉受热面的布置结构示意图如图 1-3 所示。

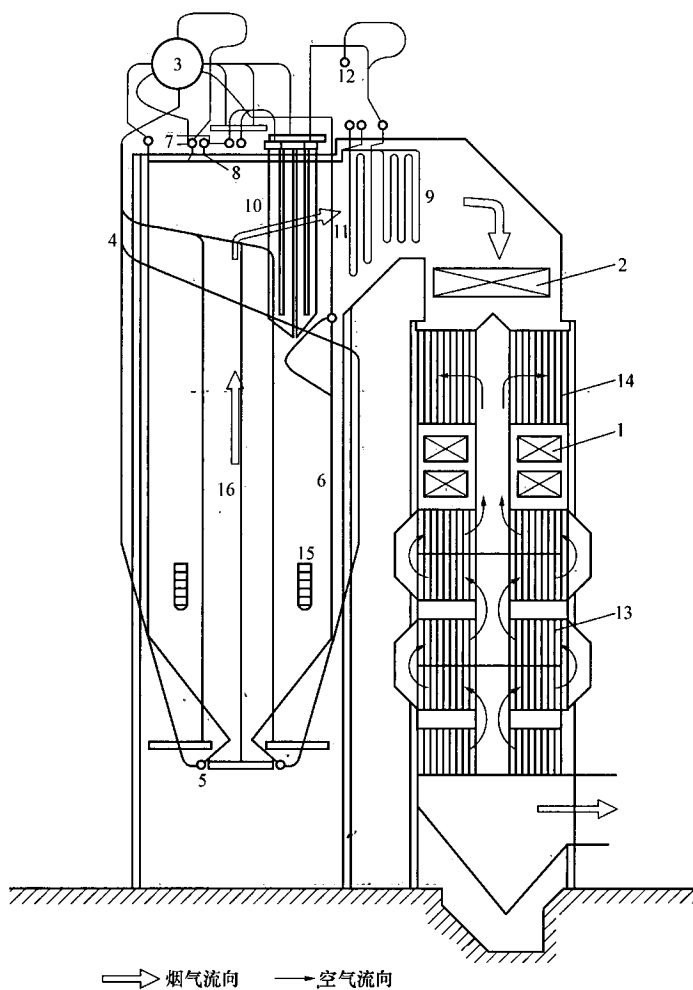


图 1-3 国产 220t/h 高压锅炉示意图

- 1—低温省煤器；2—高温省煤器；3—汽包；4—下降管；5—下联箱；6—水冷壁；  
7—上联箱；8—顶棚管过热器；9—低温对流过热器；10—屏式过热器；  
11—高温对流过热器；12—集汽联箱；13—低温空气预热器；  
14—高温空气预热器；15—喷燃器；16—炉膛

## 二、过量空气系数和漏风系数

炉膛出口过量空气系数是由燃料性质和燃烧方法决定的，其值一般在 1.1~1.5 的范围内变化，可从表 1-2 中选取。

不同的受热面由于结构不同，漏风系数也不同，可从表 1-3 中选取。



表 1-2

炉膛出口过量空气系数

| 燃烧室方式  |                    | 燃料                  | 炉膛出口过量空气系数 |
|--------|--------------------|---------------------|------------|
| 煤粉炉    | 固态排渣               | 无烟煤、贫煤              | 1.20~1.25* |
|        |                    | 烟煤、褐煤               | 1.20       |
|        | 液体排渣<br>(开式、半开式)   | 无烟煤、贫煤              | 1.20~1.25* |
|        |                    | 烟煤、褐煤               | 1.20       |
| 重油、煤气炉 |                    | 重油、焦炉煤气<br>天然气、高炉煤气 | 1.10**     |
| 层燃炉    | 链算炉                | 无烟煤                 | 1.5~1.6    |
|        |                    | 烟煤、褐煤               | 1.3        |
|        | 播煤机<br>(包括播煤机、链算炉) | 烟煤、褐煤               | 1.3        |
|        |                    | 手烧炉排                | 无烟煤        |
|        | 烟煤、褐煤              |                     | 1.4        |

\* 在以热风送粉时，取较大值。

\*\* 在采用气密炉墙及正压送风时，烧煤气时可取炉膛出口过量空气系数为 1.05；采用自动调节油量与空气量，且炉膛漏风系数小于 0.05 时，可取燃油炉炉膛出口过量空气系数为 1.02~1.03。

