

# 石油化工设备手册

第三分篇 石油化工加热炉设计 下册

中国石油化工总公司石油化工规划院

## 重 版 说 明

石油化工设备手册，原名炼油厂设备加热炉手册，系我院组织有关单位从一九八一年开始编写的，因当时体制所限定名为炼油厂设备加热炉手册，几年来随着改革开放、工业发展和体制的变化，这套手册在石油、化工、石油化工几个行业中都得到了采用和重视。为满足广大读者的需要，决定重版这套手册，并改名为“石油化工设备手册”。

这套手册是我院委托中国石化总公司北京石油设计院主编，炼油设备设计中心站负责组织工作，并邀请了各方面专家组成编委会负责审定工作。

全书共分四个分篇：

第一分篇 石油化工设备设计资料及数据

第二分篇 石油化工设备设计

第三分篇 石油化工加热炉设计

第四分篇 石油化工设备腐蚀与防腐。

本书重版比较匆忙，对书中原有的名称、勘误，以及一些需修改的数据均来不及修改，只能以后再版时再加以改正。

这套手册由十几个工厂院校中上百名专家工程技术人员编写的，此次重版未能一一列出他们的姓名，请见谅。这套手册出版发行以来，受到各方面读者的鼓舞和支持，特此致谢。由于我们水平所限，难免还存在错误、缺点，望读者能及时指正，以便再版时改正。

中国石化总公司石油化工规划院

一九九〇年元月

# 目 录

<b>第六章 LR 余热回收系统</b> .....	1
LR-100 余热回收系统的选用 .....	1
LR-200 回转式空气预热器的设计和计算 .....	11
LR-300 冷进料、热油预热空气 .....	29
LR-400 管式空气预热器的设计和计算 .....	46
LR-500 余热锅炉 .....	56
LR-600 烟风道系统 .....	64
参考文献 .....	80
<b>第七章 LB 标准与配件</b> .....	81
LB-100 配件材料的选用 .....	81
LB-200 弹簧吊架的设计和选用 .....	88
LB-300 吹灰器系统的设计要求和选用 .....	93
LB-400 圆筒炉炉管吊钩强度计算 .....	99
LB-500 卧管立式炉管架强度计算 .....	104
LB-600 标准系列与配件 .....	114
参考文献 .....	170
<b>第八章 LD 单体专用加热炉</b> .....	171
LD-100 制硫燃烧炉 .....	171
LD-200 制硫尾气炉 .....	182
LD-300 辅助燃烧室 .....	190
LD-400 惰性气体发生器 .....	195
参考文献 .....	198
<b>第九章 LC 炉用非金属材料</b> .....	199
LC-100 常用耐火制品的主要性能 .....	199
LC-200 常用非标准形耐火砖结构图 .....	204
LC-300 常用耐火砖标准摘录 .....	208
LC-400 耐火纤维毡的性能和规格 .....	214
LC-500 常用保温材料 .....	216
LC-600 耐火混凝土 .....	227
LC-700 耐火泥和泥浆 .....	239
参考文献 .....	243

## 第六章 LR 余热回收系统

### LR-100 余热回收系统的选用

#### LR-101 主要余热回收方案

余热回收的目的是提高加热炉热效率，节约能源。提高加热炉热效率的方法较多，除减少过剩空气系数、改进燃烧器和减少炉壁散热损失外，常用的余热回收方案有以下几种。

##### 1. 冷进料、热油预热空气

冷进料、热油预热空气方案的简图如 LR-100-图 1 所示。

冷进料、热油预热空气方案是将装置中互相换热的冷、热液态物流分别作为回收烟气余热的冷源（即冷进料，例如常减压装置的原油）和预热炉用空气的热源（例如常减压装置的常压塔侧线馏份油），是把回收加热炉烟气余热与装置换热流程结合起来，提高加热炉热效率和装置热回收率的一种方法。

##### 1.1 冷进料入口和出口温度

冷进料入口温度根据烟气露点温度确定，应保证入口处的管壁温度高于烟气露点温度。冷进料入口温度可按下式计算：

$$t_0 \geq t_d - \frac{h_o}{h_i} (t_b - t_d) \quad (\text{LR-100-1})$$

式中  $t_0$ ——冷进料入口温度， $^{\circ}\text{C}$ ；

$t_d$ ——烟气的露点温度， $^{\circ}\text{C}$ ；

$t_b$ ——烟气出口温度， $^{\circ}\text{C}$ ；

$h_o$ ——冷进料入口管外膜传热系数（不考虑钉头或翅片效应）， $\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^{\circ}\text{C}$ ；

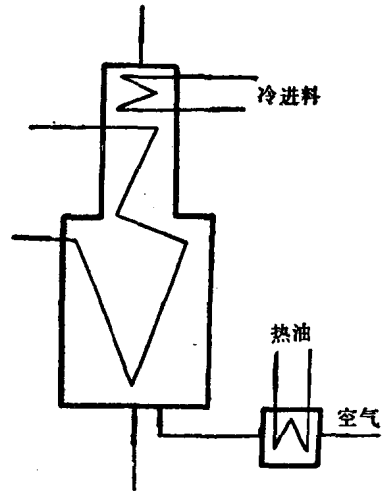
$h_i$ ——冷进料入口管内膜传热系数， $\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^{\circ}\text{C}$ 。

当常减压装置内采用原油作为冷进料时，如管内流速为 0.4~1 米/秒，内膜传热系数大约为 180~220 千卡/米<sup>2</sup>·时· $^{\circ}\text{C}$ ；炉子为自然通风，烟气质量流速在 1~2 公斤/米<sup>2</sup>·秒时，外膜光管传热系数  $h_o$  大约为 22~27 千卡/米<sup>2</sup>·时· $^{\circ}\text{C}$ ，则

$$\frac{h_o}{h_i} \approx 0.12 \sim 0.15$$

当采用原油作冷进料时，根据以上数据，(LR-100-1) 式可近似简化为

$$t_0 \geq t_d - 0.12(t_b - t_d) \quad (\text{LR-100-2})$$



LR-100-图1 冷进料、热油预热空气方案

冷进料的出口温度应根据装置换热流程和工艺要求决定。

### 1.2 冷进料段烟气进、出口温度

冷进料段烟气进口温度 $T_c$ 是影响燃料量、冷进料热负荷和对流室传热面积的关键温度，应结合装置换热流程等因素综合考虑。一般情况下，建议 $T_c$ 温度比原料入炉温度高 $100\sim 150^\circ\text{C}$ 。

