

设备安全运行与管理 丛书

管式加热炉 安全运行与管理

徐 彬 张麦贵 编著
韩剑敏 审核

3

中国石化出版社

设备安全运行与管理丛书

管式加热炉 安全运行与管理

徐 彬 张麦贵 编著
韩剑敏 审核

中国石化出版社

内 容 提 要

本书介绍了管式加热炉的基本知识、工艺过程、操作原则和技巧、安全管理及其管式加热炉的结构、零部件、材料等基本知识。总结了管式加热炉近年来在提高热效率、技术进步、节能降耗、防污染、防噪音等方面所取得的新经验。掌握这些基础知识,对了解管式加热炉的基本工艺过程,熟悉运行、操作的基本步骤、方法,保证安全、高效、长周期运转,提高管理水平等,都是极其重要的。

本书较好地管式加热炉的基础理论、现场运行操作、安全管理和检修维护等结合起来,既有理论依据,也有推广价值的现场实际经验、操作方法等。书中推荐了常用的和较成熟的计算方法、经验取值,力求简便,利于现场应用;编入了一些计算图表和操作数据,使读者在一定条件下可以比较、参考。

本书贴近生产实际,适合于生产一线操作人员的培训,也可供现场工程技术人员和管理人员阅读、参考。

图书在版编目(CIP)数据

管式加热炉安全运行与管理/徐彬,张麦贵编著.
—北京:中国石化出版社,2005
(设备安全运行与管理丛书)
ISBN 7-80164-821-8

I. 管… II. ①徐… ②张… III. 管式炉-安全技术
IV. TE963

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 049572 号

中国石化出版社出版发行

地址 北京东城区安定门内大街 58 号

邮编 100011 电话: (010) 8771850

读者服务部电话: (010) 874289974

<http://www.sinopec.com>

E-mail: press@sinopec.com

北京精美实华图文制作中心排版

河北天普润印刷厂印刷

新华书店北京发行所经销

*

850 × 1168 毫米 32 开本 7.5 印张 195 千字
2005 年 6 月第 1 版 2005 年 6 月第 1 次印刷

定价: 18.00 元



管式加热炉担负着为炼油和石油化工加工过程提供能量的任务，具有举足轻重的地位。特别是对于易燃易爆的石油化工生产来说，绝大部分加热炉采用明火通过炉管直接加热原料的方式，其介质多为易燃易爆，工作压力和温度较高，某些加热炉炉管中还有复杂的化学反应，这在安全管理、生产操作、节能降耗、日常维护、事故处理、长周期运行等诸多方面给操作人员和管理人员提出了更高的要求，同时对保护环境和安全生产也有着重要的意义。

为提高加热炉操作人员和管理人员的理论、操作素质和应变事故的能力，作者结合在实际工作中积累的经验、解决复杂技术问题取得的成果和一些事故案例，本着理论联系实际的精神，从加热炉的用途、结构、燃烧、传热、节能、运行操作、维护检修和安全管理等方面组织编写了《管式加热炉安全运行与管理》一书。

本书介绍了与管式加热炉相关的简便计算、操作运行、安全管理和检维修等相关的各种技术知识，力求系统、全面和贴近现场实际，由浅入深、深入浅出，既有相关的基础知识，又有解决日常操作运行、检维修中遇到问题的分析方法和经验。希望读者能用较少的时间掌握较多的实际操作经验和分析问题的方法。在掌握基本理论、清楚设备结构和工作原理的基础上，能很快具备

独立解决操作运行和检维修中遇到的疑难操作技术问题的能力。通过对近年来一些典型管式加热炉事故案例发生经过和原因的剖析，深刻地揭示了所吸取的教训和应采取的防范措施，这对我们进一步搞好安全生产，提高企业经济效益起到极大的促进作用。书中也介绍了一些与加热炉相关的新材料、新技术以扩展读者的视野。

