工业炉设计简明手册

王秉铨　姜生远　王　秋　编著

机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

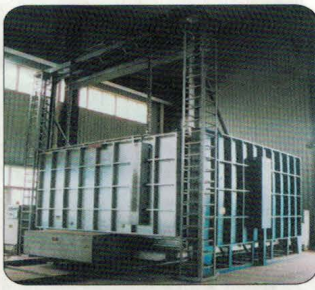
电 炉

KKQ

特大正规化电炉厂　年产台车炉等二千台

含碳球团环形转底炉

武汉市汉口电炉有限责任公司拥有5万m^2厂房，50年制造经验，系大型正规化工业电炉制造厂，年产台车炉、井式炉、箱式炉、渗碳炉、盐浴炉等2000余台。主要产品有：出口型陶瓷纤维台车式电阻炉(专利)、翻转式台车炉、模具预热炉、台车式金刚石钻头烧结炉、珍珠岩玻化微珠膨胀电炉(专利)、井式炉、飞机制造业用精密箱式炉、1700℃箱式炉、气体渗碳炉、气体氮化炉、辉光离子氮化炉、液体氮化炉、预抽真空保护气氛炉、铝合金淬火炉、专利滚道式铝合金淬火炉、铝合金时效炉、熔铝炉、熔铅炉、镁合金熔化保温炉、镁液复合坩埚、热镀锌炉、埋入式电极盐浴炉、硝盐炉、奥贝体等温淬火硝盐炉、奥贝体等温淬火生产线、坩埚盐浴炉、真空氮气保护铜材光亮退火炉、电热鼓风干燥箱、热风炉、实验电炉、推杆炉、网带硝盐等温淬火炉、搪瓷烧结炉、环形转底炉、转底炉、稀土和氧化铝焙烧炉、台车式催化剂焙烧炉、三元催化器热处理炉、滚筒炉、密封箱式炉、罩式炉、渗铝钢炉、淬火油(水)槽、真空炉、真空双室油淬炉、

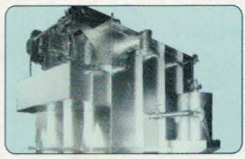

超大型全纤维台车炉

大型井式炉、渗碳炉

生产线批量化生产台车炉

回转窑、滚筒炉

专利滚道式铝合金淬火炉


淬火油(水)槽

精密铸造模壳焙烧炉

大型高温台车电阻炉

稀土、催化剂焙烧炉

电、燃油、燃气熔铝炉

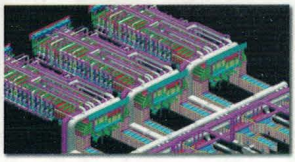
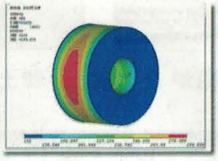
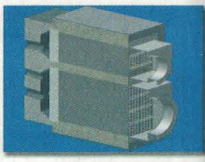
球墨铸铁、奥贝体等温淬火硝盐炉

武汉市汉口电炉有限责任公司
武　汉　工　业　电　炉　厂

厂址：武汉市东西湖台商开发区九通路武汉银湖科技园18号　厂长：孔可强　邮编：430040
电话：027—83372766　83372755　83372568　13807177084　传真：027—83372487　85879039
邮箱：85629181@163.com　网址：http://www.HKfurnace.cn　www.whdianlu.com.cn

北京首钢国际工程技术有限公司
——工业炉事业部

北京首钢国际工程技术有限公司(BSIET)工业炉事业部是中国从事钢铁行业热工领域节能减排、环保技术和工程设计、产品开发及工程总承包的技术服务商，在大型板坯/方坯进步(推钢)式加热炉、硅钢加热炉、罩式炉环形加热炉及各种形式热处理炉、熔铝炉及直接还原铁工艺用炉方面形成了独特的技术优势和和丰富的管理经验，获得多项专有技术和专利，拥有丰富的业绩；同时，还拥有多种具有自主知识产权的热工产品，并可为用户提供热工设备成套服务。BSIET工业炉事业部以领先的技术为基础、优质的产品为保证、顾客的满意为目标，将专业服务贯穿于项目建设的全过程，最终实现和客户的共赢。

地址：北京市石景山路60号
电话：(010)68872480 88291231 88299085 传真：(010)88295389
网址：www.bsiet.com 邮箱：bsiet@bsiet.com 邮政编码：100043

