

华中科技大学文华学院

# 毕业设计（论文）

淮南烟煤锅炉改烧阳泉无烟煤的  
问题研究

# 目 录

摘 要 .....	1
关键词 .....	1
Abstract.....	2
Key Words.....	2
<b>1 绪论 .....</b>	<b>3</b>
1.1 选题意义及研究背景 .....	3
1.2 本文主要研究内容及研究方法.....	4
<b>2 煤质对锅炉经济性的影响 .....</b>	<b>5</b>
2.1 挥发分的影响 .....	5
2.2 水分的影响 .....	5
2.3 灰分的影响 .....	6
2.4 发热量的影响 .....	6
2.5 硫分的影响 .....	7
<b>3 两煤种对比分析热力计算 .....</b>	<b>8</b>
3.1 锅炉概况.....	8
3.2 锅炉各种工质流程 .....	10
3.3 燃烧特性参数 .....	10
3.4 淮南烟煤锅炉热力辅助计算.....	11
3.5 阳泉无烟煤锅炉热力辅助计算.....	24
<b>4 计算结果汇总分析 .....</b>	<b>39</b>

4.1 两煤种计算数据汇总 .....	39
4.2 两种煤种的计算结果分析 .....	39
4.3 煤质变化对锅炉机组的影响分析 .....	40
<b>5 锅炉对于煤种变化应对措施 .....</b>	<b>41</b>
参考文献 .....	42
附录一 .....	43
附录二 .....	44
致 谢 .....	45

# 淮南烟煤锅炉改烧阳泉无烟煤的问题研究

## 摘 要

在我国，煤炭是最重要的能源资源，同时它是除了运输之外的所有社会部门的源头。由于过去十年中国经济以超过10%的速度增长，所以我国对煤的需求增长迅速。而我国的大容量电站锅炉多燃用劣质煤，煤质多变且耗煤量大，污染严重，所以研究不同煤质的改烧已成必然趋势。

本文首先简要的介绍了我国能源的使用情况、锅炉改烧的研究现状及措施。然后对淮南烟煤锅炉在给定两种不同煤种的情况下，进行了热力计算，其中主要涉及炉膛的热力计算，指出了烟煤锅炉改烧无烟煤对锅炉热效率的影响，从而为锅炉改烧提供一些必要依据。此外，还绘制了炉膛结构尺寸示意图，编写了锅炉炉膛出口过量空气系数的选用程序。

关键词：煤粉锅炉；锅炉热效率；热力计算；煤质特性

# **The Study on the Combustion of Yangquan Anthracite Coal in Huainan Bituminous Coal-fired Boiler**

## **Abstract**

In our country, coal is the most important energy resource and it is a resource for all sectors of society except transportation. China is the world's largest producer and user of coal. Due to the greater than 10% economic growth in the past 10 years. But in China the large capacity boiler burning inferior coal is various and consumption is huge, pollution is serious, so the study of different coal quality has become an inevitable trend to burn.

This paper first briefly introduces the our country's energy use, boiler to burn the research status and the measures. Then of huainan coal boiler in a given two different lithotype situation, has carried on the thermodynamic calculation which mainly involves the thermodynamic calculation furnace, points out the bituminous coal boiler of boiler burning anthracite to the influence of thermal efficiency, so as to provide some necessary boiler burning basis. In addition, the stove chamber structure size schematic drawing, writing boiler hearth export excess air coefficient program.

**Key Words:** coal-fired boilers; thermal calculation; boiler efficiency; coal quality characteristics

# 1 绪论

## 1.1 选题意义及研究背景

### 1.1.1 选题目的

我国火电厂大部分都燃用烟煤,但随着用电量越来越长,对煤的需求量越来越多。由于烟煤价较高,如果电厂继续使用燃用烟煤,将会造成发电成本较高,经济效益较低,因此许多燃用烟煤的电厂希望能对锅炉进行改造,将锅炉燃用煤种由烟煤改用价格较便宜的无烟煤或贫煤。

无烟煤或贫煤是一种极难稳定燃烧和极难燃尽的煤种,燃烧特性往往严重偏离在用锅炉的设计煤种,煤种更换后锅炉运行时遇到的着火、稳燃和结渣三大问题必须解决<sup>[3]</sup>,比如影响锅炉结渣的因素很多,除了与燃料本身特性有关外,还与燃烧过程的热力参数、炉膛及燃烧器结构锅炉负荷等因素有关,而且还要保证各运行参数要达到原设计要求、锅炉效率基本保持原设计水平。

### 1.1.2 选题意义

实际燃用煤种与设计煤种各成分的差异大容量电站锅炉多燃用劣质煤,煤质多变且耗煤量大,污染严重。因而要求燃煤锅炉对煤种的适应性强。从而也推动了劣质煤燃烧技术的发展。低污染燃烧技是近期锅炉发展的一大趋势。为了满足日益严格的环保要求,近二三十年人们在解决锅炉燃烧生成的硫氧化物和氮氧化物的污染问题上取得很大进展。目前,全世界已有 500 多台 CFB 锅炉投入运行,单台最大容量已达 300MW。在建并将建立 200-300MW 级循环流化床锅炉的示范性电站;完成 15MW 增压流化床锅炉联合循环 PFBC-CC 中试工程,建设 100MWPFB-CC 试验机组。人们正在继续寻求更为经济有效的低污染煤炭燃烧技术,如直接燃煤的燃气—蒸汽联合循环、整体煤气化增湿燃气轮机等煤炭清洁燃烧新方案。现在世界上已经有多座容量超百万千瓦的联合循环电厂在运行。预计不久的将来,以燃气-蒸汽循环相结合或超临界压力蒸汽循环的燃煤、高效、低污染的新一代火电机组将在电力工业中崭露头角。

由于实际燃用煤种的变化,其着火条件、燃烧性能等与设计煤种相去甚远,导致现有燃烧器不能满足稳定燃烧的要求,因而需要对其进行改进。随着社会用电形势的变化,电网峰谷差增大,对燃煤机组的调峰能力的要求增强,这就要求改进燃烧,使其满足低负荷下的稳燃能力。煤粉燃烧的稳定与强化在理论上是统一的,强化燃烧可以促进燃烧的稳定。而强化燃烧可以从加速燃烧初始阶段反应、增强高温烟气的传热和提高煤粉浓度等几个方面着手进行考虑。根据专家的试验研究表明,90%的煤粉燃烧只需炉内 10%的时间,而剩余 10%的煤粉的燃尽则需要 90%的时间来完成。因此,强化煤粉进入燃

