



战略性新兴产业培育与发展研究丛书

智能制造装备产业 培育与发展研究报告

卢秉恒 林忠钦 张俊 等 编著



科学出版社

战略性新兴产业培育与发展研究丛书

智能制造装备产业 培育与发展研究报告

卢秉恒 林忠钦 张俊 等 编著

科学出版社
北京

内 容 简 介

本书是中国工程科技发展战略研究院面向社会公众和决策人员的研究报告系列之一。全书分析了我国战略性新兴产业——智能制造装备的总体形势，尤其是“十二五”以来的进展情况、存在问题及发展新特点，着重围绕智能机床与基础制造装备、工业机器人、3D打印的发展现状、重大突破性技术、重要发展方向、战略布局与政策取向等进行详细介绍。

本书有助于社会公众了解中国战略性新兴产业——智能制造装备产业的发展态势和政策走向，可供各级领导干部、有关决策部门和产业界及社会公众阅读参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

智能制造装备产业培育与发展研究报告 / 卢秉恒等编著. —北京: 科学出版社, 2015

(战略性新兴产业培育与发展研究丛书)

ISBN 978-7-03-043654-2

I. ①智… II. ①卢… III. ①智能制造系统—制造业—产业发展—研究报告 IV. ①F407.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 045838 号

责任编辑: 马 跃 徐 倩 / 责任校对: 檀晓希
责任印制: 李 利 / 封面设计: 无极书装

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015 年 3 月第 一 版 开本: 720×1000 1/16

2015 年 3 月第一次印刷 印张: 6 1/4

字数: 110 000

定价: 60.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

战略性新兴产业培育与发展研究丛书

编委会

顾问:

徐匡迪 周 济 潘云鹤 张晓强 干 勇
陈吉宁 陈清泰 朱高峰 杜祥琬

编委会主任:

邬贺铨

编委会副主任:

王礼恒 屠海令 薛 澜

编委会成员 (以姓氏笔画为序):

马永生 王崑声 石立英 卢秉恒 朱高峰
苏 竣 李国杰 杨胜利 吴 澄 吴有生
岑可法 张彦仲 金翔龙 周守为 孟 伟
柳百成 钟志华 殷瑞钰 栾恩杰 唐启升
黄其励 彭苏萍 韩英铎 管华诗

工作组 (以姓氏笔画为序):

王刚波 王秀芹 王振海 王海南 卢 跃
刘佳明 许冠南 孙贵国 李 欣 李 燕
李应博 李艳杰 杨 榕 邴 浩 吴 坚
沙 勇 张 剑 周 源 周晓纪 赵 滢
胡良元 洪志生 黄 萃 黄 琳 崔 剑
葛宏志

丛 书 序

进入 21 世纪，世界范围内新一轮科技革命和产业变革与我国转变经济发展方式实现历史性交汇，新一轮工业革命正在兴起，全球科技进入新的创新密集期，我国进入了经济发展新常态，经济从高速增长转为中高速增长，经济结构不断优化升级，经济从要素驱动、投资驱动转向创新驱动。培育和发展战略性新兴产业是党中央、国务院着眼于应对国际经济格局和国内未来可持续发展而做出的立足当前、着眼长远的重要战略决策。战略性新兴产业是我国未来经济增长、产业转型升级、创新驱动发展的重要着力点。培育和发展战略性新兴产业，高起点构建现代产业体系，加快形成新的经济增长点，抢占未来经济和科技制高点对我国经济社会能否真正走上创新驱动、内生增长、持续发展的轨道具有重大的战略意义。党的十八大报告明确指出，推进经济结构战略性调整，加快传统产业转型升级，优化产业结构，促进经济持续健康发展的一个重要举措就是积极推动战略性新兴产业的发展。

“十三五”时期战略性新兴产业面临新的发展机遇，面临的风险和挑战也前所未有的。认识战略性新兴产业的发展规律，找准发展方向，对于加快战略性新兴产业培育与发展至关重要。作为国家工程科技界最高咨询性、荣誉性学术机构，发挥好国家工程科技思想库作用，积极主动地参与决策咨询，努力为解决战略性新兴产业培育与发展中的问题提供咨询建议，为国家宏观决策提供科学依据是中国工程院的历史使命。面对我国经济发展方式转变的巨大挑战与机遇，中国工程院积极构建新的战略研究体系，于 2011 年年底启动了“战略性新兴产业培育与发展战略研究项目”，坚持“服务决策、适度超前”原则，在“十二五”战略性新兴产业咨询研究的基础上，从重大技术突破和重大发展需求着手，重视“颠覆性（disruptive）技术”，开展前瞻性、战略性、开放性的研究，对战略性新兴产业

