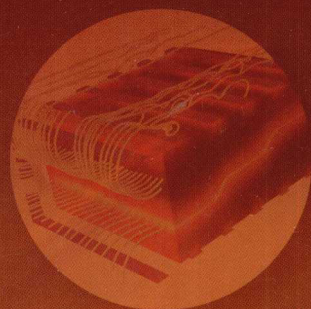
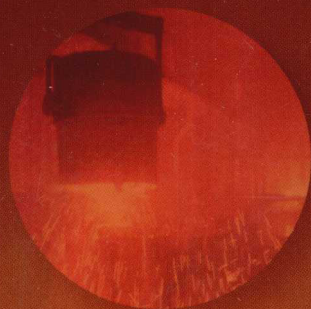




崔更生 编

铸钢件 特种铸造技术

ZHUGANGJIAN
TEZHONG ZHUZAO JISHU



化学工业出版社

铸钢件特种铸造技术

崔更生 编



化学工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

铸钢件特种铸造技术/崔更生编. —北京: 化学工业出版社, 2012. 5
ISBN 978-7-122-13630-5

I. 铸… II. 崔… III. 铸钢件-特种铸造 IV. ①TG26
②TG249

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 028886 号

责任编辑: 刘丽宏
责任校对: 周梦华

文字编辑: 项 激
装帧设计: 杨 北

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: 三河市万龙印装有限公司

710mm×1000mm 1/16 印张 16½ 字数 336 千字 2012 年 8 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: 88.00 元

版权所有 违者必究

前 言

近代，铸钢件生产除广泛采用静态砂型铸造外，还广泛采用特种铸造技术，以获得不同性能的优质铸钢件。随着科学技术的不断进步和各工业部门对铸钢件质量日益增长的需求，已研发成功多种新的特种铸造方法。

铸钢件常用的特种铸造方法，主要有熔模铸造，金属型铸造，离心铸造，电渣铸造，悬浮铸造，消失模铸造，V法铸造，以及20世纪90年代出现的冰模铸造等。

铸钢件特种铸造技术的现代进展，最受人们关注和感兴趣的是特种铸造复合新技术的问世，例如，电渣离心铸造，电磁离心铸造，电渣金属型铸造，消失模真空壳型铸造，消失模悬浮铸造，消失模挤压铸造，V法连续铸造等。

离心铸造已广泛用于制造供水和排污铸铁管，同时，亦广泛用于石化、冶金、动力、轻工和国防等工业部门制造耐热钢管、双金属钢管、轧辊和异形铸钢件等。但笔者发现，1960~2010年，所有在版的《特种铸造》手册和教材以及《离心铸造》等专著，所述除原理外均为铸铁管离心铸造，而对离心铸造耐热钢管和轧辊等均未或极少述及。同时，电渣铸造、悬浮铸造和特种铸造复合新技术亦皆未纳入上述专著，而这又是铸钢件广泛应用的特种铸造方法。

因此，为扩大铸钢件特种铸造的应用范围和促进其发展，以满足我国各工业部门对特种铸造优质铸钢件不断增长的需求，现根据国内外铸钢件特种铸造技术的应用与发展，编写了本书，以期对我国铸钢件特种铸造的理论研究、生产和应用有所裨益。

本书主要介绍国内外铸钢件生产中应用较广的特种铸造和特种铸造复合新技术，在理论研究、工艺创新和工业应用方面的现代进展。

本书特点之一是以实用技术为主，介绍了采用现代特种铸造技术制造优质铸钢件的经验和典型实例。例如，法国采用离心铸造生产石化工业用的耐热钢管，俄罗斯采用离心铸造生产热电厂大型热强钢蒸汽管和核电站双金属复合钢管。国外采用电渣铸造制造成功三峡水电站70万千瓦水轮机转轮叶片，俄罗斯采用电渣铸造制造火箭弹壳体和柴油机曲轴，德国和乌克兰电渣铸造双金属复合轧辊。中国、日本、俄罗斯和乌克兰成功地采用了V法铸造制造铁路车辆铸钢件。

本书特点之二是介绍了特种铸造理论研究、工艺设计和质量控制等方面的新成果。例如，乌克兰研究成功的消失模铸造铸件成形新理论。俄罗斯研究了消失模铸造铸型振动与真空紧实原理，V法铸造真空系统设计、计算和V法铸造铸件废品与预防，以及离心铸造大型蒸汽管中的非金属夹杂物及其控制。美国CCM公司研

