

李弘英 编著

实用铸造应用技术与实践



化学工业出版社

李弘英 编著

实用铸造应用技术与实践



化学工业出版社

· 北京 ·

本书介绍了铸铁件、铸钢件和非铁合金铸件的重力铸造和特种铸造全过程的制造技术。其中包含铸造工艺设计、提高冶金质量的要点与合金液过滤净化技术、造型与制芯材料的选用、生产设备与制造方法的选择、造型与制芯操作技术、铸件补焊与后处理技术和部分铸造新技术等内容。

全书理论联系实际，书中的工艺举例均以经过生产验证、高质量要求的铸件为实例，通过制造过程的技术应用，对本行业从业人员有借鉴和举一反三的作用。

本书内容充实、先进、实用，而且图文并茂，易于理解，适合从事铸件生产的不同层次的从业人员阅读；也可供材料工程、机械工程专业的高等院校和中等专业学校在校学生阅读，还可供培养铸造技师与高级技术工人的院校师生阅读，为他们在走上工作岗位之前打好专业基础，以适应工作需要。

图书在版编目 (CIP) 数据

实用铸造应用技术与实践/李弘英编著. —北京:
化学工业出版社, 2015. 11
ISBN 978-7-122-25210-4

I. ①实… II. ①李… III. ①铸造 IV. ①TG2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 224298 号

责任编辑: 刘丽宏
责任校对: 吴 静

文字编辑 陈 喆
装帧设计: 张 辉

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 北京永鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 44½ 字数 1198 千字 2016 年 1 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 168.00 元

版权所有 违者必究



FOREWORD 前言

铸件是构成机械产品最基本的零件,是装备制造业的基础。大至航天、航空、国防、国民经济建设所有工业部门,小至个人的日常生活用品都需要铸件。

目前我国已成为世界制造业大国,生产的产品既供给国内的需要,又支持了不少国家的建设,在世界大家庭中互通有无。随着国民经济和世界经济的发展,对装备和铸件的需求将越来越多,铸件的优质化、轻量化、精密化程度将越来越高。铸件的工艺设计与制造水平的提高,对提高铸件的内外质量、轻化铸件的结构、降低废品率、提高劳动生产率和提高经济效益,起着非常重要的作用。

本书包含了铸铁件(灰铸铁件、球墨铸铁件、可锻铸铁件)、铸钢件(碳钢铸件、合金钢铸件、高锰钢铸件)和非铁合金铸件(铝合金铸件、镁合金铸件、铜合金铸件)的铸造工艺设计和生产技术的全过程。重点介绍了高品质、严要求的铸件,例如电站汽轮机、电站锅炉阀门、风力发电设备、汽车发动机、气体压缩机、船用柴油机和机床等的铸件的生产技术。

铸件材料的力学性能和理化性能依靠冶金质量来保证。本书详尽地介绍了提高钢液质量、提高铁液质量和防止球墨铸铁的球化衰退与石墨畸变的有关技术,内容先进、充实、可行。

铸件的内在质量主要依靠铸造工艺的设计质量来保证。当今高质量、高要求的铸件,对内在质量都有高标准的要求,通常用超声波探伤或射线探伤检查内在质量;往往存在轻微的缩松都为其标准所不允。本书系统地阐述了提高工艺设计水平的应用技术,例如浇注系统设计、补缩系统设计、激冷系统设计的理论与应用,其中包含了笔者与他在长期生产实践中积累的实践经验与理论的提升。先进的工艺设计对提高铸件的质量和经济效益有不可替代的作用。

铸件的尺寸精度和表面质量依靠模具质量、生产设备、造型与制芯材料、生产工人的素质和铸件后处理来保证。本书系统地介绍了造型与制芯材料的选用、各项工序的操作技术、生产方法与设备的选择和铸件精整技术,理论性与实用性强,具有重要的指导与参考价值。

本书着重介绍了消失模铸造和V法铸造。这两种铸造方法是耗能少、造型材料消耗少、工时少、生产周期短、经济效益高的快速制造与精确成形的物理造型新方法,其铸件尺寸精度和表面粗糙度均优于普通砂型铸造,可实现少屑或近无屑加工,可与熔模失蜡铸造相媲美;而且消失模铸造不起模,为大、中、小型产品的设计和制造提供了更大的自由度,因此,它有广阔的发展前景。本书从模样和铸件成形原理到制造过程的质量控制作了尽可能详细的介绍,希望读者能掌握这门铸造新技术。当然,既然是新技术,在实践中仍然会遇到一些需要去探索、去开发的新内容。但是,先进的制造方法总是会发展的,相信在21世纪它会得到充分的开发与应用,是铸造业的新亮点。

本书对特种铸造作了适度的介绍,目的是解决用重力铸造方法难以保证质量的常用铸件的生产,这是其一;其二是用普通重力铸造方法生产不出那么薄壁、精密、优质的铸件。因此,着重介绍了普通件的离心铸造与低压铸造、冲模与锻模件的陶瓷型铸造、薄壁件的石膏型铸造与调压铸造和提高铸件材料力学性能的振动浇注与结晶的新技术。

本书的最大特点是:以应用技术理论为依据,以实用的大量参数和图表为手段,理论联系实际,通过大量经过实践验证的工艺实例阐述了铸造工艺设计的步骤和方法、提高铸件材料力学性能和理化性能的方法、提高铸件内在质量和表面质量与尺寸精度的实用技术。同

时，全书内容既反映了国内外铸造生产已取得的成就和动向，又反映了笔者多年从事铸造生产所取得的部分认识和科研成果。一句话，书中的内容包含了优质铸件生产全过程的先进、可靠、实用的制造技术，极有参考价值；可供同行借鉴，起到举一反三的作用。

