

內 容 提 要

本书内容主要按照中等专业学校鍋炉制造专业“鍋炉設備”課程的現行教学大綱編写的,分上下两册出版。下册包括炉子設備、除尘与除灰、鍋炉机組的构架、炉牆、管制件与管道、給水設備、通风、零件强度計算、以及鍋炉机組的布置、鍋炉的运行与机組的热力計算。

本书可供中等专业学校“鍋炉設備”課程作为教学用书,对从事鍋炉制造和設計的技术人員亦有一定的参考价值。

鍋 炉 設 备

(下 册)

龔洪年 陈之航 何家室 編著

上海科学技术出版社出版 (上海瑞金二路150号)

上海市书刊出版业营业許可証出 093 号

上海市印刷五厂印刷 新华书店上海发行所发行

开本 850×1168 1/32 印张 9 21/32 排版字数 249,000

1959年4月第1版 1961年7月第7次印刷

印数 13,501—14,909 (其中簡裝本 2,000 册)

統一书号 15119·1248 定价 (科五) 1.10 元

下 册 目 录

第十二章 燃料的燃烧过程和炉子设备..... 1

12-1 概述	1	12-10 井式磨煤机的煤粉制备系统	43
12-2 燃料的燃烧过程	3	12-11 气力式磨煤机的煤粉制备系统	47
12-3 炉子的特性及分类	6	12-12 空气锤击式磨煤机的煤粉制备系统	49
12-4 人工操作的层式燃烧炉子	7	12-13 煤粉喷燃器	50
12-5 半机械化的层式燃烧炉子	17	12-14 固态除灰的煤粉炉子	55
12-6 机械化的层式燃烧炉子	20	12-15 液态除灰的煤粉炉子	60
12-7 鍊条炉排炉子	22	12-16 旋风燃烧炉子	62
12-8 煤粉炉子的优缺点及其燃用的燃料	33	12-17 燃用液体燃料的炉子	64
12-9 球磨机煤粉制备系统	35	12-18 燃用气体燃料的炉子	66

第十三章 除尘与除灰..... 75

13-1 除尘的重要性	75	13-7 机械除灰	82
13-2 机械除尘器	76	13-8 气力除灰	83
13-3 湿式除尘器	79	13-9 锅炉房内的低压水力除灰	84
13-4 电气除尘器	80	13-10 利用灰浆泵的水力除灰	85
13-5 除灰系统概述	81	13-11 高压水力除灰	87
13-6 人工除灰	81		

第十四章 锅炉机组的构架、炉墙与附件..... 89

14-1 概述	89	14-3 炉墙	92
14-2 构架	89	14-4 附件	95

第十五章 鍋爐機組的管制件和管道 102

- | | |
|----------------------|--------------------|
| 15-1 概述.....102 | 15-6 蒸汽截断閥.....122 |
| 15-2 安全閥.....102 | 15-7 排污閥.....124 |
| 15-3 压力表.....111 | 15-8 給水管道.....126 |
| 15-4 水位指示器.....113 | 15-9 蒸汽管道.....128 |
| 15-5 給水管的管制件.....119 | |

第十六章 給水設備 135

- | | |
|------------------|---------------------|
| 16-1 概述.....135 | 16-3 活塞式給水泵.....137 |
| 16-2 射水器.....136 | 16-4 离心式給水泵.....139 |

第十七章 鍋爐機組的通风 140

- | | |
|--------------------------------|----------------------|
| 17-1 概述.....140 | 17-3 自然通风.....143 |
| 17-2 空气及烟气流程中阻力
的計算.....141 | 17-4 人工通风.....146 |
| | 17-5 通风設備的調节.....150 |

第十八章 鍋爐機組零件的强度計算 153

- | | |
|-----------------------|-----------------------|
| 18-1 許用应力的選擇.....153 | 18-5 凸形封头的計算.....175 |
| 18-2 鍋筒的計算.....156 | 18-6 平板形封头的計算.....178 |
| 18-3 圓筒形集箱的計算.....168 | 18-7 矩形集箱的計算.....182 |
| 18-4 管子的計算.....172 | |

