

普通中等专业教育机电类规划教材

热处理炉及 车间设备

山东省机械工业学校 何致恭 主编

机械工业出版社

TG155-43
3

普通中等专业教育机电类规划教材

热处理炉及车间设备

主编 何致恭

协编 陈天民

主审 支道宏

李炳鑫

江苏工业学院图书馆
藏书章



机械工业出版社

本书共十二章,内容包括绪论、筑炉材料、气体力学基础、传热学基础、热处理燃料炉、热处理周期作业电阻炉、热处理浴炉、可控气氛热处理设备、液压传动及连续作业热处理炉、其它热处理炉、冷却设备和热处理车间设计等。每章后附有复习题。

本书为中等专业学校金属热处理专业的教材,也可作为厂办及业余中专教材,还可供从事金属热处理工作的技术人员阅读。

热处理炉及车间设备

山东省机械工业学校 何致恭 主编

责任编辑:常燕宾 版式设计:霍永明

封面设计:姚毅 责任校对:肖新民

责任印制:卢子祥

机械工业出版社出版(北京市百万庄大街22号)

邮政编码:100037

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

北京市房山区印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 787×1092¹/₁₆·印张19.75·字数484千字

1999年5月第1版第3次印刷

印数 4 001—6 000 定价:27.00元

ISBN 7-111-04877-6/TG·1026(课)

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

前 言

本书是中等专业学校金属热处理专业的试用教材，是根据机械工业部教育局审定的招收初中毕业生、学制为四年的教学大纲编写的。

本书共计十二章，第二、三章为基本原理，第四、五、六章为基本热处理炉型设计，其它各章为基本知识。

本书主要介绍周期作业电阻炉、燃料炉、盐浴炉及冷却设备的工作原理、基本结构、性能特点及设计方面的基本内容；详细地介绍了可控气氛热处理设备、连续作业电阻炉及真空热处理炉的工作原理、结构特点及设计方面的基本知识。其它内容仅作了一般介绍。介绍上述内容时，力求引入新材料和新设备的内容。

本书所用各种物理量及各种参数均采用法定计量单位。

本书各章均附有复习题，可帮助学生复习、思考，以掌握本书基本内容。

本书由何致恭主编、支道宏主审，参加编写的有：何致恭、陈天民、李炳鑫。何致恭编写绪论、第一、二、三、四、五、七、十章、陈天民编写第九、十一、十二章、李炳鑫编写第六、八章初稿，何致恭重新编写了第六章文稿，并对第八章文稿作了修改。

参加审稿会的有常燕宾、支道宏、郭林杰、武秀清和冯增田同志。与会同志对初稿提出了许多宝贵意见。对此，谨表示衷心感谢。

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。

编 者

1995年2月

目 录

前言	118
绪论	1
第一章 筑炉材料	3
第一节 炉衬材料的种类及用途	3
第二节 热处理炉常用耐火材料	3
第三节 常用绝热材料	13
第四节 其它炉衬材料	14
第五节 耐热构件用金属材料	15
复习题	15
第二章 气体力学基础	16
第一节 气体静力学的基本知识	16
第二节 气体动力学的基本定律	21
第三节 气体流动时的阻力损失	26
第四节 气体的流出	32
复习题	43
第三章 传热学基础	44
第一节 传热的基本方式	44
第二节 一维稳定导热	46
第三节 对流换热	53
第四节 辐射换热	57
第五节 综合传热	68
复习题	69
第四章 热处理燃料炉	71
第一节 热处理燃料炉的分类及基本结构	71
第二节 燃料燃烧计算	74
第三节 燃料炉结构设计	81
第四节 燃料消耗量的确定	84
第五节 燃料燃烧装置	90
第六节 废气的排出系统	99
第七节 燃料炉的节能	102
复习题	103
第五章 热处理周期作业电阻炉	104
第一节 周期作业电阻炉的基本类型	104
第二节 电阻炉结构设计	112
第三节 电阻炉功率的确定	115
第四节 炉子功率分配和电热元件接线	118
第五节 电热元件材料及其选择	121
第六节 电热元件的计算	126
第七节 电热元件的安装	135
复习题	139
第六章 热处理浴炉	141
第一节 热处理浴炉的分类	141
第二节 电阻加热浴炉	141
第三节 电极盐浴炉的基本类型	144
第四节 电极盐浴炉的设计	147
第五节 热处理浴炉的节能措施	162
复习题	163
第七章 可控气氛热处理设备	164
第一节 钢的无氧化、无脱碳加热	164
第二节 可控气氛的种类	165
第三节 可控气氛的制备原理及流程	167
第四节 可控气氛热处理炉结构特点及炉子举例	179
复习题	187
第八章 液压传动及连续作业热处理炉	188
第一节 液压传动的基本知识	188
第二节 连续作业热处理炉	209
第三节 热处理自动线	220
复习题	225
第九章 其它热处理炉	226
第一节 真空热处理炉	226
第二节 辉光离子渗氮炉	235
第三节 流动粒子炉	238
复习题	244
第十章 冷却设备	245
第一节 淬火槽	245
第二节 淬火介质循环冷却系统	255
第三节 冷处理设备	260
复习题	264
第十一章 辅助设备	265
第一节 清理设备	265

