

# RE

热处理实用技术丛书

# 燃料 热处理炉

RANLIAORECHULILU

吴建国 张卫军 战洪仁 主编



辽宁科学技术出版社

**热处理实用技术丛书**

# 燃料热处理炉

吴建国 张卫军 战洪仁 主编

**辽宁科学技术出版社**

沈 阳

## 图书在版编目 (CIP) 数据

燃料热处理炉 / 吴建国, 张卫军, 战洪仁主编. — 沈阳:  
辽宁科学技术出版社, 2010.3

(热处理实用技术丛书)

ISBN 978-7-5381-5658-4

I. ①燃... II. ①吴... ②张... ③战... III. ①热处理  
炉 IV. ①TG155.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 011325 号

---

出版发行: 辽宁科学技术出版社

(地址: 沈阳市和平区十一纬路 29 号 邮编: 110003)

印刷者: 沈阳全成广告印务有限公司

经销者: 各地新华书店

幅面尺寸: 140mm × 203mm

印 张: 14

字 数: 260 千字

印 数: 1~4000

出版时间: 2010 年 3 月第 1 版

印刷时间: 2010 年 3 月第 1 次印刷

责任编辑: 韩延本 高 鹏

封面设计: 杜 江

版式设计: 于 浪

责任校对: 刘 庶

---

书 号: ISBN 978-7-5381-5658-4

定 价: 28.00 元

编辑部电话: 024-23284372

邮购热线: 024-23284502

E-mail: [elecom@mail.lnpgc.com.cn](mailto:elecom@mail.lnpgc.com.cn)

<http://www.lnkj.com.cn>

本书网址: [www.lnkj.cn/uri.sh/5658](http://www.lnkj.cn/uri.sh/5658)

## 《热处理实用技术丛书》 编写说明

随着我国装备制造业的快速发展，材料热处理领域的新技术不断涌现，企业对产品质量的要求越来越高，控制手段日趋智能化，广大工厂和工程技术人员掌握技术、丰富科技知识的愿望越来越强烈。辽宁省机械工程学会热处理分会适时组织力量，并与辽宁科学技术出版社协商，决定出版《热处理实用技术丛书》。

丛书共7本，即《钢的化学热处理》、《结构钢及其热处理》、《工具钢及其热处理》、《不锈钢及其热处理》、《真空热处理》、《淬火冷却技术及淬火介质》、《燃料热处理炉》。

丛书编写的指导思想为选取先进技术与一般技术相结合，理论与实践相结合，使其具备教课书和手册的双重功能，既适用于广大工人、工程技术人员，又可作为高校师生的参考书。丛书汇集了近些年我国在材料热处理领域研究的新技术、新成果，突出了“新”字，同时又列举了大量的、成熟的生产工艺，工艺数据较多，强化了“用”字。

《钢的化学热处理》一书内容丰富，几乎涵盖了常规化学热处理的工艺，突出了质量检验、废品分析和测试技术。

《结构钢及其热处理》一书含有较多的基础理论，介绍了生产中常用的各种结构钢的热处理工艺。

《工具钢及其热处理》一书详细介绍了刀具钢、模具钢、量具钢、耐冲击工具钢、轧辊用钢的常用钢种及其热处理工艺，其中，塑料模具钢和热作模具钢新钢种介绍得较多。应用实例、质量检验及废品分析占较多的比例。

《不锈钢及其热处理》一书的作者几十年从事不锈钢的热处

理工作，并开发研制了一些新钢种，具有丰富的生产经验和研制水平，因此本书是以作者自己的成果和经验为体系所编写的，类似专著。

《真空热处理》一书介绍了真空基础知识、真空加热特点、各种真空热处理工艺及典型件的真空热处理实例，并简要介绍了各种真空热处理炉。

《淬火冷却技术及淬火介质》一书介绍了各种淬火介质，特别是聚合物淬火介质的淬火油；介绍了磁场淬火、超声波淬火、强烈淬火、控制淬火等新淬火技术；介绍了淬火槽的自动控制和智能化控制系统；介绍了淬火冷却过程中的数值模拟技术。本书内容较新，是作者几十年从事淬火冷却介质和淬火槽冷却系统的研究、生产的结晶。

