

*Methods
of Calculation and Design
for Industrial Boiler*

工业锅炉设计 计算方法

《工业锅炉设计计算方法》编委会 编



 中国标准出版社

工业锅炉设计计算方法

Methods of Calculation and Design
for Industrial Boiler

《工业锅炉设计计算方法》编委会 编

中国标准出版社

前 言

随着世界范围内环境保护事业的深入发展，国际间的实质性合作越来越多，特别是一些经济发达国家和相关国际组织通过向发展中国家提供资金援助，推动区域性环境的改善，达到建设全球良性生态环境的目的。1997年2月，全球环境保护基金会（GEF）通过世界银行向中国政府赠款，设立“中国高效工业锅炉项目”，旨在促进中国的锅炉制造企业更多地采用先进的产品技术，整体带动中国工业锅炉设计制造水平的提高，以期达到控制CO₂等温室气体的排放，降低烟气中尘和SO₂含量，减少因燃煤对环境污染及气候变化造成的威胁。该项目由原国家经贸委资源司负责执行，并专门成立了GEF中国高效工业锅炉项目办公室（PMO），负责该项目的具体组织实施。

按照世界银行项目执行程序，PMO以公开招标的形式，在全国工业锅炉行业范围选定9家主机厂和10家辅机厂作为技术引进单位。这些企业被批准使用GEF赠款，从PMO确定的美国、英国、德国、丹麦等国家的公司（“技术源”）引进技术先进的产品设计图纸和关键制造设备，提高锅炉主机、燃烧设备、辅机和自控装置的技术水平。国外有关工业锅炉的新的产品结构、新的设计理念、新的计算模型及方法被同时引入。为了保证项目执行效果，并对整个工业锅炉行业起到推动作用，PMO在项目中设立了若干技术援助子项（TA），就有关工业锅炉标准提出了9项制定或修订项目，本书编入的各设计计算方法及热工测试规程均列于其中。

中国锅炉行业曾长期沿用前苏联的锅炉计算方法和标准，并在

该体系下积累了相当丰富的设计、使用和修正经验，先后形成了 JB/DQ 1060—1982《层状燃烧和沸腾燃烧工业锅炉热力计算方法》、JB/T 8659—1997《热水锅炉水动力计算方法》和 JB 2829—1980《工业锅炉热工试验》，烟风阻力计算则一直沿用前苏联的计算方法。经比较研究，除热工性能测试规程外，欧美等工业发达国家锅炉制造企业所采用的计算方法，实际上并非国家标准或行业标准，而是各公司在基本原理的基础上，根据自己的研究，对实炉进行实测总结后建立起的、在自己企业内部使用的方法，一般经验性较强，适用的产品类型针对性很强，没有明显的体系形式。中国的专业技术人员对前苏联的计算方法体系有着深刻的理解和实践经验，并经历了数十年的经验积累、补充和完善，实际设计计算中也比较习惯。鉴于上述情况，新的计算方法的修订和编制不考虑太大跨度的变化。因此，专家们在编写过程中，在吸纳国内和引进的新型技术内容的同时，删除了原计算方法不适用或已陈旧的技术内容，更新了大量的设计原始基础数据，修正或简化了原标准方法中的公式和表述，但仍保留原有的体系风格和体系思想。

在编纂本书时，为方便锅炉热工检测工程师的使用，本书以附录的形式收入了“GB/T 10180—2003《工业锅炉热工性能试验规程》的理解与实施”。

本书刊载的内容包括：

- 1) 《层状燃烧及流化床燃烧工业锅炉热力计算方法》
- 2) 《工业锅炉烟风阻力计算方法》
- 3) 《热水锅炉水动力计算方法》
- 4) GB/T 10180—2003《工业锅炉热工性能试验规程》的理解与实施（附录）

具体编写方案：

1. 《层状燃烧及流化床燃烧工业锅炉热力计算方法》在 JB/DQ 1060—1982 的基础上改编修订, 增加了循环流化床燃烧部分的内容;