第二节	清洗设备	267	第六节	车间设备的选择及数量的确定	287
第三节	校正设备	269	第七节	车间的组织、人员及车间面积的确 定	286
第四节	起重设备	271	第八节	车间的平面布置	286
第五节	通风设备	272	第九节	车间厂房的建筑	293
复习题		273	第十节	车间的环境保护	295
第十二章	热处理车间设计	274	第十一节	车间的电磁辐射及防护	299
第一节	热处理车间类型的划分	274	复习题		302
第二节	车间设计前的调查研究及资 料收集	274	附录	热处理车间设备样片图	303
第三节	车间生产纲领的确定	275	参考文献		310
第四节	热处理工艺分析	278			
第五节	车间工作制度及工作时间	280			

绪 论

在机械制造的生产过程中，热处理工序的作用不容忽视，它对保证产品质量、提高机器零件的寿命和改善机器的效能都起着重要的作用。在热处理工序中进行着多种的热处理工艺，而任何一种热处理工艺，都是通过在相应的热处理设备中来实现的。由此可以看出，热处理设备在热处理工序中占有十分重要的地位。

现代化的热处理车间的热处理设备种类繁多，为了便于学习和研究，我们是根据设备在热处理生产过程中所完成的任务来进行分类的。据此，可把热处理设备分为主要设备和辅助设备两大类。

主要设备完成热处理的主要工序，它包括加热设备和冷却设备。加热设备包括各种热处理炉和加热装置，冷却设备包括淬火冷却设备和缓冷设备。

在主要设备中，加热设备为最重要，而在加热设备中，热处理炉又是最重要的设备。热处理工艺的最主要的环节——工件的加热即在其中进行。因此，热处理炉的性能对热处理工艺的顺利进行，对工件的加热质量均起着决定性的作用。

热处理炉的类型很多，其性能也不尽相同，为了便于选择使用和分析对比，常依不同的特征对其进行分类。例如：根据所用能源不同，可把热处理炉分为电阻炉和燃料炉；根据其作业方式可分为周期作业炉和连续作业炉；根据炉内介质可分为空气介质炉、浴炉、可控气氛炉、真空炉；根据其最高工作温度可分为低、中、高温炉。另外，也可根据工艺用途、炉体的形状对炉子进行分类。

通过热处理工作者的不懈努力，当今国内外在热处理炉的研制方面，已获得了很大的发展，取得了很大的成就。在对原有热处理炉改进的基础上，许多新型的热处理炉也不断研制成功。

新中国成立40多年来，热处理炉已经结束了单纯的利用空气介质加热工件的历史，现已不断扩大使用可控气氛炉的比例，从而大大减少了钢制工件的氧化和脱碳。完成了对原有电阻炉的更新换代工作，已经生产出了新型的电阻炉系列产品，节约了电能和提高了生产率。研制成功了一批具有相当先进水平的热处理炉，并已在工厂的热处理生产中发挥着重要的作用。如气体渗碳炉的自动线、箱式可控气氛多用炉、通 N_2 气对工件进行保护的井式炉和箱式炉，离子渗氮炉、真空热处理炉、新型节能的连续作业炉、热处理联合机等。这些设备已广泛地用于汽车、拖拉机、柴油机、轴承等各类工厂。许多新技术，如液压、气动、电磁技术和电子计算机已广泛地应用到新型热处理炉的研制中。尤其是电子计算机的应用，更为热处理炉的高度自动化创造了良好的条件。与此同时，新型的电热材料、耐热构件用钢以及新型的筑炉材料也在不断地研制成功。

