

试 用 教 材

铸 造 工 艺 学

(工 艺 基 础 部 分)

十四院校铸造专业教材联合编写组

一九七七年六月

前 言

本试用教材是在东北七院校铸造专业教材联合编写组所编《铸造工艺学（工艺基础部分）》（1975年版）的基础上，根据几年的教学实践经验，共同拟订的再版编写大纲，由哈尔滨工业大学、黑龙江工学院、沈阳机电学院的铸造专业负责编写的。遵照毛主席“教材要彻底改革”的教导，在编写过程中努力以辩证唯物论作指导，注意反映我国工人阶级的实践经验和发明创造、贯彻理论联系实际、少而精和便于自学等原则。

对本教材的编写和使用作以下几点说明：

1. 本教材是以如何获得健全铸件和不断提高铸件质量为指导思想编写的。同时也介绍了，在铸件成型过程中的各个阶段在不利的情况下可能产生的缺陷的形成机理、影响因素和防止方法，并列举了生产中的实例。

2. 本教材是在学员具有一定的生产实践经验、学完专业《传热学和水力学基础》、《金属学》和《造型材料》等课程以后学习使用的。但是，其中有关“缺陷”的内容也可在学工实践和开门办学中参考。

3. 根据教材编写会议的精神，铸造合金的铸造性能，如流动性、收缩、热裂性等，在本教材中比较详细地介绍了它们的共性部分，各种合金的特性，以及各元素的影响在《铸造合金及其熔炼》教材中介绍。

4. 考虑到教材联合编写组即将编写出版《铸工检测技术》，在本教材中删去了各种铸造性能的试验研究方法。

5. “液态金属与铸型相互作用”内容在《铸造工艺学（造型材料部分）》中结合造型材料的性能作了介绍。但是，“相互作用”的伴生现象，如砂眼、夹砂、侵入气孔、粘砂等缺陷的形成、影响因素和防止方法除与造型材料有关外，还与金属性质、浇注条件、铸件结构等因素有关，在“造型材料部分”中作全面介绍有一定困难。因此，在本教材中又比较系统、全面地作了介绍。在使用本教材时应作妥善安排。

在本教材的大纲制订、教材编写和审定稿过程中，得到了很多工厂、科研单位以及其他兄弟院校的大力协助，谨致衷心谢意。

由于我们的政治思想水平和业务能力较低，又缺乏实践经验，本教材中必然有许多缺点和错误，希望工农兵学员和阅者给以批评指正，使教材质量能逐步提高以适应教育革命的需要。

编 者

一九七七年四月

目 录

第一章 铸型的充填	
第一节 概 述	1
第二节 影响充型能力的因素和提高充型能力的措施	3
一、金属性质方面	5
二、铸型性质方面	13
三、浇注条件方面	15
四、铸件结构方面	16
第三节 “浇不足”和“冷隔”	17
第二章 金属液与铸型的相互作用	
第一节 金属液与铸型的热相互作用	20
一、铸型的加热和铸件的冷却	20
二、砂型在加热后的变化	22
三、“夹砂”	27
第二节 金属液与铸型的机械相互作用	35
一、金属液对铸型表面的冲刷作用	35
二、金属液对铸型的冲击作用	35
三、金属液对型壁的压力和抬箱力	35
四、型壁移动	36
五、砂眼、偏芯、铸件胀大和缩沉	38
第三节 金属液与铸型的物理化学相互作用	41
一、铸件表面合金化	41
二、气孔	43
三、粘砂	49
四、铸件表面的氧化和脱碳	57
第三章 铸件的凝固和冷却	
第一节 概 述	58
一、凝固过程的研究方法	58
二、铸件的凝固动态曲线	61
第二节 铸件的凝固过程	61
一、铸件的凝固区域及其结构	61
二、铸造合金的凝固及其补缩特性	62
三、影响凝固区域的因素	70
第三节 铸件凝固的控制	74

一、顺序凝固和同时凝固	74
二、铸件温度场对凝固方向倾向性的影响	75
三、壁厚均匀铸件的凝固特点	77
四、控制铸件凝固的方法	79
第四节 铸件的凝固时间	89
一、“平方根定律”算法	89
二、用模数计算凝固时间	91
三、影响凝固时间的因素	93
第五节 铸件的收缩	94
一、基本概念	94
二、铸钢的收缩	99
三、铸铁的收缩	101
四、铸造收缩率	104
第四章 铸件在凝固和冷却过程中可能产生的缺陷	
第一节 缩孔和缩松	107
一、宏观缩孔	107
二、影响缩孔和缩松的因素	109
三、防止产生缩孔和缩松的措施	112
第二节 析出性气孔	112
一、气体的来源及对铸件质量的影响	113
二、气体在金属中的溶解度	115
三、析出性气孔的形成机理	117
四、影响产生析出性气孔的因素和防止方法	118
第三节 铸件的热裂	121
一、概述	121
二、热裂形成的温度范围及形成机理	123
三、影响热裂形成的因素	126
四、防止铸件产生热裂的方法	131
第四节 铸造应力	136
一、概述	136
二、热应力	136
三、铸件在冷却过程中产生的相变应力	141
四、铸件在冷却过程中产生的收缩应力	142
五、防止及消除铸造应力的措施	143
第五节 铸件的变形和冷裂	145
一、铸件的变形	145
二、冷裂	146
三、防止变形和冷裂的措施	147

