



# 工业锅炉设备

Copyright © 2013 DGUT. Permission required for reproduction or display.

任课教师：张彦佐

Email: zhangyz@dgut.edu.cn

化学工程与能源技术学院  
School of Chemical and Engineering and Energy Technology  
东莞理工学院  
DongGuan University of Technology



2015年5月



## 作业:

1. 层燃炉为什么既要保证足够的炉排面积？又要保证一定的炉膛容积？

层燃炉大部分煤在炉排上燃烧,但挥发分和一部分细小煤粒在炉膛空间燃烧。炉排面积过小,会使煤层增厚,煤层空气流速过高,导致不完全燃烧产物、飞灰、阻力增加,使 $q_3$ 、 $q_4$ 增大,所以要有足够的炉排面积; 炉膛容积过小会导致烟气及其所携带的可燃物在炉内停留时间过短, 导致 $q_3$ 、 $q_4$ 增大, 所以要有一定的炉膛容积。



## 作业：

2. 层燃炉和室燃炉炉子的工作强度有哪几个指标？对层燃炉为什么在炉排、炉膛容积热强度前面要冠以“可见”两字？对于室燃炉又为什么要引入“炉膛断面热强度”这一指标？

（1）指标：炉排热强度，炉室热强度 （2）在层燃炉中要分别测出燃料在炉排面上和炉膛体中燃烧放热量是困难的，故在炉排和体积热强度中，都假定吧燃料燃烧的全部热量作为热强度计算的基础，引入“可见”概念。（3）室燃炉单用炉膛体积热强度来表示，未能反映出炉膛的形状对燃烧的影响。



## 作业：

### 3. 鼓泡流化床和循环流化床锅炉在结构上有何异同？试述循环流化床锅炉的优越性及其发展前景？

(1) 相同点：都有煤机、布风板、风室；不同点：鼓泡式在流化段布置了一部分沉浸受热面，即埋管，炉膛分流化段和悬浮段。循环式的炉膛由水冷壁管构成，炉膛不分流化段和悬浮段

(2) 优越性：1.大量的细灰参与了循环，使其流动、燃烧和传热 2.沿床层高度方向温度方向趋于一致，无需布置埋管，故没有埋管严重损磨问题 3.采用了将从炉膛飞出的固体粒子捕获，收集并使之循环的措施，有效延长固体粒子在炉内的停留时间 4.在稀相区的固体粒子浓度高于鼓泡式，大幅度提高了稀相区受热面的传热，缩小了炉膛体积，提高燃烧室的利用率

(3) 发展前景：因它是高效、清洁的新一代燃烧技术，且在发展成为大容量时具有明显的优越性，倍受世界各国重视，它作为最有前途的洁净燃烧方式而得到迅速发展。



## 第七章 工业锅炉受热面热力计算

7.1 辐射受热面热力计算

7.2 对流受热面热力计算

7.3 工业锅炉受热面热力计算示例



# 第七章 工业锅炉受热面热力计算

7.1 辐射受热面热力计算

7.2 对流受热面热力计算

7.3 工业锅炉受热面热力计算示例



## § 7-1 辐射受热面热力计算

▲ 辐射受热面是布置在锅炉炉膛内吸收辐射热的那一部分受热面，主要是水冷壁受热面。

▲ 辐射受热面传热又称为炉膛传热

▲ 计算任务：

1. 设计计算

根据给定的或选定的炉膛出口烟气温度的，确定炉膛内需要布置多少辐射受热面。

2. 校核计算

根据炉膛内布置的受热面的数量，确定炉膛出口烟气的温度。



## 炉膛出口烟气温度的重要意义：

- ▲是反映炉膛内辐射传热量多少的参数，决定着锅炉中辐射受热面与对流受热面之间传热量的比例关系；
- ▲出口烟气温度低→炉膛中火焰均温降低→辐射传热效果降低→ $q_3$ 、 $q_4$ 增大，着火困难、燃烧不稳定，在经济上不合算；
- ▲出口烟气温度过高→受热面结渣，影响运行的安全性



- 从经济性和安全性两方面来确定，根据技术经济综合比较

- 炉膛出口烟气温度取值范围：

燃煤锅炉：900~1150℃（流化床除外）；

燃油锅炉：≤1250℃；

燃气锅炉：≤1350℃。



## 炉膛传热计算基本公式

- 锅炉炉膛内的传热计算过程十分复杂，至今为止尚未找到严格精确的理论计算方法，目前工程上炉内传热计算的方法仍然采用以简化的传热模型与相似理论为基础，根据大量试验和运行数据进行补充修正而得到的半经验或经验公式。



- 炉膛出口烟气温度的：

$$\theta_l'' = \frac{T_{ll}}{M \left( \frac{\sigma_0 \psi F_l a_l T_{ll}^3}{\varphi B_j V C_{pj}} \right)^{0.6} + 1} - 273$$

$\theta_l''$  —— 炉膛出口烟气温度（℃）；

$T_l''$  —— 炉膛出口烟气温度（K）；

$M$  —— 考虑燃烧条件影响的参数；

$T_{ll}$  —— 理论燃烧温度（K）；

$F_l$  —— 炉膛周界面积（m<sup>2</sup>）；

$a_l$  —— 炉膛黑度；

$\psi$  —— 热有效系数；

$\varphi$  —— 保热系数；

$B_j$  —— 计算燃料消耗量（kg/h）；

$\sigma_0$  —— 黑体辐射常数，其值为 $5.6 \times 10^{-11} \text{ kW}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$ ；

$C_{pj}$  —— 燃料的燃烧产物在0℃~℃温度区间内的平均比热容[kJ/(kg·K)]。



- 或炉膛周界面积：

$$F_l = \frac{\varphi B_j V C_{pj} (T_{ll} - T_l'')}{\sigma_0 a_l \psi M T_l'' T_{ll}^3} \sqrt[3]{\frac{1}{M^2} \left( \frac{T_{ll}}{T_l''} - 1 \right)^2}$$

$\theta_l''$  —— 炉膛出口烟气温度的 (°C)；

$T_l''$  —— 炉膛出口烟气温度的 (K)；

$M$  —— 考虑燃烧条件影响的参数；

$T_{ll}$  —— 理论燃烧温度 (K)；

$F_l$  —— 炉膛周界面积 (m<sup>2</sup>)；

$a_l$  —— 炉膛黑度；

$\psi$  —— 热有效系数；

$\varphi$  —— 保热系数；

$B_j$  —— 计算燃料消耗量 (kg/h)；

$\sigma_0$  —— 黑体辐射常数，其值为  $5.6 \times 10^{-11} \text{ kW}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$ ；

$C_{pj}$  —— 燃料的燃烧产物在 0°C ~ °C 温度区间内的平均比热容 [kJ/(kg·K)]。



## 炉膛传热计算

确定燃烧条件对传热的影响（计算M值）

确定炉膛烟气性质（计算理论燃烧温度和烟气平均比热容）

确定炉膛内火焰辐射特性（计算火焰黑度和炉膛黑度）

确定辐射受热面特性（计算有效系数、有效辐射面积、角系数和污染系数）



## 燃烧条件影响系数 $M$

- 参数 $M$ 考虑了燃烧条件对炉内传热计算的影响，其值的确定应根据燃烧方式和燃料种类等因素来计算。
- 对火床炉  $M = 0.59 - 0.5 X_{max}$   
式中  $X_{max}$  ——为火焰最高温度点的相对高度。



## 理论燃烧温度 $T_{11}$

- 理论燃烧温度  $T_{11}$  是假定燃料燃烧时发出的热量未向外界传递时，使烟气所能达到的最高温度，与其相对应的理论烟气焓等于炉内有效放热量。因此，在求得炉内有效放热量后，即可利用从燃烧计算得到的烟气焓温表或焓温图查得理论燃烧温度。



炉膛有效放热量也称**入炉热量**，是1kg燃料燃烧时带入炉膛的所有热量，按下式计算：

$$Q_l = Q_r \left(1 - \frac{q_3 + q_6}{100 - q_4}\right) + Q_k + Q_{wr}, \text{kJ} / \text{kg}$$

$Q_r$  —— 1kg燃料带入炉膛的热量（kJ/kg）；

$Q_k$  —— 1kg燃料燃烧所需空气带入炉膛的热量（kJ/kg）；

$Q_{wr}$  —— 外加热源加热空气的热量，在有外加热源时计入（kJ/kg）。



$Q_k$  按下式计算:

采用空气预热器时

$$Q_k = (\alpha''_{\ell} - \Delta\alpha_{\ell} - \Delta\alpha_{zf})h_{rk}^0 + (\Delta\alpha_{\ell} + \Delta\alpha_{zf})h_{lk}^0, \text{kJ} / \text{kg}$$

未采用空气预热器时

$$Q_k = \alpha''_{\ell}h_{lk}^0, \text{kJ} / \text{kg}$$

$h_{rk}^0$  —— 理论空气量在热空气温度时的焓 (kJ/kg) ;

$h_{lk}^0$  —— 理论空气量在冷空气温度时的焓 (kJ/kg) ;

$\alpha''_{\ell}$  —— 炉膛出口过量空气系数;

$\Delta\alpha_{\ell}$ 、 $\Delta\alpha_{zf}$  —— 炉膛和制粉系统漏风系数。



## 烟气的平均比热容 $C_{p,j}$

- 1kg燃料燃烧产生的烟气的平均比热容按下式计算：

$$C_{pj} = \frac{Q_1 - h_1''}{T_{11} - T_1''}$$

$h_1''$  —— 炉膛烟气出口焓值，根据出口烟温查烟气温焓表得到（kJ/kg）；

$Q_1$  —— 炉膛内有效放热量（kJ/kg）。



## 火焰黑度 $a_{hy}$

火焰黑度：表示火焰的辐射能力。  
影响火焰辐射能力的主要因素：

(1) 介质浓度：

- ① 固体燃料：三原子气体、灰粒子、焦炭粒子；
- ② 液体、气体燃料：三原子气体、碳黑粒子。

(2) 燃料的种类、燃烧方法及燃烧工况等。



- 1. 燃用固体燃料时

$$a_{hy} = 1 - e^{-kps} = 1 - e^{-(k_q r + k_h \mu_{fh} + k_j)ps}$$

$k_q$  —— 三原子气体辐射减弱系数(m·MPa)<sup>-1</sup>，查图7-2；

$k_h$  —— 灰粒辐射减弱系数(m·MPa)<sup>-1</sup>；

$k_j$  —— 焦炭粒子辐射减弱系数(m·MPa)<sup>-1</sup>；

$p$  —— 炉膛压力，对于一般锅炉， $p = 0.1\text{MPa}$ ；

$r$  —— 火焰中三原子气体总容积份额；

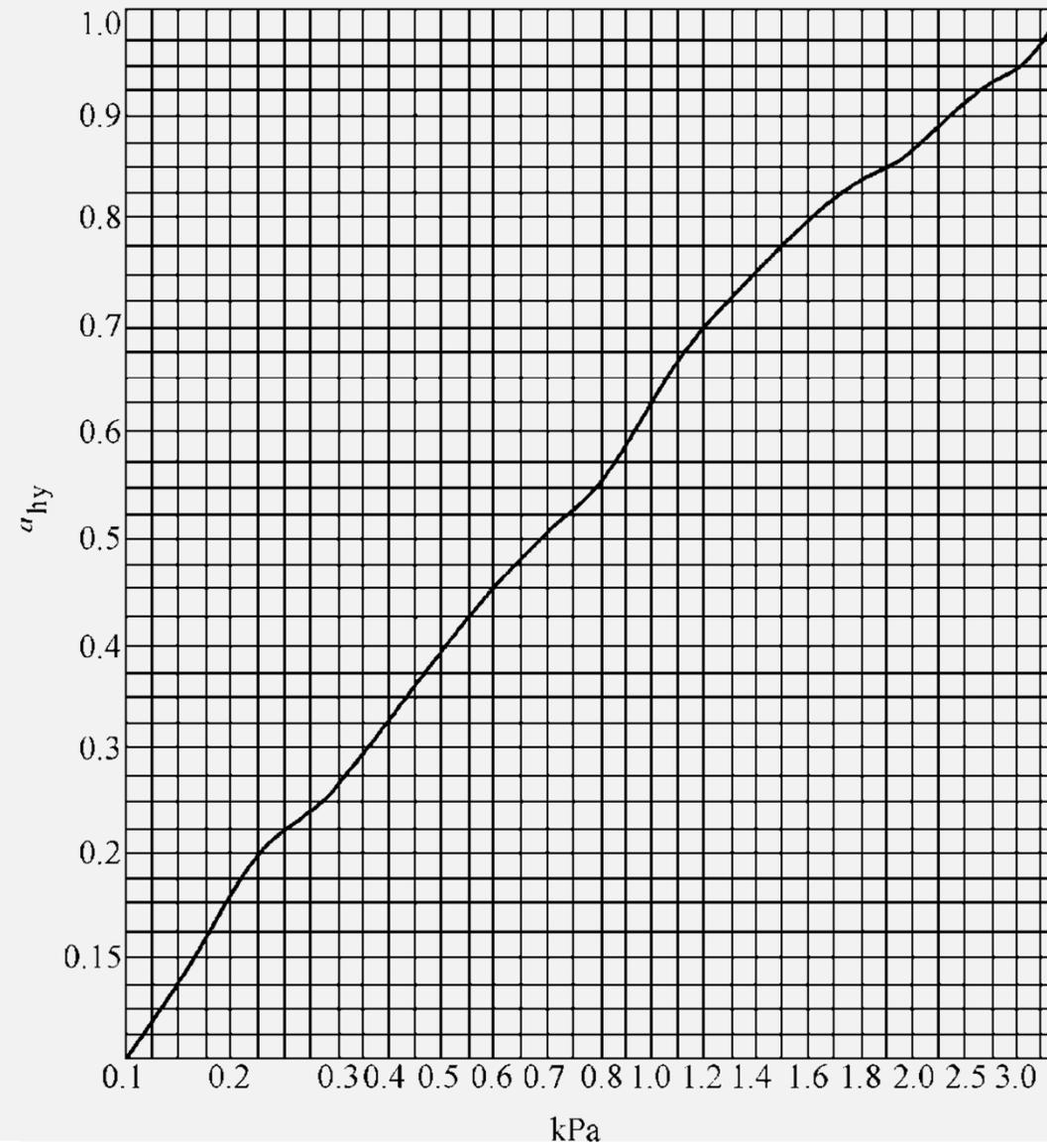
$\mu_{fh}$  —— 火焰中飞灰无量纲浓度；

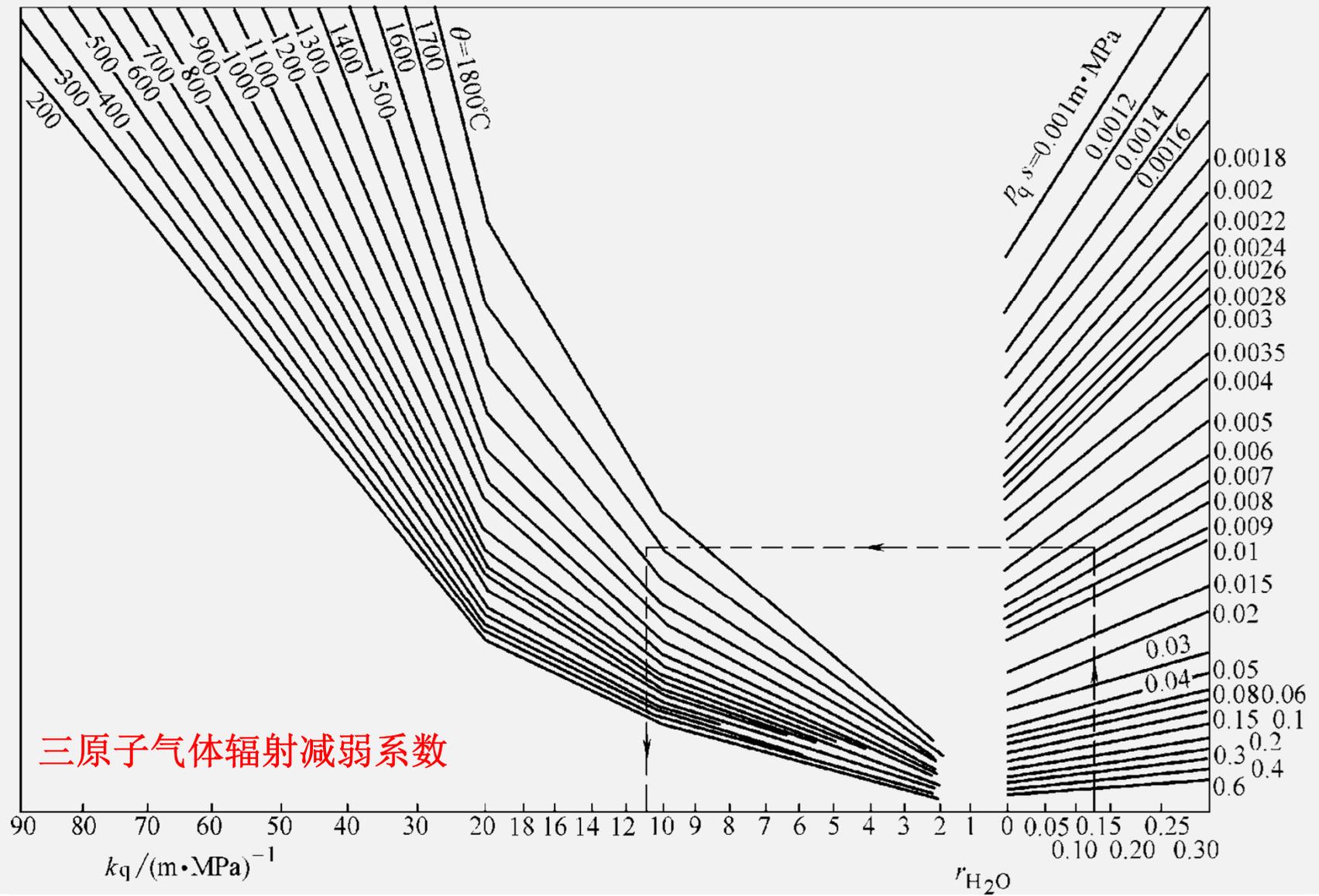
$s$  —— 炉内介质辐射层有效厚度 (m)。

火焰黑度也可查图得到



## 火焰黑度







## • 2. 燃用液体或气体燃料时

$$a_{hy} = ma_{fg} + (1 - m)a_q$$

$a_{fg}$  —— 火焰发光部分的黑度；

