

冶金爐課程設計指導書

(金屬加熱爐部分)

北京鋼鐵工業學院

冶金爐教研組

1959.9

幾点說明

一、本資料供学习普通冶金爐課的学生作冶金爐課程設計参考之用。

二、本資料是針對加热金屬的火焰爐而編写的，資料的个别部分亦可供其他类型冶金爐做热工計算时的参考。

三、为了照顧課程設計和課堂講授的理論相互配合。因此有关經驗方法和数据介紹得不多。

四、为了使資料簡短，因此在热工計算內容上，各种热工計算方法等方面，介紹的不够完整。

五、冶金爐課程設計是学习冶金爐課程的总结，通过課程設計加深对冶金爐課程的理解，学习初步掌握冶金爐設計的方法，在設計过程中应注意培养独立工作和联系实际的能力。

六、全部設計內容包括两个大部分，即計算說明部分和制图部分。

目 錄

第一部分計算說明部分

第一章 燃料燃燒計算.....	2—9
一、燃料供用成分的求算.....	2
二、燃料发热量的計算.....	4
三、过剩空气系数的决定.....	4
四、求 算.....	7
(一) 空气消耗量.....	7
(二) 燃燒产物量.....	7
(三) 理論燃燒溫度.....	7
五、求燃燒产物中 CO_2 和 H_2O 的含量.....	8
六、燃燒产物重度.....	9
第二章 爐形和加热制度，爐溫制度的選擇.....	10—16
一、爐形選擇.....	10
二、加热制度和爐溫制度的决定.....	11
第三章 加热時間計算.....	17—39
一、經驗公式方法求全加热時間.....	17
二、图表法求加热時間.....	17
三、均热的时间計算.....	36
四、薄材的加热時間計算.....	37
第四章 决定爐膛的基本尺寸或爐子的个数（組数）.....	40—41
一、連續爐、室狀爐和薄板用爐.....	40
二、均热爐和蓄热式活底加热爐.....	40
第五章 爐体各部耐火材料的選擇及其厚度的决定.....	42—44
第六章 爐膛热平衡計算.....	45—52
一、热的收入各項.....	45
二、热的支出各項.....	45
三、求燃料消耗量.....	51
四、燃料有效利用系数.....	52
五、热平衡表.....	52
第七章 燃燒裝置的選擇及其計算.....	53
一、固体燃料燃燒室的計算.....	53
二、粉煤燃燒器.....	56
三、液体燃料噴咀的選擇.....	56
四、气体燃料燒咀的選擇.....	57
第八章 預热設備的選擇和計算.....	58

一、换热器計算.....	58
(一) 計算的已知条件.....	58
(二) 計算的内容.....	59
(三) 换热器的类别簡介.....	62
(四) 金屬换热器計算.....	63
(五) 陶瓷换热器計算.....	77
二、蓄热室計算.....	86
(一) 計算的已知条件.....	86
(二) 計算的内容.....	86
第九章 烟道、煤气管道、空气管道尺寸的决定.....	95
一、烟 道.....	95
二、煤气管道和空气管道.....	95
第十章 气体力学計算 (从略).....	95
第十一章 經濟部分計算 (从略).....	95

第二部分 制圖部分

一、制图步驟.....	97
二、制图的注意事項.....	97
三、加热爐砌磚参考資料.....	99
(一) 加热爐常用耐火磚的形狀和尺寸.....	99
(二) 确定爐子砌体尺寸的参考資料.....	103
(三) 砌每米 ³ 爐圍所需的材料及人工.....	105
四、拱頂的标准跨度和砌磚.....	107
五、爐 門.....	108
六、烟 道.....	110
七、金屬結構.....	110
八、冶金厂常用的金屬加热爐图例.....	116

第一部分 計算說明部分

計算部分內容

1. 燃料燃燒計算;
2. 爐形和加熱制度、爐溫制度的選擇;
3. 金屬加熱時間計算;

設計時，首先應用經驗公式作大略計算，粗略確定出爐膛尺寸，然後再用資料中所介紹的方法作詳細計算;

4. 決定爐膛的基本尺寸或爐子的個數（組數）;
5. 爐體各部分耐火材料的選擇及其厚度的決定;
6. 燃料消耗量的計算;

根據爐膛熱平衡計算求出所需的燃料消耗量;

7. 燃燒裝置的選擇或計算;
8. 預熱設備的選擇和計算;
9. 煙道、煤氣管道、空氣管道尺寸的決定;
10. 氣體力學計算;

這一部分在作課程設計時從略;

11. 經濟部分計算;

這一部分在作課程設計時從略;

