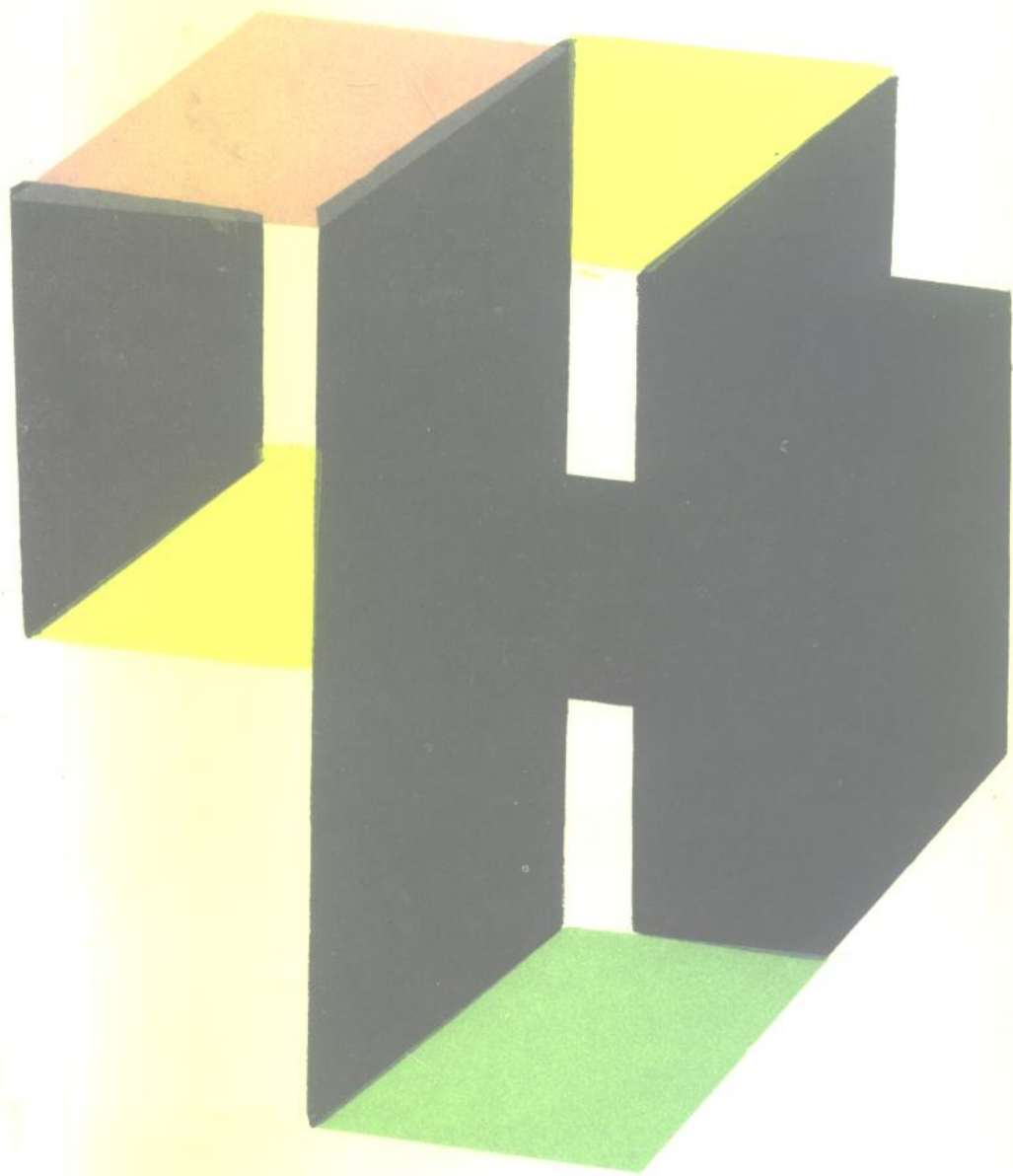




造型材料

哈尔滨工业大学出版社

造 型 材 料

孟爽芬 主编

哈尔滨工业大学出版社

内 容 提 要

本书介绍了铸造工艺中造型材料的基础及应用。内容包括:铸造用原砂、铸造用粘土、粘土砂性能、混制工艺及性能控制、砂型与金属间的相互作用、水玻璃砂、石灰石砂、有机粘结剂砂及树脂砂的特点及涂料等。

本书系高等工科院校铸造专业教材, 同时也可供铸造专业工程技术人员参考。

造 型 材 料

Zaoxing Cailiao

孟爽芬 主编

*

哈尔滨工业大学出版社出版

新华书店首都发行所发行

黑龙江大学印刷厂印刷

*

开本 787×1092 1/16 印张 8 字数 179 千字

1996年3月第2版 1996年3月第3次印刷

印数 8 001—13 000

ISBN 7-5603-0001-4/TG·1 定价 8.00 元

前 言

铸造是机械制造业的基础工艺之一。铸件一般占各类机器重量的 45% ~ 80%, 铸造工作量约占机器总制造工作量的 15% ~ 40%, 因此, 一个国家铸件的质量和劳动生产率标志着这个国家的机械制造业水平。

