

第五章 煤粉炉燃料原理及燃烧设备

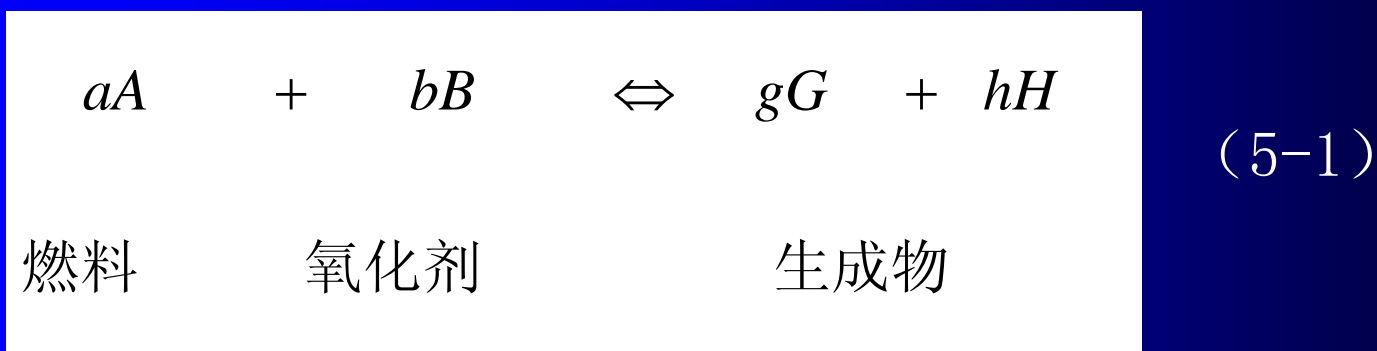
第一节 燃烧化学反应动力学基础

燃烧一般是指燃料与氧化剂进行的剧烈化学反应。

一、燃烧化学反应速度

(一) 化学反应速度

燃料的燃烧化学反应可用下面通式表示：



化学反应速度：指单位时间内反应物浓度的减少或生成物浓度的增加。

多相燃烧用**氧化剂浓度**变化表示化学反应速度。

$$w_h^B = - \frac{dC_B}{dt} \quad (5-2)$$

(二) 影响化学反应速度的因素

1. 浓度对化学反应速度的影响

增加反应物的浓度，分子之间的碰撞次数就会增多，反应速度就会加快。

质量作用定律：炭粒燃烧的化学反应速度

$$w_h = -\frac{dC_B}{d_t} = kC_B$$

2. 压力对化学反应速度的影响

反应物压力高，意味着反应物浓度大，化学反应速度就越快。

3. 温度对化学反应速度的影响

温度越高，活化分子数就越多，化学反应速度就越快。

阿累尼乌斯定律：

$$k = k_0 e^{-\frac{E}{RT}}$$

式中：k— 反应速度系数

k_0 — 频率因子

E— 活化能

4. 连锁反应

在气体燃料燃烧反应过程中，可以自动产生一系列活化中心，这些活化中心不断繁殖，使反应由一系列中间过程组成，整个燃烧反映就像链一样一节一节传递下去，这种反应就被称为**连锁反应**。

5. 催化作用

在化学反应中，如果将某些物质加到反应系统中，可以使化学反应速度发生变化，这种作用称为**催化作用**，产生催化作用的物质称为**催化剂**。

二、氧的扩散速度

炭粒与氧的燃烧化学反应是在炭粒表面进行的，化学反应消耗部分氧后，炭粒反应表面氧浓度小于周围介质中的氧浓度，因为这种浓度差，周围环境的氧就不断向炭粒表面扩散。氧的扩散速度可由下式确定：

$$w_{ks} = \alpha_{ks} (C_0 - C_B) \quad (5-5)$$

式中： α_{ks} -扩散速度系数。 $\alpha_{ks} \propto \frac{w^{\frac{2}{3}}}{d^{\frac{1}{3}}}$

三、氧的扩散速度

(一) 碳粒的燃烧过程和燃烧速度

炭粒表面的多相燃烧大致包括如下几个过程：

- (1) 参加燃烧的氧从周围环境扩散到炭粒的反应表面；
- (2) 氧被炭粒表面吸附；
- (3) 在炭粒表面进行燃烧化学反应；
- (4) 燃烧产物由炭粒表面解吸附；
- (5) 燃烧产物离开炭粒表面，扩散到周围环境中。

炭粒表面燃烧速度的表达式如下：

$$w_r = \frac{1}{\frac{1}{k} + \frac{1}{\alpha_{ks}}} C_0 = k_z C_0 \quad (5-7)$$

式中： k_z —折算速度系数，即：

$$k_z = \frac{1}{\frac{1}{k} + \frac{1}{\alpha_{ks}}} \quad (5-8)$$

(二) 燃烧区域

按照化学反应条件与气体扩散条件对燃烧速度影响的不同，燃烧过程可能处于以下三种不同区域。

1. 动力燃烧区

当温度较低时（小于1000℃），氧的扩散速度远大于化学反应速度，即 $\alpha_{ks} \gg k$ ，燃烧速度主要决定于化学反应速度，这种燃烧反应温度区称为动力燃烧区。

2. 扩散燃烧区

当温度很高时（大于1400℃），化学反应速度远大于氧的扩散速度，即 $\alpha_{ks} \ll k$ ，这种燃烧反应温度区称为扩散燃烧区。

3. 过渡燃烧区

介于上述两种燃烧区之间的温度区，氧的扩散速度与炭粒表面的化学反应速度相差不多，这时化学反应速度和氧的扩散速度都对燃烧速度的影响相当。这个燃烧反应温度区称为过渡燃烧区。

第二节 煤和煤粉的着火和燃烧

一、热力着火

(一) 着火与着火温度

燃料着火：由缓慢的氧化反应转变到剧烈的氧化反应，这一瞬间现象。

着火温度或着火点：燃料开始发生剧烈氧化反应（即着火）时所需的最低温度。

热力着火：由于温度不断升高所引起的燃料着火

以煤粉空气混合物在炉内的燃烧为例：

煤粉空气混合物燃烧放热量 Q_1 ，单位为kJ/s：

$$Q_1 = k_0 C_{o_2}^b e^{-E/RT} V Q_r \quad (5-9)$$

式中： k_0 -频率因子，近似认为它是一个常数；

C_{o_2} -可燃混合物中煤粉反应表面氧浓度， kmol/m^3 ；

b -燃烧反应式中氧的反应系数；

E -活化能， kJ/Kmol ；

R -通用气体常数， $=8.314\text{kJ}/(\text{kmol}\cdot\text{k})$ ；

T -反应系统温度， k ；

V -可燃混合物容积， m^3 ；

Q_r -可燃反应热（即发热量）， kJ/kmol ；

向周围介质散失的热量 Q_2 为：

$$Q_2 = \alpha A (T - T_b) \quad (5-10)$$

式中： α - 混合物向炉膛壁面的综合放热系数，它等于对流传热系数与辐射放热系数之和；

A - 炉膛壁面面积， m^2 ；

T_b - 炉膛壁面的温度，K。

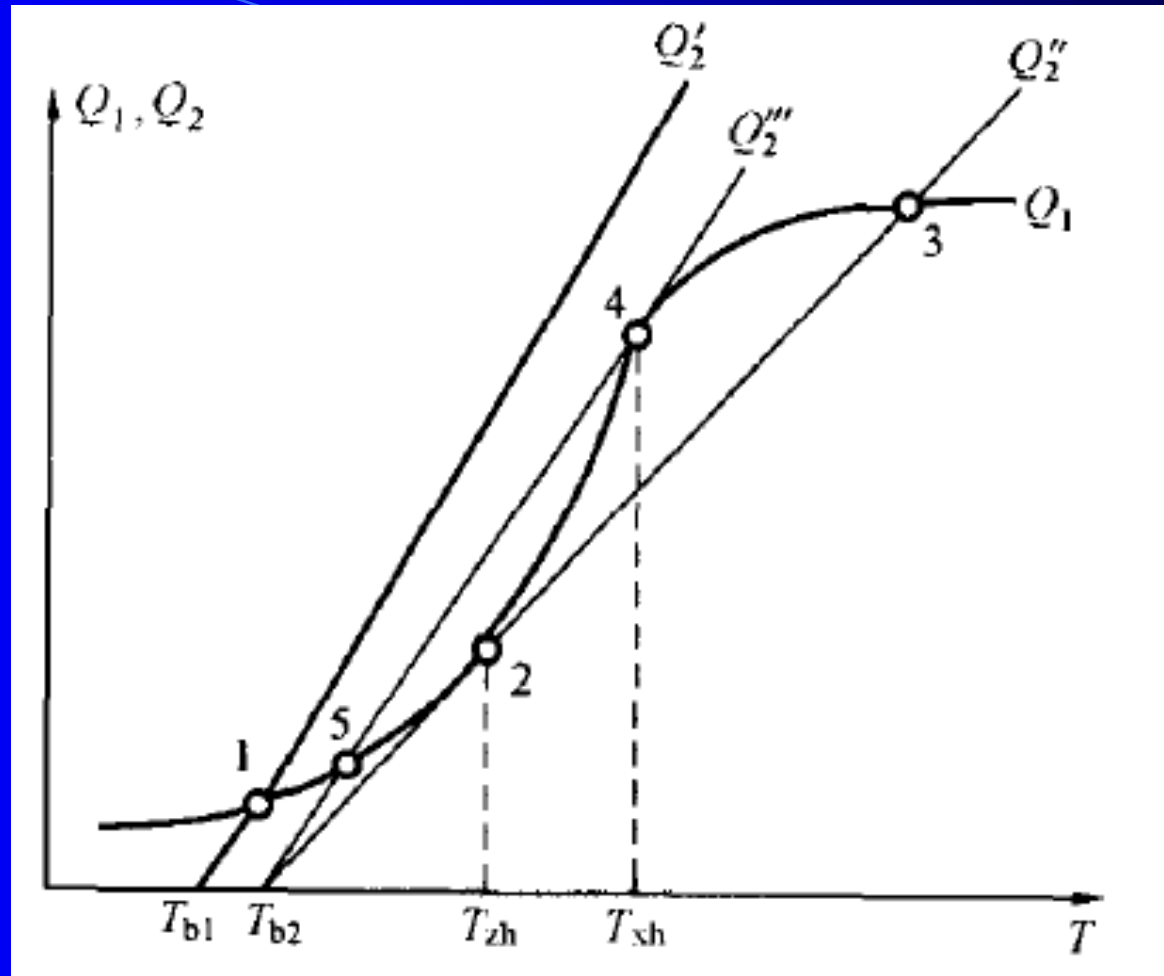


图5-2 煤和煤粉的着火和燃烧

点1表示的是一个稳定的低温缓慢氧化状态。

点2即为热力着火点。点4即为热力熄火点。

(二) 着火热

1. 着火热及其计算

煤粉混合物进入炉膛后，将煤粉气流加热到着火温度所需的热量称为着火热。它包括加热煤粉及空气（一次风）、使煤粉气流中水分蒸发和过热所需要的热量。

2. 着火热的来源

卷吸炉膛高温烟气而产生的对流换热（主要）

炉内高温火焰的辐射换热

二、煤粉的燃烧过程

(一) 燃烧阶段

1. 着火前的准备阶段

煤粉气流喷入炉膛至着火这一阶段

2. 燃烧阶段

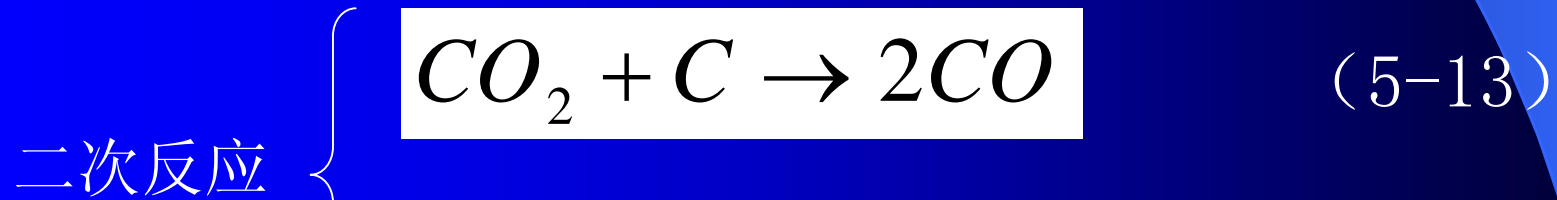
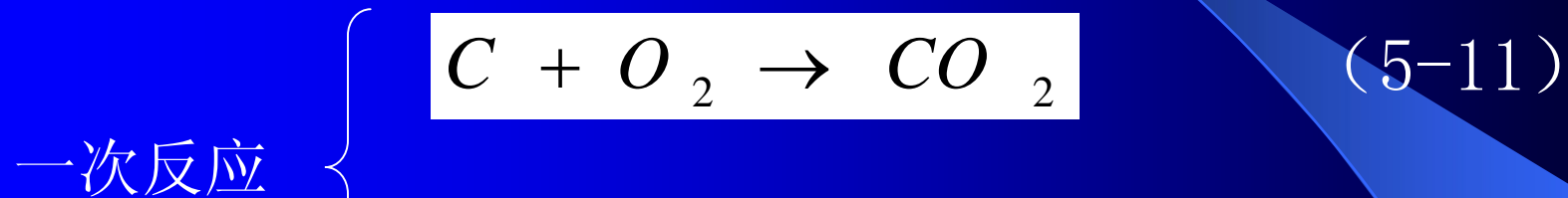
燃烧阶段是一个强烈的放热阶段。煤粉气流一旦着火燃烧，可燃质与氧就发生高速的燃烧化学反应，放出大量的热量，烟气温度迅速升高达到最大值，氧浓度及飞灰含碳量则急剧下降。

3. 燃尽阶段（时间最长）

燃尽阶段是燃烧过程的继续。煤粉经过燃烧后，炭粒变小，表面形成灰壳，大部分可燃物已经燃尽，只剩少量残炭继续燃烧。

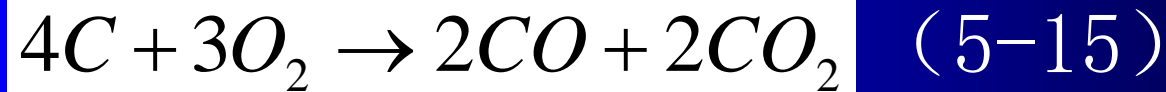
(二) 碳粒的燃烧机理

碳粒的燃烧机理是比较复杂的。大多数研究认为，碳与氧作用同时生成和，其反应式为：



静止气流下的炭粒燃烧机理：

碳粒在静止的空气中或碳粒与空气两者无相对运动燃烧时，在温度低于1200℃时，按下示反应式进行燃烧反应：



当温度高于1200℃以后，碳粒燃烧开始转向如下反应：



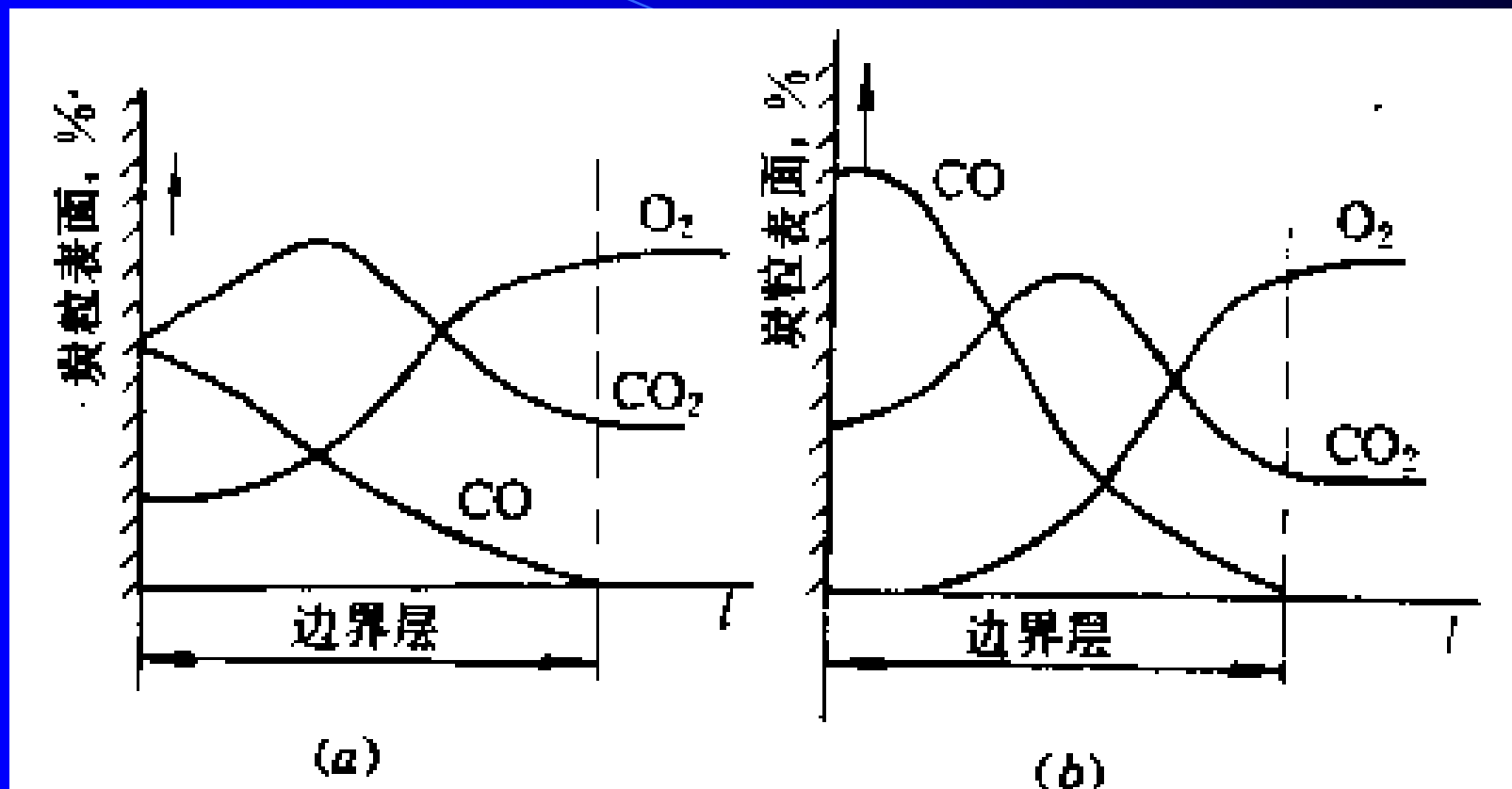


图5-3 碳粒表面燃烧过程
 (a) 温度低于 1200°C ； (b) 温度高于 1200°C

三、影响煤粉气流着火的因素

1. 燃料的性质

- 挥发分含量降低，煤粉气流的着火温度显著提高，着火热也随之增大。（影响最大）
- 水分增大，着火热也随之增大，致使炉内温度水平降低，对着火也是不利的。
- 灰分在燃烧过程中不但不能放热，而且还要吸热。
- 煤粉细度也会影响煤粉气流的着火温度，煤粉愈细，着火愈容易。

2. 炉内散热条件

- 减少炉内散热，有利于着火。
- 在实践中为了加快和稳定低挥发分煤的着火常在燃烧器区域用铬矿砂等耐火材料将部分水冷壁遮盖起来，构成**卫燃带**。
- 目的是减少水冷壁吸热量，即减少燃烧过程的散热，提高燃烧器区域的温度水平，从而改善煤粉气流的着火条件。

3. 煤粉气流的初温

- 提高初温，可减少着火热，使煤粉尽快着火。
- 燃用低挥发分煤时，常采用热风送粉系统。

4. 一次风量和一次风速

- 增加煤粉气流中的一次风量，相应增加了着火热，会使着火推迟；减小一次风量，会使着火热显著降低，有利于着火。
- 一次风速对着火过程也有一定的影响。一次风速过高，通过单位截面积的流量增大，势必降低煤粉气流的加热速度，使着火距离加长。
- 一次风率

5. 燃烧器结构特性

主要是指一、二次风混合的情况。

- 一、二次风混合过早，若在煤粉气流着火前就混合，增大了一次风量，使着火热增大，推迟着火过程。
- 燃用低挥发分煤种时，应使一、二次风的混合点适当推迟。
- 燃用高挥发分煤时，因为煤粉着火快，一、二次风的混合点要早些。

6. 锅炉负荷

锅炉负荷降低时，送进炉内的燃料消耗量相应减少，而水冷壁总的吸热量虽然也减少，但减少的幅度较小，相对于单位质量燃料来说，水冷壁的吸热量反而增加了。

四、燃烧完全的条件

燃烧效率：

$$\eta_r = \frac{Q_r - Q_3 - Q_4}{Q_r} \times 100\% = 100 - q_3 - q_4$$

- (1) 合适的空气量；
- (2) 适当高的炉温；
- (3) 空气与燃料的良好扰动和混合；
- (4) 足够的炉内停留时间。

五、强化煤粉气流燃烧的措施

- (一) 提高热风和一次风温度
- (二) 限制一次风量
- (三) 合理送入二次风
- (四) 着火区保持高温
- (五) 选择适当的煤分细度
- (六) 强化燃烧阶段和燃尽阶段
- (七) 合理组织炉内空气动力工况

第三节 燃烧器和点火装置

一、燃烧器

煤粉燃烧器是煤粉炉燃烧设备的主要部分，其作用是：

- (1) 将携带煤粉的一次风和助燃的二次风送入炉膛，并组织一定的气流结构，使煤粉迅速稳定地着火；
- (2) 同时使煤粉和空气合理混合，达到煤粉在炉内迅速完全燃烧的目的。

根据燃烧器出口气流特点分类

- **直流燃烧器**：出口气流为直流射流或直流射流组的燃烧器；
- **旋流燃烧器**：出口气流为旋转射流的燃烧器，燃烧器出口气流可以是旋转射流的组合，也可以是旋转射流和直流射流的组合。

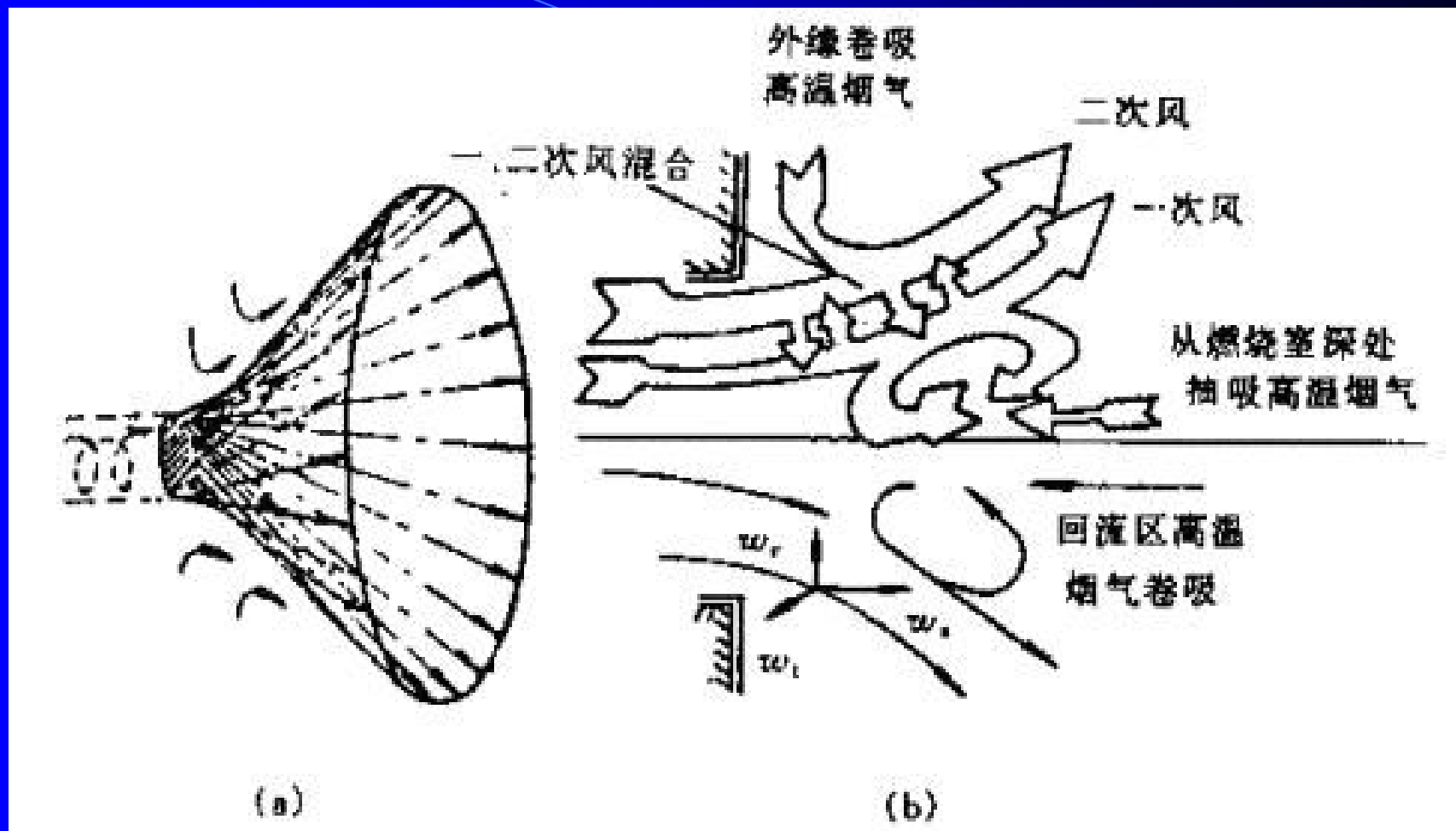


图5-4 旋转射流示意图

(a) 旋转自由射流； (b) 射流卷吸和混合示意

二、直流燃烧器

（一）直流燃烧器的工作原理

- 从燃烧器喷口出来的气流称为**射流**。
- 射流向前扩展时，带动周围静止的气体一起前进，这种现象称为**卷吸**。
- 假定射流某一截面上的最大轴线速度降低到某一数值时（5%初始速度）为射流終了，该射流終了截面距喷口的距离即称为**射程**。

