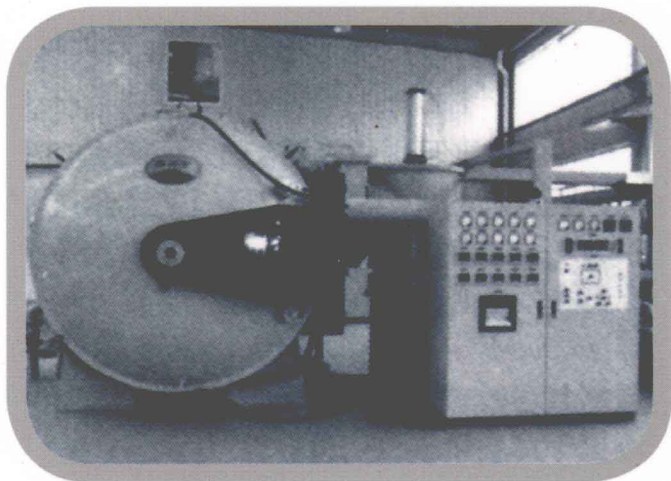




从校园到职场

热处理设备实用技术

纪嘉明 苗润生 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

从校园到职场

热处理设备实用技术

纪嘉明 苗润生 编著



机械工业出版社

本书系统地介绍了各种热处理设备的基本类型、结构特点、工作原理、用途、操作及维护,还介绍了基础加热炉型和一些重要部件的设计方法和步骤。其主要内容包括:热处理炉用材料、热处理电阻炉设计概要、热处理电阻炉、热处理浴炉和流态粒子炉、可控气氛热处理、真空炉热处理与离子渗氮炉、表面加热设备、热处理冷却设备及辅助设备、热处理温度测量及控制装置。本书强调实用性,旨在为正确选择和使用热处理设备提供帮助。通过本书的学习,可使具备一定热处理理论基础的读者能够较快地掌握各种热处理设备的特点、用途及操作维修技术,尽快成长为一名合格的热处理工程师。

本书适用于热处理工程技术人员、工人使用,也可供相关专业在校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

热处理设备实用技术/纪嘉明,苗润生编著. —北京:机械工业出版社, 2011. 10

(从校园到职场)

ISBN 978-7-111-35732-2

I. ①热… II. ①纪…②苗… III. ①热处理设备 IV. ①TG155

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 175725 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:陈保华 责任编辑:陈保华

版式设计:张世琴 责任校对:李秋荣

封面设计:路恩中 责任印制:乔宇

北京机工印刷厂印刷 (三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2011 年 10 月第 1 版第 1 次印刷

169mm × 239mm · 18.25 印张 · 363 千字

0 001—3 000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-35732-2

定价: 36.00 元



凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

策划编辑:(010)88379734

社服务中心:(010)88361066

网络服务

销售一部:(010)68326294

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649

教材网:<http://www.cmpedu.com>

读者购书热线:(010)88379203

封面无防伪标均为盗版

寄语刚参加工作的大学毕业生

当你大学毕业后，无论是在工厂、企业、公司、事业单位从事何种工作，都将发生角色转变，将从一名学生变成一名工程师、设计师、规划师、经济师，等等。可大多数大学生刚毕业时，还不能马上树立比较正确的人生目标，缺少生活经验、工作技能。为了帮助各位学子能尽快转变角色，少走弯路，尽快成为企事业骨干、社会栋梁，机械工业出版社组织编写出版了“从校园到职场”系列丛书，以“学校送一程、企业接一程”的理念，架起从校园到职场的桥梁。

1. 从学生到工程师的心理转变

学生，从小学到大学毕业，经过了16年的历程，已经有了一定的生活经历、生活观念与价值标准。学生成功与否的标准就是看考试成绩，生活的主体就是读书，人和人都是平等的，信念是理想的。但是，参加工作后，理想会有很多与现实不太吻合的东西。首先，判断一个人的成功，不再仅是考试成绩了，不是光靠用功读书就能成功的。工作后，是否完整地干好领导交给你的工作：修理一台机器、设计一个产品、组织一个活动、写一个工作方案等等，你的工作结果是否符合实际要求，是否令同事与领导满意，就是一个判断标准了。

工作成功的标准，就是要把交给你的工作先是干完，然后是干好，之后是干精，最后是干出特色与创新。这样，才能逐渐适应工作、熟悉环境、赢得同事与领导的信任，承认你的工作能力，从而把更为复杂、重要的任务交给你，从而得到更多的锻炼，得到重用与提升。所以，进入社会后，首先要降低身份，以平等的地位同一切人交往，向周围的同事、工作人员、领导学习。要做到四勤：手勤、腿勤，嘴勤、脑勤。要做一个为人随和的人、积极向上的人、工作踏实的人。这样你就可以更快、更好地赢得尊重，获得成功。