业进行跟踪、滚动研究。经过两年多的研究，项目深入分析了战略性新兴产业的国内外发展现状与趋势，以及我国在发展战略性新兴产业中存在的问题，提出了我国未来总体发展思路、发展重点及政策措施建议，为“十三五”及更长时期的战略性新兴产业重要发展方向、重点领域、重大项目提供了决策咨询建议，有效地支撑了国家科学决策。此次战略研究在组织体系、管理机制、研究方法等方面进行了探索，并取得了显著成效。

一、创新重大战略研究的组织体系，持续开展战略性新兴产业咨询研究

为了提高我国工程科技发展战略研究水平，为国家工程科技发展提供前瞻性、战略性的咨询意见，以打造一流的思想库研究平台为目标，中国工程院通过体制创新和政策引导，积极与科研机构、企业、高校开展深度合作，建立创新联盟，联合组织重大战略研究，开展咨询活动。此外，中国工程院2011年4月与清华大学联合成立了“中国工程科技发展战略研究院”，2011年12月与中国航天科技集团公司联合成立了“中国航天工程科技发展战略研究院”，2011年12月与北京航空航天大学联合成立了“中国航空工程科技发展战略研究院”，实现了强强联合，在发挥优势、创新研究模式、汇聚人才方面开展探索。

战略性新兴产业培育与发展研究作为上述研究机构成立后的首批重大咨询项目，拥有以院士为核心、专家为骨干的开放性咨询队伍。相关领域的110多位院士、近200位专家及青年研究人员组成课题研究团队，分设信息、生物、农业、能源、材料、航天、航空、海洋、环保、智能制造、节能与新能源汽车、流程制造、现代服务业13个领域课题组，以及战略性新兴产业创新规律与产业政策课题组和项目综合组，在国家开发银行的大力支持下，持续研究战略性新兴产业培育与发展。

二、创新重大战略研究的管理机制，保障项目的协同推进和综合集成

此次研究涉及十多个领域，为确保领域课题组的协同推进、跨领域问题的统筹协调和交流、研究成果的综合集成，项目研究中探索了重大战略研究的管理机制，建立了跨领域、全局性的重大发展方向、重大问题的领导协商机制，并形成了组织相关部委、行业主管部门、各领域院士和专家进行重点领域、重大方向、重大工程评议的机制。项目组通过工作组例会制度、工作简报制度和定期联络员会议等，建立起项目动态协调机制。该机制加强了项目总体与领域课题组的沟通协调，推动了研究成果的综合集成，确保综合报告达到“源于领域、高于领域”的要求。

三、注重广泛调研及国际交流，充分吸纳产业界意见和国外发展经验

此次研究中，中国工程院领导亲自带队，对广东、重庆等省市战略性新兴产业的培育与发展情况进行了实地调研，考察了主要相关企业的发展情况，组织院士专家与当地企业及企业代表就发展战略性新兴产业过程中的经验及问题进行讨论。项目组召开了“广东省战略性新兴产业发展座谈会”，相关院士、专家及广州、深圳、佛山、东莞政府相关部门和广东省企业代表进行了座谈交流；与英国皇家工程院和中国清华大学共同主办了“中英战略性新兴产业研讨会”，中英相关领域院士、专家学者就生物工程、新能源汽车、先进制造、能源技术等领域开展了深入研讨；组织了“战略性新兴产业培育与发展高层论坛”；在第十五届中国国际高新技术成果交易会期间，与国家发展和改革委员会、科学技术部、工业和信息化部、财政部、清华大学联合主办了“战略性新兴产业报告会”等。

四、创新重大战略研究的方法和基础支撑，提高战略咨询研究的科学性

引入评价指标体系、成熟度方法、技术路线图等量化分析方法与工具，定性与定量相结合是此次战略研究的一大亮点。项目以全球性、引领性、低碳性、成长性、支柱性、社会性作为评价准则，构建了战略性新兴产业评估指标体系，为“十三五”战略性新兴产业重大发展方向、重大项目的选择提供了量化评估标准。产业成熟度理论的研究和应用，为准确把握重大发展方向的技术、制造、产品、市场 and 产业的发展状态，评估产业发展现状，预测发展趋势提供了科学的评估方法。技术路线图方法的研究与应用，为战略性新兴产业的发展路径选择提供了工具支撑。项目还开展了战略性新兴产业数据库建设工作，建立了战略性新兴产业网站，并建立了战略性新兴产业产品信息、技术信息、市场信息、政策信息等综合信息平台，为进一步深入研究战略性新兴产业培育与发展提供了基础支撑。

