

第 1 章

智能车间与工厂概述

1.1 智能制造与制造车间

1.1.1 制造业发展历程

制造业(manufacturing industry)是指机械工业时代利用某种资源(物料、能源、设备、工具、资金、技术、信息和人力等),按照市场要求,通过制造过程,转化为可供人们使用和利用的大型工具、工业品与生活消费产品的行业。制造业是国民经济的主体,是立国之本、兴国之器、强国之基。制造业是产业链、供应链体系的重要构成,外部与农业、服务业等产业领域关联互动,内部涵盖从原材料、中间产品到最终产品生产与流通的一系列环节。制造业健康发展是产业链、供应链安全稳定的主要标志和基本前提。制造业为产业链、供应链循环提供源源不断的产品和要素,为经济社会稳定运行和健康发展提供了不可或缺的物质保障。

人类社会现代化过程的本质就是工业化过程。哪个国家掌握了工业,掌握了现代制造业,哪个国家就拿到了进入现代社会的钥匙。就我国而言,在新中国成立之前,虽然已有些许制造业的萌芽,但整体上还停留在传统经济社会阶段。中国真正大规模工业化的起步和发展,还是在新中国成立之后。

1. 全球制造业发展阶段概述

如表 1-1 所示,全球制造业发展大致经历了机械化、电气化、自动化和智能化四个阶段。

表 1-1 全球制造业发展历程

发 展 阶 段	年 份	里 程 碑	主 要 成 果
机械化	1760—1860	水力和蒸汽机	机器生产代替手工劳动,社会经济基础从农业向以机械制造为主的工业转移
电气化	1861—1950	电力和电动机	采用电力驱动的大规模生产,产品零部件生产与装配环节成功分离,开创了产品批量生产的新模式
自动化	1951—2010	电子技术和计算机	电子计算机与信息技术的广泛应用,使机器逐渐代替人类作业
智能化	2011 年至今	网络 and 智能化	实现制造的智能化与个性化、集成化

1) 第一阶段：机械化时代

18 世纪后期,以蒸汽机的发明和应用为标志,这既是技术飞跃,也是社会深刻变革,对人类历史影响深远。这次工业革命的结果是机械生产代替了手工劳动,经济社会从以农业、手工业为基础转型为以工业以及机械制造带动经济发展的模式,促成了制造企业的雏形,企业形成了作坊式的管理模式。

2) 第二阶段：电气化时代

19 世纪后期,随着科学技术的快速进步,尤其是电磁感应现象的发现(由法拉第在 1831 年发现),为发电机和电动机的发明奠定了理论基础。这使人们能够将其他形式的能源(如机械能、化学能等)有效地转换为电能,并通过电网进行传输和分配。与之前的机械化时代相比,电气化时代的能源利用更加高效、清洁,而且电能更便于控制和传输,为后续的自动化时代奠定了基础。20 世纪初期至 60 年代,工业领域发生第二次大变革,形成生产线生产阶段。福特、斯隆开创了流水线、大批量生产模式,泰勒创立了科学管理理论,导致制造技术的过细分工和制造系统的功能分解,形成以科学管理为核心,推行标准化、流程化的管理模式,使企业的人与“工作”得以匹配。

3) 第三阶段：自动化时代

在升级工业 2.0 的基础上,广泛应用电子与信息技术,使制造过程自动化控制程度进一步提高。生产效率、良品率、分工合作、机械设备寿命都得到了前所未有的提高。在此阶段,工厂大量采用由 PC、PLC/单片机等真正电子、信息技术自动化控制的机械设备进行生产。自此,机器能够逐步替代人类作业,不仅接管了相当比例的“体力劳动”,还接管了一些“脑力劳动”。企业在深化标准化管理 5S(整理(seiri)、整顿(seiton)、清扫(seiso)、清洁(seiketsu)和素养(shitsuke))、QC(quality control,品质管理)等的基础上,推行精益管理看板、JIT(just in time,准时化生产)等,使得岗位得以标准化细分。

