



普通高等教育“十三五”规划教材

管式加热炉

■ 朱玉琴 编著

中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

普通高等教育“十三五”规划教材

管式加热炉

朱玉琴 编著

中国石化出版社

内 容 提 要

本书详细介绍了管式加热炉的基本原理、工艺过程、设计方法和步骤以及节能等内容,总结了管式加热炉近年来在提高热效率、节能减排、防噪声等方面所取得的技术进步和新经验。

本书可作为高等院校化学工程与工艺及其相关专业本科生的教材,也可以作为从事化工设计、化工生产等工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

管式加热炉 / 朱玉琴编著. —北京: 中国石化出版社, 2016. 1
普通高等教育“十三五”规划教材
ISBN 978-7-5114-3714-3

I. ①管… II. ①朱… III. ①管式加热炉-高等学校-教材 IV. ①TE963

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 306198 号

未经本社书面授权,本书任何部分不得被复制、抄袭,或者以任何形式或任何方式传播。版权所有,侵权必究。

中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail:press@sinopec.com

北京富泰印刷有限责任公司印刷

全国各地新华书店经销

*

787×1092 毫米 16 开本 12.25 印张 304 千字

2016 年 1 月第 1 版 2016 年 1 月第 1 次印刷

定价:30.00 元

❖ 前 言 ❖

管式加热炉是石油加工和石油化工过程中的重要设备之一，担负着为石油加工和石油化工过程提供能量的重要任务。尤其是对易燃易爆的石油化工生产而言，绝大多数加热炉采用明火通过炉管直接加热管内易燃易爆的介质，其工作压力和温度较高，有些加热炉炉管中还有复杂的化学反应。因此，掌握管式加热炉的基本原理和知识，能正确设计、计算、选用和操作管式加热炉，对高等院校化工专业及相关专业的学生及从事生产管理和操作的工程技术人员而言是十分重要的。

本书从加热炉的基本理论、基本结构、设计计算方法和步骤、加热炉的节能技术和环境保护等方面进行编写。

第1章介绍加热炉的基本结构、类型和主要工艺指标，初步认识管式加热炉。第2~7章详细讲述加热炉的工艺设计计算方法和步骤。第8章讲述燃烧器的类型、选型和节能环保型燃烧器。第9章讲述管式加热炉的节能技术。第10章讲述燃料燃烧对大气的污染和防治措施。

本书第1~3章由钟汉斌编写；其余部分由朱玉琴编写。全书由张君涛教授主审。由于时间仓促和编者水平所限，对于本书中的不妥之处，恳请各位读者批评指正。

编 者

❖ 目 录 ❖

1 概述	(1)	2.2.2 过剩空气系数	(16)
1.1 管式加热炉的一般结构	(1)	2.3 烟气组成、烟气比焓和烟气的量	(18)
1.1.1 辐射室	(1)	2.3.1 燃料油的烟气组成、 烟气比焓和烟气的量	(18)
1.1.2 对流室	(2)	2.3.2 燃料气的烟气组成、 烟气比焓和烟气的量	(19)
1.1.3 余热回收系统	(2)	2.4 管式加热炉的热平衡和热效率	(21)
1.1.4 通风系统	(2)	2.4.1 热平衡	(21)
1.1.5 燃烧器	(3)	2.4.2 热效率	(21)
1.2 管式加热炉的主要工艺指标	(3)	2.4.3 燃料用量	(27)
1.2.1 热负荷	(3)	2.4.4 燃烧器数量的确定	(27)
1.2.2 炉膛体积热强度	(4)	3 气体和火焰的辐射	(28)
1.2.3 炉管表面热强度	(4)	3.1 气体的热辐射	(28)
1.2.4 加热炉的热效率	(5)	3.1.1 气体辐射的选择性	(28)
1.2.5 炉膛温度	(5)	3.1.2 气体辐射和吸收在 整个容积中进行	(29)
1.2.6 炉管内的介质流速和 全炉压力降	(5)	3.1.3 贝尔定律	(29)
1.3 管式加热炉的主要类型	(6)	3.1.4 平均射线行程 (有效辐射层厚度)	(30)
1.3.1 按外形分类	(6)	3.1.5 水蒸气、CO ₂ 和 SO ₂ 的黑度	(31)
1.3.2 选择炉型的基本原则	(9)	3.1.6 H ₂ O 和 CO ₂ 的吸收率	(34)
2 燃烧过程计算	(10)	3.1.7 烟气黑度和吸收率	(35)
2.1 燃料的种类、组成及发热值	(10)	3.2 火焰辐射	(35)
2.1.1 气体燃料	(10)	3.2.1 火焰类型及辐射特点	(35)
2.1.2 燃料油	(11)	3.2.2 辉焰的黑度	(36)
2.1.3 燃料的发热值	(14)		
2.2 理论空气量与过剩空气系数	(15)		
2.2.1 理论空气量	(15)		