究了离心铸造耐热钢管的铸造缺陷与预防。

本书特点之三是介绍了具有新颖和创新特色的特种铸造新技术、新工艺和新材料。例如，美国发明的冰模精密铸造和俄罗斯研发成功的冰模真空砂型铸造新技术。乌克兰研发成功的消失模挤压复合铸造和 V 法连续复合铸造新技术。俄罗斯开发成功的铸钢件循环热处理新工艺。美国研发成功的玻璃珠砂，消失模铸造时 EPS 模型可不刷涂料。日本研发的 V 法铸造用新型橡胶膜，其成形性能特别高，覆膜前无需加热，室温下覆膜，可取代 EVA 塑料膜生产复杂的铸钢件。日本木村铸造所开发成功的半实型铸造生产不锈钢铸件。日本 Sintokogio 公司，最近发明了一种新型真空密封造型法，适于铸造薄壁铸件，已获美国专利。

全书共六章，第一章离心铸造，第二章电渣铸造，第三章消失模铸造，第四章 V 法铸造，第五章冰模铸造，第六章特种铸造复合新技术。

本书可供从事铸钢件产品开发、铸造工艺设计以及特种铸造科研与生产的技术人员阅读，并可作为高等和中等院校相关专业教学参考书。

本书精选收入了国内外专家的重要科研成果和宝贵的生产经验，使本书内容更臻丰富和实用，笔者在此特致以诚挚的敬意和感谢。

本书如有偏颇或不足之处，恳请广大读者指正。

崔更生
于北京

目 录

绪论	1
一、特种铸造方法与特点	1
二、国外特种铸造现代进展概况	3
三、铸钢件特种铸造现代进展概况	6
参考文献	8
第一章 离心铸造	9
第一节 石化与冶金设备离心铸管	10
一、石化设备离心铸管	14
二、冶金设备离心铸管	20
三、离心铸管的铸造缺陷及对策	21
第二节 火力发电设备离心铸管	26
一、锅炉钢管材料的现代进展	26
二、俄罗斯离心铸造大型蒸汽管	34
第三节 造纸设备离心轧辊	44
一、造纸机大型轧辊的特点	44
二、造纸机大型轧辊材料	44
三、离心铸造造纸机大型轧辊	44
第四节 离心铸造双金属钢管与轧辊	45
一、离心铸造核电站双金属钢管	45
二、离心铸造双金属轧辊	47
第五节 离心铸造异形铸钢件	48
一、离心铸造阀体和三通铸钢件	48
二、离心铸造鼓风机轮毂铸钢件	49
三、离心铸造铁路货车轴箱壳体铸钢件	52
参考文献	52
第二章 电渣铸造	54
第一节 电渣铸造概论	54
一、电渣重熔与电渣铸造原理	54
二、电渣铸造的特点	55
三、电渣铸造的现代进展	55
四、电渣铸造用自耗电极为合成渣	58
第二节 电渣铸造应用实例	59
一、电渣铸造三峡水轮机转轮叶片	59

二、电渣铸造火箭弹壳体	64
三、电渣铸造波纹管锭坯	67
四、电渣铸造柴油机曲轴	69
五、电渣铸造双金属复合轧辊	72
参考文献	74

第三章 消失模铸造

第一节 消失模铸造概况

一、消失模铸造原理	76
二、消失模铸造应用与发展概况	77

第二节 消失模铸造的现代进展

一、消失模材料	82
二、消失模铸造用型砂	88
三、消失模铸造铸型的紧实方法	91
四、消失模铸造浇注工艺	99
五、消失模铸造涂料技术	100

第三节 消失模铸造铸件成形机理

一、消失模重力铸造铸件成形机理	109
二、消失模挤压铸造铸件成形机理	112

第四节 铸钢件消失模铸造

一、铸钢件消失模铸造应用与发展概况	114
二、铸钢件消失模铸造消失模热解	116
三、铸钢件消失模铸造的增碳	122
四、现代铸钢件消失模铸造工艺	129
五、消失模铸造铸钢件循环热处理	135
六、消失模铸造型砂再生	136
参考文献	137

第四章 V 法铸造

第一节 V 法铸造概况

一、V 法铸造原理与工艺流程	139
二、V 法铸造的发展概况	140
三、V 法铸造技术的优点	144
四、V 法铸造技术的缺点	147

第二节 V 法铸造工艺

一、V 法铸造用型砂	148
二、V 法铸造覆膜成形工艺	148
三、V 法铸造用涂料	156
四、V 法铸造铸型紧实工艺	161
五、V 法铸造造型材料试验	168
六、V 法铸造铸件落砂工艺	170
七、V 法铸造铸件缺陷与预防	172

