

热处理设备及设计

《热处理设备及设计》编写组



山东人民出版社

内 容 简 介

本书介绍了各种常用热处理设备的工作原理、结构和性能特点；收集、整理了我国热处理设备方面的技术改造和技术革新成果；较详细地阐述了热处理炉的设计原理和方法步骤，并提供了一些设计参考资料。

本书在内容方面，力求理论联系实际，通俗易懂，切合实用，有些内容也作了较深入的讨论，可供工科院校师生和工厂工人、工程技术人员参考。

热 处 理 设 备 及 设 计

《热处理设备及设计》编写组

*

山东人民出版社出版

山东新华印刷厂潍坊厂印刷

山东省新华书店发行

*

1977年10月第1版 1977年10月第1次印刷

统一书号：15099·45 定价：2.46元

前 言

为了实现伟大领袖和导师毛主席提出的在本世纪内全面实现农业、工业、国防和科学技术的现代化,使我国国民经济走在世界前列的宏伟目标,满足广大工科院校师生、工厂工人、工程技术人员对热处理设备进行技术革新的要求,由广东工学院、山东工学院、上海交通大学、上海机械学院、大连铁道学院、天津大学、太原工学院、北京工学院、北京工业大学、甘肃工业大学、吉林工业大学、合肥工业大学、西安交通大学、河北工学院、河北机电学院、武汉水运工程学院、陕西机械学院、洛阳农机学院、哈尔滨工业大学、黑龙江工学院和湖北农机学院等二十一所院校共同编写了《热处理设备及设计》一书。

本书共十一章,第一章筑炉材料,简要介绍了建造热处理炉常用的耐火材料、保温材料、耐火混凝土以及炉用耐热金属材料的种类、特性和用途;第二章热处理炉的传热原理,结合热处理炉的结构和工作原理,简略讨论了热处理炉的基本传热过程和计算方法;第三章热处理电阻炉,介绍了热处理车间常用电阻炉的结构、性能、特点以及型号规格,电阻炉设计的内容和方法,电热元件的种类、特性、计算和布置安装方法等;第四章热处理燃料炉,除介绍了热处理车间常用燃料炉的结构、性能、特点和设计内容、步骤外,着重介绍了热处理炉常用的烧嘴、喷嘴和燃料炉通风排烟系统;第五章浴炉,着重介绍了我国正在推广的埋入式盐浴炉的类型、结构、特点和设计,并提供了一些典型炉型和数据;第六章连续作业炉,介绍了适于我国推广的热处理连续式炉的结构、特点和设计计算;第七章可控气氛热处理设备,为适应推广可控气氛热处理炉,较详细地介绍了各类可控气氛发生装置、可控气氛炉的结构特点和碳势控制装置;第八章其它类型热处理设备,介绍了真空热处理炉、辉光离子氮化炉和流动粒子炉等新型热处理炉;第九章冷却设备,介绍了热处理车间常用冷却设备的类型及设计计算;第十章辅助设备,介绍了清洗、清理、校正和起重等设备的结构、特点以及规格型号,以便选择使用;第十一章设备平面布置,阐述了热处理车间设备平面布置原则,并提供了平面布置的常用数据和参考图样。

为使理论与实际紧密结合,反映我国各地技术革新成果,编写人员深入工厂和设计单位进行调查研究,得到广大工人师傅及工程技术人员的热情支持,承蒙提供了许多宝贵意见和资料,在此表示衷心的感谢。

由于我们政治水平和业务水平所限,书中缺点、错误之处在所难免,恳切希望读者批评指正。

《热处理设备及设计》编写组

一九七七年三月

概 论

在机械制造过程中热处理占重要地位，它对保证产品质量，提高机器工作效能和延长机器使用寿命都起着重要的作用。任何一种热处理工艺，只有通过相应的设备才能实现。

解放前，我国长期受帝国主义的压迫，没有独立的机械工业，热处理的设备简陋，生产非常落后。解放后，在毛主席和党中央的领导下，进行了大规模的社会主义建设，建立了独立的热处理车间，自行设计和制造了多种热处理设备。特别是无产阶级文化大革命以来，广大工人和技术人员坚持以阶级斗争为纲，深入贯彻“鞍钢宪法”，大搞技术革新和技术革命，采用和创造了许多具有先进水平的新设备。例如离子氮化炉的研制，埋入式盐浴炉、可控气氛炉的推广，新式连续作业炉的改造，以及真空热处理炉和封闭淬火槽的采用等。

目前，热处理设备的种类已十分繁多，根据它们在热处理生产过程中所完成的任务，通常将热处理设备分为主要设备和辅助设备两大类。为了增加产量、提高质量和改善劳动条件，推行流水生产和自动化生产，又组合成了许多综合热处理设备——热处理联合机。

主要设备是完成主要热处理工序所用的设备，包括加热设备和冷却设备。这类设备对热处理效果和产品质量起决定性的作用，二者之间又以加热设备为最主要，包括各种热处理炉和加热装置。

