

鍋 爐 學

(下 冊)

陳 學 俊 編

科 技 衛 生 出 版 社

鍋 爐 學

增訂版

(下 冊)

陳學俊編

科 技 卫 生 出 版 社

內 容 提 要

本書系根据苏联鍋爐方面教材及杂志上有关鍋爐的資料編成，并尽可能結合国内实际情况及參照其他方面資料加以补充。本書分三册，上册为燃料与爐子的部分，計分概論、鍋爐的基本理論、燃料、燃燒計算、热平衡、火床燃燒的爐子设备及火室燃燒的爐子设备等七章。中册为鍋爐整体及其計算部分，計分汽鍋、过热器、省煤器与空气預热器、特种鍋爐、鍋爐附件、热力計算、水循环計算、空气动力計算及强度計算等九章。下册为鍋爐布置、联合标准热力計算、水动力学、及輔助装备部分等二十一章。本書除詳述工作原理、構造及計算外并有例題說明。

本書可供大專、中技等校动力各專业作为鍋爐課的教材，也可作为鍋爐制造厂与电厂技術人員的参考書。

鍋 爐 学

增訂版、

(下册)

編 者 陈 学 俊

*

科 技 卫 生 出 版 社 出 版

(上海南京西路 2004 号)

上海市書刊出版业營業許可証出 093 号

上海大众文化印刷厂印刷 新华書店上海发行所总經售

*

开本 850×1168 1/32·印張 14 7/16·插頁 2·字數 356,000

1958 年 12 月第 1 版 1958 年 12 月第 1 次印刷

印數 1—5,500

統一書号：15119·1036

定价：(1) 2.20 元

增訂版序

“鍋爐學”自一九五四年出版以來，蒙各方採用，或作大學及中技學校鍋爐專業、汽輪機專業、熱力發電廠專業等的教材，或作鍋爐製造廠、發電廠及有關設計機構工作者的參考書。在此期中並收到不少讀者的寶貴意見，深以為感為幸。近幾年來鍋爐工業飛躍進展，蘇聯已開始製造 140~180 大氣壓、570°C、420~500 噸蒸發量的自然循環大容量鍋爐，更高壓力、溫度及容量的鍋爐已在設計中，超臨界壓力、超高溫、及超高容量的單流鍋爐包括 1000 噸蒸發量以上者也在設計。我國除各省市擴建了不少低壓鍋爐廠外近代化的鍋爐廠已建立了三個，不僅能製造 40~60 噸蒸發量的中壓爐排鍋爐，而且已製造了 35~130 噸蒸發量的中壓粉煤鍋爐，現在正開始要製造 230 噸高壓鍋爐，更大容量及單流鍋爐不久也將設計製造。由於鍋爐工業的迅速發展，原書材料已感不敷，因此就三年來教學所得及參考有關文獻和最新資料，將“鍋爐學”加以增訂。在“鍋爐學”上冊中補充了第二章中的第一節，第四章中增加了溫焓圖計算例題，第七章內增加了一節煤粉製備。在“鍋爐學”中冊中補充了第八章第二節大容量高壓鍋爐，第三節鍋筒內件經補充另寫後放到下冊中，第十五章改名為空氣動力計算並增加摩擦阻力計算圖及一些阻力系數圖表，書末並增加了第十三章到十六章的習題。在“鍋爐學”下冊中將原第二十二章鍋爐整體的布置加以補充作為第十七章，並增加按蘇聯最新熱力計算聯合標準編寫而成的空氣平衡、排氣溫