4 辐射室传热计算	(37)	5.4.1 管内对流传热系数	(63)
4.1 罗伯-依万斯法	(37)	5.4.2 管外综合传热系数	(67)
4.1.1 辐射室的传热过程	(38)	5.4.3 管外结垢热阻	(72)
4.1.2 辐射室的传热速率方程式	(38)	5.4.4 对流室的总传热系数 ...	(72)
4.1.3 传热速率方程式中 各参数的确定	(39)	5.5 对流室的总表面积与表面热强度	(73)
4.1.4 辐射室热平衡方程式 ...	(45)	5.6 过热水蒸气管的计算	(73)
4.1.5 图解法确定辐射室热负荷和 烟气在辐射室出口的温度	(46)	5.7 对流室管壁温度	(74)
4.1.6 罗伯-依万斯方法的 编程数值计算法	(47)	5.7.1 光管管壁温度的计算方法	(74)
4.2 别洛康法	(48)	5.7.2 翅片管或钉头管管壁温度的 计算方法	(75)
4.2.1 别洛康法的基本方程式	(48)	6 炉管内压力降	(77)
4.2.2 别洛康法的解法	(51)	6.1 管内流速	(78)
4.2.3 别洛康法的编程数值计算	(53)	6.2 无相变时的压力降计算	(78)
4.3 蒙特卡罗法	(53)	6.3 有相变时的压力降计算	(80)
4.4 辐射室表面热强度及 主要结构尺寸的确定	(54)	6.3.1 汽化段炉管压力降的计算特点	(80)
4.4.1 辐射管表面热强度	(54)	6.3.2 流型及其判断	(81)
4.4.2 辐射管表面积	(57)	6.3.3 高流速限制	(83)
4.4.3 辐射管管径	(57)	6.3.4 压力降计算	(83)
4.4.4 辐射管管心距	(58)	6.4 相平衡计算	(87)
4.4.5 辐射室或炉膛尺寸	(58)	6.5 热平衡计算	(87)
4.4.6 遮蔽管	(60)	6.6 图解法	(88)
5 对流室传热计算	(61)	6.6.1 汽化点	(88)
5.1 对流室热负荷	(61)	6.6.2 汽化段炉管的当量长度	(88)
5.2 平均传热温度差	(61)	6.6.3 压力校核	(89)
5.3 对流室的主要尺寸	(62)	6.6.4 加热段炉管的当量长度和 压力降	(89)
5.4 对流总传热系数	(63)	7 自然通风和强制通风	(90)
		7.1 烟气流动阻力	(90)
		7.1.1 烟气流速	(90)

7.1.2 烟气沿烟道流动的压力降 Δp_1	(90)	8.2.5 半预混式燃料气喷嘴 ...	(113)
7.1.3 局部阻力产生的压降 ...	(92)	8.3 配风器	(114)
7.1.4 烟气流过对流室管排的压力降	(93)	8.4 燃烧道和预燃筒	(114)
7.1.5 烟气下行产生的压力降	(95)	8.5 管式加热炉用燃烧器	(115)
7.2 自然通风及其烟囱高度	(96)	8.5.1 管式加热炉用燃烧器的 选用注意事项	(115)
7.2.1 烟囱及炉子本身抽力 ...	(96)	8.5.2 油-气联合燃烧器.....	(116)
7.2.2 烟囱高度	(98)	8.5.3 燃料气燃烧器	(117)
7.2.3 烟囱直径	(99)	8.5.4 节能和环保型燃烧器介绍	(120)
7.3 强制通风和风机的选用	(100)	8.5.5 燃料系统	(123)
7.3.1 引风机的压头	(100)	9 管式加热炉的节能技术	(102)
7.3.2 风道系统的压力降及 通风机的压头	(100)	9.1 提高管式加热炉热效率的方法	(125)
7.3.3 通风机和引风机的选用	(100)	9.1.1 加热炉的热效率	(125)
7.3.4 烟囱高度的确定	(101)	9.1.2 优化换热流程, 提高换热终温, 降低管式加热炉热负荷 ...	(125)
8 燃烧器	(102)	9.1.3 集中回收余热	(125)
8.1 燃料油的燃烧及燃料油燃烧器	(102)	9.1.4 降低排烟温度 (减少排烟热损失)	(126)
8.1.1 液体燃料燃烧过程的特点	(102)	9.1.5 降低过剩空气系数	(127)
8.1.2 燃料油的雾化及雾化器	(104)	9.1.6 减少不完全燃烧损失 ...	(127)
8.2 燃料气的燃烧和燃料气喷嘴	(110)	9.1.7 减少散热损失	(127)
8.2.1 着火过程和强迫点燃 ...	(110)	9.2 低温露点腐蚀及其安全预防措施	(128)
8.2.2 火焰传播	(111)	9.2.1 低温腐蚀机理	(128)
8.2.3 预混燃烧和预混式燃料气喷嘴	(113)	9.2.2 影响低温腐蚀的因素 ...	(131)
8.2.4 扩散燃烧和外混式燃料气喷嘴	(113)	9.2.3 烟气露点温度的确定 ...	(133)
		9.2.4 防止低温腐蚀的措施 ...	(135)
		9.3 利用烟气余热预热空气	(137)
		9.3.1 钢管式空气预热器	(138)
		9.3.2 玻璃管空气预热器	(139)
		9.3.3 热管空气预热器	(140)