$a_q$  —— 火焰不发光部分的黑度（即三原子气体的黑度）；

$m$  —— 火焰发光系数，表示发光部分充满炉膛的份额，

气体燃料  $m=0.1$ ，液体燃料  $m=0.55$ 。

发光火焰的黑度：
$$a_{fg} = 1 - e^{-(k_q r + k_{th})ps}$$

不发光火焰的黑度（即三原子气体的黑度）：
$$a_q = 1 - e^{-k_q r ps}$$

式中  $k_{th}$  —— 炭黑粒子辐射减弱系数( $m \cdot MPa$ )-1。

$$k_{th} = 0.30(2 - \alpha_l'')(1.6 \frac{T_l''}{1000} - 0.5) \frac{C_{ar}}{H_{ar}}$$

式中  $\alpha_l''$  —— 炉膛过量空气系数；

$\frac{C_{ar}}{H_{ar}}$  —— 收到基燃料的碳氢比。



三原子气体辐射减弱系数

$$k_q = 10 \left( \frac{0.78 + 1.6r_{H_2O}}{\sqrt{10P_q s}} - 0.1 \right) \left( 1 - 0.37 \frac{T_l'''}{1000} \right)$$

式中  $r_{H_2O}$  —— 火焰中水蒸汽体积分额；

$P_q$  —— 三原子气体分压力 (MPa)

灰粒辐射减弱系数

$$k_h = \frac{55900}{\sqrt[3]{T_l''^2 d_h^2}}$$

式中  $T_l''$  —— 炉膛出口烟气温度 (K)；

$d_h$  —— 灰粒平均直径 ( $\mu m$ )，按表7-1 选取。

焦炭粒子辐射减弱系数  $k_j = 10x_1x_2$

式中  $x_1$  —— 考虑煤种影响的系数，无烟煤、贫煤： $x_1=1.0$ ，

烟煤、褐煤挥发分含量高的煤： $x_1=0.5$ ；

$x_2$  —— 考虑燃烧方式影响的系数，火床炉： $x_2=0.03$ ，煤粉炉： $x_2=0.1$ 。



表7-1 灰粒平均直径

(单位:  $\mu m$ )

燃烧设备		煤种	灰粒平均直径	燃烧设备	煤种	灰粒平均直径
煤粉炉	球磨机 中速磨或 锤击磨	各种煤 各种煤 (除泥煤) 泥煤	13 16 24	旋风炉	煤粉	10
	中速磨或 锤击磨				碎煤粒	20
				火床炉	各种煤	20



## 炉膛黑度 $a_1$

对火床炉：
$$a_1 = \frac{a_{hy} + (1 - a_{hy})\rho}{1 - (1 - a_{hy})(1 - \psi)(1 - \rho)}$$

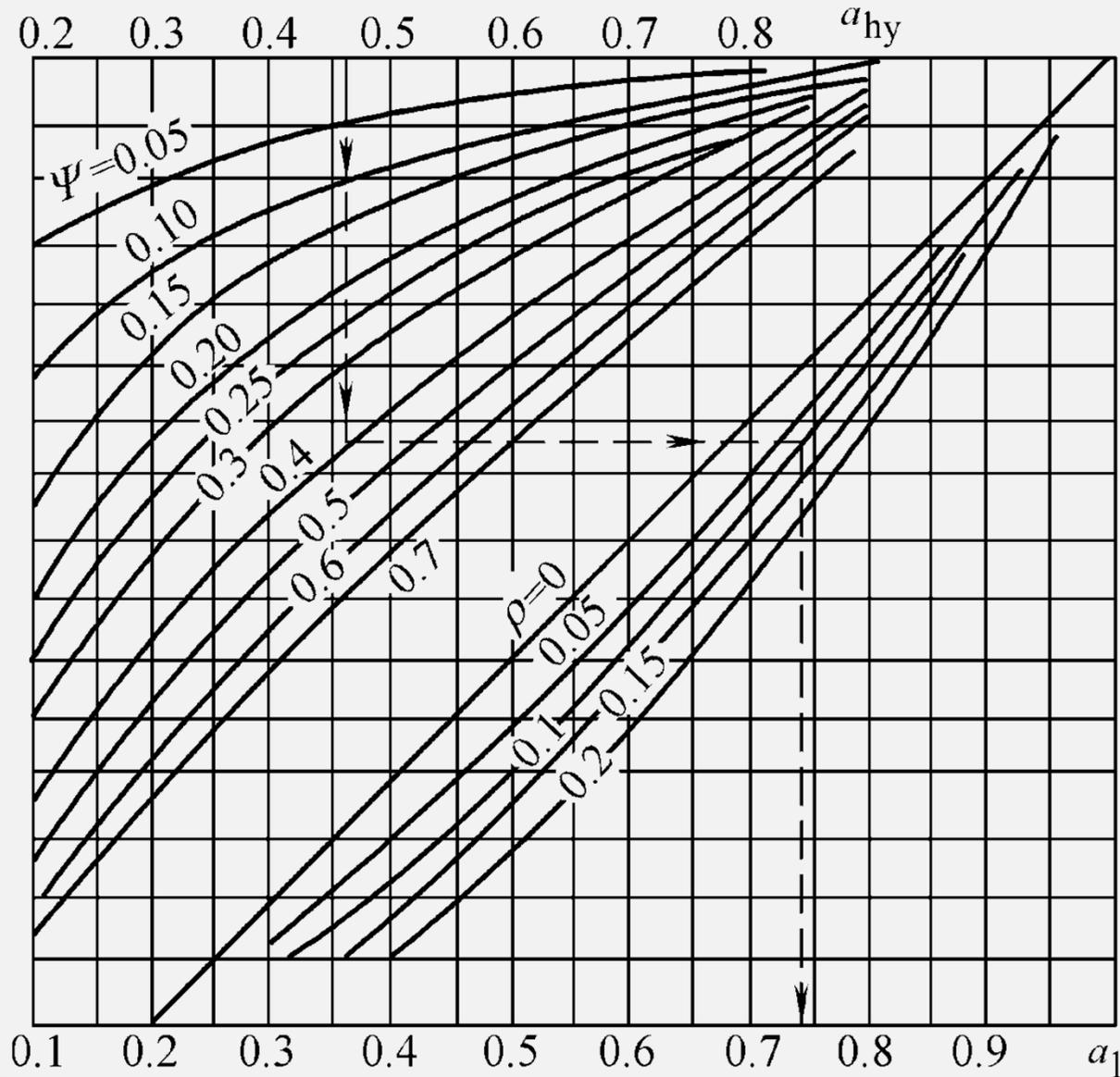
式中  $\rho$  —— 炉排面积  $R$  与炉膛总壁面积  $F_1$  之比，  
即  $\rho = \frac{R}{F_1}$  。