目前, 虽然有许多铸造方法, 但在工业先进的国家中, 砂型铸造的铸件重量仍占铸件总重量的 80% ~ 90%。每生产一吨铸件需消耗 3 ~ 6 吨型砂, 而与造型材料有关的废品率占铸件总废品率的 60% ~ 80%。因此, 现在各国对造型材料都很重视, 并设有专门研究机构, 在工厂也设有专门科室对其质量进行严格监控。

造型材料是制备砂型所需要的各种原材料和混合料的统称。影响铸件质量的因素虽然很多, 但造型材料却是诸多因素中最重要的, 并常常通过它来调节与控制铸件质量。铸造工艺的变革和进步往往都是由于造型材料的发展引起的。整个铸造工艺过程的经济效益也与造型材料选用的正确与否直接相关, 因此, 造型材料在铸造技术中占有非常重要的地位。

本书是从金属 - 砂型界面反应和对铸件质量的影响出发, 来研究造型 (芯) 混合料应具备哪些性能, 且如何获得这些性能及怎样控制它们的。本书着重阐述了原材料 (原砂、粘土、粘结剂) 的各种性能、混合料 (型砂、芯砂和涂料) 的配比、制备工艺、性能控制及改善其性能的途径。本书除适合于作为高等工科院校铸造工程专业的教学用书外, 也可供工厂铸造专业科技人员参考。

本书是在 1984 年校内铅印教材的基础上加以修改编写而成的, 全书共分九章, 前五章讲粘土砂的原材料、性能、配比、控制及其与液态金属的相互作用, 第六、七、八章为粘土以外的粘结剂混制成的型砂和芯砂, 第九章为涂料。

本书第一、二、三、四、六章由吴维冈编写, 第五、七、八、九章由孟爽芬编写。

由于编者水平所限, 书中难免存在一些不当之处, 殷切期望广大读者批评指正。

编 者

1986 年 11 月

目 录

第一章 铸造用砂	
一、铸造用的石英砂	(1)
二、非石英系的铸造用砂	(7)
第二章 铸造用粘土	
一、粘土的组成	(10)
二、粘土的分类	(10)
三、粘土的矿物结构	(11)
四、粘土的胶体性质	(13)
五、粘土的合理应用	(16)
第三章 粘土型(芯)砂的性能及其影响因素	
一、强度	(19)
二、透气性	(22)
三、流动性	(23)
四、可塑性与韧性	(23)
五、粘土型砂中的水分	(24)
第四章 粘土砂的配制和控制	
一、铸铁件用的湿型砂	(27)
二、表面烘干型砂	(28)
三、干型砂	(30)
四、铸钢用粘土砂	(31)
五、有色金属用的粘土型砂	(31)
六、高压造型型砂	(32)
七、型砂的配制	(33)
八、型砂性能的检测与分析	(33)
第五章 液态金属与铸型的相互作用	
一、液态金属对砂型的机械作用及砂眼、胀砂等缺陷	(35)
二、液态金属对铸型的加热及加热后的变化	(37)
三、夹砂	(43)
四、液态金属与砂型的物理化学作用	(45)
五、粘砂	(46)
六、侵入气孔	(52)
第六章 水玻璃砂及水泥砂	
一、水玻璃	(55)

二、水玻璃砂的硬化机理	(60)
三、 CO_2 水玻璃砂	(61)
四、水玻璃自硬砂	(68)
五、水泥自硬砂	(72)
第七章 有机粘结剂砂	
一、概述	(75)
二、植物油粘结剂及油砂	(78)
三、合脂粘结剂及合脂砂	(83)
四、渣油砂及其它憎水有机粘结剂砂	(84)
五、亲水有机粘结剂砂	(85)
第八章 合成树脂砂	
一、壳芯法	(87)
二、热芯盒法	(89)
三、气硬冷芯盒法	(91)
四、冷硬树脂砂	(96)
第九章 涂料	
一、概述	(107)
二、涂料的作用	(107)
三、对涂料的要求	(108)
四、涂料的组成	(108)
五、涂料的制备	(109)
六、涂料的粘度	(109)
七、涂料的流变特性	(110)
附 录	(113)
主要参考文献	(119)

第一章 铸造用砂

铸造用砂是铸型混合料的骨干，原砂的性能直接影响混合料的性能，进而影响铸件的质量，故对原砂应具备哪些性能才能满足铸造生产的要求，必须加以详细讨论。

一、铸造用的石英砂

铸造用的原砂以石英砂为主。石英砂资源丰富，价格低廉，其性能可满足通常铸件的要求。

石英砂是岩石经过风化作用，再经风、水和冰川等的搬运，又沉积而成的天然矿物。由于其在形成过程中经历不同，天然石英砂可分为山砂、河砂和海砂。山砂多是岩石风化后在原地沉积而成，含有较多的泥分和杂质。海砂和河砂是经水力搬运后沉积下来的矿物，泥分较少，由于运动中的摩擦作用，形状多为圆形或半圆形。经风力搬运而沉积的砂为风积砂，多产在内陆地区，泥分较少，形状也较圆。沉积后的石英砂，经地壳运动时的高温高压作用，可形成石英岩。石英岩破碎加工后，就是人造石英砂。人造石英砂杂质少，其形状呈不规则的尖角形或多角形。

