

绿色铸造 持续发展

——华中科技大学材料科学与工程学院绿色铸造与凝固技术团队

华中科技大学材料科学与工程学院绿色铸造与凝固技术团队依托于材料成形与模具技术国家重点实验室，聚焦于绿色铸造与凝固技术的基础与应用研究，涉及材料、机械、化学和计算机等多学科。团队主要研究方向包括：造型材料与绿色铸造技术、快速铸造材料与技术、消失模铸造技术、高温合金凝固技术与理论等。现有在职2名教授、3名副教授、1名助理研究员和20余名博士、硕士研究生。

1 团队学术带头人——樊自田教授

樊自田，二级教授、博士生导师，现任华中科技大学材料科学与工程学院副院长，兼任全国铸造学会常务理事、全国铸造学会学术委员会委员，全国材料成型及控制工程教学委员会铸造分会副主任委员，全国半固态加工成形学术委员会、全国铸造造型材料学术委员会、全国铸造装备学术委员会等学术组织委员，《特种铸造及有色合金》杂志编委副主任，

《China Foundry》《铸造》《中国铸造装备与技术》等杂志编委（图1、图2）。

长期从事铸造材料、工艺理论与装备的科研、教学及应用开发工作。主要研究方向为：造型材料及绿色铸造技术、铝/镁合金材料及其精密铸造技术、3D打印快速铸造技术等。主持完成了国家自然科学基金项目和863计划项目7项、省部级科研项目及企业合作



图1 樊自田教授



图2 研究团队部分成员

研究项目数十项，其中与造型材料相关的国家自然科学基金项目包括：“非常温作用下水玻璃旧砂的表面行为及再生机制”“微波加热硬化水玻璃砂绿色铸造关键技术基础”“镁合金航空铸件用复杂砂芯成型性及溃散性调控机制”和“复杂陶瓷铸造型芯分层沉积挤出成型及其精确控制研究”等。在国内外重要期刊和国际会议上发表了研究论文400余篇（其中三大索引160余篇），获国家发明专利授权32件，出版著作及教材11部。以第1获奖人获得省部级科技（教学）成果一等奖2项（基于水玻璃砂和消失模的绿色铸造技术开发与应用，材料成型及控制工程专业引领型人才培养体系的创建与实践）、二等奖2项、三等奖2项。已培养毕业博士生16名、硕士生50余名。曾多次去美国、欧洲、日本等著名大学及公司进行学术交流与访问学习。

2 国家重点实验室建设及成果

材料成形与模具技术国家重点实验室是我国在材料成形、新材料和模具技术领域建设的国家级重点实

验室（图3、图4）。面向国民经济和国防建设中的重大需求，围绕材料制备与成形领域的基本科学问题和学科前沿，开展应用基础研究和技术创新，突破关键科学技术问题，促进成果应用，在引领行业发展以及国民经济和国防建设中发挥不可替代的作用。实验室设备较多，与铸造相关的大型设备包括：砂芯选择性激光烧结成形设备、微滴喷射3D打印成形设备、多功能反重力铸造设备、高真空电磁感应定向凝固及电弧熔炼离心铸造系统、消失模绿色铸造系统等；检测与分析设备有：激光粒度测试仪、万能材料试验机、材料高温持久性能试验机、金相显微镜、多功能综合热分析系统、热膨胀仪、X-射线衍射仪、X-射线荧光光谱仪、高分辨的扫描电镜和透射电镜等（图5、图6）。重点实验室在造型材料研发方面，开展了造型材料的绿色化与3D打印快速成形等研究，近年来获得了国家科技进步二等奖1项（复杂零件整体铸造的型（芯）激光烧结材料制备与控制性技术）和中国机械工业科学技术奖二等奖1项（水玻璃砂型铸造废旧砂循环利用关键技术及装备）。