烧室的初始阶段的燃烧尤显重要。而计算分析可知,由于煤质发生变化,为达到改造后锅炉安全经济运行目的,并保证有较好的低负荷稳燃能力,不仅要采用稳燃性能很好的燃烧器,以强化着火和稳定燃烧,而且应对炉内安装切圆、火焰中心位置等方面进行调整和改造。然而,随着煤炭市场的变化,锅炉燃用非设计煤种已经越来越普遍,许多电厂选择配煤掺烧来适应锅炉的特性和扩大燃用煤种范围,锅炉不需要进行设备的改进,只需进行燃烧的调整。锅炉改烧完全不同特性的煤种则往往需要对锅炉的相关设备进行改造,如烟煤锅炉改烧贫煤或无烟煤需要对燃烧器进行改造,贫煤锅炉改烧烟煤则需要对燃烧器、制粉系统进行相应改造,因此,电厂对锅炉改烧煤种相当谨慎。也有电厂直接以混煤作为设计煤种。结果表明:仅通过加装冷风旁路管和运行调整,贫煤锅炉安全改烧中等挥发分、不易结渣烟煤,运行性能好于原燃用贫煤或混煤,具有投资省、见效快优点和显著的节能减排效益。因此,改善锅炉的热经济性有许多的方案,可进行尝试和探索。

### 1.1.3 研究背景

从我国的国情出发,我国目前的燃料政策和能源利用情况决定了我国电站锅炉主要采用无烟煤、贫煤、劣质烟煤等低反应、劣质煤种,目前我国发电用煤中劣质煤的比例较大,无烟煤和贫煤的数量占10%以上。无烟煤本身由于挥发分很低( $V_{daf}$ 一般在10%左右),因此在炉膛形式选取和燃烧系统设计方面都需进行特殊的考虑。在燃烧中煤中的水分、硫分、灰分、挥发分、硫分等会对锅炉的工作有很大的影响;另外煤质变化还会给煤的运输、处理、磨煤和送煤带来危险,上述这些问题都要引起我们高度的关注并研究解决的方法。

虽然采用燃烧无烟煤大大降低发电成本,但是由于我国是一个以煤为主要能源的国家,在将来能源供需仍是一个严峻的问题。因此,调整优化能源结构,加强清洁能源建设,提高能源利用效率,将是今后一个时期我国能源发展的核心问题。而大力发展能源科技,全面贯彻节约能源与保护环境的方针,则是实现能源可持续发展必不可少的前提。

## 1.2 本文主要研究内容及研究方法

### 1.2.1 研究内容

通过对淮南烟煤和阳泉无烟煤锅炉进行热力辅助计算,分析煤种变化对锅炉运行经济性带来的影响,为锅炉变煤种运行改造提供一些依据。

### 1.2.2 研究方法

文章首先简单介绍了我国能源的基本情况和锅炉发展及其改烧的必要性及煤质变化对锅炉机组的影响,其分别从煤质变化对制粉系统、锅炉运行、辅助设备、热经济性等几个方面的进行阐述,然后分别对淮南烟煤和阳泉无烟煤进行了锅炉辅助计算和炉膛的热力计算,分析了煤中各工业及元素成分对锅炉的影响,另外对煤粉的着火、熄火、

燃尽和污染物排放等燃烧特性作了一定的说明。阐述了煤质变化对电站锅炉各部分的影响。最后通过对其计算结果的汇总,从而分析出烟煤和无烟煤的燃烧对锅炉热效率、燃烧稳定性、燃烧损失等的影响因素,并对实际运行提出了建议,为今后锅炉燃烧该煤种的可行性、安全性及经济性提供科学的依据。

## 2 煤质对锅炉经济性的影响

煤质常规特性如发热量、挥发分、水和灰的含量、氮和硫的含量等,影响锅炉燃烧的经济性。从总的煤质常规特性分析:烟煤含碳量较高,发热量较高;挥发份含量较高,约10~45%,着火及燃烧较容易,碳化程度次于无烟煤,含碳量仍较多;而无烟煤含碳量很高,发热量很高;挥发份很少,小于10%, $V_{daf}$ 析出的温度较高,着火和燃尽均较困难,储存时不易自燃。本章将从煤质常规特性上阐述不同煤种对电站经济性的影响。

### 2.1 挥发分的影响

挥发分主要由各种碳氢化合物、氢、一氧化碳、碳化氢等可燃气体及少量氧、氢等不可燃气体组成。不同种类的煤,挥发分的含量及燃烧特性各不相同。

- (1) 挥发分的含量代表了煤的地质年龄,地质年龄越短,煤化程度越浅,挥发分含量越多。
- (2) 挥发分含量越多,煤的着火温度低,易着火燃烧,相当于引燃作用;
- (3) 挥发分含量多,则燃煤尽容易,因为挥发分析出后多孔,反应表面积大,反应速度加快;
- (4) 挥发分含量多,煤中难燃的固定碳含量便少,煤易于燃尽;
- (5) 挥发分含量多,其着火燃烧造成高温,有利于碳的着火、燃烧;
- (6) 挥发分含量多时,则在制粉系统中局部积粉可能造成煤粉自然而破坏制粉系统并使火焰外喷;特别是在敞开的空间,煤粉与空气的混合物容易引起粉尘暴躁。

故挥发分是煤的重要特性,它是作为煤种划分的依据,对煤的燃烧过程影响很大。

### 2.2 水分的影响

燃煤的水分对锅炉的影响很大。燃煤水分越多,会造成以下一些情况:

- (1) 着火热增大,着火推迟。
- (2) 降低炉内温度,对着火,燃尽均不利。
- (3) 水分吸热,烟气量增加,排烟损失增大,使锅炉效率降低。
- (4) 生产的水蒸气增加了烟气体积,使吸风机的电耗增加。



- (5) 使低温受热面易于积灰、腐蚀。
- (6) 排气量增加, 烟气流速增大, 过热气温增大。
- (7) 还会造成原煤仓、给煤机和落煤管堵塞, 以及磨煤机出力下降等不良后果。

## 2.3 灰分的影响

燃料中的灰分不但不能燃烧, 而且降低燃料的发热量, 妨碍可燃质与空气的接触, 增加燃料的着火和燃烧的困难, 还使燃烧损失增加; 煤中的灰分增多, 会产生以下影响:

- (1) 不仅使煤中的可燃元素相对减少, 而且当煤燃烧时还要吸收热量, 使煤的实际发热量降低, 降低炉内的温度, 对着火燃尽均不利。
- (2) 煤中可燃成分相对减少, 煤的热值降低。
- (3) 引起对流受热面, 特别是尾部受热面的严重磨损, 还会引起尾部受热面的积灰和低温腐蚀。同时也会使煤粉燃尽度变差, 机械未完全燃烧热损失和灰渣物理热损失随之增加。
- (4) 造成炉膛结渣、受热面积灰和磨损, 还会造成大气和环境的污染。

因此, 燃用高灰分燃料锅炉的炉膛及对流受热面都应装有有效的吹灰装置, 并限制烟气流速及采取有效的防磨、防腐措施。

## 2.4 发热量的影响

单位质量的煤完全燃烧时放出的热量称为煤的发热量, 有高位发热量和低位发热量之分。高位发热量包括了燃烧产物中完全水蒸气凝结成水所放出的汽化潜热; 低位发热量则为燃烧产物中水蒸气未凝结时, 燃烧所放出的热量。低位发热量(燃料在锅炉中的实际发热量) 低于高位发热量。

各种煤的发热量相差很大, 煤的发热量同锅炉燃烧的理论空气量、理论干烟气量、湿烟气量及可达到的理论燃烧温度有关。

煤的发热量低, 同样出力下灰量大大增加, 可能加剧锅炉结渣, 同样, 使烟气中含灰量增加, 加剧了受热面的磨损和积灰, 而积灰的增加使受热面传热热阻增加, 影响传热效率, 导致锅炉热损失增加。但如果发热量过高, 使得燃烧区域的温度升高, 灰就越容易达到软化和熔融状态, 产生结渣的可能性增大。同时, 煤中易挥发的物质气化也就越强烈, 这也为结渣创造了更有利的条件。

此外, 若煤的发热量太低, 势必增加供应的原煤量, 这对远离煤矿的大中型电厂来说, 就意味着增加了无效运输量, 运输费用增加, 影响经济性。

## 2.5 硫分的影响

硫是动力用煤中极为有害的一种物质。可燃硫在炉内燃烧时生产的二氧化硫和一部分的三氧化硫，随后在烟气中形成酸蒸汽并凝结于低温受热面而产生堵灰和腐蚀，大大缩短低温受热面和预热器的使用寿命；同时随着煤中含硫量的增多，煤的灰熔融点温度将降低，直接导致锅炉受热面结焦。如果燃煤的挥发分增加，硫含量增加还会增加煤的阴燃倾向，导致煤粉仓因温度升高而产生自然。燃料在燃烧时，其中的一些硫分，在高温火焰核心区局部严重缺氧的条件下会生成活性硫化氢，它对高温区水冷壁会产生严重的腐蚀。同时含有氧化硫的烟气排入大气后，对人和动植物都有害。

