

钱家麟 于遵宏 王兰田 等著

管式加热炉



轻工业出版社

管式加热炉

钱家麟 于遵宏 王兰田 等著

烃加工出版社

内 容 提 要

本书较全面地介绍了管式加热炉（包括炼油装置管式加热炉、烃类蒸汽转化炉、管式裂解炉）的基础理论、设计方法及控制、操作、节能等内容，总结了近年来加热炉设计、研究、操作等方面的经验，反映出管式炉技术的新成果。

本书可供石油化工行业管式加热炉的设计、操作人员学习，也可供大专院校师生参考。

本 书 编 写 人 员

钱家麟 于遵宏 王兰田 黄祖琪 杨光炯 尹朝曦 李文辉 沈才大 沈小耀
潘惠琴 孙杏元

7/28

管 式 加 热 炉

钱家麟 于遵宏 王兰田 等著

轻加工出版社出版
轻工出版社印刷厂排版
轻工出版社印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行

787×1092毫米 16开本 40¹/₁₆。印张 1,008千字 印1—2,400

1987年8月北京第1版 1987年9月北京第1次印刷

书号：15391·45 定价：8.20元

前 言

近年来，随着石油化学工业的迅速发展，管式加热炉技术越来越引起人们的重视。管式加热炉消耗着大量的能量；而在制造乙烯、氢气和合成氨等工艺过程中，它已成为进行裂解或转化反应的“心脏”设备，支配着整个工厂或装置的产品质量、收率、能耗和操作周期等。因此，认真总结加热炉设计、研究、操作方面的经验就显得非常必要了。

本书就是为了满足这一需要，由烃加工出版社与中国石油化工总公司炼油设备设计技术中心站组织华东石油学院、华东化工学院、中国石油化工总公司北京设计院三个单位的近十名同志，共同编写的。编写的方针是：力求做到理论与实际并重，以提高现场工程技术人员的业务水准，力求比较系统和全面地阐述管式加热炉的基础理论，并简明扼要地介绍管式炉技术的新成果——用电子计算机计算水蒸气烃类转化炉、管式裂解炉和管内两相流等。

全书共分十四章，各章作者如下：

- 第一章 尹朝曦
- 第二章 李文辉
- 第三章 钱家麟
- 第四章 黄祖琪 (第4.1、4.2、4.3、4.4节)
于遵宏 (第4.5、4.6节)
- 第五章 杨光炯
- 第六章 李文辉
- 第七章 李文辉
- 第八章 王兰田 (第8.1节)
李文辉 (第8.2、8.3节)
- 第九章 黄祖琪 (第9.1节)
王兰田 (第9.2节)
- 第十章 沈才大 沈小耀
- 第十一章 潘惠琴 孙杏元
- 第十二章 王兰田
- 第十三章 王兰田
- 第十四章 尹朝曦

由于参加本书编写工作的同志较多，这些同志又都活跃在教学、科研或设计工作的第一线，不能经常面晤磋商，虽经王兰田、尹朝曦两同志统稿，但错漏仍在所难免。欢迎读者提出批评和意见，以便我们今后改进。

目 录

第一章 管式加热炉的种类、用途和主要指标

1.1 概述	(1)
1.2 管式加热炉的一般结构	(2)
1.3 管式炉的主要技术指标	(3)
1.4 管式加热炉的种类	(6)
参考文献	(12)

第二章 燃料和燃烧计算

2.1 燃料油	(13)
2.1.1 燃料油的理化性质	(13)
2.1.2 燃料油的热工性质	(18)
2.1.3 炼油厂常用燃料油	(23)
2.2 燃料气	(23)
2.2.1 燃料气的理化性质	(23)
2.2.2 燃料气的热工性质	(27)
2.2.3 炼油厂常用燃料气	(30)
2.3 管式炉的热平衡和热效率	(30)
2.3.1 热平衡	(30)
2.3.2 热效率	(32)
2.3.3 热效率的测定	(40)
符号表	(42)
参考文献	(43)