《燃料热处理炉》一书介绍了传热学、流体力学和燃料学的基础知识，介绍了各种类型的燃料热处理炉以及节能、环保等方面的知识，是作者几十年教学和社会实践知识的总结。

丛书编写的具体工作由唐殿福秘书长负责。

丛书编写过程中，得到了中国热处理学会、辽宁省机械工程学会及国内一些知名专家、教授、省内外一些企业的大力支持，在此表示衷心的感谢。

限于作者的知识水平和经历，书中的错误和不当之处难免，真诚地欢迎读者批评指正。

## 《热处理实用技术丛书》 编委会

主任 戚正风  
副主任 李友 张立文 唐殿福  
委员 徐维良 石家园 于程歆 田绍洁  
郭晓光 张文华 吴建国 刘世永  
包耳 汤洪智 董世柱

### 《钢的化学热处理》

…………… 主编唐殿福、卯石钢，副主编张焕敏

### 《真空热处理》

…………… 主编包耳、田绍洁

### 《燃料热处理炉》

…………… 主编吴建国、张卫军、战洪仁

### 《结构钢及其热处理》

…………… 主编董世柱、徐维良，副主编蔡淑芳

### 《工具钢及其热处理》

…………… 主编唐殿福、姚艳书，副主编郭冰峰

### 《不锈钢及其热处理》

…………… 主编张文华

### 《热处理冷却技术及冷却介质》

…………… 主编于程歆、刘林，副主编于旻

# 前 言

对金属和非金属工件进行热处理，是通过加热、冷却，从而改变被处理工件的性能，以便于进一步地加工或使用。

进行热处理的金属或非金属部件的加热，是通过各种各样的加热设备实现的，这些加热设备统称为热处理加热炉（或窑）。

热处理加热炉的分类方法很多。

按炉型可分为室式加热炉、台车式加热炉、井式炉、连续式加热炉、浴炉等。

按炉衬可分为砌砖炉衬、全纤维炉衬和混合炉衬。

按热源可分为燃料加热炉、电加热炉。燃料加热炉又可分为电阻加热炉、感应加热炉。

按加热方式可分为敞焰加热、马弗炉、盐浴炉、保护气氛加热炉。

按被处理材料的材质可分为钢铁热处理炉、有色金属热处理炉、非金属热处理炉。

目前各企业所使用的热处理炉以电加热炉为主。以电热为热源的热处理炉结构简单、操作方便、炉温便于控制、操作环境好。

以燃料为热源的热处理炉使用面广、造价便宜。将煤气化后作为热处理炉的热源，不仅能满足热处理的工艺要求，达到环境保护的标准，也符合我国的燃料结构。随着与之相适应的各种新的燃烧技术和燃烧设备的不断问世，燃料加热的热处理炉以后将会得到迅速地发展。

本书主要介绍在燃料加热热处理炉中，物料加热时炉内的传

热、气体流动和燃料燃烧，以及其基本炉型、应用、操作、节约能源的措施、环境保护、煤气的气化和气化设备等内容，并简要地介绍了炉内热工过程的自动控制等知识。

本书面对的读者主要是现场的工程技术人员。

由于编者的专业知识范围和水平的限制，书中难免存在错误与不足，请广大读者给予批评指正，提出宝贵意见，我们将非常感谢。

本书由吴建国、张卫军、战洪仁主编。

参加本书编写的人员有：第一章：吴建国、张卫军；第二章：战洪仁、战洪斌、寇丽萍；第三章：战洪仁、王立鹏、周清；第四章：吴建国、张卫军、陈忠秀、王维妍、潘妮、肖大伟、高慨；第五章：张卫军、肖广信、张琨、李程；第六章：李景成、王胜利；第七章：陈忠秀、吴建国；第八章：董宝林、宋国利、陈忠秀；第九章：张卫军、张效鹏、孟繁新；附录：高慨。