大连昌荣炉业有限公司

地址：大连市沙河口区成仁街13号　邮编：116021
电话：0086-411-84509062　传真：0086-411-84509100
电子信箱：changrong@cr-furnace.com
网址：www.cr-furnace.com

公司简介

本公司的前身为1989年成立的东方炉窑开发公司，于1998年转制为大连昌荣炉业有限公司。

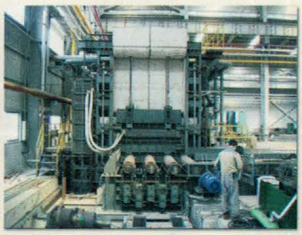
本公司经过长期发展，以不断自主研发为主，并依靠自身雄厚的技术实力，与国外多方技术先进公司进行了合作，现已发展成为集开发、设计、制造各种服务为一体的工业炉制造企业。产品涵盖机械、冶金、有色金属各行业使用的各种工业炉。其市场不仅遍布国内各地，许多产品也出口到英、法等十余个国家。

本公司的前身（东方炉窑开发公司）成立大会

公司董事长、总经理孙昌楷先生在美国世贸中心演讲

挺进三峡工程的大型台车式热处理炉-大连华锐铸钢

目前国内最大的高温、高精度控制的台车热处理炉-上海电气



在国内技术领先的蓄热式烧嘴室式、台车式、连续推钢式加热炉-中原特钢、淄博森钛、韩国PSM等

平焰台车加热炉-中原特钢

三段连续推钢加热炉-菲律宾AC钢厂

步进式连续加热炉-齐齐哈尔车辆厂

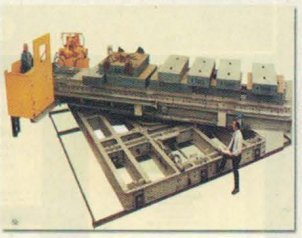
倾动式固定式矩形或圆形熔化保温炉及其装料车-出口多国

熔铝炉25t上料机-出口多国及中国大屯

网带式热处理炉-日本第一锻造

自身预热式烧嘴罩式炉-韩国平山

大型热处理炉及冷却室

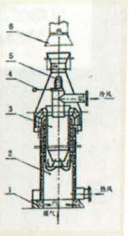


50t旋转式上料机-埃及等

倾动熔铝保温炉-一汽铸造、法国百炼等国内外各用户

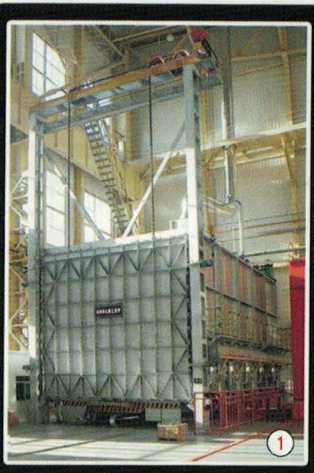
铝合金铸件各种热处理用炉-出口法国、匈牙利、墨西哥等国

各种直焰、平焰、高速烧嘴，自身预热烧嘴，蓄热式烧嘴



高效、高温、高寿命多功能复合式金属换热器

江南工业炉



1. **燃气式台车炉**
   额定温度：750℃
   工作尺寸：12000mm×6000mm×6000mm
   温度均匀性：±5℃
   装载量：300t

2. **铝材退火生产线**
   有色金属配套项目
   额定温度：600℃
   工作尺寸：8000mm×1450mm×2000mm
   温度均匀性：±3℃
   装载量：40t

3. **铝板材时效炉**
   航空铝合金配套项目
   额定温度：300℃
   工作尺寸：16000mm×4000mm×1600mm
   温度均匀性：±3℃
   装载量：50t

4. **铝棒均热炉**
   军工产品配套项目
   额定温度：650℃
   工作尺寸：11000mm×3000mm×1200mm
   温度均匀性：±5℃
   装载量：27t

5. **燃气式台车热处理炉**
   3.6万t模锻压机配套项目
   额定温度：950℃
   工作尺寸：13600mm×6000mm×2600mm
   温度均匀性：±5℃
   装载量：120t

6. **大型燃气式台车炉**
   核电配套项目
   额定温度：950℃
   工作尺寸：30000mm×8000mm×8500mm
   温度均匀性：±7℃
   装载量：1200t