第五章 浇注系统	
第一节 概 述	149
第二节 液态金属在浇注系统中的流动	150
一、液体流动的基本规律	150
二、液态金属在浇口杯中的流动	154
三、液态金属在直浇口中的流动	157
四、液态金属在横浇口中的流动	158
五、液态金属在内浇口中的流动	161
第三节 浇注系统的类型	162
一、浇注系统按各单元断面积的比例分类	162
二、按浇注系统在铸件浇注时的位置分类	162
第四节 内浇口位置的确定	167
第五节 浇注系统的计算	169
一、按水力学原理计算浇注系统	169
二、灰铸铁件浇注系统的计算	173
三、球墨铸铁件浇注系统的计算	176
四、可锻铸铁件浇注系统的计算	176
五、铸钢件浇注系统的计算	176
第六章 冒口和冷铁	
第一节 冒口的设计	179
一、冒口的种类	179
二、冒口的形状	180
三、冒口在铸件上的位置	182
四、冒口的有效补缩范围	183
五、冒口尺寸的确定方法	187
六、提高冒口补缩效率的方法	202
七、易割冒口	210
第二节 冷铁的设计	211
一、外冷铁	211
二、内冷铁	215
三、浇注系统、冒口及冷铁综合布置实例	218

第一章 铸型的充填

第一节 概 述

所谓铸型的充填，就是液态金属充满铸型的过程。因铸件生产的明显特点，是直接
将液态金属注入铸型得到合格铸件，所以，铸型的充填是铸件成型过程的第一个阶段，
对铸件质量有很大的影响。一些铸造缺陷，如浇不足，冷隔、砂眼、铁豆、抬箱、卷入
性气孔等就是在充填过程的不利情况下产生的。为了获得优质健全的铸件，必须掌握和
控制这个过程地进行。为此，首先要研究液态金属能否充满铸型得到形状完整的铸件的
能力，即液态金属充填铸型的能力（简称充型能力），这是生产合格铸件最基本的要
求；要研究充填过程中液态金属在浇注系统中的流动规律，它是设计浇注系统的重要依
据之一；要研究液态金属在充填过程中与铸型之间的热的、机械的和物理化学的相互作
用；以及在不利的情况下在此过程中可能产生的缺陷及其防止措施。

认为，液态金属在浇注系统中的流动规律，在第五章结合浇注系统设计介绍，液态
金属在充填过程中与铸型的相互作用，放在第二章中作为“液态金属与铸型相互作用”
的全部内容的一个组成部分介绍，是比较合适的。本章主要介绍液态金属的充型能力及
有关内容。

液态金属充满铸型，获得形状完整，轮廓清晰的铸件的能力，叫做液态金属充型能
力。研究充填过程主要是分析和掌握影响液态金属充型能力的因素，以及提高充型能
力的措施。

实践证明，同一种合金用不同的铸造方法，所能浇注出来的铸件最薄壁厚不同。反
过来，同样的铸造方法，由于合金不同，所能得到的最薄壁厚也不同，如表 1—1 所
示。

表 1—1 不同合金和铸造方法铸造的铸件最薄壁厚

最薄壁厚 (毫米)	合金种类	铸造方法				
		砂 型	金属型	熔 模	壳 型	压 铸
	灰 铸 铁	3	> 4	0.4~0.8	0.8~1.5	—
	铸 钢	4	8—10	0.5~1	2.5	—
	铝 合 金	3	3—4	—	—	0.6~0.8

所以，液态金属的充型能力是由金属本身的流动能力所决定，又受外界条件，如铸
型性质、浇注条件、铸件结构等因素的影响。

液态金属本身的流动能力，称为“流动性”，是合金的重要铸造性能之一，与合金的成分、温度、杂质含量、及其物理性质有关。

流动性好的铸造合金，充型能力强；流动性差的合金，充型能力也就较差，但是，可以通过改善外界条件来提高其充型能力。在不利的情况下，由于液态金属充型能力不好，则可能在铸件上产生“浇不足”和“冷隔”等缺陷，而使铸件报废。

合金的流动性对于排出其中的气体，杂质和补缩、防裂，获得优质铸件有很大影响。合金的流动性好，气体和杂质易于上浮，使金属纯净化，有利于得到没有气孔和杂质的铸件。良好的流动性，能使铸件在凝固期间产生的缩孔得到液态金属的补缩，以及铸件在凝固末期受阻而出现的裂纹得到液态金属的弥合，因此，有利于这些缺陷的防止。

液态金属的充型能力是通过浇注试样来衡量的。

由于影响液态金属充型能力的因素很多，很难对各种金属和合金在不同的铸造条件下的充型能力进行比较。在实际中，是把铸型性质和试样的结构固定不变，对在相同的浇注条件下，如在液相线以上相同的过热温度或同一浇注温度下，所测得的各种合金的流动性数据，进行比较，借以判定其充型能力。对于同一种合金，也可把各个因素固定，而只变动其中一个因素，如铸型性质，浇注条件或试样的结构，比较所测得的流动

