

工业锅炉热力计算

〈苏联〉В. И. 卡斯滕辛主编

刘福仁 译

胡宗胜 校



ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПАРОВЫХ КОТЛОВ

热能出版社

工业锅炉热力计算
(苏联) В.И.卡斯都辛主编

*

劳动人事出版社出版
(北京市和平里中街12号)
新华书店北京发行所发行
交通出版社印刷厂印刷

*

787×1092 32开本 9.75印张 220,000字
印数: 1—6,500册
书号: 15238·021 定价: 1.50元

**ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ ПРОМЫШЛЕННЫХ
ПАРОГЕНЕРАТОРОВ**

Под редакцией В.И.Частухина

КИЕВ

**Главное издательство
Издательского объединения**

«ВИЩА ШКОЛА»

1980

译 者 的 话

《工业锅炉热力计算》一书系苏联高等工业院校的教科书，不但适用于在校的热能动力专业学生，而且对锅炉运行人员、从事锅炉改造人员以及锅炉安全监察人员都有一定的参考价值。本书中的计算单位均采用国际单位制(SI)，因此在运用本书中公式时，要特别加以注意。

由于本人专业知识和外文水平有限，译文中不妥之处，在所难免，敬请读者不吝指正，不胜感谢。

译 者

一九八一年七月

目 录

第一章 设计任务和热力计算原始数据的选取.....	1
第一节 热力计算方法及一般的说明.....	1
第二节 计算任务.....	4
第三节 炉膛型式的选择.....	4
第四节 尾部受热面的预选, 排烟温度和 空气温度.....	6
第五节 锅炉方案图的绘制.....	9
第二章 燃料、空气和燃烧产物.....	12
第一节 燃料燃烧成份和热量按 W^P 和 A^P 的 给定值进行换算.....	12
第二节 锅炉烟道中的过剩空气系数和漏风系数的 选取.....	13
第三节 空气和燃料燃烧产物容积的计算.....	15
第四节 空气和燃烧产物焓.....	18
第三章 锅炉热平衡.....	23
第一节 燃料的热量分配.....	23
第二节 热平衡项目.....	24
第三节 热量保存系数.....	26
第四节 燃料消耗量.....	26
第四章 炉膛的主要结构尺寸.....	28
第一节 初拟炉膛设计方案图.....	28
第二节 炉膛的计算尺寸.....	28
第五章 炉膛热交换计算.....	38

第一节	计算方法和主要的计算公式·····	38
第二节	校核计算·····	40
第三节	结构—校核计算·····	59
第六章	对流受热面的计算·····	62
第一节	主要的计算公式·····	62
第二节	传热系数的确定·····	63
第三节	温压的确定·····	83
第七章	沸斯通和蒸发管束的计算·····	89
第八章	过热器的计算·····	93
第一节	计算方案图的绘制·····	94
第二节	主要的方程式和计算公式·····	96
第三节	过热器或每级的校核计算·····	99
第四节	过热器或每级的结构计算·····	101
第九章	尾部受热面的计算·····	102
第一节	计算方案图和计算特性·····	102
第二节	主要方程式和计算公式·····	105
第三节	校核计算·····	107
第四节	结构计算·····	109
第五节	锅炉热力计算汇总表和热平衡 误差·····	113
第十章	设计图部分·····	116
第一节	图纸规格和设计总则·····	116
第二节	锅炉零部件的结构设计·····	117
第十一章	锅炉成本·····	142
附录I	锅炉热力计算例题·····	150
I-1	TH-35Y型锅炉热力计算·····	150
I-2	燃用重油的 ДKBp-10-23 型锅炉的 炉膛计算·····	200

