

工业锅炉设计计算 标准方法

General Methods of Calculation and Design
for Industrial Boiler

中国标准出版社

工业锅炉设计计算 标准方法

General Methods of Calculation and Design for Industrial Boiler

《工业锅炉设计计算 标准方法》编委会 编

中国标准出版社

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》	3
 《热水锅炉水动力计算方法》.....	255
 《工业锅炉烟风阻力计算方法》.....	439

图书在版编目(CIP)数据

工业锅炉设计计算 标准方法/《工业锅炉设计计算 标准方法》编委会编. —北京:中国标准出版社,2003
ISBN 7-5066-3190-3

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 052846 号

中国标准出版社出版

北京复兴门外三里河北街 16 号

邮政编码:100045

电话:68523946 68517548

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

开本 880×1230 1/16 印张 33 $\frac{3}{4}$ 字数 742 千字

2003 年 8 月第一版 2003 年 8 月第一次印刷

*

印数 1--3 000 定价 180.00 元

网址 [www. bzcbbs. com](http://www.bzcbbs.com)

版权专有 侵权必究

举报电话:(010)68533533

序

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,用于引进国外先进的锅炉技术和配套生产设备,以提高中国工业锅炉设计水平,推动制造技术的发展。通过提高锅炉效率降低煤耗,控制CO₂等温室气体的排放,同时降低烟气中尘和SO₂含量,减少燃煤对环境污染及全球气候变化的威胁。该项目包括9个以技术包形式组成的子项目,分别从美国、德国、日本、丹麦和南非等国家引进了9项先进的锅炉设计制造技术,9项与环保关系密切的锅炉辅机设计制造技术和3条链条炉排片的铸造生产线。为了便于该项目的推广应用,同时还安排了10项完善标准、改进设计、人员培训、安全评估和推广宣传等技术援助项目。该项目计划到2003年底结束,2004年6月30日关闭项目的特别账户。由于该项目的执行过程恰逢我国行政机构改革高潮期,所以,先后由机械工业部重大技术装备司、国家机械工业发展司和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,负责该项目的具体组织实施。

在引进先进设计技术,产品图纸和制造设备过程中,新的产品结构、新的设计理念和新的计算模型及方法被同时引入。长期以来,中国的工程技术人员和学者们在大量的生产实践中积累了丰富的经验,并通过科学实验研究加以总结归纳,使我国的锅炉设计计算方法得到不断完善,已达到了较高的技术水平。藉GEF的资助和技术的引进,我们有机会更细致地研究部分工业发达国家在锅炉产品设计计算方面成熟的先进的思想、方法及手段,加以借鉴吸收。与整个项目同步,项目办公室与北京科林燃烧工程有限公

司精心组织编写了这本《工业锅炉设计计算 标准方法》，它凝聚了众多专家学者数十年研究实践成果、学术成就并融合了部分目前国际上先进技术思想。我相信，它一定能够在中国工业锅炉行业发挥应有的作用，推动工业锅炉产品技术的进步。

在此，我对所有参与项目工作的单位，专家学者及工作人员表示衷心的感谢。

国务院国有资产管理委员会副主任

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Ding Dehua' (丁德华), written in a cursive style.

2003 年 6 月

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。

按照世界银行项目执行程序,GEF中国高效工业锅炉项目办公室(以下简称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(以下简称技术源)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),1999年5月26日,PMO正式委托北京科林燃烧工程有限公司承担TA项目中“锅炉设计方法改进提高”子项。

北京科林燃烧工程有限公司会同项目参加单位——上海工业锅炉研究所、北京锅炉厂,将子项的目标确定为:在中国原有工业锅炉设计计算方法的基础上,通过消化、吸收国外技术源先进的锅炉设计计算方法,结合中国技术人员的专业实践,编写一本适合中国国情的、供中国锅炉专业工程师参考使用的《工业锅炉设计计算 标准方法》,以使中国工业锅炉行业在锅炉设计方面接近国际先进水平。这

是一项艰巨而又有着重要现实和长远发展意义的任务。项目目标涉及到锅炉设计的热力、水动力及烟风阻力三个专业计算。北京科林燃烧工程有限公司在组织实施项目的过程中,始终从行业的整体利益出发,坚持科学认真负责的态度,把这样一项技术性极强,完整的系统工程按照科学的、市场化的项目管理模式,实施严密的计划管理和质量管理,很好地完成了任务。经 PMO 批准,现由中国标准出版社正式出版《工业锅炉设计计算 标准方法》一书,使之能够在中国工业锅炉行业内发挥其应有的作用。