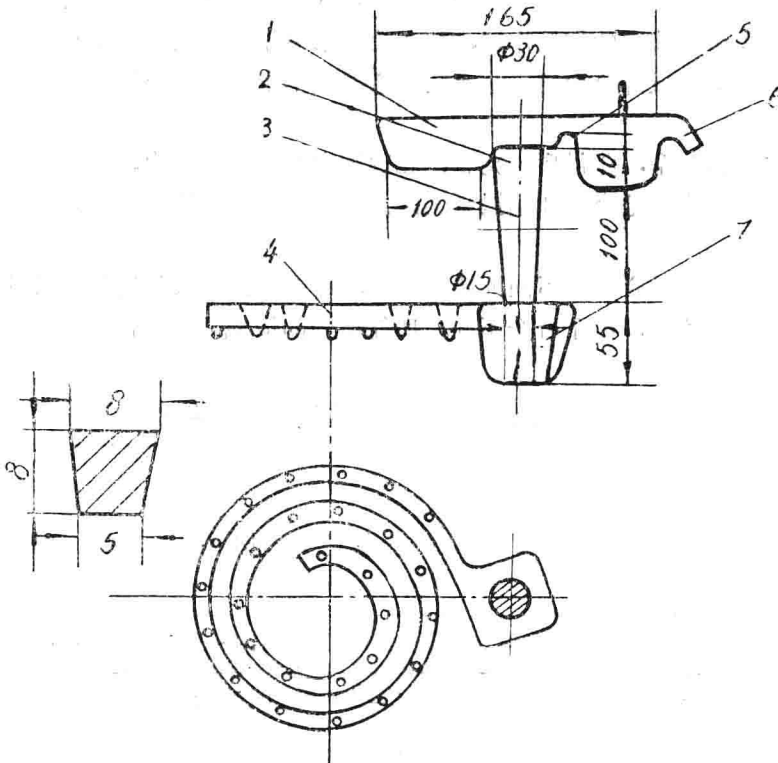


图 1—1 螺旋形流动性试样结构示意图

1—浇口杯；2—低坝；3—直浇口；4—螺旋；5—高坝；
6—溢流道；7—全压井。

性数据，借以判断该变动因素对充型能力的影响。

流动性试样的类型很多，如螺旋形、球形、U形、楔形、 α -形、真空试样等等。但是，目前在生产和科研中应用最多的是螺旋形试样。这种试样所用铸型的构造种类很多，但其基本组成部分是浇口杯、直浇口和使金属液沿水平方向流动的螺旋线倒梯形沟槽。沟槽中每隔一定距离（一般为 50 毫米）有一个凸点，用来直接读出所浇注的螺旋长度。铸型一般都采用砂型，也有用铸铁型的。

图 1—1 是螺旋形流动性试样的一种结构型式（一机部原机械科学研究院设计）。浇口杯中的金属液面低于低坝时，金属液不能流入直浇口；高于高坝时，高出部分则流入溢流道中，使直浇口中的液面在浇注过程中变化很小，即具有比较稳定的静压头。全压井的作用是，只当全压井充满到一定高度（此时直浇口中已建立起全压力）以后，金属液才能进入螺旋线沟槽，从而保证螺旋线的充填从开始就是在全部静压头下进行的。稳定的浇注条件，是比较每次试验结果的必要条件之一。

螺旋形试样的优点是：灵敏度高，对比形象，金属流线可以流经相当长的距离（如 1500 毫米），而铸型的轮廓尺寸并不太大。缺点是金属流线弯曲，沿途阻力损失较大，流程愈长，散热愈多，故金属的流动条件和温度条件都在随时改变，这必然要影响到所测得流动性的准确度；各次试验所用铸型条件也很难精确控制；每做一次试验要做一次铸型；因为螺旋线沟槽截面较大，表面张力的影响不容易表现出来。

表 1—2 一些合金的流动性（螺旋形试样，沟槽截面 8×8 毫米）

合 金	造型材料	浇注温度 (°C)	螺旋线长度(毫米)
铸铁 (C + Si = 6.2%)	砂 型	1300	1800
(C + Si = 5.9%)	"	1300	1300
(C + Si = 5.2%)	"	1300	1000
(C + Si = 4.2%)	"	1300	600
铸钢 (C = 0.4%)	砂 型	1600	100
同上	"	1640	200
硅铝明	金属型 (300°C)	680~720	700~800
镁合金 (Mg—Al—Zn)	砂 型	700	400~600
锡青铜 (Sn = 9~11%) (Zn = 2~4%)	砂 型	1040	420
硅黄铜 (Si = 1.5~4.5%)	"	1100	1000

虽然螺旋形试样有许多缺点，但因为它有肯定的优点，故应用较广。

由上表可知，铸铁和硅黄铜的流动性最好，硅铝明次之，铸钢最差。铸铁的碳硅量愈高，流动性愈好。

第二节 影响充型能力的因素及提高充型能力的措施

假设用一定成分的合金，浇注一水平直棒形试样（图 1—2），合金液进入水平沟道

后, 经 τ 时间停止流动, 其流程 (即充型能力) l 等于液态金属在静压头 H 的作用下的平均流速 v 和液态金属进入圆形沟道至停止流动时的时间 τ 之乘积 (对螺旋形试样的长度也如此), 即:

$$l = v \cdot \tau \quad (1-1)$$

因此, 影响液态金属充型能力的因素是通过两个途径发生作用的: 影响金属与铸型间的热交换条件, 而改变金属液在铸型中的流动时间; 影响金属液在铸型中的水动力学条件, 而改变金属液的流动速度。

