

石油化工厂设备检修手册

中国石化出版社

石油分册

代有凡 主编

石油化工厂设备检修手册

第七分册 加 热 炉

代 有 凡 主 编

罗 弘 董 国 华 苗 一 编

中 国 石 化 出 版 社

(京)新登字048号

内 容 提 要

本书为《石油化工厂设备检修手册》第七分册。书中较为详细地介绍了当前国内外石油化工加热炉运行损伤、常见故障及检维修技术,并结合国内实际情况,提供了一些较为先进的检修方法和技术数据。主要内容有:加热炉基础知识介绍,炉管系统、炉墙结构、燃烧器、钢结构等的检查、安装与维修,管式炉附属设备与配件,控制系统及检测仪表,管式炉的运行损伤及检验方法,管式炉检修规程要点等。本书内容丰富、实用性强。

本书可供炼油厂和石油化工厂从事加热炉检查、维修、操作和管理的人员以及设计、制造、安装人员使用,并可供大专院校有关专业的师生参考。

责任编辑:李集义 王金祐

封面设计:况 晗

责任校对:袁 霄

石油化工厂设备检修手册

第七分册 加热炉

代有凡 主编

罗弘 董国华 苗一 编

中国石化出版社出版发行

(北京朝阳区太阳宫路甲1号 邮政编码:100029)

海丰印刷厂排版

海丰印刷厂印刷

新华书店北京发行所经销

787×1092毫米 16开本 36 $\frac{1}{2}$ 印张 3插页 928千字 印1—3600

1995年2月北京第1版 1995年2月北京第1次印刷

ISBN 7-80043-539-3/TQ·349 定价:38.00元 (简)

ISBN 7-80043-547-4/TQ·358 定价:45.00元 (精)

出版说明

《石油化工厂设备检修手册》是在原《炼油厂设备检修手册》的基础上补充、修订、编写而成的。原手册共有五个分册，已于1980年前后陆续出版。十年来，这套丛书为我国炼油工业的发展作出了应有的贡献，得到了现场工程技术人员的好评。

随着科学技术的飞速发展，我国的炼油工业技术水平不断提高，管理水平日趋完善，石油化学工业也犹如初升的太阳，在国家经济建设中占有越来越重要的地位。老装置的技术改造，新装置的建设和投产，以及各种技术条件、标准及规范的变化，对设备检修技术及管理水平提出了新的要求。因此，迫切需要重新组织编写一套设备检修丛书，这就是《石油化工厂设备检修手册》诞生的由来。

本手册以国家、部委颁发的最新规范、标准为准绳，密切联系生产实际，力求解决检修现场带有普遍性的问题，跟上检修技术不断发展的步伐。这次修订，增加了土建工程、防腐工程、吊装工程三个分册；并把转动设备和静止设备按类别划分为数个分册。同时，对原有各分册的内容也进行了充实，在原来以炼油厂设备检修为主线的基础上，注意增加了石油化工厂设备检修方面的内容。修订后的手册在具体内容上，更加深入地接触了检修现场的实际情况。

修订后的《石油化工厂设备检修手册》的内容包括：基础数据、焊接、土建工程、防腐工程、泵、压缩机、容器、加热炉、换热器、工艺管线、吊装工程十一个分册，将陆续组织出版。在组织编写过程中，得到了中国石油化工总公司、中国石油天然气总公司、石油大学等有关方面的大力支持，使手册得以顺利出版，特此表示感谢。

本分册由中国石油化工总公司抚顺石油化工公司副总工程师、高级工程师代有凡同志主编，编写人员有罗弘、董国华、苗一等同志，沈阳化工学院宋贵良副教授审阅。在本书的资料收集、整理和编写过程中，曾得到李惠民、孙正文、刘东、聂向前等同志的热情帮助，在此致以深切的谢意。

本书是炼油厂、石油化工厂、化工厂、建筑安装公司和检修公司等企业中从事石油化工设备检修、管理的工程技术人员、干部必不可少的工具书，也可供其它有关专业工程技术人员参考。

目 录

出版说明

第一章 管式加热炉基础知识 1	
第一节 管式加热炉种类与用途..... 1	
第二节 管式加热炉的传热及抽力..... 20	
第三节 几种常用的管式炉..... 71	
参考文献	
第二章 炉管系统及其检修 131	
第一节 炉管及管件..... 131	
第二节 炉管的焊接..... 150	
第三节 炉管的胀接..... 165	
第四节 管内结焦与管外灰垢..... 177	
第五节 炉管的变形及损伤..... 184	
第六节 高温炉管..... 192	
第七节 集合管与支管..... 199	
第八节 炉管系统水压试验..... 203	
参考文献	
第三章 炉墙结构与检查及修补 207	
第一节 炉墙结构..... 207	
第二节 检修与维护..... 232	
参考文献	
第四章 燃烧器及其检修与维护 251	
第一节 燃气嘴与燃油嘴..... 251	
第二节 油-气联合燃烧器..... 264	
参考文献	
第五章 钢结构安装与检查 285	
第一节 钢结构作用与施工要求..... 285	
第二节 型钢接板与加强板..... 319	
第三节 引进管式裂解炉安装检验实例..... 351	
参考文献	