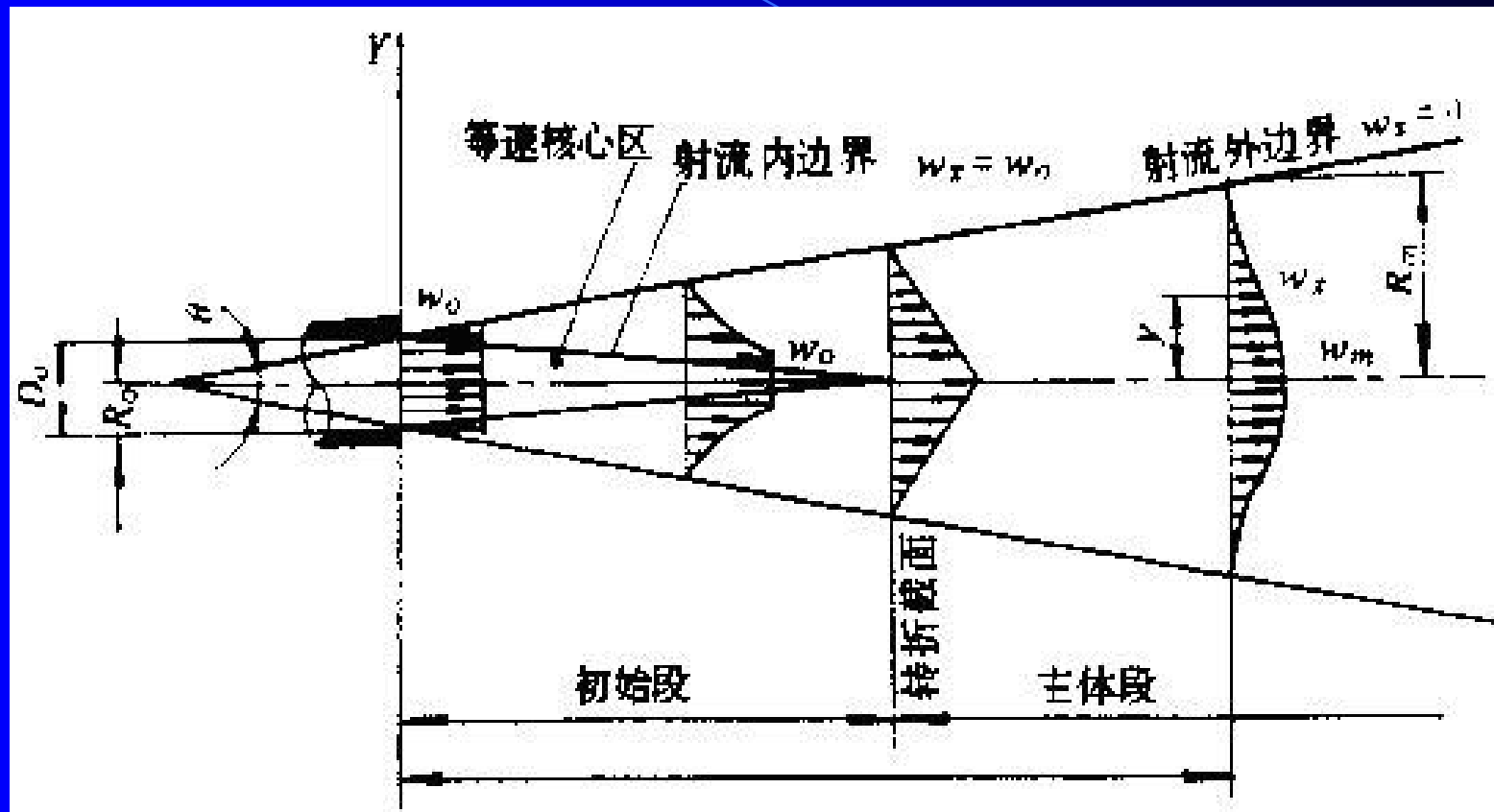


图5-5 直流紊流自由射流示意图

影响射程的因素:

- (1) 射流初速度。喷嘴出口气流速度（射流初速）越大，射程越远；
- (2) 喷口形状。当截面大小相当、射流初速相同时，矩形喷口射流的射程较远。
- (3) 喷口尺寸
 - 在喷口通流截面不变的情况下，如果将一个大喷口分为几个小喷口时，可增加射流的卷吸能力，射程将缩短；
 - 矩形喷口的高宽比对射流特性也有一定的影响。当射流初速和喷口通流截面积不变时，高宽比越大，喷口周界越大，射流外边界越大，射流卷吸周围介质的能力增强，射流轴线速度衰减加快，射程将缩短。

(二) 直流煤粉燃烧器结构和型式

燃烧器出口形状：圆形、矩形或多边形

一次风：煤粉气流

二次风：燃烧所需空气

三次风：制粉系统的乏气

切圆燃烧

1. 均等配风直流煤粉燃烧器

- 均等配风方式的一、二次风喷口相间布置；
- 均等配风方式的一、二次风喷口间距相对较近，一、二次风从喷口流出后能很快混合，适用于挥发分较高的烟煤和褐煤，所以又叫做烟煤-褐煤型直流煤粉燃烧器。

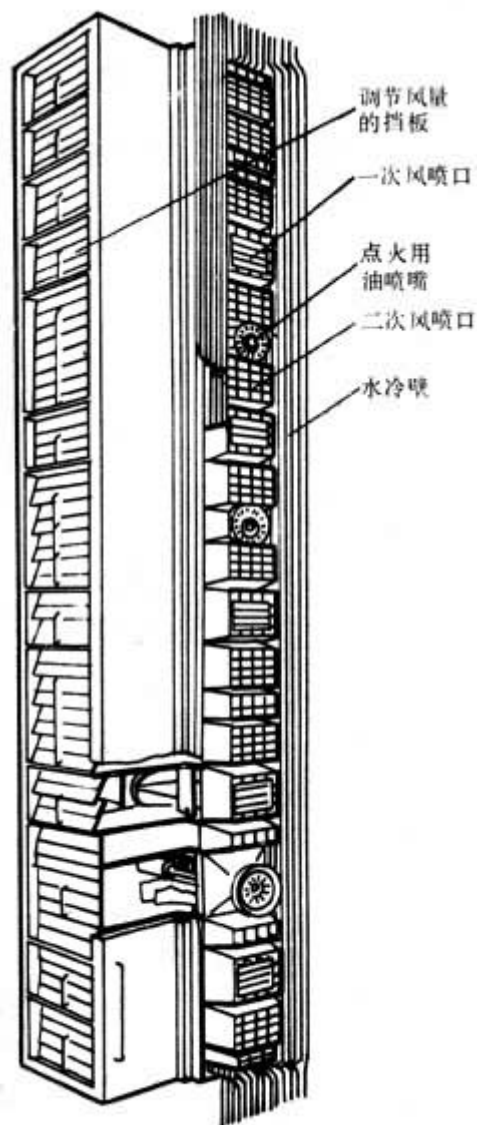


图2 直流式煤粉燃烧器

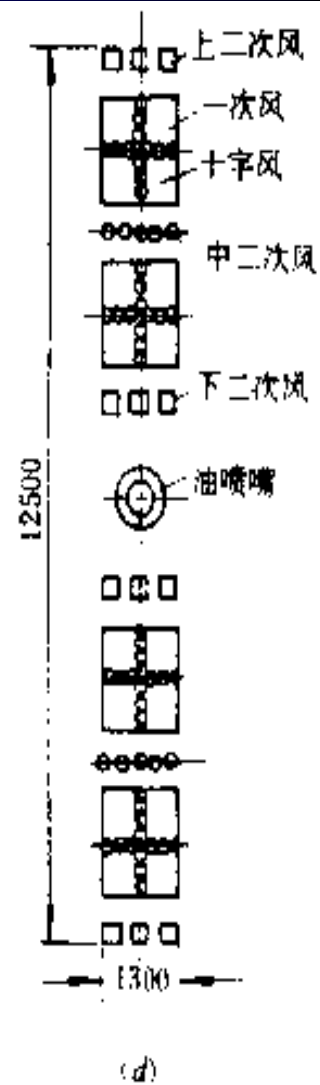
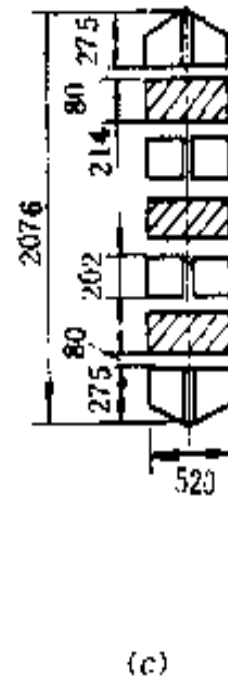
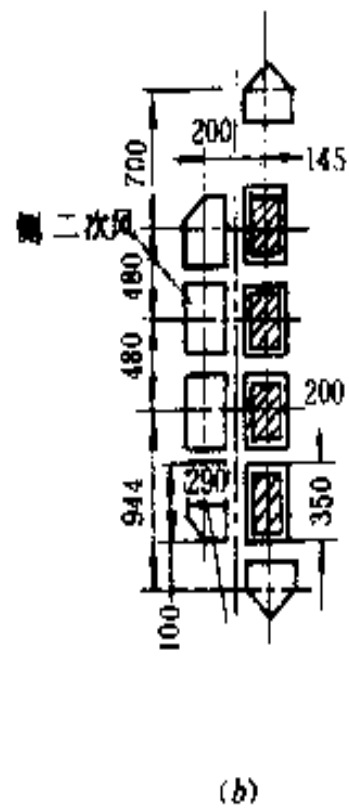
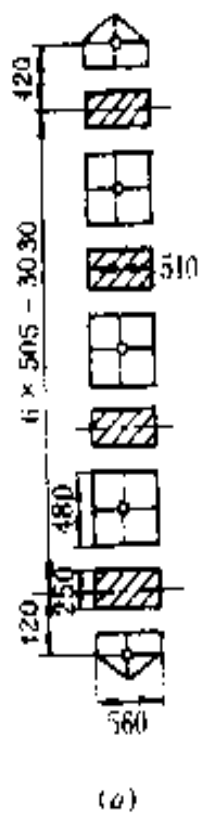


图5-6 均等配风直流煤粉燃烧器



直流燃烧器喷口



百叶窗水平浓淡燃烧器



百叶窗水平浓淡燃烧器



带油枪的百叶窗水平浓
淡燃烧器



2. 分级配风直流煤粉燃烧器

- 分级配风方式将一次风喷口集中布置在一起，二次风喷口分层布置。
- 二次风分级分阶段送入燃烧的煤粉气流中，一、二次风喷口保持较大的距离，以便控制一、二次风的混合时间，这对于无烟煤的着火与燃烧是有利的。
- 故此种燃烧器适用于无烟煤、贫煤和劣质烟煤，所以又叫做无烟煤型直流煤粉燃烧器。

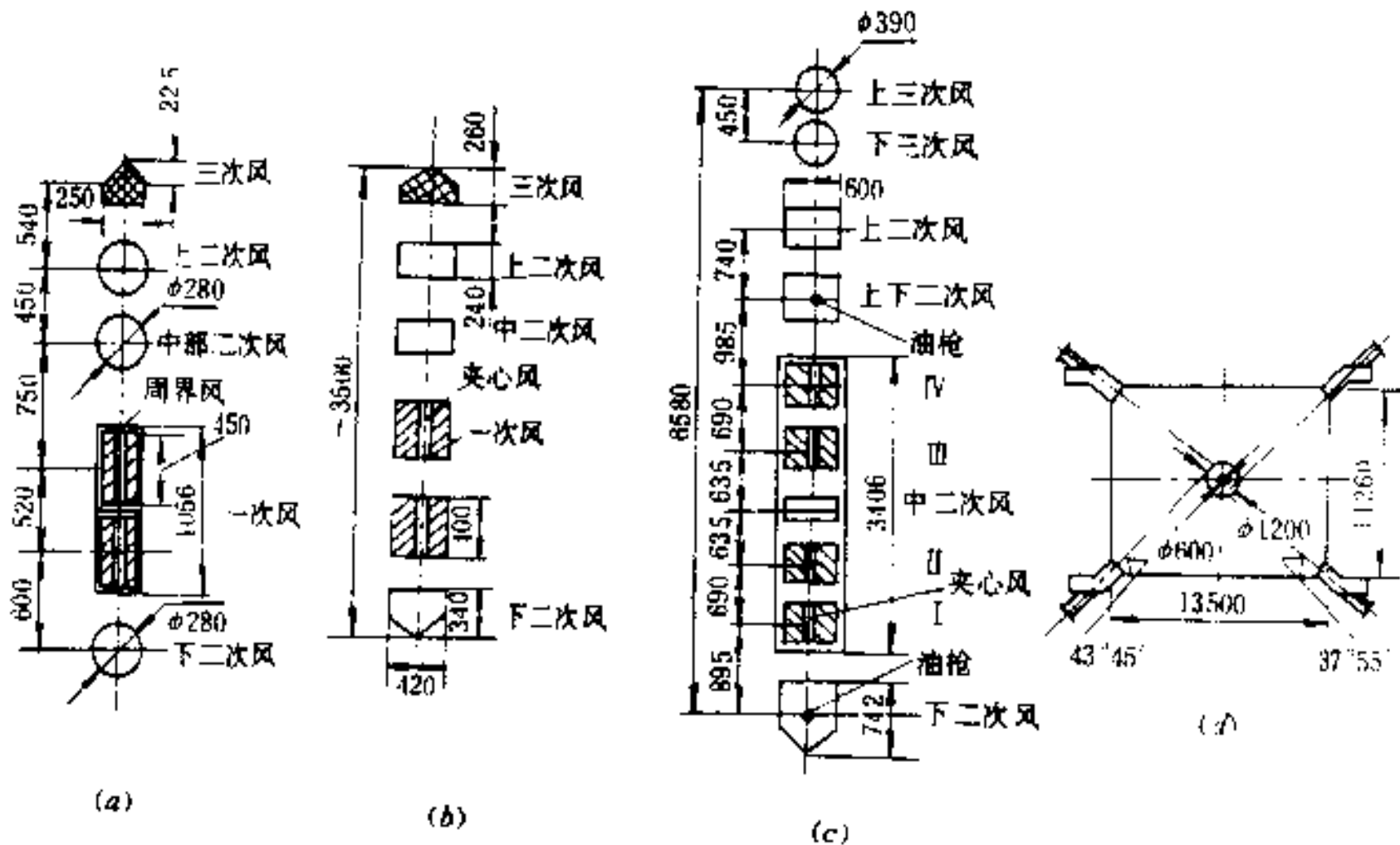


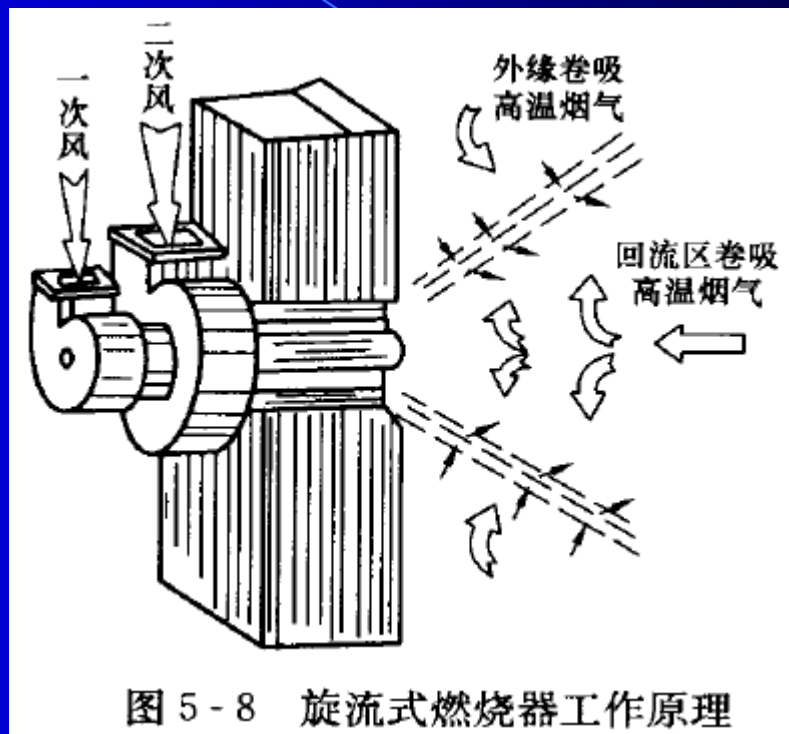
图5-7 分级配风直流煤粉燃烧器

(a) 锅炉容量130t/h, 适用无烟煤 (周界风) t/h; (b) 锅炉容量220t/h, 适用无烟煤 (夹心风); (c) 锅炉容量670t/h, 适用无烟煤 (夹心风); (d) 670t/h锅炉燃烧器四角布置

三、旋流燃烧器

(一) 旋流燃烧器的工作原理

1. 工作原理



燃烧器中的一次风喷口在内部，一次风喷口射出的可以是旋转射流，也可以是直流射流；二次风喷口在外部，二次风喷口出来的是旋转射流，整个燃烧器射出的射流为旋转射流。



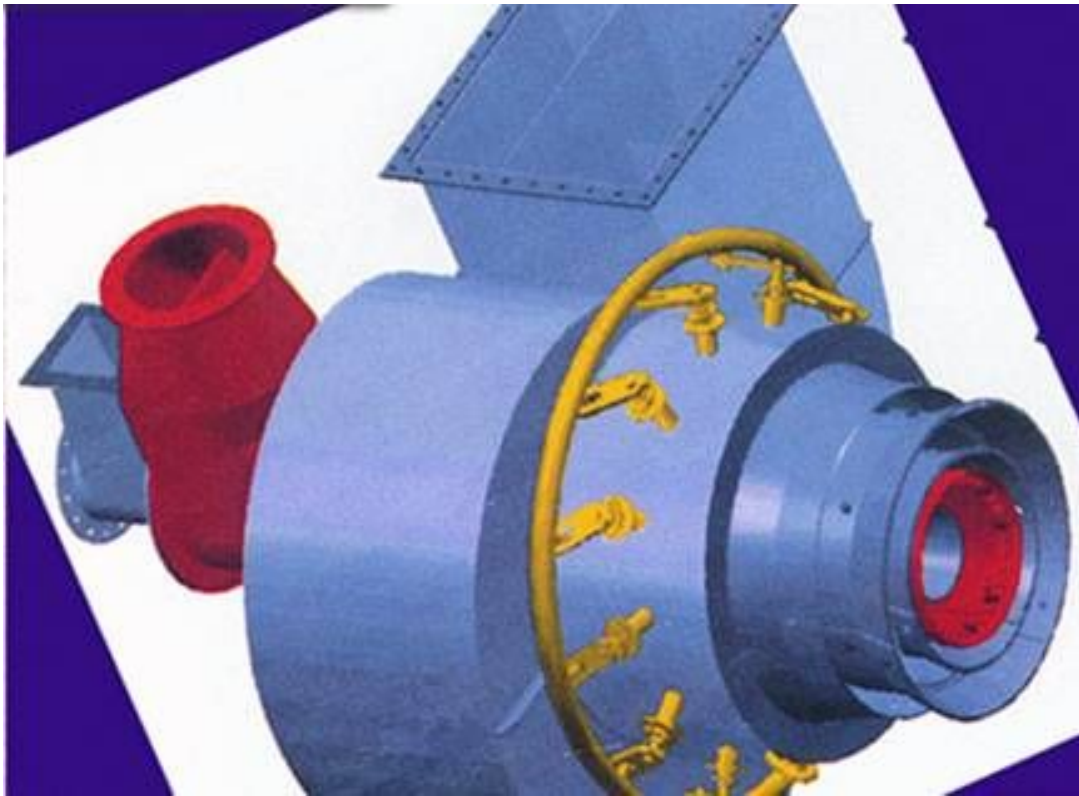
燃烧器安装位置



旋流燃烧器喷口



旋流燃烧器

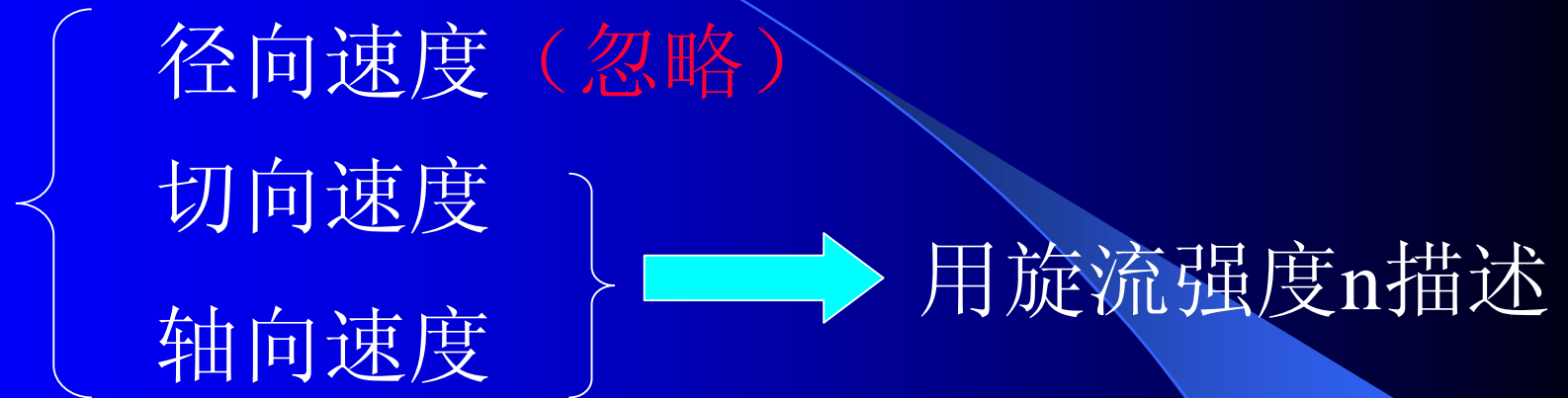


旋流燃烧器外观图

燃烧器调节挡板



2. 数学描述



$$n = \frac{M}{KL}$$

3. 特点

(1) 空心圆锥形气流;

(2) 卷吸作用强烈;

(3) 射程短;

(4) 火焰形式讨论:

封闭式火焰

开放式火焰

飞边火焰

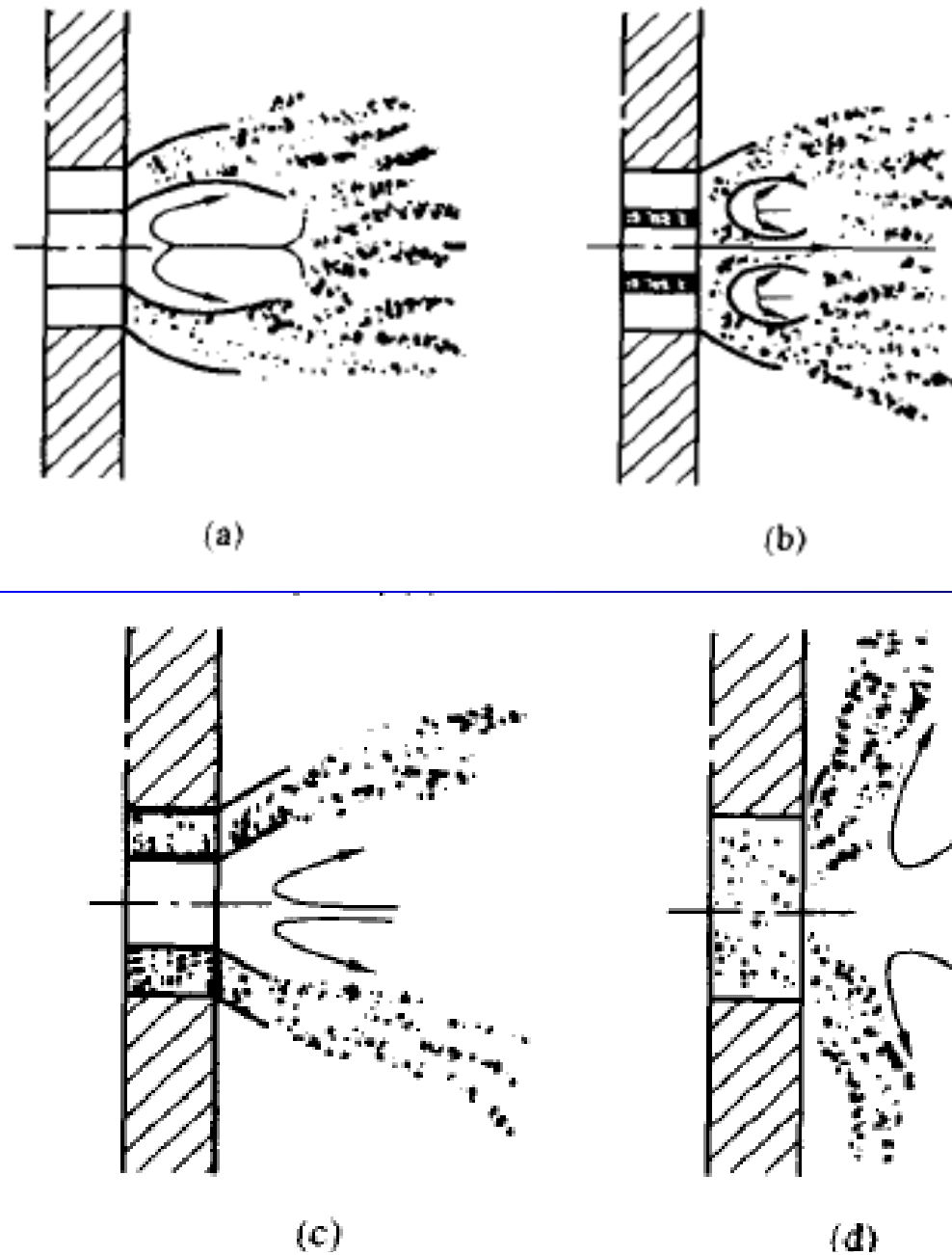


图 5-9 旋流燃烧器火焰示意图

(a) 单个回流区的封闭火焰；(b) 环形回流区的封闭火焰；(c) 开放火焰；(d) 飞边火焰

（二）旋流燃烧器的型式

1. 蜗壳式燃烧器

（1）单蜗壳型旋流煤粉燃烧器

- 一次风为直流，经中心一次风管喷入炉膛，一次风管出口装有扩流锥，使气流扩散。二次风气流通过蜗壳旋流器产生旋转运动，以旋转射流方式喷入炉膛，二次风蜗壳进口处装有舌形挡板，改变舌形挡板位置，能够改变二次风射流的旋转强度，从而改变整个气流的旋转强度。
- 这种燃烧器的优点是一次风阻力较小；缺点是扩流锥处于高温中心回流区，且直接受到炉内火焰的辐射，因而容易烧坏或结渣。
- 该型燃烧器目前我国使用较少。

