

我国激光技术与应用 2035 发展战略研究

“我国激光技术与应用 2035 发展战略研究”项目综合组

摘要:为促进激光技术及应用的发展,中国工程院于 2018 年启动了“我国激光技术与应用 2035 发展战略研究”重点咨询项目,本文是项目研究综合报告,文章简要分析了激光技术及在科研与产业中的工具性、引领性和颠覆性作用,分析了我国激光技术在前沿激光、制造加工、信息通信、医疗诊治等领域的科研和应用的发展现状,梳理了多个制约加速发展的问题,提出了我国激光技术及应用 2035 年发展目标设想:强化顶层统筹谋划,引领我国激光技术与应用产业快速发展;加强基础研究,聚力突破产业化发展中的重大基础问题、共性技术基础和基础材料、器件;设立应用研发专项,打造多个新激光产业链;创新产业协同机制,完善激光产业创新生态;强化激光基础教育,加大对激光及光学学科人才培养力度等政策措施建议。

关键词: 激光技术; 激光制造; 激光通信; 激光诊疗

中图分类号: TN2 **文献标识码:** A

Strategic Research on China's Laser Technology and Its Application by 2035

Research Group of *Strategic Research on China's Laser Technology and Its Application by 2035*

Abstract: To promote the development of laser technology and its application, the Chinese Academy of Engineering launched a major consulting project “Strategic Research on China's Laser Technology and Its Application by 2035” in 2018. This paper is a comprehensive research report on the project. It briefly analyzes laser technology and its instrumental, leading, and disruptive role in scientific research and industrial application, and summarizes the present situation of research and application of laser technology in frontier laser, manufacturing, information and communication, medical treatment, and other fields in China. Several problems that restrict the rapid development of lasers are presented, and the development goals of China's laser technology and its application by 2035 are conceived. To achieve these goals, China should strengthen the overall planning at the top level to lead the rapid development of laser technology and its application and strengthen basic research to make breakthroughs in major basic problems, common technology foundation, and basic materials and devices. It also should establish research and development special projects concerning laser application to create multiple new laser industry chains, and innovate its industry coordination mechanism to improve the innovation ecology of laser industry. Moreover, China should strengthen the basic education concerning the laser technology and promote talent cultivation of the laser and optical disciplines.

Keywords: laser technology; laser manufacturing; laser communication; laser diagnosis and treatment

一、前言

激光是与原子能、半导体及计算机齐名的 20 世

纪重大科技发明,具有亮度高、方向性强、单色性好、相干性好的特点,被称为“最快的刀”“最准的尺”“最亮的光”。激光与相关技术的发展与融

收稿日期:2020-03-20; 修回日期:2020-04-18

联系人:张建敏, E-mail: zhangjmcaep@qq.com

资助项目:中国工程院咨询项目“我国激光技术与应用 2035 发展战略研究”(2018-XZ-27)

本刊网址:www.engineering.org.cn/ch/journal/sscae

合，形成了激光制造、激光通信、激光检测、激光医疗等交叉技术学科，为人类认识世界和改造世界提供了一大批新工具，孕育和发展出多种类型的激光产业和系列装备，改变和重构了高端制造、信息通信、医疗诊断治疗和国防安防等多个领域 [1~3]。随着新型激光器和激光新应用的持续涌现，激光技术的作用将更为突出，将在创新型国家建设和提升国际产业竞争能力中发挥重要作用。

鉴于激光技术和应用发展的重要性，2018—2019 年，中国工程院组织开展了“我国激光技术与应用 2035 发展战略研究”重点咨询研究项目。项目组深入调研了激光技术和产业发展现状，着重围绕制造加工、信息通信、医疗诊治领域三大产业，梳理与国际先进水平和产业应用需求的差距，重点提出了 2035 年前我国的发展目标、攻关重点和产业政策需求。

二、激光技术及应用的作用与地位

（一）前沿激光技术是基础物理研究和多领域前沿科技攻关的重要工具

研究前沿激光技术，获取更高的频域特性（超短波、超长波、可调谐、单频、宽光谱等）、时域特性（超快、超强峰值等）和能量域特性（高亮度、大功率、高能等），始终是世界前沿科研的重要组成部分。