本书内容充实、先进、实用，可供铸造生产的不同层次的从业人员和大专院校金属材料工程、机械工程专业的师生阅读和参考。

本书在撰写过程中参读了大量文献资料，并录用了部分内容，在此向文献作者表示衷心的感谢！

本书在成稿过程中得到了周德圣教授级高级工程师认真的审校，提出了很多宝贵意见，使本书内容更加完善和准确，在此表示衷心感谢！

由于编著者水平有限，书中不足之处在所难免，敬请读者批评指正。

编著者

第 1 章 浇注系统设计

1.1 浇注系统简介	1	1.2.4.2 浇注系统尺寸的计算	38
1.1.1 浇注系统的组成与作用	1	1.2.5 非铁合金铸件浇注系统设计	46
1.1.2 内浇道位置设置通则	3	1.2.5.1 铝合金铸件、镁合金铸件的 浇注系统	46
1.1.3 浇注系统的类型和应用范围	4	1.2.5.2 铜合金铸件的浇注系统	48
1.2 各类铸件浇注系统的设计	8	1.2.6 各类浇注系统尺寸数据库	51
1.2.1 灰铸铁件浇注系统设计	8	1.3 出气孔设计	69
1.2.1.1 控流截面积的计算	8	1.3.1 出气孔的作用及设计原则	69
1.2.1.2 雨淋式浇注系统 A_0 总截面积的 计算	12	1.3.2 出气孔的分类及尺寸	69
1.2.1.3 控流式浇注系统控流总截面积的 计算	13	1.4 合金液的过滤净化	71
1.2.1.4 浇注系统各单元横截面积的 比例	16	1.4.1 耐高温玻璃纤维过滤网过滤技术	71
1.2.1.5 大孔出流浇注系统的计算	16	1.4.2 陶瓷过滤器(板)过滤技术	73
1.2.1.6 阶梯式浇注系统的计算	24	1.4.3 泡沫陶瓷过滤器过滤技术	74
1.2.1.7 垂直分型浇注系统的计算	26	1.4.3.1 泡沫陶瓷过滤器的过滤机能	74
1.2.2 球墨铸铁件浇注系统设计	31	1.4.3.2 泡沫陶瓷过滤器孔眼尺寸和 厚度的选择	75
1.2.2.1 传统浇注系统的计算	31	1.4.3.3 安装过滤器处浇道截面积比 的确定	76
1.2.2.2 大孔出流浇注系统的计算	32	1.4.3.4 合金液的额定过滤重量与流速的 选择	76
1.2.3 可锻铸铁件浇注系统设计	36	1.4.3.5 有效过滤面积与额定过滤重量和流 量的另一种确定方法	77
1.2.3.1 水平分型浇注系统的计算	37	1.4.3.6 过滤器安装位置的选择	77
1.2.3.2 垂直分型浇注系统的计算	37		
1.2.4 铸钢件浇注系统设计	37		
1.2.4.1 浇注位置对顺序凝固的影响	37		

第 2 章 补缩系统设计

2.1 铸件的凝固方式	80	2.3.2.5 L 形板接头模数的计算	89
2.1.1 凝固动态曲线	80	2.3.2.6 其余复合体模数的计算	90
2.1.2 铸件凝固方式	80	2.4 铸钢件补缩系统设计	93
2.2 凝固方式与铸件质量的关系	81	2.4.1 铸钢的收缩	93
2.2.1 逐层凝固方式	81	2.4.2 铸钢件中的缩孔和缩松	95
2.2.2 体积凝固方式	81	2.4.3 缩孔形成机理	95
2.2.3 中间凝固方式	82	2.4.4 缩松形成机理	96
2.2.4 凝固区域宽度的控制	82	2.4.5 补缩通道与缩孔位置的确定	97
2.3 凝固模数的计算	83	2.4.5.1 非补缩通道的位置	97
2.3.1 简单几何体模数的计算	85	2.4.5.2 可作为补缩通道或缩孔 的位置	99
2.3.2 复合体模数的计算	86	2.4.5.3 补缩通道计算实例	100
2.3.2.1 有限体复合体模数的计算	86	2.4.6 冒口的位置	103
2.3.2.2 杆状件复合体模数的计算	87	2.4.7 冒口的补缩距离	103
2.3.2.3 T 形板接头模数的计算	88	2.4.7.1 图表法	103
2.3.2.4 十字形板接头模数的计算	88		

2.4.7.2 延续度法	105	2.4.12 比例法计算冒口	183
2.4.8 补贴的设计	106	2.4.13 易割冒口的计算	192
2.4.8.1 金属补贴	107	2.5 铸铁件补缩系统设计	194
2.4.8.2 保温补贴	115	2.5.1 灰铸铁件的补缩	194
2.4.9 模数法计算冒口	117	2.5.1.1 凝固体收缩	194
2.4.9.1 普通冒口的计算	117	2.5.1.2 冒口补缩距离	195
2.4.9.2 保温冒口的计算	126	2.5.1.3 冒口计算	195
2.4.9.3 发热冒口的计算	129	2.5.1.4 局部厚大截面(热节)的处理	196
2.4.9.4 工艺举例	131	2.5.2 球墨铸铁件的补缩	202
2.4.10 周界商法计算冒口	169	2.5.2.1 凝固体收缩	202
2.4.11 补缩液量法计算冒口	171	2.5.2.2 冒口计算	202
2.4.11.1 凝固体收缩的计算	172	2.5.3 可锻铸铁件的补缩	207
2.4.11.2 半球顶等圆柱形冒口 的计算	172	2.5.4 铸铁件补缩系统工艺举例	210
2.4.11.3 半圆顶等腰形冒口的计算	172	2.6 非铁合金铸件补缩系统设计	223
2.4.11.4 侧冒口的计算	173	2.6.1 冒口补缩距离	223
2.4.11.5 冒口计算实例	173	2.6.2 冒口计算	224
		2.6.3 非铁合金铸件补缩系统工艺举例	226

第 3 章 激冷系统设计

3.1 铸钢件激冷系统设计	231	3.1.3 内冷铁及其激冷系统设计	251
3.1.1 直接外冷铁及其激冷系统设计	231	3.1.3.1 熔合内冷铁的计算	252
3.1.1.1 直接外冷铁引起的气孔 和消除	231	3.1.3.2 不熔合内冷铁的计算	256
3.1.1.2 直接外冷铁引起的热裂 和消除	232	3.1.3.3 简易法计算内冷铁	257
3.1.1.3 用模数法计算直接外冷铁	239	3.1.3.4 激冷系统设计实例	261
3.1.1.4 激冷系统设计实例	245	3.2 铸铁件激冷系统设计	266
3.1.2 间接外冷铁及其激冷系统设计	248	3.2.1 灰铸铁件的激冷	266
3.1.2.1 代替直接外冷铁防止铸件 产生气孔	248	3.2.2 球墨铸铁件的激冷	267
3.1.2.2 代替直接外冷铁或内冷铁控制 铸件凝固	249	3.2.3 激冷系统设计实例	268
3.1.2.3 间接外冷铁的计算	249	3.3 非铁合金铸件的激冷	274
3.1.2.4 激冷系统设计实例	250	3.4 强制冷却系统设计	275
		3.4.1 强制冷却的原理与工艺措施	275
		3.4.2 强制冷却工艺设计实例	276