第六章 管式炉附属设备与配件 358	
第一节 空气预热器结构与维修..... 358	
第二节 配件与通用件..... 375	
参考文献	
第七章 控制、操作及检测仪表 432	
第一节 控制原理与“三门一板”调节..... 432	
第二节 热效率检测..... 442	
第三节 常用检测仪器与仪表..... 462	
参考文献	
第八章 管式炉的运行损伤与检验方法 471	
第一节 金属腐蚀损伤..... 471	
第二节 裂纹、变形、泄漏..... 487	
第三节 常规检验方法..... 495	
第四节 无损探伤检查..... 505	
第五节 全面检验实例..... 530	
参考文献	
第九章 管式炉完好标准内容与检修规程	
要点 545	
第一节 完好标准与岗位责任制..... 545	
第二节 炼油炉维护检修规程要点..... 548	
第三节 裂解炉维护检修规程要点..... 553	
第四节 转化炉维护检修规程要点..... 559	
第五节 管式炉受压元件缺陷的处理..... 562	
第六节 管式炉使用中易出现的事故和故障..... 572	
参考文献	

第一章 管式加热炉基础知识

第一节 管式加热炉种类与用途

§ 1-1-1 管式加热炉的地位与作用

管式加热炉是石油炼制、石油化工、化肥、化纤工业中使用的重要加热设备，同其它工业炉相比有如下特点：

①被加热物质在管内流动，故仅限于加热气体或液体，通常都是易燃、易爆的烃类物质，同锅炉加热水产生蒸汽相比，危险性大且操作条件苛刻。

②加热方式为直接受火式。

③主要烧气体或液体燃料。

④长周期连续运转，不间断操作。

炼油工业采用管式加热炉，始于1901年，最初是用它取代炼油“釜式蒸锅”，它的诞生使炼油工艺从古老的“间歇釜式蒸馏”进入到近代的“连续管式蒸馏”方式，并逐步得到发展。

管式加热炉在生产乙烯、氢气、氨等过程中，已成为进行裂解、转化反应的“心脏”设备，对整个装置的生产质量，产品收率，能耗和操作周期等起着重要作用。

管式加热炉的基建费用，一般约占炼油装置总投资的10%，在重整制氢和裂解等装置中约占25%。炼油厂加热炉消耗的燃料占全厂燃料总消耗的65~80%。因此，管式加热炉在石油化工生产中占有举足轻重的地位。

管式加热炉在生产工艺过程中的作用，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物料，使其在管内进行化学反应，或达到后续工艺过程所要求的温度。

§ 1-1-2 管式加热炉的分类与特征

各种管式加热炉通常可按外形或用途来分类。

一、按外形分类

按外形大致可分为以下四类：箱式炉，立式炉，圆筒炉，大型方炉。

这种划分方法是按辐射室的外观形状区分，而与对流室无关。例如：所谓箱式炉，顾名思义其辐射室为一箱子状的六面体。所谓立式炉，其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。

(一) 箱式炉

1. 横管和立管大型箱式炉

如图1.1-1、图1.1-2所示，这两种炉型结构基本一致，只是一为横管、一为立管。它们的优点是只要增加中央的隔墙数目，可在炉膛体积热强度不变的前提下，“积木组合式”地

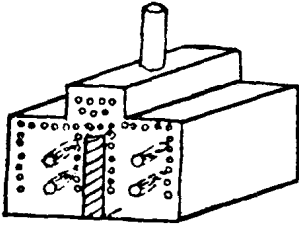


图 1.1-1 横管大型箱式炉

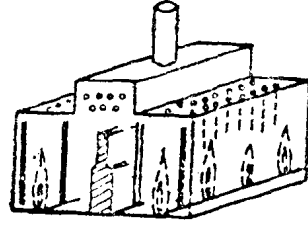


图 1.1-2 立管大型箱式炉

把炉子放大。该炉型适合于大型炉，其主要缺点是敷管率低，炉管需要合金吊挂，造价高，需设独立烟囱等。

2. 顶烧式炉

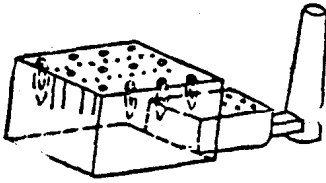


图 1.1-3 顶烧式炉

图1.1-3为顶烧式炉。这种炉子的燃烧器和辐射炉管交错排列，单根管双面辐射，管子沿整个圆周的热分布均匀，燃烧器顶烧，对流室和烟囱在地面。它的缺点是炉子体积大，造价较高，用于单纯加热不经济。目前，在合成氨厂常用它作为大型烃蒸汽转化炉的炉型。

3. 斜顶炉

图1.1-4为斜顶炉，它由箱式炉演变而来，砍去其炉膛烟气流动死区而变成斜顶炉。常用的是双斜顶炉。由于改成斜顶，使箱式炉受热不均匀性有所改善，处理量也可加大。其对流室在中间，烟气下行经地下或地面烟道排入烟囱内，也可在烟道处加装空气预热器，提高炉子热效率。这种炉子没有克服箱式炉的其它缺点，除老装置原有使用外，新建装置很少采用。

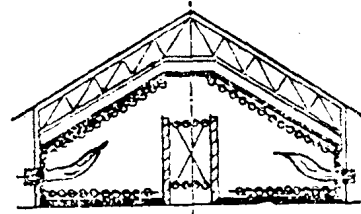


图 1.1-4 斜顶炉

(二) 立式炉

1. 底烧横管立式炉

图1.1-5为底烧横管立式炉，传热方式与箱式炉相似，辐射室保持了立式炉特点。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。其燃烧器能量小，数量多，在炉子中央形成一道火焰膜，以提高辐射传热效果。目前使用的立式炉多数采用这一型式。