第三节 V 法铸造生产线现代进展

一、V 法铸造生产线	176
------------------	-----

二、V 法-消失模联合铸造生产线	180
第四节 铸钢件 V 法铸造	183
一、铸钢件 V 法铸造应用概况	183
二、铸钢件 V 法铸造应用实例	187
参考文献	196
第五章 冰模铸造	199
第一节 冰模制造技术	199
一、模具制造冰模	199
二、快速成形制造冰模	200
第二节 冰模铸造技术	200
一、冰模精密铸造	200
二、冰模真空砂型铸造	201
第三节 冰模铸造的优点与展望	202
一、冰模铸造的优点	202
二、冰模铸造的展望	203
参考文献	203
第六章 特种铸造复合新技术	204
第一节 电渣离心铸造复合新技术	204
一、电渣离心铸造环坯铸钢件	204
二、电渣离心铸造锻坯铸钢件	207
三、电渣离心铸造法兰盘铸钢件	209
四、电渣离心铸造用新型旋转流槽	212
五、电渣离心铸造锥体铸钢件	214
六、电渣离心铸造铸件组织和性能控制方法	218
第二节 悬浮离心铸造复合新技术	224
一、悬浮离心铸造无磁钢管	224
二、悬浮离心铸造大型厚壁钢管	227
第三节 电磁离心铸造复合新技术	229
一、电磁离心铸造原理与特点	229
二、电磁离心铸造耐热钢的组织和性能	230
三、电磁离心铸造应用实例	232
第四节 消失模挤压铸造复合新技术	233
一、消失模挤压铸造原理与工艺	233
二、消失模挤压铸造设备	235
第五节 消失模真空壳型铸造复合新技术	239
一、消失模真空壳型铸造工艺要点	239
二、消失模真空壳型铸造应用实例	240
第六节 V 法连续铸造复合新技术	246
一、V 法无箱连续铸造	247
二、V 法有箱连续铸造	248
三、V 法带材连续铸造	248
参考文献	250

绪 论

一、特种铸造方法与特点

(一) 特种铸造方法

除了重力下浇注的一次性砂型铸造外,其余铸造方法均属于特种铸造。前苏联学者 Н. Н. Рубцов 于 1940 年出版了《特种铸造》专著,随后在其 1955 年出版的《特种铸造》一书中介绍了冷硬铸造、金属型铸造、连续铸造、离心铸造、压力铸造、熔模铸造等共 9 种特种铸造方法^[1]。30 余年后,1989 年 Н. М. Гадли^[2]主编的《有色铸造》手册和 1991 年 В. Д. Ефимов^[3]主编的《特种铸造》手册,介绍了近 30 种采用不同铸型材料、铸型制造方法、金属液制备与浇注方法、铸件成形条件等特种铸造技术(不含变异的特种铸造)。我国姜不居主编的《特种铸造》(2005 年版)一书中介绍了 12 种特种铸造方法^[4]。

20 世纪 50 年代后,随着科学技术的进步和各工业部门对铸件质量和数量日益增长的需求,不断涌现出许多新的特种铸造方法,例如,消失模铸造, V 法铸造,快速铸造,特别是 90 年代初出现的冰模铸造,均将成为 21 世纪绿色铸造新技术。此外,半固态金属铸造亦为最具发展前景的近净成形新技术。

当代,常用的特种铸造方法,主要是熔模铸造、金属型铸造、石膏型铸造、陶瓷型铸造、壳型铸造、压力铸造、离心铸造、连续铸造、挤压铸造、悬浮铸造、电渣铸造、消失模铸造、V 法铸造、快速铸造和冰模铸造共 15 种特种铸造方法。

(二) 特种铸造的特点

1. 特殊的模型材料

特种铸造特点之一是采用特殊材料的模型。例如,熔模铸造用的蜡模、消失模铸造用的泡沫塑料模、冰模铸造用的冰模。蜡模和冰模于浇注前在型内熔(融)化消失,而泡沫塑料模则在浇注过程中气化消失。因此,这三种特种铸造方法均无分型面,不开箱,不取模,铸型是一整体,因而铸件质量好,尺寸精度和表面光洁度高,熔模铸造的铸件尺寸公差为 CT4~CT7 级,表面粗糙度 $Ra=1.6\sim6.3\mu\text{m}$ 。消失模铸造的铸件尺寸公差为 CT6~CT9 级,表面粗糙度 $Ra=6.3\sim50\mu\text{m}$ ^[4]。

2. 铸件内腔不用型芯

特种铸造特点之二是铸件内腔和孔洞不用型芯。例如熔模铸造,一般情况下,铸件内腔不用预置型芯,而与模型外形一起通过涂料和撒砂等工序形成。但当铸件内腔特别复杂或过于窄小,无法用通常制壳工艺涂料和挂砂时,则应使用型芯,如航空发动机空心涡轮叶片,就必须采用陶瓷型芯。消失模铸造和冰模铸造铸件内腔

亦不用型芯^[4]。

3. 型砂不用黏结剂

特种铸造特点之三是型砂不加黏结剂,而采用干砂。例如,消失模铸造、V法铸造和冰模铸造。在此情况下,干砂铸型貌似一保温器,浇注时金属液冷却慢,可提高金属液的充型能力,减少因有黏结剂的型砂而产生的气孔等铸造缺陷,并因此而省略了传统的型砂配制与再生系统,并为绿色铸造、清洁生产创造了良好的条件。