### 3 两煤种对比分析热力计算

#### 3.1 锅炉概况

##### 3.1.1 锅炉规范

四角布置切圆直流燃烧器，倒U型，自然循环，固态排渣煤粉炉。钢球筒式磨煤机，中间储仓式制粉系统。

锅炉额定蒸发量： $D_e = 220 t / h = 220 \times 10^3 kg / h$

过热蒸汽温度： $t_{gr} = 540^\circ C$

过热蒸汽压力(表压)： $p_{gr} = 9.8 MPa$

给水温度： $t_{gs} = 215^\circ C$

环境温度： $t_{ik} = 30^\circ C$

##### 3.1.2 锅炉结构

炉膛结构示意图

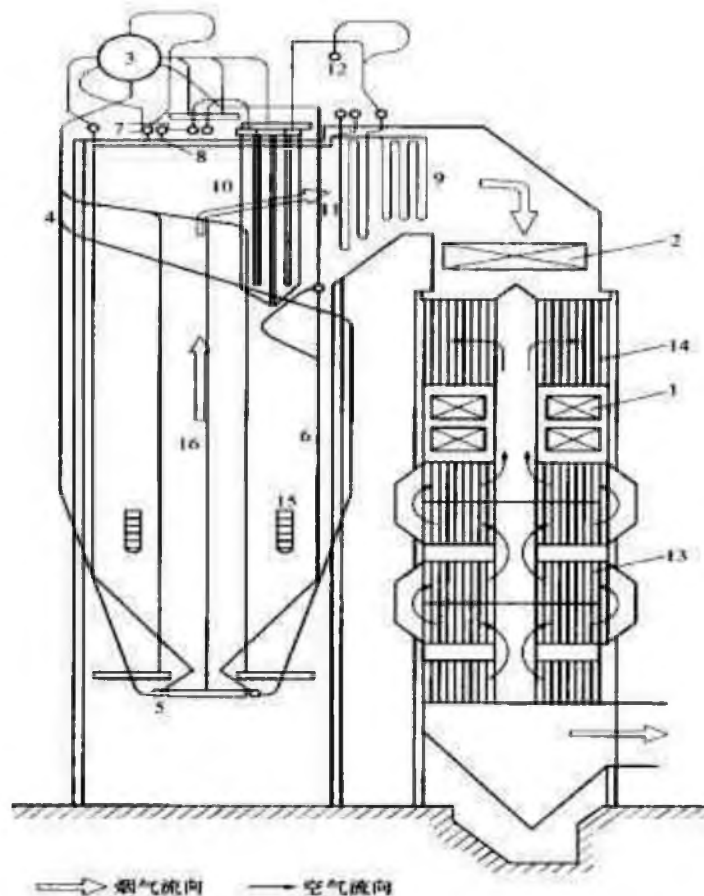


图 3-1 国产 220t/h 高压锅炉示意图

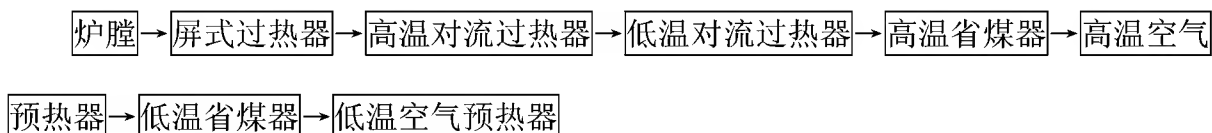
表 3-1 炉膛结构尺寸

序号	名称	符号	单位	公式	结果
1	前墙总面积	$A_q$	$m^2$	$7.68 \times [(1.395 + 0.905) + 3.955 / 2] + 22.176 \times (5.888 + 2 \times 1.267)$	219.62
2	侧墙总面积	$2A_c$	$m^2$	$A_{c1} = (6.912 + 3.955) \times 1.762 \times 0.5$ $A_{c2} = 5.126 \times 12.976$ $A_{c3} = [5.126 + (6.912 - 0.896 - 1.760)] \times 1.016 \times 0.5$ $A_{c4} = (6.912 - 0.896 - 1.760) \times 0.344$ $A_{c5} = [(6.912 - 0.896 - 1.760) + 3.390] \times 0.86 \times 0.5$ $A_{c6} = 6.974 \times 3.39$ $A_c = A_{c1} + A_{c2} + A_{c3} + A_{c4} + A_{c5} + A_{c6} = 109.24$	218.48
3	后墙总面积	$A_h$	$m^2$	$7.68 \times [(1.395 + 0.905) + 3.955 / 2] + 12.976 \times (5.888 + 2 \times 1.267) + 7.68 \times 2.032$	157.74
4	喷燃气及门孔面积	$A_{yc}$	$m^2$		6
5	炉顶面积	$A_{ld}$	$m^2$	$(3.390 + 0.896) \times 7.68 - 2 \times 0.5 \times 0.896 \times 0.896$	32.11
6	炉膛与屏交界面积	$A_2$	$m^2$	$(6.974 + 0.225 + 0.344) \times 7.68$	65.61
7	炉膛总面积	$A_1$	$m^2$	$A_q + 2A_c + A_h + A_{ld} + A_2$	693.56
8	炉膛截面面积	$A_A$	$m^2$	$6.912 \times 7.68 - 0.896^2 \times 2$	51.479
9	水冷壁管外径	d	m m		60
10	水冷壁管节距	S	m m		64
11	管子至墙中心距	e	m m		0
12	水冷壁角系数	$x_{st}$			0.98
13	炉顶角系数	$x_{ld}$			0.98
14	出口烟窗角系数	$x_{yc}$			1
15	炉膛容积	$V_1$	$m^3$	$A_c \times 7.68 + (7.68 + 5.888) \times 0.896 \times 0.5 \times (22.176 + 12.976)$	1052.6
16	冷灰斗二等分平面到出口烟窗中心距离	$H_1$	m		19.846

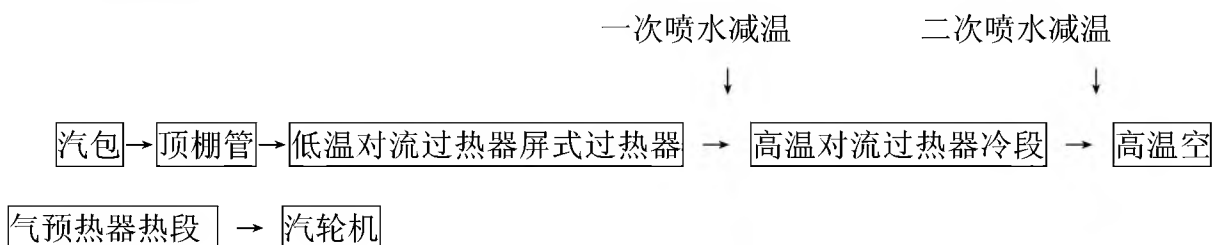
17	冷灰斗二等分平面到炉顶的距离	$H_0$	$m$		23.938
18	冷灰斗二等分平面到燃烧器中心距离	$H_r$	$m$		4.962
19	炉膛总有效辐射受热面积	$A_{1z}$	$m^2$	$0.98 \times (A_1 - A_2 - A_{yc}) + 1 \times A_2$	675.12
20	炉膛水冷程度	$x_{1st}$		$A_{1z} / A_1$	0.97
21	炉膛有效辐射层厚度	S	$m$	$3.6 \times V_1 / A_1$	5.466

### 3.2 锅炉各种工质流程

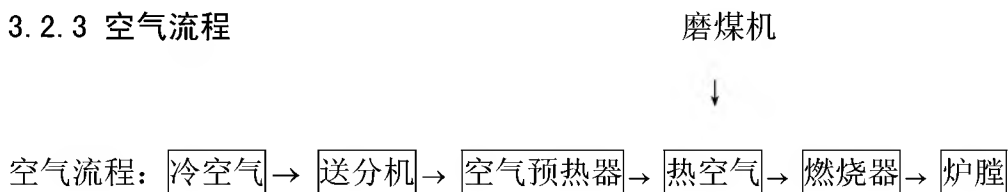
#### 3.2.1 烟气流程



#### 3.2.2 蒸汽流程



#### 3.2.3 空气流程



### 3.3 燃烧特性参数

#### 3.3.1 两煤种煤质特性参数

选用的燃料为淮南烟煤和阳泉无烟煤，首先要对燃料的应用基成分进行校核。关于燃料的其他数据请参考表 3-2。

表 3-2 淮南烟煤和阳泉无烟煤煤质分析

煤种	元素分析 (%)					工业分析					可磨性系数	灰分特性		
	碳	氢	氧	氮	硫	水分	灰分	收到基低位量 $Q_{net,ar}$ (kJ/kg)	干燥无灰基挥发分 $V_{daf}$ (%)	空气干燥基水 $M_{ad}$ (%)		BTH法可磨性系数 $K_{km}$	变形温度 DT (°C)	软化温度 ST (°C)
淮南烟煤	60.8	4	7.7	1.1	0.7	6	19.7	24300	38	2.3	1.3	1500	1500	—
阳泉无烟煤	68.9	2.9	2.4	1	0.8	5	19	26400	9	1	1	1400	1500	>1500