图3 国家模具技术重点实验室

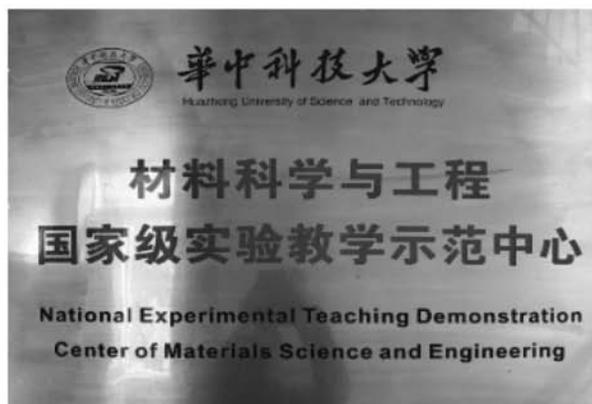


图4 国家实验教学示范中心



图5 X射线衍射仪



图6 多功能综合热分析系统

3 造型材料相关的科研成果

(1) 水玻璃砂绿色铸造成套新技术。出版了《水玻璃砂工艺原理及应用技术》专著(图7)。发明了水玻璃砂型或砂芯的微波硬化方法(ZL200810197391.5)及多种复合微波硬化新工艺(有机酯-微波加热复合、热空气-微波加热复合和CO₂-微波加热复合等),研究开发出了多种提高微波加热硬化水玻璃砂抗吸湿性的材料及其方法;研发成功了多种水玻璃改性剂,使得改性水玻璃的性能较大地优于普通水玻璃,水玻璃砂的水玻璃加入量(2%~3%)较大减少、强度较大提高,水玻璃旧砂的再生回用性大大提高;结合水玻璃旧砂的性能特征、干法再生和湿法再生的特点,提出了一种超声波湿法再生水玻璃旧砂的新方法(ZL201710238547.9)、一种滚筒式旧砂湿法再生与脱水一体化设备及其使用方法(ZL201710400641.X)和一种水玻璃旧砂湿法再生的碱性污水回收方法(ZL201710652097.8),研发成功了高效的湿法再生设

备系统,可实现水玻璃旧砂的无害化高效完全再生,在多个企业中得到广泛实际应用。

(2) 汽车铸铁/钢件粘土砂型性能研究及缺陷防治。结合多家大型企业的技术要求开展粘土砂型铸造质量控制技术研究,并出版了《铸造质量控制应用》专著(图8)。针对发动机缸体、缸盖、壳体等铸铁件废品率高和钩体、钩舌等铸钢件易产生裂纹、缩孔、夹砂等铸造缺陷问题,系统研究了产生废品的粘土砂质量原因,获得了不同条件下满足工厂型砂性能指标要求的生产线型砂配方,铸件缺陷率大大降低,由15%~20%降低至3%以下。结合生产线的实际生产数据,建立了“典型铸件缺陷-型砂性能”和“型砂组分-型砂性能”关系模型,研发了适合于粘土砂生产线使用的型砂质量控制软件;发明了一种基于图像识别的膨润土吸蓝量测试新方法及设备(ZL201010120816.X, ZL201020127489.6),可实现膨润土吸蓝量的自动快速精确测试。