附录II	中小容量锅炉的技术特性	204
附录III	层燃炉和室燃炉炉膛的结构设计	252
III-1	层燃炉炉膛的标准尺寸和布置	252
III-2	煤粉和天然气重油喷燃器的标准尺寸及 室燃炉炉膛的布置	258
附录IV	省煤器和空气预热器的布置及结构特性	269
IV-1	钢管空气预热器的结构特性	270
IV-2	玻璃管式空气预热器的结构特性	272
IV-3	省煤器的结构特性	277
IV-4	省煤器和空气预热器的定型尺寸	279
附录V	辐射过热器和辐射对流过热器的校核和结构 计算	288
V-1	计算的选择	288
V-2	壁式辐射过热器的校核计算	288
V-3	屏式过热器的校核计算	290
V-4	小容量锅炉的辐射和辐射对流过热器的 结构计算	296
附录VI	燃料、水和蒸汽计算特性表 (略)	

第 一 章

设计任务和热力计算

原始数据的选取

第一节 热力计算方法及一般的说明

热力计算分为结构（设计）计算和校核计算，其方法基本上是一样的，不同之处在于计算的目的、所求未知量和计算顺序。

结构计算的目的是，在给定的蒸发量、蒸汽参数和燃料的情况下，对锅炉进行结构设计。

对现有的锅炉所进行的计算是校核计算。校核计算是根据锅炉的结构特性，在规定的负荷和燃料下，以确定各受热面交界处的水、汽、空气和燃烧产物的温度、机组热效率、燃料消耗量。从校核计算可以得到选取辅助设备以及水动力、烟风阻力、强度计算所必须的原始数据。

本书中给出了锅炉校核计算以及各个部件的结构计算方法。如任务书中给出的条件与定型锅炉的计算条件相差不大，定型锅炉总体布置和主要部件的结构尺寸可以不变。此时，用校核计算确定机组在给定的条件下运行的技术指标。必要时，对锅炉有关部分可以进行改造，而需要改造的部分应用结构计算以确定所需要的数据。

在锅炉改造设计工作中，为增加出力，改变蒸汽参数，变更燃料，都会使机组的一系列部件进行相应的变更。但

是，锅炉的总体布置和主要部件一般不易变更。而对于那些必须变更的部件，应尽可能保持定型锅炉主要节点和零件不变。此时，对于不需要变更的部件进行校核计算，而对于需要改造的部件则应进行结构计算。

课程设计包括机组热力计算说明书、锅炉布置图和指导教师规定的要完成的若干节点图。计算说明书用墨水书写在A₄(297×210毫米)的图纸上。

说明书的开头应写明锅炉简要技术特性，并对循环系统和分离装置加以说明。炉膛、过热器、省煤器和空气预热器在计算中做以阐述。

用循序计算方法进行计算可以收到较好的效果。首先把计算公式写成通用的形式，然后把各个数值代入，算出最终结果。

进行热力计算时，对诸如炉膛和烟道中的过剩空气系数、对流受热面的热效率系数和利用系数等一系列数值采用3~4位有效数字的近似值。没有必要为了提高计算的准确性而采用5位或6位有效数字。即使是由大数与小数相加而得到的5位或6位有效数字，同样也是不必要的，应该将得的5位或6位数按四舍五入方法化为3~4位数。

计算中，需要写出和分析原始数据及得数的单位，应特别注意其是否与采用的单位体系相一致。必须记住，任何公式或方程式的两边的单位制应是一样的。只有单位相同的数才能进行计算。对原始数据和计算数值的单位进行分析，才可能发现计算中的一些错误。

空气和烟气的容积及焓，锅炉的热平衡以及锅炉各区段和烟道的吸热量，通常以1公斤固体或液体燃料(米³/公斤，千焦耳/公斤)，或以1米³气体燃料(米³/米³，千焦耳/米³)进行计算。此时应采用标准条件($p = 0.1$ 兆帕，

$t = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$)下的烟气容积。在计算烟气容积以确定烟气流速时,应考虑烟道中相应的压力和温度与标准条件下的压力、温度的差异。