第二次世界大战后,微电子技术、计算机技术、自动化技术得到迅速发展,推动制造技术向高质量生产和柔性生产的方向发展。从 20 世纪 70 年代开始,受市场多样化、个性化的牵引及商业竞争加剧的影响,制造技术面向市场、柔性生产的新阶段,引发了生产模式和管理技术的革命,出现了计算机集成制造、丰田生产模式(精益生产)。

4) 第四阶段：智能化时代

从 21 世纪开始,第四次工业革命步入“分散化”生产的新时代。将互联网、大数据、云计算、物联网等新技术与工业生产相结合,最终实现工厂智能化生产,让工厂直接与消费需求对接。企业的生产组织形式从现代大工厂转变为虚实融合的工厂,建立柔性生产系统,提供个性化生产,智能制造典型场景如图 1-1 所示。管理特点是从大生产变为个性化产品的生产组织,实现柔性化、智能化。

2. 中国制造业发展历程

1) 第一阶段：1978 年至 20 世纪 80 年代末,中国制造业的复苏

1978 年,刚刚从“文革”中解脱出来的中国百废待兴。新中国成立 29 年来,中国模仿苏联的计划经济体系建立了较为完整的制造业体系,能够制造各类工业和消费产品,通过“三线建设”,军工制造业具有了一定基础。但是,当时的中国制造业更多的是制造工业产品,在消费品制造方面,只能提供基本的生活保障。在当时人民生活水平还非常低的情况下,消费水平很低,从粮票到布票、肉票,产品种类非常匮乏。



图 1-1 智能制造典型场景

20 世纪 80 年代中叶,中国的制造业开始崛起,很多家庭开始购买国产的电子产品和轻工产品,电视上开始有了各类产品广告。在这个十年中,国营企业还是中国制造业的绝对主流,一些军工企业开始生产民用产品。在经济改革中初步尝到实惠的中国人,开始接触各种新鲜产品,“三大件”不断变迁,电视机、洗衣机、电冰箱逐渐成为所有家庭的必备电器。中国人的穿着也有了更多的选择,食品和各类消费产品的品种逐渐丰富。这十年,中国市场的特点是供不应求。

2) 第二阶段:20 世纪 90 年代初至 20 世纪末,民营制造业的崛起和外资制造业进入中国

随着国家政策的不断放开,以及沿海地区开放程度的逐渐提高,民营企业逐渐崛起。“苏南模式”和“温州模式”成为两种体制改革的模式。一些沿海地区制造“假冒伪劣”产品的企业逐渐开始打造自己的品牌。经济特区的建设、海南的发展、股市的建立、商品房的出现,使中国基本实现了计划经济向市场经济的转型,而中国市场也逐渐由供不应求转向供大于求。

在改革开放的第二个十年中,随着民营经济的崛起和外资制造业进入中国,中国沿海地区的制造业得到迅速发展。内地和沿海地区的制造业,乃至整个区域经济实力的差距逐渐拉大。

3) 第三阶段:21 世纪初至今,中国制造业融入世界,“中国制造”闻名全球

这十年,外资进入中国的趋势随着中国改革开放的深入而逐渐凸显,尤其是中国加入 WTO 之后,在中国积极引进外资的政策吸引下,以及全球制造企业降低制造成本,并占领中国及亚太市场的战略推动下,大量外资涌进中国,形成了今天中国数以万计的外资与合资制造企业。长三角地区,随着浦东的开发逐渐成为中国改革开放的龙头。

中国改革开放四十多年来,使“中国制造”全球闻名的,是中国沿海地区众多出口导向型制造企业。这些企业充分发挥低成本优势,逐渐形成了国际竞争力,赢得了大量原始设备制造商的订单,成为国际制造业的生产外包基地。而支撑这些企业实现低成本优势的,是来自中国农村的大量低成本劳动力和沿海地区逐渐形成的专业化产业集群,尤其是在 IT 产品、