1. 石英砂的性能和分类

铸造用石英砂的性能主要是根据铸造的要求提出来的，用这些性能来评价原砂质量的优劣。铸造对原砂性能的要求主要是：原砂的矿物组成和化学成分、含泥量、颗粒组成、耐火度、烧结点及加热过程中体积变化等。

1) 石英砂的矿物组成和化学成分

石英砂是以石英为主的矿物，但与其共生的还有其它矿物。它们有长石、云母、铁的氧化物（赤铁矿 Fe_2O_3 、磁铁矿 Fe_3O_4 、褐铁矿 $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ）、碳酸盐（石灰石 CaCO_3 、镁石 MgCO_3 、白云石 $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ ）、硫化物（黄铁矿 FeS_2 ）等，其中以长石和云母较多。在一般条件下，矿物成分较难分析，故通常进行化学分析。根据化学分析的结果，可以大致判断矿物成分的纯度。

石英砂的矿物组成和化学成分直接影响砂子的耐火度、热化学稳定性和复用性，对在铸件表面上是否产生粘砂也有很大的影响。

石英砂中除了石英以外的成分都是杂质。石英、长石和云母的主要矿物特性列入表1-1。

石英的化学成分是 SiO_2 ，它是无色透明或半透明固体，其晶体是骨架状硅氧四面体结构，每个硅原子的周围有四个氧原子排列成正四面体，硅原子位于四面体中心，氧原子位于四面体的四个顶点，硅原子与氧原子以强的共价键相联系。二氧化硅的晶体结构见图1-1。从图中可以看出，由于 $\text{Si}-\text{O}$ 键在空间不断重复而形成体型的石英晶体。这种结构中的 Si 和 O 原子数之比是 1:2，组成最简式是 SiO_2 。由于原子间以强的共价键相联系，要破坏此 $\text{Si}-\text{O}$ 键，需要很大的能量，所以 SiO_2 有很高的熔点（1713℃）及硬度，

表 1-1

石英、长石、云母等矿物的特性

名 称	化 学 式	密 度	莫氏硬度	熔点(°C)
石 英	SiO_2	2.65	7	1713
钾长石	$\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$	2.5 ~ 2.6	6	1170 ~ 1200
钠长石	$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$	2.62 ~ 2.65	6 ~ 6.5	1100
钙长石	$\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$	2.74 ~ 2.76	6 ~ 6.5	1160 ~ 1250
白云母	$\text{K}_2\text{O} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	2.75 ~ 3.0	2 ~ 2.5	1270 ~ 1275
黑云母	$\text{K}_2\text{O} \cdot 6(\text{Mg} \cdot \text{Fe})\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	2.7 ~ 3.1	2.5 ~ 3.0	1145 ~ 1150

注：莫氏硬度是用标准矿物和待定矿物互相刻划的方法测出的矿物硬度。此法所用十种标准矿物名称及莫氏硬度依次为：滑石 1，石膏 2，方解石 3，萤石 4，磷灰石 5，长石 6，石英 7，黄玉 8，刚玉 9，金刚石 10。

而且耐磨性也好。

自然界中存在的结晶二氧化硅有石英、鳞石英和方石英三种不同的晶型。结晶二氧化硅在不同的温度下能以不同的晶型存在，若改变温度，它能从一种结晶形态转变为另一种结晶形态，其转变情况如下：

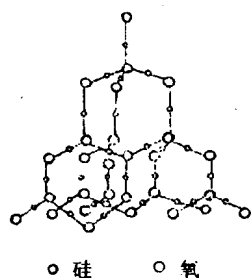
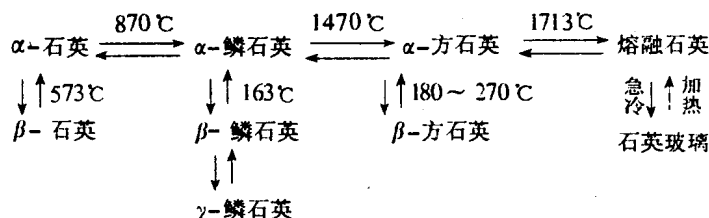


图1-1 二氧化硅的晶体结构



其中 α 是高温稳定的晶型， β 和 γ 是低温稳定晶型。上述的同质异晶转变可以分为两种情况：

(1) 横向转变。如 α -石英、 α -鳞石英、 α -方石英之间的转变，它们的晶体结构显著不同，故在相互转变时，必须先将原来的硅氧骨架拆散、破坏原有的Si-O键，然后再形成新的骨架，这就需要很大的能量，并经历较长的时间。这种转变称为慢转变或重建转变。

(2) 纵向转变。如 β -石英与 α -石英之间的相互转变，由于它们的结构差别很小，Si-O四面体之间排列方式是相同的，只是键角略有变化，并不需要将原有骨架拆散而重新排列，只需在原有骨架基础上将各Si-O四面体稍予扭动，作一点位移。因此，这种转变需要能量小，转变速度快，故称为快转变或位移转变。

铸造用的石英砂为 β 型， β -石英在 573°C 转变为 α -石英，同时伴随着体膨胀。在铸造条件下，经常遇到的是 β -石英与 α -石英的同质异晶转变，这种转变过程体膨胀可使铸型产生较大的应力和变形，导致铸件产生夹砂缺陷。

