

高等专科学校试用教材

热处理炉及车间设备

刘孝曾 主编

机械工业出版社

GAOZHUANJIAOCAI

高等专科学校试用教材

热处理炉及车间设备

刘孝曾 主编



机械工业出版社

热处理炉及车间设备

刘孝曾 主编

*

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证出字第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 $184 \times 260^{1/16}$ ·印张 $20^{3/4}$ ·字数509千字

1985年6月北京第一版·1985年6月北京第一次印刷

印数 0,001—7,100·定价3.30元

*

统一书号: 15033·5825

前 言

本书是高等专科学校热处理专业的试用教材，是根据机械工业部教育局初步审定的招收高中毕业生、学制为三年的教学大纲组织编写的。

本书主要介绍周期作业电阻炉、燃料炉及冷却设备的结构、工作原理、性能特点及设计方面的基本内容；比较详细地介绍了盐浴电阻炉、可控气氛热处理设备及连续作业电阻炉的结构、特点及设计方面的基本知识；对于液压传动、其它热处理炉及辅助设备作了一般性介绍；对于热处理车间设备平面布置的原则和方法也作了扼要介绍。

本书由刘孝曾主编，参加编写的有：何致恭、白桐树。由戴镇国主审。刘孝曾编写绪论、第一、四、五、七、八、十、十一章，何致恭编写第二、三章，白桐树编写第六、九、十二章。

