

● 铸铁件 浇冒口系统的设计与应用

● 朱华寅 王苏生 编著

● 机械工业出版社

铸铁件浇冒口系统的设计与应用

朱华寅 王苏生 编著



机械工业出版社

内 容 简 要

本书归纳了有关浇冒口系统方面的计算公式、基本原理和方法,并列出各种表格、计算图和典型设计实例56个。书中还汇集大量国内外先进工艺技术和信息,如顺序充型、复合铸件和型内处理的浇注系统,缩管冒口、曲锥冒口和压力控制法冒口的设计和计算等。

为更深刻地理解和掌握浇注、补缩的客观规律,提高浇冒口系统设计的科学性,本书还以较少的篇幅介绍几种形体铸件的充型状态,与本书内容有关的测试手段、方法和计算机应用等情况。

本书可作为铸造工厂广大技术工人、科技人员、大专院校铸造专业师生、设计研究所研究人员的参考用书。

铸铁件浇冒口系统的设计与应用

朱华寅、王苏生 编著

责任编辑:劳瑞芬 版式设计:霍永明

封面设计:郭景云 责任校对:熊天荣

责任印制:王国光

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 $787 \times 1092^{1/16}$ · 印张 $18^{1/2}$ · 字数 452 千字

1991年1月北京第一版·1991年1月北京第一次印刷

印数 0,001—1,600 · 定价:11.80 元

ISBN 7-111-01994-6/TG · 505

前 言

浇冒口系统的设计是广大铸造工作者所熟悉的一项既普通又复杂的工艺课题。浇冒口设置不当会造成冲砂、夹渣、气孔、缩孔、缩松、变形和裂纹等缺陷，致使铸件报废的约占总废品量的 30~40%，甚至高达 70%。因而，如何通过浇冒口系统设计和实施的进一步科学化和合理化，从而提高质量，降低成本，节约能源和改善经济效益，实为铸造界迫在眉睫和深为关注的大事。

为进一步探索和掌握充型、补缩的客观规律，促使此项工艺早日成为一项科学化的实践，本书还介绍几种形体铸件的充型特点，提供与本题有关的各种测试手段和电子计算机应用的概况。

书中均采用法定计量单位（GB3102—86）。某些外来原始资料数据均加注国际单位制单位。

本书由上海交通大学沈嘉猷教授、北京科技大学陈国桢副教授审校。

在著写本书过程中，得到胡识渊、沈家骅工程师、张玉桂、朱文菁、晓刚等有关同志的大力协助，在此谨表衷心感谢。

目 次

绪论	1	一、冒口补缩研究与方法综述	156
一、铸件质量与浇冒口设计	1	(一) 补缩设计内容和研究进程	156
二、充补系统技术动态	1	(二) 冒口计算方法综述	158
第一章 浇注系统与充型金属液流	3	二、铸铁件常用冒口设计与实践	173
一、浇注系统组成作用与要求	3	(一) 冒口设计	173
(一) 浇口杯与直浇道	4	(二) 补缩强化实践	201
(二) 横浇道、内浇道与节流道	15	第五章 典型浇冒口工艺与实例	218
二、金属液在型腔中流动	25	一、简单形体铸件	219
(一) 充型能力影响因素	25	(一) 板、棒、厚实体与轴类	219
(二) 几种形体铸件的充型举例	26	(二) 简单回转体 (环、筒、缸、管、轮、盘、锅等)	230
第二章 浇注系统设计	33	二、复杂与特殊要求的铸件	250
一、浇注系统断面积的计算	33	(一) 机床铸件	250
(一) 断面积计算原理	33	(二) 有特殊工艺要求的铸件	261
(二) 经验式表格与算图	67	第六章 测试技术与电子计算机应用	267
二、浇注系统设计方法	97	一、充型与补缩的测试技术	267
(一) 常用浇注系统设计	97	(一) 液流充型实验方法	267
(二) 有特殊工艺要求的浇注系统	124	(二) 凝固与补缩的测试手段	275
第三章 铸铁凝固时体积变化与补缩	130	二、电子计算机在浇冒口系统中应用	279
一、凝固时体积变化	130	(一) 缩孔预测与冒口计算	279
(一) 基本概念	130	(二) 计算机在浇注系统和充型过程中的应用	284
(二) 凝固时体积变化	132	(三) 计算机综合运算浇冒口	286
二、补缩作用与受补条件	137	主要参考文献	288
(一) 基本概念	137		
(二) 补缩基本观点与受补条件	154		
第四章 冒口补缩设计与实践	156		

绪 论

一、铸件质量与浇冒口设计

(一) 铸件质量的保证

铸铁具有良好的综合性能和经济性，被广泛地应用于机械、冶金、汽车、纺织、制管和电力等许多工业中。铸件质量，特别是内在质量和性能，例如组织结构、材质均匀和整体的健全性等，除选材外，还取决于铸造工艺技术的正确和合理。

良好的充型和补缩工艺，对防止冷隔、冲砂、夹砂、非金属夹杂及气孔、缩孔、缩松、变形裂纹等铸造缺陷的产生，使铸件达到应有的完整性和健全性起到了重要的作用。

(二) 浇冒口系统设计准则

充型和补缩的整个过程都是一种“金属流动”。通过浇口，铁水由浇包转入型腔，称金属液的“一次流动”或称“一次流”。而补缩冒口向冷却着的铸件进行输送或反馈铁液则是金属液的“二次流动”或称“二次流”。它们仅在条件上、形式上和程度上有所差异。“一次流”主要是具有一定过热度的单相液体，依靠重力、外来作用力，向型腔作大流率的流股式的充型运动。“二次流”则是在过热度以下范围内，铸件产生液态或凝固时期的体收缩时，冒口的金属液沿着枝晶沟槽，以极小的流率（仅为“一次流”的百分之几）产生正向或逆向蠕动。在某些工艺条件下，浇冒口单独设置也可兼起充液和补缩的双重作用。如垂直串铸的直浇道起冒口作用，水平串铸的冒口，可起浇口作用，即都可能单独而又相继完成“一次流”和“二次流”。因此，浇口和冒口在铸造工艺中关系极为密切，很有必要放在一起讨论，并可把它们称作为铸件的充型补缩系统，或简称“充补系统”。有关充补系统的设计和工艺技术，简称“充补技术”。

