

铸件浇注时间的确定

陕西机械学院铸造教研室 魏兵

摘要

本文通过对铸件理论上适宜的浇注时间的讨论和对经验公式、图表的统计学分析,推荐了浇注时间统计平均值。对于慢浇、快浇和中速浇注工艺给出了明确的定义和时间范围。本文提出的原则及公式,曾于1978年在西安、渭南、宝鸡等地推广,效果良好。

一、前言

铸件浇注时间是液态金属开始进入型腔到其完全被充满的一段时间间隔。它是铸件工艺设计的重要工艺参数之一。浇注系统阻流截面面积的计算,就在于确定出保证铸型在最佳时间内被充满,控制液态金属充填速度和流动状态,以利于平稳充型、合理的凝固顺序和足够的补缩。

尽管人们对浇注时间的确定作了大量的研究工作⁽¹⁻⁴⁾,但是对确定浇注时间的理论,快浇、慢浇、中速浇注的概念,尚缺少系统的说明。目前用来确定浇注时间的经验公式和图表,多是从流体力学和传热学的观点对液态金属充填和停止流动的过程进行的研究。实际上,液态金属充型过程、是其和铸型发生作用,并不断冷却(甚至凝固)的过程。浇注时间应该由液态金属和铸型这两者之间的机械的、水力的、热的和冶金学方面的作用所共同决定。因此,除考虑铸件的壁厚和重量这两个主要因素外,还必须考虑到型砂的热稳定性和合金冶金学方面的特殊要求。

为便于比较和引用,本文将目前流行的主要的经验公式列成表格,并绘在《浇注时间 t —铸件重量 G 图》上,给使用者以统计学上的启发,并探索性地画出了预估浇注时间的统计平均值回归曲线和由生产条件、合金特性所决定的浇注时间推荐值。

二、关于铸件浇注时间的确定

合金的成分、浇注温度、铸件的重量和壁厚、铸型的材料,浇注系统类型等工艺因素确定之后,对生产优质铸件来说,一定对应着一个最佳的浇注时间。它是允许的最长的浇注时间与允许的最短的浇注时间之间的一段间隔。

(一) 允许的最长浇注时间决定于液态金属在铸型中能流动的时间。B. B. 古里耶夫等^(5,6)指出:

$$t < AR^2 \ln BT \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{和 } t < K_{\text{液}} \left(\frac{V}{A}\right)^2 \dots\dots\dots (2)$$

式中: t : 可能的浇注时间;
 R : 圆柱体半径或铸件壁厚之半;
 T : 金属的过热度;
 A, B : 和金属及铸型的热物理性能有关的常数, 由实验确定。
 V : 铸件的体积;
 A : 铸件的散热表面积;
 $K_{\text{液}}$: 液态金属的冷却常数, 与金属种类、铸型特性及液态金属过热度有关。

根据赫伏里诺夫原理, 从上二式可知, 最长的浇注时间是铸件总凝固时间的一部分。因此赫氏提出⁽⁷⁾: 为防止铸钢件产生冷隔和浇不足的缺陷,

$$t = 0.01 \sim 0.03 t_{\text{凝}} \dots\dots\dots (3)$$

对于无限长、厚度为 δ 的板件, 其体积与散热表面积之比 (模数) 正好是板厚的一半:

$$\frac{V}{A} = \frac{\delta}{2} \dots\dots\dots (4)$$

即在过热度一定时, 板件及板件的组合体, 其浇注时间完全可以做为铸件壁厚的函数。

(8) 如:

$$t = 2.0 \sim 2.5 \delta - 3 \dots\dots\dots (5)$$

上三式中:

$t_{\text{凝}}$: 铸件的凝固时间;
 δ : 铸件的壁厚 (毫米);
 t : 可供选择的浇注时间 (秒);