### 3.4 淮南烟煤锅炉热力辅助计算

#### 3.4.1 燃烧计算

表 3-3 燃烧计算表

项目名称	符号	单位 (标准状况下)	计算公式及数据	计算结果
理论空气量	$V^0$	$m^3 / kg$	$V^0 = 0.0889(C_{ar} + 0.375S_{ar}) + 0.265H_{ar} - 0.0333O_{ar}$ $= 0.0889(60.8 + 0.375 \times 0.7) + 0.265 \times 4 - 0.0333 \times 7.7$	6.23 2
理论氮容积	$V_{N_2}^0$	$m^3 / kg$	$V_{N_2}^0 = 0.8 \frac{N_{ar}}{100} + 0.79 V^0 = 0.8 \times 0.011 + 0.79 \times 6.232$	4.93 2
$RO_2$ 容积	$V_{RO_2}$	$m^3 / kg$	$V_{RO_2} = 1.866 \frac{C_{ar}}{100} + 0.7 \frac{S_{ar}}{100} = 0.8 \times 0.011 + 0.79 \times 6.232$	1.13 9
理论干烟气体积	$V_{gy}^0$	$m^3 / kg$	$V_{gy}^0 = V_{N_2}^0 + V_{RO_2} = 4.932 + 1.1394$	6.07 1
理论水蒸气容积	$V_{H_2O}^0$	$m^3 / kg$	$V_{H_2O}^0 = 11.1 \frac{H_{ar}}{100} + 1.24 \frac{M_{ar}}{100} + 0.0161 V^0$	0.61 9

			$= 11.1 \times 0.04 + 1.24 \times 0.06 + 0.0161 \times 6.232$	
灰飞份额	$\alpha_{fh}$	$m^3 / kg$	给定数据	0.95

### 3.4.2 烟气特性参数

以计算炉膛、屏凝管为例:

- (1) 受热面出口过量空气系数:  $\alpha'' = 1.2$
- (2) 烟道平均过量空气系数:  $\alpha_{pj} = (\alpha' + \alpha'') / 2 = 1.2$
- (3) 干烟气容积:  $V_{gy} = V_{g^0} + (\alpha_{pj} - 1) V^0 = 6.071 + (1.2 - 1) \times 6.232 = 7.317 \text{ m}^3 / kg$
- (4) 水蒸气容积:  $V_{H_2O} = V_{H_2O}^0 + 0.0161 (\alpha_{pj} - 1) V^0$   
 $= 0.619 + 0.0161 \times (1.2 - 1) \times 6.232 = 0.639 \text{ m}^3 / kg$
- (5) 烟气总容积:  $V_y = V_{gy} + V_{H_2O} = 7.317 + 0.639 = 7.956 \text{ m}^3 / kg$
- (6)  $RO_2$  容积份额:  $r_{RO_2} = V_{RO_2} / V_y = 1.139 / 7.956 = 0.143$
- (7) 水蒸气容积份额:  $r_{HO_2} = V_{H_2O} / V_y = 0.639 / 7.956 = 0.0803$
- (8) 三原子气体和水蒸气容积总份额:  $r = r_{RO_2} + r_{HO_2} = 0.143 + 0.0803 = 0.223$
- (9) 容积飞灰浓度:  $10 A_{ar} \alpha_{fh} / V_y = 10 \times 19.7 \times 0.95 / 7.956 = 23.523 \text{ g/m}^3$
- (10) 烟气质量:  $1 - A_{ar} / 100 + 1.306 \alpha_{pj} V^0 = 1 - 19.7 / 100 + 1.306 \times 1.2 \times 6.232 = 10.570 \text{ kg / kg}$
- (9) 质量飞灰浓度:  $\mu_y = \alpha_{fh} A_{ar} / (100 V_y r_y^0) = 0.95 \times 0.197 / (7.956 \times 1.3) = 0.0181 \text{ kg / kg}$

表 3-4 烟气特性表

序号	项目名称	符号	单位 (标况)	炉膛, 屏、凝 渣管	高温 过热器	低温 过热器	高温 省煤器	高温 空预器	低温 省煤器	低温 空预器
1	受热面出口过量空气系数	$\alpha''$	—	1.2	1.225	1.25	1.27	1.32	1.34	1.39

2	烟道平均过量空气系数	$\alpha_{pl}$	—	1.2	1.2125	1.2375	1.26	1.295	1.33	1.365
3	干烟气容积	$V_{gy}$	$m^3 / kg$	7.317	7.3953	7.5511	7.6913	7.9094	8.1276	8.3457
4	水蒸气容积	$V_{H_2O}$	$m^3 / kg$	0.639	0.6403	0.6428	0.6451	0.6486	0.6521	0.6556
5	烟气总容积	$V_y$	$m^3 / kg$	7.956	8.0356	8.1939	8.3364	8.558	8.7797	9.0013
6	$RO_2$ 容积份额	$r_{RO_2}$	—	0.1432	0.1417	0.139	0.1366	0.1331	0.1297	0.1265
7	水蒸气容积份额	$r_{H_2O}$	—	0.0803	0.0795	0.078	0.0767	0.0747	0.0728	0.071
8	三原子气体和水蒸气容积总份额	$r$	—	0.2235	0.2212	0.217	0.2133	0.2078	0.2025	0.1975
9	容积飞灰浓度	$\mu_v$	$g/m^3$	23.523	23.290	22.84	22.45	21.868	21.316	20.791
10	烟气质量	$m_y$	$kg / kg$	10.57	10.672	10.875	11.058	11.343	11.628	11.913
11	质量飞灰浓度	$\mu_y$	$kg / kg$	0.0181	0.0179	0.0176	0.0173	0.0168	0.0164	0.016

### 3.4.3 烟气焓的计算

理论烟气是多种成分的混合气体。由工程热力学<sup>[12]</sup>可知，其焓等于个组成成分的焓的总和，即  $H_y^0 = V_{RO_2} (c\vartheta)_{RO_2} + V_{N_2} (c\vartheta)_{N_2} + V_{H_2O} (c\vartheta)_{H_2O}$  k J / k

以 100℃ 为例计算，查锅炉课程设计指导书表 2-2 可得，

$$(c\vartheta)_{CO_2} = 170.03 \quad (c\vartheta)_{N_2} = 129. \quad (c\vartheta)_{H_2O} = 150. \quad (c\vartheta)_K = 132. .$$

由于  $V_{CO_2} \gg V_{SO_2}$ ，且两者比热容接近，故取  $(c\vartheta)_{RO_2} = (c\vartheta)_{CO_2}$ 。

所以 100℃ 时的理论烟气焓为： $H_y^0 = V_{RO_2} (c\vartheta)_{RO_2} + V_{N_2} (c\vartheta)_{N_2} + V_{H_2O} (c\vartheta)_{H_2O}$



$$= 1.139 \times 170.03 + 4.932 \times 129.58 + 0.619 \times 150.52 = 925.925 \text{ kJ / kg}$$

