

# 铸造手册

铸造工艺

5

中国机械工程学会铸造分会 组编  
李新亚 主编

第3版



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



# 铸 造 手 册

第 5 卷

## 铸 造 工 艺

第 3 版

中国机械工程学会铸造分会 组 编  
李新亚 主 编



机 械 工 业 出 版 社

《铸造手册》共分铸铁、铸钢、铸造非铁合金、造型材料、铸造工艺和特种铸造6卷。本书为第5卷《铸造工艺》。

本书第3版在第2版基础上,进行了全面的修订,更新了许多技术标准 and 工艺规范,完善和补充了新的技术内容,反映了技术发展趋势。本卷共7章:分别介绍了铸造工艺的发展简史、前景与展望;液态金属的充型能力,凝固、结晶、收缩的控制和铸件中的气体、非金属夹杂物;砂型造型、制芯工艺方案设计,工艺参数选择,浇注系统、冒口、冷铁和出气孔设计及砂型(芯)的烘干与装配,并给出了应用实例;模样、模板、芯盒和砂箱的设计;铸件的落砂除芯,浇冒口、飞翅和毛刺的去除,铸件的表面清理,铸件缺陷的产生原因和防止方法,铸件的矫形和挽救,内应力消除和防锈涂装;铸件质量检验;计算机技术在铸造中的应用和快速成形、无模化铸型、适流浇注系统设计等新技术。

本手册主要供从事铸造生产的技术人员使用,也可供从事材料研究的科研人员及高等院校相关专业的师生参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

铸造手册.第5卷,铸造工艺/李新亚主编;中国机械工程学会铸造分会组编.—3版.—北京:机械工业出版社,2011.5

ISBN 978-7-111-34171-0

I. ①铸… II. ①李…②中… III. ①铸造-手册  
②铸造-工艺学-手册 IV. ①TG2-62②TG24-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第066402号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:余茂祚 责任编辑:余茂祚

版式设计:霍永明 责任校对:胡艳萍 吴美英

封面设计:姚毅 责任印制:杨曦

北京京丰印刷厂印刷

2011年9月第3版·第1次印刷

184mm×260mm·56印张·3插页·1842千字

0 001—3 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-34171-0

定价:198.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010)68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010)88379649

读者购书热线:(010)88379203

封面无防伪标均为盗版

## 铸造手册第3版编委会

顾问	周尧和	柳百成		
编委会主任	李新亚	李荣德		
副主任	娄延春	李奇		
委员	张伯明	娄延春	戴圣龙	
	黄天佑	李新亚	姜不居	
	李超群	苏仕方	余茂祚	

## 铸造工艺卷第3版编委会

主编	李新亚			
副主编	高尚书	苏仕方	马顺龙	
编委	熊云龙	李宝治	卢宝胜	
	孙树臣	单忠德	曾卫东	
	孙逊			
主审	葛晨光			
总策划	余茂祚			

## 铸造手册第2版编委会

顾问 陶令桓 周尧和 柳百成

主任委员 赵立信

副主任委员 房贵如

委员 (按姓氏笔画为序)

王君卿 刘兆邦 刘伯操

张伯明 余茂祚 (常务)

范英俊 钟雪友 姚正耀

黄天佑

## 铸造工艺卷第2版编委会

主编 王君卿

副主编 朱文高 魏兵 车学温

编委 徐人瑞 黄河 袁森

周静一 卢宝胜

主审 李新亚

副主审 葛晨光

总策划 余茂祚

## 第3版前言

建国以来,我国铸造行业获得很大发展,年产量超过3500万t,位居世界第一;从业人员超过300万人,是世界规模最大的铸造工作者队伍。为满足行业及广大铸造工作者的需要,机械工业出版社于1991年编辑出版了《铸造手册》,2002年出版了第2版,手册共6卷813万字。第2版手册自出版发行以来,先后分别重印4~6次,深受广大铸造工作者欢迎。两院院士、中国工程院副院长师昌绪教授,科学院院士、上海交通大学周尧和教授,科学院院士、机械科学研究院原名誉院长雷天觉教授,工程院院士、中科院沈阳金属研究所胡壮麒教授,工程院院士、西北工业大学张立同教授,工程院院士、清华大学柳百成教授等许多著名专家、学者都曾对这套手册的出版给予了高度评价,认为手册内容丰富、数据可靠,具有科学性、先进性、实用性。这套手册的出版发行对跟踪世界先进技术、提高铸件质量、促进我国铸造技术进步起到了积极推进作用,在国内外产生较大影响,取得了显著的社会效益及经济效益。第1版手册1995年获机械工业出版社科技进步(暨优秀图书)一等奖,1996年获中国机械工程学会优秀工作成果奖,1998年获机械工业部科技进步二等奖。

第2版手册出版后的近8年来,科学技术迅猛发展,先进制造技术不断涌现,标准及工艺参数不断更新,特别是高新技术的引入,使铸造行业的产品及技术结构发生很大变化,原手册部分内容已不能适应当前生产实际及技术发展的需要。应广大读者要求,我们对手册进行了再次修订。第3版修订工作由中国机械工程学会铸造分会和机械工业出版社负责组织和协调。