(二) 浇注时间是铸件重量的函数。

铸件越重, 包含的热量越多, 凝固时间就越长。对重量为 G 的立方体铸件可以推出⁽⁴⁾:

$$t = S_1 \sqrt{G} \dots\dots\dots (6)$$

式中: S_1 : 浇注时间系数;
 G : 铸件重量 (公斤)

浇注时间和铸件的重量平方根成正比, 这已为大量的生产实践所证实。目前许多研究者提出的诸多的浇注时间的经验公式, 多是 $S_1 \sqrt{G}$ 和 $S_2 \sqrt[3]{G}$ 型的; 如表 1。这除了有统计学上的根据外, 在理论上也是可以接受的。

(三) 为防止铸件产生膨胀缺陷, 最长的浇注时间是铸型上型表面对金属液热烘烤所能忍受的时间。换言之, 砂型上表面必须在多长时间内被液态金属所复盖, 可以做为理论上最长的浇注时间。

普通砂型产生夹砂的倾向除了主要取决于型砂质量之外, 和金属液复盖砂型表面的时间迟早关系很大。因为金属凝固后, 会产生一层保护砂型表面的金属壳。因此浇注时间必定和砂型表面的金属液复盖速度有关, 而不必和铸件的重量有关。可以想见, 对于重型铸件, 浇注时间随铸件重量增加而延长, 必定会被铸型的热稳定性所截止。

对于具体的铸型抗夹砂的时间至今尚无法测定。一些研究者⁽⁹⁾利用夹砂实验板所做的研究指出：普通石英砂—粘土混合料抗夹砂时间较短，为15—20秒，质优者为30—40秒。当然实际铸型，刷了抗夹砂能力强的涂料，这个时间可以长一些，但对于浇注那些对夹砂缺陷敏感的铸件（如有较大水平面的平板类铸件），缩短浇注时间，对防止铸件表面产生沟槽、鼠尾、夹砂是十分有效的。

因此，在“一型多件”的浇注系统设计中，不应该以砂型中总浇注重量为确定浇注时间的根据，而应该以每一个别的铸件重量和尺寸为根据，因为膨胀缺陷的产生和充填不足与否是和个别铸件型面的金属液复盖时间和合金的流动能力有关，至于一型中有多少这样的铸件可以不予考虑。当然，“一型多件”多为小件，且金属总浇注重量增加，会改善铸型的受热条件，这只能在合适的浇注时间上、下限内考虑。

型砂的机械强度和韧性所能承受的冲击能量，将决定浇注时间的最小值。过短的浇注时间必然要增加液流的线速度，增加对型壁的冲击，加重液流的紊流程度，对排渣和型腔中气体的逸出也是不利的，一般不应该采用过急的浇注。

（四）根据灰铸铁和球墨铸铁后补时间来决定浇注时间。这就将浇注与合金的凝固收缩特性联系起来。由于灰铸铁和球墨铸铁凝固期存在石墨化膨胀，有“自补缩”能力。但是，膨胀和收缩不是同时发生的，先共晶收缩（液态收缩与初生奥氏体收缩之和）在前，石墨化膨胀在后，一般情况下，“自补缩”的能力不能充分被利用。如果浇注时间等于先共晶收缩时间，或这样确定浇注时间和内浇道横截面积，使浇注时间与浇注之后内浇道保持畅通的一段时间之和等于先共晶收缩时间，或从此之后，铸件的一部分所产生的石墨化膨胀能够补偿其余部分的收缩的那个时间。就可以利用浇注系统补缩，实现“无冒口铸造”。国内通称“小浇口原理”。一般采用“慢速浇注”。

对于球墨铸铁，为防止球化衰退，获得好的球化质量，应该采用“快速浇注”。有资料建议：就是对一些大型球铁件也要在120秒内浇完，假如一切条件理想，最大限度在60秒内浇完⁽¹⁰⁾。

