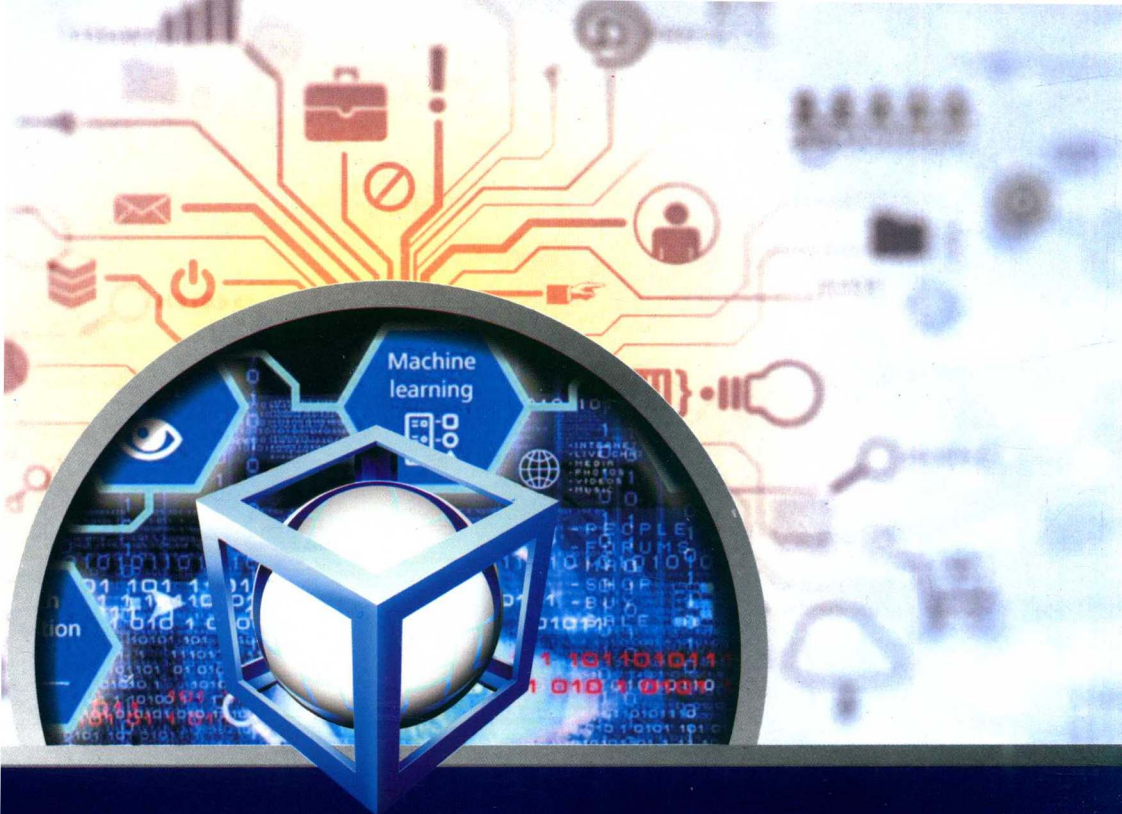




高端电子装备制造 的 前瞻与探索

李耀平 秦明 段宝岩 编著



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

高端电子装备制造的前瞻与探索

李耀平 秦 明 段宝岩 编著



西安电子科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

高端电子装备制造的前瞻与探索/李耀平, 秦明, 段宝岩编著.

—西安: 西安电子科技大学出版社, 2017.7

ISBN 978-7-5606-4539-1

I. ①高… II. ①李… ②秦… ③段… ①电子装备—制造—研究 IV. ①TN97

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 143608 号

策 划 高维岳 邵汉平

责任编辑 张 倩 阎 彬

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西华沐印刷科技有限责任公司

版 次 2017 年 7 月第 1 版 2017 年 7 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×960 毫米 1/16 印 张 13

字 数 153 千字

印 数 1~1000 册

定 价 45.00 元

ISBN 978 - 7 - 5606 - 4539 - 1/TN

XDUP 4831001-1

如有印装问题可调换

本社图书封面为激光防伪覆膜, 谨防盗版。

内 容 简 介

高端电子装备是指具有高技术含量、高附加值、处于产业链高端的电子装备,如通信导航装备、雷达、大型天线、高性能计算机、高端网络设备等。我国的高端电子装备制造在硬件、软件、核心技术、制造工艺等方面与世界发达国家相比存在较大差距。

