



普通高等院校“十二五”规划教材

液态成型工艺 及CAD

侯 华 靳玉春 赵宇宏 等 编著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

普通高等院校“十二五”规划教材

液态成型工艺及 CAD

侯 华 靳玉春 赵宇宏 等 编著

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书是适应新时期材料成型及控制专业的教学改革的需要,编写依据材料成型及控制工程专业教学大纲,并结合了近几年的教学实践,是多年教学经验的积累。本书紧跟时代科技发展步伐,既综合了液态成型工艺最新基础知识,又对先进的铸造工艺 CAD 技术的最新应用和发展做一梳理,为学生今后的学习及相关的工程实践奠定基础。

本书主要内容包括:绪论,铸造工艺设计的基本概念,铸造工艺方案的确定,浇注系统设计,冒口、冷铁和铸肋,铸造工艺装备设计,铸造工艺 CAD 基本概念,铸造 CAE 技术基础和铸造工艺 CAD/CAE。内容充实、先进、实用。

本书除适合材料成型专业本科生学习外,还适用于材料成型的大专班及各类培训班作为教材或参考书使用,也可供相关专业研究生和从事材料工艺研究、开发、应用、教学、生产、管理及原辅材料生产及销售的相关人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

液态成型工艺及 CAD/侯华等编著. —北京:国防工业出版社, 2012.11

ISBN 978-7-118-08289-0

I. ①液… II. ①侯… III. ①液态金属充型—计算机辅助设计 IV. ①TG21-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 222988 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 16 字数 365 千字

2012 年 11 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2500 册 定价 39.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010) 88540777

发行邮购:(010) 88540776

发行传真:(010) 88540755

发行业务:(010) 88540717

前 言

液态金属成型又称为铸造，是将液态合金注入预先制备好的铸型中，使之冷却、凝固，从而获得毛坯或零件的一种方法。液态金属成型在国民经济中占有极其重要的地位。同时，随着液态成型技术科学的发展和进步，自动化程度越来越高，本书正是为了适应这种发展要求将液态成型工艺及铸造工艺 CAD 加以整合，以方便学习研究参考；另外，近年来，国内外液态金属成型工艺方面有了新的成果及进展，尤其以包括新材料、新工艺、新概念等都是以计算机在液态成型工艺中的应用为代表，所以迫切需要将液态成型工艺和铸造工艺 CAD 两大知识模块的关键技术加以整合创新，以满足教材的选用。

本书结合了近几年的教学实践，是多年教学经验和科研的积累。

本书的突出特色如下。

(1) 融合液态成型工艺和铸造工艺 CAD 两大知识模块的关键技术，并吸收借鉴国内外最新成果，使液态成型工艺及 CAD 知识更加系统化、条理化、科学化和先进化。本书在内容上将反映国内外最新成就，在叙述上将更加由浅入深，更加注重理论联系实际。

(2) 强调实用性并兼顾技术创新，在清晰液态成型工艺基础知识的同时更加注重与当前国内外先进的计算机技术相结合，更加的有用，可读性更强。本书的工艺举例将均采用经过生产验证的实例，图文并茂，可以为工艺设计提供理论依据和实用手段。本书涵盖液态成型工艺设计的全部内容，通过去粗取精、整编精简，力求体现现代液态成型工艺实践性强的特色。本书重视理论基础，反映当代先进技术，注意培养学生分析问题、归纳问题和解决问题的能力。本书内容更加完整、新颖，在增加学生知识水平的同时提高应用能力，并注重工程素养的提高和教学思想教学理念的体现。本书内容丰富、实用，取材经典、新颖，充分体现我国液态成型工艺的现状，并反映国际先进液态成型工艺技术的发展趋势。

本书除适合材料成型专业本科生学习外，还适用于材料成型的大专班及各类培训班作为教材或参考书使用，也可供相关专业研究生和从事材料工艺研究、开发、应用、教学、生产、管理及原辅材料生产及销售的相关人员参考。本教材内容充实、先进、实用，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参阅，为他们在走上工作岗位之前打好专业基础服务。

本书第 1~3 章由屈淑维编写，第 4~6 章由郭志宏编写，第 7 章由侯华编写，第 8 章由靳玉春编写，第 9 章由赵宇宏编写。全书由侯华统稿。

在本书编写过程中，受到编者所在单位领导及各位同仁的支持与关心，在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，加之时间仓促，书中难免存在不妥之处，恳请读者不吝指教。

