

吴德荣 杨泽来 周家骅 编著

工业炉 及其 节能



机械工业出版社

内 容 简 介

本书面向生产实践,全面、系统地介绍了工业炉节能基础,工业炉节能技术,工业炉节能应用实例及工业炉安全与环保技术等,内容丰富,实用性强。在分析介绍各种节能技术时,阐明基本原理、使用条件与应用实例,以免误用或盲目推广。对多种节能技术同时应用的节能效益,进行了科学的分析。

本书可供机械、冶金、建材、国防等系统从事能源与节能工作的工程技术人员、管理人员及有关专业的师生使用。

工业炉及其节能

吴德荣 杨泽来 周家骅 编著

*

责任编辑:王兴垣 版式设计:冉晓华

封面设计:姚毅 责任校对:熊天荣

责任印制:王国光

*

机械工业出版社出版 (北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可出字第117号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $850 \times 1168^{1/32}$ ·印张 $187/8$ ·字数 496 千字

1990年3月北京第一版·1990年3月北京第一次印刷

印数 0,001—2,800·定价:18.60元

*

ISBN 7-111-01813-3/TK·77

90 年 5 月 22 日 336246

前言

2F59/06

工业炉是各个生产部门消耗能量大的生产设备，工业炉能耗约占我国能源总耗量的四分之一。目前，我国工业炉节能工作已经起步，但能源利用效率仍然较低，无论从国内先进水平或是从世界先进国家工业炉能耗水平看，我国工业炉都存在巨大的节能潜力。因此，急待从技术管理与节能技术的应用方面做好工业炉节能工作。

《工业炉及其节能》一书全面、系统地介绍了有关工业炉节能的内容，面向生产实践，注重节能新技术，内容丰富、实用。在分析各种节能技术时，阐明基本原理、使用条件与应用实例，以免误用或盲目推广。对多种节能技术同时应用的节能效益，进行了科学的分析。

本书内容包括：能源特性、炉型分类、传热基础、燃烧计算及热平衡计算，工业炉节能现状及技术经济分析、节能燃烧技术及装置、加热节能技术、炉体结构节能技术、余热回收技术及装置、工业炉热工自控与节能效果，国内外的加热炉、热处理炉、铸造用炉、窑业用炉、电炉应用节能实例及工业炉安全与环保技术。

本书注重基本原理与实际应用的结合，可供机械、冶金、建材、国防等系统从事能源与节能工作的工程技术人员、管理人员、技术工人及大专院校有关专业的师生参考。本书对工业炉节能改造有较大的实用价值，也可作为工业炉节能技术培训班的教材。

本书由机械电子工业部第五设计研究院工业炉研究室吴德荣、杨泽来、周家骅编写，全书由吴德荣、杨泽来负责统稿。

全书经机械电子工业部设计研究院吴章洪同志认真审稿，谨

致衷心感谢。

本书从国内外大量书刊中选取了部分资料、数据。在此特向有关作者一并致谢。

由于我们水平与实践经验有限，书中难免有错误和不当之处，敬请广大读者批评指正。

编著者

1988年1月于天津

目 录

第1篇 工业炉总论

第1章 工业炉能源特性	7
1 燃料的种类及特性	1
1.1 工业炉用燃料特征	1
1.2 燃料的种类	1
1.3 气体燃料	1
1.4 液体燃料	6
1.5 固体燃料	10
1.6 燃料的燃烧特性	11
2 工业炉燃料的选择	17
2.1 国外工业炉用燃料及其发展趋势	17
2.2 我国工业炉燃料现状及其发展趋势	18
2.3 工业炉燃料选择	19
3 煤的气化技术	20
3.1 概述	20
3.2 主要气化技术评述	21
4 电能	25
4.1 概述	25
4.2 电热系统的能源利用效率	25
4.3 电能转换为热能的方式与特点	26
第2章 工业炉的分类和主要形式	29
1 工业炉的分类	29
2 热源及加热方式	33
2.1 燃料炉及其特性	33
2.2 直接加热方式与间接加热方式	34
2.3 电加热方式的特点及类型	36