表 1-3

额定负荷下烟道漏风系数

| 烟 道 名 称                       |                                               |       |                               | 漏风系数 $\Delta\alpha$              |      |
|-------------------------------|-----------------------------------------------|-------|-------------------------------|----------------------------------|------|
| 煤粉炉膛、油炉<br>及煤气炉膛              | 固态排渣炉，屏式水冷壁                                   |       |                               | 0.05                             |      |
|                               | 固态排渣炉，钢架支撑炉膛，有护板                              |       |                               | 0.07                             |      |
|                               | 固态排渣炉，无护板                                     |       |                               | 0.10                             |      |
|                               | 液体排渣炉，油炉，煤气炉，有护板                              |       |                               | 0.05                             |      |
|                               | 液体排渣炉，油炉，煤气炉，无护板                              |       |                               | 0.08                             |      |
| 层燃炉                           | 机械、半机械化加煤                                     |       |                               | 0.10                             |      |
|                               | 人工加煤                                          |       |                               | 0.30                             |      |
| 对流受热面烟道                       | 凝渣管簇、屏式过热器、第一对流蒸发管簇 $D>14\text{kg/s}$ (50t/h) |       |                               | 0                                |      |
|                               | 第一对流蒸发管簇 $D\leq 14\text{kg/s}$ (50t/h)        |       |                               | 0.05                             |      |
|                               | 过热器                                           |       |                               | 0.03                             |      |
|                               | 再热器                                           |       |                               | 0.03                             |      |
|                               | 省煤器                                           |       | $D>14\text{kg/s}$ (50t/h)，每级  |                                  | 0.02 |
|                               |                                               |       | $D\leq 14\text{kg/s}$ (50t/h) | 钢管                               | 0.08 |
|                               |                                               |       |                               | 铸铁，有护板                           | 0.1  |
|                               | 空气<br>预热器                                     |       | 管式                            | $D>14\text{kg/s}$ (50t/h)，每级     | 0.03 |
|                               |                                               |       |                               | $D\leq 14\text{kg/s}$ (50t/h)，每级 | 0.06 |
|                               |                                               |       | 回转式                           | $D>14\text{kg/s}$ (50t/h)        | 0.20 |
|                               |                                               |       |                               | $D\leq 14\text{kg/s}$ (50t/h)    | 0.25 |
|                               | 除尘器                                           | 电气除尘器 |                               | $D>14\text{kg/s}$ (50t/h)        | 0.1  |
| $D\leq 14\text{kg/s}$ (50t/h) |                                               |       |                               | 0.15                             |      |
| 多管旋风分离器，水膜除尘器                 |                                               |       | 0.05                          |                                  |      |
| 锅炉后烟道                         | 钢制，每 10m 长                                    |       |                               | 0.01                             |      |
|                               | 砖砌，每 10m 长                                    |       |                               | 0.05                             |      |

燃烧煤粉时，煤粉制备系统还有一部分漏风，在锅炉设计计算中也必须考虑。表 1 - 4 中示有各种不同的制粉系统的漏风系数。

表 1 - 4 制粉系统的漏风系数

| 制粉系统特点            | $\Delta \alpha_{zf}$ | 制粉系统特点      | $\Delta \alpha_{zf}$ |
|-------------------|----------------------|-------------|----------------------|
| 钢球滚筒磨煤机：          |                      | 锤击式磨煤机：     |                      |
| 带中间煤粉仓，以热空气作干燥剂   | 0.1                  | 负压运行        | 0.04                 |
| 带中间煤粉仓，以热风及炉烟作干燥剂 | 0.12                 | 正压运行        | 0                    |
| 直吹式系统             | 0.04                 | 中速磨煤机：      |                      |
|                   |                      | 负压运行        | 0.04                 |
|                   |                      | 风扇式磨煤机带有干燥管 | 0.2~0.25             |

