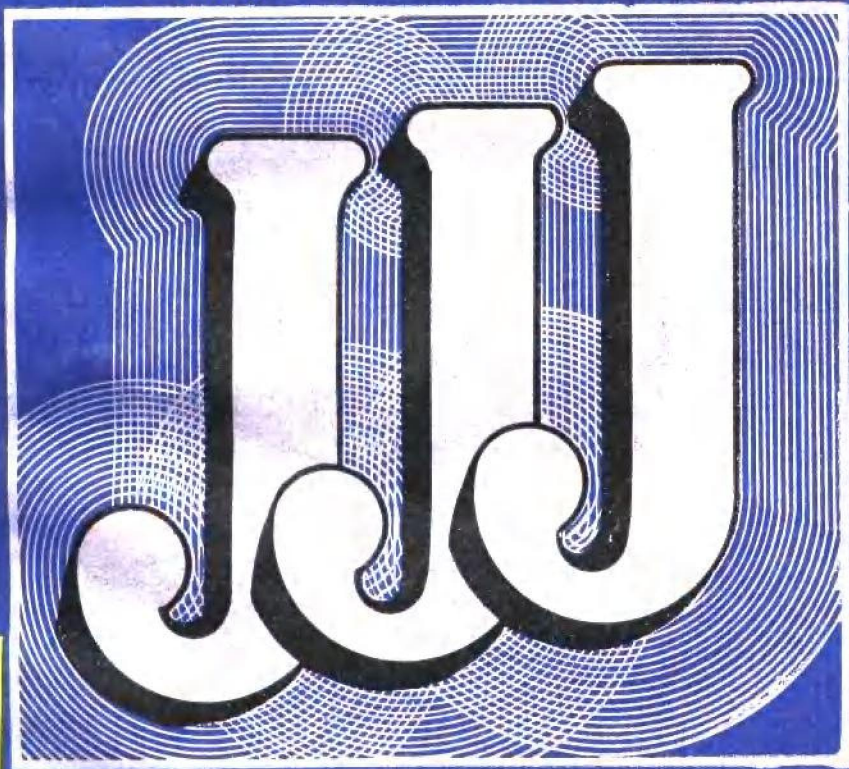


国家机械工业委员会统编

高级铸造工工艺学

机械工人技术理论培训教材

JIXIE GONGREN JISHULILUN PEIXUN JIAOCAI



机械工业出版社

机械工人技术理论培训教材

高级铸造工工艺学

国家机械工业委员会统编



机械工业出版社

本书主要包括：金属液充型和浇注系统，铸件的凝固和收缩，冒口、补贴和冷铁，合金的熔炼知识，铸造工艺规程，工艺装备，铸件缺陷，铸造设备等部分。书中突出了基本原理的讲授，也注意提高工人分析解决生产实际问题的能力。

本书由东方汽轮机厂王大权、郭德勋、刘祖成、通芝蓉、窦武仁、柳吉荣编写，由东方汽轮机厂林锦荣和第二重型机器厂英在田、张维业审稿。

高级铸造工艺学

国家机械工业委员会统编

责任编辑：李铭杰 版式设计：张世琴
封面设计：林胜利 方 芬 责任校对：熊天荣

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南里一号）

（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

机械工业出版社发行·新华书店经销

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ · 印张 $14\frac{3}{8}$ · 字数 317 千字
1988年12月北京第一版 · 1988年12月北京第一次印刷

印数 00,001—24,300 · 定价：5.40 元

ISBN 7-111-01142-2/TG·283

前 言

1981年,原第一机械工业部为贯彻、落实《中共中央、国务院关于加强职工教育工作的决定》,确定对机械工业系统的技术工人按照初、中、高三个阶段进行技术培训。为此,组织制定了30个通用技术工种的《工人初、中级技术理论教学计划、教学大纲(试行)》,编写了相应的教材,有力地推动了“六五”期间机械行业的工人培训工作,初步改变了十年动乱造成的工人队伍文化技术水平低下的状况,取得了比较显著的成绩。