2. 从学生到工程师的能力转变

一个大学毕业生到了工作岗位，首先要学习基本的技能、知识，熟悉环境、熟悉单位的工作流程，逐渐掌握基本技能。当你能够处理一个环节、一个工序或工艺中的问题，维护生产的正常运行时，你就成为一名初级工程技术人员了；当你能独立主持一件小产品的开发或大型产品里一个部件的开发工作，能把产品设计并制造出来，达到合格的技术要求后，你就是一名工程师了；当你要考虑如何把产品做好、如何把产品做精、如何把产品做出创新时，你就逐渐成为工程师中的高手了；当你可以主持一个大型产品的研发时，你就具有高级工程师的水平了；再继续往上，当你具有把握企业技术发展方向、具有组织大型产品的研发能力时，就是总工

IV

工程师的水平了。当然，还需要有足够的经历、资历与机会。一名大学生的技术水平就是这样逐渐提高的。

3. 从学生到工程师的专业知识积累

关于专业的问题，一个大学毕业生，是有一个专业特长的，如机械类、电气类、计算机、管理类等等。在企业，首先要延伸学习你自己的专业知识，在学校所学仅仅是其皮毛而已，其次要注意学习其他专业的知识。因为，到工作岗位后，领导交给你的任务可能是多个专业交叉的问题，不一定是你很熟悉的内容，企业也更需要能为企业提供全面解决方案的综合型人才。此时就要自己学习了，找到有关的书籍，先学习基础理论，再通过网络学习、杂志学习、参观学习较新的知识，了解有关的知识与技能，你就可以获得更宽广的专业知识。此时要有信心，因为学过一个专业后，再学另一个专业，是比较容易的。再者，大学只有四年，工作可能要有四十年，补充新知识是必然的，学习新知识是工作后经常的事。

4. 从学生到工程师的成长建议

判断与取舍：如果做一件事情是自己不擅长的，肯定做不好。只有放弃不适合的，才能在自己更适合的领域内投入做自己更擅长的事业。无法判断该放弃什么的人，也无法判断该干什么。让鸭子学短跑，让兔子学游泳，即使练一辈子，也难以有好结果的。一个技术问题也一样，如果不具有可行性，那就要放弃。对任何一件事，要估计其最好和最坏的程度，如果最坏也能承受，就可以去干。

主动与闯劲：性格决定命运，主动的人比被动的人会有更多机会。要有主动精神与百折不挠的劲头，有闯出新天地的勇气，才有成功的可能。被动、胆小是成功的大敌。

水平与脾气：真正的高手是很谦虚的，因为他知道还有更多的未知。不必要的脾气在与人沟通时会设置障碍，失去获得知识、提高自己的机会。

继承与创新：科技中继承是大多数，创新是一点点，所以先要学会继承并掌握，才能在其基础上提出改进、有所创新。创造条件是创新的基础，只有达到某种条件后，可能才会出现，第一个发现机会并克服困难而成功实践的人，才是真正的高手。

坚持与规划：做事要坐得住，凡是心中长草到处乱跑的人，难以干好一件事情。做人要有规划，做事要有计划。要有近期规划和长远规划，否则极其容易随波逐流，人生的志向和成功也就丧失在繁琐的日常生活中了。

最后，希望各位学子能尽快适应新的工作岗位，事业顺利，找到自己的发展空间。做人低调，做事认真，忍得住寂寞，受得了批评。还要记住：对于不断追求进步的人，学习是终生的任务和义务。在充满未知与新奇、充满平淡与辉煌、充满快乐与痛苦、充满成功与失败的人生道路上永远向前！向前！当我们年迈时，回首曾经的岁月，不一定有多大的成功，但我们可以说“我真努力过了，我不后悔。”就足够了。

前 言

众所周知，金属材料是各种机器构件的基本材料。要提高金属材料的力学性能和使用寿命，最有效的手段之一就是对其进行热处理。长期以来，人们对机械产品可靠性的研究不断地推动着热处理技术的发展，时至今日，已开发了名目繁多、目的各不相同的热处理工艺，显然任何热处理工艺，都需要相应的热处理设备才能实现。