2. 附墙火焰立式炉

图1.1-6为附墙火焰立式炉，这种立式炉炉膛中有火墙，它可增加炉膛内辐射面积，提

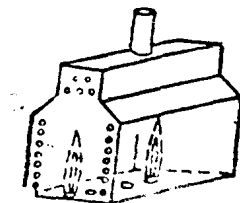


图 1.1-5 底烧横管立式炉

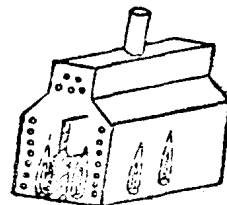


图 1.1-6 附墙火焰立式炉

高炉管受热强度，同时将辐射室分成两室，每室可各走一路油品，分别调节温度。

3. 环形管立式炉

图1.1-7为环形管立式炉，这种炉子用多根U形炉管把火焰包围起来，适用于炉管路数多，要求管内压力降小的场合。随炉子热负荷的增大，U形弯可增加到两个甚至三个，如图1.1-8所示。

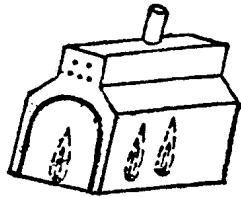


图 1.1-7 环形管立式炉

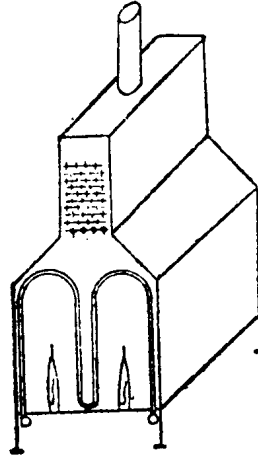


图 1.1-8 多个环形管立式炉

4. 立管立式炉

图1.1-9为立管立式炉，是我国首创的炉型。其炉管沿墙直立排列，与横管立式炉相比可节省大量高铬镍钢管架，并保留了立式炉的优点，大热负荷加热炉常选用这种炉型。

5. 无焰燃烧炉、阶梯炉

这两种炉子都是单排管双面辐射炉型。图1-10为无焰燃烧炉，其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辐射面，这种炉型有优良的加热均匀性，并可分区调节温度，它是乙烯裂解和烃类蒸汽转化最合适的炉型之一，但造价昂贵，用于纯加热非常不经济。

图1.1-11炉型称为阶梯炉，它在每级“阶梯”的底部安装一排扁平附墙火焰的燃烧器。燃烧器的数量较无焰燃烧炉少，造价也低，但加热均匀程度和分区调节特性不及无焰燃烧炉。

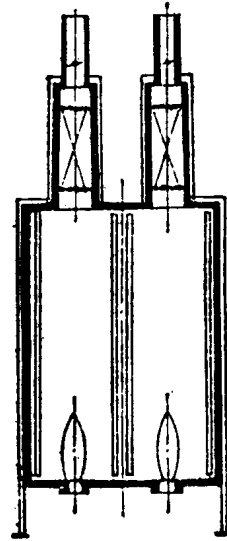


图 1.1-9 立管立式炉

(三) 立式圆筒炉

1. 螺旋管式、纯辐射式炉

当炉子热负荷很小，热效率要求不高，可采用这两种炉型。它结构简单，造价低。

图1.1-12为螺旋管式炉，其炉管盘绕成螺旋状，它属于立式炉型，但其管内特性更接近于水平管，能完全排空，管内压降小。主要缺点是被加热介质通常走一路（管程数为1）。

图1.1-13为纯辐射式炉，没有对流室，火嘴在炉底，炉管直立沿炉墙排成一圈。它结构简单，重量较轻，但热效率低。

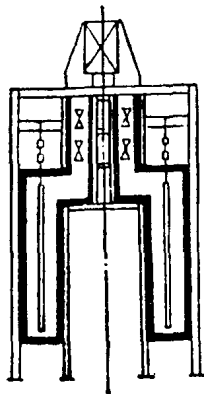


图 1.1-10 无焰燃烧炉

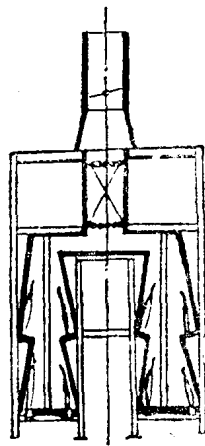


图 1.1-11 阶梯炉

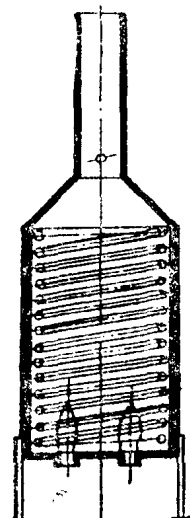


图 1.1-12 螺旋管式炉

图1.1-14表示在纯辐射式圆筒炉顶部加个辐射锥，以提高上部炉管的受热强度，使炉管全长受热均匀。辐射锥要用昂贵的高铬镍钢制成，且容易烧毁或腐蚀损坏，故近年来很少使用辐射锥了。

2. 辐射-对流式炉

图1.1-15为辐射-对流式炉，它已成为现代普遍被采用的炉型。它在辐射室顶部增加了水平管式对流室，并采用钉头管和翅片管，热效率较高。但结构复杂，金属用量大，通常对流管面积不宜太大，一般要小于辐射炉管面积。国内这种炉型的高径比约为1.7~2.5。

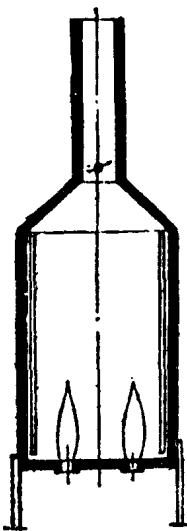


图 1.1-13 纯辐射式炉

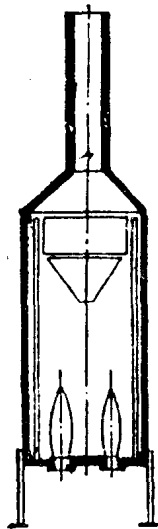


图 1.1-14 纯辐射锥式炉

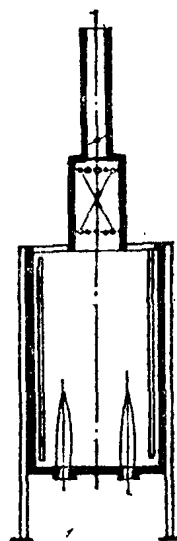


图 1.1-15 辐射-对流式炉

(四) 大型方炉

图1.1-16为大型方炉，它用两排炉管把炉膛分成若干小间，每间设置一或两个大能量高强燃烧器，分隔可沿两个方向进行，称之为“十字交叉”分隔法。它通常把对流室单独放在地面上，还有把几台炉子的烟气用烟道汇集起来，送进一个公用的对流室或废热锅炉。

