

工业炉

Gongyelu
Sheji Shouce

第2版

设计手册

机械工业部设计研究院 王秉铨 主编

机械工业出版社

工业炉设计手册

Gongyelu sheji shouce

第 2 版

机械工业部设计研究院 王秉铨 主编



机械工业出版社

本手册论述了机械工厂用工业炉的基本原理和设计方法,详尽地提供了工业炉及其附属装置的设计计算资料。主要内容有:设计方法,传热计算,燃料与燃烧计算,钢材加热计算,燃料消耗量计算,燃烧装置、预热器、筑炉材料与炉衬、炉前管道、排烟系统、炉用结构件、炉用机械、常用炉型、电阻炉、可控气氛炉设计,热工测量与控制,消烟除尘与噪声控制等。内容十分丰富、详实,文字简明,数据可靠,全书采用最新国家标准。

本手册可供工业炉设计、研究、制造及维修人员使用,也可供大专院校有关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

工业炉设计手册/王秉铨主编. —2版. —北京:机械工业出版社,1996.8
ISBN 7-111-04825-3

I. 王… II. 王… III. 工业炉-设计-手册 IV. TK17-62

中国版本图书馆CIP数据核字(95)第11889号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:余茂祚 版式设计:霍永明 责任校对:肖新民

封面设计:肖 晴 责任印制:路 琳

北京市密云县印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2000年6月第2版 第5次印刷

787mm×1092mm¹/₁₆·68印张·2插页·2124千字

29 466—31 465册

定价:110.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)·68993821、68326677-2527

再 版 前 言

《工业炉设计手册》第1版自1981年10月出版发行以来,在手册内容、编写形式、设计方法的技术深度和实用性方面深受广大读者的欢迎,对工业炉设计、研究、制造、维修和操作具有一定的指导和参考作用。鉴于十几年来工业炉技术有了很大的发展,开发了不少新炉型、新材料和新装置,为此亟需对手册进行修订,以适应工业发展的需要。

手册的修订再版仍然贯彻了简明、实用的原则,以图表为主,辅以必要的文字论述为基本编写形式。增写了传热计算、热工测量与控制、步进式炉、罩式炉、真空炉、输送带式炉等新的章、节;在炉用机械一章中增写了机械零件和装出料机设计;在预热器一章中增写了喷流预热器、片状预热器和热管预热器的设计计算;在煤炉一节中增写了往复炉排、链式炉排、下饲式炉排、蠕动式炉排等新技术内容;在筑炉材料与炉衬设计一章中增写了耐火纤维炉衬和耐火浇注料等新材料的应用技术;在冲天炉一节中增写了卡腰冲天炉、热风冲天炉和富氧送风技术;在台车式炉一节及炉用结构件一章中分别介绍了炉门压紧装置和台车堵缝装置的设计。全书采用了最新国家标准,统一了名词术语,淘汰了旧产品和旧标准。

手册编写过程中先后召开了编写工作会议和审稿会议,得到了机械工业部设计研究院,机械工业部第一、第二、第五设计研究院,冶金部北京钢铁设计研究总院,航空工业规划设计研究院,上海市机电设计研究院,北京科技大学,大连远东工业炉窑开发公司等单位在委派编写人员和提供资料方面所给予的大力支持,责任编辑余茂祚在协助主编统稿方面作了大量的工作,谨在此一并表示感谢。

限于编者的水平,书中存在的错误和不足之处敬希读者提出宝贵意见,使手册不断得到充实和提高。

编 者

编写分工表

章、节	名 称	编写单位和编写人
第1章	概论	机械工业部设计研究院 王秉铨
第2章	传热计算	北京科技大学热能系 高仲龙
第3章	燃料与燃烧计算	机械工业部设计研究院 谭忠良
第4章	钢材加热	机械工业部设计研究院 王秉铨
第5章	燃料消耗量计算	机械工业部第二设计研究院 尹桐文
第6章	燃烧装置	机械工业部第五设计研究院 宋湛莘
第7章	预热器	北京科技大学冶金系 张先棹
第8章	筑炉材料与炉衬设计	机械工业部设计研究院 杨进
第9章	炉前管道	机械工业部设计研究院 王秉铨
第10章	排烟系统	机械工业部设计研究院 谭忠良
第11章	炉用结构件	机械工业部设计研究院 谭忠良
第12章	炉用机械	
第1节	炉用机械零件	机械工业部设计研究院 范震声
第3节	台车牵引机构	
第4节	炉门升降机构	
第5节	推拉料机	
第2节	台车	机械工业部第一设计研究院 范建兴
第6节	液压传动	上海市机电设计研究院 殷经星
第13章	常用炉型设计	
第1节	室式炉	机械工业部设计研究院 王秉铨
第3节	井式炉	
第11节	坩埚炉	
第2节	台车式炉	机械工业部第二设计研究院 尹桐文
第4节	振底式炉	大连远东工业炉窑开发公司 孙昌楷
第5节	环形炉	
第6节	步进式炉	冶金部北京钢铁设计研究总院 戎宗义
第7节	罩式炉	
第8节	煤炉	机械工业部第五设计研究院 金凯
第9节	冲天炉	机械工业部设计研究院 李恩林
第10节	室式干燥炉	机械工业部设计研究院 谭忠良
第14章	电阻炉	
第1节	概述	航空工业规划设计研究院 武静轩
第2节	电热元件	
第3节	空气循环电炉	
第4节	盐浴炉	
第5节	真空电阻炉	
第6节	输送带式炉	上海市机电设计研究院 殷经星
第15章	可控气氛炉	大连远东工业炉窑开发公司 孙昌楷
第16章	热工测量与控制	机械工业部第五设计研究院 杨泽来
第17章	环境保护	
附录		机械工业部设计研究院 王秉铨