对火室炉：
$$a_1 = \frac{a_{hy}}{a_{hy} + (1 - a_{hy})\psi}$$

炉膛黑度也可查图得到。



炉膛黑度





## 有效辐射受热面 $H$

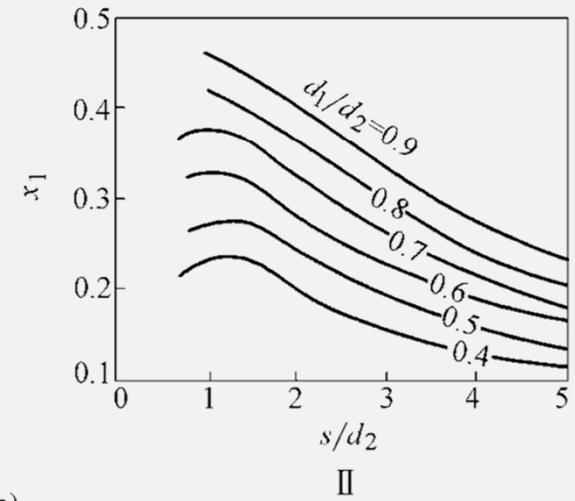
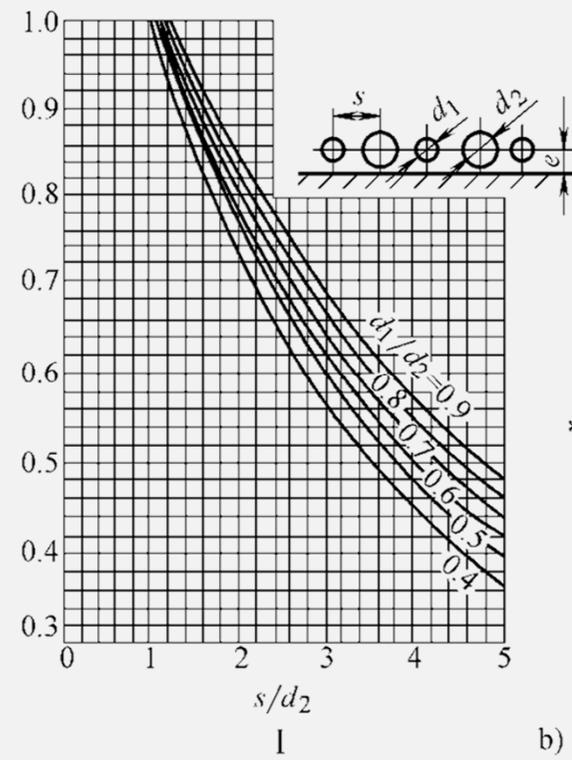
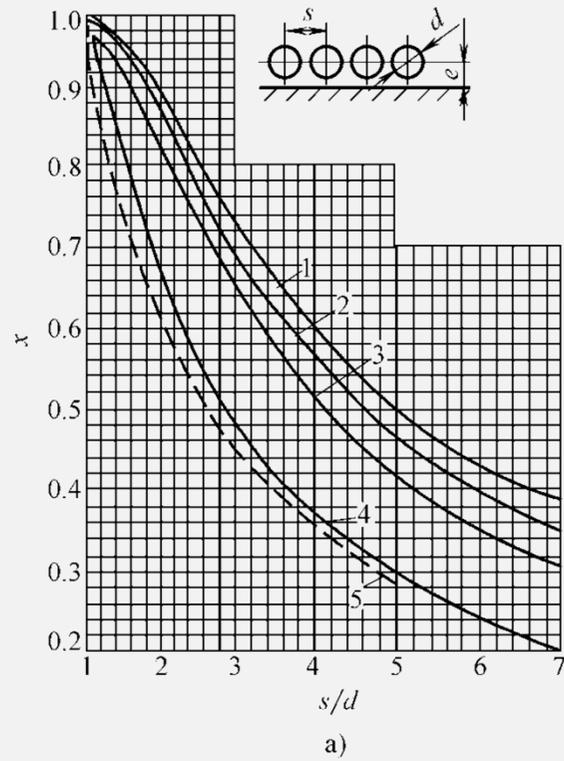
- 炉膛水冷壁管的有效辐射受热面

$$H = \sum x_i F_{li}$$

- 式中  $H$  —— 有效辐射受热面积 ( $\text{m}^2$ ) ;  
 $F_{li}$  —— 某区域水冷壁所占据的炉壁面积 ( $\text{m}^2$ ) ;  
 $x_i$  —— 某区域水冷壁角系数, 查图确定。

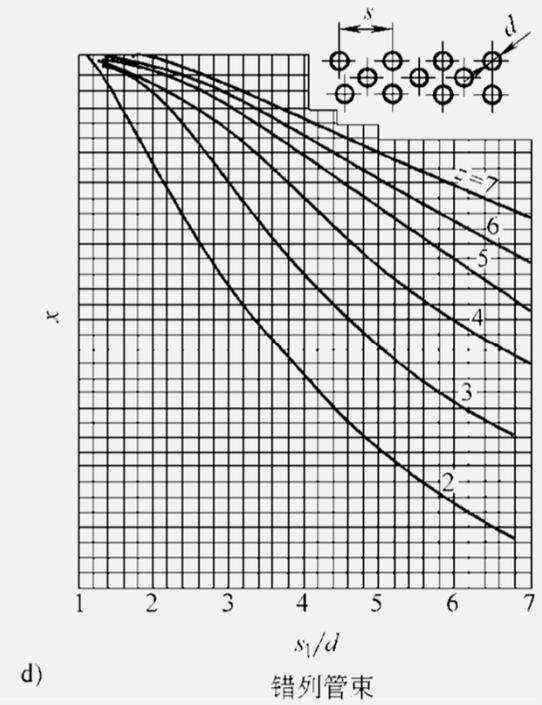
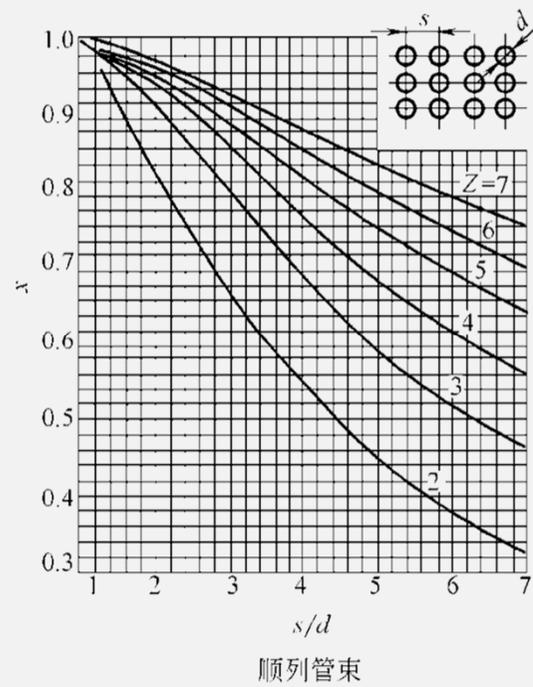
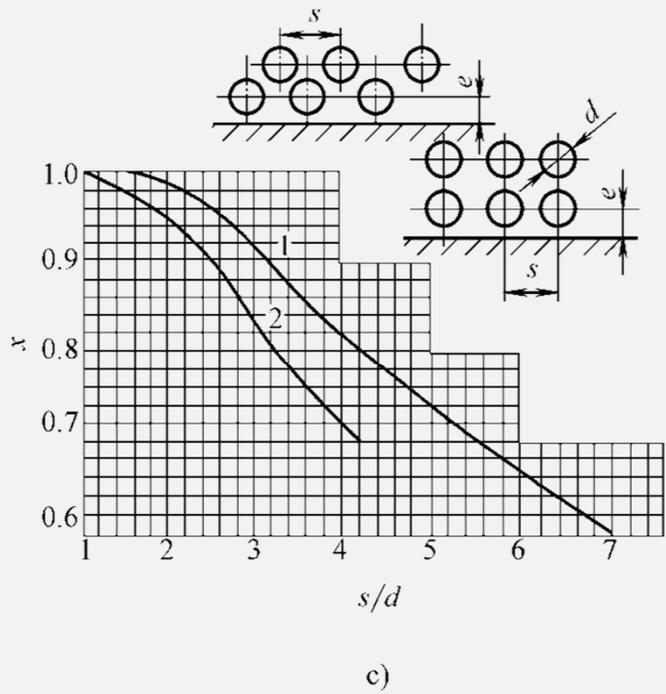


