

"十一五"国家重点图书



高等学校化工类专业规划教材

石油加工过程设备

(管式加热炉 石油复杂精馏)

李少萍 徐心茹 / 编著

SHIYOU JIAGONG GUOCHENG SHEBEI



华东理工大学出版社

EAST CHINA UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

石油加工过程设备

(管式加热炉 石油复杂精馏)

李少萍 徐心茹 编著



华东理工大学出版社
EAST CHINA UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

石油加工过程设备/李少萍,徐心茹编著.上海:华东理工大学出版社,2009.5

ISBN 978-7-5628-2473-2

I.石... II.①李... ②徐... III.①石油炼制-生产工艺 ②石油炼制-设备 IV. TE624 TE96

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 002494 号

石油加工过程设备

(管式加热炉 石油复杂精馏)

编 著 / 李少萍 徐心茹

责任编辑 / 徐知今

责任校对 / 金慧娟

封面设计 / 陆丽君

出版发行 / 华东理工大学出版社

地址:上海市梅陇路 130 号,200237

电话:(021)64250306(营销部)

传真:(021)64252707

网址:www.hdlgpress.com.cn

印 刷 / 常熟华顺印刷有限公司

开 本 / 710mm×1000mm 1/16

印 张 / 15.25 插页 1

字 数 / 295 千字

版 次 / 2009 年 5 月第 1 版

印 次 / 2009 年 5 月第 1 次

印 数 / 1—3 000 册

书 号 / ISBN 978-7-5628-2473-2/TE·2

定 价 / 30.00 元

(本书如有印装质量问题,请到出版社营销部调换。)

内容提要

本书是研究石油加工过程“管式加热炉和石油复杂精馏”单元操作的基本原理、计算方法及其设备的设计、操作和选型等的教材。通过本书的学习使学生掌握石油加工单元操作的基本理论和计算方法,培养学生运用这些基本理论和计算方法正确地分析、解决单元操作中各种工程技术问题的能力。同时,本书也可作为有关石油化工工程技术人员学习及工程应用中的参考用书。

目 录

绪论	1
第 1 章 管式加热炉	5
1.1 概述	5
1.1.1 管式加热炉在炼油和石油化学工业中的重要性	5
1.1.2 管式加热炉的分类和主要工艺指标	6
1.1.3 管式加热炉的种类、主要结构	7
1.2 燃料的燃烧	14
1.2.1 燃料的种类、组成及发热值	15
1.2.2 理论空气用量与过剩空气系数	18
1.2.3 全炉热效率及燃料用量	21
1.2.4 火嘴数量的确定	26
1.2.5 燃烧产物——烟道气的流量	27
1.2.6 燃料燃烧计算	28
1.3 辐射传热的理论基础	29
1.3.1 热辐射的特性及基本规律	30
1.3.2 物体间的辐射换热	41
1.3.3 气体与外壳间的辐射换热	43
1.3.4 加热炉辐射室中的辐射换热	44
1.4 辐射室的传热计算	47
1.4.1 辐射室的热负荷	47
1.4.2 传热速率方程式	48
1.4.3 辐射室的主要结构尺寸及工艺参数的确定	49
1.4.4 热平衡方程式	62
1.4.5 用图解法确定烟气在辐射室出口的温度	63
1.4.6 辐射室计算	63
1.5 对流室的传热计算	67
1.5.1 对流室的热负荷	68
1.5.2 对数平均温度差	68
1.5.3 对流室的主要尺寸	68