第三章 辐射传热基础理论

3.1 热辐射的基本概念	(44)
3.1.1 辐射、热辐射和辐射波谱	(44)
3.1.2 吸收率、反射率、透过率	(45)
3.1.3 黑体、白体、镜体、透明体	(46)
3.1.4 辐射能力、单色辐射能力	(46)
3.1.5 辐射强度	(47)
3.1.6 黑度 (辐射率)、单色黑度、定向黑度	(48)
3.1.7 灰体	(48)
3.2 热辐射的基本定律	(48)
3.2.1 普朗克定律——辐射能按波长分布的定律	(48)
3.2.2 斯蒂芬-波尔兹曼定律——四次方定律	(49)
3.2.3 兰贝特定律——余弦定律	(50)
3.2.4 克希荷夫定律	(50)

3.3 固体的热辐射	(52)
3.3.1 固体辐射能力及黑度	(52)
3.3.2 固体的吸收率	(52)
3.4 气体的热辐射	(54)
3.4.1 气体辐射的选择性	(55)
3.4.2 气体辐射和吸收在整个容积中进行	(55)
3.4.3 贝尔定律——单色穿透率与射线行程的关系	(56)
3.4.4 平均射线行程 (有效辐射层厚度)	(56)
3.4.5 水蒸气、CO ₂ 、SO ₂ 气的黑度	(57)
3.4.6 水蒸气、CO ₂ 气的吸收率	(60)
3.4.7 气体的黑度和吸收率计算举例	(61)
3.4.8 锅炉烟气黑度和吸收率	(62)
3.5 火焰热辐射	(63)
3.5.1 火焰类型及辐射特点	(63)
3.5.2 辉焰的黑度	(63)
3.6 辐射换热	(64)
3.6.1 角系数及计算举例	(64)
3.6.2 两黑体表面间的辐射换热	(67)
3.6.3 有效辐射和投射辐射	(68)
3.6.4 灰体表面辐射能量的收支	(69)
3.6.5 封闭系统内两个灰体表面的换热	(70)
3.6.6 封闭系统内几个灰体表面的换热	(71)
3.6.7 气体与包壳间的辐射换热	(72)
3.6.8 气体与包壳间辐射换热计算举例	(73)
符号表	(74)
参考文献	(76)

第四章 管式炉的辐射传热计算

4.1 经验法	(78)
4.1.1 纯经验法	(78)
4.1.2 经验公式法	(78)
4.2 Lobo-Evans法	(80)
4.2.1 Lobo-Evans法的基本计算式	(80)
4.2.2 图解法	(88)
4.2.3 Lobo-Evans法编程数值计算法	(90)
4.3 Белоконь法	(96)
4.3.1 Белоконь法的基本计算式	(96)
4.3.2 Белоконь解法	(100)
4.3.3 Белоконь法的编程数值计算	(101)
4.4 遮蔽段的详细计算	(101)
4.5 区域法	(103)

4.5.1	概述	(103)
4.5.2	微元体的辐射	(104)
4.5.3	直接交换面积	(105)
4.5.4	总交换面积	(113)
4.5.5	定向通量(定向总交换)面积	(117)
4.5.6	温度分布计算	(120)
4.6	蒙特卡罗法	(123)
4.6.1	概述	(123)
4.6.2	抽样问题	(124)
4.6.3	能束跟踪	(127)
4.6.4	温度分布计算	(131)
	符号表	(135)
	参考文献	(138)

第五章 对流传热

5.1	管内膜传热系数	(140)
5.1.1	单相流的内膜传热系数	(140)
5.1.2	混相流流动状态的确定	(141)
5.1.3	混相流的内膜传热系数	(142)
5.1.4	管内结垢热阻	(144)
5.2	管外膜传热系数	(146)
5.2.1	光管的外膜传热系数	(146)
5.2.2	翅片管和钉头管的外膜传热系数	(148)
5.2.3	管外结垢热阻	(157)
5.3	管壁温度和平均温差	(158)
5.3.1	光管管壁温度的计算方法	(158)
5.3.2	翅片管或钉头管管壁温度的计算方法	(158)
5.3.3	平均温差	(160)
5.4	在对流室中的辐射传热	(161)
5.4.1	由辐射段带入的辐射热——遮蔽段的传热	(161)
5.4.2	高温烟气在对流段的辐射传热	(161)
5.4.3	炉墙的辐射	(162)
5.4.4	对流管的管外综合传热系数	(163)
5.5	对流管的总传热系数	(164)
	符号表	(165)
	参考文献	(167)