高性能激光可在实验室创造出极端条件，使得高性能前沿激光成为基础物理研究的重要工具。例如超快超强激光具有恒星内核和黑洞边缘才具备的超高功率密度、超强电磁强度，使超新星爆发、黑洞合并等宇宙“大事件”产生的极端条件有可能在实验室人为产生，这为平行宇宙、超弦 / 超膜理论等基础物理理论研究提供了必需的实验工具。

高性能激光创造的频域特性、时域特性和能量域特性条件或参数，使激光成为新材料、能源、生物等科技前沿研究必不可少的工具。例如，利用硬 X 射线自由电子激光（XFEL）作为新一代探针光，使得人类能够实时观测原子、分子、纳米、微米尺度的演化图像，并且能够操控电子、分子、原子、甚至原子核的状态，是核物理、原子物理、分子物理以及分子甚至细胞层次的化学、生物科学研究的

必备工具。

六十年来，与激光相关的研究多次获得诺贝尔奖，也充分说明了激光技术在推动前沿科学研究和促进科技进步中的突出作用。

（二）激光技术在塑造现代制造、信息、医疗和国防等产业中发挥着不可或缺的作用

激光制造应用是激光产业应用的主要方向，包括去除与连接、表面工程、增材制造、修复与再制造和微纳制造等 5 类，产值规模占激光应用产业的 30% 以上。激光制造具有易于操作、非接触、高柔性、高效率、高质量和节能环保等突出优点，是切割、焊接、表面处理、高性能复杂构件制造和精密制造的主流手段，被誉为“万能加工工具”“未来制造系统共同的加工手段”，引领了先进制造业的发展，对工业智能化进程产生深远影响。

激光技术是现代信息产业的支撑技术。光纤通信是高速互联网不可或缺的物质基础；无线光通信技术是实现海量信息远距离快速传输的唯一方式，也是巨型计算机、大型超算中心、第五代移动通信技术（5G）基站和 5G 数据中心等内部及相互之间高速海量数据传输交换的主要方式；光存储是海量大数据信息存储的主要方式；高清晰激光显示技术将引发“人类视觉史上的一场革命”。此外，激光技术还是高精度测量传感、无人驾驶和量子通信的重要基础。

激光技术已是医疗和诊断领域中不可替代的一类技术手段。光学相干层析成像（OCT）、光声成像、多光子显微成像、拉曼成像是现代医学诊断的重要技术。强激光治疗、光动力治疗及弱激光治疗已广泛应用于眼科、外科、内科、妇科、耳鼻喉科、心血管科、皮肤科等科室 300 多种疾病的治疗，以其精准性、微创或无创性引领医学治疗模式的转变。

在国防领域，激光已应用于测距、成像、指向、制导、通信及对抗等，改善了武器装备性能，如提高命中率和可靠性，而且某种意义上也改变了现代战争的面貌。近年来，直接利用激光能量杀伤目标的高能激光武器已接近成熟，将逐步进入多种应用装备的研制和列装阶段。受小型无人机应用快速拓展的影响，低空防御型激光系统因作为和平时期重要地点、重大活动安防不可或缺的手段而得到快速发展。

（三）加速发展激光技术及应用可有力推动和引领经济产业转型升级

激光技术的广泛应用和持续拓展，显示这是一项极其重要的核心关键技术、基础性技术和引领性技术，有力推动和引领着经济产业发展和转型升级。

第一，激光技术是一项重要的工具性技术，其应用可以加速改变相关行业面貌，激光在制造业、信息通信和医疗行业的应用及扩展就说明了这一点。

第二，激光技术是一项极强的渗透性的基础性技术。激光产品所支撑的经济规模远远大于本身的经济规模。2010 年美国科技政策办公室的一份研究报告指出，2009—2010 年美国的电信、电子商务及信息技术总价值为 4 万亿美元，其中激光器自身的价值仅为 32 亿美元（半导体和光纤激光器）。换个角度，激光技术产品在经济体系中的重要性远超产品本身的价值规模 [4]。