4. 铸型真空紧实

特种铸造特点之四是铸型采用真空紧实。例如,消失模铸造、V法铸造和冰模铸造,这是由于采用干砂而适于采用真空紧实,实际上干砂铸型只有采用真空紧实。试验证明,V法铸造中,真空度为200mmHg(0.027MPa)时,真空铸型表面硬度达92左右,真空度为400mmHg(0.053MPa)时,真空铸型抗压强度可达 3kgf/cm^2 ^①,等于高压湿型的抗压强度^[5]。

5. 金属铸型

特种铸造特点之五是铸型采用金属材料制造。例如,金属型铸造,其外形用金属材料制造,型芯可用金属型芯或砂芯。根据金属型所用材料和所浇注的金属种类,金属型的使用寿命由几百次至几次不等,故又称永久型铸造。金属型铸件的力学性能高于砂型铸件,铸件尺寸精度为CT6~CT9,表面粗糙度 $Ra=6.3\sim12.5\mu\text{m}$ ^[4]。

金属型铸造主要用于形状不太复杂的中小型铸件,如航空发动机的铝合金和镁合金铸件,矿山工业运输车辆的铸钢矿车轮等。

6. 悬浮浇注

特种铸造特点之六是采用悬浮浇注。例如,悬浮铸造,其实质是在浇注过程中随金属液均匀地加入金属微粒悬浮剂,其功能有二,一是提高金属液的冷却速度,具有“微型内冷铁”之作用,增加过冷度,促使产生自发结晶核心;二是作为非自发结晶核心,以改善金属的凝固组织,细化晶粒,消除柱晶,减少和消除铸钢件的冶金缺陷^[6]。

7. 高压浇注

特种铸造特点之七是浇注充填铸型(金属型)时,采用高压和高速,一般压力由几兆帕至几十兆帕,充型速度 $0.5\sim0.7\text{m/s}$,充型时间极短,一般为 $0.01\sim0.2\text{s}$ 。

压力铸造在所有铸造方法中生产效率最高,易于实现机械化和自动化。一般冷压室压铸机平均每班可压铸600~700次,热压室压铸机可压铸3000~7000次。

压铸件质量高,压力下结晶和金属型冷却快,铸件晶粒较细, σ_b 值较砂型铸造高25%~30%,但 δ 值较低。压铸件的尺寸精度为CT4~CT7,表面粗糙度

① $1\text{kgf/cm}^2=98.0665\text{kPa}$ 。

$Ra=1.6\sim6.3\mu\text{m}$ 。

压力铸造可浇注形状复杂的薄壁有色合金铸件，铝合金铸件最小壁厚为 0.5mm，锌合金 0.3mm，最小铸孔直径 0.7mm，可铸最小螺距 0.75mm^[4]。

8. 离心力浇注

特种铸造特点之八是将金属液浇于旋转的金属铸型中，在离心力的作用下，使铸件充填成形和凝固。例如，离心铸造，适于生产空心或实心铸件，以及对称的异形铸件，材质主要为铸铁、铸钢和铜合金。

离心铸造空心旋转体铸件可不用型芯，例如，金属管材。同时，基本上无浇注系统和冒口，故金属消耗低，工艺出品率高。

离心铸件的力学性能优于砂型铸造的铸件。

离心管件内表面较粗糙，夹渣较多，对内表面质量要求较高时则需进行机械加工。

离心铸造适于批量生产。

9. 电渣重熔

特种铸造特点之九是金属电渣重熔、成形和凝固在同一水冷金属型中（结晶器）进行。例如，电渣铸造，其特点：钢液在电渣下精炼，钢中夹杂物和 S、P 含量低；水冷金属型冷却速度快，钢的晶粒细小；铸件自下而上顺序凝固，无收缩缺陷，组织致密；无出钢与浇注过程，可有效地防止钢液二次氧化；水冷金属型的寿命长。

电渣铸造可生产优质异形铸钢件和管材。

10. 连续浇注

特种铸造特点之十是将金属液连续地浇入水冷金属型（结晶器）中，同时由金属型另一端连续地拉出已凝固的铸件，当铸件拉出至要求的长度时，可在不间断浇注的情况下切断铸件，例如，连续铸造，其特点：金属液冷却速度快，晶粒细小，组织致密，铸件质量高；无浇、冒口系统，工艺出品率高；生产工序简单，易于实现机械化和自动化，生产率高。

