

# 消失模铸造 及实型铸造 技术手册

主 编 邓宏运 阴世河  
副主编 章 舟 王春景



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



# 消失模铸造及实型铸造 技术手册

主 编 邓宏运 阴世河  
副主编 章 舟 王春景  
参 编 徐庆柏 李增民 唐锁云 颜文非 李建国  
孟昌辉 曹国钧 历三余 刘中华 阴世悦  
李立新 王树成 应根鹏 吴殿杰 韩晓红  
王守仁 徐金成 翟永真 孔令清 汤 娟  
王承伟 张广贺 袁三红



重庆科技学院图书馆



1310025



机械工业出版社

本书内容主要包括：消失模铸造的白模（泡沫塑料模）的制造、白模模具设计及制造、消失模铸造及实型铸造涂料、消失模铸造及实型铸造造型材料和造型质量控制、消失模铸造及实型铸造工艺、消失模铸造及实型铸造的设备及工艺装备、铸造合金熔炼用中频感应炉及炉衬选择、铸造合金熔炼及质量控制、消失模铸造及实型铸造三废处理与防止措施、消失模铸造及实型铸造生产线设计与应用实例、消失模铸造及实型铸造典型铸件铸造工艺实例、消失模铸造及实型铸造质量缺陷及防止。

本手册内容注重实用，以消失型铸造及实型铸造生产工艺为线索，涉及消失模铸造及实型铸造生产技术的主要方面：工艺、设备、原辅材料、节能环保、质量控制等，既全面总结了近年来消失模铸造及实型铸造生产技术方面的数据、图表和应用成果，还汇集了国内外在消失模铸造技术方面的成熟经验和应用实例，希望对读者从事消失模铸造生产技术实践提供有益的指导。

### 图书在版编目（CIP）数据

消失模铸造及实型铸造技术手册/邓宏运，阴世河主编. —北京：机械工业出版社，2012.11

ISBN 978-7-111-39881-3

I. ①消… II. ①邓… ②阴… III. ①实型铸造 - 技术手册  
IV. ①TG249.6 - 62

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2012）第 228817 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：季顺利 责任编辑：季顺利

版式设计：姜 婷 责任校对：张 媛

封面设计：姚 毅 责任印制：乔 宇

北京机工印刷厂印刷（三河市南杨庄国丰装订厂装订）

2013 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 34.75 印张 · 5 插页 · 977 千字

0 001—3 000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-39881-3

定价：98.00 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

策划编辑：(010) 88379082

社服务中心：(010) 88361066

网络服务

销售一部：(010) 68326294

教材网：<http://www.cmpedu.com>

销售二部：(010) 88379649

机工官网：<http://www.cmpbook.com>

读者购书热线：(010) 88379203

机工官博：<http://weibo.com/cmp1952>

封面无防伪标均为盗版

## 《消失模铸造及实型铸造技术手册》编写人员名单

主 编 邓宏运 阴世河

副主编 章 舟 王春景

编 者 (按姓氏拼音排列):

曹国钧 (河北大地铸造机械有限公司)

邓宏运 (铸造工程师杂志总编)

韩晓红 (杭州凯斯特化工有限公司副总工程师)

孔令清 (西安理工大学副教授)

李增民 (河北科技大学教授)

李立新 (河北科技大学教授)

李建国 (沈阳恒丰实业有限公司总经理)

厉三余 (富阳市江南轻工包装机械厂厂长)

刘中华 (洛阳刘氏模具有限公司总经理)

孟昌辉 (沈阳恒丰实业有限公司副总经理)

唐锁云 (杭州凯斯特化工有限公司总工程师)

汤 娟 (长安大学副教授)

王春景 (西安工业大学副教授)

王守仁 (济南大学教授)

王树成 (浙江西子富沃德电机有限公司工艺室主任)

王承伟 (西安中电电炉有限责任公司总经理)

吴殿杰 (无锡锡南铸造机械有限公司总工程师)

徐庆柏 (合肥工业大学教授)

徐金成 (山东开泰集团有限公司机械研究院院长)

颜文非 (西安机电研究所所长)

阴世河 (沈阳中世机械电器设备有限公司董事长)

阴世悦 (沈阳中世机械电器设备有限公司总经理)

应根鹏 (杭州奥宝化工有限公司经理)

袁三红 (东风汽车有限公司通用铸锻厂副厂长)

张广贺 (广益矿产集团有限公司经理)

翟永真 (山东开泰集团有限公司副总经理)

章 舟 (杭州学林科技开发服务部负责人)

# 前 言

铸造是汽车、电力、钢铁、石化、造船、装备制造等支柱产业的基础制造技术，新一代铸造技术也是当代材料工程和先进制造技术的重要内容。中国已是世界铸件生产的第一大国，进入 21 世纪，我国铸造业迎来了持续发展的大好局面，同时也面临对铸件生产的技术水平、质量、能源消耗、环境污染等方面的严峻挑战。

消失模铸造是将与铸件尺寸形状相似的泡沫塑料模样粘接组合成模样簇，刷涂耐火涂料并烘干后，埋在干硅砂、镁橄榄石砂、宝珠砂中振动造型，在负压下浇注，使模样气化，液体金属占据模样位置，凝固冷却后形成铸件的新型铸造方法。消失模铸造技术被铸造界的人士称为“21 世纪的铸造技术”和“铸造工业的绿色革命”。在制造业的迅猛发展以及对低碳经济的日益发展的要求下，消失模铸造技术以其无与伦比的优势，成为改造传统铸造产业应用最广的高新技术之一。

2012 年我国消失模铸造和实型铸造生产的铸件产量可达到 100 万 t，实型铸造铸件与消失模铸造铸件产量基本持平，相比而言实型铸造比消失模铸造进步稍快，继续占领世界产量第一。我国实型铸造铸件和消失模铸造铸件几乎全部是黑色金属铸件，目前有色金属铸件也开始有了初步发展。各企业生产技术逐渐走向成熟和规模化，目前已经建成和在建的年产超过万吨的实型铸造和消失模铸造厂家达到 30 余家。

为适应我国消失模铸造生产的需要，结合我国铸造企业的技术现状，为众多铸造企业从事消失模铸造的广大工程技术人员、管理人员以及现场的实际操作者，撰写一本以消失模铸造及实型铸造基础知识和生产技术应用为指导的工具书，是十分必要的。

《消失模铸造及实型铸造技术手册》（以下简称《手册》）于 2010 年初开始组织策划。《手册》内容注重实用，以消失模铸造及实型铸造生产工艺为线索，涉及消失模铸造及实型铸造生产技术的主要方面：工艺、设备、原辅材料、节能环保、质量控制等，既全面总结了近年来消失模铸造及实型铸造生产技术方面的数据、图表和应用成果，还汇集了国内外在消失模铸造技术方面的成熟经验和应用实例，希望对读者从事消失模铸造生产实践提供有益的指导。

