

轻合金铸件浇注系统

[苏] H.M. 卡尔金 著

国防工业出版社

内 容 简 介

本书讨论了在金属型、砂型和壳型中浇铸轻合金（铝合金和镁合金）铸件的浇注系统设计和计算问题；援引了计算所必需的资料以及用来选择适用于各类铸件的铸型充填过程参数；阐述了浇注系统的基本作用 and 设计原则。

本书可供从事铸造生产的工程技术人员参考。

ЛИТНИКОВЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОТЛИВОК ИЗ ЛЕГКИХ СПЛАВОВ

Н. М. Гадия

Москва «Машиностроение» 1978

*

轻 合 金 铸 件 浇 注 系 统

〔苏〕 Н. М. 卡尔金 著

王 乐 仪 译

*

国防工业出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

河北涿中印刷厂印装

*

850×1168¹/₃₂ 印张 6⁵/₈ 164 千字

1982年12月第一版 1982年12月第一次印刷 印数：0,001— 3,200册

统一书号：15034·2426 定价：0.85元

译者的话

《轻合金铸件浇注系统》一书综合了作者多年研究的成果和苏联国内许多工厂铸造生产的经验，是讨论轻合金浇注系统设计和计算的一本科技书籍。

本书阐述了设计和计算扩张式浇注系统的基本理论，援引了许多理论和实验资料，叙述了轻合金砂型、金属型、壳型铸造浇注系统的设计特点和计算方法，提供了一些设计和计算实例。

译者认为，将本书译成中文在国内出版，有助于我国铸造工程技术人员在实践中了解金属液充填铸型过程中所发生的物理现象，便于应用理论和实验的资料来设计和计算轻合金铸件的浇注系统。本书对轻合金铸造实践具有较高的参考价值，同时，它也可作为铸造专业师生的教学参考书。

在翻译本书的过程中，承西北工业大学副教授付恒志和张延威审阅全书译稿，并提出了不少修改意见，在此谨致热忱的谢意。

由于译者水平不高，书中难免有错误和缺点，衷心希望读者批评指正。

译者

序 言

在科学的基础上研究浇注系统开始于 1928~1930 年,当时为了阐明在浇道中发生的物理现象,曾使用透明的模型,而理论和实验的工作则是在利用水力学装置的基础上进行的^[56]。苏联和国外学者的研究证明,液态金属在浇道中的流动过程遵循水力学的一般原理,并可利用这种已建立的规律性来设计和计算所有铸造合金的浇注系统。

长期的工厂经验表明,如果在考虑到所有液态合金固有的水力学普遍规律的同时,还考虑到它们的特殊性能的话,那末在充填铸型时可得到令人满意的结果,并获得优质铸件。轻合金性能的特点是密度较小、氧化性和起沫性较强,这些性能影响铸型充填的过程。

在掌握轻合金成形铸造的最初年代(三十年代)里,铸造工作者深信,在黑色合金铸造中广泛使用的浇道横截面积依次减小的收缩式浇注系统结构不能保证得到高质量的轻合金铸件。有色铸造车间和工段创立和应用的扩张式浇注系统,与收缩式浇注系统不同,它能保证液流的速度从直浇道到型腔的方向上依次减小,并使液流不发生涡流现象,以层流状态平稳地流入铸型。

综合了工厂的经验以及在 A. A. 鲍夫查尔院士领导下专门在透明模型上建立的试验结果以后, E. M. 诺特金首先建立了轻合金铸件扩张式浇注系统的设计原则及其应用的科学基础^[45]。

为了阐明轻合金在扩张式浇注系统中流动的物理现象、揭示热学的和水力学的规律性,以及为了改善浇注系统的结构,苏联和国外的铸造工作者应用模拟方法并在真实条件下做了一系列的实验。浇注系统的设计原则和在许多工业部门已采用的新的设计

方法, 获得了进一步的发展和论证。

因此, 扩张式浇注系统在轻合金铸造^[1, 39, 72, 93]、易起泡沫的重有色合金铸造^[91, 94]以及在制造具有重要用途的钢铸件^[10, 97]和铁铸件^[35, 102]方面开始得到了普遍的应用。