连续铸造分为水平连续铸造和立式连续铸造，可生产铸铁、铸钢、铜合金和铝合金等截面形状不变的铸件，如铸管、棒材等。目前，工业中应用最广的是水平连续铸造棒材^[4]。

应当指出，除金属型铸造和悬浮铸造外，其余特种铸造均同时具有上述 2~4 种特点，例如，熔模铸造为蜡模+不用型芯；离心铸造为离心力+金属型+不用型芯；消失模铸造和冰模铸造为塑料模（冰模）+干砂+真空紧实+不用型芯。

二、国外特种铸造现代进展概况

（一）特种铸造铸件产量与结构

1. 前苏联

前苏联 1960~1990 年间，特种铸造铸件产量与结构如图 1 所示。前苏联铸件总产量的变化主要是受特种铸造铸件产量的影响，其在铸件总产量中的比例如图 1（a）所示，图中曲线 1 为特种铸造铸件产量，曲线 2 为特种铸造铸件产量在铸件总

产量中的比例。20 世纪 70 年代中期，特种铸造铸件产量迅速增长，随后长时间处于稳定状态。

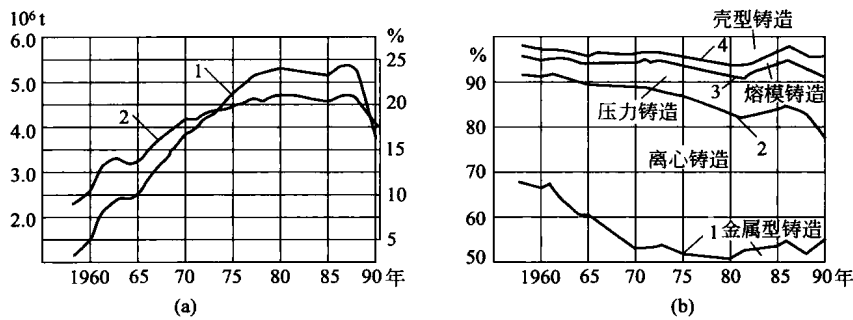


图 1 1960~1990 年前苏联特种铸造铸件产量与结构^[7]
1~4--曲线

1987 年，前苏联特种铸造铸件产量 500 万吨以上，超过德国、法国、英国或意大利铸件总产量。

前苏联特种铸造铸件结构比例分布情况如图 1(b) 所示，图中曲线 1 以下区域表示金属型铸造在特种铸造铸件总产量中的比例，相应曲线 1 与曲线 2 之间区域为离心铸造，曲线 2 与曲线 3 之间区域为压力铸造，曲线 3 与曲线 4 之间区域为熔模铸造，曲线 4 以上区域为壳型铸造。

2. 美国

表 1 所示为美国特种铸造铸件产量与结构。

表 1 美国特种铸造铸件产量与结构^[7] 万吨

年份	铸件总产量	特种铸造铸件产量/占铸件总产量百分比/占特种铸造铸件产量百分比				
		特种铸造	离心铸造	压力铸造	金属型铸造	熔模铸造
1966	1902.18	413.9/21.75%/100%	307.9/16.18%/74.4%	94/5.83%/22.7%	...	2/0.10%/0.48%
1972	1797.78	333.56/18.55%/100%	197.64/11.0%/58.9%	104.9/5.83%/31.5%	18.55/1.03%/5.56%	2.3/0.13%/0.67%
1977	1857.23	341.4/18.38%/100%	202.12/10.9%/59.2%	105.2/5.66%/30.8%	20.9/1.12%/6.12%	2.9/0.15%/0.85%
1982	940.12	233.01/24.78%/100%	132.9/14.1%/57.0%	69.1/7.34%/29.6%	12.2/1.29%/5.22%	8.6/0.91%/3.69%
1987	1166.96	336.61/28.84%/100%	207.65/17.8%/61.7%	90/7.72%/26.7%	18.6/1.59%/5.53%	10/0.91%/3.17%

注：余为其他特种铸造产量，1987 年为 9.5 万吨，占 2.82%。

由前苏联和美国特种铸造铸件产量可知，其中主要是金属型铸造、离心铸造和压力铸造，例如，前苏联金属型铸造居首位 ($>50\%$)，第二位是离心铸造 ($>30\%$)，第三位是压力铸造 (约 10%)，而美国首位是离心铸造 (约 62%)，第二位是压力铸造 (约 27%)，第三位是金属型铸造 (约 5%)。