为了使《手册》内容既贴近生产实际，又具有一定的深度和广度，参加编写的人员都是从事消失模铸造技术研究及生产实践多年的学者、企业领导和一线专家。本手册的具体编写分工为：第 1 章：章舟、李增民、王树成；第 2 章：唐锁云、韩晓红、厉三余、应根鹏；第 3 章：刘中华；第 4 章：徐庆柏、邓宏运；第 5 章：王春景；第 6 章：孔令清、邓宏运；第 7 章：阴世悦、曹国钧、吴殿杰、王守仁、翟永真、徐金成；第 8 章：颜文非、汤娟、李建国、孟昌辉、王承伟、张广贺；第 9 章：邓宏运、王春景、孔令清；第 10 章：李增民、李立新；第 11 章：阴世河；第 12 章：邓宏运、阴世河、孔令清、袁三红；第 13 章：章舟、王春景、王树成；附录：邓宏运。

《手册》由邓宏运、阴世河任主编，章舟、王春景任副主编。感谢所有参与《手册》编写的作者和工作人员的辛勤劳动和努力，沈阳钢铁研究所崔春芳高级工程师，中国铸造协会实型铸造分会原秘书长梁光泽高级工程师、东风汽车有限公司通用铸锻厂厂长彭超高级工程师、副厂长袁三红高级工程师、刘之顺高级工程师、天津的肖占德高工、南京的张文和高工、西

安的李汝青高级工程师、北京的王佩华教授、西安科技大学童军教授、长沙的张建奇高级工程师、成都铸造学会的高成勋工程师、郑州翔宇的朱剑甫总经理及康晓工程师、洛阳的宝珠砂铸材有限公司总经理周建平高工、洛阳凯林铸材有限公司刘满对高工、烟台四方的谢沛文、高天鹏工程师、青岛的范家新工程师、十堰的吴刚工程师、西安晋强保温材料有限公司刘晋军工程师等许多专家对《手册》编写提供翔实的技术资料及帮助,《铸造技术》杂志社李晓霞编辑、中冶陕压重工设备有限公司靖林助理工程师对全书的文字及图表进行了技术处理,感谢西安工业大学、河北科技大学、合肥工业大学、长安大学、西安理工大学、济南大学、《铸造工程师》杂志社、西安机电研究所、西安中电电炉有限责任公司、西安泉特科技有限公司、陕西远大多元铁合金有限公司、西安远大铸造材料技术有限公司、沈阳中世机械电器设备有限公司、沈阳恒丰实业有限公司、烟台四方铸造设备有限公司、富阳联发消失模成型设备有限公司、洛阳刘氏模具有限公司、山东开泰集团有限公司、无锡锡南铸造机械有限公司、河北任丘现代模具有限公司、十堰龙岗铸造有限公司、郑州翔宇铸造材料有限公司、广益矿产集团有限公司、长沙环宇耐火材料有限公司、洛阳凯林铸材有限公司、洛阳宝珠砂铸材有限公司、西安晋强保温材料有限公司等有关单位的大力支持和帮助。同时,对给《手册》提供生产工艺技术、设备、仪表仪器、分析检测、原辅材料等有关资料、信息的诸位友人致以衷心感谢。尤其是书中第12章“消失模铸造及实型铸造典型铸件工艺实例”,选编了第9届、第10届、第11届实型(消失模)铸造学术年会论文集及第17届实型(消失模)铸造经验交流会论文集中有代表性的实型(消失模)铸造案例,这些实型(消失模)铸造案例的作者在文中注明,在此,再一次表示衷心感谢。

由于时间仓促和编者水平所限,书中难免存在遗漏和不当之处,恳请读者批评指正。

**编者**

# 目 录

## 前言

<b>第 1 章 概述</b> .....	1
1.1 消失模铸造及实型铸造的发展概况 .....	1
1.1.1 实型铸造的发展概况 .....	1
1.1.2 消失模铸造的发展概况 .....	4
1.2 消失模铸造成型原理 .....	5
1.2.1 消失模铸造成型原理分析 .....	5
1.2.2 消失模的热分解特性 .....	7
1.2.3 金属液在消失模铸造中的充填特性 .....	11
1.2.4 铸件中非金属夹杂的形成 .....	15
1.2.5 金属液充型速度及其影响因素 .....	16
1.2.6 金属液充型过程的成型条件 .....	17
1.2.7 金属液的凝固特性 .....	18
1.3 消失模铸造及实型铸造的生产工艺流程 .....	19
1.3.1 消失模铸造的生产工艺流程 .....	19
1.3.2 实型铸造的生产工艺流程 .....	19
1.4 消失模铸造及实型铸造的工艺技术特点 .....	20
1.4.1 消失模铸造工艺技术特点 .....	20
1.4.2 实型铸造工艺技术特点 .....	25
1.5 消失模铸造及实型铸造用原辅材料 .....	26
1.5.1 消失模铸造用原辅材料 .....	26
1.5.2 实型铸造用原辅材料 .....	27
1.6 消失模铸造及实型铸造的主要设备及工装 .....	27
1.6.1 消失模铸造的主要设备及工装 .....	27
1.6.2 实型铸造的主要设备及工装 .....	28
1.7 消失模铸造及实型铸造的技术、经济分析 .....	28
1.7.1 消失模铸造的技术、经济分析 .....	28
1.7.2 实型铸造的技术、经济分析 .....	29
<b>第 2 章 泡沫塑料模样的制造</b> .....	31
2.1 概述 .....	31
2.2 模样原辅材料 .....	32
2.2.1 可发性聚苯乙烯树脂珠粒 .....	32
2.2.2 EPS 模样材料的主要技术指标 .....	32
2.2.3 可发性甲基丙烯酸甲酯与苯乙烯共聚树脂 .....	33
2.2.4 共聚树脂 STMMA 主要技术指标 .....	33
2.3 消失模铸造模样制造 .....	34
2.3.1 预发泡 .....	34
2.3.2 预发泡珠粒的熟化 .....	35
2.3.3 模样的发泡成型的两种成型方式 .....	36
2.3.4 发泡成型模具 .....	38
2.3.5 模样成型设备 .....	40
2.3.6 模样的干燥与稳定化 .....	42
2.3.7 模样的组装 .....	42
2.3.8 4 万 t/a 灰铸铁变速器壳体铸件消失模(白模)制作布置 .....	49
2.3.9 泡沫塑料模样的加工成型 .....	51
2.4 泡沫塑料模样的质量检验 .....	54
2.5 泡沫塑料模样的常见缺陷及对策 .....	55
<b>第 3 章 消失模模具的设计与制造</b> .....	58
3.1 泡沫塑料模样的三维造型 .....	58
3.1.1 对泡沫塑料模样的工艺审定 .....	59
3.1.2 三维造型时起模斜度的确定 .....	60
3.1.3 三维造型时加工余量的确定 .....	60
3.1.4 计算机辅助设计在三维造型中的应用 .....	61
3.1.5 模样的分片与粘结 .....	62
3.2 模具设计 .....	64
3.2.1 收缩率 .....	64
3.2.2 模具的型腔数量 .....	65
3.2.3 模具充料口设计 .....	66
3.2.4 分型面的设计 .....	69
3.2.5 芯块和抽芯机构设计 .....	70
3.2.6 成型模具的镶块设计 .....	71
3.2.7 锻铝模具毛坯的三维构造 .....	72
3.2.8 消失模铸造模具毛坯的三维设计 .....	73
3.2.9 手动拆装模具的结构设计 .....	74
3.2.10 机动开合模具设计 .....	76
3.3 模具的加工制造和装配 .....	79
3.3.1 模具材料的选择 .....	79
3.3.2 模具型腔加工 .....	79
3.3.3 模具的透气结构 .....	80