浇冒口系统设计，实质上就是要达到高质量的“一次流”和正确地控制好“二次流”，以良好充型和补缩工艺，求得铸件最大的完整和健全，保证铸件质量。

高质量的“一次流”是指充型过程中能避免吸气和冲砂，以最少的铁水紊流流动，求得铸件的完整性。正确控制“二次流”是指用正确的工艺手段，掌握温度场，控制凝固时体积变化和顺序，有效地完成铸件凝固过程中的补缩，以达到铸件的健全。

二、充补系统技术动态

(一) 国外发展概况

众所周知，20年代迪台尔（H. W. Diefert）是研究浇注系统的创始人，但尚未用水力学规律来分析金属液的流动。直到30年代末德国人奥赞（Osann）开始采用水力学原理。

40和50年代间是世界上研究浇注系统实用化最丰富的时期。与此同时，赫沃利诺夫（Chvorinov）凝固模数理论通过沃劳德瓦（Wlodawer）的具体化，使之成为实用。

60年代后，以卡赛（K. I. Korsay）为代表的共晶石墨膨胀控制理论在浇冒口系统设计

领域中的应用,推动了充补技术的发展;借鉴各种实验和模拟手段,观察液流状态和特点,探索凝固体积变化,并与基础理论、新兴技术相结合,进行详细周密的分析以揭示工艺过程的内在规律。特别是电子计算机技术飞速发展,微机和相应软件商品化,为浇冒口方程求解、数学物理模型复杂逻辑运算和工艺最优化设计开辟了道路。

为进一步提高某些铸造合金性能,在充补技术领域中还出现许多新兴技术和先进工艺。如CLA法,可在低温吸铸条件下,获得净化作用好、致密度高的超薄铸件;用固—液混合,经强烈搅拌形成“冰激凌”浆料后,铸造成形的流变工艺和添加外来核心的悬浮浇注技术,对加快冷却速度,细化晶粒和减少缩孔倾向有显著成效;采取高于一般砂型凝固速度($10^{-3}-10^{\circ}\text{C}/\text{s}$)或金属型凝固速度($10^2\text{C}/\text{s}$)的超速凝固工艺,可大大减少铸件偏析和缩松,获得细晶粒的优质铸件。

在测试技术方面,英国的x射线荧光电视及电子扫描;联邦德国的声发射分析(SEA)、观察浇注和凝固过程;丹麦的耐高温透明石英充型状态模型和高速摄影技术;罗马尼亚的微分热分析系统装置(DFASV)可自动绘制出凝固试样的温度冷却曲线、微分热分析曲线和尺寸变化曲线图像及密西根大学的浮标式缩孔自动计量装置等等。这些测试技术的发展,使我们能更深刻更详尽地了解工艺过程所发生的真实情况,加速充补技术达到进一步的科学化。

(二) 我国现有水平

我国广大铸造工作者,在充补系统方面创造了许多宝贵的经验和独特的研究成果,特别是在近几年中,取得了更大的进展。如在浇注系统方面,用水力模型研究充型状态、渣流规律;观察分析浇注系统组元功能和断面间关系;测定流量损失。除此之外,在浇注过程中,还采用铁水过滤工艺等等。在冒口补缩工艺方面,应用模数法和控制石墨膨胀作为铸铁件冒口设计的重要原则和方法依据。压边浇冒口工艺在我国得到运用和发展,并已相当普遍。保温冒口研究成果对节能具有重要意义。在铸件凝固方面,电子计算机数字模拟取得初步成效,为真正用于指导生产,改变过去那种“技艺式”和“经验型”生产方式迈出可喜的一步。

第一章 浇注系统与充型金属液流

一、浇注系统组元作用与要求

广义上讲,浇注系统应包括从浇包开始,直至流进铸型的一切组元。它由外浇注系统和内浇注系统组成(图 1-1)。浇包和附属的引流装置等组成外浇注系统。浇口杯、直浇道、横浇道、内浇道、型内补充浇道、节流道和集渣、挡渣、滤渣等装置组成内浇注系统。

近年来,由于型内球化和孕育工艺的发展,在内浇注系统中又增添反应室等组元。此外,还有“浇冒合一”兼起充型和补缩作用的充补“一元化”系统。

浇注系统总的作用和要求是:不仅能平稳、准确地、合时地把浇包中铁水输送到铸型中去,还应使液流通过各组元时所产生的紊流、吸气和氧化等不利作用降到最低限度,并能撇渣、存渣和滤渣,协同补缩系统控制有利的温度分布。此外,还须操作简便、省料和易于清除。

研究金属液在浇注系统中流动的目的,就是为了达到上述作用与要求,以及如何正确地进行各组元的设计和应用。

一般是根据流体力学中的伯努利方程进行浇注系统的计算,即

$$\begin{aligned} Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} &= Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h w_{1-2} \\ &= \dots = Z_i + \frac{P_i}{\gamma} + \frac{\alpha_i v_i^2}{2g} + h w_{1-i} = \text{常数} \end{aligned} \quad (1-1)$$

式中 $Z_1, \dots, Z_i$ ——位于基准面上不同过流断面处的几何压头 (m);

$\frac{P_1}{\gamma}, \dots, \frac{P_i}{\gamma}$ ——不同过流断面的静压头 (m);

γ ——流体重度 (N/m^3), $\gamma = \rho g$ (ρ —密度 kg/m^3);

$P_1, \dots, P_i$ ——不同过流断面的静压力 (N/m^2);

$\frac{\alpha_1 v_1^2}{2g}, \dots, \frac{\alpha_i v_i^2}{2g}$ ——不同过流断面的速度头 (m);