对于一些铸件对热应力敏感或有特殊精度要求，为减少铸造热应力、应采用“快速浇注”以减少温差，并使铸件的组织和性能均匀。如某些机床床身等。

（五）为防止铸型浇注后呛火和侵入性气孔的产生，特别是对浇注后期充填平面部分，将芯子包住，改变芯子的排气方向的，应实行“快速浇注”，使金属压头增加速度大于泥芯气体压力增长速度。

总之，铸造生产是一个多因素的工艺过程，浇注时间与各个工艺参数密切相关。当各个参数处于不同的组合状态时，可以在一定范围内用浇注时间的变动来调节。因此力图建立一个数学模型，推导出一个适合一切情况的包括所有影响因素的万能计算公式是不可能的，起码也是不实用的。在一定的生产条件下，即某些参数处于基本稳定的情况，将铸件按其特殊要求分类，利用统计学方法，建立影响浇注时间的主要变量与浇注时间的关系曲线，回归为经验公式是可行的。

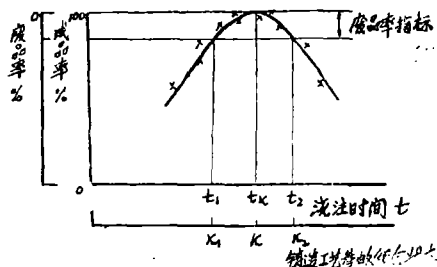


图1 浇注时间与铸件成品率统计关系

K: 铸造工艺参数最佳组合状态

t_k : 对应的最佳浇注时间值

t_1-t_2 : 浇注时间间隔

找出 100% 成品率所对应的最佳浇注时间值是困难的，但予估出在允许的废品率之间的浇注时间间隔， $(t_1 \sim t_2)$ ，做为工艺设计的浇注时间规范却是可能的。如图 1：

三、浇注时间的确定方法

(一) 常用的经验公式

选用经验公式时，应该特别注意经验公式的产生条件，只有经验公式的产生条件和本车间的生产条件相类似时，用经验公式予估的浇注时间才有参考价值

(二) 《t—G 图》与浇注时间的统计平均值

将各研究者提供的经验公式、图表、生产优质铸件对应的最佳浇注时间一并画在《浇注时间 t 与铸件重量 G 图》上（双对数坐标），得到图 2（简称《t—G 图》）。

从图上可以看出：

1、浇注时间随铸件重量的增加而延长是有一定规律的。基本是 $S_1\sqrt{G}$ 和 $S_2\sqrt[3]{G}$ 型。密集在一个宽度不大的数值带内。

2、这个数值带的统计平均值可回归为：

$$t = \sqrt{G} + \sqrt[3]{G} \dots\dots\dots (7)$$

即可以用铸件重量的平方根与立方根之和来予估绝大部分铸件的浇注时间。

可以定义：浇注时间大于平均值的浇注工艺为“慢浇注”，小于平均值的浇注工艺为“快浇注”，浇注时间在 $\sqrt{G} \sim \sqrt{G} + 2\sqrt[3]{G}$ 范围叫“中速浇注”。

3、根据合金种类、铸件壁厚、浇注温度、铸型条件和铸件的特殊要求， S_1 的取值范围主要集中在 0.65—3.0，小件取值范围较宽，大件取值范围较窄，并趋近于 1 或更小。 S_2 的取值范围主要在 3.0—6.0，小件取值较宽，大件较窄，并趋近于 3.0—4.0。