从历史上形成的情况看, 浇注系统水力学的大部分实验工作都是在黑色合金、特别是铁铸件所采用的结构上完成的^[57], 但是, 正如上面所表明的, 在设计和计算轻合金浇注系统时, 同样能成功地应用某些已建立的规律和原理。

本书致力于讨论扩张式浇注系统的设计和计算问题, 书中所讨论的主要内容是作者的研究成果以及生产成形铸件时设计和应用浇注系统的长期经验。本书的内容除了作者本人进行的工作外, 还利用了许多苏联和国外研究者的工作成果以及国内工厂的先进成就。

书中主要章节的内容及编写顺序服从于下列任务:

第一, 探索铸件缺陷与充填铸型时金属液流动现象之间的相互联系, 并在此基础上阐明浇注系统的基本作用和结构原则。

第二, 在有关篇幅中引用了一定数量的理论和实验的资料, 这些资料或是设计浇注系统所必需的, 或是没有这些资料就难于解释铸型充填过程的物理现象。

第三, 正确的浇注系统(用它可获得优质铸件)与它的全部基本单元都有关系, 从这一点出发, 除了尽可能详细说明整个浇注系统的选择、设计和计算外, 还要详细说明浇注系统各个基本单元的选择、设计和计算, 而限于仅仅计算浇注系统的最小截面以及选择各单元之间横截面积的比例, 后一种情况在文献中可经常遇到。

作者处理本书内容的出发点是, 使铸造工程技术人员能获得最好的效果, 他们一方面应能深刻了解金属液充填铸型时所发生的物理现象, 另一方面还要善于合理地完成他们所担任的技术任务, 即创造性地应用理论和实验的资料(不仅是本书所引入的)

来详细计算每一具体铸件的浇注系统。同时，需要指出，这样的处理方法主要在撰写第一章时遇到了一定的困难。

问题的实质在于，在技术发展的现阶段，计算浇注系统的工程方法需要有很多铸型充填过程的参数，其中多数数据可用实验方法取得，或在存有固定不变的实验数值（列在计算公式中）的情况下用计算方法得到。遗憾的是，目前还缺乏某些数据，其它有些数据也不可靠，因此，这些数据不可能推广应用。例如，目前还缺乏关于在横浇道和内浇道中金属液流量均匀性及消除了负压情况下对扩张式浇注系统的横浇道和内浇道进行工程计算所必需的足够的数据；此外，也缺乏关于金属液在各种不同形状型腔中的最小容许上升速度、关于雷诺数的容许值以及关于某些型式浇注系统的局部阻力系数（表征浇道和金属液流动状态的特点）等等。大多数这些数据可在工厂实验室中用实验的方法取得，或者在有色铸造车间生产中直接得到。

作者希望，本书能帮助铸造工作者不但能解决当前的实际任务，而且也引起他们对解决上述问题及其它尚未解决的迫切问题的兴趣。进一步改进浇注系统的设计方法和提高浇注系统的工作效果将有赖于这些问题的圆满解决。

主要符号

- $d_{c.н}, d_{c.в}$ ——直浇道下部和上部截面的直径;
- F_c, F_k, F_n ——直浇道下部截面、横浇道和内浇道横截面总面积;
- F_ϕ ——铸型工作型腔横截面面积;
- $f_{c.н}, f_{c.в}$ ——直浇道下部和上部截面面积;
- g ——重力加速度;
- H ——直浇道最小截面以上的充满压头;
- H_0 ——初始压头;
- H_p ——计算压头;
- H_n, H_b ——浇口杯和漏斗形浇口杯的型腔高度;
- h_n ——液流在横浇道中的高度(深度);
- h_n ——浇口杯中金属液面的高度;
- h_b ——漏斗形浇口杯中金属液面的高度;
- $h_{орт}$ ——铸件高度;
- h_c, h_k ——直浇道和横浇道的高度;
- L_k ——横浇道单边长度;
- L_n ——由直浇道至第一个内浇道的距离;
- M ——铸件重量;
- P_ϕ ——铸型工作型腔横截面的周长;
- Q ——体积流量;
- Q_ϕ ——通过铸型工作型腔的体积流量;
- R_c, R_k, R_n, R_ϕ ——分别为直浇道、横浇道、内浇道和铸型工作型腔的水力学半径;
- $t_{ал}$ ——合金浇注温度;