理论空气焓  $H_k^0$  为:  $H_k^0 = V^0(ct)_k \text{ kJ / k}$

以 100℃ 为例计算,  $H_k^0 = V^0(ct)_k = 6.232 \times 132.43 = 825.304 \text{ kJ / kg}$

表 3-5 理论烟气焓和理论空气焓

温度 (℃)	二氧化碳 $(c\vartheta)_{CO_2}$	氮气 $(c\vartheta)_{N_2}$	水蒸气 $(c\vartheta)_{H_2O}$	湿空气 $(c\vartheta)_k$	理论烟气焓 $H_y^0$	理论空气焓 $H_k^0$
30	——	——	——	39.00	——	243.048
100	170.03	129.58	151.52	132.43	926.54	825.304
200	357.46	259.92	304.46	266.36	1877.533	1659.956
300	558.81	392.01	462.72	402.69	2856.30	2509.564
400	771.88	526.52	626.16	541.76	3863.56	3376.25
500	944.35	663.8	794.85	684.15	4841.49	4263.62
600	1224.66	804.12	968.88	829.74	5960.54	5170.94
700	1461.88	947.52	1148.84	978.32	7049.38	6096.89
800	1704.88	1093.6	1334.4	1129.12	8161.49	7036.68
900	1952.28	1241.55	1526.04	1282.32	9291.59	7991.42
1000	2203.5	1391.7	1722.9	1437.30	10440.13	8957.25
1100	2458.39	1543.74	1925.11	1594.89	11605.47	9939.35
1200	2716.56	1697.16	2132.88	1753.44	12784.81	10927.44
1300	2976.74	1852.76	2343.64	1914.25	13979.03	11929.61
1400	3239.04	2008.72	2559.2	2076.20	15180.42	12938.88
1500	3503.1	2166	2779.05	2238.90	16392.97	13952.82
1600	3768.8	2324.48	3001.76	2402.88	17615.09	14974.75
1700	4036.31	2484.04	3229.32	2567.34	18847.59	15999.66
1800	4304.7	2643.66	3458.34	2731.86	20082.30	17024.95
1900	4574.06	2804.21	3690.37	2898.83	21324.56	18065.51
2000	4844.2	2965	3925.6	3065.60	22570.87	19104.82
2100	5115.39	3127.53	4163.25	3233.79	23828.46	20152.98
2200	5386.48	3289.22	4401.98	3401.64	25082.46	21199.02

### 3.4.4 实际烟气焓的计算

实际烟气焓  $H_y$  等于理论烟气焓  $H_y^0$ 、过量空气焓  $(\alpha_{pj} - 1) H_k^0$  和烟气中飞灰焓  $H_{fh}$  之和： $H_y = H_y^0 + (\alpha_{pj} - 1) H_k^0 + H_{fh}$ 。其中飞灰焓为： $H_{fh} = \frac{A_{ar}}{100} \alpha_{fh} (c_p)_h$ ，飞灰的焓数

值的较小。因此只有计算条件为  $4178 \frac{A_{ar}}{Q_{ar.net}} \alpha_{fh} \geq 6$  才计算。本题中，

$$4178 \frac{A_{ar}}{Q_{ar.net}} \alpha_{fh} = 4178 \times 19.7 \times 0.95 / 24300 \approx 3.22 < 6$$

所以本题飞灰焓不予计算。

在锅炉烟道中，沿着烟气流程，不同部位的过量空气系数和烟温不同，因此烟气的焓也不同。在计算中，必须分别计算各个受热面所在部位的烟气焓并制成焓温表。利用焓温表，根据过量空气系数和烟温，可求出烟气的焓，反之，也可以由过量空气系数和烟气的焓查出烟气的温度。

烟气的焓温表是进行锅炉热力计算的基本计算图表之一。编制烟气温焓表应力求简明，准确，实用。

表 3-6 锅炉受热面工作的烟温区段

锅炉受热面	工作烟温区段（℃）	锅炉受热面	工作烟温区段（℃）
炉膛火焰中心	1500-2200	高温省煤器	300-500
炉膛出口	800-1200	高温空预器	200-400
后屏过热器，凝渣管	700-1200	低温省煤器	100-300
高温过热器	600-300	低温空预器	100-200
低温过热器	400-700		

(1) 炉膛、屏凝管的焓值、焓增计算:

以 800℃ 为例： $H_y = H_y^0 + (\alpha_{pj} - 1) H_k^0 = 8161.49 + (1.2 - 1) \times 7036.68 = 9568.83 \text{ kJ / kg}$

900℃ 时： $H_y = H_y^0 + (\alpha_{pj} - 1) H_k^0 = 9291.59 + (1.2 - 1) \times 7991.42 = 10889.87 \text{ kJ / kg}$

则焓增为： $\Delta H_y = H_{900^\circ\text{C}} - H_{800^\circ\text{C}} = 10889.87 - 9568.83 = 1321.04 \text{ kJ / kg}$

(2) 高温过热器的焓值、焓增计算:

以 700℃ 为例： $H_y = H_y^0 + (\alpha_{pj} - 1) H_k^0 = 7049.38 + (1.2125 - 1) \times 6096.89 = 8344.97 \text{ kJ / kg}$

800℃ 时： $H_y = H_y^0 + (\alpha_{pj} - 1) H_k^0 = 8161.49 + (1.2125 - 1) \times 7036.68 = 9656.78 \text{ kJ / kg}$

则焓增为： $\Delta H_y = H_{800^\circ\text{C}} - H_{700^\circ\text{C}} = 9656.78 - 8344.97 = 1311.81 \text{ kJ / kg}$

(3) 低温过热器的焓值、焓增计算:

以 400℃为例:  $H_y = H_y^0 + (\alpha_{pj} - 1)H_k^0 = 3868.56 + (1.2375 - 1) \times 3376.25 = 4670.419 \text{ kJ/kg}$

500℃时:  $H_y = H_y^0 + (\alpha_{pj} - 1)H_k^0 = 4841.49 + (1.2375 - 1) \times 4263.62 \text{ kJ/kg}$

则焓增为:  $\Delta H_y = H_{y500^\circ\text{C}} - H_{y400^\circ\text{C}} = 5854.10 - 4670.419 = 1183.68 \text{ kJ/kg}$

(4) 高温省煤器的焓值、焓增计算:

以 400℃为例:  $H_y = H_y^0 + (\alpha_{pj} - 1)H_k^0 = 3863.56 + (1.26 - 1) \times 3376.25 = 4741.39 \text{ kJ/kg}$