这种炉子结构简单，节省占地，便于回收余热，容易实现多炉集中排烟，减轻大气污染。

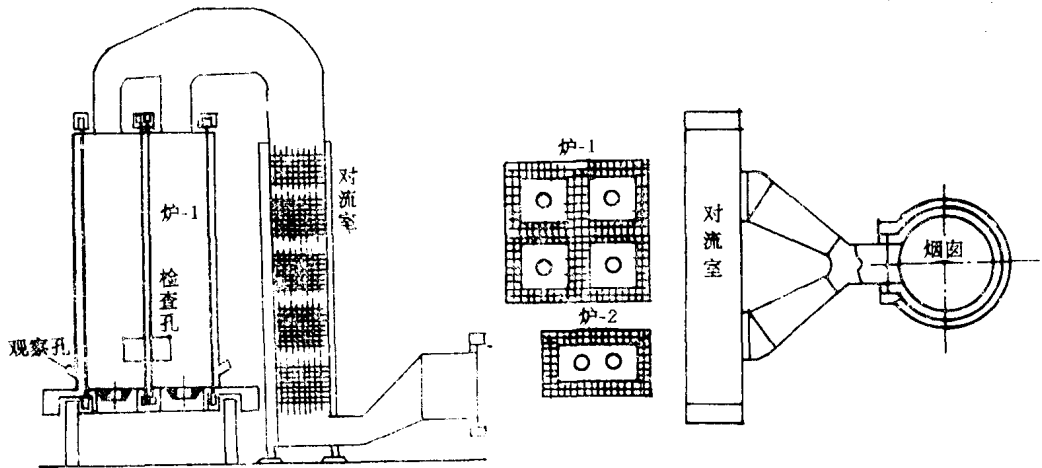


图 1.1-16 大型方炉

二、按用途分类

管式加热炉按用途可大致分为以下几类：

(一) 炉管内进行化学反应的炉子

它分为两种：

1. 炉管内装有催化剂，如烃类蒸汽转化炉。
2. 炉管内不装催化剂，如乙烯裂解炉。

无论其中哪一种，不仅要求从炉内取热，而且要满足各段管路化学反应及正常运行的各种条件，如温度、压力、流量和热输入量等。

(二) 加热液体的炉子

这类炉子可分为三种：

(1) 管内无相变化，单纯的液体加热炉。

就是把液体加热到其沸点以下的加热炉。它加热的终温低，管内结焦和腐蚀也小，操作容易。

(2) 炉管入口为液相，出口为气、液混相的炉子。

在炼油过程中，要求被加工的流体在气、液混相状态下进入蒸馏塔时使用这种加热炉。在全部工艺加热炉中它的数量较多。

(3) 入口为液相，出口全部汽化的炉子。

这种炉子是反应器的进料加热炉，它把液体完全汽化，加热到饱和温度，然后送入工艺反应器。由于反应器的操作条件在运转期中是变化的，所以炉子的操作温度和压力等也往往变化很大。

(三) 气体加热炉

水蒸气的过热，工艺气体的预热都使用这种炉子。它是纯气相，多在较高温度下操作，一般情况下结焦的可能性不大。

(四) 加热混相流体的炉子

这种炉子常用于加氢精制、加氢裂化等装置的反应器进料加热。由于管内流体从炉子入口起是气、液混相，较上述纯气体加热炉更难保证各路流量的均匀性。这与炉管的管径、重量流速、盘管路数、管内流动状态和分叉管结构等有关。

§ 1-1-3 管式加热炉的一般构成

管式加热炉一般由辐射室、对流室、余热回收系统、燃烧及通风系统五部分组成，如图 1.1-17 所示。其结构通常包括：钢结构、炉管、炉墙（内衬）、燃烧器、孔类配件等。

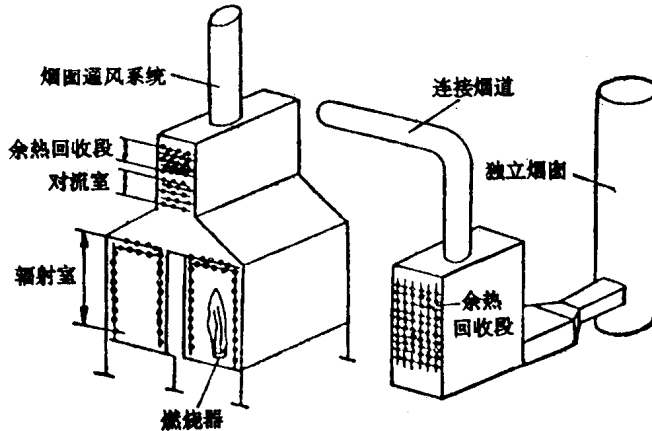


图 1.1-17 管式加热炉的一般结构

一、辐射室

辐射室是加热炉进行热交换的主要场所，其热负荷约占全炉的70~80%。烃类蒸汽转化炉、乙烯裂解炉的反应和裂解过程全部由辐射室来完成。

辐射室内的炉管，通过火焰或高温烟气进行传热，以辐射热为主，故称之为辐射管。它直接受火焰辐射冲刷，温度高，其材料要具有足够的高温强度和高温化学稳定性。

二、对流室

对流室是靠辐射室排出的高温烟气进行对流传热来加热物料。烟气以较高速度冲刷炉管管壁，进行有效的对流传热，其热负荷约占全炉的20~30%。对流室一般布置在辐射室之上，有的单独放在地面。为了提高传热效果，多采用钉头管和翅片管。

