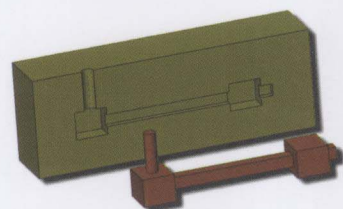
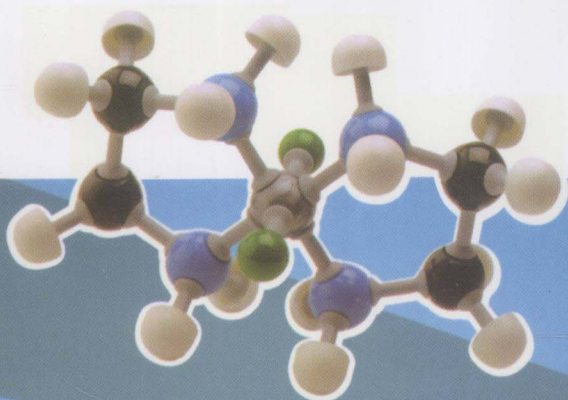


材料科学与工程实验系列教材

总主编 崔占全 潘清林 赵长生 谢峻林
总主审 王明智 翟玉春 肖纪美



金属材料液态成型实验教程

主 编 徐 瑞 严青松
副主编 王红霞 王 华
主 审 米国发

荟材料实验之经典 拓学生创新之潜力

数十所高校参与、多家出版社联合打造
材料科学与工程实验教学研究会倾力推荐

冶金工业出版社
国防工业出版社

北京大学出版社
哈尔滨工业大学出版社

材料科学与工程实验系列教材

总主编 崔占全 潘清林 赵长生 谢峻林

总主审 王明智 翟玉春 肖纪美

金属材料液态成型实验教程

主 编 燕 山 大 学 徐 瑞

南昌航空大学 严青松

副主编 太原理工大学 王红霞

陕西理工学院 王 华

主 审 河南理工大学 米国发

北 京

冶金工业出版社

北京大学出版社

国防工业出版社

哈尔滨工业大学出版社

2012

内 容 提 要

本实验教材分四篇,包括基础型实验、综合设计型实验、模拟计算型实验和创新型实验。基础型实验主要从铸件形成理论开始介绍,随后介绍造型材料与铸造工艺、铸造合金熔炼及组织观察、测试技术;综合设计型实验主要包括消失模铸造成型实验,合金成分设计、熔炼、成型及组织检验,金属液态成型技术综合实验以及液态成型模具设计与拆装实验;模拟计算型实验主要包括铸件凝固过程的温度场数值模拟、铸件充型过程的数值模拟、铸造应力的模拟计算以及铸件缺陷形成的数值模拟;创新型实验主要包括特种铸件的创意设计与成型实验、艺术品精密铸造成型实验和 SLS 快速铸造工艺及模具制造技术实验。

本教材可供金属材料科学与工程、材料成型及控制工程、机械工程等专业的专科生、本科生、研究生学习使用,也可供相关专业的老师和工程技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

金属材料液态成型实验教程/徐瑞,严青松主编. —北京:冶金工业出版社,2012.8

材料科学与工程实验系列教材

ISBN 978-7-5024-6011-2

I. ①金… II. ①徐… ②严… III. ①液态金属充型—高等学校—教材 IV. ①TG21

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 170871 号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号,邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 yjcb@cnmip.com.cn

责任编辑 尚海霞 美术编辑 李 新 版式设计 孙跃红

责任校对 卿文春 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-6011-2

北京百善印刷厂印刷;冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销

2012 年 8 月第 1 版,2012 年 8 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16;16 印张;382 千字;238 页

32.00 元

冶金工业出版社投稿电话:(010)64027932 投稿邮箱:tougao@cnmip.com.cn

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100010) 电话:(010)65289081(兼传真)

(本书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

《材料科学与工程实验系列教材》

总 编 委 会

总主编 崔占全 潘清林 赵长生 谢峻林

总主审 王明智 翟玉春 肖纪美

《材料科学与工程实验系列教材》

编写委员会成员单位

(按汉语拼音排序)