在本书的编写过程中辽宁省热处理学会、东北大学热能工程系沈阳东大工业炉有限公司、日本黑崎播磨株式会社和热处理界广大热工工作者给予了大力支持，在此一并表示衷心的感谢。

编者

## 目 录

<b>第一章 流体力学</b> .....	1
<b>第一节 基本概念和基本表达式</b> .....	1
一、基本概念 .....	1
二、基本表达式 .....	2
<b>第二节 气体静力学</b> .....	4
一、作用在气体上的力 .....	4
二、静止气体具有的能量 .....	5
三、气体流动的连续性 .....	14
<b>第三节 白奴里方程和它的应用条件——大气作用下的白奴里方程</b> .....	16
一、白奴里方程 .....	16
二、白奴里方程的应用条件 .....	18
三、大气作用下的白奴里方程 .....	20
<b>第四节 流体流动性质和阻力损失</b> .....	23
一、流体流动性质 .....	23
二、速度分布与层流边界层 .....	24
三、阻力损失计算 .....	25
<b>第五节 烟囱</b> .....	31
一、烟囱的工作原理 .....	31
二、烟囱的抽力和烟囱高度 .....	33
<b>第六节 喷射器及其应用</b> .....	36
一、喷射器 .....	36
二、喷射器的应用 .....	36

第七节 火焰炉内气体流动 .....	39
一、位头作用下的炉气流动 .....	39
二、射流作用下的炉气流动 (限制射流) .....	40
三、炉气循环 .....	41
四、低温再循环式炉 .....	43
五、炉内涡旋区 .....	44
第二章 传热学 .....	46
第一节 概述 .....	46
第二节 热传导 .....	48
一、导热基本定律——傅立叶定律 .....	49
二、导热系数 .....	50
三、热传导微分方程及其定解条件 .....	51
四、稳态导热 .....	55
五、不稳定热传导 .....	62
第三节 对流换热 .....	69
一、影响对流换热系数的因素 .....	69
二、因次分析在对流传热中的应用 .....	72
三、流体作强制对流时的对流传热系数 .....	76
第四节 热辐射 .....	87
一、热辐射的基本概念 .....	87
二、辐射传热基本定律 .....	91
三、两固体间的相互辐射 .....	96
四、气体的热辐射 .....	101
第五节 综合传热 .....	105
一、综合传热过程的分析 and 计算 .....	105
二、炉子热平衡 .....	115
三、热平衡方程和热平衡表 .....	120
第三章 燃料和燃烧 .....	122
第一节 燃料的一般性质 .....	123

---

一、燃料的化学组成 .....	123
二、燃料组成的表示法 .....	126
三、燃料的发热量 .....	129
<b>第二节 固体燃料 .....</b>	<b>131</b>
一、固体燃料成分 .....	131
二、煤的发热量测定 .....	132
三、煤的焦渣特性 .....	138
四、煤的结渣特性指标 .....	138
<b>第三节 液体燃料 .....</b>	<b>141</b>
一、石油产品 .....	142
二、原油加工方法 .....	143
三、石油产品主要的理化性质 .....	144
<b>第四节 气体燃料 .....</b>	<b>147</b>
一、气体燃料的主要组成成分 .....	147
二、各种煤气的性质 .....	149
<b>第五节 燃料反应计算 .....</b>	<b>156</b>
一、燃烧反应 .....	156
二、燃料燃烧计算 .....	159
三、燃烧温度 .....	173
四、燃烧温度的计算方法 .....	174
五、提高实际燃烧温度的途径 .....	179
<b>第六节 燃烧装置 .....</b>	<b>180</b>
一、煤气烧嘴 .....	180
二、重油喷嘴 .....	186
<b>第七节 供油系统 .....</b>	<b>191</b>
一、供油工艺系统 .....	191
二、回油 .....	194
<b>第四章 燃料加热热处理炉 .....</b>	<b>196</b>
<b>第一节 概述 .....</b>	<b>196</b>