1.5.4	总传热系数	70
1.5.5	对流管的表面积及表面热强度	76
1.5.6	对流室的计算	77
1.6	炉管内的压力降计算	81
1.6.1	加热段的压力降	82
1.6.2	汽化段的压力降	83
1.7	烟囱的设计	89
1.7.1	烟囱的直径	89
1.7.2	烟囱的高度	90
1.7.3	烟囱的计算	95
1.8	常用加热炉型的比较	98
1.9	管式炉主要操作因素的分析	100
1.9.1	燃料用量	100
1.9.2	提高处理量——设备挖潜中的某些问题	101
1.10	加热型管式炉工艺计算程序介绍	104
1.10.1	工艺计算程序介绍	104
1.10.2	输入和输出数据	105
1.10.3	程序框图	106
1.10.4	计算举例	108
第2章 炼油、油田和长输管线加热炉工艺设计特点		112
2.1	炼油装置管式炉的设计特点	112
2.1.1	蒸馏炉	112
2.1.2	润滑油加工炉	114
2.1.3	气体加热炉	115
2.1.4	残渣油加热炉	116
2.1.5	重整炉	117
2.1.6	加氢炉	122
2.2	油田和长输管线加热炉	127
2.2.1	油田加热炉的炉型	128
2.2.2	火筒式加热炉基本结构	129
2.2.3	油田及长输管线用管式加热炉基本结构形式	133
2.3	提高加热炉热效率	136
2.3.1	提高热效率的综合节能措施	136
2.3.2	降低排烟温度以减少排烟热损失	138
2.3.3	降低过剩空气系数以减少排烟热损失	139

2.3.4	减少不完全燃烧损失	140
2.3.5	减少散热损失	141
2.3.6	低温露点腐蚀的防止和减轻措施	141
第3章	石油蒸馏	146
3.1	石油物系的特点及其蒸馏过程	146
3.1.1	石油物系的特点及物性计算	146
3.1.2	石油物系的蒸馏过程	168
3.1.3	石油蒸馏塔	168
3.2	石油蒸馏塔的回流及取热	174
3.2.1	石油蒸馏塔中段循环回流取热方式及取热量	174
3.2.2	塔顶回流方式及取热	180
3.3	石油蒸馏过程的主要工艺参数的选择	181
3.3.1	塔板数的选择	181
3.3.2	汽提蒸汽量的选择	182
3.3.3	石油蒸馏塔的分馏精确度	184
3.3.4	原油切割方案及相应的计算方法	187
3.4	石油蒸馏塔的设计计算方法	189
3.4.1	主要参数的选择	189
3.4.2	主要操作温度及循环回流取热量的确定	190
3.4.3	塔内气液相负荷的计算	195
3.4.4	石油精馏塔的操作弹性	196
3.5	石油精馏塔及其塔内件	209
3.5.1	石油精馏塔的构成	209
3.5.2	板式塔在石油精馏中的应用	220
3.5.3	填料塔在石油精馏中的应用	225
附录	一般计算应用数据	231
	参考文献	235

绪 论

1. 本课程的研究对象和任务

石油加工、石油化学等工业由工艺过程和单元操作组成,后者就是本课程的研究对象。

工艺过程是指将一定的原料经过各个物理加工和化学加工而获得符合一定规格要求的各种产品的过程。例如,石油加工的原油常压蒸馏,就是将原油经换热、加热、蒸馏等加工处理,以得到汽油、煤油、柴油、重油等产品的生产过程,其原理流程如图 0-1 所示。