10 燃烧污染与防治 (159)	10.5.3 燃烧噪声的形成机理及其 控制方法..... (170)
10.1 燃烧与大气污染物..... (159)	附录 1 国产炉管规格 (173)
10.2 烟尘污染及其防治..... (159)	附录 2 管式加热炉炉管内膜结垢热阻 (175)
10.2.1 燃烧烟尘的种类..... (159)	附录 3 炼油厂加热炉炉管材料选用 (176)
10.2.2 影响烟尘生成的因素及其 控制途径..... (160)	附录 4 气体发热值 (177)
10.3 硫氧化物的生成与防治..... (161)	附录 5 常用燃料性质 (178)
10.3.1 SO_x 的生成与危害..... (161)	附录 6 气体热焓 (180)
10.3.2 SO_x 的防治方法..... (162)	附录 7 辐射换热的几何特性及角系数 (181)
10.4 NO_x 的生成与控制..... (164)	附录 8 管式加热炉中辐射面对管排的 角系数 (186)
10.4.1 NO_x 的种类与生成机理 (164)	参考文献 (188)
10.4.2 影响 NO_x 的因素..... (165)	
10.4.3 减少 NO_x 生成的措施... (165)	
10.5 燃烧噪声与控制..... (167)	
10.5.1 噪声的特性..... (167)	
10.5.2 燃烧噪声的类型(噪声源)和 噪声标准..... (169)	

1 概 述

炉子是利用燃料燃烧产生的热量将物质加热的热力设备。工业上有各种类型的炉子，如冶金炉、热处理炉、焚烧炉、窑炉和蒸汽锅炉等。石油加工、石油化工、化纤工业中使用的炉子一般是通过管子将油品或其他介质进行加热，故称为管式加热炉。

管式加热炉的作用是利用燃料在炉膛内燃烧时产生的高温火焰和烟气作为热源，加热炉管中高速流动的介质，使其达到后续工艺过程中所要求的温度或在炉管内进行化学反应所需要的热量，保证生产正常进行。

管式加热炉最初是作为取代炼油“釜式蒸锅”的工艺设备而发明的。炼油工业采用的管式加热炉始于1910年左右，逐渐成为工业生产中重要的加热设备。与其他工业炉相比，管式加热炉具有如下特点：

- ① 被加热介质在管内流动，故适用于加热气体或液体，而且通常是易燃易爆的烃类物质，所以，同锅炉加热水或蒸汽相比，危险性大，操作条件苛刻。
- ② 加热方式为直接受火式，加热温度高，传热能力大。
- ③ 只燃液体或气体燃料。
- ④ 长周期连续运转，便于管理。

鉴于此，管式加热炉性能优越，符合现代化工业生产自动化、连续化、大型化的要求，它的发展对石油等工业的发展和进步起到很大的推动作用，已成为该领域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。在一些生产过程中对产品质量、产品收率、能耗和操作周期等起着支配作用。

虽然管式加热炉有诸多优点，但是其燃料费用与基建费用都比较高，管炉结焦、烧穿、炉衬烧塌等事故也会迫使装置停工检修。因此，加热炉的选型、设计和良好的操作管理是装置正常生产，达到高处理量、高质量、高效率、低消耗和长周期运转的关键。

因此，掌握管式加热炉的基本原理和知识，能正确设计、计算、选用和操作管式加热炉，对高等院校化工专业及相关专业的学生及从事生产管理 and 操作的工程技术人员而言是十分重要的。

1.1 管式加热炉的一般结构

管式加热炉一般由5个主要部分组成：辐射室、对流室、余热回收系统、燃烧器和通风系统，如图1-1所示。

1.1.1 辐射室

辐射室(又称炉膛)是通过火焰或高温烟气进行辐射传热的部分，是加热炉热交换的主要场所，其热负荷约占全炉热负荷的70%~80%，它是全炉最重要的部分。由于火焰温度很高(高达1500~1800℃)，故不能直接冲刷炉管，以防止炉管结焦或被烧坏，并且必须充分考虑所用材料的强度、耐热性等。