度選擇及熱效率、爐子熱力計算、受熱面的傳熱、對流受熱面的計算、單流鍋爐的熱力計算等六章作為第十八章至二十三章。另再增加受熱面的磨損、蒸汽的清潔、強制流動管圈中的水動力學、蛇形管受熱面聯箱中的水動力學、通用化鍋爐、組合化鍋爐等六章作為第二十四章至二十九章，並將原下冊中第十七章至二十四章改為第三十章至第三十七章，其中第三十五章通風機也系新增加的材料。書末尚附有熱力計算的例題，以供做習題及課程設計的參考之用。蒸汽輪機專業及中技校動力各專業採用本書時，中冊第十三章，下冊第二十四章至二十九章可省略，第十七章至二十三章可略加精簡。大學鍋爐制造專業熱力及由專業可全部講授。本書雖經增訂，但以大部分材料系在1956及1957年整理，而鍋爐工業發展迅速，仍難及時適應新的躍進情況，尚請讀者不吝指正，以便不斷提高質量，則幸甚。

陳學俊 一九五七年十一月於交通大學鍋爐教研組

目 录

下 册

第十七章 鍋爐整体的布置	1
第一节 影响鍋爐整体构造及布置的因素	1
第二节 过热器、省煤器与空气預热器的布置	8
第三节 近代鍋爐尾部受热面布置的趋向	15
第四节 鍋爐整体的布置型式	21
第十八章 鍋爐的空气平衡	25
第一节 空气平衡的計算	26
第二节 鍋爐整体气道中及煤粉制备系统中的过剩空气系数及空气漏入量	29
第十九章 鍋爐排气温度及鍋爐效率	32
第一节 鍋爐整体的热平衡	32
第二节 燃料燃烧时所拥有的热量	33
第三节 排气温度的选择及热损失	34
第四节 鍋爐整体的效率及燃料消耗量	40
第二十章 爐子的热力計算	43
第一节 爐子中的放热与理論燃燒温度	43
第二节 爐子出口的气体温度	44
第三节 輻射受热面	47
第四节 爐壁面积及有效輻射受热面	49
第五节 爐子的計算	52
第二十一章 鍋爐对流受热面的傳热	59
第一节 对流傳热系数	59
第二节 对流交热系数	63

(一) 橫向冲刷管束.....	86
(二) 縱向冲刷管束.....	70
第三節 輻射交換係數.....	73
第四節 平均溫度差.....	82
第二十二章 對流受熱面的計算.....	90
第一節 汽鍋受熱面的計算.....	91
第二節 氣體邊與水邊的熱平衡.....	94
第三節 過熱器的計算.....	96
第四節 省煤器的計算.....	103
第五節 空氣預熱器的計算.....	107
第六節 鍋爐整體的計算方法及順序.....	112
(一) 設計計算.....	112
(二) 校正計算.....	112
第七節 鍋爐整體在非正常負荷下工作的計算.....	114
第二十三章 單流鍋爐的計算特點.....	115
第一節 概說.....	115
第二節 煙子的計算.....	116
第三節 對流受熱面的計算.....	118
第四節 轉彎氣室的計算.....	119
第二十四章 對流受熱面的磨損及煙氣流速問題.....	120
第一節 概說.....	120
第二節 飛灰磨損的計算.....	122
第三節 受熱面的磨損及其防止方法.....	124
第四節 對流受熱面中的煙氣流速.....	128
第二十五章 蒸汽的清潔.....	135
第一節 概說.....	135
第二節 鍋筒中的自然分離.....	136
第三節 水滴的形成及分碎.....	141
第四節 泡沫的形成及破壞.....	145
第五節 鍋筒內部的分離裝置.....	148
第六節 膜式分離裝置.....	154