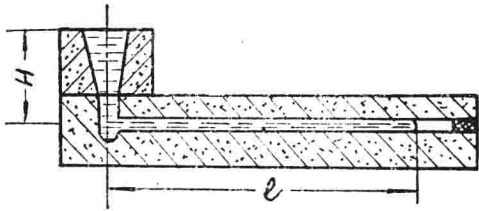


图 1—2 水平直棒形试样

度。

影响充型能力的因素见表 1—3。

表 1—3 影响充型能力的因素

影响 v 的因素	合金成分、粘度、表面张力, 结膜性; 铸型的发气性、透气性和排气能力; 金属液的静压头, 浇注系统的布置、复杂程度和各组元的截面积; 铸件的复杂程度等。
影响 τ 的因素	金属液的密度、比热、结晶潜热和导热率; 铸型的蓄热系数, 温度; 金属液的浇注温度; 铸件的折算厚度等。

注: 影响时间的因素也间接影响流速。

为了便于分析, 将上列因素划分为四类:

第一类因素——金属性质方面的因素:

- (1) 金属的比重 γ_1 ;
- (2) 金属的比热 c_1 ;
- (3) 金属的结晶潜热 $Q_{潜}$;
- (4) 金属的粘度 η ;
- (5) 金属的表面张力 σ ;
- (6) 金属的导热率 λ_1 ;
- (7) 金属的化学成分及结晶特点;

第二类因素——铸型性质方面的因素:

- (1) 铸型的蓄热系数 b_2 ,

$$b_2 = \sqrt{c_2 \gamma_2 \lambda_2}$$

式中 c_2 ——铸型的比热;

γ_2 ——铸型的比重;

λ_2 ——铸型的导热率。

- (2) 铸型的温度 $t_{型}$;

- (3) 铸型的发气性和透气性。

第三类因素——浇注条件方面的因素:

- (1) 金属液的浇注温度 $t_{\text{浇}}$;
- (2) 液态金属的静压头 H ;
- (3) 在浇注系统中压头损失总和 (金属液与型壁摩擦损失, 转弯 变向损失, 浇口截面积变化损失等) $\Sigma h_{\text{浇}}$

第四类因素——铸件结构方面的因素:

- (1) 铸件的折算厚度 $R = \frac{V}{F} \left(\frac{\text{铸件的体积}}{\text{铸件的散热表面积}} \right)$;
- (2) 由铸件结构所规定的型腔的复杂程度引起的压头损失 $\Sigma h_{\text{型}}$ 。

应该指出, 任何铸件的成型过程都是将具有一定成分的液态金属浇入铸型, 在铸型中凝固冷却, 而获得一个合格铸件的过程, 和棒形试样的成型过程本质是相同的。所以, 以上所列举的因素, 不仅对充型过程发生作用, 而且在铸件成型的其它阶段也发生不同的作用。把所有的因素按其性质划分为四类, 在分析问题时, 就可以逐类去考虑各因素的作用, 避免顾此失彼, 或者由于影响因素很多, 而显得杂乱无章。

毛主席教导我们: “马克思主义的哲学认为十分重要的问题, 不在于懂得了客观世界的规律性, 因而能够解释世界, 而在于拿了这种对于客观规律性的认识去能动地改造世界”。

对影响因素进行分析, 其目的在于掌握它们的规律以后, 能够采取有效的工艺措施提高液态金属的充型能力。

上列因素中主要因素的影响作用及提高充型能力的相应措施如下。

一、金属性质方面的因素

这类因素是内因, 决定了金属液本身的流动能力——流动性。

1. 合金的粘度 η

粘度是液层间的摩擦阻力系数。液态金属的粘度愈大, 流动速度则愈慢, 流动性就差。

表 1—4 铸铁和铸钢的粘性系数

合金	温度 (°C)	动力粘性系数 (泊)	运动粘性系数 (斯)	合金	温度 (°C)	动力粘性系数 (泊)	运动粘性系数 (斯)
灰 铸 铁 3.0%C	1300	3.84	0.55	白口铸铁 3.0%C	1300	2.79	0.40
	1350	3.69	0.53		1350	2.37	0.34
	1400	3.50	0.51		1400	2.02	0.29
灰 铸 铁 3.3%C	1300	3.76	0.54	白口铸铁 3.8%	1300	2.01	0.29
	1350	3.61	0.52		1350	1.70	0.25
	1400	3.45	0.51		1400	1.56	0.23
灰 铸 铁 3.9%	1300	3.51	0.51	铸 钢	1500	2.8	0.40
	1350	3.38	0.50		1700	1.9	0.27
	1400	3.29	0.49				

液态金属的粘度与成分、温度、夹杂物的数量和状态等有关。在铁碳合金中，碳量增加，粘度减小。对于任何合金，温度增高，粘度都下降；温度降低时，粘度迅速增加。表 1—4 所示为不同含碳量的铸铁和铸钢在不同温度下的粘性系数。

在液态金属中呈固态的夹杂物使粘度增加。例如，铸铁中的 MnS 和石墨浮片，碱性钢中的 MnO、SiO₂ 和 Al₂O₃，合金钢中的 Cr₂O₃、VN、BN、TiN、氮化铬、碳化钛等，铝和镁合金中的氧化夹渣 (Al₂O₃、MgO)，都使合金液的流动性下降。

