

炼  
油  
工  
人  
技  
术  
丛  
书

# 管式加热炉

兰州炼油厂编



燃料化学工业出版社

## 内 容 提 要

本书着重介绍了炼油厂管式加热炉的燃烧和传热等的基本原理、加热炉的炉型结构和加热炉的操作方法等。对提高司炉工的操作水平、保证平稳操作、降低消耗等有一定的参考价值。

炼油工人技术丛书

### 管 式 加 热 炉

(只限国内发行)

兰州炼油厂 编

燃料化学工业出版社 出版

(北京安定门外和平北路16号)

燃料化学工业出版社印刷二厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

\* \* \*

开本  $787 \times 1092^{1/32}$  印张  $2^{3/4}$

字数 58 千字 印数 1—8,850

1974年6月第1版 1974年6月第1次印刷

\* \* \*

书号15063·内615 (油-55) 定价 0.21 元

## 出版者的话

在党的鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义总路线的指引下，我国的石油炼制工业得到了迅速的发展。各种新型装置相继建成投产，已经掌握了现代化的炼油技术。随着炼油工业的发展，工人队伍也相应壮大。为满足广大新工人的需要，尽快掌握操作技术，不断提高理论水平和操作水平，我们按工艺过程分装置编写了一套“炼油工人技术丛书”。这套丛书是在总结我国炼油工业操作经验的基础上，重点写了工人应知应会的基本原理、基本操作技术以及基本的计算方法等。

在编写这套丛书的过程中，得到了各厂领导的大力支持和工人同志的热情帮助，在编写人员的积极努力下，使本书得以陆续出版。

由于我们的水平所限，又缺乏组织编写此类丛书的经验，所以书中有些内容，无论是在反映我国炼油技术水平方面，还是通俗的表达专业性较强的技术方面都有不足之处。因此，希望广大读者，特别是工人同志提出宝贵意见，以便再版时修改。

## 绪 言

石油炼制工业采用管式加热炉开始于1910~1911年间。在这以前，一直是用蒸馏釜处理原油。管式加热炉有很多优点。它可使渐次汽化变为一次平衡汽化；可连续操作，便于大规模生产；操作方便，自动化水平高；加工成本低。因此，管式加热炉在六十年来发展过程中，在传热方法、炉型结构及气体流动方式等各方面都有了许多改进，出现了不少新炉型。随着石油加工工业的发展，加热炉的改进逐渐向着传热能力大、热效率高、炉管受热均匀、占地面积小及造价低的方向发展。

加热炉是保证供给油料（或油品）的加热、蒸发及化学反应等所需要的热量。如在蒸馏装置中，加热炉供给原料油一定的热量，使原料汽化以达到分馏的目的。因此，管式加热炉是石油炼制过程中重要设备之一。

遵照毛主席“鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义”的伟大教导，在“工业学大庆”的运动中，我们在加热炉岗位的司炉工人，总结了操作经验，提高了操作水平。今后要严格执行操作规程所规定的指标，保证加热炉出口温度的平稳，长周期安全运转，并不断提高处理能力和降低燃料消耗，这是我们每一个司炉工人的责任。

本书介绍了有关加热炉的燃烧、传热及实际操作等方面的一些基本知识。

# 目 录

绪言	
第一章 燃料及燃烧过程 .....	1
第一节 燃料的种类、性质及燃烧过程 .....	1
第二节 燃烧过程的简单计算及过剩空气系数 .....	3
第二章 传热的基本原理 .....	9
第一节 传导传热 .....	9
第二节 对流传热 .....	11
第三节 辐射传热 .....	14
第四节 加热炉的传热 .....	16
第五节 烟囱的抽力 .....	17
第三章 管式加热炉的基本知识 .....	20
第一节 主要工艺指标分析 .....	20
第二节 加热炉的类型、构造及特点 .....	27
第三节 火嘴的构造及各部分的作用 .....	45
第四章 管式加热炉的操作 .....	47
第一节 管式加热炉的工艺流程和仪表控制流程 .....	47
第二节 加热炉的开工和停工 .....	50
第三节 如何搞好平稳操作 .....	52
第四节 燃料的切换及副线操作 .....	60
第五节 燃料油罐附件及耗量计算 .....	61
第五章 管式加热炉的事故处理 .....	64
第一节 烟囱冒黑烟 .....	64
第二节 炉管烧穿和弯头着火 .....	65
第三节 进料油泵和燃料油泵抽空或中断 .....	67
第四节 停风停电停汽 .....	68
第五节 加热炉回火 .....	70
第六章 管式加热炉的检修 .....	71
第一节 管式加热炉的完好标准 .....	71
第二节 管式加热炉的检修 .....	72
第三节 管式加热炉的清焦 .....	77
第四节 烘炉 .....	81