石英加热时比容与体膨胀率示于图1-2。

长石和云母都是铝硅酸盐，前者是骨架结构，后者是层状结构。它们的熔点较低、硬度较小（见表1-1）。石英砂中其它矿物也都是有害杂质，在高温下都易形成低熔点

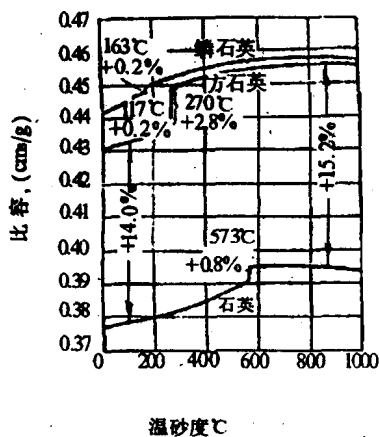


图 1-2 石英的比重和温度的关系

化合物。我国机械工业部标准（简称机标用 JB 表示）规定，按砂中 SiO_2 的含量将石英砂分为四级，其 SiO_2 含量都在 90% 以上； SiO_2 含量较低的称石英-长石砂，又分为两级。石英砂越纯，熔点越高，复用性好，但热膨胀大，抗夹砂能力小。石英-长石砂熔点低，复用性差，但热膨胀小，用于一般铸铁件，具有较好抗夹砂能力。按 JB 435-63 规定，铸造用砂分类列入表 1-2。

2) 原砂中含泥量

原砂中的含泥量是指原砂中泥分的百分含量。凡是直径小于 0.022mm 的微粒，不论它是什么矿物成分，都为泥分。含泥量对型、芯砂的性能影响很大，对于不用粘土为粘结剂的型、芯砂，如水玻璃砂、树脂砂、油砂等，含泥量都降低其干强度；含泥量大的

表 1-2

造型用砂分类

原砂名称	等级符号	含泥量 (%)	SiO_2 含量 (%)	有害杂质 ($>$ %)			供参考的使用范围
				$\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$	$\text{CaO} + \text{MgO}$	Fe_2O_3	
石英砂	1S	≤ 2	≥ 97	0.5	1.0	0.75	配制铸钢件用型、芯砂
	2S	≤ 2	≥ 96	1.5		1.0	
	3S	≤ 2	≥ 94	2.0		1.5	
	4S	≤ 2	≥ 90	—		—	铸铁和部分铸钢小件用型、芯砂
石英长石	1SC	≤ 2	≥ 85	—		—	铸铁、有色铸件用型、芯砂
	2SC	≤ 2	< 85	—		—	
粘土砂	1N	$> 2 \sim 10$		—		—	铸铁小件及有色中小铸件用型、芯砂
	2N	$> 10 \sim 20$		—		—	铸铁及有色铸件型、芯砂的附加物、用以提高湿强度、易造型
	3N	$> 20 \sim 30$		—		—	
	4N	$> 30 \sim 50$		—		—	

注① 所规定的氧化铁含量是将原砂中所分析出的全部铁含量按氧化铁进行换算。

② 必要时，对 4S 以下各类原砂的烧结点进行检查。

4S $\geq 1350^\circ\text{C}$ (如用于铸钢小件必须 $> 1350^\circ\text{C}$)，1SC $\geq 1300^\circ\text{C}$ ，2SC $\geq 1250^\circ\text{C}$ ，粘土砂 $\geq 1000^\circ\text{C}$ 。

的原砂也降低型砂的透气性，所以型、芯砂对原砂的含泥量有一定要求。有机粘结剂的型、芯砂要求原砂含泥量小于 0.5%。JB 435-63 规定铸造用砂含泥量小于 2%，含泥量在 2% ~ 50% 范围内的原砂为粘土砂，含泥量大于 50% 的不作为砂（见表 1-2）。

含泥量用冲洗沉淀法来测定。

3) 原砂的颗粒组成

原砂的颗粒组成包括砂粒大小、分布的均匀度、颗粒形状及其表面状态。颗粒粗、分布集中的原砂制备的混合料透气性好。粗砂的耐火度较细砂高。圆形砂表面积最小，故粘结剂用量也少，这对有机粘结剂有很大意义。颗粒表面状态是指其表面粗糙度是否有裂纹或是否粘附有杂质等，它影响粘结剂在砂粒表面的附着力。颗粒组成还影响铸件的粗糙度和夹砂等缺陷的产生。可见，颗粒组成是原砂的重要性能之一。

原砂的颗粒组成用筛分法测定。按机械工业部标准规定 (JB2488-78)，我国铸造用的标准筛一套共 11 个筛子，11 个筛子自上而下筛孔越来越小。标准筛的规格见表 1-3。

表 1-3 JB2488-78 标准筛规格

筛号 (目/英寸)	6	12	24	28	45	55	75	100	150	200	260
网孔尺寸 (mm)	3.20	1.60	0.80	0.63	0.40	0.315	0.200	0.154	0.100	0.071	0.056

铸造用砂的试验筛的筛号代表 1 吋长度的筛网上每行包含筛孔的数目。美、苏、日、英等国铸造用标准筛筛号的命名基本上也是如此。我国 JB435-63 规定的标准筛规格如表 1-4。这个旧标准在一些工厂仍在用，故在此予以介绍。