第三，激光技术孕育孵化新应用的能力很强，能够不断与其他技术融合创造新应用和新产业，具有突出的产业引领性特征。例如，近 30 年来半导体激光器性能的不提升，使得光交换技术成熟和光纤通信网络的容量达到每秒太字节以上，这是第四代移动通信技术（4G）和 5G 通信技术发展的重要基石。另外，激光显示技术的成熟即将催生万亿级的产业规模。

三、我国激光技术与应用发展现状分析

（一）我国激光技术科研主要力量集中在科研院所和高等学校，企业相对较弱

科研院所和高校是我国激光器系统科学技术研究的主要力量，包括中国科学院、各个军工集团和中国工程物理研究院的多个研究所和华中科技大学、清华大学、国防科技大学等。据《2019 中国激光产业发展报告》统计，目前我国与激光相关的 30 个国家级科研平台（包括 1 个国家实验中心、14 个国家重点实验室、5 个国家工程研究中心、10 个国家工程技术研究中心），仅有精密超精密加工国家工程研究中心和国家半导体泵浦激光工程技术研究中心建在企业，其他 28 家均依托科研院所和高校建设。

高校和科研院所承担了大部分国家计划的激光

科研攻关项目，企业占比很小。2017 年，国家自然科学基金资助与激光紧密相关的项目有 415 项，资助经费近 3 亿元，中国科学院半导体研究所等 4 家科研院所和西安交通大学等 6 家大学位列资助经费额度的前 10 位，占总支出额的 44%。2017 年国家自然科学基金支持光电领域重大科研仪器研制项目为 26 项，总金额约为 1.8 亿，依托单位为 14 家大学和 8 家科研院所 [2]。

相比较而言，我国企业在开展激光科研方面力量相对较弱，获得国家科技计划资助也相对较少。一方面这反映出我国企业科研实力、科研基础相对较弱，无法与高校和科研院所竞争；另一方面也说明目前激光领域资助项目来自产业前沿较少，问题较为基础，风险较大，与产业关联较弱，企业兴趣不大。

（二）我国激光科研领域覆盖面广，总体技术水平还不够高

在前沿科研方向领域中，新型半导体激光器、超快超强激光器、深 / 极紫外激光器、高能固体激光器和自由电子激光器领域是主要方向，具有以下几个特点：第一，在反映激光本质的频域特性（超短波、超长波、可调谐、单频、宽光谱等）、时域特性（超快、超强峰值等）和能量域特性（高亮度、大功率、高能等）方面具有比普通激光器更高的性能；第二，有着重要的应用需求，且目前的性能距离应用需求尚有一定差距；第三，预示着激光技术的重要发展趋势和方向（往往包含着新材料、新结构、新原理、新体制的发现和发明）[4]。前沿激光技术是关系到占领未来科技战略制高点的关键技术之一，是国际上各国激烈竞争的焦点。当前，我国科技计划对上述前沿激光技术方向都有一定的规划布局和支持，总体上说，大部分研究方向与世界先进方向有一定差距。

在智能制造领域，我国激光制造已成为过去十年先进制造领域发展最快的方向之一，但大部分技术还处于跟踪国外先进水平的阶段。无论微纳制造、宏观制造，还是金属、非金属及生物增材制造，均形成了一定特色，部分技术国际领先。然而，与先进国家相比，仍在多方面处于落后地位：缺乏原创和能对经济社会发展产生革命性、突变式进步的技术，大部分处于跟踪的阶段；高品质高稳定激光器、

激光加工头和外光路系统主要依赖进口，系统集成的智能化欠缺；某些核心技术如控制软件、特种光纤等，一直难以取得突破，制约了激光产业核心竞争力的提升。

在信息领域，与我国移动通信和数据通信市场的领先发展同步，我国光纤通信的科研和产业化开发等达到世界先进水平。在无线空间激光通信方面，我国在 2016 年 12 月底至 2017 年 1 月中旬利用“墨子号”量子卫星成功开展了“星地高速相干激光通信载荷”在轨测试，总体上处于跟进状态。激光显示已具有坚实基础，建立了从核心光学材料与器件、半导体与全固态激光器至整机集成的完整技术链，总体上与发达国家处于同一水平，其中投影式激光显示技术已取得突破，产业规模已经领先于国际水平，具备加速发展条件。