## 水冷壁角系数





## 水冷壁角系数





# 污染系数 $\xi$ 与热有效系数 $\psi$

## 1. 污染系数

为了反映灰垢对吸热量的影响，采用污染系数来表示水冷壁管被灰垢所污染的程度，其意义是表示火焰辐射到水冷壁受热面上的能量为水冷壁受热面所吸收的份额。

污染系数越小，表明水冷壁受污染的程度越严重，这时炉壁温度升高，换热面黑度减小，水冷壁吸收辐射热的能力降低。

## 2. 热有效系数

热有效系数是指被灰垢所覆盖的水冷壁管的吸热量占火焰总有效辐射的份额。

计算式： $\psi = \xi x$

热有效系数越大，表示水冷壁的实际吸热能力越强。值很大程度上取决于水冷壁表面的受污染程度。它可以用热力探测方法直接测得。



## 作业:

1. 热有效系数? 污染系数? 系数 $M$ ? 火焰黑度? 三原子气体?
2. 为什么炉膛出口烟气温度不能太高, 也不能太低而要保持在一个合理的取值范围内?
3. 简述受热面热力计算的目的。



The End



## 作业:

1. 热有效系数: 受热面的吸收热量与投射到炉壁上的热量之比。

污染系数: 受热面的吸热量与投射到受热面上的热量之比。

系数M: 经验系数, 和燃料性质、燃烧方法、燃烧器布置的相对高度等因素有关。

火焰黑度: 表示炉内高温介质的辐射能力的一个设定黑度。

三原子气体: 指水蒸气、二氧化碳、二氧化硫等气体。

1. 为什么炉膛出口烟气温度不能太高, 也不能太低而要保持在一个合理的取值范围内?

2. 简述受热面热力计算的目的。



# 第七章 工业锅炉受热面热力计算

7.1 辐射受热面热力计算

7.2 对流受热面热力计算

7.3 工业锅炉受热面热力计算示例



## § 7-2 对流受热面热力计算

对流受热面是布置在锅炉烟道中，受高温烟气直接冲刷并以对流方式传递热量的那一部分受热面。

对流  
受热  
面

锅炉管束

烟管

过热器

省煤器

空气预热器



对流受热面传热计算的任务是：

1. 设计计算：已知要求传递的热量，确定需要多少受热面；
2. 校核计算：已知受热面，确定传递多少热量

实际常采用校核计算的方法，即先把受热面布置好，再进行传热计算，按照**传热方程计算**  $Q_{cr}$  的传热量与**热平衡方程计算**  $Q_{rp}$  的传热量比较，两者相差应不大于±2%为准。



# 对流受热面传热基本方程

对流受热面传热基本方程包括传热方程和热平衡方程。

## 1. 传热方程

$$Q_{cr} = \frac{KH\Delta t}{B_j}$$

式中  $Q_{cr}$  —— 对1kg燃料而言，烟气传递给工质的热量（kJ/kg）；

$K$  —— 传热系数[KW/(m<sup>2</sup>·K)]；

$\Delta t$  —— 温压（℃）；

$H$  —— 受热面面积（m<sup>2</sup>）；

$B_j$  —— 计算燃料消耗量（Kg/s）



## 2. 热平衡方程

(1) 烟气放出的热量为:

$$Q_{rp} = \varphi(h' - h'' + \Delta\alpha h_{lk}^0)$$

式中  $h'$  ——烟气在受热面进口处的焓值 (kJ/kg) ;

$h''$  ——烟气在受热面出口处的焓值 (kJ/kg) ;

$h_{lk}^0$  ——理论冷空气量的焓值。

除空气预热器外, 各受热面均可取20°C时理论空气量的焓值。

对空气预热器按进出口平均温度  $(t'_{ky} + t''_{ky})/2$  计算理论冷空气量的焓值 (kJ/kg) ;

$\Delta\alpha$  —— 计算受热面漏风系数, 从热平衡计算中得到;

$\varphi$  —— 保热系数, 从热平衡计算得到。



## 2. 热平衡方程

(2) 工质吸收热量为:

$$Q_{rp} = \frac{D}{B_j} (i'' - i') - Q_f$$

式中  $i'$ 、 $i''$  —— 工质进出口焓值 (kJ/kg) ;

$Q_f$  —— 来自炉膛的辐射吸热量 (kJ/kg) ;

$D$  —— 工质流量 (kg/s) 。



# 传热系数的计算

锅炉对流受热面的传热过程是：热烟气以辐射及对流方式对管子外壁放热，管外壁向管内壁导热以及管内壁对管内介质的对流传热。通常因运行原因，管子内外壁均有水垢和灰垢。

因此该传热过程的传热系数因考虑此部分热阻（热绝缘系数），故传热系数K的综合式为：

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_h}{\lambda_h} + \frac{\delta_b}{\lambda_b} + \frac{\delta_{sg}}{\lambda_{sg}} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

式中  $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$  —— 烟气对管壁及管壁对工质的放热系数[KW/(m<sup>2</sup>·K)];

$\delta_h$ 、 $\delta_b$ 、 $\delta_{sg}$  —— 分别为管外壁灰层厚度、金属管壁和管内壁水垢厚度（m）；

$\lambda_h$ 、 $\lambda_b$ 、 $\lambda_{sg}$  —— 分别为灰垢、金属和水垢的导热系数[KW/(m<sup>2</sup>·K)]。



通常，锅炉中金属壁厚很薄且导热系数较大，故金属热阻很小， $\delta_b/\lambda_b$ 可忽略不计。在正常运行工况下，不允许沉积水垢，故水垢热阻 $\delta_{sg}/\lambda_{sg}$ 亦可忽略。灰垢层热阻不可避免且与许多因素有关，如燃料种类、烟气流速、管径及布置方式和灰粒尺寸等。由于目前尚缺乏系统的数据资料，故采用灰污系数 $\varepsilon = \delta_h/\lambda_h$ 和热有效系数 $\psi$ 来考虑它的影响。

热有效系数的物理意义为被污染管子传热系数与清洁管传热系数之比。对蒸发受热面及省煤器受热面，管壁对工质的放热系数远大于，故其热阻 $1/\alpha_2$ 可以忽略不计。