表 1-4 JB435-63 规定的铸造用筛规格

筛号 (目/英寸)	6	12	20	30	40	50	70	100	140	200	270
网孔尺寸 (mm)	3.36	1.68	0.84	0.59	0.42	0.297	0.210	0.149	0.105	0.075	0.053

旧的标准筛中除 6 号和 12 号两个筛子外，其余相邻两筛号的筛孔尺寸之比为 $\sqrt{2}$ ，隔一个筛号的筛孔尺寸之比为 2。而新标准筛中，自 24 号筛以下九个相邻筛筛孔尺寸之比最大为 1.575，最小为 1.27。应当指出，这一尺寸分布不甚合理。

原砂颗粒组成的表示方法：测定颗粒组成是将用水洗去泥分的砂样，经烘干后倒入标准筛中，在筛砂机上筛 15 分钟，然后将各筛上的砂子分别称重，换算成百分比。按 JB 规定，取筛分后砂粒最集中的相邻三个筛子中头和尾两个筛号表示该砂的颗粒组成，并

表 1-5 原砂颗粒组成举例

砂 子	粒 度 分 布 (%)												含泥量 (%)	表示方法
	6	12	24	28	45	55	75	100	150	200	260	底盘		
砂 1	0	0	23	6.6	28.6	22.8	22	11.8	4.0	0.4	0.2	0.3	0.9	45/75 ~ 73.4%
砂 2	0	0	14	3.5	12.3	10.7	22	26.6	21.4	1.2	0.4	0.2	0.5	75/150 ~ 70%

在其后标出这三个筛子中砂子的总的百分数。表 1-5 列举了两种原砂的筛分结果和表示方法。

在 JB 中还规定了头和尾两筛相比，砂子留量大者写在分子上。美国及有些国家用平

均细度来表示砂子的粒度，实质是将砂样换算成同样重量的均一直径的颗粒，而砂粒的总表面积与原来的砂粒一样，这样均一砂粒所能通过的筛号就称为平均细度。表 1-6 给出了砂的平均细度求法的举例。它的每个筛号的乘数大致与砂粒表面积成比例。实验表明，两种原砂的平均细度相同，但是砂粒的形状和颗粒分布可以完全不同，因而其工艺试样性能也可完全不同。但是它可以表示砂样的总的理论表面积，所以仍在使用。

我国还规定了粒度集中和分散的标准 JB435-63 (表 1-7)。

表 1-6 砂的平均细度求法举例

筛 号	余留量 (%)	乘 数	乘 积
6	-	3	0
12	-	5	0
20	0.02	10	0.2
30	0.38	20	7.6
40	7.56	30	226.8
50	30.32	40	1212.8
70	38.76	50	1938
100	10.56	70	739.2
140	6.52	100	652
200	3.58	140	501.2
270	0.70	200	140
底 盘	0.70	300	210
总 计	99.10	-	5627.8
含泥量	0.90	-	平均细度 = $\frac{5627.8}{99.1} = 56.7$
合 计	100.00		

表 1-7 原砂粒度集中和分散的标准

砂 子 名 称	主要组成部分的数量 (%)	
	粒 度 集 中 的	粒 度 分 散 的 (F)
S 及 SC	≥70	<70 ≥55
IN	≥60	<60 ≥45

砂子的颗粒形状: 我国 JB 规定砂粒分为圆形、多角形和尖角形三种，其代表符号分别为 ○、□ 和 △。原砂颗粒若有两种以上的形状，如果其它形状的颗粒数不超过 1/3，则只用其主要形状表示。如果其它形状超过 1/3，则用两种符号表示。如 ○ - □，表示砂粒为圆形和多角形，圆形的多于多角的，而且多角形砂粒数量超过 1/3。三种砂粒形状见图 1-3。

上述规定的砂粒形状，没有一个形状定量的概念，所以是很粗略的观察结果。现在国内外已逐渐采用角形系数来表示砂粒的形状，其含意就是将球形的砂粒之角形系数作为 1，用其它不规则的砂粒的表面积与此球形表面积之比值作为该不规则砂粒之角形系

数。这样就为砂粒形状提供了一个定量的概念。角形系数接近于 1, 其形状近似正球体; 远大于 1 者, 则为尖角形。大致上可以认为角形系数 1 ~ 1.3 者为圆形砂, 大于 1.6 者为尖角形砂。

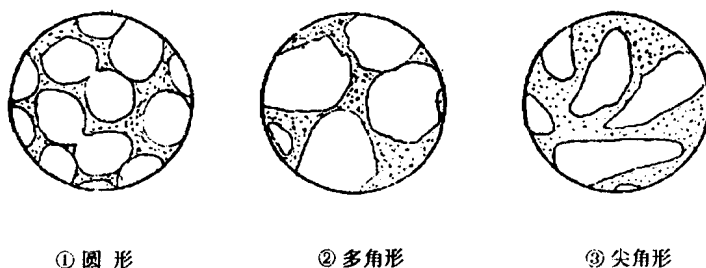


图 1-3 砂子颗粒的形状

- ① 圆形砂: 颗粒为圆形或接近于圆形, 表面光洁, 没有突出的棱角, 以符号○表示之。
- ② 多角形砂: 颗粒成多角形, 且多为钝角, 以符号□表示。
- ③ 尖角形砂: 颗粒成尖角形, 且多为锐角, 以符号△表示。