“十三五”时期是我国现代化建设进程中非常关键的五年，也是全面建成小康社会的决定性阶段，是经济转型升级、实施创新驱动发展战略、加快推进社会主义现代化的重要时期，也是发展中国特色的新型工业化、信息化、城镇化、农业现代化的关键时期。战略性新兴产业的发展要主动适应经济发展新常态的要求，推动发展方式转变，发挥好市场在资源配置中的决定性作用，做好统筹规划、突出创新驱动、破解能源资源约束、改善生态环境、服务社会民生。

“战略性新兴产业培育与发展研究丛书”及各领域研究报告的出版对新常态

下做好国家和地方战略性新兴产业顶层设计和政策引导、产业发展方向和重点选择，以及企业关键技术选择都具有重要的参考价值。系列报告的出版，既是研究成果的总结，又是新的研究起点，中国工程院将在此基础上持续深入开展战略性新兴产业培育与发展研究，为加快经济发展转型升级提供决策咨询。

前 言

高端装备制造业是国家“十二五”规划提出的战略性新兴产业七大领域之一。智能制造装备是高端装备制造业的五大重点发展方向之一，是制造装备的核心和前沿。它是先进制造技术、信息技术和智能技术的集成和深度融合，是实现高效、高品质、节能环保和安全可靠生产的下一代制造装备。

本报告以狭义的智能制造装备范畴为研讨对象，即制造装备的工作母机，包括减材制造的机床、等材制造的基础制造装备和增材制造的3D打印等，再结合生产线上广泛使用的工业机器人，分析了智能制造装备的概念与内涵、国内外技术与产业发展现状、产业需求与发展方向、产业培育与发展路径，并提出了若干政策建议。

目前从国外智能制造装备的发展来看，机床与基础制造装备已取得了部分的智能功能进展，但仍处于“低级”智能及技术单一阶段。从整个行业来看，智能技术的研究与应用仍局限在少数知名企业上，美国、德国、日本三国是当前世界智能机床与基础制造装备生产、使用实力最强的国家，是技术发展和开拓的先驱，而中国国内企业对智

能机床与基础制造装备仍处于初步认识和发展阶段。其中工业机器人和3D打印已具有一定的规模，在国际上形成了一批具有影响力的企业，每年全球的市场需求逐年增大，新技术和新产品的上市逐年加快，中国在这两个领域的发展具有一定的基础。从整个智能制造装备产业宏观上看，中国仍有创新能力不足、对外依存度高、产业基础薄弱、产业链不完善等问题。由于中国的制造装备产品普遍偏于低端，附加值低。中国确定的重大科技专项中，多数需要高端制造装备提供支撑。智能制造装备是加快发展高端装备制造业的有力工具，对整个经济社会的发展有很重要的作用。

本报告分别提出智能制造装备的传感器产业、智能控制软件产业、工业机器人产业、3D打印产业的重要发展方向，并以3D打印产业为对象，根据成熟度框架模型，分别对其技术成熟度、制造成熟度及市场成熟度进行分析和评价，并给出未来10年内各项成熟度的预测表。

结合我国智能制造装备的发展现状与存在的问题，本报告提出智能机床与基础制造装备、工业机器人、3D打印的定位与发展目标。对于智能机床与基础制造装备而言，应考虑“以点带面，层次推进”的策略。以国家重大需求、与战略安全相关的制造行业为对象，重点研制若干类自动化基础好、智能化要求迫切的制造装备。大力开展工艺优化研究与传感器开发，发展可国产化的传感器网络系统，开发适合制造装备的智能数控系统，成立若干智能制造装备研发中心，完成智能控制软件的开发，奠定智能制造装备的技术基础，形成智能制造装备的产业化链条，全面开展制造装备的技术研究。支持智能传感器、智能控制软件企业的形成与壮大；在推进大型制造装备企业发展智能型装备的同时，支持若干专业化科技型企业开展数控机床的智能化改造，以满足更多的用户。重点支持若干智能制造装备企业不断提高产

品竞争力，形成自主品牌，开拓和占领国际市场。在工业机器人领域，积极发展国产机器人，形成具有完全自主知识产权的机器人产品。通过引进、消化、吸收国外机器人产品的先进制造技术和生产工艺，形成机器人关节减速器、伺服电机、机器人控制系统等核心关键部件的可靠、批量化生产能力，提高关键零部件的性能指标（包括精度、平均无故障时间等）。发展工业机器人自动化生产线、流程工业的核心工艺和成套装备。通过扶持一批具有潜质的工业机器人企业，积极推动汽车、电子、军工、物流、医药、危险品制造等行业工业机器人的应用示范，以及配套相关行业的发展。同时，根据区域特色，引导行业有序发展，制定行业准入标准。在3D打印领域，建立科研基地，研究原创性技术、共性技术与标准，建立产业化基地，实施重大工程和行业应用，建议在飞机机身整体制造、航空发动机及控制系统设计制造、个性化组织器官替代物制造、汽车（包括汽车发动机）快速研制四个方面开展应用工程，推进社会市场化服务。同时，本报告还分别提出了三个领域的技术与产业发展路线图。