为综合各个参数对浇注时间系数 S_1 和 S_2 的影响，“快浇注”、“慢浇注”、“中速浇注”工艺应用范围如表 2。时间范围如图 3。

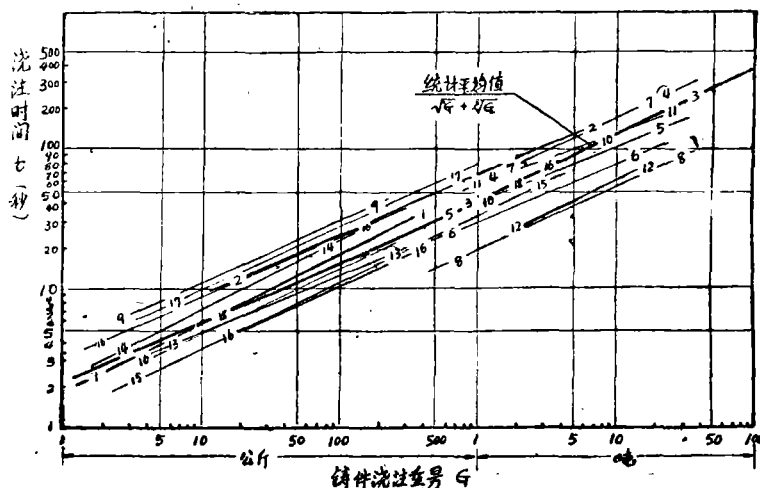


图2 浇注时间(t)与铸件浇注重量(G)统计关系曲线

常用经验公式表

表1

序号	公 式	公 式	说 明	参考文献	作图参数
1	H. W. 迪哈尔特 $t = S\sqrt{G}$	适用于重量不超过450公斤, 壁厚为2.5~15毫米薄壁、形状复杂的小铸件。 铸件壁厚mm S 2.5—3.5 1.63 3.5—8.0 1.85 8—15 2.2		(11)	S=1.85
2	T. M. 杜比茨基 $t = S_1 \sqrt[2]{\delta G}$	10吨以下中大型铸件 材 质 灰 铸 铁 可锻铸铁 铸 钢 S ₁ 2.0 2.05 1.4—1.6		(11)	$\delta=27$ S=2.0
3	C. B. 鲁西扬 $t = 1.11S_2\sqrt{G}$	1吨以上大型铸件 铸 件 平 均 壁 厚 (mm) 10以内 10—20 20—40 40—80以上 S ₂ 1.0 1.3 1.5 1.7		(11) (12)	S ₂ =1.5
4	Ю. А. 涅亨齐 $t = 1.5 \sim 2.35\sqrt{G}$	1.2吨至20吨的铸件。 复杂铸件要求快浇时取1.5 简单铸件允许慢浇时取2.35		(1) (12)	系数1.9
5	Г. 季捷尔 $t = 1.2\sqrt[2]{\delta G}$			(1)	$\delta=27$

(续)

序号	公 式	公 式	说 明	参考文献	作图参数
6	Н.И.米沁柯 $t = \frac{2}{\delta} \sqrt{G}$			[1]	$\delta = 27$
7	苏联国家标准 1727—Г $t = 1.5 \sim 2.35 \sqrt{G}$			[1]	系数 1.9
8	В.В.古里耶夫 $t = 1.35 G^{\frac{5}{12}}$ $t = 1.00 G^{\frac{5}{12}}$	厚壁铸钢件 薄壁铸钢件		[1]	系数 1.2
9	$t = 1.4 \sim 3.0 \sqrt{G}$ (磅) ($t = 2.08 \sim 4.45 \sqrt{G}$ (公斤))	湿型灰铸铁小件 铸件重量 < 200 公斤		[13]	系数 3.26
10	Buckeye 铸造厂 $t = 4.3 \sqrt{G}$ (磅) ($t = 5.6 \sqrt{G}$ (公斤))	灰铸铁件 浇注重量 1 吨 ~ 8 吨		[13]	系数 5.6
11	Lynchburg 铸造厂 $t = 4.3 \sqrt{G}$ (磅) ($t = 5.6 \sqrt{G}$ (公斤))	干砂型灰铸铁件 浇注重量 1 吨 ~ 20 吨		[13]	系数 5.6

(续)