3.3.4 模具的装配 .....	81	5.2.3 旧砂回用系统 .....	130
3.4 模具的安装和调试 .....	81	5.3 有粘结剂的实型铸造材料 .....	132
3.4.1 模具在成型机上的安装 .....	81	5.4 有粘结剂的实型铸造工艺 .....	137
3.4.2 模具的密封 .....	82	5.4.1 呋喃树脂自硬砂实型铸造造型 工艺 .....	137
3.4.3 设备管道与模具接口设计 .....	83	5.4.2 自硬砂造型操作要点 .....	139
3.4.4 模具的调试 .....	83	5.4.3 水玻璃砂造型工艺 .....	146
3.5 模具的维护保养 .....	83	<b>第6章 消失模铸造及实型铸造工艺</b> .....	151
3.5.1 手工拆装模具的维护保养 .....	83	6.1 消失模铸造工艺 .....	151
3.5.2 普通机模的维护保养 .....	84	6.1.1 消失模铸造工艺流程 .....	151
3.5.3 自动机模的维护保养 .....	85	6.1.2 消失模铸造工艺方案确定的原 则 .....	151
<b>第4章 消失模铸造及实型铸造涂料</b> .....	86	6.1.3 消失模铸造工艺参数选择 .....	153
4.1 涂料的性能要求和组成 .....	86	6.1.4 消失模铸造的浇注系统 .....	154
4.1.1 消失模铸造用涂料的性能要求 和组成 .....	86	6.1.5 消失模铸造的冒口及保温发热 冒口 .....	157
4.1.2 实型铸造用涂料的性能要求和 组成 .....	86	6.1.6 消失模铸造的浇注工艺 .....	160
4.2 主要原辅材料的性质 .....	86	6.2 实型铸造工艺 .....	162
4.2.1 耐火粉料 .....	86	6.2.1 实型铸造工艺流程 .....	162
4.2.2 载液 .....	94	6.2.2 实型铸造工艺方案确定的原则 .....	162
4.2.3 悬浮剂 .....	95	6.2.3 实型铸造工艺设计 .....	162
4.2.4 粘结剂 .....	99	6.2.4 实型铸造的浇注工艺 .....	171
4.2.5 助剂 .....	104	6.3 EPC及实型铸造的铸件成型工艺 .....	173
4.3 消失模铸造及实型铸造涂料的配制 .....	106	6.3.1 消失模铸造的铸件成型工艺 .....	173
4.3.1 原材料的选择 .....	106	6.3.2 实型铸造的铸件成型工艺 .....	173
4.3.2 配方的制定 .....	107	6.4 EPC及实型铸造的典型工艺质量控 制 .....	175
4.3.3 涂料的制备工艺和设备 .....	110	6.4.1 消失模铸造铸件工艺质量控制 要点 .....	175
4.4 涂料的涂覆工艺及干燥 .....	112	6.4.2 呋喃树脂砂实型铸造铸件工艺 质量控制要点 .....	182
4.4.1 涂覆工艺 .....	112	6.5 EPC和实型铸造的典型大件工艺 实例 .....	185
4.4.2 涂料的烘干 .....	114	<b>第7章 消失模铸造和实型铸造的设 备及工艺装备</b> .....	192
4.5 涂料的质量控制及缺陷防止 .....	114	7.1 消失模铸造的振实台及负压砂箱、 负压设备 .....	192
4.5.1 涂料的质量控制 .....	114	7.1.1 消失模铸造振动紧实设备 .....	192
4.5.2 涂料性能的检测方法 .....	115	7.1.2 消失模铸造黑区加砂系统 .....	193
4.5.3 消失模铸造和实型铸造涂料 缺陷防止措施 .....	118	7.1.3 消失模铸造负压砂箱 .....	194
<b>第5章 消失模铸造及实型铸造造型 材料和造型工艺</b> .....	120	7.1.4 消失模铸造负压系统 .....	195
5.1 消失模铸造常用的干砂及性能要求 .....	120	7.2 消失模铸造砂处理及设备 .....	201
5.1.1 消失模铸造常用的干砂 .....	120	7.2.1 砂处理系统的作用及砂处理系 统的工艺流程 .....	201
5.1.2 消失模铸造干砂性能及要求 .....	124		
5.1.3 填砂紧实装箱技术及要求 .....	125		
5.2 EPC振动紧实、真空抽气系统及旧 砂回用系统 .....	126		
5.2.1 振动紧实 .....	126		
5.2.2 真空抽气系统 .....	129		