责任编辑：余茂祚

目 录

再版前言

第1章 概论	1
第1节 设计概论	1
1 简介	1
2 炉型分类	2
3 工业炉组成	4
4 设计原则	4
5 设计原始资料	5
6 设计计算	5
第2节 炉型选择	7
1 燃料选择	7
2 预热器选择	9
3 燃烧装置选择	10
4 炉衬材料选择	10
5 排烟方式选择	11
第3节 工业炉节能	11
1 工业炉能源消耗状况	11
2 工业炉能耗分等及节能计算	13
3 节能途径及措施	18
参考文献	27
第2章 传热计算	28
第1节 基本概念	28
1 传热的基本方式	28
2 温度场与热态	28
3 热流密度和传热系数	28
第2节 稳定态传导传热	29
1 导热的基本定律	29
2 平壁稳定态导热	29
3 圆筒壁稳定态导热	30
第3节 对流换热	32
1 影响对流换热的因素	32
2 基本公式	32
3 对流换热过程的数学描述	32
4 相似理论在对流换热上的应用	33
5 自然对流换热	34
6 强制对流换热	35
7 沸腾和冷凝过程的换热	39
第4节 辐射传热	40

1 热辐射的基本概念	40
2 辐射能的吸收、反射和透过	41
3 黑体辐射的基本定律	42
4 灰体及实际物体的辐射与吸收	43
5 辐射能在空间的分布	43
6 封闭体系内表面间的辐射传热	45
7 气体的辐射	47
8 气体和通道壁的辐射传热	52
第5节 综合传热	52
1 气体与表面间的传热	52
2 气体通过墙壁向另一气体的传热	53
3 火焰炉内的综合传热	58
第6节 不稳定态传导传热	60
1 概述	60
2 分析解法及单值条件	60
3 表面温度为常数时半无限厚平板的加热	61
4 表面温度为常数时有限厚物体的加热	62
5 表面温度呈直线变化的加热或冷却	64
6 表面热流密度为常数时物体的加热或冷却	66
7 周围介质温度为常数时的加热或冷却	67
8 周围介质温度为常数时薄材的加热或冷却	70
9 数值解法	70
参考文献	72
第3章 燃料与燃烧计算	73
第1节 燃料	73
1 固体燃料	73
2 液体燃料	78
3 气体燃料	84
第2节 燃料燃烧计算	89
1 燃料燃烧	89
2 燃料发热量计算	93
3 空气系数	94

4 燃烧所需空气量计算.....	94	指标	140
5 燃烧生成气量及燃烧生成气密度的计算.....	95	第2节 单位热耗指标.....	141
6 燃烧温度的计算.....	96	第3节 热平衡计算.....	143
第3节 燃料换算.....	102	1 热收入项	143
1 换算公式	102	2 热支出项	144
2 计算举例	103	3 炉子热效率计算	159
参考文献.....	104	4 用热平衡法计算燃料消耗量	159
第4章 钢材加热	105	5 热平衡分析与工业炉节能	162
第1节 基本概念.....	105	参考文献.....	169
1 热交换过程	105	第6章 燃烧装置	170
2 炉温	105	第1节 煤气烧嘴.....	170
3 锻造加热	106	1 煤气烧嘴分类与特性	170
4 热处理加热	107	2 高压喷射式烧嘴	172
5 “薄钢材”与“厚钢材”	109	3 低压涡流式烧嘴	185
6 炉内温度位差与钢材截面温差	109	4 天然气半喷射式烧嘴	189
7 加热、均热与保温时间	109	5 大气式煤气烧嘴	191
8 计算参数	109	6 焦炉煤气扁烧嘴	192
第2节 加热时间简易计算.....	113	7 扩散式烧嘴	193
1 恒温炉内加热	113	8 热煤气烧嘴	193
2 热流不变情况下加热	114	9 平焰烧嘴	195
3 表面温度不变情况下加热	114	10 高速烧嘴.....	204
第3节 加热时间计算图表.....	116	11 自身预热烧嘴.....	207
1 恒温炉内加热时间	116	12 油气两用烧嘴.....	210
2 台车式炉内钢锭加热时间	119	第2节 油嘴.....	211
3 连续式炉内钢材加热时间	122	1 分类与特点	211
第4节 少无氧化加热.....	128	2 低压油嘴	213
1 少无氧化加热工作原理	128	3 高压油嘴	224
2 少无氧化加热炉示例	128	4 转杯式油嘴	230
3 少无氧化加热计算	129	第3节 煤粉烧嘴.....	232
4 计算例题	130	1 煤粉燃烧的条件与特点	232
参考文献.....	136	2 煤粉烧嘴分类	232
第5章 燃料消耗量计算	137	参考文献.....	238
第1节 炉底(或容积)热强度指标.....	137	第7章 预热器	239
1 砂型及砂芯干燥炉热强度指标	137	第1节 预热器用途及选用.....	239
2 塞杆烘炉及烘包器热强度指标	137	1 预热器用途	239
3 各种加热炉热强度指标	138	2 预热器选用	240
4 室式及台车式热处理炉热强度指标	139	3 提高预热器使用性能的措施	242
5 井式热处理炉热强度指标	140	第2节 间壁式预热器的设计.....	243
6 燃油或燃煤气热处理用盐浴炉容积热强度指标	140	1 概述	243
7 燃油或燃煤气熔铜坩埚炉热耗		2 设计要点	243
		3 基本计算公式	247
		4 间壁式预热器设计计算	251
		第3节 蓄热式预热器的设计.....	271