今后，我国热处理炉的发展仍将着眼于节能、减少污染和提高产品质量等方面，相信热处理炉的性能将会不断提高。

本课程是本专业的一门必修的专业课，主要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。并训练学生具有热处理炉的初步设计能力。学生在学完本课程后，

应掌握周期作业热处理炉的工作原理、结构、性能、使用及维护等基本知识；具有设计周期作业热处理炉和淬火槽的初步能力；并能了解其它热处理炉及车间设备的工作原理和结构特点，了解车间设备的选择、车间平面布置的基本原则。

第一章 筑炉材料

热处理炉用筑炉材料主要包括炉衬材料、耐热钢构件和一般建筑材料，其中炉衬材料的种类及规格很多。正确地选择、使用炉衬材料，对提高热处理炉的使用寿命和节能都具有重要的作用。

为此，本章将重点介绍各种热处理炉衬材料，简要介绍其它筑炉材料。

第一节 炉衬材料的种类及用途

炉衬材料主要包括耐火材料、绝热材料、耐火泥浆和耐火涂料。

一、耐火材料

耐火材料主要用作炉衬内层即耐火层。由于它直接承受高温和高温下的物理化学作用，因此耐火材料应是一种能抵抗上述作用的材料。

常用热处理炉耐火材料一般按制成方法分类，可分为耐火砖（制品）、耐火混凝土和耐火纤维等。

二、绝热材料

绝热材料主要用作炉衬的外层即绝热层，其主要作用是减少炉衬散热，因此要求绝热材料的导热能力要小。常用的绝热材料有硅藻土砖、膨胀蛭石、矿渣棉、膨胀珍珠岩以及耐火纤维等。

三、耐火泥浆

耐火泥浆主要作为砌砖时的粘接剂。耐火泥浆的化学成分和性能应和砌体用砖的成分、性能相近。常用的泥浆为粘土质耐火泥浆和高铝质耐火泥浆。

四、耐火涂料

耐火涂料涂在耐火纤维表面，用以提高耐火纤维的强度和耐化学侵蚀的能力。

第二节 热处理炉常用耐火材料

一、热处理炉对耐火材料的要求

耐火材料是热处理炉的主要砌筑材料，热处理炉对耐火材料的基本要求是：

- 1) 软化、熔融温度要高，一般耐火度不低于 1580°C 。
- 2) 在高温工作状态下，具有一定的结构强度，不软化变形，不断裂坍塌。
- 3) 在高温下体积稳定，不致由于膨胀和收缩使砌体产生变形和裂纹。
- 4) 当温度变化很大或砌体各部分受热不均匀时，不会发生崩裂破坏。
- 5) 对液态熔盐、金属氧化物及炉内气氛的化学侵蚀应具有一定的抵抗能力。
- 6) 为保证炉子的砌筑质量，制品的外形尺寸应符合规定要求。

二、耐火材料的性能

耐火材料的性能主要指使用性能和热学性能。国家对各种耐火材料的使用性能指标都作了明确的规定，对其热学性能指标也进行了精确的测定，它们是评定耐火材料质量的重要指标，也是选择和使用耐火材料的根据。

（一）耐火材料的使用性能

耐火材料的使用性能主要包括：耐火度、荷重软化开始温度、常温耐压强度、密度、重烧线收缩、热稳定性、化学稳定性等。

1. 耐火度 耐火度是耐火材料在高温下抵抗熔化的性能，是耐火材料的重要指标之一。耐火度并不是耐火材料的熔点，而是指材料受热后软化到一定程度的温度。

耐火度的测定如下所述：将试样磨碎到一定的粒度（ $<0.2\text{mm}$ ），用糊精调配并制成一个三棱台，上底每边 2mm ，下底每边 8mm ，高 30mm 。在规定的加热条件下，与标准试样相比较，若试样与已知耐火度的标准试样同时弯倒，即试样顶面弯倒接触下底所在平面，则标准试样的耐火度即为被测试样的耐火度。