序号	公 式	公 式	说 明	参考文献	作图参数
12	$t = 0.65\sqrt{G}$ $t < 120$ 秒	2 吨~10吨中大型球墨铸铁件 12吨以下的球墨铸铁件		[14] [15]	系数0.65
13	上海柴油机厂 $t = 2.5 \sim 3.5\sqrt{G}$	球墨铸铁小件		[14]	系数3.0
14	$t = S_3\sqrt{G}$	可锻铸铁件 壁厚(mm) 3—4 5—8 9—15 S_3 1.71 2.05 2.35		[16]	系数2.05
15	$t = C\sqrt{G}$	铸钢件 相对密度 K_v C 0.8 0.9 1.0 1.1 1.2 1.3 1.4 1.1—2.1—3.1—4.1—5.1— 2.0—3.0—4.0—5.0—6.0— >6.0		[16]	系数1.1
16	上海地区 $t = S_4\sqrt{G}$	壁厚 (mm) S灰铁 1.11 1.44 1.66 1.89 S铜合金 0.65—0.70 0.75—0.80 0.90—1.0 1.10—1.20 S铝合金 1.8—2.0 2.2—2.4 2.6—2.8 3.0		[17]	$S_4 = 1.50$ $S_4 = 0.90$ $S_4 = 2.4\Delta$

(续)

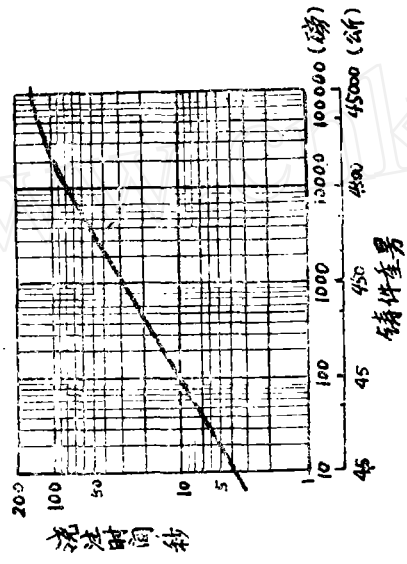
序号	公 式	公 式	说 明	参考文献	作图参数
17	衡阳冶金修造厂 $t = 2.8\sqrt{G}$	适用于 ZQAl—Fe9—4 浇注重量<1000公斤		[18]	系数2.8
18	S.I.卡赛图表 (适用于灰铸铁、球墨铸铁 件阻流式浇注系统)	 <p>The chart is a log-log plot with '浇注时间 秒' (Pouring time in seconds) on the vertical axis and '铸件重量' (Casting weight) on the horizontal axis. The vertical axis has major ticks at 1, 5, 10, 50, 100, and 200. The horizontal axis has two scales: the top scale is in pounds (磅) with major ticks at 45, 100, 450, 1000, 4500, 10000, and 20000; the bottom scale is in kilograms (公斤) with major ticks at 10, 45, 100, 450, 1000, 4500, and 10000. A solid diagonal line represents the relationship between pouring time and weight.</p>	[19]		

表2

不同浇注工艺适用范围

类 型	浇 注 时 间 范 围	应 用 范 围
快 浇 注	$t < \sqrt{G} + \sqrt[3]{G}$ $t = 0.65\sqrt{G} \sim \sqrt{G} + \sqrt[3]{G}$	铸钢件（翻包浇注）大多数的有色金属件，大、中型球铁件。 薄件复杂的灰铸铁件。大平板类以及为防止夹砂、防止呛火产生侵入性气孔要求迅速充满的铸件。低应力铸件。
中速浇注	$t = \sqrt{G} \sim \sqrt{G} + 2\sqrt[3]{G}$	适用于大多数的铸件。 小件取上限、大件取下限。
慢 浇 注	$t > \sqrt{G} + \sqrt[3]{G}$ $t = \sqrt{G} + \sqrt[3]{G} \sim 3\sqrt{G}$ 个别情况 $t = \sqrt{G} + \sqrt[3]{G} \sim 5\sqrt{G}$	主要适用于灰铸铁和球墨铸铁中、小件，厚壁。以期通过延长浇注时间以利于补缩和排除型腔内气体。 也适用对紊流很敏感的合金，通过慢浇减小流速。