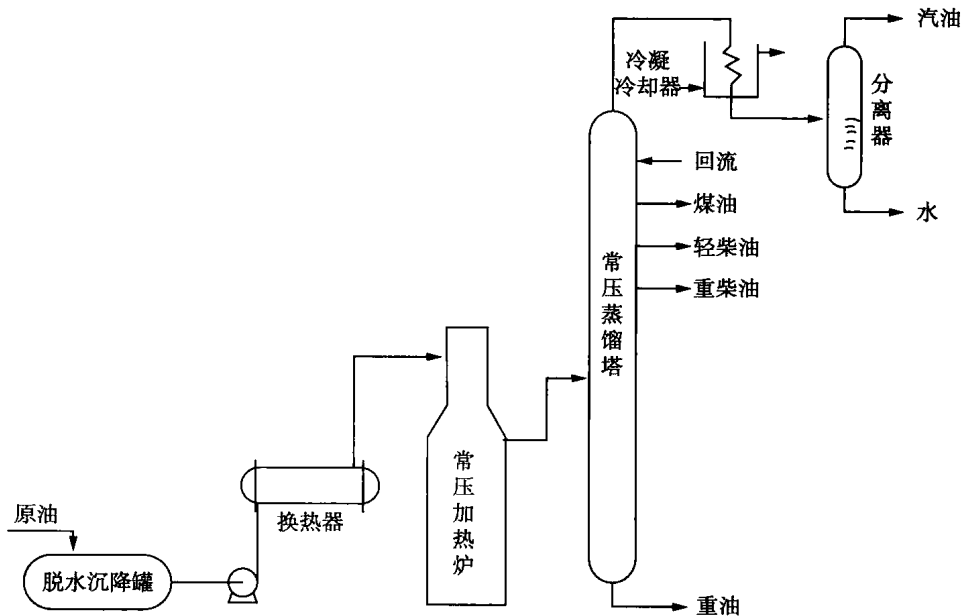


图 0-1 原油常压蒸馏原理流程图

由于石油加工、石油化工以及化学、制药、轻工、冶金、原子能等工业生产中,原料各异,要求得到的产品种类繁多,又有各种各样的加工方法和各种型号的装置设备,因此实际生产中就有很多的工艺过程。

虽然工艺过程为数众多,而且随着科学技术和经济的发展、新产品的不断开发,还会有更多新的工艺过程出现,但经过分析可以发现,千差万别的工艺过程都是由原理上相同或相似的一些基本单元组成。以上所举出的典型的工艺过程

大体上由物料沉降、压缩和输送、加热和换热、裂解(化学反应)、蒸馏等基本单元所组成,其中除了裂解(有些工艺过程还有合成、聚合等)为化学反应过程外,其余的均是只改变物料状态或物理性质,并不改变物料化学性质的物理过程,这些物理过程被称为单元操作。石油加工和石油化工的核心是化学反应过程及其设备——反应器。同时,为了保障化学反应过程有效地进行和得到各种规格的产品,就必须以各种物理过程对原料进行预处理以达到必要的温度、压力等条件和对反应产物进行处理以达到分离、精制等目的。因此,单元操作是石油加工和石油化工生产中不可缺少的重要组成部分。

在石油加工和石油化工生产中,重要的单元操作约有 20 多种,按其理论基础可归纳为以下三类。

(1) 流体流动过程,包括流体输送、气体压缩、沉降、过滤、离心分离、搅拌、固体流态化、气力输送等。

(2) 传热过程,包括加热、冷凝和冷却、蒸发等。

(3) 传质过程,包括蒸馏、吸收、萃取、吸附、干燥、结晶等。进行这些过程的目的是分离均相混合物,故称传质过程,又称分离过程。

本书所涉及内容既不同于自然科学中的基础学科,也区别于具体的石油加工和石油化工中的产品生产工艺学,它是研究单元操作的基本原理、计算方法及其设备的设计、操作和选型等。通过对本书的学习可使学生掌握石油加工单元操作的基本理论和计算方法,培养学生运用这些基本理论和计算方法正确地分析、解决单元操作中各种工程技术问题的能力。因此,本书与《化工原理》、《化学工程基础》、《单元操作》等属同一类型的课程内容,本书的相应课程是石油加工、石油化工、炼油化工仪表自动化等专业的一门重要的技术基础课,也是石油应用化学、化工实验技术、环境工程等专业的一门工程基础课。因此,本课程具有十分广泛的实用性。

2. 单元操作过程中常见的基本规律

单元操作虽有若干种,所解决的实际问题也非常之多,但是探究单元操作时,都遵循下列四个基本规律,也是研究单元操作的四个基本方法,即:物料衡算、能量衡算、系统的平衡关系、过程速率。

1) 物料衡算

物料衡算是以质量守恒定律为基础,即向单元过程输入的物质质量必等于从该过程输出的物质质量与该过程中积累的物料质量之和,即:

$$\text{输入的物质质量} = \text{输出的物质质量} + \text{积累的物质质量} \quad (0-1)$$

对于连续、稳定的操作过程,各物料量不随时间变化,则过程中不应有物料的积累,即式(0-1)可写为:

$$\text{输入的物质质量} = \text{输出的物质质量}$$

(0-2)

式(0-1)和式(0-2)均称为物料衡算方程式,它既适用于总物料衡算计算,也适用于某一组分的物料衡算。物料衡算是单元操作过程及化工工艺过程的重要计算内容之一,它对于设备尺寸的设计和生产过程的操作、控制等具有重要意义。在进行物料衡算计算时,要确定计算的范围,明确计算的对象(即总物料或某一组分),选定计算基准,一般常用单位时间或单位进料质量作为衡算的基准。