冷进料段出口烟气温度 $T_b$ 是决定炉子热效率的关键数据。建议按下值采用：

新建加热炉：

采用钉头管  $T_b = \text{冷进料入口温度} + 30\sim 50^\circ\text{C}$

光管  $T_b = \text{冷进料入口温度} + 50\sim 70^\circ\text{C}$

旧炉子改造：

采用钉头管  $T_b = \text{冷进料入口温度} + 70\sim 100^\circ\text{C}$

冷进料、热油预热空气方案的优点是从全装置出发节省能耗。对炉子来说，采用这种方案设计紧凑、占地面积小、无庞大的上下往返烟风道。其特点是需结合所在装置的换热特点和加热炉的具体条件进行全面的细致工作后才能采用。老厂改造时，牵扯面较广。

### 2. 热载体预热空气

热载体预热空气方案的简图如LR-100-图2所示。

热载体方案是利用循环流动的热载体，先在炉子对流室的低温段中加热，使排烟温度降低；加热后的热载体通过一个固定式空气预热器，将热量传给空气，热空气供加热炉燃烧；降温后的热载体又返回加热炉对流室重新加热。

2.1 热载体一般采用柴油。其操作压力比用水作热载体的操作压力低。热载体进炉温度太低会引起炉管低温腐蚀。进炉温度高会降低加热炉的热效率。热载体入炉温度和烟气出口温度可参照LR-101中的1节确定。热载体出炉温度高于 $300^\circ\text{C}$ 时，长期循环使用的柴油会发生分解，缩短有效使用时间。

2.2 进入热载体管排的烟气温度越高，热载体回收热量越多。由于烟气与热载体之间的温差加大，故热载体炉管面积增加不多。但在换热量加大、空气与热载体温差缩小的条件下，空气预热器的面积会大为增加。

热载体方案的优点是设计紧凑、占地面积少、无庞大的上下往返烟风道。这种方案的突出缺点是通过两次换热回收烟气余热，换热面积大，故钢材用量较多。

### 3. 余热锅炉

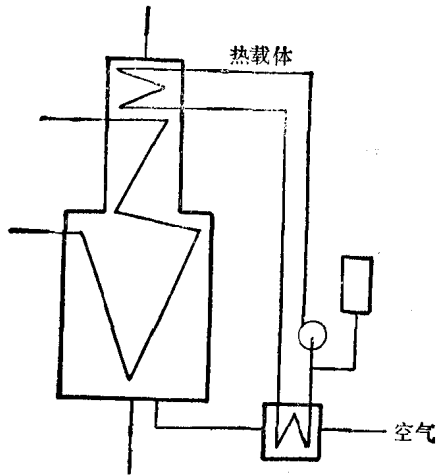
余热锅炉方案的简图如LR-100-图3所示。

余热锅炉方案是利用加热炉的烟气余热发生蒸汽，供装置使用。

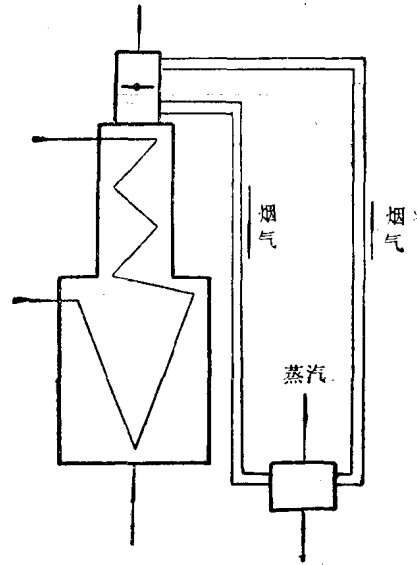
3.1 主炉排烟温度大于 $500^\circ\text{C}$ ，装设余热锅炉发生蒸汽效果较显著。

3.2 需结合炉子热负荷的大小、蒸汽的发生量和需要量及软化水来源全面考虑。

3.3 炼油厂常用的蒸汽参数为 $P = 10\sim 13$ 公斤力/厘米<sup>2</sup>，其饱和温度为 $179\sim 190^\circ\text{C}$ ，一般过热至 $250^\circ\text{C}$ 。只用这种压力的余热锅炉将炉子烟气温度降低到 $180^\circ\text{C}$ 左右(热效率 $\sim 86\%$ )是不行的。以前国内设计的余热锅炉进水温度常为 $104^\circ\text{C}$ ，均设置省煤器。当烧含硫的燃料油时，省煤器的腐蚀严重，所以往往被迫将省煤器废弃不用，使排烟温度上升。而采用双压力参数可以解决这一问题。双压力参数的余热锅炉即是不但产生高压过热蒸汽，而且产生低压饱和蒸汽的余热锅炉。由于低压饱和蒸汽温度为 $138\sim 147^\circ\text{C}$ （压力为 $3.5\sim 4.5$ 公斤力/厘



LR-100-图2 热载体方案



LR-100-图3 余热锅炉方案

米<sup>2</sup>), 即使烧含硫燃料时, 将烟气温度降低到 180℃ 左右, 也不至于造成低温腐蚀。所以推荐采用双压力参数自然循环的余热锅炉。

#### 4. 回转式空气预热器

回转式空气预热器方案的简图如LR-100-图4所示。

回转式空气预热器是利用转子内的波形板蓄热元件, 在转子连续旋转中, 不断将烟气的热量传给空气, 使烟气温度降低。温度升高后的空气进入炉内供燃烧使用, 达到提高加热炉热效率的目的。

4.1 回转式空气预热器不宜在热负荷小于1500万千卡/时的加热炉上应用。

4.2 为了便于材质选用和减少高温变形问题, 进入这种预热器的烟气温度不宜高于450℃, 最好在400℃左右。

4.3 回转式空气预热器不能放在炉顶, 需放在地面上。

回转式空气预热器的优点是传热面排列紧凑、冷端蓄热元件露点腐蚀轻, 且易于更换、热效率较高; 缺点是需专业制造厂制造、漏风量大、占地面积多、有庞大的上下往返烟道。

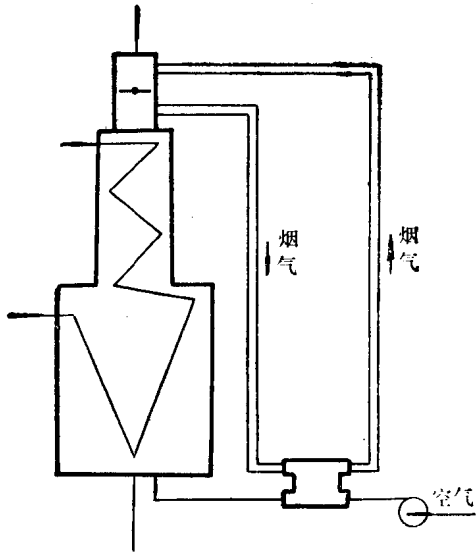
#### 5. 管式空气预热器

管式空气预热器方案的简图如LR-100-图5所示。

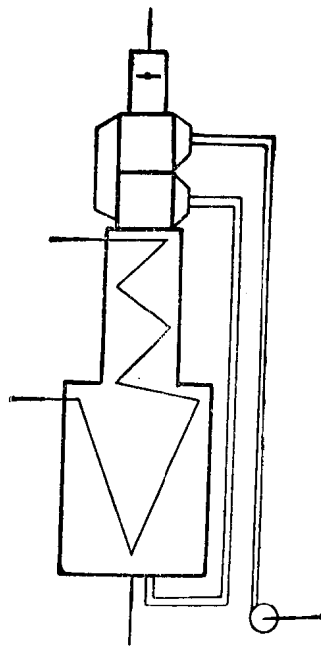
管式空气预热器是利用列管式结构, 使烟气和空气分别通过管程和壳程, 利用管壁传热回收烟气余热。列管可用钢管、铸铁管和玻璃管, 也可根据具体条件选用热管。