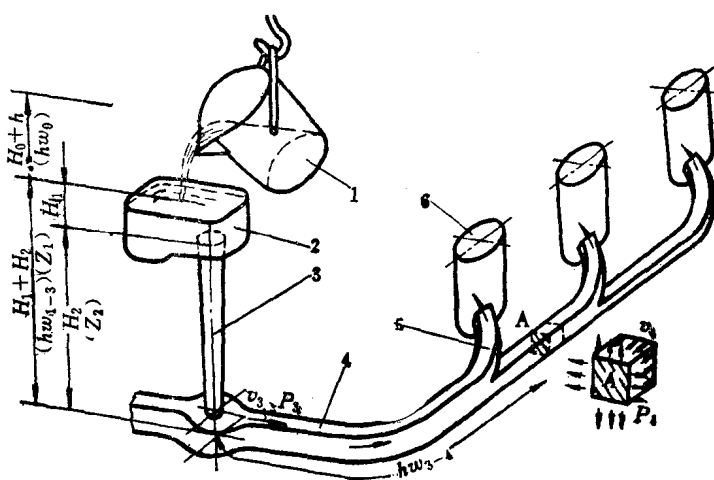


图1-1 浇注系统基本组成

1—浇包 2—浇口杯 3—直浇道 4—横浇道 5—内浇道 6—冒口

$v_1, \dots, v_4$ ——位于 1 至 4 断面的液体流速 (m/s);

g ——重力加速度 (9.8 m/s^2);

$\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_4$ ——各断面处液体流速分布均匀系数。应用在浇注系统用平均流速计算时可取 $\alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_4 = 1$;

hw_{1-4} ——由断面 1 至断面 4 的总水力沿程损失 (m)。

若把图 1-1 直浇道 3 底部或横浇道 4 作为分析问题的基准面时, 金属液流经各断面的几何压头、静压力和流速分别表示为: 浇口杯液面 Z_1 、 P_1 、 v_1 ; 直浇道上口 (浇口杯出口) Z_2 、 P_2 、 v_2 ; 直浇道底部 Z_3 、 P_3 、 v_3 ; 横浇道某断面 Z_4 、 P_4 、 v_4 。其中几何压头 $Z_1 = H_1 + H_2$; $Z_2 = H_2$; $Z_3 = 0$; $Z_4 = 0$ 。

(一) 浇口杯与直浇道

1. 浇口杯

浇口杯的功能是接纳和缓冲来自浇包中具有较高动能的液流, 预防金属液流出时混渣和卷气, 提供必要的恒定势能, 并由此将铁水平稳、连续和准确地转入直浇道或下一组元。

(1) 原理及应用

1) “跌落”与缓流

一般情况下, 铸铁采用转包浇注。如图 1-2 所示, 液流从浇包嘴 (0—0 断面) 流出, 冲击浇口杯液面 I—I 断面。为求出液流冲击力的大小, 以浇口杯上沿流股未到达 I—I 断面之前某断面 I'—I' 为基准面, 写出伯努利方程式

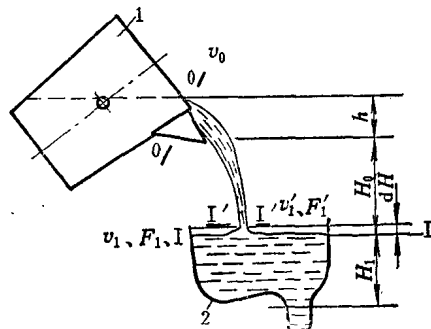


图1-2 浇注时“跌落”现象

1—浇包 2—浇口杯

$$Z_0 + \frac{P_0}{\gamma} + \frac{v_0^2}{2g} = Z'_1 + \frac{P'_1}{\gamma} + \frac{v_1'^2}{2g} + hw_{0-1'} \quad (1-2)$$

由于 $Z_0 = H_0 + h$; $Z'_1 = 0$; $P_0 = P'_1 =$ 大气压压强 (101325 Pa); 空气阻力略, 故 $hw_{0-1'} = 0$, 式 (1-2) 可化简为

$$\frac{v_1'^2}{2g} - \frac{v_0^2}{2g} = H_0 + h \quad (1-3)$$

设金属液从包嘴流出的速度 $v_0 \approx 0$, 则式 (1-3) 可写为:

$$v_1' = \sqrt{2g(H_0 + h)} \quad (1-4)$$

式 (1-4) 表明, 浇注时液流冲击浇口杯液面之前的瞬间, 要比刚从浇包流出时具有较高的动能。浇包位置越高, 冲击前的瞬间的液流动能就越大, 此现象在水力学上称为“跌落”或“跌水”。

由于浇口杯上沿 I'—I' 断面同液面 (I—I 断面) 之间的高度 $dH \approx 0$, 故可以认为液流冲击液面时速度即为 v_1' 。

液流柱的重力 mg 对液面 I—I 的冲击力的压强为

$$P = \xi \frac{mg}{F_1} = \xi \frac{v_1' F_1 \rho t g}{F_1} \quad (1-5)$$

式中 P ——液流冲击力的压强 (N/m^2);

ξ ——能量吸收系数 (< 1);

m ——液流柱质量 (kg);

g ——重力加速度 (9.8 m/s^2);

F_1 ——浇口杯液面 I—I 断面积 (m^2);

F'_1 ——流股在 I'—I' 处断面积 (m^2);

ρ ——密度 (kg/m^3);

t ——流出时间 (s)。

$$t = \sqrt{2(H_0 + h)/g} \quad (1-6)$$

将式 (1-4) 中 v'_1 和式 (1-6) 中 t 值代入式 (1-5) 化简后

$$P = 2\xi \frac{F'_1}{F_1} \rho g(H_0 + h) \quad (1-7)$$

故在浇口杯液面 I—I 上除大气压压强外, 还有因来自浇包铁水流股动能所转换的压力能, 相应于该压力能的压头 ΔH 为

$$\Delta H = \frac{P}{\rho g} = 2\xi \frac{F'_1}{F_1} (H_0 + h) \quad (1-8)$$

浇注过程中因铁水包位置、液流流股大小的改变, ΔH 实际上是一个波动值。要求铁水在稳定压头下进行浇注, 即浇口杯提供恒定的浇注势能, 就必须对 F'_1 和 $(H_0 + h)$ 进行控制。不同浇包容量、浇注高度 $(H_0 + h)$ 和流股断面 (F'_1) 间的相互关系和数据见表 1-1。