2. 《工业锅炉烟风阻力计算方法》在前苏联《锅炉设备空气动力计算(标准方法)》(1977 年修订版)的基础上完整构架;

3. 《热水锅炉水动力计算方法》在 JB/T 8659—1997 的基础上, 结合现有的先进计算手段重新编纂;

4. 《工业锅炉热工性能试验规程》(GB/T 10180—2003) 是在 GB/T 10180—1988 的基础上修订完成。

编写工作原则:

1. 全面并审慎地吸纳行业研究成果, 根据科学严谨的原则修订、扩充原有的计算方法;

2. 根据实用确切的原则, 更新资料性数据;

3. 尽可能地吸收 GEF 项目中技术源的计算思想和方法;

4. 按照 GB 3100~3102—1993《量和单位》的要求, 全面采用 SI 国际标准单位制。温度单位除采用 SI 制的 K 制外, 还按国标及 ISO(国际标准化组织)的规定并行采用摄氏温标 $^{\circ}\text{C}$; 按照 GB 3100~3102—1993《量和单位》确定符号, 涉及燃料分析符号按 GB/T 483—1998《煤炭分析试验方法一般规定》取用, 下角标主要参照 IEC 标准和英文导出;

5. 依照 SI 单位制重新换算绘制全部线算图, 修正系数图表;

6. 为便于计算机的使用, 计算方法中所有线算图均进行了公式拟合, 使用者可以根据自己的情况选择使用线算或公式。

在各方法、规程及本书的编纂过程中, 大量的专家和专业工程师参与了资料的收集、整理和审查工作, 提出了很多宝贵的修改建议, 付出了巨大的劳动和心血, 在此也一并表示诚挚的谢意。他们

是（以下按照姓氏笔画为序，不分先后）：

丁仁荣 马宪国 万思本 王金震 朱明文 朱秋平
刘福仁 李之光 李瑞阳 沈元龙 卓 宁 罗永浩
张元忠 张永照 张 涛 赵明泉 秦裕琨 鲁钟琪
曹柏林 黄祥新 蒋安众 董祖康

上述计算方法及规程的修订及制定起自 1999 年 5 月底，涉及各方面的专家及专业人员百余人，历时 3 年，易稿十余次，字斟句酌，逐章、逐条、逐句乃至每个符号、每根曲线都经过仔细认真的推敲、检查和验算，均经过了初稿编纂、初稿审查、修改稿审查、定稿形成及定稿审查等过程，程序严谨，原则明确，严格遵守了国家标准方法的制定或修订规范。除测试规程外，最终完成的各计算方法虽非强制性的或者指导性的国家标准或行业标准，但就其内容、质量及产生的技术程序及具有的学术价值和参考价值来说，同行们可放心参考使用。

鉴于组织者的水平有限，错误及纰漏在所难免，恳望指正。

《工业锅炉设计计算方法》编委会

2005 年 6 月于北京

本书包括下列计算方法:

☞ 层状燃烧及流化床燃烧工业锅炉热力计算方法.....	1
☞ 工业锅炉烟风阻力计算方法.....	205
☞ 热水锅炉水动力计算方法.....	279
附录 GB/T 10180—2003《工业锅炉热工性能试验规程》的理解 与实施	429