本书由徐彬主编。其中第一章至第五章由徐彬编写，第六章由张麦贵编写，第七章由宋建国和徐彬编写，第八章由王伟编写。在本书的编写过程中还得到了一些朋友的支持和帮助。

由于编写者掌握的知识水平有限，再加上新材料、新技术、新设备的不断运用，书中难免有谬误之处，恳请广大读者提出宝贵意见。

在编写本书的过程中，我们参阅了国内关于加热炉方面的一些著作，引用了某些材料，在此表示衷心的感谢！

徐 彬

第一章 管式加热炉概述	(1)
1.1 管式加热炉的发展史	(1)
1.2 管式加热炉的种类	(6)
1.3 管式加热炉的一般结构	(14)
1.4 管式加热炉的主要技术指标	(16)
第二章 管式加热炉用燃料的燃烧	(22)
2.1 燃料的种类、组成及燃烧计算	(22)
2.2 管式加热炉热平衡和热效率的计算	(33)
2.3 辐射传热	(40)
2.4 对流传热	(61)
第三章 燃烧器	(76)
3.1 概述	(76)
3.2 燃料气的燃烧及其燃烧器	(77)
3.3 燃料油的燃烧及其燃烧器	(85)
3.4 管式加热炉用燃烧器	(94)
第四章 加热炉的材料对炉子安全运行的影响	(112)
4.1 炉管材料的安全使用性能	(112)
4.2 加热炉炉体材料的安全管理	(123)
第五章 管式加热炉的节能	(133)
5.1 提高加热炉热效率和装置节能的关系	(133)
5.2 低温露点腐蚀的安全预防措施	(139)
第六章 管式加热炉的安全运行	(146)
6.1 烘炉	(146)
6.2 加热炉的开停工操作	(149)
6.3 加热炉的正常操作	(155)
6.4 加热炉的烧焦操作	(167)

目 录

6.5	加热炉的炉管清扫	(171)
6.6	加热炉的温度监控	(172)
6.7	加热炉的压力监控	(175)
6.8	燃烧过剩空气量的监控	(177)
第七章	管式加热炉的安全管理	(179)
7.1	管理制度	(179)
7.2	操作人员维护职责	(183)
7.3	燃烧的安全管理	(184)
7.4	加热炉炉管的损坏处理	(187)
7.5	燃烧器的故障处理	(193)
7.6	炉子的操作范围	(195)
7.7	安全措施	(198)
7.8	事故处理	(200)
7.9	管式加热炉的事故案例	(208)
第八章	管式加热炉的检修	(225)
8.1	炉管的检查	(225)
8.2	衬里的检查与修复	(229)
8.3	燃烧器的检查与修复	(230)
8.4	余热回收系统的检查与修复	(230)
8.5	控制系统的检查与修复	(233)
8.6	其他部件及安全设施的检查	(233)
	参考文献	(234)

第一章 管式加热炉概述

1.1 管式加热炉的发展史

一台设备，拥有用耐火材料包围的燃烧室，利用燃料燃烧释放出的热量将物质(固体或液体)加热，这样的设备通称加热炉或炉子。工业上有各种各样的炉子，如石油加工工艺炉、蒸汽锅炉、热处理炉、冶金炉、窑炉、焚烧炉等。

本书所论述的“管式加热炉”，是石油炼制、石油化工和化学、化纤工业装置中所使用的具有提供热源的火力加热设备，里面安装由无缝钢管连接而成的管排，通过钢管将油品或其他介质进行加热到一定温度的加热炉。

原油的最初利用是以获取灯油为目的。要从原油里分离出产品，就需要有提供热源的设备，那时生产规模不大，蒸馏工艺不十分成熟，所用设备也比较简陋。加热设备为单独釜，釜上配有精馏柱，称为蒸馏釜。如图 1-1 所示，把釜中的原油加热，就可以把原油中各个沸点不同的馏分依次蒸出。蒸出的馏分经冷凝冷却后分别收集起来，得到汽油和灯油馏分，釜底留下较重的残余物。蒸完所需的产品后，冷却蒸馏釜，放掉釜底残留物，重新加料，操作是间断进行的。为提高原油处理量，把几个或许多单独釜并联起来操作，发展成连续釜。单独釜的操作是间断的，但整个装置的生产是连续的。后来连续釜也不能适应工业大发展的需要，在 1890 年以后，出现了管式加热炉，这在工业发展上是一个很大的突破。初期的管式加热炉与蒸馏釜相比有如下优点：

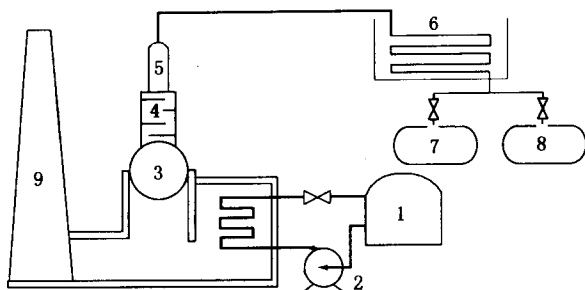


图 1-1 单独釜的生产过程

1—燃料油罐；2—燃料油泵；3—单独釜；4—精馏柱；
5—部分冷却器；6—冷凝冷却器；7、8—产品罐；9—烟囱

(1) 蒸馏釜蒸馏的加热表面是釜底，管式加热炉的加热表面是炉管的表面。庞大的单独釜的传热面积只要少数几根炉管便可代替。在传热面积相同的情况下，节省钢材耗量，占地面积小。