北方民族大学、北华航天工业大学、北京科技大学、成都理工大学、大连交通大学、大连理工大学、东北大学、东北大学秦皇岛分校、哈尔滨工业大学、河南工业大学、河南科技大学、河南理工大学、佳木斯大学、江苏科技大学、九江学院、兰州理工大学、南昌大学、南昌航空大学、清华大学、山东大学、陕西理工大学、沈阳工业大学、沈阳化工大学、沈阳理工大学、四川大学、太原科技大学、太原理工大学、天津大学、武汉理工大学、西南石油大学、燕山大学、郑州大学、中国石油大学(华东)、中南大学

《材料科学与工程实验系列教材》

出版委员会

(除出版本书出版社外, 其他出版社按汉语拼音排序)

冶金工业出版社 曹胜利 张 卫 刘小峰

北京大学出版社 杨立范 林章波 童君鑫

国防工业出版社 邢海鹰 辛俊颖

哈尔滨工业大学出版社 黄菊英 杨 桦 许雅莹

序 言

近年来,我国高等教育取得了历史性突破,实现了跨越式的发展,高等教育由精英教育变为大众化教育。以国家需求与社会发展为导向,走多样化人才培养之路是今后高等教育教学改革的一项重要内容。

作为高等教育教学内容之一的实验教学,是培养学生动手能力、分析问题、解决问题能力的基础,是学生理论联系实际的纽带和桥梁,是高等院校培养创新开拓型和实践应用型人才的重要课堂。因此,实验教学及国家级实验示范中心建设在高等学校建设上至关重要,在高等院校人才培养计划中亦占有极其重要的地位。但长期以来,实验教学存在以下弊病:

1. 在高等学校的教学中,存在重理论轻实践的现象,实验教学长期处于从属理论教学的地位,大多没有单独设课,忽视对学生能力的培养;

2. 实验教师队伍建设落后,师资力量匮乏,部分实验教师由于种种原因而进入实验室,且实验教师知识更新不够;

3. 实验教学学时有限,且在教学计划中实验教学缺乏系统性,为了理论教学任务往往挤压实验教学课时,实验教学没有被置于适当的位置;

4. 实验内容单调,局限在验证理论;实验方法呆板、落后,学生按照详细的实验指导书机械地模仿和操作,缺乏思考、分析和设计过程,被动地重复几年不变的书本上的内容,整个实验过程是教师抱着学生走;设备缺乏且陈旧,组数少,大大降低了实验效果;

5. 整个高等学校存在实验室开放程度不够,实验室的高精尖设备学生根本没有机会操作,更谈不上学生亲自动手及培养其分析问题与解决问题的能力。

这样,怎么能培养出适应国家“十二五”发展规划以及建设“创新型

国家”需求的合格毕业生？

“百年大计，教育为本；教育大计，教师为本；教师大计，教学为本；教学大计，教材为本。”有了好的教材，就有章可循，有规可依，有鉴可借，有路可走。师资、设备、资料（首先是教材）是高等院校的三大教学基本建设。

为了落实教育部“质量工程”及“卓越工程师”计划，建设好材料类特色专业与国家级实验示范中心，实现培养面向 21 世纪高等院校材料类创新型综合性应用人才的目的，国内涉及材料科学与工程专业实验教学的 40 余所高校及国内四家出版社 100 多名专家、学者，于 2011 年 1 月成立了“材料科学与工程实验教学研究会”。“研究会”针对目前国内材料类实验教学的现状，以提升材料实验教学能力和传输新鲜理念为宗旨，团结全国高校从事材料科学与工程类实验教学的教师，共同研究提高我国材料科学与工程类实验教学的思路、方法，总结教学经验；目标是，精心打造出一批形式新颖、内容权威、适合时代发展的材料科学与工程系列实验教材，并经过几年的努力，成为优秀的精品课程教材。为此，成立“实验系列教材编审委员会”，并组成以国内有关专家、院士为首的高水平“实验系列教材总编审指导委员会”，其任务是策划教材选题，审查把关教材总体编写质量等；还组成了以教学第一线骨干教师为首的“实验教材编写委员会”，其任务是，提出、审查编写大纲，编写、修改、初审教材等。此外，冶金工业出版社、国防工业出版社、北京大学出版社、哈尔滨工业大学出版社等组成了本系列实验教材的“出版委员会”，协调、承担本实验教材的出版与发行事宜等。

