

第九章 省煤器和空气预热器

- 第一节 尾部受热面概述
- 第二节 省煤器
- 第三节 空气预热器
- 第四节 尾部受热面的积灰、磨损和低温腐蚀

第一节 尾部受热面概述

(低温受热面)

一、工作特点

- 烟温低—— $<600^{\circ}\text{C}$
- 积灰、磨损、低温腐蚀严重

二、布置

- 单级布置：省煤器和空预器都是一级
- 双级布置：省煤器和空预器交错两级布置



逆流布置

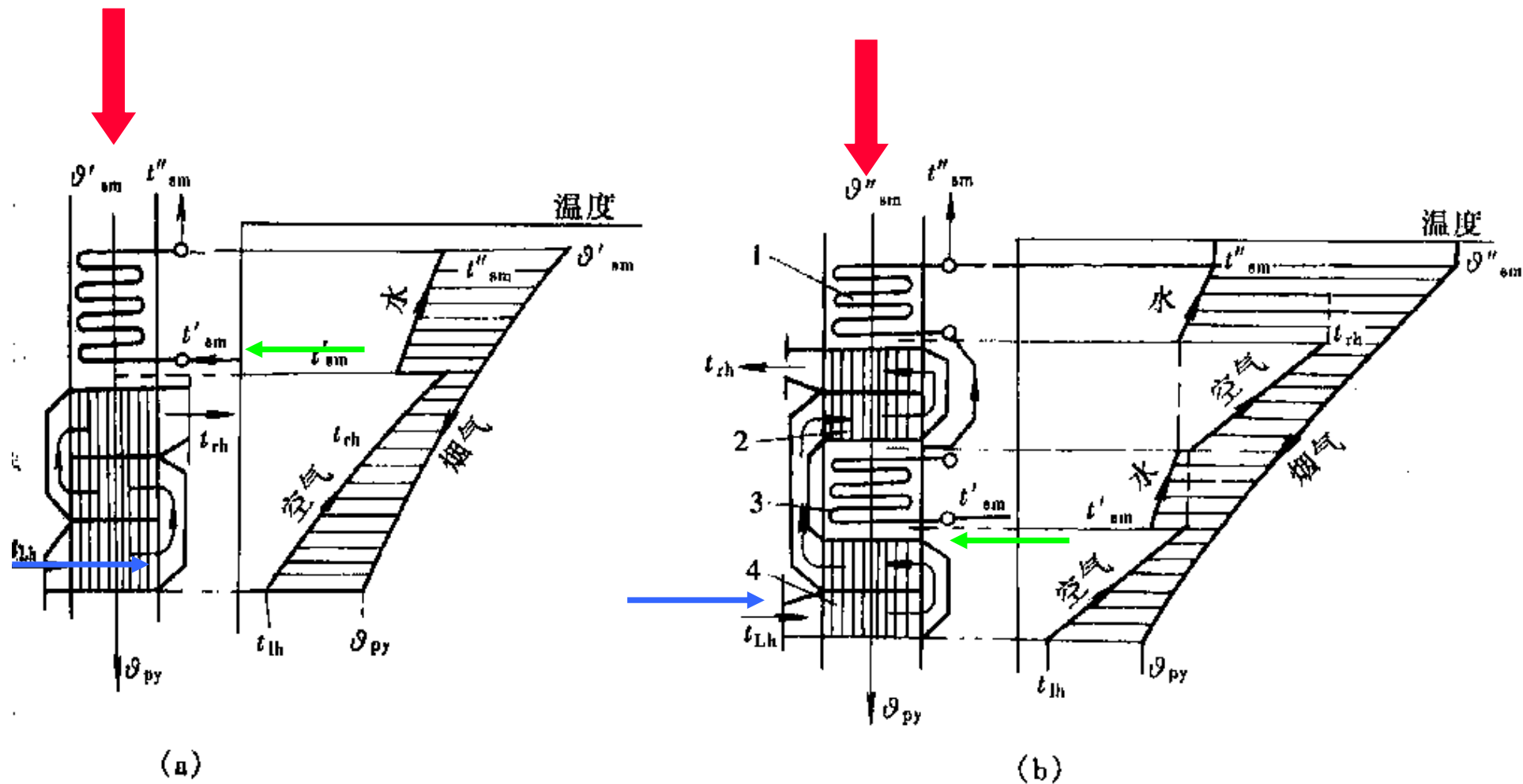


图9-1 尾部受热面的布置
 (a)单级布置； (b)双级布置
 1—高温级省煤器； 2—高温级空气预热器； 3—低温级省煤器； 4—低温级空气预热器

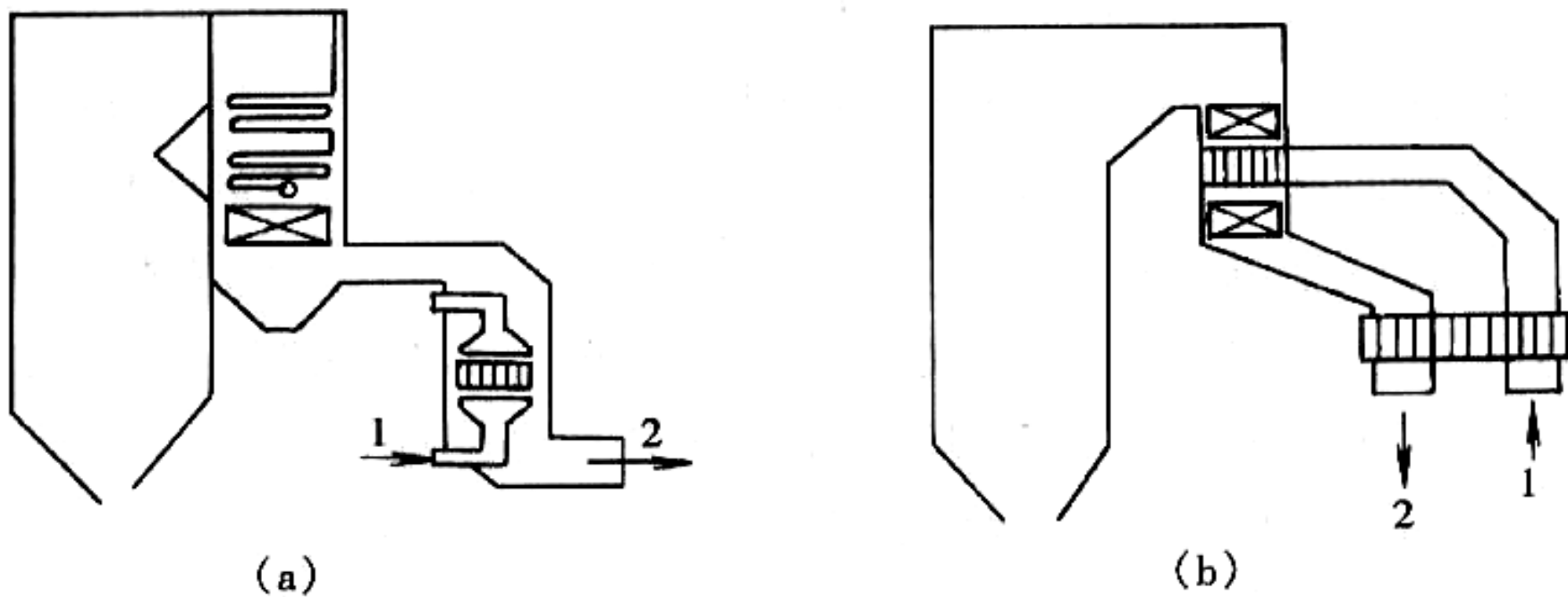


图9-2 回转式空气预热器的布置
(a)单级布置——风罩回转式空气预热器；**(b)**双级布置——
 受热面回转式空气预热器
 1—空气；2—烟气

第二节 省煤器

一、省煤器的作用及种类

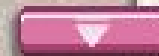
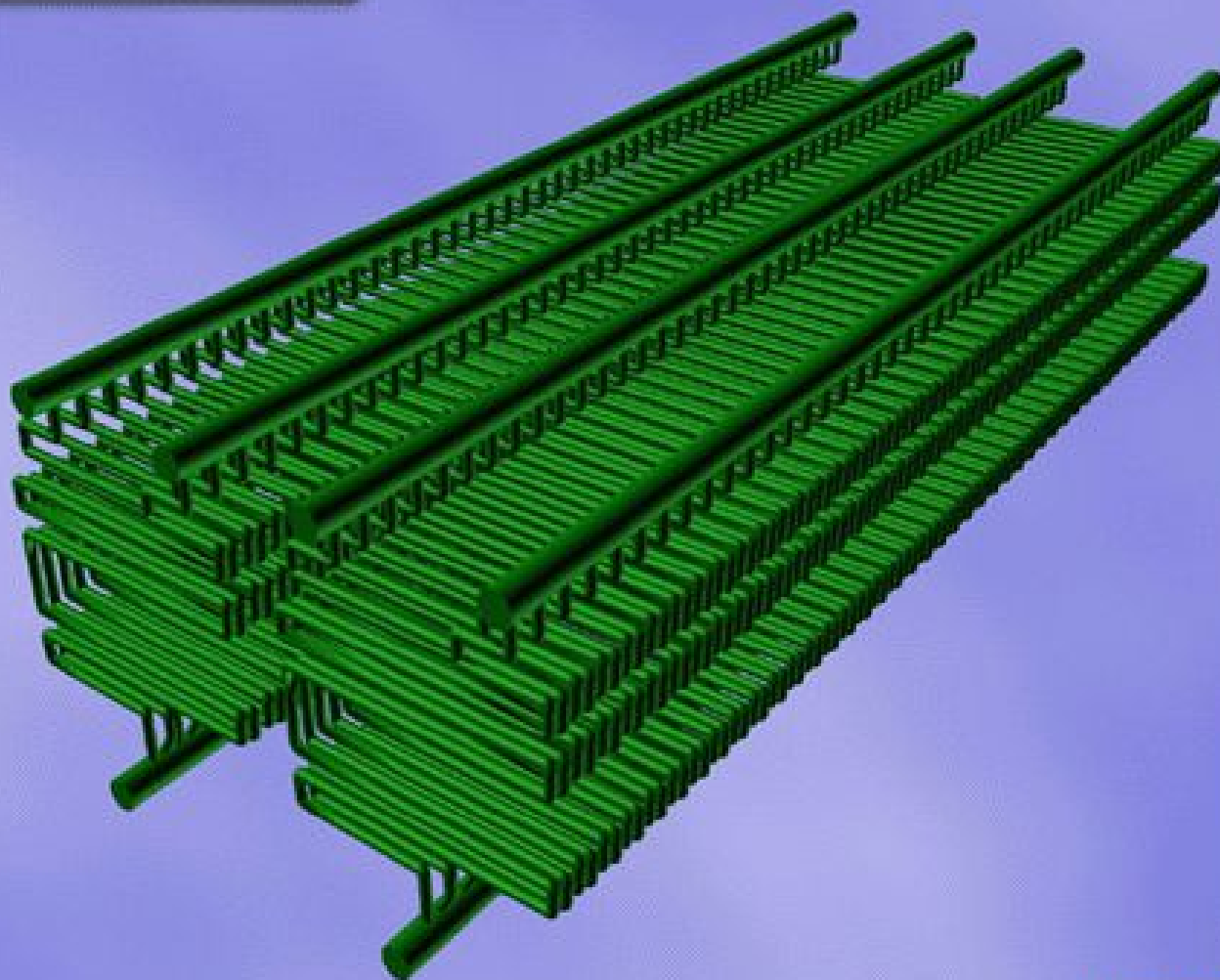
- 1.作用：
- (1) 节省燃料
 - (2) 改善了汽包的工作条件
 - (3) 降低了锅炉造价