如果说冶金工作者已经赋予了材料优良的性能潜力，而热处理工作者可以通过热处理工艺发掘这种潜力，使之具有最佳使用性能，那么热处理设备就是达到这种目的必不可少的手段。从这个意义上讲，材料、热处理工艺、热处理设备三者具有不可分割的联系。作为一个热处理工作者来说，热处理设备方面的知识不可或缺。

由于我国工科院校原来设置的金属材料及热处理专业改为金属材料科学与工程专业，并采用“大材料”培养方案，很多学校已取消热处理设备课程教学，作为我国机械行业的热处理技术骨干及后备技术骨干的高校毕业生，对各种热处理设备的工作原理、基本类型、结构特点、用途等方面的知识薄弱，对各种热处理设备的操作和维护等实际技能更是缺乏，难以满足企业的需要。为了使这些具备一定的热处理理论基础、即将从事热处理技术岗位的高校毕业生尽快进入角色，尽快成长为一名合格的热处理工程师，我们编写了这本《热处理设备实用技术》。

本书结合目前国内企业的热处理现状，系统地介绍了各种热处理设备的基本类型、结构特点、工作原理、用途、操作及维护，还介绍了基础加热炉型和一些重要部件的设计方法和步骤。其主要内容包括：热处理炉用材料、热处理电阻炉设计概要、热处理电阻炉、热处理浴炉和流态粒子炉、可控气氛热处理、真空炉热处理与离子渗氮炉、表面加热设备、热处理冷却设备及辅助设备、热处理温度测量及控制装置。本书强调实用性，旨在为正确选择和使用热处理设备提供帮助。

本书共分9章，第1~5章由纪嘉明副教授编写，第6~9章由苗润生高级工程师编写。在本书编写过程中，参考了许多文献资料，主要文献列于书后，在此谨向所有参考文献的作者诚挚谢意。限于作者水平，书中不足之处在所难免，恳请同行和读者批评指正。

作 者

目 录

寄语刚参加工作的大学毕业生

前言

第1章 热处理炉用材料	1
1.1 耐火材料	1
1.1.1 耐火材料的技术性能指标	1
1.1.2 热处理炉常用耐热材料	2
1.1.3 热处理炉常用保温材料	7
1.2 电热元件材料	8
1.2.1 电热元件材料的性能要求	8
1.2.2 金属电热元件材料	10
1.2.3 非金属电热元件	13
第2章 热处理电阻炉设计概要	15
2.1 热处理电阻炉基本结构	15
2.2 热处理电阻炉设计步骤	16
2.2.1 炉型选择与炉膛尺寸的确定	16
2.2.2 炉体结构设计和材料选择	19
2.2.3 电阻炉功率的确定	22
2.2.4 炉子功率分配和电热元件接线	30
2.2.5 电热元件的计算	32
2.2.6 电热元件的布置与安装	36
第3章 热处理电阻炉	42
3.1 热处理电阻炉的基本类型	42
3.1.1 箱式电阻炉	43
3.1.2 井式电阻炉	45
3.1.3 台车式炉及罩式炉	53
3.1.4 传送带式电阻炉	59
3.1.5 推杆式电阻炉	63
3.1.6 振底式电阻炉	66
3.1.7 转筒式电阻炉	73
3.1.8 转底式电阻炉	73
3.2 电阻炉的安装、维修和操作	77
3.2.1 电阻炉安装的一般原则	77
3.2.2 电阻炉的维修	79

3.2.3 电阻炉的安全操作	81
第4章 热处理浴炉和流态粒子炉	83
4.1 浴炉的特点及类型	83
4.1.1 浴炉的特点	83
4.1.2 浴炉的类型及结构	83
4.1.3 常用浴剂	89
4.2 电极盐浴炉的设计	91
4.2.1 电极盐浴炉的结构设计	91
4.2.2 盐槽尺寸设计	92
4.2.3 盐浴炉功率的确定	93
4.2.4 电极设计	95
4.2.5 电极盐浴炉变压器、抽风装置及盐炉起动	99
4.3 浴炉的使用	104
4.3.1 浴炉的使用和维护	104
4.3.2 浴炉的安全操作	105
4.4 流态粒子炉	106
4.4.1 流态粒子炉的工作原理	106
4.4.2 流态粒子炉的类型和结构	108
4.4.3 流态粒子炉的应用	112
4.4.4 流态粒子炉的使用、维护和安全操作	115
第5章 可控气氛热处理	118
5.1 可控气氛的种类	118
5.1.1 吸热式气氛	118
5.1.2 放热式气氛	120
5.1.3 氨分解气氛	122
5.1.4 氮基气氛	124
5.1.5 滴注式气氛	126
5.2 可控气氛的碳势控制	135
5.2.1 碳势控制原理	135
5.2.2 碳势测量仪	138
5.3 可控气氛热处理炉	149
5.3.1 可控气氛热处理炉的分类及结构特点	149
5.3.2 几种常用的可控气氛热处理炉	150
5.3.3 可控气氛热处理炉的使用和安全操作	164
第6章 真空热处理炉与离子渗氮炉	167
6.1 真空热处理炉的基本类型及结构形式	167
6.1.1 真空热处理炉的基本类型	167
6.1.2 内热式真空热处理炉的结构形式	169