为确保教材品位、体现材料科学与工程实验教材的国家级水平，“编委会”特意对培养目标、编写大纲、书目名称、主干内容等进行了研讨。本系列实验教材的编写，注意突出以下特色：

1. 实验教材的编写与教育部专业设置、专业定位、培养模式、培养计划、各学校实际情况联系在一起；坚持加强基础、拓宽专业面、更新实验教材内容的基本原则。

2. 实验教材编写紧跟世界各高校教材编写的改革思路。注重突出人才素质、创新意识、创造能力、工程意识的培养,注重动手能力,分析问题及解决问题能力的培养。

3. 实验教材的编写与专业人才的社会需求实际情况联系在一起,做到宽窄并举;教材编写应听取用人单位专业人士的意见。

4. 实验教材编写突出专业特色、深浅度适中,以编写质量为实验教材的生命线。

5. 实验教材的编写,处理好该实验课与基础课之间的关系,处理好该实验课与其他专业课之间的关系。

6. 实验教材编写注意教材体系的科学性、理论性、系统性、实用性,不但要编写基本的、成熟的、有用的基础内容,同时也要将相关的未知问题在教材中体现,只有这样才能真正培养学生的创新意识。

7. 实验教材编写要体现教学规律及教学法,真正编写出一本教师及学生都感觉到得心应手的教材。

8. 实验教材的编写要注意与专业教材、学习指导、课堂讨论及习题集等配套教材的编写成龙配套,力争打造立体化教材。

本材料科学与工程实验系列教材,从教学类型上可分为:基础入门型实验,设计研究型实验,综合型实践实验,软件模拟型实验,创新开拓型实验。从教材题目上,包括材料科学基础实验教程(金属材料工程专业);机械工程材料实验教程(机械类、近机类专业);材料科学与工程实验教程(金属材料工程);高分子材料实验教程(高分子材料专业);无机非金属材料实验教程(无机专业);材料成型与控制实验教程(压力加工分册);材料成型与控制实验教程(铸造分册);材料成型与控制实验教程(焊接分册);材料物理实验教程(材料物理专业);超硬材料实验教程(超硬材料专业);表面工程实验教程(材料的腐蚀与防护专业)等一系列与材料有关的实验教材。从内容上,每个实验包含实验目的、实验原理、实验设备与材料、实验内容与步骤、实验注意事项、实验报告要求、思考题等内容。

本实验系列教材由崔占全（燕山大学）、潘清林（中南大学）、赵长生（四川大学）、谢峻林（武汉理工大学）任总主编；王明智（燕山大学）、翟玉春（东北大学）、肖纪美（北京科技大学、院士）任总主审。

经全体编审教师的共同努力，本系列教材的第一批教材即将出版发行，我们殷切期望此系列教材的出版能够满足国内高等院校材料科学与工程类各个专业教育发展的需要，并在教学实践中得以不断充实、完善、提高和发展。

本材料科学与工程实验系列教材涉及的专业及内容极其广泛。随着专业设置与教学的变化和发展，本实验系列教材的题目还会不断补充，同时也欢迎国内从事材料科学与工程专业的教师加入我们的队伍，通过实验教材这个平台，将本专业有特色的实验教学经验、方法等与全国材料实验工作者同仁共享，为国家复兴尽力。

由于编者水平及时间所限，书中不足之处，敬请读者批评指正。

材料科学与工程实验教学研究会
材料科学与工程实验系列教材编写委员会

2011 年 7 月

前 言

实验教学是材料科学与工程专业教学中的重要组成部分,它不仅使学生加深对专业知识的理解,获取专业知识和经验,而且对培养学生的科学研究能力、创新思维和实践动手能力起着相当重要的作用。长期以来,我国材料科学与工程专业培养的学生通常具备较高的专业基础理论知识,但是实践动手能力较弱,这与新世纪高素质创新人才的培养要求差距较大,不能满足社会对人才的要求。鉴于此,编者编写了本书。

