DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2020.12.022

精密铸造与精雕系统融合的创新教学平台建设探究

邢小颖,汤　彬,马　运,姚启明,张余益,徐江波
(清华大学 基础工业训练中心,北京 100084)

摘　要:介绍了在精密铸造与精雕系统融合的实验平台建设中,实现精密铸造技术与精雕技术的交叉融合,有助于学生学习和了解传统产业与新兴技术。结果表明,有效解决了实验技术过程中存在的重难点问题,并探索出了工程训练课程中如何将精密铸造与数控铣有机融合的实践教学方法,即以产品为导向,将产品设计、工艺设计、加工制造等环节进行合理分解,设置阶段性任务。实现了不同专业背景学生在课程中的重组,有利于跨学科和通识人才培养。

关键词:实验平台建设;实验技术;交叉融合;课程重组

中图分类号:G642　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-8365(2020)12-1191-06

Exploration on the Construction of Innovative Teaching Platform of Integration Precision Casting and Precision Carving System

XING Xiaoying, TANG Bin, MA Yun, YAO Qiming, ZHANG Yuyi, XU Jiangbo
(Basic Industrial Training Center Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: The cross fusion of precision casting technology and precision carving technology in the construction of the experimental platform for the fusion of precision casting and precision carving system was introduced, which was helpful for students to learn and understand the traditional industry and emerging technology. The results show that the important and difficult problems in the process of experimental technology are effectively solved, and the practical teaching method of how to organically integrate precision casting and numerical control milling in engineering training course is explored. That is, product-oriented, rational decomposition of product design, process design, processing and manufacturing, and setting stage tasks. It realizes the reorganization of students from different professional backgrounds in the curriculum, which is conducive to the cultivation of interdisciplinary and general talents.

Key words: experimental platform construction; experimental technology; cross integration; curriculum reorganization

训练中心成形制造实验室在2018年开发了3D精密铸造与精雕系统融合的实验平台,并基于此实验平台开发研究了相关教学内容与实验所用装置,针对近年来小模块化的单工种、单台设备的实验技术,首次探索出了一种全新的模式,建设主旨是为帮助学生学习了解热加工精密铸造与冷加工减材制造相融合的实验技术,通过精雕系统进行CAD\CAM设计模拟蜡模的雕刻,结合石膏型精密铸造系统对蜡树的组装、灌石膏、高温焙烧、石膏模硬化蜡模气化,最后在MC100中频真空铸造机内将熔融的金属注入石膏模,冷却后破碎石膏得到金属铸件的研究,所有的产品设计,工艺过程,生产制造等过程都由学生自主设计加工完成,从而建立学生对工业生产流程的系统认知。

1　现状背景

近年来由于工业生产的多样性和专一性导致演变成了单种技能的模块化训练,甚至单种工艺的传统制造和先进制造也沦为很古板的模块化。例如:数控铣床、3D打印、工业机器人、无人机等一系列的单一技术相继而出。为此很多院校又提出了多种实验技术交叉融合的想法。这种跨工种的实验平台建设确实提高了学生在工程训练中的综合能力和工程素养。但是跨工种的交叉融合式需要投入大量的人力、物力和财力来预先完成整个项目的师资培训和团队建设,并且在此期间无论哪个工艺环节出现问题,都会影响整个项目的进度,故此通过平台建设探索出了一套新型的实验教学模式,在经过一年多的课改和总结后,我们发现跨工种的交叉融合式工程训练课程并不适用于短时间的课程,而是更适合综合型

收稿日期:2020-07-17

作者简介:邢小颖(1994-),女,陕西渭南人,学士.研究方向:石膏型精密铸造,消失模铸造,铸造虚拟仿真.
电话:15600647714,E-mail:913268740@qq.com

训练课程。

2　基于实验平台建设的教学方案设计

该平台的建设，相比较与单一模块化的工程训练方式，在此种训练方式中学生会有比较明确的目标和想法，在基于单种工艺中，跨实验室融合式的工程训练，学生能够合理安排制造工艺，创建自己的项目团队，整体调动学生的主观能动性。团队角色的具体划分，责任明确，能使学生的责任意识增强，间接的消除了单一模块训练中打酱油的现象，整体提升学生在该课堂的参与度。通过反复实验总结出不同石膏模具不同合金的最优铸造温度以及石膏模具烧结周期温度控制。