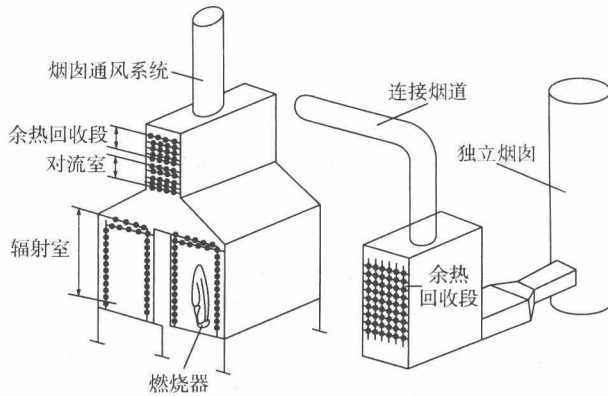


图 1-1 管式加热炉的一般结构

1.1.2 对流室

对流室是由辐射室出来的烟气进行对流换热或对流换热起主导作用的部分。进入对流室的烟气温度不能太低，否则会降低辐射室的传热效率，一般控制在 $700\sim 900^{\circ}\text{C}$ 。

对流室内密布多排炉管，烟气冲刷炉管，将热量传给管内介质。烟气冲刷炉管的速度越大，其传热能力就越大，所以对流室要窄而高些，管间距尽量小些。为了提高对流室的传热效率，常采用钉头管和翅片管以增加炉管的外表面积。

对流室一般担负全炉热负荷的 $20\%\sim 30\%$ 。对流室吸热量的比例越大，全炉热效率越高，这个比例最经济合理的选择应根据管内流体同烟气的温度差和烟气通过对流管排的压力损失等方面考虑决定。对流室一般布置在辐射室之上，与辐射室分开，单独放在地面上也可以。

1.1.3 余热回收系统

余热回收系统是回收离开对流室烟气中的余热部分。余热回收方式分“空气预热”和“废热锅炉”两种方式。前者是通过预热燃烧用的空气来回收烟气的热量，从而提高了燃料的燃烧速度和管式加热炉的热效率。后者是采用同炉子完全无关的水回收烟气的热量，产生温度较高的水或蒸汽供其他用户使用。一般采用强制循环方式，尽量放在对流室顶部。空气预热方式有直接安装在对流室上面的固定管式空气预热器和单独放在地面上的空气预热器等。固定管式空气预热器由于低温腐蚀和积灰的原因，不能长期保证较高的热效率。它的优点是同炉体结合在一体，设计和制造比较简便，适合热回收量不大时选用。为了避免低温腐蚀和提高空气预热器的传热效率，在石油加工和石油化工管式加热炉中一般选用热管式空气预热器。

目前，加热炉的余热回收系统多采用空气预热方式，通常只有高温管式炉（如烃蒸汽转化炉、乙烯裂解炉）和纯辐射炉才使用余热锅炉。这些炉子的排烟温度较高，安装余热回收系统后，加热炉的总效率可达到 90% 以上。

1.1.4 通风系统

通风系统是把燃料所用空气导入燃烧器，并将烟气引出炉子，分为自然通风和强制通风两种方式。自然通风加热炉依靠烟囱本身的抽力，不消耗机械功；强制通风则使用鼓风机和引风机。绝大多数炉子因为炉内烟气侧阻力不大，而采用自然通风方式。烟囱通常安装在炉

顶，烟囱高度要足以克服炉内烟气流动阻力。烟囱越高，抽力越大，辐射室进风量也大，所以要对抽力进行控制。因此，要在烟道内加烟气调节板，通过调节挡板的开度可控制抽力的大小，以保证炉膛内合适的负压。

近年来，随着环保要求的提高，石油化工企业已开始安装独立于炉群的超高型集合烟囱。这种烟囱通过烟道把若干台炉子的烟气收集起来，从 100m 左右的高处排放，以降低地面上污染气体的浓度。

随着管式加热炉性能的多元化，结构的复杂化，炉内烟气侧阻力增加，以及高效大功率燃烧器的应用和节能降耗工作的需要，强制通风方式越来越受到重视和使用。

1.1.5 燃烧器

燃烧器也称火嘴，它是实现燃料燃烧的工具，是加热炉的重要组成部分。燃烧器由燃料喷嘴、配风器、燃烧通道三部分组成。根据燃用燃料不同分为燃油燃烧器、燃气燃烧器和油-气联合燃烧器。燃烧器性能的好坏直接影响燃烧质量及炉子的热效率。由于燃烧火焰猛烈，必须特别重视火焰与炉管的间距以及燃烧器间的间隔，尽可能使炉膛受热均匀，使火焰不冲刷炉管并实现低氧、低氮完全燃烧。为此，要合理选择燃烧器的型号，仔细布置燃烧器。

1.2 管式加热炉的主要工艺指标

管式炉的类型很多，按用途分为纯加热和加热-反应炉。前者如常压炉、减压炉等，原料在炉内只起到加热(包括汽化)的作用；后者如裂解炉、焦化炉等，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。按炉内传热的主要方式可分为纯对流式、辐射-对流式和辐射式。按燃烧方式可分为火炬式和无焰燃烧式。根据炉型结构则可分为箱式炉、立式炉和圆筒炉等。

各种不同类型的管式炉都有其本身特性，但就炉内的传热过程而言，又有其共性。故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：