修订后的手册基本保留了第2版的风格,仍由铸铁、铸钢、铸造非铁合金、造型材料、铸造工艺、特种铸造共6卷组成。第3版除对第2版已显陈旧落后的内容进行删改外,着重增加了近几年来国内外涌现出的新技术、新工艺、新材料、新设备的相关内容,并以最新的国内外技术标准替换已作废的旧标准,同时采用法定计量单位,修改内容累计达40%以上。第3版手册详细介绍了先进实用的铸造技术,数据翔实,图文并茂,基本反映了21世纪初的国内外铸造领域的技术现状及发展趋势。新版手册将以崭新的面貌为铸造工作者提供一套完整、先进、实用的技术工具书,对指导生产、推进21世纪我国铸造技术进步,使我国从铸造大国向铸造强国转变将发挥积极作用。

按GB/T229—2007《金属材料夏比摆锤冲击试验方法》规定,材料冲击性能用吸收能量KV、KU表示,V、U分别代表试样缺口形状。但由于2007年后新制定的一些铸铁新标准仍用过去的 $A_K$ 和 $a_K$ ,而且脆性铸铁材料的冲击试样往往不开缺口,故本手册在各章专业材料中仍用符号 $A_K$ 和 $a_K$ 表示,仅在第5卷第6章中交待了新的试验及表示方法。

第3版铸造手册的编写班子实力雄厚,共有来自工厂、研究院所及高等院校40多个单位的110名专家教授参加编写,而且有不少是后起之秀。各卷主编是:

第1卷铸铁 中国农业机械科学研究院原副院长张伯明研究员。

第2卷铸钢 沈阳铸造研究所所长姜延春研究员。

第3卷铸造非铁合金 北京航空材料研究院院长戴圣龙研究员。

第4卷造型材料 清华大学黄天佑教授。

第5卷铸造工艺 机械科学研究总院院长李新亚研究员。

第6卷特种铸造 清华大学姜不居教授。

本书为《铸造手册》的第5卷《铸造工艺》，编写组织工作得到沈阳铸造研究所的大力支持，并在该卷编委会的主持下，经过许多同志辛勤劳动完成的。在主编李新亚研究员、副主编高尚书研究员、苏仕方研究员、马顺龙研究员级高工全面负责的基础上，会同各编委完成各章的审定工作。全书共7章，各章编写分工如下：

第1章 机械科学研究总院：李新亚研究员

第2章 沈阳铸造研究所：高尚书研究员

第3章 一汽集团铸造公司：卢宝胜、王建东、孙树臣高级工程师，沈阳铸造研究所周静一、高尚书、曾卫东研究员，熊云龙、谭瑞高级工程师

第4章 一汽集团铸造公司：黄健明、卢宝胜高级工程师

第5章 一汽集团铸造公司：卢宝胜、刘文辉、赵洪仁高级工程师，沈阳铸造研究所：王子文研究员

第6章 沈阳铸造研究所：王子文研究员

第7章 沈阳铸造研究所：高尚书、李宝治、孙逊研究员，机械科学研究总院：单忠德研究员

本书统稿工作由高尚书研究员与责任编辑余茂祚研究员级高工共同完成。主审为沈阳铸造研究所葛晨光研究员。

本书在编写过程中得到沈阳铸造研究所、一汽集团铸造公司、机械科学研究总院、铸造杂志社等单位的大力支持，还得到沈阳铸造研究所王云侠高级工程师等人的支持和帮助，在此一并表示感谢。由于编者水平有限，有误之处在所难免，敬请读者指正。

中国机械工程学会铸造分会  
机械工业出版社

## 第2版前言

建国以来,我国铸造行业获得很大发展,年产量超过千万吨,位居世界第二;从业人员超过百万,是世界规模最大的铸造工作者队伍。为满足行业及广大铸造工作者的需要,机械工业出版社于1991年编辑出版了《铸造手册》共6卷610万字。第1版手册自出版发行以来,先后分别重印3~6次,深受广大铸造工作者欢迎。两院院士、中国工程院原副院长师昌绪教授,科学院院士、上海交通大学周尧和教授,科学院院士、机械科学研究院名誉院长雷天觉教授,工程院院士、中科院沈阳金属研究所胡壮麒教授,工程院院士、西北工业大学张立同教授等许多著名专家学者都对这套手册的出版给予了高度评价,认为手册内容丰富、数据可靠,具有科学性、先进性、实用性。这套手册的出版发行对跟踪世界先进技术、提高铸件质量、促进我国铸造技术进步起到了积极推进作用,在国内外产生较大影响,取得了显著的经济效益及社会效益。手册1995年获机械工业出版社科技进步(暨优秀图书)一等奖,1996年获中国机械工程学会优秀工作成果奖,1998年获机械工业部科技进步二等奖。

第1版手册出版后的近十年来,科学技术迅猛发展,先进制造技术不断涌现,标准及工艺参数不断更新,特别是高新技术的引入,使铸造行业的产品及技术结构发生很大变化,手册内容已不能完全适应当前生产实际及技术发展需要。应广大读者要求,我们对手册进行了修订。第2版修订工作由中国机械工程学会铸造分会和机械工业出版社负责组织和协调。

修订后的手册基本保留了第1版风格,仍由铸铁、铸钢、铸造非铁合金、造型材料、铸造工艺、特种铸造共6卷组成。为我国加入WTO,与世界铸造技术接轨,并全面反映当代铸造技术水平,第2版除对第1版已显陈旧的内容进行删改外,着重增加了近十几年来国内外涌现出的新技术、新工艺、新材料、新设备的相关内容,并以最新的国内外技术标准替换已作废的旧标准,同时采用新的计量单位,修改内容累计达40%以上。第2版手册详细介绍了先进实用的铸造技术,数据翔实,图文并茂,基本反应了20世纪90年代末至21世纪初国内外铸造领域的技术现状及发展趋势。新版手册以崭新的面貌为铸造工作者提供一套完整、先进、实用的技术工具书,对指导生产、推进21世纪我国铸造技术进步将发挥积极作用。