7.2.2	砂处理系统的设计原则	201	8.5	中频感应炉的试炉及熔炼操作注意的问题	255
7.2.3	典型砂处理生产线	202	8.6	中频感应炉的维护保养与安全操作及事故处理	256
7.2.4	砂处理常用设备	202	8.7	中频感应炉启动时六种故障分析及处理	258
7.3	实型铸造(树脂砂)主要设备及工艺装备	213	8.8	中频感应炉运行中14种故障处理	260
7.3.1	大吨位、液压、升降超长臂、移动式连续混砂机	213	8.9	中频炉熔炼操作规程	263
7.3.2	旧砂再生方法和设备	215	<b>第9章 铸造合金熔炼及质量控制</b>	264	
7.4	EPC及实型铸造(树脂砂)铸件清理工艺与设备	218	9.1	铸铁及铸铁件的成型过程	264
7.4.1	铸件的清理方法	218	9.1.1	铸铁的分类及铸铁牌号的表示方法	264
7.4.2	抛丸清理设备的发展现状	218	9.1.2	铁-碳相图	267
7.4.3	抛喷丸清理设备分类	219	9.1.3	铸铁的凝固	268
7.4.4	清理设备的选择原则	220	9.1.4	球墨铸铁	280
7.4.5	各种清理设备的特点及适用范围	221	9.1.5	蠕墨铸铁生产质量控制技术	287
7.4.6	常用抛丸清理设备主要技术参数	225	9.1.6	高铬铸铁的种类、成分	289
7.4.7	磨料参数选择与优化设计	229	9.1.7	耐热铸铁的化学成分、性能及使用特点	292
7.5	去除铸件的浇冒口	230	9.2	铸钢及其熔炼	295
7.5.1	铸件浇冒口的去除	230	9.2.1	铸钢的种类、性质及应用	296
7.5.2	铸钢件浇冒口的去除	231	9.2.2	铸钢的熔炼	308
7.6	去除铸件的多余金属	231	9.3	铸造有色金属及其合金	308
<b>第8章 铸铁及铸钢熔炼用中频感应炉</b>		232	9.3.1	铝及铝合金	309
8.1	中频感应炉的工作原理及组成	232	9.3.2	铜及铸造铜合金	311
8.1.1	中频感应炉的工作原理	232	9.4	铸铁及铸钢熔炼质量控制实例	315
8.1.2	中频感应炉的组成	234	9.4.1	高强度灰铸铁件的生产工艺	315
8.2	如何选购铸造中频感应炉	239	9.4.2	减少孕育铸铁收缩倾向的工艺措施	316
8.2.1	中频电源负载主电路的两种主要形式	239	9.4.3	防止铸铁件白口的工艺措施	318
8.2.2	电源和炉体的配置方式	240	9.4.4	电炉熔炼铸铁的质量控制	321
8.2.3	铸造企业用电条件	241	9.4.5	高强度铸铁中频炉熔炼的炉前控制	322
8.2.4	炉体容量、电源功率和频率的选择	242	9.4.6	球墨铸铁化学成分设计原则	325
8.2.5	价格和质量、技术及售后服务选择	246	9.4.7	球化剂的选用原则与常用球化工艺	326
8.3	感应炉成型炉衬的应用	247	9.4.8	孕育剂的选用及常用孕育工艺	328
8.4	提高中频炉炉龄不可忽视的几个要素	252	9.4.9	球化处理后球化率检测技术	330
8.4.1	正确选择适合熔炼的优质炉衬材料	252	9.4.10	熔炼过程测温及取试样	331
8.4.2	提高炉龄不可忽视的要素	253	9.4.11	采用电炉合成铸铁技术	332
8.4.3	结语	255	9.4.12	蠕墨铸铁的电炉生产与质量控制	339
			9.4.13	铸钢的感应炉熔炼技术	343
			9.4.14	铸钢的感应炉熔炼工艺	345

9.4.15 铸钢件生产浇注温度及浇注速度的控制 .....	350	11.4.2 国外某企业年产 20000t 管件的消失模自动生产线 .....	403
<b>第 10 章 消失模铸造的三废处理与防止措施</b> .....	353	11.5 消失模铸造应用实例和车间实景 .....	407
10.1 干砂粉尘除尘处理 .....	354	11.5.1 年产 10000t 耐磨、耐热铸件消失模铸造车间 .....	407
10.1.1 旋风除尘器 .....	355	11.5.2 年产 5000t 箱体铸铁件消失模铸造车间(单班) .....	409
10.1.2 袋式除尘器 .....	360	11.5.3 全自动消失模铸造生产线 .....	411
10.1.3 颗粒层除尘器 .....	362	11.5.4 其他生产线实景图 .....	417
10.1.4 湿式除尘器 .....	363	11.5.5 消失模铸造自动化生产线的设计 .....	417
10.1.5 静电除尘器 .....	364	11.5.6 陕西法士特汽车传动集团公司消失模铝合金壳体铸造生产线 .....	421
10.2 消失模铸造车间废气处理 .....	365	<b>第 12 章 消失模铸造及实型铸造典型铸件工艺实例</b> .....	426
10.2.1 消失模铸造尾气测定 .....	366	12.1 变速器壳体消失模铸造质量控制 .....	426
10.2.2 尾气净化方法的选择 .....	366	12.2 消失模铸件的夹渣缺陷分析及控制 .....	427
10.2.3 催化燃烧的原理 .....	367	12.3 明冒口在消失模铸造中的应用 .....	430
10.2.4 催化剂的选择 .....	367	12.4 柱塞泵体的消失模铸造 .....	431
10.2.5 废气净化流程及设备 .....	368	12.5 铸铁管件消失模铸造工艺及质量控制 .....	433
<b>第 11 章 消失模铸造生产线及车间设计</b> .....	370	12.6 消失模铸造生产球墨铸铁汽车轮毂 .....	438
11.1 消失模铸造生产线及车间设计概述 .....	371	12.7 蠕墨铸铁气缸盖的消失模铸造工艺 .....	439
11.1.1 制模工部 .....	371	12.8 消失模铸造高强度合金蠕墨铸铁勺头的应用 .....	442
11.1.2 造型工部 .....	372	12.9 高锰钢筛板消失模铸造 .....	448
11.1.3 熔化浇注工部 .....	372	12.10 高锰钢拦焦机侧板消失模铸造技术 .....	450
11.1.4 旧砂处理工部 .....	372	12.11 美卓矿机衬板的消失模铸造 .....	452
11.1.5 黑区清理工部 .....	372	12.12 高锰钢衬板消失模铸造的浇注工艺设计 .....	453
11.1.6 黑区循环工部 .....	372	12.13 不锈钢薄壁件的消失模铸造工艺研究 .....	454
11.2 消失模铸造生产线的基本类型 .....	372	12.14 消失模整铸刮板输送机中部槽的质量控制 .....	456
11.2.1 简易单机生产线 .....	373	12.15 消失模铸造港口机械用低合金铸钢车轮 .....	459
11.2.2 负压吸砂生产线 .....	373	12.16 消失模铸造生产液压缸缸头铸件 .....	461
11.2.3 简易联机生产线 .....	374	12.17 碳钢轮毂的消失模铸造技术 .....	463
11.2.4 半机械化生产线 .....	375	12.18 大型铸件消失模铸造工艺参数的	
11.2.5 机械半自动生产线 .....	376		
11.2.6 开放式生产线 .....	376		
11.2.7 闭环式生产线 .....	376		
11.3 消失模铸造生产线的关键设备 .....	378		
11.3.1 制模工部设备 .....	378		
11.3.2 造型工部设备 .....	380		
11.3.3 熔化浇注工部设备 .....	381		
11.3.4 旧砂处理工部设备 .....	382		
11.3.5 循环工部 .....	392		
11.3.6 控制系统 .....	396		
11.4 消失模铸造生产线设计实例 .....	399		
11.4.1 沈阳中世机械电器设备有限公司年产 5000t 铁路配件的消失模自动生产线 .....	399		