三、余热回收系统

余热回收系统用以回收加热炉的排烟余热。回收方法有两类：一是靠预热燃烧空气来回收，使回收的热量再次返回炉中；另一类是采用另外的系统回收热量。前者称为空气预热方式，后者通用水回收称为废热锅炉方式。例如，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，还有单独放在地面上的回转式空气预热器等型式。

目前，炉子的余热回收系统采用空气预热方式为多，通常只有高温管式炉（烃类蒸汽转化炉、乙烯裂解炉）和纯辐射炉才使用废热锅炉。这些炉子的排烟温度较高，安装余热回收系统后，炉子的总热效率可达到88~90%。

四、燃烧器

燃烧器的作用是完成燃料的燃烧过程，为热交换提供热量。燃烧器由燃料喷嘴、配风器、燃烧道三部分组成。燃烧器按所用燃料不同可分为三类：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。操作时，特别注意火焰要保持刚直有力，调整火嘴尽可能使炉膛受热均匀，避免火焰舔炉管，并实现低氧燃烧。

要保证燃烧质量和热效率，还必须有可靠的燃料供应系统和良好的空气预热系统。

五、通风系统

通风系统的作用是把燃烧用空气导入燃烧器，将废烟气引出炉子。它分为自然通风和强制通风两种方式。前者依靠烟囱本身的抽力；后者使用风机。

过去，绝大多数炉子都采用自然通风方式，烟囱通常安装在炉顶。近年来，随着炉子结构的复杂化，炉内烟气侧阻力增大，加之提高炉子热效率的需要，采用强制通风方式日趋普遍。

六、主要结构

(一) 钢结构

钢结构是管式炉的承载骨架。管式炉的其它构件依附于钢结构，其基本元件是各种型钢，通过焊接或螺栓连接构成管式炉的骨架。老式管式炉，如方箱炉、斜顶炉等，其钢结构与整个管式炉投资的比重较小，近代管式炉其钢结构的投资比例越来越大。

(二) 炉墙

管式炉的炉墙结构主要有三种类型：耐火砖结构、耐火混凝土结构和耐火纤维结构。其中耐火砖结构又分为：砌砖炉墙、挂砖炉墙和拉砖炉墙。拉砖炉墙是目前应用比较广泛的炉墙，尤其是温度较高的管式加热炉，如裂解炉和转化炉。有关炉墙的具体结构，详见本书第三章。

(三) 炉管

管式炉炉管是物料摄取热量的媒介。按受热方式不同可分为辐射炉管和对流炉管，前者设置于辐射室内，后者设置于对流室内。为强化传热，对流管往往采用翅片管或钉头管，其安装方式多采用水平安装。有关炉管内容，详见第二章。

(四) 其它配件

管式炉配件较多，主要有看火孔、点火孔、炉用人孔、防爆门、吹灰器、烟囱挡板等。

§ 1-1-4 主要技术指标

一、热负荷

每台管式加热炉单位时间内管内介质吸收的热量称为有效热负荷，简称热负荷，单位为kW。

管内介质所吸收的热量用于升温、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。

加热炉的设计热负荷 Q 通常取计算热负荷 Q' 的1.15~1.2倍。其热负荷的大小表示炉子生产能力的大小。

二、炉膛体积热强度

炉膛单位体积在单位时间内燃料燃烧的放热量，称为炉膛体积热强度。其单位为kW/m³，即

$$g_v = \frac{BQ_1}{3600V} \quad (1-1)$$

式中 g_v ——炉膛体积热强度，kW/m³；

B ——燃料用量，kg/h；

Q ——燃料低热值，kJ/kg燃料；

V ——炉膛（辐射室）体积， m^3 。

g_v 值越大炉膛温度越高，不利于长周期安全运行，因此炉膛体积热强度不允许过大，一般控制在 $1.16 \times 10^{-2} \text{ kW}/m^3$ 以下。

三、辐射表面热强度

辐射炉管单位表面积（一般按炉管外径计算表面积），单位时间内所传递的热量称为炉管的辐射表面热强度 g_R ，亦称为辐射热通量或热流率，其单位为 kW/m^2 。

g_R 表示辐射室炉管传热强度的大小。应注意 g_R 一般指辐射室所有炉管的平均值。由于辐射室内各部位受热不一致，不同的炉管以及同一根炉管的不同部位，实际局部热强度很不相同。

g_R 值越大，完成一定加热任务所需的辐射炉管就越少，辐射室体积越紧凑，投资也可降低，所以要尽可能提高炉管表面热强度。

各种炉子辐射管热强度推荐经验值见表1.1-1。

表 1.1-1 单面辐射、单排管的平均表面热强度

序 号	加 热 炉 名 称	辐射管平均表面热强度 (kW/m^2)	
		圆筒炉或立管立式炉	卧 管 立 式 炉
1	常压蒸馏炉	25.582~37.210	37.210~48.838
2	减压蒸馏炉	23.256~34.884	34.884~44.186
3	催化裂化炉	26.744~34.884	38.372~46.512
4	焦化炉	—	32.558~38.372
5	催化重整炉	23.256~32.558	26.744~38.372
6	预加氢炉	24.419~34.884	—
7	减粘炉	23.256~29.070	25.582~37.210
8	加氢精制炉	23.256~31.396	—
9	脱蜡油炉	23.256~31.396	—
10	丙烷脱沥青炉	18.605~23.256	—
11	氧化沥青炉	16.279~19.768	—
12	酚精制炉	17.442~23.256	—
13	糠醛精制炉	17.442~23.256	—