第二节 室式炉 .....	200
一、固定底式室式炉 .....	200
二、车式热处理炉 .....	203
三、罩式炉 .....	207
四、坑式热处理炉 .....	211
第三节 连续式热处理炉 .....	212
一、推料式热处理炉 .....	212
二、步进式热处理炉 .....	213
三、环形加热炉 .....	216
四、分室式快速加热炉 .....	218
五、链式热处理炉 .....	221
六、辊底式加热炉 .....	224
七、震底式热处理炉 .....	230
八、牵引式热处理炉 .....	232
九、井式热处理炉 .....	237
十、罐式热处理炉 .....	239
第五章 燃料热处理炉设计计算举例 .....	240
第一节 原始数据 .....	240
一、工件 .....	240
二、热处理制度 .....	241
三、燃料 .....	241
四、最大装炉量 .....	241
第二节 热处理炉方案 .....	241
一、炉衬结构 .....	241
二、管道系统 .....	242
三、燃烧系统 .....	242
四、排烟系统 .....	242
五、安全保护措施 .....	243
第三节 炉子计算 .....	243

炉子尺寸确定 .....	243
第四节 燃料燃烧计算 .....	244
一、煤气转换为湿成分 .....	244
二、煤气燃烧时所需要的空气量 .....	245
第五节 加热过程中炉膛热交换 .....	247
第六节 燃烧产物和炉衬向工件辐射的单位总热量 $q$ .....	255
第七节 金属加热计算 .....	265
一、工件加热厚度计算 .....	265
二、在各计算温度段中金属的平均导热系数 $\lambda_m$ .....	265
三、计算斯特罗克准数 .....	266
四、计算毕沃准数 $Bi$ .....	268
五、确定加热物体“厚度”的比值系数 .....	268
六、金属加热计算方式 .....	269
第八节 冷却过程炉内热交换计算 .....	274
第九节 金属冷却计算 .....	283
一、已知计算参数 .....	283
二、金属冷却计算方法 .....	284
三、冷却时间 .....	286
第十节 加热周期炉膛热平衡与燃料消耗计算 .....	286
一、炉膛热收入 $Q_{入}$ .....	286
二、炉膛热支出 .....	287
三、炉膛热平衡式与平均燃料消耗量 .....	300
四、计算最大燃料消耗量 .....	301
五、炉膛热平衡表 .....	301
六、炉子工作指标 .....	302
第十一节 保温期间热平衡 .....	302
一、保温期间热收入 $Q_{入}$ .....	302
二、保温期间热量支出 $Q_{出}$ .....	303
三、热平衡方程式 .....	304

四、炉子煤气消耗量 .....	304
五、保温期间热平衡 .....	304
六、炉子性能计算数据 .....	305
<b>第十二节 燃烧器和炉用部件的选用 .....</b>	<b>305</b>
一、燃烧器和炉用部件 .....	306
二、炉子其他部件设计选择 .....	307
<b>第十三节 空气换热器设计计算 .....</b>	<b>307</b>
一、已知数据 .....	307
二、设计数据 .....	308
三、设计方案 .....	308
四、设计计算 .....	308
<b>第十四节 空气管路的阻力损失计算和鼓风机的选择 .....</b>	<b>318</b>
一、计算条件 .....	318
二、管路分段 .....	318
三、计算各区段空气流量、管道内径、规格及 空气流速 .....	318
四、确定空气管路系统阻力损失计算的区段 .....	320
五、计算阻力损失 .....	320
六、鼓风机的选择 .....	322
<b>第十五节 烟道阻力和烟囱高度计算 .....</b>	<b>323</b>
一、计算条件 .....	323
二、烟道阻力损失计算示意图 .....	323
三、各段烟道断面尺寸确定 .....	324
四、计算三段烟气温度 .....	325
五、计算各段烟道中烟气流速 .....	325
六、烟道阻力损失计算 .....	325
七、烟囱主要参数计算 .....	327
<b>第六章 热处理炉的砌筑与烘炉 .....</b>	<b>330</b>
<b>第一节 热处理炉常用耐火材料 .....</b>	<b>330</b>