第 4 章 风力发电设备铸件的铸造

4.1 简介	284	4.5.4 孕育处理	289
4.2 化学成分控制	285	4.5.5 均衡凝固和缓慢冷却	290
4.2.1 $\omega(\text{CE})$ 、 $\omega(\text{C})$ 和 $\omega(\text{Si})$ 的选择	286	4.6 热处理	291
4.2.2 $\omega(\text{Mn})$ 、 $\omega(\text{P})$ 和 $\omega(\text{S})$ 的选择	286	4.7 铸造工艺	291
4.3 微量合金元素的控制	287	4.7.1 砂型与砂芯	291
4.4 金属炉料的选择	288	4.7.2 浇注系统设计	292
4.5 熔化、球化、孕育处理与浇注	288	4.7.3 收缩缺陷的预测	292
4.5.1 熔化	288	4.7.4 冒口与冷铁设计	293
4.5.2 预处理	288	4.7.5 铸造工艺举例	294
4.5.3 球化处理	289		

第 5 章 消失模铸造与 V 法铸造

5.1 消失模铸造与 V 法铸造的比较 与选择	301
5.2 消失模铸造	301
5.2.1 模样制造	302
5.2.1.1 模样材料	302
5.2.1.2 模样的加工成形	303
5.2.1.3 模样的发泡成形	309
5.2.2 胎型设计与制造	319
5.2.3 涂料	320
5.2.3.1 聚乙烯醇缩丁醛(PVA)快 干涂料	320
5.2.3.2 树脂系快干涂料	320
5.2.3.3 纸浆废液涂料	321
5.2.3.4 糖浆涂料	321
5.2.3.5 CMC 涂料	322
5.2.3.6 施涂工艺与干燥	323
5.2.4 铸造工艺与生产技术	324
5.2.4.1 工艺方案选择	324
5.2.4.2 加工余量与尺寸公差	325
5.2.4.3 收缩率	325
5.2.4.4 浇注系统设计	325
5.2.4.5 补缩系统和激冷系统设计	326
5.2.4.6 砂箱	327
5.2.4.7 型砂	328
5.2.4.8 型砂输送	328
5.2.4.9 加砂除尘	328
5.2.4.10 振动紧实	329
5.2.4.11 抽真空与浇注	331
5.2.4.12 旧砂处理	333
5.2.4.13 大型铸件生产	335
5.2.5 环境保护	336
5.2.5.1 除尘	336
5.2.5.2 废气处理	337
5.2.6 生产线的形式	338
5.2.6.1 工艺流程	338
5.2.6.2 造型生产线	338
5.2.7 铸铁件皱皮缺陷及其预防	340
5.2.7.1 皱皮形成机理	340
5.2.7.2 皱皮缺陷预防措施	340
5.2.8 铸钢件表面增碳及其预防	341
5.2.8.1 增碳机理	341
5.2.8.2 影响表面增碳的因素及预 防措施	342
5.2.9 Replicast CS 法	345
5.2.10 负压富氧快烧空壳铸造法	346
5.2.10.1 工艺流程	346
5.2.10.2 工艺要点	346
5.2.11 负压强烧空壳(无碳)铸造法	350
5.2.12 高温焙烧空壳铸造法	352
5.2.12.1 涂料的配制	352
5.2.12.2 焙烧前后注意事项	353
5.2.12.3 焙烧后的涂层应有的性能	354
5.2.13 消失模铸造工艺举例	354
5.2.14 泡沫塑料主要性能指标的检验	364
5.2.14.1 聚苯乙烯中残留苯乙烯 单体测定	364
5.2.14.2 发泡剂含量的测定	364
5.2.14.3 聚苯乙烯珠粒的堆积密度	365
5.2.14.4 聚苯乙烯泡沫塑料的水分	365
5.2.14.5 泡沫塑料的密度	365
5.2.14.6 泡沫塑料的线收缩率	366
5.2.14.7 泡沫塑料的抗拉强度	366
5.2.14.8 泡沫塑料的抗压强度	366
5.3 V 法铸造	367
5.3.1 V 法铸造原理	367
5.3.2 造型设备	368
5.3.2.1 砂箱	368
5.3.2.2 模板	369
5.3.3 真空抽气系统	372
5.3.3.1 真空泵	372
5.3.3.2 水浴滤气罐	372
5.3.3.3 真空罐(稳压罐)	373
5.3.3.4 滤砂与分配罐	373
5.3.4 V 法铸造工艺	373
5.3.4.1 型砂与砂处理	373
5.3.4.2 塑料薄膜与覆膜成形	373
5.3.4.3 涂料与涂敷	377
5.3.4.4 浇注系统、冒口和冷铁	379
5.3.4.5 造型与制芯	379
5.3.4.6 配箱与浇注	381
5.3.5 V 法铸造工艺举例	381
5.4 消失模铸造与 V 法铸造兼备	385