选择 .....	465	13.1.7 铸件结构变化和铸造工艺的 选择 .....	495
12.19 负压干砂技术在实型铸造大中型 铸件工艺中的应用 .....	466	13.1.8 铸造设备和工装的选择 .....	495
12.20 冲压机床机座的消失模铸造 .....	469	13.1.9 质量管理和生产管理的细致 影响 .....	495
12.21 实型铸造铸铁大件的应用 .....	471	13.1.10 其他因素的影响 .....	496
12.22 消失模涂料及机床铸件实型铸造 应用 .....	473	13.1.11 实型铸造的质量控制 .....	496
12.23 大型特大型铸铁件实型铸造工艺 .....	476	13.1.12 白模检验 .....	496
12.24 负压干砂实型大中型铸件铸造工 艺 .....	479	13.1.13 浇冒口粘结质量检验 .....	496
12.25 采用实型铸造 65t 重型机床卧车 箱体工艺 .....	480	13.1.14 消失模铸件的检验 .....	496
12.26 长 15.3m 重 82.9t 异形特大横梁 的实型铸造 .....	483	13.1.15 实型铸件的检验 .....	497
12.27 大型机床床身底座铸件的实型铸 造 .....	485	13.2 消失模铸造、实型铸造缺陷防止 .....	497
12.28 实型铸造生产汽车覆盖件冲模的 质量控制 .....	488	13.2.1 EPS 白模常见的缺陷及防止 .....	497
<b>第 13 章 消失模铸造和实型铸造的     铸件质量检验及缺陷防止 .....</b>	<b>492</b>	13.2.2 STMTA 白模或模样常见的缺 陷和防止 .....	503
13.1 消失模铸造的质量控制 .....	492	13.2.3 消失模铸造特有的缺陷及防 止 .....	503
13.1.1 白模的质量控制 .....	492	13.2.4 消失模铸造、实型铸造和砂 型铸造类似的缺陷和防止 .....	511
13.1.2 涂料成分和质量控制 .....	494	13.2.5 消失模铸造缺陷及防止实例 .....	517
13.1.3 铸件的材料和化学成分控制 .....	494	<b>附录 .....</b>	<b>530</b>
13.1.4 金属液的熔炼与浇注技术 .....	494	附录 A 《GB/T 26658—2011 消失模铸 件质量评定方法》解读 .....	530
13.1.5 负压 .....	494	附录 B 消失模铸造知名设备及材料、 模具生产推荐企业名录 .....	541
13.1.6 造型操作 .....	495	<b>参考文献 .....</b>	<b>543</b>

# 第 1 章 概 述

## 1.1 消失模铸造及实型铸造的发展概况

### 1.1.1 实型铸造的发展概况

#### 1. 发展概况

实型铸造又称“汽化模造型”、“泡沫聚苯乙烯塑料模造型”、“消失模造型”或“无型腔造型”等。实质上是采用泡沫聚苯乙烯塑料模样代替普通模样（木模、金属模），造好型后不取出模样（俗称白模）就浇入金属液，在灼热液体金属的热作用下，泡沫塑料模样汽化，燃烧而消失，金属液取代了原来泡沫塑料模样所占据的空间位置，冷却凝固后即可获得所需的铸件。广义上统称为实型铸造，狭义上约定俗成地将模样在有粘结剂型砂中的造型称为实型铸造，干砂真空造型的称为消失模铸造。

美国于 1956 年首先研制成功实型铸造或称“无型腔铸造”，并于 1958 年获得专利，初期用于铸造金属工艺品。我国差不多在此稍后，引进了实型铸造技术。当时采取进口前苏联或西方国家泡沫熟料板材进行宛如木材一样的切割加工，以取代木模，拓展了单体小批量铸件生产的途径，但因进口泡沫塑料价格昂贵，一段时间发展滞缓。改革开放以后，随着 EPS（泡沫塑料）国产化且价格的下降，同时，水玻璃、树脂等液态自硬砂迅速发展，EPS 板材、型材切割加工、粘结方便。

经历了 46 年的中国实型/消失模铸造的技术和生产发展，于 2005 年后才获得较大进步和快速发展。我国目前实型/消失模铸造在应用上是成功的，在技术上日趋成熟，已走出了符合中国国情、具有中国特色的实型/消失模铸造的发展道路。

1) 2005 年我国实型铸造铸件和消失模铸造铸件产量为 32 万 t，2007 年铸件产量达到 76 万 t，超过美国跃居世界第一，成为名符其实的实型/消失模铸造生产大国；在技术、管理水平及自动化生产方面与发达国家相比还有较大的差距，不是实型/消失模铸造的强国。

2) 近 5 年来，我国实型/消失模铸造技术和原辅材料、模具、白区设备和黑区设备，以及生产线水平都有了全面提高，已基本实现国产化，部分产品实现系列化和商品化，走出了一条具有中国特色的实型/消失模铸造的生产模式。

3) 当前中国实型/消失模铸造在有的方面有了新的突破和创新，接近或达到世界领先水平。例如泊头青峰机械有限公司采用消失模铸造生产，取得二项世界领先水平：2009 年和 2010 年分别年产 13800t 和 18000t 消失模铸件，2011 年达到 30000t 消失模铸件；消失模铸造最大铸件分别为 2010 年生产的 14t 和 2011 年生产的 20t 消失模超大型铸件。在实型铸造大件单件质量方面，泊头东建铸造有限公司于 2009 年连续成功生产 75t 大型铸件，2011 年 8 月浇注成功 90 多吨重的超大型实型铸造铸件，达世界领先水平。消失模铸造的生产正向规模化和高水平方向发展，据统计我国 2 万 t/a 以上规模企业达到 10 家以上。

4) 当前我国实型/消失模铸造应用已形成并举发展的态势，即实型铸造和消失模铸造生产并举发展；生产上规模、上水平与中小企业并举发展；上规模和上水平成为目前乃至今后我国实型/消失模铸造发展的主流和方向。

5) 工业发达国家消失模铝合金铸件占主导地位，2010 年以前我国消失模铝合金铸件产量只占

总铸件产量的不到 0.1%，美国 2007 年消失模铝合金铸件产量占总产量的 52.6%。铝合金铸件消失模铸造在我国发展潜力和前景十分巨大，大力发展铝合金消失模铸造是今后我国消失模铸造行业的发展方向。

