



曹华军 CAO Huajun

教育部“长江学者奖励计划”青年学者

Young Chang Jiang Scholar

重庆大学绿色智能制造研究中心主任

Director of Green Intelligent Manufacturing Research Center, Chongqing University

重庆大学机械工程学院教授、博士生导师,国家“万人计划”中青年科技创新领军人才、教育部“长江学者奖励计划”青年学者、国家绿色制造科技重点专项专家组专家、机械工业联合会绿色制造产业技术创新战略联盟理事与副秘书长,现任重庆大学绿色智能制造研究中心主任、机械工业绿色制造能效工程技术研究中心主任。1999年至今一直从事绿色制造方面的研究工作,主要研究绿色制造发展战略、高速干切工艺及绿色智能装备、高端装备绿色智能再制造等。先后主持承担国家级科研项目10余项,发表SCI/EI检索论文60余篇、授权国家发明专利10余项、获得省部级科技奖励8项、制定国家标准5项、出版专著4部。

发展绿色制造，探索新型工业模式

——访教育部“长江学者奖励计划”青年学者曹华军教授

Green Manufacturing—A New Type of Industrial Model

本刊记者 海山

海山: 请简单介绍一下绿色制造与再制造的含义。重庆大学制造工程研究所目前有哪些相关研究正在进行中?

曹华军: 绿色制造也称为环境意识制造、面向环境的制造、可持续制造等,是一个综合考虑环境影响和

资源效益的现代化制造模式,其目标是使产品从设计、制造、包装、运输、使用到报废处理的整个产品生命周期中,对环境的影响(负作用)最小,资源利用率最高,并使企业经济效益和社会效益协调优化。


再制造工程是一个统筹考虑产

品零部件全生命周期管理的系统工程,是利用原有零部件并采用再制造成型技术(包括高新表面工程技术及其他加工技术),使零部件恢复尺寸、形状和性能,形成再制造的产品。主要包括在新产品上重新使用经过再制造的旧部件,以及在产品的长期使

用过程中对部件的性能、可靠性和寿命等通过再制造加以恢复和提高,从而使产品或设备在对环境污染最小、资源利用率最高、投入费用最小的情况下重新达到最佳的性能要求。再制造工程被认为是先进制造技术的补充和发展,是21世纪极具潜力的新型产业。

重庆大学绿色智能制造研究中心(前身制造工程研究所)由原国家863/CIMS主题专家组副组长、重庆大学校长刘飞教授于1993年创立。刘飞教授早在1997年大连先进制造模式与制造哲理研讨会上首次公开提出“绿色制造”的概念,标志着重庆大学在该领域研究工作的开始。1997~2005年,在国家863项目和国家自然科学基金项目的支持下,系统开展绿色制造基础理论和方法的研究,在科学出版社出版了《绿色制造理论与技术》专著1部;2006~2015年,在“绿色制造关键技术与装备”国家科技支撑计划重大项目、“国家绿色制造科技重点专项”的支持下,开展机床再制造、高速干切工艺及装备、制造系统能效方面的研究工作,取得了重要进展,相关技术和成果在企业得到产业化应用。2016年至今,持续获得“中国制造2025”工业转型资金绿色制造系统集成项目的支持,先后在金属切削机床绿色设计平台、高精度复杂压铸产品绿色工艺创新等方面开展绿色制造系统集成应用工作,对金属切削机床绿色设计、高精度复杂压铸产品绿色工艺和齿轮绿色高速干切滚齿工艺性能优化基础理论与试验进行深入研究,构建了金属切削机床产品全生命周期管理与评价体系,制定并实施了一批绿色设计和绿色工厂示范的标准,开发了一批高性能、轻量化、绿色化新材料及产品绿色创新设计关键技术,探究了高速干切条件下滚刀切削刃损伤行为和失效机理,建立了高速干切滚齿工艺试验平台,构建了金属切削

机床集成化绿色设计工具及众创平台,完成了绿色制造过程监控与评价网络化平台的开发,带动了上下游全产业链的绿色转型与技术提升,提高了绿色精益生产能力和产品国际竞争力。

:《中国制造2025》提出,坚持“绿色发展”的基本方针,我国绿色制造目前已有的技术手段有哪些?实施难点有哪些?