对于工业锅炉的锅炉管束，传热系数K可以简化为：

$$K = \psi \alpha_1$$

式中  $\psi$  —— 热有效系数，按表7-3选取。

$\alpha_1$  —— 烟气对管壁的放热系数 [KW/(m<sup>2</sup> · K)]，可按下式计算：

$$\alpha_1 = \xi (\alpha_d + \alpha_f)$$

式中  $\xi$  —— 利用系数，是考虑烟气对受热面冲刷不完全而使吸热减少的修正系数，

对于工业锅炉的锅炉管束可取  $\xi = 0.95$ ；

$\alpha_d$  —— 对流放热系数 [KW/(m<sup>2</sup> · K)]；

$\alpha_f$  —— 辐射放热系数 [KW/(m<sup>2</sup> · K)]。



**表7-3 热有效系数  $\psi$**

燃料种类	$\psi$	燃料种类	$\psi$
无烟煤、贫煤	0.6	重油	0.6~0.65
烟煤、洗中煤、褐煤	0.65	气体燃料	0.85
页岩	0.5		

注：烟气流速增大时，取用较低值。



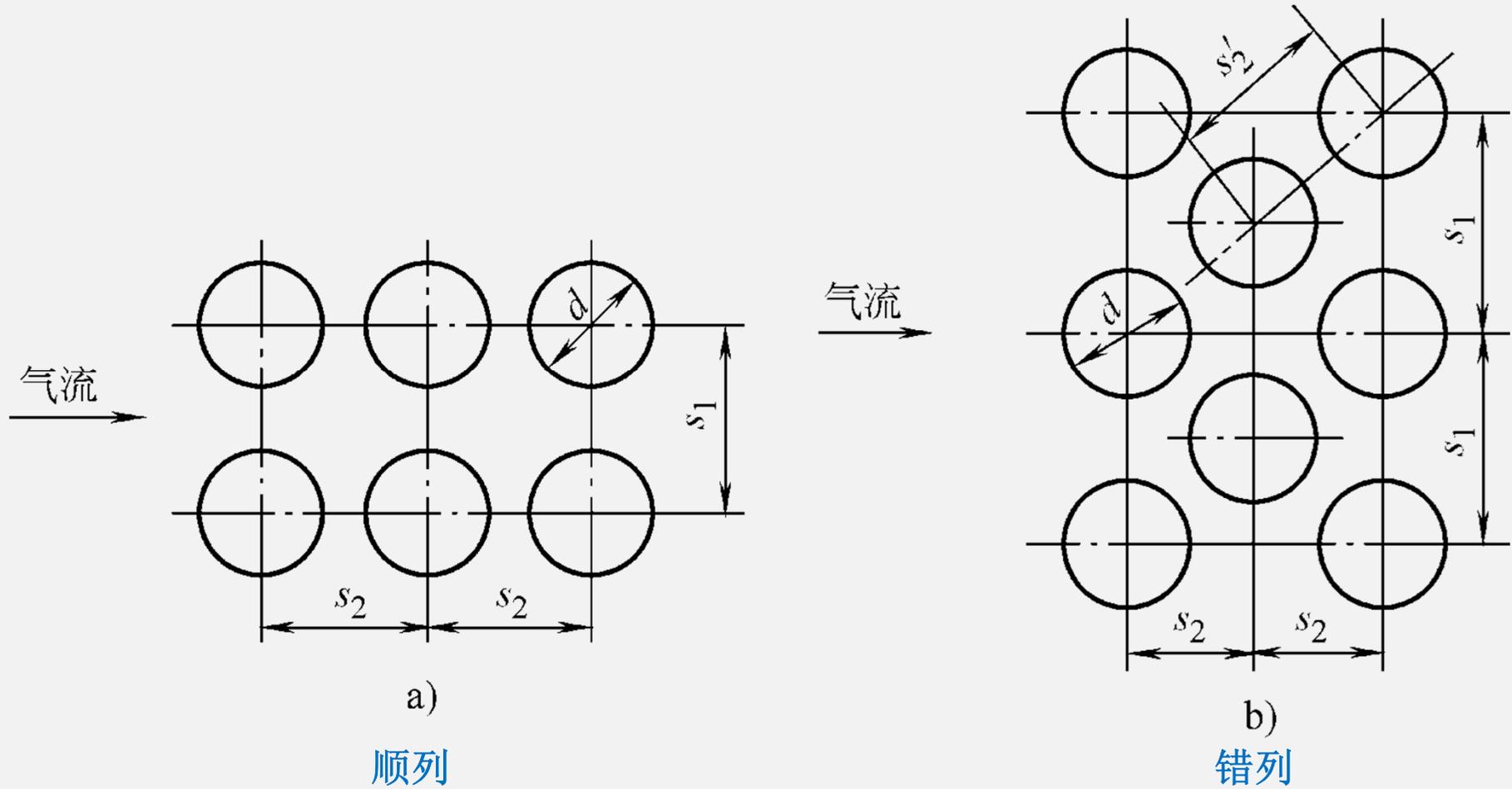
# 表面传热系数/对流放热系数的计算

## 1. 横向冲刷管束时的对流放热系数

在锅炉各对流受热面中，过热器、再热器、省煤器、凝渣管、锅炉管束等多为横向冲刷，管式空气预热器空气侧亦为横向冲刷。根据管子的布置方式有不同的计算式。管子的布置方式有顺列和错列两种，如图所示。



## 横向冲刷管束





## (1) 烟气横向冲刷顺列管束的对流传热系数

$$\alpha_d = C_s C_n C_w \alpha_H$$

式中  $\alpha_H$ ——基准放热系数，以温度  $t = 530^\circ\text{C}$ ，

组成成分  $r_{\text{H}_2\text{O}} = 0.11$ 、 $r_{\text{CO}_2} = 0.13$  的烟气作基准 $[\text{KW}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$ ，查图；

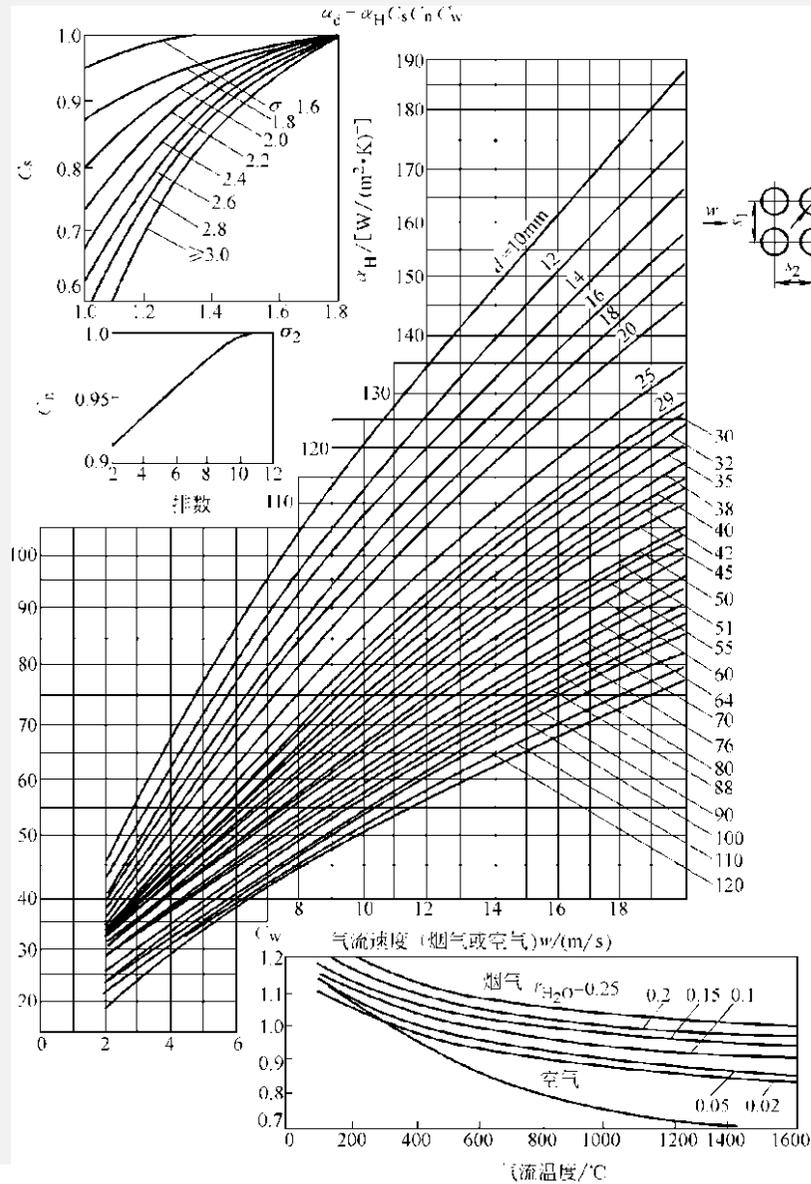
$C_s$ ——考虑管束相对节距影响的修正系数， $\sigma_1 = s_1/d$   $\sigma_2 = s_2/d$ ，查图；