---

一、概述 .....	330
二、各种耐火材料的性质 .....	331
三、不定形耐火材料 .....	333
<b>第二节 炉子砌筑 .....</b>	<b>345</b>
一、窑炉对砌砖的要求 .....	346
二、烘炉 .....	347
<b>第七章 热处理炉的节能与环境保护 .....</b>	<b>350</b>
<b>第一节 热处理炉节能措施 .....</b>	<b>350</b>
一、选择适当的筑炉材料 .....	350
二、加强炉体保温与密封 .....	351
三、选择恰当燃料和组织燃烧 .....	352
四、燃烧过程中燃料和助燃空气比例的控制 .....	354
五、炉子结构对节能的影响 .....	354
六、排烟口 .....	355
七、采用隧道式热处理炉的冷却和加热技术 .....	355
八、蓄热燃烧技术和脉冲控制燃烧技术 .....	356
九、高速调温烧嘴和脉冲控制燃烧技术 .....	363
十、调节燃烧过程的空/燃比实现节能 .....	366
十一、根据生产要求选择炉型 .....	366
十二、充分合理有效地利用余热 .....	368
十三、通过生产管理节能 .....	370
十四、其他节能措施 .....	371
<b>第二节 燃料加热热处理炉的环境保护 .....</b>	<b>371</b>
一、NO <sub>x</sub> 的排放 .....	371
二、二氧化硫排放 .....	372
三、灰尘排放 .....	372
四、噪声治理 .....	372
五、优化操作环境,减少高温热辐射等 .....	372
<b>第三节 燃料加热热处理炉操作中常见的问题与</b>	

处理方法 .....	372
一、炉子的冒火和吸风 .....	372
二、烟道闸板与安装 .....	374
<b>第八章 煤的气化原理与煤气发生炉 .....</b>	<b>375</b>
<b>第一节 煤的气化 .....</b>	<b>375</b>
一、煤气化的历史 .....	375
二、煤气化原理 .....	376
三、煤炭气化过程中的主要反应 .....	377
<b>第二节 煤的性质对气化的影响 .....</b>	<b>379</b>
一、气化用煤的选择 .....	379
二、气化用煤的主要特征 .....	380
三、煤种对气化的影响 .....	381
四、煤质对气化的影响 .....	382
<b>第三节 气化炉 .....</b>	<b>384</b>
一、气化炉的分类 .....	384
二、常压移动床煤气发生炉 .....	387
三、两段式煤气发生炉 .....	390
<b>第四节 煤气发生炉的操作与管理 .....</b>	<b>393</b>
点火与开工 .....	393
<b>第九章 测量与控制 .....</b>	<b>399</b>
<b>第一节 燃料加热炉检测和控制的项目 .....</b>	<b>399</b>
<b>第二节 燃料加热热处理炉自动控制系统的组成 .....</b>	<b>401</b>
<b>第三节 工业调节器的基本调节规律 .....</b>	<b>401</b>
<b>第四节 火焰炉热工过程自动控制系统的分类 .....</b>	<b>403</b>
一、按被控制的热工参数分类 .....	403
二、按给定值信号的特点分类 .....	403
三、按系统的结构分类 .....	404
<b>附 录 .....</b>	<b>408</b>
<b>附录 1 常用热工单位换算表 .....</b>	<b>408</b>

---

附录 2	炉壁黑度=0.8 时, 炉壁对空气的总传热系数和 散热损失 .....	409
附录 3	炉壁散热的换算系数 .....	410
附录 4	不同耐火材料厚度、不同炉内壁温度炉外壁散热 .....	410
附录 5	空气常用物理参数 .....	411
附录 6	烟气的某些物理参数 (压强为 760mmHg) .....	411
附录 7	各种形状条件下的局部阻力损失系数 .....	412
附录 8	各种炉型的炉底强度和热耗 .....	426
参考文献	.....	427