說明部分內容

除了在各項計算內容里附加必要的文字說明之外，並應在說明書之最前面，對所設計的爐子加以概括的描述，此概述中要說明：爐子的用途，爐型選擇（例如：兩段或三段，有下加熱或無下加熱），及溫度制度選擇的根據。加料及出料方式，爐子主要尺寸。燃料類別，燃燒方法，燃燒裝置的位置。燃料消耗量，空氣消耗量，預熱方式，預熱設備的類別、選擇根據及其安放位置。供給空氣及排除廢氣的設備以及設計中採用了那些先進技術，有那些獨創之處，所設計爐子的主要優點和缺點等。

第一章 燃料燃燒計算

一、燃料供用成分的求算

(一) 固体燃料和液体燃料
利用表 1 查出換算系数

固体燃料成分的換算系数 K

表 1

已知成的 燃分	欲 換 算 的 燃 料 成 分			
	有机質 “机”	理想可燃質 “燃”	干燥質 “干”	供用質 “用”
有机質 “机”	1	$\frac{100 - S_{\text{燃}}}{100}$	$\frac{100 - (S^{\text{干}} + A^{\text{干}})}{100}$	$\frac{100 - (S^{\text{用}} + A^{\text{用}} + W^{\text{用}})}{100}$
理想可燃質 “燃”	$\frac{100}{100 - S_{\text{燃}}}$	1	$\frac{100 - A^{\text{干}}}{100}$	$\frac{100 - (A^{\text{用}} + W^{\text{用}})}{100}$
干燥質 “干”	$\frac{100}{100 - (S^{\text{干}} + A^{\text{干}})}$	$\frac{100}{100 - A^{\text{干}}}$	1	$\frac{100 - W^{\text{用}}}{100}$
供用質 “用”	$\frac{100}{100 - (S^{\text{用}} + A^{\text{用}} + W^{\text{用}})}$	$\frac{100}{100 - (A^{\text{用}} + W^{\text{用}})}$	$\frac{100}{100 - W^{\text{用}}}$	1

[註]: 燃料之供用成分: $C^{\text{用}} + H^{\text{用}} + O^{\text{用}} + N^{\text{用}} + S^{\text{用}} + A^{\text{用}} + W^{\text{用}} = 100\%$

燃料之干燥成分: $C^{\text{干}} + H^{\text{干}} + O^{\text{干}} + N^{\text{干}} + S^{\text{干}} + A^{\text{干}} = 100\%$

燃料之可燃成分: $C^{\text{燃}} + H^{\text{燃}} + O^{\text{燃}} + N^{\text{燃}} + S^{\text{燃}} = 100\%$

燃料之有机成分: $C^{\text{机}} + H^{\text{机}} + O^{\text{机}} + N^{\text{机}} = 100\%$

例题 1 已知煤的有机成分為:

$$C^{\text{机}} = 77.92\% \quad H^{\text{机}} = 4.83\% \quad N^{\text{机}} = 1.00\% \quad O^{\text{机}} = 16.25\%$$

設供用燃料之水分、含硫量、灰分別為: -

$$W^{\text{用}} = 7.28\% \quad S^{\text{用}} = 1.25\% \quad A^{\text{用}} = 14.42\%$$

求燃料之供用成分。

查表 1, 得換算系数 K 為

$$K = \frac{100 - (S^{\text{用}} + A^{\text{用}} + W^{\text{用}})}{100} = \frac{100 - (1.25 + 14.42 + 7.28)}{100} = 0.77$$

則得:

$$C^{\text{用}} = 0.77 \times C^{\text{机}} = 0.77 \times 77.92\% = 60.04\%$$

$$H^{\text{用}} = 0.77 \times H^{\text{机}} = 0.77 \times 4.83\% = 3.72\%$$

$$N^{\text{用}} = 0.77 \times N^{\text{机}} = 0.77 \times 1.00\% = 0.77\%$$

$$O_{用} = 0.77 \times O_{机} = 0.77 \times 16.25\% = 12.52\%$$

燃料之供用成分為

C _用 %	H _用 %	N _用 %	O _用 %	S _用 %	A _用 %	W _用 %
60.04	3.72	0.77	12.52	1.25	14.42	7.28

(二) 气体热料

1. 干湿成分的换算:

首先求出湿成分水蒸汽的百分含量 $H_2O_{湿}$ (即 $W_{用}$)，該值可由下述公式求得

$$H_2O_{湿} = \frac{100g_{H_2O}^{干}}{803.6 + g_{H_2O}^{干}} \%$$

式中 $g_{H_2O}^{干}$ ——每米³干燥气体內所包含的水蒸汽量，克/标准米³，計算时可將 $g_{H_2O}^{干}$ 取做饱和蒸气含量 (即最大值)，而饱和蒸气含量随气体温度变化， $g_{H_2O}^{干}$ 与温度的关系可查表 2。

在一般情况下煤气的温度 $t_{气} = 20 \sim 40^\circ C$

然后再求出由于成分变成湿成分的换算系数。

$$K = \frac{100 - H_2O_{湿}}{100}$$

由是則湿成分为:

$$CO_2_{湿} = K \times CO_2^{干} \%$$

$$CO_{湿} = K \times CO^{干} \%$$

$$H_2_{湿} = K \times H_2^{干} \%$$

.....