2.1　基本内容

铸造工艺：铸造是一种古老的制造方法，在机械制造业中占有重要地位。铸造是将熔炼的金属液体浇注入铸型内，经冷却凝固获得所需形状和性能的铸件的制作过程。由于现今对铸造质量、铸造精度和铸造自动化等要求的提高，铸造技术向精密化、高质量、自动化和绿色化的方向发展，成形制造实验室铸造分室也不例外，除了之前已经有的砂型铸造和消失模铸造两大模块外，还引进了石膏型精密铸造，这种技术在航空、汽车、机床、船舶、内燃机、医疗机械以及刀具等制造工业被广泛采用，同时也用于工艺美术品的制造。在工程训练实践教学中，石膏型精密铸造的学习和应用是必不可少也是工业制造应用中不可或缺的一部分。

精雕工艺：一种常见的金属冷加工技术，精雕可进行三轴或多轴铣削加工，可完成工件上的曲线轮廓，直线、圆弧、螺纹或螺旋曲线、特别是由数学表达式给出的非圆曲线与列表曲线等曲线轮廓。在工业中常用于加工石膏模具，检具，胎具，薄壁复杂曲面，人工假体，叶片等。在选择先进的数控铣削加工内容时，应充分发挥数控铣削的可复杂性、稳定性和重复定位性。

首先学生需掌握精密铸造加工方式、过程和数控铣削的制造范围、应用方式等，然后结合石膏型精密铸造工艺和先进的数控铣削工艺进行融合式工程训练，完成本次工程训练实践课程。

2.2　新课改规划与设计

2.2.1　本课程设计思路

本次以 70 周年项链吊坠为例进行实践，过程由 5 个基本要素构成：首先进行头脑风暴（设计加创意）、经过 CAD、CAM 数控铣进行蜡模精雕、学生对蜡模进行手工再加工、蜡树组装和灌浆、铸造完成目标载体，它们互相联系，互为条件，互相作用。此次课程共需 24 个学时，每一环节环环相扣，其中学生既是工艺员、工程师，也是制造工程师。在知识方面，让学生熟悉 CAD/CAM 工艺设计，3D 精密铸造前期设计，了解相关设备基本结构、成型工艺、应用范围。在能力方面与价值塑造方面，精密铸造与数控铣精雕有机结合，学生自主设计创新，进行私人定制，让其体验到工艺品制作的乐趣，在培养创新意识的同时，提高学生的工程认知，使技术与艺术完美结合。

2.2.2　本次课程学生的功能职责

（1）设计工艺　主要学习产品具体生产工艺，整合现有资源，利用现有的设备，以最合理，最有效，最经济的理念来安排产品生产，并且制作产品生产过程工艺卡片。产品的外观造型设计，使用 CAD/CAM 软件完成产品造型的工程图以及必要的数控程序；根据实际情况设计产品造型和设定加工参数；学习铸造工艺，对于产品的铸造圆角、壁厚范围、加工余量、收缩余量有一定规范。

（2）制造工艺　主要学习数控铣床、手工雕蜡和浇注环节的基本操作，能够按照工艺卡上的安排完成产品的实际生产制造；熟练掌握两种制造工艺的基本原理和应用方法；熟练掌握雕蜡工具的使用和抛光机的使用。

精雕课程学生动手通过 CAD\CAM 产品设计及模拟参数设定，精雕机编程加工制作出蜡模吊坠实体模型。具体时间安排表 1、表 2、表 3。

表 1 第一天课程安排

Tab.1 Schedule of the first day

时间节点安排	内容	用时/min	备注
8:00~8:40	概述	40	
8:40~9:10	头脑风暴（手绘）	30	
9:10~9:50	协同组学习各项技能	40	工艺，CAD/CAM，铣削工艺
9:50~11:30	收集资料，CAD 设计	100	蜡模切割，造型设计

表 2 第二天课程安排

Tab.2 Course arrangement for the second day

8:00~8:15	布置任务，疑难解答	15	CAD 工艺
8:15~9:00	CAM 讲述	45	学习 CAD/CAM
9:00~11:20	任务继续　产品设计及模拟参数设定、加工	60	学习铣削制造工艺
11:20~11:30	现场整理	10	全体人员

精密铸造课程先将精雕的蜡模吊坠模型用线锯切割，然后学生需在吊坠上进行再设计，主要设计思路以斯坦福大学提出的设计思维为基础，以同理心的角度对学生进行深入观察并整合跨领域分析工具，从而获得洞见，最终设计出令学生感动和愉悦的