图书在版编目(CIP)数据

工业锅炉设计计算方法/《工业锅炉设计计算方法》
编委会编. —北京:中国标准出版社,2005
ISBN 7-5066-3831-2

I. 工… II. 工… III. 工业锅炉—设计—计算方法
IV. TK229

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 074891 号

中国标准出版社出版发行

北京复兴门外三里河北街 16 号

邮政编码:100045

网址 www.bzcbs.com

电话:68523946 68517548

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷

各地新华书店经销

*

开本 787×1230 1/16 印张 32 字数 760 千字

2005 年 8 月第一版 2005 年 8 月第一次印刷

*

定价 82.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换

版权专有 侵权必究

举报电话:(010)68533533

层状燃烧及流化床燃烧 工业锅炉热力计算方法

**Thermal Calculation Method
for Grate-firing and Fluidized Bed Industrial Boiler**



目 次

编制说明	7
第 0 章 符号及定义	13
第 1 章 总则	21
第 2 章 煤的成分、性质和分类	22
2.1 煤质资料	22
2.2 煤的元素成分	22
2.3 煤的工业分析成分	23
2.4 发热量	24
2.5 混合煤	25
2.6 煤的分类	25
2.7 灰熔点	27
2.8 煤和灰的比热容	27
第 3 章 空气和烟气的特性计算	28
3.1 空气和烟气的物理特性	28
3.2 空气量的计算	28
3.3 锅炉烟道中的过量空气系数和漏风系数	29
3.4 烟气量的计算	30
3.5 烟气的焓	31
3.6 代表性煤种的空气和烟气特性计算	33
第 4 章 锅炉热平衡计算	33
4.1 热平衡方程	33
4.2 锅炉输入热量	33
4.3 锅炉输出热量	34
4.4 锅炉热损失	35
4.5 锅炉热效率及燃料消耗量	37

第 5 章 层燃炉炉膛传热计算	38
5.1 炉膛几何特性	38
5.2 炉内热量平衡	40
5.3 烟气黑度与系统黑度	40
5.4 炉膛传热计算	42
5.5 燃烬室传热计算	44
5.6 炉膛热力特性	46
第 6 章 鼓泡流化床锅炉炉膛传热计算	46
6.1 炉膛几何特性	46
6.2 沸腾层的烟气侧热平衡	48
6.3 流化速度	50
6.4 沸腾层内埋管传热计算	51
6.5 悬浮室、燃烬室的传热计算	54
第 7 章 循环流化床锅炉传热计算导则	56
7.1 炉膛几何特性	56
7.2 循环床锅炉的循环倍率 n	56
7.3 密相区的燃烧份额 δ	56
7.4 密相区热平衡	57
7.5 稀相区热平衡	57
7.6 密相区的传热计算	57
7.7 稀相区的传热计算	58
7.8 炉膛水平屏式蒸发受热面传热系数	61
7.9 炉膛竖直屏式蒸发受热面传热系数	61
第 8 章 对流受热面传热计算	61
8.1 基本方程	61
8.2 传热系数	63
8.3 对流放热系数	64
8.4 辐射放热系数	69
8.5 温压	71
8.6 对流受热面传热计算方法	73
附录 A 关于燃烧设备和受热面设计的若干建议	76
A1 燃烧设备的选择	76

A2 层燃炉的炉膛	77
A3 鼓泡流化床的炉膛	79
A4 循环流化床的炉膛	80
A5 受热面	82
附录 B 设计计算用相关数据及表样	84
表 B1-1 中国煤炭分类总表	84
表 B1-2 煤炭产品的类别、品种和技术要求	85
表 B1-3 煤炭产品灰分等级划分	86
表 B2-1 工业锅炉设计用代表性煤种	87
表 B2-2 工业锅炉设计用代表性煤种的燃烧产物以及空气的容积	88
表 B2-3 1 kg 燃料燃烧产物及空气的焓	89
表 B3 额定负荷下锅炉各段烟道中的漏风系数	92
表 B4 机械化层燃炉炉膛的计算特性	92
表 B5-1 鼓泡流化床炉膛计算特性	93
表 B5-2 循环流化床炉膛计算特性	93
表 B6-1 气体体积、容积份额和飞灰浓度(表样)	93
表 B6-2 焓温表(表样)	94
表 B7 空气和烟气的平均比热容 c	94
表 B8 标态下 1 m ³ 空气和烟气以及 1 kg 灰的焓	95
表 B9 空气和平均成分烟气的物理特性	96
表 B10 水和水蒸气的动力黏度系数 μ	96
表 B11 水和水蒸气的导热系数 λ	98
表 B12 水和水蒸气的普朗特数 Pr	100
表 B13 干饱和蒸汽以及饱和线上的水的比体积和焓	101
表 B14 水的比体积和焓	104
表 B15 过热蒸汽的比体积和焓	106
附录 C 设计计算用线算图	119
图 C1 烟气物理特性换算修正系数	119
图 C2 单排光管水冷壁的有效角系数	121
图 C3 介质黑度 a_g	121
图 C4 三原子气体的辐射减弱系数	122
图 C5 飞灰辐射减弱系数	123
图 C6 炉膛和燃烬室的系统黑度	123
图 C7 系数 m	124
图 C8 炉膛传热计算	124
图 C9 燃烬室传热计算	125