第 6 章 特种铸造工艺

6.1 离心铸造	386
6.1.1 铜合金管、套类铸件离心铸造	388

6.1.1.1	铸件的线收缩率	389	6.2.4	以电磁泵驱动的低压铸造工艺	433
6.1.1.2	机械加工余量	389	6.3	差压铸造	433
6.1.1.3	铸型转速	390	6.3.1	差压铸造原理	433
6.1.1.4	铸型工作温度	391	6.3.2	差压铸造工艺的优缺点	434
6.1.1.5	涂料	391	6.3.3	差压铸造应用范围	434
6.1.1.6	浇注温度	392	6.3.4	铸型与工艺设计	435
6.1.1.7	浇注方法	392	6.3.5	差压铸造浇注工艺	435
6.1.1.8	出型温度	393	6.3.5.1	浇注过程的特点	435
6.1.2	轴瓦离心铸造	393	6.3.5.2	浇注工艺参数选择	436
6.1.2.1	封闭式钢背衬铜轴瓦 离心铸造	393	6.3.6	差压铸造设备	437
6.1.2.2	开放式钢背衬铜轴瓦 离心铸造	395	6.3.6.1	VP型差压铸造设备	437
6.1.2.3	开放式钢背巴氏合金轴瓦 离心铸造	395	6.3.6.2	国产差压铸造设备	437
6.1.3	铜合金叶轮离心铸造	396	6.3.6.3	差压浇注液面加压控制系统	439
6.1.4	大型管形铸钢件离心铸造	396	6.4	调压铸造	440
6.1.4.1	卧式离心铸造机	397	6.4.1	调压铸造的工作原理	440
6.1.4.2	筒型设计	398	6.4.2	调压铸造工艺特点	440
6.1.4.3	离心铸造操作要点	399	6.4.3	应用范围	441
6.1.4.4	离心铸造缺陷分析	400	6.4.4	液面加压控制系统	441
6.1.5	铸铁气缸套离心铸造	401	6.5	增压铸造	441
6.1.5.1	材质	401	6.5.1	基本原理	442
6.1.5.2	离心铸造工艺	403	6.5.2	增压铸造设备	442
6.1.5.3	常见的缺陷及防止	407	6.5.3	增压铸造工艺	442
6.2	低压铸造	407	6.6	石膏型铸造	443
6.2.1	铸件工艺设计	408	6.6.1	石膏型铸造应用范围	443
6.2.1.1	浇注位置的选择	408	6.6.2	工艺过程	445
6.2.1.2	分型面的选择	409	6.6.3	工艺参数	445
6.2.1.3	加工余量、工艺余量和 铸造斜度	409	6.6.3.1	铸件尺寸公差和加工余量	445
6.2.1.4	铸造收缩率	410	6.6.3.2	铸造斜度	445
6.2.1.5	浇注系统的形式	410	6.6.3.3	线收缩率	446
6.2.1.6	浇注系统计算	411	6.6.3.4	浇冒口、补贴、冷铁设计	447
6.2.1.7	冒口设计	411	6.6.4	熔模法用模样的制造	447
6.2.1.8	冷铁设计	411	6.6.4.1	模料	447
6.2.1.9	强制冷却	411	6.6.4.2	水溶性型芯料	447
6.2.2	铸型设计	412	6.6.4.3	蜡模样与型芯的制作	448
6.2.2.1	铸型的种类	412	6.6.5	石膏型用原材料	449
6.2.2.2	铸型的结构设计	413	6.6.6	石膏浆料的配方	449
6.2.3	以气力驱动的低压铸造工艺	419	6.6.7	石膏浆料的制备	450
6.2.3.1	工艺过程	419	6.6.7.1	非发泡石膏浆料的制备	450
6.2.3.2	升液管的准备	419	6.6.7.2	发泡石膏浆料的制备	451
6.2.3.3	保温坩埚的准备	419	6.6.8	灌浆	452
6.2.3.4	铸型的准备	419	6.6.9	石膏型的蒸汽处理、干燥和脱蜡	453
6.2.3.5	低压浇注	421	6.6.10	石膏型的焙烧	453
6.2.3.6	工艺实例	425	6.6.11	浇注	454
6.2.3.7	液面加压控制浇注工艺	432	6.6.12	铸件清理	456
			6.7	陶瓷型铸造	457
			6.7.1	硅酸乙酯陶瓷型铸造	457
			6.7.1.1	工艺过程	457

6.7.1.2 应用范围	457	6.7.2.5 合型、浇注与清理	471
6.7.1.3 铸件工艺设计	458	6.8 振动浇注和结晶	471
6.7.1.4 铸型用原材料	459	6.8.1 振动对铸件质量的影响	472
6.7.1.5 制型工艺	466	6.8.2 振动对金属结晶的影响	472
6.7.1.6 合型、浇注、清理	469	6.8.3 振动浇注、结晶比纯振动 结晶优越	474
6.7.2 硅溶胶陶瓷型铸造	469	6.8.4 振动浇注、结晶的应用范围	475
6.7.2.1 硅溶胶	469	6.8.5 消失模振动浇注、结晶的工 业化应用	475
6.7.2.2 硅溶胶的稀释处理	470		
6.7.2.3 硅溶胶浆料	470		
6.7.2.4 制型工艺	471		

第 7 章 铸造工艺参数与工艺符号

7.1 铸件最小铸出壁厚	477	7.14.1 压铁重量的计算	492
7.2 铸件最小铸出孔	477	7.14.2 去除压铁载荷时间	494
7.2.1 用于铝合金铸件的水溶性砂芯	478	7.15 起吊重量和铸件上吊轴的设计	494
7.2.2 用于铸钢件的水溶性砂芯	478	7.15.1 起吊重量的计算方法	494
7.3 铸件尺寸公差	479	7.15.2 铸件上吊轴的设计	494
7.4 机械加工余量	481	7.16 砂芯芯头尺寸	495
7.5 铸件重量公差	483	7.16.1 垂直芯头	496
7.6 铸件表面粗糙度	484	7.16.2 水平芯头	498
7.7 铸造收缩率	485	7.17 砂芯的定位结构	500
7.8 起模斜度	486	7.18 压环、防压环和集砂槽芯头 结构	501
7.9 非加工壁厚负余量	488	7.19 砂芯负数(砂芯减量)	501
7.10 反变形量	488	7.20 芯撑	502
7.11 工艺补正量	489	7.20.1 使用芯撑需要注意的几个问题	502
7.12 分型负数	491	7.20.2 芯撑尺寸的计算	503
7.13 收缩肋	491	7.21 铸造工艺符号	512
7.14 压铁的重量和去压铁载荷时间	492		