- $V_{\text{к}}$ ——浇口杯容量;
 $v_{\text{с}}, v_{\text{к}}, v_{\text{п}}$ ——液流在直浇道下部截面处、横浇道和内浇道中的速度;
 v_{ϕ} ——金属液在铸型工作型腔中的平均实际流动(上升)速度;
 $v_{\phi \text{нач}}$ ——金属液在铸型工作型腔中的初始上升速度;
 $v_{\phi \text{min}}$ ——金属液在铸型工作型腔中的最小容许上升速度;
 $v_{\text{сmax}}, v_{\text{кmax}}$ ——液流在直浇道、横浇道、内浇道和 $v_{\text{пmax}}, v_{\phi \text{max}}$ 铸型工作型腔中的最大容许速度;
 $\delta_{\text{п}}$ ——内浇道的厚度;
 $\delta_{\text{отл}}$ ——铸件壁厚;
 μ ——浇注系统流量消耗系数;
 $\mu_{\text{к}}$ ——浇口杯流量消耗系数;
 ν ——动力粘度系数;
 $\rho_{\text{с}}$ ——金属液密度。

目 录

主要符号	1
第一章 浇注系统设计的原理与实验资料	3
1. 浇注系统的水力学及其特点	4
2. 铸型充填各阶段的流体动力学	5
3. 浇注系统的流量消耗系数	21
4. 液态金属在铸型通道中的运动状态	32
5. 铸型的充填性	45
6. 浇注系统的挡渣作用	58
7. 浇注系统中负压（真空度）的消除	72
8. 内浇道作用的不均匀性	75
第二章 浇注系统的设计原则	83
1. 充填铸型时铸件的主要缺陷及其形成原因	83
2. 浇注系统的主要作用及要求	86
3. 设计浇注系统的原则	87
4. 合理计算方法的选择	90
5. 浇注系统类型和结构的选择	99
6. 金属液引入铸型的方法和位置的选择	105
7. 浇口杯的选择	108
第三章 砂型铸造浇注系统的设计	113
1. 确定计算用原始资料的顺序	114
2. 底注式浇注系统的计算和设计	119
3. 垂直缝隙式浇注系统的计算和设计	131
4. 其它类型浇注系统的计算特点	132
第四章 金属型和壳型铸造浇注系统设计特点	134
1. 金属型铸造浇注系统的结构	134
2. 壳型铸造浇注系统结构	140
3. 浇注系统的计算	142

第五章 浇注系统计算实例	145
1. 底注式浇注系统的计算	145
2. 垂直缝隙式浇注系统的计算	149
3. 阶梯式浇注系统的计算	154
第六章 制定和试制铸造工艺时浇注系统的设计	162
1. 浇注系统的设计及其试浇阶段	162
2. 制定工艺文件时浇注系统的图形和符号	164
3. 浇注系统的模拟——求取合理结构的试制方法	167
第七章 现代浇注系统的使用效果	179
1. 提高效果的途径	179
2. 提高铸件的机械性能	180
3. 浇注系统设计劳动量的减轻	185
4. 改善浇注系统的实例	186
附录	196
参考文献	198