本书汇集了必要的设计资料，每章附有复习题。本书也适用于职工大学、业余大学。中等专业学校也可选用，并可供有关工程技术人员参考。

由于编者水平有限，缺点和错误在所难免，欢迎广大师生及读者批评指正。

目 录

前言

绪论 1

第一章 筑炉材料 2

§ 1-1 耐火材料的物理性能和使用性能 2

§ 1-2 常用耐火材料 6

§ 1-3 常用绝热材料 10

§ 1-4 其它筑炉材料 11

第二章 气体力学基础 13

§ 2-1 气体的力学物理量 13

§ 2-2 压头的概念 16

§ 2-3 气体流动的基本定律 18

§ 2-4 气体流动时的阻力损失 22

§ 2-5 气体的流出 30

第三章 传热学基础 42

§ 3-1 传热的基本方式 42

§ 3-2 单向稳定态传导传热 43

§ 3-3 对流换热 51

§ 3-4 辐射传热 55

§ 3-5 综合传热 65

第四章 热处理燃料炉 68

§ 4-1 热处理燃料炉的分类及基本结构 68

§ 4-2 燃料及燃烧计算 72

§ 4-3 燃料燃烧装置 79

§ 4-4 燃料消耗量的确定 88

§ 4-5 炉内气体的合理运动 94

§ 4-6 燃料炉的设计步骤 99

§ 4-7 燃料炉筑炉特点 103

§ 4-8 炉子的热工分析 105

第五章 周期作业电阻炉 108

§ 5-1 箱式电阻炉 108

§ 5-2 井式电阻炉 114

§ 5-3 电阻炉设计 119

§ 5-4 电阻炉筑炉特点 152

第六章 热处理浴炉 154

§ 6-1 热处理浴炉的分类、用途及优缺点 154

§ 6-2 外热式浴炉和管状电热元件加热的浴炉 155

§ 6-3 内热式电极盐浴炉 156

§ 6-4 埋入式电极盐浴炉的类型、特点及技术规格 159

§ 6-5 埋入式电极盐浴炉炉膛尺寸的确定 164

§ 6-6 电极盐浴炉功率的确定 166

§ 6-7 电极尺寸的确定 167

§ 6-8 抽风装置的选择与计算 168

§ 6-9 炉体、坩埚的设计与制造 169

§ 6-10 变压器和汇流排的选择 172

§ 6-11 电极盐浴炉的起动 175

第七章 可控气氛热处理设备 178

§ 7-1 反应平衡曲线及其应用 178

§ 7-2 可控气氛的制备 179

§ 7-3 可控气氛热处理炉结构特点及炉子举例 197

第八章 连续作业热处理炉及液压传动 206

§ 8-1 连续作业热处理炉 206

§ 8-2 液压传动 226

第九章 其它热处理炉 241

§ 9-1 真空热处理炉 241

§ 9-2 离子氮化炉 256

§ 9-3 流动粒子电炉 259

第十章 冷却设备 264

§ 10-1 冷却设备的分类 264

§ 10-2 缓冷设备 264

§ 10-3 淬火槽 267

§ 10-4 淬火槽的设计计算 274

§ 10-5 淬火液循环冷却系统 282

§ 10-6 淬火压床与淬火机 290

§ 10-7 冷处理设备 295

第十一章 辅助设备 300

§ 11-1 清理设备 300

§ 11-2 清洗设备	303	§ 12-2 热处理车间生产纲领的确定	310
§ 11-3 校正设备	305	§ 12-3 热处理车间工作制度和设备年 时基数	313
§ 11-4 起重运输设备	307	§ 12-4 热处理车间设备的确定	314
第十二章 热处理车间设备确定及平 面布置	309	§ 12-5 热处理车间位置及面积的确定	318
§ 12-1 热处理车间及热处理车间设备 分类	309	§ 12-6 热处理车间厂房	319
		§ 12-7 热处理车间设备平面布置	320

绪 论

随着机械制造业的发展,热处理在国民经济中所起的作用日益重要。目前,机床厂约有60%以上的工件需经热处理,汽车、拖拉机厂需经热处理的工件约占全部工件的70%以上,刀具则全部需要热处理。

热处理工艺一般需在热处理炉中进行。在整个过程中,工件的温度及其变化是一个基本因素。加热则是整个过程的一个基本环节,因此,热处理工艺和加热用的热处理炉有着密切的关系。设备是为工艺服务的,两者的发展是相互促进的。

当今国内外在热处理炉方面,已获得了很大的发展。过去工件都是在空气炉中加热,钢制工件的氧化和烧损量达到3%以上。我国在五十年代后期开始在炉内使用保护气氛,国外在六十年代出现了在可控气氛中进行渗碳、碳氮共渗等化学热处理,后来进而发展在真空炉中进行各种热处理。这一新技术的出现,使许多尖端科学所需的工件性能得到了保证。此后,随着热处理工艺的发展,许多新型的热处理炉也不断研制成功。

我国目前已能生产多种热处理电阻炉的系列产品。大致分为可通保护气氛和不通保护气氛的,炉型包括各种周期式炉和连续式炉。我们一方面进行了大量的以节能和提高生产率为目标的对原有设备的技术改造,另一方面制成了不少具有先进水平的热处理炉并在工厂生产中发挥作用,如气体渗碳的自动线,箱式可控气氛多用炉、滴注式井式和箱式炉、离子氮化炉、真空热处理炉、软氮化炉及震底式炉等,这些设备已广泛用于汽车、拖拉机、内燃机、轴承等各类工厂。我国不少部门已设立热处理炉的研究机构,技术力量不断壮大,还有不少专业厂从事炉子的设计制造。在现代炉子发展的同时,许多新技术也得到了应用,如从一般的自动化到电子计算机的应用,高温的获得及精确的控温,驱动技术、液压、气动、电磁技术等的应用。另外,新的电热元件及耐热钢、新的筑炉材料也获得很大发展。

就我国目前热处理炉的发展情况看,仍落后于工艺的发展水平。今后,一方面要继续对原有设备进行改造,另一方面要使热处理炉获得新的发展。即绝大部分炉型均应使用可控气氛,制造各种可控气氛发生装置,提高设备的机械化、自动化程度;要发展以气体燃料为主的多种能源的炉型、专用和特殊要求的热处理炉。

国外热处理炉方面获得了极大发展,他们较多的发展各种可控气氛炉及真空热处理炉,氮基气氛也获得应用。大量使用气体燃料炉并提高了燃料炉的自动化程度和控温精度。已出现使用微处理机的热处理自动线,节能、高效烧嘴及新型筑炉材料得到了应用。另外,在离子冲击炉、激光炉等方面也获得了发展。

本课程主要是讲授有关热处理炉及车间设备的工作原理、结构与设计的基本知识,通过各教学环节的学习,使学生掌握炉子的基本理论及周期式热处理炉的工作原理、结构、性能、使用及维护等基本知识;有设计、改造周期式热处理炉及常用冷却设备的能力。了解其他热处理炉及车间设备的工作原理和结构特点,能根据热处理工艺要求及生产任务,正确地选择热处理炉及车间其它设备。

第一章 筑 炉 材 料

砌筑热处理炉所需的材料统称为筑炉材料，即包括砌炉衬所用的耐火材料和绝热材料，以及炉壳所用的金属材料、炉基所用的地基材料、制作炉底板和炉罐所用的耐热钢等。

本章着重介绍热处理炉常用的耐火材料和绝热材料。

§ 1-1 耐火材料的物理性能和使用性能

一、耐火材料的物理性能

耐火材料的基本特性是通过它的物理性能和使用性能来表示的。物理性能直接影响着使用性能。

(一) 体积密度

包括全部气孔在内的单位体积耐火制品的重量，其单位是 g/cm^3 (或 t/m^3)。

(二) 气孔率

耐火砖的气孔率分为两种，一是显气孔率，即耐火制品与大气相通的孔隙(即开口气孔)的体积与总体积之比。另一种是真气孔率，即耐火制品中全部孔隙的体积(包括开口的和闭口的孔隙)与总体积之比。