表 3 第三天课程安排
Tab.3 Schedule of the third day

时间节点安排	内容	用时/min	备注
8:00~8:30	数控铣加工造型讲解 交互式自主学习 CAD/CAM	30	整理制造工艺流程
8:30~9:30	任务继续数 控铣加工 交互式自主学习铣削工艺	60	全体人员
9:30~10:00	文档收集整理,制作报告ppt	30	收集手绘稿及设计文档
10:00~11:00	汇报,答辩,评分	60	
11:00~11:30	现场 6S 收尾	30	全体人员

产品。在产品设计之前,首先进行头脑风暴,让学生尽可能地写下脑海中一闪而过的创意点子,不拒绝任何疯狂的想法,然后利用 KANO 分析法筛选出有价值的点子,确定方案进行原型制作,将学生所做蜡模进行蜡树的组装、灌石膏、通过高温焙烧,石膏模硬化,蜡模气化,最后在 MC100 中频真空铸造机内将熔融的金属注入石膏模,冷却后破碎石膏得到金属铸件。在此过程中打破"完美主义",在实践中找到优化解决方案的新思路,而不是纸上谈兵。具体时间安排见表 4、表 5、表 6。

表 4 第一天课程安排
Tab.4 Schedule of the first day

时间节点安排	内容	用时/min	备注
8:00~8:40	概述	40	
8:40~9:40	手工雕蜡再设计	60	可将二维图像雕刻为三维立体图像
9:40~10:10	浇注系统焊接及蜡树组装	30	
10:10~11:20	蜡模灌浆,焙烧 手工雕刻戒指图案设计	70	蜡模切割,石膏配比 造型设计
11:20-11:30	6S 清理	10	全体人员

表 5 第二天课程安排
Tab.5 Course arrangement for the second day

时间节点安排	内容	用时/min	备注
8:00~8:40	戒指雕刻设计要求,注意事项,工具介绍及规范使用	40	安全
8:40~9:10	头脑风暴(手绘戒指模型)	30	
9:10~10:40	开始蜡模切割机雕刻	90	雕刻工艺
10:40~11:20	浇注系统焊接及蜡模组装,灌浆	100	浇注系统设计,石膏配比
11:20~11:30	6S 清理	10	全体人员

通过将精密铸造与精雕进行融合,使学生更系统的掌握该工艺的制造过程,促进跨实验室的有机融合。提升学生对工程制造的系统认知、资源有效

表 6 第三天课程安排
Tab.6 Schedule of the third day

时间节点安排	内容	用时/min	备注
8:00~8:40	吊坠浇注,冷却,石膏处理 戒指浇注,冷却,石膏处理	40	熟悉工艺流程
8:40~9:40	任务继续 吊坠抛光,打磨,超声波清洗	60	后处理工艺
9:40~10:40	戒指抛光,打磨,超声波清洗	60	
10:40~11:20	戒指镶嵌工艺讲解及学生操作,评分	60	收集手绘稿及工艺卡
11:20~11:30	6 S 清理	10	全体人员

利用意识、工艺安排及过程管理能力等综合工程应用能力。项目化课程建设模式能快速灵活的结合工程训练教学,并且让学生能够更积极参与到工程训练当中。在此项目中既有机械设计,加工工艺,还有铸造技术,制造过程管理,团队建设等多方面的知识,又综合了工业产品上的艺术性和个性化,使得学生的想法和个性得到张扬。

2.2.3 教材及考核办法

教材及考核办法如表 7、表 8 所示。

铸造工艺卡制作及考核办法。

精雕创意产品成型过程实验指导书、数控铣实验任务书及考核办法。

2.2.4 制造工艺过程

制造工艺过程如图 1 所示。

3 基于实验平台建设的实验技术及工艺探究

本项目的难点在于:①包埋工艺(用特定的包埋料包裹在蜡模模型表面并能形成铸模的过程)中根据盅的大小来确定石膏粉和水的比例、石膏模具烧结周期及温度控制是影响铸件精度的主要原因;②通过反复实验总结出不同石膏模具不同合金的最优铸造温度以及石膏型模具烧结周期温度控制。

3.1 解决的技术问题

确定石膏粉和水的最优比例,通过反复实验总结出不同石膏模具不同合金的最优铸造温度以及石膏型模具烧结周期温度控制。

3.2 解决问题思路

分步对本项目进行实施:

(1)确定石膏粉和水的最优比例,通过反复实验,对石膏型模具烧结周期的 3 个阶段进行优化。

(2)确定铸造工艺。

(3)最后对铸造温度的确定,铸造温度主要取决于合金种类和铸造类型,薄的、精细的、较长的样品

表 7 铸造考核办法

Tab.7 Casting assessment method

学生姓名		实验任务名称	
指导教师	马运，邢小颖 王龙兵，徐江波	同组人员	
计划用时	12 小时	实验地点	成型制造实验室-铸造实验室
实际时间	12 小时		
任务内容			
1. 了解铸造基本概念，学习石膏型精密铸造在个性化与批量化制作过程中的区别与共通之处 2. 学习蜡模雕刻方法与工具的使用 3. 学习铸造加工的基本工艺 4. 了解传统铸造与特种铸造工艺的异同 5. 认识雕刻刀具、电烙笔、灌浆设备、焙烧炉、中频真空铸造机、布轮、锉刀、超声波清洗机等设备 6. 培养学生自主创新能力，技术与艺术相结合 7. 学习 6S 安全有序的生产制造是保证产品质量及生产效率的第一前提条件			
考核项目评分	遵守纪律，安全的使用所需设备，6S		3.0 分
	首饰品设计的合理性与创新性		5.0 分
	蜡模加工雕刻等工作的基本操作		4.0 分
	铸件后处理基本操作		3.0 分
造型图	手绘图设计稿		
实验体会 （产业认知、能力提升、价值塑造）			

表 8 精雕任务书及考核办法

Tab.8 Detailed carving assignment and assessment method

学生姓名		实验任务名称	
指导教师	张余益，陈远洋 周卫国，王秋红	同组人员	
计划用时	12 小时	实验地点	机械制造实验室 - 铣削实验室
实际时间	12 小时		
任务内容			
1. 认识普通铣床，数控铣床，并且学习组成原理，应用特点和操作方法 2. 学习单体零件加工的基本工艺 3. 了解传统冷加工工艺和先进制造工艺的异同 4. 学习 CAD/CAM 软件，并且通过该软件进行简单的产品制造设计及自动编程 5. 学习 6s 安全有序的生产制造是保证产品质量及生产效率的第一前提条件			
考核项目评分	遵守纪律，安全的使用所需设备，6S		3.0 分
	CAD 文件设计的合理性		5.0 分
	CAM 完成的程序优化可行性		4.0 分
	数控铣床的基本操作及蜡模模型加工		3.0 分
造型图、加工仿真截图	CAD 图、CAM 加工仿真图		
实验体会 （产业认知、能力提升、价值塑造）			