1 概述	271	3 砂	314
2 蓄热式预热器的设计	272	4 常用胶结剂	314
3 基本计算公式	274	5 促凝剂	317
4 蓄热式预热器设计计算举例	275	6 铸石制品	317
第4节 热管式预热器的设计	276	7 常用筑炉材料的密度、热导率和 比热容	318
1 概述	276	第6节 炉衬设计	319
2 热管式预热器的设计	276	1 炉衬设计的一般要求	319
3 基本计算公式	278	2 砖砌体设计	319
4 热管式预热器设计计算举例	278	3 纤维炉衬计算	334
参考文献	279	4 耐火纤维炉衬结构	339
第8章 筑炉材料与炉衬设计	280	参考文献	341
第1节 耐火制品	280	第9章 炉前管道	342
1 工业炉对耐火制品的要求	280	第1节 炉前煤气管道设计	342
2 耐火制品的分类	280	1 设计范围	342
3 耐火制品的性能	281	2 计算流速	343
4 通用耐火砖形状尺寸	291	3 设计要点	343
第2节 耐火纤维	295	4 管件	344
1 概述	295	5 阀门选用及其布置	347
2 耐火纤维制品分类	296	6 放散吹扫系统	348
3 PXZ-1000 普通硅酸铝耐火纤维 毡	297	7 管道支架	349
4 耐火纤维增强涂料	300	8 管道阻力计算	350
5 粘贴剂	300	9 施工及检验说明	351
第3节 不定形耐火材料	300	第2节 空气管道设计	352
1 定义	300	1 设计范围	352
2 不定形耐火材料使用类型	301	2 设计要点及设计数据	352
3 不定形耐火材料分类	301	3 风机	354
4 耐火泥	305	4 施工及检验说明	357
5 耐火泥浆	306	第3节 燃油管道设计	360
第4节 隔热材料	307	1 设计范围	360
1 隔热材料的主要性能	307	2 燃油流速及阀门选用	361
2 硅藻土质隔热材料	307	3 设计要点	361
3 石棉制品	309	4 阻力计算	362
4 矿渣棉及其制品	310	5 施工及检验说明	364
5 岩棉制品	311	6 U形膨胀节	365
6 石棉硬硅钙石型硅酸钙板	311	第4节 炉前冷却水管道设计	365
7 蛭石及其制品	311	1 水的计算流速及阀门选用	365
8 水泥轻骨料浇注料	312	2 设计要点	365
9 水玻璃轻骨料浇注料	312	3 施工及检验说明	366
10 膨胀珍珠岩浇注料制品	313	参考文献	366
第5节 普通筑炉材料	313	第10章 排烟系统	367
1 普通粘土砖	313	第1节 车间烟道	367
2 水泥	314	1 烟道布置	367

2 烟道计算	369	12 各种传动副的机械效率	478
第2节 烟囱	386	第2节 台车	479
1 排烟方式	386	1 台车类型	479
2 烟囱布置	387	2 台车结构	481
3 烟囱高度与直径计算	387	3 台车车架的设计计算	482
第3节 喷射排烟计算	390	4 台车行走机构的设计计算	490
1 带扩散段喷射器计算	390	第3节 台车牵引机构	493
2 简单喷射器	392	1 牵引机构主要参数的确定	493
参考文献	393	2 牵引机构的设计	495
第11章 炉用结构件	394	3 牵引机构牵引装置的设计计算	507
第1节 炉架	394	4 机架及基础设计	509
1 概述	394	5 台车行程限位	512
2 炉架计算	394	第4节 炉门升降机构	512
3 钢材选用	403	1 概述	512
第2节 台车轨道与砂封装置	404	2 手动炉门升降机构	513
1 台车轨道	404	3 电动炉门升降机构	516
2 砂封装置	409	4 气动炉门升降机构	525
第3节 操作平台及扶梯	411	5 双重炉门升降机构	527
1 平台结构	411	第5节 推拉料机	529
2 扶梯结构	412	1 推料机主要参数计算	529
3 平台结构计算	413	2 炉内导轨	530
第4节 炉口装置	417	3 料盘	530
1 室式炉用炉口装置	417	4 摇杆连杆式推拉料机	531
2 台车式炉用炉口装置	420	5 螺旋式推料机	535
3 井式热处理炉用炉口装置	427	6 齿条式推料机	539
4 室式干燥炉用炉口装置	428	7 摩擦式出料机	542
第5节 烟道闸门	428	8 气、液缸式推拉料机	542
1 烟道闸门分类	428	9 开式滚轮链推拉料机	549
2 烟道闸门配件	431	第6节 液压传动	555
参考文献	433	1 炉用机械液压回路	556
第12章 炉用机械	434	2 图形符号	561
第1节 炉用机械零件	434	3 液压件的选择与设计	561
1 轴	434	4 计算举例	588
2 键联接计算	439	参考文献	591
3 直齿轮和锥齿轮弯曲强度计算	440	第13章 常用炉型设计	592
4 起重用短环链及链轮	445	第1节 室式炉	592
5 板式起重链及链轮	448	1 概述	592
6 套筒滚子链及链轮	450	2 设计计算	598
7 钢丝绳选用及滑轮卷筒设计	455	3 炉型结构	599
8 钝轮、销齿传动	466	4 计算举例	601
9 螺旋传动	471	第2节 台车式炉	603
10 螺栓联接强度计算	475	1 概述	603
11 吊杆、吊板及吊叉强度计算	476	2 设计要点	608