(2) 双蜗型旋流煤粉燃烧器

一次风在小蜗壳中产生旋转运动，二次风在大蜗壳中产生旋转运动，两股气流的旋转方向相同。在一次风管中间有一中心管，其中装有点火油枪。二次风蜗壳进口处装有一舌形挡板，用以调节二次风旋流强度；

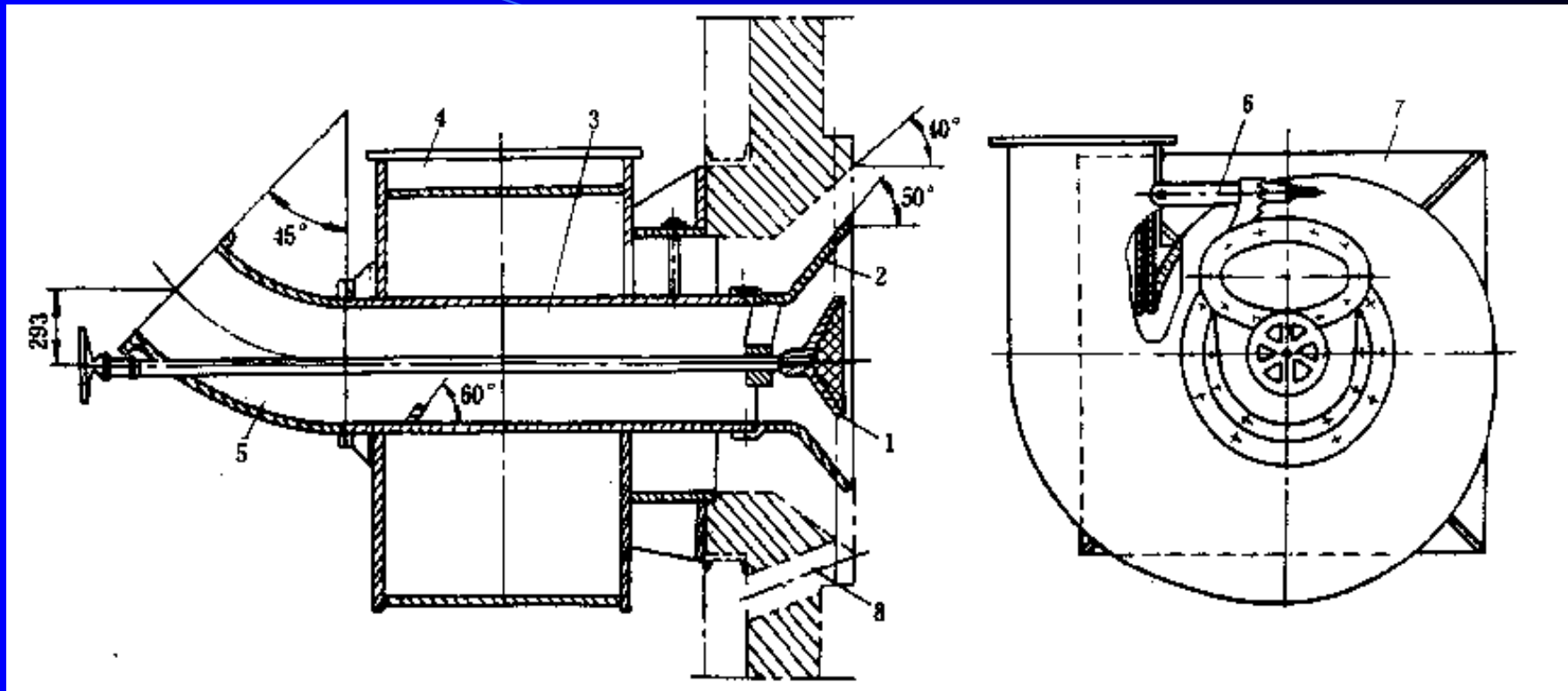


图5-10 单蜗壳型旋流煤粉燃烧器

1-扩流锥；2-一次风扩散管口；3-一次风管；4-二次风蜗壳；5-一次风连接管；6-二次风舌形挡板；7-连接法兰；8-火喷嘴装设孔

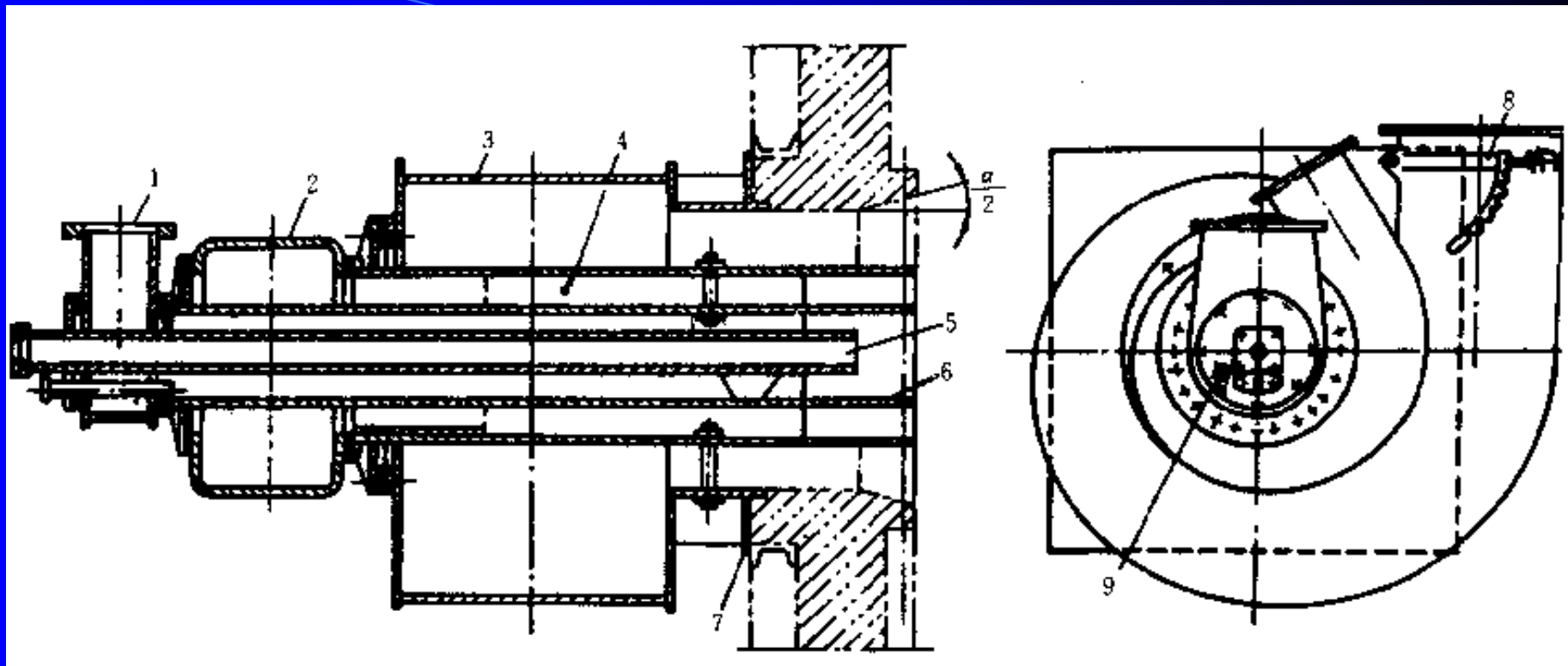


图5-11 双蜗壳型旋流煤粉燃烧器结构

1-中心风管；2-一次风管；3-二次风蜗壳；4-一次风通道；5-重油喷嘴装设管；6-一次风内套管；7-连接法兰；8-舌形挡板；9-火焰检测装置安装管

2. 轴向叶片式旋流燃烧器

利用轴向叶片使气流产生旋转的燃烧器。

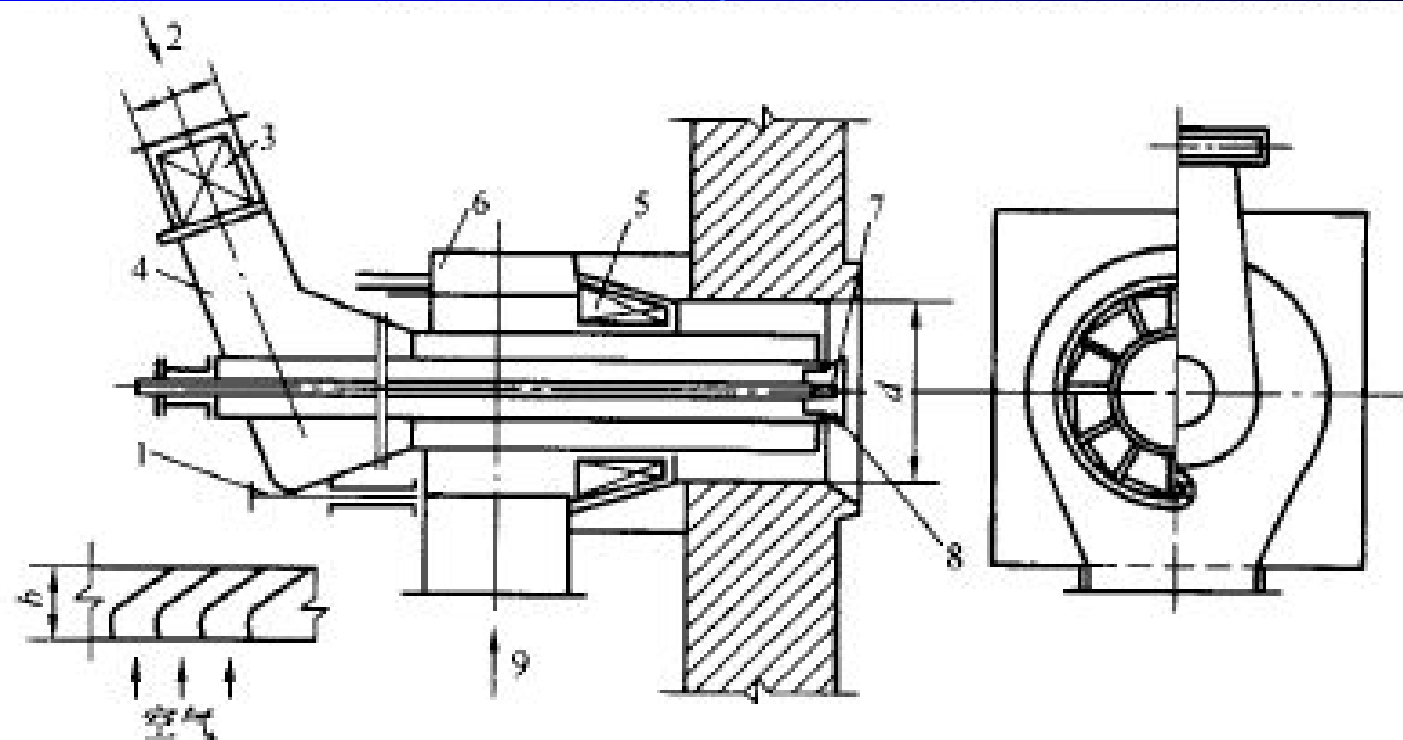


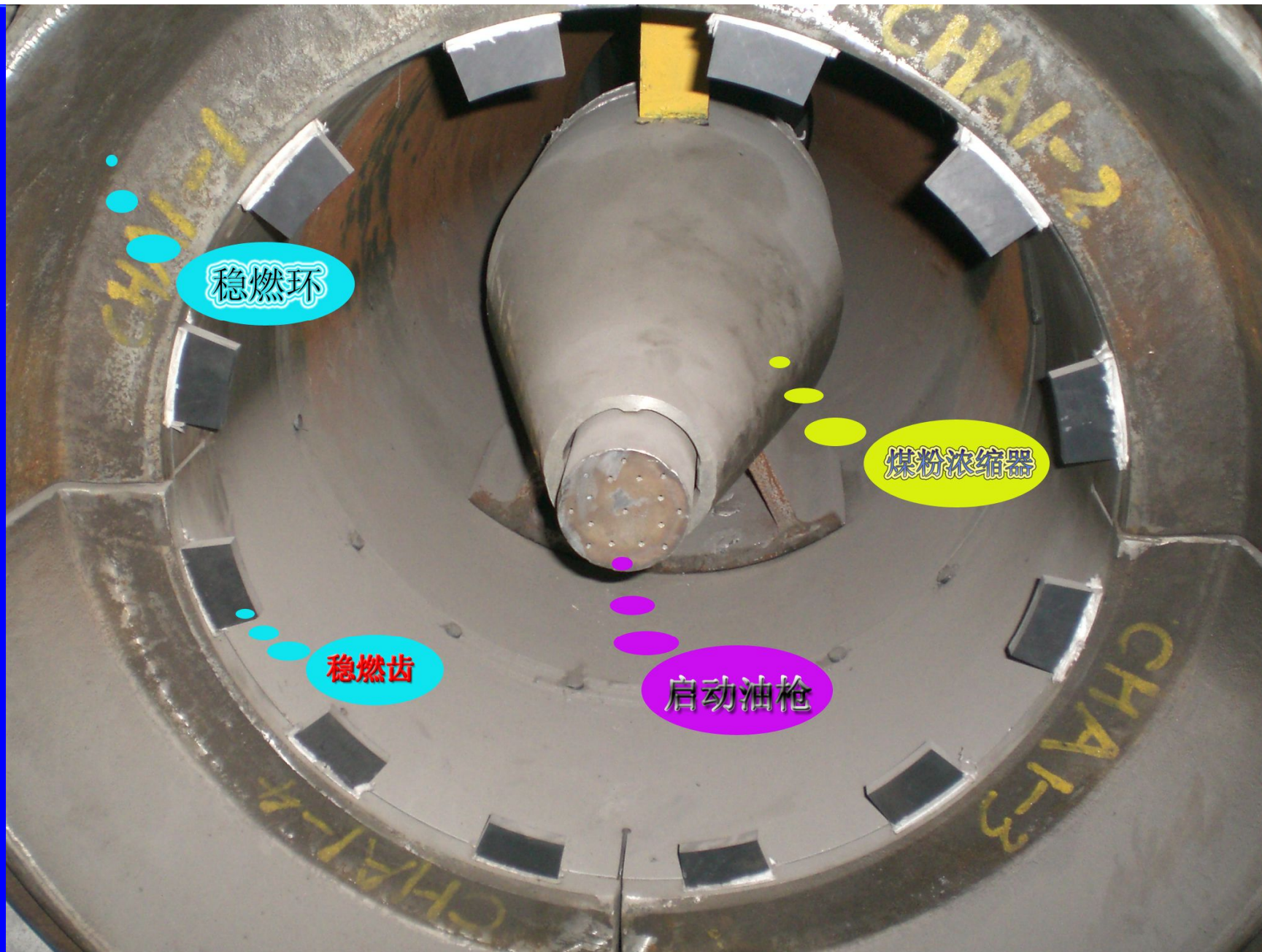
图 5-12 一次风不旋转的轴向可动叶轮旋流燃烧器

1—拉杆；2—一次风进口；3—一次风舌形挡板；4—一次风管；5—二次风管；6—二次风壳；7—油喷嘴；8—扩流锥；9—二次风进口

3. 切向叶片式旋流燃烧器

一次风：可旋转可不旋转

二次风：可动的切向叶片控制的旋转气流



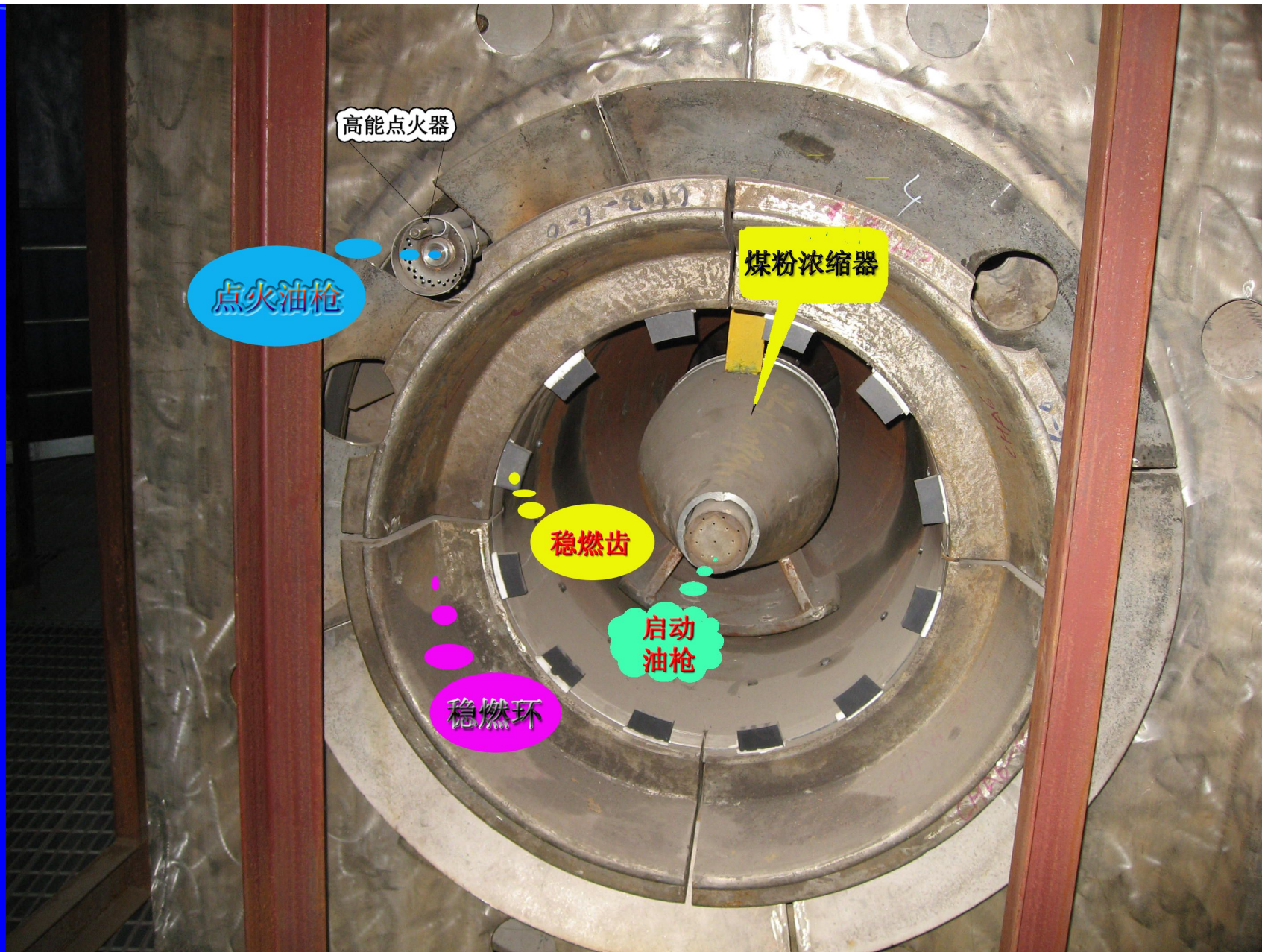
稳燃环

煤粉浓缩器

稳燃齿

启动油枪

旋流燃烧器



高能点火器

点火油枪

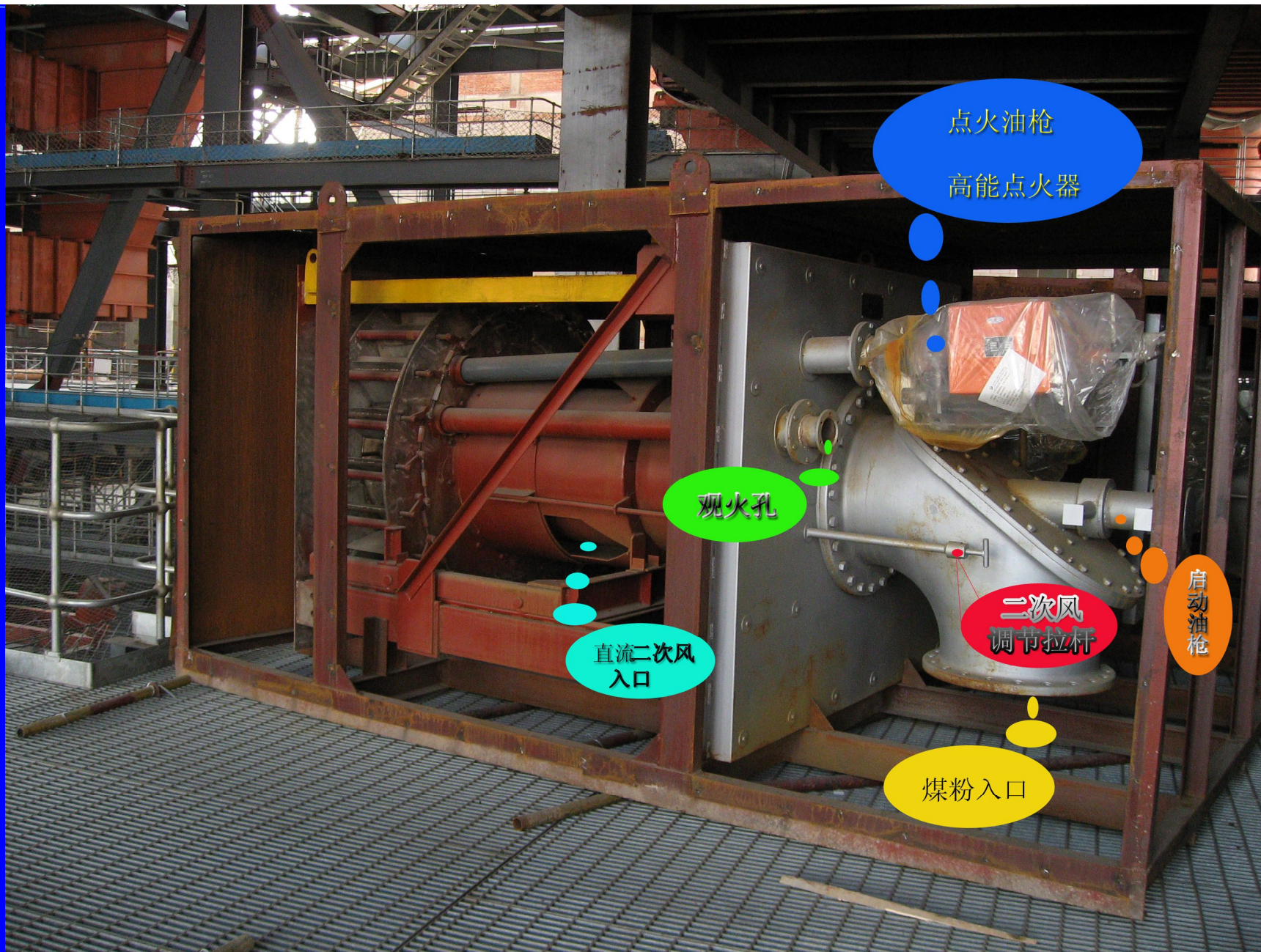
煤粉浓缩器

稳燃齿

启动油枪

稳燃环

燃烧器喷口



燃烧器整体

四、新型燃烧器

(一) 煤粉稳燃及低 NO_x 燃烧技术

1. 煤粉稳燃技术

(1) 提高一次风流中的煤粉浓度

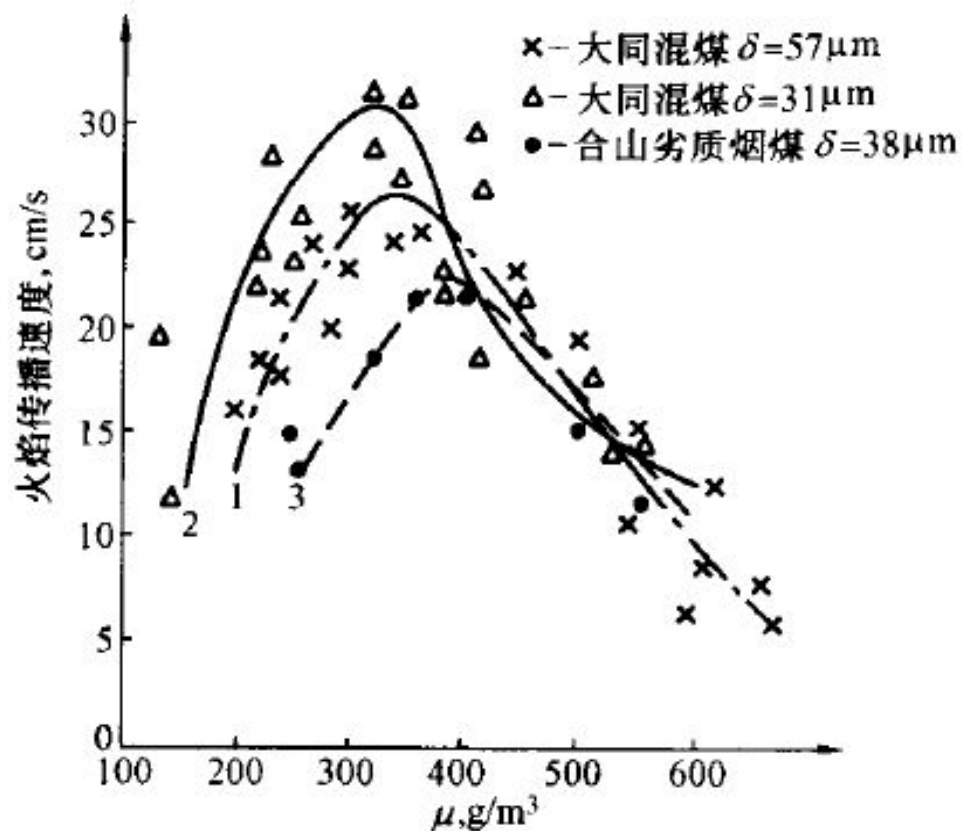