主 要 符 号

- $d_{c,n}, d_{c,b}$ ——直浇道下部和上部截面的直径;
- F_c, F_k, F_n ——直浇道下部截面、横浇道和内浇道横截面总面积;
- F_ϕ ——铸型工作型腔横截面面积;
- $f_{c,n}, f_{c,b}$ ——直浇道下部和上部截面面积;
- g ——重力加速度;
- H ——直浇道最小截面以上的充满压头;
- H_0 ——初始压头;
- H_p ——计算压头;
- H_q, H_b ——浇口杯和漏斗形浇口杯的型腔高度;
- h_n ——液流在横浇道中的高度(深度);
- h_q ——浇口杯中金属液面的高度;
- h_b ——漏斗形浇口杯中金属液面的高度;
- $h_{отн}$ ——铸件高度;
- h_c, h_k ——直浇道和横浇道的高度;
- L_k ——横浇道单边长度;
- L_n ——由直浇道至第一个内浇道的距离;
- M ——铸件重量;
- P_ϕ ——铸型工作型腔横截面的周长;
- Q ——体积流量;
- Q_ϕ ——通过铸型工作型腔的体积流量;
- R_c, R_k, R_n, R_ϕ ——分别为直浇道、横浇道、内浇道和铸型工作型腔的水力学半径;
- $t_{зал}$ ——合金浇注温度;

- $V_{\text{ч}}$ ——浇口杯容量；
 $v_{\text{с}}, v_{\text{к}}, v_{\text{п}}$ ——液流在直浇道下部截面处、横浇道和内浇道中的速度；
 $v_{\text{ф}}$ ——金属液在铸型工作型腔中的平均实际流动（上升）速度；
 $v_{\text{фmax}}$ ——金属液在铸型工作型腔中的初始上升速度；
 $v_{\text{фmin}}$ ——金属液在铸型工作型腔中的最小容许上升速度；
 $v_{\text{сmax}}, v_{\text{кmax}}$ ——液流在直浇道、横浇道、内浇道和 $v_{\text{пmax}}, v_{\text{фmax}}$ 铸型工作型腔中的最大容许速度；
 $\delta_{\text{п}}$ ——内浇道的厚度；
 $\delta_{\text{отл}}$ ——铸件壁厚；
 μ ——浇注系统流量消耗系数；
 $\mu_{\text{ч}}$ ——浇口杯流量消耗系数；
 ν ——动力粘度系数；
 $\rho_{\text{с}}$ ——金属液密度。

第一章 浇注系统设计的原理与实验资料

在一般情况下，浇注系统 (ГОСТ 18169-72) 是铸型的构成单元，是将液态金属引入铸型型腔的通道，它保证铸型的充填和凝固时铸件的补缩。因此，浇注系统具有以下两个基本作用：引入金属和补缩铸件^[56]。根据浇注系统的作用，并且为了在技术文献中叙述方便，通常将浇注系统分为引导和补缩两种单元（在某些情况下没有后一种作用）。

金属液充填入铸型后，经过一定时间，浇注系统和铸件彼此联结成一体。然后，由于比较细薄的浇道发生凝固，金属液的补缩终止，并且不管浇注系统怎样，铸件内部都将发生结晶。短的持续时间，多数情况下，虽然没有通过浇注系统的引导单元（通常通过内浇道）对正在凝固的铸件进行补缩（如果铸件上没有安置补缩单元），仍可获得没有缩孔的铸件。但这只是特殊情况，必需具备一系列良好的条件，例如，采用体积收缩小的合金、铸件上没有热节和厚大部分、采用低的合金浇注温度以及慢速浇注等等。

因此，在液态金属充填铸型时，浇注系统引导单元的作用实际上归根结蒂要解决这样一个基本的独立任务，即金属液尽可能完满地充填铸型，使铸件中不致形成冷隔和浇不足的缺陷。

为了补偿合金在结晶时期的收缩、防止形成缩孔和缩松而采用的浇注系统的补缩单元——冒口，是一个充满热金属液的附加型腔（储存容器）。热计算和冒口设计是单独的任务，在专门的文献中论述。

按照浇注系统的一般定义以及通常将它区分为引导和补缩的两种作用，在本书中，把浇注系统理解为铸型单元和通道的系

统，用来引导金属液注入铸型型腔并保证它被充满。

1. 浇注系统的水力学及其特点

在利用直浇道压头（起重力作用）浇注铸型的情况下，唯有用过热的液态金属充填铸型，才能获得优质铸件。我们把过热状态的液态金属视为通常的牛顿液体[●]，而把充填本身视为水力学过程，这一过程遵循水力学的基本原理并可加以计算^[57]。