本书中采用的符号基本上与文献[32]相同。相应于1公斤(米³)的介质(水、蒸汽、空气)的容积、焓、比热等,用小写字母表示;相应于1公斤(米³)的燃料的容积、焓、比热、发热值等用大写字母表示。例如,1公斤水或蒸汽的焓用 h (千焦耳/公斤)表示,1米³空气焓用 i (千焦耳/米³)表示;相应于1公斤(米³)燃料的空气或燃烧产物的焓用 I (千焦耳/公斤,千焦耳/米³)表示。计算各受热面的吸热量以 Q (千焦耳/公斤,千焦耳/米³)表示。加热介质,也就是燃烧产物的温度以 ϑ 表示;受热介质(水、蒸汽、空气)的温度以 t 表示。

符号的角码一般写在符号的右下角,例如,过热器烟道中的烟气焓为 I_{ne} ,空气焓为 I_a ,燃料燃烧产物的容积为 V_r 。符号右上角的角码按下列原则处理:

1.表示燃料的成份时,例如工作质燃料中的碳、氢、氮含量,用 C^P 、 H^P 、 N^P ;

2.表示理论值时,把0标在符号的右上角,例如需要的理论空气量为 V^0 ;

3.表示计算区段的进口或出口处的某个值时,在符号的右上角加一撇或两撇,如过热器进口和出口烟温分别为 ϑ'_{ne} 和 ϑ''_{ne} 。

当计算范围未超出给定的机组部件时,该部件的角码可不必标注。

如过热器、省煤器、空气预热器在混合连接系统中分成若干级,其计算区段或级按载热介质(水、蒸汽、空气)流动方向标注罗马字。例如从第一级省煤器出来的水焓以 $i''_{1,w}$ 表示。

为了表示两个数值之差，在表示数值符号的左边加上一个希腊字母 Δ ，如烟道中过剩空气系数的变化以 $\Delta\alpha$ 表示，介质温差以 Δt 表示。

第二节 计 算 任 务

为了进行定型锅炉的校核计算或校核—结构计算，需要下列的资料和原始数据：

1. 锅炉规格（系列名称）；
2. 锅炉蒸发量 D ，吨/时（公斤/秒）；
3. 连续排污量占锅炉蒸发量的百分比 ρ ，%；
4. 主蒸汽阀的蒸汽压力 p_{π} ，兆帕；
5. 过热蒸汽温度 $t_{\pi.\pi}$ ， $^{\circ}\text{C}$ ；
6. 进入省煤器的给水温度 $t_{\pi.\pi}$ ， $^{\circ}\text{C}$ ；
7. 燃料种类及主要特性；
8. 燃料燃烧方式及炉膛型式；
9. 尾部受热面的型式和布置；
10. 排烟温度 $\vartheta_{r,x}$ ， $^{\circ}\text{C}$ ；
11. 空气预热器的进、出口空气温度 $t'_{\pi.\pi}, t''_{\pi.\pi}$ ， $^{\circ}\text{C}$ 。

1～7项的资料或数据，设计任务书中总是给出的，而8～11项一般不给，由设计者自行选取。对于机组或部件计算所需的结构特性，可以从定型的锅炉图、技术条件以及采用的炉膛型式、省煤器、空气预热器中进行选择。

第三节 炉膛型式的选择

当定型的或现有的锅炉型式已不能满足设计要求时，则要选择新的炉膛型式。对于中小蒸发量的锅炉，可采用层燃炉或室燃炉。层燃炉运行比较简单，可以在较大负荷变动范围内稳定运行，安装、运行成本也低于室燃炉。对于挥发物

较高($V^r \geq 20\%$)、直径0~6毫米煤粒含量 $\leq 60\%$ 的原煤、筛选无烟煤、半无烟煤、块状泥煤、页岩以及废木材,当蒸发量 $D \leq 35$ 吨/时的时候,采用层燃炉为宜。

对于无烟煤屑、普通无烟煤、劣质煤以及 $W_a \geq 3.4\%$ 的高水份褐煤、机采泥煤、选煤屑,不宜采用层燃炉,因为层燃炉不能保证这些燃料可靠、经济燃烧。