500℃时:  $H_y = H_y^0 + (\alpha_{pj} - 1)H_k^0 = 4841.49 + (1.26 - 1) \times 4263.62 = 5950.03 \text{ kJ/kg}$

则焓增为:  $\Delta H_y = H_{y500^\circ\text{C}} - H_{y400^\circ\text{C}} = 5950.03 - 4741.39 = 1208.64 \text{ kJ/kg}$

(5) 高温空预器的焓值、焓增计算:

以 200℃为例:  $H_y = H_y^0 + (\alpha_{pj} - 1)H_k^0 = 1877.53 + (1.295 - 1) \times 1659.96 = 2367.218 \text{ kJ/kg}$

300℃时:  $H_y = H_y^0 + (\alpha_{pj} - 1)H_k^0 = 2856.3 + (1.295 - 1) \times 3596.62 \text{ kJ/kg}$

则焓增为:  $\Delta H_y = H_{y300^\circ\text{C}} - H_{y200^\circ\text{C}} = 3596.62 - 2367.218 = 1229.40 \text{ kJ/kg}$

(6) 低温省煤器的焓值、焓增计算:

以 200℃为例:  $H_y = H_y^0 + (\alpha_{pj} - 1)H_k^0 = 1877.53 + (1.33 - 1) \times 1659.96 = 2425.32 \text{ kJ/kg}$

300℃时:  $H_y = H_y^0 + (\alpha_{pj} - 1)H_k^0 = 2856.30 + (1.33 - 1) \times 2509.56 = 3684.45 \text{ kJ/kg}$

则焓增为:  $\Delta H_y = H_{y300^\circ\text{C}} - H_{y200^\circ\text{C}} = 3684.45 - 2425.32 = 1259.13 \text{ kJ/kg}$

(7) 低温空预器的焓值、焓增计算:

以 100℃为例:  $H_y = H_y^0 + (\alpha_{pj} - 1)H_k^0 = 926.54 + (1.365 - 1) \times 825.30 = 1227.77 \text{ kJ/kg}$

200℃时:  $H_y = H_y^0 + (\alpha_{pj} - 1)H_k^0 = 1877.53 + (1.365 - 1) \times 1659.96 = 2483.42 \text{ kJ/kg}$

则焓增为:  $\Delta H_y = H_{y200^\circ\text{C}} - H_{y100^\circ\text{C}} = 2483.42 - 1227.77 = 1255.65 \text{ kJ/kg}$

表 3-7 烟气焓温表 (1)

烟气 或 空气	理论 烟气 焓	理论 空气 焓	炉膛、屏凝管		高温过热器		低温过热器		高温省煤器	
			$\alpha''=1.2$		$\alpha''=1.225$		$\alpha''=1.25$		$\alpha''=1.27$	
			$h_y$	$\Delta h_y$	$h_y$	$\Delta h_y$	$h_y$	$\Delta h_y$	$h_y$	$\Delta h_y$

温 度										
300	2856.3 0	2509.5 6							3508. 79	1232. 60
400	3863.5 6	3376.2 5					4665. 419	1188.	4741. 39	1208.
500	4841.4 9	4263.6 2					5854. 1	68 1334.	5950. 03	64
600	5960.5 4	5170.9 4			7059.3 6	1285.	7188. 64	54 1308.		
700	7049.3 8	6096.8 9	8268.7 6		8344.9 7	61 1311.	8497. 39	75		
800	8161.4 9	7036.6 8	9568.8 3		1300. 072	9656.7 8	81			
900	9291.5 9	7991.4 2	10889. 87		1321. 04					
100 0	10440. 13	8957.2 5	12231. 58		1341. 71					
110 0	11605. 47	9939.3 5	13593. 34		1361. 76					
120 0	12784. 81	10927. 44	14970. 3		1376. 96					
130 0	13979. 03	11929. 61	16364. 95		1403					
140 0	15180. 42	12938. 88	17768. 196		1415. 34					
150 0	16392. 97	13952. 82	19183. 53		1426.					
160	17615.	14974.	20610.		51					

0	09	75	04	1437.					
170	18847.	15999.	22047.	48					
0	59	66	52	1439.					
180	20082.	17024.	23487.	77					
0	30	95	29	1450.					
190	21324.	18065.	24937.	37					
0	56	51	66	1454.					
200	22570.	19104.	26391.	17					
0	87	82	83	1467.					
210	23828.	20152.	27859.	23					
0	46	98	06	1463.					
220	25082.	21199.	29322.	204					
0	46	02	264	——					

表 3-8 烟气焓温表（2）

烟气或空气温度	理论烟气焓	理论空气焓	高温空预器		低温省煤器		低温空预器	
			$\alpha''=1.32$		$\alpha''=1.34$		$\alpha''=1.39$	
			$h_y$	$\Delta h_y$	$h_y$	$\Delta h_y$	$h_y$	$\Delta h_y$
100	926.54	825.30		——	1198.89	——	1227.77	——
						1226.43		1255.65
200	1877.53	1659.96	2367.22		2425.32		2483.42	
				1229.4		1259.13		
300	2856.30	2509.56	3596.62		3684.45			
				1262.93		1292.79		
400	3863.56	3376.25	4859.55		4977.72			
500	4841.49	4263.62						

3.4.5 锅炉热效率及燃料消耗量估算

(1) 锅炉输入热量  $Q_r = Q_{ar.net} = 24300 KJ / kg$ 。

(2) 排烟温度（先估后校） $\theta_{py}$  折算水分，由锅炉课程设计指导书表得

$$M_{zs}^{ar} = \frac{M_{ar}}{Q_{ar,net}} \times 4187\% = \frac{6}{24300} \times 4187\% = 1.03\% < 3\%$$

由  $t_{gs} = 215^{\circ}C$  , 估  $\vartheta_{py} = 125^{\circ}C$  , 用插值法得  $\vartheta_{py} = 125^{\circ}C$

(3) 排烟焓  $h_{py}$  查焓温表:

$\vartheta = 100^{\circ}C$  时,  $h_{py100^{\circ}C} = 1227.77 \text{ KJ/kg}$  ;  $\vartheta = 200^{\circ}C$  时,  $h_{py200^{\circ}C} = 2483.42 \text{ KJ/kg}$

$$h_{py125^{\circ}C} = h_{py100^{\circ}C} + \frac{(h_{py200^{\circ}C} - h_{py100^{\circ}C}) \times 25}{100} = 1541.68 \text{ KJ/kg}$$