2.分类：

- 按材料分：铸铁式、钢管式（主要）
- 按出口工质状态分：沸腾式（中压锅炉）
非沸腾式（高压及以上）

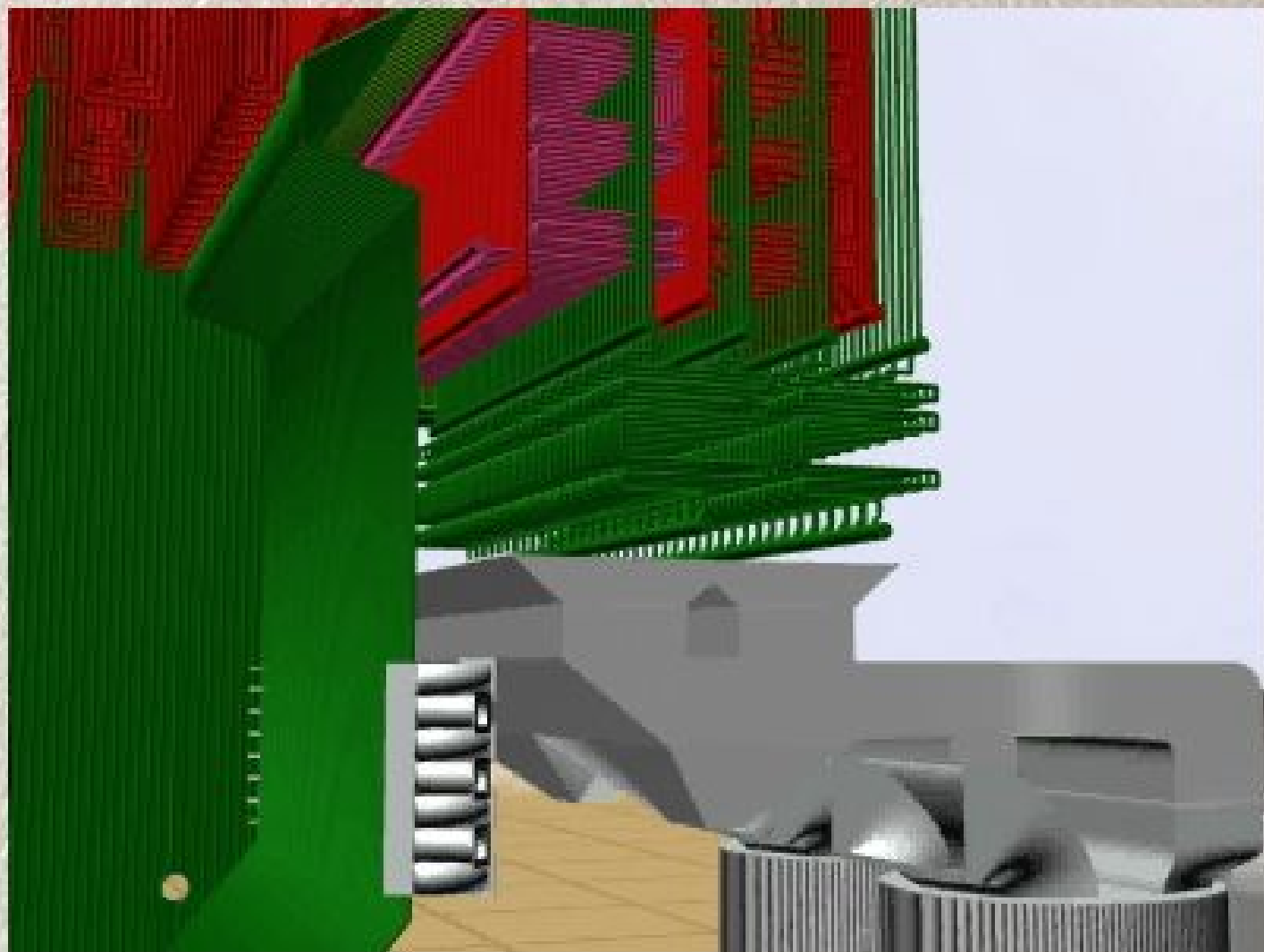


省煤器

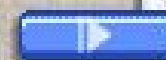


这是省煤器整体外形，下面是省煤器的进口联箱，中间是蛇形管受热面，上面是出口联箱。

省煤器

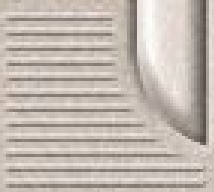


省煤器



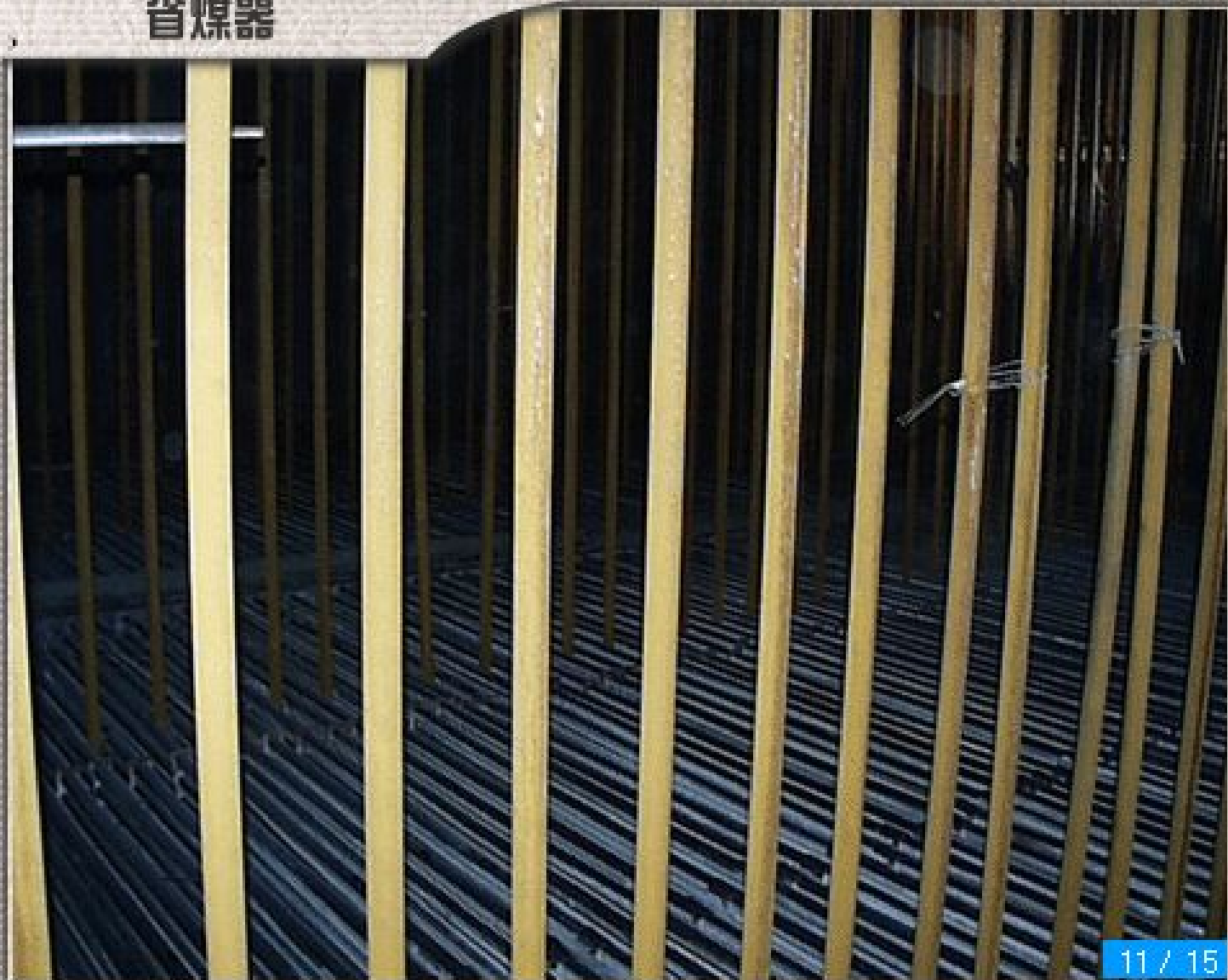
待安裝的省煤器蛇形管排
列的組形圖

省煤器



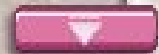
省煤器是安装在锅炉尾部烟道中的热交换器，利用烟气余热加热给水，使给水在进入炉膛前温度升高，从而减少燃料消耗，提高锅炉效率。

省煤器



排 下
边是
被最
低的
温度
过热
烟气
，
这是
省煤
器的
出口
管。

省煤器



在转向烟道里，这是炉膛
悬吊管的中上部，上边是顶楼
过热器，右边是后包墙过热器

省煤器

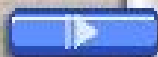
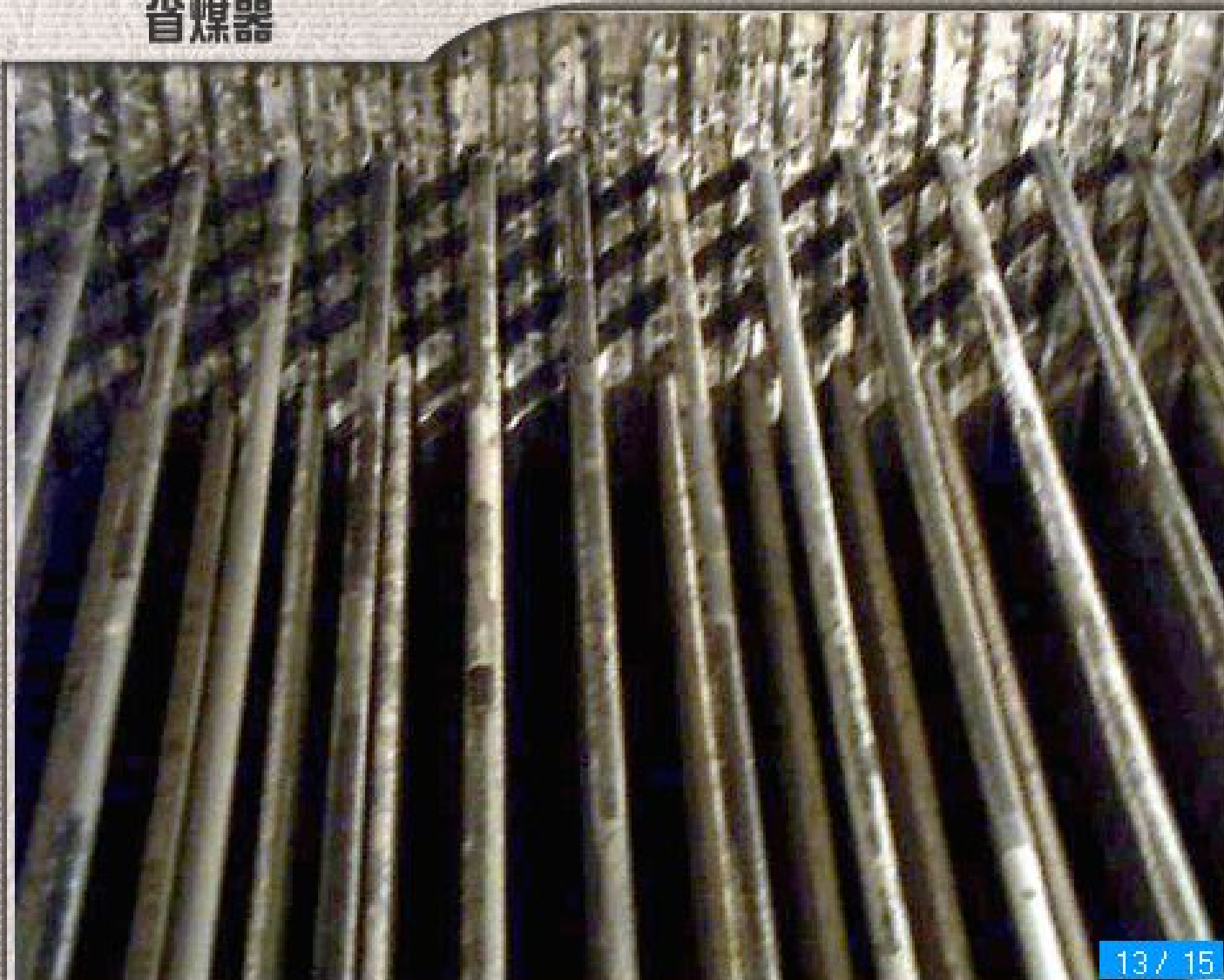
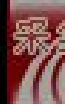
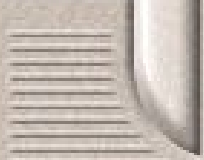
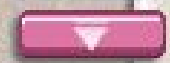