砖的气孔率小，表示致密程度好。对气孔率的要求，主要根据用途来定。

(三) 透气性

耐火制品的透气性，通常用透气系数表示，它表示在 9.8 Pa 压力差下，1 小时内通过厚度为 1 m 、面积为 1 m^2 的耐火制品的空气量(以升计)。透气系数的大小和耐火制品气孔大小及其特性、耐火制品结构的均匀性、气体的压力差及气体的温度等因素有关。

(四) 常温耐压强度

常温耐压强度反映耐火制品成型时泥料的加工质量、组织均匀性和烧成好坏等情况，是耐火制品抵抗冲击能力的强度指标，其单位是 Pa 。

(五) 热膨胀性

热膨胀性可用线膨胀的百分数 α 表示，它表明耐火制品热膨胀后受冷收缩的可逆变化的状况。

$$\alpha = \frac{L_t - L_0}{L_0} \times 100\%$$

式中 L_t —— $t^\circ\text{C}$ 时耐火制品的长度 (m)；

L_0 —— 0°C 时耐火制品的长度 (m)。

(六) 导热性

它是表明耐火制品导热能力大小的指标，用耐火制品的导热系数 λ 来表示，其物理意义是：当厚度为 1 m ，温度差为 1°C 时，在 1 m^2 面积上 1 小时内所通过的热量，单位为 $\text{W/m}\cdot^\circ\text{C}$ 。

影响耐火制品导热性的主要因素是：

1. 气孔率 气孔率愈大, 导热性愈小。气孔的大小、分布及形状对导热性都有不同程度的影响。

2. 制品组成 制品组织细密及粗颗粒, 结合剂结合紧密的, 导热性好。

3. 温度 大部分耐火制品的导热系数随温度升高而增大, 而高铝砖、碳化硅砖相反, 温度升高, 其导热系数反而减小。

(七) 比热

它反映了耐火制品的蓄热能力。其单位是 $\text{kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$ 。它随着耐火制品温度的升高而增大。

(八) 导电性

耐火材料在常温下是绝缘体, 温度升高后就导电, 1000°C 以上其导电性较显著。将耐火材料用作炉衬, 其导电性要予以严重注意。

(九) 温度传导性

以耐火制品的导温系数 a 表示, 单位为 m^2/h 。

二、热处理炉对耐火材料的要求

(一) 能承受高温, 在高温下不软化, 不熔化;

(二) 在高温工作状态下, 能承受炉子载荷及其他机械负荷的作用, 不变形、不断裂、不倒塌;

(三) 在高温下长期使用而砌体仍保持一定的体积稳定性, 不致发生变形和裂纹;

(四) 当温度急剧变化或受热不均匀时, 砌体不致发生破裂和剥落;

(五) 对于金属及炉内气氛的侵蚀, 有一定的抵抗作用;

(六) 为保证筑炉质量, 耐火制品的外观及外形尺寸应符合要求。

三、耐火材料的使用性能

目前, 还没有任何一种耐火材料能同时满足上述所有要求, 所以我们应充分了解耐火材料的使用性能, 以便根据实际需要正确地选择和使用耐火材料。

评定耐火材料使用性能的指标有以下几个方面。

(一) 耐火度

耐火度是耐火材料在高温下抵抗熔化的性能。是耐火材料重要性能指标之一。耐火度并非材料的熔点。而是指材料受热后软化到一定程度的温度。耐火度是可以通过实验测定的。

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: 耐火度为 2000°C 以上。

耐火度愈高, 耐火材料的耐高温品质愈好, 耐火材料的使用温度应低于耐火度。

(二) 高温结构强度

高温结构强度是指耐火材料在高温下承受压力抵抗变形的能力。耐火材料的常温结构强度很高, 但耐火材料在高温状态下的结构强度显著降低, 其原因这是由于材料内部的低熔点杂质发生熔化。

通常用荷重软化点作为评定耐火材料高温结构强度的指标。

所谓荷重软化点, 是指耐火材料在一定的压力 ($1.96 \times 10^5 \text{Pa}$) 下, 以一定的升温速度加

热 (800°C 以下不大于 $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$, 800°C 以上不大于 $4\sim 5^{\circ}\text{C}/\text{min}$), 当材料开始变形 (变形量为原试样的 0.6%) 时的温度, 称为荷重软化开始点。试样出现 4% 及 40% 的变形时的温度, 称为荷重软化 4% 及 40% 的软化点。