第2版手册的编写班子实力雄厚,共有来自工厂、研究院所及高等院校40多个单位的109名专家教授参加编写。各卷主编是:

- 第1卷 铸铁 中国农业机械科学研究院副院长张伯明研究员。
- 第2卷 铸钢 中国第二重型机械集团董事长姚正耀研究员级高工。
- 第3卷 铸造非铁合金 北京航空材料研究院院长刘伯操研究员。
- 第4卷 造型材料 清华大学黄天佑教授。
- 第5卷 铸造工艺 沈阳铸造研究所总工程师王君卿研究员。
- 第6卷 特种铸造 中国新兴铸管集团公司董事长范英俊研究员级高工。

本书为《铸造手册》的第5卷《铸造工艺》,编写组织工作得到沈阳铸造研究所的大力支持,并在该卷编委会的主持下,经过许多同志辛勤劳动完成的。在主编王君卿研究员全面负责的基础上,由副主编朱文高研究员魏兵教授、车学温研究员级高工、主持编写工作,并与各编委共同进行各章的审定工作,各章编写分工如下:

- 第1章 沈阳铸造研究所:王君卿研究员



- 第2章 西安理工大学：袁森教授
- 第3章 一汽集团铸造公司：卢宝胜高级工程师、纪慧云高级工程师、范继林高级工程师、王玉臣高级工程师、黄河高级工程师、常国锋高级工程师  
西安理工大学：张卫华副教授  
沈阳工业大学：白彦华副教授  
沈阳铸造研究所：周静一研究员、高尚书研究员、宋会宗研究员
- 第4章 一汽集团铸造公司：黄健明高级工程师、纪慧云高级工程师、黄河高级工程师、徐关庆工程师、魏伟工程师
- 第5章 一汽集团铸造公司：于占新高级工程师、纪慧云高级工程师、常国锋高级工程师
- 第6章 沈阳铸造研究所：朱文高研究员、黄明山研究员
- 第7章 沈阳铸造研究所：孙逊研究员、苏仕方研究员、喻德伟副研究员  
大连理工大学：金俊泽教授  
中国海洋大学：王树杰教授  
北京航空材料研究院：袁文明高级工程师

本书统稿工作由王君卿研究员、朱文高研究员协助责任编辑余茂祚研究员级高工共同完成。主审为机械科学研究院院长李新亚研究员，副主审为沈阳铸造研究所葛晨光研究员。

本书在编写过程中得到沈阳铸造研究所、西安理工大学、一汽集团铸造公司、北京航空材料研究院、大连理工大学、沈阳工业大学、中国海洋大学、铸造杂志社和铸造技术杂志社等单位的大力支持，还得到沈阳铸造研究所魏飞鸢研究员、郭桂林研究员、杨吉平高级工程师、姜华工程师和沈阳工业大学谢祖锡教授的支持和帮助，在此一并表示感谢。由于编者水平有限，不周之处，在所难免，敬请读者指正。

中国机械工程学会铸造分会编译出版工作委员会

# 本书常用的量和单位符号

## 一、符号基本定义

全书统一符号			下标符号	
名称	符号	法定计量单位	名称	符号
直径	$D, d, \phi$	mm、cm、dm、m	铸件	C
半径	$R, r$	mm、cm、dm、m	冒口	R
高度	$H, h$	mm、cm、dm、m	冒口颈	N
长度	$L, l$	mm、cm、dm、m	直浇道	直
宽度	$B, b$	mm、cm、dm、m	横浇道	横
厚度	$\delta$	mm、cm、dm、m	内浇道	内
模数	$M$	mm、cm	体积	V
面积	$A, S$	mm <sup>2</sup> 、cm <sup>2</sup> 、dm <sup>2</sup> 、m <sup>2</sup>	冷铁	ch
体积	$V$	mm <sup>3</sup> 、cm <sup>3</sup> 、dm <sup>3</sup> 、m <sup>3</sup>		
时间	$t$	s、min、h、d		
密度	$\rho$	kg/cm <sup>3</sup> 、t/m <sup>3</sup>	压力	P
压力	$p$	Pa、kPa、MPa		
摄氏温度	$t, \theta$	°C	液体	L
热力学温度	$T$	K	固体	S

## 二、空间与时间的量和单位符号

名称	符号	法定计量单位	(续)	
名称	符号	法定计量单位	名称	法定计量单位
铸件壁厚、厚度	$\delta$	mm	冒口有效体积	$V_e$ cm <sup>3</sup>
铸件的当量厚度	$\delta_E$	mm	浇口杯容积	$V_{杯}$ cm <sup>3</sup>
冒口直径	$D_R$	mm	铸件体积	$V_C$ dm <sup>3</sup>
冒口高度	$H_R$	mm	冒口的初始体积	$V_R$ cm <sup>3</sup>
模样在分型面的最大长度	$L$	mm		
模样长度	$L_1$	mm	浇注时间、铸件凝固时间	$t, t_1$ s、min
模样在分型面的最大宽度	$B$	mm	充满下部型腔的时间	$t_1$ s、min
铸件的收缩模数、关键模数	$M_S$	cm、dm	金属液自内浇道流出速度	$v$ cm/s
冷铁部位的铸件几何模数	$M_0$	cm、dm	型内液面上升速度	$v_L$ cm/s
冷铁相邻部位的铸件模数	$M_r$	cm、dm	凝固速度	$v$ cm/min
直浇道截面积	$A_{直}$	cm <sup>2</sup>	重力加速度	$g$ 9.81 m/s <sup>2</sup>
内浇道总截面积	$\Sigma A_{内}$	cm <sup>2</sup>	砂箱内框长度	$A$ mm
铸件模数、凝固模数	$M_C$	cm		