第七节 分段蒸发	158
第二十六章 强制流动管圈中的水动力学	164
第一节 管圈的水动力学特性	165
第二节 水动力学不均匀性的防止方法	170
第三节 节流圈直径的决定	173
第四节 脉动问题	175
第五节 强制流动的管圈的水动力学计算	177
第二十七章 蛇形管受热面的联箱中的水动力学	180
第一节 蛇形管受热面的联结系统	180
第二节 汇集联箱与分配联箱中的压力变化	183
第三节 蒸汽分配的不均匀性	187
第四节 Z型联接的过热器节流圈的近似计算	188
第五节 蛇形管中气体的排除问题	191
第二十八章 通用化的鍋爐	194
第一节 概說	194
第二节 影响通用化鍋爐整体布置的因素	195
第三节 燃料中水分对通用化鍋爐整体布置的影响	196
第四节 通用化鍋爐設計的一些原則	200
第二十九章 組合化的鍋爐	204
第一节 概說	204
第二节 組合化的鍋爐	205
第三十章 水处理	211
第一节 水中的不洁物及其对鍋爐的影响	211
第二节 中型及大型自然循环鍋爐的水处理	216
第三节 单流鍋爐的水处理	222
第四节 小型鍋爐的水处理	223
第五节 鍋爐給水的外处理	229
第六节 受热面的腐蝕	234
第七节 控制分析	238
第三十一章 燃料供应及除灰除渣裝置	245
第一节 燃料供应	245
第二节 烟气的洁淨	257

第三节 灰渣的清除.....	272
第三十二章 構架及磚工.....	286
第一节 構架.....	286
第二节 磚工.....	293
第三十三章 鍋爐仪表.....	302
第一节 鍋爐仪表.....	303
第二节 鍋爐仪表屏.....	324
第三节 仪表的選擇及裝置地点.....	327
第三十四章 鍋爐的自动調節.....	337
第一节 鍋爐自动化概述.....	337
第二节 給水調节系統.....	342
第三节 燃燒調节系統.....	347
第四节 汽温汽压調节系統.....	355
第五节 联鎖方法.....	356
第三十五章 通风設備.....	359
第一节 轉子的工作原理及理論压头.....	359
第二节 通风机的計算.....	363
第三节 通风机的特性及調节.....	370
第三十六章 鍋爐設備的运行.....	380
第一节 鍋爐整体的运行.....	380
第二节 煤粉制备裝置的运行.....	394
第三节 爐子裝置的运行.....	402
第四节 通风裝置的运行.....	409
第三十七章 鍋爐設備的試驗.....	415
第一节 試驗的分类.....	415
第二节 試驗的准备工作.....	416
第三节 进行試驗.....	417
第四节 試驗时各个数值的量度.....	418
第五节 試驗測定的主要数据.....	423
第六节 試驗結果记录.....	428
附 录 鍋爐整体热力計算例題.....	431
参考文献.....	452

第十七章 鍋爐整体的布置

第一节 影响鍋爐整体構造及布置的因素

蒸汽的参数提高及空气的高温加热使鍋爐整体的構造有了改变，这可用图 17-1 来说明。压力的提高，增加了加热水到沸腾点与蒸汽过热的这两部分热量，而减少了使水蒸发所消耗的热量。因此随着压力的提高，过热器的作用增加，它的受热面移近爐膛，甚至于部分的放在爐膛中；而蒸发的受热面的作用减小，在过热器前的汽鍋沸腾管束甚至

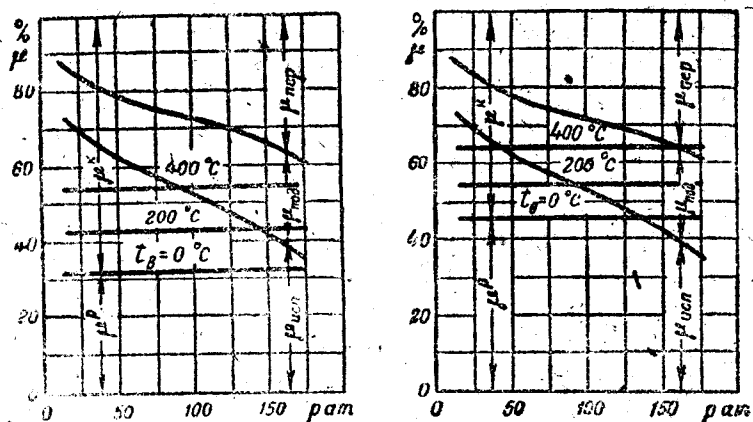


图 17-1 当爐子出口温度为 $1,100^\circ\text{C}$ 时，蒸汽参数与空气的加热温度对鍋爐整体热平衡的影响。左图——干的烟煤；右图——湿的褐煤。