2) 能量衡算

能量衡算是以能量守恒定律为基础的,对于连续、稳定的操作过程,输入系统的总能量必等于输出系统的总能量和系统与环境交换的能量之和。

能量有各种形式,本书中所涉及的能量主要有机械能和热能。进行机械能衡算或热量衡算的方法与物料衡算基本相同,同样也要确定衡算范围和基准,通常用单位质量或单位体积的物料(此处指的是总物料),或者用单位时间作为能量衡算的基准。

通过能量衡算可以了解生产操作中能量利用和损失情况,以便确定设备的能力,保证单元操作按所规定的条件(温度、流动要求)进行。

3) 系统的平衡关系

平衡状态是自然界普遍存在的现象,当系统在某一条件下自然发生变化时,其变化必趋于一定的方向,如任其发展,结果必达到平衡状态为止。例如热量从温度较高的物体传向温度较低的物体时,将一直进行到两个物体的温度相等时为止;又如,在一定温度下,当溶液中食盐浓度小于其饱和浓度时,加入的食盐就会溶解,直至达到平衡状态;反之,溶液中的食盐会析出,最终达到平衡状态。因此,平衡状态是各种自然发生的变化过程可能达到的极限程度。在物系相间进行的传质平衡关系为相平衡关系,显然,用相平衡关系可判断传质过程进行的方向和可以达到的限度。

4) 过程速率

由上可知,任何一个系统,如果不是处于平衡状态,就必然向平衡状态变化。但以多大的速率趋于平衡,这不取决于平衡关系,而取决于系统的不平衡程度(如上述溶液中的食盐浓度与其饱和浓度相差程度)和过程阻力,则过程速率可近似地用式(0-3)表示,即:

$$\text{过程速率} = \frac{\text{过程推动力}}{\text{过程阻力}} \quad (0-3)$$

不同的过程有各自的推动力和阻力的内涵,如传热过程的推动力是互相换热的两流体间的温度差,传质过程则是物系浓度与平衡浓度之差,而诸过程的阻力内涵则较为复杂,需要结合具体过程,进行具体分析。

由式(0-3)可见,过程速率与过程推动力成正比,与过程阻力成反比,这种关

系类似于电学中的欧姆定律。过程速率是决定过程设备尺寸的重要因素,如果过程速率大,设备尺寸就可以小些。因此,过程平衡关系是过程设备尺寸设计计算的理论依据,过程速率则是过程设备尺寸设计计算的基本工具。

在研究单元过程中,除了应用以上四个基本规律研究过程的变化和进行设备的设计计算外,还要利用技术经济比较,来优化过程方案,使单元操作得以经济有效地进行。

第 1 章 管式加热炉

1.1 概述

1.1.1 管式加热炉在炼油和石油化学工业中的重要性

管式加热炉是一种火力加热设备,它利用燃料在炉膛内燃烧时产生的火焰与高温烟气作为热源,来加热在炉管中高速流动的油品,使其达到工艺规定的温度,以供给原油或油品在进行分馏、裂解或反应等加工过程中所需要的热量,从而保证生产正常进行。与其他加热方式相比,管式加热炉的主要优点是加热温度高(可达 1 000 °C)、传热能力大和便于操作管理。近六十多年来,管式炉发展很快,已成为近代炼油工业与石油化学工业中必不可少的工艺设备之一,在生产和建设中具有十分重要的地位。例如一个处理量 250 万吨/年的常减压蒸馏装置,虽所用加热炉的座数不多,但其提供的总热量却达 2.5×10^8 kJ/h,如果炉子加热能力不够,就会限制整个装置处理能力的提高,甚至无法完成预定的任务。

管式加热炉中消耗的燃料量是相当可观的。一般加工深度较浅的炼厂,消耗的燃料量约占其处理原油量的 3%~6%,中等加工深度的占 4%~8%,较深的为 8%~15%,其费用约占总运行操作费用的 60%~70%。因此,炉子热效率的高低与节约燃料、降低成本有极密切的关系。表 1-1 列举了石油加工常见装置的能耗比例。