根据耐火度的高低，耐火材料可分成以下三类：

- 1) 普通耐火材料的耐火度为 $1580\sim 1770^{\circ}\text{C}$ 。
- 2) 高级耐火材料的耐火度为 $1770\sim 2000^{\circ}\text{C}$ 。
- 3) 特级耐火材料的耐火度 $>2000^{\circ}\text{C}$ 。

耐火度并不是耐火材料的最高使用温度，因为在砌成炉衬后，耐火材料承受着一定的压力，所以其实际使用温度低于材料的耐火度。

2. 荷重软化开始温度 荷重软化开始温度是指耐火制品在高温下承受压力抵抗变形的能力，是评定耐火材料高温结构强度的性能指标，材料的使用温度应低于荷重软化开始温度。

荷重软化开始温度是指耐火制品试样在 $1.96 \times 10^5\text{Pa}$ 压力下软化变形量为 0.6% 时的温度。此外，尚标注有软化变形量为 4% 及 40% 时的变形温度。试样尺寸为直径 36mm ，高 50mm 。

3. 常温耐压强度 即耐火制品在常温下所能承受的最大极限压力。它是表示成型料的质量高低，制品组织结构是否均匀致密和制品抵抗冲击能力的强度指标。

4. 密度 包括全部气孔在内的每立方米砖块体积的千克数。根据筑炉的需要，可制成不同密度的耐火砖。密度对耐火制品的强度和热学性能有很大的影响。

5. 重烧线收缩 制品在高温下长期使用时，相成分继续变化，发生再结晶和进一步烧结，出现了不可逆收缩称重烧线收缩，其值应 $<0.5\%\sim 1\%$ 。

6. 热稳定性 即耐崩裂性（抵抗发生碎断或破裂）和抗热震性（抵抗急冷急热而不破裂的能力），前者与膨胀系数有关；后者与温度有关。

抗热震性的测定方法与实际使用条件并不接近，目前采用的标准方法是将标准型砖的一端在电炉内加热至 850°C ，然后放在流动的冷水中冷却，如此重复进行，待砖块因破裂而部分掉落至原重量的 20% 时，所经受的冷热交替次数作为热稳定性指标。

7. 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，这一指标也用抗渣性表示。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。

(二) 耐火材料的热学性能

耐火材料的热学性能主要包括平均线膨胀系数、热导率和比热容。

1. 平均线膨胀系数 耐火制品受热膨胀、冷后收缩的可逆变化，一般用平均线膨胀系数 α_l ($1/^\circ\text{C}$) 表示：

$$\alpha_l = \frac{l_t - l_0}{l_0(t - t_0)}$$

式中 l_t ——温度为 t 时制品的长度 (mm)；

l_0 —— 0°C 时制品的长度 (mm)；

t 、 t_0 ——测定温度与 0°C 。

2. 热导率 试样厚度为 1 m，两面温差为 1°C 。在 1m^2 面积上单位时间内所通过的热量，单位为 $[\text{W}/(\text{m}\cdot^\circ\text{C})]$ 。

3. 比热容 它反映了制品的蓄热能力，其单位是 $[\text{kJ}/(\text{kg}\cdot^\circ\text{C})]$ ，它随着耐火制品温度的升高而增大。

(三) 耐火制品的级别

耐火制品的级别按制品尺寸允差分成二个等级。耐火粘土砖和高铝砖一级品尺寸允差为 $\pm 1.5\sim\pm 2\text{mm}$ ；二级品尺寸允差为 $\pm 2.5\text{mm}$ ；轻质耐火砖不分级别。

三、常用耐火材料

(一) 耐火粘土砖

耐火粘土砖属硅酸铝质耐火材料，其化学成分主要为 Al_2O_3 和 SiO_2 ，其中 Al_2O_3 含量为 $30\%\sim 48\%$ ； SiO_2 含量 $50\%\sim 65\%$ ；另外尚有 $5\%\sim 7\%$ 的杂质，如 Fe_2O_3 、 K_2O 、 NaO 等。