表 1-1 浇注时浇包高度 $(H_0 + h)$ 与流股断面 F'_1 、直径 d 的关系

浇包容量 (浇注速率)	流股断面、直径	$(H_0 + h)$ (mm)							
		50	100	150	200	250	300	350	400
25kg 勺包 (1.9~5.1kg/s)	F'_1	2.73~7.37	1.93~5.2	1.5~4.2	1.36~3.7	1.2~3.3	—	—	—
	d	$\phi 18.6 \sim 30.6$	$\phi 15.7 \sim 25.7$	$\phi 13.8 \sim 23$	$\phi 13.2 \sim 21.7$	$\phi 12.4 \sim 20.5$	—	—	—
拾包 (60~70kg) (3.5~6.5kg/s)	F'_1	5.05~9.4	3.57~6.64	2.92~5.42	2.53~4.7	2.26~4.2	2.06~3.84	1.91~3.55	1.79~3.32
	d	$\phi 25.4 \sim 34.6$	$\phi 21.3 \sim 29$	$\phi 19.3 \sim 26.3$	$\phi 18 \sim 24.5$	$\phi 17 \sim 23$	$\phi 16.2 \sim 22.1$	$\phi 16 \sim 21.3$	$\phi 15.1 \sim 20.6$
1 t 转包 (5.2~12.6kg/s)	F'_1	7.5~18.2	5.29~12.9	4.3~10.5	3.74~9.1	3.34~8.13	3.05~7.42	2.82~6.87	2.6~6.43
	d	$\phi 31 \sim 48.14$	$\phi 26 \sim 40.5$	$\phi 23.4 \sim 36.6$	$\phi 21.8 \sim 34$	$\phi 20.6 \sim 32.2$	$\phi 19.7 \sim 30.74$	$\phi 18.95 \sim 29.6$	$\phi 18.2 \sim 28.6$

注 1. F'_1 是浇注流股到达浇口杯液面瞬间时的断面积 (cm^2);

2. d 是断面积 F'_1 换算为当量直径的大小 (mm)。

但在浇注过程中, 因浇包中铁水量的改变, 高度 $H_0 + h$ 在不断地调节, 液流流股断面大小亦较难准确控制, 因此稳定压头, 减少液面波动的稳妥办法是增大浇口杯受液面 (F_1), 以减少流股对液面冲击、骚动、溢溅, 尽量将较大动能转为稳定势能。可以用加高杯口, 改变杯形的方法来达到缓流作用。如在垂直分型工艺中, 浇口杯可做成曲面形或扩底形。此外应使浇口杯金属消耗量最少。

2) 涡流的防止

铁水在浇口杯中形成一定高度的液面后, 因浇包液流流股具有较大动能, 对直浇道中心

的作用力产生偏斜,或因液面各部位能差异和随着熔液不断流入直浇道,容易导致杯中金属液形成水平涡流和垂直涡流。图 1-3 表示来自浇包液流的作用力矢量 $\vec{R}$, 它可分解为 $\vec{R}_1$ 和 $\vec{R}_2$, $\vec{R}_1$ 又可再分解为 $\vec{R}'_1$ 和 $\vec{R}''_1$

$$\vec{R} = \vec{R}'_1 + \vec{R}''_1 + \vec{R}_2 \quad (1-9)$$

式中 $\vec{R}''_1$ ——与直浇道中心 $O-O$ (奇点) 相距 S ,

构成力矩 $\vec{R}''_1 \cdot S$;

$\vec{R}'_1$ ——通过奇点, 力矩为零;

$\vec{R}_2$ ——作用方向垂直于液面, 在不同水平位置构成垂直力矩 $\vec{R}_2 \cdot S$ 。

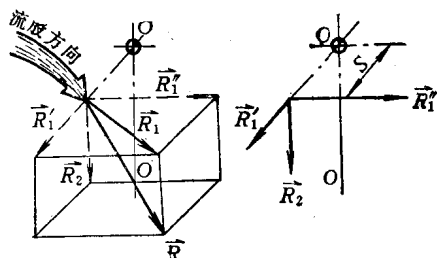


图1-3 浇注流股作用力

作用力 $\vec{R}_2$ 越大, 流速 v_1 亦越大, 如图 1-4 a 所示。当渣滓上浮速度 v_2 一定时, 合成速度 v_0 越趋向于下倾而延长渣滓上浮到液面的时间, 即不易上浮。反之, 通过上浮速度 $\vec{v}'_2$ 与 v_0 的再次合成, 容易产生上倾飘浮速度 v 。另外当直浇道中心距 S 一定时, $\vec{R}_2$ 越大, 形成垂直涡流的力矩 $\vec{R}_2 \cdot S$ 也越大, 渣滓越易裹挟于旋涡中心, 有利于上浮而不易随铁水进入直浇道。