第六章 压力损失及通风

6.1	管内介质的流速及压降	(168)
6.1.1	概述	(168)
6.1.2	管内流速	(168)
6.1.3	无相变时的压降计算	(169)

6.1.4 有相变时的压降计算	(173)
6.2 烟气流速及压降	(190)
6.2.1 烟气流速	(190)
6.2.2 烟气沿直管道流动的压降	(190)
6.2.3 局部阻力产生的压降	(192)
6.2.4 烟气流过对流室管排的压降	(192)
6.2.5 烟气下行产生的压降	(199)
6.3 管式炉的通风	(199)
6.3.1 自然通风及其烟囱高度	(199)
6.3.2 强制通风	(203)
符号表	(207)
参考文献	(209)

第七章 燃 烧 器

7.1 燃料气的燃烧和燃料气喷嘴	(210)
7.1.1 着火过程和强迫点燃	(210)
7.1.2 火焰传播	(211)
7.1.3 预混燃烧和预混式燃料气喷嘴	(214)
7.1.4 扩散燃烧和外混式燃料气喷嘴	(214)
7.1.5 半预混式燃料气喷嘴	(215)
7.1.6 火焰的稳定性	(215)
7.2 燃料油的燃烧及燃料油喷嘴	(217)
7.2.1 燃料油的燃烧	(217)
7.2.2 燃料油的雾化及油喷嘴	(219)
7.2.3 燃料油燃烧的稳定性	(223)
7.3 配风器	(224)
7.4 燃烧道和预燃筒	(225)
7.5 管式炉用燃烧器	(225)
7.5.1 设计和选用管式炉燃烧器的注意事项	(225)
7.5.2 油-气联合燃烧器	(227)
7.5.3 燃料气燃烧器	(234)
7.5.4 高强燃烧器和大能量燃烧器简介	(238)
7.5.5 燃烧器对燃料系统的要求	(240)
7.6 燃烧器设计计算	(243)
7.6.1 常用定律及公式	(243)
7.6.2 燃料气喷嘴计算	(249)
7.6.3 油喷嘴计算	(263)
7.7 燃烧的污染及其控制	(267)
7.7.1 燃烧器的噪声及其控制	(267)
7.7.2 燃烧产物的污染及其控制	(272)
符号表	(274)

参考文献	(275)
------	---------

第八章 结构和材料

8.1 炉管系统	(276)
8.1.1 金属材料的性能	(276)
8.1.2 炉管壁厚计算	(284)
8.1.3 API RP-530炉管壁厚计算方法	(291)
8.1.4 炉管规格、材质和配件	(301)
8.1.5 炉管的焊接	(315)
8.2 炉墙和耐火材料	(325)
8.2.1 炉墙结构	(325)
8.2.2 炉墙传热计算	(333)
8.2.3 耐火材料与隔热材料	(355)
8.2.4 耐火混凝土	(361)
8.2.5 施工要点	(366)
8.3 炼油管式炉结构设计中的若干问题	(368)
8.3.1 辐射室尺寸的确定及其主要结构设计	(368)
8.3.2 对流室尺寸的确定及其主要结构设计	(376)
8.3.3 钢结构设计要点	(380)
8.3.4 烟风道及烟囱结构设计要点	(385)
符号表	(389)
参考文献	(390)