表 1-1 能耗比例

装置名称	常减压蒸馏	焦化	连续重整	柴油加氢
(管式炉能耗) 装置总能耗)/%	82~92	~90	~82	~30

此外,管式炉炉管结焦、炉管烧穿、炉衬烧塌等事故,也常是迫使装置停工检修的重要原因。

在生产中,我们总是希望整个装置达到“三高一低”(高处理量、高质量、高效率和低消耗)及“长周期安全运转”,大量实践表明,管式炉设计与操作的好坏,往往是关键问题之一。

管式炉的基建投资费用,一般约占炼油装置总投资的 10%~20%,占总设备费用的 30%左右。在重整制氢和裂解等石油化工装置中则占建设费用的 25%左右。因此,加热炉设计选型的好坏还直接影响装置的经济合理性。

管式炉的基建投资占有相当大的份额。加热型管式炉的工程费占装置工程费的比例较小,加热-反应型管式炉占的比例则较大,详见表 1-2 工程费比例。

表 1-2 工程费比例

工程费	常减压蒸馏	焦化	连续重整	柴油加氢	制氢	乙烯
(管式炉装置)/%	10~17	10~12	12~16	6~8	25~30	25~30

在管式炉的工程费中,盘管系统占有相当大的比例,一般都在 60%以上,高的可达 75%。常见管式炉各部分的工程费比例列于表 1-3。

表 1-3 管式炉各部分工程费比例(%)

炉名	常压炉碳钢管	常压炉 Cr5Mo 管	焦化炉	连续重整炉	柴油加氢炉	制氢炉
盘管系统	62	76	52	58	74	66
钢结构	25	16	26	30	16	15
炉衬	13	8	22	12	10	19

综上所述,学习掌握管式加热炉的基本原理和知识,正确操作、选用、设计和
6 发展各种新型高效加热炉,对加速实现我国炼油与石油化学工业现代化具有十分重要意义。

1.1.2 管式加热炉的分类和主要工艺指标

管式炉的类型很多。如按用途分有纯加热炉和加热-反应炉。前者如常压炉、减压炉,原料在炉内只起到加热(包括汽化)的作用;后者如裂解炉、焦化炉,原料在炉内不仅被加热,同时还应保证有一定的“停留时间”进行裂解或焦化反应。如按炉内进行传热的主要方式分类,管式炉有纯对流式、辐射-对流式和辐射式。如按燃烧方式分类,则有火炬式和无焰燃烧式。而根据炉型结构的不同,管式炉又可分为箱式炉、立式炉和圆筒炉等。

各种不同形式的管式炉都有其本身的特性,但就炉内的传热过程而言,又有其共性。所以,反映各种管式炉传热性能的主要工艺指标也基本相同,一般主要有以下几项。

(1) 热负荷:指炉子每小时内传给被加热物料的总热量,单位为 kJ/h。管内介质所吸收的热量用于升温、汽化或化学反应,全部是有效利用热。此值越大,炉子的生产能力也越大。

(2) 炉膛体积热强度:指每小时单位炉膛体积所传递的热量,单位为 kJ/(m³·h)。此值越大,完成相同热任务所用的炉子越紧凑。

(3) 炉管表面热强度:指每小时内单位炉管表面积所传递的热量,单位为

$\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。它一般指全辐射室所有炉管的平均值。此值越高,完成相同热任务所需的传热面积越小。

(4) 全炉热效率:指炉子供给被加热物料的有效热量与燃料燃烧放出的总热量之比。此值越高,完成相同热任务所消耗的燃料越少。它是衡量燃料消耗、评价炉子设计和操作水平的重要指标。

(5) 油品流速(冷油流速):冷油流速为 $15\text{ }^\circ\text{C}$ 时,单位时间内油品或其他介质在炉管中流动的距离(m/s)。

(6) 全炉压力降:油品或其他介质在炉管内流动过程中的压力损失。

油品或其他介质在炉管内流速与加热炉的传热和炉管压力降有很密切的关系。各种现代管式炉总是力求在满足工艺要求和安全运转的条件下,尽力提高炉管表面热强度,减少传热面积,提高炉膛热强度,缩小炉子体积,以节省基建投资。同时尽力提高全炉热效率,降低燃料用量,以节省操作费用。