(2) 从石油加工工艺上来看，初期管式加热炉可以使渐次气化变为一次平衡气化，设备可以进行连续操作，可适应工业化大生产的需要，能实现仪表自动化控制，比较安全，热效率高。

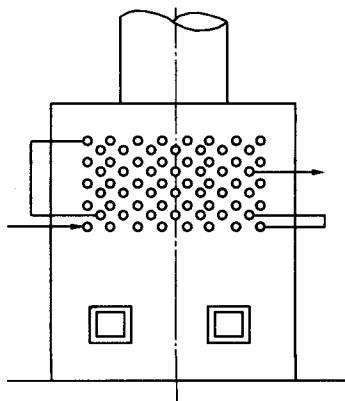


图 1-2 堆形管式加热炉

初期的管式加热炉如图 1-2 所示，传热面是由一些管束组成。炉管连接成排，若干管排架成堆，组成管束。炉管和炉管间的连接配件也在炉膛内，最下一排炉管的表面热强度高达 $50000 \sim 70000 \text{W/m}^2$ ，而最上一排炉管的表面热强度不过 $800 \sim 1000 \text{W/m}^2$ ，炉管受热均匀程度极差。这样，最下一排炉管常常被

烧坏，炉管的连接件也易松漏，引起火灾。上层的炉管受热很少，炉子的热效率不高。炉膛中只有第一排炉管接受火焰和烟气的辐射热，燃料燃烧释放出的热量很少通过辐射方式传出，烟气的温度非常高，高温烟气扫过下层炉管，造成炉管热强度过高，极易烧坏。于是又出现了全对流管式加热炉，如图 1-3 所示。

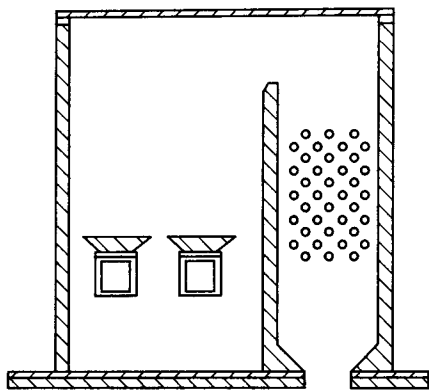


图 1-3 全对流管式加热炉

这种全对流管式加热炉，它只设对流管，当时的设想是用火墙把炉管和燃烧室隔开，来解决炉管过热的问题。但是，在实际操作中发现燃烧后高温烟气进入对流室前，没有和一个吸热面进行热交换，烟气温度高达 1000°C ，温度过高的烟气仍会将前几排炉管烧坏。为降低火墙上的烟气温度，采用了增加大量过剩空气的办法，但降低了炉子的热效率，并引起炉管的表面氧化加剧。

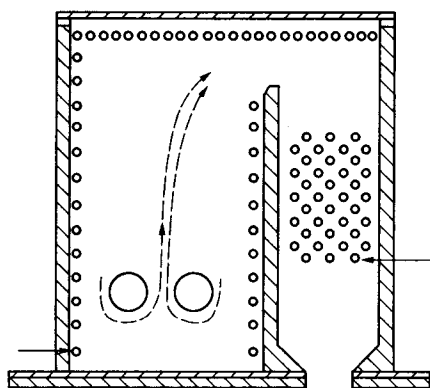


图 1-4 方箱管式加热炉

后来人们发现，在燃烧室内安装一些炉管，不仅可以取走部分热量降低烟气温度，避免对流室上层炉管过热烧坏的问题，而且可利用高温辐射传热强度大的特点，节省炉管，减小炉子体积，也比较安全。因此，具有辐射室和对流室的方箱管式加热炉出现了。初期的代表为图 1-4 所示的箱式加热炉。