结合目前国内智能制造装备的发展现状和方向，建议国家和各级政府关注核心关键技术研发，制定政策，鼓励发展科技型企业，构筑产业链。系统安排国家的各类科技计划，明确分工、相互支撑，并建议拓宽国家科技重大专项04专项的研究内容，涵盖智能制造装备，增加04专项的经费。实行高校与企业协同创新工程，通过科技资源整合、科研机制创新、优秀人才培养，实现智能制造装备的跨越发展并形成持久创新能力。集中国内在制造装备方面具有优势的高校及国家重点实验室、国家工程研究中心和04专项技术平台，形成高端制造的研究技术平台。建立开放式的人员交流机制、利益分配机制和绩效评价机制。加强大学与骨干企业合作，基于高端装备制造发展要求，培

养具有扎实基础理论、广泛国际视野和务实工程能力的高端人才。营造良好的产业发展环境，建立并完善依托工程发展智能装备产业的机制，由政府牵引，开展用户领域合作关系。鼓励金融机构开展多种形式，支持智能装备的技术研发、科技型企业的创办和发展、重点企业和名牌产品的形成。

本报告的完成还得益于课题组其他成员的通力配合。他们是：中国工程院院士、清华大学教授柳百成，中国工程院院士、浙江大学教授谭建荣，中国工程院院长、中国工程院院士周济，中国工程院院士、中南大学教授钟掘，中国工程院院士、华中科技大学教授段正澄，中国工程院院士、上海交通大学教授潘健生，中国工程院院士、大连理工大学教授郭东明，中国工程院院士、西安交通大学教授蒋庄德，中国科学院院士、华中科技大学教授熊有伦，西安交通大学教授陈耀龙，机械科学研究院原副院长屈贤明，中国机械工程学会监事长宋天虎，武汉华中数控股份有限公司董事长陈吉红，沈阳机床（集团）有限责任公司副总经理刘春时，陕西秦川机床工具集团副总裁田沙，大连机床集团有限责任公司副总裁姜怀胜，中国科学院沈阳计算技术研究所所长林浒，沈阳机床（集团）有限责任公司副总工程师李宪凯，西安交通大学教授梅雪松，西安交通大学教授洪军，西安交通大学教授赵万华，西安交通大学教授赵玉龙，中国科学院自动化研究所教授乔红，上海交通大学教授王皓，上海交通大学教授顾剑锋，西安交通大学副教授田小永，中国科学院自动化研究所副研究员苏建华。感谢他们为本书付出的心血！

目 录

第一章 智能制造装备概述	1
一、智能制造装备的内涵	1
二、发展智能制造装备产业的意义	4
三、智能制造装备的特征与界定	5
第二章 智能制造装备技术与产业发展现状	8
一、国外智能制造装备发展总体情况	8
二、中国智能制造装备发展现状与存在的主要问题	38
第三章 智能制造装备产业需求与发展方向	62
一、智能制造装备产业经济社会需求分析	62
二、智能制造装备产业重大突破性技术	63
三、智能制造装备产业重要发展方向	65
四、智能制造装备产业发展成熟度分析	67
第四章 智能制造装备产业培育与发展途径	72
一、定位与发展目标	72
二、技术与产业发展路线图	76

第五章 智能制造装备技术与产业发展政策建议	79
一、顶层设计和系统规划	79
二、设立重大专项的建议	80
三、机制创新：实行高校—企业协同创新工程	80
四、营造良好的产业发展环境	81
参考文献	83

智能制造装备概述

一、智能制造装备的内涵

高端装备制造业是国家“十二五”规划提出的战略性新兴产业七大领域之一，如图 1-1 所示，以高新技术为引领，处于价值链高端和产业链核心环节，是决定整个产业链综合竞争力的战略性新兴产业，是现代产业体系的脊梁，是推动工业转型升级的引擎。大力培育和发展高端装备制造业，是提升我国产业核心竞争力的必然要求，是抢占未来经济和科技发展制高点的战略选择，对加快转变经济发展方式、实现由制造业大国向制造业强国转变具有重要战略意义。