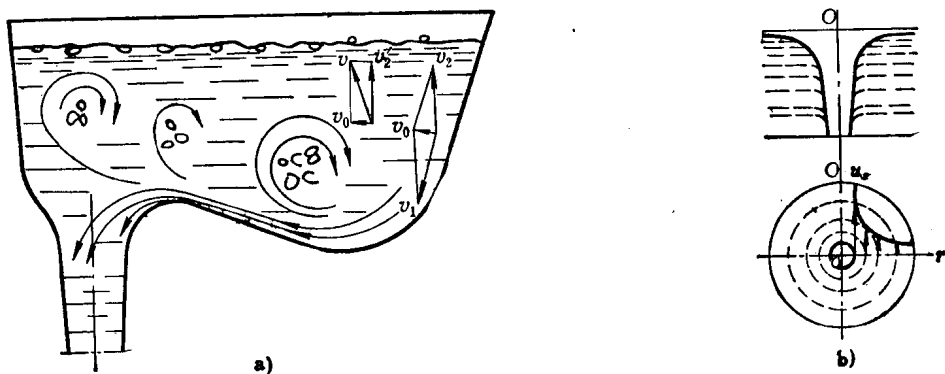


图1-4 垂直涡流与水平涡流

a) 垂直涡流 b) 水平涡流

作用力 $\vec{R}'_1$ 水平方向所产生的力矩 $R'_1 S$, 对存在一定粘度的实际液体——铁水产生速度, 形成环流 (图 1-4 b)。其切向速度 u_r 大小, 理论上与环流距出口中心 $O-O$ (奇点) 的半径 r 呈双曲线规律变化。越近中心 O , $r \rightarrow 0$ 则 $u_r \rightarrow \infty$, (即 $u_r \propto \frac{1}{r}$), 该处静压力就越小, 形成真空度, 在大气压作用下形成具有喇叭口形状的水平涡流, 通常称“水平涡流”。这种水力现象和浴盆放水相仿。当水面下降到一定高度, 在排放口上方就可观察到先形成水平涡流 (环流), 继而出现斜旋涡的现象。有时旋涡喇叭口不在出口正中 (图 1-5 a) 而偏向浇口杯侧壁 (图 1-5 b)。在双注口间距 S 之间处于涡流范围作用区。在这区内还会产生涡流串联 (图 1-5 c)。实践证明, 液面越浅, 直浇道直径越大, 浇包嘴离浇口杯越高, 就越易形成水平旋涡 (图 1-6)。

可以设想, 浇注时, 在直浇道上方产生这种现象, 铁水就容易卷入渣滓和空气, 进入直浇道和型腔, 造成铸件缺陷。为防止浇注时产生水平涡流, 应注意以下几方面:

① 浇口杯受液面与直浇道的断面比应足够大;

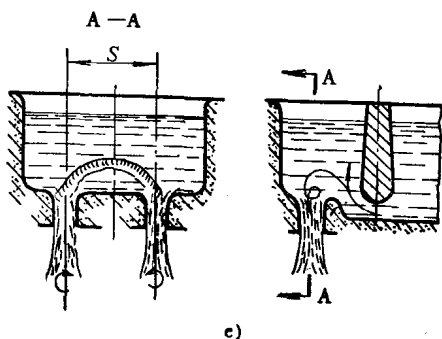
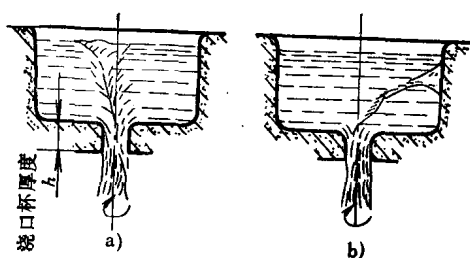


图1-5 池型浇口杯的斜旋涡

a、b) 单出口 c) 双出口

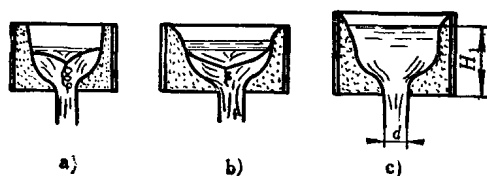


图1-6 水平涡流的影响因素

a、b、c) 漏斗型 d、e、f) 池型

$$40F_{\text{直}} \leq F_{\text{杯}} \leq 130F_{\text{直}} \quad (1-10)$$

式中 $F_{\text{直}}$ ——直浇道断面积；

$F_{\text{杯}}$ ——浇口杯水平横断面积。

② 保持浇包和浇口杯液面相距一定高度 (图 1-2)，推荐

$$(H_0 + h) \geq (5 \sim 10)d_{\text{直}} \quad (1-11)$$

式中 $(H_0 + h)$ ——浇注高度 (包嘴至浇口杯液面)；

$d_{\text{直}}$ ——直浇道直径。

③ 从浇口杯的形状和结构分析，为了阻碍水平涡流的产生，则方形断面优于圆形；出口位置宜偏离浇口杯断面几何中心；横断面形状，圆弧形优于漏斗形。流出口上方两侧设置翅板 8 (图 1-7 a)，与凸肩 (底坎) 9 和隔板 7 综合结构的池型浇口杯均能防止或降低环流切向速度 v_t ，从而避免和削弱水平涡流。

浇口杯内液面高度 H_1 (图 1-6) 据水模型测定， $H_1 \geq 3d$ 为宜 (d 为浇口杯流出孔直径)。一般生产用

$$H_1 = (2 \sim 2.5)d \quad (1-12)$$

3) 浇口杯挡渣

手工浇注借助一系列辅助手段能预防浇口杯流出铁水的混渣，但对渣量大 (如球墨铸铁等) 或流水线浇注，应据不同情况相应设置具有挡渣结构的浇口杯。如在靠近直浇道一边设置凸肩 (底坎)，使产生垂直方向的涡流，遮断出口，使渣浮起。如图 1-7 a 所示，当浇注液流 1 通过隔板 7 时，受凸肩 9 阻挡而急剧改变流向，致使渣滓 n_1 朝方向 2、3 上浮，按液流轨迹 4、5、6 将清洁铁水流出浇口杯。从以上分析，凸肩 9 的直角边应靠近隔板 7 的一侧。翅板 8 可有效地削弱水平旋涡。