各种耐火材料的荷重软化开始点是不一样的, 耐火材料的使用温度不能超过荷重软化开始点。

(三) 体积稳定性

耐火材料在高温长期使用的环境下, 应保持一定的体积稳定。若体积发生变化, 不是热胀冷缩所致, 而是耐火材料在烧制时, 由于其内部组织结构未完全转化, 而在使用过程中, 继续变化而引起的, 这种体积变化是不可逆的。

体积稳定性是用耐火材料试样在一定温度下经反复焙烧, 其体积变化的百分率来表示的。一般允许的残余收缩或残余膨胀不应超过 $0.5\sim 1\%$ 。

(四) 耐急冷急热性

耐急冷急热性是指耐火材料抵抗温度急剧变化而不致破裂和剥落的能力。

在热处理炉的操作过程中, 如炉门开启时冷空气进入炉膛、台车式炉出炉时炉底空冷等。都会使炉子温度处于波动之中, 如果耐火材料没有足够的耐急冷急热性能, 就会过早地损坏。

耐急冷急热性指标可以用试验测定, 将耐火材料试样加热至 850°C , 然后在流动水中冷却, 如此反复加热、冷却, 直至试样的脱落部分重量为原重量的 20% 为止, 其所经受的反复加热、冷却的次数作为该材料的耐急冷急热性指标。

(五) 化学稳定性

化学稳定性指耐火材料抵抗金属氧化物、熔盐和炉气等侵蚀作用的能力。这一指标通常也用抗渣性来表示。对于热处理盐浴炉、可控气氛炉以及特殊金属加热, 均要考虑此项性能。

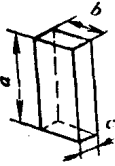
由于影响化学稳定性的因素很多, 所以难以通过试验测出准确结果。

(六) 外观

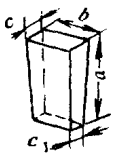
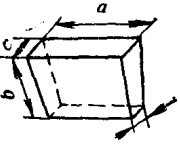
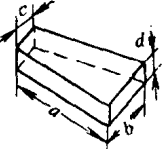
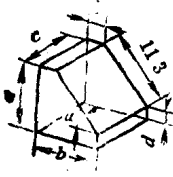
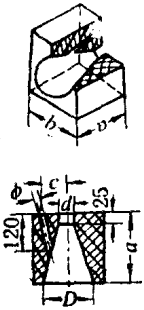
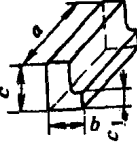
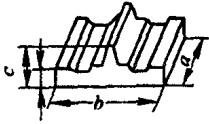
外观检查的项目包括尺寸公差、缺角、缺边、扭曲、裂纹、熔洞、渣蚀等。耐火材料的外形和尺寸直接影响砌筑时的砌缝。进而影响炉子的使用寿命。

耐火砖的型号规格是根据砖的形状及尺寸来区别的。耐火砖分标准砖、普通砖、异形砖和特殊砖。表 1-1 为热处理炉常用的耐火砖的形状和尺寸。

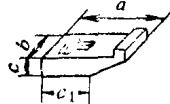
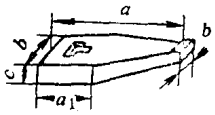
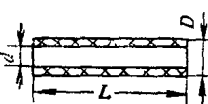
表 1-1 热处理炉常用的耐火制品形状和尺寸

制品名称和形状	标号	制品尺寸, mm						体积 cm^3	重量, kg		
		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

(续)

制品名称和形状	标号	制品尺寸, mm						体积 cm ³	重量, kg		
		a	b	c					粘土砖	轻质粘土砖	高铝砖
厚楔形砖		T-19	230	113	65	55		1560	3.2	1.2~2.0	3.6
		T-20	230	113	65	45		1430	3.0	1.1~1.9	3.3
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
厚楔形砖		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	56	37	60°	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	
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	21600	43	42
		T-88	340	335	130	260	150	40	19500	40	39
阶形砖		a = 230 材料: 轻质耐火粘土 b = 113 单件重量 ≈ 1.8kg c = 65 c ₁ = 43									
炉底捣砖		a = 150 ± 3 材料: 高铝矾土 b = 120 ± 2 单件重量 ≈ 0.8kg c = 40 ± 1 c ₁ = 20 ± 1									

(续)