编者

2012 年 5 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 我国辉煌的铸造技术史	1
1.2 铸造技术在国民经济中的地位	3
1.3 我国铸造技术现状及对铸造技术人才的需求	5
1.4 铸造成型的原理及铸造方法分类	6
复习思考题	18
第 2 章 铸造工艺设计的基本概念	20
2.1 铸造工艺设计的概念	20
2.2 铸造工艺设计存在的问题、目的、依据及内容	20
2.2.1 铸造工艺设计存在的问题	20
2.2.2 铸造工艺设计的目的	20
2.2.3 铸造工艺设计的依据	21
2.2.4 铸造工艺设计的内容和程序	21
2.3 铸造工艺图概述	22
2.3.1 铸件图和铸型图的绘制	22
2.3.2 铸型装配图的绘制	25
2.3.3 铸造工艺图示实例	26
2.4 铸造工艺卡	27
2.5 铸造工艺设计与环境保护的关系	28
复习思考题	28
第 3 章 铸造工艺方案的确定	29
3.1 零件结构及其技术条件的审查	29
3.1.1 零件结构的铸造工艺性	29
3.1.2 从避免缺陷方面审查铸件结构	29
3.1.3 从简化铸造工艺方面改进零件结构	32
3.2 造型、制芯方法和浇注位置的确定	37
3.2.1 造型、制芯方法的选择	37
3.2.2 浇注位置的选择	38
3.3 分型面的选择	41
3.3.1 分型面的选择	41
3.3.2 选择分型面的原则	42
3.4 砂芯设计	45

3.4.1	确定砂芯形状(分块)及分盒面选择的基本规则	46
3.4.2	芯头设计	48
3.5	铸造工艺设计参数	51
3.5.1	铸件尺寸公差	52
3.5.2	铸件质量公差	53
3.5.3	机械加工余量	54
3.5.4	铸造收缩率	57
3.5.5	起模斜度	59
3.5.6	最小铸出孔及槽	59
3.5.7	工艺补正量	60
3.5.8	分型负数	60
3.5.9	反变形量	61
3.5.10	砂芯负数	62
3.5.11	非加工壁厚的负余量	62
3.5.12	分芯负数	63
	复习思考题	63
第4章	浇注系统设计	64
4.1	液态金属在浇注系统基本组元中的流动	65
4.1.1	在浇注系统中流动的水力学特点	65
4.1.2	浇口杯中的流动	66
4.1.3	直浇道中的流动	69
4.1.4	直浇道窝	70
4.1.5	横浇道中金属的流动	71
4.1.6	在内浇道中的流动	76
4.2	浇注系统的基本分类	79
4.2.1	浇注系统的充满理论	79
4.2.2	封闭、开放式浇注系统	81
4.2.3	按内浇道在铸件上的位置分类	82
4.3	计算阻流截面的水力学公式	86
4.3.1	奥赞公式	86
4.3.2	浇注时间	88
4.3.3	金属液在型内的上升速度	90
4.3.4	流量系数 μ 的确定	91
4.4	铸铁件浇注系统设计与计算	93
4.4.1	设计步骤	93
4.4.2	阶梯式浇注系统的计算	95
4.4.3	垂直分型浇注系统的计算	97
4.5	其他合金铸件浇注系统的特点	100

4.5.1	铸钢件浇注系统	100
4.5.2	轻合金铸件的浇注系统	103
4.5.3	铜合金浇注系统	105
4.6	金属过滤技术	105
4.6.1	陶瓷网格过滤板	105
4.6.2	泡沫陶瓷过滤板	107
4.6.3	耐火纤维编织过滤网	108
	复习思考题	109
第 5 章	冒口、冷铁和铸肋	110
5.1	冒口的种类及补缩原理	110
5.1.1	冒口的种类	110
5.1.2	通用冒口补缩原理	110
5.1.3	外冷铁的影响	115
5.1.4	补贴的应用	115
5.2	铸钢件冒口的设计与计算	118
5.2.1	模数法	119
5.2.2	三次方程法	123
5.2.3	补缩液量法	124
5.2.4	比例法	125
5.3	铸铁件实用冒口的设计	127
5.3.1	铸铁的体收缩	127
5.3.2	实用冒口设计法	129
5.3.3	铸铁件的均衡凝固技术	137
5.4	提高通用冒口补缩效率的措施和特种冒口	141
5.4.1	大气压力冒口	141
5.4.2	保温、发热冒口	142
5.4.3	易割冒口	144
5.5	冷铁	146
5.5.1	外冷铁	146
5.5.2	内冷铁	151
5.6	铸肋	155
5.6.1	割肋	155
5.6.2	拉肋	156
	复习思考题	158
第 6 章	铸造工艺装备设计	160
6.1	模样及模板	160
6.1.1	模样	160