第 8 章 造型与制芯材料

8.1 原砂	517	8.1.8 石灰石砂	526
8.1.1 硅砂	517	8.2 黏结材料	528
8.1.1.1 来源和分类	517	8.2.1 无机黏结材料	528
8.1.1.2 硅砂的矿物组成	517	8.2.1.1 普通黏土(代号 N)	528
8.1.1.3 粒度	518	8.2.1.2 膨润土(代号 P)	529
8.1.1.4 表面状态、颗粒形状	519	8.2.1.3 镁钙基膨润土	532
8.1.1.5 铸造用硅砂的分级	520	8.2.1.4 水玻璃	532
8.1.1.6 铸造用硅砂的牌号	521	8.2.2 合成树脂黏结剂	537
8.1.1.7 检定铸造黏结剂用标准砂	521	8.2.2.1 自硬法用树脂黏结剂	538
8.1.2 锆英砂(别称锆砂)	521	8.2.2.2 覆膜砂用树脂黏结剂 及固化剂	540
8.1.3 铬铁矿砂	522	8.2.2.3 热芯盒用树脂黏结剂及 其固化剂	541
8.1.4 宝珠砂与碳粒砂	523	8.2.2.4 温芯盒用树脂黏结剂及 固化剂	543
8.1.5 橄榄石砂	524		
8.1.6 刚玉砂(粉)	525		
8.1.7 铝矾土耐火熟料砂	525		

8.2.2.5 烘干硬化酚醛树脂黏结剂	543	(VRH-CO ₂ 法)	568
8.2.2.6 气硬冷芯盒法用树脂黏结剂 ..	544	8.5.1.4 CO ₂ 硬化水玻璃砂可能出现的问题 与预防措施	568
8.2.3 其他黏结剂	547	8.5.2 烘干硬化水玻璃砂	569
8.2.3.1 羧甲基纤维素钠(CMC)	547	8.5.3 有机酯水玻璃自硬砂	570
8.2.3.2 聚乙烯醇缩丁醛(PVB)	548	8.5.3.1 有机酯普通水玻璃自硬砂	571
8.2.3.3 聚丙烯酰胺(PAM)	548	8.5.3.2 有机酯改性水玻璃自硬砂	573
8.2.3.4 聚醋酸乙烯乳液(白乳胶)	549	8.5.3.3 新型酯改性水玻璃自硬砂	575
8.2.3.5 黄原胶	549	8.5.3.4 酯硬化水玻璃砂可能出现的问题及 防止措施	575
8.2.3.6 硅酸乙酯	549	8.5.4 新型热硬改性水玻璃砂	576
8.2.3.7 硅溶胶	550	8.5.5 新型水玻璃冷芯盒气硬砂	578
8.2.3.8 硫酸铝	550	8.5.6 水玻璃砂旧砂处理与再生	578
8.3 其他材料	550	8.5.6.1 湿法再生	578
8.3.1 铸造用煤粉	550	8.5.6.2 干法再生	578
8.3.1.1 挥发分	550	8.5.6.3 综合法再生	578
8.3.1.2 焦渣	550	8.6 树脂砂	579
8.3.1.3 光亮碳	550	8.6.1 树脂自硬砂	579
8.3.1.4 粒度	550	8.6.1.1 对原材料的要求	579
8.3.2 煤粉的代用材料	551	8.6.1.2 树脂自硬砂配制	580
8.3.2.1 FS 粉	551	8.6.1.3 树脂自硬砂的旧砂再生	582
8.3.2.2 MD 粉	552	8.6.2 覆膜砂	583
8.3.2.3 α-淀粉	552	8.6.2.1 覆膜砂原材料	583
8.3.2.4 重油	552	8.6.2.2 覆膜砂的性能和分类	584
8.3.2.5 高效煤粉	553	8.6.2.3 覆膜砂的生产与供应	584
8.3.2.6 铸造综合添加剂	553	8.6.3 热芯盒砂	584
8.3.3 石墨粉	553	8.6.3.1 热芯盒砂用原材料	584
8.3.4 抗脉纹添加剂	555	8.6.3.2 热芯盒砂配比及混砂工艺	585
8.3.5 偶联剂	556	8.6.4 温芯盒砂	585
8.3.6 有机溶剂	556	8.6.5 气硬冷芯盒砂	586
8.3.6.1 乙醇	556	8.6.5.1 三乙胺法芯砂	586
8.3.6.2 异丙醇	557	8.6.5.2 SO ₂ 法芯砂	586
8.3.7 脱模剂	557	8.6.5.3 CO ₂ 硬化碱性酚醛 树脂芯砂	587
8.3.7.1 石松子粉和滑石粉	557	8.6.5.4 气雾化有机酯硬化酚醛 树脂芯砂	588
8.3.7.2 全损耗系统用油	558	8.6.5.5 CO ₂ 硬化聚丙烯酸钠芯砂	588
8.3.7.3 蜡	558	8.7 涂料	588
8.3.7.4 甲基硅油	558	8.7.1 涂料的基本组成	589
8.4 黏土砂	559	8.7.1.1 耐火骨料	589
8.4.1 湿型砂各种材料的选用	559	8.7.1.2 悬浮剂	589
8.4.2 湿型砂及其性能控制	560	8.7.1.3 黏结剂	591
8.4.3 湿型砂的配方	560	8.7.1.4 载体(分散剂)	591
8.4.4 湿型砂的混制工艺	564	8.7.1.5 助剂	592
8.4.5 旧砂回用及其性能控制	564	8.7.2 涂料性能的测定	592
8.5 水玻璃型砂和芯砂	565	8.7.3 涂料的选用	592
8.5.1 CO ₂ 硬化水玻璃砂	565		
8.5.1.1 原材料选择	565		
8.5.1.2 CO ₂ 硬化水玻璃砂的配方 及性能	566		
8.5.1.3 真空 CO ₂ 硬化水玻璃砂配比与性能			

第 9 章 造型、制芯、烘干与砂型装配

9.1 造型与制芯方法分类和选择	594	9.2.6 树脂自硬砂造型与制芯工艺	619
9.2 造型和制芯	596	9.2.6.1 造型、制芯工艺特点	619
9.2.1 手工造型	596	9.2.6.2 操作要点	619
9.2.1.1 砂箱造型	596	9.2.7 树脂砂热硬法制芯工艺	621
9.2.1.2 地坑造型	601	9.2.7.1 热芯盒法	621
9.2.2 手工制芯	604	9.2.7.2 壳芯法	621
9.2.2.1 芯盒制芯	604	9.2.8 树脂砂气硬法制芯工艺	622
9.2.2.2 车板制芯	606	9.2.8.1 三乙胺法制芯工艺	622
9.2.2.3 刮板制芯	607	9.2.8.2 SO_2 法制芯工艺	624
9.2.3 机器造型	607	9.2.8.3 甲酸酯气雾法制芯工艺	624
9.2.4 CO_2 硬化水玻璃砂型、砂芯工艺	611	9.2.8.4 CO_2 硬化法制芯工艺	625
9.2.4.1 插管法	611	9.3 烘干	626
9.2.4.2 盖罩法	612	9.4 砂型装配	629
9.2.4.3 型内吹气法	612	9.4.1 砂型的装配	629
9.2.4.4 复合吹气法	614	9.4.2 合型	629
9.2.4.5 VRH 硬化法	616	9.4.3 紧固	630
9.2.5 酯硬化水玻璃砂工艺	618		