制品名称和形状		标号	制品尺寸, mm						体积 cm ³	重量, kg		
			a	b	c					粘土砖	轻质粘土砖	高铝砖
直形搁砖		a = 110		材料: 高铝矾土								
		b = 50		单件重量 ≈ 0.18kg								
		c = 20										
		c ₁ = 49.5										
扇形搁砖		a = 110		材料: 高铝矾土								
		b = 50		单件重量 ≈ 0.175kg								
		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 套 管										
		16		30				360				
		16		30				250				
		20		36				125				
		碳 化 硅 保 护 管										
		46		64				300				

§ 1-2 常用耐火材料

一、耐火粘土砖

粘土砖是生产量最多、使用最广泛的耐火制品。

制造粘土砖的原料为耐火粘土和高岭土, 它们的矿物成分为高岭石 ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)。

粘土砖主要含 Al_2O_3 30~48%, SiO_2 50~65%, 还有一些杂质, 如 Fe_2O_3 、 K_2O 、 Na_2O 等。

粘土砖表面为黄棕色 (Fe_2O_3 的含量愈多颜色愈深), 表面并有黑点, 黑点少质量好。

我国耐火粘土资源极为丰富, 质量好且价格便宜。粘土砖有良好的耐急冷急热性能, 可达 20 多次。粘土砖属中性, 粘土砖的荷重软化开始点为 1350°C, 使用温度不超过 1300°C。

二、高铝砖

热处理炉中温度较高的区域, 需用高铝砖。如电阻丝的搁砖一般采用高铝砖。高铝砖中 $\text{Al}_2\text{O}_3 > 48\%$, 其余主要是 SiO_2 , 杂质很少, 颜色浅黄或接近白色。高铝砖的耐火度和荷重软化开始点都较高, 最高使用温度 1500°C。高铝砖有良好的耐急冷急热性及化学稳定性, 但成本较高。

三、轻质与超轻质耐火粘土砖

轻质砖与重质砖的化学组成基本相同，但轻质砖有很高的气孔率，因而它不仅耐火而且绝热，重质耐火粘土砖的体积密度为 $2.1 \sim 2.2 \text{g/cm}^3$ ，轻质砖的体积密度为 $0.4 \sim 1.3 \text{g/cm}^3$ ，体积密度 $\leq 0.3 \text{g/cm}^3$ 则为超轻质砖。

轻质砖与重质砖的制造方法有所不同，现介绍一种轻质砖的制造方法。用松香、苛性钠制成松香皂，加水后调成泡沫乳剂，将此泡沫液加入到由耐火粘土的生料、熟料及少量锯末调成的泥浆中，均匀拌和制成泡沫砖料，为使泡沫稳定，可使用少量铝钾明矾溶液作为泡沫稳定剂，并将这些砖料浇注成型，干燥后再烧制，这种方法可生产体积密度 $0.4 \sim 0.8 \text{g/cm}^3$ 的轻质砖。

轻质砖耐火度为 $1100 \sim 1300^\circ\text{C}$ 。它的热容量小，散热损失少。由于该种砖的孔隙小且均匀分布，具有足够的强度。但它的耐急冷急热性、高温结构强度和化学稳定性比较差。这种材料宜用于炉侧墙和炉顶。用轻质砖所砌的炉子重量轻、炉衬蓄热损失少，因此，升温快，热效率高，这对周期作业炉的意义很大。

用高铝砖的原料还可制成轻质和超轻质砖，其性能较粘土砖优越，但成本高。

四、刚玉制品

刚玉制品属高铝砖一类， Al_2O_3 含量为 85%，甚至达到 95% 以上，呈白色。它有很高的耐火度和高温结构强度。可用作电阻丝搁砖、电阻丝接线棒和热电偶的套管、马弗炉炉芯以及高温炉的炉底板等。

常用耐火材料的某些性能指标见表 1-2。

五、硅酸铝耐火纤维

硅酸铝耐火纤维又叫陶瓷纤维，有着良好的耐火和绝热性能，它以焦宝石或矾土作原料，在近 2000°C 的电弧炉内熔化，当熔流以细股向外倾倒时，用压缩空气或蒸汽将其吹成直径为 $2.8 \sim 10 \mu\text{m}$ 、长度为 $10 \sim 250 \text{mm}$ 的散状纤维，即纤维棉。这种耐火纤维棉可以直接使用，也可去除原棉中的渣球，再加入 $0.3 \sim 5\%$ 结合剂加工成各种形状和尺寸的成型制品使用，如纤维毡、纤维板及纤维砖等。