在医疗领域，近年来激光医疗的基础研究和技术创新迅速增长。2019 年，在 82 项自然科学基金资助国家重大科研仪器研制项目中，16 项与激光医学相关，金额为 11 857.87 万元，占总体资助金额比例约为 20.44%。光动力疗法（PDT）、弱光治疗等部分激光医疗技术的基础及临床应用水平已处于国际领先水平。但我国激光医疗产业以中小型民营企业为主，缺乏真正来自临床的需求牵引，“拿来主义”比较典型，临床难以对激光器提出更高标准的需求，生产指标不针对医疗需求，导致激光医疗设备大量依赖进口，特别是用于精准诊疗的超快激光器等关键技术和高端设备被国外垄断。另外，与国外相比，激光医疗器械注册审核要求过严，周期过长，影响了新产品研发，2016—2018 年中国仅有 18 项国产激光医疗器械得到上市许可，而同期美国则有 100 项。

在国防领域，经过几十年的艰苦努力，我国激光武器技术总体上与国际先进水平接近。在安防领域，特别针对低空安保与反恐维稳对小型多旋翼无人机的拦截需求，中国久远高新技术装备有限公司等于 2014 年在世界上率先研发“低空卫士”激光拦截系统，总体上处于国际先进水平。

（三）我国激光应用产业快速发展，国际竞争力快速提升，但高端、原创产品仍不多

我国激光应用产业快速发展，大规模的激光企业已遍布华东、华南、华北、东北、华中及西部地区。

据《2019 中国激光产业发展报告》统计，我国在 26 个城市已有激光产业基地（园区）37 个，2011 年到 2018 年激光设备销售收入提高了 5 倍多，涌现了大族激光科技产业集团股份有限公司、华工科技产业股份有限公司等一批有世界竞争力的激光企业。

经过多年的努力，我国激光企业在中低端激光产业上已站稳脚跟，但在高端技术水平的产业和高端核心部件上与世界先进水平仍有较大差距；在产品上，跟随型产品居多，我国原创或首创性的产品相对较少。

未来我国激光产业仍将快速发展。第一，随着传统产业的技术升级、产业结构调整、节能环保要求提升以及个性化需求的发展，我国激光制造设备产业将面临更大的发展前景；第二，激光光纤通信、激光显示、激光存储等信息应用有着巨大发展空间，激光雷达、激光无线通信等也将随着无人驾驶等应用的发展而加快；第三，激光医疗装备产业发展方兴未艾，未来将随着与可穿戴设备的融合，在慢性病的日常监测和防治中发挥更大的作用。

（四）我国激光应用产业更快更好发展还面临一系列制约因素

（1）缺少制度性的顶层统筹谋划和长远规划。激光技术与应用涉及多个领域，覆盖面广，在国家顶层没有定期进行统筹规划和发展评估的制度性安排，一定程度上影响了协调发展的速度。

（2）支撑激光产业发展的基础研究（如支撑新产品研发的新机理、新机制、新工艺）不够，导致原创性激光产业稀少。主力科研机构有人力、设备，但不了解真正的需求，企业因风险高导致意愿低、投入少、能力弱，从而使产业基础研究进展缓慢、效果欠佳，很难催生原创性产业。

（3）关键共性技术供给不足。关键共性技术研发创新体系尚未建立，组织机制不健全，政策支持不连贯，经费投入不足，成果共享和推广应用机制亟待完善。

（4）“产学研用”协同创新不够。我国激光技术研发的主力在科研院所和高校，与企业及园区的关联度都不高，技术研究成果对产业的转化和支撑明显不强。

（5）产业发展政策有待加强。在医疗领域尤其突出，我国医疗器械的注册和认证法规导致前期研

发、检测认证、临床及审批取证需要巨大的资金成本和时间成本，不利于鼓励创新型激光医疗器械的推广和应用，也与激光技术快速发展的实际不符。

(6) 专业人才培养覆盖不足。激光应用是典型的交叉学科应用，在当前的教育体系中，机械制造行业、信息行业、医疗行业等相关专业的教育中往往欠缺激光技术的内容，对激光技术新产品在该行业的渗透和发展不利，影响激光装备和产品效能的发挥。