图 C10	乳化团的导热系数比值 $\frac{\lambda_{cm}^*}{\lambda_g}$	125
图 C11	料层放热系数	126
图 C12	埋管的结构特性修正系数	126
图 C13	横向冲刷顺列光滑管束时的对流放热系数	128
图 C14	横向冲刷错列光滑管束时的对流放热系数	130
图 C15	空气及烟气作纵向冲刷时的对流放热系数	132
图 C16	过热蒸汽在纵向冲刷时的对流放热系数	134
图 C17	未沸腾水在纵向冲刷时的对流放热系数	135
图 C18	辐射放热系数	136
图 C19	铸铁省煤器的结构特性与传热系数	137
图 C20	串联混合流状况下的温压修正系数	138
图 C21	平行混合流状况下的温压修正系数	138
图 C22	交叉流状况下的温压修正系数	139
附录 D	例题	140
D1	层燃炉热力计算例题	140
D2	鼓泡流化床燃烧锅炉热力计算例题	169
D3	循环流化床锅炉热力计算例题(高温分离器型式)	184
D4	带螺纹烟管的常压热水锅炉热力计算例题	197

编制说明

本计算方法由北京科林燃烧工程有限公司组织上海工业锅炉研究所、北京锅炉厂及浙江大学共同编纂完成。

本计算方法适用对象主要是燃煤的工业锅炉,燃烧方式为层状燃烧和流化床燃烧。

国内目前进行层状燃烧和鼓泡流化床燃烧锅炉设计时,主要采用 JB/DQ 1060—1982《层状燃烧和沸腾燃烧工业锅炉热力计算方法》以及前苏联《锅炉机组热力计算标准方法》1957 版、1973 版。本计算方法中层状燃烧和鼓泡流化床燃烧部分主要参照 JB/DQ 1060—1982 标准。循环流化床锅炉无标准热力计算方法,而锅炉热力计算方法的编制需要结合大量的实炉运行数据和实际经验,目前尚无条件进行这项工作。因此,本计算方法中循环流化床锅炉的标准热力计算方法以导则形式出现。

一、编制原则

1. 本计算方法中,符号基本依据 GB 3100~3102—1993《量和单位》的有关规定确定,其中涉及燃料分析符号的按 GB/T 483—1998《煤炭分析试验方法一般规定》取用,下角标主要参照 IEC 标准和英文导出。

2. 本计算方法按 GB 3100~3102—1993《量和单位》规定采用 SI 国际标准单位制。温度单位除采用 SI 制的 K 制外,还按国标及 ISO(国际标准化组织)规定并行采用摄氏温标 $^{\circ}\text{C}$ 。方法中使用的全部线算图及修正系数图表,均按 SI 单位制重新换算绘制。

3. 本计算方法中的热量单位采用法定计量单位焦耳。我国长期以来使用的热量单位为 20°C 卡[$1\text{ cal}(20^{\circ}\text{C})=4.1816\text{ J}$],因此在煤的热值、比热容等计算公式中,均以 $1\text{ cal}(20^{\circ}\text{C})=4.1816\text{ J}$ 为换算系数。JB/DQ 1060—1982 中有关传热公式沿用了前苏联标准。本计算方法中凡涉及热量单位换算均采用国际蒸汽表卡 $1\text{ cal}(1\text{T})=4.1868\text{ J}$ 。