但是，在液态金属中呈液态的夹杂物，由于它们的熔点较低，在金属液的温度下有很大的过热，而使粘度下降。酸性钢中的夹杂物大多是熔点较低的硅酸铁和硅酸锰。因此，在同样的浇注条件下，酸性钢的流动性比碱性钢的要好。

2. 表面张力 σ

由于表面张力的作用，容器内的液面凸起或下凹，其曲率半径因容器直径减小而减小。表面张力象一层张紧的薄膜，对液面以下的液体形成一个附加压力。若液面凸起，压力为正值；液面下凹，则压力为负值，如图 1—3 所示。附加压力的大小可用下列公式表示：

$$p = \sigma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \quad (1-2)$$

式中 σ ——液体的表面张力；

R_1 和 R_2 ——液体曲面上两个互相垂直弧线的曲率半径。

如果液面弯曲成球形，则 $R_1 = R_2 = R$ ，式 (1—2) 可写成：

$$p = \frac{2\sigma}{R} \quad (1-3)$$

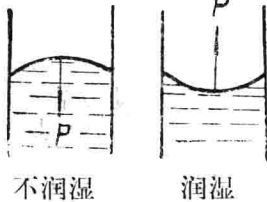


图 1—3 因表面张力引起的附加压力， P —总附加压力

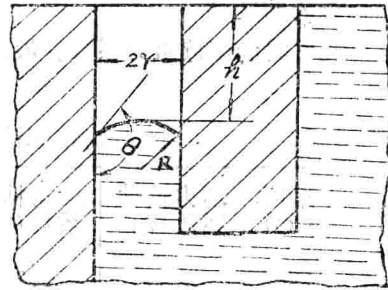


图 1—4 液态金属在铸型细管道内的凸起表面

造型材料一般不被液态金属润湿，即 $\theta > 90^\circ$ (θ —接触角)。故液态金属在铸型细管道内的表面是凸起的，如图 1—4 所示，此时产生指向内部的附加压力。 R 是凸面的曲率半径，将其化为型腔管道的半径后，附加压力为：

$$p = \frac{-2\sigma \cos \theta}{r}$$

为了平衡此附加压力，由液面高度差 h 造成的静压力为：

$$p_{\text{压}} = h \cdot \rho \cdot g$$

式中 ρ ——液态金属的密度
 g ——重力加速度。

平衡时
$$-\frac{2\sigma \cos \theta}{r} = h \rho g$$

\therefore
$$h = -\frac{2\sigma \cos \theta}{\rho g r} \quad (1-4)$$

因此，要克服铸型中由表面张力引起的附加压力，必须附加一个静压头，其值 $\geq h$ 。

由式 (1-4) 可见，表面张力愈大，所要求的附加压头就愈大。对于一定的金属和造型材料， σ 和 θ 为定值，则管道半径 r 愈小，要求的附加压头就越大。为了保证金属充满铸型，克服此附加压力，就需要适当加大直浇口高度，或采取提高浇注温度、予热铸型等措施。

为克服附加压力所需要的附加压头大小，可从下面的例子得到一个概念。

铸铁 ($C=3.3\%$)， $t_{\text{浇}}=1380^{\circ}\text{C}$ ， $\sigma=1200$ 达因/厘米

$\theta=180^{\circ}$ (假设完全不润湿)，

$\rho=7$ 克/厘米³， $r=5$ 毫米时：

$$h = \frac{-2\sigma \cos \theta}{\rho g r} = \frac{-2 \times 1200 \times (-1)}{7 \times 981 \times 0.5} = 0.7 \text{ 厘米。}$$

可见，附加压头的数值很小，实际上可不加考虑。但是，如要获得条纹清晰的铸件表面，或铸造具有非常细薄部分的复杂铸件时，对附加压力的影响应予以注意。

如果铸件表面形成不溶解的氧化膜，例如铝合金的 Al_2O_3 ，黄铜中的 ZnO ，则不润湿铸型表面，且使液态金属的表面张力增大（如纯铝的 $\sigma=300$ 达因/厘米，而被 Al_2O_3 复盖的铝液表面张力为 840 达因/厘米）。

如果金属表面含有能够溶解的氧化物，如铸铁和铸钢中的氧化铁，很容易润湿铸型表面。这时附加压力是负值，有助于金属液向细薄部分充填，同时，也有利于向铸型的孔隙中渗入，促进铸件表面粘砂的形成，表面张力对粘砂的影响见第二章。所以，防止金属液氧化，是铸造生产中经常考虑的问题。