6.1.2	模板	165
6.2	砂箱	169
6.2.1	设计和选用砂箱的基本原则	169
6.2.2	类型的选择	169
6.2.3	砂箱结构	170
6.3	芯盒	175
6.3.1	芯盒的类型和材质	175
6.3.2	芯盒结构设计	176
6.3.3	一般金属芯盒的精度	178
6.3.4	热芯盒和壳芯盒的特点	178
6.4	其他工艺装备	181
6.4.1	高压造型用直浇道模和浇口杯模	181
6.4.2	压砂板和成型压头	182
6.4.3	砂芯检验用具	182
6.4.4	烘干机	183
6.4.5	工装图样的通用技术条件	184
	复习思考题	184
第 7 章	铸造工艺 CAD 基本概念	185
7.1	CAD 系统概述	185
7.1.1	CAD 的概念及发展过程	185
7.1.2	CAD 技术的四次革命	185
7.2	CAD 系统的硬件	189
7.2.1	计算机及常用外围设备	189
7.2.2	图形输入设备	190
7.2.3	图形显示设备	190
7.2.4	图形输出设备	191
7.3	CAD 系统的软件	191
7.3.1	使用微机作为开发和应用平台	192
7.3.2	目前国内外流行的 CAD/CAM 软件	192
	复习思考题	209
第 8 章	铸造 CAE 技术基础	211
8.1	CAD/CAE 技术在铸造中的应用	211
8.1.1	铸造工艺 CAD 系统的发展趋势	211
8.1.2	CAE 技术在压力铸造中的应用	212
8.1.3	铸造工艺 CAD 的国内外研究现状	212
8.2	铸造 CAE 技术的数值模拟理论基础	214
8.2.1	充型过程的数值求解方法	214

8.2.2	铸造工艺的流场数值模拟过程	217
8.3	典型铸造模拟软件在铸造中的应用	220
8.3.1	典型铸造模拟软件介绍	220
8.3.2	软件结构	220
8.3.3	软件的主要模块	221
8.3.4	模拟流程	221
	复习思考题	224
第 9 章	铸造工艺 CAD/CAE	225
9.1	铸造工艺 CAD 实例	225
9.1.1	铸造工艺 CAD	225
9.1.2	铸造工艺 CAD 的现状及应用	225
9.2	铸造工艺设计软件 CAD	228
9.2.1	概述	228
9.2.2	EASYCAST/CAD 系统特点	228
9.2.3	软件功能介绍	229
9.3	CAD/CAE 技术研究现状	232
9.3.1	CAD 技术的现状及发展趋势	232
9.3.2	铸造 CAD 使用实例	234
9.3.3	CAE 的现状及发展趋势	238
9.3.4	铸造模拟技术发展趋势	239
9.3.5	EASYCAST 软件的简介	239
	复习思考题	244
	参考文献	245

第 1 章 绪 论

1.1 我国辉煌的铸造技术史

我国的铸造技术已有 6000 年悠久的历史，是世界上较早掌握铸造技术的文明古国，2500 多年之前（公元前 513 年）就铸造出了 270kg 的铸铁刑鼎。世界上公认中国是最早应用铸铁的国家之一，我国商朝制造的铜钺具有铁刃，据考证那时的铁刃是用陨铁锻造而成，然后镶铸上铜背。自周朝末年开始了有了铸铁，铁制农具发展很快。秦、汉以后，我国农田耕作大都使用了铁制农具，如耕地的犁、锄、镰、铧、锹等，说明当时已具有相当先进的生产方法。最晚到宋朝，我国已使用铸造铁炮和铸造地雷。

目前，我国最早发现的青铜器是 1975 年在甘肃省东乡林家村一处古遗址中的一把铜刀。这把刀经科学鉴定，确系青铜铸成。这个遗址属于甘肃仰韶文化马家窑类型，年代距今已有 5000 多年。这时人类社会才从漫长的石器时代进入青铜器时代。