以焦宝石为原料生产的硅酸铝耐火纤维，其化学成分为： $\text{Al}_2\text{O}_3 48 \sim 56\%$ ； $\text{SiO}_2 40 \sim 48\%$ ； $\text{Fe}_2\text{O}_3 0.18 \sim 1.1\%$ ； $\text{MgO} 0.1 \sim 0.5\%$ ； $\text{CaO} 0.18 \sim 1.1\%$ ； $\text{R}_2\text{O} 0.5 \sim 1\%$ ； $\text{TiO}_2 0.3 \sim 1.1\%$ 。其物理性能为：耐火度 $1750 \sim 1790^\circ\text{C}$ ；密度 $40 \sim 90 \text{kg/m}^3$ ；使用温度 1150°C ；密度为 60、90、100、 120kg/m^3 耐火纤维毡的导热系数 300°C 时为 $0.05 \sim 0.07$ 、 400°C 时为 $0.07 \sim 0.09$ 、 500°C 时为 $0.09 \sim 0.15$ 、 1000°C 时为 $0.23 \sim 0.31 \text{W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$ 。

与一般的耐火材料和绝热材料相比，硅酸铝耐火纤维导热系数小、重量轻、比热小、抗热震性能好、化学稳定性好、绝热性能好。因此，用其砌造炉衬是提高能源利用效率的好材料。

目前，由于制造工艺和设备所限，硅酸铝耐火纤维最高使用温度超过 1000°C ，就开始有析晶现象，即有莫来石和方解石结晶析出，析晶后，使耐火纤维的体积收缩，材料变脆、粉化，强度大大降低，温度愈高，这些现象愈严重，使用寿命就愈短，因此，使用温度不能超过 1000°C 。欲提高使用温度，可提高 Al_2O_3 含量或使其含有少量的氧化铬。

六、耐火混凝土

(一) 性能特点

表1-2 常用耐火材料的性能

名称	牌 号	主要成分含量 %	耐火度 (不小于) °C	荷重软化 开始点 °C	耐急冷 急热性 次	常温耐压强度 Pa	体积密度 g/cm ³	显气孔率 (不大于) %	比 热 J/kg·°C	导热系数 W/m·°C	最高使用温度 °C
耐火粘土砖	(NZ)-40	Al ₂ O ₃ >40	1730	1300		1470×10 ⁴		26			1300~1400
	(NZ)-35	Al ₂ O ₃ >35	1670	1250	5~25	1470×10 ⁴	2.1~2.2	26	877.8+0.229 t	0.84+0.00064 t 均	1250~1300
	(NZ)-30	Al ₂ O ₃ >30	1610			1255×10 ⁴		28			1200~1250
高铝砖	(LZ)-65	Al ₂ O ₃ =65~75	1790	1500					794.2+0.418 t		1450~1500
	(LZ)-55	Al ₂ O ₃ =55~65	1770	1470	>25	3920×10 ⁴	2.3~2.75	23	919.6+0.25 t	2.09+0.00186 t 均	1400~1450
	(LZ)-48	Al ₂ O ₃ =48~55	1750	1420					919.6+0.25 t		1300~1400
	(QZ)-1.3 a		1710			4410×10 ³	1.3			0.41+0.00035 t 均	1400
轻质耐火粘土砖	(QZ)-1.3 b		1670			3430×10 ³	1.3			0.41+0.00035 t 均	1300
	(QZ)-1.0		1670			2940×10 ³	1.0		836+0.263 t	0.29+0.00026 t 均	1300
	(QZ)-0.8		1670			1960×10 ³	0.8			0.21+0.00043 t 均	1250
	(QZ)-0.4		1670			5880×10 ²	0.4			0.08+0.00022 t 均	1150
轻质高铝砖	PM-1.0	Al ₂ O ₃ >48	1750	1230		3920×10 ³	1.0				
	PM-0.8	Al ₂ O ₃ >48	1750	1180		2940×10 ³	0.8		919.6+0.25 t		1350
	PM-0.6	Al ₂ O ₃ >48	1730	1100		1960×10 ³	0.6				
	PM-0.4	Al ₂ O ₃ >48	1730	1050		5880×10 ²	0.4				
刚玉砖		Al ₂ O ₃ >95	1950	1770	30	1372×10 ⁵	2.96~3.1	18~21	1003.2	3.248(1000°C)	1700
碳化硅砖		SiC≈87 SiO ₂ ≈10	1800	1620	>30	6860×10 ⁴	2.4	30	961.4+0.146 t	20.88-0.00104 t 均	1450

