

主 编 钱家麟

副主编 于遵宏 李文辉 尹朝曦 王兰田



管式加热炉

(第二版)

中国石化出版社

管式加热炉

(第二版)

主 编 钱家麟
副主编 于遵宏 尹朝曦
李文辉 王兰田

中国石化出版社

内 容 提 要

本书全面介绍管式加热炉(包括炼油装置管式加热炉、油田和长输管线加热炉、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。总结了近年来管式加热炉设计、研究、操作等方面的经验,反映出管式加热炉技术的新成果。

本书可供石油化工、油田、长输管线管式加热炉的设计、操作人员学习,也可供大专院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

管式加热炉/钱家麟主编.(第二版)
—北京:中国石化出版社,2003
ISBN 7-80164-302-X

I.管… II.钱… III.石油炼制—管式炉
IV.TE963

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 090115 号

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

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

E-mail:press@sinopec.com.cn

北京精美实华图文制作中心排版

三河市三佳印刷装订有限公司印刷

新华书店北京发行所经销

*

787×1092 毫米 16 开本 43 印张 1093 千字 印 1—2500

2003 年 1 月第 1 版 2003 年 1 月第 1 次印刷

定价:88.00 元

主 编 钱家麟

副 主 编 于遵宏 尹朝曦 李文辉 王兰田

编委会成员 (以姓氏笔画为序)

于广锁 于遵宏 尹朝曦 方 云 王子康

王兰田 宁学典 刘 军 孙杏元 李文辉

沈小耀 沈才大 肖家治 钱 锋 钱家麟

龚 欣 潘惠琴 魏学军

第一版前言

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^①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

^① 中国石化出版社前身。

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、尹朝曦两位同志统稿，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。

第二版前言

中国石化出版社于1987年9月出版了《管式加热炉》(第一版)。该书由石油大学钱家麟、华东理工大学于遵宏、中国石化总公司北京设计院王兰田等十一位同志编写而成,并由北京设计院王兰田、尹朝曦统稿,是管式加热炉的一本技术专著,对我国石油化工等行业的发展起到了积极的作用,特别是对管式加热炉的设计、运转、科研和教学人员有重要的指导作用,并得到了广大读者的好评。

十余年来,国内外管式加热炉技术有了许多新的发展,设计思想、设计方法和加热炉材料等都发生了很大的变化,原书已经不能适应目前的技术要求,且第一版早已售罄。中国石化出版社根据读者的要求,于2001年1月组织《管式加热炉》第二版的编写和出版工作,并成立了本书编委会:主编石油大学钱家麟、副主编华东理工大学于遵宏和中国石化北京设计院尹朝曦、李文辉及王兰田;第二版作者以及石化出版社总编为本书编委。

编前工作会议决定本书应为管式加热炉领域的技术专著,在保留第一版理论与实践结合的特色基础上,侧重于实践,也应反映20世纪末的技术水平;并要求凡是初版中涉及有关标准、规范而至今已有新规定者,皆须改用新规定;且参考文献也应增加新的重要文献。此外,所有单位一律改用国际单位制。考虑到石油工业上下游的联系,本书再版增加了“油田和长输管线加热炉”一章;并考虑到仪表和自动控制的重要作用,再版将其从初版“仪表、操作和维护”中独立成一章“仪表和自动控制”。再版内容的具体调整及编写分工如下(括号内为再版修改的作者):

第一章 管式加热炉的种类、用途和主要指标:有小改动,并修订(中国石化北京设计院 尹朝曦)

第二章 燃料和燃烧计算:部分改动并修订(中国石化北京设计院 李文辉)

第三章 辐射传热基础理论:重新修订(石油大学 钱家麟)

第四章 管式炉的辐射传热计算:重新修订区域法,增加内容(4.1~4.4初版由石油大学黄祖祺编写,再版由钱家麟校订;4.5~4.6华东理工大学 于遵宏、龚欣)

第五章 对流传热：重新修订(初版由石油大学杨光炯编写，再版由石油大学钱家麟校订)

第六章 压力损失及通风：重新修订(中国石化北京设计院 李文辉)

第七章 燃烧器：有改动、并修订(中国石化北京设计院 李文辉)

第八章 结构和材料：基本重写(中国石化北京设计院 李文辉)

第九章 油田和长输管线加热炉：新增此章(河南石油勘探局勘察设计研究院 方云)

第十章 炼油装置管式炉：增加设计特点，并增加热载体炉、加氢炉、气体加热炉等小节，还增加了加热型管式炉和延迟焦化炉的工艺计算(10.1~10.3 中国石化北京设计院 李文辉、魏学军，10.4 石油大学 肖家治)