玩具、服装、制鞋等产业。

互联网的蓬勃发展改变了人类的生活方式。中国在基础建设方面的投入飞速增长,跨越全国的高速公路网络全面建设,铁路一次又一次大提速,航空载客量和货运量增长神速,而中国的电信,尤其是无线通信的发展突飞猛进。中国的城市化进程也呈现出蓬勃发展的态势,中国城市成为全球最大的工地,建筑业的发展也带动了对制造业产品的需求。农民工像潮水一般涌向沿海地区,支撑了民营制造企业,尤其是外向型企业的发展。随着中国的基础设施建设投资、国内消费需求的提升和国际贸易的迅速增长,2003年后,整个中国制造业进入了新一轮迅速发展期。尤其是中国的船舶、机床、汽车、工程机械、电子与通信等产业发展迅速,带动了重型机械、模具,以及钢铁等原材料需求的海量增长,进而带动了整个制造业产业链的发展。国家对军工行业的投入增大,在航天领域的成就举世瞩目。大型国有企业的效益显著提升,烟草、钢铁等行业开始迅速整合。资本市场为中国大中型制造企业的发展带来了充足的资金。

3. 全球制造业的迁移史

当前,全球制造业正经历深刻变革,受逆全球化和保护主义抬头、国际经贸规则重构、发达国家推动产业链回迁、新一轮科技革命加速推进等多重因素影响,未来全球制造业和产业链、供应链格局将朝着区域化、本土化、多元化、数字化等方向加速调整和重塑。各国需要加强合作、互学互鉴,共同把握新一轮科技和产业革命机遇,增强制造业技术创新能力,推动制造业质量变革、效率变革和动力变革。

制造业发展和格局演化对世界经济具有重要影响。第二次世界大战以来,全球制造业经历多次转移,形成了以“三大中心”为主导的全球产业链供应链分工格局。受逆全球化、贸易保护主义加剧、新冠病毒感染疫情冲击、乌克兰危机等多重因素影响,全球制造业产业链、供应链正朝着区域化、本土化、多元化、数字化等方向加速调整。

1) 第一次制造业大迁移,发生在20世纪初,由美国接棒英国承接全球制造业

20世纪初英国制造业依然繁荣并占据欧洲地区第一的位置。1950年,英国依然有900万人从事制造业,占总人口的20%,制造业对国内生产总值(gross domestic product, GDP)的贡献达到1/3。1970年被德国抢走欧洲制造业霸主地位后,随着国内经济衰退,英国积极推行“去工业化战略”,向服务和金融业转型。制造业的GDP占比迅速下降,2010年仅占不到10%,而制造业的从业人员更是减少了70%,大部分转型到服务业。

受益于第二次工业革命的美国,当时国内工业发达程度已超过英国,而劳动力更充沛(美国1亿人口,英国4000万人口),地域面积更广阔(美国963万平方千米,英国24万平方千米),这些优势使美国的流水线批量、标准化生产得到高速发展。

2) 第二次制造业大迁徙,发生在20世纪50年代,由日本接棒美国承接全球制造业

美国将低端制造业向日本、德国迁移后,制造业仍持续繁荣20年,一直到1970年美国的钢产量依然是世界第一。钢产量在1970年被日本超越后,美国与英国一起向服务业转型。1980年到现在,美国将大部分劳动密集型产业进行外包,仅保留价值链高端的制造业,如汽车、航天航空、芯片等,而信息技术和金融作为新的增长点占GDP的比重越来越高。如果从制造业附加值来看,美国目前仍是世界第一,并且在汽车、航空航天、医疗器械、芯片、制药、工程机械等领域处于绝对领先地位,著名品牌有福特、波音、英特尔等。

第二次世界大战前日本已是全球前十的工业强国,第二次世界大战结束后日本作为战

败国被美国一国独占,当时日本很多工业设施都在战争中损毁,基于复兴日本工业化的考虑,美国决定将日本作为西方的“亚洲工厂”加以改造。在美国的支持下,日本的制造业以年均 13.2% 的速度发展,该速度是德国和法国的 2 倍、英国和美国的 3 倍。日本以高效完备的国家工业协作体系承接全球制造业转移,并在 1968 年成为 GDP 全球第二的经济强国。

20 世纪 70 年代日本将制造业向“亚洲四小龙”转移后,汽车取代钢铁成为第一大产业。1998 年,汽车产量已占世界总产量的 20%,主要出口美国,与美国品牌展开激烈竞争。除了汽车,在打印机、数码相机领域,日本也占据领先地位,著名品牌佳能在全球数码相机和打印机市场分别占据 30% 和 27% 的份额。