.....

$$H_2O_{湿} = \frac{100g_{H_2O}^{干}}{803.6 + g_{H_2O}^{干}} \%$$

$$\text{总計} = 100 \%$$

2. 高爐与焦爐混合煤气的配合比和成分的計算。

已知: 高爐煤气湿成分、焦爐煤气湿成分及二者混合后的低发热量 ($Q_{混低}$)。

求: 煤气配合比及混合煤气成分。

設高爐煤气在混合煤气中所占百分数为 X。

不同温度下每米³ 干燥气体之饱和水汽含量, 克/米³ 表 2

°C	克/米 ³	°C	克/米 ³
-30	0.30	35	47.3
-25	0.50	40	63.1
-20	0.81	45	84.0
-15	1.3	50	111.4
-10	2.1	55	148
-5	3.2	60	196
-0	4.8	65	265
5	7.1	70	361
10	9.8	75	499
15	13.7	80	716
20	18.9	85	1092
25	26.0	90	1871
30	35.1	95	4381
		100	—

則

$$Q_{\text{低混}} = XQ_{\text{低高}} + (1-X)Q_{\text{低焦}}$$

解出X值。

混合煤气成分为:

$$CO_2^{\text{混}} = XCO_2^{\text{高}} + (1-X)CO_2^{\text{焦}}$$

$$CO^{\text{混}} = XCO^{\text{高}} + (1-X)CO^{\text{焦}}$$

.....
.....

$$\text{总计} = 100\%$$

二、燃料低發熱量的計算

(一) 固体或液体燃料可用敏傑列耶夫公式:

$$Q_{\text{低用}} = 81C^{\text{用}} + 246H^{\text{用}} - 26(O^{\text{用}} - S^{\text{用}}) - 6W^{\text{用}}$$

(二) 气体燃料可用庫茲涅佐夫—統科夫公式:

$$Q_{\text{低}} = 30.5 CO + 25.8 H_2 + 85.9 CH_4 + 143.0 C_2H_4 + 55.2 H_2S$$

注意: 若燃料成分中含有C_nH_m, 則計算燃料低發热量时把它看做C₂H₄来求算。

三、空氣過剩系数的決定

空气过剩系数的大小取决于所采用的燃料及其燃燒方法和燃燒裝置的形式, 具体数值的

选取可参考表 3。

过剩空气系数 n

表 3

燃料及燃烧器形式	n
手工劳动烟煤燃烧室	1.30~1.70
机械化烟煤燃烧室	1.20~1.40
粉煤燃烧器	1.20~1.25
重油喷嘴	1.08~1.20
喷射式无焰烧咀	1.03~1.05
低压紊流式烧咀（有焰燃烧）	1.1
套筒式烧咀（有焰燃烧）	1.2
炉头	1.2

应用表 3 时要注意下述问题：

（一）机械化的固体燃料燃烧室虽然在操作方面，燃烧技术等方面比手工劳动的燃烧室优越。但它本身在结构方面比后者要复杂得多，它的成本也要高得多。因而这两种形式的燃烧室都同样被广泛应用在冶金炉上。