5.1 管式空气预热器特别适于在中、小型加热炉上应用。当预热器放在炉顶上时, 烟气侧可不用引风机, 直接利用烟囱将烟气抽出。但由于受烟囱抽力所限, 一般烟气流速较慢, 管排数也不宜过多。

5.2 铸铁管和玻璃管适用在烟气侧的低温区使用。这两种换热面可减缓低温腐蚀, 但由于低温区更易结露和积灰, 故应采取有效的吹灰措施。采用玻璃管的主要问题是解决好管子的自由伸缩和管子与管板间的良好密封问题。



LR-100-图4 回转式空气预热器方案



LR-100-图5 管式空气预热器方案

### LR-102 低温腐蚀和露点温度

加热炉燃料中常含有硫，故燃料燃烧后在低温受热面上会凝结成含有硫酸的液体，对受热面产生严重腐蚀。因为它是在温度较低的受热面上发生的腐蚀，故称低温腐蚀。由于只有在受热面上结露后才会发生这种腐蚀，所以又称露点腐蚀。

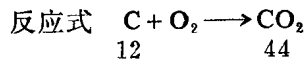
#### 1. 低温腐蚀产生原因

空气中的水蒸汽遇到低温冷面时就会在上面冷凝，这就是所谓结露现象，开始冷凝的温度称为“露点”。在加热炉中，燃料中的 $H_2$ 燃烧后产生 $H_2O$ ；另外，由于燃料油采用蒸汽雾化，故烟气中的水蒸汽含量比空气中的多，所以烟气的露点温度比空气高。此外，燃料中的硫生成 $SO_2$ ，一定量的 $SO_2$ 在炉膛内又进一步氧化生成 $SO_3$ 。 $SO_3$ 气体会与烟气中的水蒸汽结合为硫酸蒸汽。在冷面温度等于或低于露点时，硫酸蒸汽就会在壁面上冷凝而腐蚀金属。

低温腐蚀与换热面壁温及烟气组分有关。

#### 2. 燃料油燃烧后的烟气组分

##### 2.1 $CO_2$ 体积



所以一公斤油燃烧后烟气中 $CO_2$ 的重量为

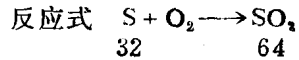
$$C \times \frac{44}{12} = 3.67C, \text{ kg} \quad (\text{LR-100-3})$$

(C为燃料油中含碳的百分比)

一公斤油燃烧后烟气中 $CO_2$ 的体积为

$$\frac{3.67}{1.977} C = 1.86C, \text{ Nm}^3 \quad (\text{LR-100-4})$$

## 2.2 SO<sub>2</sub>体积



所以一公斤油燃烧后烟气中SO<sub>2</sub>的重量为

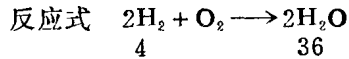
$$S \times \frac{64}{32} = 2S, \text{ kg} \quad (\text{LR-100-5})$$

(S为燃料油中含硫的百分比)

一公斤油燃烧后烟气中SO<sub>2</sub>的体积为

$$\frac{2S}{2.9268} = 0.683S, \text{ Nm}^3 \quad (\text{LR-100-6})$$

## 2.3 H<sub>2</sub>O的体积



所以一公斤油燃烧后烟气中H<sub>2</sub>O的重量为

$$\frac{36H}{4} = 9H, \text{ kg} \quad (\text{LR-100-7})$$

(H为燃料油中含氢的百分比)

再考虑0.4kg汽/1kg油(雾化用蒸汽), 则一公斤油燃烧后烟气中H<sub>2</sub>O的总重量为9H+0.4, kg。

一公斤油燃烧后烟气中H<sub>2</sub>O的体积为

$$\frac{9H + 0.4}{0.804} = 11.2H + 0.5, \text{ Nm}^3 \quad (\text{LR-100-8})$$

## 2.4 N<sub>2</sub>的体积

$$\text{N}_2 \text{ 的重量为 } \text{N}_2 = 0.768\alpha L_0, \text{ kg/kg油} \quad (\text{LR-100-9})$$

N<sub>2</sub>的体积为

$$\frac{0.768\alpha L_0}{1.2507} = 0.614\alpha L_0, \text{ Nm}^3/\text{kg油} \quad (\text{LR-100-10})$$

( $\alpha$ 为过剩空气系数;  $L_0$ 为理论空气量, kg空气/kg油)

## 2.5 O<sub>2</sub>的体积

$$\text{O}_2 \text{ 的重量为 } \text{O}_2 = 0.232L_0(\alpha - 1), \text{ kg/kg油} \quad (\text{LR-100-11})$$

O<sub>2</sub>的体积为

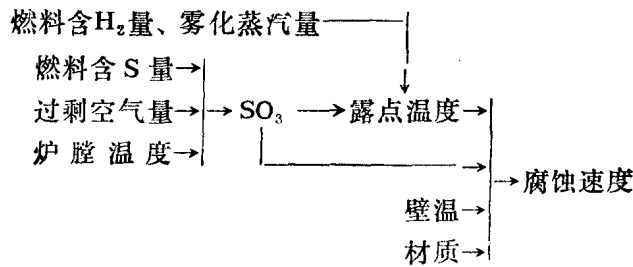
$$\frac{0.232L_0(\alpha - 1)}{1.4289} = 0.16L_0(\alpha - 1), \text{ Nm}^3/\text{kg油} \quad (\text{LR-100-12})$$

根据燃料油的化学成分和以上各式即可求出燃料油燃烧后烟气中各种组分的含量。LR-100-表1为一种燃料油的计算结果。由于一般燃料油中的碳氢含量相差不多, 所以表中的各个数据是有一定代表意义的。

## 3. 露点温度的影响因素

影响烟气露点温度和受热面腐蚀速度的因素较多。各个参数之间的关系如下:





LR-100-表 1 燃料油成分和烟气成分

燃料油成分(重): C 86.5%, H 12.0%, S 1%						
理论空气量 $L_0 = 14.14\text{kg/kg油}$ ; 雾化蒸汽量 $0.4\text{kg/kg油}$						
烟 气 成 分						
过剩空气系数 $\alpha$	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
CO <sub>2</sub> , Nm <sup>3</sup> /kg油	1.609					
SO <sub>2</sub> , Nm <sup>3</sup> /kg油	0.00683					
H <sub>2</sub> O, Nm <sup>3</sup> /kg油	1.844					
N <sub>2</sub> , Nm <sup>3</sup> /kg油	8.68	9.55	10.4	11.28	12.15	13.02
O <sub>2</sub> , Nm <sup>3</sup> /kg油	0	0.23	0.46	0.69	0.92	1.15
湿烟气总体积, Nm <sup>3</sup> /kg油	12.14	13.24	14.32	15.43	16.53	17.63
SO <sub>2</sub> 体积含量, ppm	563	516	477	443	413	387
水蒸汽体积含量, %	15.2	13.9	12.8	11.9	11.1	10.4

燃料中含H<sub>2</sub>量高或(和)用蒸汽作雾化剂,则烟气中的水蒸汽含量多,露点温度升高;  
燃料中含硫或硫化氢多,则烟气中的SO<sub>2</sub>量增加。若过剩氧多,则SO<sub>2</sub>转化成SO<sub>3</sub>的量增多,露点温度升高;

在烟气中的水蒸汽含量一定时,燃料中含S量越多,露点温度越高,则在受热面上冷凝液体中的硫酸浓度越大。

炉膛温度越高,生成的SO<sub>3</sub>量越少。

#### 4. 露点温度的确定

由于烟气露点温度的影响因素较多,所以无法用理论方法精确计算。一般都是采用经验方法确定的。

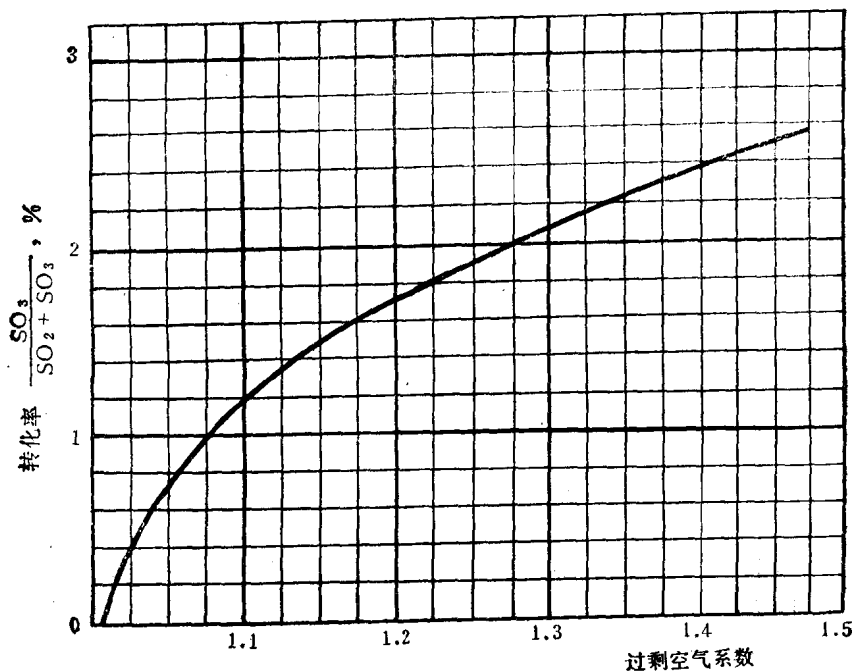
##### 4.1 根据SO<sub>2</sub>含量估算露点温度

###### 4.1.1 烟气中SO<sub>2</sub>含量的确定

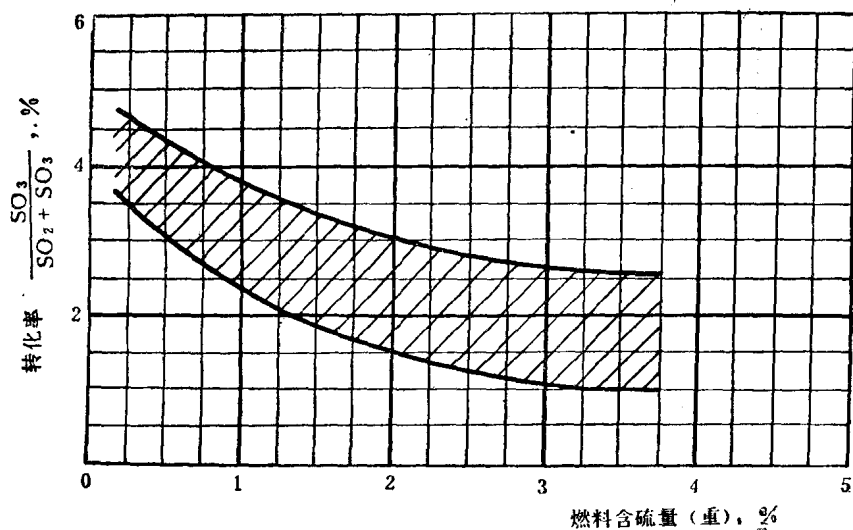
在设计中,根据燃料的化学成分和过剩空气系数进行燃烧计算可以得出烟气中SO<sub>2</sub>的体积含量。由LR-100-表1中的计算结果可以看出,当燃料油中的含硫量为1%(重)时,过剩空气系数越大,烟气中SO<sub>2</sub>的体积含量越低。当过剩空气系数在1.1~1.2之间时,烟气中SO<sub>2</sub>的体积含量一般可以按500ppm计算。如果燃料油中的含硫量改变时,烟气中SO<sub>2</sub>的体积含量可按比例关系定出。例如含硫量为0.5%时,烟气中SO<sub>2</sub>含量为250ppm;含硫量为3%时,SO<sub>2</sub>含量为1500ppm。

###### 4.1.2 烟气中SO<sub>3</sub>含量的确定

烟气中的  $\text{SO}_3$  是由  $\text{SO}_2$  转化而来的。其转化率与燃料油中的含硫量和过剩空气系数有密切关系。LR-100-图6和图7分别为过剩空气系数及燃料含硫量与  $\text{SO}_3$  转化率的关系。一般来说，其转化率约为0.5~3%，个别情况下不超过5%。通常转化率按3%估算已足够安全。



LR-100-图6 过剩空气系数与  $\text{SO}_3$  转化率



LR-100-图7 燃料含硫量与  $\text{SO}_3$  转化率

#### 4.1.3 烟气中 $\text{H}_2\text{SO}_4$ 含量的确定

由反应式  $\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$  可知，一份体积的  $\text{SO}_3$  即生成一份体积的  $\text{H}_2\text{SO}_4$ 。所以，在烟气中硫酸蒸汽的体积含量也就是  $\text{SO}_3$  的体积含量。