(二) 特种铸造新技术专利数量态势与分析

1988 年，工业发达国家公布了 4015 项铸造新技术专利^[8]。

1. 特种铸造新技术专利数量态势

图 2 所示为前苏联、美国、英国、法国、德国和日本发布的 1984~1988 年特种铸造新技术专利数量态势。

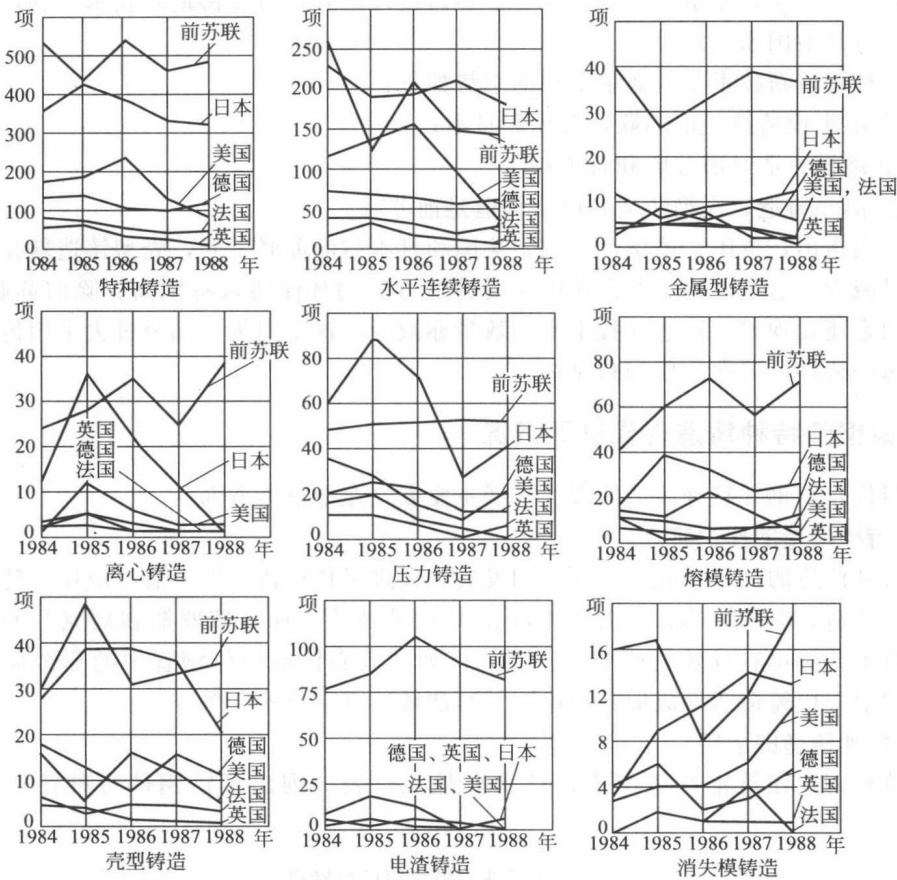


图 2 特种铸造新技术专利数量态势^[8]

2. 特种铸造新技术专利数量态势分析

获得特种铸造新技术专利最多的国家是前苏联和日本。根据新技术专利申请书的数量，日本水平连续铸造新技术专利为前苏联的 1.6 倍，压力铸造亦稍高于前苏联。表 2 所示为前苏联和日本特种铸造新技术专利数量比例。

表 2 前苏联和日本特种铸造新技术专利数量比例^[8] %

国家	特种铸造结构							
	水平连续 铸造	金属型 铸造	离心 铸造	压力 铸造	熔模 铸造	壳型 铸造	电渣 铸造	消失模 铸造
前苏联	37.5	7.0	6.0	11.0	12.0	7.0	17.0	2.5
日本	62.5	2.3	4.0	13.2	6.2	7.5	2.0	2.3

注：每一国家均以 1984~1988 年特种铸造新技术专利总量为 100%。

由表 2 可知，水平连续铸造和压力铸造新技术专利数量高于其他特种铸造，前苏联占新技术专利的 48.5%，日本占 75.7%。由于水平连续铸造和压力铸造的毛坯质量和几何精度高，是两种很有发展前途的特种铸造方法。

由图 2 可知，除水平连续铸造和压力铸造外，其他特种铸造新技术专利，前苏联均超过其他国家。

特种铸造新技术专利数量增加的态势如下：

- ① 消失模铸造是前苏联，美国和日本；
- ② 熔模铸造是前苏联和日本；
- ③ 离心铸造、壳型铸造和电渣铸造是前苏联。

应当指出，英国、德国、美国、法国和日本与前苏联不同，壳型铸造新技术专利数量减少，这是因为工业发达国家对铸造方法的环保要求特别高。除前苏联外，其他国家还发现离心铸造新技术专利数量亦减少，这是因为一部分过去采用传统离心铸造的铸件，现在改用塑料制造。

三、铸钢件特种铸造现代进展概况

当代，铸钢件特种铸造的现代进展主要表现在如下几方面。

（一）特种铸造的理论研究

特种铸造的理论研究不断深入和发展，促进了特种铸造的发展与应用。特别是在离心铸造、电渣铸造、消失模铸造和 V 法铸造等方面，俄罗斯和乌克兰的专家们进行了大量卓有成效的研究与实践，例如“离心铸造耐热钢管中的非金属夹杂物”、“消失模铸造铸件成形新理论”、“V 法铸造真空技术”等。