锅炉空气量平衡的计算见表 1 - 5。

表 1 - 5 漏风系数和过量空气系数

| 序号 | 名称                            | 额定负荷时<br>漏风系数<br>$\Delta \alpha_e$ | 非额定负荷时漏风系数 $\Delta \alpha$ |                                                                                                     |    | 入口过量<br>空气系数<br>$\alpha'$      | 出口过量空气系数 $\alpha''$ |                                     |    |
|----|-------------------------------|------------------------------------|----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|--------------------------------|---------------------|-------------------------------------|----|
|    |                               |                                    | 符号                         | 计算公式                                                                                                | 结果 |                                | 符号                  | 计算公式                                | 结果 |
| 1  | 制粉系统漏风系数 $\Delta \alpha_{zf}$ | 0.1                                | —                          | —                                                                                                   | —  | —                              | —                   | —                                   | —  |
| 2  | 炉膛                            | 0.05                               | $\Delta \alpha_l$          | $\Delta \alpha_e \left( \frac{D_e}{D} \right)$                                                      |    |                                | $\alpha''_l$        |                                     |    |
| 3  | 屏、凝渣管                         | 0                                  | $\Delta \alpha_{pn}$       | —                                                                                                   | 0  | $\alpha'_{pn} = \alpha''_l$    | $\alpha''_{pn}$     | $\alpha'_{pn} + \Delta \alpha_{pn}$ |    |
| 4  | 高温过热器                         | 0.025                              | $\Delta \alpha_{gg}$       | $\Delta \alpha_e \left( \frac{D_e}{D} \right)^{0.5}$<br>其中： $D_e$ 为<br>锅炉额定负<br>荷； $D$ 为锅<br>炉实际负荷。 |    | $\alpha'_{gg} = \alpha''_{pn}$ | $\alpha''_{gg}$     | $\alpha'_{gg} + \Delta \alpha_{gg}$ |    |
| 5  | 低温过热器                         | 0.025                              | $\Delta \alpha_{dg}$       |                                                                                                     |    | $\alpha'_{dg} = \alpha''_{gg}$ | $\alpha''_{dg}$     | $\alpha'_{dg} + \Delta \alpha_{dg}$ |    |
| 6  | 高温省煤器                         | 0.02                               | $\Delta \alpha_{ss}$       |                                                                                                     |    | $\alpha'_{ss} = \alpha''_{dg}$ | $\alpha''_{ss}$     | $\alpha'_{ss} + \Delta \alpha_{ss}$ |    |
| 7  | 高温空预器                         | 0.05                               | $\Delta \alpha_{sk}$       |                                                                                                     |    | $\alpha'_{sk} = \alpha''_{ss}$ | $\alpha''_{sk}$     | $\alpha'_{sk} + \Delta \alpha_{sk}$ |    |
| 8  | 低温省煤器                         | 0.02                               | $\Delta \alpha_{xs}$       |                                                                                                     |    | $\alpha'_{xs} = \alpha''_{sk}$ | $\alpha''_{xs}$     | $\alpha'_{xs} + \Delta \alpha_{xs}$ |    |
| 9  | 低温空预器                         | 0.05                               | $\Delta \alpha_{xk}$       |                                                                                                     |    | $\alpha'_{xk} = \alpha''_{xs}$ | $\alpha''_{xk}$     | $\alpha'_{xk} + \Delta \alpha_{xk}$ |    |

注 工程计算中，一般当  $D < 70\% D_e$  时才进行漏风系数的修正，建议做本课程设计时，对其进行修正。

三、各种负荷下汽水侧各点压力值

各种负荷下汽水侧各点压力值见表 1 - 6。

表 1 - 6 各种负荷下汽水侧各点压力值（绝对压力） MPa

| 位置<br>负荷数 | 低温省煤器入口 | 高温省煤器入口 | 高温省煤器出口 | 汽包    | 低温过热器出口 | 屏式过热器出口 | 高过冷段出口 | 高过热段出口 |
|-----------|---------|---------|---------|-------|---------|---------|--------|--------|
| 100%      | 11.57   | 11.28   | 11.08   | 10.98 | 10.49   | 10.20   | 10.10  | 9.90   |
| 95%       | 11.42   | 11.15   | 10.98   | 10.88 | 10.44   | 10.17   | 10.08  | 9.90   |
| 90%       | 11.28   | 11.04   | 10.88   | 10.79 | 10.39   | 10.15   | 10.07  | 9.90   |
| 85%       | 11.15   | 10.97   | 10.87   | 10.70 | 10.34   | 10.12   | 10.05  | 9.90   |
| 80%       | 11.02   | 10.82   | 10.68   | 10.61 | 10.29   | 10.10   | 10.03  | 9.90   |
| 75%       | 10.90   | 10.71   | 10.60   | 10.53 | 10.24   | 10.07   | 10.02  | 9.90   |
| 70%       | 10.78   | 10.61   | 10.52   | 10.45 | 10.20   | 10.05   | 10.00  | 9.90   |