实际上,自1910年管式炉首次用于炼油工业以来,各种不同炉型的出现,基本上是围绕上述的要求,从不同角度(如传热方式、燃烧方式、炉管排列方式、炉型结构等)对管式炉加以改进革新的结果。

1.1.3 管式加热炉的种类、主要结构

1. 管式加热炉的种类

炼油工业采用管式加热炉始于1910年左右,最初的管式加热炉是如图1-1所示的“堆型炉”,它参考了釜式蒸锅的原理,吸热面为一排管束,管子联结弯头也置于炉中,由于燃烧器直接安装在管束的下方,此种炉型各排管子的受热强度极为不均匀,当最底一排管子的受热强度高达 $5 \times 10^4 \sim 7 \times 10^7 \text{ kW}/\text{m}^2$ 时,最顶一排管子却不到 $808 \sim 1\,000 \text{ kW}/\text{m}^2$,因此底排管子常被烧穿,管间联结弯头也易松漏引起火灾,当时认为是辐射热太强了,于是改为图1-2的纯对流炉。

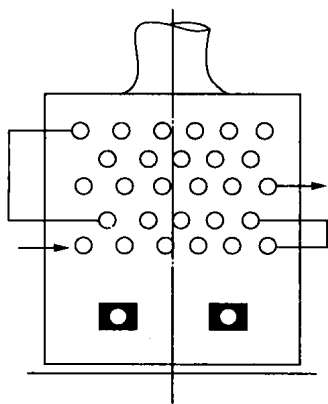


图 1-1 堆型炉

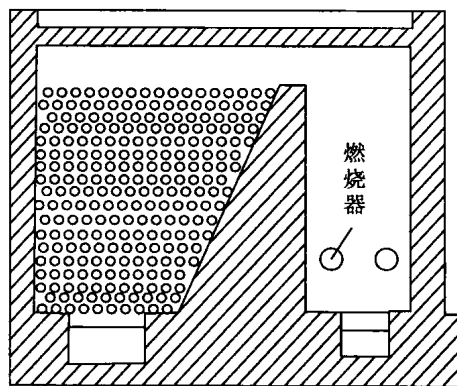


图 1-2 纯对流炉

纯对流炉全部炉管装在对流室内,用隔墙把对流室与燃烧室分开,避免炉管受到火焰的直接辐射,然而,操作中发现对流室顶管排管经常烧坏,而且炉管受热仍然很不均匀,这是因为炽热的高温烟气在进入对流室之前未能和一个吸热面换热,在对流室入口处烟气温度往往高达 $1\ 000\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上。后来人们发现,在辐射室内安装一些炉管,一方面可取走部分热量降低烟气温度,解决对流室顶管的过热烧坏问题,另一方面可利用高温辐射产热强度大的特点,节省炉管,缩小炉子体积。这样同时具有辐射室和对流室的加热炉开始出现了,其初期代表为箱式炉,见图 1-3。

图 1-4 至图 1-8 是炼油工业中几种常见加热炉的结构示意图。图 1-4 所示的卧管立式炉实际上是从箱式炉发展而来的。它的主要改进是(1)火焰垂直向上,与烟气流动方向相同,并且连成片状燃烧,传热比较均匀;(2)烟气向下流动的对流室改为向上抽风式,阻力小,大大降低了烟囱的高度,且无需在炉体外另行建造;(3)取消了炉顶吊挂,使结构简化、造价低。