本书立足我国高端电子装备制造现状,对其概念、内涵以及发展趋势进行初步梳理,对制约发展的问題予以总结分析,提出面向智能制造的高端电子装备制造发展思考,从协同创新角度提出发展路径与建议,对未来发展趋势做出展望。

本书适合于广大科技、教育工作者以及对电子信息技术装备制造感兴趣的读者阅读。





前 言

PREFACE

高端电子装备制造是国家装备制造的重要组成部分，在制造强国战略中占有重要地位，具有十分重要的现实意义和极为深远的历史意义。

电子装备是以电磁信号的获取、传输、处理、显示、发射等为主要目标，由集成电路、晶体管以及机械和控制系统等组成，具有通信、导航、计算、定位、信息对抗等功能的设备，主要包括通信、网络、计算机、雷达、天线、微电子及导航应用等专业及领域的装备。

高端电子装备指电子装备中的重大军事电子装备、重要民用电子装备，具有高技术含量、高附加值，是处于产业链高端的军民深度融合的典型电子装备，典型代表如通信导航装备、雷达、大型天线、高性能计算机、高端网络设备等。

高端电子装备制造，既包括了核心元器件、零部件、软件和新材料、新工艺以及制造装备等硬件、软件、加工手段等内容，也包括设计、模拟仿真、生产制造、检测验证、服务保障等环节，涉及多个方面的问题与因素，是一项系统工程。

当前，新一轮科技与产业革命蔚然兴起，新一代信息技术、新材料、制造技术、生物技术、量子技术、纳米技术等蓬勃发展、方兴未艾，大数据、云计算、移动互联网、物联网、工业互联网等创新应用层出不穷，信息技术与制造技术的深度融合，催生了智能制造的发展，德国“工业 4.0”、美国工业互联网、人工智能，掀起了全球新一轮制造业革命的新浪潮。

2015 年《中国制造 2025》出台，我国确立了建设制造强国的战略目标，以创新驱动为核心，着力推进信息化与工业化深度融合，智能制造成为主攻方向。制造强国战略要着力解决我国制造业大而不强的瓶颈制约，实现工业制造

从 2.0 向 3.0、4.0 的追赶、并行与跨越。

高端电子装备制造，作为建立在信息技术和产业发展基础上的核心载体，是发展智能制造的重要支撑之一，对于加快推进信息化与工业化深度融合、军民深度融合具有重要意义。

工业化与信息化深度融合，是我国制造业必须经过和突破的一个关键环节，是现阶段传统产业实现转型升级的一个重要节点。两化融合的本质是工业的信息化，是在机械化、电气化制造基础上，用信息技术来实现高度数字化的工业制造，即从 1.0、2.0 向 3.0 的迈进，未来走向更加智能化的 4.0 阶段。我国现代工业化进程仍未完成，改革开放 30 多年，机械化、电气化逐步发展，数字化逐步普及，网络化还在努力，未来智能制造还有很长的路要走。高端电子装备制造是融合信息技术软硬件的一体化制造，是信息产业发展的核心装备，是智能制造系统、整机、部件级制造的重要支撑，在两化融合的进程中发挥着重要作用。

军民深度融合是世界制造强国在军事装备和工业装备协同发展上一贯采取的重要举措，对于实现高端装备在高性能指标、经济性指标及装备的技术突破与产业发展上作用明显，对于实现技术共享、市场推广与军民两用方面效果突出，是同步发展高端军事装备和民用重大装备的有效手段。高端电子装备制造包括了重大军事电子装备和重要民用电子装备制造的双重内涵，是军民深度融合的重要交叉点，对于未来高端智能军事装备、高端工业制造装备的发展作用巨大。

我国高端电子装备制造，随着信息科技的发展，从学习借鉴、跟踪模仿开始，逐步走向自主创新的跨越之路。然而，目前无论是在硬件、软件、制造母机、制造工艺等方面，我国高端电子装备制造的整体实力和水平与世界发达国家相比，仍存在很大差距。

总体看，我国制造基础仍显薄弱，空心化趋势明显，大体处于跟踪模仿阶段。如芯片 80% 以上依赖进口，操作系统、中间件及高端设计与仿真软件、工业软件、数据库等核心技术与产品依赖国外进口，信息安全存在很大风险，民