3 操作方式及材料运送装置	36
第3章 传热基础	46
1 传热方式	46
2 热传导	49
2.1 热传导的基本定律	49
2.2 稳定态平壁导热	49
2.3 筒壁稳态导热	53
2.4 非稳态导热	54
3 对流换热	59
3.1 对流换热基本方程	59
3.2 对流换热系数	59
3.3 强化对流换热的措施	61
4 辐射传热	62
4.1 辐射传热的基本定律	62
4.2 两固体间的热辐射	64
4.3 气体辐射	67
4.4 火焰辐射	71
5 综合传热	72
5.1 对流和辐射同时存在的综合传热	72
5.2 通过平壁的综合传热	73
5.3 热交换器的综合传热	73
5.4 加热炉内的传热	75
第4章 燃料的燃烧计算	81
1 燃料成分的换算	81
1.1 固体和液体燃料各组成表示方法及其换算	81
1.2 气体燃料组成的表示方法及其换算	83
2 燃料发热量的计算	84
2.1 固体和液体燃料的发热量	84
2.2 气体燃料的发热量	84
3 理论空气消耗量与理论烟气生成量的计算	85
3.1 理论分析计算法	85
3.2 经验公式法	86

4 空气系数 n 与实际空气量、烟气量的计算	86
4.1 空气系数 n	86
4.2 实际烟气生成量的计算	87
5 燃烧产物的成分、密度与比热容的计算	88
5.1 液体与固体燃料燃烧产物成分的计算	88
5.2 气体燃料燃烧产物成分的计算	89
5.3 燃烧产物密度 ρ 的计算	89
5.4 燃烧产物平均比热容 C_p 的计算	89
6 燃料理论燃烧温度 t_f 的计算	91
第5章 工业炉窑热平衡	92
1 概述	92
1.1 工业炉窑热平衡项目表	92
1.2 热平衡体系与框图	92
1.3 热平衡模型	95
1.4 热平衡测试内容	95
2 热平衡计算	97
2.1 热收入项计算	98
2.2 热支出项计算	100
3 关于炉窑工艺有效热	109
3.1 金属加热炉	110
3.2 金属熔化炉	110
3.3 物料干燥炉	110
3.4 煤气发生炉	111
3.5 钢材连续退火炉	111
3.6 硅酸盐制品烧成窑炉	111
4 工业炉热能利用技术指标	113
4.1 单耗	113
4.2 工业炉窑热效率 η	113
4.3 装置能量利用率 η_{en}	114
4.4 燃料热利用系数 K	115
5 工业炉热平衡实例	115
5.1 燃油钢材连续加热炉运行热平衡	115

5.2 冲天炉运行热平衡	126
--------------------	-----

第2篇 工业炉节能

第1章 概论	133
1 节能的基本概念	133
1.1 节能的含义及内容	133
1.2 能量的使用效率	133
2 工业炉的耗能量	143
2.1 我国工业炉耗能量	143
2.2 国外工业炉耗能量	143
3 工业炉节能的意义	145
3.1 工业炉节能潜力测算方法	145
3.2 工业炉窑能耗分等	149
4 工业炉节能投资效果分析	152
4.1 工业炉节能投资效果分析方法	152
4.2 工业炉节能投资的回收期及评价标准	153
4.3 投资回收的计算及实例	154
5 工业炉节能的基本方向	156
5.1 节能方向	156
5.2 工业炉节能方向的讨论	158
5.3 单项节能与综合节能	160
第2章 燃烧节能技术及燃烧装置	162
1 燃烧节能技术	162
1.1 低空气系数燃烧技术及其燃料节约计算	162
1.2 空气的预热及其燃料节约计算	171
1.3 低空气系数和预热空气燃烧的综合燃料节约效果及其 燃料节约率的计算	174
1.4 富氧燃烧及其燃料节约率的计算	175
2 固体燃料燃烧装置	176
2.1 层状燃烧	176
2.2 半煤气燃烧	181
2.3 粉煤燃烧	184