图 在锅炉烟道里，这是省煤器，它的作用是在烟气中上部，上部是预热器，下部是省煤器。



省煤器



在炉顶上，这是省煤器联箱的上部，悬吊管内的工质经出口联箱汇集后送往汽包

二、钢管式省煤器（重点）

1.结构

进出口联箱+蛇形管束，采用小管径、小节距、卧式、错列、逆流布置

工作原理：水—烟气

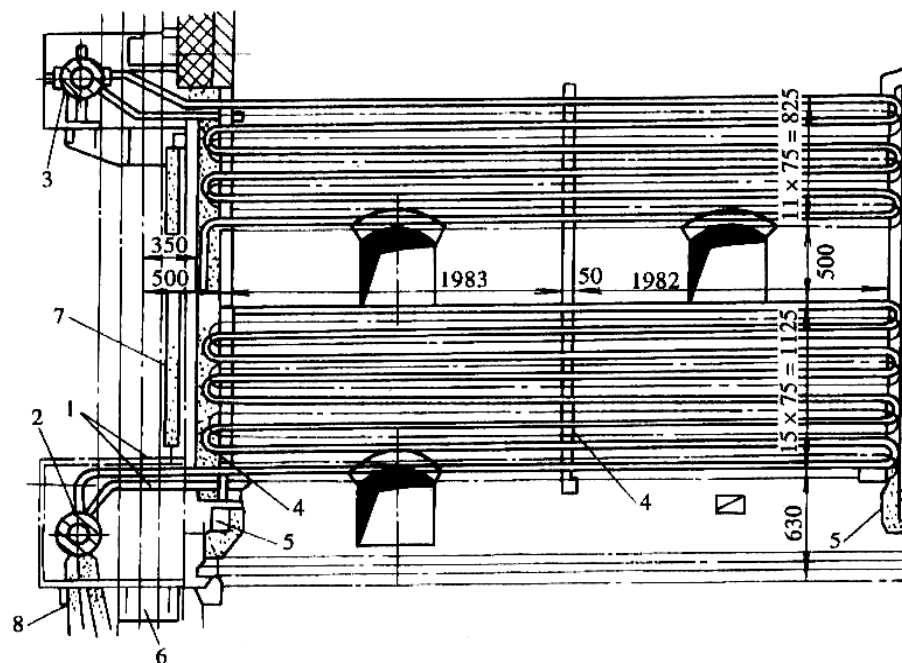


图9-3 钢管式省煤器结构

1—蛇形管；2—进口联箱；3—出口联箱；4—支架；5—支撑架；6—锅炉钢架；7—炉墙；8—进水管

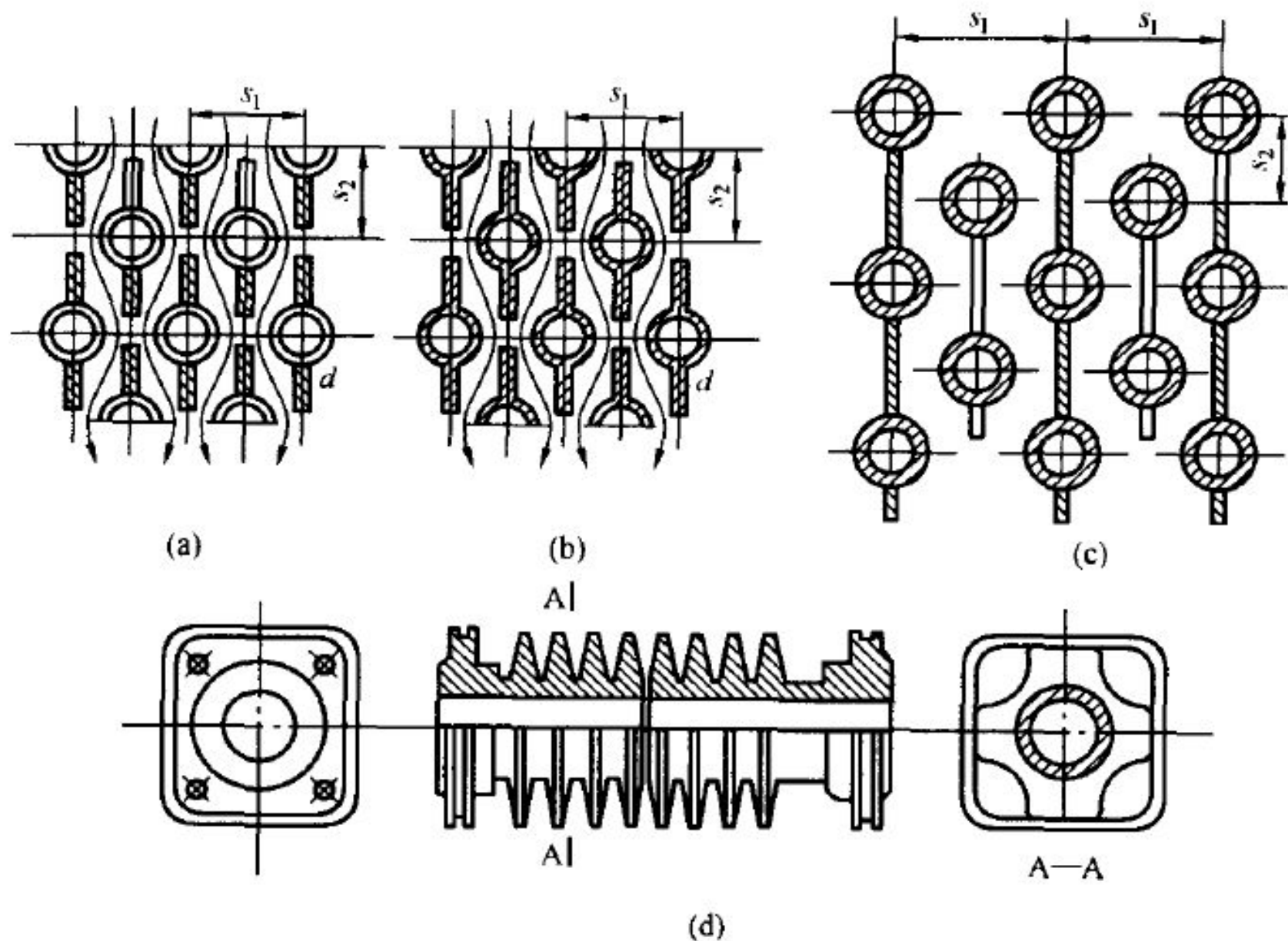


图 9-4 鳍片管式、膜式、肋片管式省煤器

(a) 焊接鳍片省煤器；(b) 轧制鳍片管省煤器；(c) 膜式省煤器；(d) 肋片式省煤器



省煤器

省煤器管



H型省煤器

2.布置方向——卧式错列

- 横向：平行烟道前墙，磨损轻、工质流速高
- 纵向：垂直于烟道前墙，磨损严重、流速低

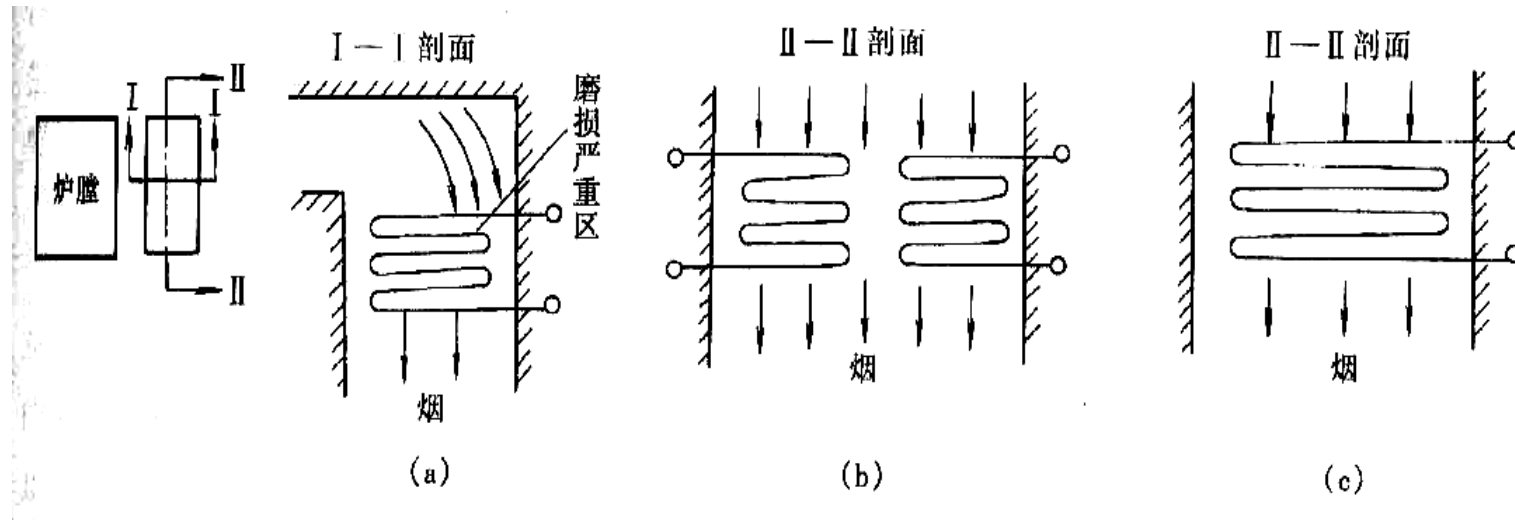


图9-5 省煤器蛇形管在烟道中的放置方式

(a)蛇形管垂直于烟道后墙布置；(b)、(c)蛇形管平行于烟道后墙布置

3.支吊（大容量锅炉一般采用悬吊结构）

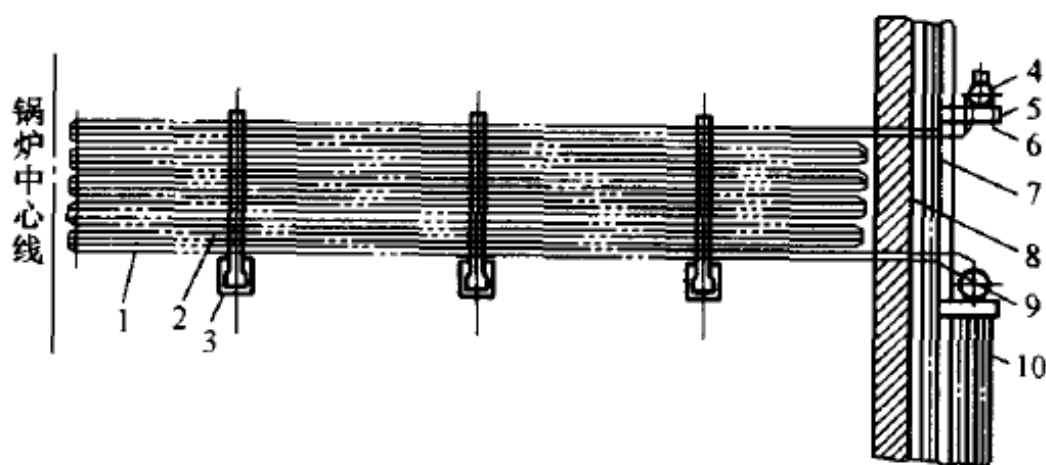


图 9-6 省煤器的支承结构

- 1—蛇形管；2—固定支架；3—支持梁；4—省煤器出口联箱；
5—托架；6—U形螺栓；7—立柱；8—烟道侧墙；
9—省煤器进口联箱；10—进口联箱连接管

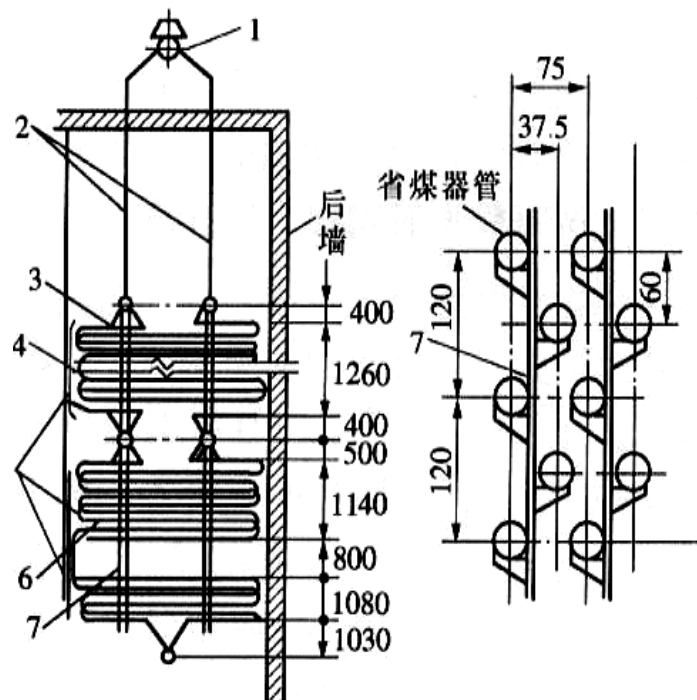


图9-7 省煤器的悬吊结构

- 1—出口联箱；2—省煤器悬吊管；3、
6—省煤器；4、7—吊架；
5—防磨装置

4.引出管与汽包间的连接（加保护套管）

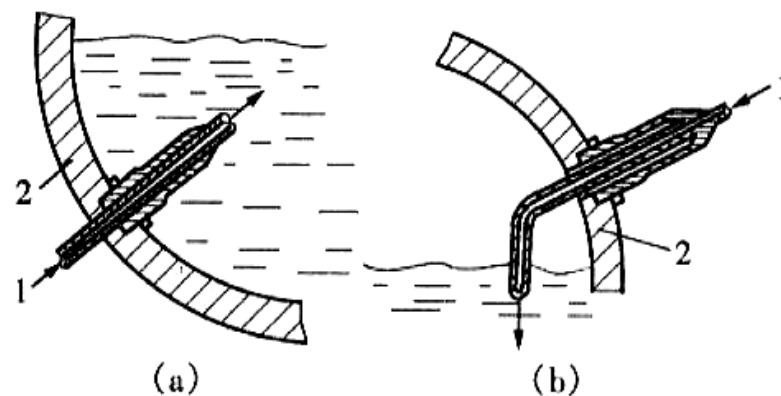


图9-8 省煤器引出管与汽包连接处的套管
(a)给水引入汽包水空间时的内部套管；
(b)给水引入汽包汽空间时的外部套管
1—给水；2—汽包壁

三、省煤器设计中考虑的问题

工质流速——

烟速选取——传热、磨损和积灰——8-11m/s

四、省煤器的启动保护（省煤器再循环管）

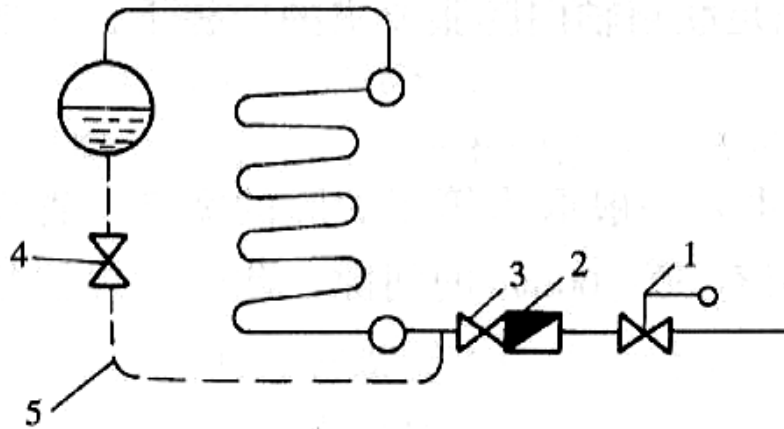


图9-9 省煤器的再循环管
自动调节阀；2—逆止阀；
3—进口阀；4—再循环
阀；5—再循环管

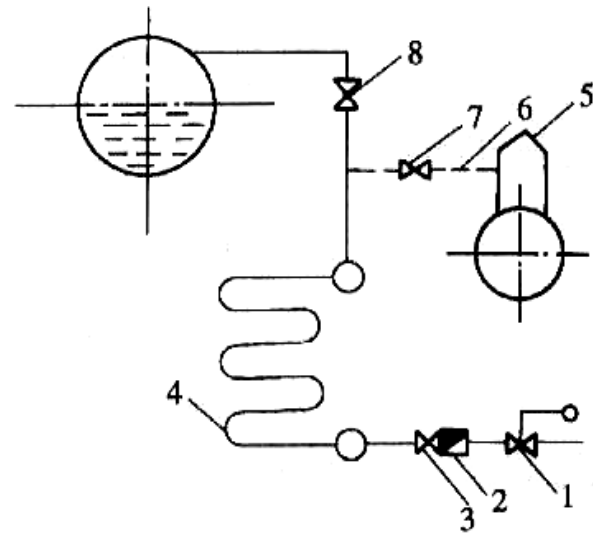


图9-10 省煤器与除氧器间的再循环管
1—自动调节阀；2—逆止阀；3—进口
阀；4—省煤器；5—除氧器；6—再循
环管；7—再循环阀；8—出口阀

第三节 空气预热器

一、作用及分类

1.作用

- (1) 降低排烟温度，提高锅炉效率，节省燃料。计算表明，排烟温度每降低 15°C ，可使锅炉热效率提高约1%；
- (2) 改善燃料的着火与燃烧条件，减小 q_3 、 q_4 ，进一步提高锅炉热效率；



空预器是火力发电机组必备的设备，全球主要有5家生产，这5家为美国ABB空气预热器公司（ABB API）、日本的ABB K. K Gadelius公司、德国ABB Kraftanlagen公司、英国的Howden公司、德国的Rothermühle公司。其中API和Gadelius的预热器产量远高于其它厂。除Rothermühle公司生产风道转预热器外，其余为容积式预热器。

国内主要是哈锅，上锅和东锅三巨头以及豪顿华，其中豪顿华的造价比较高，三巨头中哈锅引进的是API技术，上锅也是，故比较先进，东锅比较老套。具体造价视预热器型号确定。

(3) 节约金属，降低造价。

(4) 改善引风机的工作条件

2.分类:

- 传热式（管式）
- 蓄热式（回转式）

二、管式空气预热器（中小容量炉、流化床炉用）

1. 结构

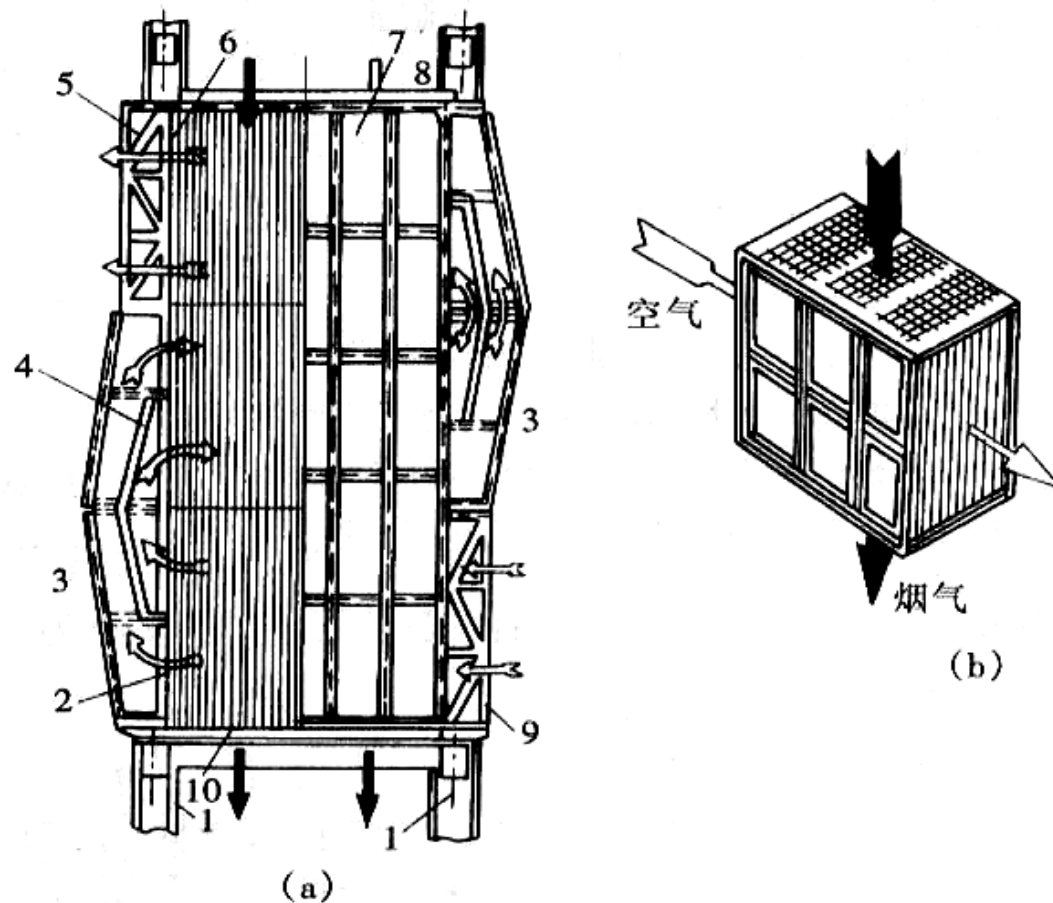
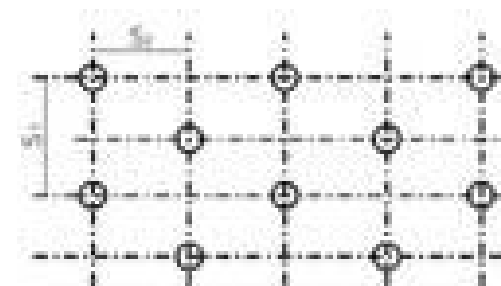
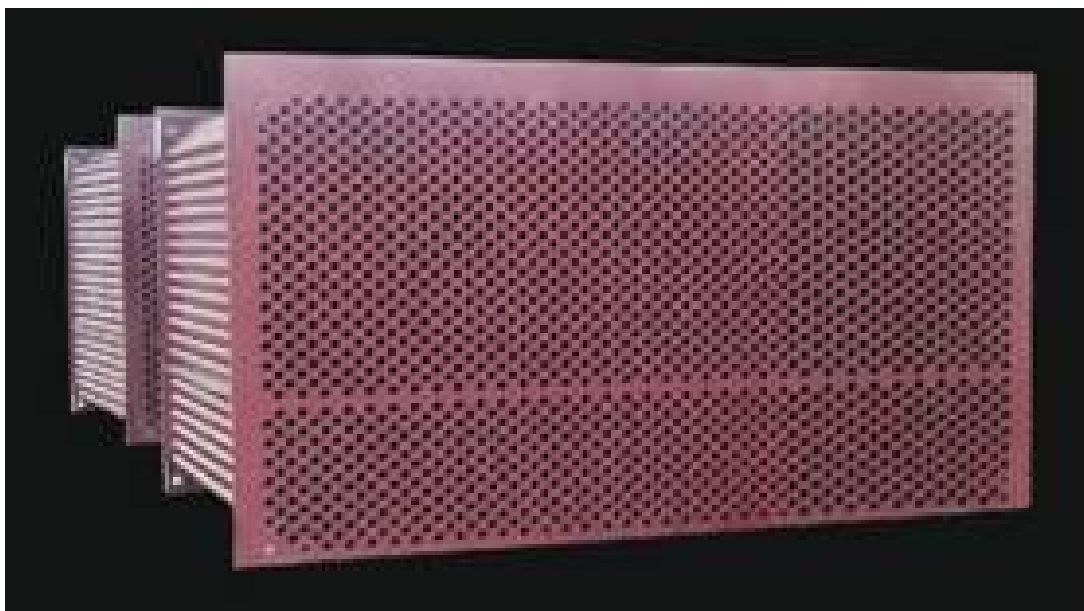