用雷达、高端天线市场需要积极拓展，卫星导航技术与产品需要不断推广，复杂系统设计与制造、建模仿真、传感、工业控制等能力不足，加工工艺、制造质量、检测检验等环节还有待加强、完善和提高。

同时，制约高端装备制造方面的一些共性技术和具体问题尚未得到有效突破和协同解决。如关键元器件制造，新材料、新器件应用，基础软件、高端工业软件的自主发展，机电耦合等多学科交叉设计、电气互联设计制造、精密超精密加工、高密度组装、表面工程、热管理等。

此外，我国高端电子装备制造从体制机制角度看，两化深度融合、军民深度融合，正在逐步走向协同发展的新阶段，当前应重点解决“弱、小、散”的低水平重复建设问题，进一步形成“强、大、合”的自主发展格局，大力推进我国高端电子装备制造的创新跨越发展。

未来的智能制造，将是建立在高端电子装备制造的基础上，实现高级人工智能、机器学习、全息感知、智能生产、智能控制、智能服务、工业互联网、万物互联、云计算与大数据广泛应用等颠覆式革新，代表着新一轮科技与产业革命的特征与前景！

本书立足我国高端电子装备制造现阶段的实际，通过对典型电子装备的发展历程的简单梳理，提出下一步发展中遇到的具体问题，探讨实现协同创新的有效路径。

作 者

2017年3月



目 录

CONTENTS

第一章 高端电子装备制造的概念、地位与作用	1
一、高端电子装备制造的概念	2
二、高端电子装备制造的地位	6
三、高端电子装备制造的作用	10
第二章 高端电子装备制造的发展历史与现状	15
一、通信技术与装备	16
二、网络技术与装备	30
三、计算机	41
四、雷达技术与装备	52
五、天线	68
六、微电子	75
第三章 新技术趋势、面临的挑战与发展前景	91
一、新一代信息技术发展浪潮	92
二、中外抢占技术发展制高点对比	100
三、高端电子装备制造的发展前景分析	107
第四章 高端电子装备制造的若干具体问题	114
一、电子装备的机电耦合	115
二、工业软件设计工具	124
三、电气互联技术	136

四、电子封装技术	144
五、高密度机箱机柜设计制造	149
六、精密超精密加工	150
七、热设计与热控技术	152
 第五章 协同创新与管理	 155
一、协同创新与高端电子装备制造	156
二、制约高端电子装备制造协同创新的问题	157
三、实现协同创新和管理的路径	160
四、协同创新与管理的建议	170
 第六章 展望	 173
一、当前发展趋势	173
二、装备制造的新进展	175
三、面向未来发展之想见	177
 附录 A 若干公开发表的文章	 179
A.1 加快发展空间太阳能电站研究	179
A.2 “中国智造”需要核心支撑力量	184
A.3 《中国制造 2025》急需自主工业软件	186
A.4 中国智能制造亟须突破关键共性技术	188
 附录 B 英文缩略及名词解释	 190
 参考文献	 193

高端电子装备制造的概念、地位与作用



制造业是国家工业的主体，是国民经济的主要支撑。其内涵主要指对原材料进行加工或再加工制成产品，以及对零部件进行装配的生产过程，同时也包括在此过程中参与的工业部门和各种生产要素。一般地，制造业可分为消费品制造、资本品制造、民用制造、军工制造、一般制造、装备制造、传统制造、现代制造等。

装备制造是制造业的重要组成部分，在制造业从机械时代、电气时代向信息时代、智能时代发展的过程中，一个国家装备制造的整体实力与水平，集中代表着科技实力、经济实力、国防实力等国家的综合竞争力。在当前新一轮科技与产业革命迅猛发展的形势下，数字化、网络化、智能化成为装备制造发展的新方向，全球装备制造业将迎来新的科技革命特别是信息技术与制造技术深度融合发展的新浪潮。

在这一大背景下，电子装备特别是高端电子装备制造，已经从传统的单一模式发展，逐步走向信息化与工业化深度融合、军民深度融合、软硬件一体化、多领域、跨尺度、交叉融合发展的新阶段。在如今德国“工业 4.0”、美国工业互联网、中国制造 2025 战略发展的大环境中，高端电子装备制造凸显出特别的地位与作用，具有重要的战略意义。