3 砖砌炉衬台车式炉炉型结构	609	3 炉型结构	730
4 耐火纤维炉衬台车式炉炉型结构	614	4 设计计算	733
5 高速烧嘴台车式炉炉型结构	619	5 计算举例	734
第3节 井式炉	620	6 热风发生装置	735
1 概述	620	第11节 坩埚炉	739
2 设计计算	620	1 概述	739
3 炉型结构	621	2 设计计算	740
第4节 振底式炉	625	3 坩埚的选用	741
1 概述	625	参考文献	741
2 设计计算	629	第14章 电阻炉	743
3 炉型结构	633	第1节 概述	743
4 计算举例	641	1 电阻炉分类	743
第5节 环形炉	642	2 炉型	743
1 概述	642	3 炉膛尺寸计算	746
2 设计计算	643	4 安装功率计算	750
3 炉型结构	645	5 安装功率的分配	751
4 炉底传动和装、出料方式	650	6 炉衬设计	752
第6节 步进式炉	651	第2节 电热元件	753
1 概述	651	1 金属电热元件	753
2 设计计算	653	2 非金属电热元件	767
3 炉型结构	658	3 管状电热元件	782
4 步进机械	663	4 红外电热元件	786
5 步进式炉实例	670	第3节 空气循环电炉	791
第7节 罩式炉	674	1 炉型	791
1 概述	674	2 热工计算	792
2 炉型结构	675	3 电热元件计算	797
3 炉子主要组成部分	681	4 电热元件的安装	799
4 设计计算	687	5 空气循环装置设计	799
第8节 煤炉	691	第4节 盐浴炉	806
1 概述	691	1 电极盐浴炉	806
2 燃烧室	691	2 硝盐炉设计	817
3 炉篦(排)类型与供风方式	697	第5节 真空电阻炉	823
4 排烟结构	699	1 概述	823
5 炉型设计	699	2 加热功率计算	824
6 炉型示例	700	3 电热元件计算参数	827
第9节 冲天炉	707	4 炉膛隔热装置	831
1 概述	707	5 高压气淬炉冷却时间计算	832
2 炉型结构	710	6 炉壳	832
3 热量平衡计算	720	7 真空系统设计	847
4 其它常用参数	723	8 金属表面净化	856
第10节 室式干燥炉	726	第6节 输送带式炉	856
1 概述	726	1 炉型分类	856
2 炉型示例	726	2 炉用机械结构设计	859

参考文献	862	3 DDC 控制器	947
第 15 章 可控气氛炉	863	4 批量控制器	947
第 1 节 可控气氛	863	5 可编程控制器(PC)	949
1 钢铁与炉气氛间的化学反应	863	6 集中分散型控制系统	951
2 炉气氛的碳势控制	866	第 4 节 各类工业炉热工检测与 控制项目	951
3 可控气氛分类	867	1 燃料炉的检测与控制项目	951
4 可控气氛的选择	869	2 电阻炉的检测与控制项目	954
5 可控气氛的用量	870	3 冲天炉的检测与控制项目	954
6 原料与用量	872	第 5 节 工业炉自动控制系统的 分类及举例	956
第 2 节 炉型类别及特点	879	1 自动控制系统基本概念	956
1 炉型类别	879	2 以基地式仪表为基础的控制系 统	958
2 可控气氛炉特点	882	3 由单元组合仪表组成的控制系 统	960
第 3 节 炉用材料与构件	883	4 以智能式调节器为核心的控制系 统	965
1 炉子砌体	883	5 以多功能微型机为核心的控制系 统	965
2 加热元件	884	参考文献	968
3 风机	890	第 17 章 环境保护	969
4 防爆装置	893	第 1 节 消烟除尘	969
5 火封装置	894	1 工业炉烟尘来源	969
6 窥视孔	895	2 烟尘排放标准	969
7 供气	895	3 除尘器	969
8 排气	896	4 冲天炉除尘	969
9 可控气氛的取样	897	5 煤炉除尘	982
10 烧净	897	第 2 节 有害气体净化	984
第 4 节 可控气氛热处理炉机组	898	1 有害气体的来源	984
1 室式多用炉热处理机组	898	2 有害气体排放标准	985
2 推杆式炉热处理机组	903	3 NO _x 抑制技术	985
参考文献	912	4 SO ₂ 净化技术	987
第 16 章 热工测量与控制	913	第 3 节 噪声控制	989
第 1 节 热工参数测试技术	913	1 噪声源	989
1 温度测量	913	2 噪声危害	989
2 压力测量	919	3 噪声的卫生标准	990
3 流速流量测量	920	4 噪声的物理量度	990
4 成分分析	924	5 控制噪声的基本方法	991
5 热流的测量	927	6 工业炉常用消声器分类	991
6 物位测量	928	7 风机房噪声控制示例	995
7 火焰监测	930	参考文献	997
第 2 节 显示、调节仪表和执行器	931	附录	998
1 显示仪表	931	附录 A 几种火焰炉最基本的操作规 程	998
2 调节仪表	934		
3 执行器	940		
第 3 节 工业控制计算机	944		
1 概述	944		
2 智能式调节器	945		