在某些配件方面,日本的制造业也能做到极致,例如,图像传感器、轴承等一些关键配件,其他国家都要依赖日本进口。

3) 第三次制造业大迁徙,发生在 20 世纪 70 年代,由“亚洲四小龙”(韩国、中国台湾、中国香港和新加坡)接棒日本承接全球制造业

朴正熙集权政府主导下的韩国,20 世纪六七十年代举国之力发展工业,在日本的支持下从纺织、鞋类等轻工业到钢铁、造船等重工业都有了快速发展,成为世界上造船业最发达的国家。中国台湾在 60 年代美苏冷战时期是美国制约亚洲的前线,在其经济援助下大力发展工业。70 年代中期,中国台湾承接了美日相当一部分劳动密集型产业,逐渐成为电子代工业的巨头。中国香港在 1950 年前仅是个转口贸易港,制造业只占 GDP 的 5%。随着朝鲜战争的爆发,英国追随美国切断了中国香港与内地的经济往来,香港转而发展制造业,首当其冲的是纺织业。1960 年,香港的纺织业占全港就业人数的 40% 以上,在纺织业带动下塑胶、钟表、灯泡等制造业也得到快速发展。1970 年,香港的制造业占比达到 30%。与中国香港一样,60 年代的新加坡制造业十分薄弱,在李光耀的推动下,通过一系列工业法案,成立裕廊工业园,招商引资,率先发展纺织、玩具等产业,制造业占比在 1964 年攀升至 14%。70 年代,着重发展资本和技术密集型产业的新加坡,通过税收优惠成功吸引了一批计算机配件制造和石化加工的跨国企业落户。90 年代,新加坡已经成为全球集成电路、芯片和磁盘的重要生产基地,同时成为世界第三大炼油中心。

4) 第四次制造业大迁移,发生在 20 世纪 90 年代,由中国接棒“亚洲四小龙”承接全球制造业

中国的工业化进程与众不同。一般出口型经济的国家是先发展纺织等轻工业,再发展重工业;而 20 世纪 60 年代中国优先发展重工业,70 年代才开始发展轻工业。80 年代起,中国的工业总产值以每年 15.3% 的速度增长,同时港资和台资制造企业开始进入内地(大陆)。自 80 年代起,港商在内地的投资金额就稳居内地招商外来资金之首,珠江三角洲是香港转移劳动密集型制造业的首选之地。刚开始主要是玩具、服装、塑胶、五金等低端制造业,90 年代中期,电器、电子零配件等也迁移过来。截至 2003 年,95% 的服装和皮革制造业、90% 的塑胶制造业、85% 的电子制造业和 90% 以上的手表和玩具制造业均从香港迁出。1980 年香港有 100 万工人,2003 年仅剩 20 万。台商于 80 年代初期进入大陆,经过十几年时间,一水之隔的福建和广东沿海地区,已成为台湾传统产业的聚集地。其中,专营半导体和电子设备的富士康于 1988 年在深圳龙华建立工厂。随着工厂规模和数量的一再扩大,高峰期在大陆招收的工人超过 100 万。

大量外资制造业涌入,一方面大大提升了中国的商品出口,1980 年外贸依存度仅为 12.6%,2002 年迅速提高到 50.2%;另一方面创造了大量工厂流水线岗位,截至 2002 年年底,共批准外商投资企业近 50 万家,这些企业的就业人员接近 2000 万人。中国制造业在 2010 年的 GDP 比重达 40.1%,而 1952 年仅为 17.6%,有 200 多种商品产量居世界第一,钢、水泥、煤炭、家电、手机、计算机等行业的产量世界占比超 50%,中国成为名副其实的“世界工厂”。

综上所述可以发现一些共同点:①迁出劳动密集型制造业,保留及发展技术密集的高附加值制造业;②转型服务业,服务业占 GDP 的比例逐渐增大,制造业的比例逐渐减小。可以预见中国制造业的未来也会朝着这个方向前进。