第九章 炼油装置加热炉

9.1 炼油管式炉工艺设计计算	(391)
9.1.1 基础数据	(391)
9.1.2 炉型选择	(391)
9.1.3 影响炉子主要尺寸的几个因素的讨论	(392)
9.1.4 炉体尺寸的初步选定	(399)
9.1.5 设计举例	(403)
9.2 炼油装置管式加热炉的设计特点	(419)
9.2.1 常压炉	(419)
9.2.2 减压炉	(421)
9.2.3 延迟焦化炉	(422)
9.2.4 催化重整炉	(424)
9.2.5 润滑油装置加热炉	(427)
附录	(428)
符号表	(433)
参考文献	(434)

第十章 烃类蒸汽转化炉

10.1 烃类蒸汽转化概述	(436)
10.1.1 烃类蒸汽转化热力学	(436)

10.1.2	烃类蒸汽转化动力学	(439)
10.1.3	烃类蒸汽转化催化剂	(440)
10.1.4	烃类蒸汽转化过程中的析碳与消碳	(441)
10.1.5	烃类蒸汽转化流程	(442)
10.1.6	操作条件的分析	(443)
10.2	一段转化炉的几种炉型	(444)
10.3	烃类蒸汽转化炉辐射段的工艺计算	(450)
10.3.1	管内数学模型	(450)
10.3.2	管外数学模型	(453)
10.3.3	计算框图及其说明	(458)
10.4	计算举例及讨论	(460)
10.4.1	顶烧炉设计计算	(460)
10.4.2	侧烧炉的实测及计算	(460)
10.4.3	讨论	(463)
10.5	结构与材料	(464)
10.5.1	I.C.I型转化炉结构	(464)
10.5.2	Kellogg型转化炉结构	(467)
10.5.3	Topsφe型转化炉结构	(477)
附录		(486)
符号表		(491)
参考文献		(492)

第十一章 管式裂解炉

11.1	裂解反应热力学	(494)
11.1.1	裂解平衡常数的计算	(494)
11.1.2	一次反应和二次反应	(496)
11.1.3	裂解过程的结焦生碳反应	(498)
11.2	裂解过程的工艺参数和操作指标	(498)
11.2.1	裂解温度	(498)
11.2.2	停留时间	(499)
11.2.3	压力	(499)
11.2.4	稀释剂和稀释比	(500)
11.2.5	裂解过程操作条件的选择	(500)
11.3	管式裂解炉的炉型和结构	(501)
11.3.1	概述	(501)
11.3.2	横管裂解炉	(502)
11.3.3	鲁姆斯SRT型裂解炉	(502)
11.3.4	梯台式裂解炉	(504)
11.3.5	区域型裂解炉	(505)
11.3.6	管式裂解炉的进展	(506)
11.4	裂解炉工艺计算	(507)

11.4.1	管内反应微分方程组的建立	(507)
11.4.2	传热及阻力降微分方程式的建立	(510)
11.4.3	区域的划分	(510)
11.4.4	计算步骤及框图	(511)
11.4.5	计算举例	(512)
	符号表	(514)
	参考文献	(515)

第十二章 提高加热炉热效率

12.1	提高热效率与节约燃料的关系	(516)
12.2	结合工艺装置特点全面考虑	(516)
12.2.1	降低加热炉热负荷	(516)
12.2.2	提高燃烧空气温度	(517)
12.2.3	集中回收烟气余热	(518)
12.3	合理选用过剩空气系数	(518)
12.4	改进燃烧器	(519)
12.4.1	重视管排与火焰的相互位置	(519)
12.4.2	合理减少燃烧器的过剩空气量	(520)
12.4.3	采用强制供风	(520)
12.5	减少散热损失	(520)
12.6	低温露点腐蚀	(520)
12.6.1	低温露点腐蚀的机理	(521)
12.6.2	腐蚀速度与壁温的关系	(522)
12.6.3	烟气露点温度的确定	(524)
12.6.4	低温露点腐蚀的防止和减轻措施	(526)
12.7	节能措施经济效益评价	(530)
12.7.1	节能投资经济效益评价内容	(530)
12.7.2	投资效率的基本概念	(531)
12.7.3	经济性评价的计算方法	(532)
	参考文献	(536)