第十九章 鍋爐機組的布置 193

- | | |
|----------------------------------|-------------------------------------|
| 19-1 鍋爐機組的总体布置...193 | 19-3 燃料性質对鍋爐機組的
工作和布置的影响.....204 |
| 19-2 鍋爐機組的蒸汽参数和
蒸发量对其布置的影响199 | |

第二十章 鍋爐機組的热力計算 207

- | | |
|-------------------------------|------------------------|
| 20-1 概述.....207 | 20-6 傳热系数.....232 |
| 20-2 准备計算.....208 | 20-7 斜垂管束的計算方法...255 |
| 20-3 炉子的計算.....213 | 20-8 鍋爐管束的計算方法...256 |
| 20-4 对流受热面的基本計算
公式.....226 | 20-9 对流过热器的計算方法256 |
| 20-5 平均溫差.....227 | 20-10 省煤器的計算方法.....258 |
| | 20-11 空气预热器的計算方法258 |

第二十一章 鍋炉的运行277

21-1 概述.....277	21-5 高压鍋炉的升火特点...281
21-2 鍋炉的升火.....278	21-6 单流鍋炉的升火特点...283
21-3 鍋炉的升压.....280	21-7 鍋炉运行时的管理.....285
21-4 併炉(或接入工作).....281	21-8 鍋炉机組的停炉.....289

附录一 蒸汽和水的焓和比容294**附录二 水和水蒸汽的动力粘度系数、导热系数和柏朗特尔
准則302****附录三 空气和烟气的动粘度系数、导热系数和柏朗特尔准
則305**

第十二章 燃料的燃燒过程与 炉子設備

12-1 概 述

炉子在鍋炉机組中是用来燃燒燃料和收集灰渣的装置,为了減輕体力劳动、控制燃燒过程,必須另外装置一部分輔助炉子工作的机构(如加料、撥火及除灰除渣等)。这些机构和炉子在一起便組成了所謂炉子設備,对它的基本要求是:

1. 工作要安全、可靠而經濟;
2. 构造簡單、成本低廉、安装、修理和运行方便;
3. 适应所燃用的燃料——尽量做到能燃用地方性燃料、劣質燃料和多种燃料;
4. 适应鍋炉的出力,尽量使設備做到机械化或自动化。

影响炉子設備的主要因素大致为:燃料的种类或物理状态(固体、液体或气体燃料)、燃料的物理化学性質、炉子的位置(鍋筒內面或外面裝置的炉子等)、炉子的操作方式(人工、半机械化或机械化等)以及燃料的供給方式和燃燒方式(上飼式、下飼式、层式或悬浮式燃燒等方式)等等。

图 12-1 所示,为燃料的三种燃燒方式,其工作情况大致如下:

1. 层式燃燒(图 12-1, a) 即燃料在火床炉子中的燃燒,燃料中的焦炭在燃料层中燃燒,而其中的揮发物則与通过炉排的空气汇合在炉膛內燃燒。由于燃料投入炉內受着两面加热、容易着火、燃燒時間不受限制(鏈条炉子除外),所以能燃用各种固体燃料、运

行簡便而且工作可靠。但为了不加大漏料和飞灰损失,对于燃料最好具有一定的大小。

2. 悬浮式燃烧(图 12-1, a) 即燃料在火室炉子中的燃烧,燃料和一次风、二次风经过喷燃器喷入炉内后,一面着火燃烧,一面随同烟气流动,因而形成悬浮状态的燃烧。这种炉子可以燃用气体、液体燃料,对于固体燃料必须磨制成粉末状态,以便在一定时间(1~2 秒)内完全燃烧。此外,炉内没有贮备的燃料,在运行不当时很易熄火。