鉴于原机械工业部1985年对《工人技术等级标准(通用部分)》进行了全面修订,原教学计划、教学大纲已不适应新《标准》的要求,而且缺少高级部分;编写的教材,由于时间仓促、经验不足,在内容上存在着偏深、偏多、偏难等脱离实际的问题。为此,原机械工业部根据新《标准》,重新制定了33个通用技术工种的《机械工人技术理论培训计划、培训大纲》(初、中、高级),于1987年3月由国家机械工业委员会颁发,并根据培训计划、大纲的要求,编写了配套教材148种。

这套新教材的编写,体现了《国家教育委员会关于改革和发展成人教育的决定》中对“技术工人要按岗位要求开展技术等级培训”的有关精神,坚持了文化课为技术基础课服务,技术基础课为专业课服务,专业课为提高操作技能和分析解决生产实际问题的能力服务的原则。在内容上,力求以基

本概念和原理为主，突出针对性和实用性，着重讲授基本知识，注重能力培养，并从当前机械行业工人队伍素质的实际情况出发，努力做到理论联系实际，通俗易懂，具有工人培训教材的特色，同时注意了初、中、高三级之间合理的衔接，便于在职技术工人学习运用。

这套教材是国家机械工业委员会委托上海、江苏、四川、沈阳等地机械工业管理部门和上海材料研究所、湘潭电机厂，长春第一汽车制造厂、济南第二机床厂等单位，组织了200多个企业、院校和科研单位的近千名从事职工教育的同志、工程技术人员、教师，科技工作者及富有生产经验的老工人，在调查研究和认真汲取“六五”期间工人教材建设工作经验教训的基础上编写的。在新教材行将出版之际，谨向为此付出艰辛劳动的全体编、审人员，各地的组织领导者，以及积极支持教材编审出版并予以通力合作的各有关单位和机械工业出版社致以深切的谢意！

编好、出好这套教材不容易；教好、学好这些课程更需要广大职教工作者和技术工人的奋发努力。新教材仍难免存在某些缺点和错误，我们恳切地希望同志们在教学的过程中发现问题，及时提出批评和指正，以便再版时修订，使其更完善，更好地发挥为振兴机械工业服务的作用。

国家机械工业委员会

技工培训教材编审组

1987年11月

目 录

前言

第一章 金属液充型和浇注系统	1
第一节 金属液填充铸型	1
第二节 浇注系统的类型及开设位置的选择	26
第三节 铸铁件浇注系统	34
第四节 其它合金铸件浇注系统	48
复习题	59
第二章 铸件的凝固和收缩	61
第一节 铸件的凝固	61
第二节 铸件的收缩	76
第三节 铸造应力和铸件变形	94
第四节 铸件的裂纹	104
复习题	114
第三章 冒口、补贴和冷铁	116
第一节 冒口的安放位置和数量	117
第二节 冒口的有效补缩距离	118
第三节 补贴的应用	127
第四节 冒口的计算	136
第五节 提高冒口补缩效率的途径	163
第六节 冷铁	178
复习题	188
第四章 合金的熔炼知识	190
第一节 铸铁的熔炼	190

VI

第二节 铸钢的熔炼	216
第三节 铸造有色合金的熔炼	236
复习题	254
第五章 铸造工艺规程	256
第一节 铸造工艺的设计	257
第二节 铸造工艺设计实例	294
复习题	308
第六章 工艺装备	310
第一节 金属切削加工的概念	310
第二节 模样	325
第三节 模板	342
第四节 芯盒	357
第五节 砂箱	368
第六节 平板	381
复习题	382
第七章 铸件缺陷	385
第一节 铸件缺陷的分类	385
第二节 铸件缺陷分析	388
第三节 铸件缺陷的检验方法	398
复习题	406
第八章 铸造设备	407
第一节 主要的铸造设备	407
第二节 造型生产线	434
第三节 造型机械的维护与故障排除	445
复习题	450

第一章 金属液充型和浇注系统

铸造生产过程中最主要的特点，是把金属液浇入铸型得到铸件。在金属液充型过程中，能不能充满型腔，使铸件获得完整的形状和清晰的轮廓，这与合金的流动性有很重要的关系。此外，充型过程对铸件质量也有重大的影响。