(4) 冷空气温度  $t_{lk} = 30^{\circ}C$

(5) 理论冷空气焓 查表  $h_{lk}^0 = (ct)_k V^0 = 39 \times 6.232 = 243.04 \text{ KJ/kg}$

(6) 化学未完全燃烧热损失  $q_3$  查表 2-6 得  $q_3 = 0$

(7) 机械未完全燃烧热损失  $q_4$  查表 2-6 得  $q_4 = 1.5$

(8) 排烟处过量空气系数  $\alpha_{py}$  查表 2-9 即低温空预器出口过量空气系数  $\alpha_{py} = 1.39$

(9) 排烟损失  $q_2$  由公式

$$q_2 = (h_{py} - h_k) \left( \frac{100 - q_4}{Q_r} \right) = \frac{(1541.68 - 243.04 \times 1.39)(100 - 1.5)}{24300} = 4.88\%$$

(10) 散热损失  $q_5$  取  $q_5 = 0.5$

(11) 灰渣损失  $q_6$  取灰渣温度为  $\vartheta = 600^{\circ}C$

查锅炉课程设计指导书表 2-2 得  $(c\vartheta)_{hz} = 559.8 \text{ KJ/kg}$  。则由

$$Q_6 = \alpha_{hz} \frac{A_{ar}}{100} (c\vartheta)_{hz} = 0.1 \times \frac{19.7}{100} \times 559.8 = 11.028 \text{ KJ/kg}$$

则灰渣物理热损失为  $q_6 = \frac{Q_6}{Q_r} \times 100\% = 0.045\%$

(12) 锅炉总损失  $\Sigma q$   $\Sigma q = q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6 = 9.3$

(13) 锅炉热效率  $\eta$   $\eta = 100\% - \Sigma 100\% \frac{q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6}{Q_r} = 93.08\%$

(14) 保热系数  $\varphi$  由  $\varphi = 1 - \frac{q_5}{\eta + q_5} = 1 - \frac{0.5}{93.08 + 0.5} = 0.995$

(15) 过热蒸汽焓  $h_{gg}''$

按  $t=540^{\circ}\text{C}$ ,  $P=9.9\text{MPa}$  (查指导书表 1-6), 查水蒸气特性表  $h_{gg}'' = 3476.10 \text{ KJ} / \text{kg}$

(16) 给水温度  $t_{gs}$   $t_{gs} = 215^{\circ}\text{C}$

(17) 给水焓  $h_{gs}$  按  $t=215^{\circ}\text{C}$ ,  $P=9.9\text{MPa}$ , 查水蒸气特性表  $h_{gs} = 923.19 \text{ KJ} / \text{kg}$

(18) 锅炉有效利用热  $Q = D_{gr} (h_{gg}'' - h_{gs}) = (3476.1 - 923.19) \times 220000 = 5.62 \times 10^8 \text{ KJ} / \text{h}$

(19) 实际燃料消耗量  $B$

$$\text{由 } B = 100 \frac{Q}{\eta Q_r} = 5.62 \times 10^{10} / (92.69 \times 24300) = 2.495 \times 10^4 \text{ Kg} / \text{h}$$

(20) 计算燃料消耗量  $B_j$  由  $B_j = B(1 - \frac{q_4}{100}) = 2.495 \times 10^4 (1 - 1.5 / 100)$

$$= 2.46 \times 10^4 \text{ Kg} / \text{h}$$

表 3-9 锅炉热平衡及燃料消耗量计算表

名称	符号	单位	公式	结果
锅炉输入热量	$Q_r$	kJ/kg	$Q_r \approx Q_{ar.net}$	24300
排烟温度	$\vartheta_{py}$	$^{\circ}\text{C}$	先估后校	125
排烟焓	$h_{py}$	kJ/kg	查焓温表 用差值法求	1541.68
冷空气温度	$t_{lk}$	$^{\circ}\text{C}$	取用	30
理论冷空气焓	$h_{lk}^0$	kJ/kg	$h_{lk}^0 = (ct)_k V^0$	243.04
化学未完全燃烧 损失	$q_3$	%	取用	0
机械为完全燃烧 损失	$q_4$	%	取用	1.5
排烟处过量空气 系数	$\alpha_{py}$		查表四	1.39
排烟损失	$q_2$	%	$q_2 = (h_{py} - h_{lk}) (\frac{100 - q_4}{Q_r})$	4.88
散热损失	$q_5$	%	取用	0.5

灰渣损失	$q_6$	%	$q_6 = \frac{Q_6}{100 Q_r}$	0.045
锅炉总损失	$\sum q$	%	$q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6$	6.93
锅炉热效率	$\eta$	%	$100 - \sum q$	93.08
保热系数	$\varphi$		$\varphi = 1 - \frac{q_5}{\eta + q_5}$	0.995
过热蒸汽焓	$h_{gg}''$	kJ/kg	查表	3476.10
给水温度	$t_{gs}$	°C	给定	215
给水焓	$h_{pv}$	kJ/kg	查表	923.19
锅炉有效利用热	$Q_r$	kJ/h	$Q = D_{gr} (h_{gg}'' - h_{gs})$	$5.62 \times 10^8$
实际燃料消耗量	$B$	kg/h	$B = 100 \frac{Q}{\eta Q_r}$	$2.495 \times 10^4$
计算燃料消耗量	$B_j$	kg/h	$B_j = B (1 - \frac{q_4}{100})$	$2.46 \times 10^4$

### 3.4.6 炉膛校核热力计算

表 3-10 炉膛热力校核计算表

名称	符号	单位	公式	结果
炉膛出口过热空气系数	$\alpha''$		查表 3-1	1.2
炉膛漏风系数	$\Delta \alpha_1$		查表 3-1	0.05
制粉系统漏风系数	$\Delta \alpha_{zf}$		查表 3-1	0.06
热风温度	$t_{rk}$	°C	先估后校	257.6
理论热风焓	$h_{rk}^0$	kJ / kg	查温焓表	2155.50
理论冷风焓	$h_{lk}^0$	kJ / kg	查表 3-7	250.65
空气带入炉膛热	$Q_k$	kJ / kg	$(\alpha'' - \Delta \alpha_1 - \Delta \alpha_{zf}) h_{rk}^0 + (\Delta \alpha_1 + \Delta \alpha_{zf}) h_{lk}^0$	2371.07



以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/825124132110011131>