耐火混凝土是不定形耐火材料的一种，是指利用水泥（胶结物质）加上耐火骨料、掺合料及水按一定比例混合、成型、硬化后得到的混合物，它具有可塑性，可按炉子的大小浇捣成整体炉衬或部分炉衬，更适合于复杂形状炉衬的成型。在常温的空气中，耐火混凝土能凝结变硬，在高温下有耐火性，与耐火砖相比，它的制造工艺较简化，成本较低，便于机械化施工，较耐火砖炉衬砌炉及修炉的速度快，加强了炉体的整体性，寿命较长。

与砌筑同类型热处理炉的耐火砖相比，常用的耐火混凝土还具有如下一些性能特点：

1. 耐火度稍低；
2. 荷重软化开始温度低的多；
3. 线膨胀系数较小；
4. 耐崩裂的性能好；
5. 显气孔率稍低，但闭口气孔率高。

（二）分类及用途

由于所用胶结材料不同，耐火混凝土主要包括铝酸盐耐火混凝土、水玻璃耐火混凝土、磷酸盐耐火混凝土和硫酸铝耐火混凝土等。热处理炉常用的是铝酸盐和磷酸盐耐火混凝土。

1. 铝酸盐耐火混凝土

铝酸盐耐火混凝土由胶结剂（水泥）、骨料、掺合料及水组成。胶结剂可为矾土水泥、低

表1-3 铝酸盐耐火混凝土的原料配比及性能

种 类		矾土水泥耐火混凝土	低钙铝酸盐水泥耐火混凝土
成 型 方 法		振 动	振 动
原料配比	胶 结 剂 %	矾土水泥 12~18	低钙铝酸盐水泥 12~20
	骨 料 %	矾土熟料<5mm 及5~15mm 各30~40	矾土熟料 <5mm 30~40 5~15mm 30~40
	掺合料 %	矾土熟料 小于0.1mm <15	矾土熟料粉 <15
	水(外加)%	9~12	9~15
性能	Al ₂ O ₃ 含量%	≤45	>70
	耐火度℃	≤1650	≤1730
	常温耐压强度Pa	1960~2450×10 ⁴	980~1470×10 ⁴
	荷重耐压强度 开始点℃	1290	1300
	耐急冷急热性次(850℃水冷)	>25	>25
	加热收缩% 加热温度℃	0.7~0.1 1200	0.40~0.32 1350
	显气孔率%	17~18	24~25
	密度t/m ³	2.17	2.37

钙铝酸盐和硅酸盐，在混凝土中起硬化作用，使其具有足够的强度。若胶结剂用量加多，虽常温强度增高，但荷重软化温度降低。骨料可用高铝矾土熟料、粘土熟料或废耐火砖，其用量决定着混凝土的高温性能，使之具有足够高的耐火度。骨料颗粒大小要有一定比例，若颗粒太小，水泥用量增加，则混凝土高温性能差。掺合料是将与骨料相同的材料磨细制成，适量加入混凝土中可提高体积密度，降低气孔率，提高耐压强度和化学稳定性，其加入量也应有限度，过多会使混凝土收缩，过少会使气孔率增加，耐压强度和化学稳定性降低，但耐急冷急热性提高。水灰比也要适当，水灰比指水与水泥加掺合料之比，水灰比大，混凝土加热后脱水量增加，孔隙多结构疏松，强度下降。降低水灰比，显气孔率低，荷重软化温度高，热稳定性好。

铝酸盐耐火混凝土的原料配比及性能见表 1-3。它用来制作浴炉坩埚、炉子的部分炉衬、台车面、拱顶及烟道等。

用铝酸盐耐火混凝土制作砌体时，应迅速成型，中间不得停顿。成型后，经 2.5~3 h 已初凝，需用草袋覆盖，用水养护 7 天以上。在使用前还要烘炉，烘炉时应缓慢升温，在 100~150℃ 范围内，排除大量游离水，在 300~400℃，排除水化结晶水，会引起砌体的收缩，故在这两段温度区间，一定要缓慢升温并有足够的保温时间。升温速度和保温时间，依砌体厚度不同而异，烘炉温度可逐渐升至炉子工作温度，烘炉温度低，对提高砌体的强度和荷重软化点是不利的。其砌体的具体烘炉工艺见表 1-4。

2. 磷酸盐耐火混凝土

磷酸盐耐火混凝土主要用来制作埋入式电极盐浴炉的坩埚，具体说明见第六章。

表 1-4 铝酸盐耐火混凝土砌体烘炉工艺

温 度 范 围 ℃	不同厚度(mm)混凝土烘炉升温速度及时间					
	<200		200~400		>400	
	℃/h	h	℃/h	h	℃/h	h
室温~150	20	7	15	9	10	13
150保温	—	24	—	36	—	48
150~350	30	7	20	10	15	13
350保温	—	24	—	36	—	48
350~600	30	8	20	13	15	17
600保温	—	16	—	24	—	32
600~工作温度	40	—	30	—	20	—