7. **大型燃气式台车炉7台组合**
   1.5万t水压机配套项目
   额定温度：1150℃
   工作尺寸：16000mm×7000mm×5000mm
   温度均匀性：±10℃
   装载量：800t

8. **井式电阻炉**
   电站转子及轧辊配套项目
   额定温度：1100℃
   工作尺寸：2500mm×12000mm
   温度均匀性：±5℃
   装载量：200t

丹阳市江南工业炉有限公司
地址：江苏省丹阳市开发区八纬路　邮编：212300
电话：0511-86969311　传真：0511-86969312
联系人：马建国　手机：13905295688
网址：www.jngyl.com　E-mail:webmaster@jngyl.com

工业炉设计简明手册

王秉铨　姜生远　王秋　编著

机 械 工 业 出 版 社

本手册是一本简明实用的工业炉设计工具书。其主要内容有：工业炉设计总论、燃料与燃烧计算、钢材加热计算、燃料消耗量计算、燃烧装置及设计、预热器设计、筑炉材料与炉衬设计、炉前管道设计、排烟系统设计、炉用结构件设计、炉用机械设计、常用炉型设计、环境保护等。本手册突出了常用炉型和蓄热式炉的设计内容，手册中附有大量的图表和炉型结构详图，内容系统、简明、实用。

本手册可供从事工业炉设计研究、制造安装及操作维修人员使用，也可供大专院校相关专业师生参考。

图书在版编目（CIP）数据

工业炉设计简明手册/王秉铨，姜生远，王秋编著．—北京：机械工业出版社，2011.1

ISBN 978-7-111-32297-9

Ⅰ．①工…　Ⅱ．①王…②姜…③王…　Ⅲ．①工业炉－设计－技术手册　Ⅳ．①TK175

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2010）第 204420 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号　邮政编码 100037）
策划编辑：陈保华　责任编辑：陈保华
版式设计：霍永明　责任校对：李秋荣
封面设计：姚　毅　责任印制：乔　宇
北京机工印刷厂印刷（三河市胜利装订厂装订）
2011 年 1 月第 1 版第 1 次印刷
169mm×239mm・51 印张・8 插页・1022 千字
0 001—3 000 册
标准书号：ISBN 978-7-111-32297-9
定价：92.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换
电话服务　　策划编辑：（010）88379734
社服务中心：（010）88361066　网络服务
销 售 一 部：（010）68326294　门户网：http://www.cmpbook.com
销 售 二 部：（010）88379649　教材网：http://www.cmpedu.com
读者服务部：（010）68993821　**封面无防伪标均为盗版**

前　　言

工业炉是工业加热的关键设备，在推动我国经济发展和科技进步方面起着十分重要的作用，广泛应用于国民经济的各行各业，量大面广，品种多，同时工业炉又是高能耗装备。工业炉设计得是否合理对促进我国工业炉技术的发展，进一步节约能源，提高能源利用水平至关重要。

本手册集设计研究、制造安装和操作管理于一体，是一本简明实用的工业炉设计工具书。本手册的最大特点是突出了常用炉型和蓄热式炉设计技术。为了提高手册的实用性，尽量避免一些理论性较强和设计计算过程较繁琐的内容，由此使手册变得更加简明实用，方便了读者对所需内容的查找和正确运用。

本手册的另一特点是，在精练内容和精简篇幅的同时，保证了工业炉设计核心内容的全面性和完善性，这些核心内容是：燃料与燃烧计算、钢材加热计算、燃料消耗量计算、燃烧装置及设计、预热器设计、筑炉材料与炉衬设计、炉用结构件与炉用机械设计、炉前管道与排烟系统设计、常用炉型与蓄热式炉设计、工业炉节能与环境保护等。

本手册编写方法采用了以图表为主导、辅以文字论述的方式，十分便于读者阅读和应用。在编写过程中，我们关注了近年来在工业炉领域采用的新技术内容，采用了最新国家标准，缜密审核了全部计算公式，对具有一定难点和特点的设计计算内容列举了一些计算例题以便读者对照应用。为了适应新时期的政策要求，手册编入了蓄热式燃烧和低氧化氮燃烧技术，有助于减少工业炉生产运行中所生成 CO_2 和 NO_x 的排放量。

本手册由中国中元国际工程公司（原机械工业部设计研究院）的王秉铨、姜生远和哈尔滨松江电炉有限责任公司的王秋编写。其中，第 2 章、第 7 章、第 10 章、第 11 章由姜生远编写，第 8 章、第 12 章的 12.4 节由王秋编写，其他章节内容由王秉铨编写。

