

# 《面向 2035 特种加工技术路线图》导读

朱 荻<sup>1,2</sup>

1. 南京航空航天大学机电学院, 南京, 210016
2. 中国机械工程学会特种加工分会, 苏州, 215011



**导语:**工欲善其事,必先利其器,特种加工技术就是制造工程领域的一大利器。作为先进制造技术的重要组成部分,特种加工技术已在众多领域得到广泛应用,解决了大量传统加工方法无法解决的加工难题,在制造业的发展进程中发挥着不可或缺的重要作用。由朱荻、吴强等编著的《面向 2035 特种加工技术路线图》一书已于 2024 年 11 月正式面世。该书面向 2035 年,系统阐述了我国特种加工技术的发展现状、社会需求、应用前景、研发重点和关键技术,展望了将来一段时间内我国特种加工技术的提升路径和发展方向,指出“未来特种加工技术与装备将呈现‘克难、智能、融合、绿色、优质’五大发展趋势”,可起到技术导航和规划引领的重要作用。本文精要地阐述了特种加工的技术价值、发展趋势和面临挑战,并概述了该书的写作背景和主要内容,可供读者快速了解该书的全貌及菁华。

中图分类号: TG66

DOI: 10.3969/j.issn.1004-132X.2025.06.027

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



由中国机械工程学会特种加工分会组织编撰的《面向 2035 特种加工技术路线图》一书已由机械工业出版社正式出版发行。该书面向 2035 年,以特种加工技术研发、产业应用和未来发展为主线,系统阐述了我国特种加工技术的发展现状、社会需求、应用前景、研发重点和关键技术,提出了未来的发展目标、实现路径及措施建议,绘制出未来一段时间内的特种加工技术路线图。

在国际上,特种加工多被称为非传统加工(non-traditional machining)。不同于利用机械能加工成形零件的传统加工方法,特种加工基于物理或化学能量场,利用电能、热能、光能、电化学能、化学能、磁能、声能及其组合或复合(包括与机械能的组合或复合),对工件材料进行去除、添加、变形、改性或连接,从而达到零部件的设计目标。特种加工是一个制造技术群,目前主要方法有电火花加工、电化学加工、高能束流加工、超声加工、增材制造,以及基于这些方法的各种复合加工等。特种加工不像传统加工那样要求工具材料硬度必须高于工件材料,以硬制软,而是依靠能场作用实现零件的成形,以柔克刚,不受工件材料的硬度、韧性等限制。更明显的区别是,特种加工通常为非接触加工,隔空打物,在加工过程中工具与工件之间没有显著的作用力,不会造成弱刚性工件的明显变形,并且能获得相当高的尺寸精度和表面质量。因此,“以柔克刚”、“隔空打物”这两大特点使得特种加工技术成为工程实际中加工制造各种难加工材料、复杂形状零件、弱刚性零件时的最佳

选择,具有明显的技术优势。可以说,特种加工能将许多不可能变为可能,是先进制造技术群中的一支特种部队,在高端装备核心部件制造中具有不可替代的作用。

自 20 世纪中叶开始工业化应用以来,特种加工技术在航空航天、国防军工、交通运输、能源动力、精密模具、电子信息、生物医药等领域有着不可替代的需求。在航空航天、国防军工装备领域,大量零件采用难切削材料制成,并且许多零件形状复杂、结构特殊、加工要求高,是特种加工技术重要的“用武之地”,典型应用如航空发动机涡轮叶片气膜孔的电火花加工及激光加工,整体叶盘和机匣的电解加工,喷气发动机零部件的激光增材制造;在交通运输装备领域,典型应用如汽车发动机燃油喷嘴等关键零部件的电火花加工,大型构件的激光切割、激光焊接及表面强化,电子器件和传感件的激光微纳制造,汽车轻量化零件的增材制造等;在精密模具领域,典型应用如各类高性能材料模具的电火花线切割加工、小孔加工、激光织构、异形模具和定制化模具的增材制造等;在电子信息制造领域,典型应用如 3C 产品的芯片封装、液晶屏和柔性屏的制造、晶圆切割及抛光、太赫兹微结构件加工、光子芯片制备等;在新能源领域,典型应用如风力发电设备关键核心零件的电火花加工,新能源汽车的激光焊接技术;在生物医疗器械领域,典型应用如仿生组织和仿生手术工具的增材制造、植入医疗器械的电火花加工及激光表面处理、超声骨刀的应用等。