1.2.1 热负荷

每台管式加热炉单位时间内向管内介质传递的总热量称为有效热负荷，简称热负荷，单位一般为 MW，炉子的热负荷越大，其生产能力就越大。管内介质所吸热的热量用于介质的升温、汽化或化学反应。热负荷的理论值可根据介质在管内的工艺过程(加热、化学反应)进行计算。对纯加热炉，其热负荷的计算公式为

$$Q = m_F [eI_V + (1-e)I_L - I_i] + Q_0 \quad (1-1)$$

式中 Q ——加热炉计算总热负荷，kW；

m_F ——管内介质流量，kg/s；

e ——管内介质在炉出口的汽化率，用质量分数表示；

I_V ——炉出口温度下介质气相比焓，kJ/kg；

I_L ——炉出口温度下介质液相比焓，kJ/kg；

I_i ——炉入口温度下介质液相比焓，kJ/kg；

Q_0 ——其他热负荷，如过热蒸汽等，kW。

加热炉设计热负荷通常取计算值的 1.15~1.20 倍。

1.2.2 炉膛体积热强度

炉膛体积热强度是指单位时间内单位炉膛体积所传递的热量，单位是 kW/m^3 。此值越大，完成相同热任务所需的炉膛体积越小，炉子也越紧凑。

炉膛大小对燃料燃烧的稳定性有影响，一方面，如果炉膛体积过小，即炉膛体积热强度越大，则燃烧空间不够，火焰容易舔到炉管和管架上，炉膛温度也高，不利于加热炉的长周期安全运行；另一方面，燃料在炉膛内的停留时间缩短，不利于重质燃料的完全燃烧。因此，炉膛体积热强度不允许过大，一般控制在燃油时小于 $125\text{kW}/\text{m}^3$ ，燃气时小于 $165\text{kW}/\text{m}^3$ 。

1.2.3 炉管表面热强度

炉管表面热强度是指单位时间内单位炉管表面积所传递的热量，单位一般为 kW/m^2 。此值越大，完成相同热任务所需的传热面积越小，使用的炉管就越少，降低了投资费用。

炉管表面热强度分为辐射炉管表面热强度和对流炉管表面热强度，由于沿炉管长度和圆周方向的受热不均匀，炉管表面热强度一般均指所有炉管的平均值。炉管表面热强度的选取值与许多因素有关，例如管内介质的特性、管内介质的流速、炉型、炉管材质、炉管尺寸和炉管的排列方式。推荐的辐射炉管表面热强度的经验值见表 1-1。

为了提高对流室的传热，近年来对流炉管的外侧大量使用了钉头或翅片（管内被加热的介质为液体或水蒸气时）。钉头管或翅片管的对流表面热强度习惯上仍按炉管外径计算表面积，而不计钉头或翅片本身的面积。钉头管或翅片管按此计算出的热强度一般是光管的两倍以上，即一根钉头管或翅片管相当于两根以上光管的传热能力。

表 1-1 辐射炉管表面热强度与管内介质流速 (20°C) 的推荐值

序号	炉别	辐射管表面热强度/ (W/m^2)	冷油流速/ (m/s)	压力降/ 10^5Pa
1	常压炉	立管 25580~34880(10号碳钢)	0.61~1.52	6.86~14.71
		横管 40700~48840(Cr5Mo)	0.61~1.52	6.86~14.71
2	减压炉	立管 25580~34880(Cr5Mo)	0.15~1.36	2.94~5.88
		横管 38370~46510(Cr5Mo)	0.15~1.36	2.94~5.88
3	催化原料加热炉	横管 38370~46510(Cr5Mo)	1.02~1.36	—
		立管 2640~30230	1.02~1.36	—
4	延迟焦化炉	横管 32560~38370(Cr5Mo)	2.38	—
5	减黏炉	25580~29070	0.61~2.04	—
6	沥青加热炉	16280~19770	—	17.65~24.52
7	铂重整炉	26740~32560	1.52~1.72	—
8	铂重整热载体炉	25580~29070	—	—
9	加氢精制炉	25580~29070	—	—
10	酚精制炉	17440~23260	—	—
11	糠醛精制炉	17440~23260	—	—
12	丙烷脱沥青炉	18600~23260	—	—

1.2.4 加热炉的热效率

加热炉的热效率是指炉子供给被加热介质的有效热量与燃烧放出的总热量之比；它表示炉子提供的能量被有效利用的程度，以百分数表示。

热效率是衡量燃料利用情况，评价炉子设计和操作水平、标定炉子性能的重要指标。热效率越高，完成相同热任务所消耗的燃料越少。早期加热炉的热效率只有 60%~70%，现在已达到 85%~88%，最新的技术水平接近 92%。随着节能降耗工作的深入，在避免低温腐蚀的情况下，加热炉的热效率将不断得到提高。根据中国石油化工集团公司企业标准《一般炼油装置用火焰加热炉》(SH/T 3036—2012)的规定：按长周期运行设计的管式炉，当燃料中硫含量小于或等于 0.1%时，管式炉的热效率不低于表 1-2 中的指标。当燃料中的硫含量大于 0.1%时，且在设计参数、结构和选材上缺乏有效防止露点腐蚀的具体措施时，应按炉子尾部换热面最低金属壁温大于烟气酸露点腐蚀温度(低温腐蚀温度)来确定炉子的热效率。