本书汇编了材料科学与工程专业中液态成型(铸造)方向各门专业课程的实验,共分四篇十五章,共计 58 个实验,其中,基础型实验篇包括铸件形成理论、造型材料与铸造工艺、铸造合金熔炼及组织观察、测试技术等四章,接着是综合设计型实验篇,包括消失模铸造成型实验,合金成分设计、熔炼、成型及组织检验,金属液态成型技术综合实验和液态成型模具设计与拆装实验等四章,然后是模拟计算型实验篇,包括铸件凝固过程的温度场数值模拟、铸件充型过程的数值模拟、铸造应力的模拟计算、铸件缺陷形成的数值模拟等四章,最后是创新型实验篇,包括特种铸件的创意设计与成型实验、艺术品精密铸造成型实验、SLS 快速铸造工艺及模具制造技术实验。内容不仅涉及所有液态成型专业方向所有实验,而且编者特意编写了以培养学生科研能力和创新能力为主的综合性设计型和研究创新型实验。

本书的特点是:第一,紧密结合学科发展的最新动态和各门课程的实验要求,坚持加强专业基础,拓宽知识面,增强培养学生动手能力和科学创新能力,满足社会对新型科技人才的要求。第二,注重实验教学新体系的探索。本教材的编写过程,尽可能地考虑到体系的完整性和创新性,即以全面提高学生实验技能为主线设计课程体系,尽可能配合课堂教学,同时又根据专业发展的需要,特意编写了提高研究能力和创新思维为主的实验。

本书由燕山大学徐瑞教授和南昌航空大学严青松副教授任主编，太原理工大学王红霞副教授和陕西理工学院王华教授任副主编。其中，第一章和第四章由太原科技大学罗小萍编写，第二章中第一节~第三节和第三章由太原理工大学王红霞编写，第二章中第四节~第七节由北方民族大学李海玲编写，第二章中第八节和第六章由燕山大学徐瑞编写，第五章由陕西理工学院王华编写，第七章由南昌航空大学万红、卢百平、严青松共同编写，第八章和第十三章由南昌航空大学方立高编写，第九章~第十二章由大连理工大学姚山编写，第十四章由南昌航空大学万红编写，第十五章由南昌航空大学严青松、卢百平共同编写。全书由河南理工大学米国发教授主审。

本书在编写过程中得到了材料/冶金科学与工程实验教学研究会的大力支持，谨此一并深表谢意。

由于编者水平有限，书中不足之处恳请广大读者批评指正。

编 者

2012年6月于燕山大学

目 录

第一篇 基础型实验

第一章 铸件形成理论	1
第一节 合金流动性及液态金属充型能力评定	1
第二节 铸件动态凝固曲线的测定	4
第三节 铸造合金自由线收缩的测定	8
第四节 液态金属成型中的结晶裂纹倾向测定	11
第五节 铸件的缩孔和缩松倾向测定	14
第六节 铸造合金热应力的测定（铸造残余应力测定）	17
第二章 造型材料与铸造工艺	19
第一节 原砂性能测量与分析	19
第二节 黏土性能测量与分析	25
第三节 黏土湿型砂的制备与性能测定	31
第四节 黏土干型砂的制备与性能测定	39
第五节 水玻璃砂的制备与性能测定	42
第六节 植物油砂的制备与性能测定	44
第七节 树脂砂的制备与性能测定	47
第八节 铸件充型过程水力学模拟	50
第三章 铸造合金熔炼	55
第一节 铝合金熔炼及组织观察	55
第二节 镁合金熔炼及组织观察	58
第三节 铜合金熔炼及组织观察	62
第四节 铸铁组织观察	66
第五节 铸钢及高温合金组织观察	73
第四章 测试技术	75
第一节 应变片的粘贴与静态应变测量	75
第二节 动态应变测量	81