四、对流表面热强度

对流炉管单位面积在单位时间内所传递的热量称为对流表面热强度，其单位为 kW/m^2 。

目前，加热炉对流室多以钉头管或翅片管代替过去的光管，以强化传热。钉头管或翅片管的热强度一般为光管的两倍以上。也就是说，一根钉头管或翅片管相当于两根以上光管的传热能力。

五、热效率

加热炉有效利用的热量与燃料燃烧时所放出的总热量之比叫热效率，以百分率表示：

$$\eta = \frac{\text{被加热介质吸收的有效热量}}{\text{燃料供给炉子的总热量}}$$

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，运行越经济，说明燃料的有效利用率越高，燃料消耗量下降。

六、火墙温度

火墙温度又称炉膛温度，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，是炉子操作中重要的控制指标。

火墙温度高,说明辐射室传热强度高。火墙温度过高时,炉管易结焦,甚至烧坏炉管和管板等。所以火墙温度一般控制在约850℃以下(烃类蒸汽转化炉、乙烯裂解炉,炉温可达900℃以上)。

§ 1-1-5 管式炉的节能改造

管式加热炉是炼油化工生产中主要耗能设备。以炼油厂为例,加热炉的能耗约占全厂能耗一半左右。因此,进行加热炉的节能改造,进一步提高热效率,对降低炼油、化工厂总能耗具有重要意义。

我国近几年来,管式加热炉节能技术取得了长足进步。各种节能措施的开拓、推广、不断完善,将管式加热炉的发展推向新水平。

炼油化工企业管式加热炉节能改造,主要采取以下措施。

一、增设空气预热器,回收烟气余热

原有管式加热炉对流室出口排烟温度,一般在300~450℃之间为多,可增设空气预热器,来回收剩余热量。

空气预热器有多种型式,按构造型式分,有管壳式和板式两种结构。

管壳式空气预热器,一般是空气走管内,烟气走管外,采用的管径一般是50mm左右。其受热面布置密度小和当量直径大,所占空间较大。

板式预热器体积较小,板与板之间的距离为15~30mm,受热面排列较密,当量直径较小,故所占空间较小。

目前,国内石油化工厂多采用管壳式空气预热器。

管壳式空气预热器又分钢管、玻璃管、热管、铸铁翅片管等几种类型。

表1.1-2列举了我国试用玻璃管空气预热器应用实例。

表 1.1-2 玻璃管空气预热器节能实例

厂名	使用条件及参数	节能效果
镇海石化总厂 炼油厂	常减压—催化裂化联合装置加热炉采用固定管式空气预热器,高温钢管段,钢管 $\phi 40 \times 1.5 \times 2842\text{mm}$,管子程数 4×2 组,加热面积 $1745 \times 2\text{m}^2$,低温玻璃管段,玻璃管为 $\phi 40 \times 2 \times 2600\text{mm}$,管子程数 1×2 组,管数2972根,加热面积 $444 \times 2\text{m}^2$,GG-17硼硅玻璃管,使用破损率 $< 1.5\%$	三台加热炉集合烟温由 $320^\circ\text{C} \sim 400^\circ\text{C}$ 降至 135°C 左右,空气被预热至 250°C 左右,加热炉效率由75%提高到88%左右
大庆石化总厂	两台热裂化加热炉安装三台联合预热器,高温段用钢管,低温段用玻璃管,烟气自下而上分五段由钢管(下面三段)和玻璃管(上面二段)的壳程进入烟囱。玻璃管预热器设有冲洗管。(冲洗介质为 1.6MPa 、 110°C 除氧水)使用七个月后检查,玻璃管破损率 $1 \sim 3\%$ 。问题:玻璃管两端管板受低温腐蚀,需加管板防腐或防护层	二台加热炉由原热效率76%和77%分别提高到85%和85.5%
锦州炼油厂	常压加热炉排烟 280°C ,烟气经固定管式空气预热器降温至 $110 \sim 120^\circ\text{C}$,空气预热至 $90 \sim 100^\circ\text{C}$ 入炉,烟气露点 124°C (加工下辽河原油),露点腐蚀严重,尤其是中下两组管束,腐蚀减薄穿孔或管束脆性断裂,寿命不足二周。84、85年相继将中、下组原碳钢管束更换为GG17硼硅玻璃管,装有聚四氟乙烯密封圈的玻璃管板上无腐蚀痕迹	加热炉排烟温度降达 120°C 稳定运行,热效率由88.5%提高到90%
安庆石化总厂 热电厂	220t/h燃油锅炉(蒸汽参数 540°C 10MPa),钢管式空气预热器分高、中和低温三段,低温段前设置暖风器(防烟气低温腐蚀,冷空气加热至 100°C)低温空气预热器,仍腐蚀损坏,平均使用寿命 < 4 年,实际运行 < 2 万小时。后将低温段预热器改玻璃管式,它由四个管箱组成,布置在锅炉尾部垂直烟道中,管长 3250mm ,管数958根,与管板连接采用聚四氟乙烯密封圈,玻璃管平均使用寿命可达10年。 问题:因结构问题,四次检查有98根玻璃管断裂	玻璃管空气预热器允许进风温度由原 100°C (暖风器加热)降至 80°C ,每小时节约 1.3MPa , 300°C 自用蒸汽 2.3t ,燃油单耗降低 7.7kg/t 蒸汽,风机电耗降低 0.91 度/吨。初投资比钢管式多4万余元,回收期1年