# 第一章 燃料及燃烧过程

## 第一节 燃料的种类、性质及燃烧过程

### 一、燃料的种类

1. 固体燃料 木柴、木炭、煤、焦炭等。
2. 液体燃料 矿物油（石油及其产品）、酒精等。
3. 气体燃料 天然气、煤气、炼厂气。

各类燃料中，石油及其产品具有易燃烧、发热量高、燃烧后无灰烬等优点。

木柴的发热量约为 2000~4500 大卡/公斤。煤的发热量约为 5000~8400 大卡/公斤。而石油及其产品约为 10000 大卡/公斤左右。

炼油厂加热炉所用燃料为液体燃料（燃料油）和气体燃料（炼厂气）。

### 二、燃料油的物理化学性质

加热炉所用的燃料油一般是由裂化渣油、抽出油、裂化柴油等调和而成的，有的厂亦单独使用渣油为燃料，它的化学元素组成主要为碳、氢及少量的氧、氮、硫。此外尚含有水分和机械杂质等。

对于燃料油的性质主要是控制其粘度、闪点、水分、含硫量、凝固点、灰分和机械杂质等。控制的目如下：

1. 粘度 是燃料油的主要控制指标，粘度的大小表示燃料油的粘稠程度，并决定火嘴的构造及雾化燃烧的好坏。炼油厂常用的蒸汽雾化火嘴，一般要求100℃恩氏粘度不大于10。

2. 闪点 是为了保证安全生产，以防着火。
3. 水分 以防冒罐和泵不上油。
4. 凝固点 根据 燃料油 凝固点的高低，保持适当的输送温度，防止管线凝结。
5. 灰分和 机械杂质 防止燃料油在输送和燃烧中堵塞管线和火嘴，并减少炉管外表面结灰，影响传热。
6. 含硫量 防止 燃料油 和燃烧产物腐蚀管线和设备以及对空气的污染。

燃料油的规格有很多种，一般加热炉所使用的燃料油为200号。其主要指标如表1。

表1 燃料油的规格

项	目	指	标
恩氏粘度, °E	100℃	5.5~9.5	
闪点(开口),	℃	不 低 于	130
凝固点,	℃	不 高 于	36
灰 分,	%	不 大 于	0.3
水 分,	%	不 大 于	2.0
硫 分,	%	不 大 于	3.0
机械杂质,	%	不 大 于	2.5

### 三、燃烧条件及燃烧过程

1. 燃烧的定义 燃料的燃烧即是燃料中的可燃物质(主要为有机物，其化学成分主要为碳和氢)的氧化过程。

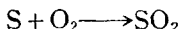
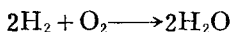
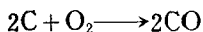
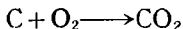
2. 燃烧的条件 燃烧必须具备三个条件(也叫三要素)即燃料、空气(氧)、温度。这三个条件缺一不可。

3. 燃烧速度 燃烧是氧化反应。其反应速度与温度有关，温度越高，燃烧的越快。燃烧温度应保持在850℃以上。燃烧时燃料和空气要保持一定的比例。一般燃烧所需的空气

量都比理论空气量要高。过剩空气量增加，燃烧速度增快，直到过剩空气达50%以后，燃烧速度开始下降。

#### 4. 燃烧生成物（或叫燃烧产物）及烟道气。

燃烧的化学反应：



由化学反应式中看出，燃烧生成物有：二氧化碳(CO<sub>2</sub>)；水蒸汽(H<sub>2</sub>O)；二氧化硫(SO<sub>2</sub>)；在燃烧不完全时有一氧化碳(CO)。

从烟囱排出的烟道气其组成除了上述产物外，还有大量的氮和氧。氮是由燃烧所需的空气带进去的，它不参加燃烧反应。氧是过剩空气带进去的。所以烟道气的组成应为二氧化碳、水蒸汽、二氧化硫、氧、氮及在燃烧不完全时有一氧化碳。