我国在商朝时期就已创造了灿烂的青铜文化，所谓“钟鸣鼎食”，成了当时贵族权势和地位的标志。1978 年，湖北省随县出土的曾侯乙墓青铜器重达 10t。其中有 64 件的一套编钟，分八组，包括辅件在内用铜达 5t。钟面铸有变体龙文和花卉文饰，有的细如发丝，钟上共铸有错金铭文 2800 多字，标记音名、音律。每钟发两音，一为正鼓音，一为右鼓音。整套编钟音域宽达 5 个半八度，可演奏各类名曲，音律准确和谐，音色优美动听。铸造工艺水平极高，可称得是我国古代青铜铸造的代表作（图 1-1），这套编钟的铸造时代是距今 2400 年前的战国初期。

现存于北京大钟寺内的明朝永乐大钟（图 1-2），铸于明永乐 18 年（公元 1418 年—1422 年）前后，全高 6.75m，钟口外径 3.3m，钟唇厚 18.5cm，重 46.5t。据考证，钟体铸型为泥范，芯分 7 段。先铸成钟纽，然后再使钟纽与钟体铸接为一体。化学分析结果为 $w(\text{Cu})=80.54\%$ ， $w(\text{Sn})=16.4\%$ 及微量的 Zn、Pb、Si、Mg、Ca 等。钟体内外铸满经文，共约 227000 余字。大钟至今完好，声音幽雅悦耳，距钟 15km~20km 都能听见，是世界上罕见的古钟之一。

图 1-3 为湖北省随县出土的曾侯尊盘，可以看出铸工之精湛，铸于战国初期。

据考证，我国古代的钟、鼎、尊等文物，有些是失腊法铸造的。明代宋应星著《天工开物》中曾记述了熔模铸造工艺过程，即腊料由牛油和黄腊调制，油腊质量比为 8:2，涂于已干燥的坯模（泥芯）上，约数寸厚，埤平并雕镂书文、物象。于腊料上再逐层涂敷经过春、筛之细泥粉与炭粉调成的泥糊，至数寸厚。待腊料内外的泥芯和铸型干透，内外施慢火烘烤，使腊料熔出、烧净，于是钟、鼎或尊的型腔即成。500g 腊模所形成的型腔，约需浇入铜液 5000g。从以上几个古代青铜铸件上，不难看出我国古代熔模铸造

工艺之水平。

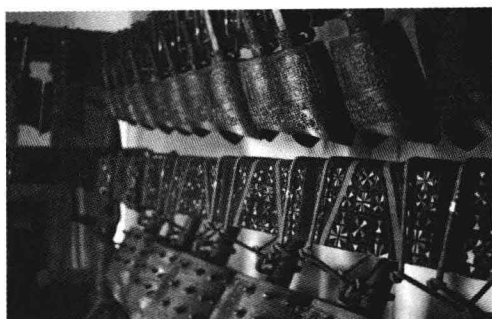


图 1-1 曾侯乙编钟

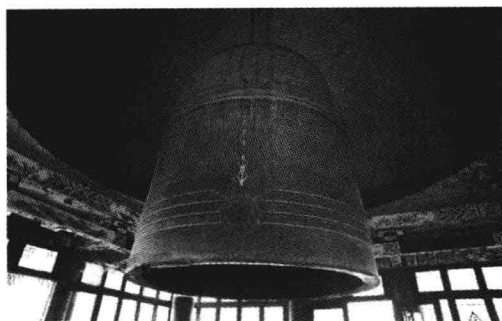


图 1-2 永乐大钟

1953年,在河北省兴隆县的古燕国铸冶作坊遗址的发掘中,发现距今2200年—2350年的战国时期的铁范(铁质铸型)等87件,可用于铸造铁锄、铁斧、铁镰、铁凿和车具等。其中锄范上有方孔,用于固定穿过的铁芯,范的外侧还留有供定位和夹紧用的凸台。说明早在战国时期,铸铁件在我国就已经广泛应用了。图1-4为河南浞池出土的汉魏窖藏铁范。