需要较高的温度，较重的大块需要较低的铸造温度。

3.3 具体解决技术问题的方案及设计

首先对精密铸造过程中的包埋工艺及烧结工艺进行研究，然后通过反复试验和分析得出不同石膏

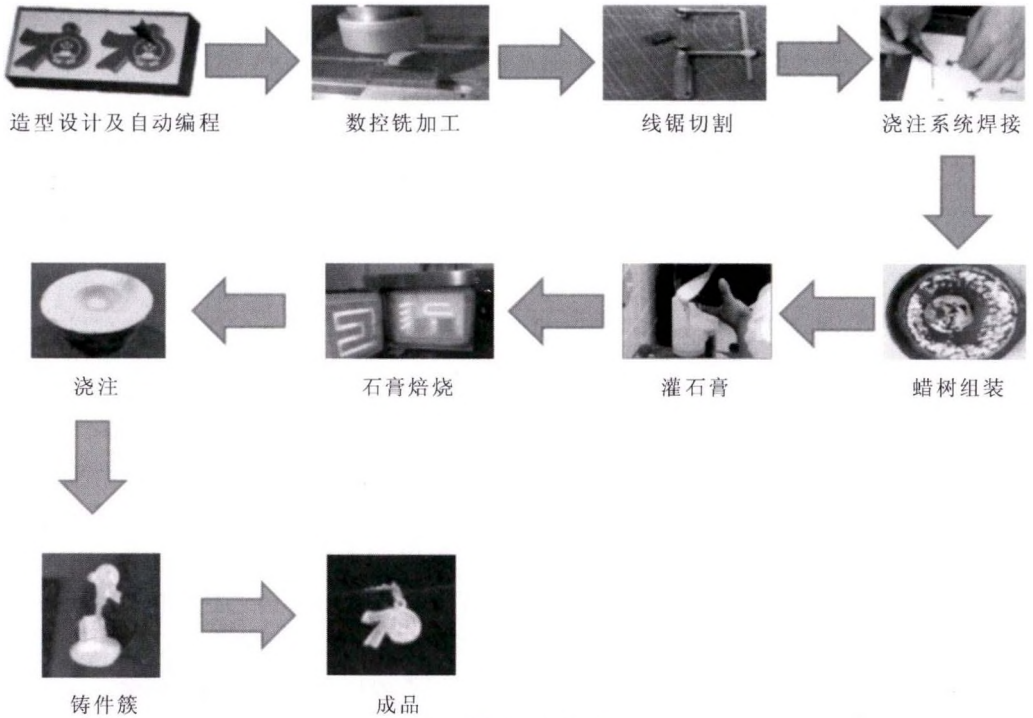


图 1　制造工艺过程

Fig.1　Manufacturing process

模具所使用的不同浇注温度。

包埋工艺中根据盅的大小来确定石膏粉和水的比例

根据以下公式来确定石膏粉的量：

石膏粉的量=盅的体积×1.4

假设直径 ϕ8 cm×8 cm 的盅

石膏粉的用量(g)= 4^2×3.14×8×1.4 =570(g)

例如：直径 ϕ 5 cm×5.5 cm 的盅

石膏粉的用量(g)=2.52×3.14×5.5×1.4 =150(g)

根据包埋材料的不同来选择石膏粉与水的比例：水越多，气体的渗透性越好，也就是说更适合包埋。如果一个工艺制造给出的粉 / 水为 37~39/100 的话，如果产品为丝状结构，则使用 39/100；如果铸件为普通结构则使用 37/100。对于标准的设备的石膏模具，如果使用石膏包埋，则使用 100/40 的粉 / 水比；如果使用磷酸盐进行包埋，则使用 100:35 的粉 / 水比。

石膏模具烧结周期工艺的探究：

在包埋工艺后，开始进行烧结工艺。将石膏型模具放入焙烧炉，取下橡胶垫，以便蜡模可以烧掉。

石膏的烧结工艺通常分为 3 个阶段：

阶段一：去除蜡模和石膏中剩余的水分

这个阶段比较温和的进行，以防止石膏遭到损坏。对于 MC15+ 设备，较小的石膏模具建议通过 120 min 升温至 300 ℃(大约 2.5 ℃/min)。较大的石膏模具建议 120 min 升温 150~180 ℃。

包埋用的石膏粉隔热性能比较好，这就需要一段时间使得温度传递到内部。为了保证石膏模具的受热均匀，较大的石膏模具使其在最高温度下保持 60 min，较小的石膏模具需要保持 30 min。

阶段二：石膏模具的烧结

在烧结过程中石膏单个粒子聚集在一块，使得其具有更高的强度。石膏模具需要在 730 ℃情况下焙烧，从 300 ℃起，通过 4 ℃/min 的升温速率，大约 2 h 升至 730 ℃。较大的盅推荐 5 ℃/min 的升温速率进行升温，到达 730 ℃保持时间通常为 1 h，较大的盅需要保持 5 h。