3. 合金成分

图 1—5 是 Pb—Sn 合金的流动性与状态图的关系。可见，合金的流动性与由合金成分决定的结晶特点之间存在着一定的规律。

在流动性曲线上，对应着纯金属和共晶成分的地方出现最大值，而有结晶间隔的地方流动性下降，且在最大结晶间隔附近出现最小值。

纯金属、金属间化合物和共晶成分合金是在固定的温度下凝固结晶，没有结晶温度

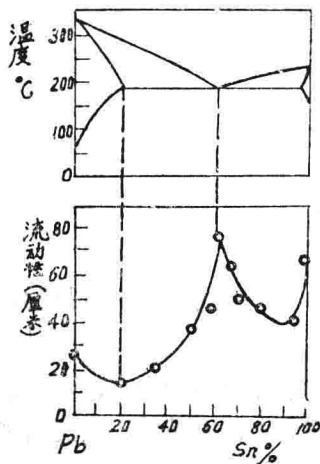


图 1—5 Pb—Sn 合金的流动性与成分的关系

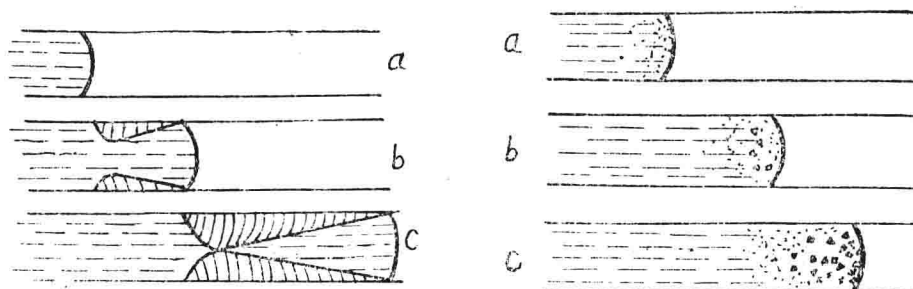
间隔。这类合金在型腔中凝固时，在型壁上已经结晶的凝固层和尚未凝固的液体之间界面分明（图 1—6 a），已结晶的凝固层内表面比较平滑，尚未凝固的液体在其中流动时阻力小，所以流动性好。共晶合金的熔点最低，故流动性最好。



a—纯金属和共晶合金的凝固层 b—有结晶间隔的合金凝固层
图 1—6 合金凝固层示意图

有结晶间隔的合金在型腔中凝固时，存在着在型壁上已经完全凝固的固体层、中心尚未开始结晶的液体，以及居于二者之间的既有发达的树枝状晶又有未结晶的液体相混杂的两相区（图 1—6 b）。因此，凝固层内表面参差不齐，液态金属的流动阻力增加。合金的结晶间隔愈大，两相区就愈宽，树枝晶也愈发达，在树枝晶的数量较少时就可以使金属停止流动。

将纯金属或共晶合金浇注的螺旋形试样剖开，可以看到试样末端有缩孔。这说明在液态金属停止流动时，试样末端仍保持有热的金属液。停止流动的原因是由于在末端之前某个部位金属流动被堵塞。所以，这类合金在细管道中的流动情况是：在金属液的过热量没有散失前，金属为纯液态流动，温度降到凝固点时，从管壁开始逐层向中心凝固，通道愈来愈小，阻力愈来愈大，最后通道堵塞，流动停止，如图 1—7 a 所示。



a—纯金属或共晶成分合金 b—有结晶间隔的合金
图 1—7 金属停止流动机理示意图

有结晶间隔的合金，在过热未散失前，合金以纯液态流动。温度下降到液相线以下时，液流中析出晶体，顺流前进，并不断长大。液流前端冷却最快，晶体数量也最多，使金属液的粘度增加，流速减慢。当晶体达到一定数量时，便结成一个连续的网络，发生堵塞，流动停止，如图 1—7 b 所示。

从上述分析可以看出，合金成分对流动性的影响，主要是成分不同时，其结晶特点不同，从而显著地影响合金的流动性。

图 1—8 是 Fe—C 合金的流动性和成分的关系，可见，它也具有同样的规律。纯铁的流动性较好，随碳量的增加，结晶间隔扩大，流动性下降。在包晶成分处，由于结晶间隔有所减小和包晶反应的热效应，流动性出现最大值。在包晶点之后随着结晶间隔

的扩大，流动性不断降低。在含碳 1.7% 处，结晶间隔最大，流动性最差。

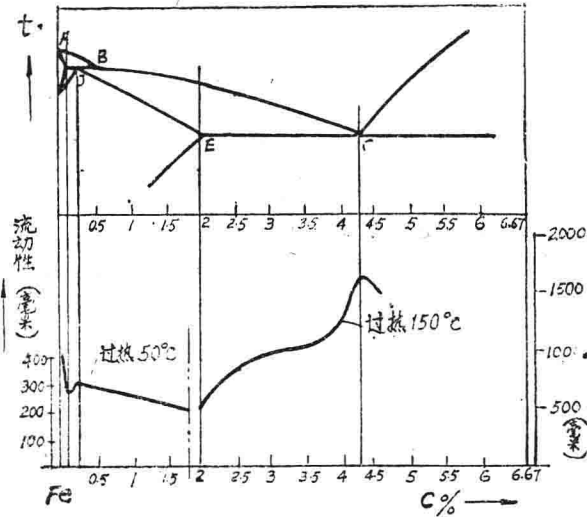


图 1—8 铁碳合金的流动性与状态图的关系

在亚共晶铸铁中，愈接近共晶成分，流动性愈好，共晶成分铸铁的流动性最好。这是因为亚共晶铸铁的初晶组织是奥氏体，含碳量愈低，结晶间隔愈宽，奥氏体的树枝晶就愈发达，流动阻力也就愈大，奥氏体的树枝晶数量较少时，就可以阻塞液流的流动。共晶铸铁的结晶组织比较细小，凝固层的表面平整，流动阻力小，而且共晶成分铁水浇注温度低，铁水向铸型散热慢，延长了铁水的流动时间，所以流动性最好。碳量增加时，亚共晶铸铁的液相线温度下降，在相同的浇注温度下，铁水的流动性随碳量增加而迅速提高。