6.2 真空系统	175
6.2.1 真空系统的组成	175
6.2.2 真空炉中常用的几种真空系统	175
6.2.3 真空系统的基本参数	176
6.2.4 真空泵	177
6.2.5 真空系统中其他附件	180
6.2.6 真空炉常用真空仪表	180
6.3 真空热处理炉的检验与使用	181
6.3.1 真空热处理炉的主要技术参数和性能指标	181
6.3.2 真空热处理炉的性能检验	182
6.3.3 真空热处理炉的安装与使用维护	183
6.4 离子渗氮炉	189
6.4.1 离子渗氮炉的基本类型	189
6.4.2 离子渗氮炉的结构	190
6.4.3 离子渗氮炉的电源及控制系统	193
6.4.4 离子渗氮炉的性能考核、使用与维护	196
第7章 表面加热设备	201
7.1 感应加热热处理设备	201
7.1.1 感应加热装置	202
7.1.2 感应器	205
7.1.3 淬火机床	212
7.1.4 感应加热装置的安装、使用与维护	218
7.2 火焰表面加热装置	219
7.3 激光表面热处理装置	222
第8章 热处理冷却设备及辅助设备	228
8.1 冷却设备	228
8.1.1 淬火槽	228
8.1.2 淬火冷却介质的循环冷却系统	233
8.1.3 淬火机和淬火压床	237
8.1.4 冷处理设备	238
8.2 热处理辅助设备	242
8.2.1 清洗设备	242
8.2.2 清理及强化设备	247
8.2.3 矫正及矫直设备	251
8.2.4 热处理用夹具	253
第9章 热处理温度测量及控制装置	255
9.1 温度传感器	255
9.1.1 热电偶	255

9.1.2 热电阻	262
9.1.3 辐射高温计	264
9.1.4 光学高温计	265
9.1.5 光电高温计	266
9.1.6 其他测温仪表	268
9.1.7 影响炉温测量准确性的因素	269
9.2 温度显示与调节仪表	270
9.2.1 动圈式温度仪表	270
9.2.2 电位差计	272
9.2.3 电子式温度指示调节仪	273
9.2.4 数字式温度显示仪表	274
9.2.5 温度控制仪表选用的一般原则	275
9.3 温度的自动控制	276
9.3.1 位式调节	276
9.3.2 连续式调节	278
参考文献	280

第1章 热处理炉用材料

常用的热处理炉用材料包括两大类：耐火材料和电热元件材料。合理选择炉用材料，对满足热处理工艺要求，提高炉子使用寿命，节约能源，降低成本都具有重要意义。本章重点介绍热处理各种炉用材料的种类、规格、性能特点和作用。

1.1 耐火材料

耐火材料是耐热材料和保温材料的总称。前者主要用作炉体内衬耐火层，直接承受高温作用，后者则用作炉体外衬保温层起保温作用，减少炉体散热。

1.1.1 耐火材料的技术性能指标

1. 耐火度

耐火度是耐火材料抵抗高温作用的性能。它决定于材料的化学组成、分散度、液相在其中所占比例以及液相粘度等。它不是材料的熔点，也非材料的实际使用温度。其测定方法是：将试验物料做成规定尺寸的截头三角锥，在一定的升温速度下加热时，由于本身的重量而逐渐弯倒，试锥弯倒至其顶端与底盘接触时的温度即试验物料的耐火度。

根据耐火度的不同，耐火材料可以分为以下三种：

- 1) 普通耐火材料：耐火度为 1580 ~ 1770℃。
- 2) 高级耐火材料：耐火度为 1770 ~ 2000℃。
- 3) 特级耐火材料：耐火度为 2000℃ 以上。

2. 高温结构强度

高温结构强度是指耐火制品在高温下承受压力而不发生变形的抗力，常以荷重软化温度来评定。所谓荷重软化温度是指耐火材料在一定的压力（196kPa，轻质材料为 98kPa）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温度，后者叫荷重软化 4% 或 40% 时的软化点。