第一节 金属液填充铸型

浇包中的金属液，从浇注系统流入型腔开始，直至型腔充满为止，为金属液填充型腔的过程。在此过程中，由于金属液的散热和凝固，以及铸型对流动过程的阻力和型腔中气体的反压力等作用，妨碍着金属液顺利充满型腔，特别是在浇注薄壁铸件时，有时发生浇不足现象。即金属液还没有充满型腔就停止了流动。

下面以灰铸铁为例来说明这个问题。图 1-1 为一块厚 8mm 的灰铸铁板件产生浇不足时的示意图。灰铸铁为共晶成分，凝固温度 1135℃，浇注温度 1235℃，即过热度为 100℃。铸件全长为 L ，浇出长度为 L_4 ，没有浇足。

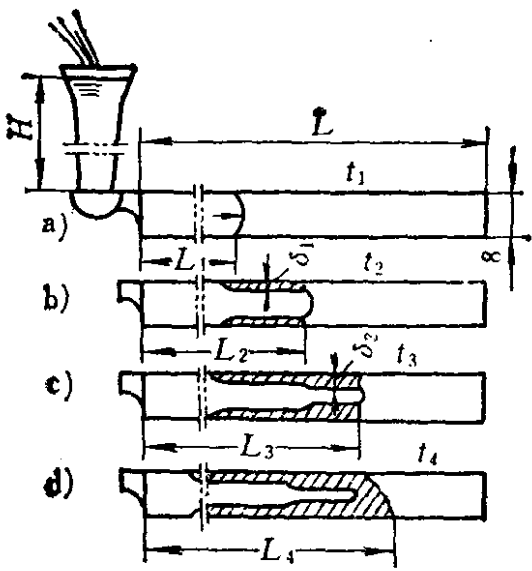


图 1-1 a：铁水在直

图1-1 浇不足形成示意图

浇道静压头作用下流入型腔，经过时间 t_1 ，铁水已流动长度 L_1 ，这时铁水尚无结晶发生，这种不发生结晶现象的流动，我们称为纯液态流动。

图 1-1 b：经过时间 t_2 ，铁水流至长度 L_2 处，由于砂型吸热，使紧贴砂型壁的铁水温度降低，当温度低于凝固温度（ 1135°C ）时，紧贴砂型的表面层产生结晶现象，但铁水的端头温度仍高于 1135°C ，所以铁水继续向前流动。

图 1-1 c：经过时间 t_3 ，铁水流至长度 L_3 处，由于流动过程中铁水不断散失热量，流动的前端四周结壳更厚了，但铁水流端头的温度还略高于凝固温度，还可向前流动一些。这种流动称为结晶状态下的流动。

图 1-1 d：时间到了 t_4 ，铁水端头失热降温达到凝固温度，因此结晶并使固体壳在铁水流前端“合拢”，铁水便停止向前流动，由于未能浇至铸铁板的需要长度 L ，故使铸铁件产生浇不足缺陷。

为了防止铸件浇不足，在生产上采取各种工艺措施，保证在浇满型前处于纯液态流动方式。只有对特别厚实而形状又简单的铸件，才采用先为纯液态流动后为结晶状态下流动的方式，这样才有利于铸件的补缩。

金属液填充铸型的能力，不仅与铸造合金本身的性能有关，而且还与铸型的种类，铸件结构和浇注温度等有关。

一、金属液的流动性

流动性是指金属液在型腔内的流动能力，它是合金的重要铸造性能之一。为了了解影响流动性的各种因素，比较不同铸造合金的充型能力，曾设计出各种测定合金流动性的试样，如螺旋形、楔形、U形、球形等，其中最常用的是螺旋形试样，如图 1-2 所示。