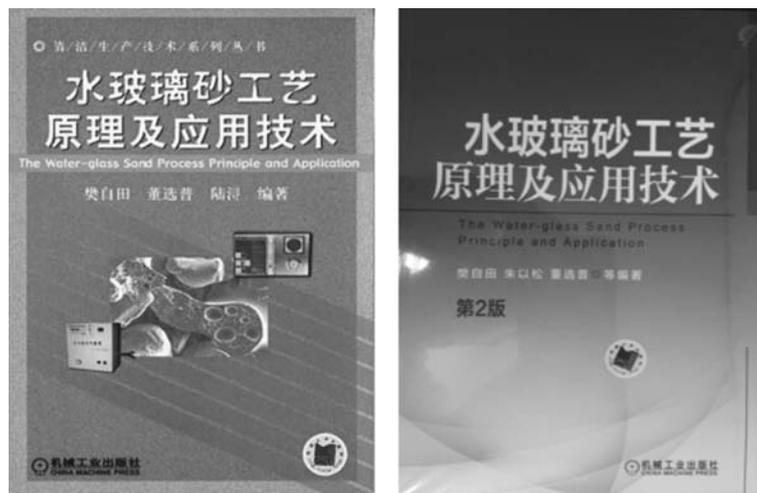


图7 水玻璃砂研究及应用专著



图8 铸造质量控制应用专著

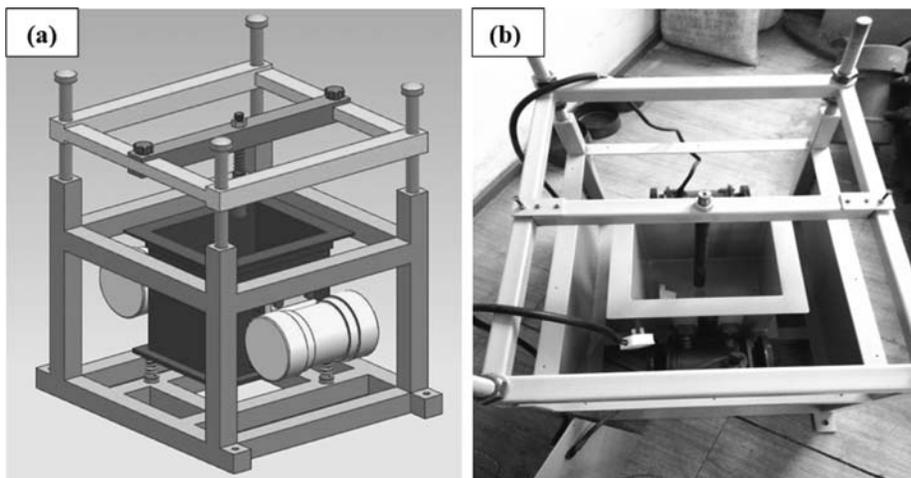
(3) 大量铸造混合废旧砂高质量低成本再生新技术。为了达到高质量、低成本、少污染的再生回用大量混合废旧砂的目标,分别采用“干法再生”“湿法再生”和“热法再生”工艺,对混合废旧砂中的粘土旧砂和树脂旧砂进行了再生和再生效果分析,提出了一种基于“干法-湿法-热法”复合再生工艺的铸造混合废旧砂再生新方法(ZL 201110056006.7),利用热法再生砂的热量烘干湿法再生砂,具有降低能耗、节约成本的优点,再生砂性能达到了新砂的标准,在多家工厂获得生产性验证;发明了一种间歇式的湿法再生方法及设备(ZL 201210084186.4)和湿法再生污水处理回用系统,实现了湿法再生过程中产生污水的循环回用或无害排放(图9)。

(4) 镁/铝合金铸造用易溃散型芯材料及高效清理技术。1) 通过研究不同原砂种类及其粒度分布、树脂种类及其加入量、固化剂加入量、不同添加剂(如硼酸、硫磺粉、氧化铁和硅烷偶联剂等)对树脂砂性能的影响,获得了适于镁合金机匣铸件生产用不

同季节的树脂砂优化配方,铸件针孔率大为下降、铸件表面质量大为提高,铸后清理效率大为提高,在企业中得到了推广应用;2) 发明了一种镁(铝)合金薄壁复杂铸件用水溶性砂芯的制备方法(ZL 201410648208.4),采用二次微波加热新工艺制备水溶性硫酸镁砂芯,解决了普通加热硬化效率低的弊端,采用改性粘结剂和表面涂层的方法提高了砂芯的抗吸湿性,形成了适于镁/铝合金铸造的水溶性砂芯粘结剂材料及其抗湿强化方案;3) 以铝矾土粉为耐火材料、硅溶胶为粘结剂、轻质氧化镁粉末为固化剂制备可用于镁合金铸造的高性能易溃散型芯,该型芯材料综合了氧化铝高化学稳定性和氧化硅易溶失性的各自优势,在固化和焙烧过程中无有害气体释放且可提高型芯的烧结强度;4) 开展了水溶性氧化钙基陶瓷型芯、水溶性KNO₃-KCl复合盐芯(ZL 201611186722.6)和多孔氧化铝基陶瓷型芯等型芯材料方面的研究,取得了一些有价值的研究成果;5) 发明了一种铝或镁合金铸件砂芯清理装置(图10)及其砂芯清理方法