高端装备主要包括传统产业转型升级和战略性新兴产业发展所需的高技术高附加值装备。按照《国务院关于加快培育和发展战略性新兴产业的决定》明确的重点领域和方向，现阶段高端装备制造业发展的重点方向主要包括航空装备、卫星制造及应用、轨道交通装备、海洋工程装备、智能制造装备五大类，如图 1-2 所示。其中，智能制造装备是制造装备的核心和前沿。智能制造装备是具有感知、分析、推理、

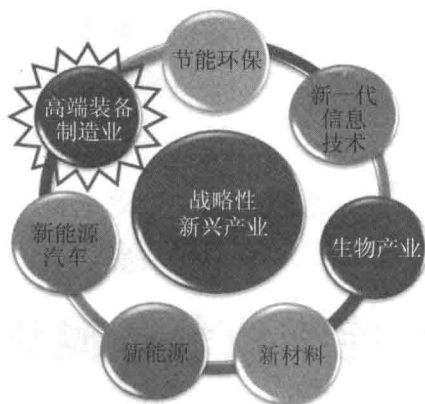


图 1-1 战略性新兴产业

决策、智能控制功能的制造装备。它将传感器及智能诊断和决策软件集成到装备中，使制造工艺能适应制造环境和制造过程的变化达到优化。它是先进制造技术、信息技术和智能技术的集成和深度融合，是实现高效、高品质、节能环保和安全可靠生产的下一代制造装备。

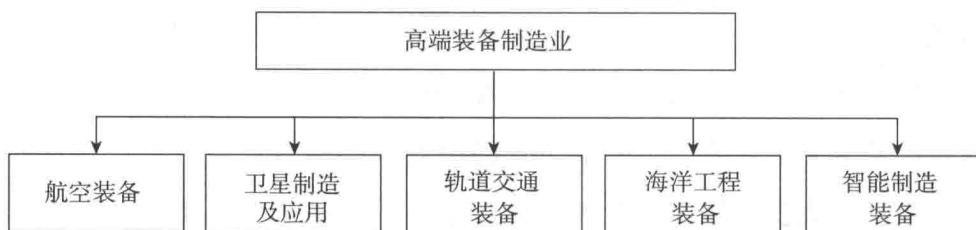
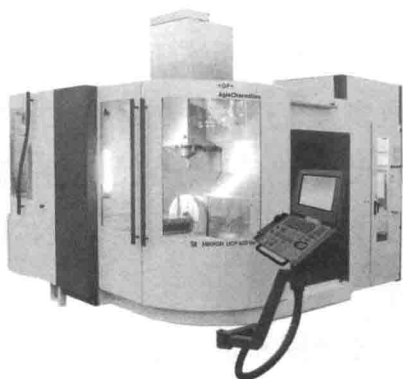


图 1-2 高端装备制造业发展的重点方向

制造装备是装备制造业的基础，作为为国民经济发展和国防建设提供技术装备的基础产业，是各行业产业升级、技术进步的重要保障，是国家综合实力和技术水平的集中体现^[1]。发展高端制造装备对带动我国产业结构优化升级、提升制造业核心竞争力具有重要的战略意义。智能制造装备是加快发展高端装备制造业的有力工具，其作用不仅体现在对航空航天、高铁、海洋工程等高端装备的支撑上，也体现在对其他制造装备通过配备传感与智能控制系统、机器人等技术实现产业

的提升上。因此，智能制造装备是传统产业升级改造，实现生产过程智能化、自动化、精密化、绿色化的基本工具，是培育和发展战略性新兴产业的重要支撑，是实现生产过程和产品使用过程节能减排的重要手段。目前，智能制造装备产业的发展水平已经成为当今社会衡量一个国家工业化水平的重要标志。智能制造装备是未来先进制造技术发展的必然趋势，是实现我国从制造大国向制造强国转变的重要保障。我国基础制造行业的产值已位居世界前列，但能源消耗、材料利用、制造质量与国际先进水平差距较大，必须采用智能技术提升基础制造装备水平，突破智能基础制造装备的核心技术，形成智能基础制造装备的理论体系、关键技术和装备原型。

智能制造装备有广义概念和狭义概念之分。广义的智能制造装备包括高档数控机床及基础制造装备、各专业领域的智能装备(如智能工程机械、材料制备的智能装备等)、智能化成套生产线等。狭义的智能制造装备仅指制造装备的智能工作母机(机床、铸、锻、焊、热处理等装备)，近年来工业机器人在生产线加工中的作用也越来越大。因此，本报告以狭义上的智能制造装备为研究和调研对象，分析智能机床与基础制造装备(含 3D 打印设备)及工业机器人的技术和产业发展状况，如图 1-3 所示。



(a) 智能机床