图 1-3 曾侯尊盘

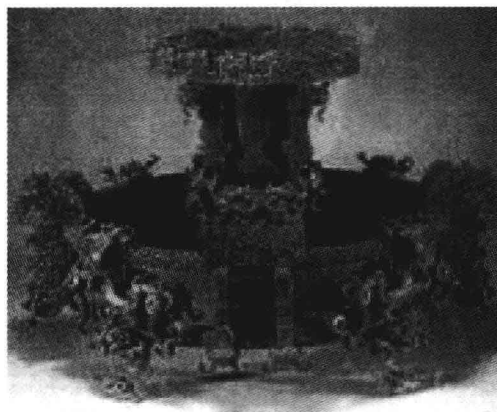


图 1-4 汉魏窖藏铁范

现立于河北省沧州的大铁狮,高5m多,长近6m,重19.3t,是公元世纪五代后周时铸成的(图1-5)。现立于当阳的铁塔,由13层叠成,重40t,铸于北宋淳熙年间。这些可说明我国古代铸铁工艺的水平。

至少在公元前500年,我国就已成功地运用了叠箱铸造技术来大量生产铸铁件。图1-6所示的是考古工作者用河南省温县窑出土的2000年前的叠箱铸型浇注的铸铁件——一组18个马嚼子。

我国铸造历史悠久,灿烂的铸造技术对文化、经济的发展有重大影响,日常用语中的许多词汇如“模范”、“范围”、“就范”、“陶冶”、“陶铸”、“铸成大错”、“大器晚成”等,也都来自古代铸造术语。



图 1-5 河北省沧州的大铁狮

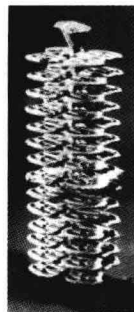


图 1-6 中国古代叠箱铸铁件

1.2 铸造技术在国民经济中的地位

铸造与现代科学技术紧密相关，随着科学技术的现代化而成为一种现代制造工艺。铸造生产中采用了新材料（如复合材料、有机化工材料）、新技术（如电子技术），又为国民经济和现代科学技术的迅速发展提供了大量必须的铸件。在许多机械中，铸件质量占整机质量的比例很高，内燃机 80%，拖拉机 65%~80%，液压件、泵类机械 50%~60%。

冶金、矿山、电站等重大关键设备需求优质的重大型铸件；另外国民经济的基础设施和人民生活也需要大量铸件（图 1-7），输水（气）管道则需要各种尺寸的高韧性球墨铸铁管。