第十一章 烃类蒸汽转化炉：修订并增补了转化炉型(华东理工大学 沈才大、于广锁、沈小耀)

第十二章 管式裂解炉：增加了裂解反应动力学，修订并增补了裂解炉型(华东理工大学 潘惠琴、孙杏元、于遵宏)

第十三章 提高加热炉热效率：重新修订(初版由中国石化北京设计院王兰田编写，再版由北京设计院李文辉修订、刷新)

第十四章 利用烟气余热预热空气：重新修订(初版由中国石化北京设计院王兰田编写，再版由北京设计院李文辉修订、刷新)

第十五章 加热炉的自动控制：新增此章(15.1~15.9 中国石化洛阳石化工程公司 刘军、宁学典 15.10 华东理工大学 钱锋)

第十六章 操作、管理和维护：刷新部分内容(中国石化北京设计院 尹朝曦)

全书完稿后，由钱家麟、尹朝曦等校阅审定，并由白桦、汪霞倩统编。
读者对本书有何意见，恳请指教。

编者

2002年10月于北京

目 录

第一章 管式加热炉的种类、用途和主要指标	(1)
1.1 概述	(1)
1.2 管式加热炉的一般结构	(2)
1.2.1 辐射室	(2)
1.2.2 对流室	(2)
1.2.3 余热回收系统	(3)
1.2.4 燃烧器	(3)
1.2.5 通风系统	(3)
1.3 管式炉的主要技术指标	(3)
1.3.1 热负荷	(3)
1.3.2 炉膛体积发热强度	(4)
1.3.3 辐射表面热强度 q_R	(4)
1.3.4 对流表面热强度 q_C	(4)
1.3.5 热效率	(5)
1.3.6 火墙温度	(6)
1.3.7 管内流速	(6)
1.4 管式加热炉的种类	(7)
1.4.1 按外形分类	(7)
1.4.2 按用途分类	(10)
1.4.3 炉型选择的基本原则	(12)
参考文献	(13)
第二章 燃料和燃烧计算	(14)
2.1 燃料油	(14)
2.1.1 燃料油的理化性质	(14)
2.1.2 燃料油的热工性质	(19)
2.1.3 炼油厂常用燃料油	(22)
2.2 燃料气	(25)
2.2.1 燃料气的理化性质	(25)
2.2.2 燃料气的热工性质	(26)

2.2.3 炼油厂常用燃料气	(29)
2.3 管式炉的热平衡和热效率	(32)
2.3.1 热平衡	(32)
2.3.2 热效率	(34)
2.3.3 热效率的测定	(42)
符号表	(44)
参考文献	(45)
第三章 辐射传热基础理论	(46)
3.1 热辐射的基本概念	(46)
3.1.1 辐射、热辐射和辐射波谱	(46)
3.1.2 吸收率、反射率、透过率	(47)
3.1.3 黑体、白体、镜体、透明体	(48)
3.1.4 辐射能力、单色辐射能力	(48)
3.1.5 辐射强度	(49)
3.1.6 黑度(辐射率)、单色黑度、定向黑度	(49)
3.1.7 灰体	(50)
3.2 热辐射的基本定律	(50)
3.2.1 普朗克定律——辐射能按波长分布的定律	(50)
3.2.2 斯蒂芬-波尔兹曼定律——四次方定律	(51)
3.2.3 兰贝特定律——余弦定律	(51)
3.2.4 克希荷夫定律	(52)
3.3 固体的热辐射	(53)
3.3.1 固体辐射能力及黑度	(53)
3.3.2 固体的吸收率	(55)
3.4 气体的热辐射	(56)
3.4.1 气体辐射的选择性	(56)
3.4.2 气体辐射和吸收在整个容积中进行	(57)
3.4.3 贝尔定律——单色穿透率与射线行程的关系	(57)
3.4.4 平均射线行程(有效辐射层厚度)	(58)
3.4.5 水蒸气、CO ₂ 、SO ₂ 气的黑度	(59)
3.4.6 水蒸气、CO ₂ 气的吸收率	(62)
3.4.7 气体的黑度和吸收率计算举例	(63)
3.4.8 锅炉烟气黑度和吸收率	(64)
3.5 火焰热辐射	(65)
3.5.1 火焰类型及辐射特点	(65)
3.5.2 辉焰的黑度	(66)
3.6 辐射换热	(66)
3.6.1 角系数及计算举例	(66)
3.6.2 两黑体表面间的辐射换热	(70)