浇注系统的任务看来并不复杂，只是保证其粘度与冷液体（例如水）的粘度没有显著差别的金属液完全充满铸型。但是，由于充填铸型的水力学过程的某些特点，要实现这个任务却并不简单。其特点与那些由于热过程和物理-化学过程所引起的现象密切相关，这些过程不仅是在液态金属中而且是在金属和周围空气介质的界面上以及金属和铸型的界面上进行的。

热过程和物理-化学过程显著影响液态金属在铸型通道中的流动，而且它们对于选择充填的水力学规范具有决定的意义。这些过程对水力学过程的影响程度取决于浇铸合金和铸型材料的物理化学特性。

参与充填铸型这一水力学过程的液态金属的特点首先在于，它在充填过程中会冷却，这在一定的条件下（大量的热导入铸型以及在零流动性以上的微小过热）将导致金属液过早地停止流动以及铸型充填不足。为了不致发生这一问题，金属必须充分过热，这在大多数情况下对铸件的质量不利（例如吸气、氧化等等）；第二个特点是浇入铸型的金属在冷却过程中发生体积收缩，导致在铸件中形成冶金缺陷，尤其是形成收缩缺陷（缩孔、缩松、弯曲变形等）；第三个特点是，某些合金，其中包括铝合金和镁合金，氧化和起沫的倾向很大（特别在高温下更大），这同样会使铸件中的冶金缺陷进一步发展，特别是使金属液被非金属夹杂所

● 静摩擦等于零、粘度与流动速度无关、而剪应力与速度梯度成正比的液体，称牛顿液体。

玷污。

由于液态金属与周围空气介质和铸型之间热的、物理-化学的及机械的相互作用，在铸件上形成起皮、粘砂以及铸型和砂芯被冲毁等缺陷。

由于砂型具有透气性，所以金属液流与空气和浇注时在铸型中形成的气体相接触。在一定的条件下，在浇道的个别截面上形成负压，由此通过型壁吸入空气和气体，破坏了液流的水力学特性，并造成金属液进一步氧化。

因此，浇注系统在水力学关系方面愈不完善，则在铸件中愈易产生各种冶金缺陷以及由于金属与周围介质之间热的、物理-化学的和机械的相互作用而产生的缺陷。所以，研究铸型充填过程和设计浇注系统时，除了研究纯粹的水力学问题外，还要附加研究那些不直接属于浇注系统水力学而获得优质成形铸件的问题。

浇注系统对铸型和浇道中产生的一系列被研究的现象都有影响，因而，它决定着进入铸型的金属质量是否得到保证以及能否得到合格的铸件。

2. 铸型充填各阶段的流体动力学

充填铸型时，金属液依次经历以下几个基本阶段：1) 金属液从浇包落入浇口杯(漏斗形浇口杯)的运动；2) 金属液在浇注系统通道中的运动；3) 金属液在铸型型腔中的运动。

能否获得优质铸件，依金属液在所有这些阶段的运动情况以及浇口杯、直浇道、横浇道和内浇道等全部浇注系统基本单元的尺寸和结构来决定。在浇注系统每一单元和铸型型腔中，流体动力学各有其自己的特点。

金属液从浇包落入浇口杯的运动

金属液由浇包输入浇口杯的方法有以下几种：金属液敞开地自由落下；沿输送管道流入；在真空或保护性气氛中流入。

沿输送管道和在真空或保护性气氛中流入浇口杯的方法可防

止金属液氧化，但这种金属液的供给方法在成形铸造生产中目前尚未得到广泛的应用，尽管其中某些方法早已成功地应用于铸锭生产中^{〔1〕}。

在金属液流自由落入浇口杯的情况下，液流表面与周围空气相接触，因此它被强烈地氧化。金属液的氧化表面随液流落下高度增大而增大；并且，在液流发生喷溅和氧化膜破裂的情况下，其氧化表面也随着增大。