第 10 章 铸件的落砂、清理与后处理

10.1 铸件的落砂除芯	632	电弧焊补	657
10.1.1 机械落砂除芯	634	10.4.1.3 可锻铸铁件缺陷的 电弧焊补	658
10.1.1.1 机械振动落砂	634	10.4.1.4 铸钢件缺陷的电弧焊补	658
10.1.1.2 滚筒落砂	635	10.4.1.5 铜合金铸件缺陷的 电弧焊补	661
10.1.1.3 风动机械除芯	636	10.4.2 CO_2 气体保护焊	661
10.1.2 喷丸清砂除芯	636	10.4.2.1 CO_2 焊的特点	661
10.1.3 水力清砂除芯	636	10.4.2.2 CO_2 焊焊补工艺	661
10.1.4 电液清砂除芯	637	10.4.2.3 CO_2 焊焊补安全技术	664
10.1.5 碱煮化学清砂	638	10.4.3 气焊焊补	664
10.2 铸件的浇冒口、飞翅和毛刺 的去除	640	10.4.3.1 铸铁件的气焊	665
10.2.1 机械冲、锯、切	640	10.4.3.2 非铁合金铸件的气焊	665
10.2.2 导电切割	641	10.4.4 浸渗修补	668
10.2.3 碳弧气刨	642	10.4.4.1 水玻璃型浸渗剂	669
10.2.4 氧乙炔焰切割	645	10.4.4.2 合成树脂型浸渗剂	669
10.3 铸件的表面清理	647	10.4.4.3 厌氧型浸渗剂	669
10.3.1 滚筒表面清理	647	10.4.4.4 真空压力浸渗工艺	670
10.3.2 喷丸表面清理	647	10.5 铸件除应力处理	670
10.3.3 喷砂表面清理	648	10.5.1 铸铁件除应力处理	670
10.3.4 抛丸表面清理	650	10.5.1.1 灰铸铁件	670
10.3.5 铸件表面的铲磨	651	10.5.1.2 高硅和高铬铸铁件	672
10.4 铸件缺陷的修补	654	10.5.1.3 球墨铸铁件	673
10.4.1 手工电弧焊焊补	654	10.5.2 铸钢件除应力处理	673
10.4.1.1 灰铸铁件缺陷的电弧焊补	655	10.5.3 非铁合金铸件除应力处理	673
10.4.1.2 球墨铸铁件缺陷的		10.6 铸件的防锈处理	674

10. 6. 1 防锈液法	674	10. 6. 3 油封法	675
10. 6. 2 磷化法	675	10. 6. 4 化学氧化处理	676

附 录

附录 A 球墨铸铁件常用热处理规范 ...	679	附录 E 高锰钢铸件热处理规范	691
附录 B 可锻铸铁件石墨化退火热处理规范	683	附录 F 常用不锈钢铸件热处理规范	692
附录 C 碳钢铸件热处理规范	684	附录 G 铝合金铸件热处理规范	694
附录 D 常用低合金钢铸件热处理规范	687	附录 H 镁合金铸件热处理规范	697
		附录 I 铜合金铸件热处理规范	698
		参考文献	699

第1章 浇注系统设计

1.1 浇注系统简介

1.1.1 浇注系统的组成与作用

浇注系统是铸型中引导液态金属进入型腔的通道，它由浇口杯、直浇道、横浇道和内浇道组成，其基本结构见图 1-1。广义地说，出气孔和浇包也属于浇注系统。

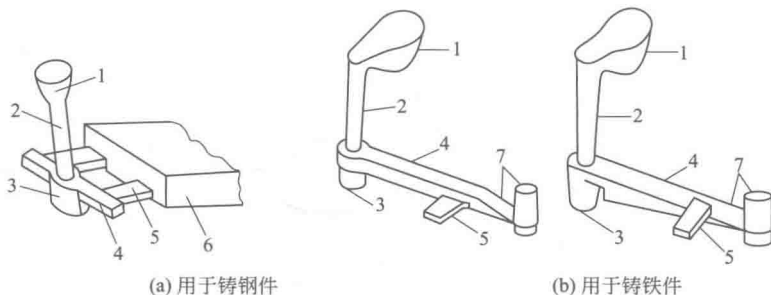


图 1-1 浇注系统的基本结构

1—浇口杯；2—直浇道；3—浇口窝；4—横浇道；5—内浇道；6—铸件；7—集渣包

浇口杯的作用是承接金属液，并将其导入直浇道。浇口杯分为漏斗形和盆形两大类。漏斗形浇口杯又分成两类：一类供中、小型铸铁件和非铁合金铸件使用；一类供铸钢件使用。

中、小型铸铁件和非铁合金铸件用的漏斗形浇口杯通常在浇口杯箱内用型砂舂制成，对需要阻渣的铸件，可在浇口杯与砂型的接合面压一片耐高温的玻璃纤维过滤网进行阻渣。供中、小型铸钢件用的浇口杯，多用水玻璃砂舂制而成；供中、大型铸钢件用的浇口杯用耐火材料制作，如用经过烧结的漏斗形砖砌成。

中、大型非铁合金铸件多采用拔塞式盆形浇口杯。中、大型铸铁件采用的盆形浇口杯，其底部有坝、闸门或拔塞，铁液上升至适宜高度后才流入直浇道。盆内金属液较深，可阻止产生水平旋涡引发垂直旋涡，防止气泡和熔渣进入直浇道。