辅助设备是完成各种辅助工序及主要工序中的辅助动作所用的设备及各种工夹具。主要包括清洗设备、校正设备、起重运输设备、控制气氛设备及各种工夹具等。

热处理炉是最重要的热处理设备。为了便于选择使用和分析比较，常依以下几种特征进行分类：

1. 按热能来源分类：分为电阻炉、燃料炉。
2. 按工作温度分类：分为低温炉 ($\leq 650^{\circ}\text{C}$)、中温炉 ($650 \sim 1000^{\circ}\text{C}$)、高温炉 ($> 1000^{\circ}\text{C}$)。
3. 按炉膛介质分类：分为自然介质炉、浴炉、可控气氛炉、真空炉。
4. 按作业规程分类：分为周期作业炉、连续作业炉。

随着社会主义建设的深入发展，热处理设备正日益显示其重要作用。有关设计院和工厂正大力设计和制造新设备，改造旧设备，以适应飞跃发展的工业生产的需要。近年来，热处理设备的发展，基本上是围绕提高产品质量及其设备效能、改善劳动条件和消除公害等方面进行的，具体有以下几方面：

1. 改进炉膛结构，合理布置加热元件，提高密封程度，强化炉气对流，以改善加热质量。

2. 加大炉子功率, 采用新型筑炉材料、电热元件和新结构的烧嘴(或喷嘴), 以强化设备加热过程, 提高加热效率。

3. 提高设备机械化、自动化程度, 采用和改进各种连续式炉和联合机, 推广连续流水生产, 组织自动生产线, 以稳定产品质量, 提高劳动生产率和改善劳动条件。

4. 采用真空炉和各种可控气氛炉, 进行无氧化加热和提高化学热处理的效果。

5. 推广埋入式盐浴炉, 节约电力和改进炉子效能。

6. 寻求适合我国资沅的耐热钢、耐热构件的新材料。

7. 采用新技术、新设备, 如离子氮化炉、流动粒子炉、电子束加热装置以及超声波清洗、水力喷砂及超声波淬火等装置。

8. 采用可加热和冷却并循环流动的等温淬火浴炉, 以推广等温淬火。

9. 采用可加热和冷却并安有强力搅拌器的各种机械化淬火槽和全封闭式淬火槽。

10. 采用各种淬火机和淬火压床, 以提高产品的淬火质量。

目 录

前 言

概 论

第一章 筑炉材料.....1

第一节 耐火材料.....1

一、热处理炉对耐火材料性能的要求.....1

二、热处理炉常用的耐火材料.....2

第二节 常用的保温材料.....3

第三节 耐火混凝土.....7

第四节 炉用耐热金属材料.....10

第二章 热处理炉的传热原理.....12

第一节 传热的基本概念.....12

一、传热的基本方式.....12

二、传热的一般条件.....13

三、不稳定态传热和稳定态传热.....13

第二节 炉墙的稳态态传导传热.....14

一、传导传热的基本方程式和导热系数.....14

二、通过炉墙的稳态态导热计算.....15

第三节 对流传热.....18

一、影响对流传热的因素.....18

二、热处理炉内的对流传热.....21

第四节 辐射传热.....22

一、物体对辐射能的吸收、反射和透过.....22

二、绝对黑体的辐射.....23

三、灰体的辐射.....24

四、气体的辐射.....26

五、辐射传热计算.....27

第五节 热处理炉的热交换.....31

一、以辐射传热方式为主的热处理炉.....31

二、辐射和对流同时存在的热处理炉.....33

第六节 炉墙热损失计算.....33

第三章 热处理电阻炉.....35

第一节 周期作业电阻炉的基本类型.....35

一、箱式电阻炉.....35

二、井式电阻炉.....39

三、其它形式周期作业炉.....45

第二节 电阻炉的炉型选择和炉子结构设计.....47

一、炉型选择的基本原则.....47

二、炉膛尺寸的确定.....48

三、炉体各部结构尺寸的确定.....49

四、井式电阻炉的结构设计.....54

第三节 电阻炉功率的确定.....57

一、经验计算法.....57

二、理论计算法.....59

第四节 功率的分配与接线.....63

一、电阻炉的功率分配.....63

二、电阻炉的供电电压.....64

三、电阻炉的接线方法.....64

第五节 电热元件材料及其选择.....66

一、电热元件材料具有的一般性能.....66

二、常用电热元件材料及其性能.....68

三、电热元件的表面负荷率.....71

第六节 电热元件的计算.....73

一、金属电热元件的理论计算法.....74

二、金属电热元件的图表计算法.....77

三、现场中电热元件规格的调整方法.....81

四、硅碳棒的计算.....82

第七节 电热元件的焊接和安装.....85

一、电热元件的焊接.....85

二、电热元件的布置和安装.....87

三、电热元件的引出端.....89

第八节 电阻炉的技术经济指标与试验考核.....89

一、电阻炉的技术经济指标.....89

二、电阻炉的质量检查 and 性能试验.....93

三、电阻炉安装试验的注意事项.....91

第九节 箱式电阻炉设计计算实例.....92

第四章 热处理燃料炉.....100

第一节 热处理燃料炉的基本类型	100
一、室式燃料炉	100
二、台车式燃料炉	103
三、井式燃料炉	105