螺旋形试样由浇注系统和梯形螺旋线组成。螺旋线上每隔 50mm 长度有一个凸点，用以直接读出螺旋形长度。

螺旋形试样铸型一般采用砂型制作。试验时，将液态合金从外浇口浇入铸型，待凝固后取出试样，测量或读出液态合金充填螺旋线的长度。测得的长度就代表这种合金的流动性。表 1-1 是一些合金的流动性数据。从这个表可以看出，灰铸铁的流动性最好，铸钢的流动性最差。流动性好的铸造合金，充型能力强；流动性差的合金，充型能力也就差。

二、影响合金流动性的因素

液态金属充填铸型的过程，是一个复杂的热交换和流体运动的过程，因此，金属液的

流动性受到各种因素的影响，概括起来有金属的性质、铸型特点、浇注条件和铸件结构等四个方面的因素。

1. 金属的性质方面 合金的流动性，取决于合金的种类、化学成分结晶特点及其它物理性能等。它是合金性质方面各种影响因素的综合表现。从表 1-1 可以看出，铸铁的流动性虽然都比其它铸造合金好，但随着 C 和 Si 总含量的增加，流动性也相应提高。

一般说来，流动性好的合金，其充型能力都较强；流动

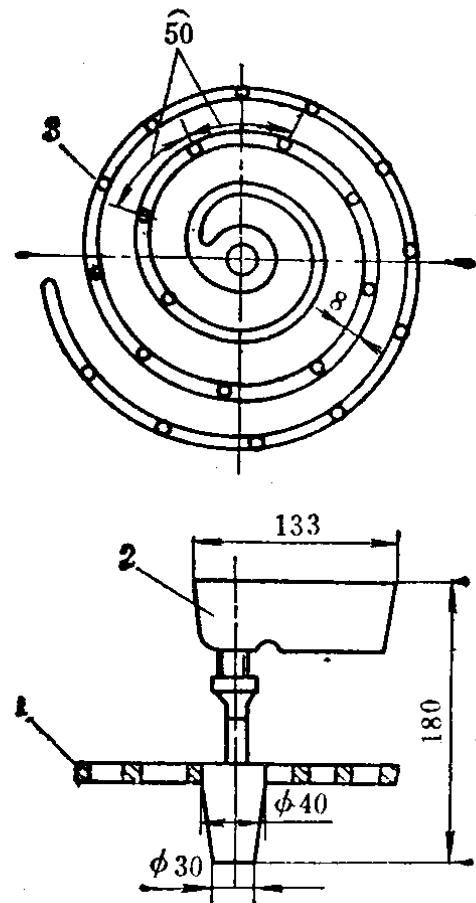


图1-2 螺旋形试样

1—试样 2—浇道 3—试样凸点

表1-1 一些合金的流动性 (砂型)

合 金		浇注温度(°C)	螺旋形试样长度(mm)
灰铸铁	C + Si = 6.2%	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%	1600	100
	C 0.4%	1640	200
镁合金(Mg-Al-Zn)		700	400~600
锡青铜(Sn10%, Mn 2%)		1040	420
硅黄铜(Si 3%)		1100	1000

性差的合金其充型能力较差,但也可通过其它条件来提高充型能力。

从合金性质来看,影响合金流动性因素有液态合金的粘度、结晶特性、结晶潜热、表面张力以及合金的熔炼过程和其它物理性质的影响因素。

合金的结晶特性对流动性影响很大。不同成分的合金其结晶特点不同。共晶成分铸铁,是在一定的凝固温度下结晶,冷却过程是由表层向里逐层凝固,已凝固的硬壳表面光还未凝固的铁水在硬壳内流动时阻力小,结晶状态下流

动的距离就长，所以流动性好。而其它成分的铸铁的凝固是在一个温度范围内进行的，有着一个固态和液态并存的区域，凝固温度范围越大，则铁水流动的阻力越大，所以结晶状态下的流动距离就短，故流动性不好。因此，共晶成分的铸铁流动性最好。在亚共晶铸铁中，越接近共晶成分，流动性越好。过共晶铸铁在冷却速度不大时，初晶组织是石墨悬浮于铁水中，使铁水粘度增加，流动性下降。