有研究表明，盆形浇口杯中的液面高度超过直浇道上端直径 5 倍，且浇包嘴离浇口杯很近时才能防止水平旋涡产生。因此，对于重要铸件宜采用闸门式或拔塞式浇口盆。

对于盆形浇口杯，浇注时，浇包嘴离浇口杯要近些，离浇口杯的下注孔远些，纵向、逆向浇注，快速充满浇口杯（浇口杯的容积应比直浇道的容积大）。

直浇道的作用是引导浇口杯中的金属液进入横浇道、建立起足够的压力头、使金属液在重力作用下克服流动阻力及时充满型腔。直浇道做成上大下小的圆锥形（锥度取 1:50），利于金属液呈充满式流动形态，可防止将砂型中的气体带入铸件。要使直浇道呈充满形态，要求浇口杯中下注孔入口处的圆角半径等于或大于直浇道上端直径的 1/4，即 $r \geq d/4$ （ r 为浇口杯下注孔圆角半径； d 为直浇道上端直径，它与浇口杯下注孔直径相同）。直浇道尽可

能设置在横浇道、内浇道中心，使金属液流程最短、流量分配均匀。直浇道要有最小高度，以建立起足够的压力头，使金属液能充满离直浇道最远的铸件的最高部位，以使铸件轮廓清晰，避免浇不到。直浇道高度通常与上型高度相等，上型高度是否足够，要用剩余压力头来检查，剩余压力头要满足压力角的要求，见式（1-1）。

$$H_M \geq L \tan \alpha$$

(1-1)

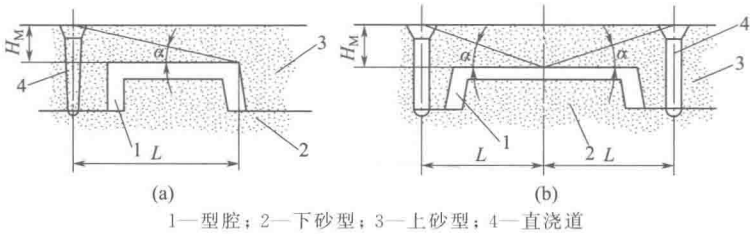
式中

H_M ——剩余压力头，mm；

L ——金属液的水平流程，即铸件最高最远点至直浇道中心的水平投影距离，mm；

α ——压力角，查表 1-1 确定。

表 1-1 压力角的最小值



L/mm	铸件壁厚 δ /mm							使用范围
	2~5	5~8	8~15	15~20	20~25	25~35	35~45	
	压力角 α /(°)							
4000	根据 具体情 况而定	6~7	5~6	5~6	5~6	4~5	4~5	用 2 个以上 直浇道浇注
3500		6~7	5~6	5~6	5~6	4~5	4~5	
3000		6~7	6~7	5~6	5~6	4~5	4~5	
2800		6~7	6~7	6~7	6~7	5~6	4~5	
2600		7~8	6~7	6~7	6~7	5~6	4~5	
2400		7~8	7~8	6~7	6~7	5~6	5~6	
2200		8~9	7~8	6~7	6~7	5~6	5~6	用 1 个直 浇道浇注
2000		8~9	7~8	6~7	6~7	5~6	6~7	
1800		8~9	7~8	7~8	7~8	6~7	6~7	
1600		8~9	7~8	7~8	7~8	6~7	6~7	
1400		8~9	8~9	7~8	7~8	6~7	6~7	
1200		10~11	9~10	8~9	7~8	7~8	6~7	
1000	11~12	9~10	9~10	7~8	7~8	6~7	6~7	
800	12~13	9~10	9~10	8~9	7~8	7~8	6~7	
600	13~14	9~10	9~10	9~10	8~9	7~8	6~7	

注：图（a）表示用 1 个直浇道浇注，图（b）表示用 2 个直浇道浇注。

根据实践得出：小型铸件直浇道高出铸件浇注位置的最高点 150~200mm，中、大型铸件高出 200~500mm，有利于防止侵入性气孔，也有利于金属液过滤；树脂砂型的直浇道相应要更高。

浇口窝对来自直浇道的金属液有缓冲作用，能缩短直-横浇道拐角处的紊流区，改善横浇道内的压力分布，有利于内浇道的流量分配。比较合理的尺寸是：浇口窝直径为直浇道下端直径的 1.2~2 倍，比横浇道宽，高度为横浇道的 2 倍。浇口窝与直浇道和横浇道的过渡避免有尖角砂。浇口窝底部宜放干砂芯片或耐火砖块，以防冲砂。

横浇道除将金属液引入内浇道外，还有捕渣的重大作用。对于封闭式浇注系统，要求横

浇道的横截面做成窄而高的高梯形，它的高度应为内浇道高度的4~6倍，以使内浇道的吸动作用达不到横浇道的顶面，避免将浮渣吸入铸件。横浇道的末端距最后一道内浇道的距离应不小于75mm，以避开内浇道对浮渣的吸动，以及使聚积在末端的杂质不往回返流。横浇道的捕渣原理见图1-2。图中的 $v_{横}$ 是金属液在横浇道中的流速， $v_{浮}$ 是杂质的漂浮速度，杂质以两者的合成速度 v 运动，并浮升到横浇道顶面而被捕。而图可知，横浇道有一定的高度、降低金属液在横浇道的流速和使金属液呈充满式流态，是横浇道捕渣的必要条件。

内浇道的作用是控制金属液流入型腔的方向和速度，调节铸件的温度场。除此以外，内浇道还应协助横浇道捕渣。

封闭式浇注系统的内浇道位于横浇道的下部，且与横浇道具有同一底平面，见图1-3(a)。最初进入横浇道的污冷金属液靠惯性流过内浇道，集积于末端延长段或集渣包，而不进入型腔。

开放式浇注系统的内浇道位于横浇道的顶部，内浇道的顶面不能和横浇道的顶面在同一水平面上，而要位于横浇道之上，见图1-3(b)，以防横浇道还未充满时浮渣就进入内浇道而不滞留在横浇道的顶面。横浇道的横截面可做得矮些、宽些，使其呈矮梯形。