一、高端电子装备制造的概念

(一) 装备与设备

《现代汉语词典》中,“装备”定义为“配备的武器、军装、器材、技术力量等”;“设备”指“设置以备用,进行某项工作或供应某种需要所必需的成套器物”,泛指生产、生活中所用的各种器械及用品。从语义上看,装备与设备有共通之处,即泛指工具、生产用品等;区别在于,设备的概念更普通化、大众化,装备的概念更工具化、专业化。

装备这一词语,也有广义和狭义的区分。广义上说,装备指的是用于生产活动和军事活动的必需设备、器具等;狭义上说,就是军事行动必需的设备、器具等。即是说,装备一词既可以专指军事领域,也可以泛指人类生产生活中的各种器械。

此外,装备制造与制造装备也有所区别,前者是包含材料、制造在内的过程性要素的统称,后者重点指用于制造产品的设备,即“工作母机”。本书所述装备制造属于前者范畴。

(二) 电子装备

电子装备,是以电磁信号的获取、传输、处理、显示、发射等为主要目标,由集成电路、晶体管以及机械和控制系统等组成的,具有通信、导航、计算、定位、信息对抗等功能的设备,主要包括通信、网络、计算机、雷达、天线、微电子及导航应用等专业及领域的装备。

从词汇语义的历史发展起源分析,电子装备首先诞生于军事领域,而后应用于列装需求,同时代表了技术发展的先进水平。而电子设备则为普遍使用的含义,覆盖面和使用面较宽,偏重国民经济领域。



(三) 高端装备制造

高端装备制造是区别于一般制造而言的,随着历史的发展其内涵也相应地发生着一定的变化。

一般制造,泛指用人工劳动使原材料成为可供使用的物品的生产过程,主要包括一个国家制造业的所有门类。制造业是指对制造资源(能源、资源、设备、工具、资金、技术、信息等)进行制造加工、转化为可供人们使用的大型工具、工业品与消费品的行业,制造业体现着一个国家的生产力水平,是衡量国家综合实力的重要指标。

我国制造业现行分类标准,是2011年由国家统计局、国家质量监督检验检疫局、国家标准委员会第三次修订的《国民经济行业分类》(GB/T 4754—2011)。该标准参照了2008年联合国《国际标准行业分类》,包含农副品加工、食品加工、烟草、纺织、木材、家具、造纸、印刷、石化、医药、化纤、橡胶和塑料、非金属矿物、黑色金属、有色金属、金属制品、通用设备、专用设备、汽车、铁路、船舶、航空航天、电气、计算机、通信和其他电子设备、仪器仪表等在内的31个大类的行业分类。

其中,计算机、通信和其他电子设备制造业涵盖了计算机、通信设备、广播电视设备、雷达及配套设备、视听设备、电子器件、电子元件制造等多个细分领域;同时,将信息传输、软件和信息技术服务业单列为一大类,涵盖了电信、广播电视和卫星传输服务,互联网和相关服务,软件和信息技术服务业3个细分领域;这些分类基本涵盖了电子装备制造的传统领域,是厘清和提出高端电子装备制造概念的重要基础。

装备制造业的概念,起源于1998年中央经济工作会议提出的“大力发展装备制造业”,而原国家计委对装备制造的定义为“主要是指资本品制造业及相关的零部件制造”。



2012 年工业和信息化部颁布的《高端装备制造业“十二五”发展规划》，确立了我国现阶段高端装备制造的 5 个重点方向，主要包括航空装备、卫星及应用、轨道交通装备、海洋工程装备、智能制造装备。

2015 年国家提出了《中国制造 2025》五大工程之一的“高端装备创新工程”，组织实施大型飞机、航空发动机及燃气轮机、民用航天、智能绿色列车、节能与新能源汽车、海洋工程装备及高技术船舶、智能电网成套装备、高档数控机床、核电装备、高端诊疗设备等十大重点领域的一批创新和产业化专项、重大工程。我国高端装备制造创新工程如图 1-1 所示。



图 1-1 我国高端装备制造创新工程

从我国高端装备制造的实际发展情况看，高端装备制造的内涵是指装备制造业中具有高技术含量、高附加值、较强竞争力的行业领域，这些领域处于产业链的高端，占据着核心部位，其发展对国家制造业发展有举足轻重的作用和意义。