铸铁的结晶温度范围一般来说比铸钢宽，但铸铁的流动性比铸钢好，这是由于铸钢熔点高，不易过热。要使钢液得到较大的过热，必须增加电力和燃料的消耗，而且容易造成钢水吸气。另外，铸钢熔点高，钢液在铸型中散热快，也使钢液更快地失去流动能力。

从合金性质方面考虑，提高合金的流动性，主要是选取结晶温度范围小的合金，但要考虑铸件的大小、厚薄及铸型特性等因素，从而正确地选择碳、硅含量。

为提高液态合金的流动性，仅从合金性质方面采取措施是不够的。尤其是合金的成分确定之后，仅从合金本身采取措施往往是有限的，还必须采取其它措施。

2. 铸型性质方面 铸型性质对流动性的影响，主要表现在铸型的导热能力、对金属液流动的阻力以及促使金属液流动的静压力。

造型用的各种铸型材料的导热能力是不同的，导热能力越强，金属液散热越快，流动性就越差。一般说来，砂型比金属型、干型比湿型、热型比冷型流动性要好。湿型的流动性比干型小 10~20%。

型砂中，造型材料的组成对流动性也有很大影响。实验证明，湿型砂的配方中，当水分 $<6\%$ 和煤粉含量 $<7\%$ 时，

液态合金的流动性随着水及煤粉含量增加而提高，如图 1-3 所示。

铸型的型壁表面光滑，或在型腔表面涂以热导率小的涂料层，都可以提高液态合金的流动性。

铸型的温度。浇注前，将铸型预热，可以减少液态合金与铸型之间的温差，减慢合金的散热，从而提高液态合金的流动性。如金属型浇注前的预热，以及熔模铸造中，浇注前型壳的高温焙烧等都是为了提高液态合金的流动性。

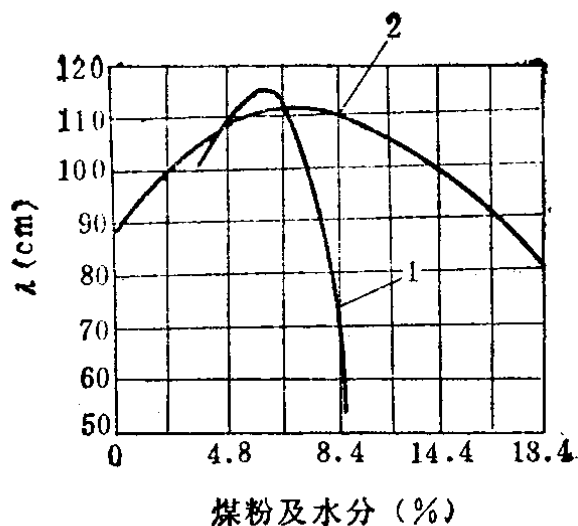


图1-3 砂型中含煤粉和水分对低硅铸铁流动性影响

1—含水量的影响 2—含煤粉量的影响

3. 浇注条件的影响 从以下几方面简述，浇注温度的影响，合金的浇注温度对其流动性有决定性的影响。在生产中，可采用提高浇注温度来提高合金的流动性。在一定的温度范围内，合金的流动性随着浇注温度的升高而明显提高。对于薄壁铸件及结晶温度范围大、流动性差的合金，采用这一措施提高流动性特别有效，而且方便。

提高液态合金充型时的压头，压头愈大，则流动速度愈快，在停止流动以前流得愈远。为此，浇注时可以提高直浇道的高度或采用人工加压的方法，来提高充型压头，增强合金的流动性。

浇注系统的结构越复杂，金属液流动阻力越大，在相同

的静压力下流动性就差。为此，在设计铸件的浇注系统时，力求结构简单。

4. 铸件结构的影响 其影响简述如下。

铸件壁薄或厚薄部分过渡面多，形状结构复杂，则型腔结构的复杂程度增加，金属液在铸型中流动时，必然会遇到较大的阻力，同时温度降低得也较快，铸件尺寸愈大，就愈不容易浇满。