但我国制造业面临更加复杂和严峻的形势:一方面劳动密集型制造业的订单被印度、越南、印尼等人工成本更低的国家抢走;另一方面机器人和自动化发展速度很快,欧美和日本等国家开始倡导制造业回归本土。而中国过往依靠人口红利的制造业增长还尚未在高端制造业有引以为傲的产品,虽然军工、家电、路由器、PC 等行业领先世界,但实际上这些产品的基础材料和高精度配件,以及加工这些产品的机床,很多自国外进口。

中国的制造业产业发展与很多国家的发展路径有所差异。一般国家发展制造业都是从轻工业起步,随着技术和资金实力等的积累,逐渐进入重工业领域。而新中国成立初期发展工业,基于我国当时的计划经济体制和赶超发展战略,再加上当时苏联对我国的大力援助,我国选择优先发展重工业。1953—1957 年是新中国的第一个五年计划,也是我国工业化的起点,奠定了工业化的基本布局。在这一时期,我国建设的主要项目是苏联帮助我国的“156 项”工业项目,使我国在能源、原材料、机械等重工业发展上跨出了一大步,而以此为“核心”的其他 900 多个非小型项目则勾画了我国工业体系的雏形。

我国改革开放前的制造业发展完成了从无到有的伟大突破。但是,产业的发展有其自身的逻辑和规律。由于种种原因,改革开放前,我国的经济发展(包括制造业的发展)还是遇到了极大的困难。在当时的困难时刻,我国再次展现出克服困难和突破桎梏的勇气和智慧,推动改革开放,在经济体制上为市场经济正名,使我国制造业再次迎来腾飞的契机。改革开放初期,我国圈定的 5 个经济特区都位于中国南部沿海区域,一方面是因为其地理位置更靠近港澳台,有利于吸引港澳台投资;另一方面,经济特区都是沿海港口城市,开展对外物流交通便利,有利于发展来料加工制造业,也有利于中国制造业融入世界经济体系。改革开放以来,我国轻工业、非公有制经济取得很大发展。1990 年,异军突起的乡镇集体企业实现利润 265.3 亿元,超过了国有企业的 246 亿元。截至 2006 年,国有及国有控股工业企业、民营工业企业和“三资”工业企业已是“三分天下”,分别占当年工业总产值的 31.2%、37.2% 和 31.6%。同时,我国一些现代化重工业也得到发展,如改革开放初期的重点工业建设项目宝钢,引进了当时日本先进的钢铁冶炼技术,得到迅速发展,如今已经成长为世界级的钢铁集团企业。

在我国改革开放的前 20 年间,广东、上海、浙江、江苏、福建等南方省份的工业在全国占比显著上升,使我国制造业产业形成南强北弱的格局。20 世纪末,一方面党和国家基于国家平衡发展,有意识推动中西部地区经济发展,于 2000 年正式推出西部大开发战略,随后又推出中部崛起战略;另一方面,南方经济强省原有制造产业发展遇到瓶颈,有意进行产业升级,进行“腾笼换鸟”,将一些初级制造产业向外转移。这些都促进随后的十年里中国制造业开始向中西部转移发展。但是,西部拥有丰富的土地资源和各类自然资源,再加上中国最新的“一带一路”发展战略,使西部由对外开放的后队变为前沿,其发展潜力不可限量。况且,

西部是我国少数民族主要聚居地,实施西部大开发,是关系国家经济社会发展大局、关系民族团结和边疆稳定的重大战略部署。中国中部地区,东接沿海,西接内陆,连通南北,是我国人口大区、交通枢纽、经济腹地和重要市场。随着全国交通物流基础设施的进一步完善,东部产业外溢和转移,紧靠东部中部地区的产业发展,尤其是制造产业,有望实现“承接型崛起”。2003—2013年是东部沿海产业向中西部转移的10年,也是西部大开发与中部崛起的10年。在此期间,中西部地区工业经济快速发展,经济实力显著增强。在这10年中,西部年人均GDP从6507元增长至34392元,全国平均水平占比从60%增长至73.98%。因此,这10年的产业转移,显著改变了西部地区经济发展严重落后的现状,并很大程度上弥合了东西发展不平衡的差距。