图9 近3年授权的一批旧砂再生技术发明专利



(a) 三维示意图

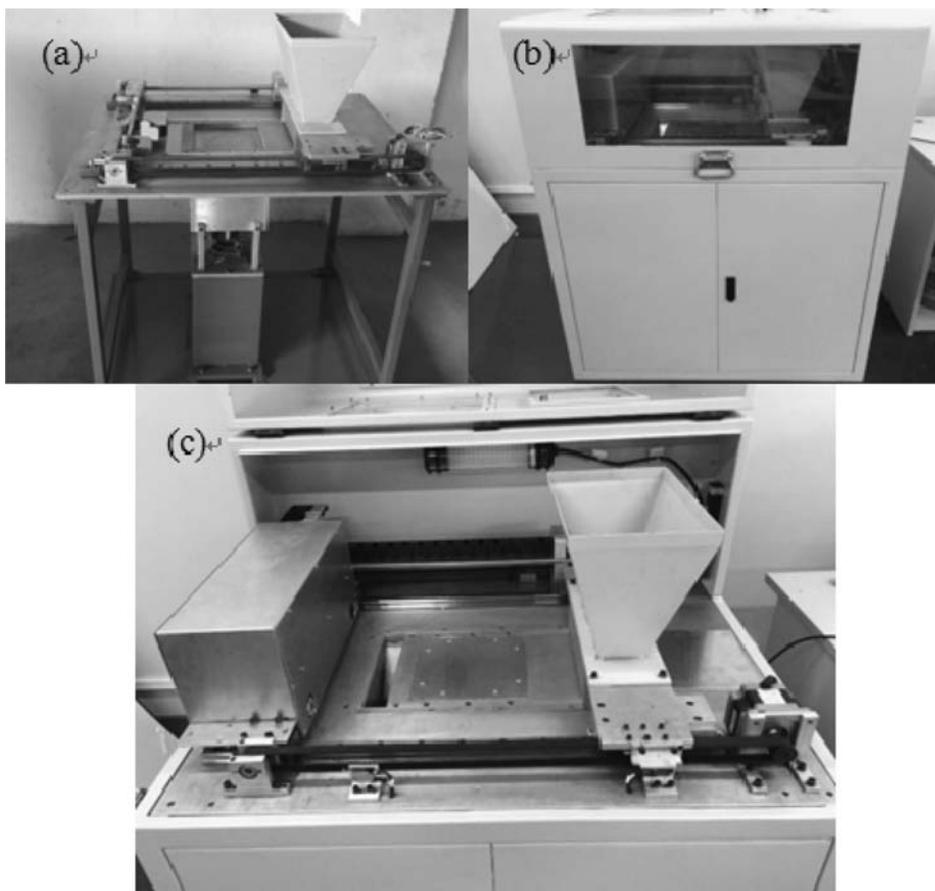
(b) 实物图

图10 型芯清理设备示意图

(ZL201510027416.7)，该砂芯清理装置及其方法综合了化学溶解、振动破碎和超声空化的作用，可用于复杂内腔中残留砂芯的高效完全清理。采用研发的型芯新材料及清理方法可完成复杂内腔结构镁/铝合金零件的铸造成形与高效铸后清理，具有重要的推广应用价值。

(5) 型芯3D打印快速成形技术。研发了双喷头单缸式微喷射粘结快速成形设备系统(图11)，系统研究了原砂种类及其粒径、分层厚度、粘结剂种类及喷

射量、打印速度等参数对微滴喷射快速成形(3DP)砂型性能的影响，获得了3DP砂型精度与强度性能的影响规律，明确了提高其精度和强度的方法；提出了浆料挤出3D打印整体成形陶瓷型芯的方法，实现了复杂氧化铝基、氧化硅基和氧化钙基陶瓷型芯的快速无模精确成形(图12)。型芯3D打印快速成形技术可大大提高型芯的制造速度，实现复杂铸件的快速制造，提高铸件的制造水平，具有广阔的应用前景。