#### 4.1.4 烟气中水蒸汽的含量

由 LR-100-表1 中的计算结果可看出, 根据燃料的化学成分、过剩空气系数和雾化蒸汽的用量可以算出烟气中水蒸汽的含量。烟气中水蒸汽的体积含量一般约为12%。

#### 4.1.5 烟气露点温度的确定

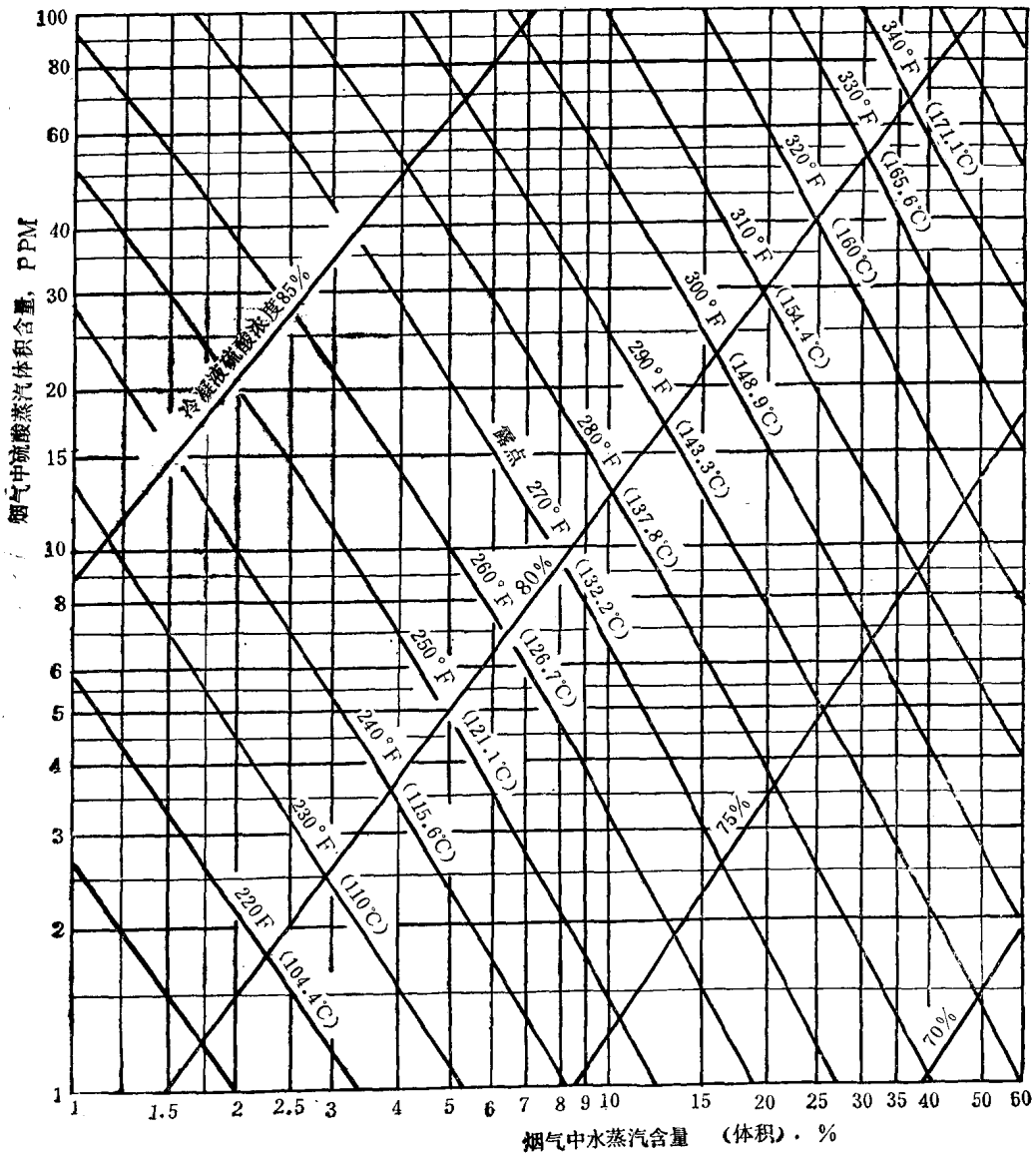
根据烟气中硫酸蒸汽和水蒸汽的体积含量即可由LR-100-图8得出露点温度。

例: 已知燃料含硫量为2%,  $\alpha=1.2$ , 求露点温度。

由上述, 烟气中SO<sub>2</sub>的体积含量为:

$$2 \times 500 = 1000\text{ppm}$$

参考LR-100-图6和图7, 设SO<sub>3</sub>转化率为2%, 则烟气中 SO<sub>3</sub>的含量为  $1000 \times 2\% = 20\text{ppm}$ ,



LR-100-图8 露点与烟气中水蒸汽含量及液相中硫酸浓度的关系  
(总压760mm汞柱)