图 1-7 基础设施和人民生活铸件

作为我国支柱产业正在大力发展的汽车工业，其心脏部分——发动机的关键零件，如缸体、缸盖、曲轴、缸套、活塞、进气管、排气管等八大件（图 1-8）几乎全部由铸造而

成的。其他一些汽车部件也由铸造而成，比如汽车用支架（图 1-9），变速器壳体（图 1-10），中间壳体（图 1-11）和砂型低压铸造实例（图 1-12）等。

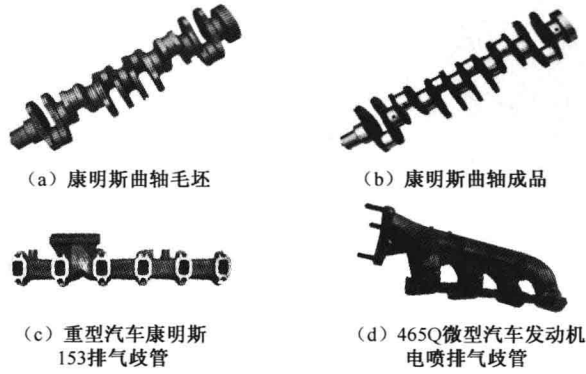


图 1-8 发动机的关键零件

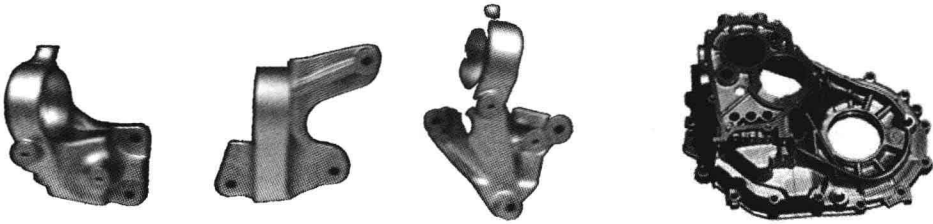


图 1-9 汽车用支架

图 1-10 变速器壳体

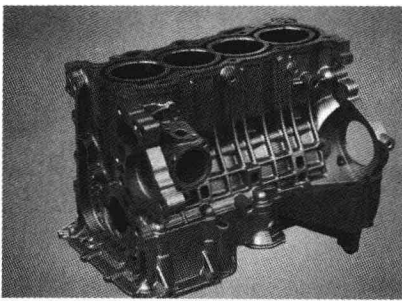


图 1-11 中间壳体

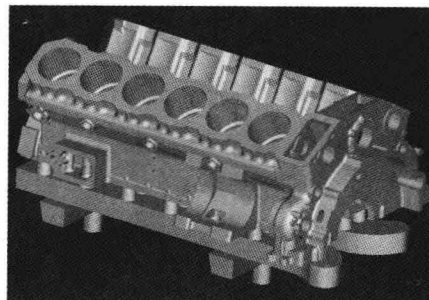
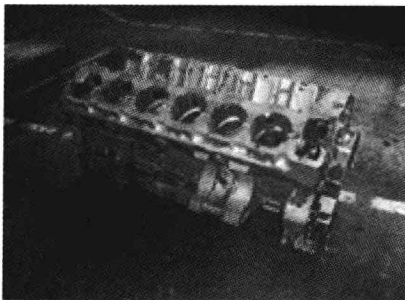


图 1-12 砂型低压铸造实例

1.3 我国铸造技术现状及对铸造技术人才的需求

我国古代铸造技术居世界先进行列。由于过长的封建社会影响了科学技术的发展。新中国成立以来多年中，我国已有很多高等学校设立了铸造专业，使我国成为培养高等铸造人才最多的国家之一，并建立了雄厚的铸造工业基础。

近几年来，我国以 4000 万吨左右的铸件年产量位居全球首位，成为世界铸造大国，为机床、汽车、拖拉机、机车、飞机、船舶、动力、冶金、化工和重型机器制造业等提供各种铸件。例如，我国已铸出约 315t 重的大型厚板轧机的铸钢机架，重 260t 的铸铁钢锭模，还铸出 $30 \times 10^4 \text{kW}$ 大型水轮机转子等如此复杂、尺寸要求很严的铸件，其尺寸精度达到国际电工会议规定的标准。这些均标志着我国铸造技术水平正在接近国际水平。近年来，许多铸件已进入国际市场；专业铸造研究所和大学的科研工作蓬勃地开展起来。例如，采用电子计算机模拟大型铸件的凝固过程的研究和试验，大型铸件铸造工艺的计算机辅助设计，金属过滤技术和水力模拟技术的研究和应用，反映出我国铸造工艺水平正在日益提高。我国的铸造工业潜力很大，资源丰富，通过全体铸造工作者的努力，铸造业会对国民经济的发展作出应有的贡献。

我国铸造业的区域特色也十分鲜明，已形成了“长三角”地区、山东、山西、辽宁、广东等地的铸造产业集群。

与其他工业国家相比，我国仍有很大的差距，主要表现在：铸件质量差、产品构成落后、生产成本低、专业化程度低、从业人员素质不高、环保治理差等。我国还不是一个铸造强国。

铸造在国民经济各部门中的应用相当广泛，据统计在汽车制造中，铸件约占汽车总质量的 40%~50%，农业机械中铸件占 50%~70%，而机床上铸件占 70%~80%，重型机械、矿山机械上铸件占 85% 以上。铸件一般仅作为毛坯，要经过后续的切削加工才能作为零件使用，但若采用精密铸造方法或零件的精度要求不高时，铸件也可不经切削加工而直接使用。

铸造方法之所以获得广泛应用，是与其以下优点分不开的。

(1) 用铸造方法可以比较方便地生产出具有复杂外形和内腔的铸件，如各种发动机的机匣、箱体及机床床身等；

(2) 铸造方法具有广泛的适应性，铸件质量可以小到几克重而大至几百吨重，常用金属材料如铸铁、碳素钢、合金钢、铝合金、黄铜、青铜、镁合金、钛合金等都能用于生产铸件；

(3) 铸造生产设备投资少，废品、浇冒口等可回炉重用，因此铸件生产成本相对较低。

当然，铸造生产也存在其不足处，如同种材料的铸件机械性能一般比锻件差，铸造工序多，加之铸件的凝固过程很难精确控制，因此铸件质量有时不够稳定。可以断言，随着现代科学技术的不断进步，铸造工艺也将不断完善，从而使这一传统工艺能提供高