过共晶铸铁在冷却速度不大时，初晶组织是石墨，以悬浮状态存在于铁水中，使铁水的粘度增加，所以流动性又下降。

从图 1—8 可见，铸铁的结晶间隔一般说来比铸钢的宽，可是铸铁的流动性比铸钢的好。这是由于铸钢的熔点高，提高过热度（即提高浇注温度），要延长熔炼时间，增加电力或燃料消耗，且钢液吸气严重。因此，钢液的过热度一般都比铸铁的小，维持液态流动的时间就短；另外，由于钢液的温度高，在铸型中散热速度大，很快就析出一定数量的树枝晶，使钢液失去流动能力。

高碳钢的结晶间隔虽然比低碳钢的宽，但是，由于液相线温度低，容易过热，所以实际流动性并不比低碳钢差。

以上是对 Fe—C 合金流动性与状态图之间关系的分析。其它元素对流动性的影响如下所述。

铁水中磷量增加，液相线温度下降，铁水的粘度也下降，由于磷共晶增多，固相线温度也下降，因此，可以提高流动性。但是磷量增加使铸铁变脆，所以通常不用增加磷量来提高铁水的流动性。

但是对于艺术品铸件，因不承受载荷，而要求轮廓清楚，花纹清晰，铁水要有很好

的充型能力。增加磷的含量，能形成较多的低熔点磷共晶，使铁水熔点降低而提高其充型能力。

铸铁中的硫高（超过 0.18%）时，一方面会产生较多的硫化夹杂物，悬浮在铁水中，增加铁水的粘度，使流动性降低；另一方面铁水中含硫量愈高，愈易形成氧化膜，也使流动性降低。

在铸铁中，锰通过与硫化合成 MnS 而间接影响流动性。在其它元素中，铬对铸铁的流动性影响最大，加铬以后，使铸铁的液相线温度提高，所以流动性下降，尤其是铬含量超过 1% 时，流动性下降更为明显。

在化学成分和浇注温度相同的情况下，镁球墨铸铁的充型能力与灰铸铁相同，或者比灰铸铁好些；在同样的条件下，稀土镁球铁的充型能力还要好些。表 1—5 为各种铸铁的流动性数据。

表 1—5

铸 铁 种 类	稀土镁 球墨铸铁	稀土镁 球墨铸铁	镁球墨 铸 铁	含 0.3% 铬灰铸铁	球墨铸铁 原铁水	球墨铸铁 原铁水
浇注温度 (°C)	1270	1260	1250	1295	1280	1270
螺旋线长度 (毫米)	1107	1102	750	380	1082	1020

在球墨铸铁中，由于镁和稀土元素与硫的结合能力比锰强烈，故形成 MnS 的可能性较小，因此锰的影响不大。铁水经加镁处理后，由于脱硫、去气、清除铁水中非金属夹杂物，使铁水净化，故在同样条件下，镁球铁的流动性较灰铸铁好些。但是，随着加镁量的增加，铁水温度降低，表面氧化也增加，因此过高的镁量，反而使铁水的流动性降低。

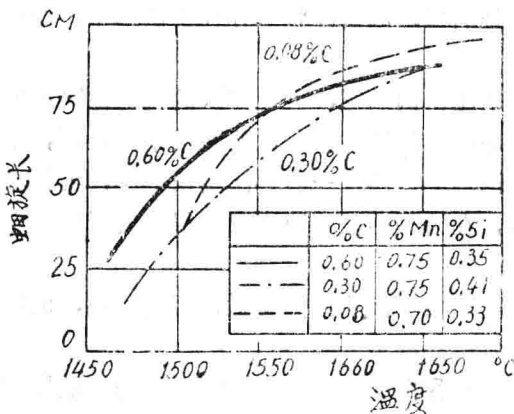


图 1—9 含碳量对钢液流动性的影响

液流动性影响不明显；在 2%~14% 之间，使流动性提高。

在其余元素中，铜的含量小于 4%，镍—小于 3%，铝—小于 0.2%，使流动性提高。铬含量大于 1.5% 时，降低钢液的流动性。

镁球铁中加入少量稀土元素后，表面结氧化膜的倾向较小，所以稀土镁球铁的流动性更好些。

应该指出，原铁水经球化处理，温度下降很多。如果原铁水温度较低，含硫较高，则其流动性比灰铸铁差。

碳对钢液流动性的影响如图 1—9 所示。在比较低的浇注温度下，随含碳量增加，流动性提高；但是，浇注温度比较高时，碳的影响则相反。

含硅量小于 0.6% 时，提高硅量，钢液的流动性增加。锰量小于 2% 时，对钢

钢液中的 P 量超过 0.05% 时, 对流动性开始显示有利影响, 但是使铸件变脆, 这种现象随碳量的增加更加剧。S 能形成难熔的 MnS、Al₂S₃ 等夹杂物, 使流动性下降。