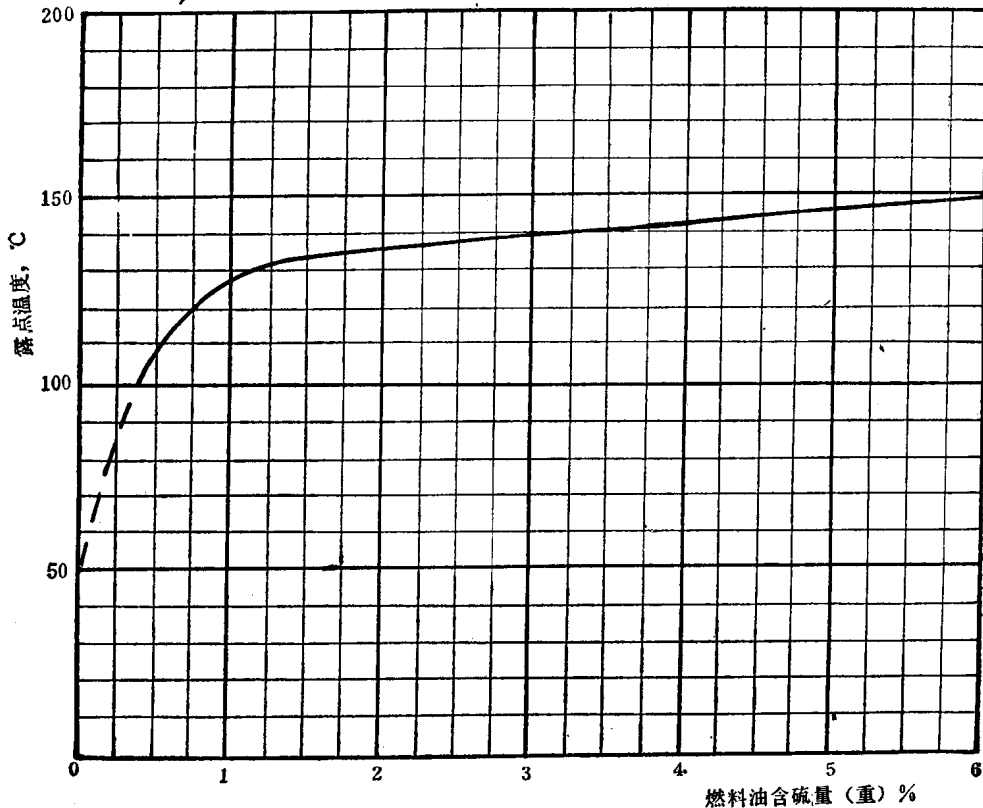
故烟气中硫酸蒸汽的体积含量亦为20ppm。

烟气中的水蒸汽含量设为12%。

由LR-100-图8可查出露点温度为290°F (143.3°C)。

#### 4.2 根据燃料油的含硫量估算露点温度

在不少情况下，燃料油的详细组份是未知的。在这种条件下，可根据燃料油中的含硫量由LR-100-图9确定露点温度。



LR-100-图 9 燃料油含硫量与露点温度

#### LR-103 减少低温腐蚀的措施

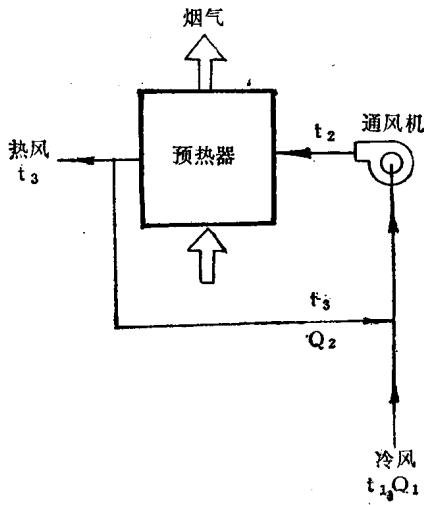
低温腐蚀问题是提高加热炉热效率必须要考虑的一个主要因素。在确定操作参数时，如果忽略了这个因素，就会使受热面遭受严重腐蚀，不但缩短受热面的使用寿命，而且还会影响正常的操作周期。所以，在提高加热炉热效率的同时，必须根据具体条件采取防止或减少低温腐蚀的措施。

##### 1. 提高受热面壁温

对于管内走油品、管外走烟气的对流炉管，由于内膜传热系数比外膜传热系数大很多，所以管壁温度接近管内介质温度。在这种条件下，提高受热面壁温的措施主要是提高管内油品的温度。一般对流室入口油品温度应高于110°C。

在采用空气预热器时，由于烟气侧和空气侧的传热系数相近，故提高预热器出口的烟气温度或提高预热器入口空气温度都可达到提高受热面壁温的目的。但前者会显著降低加热炉的热效率，所以通常采用后者。提高预热器入口的空气温度，一方面可以利用装置的其它余

热将进入预热器的空气温度提高到80℃左右；另外，也可采用热空气再循环的办法将预热器入口空气温度提高，其流程和各参数之间的关系见LR-100-图10。



$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{t_2 - t_1}{t_3 - t_1}$$

Q—流量

t—温度

(设空气比热为定值)

LR-100-图 10 热风循环各参数关系图

## 2. 采用耐腐蚀材料

管式空气预热器的低温区采用硼硅酸盐玻璃管（简称硼硅玻璃管）可以避免低温腐蚀。但管板、烟道和引风机等还应采取防腐措施。

采用硼硅玻璃管空气预热器的主要问题是管端应设有弹性好、结构合理和持久耐用的密封结构。密封面应松紧适度，太松会发生空气向烟气侧泄漏，太紧又会使玻璃管不能自由伸缩，在膨胀时因应力过大而破裂。目前较理想的是采用聚四氟乙烯密封圈。在管板上铺贴吸

用热空气再循环的办法提高管壁温度会增大通风机流量，使耗电量增加，所以在一定条件下，只有通过经济比较才能够采用。

提高管式空气预热器管壁温度的另外一种方法是在低温段采用卧管式，即空气走管内，烟气走管外。卧管式空气预热器管壁温度高于立管式的管壁温度，是因为在烟气横向冲刷管子时，增大了烟气的放热系数；而空气在管内纵向流动时，放热系数较低，故管壁温度接近于烟气温度。通常，卧式空气预热器的管壁温度约比立式高20~25℃。但是，卧式预热器空气进口处的管子，因受管板影响，壁温也可能过低，所以宜用保温材料涂敷在卧式预热器空气进口的管板上；另外，还应采取措施使空气均匀进入预热器管排，防止在空气流速偏大处壁温过低而引起腐蚀。由于卧管式预热器的管外侧与烟气接触，如管子间距适当，也为采用钢球除灰创造了良好条件。