二、充分利用对流室，增加对流室传热面积

(一) 对流管采用强化对流传热结构

由于对流管外烟气的给热系数较低，为增加对流管的外表面积，采用翅片管或钉头管。一根翅片管或钉头管相当于两根以上光管的传热能力。

(二) 在对流段炉壁内表面上增设折流板（折流砖），防止烟气短路

为防止烟气在对流室内沿炉壁走短路，在炉壁内表面上增设折流板（折流砖），迫使烟气与对流管充分接触换热，提高炉子效率。据报道，日本三菱油化工程公司，在四日市及鹿马炼厂的一些加热炉上设置折流板，收到良好效果。燃料消耗降低了近2%。

(三) 用好吹灰设施，及时清除灰垢

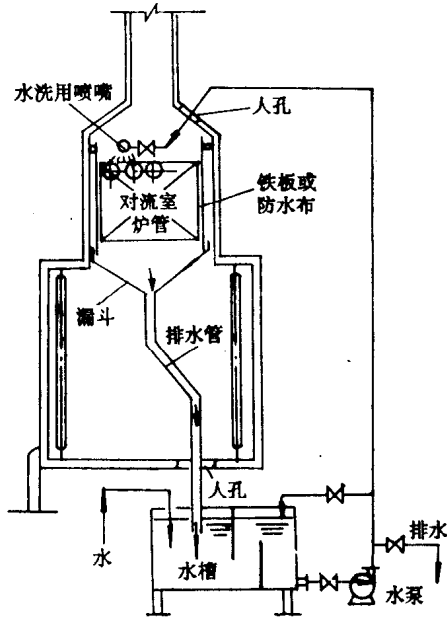


图 1.1-18 停工水冲洗系统

5%。在冲洗过程中要注意保护好炉衬。

三、冷进料、热油预热空气

加热炉对流室出口的排烟温度，主要与被加热物料的初始温度有关。初始温度越低，对降低出炉烟气温度和提高加热炉热效率越有利。但低于烟气露点温度会产生露点腐蚀。

炼油、化工装置的物料一般都是先换热后进加热炉，也可采用少换热，降低进料温度的手段，来提高加热炉的热效率，而将换热流程中多余的热量用来预热燃烧用的空气。

冷进料热油预热空气系统，是从常减压蒸馏装置的换热特点出发，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。使冷热物流呈气、液相传热，采用扩大表面的管子（钉头管或翅片管），传热效率要比用烟气直接预热空气的气-气相传热效率高，可以节省传热面积和庞大的烟风道。另外，它还以空气作为另一冷源与装置低温物流换热，能够进一步提高装置的热回收率。

冷进料热油预热空气系统，国内很多炼厂的常减压装置中采用。

四、加强隔热保温，减少散热损失

降低炉壁温度，减少散热损失，应利用价格便宜、隔热性能好的材料来隔热保温。目前国内使用较普遍的隔热材料有硅藻土、石棉、蛭石、珍珠岩、矿渣棉、岩棉和超细玻璃棉等。

管式加热炉单独烧燃气时基本无积灰。烧重油，尤其是减压渣油、污油时，烟气中的灰垢量不能忽视。

吹灰器的功用主要在于使清洁的管子始终保持干净，已经积满灰的脏管子要想通过它吹干净是困难的。因此，运行中应对吹灰有足够的重视，不要等积灰多了再吹，而是边积边吹，尽量保持不积灰或少积灰的原始状态。

蒸汽吹灰器的清扫能力有限，尤其对烧渣油又在对流室安装钉头管、翅片管的炉子，用吹灰器难以彻底解决积灰问题。因此，近年来使用了一种在停工大修期间用水冲洗对流管的方法，如图1.1-18所示。主要用来清洗烧油炉子的钉头管、翅片管，已取得良好的效果。另据资料介绍，用水冲洗对流管的积灰后，可使排烟温度下降40~100℃，热效率相应提高2~

石油化工管式炉通常用石棉作膨胀缝填料和密封填料，用硅藻土和蛭石作砖结构炉墙的保温层，用矿渣棉作耐火纤维毡炉墙的保温层，用珍珠岩和超细玻璃棉作风道系统的保温隔热材料。

耐火陶瓷纤维是一种新的低传热系数耐火绝热材料，其导热系数仅是轻质隔热耐火砖的五分之一，而且蓄热量很小，约为隔热耐火砖的七分之一。许多加热炉采用陶纤炉衬已取得实际节能效果，其典型实例见表1.1-3。