(续)		
名 称	符号	法定计量单位
砂箱内框宽度、模样宽度	$B$	mm
铸件浇注时的高度、铸件高度	$h_c$	mm、cm
冒口体高度	$H_R$	cm
砂芯直径	$D_1$	m
芯头直径	$D_2$	m
冒口模数	$M_R$	cm
冒口颈模数	$M_N$	cm
上芯头的横断面积	$A_{上}$	mm <sup>2</sup>
阻流片断面积、阻流断面积	$A_{阻}$	cm <sup>2</sup>
包孔断面积	$A_{包}$	cm <sup>2</sup>
内浇道断面积	$A_{内}$	cm <sup>2</sup>

(续)		
名 称	符号	法定计量单位
凝固结束后冒口的残余体积	$V_{RE}$	cm <sup>3</sup>
设置冷铁部位的铸件体积	$V_0$	dm <sup>3</sup>
冷铁部位相邻的铸件体积	$V_T$	dm <sup>3</sup>
放冷铁以后的凝固时间	$t_r$	min
未放冷铁在干型凝固时间	$t_0$	min
浇注速度	$v$	kg/s
包孔的浇注速度	$v_{包}$	kg/s
浇注比速	$k$	kg/(cm <sup>2</sup> ·s)

## 三、力学性能的量 and 单位符号

(续)		
名 称	符号	法定计量单位
金属液的静压力头高度	$H$	cm
金属液浇注系统中流动时各阻力的压头损失之和	$\sum h_{浇损}$	cm
充满型腔的平均压头	$H_p$	cm
有效压头、平均计算压头	$h_p$	cm
冒口平衡系数	$f_1$	
冒口压力系数	$f_3$	
流通效益系数	$f_P$	
冒口颈长度系数	$f_4$	
金属液的浇注重量	$G_L$	kg
充满内浇道以下型腔的金属液的重量	$G_1$	kg
充满上型腔金属液的重量	$G_2$	kg
砂芯重力、物料的重量	$G$	N、kg
砂芯所受浮力、芯撑受到的压力、铸件的矫形力	$F$	N
芯头的最大压力、金属液体内压力	$P$	Pa
铸件重量	$G_C$	kg
抗压强度	$R_{mc}$	MPa
抗拉强度	$R_m$	MPa
屈服强度	$R_{p0.2}$	MPa
断后伸长率	$A$	%

(续)		
名 称	符号	法定计量单位
浇注系统局部阻力系数	$\xi_{浇}$	
直浇道流速系数	$\phi_1$	
内浇道流速系数	$\phi_2$	
包括所有阻力损失的流量损耗系数、包孔流量损耗系数	$\mu$	
直浇道流量系数	$\mu_1$	
内浇道流量系数	$\mu_2$	
金属液流动系数	$S'$	
第 $i$ 个内浇道的局部阻力系数	$\xi_{j,i}$	
浇口杯容量	$G_{杯}$	kg
冒口中需储存的补缩液重量	$G_0$	kg
冒口重量	$G_{口}$	kg
冷铁重量	$G_{ch}$	kg
芯砂重力	$G_1$	N
芯骨重力	$G_2$	N
金属液密度	$\rho_L$	kg/dm <sup>3</sup>
砂芯密度、干态涂料的密度	$\rho_S$	kg/dm <sup>3</sup>
铸件密度	$\rho_C$	kg/dm <sup>3</sup>
内冷铁密度	$\rho_{ch}$	kg/dm <sup>3</sup>
铸件相对密度	$\rho_{相}$	kg/dm <sup>3</sup>
材料的弹性模量	$E$	MPa

四、热学性能的量 and 单位符号

(续)