这种箱式炉是现代各种炉型的始祖。

在方箱炉中，对流室上层炉管被烧坏的问题解决了，但由于它的形状仍使部分炉管受热过多，限制了全部炉管表面热强度的提高，还有一些部位的炉管处于死角状态。方箱炉的顶辐射管最早是垂直于火墙排列的，由于火墙上的温度高，辐射管易烧坏，后来改为辐射管平行于火墙的排列方式，减少了被烧坏的炉管数量，但并没有解决火墙上炉管易烧坏的矛盾。方箱炉又发展为斜顶炉，这种炉子，加大了靠近火墙的顶辐射管与火墙的距离，在一定程度上减少了接近火墙的辐射管与接近火嘴的辐射管表面热强度的差值，减少了炉膛的死角。但却加大了底排辐射管与上述两位置处的辐射管表面热强度的差值。在操作不正常时，易发生底辐射管烧弯、烧坏的现象。因此，辐射管表面热强度的不均匀性，就成为管式加热炉技术改进的主要问题。另外，斜顶炉的炉膛体积大、占地面积大、材料消耗多，也有待改进。为缩小炉膛体积，需要改变火嘴的位置，以免造成局部过热。再者，炉管表面热强度不均匀性的危害很大，在表面热强度过高的地方，会引起管中介质分解、结焦。

加热炉的不断改进和发展，力求提高炉管平均表面热强度，减少炉管数量，从而降低钢材耗用量，节省投资。但炉管表面热强度的不均匀性，限制了平均热强度的进一步提高。为解决炉管受热不均的问题出现了一系列新的炉型。应运而生的圆筒立式加热炉就是其中之一，这种加热炉将炉管排列成一个圆圈，垂直分布在炉壁的周围，使炉子成为圆筒形，沿炉管圆周方向的受热比较均匀。这种炉型的炉膛体积小，占地面积小，制造方便，是比较广泛采用的炉型之一。为解决炉管沿长度方向的受热不均匀性，将火嘴置于炉膛的各个不同高度的部位，于是，又发展产生了阶梯炉。在改进炉管排列和火嘴不同高度布置的同时，为使炉管受热均匀，一是采用多火嘴，均匀分布在炉底或炉壁两侧；二是改进火嘴结构，发展大能量、高效燃烧器，使燃料能迅速而完

全地向炉管均匀供热。

上述改进，都使炉管表面热强度的均匀性大为增加，但仍有局限性。原因是在上述炉型中，炉管面向高温火焰的这一面上的表面热强度显然比背向火焰的一面要高。炉管表面热强度的均匀性包括两个方面，一是炉管和炉管之间的均匀性，上述的改进主要是解决这个问题。二是同一根炉管向火焰的一面和背火焰的一面也存在着不均匀性，这个问题尚待解决。由此产生了两面辐射式加热炉。

管式加热炉炉管各部分受热均匀是炉子改进的一个方面。但炉管各段所负担的任务不同，它所需要吸收的热量并不一定要求均匀。因此，在管式加热炉的设计和操作中，在力求炉管各个部位受热均匀的同时，还应根据其工艺要求，使炉管从整体上有合理的分布。

管式加热炉逐渐成为工业生产中重要的加热设备，同其他工业炉相比有如下特点：

(1) 被加热介质在管内流动，故适用于加热液体或气体，通常是易燃、易爆的烃类物质，同锅炉加热水产蒸汽相比，危险性大、操作条件苛刻。

(2) 加热方式为直接受火式。

(3) 烧气体或液体燃料。

(4) 长周期连续运行。

综上所述，管式加热炉的产生、发展、改进，始终是在满足工艺要求、安全长周期运转的前提下，围绕降低燃料消耗和节省投资费用进行的。而这些是由炉管表面受热的均匀性和炉管表面的利用率决定的，它们之间的关系是相互联系、相互制约而又相互促进的关系。加热炉的发展史就是在不断解决它们之间矛盾的历史。管式加热炉性能优越，符合现代工业生产自动化、连续化、大型化的要求，它的发展对石化等工业的发展、进步起到了很大的推动作用，在一些生产过程中对产品质量、产品收率、能

耗和操作周期甚至起着重要的支配作用。因此，从事生产管理 and 操作的人员认真了解、学习、总结加热炉的设计、计算、安全运行、维修和管理等经验是十分必要的。

1.2 管式加热炉的种类

管式加热炉在工业生产中的作用是利用燃料在炉膛内燃烧时产生的高温火焰与烟气作为热源，加热炉管中高速流动的介质，使其达到后续工艺过程所要求的温度或在炉管内进行化学反应。管式加热炉的炉型有几十种，通常按外形或用途来分类。