## 第二节 燃烧过程的简单计算及过剩空气系数

### 一、燃烧过程的计算

是计算燃烧所需要的空气量和燃烧生成物的数量及组成。燃料油的灰分很少，可略去不计。瓦斯中的水分可假设为零。进行化学计算，需要知道化学元素的原子量：

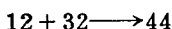
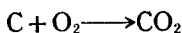
元素名称	元素符号	原子量	分子式	分子量
氧	O	16	O <sub>2</sub>	32
氢	H	1	H <sub>2</sub>	2
碳	C	12	C	12
硫	S	32	S	32
氮	N	14	N <sub>2</sub>	28



## 二、燃烧所需空气量的计算

按碳完全燃烧的情况计算，计算单位以公斤表示。

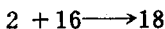
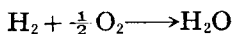
碳的燃烧：



即12公斤碳 + 32公斤氧  $\longrightarrow$  44公斤二氧化碳。

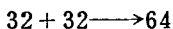
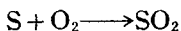
所以每公斤碳燃烧时需要  $\frac{32}{12} = \frac{8}{3}$  公斤氧。

氢的燃烧：



即1公斤氢燃烧需要  $\frac{16}{2} = 8$  公斤氧。

硫燃烧：



即1公斤硫燃烧需要  $\frac{32}{32} = 1$  公斤氧。

现在以C、H、S代表燃料中碳、氢、硫的重量百分数。则1公斤燃料燃烧所需要的氧量为：

$$\frac{\frac{8}{3} \text{C} + 8\text{H} + \text{S}}{100} = \text{公斤氧/公斤燃料}$$

如果燃料中含有氧，并以“O”代表氧的含量百分数，则燃烧时从空气中所取得的氧量减少，氧需要量为：

$$\frac{\frac{8}{3}C + 8H + S - O}{100} = \text{公斤氧/公斤燃料}$$

因为空气中氧含量为 23.2% (重量百分数), 所以燃烧 1 公斤燃料所需要的空气量, 即理论空气量 (用  $L_0$  表示), 可按下列式计算:

$$\begin{aligned} L_0 &= \frac{2.67C + 8H + S - O}{100} \times \frac{100}{23.2} \\ &= 0.116C + 0.348H + 0.0435S - \\ &\quad 0.0435O \text{ 公斤空气/公斤燃料} \end{aligned}$$

空气在标准状态时的重度为 1.293 公斤/立方米, 所以理论上所需空气之体积为 (用  $V_0$  表示):

$$\begin{aligned} V_0 &= \frac{L_0}{1.293} \\ &= \frac{0.116C + 0.348H + 0.0435S - 0.0435O}{1.293} \end{aligned}$$

标米<sup>3</sup>/公斤燃料

一般重质燃料油  $L_0 = 14$  公斤空气/公斤燃料,  $V_0 = 11$  标米<sup>3</sup>/公斤燃料。

### 三、过剩空气系数

由上面计算中看出: 为保证燃料完全燃烧, 理论上最少空气用量叫理论空气用量。实际上, 要保证燃料的完全正常燃烧, 入炉的空气量要比理论空气量大一些。这是因为燃料和空气的混合, 并不能达到十分完善的缘故。我们不断改进操作, 改进火嘴, 只是尽可能的使其完善罢了。

燃料燃烧时实际空气用量与理论空气用量之比, 叫过剩空气系数。一般以  $\alpha$  表示。

$$\alpha = \frac{L}{L_0}$$

式中  $L$ ——实际空气用量，公斤/公斤燃料；

$L_0$ ——理论空气用量，公斤/公斤燃料。

过剩空气系数太小，燃烧不完全，浪费燃料。但过剩空气系数太大也不好。入炉空气太多，炉膛温度下降，传热不好；烟道气量多，带走热量多，浪费燃料；炉管容易氧化剥皮。

合适的过剩空气系数范围如表 2。

表 2 过剩空气系数范围

燃 料	在 辐 射 室	在 烟 道*
气 体 燃 料	1.1~1.25	1.2~1.4
液 体 燃 料	1.2~1.5	1.4~1.6

\* 烟道中过剩空气系数增大是因炉子不严进入空气而造成。

1 公斤燃料燃烧生成烟道气的重量等于空气重量加燃料重量。燃料油燃烧还需要蒸汽雾化，以  $F$  表示蒸汽量，则：

$$G = \alpha L_0 + 1 + F$$

一般 1 公斤燃料需 0.5 公斤蒸汽，即  $F = 0.5$ 。

#### 四、过剩空气系数的计算

前面已讲过过剩空气系数为实际空气用量与理论空气用量之比。但在实际计算中并不采用此计算方法，而是根据烟道气的分析数据中二氧化碳和氧的组成计算过剩空气系数：

$$\alpha = \frac{100 - \text{CO}_2 - \text{O}_2}{100 - \text{CO}_2 - 4.76\text{O}_2}$$