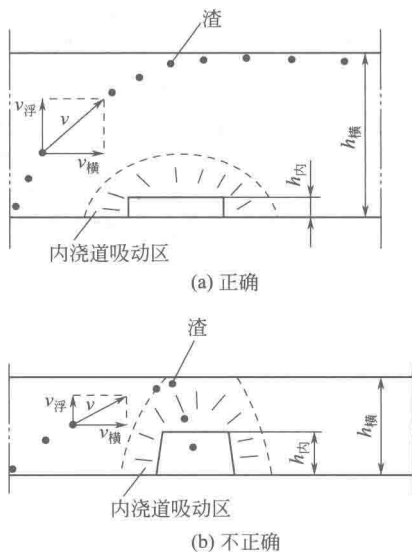


图1-2 横浇道的捕渣原理

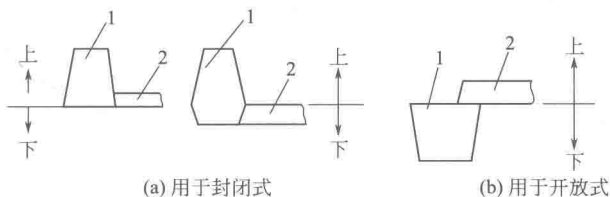


图1-3 内浇道与横浇道的连接形式

1—横浇道；2—内浇道

内浇道的高度应为横浇道高度的1/4~1/6，做成扁平梯形横截面，以降低其吸动区，便于横浇道捕获和清除熔渣。

与直浇道相邻的第一道内浇道与直浇道的距离应大于横浇道高度的5倍，以避开紊流区，使熔渣有条件漂升到超过内浇道的吸动区。

1.1.2 内浇道位置设置通则

(1) 对部分铸件，内浇道应按顺序凝固原则设置。

凝固收缩率大的合金铸件，如铸钢件、铝合金铸件、无锡青铜铸件和部分黄铜铸件，开设内浇道的部位要有利于铸件的顺序凝固。内浇道从设置冒口的厚壁处或冒口处引入，有助于造成较强的顺序凝固条件，使铸件能实现从薄壁到厚壁，最后到冒口的凝固顺序。应重视浇注位置，内浇道数量不宜过多，避免铸件未设置冒口处局部过热。

结构复杂的铸件，对每一个补缩区域按顺序凝固原则设置冒口以后，可在设置冒口的部位同时开设内浇道引入金属液，以加强顺序凝固。此时，内浇道的数量较多，对整个铸件而言，有利于均衡凝固，减小铸造应力。

中、大型铸件，若需要在未设置冒口的薄壁部位开设内浇道，与内浇道接合处会产生局部过热现象，使铸件产生缩孔、缩松。对重要铸件，为消除这类缺陷，必须对其增设补贴，以形成顺序凝固的条件，将缩孔、缩松引入冒口中。

(2) 对部分铸件，内浇道必须按同时凝固原则设置。

凝固收缩率小的合金铸件，如铸铁件、锡青铜铸件。当壁厚均匀时采用多内浇道分散引入金属液，甚至采用雨淋式内浇道；当壁厚不均匀时，内浇道应分散地从薄壁处导入金属液，采用多内浇道以均衡型内温度，使铸件基本能同时凝固，减小铸造应力。

(3) 内浇道不应开设在靠近有芯撑或有冷铁的部位。即使需要开设在有冷铁的部位，也需增加冷铁的厚度。

(4) 内浇道应有利于平稳、快速充型和排气、排渣，不严重冲刷砂型和砂芯，能尽量缩短金属液在型腔中的流程。

(5) 内浇道应尽可能开设在分型面上；但对于有一定高度的铸件，最好采用底注式或阶梯式浇注系统。

(6) 尽可能避免在铸件的受力面和加工面上开设内浇道，以防止出现偏析、晶粒粗大、硬度降低等缺陷。

1.1.3 浇注系统的类型和应用范围

根据组成浇注系统各单元的横截面积比例的不同，通常将浇注系统分为开放式浇注系统、封闭式浇注系统和半封闭式浇注系统。

一般将液态金属视为理想流体，因此“封闭”式浇注系统就是“充满”式浇注系统，“开放”式浇注系统就是“不充满”式浇注系统。而液态金属是实体流体，有黏度，有阻力。在砂型中只有全部浇道的金属液为正压时，才呈充满式流态。理论计算和浇注试验证明：封闭式浇注系统是充满式浇注系统；而开放式浇注系统则一定是不充满式浇注系统，例如开放比例不大， $A_s < A_{ru} < A_g$ ，而 $A_g/A_s < 1.5$ 的浇注系统，由于压头及阻力损式的影响，浇注系统在充型中仍然会充满。

浇注系统按各单元横截面积比例的分类与应用见表 1-2，按内浇道进入铸件的位置分类与应用见表 1-3。

表 1-2 浇注系统按各单元横截面积比例的分类与应用

类型	截面积比例关系	特点与应用
封闭式	$\sum A_h > \sum A_s > \sum A_{ru} > \sum A_g$	控流截面在内浇道；浇注开始后，金属液容易充满浇注系统，呈有压流动状态捕渣能力较强，流速快，冲刷力大，易产生喷溅，金属液易氧化 适用于铸铁湿型小件及干型中、大件。树脂砂型铸铁大、中、小件均可采用
开放式	$\sum A_g > \sum A_{ru} > \sum A_s \geq \sum A_n$	控流截面在浇包下注孔或直浇道；内、横浇道往往是充不满的，呈无压流动态，充填平稳，流速慢，冲刷力小，捕渣能力差 适用于铸钢件和非铁合金铸件。球墨铸铁件常有采用，但灰铸铁件很少采用
半封闭式	$\sum A_g < \sum A_s < \sum A_{ru}$	控流截面在内浇道，横浇道截面最大，金属液在其中呈缓流态；流速较封闭式慢，充型较平稳，有一定捕渣能力 广泛用于树脂砂型的球墨铸铁件、灰铸铁件，轻合金铸件也有应用
封闭式—开放式	$\sum A_g > \sum A_{ru} < \sum A_s$	控流截面在横浇道，利于捕渣，充型平稳，兼有封闭与开放式浇注系统的优点 多用于小型铸铁件和轻合金铸件，特别是在模板造型一型多件时应用广泛；用转包浇注的小型铸钢件也用此类浇道

注： A_g —内浇道截面积； A_{ru} —横浇道截面积； A_s —直浇道截面积； A_n —浇包漏孔或浇口杯漏孔截面积。