党的十八大以来,党中央高度重视我国区域协调发展问题,明确提出要拓展发展新空间,形成以沿海沿江沿线经济带为主的纵横经济轴带,培育壮大若干经济区,先后提出一系列新观点和新举措,大体可概括为“四大板块、三个支撑带和三大经济带”战略。“四大板块”是指东部、中部、西部和东北,这种区域划分的目的在于调控区域差距,促进区域协调发展。例如,我国的东北地区作为我国重工业早期发展的重点区域,在近几十年的发展中由于资源枯竭、市场变化等因素,面临产业衰退和塌陷等问题。近些年,振兴东北老工业基地始终是我国政府重要的发展课题之一。“三个支撑带”是指环渤海支撑东北、华北和西北经济带,长三角支撑长江经济带,珠三角支撑西南、中南以及华南经济带,这三个支撑带可促进区域间合作和互助。“三大经济带”是指京津冀经济带、长江经济带和“一带一路”经济带,这三大经济带有助于东中西地区协调发展,建立面向全球化的开放体系。

党的二十大召开之际,我国工业增加值由23.5万亿元增加到31.3万亿元,中国连续11年成为世界最大的制造业国家。“十三五”时期高技术制造业增加值平均增速达到10.4%。信息传输软件和信息技术服务业的增加值由约1.8万亿元增加到3.8万亿元,占GDP比重由2.5%提升到3.7%。综合实力进一步增强,重点领域的开拓创新取得新的进步,发展动能持续增强,发展环境持续优化,为促进实体经济乃至整个国民经济平稳健康发展提供了有力支撑。

党的二十大报告提出,“建设现代化产业体系。坚持把发展经济的着力点放在实体经济上,推进新型工业化,加快建设制造强国、质量强国、航天强国、交通强国、网络强国、数字中国”。这为制造业高质量发展提供了根本遵循、指明了前进方向。

综上所述,全球制造业形成了“三大中心”,即以美国为中心的北美供应链、以德国为中心的欧洲供应链和以中国、日本与韩国为中心的亚洲供应链网络。全球制造业围绕美德中日韩等制造业大国,通过与周边国家产业链供应链合作,形成了各具特色和优势的全球制造业“三大中心”。

(1) 以美国为核心,辐射带动加拿大和墨西哥的北美制造业中心。作为世界上最发达的工业国家之一,美国2021年制造业增加值为2.50万亿美元,占GDP的比重为10.7%,占全球制造业增加值比重为15.3%,位居全球第二。美国在东北部、南部和太平洋沿岸地区形成了横跨钢铁、汽车、航空、石油、计算机、芯片等多个领域的制造业区域集群,并与加拿大、墨西哥形成了紧密的产业链供应链合作关系。美国经济分析局统计数据显示,美国对加拿大和墨西哥货物进口额占全球进口额的1/4左右,对加拿大和墨西哥货物出口额占全球出口额的1/3。

(2) 以德国为核心,辐射带动法国、英国等老牌发达国家的欧洲制造业中心。这一制造业中心不仅是近代工业革命的发源地,制造业历史底蕴雄厚,同时因为拥有数量众多的中小企业,为欧洲制造业的创新发展注入了充足活力。2021年,德国制造业增加值占全球制造业增加值的比重为4.7%,位列全球第四。法国和英国制造业增加值的全球占比分别为1.5%和1.7%。同时,欧盟制造业增加值的全球占比为15.6%,整体与美国规模实力相当。

(3) 以中日韩为核心,辐射带动东南亚、南亚等国家的亚洲制造业中心。近年来,凭借人口红利和正在快速崛起的消费市场,以及蓬勃的经济活力,亚洲制造业中心形成了全球最完整的产业链,并逐步向中高端制造业领域发展,甚至在部分制造技术方面已经相对欧美等国家形成一定竞争优势。自2001年中国加入世界贸易组织以来,中国制造业增加值占全球比重逐步提升,并分别于2001年超过德国、2007年超过日本、2010年超过美国,连续12年成为世界第一制造业大国。2021年,中国制造业增加值达到31.4万亿元,占全球比重由2010年的18.2%提高到29.8%。日本、韩国制造业增加值占全球比重分别为5.9%和2.8%,在亚洲制造业产业链、供应链体系中占据重要地位。同时,在东南亚地区,越南凭借劳动力成本优势,积极承接产业转移,实现制造业增加值的快速增长,从2010年的150.1亿美元增长到2021年的481.6亿美元,但其占全球比重目前仅为0.3%左右。在南亚地区,印度制造业增加值也有所增长,从2010年的2853.5亿美元增长到2021年的4465.0亿美元,占全球制造业增加值比重一直维持在2.7%左右。