第十三章 回收烟气余热

13.1	回收烟气余热的途径	(537)
13.1.1	充分利用对流室加热工艺介质	(537)
13.1.2	预热炉用燃烧空气	(538)
13.1.3	采用余热锅炉发生蒸汽	(538)
13.2	冷进料、热油预热空气	(538)
13.2.1	系统说明	(538)
13.2.2	设计参数	(540)
13.2.3	设计特点	(540)
13.3	热油式空气预热器	(541)
13.3.1	结构	(541)

13.3.2	主要设计参数	(442)
13.3.3	设计和计算	(543)
13.4	热载体预热空气	(546)
13.4.1	概述	(546)
13.4.2	热载体介质	(546)
13.4.3	烟气和空气温度	(547)
13.5	回转式空气预热器	(547)
13.5.1	概述	(547)
13.5.2	优缺点分析	(547)
13.5.3	加热炉热负荷与预热器转子直径的关系	(549)
13.5.4	漏风量和漏风系数	(550)
13.5.5	漏风对预热器出口烟气温度的校正	(553)
13.5.6	e-NTU法传热核算	(554)
13.5.7	传热计算	(558)
13.5.8	阻力计算	(561)
13.5.9	传热核算例题	(561)
13.6	钢管式空气预热器	(564)
13.6.1	概述	(564)
13.6.2	立式和卧式	(564)
13.6.3	管径、管心距和排心距	(566)
13.6.4	气体流速	(567)
13.6.5	出口烟气温度	(567)
13.6.6	入口烟气温度	(567)
13.6.7	结构	(567)
13.6.8	受热面的计算	(568)
13.6.9	空气预热器阻力计算	(572)
13.6.10	预热器结构特性的初步确定	(574)
13.7	玻璃管空气预热器	(576)
13.7.1	结构型式	(577)
13.7.2	立式与卧式的对比	(577)
13.7.3	管端密封结构	(577)
13.7.4	玻璃管材质和规格	(578)
13.7.5	设计参数	(580)
13.7.6	玻璃管易破损原因分析	(581)
13.8	热管式空气预热器	(582)
13.8.1	热管原理	(582)
13.8.2	热管工作的限制	(582)
13.8.3	热管结构	(583)
13.8.4	气-气热管换热器	(584)
	符号表	(588)

参考文献	(590)
------	-------

第十四章 仪表、操作和维护

14.1 仪表	(592)
14.1.1 炉子控制的原理	(592)
14.1.2 温度控制的特殊问题	(594)
14.1.3 流量的控制	(596)
14.1.4 燃烧控制	(597)
14.2 炉子的操作范围	(601)
14.2.1 炉子操作的上限	(602)
14.2.2 炉子操作的下限	(603)
14.2.3 热效率和操作负荷的关系	(605)
14.3 管内结焦	(605)
14.3.1 结焦的形态	(605)
14.3.2 结焦的速度	(606)
14.3.3 影响结焦的因素及防止措施	(607)
14.4 管外积灰与清扫	(609)
14.4.1 灰垢的种类和成分	(609)
14.4.2 决定灰垢生成量的主要因素	(610)
14.4.3 灰粒沉积的规律	(611)
14.4.4 积灰对传热的影响	(612)
14.4.5 管外积灰的清扫方法	(613)
14.5 炉管的损坏	(616)
14.5.1 炉管报废标准	(617)
14.5.2 炉管损坏的原因	(617)
14.5.3 预防炉管损坏的措施	(617)
14.5.4 由氧化减薄引起的损坏	(618)
14.6 离心铸造炉管HK40的损坏	(621)
14.6.1 HK40的特性	(621)
14.6.2 转化炉炉管的蠕变破裂	(624)
14.6.3 裂解炉炉管的渗碳破坏	(625)
14.6.4 HK40炉管的维修和保养	(626)
参考文献	(629)