名称	符号	法定计量单位	名称	符号	法定计量单位	
凝固层厚度	$\delta_0$	cm	冒口的周界商 $Q_R = V_R/M_R^2$	$Q_R$	dm	
凝固系数	$K$	$\text{cm}/\text{min}^{1/2}$	热节圆直径	$d_0$		
表面传热系数	$h_c$	$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	灰铸铁件收缩时间分数(铸件收缩时间/铸件凝固时间)	$P_C$		
金属固相线温度	$T_S$	K	补缩率(%) (外部补缩量体积/铸件总体积)	$F_C$		
金属液相线温度	$T_L$	K	收缩模数系数 $f_2 = P_C^{1/2}; M_S = f_2 M_C$	$f_2$		
温度梯度	$G$	$^{\circ}\text{C}/\text{cm}$	校核冒口平衡系数时 $f_1$ 的近似取值	$f_1^*$		
贝克列数	$P$	$\text{kg}/\text{s}$	冒口体散热表面积	$A_R$		$\text{cm}^2$
传导性	$d$		直浇道、横浇道凝固模数中的最小值	$M_g$		cm
体积函数, $0 \leq F \leq 1$	$F$		金属液过热热量	$\Delta H$		J/kg
复合辐射系数	$\epsilon$		钢液过热度	$\Delta t$		$^{\circ}\text{C}$
金属液热导率	$\lambda$	$\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$	凝固结束时冷铁的平均温升	$t_{oh}$	$^{\circ}\text{C}$	
吸热指数	$n$	$\text{cm}^2$ $\text{min}/\text{cm}^2$	冷铁的比热容	$c$	J/(kg · K)	
传热表面积	$A$		钢球在金属型中铸造时的模数	$M_{cb}$	dm	
模数系数	$K_m$		钢球在砂型中的凝固时间	$t_{sa}$	$^{\circ}\text{C}$	
凝固速率比: $f_r = M_R/M_C$	$f_r$		液态金属的比热容	$c_L$	J/(kg · K)	
金属补缩调整系数	$b$		反应温度下摩尔焓变	$\Delta H_2$	J/mol	
铸件周界商(铸件的体积与铸件模数的立方之比) $Q_C = V_C/M_C^3$	$Q_C$		298.15K 时摩尔焓变	$\Delta H_1$	J/mol	
金属在 $t_0 \sim t_1$ 温度范围内膨胀系数和线胀系数	$\alpha_V, \alpha_L$		$1/^{\circ}\text{C}$	生成物与作用物的摩尔定压热容差	$\Delta c_p$	J/(mol · K)
铸件线收缩率	$\epsilon_L$	%	浇注温度	$\theta_y$	$^{\circ}\text{C}$	
凝固潜热	$L$	J/kg	钢液由浇温降至固相线温度 1450 $^{\circ}\text{C}$ 所释放的热量	$H_{放}$	J	
计算单元的冷却速度	$R$	$^{\circ}\text{C}/\text{min}$	内冷铁与铸件熔合所需吸收的热量	$H_{吸}$	J	
广义扩散系数	$D_{\phi}$	$\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ K $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$	液体蒸发潜热或汽化热	$Q$	J/g	
幂函数	$A( P )$					
等效比定压热容	$c_E$					
固相率	$f_s$					
辐射传热系数	$h_r$					
空气温度	$T_a$					
玻尔兹曼常量	$k$					