第二节 燃料炉炉型选择与炉体设计	110
一、炉型选择的基本原则	110
二、炉膛尺寸的确定	111
三、炉体设计	112
第三节 燃料燃烧的空气需要量和所 产生的烟气量	119
一、燃料燃烧反应	119
二、燃料的发热值	119
三、空气过剩系数	120
四、燃料燃烧空气需要量和燃烧 产物量的计算	121
第四节 燃料消耗量计算	122
一、热平衡算法	122
二、经验统计数据算法	126
三、提高燃料炉热效率的途径	128
第五节 燃料燃烧装置	130
一、气体燃料燃烧装置(烧嘴)	130
二、液体燃料燃烧装置(喷嘴)	138
三、固体燃料燃烧装置	149
第六节 气体体积、重度和流速的非 标准状态与标准状态的换算	154
一、气体压力的特性	154
二、气体体积随温度和压力的变化 关系	154
三、气体重度随温度和压力的变化 关系	155
四、气体流速随温度和压力的变化 关系	156
第七节 通风排烟系统	156
一、通风排烟系统的组成和作用	156
二、通风排烟的动力——烟囱排烟 原理	157
三、烟囱通风排烟所需克服的阻力	158
四、烟道设计	162
五、出火口和排烟口设计	165
六、烟囱设计	167
七、炉内压力控制	174
第八节 燃料炉管路设计	179

一、管径的确定	179
二、炉前管道的布置	179
第五章 浴炉	182
第一节 概述	182
一、外热式浴炉	182
二、内热式浴炉	186
第二节 埋入式电极盐浴炉的基本 类型	188
一、基本类型及其优缺点	188
二、结构型式及技术参数	190
第三节 埋入式电极盐浴炉的设计	195
一、炉膛尺寸及功率的确定	195
二、电极的设计与制造	197
三、炉体、坩埚的设计与制造	202
四、抽风装置的设计	203
五、盐浴炉变压器的选择	204
六、埋入式电极盐浴炉的启动	207
第六章 连续作业炉	209
第一节 推杆式炉	209
一、炉子结构	209
二、炉体的结构设计	210
三、热源装置的设计特点	213
四、推料机构	213
五、料盘设计	216
六、料盘返回机构	217
第二节 振底式炉	219
一、炉子结构	219
二、炉底板的设计特点	221
三、炉体的设计特点	223
四、振动机构的设计	225
第三节 其它类型的连续作业炉	234
一、传送带式炉	234
二、旋转式鼓形炉	235
三、转底式炉	238
四、步进式炉	233
第四节 热处理联合机	239
一、电加热无罐气体渗碳联合机	240
二、盐浴炉淬火联合机	243
第七章 可控气氛热处理设备	249
第一节 可控气氛发生装置	249
一、放热式气氛发生装置	249

二、吸热式气氛发生装置	253	一、淬火槽的基本结构	320
三、氨分解气氛	266	二、非机械化淬火槽	323
四、其它类型气氛	269	三、机械化淬火槽	324
第二节 可控气氛热处理炉的结构		四、淬火槽的设计	326
特点	272	第二节 淬火介质冷却系统	333
一、炉子砌体	272	一、集液槽	333
二、炉子的密封方式	274	二、过滤器	333
三、炉内温度的均匀性与气氛的循环	277	三、泵	334
四、热源装置	279	四、淬火介质冷却器	336
五、前室和后室的设置	281	五、淬火介质冷却器的选择及计算	337
六、防爆装置	281	第三节 淬火机和淬火压床	339
第三节 碳势测量和控制装置	281	一、齿轮淬火压床	339
一、基本概念	281	二、轴类淬火机	341
二、样气的采取	282	三、成形淬火机	342
三、露点仪	283	第四节 冷处理设备	342
四、红外线气体分析仪	284	一、使用干冰的冷处理设备	342
五、碳势控制系统	287	二、使用液化气体的冷处理设备	343
六、气体全分析法	288	三、冷冻机式冷处理设备	344
七、炉内直接测量和控制碳势的方法	290	第十章 辅助设备	346
第八章 其它类型热处理设备	293	第一节 清理设备	346
第一节 真空热处理炉	293	一、化学法清理设备	346
一、真空热处理炉结构	295	二、机械法清理设备	347
二、真空系统	297	第二节 清洗设备	349
三、真空热处理炉实例	303	一、清洗槽	349
第二节 离子氮化炉	307	二、清洗机	351
一、离子氮化炉的组成	307	第三节 校正设备	352
二、离子氮化炉线路举例	313	一、手动压力机	352
第三节 流动粒子炉	313	二、液压校正机	353
一、流动粒子炉结构	315	三、回火压床	355
二、内热式流动粒子炉的设计及计算	317	第十一章 设备平面布置	356
三、内热式流动粒子炉的特点及其应用	319	第一节 热处理车间厂房结构的一般要求	356
第九章 冷却设备	320	第二节 热处理设备的平面布置	357
第一节 淬火槽	320	一、平面布置的一般原则	357
		二、设备平面布置方法	358
		三、设备平面布置的常用数据	358

第一章 筑炉材料

筑炉材料包括耐火材料、保温材料、炉用金属材料 and 一般建筑用材料。

第一节 耐火材料

热处理炉通常处于高温作业，所以筑炉材料中以耐火材料为最重要。因此在设计、建造炉子时，合理地选用耐火材料，对提高炉子寿命、降低成本、节约热能，都有重要的作用。凡是能够抵抗高温、并能承受高温物理和化学作用的材料，就称为耐火材料。