四、我国激光技术与应用 2035 年发展目标思考

(一) 指导思想

以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导，以服务于实现“两个一百年”目标为根本遵循，以提升激光科技与产业支撑总体国家安全的能力为核心，着力加强顶层谋划，着力解决制约激光技术创新和产业高质量发展的体制机制束缚和关键核心技术的自主可控问题，努力培育新兴激光应用产业，加快我国激光技术和应用产业的高质量发展，实现我国激光科技和产业的历史性跨越。

(二) 总体目标

到 2035 年，我国激光技术与应用的整体水平和研究能力显著提高，前沿技术、应用技术和产业化水平总体均衡，主要领域技术水平达到世界先进，主要激光产业领域达到先进国家同等水平，有效支撑我国创新驱动和可持续发展，并创造较大的经济效益和社会效益。

(1) 突破超高亮度、超短脉冲和单频超稳激光器等前沿激光技术，发挥对天文学等基础物理研究的支撑作用。

(2) 建设一批重大激光装置（如超短超强、XFEL、THz-FEL 装置等），支撑材料、生物、能源等基础研究，夯实我国科技发展后劲。

(3) 自主突破激光半导体芯片等关键瓶颈产品，实现产业核心基础的自主可控水平，保障经济安全。

(4) 发展新型半导体激光器等新型激光器，发展激光新应用的机理、工艺等应用基础研究，创造新产业，有效支撑和促进 5G、大数据、云计算、量子技术、无人驾驶等新兴产业的发展，实现引领

发展的作用。

(5) 激光在智能制造和信息领域的技术水平和产业规模达到世界先进水平，有效支撑我国制造产业转型升级。

(6) 服务健康中国战略，持续拓展医疗诊断应用，提升激光医疗装备满足高端市场能力。

(7) 积极发展国防与安防应用，满足国家需求。

(三) 领域目标

在前沿方向领域，到 2035 年，我国半导体激光器、高能固体激光器、超快超强激光、深/极紫外激光和自由电子激光等激光前沿技术研究的整体水平和研究能力显著提高，实现一系列核心技术的突破，建成一批重大激光科研装置，实现我国前沿激光技术由跟跑、并跑向领跑的转换，支撑和促进我国基础科研的研究和前沿应用科技的发展。

在智能制造领域，2035 年基础研究取得一批原创性成果；攻克激光制造核心部件关键技术，基本实现我国激光制造全产业链自主供给；研发智能化、极端化、高性能先进激光制造技术与系列装备，基本实现航空发动机等高端装备激光制造技术全产业链的自主供给；实现大规模产业化应用，激光制造与再制造相关产业规模达到万亿量级；激光制造与再制造产业整体实力达到世界先进水平。

在信息领域，我国激光信息技术和产业到 2035 年将处于世界领先地位。构建安全可控的激光信息技术体系，信息领域核心激光技术自主可控，完全掌握关键核心技术和工艺。形成产业链和创新链协同发展的新业态、新模式不断涌现的创新合作体系，成为信息激光技术新兴产业发展策源地，形成激光创新经济集聚发展新格局，激光技术产业集群持续发展能力和竞争力国际领先。

在医疗领域，到 2035 年的目标是建立激光医疗体系评价标准，完善医疗激光器以及整个激光产业生态环境；针对重大医学应用，掌握激光器核心部件和关键技术并产业化，形成完整的产业链，形成国际竞争力，拥有世界领先的自主知识产权。

五、加速我国激光技术与应用发展的措施建议

(1) 强化顶层统筹谋划，引领我国激光技术与

应用产业快速发展。一是面向 2035 年国家发展目标, 建议制定《我国激光技术与应用中长期发展规划纲要(2021—2035 年)》; 二是依托中国工程院和中国科学院, 每 5 年定期评估激光技术与应用发展状况, 前瞻提出发展重点和引领目标, 及时向国家提出涉及激光科技和产业咨询建议。