阶段三：使盅温度保持至铸造温度

当炉子达到铸造温度时，应将盅继续在此温度下保持 30~60 min(盅越大，保持的时间越长)，以保证盅内外温度相同。

图 2 是一个比较温和的焙烧曲线。

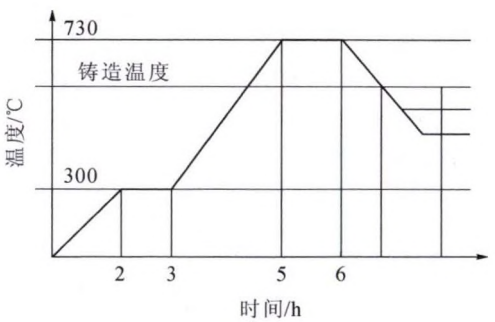


图 2　一种温和的焙烧曲线

Fig.2　A mild baking curve

这种比较温和的焙烧工艺大约需要 7 h,从焙烧到铸造大约得需要一天的时间，因此很有必要提高效率,接下来是一种比较快速的烧结工艺。

快速的烧结工艺(见图 3)。

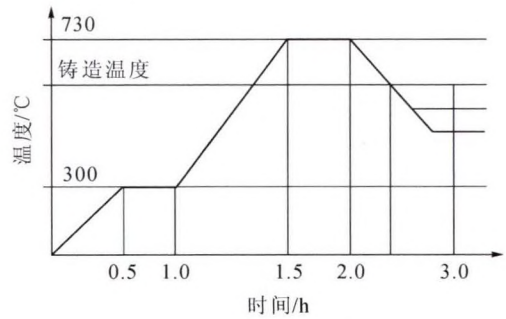


图 3 一种快速的焙烧曲线

Fig.3 A fast baking curve

使用温和的焙烧工艺可以保证石膏模具不受损害，而快速的焙烧工艺则不能保证。已经老化或者质量较差的石膏粉可能会产生裂痕,导致铸造失败。最后,根据反复多次实验,并通过分析得出不同石膏模具所使用的不同铸造温度，发现铸造温度主要取决于合金类型和铸造类型,薄的、精细的需要较长流程的样品和高熔点的样品需要较高的温度，较重的大块和熔点较低的金属需要较低的铸造温度。

对于此实验技术的研究，显著提高了先进精密铸造实践教学水准,为精密铸造实践教学提供了重要的数据分析，体现了铸造技术在机械化自动化发展的前沿状态,有效地提高了精密铸件的精度及性能。

通过将精密铸造与精雕进行融合，使学生更系统的掌握该工艺的制造过程,促进跨实验室的有机融合。提升学生对工程制造的系统认知、资源有效利用意识、工艺安排及过程管理能力等综合工程应用能力。项目化课程建设模式能快速灵活的结合工程训练教学，并且让学生能够更积极参与到工程训练当中。在此项目中既有机械设计,加工工艺,还有铸造技术，制造过程管理，团队建设等多方面的知识,又综合了工业产品上的艺术性和个性化,使得学生的想法和个性得到张扬。

4 结语

基于 3D 精密铸造与精雕系统融合的实验平台探究，对实验技术工艺的研究和工程训练课程的探索都起到了至关重要的作用，综合提升实验室技术水平、开发实验人员创新能力,使得学生的工程制造认知得到更为系统的学习,对于产品的设计、制造有了更合理的分析和工艺安排；对于项目的实施和规划得到实际的应用和体验;对于团队管理、协作和运维的重要性有了更深刻的体会。

参考文献:

[1] 汤彬,李双寿,梁志芳,等. 机械制造实习课程中工程素养矩阵建设的探索[J]. 实验技术与管理, 2015, 32(9):204-207.

[2] 李双寿,杨建新,王德宇,等. 高校跨学科创客教育平台建设理念及实践[J]. XDIYIS, 2017, 27(8)08:109-114.

[3] 袁聪. 提高机械专业认识实习教学质量的几点思考[J]. 科技风, 2015(16):187-187.

[4] 吕勇,高全杰,李友荣,等. 提高机械工程专业实习教学质量的几点思考[J]. 中国冶金教育,2007(2):28-31.

[5] 田夫,孙涛,谢蓉,等. 工科院校生产实习工作的问题及建议[J]. 实验技术与管理,2012, 29(12):179-182.

[6] 吕彦明. 机械工程专业本科实践教学改革初探 [J]. 无锡教育学院学报,2007, 27(4):43-45.

技术资料邮购

《铸造涂料及应用》

《铸造涂料及应用》在内容上反映了铸造涂料的最新成果，在叙述上由浅入深，注重实用，是从事铸造生产、管理、铸造原辅材料生产及销售相关人员的专业用书之一，也可作为高等院校铸造专业或材料成形与控制专业铸造研究方向的本科生、研究生的教学研究用参考书。本书共10章，第1章为绪论；第2章和第3章分别介绍了铸造涂料用耐火粉料、载液、悬浮剂、粘结剂和助剂等原材料；第4章阐述了涂料的粘度及流变性能；第5章介绍了涂料的配制，第6～8章分别重点介绍了砂型(芯)涂料、重力及非重力金属型铸造涂料和其他铸型(芯)涂料；第9章介绍了涂料的缺陷及防止措施；第10章介绍了涂料的性能与检测。

特快专递邮购价：69元。

邮购咨询：李巧凤　　电话/传真：029-83222071