砂粒表面状态是将洗后烘干的砂子在显微镜下观察其表面是否有裂纹、粗糙程度、是否粘附有杂质等。

至此, 可以将原砂按化学成分、颗粒组成等用规定的符号全面地表示出来, 例如某种原砂为 4S55/100-79.5% (○), 表示该砂为 4 级石英砂, 55、75、100 三个筛上留量为 79.5%, 55 号筛上的留量多于 100 号筛上留量, 砂粒为圆形。又如一种原砂为 1SC150/75-69%F (○-□), 表示该砂为一级石英-长石砂, 75、100、150 三个筛上留量为 69%, 且 150 号筛上留量多于 75 号筛上留量, 粒度分散, 有圆形和多角形两种形状, 圆形的颗粒多于多角形的。

2. 原砂的选用

原砂需根据合金种类、铸件的大小和结构、铸型种类 (湿型或干型)、粘结剂种类和造型方法 (手工或机器), 在保证铸件质量的前提下, 就地、就近选用。

铸钢件因浇注温度高, 要求型砂的耐火度高、透气性好。所以原砂中 SiO_2 含量应高, 杂质要少, 砂粒较粗且均匀。铸钢件多选用 1S、2S 及 3S 石英砂。

铸铁件的浇注温度较铸钢低, 原砂耐火度可低一些。但铸铁件结构不同, 所用原砂可在很大范围内变化, 可以用石英砂, 也可以用石英-长石砂。从防止夹砂看, 后者反而有利。小型铸铁件, 也可以用粘土砂。

铜、铝铸件的砂, 一般要求颗粒较细, 以获得较低的粗糙度, 对 SiO_2 含量要求并不一定高。

对于油类、树脂、水玻璃粘结剂要求用含泥量小的圆形砂, 以充分发挥粘结剂的作用, 节约材料。对于酸硬化的树脂砂还要控制原砂中碱金属及碱土金属氧化物的含量, 以免影响硬化工艺和强度。

用涂料的型、芯砂, 原砂可以粗些, 不刷涂料的型、芯砂, 原砂应细些。

为了提高天然石英砂的质量, 国内有些砂矿建立了水洗、烘干、筛分等加工设备。为了进一步提高砂的品位, 以适应树脂砂的要求, 正在着手用擦洗和浮选的手段处理原

砂。

二、非石英系的铸造用砂

虽然石英砂来源广、价格便宜，能满足一般铸件的要求，但它是酸性的，易与液态金属中的碱性金属氧化物生成低熔点的硅酸盐，使铸件粘砂。石英砂热膨胀很大，常使铸件产生夹砂。由于热应力的作用，砂粒也易破碎变细，使砂子复用性下降。对于大型钢铸件，特别是一些合金钢铸件，石英砂不能满足要求，因此，需要用一些耐火度高、导热性好、热膨胀系数小，热化学稳定性好的材料来代替石英砂，或作为砂型和砂芯涂料的耐火骨料。几种非石英质铸造用砂的性能见表1-9。常用的几种材料介绍如下。

1. 镁砂

镁砂的主要成分是 MgO ，它是菱镁矿 ($MgCO_3$) 高温煅烧再经破碎分选得到的。菱镁矿经低温煅烧 ($800 \sim 900^\circ C$) 得到的是疏松的活性氧化镁。由于其化学活性大，不能用作原砂。只有在 $1500 \sim 1600^\circ C$ 以上高温煅烧得到的稳定晶体结构的氧化镁，其体积致密，密度较大，方可作为耐火材料使用。

纯氧化镁熔点为 $2800^\circ C$ ，但镁砂中存在着 SiO_2 、 CaO 、 Fe_2O_3 等杂质，使其熔点降低至 $1800^\circ C$ 左右。镁砂热膨胀率较石英砂小，没有因相变引起的体积突然膨胀。镁砂及几种特殊砂的线膨胀见图1-4。

镁砂的莫氏硬度为4~5级，密度约3.5，它是碱性材料，不与 FeO 或 MnO 等起反应。镁砂的成分列入表1-8。

表 1-8

镁 砂 的 规 格

等 级	MgO (%)	CaO (%)	SiO_2 (%)	耐 火 度	灼 减 率 (%)
I	≥ 90	≤ 4	≤ 4	$> 1900^\circ C$	≤ 0.6
II	≥ 85	≤ 6	≤ 5	$> 1900^\circ C$	≤ 0.6

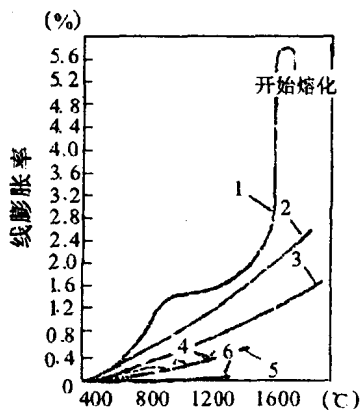


图1-4 几种砂子的线膨胀

1. 石英 (SiO_2)
2. 镁砂 (MgO)
3. 电熔刚玉 (Al_2O_3)
4. 耐火熟料 ($3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$)
5. 锆砂 ($ZrO_2 \cdot SiO_2$)
6. 熔融石英 (SiO_2)