表 1-2 燃料基本不含硫管式炉热效率指标

炉负荷	一般管式炉设计热负荷/MW							转化炉或裂解炉
	<1	<1~2	>2~3	>3~6	>6~12	>12~24	>24	
热效率/%	55	65	75	80	84	88	90	91

1.2.5 炉膛温度

炉膛温度(又称火墙温度)是指烟气离开辐射室进入对流室时的温度，它代表炉膛内烟气温度的高低，是加热炉操作中重要的控制指标。

炉膛温度高，说明辐射室传热强度大。但炉膛温度过高，则表示燃料燃烧释放的热量多，火焰太猛烈，容易烧坏炉管和管板等。为了保证加热炉长周期安全运行，一般把炉膛温度控制在 850℃以下，烃类蒸气转化炉、乙烯裂解炉等个别加热炉的炉膛温度可在 900℃以上。

1.2.6 炉管内的介质流速和全炉压力降

全炉压力降是指被加热介质从加热炉炉管入口至炉管出口的压力降之和。其大小与管内介质流速密切相关。液体介质在炉管内的流速越低，则速度边界层层流底层越厚，传热系数越小，管壁温度就越高，介质在炉管内的停留时间越长。结果是有的介质易结焦，炉管易损坏。但流速过高又增加炉管内压力降，增加了管路系统的动力消耗。因此，应在合适的范围内力求提高流速。

管内流速一般用管内介质的质量流速表示，其单位为 $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ，用下式计算：

$$G_F = \frac{m_F}{N \times A_0} \quad (1-2)$$

式中 G_F ——管内介质的质量流速， $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ；

m_F ——管内介质流量， kg/s ；

N ——管程数；

A_0 ——一根炉管的流通面积， m^2 。

各类用途的管式加热炉管内介质流速的推荐值见表 1-1。

各种管式加热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；提高炉膛热强度，缩小炉子体积，以节省设备投资；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 年管式加热炉首次用于炼油工业以来，各种不同炉型的出现，基本上都是围绕上述目的，从传热方式、燃烧方式、炉管排列方式、炉型结构等方面加以改进的。

1.3 管式加热炉的主要类型

1.3.1 按外形分类

管式加热炉主要按外形来分类。按外形大致可分为箱式炉、立式炉、圆筒炉、大型方炉四种类型。这种划分方法是按辐射室的外观形状，而与对流室无关。

(1) 箱式炉

箱式炉是一种较老的炉型，其常用结构如图 1-2 和图 1-3 所示。

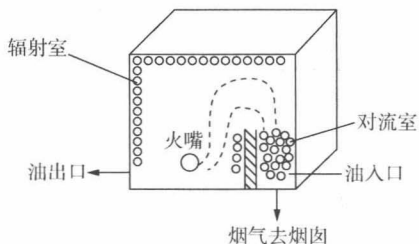


图 1-2 方箱炉

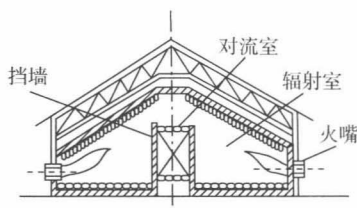


图 1-3 斜顶炉

箱式炉操作和维修比较简单，可使用低质量的燃料油。但炉管受热不均，靠近火墙顶部的几排炉管常因局部过热而烧毁，炉管表面平均热强度较低；烟道气经对流室向下流动，阻力大，需在炉外另建烟囱；炉顶为悬挂式，结构复杂。与其他炉型相比，其主要缺点是钢材耗量多，占地面积大，造价较高。故目前方箱炉除国内一些较老的工厂和输油泵站仍使用外，新建装置基本不采用。

(2) 立式炉

图 1-4 是卧(横)管立式炉的结构示意图。炉体呈长方形，炉子分上、中、下三部分。下部为辐射室即炉膛，其宽度要窄一些，其两侧的间距与炉膛高度之比约为 1:2。辐射室内沿炉墙两侧水平方向排列(横卧)着辐射管，底部装有燃烧器(火嘴)；中部为对流室，内有对流管管束；上部是钢质的烟囱，内有烟道挡板，用以调节烟囱抽力，保证燃料正常燃烧。卧管立式炉实际上是由方箱炉发展改进过来的。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，阻力损失小，大大降低了烟囱高度，且无需在炉体另行建设烟囱；③取消炉顶吊挂，使结构简化，造价降低。