一、管式加热炉的分类

管式加热炉的类型无统一的划分方法，最常用的有2种，一种是按外形，可分为4类：箱式炉、立式炉、圆筒炉、大型方炉。这种划分是按辐射室的外观形状区分，而与对流室无关。例如：箱式炉顾名思义其辐射室为一箱子状的六面体；立式炉辐射室为直立状的六面体，其宽度要窄一些，两侧墙的间距与炉膛高度之比约为1:2。圆筒炉、大型方炉的名称也是如此而来。另一种是从工艺用途上来分，如常压炉、减压炉、焦化炉、制氢炉、沥青炉等。除上述划分外，还有按炉室数目分类的，如双室炉、三合一炉、多室炉等；按传热方式分类的有纯辐射炉、纯对流炉、对流-辐射炉等；按受热方式分类的有单面辐射炉及双面辐射炉等；按用途可大致有以下几类分法，炉管内进行化学反应的、加热液体的、加热气体的和加热气、液混相流体的加热炉。它们分别有如下特性：

(1) 炉管内进行化学反应的加热炉。在这种炉子炉管内发生吸热反应，是加热炉技术的最高水平。它分为2种：①炉管内装有催化剂，如烃类水蒸气转化炉、炼油制氢炉；②炉管内不装有催化剂，如乙烯裂解炉。它们不但从炉子吸热，而且要满足管路

中各段在化学反应方面的各种条件，如温度、压力、流量和热输入量等方面的要求。

(2) 加热液体的加热炉。它分3种：①管内无相变化，单纯的液体加热炉。这种加热炉把液体加热到其沸点以下，终温低管内结焦和腐蚀少，易操作；②炉管入口为液体、出口为气、液混相的加热炉。在工业生产过程中，常常有被加热的流体在气、液混相的状态下进入蒸馏塔的要求时，才使用这种炉子，它的操作重点是把握好吸热量、气化率、压降、温度之间的关系；③进口为液相，出口全部气化的加热炉。这种炉子是作为反应器进料加热炉，它把液体加热到一定温度使之完全气化，然后送入工艺反应器。这种反应器的操作条件在生产运行中是变化的，操作温度、压力常常变化较大，控制好它的变化范围，防止裂解、积炭、结焦的发生。

(3) 气体加热炉大多在较高温度下操作，介质是气相，结焦的可能性不大，如水蒸气的过热、工艺气体的预热就使用这种炉子。当气体量很大时，炉管的管程较多，必须从结构上保证各路流量均匀，防止偏流。

(4) 加热混相流体的加热炉炉管内流体从入口进来就是气、液混相，较纯气体加热炉更难保证各路流量的均匀性，它与炉管的管径、质量流速、炉管程数、管内流动状态和分叉管结构等有关。

二、几种常用炉型

1. 箱式炉

箱式炉是一种较老的炉型，分为方箱炉(图1-5)和斜顶炉(图1-6)两种。

方箱炉又分为横管(图1-7)或立管方箱炉(图1-8)和顶烧炉(图1-9)等。横管或立管方箱炉的炉型结构基本一致，只是炉管布置一个为横管、一个为立管。它们的优点是只要增加中间

的隔墙数目，就可在炉膛体积热强度不变的前提下，“积木组合式”地将炉子放大，适用于负荷较大的大型炉，主要缺点是敷管率低，炉管需要合金吊挂，造价高，需设立独立烟囱等。

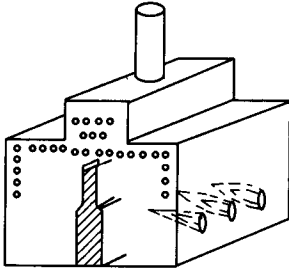


图 1-5 方箱炉

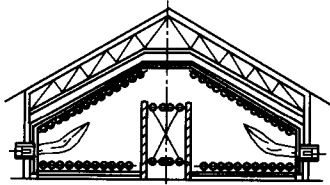


图 1-6 斜顶炉

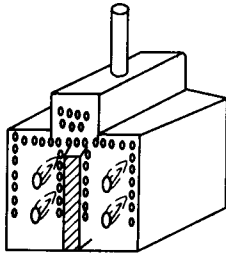


图 1-7 横管方箱炉

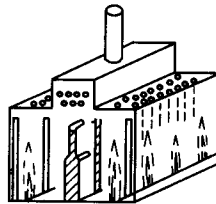


图 1-8 立管方箱炉

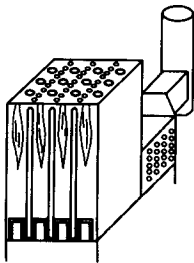


图 1-9 顶烧炉

顶烧炉(图 1-9)的燃烧器和辐射炉管是交错排列的，单排管双面辐射，沿管子整个圆周的热分布均匀，燃烧器顶烧，对流室和烟囱在地面。缺点是用于单纯加热不经济。常在合成氨厂用它作为大型烃蒸汽转化炉的炉型。