根据燃料种类和机组蒸发量,表1-1中推荐了层燃炉的型式。

表1-1 层燃炉的推荐型式

燃料种类	机 组 蒸 发 量 D , 吨/时		
	2.5—4	6.5	10—35
小块无烟煤	抛煤机翻转炉排炉 (ПМЗ-РПК型*)	自动给煤正转链条炉	
烟煤、褐煤		抛煤机倒转链条炉	
		ПМЗ-РПК型炉	抛煤机正转链条炉
块 状 泥 煤	竖井式倾斜炉排炉		竖井式链条炉

• 蒸发量 $D < 2$ 吨/时的时候,采用РПК型翻转炉排炉和手烧炉。

表1-2 煤粉炉的推荐型式

燃 料 种 类	蒸发量 D , 吨/时	炉膛型式及磨煤方法
无烟煤和贫煤	≥ 50	用圆筒球磨机磨煤的固态或液态除渣的煤粉炉。
烟煤: 挥发物 $V^r < 25\%$ 时 挥发物 $V^r \geq 25\%$ 时	≥ 50	用圆筒球磨机磨煤或中速球磨机磨煤的固态除渣煤粉炉。
	≥ 25	用中速或快速(锤击式)磨煤机磨煤的固态除渣煤粉炉。
褐 煤	≥ 25	具有竖井磨煤机或风扇磨煤机的固态除渣炉。
选 煤 屑	2.5~25	ПКТИ 谢尔什涅夫系列的风动室燃炉。
	≥ 25	竖井磨煤机的固态除渣炉。

燃用液体和气体燃料的室燃炉适用于任何蒸发量的锅炉，而煤粉炉仅适用于蒸发量 $D \geq 25$ 吨/时的锅炉。

根据燃料种类及锅炉蒸发量，从表1-2 中选择室燃炉炉型。

第四节 尾部受热面的预选， 排烟温度和空气温度

蒸发量 $D < 10$ 吨/时的锅炉，制造厂不配备尾部受热面，安装设计时才决定尾部受热面的型式和布置。根据文献介绍，蒸发量 $D \geq 2.5$ 吨/时的锅炉，当蒸发管束之后的烟温大于 250°C 时，才考虑布置尾部受热面—省煤器和空气预热器。

小容量的锅炉，无论采用省煤器和空气预热器组成的复合式尾部受热面，还是采用省煤器或空气预热器中的一种单一尾部受热面都可以。对于蒸发量 $D < 10$ 吨/时的锅炉安装复合式尾部受热面是不适当的。因为小型锅炉的布置比较困难，安装复合式尾部受热面势必增加基本建设投资，且使锅炉运行管理复杂。因此，这种小型锅炉一般只有单一的尾部受热面—省煤器或空气预热器。燃用高水份的 Б1 号褐煤、机采泥煤、废木材时，为了强化和稳定燃烧以提高锅炉热效率，应安装空气预热器。

省煤器可采用 ВТИ 铸铁鳍片式，沸腾式或半沸腾式光滑钢管式，或冷段由铸铁鳍片管、热段由钢管组成的混合式。锅炉汽包中的压力 $p_{\text{Б}} \leq 2.2$ 兆帕 时，锅炉监察规程准许采用铸铁省煤器。铸铁省煤器结构简单，运行可靠，而且比钢管式省煤器有较高的抗腐蚀性能。

蒸发量 $D < 10$ 吨/时的锅炉较少采用钢管式省煤器。但燃用气体燃料的锅炉，当省煤器出口水温高于 100°C 或第二

级（按水流动方向）省煤器经计算需要安装沸腾式时，应采用钢管式省煤器。

排烟温度和空气预热温度与燃料种类、炉膛型式、尾部受热面的型式和布置有关。

当烟气中的水蒸汽在受热面冷凝时，选取的排烟温度应考虑受热面低温腐蚀的可能性。低温受热面上水蒸汽的冷凝及腐蚀的强度取决于燃料中的水份和硫的含量。因而，燃用高水份或高硫的燃料时，应选用较高的排烟温度。对于有尾部受热面的锅炉，表 1-3 给出了推荐的排烟温度，蒸发量小的锅炉应采用较大的值。