第一章 管式加热炉的种类、用途和主要指标

1.1 概述

一个设备，具有用耐火材料包围的燃烧室，利用燃料燃烧产生的热量将物质（固体或流体）加热，这样的设备叫做“炉子”。工业上有各种各样的炉子，如冶金炉、热处理炉、窑炉、焚烧炉和蒸汽锅炉等。

本书所论述的“管式加热炉”，是石油炼制、石油化工和化学、化纤工业中使用的工艺加热炉，它具有其他工业炉所没有的若干特点。管式加热炉（Tubular Heater）的特征是：

- (a) 被加热物质在管内流动，故仅限于加热气体或液体。而且，这些气体或液体通常都是易燃易爆的烃类物质，同锅炉加热水或蒸汽相比，危险性大，操作条件要苛刻得多。
- (b) 加热方式为直接受火式。
- (c) 只烧液体或气体燃料。
- (d) 长周期连续运转，不间断操作。

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，它的诞生在炼油工业的历史上是划时代的事件，使炼油工艺从古老的间歇式釜式蒸馏进入到近代的“连续管式蒸馏”方式，从此开始逐步得到发展。所以管式加热炉也被叫做“管式釜”（Pipe still）。

炼油工业采用管式加热炉始于1910年左右，最初的管式炉是图1-1所示的“堆形炉”。它参考釜式蒸锅的原理，吸热面为一管束，管子间的联接弯头也置于炉中。由于燃烧器直接装在管束下方，此炉各排管子的受热强度极不均匀。当最底一排管受热强度高达 $50000\sim 70000\text{ kcal/m}^2\cdot\text{h}$ 时，最顶排管子却不到 $800\sim 1000\text{ kcal/m}^2\cdot\text{h}$ ，因此底排管常常烧穿，管间联接弯头也易松漏引起火灾。当时认为这是因为辐射热太强了，于是改为用纯对流炉。

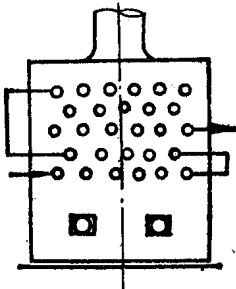


图 1-1 堆形炉

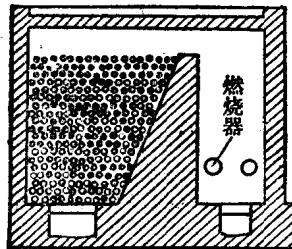


图 1-2 纯对流炉

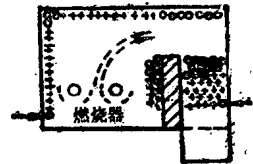


图 1-3 箱式炉

纯对流炉（图1-2）全部炉管都装在对流室内，用隔墙把对流室与燃烧室分开，避免炉管受到火焰的直接冲刷。然而，操作中又发现对流室顶排管经常烧坏，而且炉管受热仍然很不均匀。这是因为高温燃烧烟气在进入对流室之前未能和一个吸热面换热，在对流室入口处温度高达约 $1000\text{ }^\circ\text{C}$ 之故。后来人们发现，在燃烧室内安装一些炉管，一方面可取走部分热量降

低烟气温度的，解决对流室顶管的过热烧坏问题；同时可利用高温辐射传热强度大的特点，节省炉管，缩小炉子体积。这样，具有辐射室和对流室的管式加热炉开始出现了，其初期代表为箱式炉（图1-3）。

较之釜式蒸锅，管式加热炉性能优越，符合现代石油化学工业自动化、连续化、大型化的要求，所以加热炉技术发展很快，它对于石油炼制和化工工艺的进步起到了很大的推动作用。今天，可以毫不夸张地说，管式加热炉几乎参与了各类工艺过程。尤其在制造乙烯、氢气、氨等工艺过程中，它成为进行裂解或转化反应的“心脏”设备，支配着整个工厂或装置的产品质量、产品收率、能耗和操作周期等。因此，认真总结加热炉的设计、计算和操作、维修经验就显得十分必要了。