# 目 录

## 第3版前言

## 第2版前言

## 本书常用的量和单位符号

## 第1章 绪论..... 1

### 1.1 铸造工艺(技术)的发展历史..... 1

#### 1.1.1 铸造工艺(技术)的古代发展史..... 1

#### 1.1.2 铸造工艺(技术)的现代发展史..... 2

### 1.2 铸造工艺(技术)发展展望..... 5

#### 1.2.1 铸造工艺技术向节能节材方向发展..... 5

#### 1.2.2 铸造工艺技术向少无污染方向发展..... 6

#### 1.2.3 铸造工艺技术向提高铸件尺寸精度方向发展..... 6

#### 1.2.4 铸造工艺技术向生产少无缺陷铸件方向发展..... 6

#### 1.2.5 满足新的铸造合金发展的铸造新工艺开发..... 6

### 参考文献..... 6

## 第2章 铸造工艺设计基础..... 7

### 2.1 金属液充型过程的流体力学..... 7

#### 2.1.1 金属液的流体力学特性..... 7

#### 2.1.2 充型过程的流体力学计算..... 7

#### 2.1.3 局部阻力系数和流量损耗系数..... 8

#### 2.1.4 浇注系统大孔出流理论..... 10

### 2.2 金属液的充型能力..... 12

#### 2.2.1 金属液充型能力的基本概念..... 12

#### 2.2.2 影响充型能力的因素..... 13

#### 2.2.3 提高充型能力的措施..... 17

### 2.3 金属液与铸型的相互作用..... 17

#### 2.3.1 热作用..... 17

#### 2.3.2 物理、化学作用..... 18

#### 2.3.3 机械作用..... 18

### 2.4 铸件一次结晶的控制..... 18

#### 2.4.1 固溶体型合金的结晶控制..... 19

#### 2.4.2 共晶型合金的结晶控制..... 20

### 2.5 铸件的凝固..... 20

#### 2.5.1 铸件的凝固方式..... 20

#### 2.5.2 几种典型合金的凝固方式..... 22

#### 2.5.3 合金的凝固方式与铸件质量的关系..... 24

#### 2.5.4 铸件的凝固时间和凝固速度..... 25

### 2.6 铸件的收缩..... 26

#### 2.6.1 铸钢的收缩..... 26

#### 2.6.2 铸铁的收缩..... 27

#### 2.6.3 铸件的实际收缩..... 28

#### 2.6.4 缩孔和缩松..... 29

#### 2.6.5 铸件的热裂..... 33

#### 2.6.6 铸件的铸造应力、冷裂及变形..... 34

### 2.7 铸件中的气体和非金属夹杂物..... 36

#### 2.7.1 铸件中的气体..... 36

#### 2.7.2 铸件中的非金属夹杂物..... 40

### 参考文献..... 43

## 第3章 铸造工艺设计..... 44

### 3.1 铸件结构工艺和铸件的先期质量策划..... 44

#### 3.1.1 零件结构的铸造工艺性..... 44

#### 3.1.2 铸件开发的先期质量策划..... 70

### 3.2 砂型铸造方法的分类与选择..... 70

#### 3.2.1 湿型砂造型..... 70

#### 3.2.2 化学黏结剂砂造型..... 76

#### 3.2.3 消失模铸造..... 83

#### 3.2.4 负压铸造..... 90

#### 3.2.5 制芯方法的分类和选择..... 94

### 3.3 铸造工艺方案的确定..... 105

#### 3.3.1 浇注位置的确定..... 105

#### 3.3.2 分型面的确定..... 108

#### 3.3.3 砂箱中铸件数量及排列的确定..... 111

### 3.4 工艺参数..... 113

#### 3.4.1 铸件尺寸公差..... 113

#### 3.4.2 铸件重量公差..... 115

#### 3.4.3 机械加工余量..... 116

#### 3.4.4 铸件线收缩率与模样放大率..... 119

#### 3.4.5 起模斜度..... 121

#### 3.4.6 非加工壁厚的负余量..... 124

3.4.7 最小铸出孔和槽 .....	124	3.10.4 地坑砂型的烘干 .....	411
3.4.8 工艺肋 .....	125	3.10.5 砂芯的微波加热烘干 .....	412
3.4.9 反变形量 .....	127	3.11 铸型装配 .....	413
3.4.10 工艺补正量 .....	129	3.11.1 下芯 .....	413
3.4.11 分型负数 .....	131	3.11.2 合型及定位 .....	416
3.5 砂芯设计 .....	131	3.11.3 合型力及紧固 .....	418
3.5.1 砂芯的分类 .....	131	3.12 铸造工艺图及工艺卡片 .....	419
3.5.2 砂芯设置的基本原则 .....	132	3.12.1 铸造工艺符号及其表示 方法 .....	419
3.5.3 砂芯的固定和定位 .....	134	3.12.2 工艺卡片 .....	430
3.5.4 芯头的尺寸和间隙 .....	141	3.13 铸造工艺设计实例 .....	439
3.5.5 砂芯负数 .....	146	3.13.1 灰铸铁典型铸件工艺设 计实例及分析 .....	439
3.5.6 芯撑和芯骨 .....	147	3.13.2 球墨铸铁典型铸件工艺 设计实例及分析 .....	447
3.5.7 砂芯的排气、拼合及预装配 .....	175	3.13.3 铸钢典型铸件工艺设计 实例及分析 .....	451
3.6 浇注系统设计 .....	177	参考文献 .....	456
3.6.1 浇注系统的类型及特点 .....	177	<b>第4章 铸造工艺装备</b> .....	457
3.6.2 浇注系统引入位置的确定 .....	184	4.1 模样 .....	457
3.6.3 浇注系统结构尺寸的设计 .....	185	4.1.1 模样的分类及适用范围 .....	457
3.6.4 灰铸铁件浇注系统尺寸的 确定 .....	190	4.1.2 模样尺寸的计算与标注 .....	458
3.6.5 可锻铸铁件浇注系统尺寸 的确定 .....	199	4.1.3 常用模样的材料 .....	458
3.6.6 球墨铸铁件浇注系统尺寸 的确定 .....	202	4.2 模板 .....	460
3.6.7 铸钢件浇注系统尺寸的确定 .....	206	4.2.1 模板的分类 .....	461
3.6.8 非铁合金铸件浇注系统各 部分的尺寸 .....	228	4.2.2 模底板的结构与尺寸 .....	461
3.6.9 特殊形式浇注系统尺寸的 确定 .....	252	4.2.3 模样与模底板的装配 .....	478
3.6.10 浇注系统各单元结构和尺寸 .....	285	4.2.4 模板装配结构图举例 .....	489
3.7 冒口设计 .....	293	4.3 芯盒 .....	491
3.7.1 概述 .....	293	4.3.1 芯盒的种类及特点 .....	491
3.7.2 铸钢件冒口设计 .....	294	4.3.2 芯盒设计的一般原则 .....	495
3.7.3 铸铁件冒口设计 .....	347	4.3.3 热芯盒的设计 .....	510
3.7.4 非铁合金铸件冒口设计 .....	369	4.3.4 壳芯盒的设计 .....	537
3.8 冷铁设计 .....	379	4.3.5 冷芯盒的设计 .....	544
3.8.1 冷铁 .....	379	4.3.6 手工芯盒的设计 .....	551
3.8.2 外冷铁设计 .....	380	4.3.7 铸造模具的表面强化处理 .....	562
3.8.3 内冷铁设计 .....	397	4.4 制芯设备 .....	564
3.9 出气孔设计 .....	407	4.4.1 壳芯制芯机 .....	564
3.9.1 出气孔的作用及设置原则 .....	407	4.4.2 热芯两工位制芯机 .....	565
3.9.2 出气孔的分类、结构及尺寸 .....	407	4.4.3 热芯单工位制芯机 .....	566
3.10 砂型及砂芯的烘干 .....	410	4.4.4 热芯四工位制芯机 .....	567
3.10.1 油类黏结剂砂芯的烘干 .....	410	4.4.5 冷芯制芯机 .....	568
3.10.2 粘土砂型、砂芯的烘干 .....	411	4.5 砂箱 .....	569
3.10.3 水玻璃砂型、砂芯的烘干 .....	411	4.5.1 砂箱的分类及结构 .....	569
		4.5.2 砂箱的选择和设计 .....	575