耐火粘土砖表面颜色为黄棕色，表面有黑点，这是由于杂质造成的，也是它主要的外观特征。

耐火粘土砖密度为 $2100\sim 2200\text{kg}/\text{m}^3$ ，常温耐压强度高，耐火度为 $1600\sim 1730^\circ\text{C}$ 左右，荷重软化开始温度为 $1250\sim 1350^\circ\text{C}$ ，热稳定性较好。

(二) 高铝砖

高铝砖亦属于硅酸铝质耐火材料，与耐火粘土砖不同之处是 Al_2O_3 含量 $> 48\%$ ，最高可达到 65% ，其余成分主要为 SiO_2 ，杂质含量很少，颜色浅黄或接近白色。

高铝砖耐火度为 $1750\sim 1790^\circ\text{C}$ ，荷重软化开始温度为 $1400\sim 1500^\circ\text{C}$ ，热稳定性和化学稳定性都较好。

含 $\text{FeO} < 1\%$ 的高铝砖称抗渗碳砖，它能抵抗 CO 的侵蚀作用。

(三) 轻质耐火砖

采用不同的制砖工艺，可制成轻质耐火粘土砖和轻质高铝砖。

将锯末、焦炭末、松香皂泡沫乳剂等加入到制砖的泥料中，成型烧结后即可得到轻质耐火砖。

轻质砖的化学成分与同类的重质砖相同，但轻质砖有较高的气孔率。因此，它不仅具有一定的耐火度，而且热导率也较小，绝热性能比重质砖好。轻质砖的密度为 $0.4\sim 1.3\text{g}/\text{cm}^3$ ，密度 $\leq 0.3\text{g}/\text{cm}^3$ 的为超轻质砖。

轻质砖耐火度为 $1100\sim 1300^\circ\text{C}$ ，它的热容量小，散热损失少。由于该种砖的气孔较小而且分布很均匀，故具有一定的结构强度，能满足砌筑的要求。但它的耐急冷急热性较差，高

湿结构强度比重质砖低。

目前，轻质耐火粘土砖已经成为热处理电阻炉的主要炉衬材料。

(四) 刚玉制品

刚玉制品的化学成分中 Al_2O_3 的含量 $>90\%$ ，最高可达到 92% 左右，呈白色，其耐火度和高温结构强度都很高。

(五) 碳化硅砖

SiC 粉与粘土按一定的比例混合，用糊精作粘接剂，成型后焙烧而成。耐火度可达到 $2000^\circ C$ 以上，具有很高的耐压强度和良好的导热性能。

(六) 抗渗碳砖

普通耐火砖中含有较多的 Fe_2O_3 杂质，炉气若为还原性渗碳气氛，则炉气中的 CO 与 H_2 就会和 Fe_2O_3 作用，产生 CO_2 和 H_2O ，使炉气成分改变，同时，炉气中还会析出炭黑，沉积于砖内，使砖体产生脱落、疏松现象。

为了延长无罐渗碳炉的炉衬寿命，并保证炉内气氛稳定而采用抗渗碳砖，砖中 Fe_2O_3 的含量 $<1\%$ 。

上述各种常用耐火材料的性能列于表1-1，常用耐火砖的规格列于表1-2。

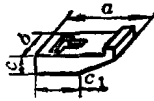
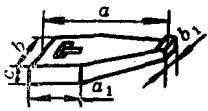
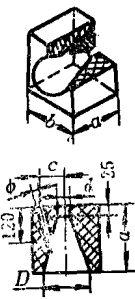
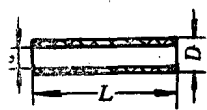
表1-1 常用耐火材料的性能