3.6.3 有效辐射和投射辐射	(70)
3.6.4 灰体表面辐射能量的收支	(72)
3.6.5 封闭系统内两个灰体表面的换热	(72)
3.6.6 封闭系统内几个灰体表面的换热	(73)
3.6.7 气体与包壳间的辐射换热	(74)
3.6.8 气体与包壳间辐射换热计算举例	(75)
符号表	(76)
参考文献	(78)
第四章 管式炉的辐射传热计算	(80)
4.1 经验法	(80)
4.1.1 纯经验法	(80)
4.1.2 经验公式法	(81)
4.2 罗波 - 伊万斯法	(82)
4.2.1 罗波 - 伊万斯法的基本计算式	(82)
4.2.2 图解法	(90)
4.2.3 罗波 - 伊万斯法编程数值计算法	(92)
4.3 别洛康法	(98)
4.3.1 别洛康法的基本计算式	(98)
4.3.2 别洛康解法	(102)
4.3.3 别洛康法的编程数值计算	(103)
4.4 遮蔽段的详细计算	(103)
4.5 区域法	(105)
4.5.1 概述	(105)
4.5.2 微元体的辐射	(106)
4.5.3 直接交换面积	(107)
4.5.4 方箱炉中直接交换面积计算公式及推导举例	(108)
4.5.5 含斜墙箱式炉(立式炉)直接交换面积计算	(110)
4.5.6 圆筒炉中直接交换面积计算公式及推导举例	(114)
4.5.7 方箱炉中直接交换面积的简化计算	(117)
4.5.8 总交换面积	(118)
4.5.9 定向通量(定向总交换)面积	(122)
4.5.10 温度分布计算	(125)
4.6 蒙特卡罗法	(128)
4.6.1 概述	(128)
4.6.2 抽样问题	(129)
4.6.3 能束跟踪	(132)
4.6.4 温度分布计算	(136)
符号表	(139)
参考文献	(142)

第五章 对流传热	(144)
5.1 管内膜传热系数	(144)
5.1.1 单相流的内膜传热系数	(144)
5.1.2 混相流流动状态的确定	(145)
5.1.3 混相流的内膜传热系数	(146)
5.1.4 管内结垢热阻	(148)
5.2 管外膜传热系数	(150)
5.2.1 光管的外膜传热系数	(150)
5.2.2 翅片管和钉头管的外膜传热系数	(152)
5.2.3 管外结垢热阻	(161)
5.3 管壁温度和平均温差	(162)
5.3.1 光管管壁温度的计算方法	(162)
5.3.2 翅片管或钉头管管壁温度的计算方法	(163)
5.3.3 平均温度差	(164)
5.4 在对流室中的辐射传热	(165)
5.4.1 由辐射段带入的辐射热——遮蔽段的传热	(165)
5.4.2 高温烟气在对流段的辐射传热	(165)
5.4.3 炉墙的辐射	(166)
5.4.4 对流管的管外综合传热系数	(167)
5.5 对流管的总传热系数	(168)
符号表	(169)
参考文献	(171)
第六章 压力损失及通风	(172)
6.1 管内介质的流速及压降	(172)
6.1.1 概述	(172)
6.1.2 管内流速	(173)
6.1.3 无相变时的压降计算	(173)
6.1.4 有相变时的压降计算	(176)
6.2 烟气流速及压降	(189)
6.2.1 烟气流速	(189)
6.2.2 烟气沿直管道流动的压降	(189)
6.2.3 局部阻力产生的压降	(190)
6.2.4 烟气流过对流室管排的压降	(195)
6.2.5 烟气下行产生的压降	(197)
6.3 管式炉的通风	(197)
6.3.1 自然通风及其烟囱高度	(197)
6.3.2 强制通风	(201)
符号表	(205)
参考文献	(207)