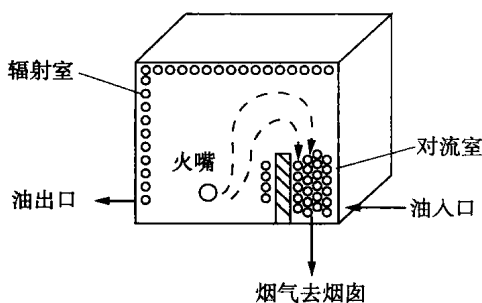


图 1-3 箱式炉

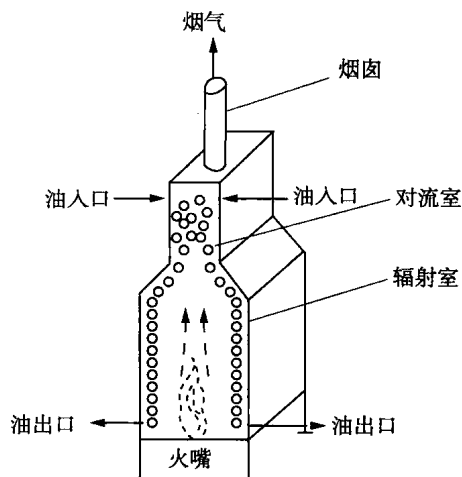


图 1-4 卧管立式炉

除卧管立式炉外,近年来国内设计并广泛采用了一种新型的立管立式炉(图 1-5)。这是国外 20 世纪 60 年代开始出现的一种炉型,炉内辐射管由水平安放改为垂直安放,不但炉管支承可采用自由悬挂式,顶部吊挂放在炉膛外部,节省了大量的合金钢材,而且便于提高炉子的生产能力。一般负荷大于 29 MW 的加热炉多选用此种炉型。

无焰燃烧炉(图 1-6)也是一种立式炉,它的主要特点是将无焰火嘴沿炉膛侧墙均匀分布形成无焰燃烧,因此炉子不但传热均匀,而且炉管表面热强度大(比一般老式炉热强度高 $75\%\sim 100\%$),但火嘴与炉墙结构复杂,造价较高,且只能用气体燃料,一般主要用于操作条件苛刻、油品容易结焦、要求热分布均匀的焦化炉、裂解炉和高温制氢炉等。

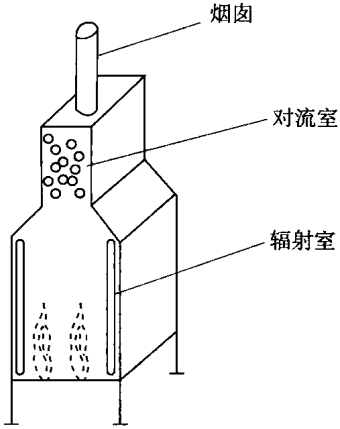


图 1-5 立管立式炉

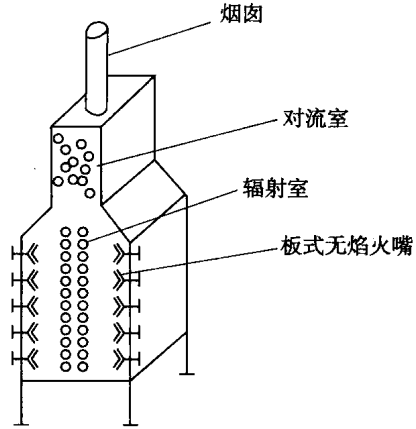


图 1-6 无焰燃烧炉

圆筒炉是目前炼厂使用较多的炉型,基本型式(空心圆筒炉)如图 1-7 所示,炉子分上、中、下三部分:下部为圆筒炉的辐射室,辐射管沿炉膛周围立式排列,底部装有一圈上燃式燃烧器;中部为方形对流室,对流管可以采用钉头管或翅片管;顶部是烟囱,内有烟道挡板以用于调节入炉空气量。

圆筒炉的主要优点是结构简单紧凑,占地面积小,金属耗量(特别是耐高温镍铬合金钢)少和便于建造、维修。但因炉管沿长度方向受热不均,炉管表面热强度不高,又因受炉体直径的限制,对流室较小,热效率低,故一般多用于热负荷小于 29 MW 的中、小型加热炉。