第三节 热电偶和高温仪表的校验	84
-----------------------	----

第二篇 综合设计型实验

第五章 消失模铸造成型实验	89
---------------------	----

第六章 合金成分设计、熔炼、成型及组织检验	96
-----------------------------	----

第七章 金属液态成型技术综合实验	103
------------------------	-----

第一节 砂型铸造成型工艺实验	103
----------------------	-----

第二节 石膏型精密铸造成型工艺实验	105
-------------------------	-----

第三节 熔模精密铸造成型工艺实验	110
------------------------	-----

第四节 金属型铸造成型工艺实验	114
-----------------------	-----

第五节 压力铸造成型工艺实验	116
----------------------	-----

第六节 差压铸造技术及计算机控制实验	119
--------------------------	-----

第七节 金属液态成型铸件质量分析	122
------------------------	-----

第八章 液态成型模具设计与拆装实验	123
-------------------------	-----

第一节 液态成型模具基础实验	123
----------------------	-----

第二节 压铸模拆装测绘实验	127
---------------------	-----

第三节 注塑模拆装测绘实验	128
---------------------	-----

第四节 金属型拆装测绘实验	129
---------------------	-----

第五节 蜡型拆装测绘实验	130
--------------------	-----

第六节 木模与砂型模板拆装测绘实验	131
-------------------------	-----

第七节 砂型模板制作实验	132
--------------------	-----

第八节 各类模具的结构特点比较与分析	133
--------------------------	-----

第三篇 模拟计算型实验

第九章 铸件凝固过程的温度场数值模拟	135
--------------------------	-----

第十章 铸件充型过程的数值模拟	145
-----------------------	-----

第十一章 铸造应力的模拟计算	151
----------------------	-----

第十二章 铸件缺陷形成的数值模拟	169
------------------------	-----

第四篇 创新型实验

第十三章 特种铸件的创意设计与成型实验	177
---------------------------	-----

第一节 特种铸件的创意设计基本方法	177
-------------------------	-----

第二节	特种铸件的创意设计与砂型成型实验	184
第三节	特种铸件的创意设计与压铸成型实验	187
第四节	特种铸件的创意设计与金属型铸造成型实验	191
第十四章	艺术品精密铸造成型实验	194
第一节	艺术铸造工艺概述	194
第二节	硅橡胶模成型工艺实验	195
第三节	树脂艺术品成型工艺实验	197
第四节	选区激光烧结艺术品成型工艺实验	199
第五节	石膏型制壳实验	205
第六节	熔模精铸制壳实验	207
第七节	金属艺术品浇注成型实验	209
第十五章	SLS 快速铸造工艺及模具制造技术实验	211
第一节	SLS 快速成型技术原理	211
第二节	SLS 快速原型制件烧结工艺实验	212
第三节	SLS 快速原型制件后处理工艺实验	215
第四节	基于 SLS 硅橡胶软模的模具制造工艺实验	218
第五节	基于 SLS 熔模精铸的模具制造工艺实验	220
第六节	覆膜砂 SLS 烧结工艺实验	223
参考文献		225
附录		227
附录 1	CM-1L 系列静态应变仪键盘按键功能及使用	227
附录 2	CS-1D 型动态应变仪说明	229
附录 3	振动信号采集分析实验室软件系统使用说明	232

第一篇 基础型实验

第一章

铸件形成理论

第一节 合金流动性及液态金属充型能力评定

一、实验目的

(1) 掌握目前在生产及科研中应用最广泛的螺旋形试样测定合金流动性和评定其充型能力的实验方法。

(2) 在试样结构及铸型性质固定不变的情况下,了解合金的化学成分和浇注温度对液态金属充型能力和流动性的影响。

二、实验原理

充型能力是液态金属充满铸型型腔,获得轮廓清晰、形状完整的铸件的能力,它主要取决于液态合金的流动性,同时还受相关工艺因素的影响。合金的流动性是液态金属本身的流动能力,是铸造合金重要的铸造性能之一,它主要取决于合金的热物理特性和结晶特性,它用一定的铸造工艺条件下流动性试样的长度来衡量。流动性好的合金,能使金属液较容易地充满铸型,能使铸件在凝固期间产生的缩孔得到液态金属的补缩,能阻止热裂产生并有利于金属液中的夹杂物及气泡的排除等,因此,流动性对铸件质量有重要影响。合金成分及浇注温度是影响合金流动性的主要因素。