性能、高精度、低成本的铸件，从而使其获得更加广泛的应用。

1.4 铸造成型的原理及铸造方法分类

1. 铸造定义

什么是铸造？铸造是指将把金属加热熔化后浇入铸型，待其冷却凝固后获得一定形状和性能铸件的成型方法。成型原理如图 1-13 所示。

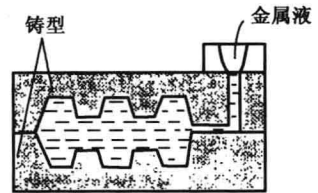


图 1-13 成型原理

2. 砂型铸造生产过程（图 1-14）

3. 砂型铸造典型工艺过程（图 1-15）

4. 铸型各部分的作用（图 1-16）

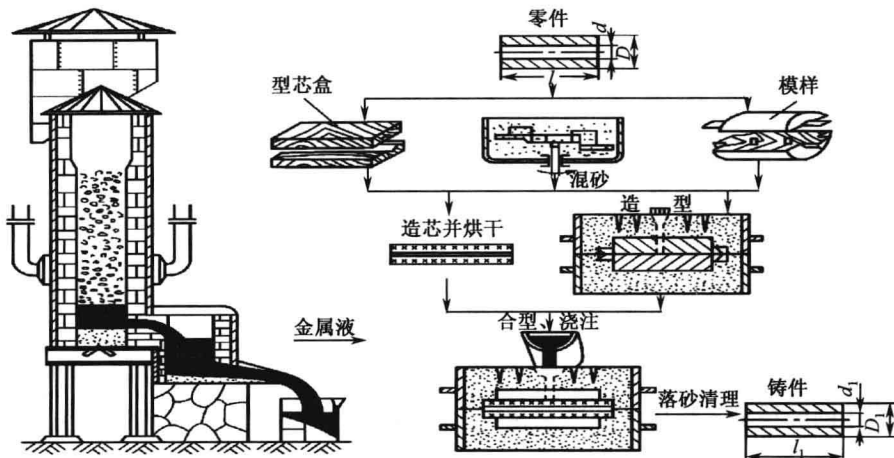


图 1-14 砂型铸造生产过程示意图

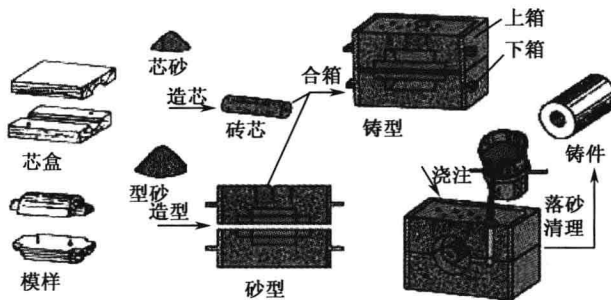


图 1-15 套筒砂型铸造工艺过程示意图

5. 铸造工艺特点

- (1) 可制成形状复杂、特别是具有复杂内腔的毛坯；
- (2) 适应范围广；
- (3) 成本低。

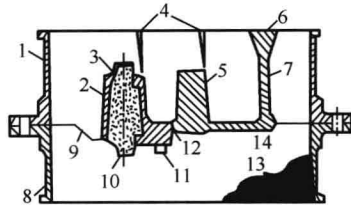


图 1-16 铸型各部分的作用

1—上砂箱；2—型腔；3—上型芯头；4—出气孔；5—冒口；6—外浇口；7—直浇道；7—下砂箱；
9—分型面；10—下型芯头；11—冷铁；12—内浇道；13—型砂；14—横浇道。