菱镁矿煅烧技术较复杂，由其煅烧而来的镁砂价格比石英砂贵6倍左右，所以仅用在生产重大高猛钢铸件，高熔点合金钢铸件以及表面质量要求较高的铸钢件。有的工厂把冶金工业的废镁砖、废铝镁砖等粉碎后用作原砂或配涂料。

2. 锆砂

锆砂又称锆英砂，是一种以硅酸锆 ($ZrO_2 \cdot SiO_2$) 为主要组成的矿物，可于 $1450^\circ C$ 左右分解成 ZrO_2 和 SiO_2 。纯的锆砂含67.2% ZrO_2 、32.8% SiO_2 ，纯锆砂的莫氏硬度为7~8，密度4.5~4.7，熔点为 $2400^\circ C$ 左右，软化点为 $1600 \sim 1860^\circ C$ 。锆砂中含有少量杂质 (Fe_2O_3 、 CaO 、 Al_2O_3 、

等)时,它的熔点将降为 2000℃ 左右,呈棕黄色。

锆砂虽仍属酸性耐火材料,但高温时对氧化铁的热化学稳定性高,而且基本上不被金属氧化物浸润。锆砂的导热率和蓄热系数比石英大一倍,故能使铸件冷却凝固较快并有良好的抗粘砂性能;做形状复杂的铸型时,可用它代替冷铁,对铸件进行激冷,细化结晶组织。锆砂的热膨胀系数只有石英的三分之一,一般不会造成型腔表面起拱和夹砂。因此锆砂可用作大型铸钢件或合金钢铸件的特殊型(芯)砂或涂料、涂膏。

我国广东和山东有丰富的锆砂资源。原锆砂中含有微量放射性元素钍(Th)等,经处理后锆砂的放射性强度在 10^{-8} 居里以下,已接近国家规定的允许范围,对人体健康基本上无影响。但也应尽量防止进入人体内,在使用中仍应采取一定的保护措施(如戴口罩,工作场所勿进食等)。锆砂处理过程复杂,产量少,价格较贵。

经过精选的锆砂颗粒度为 100/200,加工成粉状的锆英粉 95% 通过 200 目。

3. 铬铁矿砂

铬铁矿砂属于尖晶石类矿物。主要矿物有铬铁矿 FeCr_2O_4 、镁铬铁矿 $(\text{Mg}, \text{Fe})\text{Cr}_2\text{O}_4$ 和铝镁铬铁矿 $(\text{Fe}, \text{Mg})(\text{Cr}, \text{Al})_2\text{O}_4$, 其主要化学成分是 Cr_2O_3 , 其次是 MgO 、 FeO 、 Al_2O_3 和少量的 SiO_2 。它的有害杂质碳酸盐(MgCO_3 、 CaCO_3)在浇注时分解出 CO_2 , 可能使铸件产生气孔。铸造用的铬矿砂常需 900℃ 焙烧。

铬矿砂熔点在 1450 ~ 1850℃ 之间,导热率较石英砂大,热膨胀小,不与金属氧化物起反应,有很好的抗碱性渣作用。铸造用的铬矿砂要求 $\text{Cr}_2\text{O}_3 > 36\%$ 、 $\text{CaO} < 2\%$ 、 $\text{SiO}_2 < 7\%$ 、 $\text{FeO} = 12\% \sim 18\%$ 、 $\text{MgO} = 13\% \sim 17\%$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3 = 8\% \sim 12\%$ 、灼烧量 $< 3\%$, 目前供应的铬矿砂粒度为 100/200。国产铬矿砂量少且品位低,尚需进口,价格贵,故只适当用于大型合金钢铸件作面砂和涂料。

4. 耐火熟料

在 1200 ~ 1500℃ 焙烧过的铝矾土或高岭土称为耐火熟料,其主要成分是耐火度高、体积变化小的莫来石相 $(3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2)$ 。耐火熟料的熔点随 Al_2O_3 的增加而提高,当 Al_2O_3 达到 71.8% 时,耐火度大于 1800℃。 Fe_2O_3 、 CaO 等降低其耐火度,高铝矾土熟料要求 $\text{Al}_2\text{O}_3 \geq 70\%$ 、 $\text{SiO}_2 \leq 20\%$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3 \leq 3\%$ 、 $\text{MgO} + \text{CaO} \leq 2.0\%$ 。

耐火熟料的优点是热膨胀小,耐火度高,与铁的氧化物湿润性小。主要用作涂料及熔模铸造的模壳材料。

5. 刚玉

刚玉的成分是 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, 由工业氧化铝经电弧炉熔融转变成纯刚玉,含 Al_2O_3 达 95 ~ 98%, 其熔点为 2000 ~ 2050℃。电熔刚玉硬度较石英大,导热率高一倍,热膨胀小,对酸和碱都有很好的热化学稳定性。但价格高,只适用作高合金钢的涂料。

6. 碳质材料

碳质材料主要有焦炭渣(冲天炉打炉后的焦炭破碎而成)、石墨和废石墨电极及废坩埚破碎而成的碎粒。它们是中性材料,化学性不活泼,与金属氧化物不湿润,有良好导热能力,耐火度高。碳质材料对铸件有激冷作用。