4. 随着年代的变迁,煤炭生产发生了较大变化,原来推荐的某些煤种产量已逐步萎缩。因此,本计算方法编制时收集了全国主要煤矿电力用煤和国有重点选煤厂的动力用煤的煤质资料,从中按各煤种选出若干作为工业锅炉设计用代表煤种,使之更适合当前煤炭生产情况。

二、内容说明

1. 关于横向冲刷错列管束的对流放热系数计算公式

该公式来源于前苏联《锅炉机组热力计算标准方法》1973 版,原公式与对应的线算图不符。例如,根据该公式算出的对流放热系数 α_0 是图值的 $1/0.358$ 倍,而节距修正系数 C_c 的计算值是图值的 0.358 倍。考虑公式与线算图的对应关系,本计算方法中采纳冯俊凯教

授主编的《锅炉原理和计算》中关于横向冲刷错列管束的对流放热系数计算公式,对应的线算图为图 C14。

2. 关于链条炉排的炉拱

近 20 年来广大的锅炉科技人员就炉拱对不同燃料的适应性、炉拱对新煤的预热和着火的作用进行了系统的理论分析和大量的试验,积累了丰富的经验,证实了炉拱的辐射并不是以镜面辐射为主,而是一个漫辐射的过程。因此,炉拱的辐射与形状无关而与拱的投影面积有关。这就使拱的设计有了很大的灵活性。大量的研究和试验结果进一步证明,除了炉拱的作用外,高温烟气的冲刷和辐射对新煤(特别是着火困难的燃料)的预热和着火也起着相当大的作用,从而设计出了各种形式的拱的组合,如水平拱组合,倾斜前拱和人字拱组合,前后拱加中拱组合,前拱加倒弧形后拱组合,甚至活动拱组合等都取得了相当不错的效果。在本次修订过程中,除将常规的拱的设计提供给大家外,也将取得良好运行效果的人字拱组合(适宜于 ≤ 4 t/h 的燃煤锅炉)整理后推荐给大家,供设计人员参考。

3. 层燃炉固体不完全燃烧损失 q_4 的计算公式(4-14),参照 GB/T 10180—2003《工业锅炉热工试验规程》中相应的计算公式。

4. 在 JB/DQ 1060—1982 中,散热损失 q_5 系通过查表得出的,但对于蒸发量小于 2 t/h 的快装锅炉该数值偏大。本计算方法编制时对此作了改动。

5. 在鼓泡流化床锅炉计算时考虑了飞灰熔对炉膛出口温度的影响并增加埋管结构修正系数线算图。

6. 使用量相当大的水火管锅炉中的对流换热是烟气在管内纵向冲刷,类似于管式空气预热器的换热方式,由于前苏联《锅炉机组热力计算标准方法》中推荐的此类冲刷的热有效系数 ψ 的选取,没有对应的推荐值(因前苏联锅炉中无此种结构),且在 JB/DQ 1060—1982 的计算方法中也无对应的推荐值,因此,在过去水火管锅炉这部分对流受热面的计算时,往往参考了空气预热器的利用系数 $\xi=0.8\sim 0.85$ (前苏联 1973 版)或 $\psi=0.75\sim 0.8$ (JB/DQ 方法)选取。实际上水火管锅炉的对流受热面的热力特性与空气预热器仍有一定的差异,它的烟气流速(>20 m/s)远大于空气预热器的烟气流速,使得灰污状况得以改善,且也不存在烟气短路等现象。因此部分厂家在进行这部分热力计算时将 ψ 取为 0.9,与实测时排烟温度能较好地吻合。故在本计算方法编制中,考虑了一定裕度后,给出了水火管锅炉的对流受热面的热有效系数 $\psi=0.85\sim 0.9$ 。