可以沒有, 这样, 高压鍋爐的蒸发受热面几全是爐子的水冷牆。由于加热水部分所需热量的增加, 高压鍋爐中省煤器为非沸騰式样, 因水加热所需的热的大部分由省煤器移到水冷牆中。由于鍋爐中压力升高的結果, 沸騰式省煤器不存在, 而水冷牆一部分当作省煤器的作用, 同时产生 100% 的蒸汽。

从以上所述, 則在高压特别是超高压鍋爐中不必再需用沸騰式省煤器了, 但这結論还是片面的。在高压及超高压鍋爐中, 过热器吸热量很大, 因此需要把一部分受热面布置到爐膛中去, 即組成輻射式过热器。通常輻射式过热器吸热量占据全部过热器吸热量的 50~60% (即 $\mu_p^n = 0.5 \sim 0.6$), 由于輻射式过热器受热面的大大增加, 就减少了蒸发吸热的来源而又需采用沸騰式省煤器了, 如表 17.1 所列。

第 17.1 表 省煤器型式与蒸汽参数的关系

参 数	$P=100 \text{ a m a}$ $t_{ne}=540^\circ\text{C}$	$P=140 \text{ a m a}$ $t_{ne}=570^\circ\text{C}$	$P=170 \text{ a m a}$ $t_{ne}=580^\circ\text{C}$
	沸 騰 式	沸騰式, 当 $\mu_p^n > 0.07$	沸騰式, 当 $\mu_p^n > 0.22$
湿 煤	沸 騰 式	沸騰式, 当 $\mu_p^n > 0.27$	沸騰式, 当 $\mu_p^n > 0.45$
干 煤			

在低压鍋爐中蒸发吸热需要量可达 70%, 仅靠爐膛中的輻射吸热, 不足完成要求。特别是火床爐子, 因理論燃烧温度低, 过量空气系数大及机械不完全燃烧损失多, 爐子輻射吸热不能达到所需热量, 因之低压鍋爐不可能單靠水冷牆受热面来供給蒸发所需的热量, 而必須在过热器前或后方都布置沸騰管束。对于低压鍋爐采用沸騰式省煤器来代替过热器后的第二沸騰管束是不适宜的, 因低压鍋爐給水除氧較差, 易致腐蝕。

在图 17.1 上也示出空气加热对于辐射利用热量 μ^p 及对流利用热量 μ^k 的影响。各箭头指出空气温度的关系。对于 200° 及 400°C 的温度, 辐射所传递的热量部分增加。

鍋爐容量变化时, 燃料消耗量也随之变化。容量增加时燃料消耗量增加, 爐膛容积 V_m 及爐膛表面积 H_{cm} 也随之增加。爐膛容积是根据爐子容积热强度 Q/V_m 計算的, 这与燃料的种类也有关系。大約的估計, 爐膛容积的增加与鍋爐容量及燃料消耗量的增加成正比, 但爐壁面积 (即可以布置水冷牆管子的面积) 并不和爐膛容积成正比, 而由下式来表示:

$$\frac{H_{cm_1}}{H_{cm_2}} = \left(\frac{V_{m_1}}{V_{m_2}} \right)^{\frac{2}{3}}$$

因此爐壁面积增加較慢。但是需要布置的辐射受热面只和鍋爐容量及燃料性質有关而有一定的数值, 在鍋爐容量增加到一定数量时, 爐壁面积就不够布置辐射受热面。所以一般在鍋爐容量大于 230 吨/时, 除布置水冷牆受热面外, 还需布置半辐射受热面 (如水冷屏) 或双面露光水冷牆受热面。