限于编者的水平，对于手册中存在的错误和不当之处，敬请读者批评指正，更希望提出改进意见，以使手册在内容上更加完善、正确、简明和实用。

编　者

目　　录

前言

第 1 章　工业炉设计总论 …… 1

1.1　炉型分类与设计方法介绍 …… 1

1.1.1　工业炉热工性能解析 …… 1

1.1.2　炉型分类 …… 3

1.1.3　工业炉组成 …… 5

1.1.4　设计原则 …… 6

1.1.5　设计原始资料 …… 7

1.1.6　设计计算 …… 8

1.2　炉型选择 …… 8

1.2.1　燃料选择 …… 8

1.2.2　预热器选择 …… 10

1.2.3　燃烧装置选择 …… 11

1.2.4　炉衬材料选择 …… 12

1.2.5　排烟方式选择 …… 12

1.3　工业炉节能 …… 13

1.3.1　合理使用能源 …… 13

1.3.2　节能途径及措施 …… 15

参考文献 …… 26

第 2 章　燃料与燃烧计算 …… 27

2.1　燃料 …… 27

2.1.1　固体燃料 …… 27

2.1.2　液体燃料 …… 34

2.1.3　气体燃料 …… 38

2.2　燃料燃烧计算 …… 43

2.2.1　燃料燃烧 …… 43

2.2.2　燃料发热量计算 …… 47

2.2.3　空气系数 …… 50

2.2.4　燃烧所需空气量计算 …… 51

2.2.5　燃烧生成气量及燃烧生成气密度的计算 …… 51

2.2.6　燃烧温度的计算 …… 54

2.3　燃料换算 …… 57

2.3.1　换算公式 …… 57

2.3.2　计算举例 …… 59

参考文献 …… 59

第 3 章　钢材加热计算 …… 60

3.1　基本概念 …… 60

3.1.1　炉温的概念 …… 60

3.1.2　锻造加热 …… 61

3.1.3　热处理加热 …… 62

3.1.4　“薄钢材”与“厚钢材” … 64

3.1.5　炉内温度位差与钢材截面温差 …… 65

3.1.6　加热、均热与保温时间 …… 66

3.1.7　计算参数 …… 66

3.2　加热时间简易计算 …… 70

3.2.1　恒温炉内加热 …… 70

3.2.2　热流不变情况下加热 …… 72

3.2.3　表面温度不变情况下加热 … 73

3.3　加热时间计算图表 …… 74

3.3.1　恒温炉内加热时间 …… 74

3.3.2　台车式炉内钢锭加热时间 … 76

3.3.3　连续式炉内钢材加热时间 … 80

3.4　少无氧化加热 …… 84

3.4.1　少无氧化加热工作原理 …… 84

3.4.2　少无氧化加热炉示例 …… 85

3.4.3　少无氧化加热计算 …… 86

3.4.4　计算例题 …… 90

参考文献 …… 93

第 4 章　燃料消耗量计算 …… 94

4.1　炉底（或容积）热强度指标 …… 94

4.1.1　砂型及砂芯干燥炉热强度指标 …… 94

4.1.2　塞杆烘炉及烘包器热强度指标 …… 95

4.1.3　各种加热炉热强度指标 …… 96
4.1.4　室式及台车式热处理炉热强度指标 …… 97
4.1.5　井式热处理炉热强度指标 … 98
4.1.6　燃油或燃煤气热处理用盐浴炉容积热强度指标 …… 98
4.1.7　燃油或燃煤气熔铜坩埚炉热耗指标 …… 98
4.2　单位热耗指标 …… 99
4.3　热平衡计算 …… 102
4.3.1　热收入项 …… 102
4.3.2　热支出项 …… 103
4.3.3　用热平衡法计算燃料消耗量 B …… 116
4.3.4　炉子热效率计算 …… 117
参考文献 …… 117
第5章　燃烧装置及设计 …… 118
5.1　煤气烧嘴 …… 118
5.1.1　高压喷射式烧嘴 …… 118
5.1.2　低压涡流式烧嘴 …… 125
5.1.3　天然气半喷射式烧嘴 …… 130
5.1.4　大气式煤气烧嘴 …… 133
5.1.5　焦炉煤气扁烧嘴 …… 134
5.1.6　扩散式烧嘴 …… 135
5.1.7　热煤气烧嘴 …… 136
5.1.8　平焰烧嘴 …… 138
5.1.9　高速烧嘴 …… 142
5.1.10　自身预热烧嘴 …… 146
5.2　油嘴 …… 148
5.2.1　分类与特点 …… 148
5.2.2　低压油嘴 …… 149
5.2.3　高压油嘴 …… 159
5.2.4　转杯式油嘴 …… 167
5.2.5　燃油燃烧机 …… 170
5.3　煤粉烧嘴 …… 172
5.3.1　煤粉燃烧的条件与特点 …… 172
5.3.2　煤粉烧嘴分类 …… 172
参考文献 …… 179
第6章　预热器设计 …… 180
6.1　间壁式预热器的设计 …… 180
6.1.1　概述 …… 180