图 5-13 煤粉浓度与火焰传播速度的关系

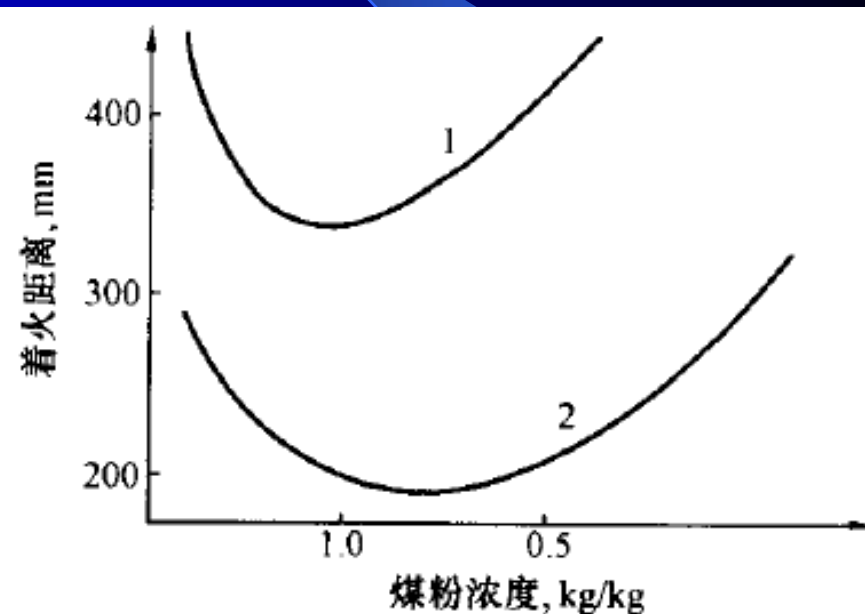


图 5-14 着火距离与煤粉浓度的关系
1—西山贫煤; 2—大同烟煤

(2) 提高煤粉气流初温

(3) 提高煤粉细度

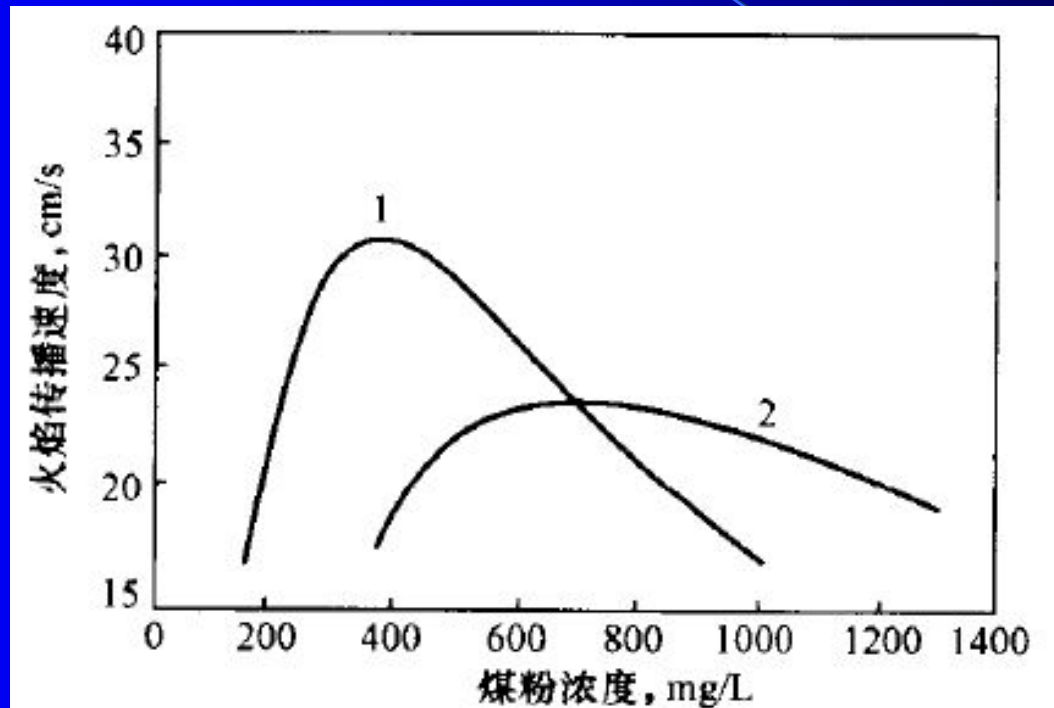


图 5-15 煤粉颗粒度对火焰传播速度的影响
1—平均粒径为 $10\mu\text{m}$; 2—平均粒径为 $27\mu\text{m}$

(4) 加入易燃燃料

2. 低NO_x燃烧技术

(1) NO_x的生成机理

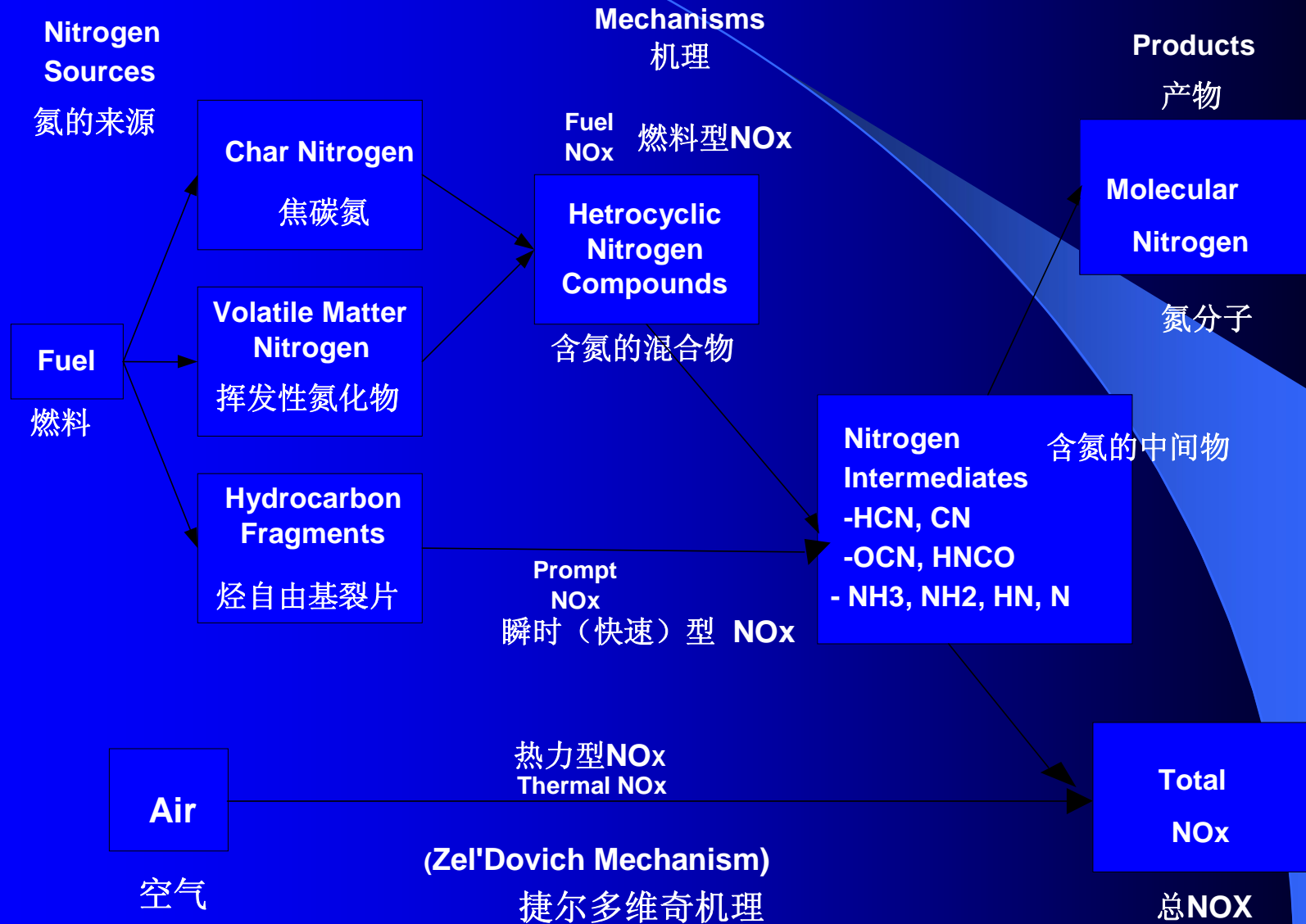
1) 热力型

2) 燃料型

3) 快速型

主体

NO_x 形成机理图示



(2) 燃烧技术

影响因素

火焰温度

氧浓度

燃烧产物在高温区的停留时间

煤的特性

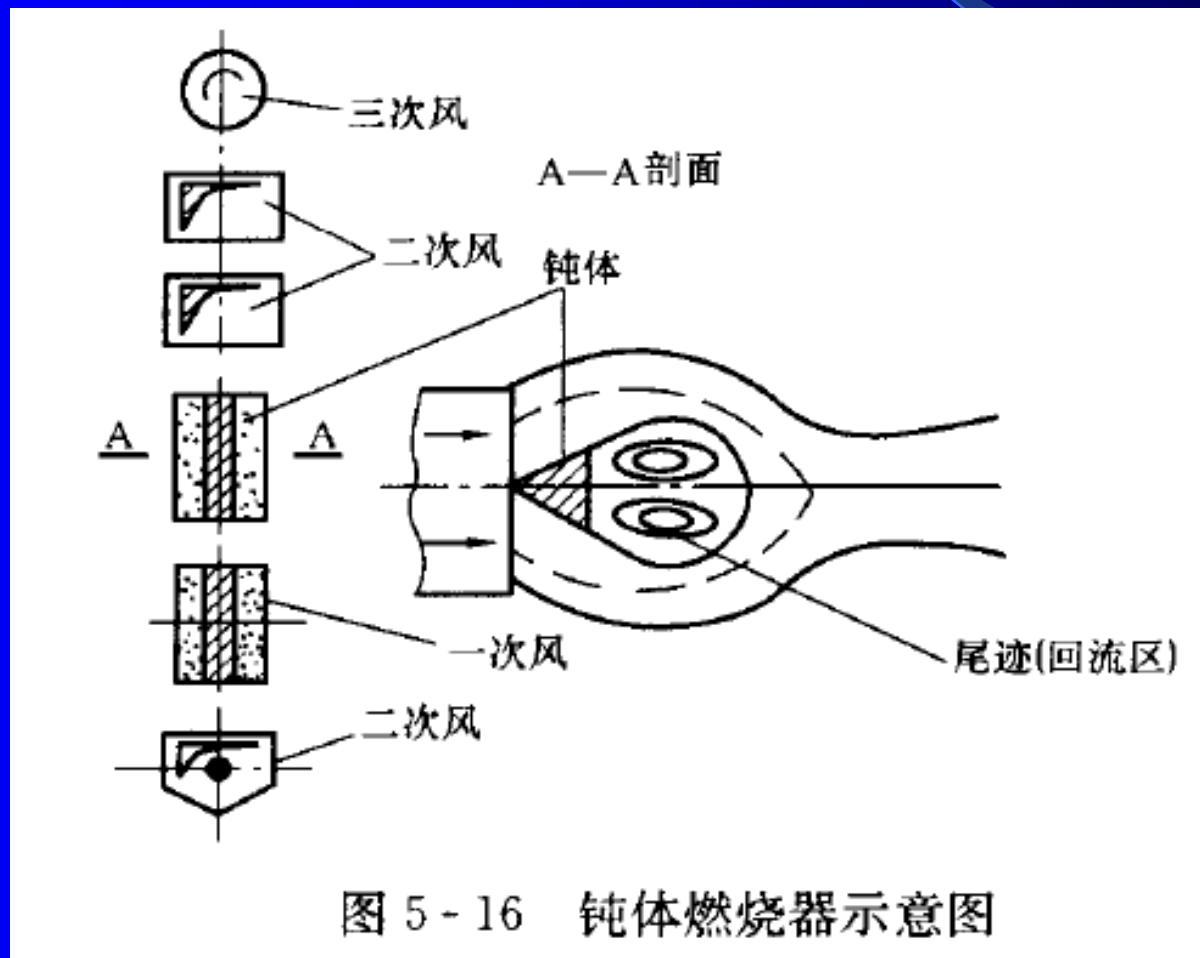
低氮燃烧技术

烟气再循环

两级燃烧法

(二) 新型煤粉燃烧器

1. 钝体燃烧器



2.火焰稳燃船燃烧器

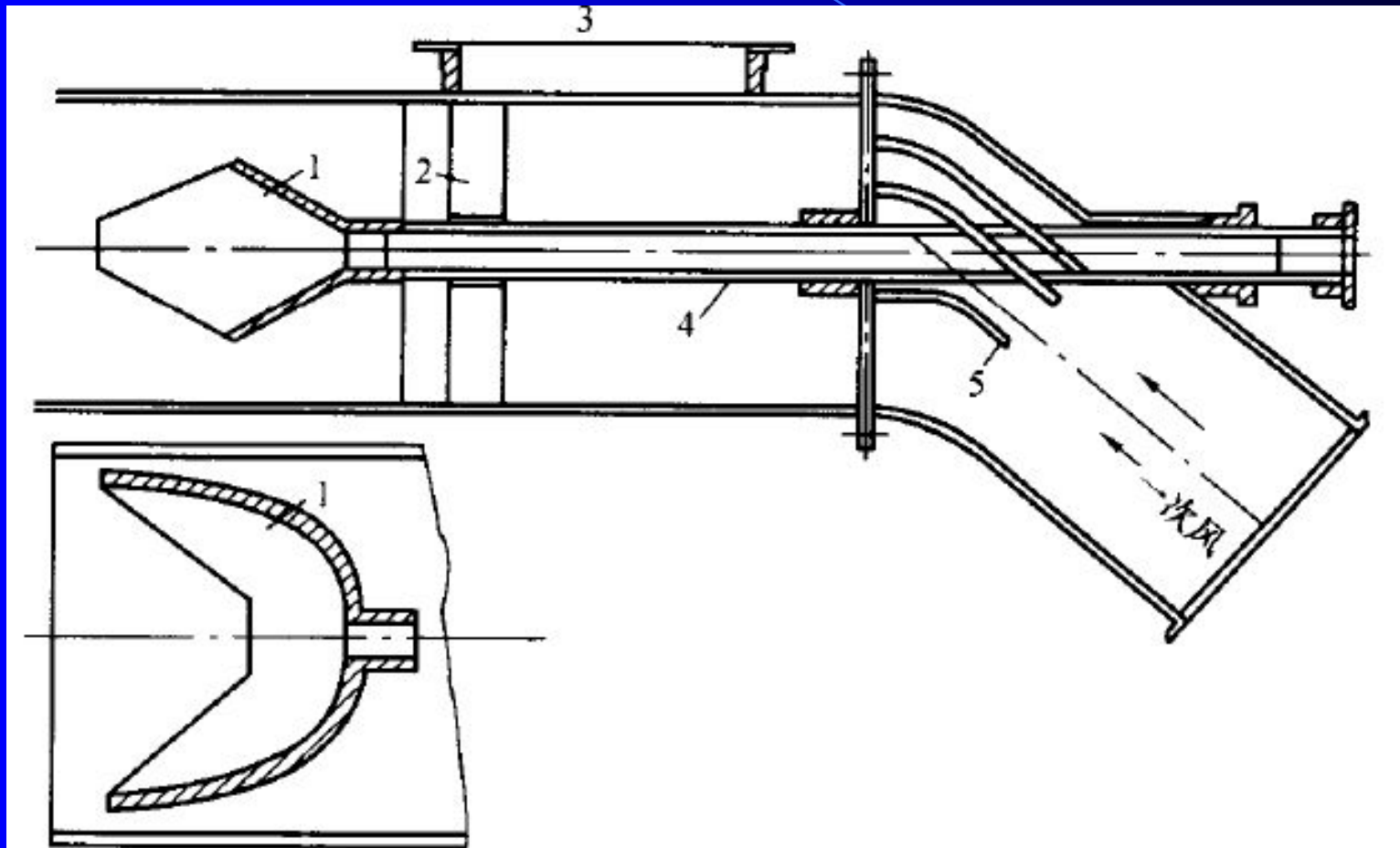


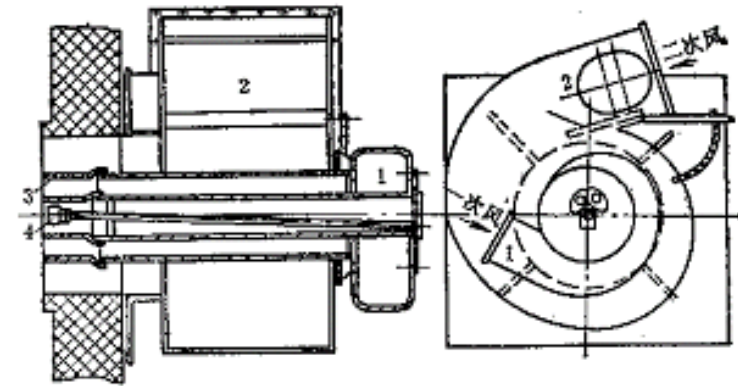
图 5 - 17 火焰稳燃船燃烧器示意图

1—火焰稳燃船；2—支架；3—人孔门；4—油枪套管；5—均流板

3.浓淡燃烧器



图1 百叶窗式水平浓淡燃烧器简图



1—一次风蜗壳 2—二次风蜗壳 3—喷头
4—点火油喷嘴

图7 双蜗壳型旋流燃烧器

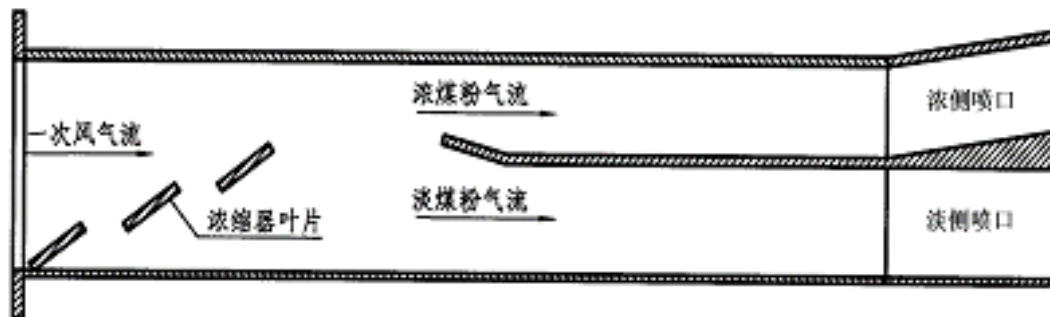


图3 配百叶窗煤粉浓缩器的水平浓缩煤粉燃烧器结构示意图

(1) WR型

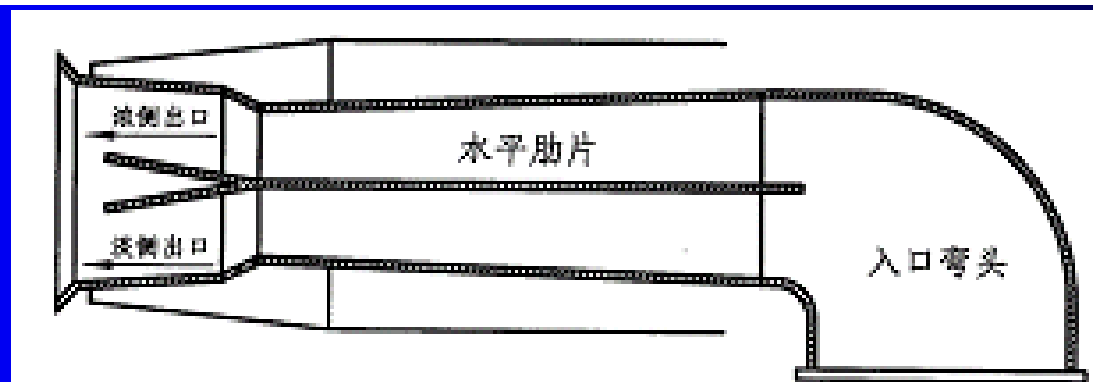
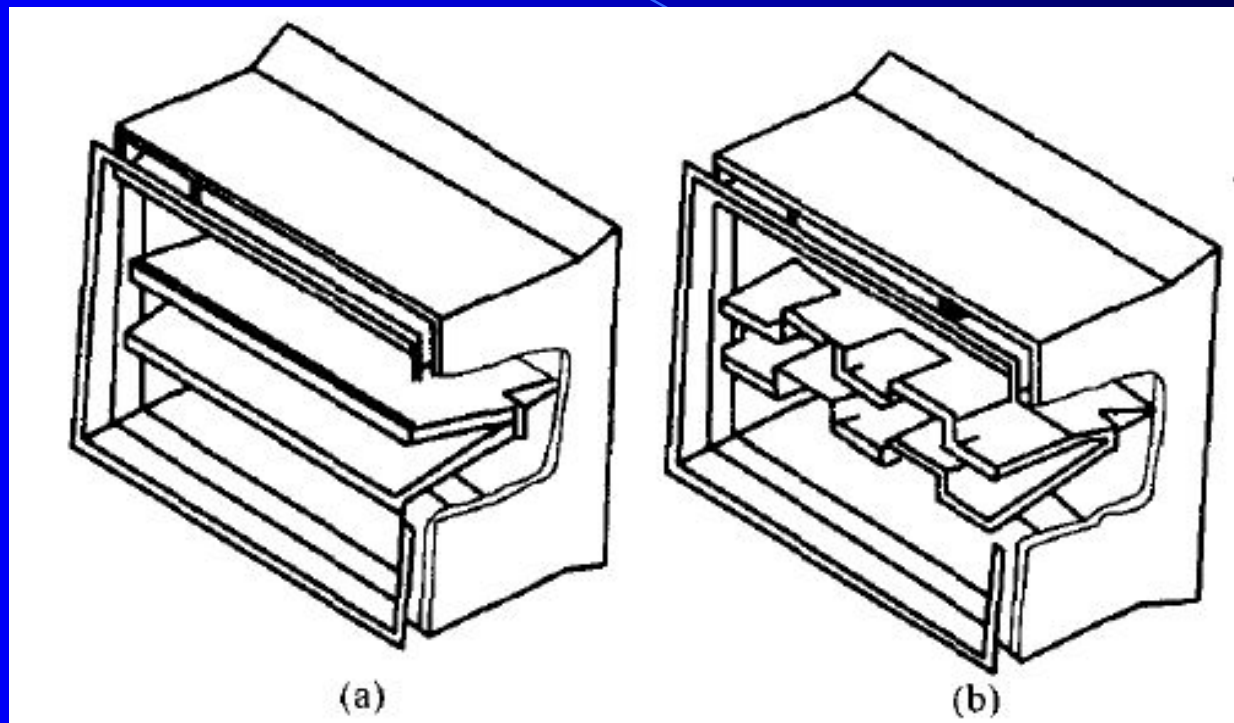