3. 高温化学稳定性

高温化学稳定性是指耐火材料在高温下，抗金属氧化物、熔盐和炉气侵蚀的能力，这种侵蚀包括物理溶解和化学侵蚀，常用抗渣性来评定。这种性质主要取决于耐火材料本身相组成物的化学特点和物理结构，目前多数仅以定性指标表示，如在

无罐可控气氛炉中，耐火材料应具有抗气体介质渗透和侵蚀的能力；在盐浴炉中，坩埚应具有抗高温盐浴对其腐蚀的能力；在电阻炉里，搁砖应具有不与电热元件材料发生化学作用的能力等。

4. 热震稳定性

热震稳定性是指耐火材料（制品）对急冷急热的温度反复变化时，抵抗破坏和剥落的能力。热处理炉在工作中，温度常发生剧烈变化，如开启炉门装卸料，炉内冷却等。因此，要求耐火材料具有不因温度突然变化而开裂、剥落的热震稳定性。其测定方法为：将试样加热到 850°C ，然后在流动的水中冷却，反复进行直至破裂或剥落至其重量损失 20% 以上为止，其所经历的次数作为耐火材料的热震稳定性指标。热震稳定性与制品的物理性能、形状和大小等因素有关。

5. 高温体积稳定性

高温体积稳定性是指高温下耐火制品外形体积保持稳定的性能，或加热至高温后，耐火制品尺寸不可逆地减少或增加的性能。一般用制品在无负荷作用状态下的重烧体积变化百分率衡量其优劣，常以线变化表示。一般要求各种耐火制品的残余胀缩不超过 0.5% ~ 1.0%，如粘土砖和高铝砖的重烧线收缩率为 0.5% (1350°C)，硅砖的重烧线收缩率为 0.8%。高温体积稳定性直接与炉内砌体的开裂损坏有关，是耐火材料及制品的重要质量性能之一。

此外，还有体积密度、比热容、热导率和电绝缘性等。

1.1.2 热处理炉常用耐热材料

1. 粘土砖

粘土砖约占耐火材料总量的 60% ~ 70%。其主要原料为耐火粘土和高岭土，主要成分是高岭石 ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)，其中 Al_2O_3 的质量分数小于 48%，其余为 SiO_2 和质量分数为 5% ~ 7% 的碱金属和碱土金属的氧化物杂质，属于硅酸铝耐火材料。

粘土砖的使用性能如下：

- 1) 耐火度：1630 ~ 1730 $^{\circ}\text{C}$ 。
- 2) 荷重软化开始温度：1250 ~ 1300 $^{\circ}\text{C}$ 。
- 3) 属于弱酸性耐火材料，能抵抗弱酸性炉渣侵蚀。
- 4) 重烧线收缩率为 0.5% ~ 0.7%。
- 5) 耐急冷急热性好（10 ~ 25 次），常用于砌筑炉子温度变化大的部位。

此外，粘土砖的热导率、比热容均小于其他耐火材料，并且资源丰富，成本低廉。

粘土砖因密度不同有重质和轻质之分，通常密度为 1.8 ~ 2.2 g/cm³ 的粘土砖称为重质粘土砖，密度为 1.3 g/cm³、1.0 g/cm³、0.8 g/cm³、0.6 g/cm³ 和 0.4 g/cm³

的分别称为相应级别的轻质粘土砖。密度越小，其热导率和强度越低，工作温度越低，其最高使用温度依砖的级别而异，通常在 1150 ~ 1350℃ 之间。这类砖是热处理炉炉体耐火层的主要用砖，有利于减少传热和蓄热损失。

2. 高铝砖

高铝砖是 Al_2O_3 的质量分数大于 48% 的硅酸铝重质耐热材料，其余为 SiO_2 和少量其他氧化物杂质。普通高铝砖按 Al_2O_3 的质量分数不同分为 >48%、>55%、>65% 三个等级，随着 Al_2O_3 含量增加，使用性能也相应增加。根据原料来源不同可分为以下三类：①以高铝矾土为原料（我国有丰富的高铝矾土资源）加工制成的高铝砖；②用硅线石类矿物制成的高铝砖；③以天然或人造刚玉为原料生产的刚玉质耐火制品（如刚玉管等），其 Al_2O_3 的质量分数在 95% 以上。