6) 当前中国更应加大力度完善对原辅材料的系列化、商品化和标准化，以及对实型/消失模铸造技术和工艺的完善成熟化；力争在近几年完成对实型和消失模铸件标准的制定。同时，还要不断地提高各种专用设备的技术工艺水平，加强完善对中国式消失模铸造自动化生产线的建设，进而逐步缩小和赶上世界先进水平。

由于混砂设备的混砂量不断增大，如无锡锡南铸造机械厂生产的混砂机可达 40t/h、60t/h，100 t/h、120 t/h，可混树脂砂、有机脂水玻璃自硬砂，更为铸造风电、核电大吨位铸件提供了混砂设备的条件。

## 2. 工艺概述

由于白模制作灵活方便，特别适合单件、小批量的铸件加工任务。对于面向研究试制及修配、修造的任务较为适合。如汽车覆盖模具件毛坯是实型铸造的典型件。实型铸造基本工艺为：白模制作、白模刷涂料及烘干。混砂、造型、浇注等。

### (1) 白模制作

1) 用 EPS 板材、棒材及其他型材，通过电热丝 ( $\phi 1.2\text{mm}$  和  $\phi 0.2 \sim 0.5\text{mm}$ ) 进行粗、精切割，电热丝切割温度为  $250 \sim 500^\circ\text{C}$ 。根据电热丝直径、切割长度和 EPS 材料密度控制切割速度，通过控制变阻器对 EPS 模料进行切割，加工后留下的沟、槽、坑、洼以及凹凸不平的地方，用低熔点的石蜡硬脂酸或低灰分的自硬砂树脂粘结剂等为填料，用乙醇（或甲醇）为溶剂配制成涂膏填补、修饰，以保持白模表面质量。发现有凸鼓地方用电热丝切平或用电烙铁熨平，或用溶剂丙酮等刷去抹平。

2) 粘合、组模、修饰。常用粘结剂有：乳胶（醋酸乙烯，PVA）；PVB（聚乙烯醇缩丁醛，BM）。粘结剂配置：将 PVB 慢慢地加入盛有乙醇的容器中，不断地搅拌，直至粉粒状 PVB 完全溶于乙醇中备用，如粘结剂太稠，则加入乙醇稀释，以适用为宜。将分块的 EPS 白模粘结组装成铸件形状，粘结好白模的浇注系统，将白模浇注系统组装。

3) 刷涂料。涂料可以购买涂料生产单位供应的消失模专用涂料，有涂料搅拌机设备则可进行自配，但必须要考虑到实型铸造用型砂的型砂种类和粘结剂对涂料的作用。涂料刷好后进行干燥，造型时备用。

### (2) 型砂 混制实型铸造常用的型砂有水玻璃 $\text{CO}_2$ 自硬砂和树脂自硬砂。

1) 水玻璃砂在实型铸造中应用比较多，在原来木模造型基础上改为 EPS 即可。因它具有较好的流动性和较高的透气性，且硬化时间短、硬化强度高。采用水玻璃流态自硬砂，可改善单件和小批量生产的造型条件，但它们的溃散性差、回用难度大。EPS 白模（实型）铸造用水玻璃砂成分及性能见表 1-1。

表 1-1 实型铸造用水玻璃砂的成分及性能

成分（质量分数，%）						性 能	
新砂	旧砂	水玻璃	发泡剂	赤泥	水	干压强度/MPa	透气性
100		7~8			4.5~5.5	>0.64	>450
60~70	20~40	7~8			4.0~5.0	>0.98	>300
100		7~8	0.2	4	6.0~7.0	0.69~0.78	>300
100		8	0.2~0.3	2~4	6.5~7.5	0.29~0.49	>500

水玻璃性能取决于模数  $M = \text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ ，高模数水玻璃砂的硬化速度快，出砂性好，含水量较高、干强度较低；而低模数水玻璃砂则相反，且使用寿命较长、可塑性较好，对生产大中型铸件有利，一般选择  $M$  为 2.3 ~ 2.4，波美度 ( $^{\circ}\text{Be}$ ) 为 51 ~ 54，见表 1-2。

表 1-2 不同模数的水玻璃砂性能

项 目	高模数砂	低模数砂
$\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ 比值	2.8 ~ 3.5	1.5 ~ 2.5
型砂水分适宜	3.8 ~ 4.5	1.5 ~ 2.5
硬化速度	快	约为高模数砂的一半
硬化后型砂的强度	稍低	较高
出砂性（无附加物）	稍好	较差

酯硬化水玻璃砂（又称第三代水玻璃砂）已通过全国铸造协会现场鉴定会，水玻璃采用上海星火化工厂和上海试剂一厂生产的 SS 系列有机酯水玻璃硬化剂，硬化剂包括快速、中速、慢速三个品种，按比例混合可得到不同的硬化速度，这样可以实现不同要求、不同季节的酯硬化水玻璃砂造型，利用此种型砂造型即可进行 EPS 模样造型浇注。

2) 呋喃树脂自硬砂实型铸造，通常采用甲苯磺酸作固化剂的呋喃树脂自硬砂造型，树脂砂的配比及强度见表 1-3。树脂选用时，应按所购树脂厂的产品质量说明书加以调整。

表 1-3 树脂砂配比及强度

温度/ $^{\circ}\text{C}$	树脂砂配比（质量分数，%）			24h 抗拉强度/MPa
	擦洗砂	树脂（占砂质量分数）	固化剂（占树脂的质量分数）	
>25（夏）	100	1.0 ~ 1.4	30 ~ 50	$\geq 0.8$
10 ~ 25（春秋）	100	1.0 ~ 1.4	50 ~ 60	$\geq 0.8$
<10（冬）	100	1.0 ~ 1.4	60 ~ 70	$\geq 0.8$

注：擦洗砂中回用砂量（质量分数）为 85% ~ 90%。

3) 混砂。流态自硬水玻璃砂可用碾轮混砂机混砂，酯硬化水玻璃砂应用高速混砂机或新型斜式混砂机混砂；树脂砂应用高速混砂机混砂或螺旋绞动混砂机混砂。按各自混砂工艺进行混砂、出砂。