材料名称和牌号	耐火度 ($^\circ C$)	荷重软化点 ($^\circ C$)	耐急冷急热性 (次)	常温耐压强度 (Pa)	密度 (g/cm^3)	热导率 ($W/(m \cdot ^\circ C)$)	比热容 ($kJ/(kg \cdot ^\circ C)$)	最高使用温度 ($^\circ C$)
耐火粘土砖 (NZ-40)	1730	1350	5~25	1960×10^4	2.1~2.2	$0.698 + 0.64 \times 10^{-3} t$	$0.88 + 0.23 \times 10^{-3} t$	1350
耐火粘土砖 (NZ-35)	1670	1300	5~25	1470×10^4	2.1~2.2	$0.698 + 0.64 \times 10^{-3} t$	$0.88 + 0.23 \times 10^{-3} t$	1300
耐火粘土砖 (NZ-30)	1610	1250	5~25	1225×10^4	2.1~2.2	$0.698 + 0.64 \times 10^{-3} t$	$0.88 + 0.23 \times 10^{-3} t$	1250
高铝砖 (LZ-65)	1790	1500	>25	3920×10^4	2.3~2.75	$2.09 + 1.86 \times 10^{-3} t$	$0.96 + 0.147 \times 10^{-3} t$	1500
高铝砖 (LZ-55)	1770	1470	>25	3920×10^4	2.3~2.75	$2.09 + 1.86 \times 10^{-3} t$	$0.80 + 0.419 \times 10^{-3} t$	1450
高铝砖 (LZ-48)	1750	1420	>25	2940×10^4	2.3~2.75	$2.09 + 1.86 \times 10^{-3} t$	$0.92 + 0.25 \times 10^{-3} t$	1400
轻质耐火粘土砖 (QN-1.3a)	1710			441×10^4	1.3	$0.56 + 0.35 \times 10^{-3} t$	$0.84 + 0.26 \times 10^{-3} t$	1350
轻质耐火粘土砖 (QN-1.0)	1670			294×10^4	1.0	$0.29 + 0.256 \times 10^{-3} t$	$0.84 + 0.26 \times 10^{-3} t$	1300
轻质耐火粘土砖 (QN-0.8)	1670			196×10^4	0.8	$0.294 + 0.212 \times 10^{-3} t$	$0.84 + 0.26 \times 10^{-3} t$	1200
轻质耐火粘土砖 (QN-0.6)	1650			98×10^4	0.6	$0.165 + 0.194 \times 10^{-3} t$	$0.84 + 0.26 \times 10^{-3} t$	1200
轻质耐火粘土砖 (QN-0.4)	1650			58.5×10^4	0.4	$0.08 + 0.22 \times 10^{-3} t$	$0.84 + 0.26 \times 10^{-3} t$	1150
轻质高铝砖 (PM-1.0)	1750	1230		392×10^4	1.0		$919.6 + 0.25 t$	1350
轻质高铝砖 (PM-0.8)	1750	1180		294×10^4	0.8		$919.6 + 0.25 t$	1350
轻质高铝砖 (PM-0.6)	1730	1100		196×10^4	0.6		$919.6 + 0.25 t$	1350
轻质高铝砖 (PM-0.4)	1730	1050		58.8×10^4	0.4		$919.6 + 0.25 t$	1350
碳化硅制品	1900	1650		7840×10^4	2.4	9.3~1.6		1350
抗渗碳砖 (重质)	1770				2.14	$0.7 + 0.64 \times 10^{-3} t$	同粘土砖	1350
抗渗碳砖 (轻质)	1730				0.88	$0.15 + 0.128 \times 10^{-3} t$	同粘土砖	1250
粉煤空心微珠砖	1510	1140		352.8×10^4	0.5	$0.16 + 0.178 \times 10^{-3} t$	0.8 (常温)	1000
硅酸铝耐火纤维毡					0.135	0.119(600 $^\circ C$)		1200

表1-2 热处理炉常用的耐火砖（制品）形状和尺寸

[illegible]

(续)

制品名称和形状		标号	制品尺寸 (mm)						体积 (cm³)	质量 (kg)			
			a	b	c					粘土砖	轻质粘土砖	高铝砖	
直形捆砖			a = 110 b = 50 c = 20 c ₁ = 49.5	材料：高铝矾土 单件质量≈0.18kg									
扇形捆砖			a = 110 a ₁ = 50 b = 50 b ₁ = 32 c = 20	材料：高铝矾土 单件质量≈0.175kg									
烧嘴砖		T-84 T-85 T-86 T-87 T-88	230 340 340 340 340	205 335 335 335 335	80 120 120 130 130	150 190 210 240 260	50 75 100 125 150	35 45 45 40 40	9010 23800 23600 21000 19500	18.4 49 48.5 43 40	18 47.5 47.2 42 39		
耐火套管 (高铝矾土)		热 电 偶 套 管 (mm)											
			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				