(2) 加强基础研究, 聚力突破产业化发展中的重大基础问题和核心基础材料、器件, 努力打造自主可控的产业共性技术基础, 为可持续发展奠定扎实基础。例如聚焦高性能激光芯片、新型新体制半导体激光器、高性能特种激光光纤、激光晶体、激光增材制造和再制造用金属材料等核心材料和器件, 成体系组织原料、关键设备、设计、工艺、测试和规模化生产技术攻关。

(3) 实施若干应用研发专项, 加大产业扶持政策, 打造多个新激光产业链。如在制造领域, 继续加强航空航天、机械制造等高端装备领域激光制造与再制造技术相关应用研究与验证计划; 在信息领域, 开展空间激光宽带传输与组网基础科学问题研究和关键技术攻关, 加速激光显示等发展规划和产业未来布局; 在医疗领域, 支持研发临床用的高性能飞秒激光器及装备; 将成熟度高、风险较低的激光临床设备纳入《免于进行临床试验医疗器械目录》, 推进激光医疗器械注册人制度。

(4) 创新产业协同机制, 完善激光产业创新生态。如以重点临床医院为依托单位, 集中国内相关高校、科研院所和企业的技术优势, 建设国家级激光医学临床转化工程研究中心; 充分发挥企业的创新主体作用, 充分发挥行业协会等行业团体在产业规划、产业共性技术问题提出与研发、产业标准规范制定中的作用。

(5) 强化激光基础教育, 加大对激光及光学应用人才培养力度。适应激光应用加速发展的需要, 在临床医学下设立激光医学二级学科, 在材料、制造等理工专业中强化激光基础教育, 夯实激光应用发展的人才基础。

六、结语

2020 年是激光发明 60 周年, 激光技术和应用的发展极大地改变了世界。党的“十九大”确定了 2035 年基本实现社会主义现代化和跻身创新型国家前列的战略目标, 这为激光技术和应用带来了前所未有的发展机遇, 也对激光技术与应用的发展提出了高标准的要求。我们必须充分认识激光技术与应用的作用和潜力, 认清制约发展的困难与挑战, 加强统筹谋划, 以改革的大无畏精神和勇气突破各种制约, 坚持自主创新和开放创新, 坚持应用和产业为目标牵引, 强化激光技术攻关, 完善激光产业创新生态, 积极抢占国际竞争制高点, 为中华民族伟大复兴中国梦的实现贡献力量。

参考文献

- [1] 杜祥琬. 激光物理与技术研究 [M]. 北京: 科学出版社, 2018.
Du X W. Laser physics and laser technology [M]. Beijing: China Science Publishing & Media Ltd., 2018.
- [2] 中国科学院武汉文献情报中心, 中国激光杂志社, 中国光学学会. 中国激光产业发展报告 2018 [R]. 武汉: 中国科学院武汉文献情报中心, 中国激光杂志社, 中国光学学会, 2018.
Wuhan Library, CAS, Chinese Laser Press, the Chinese Optical Society. Annual report on Chinese laser industry 2018 refined edition [R]. Wuhan: Wuhan Library, CAS, Chinese Laser Press, the Chinese Optical Society, 2018.
- [3] 中国科学院武汉文献情报中心, 中国激光杂志社, 中国光学学会. 中国激光产业发展报告 2019 [R]. 武汉: 中国科学院武汉文献情报中心, 中国激光杂志社, 中国光学学会, 2019.
Wuhan Library, CAS, Chinese Laser Press, the Chinese Optical Society. Annual report on Chinese laser industry 2019 refined edition [R]. Wuhan: Wuhan Library, CAS, Chinese Laser Press, the Chinese Optical Society, 2019.
- [4] 美国国家科学院, 美国国家科学研究委员会. 光学与光子学——美国不可或缺的关键技术 [M]. 曹健林等译. 北京: 科学出版社, 2015.
National Academy of Sciences, United States, United States National Research Council. Optics and photonics: Essential technologies for our nation [M]. Translate by Cao J L, et al. Beijing: China Science Publishing & Media Ltd., 2015.