### (3) 造型

1) 工艺流程，如图 1-1 所示。去模样空腔用于铸钢生产。

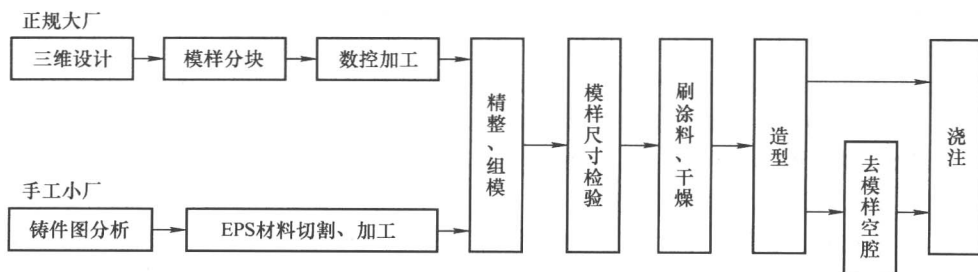


图 1-1 实型铸造工艺流程

2) 造型。造型与木模造型工艺相同，模样放在砂箱中位置应便于型砂的充填。对于有下凹和孔槽的铸件，模样的开口部分应尽可能朝上面或侧面，以利于流态砂的流动和充实，如果不得不朝下面，则下凹或空注等处必须仔细地进行人工轻轻地小心捣实，以保证铸型各部分有足够的紧实度。对于大件、特大件，则应在砂箱内逐步填砂分层紧实。

有些厂，将小型的铸件组串（组串数量要比干砂浇注的少，因流态砂没有干砂充填振实性能好）造型，造好型后用喷灯将 EPS 模样烧掉、清净型腔，便形成了空腔铸型，从而避免了浇注铸钢件的增碳难以控制的弊端。

采用空腔浇注（尤其适用于低碳钢类或薄壁 4mm 左右球墨铸铁件）要特别注意的是，EPS 模样的涂料层将转移到砂型（水玻璃砂或树脂砂）上来，因此模样涂料必须要考虑砂型的砂、粘结剂（水玻璃、树脂）、附加物（赤泥、固化剂、脂）的综合作用，以免空腔后的涂料层与砂型脱开成壳，涂料壳破碎不仅起不到涂料层作用，其涂料层碎壳还在合金液中形成夹渣缺陷。为确保模样烧失后模样上的涂料层转移到砂型空腔的壁上，模样必须要在刷上涂料后趁潮湿造型。

（4）浇注 空腔砂型的浇注按低碳钢的砂型浇注工艺即可。

实型铸造以浇注大中型灰铸铁及球墨铸铁为多。根据铸件结构形状的复杂程度及壁厚差异，灵活设置浇注系统。通常采用底注式或阶梯式浇注系统，它可使金属液流股均匀、避免死角、平稳充型，热场分布均匀，引导残渣浮入冒口或集渣包。要实现均衡凝固原则，大多采用暗冒口“离开热节，但不远离热节”和“居高临下”的放置原则，并起到局部区域的集渣、透气的作用。浇注系统的内浇道、横浇道、直浇道截面面积要比普通砂型大 20% ~ 30%，便于迅速裂解 EPS 模样和充型。

浇注温度要比普通砂型高 30 ~ 50℃，薄壁球墨铸铁可提高到 80℃。

浇注速度，流股采用慢—快—慢，切忌流股中断，快浇时切不可使浇口杯外溢。

浇注时间，据铸件大小、结构情况、砂箱的放置（平放、倾斜）而定。

浇注时的环境保护，由于 EPS 模料和呋喃树脂自硬砂（水玻璃的发气少）在高温金属液作用下裂解、汽化，产生大量黑烟和刺激的有机废气，恶化了铸造车间工作环境，尤其是将砂箱顶部及周边出气孔处点燃有机物废气燃烧产生细小黑烟（即泡沫燃烧）弥漫在车间，故必须要采取吸排风机将其吸入废气净化装置或将废气导入二级水池。

## 1.1.2 消失模铸造的发展概况

### 1. 发展概况

1956 年，美国 H. F. Shoyer 开始了将聚苯乙烯泡沫塑料用于铸造试验，并获得了成功，1958 年以专利的形式公布于世，初称为“无型腔铸造”，起初仅是用来制造金属雕像和艺术品铸件，至 1962 年联邦德国从美国引进专利，消失模铸造法才逐步被开发推广和在铸造业中应用。

中国研究和发​​展消失模铸造的经历和国外基本相似，1978 年以后，长春光机研究所所在经过大量试验的基础上，于 1981 年建成了中国第一条消失模铸造试验性生产线，并于 1984 年对其工艺和设备进行了技术鉴定。到 20 世纪 90 年代初，干砂实型铸造技术逐步应用于铸造工业，其中白模粒料 STMMA 已经接近或达到国外技术水平。目前，白模粒料除满足国内需求外，还销往美国、日本、韩国等。与之相应有多家单位制造可发性聚苯乙烯预发泡机和成型机，其中富阳联发消失模成型设备与 EPS、STMMA 粒料同步配套发展。中国的消失模铸造技术被国家重点推广，消失模工业白区（EPS 粒料、STMMA、发泡成型设备）、黄区（涂料、混制、烘干）、黑区（造型、砂处理、生产线配套设备）等都具有了一定的规模。消失模铸造工艺已可以生产灰铸铁、球墨铸铁、特种合金铸铁（高铬铸铁、抗磨铸铁、耐热铸铁、耐蚀铸铁）、普通碳钢（中高碳为多）、中高碳低合金抗磨钢、特种铸钢（高锰钢、镍铬耐热钢、耐蚀钢）及不锈钢等，还可以生产铝合金、镁合金、铜合金等铸件。生产的典型铸件有：缸体、缸盖铸件；曲轴；进排气管；铸钢、球墨铸铁后桥壳体；汽车制动刹车鼓；支架；箱（壳）体；工程机械铸件和铸钢件；缝纫机、农机零件；高速铁路件；阀、泵类零件等。消失模铸造生产的铸件产量在整个铸造铸件产量中所占比重不断提高，消失模铸造工艺已成为铸造厂家改造传统工艺、提高企业技术装备水平的重

要选择。但总的来说，中国消失模铸造生产应用水平与发达国家仍有差距，尤其是铝合金消失模铸造。

## 2. 工艺概述

(1) 消失模铸造的工艺过程 消失模铸造是用泡沫塑料（EPS、STMMA 或 EPMMA）制作成与铸件结构尺寸相近（加收缩量）的模样（白模），经浸涂耐火粘结涂料（起强化、光洁作用）烘干后埋入特殊砂箱干砂造型，经三维或二维（简单铸件一维）微振加负压紧实，在不用砂芯、活块甚至无冒口的情况下，浇入熔化的金属液而形成铸件。整个铸件成形过程是在一定负压下，先使模样受热分解进而被金属液（合金液）取代的一次性成形的铸造工艺。消失模铸造有多种不同叫法，国内主要称为干砂实型铸造、负压实型铸造（简称 EPC 铸造）。而湿砂实型铸造简称 PMC 铸造。EPC 铸造美国称为 lost foam process，意大利称为 policast process 等。