高铝砖的使用性能如下：

- 1) 耐火度：1750 ~ 2000℃。
- 2) 荷重软化开始温度 > 1480℃。
- 3) 由于 Al_2O_3 含量较高， Al_2O_3 属于两性氧化物，所以对酸性和碱性炉渣均有一定耐腐蚀能力。
- 4) 重烧线收缩率 < 0.5%。
- 5) 耐急冷急热性（>5 次）稍低于粘土砖。

高铝砖的使用性能大部分优于粘土砖，其最高使用温度能达到 1400 ~ 1500℃，但价格比较贵。高铝砖常用来砌筑电极盐浴炉和制作热处理炉炉墙、电热元件的搁砖和套管、热电偶导管等。 Fe_2O_3 的质量分数低于 1% 的高铝砖称为抗渗碳砖，专用来砌筑无炉罐气体渗碳炉的内衬。

3. 硅质耐热材料

硅质耐火材料主要成分为 SiO_2 ，其质量分数大于 95%，原料为石英岩，一般制成硅砖，也可破碎至一定粒度，成为石英砂，直接供给感应电炉等工业炉捣筑炉衬使用。

硅质耐热材料的主要性能如下：

- 1) 耐火度：1690 ~ 1710℃，与粘土砖相差无几。
- 2) 荷重软化开始温度；1620 ~ 1640℃。
- 3) 属于强酸性耐火材料，对酸性炉渣有较强的耐蚀性，但不能抵抗碱性炉渣侵蚀。
- 4) 由于 SiO_2 在一定的温度变化下有晶型转变，并伴随着体积变化，所以耐急冷急热性差。

由于硅质耐热材料的荷重软化开始温度与耐火度相差 100℃，所以其高温结构强度较高，可以在较高的温度下使用。

4. 碳化硅耐火制品

碳化硅耐火制品主要化学成分为 SiC ，由细粒碳化硅加入少量粘土和糊精焙烧而成。其耐火度可达 2000°C 以上，具有较高的高温结构强度和抗磨性，耐急热性好。导热性和导电性好。根据其制造工艺不同，可用作炉罐、高温炉的炉底板和导轨、镶嵌电热元件的加热板等。但在超过 1250°C 下长期使用易发生氧化。

5. 不定型耐火材料

不定型耐火材料是一种不经过煅烧的新型耐火材料，其耐火度不低于 1580°C 。与烧成的定形耐火材料比，不定形耐火材料因具有生产工艺简单，生产周期短，从制备到施工的综合能耗低，可机械化施工且施工效率高，可通过局部修补并在残衬上进行补浇而减少材料消耗，适宜于复杂结构的衬体施工和修补，便于根据施工和使用要求调整组成和性能等优点，在世界各国都得到了迅猛发展。

不定型耐火材料品种繁多，根据生产方法和使用方法的不同，可分为混凝土、浇注料、可塑料、捣打料、喷补料、投射料、涂抹料、干式捣打料和火泥料，各种补炉料（沥清结合大面补炉料、马丁砂等）也属于不定型之列。尽管不定型产品名称繁多，其典型生产方法可归纳为以下三种：耐火混凝土、浇注料和可塑料。

（1）耐火混凝土 耐火混凝土出现得较早，它是不定型产品中的定型产品。

耐火混凝土是以一定粒度的耐火熟料为骨料，加掺合料和粘结剂按比例混合、成型、硬化后得到的耐火材料。混凝土的生产方法是将配制好的材料注入模型中，振动成型、脱模及硬化后，提供给用户。耐火混凝土具有便于复杂制品成型的特点，可用以制造盐浴炉的盐槽坩埚，以及炉顶和炉衬的预制件等。

耐火混凝土骨料构成主要耐火基体，应具有足够的耐火度，骨料一般可用高铝矾土熟料、粘土熟料或废耐火砖；对耐火度要求更高的，可以锆英石、铬渣等材料做骨料。骨料要破碎到一定的粒度，并按粗细适当配比配合。骨料在耐火混凝土中占 $65\% \sim 80\%$ （体积分数）。

掺合料一般用与骨料相同材质的细粉，粒度小于 0.088mm 的应占 70% （体积分数）以上。加入掺和料可使泥料更容易混合，有助于提高制品的致密度、荷重软化开始温度和减少重烧收缩率。掺和料在混凝土中占 $10\% \sim 30\%$ （体积分数）。