6.1.2　设计要点 …… 180
6.1.3　基本计算公式 …… 185
6.1.4　间壁式预热器设计计算 …… 194
6.2　蓄热式预热器的设计 …… 227
6.2.1　概述 …… 227
6.2.2　设计要点 …… 227
6.2.3　基本计算公式 …… 230
6.2.4　蓄热式预热器设计计算举例 …… 232
6.3　热管式预热器的设计 …… 234
6.3.1　概述 …… 234
6.3.2　设计要点 …… 235
6.3.3　基本计算公式 …… 237
6.3.4　热管式预热器设计计算举例 …… 238
参考文献 …… 240
第7章　筑炉材料与炉衬设计 …… 241
7.1　耐火制品 …… 241
7.1.1　耐火制品分类 …… 241
7.1.2　耐火制品性能 …… 247
7.1.3　通用耐火砖的形状尺寸 …… 250
7.2　耐火纤维 …… 255
7.2.1　概述 …… 255
7.2.2　耐火纤维制品分类 …… 256
7.2.3　耐火纤维性能 …… 259
7.2.4　耐火纤维增强涂料 …… 260
7.2.5　耐火纤维粘结剂 …… 261
7.3　不定形耐火材料 …… 261
7.3.1　定义 …… 261
7.3.2　不定形耐火材料使用类型 …… 262
7.3.3　不定形耐火材料分类 …… 263
7.3.4　耐火泥浆 …… 269
7.4　隔热材料 …… 273
7.4.1　隔热材料的主要性能 …… 273

7.4.2 硅藻土质隔热材料 …… 274
7.4.3 石棉制品 …… 275
7.4.4 岩棉、矿渣棉及其制品 …… 276
7.4.5 硅酸钙制品 …… 277
7.4.6 蛭石及其制品 …… 277
7.4.7 水泥轻骨料浇注料 …… 278
7.4.8 水玻璃轻骨料浇注料 …… 279
7.4.9 膨胀珍珠岩浇注料制品 …… 280
7.5 普通筑炉材料 …… 280
7.5.1 烧结普通砖（红砖） …… 280
7.5.2 水泥 …… 281
7.5.3 砂 …… 282
7.5.4 常用胶结剂 …… 283
7.5.5 促凝剂 …… 286
7.5.6 铸石制品 …… 287
7.5.7 常用筑炉材料的体积密度、热导率和比热容 …… 288
7.6 炉衬设计 …… 289
7.6.1 炉衬设计的一般要求 …… 289
7.6.2 砖砌体设计 …… 290
7.6.3 纤维炉衬计算图表 …… 307
7.6.4 耐火纤维炉衬结构 …… 310
参考文献 …… 313
第8章 炉前管道设计 …… 314
8.1 炉前煤气管道设计 …… 314
8.1.1 设计范围 …… 314
8.1.2 计算流速 …… 315
8.1.3 设计要点 …… 315
8.1.4 管件 …… 317
8.1.5 阀门选用及其布置 …… 319
8.1.6 放散吹扫系统 …… 320
8.1.7 管道支架 …… 321
8.1.8 管道阻力计算 …… 323
8.1.9 施工及检验说明 …… 324
8.2 空气管道设计 …… 326
8.2.1 设计范围 …… 326
8.2.2 设计要点及设计数据 …… 326
8.2.3 风机 …… 328
8.2.4 施工及检验说明 …… 333
8.3 燃油管道设计 …… 336
8.3.1 设计范围 …… 336
8.3.2 燃油流速及阀门选用 …… 337
8.3.3 设计要点 …… 338
8.3.4 阻力计算 …… 339
8.3.5 施工及检验说明 …… 342
8.3.6 U形膨胀节 …… 342
8.4 炉前冷却水管道设计 …… 342
8.4.1 水的计算流速及阀门选用 …… 343
8.4.2 设计要点 …… 343
8.4.3 施工及检验说明 …… 344
参考文献 …… 344
第9章 排烟系统设计 …… 345
9.1 车间烟道 …… 345
9.1.1 烟道布置 …… 345
9.1.2 烟道计算 …… 347
9.2 烟囱 …… 361
9.2.1 排烟方式 …… 361
9.2.2 烟囱布置 …… 363
9.2.3 烟囱高度与直径计算 …… 363
9.3 喷射排烟计算 …… 366
9.3.1 带扩散段喷射器计算 …… 366
9.3.2 简单喷射器（无扩散段）计算 …… 371
参考文献 …… 373
第10章 炉用结构件设计 …… 374
10.1 炉架 …… 374
10.1.1 炉架结构 …… 374
10.1.2 炉架计算 …… 375
10.2 钢材选用 …… 386
10.3 台车轨道与砂封装置 …… 388
10.3.1 台车轨道 …… 388
10.3.2 砂封装置 …… 394
10.4 操作平台及扶梯 …… 395
10.4.1 平台结构 …… 395
10.4.2 扶梯结构 …… 397