(七) 硅酸铝耐火纤维

硅酸铝耐火纤维又称为陶瓷纤维, 它是以焦宝石或高铝矾土为原料制成的一种纤维状耐火绝热材料。根据它的内部结构, 硅酸铝耐火纤维又可分为结晶态纤维和玻璃态纤维。

玻璃态纤维是把原料放入2000℃的电炉内熔化, 然后当熔流以细股流出时, 用压缩空气或蒸汽, 将其吹成散状纤维即纤维棉, 这种纤维呈非晶状态。这种耐火纤维经高温长期使用后会重新晶化, 晶粒长大, 性质变脆, 体积收缩。使用温度愈高, 上述现象愈严重, 使用寿命就愈短, 因此, 使用温度不能超过1000~1200℃。

结晶态纤维采用胶体法制造, 呈结晶状态, 其中包括氧化铝纤维、氧化锆纤维和莫来石

纤维等类。由于这类纤维中 Al_2O_3 含量较高或含有少量氧化锆，故其使用温度很高。

耐火纤维的分类和使用温度列于表1-3中。

表1-3 耐火纤维分类和使用温度

方 法	类 别	档 次	名 称	Al_2O_3 含量 (%)	分类温度 (°C)	长期使用温度 (°C)
熔 融 法	玻 璃 态 纤 维	低 档	普通硅酸铝纤维	<45	—	<1000
		中 档	高纯硅酸铝纤维	45~50	1260	≤1000
		中 档	高铝纤维	55~60	1400	≤1200
		中 档	含铬硅酸铝纤维①	55	1400	≤1200
胶 体 法	结 晶 态 纤 维	高 档	莫来石纤维	72~74	1500	≤1350
		高 档	氧化铝纤维	80~95	1600	≤1500
		高 档	氧化锆纤维②		1700	≤1600

① 含 Cr_2O_3 3%~6%

② 含 $(\text{ZrO}_2 + \text{Y}_2\text{O}_3) \geq 98\%$

与一般的耐火材料相比，硅酸铝耐火纤维具有耐热度高、密度小、热导率低、热容量小、抗热震性能好、化学稳定性好等优点，既可作耐火材料用，也可作绝热材料用。

耐火纤维的主要缺点是：除重新晶化外，其承受负荷的能力也很小，不能承受高速气流的冲刷等。

为了使耐火纤维便于安装和固定，常将其制成毡、毯、砖等产品。

(八) 耐火混凝土

耐火混凝土是由胶凝物质（水泥、水玻璃、磷酸盐等）加上耐火骨料、掺合料和水并按一定比例混合、成型、硬化后得到的耐火材料。其与耐火砖相比，简化了制造工艺，降低了制造成本，革新了砌筑作业，加快了建炉速度，并使炉衬具有良好的整体性，是一种技术经济指标较好的筑炉材料。

1. 耐火混凝土的性能特点 耐火混凝土与同质的耐火制品相比，在性能上有以下一些特点：

- 1) 耐火度稍低。
- 2) 荷重软化温度低得多。
- 3) 线膨胀系数较小。
- 4) 耐崩裂性可在100次以上。
- 5) 显气孔率（制品开口气孔的体积占制品总体积的百分比）稍低于耐火砖，但闭口气孔较多，故致密性不如耐火砖。
- 6) 重烧线收缩较大。

2. 耐火混凝土的原料组成 如前所述，耐火混凝土的原料组成包括胶结剂、骨料、掺合料和水，现分别叙述如下：

胶结剂：胶结剂的主要作用是保证耐火混凝土有一定的常温强度。胶结剂用量增加，常温强度随之增加，但荷重软化开始温度降低，重烧线收缩增大，所以用量要合适。

骨料：骨料的作用是保证耐火混凝土具有一定的高温性能，骨料颗粒度要合适，颗粒细则胶结剂用量增加，使混凝土高温性能下降，收缩性增大；骨料颗粒粗，则混凝土合易性及

紧密性都较差。

掺合料：掺合料的主要作用是提高混凝土的密度，以提高强度和化学稳定性。加入量也应有一定的限度，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。