1 燃煤炉操作规程	998	2 炉膛内空气系数 α 的计算	1035
2 燃煤气炉操作规程	998	3 预热器性能的测定	1035
3 燃油炉操作规程	998	4 炉子生产能力和炉子生产率的计 算	1036
附录 B 炉子烘烤	999	5 金属烧损率的测定与计算	1036
1 烘炉步骤	999	6 炉子热效率的测定与计算	1036
2 烘炉曲线	999	7 流量的测定与计算	1038
3 烘炉方法	1000	附录 G 盛钢桶、铁液包参考尺寸	1046
4 烘炉操作	1002	附录 H 局部阻力系数(ξ)表	1047
附录 C 热参数计算式及选用表	1002	附录 I 炉衬材料图例	1059
1 部分热参数近似计算式	1002	附录 J 常用数学公式	1059
2 热参数选用表	1003	1 拱形结构尺寸计算	1059
附录 D 全国各省区主要城市海拔高 度、计算温度及大气压力	1023	2 温度换算	1059
附录 E 高电阻电热合金及一些物体 的热参数	1028	3 理想气体的状态变化	1059
附录 F 火焰炉热工参数测定方法	1035	4 数学公式	1060
1 烟道内冷空气吸入率计算	1035	附录 K 工业炉及附属装置设计、研 究、生产单位一览表	1063

第1章 概 论

第1节 设计概论

1 简介

1.1 工业炉用途

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它一些能源转换设备,如焦炉、煤气发生炉等不包括在工业炉范围内。

机械工业应用的工业炉有多种类型。在铸造车间有熔炼金属的平炉、冲天炉、坩埚炉、感应炉、电阻炉、电弧炉、真空炉等;在锻压车间有对钢锭或钢坯进行锻前加热的各种加热炉和消除应力的热处理炉;在热处理车间,有改善工件力学性能的各种退火、正火、淬火和回火的热处理炉;在焊接车间有压制前的钢板加热炉和焊后热处理炉;在粉末冶金车间还有烧结金属的加热炉等。

工业炉的技术进步对工业的发展起着十分重要的作用,炉子的结构类型、加热工艺、热工控制和炉内气氛都直接影响加工后的产品质量。在锻造加热炉内,提高金属的加热温度,可以降低变形阻力,但温度过高又会引起晶粒长大、氧化或过烧,严重影响工件质量。在热处理加热过程中,如果把钢加热到临界温度以上的某一点,然后突然冷却,就能提高钢的硬度和强度;如果加热到临界温度以下的某一点缓慢冷却,则又能使钢的硬度降低而使韧性增加。为了获得尺寸精确和表面光洁的工件,或者为了减少金属氧化以达到保护模具、减少加工余量等目的,可以采用各种少无氧化加热炉。在敞焰少无氧化加热炉内,利用燃料不完全燃烧产生还原性气体,在其中加热工件可使氧化烧损率降低到0.3%以下。可控气氛炉是使用人工制备的气氛通入炉内以进行气体渗碳、碳氮共渗、光亮淬火、正火、退火等热处理工艺,从而达到改变金相组织、提高工件力学性能的目的。在流动粒子炉中,利用燃料的燃烧气体,或外部施加的其它流化剂,强行流过炉床上的石墨粒子或其它

惰性粒子层,工件在粒子层中能够实现强化加热,也可进行渗碳、氮化等各种无氧化加热。在盐浴炉内,用熔融的盐液作为加热介质,可防止工件氧化和脱碳。

在冲天炉内熔炼铸铁往往受到焦炭质量、送风方式、炉料情况和空气温度等条件的影响,使熔炼过程难于稳定,不易获得优质铁液。热风冲天炉能有效地增高铁液温度、减少合金烧损、降低铁液氧化率,从而能生产出优质铸铁。随着无芯感应炉的出现,冲天炉有逐步被取代的趋势。感应炉的熔炼工作不受任何铸铁等级的限制,能够从熔炼一种等级的铸铁,很快转换到熔炼另一种等级的铸铁,而且更有利于提高铁液质量。一些特种合金钢,如超低碳合金钢以及轧辊和汽轮机转子用钢,需要将平炉或一般电弧炉熔炼出的钢液,在精炼炉内通过真空除气和氩气搅动去杂,进一步精炼出高纯度、大容量的优质钢液。

1.2 性能参数分析

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。

1.2.1 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重量,称为炉子装载量,单位为吨(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。

1.2.2 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,单位为千克/时(kg/h);对于冲天炉则习惯称为炉子熔化率,单位为吨/时(t/h)。炉子升温速度越快,则生产能力越高。