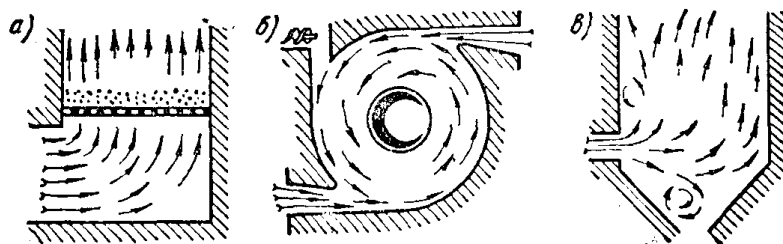


图 12-1 燃料燃烧的基本方式

3. 旋风式燃烧(图 12-1, b) 即燃料在旋风炉内的燃烧,这种燃烧过程介乎悬浮及层式燃烧之间,燃料和一次风、二次风进入炉内后,在形成旋涡运动的烟气-空气气流中进行混合和燃烧,直到完全烧尽以后方被排出炉膛。因此,这种燃烧方式可以燃用不经筛分的燃料(固体燃料的大小约 2~10 公厘),还能燃用农产物废料(胡桃壳、麦秸、甘蔗皮等),炉内有一定的贮备燃料,燃料与空气能充分混合而且不受时间的限制,所以燃烧过程强烈、工作稳定,为现代炉子设备开辟了新的燃烧途径。

从苏联的炉子设备发展过程中可以看出:首先是解决燃用地方性劣质燃料的问题,其次是改进炉子的操作过程,使炉子设备日益机械化和自动化,最后就是研究和制订新型的加强燃烧的炉子设备、节约燃料以及减少燃料制备所耗用的能量。这三个发展阶段事实上并没有严格的界限,但是清楚地反映了炉子设备的三个

发展方向。在苏联,已經完全掌握了燃用地方性低质燃料的方法;已将层式和悬浮式燃燒的炉子效率提到很高;看出了这两种燃燒方法的局限性,只有旋风式燃燒具有这两种方法的优点,但其中某些問題尙有待进一步的研究。

12-2 燃料的燃燒过程

由燃料燃燒一章中的图 4-1 可以看出,任何燃料的燃燒过程都經過下列三个阶段:

1. 点火(着火)阶段——燃料开始受热、干燥和发出揮发物的过程;
2. 燃燒阶段——揮发物及固体焦炭的燃燒过程;
3. 燃尽阶段——燃料完全燃燒后成灰的过程。

现将固体燃料、液体燃料和气体燃料的燃燒过程分別簡述如下。

1. 图 12-2 和图 12-3 分別表示固体燃料悬浮燃燒和层式燃燒的过程。固体燃料被噴入或投入炉内后,便与已燃燒的燃料和热烟气相接触,同时受到炉墙及火焰的輻射而逐渐提高了本身的温度。当温度升高到 $100\sim 105^{\circ}\text{C}$ 时,便迅速干燥了燃料中所含的水分;当温度升到 $300\sim 400^{\circ}\text{C}$ 或更高时,即将其中的揮发物和焦炭析出,开始着火燃燒,这时便需要加强二次风的扰动作用(如图 12-2 中的二次风)和一次风的流量(在图 12-3 所示火床炉子炉排下面的空气)来加速燃燒过程,使燃料本身的温度增到很高。图 12-3 中所示的层式燃燒的燃料层的最高温度約 1800°C (无烟煤的数据),在这燃料层的上方因有沸水管受热面的吸热关系而使温度减低。