实验采用标准的同心单螺旋流动性测试装置(见图1-1),把不同合金在一定浇注温度下的流动距离反映到螺旋形轨迹上,并在轨迹上每相隔50mm做一标记,从而可以方便准确地确定出合金的流动距离,以便于分析、比较不同合金的流动性。

三、实验设备及材料

设备:螺旋形试样模具;浇口杯模具;砂箱;高温坩埚电炉;温度控制器;热电偶测温仪;浇口塞;坩埚;坩埚钳;台秤;造型工具。

材料:纯铝;铸铝102或201;精炼剂(氯化锌质量分数为0.15%~0.2%);黏土砂。

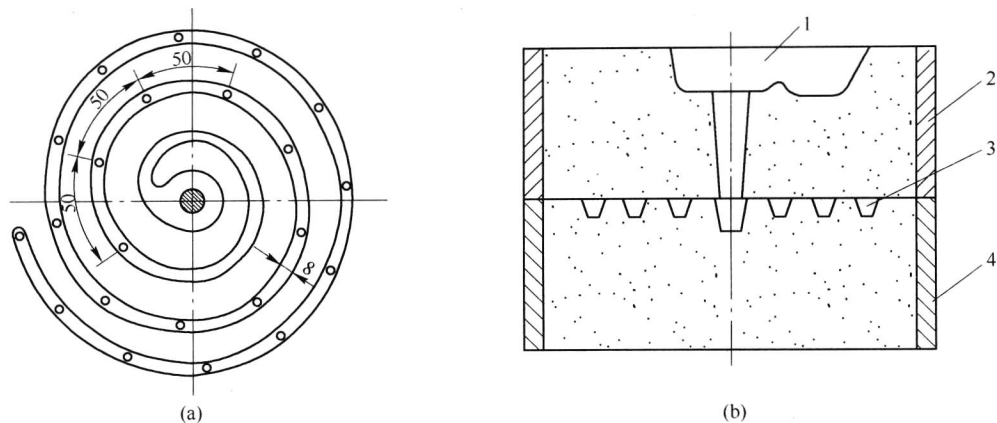


图 1-1 流动性实验示意图
(a) 螺旋形试样图；(b) 合箱图

1—浇口杯；2—上砂箱；3—螺旋试样；4—下砂箱

四、实验内容及步骤

(一) 实验内容

- (1) 测定不同成分的铝合金在相同过热度的条件下螺旋形试样的长度。
- (2) 测定某一定成分在不同过热条件下（50℃，100℃）螺旋形试样的长度，每种过热度做一个实验。

(二) 实验步骤

- (1) 混砂，造型，合箱。
- (2) 合金配料及熔化后测温，待达到预定温度后加氯化锌精炼、扒渣，保温 1 ~ 2min，出炉浇注。
- (3) 用浇口杯控制一定的压头，浇口杯先用浇口塞堵住，待浇杯中注满金属液后进行测温，当液体金属温度达到预定温度时，立即拔去浇口塞，等待金属填充铸型。浇口塞及浇口杯应预先加热到 150℃ 左右。
- (4) 打箱后，测定螺旋形试样长度，并观察试样流头特点。
- (5) 记录各项数据，并整理好工具、砂箱，清扫造型场地。

五、实验报告要求

- (1) 将各组实验结果收集整理填入表 1-1，并与相图对照分析讨论。

表 1-1 实验结果

成 分	纯 铝		铸铝 102		铸铝 201	
熔点/℃						
过热度/℃	50	100	50	100	50	100
浇注温度/℃						
螺旋形试样长度/mm						
备 注						

(2) 实验分析:

- 1) 分析浇注温度对合金流动性及充型能力的影响。
- 2) 分析浇注时如何提高合金的充型能力。

六、实验注意事项

- (1) 不准穿凉鞋、短裤进入实验室, 以免烫伤。
- (2) 螺旋形试样模板起模时要平稳, 尽量不修型。
- (3) 铸型扎排气孔时不得扎透型腔。
- (4) 浇注要平稳, 流股大小要适中。

七、思考题

- (1) 影响合金流动性试样长度的主要因素有哪些?
- (2) 测定合金流动性时为什么要控制充型压头, 如何控制?