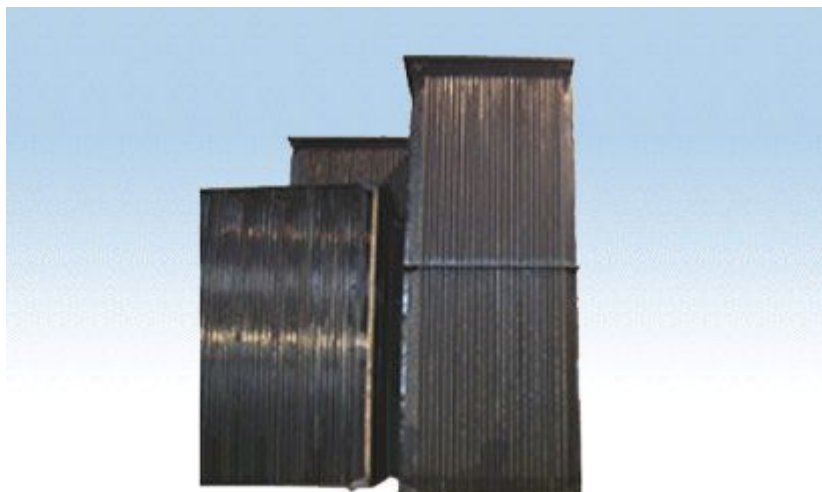
图9-11 管式空气预热器结构

(a)空气预热器组纵剖面图；(b)管箱

1—锅炉钢架；2—空气预热器管子；3—空气连通罩；4—导流板；5—热风道的连接法兰；
6—上管板；7—预热器墙板；8—膨胀节；9—冷风道的连接法兰；10—下管板



普通钢管式空气预热器



空气预热器管箱



内涂搪瓷螺旋槽管空气预热器

2. 布置

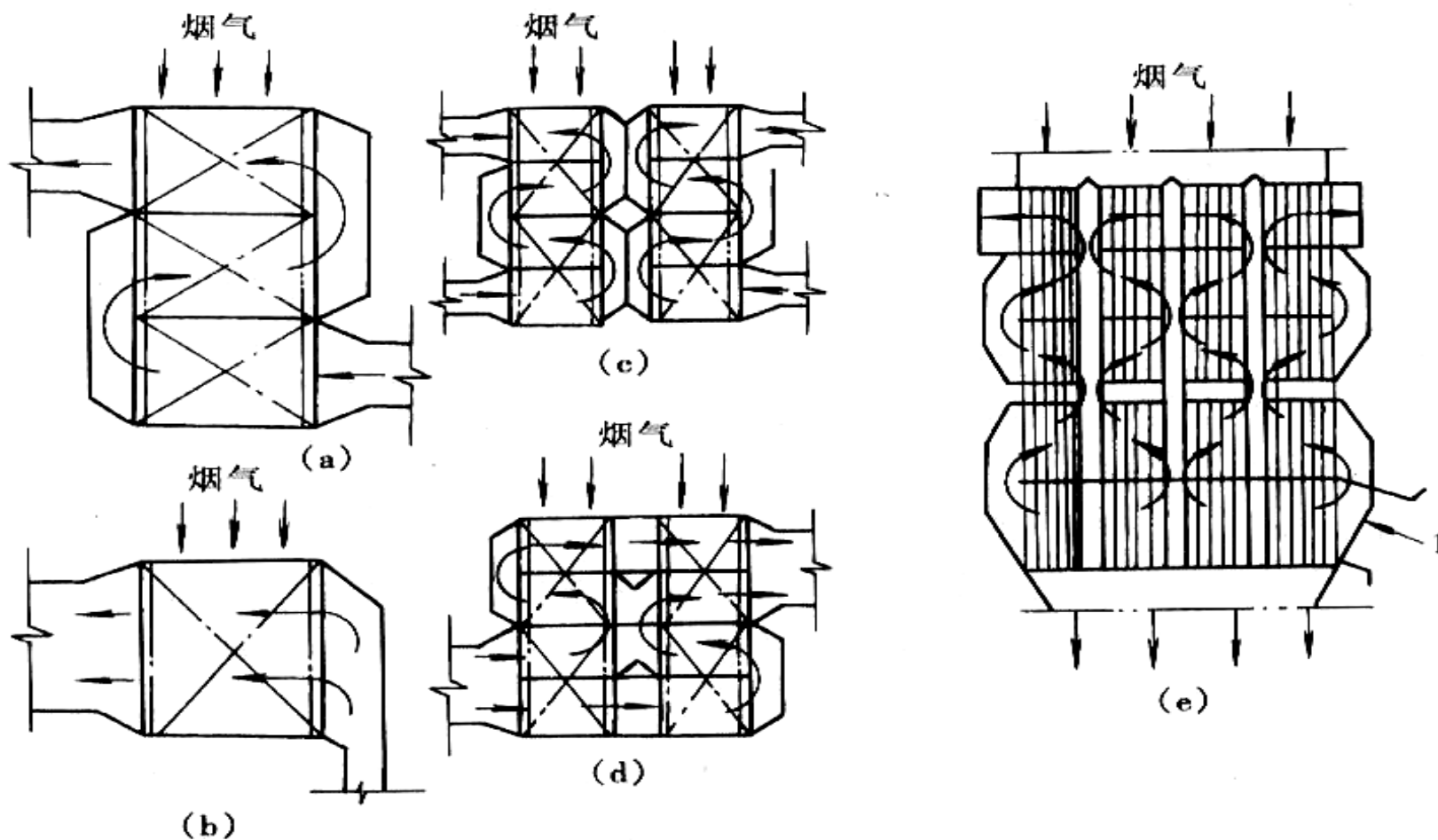
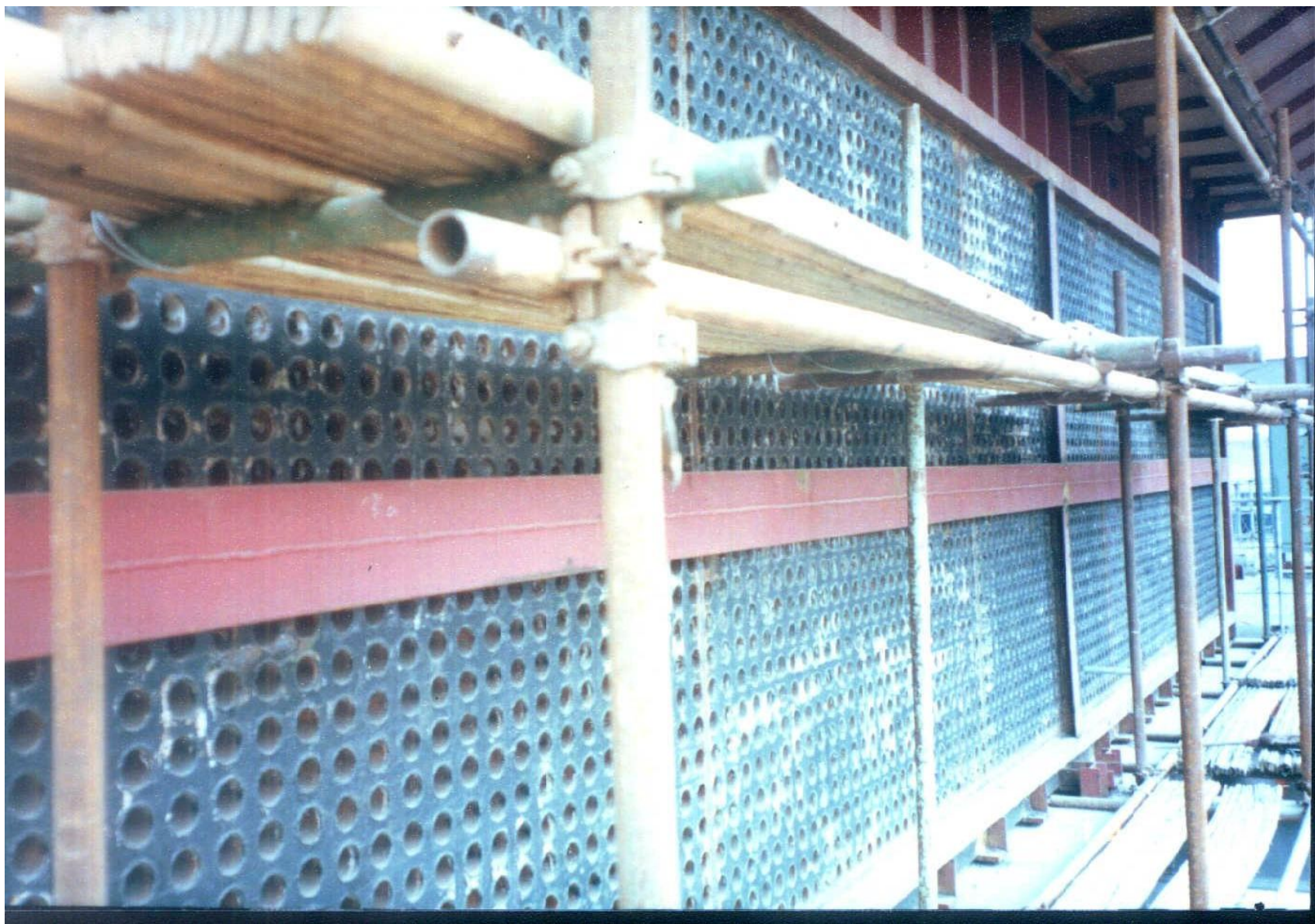


图9-13 管式空气预热器的布置
 (a)单道多流程; (b)单道单流程; (c)双道多流程; (d)单道多流程
 双股平行进风; (e)多道多流程
 1—空气进口; 2—空气出口



循环流化床用空气预热器

三、回转式空气预热器（大容量锅炉用）

1. 受热面回转式空气预热器

(1) 结构及工作原理

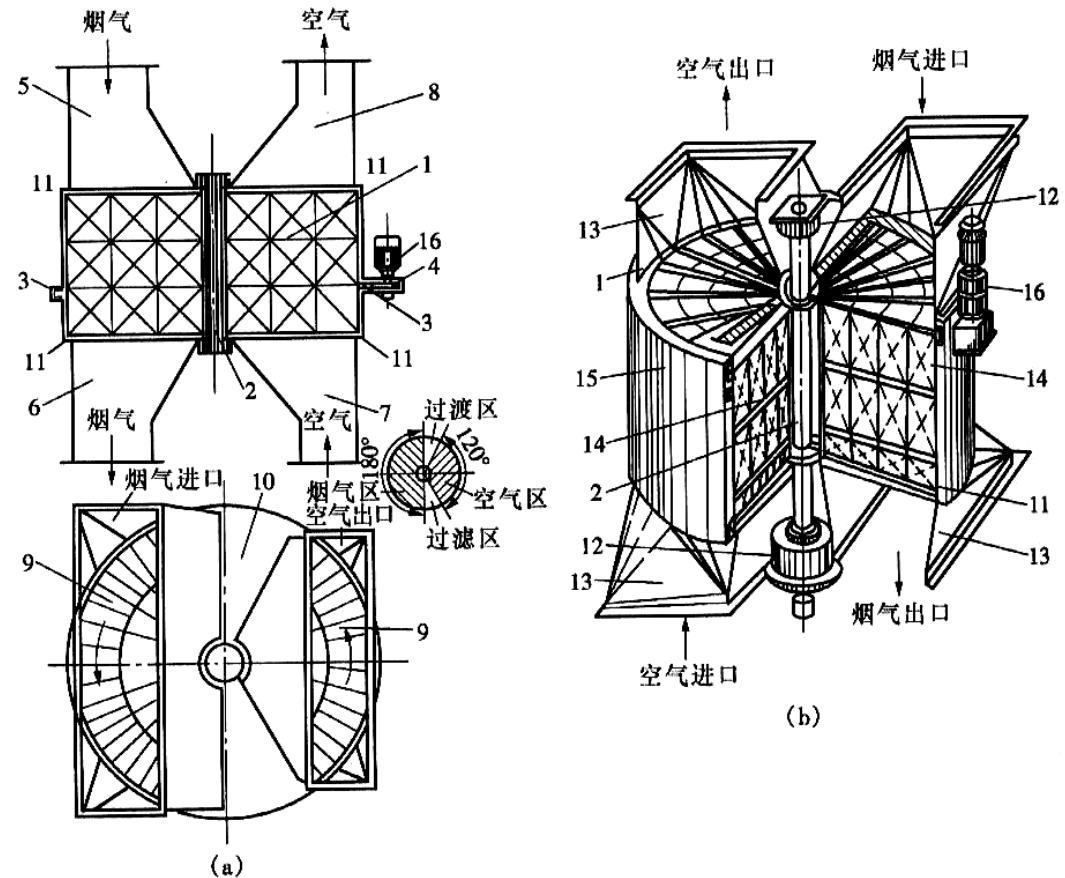


图9-14 受热面回转式空气预热器的结构

1—转子；2—轴；3—环形长齿条；4—主动齿轮；5—烟气入口；6—烟气出口；7—空气入口；8—空气出口；9—径向隔板；10—过渡区；11—密封装置；12—轴承；13—管道接头；14—受热面；15—外壳；16—电动机