在燃料中的揮发物及焦炭燃燒以后,便是产生灰渣的过程,这个过程与司炉的操作、燃料的含灰量及灰分性質、燃料顆粒的大小等因素有关系。

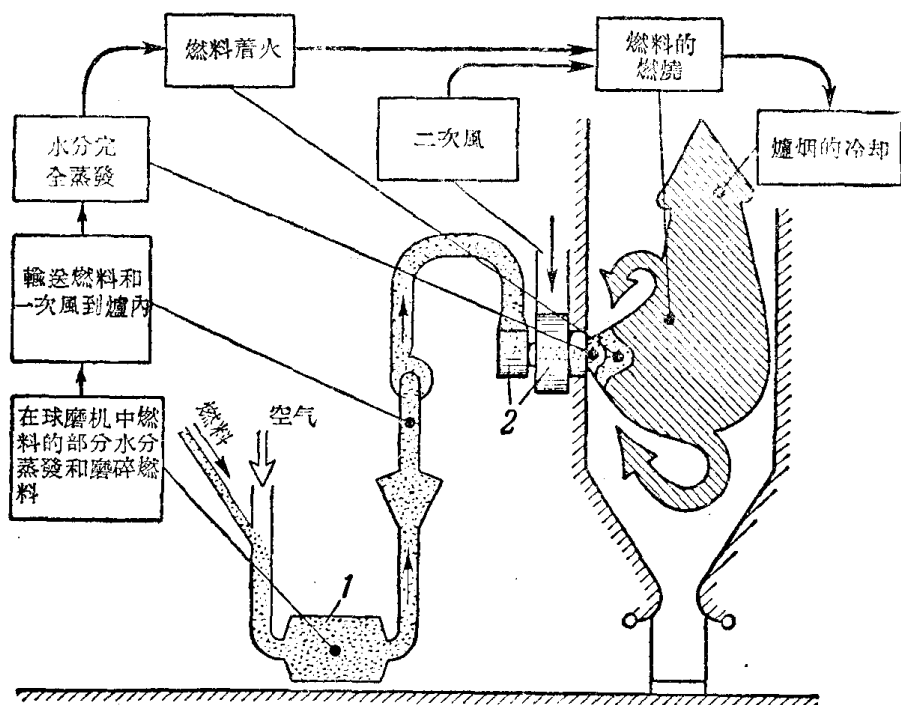


图 12-2 煤粉的悬浮燃燒过程

1—磨煤机； 2—噴嘴。

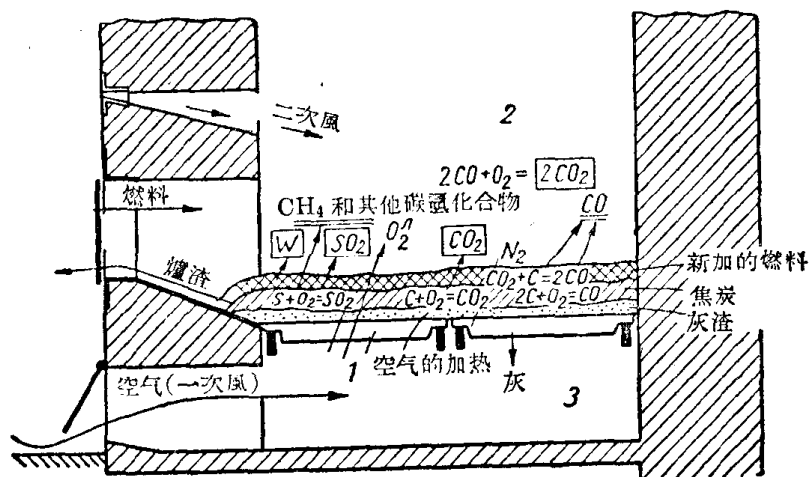


图 12-3 固体燃料的层式燃燒过程

1—炉排； 2—炉膛； 3—灰坑。

2. 液体燃料一般可以認為是无灰、无水的燃料,用于悬浮式燃燒的炉子設備。这种燃料虽无水分,无需干燥,但必須經過霧化器霧化以便扩大它的受热表面而有利于汽化,才能燃燒良好,而燃料的霧化又必須預先加热以降低其粘度和表面張力,因此,要燃燒液体燃料不能不預先将其加热。鍋炉机組中所常用的液体燃料是重油,其燃燒过程如下:

将重油預热到 $90 \sim 100^{\circ}\text{C}$ → 噴霧器噴入炉內 → 霧化油粒吸热使温度上升到 200°C 开始汽化 → $200 \sim 300^{\circ}\text{C}$ 氧化 → $300 \sim 500^{\circ}\text{C}$ 着火 → $500 \sim 700^{\circ}\text{C}$ 热裂燃燒。

燃燒过程与炉內温度有关系: 烟温越高,燃燒越良好。汽化速度不但与温度有关,而且与霧化的程度有联系;温度越高,霧化越細越均匀,則汽化越容易,燃燒也越良好。

3. 气体燃料的燃燒比上述两种燃料都簡便,而且輸送容易。其燃燒阶段是:加热、着火、燃燒成烟气。气体燃料(尤其是高炉煤气)常因其热值低、含有其他杂质、灰屑而使其燃燒复杂化。

在燃燒气体燃料时必须保証:

(1) 与空气良好地混合,否則,其燃燒火焰很长,完成燃燒反应的时间也长,这时則須加大炉膛的尺寸。

(2) 有高的燃燒温度,因此可預先加热燃料和空气,过量空气要少。

表 12-1

气 体 或 燃 料	着 火 温 度 $^{\circ}\text{C}$
氢 H_2	600
一氧化碳 CO	650
甲烷 CH_4	650 ~ 750
木材、泥煤、褐煤	250
烟煤	300 ~ 350
瘦煤、无烟煤、焦炭	650 ~ 800
重油	500 ~ 650
高炉煤气	700 ~ 800

由表 12-1 中可以看出,燃料的着火温度决定于其中所含的成分。固体燃料的着火温度随着所含挥发物的多少而不同,挥发物越多,着火温度越低,也就是越容易着火。

12.3 炉子的特性及分类

炉子设备可以按燃烧方式分为层式燃烧炉子(火床炉)、悬浮燃烧炉子(火室炉)和旋风式燃烧炉子三大类,其中除了层式燃烧炉子可再按加料、拨火和排灰的操作机械化程度分成人工、半机械化和机械化炉子以外,其余两种都是机械化或自动化操作的。

炉子的主要特性为:

1. 炉排(或燃烧面)热负荷 $\frac{Q}{R}$, 是燃料完全燃烧时每小时每平方公尺燃烧面上所发出的热量,即

$$\frac{Q}{R} = \frac{BQ_n^p}{R}, \text{大卡/公尺}^2 \cdot \text{时} \quad (12-1)$$

式中 R ——炉排的有效面积(或燃烧面),平方公尺;随着炉子构造的不同,燃烧面的面积可能不等于炉排面积;

B ——每小时燃用的燃料消耗量,公斤/时;

Q_n^p ——燃料的低发热量,大卡/公斤。

层式燃烧炉子的炉排热负荷一般为 $(500 \sim 1500) \times 10^3$ 大卡/公尺²·时,依炉子的构造和燃料的种类而定。

2. 炉膛热负荷 $\frac{Q}{V_m}$, 即燃料完全燃烧时每小时每立方公尺炉膛容积所发出的热量,即

$$\frac{Q}{V_m} = \frac{BQ_n^p}{V_m}, \text{大卡/公尺}^3 \cdot \text{时}, \quad (12-2)$$

式中 V_m ——炉膛容积,立方公尺。

悬浮式燃烧炉子的炉膛热负荷一般为 $(100 \sim 300) \times 10^3$ 大卡/公尺²·时。在层式燃烧炉子中由于燃料的燃烧一部分在燃料层中,

而另一部分在炉膛中,两部分所发出的热决定于挥发物和燃料层的全部燃烧过程,所以层式燃烧炉子的炉膛热负荷可近似地采用上式来计算,其值一般为 $(200 \sim 300) \times 10^3$ 大卡/公尺³·时。

3. 为了表明炉内空气工作情况,必需标出:炉内过量空气系数 α_m 、进入炉内的空气压力 P_0 和温度 t_0 。

4. 为了表明炉子燃烧过程的经济性,一般指出炉子的 q_3 、 q_4 损失数值,这两种数值,层式燃烧炉一般都比悬浮燃烧炉子大些。

5. 在比较炉子的工作时,炉子的构造和炉内过程的机械化和自动化的程度是极其重要的指标。

例题 12-1 已知燃用烟煤的锅炉,其蒸发量 $D = 60$ 吨/时,蒸汽参数 $P = 40$ 绝对大气压, $t_n = 450^\circ\text{C}$, 锅炉效率 $\eta_k = 86\%$, 给水温度 $t_n = 150^\circ\text{C}$, 求所需鍊条炉排面积及炉膛容积。

解 根据 (12-1) 式可以求得炉排面积为(设 $Q_p^p = Q_n^p$)

$$R = \frac{BQ_n^p}{\left(\frac{Q}{R}\right)} = \frac{D(i_{ne} - i_{no})}{\left(\frac{Q}{R}\right)\eta_k}$$

选取 $\frac{Q}{R} = 900 \times 10^3$ 大卡/公尺²·时

则 $R = \frac{60 \times 10^3 (807.1 - 150)}{900 \times 10^3 \times 0.86} = 51$ 公尺²