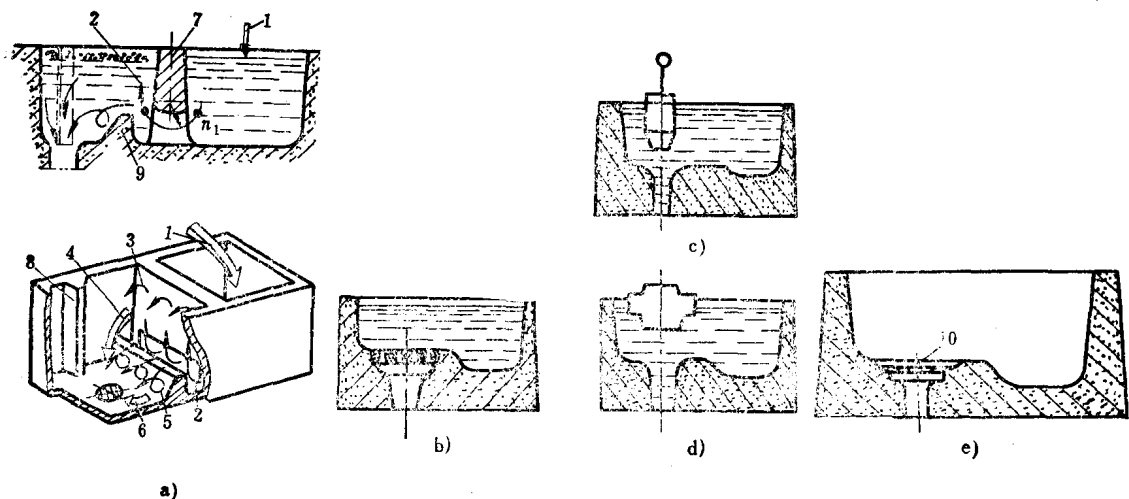


图1-7 撇渣池型浇口杯

a) 挡渣板—底坎 b) 滤网 c) 拔塞 d) 自浮塞 e) 延时式
 1—浇注液流 2—渣滓 (n_1 n_2) 3—渣流轨迹 4—液流 5、6—清洁铁水 7—隔板
 8—浇口杯翅板 9—浇口杯杯底凸肩 10—易熔金属片

用油砂或耐火粘土制成滤网 (图 1-7 b、1-8) 置于浇口杯下, 直浇道之上。在一般情况下, 对网孔来说, 渣子细小, 过网后断面突然扩大, 流速下降, 渣留在网下存渣槽 3 内。为了提高浇口杯挡渣效果和防止斜旋涡产生, 可用自浮塞、拔塞和延时式 (图 1-7 c、d、e) 浇口杯。延时式浇口杯是在出口搁置金属薄片 10, 待浇注金属到达一定高度时, 渣滓已充分上浮至液面区, 此时金属片自动熔穿进行充型。

为了减少初浇进渣的可能性和避免水平涡流, 需注意浇注方位。从图 1-9 浇注流线分析可知, 以纵向逆浇 a、d 最好, 侧向浇注 c、f 次之, 纵向顺浇 b、e 最差; 后者易形成水平涡流; 具有凸肩结构 d、e、f 比无凸肩 a、b、c 更有利于渣滓上浮。在浇注开始时, 一定要用大流股迅速充满浇口杯。当浇口杯内液面达到足够的高度后, 改用小流股以保持液面高度。对于池型浇口杯, 开始浇注时流股不应直冲直浇道中心。为达到上述目的, 试制工艺、造型合箱, 必须事先考虑好浇口杯和浇包间应留有适当的空间位置, 以方便操作。

4) 浇口杯液流出口形状

液流形状如图 1-10 a 所示。按水力学原理, 由圆管流出时的局部水头损失与流速成平方正比关系

$$h_f = \xi' \frac{v^2}{2g} \quad (1-13)$$

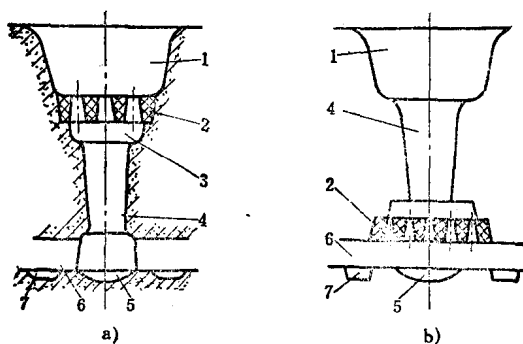


图1-8 滤网漏斗形浇口杯与直浇道

a) 杯底滤网 b) 直浇道下端滤网
 1—浇口杯 2—滤网 3—存渣槽 4—直浇道
 5—直浇道底 6—横浇道 7—内浇道

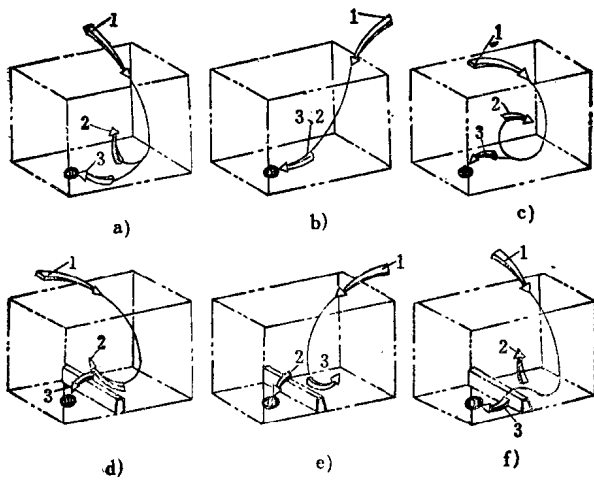


图1-9 浇注方位与底坎撒渣

a、b、c) 无底坎 d、e、f) 有底坎 a、
d) 纵向逆浇 b、e) 纵向顺浇 c、f) 侧向浇注
1—带渣液流 2—渣滓 3—清除铁水

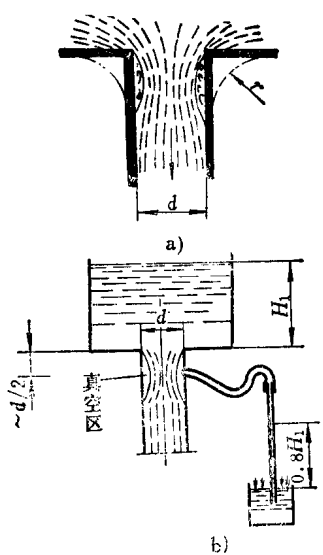


图1-10 浇口杯液流出口

a) 液流出口形状 b) 出口真空区

式中 h_j ——局部水头损失 (m);
 ξ' ——局部损失系数;
 v ——液体流动速度 (m/s);
 g ——重力加速度 (9.8 m/s^2).