（二）特种铸造的应用

特种铸造在铸钢件生产中占有重要地位，表 3 列出了铸钢件特种铸造应用概况。

表 3 铸钢件特种铸造应用概况

特种铸造	发明者	应用工业部门	典型产品
熔模铸造	源于埃及、中国、印度	航空航天、船舶、动力、石化、兵器、机械、轻工等	阀体、叶轮、喷嘴、换向接头、增压器涡轮等
离心铸造	英国	石化、冶金、动力、轻工等	钢管、轧辊、异形铸件等
电渣铸造	乌克兰	动力、冶金、石化、船舶、军工等	三峡水轮机转轮叶片、曲轴、火箭弹壳体等
悬浮铸造	俄罗斯	矿山、冶金、船舶等	钢管、锚链、履带板、高锰钢耐磨件等
消失模铸造	美国	矿山、冶金、阀门等	不锈钢、耐热钢、耐磨钢铸件等
V 法铸造	日本	铁路车辆、阀门、矿山、冶金等	摇枕、侧架、挂钩、阀体、高锰钢耐磨件等

近代，铸钢件特种铸造的应用范围不断扩大，铸钢件的品种不断增加，铸钢件的质量不断提高，特别是离心铸造、电渣铸造和 V 法铸造。例如，我国四川化工

机械厂和法国玛努尔（烟台）工业有限公司，离心铸造的 $\phi 50\sim 700\text{mm}$ 和长 $3\sim 8\text{m}$ 的耐热钢管，已广泛用于石化和冶金工业；俄罗斯研制成功离心铸造 $\phi 600\sim 1200\text{mm}$ 热电站大型蒸汽管和 $\phi 350\sim 870\text{mm}$ 核电站双金属钢管；我国研制成功离心铸造 $\phi 1350\text{mm}$ 和重 41.9t 的大型铸钢轧辊；俄罗斯研制成功离心铸造 $\phi 1200\text{mm}$ 和重 75t 的双金属轧辊；三峡水电站进口的电渣铸造的 70 万千瓦水轮机转轮叶片，长 6m ，单重 13.5t ；我国研制成功电渣铸造重 4.5t 的柴油机整体曲轴；日本、德国、俄罗斯、乌克兰和我国已广泛采用 V 法铸造制造铁路车辆摇枕、侧架、挂钩和铁道辙岔铸钢件。

（三）特种铸造复合新技术

铸钢件特种铸造重要发展趋势之一是特种铸造技术相互嫁接，开发成功多种特种铸造复合新技术，例如，电渣金属型铸造（PMESC）、电渣离心铸造（SESC）等，均已成功地用于国内外许多工业部门。

（四）冰模铸造

美国 DURAMAX 公司于 1991 年开始研究冷冻铸造工艺（freeze casting process, FCP），已获专利权，并于 1998 年 12 月报道了冷冻铸造工艺的基本内容^[9,10]。

1994 年，参考文献 [11] 报道了俄罗斯弗拉基米尔国立工业大学，研究成功冰模铸造。

为显示冷冻铸造工艺的特点，笔者建议称其为“冰模铸造”。

目前，冰模铸造工艺主要有两种，一为美国的冰模精密铸造，一为俄罗斯的冰模真空砂型铸造。冰模精密铸造的特点是以冰模代替蜡模，其余工艺内容与传统熔模铸造相似。冰模真空砂型铸造，除用冰模取代消失模，并于浇注前溶失外，其余采用干砂，振动与真空紧实，真空浇注等均与消失模真空实型铸造（R-FM）相似。当然，无论何种冰模铸造工艺，其冰模皆在低温下制造，这就是冰模铸造技术的最大特点。

因此，冰模铸造最突出的优点是从根本上解决了消失模铸造铸钢件的增碳问题。冰模铸造的铸件质量好，铸件表面质量和尺寸精度优于熔模铸造的铸件。特别应当指出，冰模铸造采用来源最广、价格最低和环保最佳的天然水作为制模材料，可真正实现绿色铸造生产。

展望未来，在铸钢件生产中，冰模铸造将以其质量、成本和环保三大绝对优势，而成为传统熔模铸造、消失模真空实型铸造（R-FM）和消失模真空壳型铸造（R-CS）的极强竞争技术，并将日益获得广泛的发展与应用。

（五）计算机技术

近代，在铸造生产中，计算机技术（铸件凝固过程数值模拟、铸造工艺计算机辅助设计技术、铸造专家系统等）已获得广泛应用。同样，计算机技术亦成功地用于铸钢件特种铸造生产中，现举国外二例。