7. 石灰石砂

石灰石砂是我国在 70 年代初曾经推行的一种铸造用砂,故又称 70 砂。它是石灰石经

破碎筛分制成的，其主要成分是 CaCO_3 。石灰石的硬度低，在混砂时易破碎；在 900°C 之上 CaCO_3 迅速分解成 CaO 和 CO_2 ，发气性很大。因此，要求型和芯的透气性很好，对原砂粒度要求严格。各厂多用四筛制（颗粒主要分布在相邻四个筛上），有 20/50 目和 30/70 目，颗粒形状近于多角形为好。主要化学成分要求 $\text{CaO} > 48\%$ 左右。

石灰石砂主要用水玻璃作粘结剂，用于铸钢件生产，铸件不粘砂，溃散性好，易于清砂。但是由于 CaO 在钢水——铸型界面上与 FeO 及原砂中的 SiO_2 成分生成低熔点化合物，在钢水压力作用下，钢水极易在界面上侵蚀；厚大铸件产生缩沉，浪费钢水。 CaCO_3 分解产生的 CO_2 在界面上还可与 Fe 、 C 等元素反应生成 CO 等。大量气体使铸件易产生气孔，通风不良时，还可使工人中毒。旧砂难以回用，很不经济。这些都限制了石灰石砂的应用。现在有少数工厂仍在使用石灰石砂，主要原因就是因为铸件清砂容易。

表 1-9 几种非石英质铸造用砂和石英砂的性能

耐火材料	密度 ρ (g/cm^3)	容重 (g/cm^3)	莫氏 硬度	熔点 ($^\circ\text{C}$)	线膨胀系数 $1 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ ($20 \sim 1000^\circ\text{C}$)	导热率 λ $\text{W}/\text{m} \cdot ^\circ\text{C}$		比热 C $\text{J}/\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}$	导温系数 $\alpha = \frac{\lambda}{c\rho}$ (m^2/s)	蓄热系数 $b = \sqrt{\lambda c\rho}$ $\text{J}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{s}^{1/2}$
						400 $^\circ\text{C}$ 时	1200 $^\circ\text{C}$ 时			
石英 SiO_2	2.5 ~ 2.6	1.6	7	1713	16.0	1.59				1395
锆砂 $\text{ZrO}_2 \cdot \text{SiO}_2$	4.6 ~ 4.7	2.9	7~8	2420	5.5	—	2.09			7569
电熔刚玉 Al_2O_3	3.8		>9	2050	8.8	12.5	5.27			
熟料 $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$	2.7			1750	4.5	1.21	1.55			2084
镁砂 MgO	3.5	2.6		2800	14.1	5.69	2.93			
人造石墨电极	1.56				2.6	117.23		1356	4.2×10^{-5}	15350
粘土石英砂		1.7			7	0.754		1088	4×10^{-7}	1395
灰铸铁 (用作冷铁) (C3.0%)	7.2				10 ~ 20	50.24		544	1.2×10^{-5}	14510

表 2-3 按工艺试样干压强度分类 *

序 号	等级符号	工艺试样干压强度 ($\times 10^5 \text{Pa}$)
1	5	>5
2	3	$>3 \sim 5$
3	2	$2 \sim 3$

* 测干压强度时, 将试样在 $180^\circ \pm 5^\circ \text{C}$ 保温 60 分钟, 待试样冷却至室温下进行测定。

普通粘土的牌号由其强度和耐火度的等级表示。如 NG-03-5 表示耐火度高的普通粘土, 其工艺试样的湿压强度为 $0.3 \sim 0.5 \times 10^5 \text{Pa}$, 干压强度 $>5 \times 10^5 \text{Pa}$ 。

3. 膨润土

膨润土按其吸附阳离子的情况, 分为钠基膨润土和钙基膨润土两种, 分别用 PNa 和 PCa 表示。膨润土按湿压强度的分类见表 2-4, 按热湿拉强度分类见表 2-5。膨润土按 PH 值不同分为酸性和碱性两种, 分别用 S 和 J 表示。

表 2-4 膨润土按工艺试样湿压强度分类 *

序 号	等级符号	工艺试样干压强度 ($\times 10^5 \text{Pa}$)
1	05	>0.5
2	03	$>0.35 \sim 0.5$
3	02	$0.2 \sim 0.35$

* 1) 工艺试样配比: 大林标准砂 1900g, 膨润土 100g, 水 80g。

2) 混砂: 干混 2 分, 湿混 8 分。

3) 混出的砂放置 10 分钟测定湿压强度, 但不得超过 1 小时。

表 2-5 膨润土按热湿拉强度分类

序 号	等级符号	工艺试样干压强度 ($\times 10^5 \text{Pa}$)
1	24	>24
2	18	$>18 \sim 24$
3	12	$>12 \sim 18$
4	6	$6 \sim 12$

* 工艺试样混砂同表 2-4, 试验在专门仪器上进行。

三、粘土矿物的结构

粘土矿物的种类很多, 但铸造用的粘土主要是两大类: 普通粘土, 其主要矿物成分是高岭石; 膨润土, 其主要矿物成分是蒙脱石。

高岭石和蒙脱石结构中两个基本结构单位: 硅氧四面体和铝氧八面体 (图 2-1 和