曹华军:绿色制造技术以高效、优质、高附加值的经济效益和资源节约、环境友好、安全健康的社会效益为技术目标。绿色制造的关键技术主要包括绿色设计技术、绿色制造工艺技术、制造过程环保及污染控制技术、绿色回收处理与资源化技术、绿色再制造技术、环境友好材料技术和清洁能源技术等。下面结合国内近年来的研究工作,简要介绍以下方面技术:

(1)绿色设计技术。绿色设计研究主要集中在优化设计方面,包括面向节能设计、面向可拆卸设计、面向可回收设计等,并在汽车、电子产品、家电、工程机械等产品得到应用,并相应推出了多种绿色设计工具和软件。例如,我国开展了工程机械、通用型桥式起重机、典型轻量化工程机械整机产品和关键零部件、机床的轻量化设计技术研究;开展了制冷类家电产品易拆解、可回收设计与方法研究,支撑数据库和典型机电产品全生命周期环境影响数据库等。

(2)装备及制造系统能源效率提升技术。我国对装备及制造系统能源效率优化技术进行了深入的研究,开展了机械加工系统和工件的能效评价、工件能耗定额制定、工艺参数节能性优化的研究;开展了离散车间制造系统高效低碳运行优化理论与关键技术研究;开展了高能效、高速干切工艺及装备的研制。

(3)废旧资源利用与再制造技术。资源的回收利用以物资不断循

环利用的经济发展模式,正在成为全球潮流。我国建立了制冷类家电拆解回收处理支持系统,为制冷类家电回收与设计企业提供了有力的支撑;开展了机床绿色再制造成套技术及标准研究,为量大面广的老旧机床资源循环再利用及绿色智能升级提供支撑;开展了汽车发动机、零部件及关键总成再制造关键技术;开展了工程机械再制造毛坯零件剩余寿命评估、再制造性评价等关键技术的研究,为工程机械再制造性评价提供了可靠的基础。


绿色制造的实施难点包括:

(1)绿色制造关键技术创新难,缺少以绿色目标驱动的产品全生命周期环节的理论研究和技术创新,特别是一些颠覆性的绿色制造技术缺乏;

(2)各行业基础数据获取难,绿色制造的实施过程中需要大量的环境影响方面的数据,但是由于企业不愿意公开分享这些数据,导致数据采集困难;

(3)绿色制造各环节配合度低,从设计、制造、包装、运输、使用到报废处理各环节需要专业化分工,同时也需要协同制造,例如在设计阶段应该考虑回收拆解等问题,可以缩短生命周期、降低成本,但目前还未能实现全生命周期的协同作用,需要进一步加强各环节的配合程度;

(4)回报周期长,绿色制造是一个长期性、社会性的效益,因此企业中实施绿色制造会在短期内降低企业制造成本,导致企业的积极性不高。

:绿色制造未来的发展趋势是什么?

曹华军:(1)绿色创新设计技术的研究。通过对绿色设计的创新研发,突破一批绿色设计关键技术、掌握基于全生命周期绿色设计关键技术,开发一批绿色制造前沿技术、核心技术与装备,加快推进新材料、

新产品、高端装备等绿色低碳发展。

(2) 环境友好、高效低成本的下二代绿色材料及工艺技术的创新。重点研究新材料的应用,采用新机床结构技术、新结构概念、轻量化材料等。


(3) 集成化的产品-工艺-设备的研究。加强基础制造工艺和过程绿色化技术研究,形成一批高效、节能、环保和可循环的制造工艺,降低生产过程的资源能源消耗强度,助推传统行业转型升级;与此同时,采用面向生命周期分析的方法对制造工艺单元进行分析,对工艺、产品、制造模式等进行颠覆性科技创新和系统重构,突破现有发展模式,实现发展与环境约束的“脱钩”。

(4) 制造系统能源效率与环境影响管理系统开发。采用物联网、云计算等信息技术,对设备的运行方式、运行参数和运行工况进行实时监控,可以提高设备在运行过程的可靠性和能源效率,开发能耗设备监控和管理等平台,进行数据挖掘和决策分析,实现资源与能源消耗状态的透明化,提高资源效率,减少环境排放,对制造系统的资源消耗及排放进行实时定量监测与优化管理,有效提升产品全生命周期的资源能源效率。