事实证明出口圆角 r 对 ξ' 值影响很大。当采用不同的 $r:d$ 值时, 得到以下结果:

无圆角 $r/d = 0$, $\xi' = 0.5$; 稍有圆角, $\xi' = 0.2 \sim 0.25$; $r/d \geq 0.15$, $\xi' = 0.1$; 进一步加大 r/d 值, $\xi' = 0.05$ 。推荐

$$r \geq \left(\frac{1}{2} \sim \frac{1}{4} \right) d \quad (1-14)$$

合理的出口圆角可减少液流的压头损失和防止砂型尖角冲落, 保持较高的充型能力及预防浇不足等铸造缺陷的产生。

浇口杯出口厚度 (图 1-5 a) h 不能太小, 否则浇口杯和上砂型交界面的间隙会正处于图 1-10 b 所示的真空区中, 将会更易于吸入空气, 故推荐

$$h \geq d \quad (1-15)$$

(2) 浇口杯类型 (见下表)

浇口杯	漏斗型	锥型	{ 正锥形 斜锥形
		防溢型 (垂直分型)	{ 曲面形 扩底形
	池型	一般盆型 (双、单出口)	{ 长方形 圆弧形
		附挡渣设施	{ 挡渣板、滤网 拔塞 自浮塞 延时式

2. 直浇道

直浇道是形成液流所需的充型压头,并将充型压头转为动能的主要组元。直浇道把来自浇口杯的金属液流,控制在一定速度之下,经横浇道、内浇道等组元进入型腔。在这一过程中,要使涡流、吸气为最小,并有利于在横浇道内分离夹杂物。

(1) 作用原理

1) 铁水吸气分析

如图 1-11 所示,把铁水看作非压缩性液体,在稳定流时,由直浇道任一断面 x 和其底部出口断面 III—III 写出伯努利方程式(参考公式 1-1)

$$H_x + \frac{P_x}{\gamma} + \frac{v_x^2}{2g} = 0 + \frac{P_s}{\gamma} + \frac{v_s^2}{2g} + h_{w_{x-III}} \quad (1-16)$$

假设直浇道是等断面, $F_2 = F_x = F_s$, 则 $v_x = v_s$, 出口 III—III 与大气相通, $P_s = P_{atm}$ (大气压强), 式(1-16)可简化为

$$\frac{P_s - P_x}{\gamma} = H_x - h_{w_{x-III}} \quad (1-17)$$

$$h_{w_{x-III}} = \lambda \frac{H_x}{d} \cdot \frac{v_x^2}{2g} \quad (1-18)$$

式中 d ——直浇道直径;

v_x ——流速;

λ ——阻力系数。

当雷诺数 $Re = 4000 \sim 15000$ 时(通常浇注液流状况), $\lambda = 0.0403 \sim 0.0276$, 故 $h_{w_{x-III}}$ 项数值很小,可忽略不计,式(1-17)可改写为: $\frac{P_s - P_x}{\gamma} = H_x$ 或 $\frac{P_s - P_x}{\gamma} > 0$, $P_s > P_x$ 。因出口 III—III 处于明流,故 $P_s = P_{atm}$ (大气压强), $P_x < P_{atm}$ 。直浇道任一断面液流内部的静压力都小于大气压强,也就是说任一断面液流内部存在着一定的真空度,成为负压液流。随 H_x 提高,直浇道任一断面液流内部的真空度也随着增大。浇口杯出口处 II—II——直浇道上口处液流内部的真空度趋于最大。浇注时,空气可以通过砂型侵入金属负压液流中而进入型腔。防止金属液吸气可加大式(1-17)中的 v_s 和阻力项 $h_{w_{x-III}}$ 。如用上大下小的直浇道,使 $v_s > v_x$, 即使 $\frac{v_x^2 - v_s^2}{2g}$ 项负值增大;设置多层次浇注系统组元结构;改变直浇道形状;建立节流组元;装底部滤网等造成 $P_x > P_s$ 或 $P_s > P_{atm}$ 的条件,即使是机器造型只允许直浇道上小下大时,亦可避免和预防吸气。

2) 出口流速及型线

图 1-11 浇口杯断面 I—I 对出口 III—III 而言,若 III—III 处于大气压,又不计沿程损失,伯努利方程为

$$(H_1 + H_2) + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = 0 + \frac{P_s}{\gamma} + \frac{v_s^2}{2g} \quad (1-19)$$

据式(1-8)浇口杯液面区压头增量 $\Delta H = \frac{P_1}{\rho g} = \frac{P_1}{\gamma} = 2.5' \frac{F_1'}{F_1} (H_0 + h)$

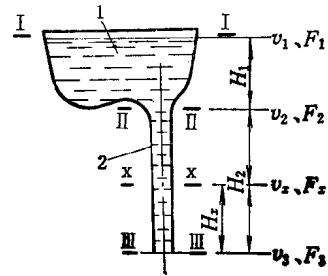


图1-11 直浇道吸气分析
1—浇口杯 2—直浇道

⊖ 雷诺数可参阅本书第六章。

$P_2 = P_{atm} = 0$ 又 $v_1 = 0$ 则

$$v_2 = \sqrt{2g} \sqrt{(H_1 + H_2) + 2\xi \frac{F'_1}{F_1} (H_0 + h)} \quad (1-20)$$

式 (1-20) 表示了直浇道出口流速不仅与浇口杯液面高度 ($H_1 + H_2$)、浇注高度 ($H_0 + h$) 有关, 而且和流股与浇口杯的断面比 (F'_1/F_1) 有关。直浇道出口流速由于 ΔH 的作用, 比静压所产生的理论流速 $v'_2 = \sqrt{2g(H_1 + H_2)}$ 多一个增量, 即 $v_2 = \sqrt{2g(H_1 + H_2 + \Delta H)}$ 。

若取 $\xi = 0.5$, $F'_1/F_1 = 1$ (如漏底包—浇斗), ($H_0 + h$) 值从 $\left(\frac{H_1 + H_2}{10}\right)$ 到 ($H_1 + H_2$), 则出口流速 $v_2 = (1.0488 \sim 1.414)v'_2$ 。

若用转包浇注, 取 $F'_1/F_1 = 1/5$, $v_2 = (1.00995 \sim 1.09545)v'_2$ 。这说明自由液流对浇口杯液面的冲击, 全部消耗了 I'—I' 断面处的流股动能, 故 $v_2 \approx v'_2$, 或 $\Delta H \approx 0$ 。在计算转包浇注的浇注系统时, 一般按后一原则。