燃料种类对鍋爐整体布置有很大的影响。燃燒不同的燃料, 首先应考虑用那一种燃燒方法。当然, 燃燒方法还与鍋爐的容量大小有关, 大容量鍋爐無論从經濟上或技术上考虑, 都以用火室燃燒为佳; 小容量鍋爐当 $D < 40$ 吨/时*, 則以用火床燃燒为宜; 中等容量的鍋爐可用火室燃燒或火床燃燒, 視具体情况而定。

通常火床爐子适宜燃燒具有弱結焦性及煤块不太小的煤。对于无烟煤屑、泥煤屑等均不适宜, 鋸木屑及农作物廢料等需用特殊設計的

* 作者意見結合中国燃料及制造运行等情况, $D < 40$ 吨/时 以下的鍋爐, 均可以采用火床燃燒的爐子, 苏联則为 12 吨/时。

第 17.2 表 建議的火室爐子的型式(苏联)

燃 料	鍋爐蒸发量 吨/时	爐 子 結 構 型 式	
		建 議 的	可 代 用 的
无烟煤屑	≥ 20	煤粉爐 ^①	
瘦煤	≥ 12	煤粉爐 ^②	
烟煤 $V' < 80\%$	≥ 12	煤粉爐	
烟煤 $V' \geq 90\%$	≥ 12	煤粉爐	竖井磨煤机爐 ^③
选煤殘余 ^④	≥ 12	煤粉爐	
褐煤 $W^n \leq 15$	≥ 12	竖井磨煤机爐	煤粉爐
褐煤 $W^n = 15 \sim 30$	≤ 65	ИРТИ 歇尔斯涅夫气动爐子 ^⑤	
褐煤 $W^n = 15 \sim 30$	12 ~ 50	有壓煤通风机	竖井磨煤机爐 ^③
褐煤 $W^n = 15 \sim 30$	≥ 35	煤粉爐 ^⑥	竖井磨煤机爐 ^⑦
褐煤 $W^n > 30$	≥ 12	煤粉爐 ^⑥	竖井磨煤机爐 ^⑦
油頁岩	≥ 12	竖井磨煤机爐	煤粉爐
泥煤屑	≤ 75	ИРТИ 歇尔斯涅夫气动爐子 ^⑤	竖井磨煤机爐
泥煤屑	75	竖井磨煤机爐	
重油及煤气	无限制	火室爐子	

① 当燃燒无烟煤屑及瘦煤的鍋爐，蒸发量在 75 吨以上时，最好用热空气把煤粉送入爐子；

② 在煤的可磨度 $K_{10}^{gru} \geq 1.2$ 时采用；

③ 洗选当 $V' \geq 80\%$ ， $K_{10}^{gru} \geq 1.2$ ，蒸发量在 35 吨/时以下时，在有些情况下可采用竖井磨煤机爐子；

④ 建議用于 $W^n \leq 52\%$ 的多灰褐煤；

⑤ 帶有預先干燥的开放式或封闭式系統；

⑥ 帶有开放式煤粉制备系統；

⑦ 帶有半开放式干燥系統；

⑧ 除泥煤屑外不会用其它燃料时采用。

第 17.3 表 建議採用的火床爐子的型式 (蘇聯)