如果为了预热空气而安装玻璃管式空气预热器时，则排烟温度可比表 1-3 推荐值低20~25℃。

表1-3 排烟温度 ϑ_{yx} 的推荐值℃

燃 料 种 类	锅炉蒸发量 D ，吨/时		
	<10	10~20	>20
干的固体燃料 ($W^{\text{H}} < 1.5\%$)	140~160	130~150	120~140
湿的固体燃料 ($W^{\text{H}} = 1.5 \sim 5\%$)	150~170	140~160	130~150
高水份固体燃料 ($W^{\text{H}} > 5\%$)	160~180	150~170	140~160
重 油	160~180	140~160	130~150
天然气	150~170	130~150	120~140

表 1-4 给出了推荐的空气温度，它主要取决于炉膛型式、燃料种类和锅炉蒸发量。蒸发量较小的锅炉应采用较小的值。

空气的预热温度决定了省煤器和空气预热器的布置方案。对于湿燃料 ($W^{\text{H}} \geq 3.6\%$) 且热空气温度低于 250℃，对于干燃料且热空气温度低于 300℃，建议采用单级空气预

表1-4 进入炉膛空气的推荐温度 t_n , °C

炉膛型式和燃料种类	锅炉蒸发量 D , 吨/时		
	<10	10~20	>20
层燃炉			
贫煤和无烟煤	25~30	100~150	150~200
烟煤和Б2、Б3号褐煤	25~30	150~200	150~200
Б1号褐煤	100~150	150~200	150~200
泥煤和废木材	200~210	200~250	200~250
固态除渣煤粉炉			
贫煤和无烟煤	—	—	350~400
水份 $W^a < 1.5\%$ 的烟煤	—	—	250~300
水份 $W^a = 1.5 \sim 5\%$ 的烟煤和褐煤	—	—	300~350
高水份($W^a > 5\%$)的褐煤	—	—	350~400
机采泥煤	200~210	250~300	380~420
液态除渣室燃炉(各种燃料)	—	—	380~420
天然气重油炉			
重油和天然气	25~30	100~150	200~300
高炉煤气	25~30	150~200	250~300

热器。此时，空气预热器装在省煤器之前或之后，尾部受热面成为串联布置。

如果空气预热温度高于上述规定值，则应采用两级空气预热器，第一级为空气进口段（或称为冷段），第二级为空气出口段（或称为热段）。第一级布置在省煤器后边，而第二级则布置在省煤器前边或两级省煤器之间。这种布置的尾部受热面称之为交叉式布置。

蒸发管束较少的锅炉，当尾部受热面交叉式布置时，要采用分成两部分（级）的省煤器。

有尾部受热面的锅炉进行计算时，依省煤器、空气预热器的布置特性，按推荐值选取热空气的温度。如单级布置时，热空气的温度不应高于 $260 \sim 300^\circ\text{C}$ ，而交叉式布置时，热空气温度应高于上述值。

空气预热器的进口空气温度一般取锅炉房内的空气温度，即 $25^{\circ}\sim 30^{\circ}\text{C}$ 。但是，燃用高水份（ $W^{\text{a}} > 3.6\%$ ）和高硫燃料时（例如含硫高的重油），其烟气中的露点较高，被冷空气冲刷的空气预热器的管子上易凝结水蒸汽，将对金属产生强烈的腐蚀。为此，冷空气进入空气预热器之前对冷空气进行预先加热。对于高水份的固体燃料，冷空气应预热到 $50\sim 60^{\circ}\text{C}$ ；对于重油，应预热到 $80\sim 90^{\circ}\text{C}$ 。