数十年来,特种加工技术因解决制造难题的需求而生、因解决制造难题的能力而兴,并伴随着我国工业化、现代化进程的推进而不断深入、衍生和扩展,正在向更高技术水平和更广泛应用的方向发展。中国经济已转向高质量发展阶段,伴随制造强国战略的深入推进,新一代信息技术与制造技术的深度融合,以及人工智能等新兴技术在制造业的快速渗透,特种加工技术及其装备面临新的发展机遇与挑战。特种加工技术作为典型的跨学科技术,在能场与工艺的多样性、能场与物质相互作用的复杂性、加工对象与要求的特殊性,以及多学科知识交叉的广泛性等方面,仍存在诸多待解决的理论与技术问题;面对新材料与新结构的不断涌现,特种加工技术与工艺亟需进一步研发与创新;除了发挥多能场复合方法在突破单一能场工艺极限方面的独特技术优势外,还需基于对多能场科学理论的深入理解、多学科知识的融合以及广泛的科研实践,以增强多能场复合效应,实现技术的新发现、新突破与新应用;特种加工与新一代信息技术的融合已有一定实践,但在深度与广度上仍显不足,特别是在神经网络、人工智能、数字孪生、自适应控制等领域,尚存在诸多难点待解;与国际先进水平相比,我国高端特种加工装备仍存在差距,需在基础理论、关键技术与核心工艺方面进行更深入的探索。此外,建立与技术和产业发展相适应的标准化体系至关重要,亟需在技术交叉、工艺复合、装备提质增效的进程中,形成有助于降低成本、提高效率与质量的标准指导业务。

基于对未来特种加工技术、装备及其产业发展路径的深入思考,围绕 2035 年实现新型工业化并推进中国式现代化的关键目标,中国机械工程学会特种加工分会汇聚了领域内的科技专家,策划并编写了《面向 2035 特种加工技术路线图》一书。本书共分为七章,第一章深入分析了航空、航天、交通运输、新能源等高端装备制造领域对特种

加工技术的需求,并列出了特种加工技术在这些领域的 30 项典型应用实例,同时探讨了特种加工技术面临的挑战;第二章探讨了特种加工技术的发展趋势,总结了特种加工技术与装备如何体现“创新、协调、绿色、开放、共享”的新发展理念,并指出特种加工技术未来将展现“克难、智能、融合、绿色、优质”五大发展趋势;第三章至第六章分别对电火花加工、电化学加工、激光加工和超声加工等特种加工主要技术方法进行了详细论述,结合各自的技术特点,从面向 2035 年的市场需求、关键技术、研发重点等方面,提出了不同阶段的发展重点与实现路径,并绘制了电火花成形加工、往复走丝电火花线切割加工、电解成形加工、电铸、激光微纳加工、激光材料去除、超声复合加工、超声表面处理等 20 幅技术路线图,并预测了可实现的目标;最后一章提出了实施路线图的建议,强调了坚持目标导向、加强基础研究、注重融合发展、聚焦高端人才、强化协同创新、完善支撑体系的重要性。

该书集聚了国内特种加工领域的专家、学者、企业家的集体智慧,对读者了解特种加工技术及其最新进展有重要帮助,可供从事特种加工技术教学、研究、开发、生产和应用的科技人员阅读,也可作为政府部门决策及企业发展规划的参考依据。

(编辑 卢湘帆)

---

作者简介:朱 荻,男,1954 年生,教授、博士研究生导师,中国科学院院士,中国机械工程学会特种加工分会主任委员,国际生产工程科学院院士。主要研究方向为特种能场制造。获发明专利 70 余项。发表论文 300 余篇。E-mail:dzhu@nuaa.edu.cn。

**本文引用格式:**

朱荻.《面向 2035 特种加工技术路线图》导读[J]. 中国机械工程, 2025, 36(6):1394-1395.

ZHU Di. Guiding to 2035—Oriented Nontraditional Manufacturing Technology Roadmaps [J]. China Mechanical Engineering, 2025, 36(6):1394-1395.