表 1.1-3 加热炉采用陶纤衬里

厂名	应用情况	节能效果
抚顺石化公司 石油一厂	东西蒸馏、焦化、热裂化和重整装置加热炉均采用	东蒸馏和热裂化四台加热炉实际热负荷合计 $60 \times 10^3 \text{ kW}$ ，炉内壁增衬陶纤后，壁温（辐射室）由 71°C 降至 49°C ，平均降低 22°C ，散热强度平均由 0.83 kW/m^2 降至 0.395 kW/m^2 ，炉体散热损失平均由 3.38% 降低至 2.19% ，投资回收期2.1年
锦西炼油厂	常减压炉炉壁衬里，厚度20mm，顶衬里80mm	常压炉炉壁温度上、中、下层分别由 80 、 75 、 71°C 降低到 47 、 45 、 46°C ，炉效由 88% 提高至 89% ；减压炉上、中、下层外壁温度分别由 75 、 74 、 74°C 降低到 50 、 48 、 42°C ，炉效由 81% 提高至 82% ，加热炉炉膛温度降低约 12°C ，燃油单耗由 11 kg/t 减少到 9.8 kg/t 左右
南京炼油厂	(1) 耐火纤维炉衬，常减压1*炉端墙采用耐火纤维，保温钉固定；3*炉炉顶吊挂耐火纤维毡预制块；热裂化1*炉、焦化1*炉和常减压2*炉分别在炉顶夹贴耐火纤维毡和在砖墙面粘贴 (2) 针刺连续成型耐火纤维毡，热裂化2*炉东炉室铺两层 $40 \sim 50 \text{ mm}$ 大块岩棉板，再铺三层针刺毡，总厚度 140 mm ；重整炉条采用耐纤板两层、针刺毡三层，总厚度 140 mm	(1) 常减压1*炉外壁温度由 83.5°C 降至 41.6°C ；3*炉由 112°C 降至 56.7°C ；裂化1*炉由 90°C 降至 60°C (2) 热裂化2*炉炉膛温度升高 5.7% ，炉衬厚度减少 58% ，而外壁温度与环境温度之差降低 33.6% ，炉效率提高 1.5% 。 全厂已有10台加热炉采用不同型式耐火纤维，总施工面积 2500 m^2 ，按炉壁温度平均降低 10°C 计，可减少散热损失 277 kW
天津石化公司 炼油厂	常减压炉衬里隔热层用酚醛树脂粘合剂的岩棉板厚度 80 mm ，耐热层，端墙外层用高铝毡 20 mm 厚，侧墙、炉顶用普铝毡 80 mm 厚，中间隔墙用普铝和高铝毡 40 mm 厚。端墙、隔墙等涂高温表面涂料	炉壁温度由 80°C 降低至 50°C ，散热损失由 3.0% 降低至 1.36% ，炉效由 83.5% 提高至 85% ，投资回收期2年

五、严密封堵漏风，合理控制过剩空气系数

加热炉燃烧所用空气，应全部从燃烧处供给，从其它部位漏入的空气难以起到有效的助燃作用，反而会增加过剩空气量，造成排烟热损失增大，加剧炉内构件氧化，降低热效率等不良后果。据资料介绍，过剩空气量每增加 $7 \sim 8\%$ ，加热炉的热效率降低约 1% 。因此应重视炉体的堵漏，合理控制过剩空气量。

(一) 及时封堵漏风，杜绝空气窜入炉内

对加热炉防爆门、看火孔、人孔、管子进出口套管、对流室管板的缝隙处等易漏风部位，要重点检查封堵，降低过剩空气量。这对使用年久的加热炉来说，是一项重要的节能措施。

(二) 加强火嘴维修，停用火嘴严防漏风

火嘴长期使用会出现孔径变大，造成火焰过长，而形成不完全燃烧，应及时维修更换。加热炉低负荷运行时，停用火嘴、风门等应堵严，也可拆除多余火嘴，减少泄漏点。

(三) 采用科学方法，确定“三门一板”开度，并按燃烧状况变化随时调整。

所谓“三门一板”即：油（气）门、风门、汽门和烟囱挡板。“三门一板”的开度直接影响炉膛内的燃烧状况及炉子的热效率。因此，采用科学方法合理确定“三门一板”的开度，及时调节风门和烟囱挡板，是加热炉提高热效率降低能耗的重要手段。

国外某炼厂通过使用含氧分析仪对炉焰、过剩空气率、挡板开度的关系进行了分析，总结出了直观判别炉内燃烧情况的焰型、过剩空气率、挡板开度六阶段标准。操作人员可据此对过剩空气率做出直观判断，及时调节挡板开度，图1.1-19为该厂对某加热炉制定的有关标准。该标准是在特定条件下制定的，虽不适用于各种炉型和燃烧器，但通过现场实践，总结出焰形变化规律的方法值得效仿。



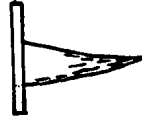
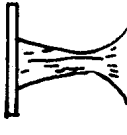
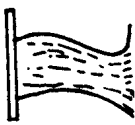
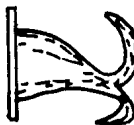
	1	2	3	4	5	6
含O ₂ (%)	9.0	7.0	5.0	3.5	2.8	2.2
火嘴火焰形状						
过剩空气率(%)	133.3	50.0	31.2	20.0	15.4	11.7
挡板开度	全开	开度过大	开度稍大	适当	开度稍小	开度过小

图 1.1-19 某炉燃烧器焰型、过剩空气率、挡板开度的关系

六、设置有效监控系统，保证优化运行

为保证加热炉不仅在“标定”和“检查”期间，而且在长期运转中都能保证较高的效率，对加热炉设置有效的监控系统是十分必要的。

目前，国内炼油、化工厂管式炉的燃烧控制，多采用抽力-烟道挡板自控系统；含氧量自控系统；含氧量-CO含量自控系统。这些系统通过自动控制烟气负压或烟气中氧、一氧化碳的含量，间接地调节燃烧用空气的供给量，以达到炉子高效率的目的。

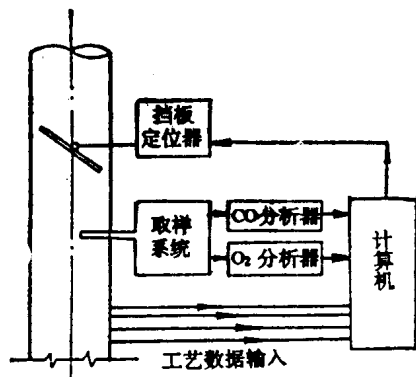


图 1.1-20 含氧量-CO含量自控系统

生产实践证明，含氧量-CO含量自控系统（见图1.1-20），是目前比较完善的监控系统。以含氧量作为主调节参数，CO作为副调节参数的O₂/CO控制方案，解决了单纯含氧量控制方案的不足。从而保证炉子处于最高效率区域运行（CO=100~200PPm），具有实际的应用意义。