7. 关于螺纹管的应用和热力计算

自 20 世纪 70 年代开始,各高校和锅炉制造单位对螺纹管的应用做了大量的研究和试验,都取得了相当好的效果。在这次计算方法的编制过程中,将螺纹管的传热计算作为正式的运算公式编入。

目前,国内所采用的螺纹管热力计算公式主要是哈尔滨工业大学和重庆大学提出的经验公式。在编制过程中,对这两组公式的实验数据进行了验证,得出了相当好的结果(见表 1),由表中可看出重庆大学的计算公式的最大绝对误差值为 11.33%,最小绝对误差值为 0.88%,哈尔滨工业大学的计算公式的最大绝对误差值为 10.74%,最小绝对误差值为

$$4.48\% (\Delta = \frac{|Nu_{(实)} - Nu|}{Nu_{(实)}} \times 100\%)。$$

表 1

实验数据的结构参数为： $h=0.002\text{ m}, d=0.057\text{ m}, P=0.033\text{ m}$											
实验的普朗特数为： $Pr=0.696$ (注：除 $Re=17\ 600$ 时 $Pr=0.695$ 其余均为 $Pr=0.696$)											
	Re	17 600	23 800	30 200	34 300	39 200	42 800	45 100	47 000	51 200	52 600
Nu	实验	89.2	113	133	149	170	179	187	194	209	215
	重庆大学	87.06	114.94	143.12	160.92	181.96	197.29	207.03	215.05	232.68	238.53
	哈尔滨工业大学	84.79	106.43	127.04	140.18	154.20	165	171.80	175.99	187.98	191.91
<p>重庆大学的换热公式：</p> $Nu=0.014\ 4Re^{0.9206}\left(\frac{P}{d}\right)^{-0.08}\left(\frac{h}{d}\right)^{0.112}$ <p>适用范围：$6\ 000\leq Re\leq 30\ 000; P/d=0.377\ 8\sim 0.977\ 8; h/d=0.027\ 78\sim 0.055\ 56$</p> <p>哈尔滨工业大学的换热公式：</p> $Nu=St\ Re\ Pr$ <p>式中：$St=\frac{\left(\frac{R}{8}\right)^{0.5}}{2.5\ln\left(\frac{d}{2h}\right)+10.77\left(\frac{h}{d}\right)^{0.33}\left(\frac{P}{d}\right)^{0.096}\left[\frac{h}{d}Re\left(\frac{R}{8}\right)^{0.5}\right]^{0.273}Pr^{0.5}-3.75}$ $\left(\frac{R}{8}\right)^{0.5}=2.5\ln\frac{d}{2h}+0.868\left(\frac{h}{d}\right)^{-0.33}\left(\frac{P}{h}\right)^{0.366}\times\left[1+0.029\ 6(\ln Re-9.48)^2\right]\exp\left(-\frac{0.005P}{h}\right)-3.75$ <p>适用范围：$h/d=0.019\ 6\sim 0.068\ 2; P/d=0.324\sim 0.920$</p> </p>											

此外,我们还注意到:

1)重庆大学的换热公式在使用范围 $6\ 000\leq Re\leq 30\ 000$ 内时算术平均误差值是相当精确的(2.03%),目前燃煤锅炉主要工作范围为管径 $\phi 51\times 3\text{ mm}\sim\phi 70\times 3.5\text{ mm}$;平均烟温范围 $\vartheta_{av}=750^{\circ}\text{C}\sim 300^{\circ}\text{C}$ (包括第二和第三回程);平均烟气流速范围 $w=16\text{ m/s}\sim 28\text{ m/s}$ (实际上第二回程烟速较高,第三回程烟速较低);计算所得的雷诺数范围在 $5\ 760\sim 36\ 598$ (见表 2),其大于 $30\ 000$ 的值是在 $w=28\text{ m/s}, \vartheta_{av}=300^{\circ}\text{C}$ 时得到的,但此类情况一般不会出现,而当 $w=24\text{ m/s}, \vartheta_{av}=300^{\circ}\text{C}$ 时, Re_{max} 为 $31\ 369$ (见表 3),处于重庆大学公式的适用范围内。哈尔滨工业大学的公式未规定 Re 适用范围。