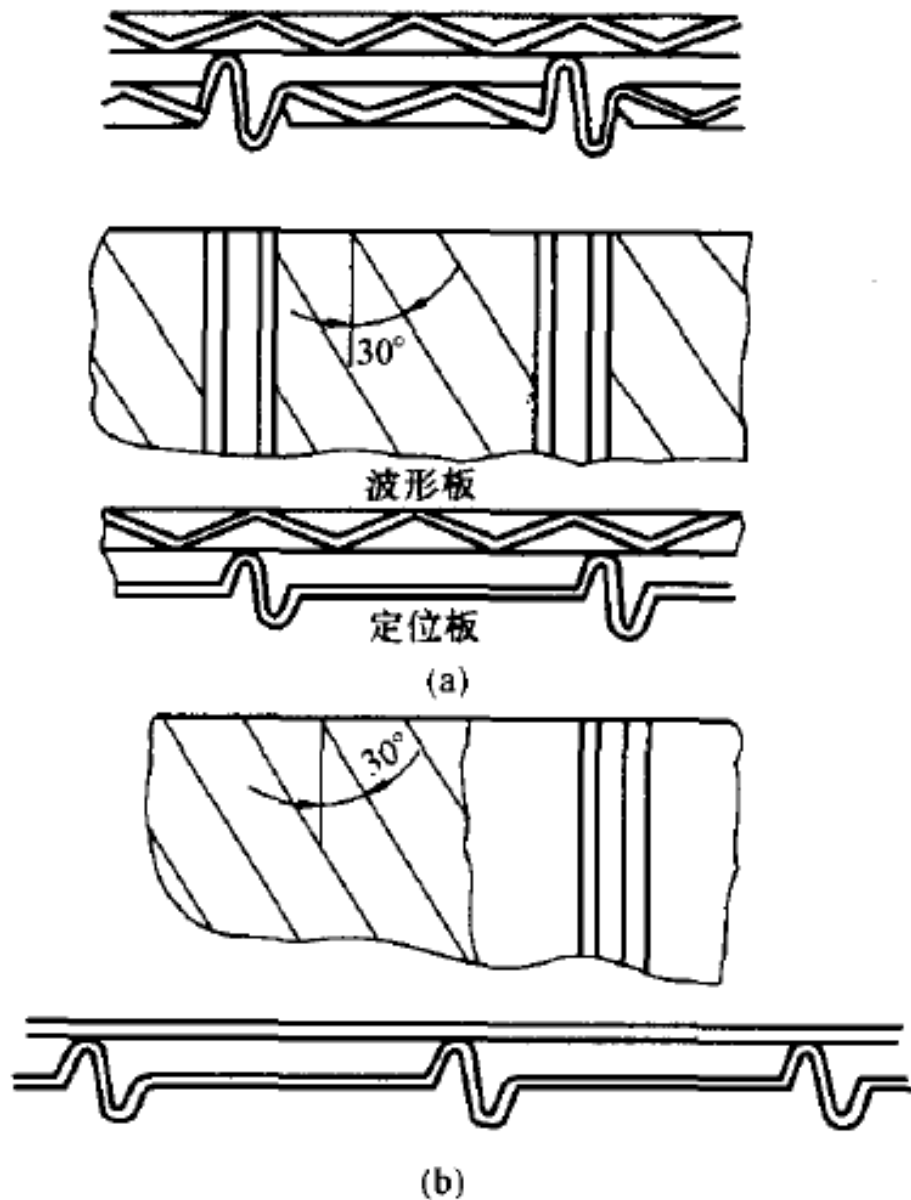


图 9 - 15 空气预热器的波纹板
 (a) 高温段波形板；(b) 低温段波形板

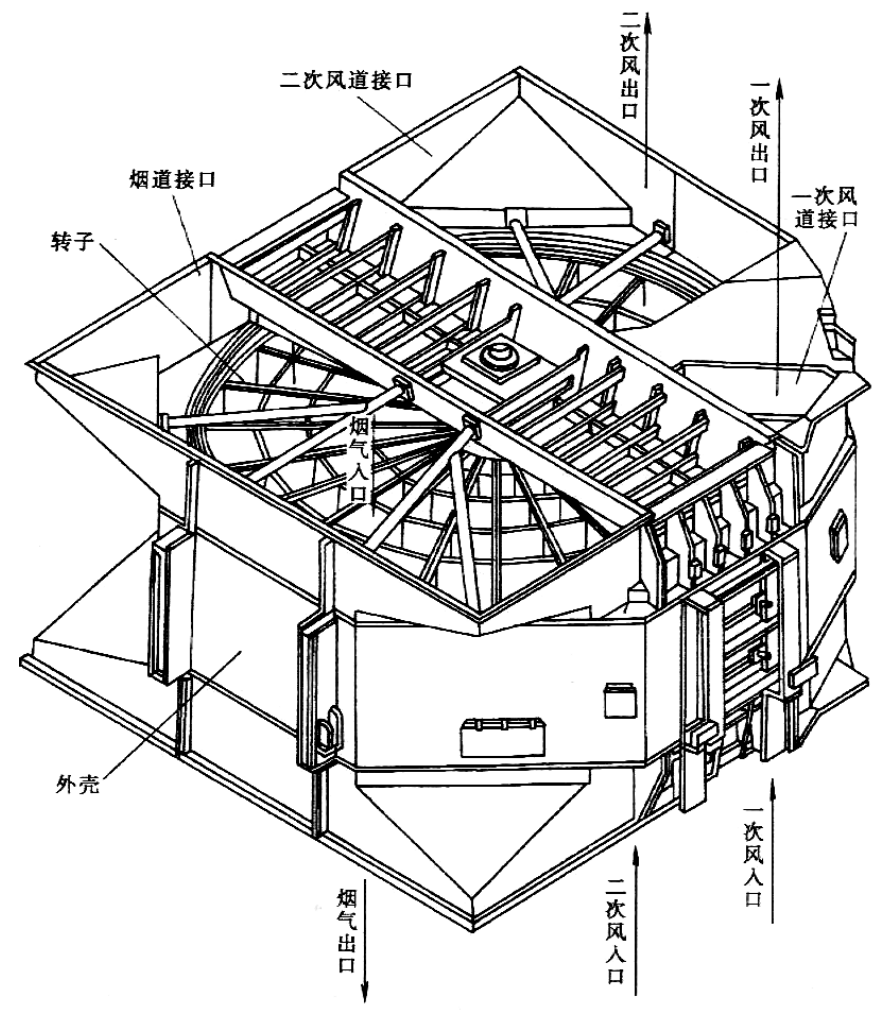
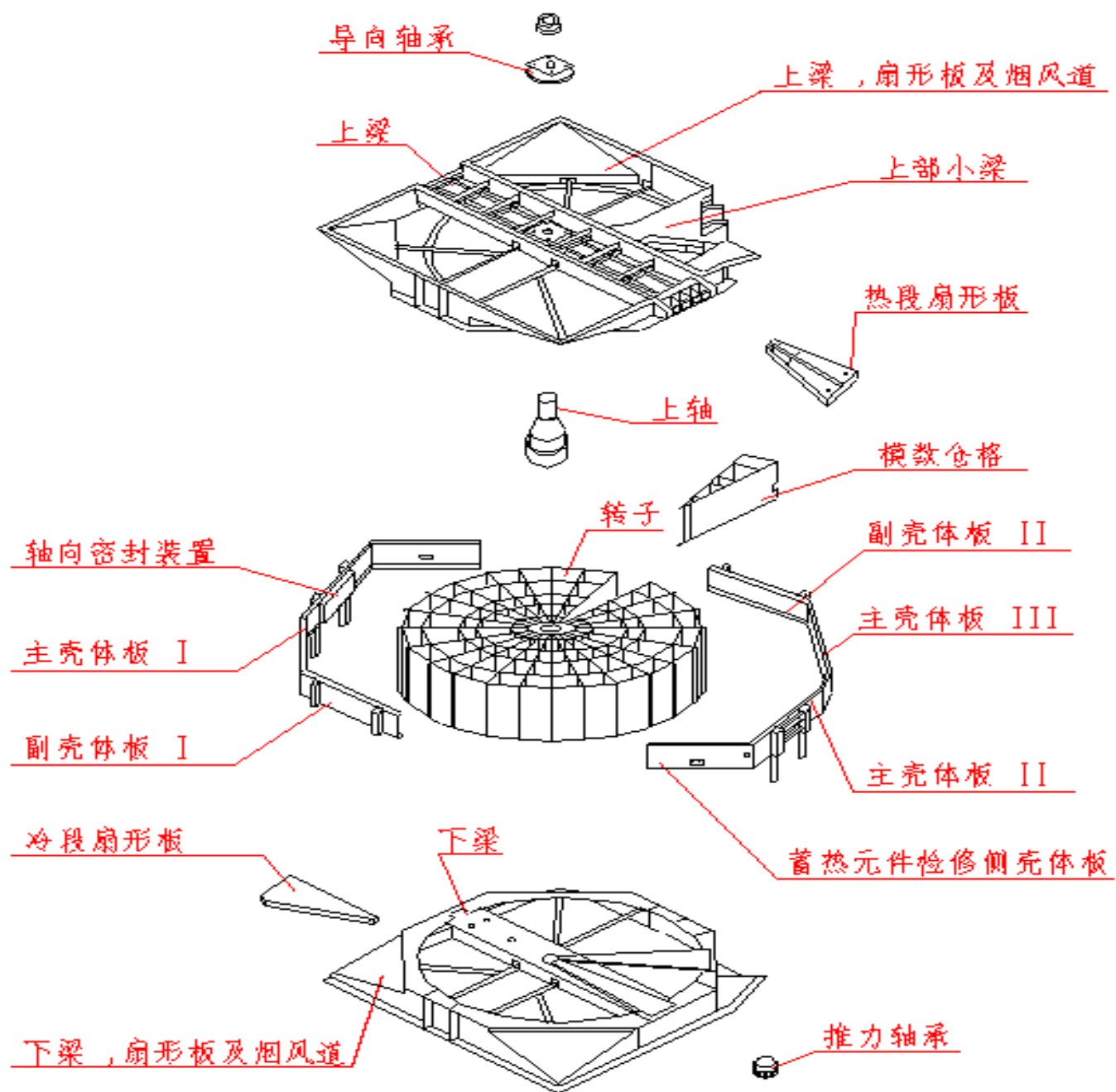
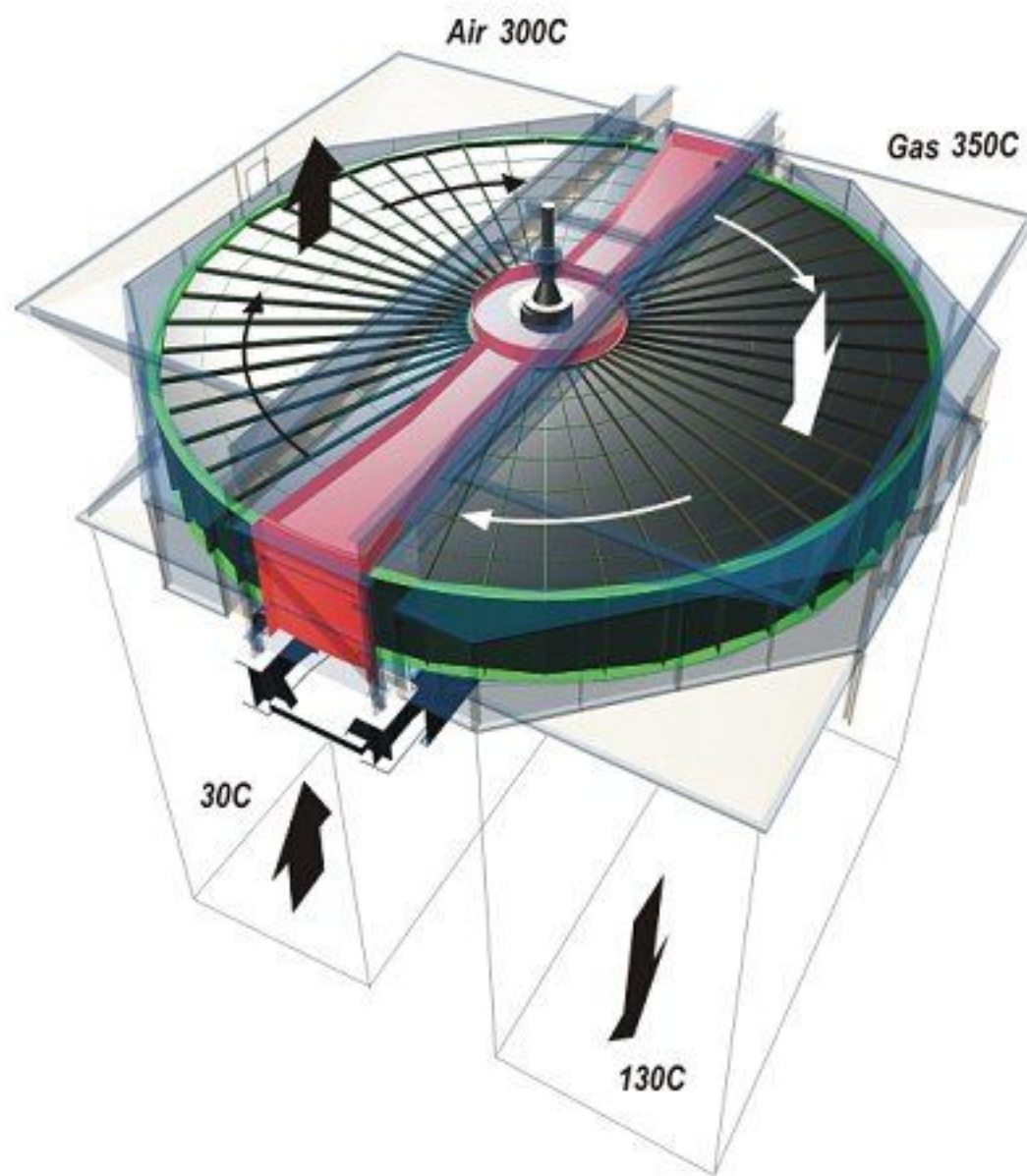
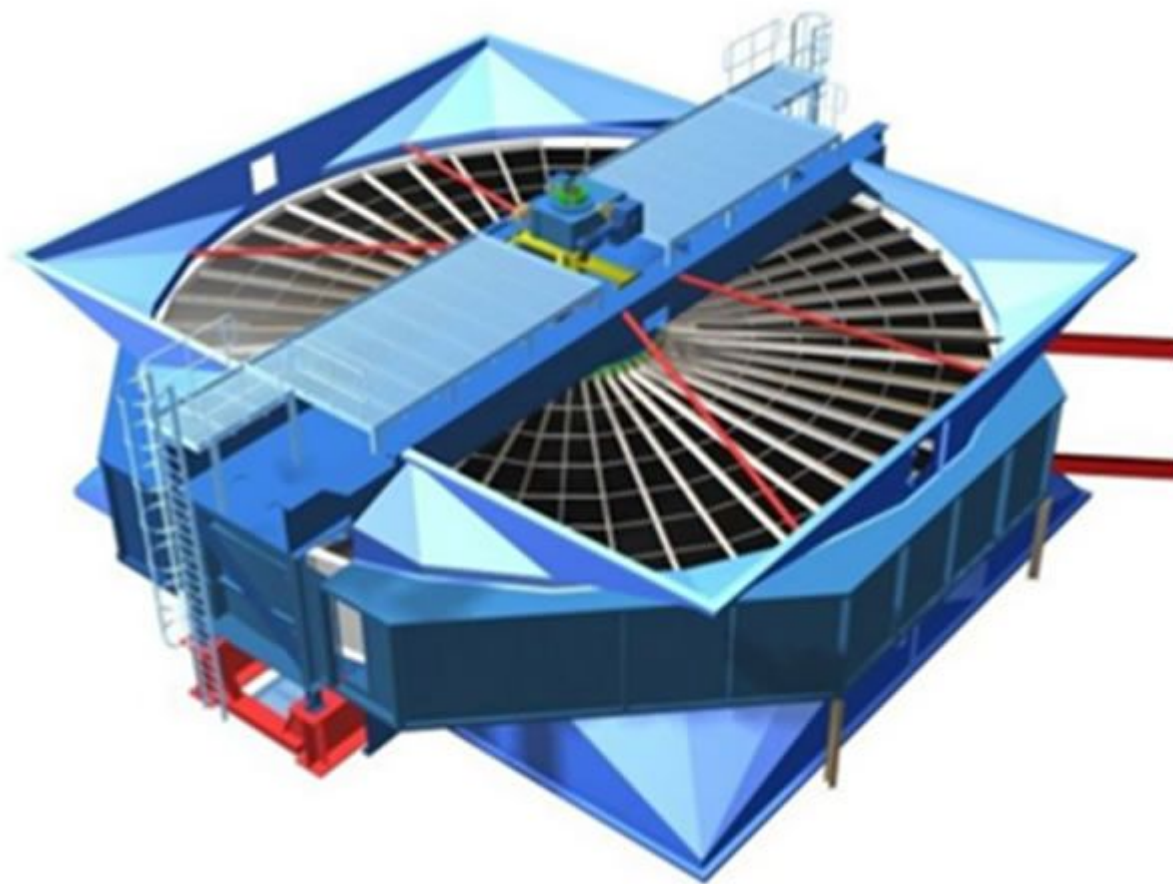