图 1 美国 CE 公司的 WR 燃烧器示意图

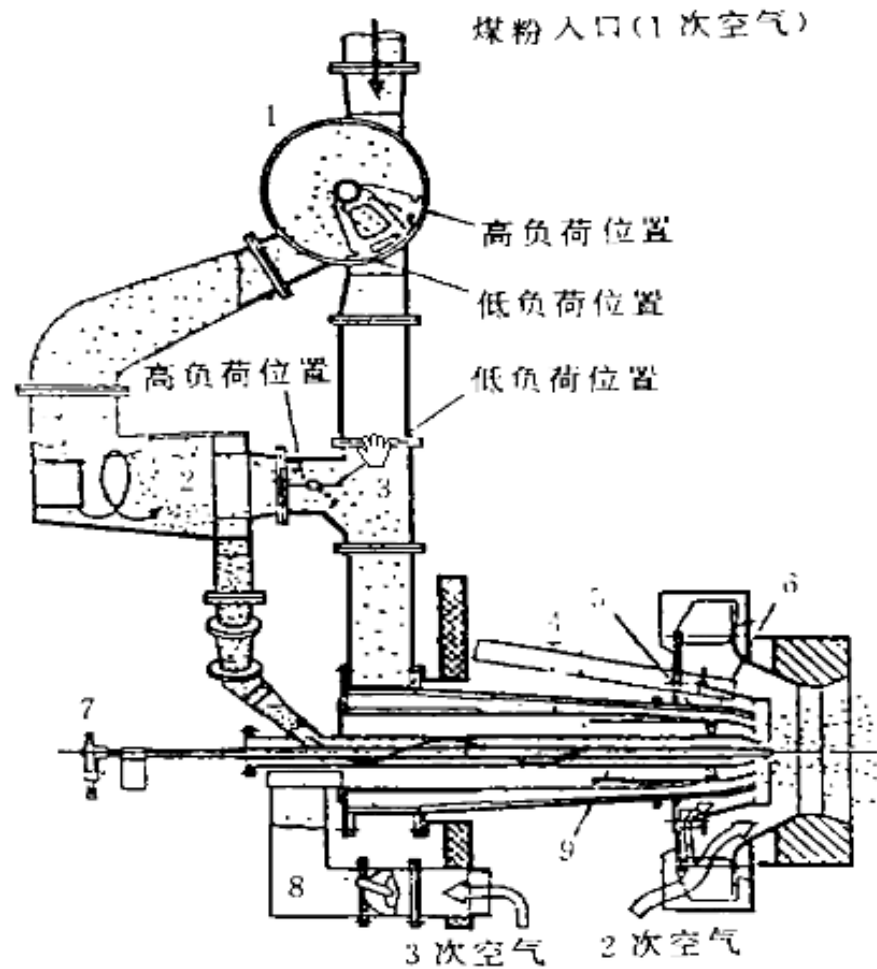


图 2 IHI—WR—PC 结构简图(图中为低负荷时)

1——气流分配门; 2——卧式旋风分离器;

3——旋风分离器挡板; 4——点火枪;

5——旋流体; 6——燃烧嘴; 7——油燃烧器;

(2) PM型

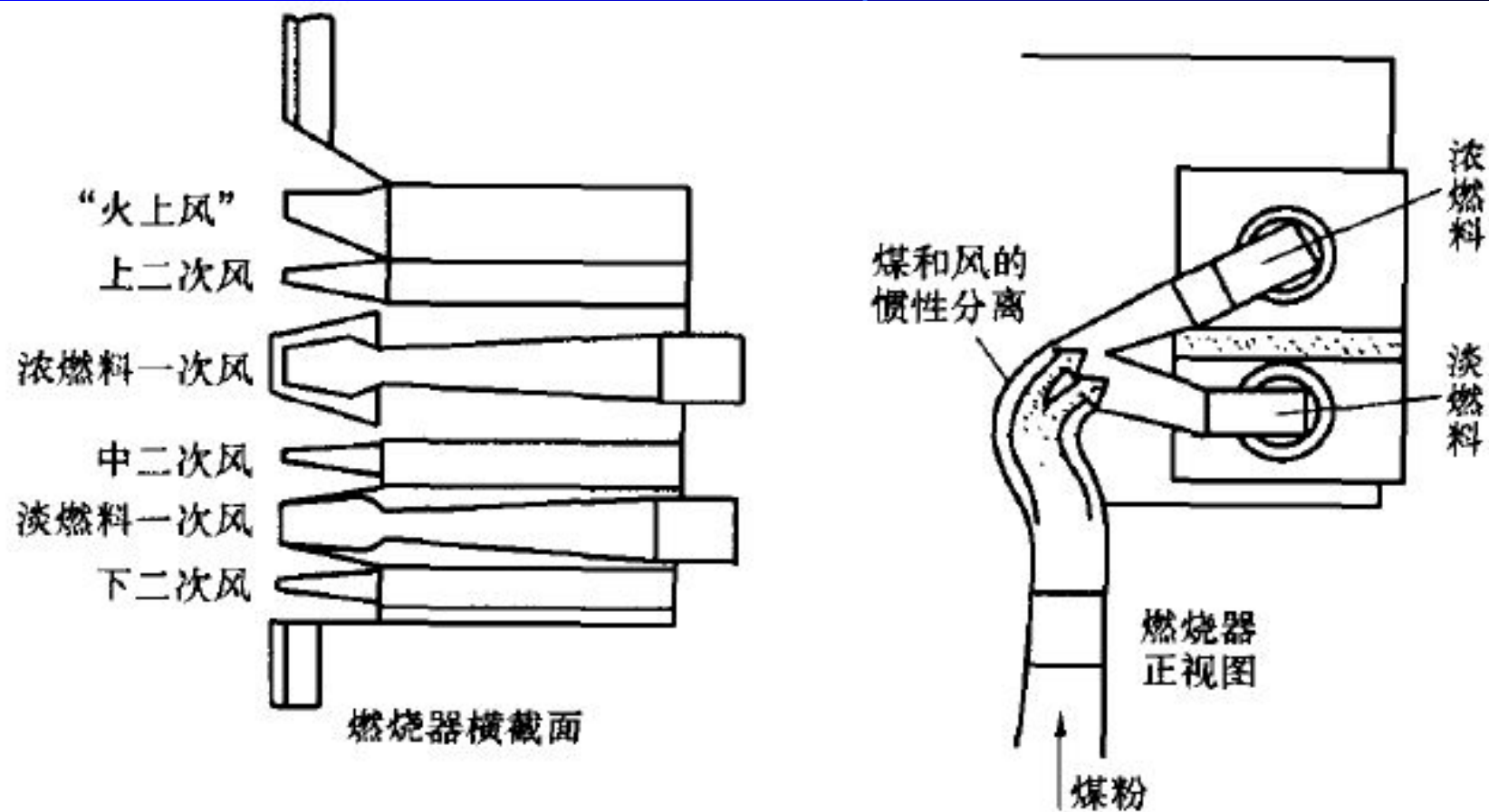


图 5 - 19 PM 型浓淡煤粉燃烧器

(3) 宽调节比燃烧器

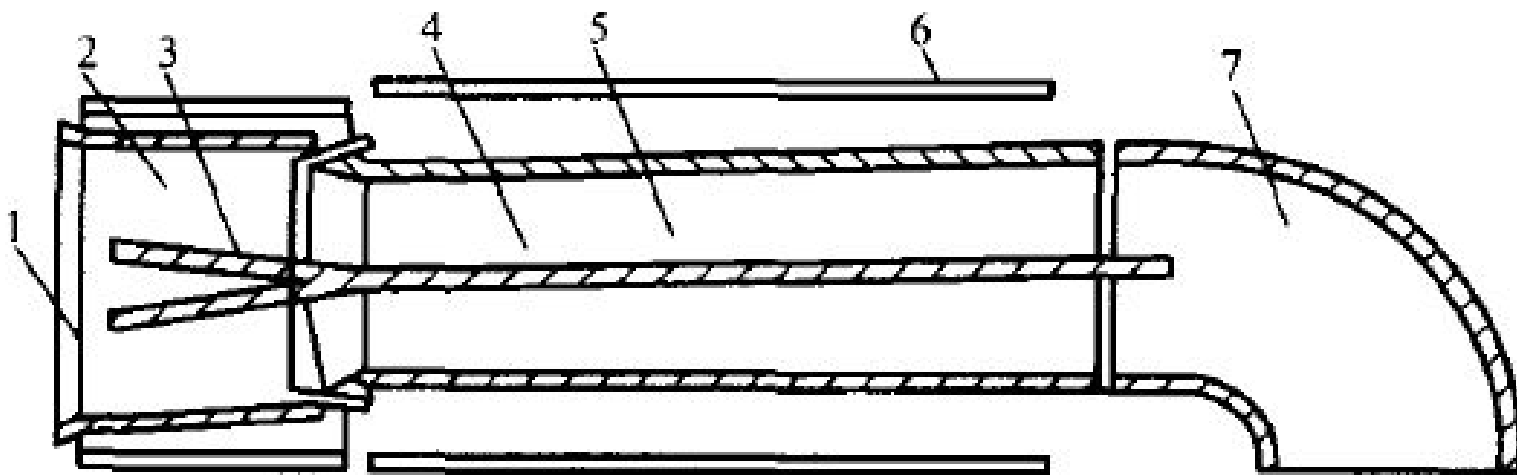
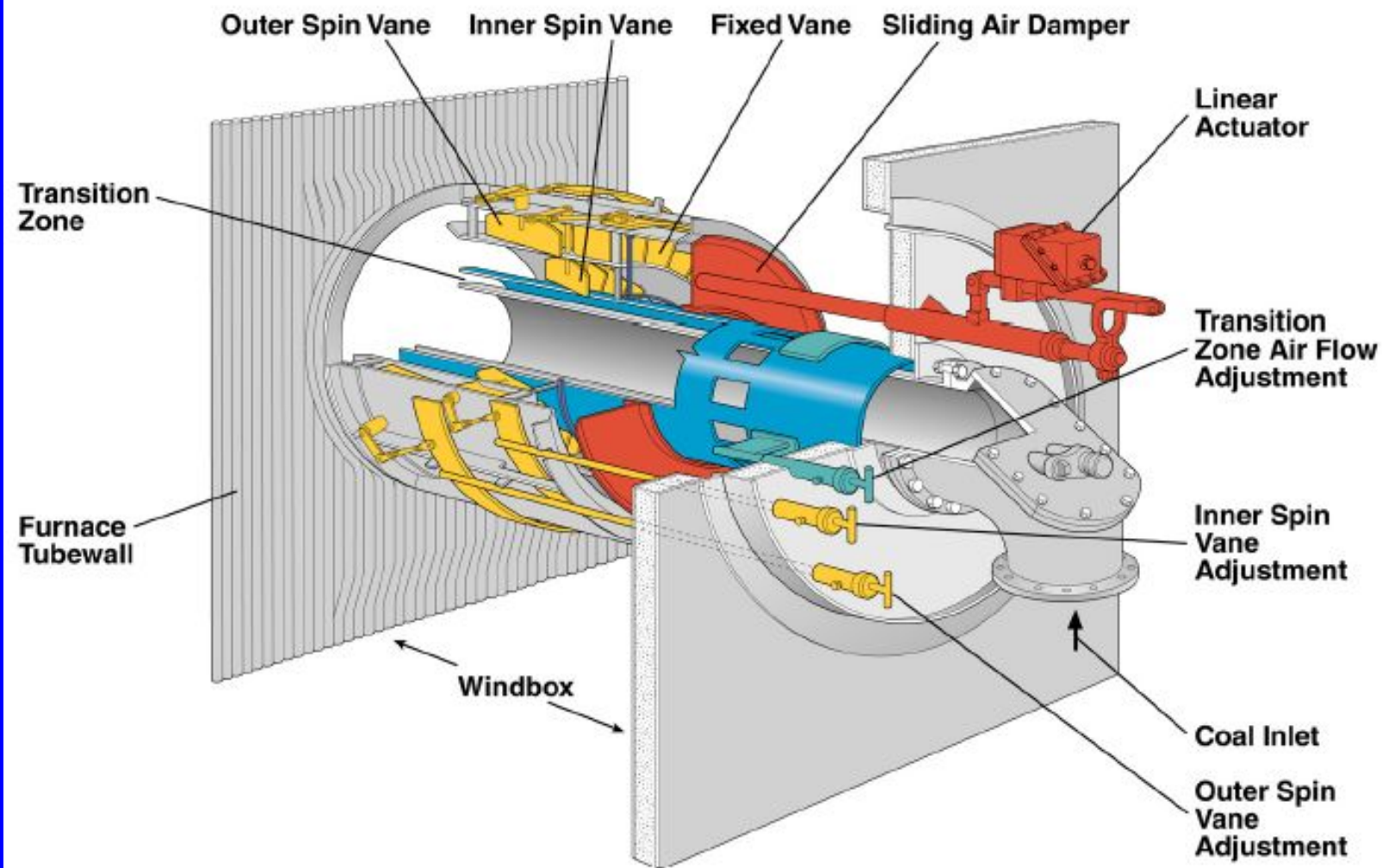


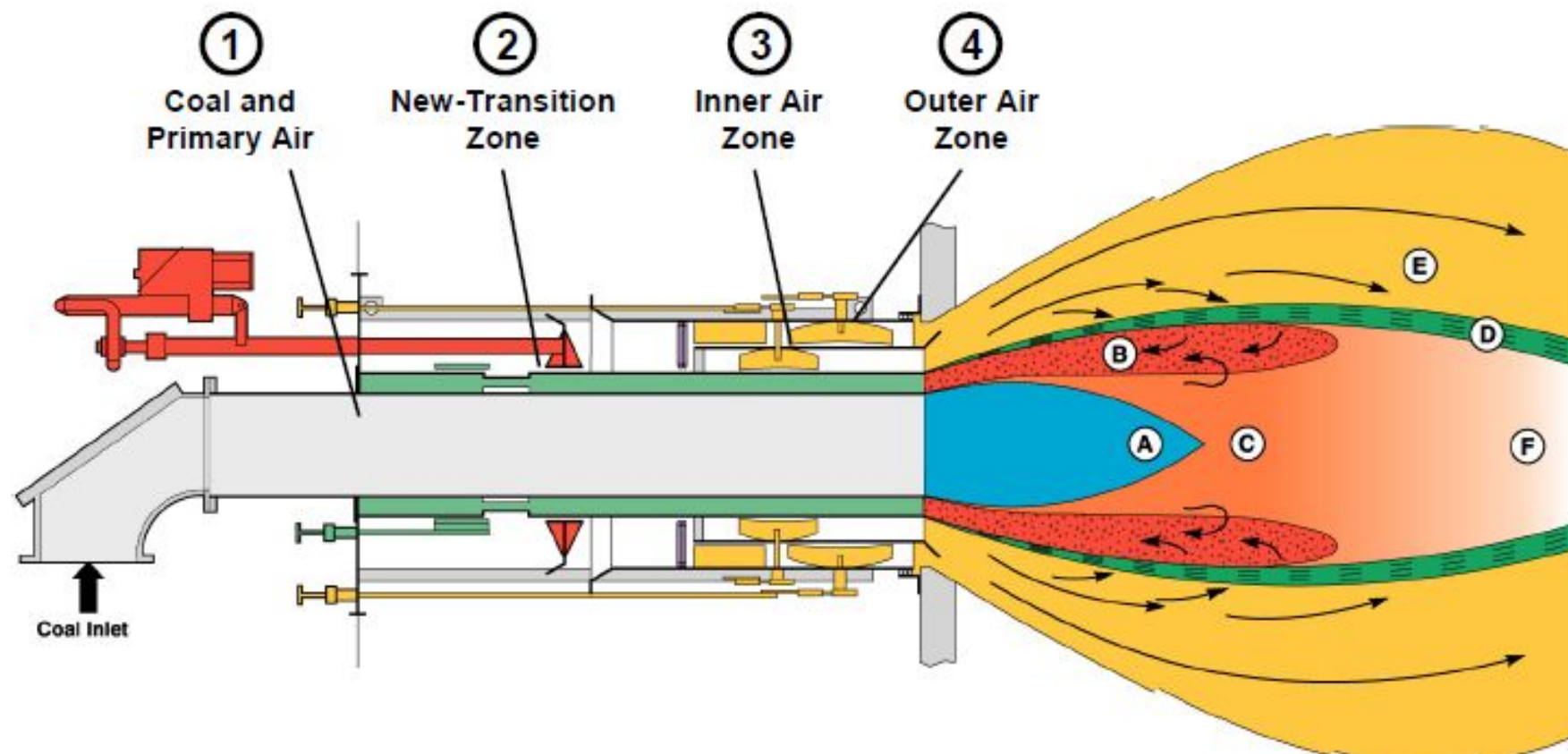
图 5 - 20 宽调节比燃烧器

- 1—阻挡块；2—喷嘴头部；3—扩流锥；4—水平肋片；
5—一次风管；6—燃烧器外壳；7—入口弯头

4. 双调风低N燃烧器

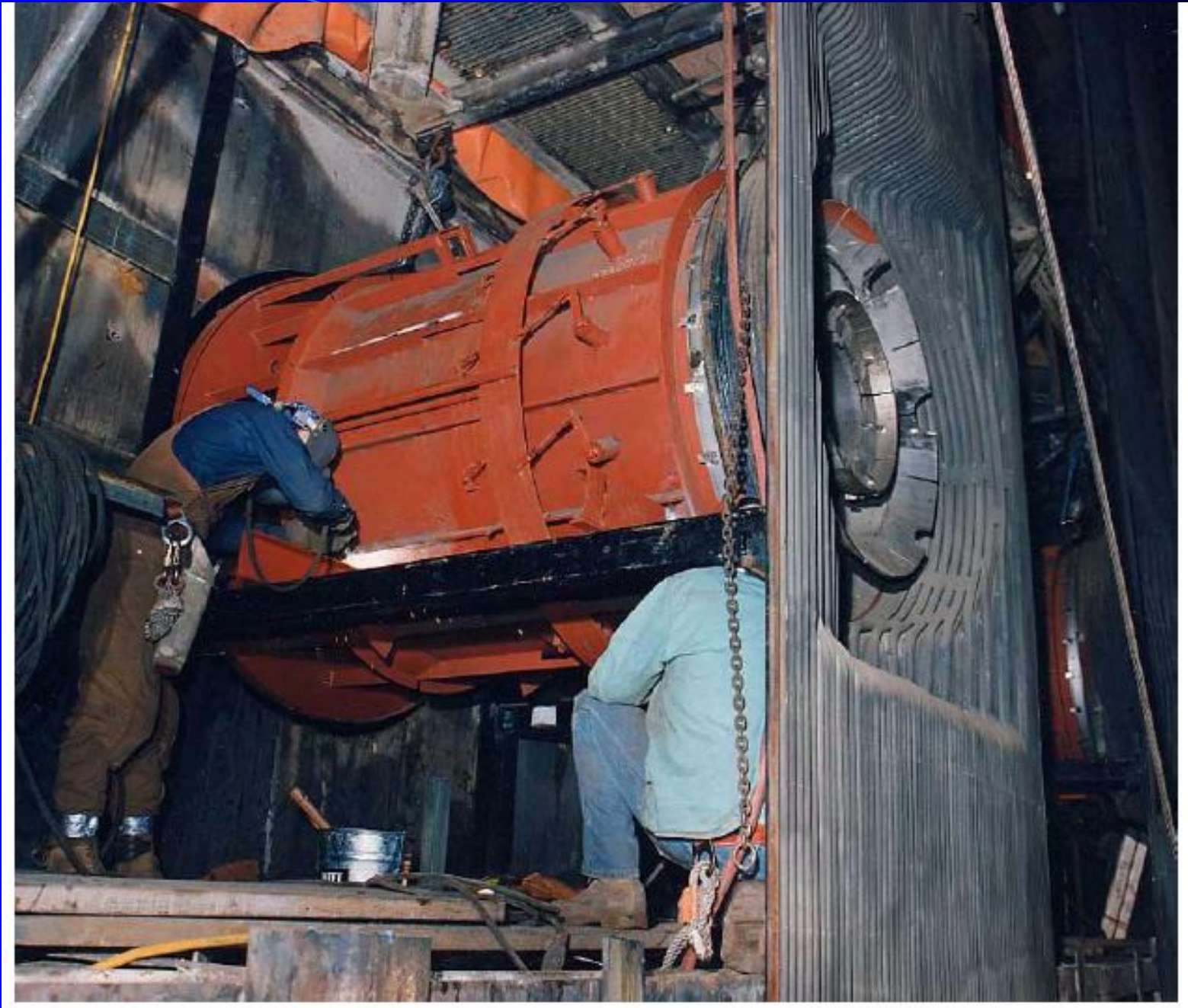
B&W公司





- A. Oxygen lean devolatilization
- B. Recirculation of products
- C. NOx reduction zone
- D. High temperature flame sheet
- E. Controlled mixing of secondary combustion air
- F. Burnout zone





FW公司

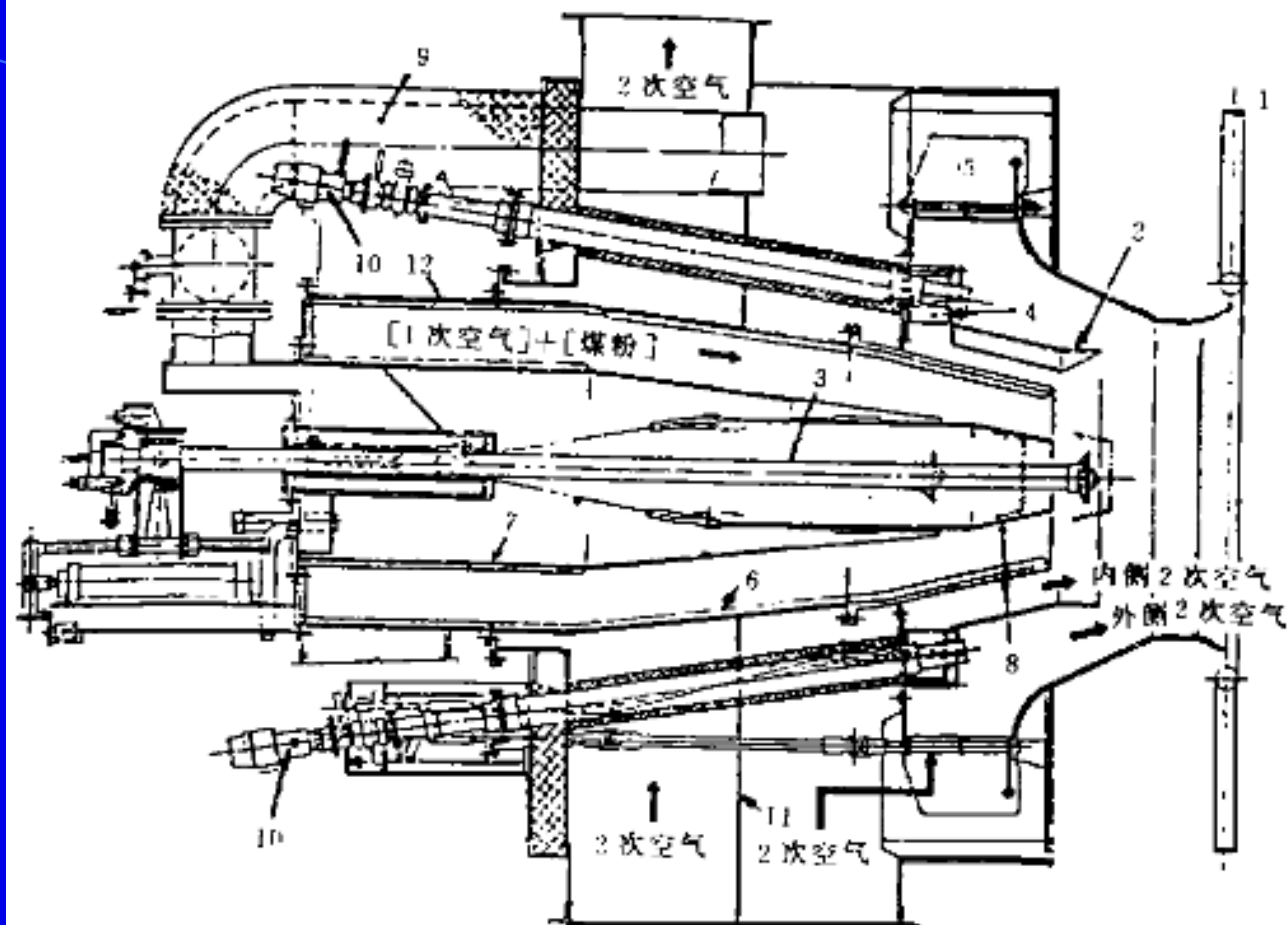
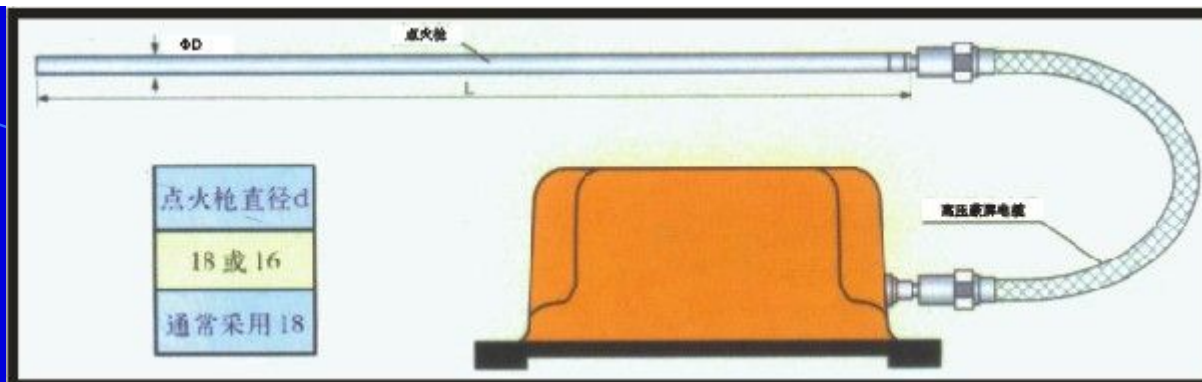