式中  $\text{CO}_2$ 、 $\text{O}_2$ ——烟道气中二氧化碳和氧的含量，体积百分数。

例题：炉子烟道气的分析数据  $\text{CO}_2$  为 10.8%（体积）， $\text{O}_2$  为 3.1%（体积）。求过剩空气系数：

$$\alpha = \frac{100 - 10.8 - 3.1}{100 - 10.8 - 4.76 \times 3.1} = 1.16$$

## 五、燃料发热量计算

燃料发热值：每公斤燃料完全燃烧时所放出的热量（单位为大卡/公斤）。

高发热值：1 公斤燃料完全燃烧后，在燃烧生成物中所含的水不是气态，而为液态时，所放出的热量，称为高发热量。

低发热值：1 公斤的燃料完全燃烧后，所放出的热量，减去将燃料中所含的水分及燃料中氢燃烧所生成的水分蒸发所用去的热量，称为低发热量。

因此，高发热量所大于低发热量之数值适为水蒸汽之凝结所放出之热量。因此高发热量又称为理论发热量，因为燃烧时所产生的烟道气不会冷却到使水蒸汽凝结之温度，因为事实上水蒸汽之凝结为不可能。

因此，计算时只采用低发热值或叫作有效发热值。

### 1. 燃料油低发热值的计算公式

$$Q_{\text{低}} = 81C + 246H + 26(S - O) - 6W \text{ [大卡/公斤]}$$

式中 C、H、O、S——燃料油中碳、氢、氧、硫的重量百分数。

W——油中所含水分重量百分数。

### 2. 燃料气的发热值计算公式

$$Q_{\text{低}} = \sum Q_{\text{低}}^{\text{组}} y_{\text{组}}, \text{ 大卡/标米}^3$$

式中  $Q_{\text{低}}^{\text{组}}$ ——燃料气中各种气体发热值，大卡/标米<sup>3</sup>；  
 $y_{\text{组}}$ ——燃料气中各种气体的体积分数。

3. 炼厂常见的各种液体和气体燃料的发热值如表3、表4所示:

表3 液体燃料的热值

名 称	可燃物的元素组成, % (重)			热 值 大卡/公斤
	C	H	O+M	
石 油	83~84	11~14	0.5~2	10400~11000
重油(燃料油)	84~88	11~12	0.5~0.8	9700~10750
发动机燃料	86.5	13.0	0.5	10000~10700
汽 油	85.1	14.9	—	10450~11250
煤 油	86	14	—	10300~11000

表4 气体的热值

气 体	重量发热值, 大卡/公斤		体积发热值, 大卡/标米 <sup>3</sup>	
	高 热 值	低 热 值	高 热 值	低 热 值
甲 烷	13300	11954	9500	8529
乙 烷	12300	11350	16400	15186
丙 烷	12000	11079	23000	21742
异 丁 烷	—	10904	28300	26100
正 丁 烷	11800	10932	30000	28281
异 戊 烷	11700	10813	—	32200
正 戊 烷	11600	10840	—	34814

## 第二章 传热的基本原理

热之传送（传热）有三种方式：传导、对流、辐射。

### 第一节 传导传热

#### 一、传导

热自一物体的高温部分传送至该物体之低温部分；或直接相接触之二物体间热自高温物体传至低温物体。这种传热方式，叫做传导。

热传导的实质是物体高温部分分子的剧烈振动而与相邻的分子碰撞，并将其动能传予后者所致。因此，在传导过程中，物体中各分子的相对位置并不变动。

例如：一根铁棒，将一头与火焰接触，另一头用手拿着，就会很快感觉到热，这是由于热自与火焰接触的一头（高温）以传导的方式传送到未烧的一头（低温部分）。

又如锻工手拿钳子夹着烧红的铁块，很快手就觉得很热，这就是热自高温物体以传导方式传送到与该高温物

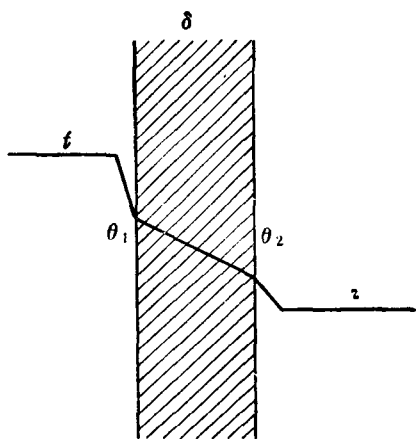


图 1 传导传热示意图

体直接接触的低温物体。

## 二、传导传热的简单计算公式

最简单的传导传热为热通过平面薄壁的传送。如有一平面，其厚度为 $\delta$ ，表面积为 $F$ ，同时此壁两面在任何时候均各保持一定温度 $\theta_1$ 及 $\theta_2$ ，且 $\theta_1 > \theta_2$ 。则此时通过薄壁即有热之传送发生。