1.1.2 世界主要发达国家智能制造战略发展规划

当中国制造正在向中国智造大步迈进之时,传统的生产和供应链体系面临重塑,依托自有制造,通过投入,可以对研发、制造、供应链等各环节进行把控,实现高质量生产。而标准化、自动化、数字化和智能化成为传统制造业升级的必由之路。纵观全球,世界各国也正在积极布局智能制造的发展。

智能制造是基于新一代信息通信技术与先进制造技术深度融合,贯穿设计、生产、管理、服务等制造活动的各环节,具有自感知、自学习、自决策、自执行、自适应等功能的生产方式。与传统固定式生产相比,智能制造采用单元化制造的生产方式,通过分散控制实现自律生产,并通过无线通信实现实时追踪位置信息,解决了传统固定式生产模式中流程化、人与机器通信受限、无法监控位置信息等问题。

智能制造在全球范围内快速发展,已成为制造业重要的发展趋势,为产业发展和分工格局带来深刻影响,推动形成新的生产方式、产业形态、商业模式。发达国家实施“再工业化”战略,不断推出发展智能制造的新举措,通过政府、行业组织、企业等协同推进,积极培育制造业未来竞争优势。

智能制造作为先进制造技术与信息技术深度融合的成果,已经成为制造业的发展趋势。20世纪80年代末,Wright和Bourne合著的《智能制造》一书的出版标志着智能制造概念的提出。经过了数十年的发展,智能制造的内涵逐渐丰富。目前一般认为智能制造的含义是,在新一代信息技术的基础上,将产品制造流程和生命周期作为对象,实现系统层级上的实时优化管理,是成熟阶段的制造业智能化。相比数字化和网络化阶段,智能制造全面使用计算机自动控制,并实现工业互联网、工业机器人、大数据的全面综合应用。智能制造可以大大缩短产品研发时间、提质增效、降低成本,体现了实体物理与虚拟网络的深度融合特征。

当今世界的很多工业强国都将人工智能看作下一个发展风口。日本、德国、美国自不必说,巴西、印度等新兴经济体同样把人工智能看作一个新兴领域不断加持。它作为全球下一轮科技革命与产业革命的关键领域,对整个世界的发展具有重大意义。

新一代信息技术与制造业深度融合,正在引发影响深远的产业变革,形成新的生产方式、产业形态、商业模式和经济增长点。各国都在加大科技创新力度,推动 3D 打印、移动互联网、云计算、大数据、生物工程、新能源、新材料等领域取得新突破。基于信息物理系统的智能装备、智能工厂等智能制造正在引领制造方式变革;网络众包、协同设计、大规模个性化定制、精准供应链管理、全生命周期管理、电子商务等正在重塑产业价值链体系;可穿戴智能产品、智能家电、智能汽车等智能终端产品不断拓展制造业新领域。我国制造业转型升级、创新发展迎来重大机遇。

当前,智能制造已经成为全球价值链重构和国际分工格局调整背景下各国的重要选择。各发达国家纷纷加大制造业回流力度,提升制造业在国民经济中的战略地位。德国工业 4.0、美国工业互联网战略、日本《机器人新战略》、法国新工业法国方案,均在积极部署自动化、智能化。