（二）在决定气体燃料装置之前，要确定采用什么样的燃烧方法，是有焰燃烧，还是无焰燃烧，这两种燃烧方法各有优缺点。现将它们进行比较，列于表 4 中。

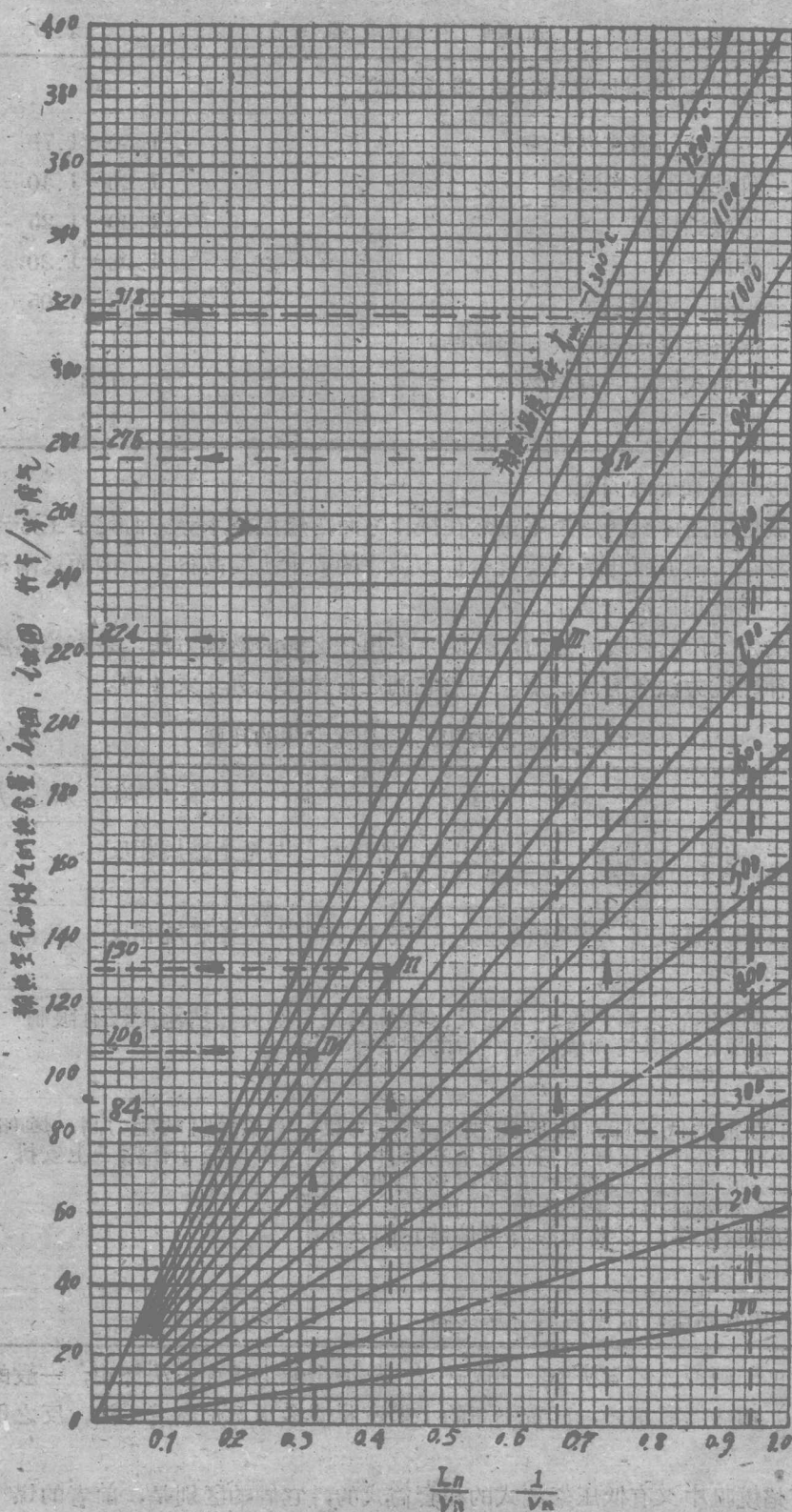
有焰燃烧方法和无焰燃烧方法的比较

表 4

	无 焰 燃 烧	有 焰 燃 烧
1	燃料和空气的混合较完善，燃烧较完全，所以燃料利用的好，相对的燃料消耗量较小些。	与无焰燃烧相反
2	达到完全燃烧的程度时所需要的过剩空气量不大，理论燃烧较高	与无焰燃烧相反
3	空气预热温度不能太高，否则有回火、爆炸的危险，一般规定为空气和煤气混合后的温度不得超过 300~400°C	空气预热温度没有限制
4	无焰烧咀的能力低（即单位时间所能燃烧的煤气量少），因此在同样燃料消耗量的条件下采用无焰烧咀时所需要的数量比有焰烧咀要多，另外如燃料消耗量很大时，则因所需无焰烧咀的数量太多，以致无法适当地将它们安排到炉子上	有焰烧咀的能力高，烧咀数量少，便于在炉子上安排
5	煤气需要具有高压，故需设置加压装备	不需高压煤气

从表 4 中可知两种燃烧方法各有其优缺点，故冶金炉上两种方法都用，一般的规律是：空气（或煤气）预热温度不高，产量不高的小型室状炉多用无焰燃烧方法，反之则用有焰燃烧方法。

（三）有焰烧咀中又有低压紊流式的和套筒式的，它们的区别是，前者的煤气和空气的混合较后者完全，但能力较后者低。



(水煤气修正系数 $\rho = 1$ 发生炉煤气按混合煤气的修正系数 ρ 按图4查得)
 $L_n = 1$ 大卡/米³ 煤气

图3 决定空气和煤气预热时物理热含量

四、求 算

1. 燃料燃烧空气消耗量 L_n

2. 燃料燃烧产物生成量 V_n

3. 理论燃烧温度 $t_{理}$

为了简化计算, 建议在设计中采用图表法, 所得结果同样足够精确。

(一) 空气需要量和燃烧产物生成量

利用图1 (求固体和液体燃料的空气消耗量和燃烧产物生成量的图表)。

图2 (求气体燃料的空气消耗量和燃烧产物生成量的图表)

查上述图表所需的已知条件为:

1. 燃料类别;