粘结剂占整个混凝土的 $7\% \sim 20\%$ （体积分数）。根据粘结剂种类的不同，耐火混凝土分为以下三类：

1) 铝酸盐耐火混凝土：其粘结剂为矾土水泥和低钙铝酸盐水泥。前者具有快硬、高强度的特点，但耐火度较低；后者硬化速度较慢，早期强度低，但耐火度比前者高。铝酸盐耐火混凝土加水搅拌后，应迅速捣打，不要中间停留，以免捣打不实。该混凝土捣打后会发热，需及时浇水养护，否则制件会疏松、剥落，故又称为“水硬性”混凝土。这种混凝土可用来捣打盐炉坩埚或做电阻炉拱顶。热处理炉应用最多的是铝酸盐耐火混凝土，其原料组成及性能见表 1-1。

表 1-1 铝酸盐耐火混凝土原料组成及性能

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
原料组成 (质量分数, %)	粘结剂	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 (质量分数, %)	≥ 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 (850℃, 水冷) /次	> 25	> 25
	加热收缩率 (%)	0.7 ~ 0.1	0.40 ~ 0.32
	加热温度/℃	1200	1350
	显气孔率 (%)	17 ~ 18	24 ~ 25
	密度/ (g/cm ³)	2.17	2.37

2) 磷酸盐混凝土: 其粘结剂为磷酸, 磷酸的质量分数为 40% ~ 60%, 用量为整个混凝土的 7% ~ 18% (体积分数)。磷酸与骨料形成 AlPO_4 , 将混凝土粘结成一个整体。该混凝土捣打成型后需经数天自然干燥, 然后进行烘炉和高温烧结, 切忌浇水养护, 故亦称“火硬性”混凝土。这种混凝土开裂倾向较小, 耐火度和高温强度较高, 但成本亦较高。

上述两种混凝土的使用温度均可达到 1300℃。

3) 水玻璃混凝土: 其粘结剂为水玻璃, 具体配方 (质量分数) 为: 高铝骨料 70%, 高铝细粉 25%, 生耐火粘土 5%, 稀释水玻璃 11% ~ 12%, 氟硅酸钠 1.2%, 水玻璃在使用前还需用热水稀释至密度为 1.36 ~ 1.40 g/cm³, 以便混合。该混凝土混料时干湿程度需适当, 并及时捣打, 然后自然干燥, 故亦称为“气硬性”混凝土。此类混凝土可用作低于 1100℃ 的炉砌体, 以及振底式炉的炉底板。

(2) 浇注料和可塑料 浇注料和可塑料的基本成分与耐火混凝土相似, 主要是生产和使用方式有所区别。

1) 浇注料: 浇注料是一种以浇注方式成形的不定形耐火材料, 适用于现场操作。同其他不定形耐火材料相比粘结剂和水分含量较高, 故流动性较好。其应用范

围较广，可根据使用条件对所用材质和粘结剂加以选择，既可直接浇注成衬体使用，又可用浇注或震实方法制成预制块使用。

2) 可塑料：从生产方法上说，可塑料介于混凝土和浇注料之间。它由耐火材料厂先将“浇注料”做成具有可塑性的泥条，配料中有缓凝剂，由塑料袋封装，在现场进行施工和硬化。可塑料施工中的最大问题是打结接茬处易起皮脱落，缓凝剂用量不当或塑封不良易硬化结块。

6. 耐火纤维

耐火纤维是由各种耐火物质加工形成的一种纤维状轻质耐火材料，它既可以用作热处理炉的内衬，也可以用作高温隔热材料。一般热处理炉用硅酸铝耐火纤维，真空炉及可控气氛炉使用石墨耐火纤维。根据其内部结构不同，硅酸铝耐火纤维又分为结晶态纤维和玻璃态纤维。结晶态纤维采用胶体法制造，玻璃态纤维则由原料经熔化后吹丝急冷而成。目前广泛使用的是玻璃态硅酸铝耐火纤维。

耐火纤维可以散装充填，也可以加工成毡、纸、板、绳等使用，其中以毡最为普遍。毡的标准尺寸（mm）有 $600 \times 400 \times 20$ 、 $600 \times 400 \times 10$ 和 $1000 \times 600 \times 20$ 三种，体积密度分为 $100\text{g}/\text{cm}^3$ 、 $130\text{g}/\text{cm}^3$ 、 $160\text{g}/\text{cm}^3$ 和 $190\text{g}/\text{cm}^3$ 四种。

硅酸铝耐火纤维的化学成分（质量分数）为 $\text{Al}_2\text{O}_3 40\% \sim 63\%$ ， $\text{SiO}_2 37\% \sim 55\%$ ，其余为各种氧化物。纤维直径为 $\phi 2 \sim \phi 3 \mu\text{m}$ ，纤维长度为 $38 \sim 100\text{mm}$ ，平均长度为 75mm 。其主要性能如下：