由于炉管卧放，对于气-液两相混流的物流，其流动状态好，不会发生气-液分层流动。缺点是合金中间管架用量多；炉外需留出抽管空间，占地面积大。

图 1-5 是一种改良过的卧管立式炉，称双室立式炉或 UOP 型炉。其特点是炉膛中部增

设一道火墙，火焰贴墙而上。由于中间火墙能起到辐射面的作用，并避免两排火嘴的火焰互相干扰，故传热情况比其他类型的立式炉要好。

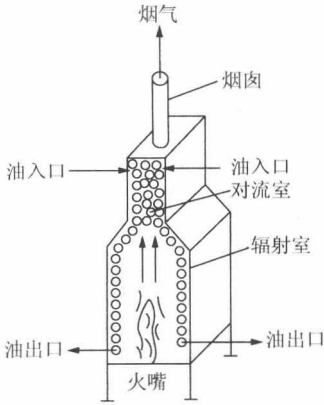


图 1-4 卧管立式炉

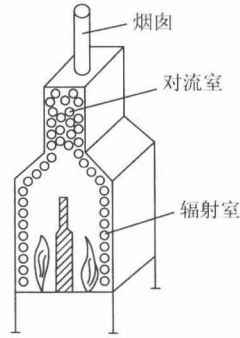


图 1-5 双室立式炉

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 1-6)。这是国外 20 世纪 60 年代开始出现的一种炉型，炉内辐射管由水平布置改为垂直布置。这样，不但炉管支撑可以用自由悬挂式，顶部吊架放到炉膛外部，节省了大量合金钢材，而且便于提高炉子的生产能力。一般负荷大于 29MW 的加热炉，多选用此种炉型。目前国外最大的带独立对流室的立管立式炉(BIPM 型)如图 1-7 所示，其单台炉子热负荷已达 58MW。国内“重炉-102”的单台热负荷在 47MW 以上，在年加工 2.5Mt 原油炼厂的常压炉上采用较多。

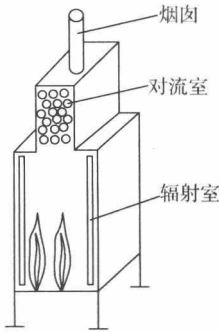


图 1-6 立管立式炉

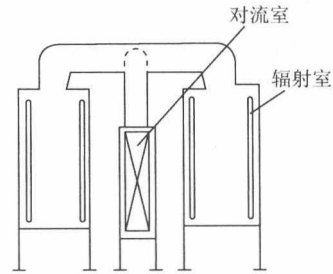


图 1-7 BIPM 炉型

图 1-8 所示的双阶梯炉实际上是一种大型的立管立式炉，只不过将侧面做成 2~3 个台阶，用扁平火嘴喷出的火焰直接加热炉墙，赤热的炉墙再向炉管辐射传热，使炉管受热更加均匀，但炉子结构比较复杂，多用于高温加热的裂解炉和焦化炉等。

无焰燃烧炉(图 1-9)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(比一般老式炉高 75%~100%)。但火嘴与炉墙结构复杂，造价较高，又只能使用气体燃料，一般用于操作条件苛刻，油品容易结焦，对热分布均匀性要求较高的焦化炉、乙烯裂解炉和高温制氢炉等。

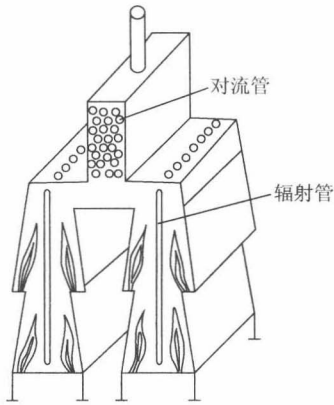


图 1-8 双阶梯炉

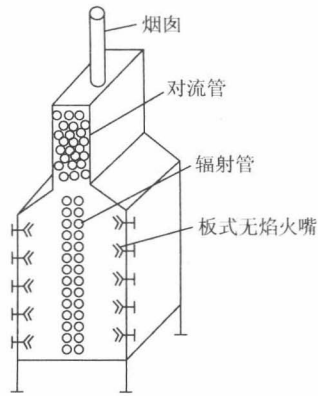


图 1-9 无焰燃烧炉

(3) 圆筒炉

圆筒炉是目前炼厂使用较多的炉型，其基本形状(空心圆筒炉)如图 1-10 所示。炉子分上、中、下三部分。下部为圆筒形辐射室，辐射管沿炉膛周围立式排列，底部装有一圈上烧式燃烧器；中部是方形对流室，对流室可采用钉头管或翅片管；顶部是烟囱，内有烟道挡板以调节空气量。

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

为了改善炉管沿长度受热的不均匀性，国外开始采用分层加热的圆筒炉，即把燃烧器布置在几个高度进行分层燃烧，这样不但可以提高辐射管的炉管表面热强度，而且加大了高径比，使炉子的热负荷与热效率均有所提高。