其计算公式为：

$$Q = \lambda F \frac{\theta_1 - \theta_2}{\delta}$$

由上式可知：单位时间通过薄壁之热量 $Q$ 与表面积 $F$ 及温度差 $(\theta_1 - \theta_2)$ 成正比，而与壁之厚度 $\delta$ 成反比。

式中 $\lambda$ 为比例常数。它表示物质的热传导性质，称为物质的导热系数。

## 三、导热系数

1小时内通过一层厚度为1米，两面温度差为 $1^\circ\text{C}$ ，面积为 $1\text{米}^2$ 的物质之热量，叫导热系数。单位为大卡/米·时· $^\circ\text{C}$ 。

各种物质都有自己的导热系数，导热系数很大的物质称为热的良导体，如金属。导热系数小的物质称为热的不良导体，而导热系数很小的物质称为热的绝缘体，如保温材料。表5是某些固体在 $0\sim 100^\circ\text{C}$ 时的导热系数。

表5 固体的导热系数

物 体 名 称	重 度，公斤/米 <sup>3</sup>	导 热 系 数 $\lambda$ ，大卡/米·小时· $^\circ\text{C}$
银	10,500	394
铝	2,700	175
铜	8800	330
钢	7850	40
不 锈 钢	7900	15

续表

物 体 名 称	重 度, 公斤/米 <sup>3</sup>	导 热 系 数 $\lambda$ , 大卡/米·小时·℃
铸 铁	7500	40~80
石 棉	600	0.13
混 凝 土	2300	0.1
建 筑 用 砖	1700	0.6~0.7
耐 火 砖	1840	0.9 (在800~1100℃时)
绝 热 砖	600	0.1~0.18
石 油 焦		5(100℃时) 4.3(500℃时)
焦 炭 粉		0.164
灰 (木材)		0.61
水泥蛭石管壳及板	400~500	0.0803~0.1018
空 气		0.021 ~0.0276

## 第二节 对 流 传 热

### 一、对流

由于流体(液体及气体)质点的移动,将热自它们所占空间的一部分带至另一部分,这种传热方式,叫做对流。

对流传热进行时,在传热介质分子间,也同时发生传导传热,这是由于流体内部受热较大的分子将热传给邻近的受热较小的分子的结果。

由于固体的分子不能移动,所以在固体内部,没有对流传热。

工业上常遇到的对流传热,乃是将热由流体传至固体表面由固体表面传入周围的流体。这种过程叫做给热或放热。

### 二、对流的种类

由于流体流动的原因不同而有二种对流。



1. 自然对流 由于流体内部各点的温度不同，而引起各点密度的差异，这种密度差异使流体质点运动的现象叫自然对流。

例如没有鼓风机的炉子的通风等均为自然对流。

利用自然对流通风的方法叫做自然通风。

2. 强制对流 流体因受外力作用（如用泵输送液体，用压缩机压送气体）而产生质点运动的现象叫强制对流。

例如加热炉的空气预热器的空气系用鼓风机压送。这种利用强制对流向炉内通风的方法称为强制通风。

### 三、流体运动的性质对传热的影响

流体主要是液体由于流动速度不同，可分为层流与紊流。

1. 层流（滞流） 液体的粘度很大或流动速度很小时，流体质点运动成为直线，并沿着平行于管轴之方向而移动，这种流动叫层流运动。

层流运动时，热的传送主要为传导作用。

2. 紊流（湍流） 随着速度逐渐增高，流动开始发生紊乱现象，当速度增至某一定数值后，运动的性质发生变化，即变为紊流运动。其特点为发生一种扰乱作用，流体质点以很大的速度向各个方向运动。

紊流运动时，热的传送主要靠流体质点的运动，所以在紊流运动中热的传送要快得多。

介于紊流和层流之间的流体运动为过渡流。一般用雷诺数表示流动的性质。

雷诺数说明热传导的原理是从水力学的观点，液体运动的性质、边界层的厚度等出发的。