同样,选取 $\frac{Q}{V_m} = 250 \times 10^3$ 大卡/公尺³·时,并按 (12-2) 式求得炉膛容积为

$$V_m = \frac{BQ_n^p}{\left(\frac{Q}{V_m}\right)} = \frac{D(i_{ne} - i_{no})}{\left(\frac{Q}{V_m}\right)\eta_k} = \frac{60 \times 10^3 (807.1 - 150)}{250 \times 10^3 \times 0.86} = 184$$
 公尺³

12.4 人工操作的层式燃烧炉子

这类炉子的构造最简单,但最不完善。对于加料、撥火和排灰都要耗费很大的体力劳动,所以只用于蒸发量 $D \leq 6 \sim 8$ 吨/时的小型锅炉设备中。

1. 人工操作炉子的构造特点 人工操作炉子的宽度是与锅炉

的大小相适应的,沿着炉寬裝置加料門,人工操作炉子的加料門一般不許超出 4 个,其关系如下:

鍋炉的寬度(公厘)	炉門的数目
600~1400	1
1500~2600	2
2700~3500	3

炉长(即炉子的深度)决定于人工加煤的方便与否,一般不应超过 2~2.4 公尺,因为过长的炉子可能在炉排后部引入过多的空气而降低了炉子的經濟性。

炉高决定于所燃燒的燃料的种类:含揮发物較少的燃料采用較低的炉膛,一般約为 2~2.5 公尺(如图 12-4);含揮发物多的,需用較高的炉膛,約为 2.5~3.5 公尺(如图 12-5)。

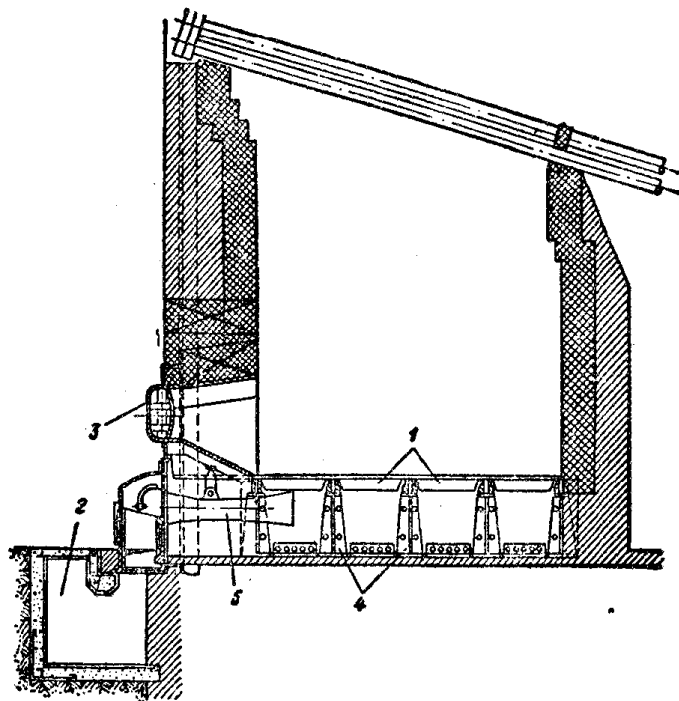


图 12-4 燃燒无烟煤的炉子构造

1—炉排; 2—空气通道; 3—門; 4—支柱; 5—噴嘴。

表 12-2

燃料种类	建議采用 的蒸发量 (吨/时)	炉排有效断面 f_{acc} (%)	炉排到鍋炉最下列管 的中点或无水冷炉于 上炉膛的中点的距离 (公尺)	炉排到炉 門下边缘 的距离 (公尺)	燃料厚度	
					包括灰渣 基的厚度 (公尺)	燃料层淨厚 度 (公尺)
无烟煤 AG, AM 无烟煤 AC 无烟煤 APIH		10~12% (板状炉排, 采用空气或 蒸汽通风)	2~2.1 2.2 2.5	240	200~250	70~150
烟煤 II 及 I'	不大于 6~7	10~15% (板状炉排, 人工通风)				
优质褐煤 ($W.P. < 25\%$) 莫斯科近郊褐煤		10~15% (板状炉排, 人工通风)	不大于 3	400~350 500~550	400~500	100~150
木柴	2~4	20~40% (棒状炉排, 自然通风或 人工通风)	2.5~3.0	1000	500~1400	
泥煤	不大于 3	20~40% (棒状炉排, 自然通风) 12~15% (板状炉排, 人工通风)	2.5~3.0	不小于 500	500~300	