铸件的壁厚大小对金属液流动性也同样有很大影响。同一薄壁铸件的铸型，流动性好的合金就很容易浇满，而流动性差的合金就不容易浇满，甚至会出现冷隔和浇不足等缺陷。为此，在一定的铸造条件下，每种合金能铸造的最小壁厚的数值取决于该合金流动性的好坏。表 1-2 列出一般对灰铸铁铸件壁厚与流动性的关系，可供参考。

表1-2 灰铸铁铸件壁厚与铁水流动性关系 (mm)

	铸件尺寸(砂型铸造)	灰铸铁	最低流动性 (螺旋形试样断面50mm ²)
最小壁厚不小于	~200 × 200	~ 6	500
	>200 × 200 ~ 500 × 500	>6 ~ 10	400
	>500 × 500	15 ~ 20	300

以上将影响合金流动性的主要因素进行了分析，指出了提高流动的途径。由于影响因素很多，必须根据具体情况进行分析，采取有效措施，防止铸件冷隔和浇不足缺陷，提高铸件质量。

三、合金的流动性对铸件质量的影响

合金的流动性对铸件质量有重要的影响，主要表现有如下几个方面：

(1) 流动性好的铸造合金，容易获得尺寸准确、轮廓清晰的健全铸件。反之，铸件可能产生冷隔、浇不足等缺陷而报废。

(2) 合金的流动性对补缩、防裂、获得优质铸件有影响。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热裂，得到液态金属的填充而弥合，因此，有利于防止产生这些缺陷。

(3) 液态合金往往含有气体和非金属夹杂物，如果合金的流动性好，则气体和夹杂物易于上浮，使金属液纯净，有利于得到不含气体和夹杂物的健全铸件。

四、金属液在浇注系统中的流动

金属液在浇注系统的流动过程中，金属液的温度不断降低，而铸型的温度不断增高，与铸型之间是一个剧烈的不稳定的热交换过程。液态金属温度不断下降，粘度不断增高，流动速度降低。

另外，由于浇注系统的形状、结构因素及表面的光滑程度等的影响，金属液在其中的流动状态和流动速度都要发生变化。因此，如果浇注系统设计不良，就必然要影响金属液在当中的流动状态和速度。了解金属液在浇注系统各组元中的流动情况，能更好结合生产实际，设计出良好的切合实际的浇注系统，这样就能防止产生铸造缺陷，而获得健全的铸件。

1. 金属液在浇口杯中的流动 浇口杯的作用是：便于承接来自浇包的金属流，并引入直浇道，防止过浇而溢出；避免流股直冲直浇道，减小液流对铸型的冲击；此外，还有一定的挡渣作用。当用漏包浇注时，金属液压头高，冲击力

大，流量不易控制，且包孔不易对准直浇道，更需要使用浇口杯。当砂箱高度低，压头不够时，它可增加金属液的静压头。

(1) 金属液在浇口杯中的流动特点。当金属液在浇口杯中流入直浇道时，容易出现水平涡流，如图 1-4 所示。

水平涡流产生的原因，是由于浇口杯中的金属液从各个方向流入直浇道时，流量分布的不均衡而造成流速方向的偏斜。若水平分速对直浇道中心线偏斜，就形成水平涡流。在忽略内摩擦力的条件下，金属液可近似地看成理想液体，浇口杯中的涡流运动根据动量矩守恒定律，应满足下式关系：

$$vr = \text{常数} \quad (1-1)$$

式中 r ——液流至涡流中心的距离；

v ——偏离直浇道中心线（距涡流中心 r 处）的液流切线速度。

由上式可知，金属液流向直浇道产生水平涡流运动时，半径愈大，流速愈低，而愈近中心（ r 愈小），流速愈大，内部压力也愈低，在涡流中心区域内形成一个漏斗形充满空气的等压自由液面的空穴。当金属液进入直浇道时，便将空气和浮在液面上的渣子也带入。所以，浇口杯中形成水平涡流对铸件质量是不利的。