1.2 管式加热炉的一般结构

管式加热炉如图1-4所示，一般由辐射室、对流室、余热回收系统、燃烧器以及通风系统五部分所组成。

1.2.1 辐射室

辐射室是通过火焰或高温烟气进行辐射传热的部分。这个部分直接受到火焰冲刷，温度最高，必须充分考虑所用材料的强度、耐热性等。这个部分是热交换的主要场所，全炉热负荷的70~80%是由辐射室担负的，它是全炉最重要的部位。烃蒸汽转化炉、乙烯裂解炉等，其反应和裂解过程全都用辐射室来完成。可以说，一个炉子是优是劣主要看它的辐射室性能如何。

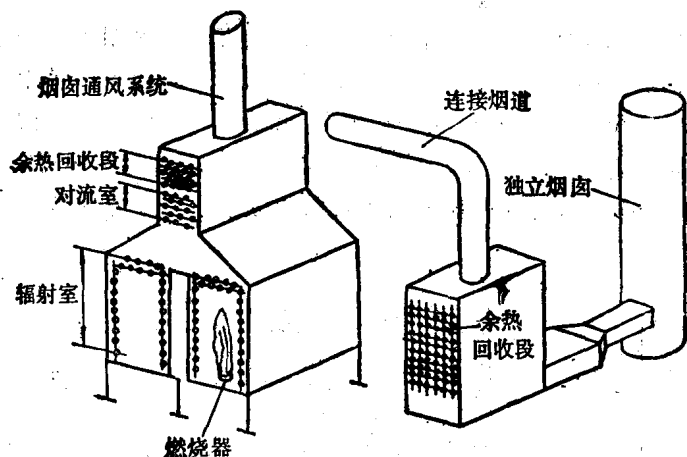


图 1-4 管式加热炉的一般结构

1.2.2 对流室

对流室是靠由辐射室出来的烟气进行对流换热的部分，但实际上它也有一部分辐射热交换，而且有时辐射换热还占有颇大的比例。所谓对流室不过是指“对流传热起支配作用”的部位。

对流室内密布多排炉管，烟气以较大速度冲刷这些管子，进行有效的对流换热。对流室一般担负全炉热负荷的20~30%。对流室吸热量的比例越大，全炉的热效率越高，但究竟占多少比例合适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，选择最经

挤合理的比值。对流室一般都布置在辐射室之上，与辐射室分开，单独放在地面上也可以。为了尽量提高传热效果，多数炉子在对流室采用了钉头管和翅片管。

1.2.3 余热回收系统

余热回收系统是从离开对流室的烟气中进一步回收余热的部分。回收方法分两类。一类是靠预热燃烧用空气来回收热量，这些热量再次返回炉中。另一类是采用同炉子完全无关的其他流体回收热量。前者称为“空气预热方式”，后者因为常常使用水回收，被称为“废热锅炉”方式。空气预热方式又有直接安在对流室上面的固定管式空气预热器和单独放在地上的回转式空气预热器等种类。回转式回收热量大，属于低速转动机械，需用烟、风道与炉体联接，适用于烟气量大，要求达到很高的热效率时。固定管式空气预热器由于低温腐蚀和积灰，不能指望长期保持太高的热效率，它的优点是同炉体结合成一体，设计和制造比较简便，适合于热回收量不大时选用。

废热锅炉一般多采用强制循环方式，尽量放到对流室顶部。

目前，炉子的余热回收系统以采用空气预热方式为多，通常只有高温管式炉（如烃蒸汽转化炉、乙烯裂解炉）和纯辐射炉才使用废热锅炉，因为这些炉子的排烟温度太高。安设余热回收系统以后，整个炉子的总热效率能达到88~90%。

1.2.4 燃烧器

燃烧器产生热量，是炉子的重要组成部分。如前所述，管式加热炉只烧燃料气和燃料油，所以不需要烧煤那样复杂的辅助系统，火嘴结构也比较简单。

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。

1.2.5 通风系统

通风系统的任务是将燃烧用空气导入燃烧器，并将废烟气引出炉子，它分为自然通风方式和强制通风方式两种。前者依靠烟囱本身的抽力，不消耗机械功。后者要使用风机，消耗机械功。