10.4.3　平台结构计算 …… 400
10.5　炉口装置 …… 403
10.5.1　室式炉用炉口装置 …… 403
10.5.2　台车式炉用炉口装置 …… 406
10.5.3　井式热处理炉用炉口装置 …… 411
10.5.4　室式干燥炉用炉口装置 …… 411
10.6　烟道闸门 …… 414
10.6.1　烟道闸门分类 …… 414
10.6.2　烟道闸门配件 …… 418
参考文献 …… 419
第11章　炉用机械设计 …… 420
11.1　常用机械零件设计 …… 420
11.1.1　钢丝绳选用及滑轮卷筒设计 …… 420
11.1.2　钝轮、销齿传动 …… 432
11.1.3　吊杆、吊板及吊叉强度计算 …… 437
11.1.4　各种传动副的机械效率 …… 440
11.2　台车 …… 442
11.2.1　台车类型 …… 442
11.2.2　台车结构 …… 445
11.2.3　台车车架计算 …… 446
11.2.4　台车行走机构的设计计算 …… 457
11.3　台车牵引机构 …… 461
11.3.1　牵引机构主要参数的确定 …… 461
11.3.2　牵引机构的设计 …… 464
11.3.3　牵引机构的设计计算 …… 479
11.3.4　机架及基础设计 …… 482
11.3.5　台车行程限位 …… 487
11.4　炉门升降机构 …… 488
11.4.1　炉门升降机构分类 …… 488
11.4.2　手动炉门升降机构 …… 488
11.4.3　电动炉门升降机构 …… 492
11.4.4　气动炉门升降机构 …… 503
11.5　推出料机 …… 506
11.5.1　推料机性能参数计算 …… 506
11.5.2　炉内导轨 …… 508
11.5.3　料盘 …… 509
11.5.4　螺旋式推料机 …… 509
11.5.5　摩擦式出料机 …… 515
11.5.6　气缸、液压缸式推料机 …… 522
参考文献 …… 524
第12章　常用炉型设计 …… 525
12.1　室式炉 …… 525
12.1.1　概述 …… 525
12.1.2　设计计算 …… 530
12.1.3　炉型结构 …… 532
12.2　台车式炉 …… 535
12.2.1　概述 …… 535
12.2.2　设计要点 …… 538
12.2.3　砖砌炉衬台车式炉炉型结构 …… 540
12.2.4　耐火纤维炉衬台车式炉炉型结构 …… 545
12.3　井式炉 …… 551
12.3.1　概述 …… 551
12.3.2　设计计算 …… 552
12.3.3　炉型结构 …… 554
12.4　环形炉 …… 558
12.4.1　概述 …… 558
12.4.2　设计计算 …… 559
12.4.3　炉型结构 …… 562
12.4.4　炉底传动和装、出料方式 …… 569
12.5　步进式炉 …… 570
12.5.1　概述 …… 570
12.5.2　设计计算 …… 571
12.5.3　炉型结构 …… 575
12.5.4　步进机构 …… 581
12.5.5　步进式炉实例 …… 587
12.6　罩式炉 …… 590
12.6.1　概述 …… 590
12.6.2　炉型结构 …… 591