图1 沙角B电厂 IHI—FW—DF 型双流旋流燃烧器

- 1——炉墙壁管; 2——流量分配器; 3——轻油燃烧器;
4——2次空气喷嘴; 5——2次空气导叶; 6——外筒;
7——内筒; 8——可动内筒; 9——3次空气管;
10——火焰检出器; 11——分离板; 12——煤粉入口管

五、点火装置



(一)采用过渡燃料的点火装置

1. 电火花
2. 电弧
3. 高能





油枪

(二) 带煤粉预燃室的点火装置

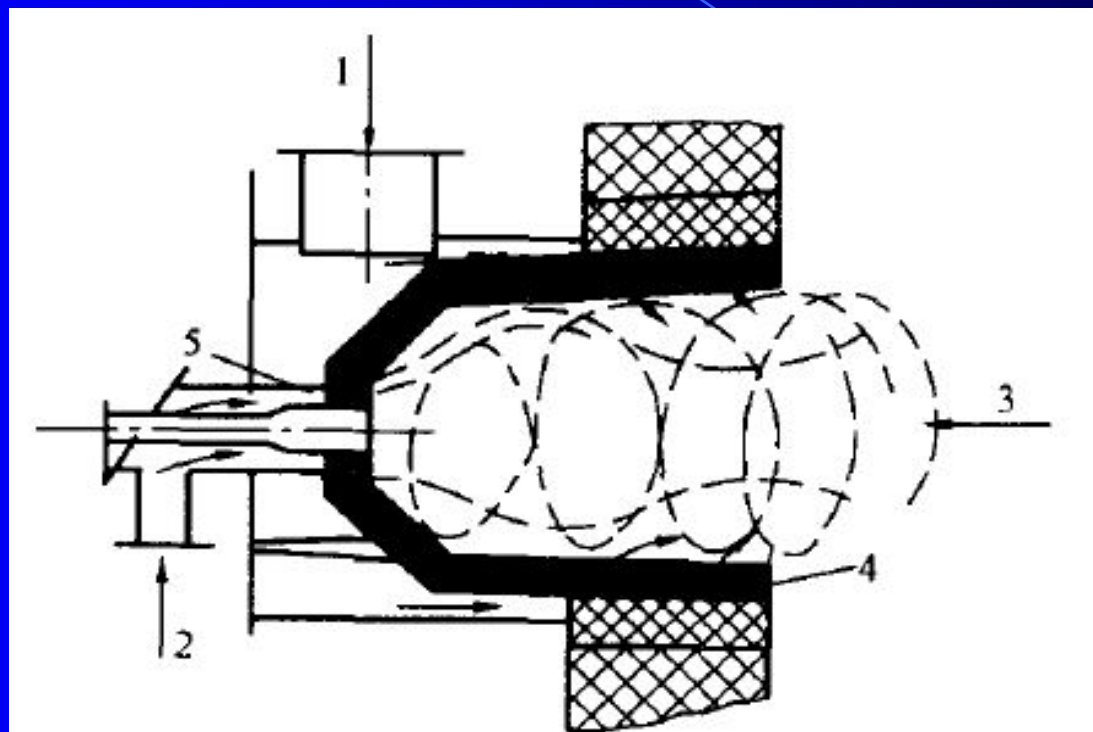


图 5 - 21 旋流煤粉预燃室燃烧器点火装置

1—二次风；2—一次风；3—中心回流；

4—预燃室；5—旋流燃烧器

(三) 等离子点火装置

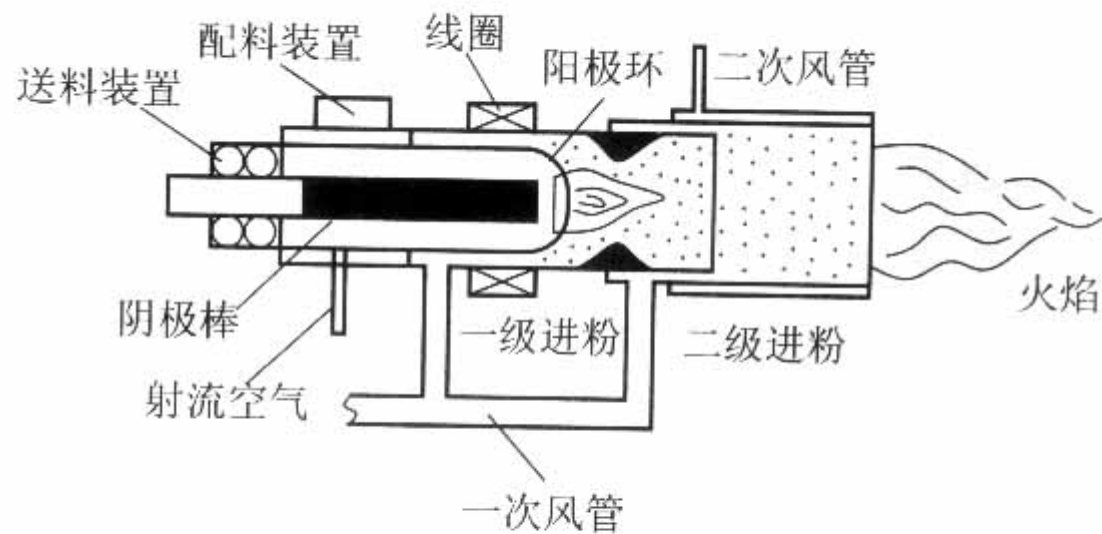
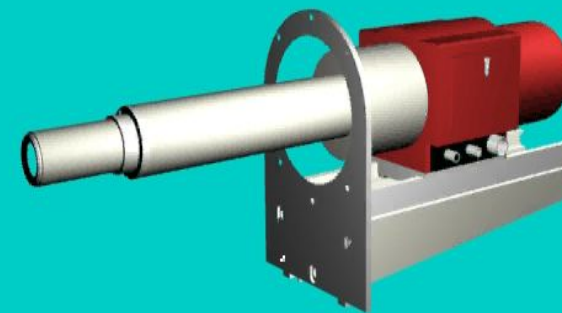
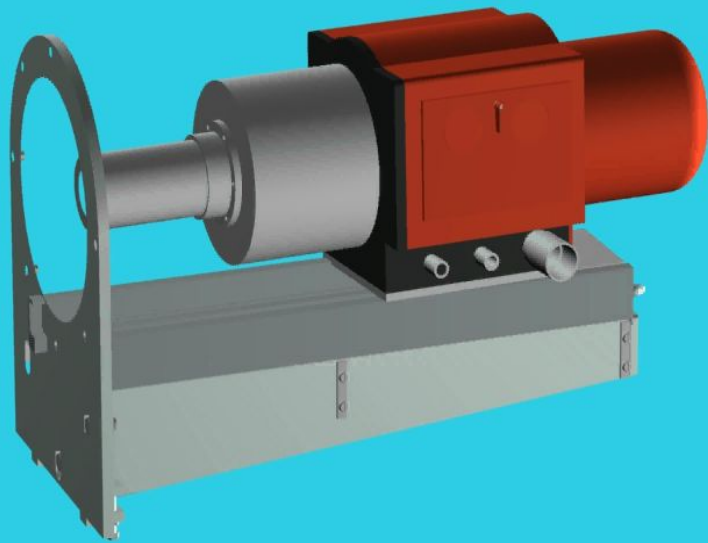
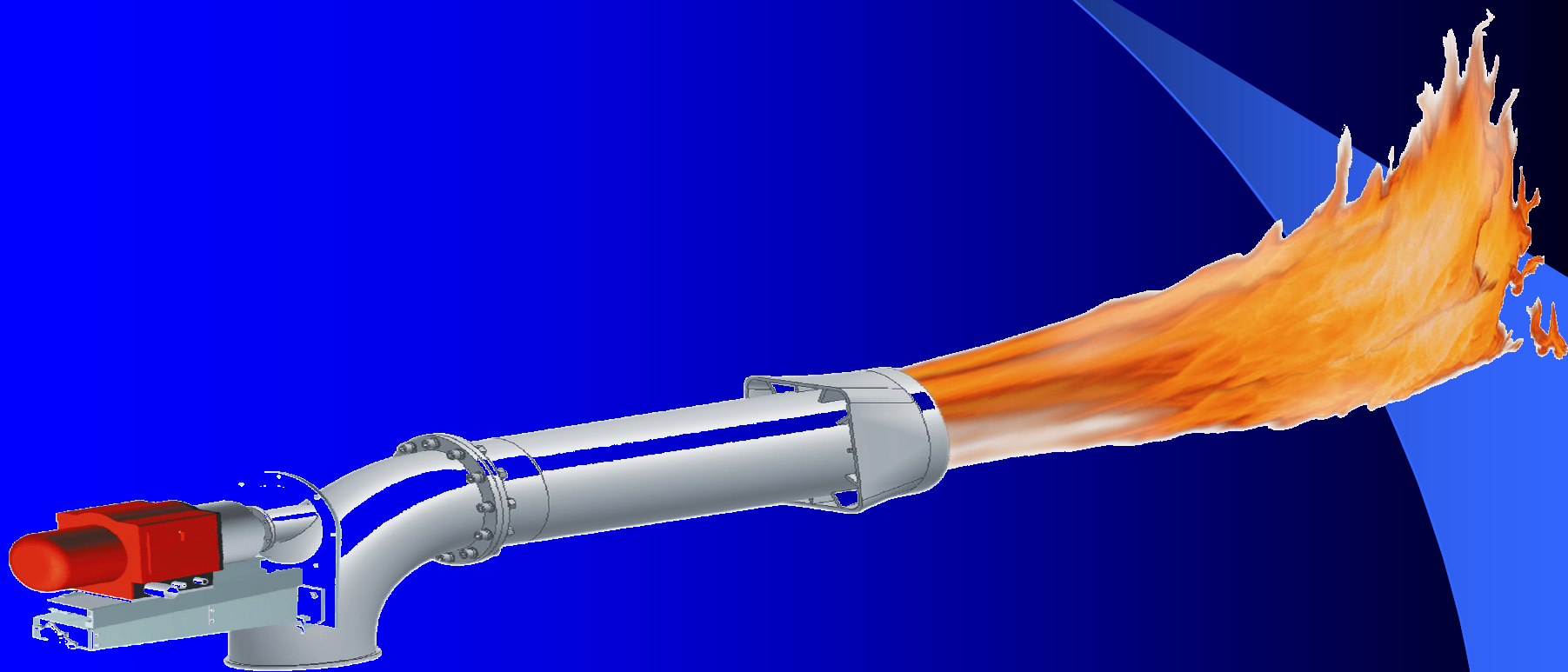


图 1 等离子点火器工作原理示意

煤粉锅炉等离子体发生器外形图

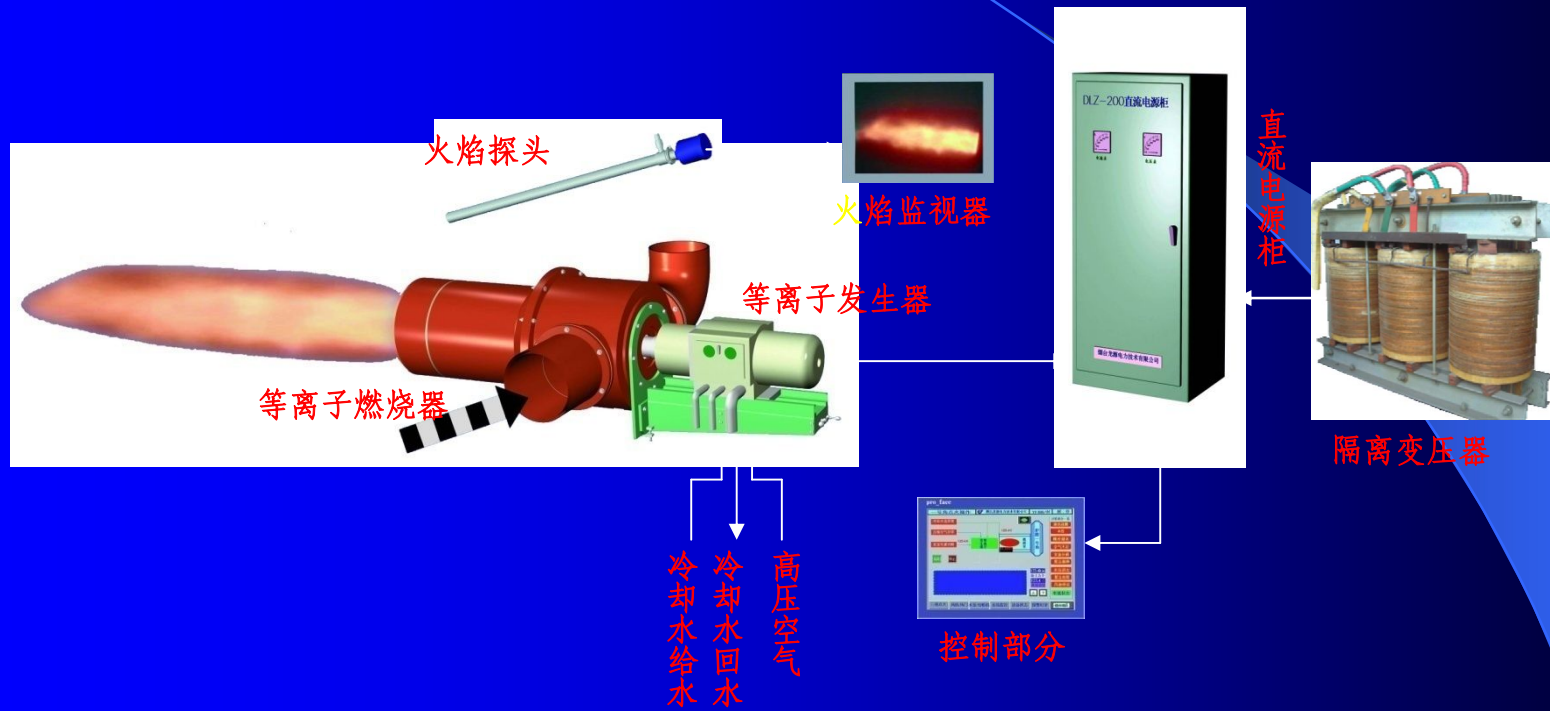


点火示意图

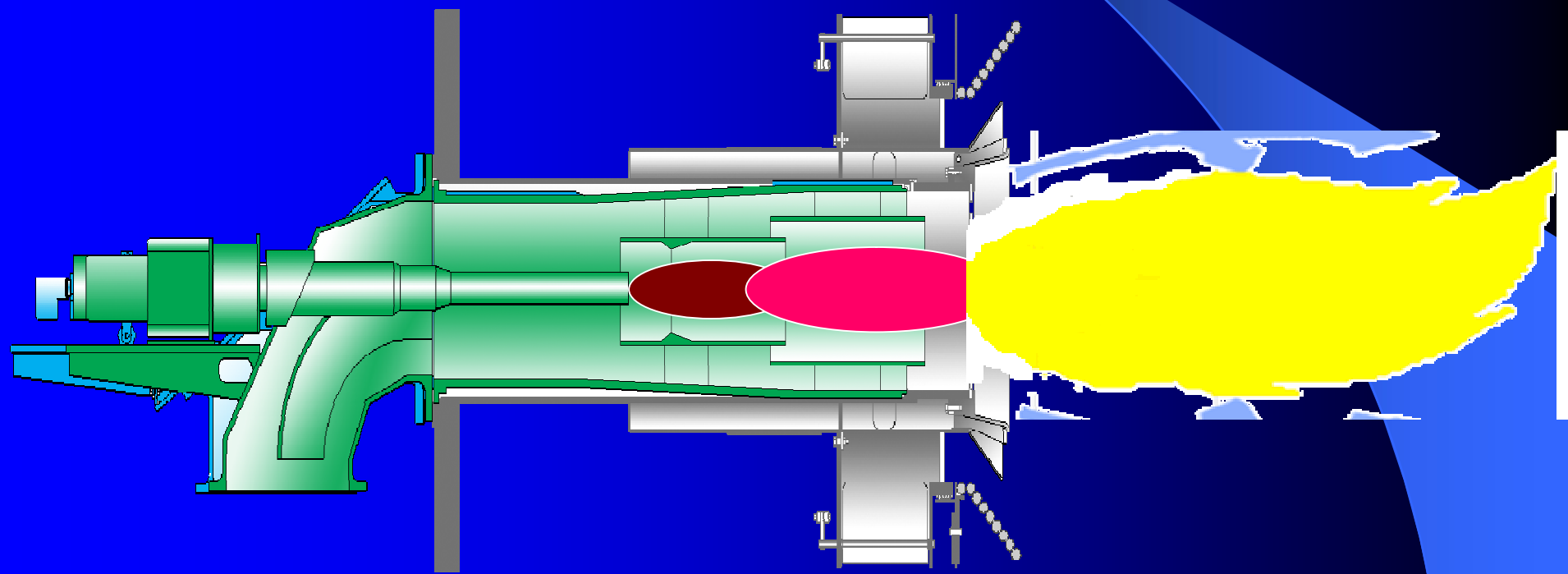


炉膛燃烧状况图片





燃烧器原理





第四节 煤粉炉炉膛

一、煤粉炉炉膛及燃烧器布置

(一) 炉膛作用及要求

- (1) 具有足够的空间和合理的形状，能够合理组织燃料的燃烧，减小不完全燃烧热损失。
- (2) 具有合理的炉内温度场和良好的炉内空气动力特性，满足燃烧过程的需要。
- (3) 能布置足够的受热面，可以将炉膛出口烟温降到允许的数值，保证炉膛出口及其后面的受热面不结渣。
- (4) 炉膛结构紧凑，金属及其他材料用量少，便于制造、安装、检修和运行。

(二) 影响炉内工作的因素

1. 热负荷

(1) 炉膛容积热负荷:单位时间内、单位炉膛容积内, 燃料燃烧放出的热量, q_V 用表示, 单位为KW/m³。

(2) 炉膛截面热负荷:单位时间内、单位炉膛横截面积上, 燃料燃烧放出热量, 用 q_A 表示, 单位为KW/m²。

(3) 燃烧器区域的壁面热负荷:单位时间内、燃烧器区域的单位炉壁面积上, 燃料燃烧放出的热量, 以 q_R 表示。

2. 结渣

(1) 受热面结渣的形成过程

在煤粉炉的炉膛中，燃烧形成的熔融灰渣黏结在受热面上，并积聚发展成一层硬结的灰渣层，这个现象便称为结渣。



JX-2型结渣性测定仪

(2) 结渣的危害

- 1) 使炉内传热变差；
- 2) 炉膛出口的受热面超温；
- 3) 炉膛内未结渣的受热面金属表面温度升高，引起高温腐蚀；
- 4) 排烟温度提高，锅炉效率降低；
- 5) 结渣严重时，大块渣落下，可能扑灭火焰或砸坏炉底水冷壁，造成恶性事故。

(3) 影响受热面结渣的主要因素

- 1) 灰的特性。灰特性主要表现在三个方面：一是灰的熔点温度，二是灰的黏性，三是灰的组成成分。
- 2) 炉膛温度水平。炉内燃烧器区域的温度越高，煤灰越容易达到软化或熔融状态，结渣的可能性就越大。
- 3) 运行调节不当。实际运行中，造成火焰贴墙，形成死旋涡区并出现还原性气氛，锅炉超负荷运行、炉膛漏风严重、送风量过大、风煤配合不当以及煤粉细度过大等，都可能导致结渣。

(4) 防止受热面结渣的基本条件

- 炉内应布置足够的受热面来冷却烟气，使烟气贴近受热面时，烟气温度降低到灰的熔点温度以下；
- 组织一、二次风形成良好的气流结构，保证火焰不直接冲刷受热面。

(5) 区别：结渣与结焦

- 结渣——指灰的特性；
- 结焦——指煤的特性。

运行中防止结渣的措施：

1. 加强燃料管理；
2. 通过燃烧调整试验建立合理的燃烧工况；
3. 加强锅炉运行工况的检查与分析；
4. 加强吹灰器和除渣设备的运行和维修管理。

炉膛设计中防止结渣的措施：

- 1.正确设计炉膛结构,合理布置辐射受热面；
- 2.对燃用灰熔点低的煤,为防止运行结渣可将高度方向的距离拉开,使燃烧器区域的温度水平降低；
- 3.吹灰器是防止炉膛严重结渣所必须的设备,同时它还可提高锅炉效率,是节能的重要手段。因此炉膛必须配置吹灰器,并要保证吹灰器的制造和安装质量。
- 4.在炉膛容易结渣的部位,如一次风喷口处,燃烧器区域的左右侧墙边上,折焰角附近,靠近冷灰斗斜坡处等,应布置观察孔、打渣孔,并便于运行人员接近作检查维护工作。
- 5.炉膛冷灰斗设计角度应不小于 50° ,冷灰斗处的水冷壁管和支撑结构应能承受大块焦渣的坠落撞击和异常运行时焦渣大量堆积的荷重。
- 6.锅炉炉底除渣设备的可靠运行不可忽视,元宝山电厂和石洞口二厂的600MW锅炉运行初期发生炉底严重结渣,均与除渣设备的设计错误和运行不良、排渣不畅有关,因此除渣设备的设计、制造、安装、施工质量等都应引起充分注意。

3. 火焰充满度

(1) 炉膛容积利用不好，降低燃烧效率

(2) 造成热偏差

4. 炉膛负压

过大的负压也会带来危害：

- 1) 火焰中心上移，炉膛出口烟温升高，引起汽温升高或过热器结渣。
- 2) 气流上翘，火焰行程缩短，导致不完全燃烧热损失增大。
- 3) 由于气流上翘，使四股气流的相互作用变差，煤粉气流相互点燃的作用变弱，燃烧变得不稳定。
- 4) 造成漏风增大，烟气体积增加，烟气流速相应升高。
- 5) 炉膛负压急剧升高时，还可能发生炉膛内爆事故。

燃烧的火焰突然熄灭，使炉膛风压骤降，形成真空状态，炉内外的压差使炉墙受到空气侧向内的巨大推力，此现象称为内爆。

5. 炉膛出口烟温

有后屏锅炉：指后屏进口烟温

无后屏锅炉：指凝渣管前的烟温

$$g_1'' = 1200 \sim 1250^\circ\text{C}$$

(三) 燃烧器布置

- 直流燃烧器多布置在采用切圆燃烧方式的锅炉中，如图5-24所示。
- 旋流燃烧器多采用前墙或两面墙布置（燃烧器对冲或交错布置），即如图5-29（a）和（b）所示的方式。