过去，绝大多数炉子因为炉内烟气侧阻力不大，都采用自然通风方式，烟囱通常安在炉顶，烟囱高度只要足以克服炉内烟气侧阻力就可以了。但是，近年来由于公害问题，石油化工厂已开始安设独立于炉群的超高型集合烟囱，这一烟囱通过烟道把若干台炉子的烟气收集起来，从100米左右的高处排放，以降低地面上污染气体的浓度。

强制通风方式只在炉子结构复杂，炉内烟气侧阻力很大，或者设有前述余热回收系统时才采用，它必须使用风机。

1.3 管式炉的主要技术指标

1.3.1 热负荷

每台管式加热炉单位时间内向管内介质传递热量的能力称为热负荷，一般用 kcal/h 为单位。

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。对简单管式加热炉（管内介质入炉状态为纯液相，出炉状态为汽、液混相），其热负荷的计算公式为

$$Q' = W_F(eI_v + (1-e)I_L - I_i) + Q'' \quad (1-1)$$

式中 Q' ——加热炉计算总热负荷, kcal/h;

W_F ——管内介质流量, kg/h;

e ——管内介质在炉出口的汽化率, %;

I_v ——炉出口温度下介质气相热焓, kcal/kg;

I_L ——炉出口温度下介质液相热焓, kcal/kg;

I_i ——炉入口温度下介质液相热焓, kcal/kg;

Q'' ——其他热负荷, kcal/h。

加热炉的设计热负荷 Q 通常取计算值 Q' 的1.15~1.2倍。

1.3.2 炉膛体积发热强度

燃料燃烧的总发热量除以炉膛体积, 称之为炉膛体积发热强度, 简称为体积热强度。它表示单位体积的炉膛在单位时间里燃料燃烧所发出的热量, 一般用kcal/m³·h为单位, 即

$$g_v = \frac{BQ_1}{V} \quad (1-2)$$

式中 g_v ——炉膛体积发热强度, kcal/m³·h;

B ——燃料用量, kg/h;

Q_1 ——燃料的低热值, kcal/kg燃料;

V ——炉膛(或辐射室)体积, m³。

炉膛大小对燃料燃烧的稳定性有影响, 如果炉膛体积过小, 则燃烧空间不够, 火焰容易舐到炉管和管架上, 炉膛温度也高, 不利于长周期安全运行, 因此炉膛体积发热强度不允许过大, 一般控制在10万kcal/m³·h以下。

1.3.3 辐射表面热强度 q_R

辐射炉管每单位表面积(一般按炉管外径计算表面积)、每单位时间内所传递的热量 q_R 称为炉管的辐射表面热强度, 也称为辐射热通量或热流率, 单位为kcal/m²·h。

q_R 表示辐射室炉管传热强度的大小。应注意它一般指全辐射室所有炉管的平均值。由于辐射室内各部位受热不一样, 不同的炉管以及同一根炉管上的不同位置, 实际上局部热强度很不相同。一台炉子的平均辐射热强度究竟取多少为宜, 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、炉管的排列方式等等。推荐的 q_R 经验值列于表1-1。

1.3.4 对流表面热强度 q_c

含义同辐射热强度一样, 单位也是kcal/m²·h, 但它是对对流室而言。

近年来为提高对流传热, 对流炉管的管外侧大量使用了钉头或翅片。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在光管的二倍以上, 也就是说, 一根钉头或翅片管相当于两根以上光管的传热能力。

1.3.5 热效率

热效率表示向炉子提供的能量被有效利用的程度, 其定义可用下式表达:

$$\eta = \frac{\text{被加热流体吸收的有效热量}}{\text{供给炉子的能量}}$$

热效率是衡量燃料消耗、评价炉子设计和操作水平的重要指标。早期加热炉的热效率只有60~70%, 最近已达到85~88%, 最新的技术水平已接近92%左右。随着节能工作的深