$C_n$ ——沿烟气行程方向管排数修正系数，查图；

$C_w$ ——气流温度及烟气成分等物理性能的修正系数，查图。



## 烟气横向冲刷顺列管束 的对流传热系数



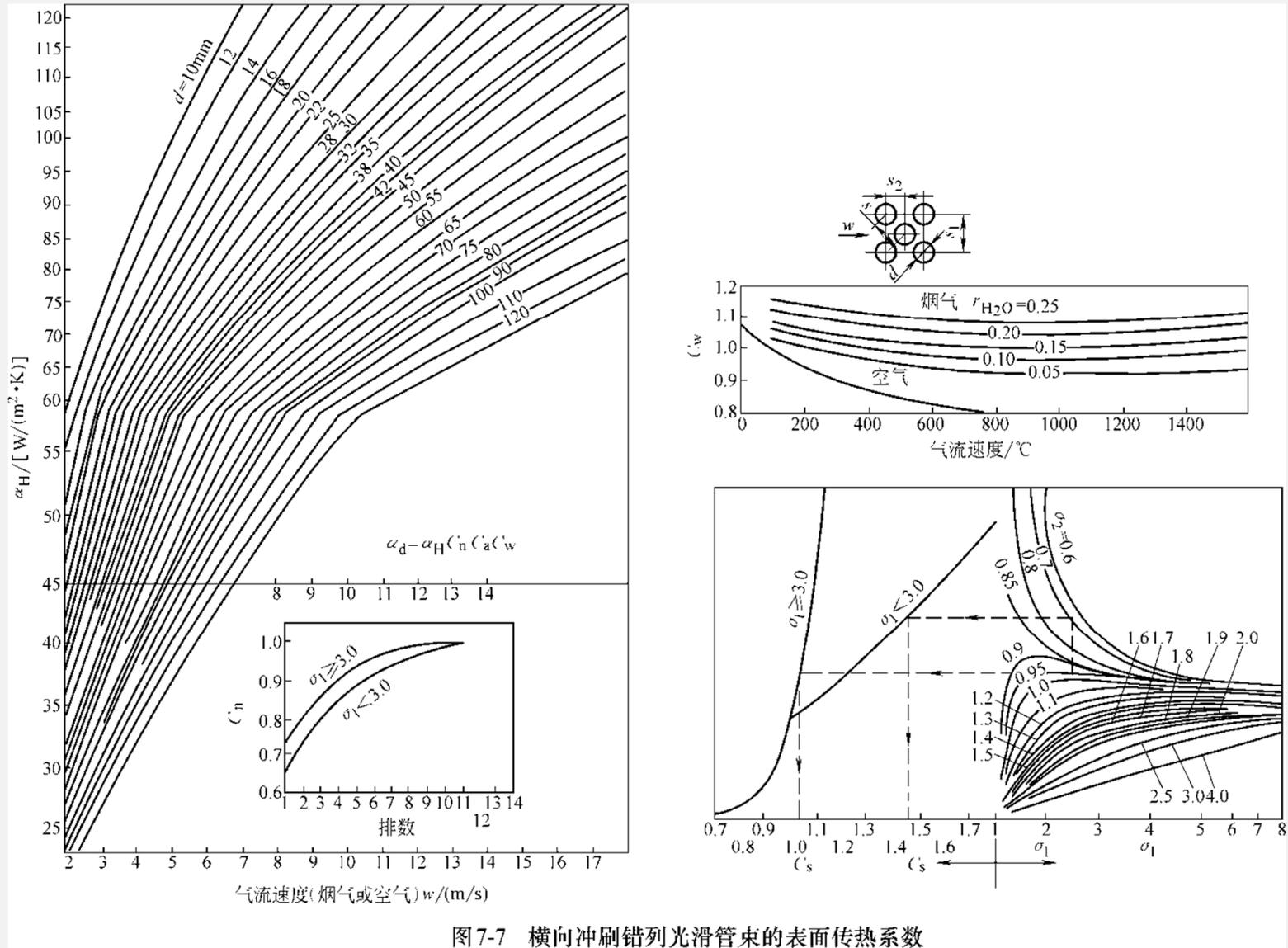


## (2) 烟气横向冲刷错列管束的对流传热系数

烟气冲刷错列管束时，其对流放热系数的计算  $\alpha_d = C_s C_n C_w \alpha_H$

基准放热系数，以温度  $t = 530^\circ\text{C}$ ，组成成分  $r_{\text{H}_2\text{O}} = 0.11$ 、 $r_{\text{CO}_2} = 0.13$

式中  $\alpha_H$ 、 $C_s$ 、 $C_n$ 、 $C_w$  查图7-7。





## 2. 纵向冲刷管束时的对流放热系数

当烟气被冷却时  $\alpha_d = C_l C_w \alpha_H$

当空气被加热时  $\alpha_d = C_l C'_w \alpha_H$

式中  $\alpha_H$ ——基准放热系数[KW/(m<sup>2</sup>·K)], 查图7-8;

$C_l$  —— 相对长度修正系数, 查图7-8;

$C_w$ 、 $C'_w$  —— 气流温度及烟气成分等物理性能的修正系数, 查图7-8。

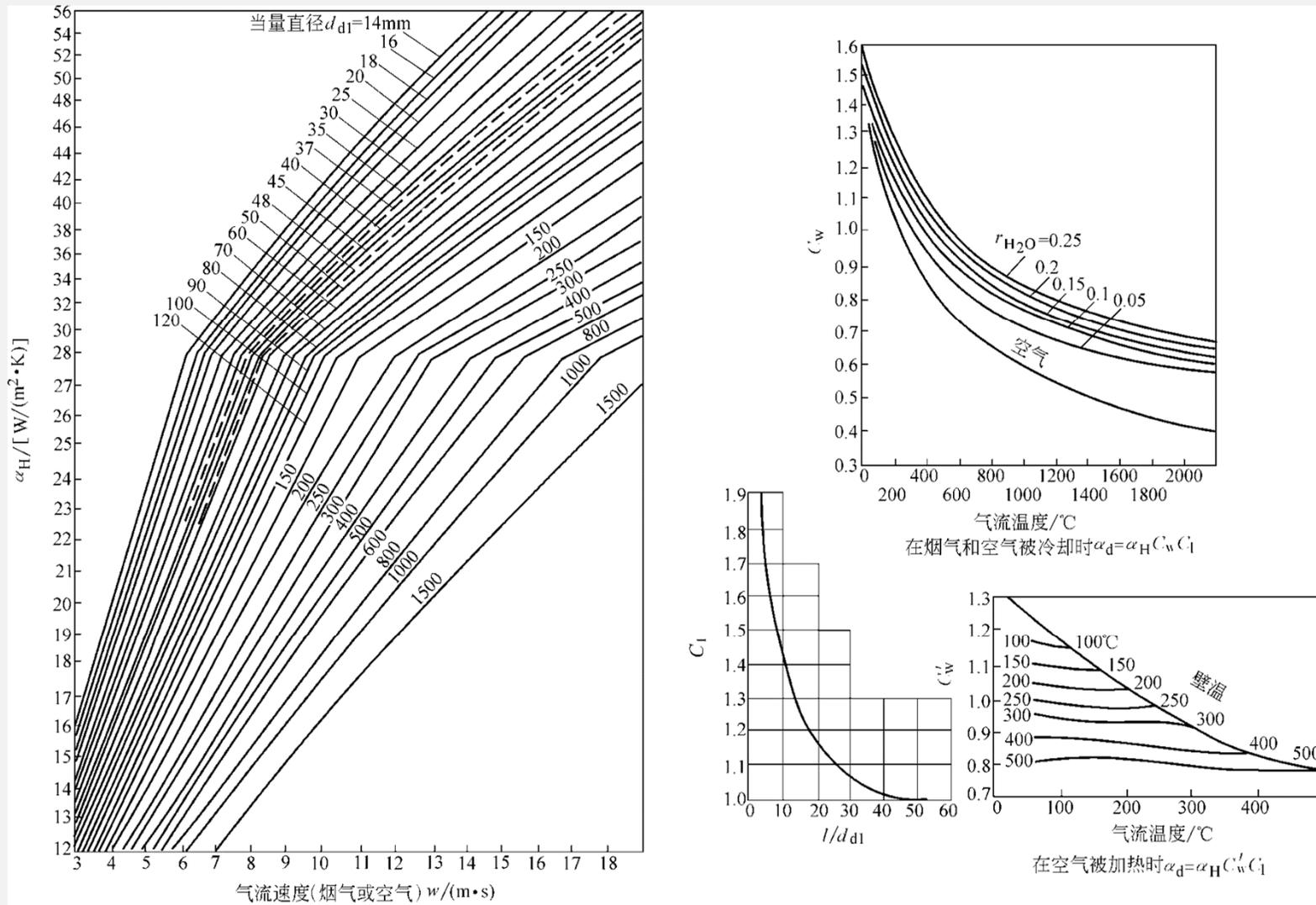


图7-8 空气和烟气做纵向冲刷时的表面传热系数



当所求受热面烟道由流通截面不同的几段组成，且它们的受热面结构特性、冲刷特性均相同时，则平均流通截面积按各部分烟道所具有的受热面积加权平均，即：

$$F_{pj} = \frac{H_1 + H_2 + H_3 + \dots}{\frac{H_1}{F_1} + \frac{H_2}{F_2} + \frac{H_3}{F_3} + \dots}$$

式中  $H_1$ 、 $H_2$ 、 $H_3$ ——对应于流通截面积分别是  $F_1$ 、 $F_2$ 、 $F_3$  等的受热面积（ $\text{m}^2$ ）。

当气流斜向冲刷管束时，如图7-9所示，应先按通道截面积乘以  $1/\sin\beta$  求得计算流通截面，然后再按横向冲刷计算对流放热系数  $\alpha_d$ 。对于顺列布置管束，如夹角  $\beta < 80^\circ$ ，则需对计算结果乘以修正值1.07。对于错列管束则不需修正。