关于直浇道型线和断面, 应与断面的体积流率 (q) (m^3/s) 和重力加速度 (g) 有关。当浇口杯液流进入直浇道时, 因 g 使流速不断增值, 而 q 值保持常量

$$F_2 \cdot v_2 = F_3 \cdot v_3 \quad (1-21)$$

式中 F_2 、 v_2 ——直浇道上口断面积和液体流速;

F_3 、 v_3 ——直浇道下口断面积和液体流速。

$$\text{又} \quad \frac{F_2}{F_3} = \sqrt{\frac{2g(H_1 + H_2)}{2gH_1}} = \sqrt{\frac{H_1 + H_2}{H_1}} \quad (1-22)$$

$$\text{直浇道为圆断面时} \quad d_2 = d_3 \sqrt{\frac{H_1}{H_1 + H_2}} \quad (1-23)$$

$$\text{直浇道为方断面时} \quad a_2 = a_3 \sqrt{\frac{H_1}{H_1 + H_2}} \quad (1-24)$$

式中 d_2 、 d_3 ——直浇道上、下口直径;

a_2 、 a_3 ——方形直浇道上下断面边长。

直浇道如果按“自由下落”四次抛物线设计型线, 使液流成为等压液流, 即液流每个断面的静压力都等于大气压力, 这样可取得最小的吸气条件。直浇道型线可简化成 $1/20 \sim 1/100$ 的圆锥型线。

从流速损失或流量损失方面考虑, 直浇道断面以圆形最好 ($q_3/q_2 = 87.8\%$), 方形次之 ($q_3/q_2 = 74.5\%$), 长方形最差 ($q_3/q_2 = 72.6\%$), 但从防止涡流考虑, 用方形优于圆形。

3) 渣流分析

若是稳定流, 根据渣滓上浮力与上浮阻力相平衡条件, 可得临界上浮速度

$$F = V(\rho_{\text{金}} - \rho_{\text{渣}})g \quad (1-25)$$

式中 F ——渣子上浮力 (N);

V ——渣粒体积, 假定渣粒是球形 $V = \frac{4}{3}\pi r^3 (m^3)$;

$\rho_{\text{金}}$ 、 $\rho_{\text{渣}}$ ——液体金属、渣滓的密度 (kg/m^3);

g ——重力加速度 ($9.8 m/s^2$)。

$$\text{又} \quad R = CS\rho_{\text{金}} \frac{v^2}{2} \quad (1-26)$$

式中 R ——上浮阻力 (N);

S ——渣粒在上浮方向的投影面积, 渣粒为球形时 $S = \pi r^2 (\text{m}^2)$;

v ——渣粒上浮速度 (m/s);

C ——阻力系数, 与液流的雷诺数 R_e 有关。

当 $R_e = 3.2 \times 10^3$ 时, $C = 0.44$; $R_e = 10^4 \sim 10^5$, $C = 0.42 \sim 0.49$ 。

令 $F = R$, 即式 (1-25) 与式 (1-26) 相等, 化简后

$$v_0 = \sqrt{\frac{8gr}{3C} \cdot \frac{(\rho_{\text{金}} - \rho_{\text{渣}})}{\rho_{\text{金}}}} = \sqrt{\frac{4gd}{3C} \cdot \frac{(\rho_{\text{金}} - \rho_{\text{渣}})}{\rho_{\text{金}}}} \quad (\text{m/s}) \quad (1-27)$$

上式称牛顿公式。

式中 v_0 ——渣粒临界上升速度, 即直浇道中渣粒悬浮速度 (m/s);

d ——渣粒直径 ($d = 2r$), 有效范围 $d > 0.00134 \text{ m}$;

g ——重力加速度 (9.8 m/s^2);

C —— $0.44 (R_e = 3.2 \times 10^3)$ 。

故

$$v_0 = 5.45 \sqrt{\frac{d(\rho_{\text{金}} - \rho_{\text{渣}})}{\rho_{\text{金}}}} \quad (1-28)$$

$\rho_{\text{金}}$ 、 $\rho_{\text{渣}}$ 值可从表 (1-2) 查取。

表1-2 铁水及其氧化夹杂物等密度 ($\text{kg/m}^3 \times 10^3$)

名 称	密 度	名 称	密 度
灰铸铁 (1250°C)		MnO	5.45
(C: 3.1%, Si: 1.69%, Mn:	6.92	MnS	3.99
0.48%, P: 0.035%, S: 0.04%)		TiO ₂	3.8
FeO	5.7	SiO ₂	2.28~2.61
Fe ₃ O ₄	5.18	Cr ₂ O ₃	5.21
Fe ₂ O ₃	5.24	CaO	3.37
Fe ₂ SiO ₄	4.34	石墨	2.25

一般灰铸铁比孕育铸铁渣滓含量高, 除有 MnS 渣团外, 还含有 SiO₂、MnO。球墨铸铁含数量较大的 MgO、CaO 分散颗粒。灰铸铁的渣粒则较微细。

直浇道中的渣滓上浮方向与液流方向相反, 因此, 很难利用直浇道挡渣。在生产中, 主要是利用浇口杯和横浇道挡渣。

(2) 直浇道底部结构 (图 1-12)

底部带有凹坑的窝座使铁水冲向直浇道底部时方向急速改变, 在该处液流存在着负加速度和能量损失, 使铁水较平稳地进入横浇道。从表 1-3 的流量、流速损失考虑, 以 B 型最好, 从压头损失方面考虑, 以 D 型最好。

图 1-12 a、b 是平底式, 底圆要足够大, 有较大的吸收动能的能力, 并使铁水平稳地转入横浇道。一般 $\phi = 2.5B$ (B —横浇道宽)。底部稍加厚的 a 比 b 好。c、d、e 是井底式。单向直浇道窝底直径 $\phi = 2B$, 加厚大小为 $w/2$ (w —横浇道高); 带有横浇道节流道时, 位于分型面上下各为 w ; 中央直浇道井底面积 $= 5F$, (F —直浇道底面积) 加厚大小为横浇道高 A 。窝座在结构上应有转角半径。