3 液体燃料燃烧装置	192
3.1 重油的燃烧	192
3.2 油的雾化	193
3.3 低压油烧嘴	194
3.4 高压气流雾化油烧嘴	203
3.5 机械雾化油烧嘴	208
3.6 回转式油烧嘴	214
4 气体燃料燃烧装置	215
4.1 预混式烧嘴	215
4.2 外混式烧嘴	219
4.3 半混合型煤气烧嘴	224
4.4 热脏煤气烧嘴	225
5 新型节能烧嘴	227
5.1 平焰烧嘴	227
5.2 换热式烧嘴	230
5.3 高速烧嘴	231
5.4 超声波雾化油烧嘴	235
5.5 低 NO_x 烧嘴	236
5.6 可变火焰烧嘴	238
6 烧嘴的附属装置	245
6.1 压力、流量调节装置	245
6.2 流量温度补偿装置	247
6.3 烧嘴的安全燃烧监控系统	248
第3章 加热节能的技术及装置	252
1 快速加热节能技术	252
1.1 快速加热技术	251
1.2 国内外快速加热技术概况	256
1.3 快速加热技术的特点	259
1.4 快速加热的方法及其应用	261
1.5 快速加热技术的节能及经济性	278
2 少无氧化加热技术及装置	279
2.1 概述	279
2.2 敞焰无氧化加热原理	281

2.3 敞焰少无氧化加热炉	285
2.4 少无氧化防护润滑剂	286
2.5 少无氧化加热炉的节能与经济性	289
第4章 工业炉炉体结构及节能	290
1 工业炉用耐火、隔热材料	290
1.1 耐火材料的种类及特征	290
1.2 各类工业炉对耐火材料的要求	296
1.3 保温隔热材料的种类和性能	297
1.4 可塑料、浇注料在工业炉上的应用	298
2 耐火纤维及节能	303
2.1 耐火纤维的发展	303
2.2 耐火纤维的种类及主要特性	303
2.3 耐火纤维的施工方法	306
2.4 耐火纤维应用实例及节能效果	313
3 工业炉的合理炉衬结构	315
3.1 炉衬结构的型式	315
3.2 复合炉衬及经济炉墙厚度	315
3.3 工业炉合理炉衬的设计	322
3.4 预制件和装配式工业炉	323
第5章 工业炉余热利用	326
1 概述	326
1.1 余热的定义与种类	326
1.2 余热利用的意义	326
1.3 设置工业炉余热回收系统应注意的几个问题	329
1.4 工业炉余热回收标准	329
1.5 工业炉余热利用的形式	331
2 工业炉预热器	331
2.1 预热器的种类	331
2.2 预热器的选型	335
2.3 预热器设计计算	337
2.4 预热器的主要技术经济指标	342
3 新结构预热器介绍	344

3.1	辐射-对流组合式空气预热器	344
3.2	喷流空气预热器	346
3.3	移动床空气预热器	348
3.4	管状陶瓷预热器	350
3.5	块状陶瓷预热器	351
3.6	热管预热器	355
4	预热器有效工作的保证	357
4.1	预热器计算时原始参数的确定	357
4.2	空气动力学条件	358
4.3	热工条件	361
4.4	热膨胀	365
4.5	预热器的阻塞	367
4.6	预热器的安装	368
第6章	工业炉热工过程自动控制	371
1	概述	371
1.1	自动控制技术是工业炉节能的一条重要措施	371
1.2	自动控制的基本概念	372
1.3	热工过程自动控制系统的分类	373
1.4	过程控制调节装置的分类	375
2	以基地式仪表为基础的控制系統	378
2.1	电阻炉炉温位式控制	378
2.2	电阻炉炉温连续控制	379
2.3	煤气热处理炉炉温检测控制系统	379
3	由单元组合仪表组成的控制系统	380
3.1	单元组合仪表简介	380
3.2	DDZ-Ⅰ、Ⅱ型仪表的分类及组合	381
3.3	用单元组合仪表组成的工业炉控制系统举例	383
4	仪表型微型机自动控制系统	387
4.1	智能式调节器简介	388
4.2	工业炉使用仪表型微型机自动控制系统举例	392
5	多功能微型机自动控制装置及其组成的自动控制系统	394
5.1	DJK/F-1000-D型多功能微型机控制装置简介	394