1. 欧盟

欧盟委员会 2020 年 3 月发布了面向 2030 年的《欧盟新工业战略》,与《欧盟数据战略》《人工智能白皮书》共同构成欧盟“数字化转型计划”的重要组成部分。《欧盟新工业战略》旨在推动欧盟工业在气候中立和数字化的双重转型中保持领先,意图抢占数字化工业主导地位、提升全球数字竞争力、释放数字经济潜力,以应对全球经济前景的不确定性,其三大愿景与三大策略如图 1-2 所示。《欧盟新工业战略》提出,绿色、循环、数字化是工业转型的关键驱动因素,并提出一系列具体行动计划,强调借助数字基础设施、数字技术等手段提高欧盟工业竞争力和战略自主性至关重要,值得深入思考。

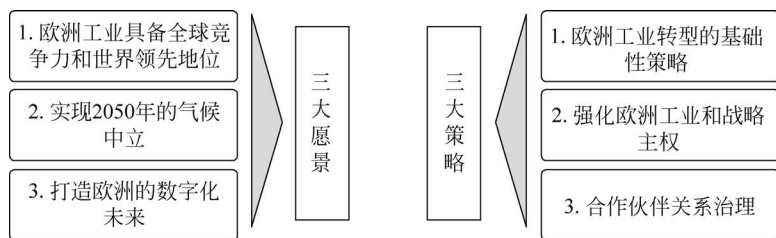


图 1-2 《欧盟新工业战略》三大愿景与三大策略

2. 美国

美国是智能制造的重要发源地之一。早在 2005 年,美国国家标准与技术研究所提出“聪明加工系统研究计划”。这一系统实质就是智能化,研究的内容包括系统动态优化、设备特征化、下一代数控系统、状态监控和可靠性、在加工过程中直接测量刀具磨损和工件精度的方法。2006 年,美国国家科学基金委员会提出了智能制造概念,核心技术是计算、通信、控制。

2017 年,美国清洁能源智能制造创新机构(CESMII)发布的智能制造 2017—2018 技术路线图指出,智能制造是一种制造方式,2030 年前后就可以实现,是一系列涉及业务、技术、基础设施及劳动力的实践活动,通过整合运营技术和信息技术的工程系统,实现制造的持续优化。该定义认为智能制造包括四个维度,“业务”位于第一位,智能制造的最终目标是持续

优化。该路线图的目标之一就是在工业中推动智能制造技术的应用。

2018 年,美国发布《先进制造业美国领导力战略》,提出三大目标,开发和转化新的制造技术,教育、培训和集聚制造业劳动力,扩大国内制造业供应链的能力。具体目标之一就是大力发展未来智能制造系统,如智能和数字制造、先进工业机器人、人工智能基础设施、制造业的网络安全,如表 1-2 所示。

表 1-2 先进制造业美国领导力战略

三大目标	战略目标	优先计划事项
开发和转化新的制造技术	大力发展未来智能制造系统	智能和数字制造
		先进工业机器人
		人工智能基础设施
		制造业的网络安全
	开发世界领先的材料和加工技术	高性能材料
		增材制造
		关键材料
	确保通过国内制造获得医疗产品	低成本、分布式药物制造
		连续制造
		组织和器官的生物制造
	保持电子设计和制造领域的领导地位	半导体设计工具和制造
		新材料、器件和结构
	增加粮食和农业制造业的机会	食品安全中的加工、测试和可追溯性
		粮食安全生产和供应链
		改善生物基产品的成本和功能
教育、培训和集聚制造业劳动力	吸引和发展未来的制造业劳动力	以制造业为重点的科学、技术、工程、数学 (science, technology, engineering, mathematics, STEM) 教育
		制造工程教育
		工业界和学术界的伙伴关系
	更新和扩大职业及技术教育途径	职业和技术教育
		培养技术熟练的技术人员
	促进学徒和获得行业认可的证书	制造业学徒计划
		学徒和资格认证计划登记制度
	将熟练工人与需要他们的行业相匹配	劳动力多样性
		劳动力评估
扩大国内制造业供应链的能力	加强中小型制造商在先进制造业中的作用	供应链增长
		网络安全外展和教育
		公私合作伙伴关系
	鼓励制造业创新的生态系统	制造业创新生态系统
		新业务的形成与发展
		研发转化
	加强国防制造业基础	军民两用
		购买“美国制造”
		利用现有机构
	加强农村社区的先进制造业	促进农村繁荣的先进制造业
		资本准入、投资和商业援助