第七章 燃烧器	(208)
7.1 燃料气的燃烧和燃料气喷嘴	(208)
7.1.1 着火过程和强迫点燃	(208)
7.1.2 火焰传播	(209)
7.1.3 预混燃烧和预混式燃料气喷嘴	(212)
7.1.4 扩散燃烧和外混式燃料气喷嘴	(212)
7.1.5 半预混式燃料气喷嘴	(213)
7.1.6 火焰的稳定性	(213)
7.2 燃料油的燃烧及燃料油喷嘴	(215)
7.2.1 燃料油的燃烧	(215)
7.2.2 燃料油的雾化及油喷嘴	(217)
7.2.3 燃料油燃烧的稳定性	(221)
7.3 配风器	(222)
7.4 燃烧道和预燃筒	(222)
7.5 管式炉用燃烧器	(223)
7.5.1 设计和选用管式炉燃烧器的注意事项	(223)
7.5.2 油—气联合燃烧器	(225)
7.5.3 燃料气燃烧器	(231)
7.5.4 节能型和环保型燃烧器介绍	(237)
7.5.5 燃烧器对燃料系统的要求	(240)
7.6 燃烧器设计计算	(244)
7.6.1 常用定律及公式	(244)
7.6.2 燃料气喷嘴计算	(250)
7.6.3 油喷嘴计算	(260)
7.7 燃烧的污染及其控制	(263)
7.7.1 燃烧器的噪声及其控制	(263)
7.7.2 燃烧产物的污染及其控制	(268)
符号表	(270)
参考文献	(271)
第八章 结构和材料	(272)
8.1 炉管系统	(272)
8.1.1 炉管材质的选择	(272)
8.1.2 炉管壁厚计算	(281)
8.1.3 炉管及其配件	(288)
8.1.4 炉管的焊接	(292)
8.2 炉墙和耐火材料	(297)
8.2.1 炉墙结构	(297)
8.2.2 炉墙传热计算	(301)
8.2.3 耐火材料与隔热材料	(315)

8.2.4	耐火浇注料及其施工要点	(327)
8.3	炼油管式炉结构设计中的若干问题	(329)
8.3.1	辐射室尺寸的确定及其主要结构设计	(329)
8.3.2	对流室尺寸的确定及其主要结构设计	(337)
8.3.3	钢结构设计要点	(341)
8.3.4	烟风道及烟囱结构设计要点	(345)
	符号表	(349)
	参考文献	(351)
第九章	油田和长输管线加热炉	(352)
9.1	概述	(352)
9.1.1	油田和长输管线加热炉的用途	(352)
9.1.2	油田加热炉的技术装备现状	(352)
9.2	油田加热炉的炉型及基本结构	(352)
9.2.1	油田加热炉的炉型	(352)
9.2.2	火筒式加热炉基本结构	(354)
9.2.3	管式加热炉基本结构形式	(357)
9.3	加热炉新炉型及技术特点	(359)
9.3.1	火筒式加热炉新炉型及技术特点	(359)
9.3.2	管式加热炉新炉型及技术特点	(363)
	参考文献	(367)
第十章	炼油装置管式炉	(368)
10.1	炼油管式炉规划设计	(368)
10.1.1	基本要求	(368)
10.1.2	基础数据	(368)
10.1.3	炉型选择	(368)
10.1.4	影响管式炉主要尺寸的几个因素	(369)
10.1.5	炉体尺寸的初步选定	(377)
10.2	炼油装置管式炉的设计特点	(380)
10.2.1	炼油管式炉的特殊性和重要性	(380)
10.2.2	热载体炉	(382)
10.2.3	蒸馏炉	(383)
10.2.4	残渣油加热炉	(384)
10.2.5	加氢炉	(386)
10.2.6	重整炉	(390)
10.2.7	润滑油加工炉	(394)
10.2.8	气体加热炉	(395)
10.3	加热型管式炉工艺计算	(395)
10.3.1	工艺计算程序介绍	(396)
10.3.2	输入和输出数据	(397)

10.3.3	程序框图	(397)
10.3.4	计算举例	(398)
10.4	延迟焦化炉工艺核算	(401)
10.4.1	概述	(401)
10.4.2	管外过程模拟方法	(402)
10.4.3	管内过程模拟方法	(406)
10.4.4	计算程序及软件包编制	(412)
10.4.5	计算举例	(415)
10.4.6	小结	(419)
	参考文献	(420)
第十一章	烃类蒸汽转化炉	(422)
11.1	烃类蒸汽转化概述	(422)
11.1.1	烃类蒸汽转化热力学	(422)
11.1.2	烃类蒸汽转化动力学	(425)
11.1.3	烃类蒸汽转化催化剂	(426)
11.1.4	烃类蒸汽转化过程中的析碳和结碳	(428)
11.1.5	烃类蒸汽转化流程举例	(428)
11.1.6	烃类蒸汽转化操作条件分析	(431)
11.2	一段转化炉炉型	(433)
11.2.1	I.C.I 型转化炉	(433)
11.2.2	Topsøe 型转化炉	(434)
11.2.3	Kellogg 型转化炉	(435)
11.2.4	Foster Wheeler 型转化炉	(438)
11.3	烃类蒸汽转化炉辐射段的工艺计算	(439)
11.3.1	管内数学模型	(440)
11.3.2	管外数学模型	(443)
11.3.3	计算框图及其说明	(447)
11.4	计算举例及讨论	(449)
11.4.1	Kellogg 型转化炉(顶烘炉)设计计算	(449)
11.4.2	Topsøe 型转化炉(侧烧炉)实测及计算	(450)
11.4.3	Selas 转化炉计算	(453)
11.5	结构与材料	(459)
11.5.1	I.C.I 型转化炉结构	(459)
11.5.2	Kellogg 型转化炉结构	(462)
11.5.3	Topsøe 型转化炉结构	(471)
	附录	(479)
	符号表	(483)
	参考文献	(484)
第十二章	管式裂解炉	(486)