5.2 工业炉使用 DJK/F-1000-D 型多功能微型机控制装置	
实例	395
6 总体分散综合控制系统	400
6.1 微型机小型两级调节控制管理系统	400
6.2 典型的总体分散综合控制装置简介	401
7 工业炉热工过程优化控制简述	402
7.1 热工过程控制数学模型	403
7.2 数学模型控制方法	403

第 3 篇 工业炉节能实例

第 1 章 加热炉节能及实例	407
1 具有高温废热回收系统的高效锻造加热炉	407
2 用高速烧嘴及中温预热器改造大中型室式炉及台车式加热炉 ...	410
3 使用平焰烧嘴及喷流预热器的台车式加热炉	411
4 使用自身预热烧嘴的加热炉	416
4.1 室式加热炉	416
4.2 轧钢推料式加热炉	418
4.3 板坯连续加热炉	419
5 陶瓷管型锻造炉	419
5.1 简介	419
5.2 CT 炉的特点	420
5.3 炉子性能	421
5.4 测试结果	421
5.5 陶瓷管的耐久性	422
5.6 操作数据	423
6 轧钢连续加热炉	424
6.1 无隅区加热炉	424
6.2 烟气余热全回收加热炉	424
6.3 使用喷流预热技术的连续加热炉	431
6.4 新型台车式连续加热炉	436
第 2 章 热处理炉节能及实例	440
1 热处理火焰炉的节能技术	442

1.1	回收排烟余热	442
1.2	减少辅件及运输装置的热损失	445
1.3	减少炉体热损失	445
2	热处理火焰炉节能实例	447
2.1	用新型烧嘴及陶瓷换热器系统改造的台车式热处理炉	447
2.2	使用耐火纤维的热处理炉	448
2.3	燃煤热处理炉	450
第3章 铸造用炉节能及实例		453
1	冲天炉节能	453
1.1	冲天炉节能的含义	453
1.2	供风方式的选择对冲天炉强化的影响	454
1.3	提高冲天炉操作管理水平	459
1.4	冲天炉节能工作的方向	459
1.5	冲天炉熔炼过程计算机优化控制简介	461
2	烘干炉和退火炉的节能	465
2.1	烘干炉与退火炉的典型热平衡分析	465
2.2	改进燃烧方法, 减少固体和气体不完全燃烧热损失	466
2.3	减少炉体蓄热损失	466
2.4	利用烟气余热	469
第4章 窑业用炉节能及实例		470
1	水泥窑节能	470
1.1	立窑节能途径	470
1.2	回转窑节能途径	472
2	玻璃熔窑节能	475
2.1	合理组织燃料燃烧	475
2.2	合理制订生产工艺参数与加强控制	476
2.3	改进熔窑结构	477
2.4	减少散热损失	478
2.5	烟气余热利用	479
3	硅酸盐制品烧成窑节能	480
3.1	轮窑热平衡分析	480
3.2	隧道窑节能措施	484

第5章 电炉节能及实例	488
1 电弧炉的节能	488
1.1 电弧炉的节能技术措施	488
1.2 电弧炉能耗分等	489
1.3 节能实例	490
2 感应炉的节能	495
2.1 感应炉的节能技术	495
2.2 炉种及电能消耗比较	498
2.3 节能实例	499
3 电阻炉的节能	503
3.1 电阻炉的节能技术	503
3.2 电阻炉能耗分等	505
3.3 电阻炉节能实例	505
4 盐浴炉的节能	508
4.1 盐浴炉的主要节能措施	509
4.2 盐浴炉的能耗分等	511

第4篇 工业炉安全技术及环境保护

第1章 工业炉安全技术	513
1 工业炉常见事故及原因	513
1.1 燃烧引起的燃料爆炸事故	513
1.2 可燃性保护气氛的爆炸	513
1.3 溶剂蒸气引起的爆炸	514
1.4 水蒸气的爆炸事故	514
2 爆炸的条件及防止	514
2.1 爆炸的条件、机理	514
2.2 爆炸事故的防止	515
3 工业炉安全标准	517
3.1 对设备结构和功能的要求	517
3.2 使用说明书	520
3.3 对使用、操作要求	520
3.4 对检查、维修要求	522