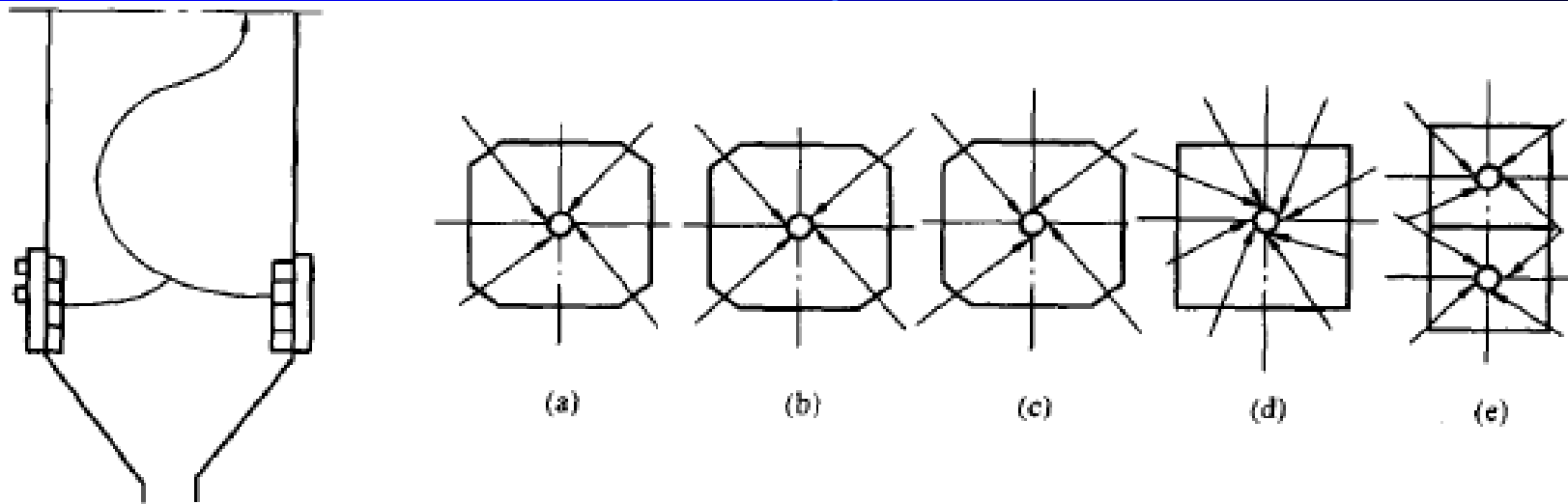


图 5 - 24 切圆燃烧锅炉直流煤粉燃烧器的布置方式

(a) 单切圆布置；(b) 两角对冲布置；(c) 双切圆布置；(d) 八向切圆布置；(e) 双炉膛切圆布置

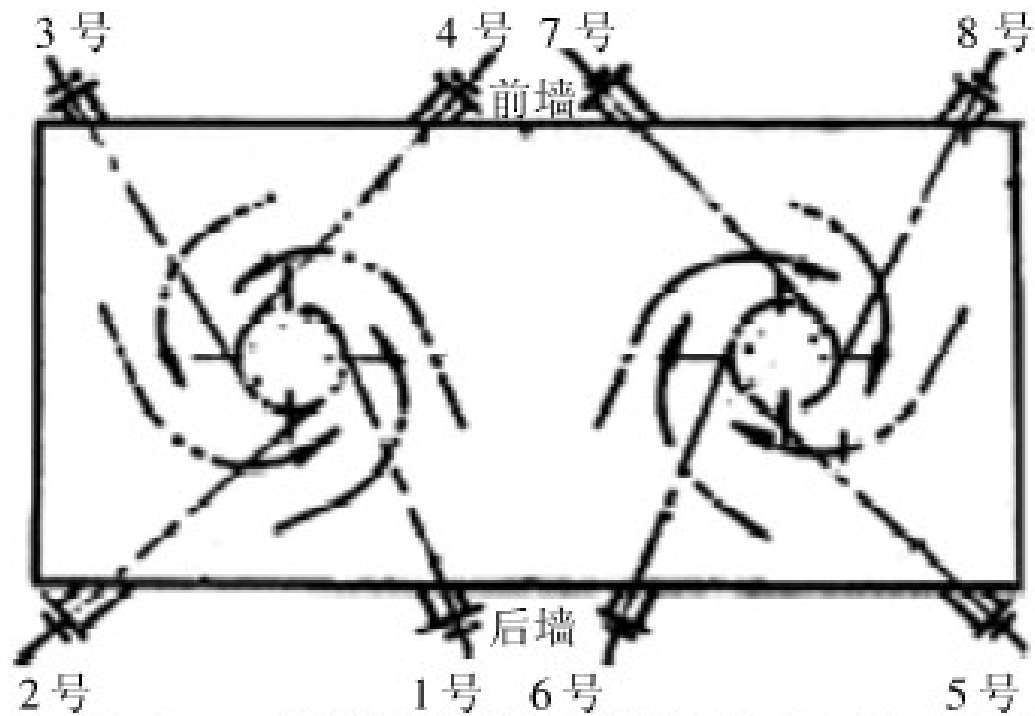


图 1 单炉膛双切圆燃烧器水平布置图

Fig. 1 The horizontal cross section diagram of single chamber dual circle tangential firing system

1 GW 单炉膛双切圆炉内煤粉 燃烧过程的数值模拟,申春梅等, 中国电机工程学报26 (15), 2006.8

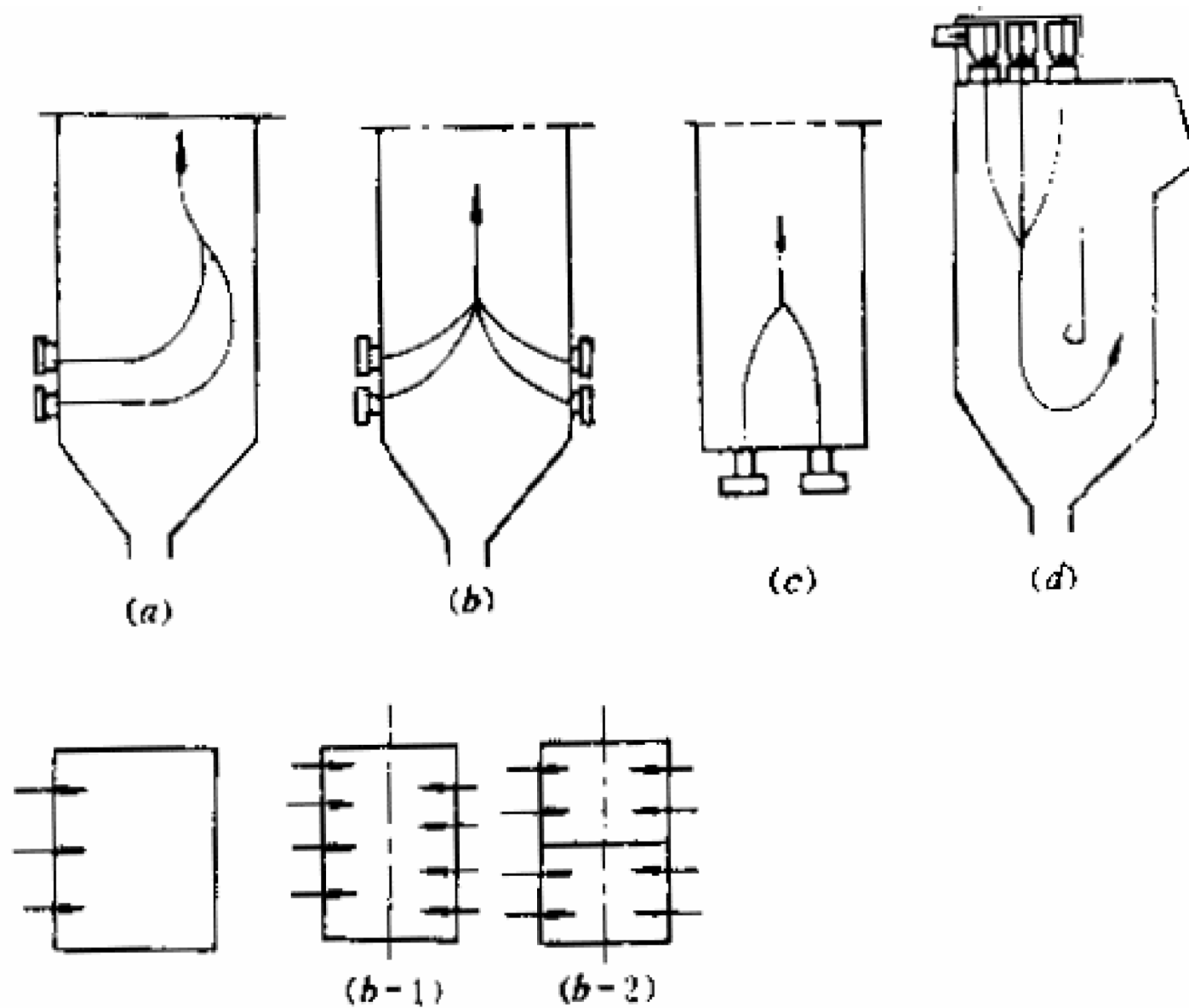
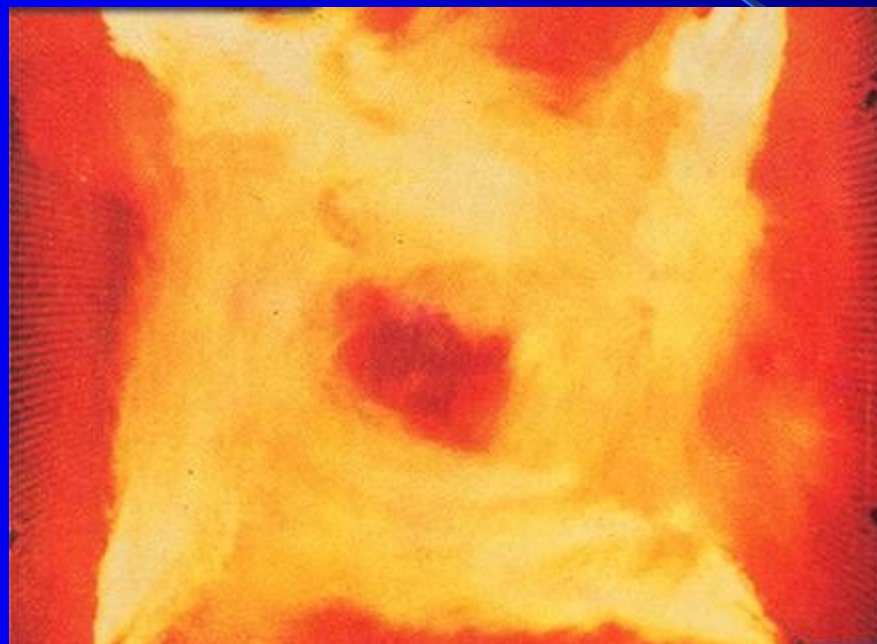


图5-29 旋流燃烧器的布置

(a) 前墙布置； (b) 前后墙布置； (b-1) 前后墙交错相对布置；
 (b-2) 前后墙对称布置； (c) 炉底布置； (d) 炉顶布置



四角切圆燃烧火焰示意图

二、切圆燃烧方式

(一) 燃烧器布置

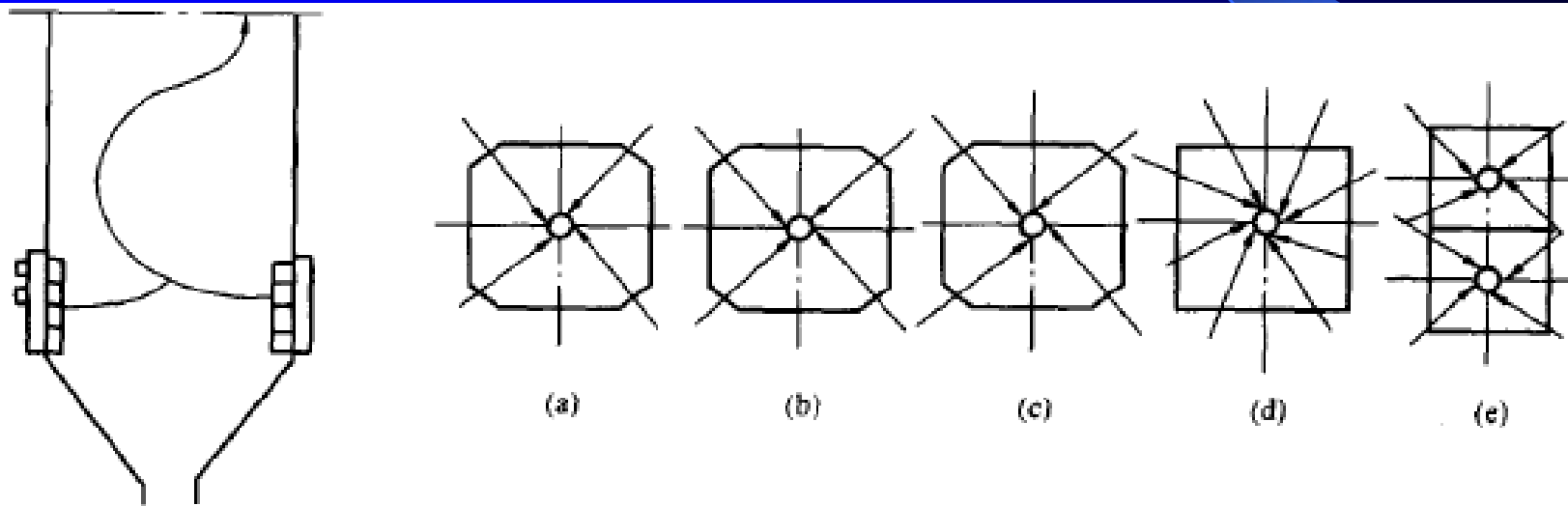


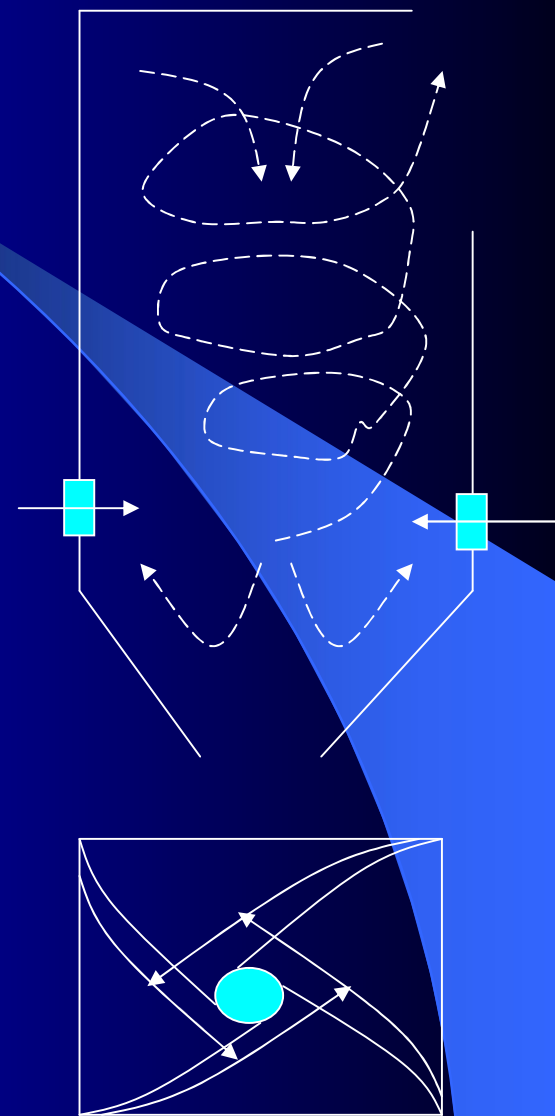
图 5 - 24 . 切圆燃烧锅炉直流煤粉燃烧器的布置方式

(a) 单切圆布置；(b) 两角对冲布置；(c) 双切圆布置；(d) 八向切圆布置；(e) 双炉膛切圆布置

(二) 空气动力特征

(1) 可形成稳定的强烈旋转火炬，炉膛中心为真空无风区；无风区外是强风区，最外围是弱风区。

(2) 煤粉气流燃烧条件理想、炉内热负荷均匀，煤种适应性强应用广泛



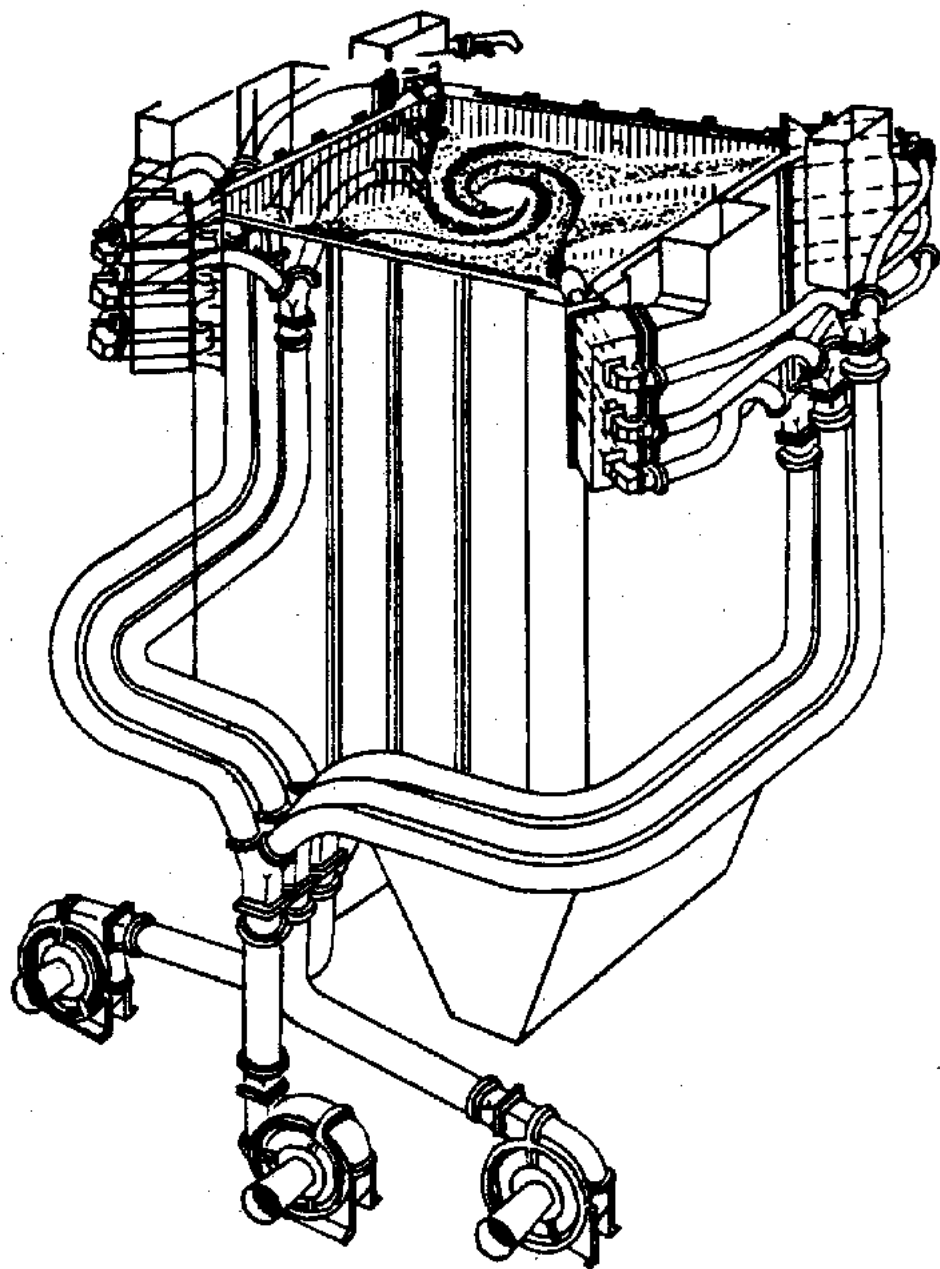


图 7-26 切圆燃烧炉内的旋转火炬

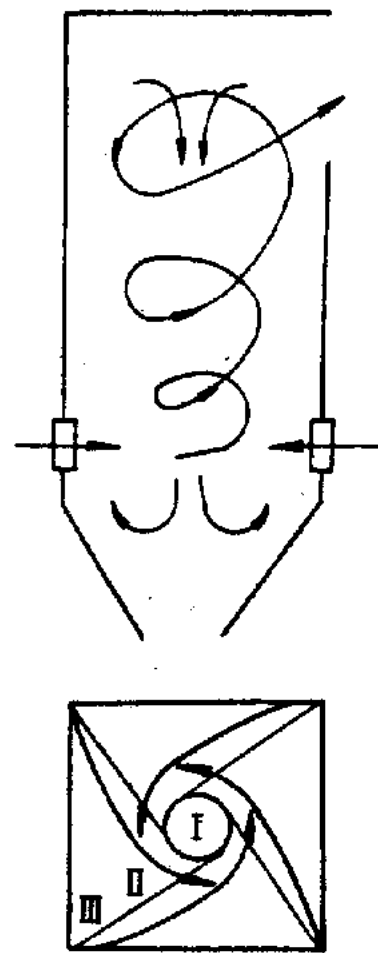
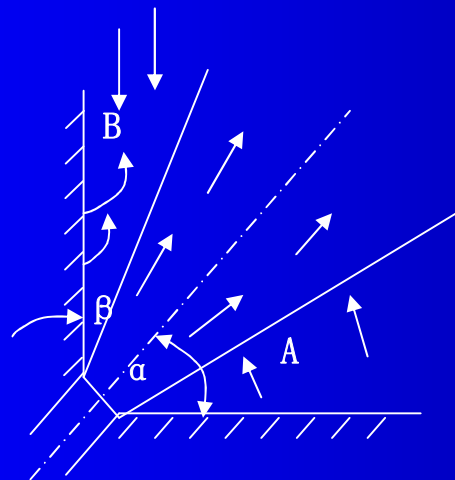


图 7-27 切圆燃烧炉内
空气动力场

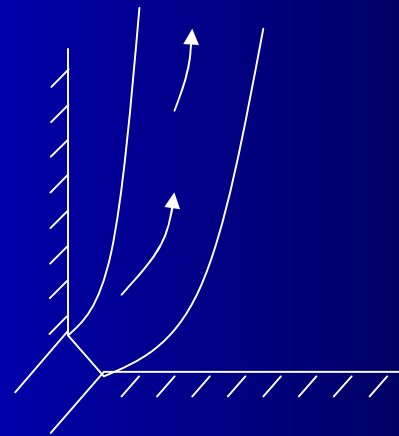
I—无风区；II—强风区；
III—弱风区

(三) 射流偏斜

1. 产生原因：射流直线与假想圆相切，使之与两侧炉墙夹角大小不同；夹角大的一侧补气充足，风压大于另一侧。结果形成射流偏斜。
2. 射流偏斜的危害：导致煤粉气流吸附或冲击炉墙，引起水冷壁结渣。



(a) 补气情况



(b) 偏斜

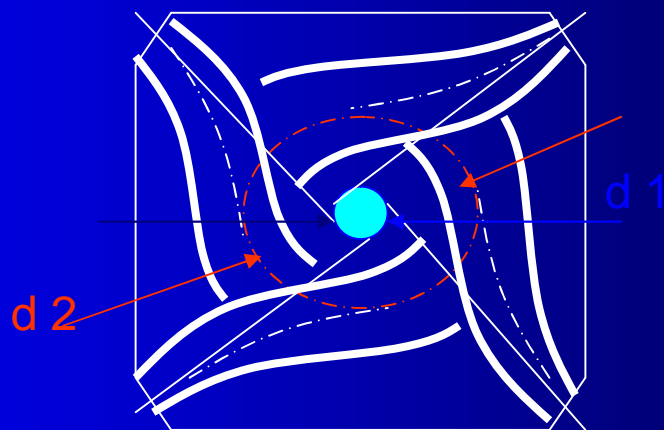
3.克服措施:

1) 选取适当的假想切圆直径，一般取假想切圆直径与炉膛宽度之比为 0.05-0.12.

2) 采用正方形炉膛或使炉膛的宽深比小于 1.1，则可忽略补起差异。

3) 增加一次风动量或减少二次风动量可减轻射流的偏斜。

4) 减小燃烧器的高宽比可以提高一次风射流的刚性减轻射流的偏斜。



切圆的假象直径与真实直径

（四）烟气在炉膛出口的残余旋转 δ

1. **产生原因**：旋转动量矩大， $\delta \uparrow$ 。锅炉容量的增加，使旋转动量矩也增加 $\rightarrow \delta \uparrow$ 。

2. 残余旋转 δ 的**危害**

3. 克服残余旋转 δ 的措施

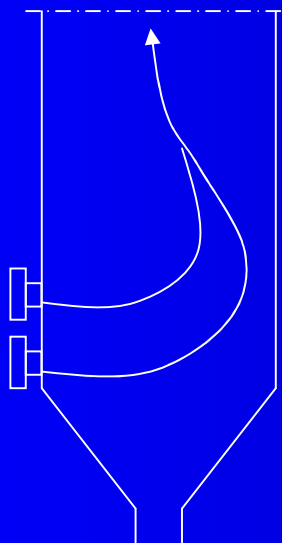
1) 减小理想切圆

2) 在炉膛上部布置偏斜的前分隔屏

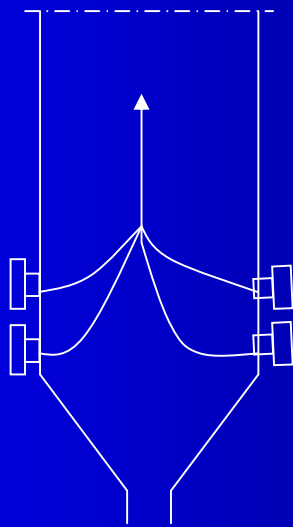
3) 减小理想切圆布置反切风

三、L 型火焰燃烧方式

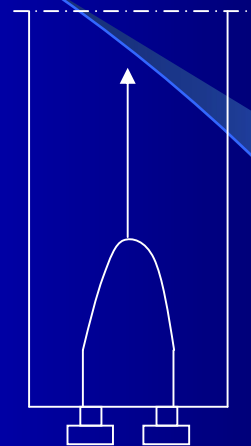
1. 燃烧器的布置



前墙布置



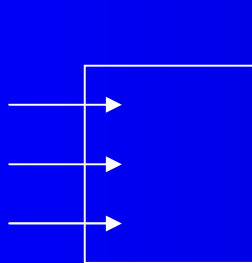
前后墙布置



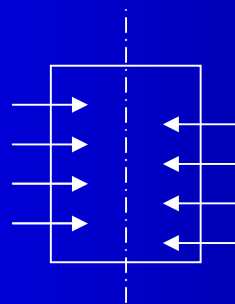
炉底布置



顶棚布置



前后墙交错相对布置

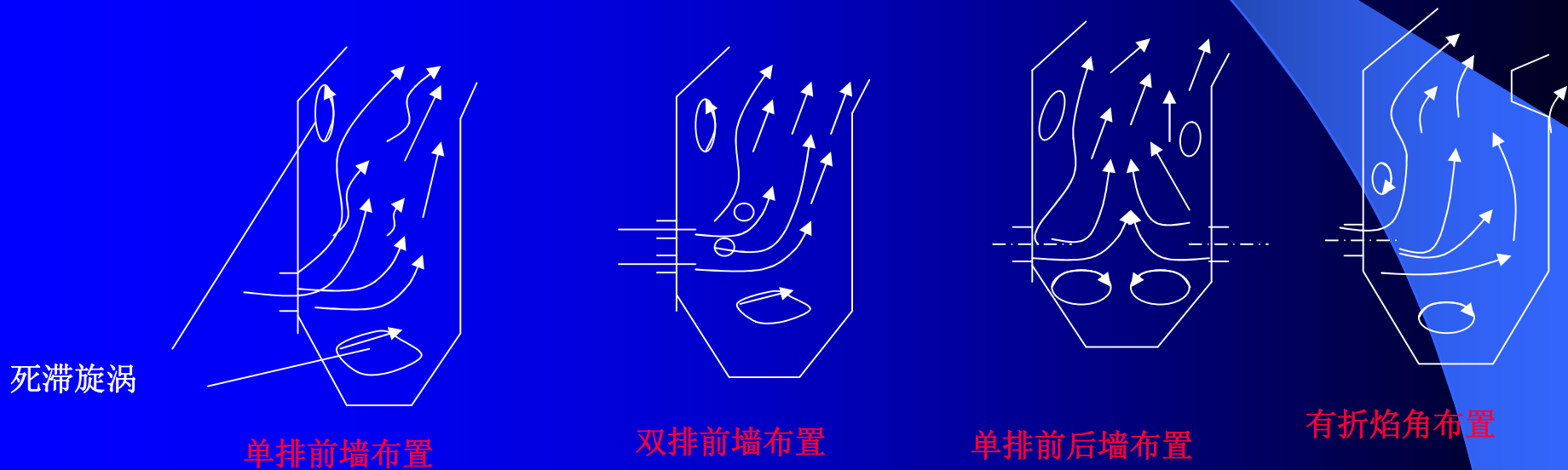


前后墙对称布置

2. L 型火焰锅炉炉内空气动力场

(1) 气流在炉内垂直上升形成 L 型火焰

(2) 死滞区的形成及克服办法



四、W型火焰燃烧方式

(一) W型火焰燃烧锅炉内的燃烧过程

起始阶段: 低扰动, 低风速 15m/s , 利于着火.