2. 燃料的低发热量 $Q_{低}$

3. 燃料中水分含量 $W_{用}$

4. 燃料中灰分含量 $A_{用}$

5. 空气过剩系数 n

(二) 理论燃烧温度 $t_{理}$

利用图3 (求空气或煤气预热时的物理热含量 $i_{空}$ 和 $i_{燃}$ 的图表)。

查图3的已知条件为:

1. $\frac{L_n}{V_n}$ 或 $\frac{1}{V_n}$

2. 空气预热温度 $t_{空}$ 或煤气预热温度 $t_{燃}$

图4 (查图3时的校正图表)。

查图4的已知条件为:

1. 燃料类别;

2. 燃料低发热量 $Q_{低}$

3. 燃烧产物中过剩空气百分数 V_L ($V_L = \frac{L_n - L_0}{V_n}$)

图5 (求理论燃烧温度图表)。

查图5的已知条件为:

1. 燃烧产物总热含量, $i_{总}$ ($i_{总} = i_{空} + i_{燃} + \frac{Q_{低}}{V_n}$)

2. 燃烧产物中过剩空气百分数 V_L 。

例题2 已知: 褐煤低发热量 $Q_{低} = 4000$ 千卡/公斤

$W_{用} = 20\%$, $A_{用} = 20\%$

$n = 1.2$ $t_{空} = 300^\circ C$

求: 空气消耗量 L_n , 燃烧产物生成量 V_n , 理论燃烧温度 $t_{理}$

查图1 (点1) 得 $L_{图} = 4.34$ 米³/公斤及 $\Delta V_{图}$ 米³/公斤

则 $L_0 = L_{图} + 0.007W_{用} = 4.34 + 0.007 \times 20 = 4.48$ 米³/公斤

$\Delta V = \Delta V_{图} + 0.0124(W_{用} - W_{图})$

当 $A_{用} = 20\%$ 时, 则 $W_{图} = W_{用}$, $\Delta V = \Delta V_{图} = 0.58$ 米³/公斤

所以

$$L_n = nL_0 = 1.2 \times 4.48 = 5.38 \text{ 米}^3/\text{公斤}$$

$$V_n = L_n + \Delta V = 5.38 + 0.58 = 5.96 \text{ 米}^3/\text{公斤}$$

又

$$\frac{Q_{\text{低}}}{V_n} = \frac{4000}{5.96} = 671 \text{ 仟卡/米}^3$$

为了求得 $i_{\text{空}}$ ，则必须先算出 $\frac{L_n}{V_n}$

$$\frac{L_n}{V_n} = \frac{5.38}{5.96} = 0.9$$

查图 3 得 $i_{\text{空}} = i_{\text{空圈}} = 84 \text{ 仟卡/米}^3$

又知 $i_{\text{燃}} = 0$

$$\text{则 } i_{\text{总}} = \frac{Q_{\text{低}}}{V_n} + i_{\text{空}} = 671 + 84 = 755 \text{ 仟卡/米}^3$$

燃烧产物中过剩空气百分数:

$$V_L = \frac{L_n - L_0}{V_n} \times 100\% = \frac{5.38 - 4.48}{5.96} \times 100\% = 15\%$$

查图 5 (点 I) 找到理论燃烧温度 $t_{\text{理}} = 1850^\circ\text{C}$

例题 3 已知: 高爐煤氣和焦爐煤氣的混合煤氣, 其低发热量:

$$Q_{\text{低}} = 2000 \text{ 仟卡/米}^3, t_{\text{燃}} = 1000^\circ\text{C}, t_{\text{空}} = 1100^\circ\text{C}, n = 1.2$$

求: $L_n, V_n, t_{\text{理}}$

查图 2 得

$$L_0 = L_{\text{圈}} = 1.91 \text{ 米}^3/\text{米}^3$$

$$\Delta V = \Delta V_{\text{圈}} = 0.8 \text{ 米}^3/\text{米}^3$$

则

$$L_n = nL_0 = 1.2 \times 1.91 = 2.29 \text{ 米}^3/\text{米}^3$$

$$V_n = 2.29 + 0.8 = 3.09 \text{ 米}^3/\text{米}^3$$

$$\frac{L_n}{V_n} = \frac{2.29}{3.09} = 0.74, \frac{1}{V_n} = \frac{1}{3.09} = 0.32$$

$$V_L = \frac{2.29 - 1.91}{3.09} \times 100\% = 12\%$$

查图 3、图 4, 得:

$$i_{\text{空}} = i_{\text{空圈}} = 276 \text{ 仟卡/米}^3, i_{\text{燃圈}} = 106 \text{ 仟卡/米}^3 \text{ 及 } \beta_{\text{混}} = 1.104$$

$$i_{\text{燃}} = \beta_{\text{混}} i_{\text{燃圈}} = 1.104 \times 106 = 117 \text{ 仟卡/米}^3$$