1) 耐火度大于 1790°C ，最高使用温度为 1500°C 。

2) 热导率低，比其他保温材料的热导率最少低 20% ，因而可使炉衬厚度降低。但热导率具有方向异性，导热方向和纤维方向一致时，热导率大；导热方向和纤维方向垂直时，热导率小，前者与后者之比为 $1.1 \sim 1.5$ 。

3) 体积密度小，约为轻质砖的 $1/5 \sim 1/10$ 。

4) 炉衬蓄热少，升温快，节省热能。

5) 耐振动，柔软，容易施工，可不考虑热应力的影响。

6) 耐急冷急热性好，化学稳定性好。

其主要缺点：玻璃态纤维经长期高温使用后会重新结晶，从而发生较大收缩；抗高速炉气冲刷能力差；做炉衬时，电热元件固定较困难；制造成本较贵。

在高温下，玻璃态纤维将析出晶体，逐渐失去透明性，当析晶量超过 60% 时，纤维即失去使用价值。一般规定，纤维毡的使用温度比试验加热收缩率 4% 的温度低 200°C 。国外经验表明，纤维毡的使用寿命在 $5 \sim 10$ 年之间。

7. 耐火泥

耐火泥用于砌筑耐火砖时填充砖缝，使砌体具有一定强度，并保持气密性。耐火泥是用耐火原料破碎、研磨至一定细度（由耐火材料厂供给），到施工现场后，再加入适量水（有时还需加入水玻璃、磷酸等粘结剂）调制成泥浆使用。耐火泥

的主要成分应与所砌耐火砖的成分相同或相近。

1.1.3 热处理炉常用保温材料

保温材料的特点：气孔率高（一般在 70% 以上），热导率小，热容量小，体积密度小，机械强度低，承受温度一般不高。

根据承受温度的不同，保温材料又分为高温保温材料（1000℃ 以上）和中低温保温材料（1000℃ 以下）。

高温保温材料有前面提到过的轻质粘土和耐火纤维等。它们既可作为中低温热处理炉的耐热材料，又可作为中高温热处理炉的隔热保温材料。

常用的中低温保温材料如下：

1. 石棉

石棉是一种纤维状的矿物，主要成分为蛇纹石（ $3\text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ），熔点为 1500℃，500℃ 时失去结晶水，700 ~ 800℃ 时会脆化，最高使用温度为 500℃。可以散料使用，也可以加工成石棉绳和石棉板等制品使用。

2. 矿渣棉

矿渣棉是熔融的矿渣经压缩空气喷吹而成的棉花状纤维物质，纤维长度 2 ~ 60mm、直径 2 ~ 20μm，最高使用温度为 600℃。一般情况下矿渣棉是在散料状态下使用，也可加工成砖块使用。

3. 硅藻土

硅藻土是由微海藻类的介壳构成的沉积岩，成分为 74% ~ 94%（质量分数）的无定形 SiO_2 和少量的粘土杂质。硅藻土的耐火度高于 1400℃，最高使用温度为 900 ~ 950℃。通常制成型砖使用，型砖的密度通常分为：500g/cm³、600g/cm³、700g/cm³，也可以粉料使用。

4. 膨胀蛭石

蛭石俗称黑云母或金云母，其主要成分（质量分数）为： SiO_2 12% ~ 40%， Fe_2O_3 6% ~ 28%， Al_2O_3 14% ~ 18%， MgO 11% ~ 12%， CaO 1% ~ 2%。加热到 800 ~ 900℃ 时，蛭石中的水分蒸发，体积膨胀数倍，体积密度很小，具有良好的隔热保温性能。它的熔点为 1300 ~ 1370℃，最高使用温度为 1100℃。可以散料状态使用，也可用水玻璃或高铝水泥作粘结剂制成砖或板等各种制品使用。

5. 膨胀珍珠岩

膨胀珍珠岩是火山喷出的酸性岩浆经急冷后所形成的珍珠岩矿石。其主要成分是 SiO_2 70%（质量分数）和少量杂质及水分。这种矿石破碎后，在高温下焙烧可膨胀成许多薄壳小颗粒，形同珍珠，其体积密度小，隔热保温性良好，耐火度高，使用温度可达 1000℃。可以散料状态使用，也可用磷酸盐、水玻璃、水泥等作粘结剂制成各种成型保温材料。近几年，珍珠岩保温砖以它的密度小、热导率低、节