钢的所有元素中, Cu 最有利于提高其流动性。

4. 导热率 λ_1

导热率小, 热量散失慢, 金属保持流动的时间长。另外, 金属的导热率小, 在凝固期间液一固并存的两相区减小, 树枝晶不能充分发展, 所以流动性好。

纯铝的结晶潜热比锌的大三倍, 但由于铝在熔点附近的导热率比锌大 1.5~1.6 倍, 其流动性比锌小。

金属中加入合金元素后, 一般都使导热率明显下降。但是, 由于加入合金元素后往往使初晶组织受到影响, 反而使流动性下降。例如, 在 Al 合金中加入少量的 Fe 或 Ni 以后, 合金的初晶变为发达的树枝晶, 并出现针状 FeAl₃ 晶体, 流动性显著下降。在 Al 合金中加入 Cu, 结晶间隔扩大, 也降低流动性。

5. 结晶潜热

在合金的热物理性质中, 结晶潜热对流动性的影响较大。

结晶过程中放出潜热愈多, 则结晶进行得愈缓慢, 金属处于液态的时间愈长, 流动性就愈好。但是, 结晶潜热对流动性这个良好作用是否能够得到发挥, 则取决于合金的结晶特点。纯金属和共晶成分的合金在固定温度下结晶, 凝固是从铸型表面逐层向内部进行, 结晶潜热的作用得以发挥。表 1—6 表明, 结晶潜热是估计纯金属流动性的一个重要因素。

表 1—6 纯金属的流动性与物理性质的关系

物 理 性 质	金 属				
	Pb	Sn	Cd	Zn	
流 动 性 (螺旋线 毫米) (金属温度 = 熔点 + 25°C) (铸型温度 = 熔点 - 25°C)	1070	1630	1650	2770	
密 度 (克/厘米 ³)	固态	11.34	7.31	8.65	7.14
	液态	10.30	6.98	8.00	6.70
比热 (液态) (卡/厘米 ³ ·°C)	0.278	0.426	0.496	0.856	
结晶潜热 q' (卡/厘米 ³)	65.1	100.8	105	161	
过热热 q'' (卡/厘米 ³)	6.96	10.66	12.4	21.4	
热含量 $Q = q' + q''$ (卡/厘米 ³)	72.06	111.46	117.4	182.4	
导热系数 (卡/厘米·秒·°C)	0.05	0.08	0.10	0.14	
粘度 (熔点附近, 克/厘米·秒)	0.028	0.020	0.025	0.034	
表面张力 (熔点附近, 达因/厘米)	452	526	630	758	

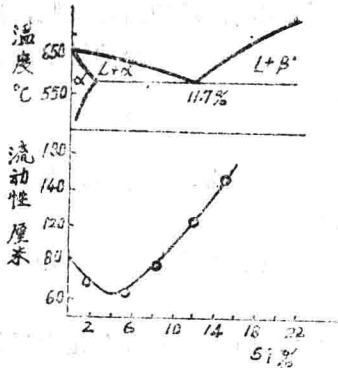


图 1—10 Al—Si 合金的流动性与成分的关系

对于有结晶间隔的合金，由于其结晶特点，散失一部分（~20%）潜热后，就形成由树枝发达的晶体构成的网络，使流动阻塞，大部分潜热的作用不能发挥。所以，结晶潜热对这类合金的流动性影响不大。

图 1—10 是 Al—Si 合金流动性与状态图的关系，流动性在共晶成分处并非最大，这是因为初生 β 相是比较规整的块状晶体，流动阻力小，且其结晶潜热为 707 卡/厘米³，比 α 相大三倍，所以过共晶成分的流动性增高。当 Si 量再增加时， β 相数量增多，液体粘度增加，流动性又下降。因此，对某些合金，流动性最大和最小值，有可能发生偏移。

由此可见，结晶潜热相对合金的结晶特点而言，是一个次要的因素，而结晶特点处于支配地位。

综上所述，为提高金属液的充型能力，在金属方面可采取以下措施：

(1) 正确选择合金的成分

共晶成分合金具有最好的充型能力。在不影响铸件使用性能的情况下，可根据铸件大小、厚薄，将合金成分调整到实际共晶点附近。在熔炼过程中，使降低金属液充型能力的元素减少到最低限度，

(2) 合理的熔炼工艺

正确选择原材料，去除金属料上的锈蚀、油污，熔剂要烘干；在熔炼过程中尽量使合金液不接触或少接触有害气体；对金属液要充分脱氧，并采取措施进行精炼去气，以减少其中的非金属夹杂物和气体。

对钢液进行脱氧时，先加硅铁后加锰铁就会形成大量细小的尖角形 SiO_2 ，不易清除，钢液流动性很差。先加锰铁后加硅铁是正确的，脱氧产物主要是低熔点硅酸盐，数量也较少，并容易清除，因而提高了流动性（表 1—7）。

表 1—7 脱氧方法对钢液充型能力的影响

脱 氧 方 法	浇注温度 (°C)	螺旋线长度 (毫米)	非金属夹杂物 总量%
先 加 硅 铁	1560	57	0.0193
	1650	66	
	1670	68	
后 加 锰 铁	1590	154	0.0062
	1635	158	

“高温出炉，低温浇注”是一项成功的生产经验。高温出炉就是使金属液有较大的过热度，有些未熔化的固体质点（如铸铁中的显微石墨夹杂）可以熔解，未熔的质点和