第2章 工业炉环境保护	524
1 工业炉窑排出物对大气的污染	524
1.1 工业炉烟尘及其危害	524
1.2 有害气体及其危害	524
1.3 有害物质的排放标准	525
2 工业炉烟尘防治	529
2.1 炼钢电弧炉除尘	529
2.2 冲天炉烟尘净化	533
2.3 燃煤工业炉消烟除尘	545
3 有害气体的净化	550
3.1 二氧化硫净化技术	551
3.2 氮氧化物抑制技术	551
4 工业炉噪声控制	552
4.1 燃烧噪声的产生与控制	553
4.2 风机噪声控制	553
附录(一)	556
附录(二) 《工业炉及其节能》名录	575

第1篇 工业炉总论

第1章 工业炉能源特性

1 燃料的种类及特性

工业炉是工业中广泛使用的热能利用设备，其热能主要来源是燃料燃烧的化学热和电能转换的电热。

1.1 工业炉用燃料特征

工业炉用燃料通常是经过燃料燃烧装置将其燃烧，燃烧反应的热能首先加热气态燃烧产物，然后炽热的高温气体通过各种传热方式使物料、炉墙等进行加热，燃烧产物释放部分热量后作为废气从排烟系统排除。工业炉用燃料的基本特征是：主要可燃成分为C和H；燃烧产物是 CO_2 、 H_2O 及 N_2 等气态物质；燃烧时能放出大量的热能；燃烧过程容易控制，燃烧产物也易于排出。对工业炉用燃料还要求来源丰富，价格低廉，燃烧产物对加热物料不起破坏作用，对环境不造成污染和毒害。

1.2 燃料的种类

燃料按物态可分为固体燃料、液体燃料和气体燃料三种；按来源可分为天然燃料和人造燃料两大类。工业用燃料的分类见表1.1-1。

工业炉用天然燃料主要是天然气和烟煤；人造燃料主要是各种人造煤气、焦炭和重油。工业炉用燃料总的趋势是使用人造燃料的比例逐年增加；现代化的工业炉使用煤气的比例日益增多。

1.3 气体燃料

工业炉用的气体燃料主要有天然气、石油气、焦炉煤气、发

表1.1-1 工业用燃料分类简表

燃料的物态	来源		
	天然的	人造的	
		加工方法	燃料类型
固体	木柴、泥煤、褐煤、烟煤、无烟煤可燃页岩	固体燃料热加工（焦化或半焦化等）； 固体燃料机械加工	焦炭、半焦、木炭耐熟无烟煤、煤砖及型煤、煤粉
液体	石油	石油蒸馏， 石油、重油、焦油的裂化与分馏； 煤、焦油、重油的氢化， 气体合成， 机械加工	汽油、煤油、柴油、重油， 焦油， 汽油，柴油 胶体燃料，混合燃料 （煤水浆，COM燃料）
气体	天然气	固体燃料的焦化或半焦化，固体燃料的气化 石油、焦油、重油的裂化， 冶金副产品	焦炉煤气、半焦煤气空气煤气、水煤气、蒸汽-空气煤气、蒸汽-氧煤气， 地下煤气 石油气、焦油气、重油气，高炉煤气

生炉煤气和城市煤气等。随着天然气的日趋枯竭，液体燃料供应困难及固体燃料直接燃烧的污染环境与不便控制，煤制气（城市煤气及发生炉煤气）作为工业炉燃料正迅速增加。

（1）气体燃料的特点 气体燃料作为工业炉燃料比固体、液体燃料有如下优点：

- 1）燃烧效率高，可用最少的过剩空气量实现完全燃烧。
- 2）燃烧易于控制和保持稳定，使用气体燃料在燃料消耗量、温度调节、炉内气氛控制、火焰特性（长度、形状、动量等）控制等方面均易于实现，燃烧过程较容易持续稳定。
- 3）气体燃料本身可利用烟气热量预热，且预热装置简单。但预热温度受高温热分解的限制。
- 4）无灰尘，环境清洁。