燃烧阶段: 2次风高速射入, 强烈混合燃烧, 75%燃料完全燃烧

辐射冷却阶段: 辐射放热, 低扰动继续燃烧

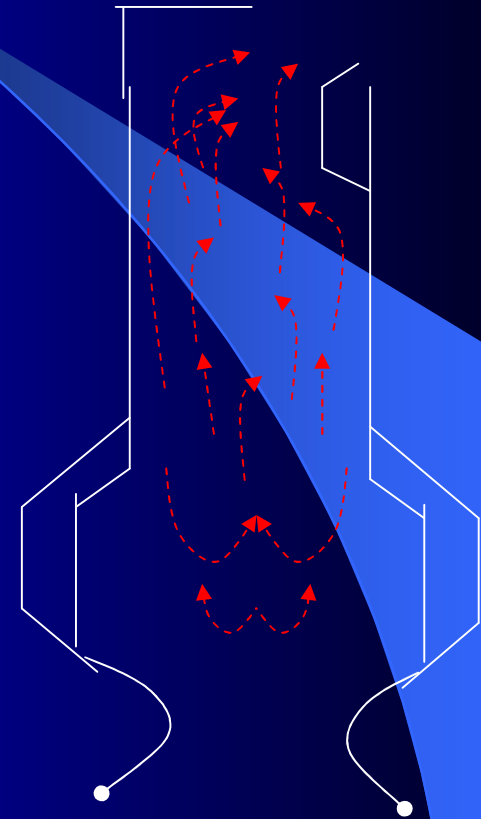
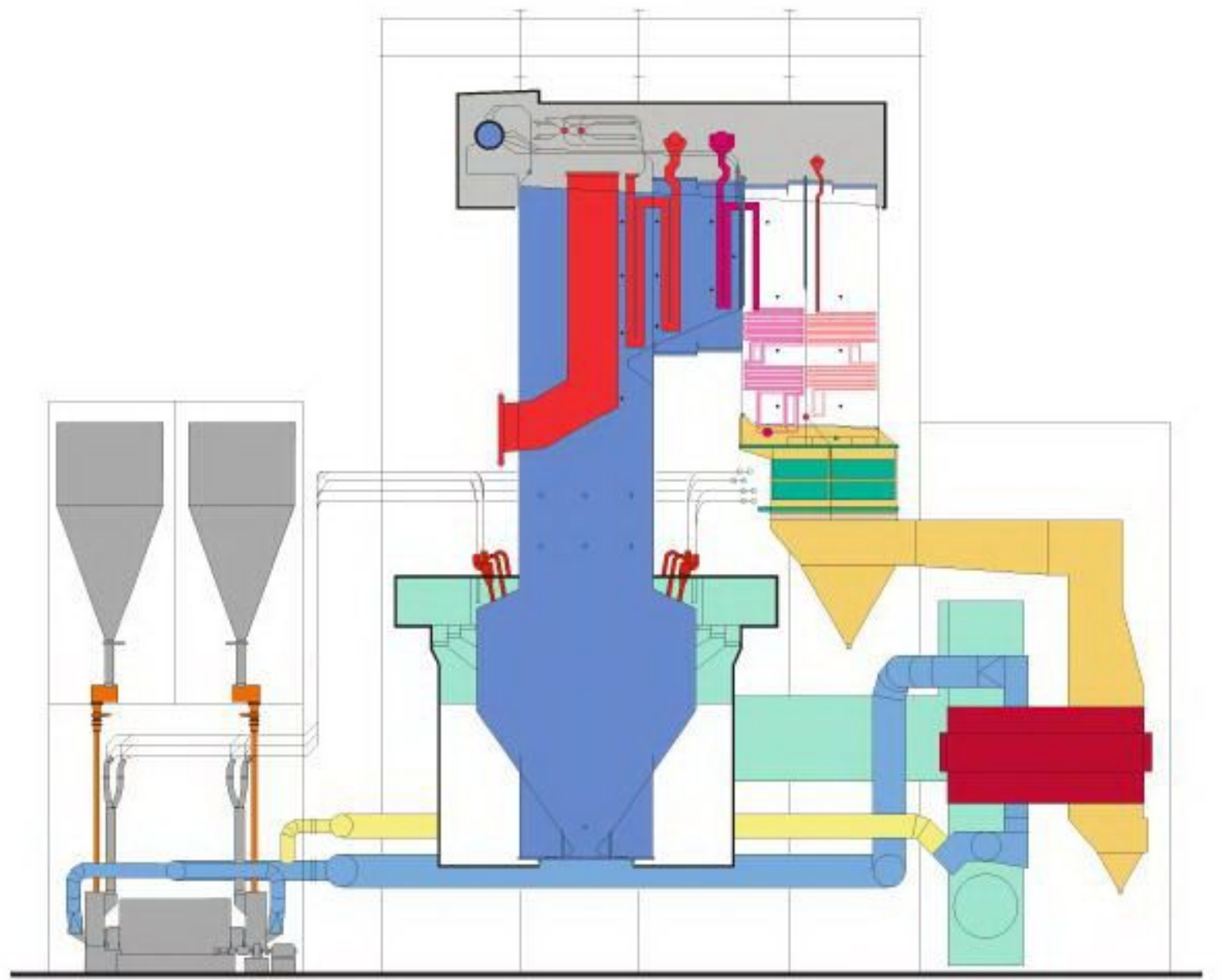


FIGURE. 1: 717 MW_e Arch Fired Boiler



W火焰锅炉设备整体布置图

(二) W 型火焰锅炉的特点

(1) 优点: 着火条件好、火焰行程长、负荷调节范围大、火焰平行于前后墙不易渣, 火焰 180° 转弯, 出口处无旋流, 过热器和在热器热偏差小。

(2) 缺点: 后期混合较差影响燃尽、结构复杂制造周期长, 成本高。

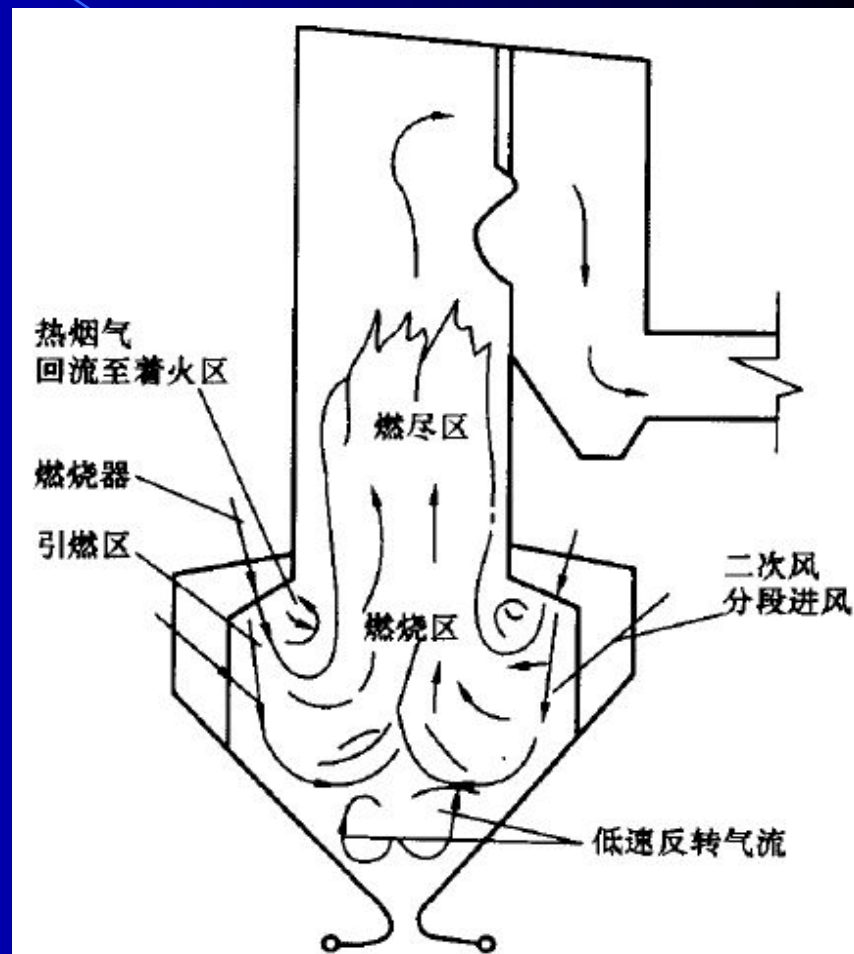


图 5-32 W 形火焰锅炉炉内工况示意图

优点

- (1) 着火条件好
- (2) 火焰行程长
- (3) 负荷调节范围大
- (4) 减少结渣
- (5) 减轻对对流受热面的飞灰磨损

缺点

- (1) 燃烧后期空煤混合差，燃尽困难
- (2) 无烟煤燃烧需燃油
- (3) 水冷壁和汽水管道布置复杂
- (4) 燃烧器垂直向下布置，检修困难
- (5) 制造成本，周期长

(三) W 型火焰锅炉采用的燃烧器简介

1. 旋风分离式燃烧器:

卧式

立式——详细内容

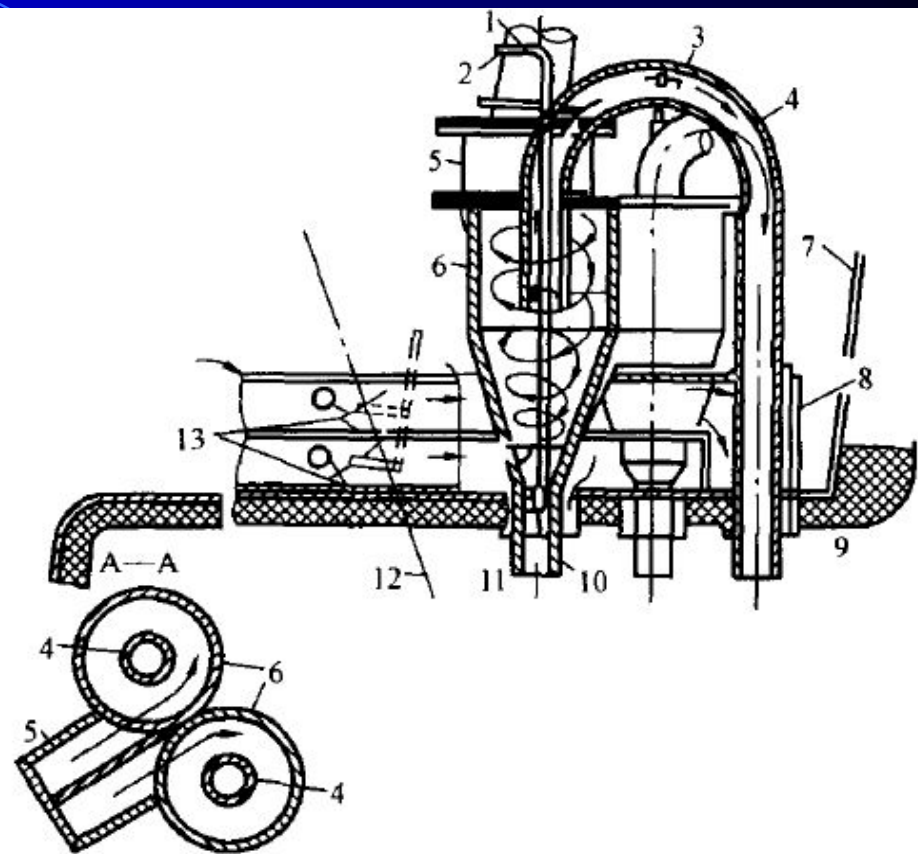


图 5 - 33 旋风分离式燃烧器简图

1—一次风进口；2—燃烧器叶片调节杆；3—抽气控制挡板；4—抽气管；5—分配箱；6—旋风子；7—锅炉护板；8—燃烧器风箱；9—耐火砖块；10—叶片；11—喷嘴；12—一点火油枪中心线；13—三次风挡板

2. 直流缝隙式燃烧器:

3. 旋流分级燃烧器:

4. PAX燃烧器:

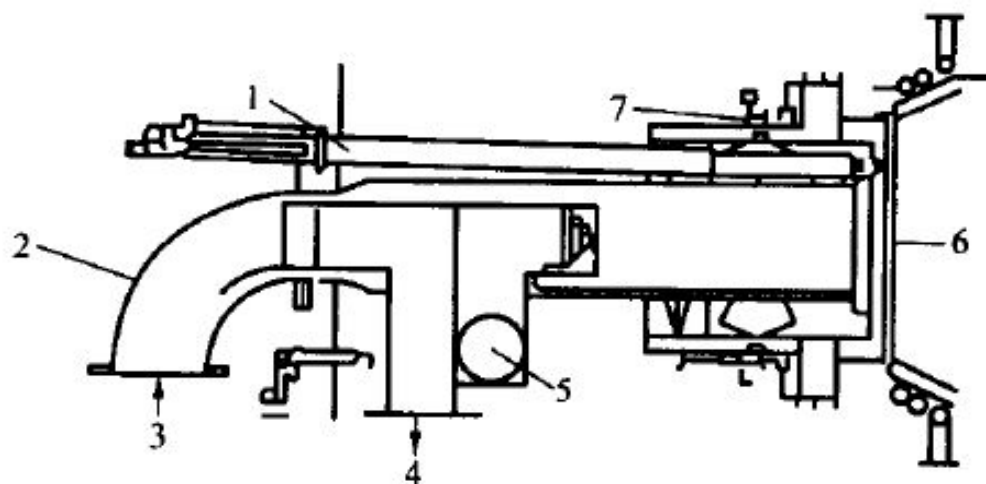


图 5 - 35 PAX 型燃烧器

1—点火油枪；2—燃烧器弯管；

3—一次风进口；4—低浓度煤粉流出口；

5—热空气进口；6—火焰稳定器；

7—增强型点火装置

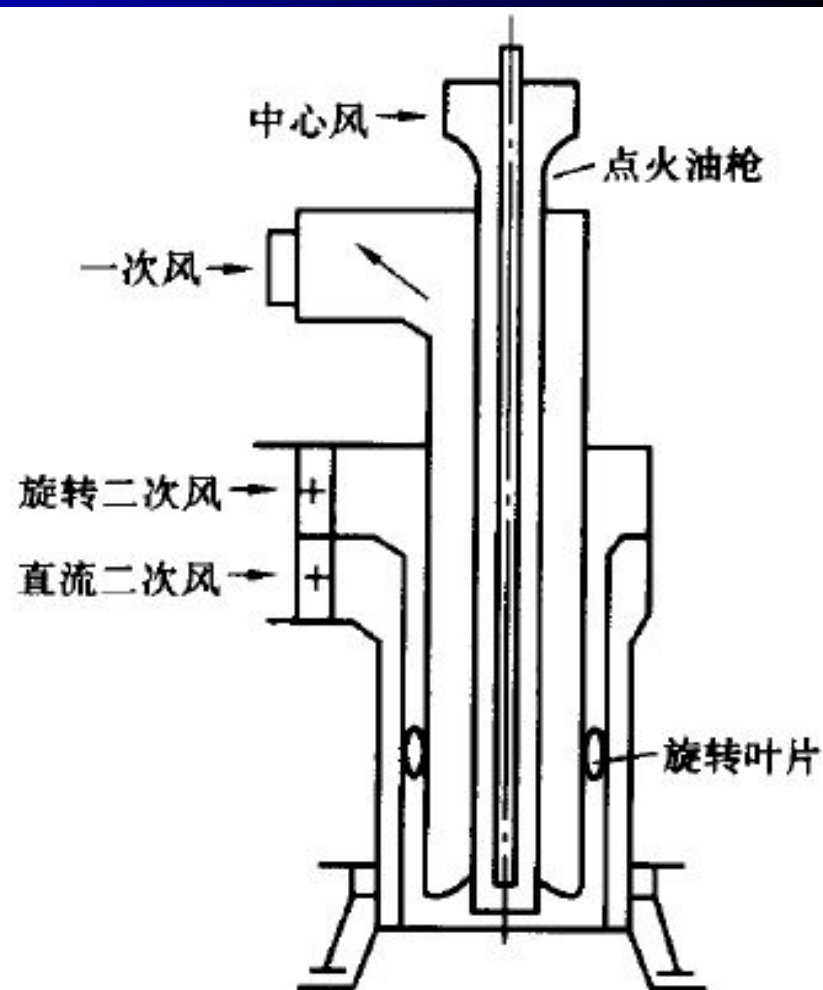


图 5 - 34 旋流分级燃烧器

第五节 燃烧调整试验方法

一、锅炉燃烧调整试验

(一) 试验目的

1. 确定最佳运行方式。
2. 使运行人员更好地掌握设备运行性能和燃烧过程的内在规律，使实践和理论知识更紧密地联系起来，从而在技术革新和安全经济运行方面发挥更大的作用。

(二) 试验范围

1. 包括炉膛、燃烧器在内的燃烧设备；

2. 直吹制粉系统的煤粉炉，燃烧调整试验的设备对象还必须包括制粉系统在内；

中储式制粉系统的煤粉炉，制粉系统可以不包括在燃烧调整试验的范围之内，只要求制粉系统供应合格的煤粉。

3. 空气供给系统，如风道、空气预热器、一次风机、二次风机、喷口、分段风室以及用外来热源加热的前置式空气预热器等设备。

4. 锅炉烟道系统及其受热面部件，烟气再循环系统，但不包括除尘器和引风机。

(三) 试验前的检查、准备及辅助性试验

1. 设备检查

2. 测量装置的准备

3. 辅助性实验

(1) 冷炉的状态下进行燃烧设备的空气动力场及其它辅助性的试验。

(2) 进行燃烧调整试验前，还应在运行中测定锅炉炉膛及烟道系统的漏风系数。

(3) 带直吹式制粉系统的煤粉炉，先进行制粉系统的运行调整试验。

(4) 带中间储仓式制粉系统的煤粉炉，亦应进行制粉系统的运行工况、调整方式、调节性能的了解和调查，根据试验资料或运行统计资料取得其磨煤出力及系统耗电量随煤粉细度变化的关系。

（四）试验条件

1. 试验负荷的选择及测试次数

（1）锅炉的额定负荷；

（2）锅炉的最低负荷；

（3）在额定与最低负荷之间选适当的两个中间值，其中一个最好在经济负荷范围内。

如有必要和可能，还可进行锅炉设备短时最大负荷（超过额定负荷5%~10%）试验。

2. 测试前的稳定阶段与测试持续时间

各类试验一般都应该在锅炉连续正常运行72小时以后进行，以保证全部锅炉设备的热工况完全稳定。试验前的12小时内，前9小时机组运行负荷应不低于试验负荷的75%，后3小时应维持预定的试验负荷。

3. 煤质及锅炉主要参数的允许波动范围

试验期间所用的煤种，必须是试验大纲所规定的煤种。

二、炉膛空气动力场试验

主要指炉膛空间内空气（包括空气携带的燃料）以及燃烧产物的流动方向和速度值的分布状况。

（一）炉膛冷态空气动力场试验

1. 试验方法

冷态试验时，使用自模化理论，近似用冷态试验来模拟热态。

2. 冷态试验观测内容

在冷态实验中，炉膛气流的主要观测内容如下：

- （1）观测火焰或气流在炉内的充满度。
- （2）观测炉内气流动态。

（二）炉膛热态空气动力场试验

各墙沿高度方向均匀开设30~60个测孔；检查炉膛和燃烧设备是否处于正常状态；对锅炉上装设的仪表与测试时应用的仪表应进行检查和校正；与燃料着火、燃烧和燃尽等过程结合进行。

三、炉膛及烟道漏风试验

锅炉烟道各区段的漏风系数，可用各区段进出口烟气的过量空气系数的计算，即：

$$\Delta\alpha = \alpha'' - \alpha' \quad (5-19)$$

漏风试验方法：

锅炉烟道的漏风系数可直接利用烟气分析确定。用烟气分析仪同时测定烟道某一区段进口和出口烟气的气体成分含量，计算出相应的漏风系数。

四、煤粉炉的燃烧调整试验

(一) 锅炉负荷特性试验

1. 锅炉最大负荷试验

- 锅炉最大负荷试验是为了检验锅炉机组可能达到的最大负荷。
- 试验时，锅炉以不大于规定的负荷加速度逐渐将负荷升至试验所需的最高值，并保持连续稳定运行2小时以上，记录各运行参数及性能数据。

2. 锅炉最低稳燃负荷试验

进行该试验前，应先进行燃烧调整和制粉系统调整试验，将燃烧工况调至最佳。试验时，按5%—10%负荷的速度逐渐降低锅炉负荷，并在每级负荷下保持15—30min，直至能保持稳定燃烧的最低限，并保持2小时以上。

3. 锅炉经济负荷试验

通过对各级负荷下参数的测量、记录和计算，得出其中锅炉净效率最高时的锅炉负荷范围，即为该锅炉的经济负荷。

(二) 一次风粉均匀性调整

(三) 最佳过量空气系数调整

试验时应保持一次风量不变，只是依靠改变总风量或二次风量来调整锅炉的过量空气系数值。在每一个预定的试验工况下，按锅炉反平衡试验的要求绘出各损失的曲线图，确定出最佳过量空气系数。

（四）最佳煤粉细度的调整

煤粉细度试验一般在80%~100%额定负荷工况下进行。试验前先调整锅炉各运行参数稳定，然后分别将煤粉细度调至各个预定的水平，在每一个稳定工况下，测取损失与制粉电耗所需要的有关数据，从中确定最佳的煤粉细度。

五、风量测量与标定

风量测定可使用测速元件和标准皮托管或笛形管进行。首先应标定测速元件，通过试验给出风道截面上的介质流量与测速元件输出压差之间的关系，介质流量通常用标准皮托管或笛型管测定，压差的测定通过测速元件测定。

六、燃烧器负荷分配与投停方式试验

(一) 负荷分配

负荷分配的调整原则为：

- (1) 对冲布置的旋流燃烧器和W型火焰燃烧锅炉，可以单台燃烧器进行调整，应使中间负荷大、两边负荷较小。
- (2) 五角布置直流燃烧器，一般应对角两台同时调整或单层五只燃烧器同时调整。
- (3) 负荷分配改变时，各只燃烧器的风煤比可根据燃烧需要加以调整，但总的过量空气系数一般维持不变。

(二) 燃烧器负荷范围及合理组合方式

试验目的：找出燃烧器出力的调节范围，以确定锅炉在不同负荷下运行燃烧器的合理数量(制粉系统的投运台数)和运行燃烧器的合理组合方式。

试验时应分阶段调整锅炉负荷，对预定的各种组合方式进行逐项试验，试验各种组合方式对锅炉安全经济的影响。当燃烧器超过出力范围而使燃烧工况变差时，可通过增加或减少燃烧器的投运数量来调整。

小结

第一节：燃烧化学反应动力学基础

第二节：煤和煤粉的着火和**燃烧**

燃烧阶段
影响因素
强化措施

第三节：**燃烧器**和点火装置

直流燃烧器

旋流燃烧器

新型燃烧器

第四节：煤粉炉炉膛——四角切圆燃烧

第五节：燃烧调整实验方法（自学）

思考题

1.概念：燃烧速度、活化能、动力燃烧区、扩散燃烧区、着火热、炉膛容积热强度、断面热强度、燃烧器区域壁面热强度。

2.炭粒的燃烧过程

3.煤粉燃烧过程分为几个阶段？各阶段的特点？如何强化？

4.燃烧器有几种形式？如何布置？适合煤种？

5. 新型煤粉燃烧器稳燃技术有那些？

6. NO_x 的生成机理？如何控制其生成？

7. 切圆燃烧方式的讨论？



Thank you!



END

谢谢欣赏

New Game

Find Servers

Options

Quit

Friends

Servers

COUNTER STRIKE