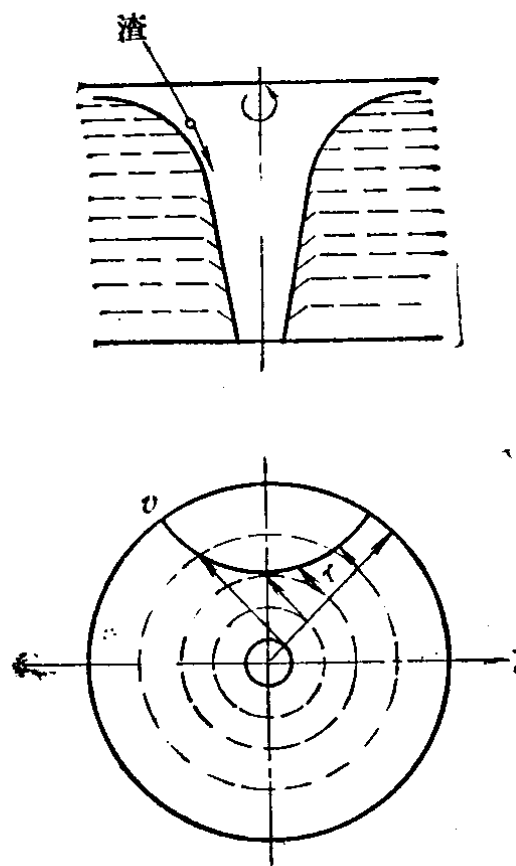


图1-4 浇口杯中的涡流运动

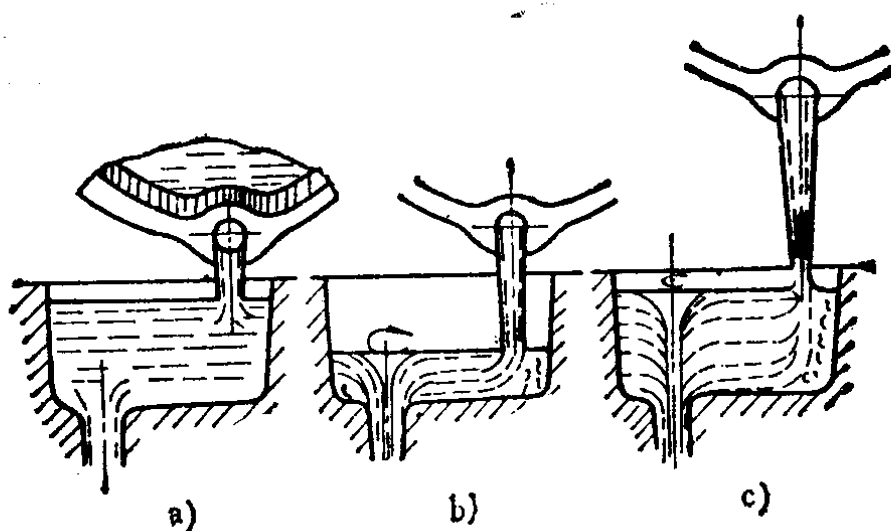


图1-5 浇注状态对液流运动的影响

a) 合理 b)、c) 不合理

浇口杯中金属液流股的水平分速度愈大，愈易形成水平涡流，如图 1-5 所示。水平分速的大小，与浇口杯内液面的高度及浇包嘴距浇口杯的高度有关。当液面足够高而浇包位置又低时，如图 1-5 a 所示，流速及水平分速都较小，从各个方向进入直浇道的金属液比较均匀，不会产生旋转速度很快的水平涡流；如浇包位置不变，但浇口杯中液面较低时，如图 1-5 b 所示，水平分速增大，或浇口杯中液面较高，但浇包位置提高时，如图 1-5 c 所示，液流以较高的速度穿入液面，会在浇口杯深处产生水平分速度，也可以形成水平涡流及空穴现象。通过模拟试验可以观察到，在上述诸因素中，浇口杯内液面的高低影响最大。因此，浇口杯中液体应有必要的深度，并在整个浇注过程中连续供给金属液，保持液面不变，浇包嘴尽可能接近和迅速充满浇口杯。此外，浇口杯还应有合理的形状和结构，以防止产生水平涡流，提高浇口杯的挡渣能力。

金属液沿浇口杯斜壁流下时，由于流速的减低和流向的