注 1. 这是定压运行时的数据。在进行非额定负荷计算的时候，均不考虑给水温度下降。  
2. 水和水蒸气性质表见附录 B - 6、B - 7。

## 四、部分煤矿烟煤的煤质分析数据 (见表 1-7, 注意不同基准之间的相互换算)

表 1-7

煤 质 分 析 数 据

| 煤种     | 元 素 成 分 (%) |          |          |          |          |          |          | 收到基低位发热量<br>(kJ/kg) | 干燥无灰基挥发分<br>$V_{daf}$<br>(%) | 空气干燥基水分<br>$M_{ad}$<br>(%) | BTI 法可磨性系数<br>$K_{km}$ | 灰 熔 点  |        |        |
|--------|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------------------|------------------------------|----------------------------|------------------------|--------|--------|--------|
|        | 水分          | 灰分       | 碳        | 氢        | 氧        | 氮        | 硫        |                     |                              |                            |                        | 变形温度   | 软化温度   | 熔化温度   |
|        | $M_{ar}$    | $A_{ar}$ | $C_{ar}$ | $H_{ar}$ | $O_{ar}$ | $N_{ar}$ | $S_{ar}$ |                     |                              |                            |                        | DT(°C) | ST(°C) | FT(°C) |
| 抚顺烟煤   | 13          | 14.8     | 56.9     | 4.4      | 9.1      | 1.2      | 0.6      | 22415               | 46                           | 3.5                        | 1.4                    | 1190   | >1500  |        |
| 阜新烟煤   | 15          | 23       | 48.3     | 3.3      | 8.6      | 0.8      | 1.0      | 18645               | 41                           | 3.1                        | 1.6                    | 1230   | 1280   | 1340   |
| 新汶烟煤   | 6           | 18.8     | 61       | 4.1      | 6.8      | 1.4      | 2.9      | 25140               | 40                           | 2                          | 1.4                    | 1200   | >1500  |        |
| 徐州烟煤   | 10          | 13.5     | 63       | 4.1      | 6.7      | 1.5      | 1.2      | 24720               | 37                           | 2                          | 1.6                    | 1100   | 1380   | 1450   |
| 淮南烟煤   | 6           | 19.7     | 60.8     | 4        | 7.7      | 1.1      | 0.7      | 24300               | 38                           | 2.3                        | 1.3                    | 1500   | 1500   |        |
| 义马烟煤   | 17          | 16.6     | 49.6     | 3.2      | 11.6     | 0.7      | 1.3      | 19690               | 41                           | 10                         | 1.4                    | 1230   | 1250   | 1300   |
| 平顶山烟煤  | 7           | 25.6     | 58.2     | 3.7      | 4.1      | 0.9      | 0.5      | 22625               | 24.6                         | 1.4                        | 1.5                    | 1260   | 1500   |        |
| 开滦烟煤   | 1.2         | 28.1     | 58.2     | 4.3      | 6.3      | 1.1      | 0.8      | 22825               |                              | 24.0                       | 1.46                   | >1500  |        |        |
| 大同烟煤   | 3           | 11.7     | 70.8     | 4.5      | 7.1      | 0.7      | 2.2      | 27800               |                              | 24.7                       | 1.05                   | 1350   | 1370   | 1400   |
| 开滦洗中煤  | 8           | 35       | 46.5     | 3.1      | 5.8      | 0.7      | 0.9      | 17180               | 35                           | 0.9                        | 1.2                    | 1500   |        |        |
| 龙凤洗中煤  | 15          | 29.8     | 42.9     | 3.4      | 7.5      | 0.9      | 0.5      | 16760               | 47                           | 2                          |                        | 1380   | 1400   | 1400   |
| 鹤岗洗中煤  | 11          | 34.7     | 44.5     | 3.0      | 5.9      | 0.7      | 0.2      | 17390               | 37                           | 1.6                        | 1.3                    | 1290   | 1430   | 1480   |
| 京西无烟煤  | 5           | 22.8     | 67.9     | 1.7      | 2        | 0.4      | 0.2      | 23040               | 6                            | 0.8                        | 1.1                    | 1260   | 1370   | 1430   |
| 阳泉无烟煤  | 5           | 19       | 68.9     | 2.9      | 2.4      | 1        | 0.8      | 26400               | 9                            | 1                          | 1                      | 1400   | 1500   | >1500  |
| 焦作无烟煤  | 7           | 21.3     | 66.1     | 2.2      | 2        | 1        | 0.4      | 22880               | 7                            | 1                          | 1.2                    | 1310   | 1370   | 1420   |
| 萍乡无烟煤  | 7           | 25.1     | 60.4     | 3.3      | 2.5      | 1        | 0.7      | 22625               | 10                           | 1                          |                        | >1500  |        |        |
| 金竹山无烟煤 | 7           | 22.3     | 65.4     | 2.3      | 1.8      | 0.6      | 0.6      | 22210               | 8                            | 2                          | 1.7                    | >1500  |        |        |