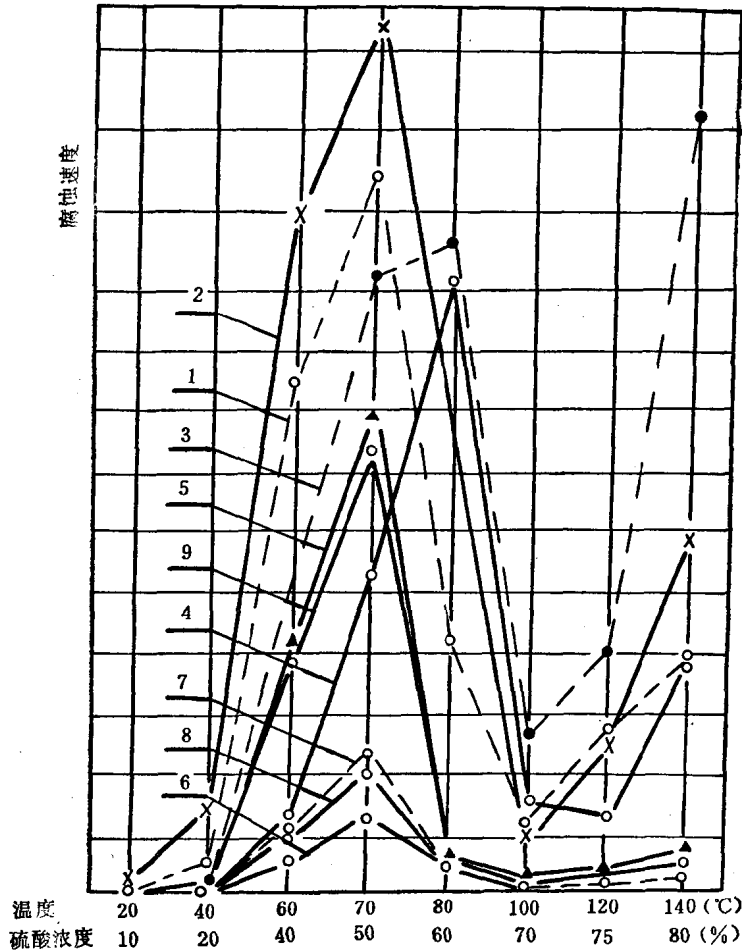
## 试验材料化学成分

序号	钢材主要成分	化 学 成 分 %									
		C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Sb	其 它
1	13% Cr	0.102	0.38	0.46	0.019	0.012	0.12	0.19	12.53	—	—
2	18% Cr	0.067	0.51	0.34	0.041	0.006	0.11	0.27	17.29	—	—
3	18Cr—8Ni	0.081	0.58	1.42	0.029	0.008	0.20	9.21	18.56	—	—
4	18Cr—12Ni—2Mo	0.119	0.68	1.62	0.030	0.008	0.24	11.72	17.05	—	Mo2.20
5	低碳钢	0.16	0.03	0.23	0.008	0.013	0.08	—	—	—	—
6	低铜钢	0.086	0.35	0.42	0.019	0.022	0.34	—	—	0.098	—
7	低铜钢	0.10	0.21	0.75	0.014	0.012	0.36	—	0.63	—	Ti0.04
8	低铜钢	0.08	0.33	0.63	0.008	0.005	0.30	—	0.88	0.06	—
9	低铜钢	0.09	0.46	0.38	0.110	0.017	0.32	0.30	0.52	—	—

层聚四氟乙烯薄层亦可防止管板的腐蚀。

对于金属材料，铬镍成分较高的合金钢不但造价昂贵，而且在抗硫酸溶液性能上并不优于碳钢。LR-100-图11表示几种材料在硫酸-水系气液平衡状态下硫酸溶液中的浸泡试验对比结果。在国内锅炉预热器上曾采用过09铜材料，空气预热器表面腐蚀均匀，无坑蚀现象，抗硫酸腐蚀性能显著；与20号钢管对比，提高抗腐蚀能力5~8倍。

除采用耐低温腐蚀的金属材料外，在回转式空气预热器的冷端蓄热面还可以采用表面涂有搪瓷的碳钢材料。



LR-100-图11 硫酸-水系气液平衡状态下硫酸浸泡试验结果（6小时）

## LR-200 回转式空气预热器的设计和计算

### LR-201 概述

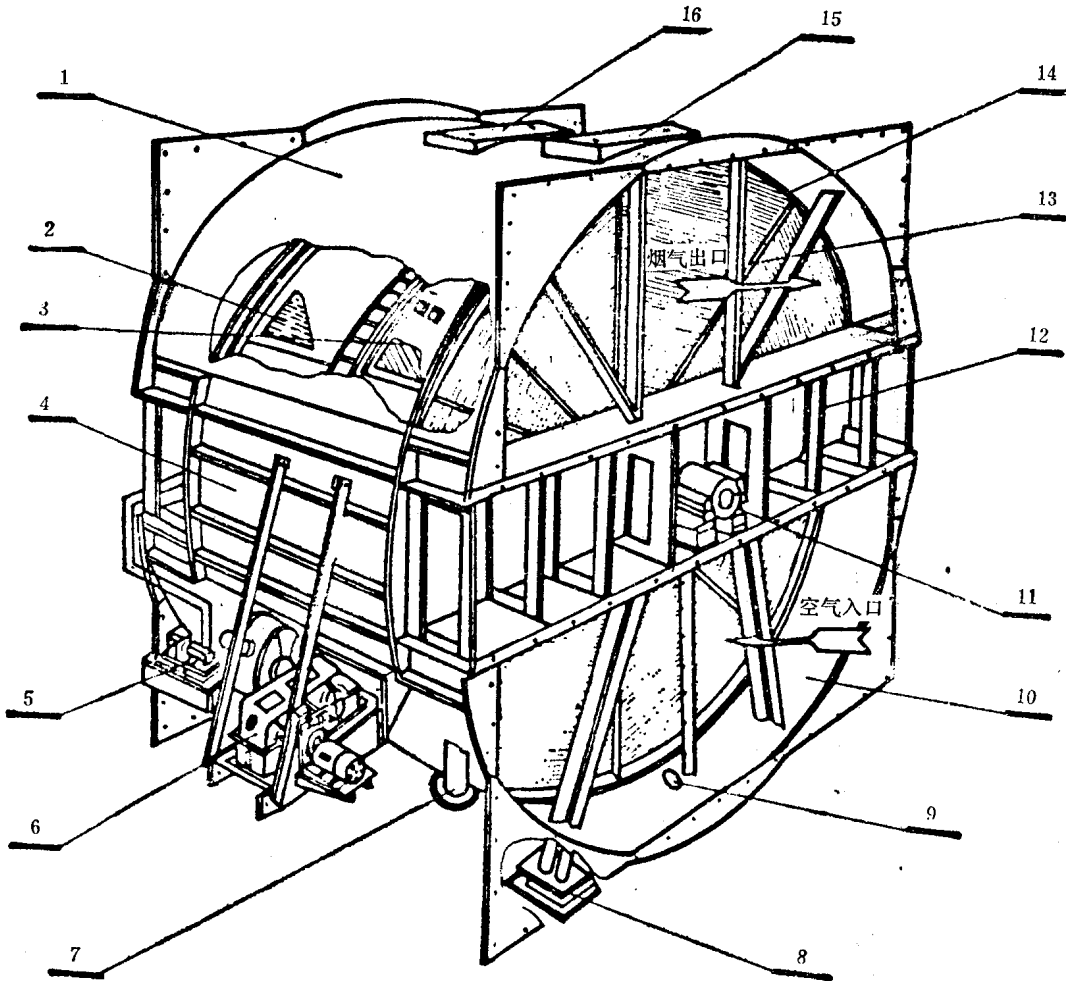
回转式空气预热器又称再生式空气预热器。这种预热器从转动型式分类，有蓄热体转动和烟风道转动两种型式。前者多用于中、小型预热器，后者则多用于大型。炼油厂加热炉所采用的回转式空气预热器一般均为蓄热体转动的型式。

预热器的蓄热体由一定型式的波纹钢板层叠组成。蓄热元件由转子带动旋转时，烟气与

空气分别由上、下逆向流过蓄热元件。烟气流过时，将热量传给蓄热元件，降温经烟气的后引风机排入烟囱；冷空气流过蓄热元件时，从中吸取热量，温度升高后的空气进入加热炉供燃烧使用。

**LR-202 结构**

回转式空气预热器有立式和卧式两种型式。LR-200-图1为卧式（转动轴是水平的）回转式空气预热器的结构简图。



LR-200-图1 回转式空气预热器结构简图

1	上壳体	9	排污口
2	热端蓄热管	10	下壳体
3	冷端蓄热管	11	轴承
4	中部壳体	12	中部扇形板
5	润滑部分	13	径向密封
6	驱动部分	14	环向密封
7	支撑转子口	15	冷端管子检修口
8	支座	16	密封片检修口