2)由于实验数据的关系,无法对上面两组公式在 $6\ 000\leq Re\leq 15\ 000$ 范围进行验证。基于上述情况,本计算方法收入了重庆大学的计算公式,但同时也将哈尔滨工业大学的计算公式一并提供给大家参考使用。

表 2

$d/$ m	$w/$ (m/s)	Re_1	Re_2	Re_3	Re_4
0.045	16	5 760	6 802	10 127	14 938
	28	10 080	11 904	17 722	26 141

续表 2

$d/$ m	$w/$ (m/s)	Re_1	Re_2	Re_3	Re_4
0.050	16	6 400	7 558	11 252	16 598
	28	11 200	13 226	19 691	29 046
0.056	16	7 168	8 465	12 602	18 589
	28	12 544	14 813	22 053	32 531
0.063	16	8 064	9 523	14 177	20 913
	28	14 112	16 665	24 810	36 598

注:管径范围 $\phi 51 \times 3 \text{ mm} \sim \phi 70 \times 3.5 \text{ mm}$; 烟速范围 $w = 16 \text{ m/s} \sim 28 \text{ m/s}$;
平均烟温范围 $\vartheta_{av} = 750^\circ\text{C} \sim 300^\circ\text{C}$; Re 范围为: 5 760 ~ 36 598。

表 3

$d/$ m	Re	$d/$ m	Re
0.045	22 407	0.056	27 884
0.050	24 896	0.063	31 369

注: $\vartheta_{av} = 300^\circ\text{C}$ 时, 运动黏度系数 $\nu = 48.2 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ 。

8. 根据 JB/DQ 1060—1982 和前苏联《锅炉机组热力计算标准方法》(1973 版) 进行热力计算时, 部分锅炉过热器出口蒸汽温度存在超温现象, 甚至发生过热器爆管现象。由于引起过热器出口蒸汽超温和爆管的因素有很多, 燃烧方式、煤种、炉型以及温度场和速度场的不均匀性等等都会引起实际温压和传热系数与理论计算的温压和传热系数存在一定误差。部分锅炉厂根据经验调整过热器受热面积, 以弥补计算误差。本计算方法在计算公式中引入了综合修正系数 β , 试图使过热器的受热面积计算更精确。

三、关于循环流化床锅炉热力计算导则

循环流化床锅炉类型较多, 炉型不同, 其热力计算方法也会有所不同, 因此提出统一的热力计算方法需要做大量的工作。本导则编纂的原型虽基于国外某公司设计生产的采用高温分离装置的循环流化床锅炉, 但提出的计算导则可用于相似或相同分离形式的循环流化床锅炉的设计计算, 其他炉型可在此基础上根据具体炉型特点修改使用。计算中未考虑添加石灰石的影响, 若添加石灰石, 则入炉热量、灰浓度和烟气量等有变化, 需修正。

1. 循环流化床锅炉由炉膛(快速流化床)、气固物料分离设备、固体物料再循环设备和/或外置式换热器组成。上述部分形成了一个固体物料循环回路。其中炉膛(快速流化床)又由炉膛下部密相区和上部稀相区组成。循环流化床锅炉的炉膛运行在一种特殊的流体动力特性下: 细颗粒(Geldart A 类颗粒或 B 类颗粒)被以超过平均颗粒终端速度的气流输送通过炉膛, 同时又有足够的颗粒返混以保证炉膛内的温度分布均匀。在循环流化床中, 床内气流运行速度比鼓泡流化床高, 不再有鼓泡流化床那样的清晰界面, 固体颗粒充满整个上升空间; 物料返混强烈, 颗粒团不断形成和解体, 并且向各个方向运动; 颗粒横向混合良好; 颗粒