1.2.3 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,单位为千克/(米²·时)[kg/(m²·h)];对于冲天炉则习惯称为炉子熔化强度,单位为吨/(米²·时)[t/(m²·

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亦越低,所以要降低能源消耗,首先应该满负荷生产,尽量提高炉子生产率。

1.2.4 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,单位为千焦/千克(kJ/kg)。单位热耗与炉子生产率相乘即为炉底热强度,单位为千焦/(米²·时)[kJ/(m²·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。

1.2.5 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,用下式表示

$$\text{炉子热效率 } \eta = \frac{100Q_y}{Q_k} = 100 \left(1 - \frac{Q_l}{Q_k} \right) (\%) \quad (1-1)$$

式中 Q_y ——工件或物料吸收的有效热量;

Q_k ——供入炉内热量;

Q_l ——各项损失热量之和。

炉子的有效热量与加热工艺有关,不同炉子有效热量的计算式如下:

1. 对于间断式加热炉

$$Q_y = G(c_t t_c - c_r t_r) \quad (\text{kJ/h}) \quad (1-2)$$

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·℃)]^①

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

$$Q_y = G(c_f t_f - c_r t_r) \quad (\text{kJ/h}) \quad (1-3)$$

式中 c_f ——钢材最高加热温度时的平均比热容 [kJ/(kg·K)];

G ——炉子生产能力;

t_f ——钢材的最高加热温度(K)。

3. 对于熔化炉

$$Q_y = G [c_k (t_r - t_k) + R + c_y (t_c - t_r)] \quad (\text{kJ/h}) \quad (1-4)$$

式中 G ——炉子熔化率(kg/h);

c_k 、 c_y ——物料在固态和液态下的平均比热容 [kJ/(kg·℃)];

t_k 、 t_r 、 t_c ——物料入炉、熔化和出炉温度(℃);

R ——物料的熔化潜热(kJ/kg)。

4. 对于干燥炉

$$Q_y = Gc(t_c - t_r) + g(h_c - h_r) \quad (\text{kJ/h}) \quad (1-5)$$

式中 G ——被干燥物料干态重量 (kg/h);

c ——物料平均比热容 [kJ/(kg·℃)];

t_c 、 t_r ——物料出炉与入炉温度(℃);

g ——水分蒸发量(kg/h);

h_c ——出炉温度下水蒸气比焓(kJ/kg);

h_r ——入炉温度下水的比焓(kJ/kg)。

连续式炉比间断式炉的热效率高,因为连续式炉的生产率高而且是不间断工作的,炉子工作处于稳定状态,没有周期性的炉墙蓄热损失。还由于炉内带有一个预热炉料区段,烟气部分余热为冷工件所吸收,降低了离炉烟气温度从而使离炉烟气带走的热损失减少。提高炉子热效率的基本措施是:尽可能连续生产和满负荷工作,要设置预热器对助燃空气和燃料进行预热以回收烟气余热,采用低热容和低热导率的轻质或超轻质耐火材料以减少炉墙蓄、散热损失。

为了提高炉子的热工性能,除必须根据工艺要求、预热器及炉用机械形式、燃料及燃烧装置类别、适宜的炉子排烟方式等设计优良的炉型结构外,还需对炉温、炉压进行自动控制,对燃料与助燃空气量进行自动比例调节。需要指明:实现炉子最佳性能不能单独依靠自动控制来实现,还应有严格的操作管理制度。

2 炉型分类

按供热方式工业炉分为两类:一是火焰炉,或称燃料炉,是用各种燃料的燃烧热量在炉内对工件或物料进行加热;二是电炉,是在炉内将电能转化为热量对工件或物料进行加热。

火焰炉所用燃料来源广泛,价格较便宜,便于因

① 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、给热(传热)系数及热导率单位时分别以 kJ/(kg·℃)、W/(m²·℃)及 W/(m·℃)代替 kJ/(kg·K)、W/(m²·K)及 W/(m·K)。下同。

地制宜地建造不同结构和不同用途的炉子,在妥善操作和科学管理的条件下有利于降低生产费用。但火焰炉难于实现精确控制,易造成环境污染,热效率也较低。电炉的最大特点是炉温均匀,便于实现自动控制,加热质量好。电阻炉一般没有烟尘和噪声危害,但限于我国供电量不足和电费较贵而不能广泛采用,即使如此也仍然有许多加热工艺要采用电炉。

按热工制度,工业炉也分两类:一是间断式炉,又称周期式炉,其特点是炉膛内不划分温度区段,炉

子按一班或两班生产,在每一加热周期内炉温是变化的,如各种室式炉、台车式炉、井式炉、罩式炉等;二是连续式炉,其特点是炉膛内划分温度区段,一般由预热、加热(高温)、均热(保温)三个区段组成,炉子为三班连续生产,在加热过程中每一区段内的温度可认为是不变化的,如二段或三段连续式加热炉、推杆式加热炉和热处理炉、环形炉、步进式炉、振底式炉、冲天炉及石灰窑等。