一、热处理炉对耐火材料性能的要求

1. 有足够的耐火度

耐火度是耐火材料抵抗高温作用的性能，指耐火材料受热后软化到一定程度时的温度，但并不是它的熔点。根据耐火度的高低，耐火材料可分为：普通耐火材料，耐火度为 $1580\sim 1770^{\circ}\text{C}$ ；高级耐火材料，耐火度为 $1770\sim 2000^{\circ}\text{C}$ ；特级耐火材料，耐火度大于 2000°C 。

耐火度是耐火材料的重要性能指标，但它并不代表耐火材料实际使用的最高温度。在实际使用中，耐火材料常承受一定的压力，因此，须考虑耐火材料的高温结构强度，即在高温下能承受一定的压力而不变形，如(NZ)—40耐火粘土砖的耐火度高达 1730°C ，但其最高使用温度仅为 $1300\sim 1350^{\circ}\text{C}$ 。

2. 要有一定的高温结构强度

高温结构强度用荷重软化点来评定。荷重软化点是指在一定压力(2公斤/厘米^2)条件下，以一定的升温速度加热，测出样品开始变形的温度和压缩变形达4%或40%的温度。前者叫荷重软化开始点，后者叫荷重软化4%或40%的软化点。

NZ-40粘土砖的耐火度为 1730°C ，而荷重软化开始点只有 1350°C 左右。因此，它的最高使用温度不超过 1350°C 。

3. 高温化学稳定性好

在选用耐火材料时，应考虑它的化学稳定性：(1) 制造无罐渗碳气氛热处理炉时，由于高碳气氛对普通粘土砖有破坏作用，所以炉墙内衬的耐火材料需用含氧化铁小于百分之一的耐火砖(即抗渗碳砖)；(2) 制造电极盐浴炉时，由于熔盐对耐火材料的冲刷作用，所以坩埚的耐火材料，必须采用重质耐火砖或耐火混凝土；(3) 电热体搁砖不得与电热体材料发生化学作用，对铁铬铝电热体要用高铝砖作搁砖。

4. 要有良好的耐急冷急热性

在热处理炉工作过程中，耐火材料的工作温度会经常急剧变化。例如，周期作业炉

进行快速升温、台车式炉进行正火作业时，工作温度波动都很大，若耐火材料没有足够抵抗温度急剧变化的性能，就会过早的损坏。

通常用耐急冷急热性表示材料抵抗温度急剧变化不破坏的性能。测定方法是：将试样加热至 850°C ，然后在流动水中冷却，并反复进行之，直到其剥落部分重量达最初试样重量的 20% 为止，以所经受的急冷急热次数作为该种材料的耐急冷急热性指标。

5. 高温下的体积稳定性

耐火制品在高温下长期使用时，由于其组织结构发生变化，体积会膨胀或收缩。这种体积变化不同于热胀冷缩，是不可逆的，称为残存膨胀或残存收缩。耐火材料的这种体积变化过大会影响砌体强度，严重时造成砌体倒塌。在砌筑拱形炉顶时更应特别注意。一般要求体积变化不超过 0.5~1%。

此外还有其它性能要求，如较小的体积密度、热容量和导热系数。对于电阻炉还要求有良好的电绝缘性能等。

二、热处理炉常用的耐火材料

热处理炉常用的耐火材料有：粘土砖、高铝砖、耐火混凝土、碳制品及各种耐火纤维等。耐火材料常制成重质、轻质和超轻质耐火制品。

1. 粘土质耐火材料

粘土质耐火制品的化学成分为： Al_2O_3 30~40%， SiO_2 50~65%，其它各种氧化物杂质 5~7%。

普通粘土砖在热处理炉中应用最为广泛，可以用于砌筑炉顶、炉底、燃烧室等。它对铁铬铝电热元件有腐蚀作用，所以不宜用于铁铬铝电热元件的搁砖。在高碳气氛中易受 CO 、 H_2 的作用而损坏，故也不能用于高碳气氛炉作内衬。

2. 高铝质耐火材料

高铝砖是含 Al_2O_3 在 48% 以上的耐火制品。高铝砖具有耐火度高、高温结构强度较好、致密度高、化学稳定性好等优点，但价格较粘土砖贵。通常用于砌筑高温炉内衬、电热元件的搁砖和套管等。

3. 轻质耐火材料

体积密度较小的耐火材料叫轻质耐火材料。一般重质粘土砖的体积密度为 2.1~2.2 克/厘米³，重质高铝砖的体积密度为 2.3~2.75 克/厘米³，而轻质粘土砖为 0.4~1.3 克/厘米³，轻质高铝砖为 0.4~1.0 克/厘米³。

轻质耐火材料的主要特点是：气孔多、重量轻和保温性能好，而且因为每个气孔很小，在制品中分布均匀，故仍具有一定的耐压强度。采用轻质耐火材料作炉子砌体时，可以减少蓄热损失，尤其对周期作业炉意义更大，可显著缩短升温时间，提高炉子的热效率，同时可缩小炉子体积。但轻质耐火材料的耐压强度较低，荷重软化点也较低，残存体积变化较大，抗化学腐蚀性也较差。因此，选用轻质耐火砖作为大型热处理炉内衬时，应考虑其高温结构强度是否能满足要求。由于其抗蚀性差，故不能作浴炉内衬。