各 种 炉 型 的 参 数

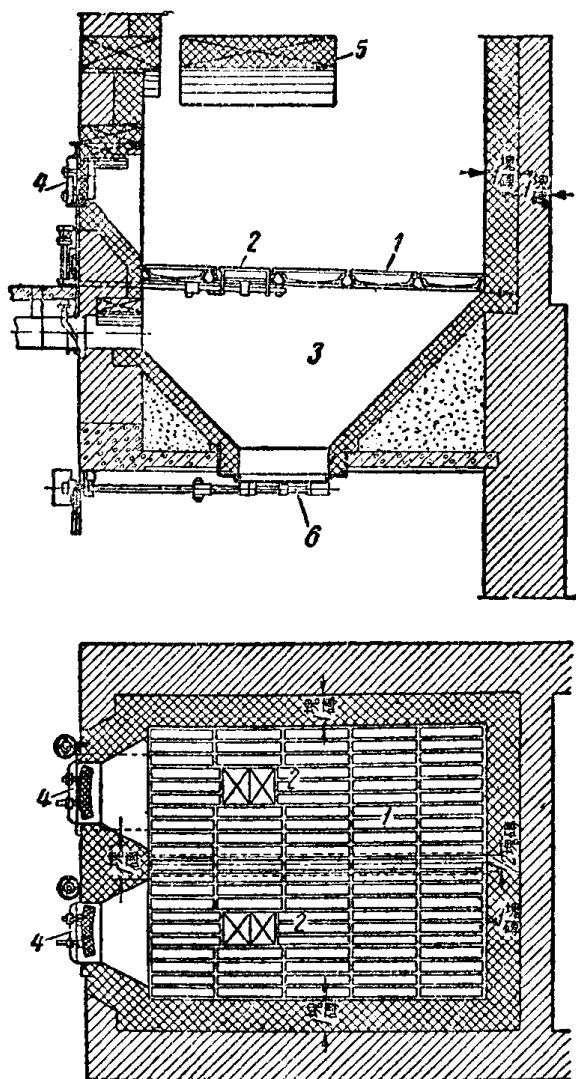


图 12-6 燃烧褐煤的炉子

1—棒状炉排； 2—除渣的转动炉排； 3—灰渣斗； 4—炉门；
5—炉拱； 6—滑门。

(1) 棒状炉排(图 12 7, a)是由生铁铸成的片状炉条组成的。炉条的两端和中部具有凸起部分, 因此排列在支梁上时便形成了流通空气的间隙。炉条有足够的高度, 以增高炉条的强度和利于冷却炉条, 同时也加热了进入炉内的空气。

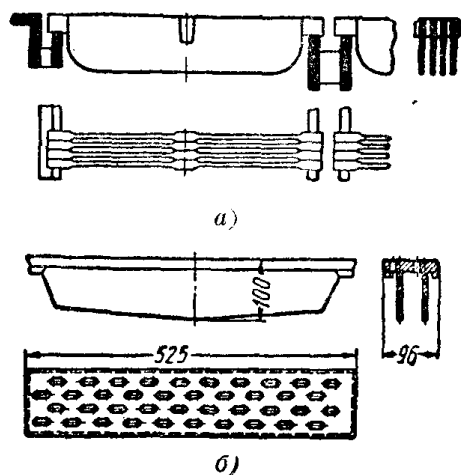


图 12-7 人工操作炉子用的炉排

a—棒状炉排； b—板状炉排

(2) 板状炉排 (图 12-7, b) 也是生铁鑄成的。板上有圆形孔或长圆形孔, 这些孔的纵断面都成上小下大的梯形, 以便灰渣下落时不会发生堵塞的现象。板下有加强肋, 用来加强炉排强度, 冷却炉排和加热空气。