(四) 高端电子装备制造

本书所研究的高端电子装备制造，是指国防军事领域重大电子装备



（代表电子装备技术的先进发展水平）及国民经济领域重要电子装备（代表电子设备普及应用的推广程度）的制造，主要包括通信、网络、计算机、雷达、天线、微电子、卫星导航定位等军民两用装备的基础研究、技术研发、生产制造和市场发展的相关情况研究咨询，不包括广播电视设备、视听设备、信息服务等，也不包含制造过程中工作母机的生产制造，它是对涉及高端装备制造、智能制造、两化融合、军民融合中与高端电子装备制造相关领域和内容的关联和拓展。高端电子装备典型示意如图 1-2 所示。

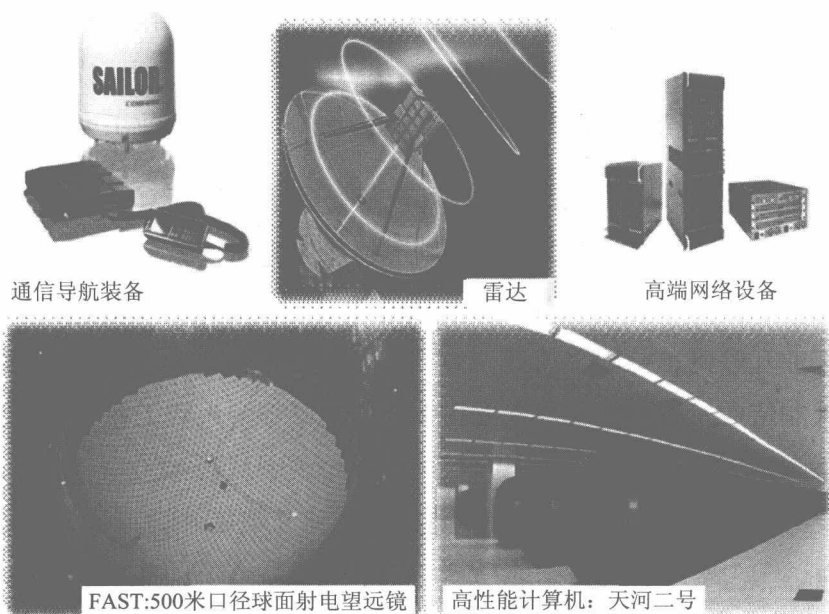


图 1-2 高端电子装备典型示意

概括地讲，高端电子装备就是具有高技术含量、高附加值、处于产业链高端的电子装备，其制造的内涵主要包含设计、加工、检测等环节，如通信导航装备、雷达、大型天线、高性能计算机、高端网络装备的设计与制造等。



二、高端电子装备制造的地位

高端电子装备制造在当前全球制造业走向智能化趋势的大背景下，是我国制造业实现转型升级、追赶超越、并行跨越的重要基础，是支撑《中国制造 2025》不可或缺的重点和焦点，是国家战略性新兴产业发展的核心与关键。解决好我国高端电子装备制造落后于世界发达国家、研发设计与生产等均受制于人的突出问题和制约瓶颈，不仅对于高端电子装备制造本身来说显得十分重要，而且对于我国制造强国战略的实施与推进也有着非常重要的支撑作用。

（一）全球制造业智能化发展的重要基础

“十二五”以来，全球制造业在世界金融危机逐渐复苏的缓慢进程中保持持续地稳步式扩张，智能化制造趋势成为新一轮技术与产业革新的亮点。以美国《先进制造业国家战略计划》和《先进制造伙伴计划》以及工业互联网、德国“工业 4.0”等为代表的国家战略，都在积极争抢未来制造业发展的先机，占据高端制造的高地，为新工业革命的到来打好坚实基础。其中，新一代信息技术与先进制造技术的深度融合，将成为支撑未来制造业新革命的关键，是智能化制造未来发展的重要基石，而这一关键基石的基础即是高端电子装备制造。世界制造强国之所以取得当前居于一流水平的工业实力，离不开其深厚悠久的工业基础，也离不开高端电子装备制造对工业制造的提升作用。