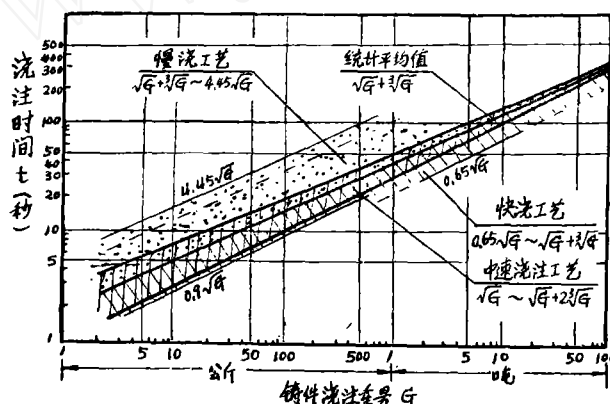


图3 不同浇注工艺的时间范围

四、浇注时间与直浇道有效静压头、阻流截面尺寸的关系

在利用浇注系统阻流截面控制浇注时间的浇注系统设计中，主要是通过选取不同的直浇道有效静压头和阻流截面面积来控制浇注时间的。

浇注时间的长短取决于浇注速度，即流量（公斤/秒）。对直浇道尾部阻流的浇注系统：

$$Q = \frac{G}{t} \dots\dots\dots (8)$$

$$V = \mu \sqrt{2gH} \dots\dots\dots (9)$$

$$\therefore Q = F_{\text{阻}} \cdot V \cdot \rho$$

$$= \rho \cdot \frac{\pi}{4} D^2 \cdot \mu \sqrt{2gH}$$

$$= \frac{\rho \cdot \pi \cdot \mu \sqrt{2g}}{4} H^{\frac{1}{2}} \cdot D^2$$

当浇注系统类型和铸型条件确定之后, 可以认为 $\frac{\rho \cdot \pi \cdot \mu \sqrt{2g}}{4}$ 为常数, 令:

$$K = \frac{\rho \cdot \pi \cdot \mu \sqrt{2g}}{4}$$

$$\text{则 } Q = K \cdot H^{\frac{1}{2}} \cdot D^2 \dots \dots \dots (10)$$

式中: G : 浇注重量;

t : 浇注时间;

Q : 浇注速度 (流量) (公斤/秒);

V : 金属液质点通过阻流截面时的流速 (厘米/秒);

μ : 流量系数;

g : 重力加速度;

H : 直浇道有效静压头

ρ : 金属液的密度;

$F_{阻}$: 浇注系统阻流截面面积;

D : 阻流截面直径;

K : 充填系数。

从(8)——(10)式可以得出结论: 虽然压头 H 和阻流截面尺寸 D 对浇注时间都有影响, 但 D 值的变化影响显著, 成平方关系。 H 值的变化不显著, 成平方根关系。增加或减小阻流截面尺寸可以明显缩短或延长浇注时间; 企图用加高直浇道高度 H 缩短浇注时间是不明显的, 而且是有害的, 因为根据(9)式, 这要增加液流的线速度。

五、结 论

(一) 浇注时间是影响铸件质量的重要工艺参数。它应该由液态金属、铸型材料和铸件工艺的要求所决定。适宜的浇注时间是一个范围。当铸造的工艺参数处于最佳组合状态时, 一定对应着一个最佳的浇注时间。

(二) 可以用铸件浇注重量的平方根与立方根之和——统计平均值 ($\sqrt[2]{G} + \sqrt[3]{G}$) 予估一个铸件的浇注时间, 并作为“快浇”与“慢浇”的分界。是选用快浇、慢浇, 还是中速浇注工艺, 要根据铸造工艺参数的组合状态而定。

(三) 对于一般的铸件, 特别是大型铸件在保证足够的剩余压头的情况下, 应该使用“大流量 (公斤/秒)、低流速 (厘米/秒)”的浇注系统, 以利于迅速而平稳地充填。

(参考文献从略)