为了预热冷空气，可以采用蒸汽加热器或利用进入风机吸气管中部分热风再循环。在蒸汽加热器中或用热风再循环预热冷空气时，由于使排烟温度升高，降低了锅炉的经济性，因而很少采用。

当前，用玻璃管式空气预热器预热冷空气得到了广泛的使用。这样，可以用排烟中的热量预热冷空气，降低了排烟温度，提高了锅炉的经济性。

在工业锅炉上，为了减少硫酸的腐蚀，有时将空气预热器安装在省煤器之前。

第五节 锅炉方案图的绘制

进行热力计算之前，需要确定锅炉整体布置及参与热交换介质（烟气、水、空气、蒸汽）的运动方向。因此需要绘出锅炉方案图。在图中应画出锅炉所有的部件（炉膛、过热器、省煤器和空气预热器）。

具有水平烟道的锅炉（ДКВ、ДКВр、КЕ、ДЕ）应画出两个投影图（纵剖面图和俯视剖面图），其他锅炉只画一个纵剖面图。

在锅炉方案图中，要标出进入省煤器联箱的给水压力、汽包中的压力和蒸汽出口联箱的压力。

进入钢管式空气预热器之前的空气，如在蒸汽加热器或

在玻璃管式空气预热器中预热，在图中应标明冷空气预热方法及空气预热温度。

如果缺少锅炉汽水管道各段的确切压力数值，那么可以大体上估定。假如省煤器和过热器中的介质流动阻力为汽包压力的10%，则汽包中的压力 $p_B \cong 1.1 p_{\Pi}$ ，省煤器出口联箱压力 $p'_{BK} \cong 1.1 p_B$ 。此处 p_{Π} 为蒸汽出口联箱中的压力，设计任务书中已经给出。

图1-1 和 1-2，给出了 ТП-35у 和 ДКВр 锅炉图的例子。

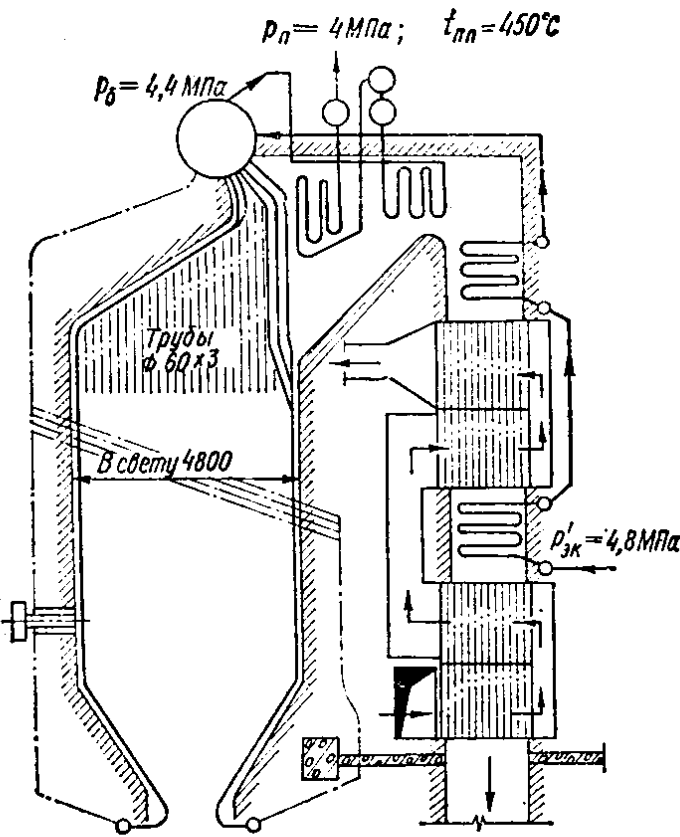


图1-1 ТП-35у型锅炉图
Трубы—管子 В свету—墙距