12.6.3 炉子主要组成部分 …… 596
12.6.4 设计计算 …… 602
12.7 煤炉 …… 606
12.7.1 炉型特点 …… 606
12.7.2 煤燃烧室 …… 606
12.7.3 炉箅（排）类型与供风方式 …… 612
12.7.4 排烟结构 …… 615
12.7.5 炉型设计 …… 616
12.7.6 炉型示例 …… 617
12.8 冲天炉 …… 624
12.8.1 概述 …… 624
12.8.2 炉型结构 …… 628
12.8.3 冲天炉技术参数分析 …… 634
12.8.4 炉型示例 …… 635
12.9 室式干燥炉 …… 637
12.9.1 概述 …… 637
12.9.2 炉型示例 …… 638
12.9.3 炉型结构 …… 639
12.9.4 设计计算 …… 644
12.9.5 计算举例 …… 647
12.9.6 热风发生装置 …… 648
12.10 坩埚炉 …… 652
12.10.1 概述 …… 652
12.10.2 设计计算 …… 655
12.10.3 坩埚的选用 …… 657
12.11 蓄热式炉 …… 657
12.11.1 蓄热式炉的燃烧原理 …… 657
12.11.2 蓄热体类别与选用 …… 658
12.11.3 蓄热式炉燃烧装置 …… 660
12.11.4 换向阀 …… 669
12.11.5 蓄热式炉的设计 …… 675
12.12 电阻炉 …… 683
12.12.1 电阻炉分类 …… 684
12.12.2 设计计算 …… 692
12.12.3 金属电热元件 …… 695
参考文献 …… 711
第 13 章 环境保护 …… 713
13.1 消烟除尘 …… 713
13.1.1 烟尘来源及烟尘排放标准 …… 713
13.1.2 消烟除尘措施 …… 715
13.1.3 冲天炉除尘 …… 720
13.1.4 煤炉除尘 …… 724
13.2 有害气体净化 …… 725
13.2.1 有害气体的来源 …… 725
13.2.2 大气污染物排放标准 …… 726
13.2.3 NO_x 抑制技术 …… 728
13.2.4 SO_2 净化技术 …… 730
13.3 噪声控制 …… 732
13.3.1 噪声危害 …… 732
13.3.2 噪声标准 …… 732
13.3.3 噪声的物理量度 …… 733
13.3.4 控制噪声的基本方法 …… 736
13.3.5 工业炉常用消声器分类 … 736
13.3.6 风机房噪声控制示例 …… 740
参考文献 …… 742
附录 …… 743
附录 A 几种火焰炉最基本的操作规程 …… 743
A.1 燃煤炉操作规程 …… 743
A.2 燃煤气炉操作规程 …… 743
A.3 燃油炉操作规程 …… 744
附录 B 炉子烘烤 …… 745
B.1 烘炉步骤 …… 745
B.2 烘炉曲线 …… 745
B.3 烘炉方法 …… 749
B.4 烘炉操作 …… 749
附录 C 热参数计算式及选用表 …… 749
C.1 部分热参数近似计算式 …… 749
C.2 热参数选用表 …… 751
附录 D 全国各省区主要城市海拔、计算温度及大气压力 …… 770
附录 E 高电阻电热合金及一些物体的热参数 …… 774
附录 F 火焰炉热工参数测定方法 … 780

F.1　烟道内冷空气吸入率计算 …… 780
F.2　炉膛内空气系数 α 的计算 …… 781
F.3　预热器性能的测定 …… 781
F.4　炉子生产能力和炉子生产率的计算 …… 782
F.5　金属烧损率的测定与计算 …… 782
F.6　炉子热效率的测定与计算 …… 783
F.7　流量的测定与计算 …… 783
附录 G　盛钢桶、铁液包参考尺寸 … 791
附录 H　局部阻力系数（ξ）表 …… 792
附录 I　炉衬材料图例 …… 803

第 1 章　工业炉设计总论

1.1　炉型分类与设计方法介绍

1.1.1　工业炉热工性能解析

在工业生产中，利用燃料燃烧产生的热量，或者将电能转化成热量对工件或物料进行加热的设备，称为工业炉。锅炉也是一种工业炉，但习惯上把锅炉和其他一些能源转换设备，如焦炉、煤气发生炉等不包括在工业炉范围内。