4. 硅酸铝耐火纤维

硅酸铝耐火纤维是一种新型耐火保温材料，兼有耐火和保温材料的特点。它具有重量轻、耐高温、热稳定性好、导热系数低、比热小、耐机械震动等特点。同时它还是一

种柔性材料，使用中可不考虑热应力的影响，并使设备具有保温性能好、升温快、热耗低等优点。

硅酸铝耐火纤维的化学成分为： Al_2O_3 43~54%， SiO_2 47~53%，其余为各种氧化物。纤维平均直径 2.8 微米，长为 10~250 毫米。其主要性能如下：

(1) 导热系数见表 1-1。

(2) 最高使用温度为 1500℃，长期使用温度为 1300℃，耐火度大于 1790℃。

表 1-1 硅酸铝耐火纤维的导热系数

导热系数 (千卡/米·时·℃) 比重 (公斤/米 ³)	温度 (℃)			
	100	400	700	1000
100	0.05	0.10	0.18	0.29
250	0.055	0.08	0.12	0.18
350	0.06	0.07	0.104	0.105

(3) 高温下发生收缩，1000℃ 收缩为 2%，1300℃ 为 4%。当使用它作保温材料时，可采用分层安装和重叠接缝等办法，以解决其收缩问题。

第二节 常用的保温材料

在热处理炉工作时，通过炉墙向外散热，消耗相当多的热量。为减少这方面的热量损失，在砌筑热处理炉时要在耐火层外砌筑或填加一层保温材料。

保温材料的主要性能要求是：导热系数低、体积密度小、比热小等。

常用的保温材料有：硅藻土、蛭石、矿渣棉、石棉以及高温超轻质珍珠岩制品等。它们可以制成型砖或以粉料使用。

1. 硅藻土

硅藻土的主要成分为非晶体二氧化硅，并含有少量粘土杂质，呈白色、黄色、灰色或粉红色，具有很好的保温能力，可以制成型砖或以粉料使用。

2. 蛭石

俗称黑云母或金云母，具有一般云母外形，易于剥成薄片，内含 5~10% 的水分，受热后水分迅速蒸发，而生成膨胀蛭石。其熔点为 1300~1370℃，体积密度及导热系数均很小，是一种良好的保温材料。

蛭石所含粉尘较硅藻土低，可以直接将膨胀蛭石倒入炉壳与炉衬之间，或者用高铝水泥、水玻璃或沥青作结合剂制成各种形状的制品。

3. 矿渣棉

矿渣棉具有体积密度小、导热系数低、吸湿性小等特点。但当堆积过厚或受震动时，易被压实，使体积密度增加，保温能力下降。

4. 石棉

石棉熔点为 1500℃，但 500℃ 时开始失去化学结合水，使强度降低，700~800℃ 时石棉变脆。为此，石棉长期使用温度应在 550℃ 以下，短时可达 700℃。

表 1-3

常用耐火材料和保温材料性能

材料名称及牌号	耐火度 ($^{\circ}\text{C}$)	荷重软化点 ($^{\circ}\text{C}$)	耐急冷 急热性	耐压强度 (公斤/厘米 ²)	体积密度 (克/厘米 ³)	导热系数 (千卡/米·时· $^{\circ}\text{C}$)	平均比热 (千卡/公斤· $^{\circ}\text{C}$)	最高使用 温度 ($^{\circ}\text{C}$)
耐火粘土砖(NZ)—40	1730	1350	强	150	2.1~2.2	0.6+0.00055t均	0.193+0.075 $\times 10^{-3}$ t均	1350
耐火粘土砖(NZ)—35	1670	1300	强	150	2.1~2.2	0.6+0.00055t均	0.193+0.075 $\times 10^{-3}$ t均	1300
耐火粘土砖(NZ)—30	1610	1250	强	125	2.1~2.2	0.6+0.00055t均	0.193+0.075 $\times 10^{-3}$ t均	1250
高铝砖(LZ)—65	1790	1500	甚强	400	2.3~2.75	1.8+1.6 $\times 10^{-3}$ t均	0.19+0.1 $\times 10^{-3}$ t均	1500
高铝砖(LZ)—55	1770	1470	甚强	400	2.3~2.75	1.8+1.6 $\times 10^{-3}$ t均	0.22+0.06 $\times 10^{-3}$ t均	1450
高铝砖(LZ)—48	1750	1420	甚强	400	2.3~2.75	1.8+1.6 $\times 10^{-3}$ t均	0.22+0.06 $\times 10^{-3}$ t均	1400
轻质耐火粘土砖(QN)—1.3 _a	1710		较强	45	1.3	0.35+0.3 $\times 10^{-3}$ t均	同粘土砖	1350
轻质耐火粘土砖(QN)—1.3 _b	1670		较强	35	1.3	0.35+0.3 $\times 10^{-3}$ t均	同粘土砖	1300
轻质耐火粘土砖(QN)—1.0	1670		弱	30	1.0	0.25+0.22 $\times 10^{-3}$ t均	同粘土砖	1300
轻质耐火粘土砖(QN)—0.8	1670		弱	20	0.8	0.13+0.11 $\times 10^{-3}$ t均	同粘土砖	1250
轻质耐火粘土砖(QN)—0.4	1670		弱	6	0.4	0.07+0.19 $\times 10^{-3}$ t均	同粘土砖	1150
硅藻土砖A级					0.5	0.09+0.2 $\times 10^{-3}$ t均	0.2+0.06 $\times 10^{-3}$ t均	900
硅藻土砖B级					0.55	0.113+0.2 $\times 10^{-3}$ t均	0.2+0.06 $\times 10^{-3}$ t均	900
硅藻土砖C级					0.65	0.137+0.27 $\times 10^{-3}$ t均	0.2+0.06 $\times 10^{-3}$ t均	900
泡沫硅藻土砖					0.5	0.095+0.2 $\times 10^{-3}$ t均	0.2+0.06 $\times 10^{-3}$ t均	900
膨胀蛭石					0.25	0.062+0.22 $\times 10^{-3}$ t均	0.2+0.06 $\times 10^{-3}$ t均	1100
硅藻土					0.55	0.08+0.21 $\times 10^{-3}$ t均	同硅藻土砖	900
石棉板					1.0	0.14+0.15 $\times 10^{-3}$ t均		500
石棉绳					0.8	0.063+0.27 $\times 10^{-3}$ t均		300
红砖					1.8	0.7+0.4 $\times 10^{-3}$ t均	0.21+0.055 $\times 10^{-3}$ t均	700~750
碳化硅制品	>2000	1750~1850	最强	800	2.7	8~14		1350
矿渣棉					0.3	0.06+0.135 $\times 10^{-3}$ t均		750
抗渗碳砖(重质)	1770				2.14	0.6+0.00055t均	同粘土砖	1350
抗渗碳砖(轻质)	1730				0.88	0.13+0.11 $\times 10^{-3}$ t均	同粘土砖	1250