制造业智能化发展趋势不仅是制造业现实发展的迫切需求，也将引领未来高水平先进制造的方向。

以典型的德国“工业 4.0”发展为例，德国是一个传统的制造业强国，拥有重视技术、弘扬工匠精神的民族文化，苛刻的产品与技术标准



规范,严谨而系统的工程与技术人才培养体系,高效而实际的国家创新体系,但在信息化浪潮冲击下却面临着巨大挑战:一方面,由于美国等发达国家的“再工业化”带来的刺激,德国制造优势越来越不显著;另一方面,以中国为代表的新兴国家的崛起,一定程度上威胁到了德国在国际制造业市场上的地位。在这一背景下,2013年,德国正式发布实施了“工业4.0”战略。该战略旨在通过充分利用信息通信技术和网络空间虚拟系统——信息物理系统(Cyber-Physical System)相结合的手段,将制造业向智能化转型。“工业4.0”主要有四大主题:一是“智能工厂”,重点研究智能化生产系统及过程,以及网络化分布式生产设施的实现;二是“智能生产”,主要涉及整个企业的生产物流管理、人机互动以及3D技术在工业生产过程中的应用等;三是“智能物流”,主要通过互联网、物联网,整合物流资源,充分提高现有物流资源供应方的效率;四是“智能服务”。“工业4.0”,是以智能制造为主导的第四次科技革命的前兆,更加突出了新一代信息技术对传统制造业的提升与推进,酝酿着未来制造业的无限前景。图1-3为“德国工业4.0”主要内涵。

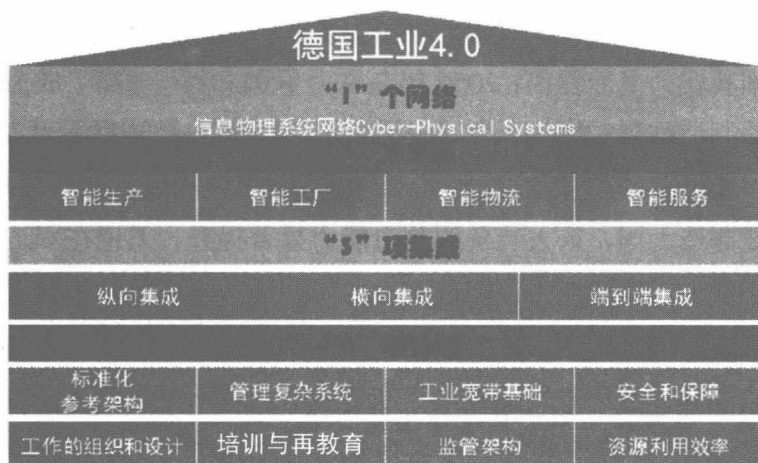


图 1-3 德国“工业4.0”主要内涵



全球制造业向智能化方向发展的新趋势,使以新一代信息技术与产业发展为核心的高端电子装备制造及其在先进制造行业领域中的广泛应用与融合成为新的发展重点,这也是发展智能制造的重要基础。

(二) “中国制造 2025”的有力支撑

2013 年,我国启动了制造强国战略重大咨询项目,在此基础上,2015 年 5 月 8 日,《中国制造 2025》正式公布,提出了中国制造强国建设三个十年的“三步走”战略,明确了提高创新能力、推进两化融合、强化工业基础、加强质量品牌等战略任务,尤其对新一代信息技术与制造业深度融合的智能制造工程,提出了具体任务。当前,世界各国制造业发展的现状:美国处于第一方阵,德、日位于第二方阵,中、英、法、韩等在第三方阵。

《中国制造 2025》是我国实施制造强国战略第一个十年计划的行动纲领,站在国家顶层设计高度,对振兴我国制造业作了整体规划和部署。

《中国制造 2025》从迎接新的科技革命、产业革命挑战及建设制造强国的战略目标出发,提出了“创新驱动、质量为先、绿色发展、结构优化、人才为本”的指导思想,确定了我国制造业的奋斗目标:2025 年左右进入第二方阵,迈入制造业强国行列;2035 年进入第二方阵前列,成为名副其实的制造强国;2050 年左右力争进入第一方阵,成为具有全球引领的制造强国。图 1-4 为《中国制造 2025》主要内涵示意图。

我国制造业的整体状况:经过长期发展,总体规模已位居世界前列,成为全球制造大国,重大装备的制造能力显著提升,无论在军工制造还是民品制造上,制造能力、制造实力均得到进一步增强,如数字化设计与制造、成型加工制造、敏捷制造、虚拟制造、极端制造、网络制造以及制造控制等方面均有快速发展,制造业信息化水平得到不断提高。但必须清醒地看到,我国高端电子装备制造的总体实力和水平与世界发达国家之间仍存在较大差距,制约着制造业的转型升级与未来发展。比如芯片、关键元器件、核心软件和高端工业软件等对外依赖度高,缺乏自