4.5.3 砂箱各部分的结构和尺寸 ..... 577

4.5.4 特殊砂箱的结构和尺寸 ..... 606

4.6 其他工艺装备 ..... 623

4.6.1 压砂板 ..... 623

4.6.2 填砂框 ..... 625

4.6.3 砂箱托板 ..... 626

4.6.4 套箱 ..... 626

4.6.5 浇注系统模具 ..... 626

4.6.6 烘芯板 ..... 630

4.6.7 砂芯修磨用具 ..... 637

4.6.8 砂芯检验用具 ..... 639

4.6.9 砂芯的组合和下芯夹具 ..... 642

参考文献 ..... 644

**第5章 铸件的落砂、清理及后处理** ..... 645

5.1 铸件的落砂除芯 ..... 646

5.1.1 铸件的冷却 ..... 646

5.1.2 机械落砂除芯 ..... 649

5.1.3 水力清砂除芯 ..... 658

5.1.4 电液清砂 ..... 662

5.1.5 电化学清砂 ..... 662

5.2 铸件的浇冒口、飞翅和毛刺的去除 ..... 665

5.2.1 锯割、砂轮切割和冲切 ..... 665

5.2.2 电弧气刨 ..... 666

5.2.3 氧弧熔断棒切割 ..... 667

5.2.4 氧焰气割 ..... 668

5.3 铸件的表面清理 ..... 669

5.3.1 铸件表面清理方法及适用范围 ..... 669

5.3.2 选用铸件表面清理设备的原则 ..... 669

5.3.3 滚筒表面清理 ..... 673

5.3.4 喷丸表面清理 ..... 675

5.3.5 抛丸表面清理 ..... 679

5.3.6 多功能组合清理机 ..... 686

5.3.7 铸件的表面铲磨 ..... 687

5.4 铸件的矫形 ..... 689

5.4.1 矫形方法 ..... 689

5.4.2 矫形设备的分类和选择 ..... 691

5.4.3 矫形模 ..... 692

5.5 铸件的挽救 ..... 694

5.5.1 铸件挽救的定义和意义 ..... 694

5.5.2 铸件缺陷分析 ..... 694

5.5.3 铸件挽救技术的分类 ..... 736

5.5.4 电弧焊修补技术 ..... 736

5.5.5 气焊修补技术 ..... 740

5.5.6 钎焊修补技术 ..... 743

5.5.7 液膜溶解扩散焊修补技术 ..... 745

5.5.8 能量微分输入法焊补修补技术 ..... 746

5.5.9 喷覆法焊补修补技术 ..... 747

5.5.10 粘补技术 ..... 751

5.5.11 浸渗技术 ..... 752

5.6 铸件残留应力(内应力) ..... 755

5.6.1 铸件残留应力的预测 ..... 755

5.6.2 减少铸件残留应力的产生 ..... 756

5.6.3 铸件残留应力的检测 ..... 756

5.6.4 铸铁件内应力的消除 ..... 757

5.6.5 铸钢件内应力的消除 ..... 760

5.6.6 非铁合金铸件内应力的消除 ..... 761

5.6.7 铸钢件振动消除内应力 ..... 761

5.7 铸件的防锈涂装 ..... 762

5.7.1 铸钢件和铸铁件的防锈涂装 ..... 762

5.7.2 非铁合金铸件的防锈处理 ..... 773

参考文献 ..... 777

**第6章 铸件质量检验** ..... 778

6.1 铸件外观检验 ..... 781

6.1.1 铸件形状和尺寸检测 ..... 781

6.1.2 铸件表面粗糙度的评定 ..... 785

6.1.3 铸件重量偏差的检测 ..... 788

6.1.4 铸件浇冒口残余量的检测 ..... 788

6.1.5 铸件表面和近表面缺陷的目视检测 ..... 789

6.1.6 铸件内腔质量检测 ..... 789

6.2 铸件的内部质量检验 ..... 790

6.3 铸件的无损检测 ..... 797

6.3.1 铸件表面和近表面的无损检测 ..... 798

6.3.2 铸件内部质量的无损检测 ..... 806

6.4 铸件质量无损检测新技术 ..... 811

参考文献 ..... 813

**第7章 铸造工艺新技术** ..... 814

7.1 铸造工艺计算机辅助设计 ..... 814

7.1.1 计算机辅助设计软件介绍 ..... 814

7.1.2 基于CAD软件的铸造工艺设计技术 ..... 818

7.2 铸件充型凝固过程数值模拟 ..... 826

7.2.1 基本原理和方法 ..... 827

7.2.2 应用案例 ..... 831

7.2.3 常用铸造材料热物性参数和 边界条件 .....	837	7.5 无模化铸型快速制造技术及设备 .....	859
7.3 快速成形技术在铸造中的应用 .....	840	7.5.1 技术原理及特点 .....	859
7.3.1 快速成形技术 .....	840	7.5.2 无模化铸型数控加工主要关 键技术 .....	860
7.3.2 快速成形技术原理 .....	841	7.5.3 铸型无模化加工技术及装备 应用示范 .....	864
7.3.3 典型的快速成形技术 .....	841	7.5.4 无模铸型快速铸造技术特点 分析 .....	866
7.3.4 快速铸造技术 .....	843	7.6 铸件适流浇注系统设计方法 .....	866
7.3.5 各种快速成形技术在铸造上 应用的比较 .....	847	7.6.1 双膜理论及相关物理概念 .....	866
7.3.6 快速铸造技术应用举例 .....	847	7.6.2 适流浇注系统各要素设计方 法 .....	868
7.4 网络上共享铸造技术数据 .....	855	7.6.3 应用案例 .....	874
7.4.1 铸造技术数据系统结构设计 .....	856	参考文献 .....	876
7.4.2 数据来源和采集方法 .....	858		
7.4.3 完成采集和整合的数据及相 关应用 .....	858		