(2) 消失模铸造工艺的优缺点 消失模铸造工艺综合了“磁型铸造”和“V 法铸造”的优势，被国内外铸造界誉为“21 世纪的铸造技术”和“铸造工业的绿色革命”。

消失模铸造工艺的优缺点可从铸造加工工艺过程来分析比较：

制模：优点：白模模具专一，便于维修，使用寿命长。

缺点：白模模具结构复杂、加工周期长。模具初始成本较高。

造型：优点：简化工厂工艺设计，无型砂粘结剂，不用砂芯。白模模具可重复使用。

缺点：白模浇注系统要粘结，白模只能用一次。

浇注：优点：节约了金属合金浇注系统用量，球墨铸铁和一些合金铸铁可实现无冒口铸造。

缺点：提高了金属液浇注温度，增加了砂型铸件冷却输送设备。

清理：优点：减少铸件表面清理工作量，无铸造毛刺、飞边。对球墨铸铁无切除冒口工艺。

缺点：增加进行模样组串和去除内浇道的专用工具。

环保：优点：无混砂工艺造成的污染，减除了废砂对环境的污染。

缺点：要有一套尾气废气处理装置。

投资：优点：工厂设计水平高度灵活，经济效益好，便于旧车间改造或增添消失模铸造工艺。

缺点：制作白模自动化程度低，大多采用手工制模和粘结浇注系统。

## 1.2 消失模铸造成型原理

在消失模铸造工艺过程中，由于模样实体型腔的存在，使得消失模铸造工艺得到大大简化，铸件外观质量大大提高，设备投资大大减少，生产效率大大提高。但因模样实体型腔的存在，使得消失模铸件成型的原理与空腔铸造大大不同，对铸件的内在质量产生关键性的影响，也是形成各种铸造缺陷的主要原因。

本节主要分析消失模铸造工艺的特点和铸件成型的过程及机理，从模样与液态金属的相互作用、模样热解产物对铸件质量的影响，以及铸件中夹杂物形成的原因进行了综合试验和分析，为防止消失模铸件产生各种特有的铸造缺陷，提高铸件质量提出了特定的全面解决方案和措施，为消失模铸造技术和生产，为提高消失模铸件质量提供理论基础，为生产实践提供有力的技术支撑。

### 1.2.1 消失模铸造成型原理分析

消失模铸造的最大优点源于无需起模、下芯与合箱操作，给工艺操作带来极大好处，生产效率大大提高；但其最大缺点也源于此，实体模样的存在使金属液充型过程变得极为复杂，由此带来铸件的各种铸造缺陷。另外，浇注过程中负压的作用也使金属液充型变得更加复杂。由于消失模铸件是靠液态金属将模样热解汽化，由液态金属取代模样原有位置，凝固后形成铸件。在液



态金属充型流动的前沿，存在着十分复杂的物理与化学反应，传热、传质与动量传递过程复合交错。

1) 在液态金属前沿，与尚未汽化的模样之间形成一定厚度的气隙，在该气隙中高温液态金属与涂层、干砂及未汽化的模样之间，存在着传导、对流、辐射等热量传输作用和化学反应。

2) 消失模模样在高温金属液作用下形成的热解产物，与液态金属、涂料及干砂之间，也存在着物理化学反应和质量传输。

3) 在金属液充型过程中，气隙中的气压升高，模样热解吸热反应，使金属液流动前沿的温度不断降低，对液态金属充型的动量传输具有一定的影响。

图 1-2 所示为消失模铸造液态金属的充型过程，以及金属流动前沿热量、质量和动量的传输过程。与传统的砂型铸造相比，消失模铸造成型过程要复杂得多，不仅直接关系到铸件成型成败以及铸件质量高低，而且对铸件内在质量有至关重要的影响。众所周知，铸造缺陷基本都来自液态金属充型到凝固的短短时间内，在这短短的一瞬间，铸型型腔内发生着“翻天覆地”的变化，存在模样受热分解、模样与前进中的液态金属充型前沿之间出现气隙、液态金属充型前进受阻、液态金属充型流动状态发生极大紊乱、负压造成液态金属充型流动产生严重的附壁效应，热解气态产物通过涂料层向型砂中排出、热节残留固态产物在液态金属的充型流动中被卷入型腔、液态金属中的各种夹杂物在上浮移动中受负压的作用变得缓慢而部分滞留在铸件内等。所发生的种种物理化学现象都是无法“看得到”的，成为铸造生产中的“黑匣子”。解开“黑匣子”，找到产生铸造缺陷的“病因”，是消失模铸造工作者梦寐以求的愿望和向往的目标。

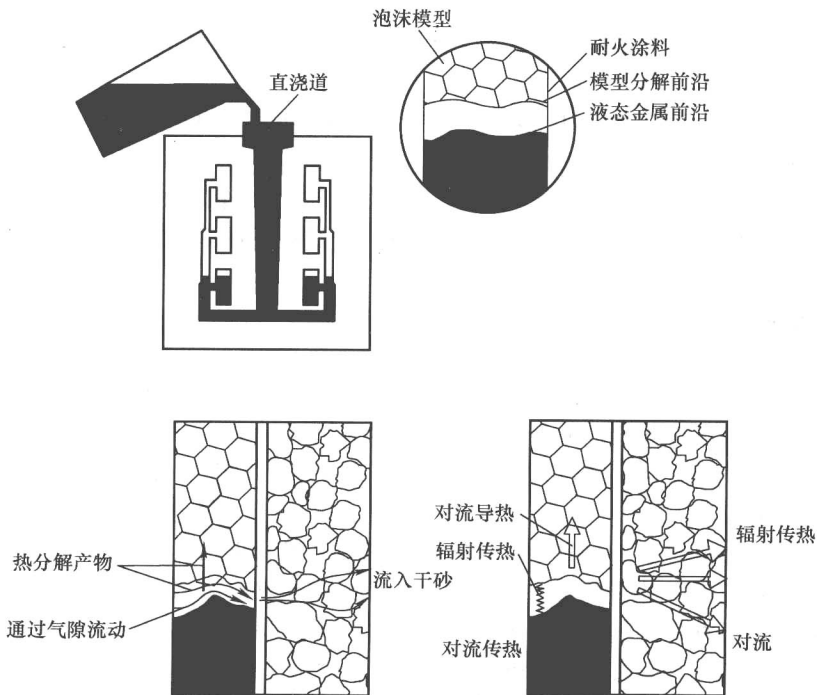


图 1-2 质量传输和热量传输

工业发达国家对消失模铸造成型过程的研究非常重视，在消失模铸造工艺开发过程中，投入大量人力、物力、财力，集中力量攻克理论上、技术上的基本障碍，通过国家或地方政府行为解决基础理论的问题，为技术发展奠定基础。1989 年美国能源部组织 26 家铸造工厂、高等学校、研究机关、消失模原辅材料和设备供应商，分别对模样材料热解特性、金属液充型及凝固特性、干