燃 料	鍋 爐 蒸 發 量 噸/時		
	2	4~10	12~20
无 烟 煤 (APIII, ACIII, AC, AM)	播散式爐子① 鍊条爐子		鍊条爐子
	人工燒火爐子		—
瘦 煤 (只是从开采粘結性小的煤的煤 矿中所出的瘦煤)	播散式爐子		—
	人工燒火爐子		—
烟煤,有火焰不粘結	播散式爐子 有移动平板的爐子		播散式鍊条爐子
	人工燒火爐子		鍊条爐子
烟煤,有火焰粘結	播散式爐子 有移动平板的爐子		播散式鍊条爐子
	人工燒火爐子		—
褐煤水分适中 ($W^n \leq 6$)	播散式爐子 有移动平板的爐子		播散式鍊式爐子 鍊条爐子
	人工燒火爐子	傾斜往复式爐子	—
褐煤水分較多 ($W^n = 6 \sim 15$)	播散式爐子 有移动平板的爐子		播散式鍊条爐子
	人工燒火爐子	傾斜往复式爐子	—
块狀泥煤 $W^n \leq 45\%$ $A^c \leq 10\%$	井式爐子②		井式鍊条爐③
油 頁 岩	播散式爐子	傾斜往复式爐子	
木 柴 屑	包曼朗采夫式 URTH 快速爐子		
	傾斜爐槽式爐子		

表內上面一行所寫的是建議採用的爐子結構型式；下面一行是可以代替的爐子型式。

① 對於蒸發量為 10 噸/時的鍋爐； ② 對於蒸發量在 6.5 噸/時以下的鍋爐；

③ 對於蒸發量為 10~230 噸/時的鍋爐。

爐子。有些燃料只适宜于火床燃燒，例如塊狀泥煤、木材等。

選擇爐子型式時，還注意火床與火室燃燒對燃料尺寸的要求是不同的。對火室爐子如大於 15 公厘的煤塊因磨細不易而不適當，對火床爐子可以燃燒較大煤塊或摻有少數碎煤的煤塊。

此外還應該注意燃料揮發物 V^v 的多少及可磨度 K_{80} 的大小，堅井式磨煤機爐宜於燃燒 V^v 及 K_{80} 較大的燃料。

選擇燃燒方法可參考蘇聯的資料（見表 17.2 及 17.3），同時也應考慮到我國的具體情況加以必要的修正。

在火室爐子中採用液態排渣或固態排渣，需要根據不同燃料進行技術經濟分析後才能決定。液態排渣時，灰渣的物理顯熱損失增加而機械不完全燃燒損失減少；固態排渣則反之。因此液態排渣對 V^v 及 A^v 低的燃料，例如瘦煤較宜，此時灰渣物理顯熱損失及機械不完全燃燒損失均較小。如用液態排渣及固態排渣爐子得到相同的鍋爐效率時，以用前者為宜，因可使煙氣流速提高而得到較佳的傳熱情況（指對流受熱面）。

燃料對磨煤系統也有影響，燃料水分高時應用開式或閉式系統須仔細考慮後決定。用閉式增加排氣帶走的热量損失，用開式則因干燥劑中有煤粉，增加機械不完全燃燒損失。一般對濕燃料宜用開式系統。

在圖 17.1 上也指出燃料中水分對於鍋爐整體熱力系統的影響。具有高的相當水分（12%）的燃料，即所謂濕燃料，當受熱面積不變時，易使氣體容積增加，而燃燒溫度與爐子末端的气体溫度降低。這將減少爐子中直接放熱的热量部分，而增加了对流受熱面的作用，特別是省煤器。

在高的給水溫度當燃燒濕燃料時，如在過熱器及省煤器之間不裝設汽鍋的对流受熱面（第二管束），則排氣溫度有時不能達到低的溫度數值。因此為了在設計時使燃用濕燃料的鍋爐整體的初價不貴，排氣

温度一般允許比干燃料高 $10 \sim 20^\circ\text{C}$ 。

排气温度对鍋爐整體的構造有很大的影响。这个温度的最佳数值，是根据增加末端受热面所需的費用与增加这些受热面使鍋爐設備排气热損失 q_2 减少而节省的燃料費用之間的經濟性比較來选定，也与国家的金屬与燃料政策有关。在近代鍋爐中，最佳的排气温度对于干燃料約为 $130 \sim 150^\circ\text{C}$ ；对于湿燃料約 $150 \sim 180^\circ\text{C}$ 。