又

$$\frac{Q_{\text{低}}}{V_n} = \frac{2000}{3.09} = 647 \text{ 仟卡/米}^3$$

则

$$i_{\text{总}} = 647 + 117 + 276 = 1040 \text{ 仟卡/米}^3$$

查图 5 得: 理论燃烧温度 $t_{\text{理}} = 2270^\circ\text{C}$ (点 IV)

五、燃烧产物中 CO_2 和 H_2O 的含量

(一) 对固体燃料而言

$$\text{CO}_2 = \frac{1.87C_{\text{用}}}{V_n}, \text{H}_2\text{O} = \frac{1.24\text{H}_2\text{O}_{\text{用}} + 11.2\text{H}_{\text{用}}}{V_n}$$

(二) 对气体燃料而言

$$\text{CO}_2 = \frac{\text{CO}_{\text{用}} + \text{CO}_2^{\text{用}} + \text{CH}_4^{\text{用}} + 2\text{C}_2\text{H}_4^{\text{用}}}{V_n}$$

$$\text{H}_2\text{O} = \frac{\text{H}_2\text{O}^{\text{用}} + 2\text{CH}_4^{\text{用}} + 2\text{C}_2\text{H}_4^{\text{用}} + \text{H}_2^{\text{用}}}{V_n}$$

六、燃燒產物重量

$\gamma_{\text{產}}$ 可以由物料平衡計算得出，但为了簡化計算，可用下 $\gamma_{\text{產}}$ 述經驗數字：

$$\gamma_{\text{產}} = 1.25 \sim 1.40 \text{ 公斤/米}^3$$

如燃燒產物中 H_2O 多時，即用下限，而 CO_2 多時則用上限。

第二章 爐形和加熱制度、爐溫制度的選擇

一、爐形選擇

(一) 關於採用室狀爐還是連續爐問題

決定此問題可考慮下述幾方面：

1. 被加熱料坯的尺寸及形式。

一般較規則的長方形鋼坯，適於在連續爐中加熱。

管材、線材、帶材、薄板等均有其特殊專用爐形。

2. 工藝操作

軋鋼車間多為連續爐，但也有少數的為室狀爐，如均熱爐和西門子式爐。

鍛造車間一般地為室狀爐。

熱處理車間根據不同的工藝要求，有其專用的爐形。

3. 產量

一般而言連續爐的產量比較大，而室狀爐則較小。

(二) 決定幾面加熱

1. 連續爐：

一般的：鋼坯斷面小於80—120毫米時，採用一面加熱。

鋼坯斷面大於80—120毫米時，採用兩面加熱。

2. 室狀爐：

一般的：柱形鋼坯斷面小於300—400毫米時，採用一面加熱。

柱形鋼坯斷面大於400—500毫米時，採用四面加熱。

室狀爐內加熱異形坯時，究竟採用幾面加熱，則要視具體情況而定。

幾面加熱問題的決定也牽涉到爐子生產率以及勞動條件（如較大的坯一面加熱時，出爐前要有翻鋼操作）等問題。

異形鋼材的幾面加熱問題，由所選用的特殊爐形來規定。

(三) 爐內鋼坯的放置情況：

1. 連續爐

決定幾排放料：

主要應考慮產量。如產量大，原擬單排放料，但由單排放料的結果所計算出來的爐膛長度大於20—30米時，即應考慮改為雙排。

其次也要考慮爐寬與爐長間尺寸應成適當比例。

2. 室狀爐

主要考慮被加熱物的形狀和尺寸，如大鋼錠是放在架子上進行四面加熱（圖6），而小鋼坯則直接置於爐底上（圖7），如果是連續裝料出料或欲使鋼坯加熱得更快時，則鋼坯的放置如圖8所示。

(四) 鋼坯裝爐出爐方法

1. 連續爐——側出料，端出料問題

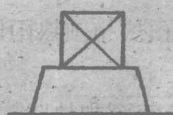


圖 6



圖 7



圖 8

从爐子热工观点上看側出料較端出料好，但考虑到爐子在車間內的安排問題时，則端出料比側出料优越。

也要适当的考虑到被加热鋼坯的鋼种，如合金鋼就不适于用端出料。

2. 室狀爐

分为成批加料出料和連續裝料出料兩種。

这里主要考虑兩方面問題：一为鋼坯的尺寸，若鋼坯尺寸較大时，必須采用成批裝出料，而鋼坯尺寸較小时，兩種方法皆可采用。其次要考虑車間的工艺操作情况，如鋼坯尺寸不大，而車間內爐子数量少，並要求加热好了的鋼坯能連續不断地供应軋制或鍛造，在这种情况下，就要采用連續裝出料的方法。而热处理爐在鋼坯出爐前要进行長期保温或緩冷操作，則以采用成批裝出料的方法为宜。