### 1. 转子和蓄热元件

转子分为冷端和热端两部分。烟气出口与空气入口一端因温度较低，故称冷端。冷端蓄热元件的长度（沿气体流动方向）一般均为300毫米。热端蓄热元件的长度根据换热的需要进行设计。蓄热元件的材质可以采用0.5毫米厚的碳钢板冲压制成。当燃料中的含硫量和灰分高时，冷端可以采用与热端不同型式和不同材质的蓄热元件。冷端蓄热体为篮式结构，便于在低温腐蚀后进行更换。

### 2. 轴承润滑

冷端轴承采用油浸式润滑。热端轴承采用强制冷却润滑，其系统由齿轮油泵、过滤器、冷却器等组成，并设有电接点压力式温度计。当润滑油温升到60℃时，润滑油泵自动启动；当润滑油温降到30℃时，润滑油泵自动停止。

### 3. 吹灰和水洗系统

吹灰器一般安装在冷端，其结构为单喷头摆动扫描式，其摆动角度为36°，一次吹灰往返约40分钟，蒸汽吹扫20分钟，喷头摆回过程中进汽阀门关闭。吹扫蒸汽的压力为12~14公斤力/厘米<sup>2</sup>，耗汽量约800~1000公斤/时，要求每8小时吹扫一次。

水洗主要是在检修期间进行，以便清除粘灰。在空气侧的两端均设有水洗喷头，清洗水则由下壳体排污孔排出。清洗水温度60~80℃，压力应大于5公斤力/厘米<sup>2</sup>，每小时排水量约70吨。清洗水中应加入适当比例的碱，在洗后流出水的pH值等于8时，一般可认为已清洗干净。

## LR-203 几个主要参数的决定

### 1. 加热炉热负荷与预热器转子直径的关系

在采用回转式空气预热器时，首先遇到的是根据炉子的热负荷选择预热器直径的问题。炉子热负荷大，烟气量和空气量多，故应选用转子直径较大的预热器。反之，炉子热负荷小，则应选用转子直径较小的预热器。为了便于分析问题和使用上的方便，根据炼油厂加热炉的一般操作条件，绘制了LR-200-图2加热炉热负荷、烟气流速与转子直径的关系曲线。

绘制LR-200-图2曲线的假定条件是：

入预热器烟气温度400℃；

出预热器烟气温度180℃；

燃烧理论空气量14kg空气/kg油；

预热器流通截面比率0.91186；

预热器过渡段和隔板占转子总截面的40%；

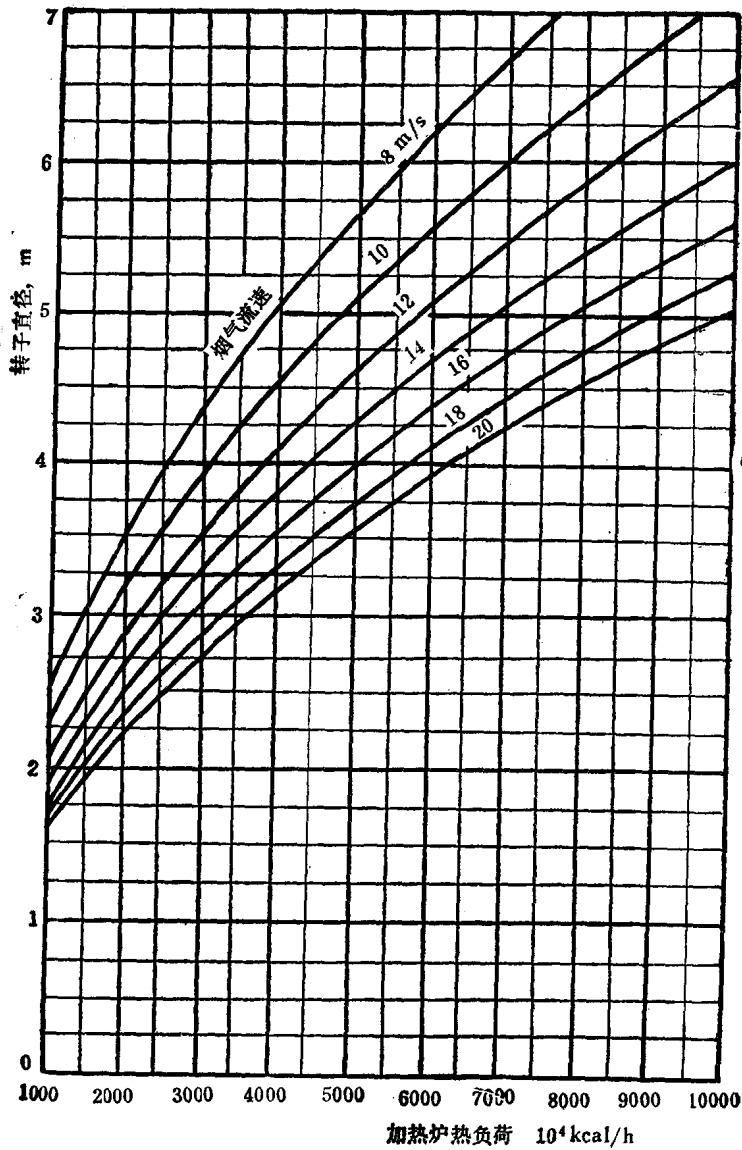
烟气通路等于空气通路。

从曲线中可以看出，如果烟气流速在10~16米/秒内选用预热器时，一个5000万千卡/时的加热炉，可以选用转子直径为4~5米的预热器。从另一个方面看，转子直径为3.25米的预热器，对2000~3500万千卡/时的加热炉均适用。该曲线对选用预热器提供了方便，又对其全面定型化创造了一种全面分析的手段。

### 2. 预热器入口烟气温度

进入预热器的烟气温度太高，除加剧蓄热元件的氧化外，对其它部件的选材也会带来困难；构件受热膨胀变形太大，还会使密封性能变差，加大漏风量。从国内目前具体条件出发，进入预热器的烟气温度最高不得超过450℃，最好在400℃左右，这样预热器元件可以采





LR-200-图 2 加热炉热负荷与预热器转子直径

用一般碳钢材料制作。在以后取得制造、设计和操作上的经验后，进一步提高预热器入口烟气温度是可能的。

### 3. 漏风量和漏风系数

#### 3.1 漏风量的计算

由于回转式空气预热器是在转动中通过蓄热片进行换热的，所以有一部分空气被携带进入烟气侧，这部分空气称为携带漏风。另外，由于空气侧为正压区，烟气侧为负压区，所以在运行中又有一部分空气通过转子的径向、环向及轴端的间隙向烟气侧泄漏，这部分称为直