6. 基本术语

(1) 铸型：用型砂、金属或其他耐火材料制成；包括形成铸件形状的空腔、型芯和浇冒系统的组合整体。

(2) 型腔：铸型中造型材料所包围的空腔部分。

(3) 铸件：用铸造方法制成的金属件，一般作毛坯用。

(4) 分型面：铸型组元间的接合面。

(5) 分模面：模样组元间的接合面。

(6) 模样：由木材、金属或其他材料制成，用来形成铸型型腔的工艺装备。

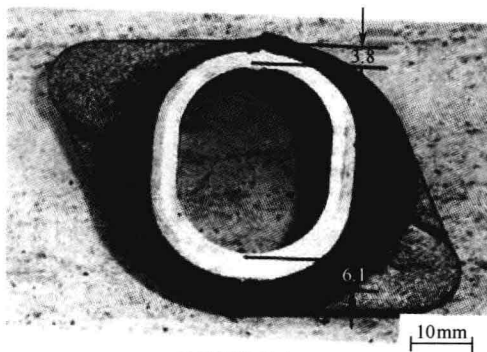
(7) 零件：铸件经切削加工制成的金属件。

(8) 砂芯：为获得铸件的內孔或局部外形，用芯砂或其他材料制成的，安放在型腔内部的铸型组元。

(9) 芯盒：制造砂芯或其他耐火材料所用的装备。

7. 铸造常见缺陷

(1) 壁厚不均 (图 1-17)。产品名称：汽车零件；铸造方法：湿型铸造；材质：灰铸铁；热处理：铸态；铸件质量：1.2kg。



缺陷部位放大
图 1-17 壁厚不均

(2) 掉砂 (图 1-18)。产品举例：汽车零件；铸造方法：湿型铸造；材质：球墨铸铁；热处理：铸态；铸件质量：4.5kg。

(3) 错型 (图 1-19)。产品名称：泵体；铸造方法：湿型铸造；材质：青铜；热处理：铸态；铸件质量：6kg。

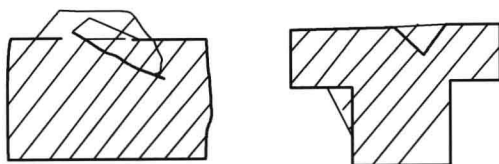


图 1-18 掉砂

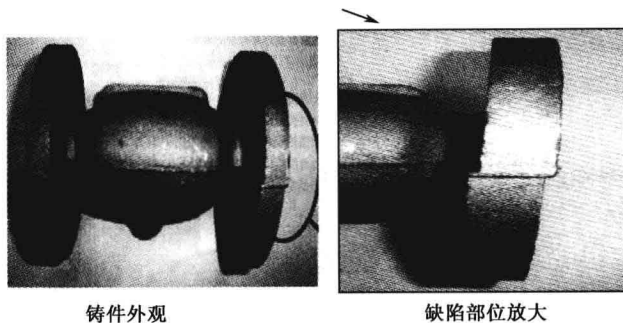


图 1-19 错型

(4) 胀砂 (图 1-20)。产品名称：模具顶座；铸造方法：消失模铸造；材质：球墨铸铁；热处理：铸态；铸件质量：26000kg。

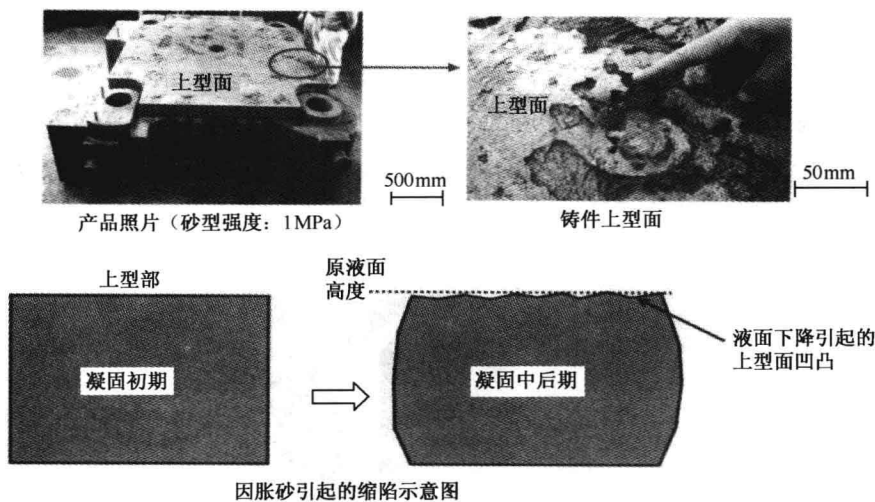


图 1-20 胀砂

(5) 抬箱 (图 1-21)。产品举例：制动毂；铸造方法：湿型铸造；材质：黑心可锻铸铁；热处理：铸态。



图 1-21 抬箱