(5) 废旧产品资源循环利用核心技术与智能化装备的研究。重点研发大宗材料高效、精细化、高附加值资源化技术和装备,推进资源再生利用产业规范化、规模化发展;开展高端再制造、智能再制造和在役再制造关键技术装备的研发,推进再制造产业的规模化发展。

(6) 重点行业/区域绿色制造创新技术集成应用示范的研究。开展绿色产品、绿色工厂、绿色供应链和绿色园区的理论模型、运行管理模式、评价模型和体系、评价工具、评价标准以及评价支持系统的研发,选择重点行业/区域开展绿色制造技术集成应用示范。例如,绿色制造产业

新模式及应用示范、绿色制造技术体系标准与规范、近零排放绿色工厂设计与集成运行示范、绿色制造集成应用示范工程等方面的研究。

: 发达国家很早之前便开始了绿色制造的相关研究,成立了大量的实验室及研究所,您曾到美国、德国、加拿大和西欧等地学习或访问,国内当前的技术与国外存在哪些差距?

曹华军: (1) 绿色制造核心技术和关键装备。当前一些行业的高端技术与装备基本掌握在国际跨国公司手中,专利使用费昂贵,部分行业关键材料严重依赖进口。绿色制造科技创新是落实生态价值观的重要抓手,是实现绿色生产的重要保障,是推行绿色消费的重要支撑。因此我国需要提高科技创新能力,在产品和技术方面进行绿色创新,增强我国的装备实力,掌握重大装备与生产过程匹配的核心技术,提高其健康、能效和智能化水平,加速推动重大装备向高端发展,实现我国由制造大国向制造强国的转化。

(2) 绿色制造产业模式与产业结构变革。我国绿色制造模式比较单一,工业发达国家注重新技术和产业模式变革创新,已经相继提出基于产业共生和资源循环的工业生态模式、通过融合新能源和能量回收技术实现能源自主独立的生态工厂、生产者延伸责任制、工业产品服务系统等产业创新模式。我国要想大力发展绿色制造,需要在工业模式上进行创新变革。生产者延伸责任制是产品生命周期工程和循环经济模式在企业商务模式方面的具体体现,可以降低产品生命终期的回收处理成本和提高资源循环再利用效率;制造企业转换为服务提供商,利于绿色可持续消费模式的形成,减少产品的无效需求及资源浪费,提高在役产品的利用率和产品资源利用效率。

(3) 绿色制造技术标准和规范

的制定。我国缺乏绿色制造的相关标准,目前国际上已形成相对完善的绿色制造标准体系,如 ISO14040 产品生命周期评价、ISO 50001 能源管理体系、ISO 14955 机床能效与生态设计等标准,以及 RoHS (电子设备中限制使用某些有害物质)、EuP (能耗产品)、WEEE (废旧电子电气设备) 等指令。标准规范体系的建设有利于引导和规范企业和消费者的绿色行为,以及避免非绿色产品进入本国市场,形成绿色贸易壁垒。我国首先应该加强绿色制造检测、评估、技术和流程的研究和标准化工作,制定共性技术和产品的标准和法规体系;其次,要加强国际合作与交流,在确保我国企业、产品、消费者等相关方的权益的基础上,积极推进标准法规的互认互信,逐步增强绿色消费与市场的话语权;再者,建立法规、标准执法、监督体系,以及宣传教育工作,在全社会形成绿色消费和绿色生产意识,为企业绿色发展创造良好环境。

(4) 绿色制造基础数据和评价决策软件工具的开发。现有 LCA 数据库仅含有面向特定行业的制造工艺数据,缺乏很多产品制造过程及再制造过程的工艺数据,难以支持我国金属切削机床产品的绿色设计,而发达国家的学术界和工业界研究较早,目前已研究开发了 LCA、SimaPro、Gabi、Ecoinvent、SolidWorks Sustainability 等多种产品生命周期评价与生态设计软件及基础数据库,具有较高的通用性和集成共享性,已得到了商业化推广应用,初步形成了绿色制造的咨询服务行业。因此应该拓展现有自主知识产权 LCA 数据库,完善产品制造工艺过程、再制造过程的绿色设计信息数据库,同时基于 Web service 技术建成绿色设计集成共享应用平台,实现企业数据共享和交流,实现产品评价决策系统的开发。

(责编 大漠)