按供热方式、温度制度、生产用途和炉型结构特点划分的常用炉型分类见表 1-1。

表 1-1 常用炉型分类表

炉 型 \ 特 性	炉温(℃)	结 构 特 点	生 产 用 途	热 源
室式加热炉	1250~1350	室状炉膛, 开闭式炉门	小批工件加热	各种燃料及电
室式热处理炉	650~950		小批工件热处理加热	
开敞式加热炉	1250~1350	室状炉膛, 缝式炉口	成批小工件加热	
台车式加热炉	1250~1300	室状炉膛, 活动炉底	小批钢坯(锭)加热	
台车式热处理炉	650~1150		小批工件热处理加热	
井式热处理炉	650~1100	圆形井状炉膛, 开闭式炉盖, 吊挂装料	细长件(轴、杆)热处理加热	各种燃料
连续式热处理炉	650~950	机械推料, 或为机械化炉底输料	工件成批连续热处理加热	
连续式加热炉	1250~1350	机械推料、出料、炉底为滑轨式, 炉膛分段	工件成批连续加热	
罩式炉	650~1100	炉体为一罩子。或炉底不动, 炉罩移动; 或炉罩不动, 炉底移动	工件成批热处理加热	
砂型(或砂芯)干燥炉	300~500	室状炉膛, 活动炉底	烘干砂芯或砂型	
铁合金烘炉	700~800	室状炉膛, 活动或固定炉底	烘烤铁合金	煤气、燃料油
烘包器	700~1000	烧嘴装在包子顶部敞开或密闭加热	烘烤铁(钢)液包	
塞杆烘炉	250~350	封闭炉膛, 塞杆吊挂烘干	烘烤盛钢桶塞杆	各种燃料
冲天炉	铁液 1350~1500	立式炉膛, 连续加料	熔炼铸铁	
平炉	钢液 1600~1700	炉膛为一熔池, 带有加热空气、煤气的蓄热室	熔炼碳钢等	煤气, 燃料油
石灰窑、白云石窑	1300	立式炉身, 连续加料	焙烧生石灰及白云石	
坩埚炉	900~1300	炉膛内置有坩埚, 炉体固定或可倾转	在坩埚内熔化有色金属	各种燃料
电阻炉	650~1300	电阻丝(带)为加热元件	多用于金属热处理加热	
电弧炉	1100~1700	通过金属电极或非金属电极(石墨)产生电弧加热	金属和非金属熔炼和精炼	电
真空炉	300~1400	在接近真空状态下通过电热元件加热	金属热处理、钎焊、烧结及熔炼	
感应炉	200~1600	高频、中频、工频、感应圈加热装置	金属加热和熔炼	
盐浴炉	600~1300	通过金属电极在盐液中加热	金属无氧化热处理加热	

(续)

特 性 炉 型	炉温(℃)	结 构 特 点	生 产 用 途	热 源
开合式差温热处理炉	1000~1100	立式或卧式两半炉膛,利用传动小车将炉膛拉开或闭合	将轧辊表面快速加热后淬火,增加表面硬度	煤气,燃料油
木材干燥室	100~120	台车式炉底,室式炉身	干燥木材	蒸汽,电
油漆干燥室	100~150	室式炉身,用机械装连续进出料	工件漆膜干燥	
隧道窑	900~1450	炉底由多台小车组成,钢坯或陶瓷(砖坯)放在小车上加热,炉内分几个区段,炉长达100m以上	钢坯连续加热,或陶瓷连续烧结	各种燃料
倒焰窑	1300~1450	圆形或矩形窑身,火焰由上而下经地下烟道排出炉外	间断烧制陶瓷或耐火砖	

3 工业炉组成

工业炉由炉衬、炉架、燃烧装置(或电热元件)、预热器、炉前管道、排烟系统、炉用机械等部分组成。

炉衬,或称砌体,是用耐火材料、隔热材料和某些建筑材料砌筑或敷设成的炉膛、燃烧室、排烟道等炉体部位。炉衬的作用是使工业炉在加热或熔炼过程中能承受高温热荷、抵抗化学侵蚀、减少热量损失并具有一定的结构强度,以保证炉内热交换过程的正常进行。

炉架是炉体的钢结构部分,由支柱、拉杆、炉墙钢板、拱脚梁、炉顶框架及固定构件的各种型钢组成。炉架的作用是固定炉衬并承受其部分重量,侧支柱与拱脚梁承受砖砌拱顶的水平推力,前后支柱则用以承受砌体的热胀力和某些构件的重量。

燃烧装置是实现燃料燃烧过程用以向炉内提供热源的设备,因此它是火焰炉的核心部分。燃烧装置除应保证在规定的热负荷条件下实现完全燃烧,或根据特殊的加热要求实现不完全燃烧以取得规定的燃烧气体成分外,还应保证燃烧过程稳定,火焰的方向、形状、刚度和铺展性要符合炉型及加热工艺的要求。

预热器用以回收炉子烟气,达到节约燃料、提高炉温、加快升温速度的目的。以锻造加热炉为例,炉温要求1300℃,当使用发热量为5000kJ/Nm³的发热炉煤气时,只能达到约1200℃的炉温,而利用烟气余热将助燃空气预热到400℃时,则可达到1320℃的炉温。且由于回收了热量,可节约燃料20%左右。