水灰比：水/(水泥+掺合料)称作水灰比。水灰比过大，组织结构疏松，强度下降；降低水灰比，则耐火混凝土密度增加，荷重软化点提高，热稳定性好。

3. 常用耐火混凝土的种类 热处理炉常用的耐火混凝土有铝酸盐耐火混凝土和磷酸盐耐火混凝土两类。

(1) 铝酸盐耐火混凝土 根据使用的胶结剂不同，铝酸盐耐火混凝土又分为矾土水泥耐火混凝土和低钙铝酸盐水泥耐火混凝土两种。

此类耐火混凝土的原料配比及性能见表1-4。

表1-4 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 30~40 5~15mm 30~40	矾土熟料 <5mm 30~40 5~15mm 30~40
	掺 合 料 (%)	矾土熟料 <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(°C)	≥1650	≥1730
	常温耐压强度(Pa)	(1960~2450)×10 ⁴	(980~1470)×10 ⁴
	荷重软化点(°C)	1290	1300
	耐急冷急热性(次)	>25	>25
	加热收缩(%)	0.7~0.1	0.40~0.32
	加热温度(°C)	1200	1350
	显气孔率(%)	17~18	24~25
	密度(kg/m ³)	2.17	2.37

使用矾土水泥耐火混凝土要搅拌均匀，迅速成型，中间不得停顿，成型后需进行养护。

这种混凝土捣打后会发热，故脱模后应进行水浸或浇水养护，否则制件会疏松、剥落，故这种混凝土又叫作“水硬性”混凝土。

低钙铝酸盐水泥耐火混凝土，在常温下硬化速度较慢，但耐火度比矾土水泥耐火混凝土高。

砌体在使用前要进行烘烤，以排除水分，使结构在高温下趋于稳定。在100~150°C范围内，排除大量游离水，在300~400°C范围内排除结晶水。升温速度与砌体厚度尺寸有关，尺寸愈大则升温速度愈慢。铝酸盐耐火混凝土砌体烘烤工艺见表1-5。

表1-5 铝酸盐耐火混凝土砌体烘炉工艺

温度范围 (°C)	不同厚度 (mm) 混凝土烘炉升温速度及时间					
	<200		200~400		>400	
	(°C/h)	(h)	(°C/h)	(h)	(°C/h)	(h)
常温~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	—

(2) 磷酸盐耐火混凝土 磷酸盐耐火混凝土是以磷酸或磷酸铝为胶结剂，耐火熟料为骨料及掺合料。

磷酸盐水泥耐火混凝土的材料组成及性能见表1-6。

表1-6 磷酸盐耐火混凝土的配比和性能

序 号			1	2	3	4
配 比 (%)	胶结剂 (外加)	磷酸 (%)	6.5~12	6.5~18	—	10~12
		浓度 (%)	60	40~60	—	波美度为45
		磷酸铝 (%)	—	—	6.5~14	—
		浓度 (%)	—	—	~10	—
	促凝剂	矾土水泥 (%)	—	—	—	2
	骨料及掺合料	煅英石				
		<0.3mm	50	—	—	—
		<0.088mm (>70%)	50	—	—	—
		矾土熟料				
		10~5mm	—	—	—	45
		5~1.2mm	—	30~40	30~40	25
		<1.2mm	—	35~40	35~40	25
		<0.088mm (>70%)	—	25~30	25~30	28
湿 容 重 (N/m³)			34200	27000	—	24800 (干容重)
主 要 性 能	荷重软化点 (°C)	开 始	1400~1460	1300~1350	1300~1350	1460
		变形40%	1550~1620	1400~1530	1400~1500	1620
	热稳定性 (1200°C水冷次数)		>20	50~80	>20	—
	线膨胀系数 α (×10⁶)		3.9~4.1	5.0~6.8	—	—
	1400°C残余变形 (%)		0.2~0.4	-0.1~+1.0	—	—
	耐火度 (°C)		>1800	>1800	—	>1700
	加热后耐压强度 (Pa)	1200°C	(2940~3920) ×10⁴	(2940~3920) ×10⁴	(3920~4900) ×10⁴	—
		1400°C	(3920~4900) ×10⁴	(2940~3920) ×10⁴	(3920~4214) ×10⁴	—