在含镁超过 2 % 的合金中，其氧化膜主要由氧化镁构成。这种氧化膜疏松多孔，强度很小。自液流开始运动时起，经过某一时间，液流表面的氧化膜达到一定厚度和数量后，开始断裂并混入金属液内部，并在原先断裂的地方形成新的氧化膜。

对于铝合金，其氧化膜可防止液流继续氧化，但它也同样随时间的推移逐渐变厚，并且变脆而容易破坏。此外，在铝合金熔液中加入 Ti、Mn、Ca、Na 以及某些其它组元时，其氧化膜的强度减低。所以，在以敞开液流浇注铸型时，必需保持谨慎，使金属液氧化达到量低限度。

金属液在浇口杯中的运动

金属液流一落入浇口杯中，就失去其速度头。铸型的充填是在由浇口杯中金属液面高度确定的静压头的作用下而不是在从浇包嘴算起的液流总高度的作用下进行的。由于液流停止和失去速度，浇口杯底部液流之下的压力得到提高，并在此压力下，金属液沿着浇口杯底部流动。

当沿着浇口杯底部流近其侧壁时，金属液流再次停止流动，产生回流，金属液从较高的液面沿液流落下的方向溢流至较低的液面，由此，金属液发生喷溅，卷入空气，导致氧化而形成金属氧化物和熔渣。

下落液流的能量 N 愈大，这一不良现象愈严重。 N 随液流下落高度及其截面的增大而增大，这可从下列公式看出：

$$N = \frac{Mv^2}{2\tau} = \frac{Q\rho_c v^2}{2} = \frac{F\rho_c v^3}{2} = \frac{F\rho_c \mu^3 \sqrt{(2gH_{cr})^3}}{2}$$

式中 M ——液流的重量;
 τ ——液流下落时间;
 v ——液流运动速度;
 F ——液流的横截面积;
 μ ——水力损耗系数;
 H_{cr} ——液流下落高度。

由于金属液在浇口杯中以很大的水平速度回转,使浇口杯中的金属液形成绕垂直轴旋转的涡流运动,这种涡流运动一般称为空穴(涡流漏斗)。金属液通过直浇道流出,导致在直浇道口下面(也即形成空穴的区域)发生金属液的垂直移动。浇口杯高度及体积愈小,直浇道上部口愈大,则金属在浇口杯中的垂直移动愈剧烈,产生空穴的危险性愈大。空穴使金属液吸入空气和浇口杯中的氧化物、熔渣,所以,必需采用专门的措施来防止形成空穴(参阅第一章第七节)。

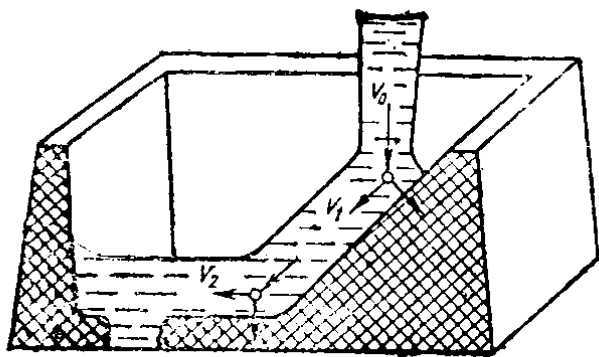


图1 金属液流在浇口杯倾斜壁上的运动示意图

如果把浇口杯的一壁做成倾斜的,并使液流沿此倾斜壁流动,那末液流落入浇口杯时的冲击力以及金属液的喷溅可以减小。当倾斜壁的角度为 45° 时,液流的冲击力可减至最小值(见图1),这一点可从以下公式清楚地看出:

$$P = Q\rho_c(v_0 - v_2) = Q\rho_c v_0(1 - \cos \alpha \cdot \sin \alpha)$$

式中 P ——液流对浇口杯壁的冲击力;
 α ——浇口杯壁的倾斜角;
 v_0 ——金属液流下落速度;
 v_2 ——液流沿浇口杯底的流动速度。