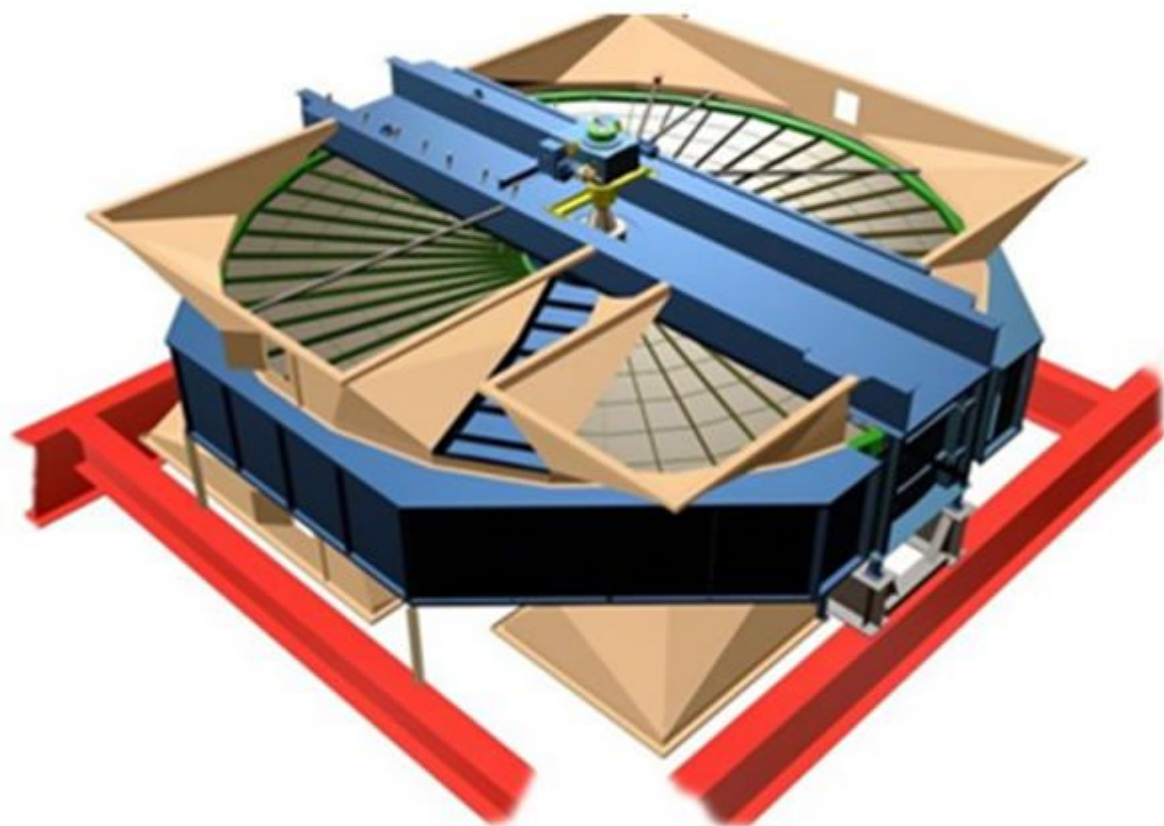
图9-16 三分仓式空气预热器



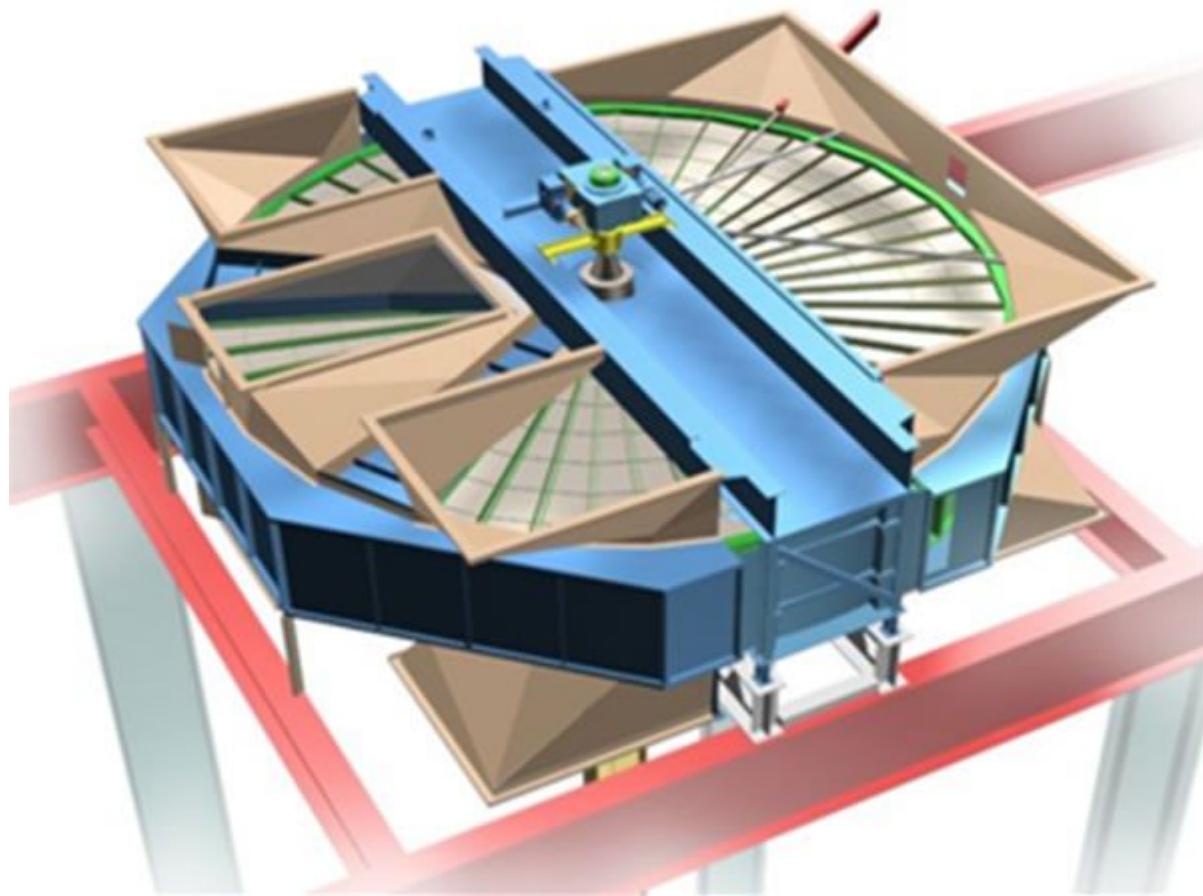




双扇区热交换器

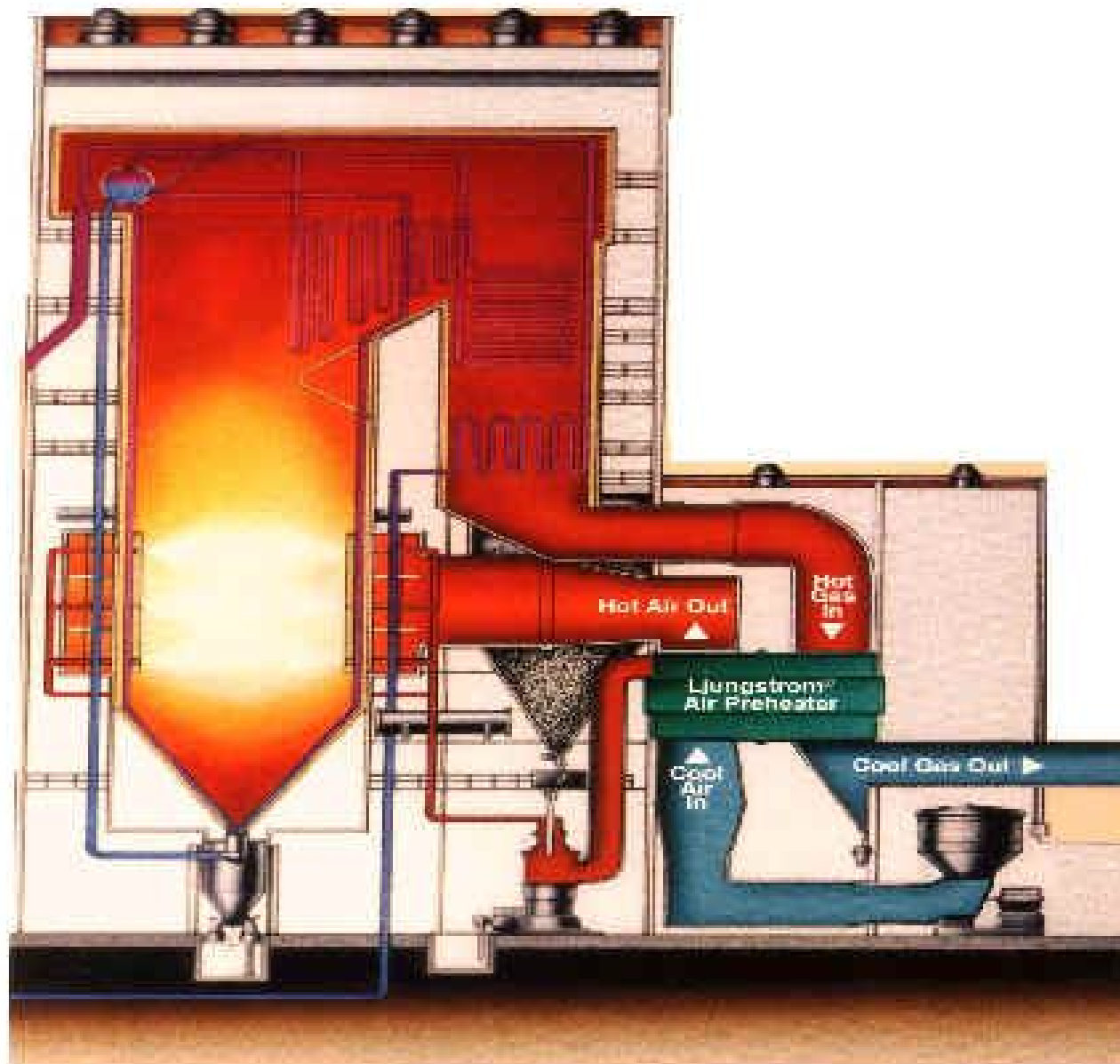


三扇区热交换器



四扇区热交换器

回转式空气预热器典型布置图



(2) 漏风及对策

➤漏风危害

➤漏风原因:

携带漏风 (少量)

间隙漏风 (主要)

➤密封装置

径向密封

环向密封

轴向密封

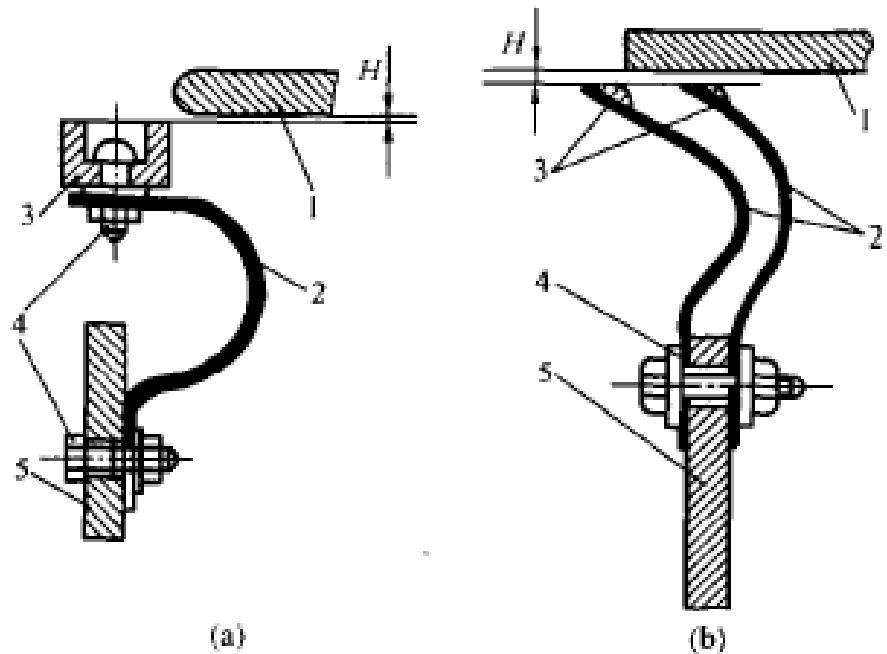


图 9-18 径向密封装置

(a) 单密封头弧形板结构; (b) 双密封头弧形板结构

1—扇形隔板; 2—弧形密封板; 3—密封头;

4—螺栓; 5—径向隔板

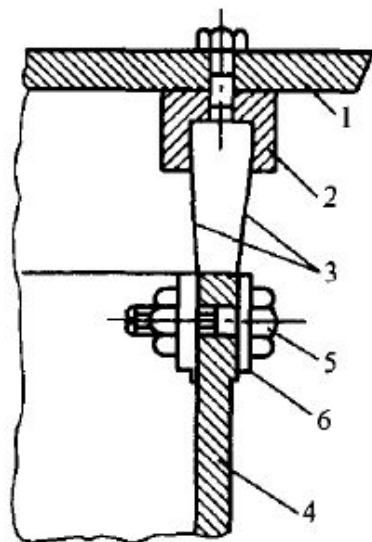
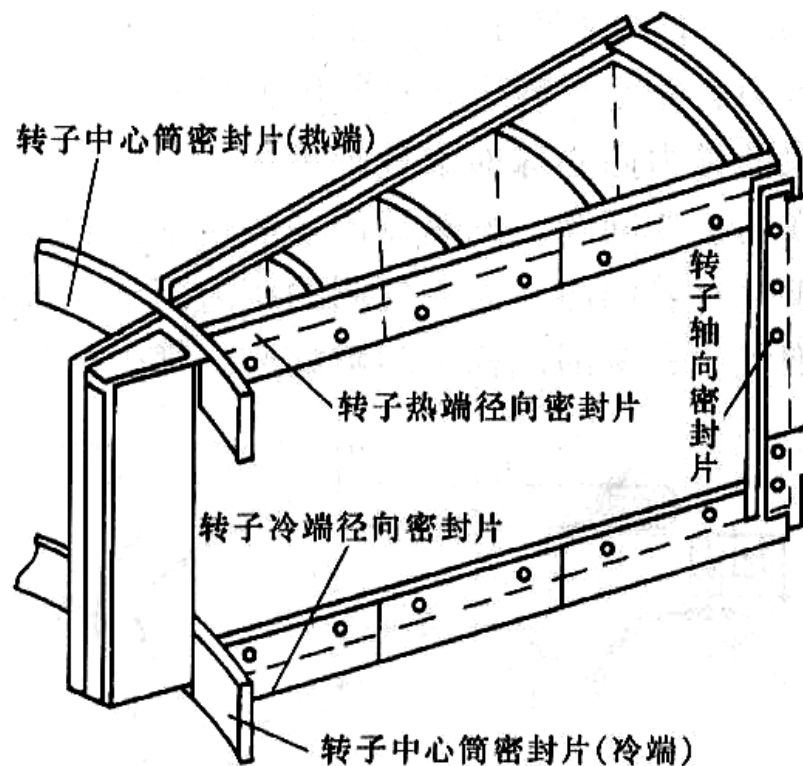


图 9-19 外环向密封装置

1—顶板或底板；2—密封槽；3—弹簧钢片；
4—转子外圆筒；5—螺栓；6—压板



9-20内环向密封装置

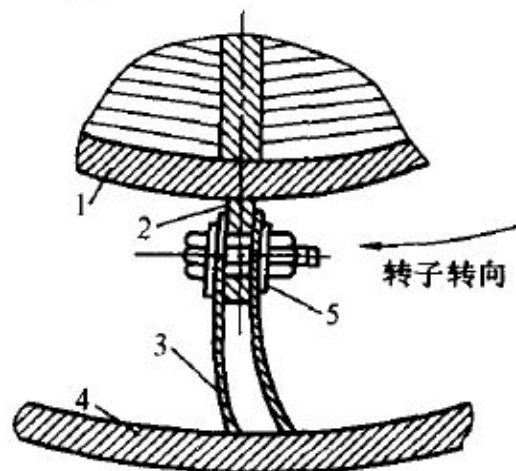
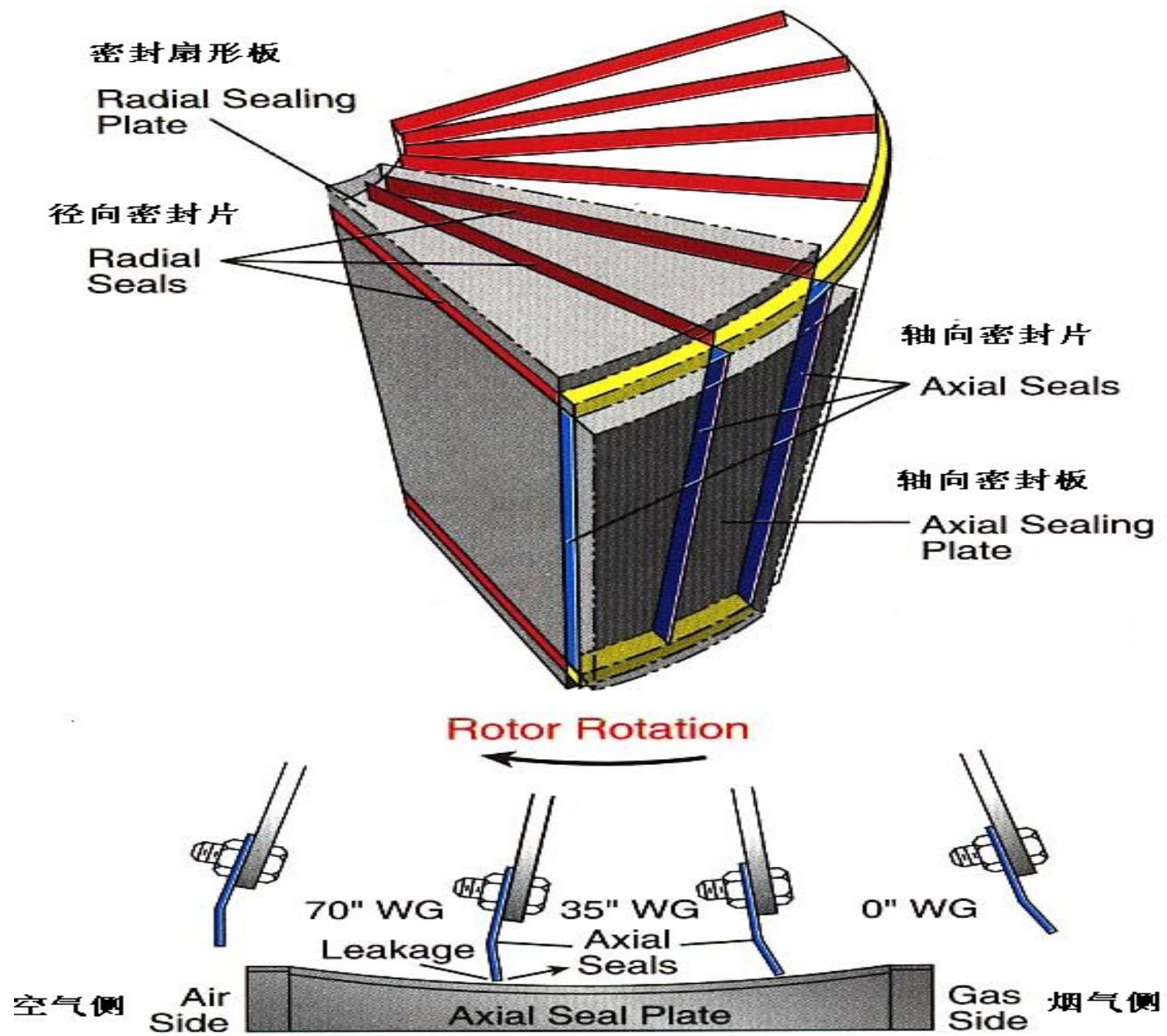


图 9-21 轴向密封装置

1—转子外围；2—轴向密封支撑板；
3—弹簧钢板；4—外壳圆筒；5—压板



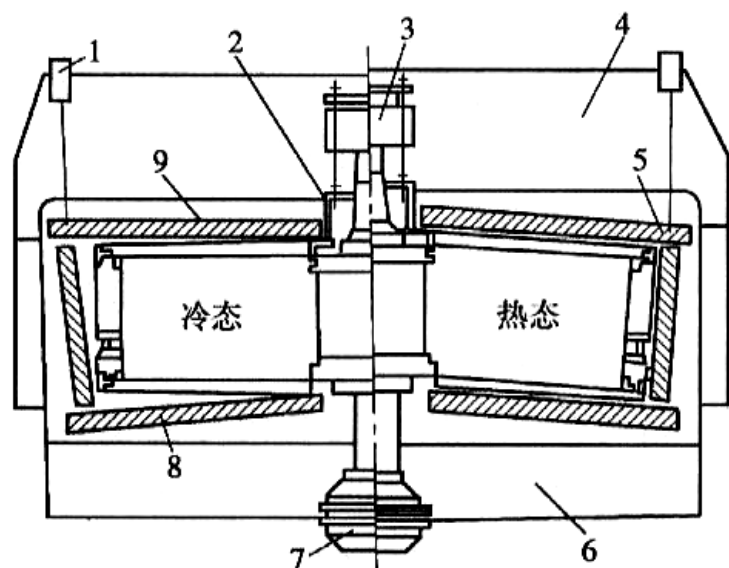


图9-22 空气预热器的热态变形示意图
 1—执行机构；2—中心密封筒；3—导向轴承；4—上梁；5—轴向密封装置；
 6—下梁；7—推力轴承；
 8—下扇形版；9—上扇形版