1. 电渣铸造

国外电渣铸造三峡水轮机转轮叶片时成功地采用了铸造专家系统,包括 12 个模型,专家系统使用简便,叶片图纸输入专家系统后,便获得金属型全部组合件的结构和电渣铸造过程的主要工艺参数^[12]。

2. V 法铸造

俄罗斯 БАЗ 阀门厂 V 法铸造铸钢阀门时,采用了 LWM-F10W 铸造过程模拟系统,该系统可提高铸件的设计质量,降低开发新产品时编制工艺的费用和获得合理的铸造工艺^[13]。

展望 21 世纪,在铸钢件生产领域,特种铸造与特种铸造复合新技术,必将获得快速发展与广泛应用,向各工业部门提供不同特点和性能的优质铸钢件,以促进我国经济建设持续稳定发展。

参 考 文 献

- [1] Н. Н. Рубцов. 特种铸造. 1955
- [2] Н. М. Гадлин 等, 有色铸造. 1989
- [3] В. Д. Ефимов 等. 特种铸造. 1991
- [4] 姜不居. 特种铸造. 北京: 中国水利水电出版社, 2005.
- [5] 叶升平等. 国外 V 法铸造资料汇编. 消失模与 V 法铸造技术委员会, 2008.
- [6] 崔更生. 现代铸钢件冶金质量控制技术. 北京: 冶金工业出版社, 2007.
- [7] Э. Ч. Гини. 特种铸造生产的发展 ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО, 1999, (2): 23~26.
- [8] В. П. Мальх 等. 特种铸造新技术专利发展态势. ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО, 1990, (9): 21~22.
- [9] 颜永年等. 快速成形与铸造技术. 北京: 机械工业出版社, 2004.
- [10] 陈宗民等. 特种铸造与先进铸造技术. 北京: 化学工业出版社, 2008.
- [11] 俄罗斯. 冰模铸造. ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО, 1994, (9): 14~15.
- [12] Г. И. Дегтяренко. 中国三峡水电站设计. ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО, 2005, (1): 34~37.
- [13] А. Г. Пестов. “БАЗ” 采用真空薄膜造型法. ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО, 2007, (10): 17~21.

第一章 离心铸造

1809年，英国人爱尔恰尔特（A. Erehart）获得了第一个离心铸造专利。1849年，安德鲁逊克（Amdraw. shamk）制出了首台离心铸造机。2007年，俄罗斯Г. С. Мирзоян等撰文称：2009年是爱尔恰尔特发明离心铸造注册200周年，而2010年则为各国铸造专家在离心铸造应用方面做出创造性贡献的100周年^[1]。

离心铸造有两种类型，一为卧式离心铸造，如图1-1所示；一为立式离心铸造，如图1-2所示。

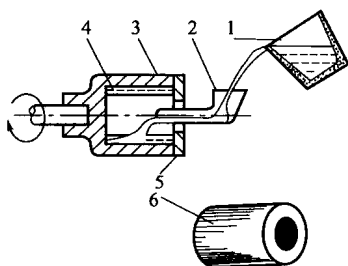


图 1-1 卧式离心铸造机示意图^[2]

1—浇包；2—浇注槽；3—铸型；4—液体金属；
5—端盖；6—铸件

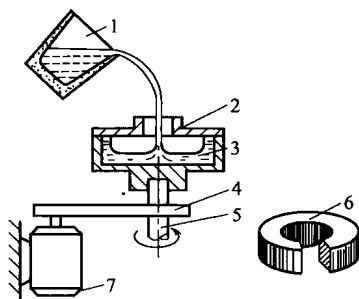


图 1-2 立式离心铸造机示意图^[2]

1—浇包；2—铸型；3—液体金属；4—带轮和带；
5—旋转轴；6—铸件；7—电动机

离心铸造与其他特种铸造相比较，其特点是具有“万能性”，因离心铸造可制造供水和排污设施以及石油、化工、冶金、动力、国防等工业部门所用黑色与有色合金多种产品，如单金属和双金属环形铸件、筒坯以及外形特殊的异形铸件。

离心铸造的特点是铸件在离心力作用场中成形，故其有如下特点：

- ① 在离心力的作用下，可提高金属液充填铸型的能力，尤其适于制造薄壁管件和异形铸件；
- ② 在离心力作用下，可改善金属液的补缩条件，容易排除气体和非金属夹杂物，而获得致密铸件；
- ③ 离心铸造的铸钢件，具有高的力学性能和各向同性，因而可提高铸钢件的使用寿命，故有人称其为“液态锻造”；
- ④ 离心铸造的铸钢件的尺寸精度接近成品件；
- ⑤ 离心铸造可取消或显著减少浇注系统和冒口的金属消耗，提高工艺出品率；
- ⑥ 离心铸造的铸钢件与锻压件相比，可显著提高金属利用系数；
- ⑦ 离心铸造可制造双金属铸件；