§ 1-3 常用绝热材料

热处理炉炉衬的内层为耐火材料，外层就是绝热材料。为提高炉子的热效率，减少通过炉衬的热损失，要求正确选用绝热材料。

绝热材料的主要性能特点是：体积密度小、气孔率高，导热系数小。下面介绍几种常用的绝热材料。

一、石棉

石棉是纤维状矿物，其主要成分是 $3\text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 。石棉熔点超过 1500℃，但在

700℃时就成了粉末、强度降低而失去绝热性能，故其最高使用温度不得超过 500℃。石棉制品有石棉粉、石棉板及石棉绳等。

二、硅藻土

硅藻土含 SiO_2 74~94%，最高使用温度不得超过 900~950℃。硅藻土生料适于砌砖和绝热层抹面用，熟料作绝热层填充用，但大多制成硅藻土砖砌筑于绝热层。

三、蛭石

其成分大致为： SiO_2 12~40%； Fe_2O_3 6~23%， Al_2O_3 14~18%， MgO 11~20%， CaO 1~2%。蛭石内含水 5~10%，受热后水分蒸发而体积膨胀，800℃膨胀到最大值，体积密度和导热系数相应减小很多，是较好的绝热材料。膨胀蛭石粉碎成粒状可填充使用，也可用高铝水泥作结合剂制成各种绝热制品。蛭石的最高使用温度为 1000℃。

四、珍珠岩及矿渣棉

珍珠岩是一种超轻质的绝热材料。它是以密度为 60 kg/m^3 的膨胀珍珠岩为主要原料，以磷酸铝、硫酸铝和纸浆废液为结合剂，按一定比例混合，经成型、干燥、烧制等工序而制成。它具有体积密度和导热系数很小、耐火度高、最高使用温度达 1000℃的特点，是良好的绝热材料。珍珠岩除制成绝热砖外，也可填充使用。

矿渣棉是将煤渣、高炉炉渣和某些矿石，在 1250~1350℃熔化后，用压缩空气或蒸汽将其喷成长为 2~60 mm，直径为 2~20 μm 的纤维状，即可使用。

常用绝热材料的性能见表 1-5。

表1-5 常用绝热材料的性能

材料名称	体积密度 g/cm^3	耐压强度 Pa	导热系数 $\text{W}/(\text{m}\cdot^\circ\text{C})$	平均比热 $\text{J}/(\text{kg}\cdot^\circ\text{C})$	最高使用温度 $^\circ\text{C}$
硅藻土砖 A	0.50 ± 0.05	490×10^3	$0.1 + 0.00023 t_{\text{均}}$		900~950
B	0.55 ± 0.05	686×10^3	$0.13 + 0.00023 t_{\text{均}}$	$0.23 + 0.00007 t_{\text{均}}$	900~950
C	0.65 ± 0.05	1078×10^3	$0.16 + 0.00031 t_{\text{均}}$		900~950
泡沫硅藻土砖	0.4~0.5	$392 \sim 686 \times 10^3$	$0.11 + 0.00023 t_{\text{均}}$	$0.23 + 0.00007 t_{\text{均}}$	900~950
硅藻土	0.55		$0.07 + 0.0002 t_{\text{均}}$	$0.23 + 0.00007 t_{\text{均}}$	900~950
石棉粉	0.34		$0.087 + 0.00024 t_{\text{均}}$		500
石棉绳	0.8		$0.07 + 0.00031 t_{\text{均}}$		300
石棉板	0.9~1		$0.162 + 0.00018 t_{\text{均}}$		500
矿渣棉	0.2		$0.07 + 0.000157 t_{\text{均}}$		700
膨胀蛭石	0.1~0.3		$0.07 + 0.00026 t_{\text{均}}$		1000
膨胀珍珠岩	0.031~0.135		0.035~0.046(常温)		1000
红砖	0.8~1.5	$49 \sim 147 \times 10^5$	$0.464 + 0.00051 t_{\text{均}}$		

§ 1-4 其它筑炉材料

一、耐火泥

耐火泥用来砌筑和填塞砖缝，保证炉子具有一定强度和气密性。耐火泥砌筑处也应具有一定的耐火度及抵抗化学侵蚀的能力。因此，要求耐火泥的成分和性能应接近于砌体的成分和性能。