炉排各间隙断面面积之和 $\Sigma F_{\text{жс}}$ 与炉排总面积 R 之比叫炉排的有效断面 $f_{\text{жс}}$, 即

$$f_{\text{жс}} = \frac{\Sigma F_{\text{жс}}}{R}, 100\%$$

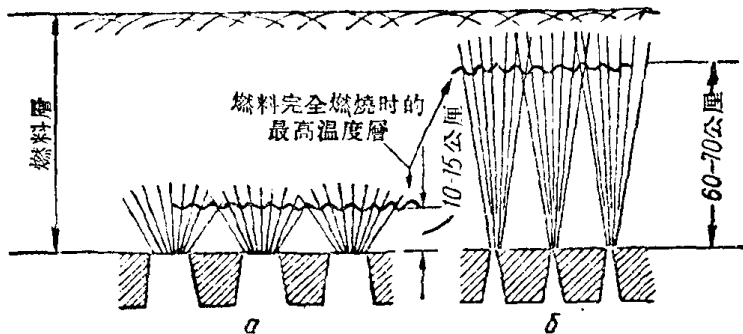


图 12-8 空气流过燃料层的分配情形

a—有效断面较大的炉排； b—有效断面较小的炉排。

由图 12-8 可以看出,空气刚进入炉排时,由于分布不均(正对间隙的地方空气过量,其他则不足)、燃烧不强烈,所以燃烧温度不高,只有在空气流汇合处,空气均匀分布才能使燃烧温度达到最高。而这种最高温度层距离炉排的高度却与炉排有效断面积有关:有效断面 $f_{\text{нс}}$ 越小,空气流的汇合处越高,则最高温度层离炉排越远;反之则越近。

在层式燃烧炉内,由于燃料的燃烧过程分别在炉膛和燃料层中进行,因此含挥发物多的燃料在燃烧时的炉膛放热较大,而燃料层中的放热较少。在这种情况下最高温度层离炉排近,不会烧坏炉排,所以能采用 $f_{\text{нс}}$ 较大的棒状炉排。但燃用挥发物较少的燃料时,燃料层中的放热大于炉膛放热,这时最高温度层的温度很高,超过了灰分熔点。因此要使空气流汇合处较高,而且还要有适当的灰渣垫,以防炉排过热和阻塞通风孔。对于这种燃料,尤其是 AIII 煤,除了采用 $f_{\text{нс}}$ 较小的板状炉排以外,还要进行人工通风克服空气的流动阻力,或用蒸汽通风以加强炉排的冷却。所以炉排的有效断面 $f_{\text{нс}}$ 是与燃料的种类有关系的,其详细数据列于表 12-2 中。

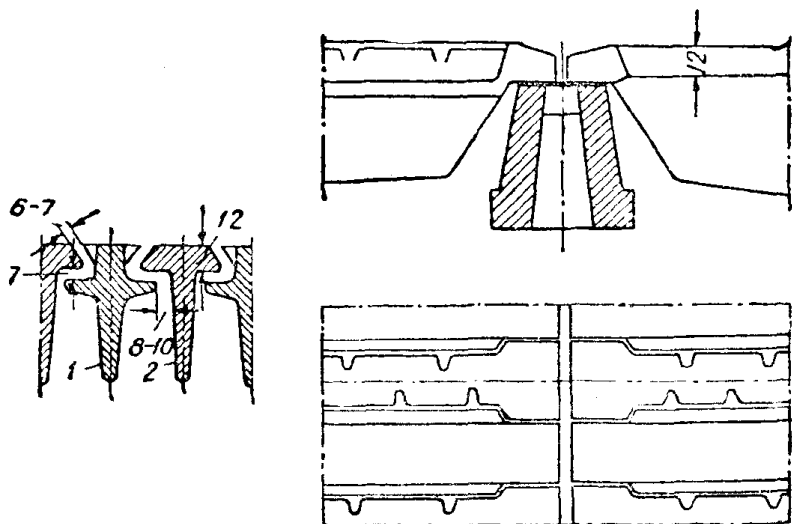


图 12-9 不漏料炉排

1—主炉条; 2—副炉条。