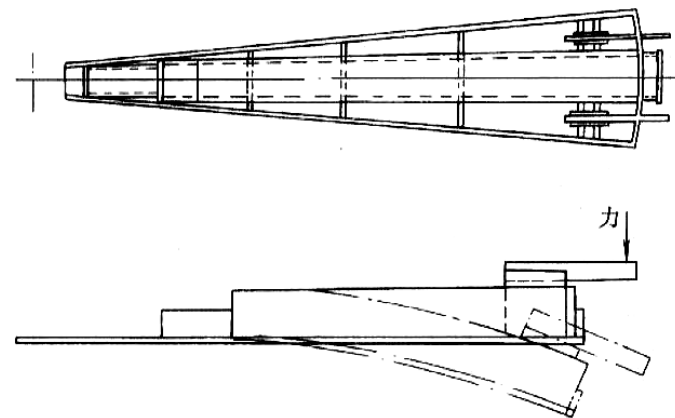


图9-23 可弯曲扇形板结构

2.风罩回转式空气预热器

(1) 结构及工作原理

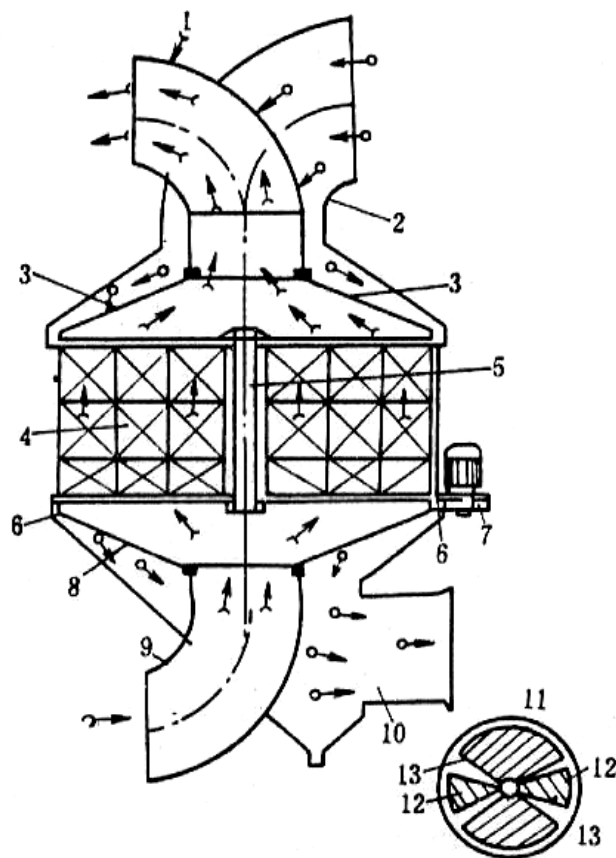


图9-24 风罩回转式空气预热器

1—上风道；2—上烟道；3—上回转风罩；4—受热面
静子；5—中心轴；6—齿条；7—齿轮；8—下回转风
罩；9—下风道；10—下烟道；11—烟气通流截面；
12—空气流通截面；13—过渡区

(2) 漏风

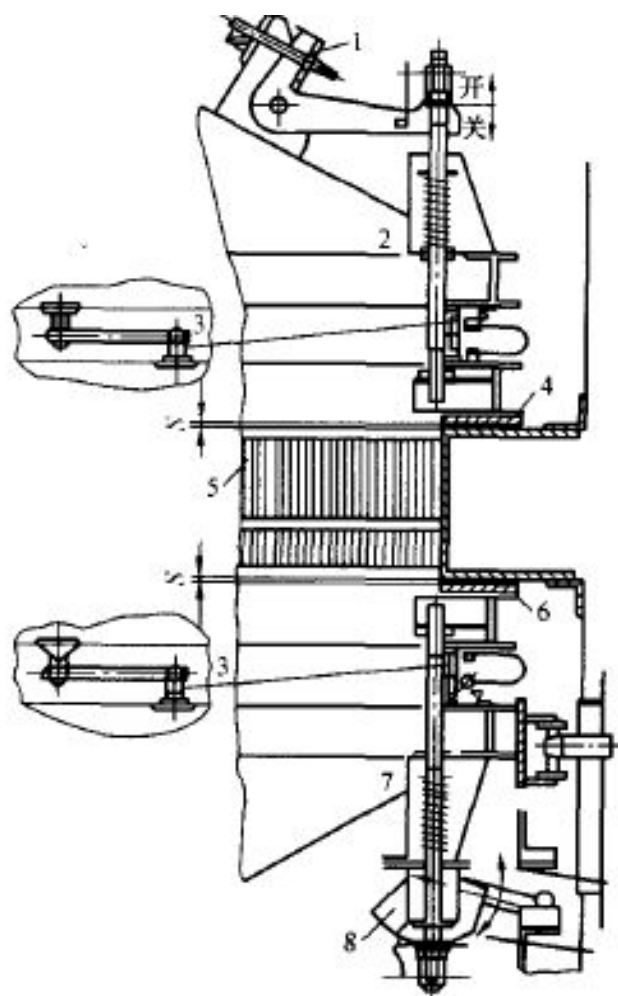


图 9-25 旋转风罩与静子间的可调式密封装置

- 1—双金属热感式密封调节装置；2—上部风罩；
 3—拉杆装置；4—上部密封框架；5—定子；
 6—下部密封框架；7—下部回转风罩；
 8—机械式密封调节装置

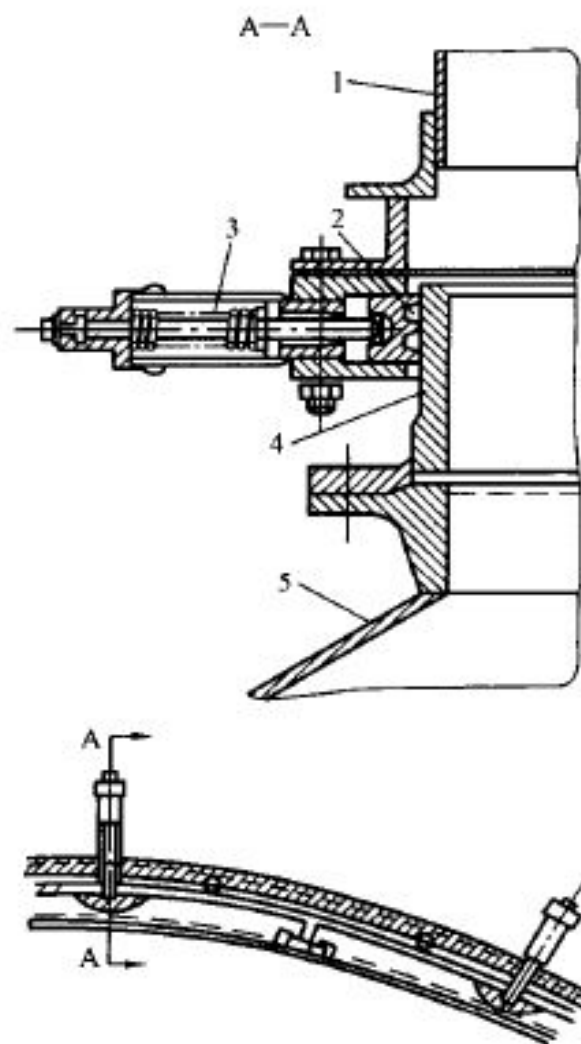


图 9-26 旋转风罩与固定风道间的可调式密封装置

- 1—固定风道；2—弧形铸铁密封块；3—密封
 调整机构；4—连接套筒；5—旋转风罩

四、热管空气预热器（应用较少）

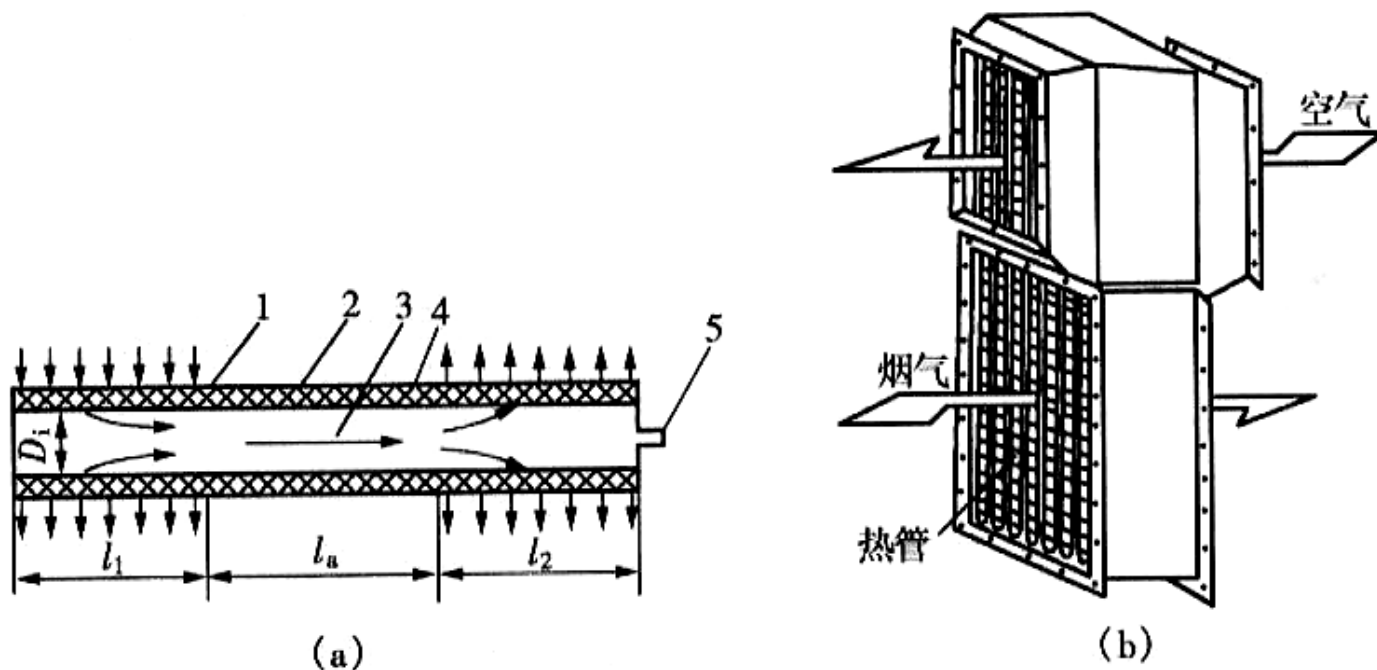
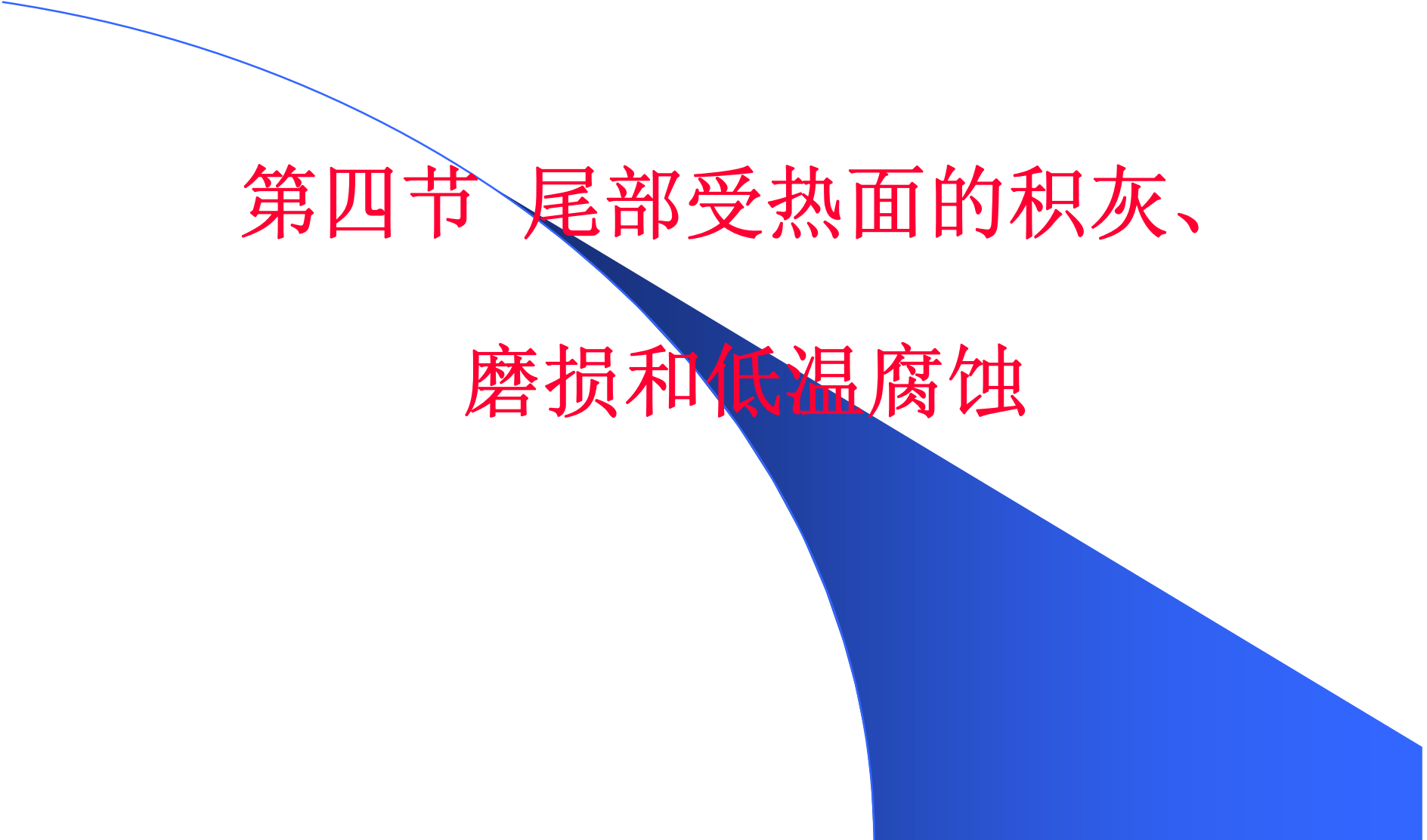


图9-27 热管空气预热器

(a) 热管的工作原理； (b) 热管空气预热器

1—壳体； 2—液体； 3—蒸汽； 4—吸液芯； 5—冲液封口管

l_1 —加热段（蒸发段）； l_a —绝热段（传热段）； l_2 —冷却段（凝结段）



第四节 尾部受热面的积灰、 磨损和低温腐蚀

一、尾部受热面积灰

1. 积灰及其危害

积灰过程是一个小灰粒不断积聚、大灰粒不断冲刷的一个动态平衡过程

松散性积灰——讨论

低温黏性积灰

2. 积灰的影响因素

(1) 烟气流速：烟速高，积灰轻；

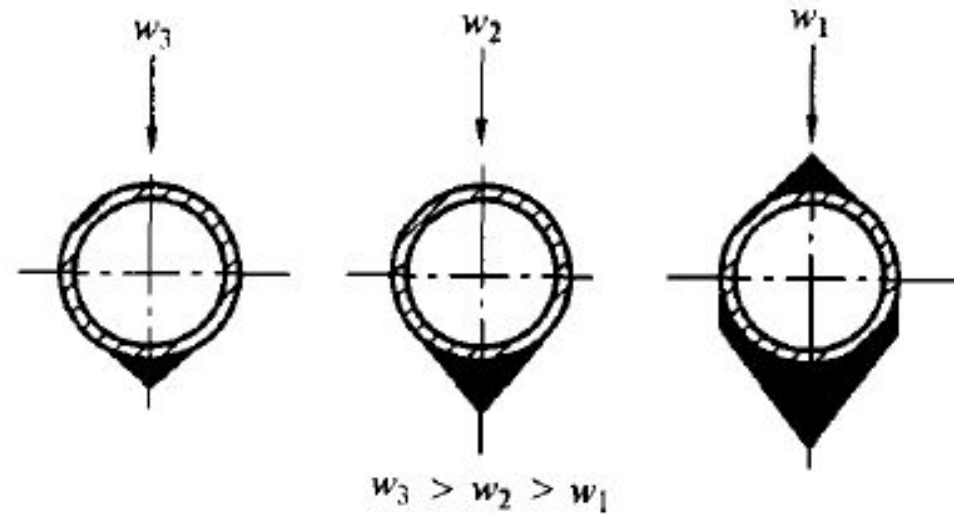


图 9 - 28 烟气流速对积灰的影响

(2) 飞灰颗粒度：飞灰越细，积灰越严重

(3) 管束结构特性：错列布置管束比顺列布置管束的积灰轻

3. 减轻和防止积灰的措施

- (1) 合理选取烟速。在额定负荷时，烟气速度不应低于**6m/s**，一般可保持在**8~ 10m/s**，过大则会加剧磨损。
- (2) 采用小管径、小节距、错列布置的管束，
- (3) 正确设计和布置高效吹灰装置，制定合理的吹灰制度。空气预热器要加装水冲洗装置。

二、尾部受热面磨损

1. 飞灰磨损的现象及机理

- 撞击磨损和切削磨损
- 受热面的磨损是不均匀的

- 从烟道截面上来看，后墙部位的受热面磨损要严重些。
- 从管子周界上来看，第一排管子最大磨损发生在管子迎风面两侧 $30^{\circ}\sim 40^{\circ}$ 的范围内，第一排以后的在管子两侧 $25^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 的对称点上。对于顺列管束，第一排以后的各排管子的磨损集中在 60° 的对称点上。
- 从管排上来看，错列管束中磨损最严重的是第二排，顺列管束第五排磨损严重
- 当烟气在管内纵向冲刷时（如管式空气预热器），磨损最重点发生在管子进口约 $150\sim 200\text{mm}$ 长的不稳定流动区域的一段管子内