(a) 机械结构图；(b) 外形图；(c) 成形腔图

图11 自主研发的双喷头单缸式微喷射粘结快速成形设备系统

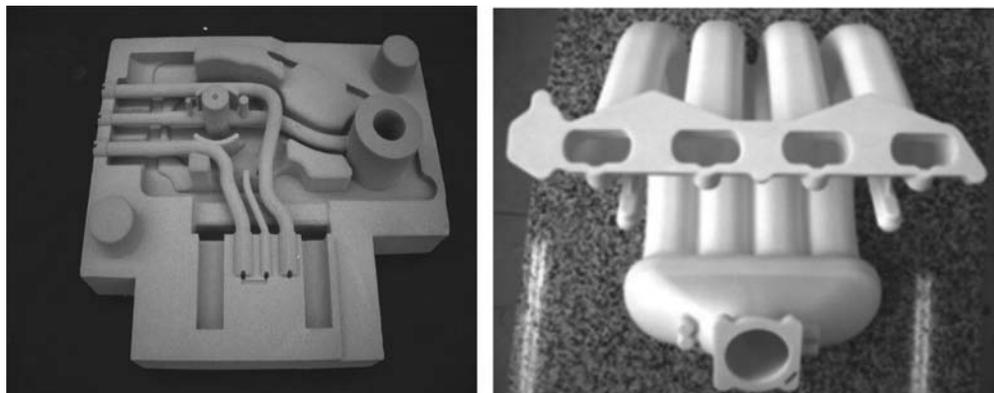


图12 3D打印的砂型(芯)、蜡模

4 人才培养、行业活动及学科建设

华中科技大学铸造专业曾是我国铸造专业首批有权授予硕士学位（1981年）的专业之一，1986年被批准为博士点，1998年与锻压和焊接合并成为材料成型与控制工程专业。现为华中科技大学的材料科学与工程学院、材料成形与模具技术国家重点实验室、“材料加工工程”国家重点学科的重要组成部分，具有“材料科学与工程”一级学科博士学位授予权并设立了博士后流动站。多年来，结合我国铸造领域发展的实际情况，研发了众多实用的铸造技术，培养了大量的铸造学科高级人才，为中国的铸造技术进步与发展做出了较大贡献。华中科技大学铸造专业是国内第一个开展树脂砂研究和推广应用的研究机构，在造型材料、消失模铸造、水玻璃砂绿色铸造材料、旧砂再生技术和铸造过程模拟等多方面处于领先水平。目前，学院从事铸造行业的教师20余人，教授博导7人、其中2名为新世纪优秀人才支持计划入选者，副教授/副研究员7人，高级工程师2人。每年为铸造行业培养博士生5~7人，硕士生20~30人，本科生30~40人。

华中科技大学材料科学与工程学院是全国铸造学会消失模委员会主任委员和湖北省铸造学会理事长单位，积极举办并参与铸造行业的学术会议与科技成果推介会等。学院还出台了多项政策措施鼓励学生们参加由中国机械工程学会、中国机械工程学会铸造分

会、教育部高等学校机械学科教学指导委员会、中国机械工业教育协会和铸造行业生产力促进中心举办的中国大学生铸造工艺设计大赛，在历年大赛中获得过全国一等奖10余项、二等和三等奖多项。

华中科技大学材料成型与控制工程专业是教育部双一流建设学科，国家首批卓越工程师培养计划实施专业（2011年）、国家首批高等学校本科教学改革与教学质量工程综合改革试点专业（2011年），获批建设“材料科学与工程”国家级实验教学示范中心（2012年）和“华中科技大学-广西玉柴机器”“华中科技大学-中国一拖集团”“华中科技大学-江苏太平洋精锻”等三个国家级工程实践教育中心（2012年）。本专业2015年、2018年两次通过工程教育专业认证。2015年以来本专业“中国大学本科教育专业排名”第一。本专业面向材料成型加工领域，培养系统掌握专业基础理论及应用知识，能够从事材料成形及质量控制、模具技术及计算机应用等科学研究、技术开发、设计制造、企业管理工作，具有国际视野的、能适应社会经济发展需求的富有创新精神的高素质复合型人才。学生毕业后，经过努力和磨练，能够逐步成长为专业的领军人物。自1998年由铸造、锻压和焊接合并成立以来，为国家培养了数以万计高质量高级技术人才，几十年来享有良好的社会声誉。