二、加热裝度和爐温制度的决定

要考虑：

1. 被加热体的鋼种；
2. 被加热体的尺寸；
3. 工艺过程的要求（主要指热处理爐的保温、緩冷等問題）。

一般的規律是：

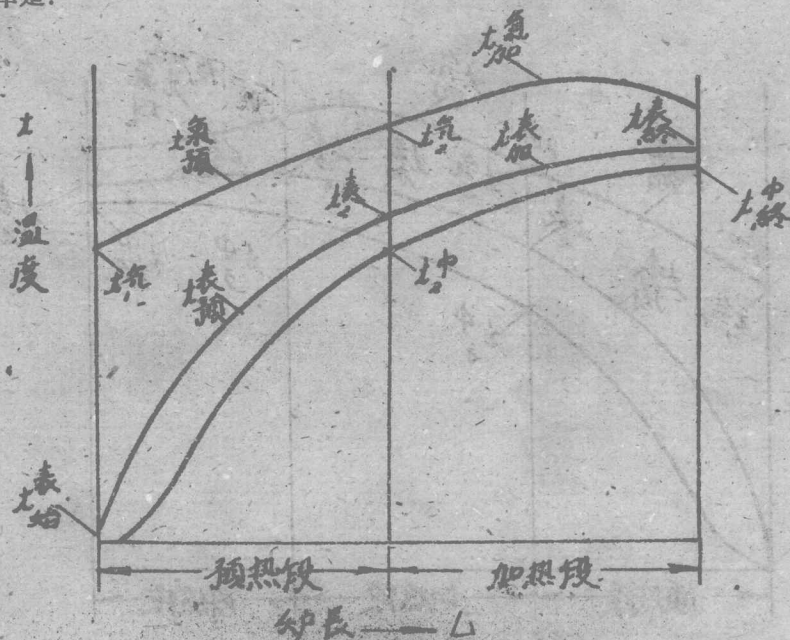


圖 9 兩段連續加熱爐的溫度制度

(一) 連續爐:

1. 鋼坯透熱深度小于80~120毫米時, 可採用兩段加熱 (即包括預熱和加熱兩段), 其溫度制度參考圖9。

(如果鋼坯在爐內為一面加熱時, 透熱深度就等於鋼坯厚度, 若為兩面加熱時, 透熱深度為鋼坯厚度的 $\frac{1}{2}$)。

$$t_1^{\text{氣}} = 800 \sim 1100^{\circ}\text{C}; \quad t_2^{\text{氣}} = 1000 \sim 1350^{\circ}\text{C};$$

$$t_{\text{預-平均}}^{\text{氣}} = \frac{t_1^{\text{氣}} + t_2^{\text{氣}}}{2}^{\circ}\text{C};$$

$$\left(\frac{T_{\text{加-平均}}^{\text{氣}}}{100}\right)^4 = \sqrt{\left[\left(\frac{T_{\text{理}}}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_{\text{加-平均}}^{\text{表}}}{100}\right)^4\right] \left[\left(\frac{T_2^{\text{氣}}}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_{\text{加-平均}}^{\text{表}}}{100}\right)^4\right]} + \left(\frac{T_{\text{加-平均}}^{\text{表}}}{100}\right)^4$$

$$t_2^{\text{表}} = 400 \sim 800^{\circ}\text{C}$$

$$t_{\text{預-平均}}^{\text{表}} = t_{\text{始}}^{\text{表}} + \frac{2}{3}(t_2^{\text{表}} - t_{\text{始}}^{\text{表}})^{\circ}\text{C};$$

$$t_{\text{加-平均}}^{\text{表}} = \frac{t_2^{\text{表}} + t_{\text{終}}^{\text{表}}}{2}^{\circ}\text{C}$$