5. 高温超轻质珍珠岩制品

高温超轻质珍珠岩制品是以膨胀珍珠岩为主要材料，分别以水玻璃、水泥或磷酸盐为粘结剂，按一定比例配合，干燥和烧结成型的制品。其技术指标见表 1-2。

表 1-2 珍珠岩制品的技术指标

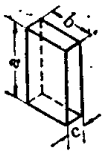
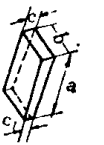
指 标	制 品 中 粘 结 剂		
	水 玻 璃	水 泥	磷 酸 盐
容重(公斤/米 ³)	250	400	220
耐火度(℃)	900	1250	1360
导热系数(千卡/米·时·℃)	0.06	0.11	$0.045 + 0.025 \times 10^{-3}t$ 均
使用温度(℃)	650	800	1000

表 1-3 为常用耐火材料和保温材料的性能。表 1-4 为热处理炉砌砖常用的泥浆。表 1-5 为热处理炉常用的耐火砖形状和尺寸。

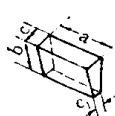
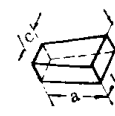
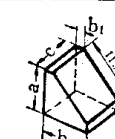
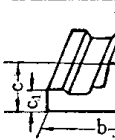
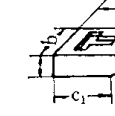
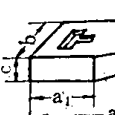
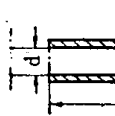
表 1-4 热处理炉砌砖常用的泥浆

砌 砖 种 类	泥 浆 名 称	泥 浆 成 分 (%)	备 注
耐火粘土砖 (包括轻质砖)	粘土质泥浆	粘土质耐火泥 100 水 400~600 升/米 ³ (干料)	生熟料比 1:1 到 1:2
高铝砖	高铝质泥浆	高铝质耐火泥 100 水 400~600 升/米 ³ (干料)	
硅藻土砖(大 多数采用干砌)	水泥硅藻土泥浆	水泥:硅藻土粉=1:5 水400~600升/米 ³ (干料)	重 量 比
	硅藻土粉—结 合粘土泥浆	硅藻土粉60~70 结合粘土40~30 水400~600升/米 ³ (干料)	体 积 比
矾土水泥耐火 混凝土预制块		矾土熟料100 水玻璃20~30(比重1.32~1.4)	

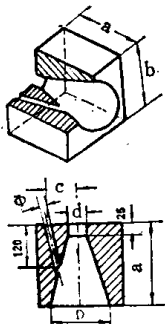
表 1-5 热处理炉常用的耐火砖形状和尺寸

制品名称和形状		标 号	制 品 尺 寸 (毫 米)						体 积 (厘米 ³)	重 量 (公 斤)		
			a	b	c					粘土砖	轻质粘土砖	高铝砖
直 形 砖		T-3	230	113	65				1690	3.5	1.35~2.2	3.9
		T-4	230	113	40				1040	2.1	0.83~1.36	2.4
厚 楔 形 砖		T-19	230	113	65	55	C ₁		1560	3.2	1.2~2.0	3.6
		T-20	230	113	65	45			1430	3.0	1.1~1.9	3.3

(续表)