图 1-11 是一种辐射室带反射锥体的圆筒炉，顶部的反射锥大大增加了炉膛内的反射面积，改善了炉管沿长度的受热均匀性。当炉子烧劣质燃料(如含大量硫、钒的重油)时，反射锥容易腐蚀损坏，燃烧器的火焰尖部也容易舔到反射锥，使其烧坏。另外反射锥需要高铬镍合金钢制造，材质贵重(一般约占炉子设备费的 15%)，炉子造价较高。

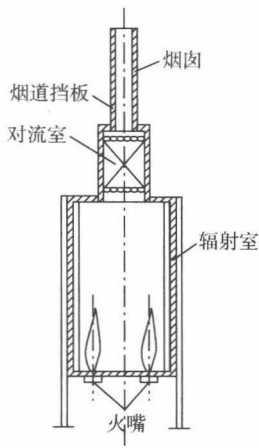


图 1-10 空心圆筒炉

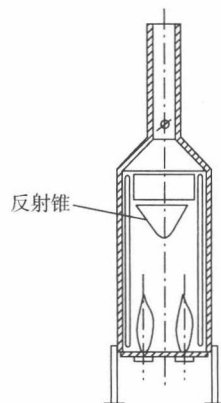


图 1-11 带反射锥的圆筒炉

有的圆筒炉，对流室不设置在顶部而设在辐射室旁边，单独建造烟囱，并采用强制通风，这样可以加大对流室和增加废热回收装置，提高炉子的热效率。

(4) 大型方炉

如图 1-12 所示，大型方炉是用两排炉管把炉膛分成若干小间，每间设置一或两个大容量高强燃烧器。分割可以沿两个方向进行，称之为“十字交叉”分割法。它通常把对流室单独放在地面上，还可把几台炉子的烟囱由烟道汇集起来，送进一个公用的对流室或余热锅炉。这种炉子结构简单，占地面积少，便于余热回收，容易实现多炉集中排烟，减轻大气污染。它是专为超大型加热炉而开发的。

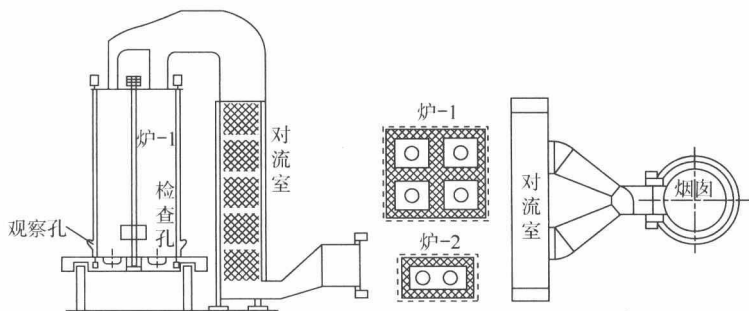


图 1-12 大型方炉

1.3.2 选择炉型的基本原则

选择炉型没有具体原则，具体情况要作具体分析。一般选型时参考如下原则。

① 在满足工艺要求的前提下，从结构、制造、投资费用、占地面积、燃料消耗和热效率等方面进行全面的技术经济指标的比较，对施工周期、难易程度也要考虑，然后确定炉型。一般情况下优先选用辐射室立管加热炉，它的优点有：炉管的支承结构简单，辐射管架合金钢用量少；炉管不承受由自重引起的弯曲应力；管系的热膨胀易于处理；炉旁不需预留抽炉管的空地等；辐射室横管加热炉在沿炉管长度方向上受热均匀、表面热强度较高。仅在下列特殊情况下具有优势：一般在高温、高压、高流速、易结焦等条件下的管式加热炉；被加热介质易结焦或堵塞，炉管要求用带堵头的回弯头连接，便于除焦或清洗；要求能完全排空；管内为混相状态，要求流动平稳、可靠等，如延迟焦化炉、裂解炉等。

② 对一般用途的中小负荷炉子，宜优先考虑立式圆筒炉。

③ 当几种油品或其他介质合用一个加热炉时，可选用多膛立管立式炉。制氢炉一般采用双面辐射无焰炉或双面辐射附墙火焰炉，如阶梯炉。

④ 《石油化工管式炉设计规范》(SHJ 36—1991)在第 2.0.2 条中提出了下列意见：

- a. 设计热负荷小于 1MW 时，宜采用纯辐射圆筒炉；
- b. 设计热负荷为 1~30MW 时，应优先选用辐射-对流型圆筒炉；
- c. 设计负荷大于 30MW 时，应通过对比选用炉膛中间管排的圆筒炉、立式炉、箱式炉或其他炉型；
- d. 被加热介质易结焦时，宜采用横管立式炉；
- e. 被加热介质流量小且压降小时，一般采用螺旋管圆筒炉；
- f. 被加热介质流量大，压降小时(如重整炉)，可采用 U 形管(或环形管)加热炉；
- g. 使用材料价格昂贵的炉管，应选用双面辐射管排的炉型。