爐子末端的气体温度，即是在費斯頓管或汽鍋对流部分前的温度，在很大程度上影响到鍋爐整體的構造及可靠性。这个温度的选择决定于灰分的軟化温度，在苏联动力装置中取用在 $950 \sim 1200^\circ\text{C}$ 的范围以内。对于沒有灰的燃料（气体的、液体的、木柴），爐子末端温度的选择系根据对流与辐射受热面的价格比較来决定。在大型鍋爐中，計算出的水冷牆受热面，全部放置在爐壁上有困难，因此爐壁的表面需要增加，这有时是用降低爐子容积热强度来达到，当然降低也有一定限度，爐子容积热强度的数据选取可參閱十九章第 19.2、19.3 及 19.4 表。

在近代的鍋爐中，蒸汽过热器即放在不大的費斯頓管的后方。在这种布置中，增加了过热器由辐射吸收的热量。当蒸汽参数提高时，气体与过热器中的温度差减少（图 17.2）。例如，对于 175 大气压的鍋爐温度差仅为 $35 \sim 40^\circ\text{C}$ ，由于这个原因，过热器受热面的热力工作沒有什么利益。因此当蒸汽参数提高

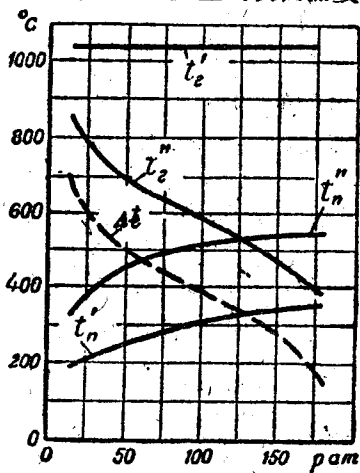


图 17.2 蒸汽参数对过热器的温度特性的影响。 t'_n, t''_n —过热器进出口的蒸汽温度； t'_g, t''_g —过热器前后的气体温度； Δt —过热器中的平均温差。

时,过热器的受热面必需移向比較高的气体温度区域。在个别情形中,过热器一部分放在爐子中的一个墙上或沒有水冷管的爐子頂部上。輻射式过热器在运行中有許多困难,使管子有燒坏的危險,特別是在鍋爐生火时。然而現在鍋爐制造工厂已能解决这种輻射式过热器在这方面的問題了。

燃料的灰分对于鍋爐整体構造有一定的影响:当燃料的相当灰分高时($>5\%$),烟气中高速度的飞灰作用到金屬上,使金屬磨耗,有时使鍋爐的管子破裂。在抽风机中,飞灰很快的磨坏叶片及轉輪以及蝸牛形壳等,使抽风裝置修理費用增加。磨耗的程度大小,决定于烟气中的灰量及烟气的速度。苏联許多的研究工作証明,磨耗与灰分容积濃度成比例,而与气体速度的三次方成比例。因此設計使用多灰燃料的鍋爐整体时,在管束中的气体速度不能选择过高,虽然較高的速度对傳热是有利的。当燃燒灰分少或沒有灰分的燃料(气体及油等)时,气体速度的选择系根据因速度提高而减少受热面的費用,与产生这較高速度所需增大抽风裝置的較大容量及电能消耗費用的比較来决定。

第二节 过热器、省煤器与空气預热器的布置

(一) 过热器的布置

过热器的布置主要可分为水平式放置和垂直式放置两种,尚有一些过热器是傾斜式放置的。图 17.3 及 17.4 中表示出水平放置及傾斜放置的各式过热器。在其中图 17.3 *b*, *б* 及 *в*——蛇形管悬挂在过热器本身的管子上,图 17.3 *a*——部分蛇形管悬挂在第二級过热器上及水冷牆管子上,图 17.4 *a*——蛇形管悬挂在耐热的挂座上。

耐热挂座应当考虑到在介質中形成氧化的問題。按照重量挂座能达到过热器重量的 10% 或更多,挂座价貴,有时几与过热器的价值相