制 品 名 称 和 形 状		标 号	制 品 尺 寸 (毫 米)					体 积 (厘米 ³)	重 量 (公 斤)			
			a	b	c				粘土砖	轻质粘土砖	高铝砖	
侧厚楔形砖		T-38	230	113	65	55		1560	3.2	1.25~2.0	3.6	
		T-39	230	113	65	45		1430	3.0	1.1~1.9	3.3	
辐射形砖		T-43	230	113	96	65		1550	3.2	—	3.6	
		T-44	230	113	76	65		1415	2.9	1.1~1.8	3.3	
		T-45	230	113	56	65		1280	2.6	—	3.0	
拱脚砖		T-61	135	113	230	b ₁	d	2890	5.95		—	
		T-62	135	113	345	56	37	60°	4310	8.8		—
		T-63	135	113	230	33	55	45°	2680	5.5		—
阶形砖		a = 230 材料: 轻质耐火粘土 b = 113 单件重量 ≈ 1.8 公斤 c = 65 c ₁ = 43										
炉底搁砖		a = 150 ± 3 材料: 高铝矾土 b = 120 ± 2 单件重量 ≈ 0.8 公斤 c = 40 ± 1 c ₁ = 20 ± 1										
直形搁砖		a = 110 材料: 高铝矾土 b = 50 单件重量 ≈ 0.18 公斤 c = 20 c ₁ = 49.5										
扇形搁砖		a = 110 材料: 高铝矾土 b = 50 单件重量 ≈ 0.175 公斤 b ₁ = 32 a ₁ = 50 c = 20										
耐火套管 (高铝矾土)		热 电 偶 套 管										
		d		D		L						
		32		55		250						
		32		55		350						
		电 阻 丝 引 出 棒										
		16		30		360						
		16		30		250						
		20		36		125						
碳 化 硅 保 护 管												
46		64		300								

(续表)

制品名称和形状	标号	制品尺寸 (毫米)						体 积 (厘米 ³)	重 量 (公 斤)		
		a	b	c	D	d	φ		粘土砖	轻质粘土砖	高铝砖 硅 砖
烧 嘴 砖 	T-84	230	205	80	150	50	35	9010	18.4		18
	T-85	340	335	120	190	75	45	23800	49		47.5
	T-86	340	335	120	210	100	45	23600	48.5		47.2
	T-87	340	335	130	240	125	40	21000	43		42
	T-88	340	335	130	260	150	40	19500	40		39

第三节 耐火混凝土

耐火混凝土的采用是筑炉技术上的一项新成果。近年来,我国耐火混凝土的品种有了大幅度增加,质量也有很大提高。

同耐火砖相比,耐火混凝土的优点是:制造工艺简单,取消了复杂的烧结工序;具有可塑性和整体性,便于复杂制品的成型;有利于筑炉施工的机械化,促进炉子结构的革命;成本低;使用寿命与耐火砖相近,有时比耐火砖还长。这是值得推广的一种筑炉材料。

热处理炉上常用的耐火混凝土如下:

1. 铝酸盐耐火混凝土

用矾土水泥或低钙铝酸盐或铝—60水泥作为胶结剂的耐火混凝土,称为铝酸盐耐火混凝土。胶结剂可起硬化作用,使混凝土具有足够的强度。矾土水泥以铝酸钙为主要成分,具有快硬、高强度的特点,但耐火度较低。低钙铝酸盐水泥,以二铝酸钙为主要成分,在常温条件下,其硬化速度较慢,早期强度较低,但耐火度比矾土水泥耐火混凝土高。

这类混凝土以高铝矾土熟料作为基体的骨料。骨料应具有足够高的耐火度,而且在使用温度下不与胶结剂生成过多的低熔物。骨料的颗粒大小应有一定的比例配合。

为提高耐火混凝土的体积密度,降低气孔率,提高耐压强度和化学稳定性,要加入一定量的与骨料成分相同的细料,称为掺合料。掺合料过多,会引起混凝土较大的收缩;掺合料过少,会增加制品的气孔率,降低耐压强度和化学稳定性,但可提高制品耐急冷急热性。

表1-6为几种铝酸盐水泥耐火混凝土的配比和主要性能。这类混凝土可用来捣打浴炉炉墙或作炉拱。一般掺合细料较多的混凝土,致密度较大,最适用于制作浴炉炉墙。

铝酸盐水泥是一种快硬、高强度水硬性胶结剂。因此，混凝土加水搅拌后，应迅速捣打，不要中间停顿，以免不易捣实。脱模后用草袋覆盖，浇水养护，一般每两小时左右浇水一次，以防止因反应而温度升高，使混凝土表面疏松，在使用过程中易于剥落。对于浴炉坩埚经浇水养护 24 小时以后，型体内可灌满水进行养护，约经一周，再自然干燥数天后烘炉。

这种耐火混凝土的开裂倾向较大。因此，烘炉应缓慢进行。在 $100\sim 150^{\circ}\text{C}$ 范围内，要排除大量游离水，当升到 $300\sim 400^{\circ}\text{C}$ 时，可排除 80% 的水化结晶水，产生收缩引起内部结构的变化。因此，在这两段时间内，升温要相当缓慢，并要有足够的保温时间。