中国锅炉行业曾长期沿用原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,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》和 JB/T 8659—1997《热水锅炉水动力计算方法》,而烟风阻力计算则一直沿用原苏联的计算方法。经比较研究,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原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达,但仍保留原有的体系风格和体系思想。

1. 具体编写方案

——《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。

——《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。

——《工业锅炉烟风阻力计算方法》在原苏联《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。

2. 编写工作原则

——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。

——根据实用确切的原则,更新资料性数据。

——尽可能地吸收 GEF 项目中技术源的计算思想和方法。

——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,还按国际 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《煤质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。

——依照 SI 单位制重新换算绘制全部线算图,修正系数图表。

——为推动和便于计算机的使用,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。

3. 本书包括的计算方法

《层状燃烧及流化床燃烧工业锅炉热力计算方法》

《热水锅炉水动力计算方法》

《工业锅炉烟风阻力计算方法》

本项目自 1999 年 5 月底正式启动至 2002 年 6 月封稿,涉及各方面的专家及专业人员百余人,历时三年整。其间,撰稿人、专家、学者们和参与项目的所有同志付出了巨大的劳动,十数次的易稿,字斟句酌,每一章,每一条,每一个符号,每一根曲线都凝聚着他们的心血。最终完成的各计算方法经过了初稿编纂,初稿审查及修改,修改稿审查及修改,定稿形成及定稿审查等过程,程序严谨,原则明确。所形成的各计算方法具有很高的学术价值和参考价值,虽非强制性的或者指导性的国家标准或行业标准,但无论其内容、质量及形成的

技术程序都严格遵守了国家标准的制定或修订规范,同行们可放心参考使用。

在《工业锅炉设计计算 标准方法》的编纂过程中,除有大量的专家参与了编写外,北京科林燃烧工程有限公司聘请了部分行业内的教授、学者和高级工程技术人员参加审查和定稿工作,他们同样付出了巨大的劳动和心血,在此也一并表示最诚挚的谢意。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	王德英
朱明文	朱秋平	刘福仁	李 岩	李瑞阳
张子栋	张元忠	张永照	张鹤声	卓 宁
罗永浩	洪邦俊	赵明泉	秦裕琨	鲁钟琪
黄祥新	曹柏林	蒋安众	董祖康	

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 标准方法》编委会

2003年6月于北京

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	14
第 1 章 总则	22
第 2 章 煤的成分、性质和分类	24
2.1 煤质资料	24
2.2 煤的元素成分	24
2.3 煤的工业分析成分	25
2.4 发热量	26
2.5 混合煤	28
2.6 煤的分类	28
2.7 灰熔点	30
2.8 煤和灰的比热容	30
第 3 章 空气和烟气的特性计算	32
3.1 空气和烟气的物理特性	32
3.2 空气量的计算	33
3.3 锅炉烟道中的过量空气系数和漏风系数	34
3.4 烟气量的计算	35
3.5 烟气的焓	38
3.6 代表性煤种的空气和烟气特性计算	40
第 4 章 锅炉热平衡计算	41
4.1 热平衡方程	41
4.2 锅炉输入热量	42
4.3 锅炉输出热量	43
4.4 锅炉热损失	45
4.5 锅炉热效率及燃料消耗量	48

第 5 章 层燃炉炉膛传热计算	50
5.1 炉膛几何特性	50
5.2 炉内热量平衡	52
5.3 烟气黑度与系统黑度	53
5.4 炉膛传热计算	56
5.5 燃烬室传热计算	59
5.6 炉膛热力特性	62
第 6 章 鼓泡流化床锅炉炉膛传热计算	63
6.1 炉膛几何特性	63
6.2 沸腾层的烟气侧热平衡	67
6.3 流化速度	69
6.4 沸腾层内埋管传热计算	71
6.5 悬浮室、燃烬室的传热计算	76
第 7 章 循环流化床锅炉传热计算导则	80
7.1 炉膛几何特性	80
7.2 循环床锅炉的循环倍率 n	80
7.3 密相区的燃烧份额 δ	80
7.4 密相区热平衡	81
7.5 稀相区热平衡	82
7.6 密相区的传热计算	82
7.7 稀相区的传热计算	82
7.8 炉膛水平屏式蒸发受热面传热系数	88
7.9 炉膛竖直屏式蒸发受热面传热系数	88
第 8 章 对流受热面传热计算	89
8.1 基本方程	89
8.2 传热系数	91
8.3 对流放热系数	93
8.4 辐射放热系数	102
8.5 温压	105
8.6 对流受热面传热计算方法	108
附录 A 关于燃烧设备和受热面设计的若干建议	113
A1 燃烧设备的选择	113