反映炉子热工性能的主要参数是：炉子装载量、炉子生产能力、炉子生产率、单位热耗、炉底热强度与炉子热效率等。

1. 炉子装载量

每一加热周期内，一次可装入炉内的工件或物料质量，称为炉子装载量，单位为 t。对于干燥炉，一次装入炉内的物料（砂箱、砂型、砂芯等）体积占炉室容积的百分数，称为炉子填充率。炉子装载量或填充率代表了炉子负荷量大小，也是计算炉体结构及基础承载能力的因数之一。

2. 炉子生产能力

对于加热炉和热处理炉，按单位时间计算的炉子加热能力，称为炉子生产能力，单位为 kg/h；对于冲天炉则习惯称为炉子熔化率，单位为 t/h。炉子升温速度越快，则生产能力越高。

3. 炉子生产率

对于加热炉和热处理炉，按单位时间、单位炉底面积计算的炉子加热能力，称为炉子生产率，单位为 kg/（m^2·h）；对于冲天炉则习惯称为炉子熔化强度，单位为 t/（m^2·h）。炉子装载量越大，升温速度越快，则炉子生产率越高。一般情况下，炉子生产率越高，则加热每千克工件的单位热量消耗也越低，所以要降低能源消耗，首先应该满负荷生产，尽量提高炉子的生产率。

4. 单位热耗与炉底热强度

在一个加热周期内，加热每千克工件所消耗的热量，称为工件的单位热耗，单位为 kJ/kg。单位热耗与炉子生产率相乘即为炉底热强度，单位为 kJ/（m^2·h）。利用单位热耗与炉底热强度指标可较为准确地计算炉子燃料消耗量。要降低燃料消耗量除应满负荷生产、尽量提高炉子生产率以外，还要减少炉子砌体的蓄热和散热损失、水冷构件热损失、各种开口辐射热损失、逸出炉外烟气和吸入炉内冷空气造

成的热损失，以及离炉烟气带走的热损失等。

5. 炉子热效率

工件或物料加热时吸收的有效热量与供入炉内的热量之比，称为炉子的热效率，用式（1-1）表示

$$\eta = \frac{100Q_y}{Q_g} = 100\left(1 - \frac{Q_s}{Q_g}\right) \tag{1-1}$$

式中 η——炉子热效率（%）；

Q_y——工件或物料吸收的有效热量；

Q_g——供入炉内热量；

Q_s——各项损失热量之和。

炉子的有效热量与加热工艺有关，不同炉子有效热量 Q_y（单位：kJ/h）计算式如下：

（1）对于间歇式炉

$$Q_y = G\ (c_c t_c - c_r t_r) \tag{1-2}$$

式中 G——炉子生产能力（kg/h）；

t_c、t_r——工件出炉与入炉时温度（℃）；

c_c、c_r——工件出炉与入炉时的平均比热容［kJ/（kg·℃）］㊀

（2）对于连续式加热炉 钢材在炉内的高温段升至最高加热温度，然后以较低温度由均热段出炉，此时

$$Q_y = G(c_j t_j - c_r t_r) \tag{1-3}$$

式中 c_j——钢材最高加热温度时的平均比热容［kJ/（kg·℃）］；

G——炉子生产能力（kg）；

t_j——钢材的最高加热温度（℃）。

（3）对于熔化炉

$$Q_y = G[c_g(t_r - t_g) + R + c_y(t_c - t_r)] \tag{1-4}$$

式中 G——炉子熔化率（kg/h）；

c_g、c_y——物料在固态和液态下的平均比热容［kJ/（kg·℃）］；

t_g、t_r、t_c——物料入炉、熔化和出炉温度（℃）；

R——物料的熔化热（kJ/kg）。

（4）对于干燥炉

$$Q_y = Gc(t_c - t_r) + g(h_t - h_r) \tag{1-5}$$

㊀ 除计算公式中明确以开尔文（K）为温度单位外，为计算方便（因许多图表及公式均以℃标注），本书标注比热容、传热系数及热导率单位时分别以 kJ/（kg·℃）、W/（m^2·℃）及 W/（m·℃）代替 kJ/（kg·K）、W/（m^2·K）及 W/（m·K）。下同。