12.1	裂解反应热力学与动力学	(486)
12.1.1	低碳烃裂解平衡常数的计算	(486)
12.1.2	一次反应与二次反应	(488)
12.1.3	裂解过程的结焦生碳反应	(490)
12.1.4	裂解反应动力学	(491)
12.2	裂解过程的工艺参数与操作指标	(494)
12.2.1	裂解温度和停留时间	(494)
12.2.2	压力(烃分压)	(495)
12.2.3	稀释剂和稀释比	(495)
12.3	裂解炉的炉型和结构	(496)
12.3.1	概述	(496)
12.3.2	SRT 型裂解炉	(497)
12.3.3	USC 型裂解炉	(500)
12.3.4	GK 型裂解炉	(503)
12.3.5	毫秒裂解炉	(506)
12.3.6	Pyrocrack 型裂解炉	(509)
12.3.7	CBL 型裂解炉	(510)
12.4	裂解炉工艺计算	(512)
12.4.1	管内反应微分方程组的建立	(512)
12.4.2	传热及阻力降微分方程式的建立	(514)
12.4.3	区域的划分	(515)
12.4.4	计算步骤及框图	(515)
12.4.5	计算举例	(516)
	符号表	(518)
	参考文献	(519)
第十三章	提高加热炉热效率	(520)
13.1	提高热效率与节约燃料的关系	(520)
13.1.1	结合装置特点综合节能	(520)
13.1.2	降低排烟温度以减少排烟热损失	(521)
13.1.3	降低过剩空气系数以减少排烟热损失	(523)
13.1.4	减少不完全燃烧损失	(524)
13.1.5	减少散热损失	(524)
13.2	低温露点腐蚀	(524)
13.2.1	低温露点腐蚀的机理	(524)
13.2.2	腐蚀速度与壁温的关系	(527)
13.2.3	烟气露点温度的确定	(527)
13.2.4	低温露点腐蚀的防止和减轻措施	(529)
13.3	节能措施经济效果评价	(533)
13.3.1	节能投资经济效果评价内容	(533)

13.3.2 投资效率的基本概念	(534)
13.3.3 经济性评价的计算方法	(535)
参考文献	(540)
第十四章 利用烟气余热预热空气	(541)
14.1 烟气预热空气的各种方案	(541)
14.1.1 烟气间接预热空气	(541)
14.1.2 烟气直接预热空气	(542)
14.1.3 蓄热式高温空气贫氧燃烧技术简介	(543)
14.2 热油式空气预热器	(545)
14.2.1 结构	(545)
14.2.2 主要设计参数	(546)
14.2.3 设计和计算	(547)
14.3 回转式空气预热器	(550)
14.3.1 概述	(550)
14.3.2 优缺点分析	(551)
14.3.3 加热炉热负荷与预热器转子直径的关系	(552)
14.3.4 漏风量和漏风系数	(553)
14.3.5 漏风对预热器出口烟气温度的校正	(556)
14.3.6 传热核算简介	(556)
14.4 钢管式空气预热器	(557)
14.4.1 概述	(557)
14.4.2 立式和卧式	(557)
14.4.3 管径、管心距和排心距	(559)
14.4.4 气体流速	(560)
14.4.5 出口烟气温度	(560)
14.4.6 入口烟气温度	(560)
14.4.7 结构	(560)
14.4.8 受热面的计算	(560)
14.4.9 空气预热器阻力计算	(564)
14.4.10 预热器结构特性的初步确定	(566)
14.5 玻璃管空气预热器	(568)
14.5.1 结构形式	(568)
14.5.2 立式与卧式的对比	(569)
14.5.3 管端密封结构	(569)
14.5.4 玻璃管材质和规格	(571)
14.5.5 设计参数	(571)
14.5.6 玻璃管易破损原因分析	(573)
14.6 热管式空气预热器	(573)
14.6.1 热管	(574)