炉前管道是指与相应车间管道相接的附属于单

台炉子的管道部分,用作炉用燃料、燃烧所需空气以及构件冷却用水的输送和均量分配。

排烟系统是由产生抽力的排烟装置(烟囱、引风机或喷射器)或排送烟气的烟道所组成,用以将炉内烟气排出炉外。保证排烟通畅是火焰炉正常运行的重要条件。

炉用机械是炉子组成部分中的机械运行部件,如台车式炉的台车和台车牵引机构、步进式炉的步进机构、输送式炉的输送带(链)及其传动机构、推钢(杆)式炉的推钢机和出钢机、各种炉门升降及压紧机构等。炉用机械体现工业炉的机械化程度,但要保证装出料方便和运行可靠,还要为实现炉子自动化操作创造条件。

4 设计原则

1) 工业炉设计必须符合国家有关技术政策,炉子的技术性能应能满足生产工艺要求。

2) 运用不断发展的热工及机械理论,例如燃料燃烧、流体力学、传热学、机械原理、材料力学等,指导炉子的设计工作,引进并吸收国外工业炉先进技术,不断完善和提高炉子的技术性能和机械化自动化程度。

3) 炉子结构尺寸应根据生产实践或科学实践数据加以确定,不应照旧有结构按比例放大或缩小。

4) 设计新的炉型结构时,要选用新材料、新装置以改进炉子结构。例如尽量采用适合炉子性能特点和方便施工的各种新型耐火材料和隔热材料,选用各种新型燃烧装置和余热回收装置从而提高炉子

○ N——为标准状态。下同。

的热效率,提高产品质量,降低燃料消耗,改善操作维修条件和提高炉子的使用寿命。

5) 要熟悉各种炉用机械传动方案,熟悉炉子控制原理,不断革新炉子构件,如炉门、炉门压紧装置、台车砂封、烟道闸门、各类阀门等以提高炉子的密封性能。

6) 设计炉子时,对材料选用、设备选型、通用构件的规格尺寸等,应尽可能全厂或全车间通用以使维修方便,尤其注意不要选用已被淘汰的产品。

7) 在一定时期内,有条件有步骤地进行某些工业炉的三化(典型化、系列化、完善化)设计工作,及时总结和推广新技术。

8) 要采取保护环境和防止烟尘、噪声污染的治理措施。例如,对于煤炉应不断改进燃烧过程,用煤气化燃烧代替层状燃烧,用机械加煤代替人工加煤。对于冲天炉应采用高效除尘器代替重力除尘器,进而采用带除尘系统的热风冲天炉以取得高温优质铁液,并达到除尘和消除有害气体的目的。对中、高压风机要设置消声器以减少噪声危害。

5 设计原始资料

设计前应具备下列基本资料:

- 1) 初步炉型及规格。
- 2) 炉口尺寸。
- 3) 燃料种类 应具备下列内容。

对于煤:产地、工业分析、低发热量、灰熔点、粘性。

对于燃料油:牌号、产物、低发热量、密度。

对于煤气:低发热量、成分、密度、粘度。对于发生炉煤气应提供煤气内水、灰、焦油的含量。

- 4) 炉子用途和操作班次。
- 5) 加热件或物料的形状、尺寸、重量^①、材质。
- 6) 装料方式及最大装载量。
- 7) 炉温或典型的炉子升温、保温、冷却曲线。
- 8) 炉子最大生产能力。

9) 排烟方式(上排烟或下排烟,引射排烟或烟囱排烟)。

10) 地质气象资料,如土质、土壤耐压强度、地下水位、全年平均气温、大气压力、风向、空气平均湿度等。

11) 生产工艺对炉子机械化程度和热工测量控制的要求。

12) 车间工艺布置图及炉子周围地下构筑物轮廓图。

廓图。

6 设计计算

6.1 确定炉型结构

根据工厂生产工艺要求,工厂所在地区燃料及材料供应情况,地质与气象情况等因素统一选择并确定合理的炉型方案。

6.2 分项计算

炉子结构方案确定以后,分别进行下列各项计算:

- 1) 炉温计算。
- 2) 燃料消耗量计算。
- 3) 燃烧装置计算(规格及数量)。
- 4) 空气量及燃烧生成气量计算。
- 5) 电炉功率及电热元件计算。
- 6) 炉膛尺寸计算。
- 7) 炉架计算。
- 8) 预热器计算。
- 9) 炉前管道计算。
- 10) 烟道烟囱及炉用机械计算等。

6.3 绘制施工图

炉子施工图包括下列内容:

1. 炉子总图

以砌体(炉衬)为主要绘制内容,对炉墙、炉顶、炉底的材质组成和结构尺寸应详细标注。此外,应尽量画出炉子的主要附属构件,如:炉架、炉前管道、炉用机械等的结构示意及相互间的安装尺寸。在炉子总图的右下侧由下而上顺序附有:图签(表1-2)、炉子组成部分表(表1-3)、技术性能表(表1-4)、耐火材料及建筑材料明细表(表1-5)、施工说明等。

2. 部件图

部件图反映了炉型结构的基本组成部分,属于装配图。在部件图上要标注各零件间的装配尺寸及公差配合代号,并编出全部零件的顺序号。在部件图上还应附有:图签(表1-2)、零件明细表(表1-6)、技术说明等。

3. 零件图

零件图是炉子最基本的制造图,要求图面清晰,视图正确、齐全,尺寸准确无误,选材合理可靠且便于加工制造。在零件图上必须注出加工符号(表面粗

① 这里重量是指物体的质量,单位 kg,为了避免与好坏的质量区分,本书仍用重量。下同。