图 1-8 是一种带反射锥体的辐射式圆筒炉。顶部的反射锥大大增加了炉膛

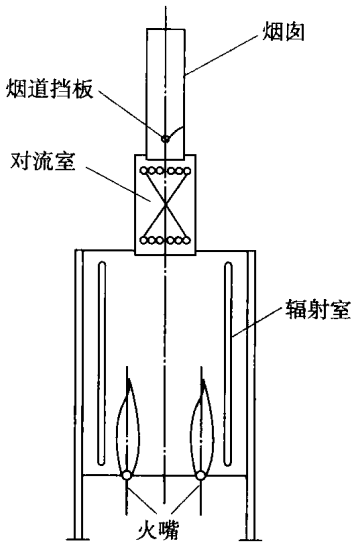


图 1-7 空心圆筒炉

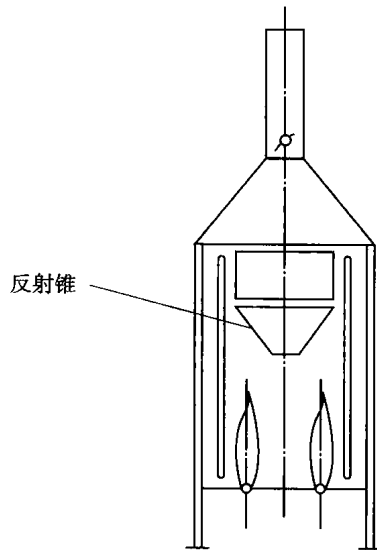


图 1-8 带反射锥体的辐射式圆筒炉

的反射面积,改善了炉管沿长度方向上的受热均匀性。但反射锥需要用高镍铬合金制造,材质较贵,炉子的造价较高。

2. 管式加热炉的主要结构

虽然管式加热炉有各种各样的型式,但就结构而言,每种炉子大致可分为以下几个系统:炉体系统(包括炉墙和管架)、炉管系统(包括炉管、管架和回弯头)、燃烧系统(燃烧器,即火嘴)以及排烟(烟囱)系统。本书只重点介绍与加热炉传热密切相关的炉体、炉管和燃烧器系统三个部分。

1) 炉体系统

加热炉的炉体由炉墙和管架构成。管架的作用在于保护炉体和支撑炉子的各个系统,因此要有足够的强度,并尽力做到结构简单,节省钢材,便于操作和检修。

炉墙一般由耐热层、隔热层和保护层组成,参见图 1-9。

(1) 炉墙耐热层必须能耐一定的高温,可用耐火砖砌筑或采用耐热混凝土衬里。衬里材料是矾土水泥、轻质耐火砖碎粒(或陶粒)与蛭石碎粒按一定比例用水配制而成,然后用水泥喷枪分两次进行喷涂。第一次喷到一定厚度后,先将一定规格的镀锌铁丝网绑扎在保温钉上,然后再进行第二次喷涂,并将表面抹光,参见图 1-10。

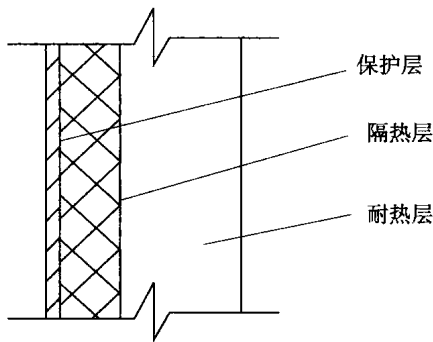


图 1-9 炉墙

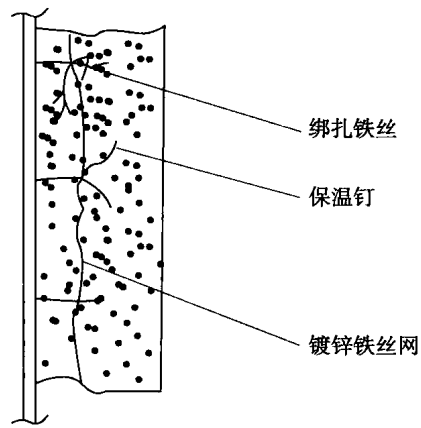


图 1-10 炉墙衬里结构示意图

与耐火砖相比,衬里的优点是结构简单、厚度薄、质量轻、施工制作简便和造价低。特别是采用大型预制块后,还可以加强加热炉的预制深度,缩短炉子的施工周期。因此衬里结构是炼厂管式加热炉炉衬的发展方向,国内正在研究使用。此外,还可以用陶瓷纤维作衬里,由于它具有耐高温、耐震动、绝热、吸音和质量轻等特点,国内也正在逐步发展。

(2) 炉墙隔热层(保温层)必须具有良好的保温性能,这就要求保温材料导