目 次

A2 层燃炉的炉膛	114
A3 鼓泡流化床的炉膛	117
A4 循环流化床的炉膛	119
A5 受热面	121
附录 B 设计计算用相关数据及表样	124
表 B1-1 中国煤炭分类总表	124
表 B1-2 煤炭产品的类别、品种和技术要求	126
表 B1-3 煤炭产品灰分等级划分	127
表 B2-1 工业锅炉设计用代表性煤种	128
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	129
表 B2-3 1 kg 燃料燃烧产物及空气的焓	130
表 B3 额定负荷下锅炉各段烟道中的漏风系数	134
表 B4 机械化层燃炉炉膛的计算特性	135
表 B5-1 鼓泡流化床炉膛计算特性	136
表 B5-2 循环流化床炉膛计算特性	136
表 B6-1 气体体积、容积份额和飞灰浓度(表样)	137
表 B6-2 焓温表(表样)	137
表 B7 空气和烟气的平均比热容 c	138
表 B8 1 m ³ (标)空气和烟气以及 1 kg 灰的焓	139
表 B9 空气和平均成分烟气的物理特性	140
表 B10 水和水蒸气的动力黏度系数 μ	141
表 B11 水和水蒸气的导热系数 λ	143
表 B12 水和水蒸气的普朗特数 Pr	144
表 B13 干饱和蒸汽以及饱和线上的水的比体积和焓	145
表 B14 水的比体积和焓	147
表 B15 过热蒸汽的比体积和焓	149
附录 C 设计计算用线算图	162
图 C1 烟气物理特性换算修正系数	162
图 C2 单排光管水冷壁的有效角系数	164
图 C3 介质黑度 a_g	165
图 C4 三原子气体的辐射减弱系数	166
图 C5 飞灰辐射减弱系数	167
图 C6 炉膛和燃烬室的系统黑度	167
图 C7 系数 m	168
图 C8 炉膛传热计算	168

目 次

图 C9 燃烬室传热计算	169
图 C10 乳化团的导热系数比值 $\frac{\lambda_{em}^*}{\lambda_g}$	169
图 C11 料层放热系数	170
图 C12 埋管的结构特性修正系数	170
图 C13 横向冲刷顺列光滑管束时的对流放热系数	172
图 C14 横向冲刷错列光滑管束时的对流放热系数	174
图 C15 空气及烟气作纵向冲刷时的对流放热系数	176
图 C16 过热蒸汽在纵向冲刷时的对流放热系数	178
图 C17 未沸腾水在纵向冲刷时的对流放热系数	179
图 C18 辐射放热系数	180
图 C19 铸铁省煤器的结构特性与传热系数	181
图 C20 串联混合流状况下的温压修正系数	182
图 C21 平行混合流状况下的温压修正系数	183
图 C22 交叉流状况下的温压修正系数	184
附录 D 例题	185
D1 层燃炉热力计算例题	185
D2 鼓泡流化床燃烧锅炉热力计算例题	217
D3 循环流化床锅炉热力计算例题(高温分离器型式)	233
D4 带螺纹烟管的常压热水锅炉热力计算例题	245

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》以及原苏联《锅炉机组热力计算标准方法》57 版、73 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《煤质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算单位焦耳。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原苏联标准。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

该公式来源于原苏联《锅炉机组热力计算标准方法》73 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值 α_0 是图值的 $1/0.358$ 倍,而节距修正系数 C_s 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 $\leq 4\text{t/h}$ 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焓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,由于原苏联《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(因原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 $\xi=0.8\sim 0.85$ (原苏联 73 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