一般烘炉温度规程为：① 以 $20^{\circ}\text{C}/\text{时}$ 的速度升到 250°C ，保温 36 小时以上；② 以 $20\sim 30^{\circ}\text{C}/\text{时}$ 的速度升到 450°C ，保温 36 小时；③ 以 $30\sim 40^{\circ}\text{C}/\text{时}$ 的速度升到 600°C ，保温 24 小时。

表 1-6 铝酸盐水泥耐火混凝土的配比和主要性能

序 号			1	2	3	4
配比和主要性能指标						
配 比	胶 结 剂	矾土水泥	12~20	12	—	—
		低钙铝酸盐水泥	—	—	12~15	—
		铝—60水泥	—	—	—	15.5
	掺 合 料	高铝矾土熟料粉	0~15	—	5~15	8.5
		铝铬渣粉	—	12	—	—
	细骨料 0.15~5 毫米	高铝矾土熟料砂	30~35	—	30~35	46
		铝铬渣	—	76	—	—
	粗骨料	5~20毫米高铝矾土熟料块	35~40	—	35~40	30
主 要 性 能 指 标	水灰比		0.35~0.45	0.3	0.32~0.38	0.7
	湿容重(公斤/米 ³)		2500~2800	3000~3100	2500~2800	2560~2640
	荷重软化开始点(°C)		1300	1430	1300	1330
	耐火度(°C)		1710	>1820	1750	>1770
	导热系数(千卡/米·时·°C)		0.8~1.4	0.6753	0.8~1.4	—
	耐急冷急热性(850°C水冷次数)		>25	—	>25	8(1300°C水冷次数)
	混凝土标号		400~500	—	300~400	300~400

2. 磷酸盐耐火混凝土

以磷酸或磷酸盐作胶结剂的耐火混凝土，称为磷酸盐耐火混凝土。这种耐火混凝土一般要经过 $300\sim 500^{\circ}\text{C}$ 以上的加热，才硬化固结，在常温下强度较低。为提高常温强度，可加入少许矾土水泥作促凝剂。这种耐火混凝土常用于捣打电极盐浴炉坩埚。表 1-7 为磷酸盐耐火混凝土的配比和主要性能。

这类混凝土须预先混料，注意不要混入一般硅酸盐水泥、泥土等杂物。混好的料，堆积后要覆盖湿草袋，放置 24 小时后才能筑炉，使其排出混合物中含铁氧化物与酸反应而产生的气体，以防制品产生鼓胀变形和保证致密性。

表 1-7

磷酸盐耐火混凝土的配比和主要性能

配比和主要性能指标		序 号			
		1	2	3	4
胶 结 剂 (外加用量)	磷 酸(%)	6.5~12	6.5~18	—	10~12
	浓 度(%)	60	40~60	—	波美度45
	磷酸铝(%)	—	—	6.5~14	
	浓 度(%)	—	—	~40	
促 凝 剂	矾土水泥(%)	—	—	—	2
掺 合 料 和 骨 料	锆英石 <0.3 毫米	50	—	—	—
	<0.088毫米占70%以上	50	—	—	—
	矾土熟料 5~10 毫米	—	—	—	45
	1.2~6 毫米	—	30~40	30~40	25
	<1.2 毫米	—	35~40	35~40	
	<0.88 毫米占70%以上	—	25~30	25~30	28
混凝土湿容重(公斤/米 ³)		3420	2700	—	2480(干容量)
耐急冷急热性(1000℃水冷次数)		>20	50—80	>20	—
荷重软化开始点℃		1440~1460	1300~1350	1300~1350	1460
耐火度℃		>1800	>1800	—	>1700
混凝土标号		400~450	300~400	400~500	—

注：序号为1~3的混凝土标号系加热至500℃后，冷却到常温时的耐压强度(公斤/厘米²)。

若采用工业磷酸(浓度一般为85%)，须加水稀释至所需浓度，可根据表1-8配制。

表 1-8

磷酸溶液的比重与浓度关系

浓 度(%)	85	80	75	70	65	60	55	50	45	40
比 重(克/厘米 ³)	1.689	1.633	1.579	1.526	1.475	1.426	1.379	1.335	1.293	1.254
每 10 公斤工业磷酸加水量(公斤)	0	0.62	1.33	2.14	3.08	4.10	5.45	7.00	9.00	11.25

筑炉完成后，令其自然干燥几天，切忌用水养护。

磷酸盐耐火混凝土是一种“火硬性”材料。在烘炉过程中，混凝土中的胶结剂(磷酸组分)，经过多次脱水发生变化，最后由于 AlPO_4 的无机聚合作用，形成链状空间网状无机高分子结构，使混凝土凝结为整体，具有良好的高温性能。为提高这种混凝土的高温结构强度，防止产生剥落，可在烘炉后进行高温烧结，效果较好。

磷酸盐耐火混凝土较铝酸盐耐火混凝土开裂倾向小，耐火度与高温强度较高，成本也较高。

3. 水玻璃耐火混凝土

用水玻璃作胶结剂的耐火混凝土，称为水玻璃耐火混凝土。作为胶结剂的水玻璃要求 $\text{SiO}_2:\text{Na}_2\text{O}$ 应在2.4~2.6范围内。水玻璃在使用前应用热水稀释至比重为1.36~1.40，以便于混合。