斜顶炉(图 1-6)是由方箱炉演变而来，它是将炉膛烟气流死区去掉变成斜顶而

成，常用的是双顶炉。由于改成斜顶，使箱式炉的受热不均匀性有所改善，处理量也可增大；其对流室在中间，烟气下行经地下或地面烟道排入烟囱内，也可在烟道处加空气预热器，提高炉子热效率。此型炉除老装置使用外，新建装置基本不采用。

由于方箱炉和斜顶炉这两种炉型具有占地面积大、构造复杂、金属耗用量大、造价高的缺点，现已逐步被淘汰。取而代之的是后来被广泛使用的炉型——立式炉。

2. 立式炉

最常用的立式炉有卧管立式炉、附墙火焰立式炉、立管立式炉、无焰燃烧炉和阶梯炉等。

卧管立式炉(图 1-10)的传热方式与箱式炉相似。炉管布置在两侧，中间是一列底烧的燃烧器，烟气由辐射室经对流室、烟囱一直上行。燃烧器能量小、数量多，在炉子中间形成一道火焰墙，以提高辐射传热效果。目前使用的立式炉多采用这一炉型。

附墙火焰立式炉(图 1-11)炉膛中间为一排横管，火焰附墙而上，把两侧墙壁烧红，使火墙成为良好的热辐射体，以提高辐射传热的效果，它可增加炉膛内的辐射面积，具有比卧管立式炉传热强度高、受热均匀的特点，目前成为高压加氢、焦化等装置的主流炉型。

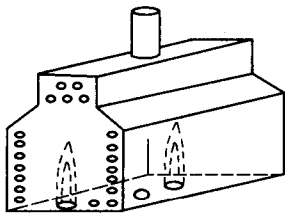


图 1-10 卧管立式炉

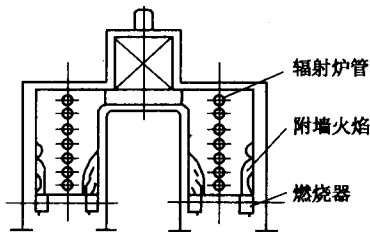


图 1-11 附墙火焰立式炉

环形管立式炉(图 1-12)采用多根弯成 U 字形的炉管把火焰包围起来,适用于炉管管程多,管内压降小的场合。随炉子热负荷的增大, U 形弯可增加 2~3 个,如图 1-13。大型催化重整的反应器进料加热炉大多选用此炉型。

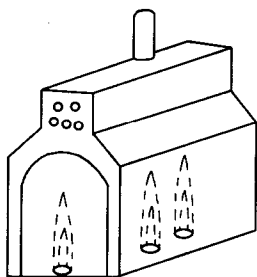


图 1-12 环形管立式炉

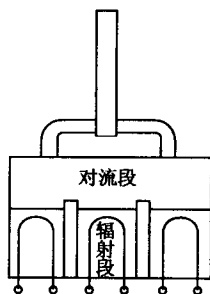
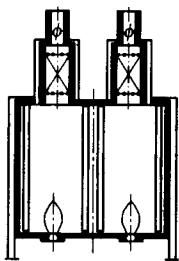


图 1-13 多环形管立式炉

图 1-14 立管
立式炉

立管立式炉(图 1-14)是我国首创的炉型,炉膛中的炉管沿墙直立排列,与横管立式炉相比可节省大量高铬镍钢的材料,并保留了立式炉的优点,常用作高热负荷的大型加热炉的炉型。

无焰燃烧炉和阶梯炉这两种炉都是单排管双面辐射炉型。无焰燃烧炉(图 1-15)的侧壁装有许多小能量气体无焰燃烧器,使整个侧壁成为均匀的辐射面,具有良好的加热均匀性,并可分区调节温度,是乙烯裂解和烃类蒸气转化最合适的炉型之一。缺点是造价昂贵,用于纯加热经济性差。阶梯炉(图 1-16)是在每级“阶梯”的底部安装一排产生扁平附墙火焰的燃烧器。燃烧器的数量较无焰燃烧炉的少,造价也低,但加热程度和分区调节特性不如无焰燃烧炉。