# 第1章 绪 论

铸造具有十分悠久的历史，作为机械零件成形的  
主要工艺之一，进入工业化时代以来，伴随着现代技术  
融入，传统的铸造技术始终充满着生机，不断在创新  
中发展。目前，铸造技术仍然是现代装备制造业的基  
础共性技术之一，在先进制造技术中占有重要的地位。

铸造具有很多特点，与其他成形工艺相比，它几乎  
不受零件的重量、尺寸和形状的限制，重量从几克到  
几百吨，形状十分复杂，用机械加工十分困难，甚至  
难以制得的零件，都可用铸造方法获得。再则，铸造  
可适用于多种多样成分、性能的铸造合金成形，加之  
工艺灵活性大和生产周期短等优点，因而广泛地应用  
在机械制造、矿山冶金、交通运输、石化通用设备、  
农业机械、能源动力、轻工纺织、家用电器、土建工  
程、电力电子、航空航天、国防军工等国民经济各部  
门。

铸造工艺（造型、制芯、浇注、落砂及其后处理等）  
是铸造生产的核心，是保证铸件宏观质量的关键，古  
今中外都把提高和发展铸造工艺水平，视为推动铸造  
技术进步，满足装备制造发展需要的一个重要组成部分。

## 1.1 铸造工艺（技术）的发展历史

据出土文物考证和文献记载，我国的铸造技术已有  
6000年的悠久历史，是世界上最早掌握铸造工艺的  
文明古国之一。毫不夸张地说，铸造在我国古老的历史  
上占有极其重要的地位，铸造技术的成就推动了农业  
生产、兵器制造、人民生活及天文、医药、音乐、艺  
术等方面的进步。

### 1.1.1 铸造工艺（技术）的古代发展史

远在青铜器时代和封建社会的前期，大部分青铜器  
件和铁器件都由铸造成形。聪明的古代铸造匠师们以  
其精湛的技艺创造了一系列优秀技术，从而谱写了留  
芳于后世的中国铸造史。

在我国夏代，就开始采用陶范（泥型）铸造青铜手  
工器具和农具，它对商周社会的发展起了重大作用，  
从而造就了举世闻名的以葬器铸造为特征的灿烂的  
商周青铜文化。

铸接工艺到商代晚期已臻成熟，并具有各种形式。  
最著名的司母戊大方鼎，高1.33m、长1.16m、

宽0.79m，重达875kg，经X射线探伤检测，认定其  
鼎耳就是用铸接工艺同鼎体连接的。

春秋战国时期，陶范铸造技术有了新的发展，突出  
表现在编钟和剑的铸造上。湖北随州曾侯乙大型编  
钟群共65枚，总重达2.5t，每钟可发出两种乐音。  
它的出土，引起了国内外普遍重视，被誉为“世界  
第八大奇迹”。形状极其复杂的甬钟，铸型分为两段  
四个层次，由百余块范芯组成。湖北江陵出土的越王  
勾践剑，至今光亮无锈，锋利无比，剑首同心圆薄壁  
构造，厚仅0.4mm，系铸造成形。

到春秋中、晚期，我国开始采用层叠铸造，批量  
生产小型铸件的先进技术，如铸造青铜刀币。到汉代  
时，叠铸技术应用更为广泛，如用来制作钱币、车马  
器等，规范化的程度更高。至今叠铸仍在我国一些手  
工操作和个别机器造型的厂家中应用。

为了制造更复杂的器形和纹饰，到西周东周之  
交，在陶范铸造的基础上，我国又发明了熔模（失蜡）  
铸造工艺。1978年湖北随州出土的战国初期的青  
铜尊和盘，就是我国先秦熔模铸造产品的例证。西  
汉时期云南滇池生产的贮贝器、铜兵器，有的由数百  
个动物、人物镶铸成形，有的盘绕着牛、虎、蛇等动  
物形象，具有熔模铸造艺术铸件的典型特征。到清  
代，宫廷手工业就是采用熔模铸造法作为创作艺术铸  
件的主要方法。

随着生铁冶铸技术的发展和铸铁性能的提高，采  
用铁范（铸铁金属型）成批铸造生铁器件是我国冶  
铁术的重大创造，曾引起了国内外的广泛重视。汉代  
至南北朝，我国铁范的应用范围逐步扩大，斧、锄、  
镰等农具都采用铁范来生产。唐宋时期犁铧、犁镜，  
鸦片战争期间的铸炮等，也是采用铁范铸制的。

唐代以后，大型、特型、特大型铸件的不断涌  
现，表明中世纪我国冶铸生产的宏大规模。现存著名  
的大型铸件有沧州铁狮（约40t）、正定铜佛（约  
50t）、当阳铁塔（约53t）、兰州铁柱（约14t）、永  
乐大钟（约46t）等。目前，我国各地可见的大型铸  
件还有鼎、炉、旗杆、铁牛、大炮、浑仪和针灸铜人  
等，其铸造方法有分段接铸，分铸组装和整体浇注等  
三种。造型、制芯工艺大多为先做好蜡模或其他材质  
的实样，外形用泥范分组分段成形，泥芯一般是做成  
整体的，如沧州铁狮用409块泥范做出外形，泥芯就