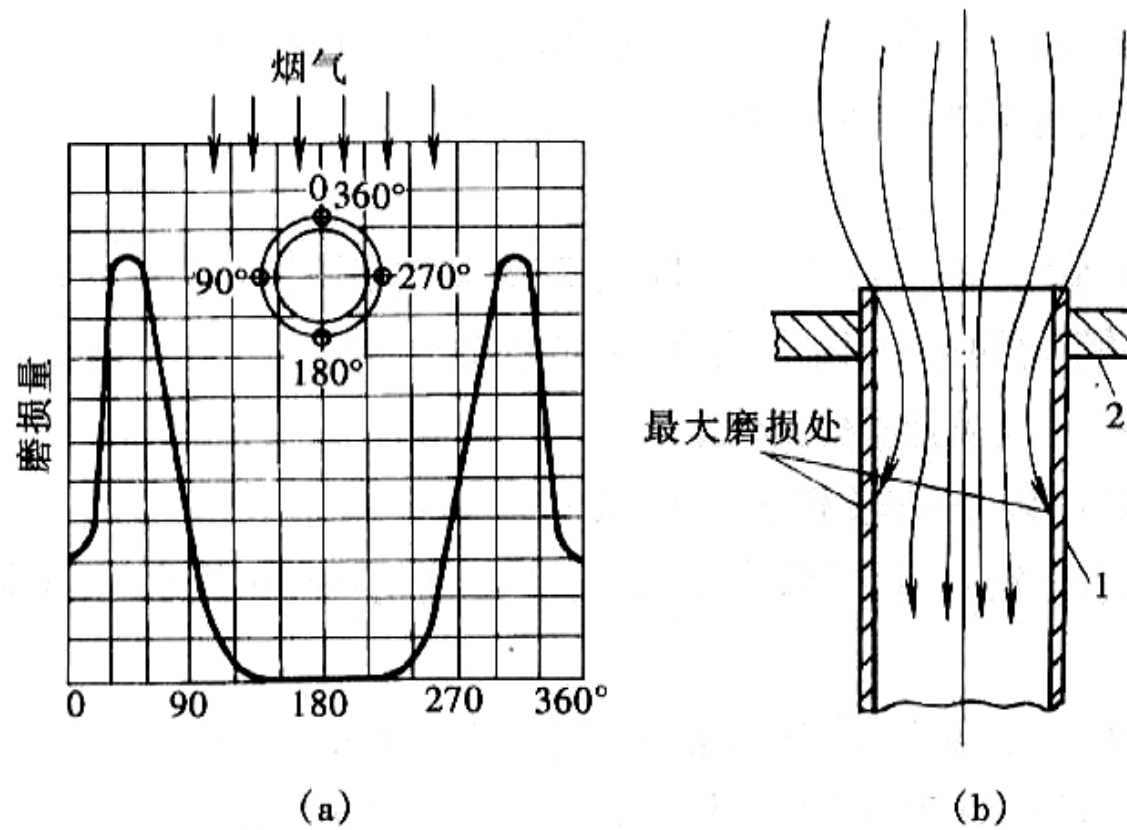


图9-29 受热面管子的飞灰磨损
 (a) 管外横向冲刷错列管束时磨损情况； (b) 烟气管内纵向冲刷
 1—空气预热器管子； 2—上管板

2. 影响磨损的主要因素

- (1) 烟气速度。金属磨损与烟气速度的3~3.5次方成正比。
- (2) 飞灰浓度。飞灰浓度大，灰粒冲击受热面次数多，磨损加剧。
- (3) 灰粒特性。灰粒越粗、越硬，灰粒越不规则，磨损越严重。
- (4) 管束的结构特性。烟气纵向冲刷时，比横向冲刷磨损轻。

3. 减轻磨损的措施

- (1) 合理的选择烟气流速。省煤器中烟气流速最大不宜超过9m/s
- (2) 采用合理的结构和布置。
- (3) 加装防磨装置。
- (4) 搪瓷或涂防磨涂料。
- (5) 采用膜式省煤器。

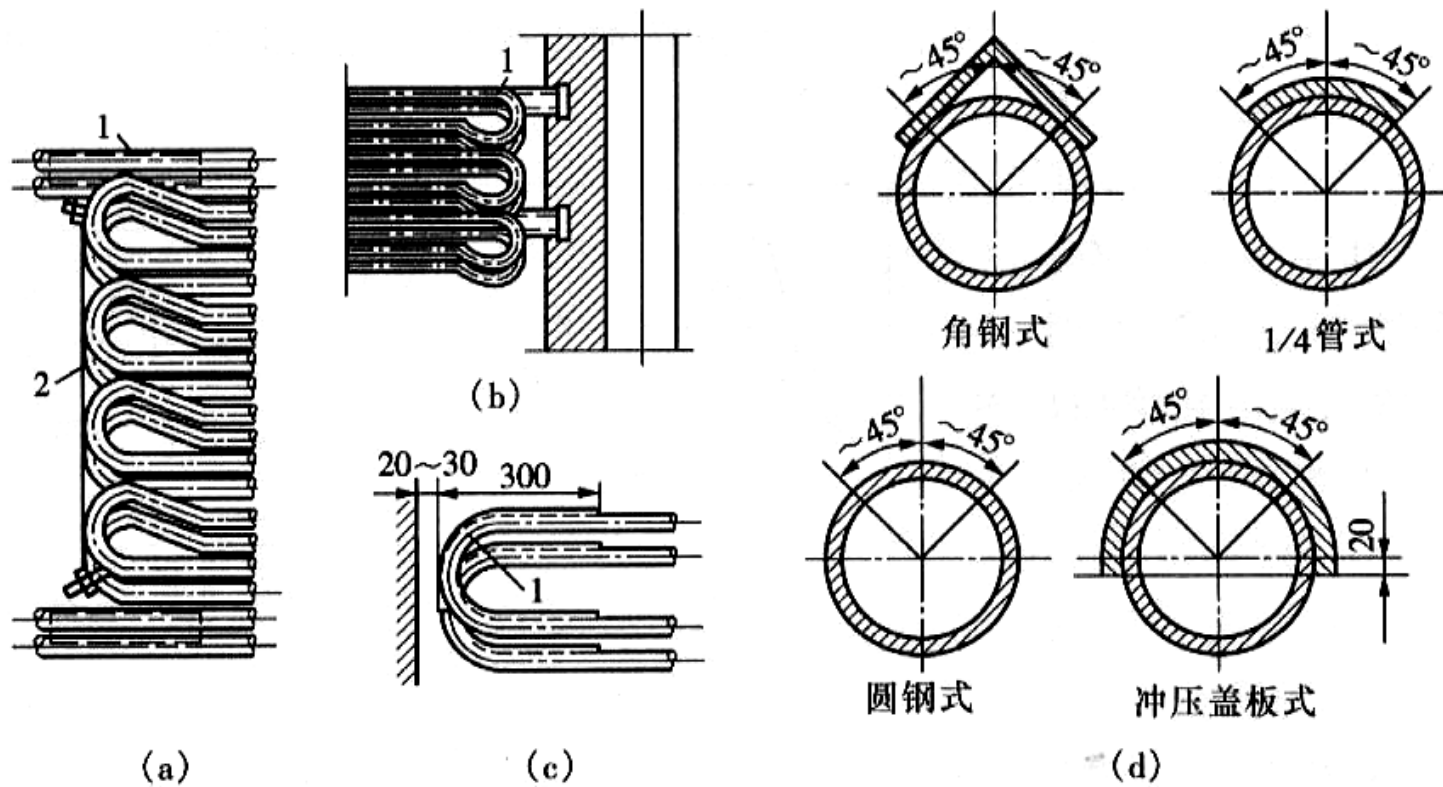
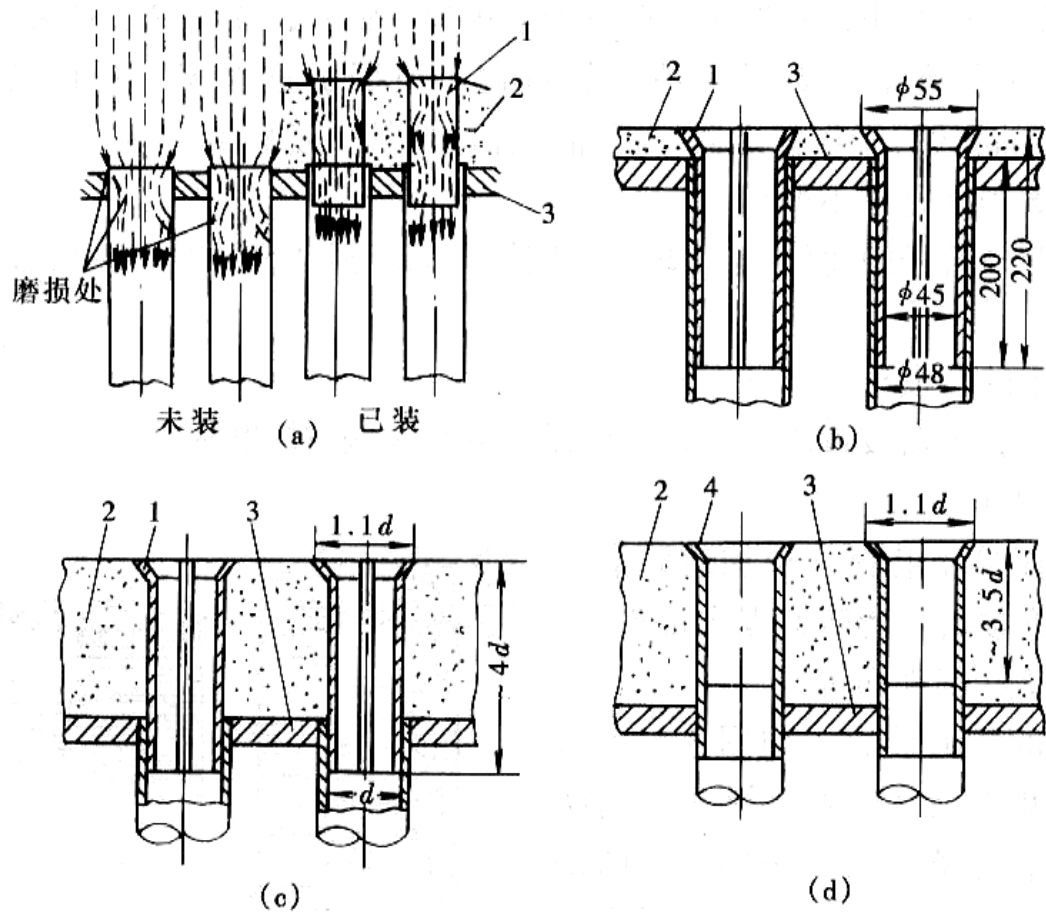


图9-30 省煤器的防磨装置
 (a) 弯头处的护瓦和护帘； (b) 烟气走廊区的护瓦；
 (c) 弯头护瓦； (d) 局部防磨装置
 1—护瓦； 2—护帘



防磨护瓦



空气预热器防磨套管

图9-31 管式空气预热器的防磨装置

(a) 磨损和防磨原理；(b)、(c) 加装保护套管；(d) 外部焊接短管
 1—内套管；2—耐火混凝土；3—预热器管板；4—焊接短管

三、低温腐蚀

1. 低温腐蚀及其危害

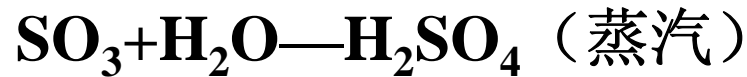
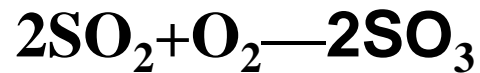
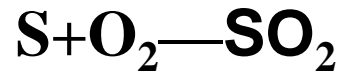
(1) 低温腐蚀概念（硫酸腐蚀）

当受热面壁温低于酸露点时，烟气中的硫酸蒸汽在受热面上凝结而发生的腐蚀，称为**低温腐蚀**。

(2) 低温腐蚀带来的危害

- 1) 导致空气预热器穿孔，大量空气漏入烟气中，一方面因空气不足造成燃烧恶化，另一方面使送、引风机负荷增加，电耗增大；
- 2) 造成低温粘结性积灰，在锅炉运行中难以清除，不仅影响传热，使排烟温度升高，而且严重时堵塞烟气通道，引风阻力增加，锅炉出力下降，严重时被迫停炉清灰；
- 3) 严重的腐蚀将导致大量受热面更换，造成经济上的巨大损失。

2. 低温腐蚀机理



若 $t_b < t_1$ 时， H_2SO_4 蒸汽凝结发生低温腐蚀

3. 烟气露点（酸露点）的确定

$$t_1 = t_{s1} + \frac{125 \cdot \sqrt[3]{S_{\text{ar,zs}}}}{1.05^{A_{\text{zs,ar}} \alpha_{\text{fh}}}}$$

4. 腐蚀速度

影响因素：管壁上凝结的酸量、硫酸浓度、管壁温度

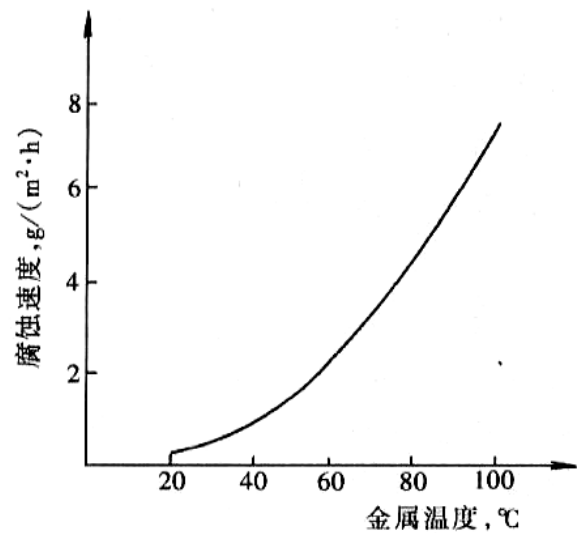


图9-32 金属壁温对腐蚀的影响

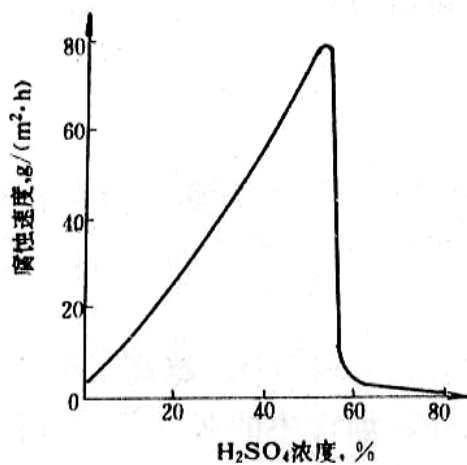


图9-33 碳钢腐蚀速度与硫酸浓度的关系

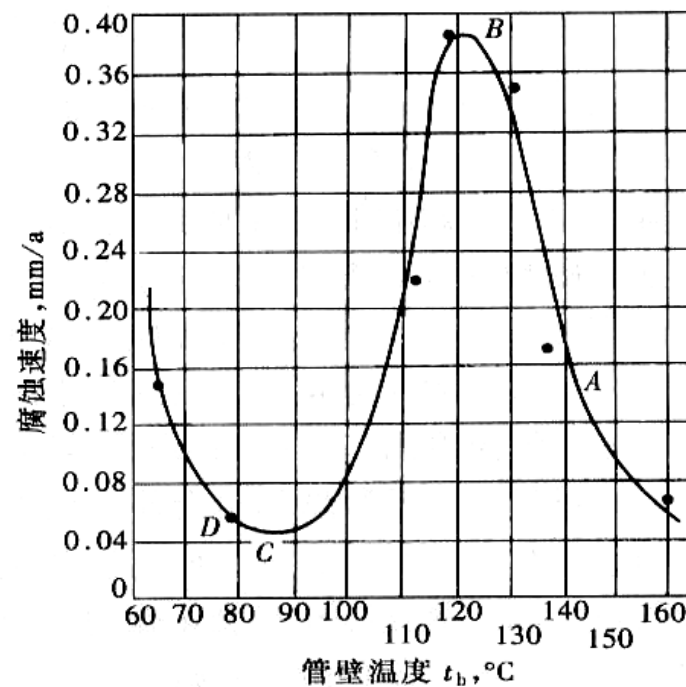


图9-34 沿烟气流向受热面腐蚀速度的变化情况

5. 影响低温腐蚀的因素

- (1) 燃料中的硫分越多，则烟气中的三氧化硫含量也越多； ↑
- (2) 火焰温度高，则火焰中原子氧的含量增加，因而三氧化硫含量也增多； ↑
- (3) 过量空气系数增加也会使火焰中原子氧的含量增加，从而使三氧化硫含量也增加； ↑
- (4) 飞灰中的某些成分，如钙镁氧化物和磁性氧化铁 (Fe_3O_4)，以及未燃尽的焦炭粒等有吸收或中和二氧化硫和三氧化硫的作用。故烟气中飞灰含量增加、且飞灰含上述成分又较多时，则烟气中三氧化硫量将减小。 ↓
- (5) 当烟尘中氧化铁 (Fe_2O_3) 或氧化钒 (V_2O_5) 等催化剂含量增加时，烟气中三氧化硫量将增加。 ↑

6. 防止或减轻低温腐蚀的措施

(1) 提高受热面壁温

- 采用热风再循环
- 空气预热器进口装设暖风器

(2) 减少烟气中的 SO_3 含量

- 燃料脱硫
- 低氧燃烧
- 加入添加剂 (MgCO_3 或 CaCO_3)

(3) 空气预热器冷端采用耐腐蚀材料

The end

哈米停停作一

05.1.06