2. 低碳鋼 (指含C<0.2%者) 鋼坯透熱深度大于80~120毫米時可採用三段加熱 (即包括預熱、加熱和均熱三段) 其溫度制度可參考圖10。

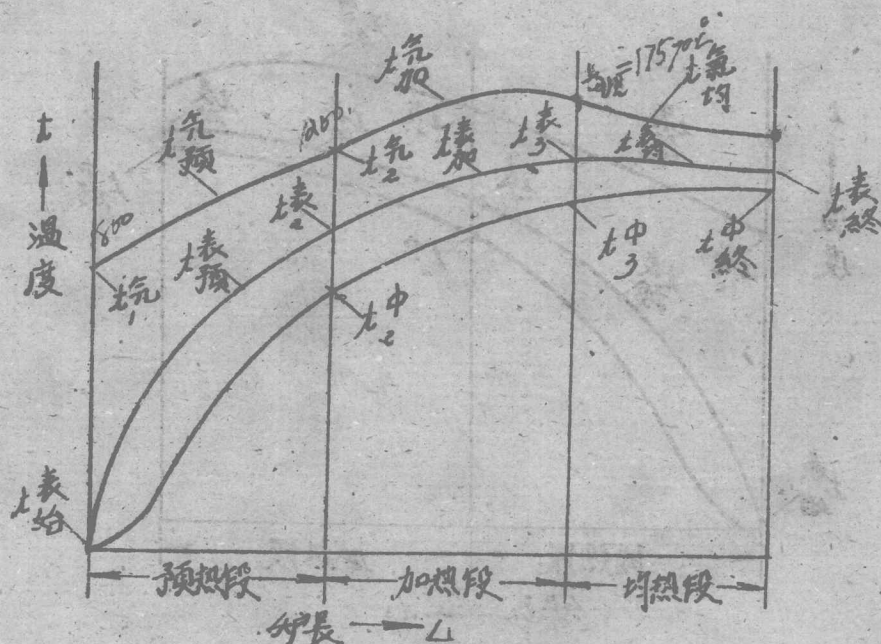


圖10 三段連續加熱爐的溫度制度

$$t_1^{\text{气}} = 800 \sim 1100^\circ\text{C}; \quad t_2^{\text{气}} = 1000 \sim 1350^\circ\text{C};$$

$$t_{\text{预—平均}}^{\text{气}} = \frac{t_1^{\text{气}} + t_2^{\text{气}}}{2} ^\circ\text{C};$$

$$\left(\frac{T_{\text{加—平均}}^{\text{气}}}{100}\right)^4 = \sqrt{\left[\left(\frac{T_{\text{理}}}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_{\text{加—平均}}^{\text{表}}}{100}\right)^4\right] \left[\left(\frac{T_2^{\text{气}}}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_{\text{加—平均}}^{\text{表}}}{100}\right)^4\right]} + \left(\frac{T_{\text{加—平均}}^{\text{表}}}{100}\right)^4$$

$$t_{\text{均—平均}}^{\text{气}} = t_{\text{终}}^{\text{表}} + (50 \sim 100)^\circ\text{C};$$

$$t_2^{\text{表}} = 400 \sim 800^\circ\text{C}; \quad t_3^{\text{表}} = t_{\text{终}}^{\text{表}} + (30 \sim 50)^\circ\text{C};$$

$$t_{\text{预—平均}}^{\text{表}} = t_{\text{始}}^{\text{表}} + \frac{2}{3}(t_2^{\text{表}} - t_{\text{始}}^{\text{表}})^\circ\text{C};$$

$$t_{\text{加—平均}}^{\text{表}} = \frac{t_2^{\text{表}} + t_3^{\text{表}}}{2} ^\circ\text{C}$$

3. 高碳钢（指含C>0.5%者）合金钢的钢坯其透热深度大于80~120毫米时，要采用预热段缓慢加热的三段加热炉（即有预热、加热、均热，但预热段钢坯的加热很缓慢，以防钢坯产生缺陷和废品）其温度制度参考图11。

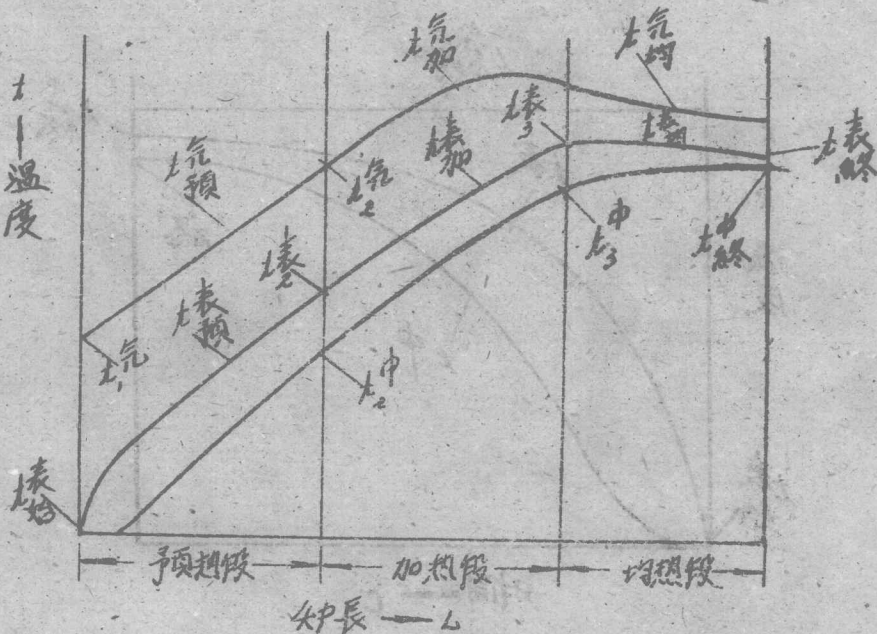


图11 保证钢坯在预热段缓慢加热的三段连续加热炉的温度制度