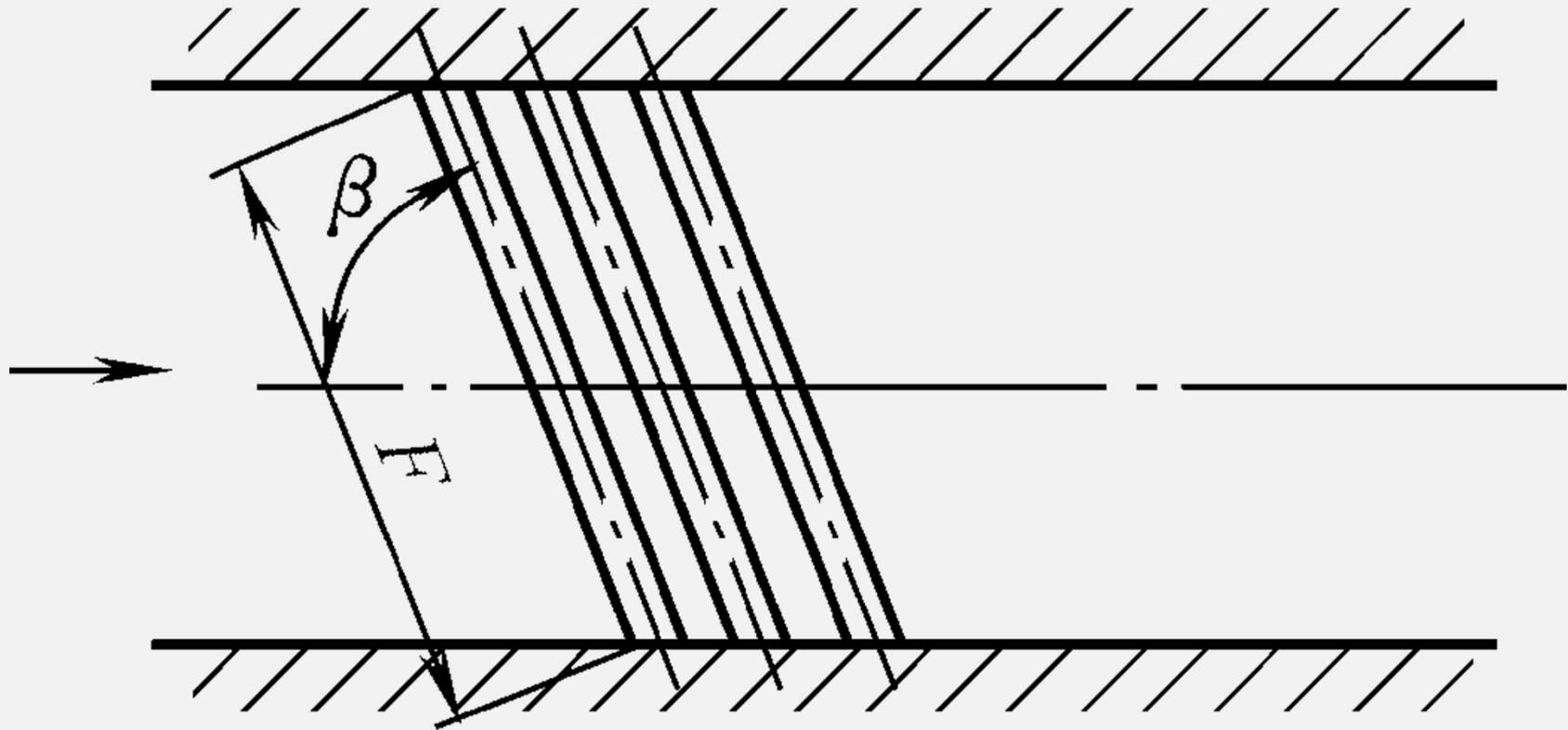


图7-9气流斜向冲刷时，确定流通截面的示意图

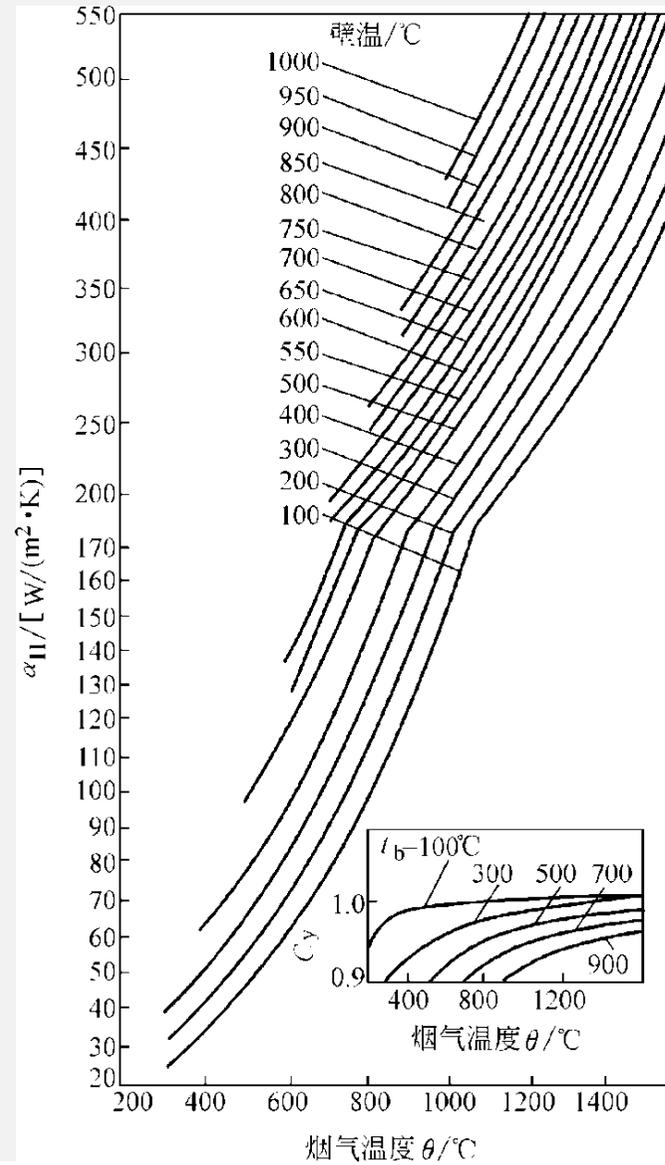


## 辐射传热系数的计算

炉膛中产生的高温烟气流经对流受热面时主要以对流的方式把热量传递给受热面中的工质。但烟气中的三原子气体以及随烟气一起流动的飞灰粒子均具有一定的辐射能力，它们也将以辐射方式将热量传递给受热面内的工质。辐射放热系数可按线算图7-10确定。



## 辐射放热系数





## 平均温压

在锅炉各对流受热面中，烟气和工质进行着热量交换，沿烟气及工质的流程，它们各自的温度是变化的，因此所谓温压是指烟气与工质在整个受热面中的平均温差。



# 第七章 工业锅炉受热面热力计算

7.1 辐射受热面热力计算

7.2 对流受热面热力计算

7.3 工业锅炉受热面热力计算示例



## 作业:

1. 热有效系数? 污染系数? 系数 $M$ ? 火焰黑度? 三原子气体?
2. 为什么炉膛出口烟气温度不能太高, 也不能太低而要保持在一个合理的取值范围内?
3. 简述受热面热力计算的目的。



The End



作业：



## 作业:

热有效系数: 受热面的吸收热量与投射到炉壁上的热量之比。

污染系数: 受热面的吸热量与投射到受热面上的热量之比。

系数M: 经验系数, 和燃料性质、燃烧方法、燃烧器布置的相对高度等因素有关。

火焰黑度: 表示炉内高温介质的辐射能力的一个设定黑度。

三原子气体: 指水蒸气、二氧化碳、二氧化硫等气体。

### 二、问答题

1. 写出炉膛内辐射换热的基本方程式。

答: 见p189, 式9-1, 9-2, 9-3。

2. 煤粉火焰中具有辐射能力的物质有哪些? 按其辐射能力从大到小排列。

答: 具有热辐射能力的介质是三原子气体、水蒸气、灰粒、焦碳颗粒。

按其辐射能力从大到小排列为: 灰粒、焦碳、三原子气体、水蒸气。

3. 炉膛内传热计算中,  $\Delta x$ 的物理意义是什么?

答: 火焰最高温度点的相对位置修正值。

4. 古尔维奇方法中, 炉膛黑度和什么因素有关?

答: 和发光火焰的黑度、三原子气体的火焰黑度以及火焰发光系数有关。

1、为什么炉膛出口烟气温度不能太高, 也不能太低而要保持在一个合理的取值范围内?

2、简述受热面热力计算的目的。